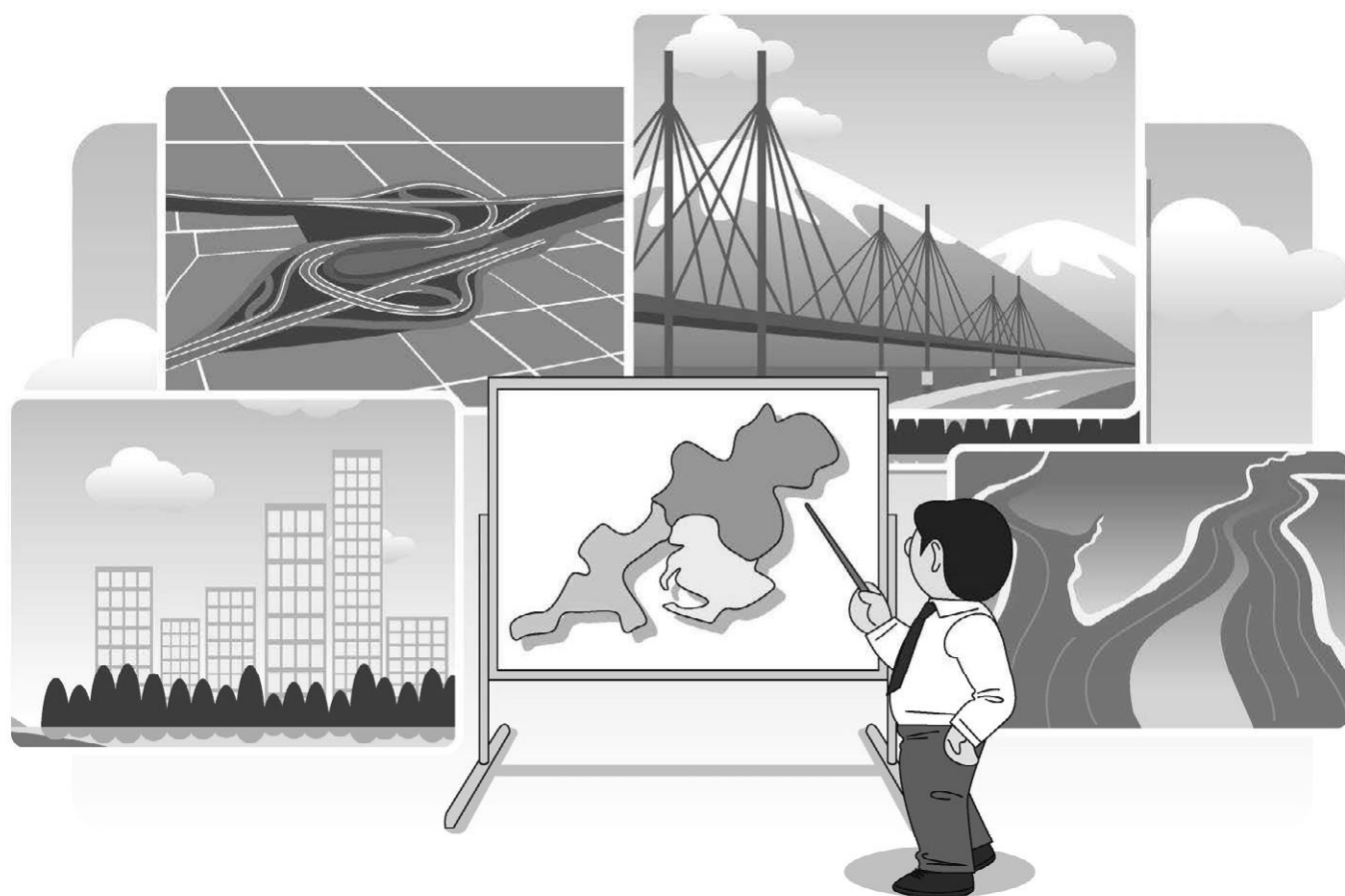


令和2年度（第30回）

建設コンサルタント業務技術発表会

発表概要集



令和2年10月14日

主催：（一社）建設コンサルタンツ協会中部支部

後援：（公社）土木学会中部支部

令和2年度（第30回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次

【第1会場】 （道路、構造土質）

	頁
1. 小型ボックスを活用した電線共同溝設計 花井 卓也	1
2. 旧タイプグラウンドアンカーのり面の修繕設計の課題と対応 松田 康弘	5
3. 地形を考慮した騒音予測手法業務への応用及び検証 劉 正凱／濱崎 泰知	9
4. 老朽化したのり面の崩壊対策と未崩壊のり面の補修・補強設計 中安 博之／河野 公典／林 寿郁	13
5. 乙姫大橋における耐候性鋼材の調査と評価について 青柳 比呂夫／並木 渉／玉利 幸一／三宅 竜之介	17
6. 橋梁撤去設計及び撤去に伴う周辺影響検討 水木 亮太／北堀 裕隆／杉浦 達巳	21
7. R=30m の平面曲線を有する曲線橋の耐震補強設計 酒井 友紀／濱中 実／伴 乙希	25
8. 木橋設計と橋梁長寿命化 内藤 秀斗／山本 大祐／則竹 義辰	29
9. 河川堤防の液状化対策設計 下田 聡／中村 幸生／見並 善巳／浜 昌志／ 小阪 陽克／川畑 智	33

令和2年度（第30回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次

【第2会場】（河川、都市計画）

	頁
1. 堤防決壊時の迅速な緊急対策工事に資する資料作成 吉川 耕平／岩田 経／伊藤 秀一／田中 雅彦	37
2. 環境 DNA 分析の魚類・底生動物調査への適用について 小川 遼／志俣 和宏／大木 俊亮／尾関 哲史／鄭 呂尚／前原 裕	41
3. ダム下流の河川環境保全に資する付着藻類の剥離条件の検討 堀田 大貴／長谷川 正利／遠藤 慎一／森山 輝久／鈴木 昭彦	45
4. タイムラプスカメラを用いた洪水時の河道変化状況の把握 澤田 育則／行方 敏剛／細井 寛昭／海津 利幸	49
5. 平成30年7月豪雨災害対応の事例紹介（津保川） 小林 雄介／鳥居 義仁／関谷 芳弘	53
6. 都市公園における民間活力導入検討 田中 順己／木村 光／浅野 誠一	57
7. 戸建住宅向けの低コスト・省CO2 排出地中熱利用システムの開発 児玉 光樹／田澤 義之／南 雅／成瀬 明代	61
8. 伊勢市における地域公共交通網の再編 山中 淳／澤田 基弘／小倉 俊臣	65
9. 公共施設の再編に向けた施設評価手法の検討 野木 茜／竹内 禎／東山 泰治／山田 孝彦	69
10. 25GHz 帯無線 LAN 装置 5 台 LA 接続による大容量屋外無線 LAN 経路構築実証実験報告 益田 勝／石井 秀樹／今尾 竜	73

令和2年度（第30回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次

【論文掲載】（道路）

	頁
安ハスマート IC の開通による整備効果分析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・都竹 延晃／前野 慎介	77
ドローン空撮動画を用いた渋滞状況分析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・北川 剛弘／田口 勝則／吉田 猛志／高野 剛志	81
ドライバー視線を取り入れた交通事故分析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・首藤 貴子／松岡 寿章／埋橋 章佳	83
中部国際空港を利用する訪日外国人レンタカー利用者へのピンポイント事故対策の立案 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・鈴木 忠英／伊東 裕晃／松井 竜太郎	87

【論文掲載】（構造土質）

	頁
橋梁詳細設計の BIM/CIM 活用による効率化と品質向上 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・小澤 拓也／山本 高由／樋口 雅友	91
鋼製函体による仮締切設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・日野 雅樹／河野 豪／加藤 裕孝	95
SfM+MVS による三次元画像モデルを利用した橋梁点検の効率化と情報の高度化 ・・・・・・古澤 栄二／浅野 信生／高木 孝夫／杉山 彰／三輪 裕司／ 谷口 貴司／天野 俊一	99
I 期線と II 期線の Lv2 地震時における相互干渉作用を考慮した橋梁詳細設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・飯塚 赳彦／高木 達弘／川本 恭朗	103
斜面崩壊により被災した橋梁の応急復旧設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・櫛田 真志／泉野 誠司／原田 和樹／阿部 光伸／ 井上 公究／鈴木 勇季	107

令和2年度（第30回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次

【論文掲載】（河川）

	頁
矢作川におけるヨシ原再生の取組み ・・・・・・・・・・・・・・・・小田 洋平／荒木 隆／葛西 直樹／稲富 善愛	111
地域連携による絶滅危惧植物アゼオトギリ保全の取組み ・・・・ 藤原 江里／石井 正人／武山 直史／菊地 正浩／阿部 直己	115
新丸山ダムにおける原位置岩盤せん断試験について ・・・・・・・・・・・・・・・・永島 達也／安里 長浩／宮村 滋／川崎 慎平	119
重力性変形に起因する地すべりの精査と再開発ダム貯水池周辺地すべりの解析 ・・・・・・・・・・・・・・・・田中 秀輝／末武 晋一／岩佐 卓実／河又 健時	123
UAV 写真測量データを用いた差分解析によるチュウヒ営巣環境の検討 ・・・・ 小川 智／梶野 清司／鳥居 和樹／牧瀬 賢治／鈴木 雅人	127

【論文掲載】（都市計画）

	頁
道の駅周辺整備基本計画の策定 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 安田 朋紘／串原 喜之／梶田 智成	131
ドライビングシミュレーターを用いたトラック隊列走行時の高速道路合流部における 安全対策効果検証 ・・・・ 伊藤 亜矢／川口 正／佐藤 大介／伊原 泰之／立花 嵩	135

小型ボックスを活用した電線共同溝設計

花井卓也¹

¹中央コンサルタンツ株式会社 本店（〒451-0042 愛知県名古屋市西区那古野二丁目11番23号）

近年、無電柱化の必要性が高まるなか、電線共同溝の整備コストが高いことが、無電柱化が進まないひとつの要因となっており、コストを抑えることが課題となっている。本業務では、三重県四日市市内の国道において、国土交通省が推奨する小型ボックス活用方式を採用して、整備コストや維持管理に配慮した電線共同溝の設計を行った。コストを抑え、セキュリティ性能や景観に配慮した設計を行ったが、さばき部の蓋が重く、維持管理時の作業性に課題を残した。小型ボックスについては、本体や蓋などの仕様が定まっていないため、今後も様々な課題を解決する形で、構造を決めていく必要がある。

Key Words：無電柱化、電線共同溝、小型ボックス

1. はじめに

近年、道路空間の防災性の向上や安全性、快適性の確保、良好な景観を確保する観点等から、無電柱化の取り組みが推進されている。また、自然災害の激甚化や頻発化、訪日外国人の観光需要の増加により、無電柱化の必要性はさらに高まっている。

無電柱化方式の1つである電線共同溝は、管路部と特殊部で構成された構造であり、道路管理者が電線共同溝の本体を管理し、電線管理者が電線共同溝内のケーブルを管理するものである。無電柱化のほとんどが電線共同溝によるものであるが、今後より一層の無電柱化の推進に向けて電線共同溝の整備コストを抑えることが大きな課題となっている。そこで、国土交通省では、電線共同溝の低コスト手法として、小型ボックス活用方式の普及を全国的に促進している。

本稿では、三重県四日市市内の国道において実施した小型ボックス活用方式を活用した電線共同溝の設計について報告する。

2. 小型ボックスの概要

小型ボックス活用方式は、従来の電線共同溝で地中に埋設していた管路部に代わり、蓋が路面に露出した小型ボックスを設ける構造であり、小型ボックスの中に通信ケーブル、電力低圧ケーブル、電力及び通信の引き込みケーブルを同時収容することで、浅くかつコンパクトに埋設するものである¹⁾。

(図-1)

引き込みの方法は、従来方式では、通信は共用F A管からの管分岐、電力は本体管路とは別に特殊部から引き込み管路を設ける特殊部分岐であったが、小型ボックス活用方式では、通信、電力(低圧)ともに小型ボックスから直接引き込むことが可能となる。このように小型ボックスは、引込管路の削減及び分岐樹の廃止によるコスト削減、新規引込時の掘削量の削減による作業性の向上が期待できるものである。

小型ボックスに関しては、具体的な基準や専用の製品がなかったため、電線管理者との協議を重ね、躯体や蓋などの構造について決定した。

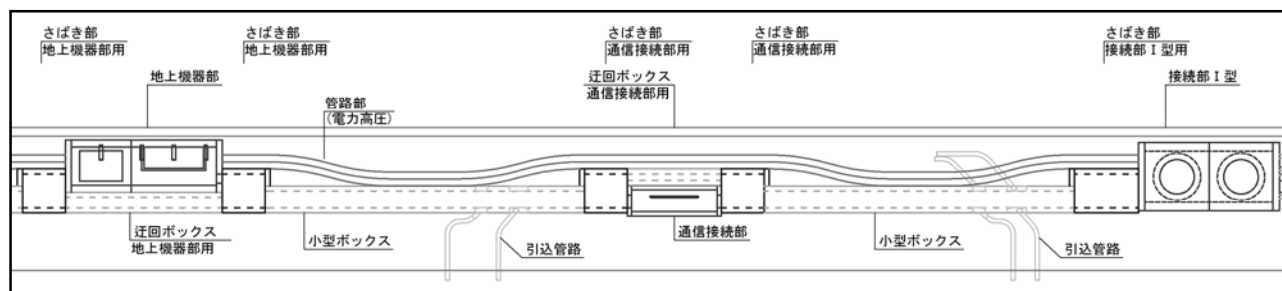


図-1 小型ボックス活用方式の整備イメージ図

3. 小型ボックスの特徴

小型ボックスの特徴は、従来方式と比較して、施工性、耐久性、経済性に優れることである。一方で、小型ボックスの蓋が路面に露出しているため、景観や土砂流入に対して対策を施す必要がある（表-1）。

表-1 従来方式と小型ボックスとの比較

方式	小型ボックス方式	共用F A活用方式	浅層埋設方式
概要	PU側溝をベースとした小型ボックス	従来の管路方式	従来の管路方式で浅く埋設する方式
断面図			
引込方法	電力(低圧)、通信ともに小型ボックス内から引込	電力は特殊部から、通信は共用F A管から引込	電力は特殊部から、通信は共用F A管から引込
景観性	路面への露出があり、景観への配慮が必要	路面への露出がなく、景観性に優れる	路面への露出がなく、景観性に優れる
施工性	管路方式に比べて良い(日進量約16.4m/日)	小型ボックスに比べて悪い(日進量約8.2m/日)	小型ボックスに比べて悪い(日進量約8.2m/日)
耐久性	コンクリート製品であり、最も耐久性に優れる	コンクリート製品の半分程度の耐用年数	コンクリート製品の半分程度の耐用年数
土砂流入	管路方式に比べリスクあり	土砂流入の可能性はない	土砂流入の可能性はない
特殊部の削減	特殊部の削減が可能	従来通り	従来通り
コスト(100mあたり)	17,500,000円	37,500,000円	39,000,000円

※ コストには一般部、特殊部、舗装工、引込工、交通誘導員、管路更新の費用を含んでいる。

※ 小型ボックスは、従来方式に比べ特殊部の数が少なく、管路の更新もないため安価である。

4. 小型ボックスの設計

表-2 小型ボックスの構造比較

特注タイプ	PU側溝タイプ
約79,000円/m	約43,000円/m

(1) 設計条件

小型ボックスの設計では、以下の構造条件を満足することに留意して検討を行った。

- ・路面からケーブルを設置できる構造
- ・引き込みが容易な躯体構造
- ・土砂の流入がない蓋構造
- ・容易に開閉できない蓋構造
- ・景観に配慮した蓋構造

(2) 小型ボックスの本体構造

小型ボックス本体構造について、特注で製作した製品を採用すると、従来の管路方式と比べてコストアップとなることが懸念された。そこで、当時中部地方整備局がPU側溝を活用した小型ボックス構造について検討を進めていたこともあり、本業務では、製品コストを抑えるため、PU側溝をベースとした本体構造を採用することで、約4割のコスト削減を図ることが出来た（表-2）。

(3) 小型ボックスの断面形状

当該区間は、電力及び通信需要が高い地域であり、ケーブル条数が多かったため、幹線ケーブルと引き込みケーブルの条数を考慮して小型ボックスの躯体寸法を決定した。

小型ボックス内でケーブルを平積みした場合、ケーブルの維持管理は容易となるが、小型ボックス本体の幅が80cm必要になり、既存埋設物等への影響が大きくなることが課題となる。そこで、ケーブルを積み上げることを前提に配置計画を行った。

また、ノックアウトの位置とケーブルが干渉する

と引き込みの際に支障が生じるため、ノックアウトの下に全てのケーブルが収容できる躯体寸法とし、本業務では「W500×H500」を採用した。

(4) 引き込み部の構造

中部地方整備局では、引き込みのためのノックアウトについては、10mに1箇所、民地側のみ設置する構造を想定していたが、今回の実施区間では、車道側の路上施設等への引き込みが必要になることを考慮して、全ての小型ボックスの両側にノックアウトを設ける構造とした（図-2）。

なお、ノックアウトの有無や設置面の違いにより、製品の種類が増すと施工が煩雑となるほか、コスト縮減に逆行するため、製品ラインナップを減らしてコストを抑える工夫を取り入れた。

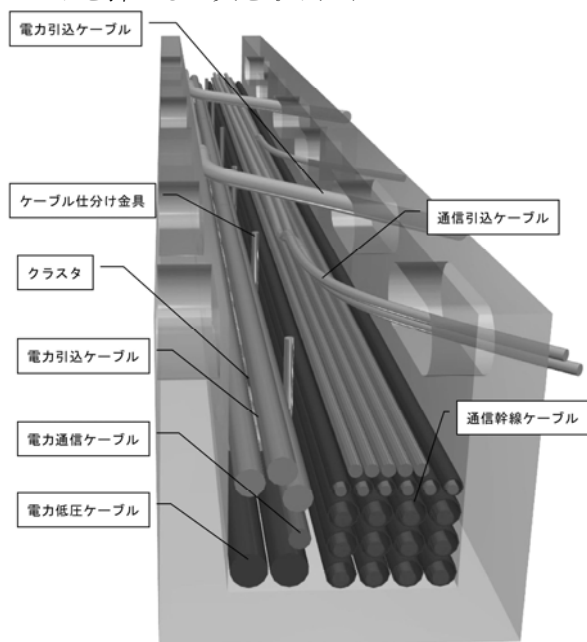


図-2 小型ボックスの躯体イメージ図

また、通信ケーブルの引き込みにはクロージャが必要となるため、通信接続部内にクロージャを設置し、幹線ケーブルから引き込みケーブルに分岐した上で、小型ボックス内のノックアウトから、沿道需要家に引き込みを行う構造とした（図-3）。

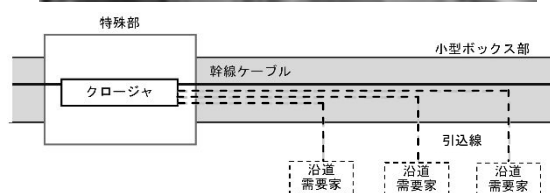


図-3 通信の分岐と引き込み方法（例）

一方、電力ケーブルの引き込みには、クラスタが必要になるため、小型ボックス内にクラスタを設置し、幹線ケーブルから引き込みケーブルに分岐した上で、小型ボックス内のノックアウトから、沿道需要家に引き込みを行う構造とした（図-4）。

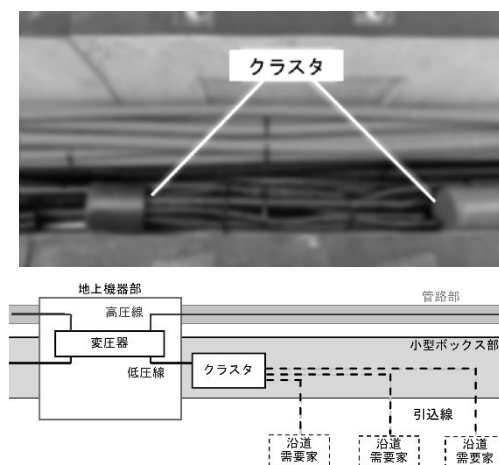


図-4 電力の分岐と引き込み方法（例）

(5) 小型ボックスの蓋構造

小型ボックスの蓋構造について、PU側溝と同様に手掛かりを設けると、土砂が流入してケーブルが損傷することが懸念される。そのため、手掛かりを設けない構造としたほか、セキュリティを考慮し、蓋の重量は1枚あたり100kg程度とした。

蓋の構造については、コンクリート製に限らず、景観上への対応について行うことが出来るように、鋼製で舗装材が充填できる構造を採用し、景観性や歩行性に配慮した（図-5）。



図-5 舗装材の充填が可能な小型ボックスの蓋

5. さばき部の設計

(1) さばき部の構造

小型ボックスは、通信ケーブルと電力ケーブルを同時収容しているため、通信接続部などの特殊部では、通信ケーブルと電力ケーブルを分離する必要があった。そこで、通信接続部には通信ケーブルのみ、電力接続部や地上機器部には電力ケーブルのみを収容するために、接続部の手前で通信ケーブルと電力

ケーブルを分離する空間として、さばき部を設けることとし、その構造について検討を行った。

ケーブルのさばき方は、縦方向にさばくスペースを確保する「縦さばき」、横方向に確保した「横さばき」の二通りが考えられたが、コスト比較を行った結果、「横さばき」が優位であった。

また、さばき部を設置する際、特殊部に入らないケーブルを収容するための迂回ボックスについても構造を立案した。特殊部にさばき部を設ける場合のケーブル収容例について、図-6から図-8に示す。

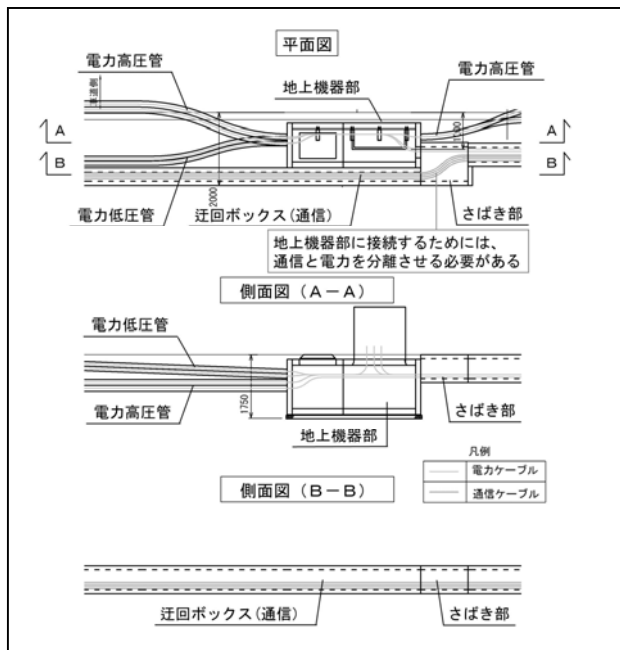


図-6 地上機器部でのさばき部

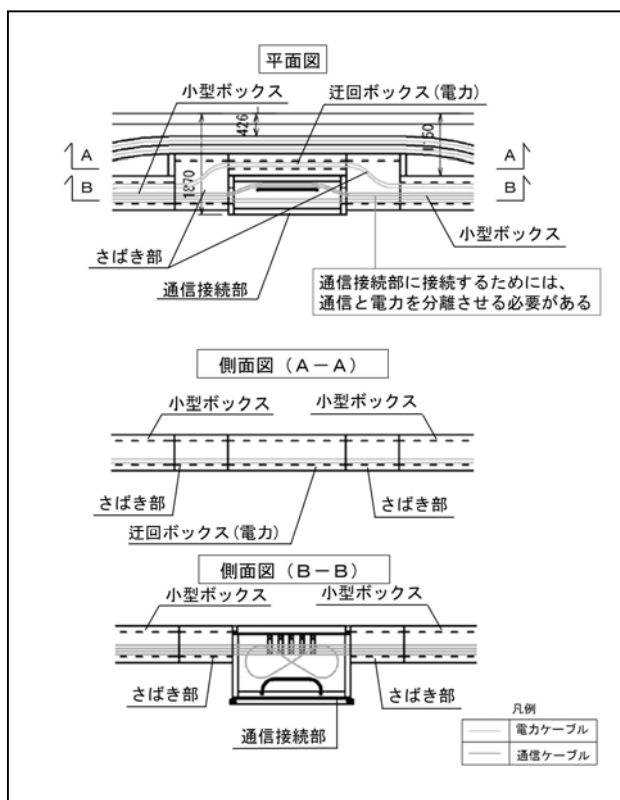


図-7 通信接続部でのさばき部

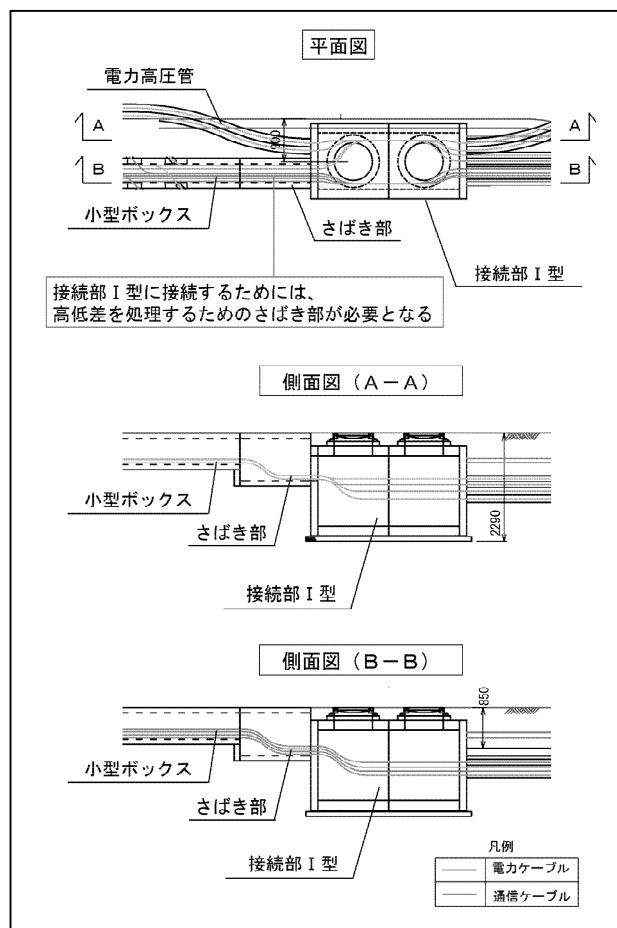


図-8 接続部 I 型でのさばき部

6. おわりに

今回、小型ボックス活用方式を採用した電線共同溝設計を行い、低コスト、セキュリティ性、景観性などに配慮した構造を提案することができた。

一方で、さばき部の構造に横さばき方式を採用したことで、蓋の重量が400kgを超えるなど、開閉時に重機が必要になるといった維持管理時の作業性に課題を残した。

本設計後に、国土交通省から小型ボックスの寸法や維持管理時の作業性に配慮したセキュリティ対策などについて方向性を示した手引き (Ver. 2)²⁾が出された。今後、様々な課題を解決する形で、小型ボックスの本体構造やさばき部の詳細構造を決定することで、将来の更なる電線共同溝の低コスト化が期待できる。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路の無電柱化 低コスト手法導入の手引き (案) -Ver. 1-, 2017
- 2) 国土交通省：道路の無電柱化 低コスト手法導入の手引き (案) -Ver. 2-, 2019

旧タイプグラウンドアンカーのり面の修繕設計 の課題と対応

○松田康弘¹

¹大日コンサルタント（株）本社（〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21）

本稿は、今後増加が予想される旧タイプアンカーが施工された切土のり面の修繕設計について、本業務の事例をもって設計上の課題と対応ならびに検討の手順について述べるものである。

旧基準で施工されたグラウンドアンカー（以下、旧タイプアンカー）は防食機能が不完全であるため、斜面の不安定化などが危惧されている。しかし、旧タイプアンカーのり面の修繕設計は、既設構造物の設計図書が少なく、技術的に未確立の面も多い。また、旧タイプアンカーの不具合は、腐食とそれ以外の原因が認識されている場合が少ないことから、既往資料や追加調査により不具合の原因を的確に把握しなければ、対策設計が実施できないことに留意する必要がある。

Key Words：旧タイプアンカー，切土のり面，維持管理，修繕，更新，補強

1. はじめに

平成初期までに施工されたグラウンドアンカーは、当時の設計基準において防食が義務付けされておらず、それらは旧タイプアンカーと総称されている。

近年、アンカー等の維持管理のため、アンカー点検・調査により、その健全性の評価が実施されている事例が多くなっている。しかし、その結果を活用した対策検討・設計においては設計検討の手順が提示されている事例は少ない。

本稿は、NEXCOの大規模更新・修繕事業の事例を用い、旧タイプアンカー切土のり面の修繕設計における設計検討の手順と課題・対応について述べる。

2. 機能低下原因と対応

修繕対象は、旧タイプアンカーの点検・調査が実施され、対策が必要と判断された切土のり面である。

対象箇所の旧タイプアンカーは、頭部詳細調査で腐食が確認され、リフトオフ試験では荷重が低下し、変位が増加する等、アンカーの機能低下が確認されていた。

対策設計の上で、旧タイプアンカーの機能低下の原因の把握は必要不可欠である。

そこで、以下の観点でアンカー点検調査結果から、旧タイプアンカーの機能低下の原因を考察し、原因の特定に必要な追加調査を提案した。

- ・腐食による部材の劣化
- ・不良地盤への定着
- ・設計外力の変化

(1) 腐食による部材の劣化

旧タイプアンカーは、防食構造が不完全であるため、地下水の影響により腐食している可能性が考えられた（写真-1）。

図-2は、試験荷重に到達する前に tendon が破断した旧タイプアンカーである。この原因は、地下水位等により、腐食した結果であり、破断したものと考えられる。

また、腐食の程度は旧タイプアンカーの施工場所



図-1 業務範囲

により、腐食環境が異なることが考えられた。



写真-1 テンドンの破断状況

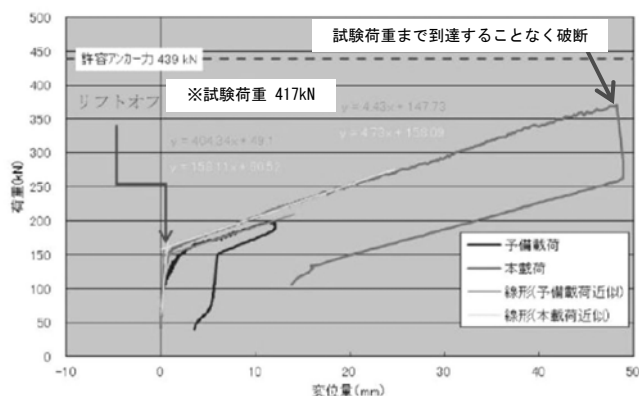


図-2 荷重-変位曲線（テンドンの破断）

(2) 不良地盤への定着

対策工の設計においては一般的に、すべり土塊が最も大きくなる断面を対策工の検討断面として設定し、その断面により決定されたグラウンドアンカーの規格や、配置を展開していることが多い。

そのため、特に切土のり面端部においては、地盤内の不動層の形状によっては、アンカー体の必要定着長が確保されていない状況も考えられる（図-3）。

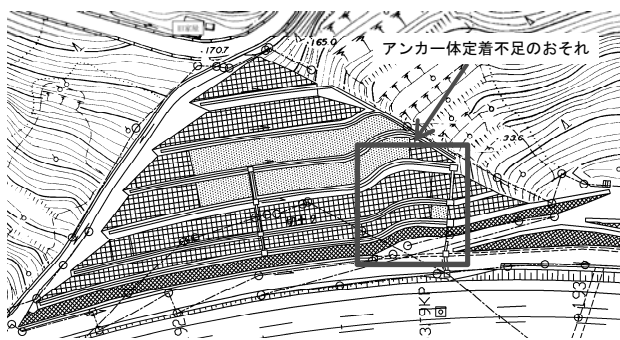


図-3 切土のり面端部におけるアンカー設置位置

また、アンカー体のグラウトと周辺の地盤の付着力が確保できない劣悪な地質となっている可能性も考えられた。

そこで、表-1が示す「タイプB」の荷重-変位特性となっている旧タイプアンカーに着目した。

「タイプB」とは、定着地盤のクリープ、PC鋼材の付着切れの進行が考えられるものである。

標準検討断面の適用が不適であり、アンカー体の定着長不足、付着力不足（図-4）や、設計外力によ

る変化が考えられた。

表-1 タイプ別荷重-変位特性の評価¹⁾

タイプ	記号	P- δ 特性分類	
A	OK	$\theta = \theta_1 = \theta_2$	
		$\frac{E \cdot A}{(f + 0.5 \cdot t_a)} \leq \tan \theta \leq \frac{E \cdot A}{0.9 \cdot f}$: 正常	
	II	$\frac{E \cdot A}{0.9 \cdot f} > \tan \theta$: 異常	
B	評価記号はAと同様	$\frac{E \cdot A}{(f + 0.5 \cdot t_a)} < \tan \theta$: 異常	
		荷重を上げるのに従い、変位が増加するアンカー ・定着地盤のクリープ、PC鋼材の付着切れが徐々に進行していると考えられる。 ・自由長部に摩擦が生じている場合が考えられる。 ・ $\theta_1 > \theta_2$ 伸びが正常か異常かは、Aと同様の評価をする	

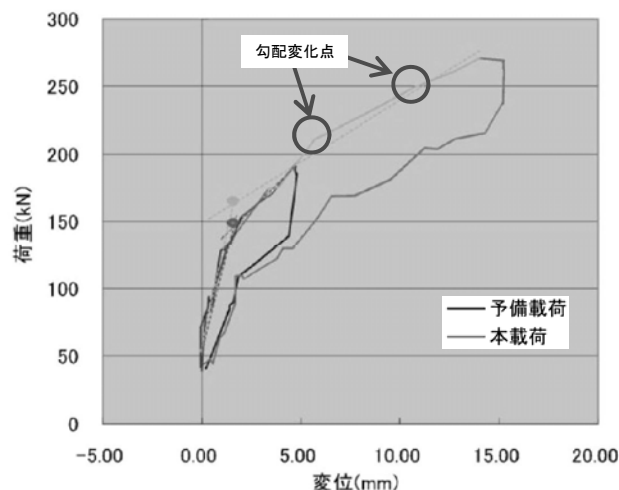


図-4 アンカー体の定着不足の可能性のある旧タイプアンカーの荷重-変位曲線（リフトオフ試験B）

(3) 設計外力の変化

切土による経年的なゆるみ範囲の拡大や、昨今の異常降雨により地下水位の上昇等により設計外力が変化したため、旧タイプアンカーが過緊張状態となっていることが考えられた。

そこで、リフトオフ試験Bにおいて、荷重除荷後の tendon の伸び量に着目した。図-5が示すとおり、 tendon の伸び量が、理論伸び量の110%上限値を上回る場合、鋼線腐食等による断面欠損、アンカー体の付着切れ等が考えられるが、当該箇所においては、110%上限値を上回るアンカーは確認されなかった。

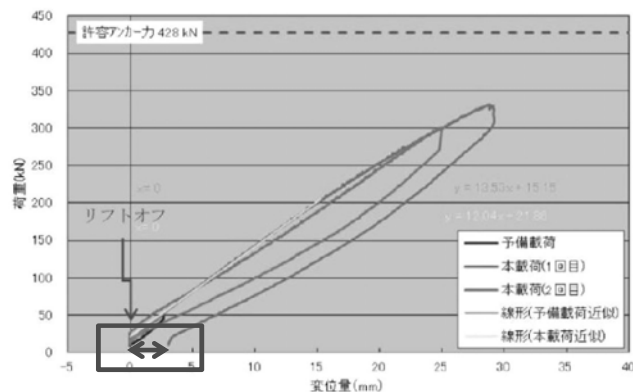


図-5 荷重-変位曲線

そこで、機能低下の原因の考察を踏まえて、次のとおり対応した。

- (1) ボーリング調査位置の最適化と追加
- (2) 地山のゆるみや想定外のすべりの有無の把握
 - a) 地表・地質踏査による自然斜面の把握
 - b) ボアホールスキャナー等による亀裂等の把握
- (3) 地山の腐食環境把握のための調査

3. 対応結果

(1) 追加ボーリング調査位置の最適化

旧タイプアンカーが崖錐堆積層に設置されている可能性があり、アンカー体の定着力不足が考えられた。そのため、アンカー上部でボーリング調査を実施し、崖錐堆積層の厚さを把握するとともに、定着地盤の地質を把握した（図-6）。

図-7は、アンカー定着体が崖錐堆積層に設置されていることが想定された切土のり面である。アンカー上部でボーリング調査を実施し、崖錐堆積層の厚さを把握するとともに、定着地盤の地質を把握した。建設当時のアンカー長を踏襲した場合、定着体が崖錐堆積層に設置されることが想定されたため、新設アンカーはこの崖錐堆積層の背面にある不動層への定着を確保するものとした。なお、対策工としては、アンカー以外の工法、例えば、排土工や抑止杭について検討を行ったが、アンカーを増し打ち（新設）することが基本となった。

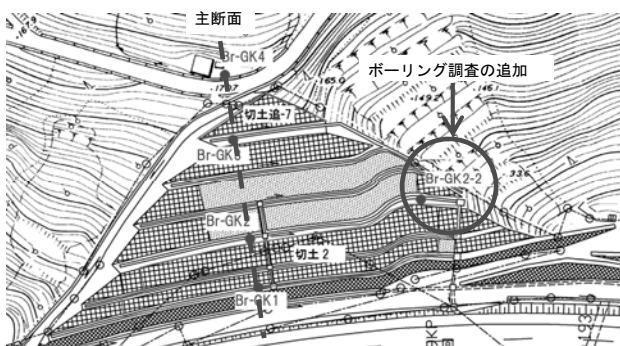


図-6 ボーリング調査の追加

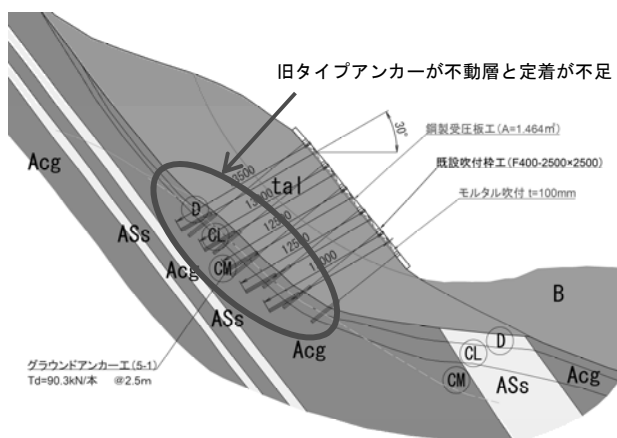


図-7 アンカー体定着位置の見直し

(2) 地山のゆるみや想定外のすべりの有無の把握

a) 地表・地質踏査による自然斜面の調査

切土のり面背後地の自然斜面を踏査した結果、崖錐性堆積物が広く分布し、想定外のすべりブロックを確認した（図-8）。



図-8 切土のり面背後地の地表状況

そのため、旧タイプアンカーの打設範囲だけでは切土のり面の安定性を確保困難と判断し、現状において、変状は確認されていないが、用地外からのすべりに対する予防措置を行った（図-9）。

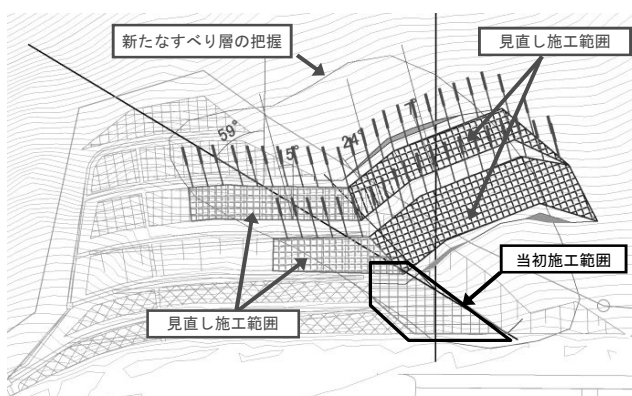


図-9 自然斜面のすべりを踏まえた対策工の実施

b) ボアホールスキャナー等による三次元的なゆるみ範囲の把握

ボアホールスキャナーにより、すべり面等の不連続面の走向傾斜や割れ目等の開口幅の情報を取得し、PS速度検層による弾性波速度の測定と合わせ、三次元的なゆるみ範囲を把握した（写真-2・左）。また、建設当時のボーリングコア（写真-2・右）と、本業務で採取したコア（写真-3）を比較した結果、建設当時のコア状況は、今回の調査結果に対し著しく乖離している。この理由としては、当時に比べコアリング技術が向上したため、つまり調査技術の差であると考えた。したがって、本調査結果からすべり線の見直しを行い、対策工設計を行った。



写真-2 スキャナー画像（左）建設当時のコア（右）

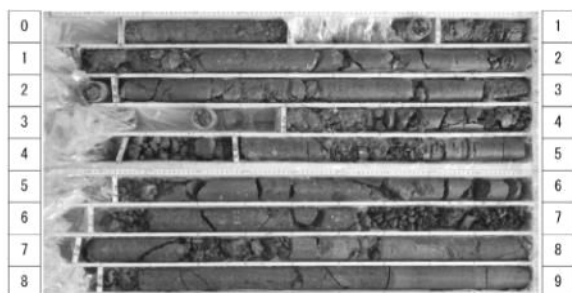


写真-3 ボーリングコアの状況（本業務）

(3) 地山の腐食環境把握

腐食環境把握のため、土壌の腐食環境調査および地下水のイオン分析を実施した。

土壌の腐食環境調査では、地山の腐食ポテンシャルを定量化するため、ダクタイル鋳鉄管についての土壌腐食性評価法（米国規格ANSI/AWWAC105/A21. 5）に準拠し実施した。調査の結果、腐食が著しい土壌とされている評価点を下回っているため、土壌による腐食環境下となる可能性は低いと判断した。

地下水のイオン分析では、一部切土のり面について硫酸イオン、硝酸イオンの数値が高い値を示したが標準値以下であり、通常の二重防食機能のアンカー材を採用することで対応可能と判断した。

表-2 イオン分析結果一覧表

分析項目 (mg/l)	Br-GK12	Br-GK15	Br-GK9	Br-GK5	Br-GK3
ナトリウムイオン Na^+	16.0	8.2	11.0	19	12.0
カリウムイオン K^+	2.4	1.3	1.1	1.6	1.4
カルシウムイオン Ca^{2+}	38.0	29.0	29.0	21.0	24.0
マグネシウムイオン Mg^{2+}	10.0	7.8	9.1	4.0	4.2
塩化物イオン Cl^-	8.6	4.3	6.4	5.5	8.2
硝酸イオン HCO_3^-	0.9	7.7	8.7	2.0	3.6
硫酸イオン SO_4^{2-}	24.0	7.0	6.0	15.0	13.0
イオン状シリカ SiO_2	14	16	41	19	19
アルカリ度 CaCO_3	110	100	100	85	65
水素イオン濃度 pH(無次元)	7.4/17.0℃	7.9/17.0℃	7.4/17.1℃	7.4/17.4℃	6.7/17.6℃
電気伝導率 EC (ms/m)	31	24	24	21	19

4. 成果

(1) アンカー点検調査の結果の活用

アンカー点検調査の結果の精査により、アンカー

不良の原因を想定し、不良原因が不明な場合は、リフトオフ試験結果を考慮した追加ボーリングを実施することにより、抑止効果を高め効果的なアンカー設計が実施できた。

(2) 想定外のすべりの捕捉と対応

追加地質調査の副産物として、想定外のすべり地形を把握し、既設アンカーとの関係を三次元的に評価することにより、新たなすべりに対して予防措置的な対策検討が実施できた。

(3) 腐食ポテンシャルの評価

更新されるアンカーは二重防食であるが腐食の可能性は否定できないため、イオン分析等を併用して腐食ポテンシャルを評価のうえ防食レベルを検討した。

5. 結論・今後の対応

(1) アンカー点検調査結果と設計検討

既設アンカーの修繕設計等は、アンカー点検の結果のみでは、設計検討は困難である。

アンカー点検調査結果からは、腐食の有無、リフトオフ試験における破断や引き抜けなどを把握できるが、破断や引き抜けについては、地山の外力変化の影響があるため、追加地質調査の実施が不可欠である。

(2) グラウンドアンカーはメンテナンスが必要

永久アンカーの呼び名とは裏腹にグラウンドアンカーはメンテナンスが必要な構造物であり、アンカー点検・調査による維持管理について今後も知見と高める必要性がある。

(3) 旧タイプアンカーの残存余命

当初から更新が想定されていた本業務は延命補修等の検討を実施しなかった。しかしながら小規模自治体等においては、財政問題等より旧タイプアンカーの継続的な利用が必要な場合も想定される。そのため、以下の研究が必要である。

- ・腐食による断面欠損等と余命等の関係の定量化
- ・安価かつ確実な飛び出し防止装置の開発

謝辞：本論文の執筆に対してご指導・ご助言いただきました関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社：調査要領，参2-16，2017

地形を考慮した騒音予測手法業務への 応用及び検証

劉正凱¹，○濱崎泰知¹

¹ (株) 建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦 1-5-13)

ダム事業の環境影響評価において、建設機械の稼働に係る騒音は参考項目として一般的に行われているが、ほとんどの騒音予測では、距離減衰が考慮されるものの、騒音の伝搬に大きな影響を与える地形条件が考慮されない。そのため、予測結果は過大になり、住民の不安、過剰な対策につながる恐れがある。また、コンクリート打設等夜間工事を行うダム事業に対する騒音の評価基準は明確ではない。本報告では、地形条件を考慮した場合と未考慮の場合の騒音予測結果を実測結果と比較し、地形を考慮することの重要性を報告する。また、ダム事業の工事騒音の評価基準を検討し、「特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準」の適用を提案する。

Key Words：環境影響評価、ダム事業、騒音予測、地形条件、評価基準

1. はじめに

建設機械の稼働に係る騒音「以下、工事騒音と称する」は、ほぼすべての法・条例アセスメント事業の環境影響評価項目として選定され、調査、予測評価が行われている。これらの予測は、ほとんどの場合、騒音の距離減衰式を用いて騒音レベルを計算し、計算値と「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」との比較により評価を行っている。

騒音は、距離減衰のみならず、遮音壁¹⁾、地形²⁾等による遮蔽があると、大きく低減する性質を有する。道路事業等では、比較的小型の建設機械を用いているため、建設機械の騒音影響範囲は、比較的狭く、地形の影響は少ない。一方で、ダム事業等においては、パワーレベルの大きい機械を使うため、影響範囲が広く上、急峻な地形でダム工事を実施するケースが多く、地形による騒音伝搬への影響が非常に大きい^{2), 3)}。そのため、地形の影響を考慮しない予測では、過大評価になる可能性が極めて高い。また、騒音評価に用いられる特定建設作業に係る規制は、騒音レベル(85dB)の規制のみならず、工種の規制、作業時間の規制もある⁴⁾。工期制約の厳しいダム工事では、これらの規制条件を満足することは困難であり、同基準の適用は実質不可能なケースが多いため、特定建設作業の規制基準以外の評価基準を検討する必要がある。

以上のことから、ダム事業等夜間工事を行う

可能性のある建設事業の騒音予測・評価の方法を検討する必要がある。以下はこれらの問題について検討し、提案したものである。

2. 騒音予測手法の検討及び提案

2.1 現行の騒音予測手法の問題点

ダム事業においては、50t以上のブルドーザ等大型建設機械を使うため、同じ工種でもユニットのパワーレベルが道路等他の建設作業より高い。

道路事業とダム事業の掘削作業のパワーレベルの比較例を表-1に示す。

i) はパワーレベルである。ii) の ΔL は90%レンジ上端値(L_5)と等価騒音レベル(L_{eq})との差を示したものである。iii) は地形を考慮しない場合のi)に示すパワーレベルの点音源から発生する騒音を工事騒音の評価基準値である85dBまでに減衰するために必要な距離を示している。

表-1 掘削作業のパワーレベルの比較

事業区分	工種区分	□) パワーレベル	□) ΔL	□) 85dB までの減衰距離
ダム事業 ⁵⁾	掘削・積込	126 dB	6 dB	89 m
	土砂掘削	103 dB	5 dB	6 m
道路事業等 ⁶⁾	軟岩掘削	113 dB	6 dB	20 m
	硬岩掘削	116 dB	5 dB	25 m

道路事業における掘削工種のパワーレベルは

103～116 dBであるのに対して、ダム事業における掘削工種のパワーレベルは 126 dBであり、道路事業等より 10～23 dBも高い。また、地形の影響を考慮せず、距離減衰のみを考慮する場合、規制基準の 85dB まで減衰するには、道路事業の掘削では、20m程度の距離が必要であるのに対して、ダム事業では 90m弱の距離が必要である。またダム事業では、複数のユニットが同時稼働するケースが多いため、音源のパワーレベルはさらに大きくなり、規制基準まで減衰するために必要な距離はより大きくなる。例えば、パワーレベル 126 dBの工種 4 ユニットのケース、必要な減衰距離は約 180mとなる。そのため、180m以内に保全対象があれば、騒音レベルは規制基準を超過することになる。また仮に、保全対象がダムサイトから数百メートル離れていて、保全対象付近の騒音レベルは規制基準を下回るとしても、80dB 前後の騒音レベルになると予測される。これは、ゲームセンター店内の騒音に相当するレベルであり⁷⁾、住民から理解を得られにくいと考えられる。

その一方、ダムはほとんど山間部の谷地形の中で建設され、高さ数十メートル～数百メートルの山に囲まれるケースが多い。この地形による囲い・遮蔽は、通常の遮音壁よりも高い遮音効果があり、それにより騒音レベルは大きく低減される。そのため、この地形による遮音効果は、ダム等山間部で行われる建設事業の騒音予測の重要な要素である。

したがって、ダム等山間部の建設事業において、地形を考慮した騒音予測は必須であり、それを考慮しなければ、過大評価、過剰対策、住民合意のネックとなる可能性が極めて高い。

2.2 地形を考慮した騒音予測

建設騒音予測モデル ASJ2007（（社）日本音響学会）において、地形を考慮した騒音予測手法が提案されている³⁾。また国土技術政策総合研究所は地形を考慮した騒音シミュレーターを開発し一般公開している。さらに国土地理院は 10 mメッシュ、5mメッシュのデジタル地形図を一般公開しており、近年以来、地理情報システム GIS (Geographic Information System) が急速に普及してきている。GIS を用いて、各種の空間データ、例えば、数値地図・基盤地図情報（標高）、予測地区の住宅、学校などの分布、地形データなどを入手することにより、GIS を活用した地形の影響を考慮した騒音評価・伝搬予測は可能である。

当社では、複数のダム事業、堰事業において、

地形を考慮した騒音予測を行っており、実測結果と計算結果の比較による検証を実施している。検証結果から、地形を考慮しない場合の騒音予測結果は、実測値より 10dB 以上高いのに対して、地形を考慮した場合の騒音予測結果は実測値に極めて近く、その差は 0～3dB 程度であった。

一つの事例としては、高低差の大きい（約 150 m）あるダム事業において、杭削孔時の騒音実測結果と予測結果との比較を行った。その実測結果では、河床付近で杭削孔を実施したとき、工事箇所付近の騒音レベルは大きく上昇するが、工事箇所より約 150m高い山頂付近の集落地点においては、地形による遮音効果は働き、騒音レベルの集計値から見ても騒音の波形から見ても騒音レベルの上昇は見られず、工事による騒音影響がないことが確認できた。しかしながら、地形を考慮しない騒音予測では、山頂付近の集落地点での騒音レベルは 60dB 程度と算出され、実測した現況騒音レベルより 10dB 以上高くなる予測結果となった。この予測結果は、ただ騒音レベルを高く計算しただけではなく、本来騒音影響のない地点でも騒音影響があると判定され、影響の有無の判断が間違っている結果となる。

それに対して、地形を考慮した騒音予測の結果は、暗騒音よりも低く、工事による騒音影響が全くないことが確認でき、工事による騒音影響の有無を正しく判定できた。また、工事騒音は、現況騒音よりも低いいため、工事による騒音の寄与値と現況騒音との合成値はほぼ現況騒音になり、実測結果との差は±1dB 程度以内になった。

したがって、地形を考慮した騒音予測は、予測精度が高いのみならず、工事による騒音影響の有無を正しく判断できるといえる。

また、地形の状況にもよるが、著者らが実施した複数のダム・堰事業の騒音予測結果の検証では、地形を考慮しない騒音予測の結果は、騒音の実測値、もしくは地形を考慮した騒音の予測結果より概ね十数 dB 高いことがわかっている。70～80dB 程度の騒音レベルに対して、10dB の差は大きいものではないと捉えられやすいが、騒音レベルは対数計算の結果であるため、10 dB の差は通常の数値の桁違いに相当する。

したがって、山間部の建設工事の騒音予測における地形の考慮は「望ましい」ではなく、「必須」と認識すべきである。

3. 工事騒音の評価基準について

3.1 ダムアセスメントに使われている評価基準について

法・条例アセスメントの対象となるダム事業等の環境影響評価書は、一般公開されており、インターネットでも評価方法・評価結果を確認できるが、ほぼすべてのダムアセスメントでは、工事騒音の評価基準を「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」としている。

特定建設作業に係る騒音規制基準を表-2に示す。

表-2 特定建設作業に係る騒音規制基準⁴⁾

規制の対象	規制の内容
騒音値	敷地の境界線において、85 dB以下
対象工種	バックホウ、ブルドーザ等を使用する作業
作業時間	19時～7時まで工事を実施しない。
作業時間	一日の作業時間 10 時間以下。
作業期間	連続して 6 日間を超えないこと。

しかし、この規制基準は、騒音値に対する規制のみならず、適用する工種、作業時間等の規定があり、どんな建設工事でも適用できるものではない。

これらの規制条件から、以下のことに留意する必要がある。

1) 85dB の規制値は敷地境界での規制値であり、工事エリアから数百メートル離れた保全対象の騒音評価に、この規制値を適用するのは適切ではないと考えられる。

2) バックホウ等を使う掘削作業の騒音評価では同基準を適用できるが、骨材製造、コンクリート打設等の工種は、同基準の適用対象にされていないため、同基準の適用は適切ではないと考えられる。

3) 同基準では 19 時以降工事を実施しない条件にしているため、夜間も施工するダムのコンクリート打設の騒音評価に同基準の適用はできないと考えられる。

そのため、夜間工事、骨材製造、コンクリート打設の騒音評価の基準を検討する必要がある。

3.2 ダム事業の工事騒音の評価基準の検討

夜間工事、骨材製造、コンクリート打設の騒音評価基準として、「特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準」が考えられる。ダムの環境影響評価では、特定建設作業に係る騒音規制基準を用いるのは一般的であるが、工事

段階の騒音対策検討では、この基準を用いて必要な対策を検討した事例がある。ただし、業務報告書として取りまとめられており、公表事例は少ない。

適用理由としては、特定工場の施設として、土石用または鉱物用の破碎機・摩砕機・ふるい及び分級機、コンクリートプラント等の工種が含まれており、ダム工事でも骨材製造・コンクリート打設等の工種があり、作業時間の規制が特になく、夜間工事にも適用できること等が挙げられる。

もう一つの理由は、特定工場の騒音規制値は一般地域の騒音に係る基準値と実質ほぼ同じであり、特定工場の騒音規制値を満足すれば、騒音に係る環境基準を満足することになるためと考えられる。なぜなら、数値上では、2 つの基準値には約 5dB の差がある^{5), 6)} (表-3 を参照) が、特定工場の騒音評価は、90%レンジ上端値 L_5 を用いているのに対して、環境基準の評価は等価騒音レベル L_{eq} を用いており、掘削工事等多くの工種において、 L_5 と L_{eq} の差が約 5dB 程度だからである。したがって、同じ指標でみる場合、2 つの基準値はほぼ同程度になる。例えば、住居地域を想定した第二種区域、B 地域の基準値の比較は以下のとおりである。

表-3 騒音に係る評価基準の比較

区分	90%レンジ 上端値 L_5		等価騒音 レベル L_{eq}		備考
	昼間	夜間	昼間	夜間	
特定工場 の騒音規 制 基準	60dB	50dB	約 55dB	約 45dB	規制値は L_5 であり、 L_{eq} は掘削工事等の L_{eq} と L_5 の差を考慮した参考値
騒音に係 る環境基 準	約 60dB	約 50dB	55dB	45dB	基準値は L_{eq} であり、 L_5 は掘削工事等の L_{eq} と L_5 の差を考慮した参考値

環境基準は、「人の健康の保護及び生活環境の保全のうえで維持されることが望ましい基準」とされているため、環境基準を満たせば、騒音環境はよく維持されていると評価できる。特定工場の基準値はほぼ環境基準値と同じであるため、特定工場の規制基準を達成できれば、騒音環境はよく保全されていると評価できる。

以上の理由から、特定工場の騒音規制基準のダム工事への適用は適切であると言える。

3.3 評価基準から見る騒音予測の地形考慮の重要性

特定工場の騒音規制値は、特定建設作業の規制値より、昼間 25dB (85dB-60dB)、夜間 35dB

(85dB-50dB) 低くなる。地形の影響を考慮しない場合、ほとんどのダム事業において、約 1km 程度の範囲内の騒音レベルは昼夜とも特定工場の規制基準を大きく超えると考えられる。基準を達成するために、騒音対策が必要となるが、ダム工事の範囲は広く、時期によって変動するため、対策は困難な場合が多く、必要な対策は大規模になると考えられる。しかし、実際のダム工事の多くは、高い山に囲まれる中で工事が行われるため、騒音影響範囲が大きいとの結論は実態と大きくかけ離れていると考えられる。

それに対して、地形の影響を考慮した騒音予測では、騒音影響が谷地形の中に限定され、影響範囲は実態に近い「狭い」範囲になる。著者らが実施した複数のダム・堰の工事騒音予測からはその結論が検証されている。

したがって、適切な評価基準を適用するには、地形を考慮した騒音予測が不可欠であると言える。

4. 最後に

以上、騒音予測の精度、騒音影響の有無に対する適切な評価、適切な評価基準及び必要な対策等の視点から地形を考慮した騒音予測の必要性を考察した。この問題はダム工事に係らず、山間部の道路トンネル工事等においても同じである。地形の影響を考慮しない予測結果を用いたことで、猛禽等の影響評価の結果、過剰な猛禽調査、過大な対策につながることは否めない。猛禽類に対する騒音影響の閾値は明らかでない中で、工事騒音は営巣地に伝搬するか、あるい

は工事による騒音値は暗騒音以下になるかどうかは重要なポイントであり、それを客観的に解明するには、地形考慮の必要性は高い。

過去には、地形条件のデータが不足し、地形を考慮した予測は困難であったが、現在ではデジタル地形図、GIS 技術が広く普及し、地形を考慮した騒音予測は可能である。したがって今後は、ダム等山間部での地形を考慮した工事騒音予測の普及を強く期待したい。

参考文献

- 1) 壁面入射音の能動制御による壁面透過音低減、騒音制御, 29 巻 3 号, pp.224-231 (2005).
- 2) 建設工事騒音の伝搬計算-その 2 地形変化の影響, 音講論集, pp.1451-1454 (2008.3).
- 3) 建設工事騒音の予測モデル, ASJ CN-Model 2007, 日本音響学会誌第 64 巻 4 号 (2008)
- 4) 環境省_特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準.
- 5) 河川事業環境影響評価研究会, ダム事業における環境影響評価の考え方, 平成 12 年 3 月
- 6) 国土総合技術研究所, 道路環境影響評価の技術手法 (平成 24 年度版), 国土技術政策総合研究所資料, No.714 (2013).
- 7) 全国環境研協議会騒音調査小委員会」環境省 HP
- 8) 藤本一寿: GIS を活用した道路交通騒音評価システム, 騒音制御, 29 巻 2 号, pp.83-87 (2005).
- 9) 今泉博之, 高橋保盛: GIS を活用した音環境管理と騒音伝搬予測, 騒音制御, 29 巻 2 号, pp.96-102 (2005).
- 10) 塩田正純: 環境騒音と GIS, 騒音制御, 29 巻 2 号, pp.73-75 (2005)

老朽化したのり面の崩壊対策と 未崩壊のり面の補修・補強設計

○中安博之¹・河野公典¹・林寿郁¹

¹中部復建㈱(〒466-0059 名古屋市昭和区福江1丁目1805番地)

本業務は、一般県道の老朽化した吹付のり面の補修・補強工事中に発生した岩盤崩落現場の崩壊対策と未崩壊のり面（コンクリート吹付）の補修・補強設計を併せて実施したものである。残存する岩盤の節理等の分離面が多くあり、全体に緩んだ状態であったことから、今後拡大進行する可能性を考慮した岩盤崩壊の不安定領域を設定し、経済性、安全施工、環境面に配慮した対策工を選定したほか、一般車両の通行を確保した施工計画を立案した。

Key Words：岩盤崩壊，崩壊対策，グラウンドアンカー，繊維補強モルタル

1. はじめに

道路における法面崩壊，落石等の災害を防止するため，道路防災点検をもとに，緊急度・危険度の高い箇所から順次災害防除工事が実施されている。

当該道路のり面も道路防災カルテ点検箇所に該当しており，点検履歴においてコンクリート吹付の亀裂・剥離の進行が指摘され，監視強化の対応のもと，対策工が必要とされた。

これを受け，平成25年にコンクリート吹付工の補修工事に着工したが，既設コンクリート吹付のはつり作業直後に，今回の岩盤崩落が発生した。

本稿では，崩壊したのり面の対策検討と同時に，未崩壊箇所におけるコンクリート吹付面の補修・補強工事を行うにあたり，安全施工に配慮した設計の実施内容と成果について報告する。

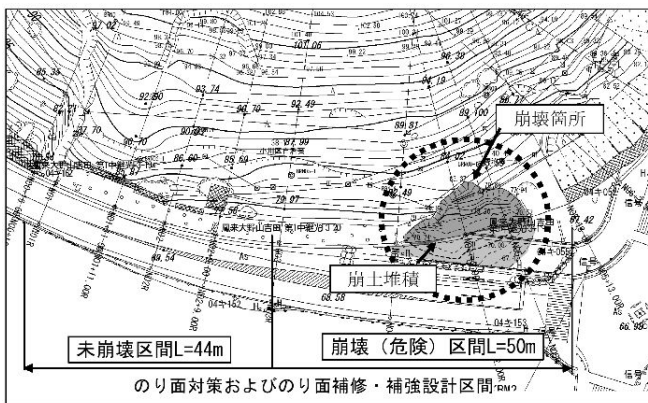


図-1 設計箇所

2. 崩壊箇所の整理

ここでは地質調査（別途発注）の所見をもとに，崩壊状況及び崩壊発生機構を整理する。

(1) 崩壊状況

a) 形状

- ・崩壊高：H=約10m程度（鉛直方向）
- ・崩壊幅：W=25m程度
- ・最大深さ：2.5m（のり面に直交方向）
- ・すべり面傾斜： $\theta=50\sim80^\circ$
- ・崩壊地質：緑色片岩の風化岩（CL～DH級）※1

※1 全般に節理等の分離面が多くあり
岩盤は非常にクラッキーとなっており，全体として緩んだ状態

b) 崩壊形態

分離面を介しての「すべり崩壊」のほか「トッピングによるブロック崩壊」が発生した箇所も確認できた。

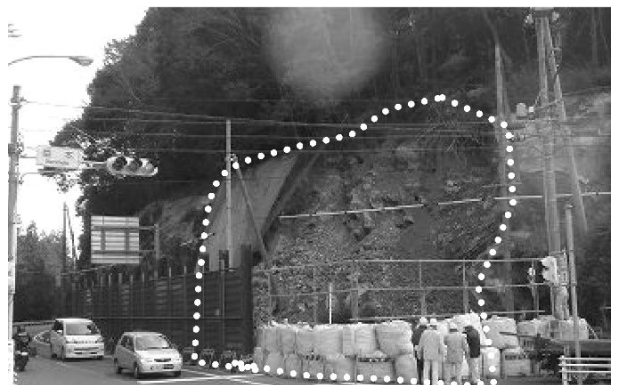


図-2 崩壊地全景

(2) 崩壊機構

a) 素因

- ・片理は受け盤であっても、流れ盤となる節理面の存在（面は不連続、かつ波状）
- ・不連続面が急傾斜
- ・経年的なクリープ変形の進行による緩み
- ・コンクリート吹付の老朽化

b) 誘因

コンクリート吹付の剥離により、経年的な分離面のせん断抵抗力が低下したと考えられる。

なお、今回岩盤崩壊には至らなかった区間においても、今後コンクリート吹付の亀裂・剥離が進行すれば同様の崩壊が発生する可能性が高いと推察する。

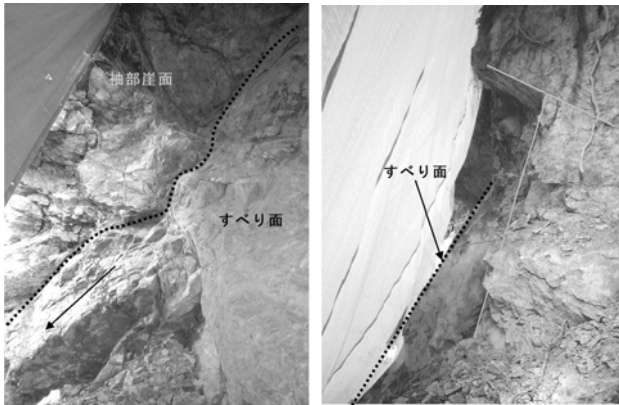


図-3 節理等の分離面の状況

3. 不安定領域の設定（技術的特徴①）

崩壊土塊（不安定領域）の設定には，“すべり安定解析（表1. モデル①）”や“のり面崩壊からの逆算法（表1. モデル②）”を用いるのが一般的である。

しかしながら、崩壊のり面の地質構造は“断層破碎帯”を有する複雑な岩盤で、残存する岩盤の節理等の分離面が多くあり、全体に緩んだ状態である。特に今後雨水や地震の影響を受け、崩壊面が拡大進行する可能性が非常に高いが、のり面の安定性評価

を岩盤の緩みの数値化から求めることは非常に困難である。そのため、現在の地形に対し、のり面を構成する地質が安定的であるか否かを他のアプローチから評価するのが妥当であると考えた。

そこで、指針等により示されている地層・地質に対応した標準安定勾配（表-2）は、雨水等の作用を受けても安全な勾配であり、工学的に判断された安定勾配であることに着目した。結果、「標準安定勾配」ラインを基準とし、これより前面に存在する部位を不安定な領域と設定する方法（モデル③）が、崩壊の進行に備えた安全設計であると判断した。

表-1 不安定領域の設定方法

不安定領域の設定方法		考 察	採 用
モデル①	すべり安定解析	対象地質が岩盤からなるため、地質データから推定した地盤定数を使用した場合、すべり面となるであろう特定部位を評価できない。 大半が過大評価となりやすい。	
モデル②	のり面崩壊からの逆算法	崩壊面が一様ではないため不確定要素が多く信憑性に欠ける。また、他の岩質部への応用が困難。	
モデル③	「標準（安定）勾配」ラインを基準とし、これより前面に存在する部位を不安定な領域として設定	指針等により示されている地層・地質に対応した標準安定勾配は、雨水等の作用を受けても安全である勾配であり、工学的に判断された勾配である。	○

表-2 適正のり面勾配の設定

適正切土のり面勾配：設計提案値				
地層・地質	切土高	のり面勾配		採 用
崖壁・段丘堆積物	5～10m	砂質土（密実でない）	1：1.0～1：1.2（標準値 1.2）	1：1.2
緑色片岩 黒色片岩	DL 級	5～10m	砂質土（密実でない）	1：0.5～1：1.2（標準値 1.2）
	DH 級		軟岩Ⅰ	1：0.5～1：1.2（標準値 1.0）
	CL 級		軟岩Ⅰ	1：0.5～1：1.2（標準値 1.0）
	CM 級		軟岩Ⅱ	1：0.5～1：1.2（標準値 0.7）

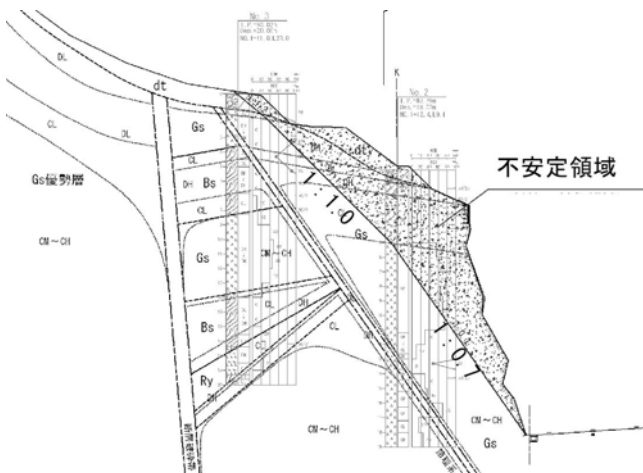


図-4 未崩壊箇所の不安定領域

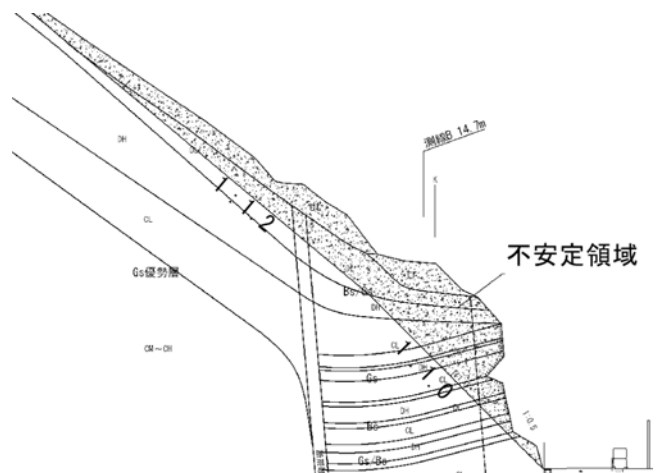


図-5 崩壊箇所の不安定領域

4. 対策工法の検討（技術的特徴②）

(1) 適応工種の選出

一般にのり面および斜面の崩壊対策は、「抑制工」と「抑止工」に大別される。

前者は、地形、地質、地表水、地下水などの自然条件を変化させることによって、斜面の安定を図ることを目的とした補助工法であり、後者は、構造物を設けることによって崩壊または滑動を抑止することを目的とする工法とされている。

各種工法の中から、当現場の地形・地質状況、ならびに崩壊規模などから適応する代表的な工種を下表（表-3）より選出した。

表-3 適応工種の選定

分類	工 種	概 要	適 否
抑制工	切土工（A）	オーバーハングの切取り、表層の不安定土層の切取り、浮石等の除去等、崩壊の危険のある土層、岩塊を取り除く。	○
	モルタル・コンクリート吹付工等	のり面の浸食、風化を防止し、斜面を形成する地盤の強度低下をふせぐ。 ※未崩壊箇所を対象とする	○
	のり枠工	のり面の風化浸食防止、抑止工的役割、アンカー補助工法。	○
抑止工	切土工（B）	斜面を雨水等の作用を受けても安全であるような勾配あるいは高さまで切取る。 ロックボルトとの併用で急勾配も可能。	○
	擁壁工	崩壊を直接抑止するほか、押さえ盛土の安定にもなる。→用地不足により採用見送り	×
	アンカー工・ロックボルト	法枠工等と併用し、斜面の安定を高めるほか、亀裂、節理等の発達した岩盤を内部の安定な岩盤に結着して崩壊・剝離を防止する	○

(2) 崩壊箇所の対策工比較

ここでは、表-3の適応工種に基づき選出した崩壊箇所の対策工について比較検討結果を紹介する。

表-4 対策工比較表（崩壊箇所）

工法	第1案 切土工+鉄筋挿入工+吹付法枠工	第2案 グラウンドアンカー工+吹付法枠工	第3案 ルートパイル工+吹付法枠工
概略図			
工法概要	岩盤部分（CL～DL級）を切土勾配1:0.5で掘削し、土砂部分は安定勾配（1:1.2）で掘削する。岩盤部分については、やや大きな岩塊の抜け出しが懸念されるため、鉄筋挿入工で岩塊崩落を抑止する。法面工は岩盤部分は吹付法枠工（枠内モルタル吹付）、法面表層部の風化・浸食防止を目的にコンクリート吹付工を法面保護工として施工する。	現況法面にグラウンドアンカー工を打設して、岩盤の大きなクサビ崩壊を抑止する工法。グラウンドアンカー工の受圧板は吹付法枠工を用いる。一部崩落している箇所については、モルタル吹付工で埋め戻しを行う。	現況法面にルートパイル工を打設して、地山を一体化させ崩壊を抑止する工法。ルートパイル工の頭部連結は吹付法枠工を用いる。一部崩落している箇所については、間詰めコンクリートで埋め戻しを行う。
施工性	・重機を斜面上方に運搬する仮設道路を建設することで切土は可能が、崩壊部上部の掘削はやや危険をともなう。 ・法面工は吹付法枠による施工で施工性は良い。 ・鉄筋挿入工は法面下部に重機を設置できるため、クレーンを使用した施工方法となり施工性は高い。	・切土等の土工事がないため、仮設道路は必要がない。 ・グラウンドアンカー工はロータリーバーカッションドリルでの施工となり、仮設足場が必要である。	・切土等の土工事がないため、仮設道路は必要がない。 ・ルートパイル工はロータリーバーカッションドリルでの施工となり、仮設足場が必要である。
工期 (延長50m当り)	約190日 (1.19) (不稼働率1.5)	約160日 (1.00) (不稼働率1.5)	約210日 (1.31) (不稼働率1.5)
維持管理	・法面表面をコンクリート吹付工と吹付法枠工で覆うため、基本的に維持管理の必要はない。 ・鉄筋挿入工は基本的にメンテナンスフリーの工法である。 ・定期的な法面点検は必要。	・法面表面をモルタル吹付工と吹付法枠工で覆うため、基本的に維持管理の必要はない。 ・グラウンドアンカー工はメンテナンスを行う必要あり。 ・定期的な法面点検は必要。	・法面表面をモルタル吹付工と吹付法枠工で覆うため、基本的に維持管理の必要はない。 ・ルートパイル工は基本的にメンテナンスフリーの工法である。 ・定期的な法面点検は必要。
概算金額 (延長50m当り)	単位(千円) 合 計 39,000 (1.08) ※1m当り 780	単位(千円) 合 計 36,000 (1.00) ※1m当り 720	単位(千円) 合 計 65,000 (1.81) ※1m当り 1,300 円
総合評価	施工時の安全性に劣る △	グラウンドアンカーはメンテナンスを要するが、施工時の安全性を含め、総合的に優れるため、これを採用案とする ○	3案中最も不経済である △

a) 第1案：切土工+鉄筋挿入工+吹付法枠工

岩盤部を切土勾配1:0.5で切土し、土砂部は安定勾配（1:1.2）で切土する。切取り後の岩盤部については、岩塊の抜け出しが懸念されるため、鉄筋挿入工+吹付法枠工で岩塊崩落を抑止し、のり面の風化・浸食防止策として法枠内のモルタル吹付工、切土のり面にはコンクリート吹付工を施工する。

重機を斜面上方に運搬する仮設道路を建設することで切土は可能であるが、崩壊部上部に残存する不安定な岩盤掘削はやや危険をともなう。

b) 第2案：グラウンドアンカー工+吹付法枠工

崩壊のり面にグラウンドアンカー工を打設して、岩盤の平面すべりを抑止する。グラウンドアンカー工の受圧板には吹付法枠工を用いる。

グラウンドアンカーのメンテナンスを要するが、第1案よりも施工時の危険性は少なく、工期も短く済む。

c) 第3案：ルートパイル工+吹付法枠工

崩壊のり面にルートパイル工を打設して、地山を一体化させ崩壊を抑止する工法。ルートパイル工の頭部連結は吹付法枠工を用いる。

他の案に比べ工期が長く、工費も高い。

検討の結果、残存するのり面が緩んだ状態であることから、安全施工を重視し、且つ一般交通への影響も少なく済む「第2案：グラウンドアンカー工+吹付法枠工」を最適案として選定した。

なお、恒久対策として信頼性を高めるため、アンカー定着は破碎帯から1.0m以深の堅固な岩盤層（CM級以上）に定着させるものとした。

(3) 未崩壊区間の対策工

未崩壊区間についても、補修・補強の工事中に崩壊発生の可能性もあることから、恒久的な安定を確保するとともに、危険（リスク）を回避した工法選定が必要と考えた。

そこで、既設吹付のり面補修区間には、吹付のり面を取り壊さずに、繊維補強モルタル吹付工を新規増厚吹付によって補強し、再生・長寿命化を図る設計とした。なお、岩盤の風化抑制対策として、のり肩上方に雨水の侵入を防ぐコンクリート吹付を行い、岩盤のブロック崩壊防止対策として、鉄筋挿入工による補強を行い恒久的な安定も確保した。

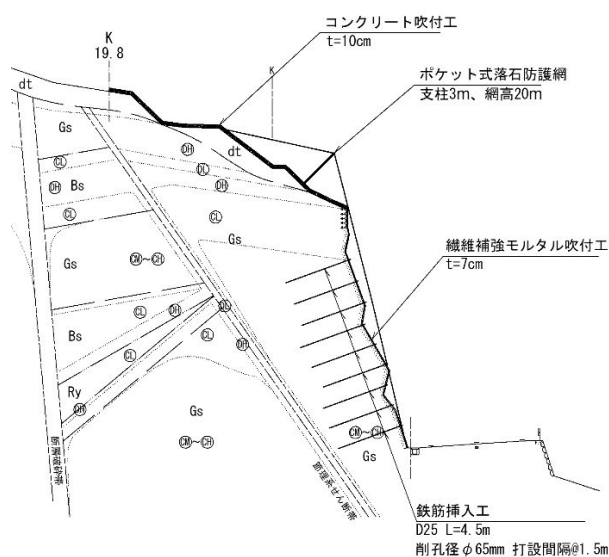


図-6 未崩壊箇所対策工断面図

(4) 崩壊部の施工計画

夜間の通行規制は行わない条件より、アンカー施工足場や資材置場ステージ等の施工ヤード（図-8参照）は斜面上に構築して、一般車両の通行を確保する計画とした。

また、残存する不安定な岩塊の一部除去作業や資機材搬入に必要な進入坂路は、耐候性大型土のうを崩壊斜面に沿わせて構築することで、押さえ盛土効果が発揮され、工事中の安全性を高める計画とした。

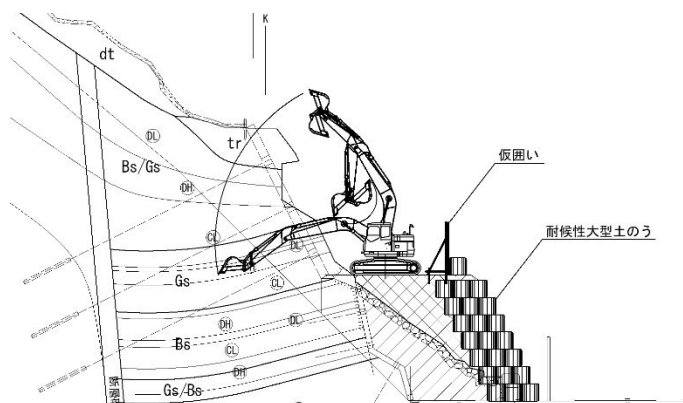


図-7 進入坂路断面図

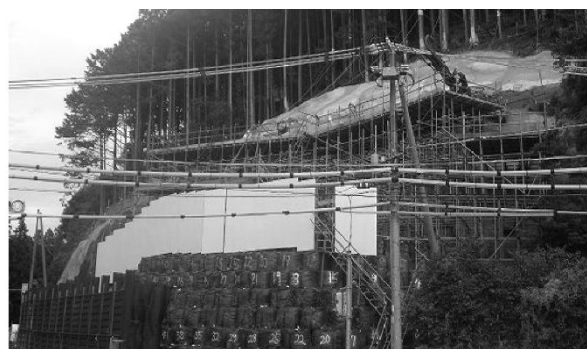


图-8 施工状况写真 (全景)

5. まとめ

本設計の成果は以下のとおりである。

割れ目の発達した緩んだ状態の岩盤に対する不安定領域の設定は、工学的に判断された勾配を用いて評価することで、崩壊の進行に備えた安全な設計とすることができた。

崩壊箇所のグラウンドアンカー工による対策は、現状のり面上から可能な対策を講じることで、経済的且つ工期の短縮が図れ、施工時の危険（リスク）も最小化することができた。

未崩壊区間の吹付コンクリートの補修・補強対策に採用した繊維補強モルタル吹付工は、既設コンクリート吹付法面を機能回復させることで、産業廃棄物の発生を抑制できることから環境にも配慮した対策とすることができた。また、吹付コンクリートのはつり工事をなくすことで、作業の安全性が大幅に向上し、工程短縮されることにより、第三者（通行者、通行車両）への影響や危険を抑制することができた。



図-9 崩壊箇所工事完成

謝辞：本論文の発表を快諾頂いた道路管理者の皆様
に心より感謝申し上げます.

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針，平成21年6月
- 2) 全国治水砂防協会：新斜面崩壊防止工事の設計と実例 本編，平成19年9月

乙姫大橋における耐候性鋼材の調査と評価について

あおやぎ ひ る お なみ きわたる た まり こういち み や けり ゆう の すけ
○青柳比呂夫¹・並木 渉¹・玉利幸一¹・三宅竜之介¹

¹ (株) 長大 名古屋支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-18-24)

乙姫大橋は、耐候性鋼材を用いた2径間連続鋼トラス橋（径間長111.2m）と両側を鋼単純箱桁で構成された橋長316mの橋梁である。国の直轄診断の補助として、橋を構成する耐候性鋼材の外観調査、さび厚調査、セロハンテープ試験、イオン透過抵抗試験等を行いさびの状態を評価するとともに、凍結防止剤がさびに与える影響を確認するため、付着塩分量を測定した。これらの調査の結果を基に、本橋における耐候性鋼材の状態とさびの状態の違いに関わる要因を推定し、今後の維持管理についての提案を行った。

Key Words : 耐候性鋼材, イオン透過抵抗試験, さび厚調査, セロハンテープ試験, 凍結防止剤, 維持管理

1. 業務の経緯及び目的

乙姫大橋は、岐阜県中津川市に平成8年10月に建設され、現在まで23年経過している橋梁で、市道坂下98号線上の橋長316.9mの橋梁である（図-1）。市道98号線は中津川市の重要な観光資源である「馬籠宿」と「栂の湖周辺エリア」を結ぶ主要導線として利用されており、下呂市方面との広域観光連携も含めた主要観光ルート確保に重要な路線である。本橋は、鋼材表面に緻密なさびを生成させ、腐食の原因となる酸素や水から鋼材を保護することで以降のさびの進展を抑制させる耐候性鋼材を用いた2径間連続鋼トラス橋と両側を鋼単純箱桁で構成しており、トラス橋部分は径間長111.2mの2連の大規模な橋梁である。平成22年度に、中津川市において点検が実施され、耐候性鋼材に層状剥離を伴う異常な腐食が確認された。凍結防止剤を散布する地域であり、耐候性鋼材の補修に関する知見等が無いことから、平成29年9月に中津川市より同橋の長寿命化のため、直轄診断の要請がなされたものである。

国土交通省は、本橋が維持管理に高度な技術力が必要であること、主要生活道路、観光ルート道路、緊急時の迂回道路として重要な路線であること等を勘案の上、直轄診断により、今後検討される修繕・措置等について、所要の調査・作業を行い技術的な助言が必要と判断した。本業務は、直轄診断の補助として、橋を構成する耐候性鋼材の調査及び評価を行うとともに、劣化部材に対してその劣化要因を推定し、今後の維持管理について提案することを目的

とした。

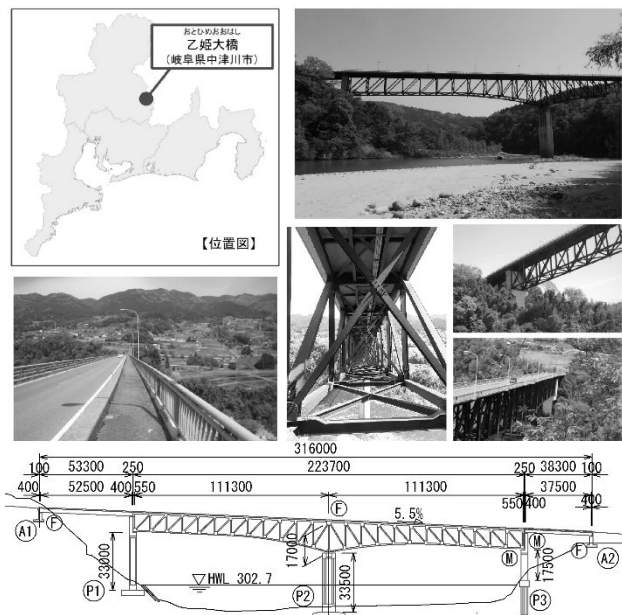


図-1 乙姫大橋の概要

2. 現地調査

(1) 調査項目

耐候性鋼材のさびの状態については、外観目視のほか、さびの状態を定量的に判断できるように、さび厚調査やさび粒子の大きさを計るセロハンテープ試験、さびの環境遮断性の指標となるイオン透過抵抗値の測定を実施した。また、冬期に凍結防止剤を

散布することから、橋梁への影響を確認するため付着塩分量の調査についても実施した。

(2) 耐候性鋼材の防食機能についての調査結果

外観目視によるさびの状態把握は、橋梁点検車を用い全部材の各面について実施した。また、代表断面で実施したさび厚調査、セロハンテープ試験、板厚調査、付着塩分量調査、イオン透過抵抗の測定値については、結果対象の外観目視の写真と合わせて整理した（図-2）。イオン透過抵抗値はさび厚との相関を示し、この相関からさびの状態の評価を提案した紀平ら¹⁾及び西川ら²⁾の評価区分に基づき整理した（図-3）。

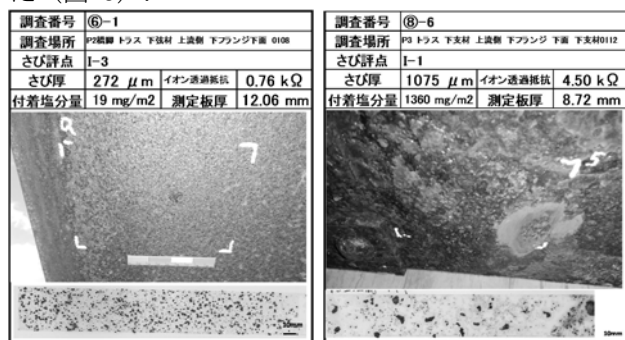


図-2 さびの調査結果の一例

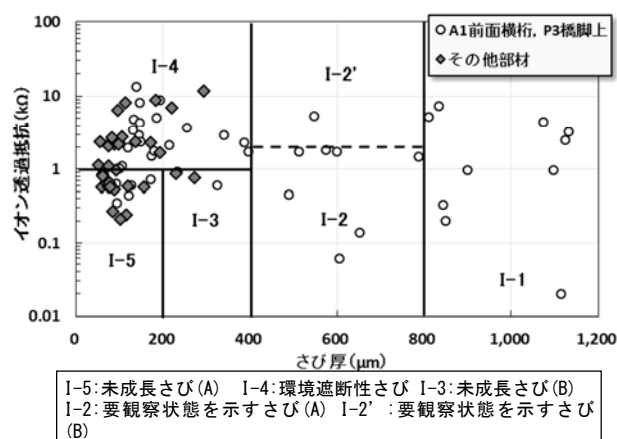


図-3 イオン透過抵抗法による評価区分

更に、これらの調査結果を基に、耐候性鋼材のさびの状態を「耐候性鋼材の外観性状によるさび状態の評価法に関する研究 国総研資料第828号 平成27年2月」に準じて①層状剥離さび②うろこ状さび③うろこ状さびに進展する可能性のある未成長さび④未成長さび⑤保護さびの5段階に分類し、その結果は橋梁全体で把握できるように、部材毎に色分けで示した「さびMAP」として整理した（図-4）。

調査の結果、P3橋脚上のトラス部や箱桁下面とA1橋台前面の中間横桁部に限定してさびの進展の抑制が期待できない「層状剥離さび」や、「うろこ状さび」（以下総じて「異常さび」と称す）が確認されたが、それ以外の大半の部材はさびの進展の抑制が期待できる「保護性さび」あるいは、今後、さびの進展の抑制が期待できる・できない両方の可能性はあるが、現時点ではさびの進行抑制効果がある「未

成長さび」が生成されている。なお、異常さびが生じていた部分は、雨天時の調査の結果、いずれも漏水・滞水が確認された。

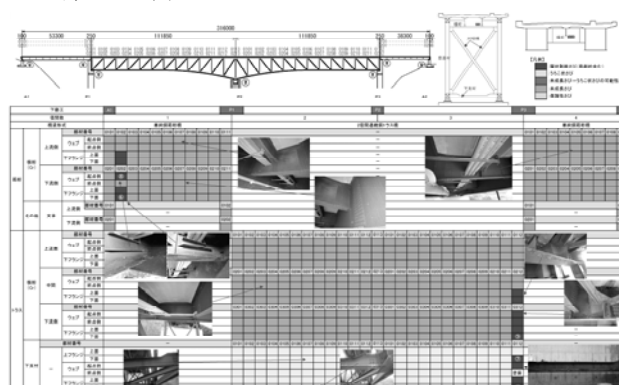


図-4 さびマップの一例

(3) 付着塩分量の調査結果

冬期に散布する凍結防止剤の塩分が路面から飛来し鋼材表面に付着することが懸念されたため、各橋脚上の垂直材について付着塩分量を測定した（図-5）。異常さびが生じていないP1及びP2橋脚上では、いずれも0～20mg/m²程度と小さい値であるものの、漏水が確認されたP3橋脚では、他の橋脚位置に比べ高い値を示すことが確認された。またP3橋脚上では、漏水側の面の値が高くなっている。

垂直材以外の代表箇所における付着塩分量を図-6に示す。異常さびが確認されたP3橋脚上の部材は最大で1300mg/m²程度と全体的に高い値を示す。しかし、同様に異常さびが確認されたA1前面中間横桁やその他の部材では最大で60mg/m²程度値である。山口らの報告³⁾では、統計的に付着塩分量が500mg/m²を越えると異常さびが見られるとある。

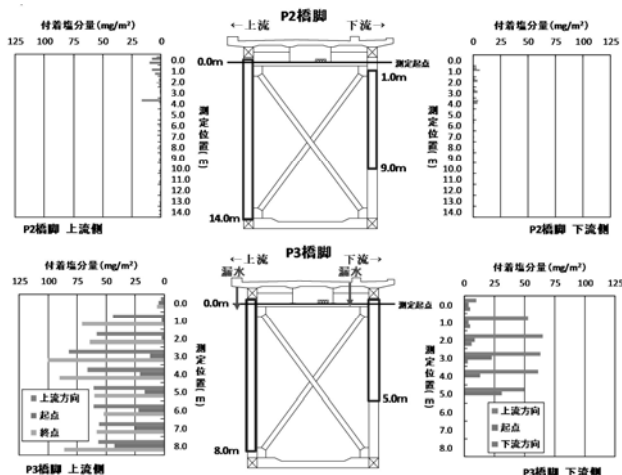


図-5 各橋脚の垂直材の付着塩分量（P2, P3）

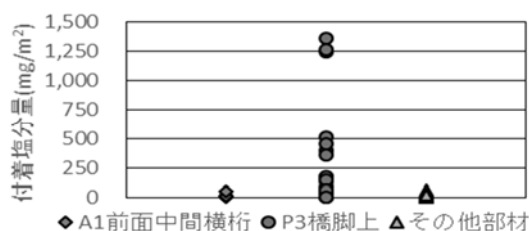


図-6 代表箇所で計測した付着塩分量

3. 耐候性鋼材の評価と要因

(1) 保護さびの分布と要因の推定

保護性さびは、トラス橋の斜材、下弦材（下面を除く）、下横構、対傾構（下面を除く）、下支材、支承（P3上を除く）等、トラス構造の下側近くに位置する部材に見られる傾向がある。本橋トラス部は河川上に位置するものの、水面からの桁下までの高さが高く風通しも良いことから、河川や地面からの水蒸気による影響は受けにくい。また、山間部に位置し時間帯によって山陰になる部位もあるが、総じて日当たりはよい。保護性さびが見られる部位は、構造の下位に位置し、降雨の際は水が掛かり湿潤状態となり、雨が上があれば風や日当たりにより乾燥される。この様に、適度に乾湿状態が繰返される環境が耐候性鋼材にとっては良好な条件であり、保護性さびを生成させた要因と考えられる。

(2) 未成長さびの分布と要因の推定

未成長さびは、箱桁橋及びトラス橋の上弦材や横桁、縦桁、上横構や対傾構の下面位置など、構造上床版近くに位置する部材や部材の下面に見られる傾向である。これらの部位は、床版の陰になり降雨や日差しの影響を受けにくいため、環境の変化がなく乾湿の繰返しが少ない環境であったことが、さびの成長が遅い未成長さびとなった要因と考えられる。

この中で、下弦材下面は、図-7に示すとおり1つの面で縁端部に保護性さびと中央部に未成長さびが確認された。下弦材の上面や側面は風雨による乾湿が適度に行われ、良好な保護性さびを生成している。しかし、下弦材下面は、側面からの水が伝わる端部（流水部）は側面と同様に乾湿が繰返されているが、下面の中央部まで水が伝わることは少なく、直接日も当たらないことから端部と中央部で異なるさびの状態になったと考えられる。



図-7 下弦材下面のさびの状況

(3) 異常さびの分布と原因の推定

a) A1橋台前面の中間横桁の異常さび

A1橋台前面の中間横桁には、下フランジ及び下フランジから浸食するようにウェブの下端に異常さびが見られる。異常さびはいずれも起点側面及び下面に見られ、終点側には見られない。雨天時の点検により異常さび発現箇所の直上を通過する添架管継手からの漏水及び漏水に伴う下フランジ上面の滞水が確認された（図-8）。A1橋台前面の中間横桁に生じた異常さび範囲は、この滞水範囲と一致するため、漏水及び滞水が主たる原因と考えられる。また、A1

前面の桁下空間が狭く風通しや日当たりの悪い環境が湿潤環境を長期化させ異常さびの発生を助長したと考えられる。一方で凍結防止剤の影響については、付着塩分量は僅かでありその影響は極めて小さいと推定される。

b) P3橋脚上（トラス端部）の異常さび

P3橋脚上のトラス端部に生じた異常さびは、その範囲が横桁、下支材など広範囲にわたる。また、板厚の減少量も他の部位に比べ大きいなど腐食状況は

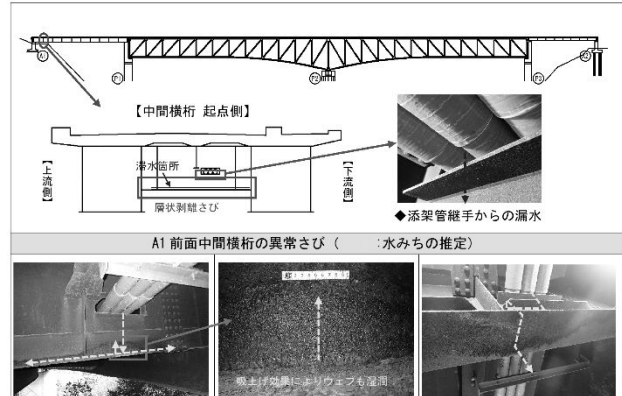


図-8 A1前面中間横桁における異常さび

特に悪いと言える。P3橋脚上は雨天時の点検において、排水パイプが脱落したスラブドレインから漏水している事が確認された。また、この漏水は直下の横桁で滞水していたほか、横桁から対傾構を経由し下支材に滞水していたことも確認された（図-9）。この滞水範囲と異常さびの範囲が一致することからP3橋脚上のトラス端部に生じた異常さびは、スラブ

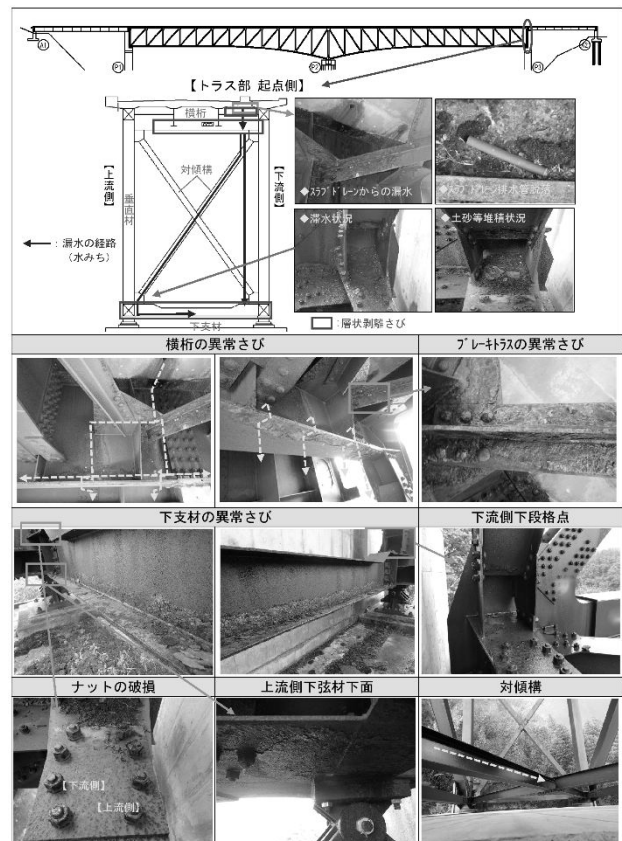


図-9 P3橋脚上（トラス部）における異常さび

ドレーンからの漏水が主たる原因と考えられる。更に、A1前面の中間横桁のさびの状態と比較して腐食の進行が速く大きな板厚の減少が生じた要因は、付着塩分量の違いから、スラブドレーンからの漏水が凍結防止剤の塩分が溶け込んだ路面排水であったことに加え、P3が縦断勾配の低い位置にあり漏水量も多かったことで塩分の供給量が多く、腐食を促進させたと考えられる。ただし、塩分を多く含む漏水の影響を受ける部材であっても、対傾構のように傾斜が急で水が滞水せず、比較的日当たりが良く乾湿を繰り返す部位では異常さびが生じていないことから、部材の形状や配置、日差しや風通し等の環境条件等で水が滞水しやすく湿潤状態が継続する条件が異常さびの発生した原因と考えられる。

c) P3橋脚上（箱桁部）の異常さび

P3橋脚上の箱桁端部では、主桁下面に異常さびが生じている（図-10）。雨天時の点検によりP3橋脚上の下流側の排水管から排水が飛散し、箱桁下フランジに滞水している事が確認されたことから、異常さびは、伸縮装置の排水管から飛散した水が付着あるいは滞水したことが主な原因と考えられる。更に、P3橋脚のトラス部と同様、水に含まれた凍結防止剤の塩分や、桁間で日当たりの悪い環境が異常さびの発生を助長させ、腐食を促進していたと考えられる。



図-10 P3橋脚（箱桁部）における異常さび

4. 乙姫大橋の現状と今後の維持管理の提案

耐候性鋼材のさびの状態は、供用後23年が経過しているが、殆どの箇所で「保護性さび」あるいは「未成長さび」が占めており、全般的に良好なさびの発達過程にあると判断される。しかし、局部的ではあるが、層状剥離を伴う異常さびが確認されている。局部的に生じた異常さびは、いずれの箇所も漏水・滞水が主たる原因であると考えられ、特に著しい腐食がみられた。P3橋脚上の部材では、付着塩分量調査の結果から一部で高い塩分量を示したため、凍結防止剤の塩分が路面排水に溶け込み、腐食を促

進させていた可能性がある。よって、早期に原因を排除し、排水設備や損傷部材の補修を行うことで、橋全体の健全性が高まり長寿命化が期待できる。また、伸縮装置は止水材等が劣化し漏水が生じやすい部位であることから、凍結防止剤を散布する本橋では特に漏水に留意して管理を行うのがよい。

異常さびが見られなかった部位については、経過年数とさびの状態から耐候性鋼材に要求される100年後の片面あたりの平均板厚減少量0.5mm以下の性能を満足すると考えられる。しかし、外観調査で、部位毎または同一の部材面でもさびの状態に違いが生じていることが確認されていることから、現段階では良好な過程にあってもさび環境が変化した場合、異常さびに成長する可能性もある。このため、今回得られた調査結果に基づき今後の経過観察を行うのがよい。その方法の1つとして、イオン透過抵抗値とさび厚の相関から、さびの状態の経年的な変化の傾向を予測することが考えられる。耐候性鋼材の経年劣化の経路は、今井らの報告によれば図-11に示す通りと考えられる。経路(1)は異常さびに至らないが、経路(2)では異常さびに至る可能性を示すものである。今回の調査で取得したデータを初期値とし、次回調査時の値とのその変化の傾向を確認することで、今後保護性さびに成長する可能性が高いか、うるこ状さびから層状剥離さびに成長する可能性が高いかを定量的に判断できる。

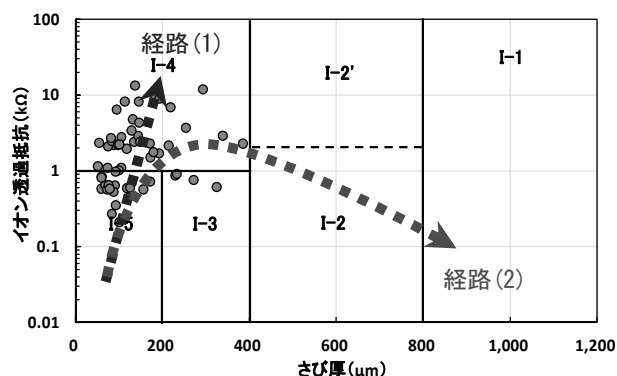


図-11 乙姫大橋の保護さび及び未成長さびの分布と無塗装耐候性鋼材の想定される経年的変化の経路

最後に、この報告が今後の耐候性鋼材の調査及び評価と維持管理の一例として参考になれば幸いです。

参考文献

- 1) 紀平寛、塩谷和彦、幸英昭、中山武典、竹村誠洋、渡辺祐一：耐候性鋼さび安定化評価技術の体系化、土木学会論文集，No.745/I-65，pp.77-78，2003
- 2) 西川和廣・中野正則・安波博道・落合盛人・五島孝行・中島和俊：イオン透過抵抗法における耐候性鋼材の異常さびの早期検出，土木技術資料，平成29年4月号
- 3) 山口栄輝，三好崇士，坂口哲也，加納勇，藤井康盛：凍結防止剤の耐候性鋼橋梁への影響，土木学会第60回年次学術講演会，1-018，2005
- 4) 今井篤実，大屋誠，武邊勝道，麻生稔彦：さび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁の表面状態とその評価，土木学会論文集A1，Vol.69，No.2，pp.283-294，2013

橋梁撤去設計及び撤去に伴う周辺影響検討

みずきりょうた きたほりひろたか すぎうらたつみ
○水木亮太¹・北堀裕隆¹・杉浦達巳¹

¹ (株) 東京建設コンサルタント中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-5-5)

本業務は、順次撤去事業が進められている旧桃花台線のうち、始発駅となる小牧駅部の橋梁撤去検討及び、これに基づいた撤去詳細設計を実施した。小牧駅部の設計区間は、駅前広場を施工ヤードとして利用する計画であり、広場に設置された記念樹等の支障物の残置を条件として、既設橋の撤去方法、手順及び重機仕様を検討した。また、選定したクローラークレーンによる一括撤去を元に工事発注に必要となる一連の成果を取りまとめた。なお、撤去による周辺構造物の影響検討として、近接する名古屋鉄道の駅舎BOXと県道名古屋犬山線の道路BOXを三次元FEM解析し、撤去前と撤去後の構造物の変位を3次元FEM解析により算出した。

Key Words : 既設橋撤去, 撤去事業計画, 周辺影響検討, 三次元FEM解析

1. 業務概要

近年、道路施設等のインフラにおける老朽化が進むなか、インフラメンテナンスを適切に実施することが求められている。道路施設では、2013年の道路法改正を受け、メンテナンスサイクル(点検・診断・措置・記録)を確実に実施することが義務付けられた。橋梁においては、老朽化、河川拡幅等による架替工事の中で、既設橋の撤去も合わせて実施されているが、設計業務としては架替え設計が主であり、撤去設計は十分になされておらず、施工時に安全性や経済性に配慮した適切な施工が検討されておらず施工時の問題となることがあり、大規模な構造物撤去には、撤去を主とした設計により適切な工事発注を行うことが求められている。

本業務の対象である旧桃花台線は、小牧市中央の市街地から、小牧市東部に位置する桃花台ニュータウンを結ぶAGT路線(自動案内軌条式旅客輸送システム)であったが、累積赤字の問題により廃止された。廃止後、橋梁等のインフラ構造物の再利用が検討されていたが、維持管理費の増大等の問題により、愛知県の方針として、全線撤去が決定され、順次撤去が進められている。

本業務は、始発駅となる小牧駅部の橋梁撤去方針検討及び、これに基づいた撤去詳細設計を実施した。また、旧桃花台線の直下には県道名古屋犬山線の道路BOX(以下、名犬線BOX)があり、そのBOXに隣接して名鉄小牧線の駅舎BOX(以下、名鉄BOX)があるため、三次元FEMにより撤去に伴う影響検討を実施した。

2. 設計対象

本業務の設計対象は、撤去詳細設計区間である小牧駅部と、小牧駅部撤去後に撤去を予定している隣接区間(それぞれ、南側ループ部、北側分岐部)に分類される。

〈南側ループ部〉 SL-1~2(単純活荷重合成鋼鈑桁)
SL5C(3径間連続非合成鋼箱桁)
SL6~7(単純非合成鋼箱桁)

〈小牧駅部〉 S1~S6(単純非合成H桁)

〈北側分岐部〉 S7~10(単純活荷重合成鋼鈑桁)

小牧駅部は、名犬線BOX上に直接下部工が設置されており、そのBOXに名鉄小牧線BOXが隣接している。

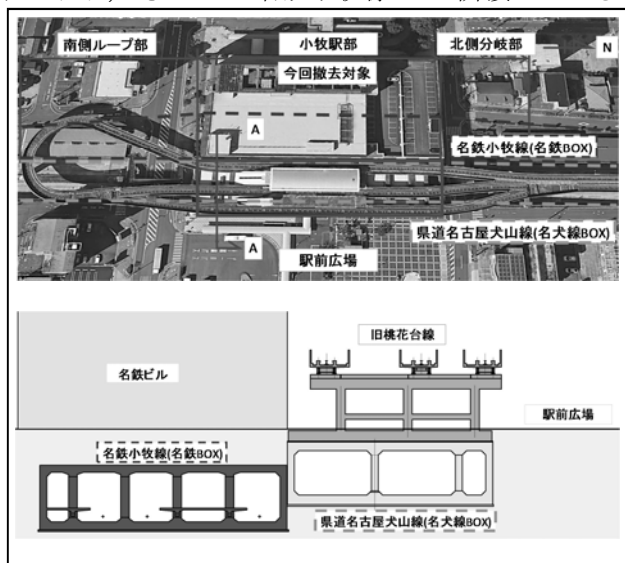


図-1 設計対象概要図

3. 小牧駅部撤去方法検討

(1) 撤去方法検討の基本的な流れ

小牧駅部の撤去方法は、クレーン規模、施工ヤード（支障物移設有無）、撤去順序等の諸条件により工法が決定する。各条件の組み合わせにより経済性及び施工性が変化することから、撤去方法は、図-2に示す順序にて検討を行い、最適となる撤去方法を決定した。

クレーンの選定は、上部工および下部工の撤去到あたり想定されるクレーン（ラフタークレーン、オールテレーンクレーン、クローラクレーン）の抽出を行い、経済性及び施工性の面から、主として使用するクレーンを選定した。

クレーンの組み合わせ及び据付位置の検討は、選定したクレーン規格をもとに、上部工・下部工撤去時の使用クレーンの組合せ、及びクレーンの据付位置の検討を行った。

最後に、施工順序として北側から撤去する場合と南側から撤去する場合とで比較検討を行った。

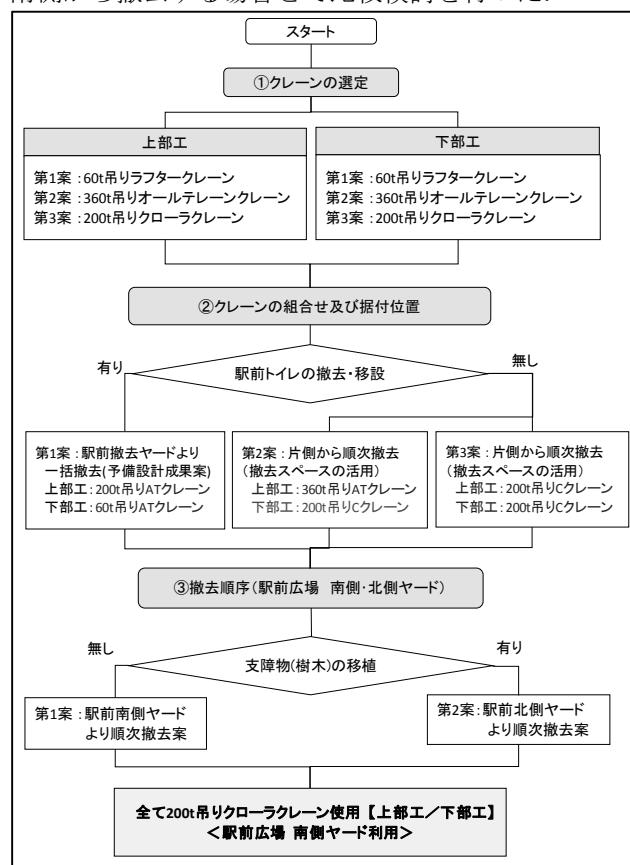


図-2 撤去検討フロー

(2) クレーンの選定

撤去検討を行うにあたり、上部工撤去・下部工撤去到に適するクレーンの選定を行った。クレーンは、クレーンの組み立て解体が不要かつ小型で小回りが効くラフタークレーン(60t)、分解組立が必要となるが、大型で吊り上げ能力の高いオールテレーンクレーン(360t)およびクローラクレーン(200t)より選定した。

それぞれを使用した場合にて、上部工と下部工それぞれの経済性及び施工性(施工日数)を整理した結果、ラフタークレーンの場合は部材を分割する回数が増加するため、コスト及び施工日数が増加する。一方オールテレーンクレーン(360t)およびクローラクレーン(200t)は、部材の分割数を必要最小限(トレーラーに積載可能な20t以下)とすることが可能であり、コスト及び施工日数の低減が可能である。以上より、使用するクレーンは、オールテレーンクレーンまたはクローラクレーンを基本とした。なおオールテレーンクレーンとクローラクレーンとでは、据付の手間や吊上げ状態での移動が可能なることから、機動性の面でクローラクレーンが優れる傾向にある。

(3) クレーンの組み合わせ及び据付位置の検討

前述のクレーンの選定よりオールテレーンクレーンとクローラクレーンの組み合わせ及び据え付け位置の検討を行った。なお、小牧駅部の撤去到あたり、支障となる物件は、「記念樹」であり、予備設計案は、「駅前トイレ」を駅前広場から撤去する計画で整理されていたが、その後の協議により駅前トイレの移設費が5千万円以上と高額となることがわかった。本検討では、駅前トイレの移設を踏まえた予備設計案と、移設を行わない場合とを比較するため、下記の組み合わせにて比較を行った。

第1案 駅前ヤードより一括撤去(予備設計)

上部工 200t吊りオールテレーンクレーン
下部工 60t吊りオールテレーンクレーン
駅前トイレ移設有り

第2案 片側から順次撤去(その1)

上部工 360t吊りオールテレーンクレーン
下部工 200t吊りクローラクレーン
駅前トイレ移設無し

第3案 片側から順次撤去(その2)

上部工 200t吊りクローラクレーン
下部工 200t吊りクローラクレーン
駅前トイレ移設無し

比較の結果、大型のクローラクレーンを上部工と下部工の撤去一括で使用し、片側から順次撤去していく第3案が経済性及び施工性の面で優位となるため、本案を採用案とした。

(4) 撤去順序の検討

小牧駅部の撤去順序は、南側ヤードから撤去する場合と北側ヤードから撤去するケースが想定される。この内、南側からの施工とすることで、公園樹木が支障とならないため、撤去順序は南側からとした。

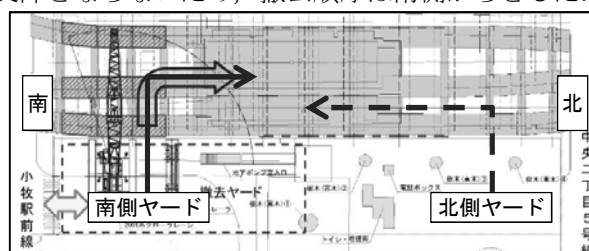


図-3 撤去順序(南側先行)

4. 撤去詳細設計

(1) 上部工撤去

上部工は、クレーンによる一括撤去を基本とし、クレーン設置位置から決まる吊り荷重に応じて、現位置での切断、取卸し後の切断とした。なお、小牧駅部では部材切断のみで、鋼材・コンクリート殻と分別は、二次破碎ヤードにて実施することとした。

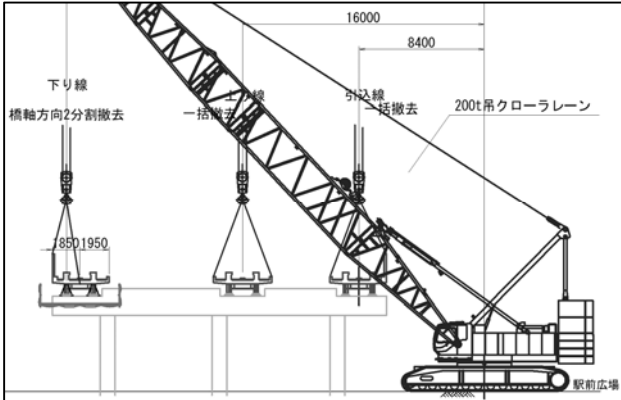


図-4 上部工撤去図(抜粋)

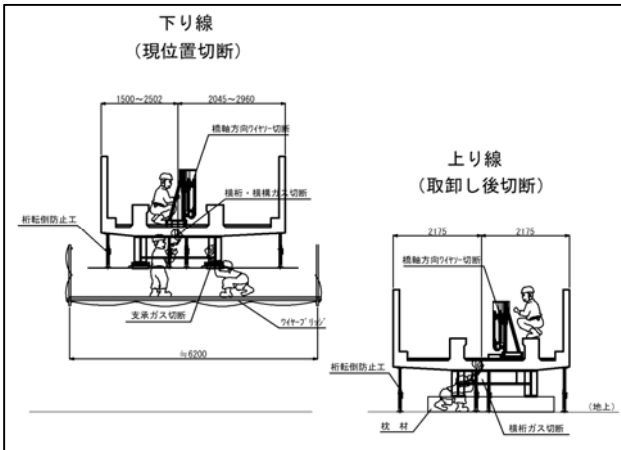


図-5 上部工切断概要図(抜粋)

(2) 下部工撤去

下部工は、現位置で1次切断し、取卸し後に、運搬可能な寸法に分割する計画とした。分割寸法は、撤去工事で使用するトレーラーの寸法、積載重量に合わせて、適宜変更するものとして、設計段階ではセミトレーラーによる搬出を想定した。

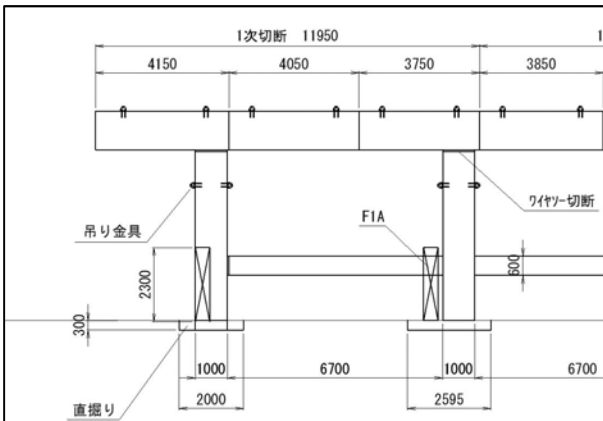


図-6 下部工撤去割付図(抜粋)

(3) 撤去計画

小牧駅部の撤去計画は、撤去方針検討を踏まえ、南側からの撤去を基本として、クローラークレーンの組立てから土間コンクリートの撤去まで、ステップ1～ステップ13に分割して計画を立案した。

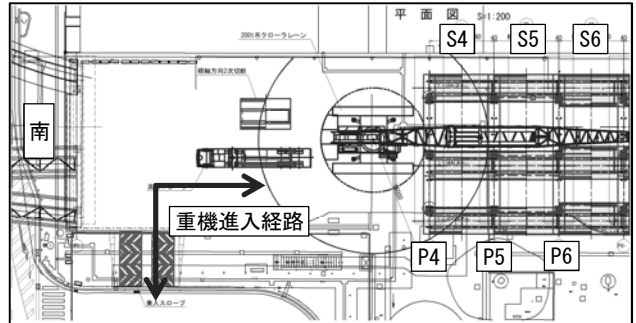


図-7 撤去ステップ図(S4 桁撤去)

5. 三次元FEM解析による周辺構造物影響検討

(1) 解析概要

撤去工事を進めるに当たり、名鉄小牧線に対する近接工事となることから、名鉄小牧線(BOX部)の軌条変位の予測及び、予測結果に対する対策(計測管理等)が必要となる。そのため、名犬線BOX上の橋梁(底版は残置)を除去した時の変位を、地盤及び名犬線BOX・名鉄BOXを3次元FEMでモデル化し三次元FEM解析により除去後の変位を算出した。

(2) 解析条件

(a) 3次元モデル作成方針

本検討におけるモデル化は、小牧駅部の横断面をメッシュモデルにて再現した2次元モデルを作成し、それを縦断方向に押し出して3次元メッシュを作成する方針とした。また、小牧駅BOX間の目地遊間を考慮し、目地位置の各接点(図-8のA-A'断面、B-B'断面、C-C'断面)は二重節点とした。

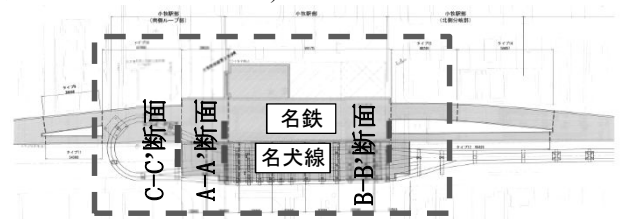


図-8 解析領域及び目地位置

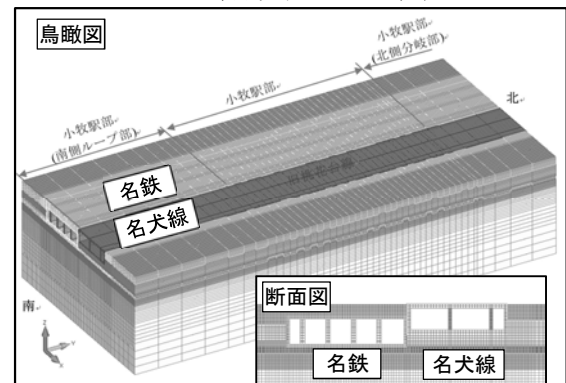


図-9 解析モデル

(b) 解析条件および解析手順

旧桃花台線の荷重は、旧桃花台線の高架(上部工含む)およびフーチングを上載荷重として、既往竣工図書より設定した。

地盤の物性値は、対象断面近傍の柱状図より物性境界とN値を判定し、N値より「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物」の諸数値の特性および設計用値の単位体積重量、変形係数、ポアソン比を用いた。カルバートの物性値は、コンクリートの諸元は竣工図書及び「コンクリート標準示方書」から、設計基準強度 24N/mm²とした。

解析モデルの境界条件は、側方を鉛直ローラー、底面を固定とした。

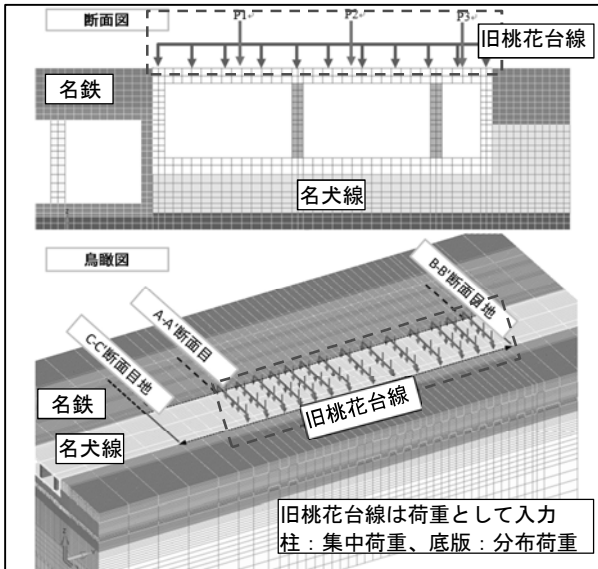


図-10 荷重設定位置

(c) 解析ケース及び変位出力位置

解析ケースは、①旧桃花台線除荷前(現況)、②旧桃花台線除荷後(撤去後)の2ケースとし、除荷前のケースに対する除荷後の変位を撤去時の変位とした。変位の出力位置は、各目地部断面の軌道A~C位置(図-11)とした。

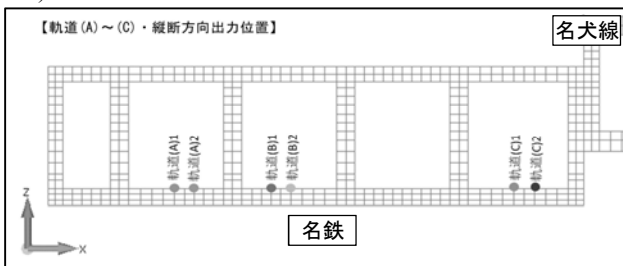


図-11 変位出力位置(名鉄小牧線軌条位置)

(3) 解析結果

旧桃花台線除荷後の全体変形図を図-12に、最も桃花台線に近接している軌道Cの変位を表-1に示す。解析の結果、旧桃花台線除去により、名犬線BOXに上向きの変位が見られ、その変位に引っ張られる形で、名鉄小牧線BOXにも上向きの変位が見られた。また、目地部において生じた相対変位は、最大0.088mmであった。

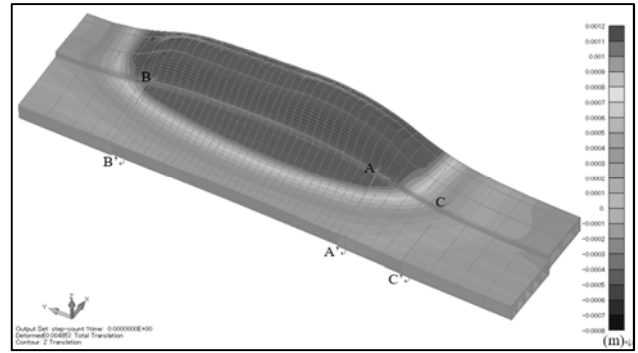


図-12 全体変形図

表-1 軌道Cの相対変位一覧表

		変位(鉛直方向)(mm)			備考
		①北側	②南側	相対変位 (①-②)	
軌道 (C)1	A-A'断面	1.188	1.148	0.040	—
	B-B'断面	0.894	0.954	-0.060	—
	C-C'断面	0.202	0.200	0.002	—
軌道 (C)2	A-A'断面	1.299	1.233	0.066	—
	B-B'断面	0.964	1.052	-0.088 (abs-max)	—
	C-C'断面	0.229	0.221	0.008	—

(4) 考察

解析により算出した相対変位は、0.088mmと非常に小さな値であり、撤去により名鉄小牧線の軌条への影響はほぼ無いことが確認出来た。また、この結果を元に管理者である名古屋鉄道(株)との協議を行った結果、名鉄BOX内の軌道計測管理は行わず、桃花台線橋脚の変位を常時計測することとなった。

6. まとめ

本業務では、小牧駅部の橋梁撤去詳細設計を行い、工事発注に必要となる一連の成果を取りまとめた。

撤去方法検討では、考え得る複数の撤去方法に対して、経済性及び施工性より200 tクローラークレーンを使用した一括撤去を採用した。

撤去詳細設計では、工事発注上必要となる成果及び施工順序を取りまとめた。

周辺影響検討では、撤去工事による既設地下ボックスの変位を推測し、工事前に必要となる名古屋鉄道(株)への協議を円滑に締結することが出来た。

撤去設計は、施工計画が主となる業務ではあるが、最適となる工法選定、撤去による影響把握、環境対策は、建設コンサルタントの技術が求められる分野であり、経済性、施工性及び安全性に配慮した提案をしていくことが重要である。

謝辞：最後に、本橋の計画、本論の執筆に対してご指導・ご助言をいただきました関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北陸橋梁撤去技術委員会：橋梁撤去技術マニュアル, p. 22-58, 北陸橋梁撤去技術研究会, 2017.
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 公益財団法人鉄道総合研究所, 2012
- 3) コンクリート標準示方書[設計編], 公益財団法人土木学会, 2017

R=30mの平面曲線を有する曲線橋の 耐震補強設計

○酒井友紀¹・濱中実¹・伴乙希¹

¹セントラルコンサルタント（株）中部支社（〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-18-22）

対象橋梁である木柵大橋は、急峻な山岳地に位置し、平面曲線半径がR=30mと非常に小さく地震時の挙動が複雑な橋梁である。既設橋梁は復旧仕様に基つき落橋防止構造が設置されているのみであり、現行基準に基づく耐震性能照査の結果、橋脚柱部及び支承部、基礎の曲げ耐力が不足する結果となり、耐震補強が必要となった。耐震補強を行う上で、曲線橋という構造的特徴への対応に加え、橋脚基礎が柱状体深礎であり補強が困難であるため、基礎補強が不要となる補強工法選定も求められた。本稿では、このような特徴や制約条件を踏まえ、3次元非線形動的解析に基づいて実施した耐震補強設計について報告する。

Key Words：曲線橋，3次元動的解析，橋脚補強，橋脚基礎照査，水平力分担構造

1. はじめに

三重県では、「防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策（H30.12.14、国土交通省）」に基づき、平成33年1月までの整備完了を目標とし、管内橋梁の耐震対策を進めている。

本業務の対象橋梁は、三重県松阪建設事務所が管理する第二次緊急輸送道路である一般国道166号の木柵大橋である。本橋の橋梁諸元を表-1に、位置図を図-1に示す。本橋は平成3年に供用された鋼3径間連続非合成曲線箱桁橋と鋼2径間連続非合成鉸桁橋の2連からなる橋長137.0mの橋梁である。

本橋は昭和55年の道路橋示方書（以下、道示と称す）にて設計されており、平成8年に復旧仕様に落橋防止構造が設置されているものの、橋脚や支承部は未補強であった。本業務にて実施した平成24年道路橋示方書¹⁾に基づく耐震性能照査の結果、橋脚柱部及び支承部の耐力が不足する結果となったため、耐震補強が必要となった。

本橋の構造的な特徴としては、1連目の箱桁部の平面曲線半径がR=30mと非常に小さい曲線橋であること、急峻地形のため下部工の高低差があることから地震時の挙動が複雑な橋梁となっている。また、橋脚の基礎構造が斜面上の柱状体深礎であり、補強が困難な状況であったため、基礎への影響を踏まえた補強工法選定が求められるとともに整備済みの落橋防止システムを極力活用した対策が求められた。

本稿では、上記のような特徴や制約条件を踏まえて、3次元非線形動的解析に基づいて実施した耐震補強設計について報告する。

表-1 橋梁諸元

上部工形式	A1-P3:鋼3径間連続曲線箱桁、P3-A2:鋼2径間連続鉸桁
下部工形式	橋台:逆T式(枕梁式)橋台、橋脚:張出式橋脚(円柱)
基礎工形式	橋台:単列深礎杭、橋脚:柱状体基礎
橋長(支間長)	137.0m(A1-P3:3x30.0m、P3-A2:2x22.6m)
幅員	有効幅員:7.8m、全幅員:10.1m
支持層(地盤種別)	岩盤(I種地盤)
架設年次	平成3年
適用示方書	昭和55年道路橋示方書・同解説

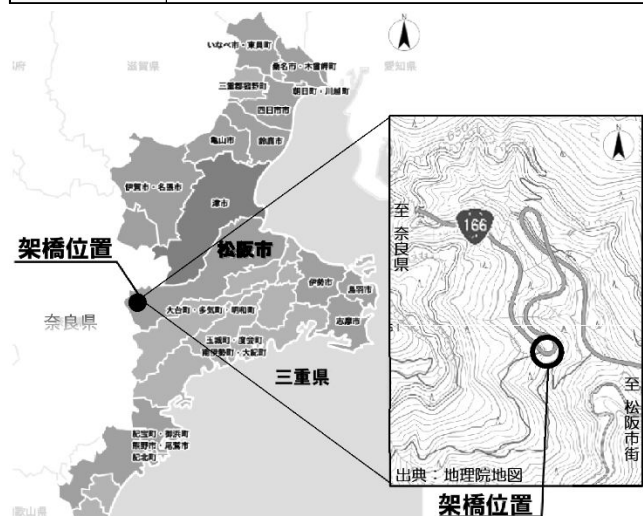


図-1 位置図

2. 既設橋梁の耐震補強整備状況

本橋は、平成8年に復旧仕様にて図-2、図-3及び表-2に示す耐震補強が実施されている。対策は落橋防止構造及び曲線橋部の変位制限構造（落橋防止構造荷重にて設計）のみで、その後、橋脚柱や支承部を含め耐震補強は行われていない。

表-2 既設橋の落橋防止システム整備状況

A1-P3 鋼3径間連続箱桁橋	落橋防止構造	①鋼製突起(主桁下フランジ付) ②鋼製横梁(主桁間)+RC突起(橋座)
	変位制限構造	鋼製突起(横桁付)+RC突起(橋座)
P3-A2 鋼2径間連続箱桁橋	落橋防止構造	①鋼製突起(主桁下フランジ付) ②鋼製横梁+RC突起
	変位制限構造	無し



写真-1 端支点の落橋防止構造 写真-2 中間支点の変位制限構造

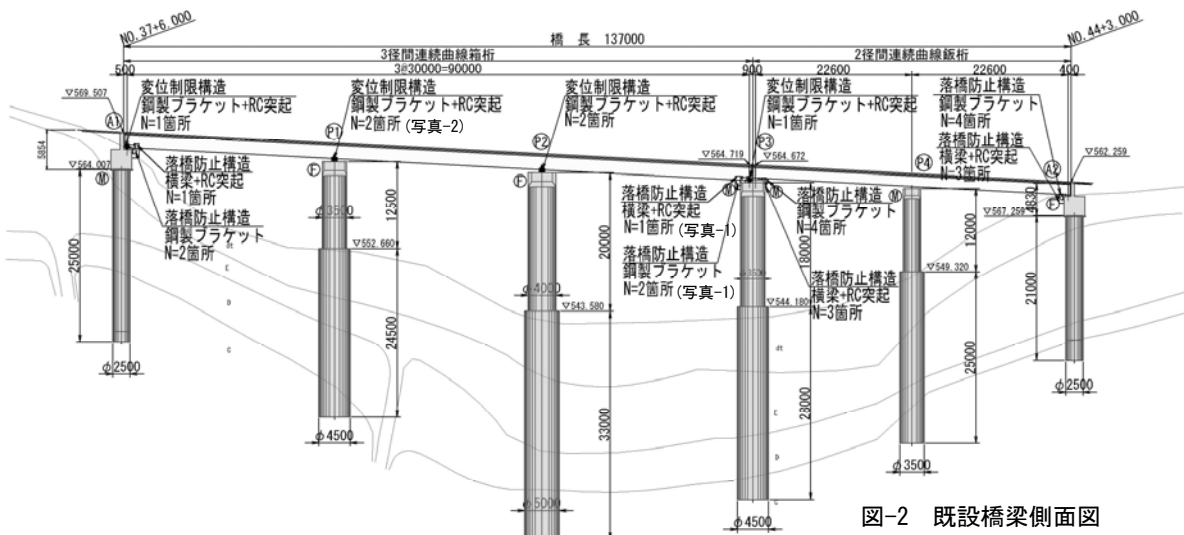


図-2 既設橋梁側面図

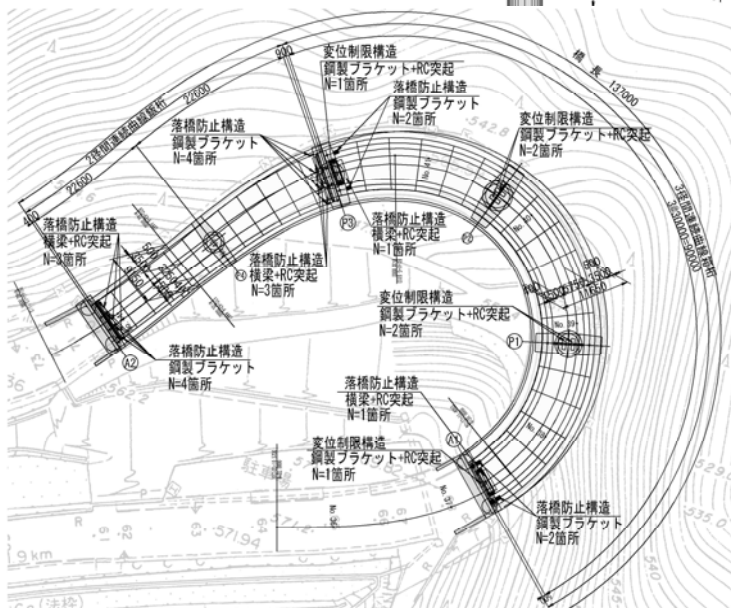


図-3 既設橋梁平面図

3. 既設橋梁の耐震性能照査

(1) 照査方法

1) 解析手法

照査は、平成24年道示に基づき実施した。本橋は曲線橋で複雑な振動挙動をする橋であるため、3次元モデルによる動的照査法（非線形時刻歴応答解析法）を適用した。また、曲線半径がR=30mと小さく、各橋脚にて最も不利となる加振方向が明確でないため、加振方向は15° ずつ変化させた。

2) 解析モデル

各部材のモデル化は以下とおり行った。解析モデル図を図-4に示す。

- ・上部工：線形はり要素（全断面有効）
- ・下部工：橋脚M-φモデル（剛性低下型トリリニア）
橋台線形はり要素
- ・支承：固定・可動（可動は死荷重×摩擦係数を降伏耐力とした弾塑性バネモデル）
- ・基礎工：基礎地盤バネ要素（動的バネ）

なお、減衰定数は平成24年道示に基づき設定した。

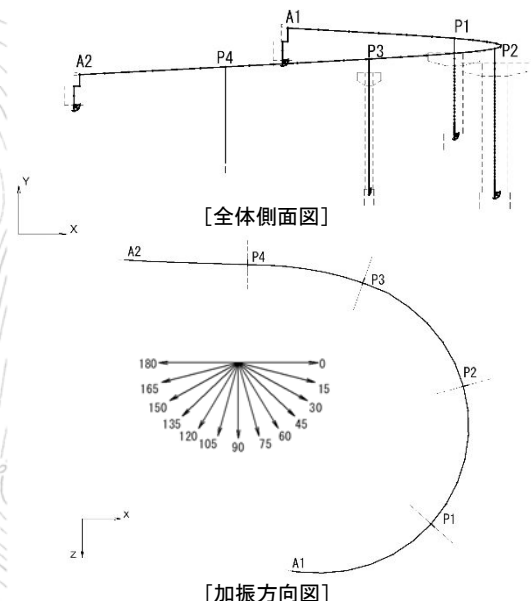


図-4 解析モデル

(2) 照査結果

1) 橋脚柱

橋脚柱は、表-3に示す通り、P1及びP2橋脚にて曲げ耐力、P1橋脚にてせん断耐力が不足するため、両橋脚の補強が必要となった。

2) 橋脚基礎

橋脚基礎は、表-3に示す通り、全ての基礎で曲げ耐力が不足（降伏）するため、補強が必要となった。

3) 支承

支承部については、既設支承はBP-A支承であり耐力及び移動量にて許容値を超過するため、取替もしくは補強が必要となった。

表-3 既設橋脚耐震性能照査結果（レベル2-タイプⅡ）

照査部材	照査項目		P1橋脚	P2橋脚	P3橋脚	P4橋脚	
橋脚柱	残留変位	δ (cm)	8.09	6.53	5.70	2.39	
		δ_a (cm)	14.70	22.20	18.60	12.30	
		比率	0.55	0.29	0.31	0.19	
		判定	OK	OK	OK	OK	
	曲げ耐力 (曲率)	段落し部	ϕ_{max} (1/m)	0.00114	0.00068	0.00049	0.00044
			ϕ_a (1/m)	0.00064	0.00055	0.00062	0.00093
			比率	1.78	1.24	0.79	0.47
			判定	NG	NG	OK	OK
		基部	ϕ_{max} (1/m)	0.00417	0.00196	0.00212	0.00093
			ϕ_a (1/m)	0.00200	0.00182	0.00217	0.00269
			比率	2.09	1.08	0.98	0.35
			判定	NG	NG	OK	OK
	せん断 耐力	段落し部	Smax (kN)	7963	5810	3738	2285
			Ps (kN)	6416	6210	4777	3299
			比率	1.24	0.94	0.78	0.69
			判定	NG	OK	OK	OK
		基部	Smax (kN)	7847	7279	5376	2814
			Ps (kN)	10466	14079	9887	5922
			比率	0.75	0.52	0.54	0.48
			判定	OK	OK	OK	OK
曲げ耐力	Mmax (kN・m)	91.3	123.8	82.2	28.1		
	My (kN・m)	82.8	123.8	82.1	27.4		
	比率	1.10	1.00	1.00	1.03		
	判定	NG	NG	NG	NG		
橋脚基礎	せん断耐力	Smax (kN・m)	9033	10258	7545	6734	
		Ps (kN・m)	9927	11634	9199	12502	
		比率	0.91	0.88	0.82	0.54	
		判定	OK	OK	OK	OK	

4. 耐震補強設計

(1) 設計上の課題

1) 基礎への影響を踏まえた耐震補強工法の選定

本橋の基礎は斜面上に位置する柱状体深礎であり、一般的な杭基礎で行うような増し杭対策では、既設基礎との剛性差が大きすぎて、補強効果が期待できない。また、地形及び岩盤支持層傾斜が大きいため、剛性の高い鋼管矢板基礎なども採用できず、現実的な補強が困難な状況である。

したがって、基礎の補強が不要となるような耐震性能評価手法の適用及び耐震補強工法の選定が必要であった。

2) 既設落橋防止システムを踏まえた耐震補強工法の選定

本橋は、復旧仕様での整備により、2種類の落橋防止構造が設置されている。このうち、鋼桁下フランジ付の鋼製突起については、両端橋台の場合では問題ないが、本橋のような片側が橋脚の場合では機能しない。もう1種類の落橋防止構造は主桁間の鋼製横梁と下部工のRC突起により構成されており問題なく機能する上に、規模が非常に大きく、撤去も容易でないことから極力活用することが望ましいと判

断した。しかし、免震化など上部工の変位が大きくなるような対策を行った場合、移動量が大きくなり既設落橋防止構造の遊間が不足し、下部工に想定外の外力が作用することが懸念される。したがって、既設落橋防止構造を極力活用可能な耐震補強工法の選定を行う必要があった。

(2) 基礎の耐震性能評価手法の見直し

平成24年道示では、柱状体深礎の場合、基礎の塑性化は許容されていない。しかし、先に示したように、本橋は基礎の補強が現実的でないことから、地震時の供用性や修復性に配慮した上で、基礎の塑性化を考慮した評価手法を適用することとした。

1) 基礎の降伏を許容した評価方法の適用

基礎の降伏を許容した耐震性能評価手法としては、土木研究所での研究成果²⁾や国土交通省道路局の事務連絡³⁾に示される基礎の限界状態（損傷度）に応じた許容塑性率に基づく手法とした。これらの資料には、柱状体深礎の許容塑性率は示されていないが、地震時の挙動が同様な式(1)に示すケーソン基礎の許容塑性率を準用して評価を行った。

$$\mu_{FL} = 1 + \frac{\delta_{Fu} - \delta_{Fy}}{\alpha \cdot \delta_{Fy}} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここに、

μ_{FL} ：基礎の許容塑性率

δ_{Fu} ：基礎終局時の上部工慣性力作用位置での水平変位

δ_{Fy} ：基礎興福寺の上部工慣性力作用位置での水平変位

α ：安全係数（損傷度Ⅲの場合1.8）

本橋における限界状態（損傷度）としては、本橋が緊急輸送路上に位置すること、迂回路がないことから、橋の耐震性能2を確保することとし、基礎の最大強度点を超えず、十分な安全性を有するとともに、残存復元力及び残存変形性能も十分に有する状態（損傷度Ⅲ）とした。

2) 照査結果

上記の照査手法による既設橋脚基礎の耐震性能照査の結果、表-4に示すように、全ての基礎で損傷度Ⅲの許容塑性率を満足する結果となった。

表-4 塑性率照査結果

照査項目		P1橋脚	P2橋脚	P3橋脚	P4橋脚
応答塑性率	μ_{FR} (-)	1.40	1.14	1.06	1.21
許容塑性率	μ_{FL} (-)	2.62	2.64	2.67	1.82
比率		0.53	0.43	0.40	0.66
損傷度		Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
判定		OK	OK	OK	OK

(3) 補強工法検討

耐震補強工法の検討では、まず、部材補強と免震化といった橋梁全体での補強方針を決定した上で、決定した方針の具体的な補強工法を検討した。本稿では、紙面の都合上、耐震補強設計のうち、橋脚補強についてのみ示す。

1) 補強方針案の抽出

橋梁全体での補強方法としては、下記の案が挙げられる。本橋の場合、一般的な部材補強案だけでな

く、支承部の補強が必要であることや基礎への影響を最小化することが求められるため、免震支承への取替による免震化案についても検討を行った。ここで、ダンパーは方向依存性があるため、曲線橋である本橋における対策効果が期待できないと判断し検討しないこととした。

第1案 全免震化

第2案 部分免震化（A1橋台－P3橋脚間のみ）

第3案 部材補強

各案の概要を以下に示す。

a) 第1案 全免震化

全支点の支承を免震支承に取替え、免震支承でのエネルギー吸収により下部・基礎工への影響を抑えることを期待した案である。レベル2地震に対応した支承に取替えるため、別途支承補強が不要であり、維持管理にも配慮した案である。

b) 第2案 部分免震化（A1橋台－P3橋脚間のみ）

第1案の場合、現況照査で満足している可動橋脚を免震化することにより、現況よりも大きな地震時水平力を負担し耐力不足となることが懸念されたため、現況照査にて耐力不足となる曲線箱桁部（A1－P3）のみ免震化した案である。P3－A2間は支承の取替えを行わないため、支承部の補強が必要となる。

c) 第3案 部材補強

現況照査における耐力が不足するP1・P2橋脚及び支承部を補強（水平力分担構造の追加設置）した案である。

2) 補強方針案の決定

各案の検討結果一覧を表-4に示す。結果として、以下の理由から、第3案 部材補強案を採用することとした。

- ・第1案、第2案の免震化案は、地震時の移動量が大きく桁遊間量及び既設落橋防止構造の遊間量が不足する結果となったため、現道通行止めを伴う桁切欠きや落橋防止構造の全取替えが必要となり、現実的な補強とならなかった。
- ・免震化案に対しては、遊間確保を前提としない桁衝突モデル及び緩衝材を桁端部に設置したケースでの耐震性能照査を実施したが、いずれも免震支承の変位が拘束され、期待する免震効果が発揮されず、橋脚補強が不要とはならなかった。
- ・部材補強案については、耐力が不足するP1橋脚、P2橋脚を補強した場合にも、基礎の応答塑性率は、要求性能である損傷度Ⅲの範囲に収まること、既設の落橋防止システムも桁端部の落橋防止構造の遊間を広げる程度の比較的容易な改良で対応可能であった。

3) 補強工法検討

a) P1橋脚

本橋脚は基部の曲げ耐力が大きく不足するため、アンカー定着を伴う基部補強が必要となる。補強工法としては、RC巻立て工法や鋼板巻立て工法が考えられるが、経済性で優位となるRC巻立て工法を採用した場合でも、基礎の応答塑性率の増加が小さく、損傷度Ⅲに十分収まっているため、同工法を採用することとした。

b) P2橋脚

本橋脚は段落し部の補強が主であるため、考えられる下記案にて比較検討を実施した結果、基礎への影響や経済性から第2案 連続繊維巻立て工法（炭素繊維シート）を選定した。比較表を表-5に示す。

第1案 RC巻立て工法
第2案 連続繊維巻立て工法（炭素繊維シート）
第3案 連続繊維巻立て工法（アラミド繊維シート）

表-5 耐震補強方針検討結果一覧

下部工名			A1橋台	P1橋脚	P2橋脚	P3橋脚		P4橋脚	A2橋台
支承条件(橋軸)			可動	固定	固定	可動	可動	可動	固定
既設 照査結果	橋脚	曲げ	OK	NG (温部・控部)	NG (温部・控部)	OK	OK	OK	OK
		せん断	OK	NG (控部)	OK	OK	OK	OK	OK
	支承		NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
第1案	全免震化	橋脚補強	---	不要	不要	不要		不要	---
		支承補強	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)
		桁端改良	必要	---	---	必要	必要	---	必要
		既設落防 改良	必要	必要	必要	必要	必要	---	必要
		基礎補強	---	不要	不要	不要		不要	---
第2案	部分免震化	橋脚補強	---	不要	不要	不要		不要	---
		支承補強	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)	取替 (免震)	水平力 分担構造	水平力 分担構造	水平力 分担構造
		桁端改良	必要	---	---	必要	不要	---	不要
		既設落防 改良	必要	必要	必要	必要	不要	---	不要
		基礎補強	---	不要	不要	不要		不要	---
第3案	部材補強	橋脚補強	---	RC巻立	繊維シート 巻立	不要		不要	---
		支承補強	水平力 分担構造	水平力 分担構造	水平力 分担構造	水平力 分担構造	水平力 分担構造	水平力 分担構造	水平力 分担構造
		桁端改良	不要	---	---	不要	不要	---	不要
		既設落防 改良	必要	不要	不要	必要	不要	---	不要
		基礎補強	---	不要	不要	不要		不要	---

5. おわりに

本業務では、既設橋梁の構造特性を踏まえて解析手法を選定した上で、基礎の降伏を許容した基礎照査手法を適用したことにより、基礎補強が必要となることなく、既設落橋防止構造も最大限活かした耐震補強設計を行うことができた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V.耐震設計編）,2012.
- 2) 土木研究所資料：既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究, 2010.
- 3) 国土交通省道路局：既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計,2015.

木橋設計と橋梁長寿命化

○内藤^{しゅうと}秀斗^{だいすけ}・山本大祐^{よしとつ}・則竹義辰^{よしとつ}¹

¹ (株) エイト日本技術開発中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-11-20)

木材は、鋼・コンクリートに比べ、架橋環境に影響を受けやすく、橋梁毎に適切な長寿命化対策を行うことが重要である。特に「水仕舞いの構造的工夫」「樹種に応じた防腐処理」「維持管理しやすい部材構成」が重要と考え、長寿命化対策の計画を実施した。具体的には「敷並べ床版板は隙間を空けて設置し、桁上面には鋼板で覆いを設けた」「高耐久の国内産ヒバを使用し、環境に配慮した防腐剤を選定した」「雨水で劣化が避けられない部材は、将来の取り替えを容易にする部材割付け・取合いに留意した」。また、木橋の長寿命化には適切な運用が不可欠であり、架設後の適切な運用を実施するため、本橋の特徴を考慮した独自の「木橋維持管理マニュアル（案）」を策定した。本設計で計画した長寿命化対策の有効性について、架設後の本橋の状態を追跡し評価することが今後の課題となる。

Key Words : 木橋, 詳細設計, 長寿命化, 木材利用

1. はじめに

(1) 本稿の目的

我が国では「木の文化」が存在し、古くから数多くの木橋が存在していた。しかし近年、木橋の数は減少し、現在では新たに木橋を架設することは少なく、現役として残っている木橋の割合は全体の0.5%程度¹⁾である。持続可能な社会構築に向けては、今一度木橋の利用を考えることが我々の重要な使命と考える。

本事業は、公園内の遊歩道沿線の老朽化したボックスカルバート改修計画として、木橋の詳細設計を実施したものである。木材は、鋼・コンクリートに比べ、架橋環境に影響を受けやすい。木橋の設計に際しては、橋梁毎に適切な長寿命化対策（使用材料・構造形式・細部構造等）の検討・実施が課題である。本橋では、既設木橋の損傷事例を収集・分析し、本橋に適した細部構造の工夫や今後の運用方法といった長寿命化に重点を置いた木橋設計を実施し、鋼橋やコンクリート橋と同等以上のライフサイクルコストを有する木橋の架設を目指した。

本稿では、木橋設計にあたり計画した各種長寿命化対策を報告する。

(2) 橋梁諸元と橋梁一般図

架橋計画地：富山市

橋梁形式：単純木桁橋（人道橋）

橋長：8.100m

橋梁一般図：図-1 参照

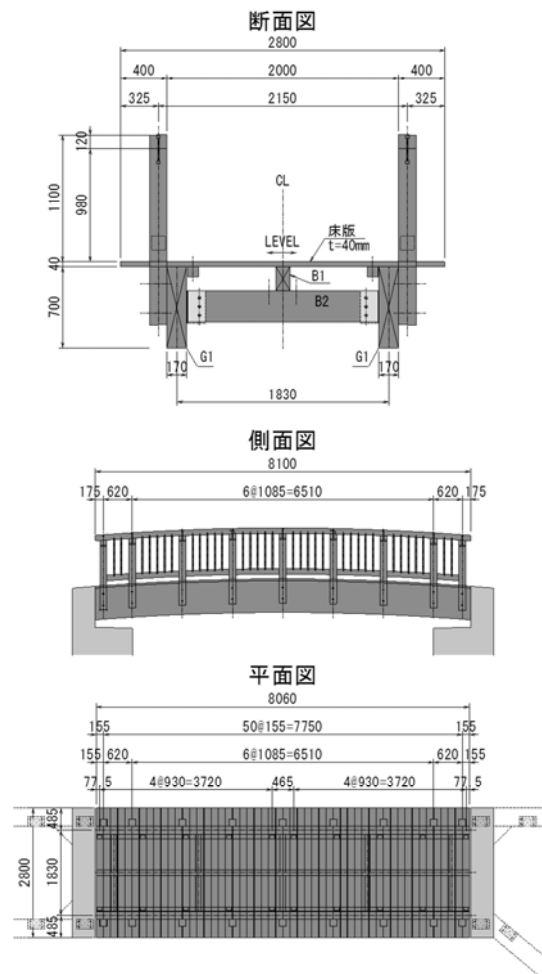


図-1 橋梁一般図

2. 長寿命化対策

本橋の設計方針として、構造各部は維持管理（点検・補修）の容易さを念頭に、なるべくシンプルな構造となるよう計画した。

本橋の長寿命化に配慮した構造各部の計画は以下のとおりである。

(1) 使用材料と防腐処理

本橋で使用する木材は、耐久性に優れ、防腐剤の加圧注入が良好に行える樹種である地元産のヒバ構造用集成材とした。防腐処理は、まず、新設時に『水溶性木材防腐剤AZNAによる加圧注入』を行うこととした。耐用年数に着目すると、水溶性の防腐剤に比べ油性防腐剤の方が耐用性に優れるが、臭気、滲み出る防腐剤の滴下、有害コールドタルの含有等の問題により、現在ではほとんど使用されておらず、本橋でも水溶性の防腐剤を選定した。加圧処理の性能については、環境省が制定している「自然公園等施設技術指針」²⁾において、「木造施設に保存処理を適用する場合には、標準として、風雨に直接さらされる部材においてはJAS K4(AQ1種)を、雨水がかからない箇所で使用される部材はJAS K3(AQ2種)を標準とする」とされており、使用環境により加圧注入の性能区分（吸収量）が規定されている。しかし、水溶性防腐剤を使用すると、加圧処理後に表面の含水率が高くなり、寸法が大きくなる傾向があり、ラミナ（集成材を構成するピース）単位で変位が異なるため凹凸が生じやすい。そのため、加圧注入の性能区分はAQ1種より1段階下げたAQ2種とすることで、寸法変化を最小限に抑える。加えて、本橋では加圧注入後、さらに『油性表面処理用防腐剤の塗布』および『表面保護塗装』を行うことで、防腐処理の耐用性向上を試みた。

(2) 維持管理方法を見据えた橋梁形式

各種文献において、木橋に屋根を設けることで降雨や紫外線を遮り、主要構造部の健全性が保たれることが報告されている。しかし、本橋では、維持管理の容易さを重視し、『屋根は設置しない』こととした。本橋は上落式であり、床版が降雨や紫外線を遮り、主要構造部を保護する屋根の役割を担うことが可能であると判断した。ただし、屋根代わりとする床版については直接降雨や紫外線にさらされるため、別途に屋根を設置した場合と比べ、高頻度の取替えが想定される。

(3) 断面構成と耐腐朽性

主部材は、2本の主桁とこれらを連結する横桁で構成した。同規模の木橋では2主桁（+1縦桁）または、3主桁の例が多い。本橋では、支承等の維持管理部材を少なくするため『2主桁』とし、縦桁を横桁上に設置した。縦桁を横桁上に設置することで、部材接触面を減らすことができ、風通しもよくなるため腐朽に有利であると考えた。本橋の断面構成を

図-2 に示す。

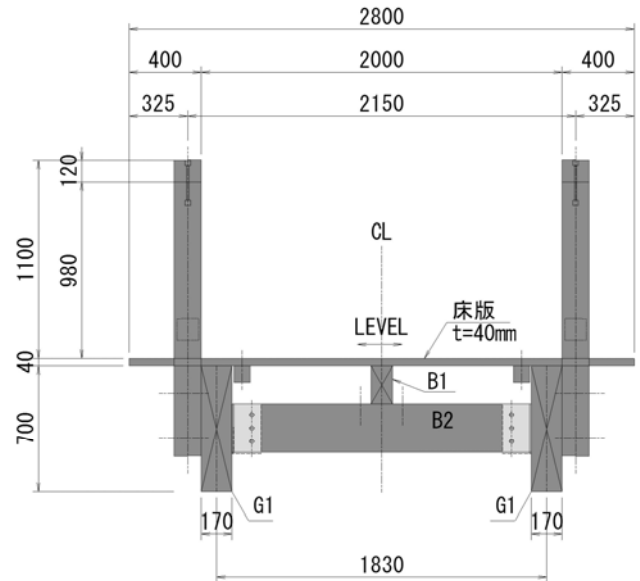


図-2 断面構成

(4) 主桁の長寿命化対策

主桁の長寿命化対策は以下のとおりである。

a) 床版を張り出す

床版を張り出すことで、『主桁にかかる降雨や紫外線を遮る構造』とした。ただし、張出しが大きくなりすぎると、通行者が高欄から乗り出すことが危惧される。本橋では、橋梁前後の遊歩道と通りの良い400mmと設定した。

b) 主桁上面に鋼板の小屋根を設置する

主桁上面は水が滞留しやすいため、主桁と床版の間に小屋根を設置する。小屋根の材料は、腐食に強く、耐久性に優れる『ガルバリウム銅板』とし、縦桁にも同様に設置することとした。既設木橋にて小屋根を設置している例を図-3 に示す。また、本橋の小屋根の取付構造を図-4 に示す。



図-3 小屋根の設置例
(既設木橋例1/愛知県)

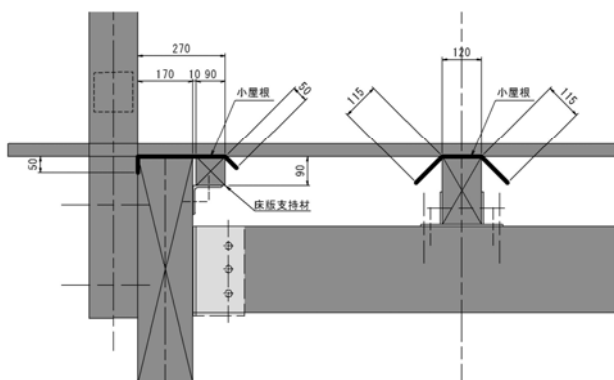


図-4 小屋根・床版支持材の取付構造

c) 床版支持材を設ける

床版を、床版上面から下向きに木ねじ等で主桁に直接固定すると、ボルト孔からの漏水により主桁が腐朽する事例が報告されている。本橋では、別途、床版支持材を主桁側面に設置し、『床版は支持材に固定』するものとした。床版支持材の設置については図-4 に示す。

d) 主桁は台座コンクリート上のゴム支承で受ける

既設木橋では、橋座上に枕木を設け、主桁を直接受けている事例が見られるが、橋座と主桁が近接していると土砂の堆積等から湿潤環境となり易く、接触部の著しい腐朽が確認される。本橋では『台座コンクリートを設置』し、さらに『橋座面には排水勾配(2%)』を設けることで、橋座部の湿潤環境の緩和を試みた。既設木橋の橋座部における土砂堆積の様子を図-5 に示す。また、本橋の橋座構造を図-6 に示す。



図-5 土砂堆積の様子と台座コンクリートの設置例
(既設木橋例2/愛知県)

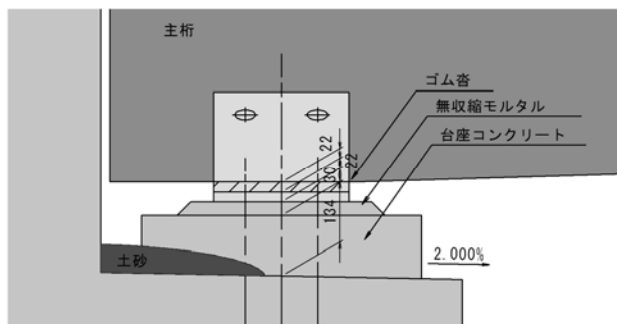


図-6 橋座構造

(5) 床版の長寿命化対策

床版は雨水が直接かかる部材であり、紫外線による劣化、通行による摩耗等、傷みやすい部材である。本橋において床版は、ある程度の消耗部材であると考え、他の部材に比べ高頻度の取替えを考慮している。床版の長寿命化対策は以下のとおりである。

a) 床版は隙間を開けて設置する

床版は、幅の狭い床版板を敷き並べて構成される。既往の報告では、各床版板は密着させて設置させた方が良いのか、隙間を空けて設置した方が良いのか議論されている。本橋では、既往木橋の状況を参考に、『床版板は隙間(5mm)を開けて設置』し、橋面排水を効率的に行うことを試みる。この場合、主桁や縦桁に対して床版の隙間から雨水が滴下することになるが、本橋では主桁・縦桁に小屋根の設置を計画しているため、問題はないと判断する。また、床版に隙間を設けることで、床版の取り替え作業が容易となる。

b) 床版と栈木受けの離隔を余分に設定する

栈木受けは、床版と離隔を確保し設置することで、床版の取替え作業が容易となる。床版の取替え手順を図-7 に示す。

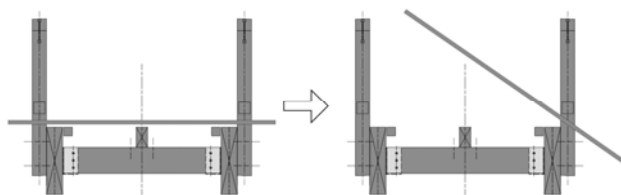


図-7 床版の取外し手順

また、本橋のような小規模な木橋では床版厚を30mm~40mmとしている例が多い。本橋では応力が十分余裕であること、腐朽に対しては厚い方が有利であること、厚すぎると割れること、歩行者に対する配慮等からたわみは抑えることが望ましいことから床版厚を一般的な40mmと設定した。将来、床版取替えを要する際は、改めて損傷要因に応じた床版厚の検討を行うことが望ましいと考え、栈木受けと床版の離隔を確保し、『床版取替え時に床版厚の変更が可能な構造』とした。

(6) 高欄の長寿命化対策

高欄は床版と共に雨水が直接かかる部材であり、水平に設置する部材上面は水が滞留しやすい。水はけをよくするために、『水平部材上面に排水勾配(2%)』を設けることとした。

また、高欄についても、ある程度の消耗部材と考える。取替えを容易とするために、笠木には2箇所接合部を設け、『人力での取外しが可能な部材重量(約38kg/本)に分割』した。また、前述の通り、栈木受けと床版は十分に離隔を取っており、高欄および床版の腐朽に対しても効果的であると考え。本橋の高欄構造を図-8,9 に示す。

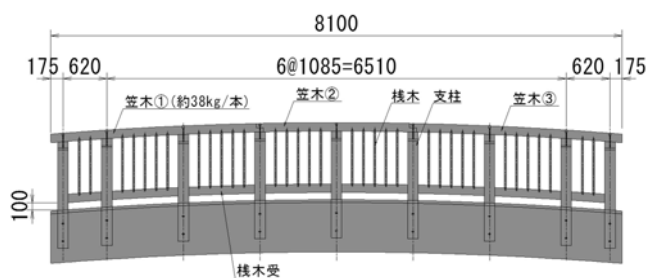


図-8 高欄全体構造

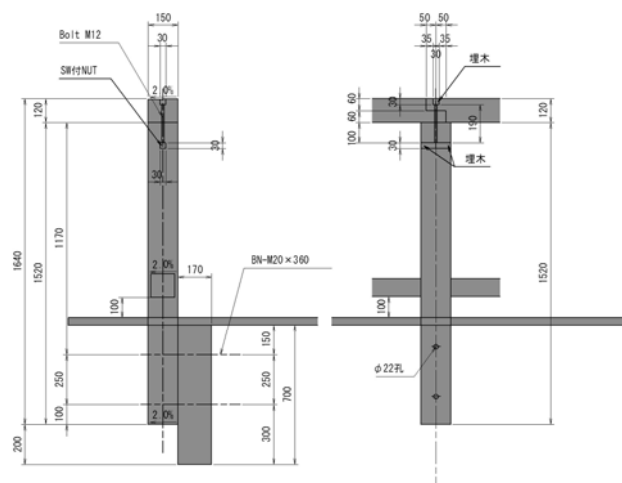


図-9 高欄詳細構造

3. 木橋維持管理マニュアルの策定

木橋の長寿命化には、架設後の適切な運用が不可欠である。本橋では、長寿命化に対し適切な維持管理が行える体制を整えることを目指し、「木橋定期点検要領（案）」³⁾「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」⁴⁾等の関連要領を参考に、本橋の特徴（架橋環境・構造的工夫・防腐処理等）を考慮した独自の『木橋維持管理マニュアル（案）』を策定した。本橋に適用する維持管理のフローを図-10に示す。本マニュアルでは日常点検を1年に1回、定期点検を5年に1回と設定したが、点検頻度は橋の状況に応じて適宜見直しを行い、柔軟で効果的な維持管理を目指す。また、定期点検は専門家によるものを想定しており、日常点検は施設管理者によるものを想定している。施設管理者による詳細の点検は困難であると考え、マニュアル内に本橋の特徴を考慮した点検時に着目すべき点を示し、専門家でなくても容易に点検が行えるよう配慮している。

4. 成果と今後の課題

既設木橋の損傷・対策事例を参考にすることで、本橋に適した細部構造の工夫や今後の運用方法と

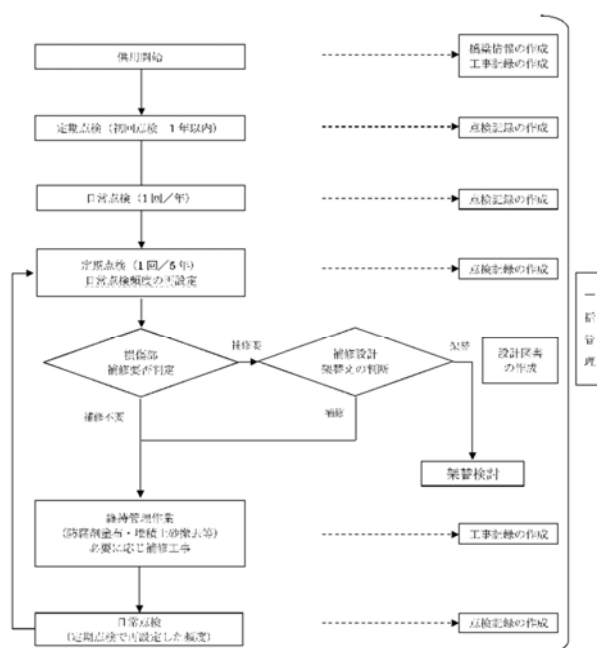


図-10 維持管理フロー

本橋に適した細部構造の工夫や今後の運用方法といった長寿命化対策を提案できた。特に、本橋独自の木橋維持管理マニュアル（案）を作成することで、適切な運用を施すことができ、本設計で計画した長寿命化対策の有効性について、架設後の本橋の状態を追跡し、評価することが今後の課題である。

5. おわりに

本稿の終わりに、「木橋診断士」制度を紹介する。木橋は木材を主構造に持つ橋であり、その点検・診断は橋梁点検と木材の双方の知識を持った専門家が行うことが望ましい。木橋技術協会では、平成17年より木橋診断士（点検士）制度を定めており、木橋の点検に携わる人材育成の試みを実施している。

近年、「持続可能な開発目標（SDGs）」への取り組みが我々の使命であり、積極的な木材利用は広義の環境負荷軽減に貢献するものと確信する。本稿が今後の土木分野における木材利用、木橋設計のための基礎資料となることを期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路統計年報，2019。
- 2) 環境省：自然公園等施設技術指針，第3章施設の長寿命化，pp-10-20，2014。
- 3) 日本林道協会・木橋技術協会：木橋定期点検要領（案），2018。
- 4) 国土技術研究センター：木歩道橋設計・施工に関する技術資料，1994

河川堤防の液状化対策設計

－ 地中支障物が分布する地層における深層混合処理工法の適用範囲拡大の一考察 －

○下田聡¹・中村幸生¹・見並善巳¹・浜昌志²・小阪陽克³・川畑智³

¹日本工営（株）名古屋支店（〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22）

²日本工営（株）地盤環境事業部（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

³日本工営（株）大阪支店（〒530-0047 大阪市北区西天満1-2-5）

本業務は、液状化被害が想定される木曽川下流部河川堤防において、耐震対策工詳細設計を行ったものであり、円滑な事業進捗、耐震対策効果の早期発現のため、地中支障物への対応が求められた。

課題への対応策として地中支障物調査及び実機調査を実施し、深層混合処理工法の適用性について評価し、設計区間における地中支障物に対する適用範囲を拡大させた。

Key Words：耐震対策設計、地中支障物、深層混合処理工法、表面波探査、実機調査

1. はじめに

本業務は、切迫性の高い南海トラフ巨大地震による液状化被害が想定される木曽川下流部の河川堤防において、耐震対策工詳細設計を行ったものである。

木曽川下流部は濃尾平野に位置し、南海トラフ巨大地震の津波による浸水リスクが高い海拔ゼロメートル地帯が広がっている（図-1）。背後地には民家が連坦し、資産が集中する地域であり、大規模地震による堤防の決壊や液状化沈下した場合の被害は大きい。そのため、河川堤防の耐震化により大規模地震に対する耐震対策効果の早期発現が求められている。

しかし、木曽三川下流部の河川堤防における要耐震対策区間は河口から8kp付近までと長大であり（図-2）、限られた事業費の中で、耐震効果を早期に、最大限発揮する必要がある。

本報文は木曽川下流部区間において、耐震対策工法として選定した深層混合処理工法における対策仕様の設定方法、工法適用にあたっての留意事項について記述するものである。設計区間における深層混合処理工法は、大型機械による施工ヤードが確保できる川表側の耐震対策として選定している。

2. 木曽川下流部の地質状況

木曽川下流部の地質状況は、堤体土の下位に、液状化危険度の高い沖積砂質土層（As1～As3）が層厚15m程度堆積し、その下位には、沖積粘性土層（Ac2）が堆積する。耐震対策は、T.P. -10～-15m程度までに堆積する堤体土、沖積砂質土を対象としている。

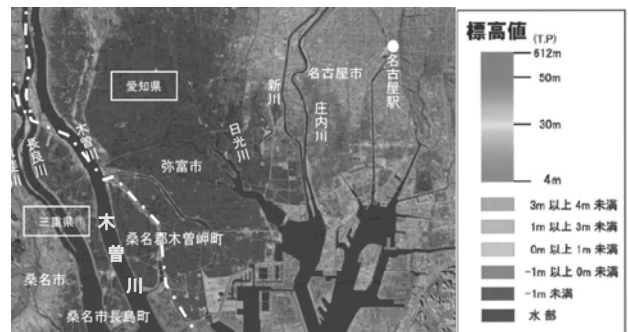


図-1 濃尾平野の地盤標高¹⁾

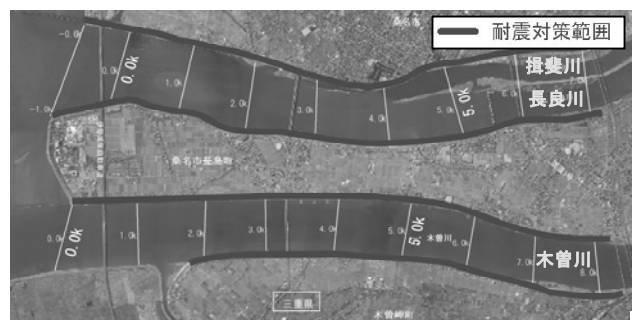


図-2 木曽三川下流部における耐震対策範囲

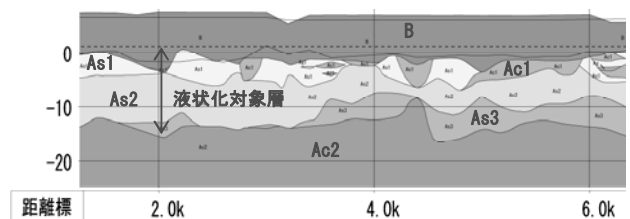


図-3 木曽川右岸の地質状況

静的変形解析に基づくレベル2地震動に対する現況の河川堤防の沈下量は3～5m程度であり、沈下後の堤防天端高が照査外水位を下回る（図-4）。

上部砂質土層（As1）が、他層に比べ大きく変形し、堤防沈下量に大きな影響を与えていることが確認できる。

一方、川表・川裏の両側を耐震対策することにより、堤防天端沈下量が抑制され、耐震性能を満足する（図-5）。

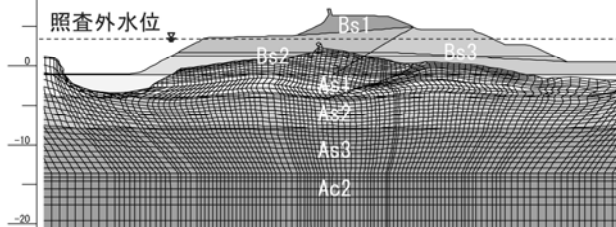


図-4 静的変形解析結果（無対策）

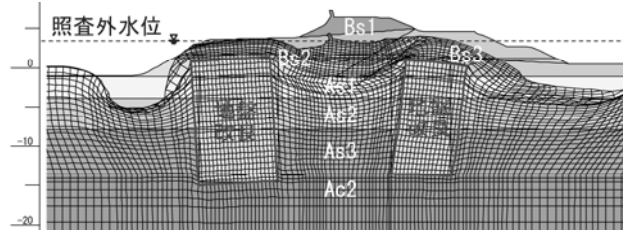


図-5 静的変形解析結果（両側対策）

3. 設計上の問題点と課題

過年度に実施された木曽川河口部の耐震工事では、施工時に地中支障物（玉石・転石）が確認され、設計見直しや補助工法（支障物撤去工法）の追加による事業進捗の遅れ、事業費の増大が生じていた。

一方、今回報告する設計区間は、木曽川河口部から6kmほど上流に位置し、河口部と異なり破堤・変遷履歴がないため、大径の玉石・転石は存在しないと想定して、経済性の高い大口径の深層混合処理工法（標準型φ2300mm）を対策工法として選定した。

しかし、設計区間付近においても施工時に地中支障物（φ400mm程度の玉石・転石）の存在が確認され（図-6）、河口付近と同様に、補助工法（支障物撤去工法）の併用や硬質地盤に対応できる施工性の高い工法（超硬質型φ1600mm）への見直しが必要となった。

施工性、経済性を確保し、効率よく、事業を進めるためには、地中支障物の分布範囲の特定、最適な工法・対策仕様の選定が課題であった。

表-1 地中支障物（玉石・転石）への適用範囲²⁾

工法	支障物への適用範囲	
標準型（φ2300mm）	～φ100mm	△（要検討）
	～φ300mm	×（不可）
	～φ500mm	×（不可）
硬質型（φ1600mm）	～φ100mm	◎（可能）
	～φ300mm	○（可能）
	～φ500mm	×（不可）
超硬質型（φ1600mm）	～φ100mm	◎（可能）
	～φ300mm	○（可能）
	～φ500mm	△（要検討）

*) 設計・施工マニュアル²⁾より

設計区間においても深層混合処理工法（標準型φ2300mm）に補助工法（支障物撤去工法）を追加した場合、3倍程度に事業費が増加し（表-2）、事業進捗が遅れ、耐震対策効果の早期発現が困難になる。円滑な事業進捗、耐震対策効果の早期発現のため、上記課題への対応が求められた。



支障物撤去状況



支障物（φ400mm程度）

図-6 地中支障物撤去状況と確認された支障物

表-2 耐震対策工法と概算費用

番号	①	②	③	④
	深層混合処理工法 標準型（φ2300）	深層混合処理工法 硬質型（φ1600）	深層混合処理工法 超硬質型（φ1600）	補助工法＋ 深層混合処理工法 オーケーシング＋②
工 法				
概略 事業費	1.00	1.25倍	1.50倍	3.25倍

4. 設計方針

耐震対策設計では、施工性、経済性を考慮した工法・対策仕様の選定が重要である。本設計においては、上記課題への対応策として以下の2点に着目し、地中支障物条件に適した工法・対策仕様を設定した。

- ① 地中支障物（玉石・転石）の分布状況の把握
- ② 対策工法の適用範囲（転石サイズ、密集度）の明瞭化

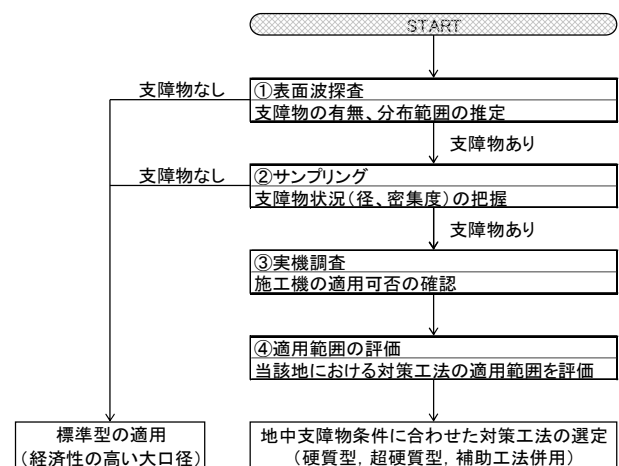


図-7 対策工法の検討フロー

5 地中支障物の分布状況の把握

地中支障物（玉石・転石）の分布状況（分布範囲、密集度・転石サイズ）は、表面波探査、サンプリング（ボーリング調査）により確認することを提案し、別途業務にて実施した。

(1) 地中支障物の分布範囲の推定

地中支障物の分布範囲は表面波探査結果を用いて推定した。S波速度が、周辺に比べて、相対的に高い速度帯を示す箇所には支障物が分布する可能性が高く、特に、深部まで顕著に高い速度帯を示す箇所は、支障物の密集度、サイズが大きいと想定した。

なお、高い速度帯を示した箇所は、堤防側より河川側に多く、GL-5～10m程度の深度に集中していることが確認された。

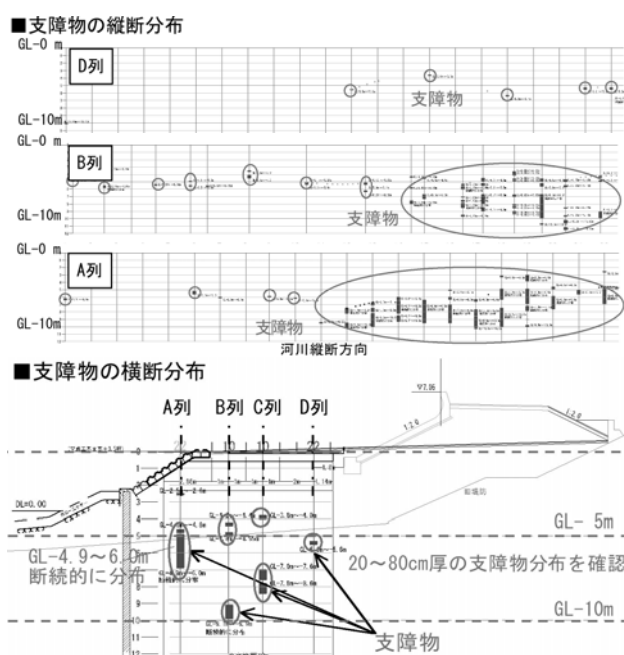


図-8 表面波探査による支障物分布範囲の推定

(2) 地中支障物状況（密集度、転石サイズ）の把握

地中支障物状況（密集度、転石サイズ）の把握は、サンプリング（ボーリング調査）を用いて実施した。サンプリング位置は、地中支障物（玉石・転石）が分布している可能性が高い、深部まで高い速度帯を示す箇所を抽出した。

サンプリングを実施した箇所では、最大コア長150mm程度の地中支障物（玉石・転石）が確認された。一般的に玉石径（長径）は、コア長の3倍程度と示されているため、サンプリングにて確認されたコア長の3倍を転石径と評価した。

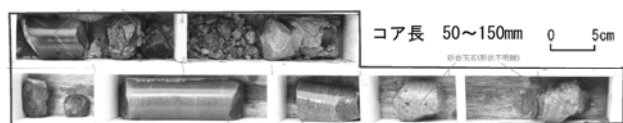


図-9 サンプリングより確認された地中支障物

(3) 地中支障物の分布状況の評価方法

地中支障物の分布状況の把握は、以下の①、②の手順で実施することが有効であることを確認した。

- ① 広域な設計区間から地中支障物が分布する可能性が高い範囲を表面波探査により抽出する。
- ② 抽出した範囲について、サンプリング（ボーリング調査）を実施し、地中支障物の状況（密集度、転石サイズ）を特定する。

6. 対策工法の適用範囲の設定

深層混合処理工法は、地中支障物（玉石・転石）のサイズによって適用範囲が異なる。標準型φ2300mmの施工機においては、φ100mm以上の玉石・転石が存在する地盤に対しては適用が困難であることが示されている。一方、硬質型φ1600mmの施工機は、φ300mmの玉石・転石まで適用可能である（表-1）²⁾。

しかし、先行して実施した地中支障物の分布状況調査結果により、設計区間においてφ450mm程度の玉石・転石が存在し、硬質地盤に対応した硬質型φ1600mmの施工機でも適用範囲外である。

なお、対策工法（施工機）の適用範囲は、「設計施工マニュアル²⁾」に示されており、設計区間における地盤状況（密集度、転石サイズ）に対応したものでないため、実機調査結果に基づき、適用範囲を評価・設定した。

(1) 実機調査方針

設計区間における地盤状況に対応した適用範囲を設定するため、2種類の施工機（標準型φ2300mm、硬質型φ1600mm）を用いた実機調査を提案した。2種類の施工機の支障物への適用範囲は以下のとおりである²⁾。

- ① 標準型φ2300mm：～φ100mm 要検討
- ② 硬質型φ1600mm：～φ300mm 可能

実機調査は、地中支障物の分布状況が異なる7箇所で行った（表-3、図-10）。実機調査では、「設計施工マニュアル²⁾」に示されている転石・玉石に対する施工性（適用範囲）を確認するため、2種類の施工機とも最大コア長150mm（玉石径φ450mm）の地中支障物が分布する箇所での調査を実施した。

表-3 実機調査位置と地中支障物分布状況

No.	施工機	表面波探査結果		サンプリング結果	
		層厚	地中支障物 確認深度	地中支障物 コア長	岩種
①	標準型 φ2300mm	0.62 m	GL-7.78 m ～ - 8.40 m	60～150mm	砂岩
②		0.69 m	GL-8.91 m ～ - 9.60 m	-	-
③		0.80 m	GL-9.80 m ～ - 10.60 m (断続的に分布)	-	-
④		0.15 m	GL-4.30 m ～ - 4.45 m	-	-
⑤		1.00 m	GL-8.50 m ～ - 9.50 m	-	-
	硬質型 φ1600mm	0.30 m	GL-9.10 m ～ - 9.40 m	-	-
		1.30 m	GL-6.00 m ～ - 7.30 m (断続的に分布)	-	-
①		0.29 m	GL-4.22 m ～ - 4.51 m	150mm	流紋岩
		0.20 m	GL-5.09 m ～ - 5.29 m	50～60mm	砂岩
②		0.40 m	GL-9.85 m ～ - 10.25 m	-	-
		0.86 m	GL-6.40 m ～ - 7.26 m (断続的に分布)	50～80mm	砂岩
				60～150mm	頁岩

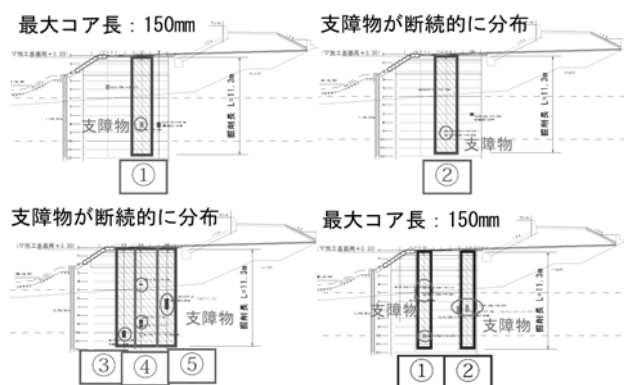


図-10 実機調査位置における地中支障物

(2) 施工適用範囲の設定結果

実機調査より、硬質型φ1600mmでコア長150mm（φ450mm）の地中支障物がある箇所でも攪拌・混合が可能であることが確認できた。今回報告する設計区間の地中支障物（玉石・転石）分布範囲における適用の可能性が確認できた（表-4）。

表-4 実機調査結果

工法番号	①	②
	深層混合処理工法	深層混合処理工法
	標準型(φ2300)	硬質型(φ1600)
工 法		
概略事業費	1.00	1.25倍
支障物 *1) 適用範囲	～φ100mm 要検討	～φ300mm 可能
当該地の最大コア長 (支障物径 *2)	150 mm (φ450 mm)	
実機調査結果	攪拌可否	△
	・攪拌翼が破損 ・モーター電流値が急上昇	○
	当該地への適用	○
	支障物の有無により適用可能	当該地における適用は可能

*1) 設計施工マニュアル²⁾より

*2) 支障物径は最大コア長の3倍として評価した

標準型φ2300mmの施工機は、計画5箇所すべてで攪拌・混合できたが、攪拌後に攪拌翼の破損を確認した（図-11）。そのため、設計区間におけるコア長60～150mmの地中支障物（玉石・転石）が分布する箇所への適用は困難と評価した。

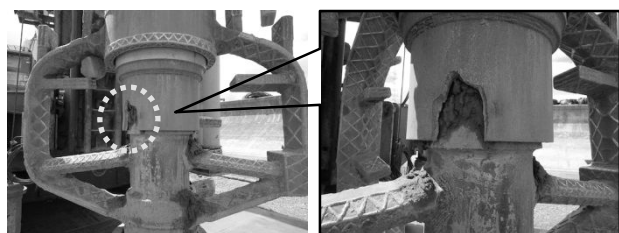


図-11 攪拌翼の破損状況（標準型φ2300mm）

硬質型φ1600mmの施工機は、計画2箇所すべてで攪拌・混合することが可能であった。「設計施工マニュアル²⁾」に示されている地中支障物が含まれる地盤への適用範囲（玉石・転石サイズ）は、φ300mmまでと示されているが、実機調査結果より今回報告する設計区間における地中支障物φ450mm（最大コア長150mmの3倍）が含まれる地盤へも適用可能であると評価し、硬質型φ1600mm施工機の適用範囲を拡大することができた。

6. 結論

本業務においては、地中支障物調査結果及び実機調査結果より対策工法の適用性について評価し、以下の結論を得ることができた。

- ① 地中支障物の特定は、表面波探査による分布範囲の抽出、サンプリングによる分布状況の確認により実施した。
- ② 実機調査を実施することにより、「設計施工マニュアル²⁾」に示されている適用困難である転石径を超過する範囲まで、施工機の適用範囲を拡大することができた。
- ③ 過年度まで、補助工法（支障物撤去工法）との併用が不可欠であった深層混合処理工法において、深層混合処理工法単独での耐震対策が可能となり、経済性に寄与した。

7. まとめ

今回報告する木曽川下流部設計区間における川表の耐震対策工設計においては、地中支障物分布調査、実機調査を実施して、施工性、経済性に留意した工法・対策仕様の選定を行った。具体的には硬質型φ1600mmの適用範囲を確認し、施工性は高いが、経済性に劣る超硬質型φ1600mmの適用や、支障物撤去工法を追加適用することなく、耐震対策ができることが確認できた。上記結果より、地中支障物（玉石・転石）が分布する範囲に適用条件が不明瞭であった硬質型φ1600mmの適用範囲を拡大することができた。地中支障物の分布範囲の特定及び施工機の適用範囲の拡大により、耐震対策工事費を50%程度削減することに寄与した。

謝辞：業務実施において、中部地方整備局木曽川下流河川事務所をはじめ、別途調査業務、施工者にご協力いただき、遂行することができました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 木曽川下流河川事務所HP,
https://www.cbr.mlit.go.jp/kisokaryu/taishin_taisaku/index.html
- 2) エポコラム協会：エポコラム工法設計施工マニュアル、平成30年1月

堤防決壊時の迅速な緊急対策工事に 資する資料作成

よしかわこうへい いわたおさむ いとうしゅういち たなかまさひこ
○吉川耕平¹・岩田経¹・伊藤秀一¹・田中雅彦¹

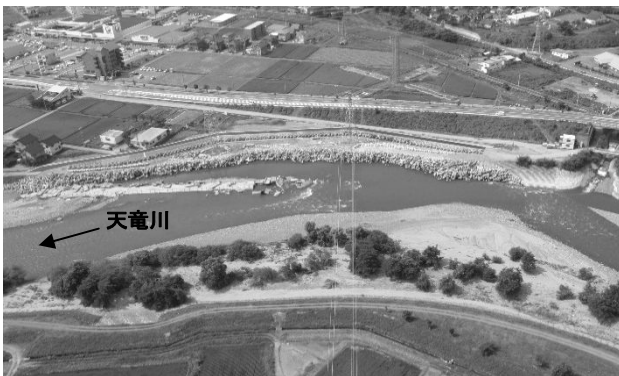
¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒451-0042 愛知県名古屋市中区那古野二丁目11番23号）

近年、線状降水帯に代表される特異な豪雨が頻発しており、全国各地の河川では堤防決壊を伴う浸水被害が多く発生している。堤防決壊時には、被害を最小限に抑えるために迅速な対応が求められる。このような状況から、天竜川上流河川事務所では、洪水に起因した堤防決壊が発生した際に必要となる災害対応技術の向上のため、堤防決壊時の緊急対応のための演習、応急復旧計画の立案、地域の防災力の把握等、様々な取組みが行われている。

Key Words：堤防決壊、急流河川、緊急対策シミュレーション、応急復旧計画、地域連携

1. はじめに

天竜川では、平成18年7月豪雨により、箕輪町松島で右岸堤防が160mにわたって決壊し、緊急対策を実施している。また、令和元年東日本台風による140箇所もの堤防決壊¹⁾の他、矢部川、鬼怒川、空知川、小田川、球磨川など、全国的に堤防決壊が発生し、社会問題となっている。最近では、線状降水帯に代表される豪雨が頻発しており、河道の能力を越えた洪水により、堤防決壊の危険性が高まっている。このような状況の中、大規模災害に対する職員の経験の浅さや災害対応技術の伝承不足が課題となっており、全国の河川事務所では、平成19年から堤防決壊時の緊急対策シミュレーションとする机上演習により、災害対応技術の習得・継承を行っている。本稿は、近年の豪雨災害の特徴や天竜川上流の地域特性を踏まえた発災時の応急復旧計画の立案に加え、水防団との連携の充実・強化に向けた取組みを報告する。



平成18年7月豪雨災害の堤防決壊箇所（復旧後）の様子

2. 天竜川上流河川事務所の災害対応の取組み

天竜川上流河川事務所では、例年の堤防決壊シミュレーションに加え、平成28年度の「堤防決壊に備えたタイムラインの作成」、平成29年度の「急流河川の特性を踏まえた決壊断面の想定」、平成30年度の「水防活動の実情を把握するためのアンケート調査」、「天竜川の堤防特性を踏まえたブロック投入実験」など、河川特性、地域特性を踏まえた災害対応に対する取組みが行われている。

3. 近年の豪雨災害と水防災に関する課題

(1) 近年の豪雨災害の課題

平成27年9月関東・東北豪雨災害では、鬼怒川の堤防決壊以外に同河川において漏水、堤防等の洗掘、法崩れ等の被災が計97箇所が発生した。²⁾過去、天竜川の三六災害でも同時多発災害が発生している。したがって、水災害への対応は、同時に各地で発生することも視野にいたれた取組みを想定しておくことが重要である。

(2) 災害経験と技術伝承の課題

中部地方では、平成12年9月の東海豪雨（新川）と平成18年7月豪雨（天竜川）時に堤防決壊を経験している。しかし、その後10年以上が経過しており、行政職員だけでなく、災害支援を期待される建設会社においても災害経験者が少なくなっている。このような状況の中、貴重なノウハウを継承していくことが重要となる。

(3) 地域連携の課題

洪水時や洪水の恐れがある時、地域が中心となり水害による人命や財産への被害を軽減するため水防活動が行われる。しかし、地域の水防力には限界があるため、河川管理者は地域防災力の実情や河川管理者の協力内容に関し、相互の意思疎通を図っておくことが重要である。

4. 課題解決に向けた取組

(1) 応急復旧計画の作成

大規模災害時には様々な緊急対応に忙殺されるとともに人員不足も想定されるため、応急復旧計画を短時間で検討する必要がある。そのような状況を踏まえ、事前の備えとして、あらかじめ堤防決壊の可能性が高い箇所を想定し、応急復旧計画を作成しておくことが重要である。

a) 堤防決壊の危険箇所の抽出

天竜川が急流河川であるという特性から、浸透よりも越流や侵食が先行して発生することが想定されるため、堤防決壊の要因を越流と侵食とした。河川特性（流下能力、水衝部、旧河道）と堤防特性（護岸、根入れ、根固め工、護岸防護ライン）から堤防決壊に繋がる特性を踏まえて堤防決壊の危険箇所を選定した。その結果、危険箇所が23箇所となり、堤防の連続性（霞堤）や氾濫原の資産集積状況などの社会的影響に着目し、応急復旧計画を作成する優先順位を設定した。

b) 決壊形状

一般的な堤防の決壊形状として、氾濫流の影響により「落堀」と呼ばれ、周辺地盤よりも深く掘られる特徴がある。落堀が形成される位置や深さに関する考え方について、「堤防決壊時の緊急対策技術資料（水管理・国土保全局）」³⁾に記載されている。しかし、天竜川のような急流河川にも適用できるかが不明であった。

そこで、天竜川上流管内を含め、全国の急流河川の堤防決壊事例を収集し、整理したところ、急流河川では流速が早く河床材料も礫材であることが多いことから、落堀が形成されないことが確認された。そのため、応急復旧計画を作成するにあたり、落堀は形成されない決壊形状を想定した。

また、堤防の決壊幅については、急流河川の堤防決壊事例に共通する特徴が確認されなかったため「堤防決壊時の緊急対策技術資料（水管理・国土保全局）」³⁾を参考として、決壊幅と川幅の相関式を使用して設定した。

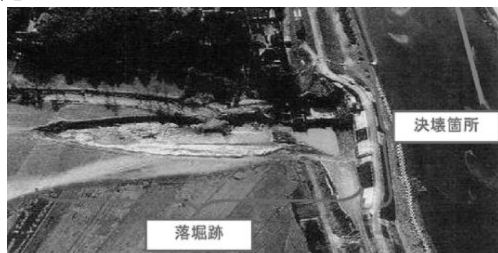


図-1 決壊形状（S56小貝川決壊事例）

表-1 急流河川における堤防決壊事例一覧

河川名	年月日	災害発生要因	決壊事例			
			決壊要因	決壊箇所	決壊幅	落堀深
天竜川	H18.7.19	梅雨前線	侵食	右岸204.8k	160m	なし
黒部川	S44.8	前線	侵食	右岸8.1k	400m	不明
常願寺川	S44.8	前線性豪雨	侵食	右岸17.8k	280m	不明
姫川	H7.7.11	梅雨前線	侵食	右岸2.6k	112m	なし
円山川支川 出石川	H16.10.20	台風	越流による 裏法面侵食	右岸5.4k	100m	なし
空知川	H28.8.31	台風	越水	左岸 116.2k、 117.0k	116.2k:150m 117.0k:300m	ほとんど なし
札内川	H28.8.31	台風	越水	左岸25.0k	200m	なし

d) 応急復旧計画

天竜川上流管内は、伊那谷という地域特性から、他地域からの緊急的な応援が困難な地域である。堤防決壊時には、天竜川上流管内のみの資機材で対応にあたる必要があることに留意し、浸水被害を最小限にとどめることを目的とした応急復旧計画（荒締切、応急復旧堤防等）を検討した。

①使用機械

緊急対策工事（欠口止め工、荒締切）に使用する機械は、天竜川上流管内が他地域からの応援が困難な地域であり、堤防特性として天端幅が狭いことを踏まえ、汎用性が高く、狭い堤防天端でも作業できるバックホウとした。なお、平成30年度にバックホウを使用したコンクリートブロックの投入実験を実施しており、施工の有効性を確認している。



2tブロック連結の様子 5tブロック投入の資料



図-2 実験方法概要

②欠口止め工

欠口止め工は、決壊口の拡大を抑止することを目的に施工する。洪水の流速に対して安定する5tのコンクリートブロックを基本としたうえで、可能な限り早期に準備できる材料を使用する。また、欠口止め工に替わる対策として、天竜川の場合、水はねによる決壊口への流速低減効果の高い水制工の設置も有効であり、採用する場合の条件や留意点についても整理した。

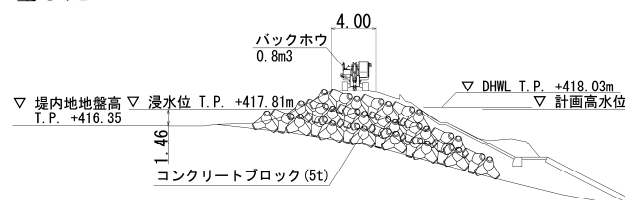


図-3 欠口止め工の標準断面図

③荒締切, 応急復旧堤防の施工位置

被害軽減の観点から, 迅速な締切が重要となるため, 施工時間が最も短くなる(資材数量が最小となる)位置として, 荒締切及び応急復旧堤防を現堤防位置に計画した。

④荒締切

荒締切は, 氾濫流量の低減, 決壊口の閉塞を目的に施工するものであり, コンクリートブロックと間詰土砂により築造する。荒締切の施工は, 天竜川上流管内の堤防特性として, クレーンを配置できる幅が無いことから, バックホウによりコンクリートブロックを投入しながら, 巻き出していくものとした。

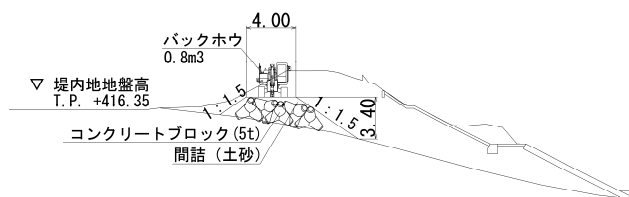


図-4 荒締切の標準断面図

⑤応急復旧堤防

応急復旧堤防は, 次の出水において氾濫を防ぐために応急的に復旧する堤防であり, 既設堤防と同程度の安全度を有する構造とする。また, 一般的には, 鋼矢板二重締切により築造することが多い。しかし, 天竜川上流管内では, 基礎地盤が礫材であり, 鋼矢板の打設に時間を要するため, 土堤による構造とした。

なお, 土堤による応急復旧堤防は脆弱であるため, 連節ブロック(150kg/個)などによる三面張り構造とし, 護岸のめくれ防止のため, 法尻部にコンクリートブロックを設置し補強する構造とした。

ここで, 天竜川上流管内には, 連節ブロックが備蓄されていないため, 広域支援により他事務所から入手する想定とした。今後, 迅速な緊急対策工事に向け, 管内の備蓄資材の見直しも検討していく必要がある。

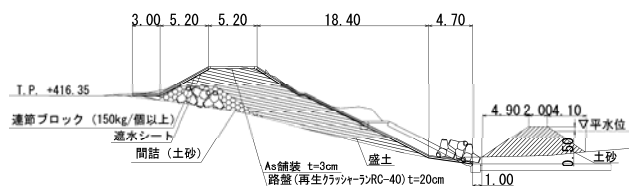


図-5 荒締切, 応急復旧堤防の施工位置

⑥工事工程

近年の堤防決壊時の対応事例の工期を参考とし, 荒締切完了まで7日間, 応急復旧堤防完了まで14日間を緊急対策工事の目標とする施工期間とした³⁾。

⑦排水計画

堤防決壊時には, 河川氾濫や雨水による浸水が発生するため, 浸水の早期解消を目的とした排水計画の検討が必要となる。

浸水区域内の地盤高, 地形の変化, 排水施設の諸元, 霞堤からの自然排水の可能性などの情報を整理したうえで, 排水作業に必要な排水ポンプ車の必要台数を設定し, 緊急対策工事における施工重機の通行の妨げにならない排水ポンプ車の配置を検討した。

e) クイックマニュアルの作成

天竜川上流河川事務所では, 堤防決壊の危険箇所を抽出し, 応急復旧計画の作成を進めている。近年の激甚化する豪雨災害を踏まえると, 危険箇所以外でも大規模災害に至る可能性がある。

「堤防決壊対応クイックマニュアル」は, 災害時に持ち出し, 誰でも直ぐに応急復旧計画を作成できるツールとして作成したものである。なお, 天竜川上流河川事務所管内の河川特性, 堤防特性を踏まえた, 荒締切・応急復旧堤防の位置・構造, 資材の運搬計画など, 堤防決壊直後から応急復旧堤防が完了するまでの緊急対策工事に関するポイントをクイックマニュアル内に整理した。

(2) 堤防決壊シミュレーション

堤防決壊シミュレーションは, 堤防決壊時の緊急対策技術の向上を図るために行う机上演習である。天竜川上流河川事務所では, この机上演習に加え, 災害対応の技術継承を図るための「事前勉強会」や「工務班勉強会」, 大規模災害時の被害軽減に向けた人員配置や地域連携のあり方など, 事務所の方針を議論するための「支部会議」を行うとともに, 演習で抽出した課題解決に向け順次検討を進めている。

また, 堤防決壊シミュレーションでは, 近年の豪雨災害の課題を踏まえ, 同時多発災害が発生するシナリオを想定し, 関係機関との連携について訓練できる内容とした。

a) 事前勉強会

緊急対策工事に関する基礎知識を養い, 災害対応技術を継承することを目的に, 事務所の全職員を対象に下記の内容で事前勉強会を実施した。

- ・平成18年7月豪雨災害の対応
- ・中部地方整備局管内における災害事例
- ・管内の洪水による決壊危険箇所
- ・河川管理者と水防管理者の役割



事前勉強会の様子



事前勉強会の資料

b) 工務班勉強会

工務班の役割には, 堤防決壊時の対応で重要となる応急復旧計画(荒締切, 応急復旧堤防)の立案がある。机上演習は, 各班との連携や情報共有に重点をおいた訓練となるよう, 応急復旧計画の立案は別途, 工務班のみで実施した。



工務班勉強会の様子 (1)



工務班勉強会の様子 (2)

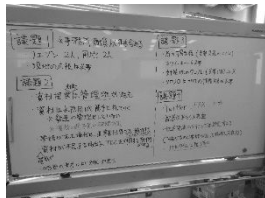
c) 支部会議

支部室の役割は、堤防決壊時における支部のマネジメントや対応方針の決定が主となる。支部会議は、災害対応時の判断の中で一概には決められない内容について議論し、事前に方向性を見出すため、下記の内容を議題とした。

- ・議題1：出張所等への必要派遣人数
- ・議題2：水防団の役割と河川管理者の協力内容
- ・議題3：情報共有のあり方
- ・議題4：広報のあり方



支部会議の様子 (1)



支部会議の様子 (2)

d) 机上演習

机上演習は、同時多発災害時の情報共有や人員確保についての課題を抽出できるような演習シナリオとした。また、同時多発災害時には、事務所職員だけでの対応が困難となることが想定されるため、支部外部の関係機関（局、長野県など）との連携についても演習できる内容とした。



机上演習の様子 (工務班)



演習結果発表の様子

机上演習の結果、各班が対応に忙殺され、情報共有が不十分であったこと、同時多発災害への対応により人手が不足したこと、事務所所有の資材が不足したこと等が課題として挙げられた。これらの課題を基とした、机上演習を継続的に実施し、災害対応技術の伝承を図っていくことが望まれる。

(3) 地域連携による防災活動

近年における同時多発災害に対応するには地域との連携が必須となるため、水防管理者へのヒアリング調査により、地域の防災力を把握した。

a) ヒアリングの目的

ヒアリングは、天竜川沿川で代表される自治体（飯田市、駒ヶ根市、伊那市）と平成18年7月豪雨災害において堤防決壊の被害が発生した箕輪町を対象として、水防活動における現状把握を目的として実施した。

b) ヒアリング結果

自治体へのヒアリングにより得られた課題を、次年度演習時における議題になるように設定し、事務所の対応方針を決定していくものとした。

- 課題①：河川管理者と地域（水防管理団体）の災害協定を締結している建設会社が重複している中、対応可能範囲の明確化

課題②：河川管理者と地域（水防管理団体）との作業・役割分担の明確化

課題③：水防団の高齢化・サラリーマン化に伴う人手不足に対する支援方策

近年の豪雨災害の課題を踏まえると、水防活動の重要性が高まっており、被害の拡大防止のためには、河川管理者による水防協力など、地域との連携がますます必要になると考える。

5. おわりに

2020年7月1日からの降雨により、天竜川の支川（三峰川）の堤防が欠損し、緊急対応が必要となった。本業務で作成した応急復旧計画や堤防決壊シミュレーションによる備えが、迅速な対応に繋がり、被害の最小化に寄与するものとなった。

また、自然環境や社会環境の変化によって過去に経験した以上の災害が起こる可能性があり、何故あの災害は起きたのか、何故被害は拡大したのか、今同じような災害が起きたらどのような対応をするかを意識しながら、日々の業務に邁進していくことが重要であると考えます。

謝辞：本検討の実施にあたり、ご指導、ご協力を頂きました天竜川上流河川事務所の職員の皆様方、机上演習や応急復旧計画の作成において多大なご指導、ご助言を頂きました「河川工法伝承研究会」のメンバーの皆様方に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 台風19号による被災状況と今後の対応について 国土交通省（令和元年11月27日）
- 2) 鬼怒川堤防調査委員会 鬼怒川堤防調査委員会報告書 P2-12, 13（平成28年3月）
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局 治水課.：堤防決壊時の緊急対策技術資料PⅢ-165（平成29年3月）

環境DNA分析の魚類・底生動物調査 への適用について

○小川遼¹・志俣和宏¹・大木俊亮¹・尾関哲史²
・鄭呂尚²・前原裕¹

¹ 日本工営株式会社 名古屋支店 (〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22)

² 日本工営株式会社 地球環境事業部環境部 (〒102-8359 東京都千代田区麹町5-4)

三重県内の東海環状自動車道の整備において、施工に伴い発生する砂防堰堤等の改修工事による環境影響を把握し、必要な保全対策を行うため、環境調査を行った。本道路事業では、砂防堰堤等設置箇所周辺の山間部河川において魚類及び底生動物調査を行い、生物相を把握した。現地調査では、捕獲調査と合わせて試行的に環境DNA分析を行い、環境調査における魚類・底生動物調査への適用性を検討した。

Key Words : 環境DNA分析, 環境調査, 魚類, 底生動物

1. はじめに

公共事業等で行われる環境調査の手法は、道路環境影響評価の技術手法¹⁾や、河川水辺の国勢調査マニュアル²⁾等に基づき行われるのが一般的である。魚類調査では、投網やタモ網等を用いる採取や、はえなわやどう等、トラップ等による採取が行われることが多く、底生動物調査では、Dフレームネットやサデ網による定性採集や、エクマン・バージ型採泥器やコドラート調査による定量採集が行われる。一方、上記によらない新たな調査手法も提案・実施されてきている。

本稿では、新たな調査手法として注目されている環境DNA分析を道路事業における環境調査（魚類・底生動物調査）で試行的に用い、その適用性について考察を行った。

2. 対象業務の概要

東海環状自動車道は、名古屋市の周辺30～40km圏に位置する四日市市、東員町、いなべ市、大垣市、岐阜市、豊田市等の諸都市を有機的に結ぶ延長約160kmの高規格幹線道路である。整備により名古屋圏の諸都市の移動時間の短縮、医療機関へのアクセス向上、災害への耐性向上、地域経済活性化等が期待されている。³⁾

三重県内の整備区間では、環境影響評価書が四日市～北勢間で平成3年、いなべ市北勢町で平成19年に公表されており^{4), 5)}、影響が生じる可能性のある種に対して保全対策を行いながら事業が進められて

いる。

本業務は、東海環状自動車道のうち三重県区間の一部区間を対象として、「東海環状自動車道（いなべ市北勢町）環境影響評価書」（平成19年4月 三重県）等に基づき、環境調査及び保全対策検討を行っており、その一環として砂防堰堤等の改修に伴い、魚類及び底生動物相調査を行った。

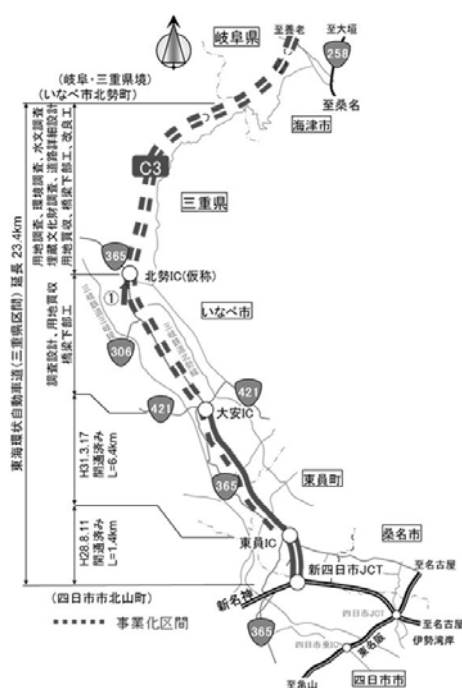


図-1 東海環状自動車道 三重県区間路線図³⁾

3. 環境DNA分析

(1) 環境DNA分析について

新たな調査手法である環境DNA分析について紹介する。環境DNAは、土壌や水に含まれるデオキシリボ核酸（DNA）の総称であり、環境DNA分析は、湖沼や河川、海洋沿岸域で採取した水試料に浮遊・存在する排泄物、組織片などに由来するDNA断片（環境DNA）を分析することにより、水棲動物の生息状況を推定する生物モニタリング手法である。この環境DNA分析を分析して種の在・不在や生物量を推定して生態学的な調査に利用する例が近年増加している。環境DNA分析のメリットとして、①水を採取するだけのため野外調査コストを削減できる、②調査結果が調査者の技術に依存することがない、③夜行性の種や生息密度の低い種を検出できる、④形態学的な種同定の技術が必要ない等の点が挙げられる⁶⁾。

環境DNA分析による種の検出にはいくつかの方法があり、種特異的なプライマーを使ったPCRを対象種のDNAが試料水中に含まれているかを確認する方法と、対象とする分類群に属する種のDNAをまとめて増幅できるユニバーサルプライマーを使ってPCRを行った後に、次世代シーケンサーで網羅的に塩基配列を解読して種同定する、いわゆるメタバーコーディング手法に大別される⁷⁾。本調査では、既往の現地調査結果が行われていなかった場所での調査であったことから、通常の捕獲調査と合わせて、メタバーコーディング手法による環境DNA分析を行い、生息種の確認結果を補完することを試みた。

(2) 調査位置及び調査方法

本調査では、秋季（令和元年11月11日）に捕獲調査及び環境DNA分析のための採水、冬季（令和2年1月30日）に捕獲調査を行った。

本業務内容には希少種に関する情報が含まれるため、調査位置の詳細は示さず、路線と調査位置の関係を模式図で示した。環境DNA分析のための河川水の採水は、図-2に示すとおり、①砂防堰堤上流、②本川上流、③本川下流の3地点で行い、実験室へ持ち帰りメタバーコーディング解析によるDNA分析を行った。

捕獲調査は、砂防堰堤等整備箇所及び工事用道路の改変区域周辺の片側250m範囲の水域内で実施した。河川内を踏査し、タモ網等により魚類及び底生動物を捕獲した。魚類は、現地にて写真撮影及び計測を行った。底生動物は捕獲後、現地においてホルマリンで固定した後、実験室に持ち帰り、室内分析（同定・個体数の計測等）を行った。

(3) 分析方法

環境DNA分析の概要は図-3に示すとおりである。現地の各地点においてボトルに採取した河川水は5℃以下で保冷し、実験室へ持ち帰りフィルターでろ過し、DNA抽出を行った上で、次世代シーケン

サー（Mi-Seq）による解析を行った。次世代シーケンサーにより取得した塩基配列とデータベース上の配列を照合し、採水した場所の生物種の推定を行った。データベースは、魚類が「MiFish」、底生生物は「BLASTN」を用いて照合し、生息する種を推定した。

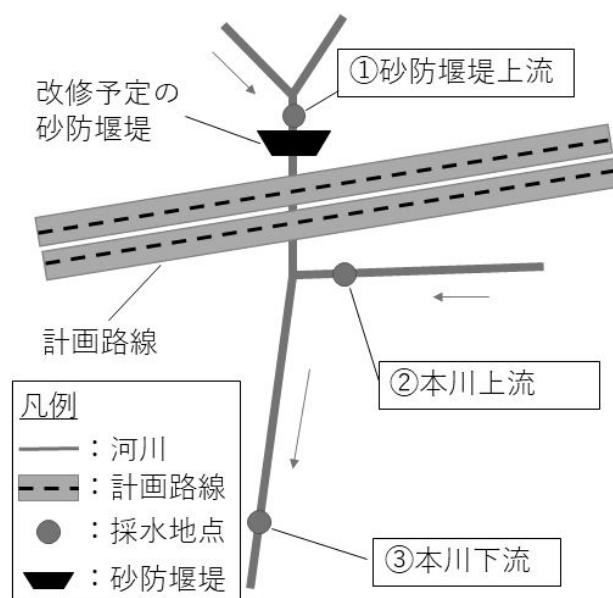


図-2 調査地点の概要図

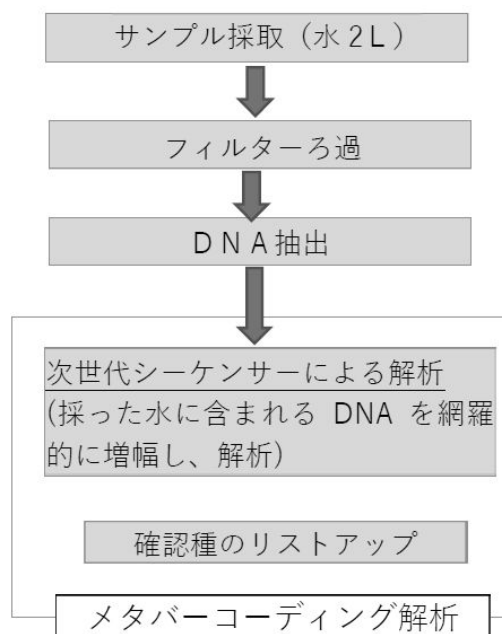


図-3 環境DNA分析の概要

3. 調査結果

(1) 魚類

魚類の捕獲調査及び環境DNA分析において確認された種の一覧を表-1に示す。魚類は、環境DNA分析で5科5種、捕獲調査において4科5種が確認された。重要種として、サツキマス（アマゴ）、アカザ、カジカの3種が確認された。環境省レッドリスト⁸⁾にお

いて、アカザは絶滅危惧Ⅱ類、サツキマス（アマゴ）及びカジカは準絶滅危惧に指定されている。サツキマス（アマゴ）は捕獲調査で未確認であったが、環境DNA分析において、①砂防堰堤の上流、③本川下流の2地点で検出された。アカザは秋季の捕獲調査で未確認であったが、環境DNA分析で検出され、冬季には捕獲調査で1個体が確認された。一方、カワムツは、捕獲調査において秋季及び冬季のいずれも確認され、捕獲個体数は秋季に18個体、冬季に5個体と少なくなかったものの、環境DNA分析では検出されなかった。

表-1 魚類確認種一覧(捕獲調査・環境DNA分析)

No.	科	種名	捕獲調査※		環境DNA		
			秋季	冬季	①	②	③
1	コイ	カワムツ	18	5			
2		タカハヤ	45	62	○		
3	アカザ	アカザ		1			○
4	サケ	サツキマス(アマゴ)			○		○
5	カジカ	カジカ	3	13			
-		カジカ属			○	○	○
6	ハゼ	カワヨシノボリ	52	41	○	○	○
計	5科	6種	4種	5種	4種	2種	5種

※数値は個体数を示す。

(2) 底生動物

環境DNA分析で検出された底生動物の確認種一覧を表-2に示す。底生動物については、環境DNA分析でサナエトンボ、サワガニといった清澄な流水域に生息する種を中心に計15種が確認された。一方、捕獲調査では97種が確認され、環境DNA分析により検出された種は、捕獲調査と比較して少なかった。

表-2 底生動物確認種一覧(環境DNA分析)

No.	科	種名	環境DNA		
			①	②	③
1	ミズミズ	ニセミズミズ属			○
2	-	鯉脚綱	○		
3	アフリカマイマイ	アフリカマイマイ科		○	○
4	サワガニ	サワガニ		○	○
5	ヒラタカゲロウ	ウエノヒラタカゲロウ		○	
6		ナミヒラタカゲロウ	○		○
7		エルモンヒラタカゲロウ	○		
-		ヒラタカゲロウ科			○
8	サナエトンボ	ダビドサナエ	○		
9		コオニヤンマ	○		
10		オジロサナエ		○	
11	ヒゲナガカワトビケラ	ヒゲナガカワトビケラ	○		
12	カクツツトビケラ	カクツツトビケラ属			○
13	ガガンボ	ガガンボ亜科			○
-		ガガンボ科	○		○
14	ユスリカ	ユスリカ科	○	○	
-	-	ハエ目			○
15	ヒラタドロムシ	クシヒゲマルヒラタドロムシ	○		
計	10科	15種	9種	5種	6種

4. 考察

(1) 魚類

調査結果から、魚類は捕獲調査と環境DNA分析による確認種が概ね一致しており、環境DNA分析では、捕獲調査で確認できなかったサツキマス（アマゴ）が検出された。また、秋季調査では捕獲調査で確認されていなかったアカザが検出されており、その後に行った冬季調査の捕獲調査では1個体のみ確認された。アカザは石の下や礫の狭い隙間に潜り込むため⁹⁾、捕獲調査では比較的確認しづらい種である。

上記から、環境DNA分析は、通常の調査で捕獲できる種に加えて、捕獲しづらい種や生息密度が低い種に対する調査手法として、有用性が高いことが示唆される。今後環境DNA分析による調査実績が増え、捕獲調査結果との整合性が確認されれば、今後は魚類調査において、主に魚類相把握のスクリーニング手法として、捕獲調査に替わって主流化する可能性も考えられる。

一方、環境DNA分析を環境調査に適用するに当たって、本調査結果を踏まえた課題と考えられる対応について2点整理した。

1点目は、環境DNA分析で確認された種が、実際にどの範囲に生息しているのか明らかでないという点である。魚類の結果ではないが、河川上流部のダム湖から下流に向けてミジンコとイシガイの1種を対象に環境DNA分析を行った例では、10km離れていてもDNAが検出されたとの報告がある¹⁰⁾。本調査における環境DNA分析で確認されたサツキマス(アマゴ)が、今回の調査範囲に生息しているのか、それとともにさらに上流側にのみ生息しているのかは不明である。この課題に対しては、例えば分析地点を短い間隔で設定して生息範囲を絞り込み、絞り込んだ箇所を対象に捕獲調査を行うなど、調査手法を組み合わせる実施することが考えられる。

2点目は、捕獲調査で確認されていたカワムツが検出されないなど、一部で不一致の種も見られ、生息している種を必ずしも全てを検出することはできていないという点である。環境DNAの状態は、河川の流速やpH、温度、紫外線等に影響を受けることや、種によってDNAが分解される速度や条件が異なっている可能性が指摘されており、時々々の環境条件の変化が検出・非検出に影響を与えている可能性がある。既往報告では、採取する水試料の量や測定回数を増やすことでDNAの検出率が上昇することは間違いないとされており⁶⁾、複数回の分析を行うことでデータの精度向上を図っていく必要があると考えられる。

(2) 底生動物

底生動物は、環境DNA分析における確認種が捕獲調査と比較して、確認種が大幅に少なかった。要因としては、①底生動物のデータベースの整備が魚類と比較して不十分であり、配列の照合ができない種が多く存在すること、②底生動物は一般に個体サイズが小さく、糞や粘液の排出が少ないため、検出で

きなかった種が多かったことの2点が考えられる。現状では、底生動物調査における環境DNA分析の適用性は低く、今後の適用には、底生動物のDNAデータベースの拡充及び調査・分析方法等の技術向上等が必要と考えられる。

5. 結論

- ・環境DNA分析は、魚類調査では、捕獲調査で確認されなかった種が確認されるなど、調査手法としての有用性が示唆された。
- ・魚類調査における環境DNA分析の課題として、①環境DNA分析で確認された種が、実際にどの範囲に生息しているのか明らかにできない点、②捕獲調査で確認されていた種が検出されないなど、生息している種を必ずしも全てを検出することはできない点が挙げられた。①に対しては、分析地点を短い間隔で設定して生息範囲の絞り込みを行った上で捕獲調査を行うなど、手法を組み合わせた調査により効率化を図ることが考えられる。②に対しては、採取する水の量や分析回数を増やすことで検出率を上昇させ、データの精度向上を図ることが考えられる。
- ・底生動物調査は、環境DNA分析における確認種が捕獲調査と確認種として少なく、現状での適用性は低い。DNAデータベースの拡充、調査・分析手法の技術向上が必要である。

謝辞：本論の発表を快諾いただいた、国土交通省中部地方整備局北勢国道事務所の方々に、心より感謝

致します。

6. 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人，土木研究所：道路環境影響評価の技術手法（平成24年度版），平成25年3月
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：平成28年度版 河川水辺の国勢調査マニュアル[河川版]（魚類編、底生動物調査編），平成28年1月 改訂
- 3) 国土交通省 中部地方整備局 北勢国道事務所ホームページ，国道 475 号 東海環状自動車道，<https://www.cbr.mlit.go.jp/hokusei/works/toukan/>.
- 4) 三重県：東海環状自動車道（四日市～北勢間）環境影響評価書，三重県，平成3年12月。
- 5) 三重県：東海環状自動車道（いなべ市北勢町）環境影響評価書，平成19年4月。
- 6) 高原 輝彦，山中 裕樹、源 利文、土居 秀幸、内井 喜美子：環境DNA分析の手法開発の現状～淡水域の研究事例を中心にして～，日本生態学会誌 66，pp. 583-599，2016.
- 7) 山中 裕樹、源 利文、高原 輝彦，内井 喜美子、土居 秀幸：環境DNA分析の野外調査への展開，日本生態学会誌 66，pp. 601-611，2016.
- 8) 環境省ホームページ，報道発表資料 平成31年1月24日，環境省 レッドリスト 2019 の公表について，<https://www.env.go.jp/press/106383.html>
- 9) 細谷 和海 編・監修：山溪ハンディ図鑑15 日本の淡水魚，pp. 204，山と溪谷社，2015.
- 10) Deiner K, Altermatt F, Transport distance of invertebrate environmental DNA in a natural river. PLOS ONE, vol. 9, e88786, 2014.

ダム下流の河川環境保全に資する 付着藻類の剥離条件の検討

○堀田大貴¹・長谷川正利¹・遠藤慎一¹・森山輝久¹・鈴木昭彦¹

¹ (株) 建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13)

河川生態系の基盤となる付着藻類を良好な状態に保つために必要な条件を把握することを目的として、河川上流域において取得した付着藻類の現存量データを出水と関連付けて解析した。その結果、対象地ではピーク流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水で強制剥離が生じることが明らかとなり、剥離を促進したい粒径の礫が移動する程度の流量の必要性が示唆された。また、出水前の藻類現存量が大きい場合は、比較的低流量でも剥離が生じ、藻類の質が向上することを示した。ただし、比較的大きな出水が40日程度以上発生しない場合は、現存量が低く抑えられる可能性が示唆されたことから、強制剥離の重要性が考えられた。

Key Words : 藻類剥離, 流量, ダム, フラッシュ放流, 河床材料, 掃流力

1. はじめに

河川中上流域の河床に生育する付着藻類は、河川生態系における一次生産の重要な担い手である。特に我が国では、河川の代表魚種であり水産上の価値の高いアユの餌資源として不可欠な存在である。付着藻類の生育状態については、釣り人や漁業者へのヒアリングにおいても話題に挙がる事が多く、河川利用の観点から重要な関心事となっている。

付着藻類がアユの餌資源として良好な状態を形成するためには、定期的な出水により古い藻類が剥離されることが重要とされる。しかし、ダム下流河川では洪水調節による流量低減や貯水池内の堆砂による流下土砂量の減少により剥離が生じにくい環境となっている。その対策の一つとしてフラッシュ放流が挙げられ、その効果的な実施のために、剥離条件を把握することが重要である。藻類剥離には、流量やその流量が生起するタイミング、出水の継続時間、藻類自身の状態などが影響することが国内でも報告されているが¹⁾²⁾、十分な調査データに基づき、これらの要因について検討された事例は少ない。

本業務では、アユ漁場となっている河川において実施された12年間の付着藻類調査結果を基に、付着藻類の良好な生育環境を維持する上で必要な剥離のための流量条件等を検討し、今後のダム運用に資する知見が得られたので報告する。

2. 方法

(1) 調査対象地

調査対象地は、中部地方を流れる一級河川の上流域であり、河床勾配1/100程度で瀬淵が連続する区間である。調査地点の流域面積は約 80km^2 であり、上流にダムはない。調査対象河川は調査対象地を含め、広くアユ漁場となっており、友釣りシーズンには多くの釣り客が訪れる。

対象とした瀬は、川幅10~15m程度で縦断延長50m程度の早瀬である。平水流量は $2\sim 3\text{m}^3/\text{s}$ 程度であり、調査対象期間（平成19年~平成30年の6月~9月）における平均年最大流量は約 $260\text{m}^3/\text{s}$ であった。平常時の流心部では水深40~60cm程度、流速80~140cm/s程度である。河床材料はこぶし大から人頭大の石が多く、巨石も点在するが、砂~細礫はわずかに確認される程度である。ただし、瀬などの緩流部には砂~細礫が堆積していることから、出水時には細粒土砂が通過していると考えられる。合わせて実施した潜水調査ではなわばりアユが確認されることもあり、アユの餌場となっている瀬である。調査期間中の河床は、一般的にアユが生息する瀬に生育するビロウドランソウが優占する付着藻類相となっている。

(2) 調査方法

平成19年~平成30年を対象に、アユの河川定着期にあたる6月~9月にかけて1~2回/月の付着藻類調査を実施した。対象の瀬における調査測線上の河床から、中径20cm程度の礫4個をランダムに拾い、付着藻類の採取を行った。それぞれ石の上面 $5\text{cm}\times 5\text{cm}$ の付着藻類をブラシで擦り取ったうえで、準備した水にまとめて一つのサンプルとしクーラーボックス

に入れて持ち帰り、ろ過した。

現存量の指標としてクロロフィルa、フェオフィチン(クロロフィルの分解産物・枯死した藻類の指標)、有機物量(強熱減量)、無機物量を分析した(84回分のデータを取得。このうち有機物及び無機物量は6回分欠測)。クロロフィルa及びフェオフィチンは、アセトン抽出の後、蛍光光度法により分析した。有機物量及び無機物量は約100℃程度で約2時間乾燥した後、電気炉にて600℃程度で1時間強熱し、減量した試料を測定し算出した。

(3) データ処理

出水後の付着藻類現存量は、出水の規模に応じた剥離の程度に影響されるため、各調査日と出水規模等との関連付けを行った。まず、出水規模としてピーク流量を10m³/s以上または50m³/s以上と定義し、調査日から遡って直近の出水を抽出した。さらに、直近の出水の直前にそれよりも大きな出水が生起していた場合はその影響のほうが大きいと考えるため、直近の出水から1週間遡った期間において最大流量を示した出水を、当該調査日の現存量に最も影響したと考えられる出水として位置付けた。そのうえで、当該出水のピーク流量、ピーク継続時間及び出水ピークから調査日までの日数を調査日と関連付けた(図-1左)。ピーク継続時間の算出にあたっては、流量が10m³/sを超えてから、その後10m³/sに低減するまでを1出水とし、ピーク流量の8割以上の流量が生起していた時間と定義した(図-1右)。

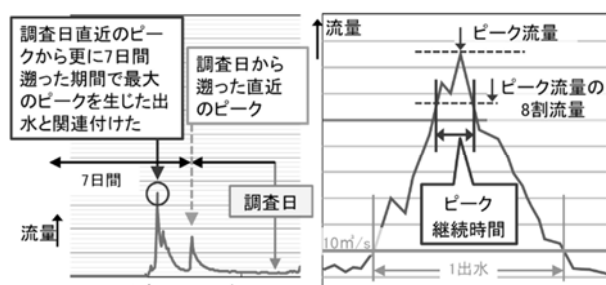


図-1 データ処理方法。

左：調査日と出水の関連付け、右：ピーク継続時間の定義

3. 結果

(1) 剥離状況の把握

出水規模等と藻類剥離との関係を把握するため、出水(ピーク流量10m³/s以上)の後5日以内に調査実施したケースを対象に以下について整理した。整理した結果、50m³/s以下、50~100m³/s、100m³/s以上のケースがそれぞれ16ケース、2ケース、7ケースが抽出された。最大は359m³/sであった。

a) 出水直後の藻類現存量

出水規模と藻類剥離の関係を確認するため、クロロフィルa等の現存量と、調査直前に発生した出水のピーク流量の関係を図-2に示す。クロロフィルa、

フェオフィチン、有機物のいずれも、概ね100m³/sの出水直後では低い現存量を示した。一方、無機物量は他の3項目ほど明瞭な傾向はみられなかった。

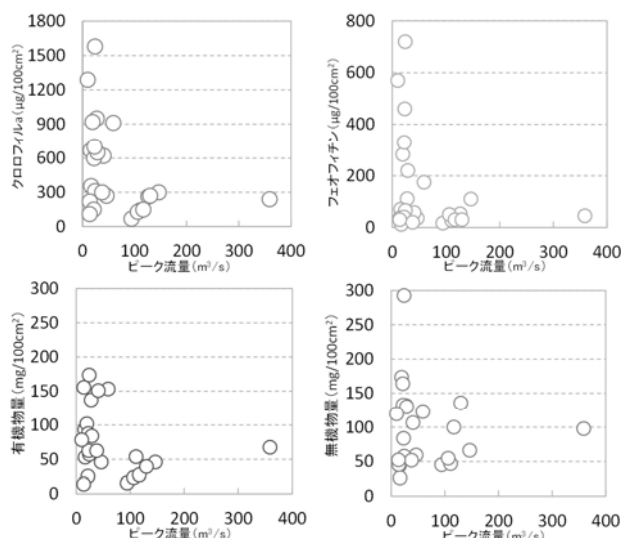


図-2 出水直後に実施した調査時の藻類現存量と出水ピーク流量の関係。

b) 出水前後の藻類現存量の変化割合

出水前の藻類現存量による剥離の受けやすさを確認するため、出水前の藻類現存量と出水前後の変化割合の関係を図-3及び図-4に示す。変化割合は、当該調査日より遡って約2週間以内に実施した調査結果との比較により算出した。出水規模との関係を確認するため、出水のピーク流量も図示した。ピーク流量が100m³/s以上の場合では、出水前のクロロフィルaの大小にかかわらず出水後に現存量が50%程度以上減少した。一方、ピーク流量50m³/s程度以下で、出水前のクロロフィルa量が500 µg/100cm²以下の場合には出水後に減少がみられないケースがあった。出水前のクロロフィルa量が500 µg/100cm²以上の場合には、ピーク流量50m³/s以下でも減少した。ただし、減少割合は小さい傾向にあった。フェオフィチンについても、クロロフィルaと同様な傾向がみられた。さらに、フェオフィチンの場合は、低流量時の減少割合がクロロフィルaより大きかった。

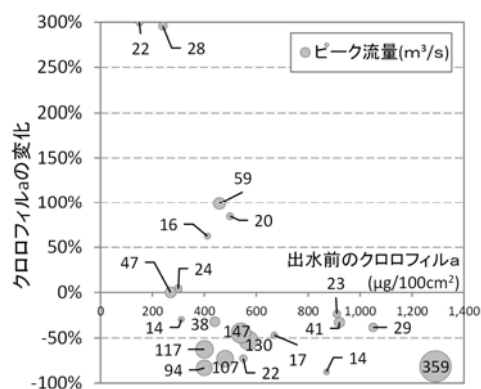


図-3 出水前後のクロロフィルa量の変化割合。

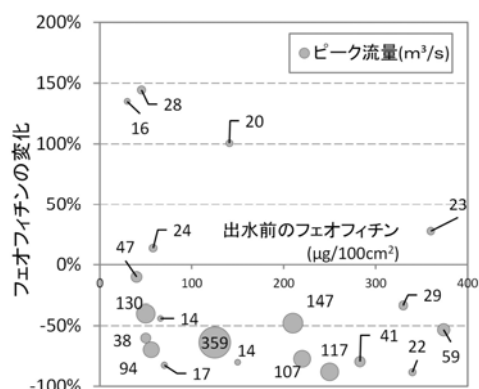


図-4 出水前後のフェオフィチンの変化割合。

c) ピーク継続時間と出水直後の藻類現存量の関係

ピーク継続時間による剥離の程度を確認するため、ピーク継続時間とクロロフィルa量等の関係を図-5に示す。なお、前述のとおり、剥離のしやすさは出水前の現存量に左右されると考えられることから、ここでは出水前の現存量が400～600 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ のケースに絞って整理した。クロロフィルa、フェオフィチンのいずれにおいても、ピーク継続時間と現存量の間に明瞭な傾向はみられなかった。ピーク流量が100 m^3/s 以上の場合では、ピーク継続時間に関わらず、50%程度以上減少した。

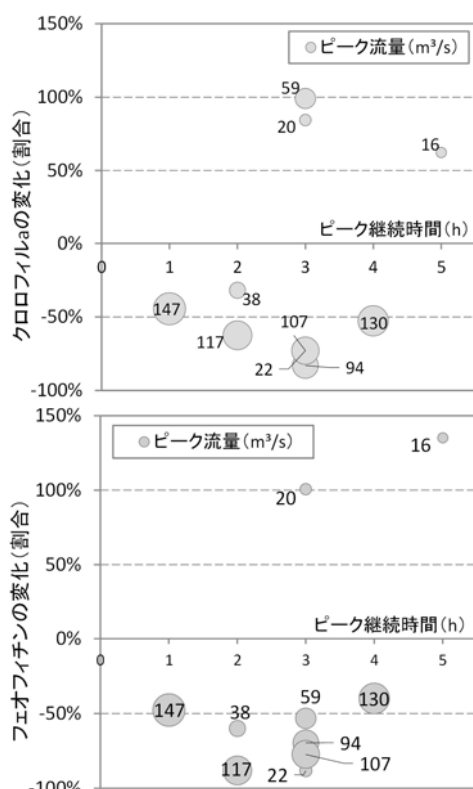


図-5 出水直後に実施した調査時の藻類現存量とピーク継続時間の関係。

(2) 中規模出水後の現存量の推移

出水を受けた後の藻類現存量の推移を確認するため、出水ピークからの経過日数とクロロフィルa量等の関係を図-6に示す。ここでは、出水をピーク流

量50 m^3/s 以上と定義した。出水後、10日程度までは概ね500 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 以下であり、その後に増加し、概ね15～30日の期間で最大となった後、減少する傾向を示した。出水後15～30日では、1000 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 程度を示すケースが多くみられた一方で、比較的小さな値を示す場合もみられた(500 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 程度またはそれ以下)。データが少ないものの、40日以降は500 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 以上となることは少なかった。

有機物については、クロロフィルaと同様に出水直後の低い値から30日頃まで増加する分布と、頻度は少ないものの、出水直後から30日程度まで比較的高い値(150 $\text{mg}/100\text{cm}^2$ 程度)を示す分布がみられた。40日以降に比較的低い値を示す点はクロロフィルaと同じであった。

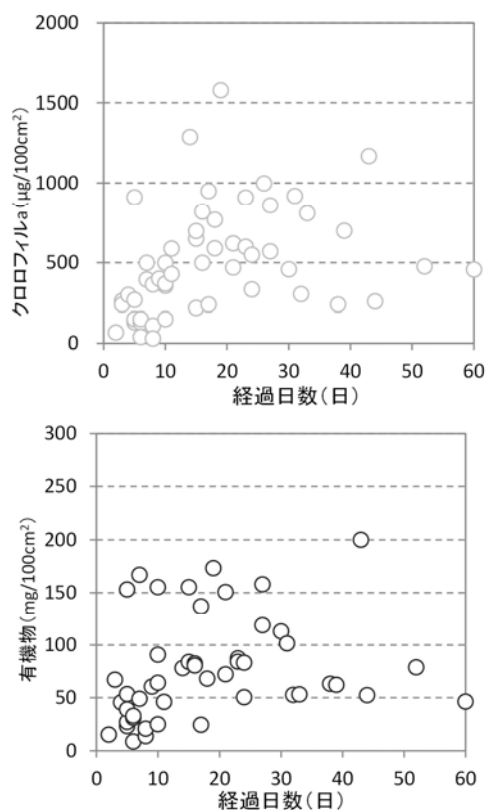


図-6 出水(ピーク流量50 m^3/s 以上)発生後の経過日数と藻類現存量の関係。

4. 考察

(1) 藻類剥離に対する影響要因

以下ではフラッシュ放流の実施にあたり、藻類剥離に影響する主要な要因について考察する。

藻類剥離は、流水による摩擦力、細粒土砂による研磨、礫の転石・移動による衝撃等によって生じ、概して言えばいずれも流量規模の大きいほうが剥離効果を得やすいと考えられる。今回収集した藻類データをもとに、出水直後のクロロフィルa等の現存量や、出水前後での変化を解析した結果、ピーク流量が100 m^3/s 以上の出水時に強制的に藻類剥離が生じていることが示唆された。調査地は上流にダム

がなく出水時には上流より土砂が供給されるため、細粒土砂による研磨作用が生じているものと考えられる。また、簡易的に長方形断面を想定し式(1)により $100\text{m}^3/\text{s}$ の際の水理量を算出すると(川幅15m, 粗度0.040, 径深=水深と仮定), 水深1.8m, 流速 3.7m/s である。また, 移動可能な礫の粒径を, 式(2)及び一様粒径を対象とした式(3)より算出すると20cm程度であることから, 比較的大きな礫の転石, 移動等による剥離も生じていると考えられる。サンプリングした礫の粒径も20cm程度であったことを鑑みると, フラッシュ放流により強制剥離を生じさせるためには, 剥離を促進したい粒径の礫が移動する程度の流量を設定することが方法の一つとして考えられる。

$$h = \left(\frac{nQ}{b\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (1)$$

h : 水深, n : 粗度係数, Q : 流量, b : 川幅, I : 河床勾配

$$u_* = \sqrt{gRi} \quad (2)$$

u_* : 摩擦速度 g : 重力加速度 (980cm/s^2) R : 径深

i : エネルギー勾配 (河床勾配で代用)

$$u_{*c}^2 = 80.9d \quad (3)$$

u_{*c}^2 : 限界掃流力, d : 粒径

既往研究では, 現存量が多い場合は比較的小さい流量でも剥離することが報告されている²⁾。本調査においても, クロロフィルa量が $500\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 程度以上の場合, ピーク流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ 以下の出水でも剥離したと考えられるケースがみられた。ピーク流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水でも剥離したと考えられたが, その減少の程度はピーク流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上の場合と比べて小さく, 剥離の効果としては比較的小さかったと考えられる。一方, フェオフィチンについてはピーク流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ でも50%以上の減少割合を示すことが多く, 比較的小さい流量でも藻類の質の向上に寄与する場合があると考えられる。流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ の際の移動可能な粒径を算出すると8cm程度であることから, 比較的大きな礫の転石等による剥離よりも, より小さな礫や砂利, 砂などの掃流による研磨の寄与が相対的に大きくなると考えられる。ただし, ダム下流では上流からの土砂供給が抑制されるため, フラッシュ放流と合わせて置土等による土砂還元も合わせて行うことが望ましい。

出水の継続時間も藻類剥離に影響する可能性がある¹⁾。しかし, ピーク継続時間とクロロフィルa, フェオフィチンの現存量の間に明瞭な傾向はみられなかった。 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量であれば1時間以内で剥離されると考えられる。 $50\text{m}^3/\text{s}$ 以下の場合, 前述の出水時の藻類現存量と継続時間が複合的に影響して剥離効果が左右されると考えられる。

(2) 剥離によって得られる効果

ピーク流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水後のクロロフィルaを時系列で整理したところ, 既往研究でも報告されているような藻類現存量の増加と, その後の減少が確

認された。出水後15~30日程度の間に最大値 $1000\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ またはそれ以上の値を示す一方で, 比較的低い値を示す場合もあるのは, 低流量時に自然剥離したことを示すものと考えられる。さらに, 40日以降では $500\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 程度の低い現存量で推移する傾向にあった。このことは, $50\text{m}^3/\text{s}$ 以上の比較的大きな流量が一定期間生起しないと, その後の現存量が低い状態で推移する可能性を示唆する。この現象は, $50\text{m}^3/\text{s}$ 以下の流量では十分な剥離効果が得られず, 古い藻類を含んだ付着膜が残されることが要因として起こるものと考えられる。

増量放流等により藻類を質的に向上させる効果が数多く報告されてきたが, アユ等の生物の餌資源として付着藻類を考えた場合, 量的な評価も同様に重要である。今回の結果は, 比較的大きな流量で強制剥離させることにより, そうでないときと比べ, その後の藻類現存量を増大させることができる可能性を示すものである。ただし, 出水から40日以降のデータが少ないこと, また, 河川上流部において自然剥離後に再増殖した事例³⁾もあることから, 今後同様の観点から検証を行うことが必要であろう。

フラッシュ放流を実施するには, そのための貯水容量が必要であるが, フラッシュ放流が必要なケースでは, 一定期間出水が発生していないことを意味する場合も多く, 渇水により必要な容量が確保できないことも想定される。しかし, 十分な剥離効果を得るための放流量が確保できない場合でも, 比較的小さい流量で藻類の質の改善に一定の効果が得られる可能性を本検討で示した。フラッシュ放流の導入段階においては, 放流量に見合った効果を想定して実施し, モニタリングを行ったうえで, よりよい運用方法を模索することが重要と考えられる。

5. おわりに

本報告では, 付着藻類の剥離に必要な条件、剥離後の生育特性及び剥離による効果を出水の流量条件に基づいて考察した。一事例ではあるものの, 10年以上に亘って蓄積されたデータに基づいて行った本検討の結果は, 一定の普遍性を確保できていると考えられ, 各地で検討されているフラッシュ放流の計画立案の際の参考になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 田中則和, 浦上将人, 宮川勇二: 生物の生息環境改善に資するフラッシュ放流計画手法, 河川技術論文集, 第9巻, pp. 103-108, 2003.
- 2) 浅見和弘, 影山奈美子, 山内尚也, 米内祐史, 沖津二郎, 小山幸男: 三春ダムにおける付着藻類の剥離に効果的なフラッシュ放流のタイミングの検討事例, 応用生態工学, 第19巻2号, pp. 203-210, 2016.
- 3) 森川和子: 河川の細菌群集—石面付着層の細菌群集を中心に—, 日本微生物生態学会報, Vol. 2, pp. 67-75, 1988.

タイムラプスカメラを用いた 洪水時の河道変化状況の把握

さわだやすのり なめかたとしたか ほそいひろあき かいつとしゆき
○澤田育則¹・行方敏剛²・細井寛昭¹・海津利幸¹

¹株式会社 建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13)

²国土交通省 木曽川下流河川事務所 (〒511-0002 三重県桑名市大字福島465)

本論文において調査対象とした大井川では、みお筋や砂州等の平面的な変化が大きく、水衝部の形成に伴う河岸侵食や洗掘により堤防の安全性への懸念が高まっている。堤防の被災要因のひとつに砂州による偏流などが挙げられることから、洪水時における砂州の挙動を把握することは重要である。

そこで本論文では、流量規模の異なる洪水時の砂州・流路の変動状況を確認するため、連続観測が可能なタイムラプスカメラを設置し、撮影画像から洪水時の詳細な砂州の変動状況进行分析するとともに、洪水規模と砂州の変動特性に関する考察を行った。

Key Words : 流路変動, 定点観測, タイムラプスカメラ, 洪水時, 洗掘, 侵食, 堆積

1. はじめに

網状流路を有する大井川下流部においては、これまでも河道や砂州形状に関する多くの論文が報告されており、近年ではこれらに関する管理方法について報告されている^{1), 2)}。

一方で、流路や砂州の管理のために実施されている定期測量の頻度は数年に一度であるが、大井川では、年に数回生起する中小洪水でも砂州形状やみお筋位置が変化する³⁾ため、現在の定期測量や航空写真の頻度では洪水毎の流路の変化を把握することは困難である。例えば、複列砂州を有する(図-1下段)11k~14kでは、H27.3測量では左岸側から右岸側にみお筋が形成されているが、H29.2測量では右岸側から左岸側にみお筋が形成しており、流路や砂州の形状が大きく変化しているのが確認できる。この間(H27とH28)の神座地点における平均年最大流量は2,500m³/s程度である(図-1上段)が、定期測量実施間(H27.3とH29.2の間)の流路や砂州が、どの程度の規模・頻度の洪水により変動したかは不明である。

流路および砂州がどの程度の規模・頻度の洪水により変動したかを把握するためには、洪水間及び洪水中における時間間隔を密として流路・砂州の状況を捉える必要がある。そのため、本論文では定点において一定時間間隔で写真撮影を行い、洪水毎に洪水前後の流路変化や表層の河床材料変化を把握することを目的とし調査を実施した。このとき、洪水期間中の水位の上昇・下降、砂州前縁部の変化および

樹木・植生の流出状況などについても時系列的変化に着目して検討した。

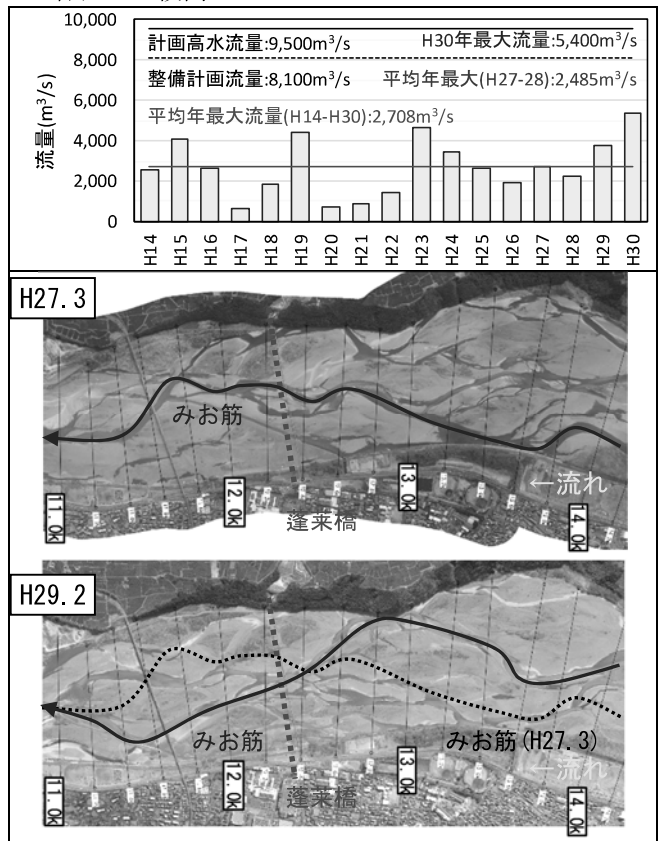


図-1 神座地点における年最大流量の変化(上段)と蓬萊橋周辺(11~14k付近)の河道変遷(下段、航空写真)

2. 砂州および流路の観測手法

(1) 設置機器

設置する機器は、一定時間間隔で写真撮影を実施できるタイムラプスカメラ(以降、TLC)とした。設置したTLCの概要を表- 1、図- 1に示す。

表- 1 使用したカメラの概要

項目	内容
カメラ	CBR-BC100(Brinno社)
画角	112°
撮影間隔	5min.
防水性	IPX4
温度環境	0～60℃
電源	単三電池4本

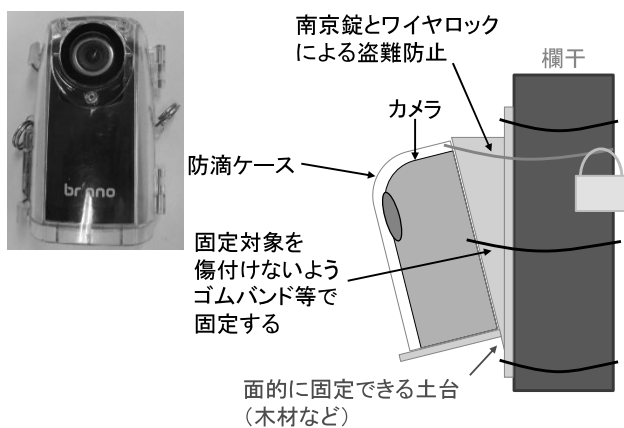


図- 2 カメラ設置イメージ

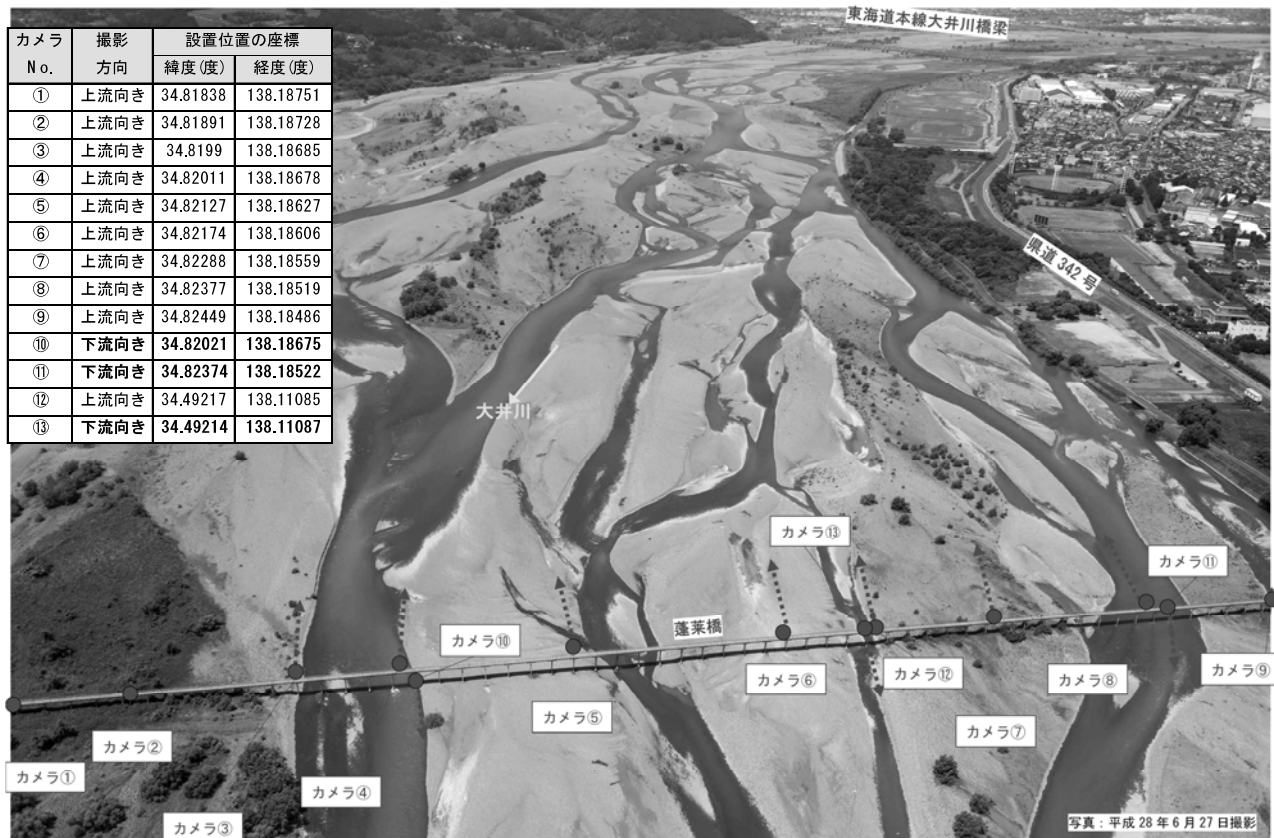


図- 4 カメラ設置位置

(2) 設置箇所

砂州変動が大きい大井川下流部において、砂州や流路形状を詳細に把握するため、以下の3条件を満たす蓬萊橋(12.4k付近)に最大12基のタイムラプスカメラを設置し、平成30年6月～11月の5ヶ月間連続して観測を実施した。

- ① 砂州形状やみお筋の変化が大きい区間である
- ② 俯瞰的な画角確保のため河道から10m程度の高さに設置可能である
- ③ 横断構造物等の利用により横断的な状況を把握することできる地点である

なお、カメラのメンテナンスとして機器の画角修正、電池交換などを1回/月の頻度(図- 3)で実施した。

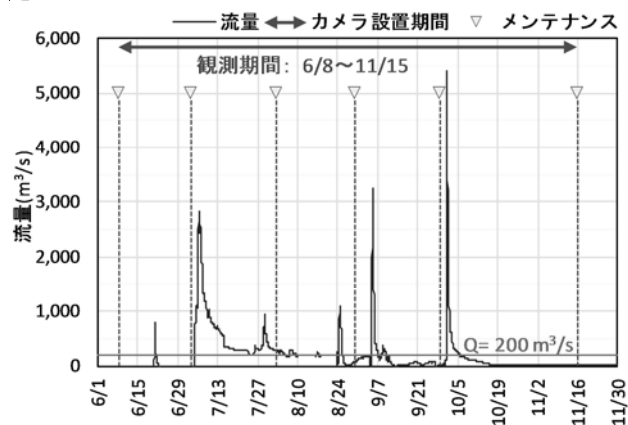


図- 3 神座地点流量(H30)とメンテナンス時期

3. 成果

(1) 観測結果

基準地点(神座)で $200\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量規模となった6洪水(表-2)を対象に、各洪水期間中の撮影画像を確認した。ここでは、カメラ⑧における観測結果を例として示す。

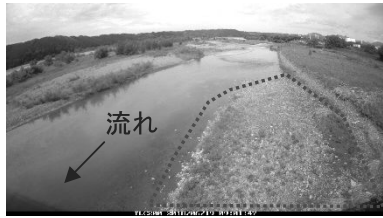
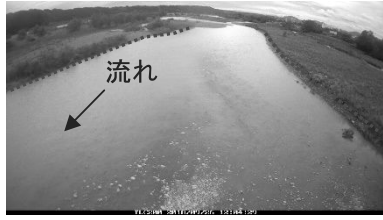
洪水前から洪水後における変化を表-3の通り整理した。ピーク流量が $800\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水①においては、水位が上昇し写真右側の砂州全体が冠水するものの砂州前縁部などに変動はない。しかし、ピーク流量が $2,800\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水②では、草本と一緒に写真中央と右側の砂州が流出していることが確認できる。さらに、H30で最大の洪水となったピーク流量が $5,400\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水⑥においては、洪水時の水位上昇によりカメラ⑧の画角全域で冠水し、既

往の洪水により削られ切り立っていた写真右側の砂州前縁部は移動し、流路と砂州の横断的な凹凸が均されている事が撮影写真から確認できた。

表-2 検討対象とした洪水

洪水 No.	期間		最大流量 (m^3/s)	最大流量 観測日時
	開始	終了		
①	H30.6.20 23:00	H30.6.21 10:00	799	H30.6.21 3:00
②	H30.7.4 23:00	H30.7.25 6:00	2,829	H30.7.6 17:00
③	H30.7.25 18:00	H30.8.5 17:00	937	H30.7.29 9:00
④	H30.8.24 3:00	H30.8.25 17:00	1,104	H30.8.24 18:00
⑤	H30.9.4 20:00	H30.9.7 2:00	3,249	H30.9.5 6:00
⑥	H30.9.30 23:00	H30.10.5 19:00	5,400	H30.10.1 4:00

表-3 カメラ⑧における観測結果(撮影写真)

No.	洪水前	洪水中	洪水後
洪水 ①	6/19 9:00 $Q=0\text{m}^3/\text{s}$ 	6/21 5:00 $Q=753\text{m}^3/\text{s}$ 	6/23 13:00 $Q=0\text{m}^3/\text{s}$ 
洪水 ②	7/4 9:00 $Q=0\text{m}^3/\text{s}$ 	7/6 17:00 $Q=2,829\text{m}^3/\text{s}$ 	7/24 9:00 $Q=202\text{m}^3/\text{s}$ 砂州・草本の流出 
洪水 ⑥	9/26 12:00 $Q=75\text{m}^3/\text{s}$ 	10/1 8:30 $Q=3,662\text{m}^3/\text{s}$ 	10/6 12:00 $Q=166\text{m}^3/\text{s}$ 横断的な凹凸が均される 

※流量は神座地点流量

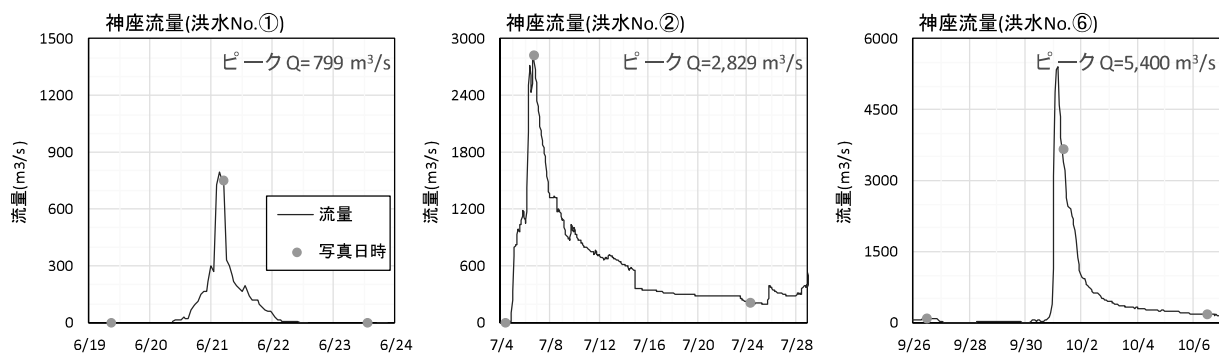


図-5 神座地点における流量の時間変動

(2) 変動特性

横断的に観測を行った全地点について、冠水、侵食、堆積、樹木流出の4つの観点から整理すると表-4の通りとなる。これを各洪水のピーク流量と比較したものを図-6に併せて示す。

図-6より、洪水のピーク流量規模に応じ、4つの項目すべてで地点数が増加する傾向がみられる。また、侵食、堆積、樹木流出の3項目については、洪水が一定規模(1,000m³/s程度)を超えた場合に増加傾向に転じていることがわかり、現地確認時においてもTLC未設置地点での流路変動が確認された(表-5)。これは、1,000m³/s程度のピーク流量の出水でも河床変動が起こるとした溝口らの研究成果³⁾とも一致する。

4. まとめ

洪水時における砂州や流路の変動状況を把握するため、タイムラプスカメラを設置し、撮影結果について考察を行った。

ピーク流量1,000m³/s程度の洪水においても砂州の侵食や草本の消失状況が確認されたことから、中小規模洪水でも砂州やみお筋の移動に伴い河岸侵食が生じ、堤防の安全性が低下し得ることが確認された。以上から、洪水毎の河床変動状況の把握が重要であるため、高頻度な測量の実施やUAVを用いた定期的な空撮等による洪水毎の河道変化状況の確認とこれを踏まえた河道管理や水衝部対策が望まれる。

タイムラプスカメラを用いることで、河床変動という現象について時間的な変動を密に捉えられることが分かった。一方で、写真撮影という手法上、水面下の変動や撮影距離がある場合については不明確となってしまう。そのため、上記で挙げたUAVなどを併用することで、より詳細な状況把握することが可能となる。今後、見た目の状況が時々刻々と変化する事象に対して、画像解析などの技術も合わせることで水面下の現象も把握でき、効率的な河道計画や河道管理を実施するための有用なツールとなり得ることが期待される。

謝辞：本論文は名城大学溝口教授が実施した河川砂防技術研究開発公募地域課題研究の一環で大井川の

出水時の変動を捉えるために取得したタイムラプスカメラのデータを提供頂いた。また、本論文における諸データは国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所より提供頂いたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 溝口敦子：網状流路を有する大井川を例とした移動床河道の維持管理に向けた課題と展望，河川技術論文集，第24巻，pp.209-214，2018。
- 2) 赤堀良介，溝口敦子，石黒聡士：網状流路を有する大井川における植生域消失と流路変動の関係，河川技術論文集，第24巻，pp.215-220，2018。
- 3) 溝口敦子，赤堀良介：多列砂州を有する大井川の河床変動特性と，流量時系列の変化が河床変動へ及ぼす影響，河川技術論文集，第23巻，pp.537-542，2017。

表-4 洪水時の変動状況(全地点)

洪水 No.	最大流量 観測日時	最大流量 (m ³ /s)	状況			
			冠水	侵食	堆積	樹木流出
①	H 30.6.21 3:00	799	△ (6/10)	× (1/10)	× (0/10)	× (0/10)
②	H 30.7.6 17:00	2,829	○ (9/10)	× (4/10)	△ (6/10)	× (3/10)
③	H 30.7.29 9:00	937	△ (7/10)	× (1/10)	× (0/10)	× (0/10)
④	H 30.8.24 18:00	1,104	○ (8/10)	× (2/10)	× (2/10)	× (1/10)
⑤	H 30.9.5 6:00	3,249	○ (10/10)	△ (5/10)	× (4/10)	△ (5/10)
⑥	H 30.10.14 00	5,400	○ (12/12)	○ (10/12)	△ (6/12)	△ (8/12)

○：8割以上の地点で砂州・流路が変動、△：半数以上の地点で砂州・流路が変動、×：砂州・流路の変動が1箇所以下
カッコ内：変動地点数/観測地点数

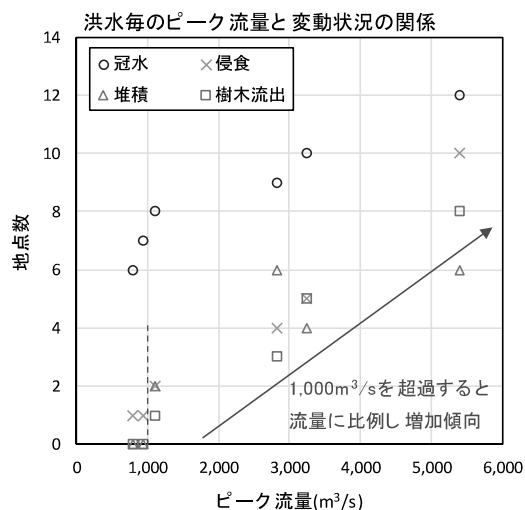


図-6 各洪水のピーク流量と変動状況の関係

表-5 1,000m³/s規模出水の現地における流路変動状況(画像は現地確認時のデジカメ撮影画像)

流量	カメラ⑫地点付近 8/2 12:00	カメラ⑫地点付近 8/29 13:00
神座流量 ピークQ=1,104 m³/s		ピーク流量1,000m³/s程度の出水で新たな流路が形成

平成30年7月豪雨災害対応の 事例紹介（津保川）

こばやしゆうすけ とりいよしひと せきやよしひろ
○小林雄介¹・鳥居義仁¹・関谷芳弘¹

¹いであ(株) 名古屋支店（〒455-0032 愛知県名古屋市港区入船1-7-15）

平成30年7月豪雨は、全国各地に甚大な被害をもたらした。中山間地を流れる木曽川水系津保川においても、降雨が集中した中上流部では、氾濫による被害が発生し、地域社会に深刻な影響を及ぼした。本業務は、平成30年7月豪雨を契機に新たな治水計画の立案を行いつつ、特に早期の事業効果発現を図るため、短期的な整備方策に注力したものである。

本業務において立案した治水計画は、岐阜県と国土交通省の度重なる協議を踏まえて作成したものであり、この結果、津保川は、平成31年度に新たに創設された浸水対策重点地域緊急事業の適用された全国初の河川となった。

Key Words：平成30年7月豪雨，浸水対策重点地域緊急事業，治水計画，事業効果発現，超過洪水，上下流バランス

1. はじめに

近年、気候変動の影響が顕著化しつつあり、豪雨の頻発化・激甚化による水災害の発生が懸念されている。平成30年7月豪雨では、全国各地で甚大な被害が発生した。木曽川水系津保川においても、局地的に大雨が降り、中上流部に被害が集中し、床上・床下の浸水被害が多数発生した。本稿では、平成30年7月豪雨により被災した木曽川水系津保川が、新たに創設された浸水対策重点地域緊急事業が採択されるまでの経緯を報告する。

2. 現状について

(1) 流域概要

木曽川水系津保川は、関市上之保から源を発して、関市上之保、武儀、加茂郡富加町を流下し、関市街地を経て、長良川に合流する流域面積292km²、幹川流路延長45.8kmの一級河川である。

(2) 河川整備計画の概要

津保川の全体計画は平成9年11月に認可を受け、掘削、護岸工等の改修が進められている。平成7年までの主要22洪水の各計画降雨パターンについて、引き伸ばし率2倍以上の洪水を除いて選定した結果、全体計画と同様の昭和42年6月型で設定している。平成30年7月洪水発生時点における津保川の既往整備計画は、全川50kのうち、下流部

の0k～10k区間を対象に、雨量確率1/20規模（280mm/2day）の洪水に対して、洪水の安全な流下を目標とした計画であった。

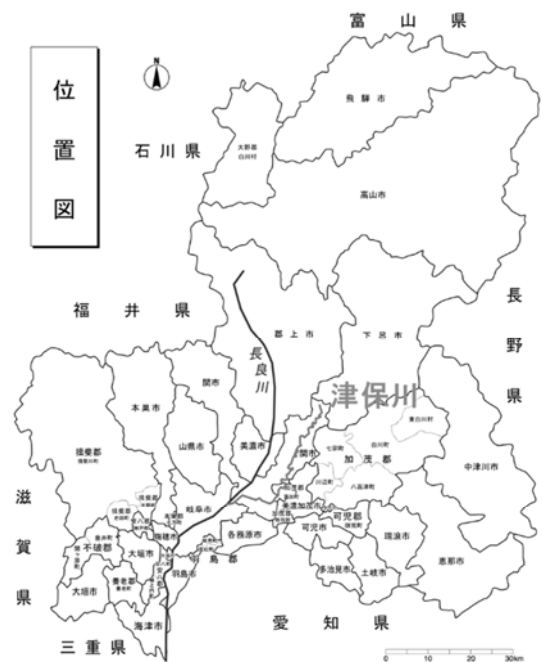


図-1 流域図



図-2 河川整備計画区間(平成30年7月洪水発生時点)¹⁾

3. 津保川の洪水被害

(1) 降雨・水位の概況

津保川はこれまで度重なる水害を受けてきた河川であり、平成以降の近年では平成11年9月洪水により、中上流部に被害を受けた。さらに、平成30年7月豪雨においても局所的に大雨が降り、中上流部に被害が集中し、甚大な被害が発生した。図-3に示す通り平成11年9月及び平成30年7月の洪水は、流域平均2日雨量を超過している。

平成30年7月豪雨時で、下之保観測所の実績水位は、8日の2時頃に氾濫危険水位を超過し、ピークを迎えた4時頃では、氾濫危険水位を約1.6m上回り、溢水被害が生じた(図-4)。

図-5に示す雨量分布図・等雨量線図によると平成30年7月豪雨では、被害が甚大であった中上流部で降雨量の大きい降雨分布を示し、浸水被害が生じていない下流部では比較的降雨量が小さい。一方で、平成11年9月洪水では、上流部の一部でやや大きい降雨量が確認できるが、平成30年7月洪水に比べ地域分布の偏りが小さいことが確認できる。

洪水規模は、甚大な被害が生じた中上流部を対象にすると、平成11年9月洪水では雨量確率1/10規模であることに対し、平成30年7月豪雨では、響野川上流で雨量確率1/10以上の超過洪水となっている(図-6)。

災害に係る事業の指定状況については、平成30年7月豪雨による甚大な被害を受けた岡山県、広島県、愛媛県は、激甚災害対策特別緊急事業の指定を受けたが岐阜県の指定はなかった。

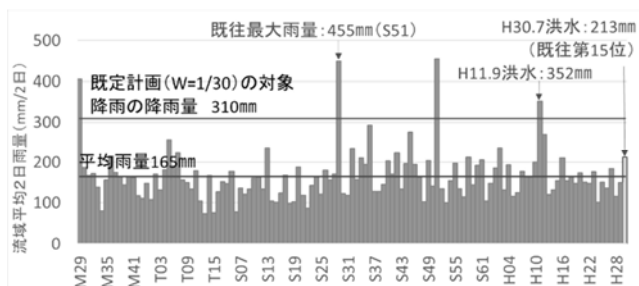


図-3 年最大2日雨量(津保川流域平均雨量)

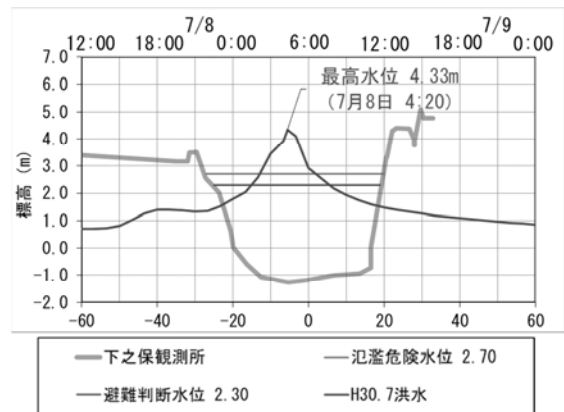


図-4 平成30年7月豪雨時の下之保観測所水位

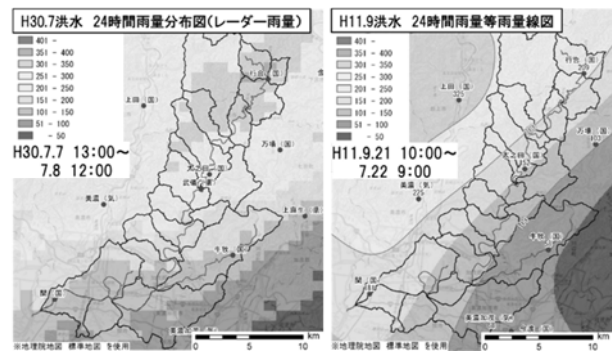


図-5 雨量分布図・等雨量線図

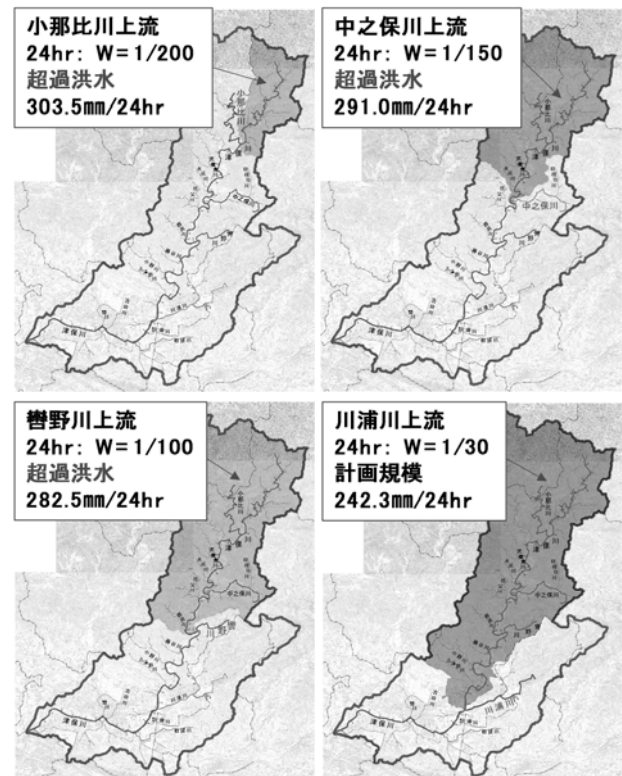


図-6 流域平均雨量(平成30年7月豪雨)

(2) 浸水状況

平成11年9月洪水及び平成30年7月豪雨における浸水状況を次頁に整理した。平成30年7月豪雨では平成11年9月洪水を大きく上回る浸水家屋被害を受けた。



図-7 平成30年7月豪雨の浸水状況

表-1 洪水規模比較表

項目	平成11年9月洪水	平成30年7月 豪雨
家屋被害 (床上)	34戸	230戸
家屋被害 (床下)	47戸	139戸
浸水面積	216.4ha	283.8ha

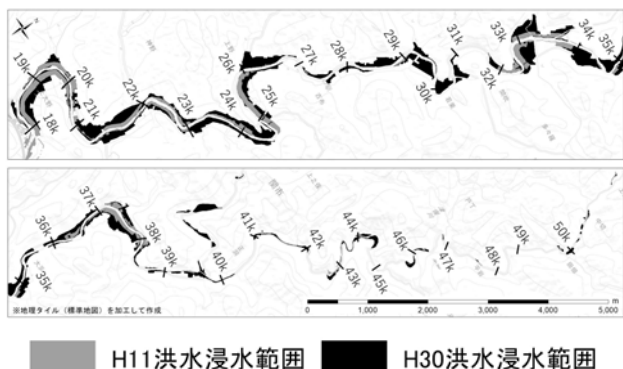


図-8 浸水域図（平成11年9月・平成30年7月洪水）

4. 新たな浸水被害対策の目標

流出計算（貯留関数）による再現流量は、関観測所で $1,340\text{m}^3/\text{s}$ と算定され、 $W=1/30$ 流量を超過する。肥田瀬観測所では $W=1/50$ 流量を超過する約 $1,290\text{m}^3/\text{s}$ 、下之保観測所では $W=1/100$ 流量程度の $1,030\text{m}^3/\text{s}$ と算定される。平成30年7月豪雨により被災した津保川では、早期事業実施及び効果発現が望まれる中、超過洪水に対する整備を踏まえて、新たな浸水被害対策の設定が必要となる。

(1) 下流部の手戻り

上下流バランスに配慮した場合、下流部は雨量確率 $1/20$ で整備されているため、今次洪水に対応した際に下流部の手戻り整備が生じることから整備に要する時間及び費用が必要となる。

(2) 中上流部のみの整備

被害甚大であった中上流部のみを整備対象とし

た場合であっても、今次洪水に対応した整備を行うには膨大な時間と費用がかかるため、早期事業実施及び効果発現は困難である。

(3) 洪水の安全な流下

計画高水位以下となる洪水の安全な流下を目標とした場合には、今次洪水が超過洪水であるため、膨大な時間と費用を要する。

(4) 重要施設（要配慮者利用施設等）

平成30年7月豪雨では、要配慮者利用施設においても床上浸水が発生したことから、人命を最低限守る再度災害防止の観点から区域内の要配慮者利用施設の床上浸水を解消する。流域の住民の願いが込められた短冊から地域社会の復興への強い思いがくみ取れる（図-9）。



図-9 住民の願い
(令和元年7月 上之保生涯学習センター)

5. 浸水対策重点地域緊急事業の概要

平成30年7月豪雨を契機に、平成31年に「浸水対策重点地域緊急事業」が新たに創設された。当事業は、中小河川の氾濫により浸水被害が発生した地区において、早期に被害の解消等を図るため、ハード・ソフト一体となった改修計画に対し、防災・安全交付金で重点的に支援する制度である。

例えば、他制度の床上浸水対策特別緊急事業と比較した場合、浸水家屋数の計上項目や浸水戸数の数え方が比較的採択されやすいような事業内容となっている。次頁に示す採択要件を満足した津保川は、浸水対策重点地域緊急事業に採択された。なお、平成30年7月豪雨において区域内の浸水した重要施設を図-9に示す。

また、平成30年7月豪雨災害における浸水対策重点地域緊急事業の事業規模は、木曾川水系津保川が約48億円、左会津川水系左会津川が約18億円、佐野川水系佐野川が約17億円、筑後川水系山ノ井川が約24億円、遠賀川水系庄内川が約16億円であった。津保川では災害が縦断的に広範であった特性を有したことから事業規模も大規模となった。

【採択要件】

- ①被災実績の評価期間：過去概ね10年間
- ②被害回数：1回以上
- ③浸水家屋数：床上50戸以上，合計200戸以上
- ④区域内の重要施設（要配慮者利用施設等）：浸水あり
- ⑤浸水戸数の考え方：1回の浸水戸数



図-10 重要施設（津保川中学校）

6. 新たな河川整備計画の立案と浸水対策重点地域緊急事業の適用

限られた費用と時間の中でも、資産被害はやむを得ず許容するが、人命は最低限守ることを念頭に下記の計画を立案した。

(1) 計画の考え方

a) 上下流バランス，手戻り整備，及び被害実態を踏まえた洪水規模

当面（概ね30年間）は，既往整備計画における下流部の整備規模と同程度であり，また，今次洪水と同様に中上流部で被害甚大であった平成11年9月洪水と同規模の洪水を目標洪水とする。

b) 整備区間・整備期間

被害甚大であった中上流部を対象とした計画を新たに立案する。計画は，短期（5年間）において早期の事業効果発現のために重点的な投資を行い，中期（概ね30年間）で事業を完了する短中期の段階計画とする。

c) 整備目標（水位）

短中期計画のいずれも計画高水位の超過は許容し，更に短期計画では溢水も許容する。具体の整備目標は，短期（5年間）では，平成11年9月洪水と同規模の洪水に対して，田畑等の浸水被害を許容するものの住家浸水を解消し，中期（概ね30年間）では，川浦川合流点より上流に対して浸水被害を解消する。なお，川浦川合流点下流は，現行を踏襲し，雨量確率1/20規模の流量の安全な流下とした。また，これらの計画は，今次洪水に対しても段階的に浸水被害を少しでも小さくし，短期では要配慮者利用施設の床上浸水を解消するものである。

(2) 計画の実現可能性

事業費は，現況河道から短期河道までに約50億円，短期河道から中期河道までに約50億円であり，単年事業費の多額な短期では国の防災・安全交付金（浸水対策重点地域緊急事業）を集中的に投資することとなった。このため，これら短中期事業は所定の事業効果を得つつ，課題であった費用と時間の観点からも実現可能性の高い計画と言える。

7. まとめ

平成30年7月豪雨による災害を契機に，中小河川の氾濫により深刻な影響が生じた地域において再度災害防止を図ることを目的とした浸水対策重点地域緊急事業が平成31年3月に新たに創設された。本業務において立案した治水計画は，岐阜県と国土交通省の度重なる協議を踏まえて作成したものであり，この結果，津保川は，浸水対策重点地域緊急事業の適用された全国初の河川となった。

謝辞：本業務の実施にあたり，岐阜県庁，美濃土木事務所の関係者の皆様には多大なるご指導，ご協力を頂き感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 岐阜県：一級河川木曽川水系長良川圏域河川整備計画，2006。

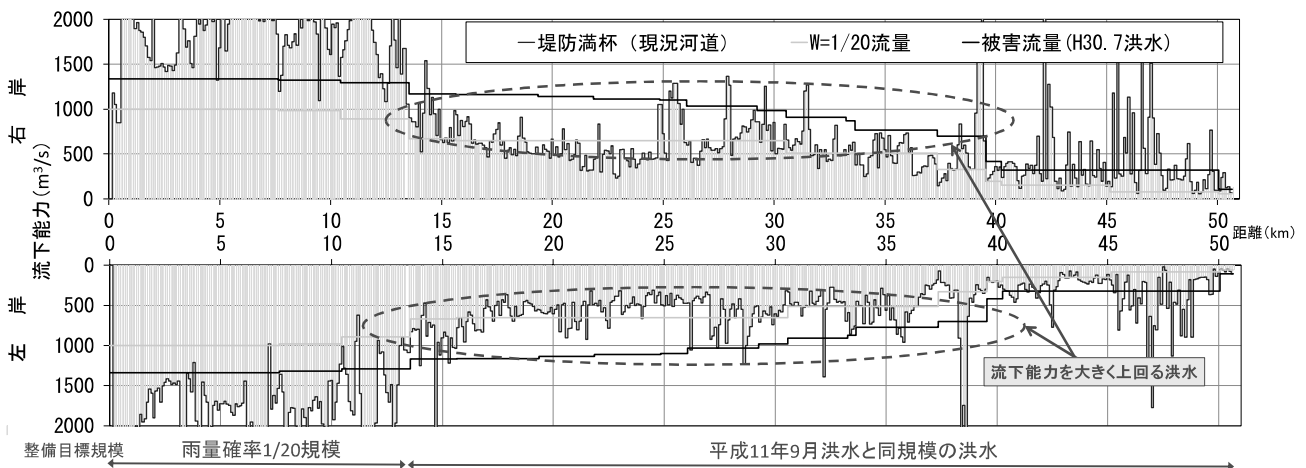


図-11 流下能力図

都市公園における民間活力導入検討

た な か じ ゅ ん き き む ら ひ か る あ さ の せい い ち
○田中 順己¹・木村光¹・浅野誠一¹

¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11-23）

愛知県豊田市の鞍ヶ池公園は昭和40年の供用開始以降、施設の老朽化が進行するとともに、利用者ニーズの多様化から、魅力向上に向けた検討の必要性が高まっている。また、人口減少、少子高齢化による財政制約が深刻化する中で、施設の適切な更新、公園の質の向上が重要となっている。本業務は、鞍ヶ池公園において、民間事業者の資金やノウハウを活用した施設整備や管理運営の推進による更なる魅力の向上、維持管理の効率化に向け、民間事業者への市場調査を実施し、民間活力導入手法の検討、公募に向けた資料作成等を行ったものである。

Key Words：都市公園、民間活力導入、市場調査、公園再整備

1. 公園の現状と民間活力導入推進の課題

鞍ヶ池公園は、豊田市街地から東に約6kmに位置する、鞍ヶ池を中心に周囲を自然に囲まれた自然に憩うファミリーパークとして整備された、面積約105haの風致公園である。主な施設は、水辺デッキ、室内遊戯場、水遊び場、大屋根、動物園等が存在する他、東海環状自動車の鞍ヶ池PAと隣接しており、高速道路から直接アクセスが可能であり、年間約130万人が訪れる観光施設である。

一方で動物園の老朽化、園内の飲食施設の不足、園地南側の樹林地を始めとする未活用エリアが多く存在することが課題となっている。また公園の維持管理・運営は市の直営であり、今後は維持管理・運営の効率化も求められている。

こうした状況を踏まえ、民間活力の導入に向けた課題を以下に整理する。

- ・公園への市民の愛着を踏まえ、既存施設に対する意見を把握した上で、市民ニーズを踏まえた民間活力導入範囲、導入サービスの検討
- ・民間事業者にとって参画しやすい事業とするために、事業者のインセンティブ向上に向け、事業採算性や継続性の確保に向けた条件の把握
- ・市民、民間事業者双方のニーズを考慮し、本公園における最適な事業手法の検討

2. 業務の流れ

市民ニーズを満たす民間サービスの導入に向け、ニーズを把握した上で民間活力導入の方針を検討し、市場調査を行う方法が採用された。ニーズの把握にあたっては、利用者が求めるサービスの提供が最も重要と捉え、公園利用者のニーズを把握することを提案した。業務の検討フローを以下に示す。（図-1）

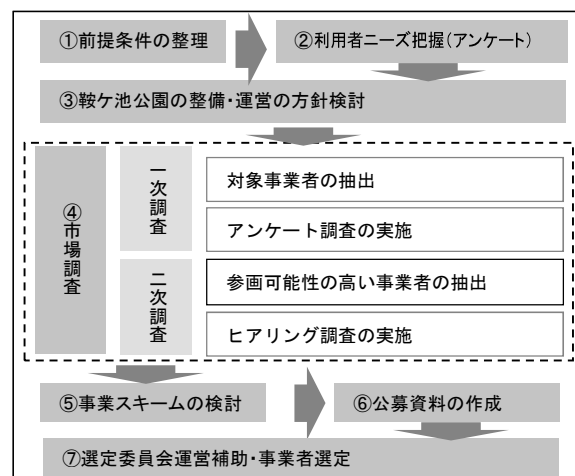


図-1 業務検討フロー

3. 利用者ニーズの把握

(1) 調査概要

利用者ニーズの確認に向け、アンケート調査を行った。調査概要を以下に示す。（表-1）

表-1 調査概要

項目	内容
サンプル数	目標 150 票(実績 休日:263 票 平日:140 票)
調査内容	・公園の利用目的 ・導入施設の要望 ・利用満足度 ・実施イベントの要望

(2) 調査結果

既存施設の満足度は、プレイハウス等の経過年数の短い施設に加え、動物園等の古くから存在する施設においても高い傾向が見られた。

ほしい施設は、キャンプフィールド・自然の中で遊べる施設の割合が高い傾向にあり、公園の魅力である自然を活用した屋外レクリエーション施設が求められた。また、公園への飲食物販施設の導入が望まれていることが確認された。

4. 鞍ヶ池公園の整備・運営の方針検討

アンケート結果より、既存施設は利用者満足度が高く、多くの利用者に存続が望まれているため、基本方針は既存の公園施設を活かしつつ、新たなサービスを導入することを提案し、以下の方針が採用された。

<基本方針>

- ・雄大な自然景観の美しさと居心地の良い佇まい、入園料無料で楽しめる現在の公園の良さを継続する
- ・人と人が交流し、楽しめる魅力的な公園づくりに向け、広大な園内と既存施設の有効利用を図りつつ、新たなコンテンツの提供により、公園のミライ空間づくりを実現する
- ・広域からの集客、カップルや若年層等の新たな客層の集客を図る

民間事業者に期待する役割・サービスは、基本方針、既存の公園のゾーニングより以下の内容を提案した。

<民間事業者に期待する役割・サービス>

①利用者ニーズに応えた新規コンテンツの導入を図る

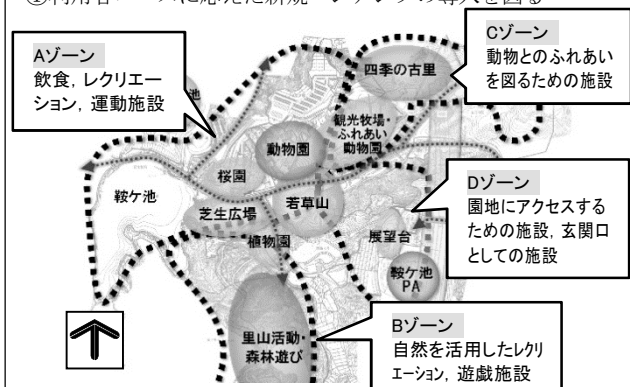


図-2 公園ゾーニング図

- ②イベントの実施、市民協働の推進、文化教育の強化等、サービスの多様化と質の向上を図る
③維持管理の効率化による財政負担の軽減を図る

5. 市場調査

市場調査には大別して以下の2通りの方法がある。

表-3 一次調査結果の概要

業種	事業者	事業者区分	参入意向	希望する事業内容			具体的な事業内容、望ましい参入条件
				園地維持管理	民間収益事業	事業期間	
デベロッパー	A社	全国	◎	○	○	7年以上	レクリエーション施設、飲食施設等の収益施設の導入、指定管理
	B社	全国	○	△	△		実績がないため、他の事業者との連携含め今後検討
	C社	地元	◎	○	△	15年以上	
	D社	地元	◎	△	○		遊戯施設、飲食施設、アウトドア施設等の収益施設の導入
リース	E社	全国	○	△	○		アウトドア施設、スポーツ施設、遊戯施設等の収益施設の導入
	F社	全国	○	○	△		園地の管理実績のある事業者との事業体
文化教育観光施設	G社	地元	◎	○	△		P-PFIによる施設整備に取組意向あり
	H社	全国	◎	○	○		飲食施設、アウトドア施設等の収益施設の導入、指定管理
園地の維持管理・造園	I社	全国	○	○	△		
	J社	地元	◎	○	○		
	K社	地元	○	○	△		
	L社	地元	◎	○	△		
アウトドア・アスレチック関連	M社	全国	○	-	○		指定管理によるアウトドア施設の運営、アウトドア用品の物販
	N社	全国	○	-	○	10年以上	自然を活用したレクリエーション施設の導入
	O社	地元	◎	-	○	15年以内	自然を活用したレクリエーション施設の導入
スポーツ関連	P社	全国	○	○	△		スポーツ施設が導入されるなら参画の検討は可能
	Q社	全国	×	-	-		
子どもレクリエーション関連	R社	全国	◎	-	○	15年程度	遊戯施設の導入、プレイハウス遊具の更新・指定管理
	S社	全国	◎	-	○		高低差処理のための移動施設、レクリエーション施設の導入
動物関連	T社	全国	◎	○	○		
	U社	地元	◎	-	△	10年以上	乗馬施設の導入
飲食関連	V社	全国	○	-	○		飲食施設等の収益施設の導入
SA関連	W社	全国	○	○	○		アウトドア施設、自然を活用したレクリエーション施設の導入

<凡例> 参入意向 ◎: 大変関心がある ○: 今後参入を検討したい ×: 関心がない 希望する事業内容 ○: 関心がある △: 関心が低い

- ①行政が公園の課題を提示し、それをもとに民間事業者が得意なこと、できることを自由に提案する方法
- ②行政側が求めるサービスを整理し、サービスを提供できる民間事業者を対象に調査する方法

民間事業者に期待する役割・サービスを具体化するための条件確認を目的に、②の方法を提案した。調査は2段階で実施し、効率的な進捗を目指した。

<一次調査>: アンケート調査

民間事業者へ本事業について周知するとともに、民間事業者のアイデアや関心の度合いを把握する

<二次調査>: ヒアリング調査

望ましい事業スキームや想定されるリスク等、今後の事業化に向けた具体的な条件を確認する

(1) 一次調査

a) 対象事業者の抽出

調査の対象とする事業者は、期待する役割・サービスに基づき、以下の考え方での抽出を提案し、全52の事業者を抽出した。

<対象事業者の抽出条件>

- ・飲食、自然を活用したレクリエーション施設等、利用者ニーズの高い施設ノウハウを持つ事業者を抽出
- ・家族連れや高齢者等の利便性、快適性の向上に向けた園内モビリティの導入が可能な事業者を抽出
- ・公園の維持管理、イベント運営、情報発信等、園地の管理に必要な技術を有する事業者を抽出
- ・地域活性化の観点から、地元企業も含めヒアリングを実施し、全国規模の事業者と地元企業を組合せた実施体制を想定

b) 調査の内容及び調査方法

収益事業、公園の維持管理業務への関心から参入条件まで、幅広い意見の確認を行った。(表-2)

表-2 一次調査項目

調査項目
本業務への関心
希望する事業内容(園地の維持管理、民間収益事業 等)
具体的な事業内容、望ましい参入条件
公園整備コンセプトについて

c) 調査結果の分析

調査への回答があった23社（回答率44.2%）のうち、意向があると回答した事業者は22社確認された。（表-3）民間活力導入の実績がある事業者が関心を示す傾向が強く、飲食事業やレクリエーション等の収益が見込める施設の整備や園地全体の指定管理を要望する事業者が多数見られた。全国規模のリース、デベロッパー、造園会社は指定管理とPark-PFI両方で関心を示す事業者が見られた。

(2) 二次調査

a) 調査方法

一次調査で参入意向があると回答した22社のほか、調査後に関心を示した事業者を含めると24社であった。そのうち一次調査における提案内容を踏まえ、14社を調査対象とした。

二次調査は具体的な参入条件や想定されるリスクを確認するために、以下のポイントを踏まえ、一次調査の結果を掘り下げる形で実施した。

<ヒアリングのポイント>

- ・減価償却を踏まえた適切な事業期間
- ・希望する事業スキーム（共同事業体の可能性の有無）
- ・想定リスクと解消に向けた条件や市への要望

b) 調査結果の分析

二次調査結果の概要を以下に示す。（表-4）

飲食、レクリエーション施設等の収益が期待できる施設は民間投資による施設整備が可能との意見が多く出たものの、事業期間は、減価償却の期間を踏まえ、10年以上の長期での要望が複数確認された。

表-4 二次調査結果の概要

業種	事業者	区分	望ましい民間収益事業 業種・場所	望ましい 事業スキーム	望ましい官民の役割分担・条件等	想定されるリスク
デベロッパー	A社	全国	・池周辺でカフェ・遊具の複合施設 ・PAからのモビリティ ・池越えジップライン	・園地全体の指定管理＋P-PFI	・動物園の運営管理も可能 ・指定管理とセットであれば、直営の飲食施設でも採算が取れる可能性あり	・PAをつなぐリフトがあるとよいが、民間投資での整備は難しい
	C社	地元	・池周辺もしくは鞍ヶ池PAでのテナント商業ビル	・園地全体の指定管理（P-PFIも検討可）	・事業期間は15年程度 ・地元企業への配慮を希望 ・動物園は指定管理から除外を希望	・閑散期の集客のリスク ・既存施設の老朽化に伴う事故リスク
	D社	地元	・池周辺で飲食施設 ・南樹林地でトレッキングコース	・DBによる整備 ・造園企業との共同も可		・平日、雨天時の集客リスク
リース	E社	全国	・商業施設・動物園の更新 ・中古遊具の再利用	・園地全体の指定管理＋P-PFI	・指定管理業務のみで施設整備も可能	・公園方針を事業者提案に委ねるのは官民双方にリスクあり
文化教育 観光施設	G社	地元	・キッチンカーでの飲食提供 ・スポーツコンテント開催 ・中古遊具の安価な有料遊具ゾーン	・園地全体の指定管理＋広報＋自主事業	・指定管理期間は10年を希望 ・5年目で指定管理料見直しを希望 ・動物園は指定管理から除外を希望	・施設整備を含めた独立採算は困難 ・飲食の平日夜間利用は見込めない
園地管理・造園	J社	地元	・南樹林地でグランピング＋BBQ施設 ・池周辺で飲食施設 ・フォレストアドベンチャー・ジップライン	・園地全体の指定管理＋P-PFI	・整備費の減価償却を考慮し事業期間は20年必要 ・動物園は指定管理から除外を希望	・公園利用者以外の集客が見込めず、飲食施設の事業性は高くない
	M社	全国	・南樹林地、池周辺もしくは鞍ヶ池PA付近でキャンプ施設、アウトドア用品物販施設の運営	・指定管理によるキャンプ場運営	・短期を希望（指定管理料の見直しがあれば長期でも可能） ・電気・水道のインフラが必要	・民間の独立採算でキャンプ場を整備・運営するのは難しい
アウトドア・アスレチック関連	O社	地元	・池越えジップライン ・南樹林地でもバイルアドベンチャー、フォレストアドベンチャー	・設置管理許可 ・水辺デッキの更新とセットでP-PFIも可能 ・施設の管理許可	・事業期間は10年がベスト ・それより長くなると陳腐化するためコース等の更新が必要	・南樹林地エリアは木が小さく、自然木の活用は困難 ・平日の集客が課題
	R社	全国	・三世代で遊べる遊び場施設 ・高齢者が使える遊具	・プレイハウスの指定管理 ・P-PFI	・P-PFIは15年以上 ・駐車場からアクセスが良い場所を希望	・平日の利用者確保が課題
子どもレクリエーション関連	S社	全国	・サイクルモレール ・メリーゴーランドなど	・設置管理許可など ・開発主体と連携は可能	・投資回収するには20年は必要 ・グランピング施設等との複合化も効果的	
	U社	地元	・観光牧場を拠点に、池周辺や樹林を周遊するトレッキング	・指定管理の一員で参画 ・施設の管理許可	・減価償却を考慮し、10年以上必要 ・動物園はノウハウがなく、運営不可	・既存施設の活用は、耐震補強等の条件が難しい
飲食関連	V社	全国	・池周辺でのレストラン・多目的ホール・カフェ（建築面積1,500㎡程度） ・ウェディングにも利用を想定	・設置管理許可、P-PFI ・施設管理の事業者との共同も可能	・減価償却の関係で20年は必要 ・夜間のイルミネーションも自社で整備可能（園路照明は市整備を希望）	
	a社	全国	・池周辺でのカフェ（店内50席、テラス30席程度）	・設置管理許可 ・指定管理の事業者との共同も可能	・公園利用者以外の集客を増やすために幹線道路沿いが望ましい ・店舗近くに駐車場整備を希望	・複合店舗とする場合、デザインをすり合わせる事が難しい
モビリティ関連	b社	地元	・EV自動バス（PAから園地） ・超小型EV ・パーソナルモビリティ	・実証実験 ・指定管理者に販売またはリースで運用	・3～5年で投資回収（長期になると、コンテンツが時代遅れになる） ・園路等のインフラは市整備を希望	・モビリティの盗難リスク ・収益が見込めない場合の撤退リスク ・事故時のリスク分担

※「事業者」欄がアルファベットの大文字：一次調査から継続

※「事業者」欄がアルファベットの小文字：二次調査から追加

飲食施設は池周辺の良好なロケーションを活かした施設を希望する事業者が多く、SNS等による集客を意識し、景観性を重視していることが分かる。飲食施設のリスクとして、閑散期の集客を懸念する事業者も多く確認され、公園利用者以外の集客による閑散期のリスク回避についての意見も確認された。

アウトドア施設として、鞍ヶ池の景観や鞍ヶ池PAの眺望を活かしたキャンプフィールドの提案も確認されたものの、冬期の営業等、収益を懸念する意見も確認された。

指定管理は、現在のように無料の動物園の運営形態では採算が成り立たないことから、運営の意向がある事業者は少ない結果となった。また、公園面積が広く、事業規模が大きいことから、指定管理とセットでの収益施設の整備やイベントの実施の提案が確認された。

多くの事業者から、他の事業者との共同事業体による参画が可能との回答が得られた。

民間事業者の提案、利用者ニーズ、公園の基本方針を踏まえ、本事業における民間活力導入事業は以下の内容を想定する。

<導入施設の想定>

- ・飲食施設の導入
 - ・キャンプフィールドの導入
 - ・園地の維持管理運営
 - ・自主事業による施設整備、イベントの実施
- ※動物園は民間活力導入エリアからの除外

6. 事業スキームの検討

(1) 事業手法の選定

前頁事業内容より、以下の事業手法が想定される。

- ・指定管理
- ・PFIによる施設整備・維持管理運営
- ・設置管理許可・Park-PFIによる施設整備・運営
- ・デザインビルド(DB)による施設整備、管理許可による運営

各手法を市民(サービス水準の向上)、行政(財政負担の軽減)、民間(事業性・参画意欲)の視点から評価した。(図-3)PFI、DBは、施設整備費が行政負担となり、設置管理許可、Park-PFIに比べて財政負担の軽減効果が低くなる。ただしキャンプ・フィールドはアンケート調査等により、極めて高い市民ニーズがあるものの、市場調査の結果より、DB等の行政の費用負担が必要な事業手法となった。一方で本事業の整備を想定する施設は、PFI導入の手引き(内閣府)に示されるPFIの活用が見込まれる事業規模の10億円以上には達しない見込みであるため、PFIの事業性は低い。

	指定管理	PFI	設置管理許可	Park-PFI	DB+管理許可
市民 (サービス水準向上)	○イベント、市民協働等サービス向上が期待 △事業期間が短いと積極的な提案が期待できない	○園地管理は左記と同様の効果が期待 ○施設整備に伴うサービス水準向上が期待	○施設整備に伴うサービス水準向上が期待	○施設整備に伴うサービス水準向上が期待	○施設整備に伴うサービス水準向上が期待
行政 (財政負担の軽減)	○直営と比較して効率的な管理による財政負担の軽減は可能	△規模が小さく工事費削減効果が低い △施設整備費は行政負担 ○使用料収入が入る	○民間投資による整備 ○使用料収入が入る	○民間投資による整備 ○土地利用料収入が入る ○民間収益の一部を公園整備に還元	△施設整備費用は行政負担 ○使用料収入が入る
民間 (事業性・参画意欲)	○リスクが低く含め参画意欲が高い ○大規模公園の場合は全国企業を含めて参画意欲が高い	△事業規模が小さく参画意欲は低い △ノウハウのない地元企業は参画のハードルが高い	○民間ノウハウを最大限活用したビジネス展開が期待 △期間が短期の場合、参入できる業種が限定	○民間ノウハウを最大限活用したビジネス展開が期待 ○期間が長期で投資回収しやすいため、参画意欲が高い	○整備への民間リスクが低く、参画意欲が高い
評価	○	△	○	○	○

図-3 事業手法の比較検討

以上を踏まえ、本事業ではPFIを除く、以下の事業手法を提案した。

- ・Aゾーン：Park-PFIによる飲食施設の導入
- ・Dゾーン：DBによるキャンプ・フィールドの整備、管理許可による運営
- ・動物園を除く園地全体：指定管理による公園維持管理、イベント・市民協働の推進
設置管理許可を活用した自主事業の施設整備

(2) 事業スキームの比較検討

事業手法について、全ての事業を一体で公募するのか、それぞれ別の事業として公募するのか、メリット・デメリットと事業者の要望から比較検討し、鞍ヶ池公園における最適な事業スキームを検討した。比較の結果、一体で公募する事業スキームは、複

数事業者の連携による維持管理運営の効率化、イベントや自主事業の実施等の面でメリットが大きいほか、Park-PFIの事業期間と合わせて指定管理期間を延伸することで、指定管理における民間投資リスクが軽減される。また、市場調査において、事業を一体とする希望が多数確認されたことから、本事業は指定管理とPark-PFI・設置管理許可、DBを一体で公募する事業スキームを提案し、方針とされた。

表-5 事業スキームの比較検討

評価項目	全ての事業を一体で公募する場合	各事業を別で公募する場合
維持管理運営体制	○複数事業者による共同事業体(市は代表事業者と調整)	×個々の事業者による維持管理・運営(市はそれぞれの事業者と調整)
事業者の応募し易さ	○セットで公募を希望する事業者が多い △共同事業体を編成できる事業者に限定される	○地元企業も含め、事業者は応募しやすい
公園の魅力アップ	○共同事業体の複数事業者が連携 ○収益と指定管理料を融通でき、自主イベントの実施が可能	△個々の民間事業者が単独で取組
民間ビジネスの実現	○指定管理期間は5年でなく設置管理許可の10年に合わせることで投資計画が立てやすい	×事業者間の利害関係が生じやすい
総合評価	○	△

7. 公募資料(案)の作成

公募資料(案)の作成に当たっては、本事業スキームの特性から以下の点に配慮し、検討を行った。

<行政負担への配慮>

- ・指定管理による効率化に伴う行政負担の軽減
- ・キャンプ・フィールドの管理許可による運営における利益の一部還元

<官民双方のリスク分担>

- ・指定管理、Park-PFI、DBの各事業スキームにおける官民のリスク分担、リスクを考慮した基本協定書の作成

<地域貢献・地元配慮>

- ・キャンプ・フィールドへの市産材の活用
- ・地元企業が参画しやすい公募資格、条件

公募の結果、公園の指定管理、鞍ヶ池周辺へのカフェの整備、キャンプ・フィールドの整備・運営に加え、自主事業によるホーストレッキングやイベントの実施を含む提案が行われ、事業者が選定された。現在、事業者と市との基本協定の締結が完了し、整備に向けた協議が進められている。

8. おわりに

民間活力導入は公園の魅力向上の手段の1つに過ぎず、導入すること自体が目的ではない。利用者にとってよりよい公園とするための民間事業者の関わり方を各業務、各公園で模索する必要がある。

今後も増加が予想される民間活力導入の検討において、本稿が一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省：都市公園の質の向上に向けたPark-PFI活用ガイドライン、2018。
- 2) 内閣府：PPP事業における官民対話・事業者選定プロセスに関する運用ガイド、2016。

戸建住宅向けの低コスト・省CO₂排出 地中熱利用システムの開発

こだま みつき たざわ よしゆき みなみ まさお なる せあきよ
○児玉光樹¹・田澤義之¹・南 雅¹・成瀬明代¹

¹ (株) テイコク (〒500-8856 岐阜県岐阜市橋本町2-8)

地球温暖化防止のため、低炭素・循環型のまちづくりが求められる中、空調の省エネルギー技術の一つに、地中熱利用がある。地中熱利用の一つである、地下水を用いた地中熱利用システムは、高額な井戸掘削費が普及の障害になっており、特に、システムが小規模な戸建て住宅の場合は顕著である。そこで、従来型システムの揚水井戸と還元井戸を、安価な打ち込み井戸と浸透ますで代替するシステムを開発した。システムの設置及び実証試験を実施し、注水制御方法の検討を行い、最適な運転システムを確立した。その結果、従来型システムと比較して、導入コスト、CO₂排出量ともに30%以上の削減が可能であることを示した。

Key Words : 地中熱利用, 省エネルギー, コスト削減, 低CO₂排出

1. まちづくりにおける省CO₂

国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）で採択されたパリ協定を踏まえ、地球温暖化の防止を目的として、温室効果ガスの排出量削減が全世界共通の課題となっている。都市計画の分野では、積極的な再生可能エネルギーの導入や建築物の省エネルギー化が有効であり、低炭素・循環型のまちづくりが求められている。

住宅におけるエネルギー消費量に着目すると、全体の28.1%を空調用途が占めている（図-1参照）。空調用途は、動力・照明他用途や給湯用途と比べるとエネルギー消費量は少ないものの、近年の猛暑夏における熱中症対策として、今後、冷房用途のエネルギー消費量は増加していくと想定され、空調用途のエネルギー消費量削減は重要性が高いと言える。

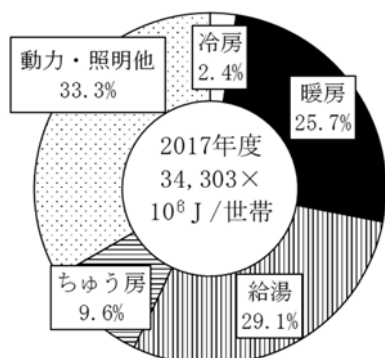


図-1 世帯当たりのエネルギー消費量（2016年度）¹⁾

2. 地中熱とは

空調の省エネルギー技術の一つに、地中熱利用がある。地中熱とは、地表からおおよそ地下100m程度の深さまでの地中の浅い位置にある熱のことを言う。深さ10m以深の地中温度は、季節によらず15℃程度でほぼ安定しており、夏は外気よりも冷たく、冬は外気よりも暖かい（図-2参照）。この安定した地中熱を空調に用いることで、空気を冷やすもしくは暖める際に必要となるエネルギー消費量を削減できるため、通常のエアコンと比べ、省電力・省エネルギーな冷暖房運転を行うことができる。

また、空調利用の他には、道路の下に埋設した配管に地中熱で温めた不凍液などを循環させることで、融雪及び凍結防止にも用いられている。

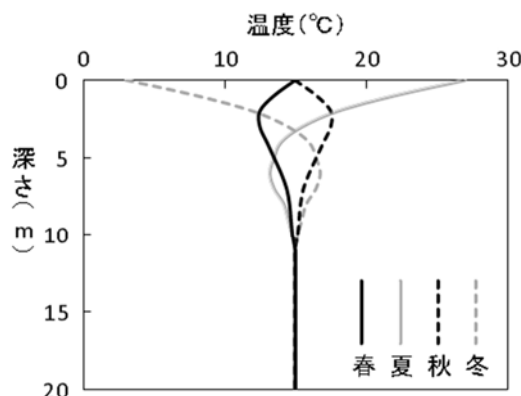


図-2 地中温度のイメージ²⁾

3. システム開発の背景と目的

地中熱を利用する方法の一つに、井戸から揚水した地下水を用いるオープンループ型システムがある。図-3に示す従来型のオープンループ型システムは、揚水井戸から地下水を汲み上げ、空調用途として吸熱もしくは放熱した後の地下水を、還元井戸にて地下へ戻すため、2本の井戸が必要であり、その高額な掘削費用が普及の障害になっている。特に、システムが小規模な戸建て住宅の場合は顕著であり、導入コストの削減が大きな課題となっている。

そこで、新しいオープンループ型システムの開発による、導入コストの削減を目的とし、従来型システムの揚水井戸と還元井戸を、それぞれ安価な打ち込み井戸と浸透ますに代替するシステムの開発を目指した。また、システムの稼働試験を通し、低電力消費量での運転が可能であることを実証し、CO₂排出量の削減も目的とした。

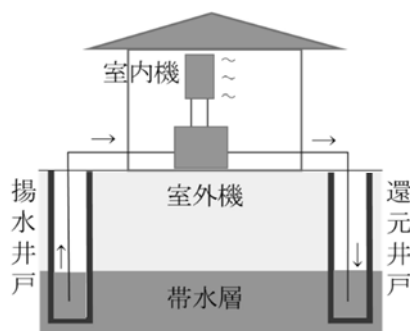


図-3 従来型のオープンループ型システムの概要

4. 開発システム

(1) 開発システムの概要

開発システムの概要及び開発対象範囲を図-4に示す。開発対象は、打ち込み井戸、浸透ます、タンク式熱交換器の3設備とした。室外機及び室内機は開発対象外とし、商用化されている製品を用いることで、開発システムの汎用化を視野に入れることとした。

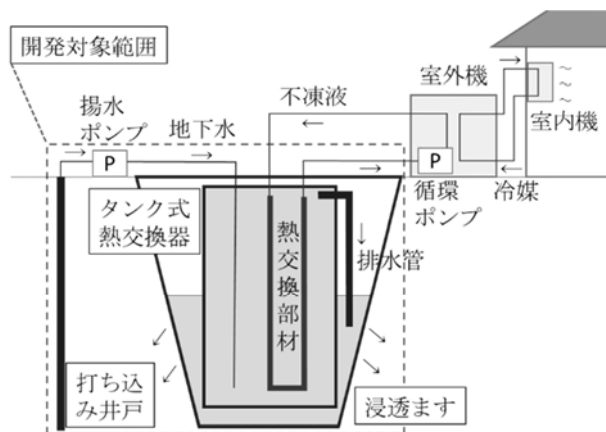


図-4 開発システム概要

(2) システムの構成設備

a) 打ち込み井戸

鋼製の有孔パイプを地盤中に打ち込み、そのパイプを介して揚水ポンプにより水を吸い上げる仕組みである。従来型の揚水井戸に比べ施工期間が短く、施工費用が安価である。一方で、揚水量が少ない場合が多いため、大規模施設には適しておらず、戸建住宅のような小規模施設での利用に適した設備と言える。また、砂の吸い込みが多いため、地上部で熱交換を行う従来型のシステムでは、熱交換器に目詰まりが生じやすい欠点がある。

b) 浸透ます

扇状地のように透水性の地盤が地表部から分布する場合や、透水性材料によって盛土された地盤等に適用できる。吸熱もしくは放熱した後の地下水をます内に浸透させ、地下へ還元することが可能である。還元能力が不足する場合には、表面排水との併用を検討することで利用可能となる場合がある。従来型の還元井戸に代替でき、施工費用が安価である。本システムでは、浸透ます内にタンク式熱交換器を設置し併用して用いる。



図-5 打ち込み井戸の掘削状況（左）と浸透ますの設置状況（右）

c) タンク式熱交換器

従来型の熱交換器では、流水を熱源として用いるため、地下水の揚水ポンプを連続稼働させ、熱交換器に地下水を通水し続ける必要がある。一方、タンク式熱交換器は、タンク内に貯水した地下水と、タンク内に設置した熱交換部材内の不凍液とで熱交換を行う。そのため、揚水ポンプを連続運転させる必要がなく、間欠運転による省エネ効果が期待される。また、熱交換の際に地下水を熱交換器内に通水する必要がないため、従来型システムで欠点となる熱交換器の目詰まりを回避できる。

開発システムでは、地表面温度の影響を小さくするため、タンク上部30cm部分の断熱処理を行った。熱交換部材は、腐食に強いポリエチレン製熱交換器であるG-カーペットを用いた。G-カーペットは、外径6mmのポリエチレン管117本と2本のヘッダーで構成され、幅0.9m×長さ5.6mのシート状の熱交換器である。（図-6、表-1参照）。



図-6 タンク（左）とG-カーペット（右）の外観

表-1 タンク（左）とG-カーペット（右）の仕様

高さ(mm)	1,500	密度(g/cm ³)	0.94～0.95
外径(mm)	800	熱伝導率(W/m・K)	0.46～0.50
断熱材厚(mm)	30	比熱(J/kg・K)	1.9～2.3
首部内径(mm)	500	材質	ポリエチレン
材質	FRP	全長(m)	5.6
貯水量(m ³)	0.45	幅(m)	0.9
		内径(mm)	4.5
		外径(mm)	6
		本数(本)	117
		表面積(m ²)	12.35

5. 導入コスト試算

従来型システム及び開発システムの導入コストの試算結果と、導入コストの削減率を表-2に示す。コストの試算は、戸建住宅への導入を想定し、空調能力5kWの室外機の設置を想定した。

開発システムでは揚水井戸を打ち込み井戸に、還元井戸を浸透ますに代替したことで、100万円以上の大幅な導入コスト削減を実現しており、削減率は32%となった。

表-2 システムの導入コスト比較表

項目		従来型システム	開発システム
機器	室外機(5kW)	600,000	600,000
	揚水ポンプ	100,000	100,000
	プレート式熱交換器	150,000	-
材料	不凍液	30,000	30,000
	断熱タンク	-	350,000
	熱交換部材(G-カーペット)	-	170,000
施工	揚水井戸・還元井戸	2,000,000	-
	打ち込み井戸	-	300,000
	浸透ます設置工事	-	250,000
	配管等工事	500,000	500,000
導入コスト合計		3,380,000	2,300,000
導入コスト削減率(%)		-	32.0

6. システム稼働試験

開発システムの低電力消費量での稼働を実証するため、開発システムの設置及び稼働試験を行った。

(1) 開発システムの設置

岐阜県岐阜市内に位置する事務所施設に、開発システムを設置し実証試験を行った（空調面積：39.66m²）。開発システムの設置状況を図-7に示す。当事務所の地盤は、透水性の砂礫を主体とする盛土地盤となっており、タンク内から排水された地下水は盛土層へと還元される。

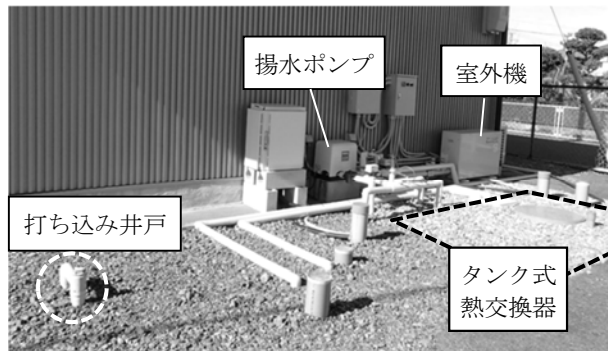


図-7 開発システムの設置状況

(2) 試験方法

開発システムにおいて、低電力消費量での運転を行うには、タンクへの地下水の注水制御方法が重要と考えた。これは、タンクへの注水頻度が高いと、揚水ポンプの電力消費量が増加し、注水頻度が低いと熱交換の効率の低下により循環ポンプ（室外機）の電力消費量が増加するためである。

本システムでは、タンク内の水温に応じて注水制御を行う手法とし、冷房運転時はタンク内水温が制御温度（20℃、22℃、24℃の3パターン）を上回ると注水し、暖房運転時はタンク内水温が制御温度（10℃、12℃、14℃の3パターン）を下回ると注水するシステムとした。また、室内環境の影響を無視するため、室外機の消費電力をおおよそ固定できる運転とし、定格負荷、中間負荷、低負荷の3パターンの負荷にて試験を行うこととした。

試験結果の評価方法は、SCOP（システム成績係数）を用いた。SCOPは1の消費エネルギーで得られるエネルギーを示し、SCOP値が大きいほど効率的な運転と言える。冷房運転時を $SCOP_C$ 、暖房運転時を $SCOP_H$ とし、それぞれ式(1)、式(2)で算出する。

$$SCOP_C = \frac{Q_C - W_{HP}}{W_{SYS}} \quad (1)$$

$$SCOP_H = \frac{Q_H + W_{HP}}{W_{SYS}} \quad (2)$$

Q_C ：地中への放熱量 (kWh)

Q_H ：地中からの採熱量 (kWh)

W_{HP} ：循環ポンプの消費電力量 (kWh)

W_{SYS} ：システム全体の消費電力量（揚水ポンプと循環ポンプの消費電力量合計） (kWh)

冷房運転の注水制御温度3パターン×負荷3パターン、暖房運転の注水制御温度3パターン×負荷3パターンの、合計18パターンの試験を行い、それぞれのSCOP値の算出を行った。

(3) 試験結果

試験結果を表-3に示す。

a) 冷房運転

$SCOP_C$ は、定格負荷運転に比べ中間負荷運転及び低負荷運転時に大きいと示された。一般的に、実際の空調稼働時は、低負荷運転の占める割合が高いとされる。そこで、低負荷運転時の $SCOP_C$ を比較すると、注水制御温度20℃の時に最も $SCOP_C$ が大きく5.2を示した。

一方で、注水制御温度と $SCOP_C$ の相関は乏しく、今回試験を行った注水制御温度の範囲では、注水制御温度の変動が運転システムの高効率化に寄与する影響は小さいと示された。

b) 暖房運転

冷房運転時と同様に、 $SCOP_H$ は定格負荷運転に比べ、中間負荷運転及び低負荷運転時に大きいと示され、注水制御温度と $SCOP_H$ の相関は乏しいことが分かった。低負荷運転時の $SCOP_H$ を比較すると、注水制御温度10℃の時に最も $SCOP_H$ が大きく4.7を示した。

以上より、冷房運転時は20℃、暖房運転時は10℃の注水制御温度とすることで、最も効率的なシステムになると示された。

表-3 試験結果（左：冷房運転，右：暖房運転）

制御温度(℃)	負荷	$SCOP_C$	制御温度(℃)	負荷	$SCOP_H$
20	定格	3.3	10	定格	2.8
	中間	5.3		中間	3.1
	低	5.2		低	4.7
22	定格	2.9	12	定格	2.9
	中間	5.3		中間	3.4
	低	4.6		低	3.9
24	定格	2.8	14	定格	3.0
	中間	4.9		中間	3.0
	低	4.8		低	4.0

7. 運用コスト及びCO₂排出量試算

6章で示された、最も効率的となる制御システムについて、運用コスト及びCO₂排出量の試算を行った。運用コストの試算条件を表-4に示す。

表-4 運用コスト及びCO₂排出量の試算条件

対象地域	岐阜県岐阜市
注水制御温度	冷房：24℃，暖房：10℃
電気料金	21.07円/kWh(中部電力値)
CO ₂ 排出係数	0.000472t-CO ₂ /kWh(中部電力値)
空調機能力	冷房：4kW，暖房：5kW
空調対象面積	20m ² (約12畳)

従来型システムと開発システムの運用コスト及び

CO₂排出量の試算結果を表-5に示す。従来型システムに対する開発システムの運用コスト削減額は約2万円/年であり、削減率は33.2%を示した。また、CO₂排出削減量は0.454t-CO₂/年であり、削減率は33.2%を示した。

表-5 運用コスト及びCO₂排出量の試算結果

システム	従来型システム	開発システム
運用コスト(円/年)	61,103	40,833
削減額(円/年)	-	20,270
削減率	-	33.2%
CO ₂ 排出量(t-CO ₂ /年)	1.369	0.915
削減量(t-CO ₂ /年)	-	0.454
削減率	-	33.2%

8. 総括

試験結果より、開発システムは岐阜市内において、従来型システムと比較して導入コスト、運用コスト及びCO₂排出量が全て30%以上削減可能であると示された。一方で、開発システムの稼働試験は、岐阜市内で実施した結果のみしか得られておらず、地下水温や室内環境によって、最適な揚水ポンプの運転制御方法は異なることが想定される。そのため、設置条件ごとに最適な制御温度のチューニングを行う必要がある。室外機や室内機を含めた一体開発を行うことで、さらなるシステムの高効率化を図ることでもできると考えられる。

開発システムの導入コストは、従来型システムに比べると安価と示されたものの、通常のエアコンと比べると非常に高額である。そのため、開発システムの導入促進のためには、環境負荷低減などのコスト面以外をアピールしていく必要があり、補助金等の活用が不可欠というのが現状である。また、ハウスメーカーやメンテナンスを含めた施工業者等とのサプライチェーンの確立が今後の課題であると考えられる。

謝辞：本開発は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の事業として交付金により遂行されたものです。この場を借りて深くお礼申し上げます。また、共同開発者である、岐阜大学大谷教授、ヤマカトラストホームズ株式会社にも、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁webサイト：
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/2-1-2.html>，最終閲覧2020年9月11日
- 2) 環境省：地中熱利用システム，2019。

伊勢市における地域公共交通網の再編

やまなか じゅん さわだ もとひろ おぐら としおみ
○山中 淳¹・澤田 基弘¹・小倉 俊臣¹

¹玉野総合コンサルタント株式会社（〒461-0005 名古屋市東区東桜二丁目17番14号 新栄町ビル）

人口減少や高齢化社会の進展，交通弱者の増加等に伴う社会的情勢の変化に対応し，まちづくりとの連携や地域の問題点を踏まえた持続可能な地域公共交通網の形成に向け，「伊勢市地域公共交通網形成計画」を改訂した．また，伊勢市が運行するコミュニティバス「おかげバス」の複数路線の重複運行の解消や利用の少ないバス停の廃止，交通不便地域における住民が主体となった運行をサポートする制度の導入，市内環状バス社会実験運行を通じたバス路線網全体の具体的な再編計画も検討した．

Key Words：地域公共交通網形成計画，再編計画，まちづくりとの連携，社会実験運行，交通不便地域，住民主体

1. 業務の背景と目的

伊勢市では，市が運行するコミュニティバス「おかげバス」が6路線，おかげバスデマンドが3路線，地域主体の自家有償旅客運送が3路線運行されているが運行開始から10年以上が経過している．一方で，中心駅から各地域へと放射状に路線網が構築されている民間路線バスは，利用者の減少により一部路線の廃止や縮小が行われている．今後の人口の減少などを見据えると，さらに利用者の減少が進むなど運行の維持が厳しい状況が続くと予想されている．

本業務ではこのような背景を踏まえ，放射状の路線網を横断的に結ぶ市内環状バス社会実験運行の運行ルートやダイヤなどの運行計画検討とその効果検証をあわせて行った．また，市内環状バスの本格運行を見据えたバス路線網全体の具体的な再編を検討するとともに，交通不便地域での住民主体のデマンド交通の導入検討も含め，今後も持続可能な公共交通網を形成するため，具体的で実現性の高い地域公共交通網形成計画及び再編計画を策定した．

えることを念頭に，効果的な調査対象を検討することが重要となる．

そこで，本業務においては人口等の机上調査のほか，移動の目的に応じた調査ターゲットを設定し，アンケートやヒアリング調査を実施した．その他，移動に係る地域固有の問題を把握するために，市内23小学区別に意見交換会も実施し，あわせて公共交通がおかれている現状の認識について共有を図った．

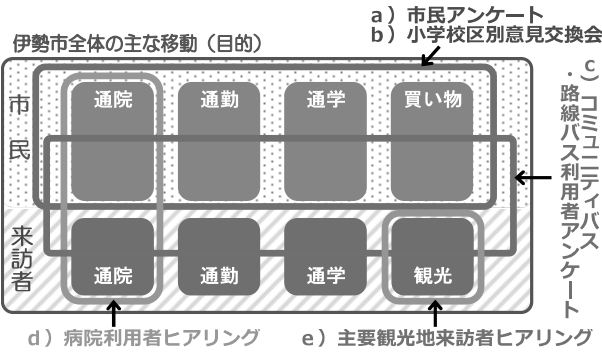


図-1 多様な移動需要を把握するための調査体系。

2. 伊勢市を取り巻く公共交通等の現状と課題

(1) 現状等の把握方法

普段は地域公共交通を利用していなくても，将来は地域公共交通が必要となったり，遠方へ出かける際には地域公共交通を使ったりする人もいたりすることや，伊勢市は伊勢志摩地域の拠点都市であるとともに観光都市でもあり，交流が盛んな都市となっている．これら多様な方々の多様な移動需要をできる限り広く把握し，また，地域公共交通の潜在的な需要も捉

表-1 各調査の目的。

調査	目的
a) 市民アンケート	● 日常の交通行動の特性や各地域公共交通の満足度・重要度を把握
b) 小学校区別意見交換会	● 移動に係る地域固有の問題を把握
c) コミュニティバス・路線バス利用者アンケート	● 利用実態や満足度・重要度を把握
d) 病院利用者ヒアリング	● 病院利用者の移動実態やバス未利用者のバス利用条件の把握
e) 主要観光地来訪者ヒアリング	● 観光客の伊勢市内移動実態を把握

(2) 現状と課題

市全体では、人口の減少により特に郊外部における利用が減少しており、今後も高齢化の進展に伴う運転免許証の返納増加傾向が続くと考えられる中、公共交通を利用した商業施設や病院への移動需要が多いことが確認されたことから、高齢者も使いやすい持続可能な生活交通サービスとして確保・維持していくことが必要である。また、中心駅から各地域へと放射状にバス路線網が構築され、それを補完するようにおかげバスが運行しているが、これらを横断的に結び付ける路線がなく、各地域からバス利用の主な目的地である商業施設や病院へと効率的に移動ができない状況が確認されたことから、乗継ぎダイヤや料金負担の軽減、待ち合い環境の向上やICT化の普及等による乗継ぎ利便性の向上が必要である。

地域に目を向けると、鉄道や路線バス、おかげバスではカバーできていない地域（交通不便地域）が存在するとともに、カバー圏域内であってもバス停までの移動が大変なため、路線の見直しやバス停までの移動手段の確保が望まれていることが確認されたことから、地域の実情や需要に応じた、効果的な交通体系への再構築が必要である。

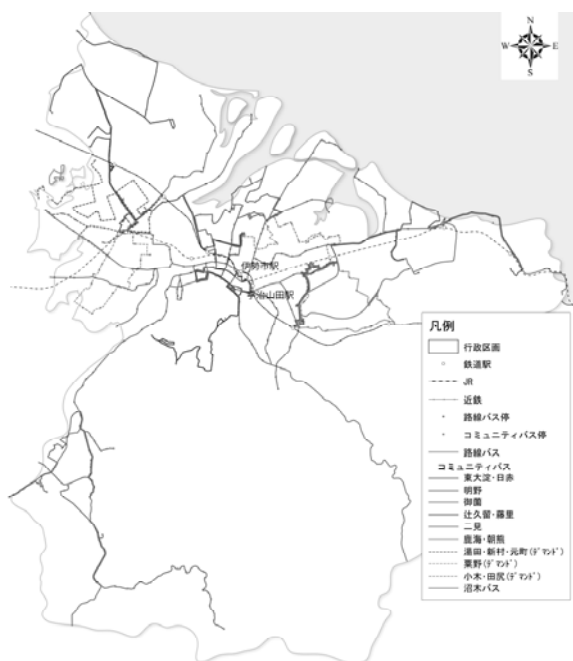


図-2 公共交通網（H30時点）。

3. 伊勢市地域公共交通網形成計画の改訂

(1) 将来像と基本理念、基本方針

伊勢市総合計画や伊勢市都市マスタープラン、伊勢市立地適正化計画におけるまちづくりの方針を踏まえ、これら上位・関連計画と連携し、本市の地域公共交通の確保・維持・改善に向け、図-3に示す将来像や基本理念を掲げた。

また、これら将来像や基本理念を実現するために3つの基本方針を定め、それぞれに対応する実施事業や数値目標を位置づけた。

目指す将来像	気軽に利用できる、交流と活力に満ちた地域社会を支える地域公共交通
基本理念	私たちが創り、育む、持続性のある地域公共交通網の構築
基本方針1	日常生活で利用できる公共交通を目指す
基本方針2	公共交通を利用した観光交流人口の増加を目指す
基本方針3	地域の関係者が協働・連携しながら自ら公共交通を支える

図-3 将来像と基本理念、3つの基本方針。

(2) 地域公共交通網の展開方針

上位・関連計画におけるまちづくりの方針を踏まえ、主要な拠点間を効果的に結ぶ軸を中心に、それらの軸を補完する軸や各地区内の移動を支える交通網の形成など段階構成を明確にし、誰もが使いやすい地域公共交通網の形成を図ることとした。

また、すべての移動需要に対し行政だけで対応することは困難であることから、行政や民間事業者、地域の役割分担を明確化する必要があった。そこで、伊勢市における交通不便地域の定義を明確にし、非交通不便地域と交通不便地域それぞれにおける移動手段の展開方針を定めた。

a) 非交通不便地域を支える移動手段の展開

市中心部や各地域の拠点となる地域など多くの輸送量が必要であり、鉄道、路線バス、タクシーなど、民間事業者により移動手段を提供する地域で、基本的に行政による移動手段のサービス提供が望ましくないエリアとした。また、立地適正化計画に基づく区域拠点間の移動手段となる市内環状バス、介護保険制度などを活用した道路運送法適用外のボランティア輸送など、民間事業者の経営を阻害しない、もしくは相乗効果が期待される場合など、必要に応じて行政によって移動手段を提供することとした。

b) 交通不便地域を支える移動手段の展開

交通不便地域においては、行政と地域との役割分担を明確にするため、「自治体主体型交通エリア」と「地域主体型交通エリア」の2つのエリアに区分し、展開方針を定めた。

自治体主体型交通エリアは、鉄道、路線バスでカバーできない地域のうち、集落が比較的まとまっている地域や連続した地域を有し、比較的多くの輸送量が必要であり、行政による移動手段のサービス提供を必要とするエリアとした。ただし、地域住民が主体となった乗合いや相乗りタクシーの運行（行先限定）などのおかげバスを補完する移動手段のほか、介護保険制度などを活用した道路運送法適用外のボランティア輸送なども運行可能としている。

地域主体型交通エリアは、鉄道、路線バス、おかげバスでもカバーできない地域や、勾配や地形等の要因により地元から要望があり、伊勢地域公共交通会議が不便地域と認める地域で、地域住民が主体となった乗合いや相乗りタクシーの運行（行先限定）など、地域独自で移動手段を検討し、運行するエリアとした。このエリアにおいては、地域独自で移動手段を検討し、運行を実施する場合は、行政や運行事業者が積極的にサポートするものとしている。

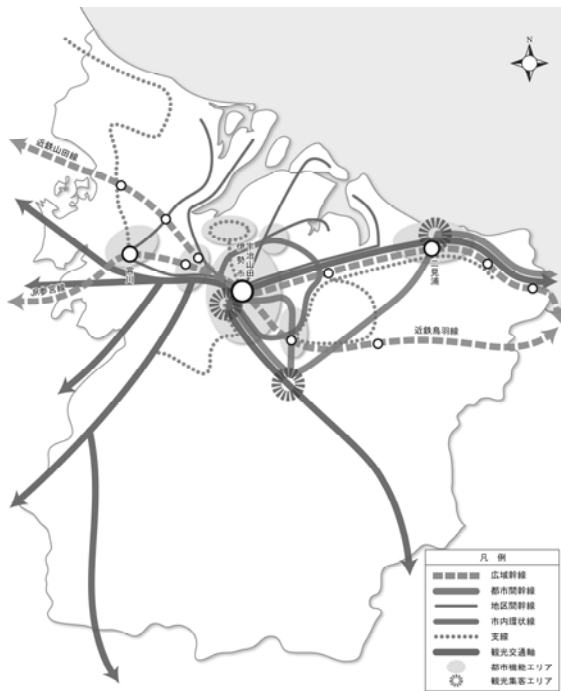


図-4 伊勢市地域公共交通体系のイメージ。



図-5 再編後の公共交通網のイメージ。

3. 再編計画

地域公共交通網の展開方針に基づき、各公共交通の役割を念頭に、おかげバスの利用実態や意見交換会、各種調査で明らかとなった移動特性、市内環状バスの本格運行などを踏まえ、表-2に示す方針に基づき、各地域における再編の考え方や各路線の役割を明確にし、再編後の運行ルートやダイヤなども含めた具体的で実現性の高い地域公共交通網への再編を検討し、令和2年8月に再編が実施された。

表-2 再編の基本的な方針。

方針	考え方
方針1 路線バスを含め、利用実態に応じたバス停の削減、または追加や運行ルート・方法の変更等による運行の効率化	- 月に概ね2名（年間24名）以上の利用がないバス停を廃止 - 意見交換会を通じて需要が見込める地域へのバス停を新設 1日平均利用者が1人に満たないバス停がまとまって存在する地域はデマンド運行に移行 1人も乗車しなかったバスの割合が高いダイヤについては廃止または時間変更
方針2 おかげバス相互の重複運行の抑制や、市内環状バスの運行を加味した路線網の再編	おかげバス相互や市内環状バスルートと重複する区間を中心に再編するとともに、移動特性等を加味したより効率的な運行ルートへの変更
方針3 運行ルートや行き先方面が分かりやすい、利用者目線のダイヤに再編	- 行き先方面を分かりやすくするための案内方法の導入 - 診察、買い物に要する時間に即した効果的なダイヤの編成
方針4 隣接市町等との協働運行	- 度会町、玉城町、明和町との費用負担による協働運行 - 各種団体による無料送迎バスとのダイヤ調整または費用負担による統合
方針5 地域による運行内容や運営方法等の検討を支援	地域主体型交通エリアにおける地域主体の乗合いや相乗りタクシーの運行（行先限定）、ボランティア輸送への支援

なお、地域主体型交通エリアに位置づけられた1つの地域において住民が主体となって乗合いタクシーの運行が検討され、令和2年8月から実証運行を開始した。また、運行に際しては、再編にあわせて制度化された市による運行に係る補助制度も活用されている。

4. 市内環状バス社会実験運行

(1) 社会実験運行の概要

市内環状バス社会実験運行は、当初は平成31年1月から5月までの5ヶ月間の予定であったが、伊勢地域公共交通会議において評価期間が短すぎるなどの意見もあったことから8月まで延長して運行した。その間の利用者数は堅調に推移し、利用者からも高評価を得るなど目標を概ね達成しつつあったが、通学への対応や地域からの要望など課題も明らかになってきたことから、運行ルートやダイヤを改善し第2期運行として令和2年3月まで運行期間を延長した。その結果、市内環状バスの有効性が確認できたことから、令和2年4月からは「おかげバス環状線」として本格運行に至っている。



図-6 周知チラシ(左:当初, 中:第2期, 右:本格運行)。

(2) 社会実験運行の検討

市内環状バス社会実験運行の検討に当たっては、伊勢市における公共交通網の課題を踏まえ、①既存のバス路線網の補完による市内移動の利便性向上、②高頻度運行による生活利便性向上、③市民の暮らしと伝統を守り育む集約型都市実現に向けた公共交通網の形成という3つの目的を掲げた。

また、運行ルートやダイヤは、優先順位の高い主要施設の設定や立地適正化計画との整合性確保等を念頭に、高頻度運行を実現するために1周時間程度以内、車両2台で運行することを前提に検討した。市内環状バス社会実験運行は、放射状の路線網を横断的に結ぶものとなるため、乗継ぎ利便性の確保に特に配慮する必要がある。そこで、乗継ぎダイヤの調整や待ち合い環境の整ったバス停の選定だけでなく、料金負担の軽減も重要となる。そこで、路線バスやおかげバスのほか、鉄道との乗継ぎ割引を実施し、65歳以上の方が市内環状バスを乗継ぎ利用する場合は実質無料になるなどの利用促進策も実施した。

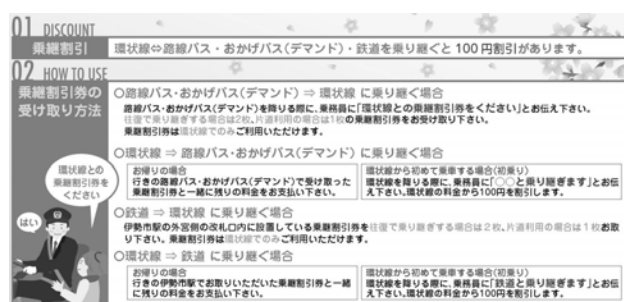


図-7 乗継ぎ割引引き(周知チラシ抜粋)。



図-8 乗駅構内に設置された乗継ぎ割引券と運行車両。

(3) 社会実験運行の目標指標

社会実験運行の評価を適切に実施するために、運行目的に対応した目標指標を設定した。

表-3 社会実験運行の目標指標。

目的	目標指標
①既存のバス路線網の補完による市内移動の利便性向上	①市内公共交通(バス)利用者の前年同期からの増加
②高頻度運行による生活利便性向上	②市内環状バス利用者を10人/便以上確保
③市民の暮らしと伝統を守り育む集約型都市実現に向けた公共交通網の形成	③乗継ぎ利用者の確保 →アンケート実施(乗継ぎ利用割合を把握)
全体	④既存おかげバス以上の満足度50%以上確保 →アンケート実施

(4) 社会実験運行の結果

市内公共交通(バス)利用者数はこれまでは減少傾向であったものが5,261人増加(観光利用路線等除く)に転じており、市内環状バス利用者の約4割が乗継ぎ利用していることから、市内環状バス運行による相乗効果が発揮されたものと推測される。また、1便当たり利用者数は第2期で7.7人と目標に達していないが、買い物や通院をターゲットにした3~7便の平均では10人を超えており、満足度も第2期には8割を超えるなど高い水準となっている。

これらの結果を踏まえ伊勢地域公共交通会議で評価、ダイヤ調整等の改善を検討し、令和2年4月から「おかげバス環状線」として本格運行に移行した。

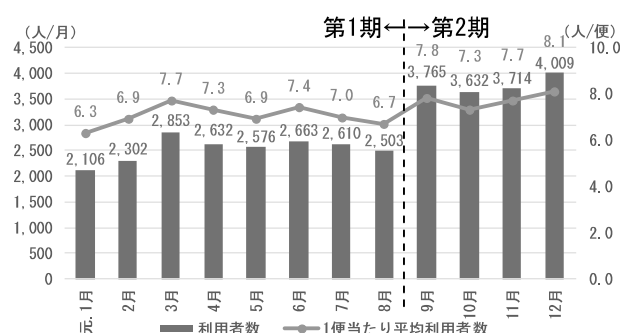


図-9 月別利用者数の推移。

表-4 便別平均利用者数。

第1期：平成31年1月から令和元年8月								人/便
1・2便	3便	4便	5便	6便	7便	—	全体	
3.5	7.8	9.0	9.1	7.3	5.5	—	7.0	
第2期：令和元年9月から12月								人/便
1・2便	3便	4便	5便	6便	7便	8・9便	全体	
6.8	10.4	12.5	11.5	9.8	7.3	3.7	7.7	

表-5 目標指標に対する結果。

目標指標	結果	
①市内公共交通(バス)利用者の前年同期からの増加	+5,261人 (+0.6%) (897,905人→903,166人)	
②市内環状バス利用者を10人/便以上確保	1期：7.0人	2期：7.7人
③乗継ぎ利用者の確保	1期：42.4%	2期：40.0%
④既存おかげバス以上の満足度50%以上確保	68.7%	81.8%

5. おわりに

おかげバスの再編が実施され、地域主体型交通エリアにおける住民が主体となった運行も開始されたが、コロナ禍による影響もあることから今後は慎重な評価が必要となる。また、おかげバスへのICカード、バスロケーションシステムの導入や民間バス路線への連節バスの導入の準備も順調に進むなど、住民と運行事業者、行政とが一体となって地域公共交通網形成計画に位置づけられた事業を推進しており、今後も地域社会を支える公共交通としての発展が期待される。

参考文献

- 1) 伊勢市：(改訂) 伊勢市地域公共交通網形成計画、2020.3.
- 2) 伊勢市：伊勢地域公共交通会議資料

公共施設の再編に向けた施設評価手法の検討

のぎあかね たけうちただし ひがしやまたいじ やまだたかひこ
○野木 茜¹・竹内 禎¹・東 山 泰治¹・山田孝彦¹

¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11番23号）

本業務は、公共施設再配置計画の策定にあたり、A市が所有する公共施設の評価を行い、施設の再配置等における基本的な考え方を整理したものである。計画では、地域間の公平性に配慮し、市民に受け入れられる再配置方針を導くために、客観的なデータに基づく施設分析（一次評価）、多様な観点での施設評価（二次評価）、個別の条件に配慮した方針設定（総合評価）、による3段階の施設評価を行った。本評価手法により、客観的な指標を用いて施設評価を行うとともに、各施設の個別の条件を踏まえた方針とすることで、拠点施設への機能の集約や地域バランスを考慮した配置が立案でき、円滑な合意形成が見込める再配置計画の策定に繋がった。

Key Words：公共施設再配置計画，ポートフォリオ分析，GIS分析，市民ワークショップ

1. はじめに

本業務は、公共施設再配置計画の策定にあたり、A市が所有する公共施設の評価を行い、施設の再配置等における基本的な考え方を整理したものである。1町1村の合併で誕生した本市は、南北に長いという地形的特性を有しており、市内の8割が市街化調整区域となっている。公共施設は市内各地に立地しているものの、鉄道駅や施設が集積する北部と市街化調整区域である南部では、施設利用の条件面において地域間の差異が生じていた。

今後、人口減少・少子高齢化に伴う厳しい財政状況が想定されているなかで、公共施設を将来にわたって維持し、適切な公共サービスを実施していくためには、地域バランスを考慮しつつ、施設総量・配置の適正化を図ることが求められた。

2. A市の公共施設を取り巻く現状

(1) A市の公共施設の老朽化状況

A市の公共施設の整備状況として、1970から80年代にかけて学校教育系施設を中心に整備が進められてきており、現在は延床面積ベースで約152,000m²に達している（図-1）。そのうち、学校教育系施設は、A市が所有する総延床面積の約5割（約76,000m²）を占めている。また、大規模な修繕工事が必要となる建築後30年以上の施設は、全体の約6割（約96,000m²）に及び、老朽化が進行している状況となっている。

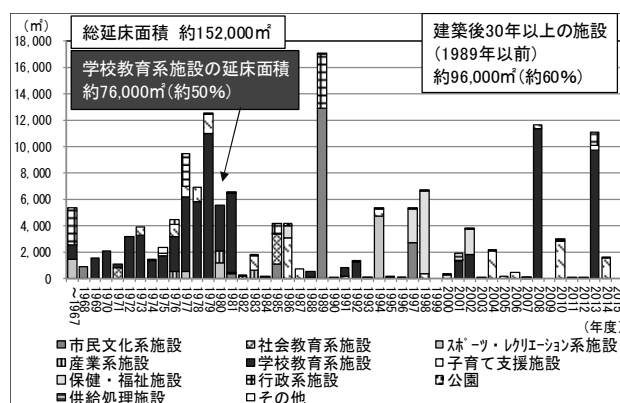


図-1 A市の公共施設の年度別整備状況

(2) A市における公共施設の縮減目標

今後、人口減少の局面を迎え財源不足となる中で、現在の規模や機能を維持したまま、公共施設を更新していくことは困難である。そのため、A市では公共施設等総合管理計画を策定し、利用者が少ない施設や老朽化の進んだ施設の集約等により、40年間で延床面積の約23%を縮減することを目標としている。

(3) 再配置に向けた課題整理

このような状況から、公共施設の総量・配置の適正化を図るために、以下の課題が挙げられる。

a) 課題Ⅰ：地域バランスを考慮した延床面積の縮減
縮減目標の達成に向けては、利用者が少ない施設や老朽化の進んだ施設を対象に集約を実施することとなる。しかし、現状の公共施設の配置は地域に偏りがあり、特に南部は数が少ないことから、地域バランスを考慮して再配置を検討する必要がある。

b) 課題Ⅱ：地域を越えた学校施設の規模適正化

少子高齢化の進行に伴う将来児童数の減少が予想されており、現状で小規模となっている学校については規模の見直し¹⁾が必要であると考えられる。ここで、学校施設は各地域の中心となる施設であり、学区ごとにコミュニティが形成されている。学校施設を統合した場合、地域コミュニティの現状維持が難しくなるため、市民との合意形成が困難になることが想定される。

c) 課題Ⅲ：公共サービスを維持した施設保有量の縮減策の検討

公共施設マネジメントのあり方としては、必要な施設を保有しつつ維持管理・運営コストを削減していくことが理想であり、このような縮減策の一つとして、施設の民営化が考えられる。ここで、民営活力の導入が可能な公共施設として、保育所が挙げられる。保育所の民営化は、延長保育の拡大等、多様化する教育・保育ニーズの対応に向けて、非常に有効であると考えられるが、公立保育所に慣れた市民は、民営化に対し不安を感じると想定される。

3. 再配置に向けた施設評価手法の検討

公共施設を集約することは、市民の生活に大きく影響するため、結果の公平性が担保されるような再配置方針を示す必要がある。

しかし、公共施設の再配置に関しては、評価手法等に関するマニュアルのようなものは無く、標準化された評価手法は存在していない。また、各施設について配慮すべき事項が多いことから、全てを網羅的に評価することは難しいと考える。そのため、客観性や多様な観点を取り入れた段階的な評価を行うことにより、再配置方針の設定におけるプロセスを明確化することが重要である。

以上のことから、本業務では、①客観的なデータに基づく施設分析（一次評価）、②多様な観点での施設評価（二次評価）、③個別の条件に配慮した方針設定（総合評価）、といった3段階での施設評価を行うこととした（図-2）。

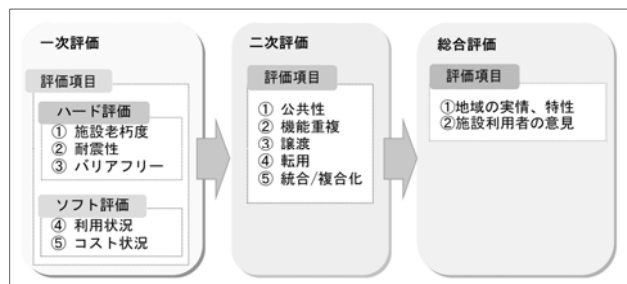


図-2 評価フロー

4. 施設評価の方法と結果

(1) 一次評価：定量的な評価による再編対象施設のスクリーニング

a) 一次評価手法

一次評価では、施設の経過年数や利用者数などのデータを用いて、客観的に優劣を評価し、再編対象施設のスクリーニングを行うことを目的とする。

ここで、施設の分析を行うにあたり、全ての施設を横並びで評価できることが望ましいが、庁舎のような義務的に設置される施設と集会施設のような一般的な利用を目的とした施設など、性質が全く異なる施設を同じ指標で評価することは困難である。したがって、施設の特性に合わせて、Ⅰ市民利用型施設、Ⅱ学校、保育所施設、Ⅲ公用施設の3つに区分し、評価を行うこととした（表-1）。

表-1 施設の評価・分析に向けた区分設定

施設区分	主な施設
Ⅰ 市民利用型施設	集会施設、体育館など
Ⅱ 学校、保育所施設	学校、保育所など
Ⅲ 公用施設	庁舎、防災センターなど

建物の状態や運営に問題がある施設については、再編対象の候補になると考えられる。このような施設状況について相対的に評価するため、施設のハード面（安全性や快適性）とソフト面（利用者数や運営コスト）について評価指標を設定し、表-2に示す手法で点数化し、偏差値を算出した。

また、偏差値については、ハード面・ソフト面を2軸に設定したポートフォリオ分析を行った（図-3）。ハード面・ソフト面の偏差値が50以上であるかどうかを基準として区分した4つの領域（A～D評価）に、各施設をプロットすることで、評価結果についてグループ分けを行い、再編対象施設のスクリーニングを行った。

表-2 一次評価の指標

評価項目	評価指標
ハード面	①施設老朽度 ・ 築年数÷法定耐用年数
	②耐震性の有無 ・ 耐震基準を満たすかどうかについて点数化
	③バリアフリー対応状況 ・ 障がい者用トイレ、手すり等の有無について点数化
ソフト面	④利用状況（利用者数） ・ 床面積1㎡あたりの利用者数
	⑤コスト状況（市負担額） ・ 床面積1㎡あたりの市負担額 ・ 利用者1㎡あたりの市負担額（※市負担額＝支出－収入（利用料・補助金など））

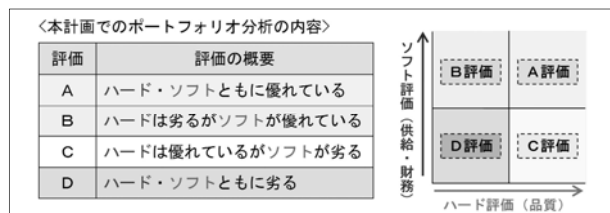


図-3 ポートフォリオ分析の例

b) 一次評価の結果

「施設区分Ⅱ 学校、保育所施設」のポートフォリオ分析の結果（図-4）に着目すると、約半数の施設がハード面・ソフト面ともに劣るD評価となり、その施設の多くは、南部に整備された施設であった。これは、施設の建築年度が古いことや、少子高齢化の影響により、児童数や生徒数、園児数が少ないことが要因であると考えられる。このような施設については、施設機能のあり方について見直しが必要となるため、再編の対象施設に設定し、二次評価において再編手法を分類するものとした。

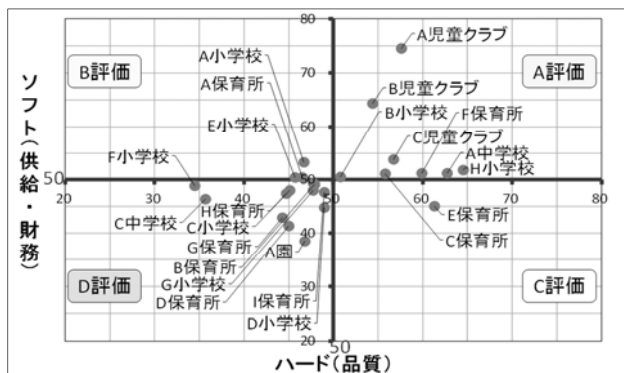


図-4 施設区分Ⅱ 学校、保育所施設のポートフォリオ分析の結果

(2) 二次評価：多様な観点を取り入れた再編手法の分類

a) 二次評価手法

二次評価では、一次評価により再編対象となった施設について、ハード面・ソフト面の定量的な数値に表れない、各施設の設置意義や立地特性などを評価し、具体的な再編手法に分類することを目的とする。そのため、施設ごとに①公共施設としての妥当性、②周辺施設との機能の重複の有無、③民間等への譲渡の可否、④転用の可否、⑤他施設との統合・複合化の可否についての判断を行うとともに、再編手法の決定プロセスを分かりやすくするため、フローチャート（図-5）を用いて評価することとした。

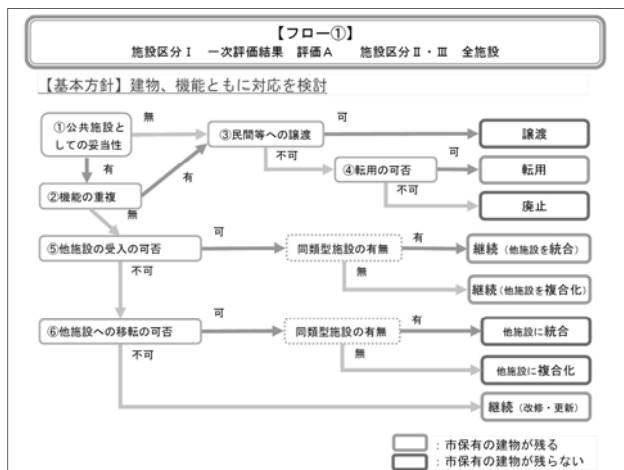


図-5 再編手法決定のフローチャートの例

ここで、他施設との統合・複合化については、既存施設の機能移転が市の公共サービスの質の低下に繋がらないよう、より利便性や防災性が優れた施設へ集約することで、サービスの充実化を図ることが望ましいと考える。そのため、GISを活用して、施設の位置図とハザードマップ、徒歩圏域（5分以内）にある駅・バス停の位置図、施設圏域人口等を重ね合わせることで、当該施設が有効な立地にあるかについて視覚的に判断できるようにした。

b) 二次評価の結果

フローチャートを用いた二次評価結果より、学校施設に着目すると、一次評価においてD評価となった小規模校について、公共が主体となってサービスを提供すべき施設であり、他施設との集約が可能であることから、同類施設との「統合」を検討する結果となった。なお、統合に伴い、児童の通学距離が長くなることが予想されることから、GIS分析により、駅・バス停が近くにある学校への統合を検討することとした。

また、保育所に着目すると、民間が主体となって提供可能なサービスであり、民間等への施設の譲渡が可能であることから、「民営化」を検討する結果となった。ここで、本市においては公立保育所を民営化した事例はまだないため、全ての保育所について一斉に民営化を検討することは困難であると考えられる。そのため、GIS分析により、施設圏域人口の多い北部の保育所を民営化の候補として検討することとした。

なお、二次評価で分類された各施設の再編手法については、施設を横並びで評価したものであるため、総合評価において、施設の個別の条件を配慮した最終的な見直しを行うこととした。

(3) 総合評価：個別の条件に配慮した再配置方針の設定

a) 総合評価の方法

総合評価では、一次・二次評価の結果について、施設の特性や地域の実情に詳しい所管課や関係団体、実際に施設を利用する市民の意見を取り入れ、再配置方針の設定を行うことを目的とする。

そのため、①一般市民向けのワークショップ、②小学生の保護者を対象としたアンケート調査、③所管課や関係団体へのヒアリングを実施し、幅広く意見を集約することで、総合的な観点から評価した。

b) 一般市民向けのワークショップの開催

公共施設の再配置に対する市民の考えを把握するために、一般市民向けのワークショップを開催し、公共施設のあり方について検討するグループワークを実施した。グループワークでは、建設的な意見交換がなされるよう、居住地域に偏りが出ないメンバー構成とする等の工夫を行った。

グループワークの発表結果より（図-6）、「市の魅力を発信していくために、北部では中心市街地の活性化を図り、南部では不要な施設を廃止しつつ拠点施設への集約化を図る」、「南部の集会施設を複

合化し、幅広い世代の人が集まるような施設を整備する」といった意見が得られたことから、南部については拠点施設への集約を図る方針とした。



図-6 グループワークの結果

c) 小学生の保護者向けアンケート調査の実施

小規模校の統合を検討するにあたり、再編の影響を大きく受ける当事者の意見を収集するため、小学生の保護者を対象に、学校施設のあり方に関するアンケート調査を実施した。

調査結果より（図-7）、「将来児童数の減少に対し、どのように対応していくべきか」という問いに対して、「学校統合」または「学区再編」という回答が半数以上を占めていた。一般的には、学校施設の現状維持を希望する意見が多いなかで、本市においては現状を変える必要性の認識が高いことが確認できたため、小規模校の統合について検討を進めることとした。

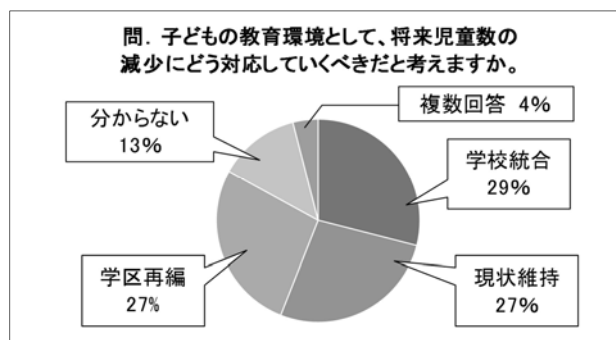


図-7 学校施設のあり方に関するアンケート回答結果

d) 所管課や関係団体へのヒアリングの実施

施設の現状と二次評価結果による再編手法に関して、利害関係者からの意見を得るために、所管課や関係団体へのヒアリングを実施した。

保育所に関するヒアリング結果より、「私立保育所は、市内に1ヶ所しかないため、利用希望者にとって選択肢の幅が狭い状況である」、「利用者から、提供されるサービスに変わりが無ければ、運営形態はあまり気にならない、といった声を聞いている」といった意見が得られたことから、保育所については民営化の検討を進めることとした。

4. 成果または結論

以上の評価結果を踏まえ、施設類型別に再配置方針を取りまとめ、公共施設再配置計画を策定した。

課題Ⅰ：地域バランスを考慮した延床面積の縮減については、現状の公共施設が少ない南部において、全ての施設を廃止するのではなく、地域の核となる拠点を決めて整備する方針とした。また、拠点施設については、周辺施設の集約や建物のリニューアルを検討し、利便性の向上を図ることにより、地域間の公平性に配慮した整備内容とした。

課題Ⅱ：学校施設の規模適正化については、アンケート調査結果を踏まえ、学級数の維持を図るため、小規模校の統合を検討する方針とした。また、本計画に統合の対象となる学校を明示することができ、旧町の地域を超えた再配置案を示すことができた。

課題Ⅲ：公共サービスを維持した施設保有量の縮減策の検討については、私立保育所の設置について肯定的な意見が得られたことから、施設圏域人口の多い北部の保育所をモデルケースとして、民営化を検討する方針とした。

縮減効果に関しては、本計画における取組を全て実施した場合、縮減目標を概ね達成可能とする見込みとなった。また、外部有識者や市民代表で構成される「公共施設マネジメント推進委員会」において、評価手法が合理的であるとの評価を受けたほか、計画策定に向けたパブリックコメントにおいて、市民から大きな反対意見は出ず、円滑な合意形成に繋がる再配置方針を示すことができたと考えている。

本評価手法により、客観的な指標を用いて施設評価を行うとともに、個別の条件に配慮した方針を設定することで、拠点施設への機能の集約や地域バランスを考慮した施設の再配置を提案でき、円滑な合意形成が見込める再配置計画の策定に繋がった。

5. おわりに

策定された再配置計画について、中長期的な視点で進めていくためには、公共施設に関する情報を継続的に収集・分析することで、現在求められる機能や市の社会構造の変化等を詳細に把握し、定期的な計画の見直しを図ることが求められる。

また、本業務で検討した評価手法を他自治体で適用する際は、地域の特色を踏まえた評価指標を新たに設定することが望ましいと考える。評価手法のさらなる発展として、公共施設のハード面・ソフト面について、劣化状況点検の結果や各室の稼働率等、より明確な指標を活用することなどが考えられる。

参考文献

- 1) 学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議：学習環境の向上に資する学校施設の複合化の在り方について ～学びの場を拠点とした地域の振興と再生を目指して～、文部科学省、2015。

25GHz帯無線LAN装置5台LA接続による 大容量屋外無線LAN経路構築実証実験報告

○益田勝¹ 石井秀樹² 今尾竜³

¹日本工営株式会社 統合情報技術部（〒102-8539 千代田区麹町5-4）

²日本工営株式会社 名古屋支店技術部（〒460-0006 名古屋市中区葵1-20-22）

³国土交通省中部地方整備局（〒460-8514 名古屋市中区三の丸2丁目5番1号）

南海トラフ巨大地震による津波、液状化などの広域災害が想定される三重県沿岸域にて、国土交通省情報通信網の強靱化対策として、災害現場のCCTV映像を複数伝送可能な大容量無線通信方式の導入が検討された。数十台のCCTV映像の無線伝送には強雨下として数百Mbpsの実効スループットが必要だが、多重無線では数Mbps、屋外無線LANとしても単体数十Mbps程度が限界であり、映像迂回路の構築は不可能である。そこで、L3-SWのリンクアグリケーション（LA）機能による屋外用無線LAN装置複数台のバルク接続により、複数の無線経路を1本の広帯域な伝送路として運用する通信方式を検討し、その実証実験を行った。本稿にてその検証結果を報告する。

Key Words : 25GHz帯無線LAN, リンクアグリゲーション, バルク接続, 大容量屋外無線LAN, LACP

1. 背景と経緯

30年以内に70～80%の確率で発生が予想されている南海トラフ巨大地震に備え、沿岸地域では様々な災害対策が検討、計画されている。三重河川国道事務所が管轄するエリアでも、光ネットワーク情報通信網の強靱化対策が精力的に進められている。

特に沿岸域広域において、津波、地震、液状化による同時多発的な障害発生への実効的対策として、陸側へのネットワーク迂回路の構築が急がれており、MPE（マルチパス多方路伝送装置）を用いたメッシュ型トポロジへの移行¹⁾が計画、実施されている。

しかし、現場により有線光ケーブルでの迂回路構築が困難な場所があり、無線での方路構築が求められた。既に稼働している事務所-出張所間の多重無線の帯域は数Mbps程度であり、数百Mbpsが必要な数十台のCCTV映像伝送には極めて不十分である。そこで、距離的な限界、降雨減衰など一定の制限はあるが、広帯域が期待できる無線LAN方式を検討した。

しかし、有資格者が不要な単体製品として、最大の伝送距離と伝送帯域を持つ25GHz帯無線LAN装置であっても、強雨時（50mm/h）として片側最大54Mbpsの実効スループットが限界であり、容量不足である。

そこで、L3-SWのリンクアグリケーション（LA）機能（複数の物理ポートを束ねて1本の広帯域経路として運用する機能）によるバルク接続により、複数の無線装置を束ねて広帯域伝送する方式を計画し、その実証実験を行った。本稿はその検証結果を報告するものである。

なお、降雨減衰などの耐環境面、伝送距離、実効スループットにおいて有利ではあっても、運用に有資格者が求められる5GHz帯無線アクセスシステムは初期検討にて除外されている。

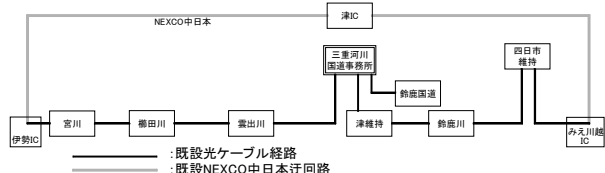


図1 本線系ネットワーク構成図(現状)

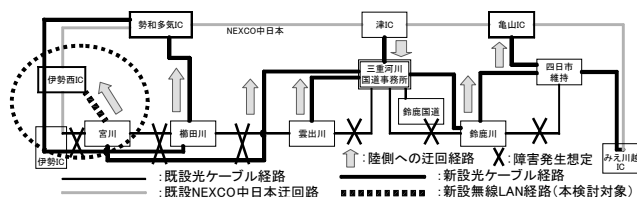


図2 本線系ネットワーク構成図(将来案)

2. 条件

実験では実際の検討対象区間の鉄塔に無線LAN装置の実証機 5台を仮設して行った。また検証に用いる映像は現場50台以上のCCTV実映像とし、LA接続を行う伝送装置は現在稼働中の出張所L3-SWを用いるなど、実導入に限りなく近似した機器構成にて実験を行った。

実験の前提となる諸条件，装置構成は以下の通りである，

(1) 設置環境

- ・ 伝送距離：3.1km
- ・ 経路状態：見通し及びフレネルゾーン100%確保
確認済
- ・ 経路環境：伊勢市市街地
- ・ 設置場所：出張所側鉄塔41m，IC側無線柱11m
- ・ 実験当日の天候：晴天



図 3 アンテナ設置環境・見通し状況

(2) 無線装置仕様

- ・装置方式：25GHz帯無線LAN装置
- ・無線周波数：24.77～25.23GHz帯
- ・利用可能CH数：広帯域動作時 20ch
- ・変調方式：64QAM/16QAM/QPSK
- ・送信出力：3mW(最大)
- ・半値角：2度
- ・登録/免許：無線局登録免許不要，運用資格不要
- ・無線伝送速度：240/160/80Mbps(広帯域動作時/適応変調)
- ・スループット：180/120/60Mbps(広帯域動作時)
(上り下りの割当 7%～91%まで自由に変更可)
- ・ダイナミックTDD技術（上り下りの伝送速度割合を自動制御）
- ・適応変調機能（降雨などの気象条件で最適な変調方式への自動切替）

(3) 装置構成

- ・無線LANアンテナ対向台数：5台（上下1：9固定モード，理論値最大下り実効スループット270Mbps）
- ・伝送CCTV映像：出張所管轄CCTV映像 50ストリーム以上（6Mbps/ストリーム）
- ・伝送装置：出張所既設 L3-SW，及び仮設L3-SW
- ・クライアントPC：Windows10 ノートPC 10台

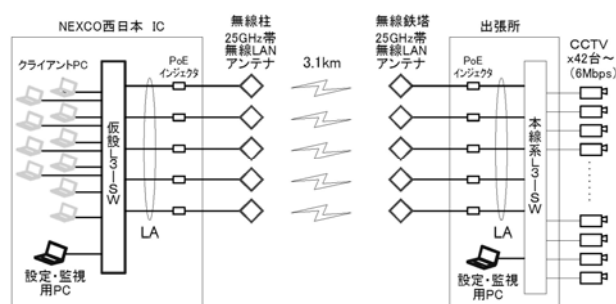


图 4 装置構成

(4) チャンネル割り当て

広帯域動作として40Hzモードを使用，3chを一対向に使用する．そのうち，使用Chの重複を避ける設定にて5対向を使用した（重複無しでは最大7ch）．



図 5 チャンネルの割り当て

3. 実験概要と結果

実験は電波伝搬テストと通信テストに分けて行った。その概要と結果を以下に示す。

(1) 電波伝搬テスト

25GHz帯無線LAN装置の設置環境に対する安定性、信頼性を図る検証を以下の項目にて実施した。

a) 3.1km導通テスト

設置環境として3.1km設計距離での伝送確認テストである。結果は良好であった。

各設定モードの伝送速度は以下である．ほぼメーカ理論値通りの結果となった．（計測機器の限界から100Mbps以上は計測不可だが，上り値から推察）

表-1 モード毎の実効スループット計測値（上下1：9固定）

通信 モード	下り (Mbps)	メーカ 理論値 (Mbps)	上り (Mbps)	メーカ 理論値 (Mbps)	パケット ロス
QPSK	57.3	54	5.9	6	無
16QAM	計測限界 (98.7)	108	11.8	12	1.56% (注1)
64QAM	計測限界 (97.3)	162	17.7	18	0.15% (注1)

(注1) アンテナ対向5台の内、受信レベルの低い1台で発生

なお、高速の64QAMモードではアンテナ信号品質の劣るアンテナにてスループットは同じであったがパケットロスが発生した。アンテナ毎の数dBの信号強度品質が伝送に影響し、機器導入時の厳密な設置調整が重要であることが判明した。

b) 設置角度ズレテスト

アンテナ設置精度による伝送品質の変化を確認する検証を行った。メーカーによる半値角は 2° である。

結果として、設置角度にズレが発生した場合、水平垂直とも、 3° 程度までは影響なく、以後徐々に信号強度が低下した。検証外ではあるが、概ね 8° を越えた辺りで接続断となった。なお、水平方向 1° のズレとは、3km先で50mの差を生む角度である。

表-2 角度ブレ毎の損失計測値

角度	下り 受信 レベル (dBm)	0° に対 する変 化値 (dBm)	パケッ ト ロス	上り 受信 レベル (dBm)	0° に対 する変 化値 (dBm)	パケッ ト ロス
0°	-67.5		無	-66.8		無
1°	-67.6	- 0.1	無	-66.7	0.1	無
2°	-68.5	- 1.0	無	-68.5	- 1.7	無
3°	-70.2	- 2.7	無	-70.1	- 3.3	無
4°	-75.5	- 8.0	有	-74.2	- 7.4	無
5°	-89.2	-21.7	有	-83.8	-17.0	有

c) アンテナ間の離隔とチャンネル干渉

アンテナ間の離隔による干渉障害の発生を計測するテストである。メーカー推奨としてのアンテナ間の離隔は2.5mである。しかしバルク接続の場合は多くのアンテナを無線柱などに密実装する必要があるため、実際の影響を判定する必要がある。

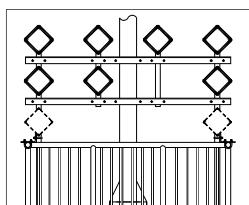


図 6 アンテナ実装案

結果として、使用チャンネルをアンテナ毎に別に設定した場合、アンテナ中心間距離が40cmであっても有意の影響（受信レベル、実効スループット、パケットロス）は発生しないことが判明した。また、水平/垂直偏波方向を変更する場合、アンテナ同士が接するほど近づけても問題無く伝送可能であることが判明した。

表-3 垂直偏波設定同士の近接離隔毎の受信レベル・スループット計測値

離隔	受信レベル (dBm)		スループット (Mbps)	
	下り	上り	下り	上り
80cm	-67.4	-67.3	57.24	5.91
70cm	-67.6	-67.2	57.25	5.91
60cm	-67.7	-67.1	57.24	5.92
50cm	-67.4	-67.3	57.25	5.92
40cm	-67.4	-67.3	57.24	5.92

受信レベルは瞬間値

表-4 水平垂直偏波設定同士の近接離隔毎の受信レベル・スループット計測値

離隔	受信レベル (dBm)		スループット (Mbps)	
	下り	上り	下り	上り
1cm	-67.6	-67.0	57.24	5.91

d) 風揺れの影響算定

台風などの強風下にてアンテナ支柱が揺れる場合の影響を検証した。揺れのレベルは表-5の通り。

結果として、風により鉄塔や支柱が揺れた場合でも、接続は問題無く維持されることが判明した。

表-5 無線柱(10m)上部 揺れ毎の損失計測値

レベル	揺れ幅	揺れ角度	パケット ロス
1	25 ~ 30mm	0.13°	無
2	50 ~ 60mm	0.25°	無
3	80 ~ 90mm	0.40°	無
4	130 ~ 140mm	0.60°	無

受信レベルは瞬間値

一般に強度が求められるカメラ支柱などでは風速40m/sで 0.5° 以下に抑えることが一般的である。それを越えるレベル4の場合、人がしゃがんでいても強い恐怖を感じ、逃げ出したくなる程の揺れである。

(2) 通信テスト

運用中のCCTV実映像を用い、実際の伝送を想定して様々な設定による通信状態の変化を検証した。

a) QPSKモードの1アンテナにて伝送可能なCCTV数

強雨時のQPSKモード設定にて片方向最大の実効スループットメーカー理論値は54Mbps程度である。その値にて設置アンテナ数が決まるため、実際に映像を伝送し検証した。

結果、最大の伝送可能CCTV数は8CCTVストリーム (6Mbps/ストリーム、合計48Mbps相当) であった。

クライアントPCからの9ストリーム (54Mbps) 目のリクエストを行うと、それまで問題の無かった8ストリームの映像全てに影響（表示がカクカクした後フリーズ）が発生した。9ストリーム以上のリクエストをとりさげ、8ストリーム以下にすると各8映像は数秒後に回復した。

この結果から、一定のマージンを設定する必要があることが判明した。

b) リンクアグリケーション (LA) 機能の検証

L3-SWのリンクアグリゲーション機能により、複数アンテナを一束とした広帯域伝送として、複数CCTV映像を同時に伝送させる方式を検証、確認した。

結果として、有効に機能することが確認された。

3対向アンテナにてリンクアグリゲーションを機能させていた場合、最大22ストリームのリクエストを問題無く処理出来たことを確認した（理論値として24ストリームが期待されていたが、ほぼそれに近い結果となった）。

それを越えるリクエストがあった場合、全ストリームに影響（表示がカクカクした後フリーズ）が出ることも判明した。

c) LA時の各CCTVのマルチキャストパケットの経路

リンクアグリゲーション下にて複数アンテナが伝送を行っているとき、あるCCTVのマルチキャストパケットは必ず同じアンテナ経路を経由することが判明した。パケット単位で別のアンテナに分散されて送信されることはない。

アンテナ障害発生時に、リンクアグリゲーション機能にて別アンテナに経路が切り替わる場合、CCTV単位にて切り替わることとなる。アンテナ数の設計時に考慮すべき条件であることが判明した。

d) LA時のアンテナ障害発生時の挙動検証

リンクアグリゲーション機能では、不通経路が発生した場合、自動的に帯域に余裕のある経路に振り分けて伝送される。この点が、各アンテナに固定的にCCTVを割り当てる固定モードとの大きな違いであり、全体として可用性が大きく増大する。それを検証した。

結果として、良好に機能することが判明した。

複数アンテナで複数CCTVを伝送している伝送状態から、アンテナを一台ずつ接続断（機器故障を想定）としても、残りのアンテナの帯域合計が伝送容量を越えていれば瞬断無く伝送可能であることを確認した。ただし、以下の条件がある。

- ・L3-SWが、各無線LANアンテナポートの伝送接続断を的確に把握し、リンクアグリゲーション機能を働かせることが出来ること。
- ・L3-SWにより、アンテナが生きていれば接続断と判断しない場合がある（対向側のアンテナ不調や、強風による設置方向のズレ発生など）。経路の伝送状態からリンクアグリゲーション機能を稼働させる方式が必要である。

e) 帯域不足の影響算定

複数あるアンテナが故障や強風などにより順次接続断となり、総伝送容量が減り、接続要求されている伝送容量を下回った場合の挙動を検証した。

結果、帯域の不足発生は全クライアントに影響を与えることが判明した。特定のクライアントのみの接続断とはならない。

帯域が不足した段階で、複数のクライアントの映像表示では、全てコマ落ち、フリーズと影響が出た。

ただし、アンテナを復旧させると、およそ1分後には全映像も復旧し、問題無く滑らかに表示された。

したが、実際、映像不良が発生した場合にはクライアント側もリクエストを取り止めることが想定され、結果、帯域容量以下に要求数が出れば自動的に復旧することが推測される。

6. まとめと今後の展開、応用

全体として想定以上に良好な実証値、検証成果を得ることができた。

これまで光有線と無線には伝送容量に大きな開きがあり、無線経路は音声通信など連絡手段のバックアップとしてのみに役割が制限されていた。

しかし、当方式により、映像伝送まで含めた広帯域の無線迂回路の構築が可能である事が判明した。

一般にメーカー推奨値には一定のマージンが含まれるものだが、当検証により、より現場に即した厳しい設置条件でも運用可能であるとの確証が得られた。検証の結果、実機の導入が決定された。

当方式の応用のひとつとして、当件で検証した25GHz帯無線LAN装置に加え、5GHz帯無線アクセスシステム2台（要有資格者）の併用により、実効スループットが500Mbpsを越え、1G光ケーブルの代替となり得る回線も検討可能であり、適用の範囲も大きく広がる。光と無線を融合させたネットワークの構築によるさらなる信頼性の向上に寄与する技術として、別の機会に改めて検証を進めていきたい。

7. おわりに

自然災害の激甚化、頻発化、巨大化が著しい昨今に於いて、被災現場の映像に対する要望は非常に大きく、広帯域迂回路構築による可用性拡大への要望は日々感じるところである。

本稿は災害発生時の被災地映像ニーズに広く実効的に対応するものとして、その有効性を証するものであり、同様の課題を抱える方々の一助となれば幸いである。

謝辞：NEXCO中日本(株)、日本無線(株)、名菱電子(株) 村上氏、(株)クイックフォックス米光氏、亀谷氏、その他現場ご担当各位には、実験環境のご提供、膨大な機材手配、複雑な装置調整、冬期の長期高所作業、機材設置の様々な工夫他にて多大なるご貢献とご尽力を頂いた。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 前田光亮、今尾竜：「三重管内におけるネットワーク強化方法の策定について」、建設電気技術 2019技術集、一般社団法人 建設電気技術協会、pp. 110-117。

安ハスマートICの開通による整備効果分析

○都竹延晃¹・前野慎介¹

¹ 中央コンサルタンツ株式会社 本店（〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11番23号）

本稿は、平成30年3月24日に東海地方初の本線直結型のスマートインターチェンジ（以下、スマートIC）として開通した「名神高速道路 安ハスマートIC」に関して、開通後の利用状況及び整備効果を分析した事例を報告するものである。

安ハスマートICは開通後、計画交通量を上回る利用が観測されているなか、当初予測と乖離する要因や、スマートICの開通による周辺環境の変化を踏まえた整備効果を分析した。なお、これらの分析結果については、今後、国土交通省、NEXCO中日本、岐阜県、安八町等で構成するスマートIC地区協議会において報告される予定である。

Key Words : スマートIC, 本線直結型, 利用状況分析, 整備効果分析

1. はじめに

スマートICは、建設・管理コストの削減が可能なインターチェンジ（以下、IC）として、高速道路の有効活用による一般道路の渋滞緩和や地域間の交流促進、文化・産業振興等を目的に、多くの自治体で導入に向けての取り組みが進められている。

現在では、多くのスマートICが供用されているが、平成25年の計画当時は、本線直結型のスマートICは全国的にも事例が少なく、関係機関との協議を幾度も重ねて進めてきた事業である。

本稿は、平成30年3月24日に開通した名神高速道路安ハスマートICの供用後の利用状況ならびに整備効果の分析を行った結果を報告するものである。

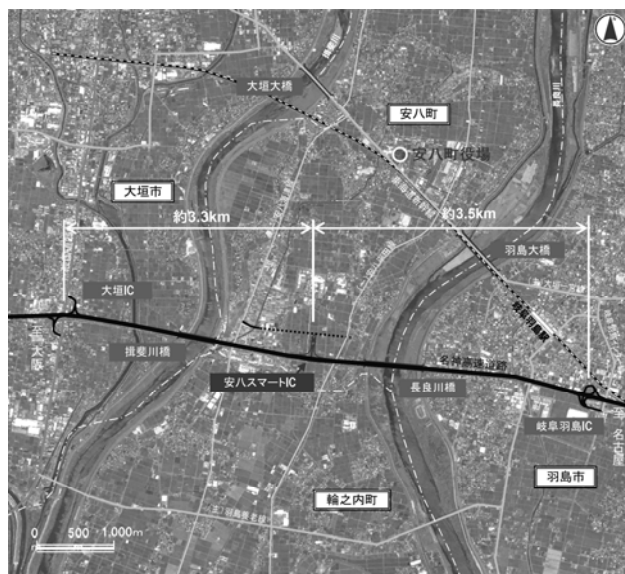


図-1 安ハスマートICの設置場所

2. スマートIC導入の目的

岐阜県安八町は、揖斐川・長良川といった両大河に挟まれた輪中地域にあり、県内有数の穀倉地帯でありながら、多くの企業が立地する工業都市である。また、昭和51年の「9.12安八水害」は長良川堤防が決壊し、ほぼ全域が濁流により泥海化したことで、ほとんどの家が床上浸水する大きな被害を被った。

このように、安八町は両大河に挟まれた地形上、渡河部を経由して往来する必要があるが、限られた渡河部では混雑が慢性化しており、常時・災害時における地域へのアクセス性に課題があった。

このため、安八町へのスマートICの設置計画は、物流網の強化による既存企業の発展や、企業誘致の促進、災害時における強靱な緊急輸送道路の確保や、渡河部を通過する交通の分散、観光振興の支援など、多面的な効果を期待して計画されたものである。



写真-1 優良な穀倉地帯



写真-2 安八水害の様子



写真-3 周辺道路の混雑状況



写真-4 安八百梅園

3. 安ハスマートICの計画概要

(1) 計画概要

安ハスマートICは、名神高速道路のバスストップ（休止中）の一部を活用し、本線直結型で計画した。名神高速道路の下り線側の周辺には家屋が密集し、出入口を設けることで住環境に影響を及ぼす恐れがあるため、本線をオーバーパスする構造で、上り線側に出入口を集約した経緯がある。



図-2 安ハスマートICの概形

(2) 構造規格

安ハスマートICの運用形態は、計画地周辺に企業立地が計画されているなど、通勤や物流交通の利用が多いことを踏まえ、フルインター形式で計画した。対象車種は、工業等に出入りする物流交通に対応したICとするため、全車種とした。

表-1 構造規格

□運用・接続形態	フルインター形式・本線直結型
□利用方向	全方向出入り可能
□運用時間	24時間
□対応車種	ETC搭載車を搭載した全車種 (通行可能対象車長L=16.5m)

(3) 設計条件

①ランプ規格／A規格

計画交通量及び本線設計速度よりA規格とした。

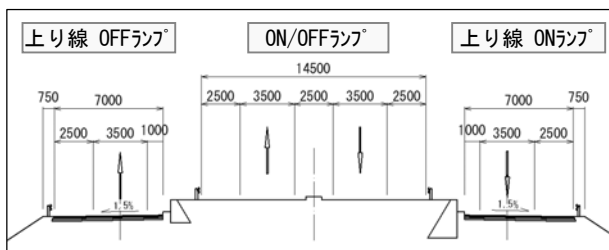


図-3 標準横断構成

②設計速度 V=40km/h

スマートICは一旦停止型の料金徴収形式であるが、接続形式が本線直結型であるため、インターチェンジの速度区分を採用して計画した。

4. スマートICの利用交通量と特性分析

(1) 安ハスマートICの利用交通量

安ハスマートICの計画交通量は、供用予定であった平成29年時点では約2,800台/日と予測していたが、H31.3時点での利用交通量は約5,600台/日まで上り、当初想定約2倍の交通量が観測されている。

これらの理由を確認するために、安ハスマートICとのインターペア（出入り先のインターチェンジ）を整理し、交通量推計で予測した結果と対比した。その結果、安ハスマートICの利用特性として、短い区間で高速道路を利用する動きが増えた点や、高速道路を新たに利用する誘発交通が、想定当時よりも多くなっていることが明らかになった。

これは、並行する一般道路の混雑を回避するため、短トリップでの高速利用が多くなったと推察される。

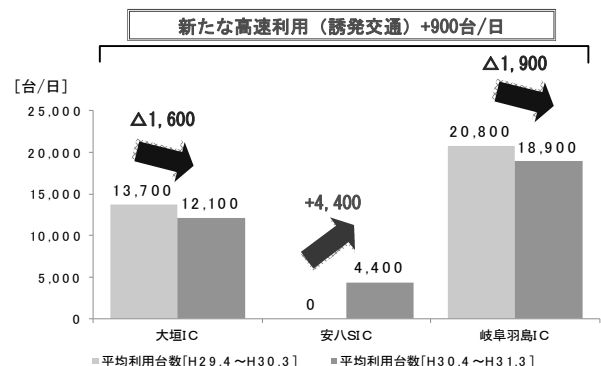
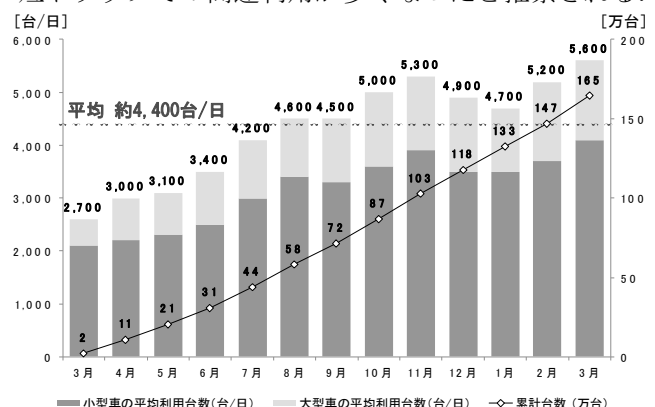


図-4 安ハスマートICの利用状況（交通量）

(2) 安ハスマートICの利用特性

安ハSICの地域別利用割合は、東海地域が8割以上と多く、東海地域の中では、愛知県との往来が約8割と最も多い。

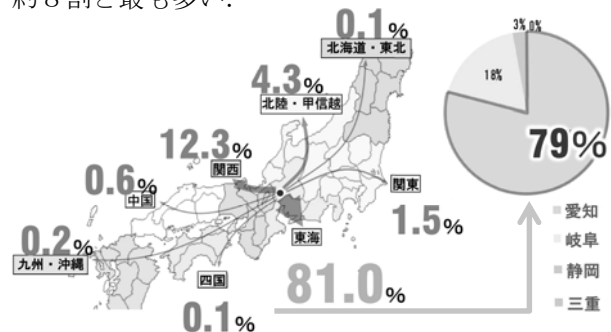


図-5 安ハスマートICの地域別利用割合

安ハスマートICを利用する交通は、入退出ともに名古屋方面との往来が約8割を占めており、名古屋方面との往来が強い地域であることが分かる。

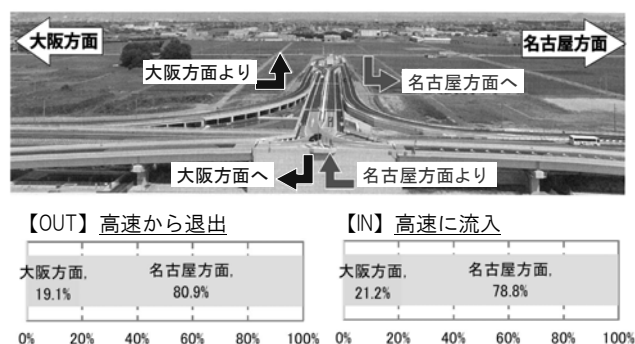


図-6 安ハスマートICの利用状況（方面需要）

(3) 利用実態調査に基づくスマートICの利用状況

① 調査概要

安ハスマートICの使われ方を把握するために、安八町内の主要企業や地域住民を対象とした利用実態調査を実施した。

表-2 調査概要

	地域住民（安八町民）	町内企業
主な確認事項	・利用実態 ・一般道の変化 ・日常生活での変化	・利用実態 ・整備後の取組 ・企業活動への影響
調査規模	1000世帯（無作為抽出） （回収率42.8%）	100社 （回収率49.0%）
調査方法	郵送配布	郵送配布（事前連絡）

② 地域住民におけるスマートICの利用実態

地域住民の利用目的は、娯楽・レジャーが約7割、通勤や業務関連は約1割である。そのため、週1回以上の利用は1割程度で、地域住民の利用は少ない。

また、スマートICを利用する約7割は、これまで隣接IC（岐阜羽島IC、大垣IC）を利用していたが、開通後はスマートICを利用している。

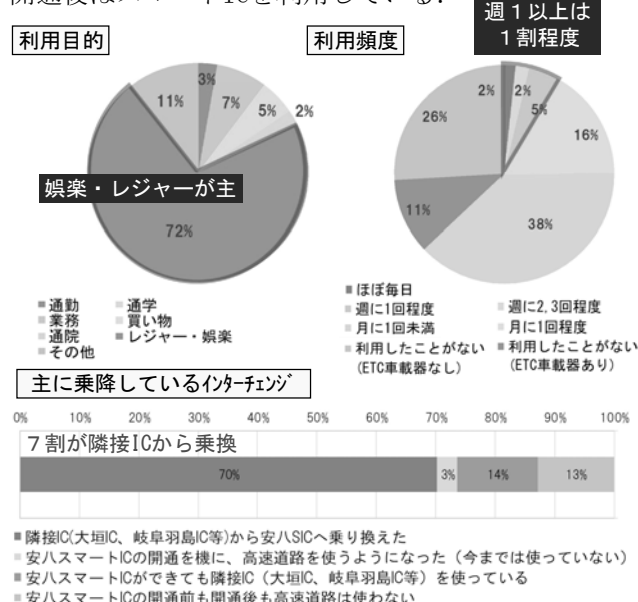


図-7 安ハスマートICの利用実態（地域住民）

スマートICによる日常生活の変化としては、所要時間のバラツキが小さくなったという意見が多く、渡河部の渋滞を避けられる効果が大いと考えられる。

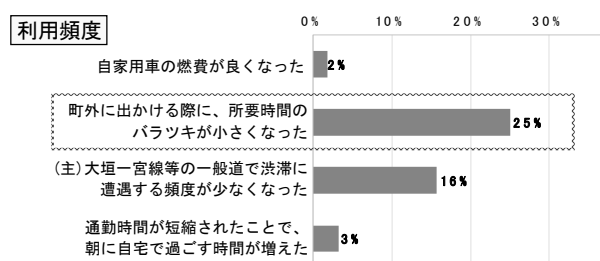


図-8 安ハスマートICによる日常の変化

③ 周辺企業におけるスマートICの利用実態

周辺企業においても、約7割の交通が隣接ICから安ハスマートICへ乗り換えた結果であった。

また、スマートICにより運送・配送ルートの変更や移動時間の短縮による生産性の向上、渋滞回避による従業員の時間創出、営業車等の燃費向上など、生産活動への効果を挙げる企業も見られた。

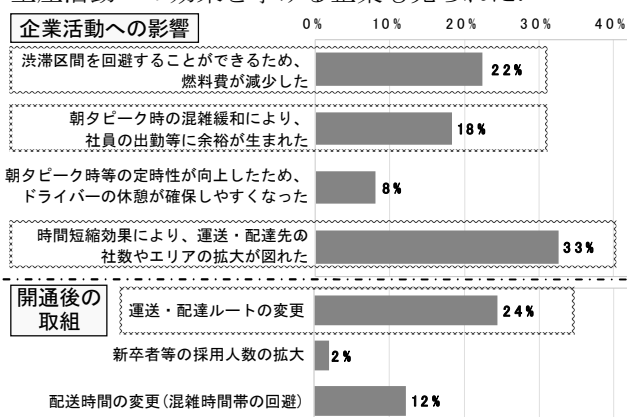


図-9 安ハスマートICの利用実態（企業）

④ スマートIC供用前後の通過交通量の対比

安八町の中心部を東西に横断し、両渡河部に至る(主)大垣一宮線は、名神高速道路と並走するため、スマートICを経由する一般道から高速道路への転換を期待していたが、供用前後の交通量に大きな変化は無く、県道の渋滞は残存する状況であった。

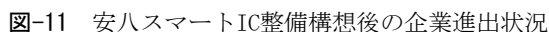
なお、安ハスマートICを利用する交通の多くは、揖斐川や長良川の堤防道路方面に向かい、堤防道路を北上していく動きが多い。



図-10 スマートIC周辺の交通状況の変化

(1) 地域産業 ～企業立地の促進～

また岐阜県では近年、転出超過が続いているなか、安八町は、H29を除いて大きな減少が無いことから、スマートICが人口の流出抑制にも寄与しているなど、産業振興に関わる効果も得られていると考えられる。



理由	割合 (%)
高速道路へのアクセス性が高いこと (スマートICが近接すること)	43%
土地代が他都市と比較して安価であること	29%
一団のまとまった土地が確保できること	86%
他の拠点に近接していること	43%
その他	0%

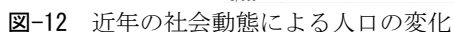
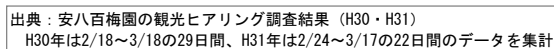


図-13 安八百梅園の来訪者



また、安ハスマートIC開通をきっかけに洪水対策の一貫とした高速道路区域の一時使用に関する協定の締結や新たな防災拠点の形成など、地域防災力の向上に向けた動きが活発化している。



今後もIC周辺では、企業誘致を継続していくため、地域内での交通量の増加が懸念される。地域活性化に併せ、地域の安心安全の確保も大事であるため、交通対策についても強化していくことが重要である。

- 1) 安ハスマートインターチェンジ実施計画書 安ハ町HP
- 2) E 1 名神高速道路安ハスマートインターチェンジ整備効果 ～開通後1年の利用状況及び整備効果について～ 安ハ町HP

ドローン空撮動画を用いた渋滞状況分析

○北川 剛弘¹・田口勝則¹・吉田猛志¹・高野剛志¹

¹大日本コンサルタント株式会社 中部支社（〒451-0045 名古屋市西区名駅2-27-8）

本稿は、写真撮影のほかインフラ点検や測量など、多様な用途で活用されているドローンの空撮動画から渋滞発生メカニズムを分析する手法について紹介する。

本業務は、国道21号可児御嵩バイパスの暫定2車線区間において、広範囲にわたる渋滞状況を把握するため、ドローン空撮動画を用いた渋滞状況分析手法を考案したうえで、渋滞状況及び渋滞要因を調査・分析し、一部区間4車線化の効果を予測した。

Key Words : ドローン空撮, 動画解析, 渋滞要因分析, 渋滞対策, 対策効果予測

1. はじめに

本業務は、国道21号可児御嵩バイパスの暫定2車線区間において、道路交通課題からみた緊急性の高い箇所を抽出するとともに、短期対策と中長期対策を検討し、整備効果が最大となる効率的な対策優先順位を立案したものである。

本稿では、整備優先区間（上恵土本郷西交差点～伏見野崎交差点）において、4車線化の対象区間を検討し整備効果を予測するために実施した「ドローン空撮を活用した渋滞状況分析手法」を紹介する。



図-1 対象区間

2. 業務の課題と対応策

(1) 課題

対象区間は、信号交差点が400m間隔で連続する渋滞発生箇所であり、平日の渋滞長調査が実施されていたものの、渋滞長があまり観測されていない（渋滞長が短い）ほか、交差点相互の影響が把握されていないなど、区間全体の渋滞状況を分析するための実態データの収集が不十分であった。

(2) 対応策

まず、ETC2.0データを分析し、旅行速度が20km/h未満に低下している区間が約1km延伸していること、時間帯が休日15～16時頃であることを特定した。

次に、現地において、信号待ちの車列が約1km延伸している状況を確認したが、1つの交差点に着目すると、概ね1回のサイクルで処理できているようにも見えた。

このため、通常の渋滞長調査で交差点ごとに滞留長と渋滞長（信号の捌け残り）を調査しても、区間全体の渋滞状況の明確化は困難であると考えた。

そこで、区間全体の渋滞状況、渋滞要因、交通容量等の把握を可能にするため、「動画撮影と動画解析による渋滞メカニズム分析手法」を検討した。

動画撮影は、道路上にカメラを設置する手法もあるが、交差道路に立地する商業施設の出入交通の影響、先詰まりの影響など、多様な渋滞要因が複雑に作用していることが考えられたため、上空から広範囲を撮影可能な「ドローン空撮」を採用した。



図-2 ドローン空撮写真

3. 業務実施上のポイント

(1) 調査計画

市街地内における交通量の多い国道沿いで飛行するため、特に安全管理に留意し、防止飛行承認を取得した専門技術者と安全管理者の配置、天候や風速など撮影条件や事前点検項目等を定めた作業計画書を作成し、発注者と協議のうえ実施した。

また、もしもドローンが落下してしまった場合の対策として、撮影ポイント周辺で十分な面積（約1,000㎡）の土地利用許可を得て、土地内中央から垂直方向にドローンを操作することとした。

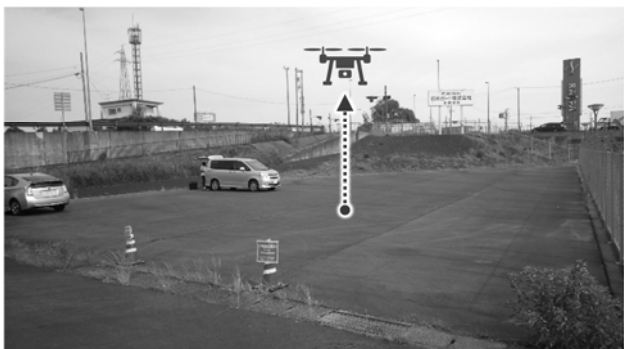


図-3 ドローンの操作スペース

(2) 動画撮影

ドローンのバッテリーは20分程度しかもたないため、15分交代の2台体制とすることで、2時間以上の連続撮影を実施した。

項目	PHANTOM4PRO プラス
写真	
重量	1,388g
対格寸法	350mm
最大飛行時間	約 20 分

図-4 使用機器

(3) 動画解析

撮影動画をもとに、信号青時間や交差点間のオフセット、単位時間ごとの渋滞末尾位置や車種別通過交通量、車両の発進遅れ時間や交差道路からの合流車両の挙動など各種データを取得した。

更に、それらのデータを分析することで、対象区間の特性を考慮した交通容量、滞留長と通過時間の関係性等を解明した。

上空から広範囲を撮影したことで、交差道路からの交通量と到着交通量の合計がボトルネック箇所の交通容量を超えた際に、発進遅れが後続車両に伝播し、滞留車両末尾が捌ける前に次の車両が到着すること（渋滞発生メカニズム）を特定した。

表-1 取得データ

- ① 捌け交通量（方向別・時間帯別・車種別）
- ② 滞留長、渋滞長（方向別・信号サイクルごと）
- ③ 信号データ（現示時間や交差点間のオフセット）
- ④ 交差道路からの合流車両の台数や所要時間
- ⑤ 発進遅れ時間、左折時間、右折時間 等

4. おわりに

渋滞要因として、①上恵土本郷西交差点の青時間が最も短いことからボトルネックになっていること、②交差点が近接しており交差路から流入した車両で交差点間が占有され本線交通が先詰まりしていること、③上恵土本郷西交差点を先頭に発進遅れが後続車列に伝播し、車列が約1km延伸していること等を特定した。

【要因1】上恵土本郷西交差点の信号赤時間が長い



【要因2】交差道路からの合流交通が多い（片側1車線では滞留スペースが不足）



【要因3】滞留長が長く発進遅れが伝播（末尾が発進前に後続車が到着）



図-5 渋滞要因

ドローン空撮を用いることにより、広範囲にわたる渋滞状況を動画や写真で明示できたため、分析だけでなく、説明や認識の共有も容易であった。

交差点解析等による標準的な交通容量だけでなく、対象区間の特性を考慮した交通容量を動画の最大通過交通量等から分析できた。また、交通実態に基づく容量解析をもとに一部区間4車線化の効果を予測し、事業の有効性を明らかにできた。

ドライバー視線を取り入れた交通事故分析

首藤貴子・松岡寿章・埋橋章佳

セントラルコンサルタント（株）中部支社（〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1丁目18-22）

事故ゼロプランの取組が始まり、約10年を迎える。PDCAマネジメントサイクルにより交通事故対策が実施された箇所において対策後交通事故データが集計され、対策内容と交通事故削減効果の確認が行われているが、効率的・効果的に交通事故を削減するためには、対策内容とその効果についてより深く分析する必要がある。交通事故削減効果を分析するにあたって、従来の交通事故要因分析では、対策内容と交通事故削減件数の相関を示すことはできるが、同じ事故対策であっても効果発現の有無については言及されていない。

そこで本分析では、交通事故対策業務におけるこれまでの交通事故要因分析の手法や課題を踏まえて、ドライバーの実際の視線に着目し、対策に向けられる視線の状態から事故対策を評価する可能性を見出した。

Key Words：事故対策、交通事故削減効果、ドライバー視線、アイマーク

1. はじめに

(1) 我が国の交通事故状況

昭和23年から令和元年までにおける交通事故件数の推移を図-1に示す。自動車保有台数の急増や道路整備の進展によって、昭和45年ごろに「第1次交通戦争」と呼ばれる第一次ピークを迎えた。その後、減少へ向かったが、昭和50年代半ばより増加に転じたことで「第2次交通戦争」と呼ばれる状況となり、増加傾向に歯止めがかかることなく、平成16年に第二のピークを迎えた。¹⁾

そして、ピーク後の平成17年から現在までは、減少傾向が続いている状況にある。

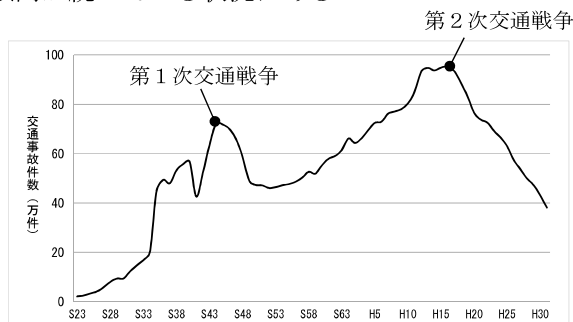


図-1 交通事故件数推移

（警察庁の統計表をもとに作成）

(2) 交通安全対策事業について

国土交通省は、第1次交通戦争の昭和45年に交通安全対策基本法を制定し、第一次交通安全基本計画を策定するなど交通事故削減を目指して交通安全対策事業（事故対策）を始めた。その中で、幹線道路の事故対策は、平成15年から事故危険箇所の指定、

及び平成22年から交通事故を集中的かつ継続的に削減することを目的とした「事故ゼロプラン（事故危険区間重点解消作戦）」に取り組んでいる。この取組は、「選択と集中」「住民参加・協働」により進めるもので、「事故データ」と「地域住民のアンケート」に基づいて危険箇所の選定を行い、優先度の高い箇所から対策を実施していくものである。²⁾

交通安全対策事業は、事故ゼロプランで挙げられた危険箇所等に対して、交通事故を削減していくために設計を行うが、これには2種類の対策が存在する。

一種事業は、交差点改良を重点に、交通の整流化を図るものである。図-2で示す右折車線の中央寄せの例は、右折を反対車線に寄せることことで、対向直進車の視認性を改善するものである。

二種事業は、既存の道路を分かりやすく示す対策である。図-3に示すカラー舗装の例は、路面を着色することでドライバーに走行位置を誘導するものである。

取組が始まって約10年が経過した今、取組当初に選定された箇所のほとんどが対策実施済となっており、対策内容とその後の交通事故状況を確認することが重要になっている。



図-2 一種事業



図-3 二種事業

2. これまでの交通事故分析と事故対策の課題

(1) 交通事故分析について

交通事故分析は、公益財団法人交通事故総合分析センター（イタルダ）が毎年作成している「交通事故・道路統合データベース」と、警察がとりまとめている「交通事故統計データ」、そして「事故詳細図（事故図）」を基に行う。これらによって、いつ、どこで、だれが（年齢、車両種別）どんな事故を起こしたのかが明らかになり、箇所ごとの交通事故多発位置や、交通事故特性から、当該箇所における適切な事故対策を立案できる。

(2) 二種事業の事故対策の課題

二種事業では、「路面標示」や「カラー舗装」が多く実施されているが、全国で共通した仕様はなく、各国道事務所が独自にマニュアル等を作成している状況にある。

二種事業の事故対策による交通事故削減効果は、単純な対策実施前後の交通事故の件数の比較のみ行われており、事故対策仕様（着色箇所や延長）と事故削減に関する検証は実施されていない。そのため、事故対策を実施する年ごとに、仕様の改善を試みるが、設計者による定性的な判断で評価が分かれてしまうため、現在の道路には、多様な種類の事故対策仕様が混在している状況にある。

本分析では、定性的な評価で仕様を決定してきた二種事業の事故対策について、定量的な評価を実施し、事故対策仕様の効果について検証する必要がある。

3. 定量的な評価手法の提案

評価対象は、二種事業で多く施工されている「路面標示」「カラー舗装」とし、交通事故件数の増減変化を整理し、事故対策実施後、交通事故の減少が見られた箇所を「交通事故削減効果がある」と定義づけた。

(1) 従来の評価手法

従来の評価は、現況の幹線道路に存在する多様な事故対策の種類をパターン分けし、事故ゼロプランで選定された箇所の交通事故件数の増減変化から効果のある事故対策を抽出する手法が使われている。

a) パターン分類

「路面標示」「カラー舗装」対策は、23タイプに整理された。ここから着色部の施工範囲に着目し、8つのパターンに分類した。（図-4参照）

b) 効果のある事故対策の抽出

事故ゼロプランで選定された箇所のうち、「路面標示」「カラー舗装」の対策が実施された箇所は38箇所である。（図-5参照）

分類したパターンを確認すると、同一対策において、効果の有無が存在しており、従来の評価方法では効果のある事故対策を明瞭にすることは難しい。

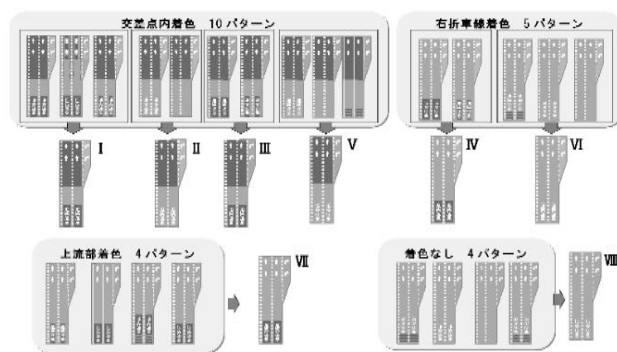


図-4 二種事業の分類

		パターン							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
カラー舗装着色部	交差点	○	○	○		○			
	右折	○	○		○		○		
	単路	○		○	○			○	
	効果あり（箇所）	1	2	1	2	3	5	1	12
効果なし（箇所）		1	1	0	3	1	3	1	1

○：同一対策において交通事故削減効果の有無が発生

図-5 パターン別事故対策の効果検証

(2) アイマークカメラによる、ドライバー視線に着目した評価手法

前節では、「路面標示」「カラー舗装」のパターンを評価していたが、効果のある事故対策が明瞭にならなかったため、「路面標示」「カラー舗装」を単独で評価する。評価にあたっては、二種事業の事故対策が効果発揮に重要となる『ドライバーの視線』に着目し、評価を行った。

『ドライバーの視線』の定量的評価には、アイマークカメラ調査で得た視線データを用いた。

a) 対象となる事故対策と箇所

多く設置されている追突事故対策を対象とし、図-6に示すような「路面標示」を対策A、「カラー舗装」を対策Bとした。

一般的に対策Aは対策Bと比べて対策延長が短くなっている。

対策 A	対策 B
「追突注意」文字 ＋赤カラー舗装	車線 赤カラー舗装
対策延長 25m程度	対策延長 30m～100m程度

図-6 対象の事故対策

また、対策A、Bそれぞれについて、交通事故削減効果の有無がある箇所を表-1に示す。

表-1 分析対象交差点

		対策A	対策B
事故削減効果	あり	K交差点	S交差点
	なし	G交差点	N交差点

対象箇所では、一部対策に劣化が見られたことから劣化状況を表-2のように整理した。なお，“劣化あり”と表記する基準として、対策A（路面標示）は「文字が読めない」、対策B（カラー舗装）は「半分程度アスファルトが見える状態」と設定した。

表-2 対策の劣化状況

		対策A	対策B
劣化	あり	G交差点 	S交差点 
		K交差点 	N交差点 
	なし		

b) 調査内容

調査は、走行中のアイマークカメラ調査と走行後のドライバーに対するアンケートの2種類を行った。（図-7参照）

アイマークカメラ調査は、被験者に装着した専用の眼鏡から、眼の動きを読み取り、記録するものである。（図-8参照）被験者のパーソナルデータを表-3に示す。

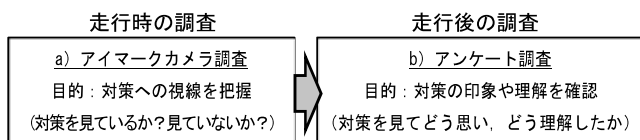


図-7 調査内容



図-8 アイマークカメラと設置状況

表-3 被験者条件

項目	内容
属性	一般ドライバー：30～60代 男性5名
運転歴	ほぼ毎日、通勤等で運転しているドライバー（初心者ドライバーを除く）
事故歴	近年の事故歴なし
地域精通度	対象地域に精通していないドライバー ※対象地域に精通したドライバーは、対象箇所の車線運用や交通状況を事前に把握しており、個人による偏りが発生してしまう恐れがあるため、適さない

c) 集計方法

アイマークカメラから取得した視線データから、対象の対策A、B部について①視線滞在時間と②視線滞在回数を集計し、③ヒートマップに図化して検証を行った。

① 視線滞在時間（秒）

対象における視線滞在時間の合計時間を表す。

図-9では③～⑤、⑦～⑧の合計時間となる。

② 視線滞在回数（回）

対象における視線滞在の回数を表す。

図-10では③～⑤と⑦～⑧の2回となる。

③ ヒートマップ

対象へ視線を向ける時間頻度を表す。

色が濃くなるにつれて、視線を長く向けていることを示している。

（図-11参照）

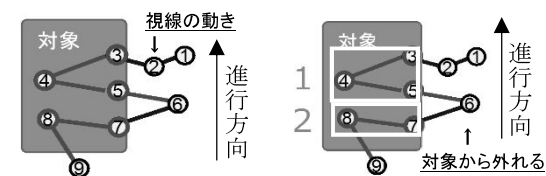


図-9 視線滞在時間

図-10 視線滞在回数



図-11 ヒートマップ

対策A（路面標示）と対策B（カラー舗装）について、アイマーク調査結果より求められた以下の指標を用いて分析を行った。

I 視線滞在1回あたりの時間

対策に視線を向けた1回あたりの平均時間のことであり、前節に示す①視線滞在時間（秒）を②視線滞在回数で除して求める。

検証には、被験者ごとの平均時間を合計した値を用いる。

II ヒートマップ

各被験者の視線滞在時間頻度（どこを長く見ていたか）を重ね合わせたヒートマップを用いて、ドライバーが視線の集中箇所を確認する。

d) 対策A（路面標示）の分析結果

表-4で、対策Aの視線滞在の1回あたりの時間を示す。交通事故削減効果が見られた箇所（K交差点）では、路面標示の劣化ありと劣化なしの2種類存在しているが、視線滞在1回あたりの時間は劣化のないものが長く、ヒートマップも劣化のないものの視線滞在時間頻度が高くなっていた。（図-12参照）

また、K交差点の、劣化がある路面標示では、視線滞在1回あたりの平均時間が、交通事故増加箇所（G交差点）と同程度であり、対策の劣化状況が関係していると考えられる。

表-4 視線滞在1回あたりの平均時間
(視線滞在時間(秒)／視線滞在回数(回))

交差点名		K交差点		G交差点	
事故		減少		増加	
対策状況 (延長) (劣化)	25m	25m	25m	25m	
	劣化あり	劣化なし	劣化あり	劣化あり	
停止線からの距離		① 約190m	② 約140m	① 約190m	② 約130m
被験者	101	1.16 / 2 = 0.58	1.64 / 1 = 1.64	2.28 / 2 = 1.14	2.54 / 2 = 1.27
	102		0.1 / 2 = 0.05	1.52 / 6 = 0.25	0.84 / 2 = 0.42
	103	0.78 / 3 = 0.26	0.02 / 1 = 0.02		
	104	0.36 / 1 = 0.36	1.22 / 4 = 0.31	0.62 / 3 = 0.21	0.02 / 1 = 0.02
	105	0.1 / 1 = 0.10	I		0.02 / 1 = 0.02
合計		1.30	2.02	1.60	1.73



図-12 ヒートマップ比較

対策A(路面標示)のように対策延長が短いものは、劣化がなく存在と形状をしっかりと認識することでドライバーに対して注意喚起が行われ、交通事故削減に繋がっていると思われる。よって、交通事故削減効果の発現は劣化に寄与していると考えられる。

e) 対策B(カラー舗装)の分析結果

表-5で、対策Bの視線滞在の1回あたりの時間を示す。交通事故削減効果が見られた箇所(S交差点)では、対策延長が75mとN交差点の30mと比べて長い。しかし、視線滞在1回あたりの平均時間は長く、ヒートマップでは、カラー舗装が劣化していても集中して認識される箇所は、どちらの交差点も停止線付近であり、違いがほとんど見られなかった。(図-13参照)

表-5 視線滞在1回あたりの平均時間
(視線滞在時間(秒)／視線滞在回数(回))

交差点名		S交差点	N交差点
事故		減少	増加
対策状況 (延長) (劣化)		75m	30m
		劣化あり	劣化なし
被験者	101	4.6 / 2 = 2.3	1.58 / 3 = 0.53
	102	3.52 / 7 = 0.5	0.56 / 7 = 0.08
	103	1.78 / 8 = 0.22	1.54 / 1 = 1.54
	104	11.3 / 10 = 1.13	2.72 / 8 = 0.34
	105	I 1.62 / 5 = 0.32	1.02 / 12 = 0.09
合計		4.48	2.57



図-13 ヒートマップ比較

対策B(カラー舗装)のように延長が長い対策は、対策の手前から視認することで、注意喚起及び交差点へ誘導される意識が働き、事故削減に繋がる。対策延長が事故削減効果の発現に寄与していると考えられる。

(3) ドライバー視線による定量的評価の結果

交通事故削減効果がある交差点では、ドライバーが事故対策に向ける視線滞在時間がポイントとなる。これは、対策の「延長」と「劣化」が要素になっている。対策延長が短い程、劣化しにくい仕様が必要であり、逆に延長が長いものは劣化状況下でも視認時間に影響しないことが分かった。このようにドライバー視線から事故対策を評価することで、コストを抑え効果的で持続性がある対策を実現することが可能となる。

4. おわりに

運転は、認知→判断→操作の連続行動であるが、交通事故直前までにドライバーが起こすエラーのうち約80%認知エラー(見落とし等)によるものである。³⁾

二種事業の事故対策は、ドライバーの視線に訴え、認知・判断をした上で正しい操作を促すものであるため、視認性向上が交通事故削減に繋がると考える。

本分析では、被験者数が少なく調査実施箇所も4交差点のみであり、複合的なドライバー視線の分析はできなかったが、ドライバー視線から定量的に評価する可能性を見出すことができた。この結果を踏まえて、次の機会では、異なる対策や、色の見え方等の分析を行い、交通事故削減に寄与できる対策を提案していきたい。

参考文献

- 1) 内閣府：特集 「交通安全対策の歩み～交通事故のない社会を目指して～」
https://www.8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/zenbun/genkyo/feature/feature_01.html
- 2) 国土交通省：幹線道路における交通事故対策
<http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/torikumi.html>
- 3) 交通事故総合分析センター：イタルダイインフォメーション, No43, 2003.

中部国際空港を利用する訪日外国人レンタカー 利用者へのピンポイント事故対策の立案

すずきただひで いとうひろあき まつりゅうたろう
○鈴木忠英¹・伊東裕晃¹・松井竜太郎²

¹ (株) 建設技術研究所 中部支社 道路・交通部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-3)

² (株) 建設技術研究所 大阪本社 道路・交通部 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7)

近年、訪日外国人観光客の増加に伴い、レンタカーを利用する訪日外国人が5年間で約4倍に増加している。また、レンタカーの死傷事故件数は、利用者全体で見ると減少しているものの、外国人レンタカー利用の死傷事故件数は増加している。そのため、訪日外国人レンタカー利用者への対策が急務となっている。

本稿では、中部国際空港を利用する訪日外国人のレンタカー利用による事故を防止するため、ETC2.0プローブデータの急ブレーキデータ等を活用して外国人特有の事故危険箇所を特定し、ピンポイント事故対策の立案を行った。

Key Words : 外国人レンタカー, ピンポイント事故対策, ETC2.0

1. はじめに

近年、訪日外国人観光客の増加に伴い、レンタカーを利用する訪日外国人は、2011年から2015年の5年間で約4倍に増加している。

また、レンタカーの死傷事故件数は、利用者全体で見ると減少しているものの、外国人レンタカー利用の死傷事故件数は増加している。特に、沖縄県では物損事故を含む外国人レンタカーの事故件数が2014年から2016年の3年間で約3倍に増加している。

そこで、国土交通省では、急増する訪日外国人観光客のレンタカー利用による事故を防止するため、レンタカー事業者や警察、観光部局と連携しながら、ETC2.0プローブデータの急ブレーキデータ等を活用して、外国人特有の事故危険箇所を特定し、ピンポイント事故対策を講じることとした。実験地域として、外国人のレンタカー利用者の多い空港（那覇空港、福岡空港、関西国際空港、新千歳空港、中部国際空港）を中心とする5地域を選定した。

本稿では、中部国際空港を利用する訪日外国人のレンタカー利用による事故を防止するため、ETC2.0の急ブレーキデータ等を活用して外国人特有の事故危険箇所を特定し、ピンポイント事故対策の立案を行った。

2. 訪日外国人レンタカー利用者のデータ取得 方法及びデータ分析

(1) データ・調査概要

a) ETC2.0プローブデータ

使用するETC2.0プローブデータは、ETC2.0車載器を搭載した車両が、全国の高速道路や直轄国道に設置された通信スポットを通過する際に、通信スポットと車両が双方向通信を行うことでデータを取得できる仕組みである。ETC2.0プローブデータは、基本情報、走行履歴、挙動履歴から構成される。

走行履歴データは、前回蓄積した地点から200m走行した時点、進行方向が前回蓄積した地点から45度以上変化した地点で記録され、時刻、時間経過と連動した緯度経度情報、速度が取得できる。

また、挙動データは、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度が閾値を超えた場合に記録される。

本実験では、中部国際空港にて営業するレンタカー事業者にご協力頂き、レンタカーにETC2.0車載器を設置することでデータ取得を行った。

b) アンケート調査

レンタカーを利用する訪日外国人及び日本人ドライバーに対して、実験の主旨やETC2.0プローブデータの収集に関する同意書、及び、ドライバーの基本属性等を把握するためのアンケート調査票を作成した。

アンケート調査では、以下の項目を回答して頂くこととした。

＜アンケート内容＞

- ・国籍及び居住地
- ・日本での自動車運転経験 等

(2) 訪日外国人レンタカー利用者のデータ分析

データ分析では、2018年2月～2019年8月までに収集した125サンプルを対象に、アンケート調査、及びETC2.0プローブデータの結果より、訪日外国人レンタカー利用者の属性及び動向を把握した。

a) アンケート調査結果

アンケート調査結果を分析した結果、中部国際空港でレンタカーを利用する訪日外国人は、中国語圏内（台湾、香港）国籍の利用者が約6割を占める（図-1 左図）。また、過去5年での日本の運転経験は、3回以下が約4割を占め、日本国内での運転経験が少ない（図-1 右図）。

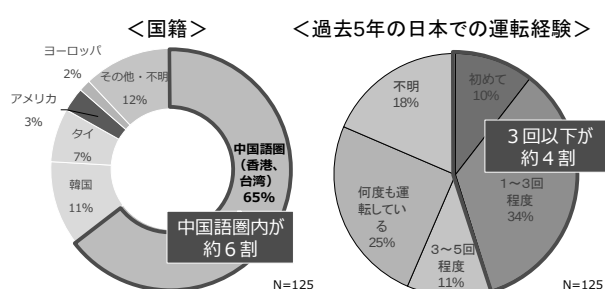


図-1 レンタカーを利用した訪日外国人の国籍（左）と日本での運転経験（右）

b) 訪日外国人レンタカー利用者の走行経路

ETC2.0プローブデータを分析した結果、中部地整管内の北部では、東海北陸自動車道や国道41号、国道158号、国道471号の利用が多くなっている。また、中部地整管内の南部では、伊勢湾岸自動車道や東名阪自動車道、名古屋高速、知多半島道路の利用が多くなっている（図-2）。

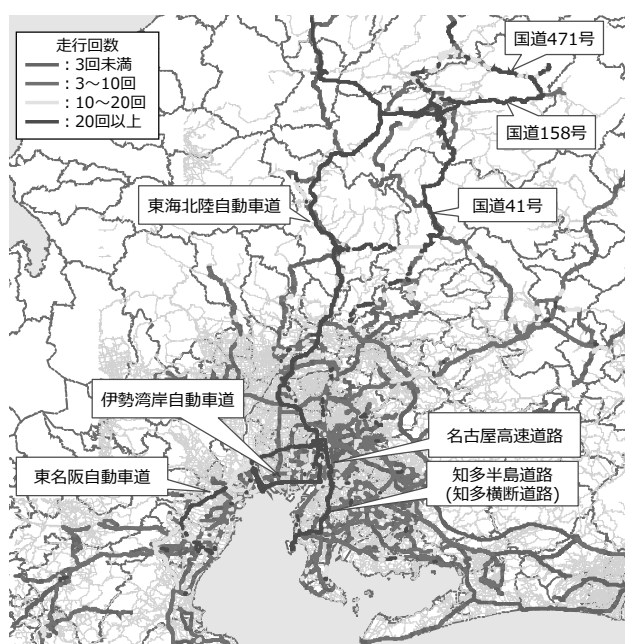


図-2 訪日外国人レンタカー利用者の走行経路

c) 訪日外国人レンタカー利用者の来訪場所

訪日外国人レンタカー利用客の市町村別の来訪率は、愛知県名古屋市、岐阜県高山市、岐阜県大野郡白川村が30%以上（訪日外国人レンタカー利用者の3台に1台が来訪）となっている。次いで、三重県桑名市、石川県金沢市が来訪率20%以上となっている（図-3）。

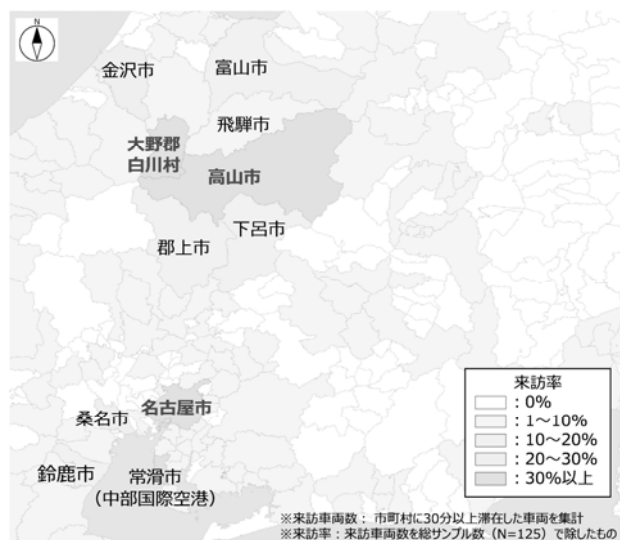


図-3 訪日外国人レンタカー利用者の市町村別来訪率

d) 訪日外国人レンタカー利用者の急減速発生箇所

岐阜県高山市では、高山市街地や奥飛騨温泉郷周辺の国道158号や国道471号等で急減速が多発している。岐阜県大野郡白川村では白川郷IC周辺、岐阜県郡上市では郡上八幡IC周辺や国道256号等で急減速が多発している。

名古屋市では名古屋駅周辺、愛知県常滑市では中部国際空港周辺、三重県桑名市では長島スパーランド周辺、三重県鈴鹿市では鈴鹿サーキット周辺で急減速が多発している（図-4）。

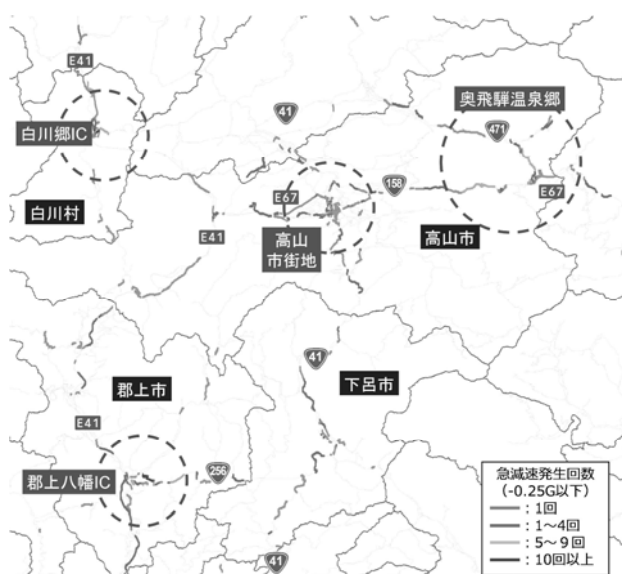


図-4 訪日外国人レンタカー利用者の急減速発生状況（岐阜県北部）

対策を実施している。



図-8 国道41号冬頭町西交差点の対策実施状況
[注意：速度落とせ（英語）]

b) ソフト対策

ソフト対策では、訪日外国人レンタカー利用者に対し、注意喚起を促すためのチラシを作成した。

チラシの内容については、日本の運転ルールに加え、日本で実施されている交通安全対策の内容や雪が降る地域でのタイヤチェーンの着用を促す内容とした。なお、チラシについては、英語、中国語（繁体字）、中国語（簡体字）の3バージョン作成した（図-9）。

作成したチラシについては、現在中部国際空港にあるレンタカー店舗にて配布して頂いている。



図-9 作成したチラシ（英語版）

(2) 効果検証

2019年12月に対策実施した国道41号冬頭町西交差点と名古屋高速道路星崎料金所手前の2箇所と作成したチラシについて、Webアンケートによる効果検証を実施した。

a) Webアンケート調査の概要

Webアンケート調査では、対策実施内容や作成したチラシについて対策効果があるのか日本に訪れたことのある外国人を対象に実施した（表-2、表-3）。

表-2 Webアンケート調査の概要（1/2）

調査概要	
回答者	3年以内に日本を訪れ、日本国内でレンタカーを運転した外国人
取得サンプル数	香港60サンプル、台湾20サンプル、韓国20サンプル（合計100サンプル）

表-3 Webアンケート調査の概要（2/2）

調査概要	
調査期間	2020年3月31日～2020年4月6日
質問内容	・注意喚起を促すチラシの必要性 ・チラシの必要でない理由 ・チラシに記載されている内容以外で提供してほしい情報 ・対策の有効性 ・対策が有効でない理由 等

b) Webアンケート調査結果

Webアンケートを実施した結果、チラシについては、国別に見ても9割以上の方がチラシは必要であると回答を得ることができた（図-10）。

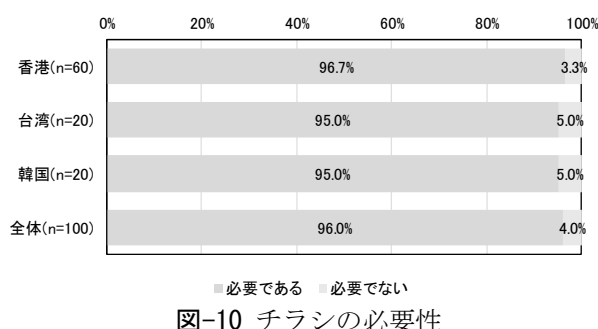


図-10 チラシの必要性

国道41号冬頭町西交差点で実施した対策の有効性については、国別に見ても85%以上の方が対策は有効であると回答を得ることができた（図-10）。

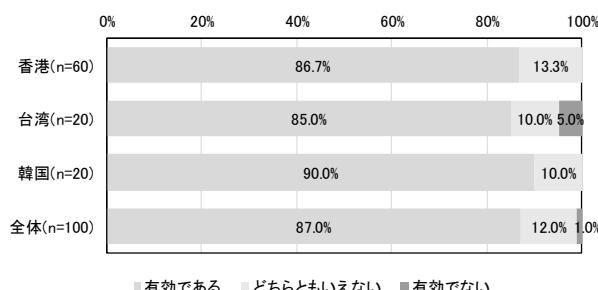


図-10 対策の有効性（国道41号冬頭町西交差点）

5. おわりに

本稿では、中部国際空港を利用する訪日外国人レンタカー利用者の事故危険箇所を選定し、対策立案を行った。対策を実施した2箇所について、Webアンケート調査による効果検証を実施した。

今後、事故危険箇所とした7箇所において、ETC2.0プローブデータによる効果検証を実施し、対策前後による走行速度の変化や急ブレーキ発生状況を把握する必要がある。

謝辞：本稿の投稿に際し、快く承諾頂きました中部地方整備局道路部交通対策課の関係者の皆様方に厚く御礼申し上げます。

橋梁詳細設計のBIM/CIM活用による 効率化と品質向上

○小澤拓也¹・山本高由¹・樋口雅友¹

¹中日本建設コンサルタント株式会社(〒460-0003 名古屋市中区錦1-8-6)

BIM/CIMは、建設生産管理システムで一貫した3次元データの利活用を図ることにより、設計ミスや手戻りの減少、単純作業の軽減、工程短縮等の施工現場の安全性向上、事業効率及び経済効果が期待できる。

本業務では、国道1号藤枝バイパスの橋梁詳細設計において、BIM/CIMを活用することにより、支持地盤サーフェスモデルによる杭の根入れ照査、点検時の視線確認、下部工の3D配筋モデルによる鉄筋干渉チェック、4Dモデルを用いた施工計画を実施することにより、設計の効率化及び品質向上に寄与した。

Key Words : BIM/CIM, 支持地盤サーフェスモデル, 鉄筋干渉チェック, 維持管理, 施工計画

1. はじめに

国土交通省は、i-Constructionのトップランナー施策である「ICTの全面的な活用」について、BIM/CIMを用いることにより、一連の建設生産システムにおける受発注者双方の業務効率化、高度化を図るため、平成28年6月17日に「CIM導入推進委員会(現在は「BIM/CIM推進委員会」に改称)を設置し、BIM/CIM導入に必要な制度、基準の整備及び生産性向上について検討している。

一方、実設計業務・工事においては、平成24年度から橋梁、ダム等を対象にBIM/CIMを導入し、平成30年度末時点で設計業務が291件、工事が339件、合計630件について、BIM/CIMが試行されている¹⁾。

本報告では、国道1号藤枝バイパスの橋梁詳細設計において、設計の効率化及び品質向上を目的としたBIM/CIMの活用内容、また、設計に対するBIM/CIMの活用に関する今後の展望を報告する。

2. 橋梁概要

(1) 橋梁諸元

本橋の諸元は下記に示すとおりである。

道路規格 : 第1種第3級
設計速度 : V=80km/h
幅員構成 : 全幅員9.996m~18.546m
平面線形 : R=9995m~A=350~R=1000m~A=350
縦断線形 : 0.650%~3.000%
横断勾配 : 2.000%~3.000%~2.000%(片勾配)
上部工形式 : 鋼7径間連続非合成少数主桁橋
橋台形式 : 逆T式橋台 A1場所打ち杭φ2000
A2深礎杭φ2500
張出式橋脚 回転杭φ1200
橋 長 : 303m
支 間 長 : 34.6m+5@44.5m+44.1m
活 荷 重 : B活荷重
重要度区分 : B種
地盤種別 : II種・III種地盤混合
適用示方書 : 平成29年11月

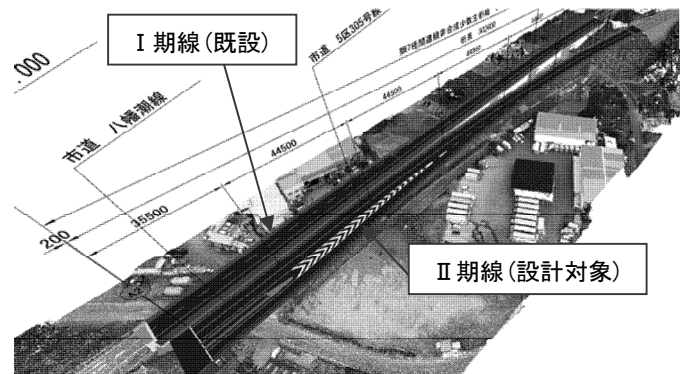


図-1. 橋梁完成予想図

(2) 本業務における課題

設計の効率化、品質向上を図ることに着目した、本業務における課題を抽出し、課題に対するBIM/CIMを活用した対応策を下記に示す。また、統括モデルによる完成予想図を図-1に示す。

課題① : 当該箇所は、山の侵食谷であることから、支持地盤が3次的に変化している。このため、杭の根入れ長を確認するために支持層を面的に把握する必要がある。

対応① : 地質推定縦横断図を基に支持地盤のサーフェスモデルを作成し、面的に支持地盤を把握し、杭の根入れ長を照査する。

課題② : 維持管理計画において、配置計画した検査路で各部材に対して近接目視が可能であることを確認する必要がある。

対応② : 3次元モデルにより、点検者の視線を再現し、各部材が近接目視可能か確認する。

課題③ : 下部工に高密度配筋箇所が生じるため、視覚的に配筋状況を確認する必要がある。

対応③ : 下部工の自動配筋用ソフトを活用して、3次元モデルを作成し、杭頭補強鉄筋箇所や支承箱抜き部の鉄筋の配筋が煩雑になる箇所について干渉チェックを行う。

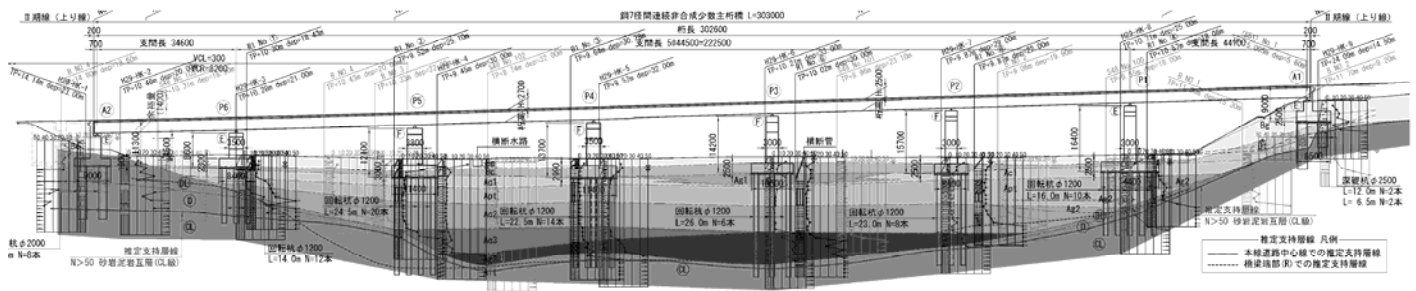


図-3. 本架橋位置の地層状況

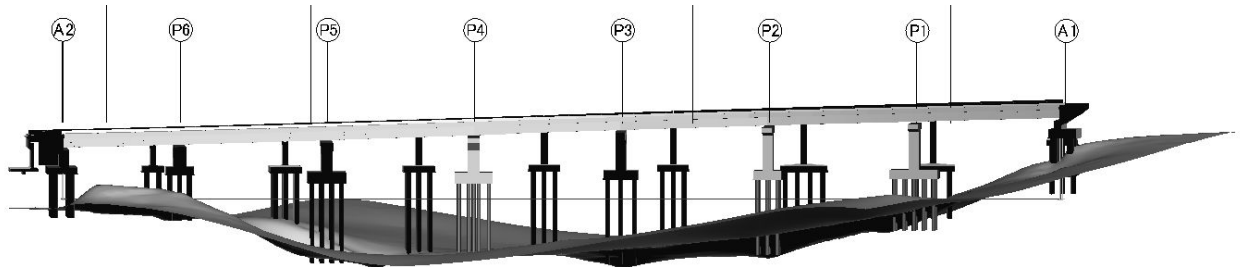
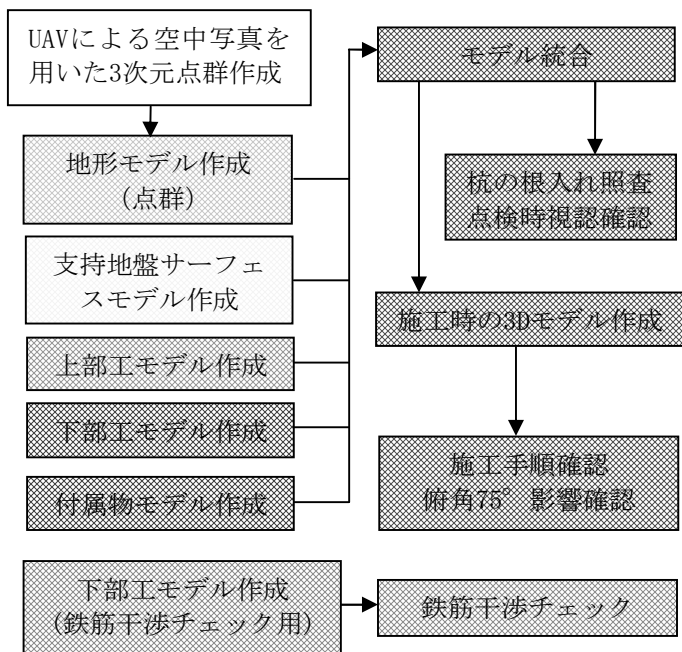


図-4. 本架橋位置の支持地盤サーフェスモデル

課題④：本橋は、I期線と民家に挟まれた狭隘部に位置するため、3次的に重機配置や施工手順を確認する必要がある。

対応④：各施工段階の3次元モデルを作成し、施工手順や俯角75°の影響を確認する。

上記の複数の課題に対する対応策について、作業手順を示したフローを図-2に示す。



※フローの着色は、下記の使用ソフトを示す。

青色：APOLLO (㈱横河技術情報)

赤色：CiviL3D (AUTODESK)

黄色：Geo-Graphia (㈱地層科学研究所)

橙色：ReCAP (AUTODESK)

緑色：3D配筋CAD (㈱FORUM8)

紫色：NavisWorks (AUTODESK)

図-2. 作業フロー

3. 支持層サーフェスモデルによる杭の根入れ照査

本架橋位置の地層は、図-3に示すように、砂岩泥岩互層からなる山の侵食谷に海水が侵入し、完新世の堆積物によって埋設・形成された軟弱地盤であることから、支持層が橋軸及び橋軸直角方向に傾斜している。このような地層状況の場合、杭の根入れ長が確保できていないことが懸念されることから、地層推定縦横断面図を基に、図-4に示す支持層サーフェスモデルを作成し、面的に支持面を把握した。

また、杭の根入れの照査方法については図-5に示すソフトの計測機能を活用することにより、設計の効率化、品質向上を図った。

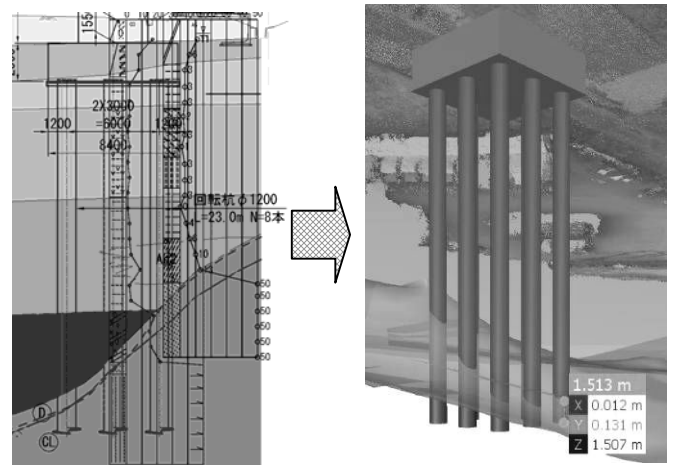


図-5. 支持層サーフェスモデルを用いた照査 (P2橋脚を代表)

4. 点検時の視線確認

維持管理については、平成29年道路橋示方書より、維持管理ができることの確実性について配慮すべきことが明確にされている。²⁾

本業務では、維持管理ができることの確実性について、図-6、図-7に示す3次元モデルを用いること

により、設計の効率化、品質向上を図った。

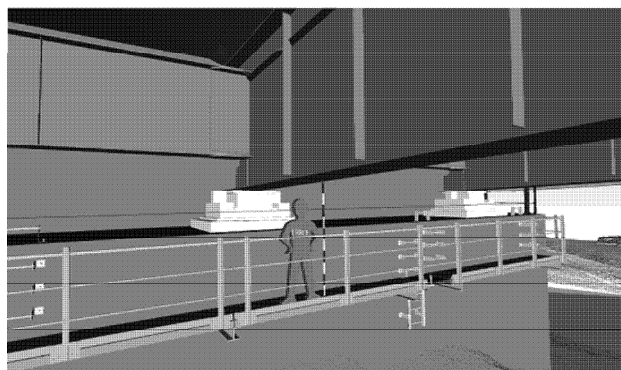


図-6. 支承部点検時 (A2橋台部)

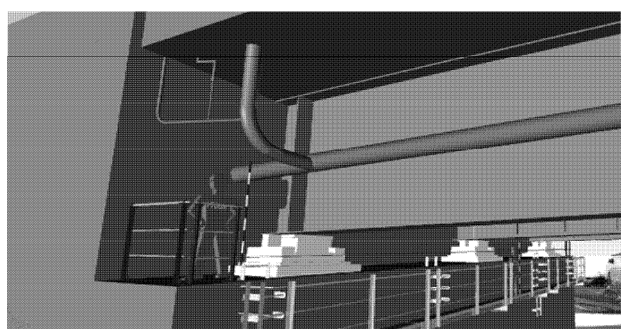


図-7. 上部工排水管点検時 (A2橋台部)

5. 下部工鉄筋の干渉チェック

下部工において、鉄筋の高密度配筋化が懸念され、施工時に鉄筋が組めない等の可能性があることから、設計時点で確実に照査しておく必要がある。

よって、本業務では、図-8に示すように、鉄筋を含めた下部工の3次元モデルを作成し、図-9及び図-10に示す、杭頭補強鉄筋部及び支承箱抜き部における干渉チェックを行い、設計の効率化及び品質向上を図った。なお、本業務で使用したソフトは、設計計算データを基に、自動的に下部工の3次元モデルを作成することが可能なソフトであるため、3次元モデル化に対する作業量を減らせることが出来る。

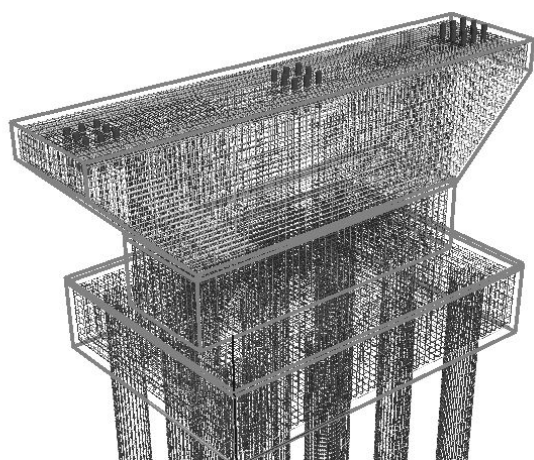


図-8. 下部工の3次元モデル (鉄筋含む)
(P6橋脚を代表)

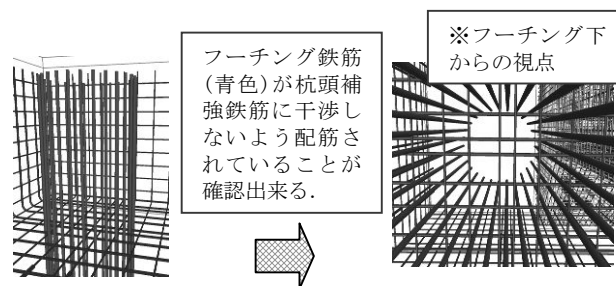


図-9. 杭頭補強鉄筋の干渉チェック

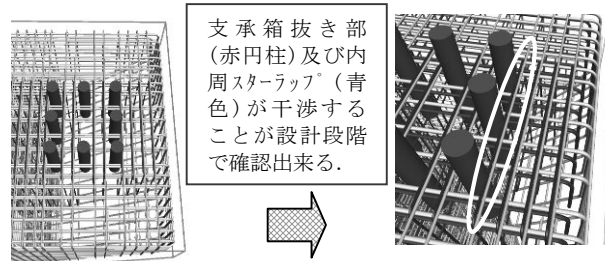


図-10. 支承箱抜きの干渉チェック

6. 3次元モデルを活用した施工計画

本橋は、I期線と民家に挟まれた狭隘部であるため、近接影響の検証を行い、施工計画に反映した。

(1) 下部工の施工計画

図-11及び図-12に示すI期線に最も近接する、A2橋台の3次元モデルより、下記に示す施工に関する妥当性及び留意事項を整理し、設計の効率化及び品質向上を図った。

- ①杭打設時のクレーンが俯角75°に干渉するため、杭の分割を設計に反映した。(図-11)
- ②杭打設時の近接影響範囲がI期線橋台に干渉するため、I期線橋台の定期的な変位計測やケーシングの慎重な引抜きが必要であることが明確になった。(図-11)
- ③掘削範囲を確認し、用地境界には影響しないが、I期線橋台に若干影響することから、慎重に掘削を行う等、留意点を明確にした。(図-12)

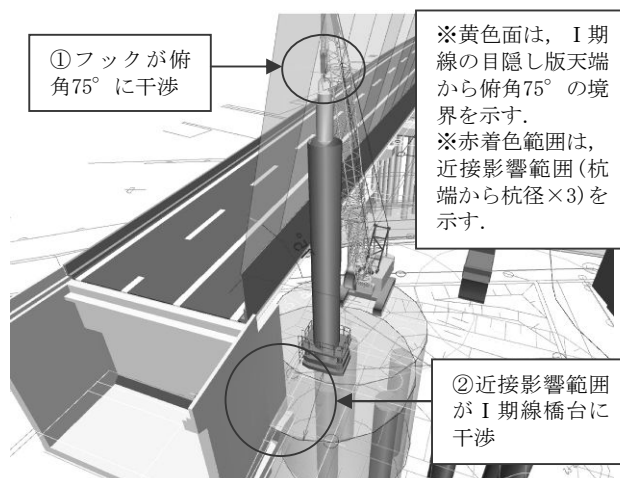


図-11. 杭打設時の3次元モデル

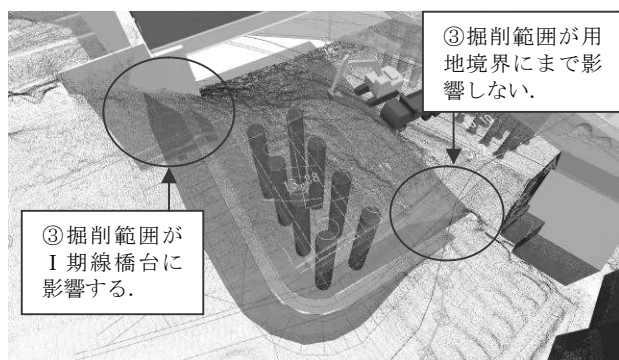


図-12. 掘削時の3次元モデル

(2) 上部工の架設計画

図-13～16に示す3次元モデルより、下記に示す施工に関する妥当性及び留意事項を整理し、設計の効率化及び品質向上を図った。

- ①合成床版架設時にブームと架設済の主桁が干渉しない重機配置となっていることが確認できた。(図-13)
- ②I期線に最も近接するA2-P6間の架設について、フックが俯角75°に干渉しない重機配置となっていることが確認できた。(図-14)
- ③I期線走行時に架設時の主桁ブロックが視認されることが確認できた。(図-15)
- ④最も狭隘となるA1-P1区間について、2次元図面では判断できなかった床版及びブームとの干渉を確認することができ、クレーン配置の見直しを行うことで干渉を回避することができた。(図-16)

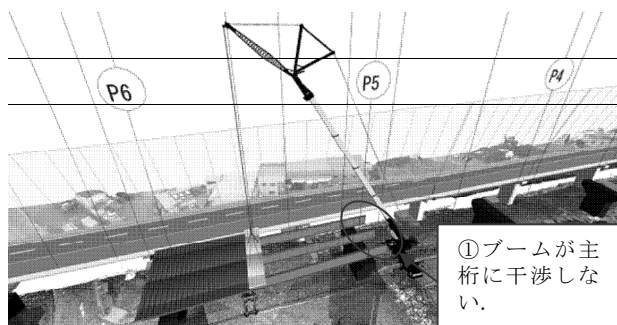


図-13. 合成床版架設時の3次元モデル

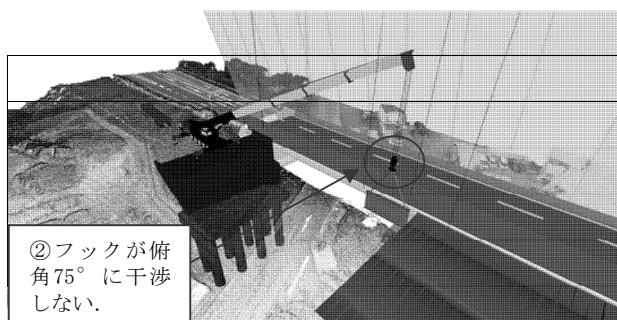


図-14. A2-P6間主桁架設時の3次元モデル

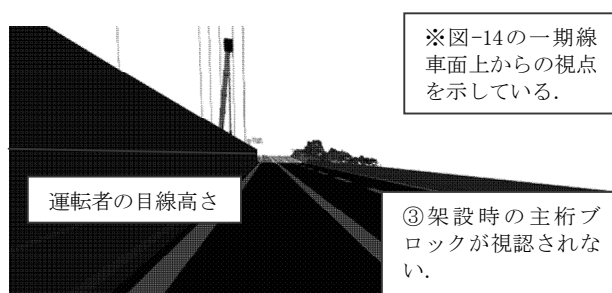


図-15. I期線からの視認状況

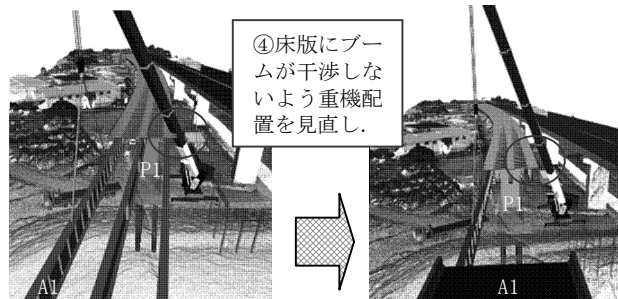


図-16. A1-P1間主桁架設時の3次元モデル

7. まとめ

- ①複雑な支持層形状に対する杭の根入れ状況をサーフェスモデルで照査することにより、設計の効率化及び品質向上が図れた。
- ②下部工配筋状況を3次元化することにより、照査時間の短縮及び品質向上が図れた。
- ③点検時の視点を3次元モデルで確認することにより、維持管理性の妥当性が図れた。
- ④施工計画を3次元の4Dモデルで行うことにより、重機配置の妥当性や施工時の留意事項が抽出でき、設計の効率化及び品質向上が図れた。
- ⑤本業務では、A2橋台、P6橋脚の施工者が決定していたことから、フロントローディングにより、施工者の意見を設計に反映することができた。

8. 今後の展望

これまでに示した活用事例の他に、後工程でも使用できるような維持管理に配慮した属性情報の付与、概算数量及び工事費の自動算出に取り組んだが、改善の余地は残っており、ソフトウェアの開発によって、更なる設計の効率化及び品質向上が図れる。

また、国土交通省では2023年までに全直轄事業で原則CIM化を目指しているが、活用効果は、設計者のBIM/CIMに関する知識や経験に大きく依存することから、3次元モデルの作成方法や活用方法に関する事例集、基準等を整備することで更なるBIM/CIMを活用した橋梁設計に効果が期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省：第3回BIM/CIM推進委員会資料，2020。
- 2) 日本道路橋協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2019。

鋼製函体による仮締切設計

ひのまさき こうのたけし かとうひろたか
○日野雅樹¹・河野 豪¹・加藤裕孝¹

¹中央コンサルタンツ(株)本店 (〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11番23号)

本業務は、第二次緊急輸送道路に位置する道路橋（13径間単純ポステンT桁橋、L=479.2m、W=12.6m）について、レベル2地震に対する耐震補強詳細設計および仮設構造物詳細設計を実施したものである。既設橋の照査の結果、橋脚の巻立て補強が必要と判定されたが、既設橋は浜名湖を跨ぐため、仮締切が必要であった。仮締切の選定では、経済性や施工性に加え、周辺の漁業への影響を回避した環境対策や施工時期等について評価を行い、海上作業日数が短く、転用を行うことで経済的に優れる鋼製函体による仮締切工法を採用した。また、対象橋梁は、汽水湖に位置することから、水深や流速、潮の干満、波高を考慮した施工計画とした。

Key Words : 鋼製函体, 仮締切, 耐震補強, 河川橋

1. 既設橋梁の概要

既設橋は、浜名湖を跨ぐ、橋長L=479.2m、幅員W=12.6mの13径間単純ポステンT桁橋である。下部構造は壁式橋台、張出し式（T形）橋脚、ケーソン基礎である。竣工は昭和47年であり、適用示方書は昭和43年プレストレスコンクリート道路橋設計示方書および昭和39年鉄筋コンクリート道路橋設計示方書である。



図-1 対象橋梁位置図

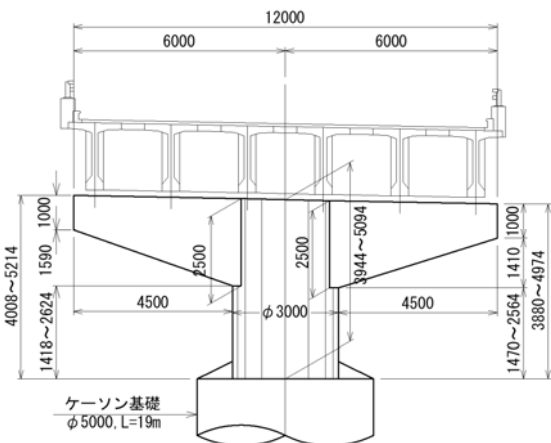


図-3 既設橋断面図

2. 橋脚補強

(1) 既設橋の照査結果

既設照査の結果、全ての橋脚で、レベル2地震時の柱及び基礎部の耐力が不足しており、全橋脚の耐震補強が必要であることが確認された。

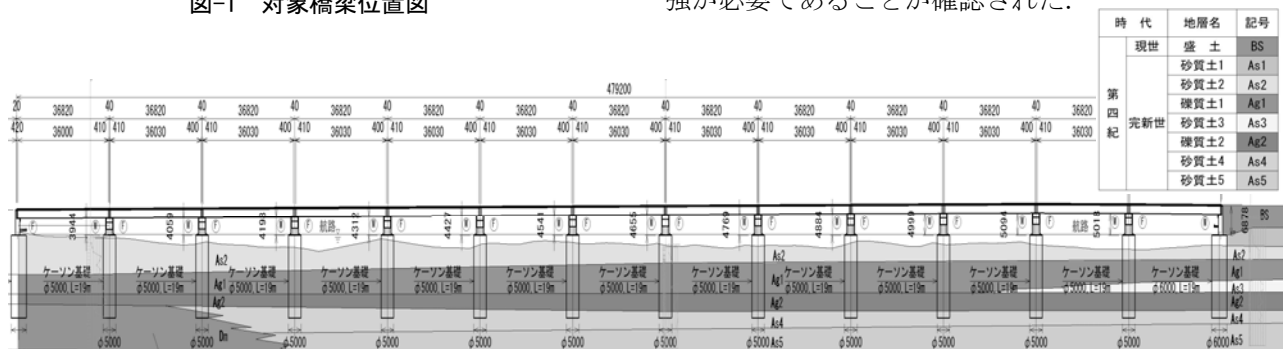


図-2 既設橋側面図

(2) 橋脚補強

耐力に余裕のある橋脚が存在する場合は、仮設の設置や基礎への影響を回避するために、全体系補強を実施することも考えられるが、本橋梁においては、全橋脚について耐力が不足していたため、巻立て補強による部材補強を実施した。巻立て補強工法としては以下の5案を抽出し、補強後の河積阻害率が最小となり、治水上の影響が最も小さい「第2案：PCM吹付け工法」を採用した。

なお、工事による濁水の流出防止の観点から、全ての案において仮締切を実施するものとし、水中施工が困難な第1案～第3案では鋼製函体による締切り、水中施工が可能な第4案～第5案では、汚濁防止措置として鋼矢板による簡易締切りを行うものとした。

表-1 巻立て工法案の抽出

	工法名	仮締切工法
第1案	RC巻立て工法	鋼製函体
第2案	PCM吹付け工法	鋼製函体
第3案	鋼板巻立て工法	鋼製函体
第4案	PCコンファイナード工法	簡易締切り
第5案	かみ合わせ鋼板巻立て工法	簡易締切り

3. 仮締切工法の選定

(1) 検討条件

仮締切工法および施工計画は以下に示す現地条件および漁業への影響を考慮して検討した。

a) 現場条件

- ・汽水湖に位置しているため、干満や潮流の影響を考慮した施工計画が必要
- ・桁下高が低いため、低空頭で施工可能な工法とする
- ・水深が深く、波浪の影響があるため、水圧に耐え得る構造とする

b) 漁業への影響回避

- ・施工時の濁水等の流出防止策として、汚濁防止膜による汚濁防止措置ではなく、矢板等により施工現場を隔離するような仮締切工を実施する必要がある
- ・周辺で行われている海苔の養殖への影響を回避するため、砂が舞いやすく、周辺環境に影響を及ぼすことが想定される仮締切工の設置・撤去工事は5月～7月上旬までに実施する必要がある

(2) 仮締切工法案の抽出

本橋梁の仮締切工法は、桁下から水面までのクリア高さが4～5m程度と低いことより、従来工法であるクレーンによる鋼矢板打設・引抜き適用が困難である。このため、巻立て工法の検討に用いる仮締切工法は、本橋への適用（流水部・桁下クリア高の制約・地盤条件・関係機関による条件等）を踏まえ、以下の5工法を抽出し、施工性、経済性等より選定を行った。

表-2 仮締切工法案の抽出

	工法名	転用の可否	仮設費用 (比率)	現場施工日数 (1期当たり)
第1案	上部工障害クリア工法	否	1.15	63
第2案	仮締切LPP工法	否	1.63	50
第3案	鋼製函体工法	可	1.00	30
第4案	鋼製パネル式仮締切工法	可	1.57	45
第5案	仮締切STEP工法	可	1.20	37

(3) 仮締切工法案の検討結果

本橋梁の仮締切工法は、以下の理由より、「第3案：鋼製函体による仮締切工法」を採用した。

- ・本橋は、12基の橋脚で構成され、いずれも形式・形状が類似しているため、転用が可能な工法が有利となる
- ・本橋は、フーチングがなく、ケーソン基礎が地盤面より突出しているため、地盤圧入形式に比べ構造高の縮小が可能な基礎側部設置形式が有利である
- ・本橋の周辺には物揚場が位置しており、右岸堤防からの曳船が可能であるため、工場製作函体の搬入・搬出において、特に制約を受けない
- ・鋼製函体による仮締切工法は工場で作成し、現場では函体を組み立てるのみであるため、現場作業期間が最も短い

(4) 鋼製函体の工法概要

鋼製函体は工場製作された函体を曳航・組み立て・据付後、函体で囲まれた内側の水を排水し、作業空間と足場を確保する。現場では予め製作された函体を組み立てるだけであり、仮設工事にかかる期間を短縮することが可能（設置約0.5ヶ月、撤去約0.5ヶ月）であるため、施工期間に限られる工事において優位性がある。函体の製作費は高額であるが、同一形状の構造物に対しては転用可能であるため、転用回数が増えるほどコスト削減を図ることができる。また、地盤への根入れが不要なため、地盤条件の影響を受けない。

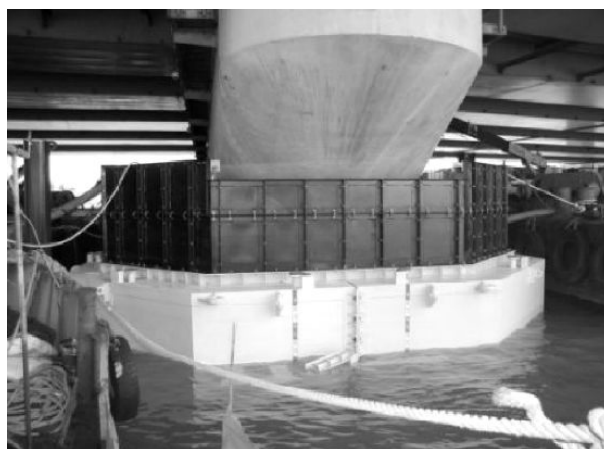


図-4 鋼製函体による仮締切の状況例

4. 鋼製函体の詳細設計

(1) 鋼製函体の形式選定

橋脚補強に用いる鋼製函体の締切形式には、①鋼製函体が基礎上に載る着底型上部開放式と②基礎部の側面に鋼製函体が抱き付く形で締切る抱付型上部開放式があるが、橋脚径 $\phi 3000$ に対し基礎径 $\phi 5000$ であるため、着底型では足場の設置が出来ないため、抱付型上部開放式を採用した。

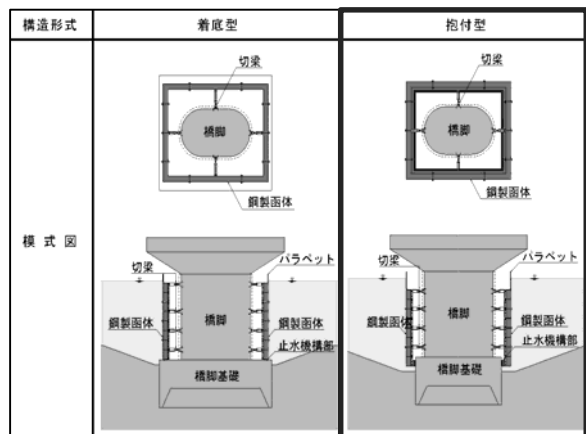


図-5 既設橋断面図

(2) 鋼製函体工法の細部構造

本橋梁において、鋼製函体を設計する際に、工夫した細部構造を以下に示す。

a) パラペット構造

橋脚高の低い橋脚では、橋脚梁の下面が、鋼製函体のパラペット天端と干渉することが確認されたため、橋脚梁の下のパラペットについては部分的に設置しない設計とした。パラペットは浮力によって函体が浮き上がることを防止する目的で設置されるため、橋脚梁下のパラペットの重量を除いた状態で、浮き上がりの照査を実施し、問題ないことを確認した。

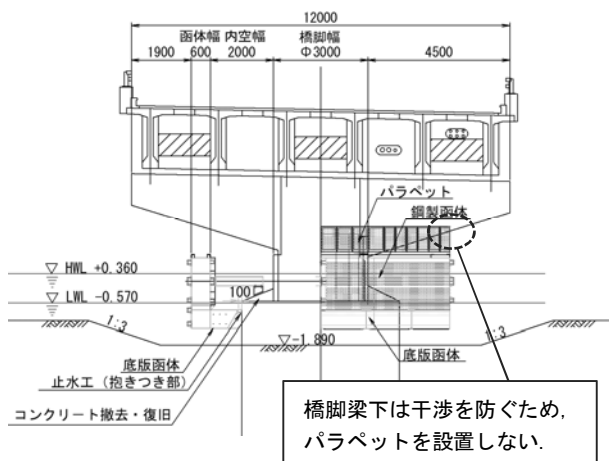


図-6 パラペット構造

b) 支保工（根巻きコンクリート対策）

巻立て補強は橋脚基部まで実施する必要があるが、本橋梁の橋脚基部は、根巻きコンクリートが設置されているため、撤去・復旧を行う必要がある。一方で、

函体を固定するために、ケーソン天端に支保工を定着する必要がある。そこで、本橋梁では、支保工を盛替えることで、対応することとした。

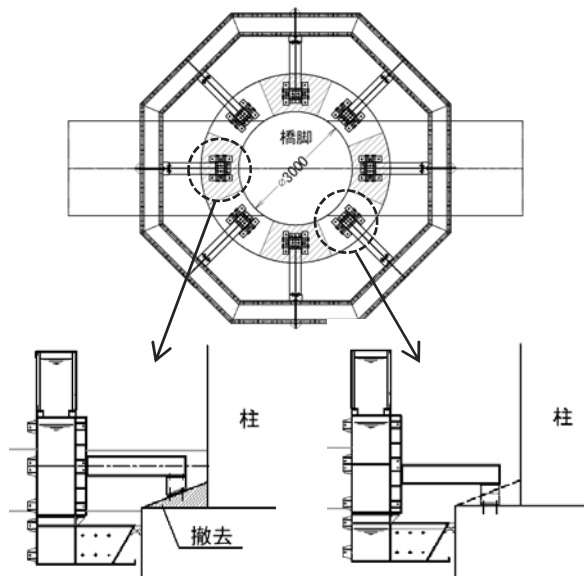


図-7 支保工接続形状
(左：根巻コン有、右：根巻コン無)

c) 止水工

鋼製函体から施工時の濁水等の流出を防止するために止水工を設置するものとし、鋼製函体と既設橋脚基礎との接続部は止水ゴムを設置するものとした。

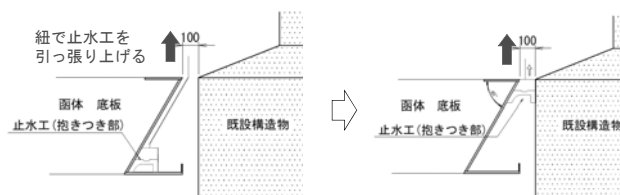


図-8 止水工設置要領図

5. 施工計画

(1) 施工手順

橋脚補強時の鋼製函体の施工手順を以下のフローに示す。また、施工状況を以下の図に示す。

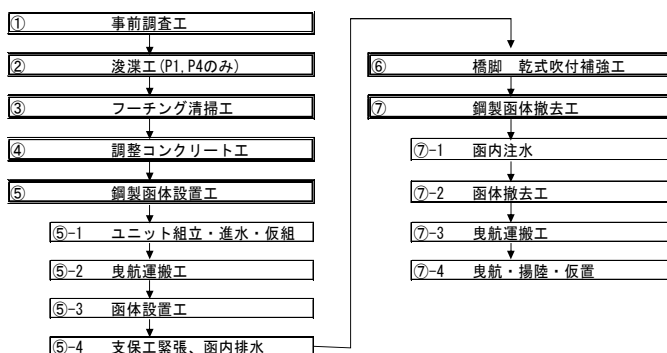


図-9 施工フロー図

鋼製函体の設置は、桁下高が低いことから台船にク

レーンを設置して行う方法は困難であったため、橋脚にチェーンブロックを設置して行う方法を採用した。鋼製函体を曳航する曳船は300PS程度の小型なもので施工可能である。



図-10 施工状況

(2) 鋼製函体工法の施工条件

本橋梁にて留意した鋼製函体工法の施工条件を以下に示す。下記の条件を満足させるために、本橋梁では鋼製函体工法は水中作業時においては潮流が遅い時間帯、函体回転時においては満潮に近い時間帯を見計らって施工を行う計画とした。

a) 流速：1ノット（約0.5m/s）以下

水中作業（函体据付・止水工設置）は1ノット以下でないと作業不可のため、流速が遅くなる時間帯を見計らって施工を行う計画とした。

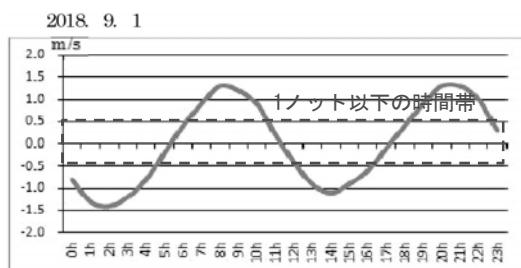


図-11 潮流換算値

b) 水深（積み下ろし箇所～橋脚）：2.5m以上

鋼製函体は水上に浮かべて曳船により設置箇所まで運搬するが、喫水が2.5m必要となるため、深浅測量により水深を計測し、進路を計画した。

c) 水深（橋脚函体設置部）：2.25m以上

本橋梁の鋼製函体を橋脚位置で回転させる際には水深2.25mが必要となる。鋼製函体の回転は水位が高くなる満潮時に行う計画としたが、水深が確保出来ない橋脚が確認されたため、橋脚周辺を浚渫することで、水深を確保する計画とした。

(3) 工事工程計画

本工事では以下の工事方針より、4月～6月に仮締切工事（撤去、設置）を実施し、7月～3月は仮締切を河川内に残置し、橋脚補強工事を実施するものとした。工事期間より、本橋梁では4基の函体を製作し、3回転

用することとした。

- ・事業計画に基づき、5ヵ年度の施工とする
- ・海苔の養殖時期に濁水の流出を防止する観点から、仮締切工の設置・撤去は4月～6月の間に実施する

表-3 工事工程表

種 別	4月	5月	6月	7月～3月	4月	5月	6月
耐震補強工事	函体設置期間			橋脚補強	函体設置期間		
P1橋脚							函体組立設置
P2橋脚			函体組立設置	補強工事	函体撤去・解体		
P3橋脚	函体撤去・解体				函体整備		
P4橋脚		函体整備					函体組立設置
P5橋脚			函体組立設置	補強工事	函体撤去・解体		
P6橋脚	函体撤去・解体				函体整備		

6. 成果または結論

(1) 本設計における成果

本橋梁では仮締切に鋼製函体を採用することで、以下の成果が得られた。

a) 仮設工事期間の短縮

鋼製函体による仮締切としたことで、現場作業を簡略化することが可能となり、従来工法より50%程度工期を短縮することが出来た。

b) 仮設工事費の縮減

対象橋脚は全て同一の形状であったため、鋼製函体を転用することが可能であり、従来工法と比較して仮設工事費を15%程度縮減することが出来た。

c) 関係機関との協議の円滑化

仮締切時の土砂の巻き上がり等が防止出来るため、漁協関係者からの理解が得られ、円滑に工事を遂行することが出来た。

(2) 結論

鋼製函体は、対象構造物毎に単品製作を行うことと、鋼重が大きいことから、一般的には高価となる仮締切工法であるが、下記の条件下では他の工法よりも優位となる可能性がある。

- ・転用可能な形状の橋脚が複数存在すること。
- ・周辺に函体を進水させるヤードがあり、橋脚までの航路が確保可能であること
- ・水深が深く、矢板等の打設が困難な現場であること
- ・水中作業時の流速が約0.5m/s以下と緩いこと

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，日本道路協会，2012。
- 2) 土木学会編：コンクリート標準示方書，土木学会，2012。
- 3) 海洋架橋・橋梁調査会編：既設橋梁の耐震補強工法事例集，海洋架橋・橋梁調査会，2005。
- 4) 全日本建設技術協会編：土木工事 仮設計画ガイドブック，社団法人全日本建設技術協会，1997。

SfM+MVSによる三次元画像モデルを利用した 橋梁点検の効率化と情報の高度化

ふるさわえいじ あさのしのぶ たかぎたかお すぎやまあきら みわゆうじ
○古澤栄二¹・浅野信生¹・高木孝夫¹・杉山 彰²・三輪裕司²
たにぐちたかし あまのしゅんいち
谷口貴司²・天野俊一³

¹ (株) テイコク本社 インフラマネジメント室 (〒500-8856 岐阜市橋本町2-8)

² (株) テイコク本社 技術第3部 (〒500-8856 岐阜市橋本町2-8)

³ (株) テイコク東京支社 技術部 (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町2-2)

近年、インフラの効率的な維持管理のため、点検ロボット・UAVや3Dレーザー・超高解像度カメラを活用した技術開発は、様々な分野で積極的に行われており、高精度・高品質のデータ取得が可能となってきた。しかし、取得された大量の写真画像から損傷を抽出し、点検調書を作成する内業の効率化が課題であり、特に複雑・狭小構造が対象の橋梁点検では点検調書との連動が難しく、ロボットの活用が進まない一因といえる。そこで、写真画像から3次元モデルを自動生成するSfM+MVS技術に着目し、点検写真から直接3次元モデル点検調書を作成し、点検作業の効率化および診断や維持管理情報の高度化への有効性を検証した事例を紹介する。

Key Words : SfM+MVS, 3D画像モデル, 点検調書, 3D損傷図, 3DCAD,

1. はじめに

国土交通省は、ドローンによる3次元測量やICT建機の活用、さらに3次元モデルによる設計から施工、維持管理に至るまでの情報を蓄積し活用するBIM/CIMを積極的に推進することで、一連の建設生産システム全体の生産性向上を目指している。その中の維持管理段階に対しても、UAVやロボットカメラ等の様々な点検支援ツールの技術開発が活発に行われている。これによって、人の近接が困難な箇所の写真撮影や、人間の目よりも優れた精度の画像の取得が可能となっており、橋梁点検における外業の効率化に繋がることが期待されている。

一方、取得した大量の画像から損傷を抽出し、その大きさや位置等を整理する必要があるが、点検調

書を作成するまでの内業の効率化については、未だ開発途上であり、一連の点検作業としての効率化に繋がっていないことが、ロボットを活用した点検が進まない一因と考えられる。そのため、大量の写真画像を自動で合成する技術や、AIによる損傷の自動抽出等、内業の技術開発が求められている。

そこで、従来からの点検調書の問題点を整理した上で、3次元画像モデルを活用した点検調書の導入手法について提案する。

2. 現状の点検調書の問題点

現状の点検調書は、点検した時の橋梁の状態をできるだけ正確に記録することで、その後の診断や維持管理情報の蓄積のために利用される。図-1、2に岐阜県橋梁点検マニュアル¹⁾における損傷図および損傷写真を示す。一般的に点検調書には、損傷の種類、位置、大きさ、範囲、損傷パターン等を、ス

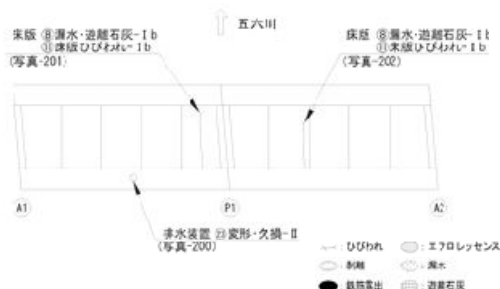


図-1 損傷図

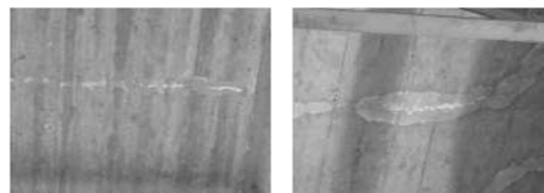


写真-201

図-2 損傷写真

写真-202

ケッチによる損傷図や損傷部位の写真，文章による状況説明という情報が，点検調書に整理，記録される．しかし，現状の点検調書では，すべての現地状況を詳細に表現することに限界があり，点検調書における損傷度・健全度の評価手法および診断との連携が課題であり，以下のような問題点が挙げられる．

- 1) 損傷写真がマイクロな範囲の描写であるため，橋梁全体との位置関係や規模が不明瞭である．
- 2) 損傷図は，記号等の表記によるスケッチであり，損傷の位置，大きさ，範囲等の寸法精度は，正確性に欠けるため，損傷の進展確認は困難である．
- 3) すべての部位や部材をすべて写真で記録するには，写真の調書が膨大となり，診断時の確認作業が非常に煩雑となる．
- 4) 写真撮影の位置や方向等を過年度の点検時とすべて統一しなければ，写真の比較による損傷の進展確認は困難と言わざるを得ない．

以上から，点検結果の把握のし易さや診断の精度向上，さらには維持管理の効率化に繋がる情報を蓄積するためには，①全体と局所の両方が把握できること，②損傷の進展が正確に比較できること，③損傷の有無に関わらず橋梁全体が記録できること，といった点検情報の高度化が必要であると考える．

3. 3D損傷図の作成手法

点検結果をできるだけリアルに表現するには，従来からの平面図や正面図で表現された損傷図ではなく，部材や橋梁全体が3次元画像で表現された3D損傷図が有効であり，BIM/CIMにおける維持管理段階において必要なデータとなる．

現在，3次元計測技術としては，大きく2つの手法があり，3Dレーザースキャナーにより点群データを取得し3D形状を復元する方法と，写真測量により3Dモデルを作成する方法が一般的に用いられている．3Dレーザースキャナーは，主に地形測量や構造物の外観を計測する目的に使用されている事例が多く，橋梁の全体像を計測するようなマクロ的な視点での使用には優れていると言える．しかし，橋梁点検における損傷の一つであるコンクリートの

ひび割れを計測するには，必要な点群密度が相当高くなるため，マイクロな視点には不向きである．それに対し，後者の写真測量は，カメラの解像度と対物距離の条件によって，地形測量のようなマクロ的計測から，1.0mm以下の微細なひび割れ検出のようなミクロ的視点まで幅広く利用でき，橋梁点検での損傷把握に活用できる可能性が非常に高い．また，高価な機器を必要とせず，ある程度の高解像度のカメラと画像合成ソフトがあれば，専門技術者でなくとも簡単に3D画像を生成することができる．さらに，様々なドローンやロボット等の点検支援ツールによって大量に取得した高品質な画像をそのまま利用できると考えた．そこで，3D計測技術の一つで各分野で利用が進んでいるSfM+MVS技術を活用し，3D損傷図の生成を試行した．

4. SfM+MVSによる3D画像生成

多数の画像から3Dモデルを生成可能な写真測量技術であるStructure from MotionとMulti-View Stereo (SfM+MVS)技術が様々な分野で注目されており，近年，ITの進化によって，誰でも写真から手軽に3Dモデルを生成することが可能となっている．写真から3Dモデルを生成するには，まず異なる視点から撮影した各画像の特徴点をマッチングし，画像撮影位置・方向(カメラポーズ)と画像上の特徴点の3次元的位置(タイポイント)を推定する技術がSfMである．その後，SfM処理によって推定したカメラポーズを用いて，より高密度なモデルを生成する技術がMVSである．以下にその流れを示す．(図-3)

- STEP 1：全ての写真の特徴点を検出して画像同士の対応点を探索し，各撮影位置の推定と密度の低い点群データを出力する．
- STEP 2：推定された撮影位置と密度の低い点群データから写真ごとの画素の空間位置を計算して密な点群データを出力する．
- STEP 3：点群を元に三角面を生成し，点群データをメッシュデータに変換する．
- STEP 4：画像を基にメッシュデータのテクスチャを生成する．

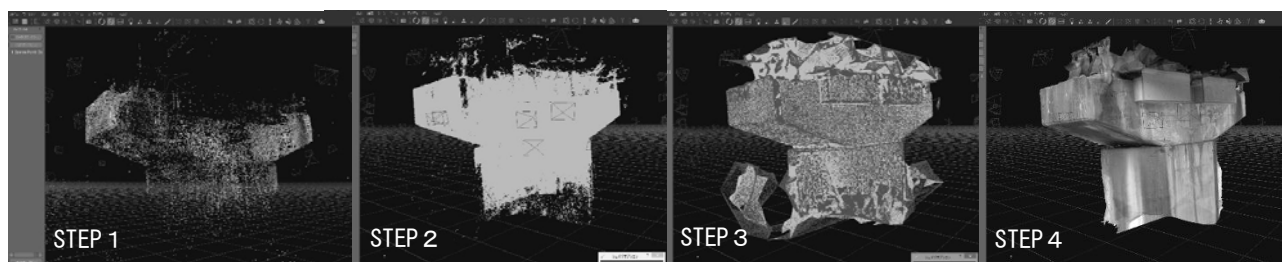


図-3 SfM+MVSによる生成の流れ

STEP 1 がSfMによる工程であり、三次元の座標が算出されるが、特徴点は疎に取得される。そこで、STEP 2 からの工程において、MVSを利用することで、3次元空間における、対象物表面を小さな接長方形で近似し、その中心と法線ベクトルを更新することで密な点群データを生成できる。ただし、写真撮影方法が復元精度に大きく影響するため、適切な画像の撮影条件（撮影枚数や撮影角度、オーバーラップ率）が必要となり、生成精度を高めるには、以下の図-4 に示すような撮影方法が標準となる。



図-4 撮影方法

5. 橋脚の3D損傷画像の検証

図-5～8 は、以下の撮影条件で取得した写真から、SfM+MVSにより生成した橋脚の3D画像モデルである。写真-1 は現地での撮影状況である。

青色の四角形はSfMにより推定したカメラ位置を示している。橋脚の柱で一部、画像が抜けている箇所があるものの、梁部分に関しては完全に画像合成（立体化）ができています。対象とした橋脚の梁は、アルカリ骨材反応によって、多数のひび割れが発生しており、その損傷スケッチを従来通りの方法で作成するには、非常に手間のかかる作業となるばかりでなく、正確な幅や延長を記録することが困難である。それに対し、SfM+MVSによって写真から自動で3D損傷図が作成できるため、スケッチによる損傷図の作成が省略できる。また、図-6 に示すように、各面に跨るひび割れの連続性が確認し易いことや、図-7 に示すように、排水管からの雨水の流れる経路が明確に分かり、水の影響が損傷原因である場合等には、原因元の追跡が可能である。さらに、図-8 では、0.1～0.3mm程度（現地にてクラックスケールによる計測）のひび割れであるが、PC上で拡大すれば、十分に机上で視認でき、ひび割れの段差も確認できるほど高精度な画像モデルが生成できている。つまり、生成された3D画像モデルは、PC上で自由に回転や拡大表示ができるため、バーチャル空間内でミクロな視点とマクロな視点の両面から、様々な角度からの点検が可能である。ただし、寸法計測については、6. で述べる処理が必要である。

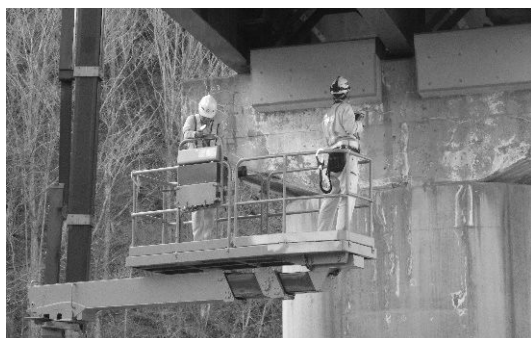


写真-1 現地撮影状況

【撮影条件】

- ・カメラ：Nikon D5600 ・解像度：6000×4000
- ・撮影距離：約2m離れ ・撮影枚数：50枚
- ・ラップ率：約50%以上

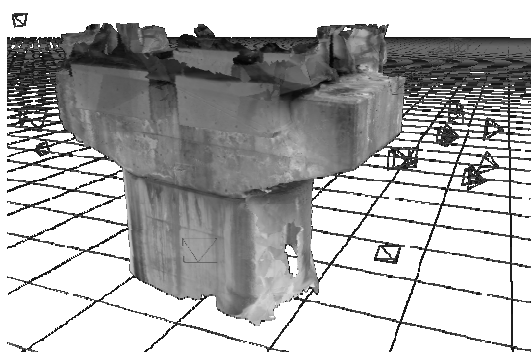


図-5 SfM+MVSによる3D画像

所があるものの、梁部分に関しては完全に画像合成（立体化）ができています。対象とした橋脚の梁は、アルカリ骨材反応によって、多数のひび割れが発生しており、その損傷スケッチを従来通りの方法で作成するには、非常に手間のかかる作業となるばかりでなく、正確な幅や延長を記録することが困難である。それに対し、SfM+MVSによって写真から自動で3D損傷図が作成できるため、スケッチによる損傷図の作成が省略できる。また、図-6 に示すように、各面に跨るひび割れの連続性が確認し易いことや、図-7 に示すように、排水管からの雨水の流れる経路が明確に分かり、水の影響が損傷原因である場合等には、原因元の追跡が可能である。さらに、図-8 では、0.1～0.3mm程度（現地にてクラックスケールによる計測）のひび割れであるが、PC上で拡大すれば、十分に机上で視認でき、ひび割れの段差も確認できるほど高精度な画像モデルが生成できている。つまり、生成された3D画像モデルは、PC上で自由に回転や拡大表示ができるため、バーチャル空間内でミクロな視点とマクロな視点の両面から、様々な角度からの点検が可能である。ただし、寸法計測については、6. で述べる処理が必要である。

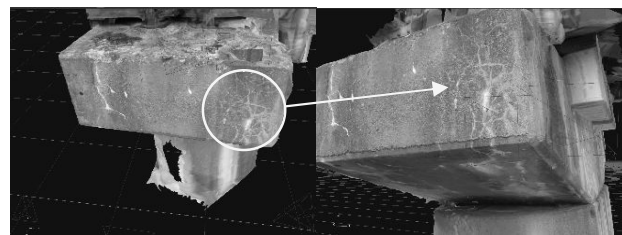


図-6 ひび割れの連続性

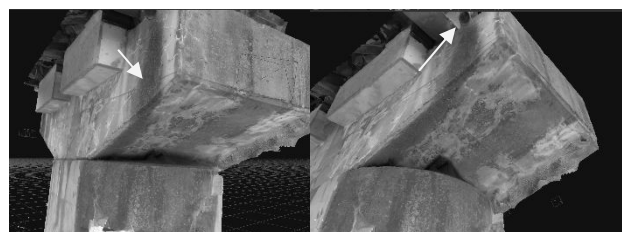


図-7 漏水跡の追跡



図-8 ひび割れ幅0.1～0.3mm

6. 3DCADへの展開

SfM+MVSによって写真から自動生成される3D損傷図では、ひび割れの長さや幅等の寸法を計測できないため、このモデル単独では、点検調書として利用できない。そこで、寸法が分かるターゲットと一緒に映し込むか、あるいは、既存図面や現地計測による既知の寸法に合わせて、座標付けおよびスケール調整をすることで寸法計測が可能となる。以下は、コンクリート擁壁について、SfM+MVSにより生成した3D画

像モデル（図-9）を元に、赤色破線で囲ったブロックについて、CAD上でひび割れ損傷図（図-10）を作成した事例である。



図-9 コンクリート擁壁の3Dモデル

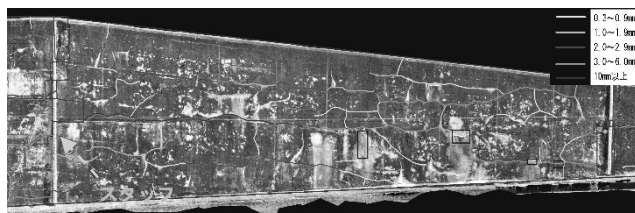


図-10 ひび割れ損傷図

現地において、寸法の基準となるターゲットとして、擁壁の目地部にスタッフを鉛直に設置し、写真撮影を行った。また、目地間隔も現地計測により事前に把握し、鉛直、水平方向それぞれのスケール調整ができるようにした。その結果、鉛直方向よりも長手方向である水平方向の歪みが大きいことが分かった。これは、鉛直方向よりも水平方向の写真枚数が多いことで、マッチング回数が多く、歪み量の蓄積も大きくなるのが原因と考えられる。これについては、撮影方向等の条件が大きく関係しているものと考えられ、できるだけ正対した状態の写真撮影が望ましい。

以上のことから、SfM+MVSにより生成した3D画像モデルは、ある程度の歪みを含んだモデルであり、損傷規模を定量的に把握するためには、寸法が正確な3DCADへの展開が必要となる。図-11は、SfM+MVSにより生成した3D画像モデルから、橋脚の各側面を切り出した合成写真をスケール調整した上で、3DCADにより復元した形状モデルに貼り付けたものである。これにより、正確なスケールを持った橋脚一基全体の3D損傷図が完成できた。

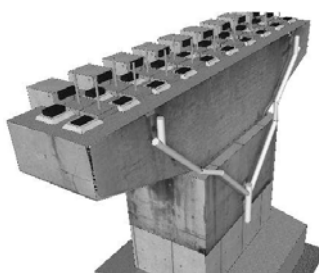


図-11 橋脚の3D損傷図

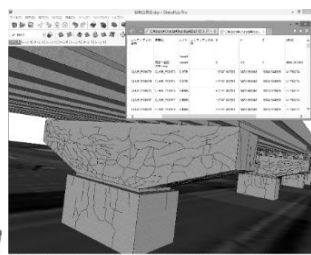


図-12 補修設計への適用

7. 今後の展望

SfM+MVSにより生成した3D画像モデルと、3DCADとを組み合わせることで、損傷の寸法計測が可能となり、ひび割れ延長の集計も容易となる。（図-12）したがって、点検結果からそのまま補修設計へ

の利用も可能であり、また、ひび割れ位置・延長もCAD上でトレースできるため、計測誤差以上の誤差は発生しない。さらに、図-13に示すように、構造物に30cmメッシュ等を入れることにより、ひび割れ率として定量化することができ、定量的な損傷の判定に繋がる可能性も考えられる。また、構造物全体の変位、変形、傾斜等の経時変化やGPSによる移動量に対して、mm単位の精度でモニタリングを可能とすることも考えられる。

一方、SfM+MVSにより3D画像モデルを生成する場合、写真の撮影方法が復元精度に大きく影響するため、適切な画像の撮影条件が揃わない場合、適切に合成できない場合が多い。そのため、PC橋のような比較的シンプルな構造であれば問題ないが、鋼橋のような、多くの部材が複雑に組み合わせられた構造を忠実に生成することは非常に難しいと言われている。そのため、複雑な構造物については、既存図面があれば3DCADによる形状復元、既存図面がない場合は、レーザースキャナによる点群からの形状復元を行った上で、SfM+MVSによる3D画像モデルと組み合わせる手法が有効と考える。

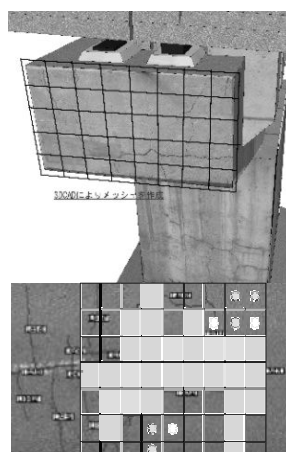


図-13 ひび割れ率の算出

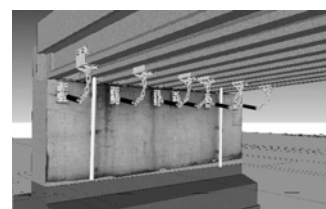


図-14 橋台の3D損傷図

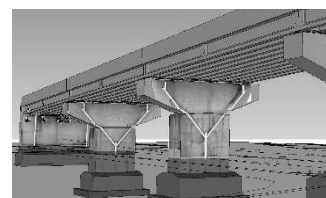


図-15 橋梁全体の3D損傷図

7. まとめ

今回は、橋脚一基について、SfM+MVS技術を活用し、3D損傷図の生成を試行した。最終的には、図-14、15に示すような橋台や橋梁全体の3D損傷図まで復元することによって、従来からの点検調書における課題であった、全体と局所の両方が把握でき、損傷の進展が正確に比較でき、そして損傷の有無に関わらず橋梁全体の記録ができることになる。そのためには、SfM+MVS技術を活用した大量の写真の自動合成が欠かせない技術であり、さらに、AIによって損傷の自動抽出ができれば、さらなる内業の効率化に繋がるものと期待できるとともに、BIM/CIMにおける維持管理段階において、そのまま導入できる手法といえる。

参考文献

- 1) 岐阜県県土整備部 道路維持課：岐阜県橋梁点検マニュアル 平成28年3月

I 期線と II 期線のLv2地震時における相互干渉作用を考慮した橋梁詳細設計

○飯塚赳彦¹・高木達弘¹・川本恭朗¹

¹パシフィックコンサルタンツ(株)中部支社 (〒451-0046 愛知県名古屋市中区名駅一丁目1番17号)

本業務は一般国道23号豊橋B P II期線の橋梁詳細設計である。I期線橋梁の支承条件が橋軸・直角方向ともに免震支持であり、Lv2地震時において上部工同士の衝突が確認された。そのため、動的解析はII期線橋梁にI期線橋梁を加えた三次元モデルを構築し、上部工間に接触ばねを設けることで、上部工同士の相互干渉作用を考慮した橋梁詳細設計を実施した。

Key Words : 免震支承, 動的解析, 三次元モデル, 接触ばね

1. はじめに

(1) 業務概要

本業務は、一般国道23号豊橋B P II期線の橋梁詳細設計である。

豊橋B P I期線は、架橋位置を含む前芝IC～豊川為当IC間の約4.2kmが平成24年10月に開通し、暫定2車線で供用されている。

対象橋梁は、前芝宇塚交差点上に位置し、前芝ICランプ、国道23号および西浜歩道橋を跨ぐ橋梁である。複数の交差物を跨ぐため、I期線整備時に一部の下部工が完成形で整備されている(図-1)。

I期線橋梁は、道路橋示方書・同解説(平成14年3月)に基づき設計が実施されている。

本業務ではI期線橋梁の整備状況および構造特性を踏まえた橋梁詳細設計を実施した。

(2) 橋梁諸元

- 1) 路線名 : 一般国道23号豊橋B P
- 2) 道路規格 : 第1種第3級
- 3) 設計速度 : $V=80\text{ km/h}$ (4車線完成時)
- 4) 設計荷重 : B活荷重 (B種の橋)
- 5) 橋 長 : $L=207.0\text{ m}$
- 6) 支 間 長 : $34.05\text{ m}+45.00\text{ m}+70.00\text{ m}+55.90\text{ m}$
- 7) 全 幅 員 : $W=9.783\text{ m}$
- 8) 平面線形 : $R=2,000\text{ m}$
- 9) 縦断線形 : 1.7%
- 10) 横断勾配 : 2.0% (片勾配)
- 11) 上部工形式 : 鋼4径間連続細幅箱桁
(鋼・コンクリート合成床版)

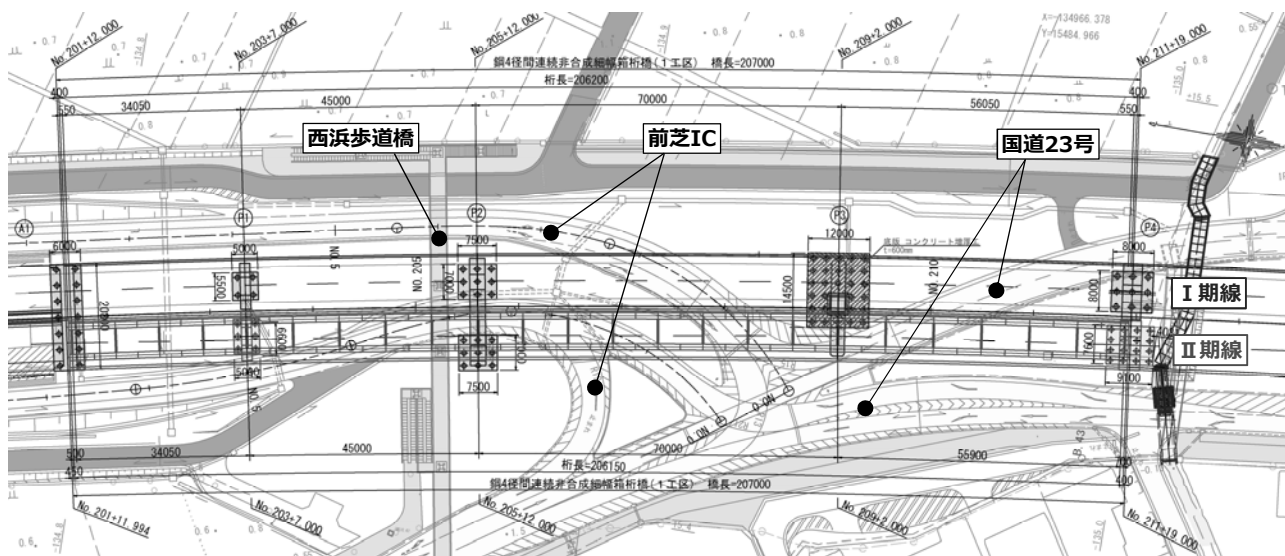


図-1 平面図(上段: I期線, 下段: II期線)

A 1 橋台：逆 T 式橋台（上下線一体/施工済み）
P 1 橋脚：RC 張出し式橋脚
P 2 橋脚：RC 2 柱式ラーメン橋脚
（上下線一体/施工済み）
P 3 橋脚：鋼製張出し式橋脚
（上下線一体/施工済み）
P 4 橋脚：RC 張出し式橋脚

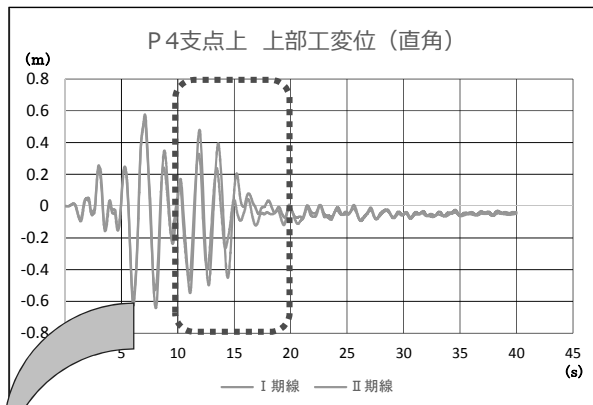
13) 支承形式：免震支承（超高減衰積層ゴム支承）
14) 適用基準：道路橋示方書同解説（平成24年3月）
道路橋支承便覧（平成16年4月）

I 期線橋梁の支承条件は、Lv2地震時において橋軸・直角方向ともに免震支持で計画されていた。上部工は、上下線分離橋で計画されており、I 期線とII 期線の上部工遊間は19mmであった(図-2)。そのため、地震時において、I 期線とII 期線の上部工同士の衝突が懸念された。

ジャッキアップ支点

Lv2地震時の動的解析は、Ⅰ期線橋梁とⅡ期線橋梁を三次元モデルにより構築し、上部工同士の間隔変位を算出することで、衝突の有無を照査した。各橋梁において、直角方向の時刻歴ごとの支承変位を出力し、その変位差がマイナス値の場合は、桁同士が近接する方向となる。本橋では、Lv2地震時において43mm～256mmの間隔変位を確認した。ともに上部工間隔19mmよりも大きな値となっており、上下線が干渉することを確認した（表-1）。

位置	格点No.	上部工相対変位(m)					
		タイプⅠ			タイプⅡ		
		1波	2波	3波	1波	2波	3波
A1	101	-0.051	-0.074	-0.080	-0.201	-0.200	-0.192
A1-P1中央	103	-0.046	-0.071	-0.072	-0.186	-0.202	-0.173
A1-P1中央	104	-0.044	-0.071	-0.068	-0.178	-0.202	-0.165
P1	106	-0.043	-0.071	-0.066	-0.162	-0.201	-0.157
P1-P中央	108	-0.045	-0.075	-0.076	-0.144	-0.197	-0.163
P1-P中央	109	-0.046	-0.078	-0.080	-0.138	-0.193	-0.165
P2	111	-0.051	-0.078	-0.086	-0.127	-0.183	-0.162
P2-P3中央	113	-0.058	-0.075	-0.089	-0.103	-0.173	-0.142
P2-P3中央	114	-0.061	-0.071	-0.085	-0.095	-0.167	-0.126
P3	116	-0.067	-0.091	-0.067	-0.089	-0.175	-0.109
P3-P4中央	118	-0.076	-0.112	-0.073	-0.095	-0.205	-0.113
P3-P4中央	119	-0.080	-0.123	-0.080	-0.101	-0.222	-0.118
P4	121	-0.099	-0.144	-0.096	-0.111	-0.256	-0.163



P4支点上 上部工変位 (直角)

(m)

0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

— I 期線 — II 期線

最大相対変位 (256mm)

(s)

– 104 –

(2) 橋梁同士の相互干渉作用を考慮した動的解析モデルの構築

橋梁同士の相互干渉作用は、三次元モデルに対して、上部工同士の格点に接触ばねを設けた「接触モデル」を用いて評価した。接触ばねは、Ⅰ期線とⅡ期線の相対変位が上部工遊間以下（19mm以下）となった場合に、緩衝するよう設定した。接触ばねのばね値および履歴モデルは、「既設橋梁の耐震補強工法事例集（平成17年4月（財）海洋架橋・橋梁調査会）」を参考に設定した（図-8）。

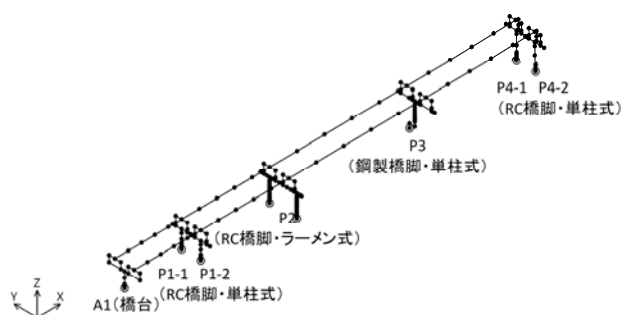


図-5 動的解析 モデル図（鳥瞰図）



図-6 動的解析 モデル図（平面図）

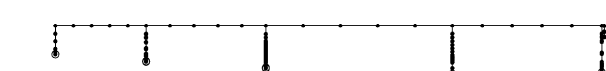


図-7 動的解析 モデル図（側面図）

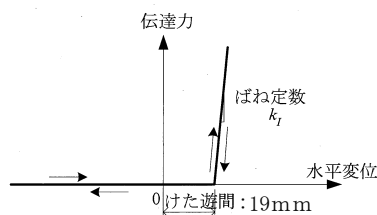


図-8 接触ばね履歴モデル

(3) 支承形式

支承形式は、Ⅰ期線橋梁と同様に超高減衰積層ゴム支承を採用した。

免震支承は、積層ゴムに圧入した鉛プラグで免震効果を得る鉛プラグ入り積層ゴム支承とゴム自体に減衰性を持つ素材を使用して免震効果を得る超高減衰積層ゴム支承の2種類がある。同じ免震支承でも、支承剛性には差があり、橋梁全体系の固有周期に影響する。支承剛性の影響で、隣接工区では最大で20%程度の固有周期差が生じている（表-2）。

表-2 隣接橋 固有値解析（直角方向）一次モード

		Br-1	Br-2	Br-3
Ⅰ期線	上部工形式	PCコンボ桁	PCコンボ桁	鋼鉄桁
	支承形式	鉛プラグ入り積層ゴム支承	鉛プラグ入り積層ゴム支承	鉛プラグ入り積層ゴム支承
	固有周期 (直角方向)	タイプⅠ	タイプⅠ	タイプⅠ
	タイプⅡ	タイプⅡ	タイプⅡ	タイプⅡ
Ⅱ期線	上部工形式	PCコンボ桁	PCコンボ桁	鋼鉄桁
	支承形式	鉛プラグ入り積層ゴム支承	鉛プラグ入り積層ゴム支承	超高減衰積層ゴム支承
	固有周期 (直角方向)	タイプⅠ	タイプⅠ	タイプⅠ
	タイプⅡ	タイプⅡ	タイプⅡ	タイプⅡ
固有周期比率 (Ⅰ期線/Ⅱ期線)		タイプⅠ	タイプⅠ	タイプⅠ
		タイプⅡ	タイプⅡ	タイプⅡ

(4) 機能分離支承の採用

主桁配置は、施工済みの下部工による支点の制約条件から、右側張出し長が711mm、左側張出し長が1,872mmであり、床版張出し長の影響で、G1桁とG2桁の反力バランスに課題を有していた（表-3）。結果、端支点となるP4橋脚部の支承においては、中間支点に対して死荷重反力が小さく、主桁のたわみが大きいと、回転角に対する照査を満足せず、一般的な機能一体型支承では構造成立しないことが確認された。

そのため、機能分離型支承を用いる計画とした。機能分離支承は、同一支承構造内で鉛直支承と水平支承の各機能を有する支承構造を採用することで、横桁補強や主桁ブロック数増加による工費増を回避した（表-4）。また、水平支承には超高減衰積層ゴム支承を採用することで、Ⅰ期線橋梁で採用されている免震支承と同等の支承性能を確保した。

表-3 上部工反力（各桁）

荷重ケース		上部工反力(kN)		比率 (G2桁/G1桁)
		G1桁	G2桁	
A1 橋台	死荷重	784	1,222	1.559
	死+活荷重	最大	2,201	1.418
		最小	640	1.697
P1 橋脚	死荷重	1,794	3,156	1.759
	死+活荷重	最大	4,900	1.553
		最小	1,487	1.909
P2 橋脚	死荷重	3,010	4,873	1.619
	死+活荷重	最大	6,968	1.510
		最小	2,760	1.680
P3 橋脚	死荷重	3,761	5,872	1.561
	死+活荷重	最大	8,111	1.476
		最小	3,611	1.597
P4 橋脚	死荷重	1,076	1,736	1.614
	死+活荷重	最大	2,877	1.454
		最小	906	1.749

表-4 支承形式比較

		直接工事費(千円)		比率
		支承費	上部工費 (横桁, 添接)	
①機能分離支承	水平支承	24,120	6,578	a=1.098
	鉛直支承	2,780		
②機能分離支承 (同一支承構造内機能分離支承)		29,380	1,106	a=1.000

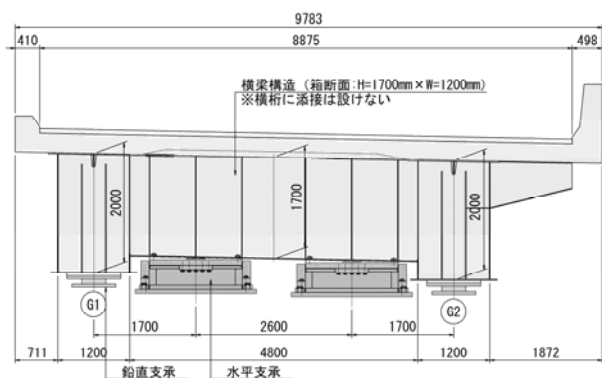


図-9 上部工断面図（機能分離支承）

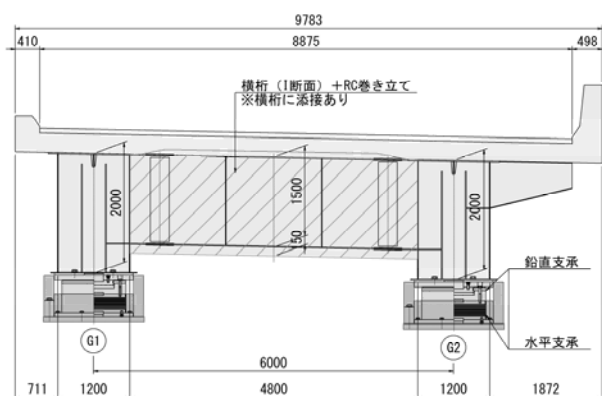


図-10 上部工断面図
（同一支承構造内機能分離支承）

4. まとめ

本橋ではLv2地震時において、Ⅰ期線橋梁とⅡ期線橋梁の衝突が確認された。ただし、移動量に相違はあるものの、概ね同位相で振動することが確認できたため、動的解析において、三次元モデルに接触ばねを設けた「接触モデル」を用いることで、相互干渉作用を適切に考慮した設計を実施した。

豊橋B Pには、本区間と同様にLv2地震時において、Ⅰ期線橋梁とⅡ期線橋梁の衝突が懸念される区間がある。対象橋梁の完成時、暫定時および施工時の構造特性や路線の運用形態を適切に把握したうえで、設計および計画を実施することが望ましい。本稿が一例として参考になると幸いである。

5. 参考文献

謝辞：本業務は、国土交通省中部地方整備局名四国道事務所の発注により実施したものである。本稿の執筆にあたり、ご指導・ご助言をいただきました関係者様に深謝致します。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ（平成24年3月（公社）日本道路協会）
- 2) 道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ（平成14年3月（公社）日本道路協会）
- 3) 道路橋支承便覧（平成16年4月（日本道路協会））
- 4) 既設橋梁の耐震補強工法事例集（平成17年4月（財）海洋架橋・橋梁調査会）

斜面崩壊により被災した橋梁の応急復旧設計

くしだしんじ いずみの せいじ はらだかずき あべみつのぶ いのうえなおさた すずむらゆうき
○櫛田真志¹・泉野誠司¹・原田和樹¹・阿部光伸¹・井上公究¹・鈴木勇季¹

¹玉野総合コンサルタント株式会社 建設技術部（〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜二丁目17番14号）

本業務では、令和元年10月（2019年）に関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨をもたらした台風19号により発生した橋台背面及びフーチング下面の土砂流出災害に対する応急復旧設計と本復旧設計を実施した。この災害発生後、本路線は全面通行止めとなったが、この路線は山脈を挟んだ地域を結ぶ迂回路のない主要ルートであることから早期復旧が至上命題とされた。また、応急復旧を急ぐ中で、急峻な山間部に架かる橋梁であることから施工ヤード等の確保が困難であるため、本復旧工事を考慮した応急復旧計画が求められたが、被災から約2か月後には仮橋を架設し、片側交互通行による暫定供用を開始することができた。

Key Words：台風19号、応急復旧、斜面崩壊、仮橋、控え杭、PCケーブル

1. はじめに

近年多発する自然災害によって、土木構造物が甚大な被害を受けている。わが国では兵庫県南部地震（平成7年）、東日本大震災（平成23年）など大規模地震による災害が多く発生しているが、最近ではゲリラ豪雨や大型台風による災害が増加傾向にある。各災害後には早期復旧に向けて行政と民間が連携し、復旧対応に取り組んだ事例は多い。

本稿では大型台風によって発生した山間部に架かる橋梁の橋台背面及びフーチング下面の土砂流出により、対象路線が全面通行止めとなった事例に対する応急復旧への取り組みを報告する。

2. 事例概要

(1) 対象施設概要

被災した橋梁は山間部の急峻な地形に架かっており、対象路線は山脈を挟んだ地域を結ぶ主要ルートで、迂回路が近辺にないことから生活道路としても重要な路線である。橋梁概要を以下に記載し、対象施設概要図を図1に示す。

- 橋 長 : 103.00m (50.90m+50.90m)
- 幅員構成 : 10.50m
- 上部工形式 : PCTラーメン箱桁橋
- 下部工形式 : 逆T式橋台・中空柱式橋脚
- 基礎工形式 : 深礎杭基礎・大口径深礎基礎
- 適用示方書 : 道示 I～IV (H6.2)・V (H2.2)

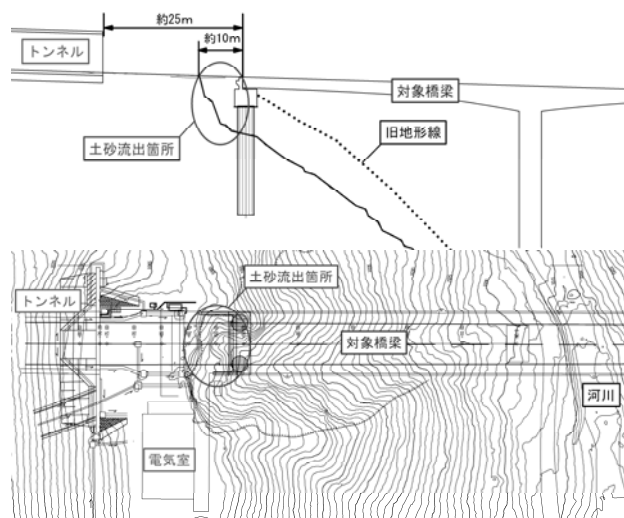


図1 対象施設概要図

(2) 災害概要

令和元年10月（2019年）に関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨をもたらした台風19号によって、架橋位置周辺でも大雨を記録した。

この大雨により、斜面上の地下水が増加したことが要因となり、斜面崩壊が発生した。斜面崩壊の範囲は橋台背面（橋台全幅以上）とフーチング下面（全幅の半分程度）であり、深礎杭の片方が約7m程度露出している状態となった。

斜面崩壊により橋面と橋台背面の道路面との間が崩壊したため、支持されなくなった舗装・踏掛版まで崩壊が徐々に拡大していった。そのため、車両の

通行が出来なくなり、全面通行止めとなった。災害状況を写真-1に示す。

(3) 災害発生メカニズムの想定

応急復旧対策を検討する上で、地質調査を早急に実施し、斜面崩壊の要因を検討した。(図2参照)

地質調査結果より、橋台背面の地盤は表層土砂(崖錐層：Ta)で形成され、崖錐堆積物の下に粘板岩(SI)、チャート(Ch)と続く流れ盤であることが確認できた。崩壊部の調査を行うと崖錐堆積物の層が湿潤状態であり湧水が認められた。

以上より、台風による連日の大雨の影響で地下水が増加し、透水性の高い崖錐堆積物の層と透水性の低い粘板岩の層間に地下水が溜まったことで、橋台付近の崖錐部が不安定となり、地下水と共に表層部が流出する結果となったと想定した。(図3参照)



写真-1 災害状況 (上：橋面 下：桁下)

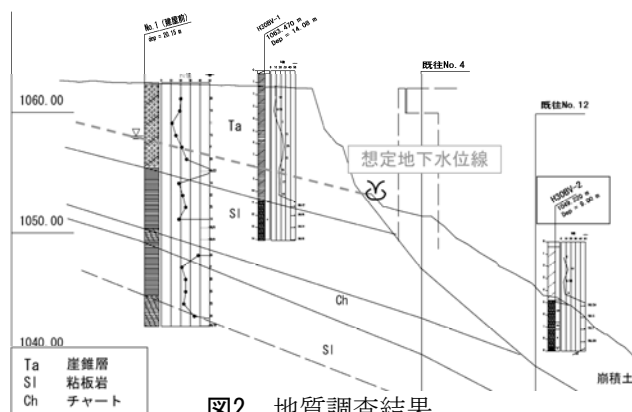


図2 地質調査結果

3. 応急復旧計画

(1) 課題

応急復旧計画の実施に際して、以下の3点が課題となった。

課題①：早期復旧

本路線は前述したように山脈を挟んだ地域を結ぶ主要ルートであるため、早期復旧が求められた。

そのため、短期間で設計方針を決定し、工事発注図書を整える必要があった。また、応急復旧工事にあたっては、使用材料の手配を含めて、施工期間が短期であることが強く求められた。

課題②：構造の安全性

災害後、既設橋台の深礎杭が7m程度露出しており、崩壊した斜面もそのままの状態となっている。本復旧までの期間における既設橋台の地震時の安全性の担保と崩壊した斜面の安定を確保する必要があった。

課題③：本復旧工事の施工計画

極めて狭隘な作業スペースの中で、本復旧の支障とならない応急復旧工法が条件である。このため、本復旧工事の施工計画の立案が応急復旧設計と同時に求められた。

(2) 応急復旧内容

本復旧工事を見据えた応急復旧工事として、表-1に示す対策を講じる方針とした。

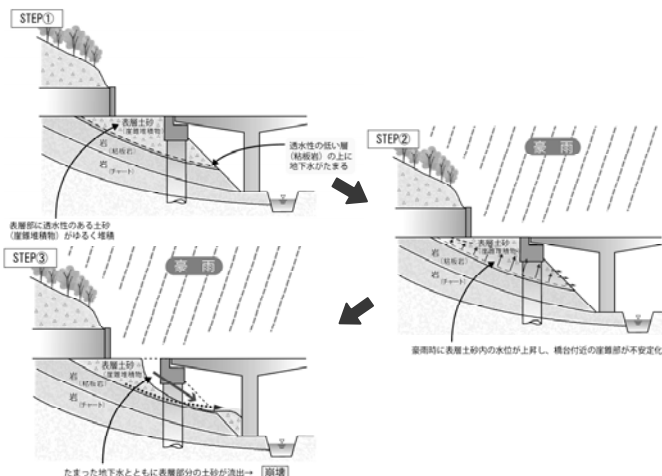


図3 斜面崩壊のメカニズム (イメージ)

表-1 応急復旧対策方針 (○：本稿記載内容)

■崩壊拡大・進行の防止		
①水抜き横ボーリング	地下水の排除	
②モルタル吹付＋鉄筋挿入工	崩壊法面の保護	
③親杭横矢板工	坑口路面の保護・土留工	
■橋台の安全性の確保		
④控え杭工	深礎杭の地震時(L1)の担保	○
■通行機能の確保		
⑤仮橋工	崩壊部を跨ぐ交通機能の確保	○
■排水機能の確保		
⑥仮排水工	崩壊した流末の仮復旧	

4. 仮橋計画

(1) 仮橋の架橋位置

応急復旧工事では、仮橋で暫定供用する計画とした。この際、仮橋の架橋位置について、図4に示す2案を検討したが、急峻な地形に対して大規模な仮橋構築（第2案）は施工が長期化し、不経済でもあるため、第1案を採用した。

一方、本復旧工事では、既設の単列杭を組杭に増杭補強する計画としている。第1案の採用にあたっては、仮橋直下（直近）での増杭施工が可能であることを事前に検証した。

(2) 仮橋の構造形式

仮橋の下部工は坑口部の路面保護を目的に設置した土留工（親杭横矢板）のH鋼杭を兼用する形式とした。橋台側は路面の嵩上げ影響範囲を極力抑えるため、既設橋台の背面に設置されていた踏掛版の受台を使用した。既設の受け台は幅が0.5mしかないことから桁かかり長・沓縁端距離を確保するために0.3mの拡幅を行った。仮橋の形式としては構造高に着目し、路面の嵩上げ影響を抑えることができ、桁下施工空間の確保が可能なトラスタイプ（下路式）を採用した。（表-2参照）

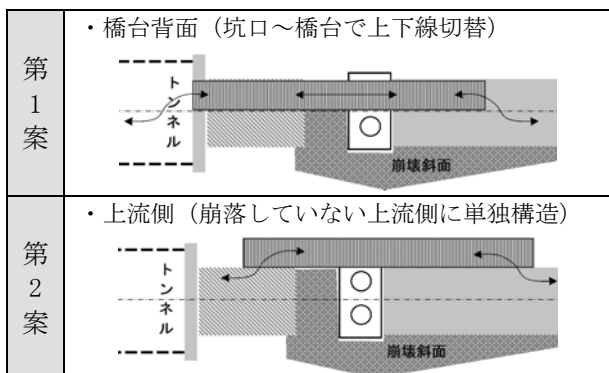


図4 架橋位置検討

表-2 仮橋構造形式比較

案	鉸桁(上路式)	トラス(下路式)
概要図		
構造高	H=1.398m	H=1.129m
評価		○

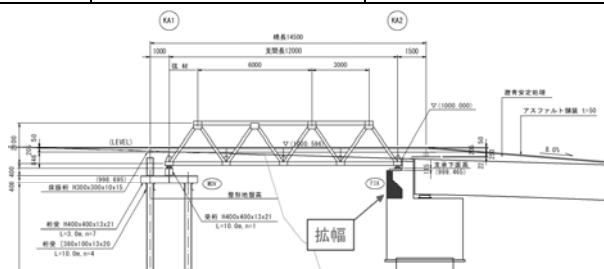


図5 仮橋構造図

5. 橋台補強計画

(1) 復元設計

斜面崩壊によって橋台の深礎杭が大きく突出していることから、被災した橋台の安全性を確認するため、竣工図及び当時の基準を基に復元設計を実施した。復元設計では竣工図に記載されていた設計地盤面を基に杭頭に土圧を作用させて計算を実施した。深礎杭の復元設計（設計水平震度：kh=0.20）の結果、図6に示すように許容応力度に対して概ね90%の応力度であった。

(2) 崩落後の深礎杭の照査

復元設計の結果を基に、崩落後の深礎杭について照査を実施した。崩落によって露出した深礎杭は崩落土よりも深い位置にある岩線（粘板岩）を設計地盤面として、図7に示す約10mの突出杭として照査を実施した。照査の結果、常時は全て許容値を満足する結果となったが、地震時（kh=0.20）は満足しなかった。設計水平震度をkh=0.10で照査すると水平変位が許容値30mmに達する。よって、地震時の安全性が確保されていないため、暫定供用時においても地震力に対する安全性を担保する補強が必要であった。

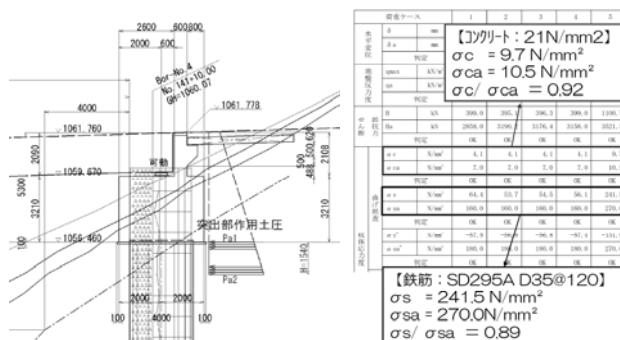


図6 復元計算時の土圧荷重・復元結果

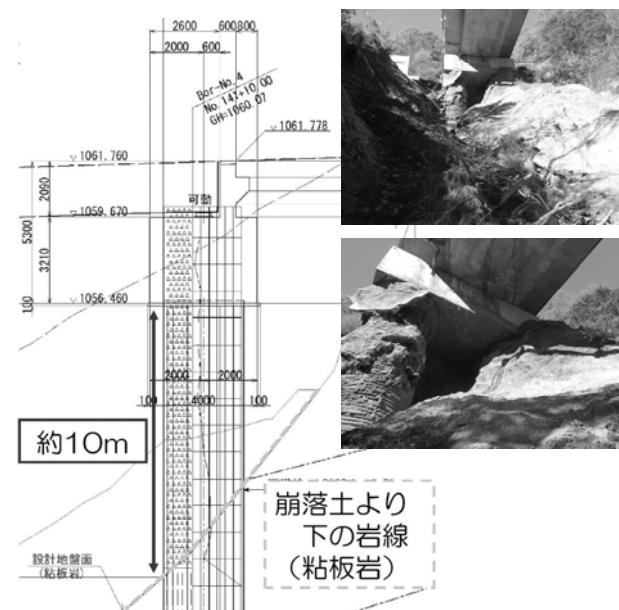


図7 崩落後の照査の設計地盤面

(3) 補強方針

深礎杭と補強材の荷重分担の比率は明確にできないため、補強材のみで地震力を負担する構造とし、表-3に示す設計作用力を算出した。

(4) 補強構造の比較

補強の構造選定では、本復旧工事の施工ヤードの確保及び増杭の支障とならないことを前提に、短い工期での施工が可能な工法とする必要があった。

比較検討においては、材料調達が容易な「アンカー補強案」と「控え杭+PCケーブル案」の2案で検討を行った。その結果、アンカー補強案の場合、本復旧時の増杭と土中部で干渉する可能性が高く、深礎杭の前面（崩壊部）に足場を設ける必要があるため、施工性に劣り、工期の長期化が懸念された。それに対して、控え杭+PCケーブル案は橋台側面からPCケーブルを張ることができるため、増杭の施工ヤードへの影響もなく、施工工期を抑えることが可能であった。以上より、図8に示す「控え杭+PCケーブル案」を採用した。

(5) PCケーブルの検討

適切に控え杭とPCケーブルが地震時に作用するように計画する必要があるため、深礎杭が地震時に変位する値よりも控え杭とPCケーブルが変位する合計値を小さくする必要があった。

控え杭（H-350）に上述した設計作用力を作用させた場合、天端の変位量： $\delta 1$ は 12mmであり、残りのPCケーブルの変位（伸び）が支配的であることから鋼材の断面積を変化させながら変位量を検討した。その結果、F230TのPCケーブルを片側2段配置（計4本）の場合にPCケーブル（F230T）の伸び量： $\delta 2$ が16mmとなることから合計の変位量： $\Sigma \delta = 12 + 16 = 28\text{mm}$ となり、深礎杭の許容変位： $\delta a = 30\text{mm}$ （深礎径の1%）より小さくなった。以上より、深礎杭の許容変位30mmに達する前に、控え杭が抵抗力を発揮できる構造とした。（表-4参照）

表-3 設計作用力

対象	作用力の算出内容
上部工	可動ゴム支承の摩擦力を算出
橋台	橋台の自重による慣性力を算出
深礎杭	突出している7m分の自重による慣性力を算出
仮橋	橋台に載荷する仮橋自重による慣性力を算出

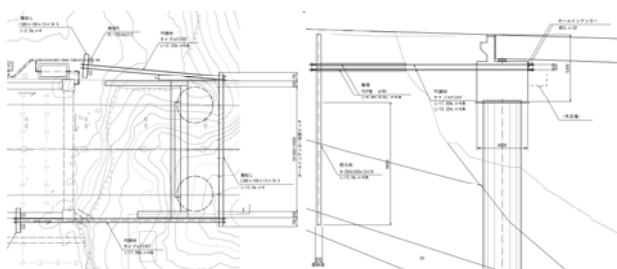


図8 控え杭+PCケーブル構造図

表-4 変位量の検討結果

対象	作用力の算出内容
控え杭（H-350）の天端変位量	$\delta 1 = 12\text{mm}$
PCケーブル（F230T）の伸び量	$\delta 2 = 16\text{mm}$
総変位量	$\Sigma \delta = 12 + 16 = 28\text{mm}$
深礎杭の許容変位	$\delta a = 30\text{mm}$ （深礎径1%）
判定	$\Sigma \delta \leq \delta a$: OK

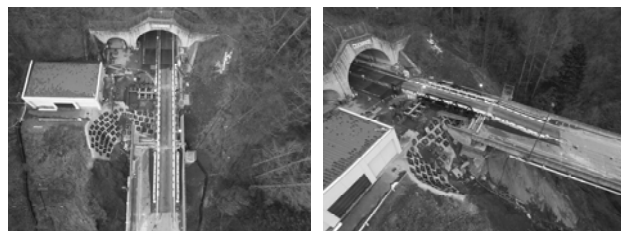


写真-2 仮復旧工事完了

6. モニタリング計画

控え杭による補強が前例のない構造であり、信頼性を担保するためにモニタリングを計画した。

本復旧完了までの長期間のモニタリングであり、簡単にアクセスできない場所に設置するため、計測器本体から電波が発信でき、電源の寿命も2年程度であれば配線不要な傾斜計と伸縮計を採用した。また、事前に連絡先を登録し、異常時（閾値の超過）には自動的に登録してある連絡先に通知することが可能であり、24時間遠隔監視を計画した。

7. まとめ

本稿に記載した検討内容はごく一部であるが、早期復旧を目標とし、課題①～③を踏まえて短い期間で多くの検討を実施した。材料や機材の製作及び現場納期に要する期間、かつ現場工期の短縮を視野に検討・協議を進めた結果、10月に全面通行止めになってから約2か月後の12月には仮復旧工事が完了し、片側交互通行で仮橋を通行する暫定供用を開始することができた。（写真-2参照）

最後に、今後も多発すると予想される自然災害に対して積極的、かつ柔軟に対応し、行政とともにインフラ整備に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅳ，1994。
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ，1990。
- 3) (財) 海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，2005。
- 4) 社団法人 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧，2012。
- 5) 公益社団法人 日本道路協会：杭基礎設計便覧，2015。
- 6) 公益社団法人 日本道路協会：杭基礎施工便覧，2015。

矢作川におけるヨシ原再生の取組み

お だ よう へい あ ら き た か し か つ さ い な お き い な と み よ し ち か
○小田洋平¹・荒木 隆¹・葛西直樹¹・稲富善愛¹

¹ (株) 建設環境研究所 (〒460-0003 名古屋市中区錦3-20-27)

矢作川河口部のヨシ原再生事業開始から10年が経過し、継続的なモニタリングにより施工後の物理環境変化とヨシ等の植生定着と遷移過程、生物の生息状況等を定量的に把握した。

感潮区間におけるヨシの生育は、冠水頻度3～4時間/日となる地盤高においてヨシ根土区画が最良であり、施工後4年目をピークにヨシの生育分布が拡大した。ヨシ原再生によって湿地性の貴重植物やカニ類、オオヨシキリ、オオジュリン等鳥類の生息環境が形成されることが確認された。施工後ヤナギ類が進入・定着するが、河川維持管理と連携した樹木抜開を行うことで地下部のヨシ根から早期にヨシが生育（再生）し、維持管理策としての有効性が示唆された。

Key Words : 自然再生事業, ヨシ原, 冠水頻度, 植物群落, ALB, 維持管理

1. はじめに

矢作川河口部では、昭和40年代より減少したヨシ原を保全・再生するため、国土交通省によるヨシ原再生事業（以下、「事業」と称す）が進められている。本事業は平成22年度から施工が開始され、施工前後の継続的なモニタリングにより物理環境の変化とヨシ等の植生定着と遷移過程、生物の生息状況について一定の知見が得られた。本稿では、事業開始から10年経過段階において、特にヨシの効果的な再生条件や再生後の生物応答、持続的なヨシ原維持に関する考察について報告する。



図-1 事業区間（矢作川河口部）。

2. ヨシ原再生の概要

(1) 矢作川の概要

矢作川は、長野県の中央アルプス南端の大川入山（標高1,908m）を源流として愛知県・岐阜県境の山岳地帯を貫流し、平野部では巴川、乙川を合わせ、矢作古川を分派して三河湾に注ぐ、幹川流路延長約118km、流域面積約1,830km²の一級河川である。¹⁾

流域の地質は、上・中流域には花崗岩が広く分布しており、マサ化し崩壊しやすいため流出土砂が多く典型的な砂河川となっている。河口部（事業実施区間である河口から9k付近）の河道特性は、セグメント2-2、感潮区間、河床勾配1/2,500～1/1,200程度、河床材料の構成は砂もしくは砂礫質が主である（図-1）。²⁾

(2) ヨシ原再生事業の概要

矢作川では平成21年7月に矢作川水系河川整備計画が策定され、同年河川環境の整備と保全を具体化するための計画として、矢作川自然再生計画（河口部再生編）が策定された。矢作川では、昭和40～50年代を中心に盛んに行われた砂利採取による河床低下や河川改修による護岸整備等の人為的なインパクトにより、昭和40年代から平成20年頃にかけてヨシ原が約6割減少した。³⁾

ヨシ原再生は、現地盤が高くオギやセイタカアワダチソウ等が優占して生育する水際部の砂州を切り下げ、冠水頻度をあげることでヨシが生育しやすい基盤環境を整備している。事業の詳細については国土交通省豊橋河川事務所HPを参照されたい。

(3) 事業の経緯

a) 試験施工（平成22年度～）

施工に際して、事前調査により近傍のヨシ等植生

の生育地盤高を把握したところ、ヨシの生育地盤高としてT.P. 0.5～1.0mが適していることが把握された。この結果を踏まえ、当初は試験施工として2種類の高さ（T.P. 0.5m及び0.8m）で複断面に切り下げた（図-2）。あわせてヨシの活着を促す方策を把握するため、ヨシ植栽方法を複数設定した（茎植え、ヨシ根土撒出し、ポット苗等）。これにより試験施工として、ヨシ再生の好適な施工高と植栽方法をモニタリングにより検証した。

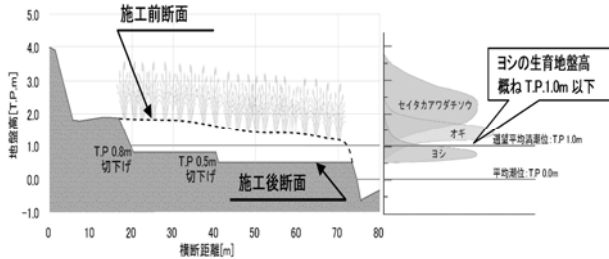


図-2 ヨシ原再生（試験施工）模式図。

b) 本施工（平成25年度～）

試験施工区でのモニタリング結果より、T.P. 0.8mではオギ等が増えることが示されたことから、その後の施工高はT.P. 0.5m一律を基本とし、更にヨシ植え（茎植え、ヨシ根土撒出し）を組み合わせる実施している。なおヨシ根土は河川近傍の自生地から採取し、採取箇所のヨシが早期に再生するよう掘削深に配慮して実施している。

c) 維持管理（樹木伐開）

試験施工区では施工高T.P. 0.8mのエリアを中心にヤナギ類の拡大が見られる状況となったことから、令和元年度に河川維持工事と連携した樹木伐開が実施された。

(4) モニタリング項目

モニタリング調査項目は表-1に示すとおりである。またヨシ生育に必要な冠水条件を把握するため、平成25年には圧力センサー方式の水位ロガーによる水位連続観測を実施し、地盤高に応じた冠水頻度を算定した。その他各年の冠水頻度は、平成25年実測水位と近傍水位観測所との相関に基づき推定した。

施工区の位置図は図-3に示すとおりである。

3. 結果

(1) 地形

試験施工区では、施工後1年目に平均年最大水位を上回る規模の出水が2回発生し、地形変化（川側は侵食、その背後部に堆積）が生じたが、その後は植生の定着とともに安定傾向にある。本施工区では、施工後1年目に同等の出水は発生しなかったが、川側が最大で2m程度侵食し、以降も侵食が進行したがヨシ植え（ヨシ根土）実施箇所付近で侵食が抑制され地形は安定傾向にある（図-4）。

表-1 モニタリング調査項目。

項目	方法	時期
地形	横断測量	秋季
底質	粒度分布、強熱減量	春・秋季
植生	植生図、コドラート法	秋季
底生動物	定量調査、定性目視観察	春・秋季
鳥類	定点観察	冬季
景観	定点撮影	春・秋季

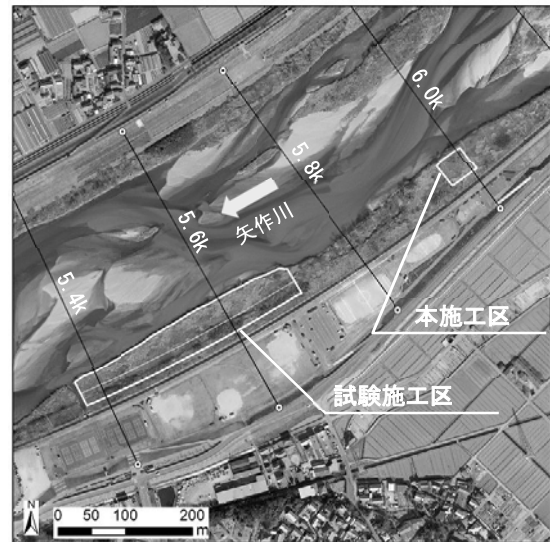


図-3 事業箇所位置図。

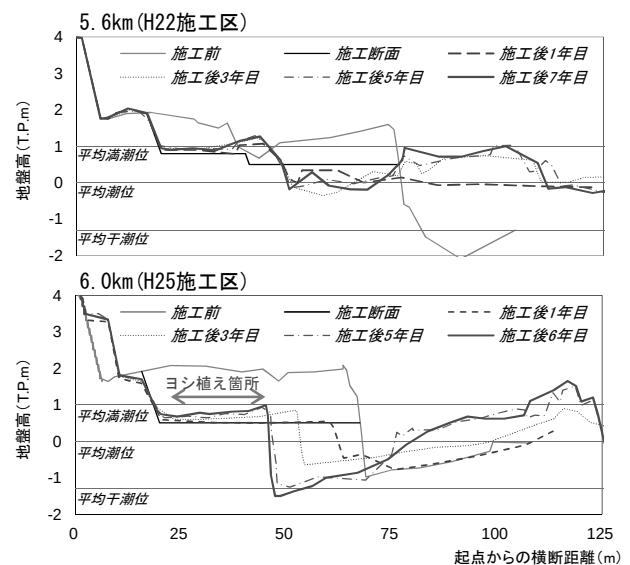


図-4 代表測線の横断地形調査結果。

(2) 冠水頻度

事業箇所の水位は、満潮時には潮汐の影響に支配されるが、干潮時および出水時には河川水位が支配的となる変動を示すことが確認された。

ヨシ生長期にあたる春先（4～5月）について、施工高T.P. 0.5mではヨシ活着は概ね良好であったが、施工高T.P. 0.8mでは十分に生長しなかった。その際の冠水頻度はT.P. 0.5mでは平均3～4h/日、T.P. 0.8mでは1～2h/日未満と推定された（図-5）。

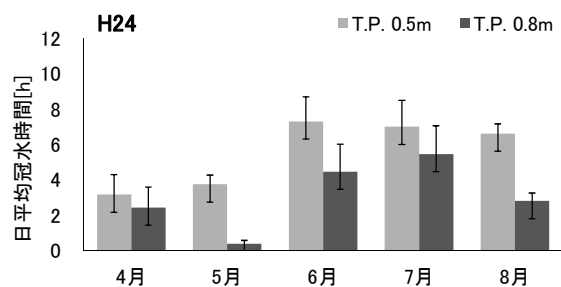


図-5 地盤高に応じた冠水頻度（平成25年実測結果にもとづく推定値）。エラーバーは標準偏差を示す。

(3) 植生

施工区域の面的な植生分布を把握し、施工高および植栽方法別の面積変化を把握した（図-6）。ヨシ面積は施工高T.P. 0.5mのヨシ茎植え工区とヨシ根土撤出し工区では施工後4年目にかけて拡大し、ヨシ根土工区では実施エリアの9割以上でヨシ群落を形成し、5年目以降はオギ群落やヤナギ類等への遷移が一部の箇所で確認された。一方、施工高T.P. 0.8mでは、茎植え工区ではヨシは定着せずセイタカアワダチソウ群落、ヤナギ類が優占した。撤出し工区では一定の生育は確認されたが時間経過に応じて先にオギ群落が優占し、その後ヤナギ類群落が増加した。

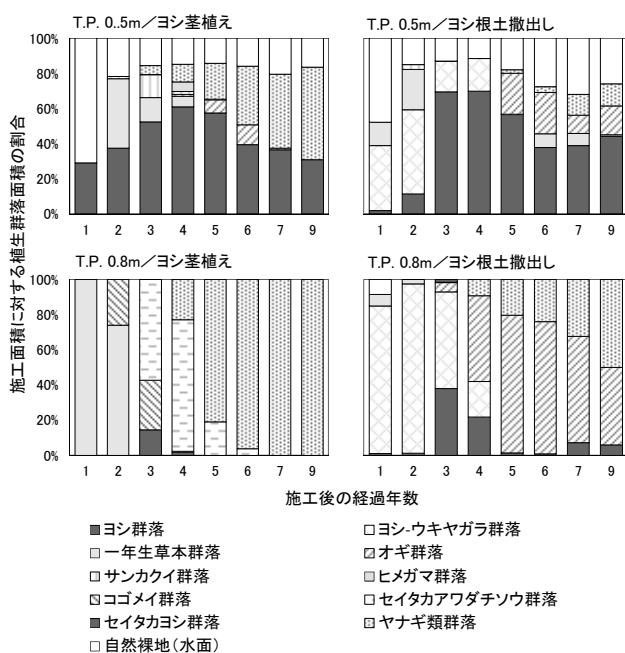


図-6 掘削高と植栽方法別の植生面積（試験施工区）。

(4) 生物の生息状況

試験施工区・本施工区ともに湿地性の重要種（愛知県レッドデータブック、環境省レッドリストの両方に指定、もしくは愛知県レッドデータブックにのみ指定）としてタコノアシ、シロネが確認された。カニ類等甲殻類の種数は、施工前2種であったものが最大で7種確認され、事業箇所近傍に生息確認される種のほとんどが継続して確認された（図-7）。鳥類では、夏季にはオオヨシキリの営巣、冬季にはオオジュリン等の生息が確認された（図-8）。

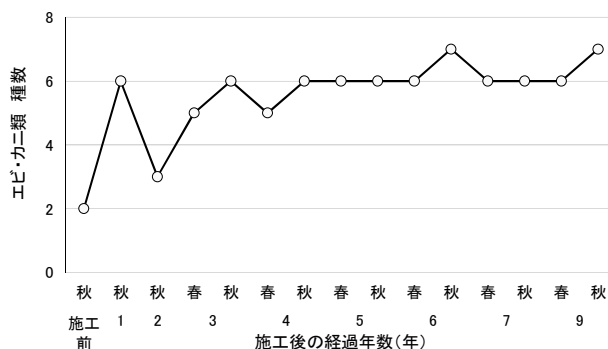


図-7 施工前後のエビ・カニ類の種数変化。



図-8 タコノアシ（左）、オオヨシキリ（右）。

(5) その他

a) 河口部全体における植生群落と比高の関連

上述の冠水頻度は、川の縦断距離に応じて干満の影響や河床勾配の関係から変化する。事業を他地区に展開していくうえでは縦断距離に応じたヨシや他植生の生育条件を把握しておくことが必要と考えられ、河口部全体の植生群落とその生育比高の関係を分析した。

最新の航空測量（ALB測量成果）と測量年直近で実施された河川水辺の国勢調査（河川環境基図）結果をもとに、GISを用いて河口部全域を5m格子（グリッド）に分割し、各グリッドに含まれるグラウンドデータ（点群）を平均処理し、平水位からの相対比高、およびグリッド中心点にかかる植生群落の属性を付与した。ここでの平水位は測量実施年の至近10年の水位観測所の平水位より宮脇ほか⁴⁾による手法を用いて算出し、GISで補完した。ここから植生群落別の比高を統計処理した。

施工区で優占したヤナギ類の比高は、ヨシより中央値で0.2m高いことが確認され、同等の地盤高に生育することが確認された（図-9）。

b) 維持管理と連携したヤナギ類の樹木伐開

令和元年度、試験施工区において維持管理と連携したヤナギ類の樹木伐開が実施された。施工直後の5月段階では、水際部を中心にヨシ群落の生育が確認された（図-10）。確認されたヨシの生育地盤高をRTK-GPS測量によって計測した結果、生育高はT.P. 0.5～0.7m程度（第1四分位から第3四分位範囲）であった（図-11）。³⁾

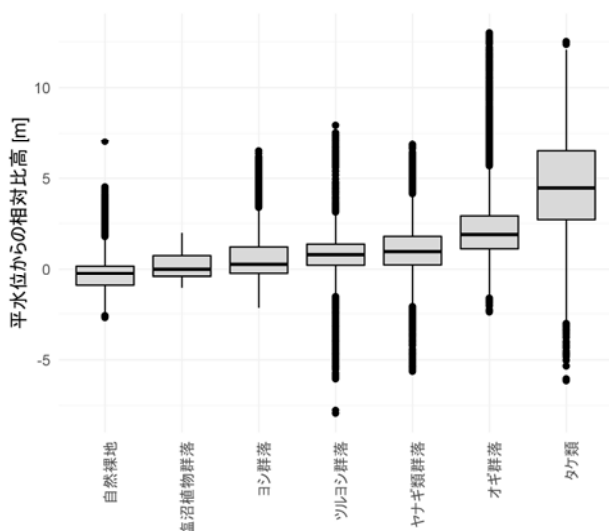


図-9 植生と比高の関係. 植生は主要な群落のみ抜粋して表示. 箱ひげ図は中央値, 四分位数間領域および値の範囲を示し, 箱の中央, 上, 下の線はそれぞれ中央値, 第3四分位, 第1四分位である. 箱の上下のひげは値の範囲を, 黒い点は外れ値を示す.



図-10 試験施工区のヨシ群落 (伐採後) .

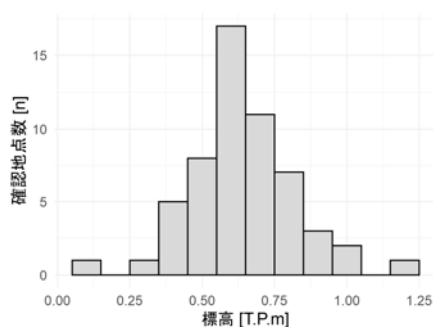


図-11 伐採後に確認されたヨシの生育地盤高.

3. 考察

(1) 効果的なヨシ生育条件

ヨシの生育状況について施工高および植栽方法の違いから比較すると, 施工高T.P. 0.5mのヨシ根土撒出し工区では, 施工後4年目までに実施面積の9割以上にヨシが活着しており, 今回の施工方法の中では最良の条件であったと示唆される. 施工高T.P. 0.5mは感潮区間における冠水頻度として日3~4時間相当

であり, 今回の分析結果からは, 他植生との競合関係を含めこの冠水頻度が春先のヨシ生長段階に必要な条件であると示唆された.

(2) ヨシ原再生の効果

事業によってヨシ以外の湿地性の重要植物 (タコノアシ, シロネ) や, オオヨシキリやオオジュリン等の鳥類, カニ類が確認された. 地盤の切り下げによって冠水頻度が向上し, 湿地性の植物が生育しカニ類等の底生生物が生息できる基盤環境が形成され, 更にヨシ等の高茎草本群落が成立することでオオヨシキリやオオジュリン等の鳥類の生息環境が形成されたと示唆される.

(3) ヨシ原の持続的維持に関する知見

基盤地形は, 砂州を切り下げ植生環境がリセットされることで施工直後に地形変化 (川側は侵食, その背後に堆積) が生じやすいが, ヨシの定着とともに基盤地形が安定し持続的なヨシ原環境の維持に有効であることが示唆された. ヨシは施工後4年目をピークに定着・拡大するが, ノーメンテナンスでは施工後の微地形の変化やヤナギ類の侵入により5年目以降の分布面積は減少する傾向にあった. これは植生が定着し地形が安定することで, 進入したヤナギ類等が生育しやすくなり, 生長とともに樹高が大きくなることでヨシ等の高茎草本が日隠されやすくなり双方の生育条件が変化したことが一要因と考えられた. 対策として樹木伐開によってヤナギ類を除去することで, 地下部に現存するヨシ根から早期にヨシが生育しており維持管理策としての有効性が示唆された. ただしヨシが再び生育した箇所は, 施工後からの地盤高変化が+0.2m程度までの箇所が主であったため, 施工後これ以上の堆積した箇所, すなわちヨシの好適な生育高から高くなった箇所については別途対策が必要と考えられる. 具体には, 上述の比高条件などを参考に, 維持掘削やブルによる敷き均し等による比高管理の視点が重要と示唆される.

謝辞: 本内容は国土交通省中部地方整備局豊橋河川事務所より受託した業務成果にもとづくものであり, 関係者の皆様には厚く御礼申し上げます.

参考文献

- 1) 中部地方整備局, 矢作川水系河川整備計画, 2009
- 2) 矢作川水系総合土砂管理検討委員会, 矢作川水系総合土砂管理計画策定に向けて (技術的な課題と検討の進め方), 2015
- 3) 豊橋河川事務所, 矢作川自然再生検討会資料, <http://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/kaigi/yahagigawa/benkyou/index.html>
- 4) 宮脇成生, 永山滋也, 加藤康充, 伊藤英恵, 萱場祐一: 観測所水位データから平常時水位の縦断形を推定する ~庄内川を事例として~, 応用生態工学, 21, 53-60, 2018.

地域連携による 絶滅危惧植物アゼオトギリ保全の取り組み

ふじわら えり いしい まさと たけやま なおふみ きくち まさひろ あべ なおき
○藤原江里¹・石井正人¹・武山直史¹・菊地正浩¹・阿部直己¹

¹ (株) 建設環境研究所 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦3-20-27)

三重県内では絶滅したとされていたアゼオトギリが、2013年櫛田川水系佐奈川にて47年ぶりに発見された。アゼオトギリは、本来、水田の畦に生育する植物であることから、流域内での生育の有無について調査を行い、流域内では再発見された箇所以外でアゼオトギリの生育は確認されなかった。河道内での生育条件等に関する知見はなく、河川管理を行う上で河道内の生育地が消失すると再絶滅することが懸念された。このことから、流域内で広く保全していくことが必要と認識し、地域連携による保全活動として展開できるような取り組みを進めてきた。

Key Words : 絶滅危惧植物, 地域連携, 保全活動, 河川管理, アゼオトギリ

1. はじめに

(1) 絶滅危惧植物アゼオトギリ

アゼオトギリ (*Hypericum oliganthum*) は、日当たりのよい湿地に生えるオトギリソウ科の多年生草本である。茎は叢生し、よく分枝し、葉の縁には黒点が密に並ぶ。花期は7～9月、直径10～13mm、果実は丸みを帯びる¹⁾。

アゼオトギリは、環境省レッドリスト2020において絶滅危惧ⅠB類、三重県レッドデータブック2015において絶滅危惧ⅠA類に分類され、近い将来野生での絶滅の危険が高いため、保全が求められている。



図-1 アゼオトギリ

(2) アゼオトギリの再発見

アゼオトギリは、1966年大台町宮川産の標本記録以降、確認情報がなく、三重県内では絶滅したと考えられていた¹⁾。ところが、国土交通省が定期的に行っている「河川水辺の国勢調査」において、2013年櫛田川水系佐奈川にて確認され、三重県内で

は47年ぶりの再発見となった。

(3) アゼオトギリの生育環境の特徴

佐奈川では、河道内の洪水時に冠水する箇所を確認されたが、吉岡・青山 (2015)²⁾では、アゼオトギリ生育環境を以下のように述べている。

＜生育場所＞

- ① 用水路と農道の間にある畦法面の用水路側の縁（草刈りを刈払機で年4回実施、除草剤不使用）
- ② 湿潤だが通気性が良く、草刈りがなされて明るい刈払機の刃が届きにくい
- ③ 競争者のいない水路上に枝を伸ばすことが多い

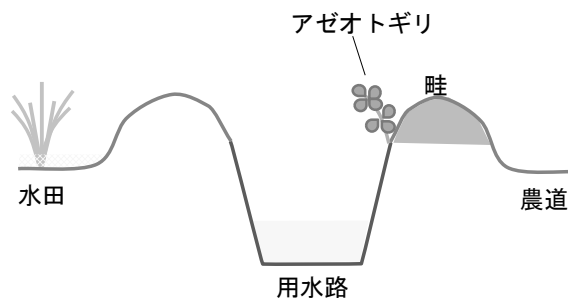


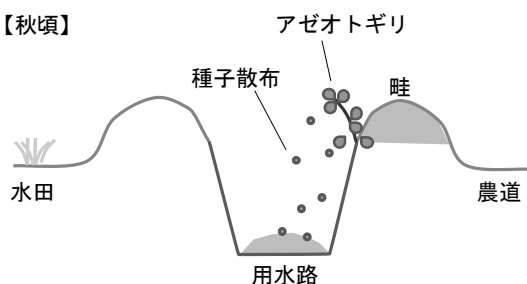
図-2 アゼオトギリ生育場所

＜人為的な種子散布＞

- ① 水路上に伸びた枝に着いた果実が登熟すると、すでに水が止められた水路に種子は重力散布される
- ② 春先に行われる溝浚いでは、畦法面に水路堆積物が積まれる

③法面縁の土壌が厚くなり、アゼオトギリの生育場所が作られ、水路に落ちた種子を畦に戻す働きがあると思われる

【秋頃】



【春頃】

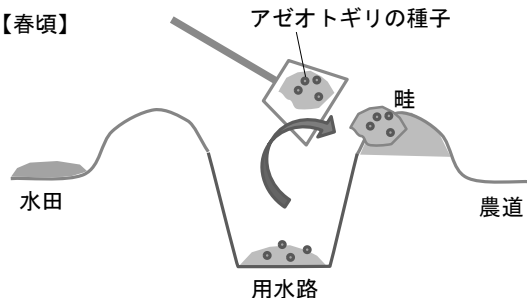


図-3 人為的なアゼオトギリの種子散布

2. 取り組みの経緯

(1) 保全活動のあゆみ

2013年にアゼオトギリを再発見したことを機に、佐奈川河道内及び沿川の畦などにおいてアゼオトギリの生育状況を調査した。調査結果から、アゼオトギリが自生しているのは今回発見箇所の1箇所しか存在しないことが確認され、洪水時の流失や河川管理等による絶滅リスクを回避するために保全に取り組む必要性が確認された。

保全活動の第一歩として、先進的な取り組みを進めている福井県での事例も参考として、緊急的な移植を行うこととし、地域住民や県内の高校生に協力を依頼して、2014年にアゼオトギリの移植苗の作成、移植作業を行った。

移植に協力頂いた団体、学校に続き、地域で活動している団体も加わって頂き、地域一体となったアゼオトギリ保全を進めていくための活動母体として、2015年5月に三重大学や福井県立大学の先生方の助言を得ながら、「アゼオトギリ保全勉強会」（以下、「勉強会」と呼ぶ）が設立された。

勉強会は、2016年からは毎年6月に開催しており、2020年8月時点で9回行われた。勉強会を通じて地域、教育機関、行政が一体となり、栽培方法や生育に適した環境を模索している。

(2) 保全活動組織

アゼオトギリ保全勉強会のメンバーは以下のとおり構成されている。

- ・座長、アドバイザー：学識者3名、有識者1名
- ・教育機関：県内高校2校、福井県高校1校（オブ

ザーバー）

- ・地域団体：多面的機能支払交付金制度活動組織4団体（農水省の交付金制度による地区の団体以下、「活動組織」と呼ぶ）、ボランティア団体1団体
- ・行政：事務局（国、町）、オブザーバー（県）

(3) 当社の役割

自生地において個体群調査による河道内での生育特性の把握、河道内移植地の設定、モニタリング調査による保全方法の確立、「将来性のある持続可能な地域連携による保全活動」として展開できる取り組み内容の検討・取り組みのサポートが当社の役割である。

3. 取り組み内容

(1) 河道内における自生地の保全と移植

a) 自生地の保全

自生地の保全として、生育特性を把握するためモニタリング調査を実施した。

アゼオトギリは堤防法尻付近に沿って多く生育している。河川堤防では、法尻まで定期的に除草が行われており、光の供給を受けやすく、競合相手が少なくなっているためと考えられた。このため、自生地付近での堤防除草の際は、アゼオトギリに配慮されるよう施工業者への現地説明会などを企画・実施した。



図-4 法尻付近に生育するアゼオトギリ
(配慮された堤防除草後)

季節ごとの個体数の増減、出水の規模、時期などを整理すると、アゼオトギリの生活史のうち登熟期に大きな出水があると翌年春季の個体数が増える傾向が確認された（図-5参照）。本来は図-3のような人為的な種子散布がなされる生態を持つが、河道内でのアゼオトギリは出水の影響を受け種子散布される汎濫原植物の特徴を有していることが考えられる。

継続的なモニタリング調査を実施することにより、個体群が維持されていることがわかり、河道内におけるアゼオトギリ生育に関する知見が蓄積されつつある。

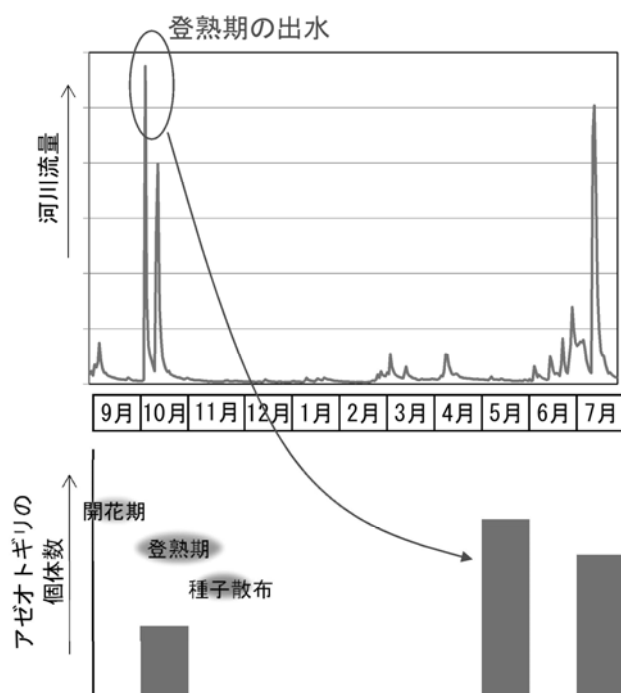


図-5 出水とアゼオトギリの生活史と個体数の関係

b) 移植による生育地拡大

河道内では出水等による環境変化により、自生地における種の維持が困難となる場合も考えられ、緊急的措置としてボランティア団体と協働で移植を実施した。移植に際し、保全方針の作成、移植箇所を選定を行った。移植箇所には、日照条件、土壌水分等について自生地の生育条件と類似した箇所、他の生育地（福井）と類似した箇所、一般の方が観察しやすい箇所として5箇所を選定した（表-1参照）。継続的なモニタリング調査を実施し、試験移植なども行いながら、保全方法の確立に向けて検討を行っている。新規定着した移植箇所から佐奈川と連続した水系・用水系に種子が散布され、新規定着地が自生地への種子供給源となることも期待できる。

表-1 移植箇所選定表

		日照	土壌の乾湿	周辺植生	備考
自生地		良	湿	オギ、セイタカアワダチソウ、チガヤ	—
移植候補地	A 堤防表法尻	良	湿	タチスズメノヒエ	自生地と類似
	B 低水敷	良	湿	ツルヨシ	自生地と類似
	C 低水敷	良	湿	セイタカアワダチソウ	自生地と類似
	D 堤防裏法尻	良	やや湿	チガヤ	一般の方が観察しやすい
	E 堤脚水路	良	湿	チガヤ	福井での生育地と類似

(2) 流域の取り組み

種の絶滅リスクの回避や種の保全のための活動を地域へ拡大していくにあたっては、アゼオトギリの栽培方法について周知する必要があった。福井県での栽培事例も参考に、学識者の意見を頂きながら、勉強会にて『アゼオトギリ栽培マニュアル』を作成した。作成に際し、地域団体や高校生など幅広い意見が反映されるよう、ワークショップ形式で各団体の栽培方法、経験談を議論し合い、経験知からの意見を集約するようにするためグループの分け方やワークショップの進行の仕方などを工夫した。

地域団体による増殖栽培では、マニュアルを基に種から育てた後、各地区にて移植を実施している。そこでは、定期的な草刈り、観察、地域住民へのお披露目などを各団体が行っている。

また、高校生の生態研究では、福井県の高校との共同研究とし、各学校の環境に適した研究として、農場の一角を使った研究、生息域外保全として校内保護区を造成した研究を行っている。卒業しても後輩へと受け継ぎながら継続的な研究が行われている。



図-6 各地域にて移植

(3) 勉強会を継続していくための企画検討

2015年に「勉強会」を立ち上げ、参加型の勉強会として毎回テーマを変え、年1回6月開催とし、定期的な開催により継続的に実施するように配慮した。座学では、保全活動への意識向上へと繋げられるよう、地域団体に活動報告として各々資料作成及び発表をしていただき、参加型の現地作業や現地見学などを計画・実施してきた（図-7参照）。2014年から地域団体による増殖栽培、教育機関による生態研究、行政による自生地や移植地のモニタリング調査が行われ、「勉強会」でその知識を共有することにより、効果的・効率的な栽培方法のノウハウが蓄積されてきた。そのノウハウを地域で継承するため、2019年から『アゼオトギリ保全勉強会活動報告書』の作成に取り掛かっている。作成に際して、勉強会メンバーの意識向上・活動の当事者としての主体的な取り組みを醸成するため、各団体に活動内容を執筆していただいている。

(4) アゼオトギリNewsの作成

アゼオトギリ保全勉強会メンバーへの情報共有の一環として、2016年「アゼオトギリにゅーす」を作成した。さらに、広く一般的に周知されるために「アゼオトギリNews」としてリニューアルした（図-8参照）。町役場、図書館、教育機関などに配布し、広く一般に活動の周知がされている。



図-7 アゼオトギリ保全勉強会
(左：河川敷にて移植作業、右：座学にて活動報告)



図-8 アゼオトギリNews (2018.8 リニューアルの巻)

4. 取り組みの成果

(1) 三重県からの支援

これまで保全活動の取り組みを実施してきたことにより、2017年3月31日三重県指定希少野生動植物種に指定された。条例により罰則規定が設けられることで、人為的な影響による個体数の激減や消失を抑えることが可能になるものと考えられる。

また、2019年に三重県から推薦を受け、「国連生物多様性の10年日本委員会（UNDB-J）」（以下、「UNDB-J」と呼ぶ）から、2020年3月、認定連携事業（第16弾）に認定された。これにより、UNDB-Jのホームページよりアゼオトギリ保全活動が広く知られ、ロゴマークの使用による広報活動が可能となった。



この事業は「国連生物多様性の10年日本委員会（UNDB-J）」が推奨する事業として認定を受けています。

図-9 UNDB-Jロゴマーク

(2) 高校、地域団体による普及・啓発・交流活動

「勉強会」にて、各団体主体による様々な普及・啓発・交流活動が実施されており、活動の拡大や意識向上が広がっていると感じられる。その活動例を以下に示す。

高校では、一般の方でも自由に見学できる校内の一角で展示や紹介を行い、県内外の活動発表会（日本学校農業クラブ等）に積極的に参加し、活動報告を行っている。

企業を母体としたボランティア団体では、企業発行冊子にて活動の紹介、地域環境イベントへの出展にて活動の紹介を実施している。

各地区の活動組織では、身近な神社、地区のお祭りなどで展示を行い活動の紹介を実施している。

2015年、高校生によるアゼオトギリ保全についての環境学習が小学校にて実施された。その後、小学校の卒業生が高校に研究見学に訪れるなど、交流による啓発活動が実を結びつつある。

福井県の保全団体との交流も進められるようになっていく。2016年福井県にて、2017年三重県にて保全活動団体同士の交流会が団体主体で実施された。お互いに刺激を受けることで、活動意欲向上に繋がっているものと考えられる。

地域団体が主体となり、幼稚園や小学校にて保全活動の紹介、植栽活動を実施し、生物多様性の保全を若い世代へと引き継ぐ取り組みとなっている。

(3) 継続的な保全活動によるノウハウの蓄積

勉強会や保全活動が継続されたことにより、これまで勉強会メンバーと情報を共有してきた。そのため、栽培方法のノウハウや生態についての知見が蓄積されてきており、「活動報告書」作成にまで至ることができた。

5. 今後の展開

今後の展開として、技術面では自生地のモニタリングを継続しさらなる生育特性の解明を進め、移植地において試験移植などを実施し、河道内の保全方法の確立を目指す。保全の取り組みに関しては、「将来性のある持続可能な地域連携による保全活動」として展開できる取り組み内容の検討を続ける。

6. 謝辞

本内容は国土交通省三重河川国道事務所より受託した業務成果に基づくものです。また、この保全活動はアゼオトギリ保全勉強会メンバーの努力により継続されています。アゼオトギリ保全勉強会の皆様にはこの場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 三重県レッドデータブック2015
- 2) 吉岡俊人、青山のぞみ：アゼオトギリ—絶滅まであと30年の雑草、草と緑、p38-47、7巻、2015年

新丸山ダムにおける 原位置岩盤せん断試験について

ながしま たつや あさと おさひろ みやむら しげる かわさき しんぺい
○永島達也¹・安里長浩¹・宮村 滋²・川崎慎平³

¹日本工営（株）名古屋支店（〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22）

²日本工営（株）地盤環境事業部 地質部（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

³日本工営（株）大阪支店（〒530-0047 大阪市北区西天満1-2-5）

ダム建設において基礎岩盤の強度設定は、ダムの安定性・基礎掘削線決定に関わる重要な事項であるため、原位置にてせん断試験を実施して強度を確認する必要がある。新丸山ダムでも、試験が未実施であったCM級岩盤を対象に原位置せん断試験を実施した。原位置せん断試験においては、試験実施前の横坑拡幅や試験面の整形などの準備工事に多大な手間を要し、熟練した横坑作業員の存在が必要不可欠であった。また、地質・岩盤特性に精通した地質技術者の技術的判断を基に、試験位置の選定・試験結果の評価を行った。

Key Words : 原位置せん断試験, せん断強度, 横坑

1. はじめに

新丸山ダムは、木曽川本川中流部に位置する既設の丸山ダム（図-1参照）下流47.5mに20.2m嵩上げして建設予定の多目的ダムである。国内最大級の嵩上げ工事となり、完成後のダム高は118.4mとなる。

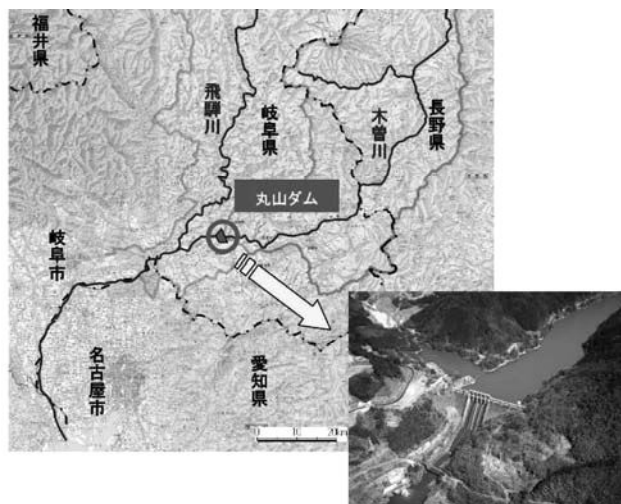


図-1 木曽川水系流域図および丸山ダム位置図。

新丸山ダムでは、当初CM級岩盤の設計せん断強度は他ダムの類似岩盤での強度事例より $\tau = 1.67\text{MPa}$ (170tf/m^2)、 $\Phi = 45^\circ$ と設定していた。

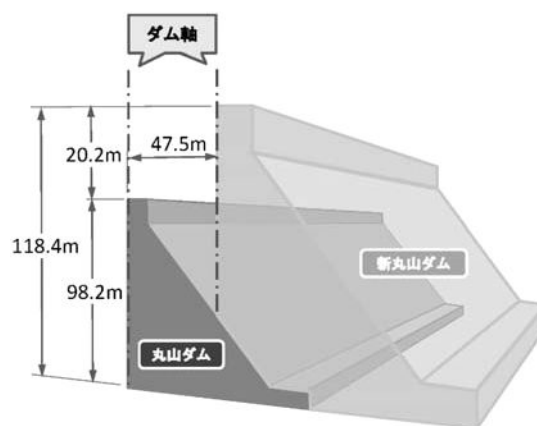


図-2 新丸山ダムの嵩上げ模式図。¹⁾

ダムの建設において基礎岩盤の強度設定は、「河川砂防基準調査編」²⁾において、「ダム基礎のせん断強度、変形係数、弾性係数の設計値は、原位置試験を行って求めることを（中略）標準とする」と述べられているが、原位置せん断試験の実施には、高度な技術を要することや比較的高価な試験であることから、ダム高の低い場合には上記のように類似岩盤から強度設定する事例もある。新丸山ダムは、ダム基礎掘削面（堤敷）の左岸斜面部にCM級岩盤が広く分布する（次頁図-6参照）ことが判明したことから、既往横坑を拡幅して、原位置せん断試験を実施し、設計せん断強度の設定を行った。

2. 地質概要

新丸山ダムサイトの基礎岩盤は、美濃帯の堆積岩類から構成されている。

美濃帯は前期三畳紀の珪質粘土岩、三畳紀～前期ジュラ紀のチャート、前～中期ジュラ紀の珪質泥岩、中～後期ジュラ紀の混在岩、および局所的にこれらの地層を貫く白亜紀の安山岩からなる。

ダムサイト周辺に分布する地質は、大局的には左岸高位標高部～低位標高部にかけては泥質混在岩が分布し、河床部には砂質混在岩、珪質混在岩が分布する。右岸側の急崖部には、珪質粘土岩・チャートを主体とする地層が分布している。全体に花崗岩などの貫入による熱変成を受け、堅硬・緻密な岩体（ホルンフェルス）となっている。

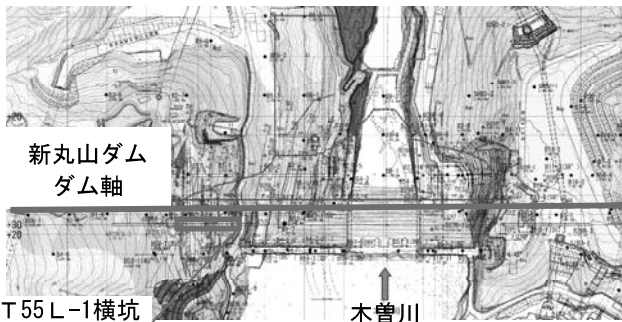


図-3 新丸山ダム地質平面図。

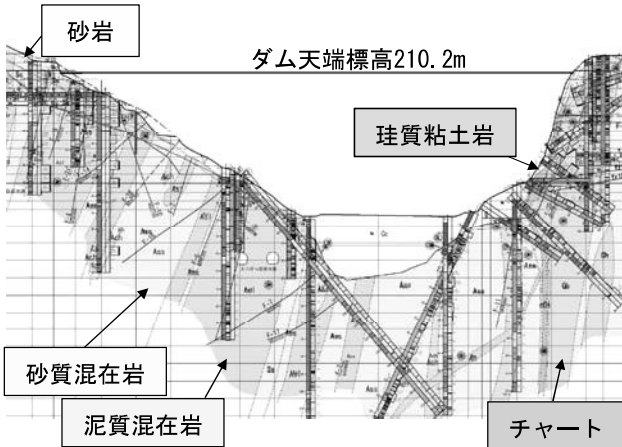


図-4 新丸山ダムダム軸地質断面図。

3. 原位置せん断試験

(1) 試験位置の選定

せん断試験の流れを図-5に示す。新丸山ダムのCM級岩盤は、ホルンフェルス化されていることもありCH級岩盤に近い硬さを有するものの、割れ目間隔は5～15cm程度で、割れ目に酸化あるいは少量の挟在物を伴う特徴を有していた。また、左岸斜面部ではCM級岩盤の厚さは約10mと薄い、通常、ダムサイトでの原位置せん断試験は横坑設置直後に行われるが、試験のために新規に横坑を掘削することはコストと時間を要するため、既往の左岸調査横坑を拡幅して新鮮な岩盤面を確保し、試験を実施した。試験対象のCM級岩盤は、横坑内水平方向の分布が限られるこ

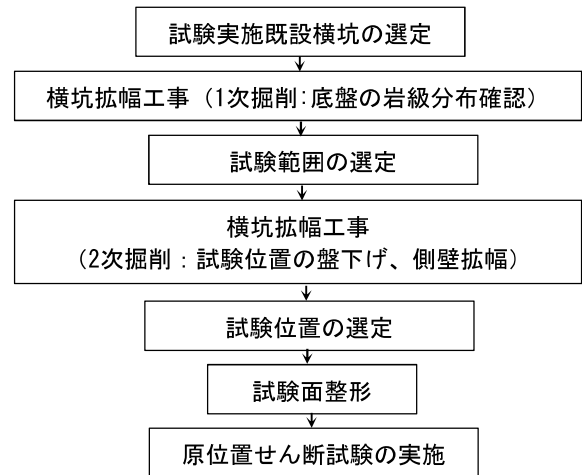


図-5 原位置せん断試験までの流れ。

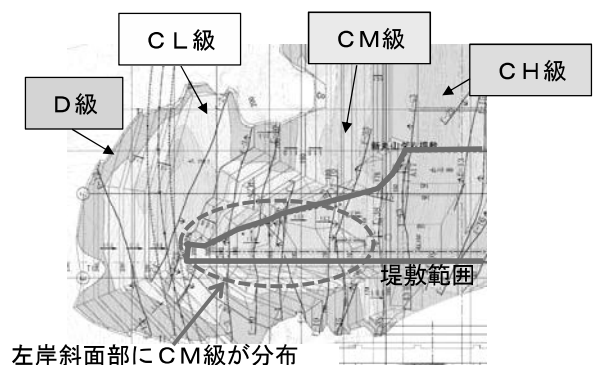


図-6 ダム基礎掘削断面岩級区分図。

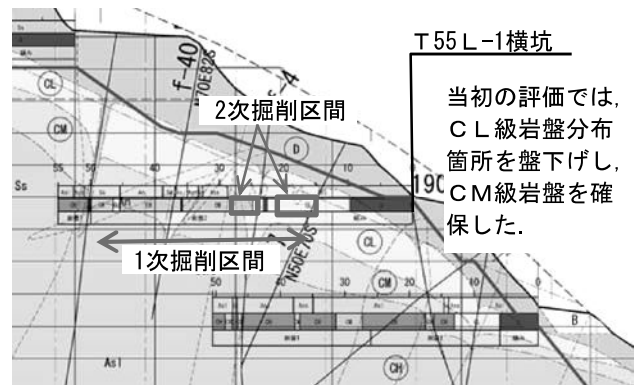


図-7 T 55 L-1横坑位置の既往岩級区分断面図。

とから、左岸の岩級分布を考慮し図-7に示すT55L-1横坑で試験を実施することとした。既往横坑の試験では、試験用に新鮮な岩盤を確保するために横坑底面の盤下げを行う必要があるが、CM級岩盤の分布が薄く、盤下げ時に硬質なCH級岩盤が出現すると試験ができない可能性があったため、事前に横坑深度17m～50mの底盤を盤下げ・清掃し、岩級分布状況の詳細な評価を行った。その結果、横坑深度16～22mと24.5～28mを2次掘削（試験面整形のための盤下げと試験装置設置のため側壁拡幅）の対象区間として選定した。これは、図-7に示す通り、側壁の既往岩級評価ではCL級岩盤の分布域であり、1次掘削の結果を踏まえた上で、その領域直下にCM級岩盤が分布

するという地質工学的判断をしたものである。

二次掘削の際には、地質技術者が常駐してCM級岩盤の代表的な要素区分（硬さ・割れ目の間隔・割れ目の状態）に基づき、三次元的な岩級分布、試験面周辺の亀裂の方向性や発達頻度、岩級分布、割れ目性状を考慮した詳細な岩盤評価を実施し、試験面を5点（BL. 1～BL. 5地点）選定した。選定は、割れ目間隔が15cm以上のCH級箇所や局部的な割れ目密集部を避け、簡易ボーリングにて試験面下に伏在する低角度割れ目の有無を確認した上で行った。

(2) 原位置せん断試験の概要

原位置せん断試験の試験方法詳細については、「原位置岩盤試験法の指針」³⁾等に詳述されていることから本稿では割愛するが、試験準備として写真-2に示すように、盤下げはピックハンマーで行う。最終的な試験面整形はダイヤモンドカッターを用いて岩盤面に切れ目を入れ、ノミで削るという手作業となる。これらの作業は、岩盤に人工的な緩みをもたらすと試験へ影響することから非常にデリケートな作業で、横坑掘削作業者の熟練した技術が必要である。



写真-1 T55L-1横坑坑口状況。



ピックハンマーによる盤下げ状況

ダイヤモンドカッターによる整形状況

写真-2 横坑盤下げ・試験面整形状況。

今回の試験は、上記のように整形した試験面に、写真-3に示すようにコンクリートブロックを打設し、油圧ジャッキにて荷重をかけ、ブロック下の岩盤をせん断するブロックせん断試験を行った。（岩盤の一部を原位置でブロック状に切り出し、その岩盤をコンクリートでカバーしたうえで直接せん断する“ロックせん断試験”という試験もある。）

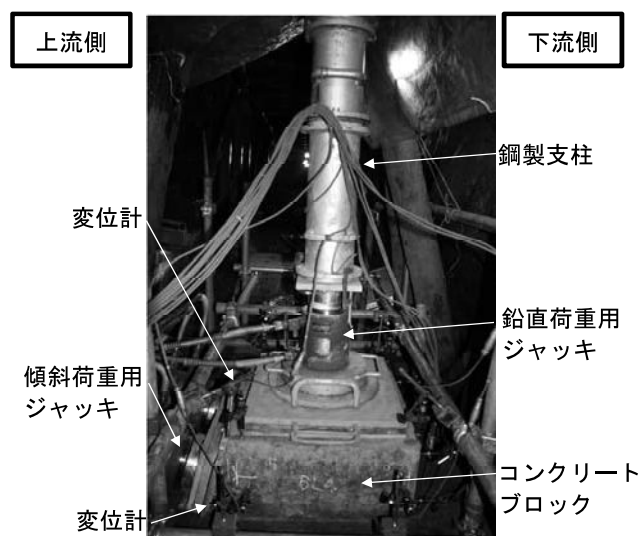


写真-3 ブロックせん断試験装置状況。

4. 試験結果およびせん断強度の評価

(1) 試験面スケッチ

せん断試験面に対しては、岩盤の岩級分布状況、亀裂状況、岩盤の破壊状況等を把握するために、試験前後に図-8に示すように詳細なスケッチを行い、岩盤状況を評価した。

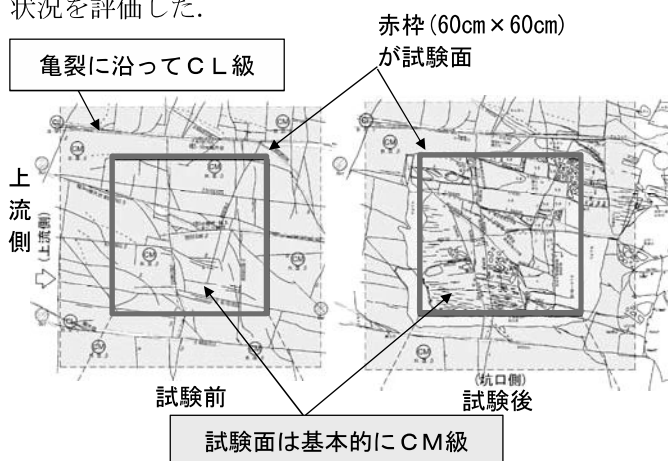


図-8 BL. 5の試験前後の試験面（+周辺）スケッチ。

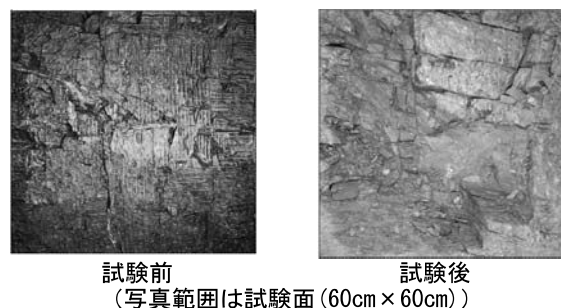


写真-4 BL. 5の試験前後の試験面写真。

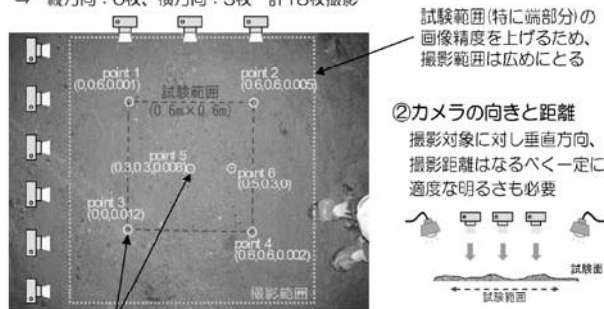
(2) 画像解析

今回の試験では、試験前後の試験面をデジタルカメラで撮影した後、三次元画像処理ソフトを利用し、せん断試験面の破壊状況を復元し、破壊面の不陸

(凹凸の状況)や断面図の作成を実施した。その概要を図-9、図-10に示す。

①十分なオーバーラップ率とサイドラップ率を確保する

⇒ 縦方向：6枚、横方向：3枚 計18枚撮影



③位置情報を補正するための基準点 (GCP) 設定

試験面にスプレーでマーキング、左下端を原点として、x,y,z座標を計測
(試験範囲4点+試験範囲内で高低差のある2点)

図-9 画像解析のためのデジタル写真撮影方法。

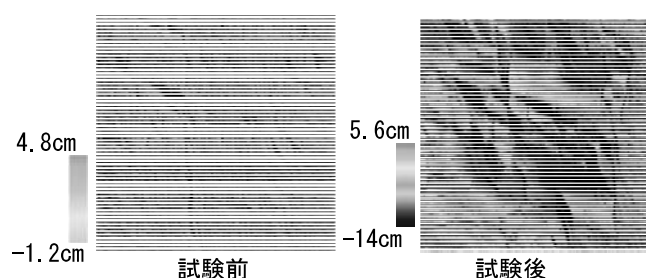


図-10 BL. 5試験面の画像解析結果 (設定基準面からの不陸図)。

(3) せん断強度の設定

試験結果を右の図-12に示す。BL. 2は試験後の浮石等を除去した後もデジタル写真を撮影し、画像解析を行った結果、褐色化したCL級の割れ目で破断しクリープ的な変位を示し、層理面に沿って岩盤が浮き上がってしまったことが判明したことから(図-11参照)、代表的なCM級岩盤ではないと評価し、設計せん断強度の設定検討データから棄却した。

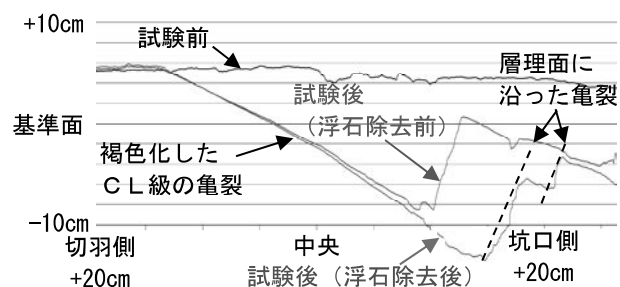


図-11 BL. 2試験面の試験面中央・ダム軸方向の不陸面解析図。

上記を踏まえ、試験強度は4点の最低値を採用し、 $\tau = 2.25 \text{ MPa}$ (230 tf/m^2)、内部摩擦角は既往類似ダム事例も踏まえて $\Phi = 50^\circ$ とした。試験の結果、当初

設定していた設計せん断強度 1.67 MPa よりも、ホルンフェルス化した当ダムの岩盤状況を反映し、高い岩盤強度を有していることが判明した。

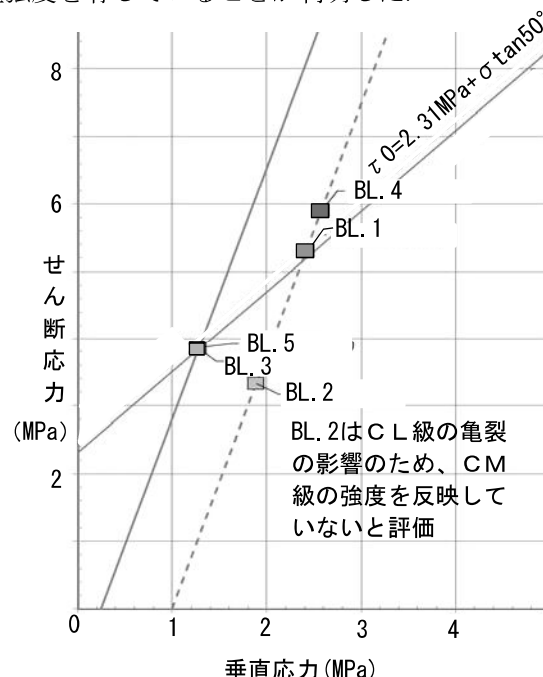


図-12 CM級せん断試験結果図

5. おわりに

今回、せん断試験を実施することにより、原位置の岩盤の性状を反映して他ダムの類似岩盤に比べ高い設計せん断強度を設定できた。

また、今回の試験では準備工事に係る熟練した施工技術者の高齢化、せん断試験の経験のある地質技術者の減少等の問題に直面し、試験実施の調整に苦労した。試験期間中は発注者の協力の下、地質調査会社、建設コンサルタント各社に呼びかけ現場説明会を実施し、試験概要の説明や試験装置の見学を行った。今後は、業界として、試験技術の継承を図り共有していくことが重要であると認識している。

謝辞： 本論文の執筆にあたり、ご協力いただいた関係者の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 新丸山ダム工事事務所ホームページ (https://www.cbr.mlit.go.jp/shinmaru/201_damunogaiyou/02_kasaage/main.html)
- 2) 河川局長通達：国土交通省河川砂防技術基準調査編，平成26年4月改定 (https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/)
- 3) 土木学会岩盤力学委員会：原位置岩盤試験法の指針-平板載荷試験法/せん断試験法/孔内載荷試験法，2000。

重力性変形に起因する地すべりの精査と 再開発ダム貯水池周辺地すべりの解析

たなかひでき すえたけしんいち いわさたくみ かわたけんじ
田中秀輝¹・末武晋一²・岩佐卓実³・河又健時¹

¹日本工営株式会社 名古屋支店 技術第二部 (〒461-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22)

²日本工営株式会社 新潟支店 (〒950-0962 新潟県新潟市中央区出来島1-11-28)

³日本工営株式会社 大阪支店 (〒530-0047 大阪府大阪市北区西天満1-2-5)

新丸山ダムは、木曽川水系木曽川に位置する丸山ダムの機能増強を目的に建設予定の再開発ダムであり、重力性変形の発達に伴う地すべりの評価および再開発ダムにおける貯水池周辺地すべりの安定度評価が課題であった。地すべりの精査では、詳細現地踏査および高品質ボーリングコアのコア観察に基づき、地すべりブロック範囲とすべり面形状を推定した。安定解析では、再開発ダムの貯水池地すべりに規程がある新たな技術指針に基づき、現ダムの貯水位変動や地すべり変動を考慮した現状安全率の設定等より新ダムの湛水影響を評価した。

Key Words : 再開発ダム, 貯水池地すべり, 重力性変形(トップリング), 美濃帯堆積岩類, 安定解析

1. はじめに

新丸山ダム(以下新ダムと称す)は、木曽川水系木曽川に位置する丸山ダム(以下現ダムと称す)の機能増強を目的に、再開発ダムとして計画されているダムである。新ダム貯水池周辺には、美濃帯(砂岩、混在岩(泥質、砂質、珪質)、チャート)を主体のジュラ紀付加体堆積物が分布し、地質構造は、木曽川と概ね平行な東-西走向で70°以上の高角度で傾斜する(図-1)。また、貯水池斜面の一部には、重力性変形(トップリング)による岩盤のゆるみが認められ、地すべりへの移行が想定される箇所がある。

本論文では、新ダム貯水池左岸斜面の大規模地すべりNL-3を例として、重力性変形に起因する地すべりの検討結果および再開発ダムにおける貯水池周辺地すべりの解析手法について報告する。

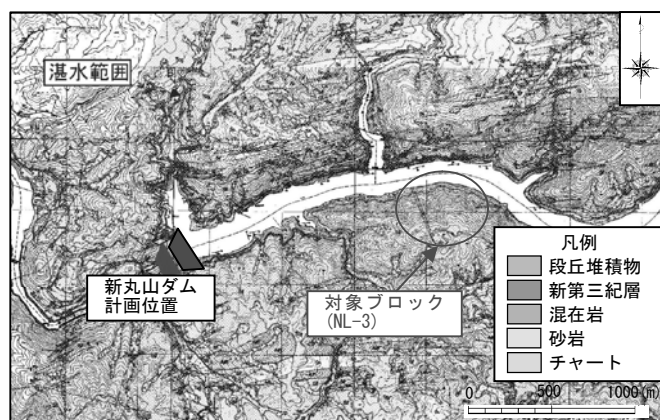


図-1 対象斜面の位置図

2. 調査方法

本地域では地質・岩盤特性による重力性変形構造の把握と地すべりへの移行および再開発ダムにおける安定解析が技術的課題として挙げられた。そこで前者の解決策として、詳細現地踏査及び高品質ボーリングコアの観察を実施し、後者の解決策として、現状の安全率および水位条件の検討を行った。

(1) 詳細現地踏査

a) 地表踏査

地表踏査では、地すべり特有の微地形の確認および地すべりブロック範囲の設定を行った。対象斜面は、地すべり地形が不明瞭であるため、微地形を直感的に把握できる斜度図を活用した。また、永田・末武(2017)¹⁾を参考にすべり内外での露頭状況のゆるみ状況を5段階で評価し、地すべりブロック内外の岩盤性状を表現し、ブロック設定の根拠とした。

b) 船舶を用いた地すべり末端部調査

地すべり末端範囲の設定は、新ダム湛水の安定解析上、重要である。一方で、再開発ダムでは既に貯水池が存在していることに加え、貯水池際の地形が急峻であることが多く、山側からの末端確認は困難を極めた。そこで、船舶を用い湖面より、貯水池際に分布する露頭の状況を確認し、地すべり末端部の評価を実施した。

(2) コア観察

すべり面深度の把握および今後の動態観測に用い

る観測孔設置を目的としたボーリング調査および原位試験(ボアホールカメラ観測, 現場透水試験)が実施された。ボーリング調査は, 地山の自然状態での岩盤性状の把握が可能な高品質ボーリングで実施された。ボーリングコアの評価は, 主に岩相区分, 酸化区分, 破碎度区分および層理面傾斜角度の4項目に着目して行い, 特に破碎度区分は, 脇坂ほか(2012)²⁾を参考にて本貯水池周辺での区分基準を作成した上で, 各ボーリング孔について区分した。

(3) 安定解析

新丸山ダムの貯水位操作に対して, 斜面の安定度を検討する目的で実施した。解析断面は, 上述(1), (2)の手法で推定したすべり面とした。計算式は, 技術指針³⁾に準拠し, 簡便(fellenius)法を使用し, 水没部の取扱いは基準水面法を適応した。

3. 調査結果

(1) 地すべりブロックの平面範囲

詳細現地踏査の結果, 下記4ブロックに区分した。また, 船舶を用いた調査で, 貯水池際ではゆるみが進んだ露頭および傾倒した層理面構造が認められたため, 地すべり末端部は貯水池内に位置すると推定した。詳細現地踏査より設定した地すべりの規模と主な地すべり地形を下記に記す。

深層ブロック：最大幅約500m, 最大長約330mの地すべりである。頭部には木曽川の流下方向と平行な陥没地形や上流側側部まで連続する明瞭な高さ約10m滑落崖が認められる。両側部は沢地形に想定した。斜面中腹部(EL. 300m付近)から下方にかけて崩壊地形が多数認められる。

深層追従ブロック：最大幅約230m, 奥行約70mの地すべりである。深層ブロックの背後斜面(土岐面)に位置し, 木曽川の流下方向と平行な不明瞭な段差地形が分布する。

浅層上流ブロック：最大幅約180m, 奥行約230mの地すべりである。頭部は緩斜面上方の遷緩線とし, 両側部は崩壊地形に想定した。

浅層下流ブロック：最大幅約240m, 奥行約260mの地すべりである。高さ約10mの滑落崖が分布し, 頭部は, 滑落崖下方の緩斜面との遷緩線に想定し, 両側部は崩壊地形と露頭のゆるみ境界に想定した。

(2) コア破碎状況

コア観察では, 特に破碎度区分(Cr1~4), 層理面傾斜角度および酸化区分に着目し3区間に区分した。

区間1：地表面から表層部(0m~約20m)に分布しており, 30°以下の層理面傾斜角度とCr2~3を主体とする破碎岩が分布する。酸化は岩芯まで認められる。層理面傾斜角度は, 浅部ほど低角になり, 地表面付近ではほぼフラットになる。区間2との境界部には明瞭な剪断面は認められない。

区間2：区間1の下位に分布し, 層厚約20mである。30°~50°程度の層理面傾斜角度を有するCr1b主体の破碎岩であり, 一部Cr2以上の破碎部を伴う。酸化は初生構造や亀裂沿いに認められる。区間3との境界部に高破碎部(Cr3~4)が認められる。

区間3：区間2の下位に分布し, 孔底まで連続する。層理面傾斜角度は, 70°以上を示し, 大局的な地質構造と調和的である。断層を除く破碎部や酸化は, 局所的に認められる程度であり不動岩盤に相当する。

3) すべり面候補深度の抽出

コア観察による岩盤の破碎状況, 破碎部下面方位等から, すべり面候補深度の抽出を行った。すべり面候補深度は, 断面的な連続性と地すべり地形との適合性を総合的に検討し, 最終判断を行った。ボーリングコアの評価事例を図-3, 4に示し, 主測線断面図を図-5に示す。すべり面の性状を下記に記す。

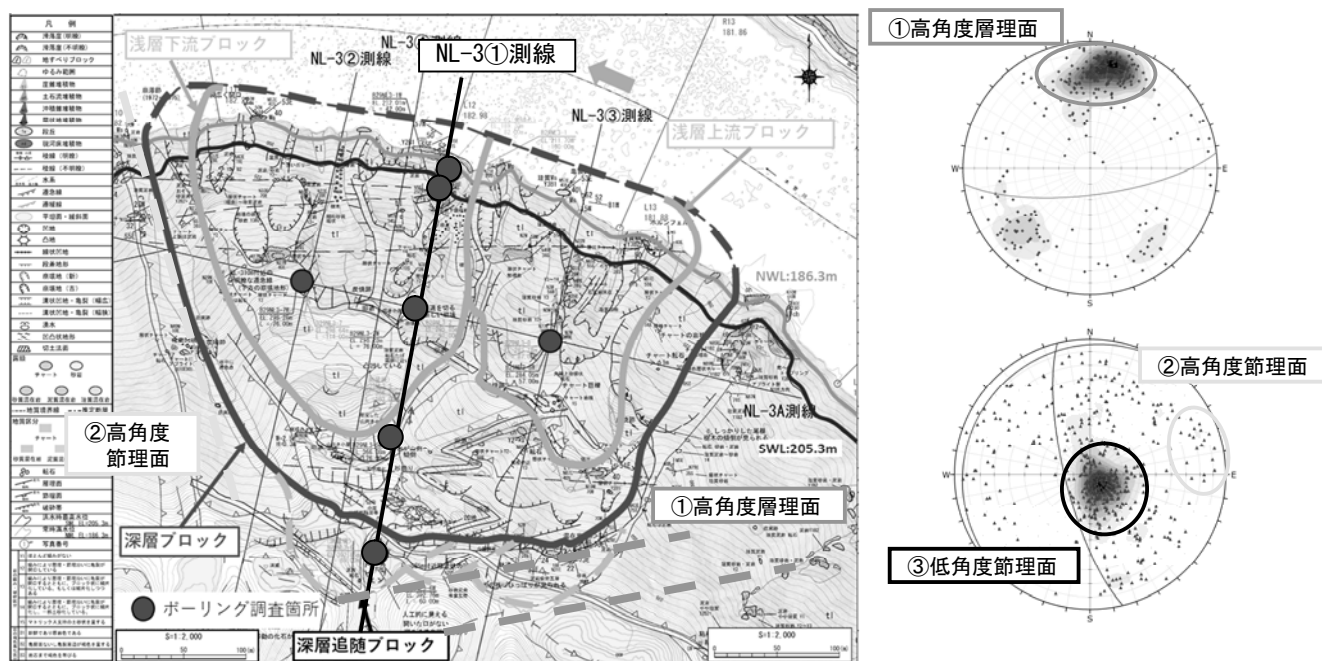


図-4 精査結果平面図および不動岩盤中の初生構造のステレオ投影(下半球投影, 上: 層理面, 下: 節理面)

浅層すべり面：コア観察による区間1と区間2の境界付近に位置する。明瞭な剪断面が発達しない箇所が多いが、すべり面を境に層理面傾斜角度が不連続適に変化し、下盤側の層理面傾斜角度が大きい。

深層すべり面：コア観察による区間2と区間3の境界付近に位置する。層理面構造を切る明瞭な剪断面を有し、その下面は流れ盤傾向であることが多い。すべり面を境に層理面傾斜角度が不連続的に変化し、下盤側では層理面傾斜70°以上を示す。

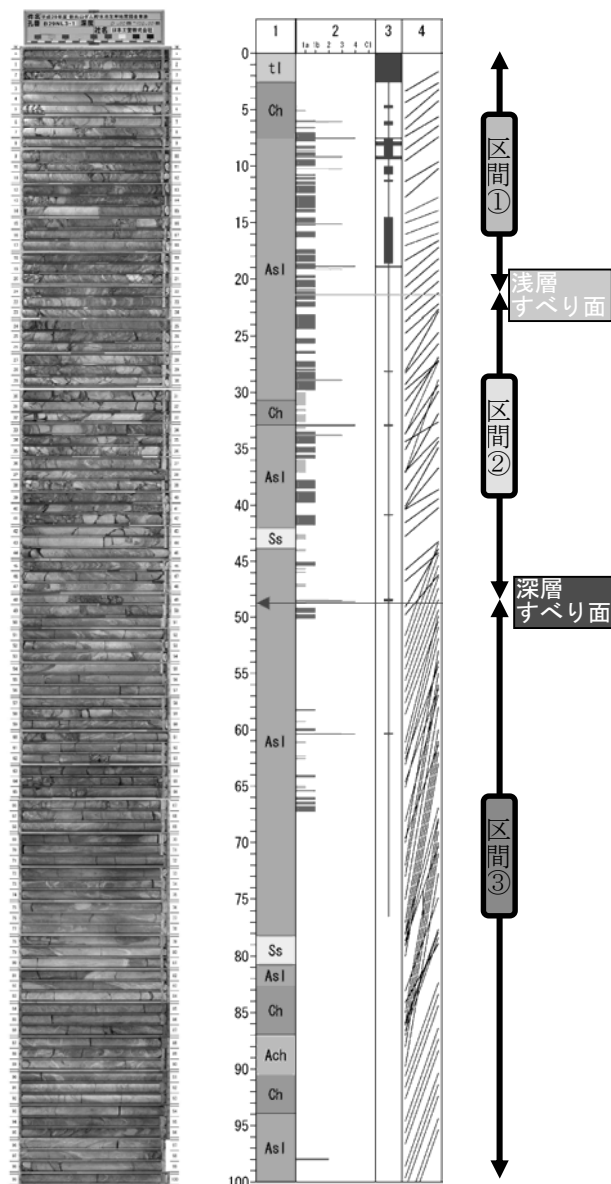


図-3 ボーリングコア評価事例 (B29NL3-1孔)

凡例 1. 岩相区分 (Tl: 崖錐堆積物, Asl: 泥質混在岩, Ss: 砂岩, Ch: チャート, Ach: 珪質混在岩), 2. 破碎度区分 (水色: Cr1a-鉛直方向の開口割れ目, 青色: Cr1b-開口割れ目に細粒分が充填, 黄色: Cr2-無構造角礫岩(礫支持), オレンジ: Cr3-無構造角礫岩(礫支持～基質支持), ピンク: Cr4-礫混じり砂～粘土, 赤: C1-砂～粘土, 緑: Sh2～4-角礫岩(複合面構造あり) 3. 酸化区分 (大: 原岩組織なし, 中: 岩芯まで酸化, 小: 亀裂沿いの酸化, 無: 酸化なし), 4. コア観察における層理面傾斜角度

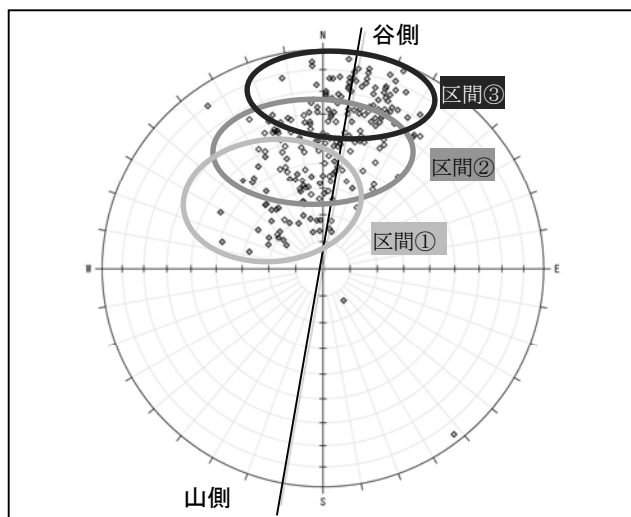


図-4 層理面構造のステレオ投影 (下半球投影)

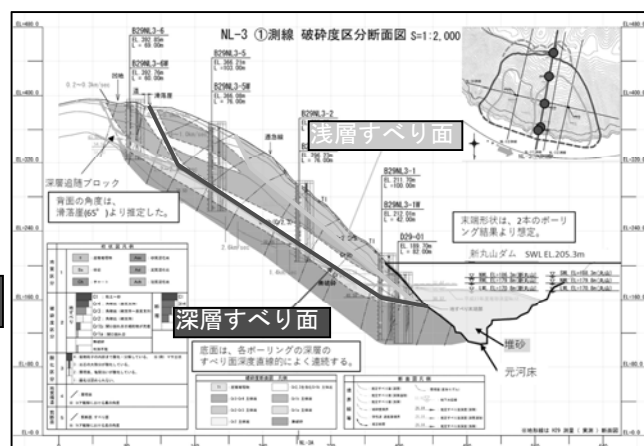


図-5 破碎度区分断面図

(4) 安定解析結果

各解析条件は、技術指針³⁾に準拠し設定した。地すべりの安定度は、現ダム建設前(1943年着手, 1955年竣工)からの空中写真を判読し、現在まで地すべり滑動に起因する変状等が認められないこと、詳細現地踏査による斜面の変状状況から、変動の徴候が認められないことから、長期にわたり変動D相当と判断される。また、最新の計器観測においても地すべり滑動を示唆する累積変位は認められないため、現状の安全率は、 $Fs0=1.05$ に設定した。(表-1)

表-1 変動状況の区分と安全率の目安

地すべり等の変状	計測調査による変動種別	湛水前の安全率の目安
1) 現在変動中、主亀裂・末端亀裂発生	変動A: 活発に変動中	$Fs0=0.95$
	変動B: 緩慢に変動中	$Fs0=0.98$
2) 地表における変動の徴候(亀裂の発生等)は認められない	変動C: 変動量は非常に小さい(変動C未満)が、累積性が認められ地すべりによる変動の可能性が高い	$Fs0=1.00$
3) 変動の徴候は認められない	変動D	$Fs0=1.05$

現状の安全率を設定する際の水位について、現ダム建設前とし、新ダム貯水位操作時の安全率の推移について検討した(図-6)。新ダムの貯水位操作の範

囲は、現ダムの最低水位 (EL. 170. 8m) から新ダムサーチャージ水位 (EL. 205. 3m) までの上昇時とそこから新ダム制限水位 (EL. 179. 8m) までの低下時の範囲とした。

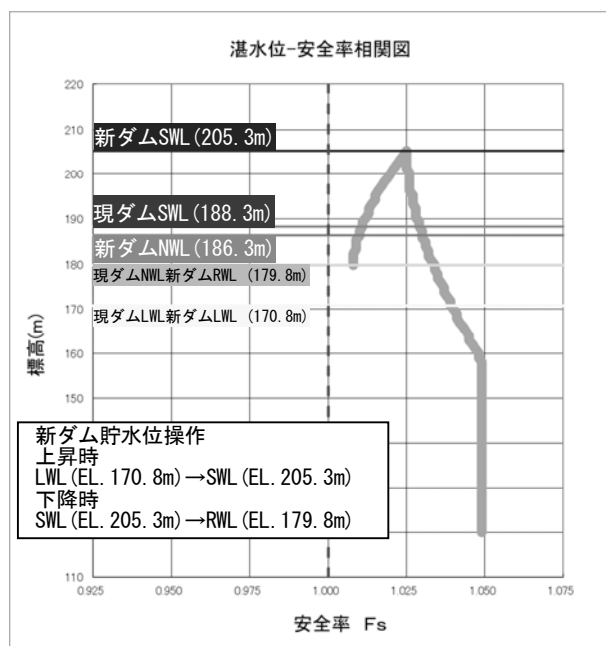


図-6 貯水位操作に対する安全率推移 (深層ブロックの検討例)

現ダム湛水前の地すべり (地下水位なし) を、現状安全率 $Fs_0=1.05$ とする解析であり、地すべり末端標高より上位の貯水位操作 (湛水、急降下) をした場合に安全率が低下する結果となった。これは現在の深層ブロックを形成した地すべりが現ダム湛水前に発生したこと、長期安定水位 (EL. 178. 26m) の安全率が $Fs>1.00$ 以上であり現在の斜面状況 (変動 D 相当) と比較しても妥当であると判断される。以上の安定解析の結果、解析対象の深層ブロック、浅層上流ブロック、浅層下流ブロックは、新ダム湛水時の最小安全率 $Fs_{min}>1.00$ となった。

4. 考察

(1) 地すべり発生の素因・誘因

精査で想定された地すべりブロックに対して、地すべりの形態、発生機構を考察する。精査を踏まえ、地すべりの素因、誘因を下記のとおり整理した。

素因：地すべりの形状を規制する要因として、初生的な地質構造 (頭部： $N70^{\circ} E \sim 70^{\circ} W$ 走向高角度層理面構造、側部： $N20^{\circ} W$ 走向高角度節理面構造、すべり面： $N35^{\circ} \sim 70^{\circ} E$ 低角度節理面構造) がある (図-4)。また、木曽川の下刻作用や高角度受け盤の斜面における重力性変形 (トップリング) が進行したことによる、ゆるみ岩盤の分布が想定される。

誘因：過去の地すべり滑動を招いた誘因としては、木曽川の下刻により、末端領域が失われ斜面が不安定化したこと等が挙げられる。また、今後想定される誘因としては、新ダムの貯水位操作の影響による

浮力の発生、残留間隙水圧等によるものがある。

(2) すべり面形成のメカニズム

対象斜面は、美濃帯堆積岩類の泥質・砂質混在岩がチャートをレンズ状に挟在し、地質構造は高角度の受け盤を呈する。このような面構造が発達する地質かつ高角度受け盤の斜面では重力性変形の進行に伴い、キンク帯が形成される (図-7)。対象斜面の深層ブロックは、木曽川の下刻作用による拘束圧の減少により重力性変形が進行し形成されたキンク帯と初生的に卓越する低角度節理面構造が連結したことですべり面 (区間2下面に対応) に移行した岩盤地すべりと考えられる。浅層ブロックは、表層部で風化、重力性変形が進行した区間1下面にすべり面が存在するが、コア観察結果より完全に連続したすべり面は形成していないと想定される。一方、頭部には緩斜面が存在し、頭部付近では連続したすべり面を形成した風化岩地すべりと想定される。

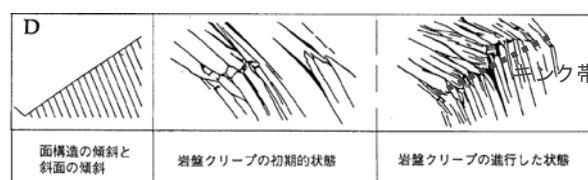


図-7 受け盤斜面での岩盤クリープ模式図 (千木良 1998より引用加筆)

5. まとめ

重力性変形が進行する高角度受け盤の斜面に対して、地すべり精査を行い、破碎度、層理面傾斜角度、酸化度より3区間に区分した。キンク帯から地すべりに移行していると推定された。また、安定解析では地すべり安定度を踏まえた条件設定を行った。

参考文献等

- 1) 永田秀尚, 末武晋一: 野外調査における岩盤ゆるみ度区分の提案, 応用地質, 第58巻, 第2号, p102-107, 2017
- 2) 脇坂安彦, 上妻睦男, 綿谷博之, 豊口佳之: 地すべり移動体の特徴づける破碎岩—四万十帯の地すべりを例として—, 応用地質, 第52巻, 第6号, p231-247, 2012
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局: 貯水池周辺の地すべり等に係る調査と対策に関する技術指針・同解説, 2019
- 4) 千木良雅弘: 岩盤クリープと崩壊—構造地質学から災害地質学へ—, 地質学論集, 第50号, p241-250, 1998

UAV写真測量データを用いた差分解析による チュウヒ営巣環境の検討

○小川^{さとし} 智¹・梶野^{きよし} 清司¹・鳥居^{かずき} 和樹¹・牧瀬^{けんじ} 賢治²・鈴木^{まさと} 雅人³

¹国際航業（株）中部事業所（〒451-0001 愛知県名古屋市西区名駅2-27-8
名古屋プライムセントラルタワー）

²国際航業（株）関西事業所（〒660-0805 兵庫県尼崎市西長洲町1-1-15）

³国際航業（株）東北事業所（〒984-0051 宮城県仙台市若林区新寺1-3-45）

三重県が木曽岬干拓地の利活用を目的として進めている木曽岬干拓地整備事業において、2006年1月に三重県が三重県環境影響評価条例に基づく評価書を公表した。評価書では、干拓地内で繁殖が確認されたチュウヒへの代償措置として、ヨシ群落を主な植生とした保全区を造成することが示され、その後ビオトープが創出された。同整備事業では、UAVを用いた調査を実施して同種の営巣環境を解析したのち、植生管理方法を検討した。本稿では保全区における一連の取り組みのうち、UAVを利用することで、これまでの現地調査のリスクを軽減し、SfM解析を活用した差分解析により同種の営巣環境を評価した。

Key Words : チュウヒ, UAV調査, ヨシ群落, 差分解析, 営巣環境評価

1. はじめに

チュウヒ (*Circus spilonotus spilonotus*) は、草地に営巣する猛禽類で2017年8月に「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律施行令の一部を改正する政令」で国内希少野生動植物種に指定された。木曽岬干拓地で繁殖が確認されたチュウヒは、乾燥した立地にオギ、ヨシ、セイタカアワダチソウなどの植物が繁茂する条件で、繁殖していた。開発事業の着手にあたり、ヨシが優占する湿地環境を創出することで、代替営巣地として保全区を整備したが、2019年まで、同種の繁殖は確認されなかった。保全区では、三重県環境影響評価条例に基づく事後調査を行い、植生の生育状況をコドラート法により経年的に把握してきたが、同種の営巣地評価の課題は、次のとおりである。①コドラート法による調査では、点的な植生構造を把握するには適しているが、面的な営巣環境の評価には適していない。②植生調査のため、チュウヒの繁殖期（2月から8月）に保全区に立ち入るため、調査実施が同種の繁殖の妨げになる。③調査員の踏み跡からイタチなどの捕食者が湿地内に侵入し易くなる。④6月～9月に実施する植生調査は、高温多湿となるため、調査員に熱中症リスクが増大する。

以上の課題に対して営巣環境の評価、調査による影響低減、調査員の安全の観点からUAV（Unmanned Aerial Vehicle）を用いて写真測量を行い植生の構造を把握した。

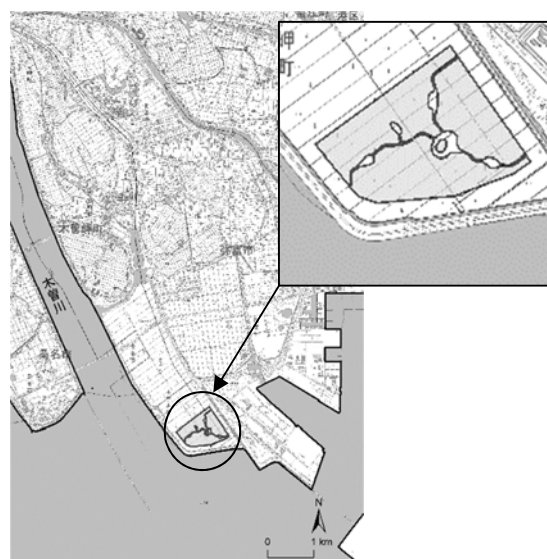


図-1 木曽岬干拓地内の保全区

2. 方法

営巣環境評価は図-2に示す手順で行った。撮影はUAVに装着したデジタルカメラにより、木曽岬干拓地上空より行った。撮影した写真からSfM解析（Structure from Motion）で得た樹冠標高データと既存の航空レーザ測量データより得た地盤標高データ（DEM: Digital Elevation Model）の差分解析を行い、群落高データ（草丈）を求めた。また、オルソフォトを作成して植生の分布を整理した。これらの整理結果をもとに文献により得た知見と比較して営巣環境を評価した。

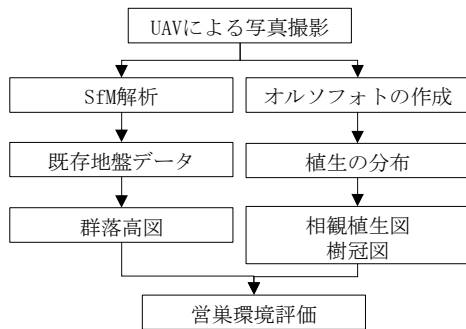


図-2 解析の手順

(1) オルソフォト及び樹高平面図

調査に用いたUAVの写真測量の概要は表-1に示すとおりである。撮影時期は、干拓地内で営巣したチュウヒの幼鳥が巣立った後、9月に実施した。オルソフォトは、撮影した画像データの位置座標情報とDEMを用いモザイク処理により、シームレスなオルソフォト画像データを作成した。撮影した写真は、写真解析用ソフトウェア（Pix4Dmapper）を用いて、SfM解析を行い、樹冠標高データを作成した。また、保全区が造成中の2010年11月に撮影された航空レーザ測量成果より、地盤標高図を作成した。次に、樹冠標高データと地盤標高データより差分解析を行い、草丈を求めて群落高図を整理した。

表-1 UAV写真測量概要

項目	内容
UAV	Zion QC730（マルチコプター）
カメラ	Sony α6000（2,430万画素）
調整点	31地点（保全区隣接範囲含む）
地上解像度	2cm
オーバーラップ率	80%
調査日	2017年9月6日・7日

(2) 植生・樹木の分布把握

オルソフォト上にあらかじめ、植生の分布範囲を示した予察図を作成し、現地踏査により、植生の分布を補足して相観植生図を作成した。また、オルソフォト上には、樹木の樹冠の範囲を記録して樹冠図を作成した。なお、現地踏査は、ヨシなどが十分に成長したと考えられる10月に実施した。

(3) 営巣環境評価

現地調査で整理した相観植生図と群落高図は、GISを用いて重ね合わせ、草丈区分毎の面積を算出した。営巣環境評価は、チュウヒの営巣に適した植生について文献から抽出して、チュウヒの営巣に適した植生や草丈が創出されているか検討した。

3. 結果

(1) 植生分布状況

保全区の植生分状況は、表-2及び図-3に示すとおりである。チュウヒの営巣に適した植生¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾は、保全区ではオギ群落、ヨシ群落が生育している。同種の営巣に適した植生は、調査範囲では、49.9%を占め、同種の営巣に適さない植生は、42.9%を占めていた。営巣に適した植生は、造成した水路や池の周辺に多く分布するが、保全区西側水路の南側付近では、営巣に適さない植生の分布が見られた。

営巣に適さない植生は、チガヤ・ヤマアワ群落などの草丈の低い群落やクズ群落、セイタカアワダチソウ群落など乾性な立地に生育する植物、タチヤナギ群落は樹木を主とした群落であった。

表-2 保全区の植生

植生区分		面積 (㎡)	優占率 (%)
営巣に適した植生	オギ群落	56,687	13.2
	ヨシ群落	156,868	36.3
	計	213,555	49.9
営巣に適さない植生	チガヤ・ヤマアワ群落	14,611	3.4
	クズ群落	12,566	2.9
	セイタカアワダチソウ群落	154,911	36.2
	タチヤナギ群落	1,615	0.4
	計	183,702	42.9
水面		30,852	7.2
合 計		428,109	100.0

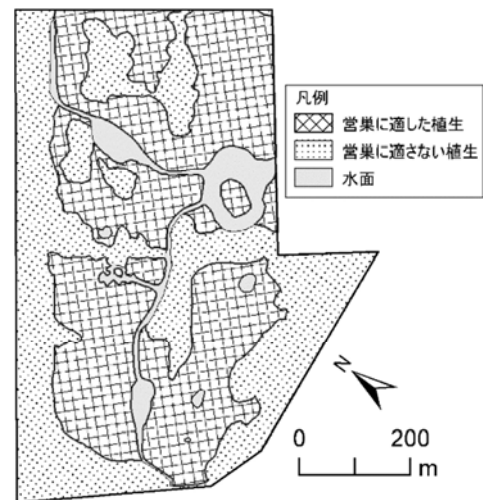


図-3 営巣に適した植生分布

(2) 営巣に適した草丈の分布

チュウヒの営巣に適したオギ、ヨシの草丈は、概ね2.0m以上と想定される⁴⁾。2017年に木曽岬干拓地内で繁殖した巣の周辺の植生は、草丈が2.7～3.0m⁶⁾のヨシであったことから、現地における営巣条件は文献と一致する。撮影後にもヨシが生長すること考えるため、営巣に適した植生の草丈は生長分を考慮して低めの1.5m以上として区分した。

営巣に適した植生の分布状況は、表-3及び図-4に示すとおりである。保全区では、営巣に適した植生のうち、草丈区分が1.5m以上の植生が占める割合は、34.9%、草丈区分が1.5m未満の植生が占める割合は65.1%であった。また、草丈区分が1.5m以上の植生の分布は、保全区中央付近の池より東側では、まとまった群落が分布しているが、西側では、小規模な草丈の高い群落がパッチ状に分布している。保全区西側水路の南側付近では、草丈区分が1.5m以上の群落が少ない傾向が見られた。この地域の植生は乾燥した立地に生育するセイタカアワダチソウ群落であり、保全区では、セイタカアワダチソウ群落は、ヨシ群落に次いで多く分布する植生である。

表-3 保全区の草丈区分

植生	草丈区分			
	1.5m 未満		1.5m 以上	
	面積(m ²)	優占率(%)	面積(m ²)	優占率(%)
オギ群落	24,434	43.1	32,253	56.9
ヨシ群落	114,489	73.0	42,378	27.0
合計	138,923	65.1	74,632	34.9

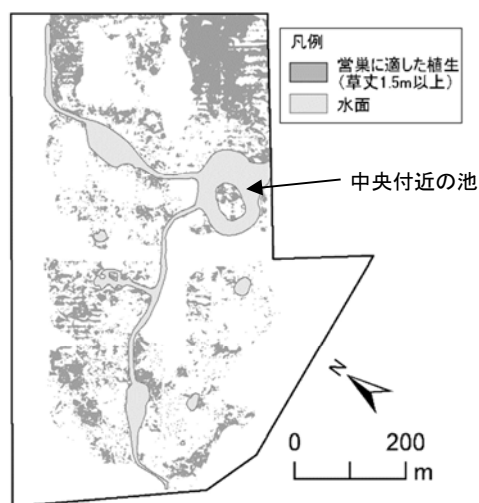


図-4 草丈が1.5m以上の植生分布

(3) 樹木の分布状況

チュウヒは、草地を主な生息場所とする。営巣地付近に樹木が多いとチュウヒの繁殖を害するカラスなどがとまり、繁殖には適していない。樹木の分布状況は、表-4及び図-5に示す。

保全区の樹林は、樹冠面積では3,534m²、約0.8%

を占めている。主な樹種はタチヤナギなどのヤナギ類のほか、ナンキンハゼなどが生育している。また、樹木は、池や水路の周辺に多く生育する。

表-4 保全区の樹冠面積

区分	面積(m ²)
保全区	3,534

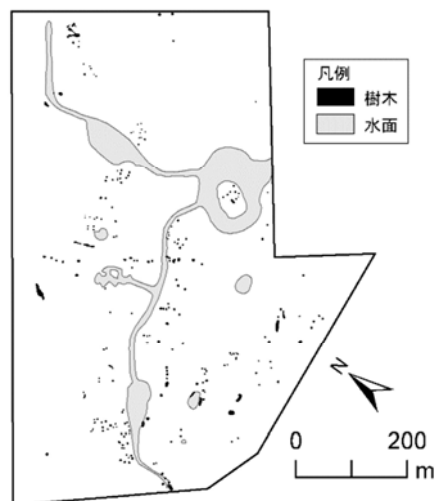


図-5 樹冠図

4. 考察

(1) 保全区の営巣環境

保全区内の植生は、チュウヒの営巣に適したヨシ群落及びオギ群落が約50%を占めている。このうち営巣に適した草丈区分が1.5m以上の群落の面積は74,632m²、保全区に占める割合は、約17.4%であった。

保全区の造成では、中央に配置した池を中心に緩やかに傾斜をとったすり鉢状の地形にオギ、ヨシを移植して造形した効果が見られており、植生の平面的な分布は当初の計画通りに定着したと考えられる。営巣に適した植生区分のうち、草丈区分が1.5m以上の群落が占める割合は34.9%程度であり、草丈の高いヨシやオギの生育が望まれる。また、セイタカアワダチソウ群落やクズ群落など乾燥した立地に生育する植生の分布がみられることから、湿地様の環境が維持されていないことが推察される。一方、水路周辺など比較的湿性な環境ではヤナギ類など樹木の生育がみられる。草丈1.5m以上の営巣に適したヨシ群落やオギ群落の中に樹木が分布して、営巣地としての適性を低くしている。

今後、保全区をチュウヒの営巣に適した環境に維持するには、営巣に適した植生では、草丈の低いヨシ及びオギ群落の成長促進、樹木の生育抑制、セイタカアワダチソウなどの駆除が必要と考えられる。

保全区では、3か所の水路に平板を設置して水位を調整できるような構造としているが、ヨシ、オギの生育に適した水位に維持されていない。

今後は植生の管理を目的に保全区の地盤標高と水

路の構造を把握して、広範囲に冠水する水位を推定して、湿性な環境維持と拡大を検討することが必要である。また、ヤナギ類などの樹木は、草丈の高いヨシ群落やオギ群落内に点々と生育していることから、人力で伐採を行うことは、踏み跡をつけることで、生息環境への影響も考えられるため、樹木を効率的に抑制・駆除する方法を検討する必要がある。

(2) 営巣環境推定における調査時期の妥当性

チュウヒの繁殖活動が始まる2月は⁷⁾、営巣に適したヨシ群落及びオギ群落は地上部が枯れた状態である。チュウヒの造巢行動はヨシ、オギが最も成長して立ち枯れた状態で行われる。UAVによる撮影は、撮影後の処理や植生調査の実施を考慮して9月に実施しているが、ヨシ、オギの成長は10月頃まで続くことから、測量成果より設定した草丈は、営巣環境の評価としては、やや、低めの評価となる。今回の調査では、過年度のコードラート調査結果より9月から10月のヨシ、オギの成長を30cmから40cm⁸⁾を見込み、営巣に適した草丈を1.5m以上としてやや低めに設定して補正した。

今後、撮影後のデータ処理が迅速に行われるようになれば、撮影時期に余裕が持てるものと考えられる。また、UAVを用いて現地調査を実施したことで、これまでのコードラート法と比べて、夏季調査の回避、野外滞在時間の減少により調査員に対する熱中症のリスクを少なくすることができた。

5. 謝辞

本業務では、木曽岬干拓地整備事業環境影響評価アドバイザー会議のアドバイザーの方々から多くのご意見、ご指導をいただいた。また、三重県地域連携部水資源・地域プロジェクト課のご理解、ご協力を得て本稿の発表ができた。ここに記して御礼を申し上げる。

6. 摘要

本業務では、既存のレーザ測量成果を用いて地盤標高データを把握し、UAVを用いた写真画像データをSfM解析により樹冠標高データを作成した。これらの測量データを解析することで、従来の調査方法では把握できなかった植生の草丈を把握して、チュウヒの営巣に適した植生の分布を定量的に把握することができた。今後、これらの手法を用いて、植生の成長・消長などの変化を定量的に把握することが可能である。また、調査結果から保全区の管理方法の目安を示すことができた。

参考文献

- 1) 市川計彦・内田孝男・渡良瀬遊水地におけるチュウヒの繁殖記録. Accipiter 17:A1-A8. 2011.
- 2) 小栗幸雄・小野正人・紀國聡・渡邊敬史・井上創. 利根川下流域におけるチュウヒの繁殖状況および越冬状況. 平成21年度 社団法人日本環境アセスメント協会技術交流会 展示発表. 2009.
- 3) 多田英行. 仏沼におけるチュウヒの繁殖記録. Strix25:87-93. 2017.
- 4) 多田英行・蛭名純一. 仏沼におけるチュウヒの繁殖生態の概要. おおせつからんど年報2:25-32. 2010.
- 5) 多田英行. 錦塩田跡地のチュウヒの繁殖概要(2014年). 野鳥おかやま205号:2-3. 2014.
- 6) 三重県地域連携部: 平成28年度木曽岬干拓地整備事業環境影響評価事後調査等業務委託報告書. 植生断面調査.p9-83-9-94,2016
- 7) 環境省自然環境局: チュウヒ保護の進め方.p5.2016
- 8) 三重県地域連携部: 平成26年度木曽岬干拓地整備事業環境影響評価事後調査等業務委託報告書. 9.3陸生植物.p9-72,2014

道の駅周辺整備基本計画の策定

やすだともひろ くしはらよしゆき かじたとまなり
○安田朋紘¹・串原喜之¹・梶田智成¹

¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11-23）

愛知県愛西市では、第2次愛西市総合計画において、観光振興のための主な取り組みとして、「道の駅を核とした観光拠点の整備」が謳われている。この総合計画を基に進められている「道の駅周辺整備事業」は、当市が所有する既存の道の駅「立田ふれあいの里」と鵜戸川を挟んで隣接する「森川花はす田」を含むエリア一体を「観光拠点」として整備する事で、市外への知名度向上や来訪者の増加等に繋げる地域活性化事業である。

本業務は、この事業に基づき、前述のエリア一体を、一年を通して賑わいのある集客力の高い「観光拠点」として整備するため、効果的な導入施設等の検討を行った基本計画である。

Key Words：道の駅、都市公園、再整備、観光拠点、一体整備

1. はじめに

「道の駅」は、1993年の制度創設以来、約四半世紀が経過し、現在全国で1,180駅（令和2年7月時点）が設置されている。国土交通省は、2020年～2025年の期間を、道の駅の第3ステージと位置づけ、新たなコンセプト「地方創生・観光を加速する拠点」を提言しており、全国各地の道の駅で様々な取り組みが進められている。各道の駅では、地域経営の拠点として稼働力を高めるとともに、新たな魅力を持つ地域づくりへ貢献する取り組みが検討されている。

表-1 国交省が提言する道の駅のコンセプト

ステージ	期間	コンセプト
第1 ステージ	1993年～2012年	通過する道路利用者のサービス提供の場
第2 ステージ	2013年～2019年	道の駅自体が目的地
第3 ステージ	2020年～2025年	地方創生・観光を加速する拠点

愛西市では、第2次愛西市総合計画における観光振興のための取り組みとして、既存の道の駅周辺を「地域観光の中核を担い、地域振興の活性化や観光サービスの交流を図る地域」として位置づけ、「道の駅を核とした観光拠点の整備」が謳われている。

観光拠点の整備イメージは、市内最大の集客力がある道の駅「立田ふれあいの里」と「森川花はす田」を一体的に再整備し、市外への知名度向上や来訪者等の増加等に繋げ、一年を通して賑わいのある集客力の高い「観光拠点」の整備を行うものである。

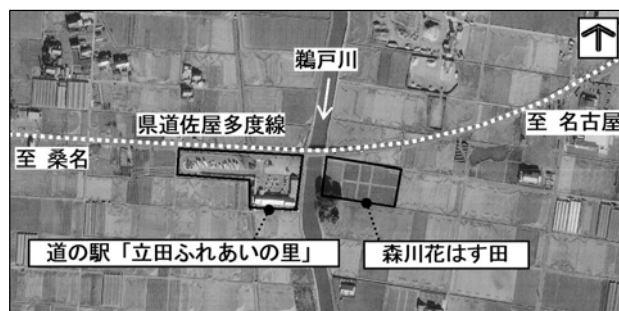


図-1 位置図

2. 現況把握

(1) 道の駅「立田ふれあいの里」

a) 現状

道の駅「立田ふれあいの里」は、2004年の開業以来、地元農家で立ち上げた団体が継続して管理運営を行い、農産物直売所は、県内でもトップクラスの売上高となっている。また、道の駅が面する県道佐屋多度線は、愛知県と三重県を東西に結ぶ重要な物流動線となっており、交通量は、約15,000台/日（上下計）である。



図-2 道の駅「立田ふれあいの里」施設外観

道の駅では、過年度の事業化調査業務にて、利用者アンケート調査を行っている。その結果のうち、年齢、滞在時間、利用目的に関するデータを以下に示す。

○休日の利用者の約半数、平日の利用者の7割以上を60歳以上の高齢者層が占めている。

表-2 利用者の年齢別の割合

年齢	割合	
	休日	平日
20歳未満	2.5%	0.1%
20～29歳	4.0%	1.5%
30～39歳	11.4%	5.1%
40～49歳	14.4%	5.1%
50～59歳	17.9%	11.8%
60歳以上	48.8%	76.4%
無回答	1.0%	0.0%
回答数	201	195

○休日平日ともに、滞在時間30分以内の利用者が7割以上を占めている。

表-3 利用者の滞在時間の割合

時間	割合	
	休日	平日
30分未満	70.1%	72.7%
30～59分	22.4%	22.6%
1時間以上	7.5%	4.7%
回答数	201	195

○休日平日ともに、「農産物の購入」以外を目的に訪れる利用者は、ごく少数である。

表-4 利用者の利用目的の割合

利用目的	割合	
	休日	平日
農産物の購入	78.1%	83.1%
休憩	17.4%	15.9%
トイレ	16.9%	16.9%
食事	13.9%	6.7%
お持ち帰り	6.5%	5.6%
観光情報の収集	3.0%	0.5%
回答数/総回答数	201/278	195/252

b) 問題点

道の駅では、利用者数に比べて駐車台数が大幅に不足しており、特にイベント開催時には、駐車場待ちの行列が県道の交通の流れに大きな影響を与えている。また、農産物直売所は、売り場面積が狭いため、肉類や魚介類、土産物を陳列するスペースがなく、商品のバリエーションに欠ける。

前述のアンケート調査結果より、道の駅においては、利用者が60歳以上の高齢者に偏っている点、農産物直売所以外に魅力的な施設が少なく利用者の滞在時間が短い点等が、問題点として挙げられる。

さらに、現在、道の駅の年間入込客数は、2016年度の約75万人をピークに減少傾向にあるため、今後は、観光拠点の形成に向けて、新規入込客やリピーターの確保のために観光関係団体等との連携を図りながら、ソフト・ハード両面での施策を講じていく必要があると考えられる。

(2) 森川花はす田

a) 現状

道の駅の東側には、普通河川鵜戸川を隔てて、「森川花はす田」が整備されている。毎年7月～8月の花はすの開花時期には、市内外から多くの観光客が訪れ、賑わいを見せている。



図-3 森川花はす田全景

b) 問題点

「森川花はす田」には、屋内施設や散策路、多目的に使える広場等が未整備であり、照明や污水設備も整備されていない。そのため、花はすの開花時期以外は、閑散とした状況である。また、駐車場も未整備であり、現在花はすの開花時期には、道の駅の駐車場を代用している状況である。

3. 課題の整理

道の駅周辺における「観光拠点」の形成に向けて、以下の2点が重要な課題と考えられる。

(1) 新たな集客の核となる施設の創出

現在、道の駅周辺は、農地が大半を占めており、今後、観光拠点として市内外から多くの来訪者を呼び込むためには、「森川花はす田」以外の見処となる新たな集客の核が必要だと考えられる。今後は、道の駅周辺が1日の目的地となるよう多様な施設を導入していく必要があると考えた。

(2) 若年層のリピーターの確保

前述の通り、道の駅の利用者は、高齢者層の固定客が多いと考えられる。今後、観光拠点として、愛西市の魅力を市外へ発信していくためには、15歳～30歳の若年層の情報発信能力の活用が必要だと考えられる。そのため、子育て世代の利用者が使いやすい子育て応援施設や、周辺のサイクリングを楽しむサイクリストのためのサイクルステーション等の導入により、若年層の利用者を呼び込み、リピーターとして確保していく事が求められる。

4. 計画内容の検討

(1) 整備方針コンセプト・導入機能

前述の課題を解決するため、本計画においては、鵜戸川の西側と東側を一体的に整備し、1年を通して安定した集客力の確保を目指す。

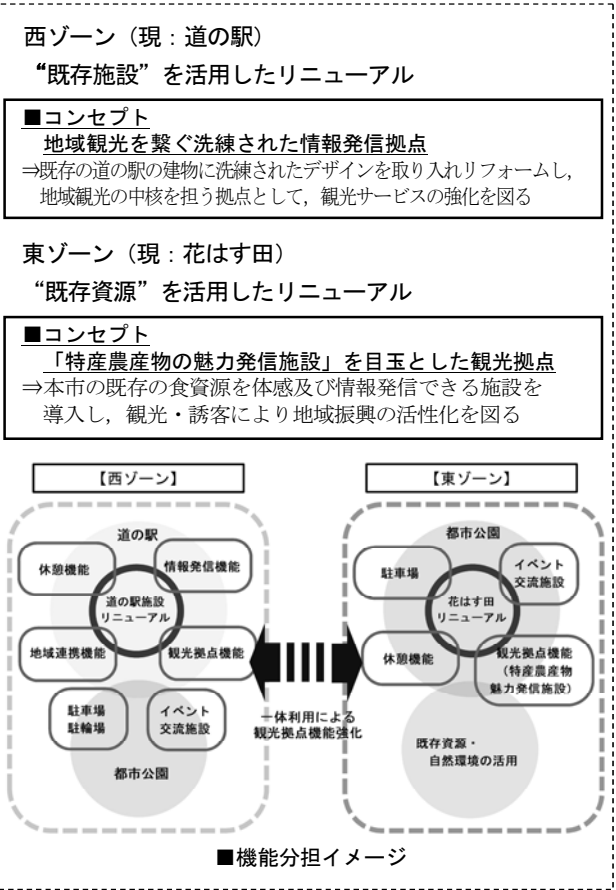


図-4 整備方針コンセプト図

本計画における導入機能は、国土交通省が定める道の駅が有すべき3つの機能「休憩機能」、「情報発信機能」、「地域連携機能」に加え、「観光拠点機能」を追加し、新たな集客の核となる施設を導入する。4つの機能の概要を以下に示す。

表-5 導入機能

導入機能	概要
休憩機能	道の駅を含む観光拠点全体の来場者が、いつでも誰でも快適に安全に利用できる施設を整備する。
情報発信機能	道の駅周辺の観光資源のネットワーク拠点として、いつでも誰でも使いやすいインフォメーション施設を整備する。
地域連携機能	本市の魅力を市内外に周知していくため、幅広い世代の来訪者が立ち寄りやすい施設を整備する。
観光拠点機能	季節や天候に関わらず、子育て世代をはじめとする幅広い世代の来場者が1日中楽しめる施設を整備する。

(2) 事業区分

本計画は、道の駅区域（約1.2ha）と都市公園区域（約0.6haと約3.3ha）の2つの事業区分にて実施する。事業区分図を以下に示す。

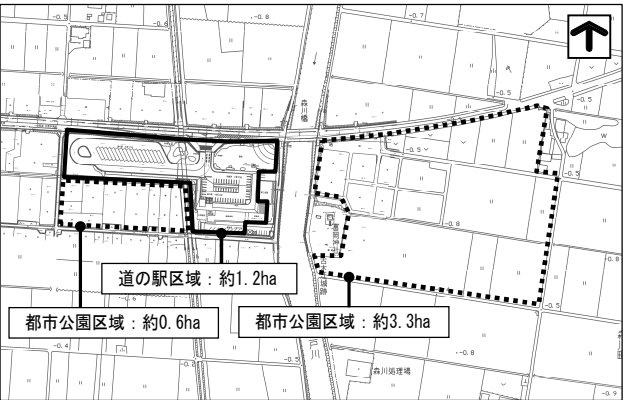


図-5 事業区分図

(3) 事業手法

事業手法は、既存道の駅の再整備と、都市公園の整備を分けて考える。既存道の駅の再整備には、「地方創生拠点整備交付金」（内閣府）を活用する。都市公園の整備に適用可能と考えられる補助事業を以下に示す。

表-6 都市公園の整備に適用可能と考えられる補助事業

名称	概要	金額	適用
社会資本整備総合交付金（国土交通省）	・自由度が高く、創意工夫を生かせる総合的な交付金 ・地域活性化等に繋がる事業	1/2	◎
防災・安全交付金（国土交通省）	・地域の生活空間の安全確保の取り組みを支援する交付金 ・防災、減災を実現する事業	-	△
地域創生拠点整備交付金（内閣官房）	・自主的な地域拠点づくり等の事業のうち、先導的な施設整備を支援する交付金	-	○
地域経済循環創造事業交付金（総務省）	・地域資源を活かした先進的で持続可能な事業 ・地域経済の循環効果の創出事業	上限5,000万円	○
都市農村共生・対流総合交付金（農林水産省）	・農山漁村の豊かな自然や、食や観光、教育等に関する地域の手作り活動を支援する交付金	定額	△
農山漁村振興交付金（農林水産省）	・農山漁村活性化計画の実現のため、農産物加工販売施設、交流拠点等の整備を支援する交付金	1/2	△
6次産業化ネットワーク活動交付金（農林水産省）	・農山漁村の所得や雇用増大を図るため、農林水産物の加工販売施設の整備等を支援する交付金	定額	○

道の駅周辺における前述の課題を解決し、観光拠点を形成するためには、幅広い世代の来訪者が1年中、1日中楽しめる施設の導入が必要だと考える。そのため、「森川花はす田」を含めた都市公園の整備には、自由度が高い「社会資本整備総合交付金」のうち、多様な施設を導入しやすい「都市公園事業」の補助を活用する。道の駅に隣接して都市公園を整備する事で、一体的な施設とし、四季を通して安定した集客力を確保する計画とした。

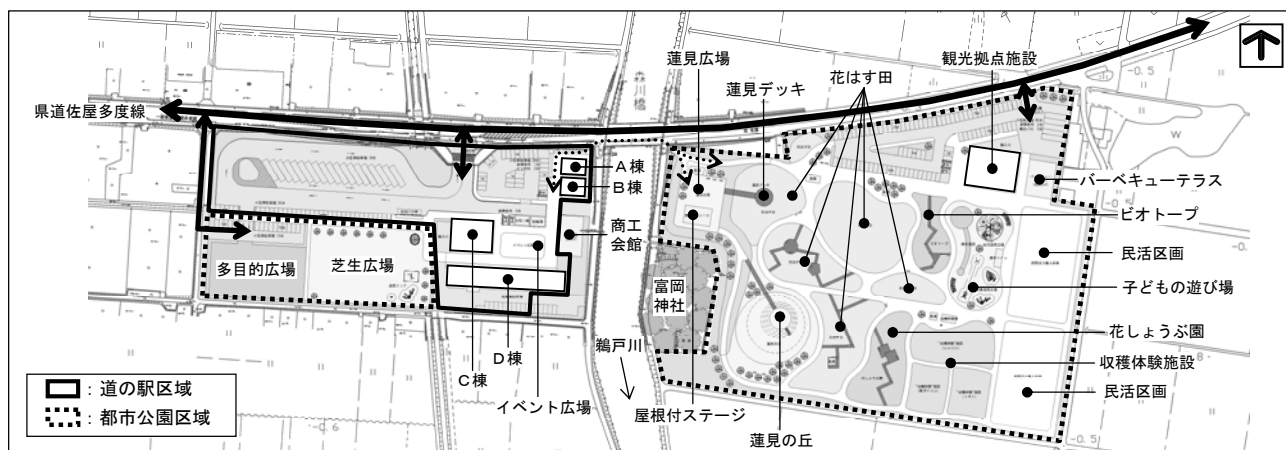
a) 特産農産物の魅力発信施設

このように、道の駅と都市公園において、当市の特産農産物を媒体とした食の魅力を感じる施設を導入する事により、1日中、また1年中賑わいのある集客力の高い観光拠点の形成に繋がると考えた。

	春季	夏季	秋季	冬季
春ダイコン	●			
トマト		●	●	
レンコン	●		●	●

区域	施設名	床面積	諸室構成
【西ゾーン】 道の駅区域	交流拠点 施設A棟	約110 ㎡	観光案内所，事務室 サイクルステーション 等
	交流拠点 施設B棟	約140 ㎡	道路情報コーナー，トイレ 授乳室・おむつ交換台 等
	交流拠点 施設C棟	約430 ㎡	農産物直売所 土産物・園芸コーナー 等
	交流拠点 施設D棟 (※改築)	約638 ㎡	フードコート，トイレ キッズコーナー 管理事務所 等
【東ゾーン】 都市公園区域	観光拠点 施設	約630 ㎡	飲食施設(農家レストラン) トイレ，管理事務所 等

1) 国土交通省：都市公園の質の向上に向けたPark-PFI活用ガイドライン，2018.



– 134 –

ドライビングシミュレーターを用いた トラック隊列走行時の高速道路合流部における 安全対策効果検証

伊藤亜矢¹・川口正¹・佐藤大介²・伊原泰之³・立花嵩³

¹ (株) 東京建設コンサルタント中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-5-5八木伝馬町ビル)

² (株) 東京建設コンサルタント東京本社 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

³ 中日本高速道路株式会社東京支社 (〒105-6011 東京都港区虎ノ門4-3-1城山トラストタワー)

新東名高速道路において走行が計画されているトラック隊列走行車両に対する合流部の安全対策として、高速道路管理者において現在の道路構造内で実施可能な、簡易情報板設置による注意喚起対策の効果検証を行った。

効果検証は、高速道路合流部の3次元モデルを作成し、トラック隊列走行車両の合流状況を想定したドライビングシミュレーターにより実施した。「対策なし」と、簡易情報板を合流部手前に設置した「対策あり」について走行調査を行い、対策の確認状況や、車線変更位置の変化について確認を行い、簡易情報板設置について避走を促す効果があることを確認した。

Key Words : ドライビングシミュレーター, トラック隊列走行

1. はじめに

運転者不足に対応する革新的効率的な物流サービスの実現を目指し、高速道路でのトラック隊列走行車両の運用検討が進められている。政府によるロードマップでは、早ければ2022年に高速道路での隊列走行車両の商業化を行う予定であり、経済産業省・国土交通省・警察庁・自動車メーカーにおいて各分野の検討や実証実験が進められている。新東名高速道路においては、トラック隊列走行車両の実用化に向け、2019年1月から無人隊列走行車両（後続車有人による実験走行）による実証実験が開始された。

今後の実用化に向け、トラック隊列走行車両走行時の安全性を確保する必要がある。中でもトラック隊列走行車両と一般車両が交錯する分合流部の安全性確保は喫緊の課題といえる。

本検討では、新東名高速道路において走行が計画されているトラック隊列走行車両に対する合流部の安全対策として、高速道路管理者において現在の道路構造内で実施可能な、簡易情報板設置による注意喚起対策の効果検証を行う。効果検証は、高速道路合流部の3次元モデルを作成し、トラック隊列走行車両の合流状況を想定したドライビングシミュレーターにより実施した。

2. 使用するドライビングシミュレーター

ドライビングシミュレーターは弊社の保有する株式会社フォーラムエイト製のドライビングシミュレーターを使用する。運転席は実際の乗用車を想定したシート、ハンドル及びアクセル・ブレーキが設置されており、42インチのPDPモニター3画面で運転者の視界を表示している（図-1）。サイドミラーについても、この画面内での表示となる。また、音響エンジンを搭載しており、走行時のエンジン音を再現することができる。



図-1 ドライビングシミュレーター

3. 実験条件

(1) 道路条件

新東名高速道路浜松浜北IC下りオンランプを参考に、全長3kmのモデルを作成した。当該箇所は本線3車線、ランプ1車線の合流部で、合流車線長は新東名高速道路の規定値である490m（うちテーパー長100m）である。モデルでは合流部の形状の他、合流部に設置されている標識、路面標示、安全対策施設、照明を再現した。

(2) 周辺環境

トラック隊列走行車両の運行形態として、現在的大型貨物による物流と同様に、東京～大阪間の夜間の運行が想定される。このため、走行実験においては夜間の走行を想定し、天候は晴れとした。

(3) 周辺一般車両

本線を走行する一般車両は、2018年の新東名高速道路のトラカンデータから、夜間（21時～6時）の時間帯で乗用車換算台数が最も多い「浜松IC～浜松スマートIC間 上り22時～23時」の交通量を用い、本線交通量1,550台/時、大型車混入率52%とした。

一般車両は第2車線・第3車線を走行させ、調査対象車両が走行を開始する第1車線には、調査対象車両の走行に影響しないが、目視で車両が確認できる距離（前後約1kmの位置）に車両を走行させた。

なお本検討では、トラック隊列走行車両の走行及び、簡易情報板確認時の調査対象車両の挙動変化を確認することを目的としているため、周辺一般車両の車速の差による追い越し挙動や車線変更は考慮せず、ほぼ定速で走行している状態とした。

(4) トラック隊列走行車両の設定

トラック隊列走行車両は平成30年度に経済産業省・国土交通省により実施された実証実験を参考に、車長12m、車間10mとし、1編成が56mとなる3台の隊列とした。また、トラックのデザインについても、実証実験車両のデザインを再現した（図-2）。

モデル内におけるトラック隊列走行車両の挙動は、隊列編成の後方の2台は車間距離10mを保持したまま、先頭車両の走行軌跡を追従して走行するものとした。調査対象者が運転する一般車両がトラック隊列走行車両間へ割り込みを行ったり、接近をしたりしても、車間や走行速度は保持するものとし、トラック隊列走行車両が「ゆずる」行動は考慮していない。

(5) 車速の設定

トラック隊列走行車両の本線上の車速は80km/hとした。トラック隊列走行車両がランプから本線に合流する場合は、ノーズを50km/hで通過し、加速車線長内で80km/hまで加速した後合流するものとする。なお、調査対象者には本線の設定速度は110km/hであることを事前に教示した。



図-2 モデル上のトラック隊列走行車両

4. 対策内容とシナリオ設定

(1) 対策内容

ランプ部からトラック隊列走行車両が合流することに対する注意喚起方法として、簡易情報板を合流部手前に設置する対策について検討を行った。

a) 簡易情報板の表示内容とサイズ

設置する簡易情報板として、サイズ3,180mm×1,700mmの既製品を想定した。表示させる文字は、隊列している車両台数を認知させるため「トラック隊列3台 走行注意」とした。

ドライビングシミュレーターではディスプレイ上に走行モデルを表示させるため、高速走行時に実際の状況よりも情報板等の文字が読み取りにくくなる傾向がある。「道路標識設置基準・同解説」（昭和62年1月 社団法人 日本道路協会）より、簡易情報板の視認距離を算出すると約70mとなることから、ドライブシミュレータ実施時に、70m手前で簡易情報板の文字がはっきり見えるよう簡易情報板のサイズを調整し、モデル内では実際の200%のサイズで作成を行った。

b) 簡易情報板の設置位置

簡易情報板の設置位置は、本線を110km/hで走行する時に、情報板確認後ソフトノーズまでに避走行動を完了できる位置とした。

「道路構造令の解説と運用」による設計速度120km/hの制動停止視距は210mである。また、隣の車線に避走するために必要な避走視距は、制動停止視距があれば十分である。ここから、標識設置位置はソフトノーズから210m以上手前に設置するものとした。モデルを作成する中で、簡易情報板確認時に合流部の交通状況が見えないよう簡易情報板及び遮音壁の設置位置の調整を行い、ソフトノーズから240m手前（ハードノーズから150m手前）に簡易情報板を設置するモデルを作成した（図-3）。

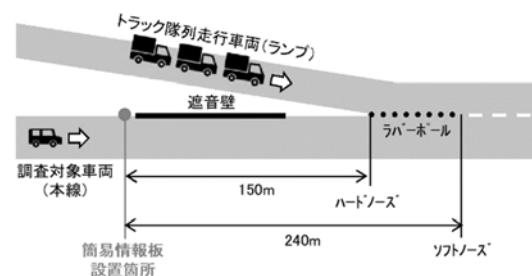


図-3 簡易情報板設置位置



図-4 モデル上の簡易情報板

(2) 実験シナリオ

本実験では、トラック隊列走行車両がランプから本線に合流する場面について実験を行った。調査対象者は一般車両のドライバーとして高速本線を走行し、走行後には各走行に関するヒアリングを行った。トラック隊列走行車両の発生タイミング及び発生位置は、調査対象車両が110km/h定速走行する場合を想定し、調査対象車両がハードノーズを通過する時に、トラック隊列走行車両の先頭車両がソフトノーズを通過するタイミングとした。また「対策あり」（簡易情報板設置時）では、調査対象車両の速度によらず簡易情報板通過後に初めてトラック隊列走行車両を確認できるタイミングとなるよう、モデルを調整した。

(3) 調査対象者

調査対象者は、自動車の普通免許を保有する健全な成人の10名とする。いずれの調査対象者も日常的に運転を実施しており、1年に1回以上は高速道路を利用している。

(4) 実験手順

すべての調査対象者に実験の目的・内容、トラック隊列走行について事前説明を行い、インフォームドコンセントを得てから実施した。

調査対象者は、ドライビングシミュレーターの操作について説明を受け、操作に慣れるための練習走行を行った後、実験走行（第1走行：対策なし、第2走行：対策あり）を行った（表-1）。

実験走行が終了した後、走行状況に応じてヒアリングを行った。なお、調査対象車両がトラック隊列走行車両に対してどのような走行挙動（避走、追い越し・追従）をとったかは、走行実験中に調査員が目視で確認を行った。

表-1 走行ケース・走行順序

	対策状況	トラック隊列走行	周辺交通
練習走行	対策なし	走行なし	なし
第1走行	対策なし	ランプより合流	あり
第2走行	対策あり (簡易情報板)	ランプより合流	あり

5. 実験結果

(1) トラック隊列走行車両に対する走行状態の変化

調査対象者10名の走行データから、トラック隊列走行車両に対する合流部の走行挙動と、ヒアリングにより「対策あり」での簡易情報板の読み取り状況を確認した。

「対策なし」では、調査対象者10名のうちトラックの避走が8名、確認前の避走が1名、第1車線を走行し続け、合流するトラック隊列走行車両を追い越す走行が1名であった。なお、トラック隊列走行車両を確認する前に避走した1名は、ヒアリングより普段から第2車線を走行しており、走行開始からすぐに第2車線へ車線変更を行っているため「対策なし」「対策あり」とも合流部の影響を受けていない。

「対策あり」では、調査対象者10名のうちトラック隊列走行車両を確認後の避走が4名、確認前の避走が4名、第1車線での追い越しが2名であり、「対策なし」と比較してトラック隊列走行車両確認前に避走する調査対象者が3名増加した。

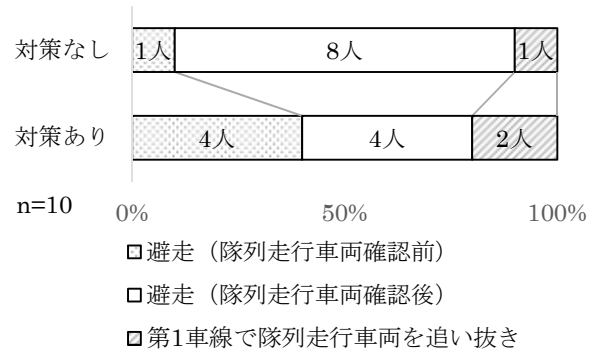


図-5 走行状態の変化

(2) 簡易情報板設置時の避走行動への影響

簡易情報板の設置による走行の変化を確認する。ヒアリングより、「対策あり」で簡易情報板の内容を確認できたのは8名であった。うち1名は合流車両の影響によらず第2車線を走行した調査対象者であったため、この調査対象者を除く計7名の走行データについて分析を行った。

対象とした7名は全員、「対策なし」ではトラック隊列走行車両を確認後に避走しており、車線変更の理由は「合流車両が見えた」ためであった。「対策あり」では、6名が避走（2名がトラック隊列走行車両確認前、4名がトラック隊列走行車両確認後）し、1名は第1車線で隊列車両を追い越した。ヒアリングから、避走した6名のうち、5名は「簡易情報板を見た」ため車線変更をしており、合流部手前で簡易情報板による注意喚起を行うことで、車線変更を促す効果があったといえる。車線変更を行わなかった1名にも、ヒアリング内で「情報板を見て車線変更をしようと思った」と回答しており、第2車線に車両がないタイミングで走行していれば、簡易情報板確認後に避走行動を行ったと考えられる。

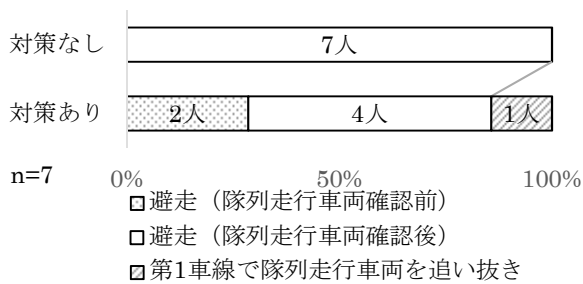


図-6 簡易情報板確認時の走行状態の変化

表-2 簡易情報板確認時の走行状態とヒアリング結果

対策ありの走行状態	ヒアリング結果	人数
避走 (隊列走行車両確認前)	情報板を見て車線変更した	1名
	情報板を見て減速する準備をした。トラックが思ったよりもゆっくりだったので、車線変更をした。	1名
避走 (隊列走行車両確認後)	情報板を見て車線変更した	4名
第1車線で 隊列走行車両を 追い抜き	情報板を見て車線変更しようと思ったが、隣の車線に車がいてできなかった	1名

(3) 車線変更位置の変化

「対策あり」において、簡易情報板の内容を確認して車線変更をした5名について、「対策なし」

「対策あり」での車線変更位置の変化を図-6に示す。

「対策なし」で車線変更位置がソフトノーズ通過後であった3名 (A, B, C) は、「対策あり」では車線変更位置までの走行距離が短くなり、全員がソフトノーズ通過前に車線変更を行った。簡易情報板により事前に車線変更の意思決定を行ったことで、合流位置であるソフトノーズまでに避走させることができたといえる。

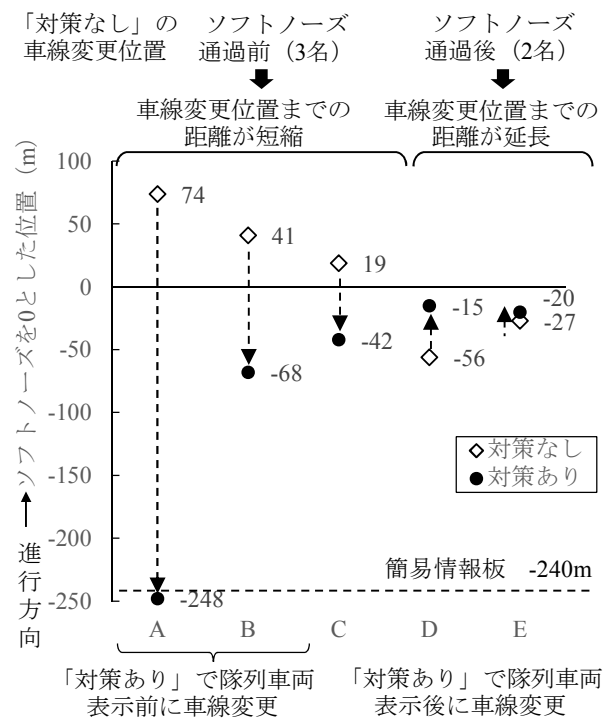


図-7 車線変更位置の変化

6. 結論

本検討では、高速道路合流部において、トラック隊列走行車両がランプから本線へ合流する場合の安全対策として、本線を走行する一般車両を避走させるための簡易情報板の設置効果を、ドライビングシミュレーターを用いて検討した。

調査結果から、簡易情報板を走行中に確認した調査対象者が、簡易情報板から得た情報をもとに車線変更の意思決定を行っており、簡易情報板設置に避走を促す効果があることを確認できた。

車線変更の位置では、簡易情報板を確認して車線変更を決定した調査対象者は、合流部前に簡易情報板を確認したことにより、ソフトノーズより手前で車線変更を完了することができた。なお、調査結果では簡易情報板設置位置から車線変更までの最長の距離は213mであった。実際には避走の意思決定から車線変更を完了するまでの距離は、本線の交通量や走行速度、天候による視認状況、ドライバーの技量などにより変化するが、本検討条件においては、簡易情報板の手前250mを提案する。

走行後ヒアリングでは、事前にトラック隊列走行車両の説明を受けていたため、合流する車両が隊列走行していると認識できた、という意見があった。安全対策の実施とともに、一般ドライバーへ向けた広報についても実施していく必要がある。