

令和8年度（第36回）

建設コンサルタント業務技術発表会

論文集



令和8年10月22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8年度（第36回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 1 / 4

【発表論文_第1会場_道路分野】

	頁
1. 道路維持管理業務へのDX導入促進に向けた取り組み高橋涼矢 / 山本大祐 / 小野裕一 / 伊藤智則	1
2. CIM活用による地元理解の促進と地域ニーズに応えた道路計画の立案竹内修人 / 小森紀彦 / 寺澤孝一 / 野口領汰	5
3. 既設橋梁への影響回避を目的としたランプ交差点の形状修正山崎大嗣 / 上原将人 / 水谷和真 / 佐藤和輝 / 白木晃平	9
4. 高速道路と交差する新設県道BOXの暫定2車線断面検討福田脩登 / 高羽俊光 / 松浦佑紀 / 小玉由人	13
5. 道路設計の生産性向上への取り組み BIM/CIMとGNSS測量による合理的な線形検討高柳拓哉 / 藤原辰巳 / 太田早苗	17

【発表論文_第1会場_構造・土質分野】

	頁
6. 高盛土を避け維持管理性を向上させた橋脚配置および近接施工の影響検討杉浦侑佳 / 田中 誠 / 竹田文哉 / 吉田賢史 / 河邑智也	21
7. 都市高速道路の料金所配置の見直しによる既設ランプ橋の拡幅設計野々山祐史朗 / 高木達弘 / 川本恭朗 / 飯塚赳彦 / 久坂直樹	25
8. 狭隘な国道に架橋された立体区間の連続高架橋における技術的工夫倉島一翔 / 高瀬 弘 / 井樋 宙 / 篠原一輝 / 山田聡徳	29
9. 特別史跡熊本城跡石垣の復旧整備について八幡吉樹 / 大塚啓一 / 村田弘之 / 杉山佳奈 / 小林優斗	33
10. 高速自動車道における制震ダンパーを用いた全体系動的解析による耐震設計青木秀斗 / 村田侑史 / 九里和哉 / 加藤 肇 / 加藤裕孝	37

令和8年度（第36回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 2 / 4

【発表論文_第2会場_河川分野】

	頁
1. 再開発ダムにおける自動設計ツールを用いた貯水池地すべり対策工予備設計事例 樋口大紀 / 坂 啓惟	41
2. 海岸堤防の耐震設計における動的有効応力解析の高度化と合理的な対策工の検討 中村好輝 / 荒谷 豪 / 林 歩海 / 中村大志	45
3. 現状の河道整備を踏まえた手戻りの無い気候変動を考慮した河川整備計画等の策定 矢野順貴 / 光田 翔 / 浅野寿雄	49
4. BIM/CIM と 3D プリントモデルの併用による合意形成支援 浅井 希 / 末永匡美 / 加藤義規 / 岡田尚美 / 森 勇輔	53
5. 地形的特性に基づく河道貯留機能の定量評価に関する検討 山本朗宜 / 上原勇一 / 石徹白伸也 / 松浦祐樹 / 金本裕史	57

【発表論文_第2会場_都市計画分野】

	頁
6. 建設発生土受入地における多目的広場の土地利用計画 野口恭平 / 高木智之	61
7. 都市計画マスタープランの実効性を高める運用手法の構築と実践 ～岡崎市都市計画マスタープラン改定業務を通じて～ 緒方景子	65
8. 「田子の浦港」の新たな賑わい創出に向けた基盤整備検討 上田拓矢 / 増岡晃大 / 杉山達彦 / 中島 誠	69
9. AI の深層学習による画像認識技術を活用した樹木保全計画の策定 片桐達斗 / 三浦利夫 / 串原喜之	73
10. 3D モデル景観検討を活用した都市公園の計画・設計 内田英利香 / 則竹登志恵 / 守田賢司 / 森 勇輔	77

令和8年度（第36回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 3 / 4

【掲載論文_道路分野】

	頁
恒常的な振動が存在する二期線トンネルの調査事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 中島 啓 / 安里長浩	81
住宅街における電柱のない道路づくり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 堀 佑菜	85
複数制約条件下における軟弱地盤対策工法および一般構造物の設計検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 伊藤千夏 / 植松正和 / 吉田賢史	89

【掲載論文_構造・土質分野】

	頁
仮橋の点検事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 成澤祐紀 / 北岡 誠 / 今村裕一 / 川邊絢子	93
橋梁点検現場における遠隔臨場 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 藤原匡平 / 杉山 彰 / 田澤義之 / 古田光司	97
PC 橋におけるグラウト充填調査と補修検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 野々村巧 / 玉利幸一 / 川邊絢子 / 近澤孝哉	101
ゲルバーヒンジ抜本補強対策としての増設橋脚設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 寺川睦希 / 山田 誠 / 熊澤快友 / 中井満大	105
橋台変形による影響評価と施工時の安全性に配慮した補修設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 内山久仁晃 / 浅井利幸 / 藤原辰巳	109

令和8年度（第36回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 4 / 4

【掲載論文_河川分野】

	頁
地質技術者と土木技術者の連携【新丸山ダムの事例】	
..... 橋谷 凌 / 宮村 滋	113
災害復旧事業の業務効率化に関する取組	
..... 小竹亮太	117
新技術を活用した海岸堤防(防潮堤)の撤去設計	
..... 河上 真 / 西出成臣 / 松本一成 / 関根充隆	121
流木流出量の多い溪流における不透過型堰堤の計画	
..... 久田智也 / 藤原辰巳 / 高橋直也	125

令和8年度（第36回） 建設コンサルタント業務技術発表会

論 文 集

道路維持管理業務への DX導入促進に向けた取り組み

○高橋^{りょうや} 涼^{だいすけ} 矢^{ゆういち} 1・山本大祐^{ともりの} 1・小野裕一^{ともりの} 1・伊藤智則^{ともりの} 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)

近年、道路維持管理業務は複雑化・膨大化し続ける中、限られた予算・人員にて、安全・安心な道路環境を確保していくためには、DXによる業務の効率化・高度化が必要不可欠である。本業務では、国道の道路巡回業務及び道路施設点検業務における点検支援技術の導入・活用促進を支援した。また、データプラットフォームを用いた維持管理データ集約によるデータ管理の試行等、道路管理者の目指す取り組みを支援した。技術マッチングイベントの開催等を通して、現場の実情・ニーズに応じたDX技術の実装方法を検討することで、点検支援技術の導入・活用促進を図ることができ、DXによるデータ管理の実用化に向けた課題を洗い出すことができた。

Key Words : DX技術, 点検支援技術, AI画像検出技術, 道路維持管理, 道路巡回業務, 道路施設点検業務, データ管理, 3次元モデル, 集約化

1. はじめに

近年、道路施設の老朽化対策に加え、自動運転の普及を見据えた舗装修繕、道路陥没リスクへの対応など、道路維持管理業務を取り巻く課題は大きく変化し、複雑化・膨大化し続けている。一方で、建設産業の担い手不足や高齢化は顕著であり、近年の物価上昇は著しく、予算・人員の制約も深刻化している。

限られたリソースの中で安全・安心な道路環境を確保するためには、デジタルトランスフォーメーション(DX)技術を導入・活用することで、膨大化する道路維持管理業務のコストパフォーマンスとタイムパフォーマンスを高めていくことが必要不可欠である。特に、現場との関係性が強い維持管理業務におけるDX促進は、個々の現場の実情・ニーズに応じた実装方法を検討することが重要となる。

本業務では、個々の現場の実情を踏まえた上で、直轄国道の道路巡回業務及び道路施設点検業務におけるDX技術(点検支援技術)の導入・活用促進を支援するとともに、これら過程で得た点検結果等のデータ管理のDX試行等、道路管理者の目指す取り組みを支援した。

本稿では、道路維持管理業務へのDX技術導入の取り組み内容とその効果、導入促進に向けた課題について報告する。

2. 道路巡回へのDX技術導入支援

(1) 背景と概要

6路線から成る管理道路は、4維持出張所により維持管理され、交通量の多い区間や積雪寒冷地に位置する区間など、それぞれ地域性がある。また、道路巡回業務にて発見すべき道路異常は数多くある中で、令和7年度より、直轄国道の道路巡視において「ポットホール」を特定する技術および「区画線」の摩耗を判定する技術の活用が原則化された。¹⁾

道路巡回業務では、ポットホールや区画線剥離等の異常は目視にて把握され、その結果と道路利用者からの苦情等を踏まえて修繕されているため、可視化結果や定量的データに基づく計画的な維持管理が行われていない現状がある。また、自動運転技術や車線逸脱防止支援システム等の普及が進む中、舗装や区画線の状態は道路利用者の安全性や走行快適性に大きく影響する。そのため、ポットホールと区画線の剥離・摩耗検出に特化した技術の導入を検討した。

本業務では、導入への検討・支援として、道路管理者および道路巡回者へのヒアリングを通じて現場の実情・ニーズ、地域性を把握した上で、技術マッチングイベントを実施して導入する技術(AI画像検出技術)を選定した。また、実装を通じて活用を支援しながら、得られた効果と今後の技術活用促進に向けた課題を整理した。

(2) 道路巡回業務のボトルネックの把握

道路巡回業務効率化のボトルネックとその要因・課題を抽出するため、道路管理者と各出張所の道路巡回従事者に対し、対面及びアンケートシートを活用し、非効率となっている作業や制約についてヒアリングした。

その結果、交通量の多い路線においてポットホールや区画線剥離・摩耗の寸法を現地で計測する作業が危険かつ非効率であること、パトロール日誌に記録された損傷が新たに発生したものか、再劣化したものであるかが把握できず、ポットホールの発生履歴の追跡に時間を要している等の意見があった。また、現状運用しているシステムに加え、新たなDX技術導入によってデータ整理等の作業量が増えることが懸念された。

ヒアリング結果より、ポットホール発生履歴の把握性、取得したデータの流用性、道路巡回従事者の追加作業を最小限に抑える実用性等が、現場のニーズであることが明らかとなった。

(3) 導入する点検支援技術の選定

a) 活用可能な点検支援技術の抽出

検出精度について、標準試験等により一定程度の信頼性がある「令和7年4月 点検支援技術性能カタログ 道路巡視編及び舗装編」より、下記要件を満たす技術を1次選定した。

■1次選定要件

- ①パトロール車に搭載可能な技術
- ②国及び公共機関による実績がある技術
- ③活用が原則化となる「ポットホール」「区画線剥離」が検出可能な技術

その後、ヒアリング結果等を基にして表-1に示す評価項目を設定し、2次選定した。その結果、5技術を抽出して、この5技術について技術マッチングイベントを開催した。

b) 技術マッチングイベントの開催

道路巡回業務への実用性、業務効率化への有効性がある技術は、現場の実情をよく知る道路管理者及び道路巡回従事者の目線で選定することが重要となる。そこで、道路管理者・道路巡回従事者と技術開発者との技術マッチングイベント（技術交流会）を開催した。（写真-1）

イベントでは、実機を使った「技術の機能性、システムの操作性」について説明し、実際にパトロール車への取付け実用性についてのデモンストレーションも実施した。

イベント後、アンケートにて、各技術の道路巡回業務への実用性、業務効率化への有効性についてヒアリングした結果と費用面について道路管理者と協議した結果より、2技術が実際に導入する技術として選定された。



写真-1 マッチングイベント開催状況

(4) 合同定例会議の開催（効果と課題）

実装中においても、技術・システム取り扱い支援、技術的な問題把握とそれに対する技術開発者側のタイムリーな対応等を目的に、合同定例会議を開催し、ヒアリングした効果（表-2）や問題点を整理し、今後の技術活用促進に向けた課題とその対応方針（表-3）について、道路管理者へフィードバックした。

表-2 導入により得られた効果

導入により得られた効果	
①	検出したポットホールの帳票出力により、 指示書として活用し、作業効率化となった
②	リアルタイム画像取得により、 行政相談発生時にスムーズな対応を行うための現地状況確認が可能となり、作業効率化となった
③	損傷程度とその範囲が電子地図上で可視化されることで、 道路管理者と道路巡回従事者等との情報共有が円滑になり、作業効率化となった

表-3 課題と今後の対応方針

番号	観点	問題点	課題	対応策（今後の方針）
1	作業効率化	1度の巡回で複数車線の損傷検出ができない	複数車線の損傷検出ができる機能の開発・導入	走行する車線を巡回実施日ごとに切り替えて損傷検出を行う等の 運用方法の工夫によって対応
2	精度	目視で確認した損傷の一部が、AIで検出できていない	AIによる損傷検出の精度確保	教師データによる継続的なAI学習の実施
3	人（運用）	システムの操作方法が分かりにくい	出張所職員及び巡回者のシステム操作スキルの向上	今後、職員の異動等もあるため 定期的な操作説明会の実施や現場のニーズにあった操作マニュアルを作成

表-1 2次選定の評価項目と概要

評価項目		概要
①	機器の取扱いやすさ	機器準備 撮影機器の取付、画面調整等の準備が巡回者への負担とならないようにするため データ取得後の取扱い 取得した撮影データのアップロード作業が巡回者への負担とならないようにするため
②	検出データ（結果）の見やすさ	検出データ（結果）の把握できる内容 道路管理者や巡回者が 事象の内容を電子地図上（ビューアー）で簡単に把握できること で効果的な道路の維持管理を可能とするため 事象検出の性能 電子地図上（ビューアー）で簡単に検出結果の程度が把握できること で効果的な道路の維持管理を可能にするため
③	検出データの活用	事象の時系列管理の可否 修繕前と後の比較や再劣化箇所の把握・比較が簡単にできること で効果的な維持修繕工事計画の立案を可能とするため キロポスト表示の可否 電子地図上（ビューアー）にキロポスト表示ができること で詳細な位置が把握でき効果的な維持修繕工事計画の立案を可能とするため 事象の定量的把握の可否 事象の延長や範囲等を簡単に把握できること で効果的な維持修繕工事計画の立案を可能とするため
④	検出データ出力可否	帳票や作業指示書等作成の可否 異常事象に関する情報をまとめたデータが出力できること で、道路パトロール日誌の作成のサポートが可能となるため
⑤	経済性	導入・活用にかかるコストを合理的に判断する必要があるため
⑥	実績	実績が少ない技術は、導入後に大きな効果を期待できない可能性があるため

3. 道路施設点検へのDX技術活用支援

(1) 背景と概要

国土交通省では、直轄国道の道路施設の一部において、効率化と省人化を目指して点検支援技術の活用が原則化されているが、その活用は限定的である。要因としては、道路施設毎に構造や周辺環境・損傷状況が異なることに加え、点検支援技術も多種多様であるため、点検の品質を確保しながら効率化が発揮できる技術や活用範囲を選定するプロセスには時間と労力がかかることが挙げられる。このような背景から、DX導入促進に取り組む当該事務所では、令和7年度より、小規模構造物を除くすべての道路施設点検業務にて、対象部材や活用の範囲を選定した上で、点検支援技術による一次点検を実施し、その結果等を踏まえてより詳細に状態把握をする必要がある箇所に対して、二次点検として、人による近接目視や打音検査を実施し、効率化・省人化を図る点検手法を試行的に導入している。

本業務では、活用促進への支援として、各種点検業務の技術活用協議へ参加し、効果・活用定着への課題の共有に向けた意見交換会の開催、「点検支援技術活用手引き（案）」を作成した。

(2) 点検支援技術協議への参加

効率化・省人化を図る試行的点検の実施には、点検の質を確保した上で効率化を発揮できる技術と活用範囲を協議しなければならない。そのため、各道路施設への点検支援技術に関する協議に、点検支援技術の活用経験が豊富な技術者が参加し、技術活用促進を支援した。これにより、例えば橋梁点検業務における技術活用率は、令和6年度に比較して大幅に上昇した。

(3) 合同意見交換会の開催

試行的な点検の標準化には、道路管理者、各種点検・橋梁診断業務との連携による技術活用についての課題の抽出と対応案の検討が重要となるため、これら関係者を交えた「合同意見交換会」を企画・開催した。

合同意見交換会では、各点検業務で活用した技術と道路施設・活用範囲の特徴、必要な精度管理手法、多面的な効果、課題と対応案、あるべき協議フローなどについて意見交換し、点検業務の関係者間で標準化への共通認識を形成した。

(4) 点検支援技術の活用手引き（案）の作成

試行的な点検の標準化のため、各種点検業務の技術活用結果、合同意見交換会での共通認識、得られた知見等を踏まえ、「点検支援技術活用手引き（案）」及び他事務所の活用実績も含めた「点検支援技術活用事例集」を作成した。（表-4）令和7年度は対象施設を橋梁に限定して作成したが、令和8年度以降は他施設へも展開する必要がある。これらを点検計画作成、受発注者間の協議等に活用するこ

とで、今後の点検支援技術の導入促進が期待されるとともに、将来的に点検コストの縮減が期待される。

表-4 点検支援技術活用手引き（案）内容

①点検支援技術を活用した点検全体フロー
現地踏査から点検結果報告までの一連の流れを整理し、 道路管理者や橋梁診断者との調整が必要な時期等 を示した
②選定する技術の着目すべき性能
活用実績が多い技術 を抽出し、 これらが持つ性能 を示した（作業・操作性、損傷検出性能、活用コスト、データ利活用性等）
③二次点検が必要な範囲・損傷程度の抽出要件の明示
二次点検が必要となる桁端部等の部位・部材や範囲、損傷の種類と損傷程度の抽出要件 を明示した
④活用事例集の作成
計画作成時の参考となるように、 実際の活用時に得られた効果や課題 を示した活用事例集を作成した

4. データ管理のDX支援

(1) 背景と概要

現在、維持管理に係るデータは複数の媒体にて記録・管理され、現場状況の把握やその整合性の確認には時間を要している。特に、点検結果は膨大な2次元情報であるため、経験の浅い技術者には、必要な部材・部位や損傷発生状況を把握しづらい。また、補修対策や施工計画の検討及び合意形成には、管理台帳、点検・修繕記録等の様々な情報の整合を確認する必要がある。

そこで、データ管理のDX支援として、表-5に示す特徴を有するデータプラットフォームを選定し、電子地図上に構築した3次元橋梁モデル上に点検結果等を配置し、維持管理データの集約化を試行した。

表-5 データプラットフォームの特徴

試行導入するデータプラットフォームの特徴	
①	様々なデバイスで撮影した 動画から3次元モデルの自動生成が可能
②	3次元モデル内に2次元情報の付与が可能
③	3次元モデル上での寸法計測が可能
④	時系列にて記録が可能
⑤	複数人でデータ共有が可能

(2) 対象施設の選定

本試行では、3次元モデル作成費用やデータ量が課題となる中で、試行対象施設として、補修工事を繰返しても再劣化が懸念され、洗掘に対するモニタリングも必要な基礎構造であり、部材数が多く維持管理の難易度が高い「単純下路式アーチ橋」1橋を選定した。（表-6）

表-6 対象橋梁の概要

架橋位置	岐阜県（飛騨川）
供用開始年	1960年（併用から65年経過）
橋長（m）	105
構造形式	単純合成鉄桁橋 単純鋼下路式ランガー橋 単純合成鉄桁橋
基礎形式	直接基礎
健全度	Ⅲ（点検実施年：2024年）



(3) ドローンによる現地撮影

本試行で活用したデータプラットフォームは、動画から3次元モデルを作成できる。このため、対象橋梁の動画撮影を実施した。対象橋梁は部材数が多く、桁下・桁端部等の狭隘箇所を多く有する特殊橋梁であるため、橋梁全体、部材近傍、狭隘部などの撮影箇所に応じて複数のドローンを使い分け、3次元モデル作成に必要な動画データを取得した。

(4) 3次元モデル作成と維持管理データの集約

撮影した動画を基に、SfM技術を用いて3次元モデルを作成した。図-1に作成した3次元モデルを示す。作成したモデル上の計測値と現地実測値及び一般図寸法を比較し、誤差の割合を算出した結果、平均誤差は2.80%(最小0.23%, 最大7.30%)となった。最大誤差7.30%は、車道部と歩道部が近接するアーチ部材の幅で、動画撮影が困難な狭隘部のため、モデルの再現精度が低下し、誤差が生じたと考えられる。これを踏まえると、維持管理に必要な損傷位置把握や合意形成を図るには十分な精度であった。



図-1 対象橋梁の3次元モデル

維持管理に必要なデータを3次元モデル上に集約するため、橋梁台帳、補修・補強図面等の基礎情報は橋梁中心へ、損傷情報等の詳細情報はその発生位置へデータを配置した。配置にはデータプラットフォームが有するピン機能を活用し、維持管理データを登録した。登録内容は、橋梁定期点検要領データ記録様式(その3-2)に記載されている、部材、損傷種類、損傷程度等である。また、対象橋梁は損傷箇所が多く、ピン表示が煩雑になり、健全性へ影響する損傷が視覚的に把握しにくいため、性能評価毎にピンの色を変更する工夫をした。図-2に3次元モデル上への維持管理データの配置状況を示す。



図-2 3次元モデル上への維持管理データの配置状況

(5) モニタリングの有効性

図-3より、下部工天端部と河床状況が3次元モデル上で確認できることから、計測機能を活用した洗掘のモニタリングは有効であると考えられる。



図-3 下部工天端部と河床間の計測状況

(6) 効果と課題

表-7に3次元データプラットフォームを活用したデータ管理の効果の考察、実運用に向けた課題とその対応策を示す。

表-7 データ管理の考察と課題

効果の考察	
①	維持管理データの集約化、部位・部材の配置状況と損傷発生状況が可視化できることで、 経験の浅い技術者にもわかりやすい
②	現地状況や用途に応じて複数デバイスが選定できるため、作成した 3次元モデルの精度を一定程度確保 できる
③	様々な端末から複数人同時に閲覧できることで、 道路管理者と各稜点検等の関係者にて大量の維持管理データを一元的に共有 できる
④	計測機能を活用することでモニタリングに有効 と考えられる。

課題	対応策
① 3次元モデル作成費用の削減	モデル詳細図の最適化(メリハリのある詳細度)
② データの長期保存	コスト、データ重要性、セキュリティ等の多面的かつ戦略的なシステム契約
③ 道路維持管理へ特化した機能開発	多様な機能がある中で、道路維持管理に特化した機能の開発
④ 通信環境の安定性	通信環境の整備
⑤ マニュアルの改善	目的別構成のマニュアル、画像・動画をメインにしたマニュアルへの改善

5. おわりに

管理道路の実情や現場のニーズにマッチしたDX技術の導入・活用方法を検討し、実装・試行したことで、道路巡回業務の効率化、道路施設点検業務での技術活用率の大幅な向上、データプラットフォームによる維持管理データ集約化の実現性・有効性が確認できた。また、DX技術の活用促進に向けた課題を抽出することができた。今後、DXによる道路維持管理業務の効率化・高度化の実現には、現場の実情やニーズに応じた技術を導入し、その効果を継続的に発揮できるよう技術活用の定着を図るとともに、業務の平準化に向けたマニュアル整備や運用改善を進めることが重要であり、その道筋を示せた。

参考文献

- 国土交通省：第14回道路技術懇談会 配布資料1-2 令和7年度から現場実装する技術 2025

CIM 活用による地元理解の促進と 地域ニーズに応えた道路計画の立案

たけうちしゅうと こもりのりひこ てらざわこういち のぐちりょうた
○竹内修人¹・小森紀彦¹・寺澤孝一¹・野口領汰¹

¹中央コンサルタンツ株式会社 本店（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内三丁目22番1号）

本業務は、既存道路の混雑緩和と国土強靱化を目的とする地域高規格道路の予備設計である。対象道路は良好な田園地帯および住宅地を通過することから、景観の悪化や日照阻害に対する地元住民の懸念が示された。そこで、生活動線の分析に基づくIC形式の選定、横断箇所の集約による縦断線形の最適化、既設橋梁の構造分析に基づく通行止め期間の短縮などの技術的検討を行った。さらにBIM/CIM統合モデルによる走行・日照シミュレーションを地元説明に活用し、住民が計画を立体的に把握できる環境を提供することで、地元住民の理解促進に貢献した。

Key Words : 地域高規格道路, 景観, 機能補償, BIM/CIM,

1. はじめに

(1) 業務の目的

近年、地域間の交流・連携を支えるとともに、災害時には既存幹線道路の代替路としても機能する道路ネットワークの構築が、全国的に強く求められている。とりわけ、既存道路の慢性的な交通混雑の緩和と、災害に強い国土づくり（国土強靱化）への寄与は、地域社会の安全・安心を確保するうえで重要な課題となっている。

こうした背景のもと、本業務は、既存道路の混雑緩和と国土強靱化を目的とする地域高規格道路について、道路予備設計およびダイヤモンド型IC予備設計を実施したものである。

(2) 課題

対象道路は、走行機能を確保するためにアクセスが制限された高規格道路であり、現道の分断回避と通行機能を確保するため、周辺地盤より高い盛土構造とする必要があった。しかし、対象道路は良好な自然景観を有する田園地帯と住宅地を通過するため、盛土構造をはじめとする道路整備が、周辺環境や地域の生活に与える影響が懸念された。

具体的には、従来の生活動線や地域間交流の分断、景観の悪化や日照の阻害といった居住環境への影響、交通流動の変化によるロードサイド店舗の衰退、工事中の交通障害など、地元住民から多岐にわたる懸念が示された。

こうした懸念に対し、技術的な対処にとどまらず、

住民が計画の内容を正しく理解し納得した上で整備を進めることが求められた。しかし、影響が多岐にわたるがゆえに、懸念の解消に向けた検討内容を住民へ適切に伝えることが、計画の円滑な推進における課題となっていた。

そこで本業務では、地域の生活環境への影響を技術的に最小化しつつ、その内容を住民が理解できる形で伝えることを、一体的に取り組むべき課題とした。この課題に対し、道路計画上の各種の技術的検討と、それらを分かりやすく伝えるための工夫を、以下に述べる複数のアプローチによって一体的に実施した。

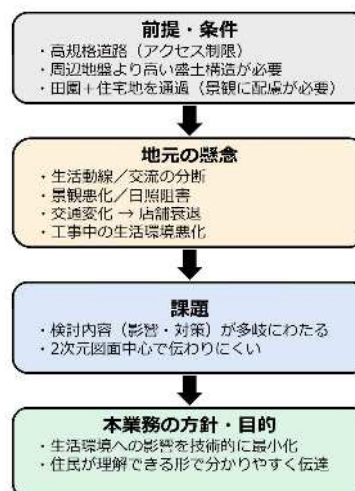


図-1 業務概要

2. 解決策（課題を踏まえた計画検討）

(1) ロードサイド店舗に配慮した計画検討

概略設計では、幹線道路である国道に接続する完全ダイヤモンド型ICが計画されていた（図2）。しかし地元からは、交通集約により地域道路沿いの施設利用機会が失われるとの懸念が示された。このため、IC形式の優劣ではなく、交通集約による生活動線の変化への対応を課題とした。

検討にあたり、出入り交通の方向別需要と施設利用動線との関係に着目し、将来交通推計を用いて方向別の需要を定量的に分析した。その結果、出入り交通の主要方向は上り方面と下り方面利用者が地域道路沿い施設へアクセスする動線とは分離可能であることを確認した。

この分析結果を基に、交通集中の回避と施設利用動線の維持という2つの観点から完全ダイヤモンド型とハーフIC形式を比較した結果、出入り方向を機能的に分担できるハーフIC形式が有効であると判断した。



図-2 当初IC案

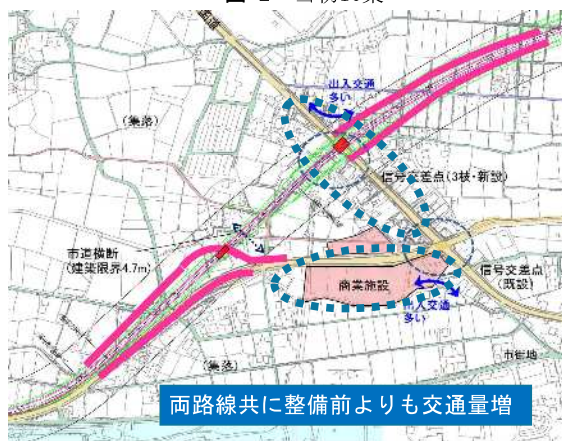


図-3 ハーフIC案

(2) 居住環境への影響に配慮した計画検討

盛土構造の高規格道路の整備は、従来の地域間交流のネットワークとなる道路を物理的に遮断することになる。このため、市と調整をしながら、道路整備前の交流機能を損なわないよう本線を横断する市道および側道を設置する区間について検討した。

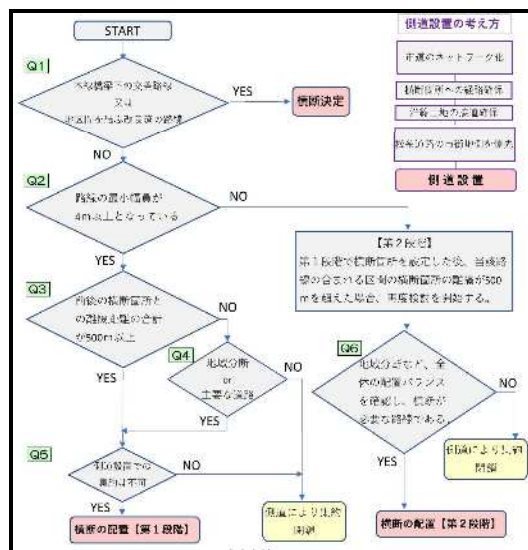


図-4 側道・横断箇所検討フロー

横断箇所の配置にあたっては、まず本線と交差する道路のうち、市道・県道を対象とし、それぞれの道路幅員を調査した。その上で、実際の利用状況を反映する指標として道路幅員に着目し、一定幅員以上を有する道路を優先的に横断箇所として検討するという考え方を設定した。また、横断箇所の間隔については、横断箇所を閉鎖した場合に生じる迂回により、移動距離の増加が住民生活に与える影響を考慮し、隣接する横断箇所との間隔が概ね500m以内となることを目安とした。幅員の狭い道路であっても、前後の横断箇所との間隔が大きく、閉鎖により生活動線が確保できない場合には、横断箇所として設定するか、側道による代替を図ることとした。

この判断基準に基づき対象区間を体系的に整理することで、必要最小限の横断箇所数で機能補償を実現する計画とした。さらに、横断箇所間で行き止まりや接道不能となる区間については、側道を設置してネットワークの連続性を確保することとした。

市道としての連続性を確保する上で必要な区間にも設置する計画とし、上水道等のインフラの占用空間を確保することで住民生活に不都合が生じないように配慮した。

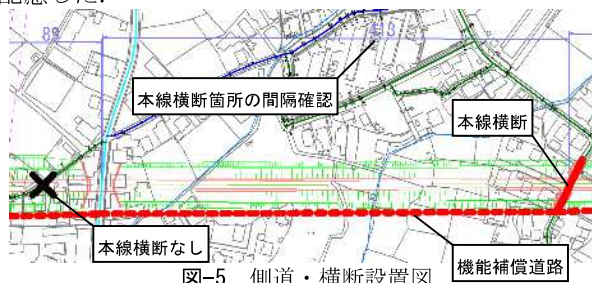


図-5 側道・横断設置図

(3) 工事中の交通環境への影響に配慮した計画検討

設計終点の既設トンネルの手前には、整備路線の幾何構造を一部満足しない高架橋があり、架け替えが必要であった。

本設計で平面線形を具体化した段階で、整備路線が橋長約250mの既設高架橋と重複することが明らかとなった。この場合、高架橋の取り壊しから新設工事完了までの期間、国道が通行止めとなり、積雪寒冷地である本地域の住民生活に深刻な影響を及ぼすことが懸念された。

そこで、高架橋の架替工事による通行止めや迂回を回避し、地元住民の生活に最も影響を与えない既設トンネル内で平面線形をすりつける活線分岐工法の採用について検討を行った。検討の結果、地質条件が非常に悪いこと、既設トンネルとの接続が鋭角で既設トンネル延長の約半分に該当する約450mの整備が必要なこと、コスト高等の理由から採用は見送ることとした。

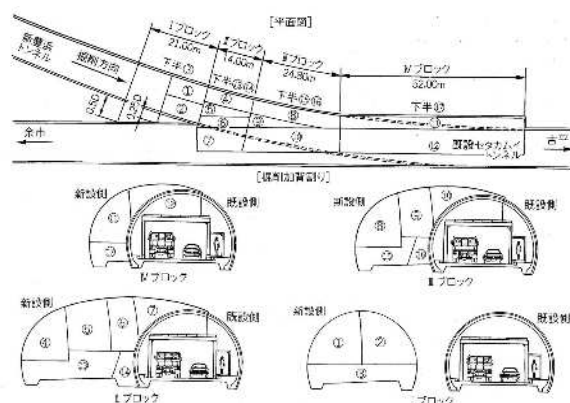


図-6 活線分岐工法の概要¹⁾

本設計では、通行止め期間を少しでも短縮するため、既設高架橋が「市街地側：3径間連続PC箱桁橋」と「トンネル側：3径間連結PCT橋」の異なる構造形式で構成されていることに着目した。具体的には、市街地側の橋梁区間に平面線形を重複させない計画に見直すことで、通行止めの期間をトンネル側橋梁の取り壊し～新設工事完了までの約半分の期間に短縮することができ、交通環境が悪い積雪寒冷地の住民への影響を抑えることができた。

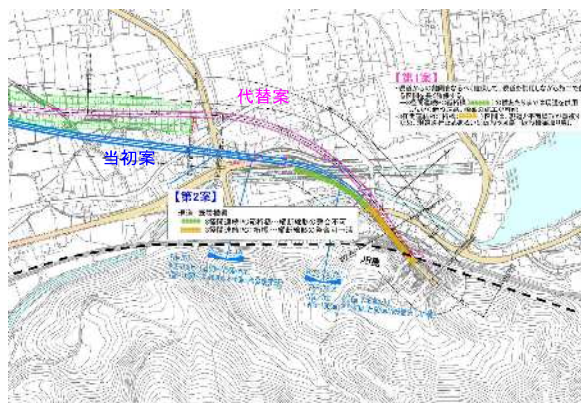


図-7 線形検討案

また、この既設高架橋は、交通事故多発区間でもあったため、積雪寒冷地（はなはだしい地域）の幾何構造を満足する道路構造になったことで、冬期走行時の安全性が向上し、地元住民が安心して利用できる交通環境の整備に寄与することができた。

(4) 地域住民理解促進への工夫

地元説明会では、住民が感じる懸念の多くが、完成後の道路のイメージが具体的に掴めないことに起因していた。2次元図面による従来の説明手法では、専門知識を持たない住民が道路の空間的なイメージを把握することが難しく、計画への理解を深めることが困難であった。

そこで、BIM/CIM統合モデルを作成し、説明の場面や目的に応じて段階的に活用した。まず、説明会の会場では、鳥瞰視点による説明用動画や走行シミュレーションを放映し、道路計画の全体像を視覚的に把握できる環境を整えた。

また、住民一人ひとりへの個別説明の場では、PCを用いて3次元モデルを歩行者目線で自由に操作できる環境を整えた。これにより、各住民が自宅周辺の整備イメージや気になる箇所を主体的に確認できるようになった。

この結果、地権者から「立体的に道路計画を把握できるため、2次元図面より理解しやすい」との評価が得られた。



図-8 個別説明イメージ

(5) BIM/CIM統合モデルによるシミュレーション

道路整備後の景観悪化、日照障害については、2次元図面では説明が困難であった。この課題に対し、BIM/CIMの統合モデルを活用し、懸念事項の種類に応じて異なるシミュレーション手法を使い分けるアプローチを採用した。

a) 走行シミュレーション

景観悪化への懸念に対しては、道路利用者視点での走行シミュレーションを作成した。住民が直感的に「道路ができたらどう見えるか」を把握できるよう、景観構成を複数視点から可視化した。また、整備による弊害だけでなく、眺望という付加価値も同時に提示することで、住民が道路計画をバランスよく評価できる情報提供を意図した。



図-9 走行シミュレーション

b) 日照シミュレーション

日照障害への懸念に対しては、住民の不安が最大となる冬至時期を対象に、時間帯別の日照障害状況を分析した。障害が生じる時間帯と程度を示すことで、影響を判断できる根拠を提供した。



図-10 日照シミュレーション

c) 整備前後の比較

景観悪化への懸念に対しては、走行シミュレーションに加え、特定の視点場からの整備前後の景観を同一構図で比較する手法を用いた。住民が「今の風景が道路整備後にどう変わるのか」を見比べられるようにした。

視点場の設定にあたっては、住宅地や生活道路など、住民が日常的に景観を目にする地点に着目し、複

数箇所を選定した。これにより、一部の代表地点だけでなく、住民それぞれの生活環境に即した影響を確認できるようにした。

比較の結果、盛土や構造物により遠景が遮られる箇所がある一方で、前面の家屋などにより、もともと視界が限られている箇所では、整備前後で景観に大きな変化が生じないことを確認した。このように影響の程度を箇所ごとに整理することで、住民が自らの生活環境への影響を判断できるようにした。



図-11 整備前



図-12 整備後

3. まとめ

(1) 本業務の成果

本業務では、生活動線分析に基づくハーフIC形式の選定、横断箇所・側道の設置による地域交流ネットワークの維持、既設高架橋の構造分析を活用した国道通行止め期間の短縮という技術的検討を実施した。また、BIM/CIM統合モデルによる走行・日照シミュレーションおよび整備前後の景観比較を地元説明に活用し、住民が計画を立体的に把握できる環境を提供することで、計画への理解促進に貢献した。

(2) 今後の課題

本業務ではBIM/CIMモデルを説明会での活用に重点を置いたが、今後は詳細設計や施工段階への連携・活用についても検討を進め、業務全体を通じたCIMの効果的な運用を目指す必要がある。

謝辞：本稿の執筆に当たり、多大なるご協力をいただきました発注担当課の皆様、また、関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 佐々木博一、鷹田雅宏、盛春雄、仲井幹雄：既設トンネル内での分岐部の設計と施工、トンネルと地下、12月号、pp. 17-28、2000.

既設橋梁への影響回避を目的とした ランプ交差点の形状修正

やまさきたいし うえはらまさと みずたにかずま さとうかずき しらかこうへい
○山崎大嗣¹・上原将人¹・水谷和真¹・佐藤和輝¹・白木晃平¹

¹中日本建設コンサルタント（株）（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内一丁目16番15号）

本業務は、長浦IC（仮称）の既設橋梁への影響回避を目的とした交差点詳細修正設計業務である。過年度に計画されたランプ幅員の設定方針を見直すことで、施工性、維持管理性及び走行安全性の課題を解消するほか、経済性の向上に寄与した。

Key Words： 交差点コンパクト化、権限代行、集約型交差点、ダイヤモンド型IC

1. はじめに

一般国道247号西知多道路（以下、「本線」という。）は、愛知県東海市の伊勢湾岸自動車道東海JCTから知多市を經由し、常滑市の知多横断道路常滑JCT（仮称）に至る延長約18.5kmの自動車専用道路である。本線は、中部国際空港へのアクセス強化を図るとともに、知多半島道路とのダブルネットワークを形成することで、災害時等における交通機能の確保を目的として整備が進められている。また、知多地域の製造業等を支える広域幹線道路として、物流の効率化や定時性の向上に寄与するほか、広域交通ネットワークの強化による地域間連携の促進が期待されている。

本業務は、愛知県の要請を受け国土交通省が権限代行により計画施工を行う本線の長浦IC下り線オン・オフランプ部の擁壁を対象に、構造物詳細設計を実施したものである。

構造物詳細設計に先立ち、過年度に実施された平面交差点詳細設計の内容を精査した結果、いくつかの課題を有していることが確認された。

そこで、本業務では、各種課題の解消を目的に、長浦ICランプと（県）西尾知多線が交差する長浦IC交差点（仮称）（以下、「長浦IC交差点」という。）を対象に、平面交差点詳細修正設計を実施した。



図-1 業務位置図

2. 業務条件の整理

(1) 検討フロー

本業務の検討フローを図-2に示す。

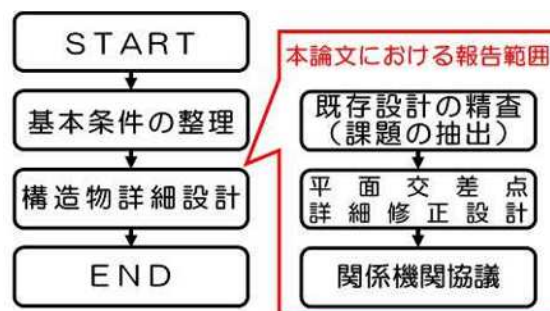


図-2 検討フロー

(2) 基本条件の整理

①設計条件

長浦ICランプ及び交差点の交差道路となる（県）西尾知多線の計画諸元を以下に示す。

【長浦ICランプ】

- ・計画交通量
下り線オフランプ：6,500台/日
下り線オンランプ：2,600台/日
上り線オフランプ：2,900台/日
上り線オンランプ：7,500台/日
- ・ランプ種別：A規格
- ・設計速度：V=40km/h
- ・設計車両：セミトレーラ連結車

【（県）西尾知多線】

- ・計画交通量：14,400台/日
- ・道路の区分：第4種第1級
- ・設計速度：60km/h
- ・設計車両：セミトレーラ連結車
- ・歩道：無し

②過年度の計画経緯

長浦ICは、現在名古屋方のハーフICとして供用されており、将来的にはフルICとして供用される計画である。なお、長浦ICは、円滑な交通誘導を実現するため、ダイヤモンド型ICの分離型交差点からダイヤモンド型ICの集約型交差点へと計画変更されている。（図-3）

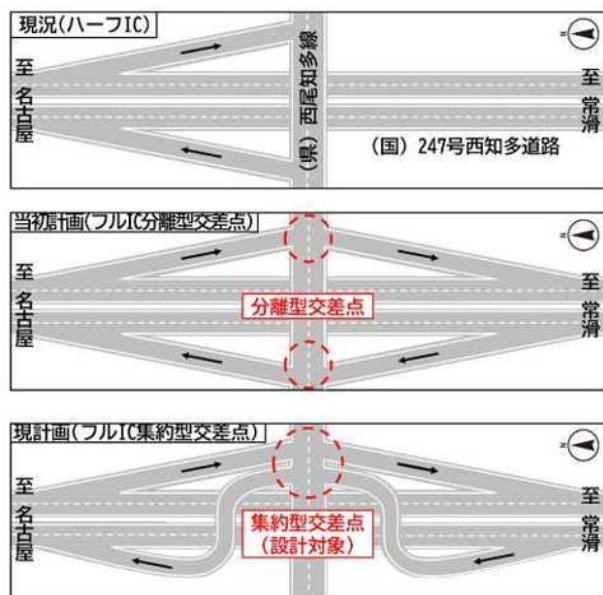


図-3 長浦IC計画イメージ図

③事業進捗状況

設計対象の長浦IC交差点については、令和4年度に平面交差点詳細設計が実施され、交差点の詳細構造が決定された。その後、令和6年度に交通管理者（公安委員会）との道路法第95条の2第1項に基づく意見聴取を実施済みであった。

④空間的な制約状況

長浦IC交差点は、東側を名古屋鉄道の跨線橋、西側を西知多道路本線の跨道橋に囲まれる限られた土工区間に計画されており、既設構造物の位置関係によって交差点形状や構造物形状の自由度が制限される状況であった。（図-4）

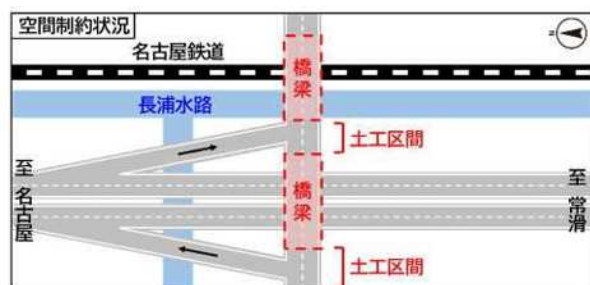


図-4 空間的な制約状況

3. 過年度計画における課題と要因分析

過年度計画では、既設橋梁の拡幅が困難な空間的な制約下において、セミトレーラ連結車の通行機能を確認するため標準的な幅員および交差点形状を適用していた。（図-5）



図-5 過年度計画

過年度計画における課題を以下に示す。

(1) 縦目地及び複雑な擁壁構造の発生

跨道橋上部工と取付擁壁の接続部において、縦目地の発生や複雑な擁壁構造が生じる。（図-6）このような構造においては、施工が煩雑になるとともに、縦目地部でのスリップによる走行安全性の低下や段差・縦目地からの雨水進入による舗装及び上部工の劣化促進等が懸念されるため、これらの解消が課題となる。

これは、セミトレーラ連結車の通行を担保するために交差点範囲を拡大する必要がある一方で、空間的な制約上、既設橋梁の拡幅が困難であるため、取付擁壁の頂部を張り出して既設橋の上部工側面へ接続せざるを得ない計画となっていたことが要因である。



図-6 縦目地及び複雑な擁壁構造

(2) 跨道橋への想定外荷重の増加

跨道橋上部工に対して、設計時に想定していなかったセミトレーラ連結車の輪荷重が増加し、上部工床版張出部の補強が必要となる。(図-7)これにより、維持管理対象部材の増加や、既設下部工の耐震補強工事が困難になることが懸念されるため、これらの解消が課題となる。

これは、交差点範囲の拡大に伴い、交差点巻き込み部が跨道橋の側面に接続する計画となっており、床版張出部にセミトレーラの輪荷重が作用する構造となっていたことが要因である。



図-7 跨道橋への想定外荷重の増加

(3) 本線走行車両への圧迫感

交差点への取付擁壁の一部が既設跨道橋の下部工よりも本線側へ飛び出す形状となっているため、本線走行車両にとって側方余裕が急激に狭くなり、圧迫感を感じることによって走行性の低下が懸念される。(図-8)

これは、セミトレーラ連結車の通行機能を確保するため交差点巻き込み部を拡大する必要があるものの、取付擁壁頂部の張出長には限界があるため、可能な限り擁壁設置位置を本線側へ寄せる必要があることが要因である。

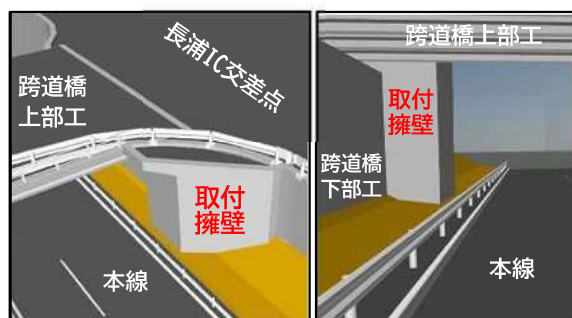


図-8 本線からみた取付擁壁

4. 課題解決に向けた技術的対応

(1) 課題解決の方向性

各課題の要因を確認した結果、いずれの課題もセミトレーラ連結車の通行機能を確保するために交差点範囲が拡大し、その影響が跨道橋に及んでいることに起因している。そのため、交

差点範囲を縮小し、跨道橋への影響を回避することができれば、上記の各種課題を解消することが可能となる。

以上より、本業務では「交差点のコンパクト化による既設橋梁への影響回避」を課題解決の方針として定めた。

まず、一般的な交差点のコンパクト化手法である隅切り半径の縮小や停止線の前出しを試みた。しかし、これらの対策を講じても既設跨道橋への影響を回避するまでには至らなかった。

そこで、本業務では、交差点のコンパクト化を実現する具体的方策として、交差点部におけるランプ幅員の見直しを検討した。

(2) 技術的対応

本業務では、各種基準で明確に規定されていない交差点流入部のランプ幅員を見直した。

具体的には、交差点流入部におけるランプ幅員を $W=10.0\text{m}$ から $W=8.5\text{m}$ へ縮小した。その結果、交差点をコンパクト化しつつ、セミトレーラ連結車の通行機能を確保し、既設橋梁への影響を回避可能な交差点計画を実現した。

(図-9)

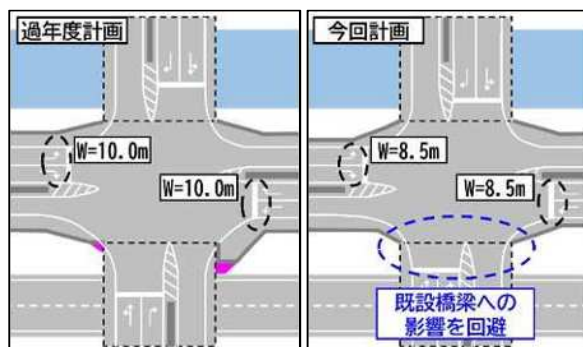


図-9 過年度計画と今回の計画の対比

幅員見直しに当たっての着目点を以下に示す。

① 基準における幅員規定の解釈

「道路構造令の解説と運用(令和3年3月)(以下、「道路構造令」という。)」で規定されるランプ幅員の考え方について整理した上で、幅員の最適化を図った。

a. 過年度設計の考え方

交差点流入部のランプ幅員として、A規格ランプにおける1方向1車線時の標準幅員 $W=7.0\text{m}$ に付加車線として $W=3.0\text{m}$ の右折車線を加えた $W=10.0\text{m}$ を採用していた。

ここで、道路構造令において、A規格ランプの1方向1車線ランプは、故障車が路肩に停車した際、交通が停滞しない幅員として $W=7.0\text{m}$ を確保することとされている。

過年度計画では、A規格ランプの1方向1車線幅員に交差点部のみ付加車線($W=3.0\text{m}$)を加えた値を採用していた。

b. 今回設計の考え方

A規格ランプの1方向2車線時の標準幅員とされる $W=8.5\text{m}$ を採用した。(図-10)

ここで、道路構造令において、1方向2車線ランプは交通容量の確保を目的として設置されるものであり、故障車発生時には他車線による交通処理が可能であることから、必ずしも駐車可能な路肩を確保する必要はないとされている。また、交差点計画に当たって、交差点流入部では駐停車を抑制する観点から路肩幅員を縮小することが望ましいとされている。加えて、過年度の公安協議では、公安委員会より、交差点部の駐停車防止のため、左側路肩に置き式ガードレールを設置する旨意見を受けている。

以上より、本業務では、交差点流入部において1方向1車線時の左側路肩幅員を確保する必要性は低いと判断し、1方向2車線時の考え方を適用した幅員を採用した。

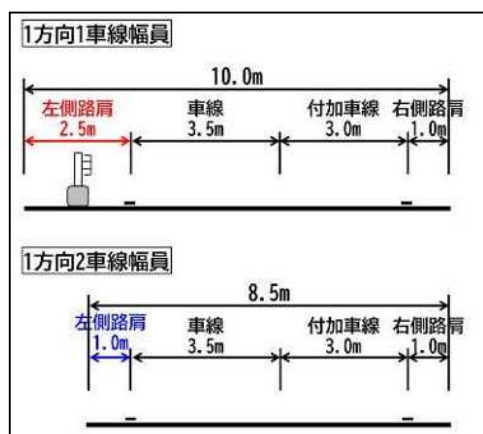


図-10 横断構成

②中央帯ゼブラ部走行の許容

1方向2車線ランプ幅員を用いた交差点形状に対して、車両走行軌跡を基に車両の通行機能が確保できているか検証した。その結果、小型車の走行に関しては車道のみで走行可能であるものの、セミトレーラ連結車に関しては、車道のみでは走行不可となる。

そこで、本業務では、中央帯ゼブラ部へのセミトレーラ軌跡の部分的な進入を許容した。本判断に当たっては、中央帯ゼブラ部が車両走行を想定した空間ではないものの、セミトレーラの進入を最小限とした上で、交差点左折時における低速走行区間であること、また、セミトレーラの運転者は一般的な運転者と異なり、職業運転者であることから、走行性に支障はないと判断した。(図-11)

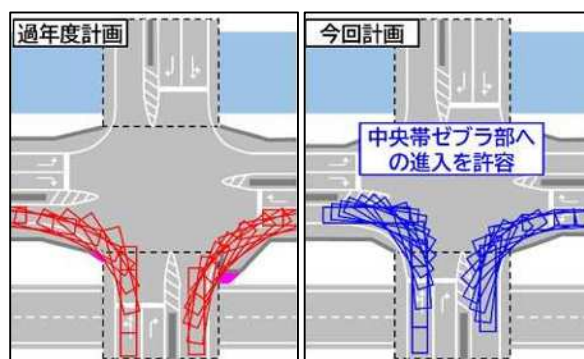


図-11 セミトレーラ連結車の走行軌跡イメージ

5. 新たな課題とその対処

中央帯ゼブラ部へセミトレーラ連結車の進入を許容したことで、セミトレーラ連結車と対向車線の近接による事故リスクの増加が懸念される。

これに対しては、セミトレーラ連結車の走行に支障がない位置にポストコーンを設置するとともに、当該交差点は横断歩道が設置されておらず、歩行者利用が少ないことを踏まえ、分離帯が設置可能な位置まで停止線を後退させることで対応した。

6. 技術的成果

本業務では、上記の対応により、セミトレーラ連結車の走行機能を確保しつつ、交差点をコンパクト化することで各種課題の解消を実現することができた。また、過年度に公安協議済みであった交差点計画の変更について、改めて意見聴取を実施し、了承を得ることができた。

7. 波及効果

交差点のコンパクト化により得られる効果として、施工性、維持管理性、安全性の向上に加えて、水路橋の橋面積縮小、杭基礎の撤去回避、上部工増厚補強の解消、杭基礎から地盤改良工への変更により約1.1億円のコスト縮減による経済性の向上が挙げられる。

8. おわりに

本業務では、各基準で明確に規定されていない交差点流入部におけるランプ幅員について、道路構造令に示される幅員の考え方を整理した上で計画の見直しを行った。

その結果、セミトレーラ連結車の通行機能を確保しつつ、交差点をコンパクト化することで、既設橋梁への影響による各種課題の解消と約1.1億円のコスト縮減を実現した。

本事例は、厳しい空間的な制約下においても、基準の目的や求められる機能を把握した上で設計を行うことで合理的な道路計画が可能であることを示す一例であり、類似条件下における設計の参考になるものと考えられる。

高速道路と交差する新設県道 BOX の 暫定 2 車線断面検討

ふくたなおと たかばとしみつ まつうらゆうき こだまよしと
○福田脩登¹・高羽俊光¹・松浦佑紀¹・小玉由人¹

¹中日本建設コンサルタント株式会社 建設技術本部 第1部第3課

本業務は、暫定 2 車線で事業中である主要地方道を対象とした道路予備設計である。当路線は高速道路と立体交差するため、高速道路下に推進工法にて BOX を構築する計画であるが、都市計画決定上は 4 車線であることから、将来 4 車線化に対応可能な BOX 計画を立案することが求められている。本稿では、当 BOX の断面検討を行う上で、将来 4 車線整備の実現可能性向上、走行車両の安全性向上、初期コスト縮減による経済性向上等の課題解消を実現した内容について報告する。

Key Words: 都市計画道路、高速道路、立体交差、推進工法

1. はじめに

本業務の設計対象路線は、4 車線で都市計画決定された主要地方道であるが、当面、高速道路交差部を暫定 2 車線計画で整備する計画となっている。

当該部の現道状況は BOX により高速道路と交差しているが、BOX 前後は 2 車線道路、BOX 部は 1 車線道路として供用されているため、当 BOX 部がボトルネックとなっている。また、当 BOX は信号交差点から約 90m 程度の位置にあり近接した状況にあることや、BOX 部の平面線形が曲線半径 $R=70\text{m}$ 程度の急屈曲部となっており交差点直近で十分な見通し距離を確保できないことから、走行車両の安全性に懸念がある（図-1 参照）。

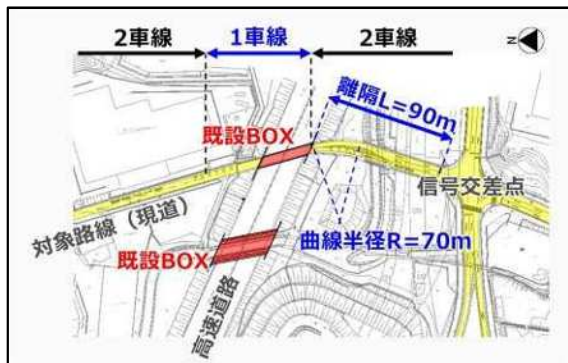


図-1 平面図

上記状況により、地域住民からも 2 車線道路の早期供用が求められており、優先度が高い事業として整備が進められている。

本稿では、高速道路交差部の 2 車線化にあたり、新設する横断 BOX の内空断面検討を行った内容について述べる。



図-2 現地状況写真

2. 基本条件の整理

(1) 検討フロー

本検討の主なフローを図-3 に示す。

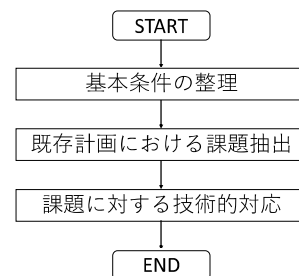


図-3 検討フロー

(2) 道路の基本条件

- ・計画交通量：8,739 台/日（R22 推計値）
- ・種級区分：第3種第2級
- ・設計速度：V=60km/h
- ・車線数：暫定形 2車線
将来形 4車線
- ・幅員構成：図-4 参照

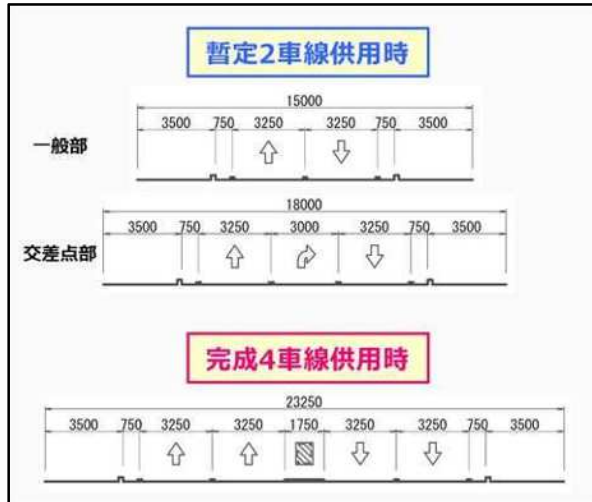


図-4 幅員構成図

3. 過年度経緯の整理

(1) 都市計画決定時の道路形状

当路線は、4車線道路として都市計画決定されており、高速道路交差点部では、南進車線と北進車線を分離するセパレート形状として計画されている（図-5 参照）。そのため、高速道路下に2基の新設BOXを構築する必要があるが、南進用新設BOXが既設BOXと干渉するため、既設BOXの撤去及び新設BOXの再構築を行う必要があった。



図-5 都市計画図

(2) 既存計画の道路形状

既存計画では、2車線道路の早期供用を目的に、暫定コストミニマムとする設計思想としていた。そのため、高速道路交差点部に推進工法にて構築する新設BOXについても、暫定2車線供用に最低限必要な「2車線+片側歩道」の幅員のみを確保することとしており、将来4車線供用時には同様の内空断面を有するBOXを別途整備する必要があった（図-6, 7 参照）。

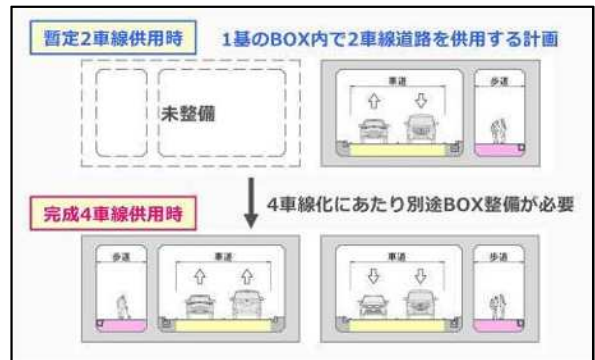


図-6 断面イメージ図

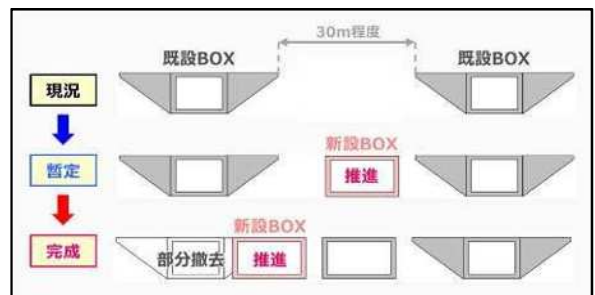


図-7 施工手順イメージ図

4. 課題の抽出

既存計画では、4車線の都市計画道路に対し、当面の2車線供用に必要な幅員のみを確保したBOX断面が計画されていた。そのため、将来4車線整備にあたり、既設BOXの撤去及び推進工法による新設BOXの構築が必要となり、高速道路への再影響や、トータルコストが大幅に増加することから、実現可能性に懸念があった。したがって、本業務では、将来の4車線化に対応可能な暫定2車線計画を立案し、4車線整備の実現可能性向上を図ることが課題であった。

5. 課題解決に向けた技術的対応

新設 BOX における内空断面の設定にあたって、暫定 2 車線時の「車道部+歩道部の総幅員」と将来 4 車線時の「車道部幅員」が同等であることに着目し、両幅員を包括する断面を新設 BOX の内空断面として設定した（図-8, 9, 10 参照）。

これにより、暫定時のコストを抑えつつ、将来の 4 車線化の可能性を担保した計画を実現した。

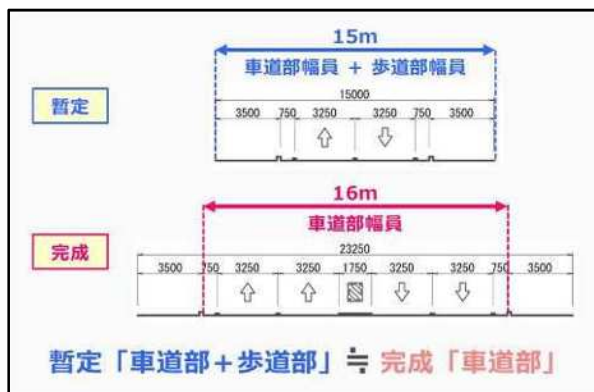


図-8 幅員構成図

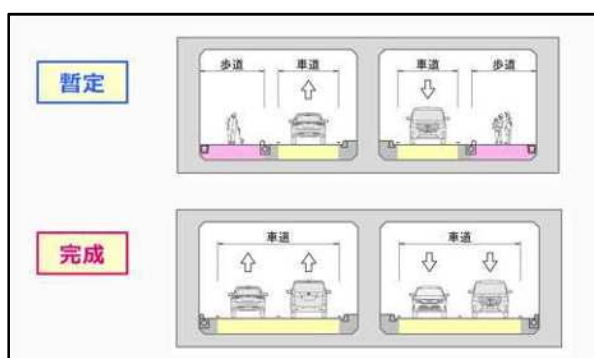


図-9 BOX 断面図



図-10 暫定 2 車線平面図

ここで、将来 4 車線時の歩道については、当 BOX に近接して 2 基の既設 BOX があることから、当 BOX を活用して整備することとした（図-11 参照）



図-11 完成 4 車線平面図

6. 波及効果

上記の技術的対応により、将来整備時に新設 BOX が 2 基必要となる過年度計画に比べて、今回計画では必要となる BOX を 1 基に削減できた。これに伴い、BOX 設置位置を高速道路の路面計画高が高くなる方へ移動することで、対象路線の計画高を高くすることができた（図-12 参照）。

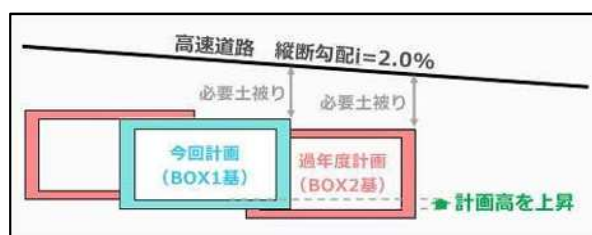


図-12 BOX 断面変更に伴う計画高の設定

その結果、交差点付近の緩勾配を確保できていない過年度計画に対して、緩勾配を設置することができ、交差点流入部における交通円滑性及び走行安全性を向上することができた（図-13, 14 参照）。

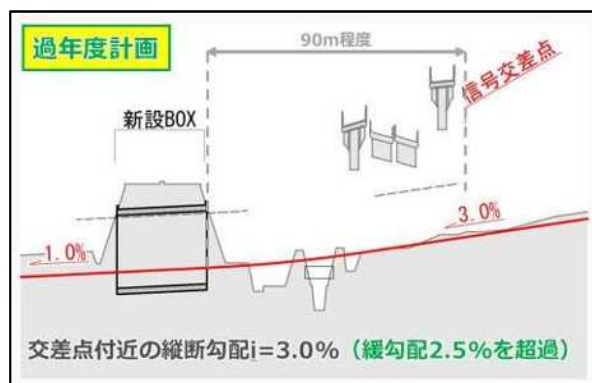


図-13 過年度計画縦断面図

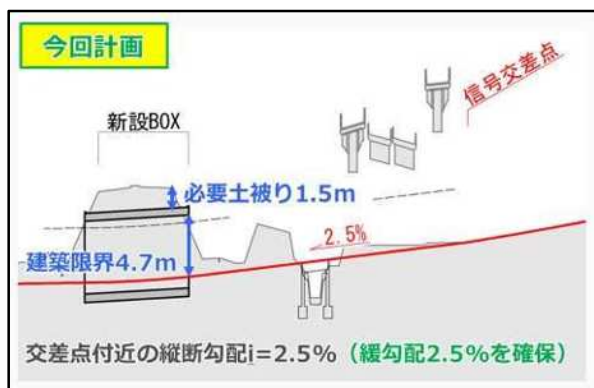


図-14 今回計画縦断面

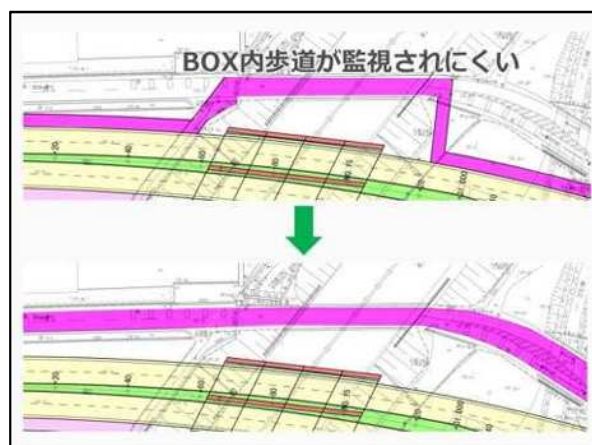


図-16 見通し向上のイメージ図

7. 対応策による懸念事項とその対策

(1) 既設BOXの老朽化

将来 4 車線時に歩道として活用する既設 BOX は老朽化が進んでおり、過去の定期点検においてひび割れ等の進行が確認されているため、将来的に補修等が必要となっている。

当懸念事項への対策として、将来 4 車線時の歩道に必要な内空断面 (B3,000mm×H2,500mm) が現況断面 (B6,000mm×H4,700mm) より小さいことから、断面補修やモルタル充填等の補修を施すことで、構造物の健全性向上を図ることができると考える (図-15 参照)。

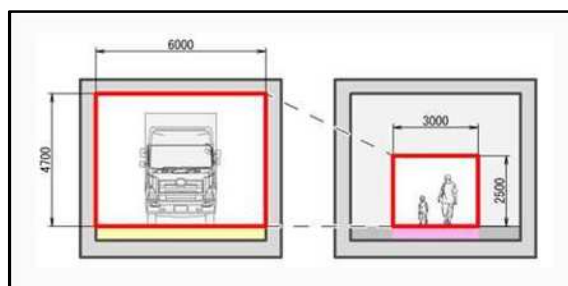


図-15 必要内空断面

(2) 歩道利用者の防犯性

将来 4 車線供用時は、車道と歩道を分離する計画としていることから、車道利用者による歩道の監視性が低下し、歩道利用者の防犯性に懸念がある。

当懸念事項への対策として、現道用地を活用した歩道屈曲部の解消による見通し向上や、照明やカーブミラー等の安全施設の適切な設置を行うことで防犯性向上を図ることができると考える (図-16 参照)。

8. 関係機関との調整について

交通管理者との協議では、計画内容の説明の際に、3D モデルを用いた走行シミュレーションを活用し、効果的なイメージ共有を図ることで、計画内容について了承を得ることができた (図-17 参照)。

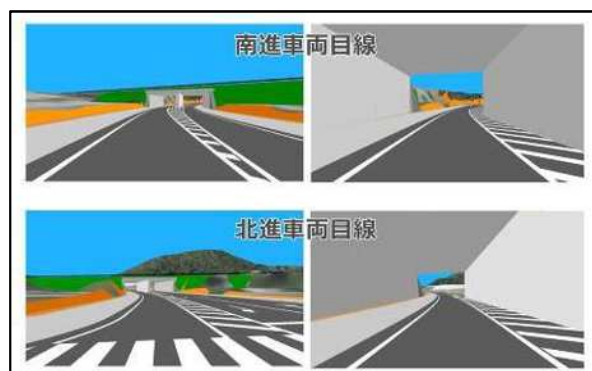


図-17 3D モデルによる走行シミュレーション

9. おわりに

本業務では、高速道路と交差する都市計画道路について、将来 4 車線時の車道と歩道を分離することで、高速道路下に構築する BOX の内空断面を縮小する計画を提案した。この提案により、暫定 2 車線整備に必要な初期コストの増加を抑制しつつ、将来 4 車線化に対応可能な計画を実現することができた。

当路線のように、高速道路や鉄道等の下に新設道路を整備する路線は多く存在するため、今後の設計に活用可能な検討手法を提案することができた。

道路設計の生産性向上への取組み BIM/CIMとGNSS測量による合理的な線形検討

たかなぎたくや ふじわらたつみ おおたさなえ
○高柳拓哉¹・藤原辰巳¹・太田早苗¹

¹不二総合コンサルタント（株）（〒433-8112 静岡県浜松市中央区初生町889番地の2）

本業務は、（主）袋井大須賀線の橋梁を含む約2.0km区間を対象とした道路予備設計である。現道の幅員狭小や急なS字カーブによる交通安全上の課題を改善するためバイパス（以下、BP）整備が計画されていたが、過去に地元合意が得られず事業が長期間停滞していた。

線形検討では、1/2500地形図にGNSS測量を組み合わせることでコントロールポイントの位置精度を向上させるとともに、BIM/CIMによる3次元モデルを構築した。これにより、計画道路を可視化し、関係者の理解促進と合意形成を図るとともに、図面作成・数量算出等の効率化により作業時間を約40%削減した。

Key Words：主要地方道、バイパス整備、事業着手準備制度、BIM/CIM、GNSS測量

1. はじめに

近年、インフラ整備や維持管理に係る業務においては、人口減少や技術者の高齢化による担い手不足を背景として、生産性向上が重要な課題となっている。特に道路設計分野においては、地形条件や用地条件、関係機関協議などさまざまな制約条件への対応が必要であり、限られた期間の中で効率的かつ高品質な設計が求められる。

本業務は、DX技術であるGNSS測量およびBIM/CIMを積極的に活用し、道路予備設計における合理的な線形検討および合意形成の円滑化など生産性向上に取り組んだ事例である。

2. 事業概要

業務箇所は、平成3年より道路設計や都市計画決定等を進めていたが、平成14年に地元合意が得られず事業は休止となった。その後も事業実施に向けた検討が続けられ、平成24～29年度には事業着手準備制度の対象箇所として検討が行われたものの、合意形成に至らず事業化が停滞していた。そのような中、事業化に向けて改めて道路計画の検討を進めることとなった。

本業務では、関係市町や県道袋井大須賀線（石津バイパス）検討委員会（以下、検討委員会）とのPI等を通じて、検討条件や地域の意見・要望を把握し、これらを計画に反映しながら、関係者との合意形成を図り、BP整備計画の検討を行った。

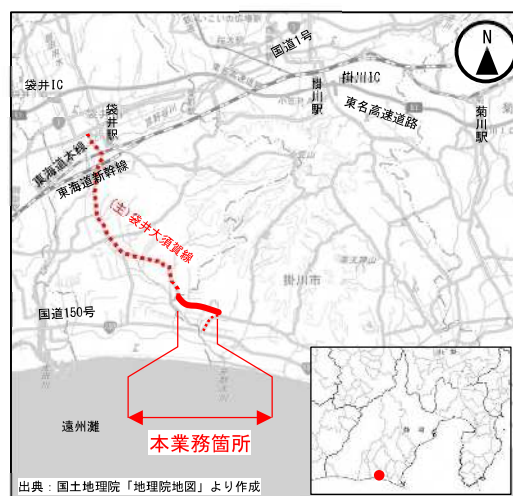
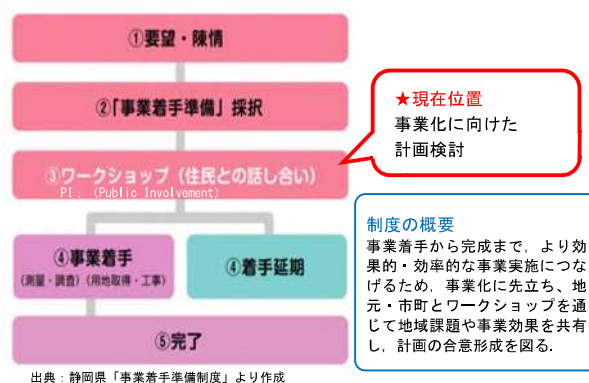


図-1 位置図



出典：静岡県「事業着手準備制度」より作成

図-2 事業着手準備制度のフロー

3. 基本条件の整理

(1) 現道状況の把握

設計路線は、袋井市中心部と掛川市沿岸部を南北に結び、市街地連携や地域間交流を支える重要な路線である。しかし、現道は道路幅員が狭隘であり、S字カーブ箇所では大型車どうしのすれ違いが困難な状況となっている。また、設計区間は小学校の通学路として利用されているが、自動車交通量が多く、歩道も未整備であるため、歩行者の安全が十分に確保できていない。さらに、視距の不足箇所が複数存在しており、交通事故リスクの高い状況である。令和元年から令和8年までに現道の当区間内において自動車交通に関する事故が17件発生しており、S字カーブ箇所では重大事故も発生している。



写真-1 現道状況写真

(2) 整備規格の設定

- ・計画交通量 : 9,100台/日 (R22推計値)
- ・種級区分 : 第3種第2級
- ・設計速度 : $V=40\text{km/h}$
- ・車線数 : 2車線

対象路線は、沿道利用状況より現道拡幅による道路改良が困難な状況であったため、BPルートは、平成13年度道路概略設計および地元調整により、軽便鉄道跡地および既存市道用地を利活用する方針が既に意思決定されていた。

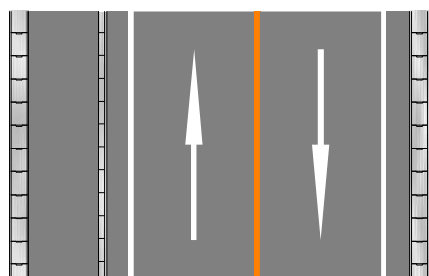
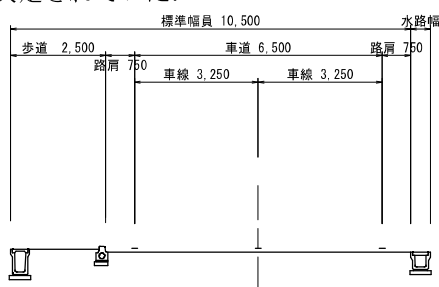


図-3 標準横断面図

(3) 業務推進上のコントロールポイント

本業務を円滑に遂行するためには、同意を得られていない地権者の用地影響を回避する必要がある。そこで現況地形や官民界の把握が重要なコントロールポイント（以下、CP）となった。

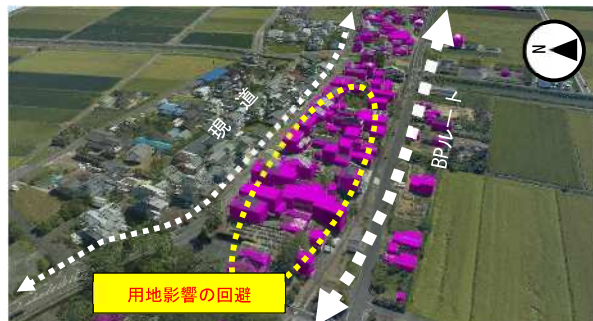


図-4 コントロールポイント

4. 業務上の課題

(1) CPの精度向上(課題1)

本業務では、1/2500の地形図をもとに道路予備設計を実施する方針となっており、この地形図では $\pm 1 \sim 2\text{m}$ 程度の誤差を含むため、CPにおける精度面の問題があった。これでは、予備設計段階で成立していた線形であっても、現地測量成果を反映した際に条件を満足できず、線形の再検討や手戻りが生じ、作業時間の増加や工程遅延など、設計業務全体の効率低下が懸念された。このため、CPの精度向上が業務遂行上の重要な課題となった。

(2) 関係者との円滑な合意形成(課題2)

従来の2次元図面では完成形状を直感的に把握することが難しく、空間的なイメージ共有が困難であることに加え、関係者間で認識の齟齬が生じやすい問題があった。特に道路整備事業では、平面図・縦断面図・横断面図を個別に確認しながら協議を行う必要があるため、完成形状を正確に共有するまでに時間を要してしまう。このため、発注者、関係市町および委員会との協議において、完成形状を可視化し、計画内容を理解した上で適切な意見調整を行い、円滑な合意形成を図ることが業務遂行上の重要な課題となった。

5. DX技術を活用した課題対応策

本業務では、課題となっていた「CPの精度向上」および「関係者との円滑な合意形成」に対応するため、DX技術を積極的に導入した。

(1) GNSS測量による地形図の補完(対応策1)

地形図におけるCPの精度不足を補う手段として、ネットワーク型RTK方式を用いたGNSS測量を実施し、官民界（現道端部）に加え法面下端や既設橋梁位置

について、リアルタイムに数cmの精度で位置情報の取得を可能とした。これにより、1/2500の地形図では難しい精度管理を補完し、より信頼性の高い線形検討を可能とした。

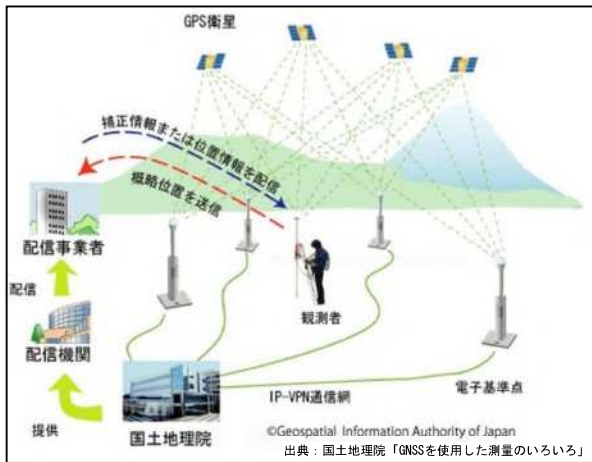


図-5 ネットワーク型RTK測位



写真-2 作業状況および位置情報の取得箇所

(2) BIM/CIMを活用した3次元設計(対応策2)

本業務では、静岡県が県内全域を対象に整備・公開している「VIRTUAL SHIZUOKA」の現況地形点群データを活用し、計画道路の3次元モデルを構築した。これにより、計画内容を視覚的に共有し、合意形成の円滑化を図るとともに、3次元モデルを活用した自動設計等により、設計検討の生産性向上につなげた。

a) モデル詳細度の選定

3次元モデルの主な活用目的は、関係者との合意形成の円滑化と設計作業の効率化であったため、対象物の構造形式や配置関係が把握できるレベルである詳細度200を選定し3次元モデルを作成した。

b) 具体的な活用方法および効果

一つ目は、関係者との協議およびPIにおいて2次元図面に加えて3次元モデルを活用し、整備後の道路形状や周辺状況を視覚的に共有した。3次元モデルでは視点位置を自在に設定できるため、道路利用者や沿道住民などの説明内容に応じた視点で完成イメージを確認することが可能となった。また、

走行シミュレーションを実施することで、平面線形と縦断線形を統合的に捉え、実際の走行に近い感覚による道路線形確認を可能とした。

その結果、関係機関協議において、視覚的に理解しやすく、事業内容の把握に有効であるとの評価が得られた。

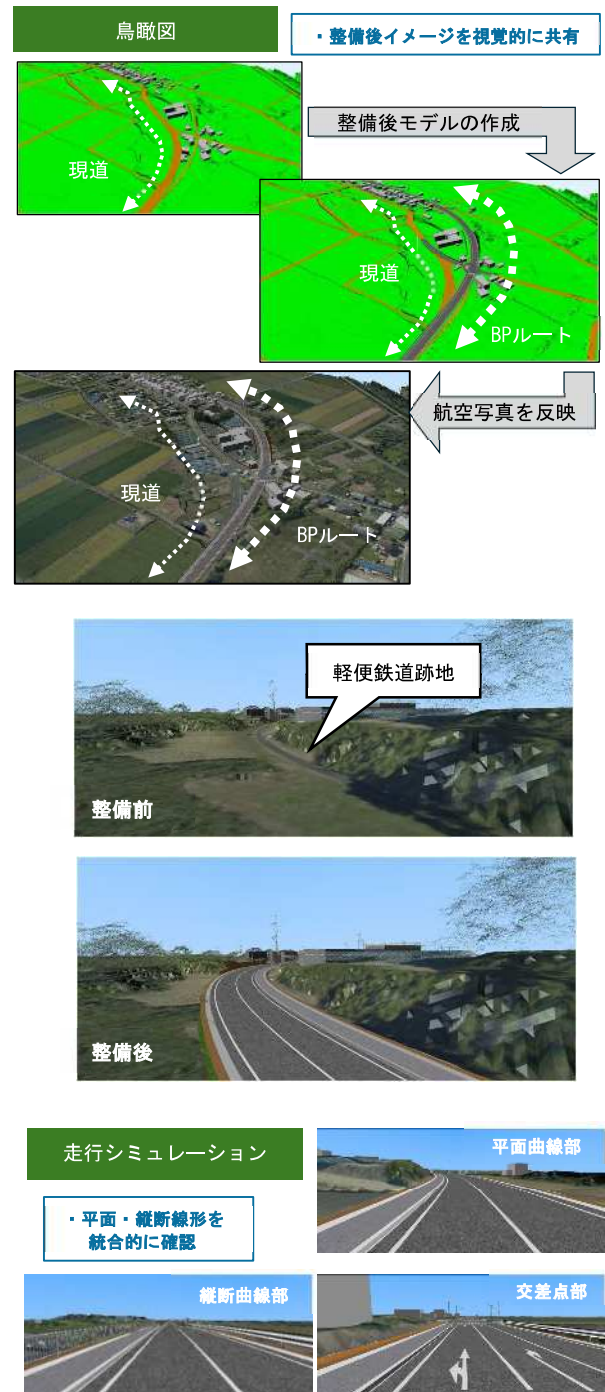


図-6 3次元モデル

二つ目は、従来の地形図を用いた道路設計では、地形図の等高線情報や現地計測を実施し、その結果をもとに縦横断面図の作成や数量算出を手作業で行っていたため、図面・数量計算の作成に多く

の時間を要するとともに、線形変更が発生した場合には再度図面修正や数量算出を行う必要があり、作業負担が大きいものであった。本業務では3次元で構築した現況地形データを活用し、道路計画高や横断面構成を設定することで、平面・縦横断面図の作成や土工数量の算出を自動化し、設計作業の効率化を図った。

その結果、従来の作業時間に比べ40%程度短縮するとともに、手作業に比べ入力ミスや数量算出誤差の低減につながり、設計の生産性向上に大きく寄与することができた。

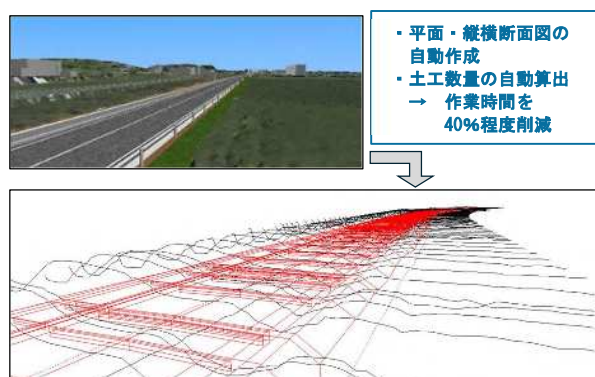


図-7 設計図面の自動作成

三つ目は、橋台形状について、3次元モデル空間上において道路中心線と連携させた配置を行うことで、道路幅員、横断勾配、設置角度および高さ条件などの道路幾何構造を考慮した自動設定が可能となった。

その結果、構造物ごとの個別に調整する作業時間を削減するとともにコンクリート数量の自動算出を行うことで、配置検討の効率化および精度向上を図ることが可能となった。

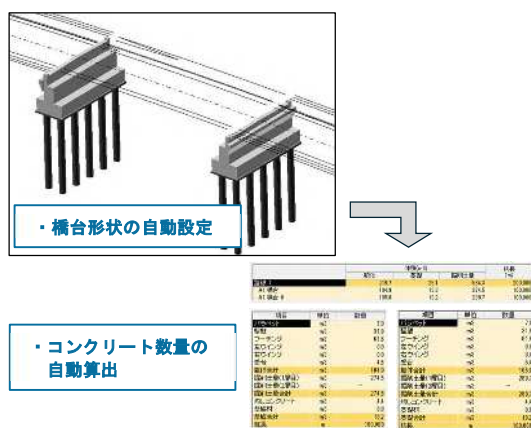


図-8 主要構造物配置検討

6. 業務の成果と今後の展望

(1) 業務の成果

a) 線形検討の精度向上

GNSS測量の活用により、早期段階で現地情報を取得し、CPの精度を向上させることで、後工程に

おける手戻りを低減するとともに作業時間を削減し、詳細設計への円滑な移行を実現した。

b) 関係者との合意形成

3次元モデルを用いて完成イメージや周辺地形との関係を可視化し、わかりやすい説明を行ったことで地元住民の理解につながり、合意形成を図ることができた。これにより、事業全体を次の段階へ進めることができた。

c) 設計作業の効率化

3次元モデルを作成することで図面作成・数量算出の自動化が可能となり、設計作業の大幅な効率化を達成した。

(2) 今後の展望

a) 現地条件に応じた運用方法

ネットワーク型RTK測位は、通信環境が悪い場所では補正情報を受信できず、測位が不安定になる。このため、現地条件に応じた測位方法の選定や、通信環境を考慮した運用が重要となる。

b) 効果的な情報共有方法

関係者によって3次元データへの理解度に差があり、説明方法によっては情報が十分に伝わらないということもある。このため、3次元モデルによる仮想空間内の視点の設定や説明資料の工夫など、さらに有効な情報共有の方法が重要となる。

c) データ容量の管理

3次元モデルはデータ容量が大きく、モデル規模によっては処理速度の低下やデータ管理の負担が生じる場面がある。このため、活用目的に応じた適切なモデル詳細度の設定や、効率的なデータ管理が重要となる。

7. おわりに

本業務では、地形図を用いた道路予備設計において、DX技術であるGNSS測量およびBIM/CIMを積極的に活用したことで、合理的な線形検討を可能とするとともに、道路設計の生産性向上を実現できた。さらに、3次元モデルを用いた可視化により、関係者との円滑な合意形成に寄与することができた。

本業務で得られた成果をもとに、今後もBIM/CIMをはじめとする新技術を積極的に活用し、業務の品質と生産性の向上に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 国土地理院，GNSS測位とは，
https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNS.html（2026年8月28日閲覧）
- 2) 国土交通省「BIM/CIM活用ガイドライン(案) 第5編 道路編」（令和4年3月）

高盛土を避け維持管理性を向上させた橋脚配置 および近接施工の影響検討

すぎうらゆうか たなかまこと たけだふみや よしださとし かわむらともなり
○杉浦侑佳¹・田中 誠²・竹田文哉³・吉田賢史⁴・河邑智也⁵

¹ (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19)

² (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19)

³ (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19)

⁴ (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19)

⁵ (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19)

本業務は、河津下田道路における橋梁設計業務である。対象橋梁は橋長の約2/3が高盛土上に位置するが、高盛土内への橋脚配置は地震時偏土圧評価の不確実性や維持管理性の低下など多面的な課題を有する。これに対し、道路・IC構造の比較検討によりIC擁壁位置の見直すことで、高盛土内の橋脚配置を回避した。新たに生じた補強土壁との近接施工に対しては、BIM/CIMを活用した施工ステップの可視化により施工性を検証するとともに、地盤FEM解析により算出した地盤変位を変位荷重として橋脚基礎設計に反映し、近接影響を定量的に評価した。本検討により、維持管理性・施工性・安全性・経済性を総合的に満足する橋梁計画を実現した。

Key Words : 補強土壁, 偏土圧, 近接施工, FEM解析, BIM/CIM

1. はじめに

河津下田5号橋は、河津下田道路Ⅰ期敷根IC（仮称）上に計画されている橋梁である。当該路線は緊急輸送道路かつ完成2車線道路で、同等の迂回路が存在しない道路ネットワーク上重要な路線である。さらに、本橋と交差する市道敷根線は地域の生活道路であり、施工期間中においても現道交通の確保が必要となる。

対象橋梁と交差する敷根ICは、補強土壁を用いた盛土構造で計画されている。当初の計画では、橋梁区間約150mのうち起点側90m程度が敷根ICの高盛土と交差していた。対象橋梁を多径間かつ等支間の橋梁とする場合は、高盛土区間に橋脚を配置することとなるが、高盛土内の橋脚には構造成立性、耐震性、維持管理性の課題が多い。

本稿では、高盛土内への橋脚設置に伴う具体的な課題を整理した上で、高盛土区間における橋脚配置について、各種条件を踏まえた比較検討を実施し、橋梁形式のみならず道路構造・IC計画・補強土壁計画を含めた総合的な検討結果を報告する。また、採用案における橋脚位置では橋脚と補強土壁が近接施工となるため、施工時の近接影響を考慮した施工手順および設計における近接影響の検討方法について

も併せて報告する。

2. 対象橋梁の概要

本橋の橋梁諸元を表-1に、完成イメージ図を図-1に、橋梁一般図を図-2に示す。

表-1 橋梁諸元

橋梁形式	鋼2径間連続鋼床版箱桁橋
橋長	149.5m
有効幅員	9.5m
車線数	2車線
道路規格	第1種第3級
下部構造	A1橋台 逆T式橋台, 組杭深礎基礎 φ3000
	P1橋脚 大口径深礎基礎 φ9500
	A2橋台 逆T式橋台, 組杭深礎基礎 φ2500
下部工材料	$\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$, SD345 (A1, A2) $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$, SD490 (P1)
地盤種別	I 種地盤 (A1, A2), II 種地盤 (P1)
地域区分	A1地域 (静岡県下田市)
重要度区分	B種の橋
適用基準	道路橋示方書・同解説 (H29.11)
	道路設計要領 設計編 (R7.9)

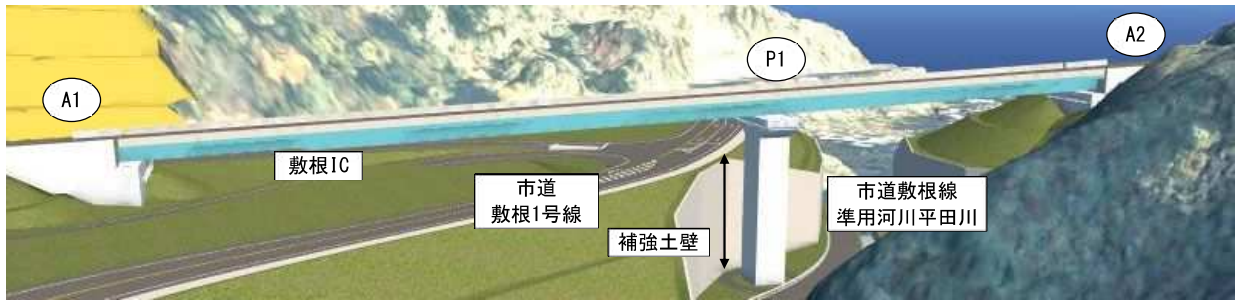


図-1 完成イメージ図

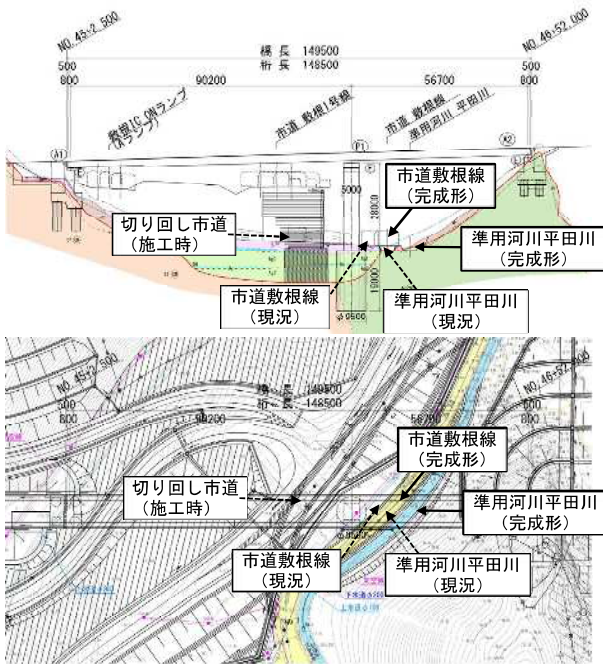


図-2 橋梁一般図

3. 高盛土内の橋脚配置を避けた道路構造の検討

(1) 高盛土内の橋脚の課題点

高盛土に柱が埋設される構造を採用する場合、以下のような課題が生じる。

課題①：地震時は盛土全体が水平方向に挙動するため、橋脚柱に高盛土の偏土圧が作用するが、現時点で高盛土に埋設された橋脚の偏土圧の算定方法が確立されていないため、算定方法の妥当性の検証が必要となる。

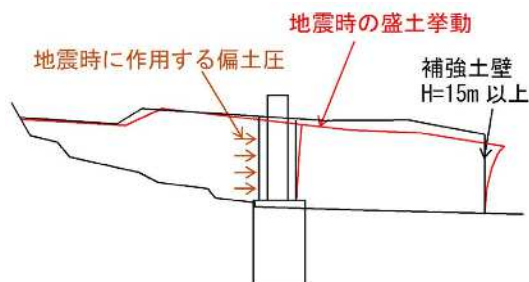


図-3 高盛土による橋脚への影響

課題②：大規模地震時による損傷を受けた場合でも補修可能なよう、橋脚の設計は柱基部に塑性化を考慮することが一般的である。しかし、高盛土内に埋設される柱基部は、緊急点検での損傷箇所の確認や補修作業が困難となるため、L2地震動作用時においても柱基部が塑性化しないように限界状態を設定する必要がある¹⁾。

課題③：盛土施工時に柱に偏土圧が発生しないよう、施工管理上の留意が必要となる。

課題④：課題①～③の課題点を踏まえ、柱に土圧が作用しないようにさや管構造とすることが考えられる。しかしながら、足場設置幅を考慮すると大規模なさや管構造になることに加え、維持管理における点検・補修作業の困難性や高盛土内の排水処理についても課題が残る。

高盛土内に配置される橋脚は、地震時の土圧作用の不確実性や損傷時の点検・補修の困難性など、構造上の成立性および維持管理性に関する課題が大きい。そこで、本業務では高盛土内への橋脚配置を回避する方針のもと、橋梁形式のみならず道路構造およびIC計画を含め、総合的な検討を行った。

(2) 採用案

検討の結果、本線を橋梁構造、IC部を擁壁構造とする基本構成を維持しつつ、過年度の道路計画から橋脚周りの補強土壁や市道を起点側に移動することで、高盛土内への橋脚配置を回避する案を採用した。本案は、道路計画時点の構造形式および道路線形を踏襲しつつ、橋脚位置および周辺構造の配置を調整するものであり、道路構造計画の大幅な変更を伴わずに課題を解決できる。敷根ICや市道敷根1号線の線形を見直し起点側に移動する案や、本線・ランプを盛土構造とする案も検討したが、採用案は他案と比較して、用地制約や施工への影響が小さく、事業全体としての合理性を確保できる構造であることを確認した。

4. P1橋脚と補強土壁の近接施工の影響検討

(1) 近接施工による課題点

P1橋脚は不等支間の軽減のため、現下田市道敷根線上への配置を計画しており、河津下田5号橋の施工に伴い、市道敷根線、市道敷根線下に埋設されている上下水道、準用河川平田川の切り回しを計画し

ている。市道敷根線は付近に迂回路のない生活道路となっておりP1橋脚施工時も現道交通を確保可能な施工工程を計画する必要がある。

不等支間の軽減のため、P1橋脚は可能な限り補強土壁に近づけた位置としており、最も近接した位置での離隔は約1.0mである。P1橋脚と補強土壁は近接した位置関係のため、上記で挙げた周辺状況による制約だけでなく、P1橋脚と補強土壁が施工時に互いへ与える影響を考慮した安全・確実な施工ステップを検討する必要がある。

また、近接する補強土壁からの近接影響が不明であり、近接影響を定量的に示し橋脚設置可否の判断をすることが課題である。

(2) P1橋脚周辺の施工工程の計画

P1橋脚の施工工程は、以下の点に留意し計画した。
・施工時においても、市道敷根線の現道交通を確保できるようにする必要がある。

・P1橋脚施工前に、市道敷根線、市道敷根線下の上下水道、準用河川平田川を切り回す必要がある。

・P1橋脚設置部は河川が近接し、地下水位が高いため、止水対策が必要となる。

上記の制約条件を考慮した上で、確実に施工できるように、施工工程を以下のように計画した。ステップ図を図-4に示す。

STEP1：地盤改良工程施工

STEP2：市道切り回し、河川切り回し、上下水道の移設

STEP3：薬液注入工施工（深礎基礎施工時の止水のため）

STEP4：深礎基礎施工

STEP5：橋脚躯体施工

STEP6：市道完成形施工

STEP7：補強土、盛土施工

P1橋脚施工時はP1橋脚より終点側に十分なスペースが確保できず、終点側に市道を切り回すことは出来ない。河川を暗渠化しBOX上に市道を切り回す案も考えられるが、関係機関協議の結果、維持管理上の課題があるため暗渠構造の採用は不可となった。そのため、始めに地盤改良工を施工した後、地盤改良体の上部に一時的に市道を切り回すこととした。

補強土壁および盛土は、P1橋脚施工後に施工する方針とした。これは、補強土壁および盛土施工後にP1橋脚を施工した場合、P1橋脚施工により補強土壁が崩壊する恐れがあり修復が困難であるほか、補強土壁と近接する箇所の施工ヤードの確保が困難となるためである。

地盤改良体およびP1橋脚基礎は近接施工となるため、近接施工の影響対策として、深礎基礎施工後、地盤改良の点検や平板載荷試験を行い、地耐力に問題がないか確認した上で施工することが基本となる。事業の進捗状況等により、深礎基礎を先行する場合は基礎の計測管理を行いながら地盤改良を施工し、変状が確認された場合は工事を一時中断し、対策を講じる必要がある。

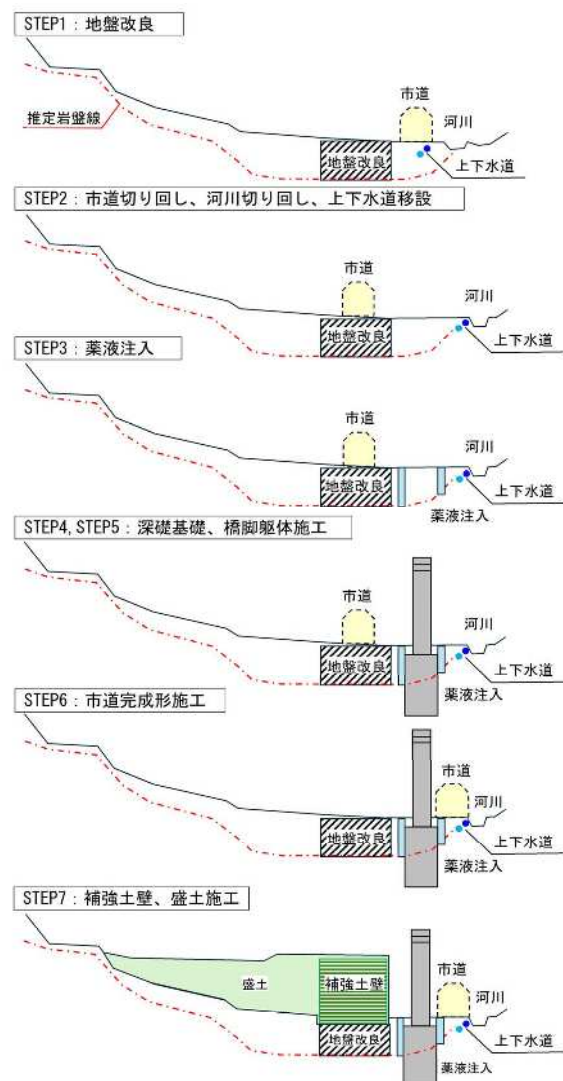


図-4 P1橋脚施工ステップ図

P1橋脚周辺は施工工程が複雑であり、実際に施工が可能であるか、施工計画の妥当性を検証する必要がある。そこで、BIM/CIMモデルを活用して4次元施工ステップを作成し、施工ステップ毎の重機配置や供用交通の安全性等を視覚的にわかりやすく表現し、施工計画の妥当性を検証した。（図-5）

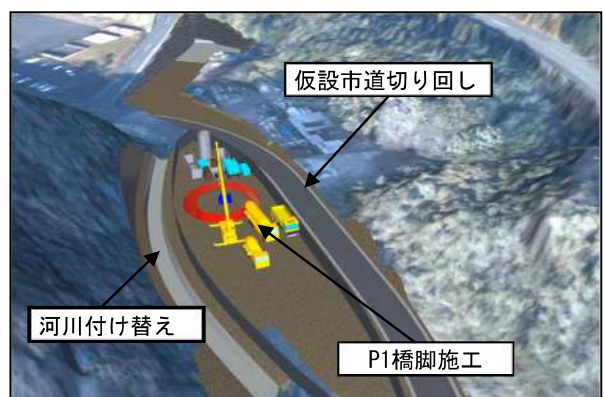


図-5 BIM/CIMによる施工ステップ可視化

(3) 近接影響を考慮した設計手法

P1橋脚施工後に補強土壁および盛土を施工する計画としているため、P1橋脚基礎には、①盛土荷重による円弧すべりにより側方に移動する力や②補強土壁の自重で地盤改良が弾性変形し、側方に押される力が加わることが想定される（図-6）。①、②の影響を定量的に示し設計に考慮するため、「都市部鉄道構造物の接近施工対策マニュアル」を参考に有限要素法（FEM解析）により影響を予測し、得られた結果をP1橋脚基礎の設計計算に反映した。ここで、橋脚基礎が周辺地盤の変形挙動に及ぼす影響は限定的であると考えられるため、P1橋脚基礎に地盤変形を強制変位（変位荷重）として与える方針とする。したがって、P1橋脚基礎を解析モデルに含めない条件でFEM解析を実施し、杭位置における地盤変位を算出した。解析により得られた水平変位のコンター図を図-7に示す。

FEM解析により得られた地盤変位を用いて、下記の式から変位荷重を算定し、橋脚基礎の計算において当該変位荷重を任意荷重として載荷することで設計へ反映した。

$$P = \delta \times k \quad (1)$$

ここで、 P は変位荷重、 δ は既設杭位置での地盤の変位、 k は水平方向の地盤反力係数である。変位荷重の算出結果を表-2に示す。

P1橋脚の設計において、変位荷重を載荷することで近接影響を考慮して構造検討を行った結果、大口径深礎基礎（杭長 $L=19.0\text{m}$ 、杭径 $\phi 9.5\text{m}$ ）を採用することで構造成立することを確認した。

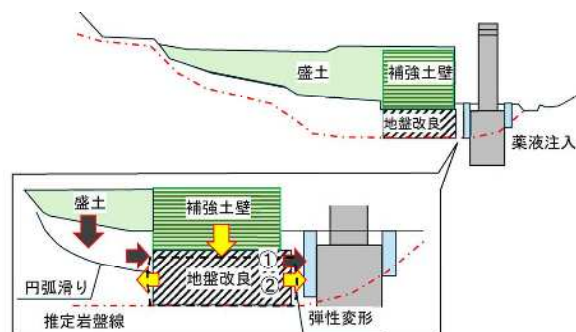


図-6 補強土壁、盛土施工によるP1橋脚への影響

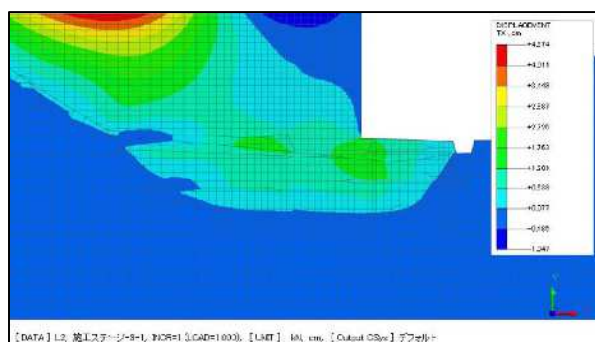


図-7 FEM解析結果

5. おわりに

河津下田5号橋の橋梁予備修正設計、詳細設計業務において、以下に示すよう特徴的な課題検討項目に着目して本稿にまとめた。

(1) 高盛土を避けた橋脚配置

高盛土内の橋脚は構造成立性や維持管理性に課題が大きい。高盛土内の橋脚配置を避けるため、道路構造から見直しを行い、被災時の復旧性に優れ、事業課題の少ない「本線を橋梁、ICを擁壁としつつIC擁壁位置を起点側に移動し高盛土内の橋脚配置を回避する案」を採用した。

(2) 市道の現道交通を確保した施工ステップの計画

施工時においても市道の現道交通を確保するため、地盤改良上に市道を切り回し、P1橋脚施工後にP1橋脚南側に完成形の切り回し市道を施工する計画とした。

(3) 近接影響を考慮した施工計画

P1橋脚と補強土壁、地盤改良および盛土が近接施工となるため、互いに与える影響を考慮し、最も影響の少ない、地盤改良→P1橋脚施工→補強土壁・盛土の順で施工することを計画した。施工時は、地盤もしくは基礎の計測管理を行いながら施工する。

(4) 4次元施工ステップによる施工計画の妥当性の検証

制約条件の多いP1橋脚周辺において、計画した施工工程で確実に施工できるよう、4次元施工ステップを作成し視覚的に表現することで、施工工程の妥当性を検証した。

(5) FEM解析を用いた近接影響の設計への反映

補強土壁および盛土施工に伴い橋脚基礎に生じる地盤変位の影響を、FEM解析により定量的に示し、地盤変位から変位荷重を算出することで、P1橋脚の設計計算に反映した。

今後、同様な業務において参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I ～V編，2017。
- 2) 伊藤修：近接施工による既設橋脚基礎への影響検討，土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，平成11年度 第27回，p.466-467，2000。
- 3) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：都市部鉄道構造物の接近施工対策マニュアル，2007。

都市高速道路の料金所配置の見直しによる 既設ランプ橋の拡幅設計

○野々山祐史朗¹・高木達弘¹・川本恭朗¹・飯塚赳彦¹・久坂直樹¹

¹ パシフィックコンサルタンツ（株） 中部支社交通基盤事業部
（〒451-0045名古屋市中区名駅一丁目1番17号名駅ダイヤモンドビル9F）

都市高速道路における料金所施設の配置見直しに伴い、既設ランプ橋上に料金所施設の追加が必要となった。本業務では、対象の2箇所に対し、既設橋の構造条件・支承条件・耐震性能・施工制約を踏まえ、既設構造への影響を最小化する拡幅構造計画について検討を行った。対象箇所①では、既設橋に必要幅員が確保されている点に着目し、料金所ブースを既設橋と縦目地で分離した鋼・コンクリートの複合ラーメン構造とすることで、既設上部工および橋脚の補強を回避した。対象箇所②では、拡幅桁を既設上部工と一体化する制約下で、支間中央部に耐震橋脚を新設して対象橋を振動系から分離し、既設支承取替、既設橋脚の補強を回避した。

Key Words：都市高速道路，既設ランプ橋，料金所施設追加，拡幅構造計画，振動系分離，耐震橋脚，既設構造への影響低減

1. はじめに

都市高速道路では、料金収受の効率化や渋滞緩和を目的として料金所施設の配置見直しが進められている。こうした再配置に伴い、既設ランプ橋上またはその近傍に料金所ブースやトールアイランドを追加する必要が生じる場合がある。料金所施設の追加は、橋面上に大きな死荷重を付加するとともに、必要幅員の確保のために既設橋の拡幅が必要となる。

しかし、供用中の既設ランプ橋は、架橋条件・構造条件・支承条件・耐震性能がすでに確定しており、拡幅計画ではこれらを適切に考慮する必要がある。安易な拡幅計画では既設構造の補強が必要となり、補強に伴う事業費の増加を招くこととなる。特に都市高速道路では、橋脚が本線とランプを同時に支持する構造が多く、一つの橋梁の改築が近接構造へ波及しやすい。

本稿では、都市高速道路における料金所施設の配置見直しに伴い、既設ランプ橋に料金所施設を追加するための拡幅構造計画について、構造条件の異なる対象2箇所を示すものである。既設橋梁の構造特性を踏まえ、既設構造への影響を最小化するために採用した、①既設構造の拡幅を回避する分離構造化、②拡幅桁追加に新設耐震橋脚を組み合わせた振動系分離化の2方針について、課題・比較検討・採用案に対する効果・考察を報告する。

2. 業務概要と対象橋梁条件

(1) 業務概要

本業務は、料金所施設の配置見直しに伴い既設ランプ橋に料金所施設を追加するための橋梁拡幅設計である。対象2箇所は、いずれも2方向ランプの合流部に位置し、合流後の車線上に料金所ブース（2レーン2ブース形式）を配置する計画である。改築部の照査は、既設橋の建設時準拠基準との整合を図りH24道路橋示方書¹⁾に準拠、新設構造は、H29道路橋示方書²⁾に準拠して設計を実施した。

(2) 対象橋梁概要

表-1に対象箇所の諸元を、図-1に対象箇所の平面図を示す。対象箇所①は、2方向ランプ合流後にS字線形で本線へ接続する鋼3径間連続非合成箱桁で、2車線区間に料金所が設置される計画であり、拡幅部には、主に料金所ブースが設置されることから死荷重が支配的である。

対象箇所②は、対象箇所①と同様に2方向ランプ合流後に幅員減少を伴い本線へ接続する鋼2径間連続非合成箱桁で、幅員減少区間に料金所が設置される計画のため、拡幅部が車両通行帯となり、活荷重が作用する。下部工は本線橋とランプ橋を支持する鋼製3柱式ラーメン橋脚である。

表-1 対象箇所概要

項目	対象箇所①	対象箇所②
既設部橋長	L=131m	L=116m
既設上部工形式	鋼 3 径間連続非合成箱桁(RC 床版)	鋼 2 径間連続非合成箱桁(RC 床版)
既設下部工形式	RC 橋脚@3 基+鋼製 3 柱式ラーメン橋脚	RC 橋脚+鋼製 3 柱式ラーメン橋脚@2 基
拡幅計画	2 車線幅員が確保されており、料金所ブース部を拡幅	車線減少区間のため車道幅員確保
採用構造	分離構造(鋼・コンクリート複合ラーメン橋を新設)	一体化拡幅構造(拡幅桁)+耐震橋脚を新設

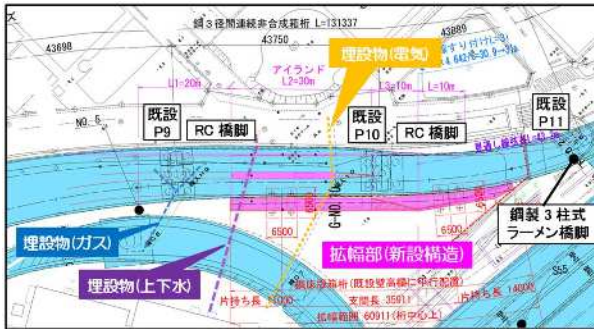


図-1(a) 対象箇所① 計画平面図

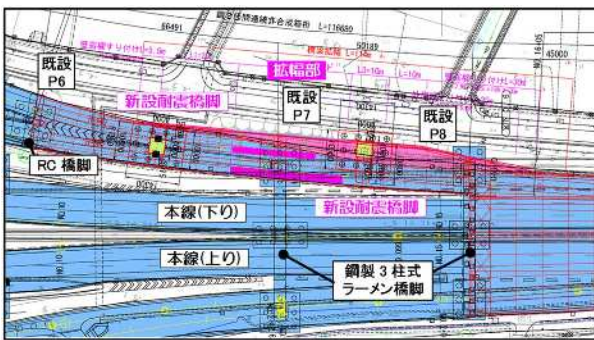


図-1(b) 対象箇所② 計画平面図

(3) 設計条件と改築方針

設計荷重は、死荷重に加え、料金所ブース、上屋等の施設荷重を集中荷重として考慮した。活荷重は道路橋示方書に準じ、B 活荷重載荷を基本とし、既設部においては、必要に応じてレーン載荷による照査を実施した。耐震設計はレベル 1・レベル 2 地震動を対象とし、非線形動的解析により耐震性能の照査を実施した。また、供用を継続しながらの施工が前提であり、交通影響と施工時の安全性が構造選定の重要な課題となった。

改築方針を「既設構造への影響最小化」として、(a)死荷重増加の抑制、(b)地震時に既設橋脚へ伝達される断面力の低減、(c)供用下で成立する施工手順の確保に着目して形式選定を実施した。

3. 対象箇所①における拡幅構造検討

(1) 拡幅構造検討

料金所ブースを設置するために本線外側に拡幅す

る必要がある。そこで表-2 に示す 2 案、(案①)増桁により既設橋梁と一体化構造とする案、(案②)拡幅部を既設橋梁と分離して別構造とする案を比較した。

表-2 対象箇所① 拡幅構造比較表

	案①: 上部工一体化案	案②: 分離構造案
概要	拡幅部は増桁による既設橋梁と一体化構造を採用し、既設橋脚の梁を延長し新たな支点を設ける	拡幅部は既設橋梁とは一体化せず、拡幅橋として分離構造とする
既設構造への影響	▲ 増桁の取付け・既設構造の補強(梁・柱・基礎)、支承取替が必要	○ 分離構造のため既設構造の補強、支承取替が不要
施工性	▲ 既設構造へのアンカー削孔、梁補強・支承取替時の仮設ブラケットやベント設置が必要、2次床版施工時の本線規制が必要 概略工程:20ヶ月	○ 分離構造であるため、付属物や料金所施設施工までは高速道路の利用に制限は生じない 概略工程:15ヶ月
維持管理性	▲ 増桁追加や狭隘な柱天端に増桁支承の新規設置により維持管理性は低下	▲ 拡幅橋追加や既設と新設の間の目地部からの漏水対策により維持管理性低下
経済性	▲ 比率 1.08	○ 比率 1.00
評価	▲	○

(2) 上部工一体化構造案の考察

案①において、ブラケット形式による拡幅は張出長が規定を超過し、既設免震支承への鉛直荷重が約 2 倍に増加し、負反力が生じたため不適とし、増桁形式による一体化構造とした。既設 RC 橋脚の内、拡幅影響を受ける 2 基について、新設支点のための梁拡幅により偏心モーメントが増大し、柱・基礎がレベル 1・2 地震時に許容値を超過したため、橋脚に対して大規模補強(梁補強・柱巻立て・底版補強・増杭)が必要となった。また、これらの補強は供用中の既設構造へのアンカー削孔や支承ジャッキアップを伴うため、施工品質の確保が難しく、施工中の交通規制も長期化が懸念される。よって、一体化拡幅は、構造的には成立しても、既設構造への影響と施工リスクが課題となった。

(3) 分離構造案(拡幅橋案)の考察

案②では、対象箇所がランプ合流部のため、2 車線相当の幅員が確保されており、拡幅範囲の約 1/2 が活荷重の作用しない料金所施設である。そのため、拡幅部を既設橋と一体化せずに、縦目地で分離する

ことで、既設橋への死荷重増加を抑制でき、既設橋脚補強の回避が可能となった。分離構造化により、既設橋の総死荷重は約 1%減となり、既設橋脚・支承照査を満足した。必要な幾何構造を交通管理者協議条件の範囲で満足させうえて、分離構造案が、既設構造への影響・施工性・経済性で一体化構造案に優れることを確認し採用した。工事費で約 8%、工程で約 5 ヶ月の短縮となった。

(4) 分離構造（拡幅橋）の形式

分離構造は、鋼床版箱桁と RC 橋脚を剛結した複合ラーメン構造とした（図-2）。

a) 上部工形式

拡幅橋の地震時挙動を小さくし下部工規模を縮小するため、軽量の鋼床版 1 箱桁とした。箱内の維持管理点検を考慮し、桁高は 2.0m 程度を確保した。

b) 上下部の結合方法

拡幅橋の幅員が小さく、支承構造では橋軸直角方向載荷時に支承部へ負反力が生じやすい。負反力対策のための支承間距離拡大は下部工形状が大きくなり不合理となるため、上下部の剛結構造を採用した。

c) 下部工形式

鋼製橋脚は断面がパラメータで決定され基礎規模が大きくなるため、経済性・施工性に優れる RC 橋脚を採用した。

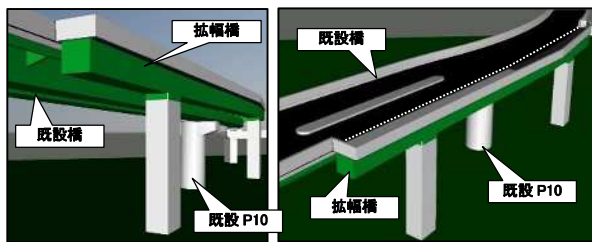


図-2 対象箇所① 拡幅橋概要図

(5) 既設橋との干渉制御

分離構造では既設橋と拡幅橋が独立して挙動する。温度変化とレベル 1 地震時変位（既設 27.8mm+拡幅 13.9mm=41.7mm）を拘束しない遊間量 50mm を確保し、レベル 2 地震時は相互干渉を許容する方針とした。これにより既設橋脚補強を回避しつつ、料金所施設追加に必要な構造成立性を確保した。

施工手順は、別構造の下部工・上部工を既設橋の側方で先行構築し、最後に舗装・目地部を接続する流れとした。既設橋の桁上作業を最小限に抑えられるため、通行止めを伴う作業は目地接続時の短時間に限定され、供用への影響を大きく低減できる。

4. 対象箇所②における拡幅構造検討

(1) 上部工拡幅構造と課題

対象箇所②は、2 主桁から 1 主桁へ変化する橋梁である。1 主桁区間では、張出長が規定を超過し、かつ拡幅範囲に活荷重が作用するため、ブラケット形式の適用が困難である。そこで、拡幅部は増桁に

よる既設上部工と横梁の一体化構造を採用した（図-3）。

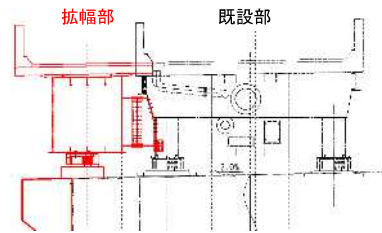


図-3 対象箇所② 上部工拡幅概要図

本線橋・ランプ橋・拡幅桁を含む 3 次元モデルによる非線形時刻歴応答解析の結果、拡幅による死荷重反力増加および地震時移動量の増大により、既設支承のひずみが許容値を大きく超過する結果となった。対策として、既設支承取替案では、a)移動量が 400~700mm に達しゴム総厚の増大で支承高が既設橋座に収まらない、b)最新基準に適合した再設計が必要、c)取替施工に伴う通行止め・工事費増、という課題があった。また、分散支承を固定支承へ変更する案では、中間支点である鋼製橋脚が対象となるが、地震時水平力が集中し、補強影響が大きくなる。

(2) 拡幅構造検討

前述の課題を踏まえて、表-3 に示す 2 案、(案①)比較的耐震補強による対応が容易となる RC 橋脚を固定構造とする案、(案②)一点固定構造とした場合の荷重集中を避けるため、桁下空間を活用し、支間中央部に耐震橋脚（RC 張出式）を新設して水平荷重を分担する案について、比較検討を実施した。

表-3 対象箇所② 拡幅構造比較表

	案①:既設RC橋脚固定(1点固定)	案②:耐震橋脚新設(2点固定)
概要	既設RC橋脚の支承条件を固定とし、RC巻立て補強する。固定橋脚の1支点で、橋軸方向の地震時水平力に抵抗	常時の鉛直力を既設橋脚が支持し、新設の耐震橋脚(固定支点)2基により地震時水平力に抵抗することで既設橋脚の無補強化を図る
既設構造への影響	既設上部工の横桁補強、既設RC橋脚の補強(梁・柱・基礎)、支承取替が必要	耐震橋脚の設置により既設橋脚は補強不要。既設支承も現況活用可能、耐震橋脚支点部において横桁補強が必要
施工性	既設構造へのアンカー削孔、梁補強・支承取替え時の仮設ブラケットやランプ規制が必要	耐震橋脚2基の施工が必要となるが既設構造の補強が不要であるため施工性に優れる
維持管理性	既設補強・支承取替が必要であるが現状と維持管理性は大きく変わらない	新設橋脚が2基増加するため、現状と比べ維持管理施設が増加
経済性	比率 1.04	比率 1.00
評価	▲	○

耐震橋脚は常時の鉛直力を負担せず、地震時に固定装置（鋼製ストッパー）を介して地震時水平力の大半を負担する（図-4）。これにより、鉛直力は既設橋脚、地震時水平力は耐震橋脚という構造上の役割分担が明確となり、一連の振動系から対象ランプ橋を分離することで、既設鋼製3柱式ラーメン橋脚の補強を回避した。

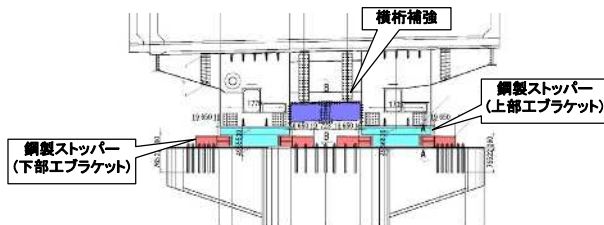


図-4 耐震橋脚における地震時固定装置概要図

(3) 採用案の優位性と付随効果

耐震橋脚新設案の優位性は、(a)既設支承のひずみを許容値内に収め、既設支承の取替を回避できる、(b)既設橋脚への地震時水平力を軽減し補強を回避できる、(c)耐震橋脚2基の追加により対象上部工の支持性能が高まり、耐震性能も向上する点に整理される。また、耐震橋脚追加により地震時の破壊順序が変化し、上部工支持機能が確保されることから、落橋防止構造の省略規定の適用が可能となった点や桁下の既設用地内に新設橋脚を配置することで、追加用地取得が不要となる点も優位となった。

(4) 施工計画と振動系全体での課題解決

施工面では、耐震橋脚を桁下空間で施工するため、上部工の大規模な仮受けや長期の車線規制を回避できる。固定装置の据付は夜間規制の範囲で実施可能であり、供用への影響を最小化できる見通しを得た。

本箇所の要点は、支承・下部工・基礎の複数の課題に対して、部材単位の補強ではなく、複数の橋梁を含む振動系から対象ランプ橋を分離したことにより、大規模な既設橋脚補強や支承取替を回避したことが、技術的意義である。

5. 成果と考察

表-4に対象2箇所の技術的工夫と効果を整理する。対象箇所①では、料金所ブースを既設橋と分離した複合ラーメン橋として計画することで、既設上部工補強および既設橋脚補強を回避した。対象箇所②では、支間中央に耐震橋脚を新設して振動系を分離することで、既設支承の取替および既設橋脚補強を回避した。

表-4 技術的工夫と効果一覧

箇所	技術的工夫	効果
①	拡張部の分離構造化(複合ラーメン橋)	既設上部工補強回避 既設橋脚補強回避
②	支間中央に耐震橋脚新設(振動系分離)	既設支承取替回避 既設橋脚補強回避

いずれの事例も、既設構造との結合を分離することで既設構造への影響を最小化した点に、共通の技術的意義がある。

本業務で得られた知見は、架橋条件・構造条件に応じて拡張の可否そのものを構造的な判断の対象とし、一体化による既設構造への影響を分離によって回避した点にある。すなわち、必要な施設配置を確保しつつ、既設構造への影響を最小化する構造計画を、対象箇所ごとに使い分けたことが本業務の成果である。

本稿で報告した2つの事例は、料金所施設追加に限らず、供用下の既設橋に付加的な施設や荷重を導入する改築計画全般に適用が可能と考えられる。施設の支持に既設橋の拡張を要しない場合は、付加構造を既設橋から分離して影響を遮断し、拡張が不可避で一体化を要する場合は、新設要素の追加による振動系分離で既設への断面力伝達を抑制する、という構造的な判断手法である。

一方、構造の分離や振動系の分離は、既設構造と新設構造との間に目地部や遊間を生じさせるため、漏水対策、目地部材の取替や耐震橋脚の追加に伴う点検対象の増加といった維持管理上の負担を新たに生じさせる。したがって、既設構造への影響最小化の効果と、分離に伴う維持管理負担とのトレードオフを、架橋条件ごとに定量的に評価することが重要である。また、設計段階から点検・取替の動線を確認しておくことが、供用下の構造物では特に重要となる。

6. おわりに

本業務では、都市高速道路の料金所施設追加に伴う既設ランプ橋の拡張構造計画について、構造条件の異なる2箇所を対象に、既設構造への影響最小化を改築方針として計画した。対象箇所①では、料金所ブースを既設橋と分離した複合ラーメン橋として計画し、既設上部工補強および既設橋脚補強を回避した。対象箇所②では、支間中央に耐震橋脚を新設して振動系を分離し、既設支承の取替および既設橋脚補強を回避した。いずれも既設橋脚補強を伴わず、料金所施設追加に必要な構造成立性を確保した。

今後の詳細設計では、料金所形状の最終化に伴う桁配置の見直し、支承条件および地震時挙動の再確認、維持管理動線の確保などに留意する必要がある。本稿が、供用下の既設橋改築における構造計画の一助となれば幸いである。

謝辞：本業務の遂行にあたりご協力を賜った関係各位に謝意を表する。

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) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説I～V，2017。

狭隘な国道に架橋された立体区間の連続高架橋 における技術的工夫

くらしまかずと たかせひろし いびひろし しのはらかずき やまだあきのり
○倉島一翔¹・高瀬 弘¹・井樋 宙¹・篠原一輝¹・山田聡徳¹

¹ (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19)

一般国道の立体化事業に伴う連続高架橋の詳細設計を対象に、構造計画および施工計画における技術的工夫について報告する。対象橋梁は上下線分離の本線橋とセンターランプ橋であり、周辺に住宅や商業施設が密集しているため、用地を広げることが困難で狭隘な用地内で連続高架橋の建設が必要となる大きな制約があった。そこで、免震支承や高強度鋼材を採用し、下部工への負担軽減と構造のスリム化を図ることで構造性、施工性を向上させた。さらに、特殊な大型クレーンを用いた相吊り架設工法を採用し、交通への影響を抑えつつ安全な施工計画を立案した。その結果、狭隘な施工条件下においても合理的な橋梁構造と安全性の高い施工計画を実現した。

Key Words : 立体化事業 免震効果 新技術・新工法 連続高架橋

1. はじめに

本業務は、一般国道の立体化事業に伴う連続高架橋詳細設計業務である。当該路線は、産業集積圏を結ぶ重要路線であり地域の活性化、広域道路ネットワークを形成する重要な役割を果たしている。交通量8万台/日の緊急輸送道路、重要物流道路であり、周辺には同規格の代替道路がないため、多くの渋滞や事故が発生している。そこで現道6車線から高架部4車線+平面部4車線の計8車線に立体化事業を行うことで交通渋滞の緩和や交通安全の確保を目的としている。

架橋位置の周辺地域は、商業施設や住宅が密集しており、交差点や水路、埋設管など多くの交差物件が存在している。(図-1 参照)

そういった現地条件の中で、現道と同じ車線を確保しつつ、高架橋を施工するため①狭隘な施工条件、②現道交通影響の最小化、③品質・安全性の高い施工方法を踏まえた構造検討および施工検討が必要である。本稿では、非常に多くの制約条件を踏まえた橋梁計画における技術的工夫を述べたものである。

2. 概要

(1) 現地条件

用地を広げることが困難であり、現道用地内(幅35~40m)で現道(6車線)と同じ車線を確保しつつ、狭隘な高架橋を施工する必要がある。(図-2、3 参照) 車線規制が必要な場合は、交通量が減少する夜間施工とする必要があった。

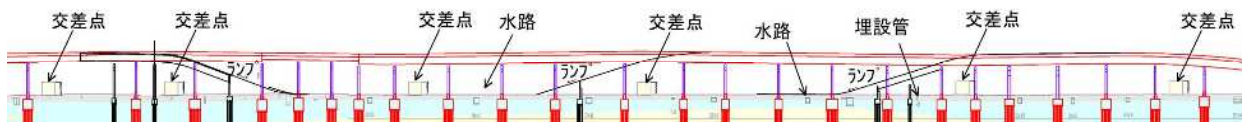
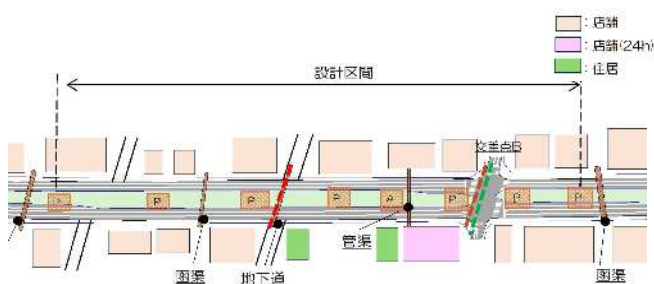


図-1 現地条件の側面図



図-2 事業概要

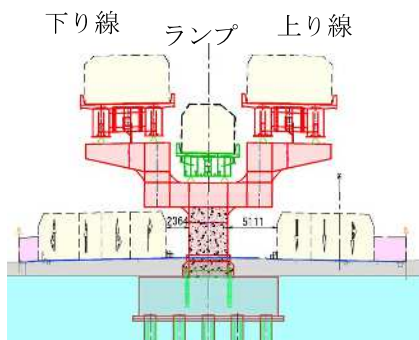


図ー3 現地状況

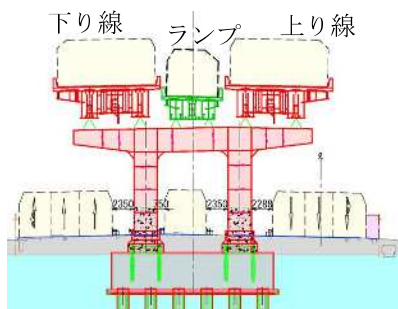
(2) 橋梁構造計画

ランプ構造形式は、用地を広げなくても施工可能なセンターランプ方式を採用し、本線は上下線分離構造とした。また、多くの交差点や交差物件を避け、渋滞抑制のため施工期間を短縮できることから長支間の鋼連続箱桁橋を採用した。

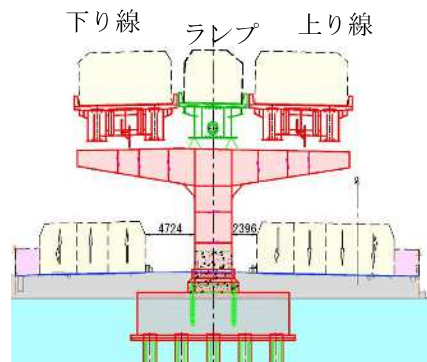
下部工形式は、狭隘な用地条件や交差点計画に対応し、上下線が分離した本線橋とランプ橋を1橋脚で支持されるため、大きな荷重を支持でき、狭隘なヤード条件を満足し、短時間で施工可能な上下線一体鋼製橋脚とした。また下部工形状は、単柱式だと張出し長の長い鋼製梁となり走行安全性、耐久性、耐震性に劣るため、門型鋼製橋脚を基本構造とし、交差条件、交差点計画、センターランプ方式に対応した橋梁構造とするため、門型、Y型、T型の鋼製橋脚が混在した鋼連続箱桁橋として検討した。以下に図ー4 Y型鋼製橋脚の正面図、図ー5 門型鋼製橋脚の正面図、図ー6 T型鋼製橋脚の正面図を示す。



図ー4 Y型鋼製橋脚の正面図



図ー5 門型鋼製橋脚の正面図



図ー6 T型鋼製橋脚の正面図

3. 構造及び施工の課題

本橋の特徴として狭隘な施工条件でかつ、施工中の夜間施工など短時間の規制時間で、高い安全性、高品質、高耐久性、維持管理性の向上が図れる構造検討が必要である。本橋における主要な課題として以下の2つを挙げる。

(1) 鋼製橋脚の課題

長支間支間のため大きな上部工反力を支持し、鋼製橋脚部材形状や寸法が制限された鋼製橋脚の隅角部に応力が集中し厚板構造となり、現場溶接の施工性低下や品質確保の低下が懸念された。また鋼製橋脚が厚板となることで杭本数が増大し、施工が困難となるため基礎への応答を下げる対策が必要であった。

さらに、将来鋼製橋脚の部材が損傷した場合、容易に修繕できる現地状況ではないため、部材の塑性化は認めない構造検討が必要であった。

(2) 上部工架設の課題

上部工架設は、夜間の片側車線規制や交差点通行止めを行った短時間架設が可能であり、ベントの設置できない条件で最大スパン85mの主桁を運搬・地組、重機組立を可能とする必要がある。

夜間車線規制を最小限にすることが架設工法の選定で重要な課題であった。

また、施工ヤードは極めて狭隘であることから、施工計画の実現可能性の実現が課題であった。

4. 解決策

(1) 鋼製橋脚の課題に対する解決策

上下線分離した本線とランプ橋の3橋分の荷重が1つの橋脚に載荷されるため、鋼製ラーメン橋脚の隅角部に応力が集中する。通常部材であるSM490材を適用した場合、隅角部の板厚は80mmとなる。板厚が大きいほど溶着断面が増加し、溶接による部材の収縮や溶接欠陥のリスクが生じやすくなる。本橋において、現場溶接期間が長く車線規制や周辺環境に与える影響が大きいことから、現場溶接の品質向上を行う必要があった。そのため解決策として、高降伏点鋼

材（SBHS500）を採用し、隅角部の板厚を60mmまで低減させ、車線規制期間の抑制（25%程度短縮）、品質確保を図った。高降伏点鋼材（SBHS500）は、従来鋼材に比べ余熱が省略できるため、溶接性が優れる。

また基礎工を縮小化させるため、応答値を低減させる解決策として、高性能型高減衰の免震支承（HDRcX）を採用することで、鋼製橋脚や基礎への負担荷重を減少させた。HDRcXは新技術の製品であり、従来から使用されている高減衰ゴムの免震支承（HDR-S）と比較すると免震効果は約1.2～1.3倍であることが明らかとなっている。²⁾減衰効果のほかに温度依存性も向上しているため、支承としての環境変化や耐久性にも優れている。

それに加えて維持管理を低減する解決策として、鋼製橋脚の柱基部や隅角部は塑性化した場合に、損傷した部材の修繕が容易ではない条件であることや、基礎形状は可能な限りコンパクトにするため塑性化させない方針としている。さらに、鋼製橋脚を有する橋では、一般的に固有周期が長くなり、免震構造の採用が合理的ではない場合がある。本橋では柱にコンクリートを充填し、コンクリートが充填された鋼製橋脚となるため、橋脚の変形が制限され、免震支承に変位が集中しやすい設計状況となり、免震効果が有効に作用できるような工夫を行った。

以下の図-7に鋼製橋脚の断面図を示す。図-8に高性能型高減衰ゴム支承の効果を示す。

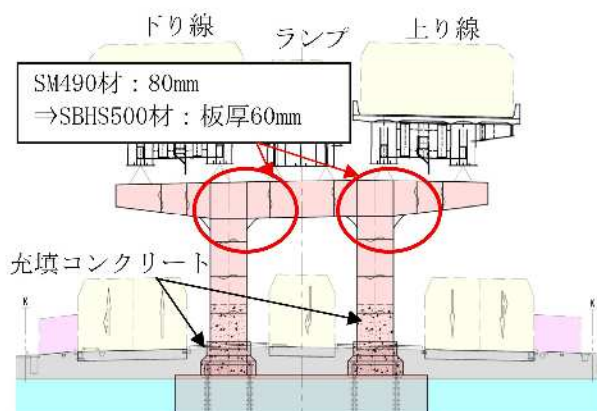


図-7 検討後の鋼製橋脚断面図

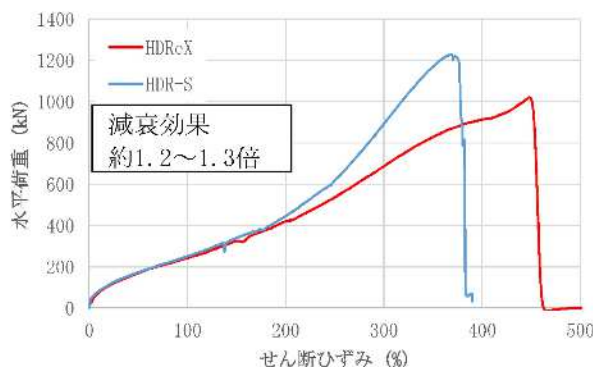


図-8 高性能型高減衰ゴム支承の効果²⁾

(2) 上部工架設の課題に対する解決策

a) 車線規制の影響を最小とした架設計画

当該路線でも採用されている一般的な架設工法である横取り架設工法を採用した場合、本橋はランプの拡幅桁の範囲が広く、用地幅が狭いため、横取り架設が不適である。また、桁下が中線となるためベントの設置はできない。さらに、桁を支承の据え付けできていない架設状態で桁下交通解放ができない安全上の制約条件も必要である。

そのため架設工法は、本橋は車線規制の時間を低減させるため、一括架設工法で主桁を支承上に直接架設する方法とし、狭い施工ヤードで施工可能かつ、安全な架設工法として大型クレーンによる相吊り一括架設工法（夜間架設）とした。本業務は供用させながらの施工であるため、過去に国道で発生した桁架設の事故を踏まえ、ベント架設や横取り架設等における桁の仮固定について十分に配慮した施工方法が求められていた。そこで、大型クレーンによる一括架設工法を採用することにより、架設桁は支承に固定されることから、安全に通行規制を解除することができる。

以下の図-9に大型クレーンによる相吊り一括架設工法を示す。

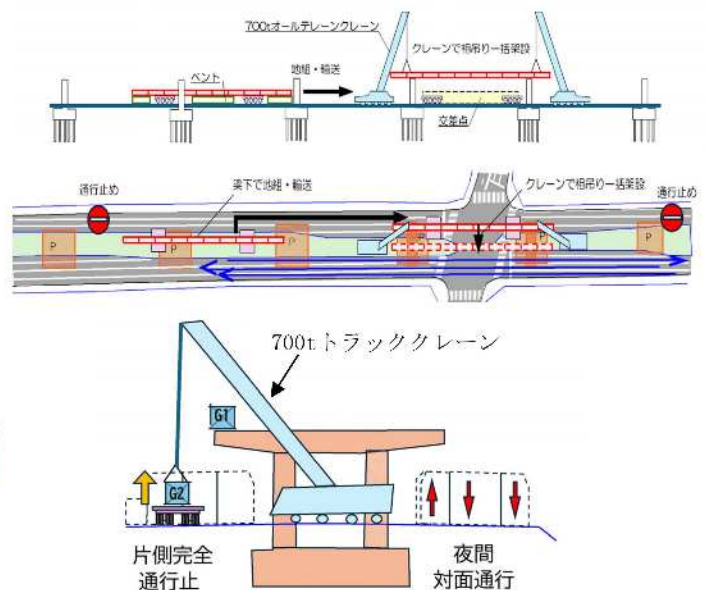
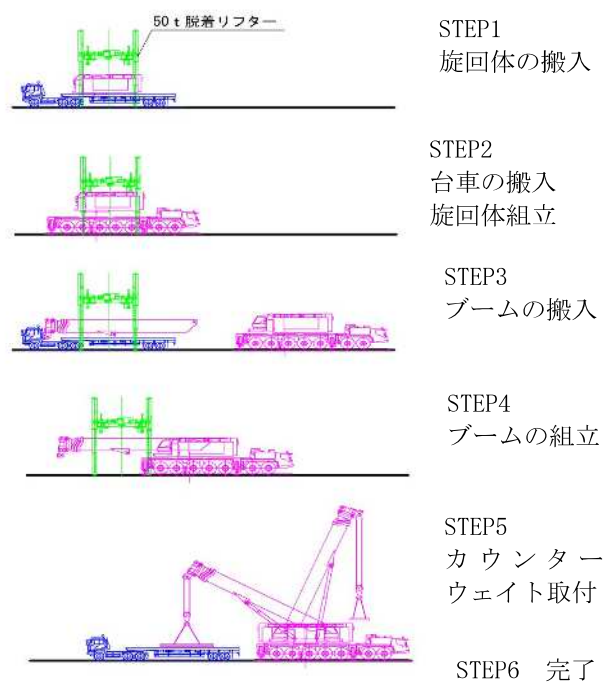


図-9 大型クレーンによる相吊り一括架設工法

大型クレーンは、国内最大級であり近年需要が増加している700tトラッククレーンを採用した。トラッククレーンの組立は通常トラッククレーンで行うが、中央部施工ヤード幅が狭いため組立不可能であった（必要ヤードは15m×40m程度）。そこで門型リフターを採用したことにより、狭いヤードでも組立可能（必要ヤードは6m×40m）、中央部施工ヤードで可能なため規制期間も最小とできることから現地条件に最も適合している。また、大型クレーンの配

置を検討する際に、交差物件や地下埋設物へのクレーン荷重载荷を避けること、地耐力が不足する箇所は敷鉄板等にて補強することで対応を図った。

門型クレーンを用いた桁の地組とすることで狭隘な施工ヤードにおいても桁の地組・運搬が可能となった。図—10に門型リフターによるクレーン組立図を示す。



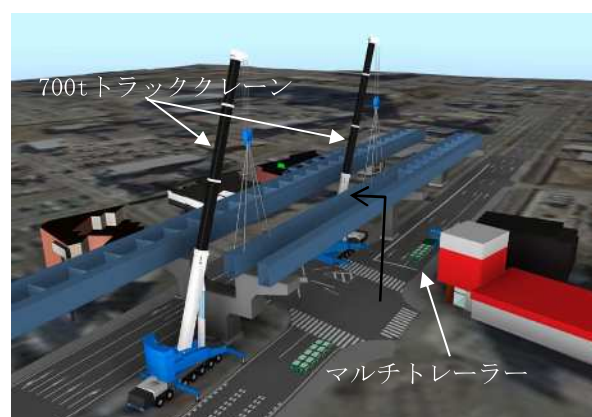
図—10 門型リフターによるクレーン組立図

b) 施工計画の実現性の確認

橋梁施工に必要な施工順序は、すべて施工順序図を作成し、橋脚施工順序、上部工架設順序、規制日数を算定し、規制期間が最小とできる施工計画を立案した。

上部工架設はクレーンのブーム旋回が架設済みの桁に干渉しそうになるなど、2次元図面では照査が難しい点が多くあった。そのため、上部工架設時の重機や主桁をCIMモデル化し、架設の様子を4Dシミュレーションにし、架設時の安全性に問題ないか確認を行った。その結果、主桁と重機が干渉している箇所を複数発見し、重機の配置を再度見直して施工計画に反映した。

図—11に架設のシミュレーションを示す。



図—11 架設のシミュレーションによる検証

5. 取り組みによる成果

高い減衰性能を持つ免震支承や高降伏点鋼材（SBHS500）を採用することで、狭隘なヤードでの施工における現場溶接の施工負担や品質リスク低減を図った。また、車線規制期間を短縮した橋梁構造を採用したことで高い施工性向上が図れた。

700t大型クレーン、門型リフターなど新しい重機を採用したことで厳しい現地条件を満足した施工計画が立案できた。

BIMCIMモデルの4Dシミュレーションによりクレーンブームと架設桁が干渉することが把握でき、クレーン配置の計画に反映することで、施工時の手戻りを防止することができた。

6. おわりに

本稿は、一般国道の立体化事業に伴う連続高架橋詳細設計における技術的工夫をまとめた。

今後も橋梁の耐震性能を十分に確保しつつ、品質確保や施工性の向上を図るための施策は求められているため、本稿で実施した取り組みが同様な業務において参考になれば幸いである。

謝辞：

本業務の検討および、本論文の作成にあたりご指導、ご協力いただいた関係者の皆様方に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説（平成29年11月）日本道路協会
- 2) 高性能型高減衰ゴム支承（HDRex）の耐荷性能に関する実験的研究、土木学会第77回年次学術講演会、中村保之ほか

特別史跡熊本城跡石垣の復旧整備について

や はた よ し き お お つ か け い い ち む ら た ひ ろ ゆ き す ぎ や ま か な こ ば や し ゆ う と
○八幡吉樹¹・大塚啓一¹・村田弘之²・杉山佳奈³・小林優斗¹

¹ (株) フジヤマ福岡支店事業部 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-5-28-810)

² (株) フジヤマ文化財研究室 (〒437-0027 静岡県袋井市高尾町6-19)

³ (株) フジヤマ第二事業本部 (〒430-0946 静岡県浜松市中央区元城町216-18)

平成28年熊本地震により、国指定特別史跡である熊本城の石垣は全体の約3割で崩落や変状が確認された。本業務では、伝統技法を基本とした石垣の復旧設計を実施した。復旧における主要課題として、安定性評価、復旧勾配の設定、石材照合が挙げられる。安定性評価では、累積示力線法による解析に必要な築石背面形状を、崩落石材約10,600石の調査データから近似式を設定し推定。復旧勾配については、正対写真からフォトグラメトリを活用し3Dデータを作成。石材照合では、写真資料が不足する石垣に対し、築石の直交距離・水平距離の整理により地震前の位置を再現した。これらの手法により文化財石垣の適切な復旧設計が可能となった。

Key Words : 石垣, 文化財, 熊本城復旧基本計画, 耐震診断, 石材照合, 復旧勾配

1. はじめに

(1) 背景・目的

平成28年に発生した熊本地震はM6.5の前震、M7.3の本震によって、熊本県を中心に多数の家屋倒壊や土砂災害等の被害をもたらした。国指定特別史跡である熊本城においても建造物や石垣が被害を受け、このうち石垣は全体の約3割で崩落や膨らみ・緩み等の変状が確認されている。

本業務は被災状況及び現況石垣等の測量成果を基に、熊本城復旧基本計画¹⁾に則った石垣解体及び石垣修理に係る設計を行うことを目的とした。

(2) 業務フロー

本業務は、図-1に示した業務フローに基づいて業務を行った。既往の測量成果や地質調査成果の他、崩落した石材の寸法や加工跡を取りまとめた石材調査成果を基礎資料とし業務を進めた。

復旧設計業務では、大きく分けて「石垣解体修理方針検討」、「石材照合」、「石垣解体・修理に係る実施設計」の3つに分けられる。石垣解体修理方針検討は、1) 石垣の膨らみ・緩み等の変状を整理した「石垣現状図作成」。2) 地震後の石垣の耐震性能を評価する「耐震診断(修理)」。3) 地震前の石垣の形状を再現し解体範囲を決める「石垣解体修理図作成」。4) 修復後の石垣の耐震性能を評価する「耐震診断(修理)」の流れで検討を進める。耐震診断(修理)の結果により、安全対策や石垣補強工法の検討を実施する。石材照合は石材調査成果及び地震前の写真等の資料を基に、石垣を構成する築石(築石)を元の位置に戻す作業を行う。石垣解

体・修理に係る実施設計は、前述した検討結果に基づき設計図面・数量計算書を作成する。

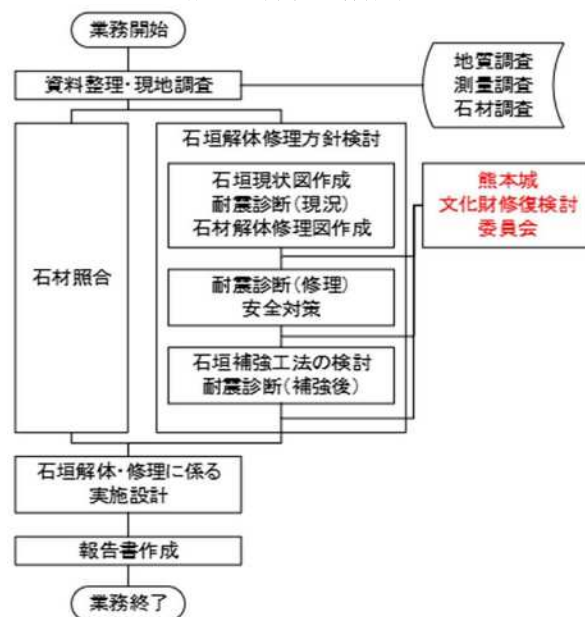


図-1 業務フロー

2. 課題

本業務は震災復興を目的としており、石垣を地震前の形状に戻す必要があるが、単純に積み直すのではなく、熊本城の歴史を考慮しつつ地震前に限りなく近づける必要がある。地震前の形状に戻すにあたって、次の3つの課題が挙げられる。(1) 耐震診断におけるモデル設定 (2) 地震前の石垣勾配の

設定 (3) 石材照合である。各課題の詳細は次のとおりである。

(1) 耐震診断におけるモデル設定

耐震診断では、熊本城石垣基礎診断実施要領¹⁾に基づき累積示力線法を用いて転倒、活動に対して安定しているか検討を行う。累積示力線法は、石積擁壁やブロック積擁壁の安定性照査に適用されている検討方法である。図-2に計算モデルを示す。

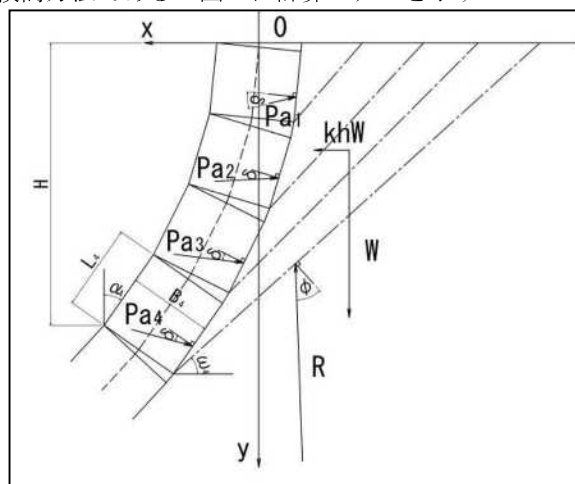


図-2 累積示力線法の計算モデル

累積示力線法の検討では、築石の断面積を設定する必要がある。しかし、一般的なブロック積擁壁と異なり、築石の形状は一つとして同じ形状の石は無い。背面の形状を把握する手法として、レーダー探査が挙げられるが、コストが膨大となるため、別案による築石背面の形状設定手法の立案が課題となった。

(2) 地震前の石垣勾配の設定

熊本城の石垣は箇所数973箇所、延長約8.7km、面積約79,000m²に及ぶ²⁾。図-3に示すように、熊本城の石垣は、下は緩勾配で上部に向かうにつれ急勾配となる反りがある形状が特徴である。この反りは通称武者返しと呼ばれ、石垣を復旧する際には、反りを再現した石垣の勾配を設定する必要がある。



図-3 石垣の反り

過去に熊本城では、昭和、平成期などに保存修理工事を実施している。その場合、当時の工事図面が存在しているため、工事図面が存在する石垣面につ

いては、地震前の勾配再現は容易となる。

その他代表的な資料として、地震前に単点測量が実施されており、天端位置などの重要な情報となる(図-4参照)。ただし、石垣の勾配まで確認出来ないため、単点情報のみでは地震前の勾配が再現困難であった。

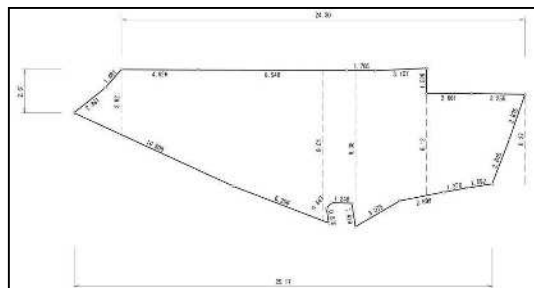


図-4 単点測量成果

以上より、既往資料の有無により地震前の石垣勾配の設定難易度が変わってくる。そのため不足している石垣面について、地震前の石垣勾配の設定手段や手法の確立が課題となった。

(3) 石材照合

地震により崩落した石垣の修理にあたっては、可能な限り崩落前と同じ位置に戻すことを基本としている。元位置を特定する石材照合作業では、崩落前の石垣画像が重要な資料になるが、石垣によっては崩落前の画像が不足しており、石材照合に限界がある箇所も存在する。そのため、写真が不足している箇所の石材照合手法が課題となった。

3. 対応策

(1) 耐震診断におけるモデル設定

築石背面の形状を設定するために、石材調査票を活用した。石材調査票は崩落した石材1石毎に石質、形状、加工跡、破損状況などを取りまとめた帳票である。今回は図-2に示す石材の面縦長、面横長、控え長を用いて検討を行った。収集した石材数は約10,600石である。



図-5 石材寸法

約10,600石の面縦長・面横長・控え長の傾向を分析すると、熊本城内は主に面縦長100cm以下、面横長150cm以下の石材が使用されている傾向が確認できた。そのため図-6の赤枠で囲んだ以外の石材を除外した他、控え長の傾向も整理した上で、面縦長と断面積の相関式を作成した。(式(1)、図-7参照)

$$y = 54.186x^{1.3757} \quad (1)$$

y : 断面積 (mm²)

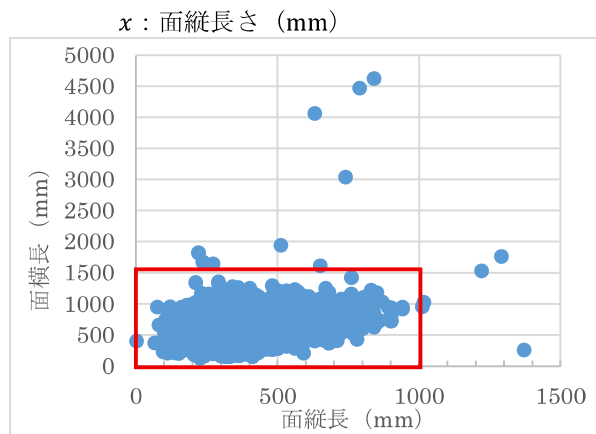


図- 6 面横長さ-面縦長さ散布図

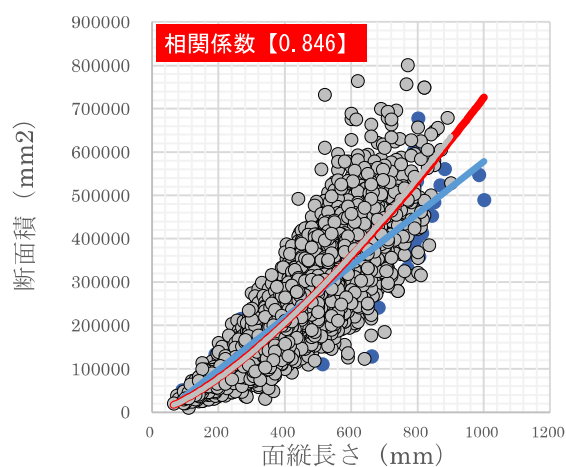


図- 7 面縦長さ-断面積散布図

図-7の相関係数は0.846で、高い相関が確認された。また、相関式で算出された断面積の妥当性については、レーダー探査で取得した石垣14面で石垣耐震診断を実施し比較検証を行った。検証内容は、「相関式による耐震診断結果/レーダー探査による耐震診断結果」を算出して、乖離を検証した。1.00になるほど乖離が小さいと判断できる。検証の結果、検証した石垣の約80%が0.95～1.10内に収まっていたため、相関式による断面積を使用しても問題ないと判断し、相関式を採用し石垣耐震診断を実施した。

(2) 地震前の石垣勾配の設定

地震前の復旧勾配は、現況の石垣の変状状況と既往資料の有無に応じて大きく分けて3パターンに分類して設定した。

a) 工事図面の勾配を再現

保存修理工事が存在する石垣面に関しては、既往図面をトレースし石垣勾配を再現し復旧勾配とした。

b) 残存する石垣の勾配を採用

地震後に現地調査を実施し、変状状況および修理履歴を石垣の立面図に明示した石垣履歴・被害状況把握図を作成し、地震による変状が少ない断面を抽出し、それを石垣の復旧勾配として設定した。なお石垣によっては、立面図の左から右にかけて石垣の

勾配が変化しているため、必要に応じて複数の復旧勾配を設定した。

c) 写真解析による勾配の再現

地震前の写真が複数枚ある石垣面に関しては、写真解析による勾配の再現を実施した。本業務では地震前の正対写真があったためフォトグラメトリを実施し、3Dデータを作成した(図-8, 図-9参照)。使用したソフトはAgisoftMetashape(AgisoftLLC製)である。

3Dデータ作成後、任意断面を取得し復旧勾配とした。

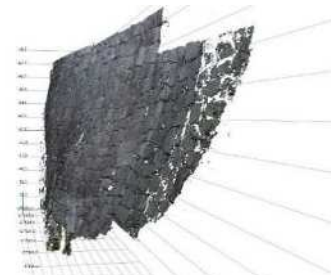


図- 8 フォトグラメトリ斜め図

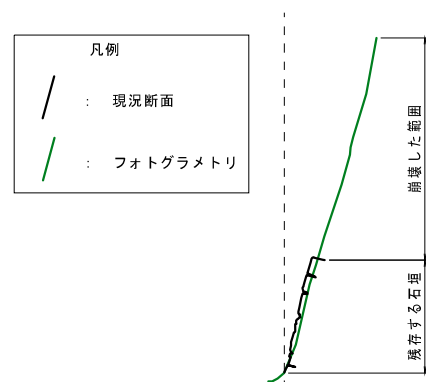


図- 9 断面図

(3) 石材照合

石材照合は、図-10に示すフローに基づいて実施した。

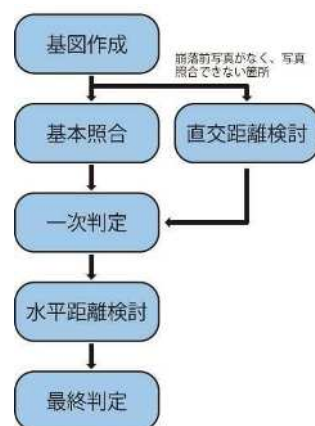


図- 10 石材照合フロー

a) 基図作成

崩落した石材の崩落前位置を復元・推定するにあ

たり，比較検討する基図を作成した．崩落前写真の歪みを画像処理ソフト（Adobe Photoshop）で補正し，可能な限り正射投影された状態に近づけた画像と，崩落石材回収後のオルソ画像を合成し，照合する際の基図とした（図-11参照）．



図- 11 補正後基図

b) 基本照合

基図にある崩落石材について，石材調査票及び回収石材個別写真を用いて，「形状」，「表面の特徴」，「寸法」を根拠に一致する石材を照合する作業を実施した．

c) 直交距離検討

崩落前写真が無く，写真により石材照合が出来ない箇所については，直交距離による検討を実施した．直交距離とは，石垣面に対して崩落後の石材位置の垂直距離のことである．

これまでの崩落石材回収時の状況をみると，崩落箇所最下部の石材については石垣面の直下に倒れるように崩れている事例が見受けられたことから，崩落位置に関する情報の中でも，直交距離は推定の精度を高める重要な根拠になると考えた．

d) 一次判定

基本照合および直交距離検討の結果から，照合結果の精度に関する一次判定を行った．判定基準は基本照合で検討した「形状」，「表面の特徴」，「寸法」及び垂直距離の中で一致した特徴の数をい、A～Gの7段階にランク分けを行った．

e) 水平距離検討

照合の精度をさらに高めるため，崩落位置（回収時測量点）と復元位置（石材の中央）の，石垣法尻両端を結んだ線と平行する方向の距離（以下，水平距離という）の検討を行った．照合精度が比較的高いと考えられるA判定もしくはB判定とした各石材の崩落位置と復元位置の差の平均値を水平距離検討の基準値とし，基準値との差を判定根拠とした．判定基準は，水平距離が基準値からの最大距離以内に収まっているものを○，基準値からの最大距離の2倍以内に収まるものを△，水平距離が基準値からの最大距離の2倍よりおおきいものを×とした．水平距離判定基準例を図-12に示す．

f) 最終判定

一次判定の結果に水平距離検討の結果を加味し最終判定した．最終的に照合精度は12段階で評価し図面に取りまとめた．

一次判定でAもしくはB判定だった石材の水平距離

平均値：0.03m

最大値：0.8m

最小値：-1.36m

基準値からの最大距離：1.39m

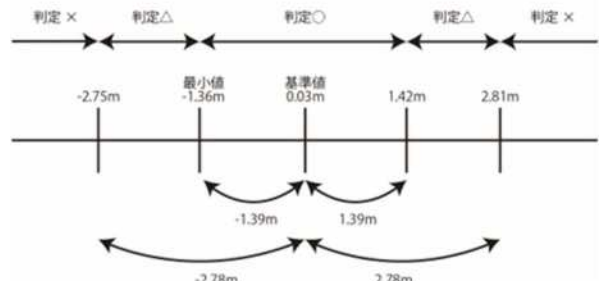


図- 12 水平距離判定基準例

4. まとめ

本業務では，3つの課題に対して既往資料を基に可能な限り地震前の状態に復元する方策を紹介した．本事例からの知見を以下にまとめる．

- 1) 耐震診断においては，今回提案した近似式モデルを用いることにより，レーダー探査よりも安価かつ効率的に断面積を把握しつつ，実現象に近い耐震診断の評価を行うことが出来たと考える．
- 2) 地震前の石垣の勾配については，フォトグラメトリを活用することにより，単点測量成果では再現困難であった地震前の勾配を，高い再現性で設定することが出来た．またフォトグラメトリを活用することにより，無い箇所と比較しておよそ半分の工程で地震前の勾配を作成することが出来た．
- 3) 石材照合では，写真からの照合を基本としていたが，崩落位置という情報を活用し，直交距離および水平距離を整理することで，より精度の高い石材照合が可能となった．ただし写真による照合は限界があるため，工事の際には，実際に施工する石工との事前協議を行うことが望ましい．
- 4) 復旧するにあたり，重要なのはこれまでの資料であると考え．そのため，災害後の状況調査の他，定期点検を行い，情報を蓄積することが重要であると考え．

謝辞

本業務を無事に遂行するに辺り，熊本市 熊本城総合事務所 土木整備班ならびに熊本城調査研究センターの担当者にはご指導・ご協力頂いた．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 熊本城文化財修復検討委員会：熊本城石垣基礎診断実施要領の運用（案）について
- 2) 熊本市：熊本城復旧基本計画

高速自動車道における制震ダンパーを用いた全体系動的解析による耐震設計

あおきひでと むらたゆうじ くりかず や かとうはじめ かとうひろたか
○青木秀斗¹・村田佑史¹・九里和哉¹・加藤 肇¹・加藤裕孝¹

¹中央コンサルタンツ(株)本店 (〒460-0002 名古屋市中区丸の内三丁目22番1号)

対象橋梁は、平成2年及び平成8年道路橋示方書で設計された橋長183mの3径間連続RC中空床版橋（高架部）＋4径間連結PC合成桁橋（渡河部）である。本業務は、大規模地震に対して橋梁全体系モデルを用いた動的解析により、耐震性能照査および耐震補強詳細設計を行ったものである。照査の結果、地震時において桁端が橋台及び掛け違い橋脚の段差部に衝突し、上部工や橋脚の破損、路面段差が発生する懸念があった。また、橋脚が堤体内に設置されており、柱補強にともなう堤防開削による施工時の堤防機能低下が懸念された。これらの懸念に対応するため、掛け違い部に制震ダンパーを設置することで、桁の衝突を回避し、さらに堤体に設置された橋脚の支承条件を固定から可動にすることで、橋脚の補強回避を実現した。

Key Words : RC中空床版橋, PC連結合成桁橋, 制震ダンパー, 支承の可動化, 水平力分担構造, 全体解析

1. はじめに

対象橋梁は、橋長183.000mの道路橋であり、3径間連続RC中空床版橋（橋長46.950m）と、4径間連続PC連結合成桁橋（橋長135.880m）の異なる形式の上部工から構成されている。当初設計は平成2年および平成8年の道路橋示方書に基づいているが、将来の大規模地震に対する安全性を担保するため、耐震補強が求められた。本設計では、既設橋の耐震性能を最大限に活用し、厳しい制約条件（河川・既設配筋が密なRC橋）を技術的な工夫で克服する補強計画の策定を目指した。

【橋梁諸元】

橋長 : L=183.0m (15.3m+15.5m+15.3m+31.3m+2@36.2m+31.3m)
有効幅員 : 9.0m
上部工形式 : 3径間連続RC中空床版橋
4径間連続PC連結合成桁橋
下部工形式 : 逆T式橋台 2基(A1, A2)
張出式橋脚 6基(P1～P6)
基礎工形式 : 深礎杭φ2500, 場所打ち杭φ1500
架設年度 : 平成9年
適用示方書 : 平成2年道路橋示方書(PC桁部の上部工詳細は平成8年道示に基づく)
設計活荷重 : B活荷重, 橋の重要度 : B種の橋
地盤種別 : I・II種地盤

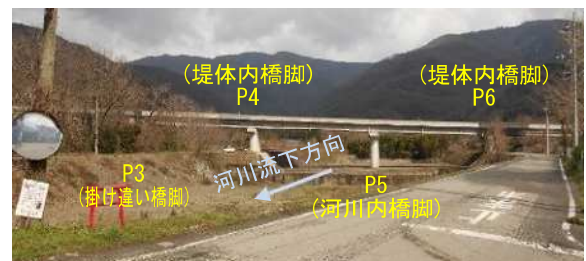


写真-1 橋梁の全景（下流側より撮影）



写真-2 橋梁の全景（上流側より撮影）

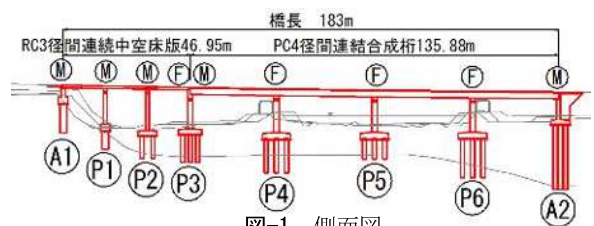




図-2 航空写真

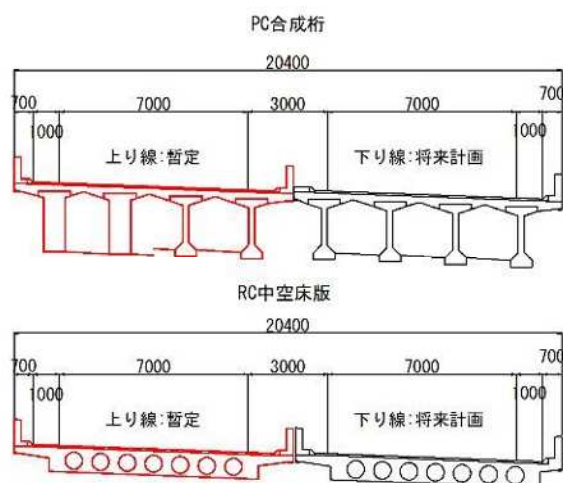


図-3 断面図

2. 検討フロー

以下の検討フローで耐震性能照査及び耐震詳細設計実施した。①現地踏査を実施して橋梁諸元や支障物件、施工上のネックとなる現地状況を確認。②踏査結果に基づき、設計上の課題を抽出。③既存資料から整理した設計条件（B活荷重，B種の橋等）を基に既設照査を実施し，耐震性能の不足を評価。④照査結果を受け，課題を踏まえた合理的かつ構造的な安全性と施工性が高い補強案の比較検討を実施。

3. 計画上の要求事項・課題

現地踏査により抽出された課題に基づき，以下の主要な計画上の要求事項・課題を整理した。

- ①河川内及び堤体内橋脚施工：河川管理者との協議を前提とし，河道内での補強形式および施工方法の最適化が要求される。また，市道が交差し，河川管理用通路としても利用されているため，建築限界の遵守と交通規制の最小化が要求される。
- ②上部工形式：RC中空床版およびPCT桁であり，補強に伴う上部工削孔がPC鋼材の損傷につながる懸念される。
- ③既設支承高：既設支承の高さが極めて低く，従来の手法では支承取替のためのジャッキアップスペースの確保が物理的に困難である。

④掛違い橋脚：掛違い段差構造部位において，地震時の衝突による段差部の損傷回避または影響軽減策の立案が課題である。



写真-3 河川内橋脚



写真-4 堤体内橋脚



写真-5 上部工形式(RC中空床版部)



写真-6 掛違い橋脚 (P3)

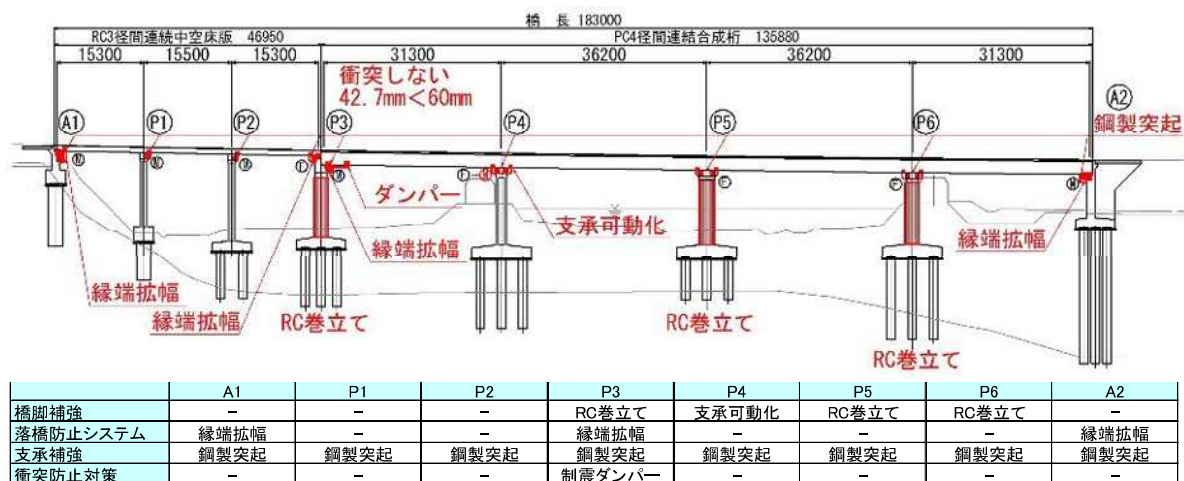


図-5 補強対策一般図

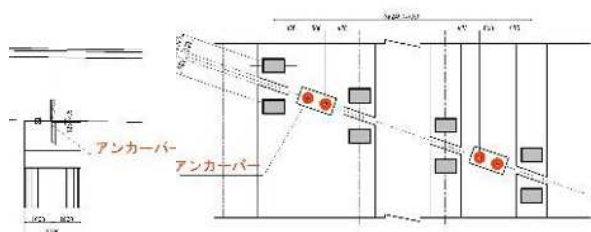


図-6 アンカーバー切断箇所

(3) 下部工の断面補強 (RC巻立て)

耐震性能が不足する橋脚に対しては、靱性向上とせん断耐力の確保を目的として経済性に優れたRC巻立て補強を実施した。

(4) 水平力分担構造と落橋防止システム

耐震性能が不足する支承に対しては、鋼製突起による水平力分担構造を新たに追加した。既設支承高が低く、支承取替時に既設沓座前面の大規模はつりが必要となる。鋼製ブラケットと上部工本体を直接接触させる構造であることから、上部工へのアンカー削孔や支承取替は不要となる。

また、落橋防止システムについては、上部工へのアンカー削孔が不要となる1.5SEを確保した緑端拡幅工を採用した。

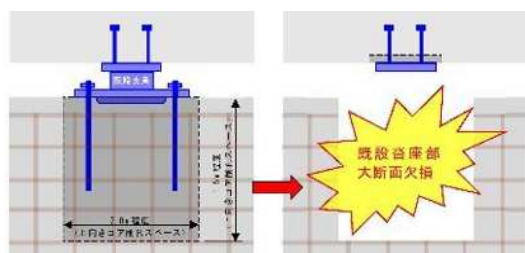


図-7 支承取替時の課題

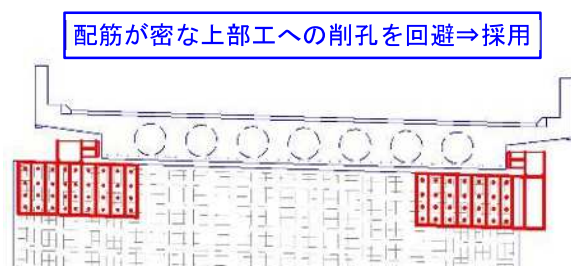


図-8 支承補強 (採用案)



図-9 支承補強 (不採用案)

6. おわりに

本設計では、河川、既設配筋が密なRC上部工という厳しい現場・構造制約に対し、制震ダンパーによる全体系での応答制御と、アンカーバー切断による支承の可動化という技術的工夫により、耐震性能を確保した。特に、施工困難な支承取替を機能変換によって回避した判断は、既設橋補強における合理的な工法となった。本橋における検討結果は、複雑な制約条件を抱える多径間連続橋の耐震補強における実務的なモデルケースとなる。

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。

再開発ダムにおける自動設計ツールを用いた 貯水池地すべり対策工予備設計事例

ひぐちたいき ばんけいい
○樋口大紀¹・坂啓惟¹

¹日本工営株式会社 名古屋支店 国土保全部（愛知県名古屋市中区葵一丁目20-22）

建設業界では、災害の激甚化や急激に進行するインフラの老朽化などの問題が深刻化する中で、技術者不足や働き方改革への対応も求められている。その中で、BIM/CIMの活用は標準化が進み、国土交通省の詳細設計業務においてはBIM/CIMモデル作成が原則求められている。また、設計の効率化・高度化を図る取り組みの一環として自動設計も推奨されており、設計時間の短縮や数量計算ミスの削減などによる作業効率と精度向上の効果が期待される。

しかし、地すべり対策工設計における自動設計は、定性的な製品やプログラムが存在するわけではなく、発展途上である。

本稿では、天竜川水系の既設ダムを対象としたダム再生事業における貯水池地すべり対策工の予備設計において、自動設計ツールを活用し3次元モデル作成、数量算出及び図面作成まで行った事例について紹介する。

Key Words : BIM/CIM自動設計, 貯水池地すべり, 地すべり対策工, 3次元モデル

1. はじめに

地すべり対策工の予備設計は、詳細な構造や施工数量の確定を目的とするものではなく、施工性、経済性、維持管理性、環境や景観への影響等について複数の対策工案を比較し、最適な対策工の方向性を選定することを目的とする。したがって、詳細設計で扱うような部材寸法、配筋、細部構造、施工手順等を必ずしも考慮する必要はない。

しかし、複数の対策工の構造計算、数量計算、図面作成、比較表作成が必要であり、これらの作業に多大な時間と労力が必要となる。

本稿では、ダム再生事業における貯水池地すべり対策工の予備設計において、自動設計ツールを活用し3次元モデル作成、数量算出及び図面作成まで行い業務効率化を図った事例について紹介する。

2. 事業概要

(1) 事業概要

天竜川水系中流部では、新たな洪水調節機能の確保し、土砂移動の連続性を確保して貯水池の保全を図るとともに、海岸侵食の抑制等への寄与を目指す「既設ダムを有効活用したダム再生事業」が進行中である。また、同事業の中で、貯水池周辺斜面の安定性を評価するための「貯水池地すべり検討」が実施

されている。

ダム再生事業における貯水池地すべり検討は、再開発後の貯水位運用に対する斜面の安全性を事前に評価し、必要な対策を合理的に検討・施工することを目的としている。貯水池に面した斜面で大規模な地すべりが発生すると、「貯水池への土砂流入による有効貯水容量の低下」「弾波の越波リスク」「取水・放流等ダム施設の破損」等あらゆる影響が懸念されることから、ダム再生事業においては、貯水池地すべり検討は非常に重要である。

(2) 地形地質概要

天竜川は、伊那谷で赤石山地・木曾山脈からの水と諏訪湖の水を合わせ、中部山岳地域から遠州灘に向かって、ほぼ直線的に流下するわが国でも有数の急流河川である。

天竜川水系の中流域においては、天竜川の東側10～15km程度の位置に中央構造線が南北に併走している。中央構造線は、西南日本を東西方向に長く延びる日本最大級の断層帯であり、周辺地域の基盤地質や地質構造を規定する重要な境界である。

地質構造は、中央構造線を境として西側の内帯と東側の外帯に区分される。天竜川は中央構造線より西側の内帯に位置しており、周辺の基盤地質は花崗岩や片麻岩よりなる領家変成帯である。

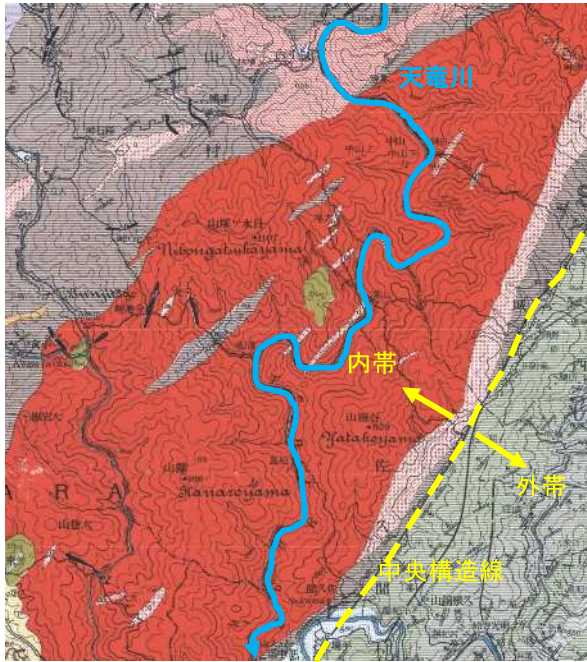


図-1 天竜川水系中流域地質図

(3) 設計対象ブロック概要

設計対象の地すべりは、天竜川水系の中流域に位置している。ブロックの頭部に既往の建設発生土による盛土が分布しており、人工改変を受けているのが特徴である。

ブロックの中腹～末端部にかけては既設ダムの湛水の影響を受けており、これまでの貯水位運用に伴う変動は確認されていない。本事業で改めて実施した現地踏査でも新しい変状が確認されず、孔内傾斜計による計器観測でも明瞭な変動は認められていないことから、現在不安定化している地すべりではない。

しかし、ダム再生事業において検討されている貯水位運用計画を元に安定解析を実施したところ、地すべりの不安定化が懸念されることから「対策工が必要」と評価された。

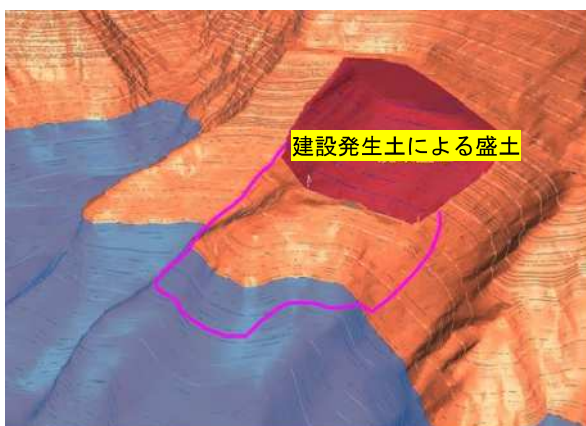


図-2 対象地すべりブロック3次元モデル

3. 地すべり対策工予備設計

当現場では、対策工法として「頭部排土工」「頭部排土+鋼管杭工」「鋼管杭工（千鳥配置）」の3案が選定され、これらの予備設計を実施した。自動設計ツールを活用し3案の比較検討のためのモデルや図面を作成した。

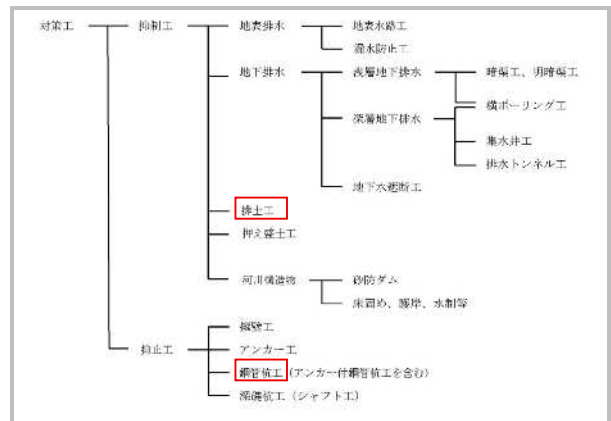


図-3 地すべり対策工の分類

(1) 予備設計の流れ

各地すべり対策工の構造計算は、一般的な手法と同様に2次元断面上で行った。

その後、構造計算結果と現場制約条件を満足する3次元モデルを自動設計ツールを用いて作成し、作成したモデルから平面図、断面図を作成した。各対策工の数量は、モデル作成と同時に自動的に算出した。

なお、自動設計ツールを使う場合、設計の前段階で地すべりのすべり面モデルや周辺の地形モデルを作成しておく必要がある。特に、すべり面モデルは杭長等に影響を与える重要な要素であることから、手戻りが無いよう機構解析結果も踏まえながら精度よく作成する必要がある。

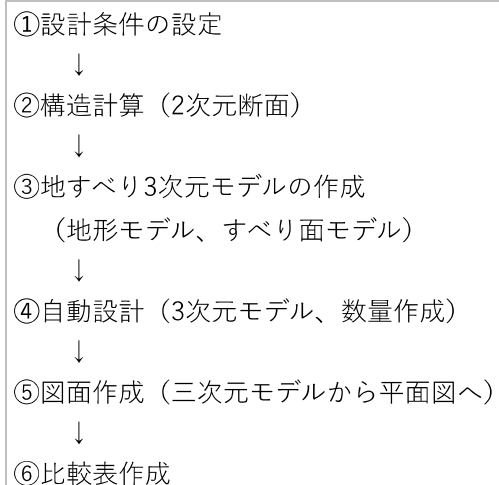


図-4 設計の流れ

(2) 使用ソフト

AutoDesk社の3次元CADソフト「Civil3D」およびそれに付属するビジュアルプログラミングツール「Dynamo」を設計ツールとして採用した。Civil3Dは、土木設計向けのBIM/CIM対応CADソフトで、道路、造成、河川、砂防、上下水道、測量成果などの設計・図面作成に適している。Dynamoは、Autodesk製品と連携して使うビジュアルプログラミングツールであり、ノードと呼ばれる処理の命令ブロックをつなぐことで、プログラムコードを書かずにモデル作成を行うことや、反復作業を自動化することが可能である。

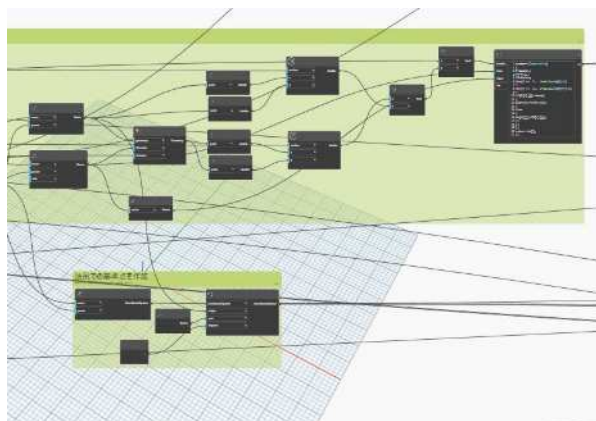


図-5 Dynamoにおけるノードの例

(3) 自動設計概要

(a) 頭部排土工

頭部排土工は、CAD図面上でのり尻の形状・配置を指定し、エクセルに事前入力したのり面勾配や小段幅に基づき切土形状を描画させた。排土の終了条件は表-1に示す3通り設定しており、現場制約条件等を考慮して選択することができる。本現場においては、ブロック頭部に県道が位置しており、県道の谷側に排土範囲を留める必要があったことから、標高を終了条件とした。

切土形状は、法尻の位置を微調整しながらトライ＆エラーを繰り返し、地すべり対策工として効果的な切土形状と現場制約条件内に収まる切土形状を追求した（図-7）。

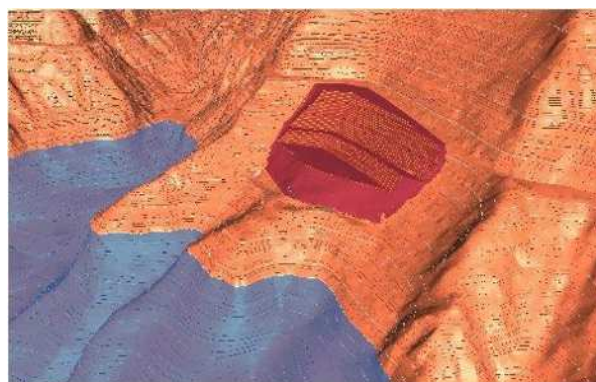


図-6 頭部排土工3次元モデル

表-1 排土の条件

条件入力						
法尻条件	法高	法面勾配	小段幅	小段勾配	終了条件の選択	終了条件
	m	1:n	m	%	右表参照(1~3)	m or 段 or -
1	7	1.5	1.5	0		1 301
2	7	1.5	1.5	0		1 325

1:標高を終了条件とする(EL)

2:段数を終了条件とする(段)

3:地山に擦りつくまで

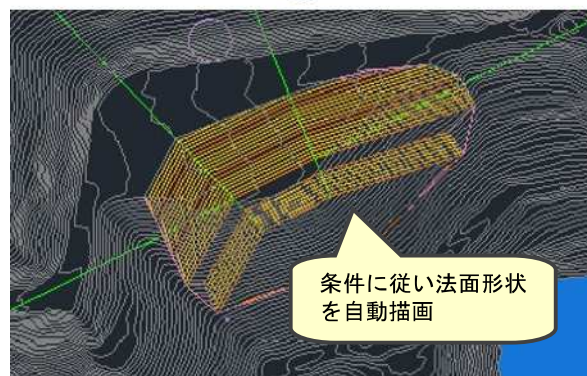
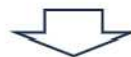
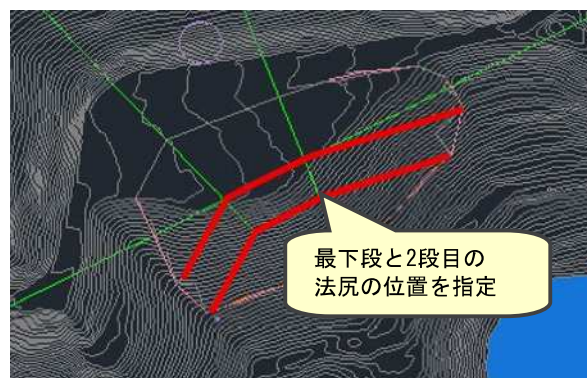


図-7 頭部排土工の自動設計例

(b) 鋼管杭工（千鳥配置）

鋼管杭工は、CAD図面上で杭配置の線形を指定し、エクセルに事前入力した杭構造や配置計画に基づき配置した（図-9）。

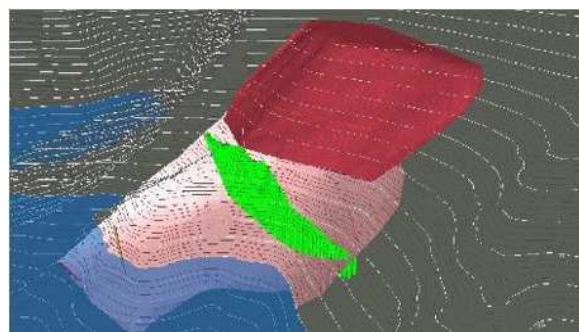


図-8 鋼管杭工3次元モデル

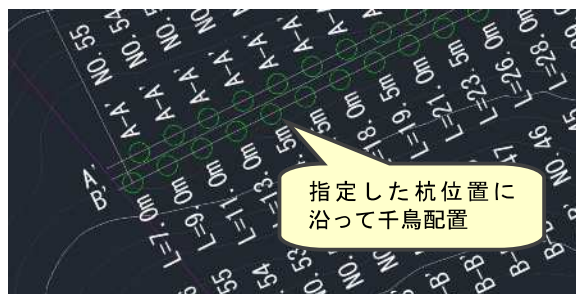


図-9 鋼管杭工の自動設計例

杭長や杭頭標高は、事前に作成した地表モデルとすべり面モデルを基準に、一本一本長さが異なるモデルを作成した（図-10）。

また、杭長や本数等の数量表は自動作成させ、数量算出にかかる手間を大幅に短縮した（表-2）。また、地形やすべり面深度を考慮したモデルが作成されることから、実際に施工する場合に近い数量算出を実現した。

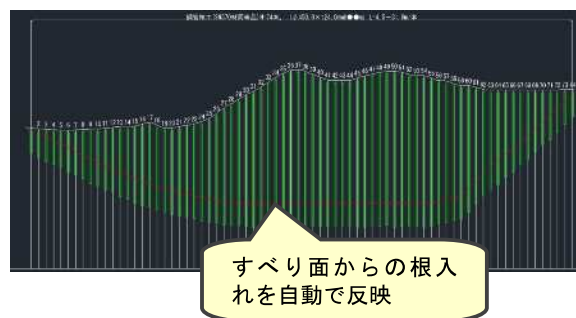


図-10 鋼管杭工横断図

表-2 鋼管杭（千鳥配置）の条件

杭長別集計表		
杭長 (m)	本数	長さ (m)
8.0	114	912.0
7.5	10	75.0
7.0	11	77.0
6.5	6	39.0
6.0	4	24.0
5.5	2	11.0
5.0	1	5.0
4.5	4	18.0
4.0	2	8.0
3.5	2	7.0
3.0	3	9.0
2.5	1	2.5
2.0	14	28.0
合計	174	1215.5

(c) 頭部排土工+鋼管杭工

頭部排土工+鋼管杭工は、前述したプログラムをそれぞれ実行し、その結果を結合することでモデルを作成した。

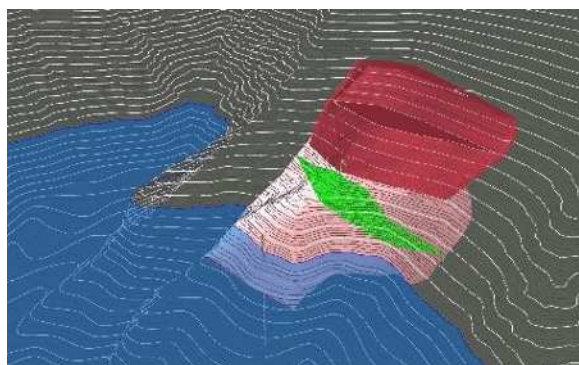


図-11 頭部排土工+鋼管杭工3次元モデル

4. まとめと今後の展望

本稿で紹介した自動設計ツールを活用することにより、トライ&エラーによる設計が容易となり、効果的かつ最適な対策工の検討が容易となった。また、図面作成、数量計算を自動化したことで、従来手法の半分程度の作業時間短縮を実現した。

なお、自動設計ツールを活用する場合、設計の前段階で地形や地すべりのすべり面モデルを作成しておく必要があり、それらが対策工の数量や配置に大きく影響する。そのため、設計前段階の調査精度を高め、リスクを考慮した3次元モデルを作成することが重要である。

本取り組みは、BIM/CIM時代における設計業務の効率化・高度化の一例として、地すべり対策工のみならず、今後の建設コンサルタント業務に広く展開可能な技術であると考えられる。現段階では、詳細設計で求められるような部材寸法、配筋等まで自動設計で表現することは困難であるものの、概略で工法を比較する予備設計段階においては、自動設計ツールの適応性が高いと考えられる。

今後の展望としては、用地境界や既設構造物等の現場制約条件に対応可能なプログラム開発や、照査機能の付与などが望まれる。

謝辞：本稿は中部地方整備局天竜川ダム再編工事事務所の業務成果を踏まえて作成している。とりまとめにあたり、ご協力・ご助言をいただいた関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 国土交通省 大臣官房参事官（イノベーション）グループ：BIM/CIM 取扱要領，2026。

海岸堤防の耐震設計における動的有効応力解析の高度化と合理的な対策工の検討

なかむらよしてる あらたにたけし はやしあゆみ なかむらたいし
○中村好輝¹・荒谷 豪¹・林 歩海¹・中村大志¹

¹中央コンサルタンツ(株)本店 (〒460-0002 名古屋市中区丸の内三丁目22番1号)

本報は、高浜市の海岸堤防を対象に、学識者の助言に基づき、既往の耐震設計の精度向上および対策工の合理化を実施した事例である。動的有効応力解析(FLIP)では、要素分割の細分化、有効応力経路の再現性を重視した液状化パラメータの設定、地下水位の適正化を行い、レベル2地震時の変形挙動を高精度に評価した。その結果、既往検討より変位量は増大したものの、背後地の利用状況を踏まえ、液状化を許容しつつ残留変形を抑制する設計思想を導入した。最終的に、抑え盛土と天端嵩上げを組み合わせた対策工を採用することで、要求性能を確保した上で、既往検討で提案された二重矢板工法に対し、約75%のコスト縮減を達成した。

Key Words : 海岸堤防, 耐震設計, 動的有効応力解析, 液状化パラメータ

1. はじめに

南海トラフ巨大地震の発生が懸念される中、海岸保全施設には、より確実な耐震・耐津波性能が求められている。愛知県においても「愛知県海岸保全施設の設計方針」に基づき、レベル2地震動に対する耐震性能照査および対策検討が進められている。

本報の対象とする高浜市の海岸堤防は、図-1に示すとおり明治用水中井筋の流出部に位置する。現況の堤防は計画潮位および設計津波高を上回る高さを有するが、地盤は第三紀層の上部に層厚10m程度の沖積砂質土および粘性土が堆積し、大規模地震時の液状化に伴う側方流動や沈下が生じ、地震後の堤防天端高が設計津波水位を下回ることが懸念される。そのため、地震後に襲来する津波に対する防護機能を確保するため、耐震性能の精査と必要な対策の策定が求められている。

このような状況のもと、当該地区では令和5年度より地質調査、耐震性能照査および対策工の検討が実施された。当初検討では二重矢板を第三紀層まで貫入させる大規模な対策案が提示された。しかし、



図-1 検討対象の平面位置と現地状況

学識者より、動的有効応力解析(以下、FLIPと称する)の評価精度や、背後地の利用状況を踏まえた対策の合理化について指摘がなされた。そこで本報では、学識者からの指摘事項を含め、解析条件を精査することで地震時の挙動を精緻に把握するとともに、抑え盛土を主体とした対策へ見直すことで、大幅にコストを縮減した検討経緯について報告する。

2. 既往検討の概要

図-2に推定地質断面を示す。検討区間は延長76mであり、令和5年度には、区間の起終点付近において2本のボーリング調査が実施された。起点側の地層は、約5mの盛土(Bsc層、Bs層)下部に層厚2.5mの沖積粘性土層(Ac層)、層厚4mの沖積砂質土層(As1層)が分布し、その下位にはN値39~50を示す第三紀層(T1層、T2層)が分布する。終点側では、As1層の下位に層厚4mのAs2層を挟在するが、概ね同様の層序である。なお、耐震性能照査を実施する当該区間の代表断面については、起終点における液状化判定を実施した結果、起点側のPL値が終点側より大きい

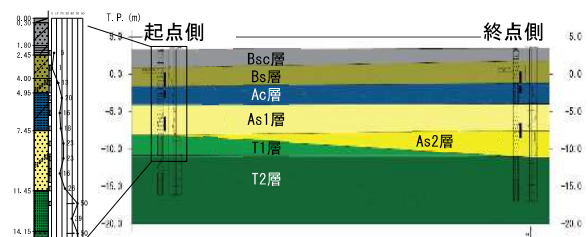


図-2 推定地質断面図

ことから、起点側の地盤構成が採用されている。

耐震性能照査の経緯として、先ず令和5年度に円弧滑り計算によるレベル1地震時(kh法)および地震後(Δu 法)に対する照査が実施され、前述の二重矢板による対策が提案された。次に、令和6年度にFLIPによるレベル2地震時に対する照査が実施され、二重矢板の詳細構造が決定された。しかし、令和7年度の追加検討において、無対策の場合においても地震後の堤防天端高が設計津波水位を上回ることが確認された。令和6年度に検討された対策後の解析モデルを鋼材規格と併せて図-3に示す。

なお、検討では、レベル2地震動はプレート海溝型と直下型を対象としているが、本報では、地震後の堤防天端高と設計津波水位との関係に着目し、直下型地震については割愛する。

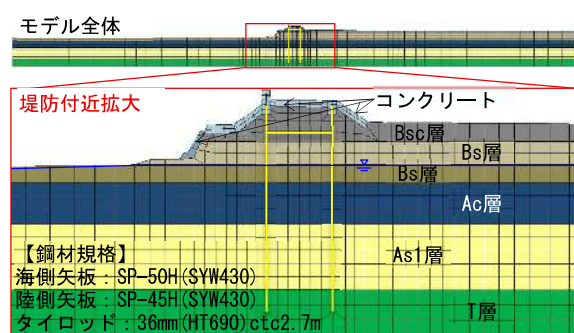


図-3 既往検討における対策後の解析モデル

3. 解析における技術的課題と解決策

(1) 技術的課題

上述の結果を踏まえ、以下に示す技術的課題が明らかとなった。なお、a)、b)については学識者の助言を踏まえたものである。

a) 飽和Bs層の要素分割

盛土の法尻直下に存在するうえ、過剰間隙水圧の上昇に伴い大きなせん断ひずみが発生する層厚約1.1mの飽和Bs層について、鉛直方向に1要素でモデル化されている。ここで、Bs層の初期せん断波速度は137m/sであり、剛性低下率を1/10、考慮すべき周波数を5Hzと仮定した場合、波長に基づく要素高さの目安は1.7mであり、1要素でモデル化した場合でもこれを満たしている。しかしながら、法尻付近の変形挙動を変形図で確認すると、実現現象を精度よく再現できていない可能性が高く、変位量を過小評価している可能性がある。

b) As1層の液状化パラメータ

FLIPでは、液状化パラメータを設定することで、過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下を表現できる。既往検討で設定されたAs1層の液状化パラメータを図-4に示す。既往検討では、繰返し非排水三軸試験(以下、三軸試験と称する)で得られた軸ひずみ両振幅5%における平均的な液状化強度曲線を目標に設定されている。しかし、1つの供試体の液状化強度が他の供試体と比較して著しく高く、平均

的な液状化強度曲線は液状化強度を過大評価している可能性がある。

なお、液状化パラメータは、要素シミュレーションと呼ばれる、単一要素モデルに繰返しせん断力を作用させる解析を実施し、目標とした液状化強度を再現できるよう各種パラメータを試行錯誤的に設定する。その際に、既往検討では、軸ひずみ両振幅5.0%をせん断ひずみ片振幅2.5%に換算していたため、3.75%に換算するよう修正する必要がある。

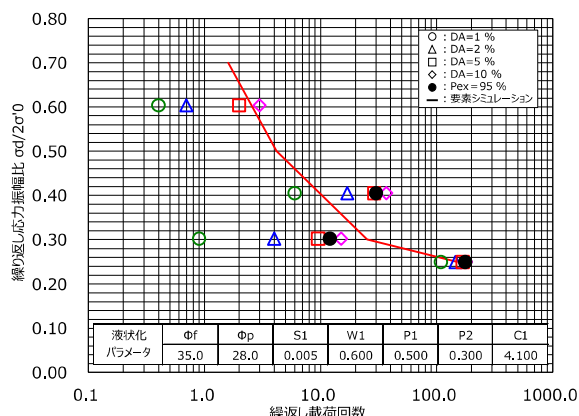


図-4 既往検討のAs1層の液状化パラメータと試験値と要素シミュレーション結果の比較

c) 構成則と非線形反復計算手法

FLIPでは解析精度向上のため、構成則と非線形反復計算手法について改良が継続的に行われており、実務上は「初版」、「改訂版」、「再訂版」の3つの組合せが提案されている¹⁾。これらの手法は、対象構造物の形式や地盤特性、および既往の知見に基づき、設計者が適切に選択する必要がある。なお、ここでいう構成則とは、負のダイレイタンスへの塑性せん断仕事の寄与に関する計算方法¹⁾を指す。

既往検討では「再訂版」が適用されているが、盛土構造物においては「初版」が被災事例を精度良く再現する¹⁾ことが知られており、「再訂版」では堤体の沈下量を過小評価する可能性があることから、手法の適合性を再考する必要がある。

d) 地下水位

解析における地下水位は、潮位を用いて式により算定した重力式護岸の残留水位T.P. -0.53mとされている。しかし、この水位は河床より低く、無水掘りによる起点側のボーリングで確認された孔内水位T.P. +0.24mと比較しても約0.8m低い。したがって、解析における地下水位は実測値と乖離していることに加え、有効応力解析において、地下水位が低い条件では変位量を過小評価している可能性がある。

(2) 課題に対する対応策と解析結果

上述した課題のほか、積分時間刻みや境界条件の検証を含め、各条件の変更が解析に及ぼす影響を定量的に把握するため、計9ケースの解析を実施した。各ケースの変位に対する照査結果の一覧を表-1に示す。以下に、各課題に対する対応策とその結果について示す。

表-1 解析ケースごとの変位に対する照査結果の一覧

検討 ケース	概要	該当する 対応策	天端高 (m)	照査結果										合計沈下量の比較	
				水平変位* (残留値) (m)	許容値 (m)	判定	鉛直変位* (残留値) (m)	消散後 沈下量 (m)	合計沈下 (m)	沈下後 天端高 (m)	照査 外水位 (m)	差分 (不足高) (m)	判定	比較対象 ケース	沈下量差分 (負：増) (m)
Case1	トレース解析		3.340	-0.058	1.000	OK	-0.109	-0.038	-0.147	3.193	3.20	-0.007	NG	—	—
Case2	積分刻みの感度確認		3.340	-0.060	1.000	OK	-0.109	-0.039	-0.148	3.192	3.20	-0.008	NG	Case1	-0.001
Case3	境界条件の感度確認		3.340	-0.058	1.000	OK	-0.109	-0.039	-0.148	3.192	3.20	-0.008	NG	Case2	0.000
Case4	液状化パラメータ ひずみの換算修正		3.340	-0.037	1.000	OK	-0.085	-0.038	-0.123	3.217	3.20	0.017	OK	Case3	0.025
Case5	Bs層メッシュ細分化	a)	3.340	-0.033	1.000	OK	-0.081	-0.038	-0.119	3.221	3.20	0.021	OK	Case4	0.004
Case6	As1層の液状化パラメータ変更	a), b)	3.340	-0.039	1.000	OK	-0.093	-0.040	-0.133	3.207	3.20	0.007	OK	Case5	-0.014
Case7	初版の適用	a), c)	3.340	-0.110	1.000	OK	-0.149	-0.040	-0.189	3.151	3.20	-0.049	NG	Case5	-0.070
Case8	As1層の液状化パラメータ変更 +初版の適用	a), b) c)	3.340	-0.142	1.000	OK	-0.196	-0.043	-0.239	3.101	3.20	-0.099	NG	Case7	-0.050
Case9	堤内水位の変更	a), b) c), d)	3.340	-0.321	1.000	OK	-0.379	-0.034	-0.413	2.927	3.20	-0.273	NG	Case8	-0.174

※水平変位は陸側方向が+（正）、鉛直変位及び消散後排水沈下は上方向が+（正）である。

a) 飽和Bs層の要素細分化

飽和Bs層について、鉛直方向に1要素から3要素に細分化した。細分化前のCase4および細分化後のCase5における、加振終了時の過剰間隙水圧比のコンターおよび変形図を図-5に示す。Case4では過剰間隙水圧比が0.37を示す領域が、Case5では0.52～0.93と大きな値を示すことを確認した。さらに、Case5では、法尻に見られるアワーグラスモードに近い変形がより明瞭に表現され、実現象に近い結果が得られたと判断する。ただし、堤体天端の沈下量については、Case5では、Case4に比べて4mm減少しており、法尻の要素細分化が堤体全体の変形に及ぼす影響は小さいことを確認した。これは、法面が比較的緩勾配であったためと考える。なお、Case4は、(1)-b)で述べた軸ひずみ両振幅とせん断ひずみ片振幅の換算の齟齬を修正し、既往検討と同様の考え方で液状化パラメータを再設定したものである。

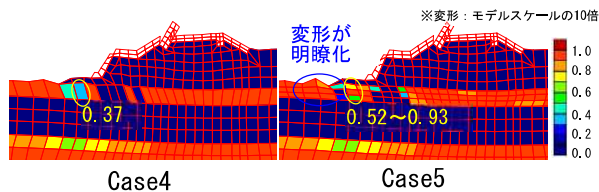


図-5 過剰間隙水圧比のコンターおよび変形図

b) 精度高い液状化パラメータの設定

有効応力解析においては、過剰間隙水圧比の上昇だけでなく、変位量の再現性が極めて重要である。そのため、液状化パラメータの再設定に際して、三軸試験結果における軸ひずみ両振幅5%に加え、1%、2%および10%に達するまでの繰返し回数を可能な限り模擬することとし、その上で、著しく高い液状化強度を示した供試体を除く3つの供試体を目標に、要素シミュレーションを実施した。

平均的な液状化強度曲線を目標に設定したCase4の液状化パラメータを図-6に、液状化強度が高い供試体を除外して設定したCase6の液状化パラメータを図-7に示す。Case6において、応力振幅比を0.302とした供試体の軸ひずみと過剰間隙水圧比の時刻歴を図-8に示す。要素シミュレーションで得た軸ひずみと過剰間隙水圧比の双方の上昇度合いが、三軸試験の結果を精度良く再現していることがわかる。

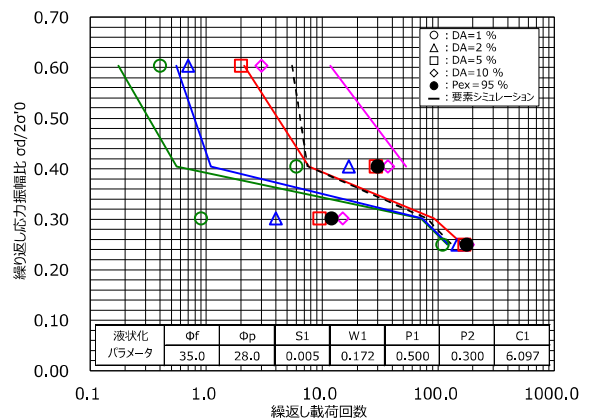


図-6 Case4のAs1層の液状化パラメータと試験値と要素シミュレーション結果の比較

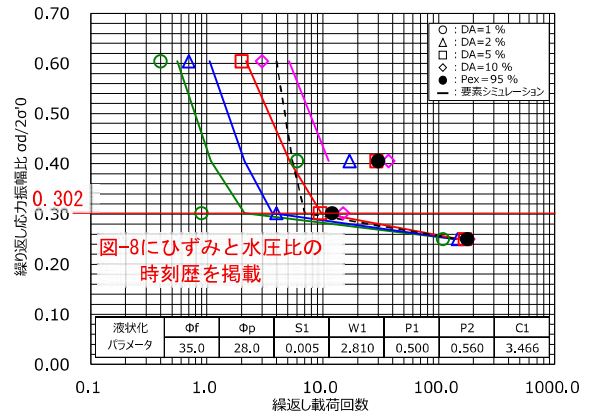


図-7 Case6のAs1層の液状化パラメータと試験値と要素シミュレーション結果の比較

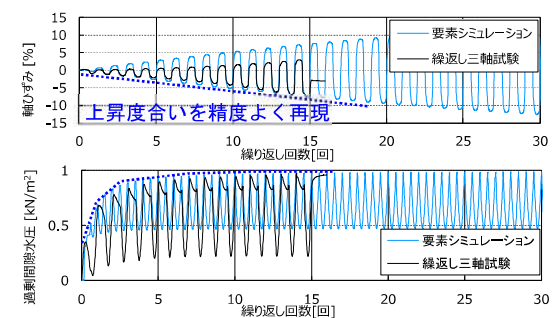


図-8 着目した供試体の軸ひずみと過剰間隙水圧比の時刻歴

現状の河道整備を踏まえた手戻りの無い気候変動を考慮した河川整備計画等の策定

○矢野 順貴¹・光田 翔¹・浅野 寿雄¹

¹パシフィックコンサルタンツ株式会社中部支社（〒451-0045 名古屋市西区名駅一丁目1番17号）

県管理の中小河川における気候変動を考慮した河川整備基本方針と河川整備計画の策定のための検討を行った。計画降雨の設定では、流域内の雨量観測所では標本数が少なかったため、流域内の観測所と近傍の観測所で短時間雨量の相関が高い雨量観測所を対象に降雨強度式を作成し、流域の降雨特性に合った計画降雨の設定を行った。また、河道粗度係数について、河床材料調査の実施を提案して河道特性を踏まえたより確からしい粗度係数を設定することで、実態に即した流下能力を評価し現実的な整備内容を検討した。これらの検討によって、気候変動を考慮した上でも現実的な手戻りの無い河川整備基本方針と河川整備計画の策定に繋げることができた。

Key Words : 河川整備基本方針, 河川整備計画, 気候変動, 計画降雨, 河道粗度係数

1. はじめに

(1) 業務の概要

県が管理する中小河川にて気候変動を考慮した河川整備基本方針及び河川整備計画の策定に必要な検討を行い、流域委員会や国土交通省等の関係機関との協議資料、申請図書・資料を作成した。

(2) 流域の概要

対象の河川は水田地帯の広がる平野を流れる河川で、幹線流路延長約4.1km、流域面積16.9km²の二級河川である。流域は1市2町にまたがり、流域内人口は約1万人、流域内の土地利用は主に優良農地として利用され、山地面積は約13%である。また、気候は温暖で、年平均降水量は1,950mm程度である。

河床勾配は、下流部（河口～2.34k）は1/1300、中上流部は1/700、横断工作物として下流に防潮水門1基が設置され、橋梁4橋が架橋されている。

(3) 過去の治水事業

昭和49年7月洪水や昭和50年8月豪雨など、毎年のように発生する洪水被害を契機として、昭和56年度より、中小河川改修事業として沿川の浸水被害を防止する目的で治水事業が進められてきた。

現行の河川計画は、昭和60年9月に、下流に設置された防潮水門より上流のL=3,540mの区間にて全体計画が認可され、その後、平成9年11月に工事実施基本計画が策定された。治水安全度は全体計画の目標を工事実施計画でも踏襲し、支川を含む全川で $W=1/15$ とされている。

河川改修事業は、河道拡幅や堤防の嵩上げ、河床掘削等であり、支川も含め、平成22年度に完了している。

そのため、気候変動による外力増に対し、河道拡幅や堤防嵩上げは抜本的な再改修となり現実的ではないこと、土地利用の大半が優良農地のため農地の計画遊水地化は避けたい点等を踏まえ、外力のベースである計画降雨の精度向上、受け入れ側の流下能力の精度向上の両面の視点にて、以降の検討を進めた。

2. 計画高水の検討

(1) 既往の計画高水

全体計画作成時は、流域近傍の雨量観測所の雨量標本数の関係から、十分な標本のある雨量観測所の中で最も流域に近い雨量観測所（図-1のA観測所）の降雨強度式を用い、流域近傍観測所（2箇所）の日雨量の平均とA観測所の日雨量の比率を乗じて求めた降雨強度を用いている。

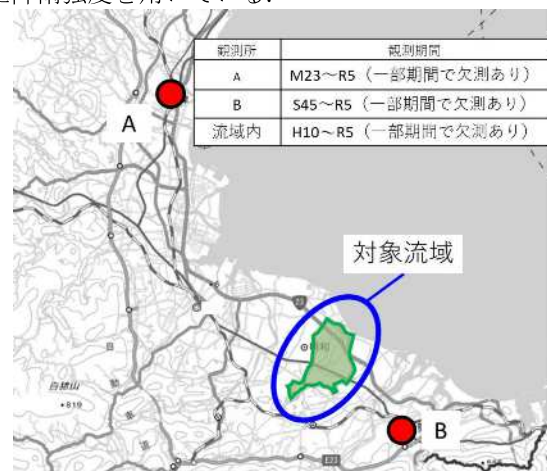


図-1 対象流域と雨量観測所位置

計画流量は、合理式による流出計算より、支川合流前で120m³/s、支川合流後の河口部で200m³/sとされている。

(2) 対象雨量観測所の検討

気候変動を踏まえた計画立案時では、流域内に新設された雨量観測所にて雨量観測を実施されているものの、通年観測の開始が平成10年からであり、標本数が少ない。一方、流域外であるが、全体計画で利用したA観測所より流域近傍の雨量観測所B（図-1）では、降雨強度式作成に必要な雨量標本の蓄積が確認できた。

そこで、新設された流域内の観測所と全体計画のA観測所、流域近傍のB観測所の雨量データの相関に着目した。

各観測所の年最大値にて、短時間雨量の相関を確認した。全体計画策定時の基準地点での到達時間が約60分であることから、60分雨量を用いて相関を算定した。流域内観測所とA観測所、B観測所それぞれの60分雨量の相関図を、図-2、図-3に示す。相関図より、流域内観測所とA観測所は相関係数 $R=0.81$ 、B観測所は相関係数 $R=0.93$ となり、B観測所の雨量の相関が高いことが確認されたため、B観測所の降雨強度式を採用することとした。

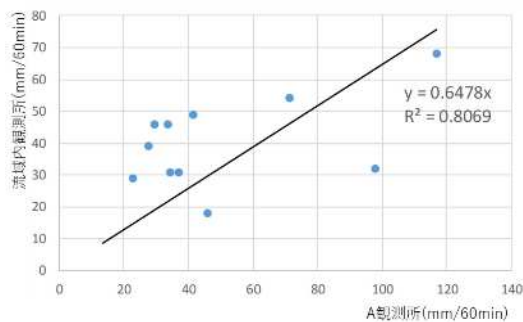


図-2 流域内観測所とA観測所の短時間雨量相関

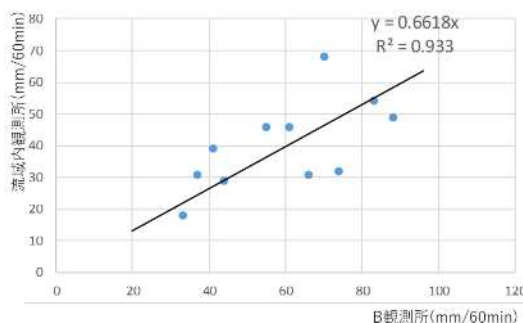


図-3 流域内観測所とB観測所の短時間雨量相関

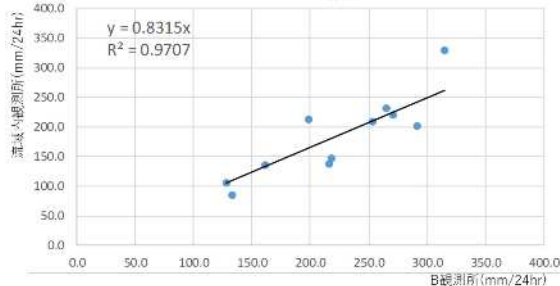


図-4 流域内観測所とB観測所の24時間雨量相関

また、24時間雨量にて確認したところ、雨量の相関式は「流域内観測所雨量=0.83×B観測所」となり、概ね1:1に近い降雨が観測されていることから、降雨形態と安全側の視点に立ち、本検討では、B観測所の雨量を補正無しで採用することとした。

(3) 計画規模の検討

基本方針の治水安全度は、県の計画規模設定ルールに基づき、県内他河川と同様に、①想定氾濫区域内宅地面積、②想定氾濫区域内人口、③想定氾濫区域内資産額等を重要指標値とし、計画規模を設定したところ、1/30となった。

整備計画の治水安全度は、県の目標規模設定フローに従い、隣接河川の整備計画規模と比較し、同程度の規模で妥当と判断できることを確認し、既往計画規模と同じ1/15を採用した。

(4) 計画降雨の検討

計画降雨設定のため、B観測所の雨量を用い、新規に降雨強度式を作成した。具体には、平成17年にB観測所の降雨強度式作成に用いた標本に加え、本検討では気候変動考慮前の平成22年までの降雨を追加し、降雨強度式を新規に作成した。

降雨継続時間別最大雨量にて確率統計処理を実施してJackknife推定誤差を算定した結果、短時間降雨にてGumbel分布の適合度が高いことを確認したため、確率分布は従来と同じGumbel分布を採用した。

式形は、全体計画や平成17年に作成された降雨強度式と同じクリーブランド型を採用した。作成した降雨強度式を図-5に示す。

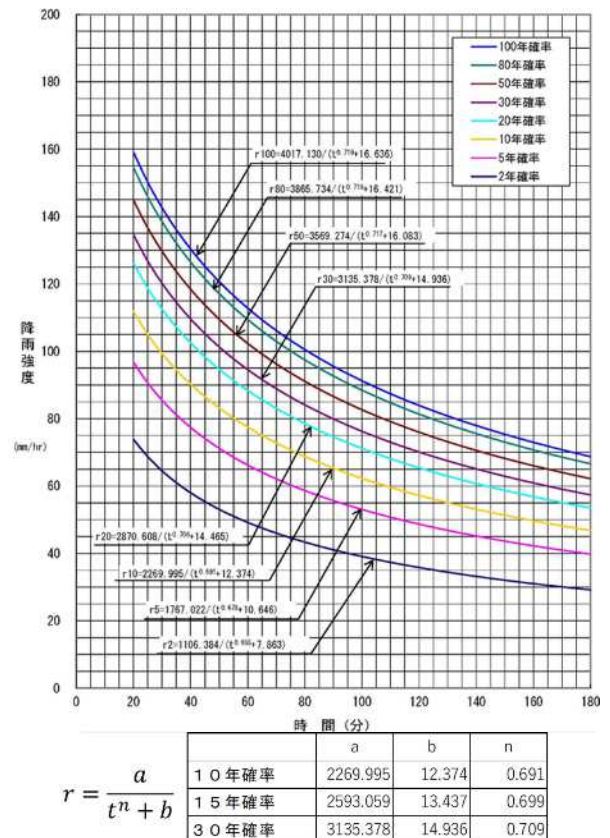


図-5 作成した降雨強度式

表-1 計画降雨の時間雨量

計画	時間雨量(mm/hr)
整備計画(1/15)	81.2
整備計画(1/15)×1.1	89.3
基本方針(1/30)	91.6
基本方針(1/30)×1.1	100.8

再設定した降雨強度式を用い、基本方針規模と整備計画規模の降雨強度を算定、算定値に気候変動を考慮した1.1倍を乗じ、気候変動後の降雨強度を算定した。算定結果を表-1に示す。

(5) 基本高水の検討

以上の検討結果より設定した気候変動後の降雨強度より、合理式にて基本高水流量を算定した。

基本方針規模では、支川合流前では現行の120m³/sから150m³/sと30m³/s増、支川合流後でも現行の200m³/sから230m³/sと30m³/s増となった。

整備計画規模では、支川合流前では現行の120m³/sから130m³/sと10m³/s増、支川合流後では現行の200m³/sと同値となる。

既往計画の1/15と整備計画規模の1/15は同じである中、既往計画の降雨強度と気候変動後の降雨強度は概ね同等となった。これは、流出係数等の諸条件の見直しもあるが、当該地域の実態に合う降雨強度を評価した点大きい。

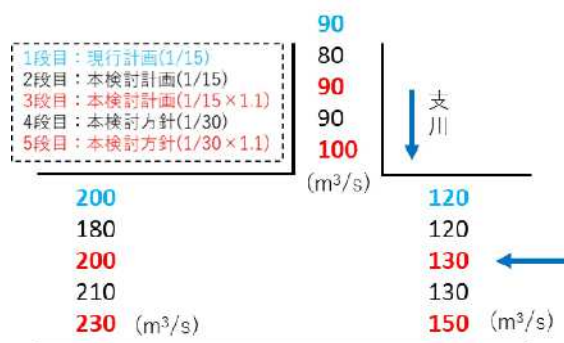


図-6 流量配分図

3. 河道計画の検討

(1) 河道粗度係数の設定

現行計画である全体計画では、河道の粗度係数は $n=0.035$ を採用している。当時の採用理由を類推すると、S52改訂 建設省河川砂防技術基準（案）計画編に記載されている「一般河道」のマニングの粗度係数範囲のうち、安全側の視点にて最大値を採用しているものと推察された。

国土交通省河川局の技術基準「中小河川に関する河道計画の技術基準について H22.8.9」では、「現況と同程度の粗度係数とすることを基本」と記載されていることも踏まえ、現地踏査にて現況河道の状況を概査したところ、全体計画より精度の高い河道粗度係数の設定が可能であると考えた。そこで、河床材料調査を提案し、以降のa)～d)の検討を進めた。

a) 河床材料調査の実施

現況河道の粗度係数算定のため、現況河道の河床材料を調査した。

調査位置は、図-7に示す通り上中下流部で合計3地

点（No. 1, No. 2, No. 3）を選定した。

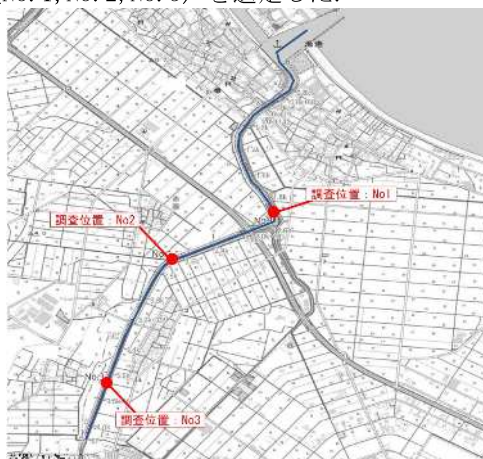


図-7 調査位置

調査の結果、代表粒径は $D_{60}=12\text{mm}\sim24\text{mm}$ であり、全区間で河床材料は概ね同程度の粒径を有することを確認した。

b) 河床部の粗度係数の設定

河床部の代表粒径と粗度係数の関係から、河床部の粗度係数を設定した。

河床材料調査結果より、代表粒径 D_{60} は12mm～24mmであり、安全側を見て2cmに代表されるとし、図-8に示す通り、河道の河床状況は平坦で凸凹では無く、粒径の大きな石の突出も見られないことから、表-2の「粗礫〔小〕（2cm～5cm）」「A」の $n=0.029$ を採用した。



図-8 河道の現況【単断面／法面ブロック張り】

表-2 河道粗度の表

dR: 代表粒径	n: 粗度係数		AとBの区分法
	A	B	
岩壁	0.035～0.050		A: 河床が平坦で砂州が目立たない。 また表層に突出する粒径の大きな 石が目立たない。
玉石 (40cm～80cm)	0.037 ¹⁾	0.042 ²⁾	
n (20cm～40cm)	0.034 ¹⁾		
n (10cm～20cm)	0.030 ¹⁾		
粗礫〔大〕 (5cm～10cm)	0.035 ²⁾	0.034	B: 河床の凹凸が大きく粗度の大きな 石が突出する。
n〔小〕 (2cm～5cm)	0.029		

注: 1) はマニング・ストリカラーの式より求めた値。
2) は、 ϵ -グラフより求めた値。

注: 1)はマニング・ストリタラーの式より求めた値。
2)は τ_{*0} とグラフより求めた値。

c) 護岸部の粗度係数の設定

次に、護岸構造と粗度係数の関係から、現況河道の護岸状況に合った粗度係数を設定した。

現況河道の護岸は、図-8に示す通り「張ブロック」であることから、粗度係数は「間知・張ブロック（ $ks=0.04$ ）」の $n=0.024$ を護岸部の粗度とした。

d) 合成粗度係数（計画粗度係数）の算定

算定した河床部の粗度係数と護岸部の粗度係数を用い、各測線の断面形状から測線ごとの合成粗度係数を図-9の考え方にに基づき算定した。各測線の算定結果を図-10に示す。

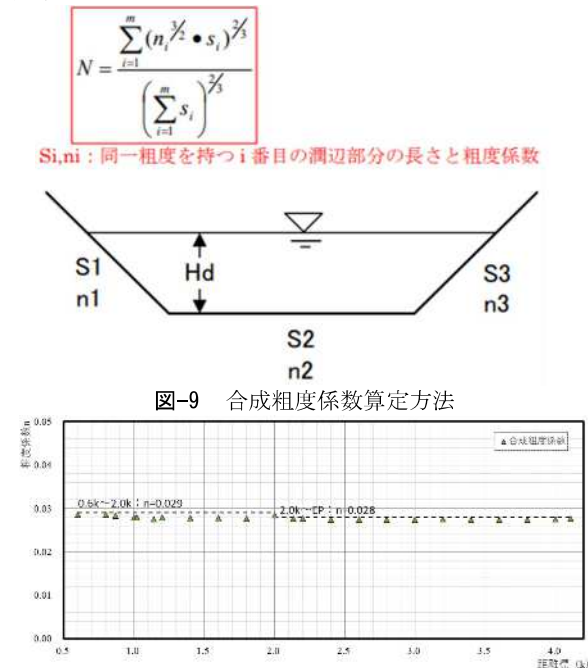


図-9 合成粗度係数算定方法

断面毎の合成粗度係数は、支川合流点の上下流で区間を区切り、それぞれの区間の各断面の最大値から支川合流後の河口～2.0kの区間で $n=0.029$ 、支川合流前の2.0k～上流端の区間で $n=0.028$ を合成粗度係数とした。

全体計画が策定された昭和60年9月当時の数値よりも、実河道の物理特性に基づく合理的な設定手法であり、妥当性の高い粗度係数手法であることから、本検討で算定した合成粗度係数を、河道計画の計画粗度係数とした。

(2) 流下能力の検討

設定した計画粗度係数を用い、現況河道の流下能力を算定したところ、気候変動後の基本高水流量

(1/30) は確保できなかったが、現況河道は、改修断面に比べ、再堆積により河積が縮小されている点に着目した(図-11)。



図-11 現況断面(測量断面)と計画河床高

計画河床高まで維持掘削した場合、気候変動後の基本高水流量(1/30)に対し、全川で流下能力を満足し、基本高水全量を河道で対応可能であることを確認した(図-12)。

よって、気候変動を考慮した河川整備基本方針・河川整備計画における改修メニューは、防潮水門の耐震補強と堤防の耐震対策とした。河積は、河道の維持(維持掘削や河道内樹木の除去)により確保することとした。

以上の検討の結果、河道拡幅等の再改修や優良農地の計画遊水地化の選択をせず、現実的な整備内容を立案した。

4. おわりに

計画降雨を流域の降雨特性に合うように設定し、加えて河道特性を踏まえたより確からしい粗度係数により河道を設定したことで、気候変動を考慮した上でも、現実的な手戻りの無い河川整備基本方針と河川整備計画の策定に繋げることができた。

今後、既存ストックを活用した社会資本整備の重要性は益々高まると考える。私は、本業務の経験を糧に、他業務においても、より適切で効率的・効果的な河川整備は何かを考え、日々研鑽に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本河川協会：多自然川づくりポイントブックⅢ，2011.10
- 2) 社団法人 日本河川協会：改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 調査編

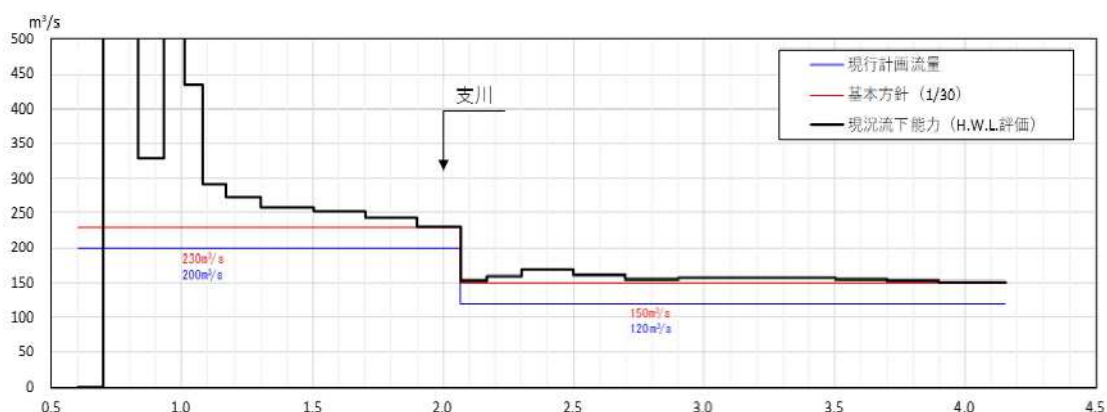


図-12 現況河道の流下能力図(維持管理を考慮)

BIM/CIMと3Dプリンタ模型の併用による 合意形成支援

あさいのぞみ すえながまさよし かとうよしのり おかだなおみ もりゆうすけ
○浅井 希¹・末永匡美¹・加藤義規¹・岡田尚美¹・森勇輔¹

¹日本工営都市空間株式会社 名古屋本社（〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜2-17-14）

矢作川鵜の首地区河道改修事業では、複雑な現況地形に対して大規模な河道拡幅が計画されており、複数の関係機関に複雑な地形や完成形状を正確に共有することが求められた。

そこで、BIM/CIMモデルを構築するとともに、そのデータを基に3Dプリンタ模型を作成し、設計協議に活用した。BIM/CIMモデルは高い可視化効果を有する一方で、閲覧環境や専門知識を必要とするが、模型を併用することで専門知識の有無にかかわらず地形や完成形状を直感的に理解できるようになった。その結果、関係者の理解促進と認識共有の円滑化に寄与することができた。今後は模型とBIM/CIMのハイブリッドな活用に3次元可視化の高度化が期待できる。

Key Words :河道拡幅, BIM/CIM, 3Dプリンタ, 縮尺模型

1. はじめに

本稿の対象地区である矢作川鵜の首地区は、上下流に比べて川幅が狭い狭窄区間であり、流下能力が低いため、洪水時には上流に位置する豊田市市街地の水位上昇を引き起こす要因となっている。平成12年東海豪雨時には大規模な浸水被害が発生しており、流下能力の向上が求められる地区である。

本業務は、同地区における治水安全度の向上を目的として実施されている河道改修事業の一環であり、右岸側の河道拡幅に関する設計を対象としたものである。

本地区は過去の石切り場利用に起因する複雑な地形（図-1, 2）を有しており、地形や完成イメージを把握するためには平面図や縦横断図など複数の図面を総合的に読み取る専門的な知識や経験が求められた。



図-1 本業務設計箇所の平面図

また、本業務では河川管理者である国土交通省中部地方整備局豊橋河川事務所（以降、「豊橋河川事務所」と記す。）をはじめ、関係自治体、地元漁協関係者、地元協議会など、多数の関係機関との協議が必要であった。さらに、大規模な地形改変を伴う計画であることや、施工期間中の交通規制について地域住民の理解を得る必要もあった。

このように、本業務では関係者ごとに専門知識や関心事項、立場が異なる中で、複雑な現況地形や河道拡幅による地形変化を正確に共有し、関係者間の共通認識を形成した上で円滑な合意形成を支援することが重要な課題であった。

以上を踏まえ、本業務ではBIM/CIM¹⁾モデルの作成に加え、直感性に優れる3Dプリンタ模型を用いた合意形成支援を提案した。



図-2 石切り場の様子

2. BIM/CIMソフトによる3次元可視化

近年、建設分野においてはBIM/CIMソフトを活用した3次元モデル（以降、「BIM/CIMモデル」と記す。）の作成が一般的となっている。本業務においても、複雑な地形や河道拡幅計画の視覚的な理解を促進することを目的として、地形モデル、河道計画モデルを作成した（図-3）。

BIM/CIMモデルを活用することで、従来の平面図や縦横断面図のみでは把握が難しい地形形状を立体的に表現することが可能となり、設計や計画内容の理解の向上に大きく寄与している。一方で、実際の協議や説明資料として活用する上では、いくつかの課題が確認された。



図-3 BIM/CIMモデル

1つ目は、BIM/CIMモデルの画面表示に誰も見慣れているわけではない点である。

仮想空間上の3次元モデルであり、模型のように実体として提示されるものではない。そのため、閲覧者が画面上の情報から形状を認識する必要があり、理解には一定の経験や習熟が求められる。

2つ目は利用可能な機器やソフトウェアに制約を受ける点である。BIM/CIMモデルの閲覧や作成には、高性能なグラフィックボードを搭載したPCや専用ソフトウェアが必要である。特に大規模な地形モデルでは処理負荷が大きく、利用環境によっては操作性が低下する場合がある。

このため、関係者間で情報共有を行う手段としては一定の課題があった。

3. 3Dプリンタモデルの概要

そこで、本業務では、3次元モデルデータを基に3Dプリンタ（図-4）を用いて縮尺模型（以降、「3Dプリンタ模型」と記す。）を作成し、情報を

実体として提示する手法を提案した（図-5）。

模型の作成範囲は、河道拡幅対象区間を中心とし、河道幅を把握できるよう対岸を含めて設定した。

作成した3Dプリンタ模型は、現況地形を再現した現況模型と、河道拡幅計画を反映した完成イメージ模型の2種類とし、工事前後の地形変化を比較できる構成とするとともに、掘削部分を取り外し可能な構造とすることで、工事前後の地形変化の理解を容易にした。

3Dプリンタ模型の概要を以下に示す（表-1）。

表-1 3Dプリンタ

方式	積層造形方式
大きさ	18cm×18cm（1パーツあたり）
出力時間	約13時間30分
使用材料	プリンタ指定のフィラメント

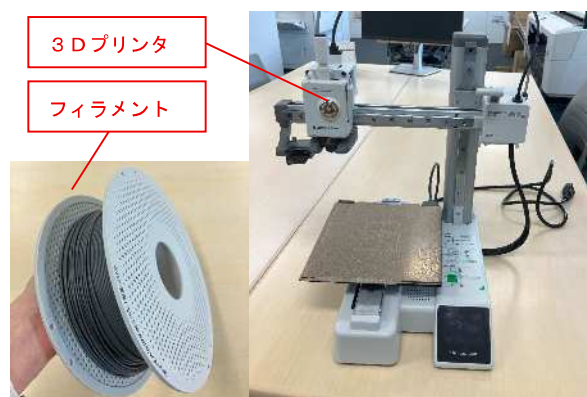


図-4 3Dプリンタ（積層造形方式）と材料

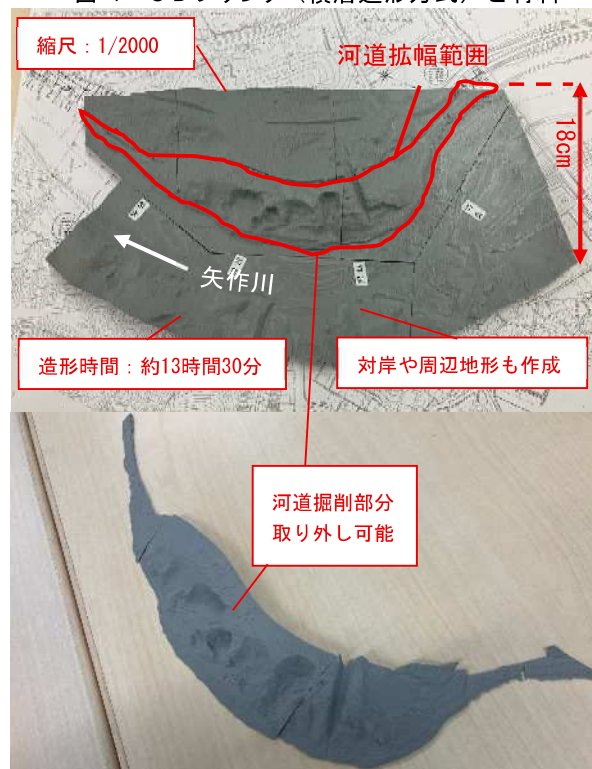


図-5 作成した3Dプリンタ模型

4. 従来技術との比較

(1) BIM/CIMモデルとの比較

近年では、BIM/CIMを活用した3次元モデルの作成が一般的となっている。この手法と3Dプリンタ模型を比較した結果、以下の3点が確認された（表-2）。

1つ目は、閲覧に高性能な機器を必要としない点である。BIM/CIMモデルの閲覧にはBIM/CIMソフト対応のPCや専用ソフトウェアが必要となるが、3Dプリンタ模型は実体として存在するため、そのような閲覧環境を必要としない。

2つ目は、画面を介さずに地形や完成イメージを直接的に確認できる点である。3Dプリンタ模型は実体として立体的に観察できるほか、実際に手に取って確認することが可能であり、直感的な理解が可能である。

3つ目は、3Dプリンタ模型は物理的な模型であるため、行政機関での展示や協議の場への持参が容易である。

表-2 BIM/CIMモデルとの比較

項目	3Dプリンタ模型	BIM/CIMモデル
閲覧環境	特別な機器は不要	PC，専用ソフトウェアが必要
理解度	直感的な理解が可能	画面を介した理解
展示	展示スペースのみ	ディスプレイが必要

(2) 従来の模型作成手法との比較

従来の地形模型は、スチレンボードを積層して作成する手法が広く用いられている。この手法と比較した結果、以下のことが確認された。

1つ目は、複雑な地形や施工前後の微細な地形変化を高精度に表現できる点である（図-6）。スチレンボードは厚さが一般的に2～10mm程度であるため、細かな地形の起伏を再現することに限界がある。一方、3Dプリンタ模型は積層厚0.2mmで造形したことにより、複雑な地形や施工前後の地形変化をより詳細に表現することができる。

2つ目は、模型作成に要する作業時間を短縮できる点である。スチレンボード模型は切断や接着などを人為的に行うため、製作時間が増加する。一方、3Dプリンタ模型は3次元データを基に自動造形を行うため、データ作成後は短時間で出力することができる。

3つ目は、造形技術が不要な点である。スチレンボード模型は、人為的な工程が多く、作成者の技術や経験によって完成度が左右される。一方、3Dプリンタ模型は、3次元データを作成した後は機械が自動的に造形を行うため、模型製作そのものに高度な工作技術を必要としない。

4つ目は、同一模型の複製が容易である点である。スチレンボード模型では、同一の模型を複数作成する場合、その都度製作作業が必要となる。一方、3

Dプリンタ模型はデータを用いて同一形状の模型を複数出力することが可能である。

5. 得られた知見

(1) BIM/CIMモデルとの比較から得られた知見

3Dプリンタ模型は、BIM/CIMモデルに比べ、閲覧環境や専門知識の差に依存することなく、関係者全員が同一の模型を共有しながら地形や計画内容を確認できることから、認識共有の手段として有効であることが確認された。

特に、立場や関心事項の異なる複数の関係者間で同一の情報を共有できるため、地形や計画内容に対する理解の差を低減し、共通認識の形成を支援することが期待できる。

また、展示や協議の場への持参が容易であり、利用場所を問わず活用することが可能であった。



図-6 施工前後の3Dプリンタ模型

(2) 従来の模型作成手法との比較から得られた知見

3Dプリンタ模型は、スチレンボード模型と比較して、地形表現の精度、製作効率および再現性に優れた手法であることが確認された。

特に、本業務では複雑な地形や施工前後の地形変化を関係者への確に伝達することが求められるため、高精度な地形表現が可能な3Dプリンタ模型は有効であった。また、BIM/CIMモデルのデータを直接活用できることから、設計データと確実に整合した模型を作成できる。

さらに、短時間で製作できることに加え、同一模型を容易に複製できるため、複数の関係者へ配布し、統一した地形情報を共有することが可能である。

以上より、3Dプリンタ模型は、スチレンボード

を用いた従来の模型作成手法と比較して、製作効率と地形表現精度の両面で優れており、本業務における地形情報の共有・伝達手段として有効な手法であった。

6. 3Dプリンタ模型の課題

3Dプリンタ模型は現況地形や完成イメージの可視化に有効である一方、工事状況を表すモデルや流況変化などの時間的・動的变化を表現することには限界がある。時間的な変化を説明する際には、人為的に模型を入れ替える必要があり、動的な情報の共有には不向きである。

工事進捗を模型で表現する場合には、各段階に対応した複数の模型を作成する必要がある。模型の作成時間や保管・運搬の負担が増加し、3Dプリンタ模型の利点である省力化や携行性が損なわれる。

7. 3Dプリンタ模型の活用効果

(1) 課題を踏まえた活用方法

以上のように、3Dプリンタを用いた縮尺模型とBIM/CIMソフトを用いた3Dモデルには、それぞれ利点・課題がある。

そのため、本業務では時間的な変化を含む内容はBIM/CIMモデルを活用し、複雑な地形変化や完成形状の直感的な把握には3Dプリンタ模型を活用するなど、用途に応じて併用した（図-7）。



図-7 3Dプリンタ模型とBIM/CIMモデルの併用

(2) 本業務での活用効果

本業務では、作成した3Dプリンタ模型を豊橋河川事務所との協議において活用した。また、その有効性を踏まえ、関係機関協議や地域住民説明への活用について提案を行った。

BIM/CIMモデルによる説明では、モデルの表示操作を作成した受注者が行う必要があり、閲覧者は提示された画面を通じて内容を確認することとなる。

一方、3Dプリンタ模型は実体として存在するため、閲覧者自ら模型を手に取り、任意の方向から確認・説明することができるため、説明者と閲覧者が同じ対象を共有しながら協議でき、意図や着目箇所を容易に伝達することが可能であり、業務内の受発注者間協議では迅速な認識共有に寄与した。

特に、工事用進入路や濁水処理施設の配置検討では、模型上で実際の地形条件を確認しながら検討を行うことで、施工スペースや動線のイメージを容易に共有することができた。これにより、協議参加者間の認識統一が図られ、設計・検討作業の効率化につながった。

以上より、3Dプリンタ模型は発注者協議における認識共有および合意形成支援に有効であることが本業務を通して示された。そのため、関係者間で共通認識を形成しやすい特性を有することから、関係機関協議や地域住民説明等の場面においても有効な説明・合意形成支援ツールとなることが期待される。

8. 結論および今後の展望

BIM/CIMモデルに加え、3Dプリンタ模型を活用することで地形や完成形状の直感的な把握が可能となった。その結果、専門知識の差に依存しない理解が容易となり同一の模型を介して認識齟齬を防止することが可能となった。

また、目的や用途に応じて、3Dプリンタ模型とBIM/CIM等のデジタル技術を組み合わせたハイブリッドな活用を行うことで3次元可視化のさらなる高度化が期待される。

今後は、関係機関や地域住民など説明対象に応じて、模型の縮尺や作成範囲の調整、計画内容や着目箇所に関する情報の付加などを行い、より効果的な情報共有ツールとして活用していきたい。これにより、専門分野や立場、関心事項の異なる多様な関係者が同一の模型を介して共通認識を形成しやすくなり、協議や説明の場におけるさらなる合意形成の円滑化が期待される。

謝辞：本内容は豊橋河川事務所より受注した業務に基づく内容であり、本業務の検討及び論文の執筆にご指導、ご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

参考文献

1) 「BIM/CIM取扱要領」国土交通省 大臣官房参事官（イノベーション）グループ 令和8年3月

地形的特性に基づく河道貯留機能の 定量評価に関する検討

やまもとあきのり うえはらゆういち いとしろ しんや まつうら ゆうき かねもとひろし
○山本朗宜¹・上原勇一¹・石徹白伸也¹・松浦祐樹¹・金本裕史¹

¹ 八千代エンジニアリング株式会社名古屋支店（〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄町2-9）

気候変動を背景に流域治水が推進される中、河川が有する「自然の貯留機能」の活用が求められている。本検討は、都市機能が集積し河道拡幅等が困難な対象河川において、河道内遊水地整備が貯留機能に与える影響の定量評価を目的とした。

準二次元不定流モデルを用いて河道貯留量を算出し、貯留機能に係る実測データが乏しい条件下における推定値の妥当性を、貯留関数法による流量低減量と比較検証した。結果として、両モデルは同等の貯留効果を示し、本手法の信頼性を確認するとともに、遊水地整備が洪水調節機能の強化に寄与することを定量的に証明した。本評価手法は他河川への適用性も高く、今後の効率的な治水対策の立案に寄与するものである。

Key Words：河道貯留機能，流域治水，準二次元不定流解析，貯留関数法，洪水調節機能の強化

1. 背景と目的

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響により、局地的な線状降水帯の発生や台風の大規模化など、豪雨災害の激甚化・頻発化が顕著となっている。各地で相次ぐ大規模な出水では、短時間での集中豪雨や長時間にわたる計画高水位の超過が確認されており、河川の治水安全度の再構築に向けた超過洪水への対応が緊急の課題となっている。

このように超過洪水の発生リスクが高まる中、河道内での治水対策（堤防嵩上げや河道掘削）のみで洪水を受け止める治水対策には限界が生じている。

そのため、従来の河川区域等を中心とした各施設管理者主体の治水対策から、あらゆる関係者が協働し、集水域から氾濫域に至る流域全体で貯留・遊水機能を向上させる「流域治水」への転換が進められている¹⁾。

本検討は都市河川を対象とし、「流域治水」の観点から、河道が元来有する自然の貯留機能を効率的に活用するため、河道貯留現象の定量評価を行うとともに、人為的な地形改変を伴う遊水地整備の有用性の検証を目的としたものである。

2. 対象河川の現状と課題

(1) 対象河川の現状

本検討で対象とする河川は、全国屈指の資産集積域を流下する都市河川であり、河道は連続する蛇行や川幅の急拡・急縮、広大な高水敷など変化に富んだ地形特性を有している。一方で、背後地の都市化が高度に進行しているため、治水安全度向上のための新たな河道拡幅や河道外における遊水地の用地の確保が困難であった。

こうした施工・用地制約下において治水機能を強化するための治水対策候補の一つとして、河道内の流下能力に直接寄与しない死水域を活用した河道内遊水地の整備が検討されている。

(2) 河道内遊水地検討の課題

死水域を活用した河道内遊水地の計画・整備にあたっては、囲繞堤の整備や地内地盤の掘削等の人為的な地形改変を伴う。このような人為的改変は、河道が元来有している自然の貯留機能を損なう恐れがあり、整備前後における河道貯留量の適正な把握が必要であった。しかし、河道貯留現象（空間的な貯留量や死水域内部の水理現象）の実態を把握した実

測データは存在していない状況であった。

また、対象河川の治水計画において採用されている貯留関数法は、図-1、図-2に示すとおり連続式と貯留方程式を用いて一連区間の貯留効果を簡便に算定できるものの、河道横断方向の形状変化や各断面での水位・流量の空間的・時間的变化、樹木群・高水敷の複雑な粗度状況を表現できず、本来の河道特性を正確に反映できていない懸念があった。

このように、比較検証の基準となる実測データが存在せず、実現象の正確な把握が困難な状況において、数値解析により推定される河道貯留量の妥当性を検証・担保する手法の確立が課題となっていた。

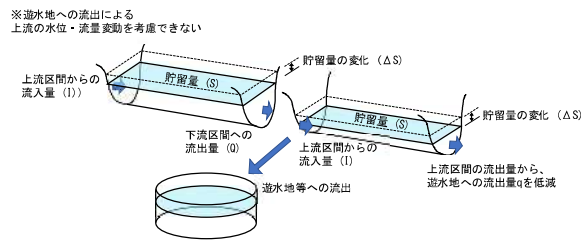


図-1 貯留関数法による河道貯留機能算定模式図

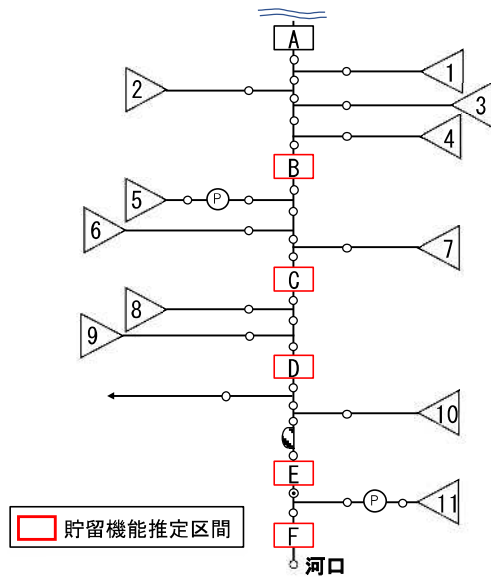


図-2 貯留関数モデル

3. 検討手法

(1) 準二次元不定流解析モデルの構築

前述の課題を解決するため、非定常の運動方程式と連続式を用い、横断方向の多様な状況を反映可能な準二次元不定流計算を採用した解析モデルを構築した。図-3及び図-4に、準二次元不定流解析による河道貯留機能算定模式図及び横断イメージ図を示す。

本モデルは、各断面を低水路と高水敷に分割し、それぞれの粗度係数や、地形的な死水域（急拡・急縮部）、樹木群による死水域および境界混合係数を考慮して各断面の水位・流量を時系列で算出する手法であり、本来の河道特性を適切に反映することを

可能とするものである。

計算区間は、対象となる遊水地候補地の upstream 側を含め、主要地点での評価が可能な十分な延長を設定した。

表-1 貯留関数モデルと不定流モデルの特徴

項目	貯留関数法	一次元不定流	準二次元不定流
算定方法	貯留量Sと流量Qから算定	不定流解析より算定	不定流解析より算定
貯留一連区間	○	○	○
効果各断面	—	○	○
樹木群	—	—	○
粗度係数	—	断面一律	高水敷/低水路粗度
メリット	・一連区間の貯留効果を簡便に表現可能	・断面ごとの水位・流量の変化を表現可能	・高水敷の多様な状況を考慮可能
デメリット	・各断面での水位・流量変化を考慮できない	・樹木等（境界混合係数）が考慮できない	・パラメータが多い

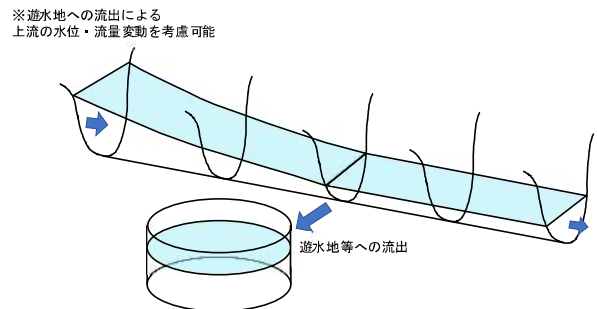


図-3 不定流解析による河道貯留機能算定模式図

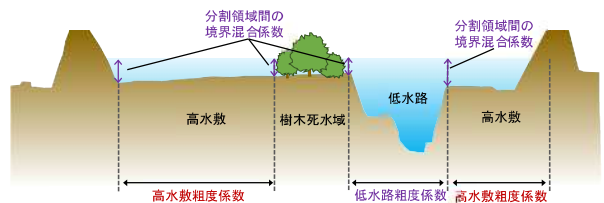


図-4 準二次元不定流解析による横断イメージ図

(2) 解析モデルの精度検証

構築した準二次元不定流解析モデルの妥当性を確認するため、対象河川における主要な洪水を対象に再現計算を行った。

検証は、計算水位と各地点の洪水痕跡水位の比較、および主要地点や支川合流点での流量ハイドログラフの比較により実施した。

また、本検証では単一のデータに依存せず、特性の異なる3つの実績出水波形（洪水A、洪水B、洪水C）を用いて、縦断的な水位分布の傾向と複数地点の流量ハイドログラフの再現性を総合的に評価した。

図-5及び図-6に、計算水位と洪水痕跡水位の比較検証結果、及び基準地点での流量ハイドログラフの比較検証結果を示す。検証の結果、構築した準二次元不定流解析モデルは実績の洪水痕跡水位の分布傾向を良好に再現できることを確認した。

また、基準地点における実績のハイドログラフも高い精度で再現されていることを確認した。

以上の検証結果より、本解析モデルは対象河川における河道貯留現象を適切に評価可能な精度を有していると判断した。

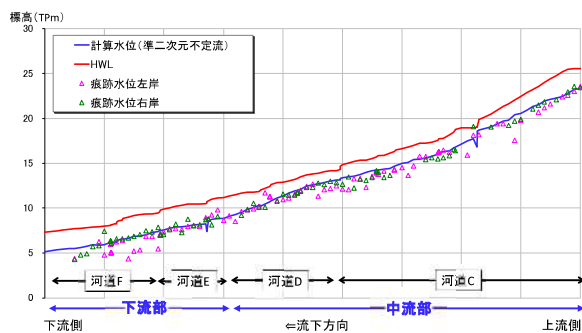


図-5 痕跡水位との比較（洪水C）

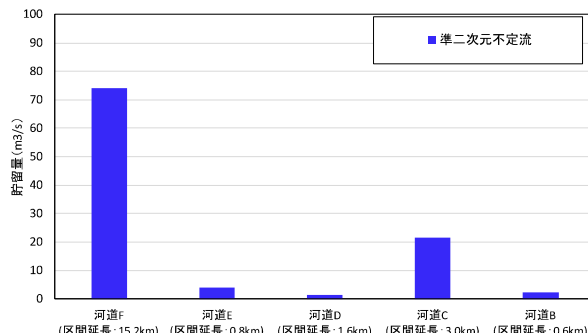


図-7 河道設定区間別の貯留機能

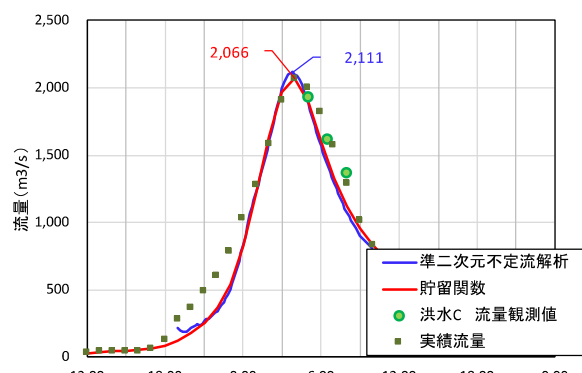


図-6 観測地点における流量ハイドログラフの比較（洪水C）

4. 河道貯留機能の定量評価

(1) 準二次元不定流解析による河道貯留量の推定

構築した解析モデルを用いて、洪水Bを対象に河道貯留機能を推定した。

貯留機能の評価対象区間は、表-2に示すとおり、貯留関数法における河道モデルの設定区間を参考に、支川流入による本川流量の増加影響を受けない区間を抽出した。

図-7に本解析モデルによる河道設定区間別の貯留機能を示す。区間延長が長く、川幅・高水敷幅が広がるほど貯留量が大きくなる傾向が確認された。これにより、本モデルが地形的特性に応じた河道貯留機能を適切に算定可能であることを確認した。

表-2 河道設定区間延長

河道設定区間	区間延長 (km)	
	貯留関数モデル	準二次元不定流解析モデル
河道B	4.4	0.6
河道C	11.0	3.0
河道D	3.8	1.6
河道E	2.4	0.8
河道F	15.6	15.2

(2) 二手法併用による河道貯留量の相互検証

実測データがない条件下で推定値の信頼性を確保するため、貯留関数法と準二次元不定流モデルの異なる二手法による河道貯留機能の比較検証を実施した。

各手法における貯留機能は、貯留関数法では各河道モデルでの流入量と流出量の差分とし、準二次元不定流解析モデルでは設定した上流断面と下流断面の通過流量の差分として評価することとした。

また、比較にあたっては、遊水地候補地を含む河道Bおよび河道Cを対象とし、対象区間延長の違いを補正するため、河道延長1kmあたりの貯留量を用いることとした。

図-8に区間全体の河道貯留機能比較結果を示す。区間全体の総貯留量はモデル化している区間延長が長い貯留関数法の算定値のほうが大きな値を示した。

しかし、これを1kmあたりの貯留量に換算して比較すると、図-9に示すように両モデルはほぼ同等の貯留量となることが明らかとなった。

これにより、実測データが存在しない条件下であっても、異なる二手法による結果が整合したことから、解析により推定された河道貯留機能が一定の信頼性を確保していることを実証した。

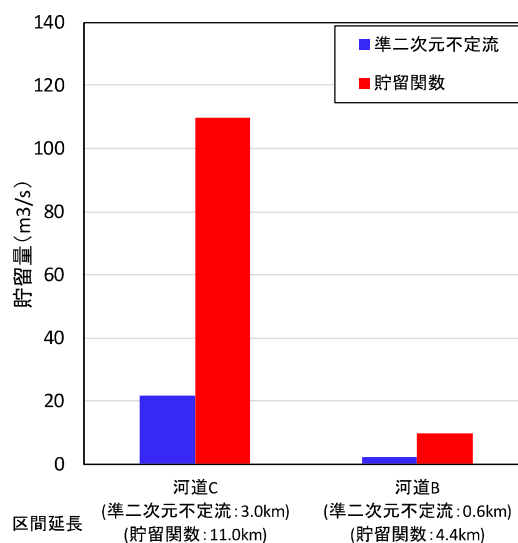


図-8 二手法による河道貯留機能比較（区間全体）

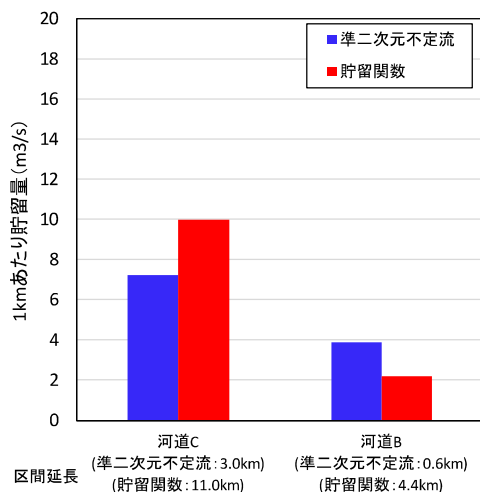


図-9 二手法による河道貯留機能比較
(1kmあたり)

(3) 人為的地形改変を伴う遊水地整備の有用性検証
死水域を活用した河道内遊水地整備の有用性を評価するため、対象河川の川幅の縦断変化に基づき、河道を全17の区間に分割し、各区間の川幅・高水敷幅と貯留量の関係を分析した。

図-10に川幅と区間別貯留量の関係を示す。対象河川の中流域に位置する遊水地候補地（区間9、区間12）では、現状の自然状態において、合計約9m³/sの河道貯留効果が見込まれることがわかった。

これに対し、区間9、区間12において人為的に遊水地を整備し洪水調節を図る施設計画を想定した場合、表-3に示すとおり同規模の洪水時に約120m³/s程度の洪水調節量が得られると算定された。

以上より、自然状態での貯留量（約9m³/s）と比較して、人為的な遊水地整備が大きく洪水調節機能の強化に寄与することは明白であり、河道内遊水地整備の有用性が定量的に証明された。

表-3 遊水地のピークカット効果量

	面積	容量	効果量	該当区間
遊水地A	12.9万m²	33万m³	約50m³/s	区間12
遊水地B	13.0万m²	79万m³	約50m³/s	区間12
遊水地C	4.0万m²	21万m³	約20m³/s	区間9

5. 結論および今後の展望

本検討では、用地確保が困難な都市河川において、死水域を活用した河道内遊水地の計画に不可欠な河道貯留現象の定量評価を行った。

貯留関数と準二次元不定流解析の二手法により算定された河道貯留量は同等の貯留効果を示し、実現象上の貯留量が不明な条件下においても、推定値が一定の信頼性を確保できることを明らかにした。

また、人為的な地形改変を伴う遊水地整備により、自然の貯留機能を上回る洪水調節効果を発揮することを定量的に示し、その有用性を評価した。

本検討で確立した貯留量検証手法は、実測データが乏しい他河川にも適用可能であると考えられ、今後は本手法を活用し、自然環境が持つ機能を活かした効率的な治水対策の広範な発展に寄与していく。

なお、本検討で対象とした河道内遊水地は、気候変動に伴う流量増加への対応策として、洪水調節施設の可能性・有用性を検討した一事例であることに留意されたい。

謝辞：本稿は一級河川における治水対策検討業務の成果の一部を活用したものである。本稿の公表を許可いただいた当該業務の発注機関ご担当者様、ならびにご協力いただいた皆様に、厚くお礼申し上げます。

参考文献

1) 国土交通省：気候変動を踏まえた水災害対策の在り方について，2019。



図-10 縦断的な川幅と区間別河道貯留量の関係

建設発生土受入地における多目的広場の土地利用計画

のぐち きょうへい たかぎ ともゆき
○野口 恭平¹・高木 智之¹

¹株式会社テイコク コンサルタント本部 都市デザイン部

(〒450-0002 名古屋市中村区名駅 4-3-26 明治安田名古屋駅前ビル 13F)

本稿では、伊豆縦貫自動車道河津下田道路の建設発生土の受入れによって形成される平場、法面および高低差を、広場を構成する利用空間として計画した検討成果を示す。本計画では、建設発生土の受入れに伴う地形・景観の変化と面積制約に対応しながら、魅力ある土地利用計画を立案し、建設発生土の受入れを地域の新たな価値へ転換することが課題であった。課題解決のため、造成計画による周辺環境との調和、既設水路の付け替えによる平場の確保を検討した。また、同時在園者数に基づいた駐車場規模を適正化、建設発生土や盛土による高低差を回遊動線や眺望空間、築山とすることで、計画地全体を利用空間とし、盛土を新たな魅力へと転換した。

Key Words: 建設発生土、土地利用計画、多目的広場、法面活用、防災機能

1. はじめに

本稿では、伊豆縦貫自動車道河津下田道路の建設発生土受入地としての制約を魅力へと転換し、限られた平場において地域交流機能と防災機能を両立させた検討成果を示す。

2. 計画条件と設計課題

(1) 計画地の立地・景観特性

本計画地の事業区域は約 1.9ha であり、国道 414 号と二級河川稲梓川に挟まれた傾斜地である。国道から河川側へ耕作の名残を示す段丘状の地形が続く。計画地内には用水路が横断している。周辺には緑豊かな山々に囲まれた里山と田園風景が広がり、下田市景観計画では里山ゾーンに位置付けられ、里山、水辺および田園と調和した農村景観の形成が求められている¹⁾。



図-1 計画地と既設用水路

(2) 上位計画および地域要望

下田市都市計画マスタープランの稲梓地域別構想では、交通基盤整備による立地の優位性を生かし、

災害時にも利用できる広場を確保する方針を示している²⁾。また、稲梓地域活性化基本計画では、関係人口、広域交通および防災機能を意識した拠点づくりを基本方針としている³⁾。

平成 30 年から平成 31 年にかけて開催された建設発生土活用検討会では、（仮称）箕作広場のコンセプトを「地域住民の誰もが気軽に楽しむことができ、地域のつながりと交流を深める憩いの場」とし、幅広い世代の趣味活動や地域交流に利用できる機能が求められた。

本計画における地元説明会では、伊古奈桜の植栽、ウォーキングコースおよび遊具の設置が要望された。また、発注者からは、グラウンドゴルフコート、地域交流広場、バリアフリーおよび多世代利用に対応する機能に加え、防災ヘリポート、一時避難場所および災害廃棄物仮置場の確保が求められた。

(3) 課題の整理

本計画では、限られた事業区域内において、建設発生土を受け入れつつ、地域交流機能と防災機能を備えた多目的広場を成立させる必要があった。このため、建設発生土の受入れに伴う地形・景観の変化と面積制約に対応しながら、魅力ある土地利用計画を立案し、建設発生土の受入れを地域の新たな価値へ転換することを設計課題であった。

3. 課題解決のための技術的工夫

(1) 造成形式の選定

a) 補強土壁案

建設発生土受け入れによる盛土は計画地の大部分を占めることになる。景観計画と土地利用計画の双方に大きく影響する。そこで、垂直に近い壁面により平場を広く確保できる補強土壁案と、安定勾配の斜面で盛土を構築する法面案を比較した（図-2、図-3、表-1）。補強土壁案は約 10,500m²の平場を確保でき、建設発生土の受入量にも優れる一方、最大高さ約

15m の壁面が河川空間と広場空間を分断し、概算事業費は170 百万円となった。

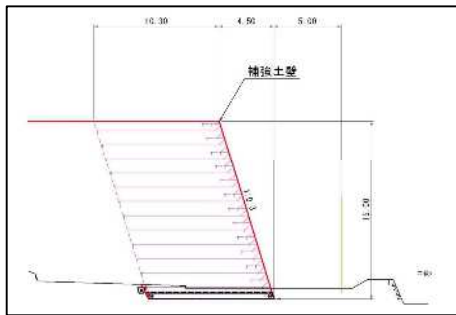


図-2 補強土壁案

b) 法面案

法面案では、平場面積が約 4,000m²となるものの、構造物を用いないため、概算事業費を 24 百万円に抑えられる。また、緑化した段丘状の法面は、かつての耕作地形を想起させ、周辺の田園景観との連続性を確保できる。

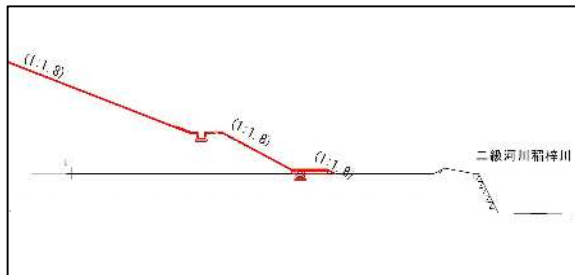


図-3 法面案

表-1 補強土壁案と法面案の比較

比較項目	補強土壁案	法面案
広場面積	約 10,500 m ²	約 4,000 m ²
事業費	170,000,000 円	24,000,000 円
景観・利用	直壁が盛土の上下空間を分断	緑化・回遊利用が可能

比較の結果、本計画では事業費の低減と景観性を重視して法面案を採用した。建設発生土による盛土を段丘状に造成することで、周辺の田園景観との調和を図った。これにより、建設発生土の受入れという制約を、地域固有の景観を継承する土地利用上の価値へ転換した。

一方、補強土壁案に比べて平場が減少するため、広場面積を最大限確保するため、土地利用上の制約となる用水路の付け替えを検討した。

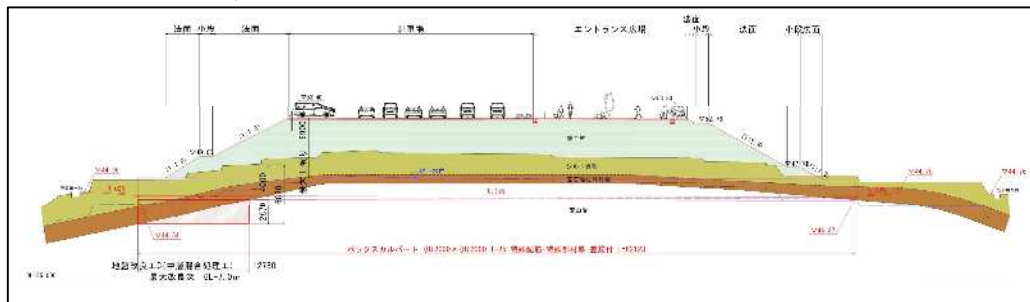


図-5 造成・広場・横断ボックスの一体断面

(2) 用水路の暗渠化による平場面積の確保

計画地を広場として一体的に利用するには、既設用水路の付替えが必要であった。維持管理性を考慮して開渠として盛土外周へ付け替えることが一般的な案であるが、本計画では管理道を含む用水路用地が必要となり、平場面積が縮小することとなる。そのため平場面積を確保するために、用水路を盛土下で直線的に結び、上部を広場として利用する暗渠化案を検討した。暗渠化に伴う維持管理上の課題に対し、ボックスカルバート (B2.0m×H2.0m、延長約 82m) の内部に用水断面と人が通行できる管理用通路を併設した (図-4)。これにより、内部から点検・管理できる構造とし、用水路上部を連続した平場として利用できる計画とした。

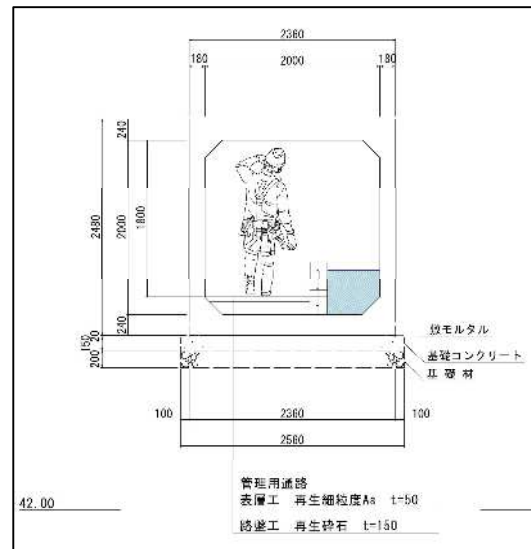


図-4 管理用通路付きボックスカルバート

暗渠化案は、外周付替え案と比較して用水路工が 56 百万円増加する。一方、盛土計画で法面案を採用したことにより、造成工事費は補強土壁案と比べて 146 百万円縮減できるため、用水路単体では費用が増加しても、造成と土地利用を含む計画全体では予算内で広場面積を確保できた。

以上により、既設用水路を、維持管理性を確保した上で盛土下へ付け替えることにより、地表における土地利用の分断を解消し、法面案を採用した条件下においても約 5,000m²の連続した平場を確保した。

(3) 立地・空間特性を生かしたゾーニング

前述の地域要望の機能を限られた平場に配置するため、まず、「一つの大きな活動空間を外周動線が包む広場」をコンセプトとする案1を立案した。

案1では、中央に2,810m²の多目的広場を配置し、その外周にウォーキングコースを設け、稲梓川を眺めながら散策できる構成とした。多目的広場を最大限確保できるため、グラウンドゴルフや地域行事などの活動空間としての一体性に優れる計画であった。

一方、広場の大部分を単一の多目的広場が占めるため、施設構成と利用目的が限定され、子供連れや休憩を目的とする広場利用者が滞在できる空間が不足していた。また、ウォーキングコースの途中に立ち寄る場所が少なく、広場全体への滞在や回遊を促しにくいことも懸念された。

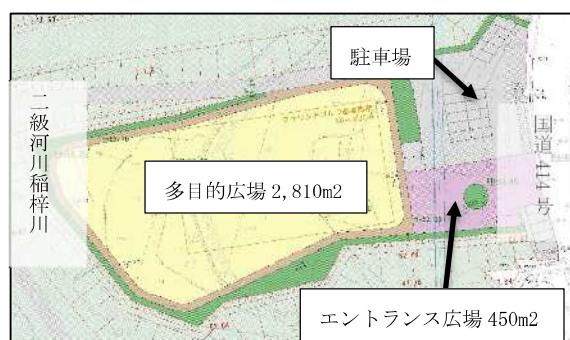


図-6 ゾーニング案1（多目的広場重視案）

そこで、案1で明らかとなった課題を解消するため、「活動・滞留・歩行の目的地を回遊動線でつなぐ広場」をコンセプトとする案2を立案した。案2では、多目的広場をグラウンドゴルフに必要な面積を確保できる2,270m²とし、案1から縮小した面積を子供広場と眺望・休憩のためのリラックス広場へ振り分けた。

子供広場には、地域で親しまれている寝姿山を模した建設発生土による築山を配置した。また、リラックス広場には、盛土によって生じる高低差を生かし、稲梓川や周辺の田園風景を望むことができる滞留空間を設けた。さらに、各施設を結ぶウォーキングコースを確保し、歩行の途中で遊び、休憩および眺望を楽しめる回遊動線を形成した。

建設発生土の受入れは、計画地の地形を大きく変え、地域住民が慣れ親しんできた景観にも変化をもたらす。そこで案2では、建設発生土を単なる盛土材料として扱うのではなく、新たな地形と利用空間を形成する資源として活用した。築山によって子供の遊び場を創出するとともに、盛土によって得られる高さを眺望や休憩に生かすことで、景観の変化を、遊び、散策、滞留および眺望という新たな価値へ転換した。これにより、建設発生土の受入れに伴う地域の負担に対し、そこから生まれる新たな魅力を広場の機能として地域へ還元する計画とした。

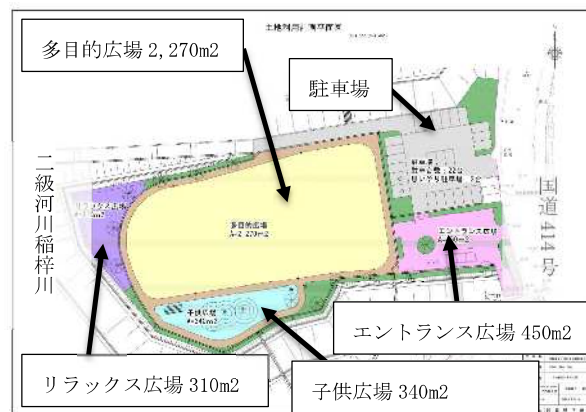


図-7 ゾーニング案2（多用途重視案）

(4) 平場面積制約下における土地利用上の工夫

a) 法面を活用した回遊動線

各空間は、バリアフリーに配慮した回遊動線で結んだ。さらに、法面にスロープ状の園路、階段を設け、盛土上の眺望空間から法面を経て稲梓川沿いまでをつないだ（図-8）。これにより、造成によって生じる法面をウォーキングと眺望の空間として取り込み、計画地全体を一体的に利用できるゾーニングとした。

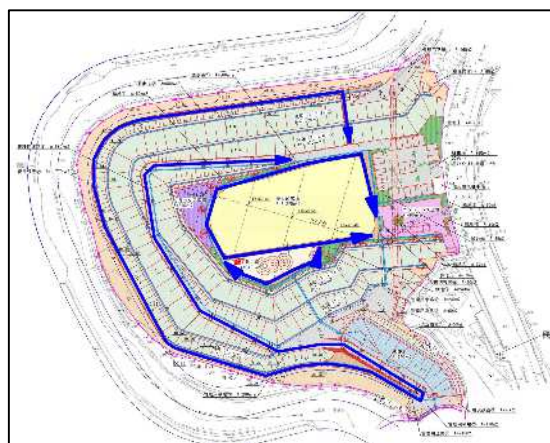


図-8 法面を活用した回遊動線

b) 同時在園者数に基づく駐車台数の適正化

本広場は市街地から離れており、自動車やバスによる来園への対応するため、必要な駐車台数を確保する必要があった。一方、広場として利用できる面積には制約があり、過大な駐車場整備は、多目的広場や滞留空間などの縮小につながる。このため、明確な算定基準がない中で、利用実態に即した駐車台数を設定し、駐車場面積を適正化することが課題となった。

そこで、「令和3年度都市公園利用実態調査（国土交通省）」⁴⁾を用いて、想定される利用状況を整理した。

この広場の休日1日の来園者数は同資料より同程度の広場の来園者数より約420人と整理できた。しかしこれは同時在園者数を考慮しない1日の総計であるため、これを基に駐車台数を算定するのは過

大となる。そこで、同資料に示された広場への在園時間と回転率から同時利用者数を 105 人と割り出した。

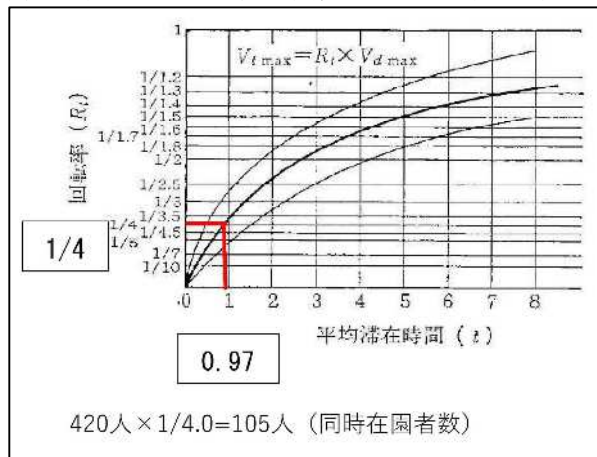


図-9 平均滞在時間と回転率

さらに同資料において、広場へのアクセス手段として自家用車の利用率は 16.5%であった。前述した立地特性よりこの広場のアクセス手段として徒歩 (55.6%)、自転車 (23.6%) 以外は自家用車でのアクセスであると予想されるため、自家用車利用率は 20.8%と整理した。また、来園者のグループ構成は一人での利用、家族での利用が大部分を占めたため一台当たりの平均乗車人数を 2 人と想定し、必要最低限の駐車台数を 11 台とバリアフリー駐車用 2 台の計 13 台と整理した。

この台数を必要最低限の台数として、地元説明会を行い、現在グラウンドゴルフで使用している広場と同程度の駐車台数の要望があった。この要望を受けて最終的には一般駐車区画 22 台とバリアフリー対応駐車区画 2 台の計 24 台を確保した。

このように、1 日当たりの総来園者数ではなく、同時在園者数に基づいて駐車需要を算定することで、必要台数の根拠を明確にしつつ、駐車場の過大な整備を回避した。これにより、駐車機能を確保しながら駐車場面積を抑え、限られた敷地を多目的広場や滞留空間として有効に活用することができた。

c) 日常利用と防災機能の両立

防災機能として、災害廃棄物仮置場 2,000m²、防災ヘリポート 1,500m²および一時避難場所 130m²が必要であった。これらは平場面積の約 60%に相当し、専用の防災用地を設けると日常利用のための広場面積が不足する。そこで、災害時の機能を平常時の土地利用に重ねて配置した (図-10)。

ヘリコプターの進入表面上には構造物や植栽を突出させないことが制約となる一方、日常利用には照明灯や伊古奈桜の植栽が必要であった。そこで、夜間は周辺防災施設との連携によりヘリポート機能を補完することを条件に、地表面から 15m 上空に仮想

離着陸帯を設定した (図-11)。これにより、進入表面を確保しながら高さ 15m 以下の照明灯や植栽を配置し、平常時の魅力と災害時の機能を両立した。



図-10 日常利用と防災機能の重層化

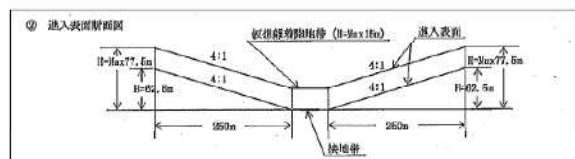


図-11 仮想離着陸帯と進入表面の設定

4. おわりに

本計画では、建設発生土の受入れに伴う盛土法面を地域固有の景観を継承する要素として活用するとともに、用水路の付け替えや駐車場規模の適正化により、約 5,000m²の連続した平場を確保した。多目的広場を中心に各広場や駐車場を一体的に配置し、盛土や築山、高低差を回遊動線、遊び、休憩、眺望の場として活用することで、建設発生土によって生じる地形を土地利用上の価値へ転換した。

また、多目的広場、駐車場およびエントランス広場に、防災ヘリポート、災害廃棄物仮置場および一時避難場所の機能を重ね、平常時の交流・滞在の場を災害時には地域支援の拠点として活用できる計画とした。

以上により、平場だけでなく法面や高低差を含む計画地全体を活用し、建設発生土受入地を地域に新たな価値を還元する広場として計画することができた。

謝辞：本業務の遂行に当たり、ご協力いただいた発注者および地域住民の皆様に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 下田市：未来につなぐ景観まちづくり稲梓地域景観ガイドライン、令和 8 年 3 月
- 2) 下田市：下田市都市計画マスタープラン～下田まちづくりの設計図～、平成 28 年 3 月
- 3) 下田市：新しい道豊かな里山花と農の稲梓-稲梓地域活性化基本計画-、令和 6 年
- 4) 国土交通省 都市局 公園緑地・景観課：令和 3 年度都市公園利用実態調査報告書(抄)、令和 4 年 3 月

都市計画マスタープランの実効性を高める 運用手法の構築と実践 ～岡崎市都市計画マスタープラン改定業務を通じて～

おがた けいこ
○緒方 景子

株式会社オオバ名古屋支店（〒460-0003 名古屋市中区錦 1-19-24 名古屋第一ビル 7 階）

都市計画マスタープランを実効性のある計画とするには、計画の継続的な改善と多様な主体が参画する都市づくりの推進が必要である。岡崎市の計画改定業務では、計画評価指標を活用した進行管理による計画の評価・改善に加え、中山間地域も含めた地域の持続性の確保、オープンハウスや子ども向け概要版の作成等による主体的な市民参画の促進を実践した。本稿は、都市計画マスタープランを「行政の計画」から「市民と共に実現する計画」へ発展させるための運用モデルを提案するものである。

Key Words: 都市計画マスタープラン, 進行管理, 市民協働, 将来都市像, 共有化

1. はじめに

(1) 背景

都市計画マスタープランは、平成 4 年の都市計画法改正により規定された「市町村の都市計画に関する基本的な方針」であり^{注1)}、市町村が目指す将来都市像や都市づくりの方針を示す都市計画分野の基本的な計画として位置付けられている。市町村が定める都市計画は本計画に即したものでなければならないことから、都市計画決定や各種事業を推進する上で重要な役割を担っている。

都市計画運用指針では、生活像や産業構造、自然環境等に関する現況や動向を勘案した上で、まちづくりの具体性のある将来ビジョンを確立することが望まれている。加えて、住民が将来都市像を具体的にイメージし、個々の都市計画が都市全体の中でどのような役割を担うのかを理解できるよう定めることが望ましいとされている。また、住民や事業者を含む多様な主体がその内容を理解し、共有することで、都市づくりに対する合意形成や主体的な参画を促すことが期待されている。^{注2)}

近年は人口減少や少子高齢化の進展に加え、気候変動に伴う自然災害の頻発・激甚化への対応、脱炭素社会への移行等、都市を取り巻く環境が大きく変化している。こうした状況に対応するためには、計画を継続的に見直して改善するとともに、多様な主体が参画する都市づくりを推進していくことが必要であり、それにより「行政の計画」から「市民と共に実現する計画」に発展させることができる。

(2) 岡崎市の概要

岡崎市は愛知県のほぼ中央に位置し、西三河地域の中核都市として産業・居住・交流機能を担う、人口 38 万人の中核市である。徳川家康の生誕地で歴史・文化資源が豊富で、近年は自動車産業等の製造業の集積がみられる。面積は 387.2 km²（県内第 3 位の規模）で、市町村合併を経て市域が拡大してきた。市の東部に都市計画区域外のエリアを有し、市街地が広がる都市部と、豊かな森林や農地を有する中山間地域を併せ持つ都市構造となっている。



図-1 岡崎市の概況

(3) 本稿の目的

本稿は、岡崎市を対象に、都市計画マスタープランを「行政の計画」から「市民と共に実現する計画」へ発展させるための方策を整理し、計画の実効性向上に資する運用手法を提案することを目的とする。

2. 計画改定時の3つの目標

岡崎市は令和3年3月に都市計画マスタープランを策定し、「自然・歴史・文化を礎に新たな暮らしと活力を創造する風格ある都市 岡崎」を基本理念として掲げている。^{注3)}

計画策定から5年が経過し、計画策定後の社会情勢の変化や市内で実施している事業の進捗状況に対応するため、計画の改定を行った。

本改定では、「市民と共に実現する計画」とするために、以下①～③に示す目標を設定した。各々の課題と解決策を3章～5章で述べる。

- ① 計画の実効性の向上
- ② 中山間地域も含めた地域の持続性の確保
- ③ 主体的な市民参画の促進

3. 計画の実効性の向上

(1) 課題：指標の評価結果の施策への反映

都市計画マスタープランは長期的な方針を示す計画であるため、定量的な指標を設定している自治体は少なく、計画の進捗状況や効果を客観的に把握し、その結果を計画へ反映する仕組みが必ずしも十分に確立しているとは言えない。計画を改定する際は、施策の進捗状況や市民意識調査等から改定すべき内容を整理することが多い。

岡崎市では計画策定時に計画評価指標（数値目標）を設定しており、指標を用いて施策の達成状況を評価する進行管理の方法を採用している。この指標を十分に活用して評価結果からこの間の都市づくりの状況を分析し、施策へ反映することが求められた。

(2) 解決策：施策の見直しと指標の追加

計画評価指標は人口・産業・防災・公共交通・居住環境等の16個が設定され、その内13個に中間目標値が設定されている。指標の達成状況は、達成または概ね達成が11個、未達成が1個（防災体制の満足度）、評価に必要な実績値が得られず評価ができないが1個（都市の魅力の満足度）だった。

未達成であった防災体制の満足度の指標に対して、要因分析や対応方法を議論している最中、台風15号が発生し、内水氾濫等の被害が生じた。ハード整備に加え、ソフト対策を推進する必要性が議論され、避難施設や支援物資の提供に関する民間事業者との協定締結等を地域の防災力を高める施策として追加した。加えて、これまで市が実施してきた防災対策を市民に共有するためコラムを拡充した。

また、市民意識調査の調査票が変更となり、都市の魅力の満足度が評価できなくなったため、指標の見直しを行った。全国的に若年層の流出による人口減少が進んでいる中、市街地に人口が集積・転入している状況が市の大きな強みであるため、市の強みや魅力を評価する指標として「市街化区域の転入人口」を新たに設定した。

4. 中山間地域も含めた地域の持続性の確保

(1) 課題：中山間地域の価値・役割の明文化

岡崎市は、平成18年に振興山村地域である旧額田町が合併し、市街地を中心とする都市部と森林や農地が広がる中山間地域の双方を有する都市構造となっている。中山間地域は市面積の約6割（国の農業地域類型区分による中山間地域の他、都市的地域の中で林野率が高い等の地域）を占め、小学校区を単位に集落が形成されている。

従来の計画でも中山間地域の保全に関する方針は示されていたが、その意義や目的については十分に整理されておらず、地域の持つポテンシャルや都市づくりにおける役割が明文化されていないことが課題だった。

(2) 解決策：中山間地域の価値・役割の再評価

岡崎市の中山間地域にある森林や農地、河川等の自然環境は、水源かん養や防災・減災の機能を有している。これらは都市部の生活環境や利便性向上とも密接に関係し、市全体に恵みをもたらす重要な役割を担っている。中山間地域は市の発展や持続性を確保する上で必要不可欠な地域であるため、「保全すべき地域」から「市民の暮らしや都市の持続可能性を支える重要な地域」として再評価した。

計画書では、下記項目を見直した。

- ① 森林や農地が持つ多面的機能を具体的に記載
- ② 都市づくりの課題や景観・自然環境に関する方針に中山間地域の役割を明記
- ③ 森林等を活用した新たな事業・価値の創出や地域経済の活性化を図る取組の推進を追加
- ④ コラムの拡充

表-1 中山間地域に関する記載内容の見直し概要

項目	改定前	改定後
都市づくりの課題	・ 郊外部や山間部にある豊かな自然環境や優良農地の保全、無秩序な市街化の抑制が必要	・ 郊外部や山間部にある農地や森林などの豊かな自然は、農林水産物の生産や防災・減災など、多面的かつ公益的な機能を有し、市全体に恵みをもたらす重要な役割を担っているため、無秩序な市街化を抑制し、自然環境を保全することが必要
景観・自然環境に関する方針	・ 森林や農地の多面的機能を認識し、無秩序な開発を抑制することで豊かな自然環境を保全する	・ 森林は、水源かん養や土砂災害防止、保健・レクリエーション、生物多様性保全などの多面的機能を有しているため、無秩序な開発を抑制し、持続可能な森林づくりを行う ・ 農地は、米や野菜などの食料を安定的に供給する基盤であるとともに、国土の保全、雨水の一時的な貯留による洪水や土砂災害の防止、水源かん養、都市景観の向上、生物多様性の保全、文化の伝承といった多面的機能を有しているため、無秩序な開発を抑制し、農地を保全する ・ 本市の豊かな農業環境を生かし、周辺環境や景観に配慮しつつ、市民自らが農に触れる機会や生産者と交流する機会を提供する場の創出に取組みます。

なお、中山間地域は都市計画区域外であり、都市計画マスタープランが主体的に施策を講じるエリアではない。方針を明記しただけでは施策の実効性が伴わないため、具体的な取組は「岡崎市中山間地域活性化計画（令和4年3月策定）」と連携して実施することとし^{注4)}、コラムとして上記計画の概要を新たに掲載した。

5. 主体的な市民参画の促進

(1) 課題：都市計画を身近に感じる仕組みづくり

市民や事業者を含む多様な主体が計画の内容を理解し共有することで、計画の実現に向けた合意形成や参画につながる事が期待されている。しかし、計画書は専門的な内容が多く、文章量も膨大になるため、市民が内容を理解することは容易ではない。

住民参加の機会は、計画策定時に策定委員会や住民ワークショップ、住民説明会等で設けられることが多いが、策定後も継続的に情報の発信や共有する取組を実施しているケースは多くない。そのため、市民が計画を「自分ごと」として捉え、主体的にまちづくりへ参画するためには、都市計画をより身近に感じられる仕組みをつくる事が課題だった。

(2) 解決策①：オープンハウスの実施

＜市民との継続的な対話の推進＞

計画策定時に住民説明会やパブリックコメントを実施し、計画内容の説明や意見収集を行うことが多いが、計画に関する素朴な疑問や些細な要望等を収集することは難しく、また、自分の生活とどのように関係している計画なのかを伝えるのは難しい。

そこで、市民が多く集まる大型商業施設や岡崎市のイベントにおいてオープンハウスを2回実施し、市民と行政職員との対話を通じて計画内容を伝え、自分が暮らす地域のまちづくりを考えてもらう機会を設けた。オープンハウスとは、説明パネルを展示して概要を説明しながら意見聴取する方式である。パネルには計画を策定する意義や目的と、検討段階の計画書の内容を提示し、市民が自由に閲覧できる形式とした。

また、アンケート形式で意見募集も併せて実施し、「20年後の岡崎市に望む都市像」について合計で880人の意見を収集した。



図-2 オープンハウスの様子



図-3 アンケート調査結果

(3) 解決策②：子ども向け概要版の作成

＜都市計画を身近にするツールの活用＞

都市計画マスタープランの内容を広く市民へ伝えることを目的に、小学校高学年を主な対象とした概要版を作成した。計画の内容を単純に要約するのではなく、子どもたちが自分の住はむまちの将来像について興味や関心を持ち、自分がまちづくりを進める一員であることを理解してもらうことを目指した。

子どもだけでなく、保護者や教員等の幅広い世代が読みやすい資料となるよう、次の4点を工夫した。

a) 将来都市像の可視化

計画書では将来都市像や土地利用方針を文章や図面で示しているが、子どもにとっては理解が難しいため、未来のまちの姿をイラストとして表現した。イラストには住宅地や自然豊かな地域等、どのような暮らしが実現されるのかを視覚的に示すとともに、各地域のランドマークとなっている公園や施設も描き込み、地域資源を可視化した。



図-4 将来都市像のイラスト

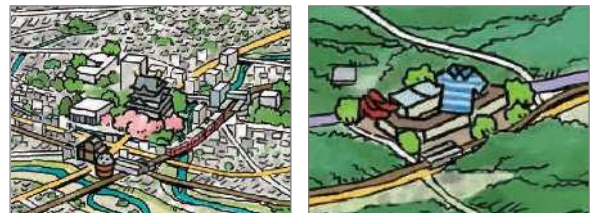


図-5 地域のランドマークの例

(左：岡崎城周辺の市街地、右：本宿駅周辺の商業施設)

b) 平易な表現への再構成

都市計画マスタープランには専門用語が多く用いられるため、表-2に示す通り、子どもにも理解できる言葉に置き換え、生活に身近な表現で説明した。また、一文を短くし、読みやすさにも配慮した。

表-2 表現の再構成の例

計画書本編	子ども向け概要版
自然環境と調和した都市づくり	森林や田んぼ、川などを大切にする
暮らしやすさと豊かさを実感できる快適な居住環境の創造	学校、病院、お店、会社などが家の近くにあるようなまちにする
防災機能の強化により誰もが安全で安心に暮らせる市街地の形成	川の堤防や山の斜面を強くする こわれにくい道路や建物をつくる

c) 「自分ごと化」を促す構成

計画内容の説明に加え、自分ができることを記載するページや地域のまちのイメージを描くページを設け、まちづくりの「自分ごと化」を促す構成とし

た。自分が地域のまちづくりを進める主体であることを意識させる内容にすることで、都市計画が行政の計画ではなく、自分の暮らしに関わるものとして捉えられるよう工夫した。

d) 親しみやすい案内役の設定

子どもたちが最後まで興味を持って読み進められる工夫として、案内役の「ザッキー」を設定した。ザッキーは各ページで子どもたちに問いかけたり、難しい言葉の解説を行ったりする役割を担うものとした。キャラクターを活用することで親しみやすさを高め、学習教材や読み物として楽しみながら理解できる構成とした。



図-6 ザッキーの掲載箇所（抜粋）

(4) 今後の活用方法

子ども向け概要版は、市の公式 YouTube で紹介されている。今後は市内小学校の出前講座等での活用が予定されており、将来の都市づくりを担う世代だけでなく保護者世代への波及効果も期待できる。

そうした活動を継続していくことは、市民の都市計画への理解や関心を高めることに加えて、市民参画の基盤づくりにつながると考えられる。



図-7 岡崎市公式 YouTube

6. 考察

(1) 業務から得られた知見と今後の展望

本業務で実践した取組から得られた知見と今後の展望を表-3 に示す。これらの知見に共通するのは、行政内部の計画管理と市民との共有を分断せず一体的に運用する視点の重要性である。

(2) 運用モデルの提案

上記の視点を運用の枠組みとして体系化し、「岡崎モデル（PDCA+Share）」として図-8 に提案する。

本モデルの特徴は、従来の PDCA サイクルに Share を組み込み、行政内部で完結しがちな進行管

理を市民との対話や情報発信と連動させた点にある。Share は、理解・共感・自分ごと化を経て主体的参画に至る段階的な市民の意識変容・行動変容を企図するものであり、本稿で実践した取組はその初期段階に位置付けられる。

本モデルは他都市にも適用可能だが、評価指標や共有化の手法は、地域特性に応じて柔軟に設定する必要がある。

表-3 得られた知見と今後の展望

得られた知見	今後の展望
①計画の実効性向上には計画を継続的に評価し改善する仕組みの構築が重要	・施策効果は長期的に発現するものもあり、都市を取り巻く課題は変化し続けるため、 社会情勢や地域課題に応じて指標を定期的に見直す必要がある。 ・ 指標のみで都市づくりの成果を判断することは難しいため、③で示す市民参画の場の提供等、多角的に行うことが必要。
②将来都市像の理解促進には、方針だけでなく意義や目的を伝えることが重要	・将来都市像は継続的に更新し、 市民が意義を理解できる仕組みを充実させる。 ・農業・森林・自然環境等の多面的機能の維持には、 地域住民や関係団体との連携体制の構築が必要。
③都市計画の実現には、市民の意識変容・行動変容と主体的な参画を促す仕組みが重要	・計画策定～運用の各段階で継続的な対話や情報発信を行い、理解から意識変容⇒行動変容⇒参画へつなげることが重要。 ・共有化の手法は 対象とする世代や地域特性に応じて柔軟に設定する。 ・事業効果を 出前講座での意見や要望等を通じて把握し、継続的な改善につなげる。

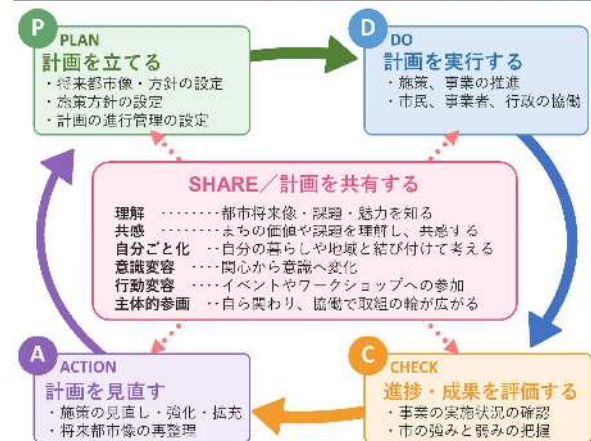


図-8 岡崎モデル（PDCA+Share）

7. おわりに

本稿では、都市計画マスタープランを「行政の計画」から「市民と共に実現する計画」へと発展させるため、岡崎市の業務を通じて、計画の進行管理と将来都市像の共有化を一体的に推進する手法を体系化した「岡崎モデル（PDCA+Share）」を提案した。このモデルは都市計画マスタープランの運用の1つの方向性を示すものであり、今後は Share の効果検証と他計画への適用を通じて発展させていくことが望まれる。

NOTES

注 1) 都市計画法及び建築基準法の一部を改正する法律（平成 4 年法律第 82 号）、平成 4 年 6 月 26 日公布。

注 2) 国土交通省：第 11 版 都市計画運用指針、令和 2 年 9 月

注 3) 岡崎市：岡崎市都市計画マスタープラン、令和 8 年 3 月。

注 4) 岡崎市：岡崎市中山間地域活性化計画、令和 4 年 3 月。

「田子の浦港」の新たな賑わい創出に向けた 基盤整備検討

うえだたくや ますおかあきひろ すぎやまたつひこ なかじまこと
○上田拓矢¹・増岡 晃大¹・杉山達彦¹・中島 誠¹

¹ (株) オリエンタルコンサルタンツ 中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2丁目14-19 住友生命名古屋ビル)

本業務は、静岡県富士市の田子の浦港プロムナードゾーンにおいて、新たに創出された漁網倉庫跡地の利活用方策を検討したものである。港湾景観や富士山眺望を活かした賑わい創出を目的に、憩い空間、レンタサイクル、フォトスポット・休憩空間をテーマとした社会実験と利用者アンケートを実施し、休憩・滞留機能等の需要を把握した。さらに、WEBアンケートや住民ヒアリングを統合的に分析し、「人々の往来を促しエリア全体の賑わいを創出する憩いの空間」という整備コンセプトを構築した。社会実験に基づき利用者ニーズを定量的に把握し、景観性・安全性・管理条件を踏まえた整備方針の具体化と関係者合意形成を行った。

Key Words : 港湾空間デザイン, 港湾環整備施設, 実証実験, 利用実態調査, PPP (官民連携), サウンディング

1. はじめに

静岡県富士市では、「田子の浦港振興ビジョン」に基づき、「田子の浦港漁協食堂（以降、漁協食堂）」と「ふじのくに田子の浦みなと公園（以降、みなと公園）」をつなぐプロムナードゾーンのにぎわいづくりを進めており、プロムナードゾーン内にある「漁網倉庫」の移転により新たな空間（以降、「漁網倉庫跡地」）を新たな賑わい拠点として位置づけた空間を創出した。

本業務では、漁網倉庫跡地における、漁網倉庫跡地のコンセプト及び整備方針等の設定を目的とする。

漁網倉庫跡地は、富士山や港風景といった優れた眺望を持つ、南北に延びる敷地（約1,200㎡）である。



図-1 位置図（暫定整備時）

2. 実証実験

来訪者の特性や利用状況等を検証するために、異なるテーマで全3回実証実験を計画し、より多くの来訪者が見込まれる、漁協食堂等で開催されるイベントの実施日に併せて実施した。また、実証実験の実施に併せて、アンケート調査を実施し、来訪者のニーズや施設の内容の満足度等を把握した。

(1) 実証実験の概要

各実証実験のテーマは、①漁協食堂と公園をつなぐ憩いの空間、②漁網倉庫跡地を起点としたまちの周遊の可能性を検証するレンタサイクルの設置とした。また、観光客にも着目し、③既存のフォトスポットに付加価値を与えるお立台や、休憩施設を設置した。

第1回 実証実験	
テーマ	憩いの空間としての利活用
実施概要	テーブル・ベンチ・ハンモック等の休憩施設を設置し、富士山の眺望や港の風景とかけ合わせた憩いの空間としての利活用の効果検証を行う。
同日開催イベント	・田子の浦みなとマルシェ＆朝市 ・推し・映えTAGONOURAによるキッチンカー出店
第2回 実証実験	
テーマ	憩いの空間としての利活用
実施概要	レンタサイクルポートを設置することで、しらす街道や富士山夢の大橋等の周辺観光地への周遊促進の可能性の検証やニーズ調査を行う。
同日開催イベント	・田子の浦ポートフェスタ2024 ・推し・映えTAGONOURA主催のモルック大会
第3回 実証実験	
テーマ	憩いの空間としての利活用
実施概要	不特定多数の方が同時に利用できる憩いの空間や自転車も含めて、これまで以上に映えるフォトスポットを整備し、利活用空間の効果検証を行う。
同日開催イベント	・田子の浦港ライトアップイルミネーション ・港でキャンドルナイト ・推し・映えTAGONOURA（大道芸人、キッチンカー出店）

図-2 実証実験のテーマ

(2) 第1回 実証実験 (9月28日(土)～29日(日))

“憩いの空間としての利活用”をテーマに実施し、「テーブル・ベンチ」「カウチソファ」「ハンモック」を設置し、休憩空間を創出した。

設置した休憩施設はいずれも期待度は高く(3.で後述)、特に、ハンモックは子供から人気があり、当該地との相性が良いことが確認された。



写真-1 カウチソファ(左)/ハンモック(右)

(3) 第2回 実証実験(11月17日(日))

“レンタサイクルによる周遊促進”をテーマに実施し、2種類の「電動アシストサイクル(全8台)」の貸出し(無料)を行い、当該地周辺でのサイクリング体験の機会を創出した。同日開催のイベントでは、漁網倉庫跡地でモルック大会が開催され、当該地では賑わいが生まれていたものの、利用者数は26(人/日)に留まった。



写真-2 電動アシストサイクル(レンタサイクル)

(4) 第3回 実証実験(12月12日(木)～25日(水))

“憩いの空間及び高付加価値化されたフォトスポット空間としての利活用”をテーマに実施し、「休憩施設(ストリートファニチャータイプ)」とフォトパネルの裏に「お立ち台」を設置した。お立ち台は、富士山を背景に写真撮影を行う来訪者やサイクリストが一定数見られ、休憩施設は、食事や談笑を楽しむ利用が確認された。



写真-3 カウチソファ(左)/ハンモック(右)

3. アンケート調査概要と結果

アンケート調査は、設置した施設の利用者に対して、漁網倉庫跡地の利活用のニーズや、実験で設置した施設に対する期待度等の今後の整備方針の検討のための基礎資料を収集するために、来訪者にアンケート票を配布し、現地での本人による記入・回収する方式で実施した。

主なアンケート調査結果を以下に示す。(以降、「N」は回答数、「SA」はシングルアンサーを示す。)

表-1 アンケート調査結果(第1回 実証実験時)

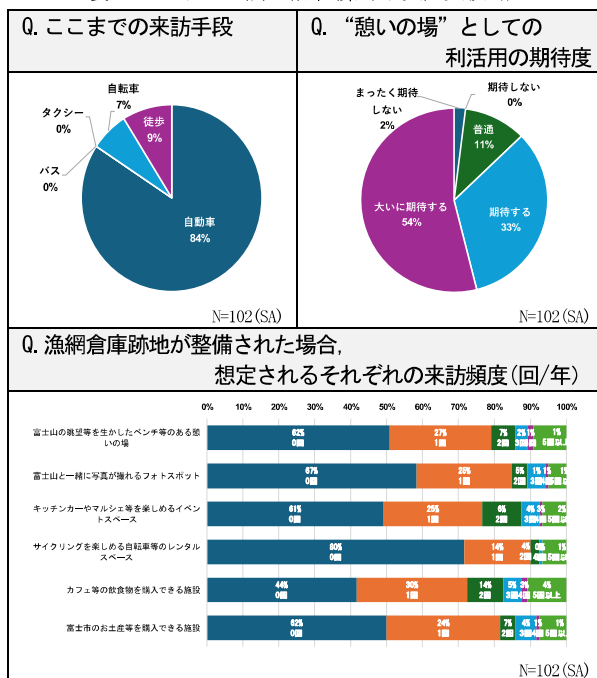


表-2 アンケート調査結果(第2回 実証実験時)

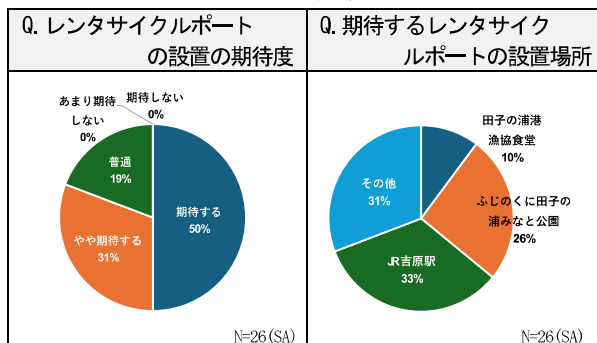
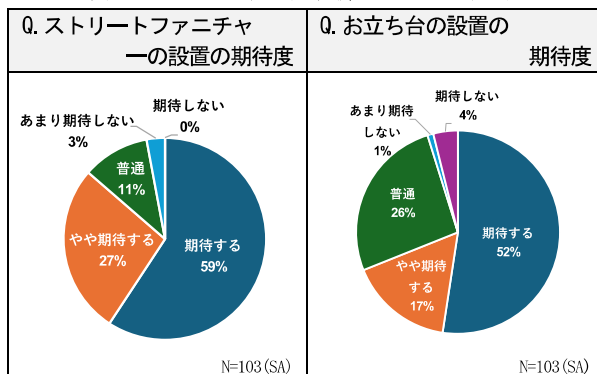


表-3 アンケート調査結果(第3回 実証実験時)



以下にアンケート調査結果の要点を整理する。

(1) 漁網倉庫跡地に関する調査結果の要点

- ・漁網倉庫跡地は、憩いの空間としての期待度が高かった（“大いに期待する” “期待する” が約9割）。【①③】
- ・レンタサイクルポートとしての活用の可能性は、利用者の期待度は高かったものの、利用者が26（人/日）にとどまった点から、ニーズは低いと考える。なお、最寄り駅のJR吉原駅の設置のニーズが高かった。【②】
- ・飲食機能を持たせた場合の利用頻度が「年間5回程度」と一定の需要を確認できたが、利用想定額は飲食や軽食程度の「500円～2,000円」に集中しており、施設規模としては、キッチンカー等の軽食販売程度のものが良いと考えられる。【①】

※ ①：第1回目／②：第2回目／③：第3回目

(2) プロムナードに関する調査結果の要点

- ・整備に必要な要素として、ベンチや日除けを望む声が多かった（SA188に対して、約50%が該当）。
- ・夜間の防犯対策や迷惑駐車対策を徹底して欲しい、自転車走行レーン（矢羽）の設置の要望があった（当該地区住民へのヒアリングより）。

(3) その他

- ・利用者属性としてみなと公園には子供連れの市民が多く、田子の浦港漁協食堂には市外の人が多い（SA207に対して、約35%が該当）。
- ・公共交通の充実やサイクルステーションを整備して欲しいという要望があった（議会報告会より）。

4. 整備コンセプト等の立案

実証実験及びアンケート調査、また別途実施した、富士市市民や周辺自治体民を対象としたwebアンケート調査、地域住民ヒアリング等の結果から、「憩い×飲食」ができる場所を基本としつつ、既存のイベント空間も残したいという意向が強いことが明らかになった。このことを踏まえながら、場所別（プロムナード・漁網倉庫跡地）に整備コンセプト（素案）を立案した。

例えば、漁網倉庫跡地では、「人々の往来を促し、エリア全体の賑わいをつくる憩いの空間」とし、水辺景観との調和や富士山への眺望確保に配慮し、また、コンパクトな飲食施設により、従来のような滞留空間も確保し続ける「憩いの空間」とした。

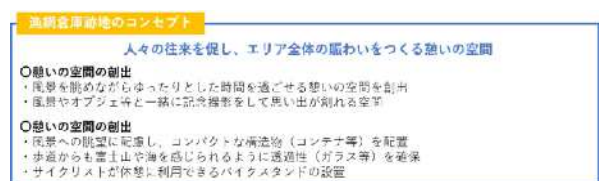


図-3 整備コンセプト（漁網倉庫跡地の例）

整備コンセプト（素案）の検討にあたっては、静岡県景観形成推進アドバイザー制度を活用し、日本大学の岡田智秀教授との意見交換や現地視察を通じ、助言を頂きながら作成した。その後、港周辺企業や各種団体、地元住民、関係行政機関で構成される、「田子の浦港振興ビジョン推進協会にぎわいづくり部会」を通じ、協議を行い、関係者から全体的に理解が得られ、合意形成した。

5. 整備方針の検討

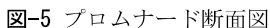
設定したコンセプトの実現に向けて、プロムナード及び漁網倉庫跡地の整備の方向性を検討した。



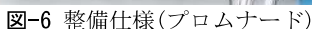
図-4 整備方針の立案

a) 制約条件

A. PC構造物であり、構造的に歩道の拡幅やセミフラット構造への変更が不可。
B. 歩道は、C形のプレキャスト構造物を活用した張出構造であり、As舗装は、厚 $t=3\text{cm}$ でありインターロッキングが不可。



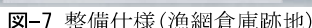
制約条件を踏まえ、As舗装とし、落ち着きのある色調とし、転落防止策は富士山や港風景への眺望に配慮したデザインで計画した。また、未利用地であるプロムナードの端部の空間には、屋根付き休憩施設を計画した。



a) 制約条件

D. 敷地の一部は、従来のイベント広場的な空間とする。

制約条件を踏まえ，“休憩・憩いスペース”と“飲食・物販スペース”，“広場・フォトスポット”の3つの空間構成を基本とした，憩いの空間を計画した。



本実証実験は、富士市が令和6年度に活用した「官民連携による地域活性化のための基盤整備推進支援事業（官民連携基盤整備推進調査費）」の一環として実施したものである。

実証実験やにぎわいづくり部会における関係者との意見交換を通じて、漁網倉庫跡地の整備コンセプト及び整備イメージについて合意形成を図ることができた。

その後、本検討成果を踏まえ、当該地における飲食施設運営業務に係る公募型プロポーザルが実施され、令和8年3月31日には田子の浦漁業協同組合との基本協定が締結され、本検討は、社会実験を通じて利用者ニーズを把握し、関係者の合意形成から官民連携事業の具体化までつなげた実践事例として意義を有する。

謝辞：本稿は富士市産業交流部産業政策課発注の業務成果を踏まえて作成している。業務の実施にあたり、ご協力・ご助言をいただいた富士市産業交流部産業政策課の皆様には厚くお礼申し上げます。

AIの深層学習による画像認識技術を活用した 樹木保全計画の策定

かたぎり たつと みうら としお くしはら よしゆき
○片桐達斗¹・三浦利夫¹・串原喜之¹

¹中央コンサルタンツ株式会社 本店（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内三丁目22番1号）

本業務は、鞍ヶ池公園内のサクラを魅力ある樹木として「樹木資源」と位置づけ、その健全度に応じた約20年間の保全対策と実施スケジュールを定めた計画書を策定したものである。

落葉期までの限られた調査期間内で個体ごとの健康状態を把握するため、AIの深層学習による画像認識技術を導入した。広大な対象地からサクラの分布範囲を解析したことで、健全度調査の大幅な効率化と調査精度の向上を実現した。その結果、限られた期間で調査を完了することが可能となり、詳細な保全計画の検討時間を十分に確保することが可能となった。これにより、実効性の高い長期的な樹木保全計画の策定を達成した。

Key Words：自然景観、景観資源、景観植生計画、樹木管理、維持管理

1. はじめに

近年、日本全国で公園樹や街路樹の倒木・落枝等が頻発しており、都市公園だけでも令和3年度～令和6年度の4年間で931件の事故¹⁾が記録されている。

しかし、多くの自治体では植栽本数や樹種、個体ごとの健全度といった基礎的な台帳資料が未整備であり、樹木の実態把握がなされていない現状である。

このような背景から、樹木医による健全度調査や適切な維持管理計画の策定が急務となっているが、従来の目視点検は樹木医への業務負荷が極めて大きいこと、また自治体と維持管理者間での情報共有やデータ連携が円滑に行えないことから、実効性のある計画の遂行が困難となっていた。

したがって、これら一連の課題を解決するため、DX技術を導入した効率的な樹木調査手法の確立と、それに基づく合理的な保全計画の運営手法の構築が強く求められている。

2. AIの深層学習による画像認識技術を活用したサクラの分布範囲の解析

本業務の対象地である鞍ヶ池公園（約60.0ha）はサクラの名所であるが、園内樹木に関する既存の台帳資料がなく、正確な本数や位置が不明であった。樹木医による健全度調査を効率的に実施するためには、事前にサクラの正確な分布を明らかにする必要がある。しかし、広大な園内を全数徒歩で踏査して抽

出する従来手法は非効率であり、落葉期までの限られた期間内に完了することは困難であった。

そこで、AIの深層学習による画像認識技術を適用し、空撮画像からサクラの分布範囲を自動抽出する手法を活用した。解析の手順は、高解像度オルソ画像の作成、教師データの作成、サクラ属抽出モデルの作成、サクラ属分布の解析の4段階で構成する。

(1) 高解像度オルソ画像の作成

分布範囲の解析を行うにあたり、解像度が解析精度に影響を与える。概ね1ピクセルあたり7cm以上の解像度が望ましい値とされているが、より精度の高い解析を実現するために、本業務では、1ピクセルあたり4cm以上の高解像度の空中写真を撮影し、オルソ画像の作成を行った。（図-1）



図-1 作成したオルソ画像

撮影に使用した機材は、長時間の飛行とバッテリー交換が容易にできる無人航空機 (DJI Matrice 300 RTK) と高精度な写真を毎秒撮影ができる測量カメラ (Zenmuse P1) (図-2) を採用した。

鞍ヶ池公園を一望できる見晴らしが良い高台を起点に飛行し、1フライトで撮影が完了できるフライトプランに沿って、撮影を行った(図-3)。



図-2 使用機器(写真左：無人航空機, 右：測量カメラ)



図-3 フライトプラン

表-1 位置情報を測位したサクラ属の内訳

樹種	本数
ソメイヨシノ	142本
シダレザクラ	7本
カンザン	4本
ヤマザクラ	3本
オオシマザクラ	1本
サノザクラ	1本
タイハク	1本
ミナカミ	1本
合計	160本



図-5 現地で測位したサクラ属の位置

(2) 教師データの作成

AIにサクラ属の葉の付き方や形状、色(RGB)を学習させるため、教師データを作成する必要がある。

教師データは、対象地以外のサクラから作成し、解析に用いることも可能であるが、オルソ画像の解像度や撮影日の天候、照度が影響して解析精度が乏しくなる恐れがある。加えて、解析漏れを防ぐために、園内のサクラの樹種を網羅する必要があるため、現地で教師データとなるサクラの位置座標を測位した。

サクラの位置座標は、GNSS受信機を用いて測位した(図-4)。個体の選定にあたっては、解析精度を確保するため、複数樹種の中から「葉が旺盛に繁茂していること」および「隣接木との樹冠の重なりが少ないこと」を条件とした。

園内全体の踏査により、サクラ属として計8樹種を確認した(表-1)。さらに、樹林地内から園路際まで多種多様な生息環境に生育する個体を選定するよう配慮し、園内全域から計160本を測位した(図-5)。

測位した位置データを基に、オルソ画像上に樹冠ポリゴンを作成し、教師データを作成した(図-6)。



図-4 使用機器(GNSS受信機)と位置座標測位の様子



図-6 作成した教師データ

(3) サクラ属抽出モデルの作成

教師データを用いてサクラ属を抽出する分類モデルを作成した。分類モデルは、葉の形状が他のサクラと大きく異なり、解析結果に影響を与える可能性を考慮して、サクラ属からシダレザクラのみを抜粋したモデルも別途作成し、精度の検証を行った。

分類モデルは以下の通りである(表-2)。

表-2 分類モデル

分類モデル	モデル内訳		
モデル①	サクラ属	サクラ以外	—
モデル②	サクラ属	シダレザクラ	サクラ以外

各モデルは、AIの深層学習による画像認識技術を活用し、ピクセルごとにサクラ(シダレザクラ)かサクラ以外の要素かの割り当てを行った。AIによって割り当てられたピクセルと、人の目で割り当てたピクセルを比較し(図-7)、以下の数式を用いて精度の検証を行った。

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (式1)$$

(全体精度)

$$IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (式2)$$

(一致率)

- TN：サクラ以外に分類され、実際もサクラ以外だったピクセル
- FP：サクラに分類されたが実際はサクラ以外だったピクセル
- FN：サクラ以外と分類されたが実際はサクラだったピクセル
- TP：サクラに分類され、実際もサクラだったピクセル(シダレザクラの場合はサクラをシダレザクラに置き換える。)



図-7 ピクセルの割り当てイメージ

精度検証の結果、式2を用いて算出したモデル①の人とAIが割り当てたサクラのIoU(一致率)は、87.7%(図-8)であったのに対し、モデル②のサクラのIoU(一致率)は、66.1%、シダレザクラは、55.7%(図-9)の精度であった(表-3)。

森林リモートセンシングの実用基準(7~8割)を上回るため、モデル①をサクラ属抽出モデルとして採用した。

表-3 分類モデルの精度検証

分類モデル	Accuracy (全体精度)	IoU(一致率)	
		サクラ	シダレザクラ
モデル①	95.0%	87.7%	—
モデル②	80.6%	66.1%	55.7%

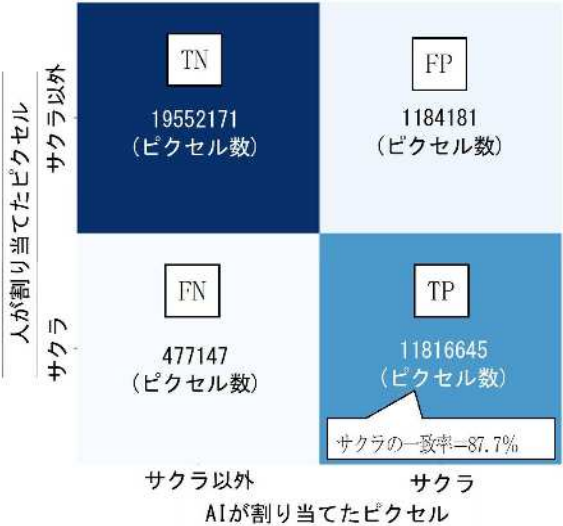


図-8 モデル①の精度検証

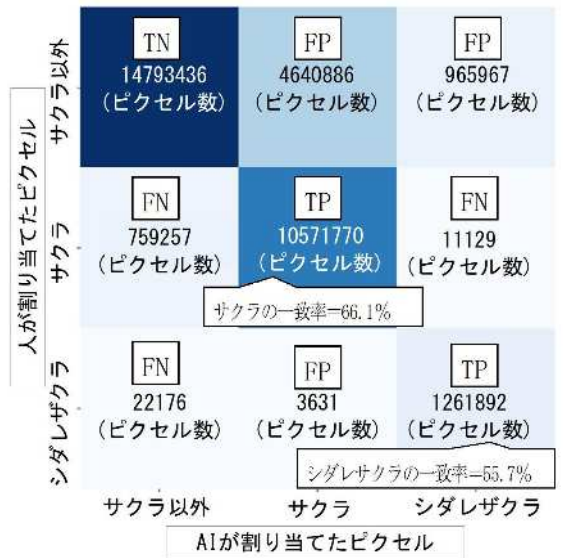


図-9 モデル②の精度検証

モデル②の精度が劣った原因としては、測位した160本のサクラ属のうち、シダレザクラが7本と全体に対するデータの数が少なかったことに起因しているものと考察される。

(4) サクラ属分布の解析

採用したモデルを用いて園内全体の分布解析を行った。高精度なモデルの適用により、データ上では分布範囲の約9割を自動抽出することに成功した。

オルソ画像上のポリゴンで示す範囲がサクラ属の分布範囲(図-10, 11)である。



図-10 サクラ属分布の解析結果(全体図)

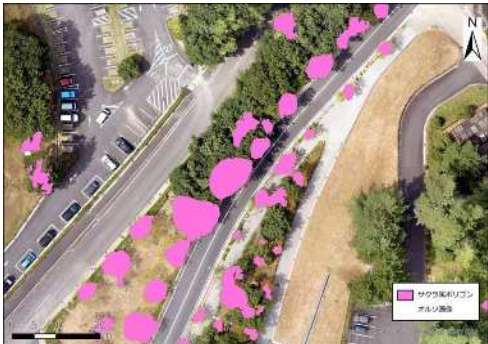


図-11 サクラ属分布の解析結果(詳細図)

3. 樹木保全計画の策定

サクラ属分布の解析結果をもとに健全度調査を実施し、各個体に対する伐採や樹勢回復措置などの対策内容の設定、対策時期、概算工事費の算出を行い、計画的に維持管理するために樹木保全計画として取り纏めを行った。

4. 画像認識技術の課題

サクラ属の分布範囲の解析結果に基づき、効率的に現地のサクラの植栽本数の確認をすることができ、葉が落葉するまでの限られた期間の中で樹木匠による健全度調査を完了することができた。

一方で、現地ではサクラが生息しているにも関わらず、クズやその他樹木の繁茂によって樹冠が覆われ、サクラ属の分布範囲が抽出できなかった個体が散見された。(図-12)

今後は、対象樹種の抽出ができなかった個体に対し、抽出を可能にするための検討が必要である。



図-12 クズで覆われたサクラの樹冠

5. 今後の展望

(1) 健全度調査の効率化

本業務の対象は、樹木資源であるサクラに限定しているが、調査に掛かる期間や費やした労力が大きく、樹木匠の負担が大きいと、DX技術を活用し、更なる調査の効率化や省人力化が求められる。

a) NDVI値を活用した調査範囲の縮小化

ドローンに搭載したマルチバンドカメラによって、NDVI値を取得し、対象地全体の樹木の活性度状況の把握を行う。NDVI値とは、植物の反射特性である近赤外線強く反射する性質を利用した植物の活性度を表す値である。NDVI値と樹木匠の健全度調査の樹勢や枝の伸長量などの調査項目(図-13)との有意差が認められている²⁾ため、NDVI値を活用し、樹木の衰退が進行しているエリアの抽出を行うことで、重点的に健全度調査を行うエリアの設定や省略が可能となるエリアを設定し、調査範囲の縮小化を図る。

診断項目				
樹 勢	葉の大きさ	葉の色	葉の量	枝の伸長量 (生長量)
0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない
枝の密度、分布	腐朽または空洞		危険な 枝 枝 部位+ (大/中/小)	コメント (所見)
0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない	0: 良好 1: 葉の配置が整っていない 2: 葉の配置が整っていない 3: 葉の配置が整っていない 4: 葉の配置が整っていない
総合判定				
A: 健全 B: 一部に異常 C: 要注意 D: 危険木				

図-13 健全度調査の診断項目

b) 樹木の基礎情報取得の省人力化

ドローンを使用し、上空からの点群データの取得を行う。取得した点群データと国土地理院のDEM(数値標高モデル)と位置合わせを行い、樹冠頂点との差分から樹高や樹冠幅の計測をデータ上で行うことで、樹木匠の作業量を減らし、更なる省人力化が期待できる。

(2) 植栽台帳のシステム化

健全度調査の結果や対策実施の有無、内容などの情報を整理した植栽台帳をシステム化し、クラウドサービス上で管理することで、自治体と指定管理者を始めとする管理団体などの拠点間でのデータの閲覧や更新、蓄積された情報の共有が簡易にできるようになることで、計画の実行性の確保が図られる。

参考文献

- 国土交通省：倒木等による事故に関する全国調査について、2025。
- 丹羽英之、片桐達斗、三浦利夫：サクラを対象とした目視活力度評価とUAVプラットフォームで算出したNDVIの比較、日本緑化工学会誌、51巻2号P202-210、2025。

3Dモデル景観検討を活用した 都市公園の計画・設計

うちだ えり か のりたけ と し え もりたけんじ もりゆうすけ
○内田英利香¹・則竹登志恵¹・守田賢司¹・森勇輔¹

¹日本工営都市空間株式会社 名古屋本社（〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜二丁目17番14号）

国営木曽三川公園フラワーパーク江南において、園路となった旧堤防を改修整備することで、Ⅰ・Ⅱ期地区の一体性を高めることを目的として設計検討を行った。予算制約と利用状況を踏まえ、部分整備でも効果的に両地区の一体感を図りつつ既存施設の魅力を高める”結節点”を園路上に設定し、改修する設計とした。3Dモデルによる景観検討に加え、計画への意見把握のため、ボランティア組織、公園管理者との合同WSを実施した。整備イメージを3Dモデルで示し、公園設計の専門知識を持たない関係者とも円滑な合意形成を図った。3Dモデルを活用した景観検討や関係者間の合意形成を踏まえ、効果の高い改修箇所に絞った園内一体感の創出を実現した。

Key Words : 3Dモデル景観検討, 点群データ測量, 国営公園, 再整備, 公園設計, 施設デザイン, 合意形成, ワークショップ

1. 業務背景と目的

(1) 背景と目的

本業務は、国営木曽三川公園の13か所ある拠点施設の一つである「フラワーパーク江南」（以下、本公園とする。）を対象としたものである。本公園は園内中央部の旧堤防を境にⅠ期地区とⅡ期地区が分断されたような状態で供用されていた。

本業務では分断要素となっている旧堤防であった園路部を改修整備することにより、Ⅰ・Ⅱ期両地区の一体性を高める再整備を目的として設計検討した。

(2) 国営木曽三川公園フラワーパーク江南の概要

本公園は、ゆとりとうるおいを実感できる花と緑豊かな美しい環境を創出し、多くの来園者が参加・体験できる公園として整備されている。

本公園はⅠ・Ⅱ期地区に分かれており（図-1）、平成19年に開園したⅠ期地区は、『「花とみどりの学習」～暮らしの中での自然とのふれあい』をテーマに、季節や環境等に応じた緑化・花卉修景、花とみどりに関する展示紹介や体験活動を行っている。一方、令和4年に開園したⅡ期地区は『樹林の散策や植物観察が楽しめ、自然とふれあえ、遊べる「故郷の森」』をテーマに、既存樹木（サクラやエノキ、シラカシ、ムクノキなど）や生物等を活用・保全しながら整備された。¹⁾

本公園では地元住民中心で組成されたボランティ

ア団体である「フラワーパーク江南友の会（以下、友の会とする。）」が、花壇の手入れやイベントの運営など、公園スタッフと協働で様々なボランティア活動を主体的に行っている（図-2）。



図-1 フラワーパーク江南のⅠ・Ⅱ期地区



図-2 友の会の活動の様子²⁾

2. 現況及び課題

(1) Ⅰ・Ⅱ期地区の分断要素となる旧堤防

本公園のⅠ・Ⅱ期地区は供用開始時期に約15年の

差があり、Ⅱ期地区の開園まで旧堤防天端は市道として一般車両が通行していたため、園内を大きく分断していた。その名残として、堤防道路への飛出防止・目隠し機能が現在も残っている（図-3）。そのため旧堤防が園内園路として公園と一体となり、道路利用されていた事を感じさせないよう、旧堤防沿いの機能・動線配置の見直しを行うことが重要であった。

加えて、Ⅱ期地区は旧堤防法尻部の高さのため、旧堤防及びⅠ期地区との間に約4mの大きな高低差がある。そのため両地区は互いに視認性が悪くアクセスできる箇所も限られており、公園利用者は両地区のつながりだけでなく、公園全体を認識することが極めて難しい状況であった。よって、公園利用者が旧堤防の反対側に位置する両地区の魅力に気づき、2つの地区を繋ぐ一体感のある空間や景観を検討する必要があった。



図-3 両地区の分断要素となっている旧堤防の様子

(2) 限られた整備予算及び工期内の改修検討

本業務では限られた整備予算の中で改修整備の検討が求められた。そのため、旧堤防を残しつつ両地区の特徴を踏まえた効果的で効率のよい再整備検討が必要であった。加えて限られた工期内で年度予算に合わせた分割整備範囲の設定および年度内の一部工事発注に向けた迅速な設計対応が求められた。

(3) 従来の測量調査によらない現況図の修正

設計検討の基礎資料として対象地区の既存図面を整理・照合した結果、供用開始時期の異なる図面間において既設の広場及び園路形状等に不整合が認められた。しかしながら、工程及び予算制約により測量調査を実施することは困難であったため、現況図の精度向上に向けて、従来の測量調査によらない手法を用いて図面修正・補正を行う必要があった。

また、本業務の設計対象である旧堤防は、現在も堤防として定規断面（堤体が洪水を安全に流すために必要な堤防の再上限の断面）が設定されており、造成の計画高や設置する公園施設の基礎が定規断面を侵さないように留意する必要があったことから、横断面の作成も必要となった。

(4) 関係者間の合意形成

本公園では公園管理者と協働で、友の会が主体的に運営・維持管理に関わっていることを踏まえ、多様な関係者の理解と意見要望の反映が重要であった。

そのため、公園設計の専門知識を持たない関係者間で整備イメージを共有しながら円滑な意見交換・合意形成を行うことが求められた。

3. 園内の一体感を創出する再整備方針の設定

分断要素となってきた旧堤防を、2つの地区を結ぶ中心軸とし、新たな”主要動線”と位置付けた。更に、予算制約と園内利用状況を踏まえ、部分整備でも効果的に両地区の一体感を図りつつ既存施設の魅力を高めるため、主要動線の東側、西側、中央部の3か所に両地区の”結節点”を創出し、その周辺を改修するメリハリのある再整備とした（図-4）。

3つの結節点には園内各所からのアクセス性と視認性が高い設えを検討した。両地区の境界を感じさせず、公園利用者が自然と両地区を往来したくなる空間とするため、各地区の魅力が感じられるよう見通しの確保と、樹木保全を両輪で検討し、公園全体の魅力をわかりやすく体感でき、園内の一体感を高める再整備を目指した。

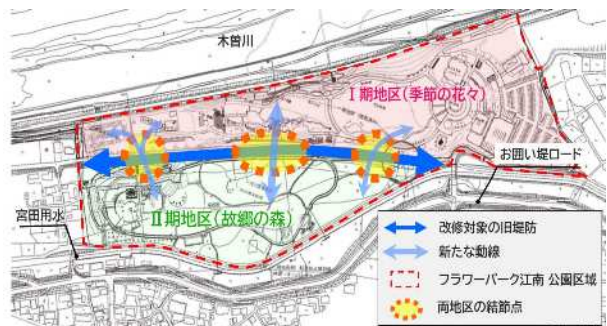


図-4 主要動線および部分整備範囲とする結節点の設定

4. 公園空間の一体化を実現する3Dモデル活用

(1) 点群データ測量による現況図の修正

実施設計に必要な現況平面図及び横断面図の作成・補正のため、点群データ測量（Leica BLK360）、単点計測（DG-PRO1RWS（Pパッケージ））を行った。点群データ測量の作業フローを図-5に示す。

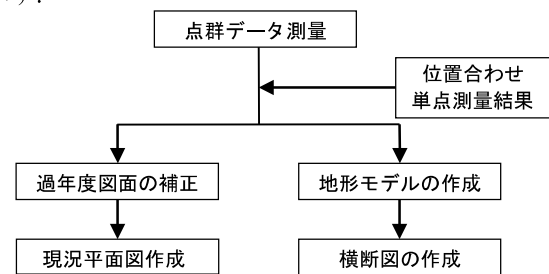


図-5 点群データ測量作業のフロー

設計範囲となる旧堤防周囲を対象とし合計で66箇所の点群計測と、基準とする地点の単点測量を行った。本業務では、BIM/CIM担当部署と測量作業の専門知識を有さない設計部署の担当員協働で作業を実

施した（図-6）．従来の測量手法と比較し，簡易な操作方法により作業時間の短縮化・省力化を実現した．次に点群データを基に現況図面修正・横断図作成を実施し，修正図面を基に，設計検討を実施した（図-7,8）．



図-6 測量の様子



図-7 点群モデルと現地写真の比較



図-8 点群データを基に修正した現況図

(2) 3Dモデルを活用した結節点の設計検討

各結節点の検討にあたり，周辺の景観との一体性をチェックしながら設計を効率的に進めることを目的とし，点群データ測量の成果と3Dモデルを活用した景観検討を行い，設計へと反映した．

a) 広場デザインの景観検討

結節点を通してⅠ・Ⅱ期地区を繋ぐ上で，各結節点を本公園メインエントランスに用いられている円形デザインや舗装材の色調と統一させた広場デザインとした．円形の広場形状における舗装配置イメージや舗装色調，施設配置バランス等を3Dモデル上で検証しながら広場デザインの検討を行った（図-9）．

ンとした．円形の広場形状における舗装配置イメージや舗装色調，施設配置バランス等を3Dモデル上で検証しながら広場デザインの検討を行った（図-9）．



図-9 広場デザイン検討の3Dモデル

b) 展望デッキからの景観検討

旧堤防天端高と両地区に高低差があることを踏まえ，中央部の結節点の法面側に展望デッキを設け，Ⅱ期地区の魅力を最大限に感じられる広場の整備を検討した（図-10）．法面既存樹木の伐採範囲や両地区の高低差を3Dモデル上で検証し，展望デッキ高さや広場内の階段，スロープの配置を検討した．



図-10 展望デッキ検討の3Dモデル

c) 既存樹を活かす景観検討

対象地には地域住民の思い入れのある既存のムクノキの大径木や樹齢100年(推定)のジンダイアケボノの保存樹木が生育していたことから，これらをシンボルツリーとして活かした景観検討を行った．また，既存樹木を活かした休憩施設の検討を実施するにあたり，樹勢や日陰の位置を3Dモデルで検証しながら適切な施設位置・規模を検討した（図-11）．



図-11 既存樹活用検討の3Dモデル

d) ソーラー照明配置検討

本公園は地元自治体の広域避難場所として指定されており、周辺住民の園内への避難時や、園内移動の際に誘導灯となるソーラー照明灯の設置等が求められた。ソーラー照明灯に必要な日光が当たる配置や夜間照明のイメージを3Dモデル上で示し、最適な施設の配置検討を行った（図-12）。



図-12 夜間照明のイメージを示す3Dモデル

(3) 設計時イメージと完成時の整合

本業務では、3か所の結節点のうち、東側の結節点は年度内の早期工事発注・施工が必要となった。限られた工期内で施工イメージのすり合わせを行うため発注者、設計者、施工業者の3者の打合せを実施した。その打合せの際、図面提示に加えて、3Dモデルによるイメージ共有を行うことで円滑な施工へとつなげ、年度内工事完了へと貢献できた。また、設計段階から3Dモデルを用いたイメージ共有や、現況図面の修正等を行うことで、設計内容と完成した現場に非常に高い整合性が得られた（図-13）。



図-13 設計時イメージと完成時の比較

5. 関係者間の理解・合意形成の実現

(1) ワークショップの開催

計画への意見や課題を把握するため、公園管理者及び友の会へヒアリングを行った。本公園を熟知している公園管理者と、長年にわたり日常的に管理運

営活動を行っている市民ボランティアの方々に、限られた時間の中で多くの意見を出して頂くため、ワークショップ形式にて実施した（図-14）。3Dモデルでエリアの整備イメージを視覚的に示すことで、公園設計の専門知識を持たない関係者とも円滑な意見交換・合意形成へとつなげることができた。



図-14 ワークショップでの3Dモデルによる説明

(2) 設計打合せ時における3Dモデル活用

設計検討にあたり、発注者打合せ時に3Dモデルを設計資料として活用した。現況地形の確認や、平面図面だけでは理解しづらい施設構造等を3Dモデル上でシミュレーションしながら示すことで、発注者への円滑な設計内容の理解と承認が可能となり、業務の効率化へとつながった。

6. 今後に向けて

本業務では3Dモデルを設計初期段階から活用することで、実現性の高い景観検討が可能となった。また再整備効果の高い改修箇所に絞り、効率的な園内一体感の創出を実現した。さらに、公園関係者間との合意形成や、発注者及び施工業者との協議資料に3Dモデルを活用することで、設計意図や整備イメージの共有が容易となり、業務遂行の円滑化及び設計品質の向上に寄与した。

この成果を踏まえ、再整備計画・設計業務における3Dモデル活用フレームを以下の通り提案する。

- 1) 点群データによる既存図面の補正
- 2) 設計段階における3Dモデル共有による、市民参加WSや発注者との合意形成支援
- 3) 3Dモデルによる完成形の提示・共有

本論文で示した3Dモデル活用フレームを展開することにより、景観検討・設計品質の向上が想定される。加えて、3Dモデルは管理運営主体や市民と協働した設計プロセスを実施する上で、重要な情報基盤となることが示された。一連の3Dモデルを活用した検討プロセスを一般化していくことを今後の展望として位置付けたい。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：国営木曽三川公園整備・管理運営プログラム，令和3年6月。
- 2) 国営木曽三川公園：フラワーパーク江南 ボランティア，<https://www.kisosansenkoen.jp/~konankaki/volunteer.html>（2026.8.28閲覧）

恒常的な振動が存在する 二期線トンネルの調査事例

なかしまはじめ あさと おさひろ
○中島 啓¹・安里長浩²

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）本社（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

一般国道246号裾野バイパスは、駿東郡小山町～沼津市までの延長約35.3kmの主要幹線道路である。本調査区間である一般国道246号裾野バイパス大久保・湯船トンネル区間は二期線工事が未実施である。そのため交通集中により慢性的な渋滞が発生しており、早期の整備が求められている。本調査地は国道や県道が近接し、恒常的な振動が発生するため、弾性波探査における発破振動との識別が困難であった。そこで既往弾性波探査の再解析、電気探査およびP波検層により速度構造を推定し、地山区分図を作成した。本検討事例は既設構造物や車両交通に起因する常時振動下における調査事例として、今後の類似調査への適用が期待される。

Key Words：二期線道路，トンネル，常時振動，電気探査，P波検層，地山評価

1. はじめに

一般国道246号裾野バイパスは、駿東郡小山町～沼津市までの延長約35.3kmの主要幹線道路であり、多くの市民が利用する生活道路である。本道路は昭和53年度から順次二期線（4車線化）工事が進められている¹⁾が、一部二期線工事が未実施である。そのため交通集中による慢性的な渋滞が発生していることから、早期に工事に着手し交通円滑化が期待されている。本調査区間である大久保・湯船トンネル区間でも、二期線工事が未実施であり、既設の大久保トンネルおよび湯船トンネルに並行する新設トンネルが検討されている。

トンネル設計の事前調査では、弾性波速度を利用した地山評価が一般的である。本調査においても新規トンネル施工計画のため地質調査としてボーリング調査、原位置試験、室内試験、弾性波探査が計画されていた。しかし調査地周辺は国道246号や県道147号が近接している。また調査地北東側は工場地帯があり、大型車両の通行が多い区間である。そのためダイナマイトや破砕剤使用時に影響が発生するレベル以上の交通振動が常時発生している。ダイナマイトや静的破砕剤による振動ができないため、別手法による地山評価が必要となった。

そこで本検討では、一期線道路トンネル施工計画時に実施された弾性波探査結果の再解析と、新たに実施した電気探査およびP波検層を組み合わせることで速

度構造を推定し、地山評価を行った。本稿ではその検討過程と結果について報告する。



図-1 調査位置図

2. 調査地の地形地質概要

本調査区間である大久保・湯船トンネル区間は静岡県駿東郡小山町の東側に位置する。小山町の北西端は富士山頂に達し、富士山を頂点とした富士外輪状の三国山系（三国山1,320m）と北東方は丹沢山地（不老山930m）、東南方は箱根外輪山（金時山1,212m・足柄峠759m）に囲まれ東西に伸びている。また

調査地南部では須川が北東から南西側に流れる。

調査地周辺は不老山930mの南部末端斜面に位置しており、須川に沿うような形で急峻な斜面を形成している。

当該地区の地質状況は「富士火山地質図(第2版),2016」²⁾によれば星山期(約10 万年前～1.5 万年前)の火山麓扇状地堆積物である火山麓扇状地Ⅲ堆積物が分布しており、その上位に馬伏川岩層なだれ堆積物が覆っているとされている。一期線道路施工時は現在の富士山の火山噴出物が堆積した以前の、「古富士」と呼称される活動時代の堆積物の記載や地質層序の概念が確立されていなかった。そのため凝灰質砂岩や礫岩と評価されており、明確な地質状況が不明瞭であった。

本調査地と同じ国道246号須川橋北側に位置する道路計画地(山本・小林,2023)³⁾にて火山性堆積物の露頭が確認されている。本調査でも露頭を確認し、調査地と同様の地質が分布することが認められた。本地山の地質状況は上位から宝永火砕物や御殿場岩層なだれ堆積物(GD層)、富士黒土層(BS層)、古富士テフラ(Ltf層)、馬伏川岩層なだれ堆積物(Cg層)が分布する。上記の地層はいずれも未固結～半固結状の火山性堆積物で構成されている。またこれらの地層は間隙が多い砂礫層であるため、地下水が抜けやすく不飽和地盤である。



図-2 調査地周辺の露頭位置図

3. 技術的課題と対応方針

(1) 弾性波探査の適用困難性

本調査では弾性波探査が計画されている。弾性波探査結果から得られるトンネル予定深度の弾性波速度(V_p)を用いることで地山等級の総合的な検討が可能となる。そのためトンネル施工検討において弾性波探査はトンネル地山評価において重要な調査項目である。

昭和43年に実施された一期線道路トンネル施工計画時の調査においても、弾性波探査が実施されている。当時の調査では一期線道路の縦断方向に1測線、横断方向に4測線が実施されており、速度分布図が作成されている。過年度調査時から現在までの間に、調査地周辺では国道や県道が非常に近い位置に整備されている。また調査地北東側は工場地帯となっており大型車両の通行が多く、既設道路では常時振動が発生している。発生する振動レベルを確認するため、新規トンネル予定測線上に常時微動計を設置し、発生する振動を測定した。その結果、常時微動計測では0.002cm/sec以上の振動が常時発生(図-3)していることが明らかになった。この値は弾性波探査における発破振動検出レベルと同等以上であった。そのためダイナマイトや静的破砕剤で発生させた振動だけを捉えることができないことが明らかとなった。



写真-1 調査地周辺の露頭状況

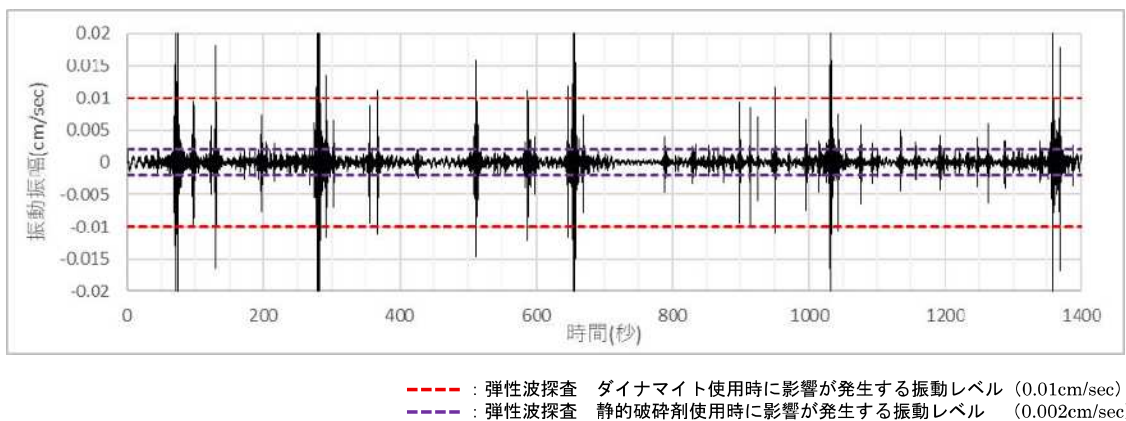


図-3 常時微動計による測定結果

----- : 弾性波探査 ダイナマイト使用時に影響が発生する振動レベル (0.01cm/sec)
----- : 弾性波探査 静的破砕剤使用時に影響が発生する振動レベル (0.002cm/sec)

(2) 提案した評価手法

本調査では弾性波探査が測定できないため、まずは過年度に実施された弾性波探査の走時曲線を読み取り、再解析を実施し当時の地山の速度分布図を作成した。

その後、新規トンネル周辺の地質分布状況を推定するためボーリング調査3孔（両坑口と中間部）と電気探査（二次元比抵抗探査）をトンネル縦断方向と坑口に横断方向に2測線実施した。横断方向2測線のうち1測線を再解析結果と同一測線上で実施し、過年度弾性波探査の再解析結果と比較し、一期線トンネル縦断図の速度層を整理した。

過年度探査結果の再解析データから得られた速度層を電気探査から得られた比抵抗分布図に投影し、比抵抗構造と弾性波速度構造の相関関係を確認した。

また、各ボーリング孔を用いてP波検層を実施し、各地層のP波速度を推定した。推定したP波速度は過年度探査の再解析と比較した。

比抵抗構造と弾性波速度構造の相関および各地層のP波速度をもとに、新規トンネル区間の速度分布図を推定し地山区分図の作成した。

4. 結果

(1) 既往弾性波探査の再解析

過年度にて実施された弾性波探査結果から得られた走時曲線から数値を読み取り速度断面図を作成した。その結果、当時の地山の速度層は第1速度層：Vp290～340m/s、第2速度層：Vp500～630m/s、第3速度層：Vp870～970m/s、第4速度層：Vp1130～1220m/s、第5速度層：Vp1670～1980m/sに値すると想定される。

(2) 電気探査結果

電気探査の結果から全体的に表層は比抵抗値が高く、深部へ移行するにつれ低くなっている。特に表層では比抵抗値が高くなっている部分が存在しており、この区間はスコリアの含有率が多く間隙率が高いため比抵抗値が高い値を示した。また表層のなかには一部湧水が確認されており、この地点では比抵抗値が低い値を示した。

既往弾性波と同一測線上で実施した電気探査結果による比抵抗分布の境界と再解析によって得られた速度断面図を比較した。その結果、速度断面図と比抵抗分布の境界は調和的に対応した。（図-4）

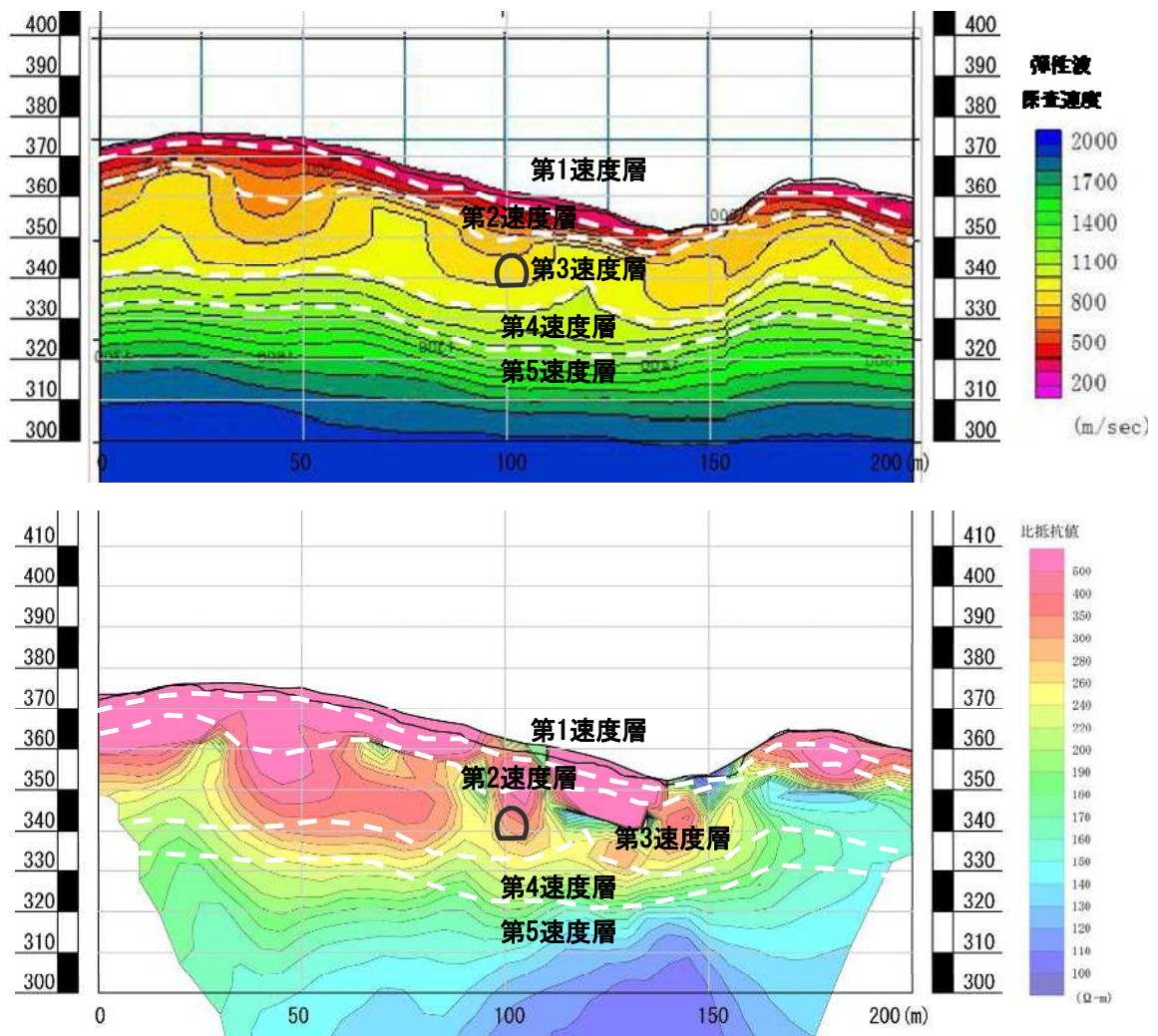


図-4 速度断面図（上図）と比抵抗分布（下図）の比較

(3) P波検層結果

各ボーリング孔のP波検層結果から得られた各地層の速度値と再解析により得られた速度層との対比を行った。その結果、御殿場岩屑なだれ堆積物は一部速度値が700m/sとなったが、概ね250～290m/sからなり第1速度層に相当すると判断される。富士黒土層は一部速度値が1300m/sとなったが、概ね660～700m/sからなり第2速度層に相当する。古富士テフラは560～1520m/sからなり第2速度層～第4速度層に相当する。馬伏川岩屑なだれ堆積物は1440～2080m/sからなり第4速度層～第5速度層に相当することが認められた。洪積層の火山砕屑岩の弾性波速度は500～2000m/s（物理探査適用の手引き, 2008）⁴⁾とされているため試験結果は妥当である。

5. 考察

(1) 比抵抗と弾性波速度の相関について

一般的な岩盤では、割れ目の減少や密実化に伴い比抵抗値とP波速度はともに増加するため正の相関を示す。本調査では比抵抗構造と速度構造の比較から、一般的な岩盤と異なり、比抵抗値とP波速度が負の相関を示す結果（図-5）となった。これは調査地が間隙が多い地質性状に加え、地下水位が低く不飽和地盤となっていたことが影響していると考えられる。不飽和状態では間隙水による導電経路が形成されにくく、比抵抗値が高くなる。一方、P波速度は地盤の締めまり具合や固結度の影響を受けるため、本調査地では両者が負の相関を示したと考えられる。

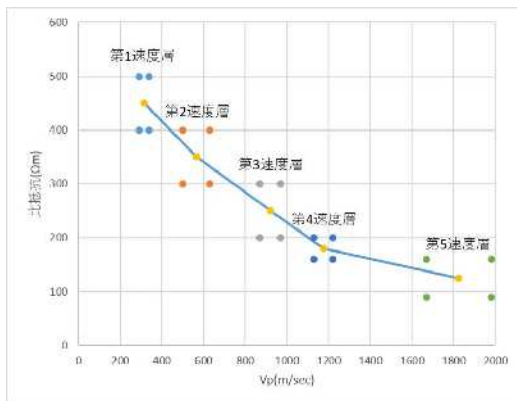


図-5 弾性波速度と比抵抗の相関図

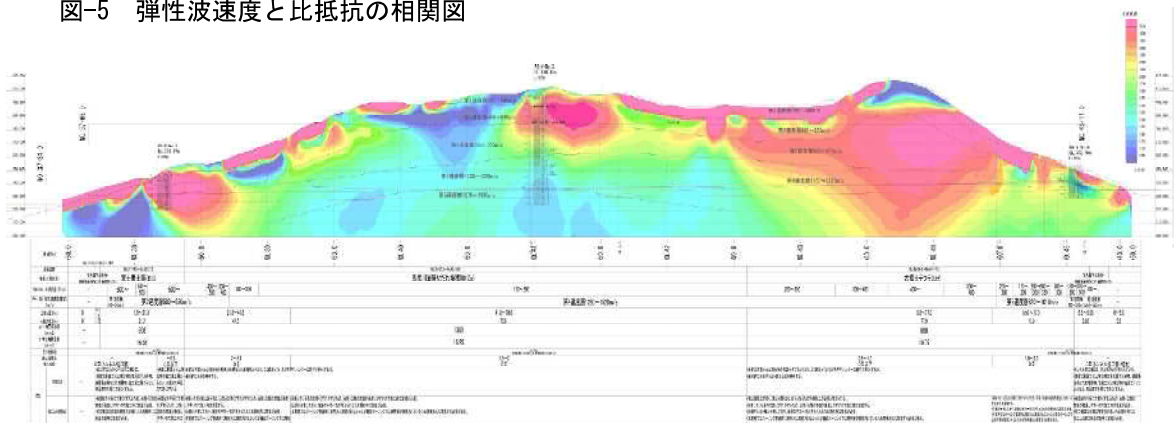


図-6 本調査区間の地山区分図

(2) 地山評価

本調査地のトンネル地山評価は地山等級分類表（道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 2003）⁵⁾を用いて検討を行った。なお、本トンネルの地山は、第四紀完新世の富士黒土層、更新世の古富士テフラ、馬伏川岩屑なだれ堆積物等の半固結した堆積物からなる。岩盤ではないため、分類基準の第三紀層泥岩よりも軟弱層であることに留意し推定した。

推定した速度構造および室内試験結果を用いて地山強度比を算出した結果、地山強度比は0.4～3.4の範囲となった。地山等級は主にDⅠ～DⅡからなり、一部区間ではDⅡ以下と評価された。（図-6）本地山は全体的によく締まっているが、半固結状火山砕屑物から構成されている。そのため掘削時は切羽崩壊や天端崩落への十分な対策が必要である。

6. おわりに

本調査では、恒常的な交通振動により弾性波探査が適用困難な条件下で、既往弾性波探査の再解析、電気探査およびP波検層を組み合わせた地山評価を行った。トンネルの地質調査で電気探査を行う場合には、その相関性が地下水の有無によって相関が逆になる可能性にも留意する必要がある。

今後、二期線工事の進展に伴い既設構造物近傍での調査事例は増加すると予想される。本検討事例は、既設構造物や車両交通により常時振動が発生している制約条件下における調査事例として活用が期待される。

参考文献

- 1) 中部地方整備局 沼津河川国道事務所：一般国道246号裾野バイパス（道路事業）説明資料，2022
- 2) 高田ほか：富士火山地質図第2版，産業技術総合研究所，2016
- 3) 山本孝広，小林 淳：富士火山東山麓，御殿場・馬伏川岩屑なだれ堆積物の14C年代，地質調査研究報告，第74巻，第3号，p. 107-118，2023.
- 4) 物理探査学会：物理探査適用の手引き-土木物理探査マニュアル2008-，物理探査学会，2008.
- 5) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，日本道路協会，2003

住宅街における電柱のない道路づくり

ほりゆう な
堀佑菜¹

¹ (株) テイコク (〒500-8856 岐阜県岐阜市橋本町2-8 濃飛ニッセイビル4階)

東京都葛飾区の都市計画道路において、道路拡幅および無電柱化のための詳細設計を行った。歩道内には電線共同溝に加えてガス管・水道管を配置する必要がある。特に幅が大きい特殊部の設置位置の決定と各埋設物間の離隔確保が課題となった。そこで各事業者が示す離隔等の条件を踏まえ、特殊部の種類ごとに施工性も考慮した各埋設物の配置および離隔を提案した。また、道路予備設計で決定された縦横断計画を確認した結果、沿道にある51軒の住宅の多くで道路計画高との整合が図られていないことが判明し沿道高さとの取合いが課題となった。そこで現地調査により民地高や間口構造を把握し、沿道住宅への影響を抑えた縦横断計画を立案した。

Key Words : 都市計画道路, 無電柱化, 電線共同溝, 住宅街

1. はじめに

東京都葛飾区では、安全で快適な通行空間の確保、道路の防災性の向上、良好な景観形成や観光振興を目的として無電柱化を推進している。都市計画道路では、道路整備事業に合わせて無電柱化を実施することとしている。本業務では、都市計画道路補助第276号線(細田北)において歩行者の安全性向上を主な目的とした道路拡幅整備および無電柱化整備の詳細設計を行った。

対象地は葛飾区内でも住宅用地の割合が高い地域で、沿道の土地利用は主に住宅である(写真-1参照)。

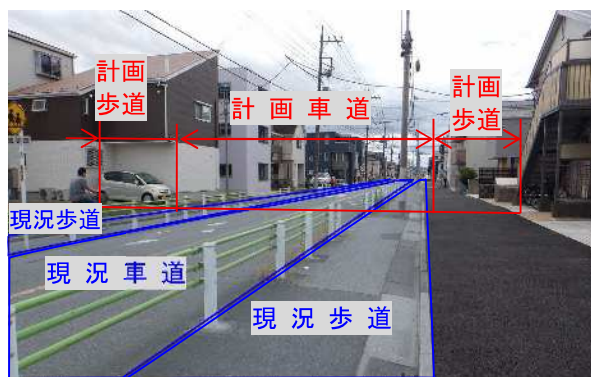


写真-1 現地状況

延長320mの対象区間の両側には合計51軒の住宅が立地しており、道路拡幅に伴う家屋等の移転は約9割が完了しており、買収済み用地は仮舗装され歩行空間として活用されている。

2. 問題と課題

(1) 地上機器の位置決定

電線共同溝は、維持管理や管路の分岐のために一定の間隔で特殊部を設置する必要がある。特に、機器が路面に突出する地上機器の設置には、以下の2点に留意が必要である。第一に、地上機器が宅地乗入口部や支道交差点からの見通しを妨げない位置に設置する必要がある。第二に、地上機器の設置箇所近接するすべての地権者から設置について了承を得る必要がある。

住宅街においては、住宅が近接しているため、地上機器を設置できる場所が限られており、すべての地権者の了承を得るまでに時間を要することが想定された。さらに、特殊部の位置は他の埋設物の占用位置にも影響を及ぼす。そのため、地権者との合意形成が円滑に進まない場合は、埋設物の設計および事業全体のスケジュールに影響を及ぼすことが課題となった。事業全体を円滑に遂行するためには、地権者との効率的な合意形成が求められた。

(2) 各埋設物との離隔確保

当該路線は住宅街に位置することから、現道の地下にはガス管、上下水道管などのライフラインが多数埋設されている。今回の整備に伴い、計画歩道内には電線共同溝を設置、水道管およびガス管を移設する計画である(図-1参照)。各埋設物の配置は、各占用業者が定める離隔等の条件(表-1参照)を踏まえ、施工性も考慮して計画する必要がある。特に特殊部は幅が大きいので、他の占用物との離隔確

保が困難であった。また、特殊部は種類によって大きさや設置位置が異なるため、タイプごとに状況に応じた対応が求められた。

なお、施工は水道管→ガス管→特殊部→管路の順で行う計画であり、水道管は既に施工済みであった。

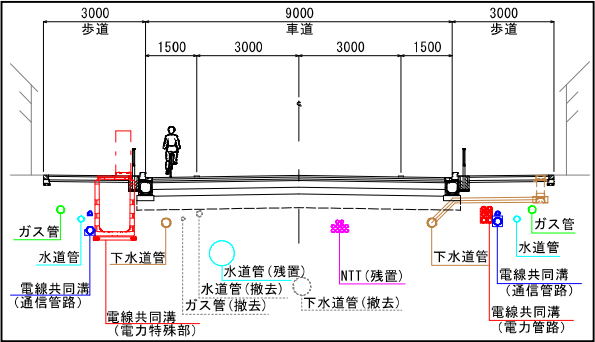


図-1 標準横断面

表-1 離隔等の条件

①	民地からガス管の離隔は0.5m以上
②	ガス管と水道管の離隔は0.3m以上
③	ガス管の最小土被りは0.7m
④	水道管は土被り1.2mで施工済み
⑤	土留め矢板を設置する箇所は、埋設物同士の離隔を0.5m以上確保

(3) 沿道高さとの取合い

予備設計時から沿道民地の整備が進み、現在は約9割の移転が完了している。道路予備設計で決定された縦横断計画を確認したところ、民地の高さと道路計画高が整合しない状態で整備されていることが判明した。そのため、現況民地高を追加調査し、縦断計画の妥当性を再確認し、住宅の間口や乗入れ部における高低差を解消する必要があった。民地の高さは、路線の左右や隣接する住宅の間口ごとに異なっており、また多様な間口構造に対して個別に対応することが求められた。

3. 地上機器の位置決定に関する解決策

事業全体を円滑に遂行するためには、地権者との効率的な合意形成が必要であった。そこで、地上機器の設置について地権者の理解を得やすくするため、設置位置を工夫するとともに、設置案を複数提示した。

(1) 設置位置の工夫

まず、地上機器は住宅の玄関先を避けて設置した。さらに、特定の地権者に負担が偏ることを避けるため、隣接する民地の境界付近に設置するよう工夫し、地権者の理解を得やすいよう配慮した。

(2) 設置案の複数提示

地上機器の設置位置が玄関に近接するなど、合意

形成が難航することが想定される箇所については複数の設置案を提示した(図-2参照)。その結果、交渉回数を減らすことができ、地上機器の設置に関する合意形成を効率的に進めることができた。

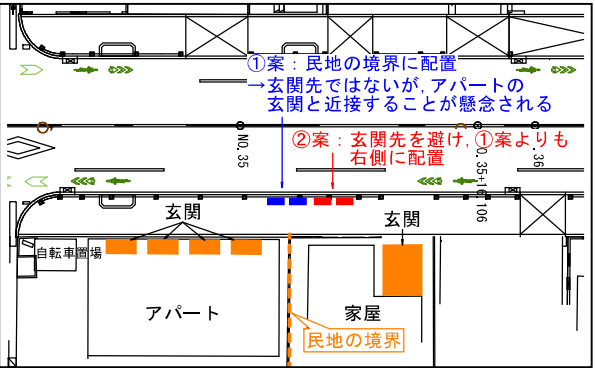


図-2 地上機器設置の提案例

4. 各埋設物との離隔確保に関する解決策

特殊部の設置状況に応じた対策を行うためには、各特殊部における離隔確保の状況を把握する必要がある。そこで、今回設置する特殊部を、特殊部の大きさおよび設置位置ごとに以下の4種類に分類し(図-3参照)、タイプごとに各埋設物との離隔確保の状況を整理した。

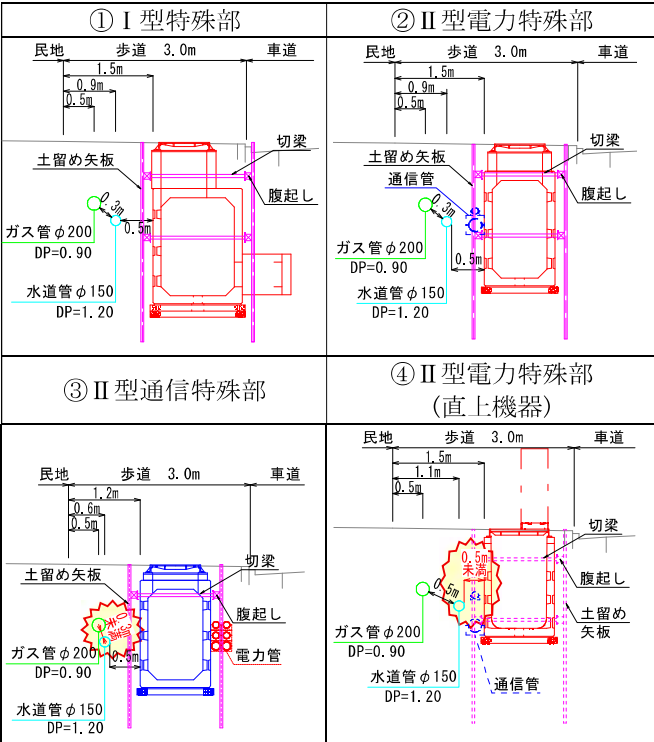


図-3 特殊部の分類

分類の結果、① I 型特殊部および② II 型電力特殊部については、離隔等の条件を満たした計画が可能であった。一方、③ II 型通信特殊部および④ II 型電

以上のように、特殊部のタイプごとに異なる条件を考慮し、パターン化して検討することで、各占有事業者との調整を迅速に進めることができ、現地状況に応じた解決策を講じることが可能となった。

5. 沿道高さとの取合いに関する解決策

現地の状況を把握するために、民地高および間口構造について現地調査を行った。現況民地高と道路計画高との関係を確認した結果、複数の箇所への対応が必要となった。そこで、高低差の影響を最小限に抑える縦断計画とし、道路計画高と住宅の間口および乗入れ部との間に高低差が残り、対応が必要となる箇所については、道路の両端に設ける歩道部の歩道形式や横断勾配を調整することで段差の解消を図った。解決策の検討手順を以下に示す。

(1) 縦断計画

予備設計において決定された縦断計画は、既に整備事業が進められている起終点および擦りつけの影響範囲が大きくなる支道部をコントロールポイントとし、民地内の排水を考慮して計画道路高が民地高よりも低くなるように設定されていた。本業務では、予備設計時から移転が進んだ箇所の民地高を追加調査したうえで、すべての住宅の間口および乗入れ部における道路計画高と民地高との高低差を確認した。路線の左右や隣接する住宅の間口ごとに高さが異なるため、すべての高低差を縦断計画によって解消することは困難であったが、沿道への影響が最も小さい縦断計画であることを確認した。

(2) 歩道形式の変更

本路線の歩道形式はセミフラット形式を基本としている。官民境界部の道路計画高を高くする必要がある箇所においては、歩道の縦断すりつけを考慮したうえで、歩道形式をマウントアップ形式に変更した。車道面からの歩道の高さは、セミフラット形式が50mmであるのに対して、マウントアップ形式は150mmである。これにより、最大100mmの高低差を解消することが可能となった。

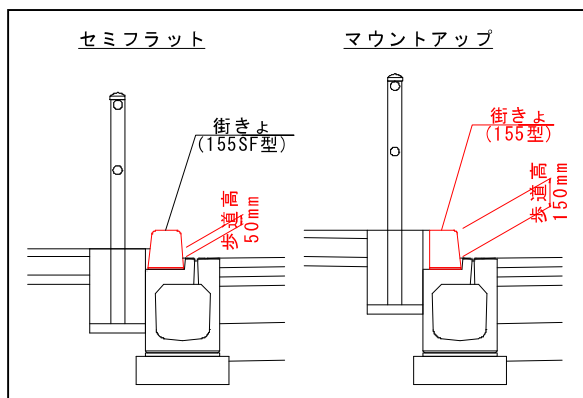


図-6 歩道形式

(3) 歩道部の横断勾配変化手法

歩道部の舗装には透水性舗装を採用しているため、横断勾配の標準値は1.0%とした。段差の解消が必要な箇所においては、横断勾配の最大値を「道路工事設計基準」（東京都建設局）に準拠して2.0%とし、歩道横断勾配を調整した。

具体的には、間口がスロープ構造で元々段差がない箇所において、歩道横断勾配を調整することにより、歩道面からスロープまでの段差を解消した。（図-7、図-8参照）。

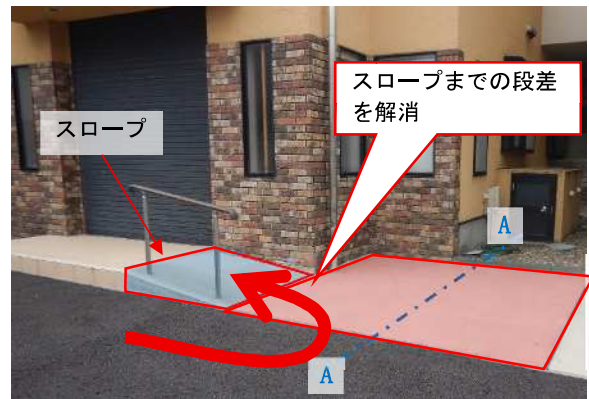


図-7 対策例

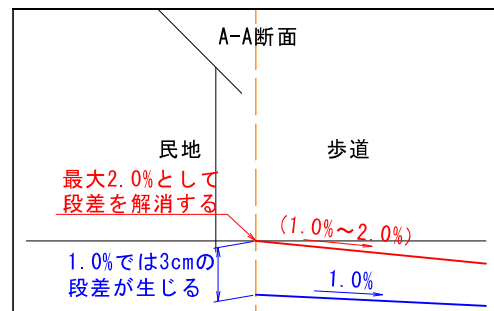


図-8 対策例 断面図

以上の対策により、間口構造が異なるすべての箇所について、高低差を解消することが可能となった。

6. おわりに

都市部の住宅街には依然として歩道幅員が狭い道路が多く存在しており、安全な歩行空間を確保するために、道路整備による歩道の拡幅や無電柱化が進められている。既に住宅街として形成された地域においては、埋設空間の確保や地上機器の配置が課題となる。あわせて、住宅の移転が先行する場合には、沿道の高さ等の状況を適切に把握し、必要に応じた対応を行うことが重要である。本業務では、現地状況を十分に把握したうえで、それに応じた計画を立案することで、地域住民および占有事業者の理解を得ながら、円滑に計画を進めることができた。今後も、本業務で得られた知見を活かし、安全で快適な電柱のない道路空間の形成に寄与していきたい。

89

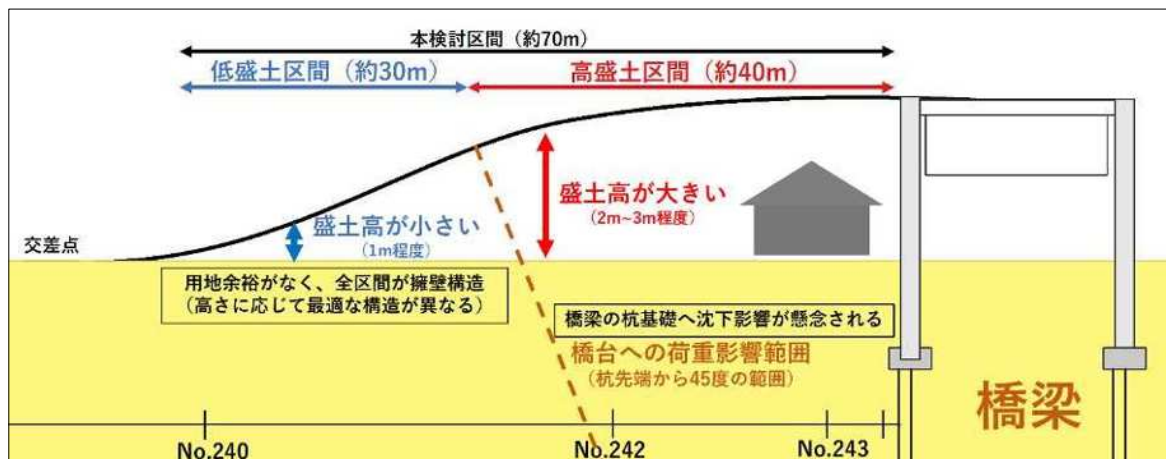


図-2 縦断面図

析結果に基づき区間ごとの課題を整理し、ゾーニングによる対策範囲の設定を行った。さらに、各区間の地盤条件および周辺条件に応じて軟弱地盤対策工法および一般構造物形式を比較検討し、短区間内に複数の制約条件が存在する場合における合理的な対策方針を検討した。

表-1 軟弱地盤解析結果一覧（現況）

検討断面	①圧密沈下(道路影響)	②変形(沿道影響)	③液状化(道路影響)
No. 240	供用開始後3年の盛土中心部の沈下量 5cm(<10cm) ○対策不要 盛土高約1.0m	家屋A 距離約1.0m 最終沈下量 0.5cm (<2.5cm) 傾斜角 0.00028 (3/1000) ○対策不要 擁壁東 最終沈下量 1.34cm 水平変位 0.62cm 擁壁西 最終沈下量 1.34cm 水平変位 0.62cm	液状化抵抗率 (最小)FL=0.49(<1.00) ×対策必要
No. 242	供用開始後3年の盛土中心部の沈下量 15cm(>10cm) ○対策不要 ×対策必要 (橋梁のネガティブフリクションに対して) 盛土高約3.3m	最大最終沈下量 4.7cm 最大水平変位 2.2cm (※付近に建物なし) ○対策不要 擁壁東 最終沈下量 4.72cm 水平変位 2.19cm 擁壁西 最終沈下量 4.72cm 水平変位 2.19cm	液状化抵抗率 (最小)FL=0.49(<1.00) ×対策必要
No. 243	供用開始後3年の盛土中心部の沈下量 12cm(>10cm) ○対策不要 ×対策必要 (橋梁のネガティブフリクションに対して) 盛土高約3.0m	近接家屋B 距離約1.0m 最終沈下量 2.56cm (>2.5cm) 傾斜角 0.00113 (3/1000) ○対策不要 家屋C 距離約1.2m 最終沈下量 1.36cm (<2.5cm) 傾斜角 0.00077 (3/1000) ○対策不要 擁壁東 最終沈下量 3.02~3.77cm 水平変位 1.75cm 擁壁西 最終沈下量 3.77cm 水平変位 1.75cm	液状化抵抗率 (最小)FL=0.49(<1.00) ×対策必要

3. 対象区間の課題

軟弱地盤解析および周辺条件の整理を踏まえ、対象区間における主な課題を以下のとおり整理した。

(1) 近接家屋区間

近接家屋区間では、厚い軟弱粘性土層上での盛土施工に伴う地盤変位や引込み沈下により、隣接する家屋へ影響を及ぼす可能性があった。このため、施工時の地盤変位を抑制し、家屋への影響を最小限にする必要があった。一方、道路の反対側は側道があるため、家屋との離隔があり、それぞれに必要な対策方法を検討する必要があった。

(2) 橋台背面区間

橋台背面区間では、盛土荷重に伴う地盤沈下によって橋台杭にネガティブフリクションが作用することが懸念された。また、踏み掛け版はあっても長期的に橋台と盛土で高低差が生じると、道路利用者の走行性や舗装の維持管理にも影響を及ぼすことから、橋台への影響を考慮した軟弱地盤対策が必要であった。

(3) 高盛土区間

高盛土区間では、現況地盤と計画高の高低差が大きく、盛土荷重の増加に伴う圧密沈下量の増大が課題であった。また、すべり安定も考慮する必要があり、沈下対策と安定対策を両立した対策工法の選定が必要であった。

(4) 低盛土区間

低盛土区間では、高盛土区間と比較して沈下量や地盤安定性への影響は小さいものの、過大な対策を避けつつ、供用後の性能を確保できる合理的な対策工法を選定する必要があった。

4. ゾーニングの実施

対象区間は軟弱地盤が連続して分布しているものの、沿道条件および構造条件が区間ごとに異なっていた。このため、全区間に同一の対策工法を適用した場合、必要以上の対策による経済性の低下や、各区間における課題への対応不足が生じる可能性が

あった。そこで、軟弱地盤解析結果および周辺条件を踏まえ、対象区間を支配的な課題ごとにゾーニングした。

(1) 近接家屋区間

近接家屋区間は、盛土法尻付近に家屋が存在し、施工時の地盤変位や引込み沈下による周辺家屋への影響が懸念される区間である。軟弱地盤上で盛土施工を行う場合、盛土荷重に伴う地盤変位が周辺に伝播し、既存家屋に影響を及ぼす可能性があることから、施工時および供用後の家屋への影響を主要な課題とする区間として設定した。

(2) 橋台背面区間

橋台背面区間は、橋台背面盛土により橋台構造へ影響を及ぼす可能性がある区間である。特に、盛土荷重に伴う圧密沈下により、橋台杭へネガティブフリクションが作用することが懸念された。また、橋台部と盛土部の沈下差に起因する段差の発生も想定されたことから、橋台への影響を主要な課題とする区間として設定した。

(3) 高盛土区間

高盛土区間は、現況地盤と計画高との高低差が大きく、盛土高が最大となる区間である。盛土荷重の増加に伴い圧密沈下量が大きくなることに加え、地盤安定性の低下も懸念された。そのため、沈下対策および安定対策を主要な課題とする区間として設定した。

(4) 低盛土区間

低盛土区間は、盛土高が比較的小さい区間であり、高盛土区間と比較して沈下量や安定性への影響が小さい区間である。一方で、必要性能を確保しながら施工性および経済性に優れた対策を選定する必要があることから、合理的かつ経済的な対策工法の選

定を主要な課題とする区間として設定した。

(5) ゾーニングによる課題整理

以上の検討より、対象区間を「近接家屋区間」「橋台背面区間」「高盛土区間」および「低盛土区間」に区分した。これにより、各区間で求められる性能および支配的な課題を明確化し、区間特性に応じた軟弱地盤対策工法および一般構造物形式を比較検討する方針とした。

5. 各ゾーンにおける対策検討結果

(1) 近接家屋区間

近接家屋区間では、盛土施工に伴う地盤変位や引込み沈下による家屋への影響が課題であった。また、軟弱地盤対策として地盤改良を実施する場合においても、施工時の変位が周辺家屋へ影響を及ぼす可能性があった。このため、沈下抑制効果に加え、施工性、振動、家屋との離隔および施工条件を評価項目として対策工法を比較検討した。

その結果、近接家屋区間では大規模な地盤改良を行わず、施工時の影響を抑制できる杭基礎を基本とした構造とした。

表-2 対策方針一覧

ゾーン	圧密沈下 (道路影響)	変形 (沿道影響)	液状化 (道路影響)
①橋台への荷重影響範囲内	○	—	○
②橋台への荷重影響範囲内の擁壁構造	○	○	○
	○	—	○
③橋台背面の荷重影響範囲外	—	—	○
④橋台背面の荷重影響範囲外の擁壁構造	—	—	○
	—	—	○

※「○」が要対策項目

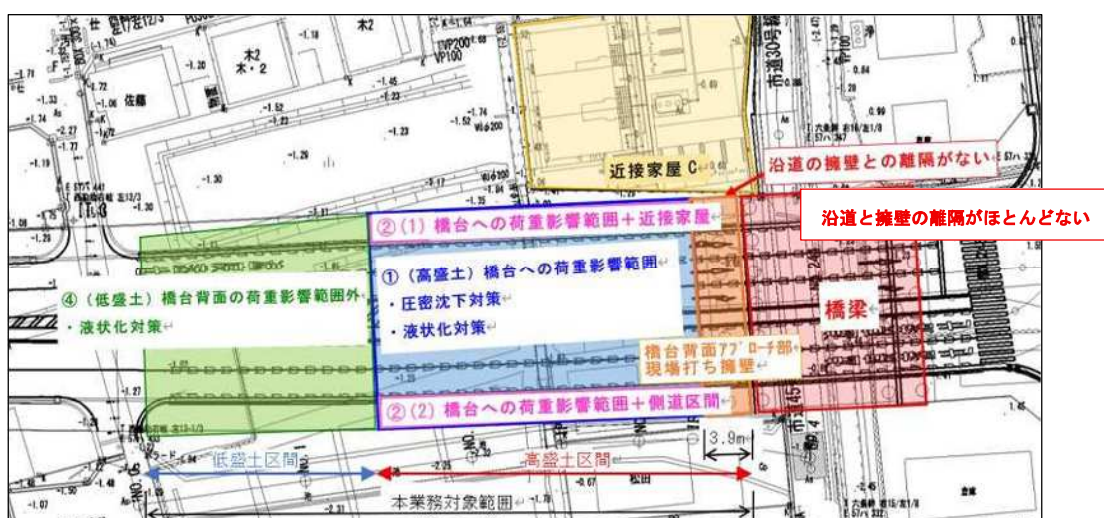


図-3 ゾーニング

(2) 橋台背面区間

橋台背面区間では、盛土荷重に伴うネガティブフリクションが橋台杭へ作用することが懸念された。このため、橋台構造への対応と圧密沈下抑制による影響回避について比較検討を行った。過年度予備設計では場所打ち杭が採用されていたが、本検討では橋台杭先端から45°に広がる荷重影響範囲を考慮し、橋台見直し案についても検討を実施した。さらに、橋台に沈下影響を生じさせない構造形式として、U型擁壁（杭基礎）、L型擁壁・逆T型擁壁（杭基礎）＋地盤改良および橋台見直し案を比較検討した。その結果、橋台への荷重影響を回避するとともに、橋台部と土工部の沈下差を抑制できることから、U型擁壁（杭基礎）を採用した。これにより、橋台規模の拡大を抑制しつつ、橋梁部と土工部を含めた経済的な計画とした。

(3) 高盛土区間

高盛土区間では、盛土高の増加に伴う圧密沈下量の増大および地盤安定性の確保が課題であった。軟弱地盤解析の結果、対象区間内で最も沈下量が大きく、地盤対策の必要性が高いことが確認された。このため、圧密沈下対策および液状化対策を重視して比較検討を行った。さらに、一般構造物については、U型擁壁（杭基礎）、L型擁壁・逆T型擁壁（杭基礎）＋地盤改良、L型擁壁（杭基礎）＋プレキャストL型擁壁（地盤改良）、橋台見直し案の4案を比較検討した。その結果、構造的、施工性および経済性を総合的に評価した結果、U型擁壁と杭基礎（SC杭＋PHC杭）の組合せを最適案として選定した。

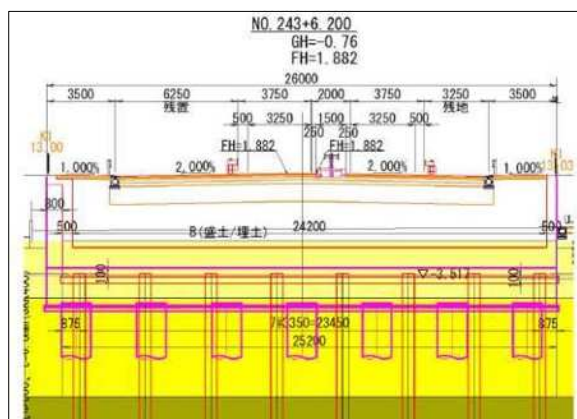


図-4 U型擁壁（杭基礎）

(4) 低盛土区間

低盛土区間では、高盛土区間と比較して盛土荷重が小さく、圧密沈下量および地盤安定性への影響は限定的であった。このため、圧密沈下対策は実施せず、液状化対策を主体とした対策方針とした。さらに、一般構造物については壁高が概ね3m以下であったことから、現場打ち擁壁とプレキャスト擁壁の経

済性比較を実施した。その結果、壁高が約3m以下の区間ではプレキャスト擁壁が経済的に有利であることを確認したため、プレキャストL型擁壁を採用した。これにより、必要な性能を確保しつつ、施工性および経済性に優れた合理的な計画とした。

6. 結果と考察

軟弱地盤解析の結果、対象区間では地盤条件が概ね同様である一方、周辺条件および構造条件の違いにより、区間ごとに支配的な課題が異なることが確認された。近接家屋区間では施工時の地盤変位および引込み沈下による家屋への影響が、橋台背面区間ではネガティブフリクションによる橋台への影響が主要な課題として抽出された。また、高盛土区間では圧密沈下量の増大および地盤安定性の確保が課題となり、低盛土区間では必要性能を満足しながら経済性を確保することが求められた。

これらの結果から、対象区間全体に同一の対策工法を適用するのではなく、区間ごとの支配的な課題に応じて対策工法を選定することが合理的であると判断した。そのため、解析結果および沿道条件を踏まえて対象区間をゾーニングし、各ゾーンに応じた設計方針を設定した。

近接家屋区間では、盛土施工に伴う周辺地盤への影響低減を主目的として対策工法を選定した。橋台背面区間では橋台杭への影響を考慮し、沈下量の抑制と橋台の機能確保を両立する対策とした。また、高盛土区間では沈下・安定対策を、低盛土区間では施工性・経済性を重視することで、各区間の特性に応じた合理的な対策計画を立案した。

一般構造物予備設計においても、各ゾーンの地盤条件や周辺条件を踏まえて構造形式および基礎形式を選定した。特に近接家屋区間では周辺環境への影響を考慮し、その他の区間では施工性および経済性を重視することで、区間ごとの課題に対応した合理的な一般構造物計画を立案した。以上より、短い延長の中に複数の制約条件が混在する区間では、軟弱地盤解析により課題を定量的に把握したうえでゾーニングを行い、区間ごとに対策工法および構造形式を選定することが有効であることを確認した。特に、地盤条件に加えて沿道条件や構造条件を総合的に評価することで、要求性能、安全性および経済性を両立した合理的な設計が可能となることが示された。

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会, 軟弱地盤対策工指針, 2012
- 2) (公社) 日本道路協会, 道路土工要綱, 2012
- 3) (公社) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, 2017, pp. 191-193
- 4) (公社) 日本道路協会, 道路土工 擁壁工指針, 2012

仮橋の点検事例

成澤祐紀¹・北岡誠¹・今村裕一¹・川邊絢子¹

¹ (株) 長大名古屋支社 (〒453-6120 名古屋市中村区平池町四丁目60番12号)

本文は、災害復旧事業において設置された一級河川を横過する歩行者用仮橋を対象に、出水期後の健全性と安全性を確認することを目的として点検を実施したものである。近接目視、UAV、特殊高所技術を活用した橋梁点検および橋脚基礎の洗堀調査を実施し、橋梁構造物の損傷状況ならびに基礎部の安定性について評価を行った。その結果、新たな重大損傷は確認されず、橋梁は概ね健全な状態を維持していることが確認された。一方で、前回点検から継続して一部橋脚において有効根入れ長を下回る洗堀が確認されているが、支持力照査の結果、供用時および地震時における安全性は確保されていることが明らかとなった。

Key Words : 橋梁点検, プレートガーダー橋, 点検支援技術, 洗堀調査, 杭基礎支持力評価

1. はじめに

豪雨により被災した道路橋の復旧期間中、地域住民の生活・通学への影響を軽減することを目的とした仮設歩行者橋が設置された。本橋はプレートガーダー橋および応急組立トラス橋より構成されており、橋長395 m、幅員8.0 mを有する長大な仮設構造物である。(図-1)

仮橋の点検方法については、橋梁定期点検要領に具体的な記載が無いことから、道路管理者による独自の基準に基づき点検を実施した。また、仮設構造物特有のボルト接合部においても経年変化による緩みや損傷が懸念される。そのため、供用期間中は年1回の定期的な点検を通じて構造物の健全性を把握し、安全性を確保する必要がある。

本稿では、過年度に実施した出水期後の点検およ

び河道状況(写真-1)を踏まえた洗堀調査の結果を報告し、その評価と今後の維持管理方策について考察する。



写真-1 出水期後河道状況

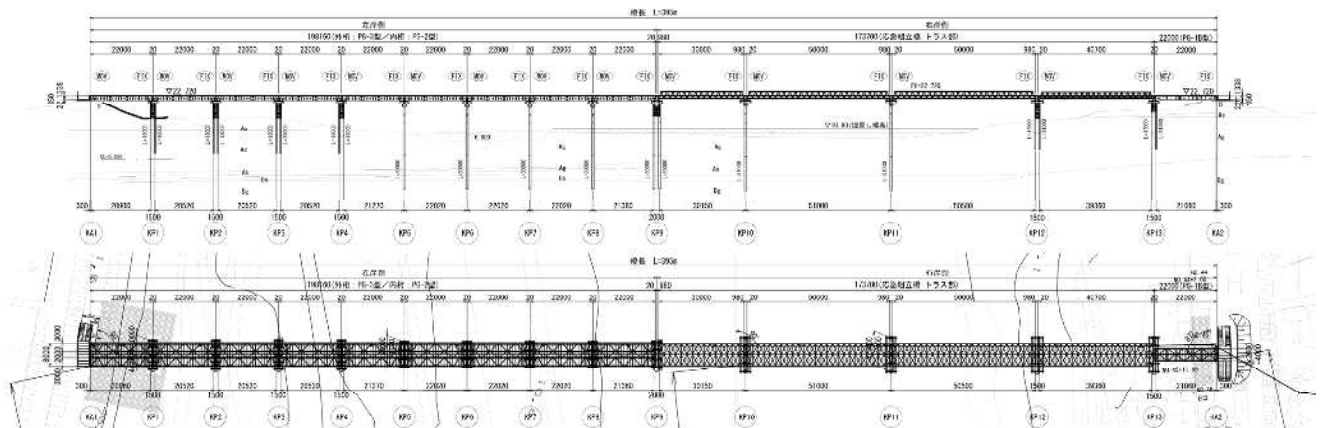


図-1 橋梁概要

2. 調査概要

(1) 対象橋梁

対象橋梁は歩行者用仮橋であり、主要諸元を以下に示す。

- ・橋長：395.0 m (22.0m@9径間+30.0m+50.0m×2+40.7m+22.0m)
- ・幅員：8.0 m (2.0m+4.0m+2.0m)
- ・上部構造：プレートガーダー橋・応急組立トラス橋
- ・下部構造：鋼製組立橋脚
- ・基礎形式：杭基礎

(2) 点検内容

出水期後点検では、歩行者用仮橋の巡視・点検ポイントに着目し、次の項目について調査を実施した。

1. 状態の把握
近接目視を基本とし、必要に応じて点検支援技術を活用する。
2. ボルト・ナットの緩み確認
Iマークのずれの目視確認、必要に応じてハンマーによる打音確認を行う。
3. 橋脚基礎の洗堀調査
既往点検結果からの洗堀の進行有無の確認を行う。

(3) 点検手法

点検手法としては、地上点検、梯子点検、UAVによる撮影および特殊高所技術(ロープアクセス)点検を併用した。

歩行者用仮橋の上部工は、プレガーダー部および応急組立トラス部から構成され、各添接部は高力ボルト接合により施工されている。仮設構造物特有のボルト接合構造のため、本橋では、6,000本以上のボルトが使用されている。これらの全数を近接目視により点検するには多大な費用と労力を要する。そこで、ボルトに設置されたIマークに着目し、UAV(小型ドローン：図-2)を用いて桁内および橋梁側面から動画撮影を行い、安全かつ効率的に全ボルトを対象に緩みや脱落の有無を確認した。(写真-2)



図-2 撮影に用いるUAV機体

UAV撮影により、ボルト・ナットの異常が疑われる箇所に対するスクリーニングの実施後、UAVによる接近が困難な狹隘箇所および橋脚の洗堀調査にお

いては、ロープアクセス技術を用いた近接目視点検を実施した。



写真-2 UAVによるボルトの緩み確認状況

3. 点検結果

(1) 過年度損傷との比較

前年度までに確認されていた損傷として以下が挙げられる。

- ・橋面舗装のひび割れ
- ・一部橋脚支承部ボルトの脱落

舗装のひび割れは仮橋の伸縮部に起因するものであり、今回の調査では前回点検から顕著な進展は確認されなかった。また、橋脚のボルト脱落についても新たな損傷進行は認められなかった。

(2) 新規損傷の発見

今回の調査にてUAVでの撮影により、一部橋脚の接合部においてIマークのずれが確認されたため、ロープアクセスにより打音検査および触診を実施した。その結果、ボルトの緩みが確認された。

詳細調査の結果、ボルト・ナット・座金が一体となって回転しており、腐食による固着が原因であると推定された。一方で、ボルト本体や周辺部材には腐食による断面欠損や孔食は認められなかった。

さらに、下部工設計計算書によれば必要ボルト本数に十分な余裕があり、現場において再締付けを実施したことから、本損傷は緊急対応を要する重大な損傷には該当しないと判断された。

(3) ボルトの腐食確認

ボルトの腐食進行確認のため、一部区間において外観目視ならびにノギスを用いたボルト径の計測を行った。

目視の結果については既往の論文¹⁾によると外観目視において腐食レベルを1～5の5段階に分類し、腐食レベル1～3判定において、安全率分(1/1.6)以下を下回る可能性があることが確認されている。今回の調査において、軸力の低下が懸念されるような腐食レベル3以下の腐食は外観目視では確認されなかった。(表-1)

また、ボルト径計測の結果、著しい断面減少は確

認められなかった。

表-1 外観目視による腐食ボルトの分類

	腐食レベル1	腐食レベル2	腐食レベル3
ケレン前			
ケレン後			
基準	・原形を留めない 著しい断面欠損	・著しい塗膜剥れ ・中程度の断面欠損	・中程度の塗膜剥れ ・軽微な断面欠損

	腐食レベル4	腐食レベル5
ケレン前		
ケレン後		
基準	・軽微な塗膜剥れ	・ほとんど健全

出典：参考文献1) 腐食環境下における高力ボルトの健全度判定方法に関する一考察

4. 洗堀調査結果

(1) 洗堀調査の目的および方針

洗堀調査は、橋梁全体の健全性と通行の安全性を評価することを目的として実施した。調査は過年度の洗堀調査結果を指標とし、経年的な洗堀進行の有無を確認するために行われた。

(2) 洗堀調査方法

橋脚基礎の洗堀状況を把握するため、上流側杭を対象としてスタッフによる計測を実施した。橋脚天端の基準マーキングから河床までの高さを測定し、基礎根入れ長を算出した。(写真-3)

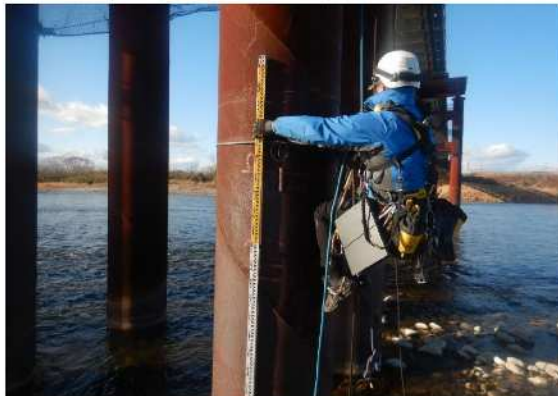


写真-3 ロープアクセスによる洗堀確認状況

(3) 洗堀の発生状況

調査の結果、最大洗堀量はKP9橋脚において20 cmであった。しかしながら、有効根入れ長6.4 mに対し実際の根入れ長は19.95 mであり、支持性能への影響は小さいことが確認された。

一方、KP4橋脚では有効根入れ長6.45 mに対し、実測根入れ長が6.10 mとなっており、必要根入れ長を下回っていた。

過年度との比較では、KP4橋脚において既往点検期間にかけて大きな洗堀が発生したものの、その後の変化量は最大でも数cm程度であり、近年は概ね安定した状態にあることが確認された。

また、現地観察からも、橋脚周辺の河床地形はほぼフラットであり、大規模な河床変動は見られなかった。

根入れ長の微小な変動は、流水による玉石等の移動に起因すると考えられる。

5. 支持力評価

KP4橋脚では根入れ不足が確認されたため、橋脚杭の支持力照査を実施した。照査は、「道路土工仮設構造物工指針（平成11年3月、日本道路協会）」に示される許容支持力度算定式を用い、先端支持力および周面摩擦力を考慮した許容支持力 R_a と作用鉛直力 N_{max} を比較する方法により実施した。地盤の N 値は、既往詳細設計業務の地盤調査結果を用いた。検討の結果について以下に示す。

(1) 群集荷重時

- ・ 許容支持力 R_a : 462.6 kN
- ・ 作用荷重 n_{max} : 365.3 kN
- ・ 判定 : $R_a > N_{max}$ につき満足

許容支持力

項目	記号	単位	数値
許容支持力	R_a	kN	462.6
支柱先端地盤のN値 $N=(N1+N2)/2 \leq 40$	N		28
$N1$: 支柱先端位置からのN値 ≤ 50	$N1$		28
$N2$: 支柱先端から上方へ2.0mの範囲における平均N値	$N2$		28
支柱の先端面積	A_p	m ²	0.16
支柱先端までの粘性土層のN値の平均値 ($2 \leq N_{av} \leq 15$)	N_v		0
粘性土層中の支柱長さ	L_v	m	0
支柱先端までの砂質土層のN値平均値 ($2 \leq N_{av} \leq 50$)	N_s		28
砂質土層中の支柱長さ	L_s	m	6.1
支柱の周長	U	m	1.6
施工条件による先端支持力度の係数	α		1
施工条件による周面摩擦力度の係数	β		0.9
安全率	n		3
$qu=200 \times \alpha \times N$	qu	kN/m ²	5600

支持力の照査

項目	記号	単位	数値
鉛直力(常時(橋軸直角方向))	N_{max}	kN	365.3
仮想支点までの支持杭軸力	$N1$	kN	357.3
仮想支点から杭先端までの支持杭質量	$Ns2$	kN	7.8

(2) 地震時

- ・ 許容支持力 R_a : 694.0 kN
- ・ 作用荷重 N_{max} : 154.5 kN
- ・ 判定 : $R_a > N_{max}$ につき満足

許容支持力			
項目	記号	単位	数値
許容支持力	Ra	kN	694
支柱先端地盤のN値 $N = (N1 + N2) / 2 \leq 40$	N		28
N1: 支柱先端位置からのN値 ≤ 50	N1		28
N2: 支柱先端から上方へ2.0mの範囲における平均N値	N2		28
支柱の先端面積	Ap	m ²	0.16
支柱先端までの粘性土層のN値の平均値 ($2 \leq N_{cm} \leq 15$)	Nc		0
粘性土層中の支柱長さ	Lc	m	0
支柱先端までの砂質土層のN値平均値 ($2 \leq N_{cm} \leq 50$)	Ns		28
砂質土層中の支柱長さ	Ls	m	6.1
支柱の間隔	U	m	1.6
施工条件による先端支持力度の係数	α		1
施工条件による両面摩擦力度の係数	β		0.9
安全率	n		2
$qu = 200 \times \alpha \times \beta$	qu	kN/m ²	5600

支持力の照査			
項目	記号	単位	数値
鉛直力(常時(軸軸角方向))	Nmax	kN	154.5
仮想支点までの支持抗力	N1	kN	143.3
仮想支点から既先端までの支持抗質量	Ns2	kN	11.2

(3) 200t クレーン作業時

- 許容支持力 Ra : 694.0 kN
- 作用荷重 Nmax : 752.8 kN
- 判定 : Ra < Nmax につき不足

許容支持力			
項目	記号	単位	数値
許容支持力	Ra	kN	694
支柱先端地盤のN値 $N = (N1 + N2) / 2 \leq 40$	N		28
N1: 支柱先端位置からのN値 ≤ 50	N1		28
N2: 支柱先端から上方へ2.0mの範囲における平均N値	N2		28
支柱の先端面積	Ap	m ²	0.16
支柱先端までの粘性土層のN値の平均値 ($2 \leq N_{cm} \leq 15$)	Nc		0
粘性土層中の支柱長さ	Lc	m	0
支柱先端までの砂質土層のN値平均値 ($2 \leq N_{cm} \leq 50$)	Ns		28
砂質土層中の支柱長さ	Ls	m	6.1
支柱の間隔	U	m	1.6
施工条件による先端支持力度の係数	α		1
施工条件による両面摩擦力度の係数	β		0.9
安全率	n		2
$qu = 200 \times \alpha \times \beta$	qu	kN/m ²	5600

支持力の照査			
項目	記号	単位	数値
鉛直力(常時(軸軸角方向))	Nmax	kN	752.8
仮想支点までの支持抗力	N1	kN	741.6
仮想支点から既先端までの支持抗質量	Ns2	kN	11.2

上記の結果より、通常供用時および地震時の安全性が確保されていることが確認された。

しかし、本橋梁を撤去するにあたり、大型クレーンによる作業時には支持力不足が生じる可能性が示された。

ただし、過年度に実施された撤去設計では河床盛土を併用した施工方法が提案されており、この方法を採用することで安全性の確保が可能であると考えられる。

6. 考察および今後の課題

本調査により、歩行者用仮橋は供用上支障となる重大損傷を有しておらず、利用者の安全性は概ね確保されていることが確認された。

本報告で対象とした川島大橋歩行者用仮橋は、応急的な仮設構造物でありながら、長期間にわたり歩行者交通を担う役割を果たしている。そのため、出水期後の点検および洗堀調査は、常設橋梁と同様、あるいはそれ以上に重要であると考えられる。

今回の点検結果からは、以下の点が示唆される。

- ボルト・ナットのゆるみ・脱落は、施工時の締め忘れや長期供用に伴う微小変形、腐食などを通じて発生し得る。チョーキング等による変位の視認性向上は有効であるが、ロープアクセスやドローン等を組み合わせた近接点検の確実な実施が不可欠である。また、KP4橋脚における新規損傷は、再締付けを実施したが、類似箇所への水平展開が必要であると考えられる。
- 洗堀は、滞筋の変化や出水規模に応じて不均一に進行するため、過年度調査との比較に基づく時系列評価が重要である。KP9橋脚のように洗堀量が大きいものの十分な根入れ長が確保されている場合でも、引き続き洗堀進行の有無を注視すべきであり、KP4橋脚のように有効根入れを下回った橋脚については、支持力照査とあわせて、撤去時の条件を踏まえた運用上の制限や対策検討が求められる。
- 点検支援技術(UAV)は、高所・水際環境下等の近接目視が困難な箇所におけるスクリーニングとして有効である。ただし、打音や触診が行えないことや狭隘部への進入が困難であることから、特定の箇所の対象となる損傷確認として留め、損傷が疑わしき箇所は近接目視および打音や触診による確実な点検を行うことが望ましいと考えられる。

7. 結論

本報告では、仮橋を対象として実施した出水期後点検および洗堀調査の結果を整理し、仮橋の安全性を評価した。

- 点検の結果、一部橋脚においてボルトの緩みや脱落が確認されたが、現時点での安全性は担保されていると判断される。
- ボルトの腐食に対して外観目視を行った結果、軸力低下の懸念されるような腐食は現時点では確認されなかった。
- 洗堀調査の結果、一部橋脚において最大洗堀量 20 cm が確認されたが、有効根入れ長に対して十分な根入れ長が確保されており、緊急性は低いと評価された。

以上の結果から、本仮橋は現時点において、歩行者利用に対して安全性が確保されていると評価される。しかし、仮橋の長期供用化や異常出水が確認された場合等の変化を考慮すると、定期的な出水期後点検および洗堀調査を継続するとともに、ボルト緩みや洗堀進行等の兆候に対して早期に対策を講じることが重要である。

参考文献：

- 和田他：腐食環境下における高力ボルトの健全度判定方法に関する一考察，土木学会第72回次学術講演会 (H29.9)

橋梁点検現場における遠隔臨場

ふじわらきょうへい すぎやまあきら たざわよしゆき ふるたこうじ
○藤原 匡平¹・杉山 彰¹・田澤義之¹・古田光司¹

¹株式会社ティコク（〒500-8856 岐阜県岐阜市橋本町2-8）

土木工事現場における施工状況の確認や立会，材料確認等の作業は，生産性向上や非接触・リモート化を目的に，動画撮影用カメラとWeb会議システム等を介した遠隔臨場で実施され始めている．遠隔臨場は，橋梁点検現場における適用を想定していなかったが，橋梁点検が抱える課題の対策として東京都が管理する立日橋を対象に試行した．その結果，損傷状況や計測状況を現場に赴くことなく遠隔地からのリアルタイムでの報告や発注者との情報共有，認識の不一致の防止等が図られ，点検結果の精度向上が成された．また，新技術（点検支援技術）の性能確認や緊急時の情報共有にも活用できる可能性が示された．

Key Words：遠隔臨場，新技術（点検支援技術）

1. はじめに

わが国には約73万橋の橋梁が存在している．そのうち竣工から50年以上経過する橋梁の割合は，10年後には全体の6割に達する見込みで，深刻な老朽化が懸念されている．しかし，橋梁は人々の生活や経済を支えるインフラとして，重要な役割を担う構造物であり，適切な維持管理を行っていくことが重要である．

そのため，限られた財源の中で橋梁の安全性や耐荷性能等を維持するためには，長寿命化修繕計画を策定し，計画的なメンテナンスサイクル（点検→診断→措置→記録→次の点検）を確立することが重要である．

しかし，適切な修繕計画の策定には，橋梁点検による状態の把握を適切かつ確実に反映することが求められるが，橋梁点検の現状としては，「予算不足」，「人材不足」の課題を抱えている¹⁾²⁾．

東京都が管理する立日橋の点検においても同様に，点検費用の高騰や点検結果の品質確保，現場状況等の情報共有の課題が顕在している．本稿では，一般的に土木工事現場等で活用される遠隔臨場を，この立日橋の橋梁点検現場で試行的に活用することにより，点検の合理化や効率化を図った事例を紹介する．

また，現場状況の分析結果をもとに，大型橋梁点検車を用いた従来の点検手法から，新しい点検支援技術（以後，「新技術」という）も活用した点検手法への変更を提案した．さらに，新技術のカメラ映像も遠隔臨場に取り入れることで，現場状況や健全性の評価材料となる損傷程度をリアルタイムで発注

者と共有かつ合議できる体制を確立することにより，点検結果の品質低下を解消し，判定の精度向上を図った．

2. 対象橋梁の概要

(1) 対象橋梁

対象の立日橋は，一級河川多摩川に架かる立川市と日野市を結ぶ橋梁である．竣工から35年が経過し，橋長は416.6m，径間数7径間の長大橋であり，分離した上下線の中央に多摩モノレールが併走している．

表-1 対象橋梁諸元

橋 長	416.6m（径間数：7）
幅 員	全幅員9.75m，有効幅員7.25m
橋 梁 形 式	3径間連続鋼箱桁橋 4径間連続鋼箱桁橋
竣 工 年 数	1988年3月（昭和63年）



(2) 立日橋の橋梁点検における課題と対策

立日橋での橋梁点検の現状として以下の課題が見られたため，対策を講じた．

a) 点検結果の不一致

橋梁点検では，正確に橋梁の損傷状況を把握し記録することが求められ，その結果によって補修対策

方法の決定や修繕計画が行われる。

橋梁の損傷は、構造形式や供用年数、周辺環境など様々な状況下で発生し、その種類も多種多様である。また、目視点検だけでは損傷を確認できない場合もあり、詳細調査により損傷状況を詳細に把握する必要もある。このため技術者は、橋梁点検の標準的な内容や方法、現時点で予見できる注意事項、対策区分の判定等について規定した橋梁定期点検要領に基づき、点検を実施している。しかし、技術者の経験・技術力の差によって、同一の損傷であっても異なる評価がなされる等、点検結果の品質低下が生じることも少なくない。

また、点検結果を基に、診断結果の妥当性を検証する判定会議が、発注者参加のもと実施されている。しかし、判定会議は机上での写真判定で実施されるため、損傷の位置や程度が正確に把握しづらいことから、認識の不一致や判定会議用の膨大な資料作成が必要となること等が問題である。

本橋においても点検結果の再評価や補修が必要な損傷の選定および優先順位付けが求められることから、正確な情報共有や共通認識に基づいた診断・判定が重要であった。そのため、遠隔臨場を活用した「立会」を実施することで、周辺環境や損傷状況をリアルタイムに発注者と共有することを提案した。これにより、発注者は受注者との同一の視点で見たい視点・角度からの確認が可能となり、認識が一致することによる橋梁点検の精度向上が期待された。

b) 点検費用の高騰

本橋の点検手法は、図-1に示す現場状況のように幅員が広いマウントアップ構造の歩道を有することから、当初想定していた小型橋梁点検車による点検手法では近接目視点検が困難な範囲が生じた。

そのため、大型橋梁点検車もしくは足場設置等による点検が必要となったが、5年に1度の頻度で実施される近接目視を基本とした橋梁定期点検において、大型橋梁点検車等の使用は多額の費用を要する。

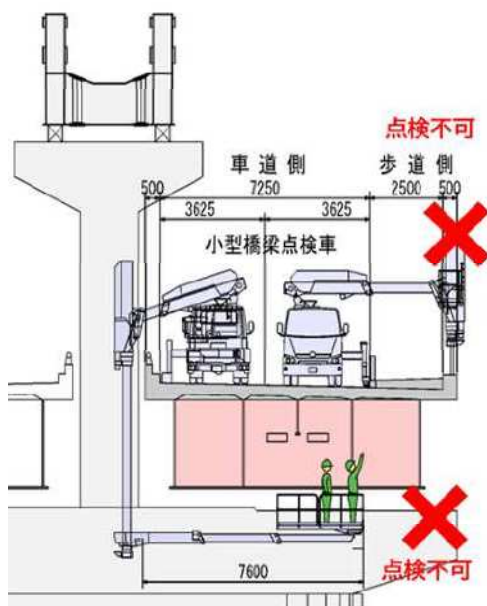


図-1 点検手法の検討

この問題を解決するため、小型橋梁点検車だけでは近接目視点検が困難な範囲について、近接目視点検と同等の精度が得られる新技術を採用しコスト縮減を図った。新技術として橋梁ロボットカメラ（国土交通省性能カタログ：BR010019-V0221）を提案した結果、表-2に示すように大型橋梁点検車による点検手法と比べ、点検費用が約180万円（約50%）の縮減となった。

また、新技術の活用は、歩道部の作業範囲内のみの部分規制で実施可能であるため、車道部の交通規制時間の短縮（1日程度）により、交通渋滞や社会的影響の緩和が実現できた。

表-2 点検計画

点検方法	案②		
	大型橋梁点検車	小型橋梁点検車	新技術 橋梁ロボットカメラ
点検日数	5日間	4日間	3日間
機材費	機材費 (円/日)	500,000	80,000
	計	2,500,000	605,000
安全費	安全費 (円/日)	140,000	140,000
	計	700,000	620,000
点検員	点検員 (円/日)	82,000 (2名：技師B+技師C)	82,000 (2名：技師B+技師C)
	計	410,000	574,000
合計（概算）	3,610,000	1,799,000 差額：約180万円	

c) 新技術の活用

本橋で提案した橋梁ロボットカメラは、伸縮可能なポールに設置したカメラと、カメラを操作する専用のタブレットPCを使って、近接せずに損傷等を確認でき、安全かつ効率的に点検を行うシステムである。カメラは、約92万画素の解像度を有し、光学倍率30倍により、20メートル先の0.2mm幅のひび割れを視認できる。また、映像上に表示されるクラックスケールやメジャーで損傷寸法の測定ができ、静止画像として保存も可能であるため、近接目視点検と同等の精度が得られる新技術として点検支援技術性能カタログにも掲載されている。

橋梁ロボットカメラの概要を図-2に示す。



図-2 橋梁点検ロボットカメラ（新技術）

しかし、提案した新技術の橋梁ロボットカメラは、当該事務所において初めての採用であったため、点検方法や成果について疑義が生じた。

この課題を解決するため、新技術のカメラ映像を遠隔臨場に取り入れ、リアルタイムに受発注者間で共有・確認することを提案した。橋梁点検を実施する前に室内テストとして、ひび割れを再現した等身大のコンクリート面を壁面に設置し、新技術のカメラ映像を遠隔臨場により受発注者で確認した。その結果、0.2mm幅のひび割れを視認できることを確認するとともに、映像および音声による通信にも支障がないことを確認できたため、橋梁点検現場に臨んだ。

3. 橋梁点検現場における遠隔臨場

遠隔臨場とは、動画撮影用カメラ（ウェアラブルカメラ等）とWeb会議システム等を活用することにより、現場に赴くことなく遠隔地からリアルタイムに現場状況や各種確認を行う手法である。

遠隔臨場システムの概要を図-3に示す。

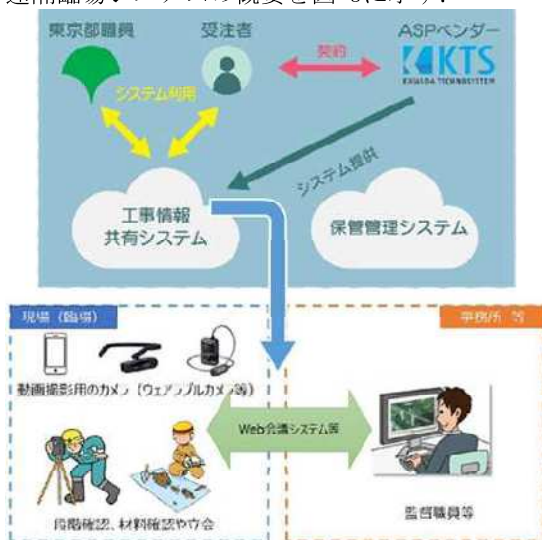


図-3 遠隔臨場システム

国土交通省は、令和4年度より土木工事現場における「段階確認（施工状況の確認）」、「材料確認」、「立会」を必要とする作業において、生産性向上や非接触・リモート化に向け、遠隔臨場の実施を本格化させている³⁾。また立日橋を管理する東京都でも、土木工事現場に限らず、建築工事や設備工事、地質調査委託においても遠隔臨場を採用し、確認書類の簡素化や効率的な時間の活用等を図る取り組みを進めている⁴⁾。

一般的には土木工事現場等で適用される遠隔臨場であるが、現段階では適用が想定されていない測量や調査、設計等の他事業における現場についても、遠隔臨場の活用により事業の効率化や技術職員の人手不足解消、情報共有による品質や精度の向上を図ることができると考えられる。

本事例では、遠隔臨場システムとして東京都建設局の工事情報共有システム（ASP）の一つであるWeb会議システムを利用して、遠隔臨場による「立会」を実施し、損傷や計測状況等をリアルタイムで報告した⁵⁾。

動画撮影用カメラは図-4に示すように、点検員が装着した手元カメラ（スマートフォン）により、点検車および路上から損傷状況や点検状況（橋梁点検車の配置、交通規制等の安全管理状況）、周辺状況を共有した。また、小型橋梁点検車だけでは近接目視点検が困難な範囲は、橋梁ロボットカメラの映像により損傷状況や寸法計測状況を遠隔臨場することで、事務所に待機する発注者と映像・音声を双方向でやり取りできる環境を構築した。



図-4 遠隔臨場状況

4. 遠隔臨場の効果と課題

(1) 遠隔臨場の効果

橋梁点検現場における遠隔臨場を実施した結果から、遠隔臨場の実施により得られる効果を以下に考察する。

a) 業務の効率化

現場状況や損傷状況をリアルタイムに受発注者間で共有できるため、損傷位置・規模に対する認識の不一致を防止でき、点検結果の報告や補修対策の提案を円滑に実施することが可能となった。これにより、現地確認後の追加説明や認識合わせに要する時間の削減にもつながり、業務の効率化を図ることができる。

b) 判定・評価の品質向上

新技術を活用した遠隔臨場による損傷状況の確認は、損傷の診断結果が妥当であるかの判定会議を兼

用することができ、各方面の高い技術力と豊富な経験を有する技術者による診断と劣化原因を合議する体制の確立が可能となる。また、判定会議や事務所に待機する熟練技術者の要請に応じて、状況や確認したい事項、不明点等を明確にすることができ、劣化原因や損傷が構造物に及ぼす影響を考察し、健全性の診断・判定に反映することができると考える。

更に、遠隔臨場の映像・音声はWeb会議システムにて保存が可能であり、立会の参加者のみならず不参加者も後日状況を確認することができる。

c) 緊急時対応の迅速化

橋梁点検時に、緊急性の高い損傷や詳細調査が必要と考えられる損傷、現場での事故等が生じた際には、すぐに報告、確認を行うことが可能であり、効率的に迅速な対応ができる。更に、現場終了後に速報として作成する資料や現場確認を行うための日程調整等の一連の作業を削減できる。

d) 技術者教育における活用

発注者と現場との遠隔臨場に加え、事務所に待機する熟練技術者と遠隔臨場を活用することで、現場で生じた不明事項や判断に迷う事情についてリアルタイムで確認・協議することが可能となる。また、現場で作業する若手技術者が熟練技術者の判断や着目点を実際の現場状況と併せて学ぶことができ、技術教育の機会としても活用できる。さらに、熟練技術者からの助言を受けることも可能となるため、技術者間の知識や経験の共有を促進し、点検技術の継承や技術力の向上にもつながることが期待できる。

e) 遠隔臨場による新技術導入の推進

橋梁点検が抱える課題への対策として、本稿で紹介したロボットカメラ以外にも、各技術の導入が考えられる。近年、各自治体において新技術を活用した橋梁点検が積極的に実施されている。しかし、新技術の種類は多く、性能や得意とする環境、精度は各技術によって異なる。国土交通省より各新技術の機器の仕様・能力や開発者の保証、現地条件をまとめた点検支援技術性能カタログが公開されているが、今後の橋梁点検で継続的に使用する点検手法として確立するには、実際に活用し、性能や精度を確認することが必要である。

そこで、提案したい新技術による点検状況を遠隔臨場により受発注間で共有することにより、新技術の計測方法や精度、得られる成果を発注者が視覚的に確認することが可能となり、新技術の導入推進に寄与すると考える。

(2) 遠隔臨場の課題

橋梁点検における遠隔臨場の課題を以下に示す。

- ・通信環境の確保が必要である。トンネルや山間部の電波が届きにくい箇所での遠隔臨場では、通信障害等によりスムーズにやり取りできない可能性がある。
- ・風切音や降雨により、音声や映像の乱れが懸念される。
- ・点検や診断にあたり、損傷状況によっては時間を

を要し、交通規制期間が長くなる可能性もある。
・橋梁点検中の遠隔臨場による判定会議は、待ち時間を含め長時間となることが考えられる。

5. おわりに

本稿では、橋梁点検結果の品質や新技術の導入課題に対し、橋梁点検現場において遠隔臨場を試行した。その結果、現場の損傷状況や点検状況をリアルタイムに受発注間で共有することで、損傷位置・規模に対する認識の不一致を防止するとともに、点検結果の品質向上や補修対策の検討・提案を円滑に進めることができた。また、受発注者で同一のカメラ映像を確認することで、新技術での計測方法や精度、得られる成果等を視覚的に共有でき、新技術の適用性や有効性について共通認識を形成することができた。

さらに、遠隔臨場は発注者との立会・確認にとどまらず、受注者側における技術的な確認、若手技術者への技術指導等にも活用できることから、技術者間の知識・経験の共有や技術継承の手段としても有効であると考えられる。

橋梁の老朽化が進行する中、今後は、限られた予算や人員の中で、より多くの橋梁に対して適切なメンテナンスサイクルを継続的に実施することが求められる。一方で、「予算不足」、「人材不足」の問題が顕在化しており、修繕が先送りになるなど、従来の手法のみでは適切な維持管理を継続することが困難となることが懸念される。このため、点検の合理化や新技術の導入によるコスト削減、予防保全的に措置を実施するなどの補修工事の適正化等により、メンテナンスサイクルを適切に繰り返すための対策の立案が急務である。本稿のような試行的な取り組みを継続的に実施し、併せて橋梁の維持管理における課題についての解決策を検討することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：老朽化対策の取組み
- 2) 国土交通省：老朽化対策の先進的な取組事例，R6. 4
- 3) 国土交通省大臣官房技術調査課：建設現場における遠隔臨場に関する実施要領，R5. 3
- 4) 東京都建設局：建設現場における遠隔臨場試行要領（案），R7. 4
- 5) 東京都建設局：建設局工事情報共有システム（ASP方式）運用要領，R8. 4

PC 橋におけるグラウト充填調査と 補修検討

ののむらたくみ たまりこういち かわべあやこ ちかざわたかや
○野々村巧¹・玉利幸一¹・川邊絢子¹・近澤孝哉¹

¹ (株) 長大名古屋支社 (〒453-6120 名古屋市中村区平池町四丁目60番地12)

本業務は、既設PC橋を対象に、床版横締めPC鋼材のグラウト充填状況および鋼材の健全度を把握するため、衝撃弾性波法と削孔・CCDカメラ調査を実施したものである。PC鋼材のグラウト充填不足が確認された橋梁については、調査結果を踏まえ、補修工法の検討を実施し、施工時の留意点を踏まえた仮設計画・交通規制計画を行った。また、構造上PC鋼材のグラウト充填状況の確認が困難であった橋梁については、第三者被害予防を考慮した対策工法を検討した。

Key Words : PC橋, 横締めPC鋼材, グラウト, 衝撃弾性波法, 削孔調査, 補修設計

1. はじめに

(1) 業務概要

PCグラウトは、PC鋼材を防食するとともに、コンクリートとPC鋼材を一体化してプレストレスを確実に伝達するために施工される。既設PC橋では、横締めPC鋼材のグラウト充填不足により鋼材腐食が進行するとPC鋼材が破断し、耐荷性の低下につながる恐れがある。また、鋼材の突出やコンクリート片の脱落の可能性があり、跨道橋や桁下空間が利用されている橋梁では、横締めPC鋼材の破断により、第三者被害につながる恐れがある。

本業務では、複数の既設PC橋を対象に、グラウトの充填状況を把握するために、非破壊調査である衝撃弾性波法と削孔調査を組み合わせた詳細調査を実施し、調査結果を基に補修設計を実施したものである。

(2) 対象橋梁

対象橋梁は、形式、橋長、幅員、径間数が異なる15橋の既設PC橋である。これは横締めPC鋼材の破断があった橋梁の構造や建設時期等の条件を踏まえ、自治体が緊急対策として抽出した橋梁である。損傷事例を踏まえ、床版端部付近の横締めPC鋼材に着目し、表-1に示す橋梁について衝撃弾性波法、削孔調査およびCCDカメラによる内部確認を実施した。

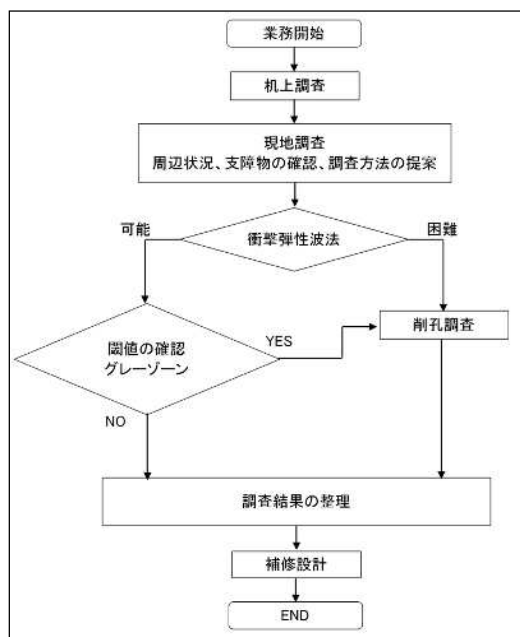
(3) 業務フロー

本業務の実施フローを表-2に示す。

表-1 対象橋梁一覧

橋梁 番号	上部工形式	径間数 (径間)	橋長 (m)	幅員 (m)	調査PC 鋼材 (本)
1	ボステンT桁	2	44.6	25.0	38
2	プレテンT桁	1	19.2	16.0	6
3	プレテンT桁	1	13.5	10.5	6
4	プレテン中空 床版	2	28.8	9.9	4
5	プレテン中空 床版	2	28.8	9.9	4
6	プレテン中空 床版	4	57.6	10.0	8
7	プレテン中空 床版	4	57.6	10.0	8
8	ボステンT桁 プレテンI桁	2	29.6	13.6	6
9	プレテン中空 床版	1	8.4	15.0	6
10	プレテンT桁	5	108.3	12.5~ 25.0	20
11	プレテンT桁	4	86.6	12.5	16
12	プレテン中空 床版	5	71.2	12.8	10
13	プレテンT桁	22(19)	495.5	16.8	152
14	プレテンT桁	7	147.0	6.0	28
15	プレテンT桁	7	147.0	6.0	28
合計					340

表-2 業務フロー



2. 詳細調査方法

現況交通および構造物への影響を考慮し、効率よくグラウトの充填度を把握するため、衝撃弾性波法による非破壊調査を基本とした。現地状況により支障物や狭隘部などで衝撃弾性波法が実施できない箇所については、橋面からの削孔調査及びCCDカメラによる確認を実施した。衝撃弾性波法の確認削孔として、未充填の恐れがあるものについても削孔調査による確認を実施した。

(1) 衝撃弾性波法

衝撃弾性波法は、横締めケーブルの一端から入力した弾性波を他端で受振し、入出力比および見かけの伝播速度からグラウト充填状況を推定する方法である。グラウトが充填されている場合は、PC鋼材が拘束されるため、伝播エネルギーが減衰し、入出力比が小さく、伝播速度も遅くなる。

本調査では、先行調査していた1橋の調査結果および衝撃弾性波法によるPCグラウト充填度評価についての既往論文¹⁾を参考に、伝播速度4,300m/s未満かつ入出力比 0.21×10^{-2} 未満を「充填」、伝播速度4,300～4,800m/sを中心とする範囲を未充填の恐れのある「グレーゾーン」、伝播速度4,800m/s以上かつ入出力比 1.00×10^{-2} 以上を「未充填」とした。範囲から外れたものは伝播速度4,300m/s以上を「未充填」とした。

(2) 削孔・CCDカメラ調査

衝撃弾性波法を実施できない箇所および衝撃弾性波法の判定がグレーゾーンとなった箇所は、削孔調査を行った。橋面より鉄筋探査を実施し、PC鋼材の位置を特定し削孔を実施した。削孔箇所からCCDカメラを挿入し、グラウトの充填状況およびPC鋼材の腐食状況を確認した。

3. 調査結果

(1) 衝撃弾性波法の調査結果

調査結果の集計を図-1に示す。

周辺状況等により衝撃弾性波法が実施できない箇所を除いた130本に対して調査を実施した。判定結果は、充填77本、グレーゾーン44本、未充填9本であった。

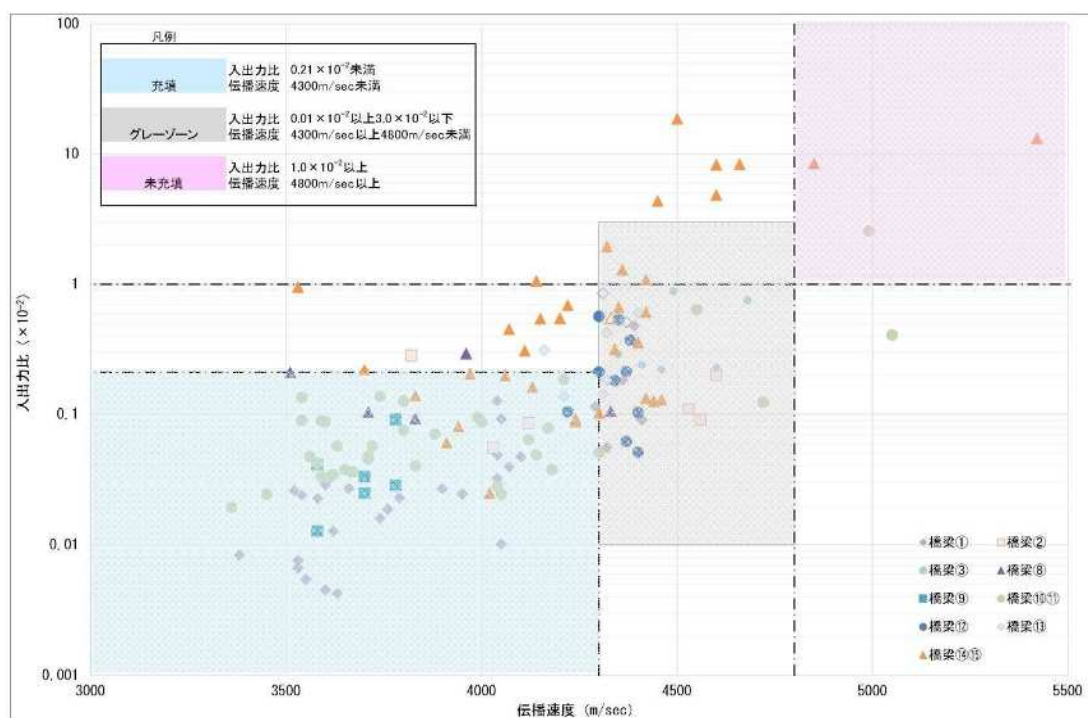


図-1 衝撃弾性波法の調査結果

(2) 削孔調査およびCCDカメラの結果

調査結果の代表写真を写真-1に示す。

衝撃弾性波法よりグレーゾーンと判断された箇所44本と衝撃弾性波法を未実施の186本の合計230本に対して調査を実施した。CCDカメラより、グラウトの充填度の分類²⁾およびPC鋼材の健全度評価²⁾を実施した。図-2を参考に、グラウトの充填度の分類は、充填182本、充填不足26本、未充填22本と判断した。図-3を参考に、PC鋼材の健全度評価は、グラウトが充填不足および未充填の48本の内、健全度1が24本、健全度2が12本、健全度3が12本と判断した。なお、健全度3と判断したPC鋼材について、PC鋼材全体に錆が確認されたが、腐食による欠損や大きな断面減少は確認されなかったため、耐荷性能に問題はないと判断した。



写真-1 削孔調査結果（代表箇所）

分類	説明	例
充填 ○	シース内が完全にPCグラウトで満たされている。	
充填不足 △	シース内のPCグラウトの充填が不十分である。 ※1 PC鋼材が露出なかった場合も、一部空隙または滞水が確認されたものは充填不足とする。 ※2 シース内の空隙が小さい場合：▲小 ※3 シース内の空隙が大きい場合：△大	
未充填 ×	PCグラウトが充填されておらず、PC鋼材が完全に露出している。	

図-2 PCグラウト充填度の分類²⁾

健全度	PC鋼材の腐食状況	質量減少率の目安
1	錆はあるが、薄錆（表面錆）である 	1%程度未満
2	点状の錆が目立つ 	1~2.5%程度
3	断面欠損が目立つ 	10%程度未満
4	PC鋼材の径が小さくなっている 	10%程度以上

図-3 PC鋼材の健全度評価²⁾

4. 補修設計における課題の抽出

詳細調査の結果、補修検討を進めるにあたり主な課題を以下のとおり抽出した。

- ・詳細調査では、構造上PC鋼材が確認できなかった24本への対策
- ・グラウト充填度およびPC鋼材の腐食状況を踏まえた補修工法の選定
- ・供用中の道路への影響を抑えた補修計画

5. 課題解決に向けた補修検討

(1) PC鋼材突出防止対策工の立案

橋梁番号4～7の4橋のPC鋼材24本については、上下線が隣接して立地していることから、受振側の機器を設置することが出来ず、衝撃弾性波法では調査ができなかった。また、上部工形式が中空床版でありPC鋼材の位置が桁の図心位置と橋面から深く、鉄筋探査によるPC鋼材の位置把握が困難であり、削孔調査でのPC鋼材位置の特定もできなかった。一方で、外観調査では地覆部にひびわれなどの変状が確認されていることからPC鋼材の変状が懸念された。また、側面には道路が通っており第三者影響範囲であることから、対策が必要であった。

対策工法は、PC鋼材の突出防止対策を目的とした「繊維シート接着工法」を採用した。繊維シート接着工法は、帯鋼板と繊維シートを接着することで、PC鋼材の突出を防止する工法である。しかし、対象箇所が床版端部であるため、繊維シートの貼り代が短く、コンクリート片の落下を防止することができない可能性があった。そのため、繊維シート接着工法と併せて、剥落防止ネットの設置を採用することで、第三者影響範囲にコンクリート片の落下を予防する計画とした。

上下線の隣接箇所については、離隔が狭く突出防止対策の実施も困難であった。桁下用地は第三者の立入があり、第三者影響範囲となるため、コンクリート片の脱落を防止するために剥落防止ネットの設置を提案した。

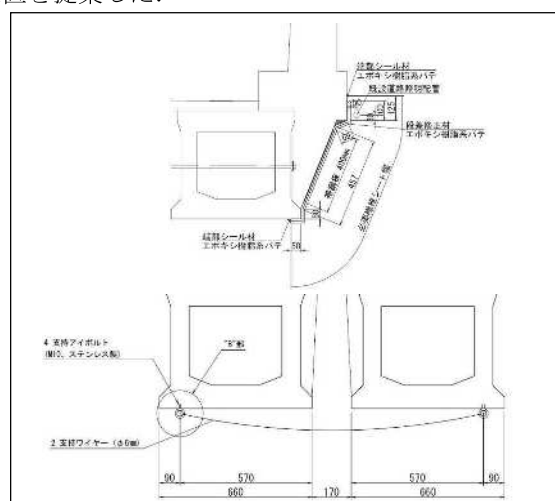


図-4 突出防止対策と剥落防止ネット

(2) グラウト再注入工の立案

a) 補修対象の選定

補修対象は、調査した340本のうち、衝撃弾性波法で未充填と判定した9本、削孔調査で充填不良と判定した26本、未充填と判定した22本の合計57本のPC鋼材を対象とした。

b) 対策方針

グラウト充填不足については、PC鋼材の健全度評価が健全度1の箇所についても今後、腐食が進行する可能性があるため、予防保全の観点より、グラウト再注入工を行う方針とした。使用するグラウト材については、カルシウムアルミネートを添加することで、可溶性の塩化物イオンを固定化し、鋼材の腐食を抑制する効果のあるものを採用する方針とした。

c) 施工上の制約

削孔調査において「充填不良」であった補修対象箇所について、グラウト不足が生じているのはシーす内の上部であり、桁下からのグラウト注入が出来ないため、橋面からの施工が必要である。また、補修対象橋梁の一部はマウントアップ形式の歩道であるため、中詰め材が設置されている。勾配を利用し、重力によりグラウトを注入する自然流下式などについては、施工に注入孔と排出孔の2孔が必要になるため、施工ができない。そのため、グラウト再注入工は片押しで充填が出来る「真空工法」にて施工が可能な工法を選定した。

(3) 交通影響を考慮した施工計画の立案

現況交通の交通量を考慮し、通行止めによる施工は困難であることから、車線規制により分割して施工する計画を立案した。図-5に代表橋梁における施工図を示す。充填不良の場合、シーす内の空隙が一連でない可能性もあるため、車線毎の施工とした。

「未充填」箇所については、桁下からの施工が可能であるため、現況交通の影響を考慮し、足場によ

る施工を立案した。

7. まとめ

本業務では、複数の既設PC橋を対象として、衝撃弾性波法、削孔調査およびCCDカメラ調査により、床版端部付近に着目して、計15橋の横締めPC鋼材のグラウト充填状況および腐食状況を確認した。

その結果、グラウト未充填または充填不良が確認された橋梁については、グラウト再注入工を計画した。また、PC鋼材の位置を特定できず第三者影響が懸念される箇所については、繊維シート接着工法による突出防止対策および剥落防止ネットを計画した。

本業務において、橋梁ごとに異なる構造条件、周辺環境を踏まえて、調査計画を立案することができた。詳細調査の結果を基に、補修設計を一体的に検討することで施工時の制約を考慮した補修工法、施工方法を立案することが出来たと考える。

今後の既設PC橋梁におけるグラウト充填度調査および補修検討において、少しでも参考になれば幸いである。

謝辞：本稿の作成にあたり、関係者の皆様から貴重な資料およびご助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 葛目 和宏ほか：衝撃弾性波法を用いたPCグラウト充填度評価に関する考察，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第12回，2012.11.
- 2) 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き「PCグラウト再注入工法」，2020.4.

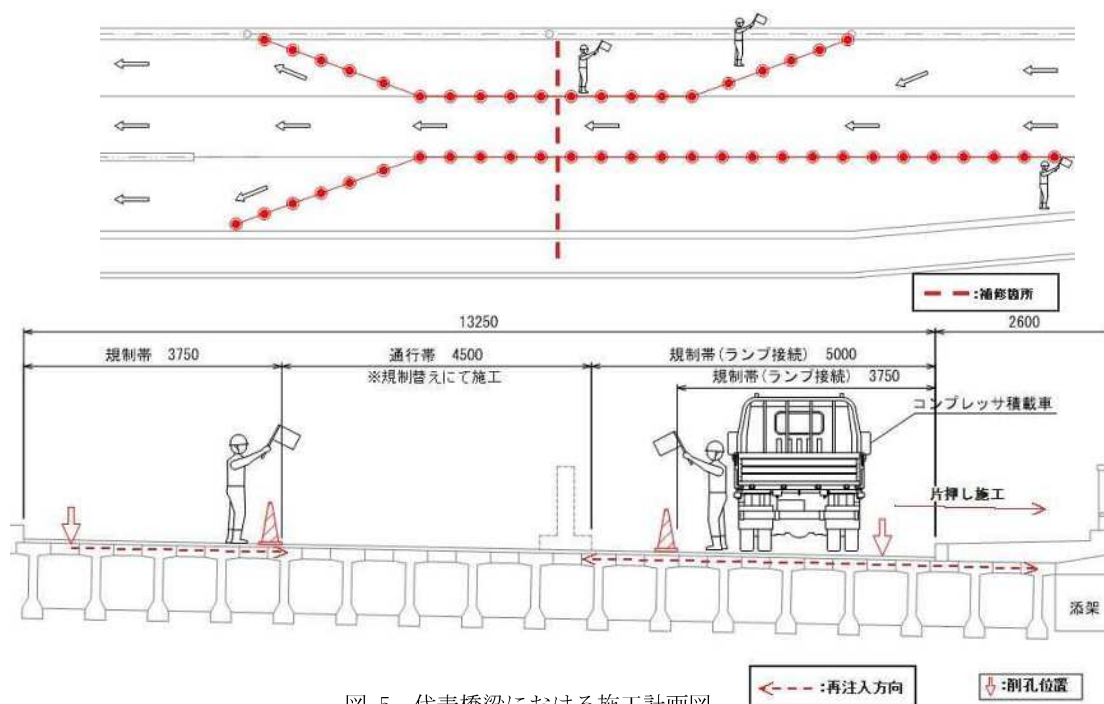


図-5 代表橋梁における施工計画図

本橋は1979年建設の橋梁である。1997年に耐震補強工事が行われているが、その竣工図にP9橋脚ゲルバー支点部の補強としてPC鋼材と鋼製ブラケットによる吊桁支持が既設部材として図化されており、それ以前からゲルバー支点部に劣化・損傷が確認されていたと推定される。また2017年の緊急工事にて仮設ベントも設置されている。ゲルバー支点部の劣化・損傷状況及び補強部材、仮設ベントの設置状況を以下に示す(写真-1、写真-2)。

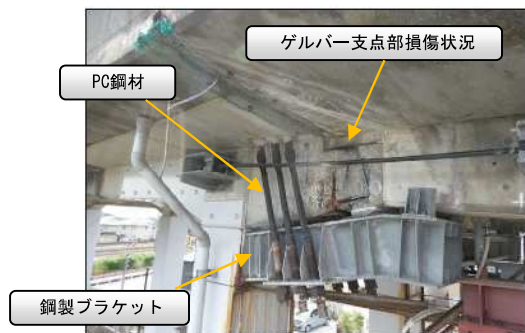


写真-1 ゲルバー支点と吊桁支持部材の状況



写真-2 仮設ベントと吊桁支持部材の状況

3. ゲルバー支点部補強工法の検討

参考文献¹⁾の工法一覧より、一般的な補強工法を選定して検討を行った。補強工法は①切り欠き部補強工法、②支持工法、③連続一体化工法の3つに分類される。これらの適合性について以下に示す。

①切り欠き部補強工法

- ・既設ゲルバー支点部の劣化・損傷状況より鋼板接着、繊維補強では十分な耐荷性能回復が望めないため、打ち換え工法の採用が前提と考えられた。
- ・打ち換え工法の場合、幅員の確保が困難かつ長期間の片側交互通行規制が必要となり、施工条件的に採用が困難(図-2)。
- ・ゲルバー支点部の構造は改良されないため、再劣化の懸念がある。

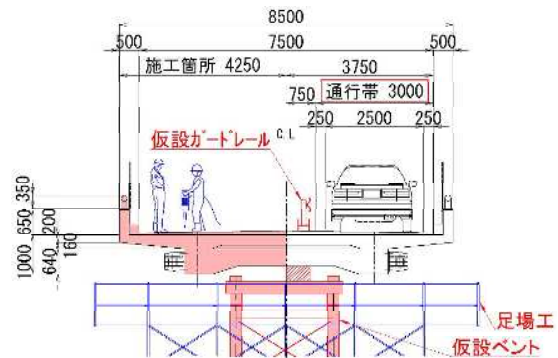


図-2 打ち換え工法の片側交互通行イメージ

②支持工法

- ・既設の吊桁支持工法がこれに該当する。PC鋼材の腐食、破断により脆性的な破壊があり得るため、恒久対策としては懸念がある。
- ・張出支持工法など既設橋脚に新たな支持部材を設置する工法や補助桁設置工法などは、死荷重増となり耐震補強済みである橋脚の耐震性能に悪影響を及ぼす。
- ・PCケーブルを用いた桁吊工法は、必要となるPCケーブルに対して施工スペース的に緊張作業が困難。

③連続一体化工法

- ・ゲルバー支点部を打ち換えて連続化する工法は、①と同じく施工条件的に採用困難。
- ・外ケーブルPC連続工法は、②と同じく緊張作業が困難。
- ・連続化することで温度応力が過大となり、構造的に不成立かつ構造系が変わるため橋脚耐震補強も全てやり直しが必要となる。

これらより、一般的な補強工法はいずれも適合性が低く、採用困難と判断した。これらの背景よりゲルバー支点部補強の抜本対策として増設橋脚の設置を検討することとなった。

4. 技術的な課題

増設橋脚計画にあたり、以下の施工上の課題が考えられた。

- ・吊桁支持点とすべき箇所に補強部材である鋼製ブラケット、仮設ベントが設置されており、理想的な位置に支点や橋脚柱を設置できない。
- ・既設橋脚は将来的な増し杭施工の可能性があり、そのスペース確保と仮設ベント基礎の存在のため、増設橋脚の杭施工や底版施工スペースが確保できない。
- ・吊桁の上部工反力を確実に増設橋脚に受け替える必要があるが、ジャッキアップして新支承を設置した後、反力受け替えのためにジャッキダウンが避けられず、既設ゲルバー支点に反力が残留するため完全な受け替えが困難。

現況における施工上の課題について、図-3に示す。

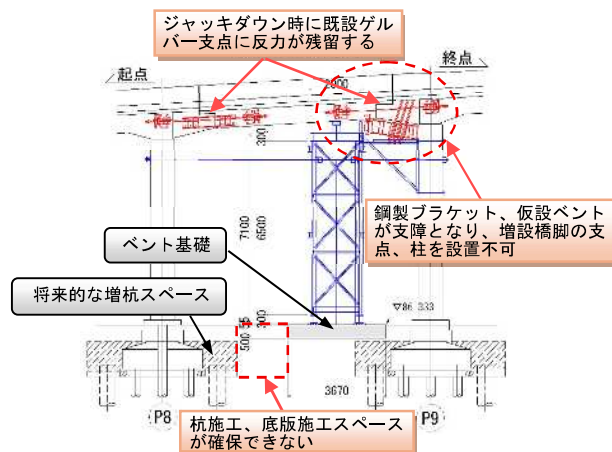


図-3 現況における施工上の課題

5. 課題の解決方法

(1) 施工ステップの検討

近接目視調査の結果、既設の鋼製ブラケットは、ゲルバー支点部の反力の一部を受け持っていると推定された。一方、仮設ベントは吊桁に対して隙間があり、現段階はフェールセーフの状態である。従ってフェールセーフ機能の代替を別途設けることができれば、先行して仮設ベントの撤去は可能と判断した。これらを前提に以下の施工ステップにて増設橋脚の計画を行った(図-4)。

施工ステップ①

- ・1列であれば、仮設ベント基礎と既設橋脚の増し杭スペースを避けて杭施工が可能であり、フェールセーフ代替機能を目的に1列杭にて柱を施工する。
- ・フェールセーフ目的の仮支点を増設橋脚に設けた後、仮設ベント及び基礎を撤去する。

施工ステップ②

- ・2列目の杭を施工して、底版を拡幅する。

施工ステップ③

- ・梁を拡幅して、吊桁の上部工反力を受け替える。

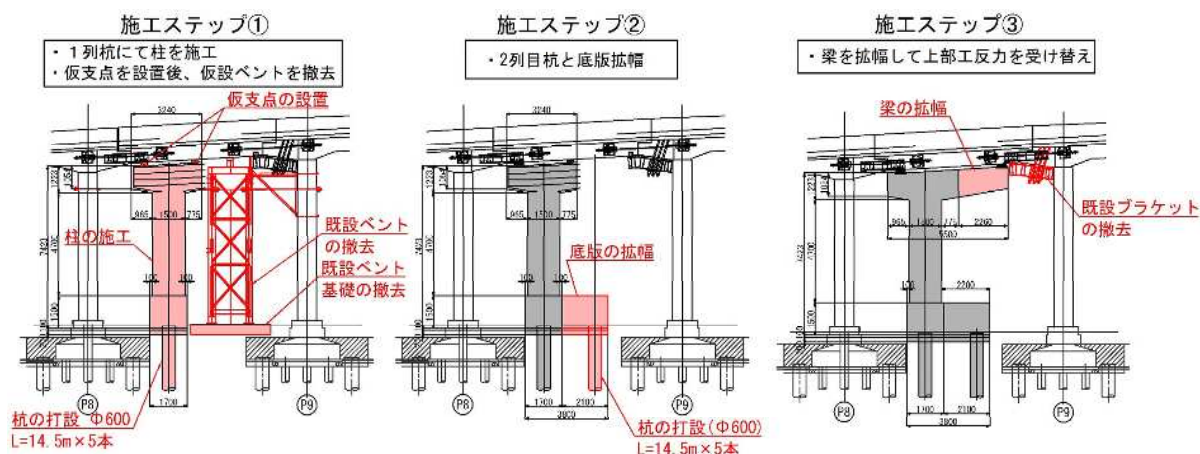


図-4 増設橋脚施工ステップ

施工ステップの工夫により、仮設ベントのフェールセーフ機能を確保した上で、増設橋脚の施工と吊桁上部工反力の受け替えを適切に実施する事が可能となった。

(2) 増設橋脚の構造計算モデルについて

増設橋脚は段階施工となり、部材の追加や上部工反力の載荷状態など、構造モデルがステップごとに変化する。これらを適切に考慮するための構造計算モデルを以下の通り設定している。

施工ステップ①

- ・フェールセーフが目的の構造となり、計算ケースとしては常時+L1地震動照査とするが、上部工反力が載荷される可能性は低く、仮設時割増を考慮する。

施工ステップ②

- ・外力など作用の変化は無いため、このステップの構造計算は行わない。

施工ステップ③

- ・施工ステップ①施工分の死荷重が1列目杭と柱に残留する。これを考慮したモデルにて、常時+地震時(L1, L2地震動)を照査する。

(3) 支点反力の受け替えについて

吊桁上部工反力受け替え時にジャッキダウンすると既設ゲルバー支点に反力が残留する。この場合、増設橋脚はゲルバー支点の完全な代替機能とならず、事実上フェールセーフとなる。これを避けるため、ジャッキアップと支点構築を同時に施工できるフラットジャッキ支承を採用して吊桁上部工反力の完全な受け替えを行う。なお、吊桁の地震時慣性力については他の径間と同様、既設橋脚と落橋防止システムが分担するものとし、増設橋脚には吊桁の地震時慣性力は考慮せず、支点条件を全方向可動としている。フラットジャッキ支承は、その構造から鉛直反力のみしか支持できず、通常は水平力に対して別途アンカーバー等を設置する必要があるが、増設橋脚の支点条件としては機能的に適合している。

(4) 基礎形式について

支持層はGL-14m程度の砂礫層である。杭基礎を前提として基礎形式選定の基本的な条件は以下の通りである。

- ・中間層に最大φ80mmの玉石が確認されている。
- ・住宅が近接しており低騒音・低振動工法とする必要がある。
- ・杭間隔2.5D以上を確保するため狭隘な施工スペースかつ空頭制限5mに対応できる工法が求められる(図-5、図-6)。

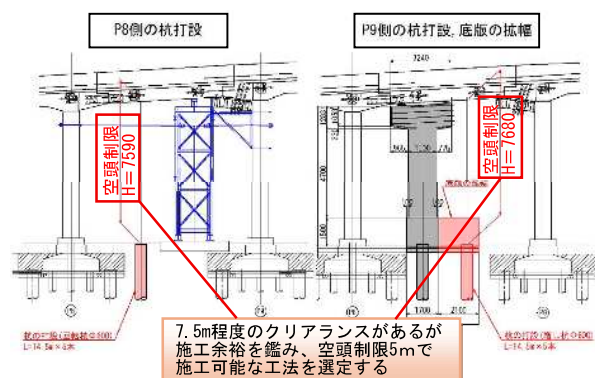


図-5 空頭制限

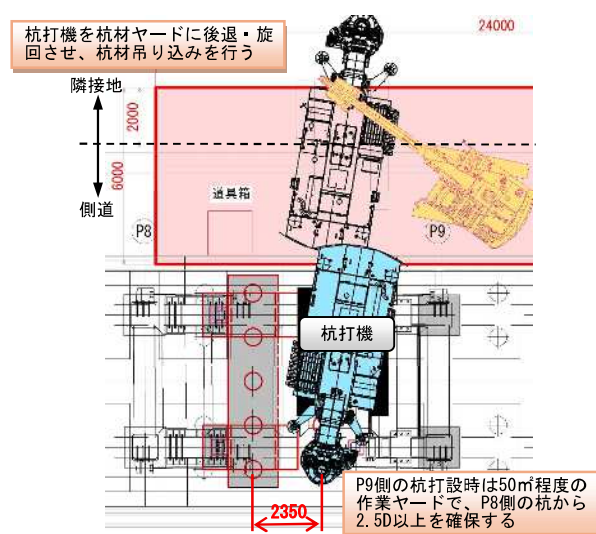


図-6 作業ヤードの制限

これら条件に適合できる基礎形式として回転杭φ600を採用した。一般に回転杭は400㎡程度以上の作業ヤードが必要であるが、小型杭機(最大杭径φ600)を採用することで50㎡程度の作業ヤードにおける施工を可能とした。

増設橋脚の底版下面は既設橋脚と合わせるのが望ましいが、この施工のためには、土留が必要となる。しかしベント基礎に干渉し鋼矢板が打設できないため、施工困難である。したがって増設橋脚の底版位置(均しコンクリート+基礎碎石の底面)は、仮設ベント基礎の底面と合わせるものとする。この場合の概略図を図-7に示す。なお既設橋脚底版下面位置までは埋め戻し土となっており、N値も低い地盤で

あることから、埋め戻し土の水平抵抗を見込まず、突出杭として杭基礎の設計を行った。

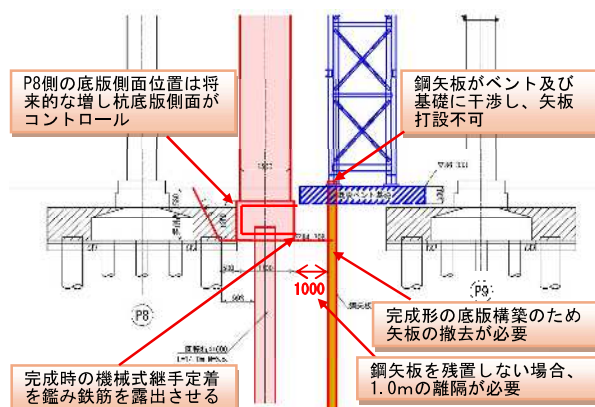


図-7 増設橋脚の底版位置の設定(既設橋脚底面)

(5) 吊桁支点位置変更に対する照査

既設ゲルバー支点から増設橋脚の新支点に受け替えることで、吊桁の支間長が変化する。支間中央に対しては、支間長が短くなるので何ら問題は無いが、桁端張出部は大きくなるため、張り出し曲げ応力度・曲げ破壊安全度の照査を行い新支点の設定可能位置を算定している。この照査によりゲルバー下端から800mm以内であれば張り出しが可能であることを確認した。

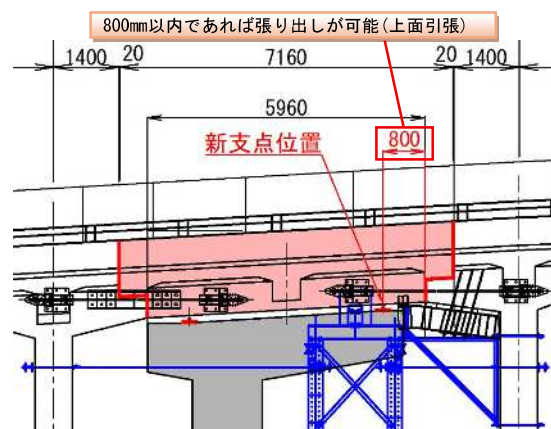


図-8 吊桁支点位置変更に対する照査

6. まとめ

一般的な工法では対応困難なゲルバー支点部の劣化・損傷に対して、抜本対策を提案するとともに、複雑な施工ステップに対する構造系の変化も適切にモデル化を行った。狭隘な空間での橋梁補修・補強に対して、今後の参考事例を提供できたものと考えている。

参考文献

- 1) コンクリートゲルバー橋補強対策マニュアル(案)，平成8年3月，(財)道路保全技術センター
- 2) 回転杭工法施工管理要領，平成29年3月，(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会

橋台変形による影響評価と 施工時の安全性に配慮した補修設計

○内山 久仁晃¹・浅井 利幸²・藤原 辰巳¹

1 不二総合コンサルタント株式会社 本社
(〒433-8112 静岡県浜松市中央区初生町889番地の2)
2 不二総合コンサルタント株式会社 名古屋支店
(〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦二丁目19番6号 名古屋野村證券第2ビル8階)

本稿は、(一) 浜川都田停車場線に架橋されている焙烙沢橋^{ほうろくさわはし}について橋台変形による影響評価と施工時の安全性に配慮した設計を実施した事例を報告するものである。対象となる橋梁は、傾斜地に計画された構造高の大きな橋台および橋脚に支持された鋼単純2径間河川橋である。A2橋台が谷側へ変形したことで上部工が押し出され、支承部と遊間部に損傷が生じている。橋台が変形した状況下での、施工の安全性を担保した対策工の立案が課題となった。損傷状況や変形量から作用力を推定した橋台の変位抑制工法の検討を行い、合理的かつ安全な補修工事を実現した。

Key Words : 橋梁補修設計, 橋台移動, 主桁端部の改修, 付属設備取替え, 変位抑止工法

1. はじめに

我が国の橋梁は、昭和40年度からの高度成長期以降にかけて数多く建設されており、急速な高齢化が生じている。限りある時間や予算の中で維持管理をしていくために、5年に1度の定期点検により道路橋の状態を把握し、補修が必要と判断された橋梁に対して補修設計が行われている。

構造物の長寿命化対策を効果的に実施するためには、最適な補修工法の選定が不可欠である。補修が必要と判断された変状の原因を、架橋位置の地形や利用状況等様々な視点から検証、推定して設計に反映していくことが重要である。

表-1 橋梁諸元一覧

	諸 元
竣工年度	昭和48年(1973年)
橋 長	L=66m(23m+43m)
橋 種	2径間単純非合成鈹桁橋
幅 員	7.50m(全幅員)
支承条件	A1橋台: Mov(可動支承) P1橋脚: Fix+Fix(固定支承) A2橋台: Mov(可動支承)
基礎形式	橋台: 深礎杭φ2000 橋脚: 直接基礎
地盤種別	I 種地盤
支持地盤	岩

2. 橋梁諸元

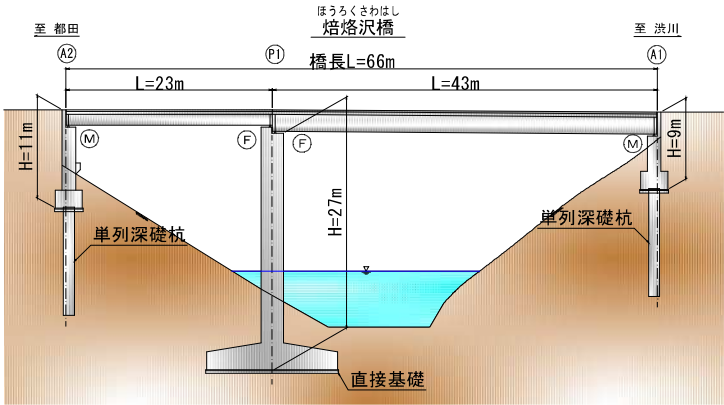


図-1 橋梁側面図



図-2 位置図（出典：国土地理院）

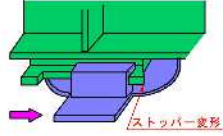
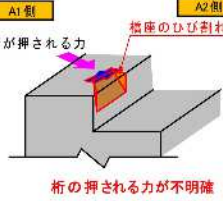
3. 損傷状況と変状原因の推定

(1) 変状の種類と状況

定期点検結果及び損傷調査結果より、早期対策が必要と判断した変状は、「①主桁の遊間異常、②支承の変形(本体の傾斜及び上座ストッパーの変形)、③伸縮装置の遊間異常」の3種類である。

3種類の変状すべてが、経年劣化等の橋梁の高齢化が原因で生じた変状ではなく、A2橋台が谷側に変形したことによるものと考えられる。

表-2 損傷説明

支 承 部	A2橋台 (G1)  主桁遊間異常 支承変状	 設計時: 45mm 現 況: 0mm ⇒ ストッパー変形
伸 縮 装 置	A2橋台  A2側 A1側 伸縮遊間異常	 設計時: 25mm 現 況: 0mm
橋 座 部	P1橋脚 (G2)  A2側 A1側 支承変状 橋面ひび割れ	 設計時: 25mm 現 況: 0mm

(2) 橋台変位の原因と発生時期の推定

A2橋台の主桁結合部と桁端部の状況写真より、最初に橋台変位が生じた時期を推定した。

- ・主桁上フランジと伸縮装置の取付け部分において、本来設置すべきボルトが設置されていない。(写真-1)
- ・橋台パラペットの一部を切り込んで伸縮装置が設置されている。(写真-2)

上記の状況より、下部工施工後から上部工架設の期間に既に橋台が橋脚側に変形しており、下部工間の距離が短くなっていたと考えられる。



写真-1 主桁結合部



写真-2 A2橋台桁端部

さらに、(表-2)の中で示すように、伸縮装置の遊間量および可動支承の余裕量がゼロとなっているうえに、ストッパーに変形が見られることから、上部工架設後も変位が継続的に発生していたと考えられる。

(3) 橋台変位の原因推定

橋台変位の原因は、「①地震によるもの、②地すべり等の地盤によるもの、③構造的な問題」が考えられるが、以下の理由により「③構造的な問題」が原因であると推定した。

① 地震によるもの

建設当時から50年程度経過していく中で、小規模地震(レベル1)は生じているが、大規模地震(レベル2)は発生していない。焙烙沢橋は震度法による耐震設計を行っていることから、地震による変位の影響は小さいと考えられるため原因から除外した。

② 地すべり等の地盤によるもの

「地すべり等の地盤によるもの」を検証することを目的として、孔内傾斜計観測及びボーリング調査の追加調査を行った。孔内傾斜計観測は、2ヶ月程度と短期間ではあるが、誤差範囲の変位しか確認できなかったことから、「地すべり等の地盤によるもの」は原因から除外した。

③ 構造的な問題

焙烙沢橋の橋台基礎は単列深礎杭であり、構造高が大きい(H=11.0m)ことから剛性が小さい構造と言える。また、単列深礎杭は地震や降雨等による基礎前面斜面の不安定化に伴う被災事例が確認されていることを受け、現行基準では組杭を基本としており採用されない基礎形式である。以上より、変形しやすい下部工形式であり、かつ斜面上基礎前面の土砂流出が原因で生じた変位であると推定した。

4. 補修方針

(1) 主桁端部の改修による遊間確保

支取替えや伸縮装置の取替えを行うことにより温度収縮等による移動が可能となっても、桁端部の遊間がないことが支障となるため、「支承の移動量、伸縮装置の伸縮量」以上を確保するために主桁端部の改修(切断)及び橋台の切欠きを行う。端横桁がフルウェブ構造であったため、端横桁にマンホールを設置して主桁の改修(切断)を行う。

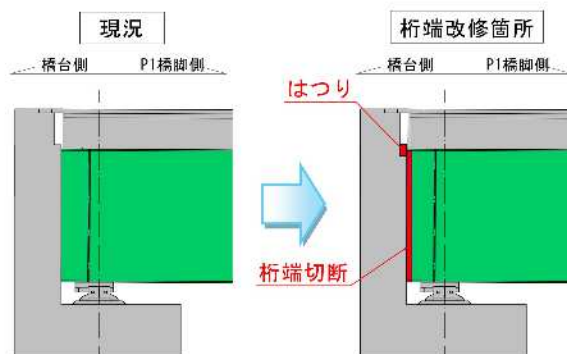


図-3 主桁端部改修概要

(2) 支承取替え

外力が作用したことにより、上沓ストッパーの変形及び支承本体の浮上がりや傾斜が生じており、支承の機能を消失しているため、支承取替えを行う。

支承の配置は、新設支承の形状が既設支承よりも大きくなりパラベットと干渉するため、既設支承位置への設置は困難である。上部構造のガセットに干渉してしまうため、既設位置よりも橋台前面側にずらした位置とした。支承を橋台前面側にずらしたことにより支承縁端距離が不足したため、縁端拡幅を行う。（図-4、図-5参照）

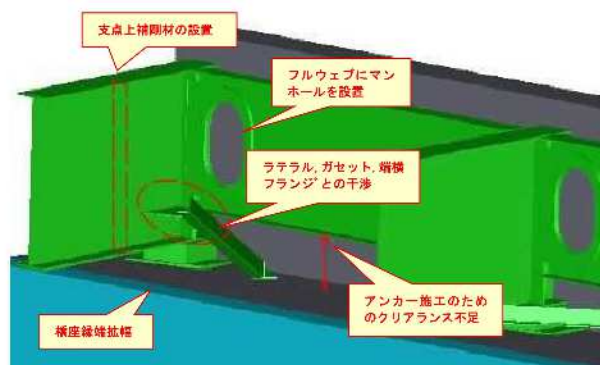


図-4 支承取り替えの留意箇所

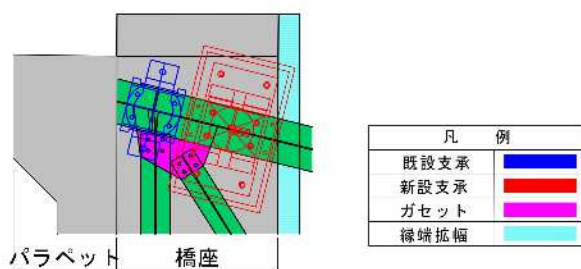


図-5 支承配置図

(3) 伸縮装置取替え

適切な遊間が確保できておらず、バックアップ材が欠損したことによる橋台や橋脚への漏水が見られることから伸縮装置の取替えを行う。

5. 補修設計の問題点と課題

(1) 補修設計の問題点

桁を押し出す力が伸縮や支承でつり合っている場合、取り替え作業時に橋台の変位が進行するリスクのため、支承補強や損傷個所の補修という対策も考えられた。しかし、遊間が確保された橋梁よりも、上部工の変位が拘束された状態の耐震性能が劣っているのではないかと懸念があった。

a) 大規模地震時における懸念事項

焙烙沢橋は25m程度と比較的橋脚高が大きい1点固定式の橋梁であるため、地震時には複雑な壊れ方をすることが考えられた。（図-6参照）

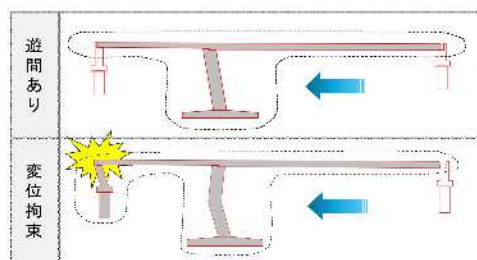


図-6 地震時主要モードイメージ図

- ・主たる損傷が橋脚基部以外になる（複雑な揺れ方の影響）
- ・上部工が揺れてエネルギー吸収をしないため、せん断破壊（ぜい性的な壊れ方）が卓越する

b) 懸念事項の影響評価

そこで、遊間が確保された場合と、上部工変位を拘束した状態で橋脚柱の断面変化を考慮したモデル（図-7参照）の動的解析を実施した。

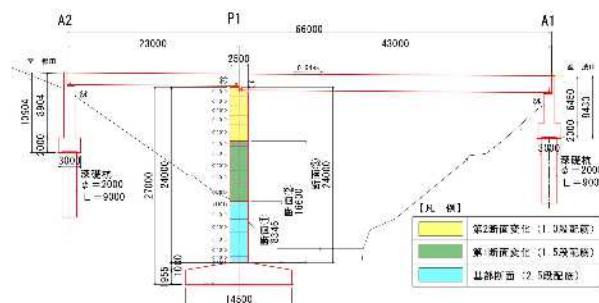


図-7 橋脚柱配筋断面変化位置

橋脚部材の「曲げ曲率 ϕ 」と「せん断力 P 」に着目した結果、段落とし部が最も曲率が大きく、かつせん断破壊の傾向が大きくなり、「遊間あり」よりも危険な状態になることが確認できた。（表-3参照）

表-3 照査結果

部材	遊間あり		変位拘束	
	ϕ/ϕ_y	P/P_s	ϕ/ϕ_y	P/P_s
③	1101	37%	85%	60%
	1102	54%	83%	91%
	1103	69%	80%	79%
	1104	83%	75%	67%
	1105	152%	66%	55%
②	1106	80%	66%	65%
	1107	85%	68%	81%
	1108	89%	71%	101%
	1109	90%	83%	127%
	1110	158%	102%	152%
①	1111	73%	108%	153%
	1112	79%	118%	162%
	1113	85%	127%	175%
	1114	92%	133%	186%
	1115	98%	139%	195%

以上より、伸縮装置と支承の取り替え、遊間量の確保を実施する方針とした。

(2) 安全な補修工事のための設計上の課題

前述した検証結果より、橋台変形により桁が押し出された状態の「伸縮装置および支承部に作用している力」を算出し、いかにして「取り替え工事の際の安全性担保」が可能な施工方法を立案するかが重要な課題であると定めた。

6. 作用力の推定と橋台変位抑制対策

(1) 作用力の推定

損傷の状況から、抗土圧構造である橋台に作用する力が全て桁に作用させるのは過大である。

よって、実際に生じている現象「支承部の損傷状況」と「桁が押し出す下部工の移動量」の2方向からのアプローチで作用の推定を行った。

a) 損傷状況から推定

現状は(図-8)に示すようなつり合い状態であると考えられる。よって、(図-9)に示す損傷状況より作用力 $P=1190\text{kN}\sim 1790\text{kN}$ の範囲であると推定した。



図-8 作用力図

	A2橋台支承部	P1橋脚橋座部
損傷状況	損傷しているがストッパーは破断していない	橋座のひび割れ コンクリートはひび割れているが鉄筋は破断していない
作用力	A2ストッパー鋼材の曲げ許容値～降伏未満 (360kN～590kN)	P1橋座コンクリート耐力～鉄筋破断未満 (830kN～1200kN)

図-9 損傷状況説明図

b) 変形量と橋梁全体剛性から推定

A2橋台の遊間は0mmであるため、上部工の接触後に橋台が20mm橋脚側に変位したと考えられる。この状態で骨組計算（図-10参照）を行い、橋台が20mm変形する作用力を算出した結果、 $P=1350\text{kN}$ であった。

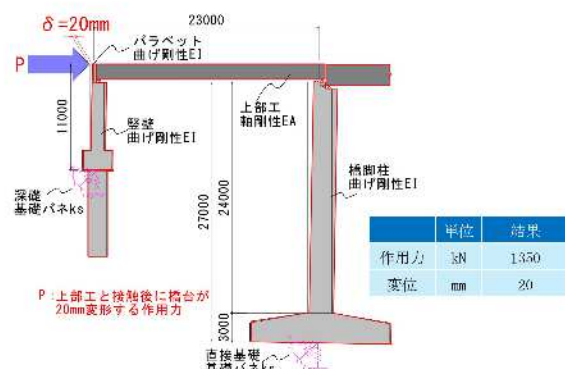


図-10 作用力解析モデル

上記の結果より、作用力の大きさについては妥当性があると判断し、橋台の変位抑制対策の設計荷重として $P=1790\text{kN}$ を採用することとした。

(2) 橋台変位抑制対策

橋台の変位抑制対策として「既設橋梁の耐震設計事例集（財）海洋架橋・橋梁調査会」に示されている事例を参考に、当現場で適用可能な2案を抽出して検討を行った。比較の結果、施工時に規制が不要であり、経済的に優れる「第1案 橋台アンカー定着による変位抑制工法」を採用した。

第1案：橋台アンカー定着による変位抑制工法

- 橋台前面方向への荷重に抵抗するために、橋台背面土にアンカーを打設する工法。
- 既設の構造物にアンカーを打設するため、橋台の鉄筋等の切断が生じる。（図-11）

第2案：控え杭による変位抑制工法¹⁾

- ウイング部に片側ずつ、控え杭を打設する工法
- 橋台背面での杭施工を行うため、片側交互の交通規制が必要となる。（図-12）

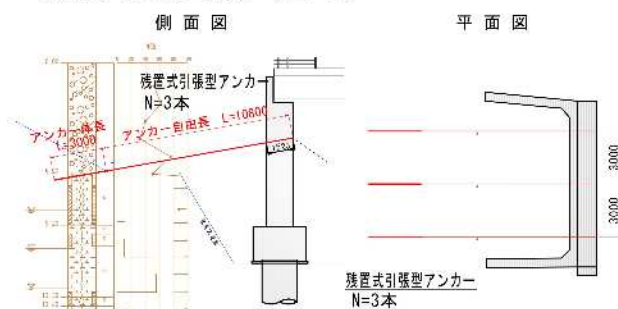


図-11 第1案：アンカー定着工法

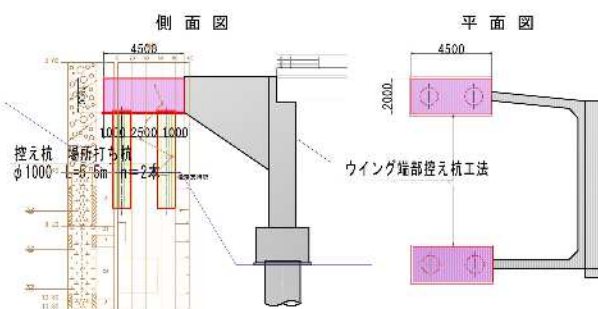


図-12 第2案：控え杭工法

7. 終わりに

本業務は単に変状に対して補修を行うだけでなく、その変状について様々な視点から原因を明確にした。橋梁の変状は、様々な劣化要因（架橋位置の環境、構造的特性、使用状況等）が複合的に関係しており、単一的な視点では変状の要因を正確に特定できない場合も多く、損傷の原因についてより多くの情報を収集し、推測・検証して対策を講じることができた。

今後の展望として、自律飛行技術や各種センサー等の高度化により、安全かつ高精度な調査技術を活用することで、より精度の高い補修設計の実現が期待できる。

参考文献

- (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年4月）

地質技術者と土木技術者の連携 【新丸山ダム事例】

はしたに りょう みやむら しげる
○橋谷 凌¹・宮村 滋¹

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

新丸山ダム建設事業は、既設丸山ダムを嵩上げて機能アップを図るダム再生事業であり、既設ダムを運用しながら、工事が進められている。本稿では、左岸先行活用による階段状掘削および右岸の急勾配掘削を対象に、掘削面観察に基づく岩盤評価、不安定化要因の抽出、対策工範囲や基礎処理計画への反映について述べる。地質技術者、土木技術者、施工者および発注者が同一の岩盤条件を確認しながら協議したことにより、施工段階で顕在化する地質上の課題を早期に把握し、手戻りの少ない円滑な施工に寄与できた事例を紹介する。

Key Words: 岩盤評価、地質リスク、法面安定性評価、地質・土木技術者連携

1. はじめに

新丸山ダムは、木曽川水系に位置する既設丸山ダムの下流 47.5m に、堤高 118.4m の重力式コンクリートダムとして建設中の再開発ダムである。既設丸山ダムの堤高は 98.2m であり、本事業では 20.2m の嵩上げが行われている。令和 3 年からダム本体建設工事に着手し、既設ダムを運用しながら、施工が進められている。

本稿では、左岸先行活用時における階段状掘削と、右岸側の急勾配掘削を対象とする。右岸側の掘削勾配は、中位標高の EL. 150m 付近からダム天端まで一律 3 分急勾配で掘削している。

これらの特殊な掘削形状に対し、地質技術者が掘削面の岩盤状況を評価し、土木技術者とどのような情報共有・協議を行い、現地判断結果を施工者および発注者に伝え、設計・施工対応への反映を述べる。



図-1 新丸山ダム位置図¹⁾



図-2 左岸先行活用のイメージ図¹⁾

2. 新丸山ダムの地質概要

ダムサイトは、木曽川本川が山地部から平野部に至る境界の狭窄部である蘇水峡に位置する。河床付近は急崖をなし、斜面部は左岸側が右岸側に比べて緩斜面で、右岸側は崩壊跡地急勾配斜面となるため、左右非対称の地形を呈する。

地質は主に美濃帯の堆積岩類から構成され、珪質粘土岩、チャート、混在岩を主体とし、局所的に白亜紀の貫入岩である安山岩が分布する。

左岸高標高部から河床部には主に混在岩を主体とし、右岸急崖部にはチャートおよび珪質粘土岩が分布する。

地質構造は上下流方向の走向を示し、左岸側に 70~80° で高角度に傾斜する。すなわち、左岸側は差し目、右岸側は流れ盤構造を示す。

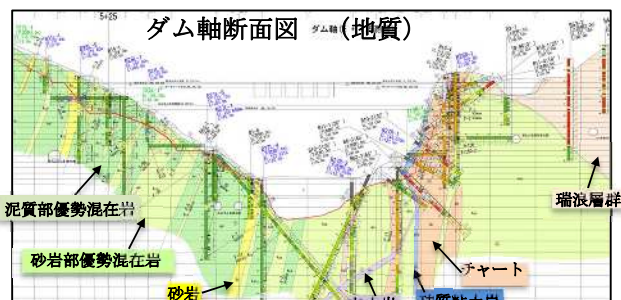


図-3 ダム軸地質断面図²⁾

3. 左右岸における地質上の課題

基礎掘削面の岩盤スケッチでは、従来の岩盤評価に加え、掘削形状と地質構造の関係から施工段階で問題となる要因を抽出した。左右岸では掘削形状および地質条件が異なるため、着目すべき課題も異なる。

(1) 左岸側の課題

左岸側では、階段状掘削に伴い、層理面方向の割れ目、法肩部の緩み、およびジョイント周辺部の弱部が主な課題である。



写真-1 新丸山ダム左岸掘削状況写真 令和7年3月³⁾

a) 層理面方向の割れ目

層理面方向の高角度割れ目は掘削面と平行に分布するため、トップリング状の法面変状や、泥質岩における剥離の発生が懸念された。

b) 法肩部の掘削に伴う緩み

階段状の掘削部の凸部では、応力解放により緩みが生じやすく、層理面方向の割れ目と層理面に直交する割れ目の組合せにより、浮石状岩盤が形成される。



写真-2 法肩部におけるトップリング状の割れ目による緩み

c) 左岸先行活用に伴うジョイント周辺部の断層や弱部等の岩級低下に繋がる要因の分布

新丸山ダムは左岸先行活用により河床部から左岸側ブロックを先行し施工されるため、ジョイント周辺部では右岸側への横倒れ防止の観点からジョイント周辺部の応力に留意する必要がある。断層や弱部が残存する場合、周辺岩盤の軟質化や岩級低下がダム基礎条件に影響するおそれがあるため、重点的に確認した。

(2) 右岸側の課題

右岸側は、丸山ダム建設時に崩壊を起こしている。原因は、流れ盤構造と珪質粘土岩中に挟在する黑色頁岩が選択的に破碎を受け、断層破碎帯を形成したことによるものと推定している。

施工中の右岸側法面は3分の急勾配で、最大法高70m程度となる。そのため、丸山ダム建設時の教訓を生かし、流れ盤構造や破碎した黑色頁岩の存在による、法面不安定化要因が課題である。

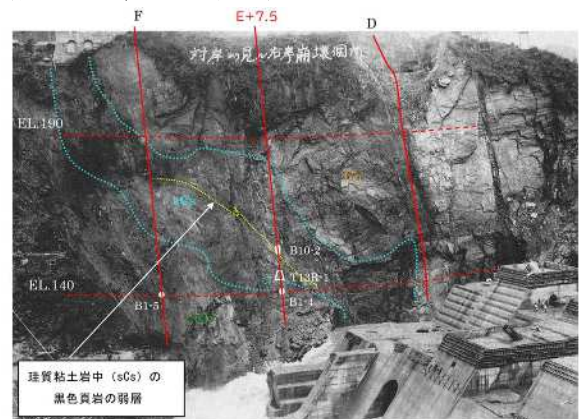


図-4 丸山ダム建設時 崩壊状況⁴⁾

a) 急勾配法面と地質構造

地質構造は上下流方向の走向かつ左岸側へ高角度に傾斜する流れ盤構造のため、すべりおよびくさび状崩壊に対する確認が重要であった。



写真-3 法面に対して流れ盤構造となるチャート

b) 特定の地質における酸性化

右岸ではチャートが主体をなすが、チャートの見かけ上位には、珪質粘土岩が薄く分布する。珪質粘土岩の特徴的に破碎した黒色頁岩を狭在し、法面不安定の要因となっている。また、曝露試験が実施されており、酸性化することを確認されている。そのため、法面对策工や発生ズリの処理において、酸性化対策は必須で分布範囲を正確に把握する必要があった。

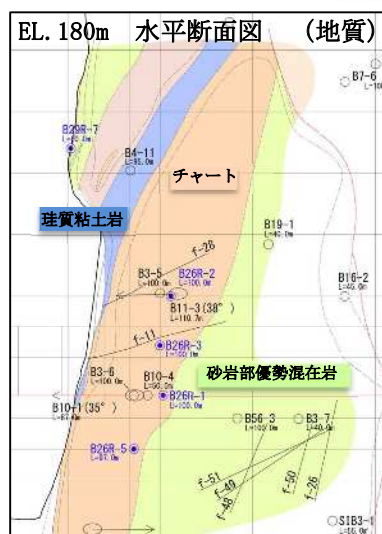


図-5 上：右岸ダム軸地質断面図。
下：EL. 180m 水平断面図（地質）²⁾

4. 施工段階での対応と技術者連携

掘削面観察の結果は、地質技術者のみで完結させず、土木技術者と現地で確認したうえで、設計思想、ダム基礎として要求される岩盤条件、法面安定性への影響を照合した。その後、施工者およ

び発注者を含めて対策範囲、施工可否、追加対応の必要性を協議し、最終的な施工計画へ反映した。

(1) 左岸側の対応

左岸側では、割れ目の方向性と組合せにより、くさび状または浮石状となる岩盤を抽出し、必要に応じて掘削除去範囲を設定した。特に法肩部では、応力解放により比較的大きな岩塊が不安定化する場合があったため、地質技術者と土木技術者双方が同一箇所を確認し、掘削除去範囲を判断した。また、開口割れ目や湧水が確認された箇所では、水みちとなる可能性を考慮し、鋼管立上げなどの湧水処理や割れ目性状や連続性による追加の基礎処理計画を提案した。

ジョイント周辺部では、断層や断層の影響による密な割れ目、風化・変質部の分布に着目した。これらの情報を追加の掘削状況範囲や基礎処理計画の検討に反映し、施工者に伝えた。



写真-4 左岸基礎掘削面における4者協議状況
（地質・設計・施工・発注者）

(2) 右岸側の対応

右岸側では、流れ盤構造に伴うすべりや崩壊を想定し、割れ目の連続性、細粒物の狭在有無、湧水の有無を確認した。流れ盤構造やすべりや崩壊が懸念される箇所では、追加ロックボルト等の対策を検討した。湧水が確認された場合には、水抜き孔の追加や配置変更を提案した。

珪質粘土岩については、掘削面で確認した分布範囲を施工者と共有し、次回掘削範囲における出現位置を事前に説明し、発生ズリは対策を講じた場所へ処理した。法面では防錆処理を

施した特殊なロックボルトを使用し、法面酸性化に対する影響を極力低減している。

表-1 左右岸における主な課題と連携内容

対象	主な課題	地質技術者の着眼点	設計・施工への反映
左岸	法肩部の緩み、ジョイント周辺の弱部	割れ目の組合せ、緩み範囲、湧水、断層の影響範囲	掘削除去範囲の設定および追加基礎処理計画を反映し施工者に依頼
右岸	流れ盤構造、珪質粘土岩	割れ目の組合せ・性状、湧水、地質分布状況	追加対策工や地質分布状況の確認など、法面安定性を考慮した施工に反映

5. 本事例における効果

本事例で最も効果が大きかった点は、地質技術者と土木技術者が同一の岩盤条件を現地で確認し、共通認識のもとで判断できたことである。岩盤評価を地質技術者のみの判断に留めず、設計上重要となる箇所や施工上の制約と照合することで、地質情報を実際の設計・施工への確に反映できた。

また、施工者および発注者を含め、対応方針を確認したことにより、追加掘削範囲や対策工の目的が明確となり、施工手戻りを未然に防げた。施工段階で発生する地質上の課題を完全に排除することは困難であるが、早期に把握し関係者間で認識を合わせることで、施工影響が大きくなる前に対応できた。



写真-5 新丸山ダム施工状況写真（令和8年8月）³⁾

6. まとめ

新丸山ダムでは、左岸先行活用に伴う階段状掘削および右岸の急勾配掘削という特殊な条件のもとで、掘削面観察に基づく岩盤評価および課題抽出を行っている。

確認された地質上の課題について土木技術者と現場で情報共有・確認することにより、早期に地質課題を共有し、法面对策・追加施工範囲を設計・施工計画へ反映できた。その結果、現時点で大きな法面の変状や大規模な追加対策、施工上の支障は生じておらず、地質成果を反映した手戻りの少ない施工となっている。

本事例から、地質技術者、土木技術者、施工者・発注者で分断せず、関係者が現地で地質課題を確認しながら判断することの重要性を確認した。特に、対策工の範囲や目的を明確にすることで円滑な事業推進に有効であると考ええる。

7. 今後の展望

本稿ではダム施工段階における連携事例を述べたが、道路法面、トンネル坑口、橋梁基礎、造成地盤など、地質条件の不確実性を伴う土木構造物においても、同様の取組みは有効である。地質技術者は、地質状況や岩盤状況を判定するだけでなく、土木構造物、設計思想を理解したうえで、問題となる要因を抽出し、関係者へ分かりやすく伝達する必要がある。

今後は、現地協議による即時判断に加え、BIM/CIMや三次元地質モデルを活用し、調査・設計段階で想定した地質上の課題を施工段階まで継続的に管理することが重要である。これにより、施工者や発注者との認識差を小さくし、さらに円滑な事業推進に寄与できると考える。

謝辞：本稿の作成にあたり、ご協力いただいた新丸山ダム工事事務所をはじめ、新丸山ダム建設工事に携わる関係者各位に謝意を表する。

参考文献

1) 国土交通省中部地方整備局 新丸山ダム工事事務所 HP, 2026年8月閲覧。
2) 国土交通省中部地方整備局 新丸山ダム工事事務所：地質図面。
3) 大林・大本・市川特定建設工事共同企業体：施工状況空撮写真。
4) 関西電力(株)：丸山発電所工事誌 土木編, pp. 10-15, 1956。

災害復旧事業の業務効率化に関する取組

こたけりょうた
○小竹 亮太¹

¹ (株) テイコク (〒500-8856 岐阜県岐阜市橋本町2-8)

近年の自然災害の激甚化・頻発化により、岐阜県でも毎年社会インフラへの被害が生じており、災害復旧事業による早期復旧が求められている。当社で実施した令和7年度の岐阜県下呂土木事務所管内における災害復旧測量・設計業務では、手戻り防止のため、被災範囲・被災原因を発注者との合同現地踏査により確認した。また、資料作成の要点を担当者に共有することで業務の効率化を図った。これらにより、災害復旧事業の円滑な採択と進捗に寄与することとなった。

Key Words : 災害復旧事業, 業務効率化, 河川災

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響により、集中豪雨等の大雨の発生回数が増えている。それにより、大雨を原因とする自然災害も、激甚化・頻発化している。また、我が国は、国土の約7割を山地が占める急峻な地形を持ち、降雨が短時間で河川に集まりやすく、河川水位が急激に上昇することによる氾濫等、河川災害が起りやすい特徴をもつ。更に、日本は地殻変動が活発な地域にあり、結果、複雑で不安定な地質という特徴を持ち、土石流や斜面崩壊等の発生原因の一つとなっている。

本業務では、河川等災害復旧事業（以後、「災害復旧事業」と呼ぶ）として、岐阜県下呂土木事務所管内において令和7年6月の出水により被災した公共土木施設に対し、被災状況・原因を把握し、原形復旧のための設計を実施した。

災害復旧では、「被害の拡大を防ぎ」、「人命を守る」観点での迅速性が求められる。本稿では、迅速性を重視した、手戻りの無い、効率的な業務遂行事例を紹介する。

2. 災害復旧事業について

(1) 災害復旧事業の概要

公共土木施設災害復旧事業にはいくつか種類があり、そのうち本業務は、河川等災害復旧事業に該当する（図-1 参照）。

災害復旧事業は、異常な天然現象によって被災した公共土木施設を、災害復旧事業費（負担率2/3以上）をもって原形に復旧する事を基本とする事業である。

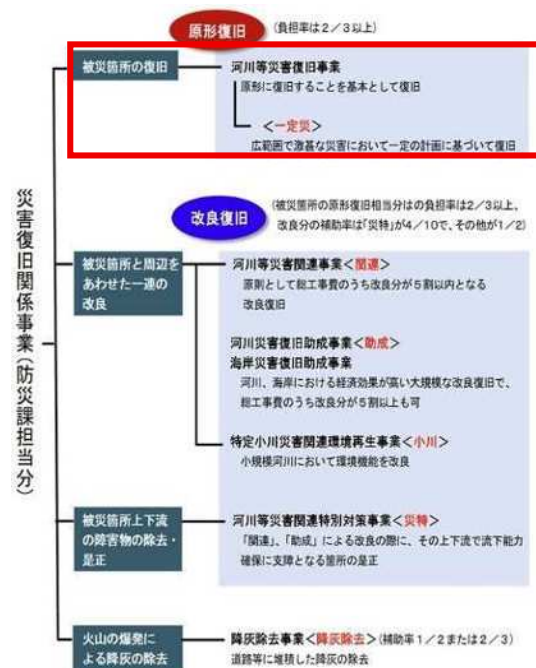


図-1 災害関係復旧事業の分類¹⁾

なお、原形復旧が不可能な場合には、形状、寸法、材質を変えて同様な出水があっても被災前の機能を復旧すること、原形復旧が困難な場合や不適當である場合には、これに代わる施設で復旧することも原形復旧とみなしている。

また、災害復旧事業には広範囲の激甚な災害を対象とした「一定災」があるが、本業務は「一定災」に該当しない。

(2) 災害復旧測量・設計業務の概要

災害復旧測量・設計業務（以後、「災害復旧業務」と呼ぶ）とは、被災した施設（写真-1 参照）に対し、測量等の調査及び施設の復旧計画・設計を行う業務である。



写真-1 災害箇所例

ここでの復旧計画・設計とは、被災した施設を従前の効用（防災機能）が図られるよう、復旧するための施設の規模・構造に関する検討や計画、設計である。調査は、設計に必要な現地測量・路線測量や、地質調査等である。また、災害復旧事業としての申請及びその査定に必要な資料に取りまとめる。資料には、被災原因や被害状況を明確に記述する必要があるため、現地調査によりそれらを確認する（写真-2 参照）。



写真-2 被災状況把握

(3) 災害復旧業務の流れ

災害復旧事業では、根拠法令である「公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法」第一条において、速やかな復旧が求められている。具体的には、発災から災害査定まで、原則2箇月以内と定められており、その間に現地踏査・測量等の現地作業、図面・数量計算書や査定用資料の作成を完了する必要がある（図-2 参照）。

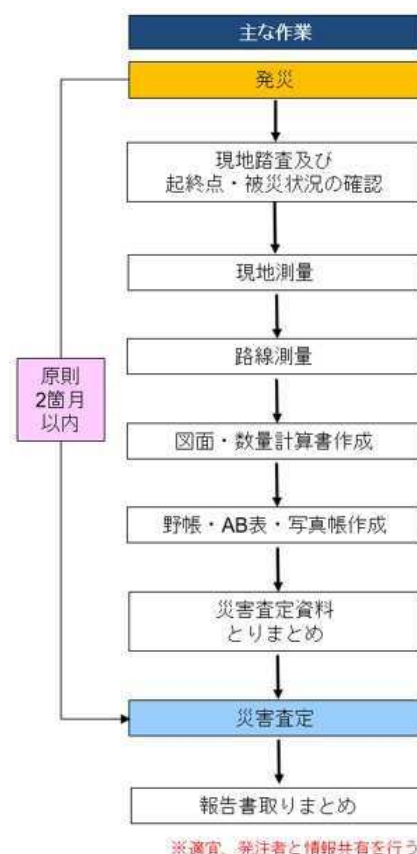


図-2 災害復旧業務の流れ²⁾

3. 災害復旧業務の業務効率化

(1) 業務遅延の原因

災害事業の円滑な進捗には、業務の遅延を回避しなければならない。しかし、過去には業務全体の遅延に繋がる事案が生じていた。その主な原因を以下に示す。

(a) 受発注者の認識のズレ

受発注間で被災範囲・被災原因・復旧方針が共有されず、その認識にズレが生じていたため、図面・数量計算書作成段階で変更や修正等の多大な手戻りが生じた。

(b) 被災状況の確認不足

例えば水面下にある護岸基礎の洗堀範囲等，被災状況の調査・確認不足により，被災範囲や復旧計画が不明確なまま図面や査定用資料を作成したため，その後急遽確認や図面等の修正が必要になる等，多大な手戻りが生じた。

(c) 担当技術者の経験不足

災害復旧業務に不慣れな担当者が従事したことで，資料作成におけるルール・手順が分からず，作業効率の低下による遅滞や作成ミスによる手戻りが生じた。

(d) 情報共有不足

復旧箇所が複数存在する場合，発注者・受注者ともに担当者が複数人となる。この場合，連絡・指示事項が特定の担当者間だけでやり取りされ，共有されないことがあった。担当者間での情報共有が不足した場合，図面や査定用資料に不整合が発生し，修正等大きな手戻りが生じた。

(2) 業務の遅延防止・効率化

本業務では，「(1) 業務遅延の原因」に対し，以下の取組を実施した。

(a) 受発注者間の認識のズレ対策

「受発注者合同の現地踏査」

受発注者間における認識のズレを防止するため，業務の最初に，受発注者合同の現地踏査を行った。現地踏査では，被災状況・被災原因・被災範囲を把握・共有した（写真-3 参照）。併せて，復旧工法・仮設計画等の復旧方針について，現地協議を実施した。



写真-3 発注者との合同現地踏査

(b) 被災状況の確認不足対策

「複数人による現地確認」

被災状況の確認不足を防止するため，担当者以外も含めた複数人により，施設の損傷確認や周囲の変状，仮設・施工時の周囲の支障物，施工による周辺施設への影響等の多様な視点から現地を確認した（写真-4 参照）。



写真-4 複数人による現地確認

併せて，災害復旧業務の経験豊富なベテラン技術者が同行し，現地にて指導・助言を行うことで，若手技術者の経験不足を補った。

(c) 担当技術者の経験不足対策

「資料作成ルール・手本の共有」

担当技術者の経験不足により，資料作成時の作業効率低下による遅滞や，作成ミスによる手戻りを防止するため，写真撮影方法や取りまとめ方等の資料作成ルールを定め，過去の類似業務資料を模範資料として担当者間で共有し，資料作成を行った（図-3 参照）。

また，図面や数量計算書の作成時には，各工区における同一工種での共通部分（プレキャスト護岸基礎工，土留め・仮締切工等）をフォーマット化し利用することで，作業の効率化を図ると共に，品質のバラツキを防止した。

(d) 情報共有不足対策

「担当者間の情報共有の徹底」

担当者間の情報共有不足を防ぐため，各担当の個別情報（個別協議事項等）を社内グループウェアのメッセージや掲示板機能により，全担当者に情報共有した。

1.「代表経路調査」の作成（【参考】作成事例」フォルダ内参照）
参考データ：「211007 小里川4代表経路調査.docx」「211007 小里川4 経路調査.xlsx」

- ①ワードデータのイカ所を作成する工区に合わせ修正する。
- ②ワードデータに経路調査写真を張り付ける。
- ③オートシェイプの破線を、ボールを参考に20cmピッチで5本の縦横に配置する。
- ④破線の交点にある台座25個に丸破線を合わせる。

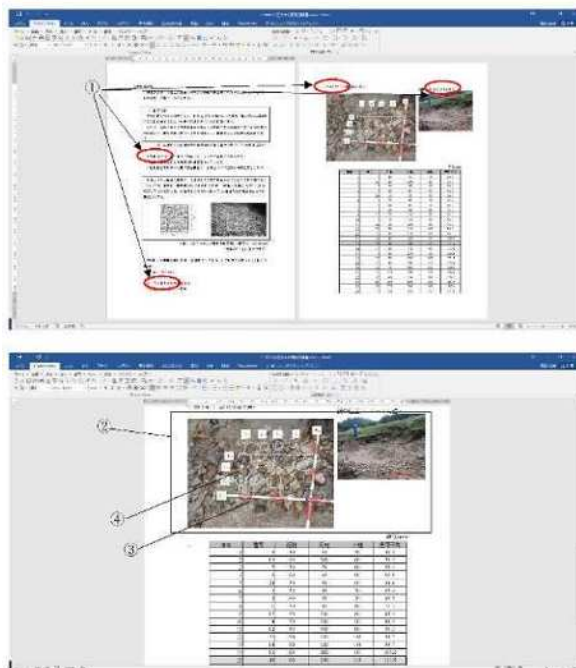


図-3 資料作成ルール

4. おわりに

本業務は同時に発生した7箇所の災害復旧業務で、経験年数5年未満の若手技術者を含めた複数人体制により業務を遂行した。本取組により遅延のない業務遂行が図られ、無事、災害復旧事業として採択された。また令和8年3月現在、各被災現場において工事が進められており、災害復旧事業が順調に進捗していることが確認された（写真-5 参照）。

特に、受発注者間の認識のズレ対策としての「発注者との合同現地踏査」と、担当技術者の経験不足

対策としての「資料作成ルール・手本の共有」は、作業の手戻り回避・作業効率の低下防止に非常に有効であった。

近年の異常気象により、河川に限らず災害が多発し、災害復旧事業も増加傾向にある。本稿で紹介した取組の継続、かつ今後の取組改善は、円滑な災害復旧に繋がり、更なる被害の拡大を抑制する。今後も地域を支える地場コンサルタントの一技術者として、地域住民の安全安心な暮らしを守るため、微力ながら貢献していく所存である。



写真-5 災害復旧事業 施工状況

謝辞：本稿は、岐阜県下呂土木事務所より受注した業務において実施した内容であり、公表への快諾に対し、事務所関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)「わかりやすい災害復旧関係事業のあらまし 令和6年1月版」 国土交通省 水管理・国土保全局 防災課
- 2)「災害調査業務の留意点について 災害査定写真の撮影方法について等 令和5年7月12日」 （一社）岐阜県測量設計業協会

新技術を活用した海岸堤防(防潮堤)の撤去設計

かわかみしん にしでなるおみ まつもとかずなり せきねみつたか
○河上真¹・西出成臣¹・松本一成¹・関根充隆¹

¹ (株) 大増コンサルティング (〒454-0828 愛知県名古屋市中川区小本二丁目14番5号)

本論文は現在施工している海岸堤防の耐震化工事終了後、不要となる海岸保全施設（旧海岸堤防、陸間）の撤去設計について記載したものである。撤去工法は当初経済性、施工性等より大型ブレーカー工法が最適案であるとしていたが、施工条件（全面通行止め不可、住宅との近接施工等）から適用困難となった。そのため、地表面より上部はワイヤーソー工法、地表面より下部はバースター工法（静的油圧破碎）を最適案として適用した。

併せてPC杭および陸囲の撤去方法や撤去時に発生するコンクリート殻の処分方法、施工計画等について検討した。

Key Words : 防潮堤, 陸開, 撤去設計, ワイヤソー工法, バースター工法, ヒロワークmighty工法, 自走式破砕機

1. はじめに

対象となる区域は愛知県内にある河口部で図-1に示す範囲を撤去範囲としている。

この区域は昭和34年9月に発生した伊勢湾台風によって甚大な被害を被っており、災害対応として防潮堤（コンクリート重力式擁壁 堤高約2.1m）および陸閘を整備したものである。

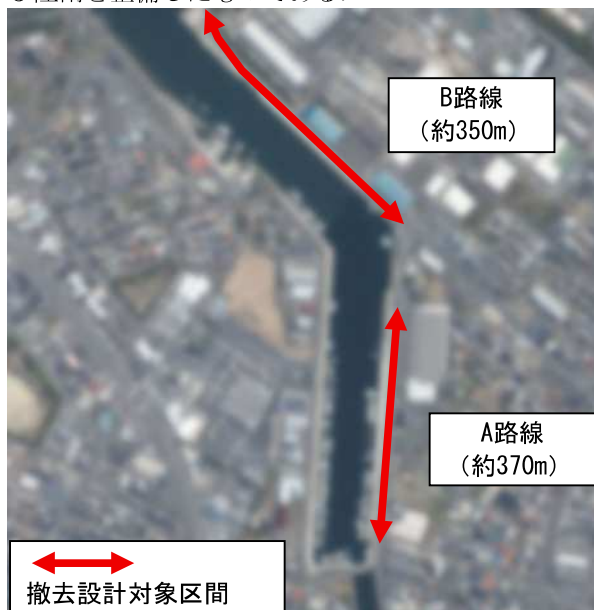


图-1 对象区域图

その後、平成26年に制定された「愛知県海岸保全施設の耐震対策設計方針・同解説」を基に、新たに見直した地震動、津波高等の外力から堤防の耐震設計を行っており、図-2に示す防潮堤を現在整備している。

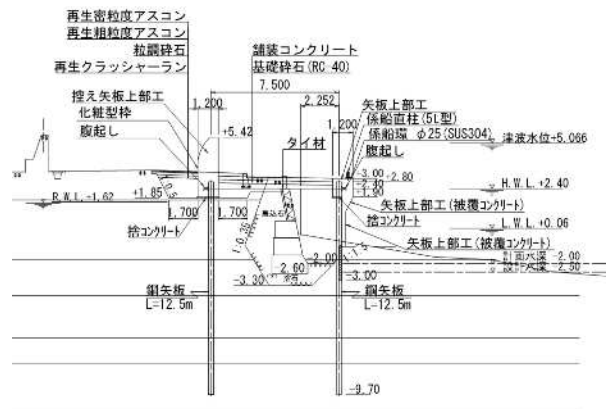


図-2 新設防潮堤標準断面図

また、既存の陸間がかなり老朽化していることや維持管理費の抑制を目的として、原則陸間を新設しない設計としていることから、新設防潮堤の工事が令和9年度を目安に完了した後、既設防潮堤を撤去する方針である。

表-1 特定建設作業に係る規制基準

規制項目	地域区分	騒音	振動
基準値	[1][2][3]	85デシベル	75デシベル
作業時間	[1]	午後7時～翌日の午前7時の時間内でないこと	
	[2]	午後10時～翌日の午前6時の時間内でないこと	
1日あたりの作業時間	[1]	10時間を超えないこと	
	[2]	14時間を超えないこと	
作業期間	[1][2][3]	連続6日を超えないこと	
作業日	[1][2][3]	日曜日その他の休日でないこと	

[1]地域 ア 第一種低層住居専用地域、第二種低層住居専用地域、第一種中高層住居専用地域、第二種中高層住居専用地域、第一種住居地域、第二種住居地域、準住居地域、田園住居地域、近隣商業地域、商業地域、準工業地域、都市計画区域で用途地域の定めのない地域及び都市計画区域以外の地域
イ 工業地域及び工業専用地域のうち、学校、保育所、病院・診療所（患者の入院施設を有するもの）、図書館、特別養護老人ホーム及び幼保連携型認定こども園の敷地の周囲90mの区域
[2]地域 工業地域（[1]地域のイの区域を除く。）
[3]地域 工業専用地域（[1]地域のイの区域を除く。）

3. 撤去工法の選定

(1) 防潮堤の撤去工法

防潮堤の撤去工法は図-7に示すように①地表面より上部、②地表面より下部、③PC杭に分割した上で最適な撤去工法を検討した。

撤去工法は当初経済性、施工性等より大型ブレイカー工法が最適案であるとしていたが、施工条件（全面通行止め不可、住宅との近接施工等）から適用困難となった。そのため、地表面より上はワイヤーソー工法、地表面より下はバースター工法（静的油圧破碎）を最適案として適用した。この工法の中で特にバースター工法はNETISに登録されている新技術で、コアドリルで穿孔した孔に油圧シリンダーを挿入し、加圧することでコンクリートを破碎する技術である。無筋や鉄筋の少ないコンクリートに特に有効で、従来のブレイカー工法に比べて振動、騒音、粉塵を抑え安全かつ効率的に施工が可能となる。図-8にバースター工法の施工状況図を示す。

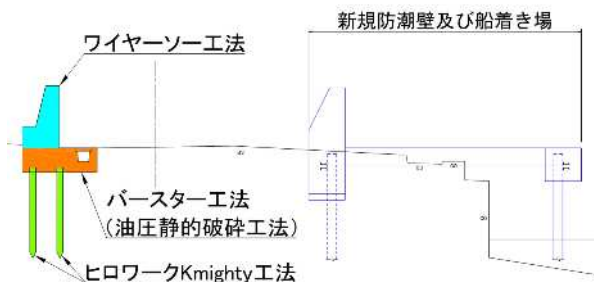


図-7 防潮堤の撤去工法図



図-8 バースター工法施工状況図

既設防潮堤の杭基礎（PC杭 φ200 杭長約3m）についても撤去する方針となったため、地質を確認した結果、図-9に示すように引き抜き後の対象層が砂質土層であり、粘性土層はないことを確認した。この結果、引き抜き後に対象土層が引き抜きされ、空洞化および地盤沈下する影響は小さいと判断した上で引抜き工法として一般的に用いられているヒロワークKmighty工法を適用した。（図-10参照）

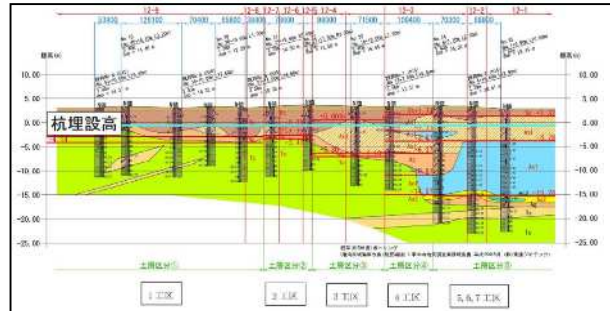


図-9 設計対象地区の地質縦断面図

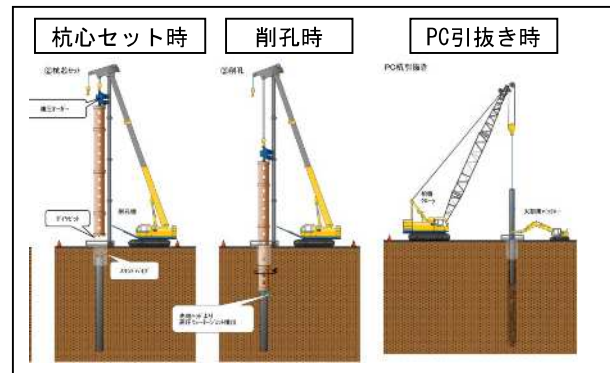


図-10 ヒロワークKmighty工法施工要領図①

(2) 陸間の撤去工法

撤去対象となる26基の陸間の構造形式はすべて横引きゲート形式となっており、図-11に示すように材質はアルミ合金製や鋼製で構成されている。撤去工法は、ラフタークレーンを用いた吊り上げ工法を採用し、扉体寸法がトラック荷台寸法を超過する場合はガス切断を行った上で吊り上げを行う計画とした。また、運搬は10tトラックでの運搬を想定し、各陸間の最大重量は6.9tであり、車両の積載許容量に収まることを確認した。



図-11 撤去対象となる陸間

4. 撤去構造物の処分方法

撤去後のコンクリート殻は処分場の受け入れサイズによって処分費が変動することが確認されたことや、先述したように撤去後は道路の拡張工事を行うことから、路盤材への再利用として図-12に示す自走式破碎機の利用可能であるか検討を行った。

コンクリート構造物取壊し量1,358m³を処理量と想定し、検討した結果を表-2に示す。概算金比較の結果「1m角以上処分」が最も安価となったことから、「1m角以上処理」で処分量と運搬費の合計が安価な処分場を選定して積算した。



図-12 自走式破碎機²⁾

表-2 殻処分経済比較

	総処分費(万円)
①1m角以上	1,436
②重機破碎+50cm角以内	1,837
③破碎機使用+50cm角以内(再利用)	2,020

5. 施工計画

前章までの工法を整理した上で、施工フロー図を図-13に示す。本来は防潮堤および陸間の撤去と道路の拡幅工事を同時に行うことが望ましいが、本設計では防潮堤の撤去に要する項目を整理した。また隣接する道路や運送業者等の妨げにならないように区画割を設定し、交通規制図を作成した。(図-14参照)

なお、対象区間の撤去が完了するのに必要な施工日数を算出した結果、A路線は521日、B路線は491日となる。(表-3参照)

表-3 工程表

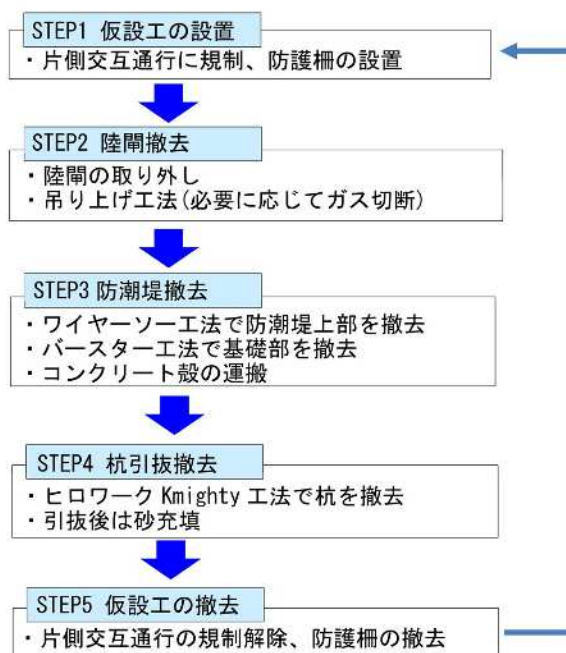
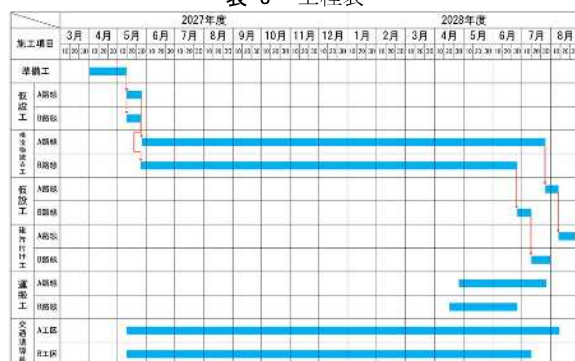


図-13 施工フロー図

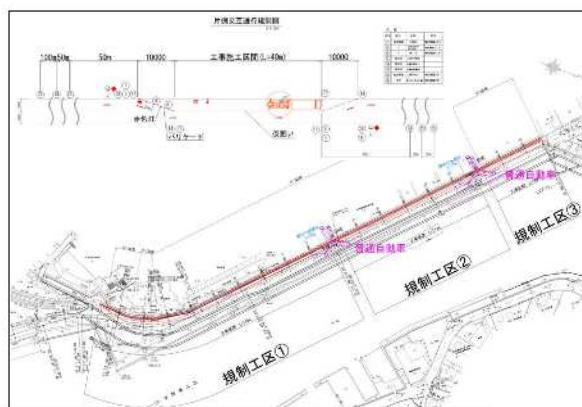


図-14 施工区画割図および車両規制図 (B工区)

6. 今後の課題

新技術の適用により、施工ヤードが矮小な区間に対しても撤去が実現可能となった一方で、特殊工法に係る作業員の確保や施工期間が従来工法の大型ブレーカーより長期化することが課題となる。

謝辞：本業務の検討および、本論文の作成にあたりご指導、ご協力いただいた関係者の皆様方に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地中埋設物撤去技術協会 HP
<http://hiro-work.com/method/index.html#summary>
- 2) コマツ 自走式破碎機 BR380JG-3 HP
https://kcsj.komatsu/products/construction_machinery/recycling_equipment/br380jg-3

流木流出量の多い溪流における 不透過型堰堤の計画

ひさだともや¹ ふじわらたつみ² たかはしなおや²
○久田智也¹ 藤原辰巳² 高橋直也²

¹不二総合コンサルタント株式会社静岡支店（〒421-0112 静岡県静岡市駿河区東新田三丁目15番38号）

²不二総合コンサルタント株式会社（〒433-8112 静岡県浜松市中央区初生町889番地の2）

本業務は、静岡県磐田市敷地地先の土砂災害（特別）警戒区域「西ノ谷南沢A」において、保全対象区域の土石流災害防止を目的とした砂防堰堤詳細設計である。対象溪流の溪床は、砂質土で覆われていた。また、土石流に伴う大量の流木流出が想定された。

堰堤形式は、最大礫径を考慮し不透過型堰堤とした。しかし、不透過型堰堤は十分な計画捕捉流木量を見込めないため、施設整備の費用対効果が著しく低下するという問題があった。

比較検討の結果、不透過型堰堤（H=5.5m）に流木捕捉工（H=2.0m）を設けた案を採用し、建設費20%の削減による費用対効果の向上および、建設発生土削減等環境影響低減に寄与した。

Key Words：砂防堰堤詳細設計、不透過型砂防堰堤、流木捕捉工、土石流

1. はじめに

静岡県磐田市敷地地先に位置する土砂災害（特別）警戒区域「西ノ谷南沢A」は、下流保全対象区域に主要地方道や複数の社会福祉施設が点在するなど、市内の土石流危険溪流のうち特に整備優先度の高い溪流である。

対象溪流では、30cm以上の礫は確認できず溪床も細かい砂質土で覆われているため、中小出水時における下流域への土砂流出が多く発生していた。また、流域内は立木や倒木が多く、土石流発生に伴う大量の流木の流出が想定された。

このため、従来の不透過型・部分透過型・透過型形式にとらわれない、流域特性に対応した効率的・効果的な堰堤形式の立案が必要であった。



図-1 対象溪流位置図

2. 流域諸元

西ノ谷南沢Aは、流域面積0.03km²の比較的小規模な溪流である。また、基準点上流の溪流延長は300m程度で現溪床勾配は1/12.2程度で溪床には、常時流水が確認できる。

基準点直下流には、社会福祉施設（特別養護老人ホーム）があり、土石流を完全に捕捉できる堰堤の設置が必要である。

表-1 流域一覧表

流域面積	0.03km ²
計画降雨(既往最大日雨量)	377.0 mm/day
計画流出量	4,343m ³
計画流出土砂量	4,040m ³
計画流出流木量	303m ³

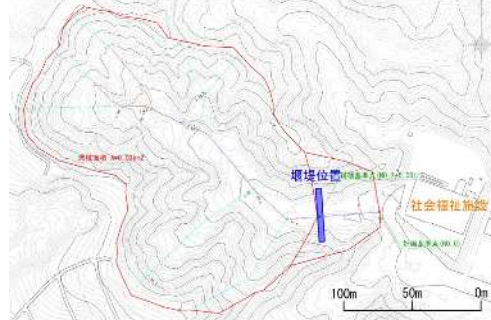


図-2 流域図

3. 流域特性の把握

(1) 地形・地質

対象箇所は天竜川左岸(東岸)側の「磐田原台地」に位置する。過去に隆起し台地状となった地形が二級河川敷地川とその支流による侵食を受け、沢形状を呈している。調査地周辺は更新世に形成された堆積岩層からなる。

当該溪流は溪床幅が広いため堰堤高を上げると堰堤体積が大きく増加し、建設費の増大に繋がる。堰堤高を最低限とした設計が必要である。

(2) 溪床の状況

溪床は主に礫混じり砂で構成されており、斜面には玉石混じり砂礫及びシルト岩の露頭が見られる。最大礫径は $D_{95}=0.2\text{m}$ であった。

植生は針葉樹林であり、溪床と斜面ともに杉林にシダが繁茂する。



写真-1 計画基準点付近の溪流状況

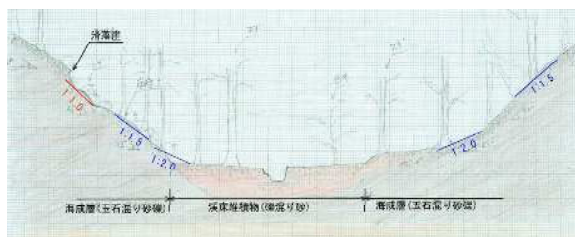


図-3 計画基準点付近の現地調査スケッチ

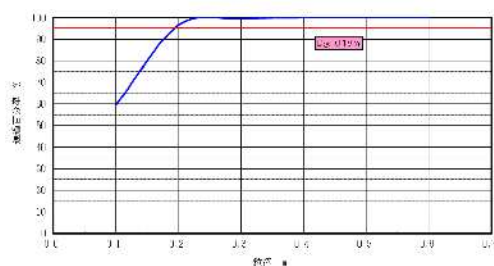


図-4 西ノ谷南沢A粒径累加曲線

(3) 流域特性の整理

対象溪流の溪床は砂層が厚く堆積しており、最大礫径も 0.20m と小さいため、透過型堰堤形式を採用した場合、中小出水時の堆積土砂流出や、土石流捕捉の確実性等下流保全対象施設の安全性に懸念が残る。

また、倒木が多く溪岸が侵食されている等の荒廃

状況より、堆積土砂とともに多くの立木、倒木を巻き込んだ土石流が発生すると推測されるため、この溪流特性に対応した砂防堰堤形式の選定が必要不可欠となる。



写真-2 溪流の荒廃状況

4. 基準書に基づいた設計法による課題

堰堤形式は、土石流を確実な捕捉可能および、中小出水時の土砂流出を防止するため、最大礫径 50cm 未満の溪流で採用実績が高い、不透過型砂防堰堤を採用した。

不透過型堰堤は、計画捕捉量の2%程度しか計画捕捉流木量を見込めないため、計画流木流出量の多い溪流においては、計画捕捉流木量を満足するために計画捕捉空間を極端に増加させる必要がある。これにより土砂整備率は100%を超過するものの、砂防堰堤の建設費が上昇するため、費用対効果が著しく低下する可能性があった。

このため、堰堤形式比較検討の土石流捕捉後の後続流による本堰堤上流の湛水状況を整理することにより、効率的効果的な流木捕捉工併用案を立案することが課題であった。

流木捕捉工は、上流側に別途設置する例や垂直壁に設置する例が基準書に記載されているが、堰堤計画箇所直上流で溪流が分岐していること、直下流で湛水池を確保する面積が少ないことからこれらの基準の適用は安全性低下のリスクを伴う。当該溪流では本堰堤に流木捕捉工を設置することが望ましいが新規堰堤に対する流木捕捉工の設置は基準書に記載がないため考え方を整理した。

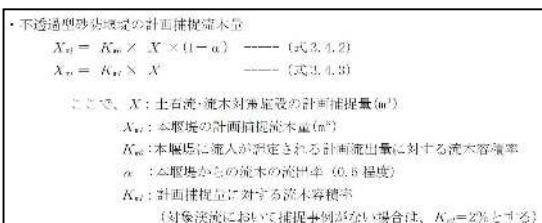


図-5 不透過型堰堤の計画捕捉流木量(砂防施設設計要領より抜粋)

5. 特性に対応する技術的工夫と対応策

(1) 流木捕捉効果量の考え方

本堤に流木捕捉工を設置する場合、捕捉可能な流木量は既設堰堤に流木捕捉工を設置する考え²⁾を踏襲し、以下の2通りから溪流特性に合わせて選択した。

- (a) 計画捕捉量×流木容積率(土石流区間)
- (b) 湛水池の面積×流木径(掃流区間)

本堰堤は土石流区間に設置するものであり、越流水深は0.3mと浅いため、湛水池が生じる可能性は低い。よって(a)計画捕捉量×流木容積率で流木捕捉効果量を見込んだ。

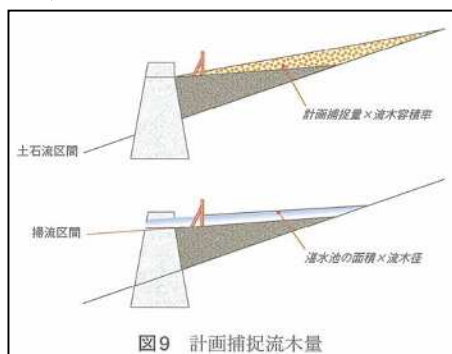


図-6 流木捕捉工の計画捕捉流木量(新編・鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋)

(2) 形式比較検討

計画流出流量を満足する対策案として、以下の3案を立案した。各案について文献記載の算式から計画捕捉流木量を算出し、トライアル計算から土砂流木ともに整備率100%となる堰堤高を決定した。経済性から(c)堰堤に流木捕捉工を設置する案を採用した。

- (a) 堰堤高を高くする

不透過型堰堤の高さを高くし、流木捕捉量を増加させる。流木対策量の算出は通常的不透過型堰堤と同様となる。

計画捕捉流木量＝計画捕捉量×2%
経済比率：1.21（比較案中最も高価）

- (b) 垂直壁に流木捕捉工を設置する

本堤による流木捕捉に加え、垂直壁に流木止めを設置し、本堰堤間の湛水池を流木捕捉範囲とし、流木捕捉量を増加させる。

計画捕捉流木量＝計画捕捉量×2%
+湛水池面積×流木平均直径
経済比率：1.14（比較案中で中位）

- (c) 堰堤に流木捕捉工を設置する

本堤に流木捕捉工を設置することにより、流木捕捉量を増加させる。外観的には部分透過型堰堤と同様な形式となる。ただし、新規堰堤での採用事例は少ない。

計画捕捉流木量＝計画捕捉量×流木容積率
経済比率：1.00（比較案中最も安価）

表-2 各対策案の整備率

対策案	土石流整備率(%)	流木整備率(%)
a案	358	117
b案	311	103
c案	129	110

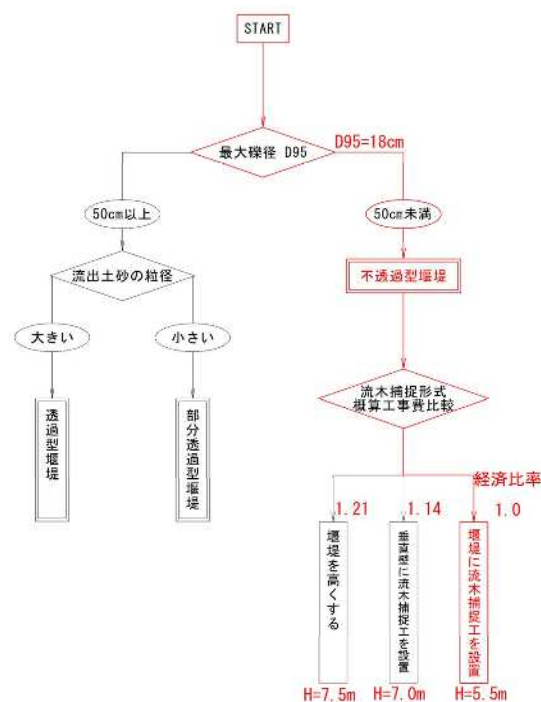


図-7 砂防堰堤型式選定フロー(砂防基本計画策定指針等を参照し作成)

(3) 安定計算

外観的には部分透過型堰堤と同様な形式の不透過型堰堤であるため、安定計算は不透過型堰堤の考え方と部分透過型堰堤の考え方を比較した。その結果、土石流捕捉形態（開口部の閉塞を伴いながら土石流を捕捉する形態）に着目し部分透過型の基準を採用した。

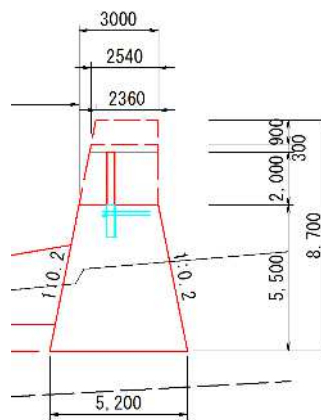


図-8 本堤工断面図

(4) 流木捕捉工の設計

開口部の幅は現溪床のうち、土石流の流下幅を考慮した9.0mとした。この開口部に洪水時の水深以上を確保し、計画捕捉量を満足する最低高 $H=2.0\text{m}$ の流木捕捉工を配置した。

部材の純間隔は最大礫径の2倍以上かつ最大流木長の半分以下³⁾である2.5mとした。

流木捕捉工は不透過型堰堤に流木捕捉工を設置する工法のうち、張り出しタイプではない工法を比較検討し、決定した。

不透過型堰堤 $H=5.5\text{m}$ に流木捕捉工 $H=2.0\text{m}$ を設けた形状となった。



図-9 平面図

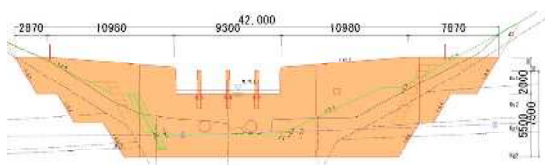


図-10 本堤工正面図

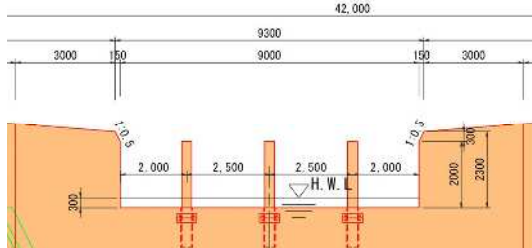


図-11 本堤工水通し部拡大図

6. 成果

流木捕捉量の考え方を整理することで、堰堤形式選定の幅が広がり計画捕捉量が過剰（整備率100%以上）となる設計が回避できた。これにより、建設コストが約20%縮減し、費用対効果が向上した。また、小規模化による掘削範囲の減少により、建設発生土の削減や環境への影響低減に寄与した。

本業務は下流に社会福祉施設があることから機能

美および周辺環境との調和を図る検討を実施し、景観性を確保しつつ、保全対象内の人々への安心感を与える設計方針とした。

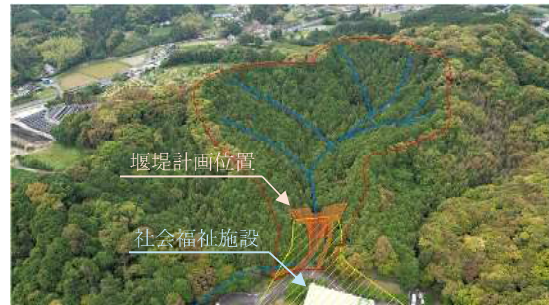


写真-3 西ノ谷南沢A航空写真



写真-4 溪流から保全対象を望む

7. 結論

土砂とともに流出する流木等をすべて捕捉するためには、透過構造を有する施設が必要であるため、砂防堰堤型式は透過型または部分透過型が原則⁴⁾である。しかし、礫径が小さい場合は不透過型堰堤を選定するため流木捕捉量の確保が必要となる。

本堤に流木捕捉工を設置し、過剰な計画捕捉土砂量を避けた本設計は施工性、経済性、環境面への配慮の観点から不透過型堰堤における流木捕捉において効果的であると考えられる。

謝辞：本業務を遂行するにあたり、ご協力いただきましたメーカー各社様、ならびに論文の掲載をご許可いただきました静岡県袋井土木事務所様に、心より深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：砂防施設設計要領，2020.
- 2) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：新編・鋼製砂防構造物設計便覧，2021.
- 3) 土砂災害研究部砂防研究室：土石流・流木対策設計技術指針解説，2016.
- 4) 静岡県交通基盤部河川砂防局砂防課：砂防設計の手引き，2017.