

国道24号花山交差点における 水道管漏水事故対応について（報告）

石田 拓也¹・河原 見²

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 計画課（〒520-0803 滋賀県大津市竜が岡4-5）

²近畿地方整備局 総務部 厚生課（〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

2020年1月8日、花山配水池（和歌山市）からの配水流量に異常が確認されたことを発端に、一般国道24号花山交差点の路面下にて敷設された支管φ150mmおよび送水管φ1500mmが損傷していることが判明した（国道占用物件）。損傷物件の修繕にあたり、断水による社会的影響および通行車両の安全確保を勘案した工法の選定及び対応が進められた。幹線道路に敷設された水道管の損傷修繕は、道路利用者や市民生活へ直接的な影響を及ぼす恐れもあり、今後全国的に発生する可能性がある。またその際に管理者が異なる場合も珍しくはない。本稿は、類似事例が発生した際の参考として水道管漏水事故対応の経緯・対応について報告するものである。

キーワード 維持管理、国道占用物件、水道管漏水、道路管理、給水支援、規制支援

1. はじめに

本稿では、和歌山県和歌山市に位置する花山交差点付近にて発生した水道管漏水事故について、主に国道管理者としての対応等について報告する。

花山交差点は、阪和自動車道の和歌山インターチェンジと和歌山市中心部を結ぶ重要な主要幹線道路である一般国道24号にあり、和歌山市の玄関口に位置する交差点である。一般国道24号の当該箇所における交通量は、約40,000台/日と多く、当該地域における社会・経済活動に重要な役割を果たしており、占用物件として道路空間に埋設された水道管等の損傷による通行止めや車線規制を行うと、多大な影響を及ぼすこととなる（図-1）。



図-1 一般国道24号花山交差点 位置図

2. 水道管漏水対応の経緯（和歌山市の対応）

(1) 異常発生から損傷発見に至った経緯

2020年1月8日、AM5:00に花山配水池（和歌山市）からの配水流量に異常（300m³/h増加）が確認された。この時点で漏水等の通報は無かったため、花山水系全域を対象に和歌山市職員14班体制による調査が実施された。その結果、一般国道24号花山交差点付近で交差する道路下の水路内にて湧水が発生していることが発見された（写真-1）。その後、音聴棒及び漏水探知機により漏水箇所の調査が実施され、国道に埋設された配水管φ800mmからの漏水であると想定された。



写真-1 1月8日 国道下暗渠水路内の状況
（水路底面部（側壁部分）から水の噴き出しを確認）

(2) 修繕工法の検討

漏水箇所の修繕について、水道のバイパス管を設置し

たうえで修繕を行う断水しない工法と、断水したうえで修繕を行う断水工法の2案が和歌山市において検討された。断水を行う場合、花山配水池区域内の約35,000世帯（約80,000人）（図-2）へ影響がある一方、断水しない工法とした場合は、材料手配の関係から工事着手まで1か月必要であり、大量の漏水によって路面下の空洞化が進み、幹線道路が大きく陥没する懸念があった。このような状況下の中で、和歌山市による苦渋の選択として断水工法が選定され、工事の計画・準備が進められた。

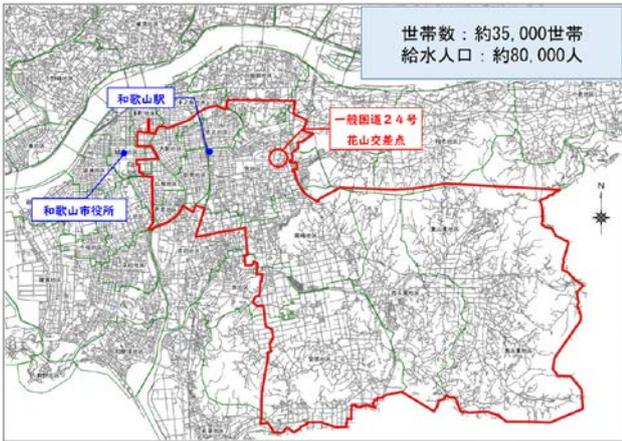


図-2 断水の影響範囲

(3) 調査の実施

東進右折車線付近での漏水音が大きく、道路交通の安全を確保するため、1月9日、AM12:00に通行規制が開始された（写真-2）。配水量が大きいことから路面下の空洞化についても推測されたが、掘削することで漏水箇所が拡大して急な断水を引き起こす懸念があり、水道管内の水圧を下げずに空洞化の状況を確認することはできない状況であった。その結果、非破壊による調査方法が選定され、空洞探査、道路定点測量（15箇所：3時間毎）、空洞調査のための試験掘り（漏水想定箇所から離れた箇所12箇所）及び常時観測が行われた。



写真-2 1月9日 上り右折車線通行規制状況

(4) 通行規制の拡大

空洞探査の結果、1月19日AM8:00に西進追越車線で空

洞が存在する可能性が疑われたため、修繕工事に先立ち、追加の規制として東進右折車線及び追越車線並びに西進追越車線の通行規制が行われた。

(5) 修繕状況

1月19日、PM7:00より、修繕工事に先立ちボーリング調査が実施された。後に掘削を行い、配水管φ800mmからの支管φ150mm及びバルブを発見し、露出させた状態で修繕工事が実施された。φ150mmのバルブ全閉（1月20日、AM1:15）により、当初から漏水量を観測していた水路の水位が20cmから5cmに低下したため、φ150mmからの漏水が原因であると判断された。しかしバルブを全閉にしても完全に水が止まらないため、管路を切断し、キャップにより閉塞する工法が採用された（写真-3）。また、この段階で吹き出しが少なかったことなどから断水せずに修繕が可能であると現場で判断されたため、作業は断水せずに実施された。

しかし、修繕工事完了後も依然として水路には漏水が存在していた。当該漏水からは塩素反応が確認され、地下水ではなく水道水であることが予測された。このことから、他箇所からの漏水が疑われたため、再度車線規制内にてボーリング調査が実施された。その後のボーリング調査の結果、再度漏水が確認されたため、舗装版取り壊し・掘削を行ったところ、路面下の空洞で水が噴出している状況が確認された。この漏水は、送水管φ1500mm（加納浄水場と秋葉山配水池を繋ぐ送水管：給水人口約83,000人）からのものであった。漏水箇所の修繕にあたり、加納浄水場からの送水を止め、市民生活への影響が出ないと予測される4時間で修繕を行う方針を即時決定した。損傷としては、送水管φ1500mmに、直径60~70mmの穴が開いており、漏水箇所を木栓にて止水した後、フランジの溶接を行い、フランジ蓋を設置した（写真-4）。その後、1月22日、AM5:15に水路には新たな流出がなかったことから修繕完了とした（図-3）（図-4）（図-5）。



道路の開削状況

管の切断作業状況

管の閉塞状況

写真-3 Φ150mm配水管の漏水修繕状況



漏水箇所の発見 (木栓打ち込み後) 補修完了の状況 (鉄管溶接接合及び鉄蓋ボルト接合)

写真-4 Φ1500mm送水管の漏水修繕状況

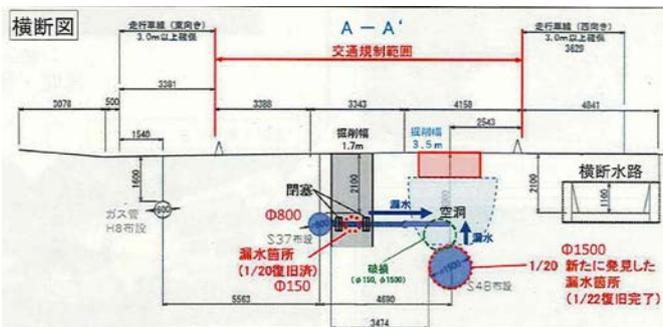


図-3 漏水箇所 横断面図

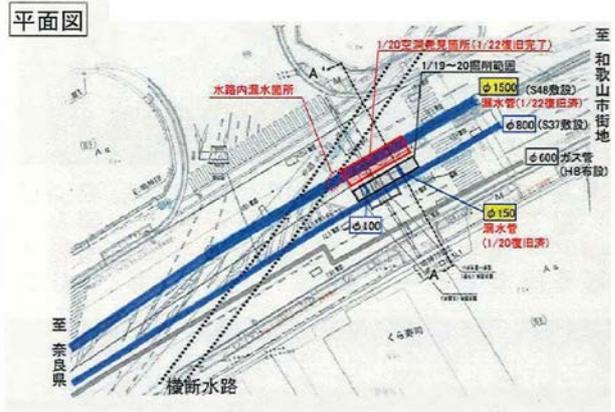


図-4 漏水箇所 平面図

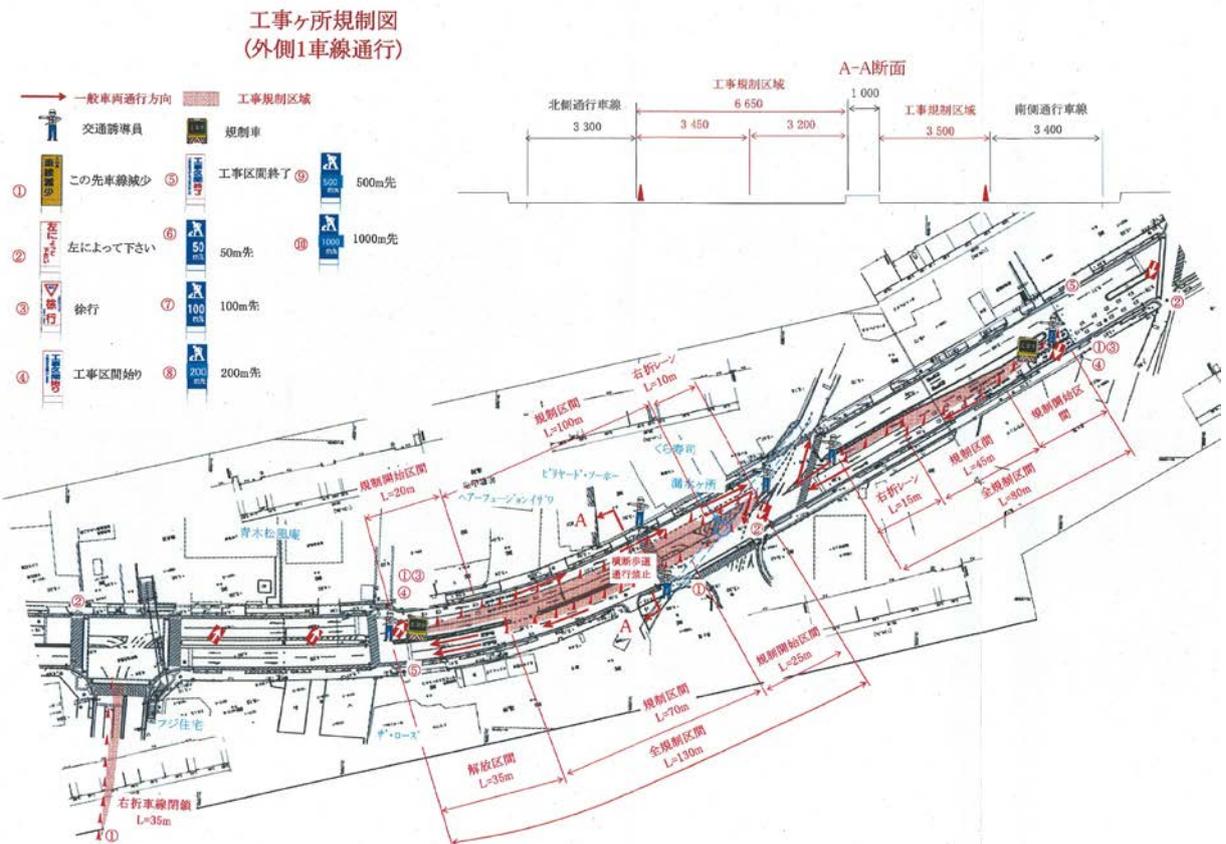


図-5 修繕工事時規制図

(5) 想定される損傷原因

水道管損傷の原因については、配水管φ800mmからの支管φ150mm铸铁管が、送水管φ1500mm鋼管と交差しており、車両の通行による振動等を受ける状況下にあった。この影響を受け、支管φ150mm铸铁管と送水管φ1500mm鋼管との離隔が無くなり接触したことで、電位差が生じ、送水管φ1500mm鋼管の腐食が進行したと考えられた（図-6）。また、送水管φ1500mm鋼管の腐食した部分からの漏水による水圧を受け、支管φ150mm铸铁管が破損したのではないかと、和歌山市企業局より考察された。



図-6 今回事象において想定される損傷原因



写真-6 修繕工事中の副所長級による路面空洞確認状況



写真-7 Twitter等による即時広報状況

3. 和歌山河川国道事務所（国土交通省）の対応

(1) 災害対策本部の設置

和歌山河川国道事務所では1月8日に漏水が確認された後、同日21時より注意体制を発令し、災害対策部を設置した（写真-5）。和歌山河川国道事務所は道路管理者として、通行する車両の安全確保・早期の道路復旧のために和歌山市へ助言・協議等を行った。なお、現場には副所長級職員が常駐し、修繕工事完了まで和歌山市の現場責任者と行動を共にして、情報共有に努めた（写真-6）。

また、修繕工事の際には現地にLIVEカメラを設置し、常時現場の様子を確認できる状態を整備した。その他に、工事に伴う通行規制やその変更状況などをTwitter等を用いて、即時広報を行った（写真-7）。



写真-5 事務所災害対策本部設置状況

(2) 断水に備えた給水支援（給水車、散水車、照明車）

国土交通省としての和歌山市への支援として、水道管修繕工事に伴う断水・工事に備えるために、19日に散水車6台、照明車10台（近畿地方整備局管内より）（写真-8）、20日には給水車8台（北海道開発局より）が参集した（写真-9）。

修繕工事は結果的に断水することなく行われたが、完了後においても濁水対策のため継続して病院、小学校等にて給水支援を行った。（写真-10）



写真-8 散水車・照明車の参集状況



写真9 給水車の参集状況



写真11 規制車及び規制要員の参集状況



写真10 給水支援活動状況

(3) 全面通行止めを想定した支援

和歌山河川国道事務所では、工事中に全面通行止めとなった際の通行規制を行うための支援・対応として、広域誘導図や規制車、人員、看板の配置図を作成し、和歌山市と情報共有した。また、工事施工前に突発的な通行規制が生じる可能性も考慮して、片側交互通行の規制図を作成し、体制を整えた(図-7)。

人員・資機材の支援としては、19日に規制車7台(近畿地方整備局管内より)と、通行規制規制要員24名(近畿地方整備局管内の工事受注者により)が現場へ参集した(写真-11)。



図-7 全面通行止めを想定した広域誘導検討

(4) 対策支援の結果

漏水の確認後、和歌山市と一体となった修繕体制構築により円滑な修繕が行われた。また、修繕工事時には給水支援を実施することにより市民生活の維持が可能となった。和歌山河川国道事務所は路面陥没による交通事故が発生するという最悪のケースを想定し、全面通行止めを想定した誘導方法検討等の支援を行い、リスクに対する道路利用者、市民生活の安全・安心の確保を優先した対応を実施した。その結果、幸いにも人的被害・物的被害は発生せずに対応を行うことができた。(図-8)に対応のフローを示す。

4. 和歌山市としての占用物件管理上の再発防止策

和歌山市では、地震などの事故において給水に及ぼす影響が大きい市内全域の送水管・配水本管(φ500mm以上)といった基幹管路や医療機関や避難所など重要給水拠点への配水管を対象に、現状水量に基づいた計画水量による管のサイズダウンなど適正管径の検討を行い、更新、耐震化等を計画的かつ効果的・効率的に推進するための和歌山市水道管更新基本計画を策定し、再発防止に努める。中でも、今回の花山交差点内のφ800mm配水管については、和佐配水管整備事業(花山ルート・南ルート)完成後、花山配水池給水区域の適正化(縮小)にあわせて、ダウンサイズするなどの検討を行うこととしている。また配水支管については、経年劣化等を考慮し、老朽管の更新を進めており、令和2年度は国道42号に敷設しているφ150mmの布設替及び国道26号を横断している3ヶ所のφ100mmの廃止を計画した。上記の更新事業が完了するまでは、点検要綱を作成していくと共に、これまで以上に漏水調査を重点的に行うこととしている。

ただし、現状の漏水調査方法では、国道や交通量の多い主要道路での調査方法には限界があるため、当面は、毎年行っている業務委託において時間積分式漏水調査を行うほか、職員による路面巡視パトロールを行うことにより、路面異常の早期発見に努めることが必要とされている。

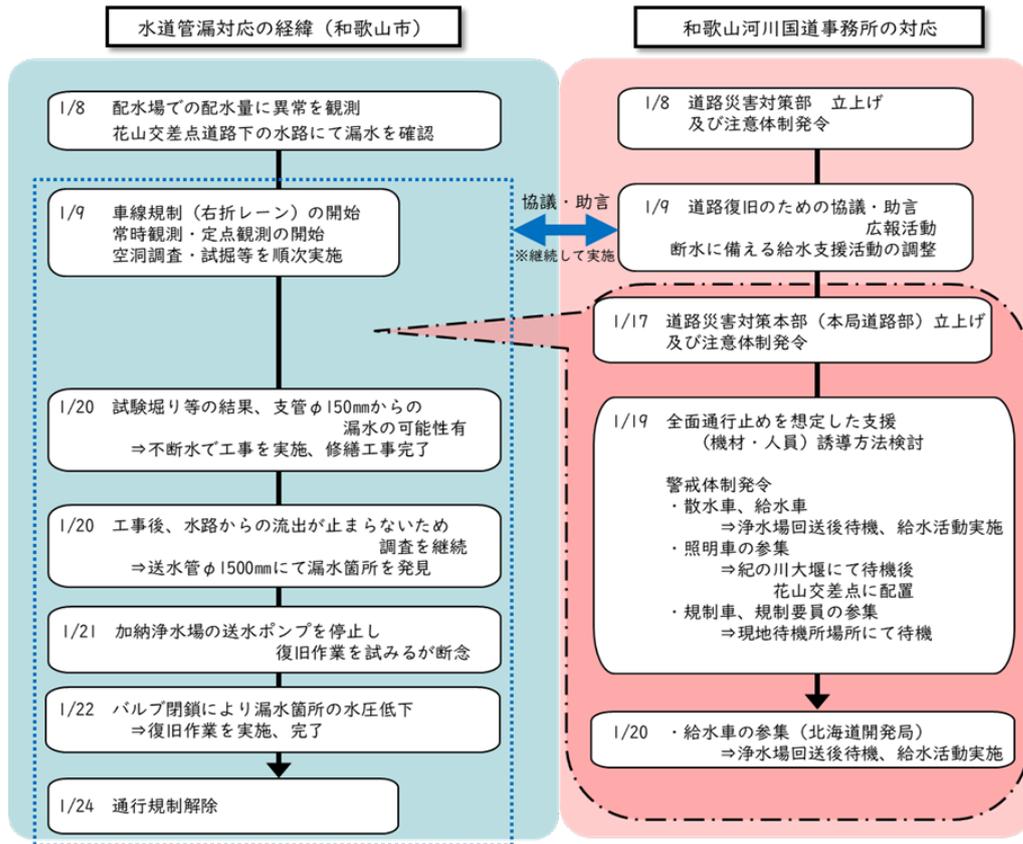


図-8 和歌山市及び和歌山河川国道事務所の対応フロー

5. まとめ

和歌山市を例にとってみると、国道に関連する今回損傷した水道管以前に埋設された管は複数存在していることがわかる(図-9)。このようなインフラ設備の老朽化に伴い、今後全国的にも同様の事象が発生しうることが予測される。そのような中で、インフラの損傷復旧に対する対応について更なる迅速な体制構築が望まれる。今回の対応を踏まえ、より迅速に体制構築を行うためには、連絡体制の構築や技術的な支援体制の構築を事前に行うことが、復旧にかかる道路規制の期間を最小化することに寄与すると考えられる。その他に求められる対策としては、事前リスクを想定し、対応可能な計画策定を各自体が行うことが挙げられる。それらに加え、占有者に対し、占有物の老朽化の監視・点検を求めること、占有物を計画的、重点的に更新することが重要である。

今回発生した事象の特徴として、十分な迂回路設定が困難な箇所で損傷が発生したという点がある。このような通行規制を伴う復旧工事が困難な箇所等が、どの程度・何箇所存在するのか、把握・整理を進める必要がある。また、整理した潜在的なリスクの度合いに応じて、占有物について占有者においても重点的な維持管理に努める枠組みが必要である。

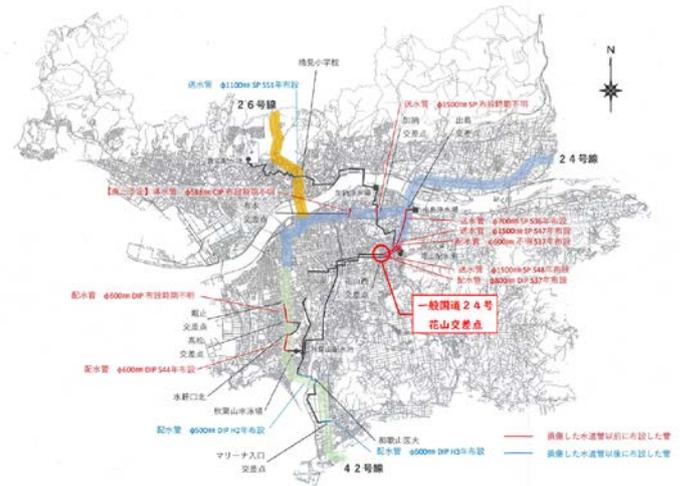


図-9 和歌山市内の国道に関連する基幹管路図

謝辞：本稿の作成にあたり、多くの知識や示唆を頂いた方へ、ご協力を頂いたことに心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会：埋設管路の腐食原因とその防食について
- 2) 日本水道協会：水道維持管理指針 2016
- 3) 厚生労働省：水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン 令和元年9月

国道2号七宮交差点における 交通事故対策について

東 亮佑¹

¹近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 管理課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4丁目5番1号)

国道2号七宮交差点は、兵庫県の直轄国道のうち死傷事故率が上位4位であり、事故危険箇所、事故ゼロプラン箇所に該当する。当該交差点について、交通事故発生要因を特定し、各要因に対応した交通事故対策（交差点改良）を2019年5月に実施した。交差点改良の対策効果発現の検証のため、①ビデオ観測での危険挙動解析、②ETC2.0プローブデータを活用した交通解析、③道路利用者を対象とした対策効果の実感調査を実施した。ビデオ観測及びETC2.0プローブ解析からは、急な車線変更や危険挙動が削減するとともに交通の円滑性が確保されたことが確認された。道路利用者の対策効果実感調査からは、交通事故対策の効果を実感しているという声が多く見受けられた。一方、依然として阪神高速道路入口への誤った進入が発生しているため、追加対策を行うとともに引き続きデータ分析を行い、効果検証を実施する。

キーワード 交通事故対策, ETC2.0プローブデータ, ビデオ挙動解析, 利用者実感

1. はじめに

(1) 兵庫県の交通事故状況

兵庫県の一般幹線道路及び直轄国道の死傷事故件数は、交通事故・道路統合データベースより、年々減少しており、直轄国道は平成20年（2008年）と比較すると0.77倍（図-1）である。また、死亡事故件数では、一般幹線道路が平成23年（2011年）、直轄国道が平成22年（2010年）をピークとして、大幅に減少している。

(2) 国道2号七宮交差点の位置づけ

兵庫県の直轄国道について、死傷事故率が特に高い区間は、国道2号に集中している（図-2）。図-2では直轄国道の死傷事故率上位5位を旗揚げしており、その

うち七宮交差点は上位4位に位置し、事故危険箇所、事故ゼロプラン箇所に該当している。

そこで、当該交差点は交通事故削減のために交差点改良による事故対策を2019年5月に実施した。なお、交差点改良の詳細については後述する。

2. 七宮交差点の概要

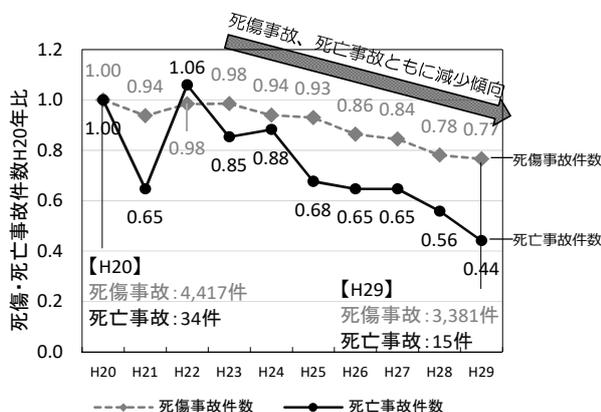


図-1 直轄国道の死傷事故件数・死亡事故件数の推移

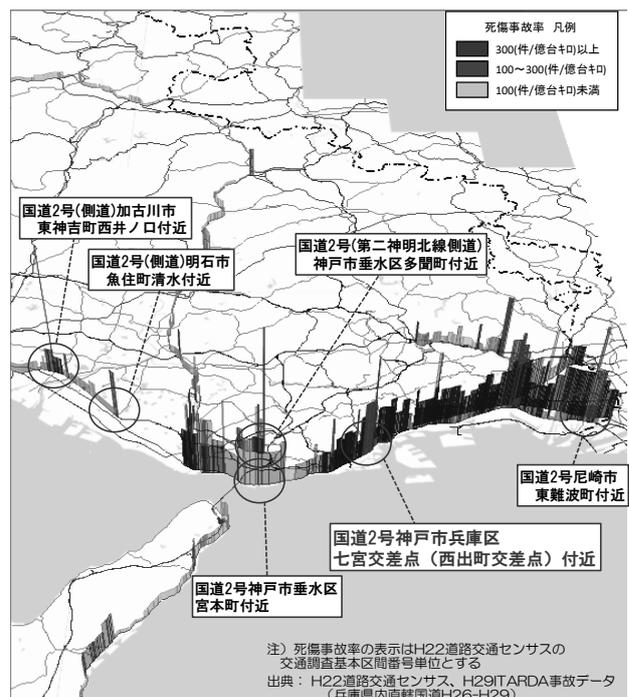


図-2 直轄国道の死傷事故率（2014～2017年）※上位5位旗揚げ

(1) 七宮交差点の交差点形状

七宮交差点は阪神高速道路柳原入口西行が設置されており、複雑な形状の大規模交差点となっている（図-3）。

(2) 七宮交差点の交通量・交通流動

当交差点の国道2号側の交通量について、平成27年道路交通センサスによると、ピークは17時台で、時間交通量は約2.6千台/時と日交通量約35.9千台/日の約7%である。

また、ピーク1時間における国道2号姫路方面（下り）の交差点流出方向別交通量について交通調査をした結果、七宮交差点を直進する交通が大半である（図-4）。

なお、交通調査結果は2017年7月25日（火）17:20～18:20である。

3. 七宮交差点の交通事故状況

七宮交差点の交通事故対策実施前の死傷事故について要因を整理するとともに、交通事故要因に対応した事故対策を検討した。

(1) 交通事故統計データによる交通事故発生状況

交通事故・道路統合データベース（2014～2017年）を活用し、七宮交差点の交通事故発生状況を分析した。まず、死傷事故類型をみると、右折時の車両相互事故が最も多く約5割を占め、次いで、追突時の車両相互事故が約2割を占める（図-5）。次に、法令違反別でみると、優先通行防止等が約4割を占め、次いで、安全運転義務違反が約2割である（図-6）。さらに、当事者種別では、

自動車-自動車が約5割であるが、自転車に関連する事故が約2割存在する（図-7）。また、第1当事者の年齢においては25～64歳が約7割である（図-8）。

(2) 交通事故発生要因の整理

個々の事故発生状況より要因を整理した。図-9に事故発生内容を示すとともに、具体的な内容を以降に示す。

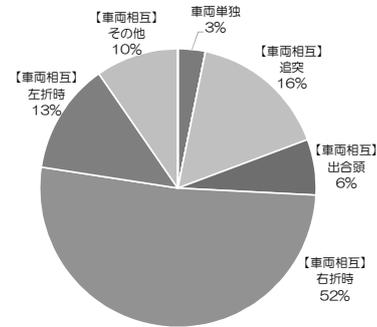


図-5 七宮交差点の死傷事故類型（2014～2017年）

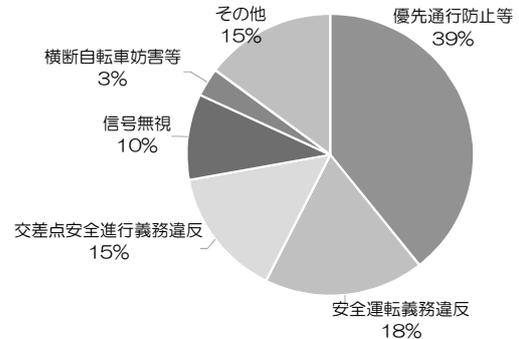


図-6 七宮交差点の死傷事故法令違反別割合（2014～2017年）

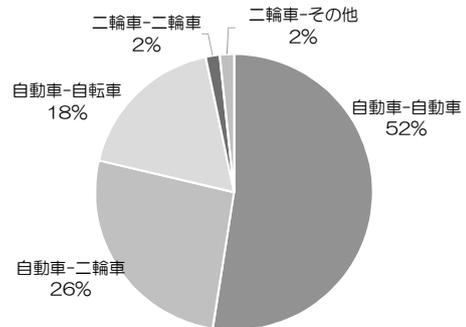


図-7 七宮交差点の死傷事故当事者種別割合（2014～2017年）

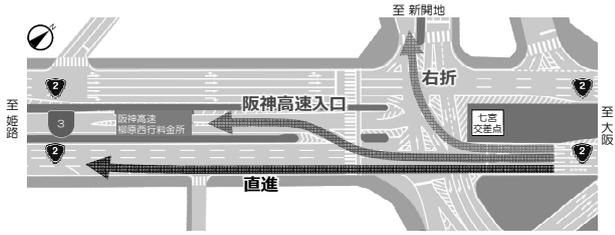
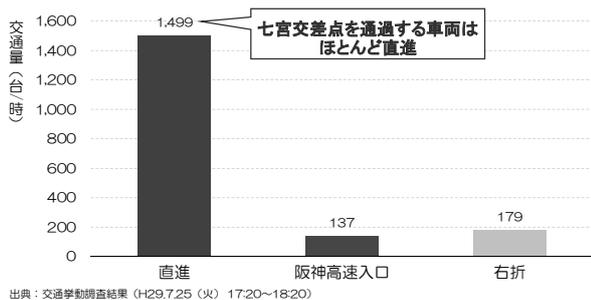


図-3 七宮交差点の阪神高速道路 柳原入口西行の接続状況



出典：交通流動調査結果（H29.7.25（火）17:20～18:20）

図-4 七宮交差点姫路方面行き流出方向別交通量

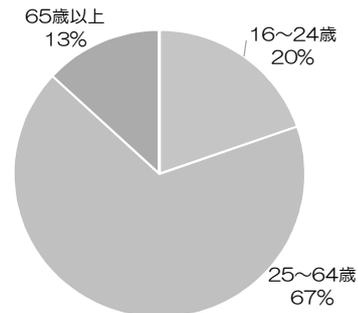


図-8 七宮交差点の第1当事者年齢割合（2014～2017年）

a) 右折事故の要因

姫路方面の右折事故（図-9 ①）は、対向右折車両の滞留や交差点手前カーブによる直進車両の視認性低下等が要因と考える。大阪方面の右折事故（図-9 ②）は、前述と同様に対向右折車両が滞留していること、また、右折停止位置により橋脚が視認性を阻害している。

b) 大阪方面の追突事故の要因

大阪方面の追突事故（図-9 ③）は、交差点が広いためにジレンマゾーン（信号が青から黄に変わる際、交差点を通過するか否か迷ってしまう範囲）によって、追突事故が多数発生していると予想される。

c) 自転車事故の要因

姫路方面の自転車事故（図-9 ④）は、新開地からの右折車にとって橋脚が死角となるため、急な自転車の飛び出しを認識し難くなっていること等が要因と考える。市道の新開地方面の自転車事故（図-9 ⑤）は、国道2号からの右折で青時間が短いため速度が出やすく、急な自転車の飛び出しを認識し難いことが要因と考える。

d) 姫路方面の織り込み事故の要因

姫路方面の織り込み事故において、七宮交差点まで

（図-9 ⑥）は、阪神高速道路へ入る車両が走行車線を迷っている等が要因として考えられる。次に、阪神高速道路入口まで（図-9 ⑦）は、阪神高速道路入口付近で急な織り込みが発生している。

e) 姫路方面の危険な車線変更の要因

姫路方面の危険な車線変更（図-9 ⑧）は、交差点流出部でほぼ全車両が右側へ車線変更している状況である。

4. 七宮交差点の交通事故対策検討

交通事故発生要因に対する事故対策を検討した。主な対策は、国道2号姫路行き右折車線の移設（対策A）、交差点コンパクト化+横断歩道前出し（対策B）、車線運用変更+カラー連携表示（対策C）、車線運用変更（1車線ゼブラ化）（対策D）である（図-10）。

対策A 右折車線の移設は、右折車線を新設（移設）し、対向する直進車両に対する視認性を確保、そして、走行車線間違え車両の急な車線変更の抑制・変更時の空間を

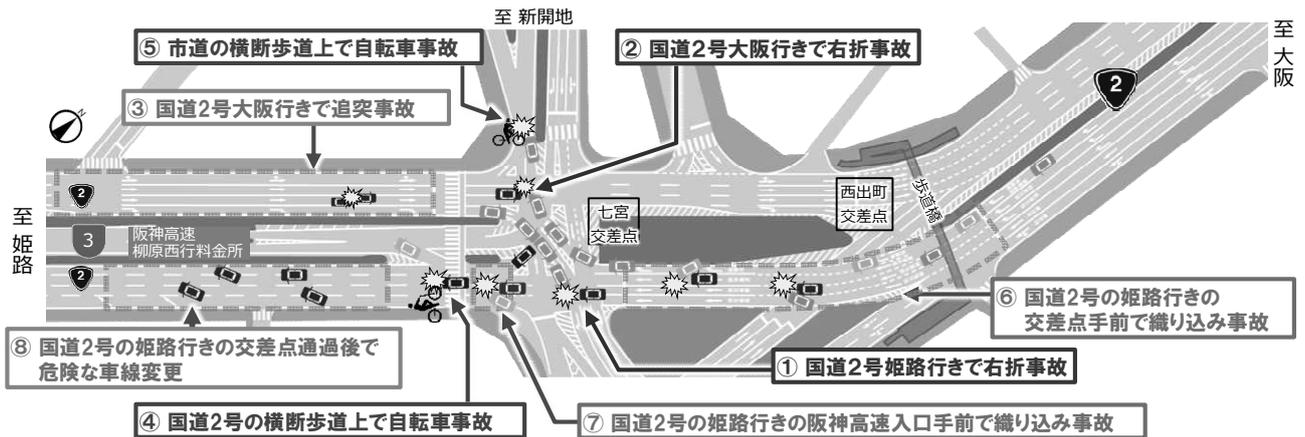


図-9 七宮交差点の死傷事故発生内容

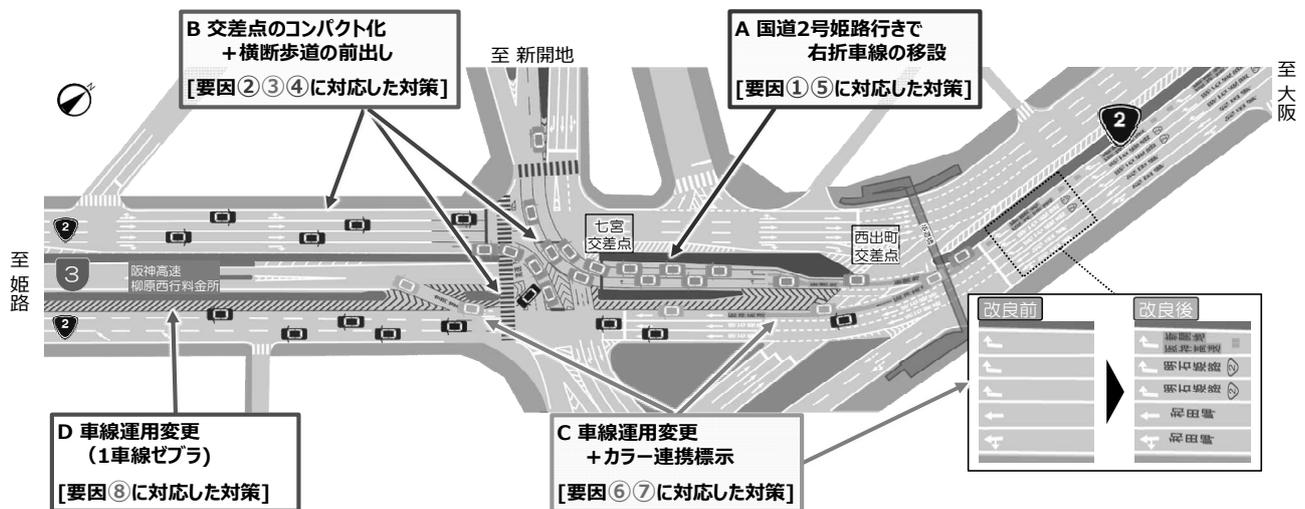


図-10. 七宮交差点の交通事故対策

確保した。

対策B 交差点コンパクト化+横断歩道前出しは、交差点をコンパクト化することで、対向する直進車両に対する視認性を確保し、また、ジレンマゾーンを縮小、横断歩道も前出しすることで、橋脚による死角を減らした。

対策C 車線運用変更+カラー連携表示は、車線運用が明確になるように案内標識設置・カラー舗装化し、右折する車両や阪神高速への迷い車両を解消させ、急な車線変更車両の削減を図る。

対策D 車線運用変更（1車線ゼブラ化）は、1車線をゼブラにし、右側へ車線変更する車両の削減を図る。

5. 七宮交差点の交差点改良対策効果検証



図-11 対策A 右折車線の 신설



図-12 対策B 交差点コンパクト化（横断歩道前出し）



図-13 対策C 車線運用の変更+カラー連携表示



図-14 対策D 車線運用変更（1車線ゼブラ化）

七宮交差点の対策後の効果検証として、①ビデオ観測による交通変化、②ETC2.0プローブデータによる交通解析、③アンケート調査による利用者実感把握を行った。それぞれの効果検証について以降に示す。

(1) ビデオ観測による交通変化

ビデオ観測により急な車線変更台数の変化を分析し、事故発生の危険性低下を把握する。ビデオ観測時間帯は、交通量が最もピークとなる1時間を対象とし、対策前は2017年7月25日（火）17:20～18:20、対策後は2019年9月24日（火）17:40～18:40とした。

a) 七宮交差点手前における急な車線変更台数の変化

七宮交差点手前の区間で第2車線走行車両、右折車線走行車両の車線変更車両台数を計測した（図-15）。

計測の結果、右折車線から阪神高速道路に進行する車線への交通及び第2車線から阪神高速道路に進行する車線への交通が減少しており、事故発生の危険性が低下しているものと考えられる。

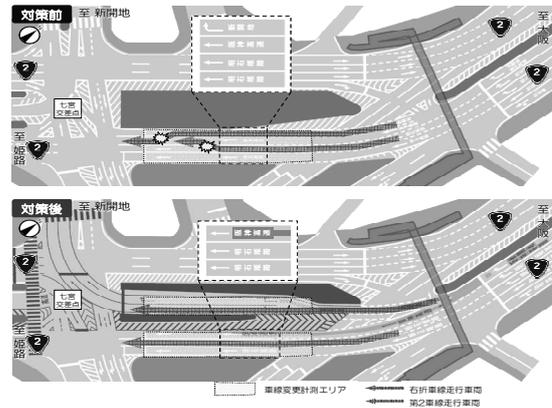


図-15 七宮交差点手前の計測車両イメージ及び計測エリア

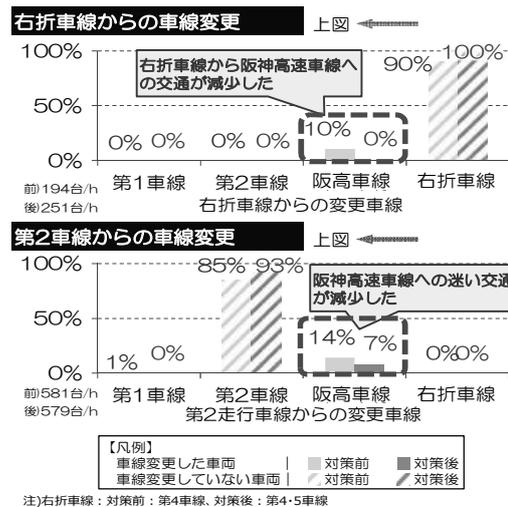


図-16 対策前後の七宮交差点手前における車両変更台数

b) 阪神高速入口後における急な車線変更台数の変化

阪神高速入口後の区間で第3車線走行車両の車線変更車両台数を計測した（図-17）。

結果（図-18），第3車線から車線変更する車両は解消しており，事故発生の危険性が低下していると思われる。

(2) ETC2.0プローブデータによる交通解析

ETC2.0プローブデータを活用し，走行速度を分析し交通の円滑性の変化を把握するとともに，急挙動発生頻度を分析し事故発生の危険性低下を把握する。ここで，対策前と対策後のデータ分析条件は以下表のとおりである。

表-1 ETC2.0プローブデータ解析条件

分析項目		走行速度	急挙動発生頻度
データ様式		様式1-2	様式14
集計期間	対策前	2018年6～7月 平日	
	対策後	2019年6～7月 平日	
集計区間単位		20mピッチ区間で集計	

a) 対策前後の17・18時台の速度変化

交通量がピークとなる17時台と18時台で対策前後の走行速度変化を七宮交差点流出方向車両別に分析した。

結果（図-19），いずれの流出方向車両も速度低下が改善している。右折車両は右折専用レーンの移設（2車線）による効果であり，阪神高速に向かう車両及び直進車両は走行車線の明確化し，迷い交通減少等によるスムーズな交通が確保されたことによる効果と思われる。

b) 対策前後の17時台の急挙動発生頻度変化

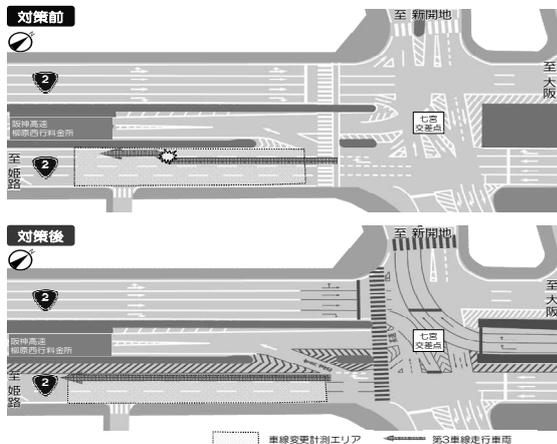


図-17 阪神高速入口後の計測車両イメージ及び計測エリア

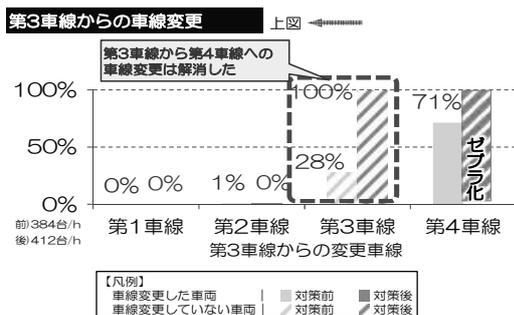


図-18 対策前後の阪神高速入口後における車両変更台数

次に，走行速度が大きく改善している17時台を対象に，走行速度分析と同様，対策前後で急挙動発生頻度を分析した。ここで，急挙動の指標として急ブレーキと急ハンドルを分析する。なお，急ブレーキは前後加速度 $-0.3G$ 以下とし，急ハンドルの定義はヨー角速度 $|8.5deg/s|$ 以下とする。

結果（図-20），急ブレーキについて，右折車両は，右折車両の滞留が減少したことによる急ブレーキ削減，対向直進車両が確認しやすくなったことによる右折直前での急ブレーキ削減が確認される。次に，阪神高速へ向かう車両は，走行車線の迷いによる急ブレーキが削減していると考えられる。さらに，直進車両は，西出町交差

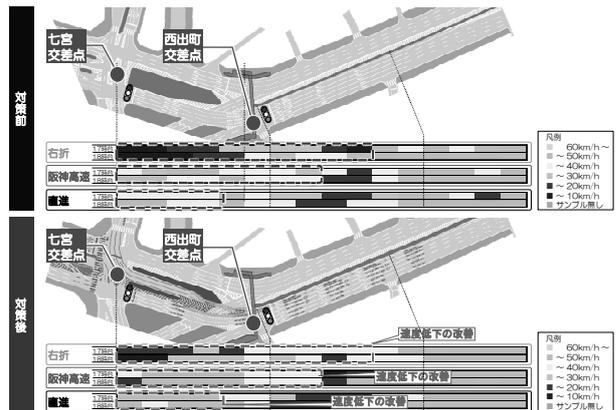


図-19 七宮交差点流出方向車両別の速度変化

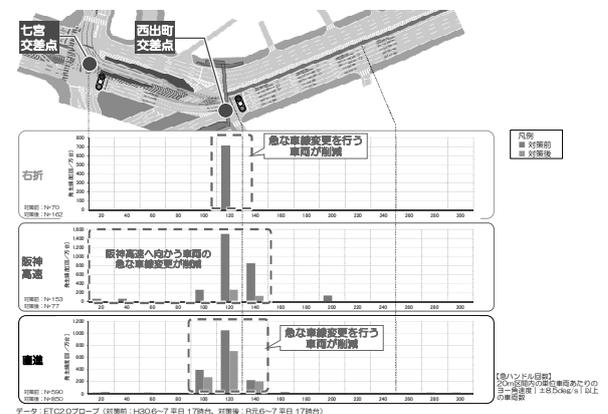
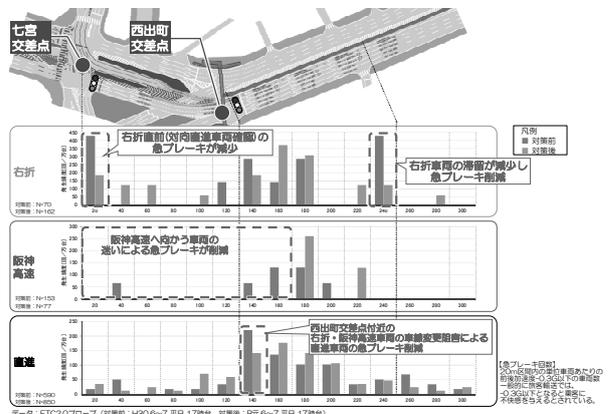


図-20 七宮交差点流出方向車両別の急挙動発生頻度変化 (上段:急ブレーキ, 下段:急ハンドル)

点付近での右折行動や阪神高速へ向かう車両の車線変更阻害による急ブレーキが削減していると推察される。一方、いずれの車両においても、西出町交差点手前まででブレーキ発生頻度が増加している区間がある。これは、右折車線移動時や案内標識確認等でブレーキ操作を行っているものと思われる。

急ハンドルについて、いずれの車両においても急ハンドル発生頻度が削減しており、交通安全性が向上していると考えられる。

(3) アンケート調査による道路利用者の実感

七宮交差点を通過している道路利用者を対象にアンケート調査を実施し、実感している対策効果や安心感の変化を把握する。調査対象は、物流ドライバー等の業務利用者と一般利用者とする。調査方法について、業務利用者は関係機関を通じてアンケート調査票を配布し、記入いただいた。一般利用者はWEBアンケート調査を実施した。実施日や回答数等の具体内容を表-2、表-3に示す。

a) 交通事故対策の認知度

交通事故対策で最も認知度が高いのは、路面をカラー舗装の約7割、次いで、右折車線を阪神高速の高架下に移設が約5割である（図-21）。

b) 交通事故対策効果の実感

いずれかの事故対策に気づいた方での事故対策効果の実感は、交通安全対策に気づいて余裕をもった車線移動（質問1）、路面をカラー舗装による迷い交通・急な車線変更車両の減少（質問2）、右折車線移設による対向直進車の確認しやすさ（質問3）、今回の事故対策による七宮交差点の安全・安心な走行確保（質問6）が、とてもそう思う・そう思うを合わせて約7割と、交通事故対策の効果を良く実感していると思われる（図-22）。

6. 更なる安全性向上に向けて

七宮交差点改良によって急な車線変更を行う車両が削減し、事故発生の危険性が減少するとともに交通の円滑性が確保されていることを確認した。今後は交通事故データを分析し、実際に交通事故件数が減少しているかを把握する。また、ビデオ観測から阪神高速入口への進入車線の誤りや誤った進入が確認されたため、更なる安全確保に向けて、阪神高速入口であることがわかるようカラー舗装を今後実施予定（図-23）であり、引き続きデータ分析を行いつつ、対策効果を検証していく。

表-2 調査対象及び回答数

調査対象者		調査実施日	回答数
業務利用者	兵庫県トラック協会 ※協会会員事業所	2019年11月	51
	JAF兵庫支部	2019年11月	80
一般利用者		2020年2月	100
合計			231

表-3 アンケート項目

アンケート項目	質問内容
1 交通事故対策認知度	交差点通過の際に事故対策例に気づいたか
2 交通事故対策効果の実感	事故対策例ごとに効果を実感したか6段階で評価
3 対策を認知しなかった理由	交差点通過の際に事故対策例に気づかなかった理由
4 自由意見	事故対策後でも残っている課題・問題についての意見

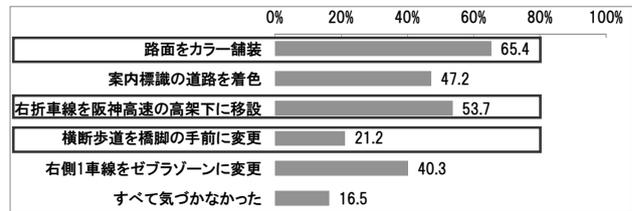


図-21 交通事故対策の認知度（回答数 231）

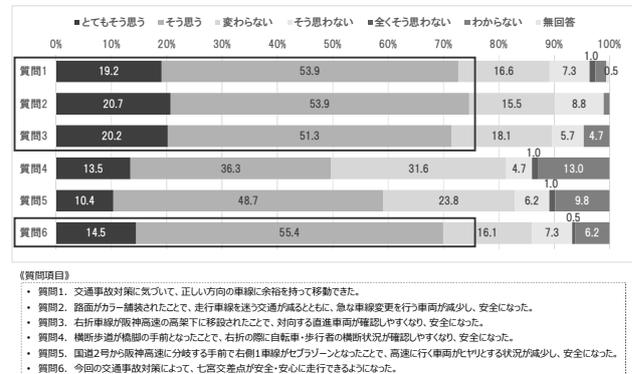


図-22 事故対策の実感（回答数 193）



図-23 今後の事故対策

横断歩道橋の経年劣化と補修設計について ～国道1号 田村横断歩道橋～

伊藤 怜哉¹・脇坂 正宏²

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 草津維持出張所 (〒520-3025滋賀県栗東市中沢2丁目12-30)

²近畿地方整備局 滋賀国道事務所 管理第二課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4番5号)

一般国道1号線に位置する田村横断歩道橋は、昭和40年(1965年)に完成し、供用開始後50年が経過している橋梁である。平成26年の橋梁定期点検で主桁・横桁・床版・橋脚・地覆に腐食が確認され、本歩道橋梁における健全性は“Ⅲ”(早期措置段階)と判定された。対策が急がれる状況であるが、本歩道橋直上に架空線が設置されておりクレーンを用いた施工が難しい。

このような状況下、耐荷力の向上とコスト削減を考慮し、対策検討を実施した。本発表では、完成後50年を経過する横断歩道橋の経年劣化による損傷状況と架空線とを踏まえた補修設計について報告する。

キーワード 横断歩道橋, 腐食, メンテナンス, 補修設計

1. はじめに

一般国道1号を跨ぐ田村横断歩道橋は、甲賀市土山地区に架設された、設計は横断歩道橋設計指針(1965年)で橋長25.50mのI桁橋である。

一般国道1号は、東京都中央区から大阪府大阪市へ至る総延長約744kmの国道であり、滋賀県では甲賀市から大津市の間を結んでいる。また、対象区間の日交通量は、約1.7万台である。

位置図を図-1に、橋梁概要図を図-2に、橋梁諸元を表-1に示す。

表-1 橋梁諸元

橋長	25.50m
有効幅員	1.50m
上部構造形式	I桁橋
下部構造形式	T型鋼製円柱橋脚, 重力式橋台
基礎形式	直接基礎
供用年	1965年
交差条件	国道1号線を跨ぐ



図-1 位置図

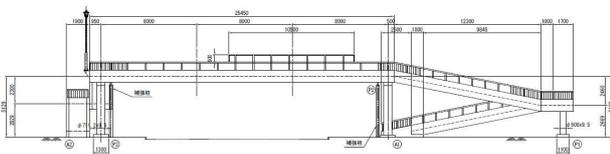


図-2 橋梁概要図

2. 腐食による損傷概要

平成26年の道路構造物点検業務の結果は、表-2に示すとおり、歩道橋全体に腐食があり、排水構造物の土砂詰まりが確認されている。

表-2 橋梁定期点検結果

C2判定	主桁(腐食, 防食機能の劣化)
C1判定	主桁(腐食, 防食機能の劣化)
	横桁(腐食, 防食機能の劣化)
	床版(腐食, 防食機能の劣化)
	橋脚(腐食, 防食機能の劣化)
	地覆(腐食, 防食機能の劣化)
	排水管(ぐらつき)
M判定	排水受け(土砂詰まり)

3. 補修設計に向けた調査

(1) 外観変状調査

本歩道橋の補修設計に先立ち、道路構造物点検業務において確認されている損傷および新規損傷の確認を行うため、外観変状調査を実施した。

a) 鋼材部の腐食

前回の道路構造物点検業務時に比べ、歩道橋全体に腐食の進行がみられ、損傷の多くは評価区分“e”と判断された。腐食程度の評価区分を表-3に示す。

表-3 腐食程度の評価区分

区分	一般的状況	
	損傷の深さ	損傷の面積
a	損傷なし	
b	小	小
c	小	大
d	大	小
e	大	大

損傷の程度を写真-1に示す。横桁・デッキプレート・床版は、著しく損傷しているものの支間部の主桁については、損傷が軽微であることが確認された。

写真-1 横桁の腐食

橋梁定期点検時の写真



現地調査時の写真



b) 床版の損傷

舗装の劣化、床版コンクリートのひび割れにより、雨水が床版に浸透し、その後デッキプレートが腐食したと考えられる。デッキプレートのUリブ内部には、無筋コンクリートが充填されており、デッキプレートの腐食が進行した際には、コンクリートが落下する可能性がある。

(2) 板厚検査

外観変状調査の結果を受け、主桁の板厚検査を実施した。板厚検査の調査箇所を図-3に示し、調査結果を表-4に記す。調査箇所のうち、主に主桁端部での板厚減少が著しく3箇所で設計板厚 $t=14\text{mm}$ を下回る箇所が確認された。

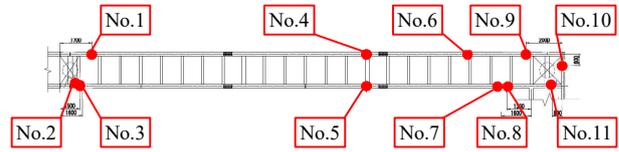


図-3 板厚調査対象箇所位置図

表-4 板厚測定結果一覧

調査箇所	板厚(mm)
No.1	16.0
No.2	8.0
No.3	16.0
No.4	15.3
No.5	15.4
No.6	16.0
No.7	16.0
No.8	16.0
No.9	14.8
No.10	6.0
No.11	10.0

(3) 架空線調査

本歩道橋の上空には、写真-2のように、電力線を含めた架空線が多く設置されているため、クレーンを使用した施工が難しい。

写真-2 架空線の配置図



施工日数（通行止め期間）が短い点およびコスト面において優れる歩道橋補修案を採用することとした。歩道橋補修案・通路桁架替案について、比較検討した結果を表-7・表-8に示す。

表-7 歩道橋補修案

	第1案 歩道橋補修案	
	概算工事費	施工日数
旧橋撤去工	610千円	35日
工場製作, 架設工	3000千円	85日
橋面工	6000千円	25日
現場塗装工	1100千円	18日
足場工	900千円	4日
仮受ベント設置撤去	200千円	6日
合計	11,810千円	約180日

表-8 通路桁架替案

	第2案 通路桁架替案	
	概算工事費	施工日数
旧橋撤去工	1900千円	45日
歩道橋製作	7300千円	90日
架設工	350千円	40日
橋面工	3200千円	25日
足場工	900千円	4日
仮受ベント設置撤去	200千円	9日
合計	13,950千円	約210日

(3) 現場施工

施工工程は、図-5で示すとおり、足場設置の後、既設床板・付属物・主構造の撤去および設置を行う。主構造撤去・設置については、橋脚上空に架空線が設置されているため、フォークリフトを使用し地上から部材の撤去・設置を行うこととした。ただし、支間部主桁の撤去・設置については、架空線の影響が少ないため、クレーンを使用し、撤去・設置を行う。

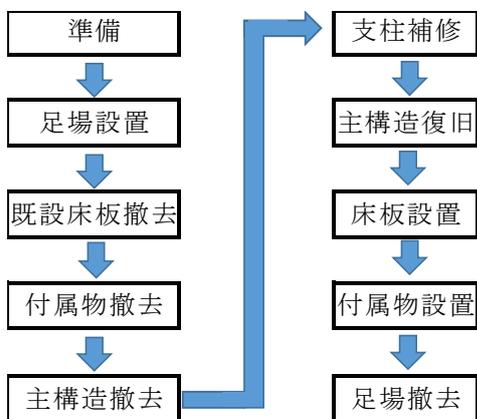
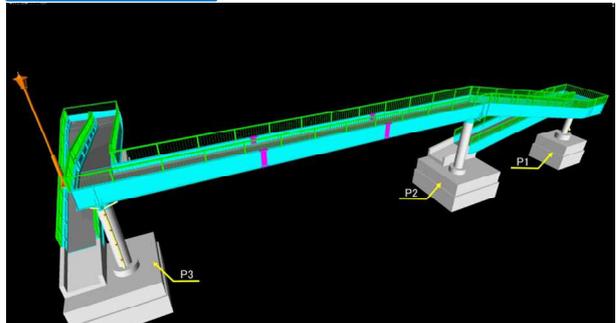


図-5 施工フロー

主構造の撤去は、図-6に示すとおり、通路部のみ撤去を行う。主構造は、通路部を上り車線側、下り車線側に分割して撤去を行い、主構造撤去後、橋脚上部に支柱補修工（コンクリート充填）を施す。橋台上部の復旧終了後、支間部主桁取り付け、床板を設置する。以上が本補修工事の大まかな流れである。

主構造撤去前



主構造撤去後

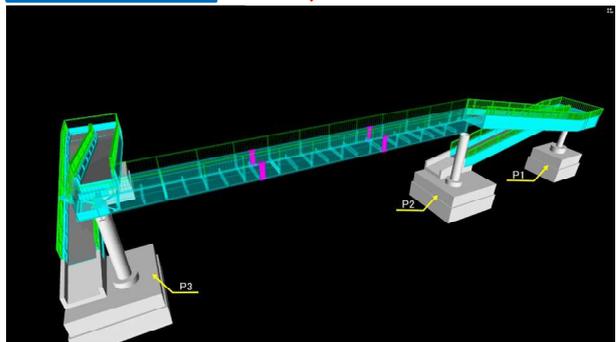


図-6 主構造撤去図

7. おわりに

本報告では、第三者被害が想定され建設後50年を経過する横断歩道橋の経年劣化による損傷と補修設計について紹介した。横断歩道橋は、モータリゼーションの進展に伴い、昭和30年代後半から設置されてきた。一般的な横断歩道橋の平均寿命は、50年であり供用後50年を超える横断歩道橋は、今後増加し維持修繕費の増大が懸念される。また、横断歩道橋の通行規制を伴う工事は、歩行者の交通事故防止の観点から、迅速な工事完了が求められる。そこで、今回の耐久力向上、コスト削減および工期短縮を考慮した補修工事は、今後予定される横断歩道橋補修工事の先駆けになると考える。

謝辞：本検討に際し、中央復建コンサルタンツ株式会社の方々に多大なる協力とご助言を賜りました。深く感謝いたします。

地域・行政協働による 旧中山道での歩行者空間整備計画とその実施

天沼 康平¹

¹滋賀県 南部土木事務所 道路計画課

主要地方道大津能登川長浜線は、中山道として古くから交通の要所として賑わい地域の発展を支えてきたが、近年の社会情勢の変化に伴い、近隣に新たな道路網が形成され、現在は生活道路や通学路として利用されている。当該箇所は道路幅員が狭小で歩行スペースもない危険な状態であり、2014年度には近隣でスクールガードの死亡事故が発生するなど安全な歩行空間整備が喫緊の課題であった。本事業は住民、県、市、警察が連携し、終日一方通行規制を行い、車両速度抑制対策と路肩拡幅をすることにより、安全な歩行空間を生み出す計画を立案し、実施したものである。

キーワード 歩車一体型道路, 速度抑制対策, 終日一方通行規制, 地域・行政協働

1. はじめに

(1) 概要

滋賀県守山市焔魔堂町、今宿町に位置する主要地方道大津能登川長浜線（旧中山道）は古くから交通の要所として賑わい、地域の発展を支えてきた。沿線では「今宿一里塚」や「守山宿」に代表される歴史的な景観が残っており、沿線住民にとっては、親しみある道路である。またJR守山駅にも近く、住宅開発が進むなど、近隣では都市化が進んできている。

当該道路は過去から、生活道路や通学路として、地域にとって欠かせないかけがえのない道路となっており、沿道には住宅が張り付いている（図-1）。一方で、道路は狭隘であり、抜け道として通過する車両も多く、近年子供や高齢者などの歩行者にとって非常に危険な状態となっていた。また、2014年度には沿線でスクールガードの死亡事故が発生するなど当該箇所の安全対策は喫緊の課題となっていた。



図-1 沿道の状況（施工前）

本論文では、当該道路の安全対策を行うべく、住民、県、市、警察が連携し、2018年度に工事が完了した守山市焔魔堂工区（焔魔堂町交差点～守山銀座西交差点）の800m区間（図-2）について、事業実施に至る経緯から工事完了までをとりまとめた。特に計画立案時および工事施工時における技術的課題と対応策について述べる。



図-2 位置図

2. 計画立案時における技術的課題と対応策

(1) 計画立案における課題

2014年度に地元より側溝の蓋掛けによる路肩拡幅の要望書が提出されたが、単純に側溝整備をするだけではかえって車のスピードが上がり歩行者や自転車にとって危険になることは明らかであった。

住宅が張り付く限られた用地の中で歩行者の安全を確保するためには以下の課題を解決する必要がある。

- ① 自動車の交通量を減らす

② 歩行空間を広げる

③ 自動車のスピードを落とす

これらの課題を解決すべく、住民、県、市、警察の関係者が寄り合い、総合的な安全対策の方針を共有したうえで具体化していくことが有効と考えた。結果、計4回にわたり意見交換会を開催し、技術的課題の整理を行った。

(2) 対応方針

a) 終日一方通行規制（自動車の交通量を減らす）

意見交換会の中で県と市からは抜本的な歩行者の安全対策を行うためには、側溝整備によるハード対策だけではなく、交通量を減らすためにソフト対策（終日一方通行規制）を行うことが望ましいと提案した。なぜなら終日一方通行を行うことで、車両の交通量を減らすことができ、車両同士の離合時に歩行者が危険にさらされることを回避できるからである。警察からも地元住民からの要望があれば規制をかけることが可能であることについて助言があった。

当該区間はすでにAM7:00～PM8:00の一方通行規制がかかっていたが、地元住民は終日一方通行規制に向けた地域内の合意形成を図るべく、署名活動を実施された。同意書には住民の約9割（約850世帯分）が署名し、地域の総意として、終日一方通行化と道路整備に関する合意形成が図られた。

交通安全に対する地域の熱い思いが行政を動かし、行政として地域をサポートし、当該箇所の安全対策に取り組む方向性を決定づけた大きなきっかけであった。

b) 道路構造令の運用と具体化（歩行空間を広げる、自動車のスピードを落とす）

次に具体的な整備内容を検討するにあたり「自動車の通行機能を抑制する道路の構造」として近年注目されている『歩車共存道路等』に着目し、「②歩行空間を広げる」、「③自動車のスピードを落とす」ための課題解決を図った。

『歩車共存道路等』とは道路構造令の解説と運用によると「生活道路における通過交通の排除など、快適な生活環境の創造をもたらすことを目的とし、自動車の速度を抑制する措置を講じ、交通事故を防止し、歩行者にとって安全かつ安心な通行空間とした道路」¹⁾と記載されている。

まず、歩車共存道路等の特徴と当該道路の特徴を照らし合わせることにした。（表-1）。

歩車共存道路等の特徴と当該道路の整備目的、地域のニーズが合致することから、当該道路の設計は歩車共存道路等としての運用を具体化していくこととした。事項に具体的設計内容について記載する。

表-1 歩車共存道路等の特徴

	歩車共存道路等の特徴 ²⁾	当該道路の特徴
①	歩行者に対するサービスを優先し、自動車に対するサービスを限定	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 自動車の交通量を減らす ➤ 自動車のスピードを落とす ⇒合致
②	歩道等の設置が望まれるものの、道路状況、沿道状況により設置が困難な道路に適用できる	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 住宅が張り付き用地が限定されている ⇒合致
③	自動車の通行が非常に少ない道路で歩行者の安全確保のために歩道等を設置するのは経済的、合理的でない道路に対応できる	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 4種4級道路 ➤ 地域道路 (4,000台/日以下) ⇒合致
④	たまり空間を確保することにより、立ち話等のような住宅や商店街に存する道路が持つべき機能を持たせることができる	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 旧中山道として歴史的な景観が残り、住民には親しみのある道路である ⇒合致

(3) 道路構造令等に照らした具体的設計

a) 車道及び歩道の通行空間の構造

本項では構造令に則った道路の横断構成について記載する。標準横断図は図-3のとおりである。

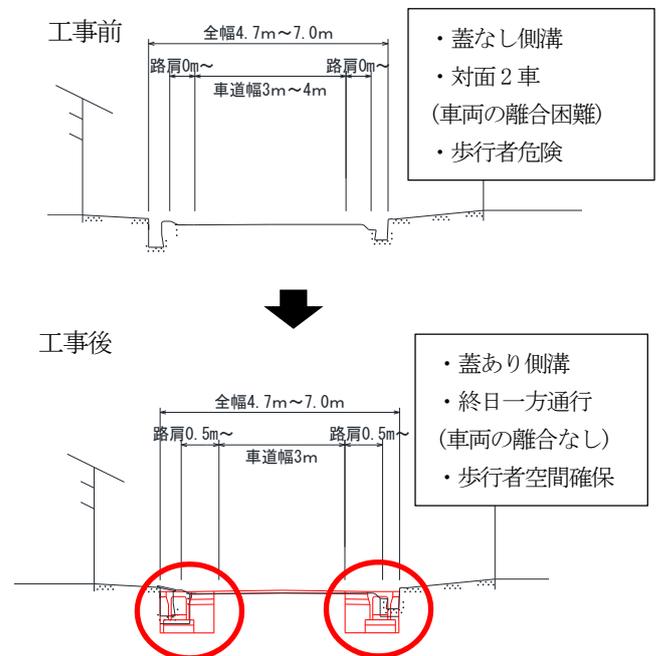


図-3 歩行者空間創出（横断計画）

自動車の通行空間については、道路構造令では4種4級の車道幅員を原則4メートルとすることが記載されている。しかしやむを得ない場合は特例値として幅員を3メートルとすることができるとある。当該道路は最狭小部で

全幅4.7mの箇所があり、車道幅員4メートルを確保した場合、歩行空間の確保を行うためには、住宅等の用地補償が伴うことから、特例値の3メートルを採用した。

次に歩行者の通行空間については、歩行空間の創出のため、既設側溝を蓋付きの側溝に付け替えることにより、蓋の上のスペースを有効活用し路肩を拡幅することで歩行空間を創出した。

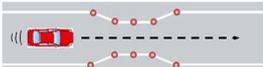
また、たまり空間の確保については沿道のシンボルである「今宿一里塚」の前に、舗装の一部を石畳み風の舗装とし周辺の景観と調和を図った。また道路整備と合わせて住民にてベンチを設置し、地域の交流やゆとりを備えた空間整備を行う方針とした。

b) 速度抑制対策の検討

道路構造令,生活道路のゾーン対策マニュアル等に基づき、車両速度抑制対策として、図-4とおり狭さく、ハンブ、シケイン、路側帯での対策と立体路面標示の導入可能性について検討を行った。

①狭さく…車道幅員がポールなどにより物理的に狭くされている部分

目的:
車両の通行部分の幅を物理的に狭くすることにより、運転者に対し減速を促すことを目的とした施設。



②ハンブ…車道路面に設置された盛り上げられた部分(凸部)

目的:
通過する車両を押し上げるため、運転者が事前にこれを視界の中で確認して走行速度を低減することを目的とした施設。



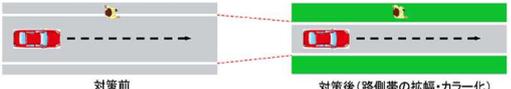
③シケイン…車道がジグザグまたは蛇行している部分

目的:
車両の通行部分の線形をジグザグにし、運転者に左右のハンドル操作を強いることにより、車両の走行速度を低減させることを目的とした施設。



路側帯…歩道が設置されていない道路で、白線で区切られた道路端の部分

目的:
歩行者の通行空間を明確化することによって、歩行者が安全に通行できる空間を確保。



※路側帯は、基本的に歩行者が通行するために設けられた場所であり自動車は通行できません。ただし、軽車両(自転車など)は通行することができます。

立体路面標示による対策…

目的: 立体に見える路面標示シートを設置し、ドライバーへの注意喚起を促すことで、速度抑制効果が期待される。

設置例



図-4 対策工イメージ図^{3) 4)}

表-2 対策工法の導入可能性について

対策工法	工作物による速度抑制対策			視覚効果による速度抑制対策	
	狭さく	ハンブ	シケイン	立体路面標示	路側帯
メリット	工作物による物理的な対策のため、効果が大きい。 局所的な対策が可能。			簡易に施工が可能。 局所的な対策が可能。	車道部と歩行者通行部の分離が明確となる。
デメリット	工作物による物理的な対策のため、車両の出入りが生じる場所には適用困難			工作物に比べて効果が小さい。	特になし
適用可能性	△ 工作物位置について住民と調整が必要。	× 人家が近接するため	△ 工作物位置について住民と調整が必要 煽魔堂町交差点であれば、適用可能	◎ 全線で適用可能	◎ 全線で適用可能
採用	○ 工作物は設置無し 視覚効果による狭さくを実施	×	○ 工作物は設置無し 視覚効果によるシケインを実施	○ 狭さく箇所等にて実施	○ 全線で実施

それぞれの対策工法についてメリット、デメリットを整理することにより、当該現場への適用可能性について整理した。

その結果、狭さく、シケイン、立体路面標示および路側帯については現場の特性に合わせ、組み合わせることで採用することとした。ハンブについては騒音が生じることから、不採用とした。

狭さく、シケインについては、当初、自動車の速度抑制効果を最大限に発揮するために、工作物（ポストコーン等）の設置を前提として検討していたが、地元、警察と協議した結果、民家の出入りに支障となることなど、工作物の設置は断念することとした。そのため、狭さくおよびシケインについては、外側線の絞りや立体路面標示シール等を組み合わせることにより、視覚的効果のある対策まで実施することとした。対策箇所については地元住民や警察との立会を重ね、特に危険であると認識している箇所や主要な交差点の手前において対策を実施することとした。

図-5に立体路面標示による狭さくと路側帯のカラー舗装の実施状況を示す。速度低減効果を発揮するため、立体路面標示シール（ソリッドシート縁石タイプ）を外側線内側に張り、ドライバーが視覚的に狭く感じるような効果を狙った。また路側帯にはグリーンと薄茶系のカラー舗装を実施し、車道と歩行空間を明確化した。



図-5 立体路面標示による狭さくと路側帯のカラー舗装

図-6にシケインのイメージと実施状況を示す。狭さく箇所を20～30m間隔で左右交互に凹みがくるよう計5か所設けることで車両走行時にスラロームの軌跡となるような構造とした。狭さく箇所は外側線を絞り、車道舗装部分

は石畳み模様の舗装することにより、周辺の景観に調和すると共に狭さを強調することとした。

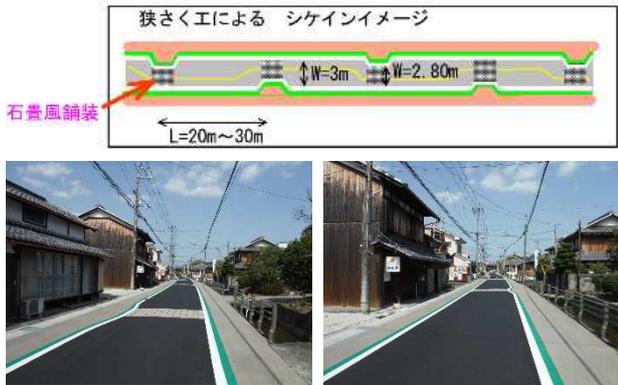


図-6 狭さによるシケインイメージと実施状況

3. 工事施工時における技術的課題と対応策

工事施工時における特性として当該箇所は住宅が張り付き、生活ゾーン内での工事であることから、住民、警察との密な関係を構築して実施することが重要だと考えた。事項に工事施工時の技術的課題と対応策を主に3点述べる。

(1) 施工時の通行規制（一方通行の一時解除）

現道の幅が狭く、工事中は通行止めによる交通規制を行う必要があった。しかし、通行止めを行った場合、沿道の居住者や店舗利用者、ごみ収集車の動線を遮断してしまうことが課題であった。

そこで、警察と協議し、工事の影響を最小限とするため、工事に限り、一方通行を一時的に解除し、沿道利用車両（居住者、店舗利用者、ごみ収集車等）に限り、双方向から侵入が可能にさせた。（図-7）これにより、特に大きなトラブルなく10か月間の工事を完了することができた。

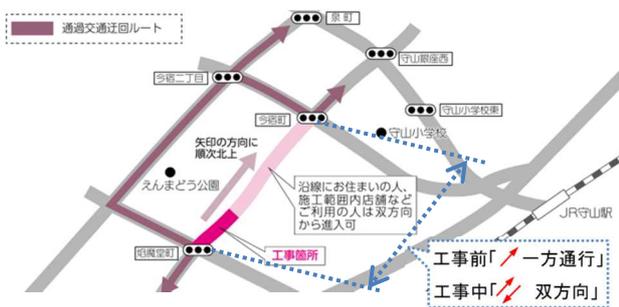


図-7 工事期間中の規制解除⁵⁾

(2) 住宅との擦り付け方法

工事施工延長は800mであり、隣接して家屋が約100軒存在する。中山道は古くからの街道であり、沿道にある建物の地盤の高さもそれぞれである。そのことから、表-3に

分類のとおり、擦り付け方法や排水対策について、1軒1軒家屋の特性を踏まえ設計、施工を行った。また掘削時に既設側溝の側壁を残して施工することにより、民地側が崩壊することを防止しながら施工を行うこととした。実施状況写真を図-8に示す。

表-3 民地との擦り付け方法

擦り付け方法	斜路タイプ	民地側をコンクリート(斜路)にて擦り付け	
	階段タイプ	民地側を階段状にて擦り付け	
民地側の排水対策	水抜きパイプ	民地側が低い場合水抜きパイプを設置	
	側溝設置	民地側が低い場合排水側溝を設置	



図-8 既存側溝の側壁を残しての施工状況

(3) 地元理解への工夫（週間工程表の配布）

工事中、地元住民にとって、工事の進捗に応じて、ゴミ

ステーション場所の位置変更や道路の通行方法の制限など頻繁に生活スタイルに変化が生じる。そこで、住民に対してきめ細やかに工事の状況を周知するため、週間工程表（図-9）の配布を行った。工事箇所、車両と歩行者の通行方法を毎週お知らせすることにより、スムーズな工事の進捗につながった。

工事に伴う迂回措置のお願いについて

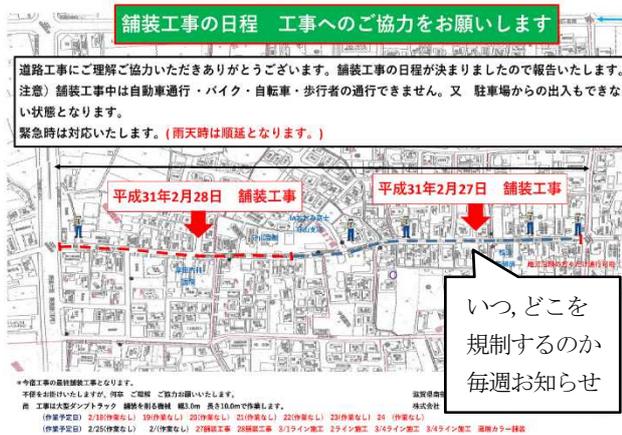


図-9 週間工程表

住民からの良かった意見として「工事前と比べて歩きやすくなった」「たまり空間の整備により地域の交流が増えた」、「中山道の持つ歴史的な景観と調和が図れており、満足」という点であり、これは道路整備による効果により歩行空間の確保、地域交流や景観調和等の「歩車共存道路の目的」が達成できたことを示している。

一方、車両の速度抑制対策については、「整備により車が走りやすくなり、依然としてスピードを出す車が多い」との意見があり、今後改善していくべき課題として挙げられる。改善の具体的な対策については物理的な構造物による歩車分離対策がより効果的ではあるが、当該区間は連続して家屋が連担しており、民地からの出入りの観点から、設置の可否については慎重に判断する必要があるため、今後地元住民のニーズも把握しながら検討していきたい。

また守山警察署とも連携し、スピード違反の取り締まりや一方通行規制の周知徹底などのドライバーへの注意喚起についても、実施に向けて協議を進めていきたい。

4. 考察

本事業の効果を確認するために、下記2点について事業効果の検証を行った。

- 定量的評価（工事前後の事故件数）警察聞き取り
- 定性的評価 地元自治会長への聞き取り

(1) 工事前後の事故件数

定量的な評価手法として、守山警察署協力のもと工事実施前後の事故発生件数について整理した。（表-4）

表-4 工事実施前後の事故件数（2019年10月時点）

	事故件数 (物損)	事故件数 (人身)
工事前の5年間	総数 26件	総数 6件
2014年～2018年 の平均値	平均 5.2件 ↓	平均 1.2件 ↓
工事後(2019年 10月まで)	4件	0件

物損事故、人身事故件数ともに工事前5年間の平均値より2019年10月時点では若干下回っており、特に人身事故が0という点を考慮すると、本事業が安全性向上に寄与したものと推察できる。

(2) 地元自治会長への聞き取り

工事完了後、歩行者の安全通行、車両の速度抑制、終日一方通行規制について良かった点と課題点を評価すべく、地元自治会長に聞き取り調査を実施した。その結果を表5に示す。

表-5 聞き取り結果（○よかった点、△課題点）

歩行者の安全通行	○工事前と比べて歩きやすくなった ○たまり空間の整備により地域の交流が増えた ○中山道の持つ歴史的な景観と調和が図れており、満足。 △電柱が近接している箇所では歩行空間の狭い場所がある
車両の速度抑制	○狭窄部やシケインについてはドライバーへの注意喚起に効果あり △整備により車が走りやすくなり、依然としてスピードを出す車が多い △スピード違反の取締を行うことでドライバーへのさらなる注意喚起を望む
終日一方通行規制	○対面通行がなくなるにより車道幅員を狭くすることができた点がよかった △バイクが逆走をするのをよく目にするため一方通行の対象車両の周知徹底が必要
事業実施について苦労した点	○地元も汗をかき、規制に対する同意の署名活動を行うことで、地域の想いを行政に届けられたことが事業成功の大きな要因であった ○工事中の通行止めに伴いゴミステーションの移設が必要となり、仮置き場の確保や住民理解に苦労した

5. おわりに

今回、守山市焔魔堂工区の整備が完了したことから、事業着手に至った経緯や計画時、工事施工時の課題や工夫点、今後の課題について論文にまとめた。

県内また国内には、旧街道における歩行者空間確保等

の課題を抱えた箇所も多数存在すると思われる。本論文がその一助となれば幸いである。

謝辞：これまで当該事業に関してご尽力・ご指導いただいた諸先輩方ならびに制約条件の多い中、無事故で工事を完了された工事受注者様、地元調整及び事業推進に尽力いただいた守山警察署、守山市、自治会長の皆様にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 道路構造令の解説と運用P76,P596
- 2) 道路構造令の解説と運用P76,P596
- 3) 道路交通研究部 道路交通安全研究室HPより（狭さく、ハンプ,シケイン,路側帯部分）
- 4) 積水樹脂カタログ（立体路面標示部分）
- 5) 広報もりやま(2018年4月15日号)より抜粋し一部加筆

無人航空機を用いた河川維持管理への 利活用について

畠山 則一¹・高田 貴子²

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 防災・技術課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

²近畿地方整備局 近畿技術事務所 防災・技術課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

新技術である近畿技術事務所保有の小型無人航空機（以下、「UAV」という。）の活用により、河川維持管理に必要となる河川巡視や定期点検等で効率的・効果的な情報（映像や画像）提供をするための活用方法、撮影方法等について現地実証調査をもとに検討を行った。

本検討では、現地実証調査により、河川堤防・護岸、自然河岸、中洲等をUAVにより撮影を行い、従来の河川巡視や定期点検の中で有効な情報（映像や画像）やその取得方法を検討したので、その内容を報告する。なお、本検討内容は、最終年度である令和2年度の検討内容も加えた上で、河川維持管理への利活用についての活用提案書（案）をとりまとめる予定である。

キーワード 河川維持管理, UAV, 利活用手法

1. はじめに

河川巡視は、通常、パトロール車や人により河川全体にわたる概括的な状況を点検し、河川維持管理を支援するデータベースシステム（RiMaD1S）に現場情報が蓄積・整理されている。また、河川点検は、個々の河川管理施設の治水上の機能について、異常や変化等を発見・観察・計測等を行うことが目的とされ、点検結果は、変状箇所ごと・施設ごとに機能低下の状態評価の基礎資料として利用されている。

本検討では、河川維持管理の中でUAVを活用していくにあたり、変状発見精度、作業性に着目して現地実証調査を実施し、活用の可能性を検証した。また、撮影方法については、UAVの活用を広く普及させるため、専門技術者による撮影手法ではなく、UAVの操縦経験が浅い技術者を対象とした。

2. 調査で使ったUAV機種

UAVは、従来の人による巡視・点検作業の効率化（労力軽減）を補助することが基本となる。

このため、近畿技術事務所が保有しているUAVの中から今回使用するUAV機種は、作業性の観点から、小型かつ軽量で容易に持ち運びができ、操縦も初心者向きで細かな飛行が可能な Phantom4-pro (図-1(a)参照)を基本とし、大型ではあるものの、画像の判読性能、飛行の安定性の観点から、防水機能（全天候型）、ズーム機能（望遠機能）を有している NEO (図-1(b)参照)についても検証を行った。

【(a) Phantom4-pro】



搭載カメラ
・有効画素数2000万
・焦点距離8.8mm
・重量 1390g

【(b) NEO(全天候型)】



搭載カメラ
・有効画素数2000万
・焦点距離4~14mm(光学ズーム)
・重量 10000g

図-1 現地実証調査で使ったUAV機種

3. UAVの撮影方法

河川巡視・点検を目的とした撮影方法は、1画郭に収まる範囲や作業労力を低減する観点、特別な操縦技術を求めないとの観点から、表-4に示す方法を推奨する。

(1) ホバリング撮影

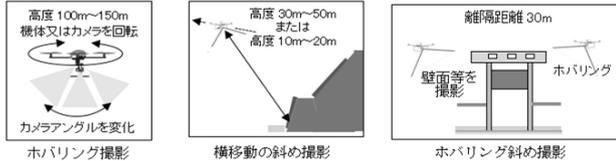
この撮影方法は、上空の定点（河道中央等）に止まって機体を回転させて撮影する方法である。この方法は、UAVに装備されている位置固定機能により容易に定点に止まることができる。

(2) 斜め撮影（垂直撮影）

この撮影方法は、UAVの基本的な飛行方法である。また、近年、市販されているUAVには予め決めたコースを自動飛行するシステムが装備されており、この自動飛行システムの利用により、容易に撮影が可能である。

表-4 UAVによる撮影方法（推奨例）

巡視・点検目的	確認事項	撮影方法	撮影高度
河川概要の把握	・河岸・河道の概要 ・砂洲・植生分布等 ・河川利用状況等	ホバリング撮影 (旋回斜め撮影)	100m ~ 150m
河岸、護岸・堤防の状況把握	河岸、工作物等の大きな異常(変状)	斜め撮影 (施設に沿った撮影) (河道に沿った撮影)	30m ~ 50m
工作物(水門等)の状況把握	工作物の大きな異常(変状)	ホバリング斜め撮影 (確認箇所を撮影)	30m (離隔距離)
工作物の詳細調査	工作物の細かな変状	斜め撮影 ホバリング撮影	10m ~ 20m (離隔距離)



注1) 撮影モードは、動画を推奨するが、1点に絞った撮影となる工作物等では、静止画での撮影を推奨する。
注2) 機種は軽量かつ細かな飛行が容易な「Phantom4-pro」を基本とするが、現場状況に応じて、ホバリング撮影では機体の安定性、ズーム機能がある NEO を活用する。

(3) 時系列変化の把握

河道や構造物の変状について、時系列的に分布や形状を把握するためには、複数枚の画像比較が容易な同一アングルでの撮影が望ましい。

特に、前進のみで範囲を往復して撮影する場合、往路と復路では画像の上下が反転するため、画像方向を統一するためには、図-2に示すとおり、往路で前進、復路で後退とすることが望ましい。

また、複数の画像を対比する場合、対比する画像に写真から判読できる同一の目標物が写っている必要があり、できれば2点以上あると画像を整合させることが容易となる。

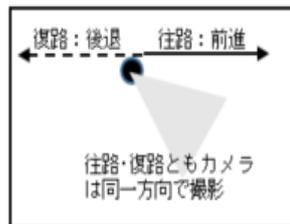


図-2 画像方向を統一する方法

4. 検証場所及び検証内容

現地実証調査は、木津川上流河川事務所管内のフィールドを使用して、河川の特徴、調査の必要性や安全性を考慮しながら、木津川(58.8k~62.2k)及び柘植川から8か所を選定し、主に表-1に示す内容を検証した。

表-1 検証項目と検証内容

項目	検証内容	使用機種	
		Phantom4	NEO
河道の状況	河岸地形、中洲、瀬・淵、滞筋等の地形	○	
河岸の状況	天然河岸における侵食、洗堀状況	○	○
河道閉塞・洗堀の状況	堰、橋梁周辺の堆砂・洗堀状況		○
砂洲の堆積状況	合流部や河岸の砂洲の状況、時系列変化	○	○
樹木群の生育状況	樹木繁茂状況	○	○
河川	堤防の状況	○	○
管理	水門等の状況	○	○
施設	護岸の状況	○	○
	根固め等の状況	○	○
河川工事	工事の進捗状況		○
遊水地、堤内地	遊水地、堤内地の利用状況		○

5. UAVによる検証結果

(1) 河道の状況

面的に河川の植生、河岸の傾斜、河道の滞筋、瀬・淵の分布状況が確認でき、対象とする区間の河道状況の概要が視覚的に把握することができる。(写真-1)

特に、人の立ち入りが困難な渓谷部では有効である。



写真-1 河道状況の確認

(2) 河岸の状況（掘込河道）

自然河岸の多くは、渓谷部や植生が繁茂する場所であり、人が容易に立ち入ることが困難な場所も存在する。河岸の斜め撮影画像では、河岸の連続的な確認が河道側から容易にでき、河岸状況を把握することができる。(写真-2)

特に、植生が繁茂して人の立ち入りが困難な河岸、渓谷部や河岸が直立する場所等では有効である。



写真-2 河岸状況の確認

(3) 河道閉塞・洗掘の状況

橋脚部や堰の斜め撮影画像では、これら構造物周辺の土砂の堆積・侵食区域が容易に確認でき、構造物周辺の陸上地形の分布を把握することができる。（写真-3）

特に、人の立ち入りが困難な中洲上に存在する橋脚部では有効である。



写真-3 河道閉塞・洗掘の確認

(4) 砂洲の堆積状況

合流部に形成されている砂洲の一部を撮影時期の異なる画像で比較すると、合流部の砂洲は、堆積・侵食区域が明瞭に確認でき、時系列での変化状況が把握できる。複数時期で同一範囲を撮影することで、砂洲の時系列変化を把握するうえで有効である。（写真-4）

ただし、砂洲の形状は、撮影時の水位によって異なるため、2時期の砂洲の標高差が小さい場合は、撮影時の水位を考慮したうえで形状変化を判断する必要がある。

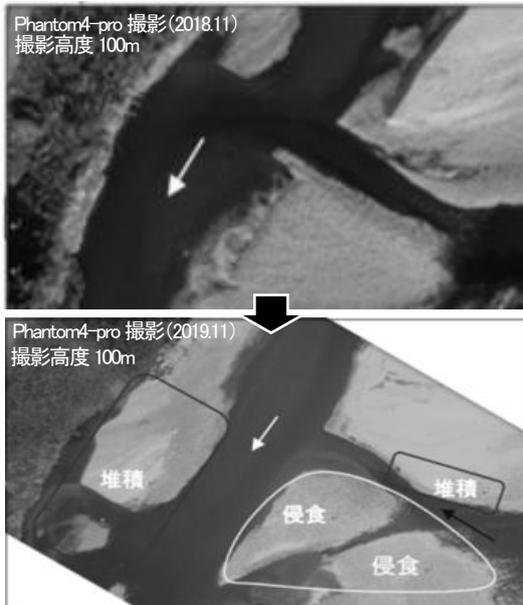


写真-4 砂洲の時系列変化の確認

(5) 樹木群の生育状況（繁茂状況）

樹木域の垂直撮影画像及び斜め撮影画像からは、樹木の繁茂範囲や概ねの繁茂密度が確認できる。定量的な繁茂範囲は把握することはできないが、周辺施設との対比による概ねの範囲を把握することは可能である。陸上からでは面的な樹林帯の広がりを確認することは困難であるが、河道内の樹林繁茂状況を面的に把握することができる。（写真-5）

特に、人が容易に立ち入ることができない中洲等の状況を把握する場合に有効である。



写真-5 樹木繁茂の状況確認

(6) 堤防の状況

斜め撮影画像では、堤防の損傷や堤防法面、天端面を画像により連続して確認することができ、法面の腹み出し、天端面の起伏（陥没等）の変状を確認することが可能で、画像をデータとして残すこともできる。（写真-6）

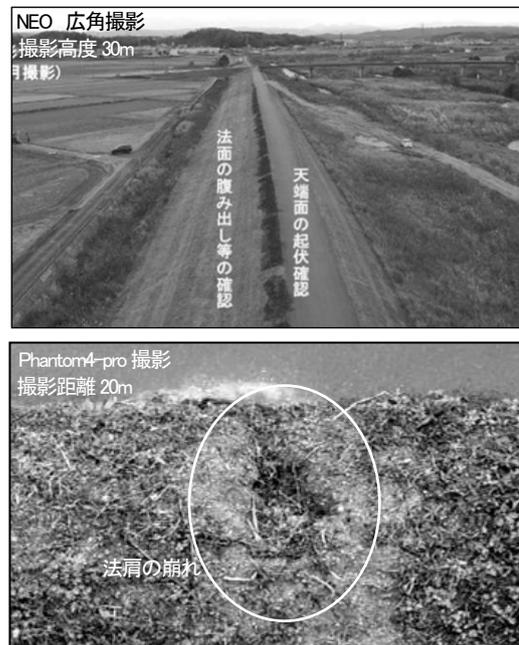


写真-6 堤防の状況確認

(7) 水門等の状況

水門の一部に接近した撮影画像では、取付部等の詳細を確認することが可能と思われる。現時点では、確認できる具体的損傷等を検証していないため、今後、検証していく必要があるが、UAVの活用は、陸上からは確認

しづらい壁面等の変状を確認することが可能と思われる。また、人が近寄り難い排出口の状況（侵食・堆積等）を面的に確認することができる。これらのことから、水門等の巡視・点検の効率化を図るうえで有効である。（写真-7）ただし、構造物に近接した飛行となるため、飛行にあたっては障害物回避システムの装備が望ましい。



写真-7 水門の状況確認

(8) 護岸の状況

a) コンクリート護岸

直立護岸の撮影画像では、損傷、植生の侵入を確認できた。コンクリート護岸において変状等を効率的に確認することができる。（写真-8(1)）

特に、河道側からの撮影が可能であるため、人が目視確認しづらい急勾配の法面、直立壁で有効である。

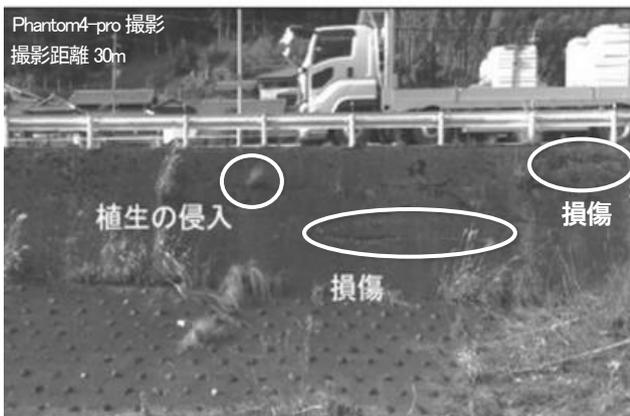


写真-8(1) コンクリート護岸の状況確認

b) ブロック護岸

撮影画像からは、目地の開き・破損、取付部法面の浸食を確認した。前面が水部となっている護岸では、陸上から容易に確認できないため、ブロック護岸においても変状等を効率的に確認することができる。（写真-8(2)）

特に、人が容易に目視確認できない水面付近の法面を確認するうえで有効である。

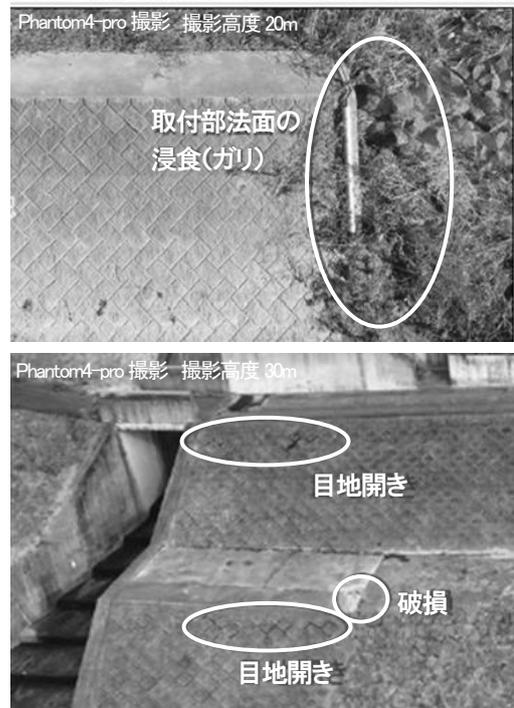


写真-8(2) ブロック護岸の状況確認

(9) 根固め等の状況

根固めブロック等は、水際に設置されており、陸上からの目視では設置状態の確認が難しいが、人が容易に目視確認できない水際のブロックを上空から撮影するため、ブロックの配列の乱れ、沈下の程度を確認するうえで有効である。（写真-9）



写真-9 根固めブロックの状況確認

(10) 河川工事（工事の進捗状況）

工事区域を撮影高度概ね100mから斜め撮影した画像からは、工事の施工区域全体が面的に確認でき、重機等が稼働している作業状況も把握できる。工事区域や作業状況を面的に把握することが容易に可能である。（写真-10）

特に、工事の進捗状況や作業状況を確認するうえで有効である。

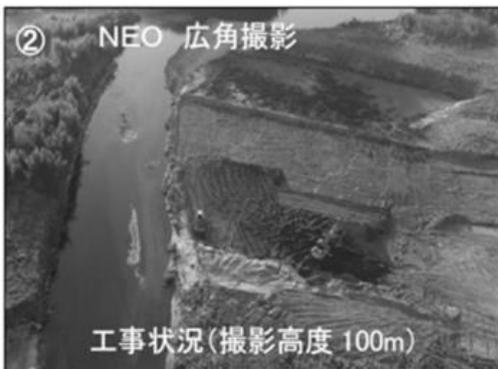
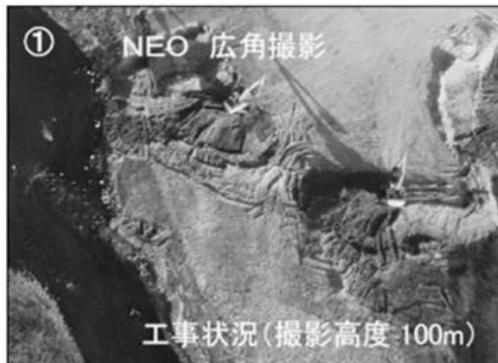


写真-10 工事作業状況の確認

(11) 遊水地、堤内地の状況

遊水地を撮影高度100mから広角撮影およびズーム撮影を行った撮影画像からは、遊水地の利用状況が面的に確認でき、不法構造物等の有無や、洪水の発生が予測され、越流堤からの河川水の流入が想定される場合には、遊水地内の人の利用等を迅速かつ効率的に把握することが可能である。（写真-11）

このように、遊水地や堤内地の状況を面的に把握することが容易に可能で、遊水地内の確認、堤内地の土地利用の確認を行ううえで有効である。

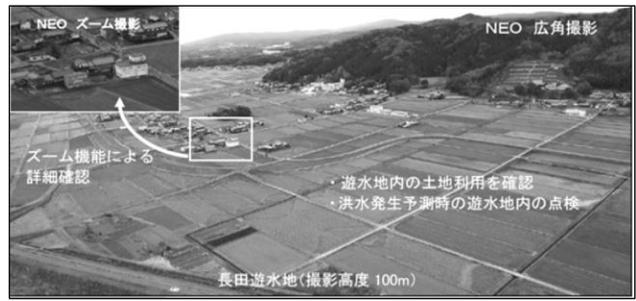


写真-11 遊水池の確認



写真-11 堤内地の確認

6. UAVの河川維持管理への適用性

UAVの現地実証調査により確認できた内容から、河川維持管理への適用の可能性を整理すると、表-2に示すとおりである。

UAVの撮影画像では、河川状況や工作物等の多くの変状項目の検出が可能であることが実証され、河川巡視への適用は可能であると考えられる。

ただし、撮影写真は歪等（特に斜め写真）の補正処理（標定等）を行っていないため、定期点検で行われている変状の計測については難しく、概ねの大きさが判明している周辺の地物等と比較した想定レベルとなる。

また、高さに関する変状（天端高、縦断形状等）を検出することはできない。

表-2 河川維持管理への適用性

項目	適用可能な内容（検証できた内容）
河道	河岸の傾斜、滞筋・瀬・洲・植生の分布
河岸	河岸斜面の崩壊・侵食、水際状況
河道閉塞・洗堀	橋脚、堰周辺の侵食・堆積区域 時系列の地形変化
砂洲の堆積・侵食	形成区域、形状の時系列変化 【条件】 ・時系列対比のための基準物標が必要 ・撮影時の河川水位が必要
樹木群の生育	相対的な繁茂範囲、密度、高さ 時系列変化（伐採直後の地形把握が有効）
堤防	法崩れ、ガリ等の変状 【条件】 ・位置特定のための物標が必要 ・細かな変状は高度な技能が必要
水門等	建屋の屋根、壁面等の概要、排出口付近の状況 【条件】 ・細かなひび割れ等は高度な技能が必要

護岸	ひび割れ(幅2cm以上)、損傷(幅4cm)、目地開き、植生の侵入、アモニウムの分布 【条件】 ・変状位置特定のための物標が必要 ・細かなひび割れ等は高度な技能が必要
根固め等	ブロックの崩壊、沈下
遊水地や堤内地の利用	遊水地、堤内地の土地利用 洪水前(越流前)の遊水地内の点検
河川工事	工事の面的な進捗状況 工事作業の状況

7. 河川維持管理におけるUAVの活用方法

UAVの活用は、管理区間すべてにわたると撮影労力(時間)が多くなること、車の侵入や人の立ち入りが容易な場所では、UAVの活用による効率化等への効果が小さいことから、河岸や低水護岸、直立護岸、中洲、山付けの溪谷等、人が立ち入っての目視観察が困難な場所での活用が有効である。

河川巡視では、UAVで撮影した画像から対象区間の河川概要や変状種別、変状位置を把握することが可能であり、従来の手法による河川巡視や巡視日誌の作成での活用が可能であることを確認した。

表-3 UAV画像を活用した巡視日誌例

撮影日 2020年1月17日 記入者 (名) 大塚 健司 撮影機 河川維持管理の状況 対象区 堤防のブロックの状況 距離 4.7 km 500 m 高さ 4.7 km 400 m 撮影の目的 堤防のブロックの崩壊・沈下を発見 出稼機の種類 機種名 撮影日時 記入者 写真(対応) 未達川 堤防なし 関係者・関係機関 関係者名 連絡先	
	写真

また、定期点検では、UAVの護岸・堤防点検での適用性を検討するため、近畿技術事務所に築造されている不具合堤防の点検をUAV(Phantom4-pro)により点検を試行した。(写真-12)

UAVによる点検を試行して発見した変状は、評価要領に示されている要監視段階の事例と対比すると、撮影高度30mの撮影で、事例に示されている異常・変状は検出可能であると推察される。このことから、従来の定期点検での活用が可能であることを確認した。特に、人が立ち入って詳細な観察、計測が必要な箇所の抽出段階(スクリーニング)での活用が有効である。

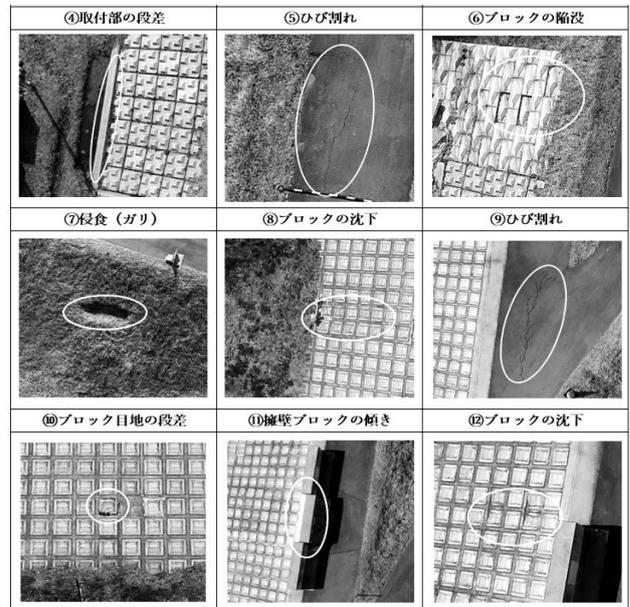
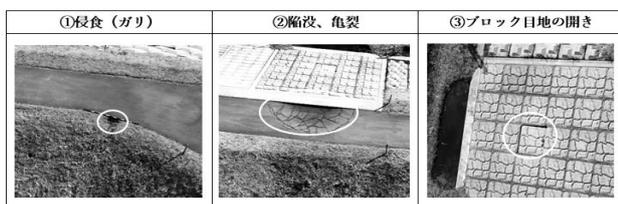


写真-12 模擬堤防で検出した変状

8. UAV有効活用に向けた今後の課題

(1) 活用提案書(案)の実務的な検証

河川・維持管理に係る活用方法は、2018年度、2019年度において試験フィールドでの撮影をもとに検討したが、最終年度である2020年度においては、日常の巡視・点検現場における実務的な活用検証を試行して実務利用からの課題や修正事項を検討し、より実務に有効な活用提案書(案)を作成していく必要がある。

(2) UAVを操縦できる技術者の育成

UAVを操縦できる技術者は限られており、被災状況調査や河川維持管理での利用を普及させるためには、まだまだ不足しているのが現状である。今後、講習会等多くの技術者を育成していくことが求められている。

(3) 河川維持管理DBシステム(RiMaDIS)との連携

河川巡視や点検では、現場にてタブレットを利用して写真撮影を行うとともに、必要事項を入力し、RiMaDISにオンラインで登録する手法でデータが蓄積・保存されている。

UAVを活用した場合、撮影した写真は、一旦、SDカード等に記録されるため、PC等を利用して編集した後に登録することとなる。RiMaDISと連携する編集作業を軽減するための手法も今後検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：近畿地方整備局平常時河川巡視要領，平成25年6月
- 2) 国土交通省河川局河川環境課：河川カルテ作成要領について，平成23年5月
- 3) 国土交通省河川砂防技術基準維持管理編，平成27年3月改定
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局：堤防及び護岸点検結果評価要領(案)，平成27年3月

長寿命の既設橋梁における床版コンクリートの 材料的評価について

浦西 勝博

近畿技術事務所（〒573-0166大阪府枚方市山田池北町11-1）

近畿技術事務所は、各事務所から依頼を受けて土木材料に関する調査・評価を行っていることもあって、長寿命の既設橋梁の床版取替を含む大規模修繕を機会に、撤去された旧床版に対して中性化深さ試験、含有塩化物イオン量試験、圧縮強度・静弾性係数試験、E PMA法によるコンクリート中の元素の面分析を行うこととした。

今回は、約90年前に施工された旧床版コンクリートを材料的側面から見た場合の性状およびその評価について報告をするものである。

キーワード 長寿命、既設橋梁、コンクリート構造物、材料的評価

1. 目的

一般国道2号淀川大橋は、昭和20年の大阪大空襲により米軍の攻撃を受け被災しましたが、その後同じ構造で復旧される等、歴史的な構造物であり、完成当初から昭和50年に至るまで阪神電鉄の路面電車が橋の中央を走行し、鉄道橋としての役割も果たしてきました。

また、近年の調査では、1日あたりの交通量が3万4千台にもおよび、道路橋として現在でもなお重要な構造物であることは言うまでもありません。

建設後約90年が経過した淀川大橋で、平成29年2月より床版を取り替える大規模な工事が実施されました。そこで、近畿技術事務所は、建設後90年経過したコンクリートの品質はどのようなものかを調べることを通して、近畿地方整備局管内の長寿命の既設橋梁について、材料的評価を行うものである。

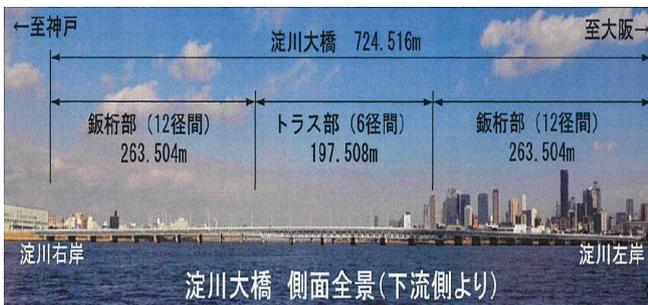


図-1.1 淀川大橋の全体

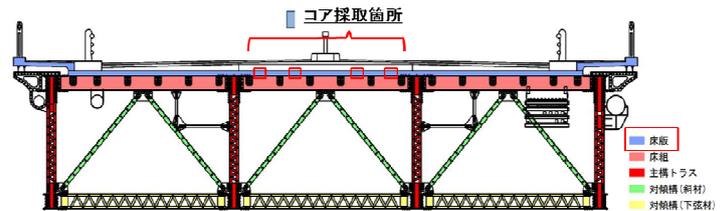


図-1.2 淀川大橋の横断面図

2. 試験概要

旧床版コンクリートの健全度を評価するため、旧床版から採取したコア試料を用いて、(1)～(4)の試験を実施した。

(1) 中性化深さ試験

中性化深さの測定はJ I S A 1 1 5 2「コンクリートの中性化深さの測定方法」により実施した。

コンクリートカッターを用いてコアを切断し、切断面にフェノールレイン溶液を噴霧した。中性化深さは、赤紫色に呈色した部分が安定した後（約10分程度）、ノギスを使用して表面から呈色した部分までの距離を10mm間隔で測定をした。（図-2.1参照）

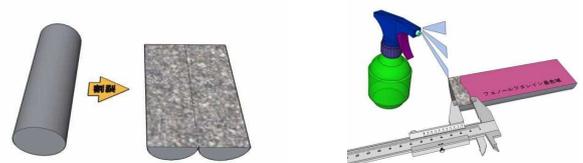


図-2.1 中性化試験

(2) 含有塩化物イオン量試験

コア試料を床版仮面から表-2.1に示す深度でスライスした。なお、全試料共通の深度75～85mmはコア試料高さの中間部に位置したため、コンクリートの内在塩分量を評価することを目的に設定した。加えて、深度35～45mm及び75～85mmはコア試料によっては、鉄筋近傍に位置したことから、塩分量が鉄筋の腐食発生限界値に到達しているかどうかを推定するため当該深度を設定した。

スライス片をジョークラッシャーで粗粉碎し、粉碎したものを105℃で乾燥後、ディスクミルで0.15mmふるい全通まで微粉碎した。

各深度において、JIS A 1154:2012「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠し、塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法により塩化物イオンの定量分析を行った。

また、コンクリートの単位容積質量は、2,300kg/m³を使用し、(式5.1)より単位容積あたりの塩化物イオン量に換算した。

$$c = c^- / 100 \times \rho$$

c : 単位容積あたりの塩化物イオン量 (kg/m³)
 c^- : 塩化物イオン濃度 (%)
 ρ : コンクリートの単位容積質量 (kg/m³)

(式5.1)

表-2.1 分析試料の深度一覧

径間No.	深度 (mm)		
	35～45	75～85	115～125
P2-P3	○	○	○
P6-P7		○	
P10-P11		○	
P13-P14		○	
P14-P15		○	
P16-P17		○	
P19-P20		○	
P23-P24		○	
P27-P28	○	○	○

(3) 圧縮強度・静弾性係数試験

圧縮強度・静弾性係数試験は、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮試験方法」およびJIS A 1149「コンクリートの静弾性試験方法」により実施した。

圧縮強度試験時、コア側面に貼り付けた2枚のひずみゲージ(検長60mm)により、縦ひずみの測定を行い、(式5.2)および(式5.3)で圧縮強度および静弾性係数を算出した。また、コア供試体の端面処理

は研磨処理とした。

$$f_c = P / A$$

f_c : 圧縮強度 (N/mm²)
 P : 最大荷重 (N)
 A : 断面積 (mm²)

(式5.2)

$$E_c = (S_1 - S_2) / (\epsilon_1 - \epsilon_2) \times 10^{-3}$$

(式5.3)

E_c : 静弾性係数 (KN/mm²)
 S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm²)
 S_2 : 縦ひずみ 50×10^{-6} のときの応力 (N/mm²)
 ϵ_1 : 応力 S_1 によって生じる縦ひずみ
 ϵ_2 : 50×10^{-6}

(4) EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析

コア試料全断面に対して、JSCE-G574-2013「EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法」により、C1(塩素)、C(炭素)、Ca(カルシウム)、及びSi(珪素)の4元素について、面分析を行う。なお、C1およびCは、それぞれ塩害および中性化の進行状況を、CaおよびSiはそれぞれセメントペーストおよび骨材の分布状況を確認するために選定した。

また、C1については、同基準の付属書3(参考)「EPMAによるコンクリートの濃度分布の作成方法」を参考に、塩化物イオンの濃度分布を作成する。

EPMA用試料の加工概要を図-2.2に示す。EPMA法は分析可能な試料の大きさが最大80mm×80mmであるため、1回でコアの高さの80mm分しか分析できない。そこで、同図に示すように、コアを幅80mm×高さ140mm程度の板状に加工し、それを更に上下に2分割し、コア1本当たり上下の2箇所で行い、上下2箇所の分析結果を合わせて床版全断面の面分析結果を得ることとした。

その後、試料サイズが縦80mm、横80mmとなるように切り出した試料を樹脂埋め込み後、研磨紙を用いて測定面の鏡面研磨を行った。最後にエタノールで超音波洗浄をした後、減圧乾燥により48時間以上乾燥させた試料を真空蒸着装置(日本電子(株)JEE-400)によって金蒸着を行い、EPMA測定用試料とした。

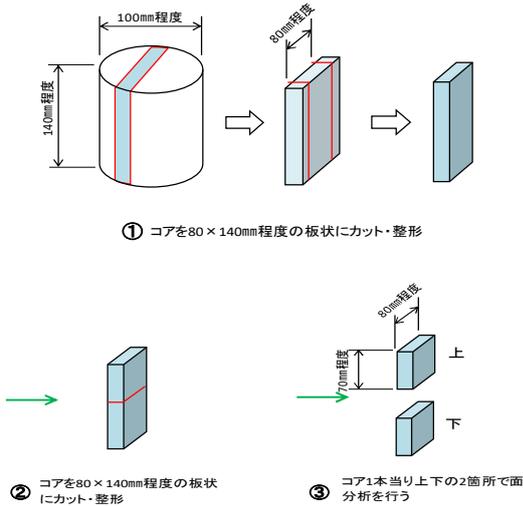
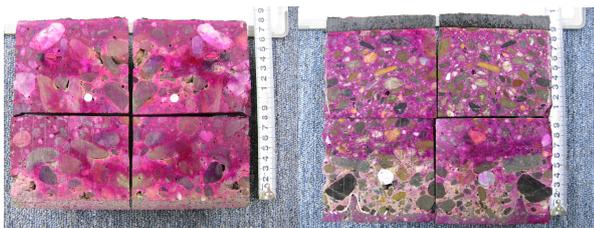


図-2.2

3. 試験結果

(1) 中性化深さ試験

中性化試験の実施状況写真は以下の写真-3.1～写真-3.5のとおりである。



中性化状況:P2-P3

中性化状況:P6-P7

写真-3.1



中性化状況:P14-P15

中性化状況:P16-P17

写真-3.2



中性化状況:P19-P20

中性化状況:P23-P24

写真-3.4

表-3.1 中性化深さ測定結果

径間No.	測定値 (mm)									平均 中性化 深さ (mm)	最大 中性化 深さ (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
P2-P3	28.0	22.0	22.0	28.0	27.0	25.0	20.0	22.0	17.0	23.4	28.0
P6-P7	60.0	57.0	57.0	55.0	55.0	57.0	65.0	65.0	62.0	59.2	65.0
P10-P11	32.0	30.0	30.0	32.0	30.0	25.0	23.0	27.0	21.0	27.8	32.0
P13-P14	55.5	50.0	49.0	54.5	55.0	53.0	53.0	51.0	54.0	52.8	55.5
P14-P15	77.0	78.0	77.0	78.5	75.0	76.0	79.0	77.0	80.0	77.5	80.0
P16-P17	32.0	35.0	40.0	38.0	35.0	30.0	27.0	30.0	40.0	34.1	40.0
P19-P20	15.0	15.0	14.0	13.0	18.0	20.0	21.0	15.0	15.0	16.2	21.0
P23-P24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P27-P28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

平均中性化深さはコア試料の採取箇所によって大きく異なり、全く中性化がみられないコアから 80 mm 近くまで中性化が進行しているコアまで様々であった（表-3.1）。これは、淀川大橋建設当初に打設された床版コンクリートの暴露環境が供用開始以降その位置によって異なった可能性が考えられる。また、後述するように圧縮強度及び静弾性係数の試験結果にも大きなばらつきが認められたことから、コア試料の採取箇所によってコンクリート品質が異なり、これが中性化の進行に影響を及ぼした可能性が考えられる。

(2) 含有塩化物イオン量試験

含有塩化物イオン量

表-3.2 含有塩化物イオン量試験結果

径間No.	塩化物イオン濃度Cl ⁻ (%)			塩化物イオン量Cl (kg/m ³)		
	35-45 mm	75-85 mm	115-125 mm	35-45 mm	75-85 mm	115-125 mm
P2-P3	0.025	0.018	0.015	0.58	0.41	0.35
P6-P7		0.015			0.35	
P10-P11		0.015			0.35	
P13-P14		0.011			0.25	
P14-P15		0.018			0.41	
P16-P17		0.011			0.25	
P19-P20		0.017			0.39	
P23-P24		0.011			0.25	
P27-P28	0.024	0.012	0.012	0.55	0.28	0.28

コンクリート中の塩化物イオン量について、配合設計における現在の基準 (0.30 kg/m³ 以下) に照らすと、コア試料の採取箇所や床版の高さ方向によって当該基準値を超えるものがやや多く認められた（表-3.2）。しかしながら、一般的な鉄筋の腐食発生限界値 (1.2 kg/m³) *に到達するものはなく、淀川大橋の旧床版コンクリートにおいて塩害による劣化は生じていないと考えられる。

※土木学会のコンクリート標準示方書〔維持管理編〕2018年制定版では「類似の構造物の点検結果がない場合には、設計や施工記録等の情報からセメントの種類および水セメント比を確認した上で、式により腐食発生限界塩化物イオン濃度を設定してよい」とされているが、淀川大橋の床版コンクリートは建設後約100年が経過しており配合条件が不明であるため、ここでは配合条件によらない2007年制定版の値を一般的な鉄筋の腐食発生限界値とした。

(3) 圧縮強度・静弾性係数試験

試験結果を表-3.3に、圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3.6に、応力-ひずみ曲線を図-3.7~図-3.9に示す。

なお、表-3.3には既往文献[1]に基づき、直径50mmコアの圧縮強度に補正係数1.12を乗じて直径100mmコアの圧縮強度を推定した値を参考値として表記している。

表-3.3 圧縮強度、静弾性係数試験結果

径間 No.	平均直径 (mm)	平均高さ (mm)	h/d	高さ補正	質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度参考値* (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
P2-P3	49.3	98.6	2.00	1.00	446	120.0	62.8	70.4	38.6
P6-P7	49.3	96.7	1.96	1.00	425	72.5	38.0	42.6	31.2
P10-P11	49.3	98.3	1.99	1.00	439	103.0	54.0	60.5	34.5
P13-P14	49.4	97.8	1.98	1.00	438	70.8	36.9	41.3	35.8
P14-P15	49.3	97.9	1.98	1.00	433	67.4	35.3	39.5	19.7
P16-P17	49.4	97.8	1.98	1.00	430	58.3	30.4	34.0	27.0
P19-P20	49.3	98.5	2.00	1.00	425	71.9	37.6	42.1	25.5
P23-P24	49.4	97.8	1.98	1.00	430	59.7	31.2	34.9	28.9
P27-P28	49.4	98.6	2.00	1.00	436	78.2	40.8	45.7	32.3

※直径50mmコアの圧縮強度に補正係数1.12を乗じて、直径100mmコアの圧縮強度を推定した値

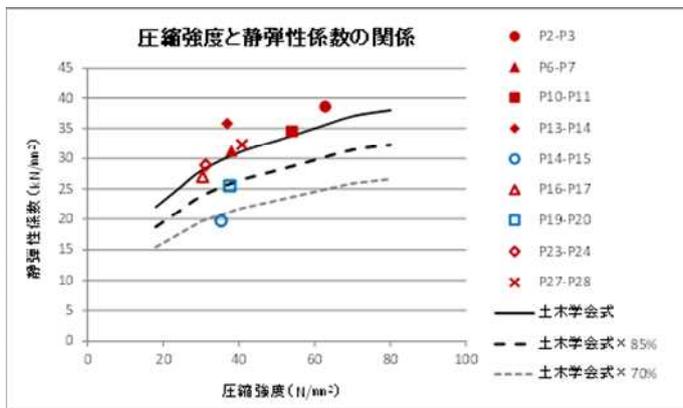


図-3.6 圧縮強度と静弾性の関係

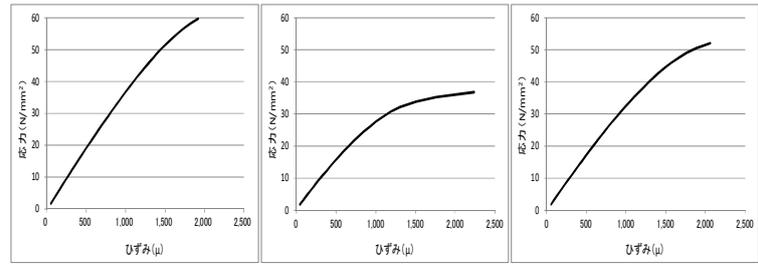


図-3.7 応力-ひずみ曲線
(左：P2-P3、中：P6-P7、右：P10-P11)

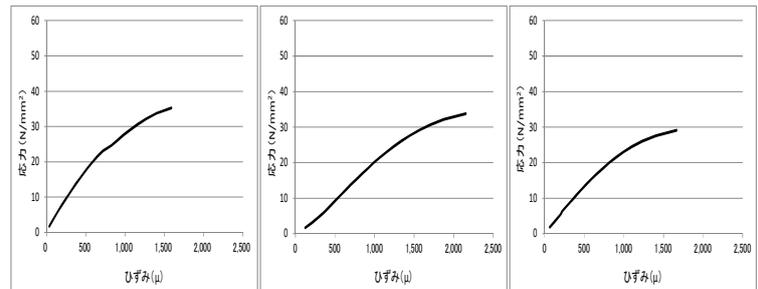


図-3.8 応力-ひずみ曲線
(左：P13-P14、中：P14-P15、右：P16-P17)

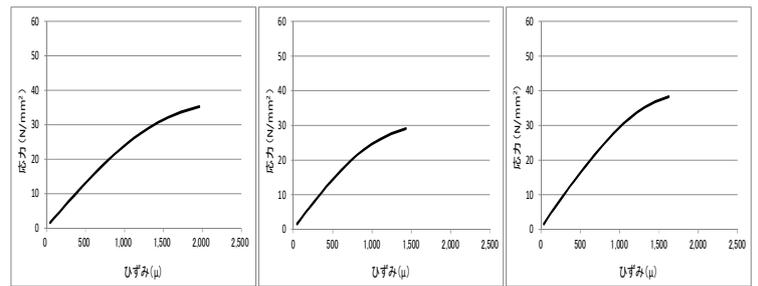


図-3.9 応力-ひずみ曲線
(左：P19-P20、中：P23-P24、右：P27-P28)

コアの圧縮強度及び静弾性係数は、淀川大橋における採取箇所によって大きく異なることが判明した。特に、圧縮強度については試験結果に大きなばらつきが認められたが、最低でも30N/mm²（参考値）の圧縮強度を有することが確認された。静弾性係数については一部を除きコンクリート標準示方書〔設計編〕記載の土木学会式に基づく算定値と概ね同じような傾向を示した。なお、P14-15とP19-P20が土木学会式の値を下回っている原因としては、骨材の品質の影響も考えられるが、他の径間で使用されている骨材と外観上大きな違いが認められないことから、恐らく長年の輪荷重の繰り返し作用の影響で内部に微細なひび割れが発生し、ひずみが大きくなった可能性の方が高いと考えられる。旧床版のコンクリート配合は不明だが、既往の調査資料[2]によると淀川大橋建設当時の床版の強度設計値は135kgf/cm²（13N/mm²）であり、全ての試料で当該強度を大きく上回っている。加えて、現在の配

合で想定される一般的な設計基準強度 $24\text{N}/\text{mm}^2$ をも満足している。これは、淀川大橋が建設当時においても重要構造物であるとの認識の下、より安全側に設計され慎重に施工されたものと考えられる。

(4) EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析

各元素のマッピング像を図-3.10 及び図-3.13～図-3.15 に示す。なお、各図中に示されたカラーバーは元素毎に濃度スケールを示したものであり、赤～橙で示される部分が高濃度、青～黒で示される部分が低濃度の領域を表している。

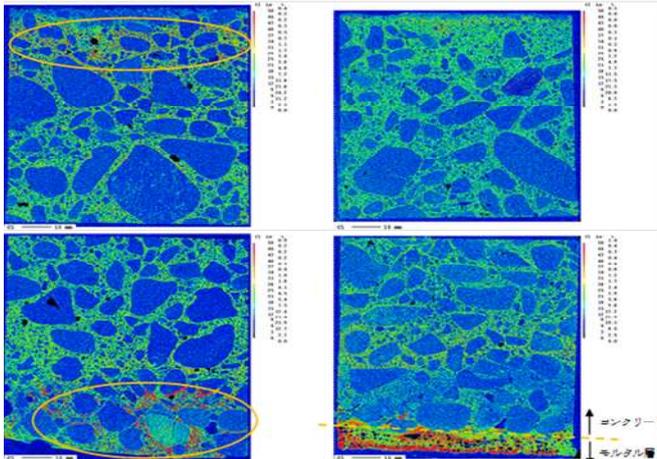


図-3.10 Cl (塩素) のマッピング像
(左 : P2-P3、右 : P27-P28)

図-3.10 は Cl (塩素) の濃度分布を表したものである。径間 P2-P3 の試料では旧床版コアの上面側及び下面側に Cl の高濃度領域 (図中丸印) が認められるものの、内在塩分量を表していると思われるコアの中間部は Cl が低濃度でほぼ一様に分布していることが分かる。一方、径間 P27-P28 の試料では旧床版コンクリートの下面に敷設されたモルタル層において Cl の高濃度領域 (図中破線下) が認められるものの、コンクリート中には高濃度領域がほとんど認められないことが分かる。これより、旧床版コンクリート中の塩化物イオン濃度は高さ方向によって異なり、凍結防止剤の散布や飛来塩分の影響等により旧床版の上下面では塩化物イオンが浸透し、比較的高濃度に分布するものと推察される。

図-3.11 は C (炭素) の濃度分布を表したものである。マッピング像の外周縁辺部に赤い高濃度領域が認められる領域は埋め込み樹脂部分に相当し、コンクリート組織内部に認められる赤い高濃度領域も同様にコンクリートの空隙に浸透した樹脂の組成を示しているとみられる。

径間 P2-P3 の試料では旧床版コアの上面側及び下面側に黄緑色で示される C の高濃度領域 (図中丸印) が

認められ、その部分で中性化が進行しているとみられる。一方、径間 P27-P28 の試料ではコンクリート下面のモルタル層において黄緑色で示される C の高濃度領域 (図中破線下) が顕著に現れているが、コンクリート下層部にも同様の高濃度領域が若干認められ、その部分で中性化が進行しているとみられる。

なお、(1) 中性化深さ試験で示した径間 P2-P3 及び P27-P28 の平均中性化深さはそれぞれ 23.4mm 及び 0.0mm であったが、用いた試料は同一径間で採取された別のコアであることに注意が必要である。

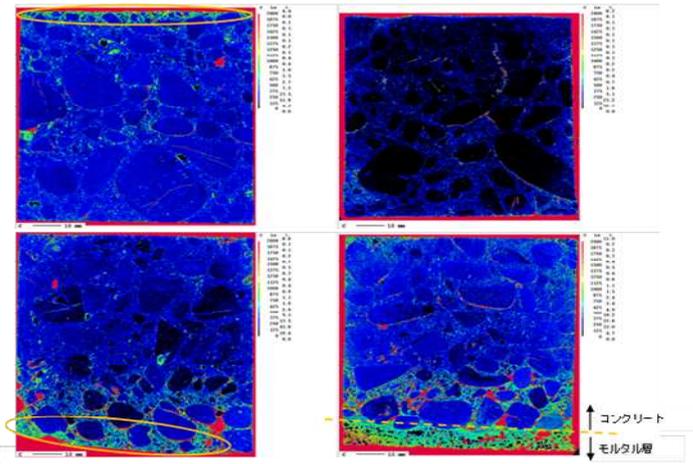


図-3.11 C (炭素) のマッピング像
(左 : P2-P3、右 : P27-P28)

図-3.12 は Ca (カルシウム) の濃度分布を表したものである。赤色～黄色で示される高濃度領域はセメントペーストの存在領域を示している。ここで P2-P3 と P27-P28 を比較すると、P2-P3 は P27-P28 に比べてカルシウム濃度が高いことが分かる。これは、実際に打設されたコンクリートの水セメント比が径間によって異なっていたことを表している可能性が考えられる。即ち、P2-P3 では圧縮強度が $62.8\text{N}/\text{mm}^2$ と最も大きいことから水セメント比が特に小さくカルシウム濃度が高いのに対し、P27-P28 では $40.8\text{N}/\text{mm}^2$ と十分な圧縮強度を有するものの水セメント比としては P2-P3 よりも大きくカルシウム濃度が比較的低く検出された可能性が考えられる。

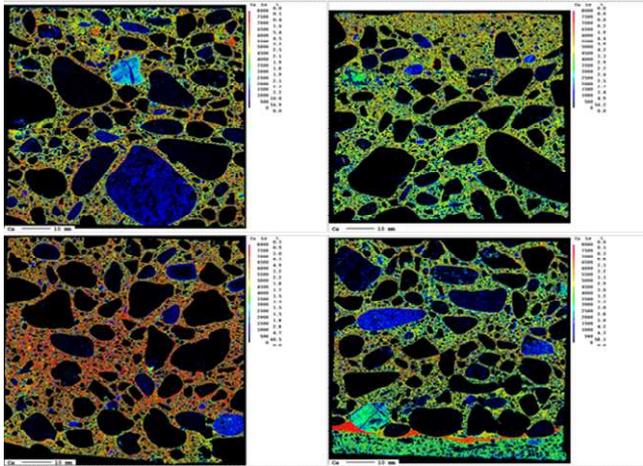


図-3.12 Ca (カルシウム) のマッピング像
(左 : P2-P3、右 : P27-P28)

図-3.13 は Si (珪素) の濃度分布を表したものである。橙色～黄緑色で示される高濃度領域は骨材の存在領域を示している。これより、珪素の濃度は骨材粒子毎に異なり粒子内部の分布状況も様々であることから、様々な岩種から構成される川砂利等が使用されたことを表していると言える。

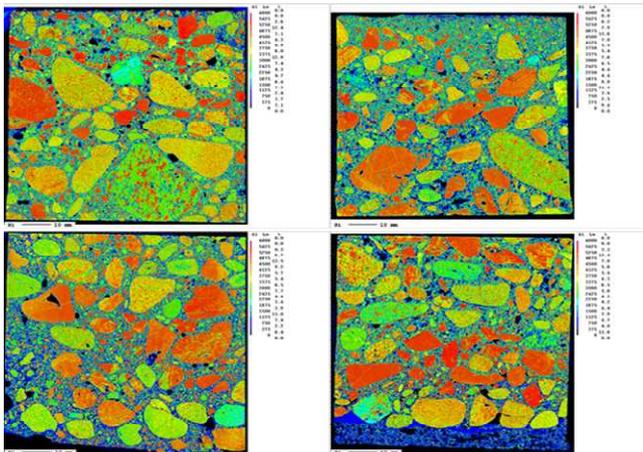


図-3.13 Si (珪素) のマッピング像
(左 : P2-P3、右 : P27-P28)

4. まとめ

大阪国道事務所所管の「国道 2 号淀川大橋床版取替他工事」の実施に伴い採取されたコア試料の一部を用いて室内試験を行った結果は以下のとおりである。

中性化深さはコア試料の採取箇所によって大きく異なり、全く中性化がみられないコアから 80 mm 近くまで中性化が進行しているコアまで様々であった。その理由として、後述する圧縮強度及び静弾性係数試験

においても大きなばらつきが認められたことから、コア試料の採取箇所によってコンクリート品質が異なり、これが中性化の進行に影響を及ぼした可能性が考えられる。

含有塩化物イオン量試験では、コア試料の採取箇所や床版の高さ方向によって配合設計における現在の基準 (0.30 kg/m³ 以下) をやや超えるもの (0.35～0.58kg/m³) が認められたものの、一般的な腐食発生限界値 (1.2kg/m³) に到達するものはなく塩害による劣化は生じていないものと考えられる。

圧縮強度・静弾性係数試験では、コア試料から鉄筋を取り除くため直径 50mm の円柱供試体に特殊整形を施した上で試験を行った。圧縮強度・静弾性係数は、同様にコア試料の採取箇所によって大きく異なり、大きなばらつき (30.4～62.8N/mm² 及び 19.7～38.6kN/mm²) が認められた。但し、圧縮強度は参考値であるが、最低でも 30N/mm² を有することが確認された。

E PMA法によるコンクリート中の元素の面分析結果からも、中性化、塩化物イオン濃度については、それぞれの試験結果とほぼ同様の結果が得られ、橋梁の区間によって水セメントが異なっていたり、骨材に川砂利等が使用されていたなど、建設当時の施工状況がうかがえる。

淀川大橋に係る平成 25 年度の定期点検結果によると「主桁、主構トラス、縦桁及び対傾構には腐食が生じ、床版には剥離・鉄筋露出が認められ、建設後約 90 年が経過した現状にあっては抜本的な大規模修繕が必要」と診断された。

従って、淀川大橋の構造物としての健全度は、腐食や剥離等による損傷が進行し、床版自体を更新する必要があると評価された次第だが、上記室内試験結果から旧床版コンクリートの品質に着目すると、建設後約 90 年が経過した割には塩害による劣化や中性化による劣化も少なく、コンクリート組成としては良好な状態であることが確認出来た。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート工学年次論文集、第22巻、第1号、PP427-432、2000年6月
- 2) 大正時代の鉄筋コンクリート床版がどうして長期使用に耐えられたのか！、日本橋梁建設協会技術委員会床版小委員会・保全委員会、平成28年度橋梁技術発表会

大阪港における港湾施設の老朽化対策工事 について

前田 大輔¹

¹近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 第二建設管理官室 (〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1-2-1) .

近年、供用中の港湾施設において、老朽化が進み施設機能の低下により、基幹物流を支える港湾機能低下が懸念されており、港湾施設の効率的かつ効果的な更新・改良が求められている。大阪港では、港湾施設の老朽化に対応するため、大正内港地区岸壁において、コンクリート断面の欠損や鉄筋腐食の補修を行うことで、港湾施設の延命化を行う老朽化対策事業を行っているところである。

本稿では、供用中の港湾施設という現場条件下での老朽化対策事例ならびに施工時の問題点とその対策について、報告するものである。

キーワード 施設の延命化、供用中の施設、品質管理、CIM

1. はじめに

近年、供用中の港湾施設において、老朽化が進み、我が国の基幹物流を支える港湾機能の低下が懸念されており、効率的かつ効果的な港湾施設の更新・改良が求められている。大阪港では、大正内港地区岸壁において、補修を行うことで、港湾施設を延命化する老朽化対策事業を行っているところである。(写真-1)

大正内港地区岸壁は、木杭基礎上に鉄筋コンクリート柱(脚柱部)と鉄筋コンクリート床版(上部工)で構成する形式の岸壁であり、建設より約50年経過しており、上部工(下面部)、脚柱部において塩害劣化により著しく部材

性能が低下している状況である。これは、上部工の打ち継ぎ部が干満帯の高さに位置しており、そこから多くの塩化物イオンが浸透したことが、原因と考えられる。

当該施設は、鋼材等の荷役を行っている供用中の港湾施設であり、施設利用度が高い状況であるため、供用中の施設を大規模な利用制限を行わず早急な施設の更新が必要である。(写真-2, 写真-3, 図-1)

本稿では、供用中の港湾施設という現場条件下での老朽化対策事例ならびにCIMモデル活用による施工管理、今後の維持管理の効率化、潮位影響下での品質管理について、報告するものである。

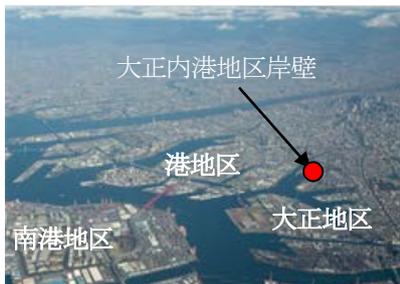


写真-1 位置図



写真-2 大阪港大正内港地区岸壁全景

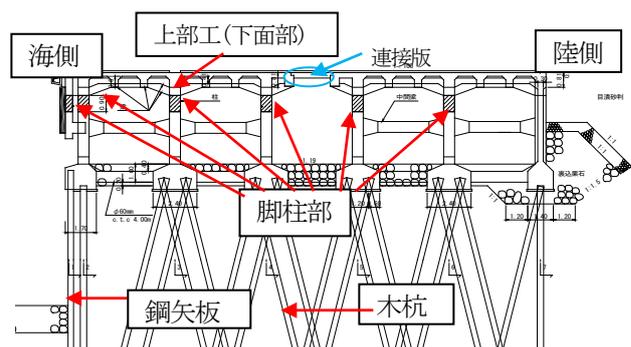


図-1 大阪港大正内港地区岸壁断面図



写真-3 大正内港地区岸壁下部写真(施工前)

2. 老朽化診断

2011年度に栈橋上部工劣化、損傷状況の目視点検・計測、コンクリートコア採取によるコンクリート塩化物含有測定等の現況調査を行ったところ、栈橋上部工(下面部)の半数以上、脚柱部の全般において、大きな剥離・剥落・鉄筋露出が認められた。

脚柱部については、全般において、規模の大きな剥離・剥落・鉄筋露出が認められた。評価の結果、「A:性能が著しく低下」という評価となった。(表-1)

脚柱部については、老朽化が著しく、上部工施工時の打ち継ぎ部が干満帯の高さに位置し、そこから多くの塩化物イオンが浸透したことが原因だと考えられる。老朽化診断の結果により、現状、施設要求性能を満たしておらず、早急な対策が必要であり、一部利用制限が必要な状況が判明した。(写真-4, 写真-5)



写真-4 脚柱部の老朽化状況



写真-5 上部工(下面部)の老朽化状況

3. 老朽化対策について

(1) 老朽化対策工法について

現況調査の結果、上部工(下面部)および脚柱部の部材性能が著しく低下しているが、施設の利用状況により、施設利用制限は、背後企業等の施設利用者に対する負担が大きく、継続して供用を図る必要があった。また、本施設は供用中であり、大規模、短期間施工による施工が難しい状況下である。(写真-6)

上記により、港湾管理者との協議の結果、岸壁利用制限を最小限度に押さえ、老朽化が進んでいる部位の断面修復を行うことにより、既設部材の耐用年数を延命することとした。工法については劣化面積の大小により、大断面修復(型枠工法)と小断面修復(左官工法)の2種類に分けて補修を行うこととした。

a)大断面修復(型枠工法)

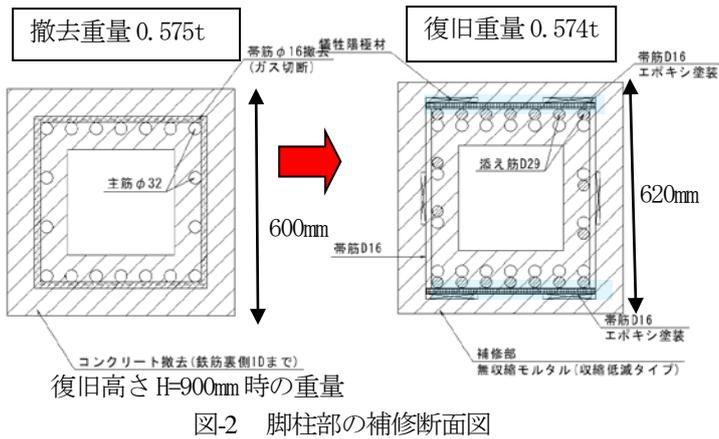
栈橋下部の脚柱部については、劣化範囲が多く、修復面積が大きい箇所であるため、無収縮モルタル打設による型枠工法を採用した。断面修復に当たり、下部工の既設木杭を存置するため、基礎杭の影響を考慮すると上部工の死荷重増加を避ける必要があった。そこで、使用するモルタルは単位体積重量が小さいものを使用した。帯筋の一部にエポキシ鉄筋を使用し、必要かぶり厚70mmを一部54mmに低減することとし、修復後の重量が修復前の重量を超えないようにした。(図-1, 図-2)



写真-6 供用中の大正内港地区岸壁

表-1 スパン毎の評価結果

点検項目	点検項目の分類	スパンNo.	スパン															総合評価	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
栈橋法線 凸凹、出入り	I類		d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
上部工 (上面部)	アスファルトの劣化、損傷	II類	c	c											c	c	c	d	c
	コンクリートの劣化、損傷	II類	c	c											c	c	b	d	c
上部工 (正産部)	コンクリートの劣化、損傷	II類	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	d	c
	コンクリートの劣化、損傷	II類	c	b	a	a	a	a	a	a	c	c	c	c	a	a	a	b	a
脚柱部	コンクリートの劣化、損傷	I類	b	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a		a
土留部	コンクリートの劣化、損傷	I類	d	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	d	d	d		b	



工法については、既設コンクリートを撤去後、帯筋を撤去し、主筋を露出させた後、腐食した主筋(残存した面積が90%を下回るもの)に、添え筋を溶接することにより、部材耐力を向上させることとした。既設コンクリート面にプライマー塗布、鉄筋に防錆材を塗布し、断面修復部と既設断面境界部におけるマクロセル腐食による鉄筋の再劣化を抑えるため、犠牲陽極を設置する。帯筋復旧後、ひび割れ低減材設置し無収縮モルタルを打設する。(写真-7)

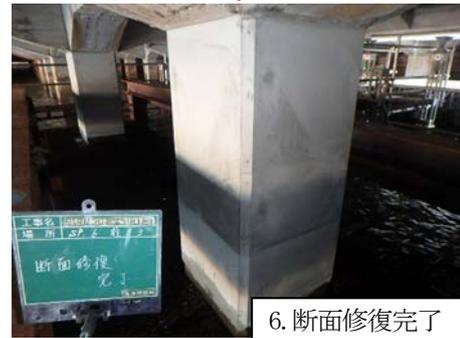
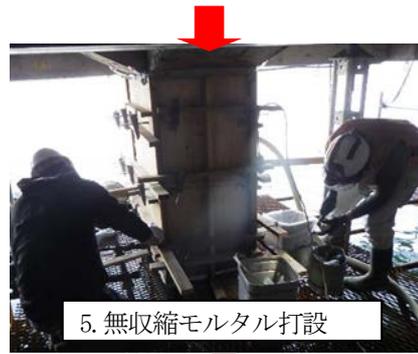
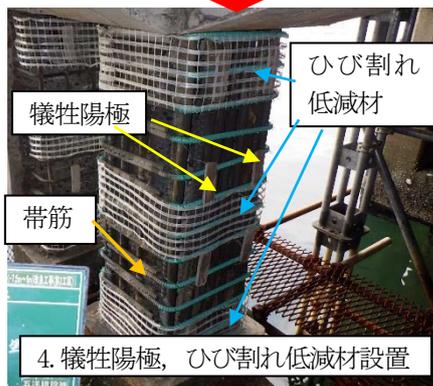
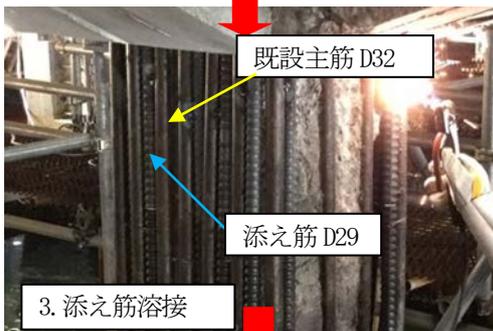
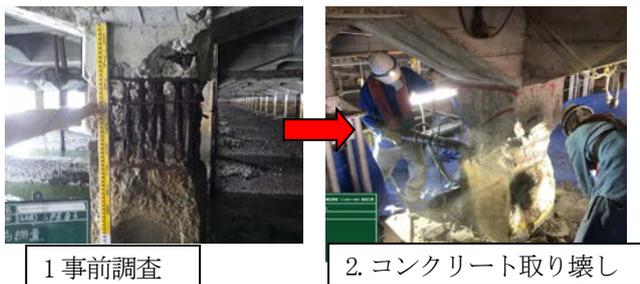


写真-7 脚柱部の断面修復施工状況



b)小断面修復(左官工法)

上部工(下面部)については、劣化範囲が小さいため、左官工法を採用することとした。コンクリートはつり後、無機系ポリマーセメントモルタルによる左官工により、補修を行った。(写真-8)





写真-8 上部工(下面部)の断面修復施工状況

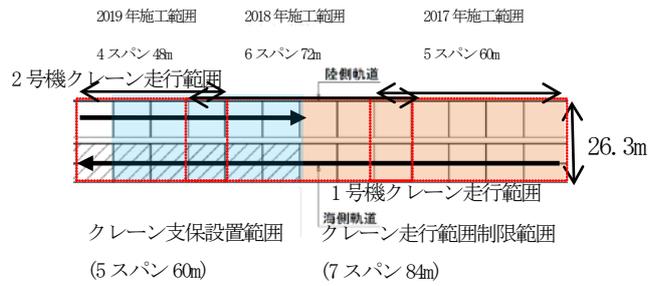


図-3 岸壁利用制限平面図

(2) 老朽化対策に伴う岸壁利用の調整

老朽化対策に伴い施設利用者と協議を行い、施工中の岸壁利用制限について調整を行った。代替施設の確保が困難な状況で、施工中、岸壁利用をすべて封鎖することが不可能であり、施設を供用しながらの施工が必要であった。また、岸壁下部という狭隘な箇所での施工であり、接続版を撤去した開口部より、資材を吊り卸し、支保工等を人力で設置するため、施工期間を要する状況である。(写真-9)

このため施工時には、施工範囲を最小限にするとともに、施設利用者と調整のうえ、施工期間中のクレーン走行範囲を制限することとした。

大正内港地区岸壁においては、2基のクレーンが稼働しており、施工箇所によって、片方のクレーンの走行範囲を制限することで、岸壁の供用を止めることなく、施工を行うようにした。また、施工箇所約半分の5スパンについては、片方のクレーンが故障しても、もう片方が施工範囲を通行して荷役が行えるように、支保工を設置することで、クレーン荷重にも耐えられるようにした。(図-3)

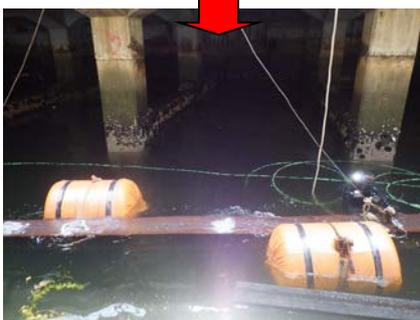
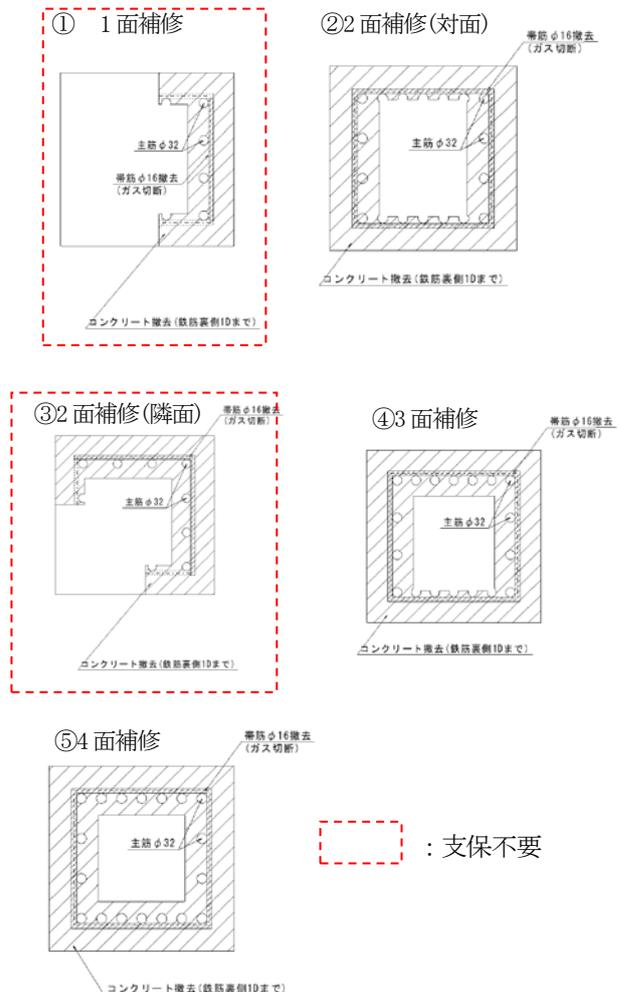


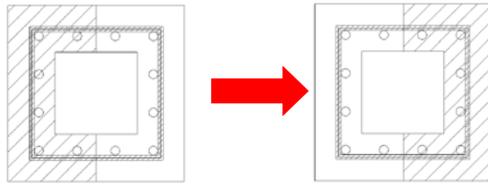
写真-9 開口部から作業状況

(3) 老朽化対策に伴う安全対策について

脚柱部の断面修復に伴い、既設コンクリートを撤去することにより、脚柱断面が減少するため、支保工を設置することで施工時の栈橋上部工の自重を支えることとした。

支保工設置にあたっては、クレーンが走行しない範囲については、断面はつりを要する範囲を勘案した試算による照査の結果、片面の断面が健全であれば、支保を省略することとし、施工効率化を図ることとした。また、計算結果より、接続版より陸側において、陸側の柱補修の内、2面補修(対面)・3面補修・4面補修については、もう片面も劣化していることを考え、柱の半断面ずつ補修を行うこととした。(図-1, 図-4, 図-5, 写真-10)





片面補修後にもう
片面を補修する。

図4 補修パターンによる支保工検討

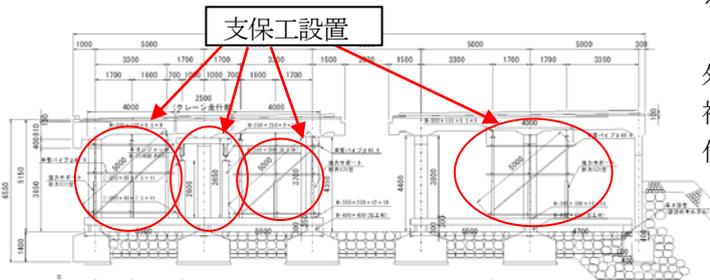


図5 断面修復時の支保工設置イメージ図

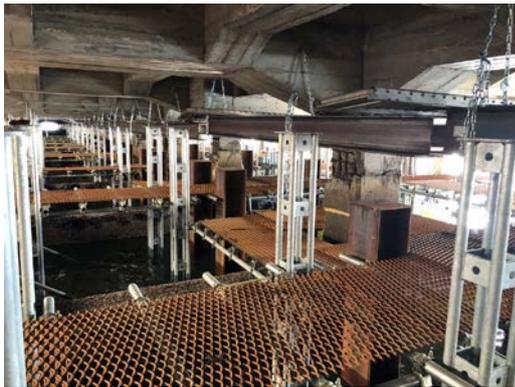


写真-10 支保工設置作業状況

工管理が求められた。

対策として、1/1,000スケールの模型を製作することにより、施設構造の把握を容易にするとともに、仮設工の施工手順周知、確認に広く利用することができた。

(写真-11, 写真-12)

また、CIMモデルを導入し、栈橋の3次元モデルを作成することにより、平面図や標準断面図からでは把握しにくい構造を可視化することで、構造を容易に認識できるとともに、データの共有による施工管理の効率化を図ることができた。

今回、補修内容等の「属性情報」を3次元モデルから外部参照(リンク)できるCIMモデルにしたことにより、補修履歴がデータ化され、今後の維持管理・補修の効率化も可能とした。(図-6)



写真-11支保工及び施設模型



写真-12 模型による施工手順周知状況

4. 老朽化対策による効果について

供用中の岸壁において、断面修復を行うことにより、大規模施工による広範囲の岸壁の利用制限を行うことなく、施工を行うことができた。本対策により耐用年数50年以上経過した施設において、設計上、約20年延命することができた。施設の崩壊を防ぐことができたとともに、老朽化による岸壁の利用制限を防ぐことができた。

5. 老朽化対策工事施工時の問題点と対策

(1) 模型製作, CIMデータの活用による施工管理の効率化

今回補修する栈橋構造は複雑で、各部位毎に補修範囲、補修パターンが異なることから、各条件に合わせた複雑な仮設工が必要であり、施工にあたっては、効率的な施

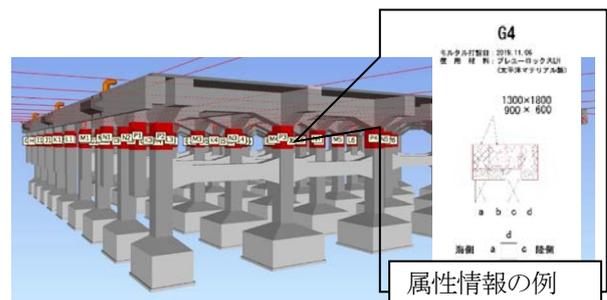


図-6 CIMモデル

(2) 脚柱部モルタル打設時の潮位影響に伴う品質管理

補修範囲下端について、満潮時に水没する箇所があり、打設時間を調整する必要があること、モルタル打設後、表面(型枠と接した面)の凝結が始まる前に海中に没することが強度発現の妨げとなること、および表面ペースト分の洗い出しによる品質低下の可能性があることが懸念

された。

対策として、潮位に応じて作業内容を変更し、打設時間を調整するとともに、実際の打設条件と同様の状態での試験施工を行うこととした。試験施工では、四角支柱の供試体を採取し、打設後1時間、2時間および3時間経過した後に海中へ水没させ、圧縮強度試験および表面の状態を確認することとした。(写真-13)

圧縮強度試験の結果、打設後1時間、2時間、3時間経過で水没させた供試体において、設計強度30N/mm²以上の強度が発現され、後に表面の緻密さにも問題が見受けられないことを確認した。

今回の試験施工により、今後のモルタル打設計画に活かせる知見を得ることができた。(表-2, 写真-14)

表-2 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果一覧表							
	1時間経過後水没	2時間経過後水没	3時間経過後水没	特記事項			
圧縮強度 (N/mm ²) (材齢4日)	①	40.0	①	36.7	①	37.4	設計基準強度 : 30N/mm ²
	②	36.9	②	37.5	②	37.9	
	③	36.8	③	37.7	③	38.4	
	④	37.5	④	40.2	④	36.7	
	⑤	38.8	⑤	37.6	⑤	40.9	
	⑥	41.1	⑥	37.7	⑥	37.3	
	平均	38.5	平均	37.9	平均	38.1	

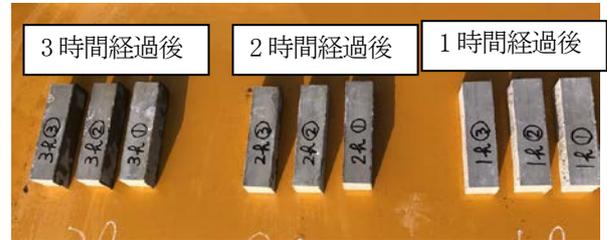


写真-14 脱型後の供試体

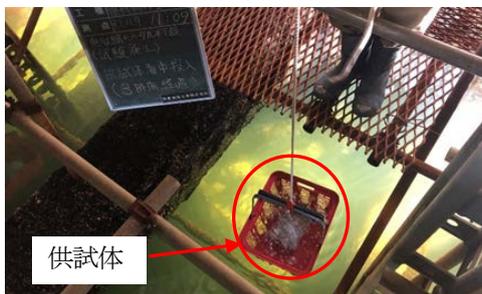


写真-13 試験施工状況

6. まとめ

本稿では、供用中の港湾施設の老朽化対策事例および施工時の問題点とその対応策について報告した。

型枠工法ならびに左官工法を採用することにより、供用中の施設において、大規模な利用制限をかけることなく、補修することができた。

また、工事施工時に模型およびCIMデータを活用したことにより、複雑な構造における施工管理の効率化や補修履歴データの共有を行うことができた。今後の施設維持管理において、CIMデータの属性情報を利用することで、維持管理の効率化を図れるものと考えられる。

試験施工により、潮位影響を受けるモルタル打設時において、強度・品質に問題がないことが確認できた。これにより今後の打設計画に大いに参考となる知見を得ることができた。

今後、老朽化が懸念される港湾構造物が増加することが予想されることから、施設供用をなるべく制限しないように効率的かつ効果的な老朽化対策が必要となる。今回の事例は、他港の供用中の港湾構造物の老朽化対策の参考になると考えられる。

高架橋を供用させたままでの下部工撤去・再構築手法の検討

木村 颯希¹・小林 征治²

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191 大阪府枚方市新町2-2-10)

²近畿地方整備局 道路部 道路工事課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

京奈和自動車道大和北道路の岩井川橋梁は、奈良県奈良市八条地先において八条高架橋をアンダーパスする計画である。この際、八条高架橋の既設橋脚が大和北道路専用部と干渉するため、専用部をまたぐ門型橋脚に改築する必要がある。国道24号は45,000台/日の交通量を支える重交通路線のため通行止めは困難であり、現道交通を確保したまま既設上部工の仮受・既設橋脚撤去・新設門型橋脚構築を行わなければならない。このような厳しい条件下における橋脚の仮受・改築計画の検討を行った。本稿では構造的な制約条件の整理を行うとともに、各種構造案の検討を行った結果を報告するものである。

キーワード 供用中橋梁の改築, 仮受構造, 維持管理性, 仮受期間の短縮

1. 大和北道路 八条高架橋交差部の概要

大和北道路は京奈和自動車道のうち未開通の奈良北IC（仮称）～郡山下ツ道 JCT までの延長約 12.4 km の道路であり、平成 21 年 3 月に奈良 IC（仮称）以南、平成 30 年 4 月に全線が事業化されている。また、全線事



図-1 大和北道路の概要

業化に合わせて全区間に有料道路事業との合併施工が導入されている。(図-1)

大和北道路は奈良県奈良市八条地先の岩井川渡河部において、国道 24 号八条高架橋をアンダーパスする計画である。(図-2) この際、既設の P7 橋脚が大和北道路専用部（以下「専用部」という）として新設する橋梁と直接干渉するため、既設 RC 張出式橋脚を鋼製門型橋脚に改築した上で専用部下り線を通す計画である。国道 24 号は 45,000 台/日を支える重交通路線であることから通行止めを行うことは困難であり、現道交通を確保したままでの橋脚の改築を行う必要があるが、このような事例はほとんど見受けられない。

また、専用部の建築限界を確保すると同時に、岩井川からの余裕高も確保する必要があり、鉛直方向の制約が厳しい箇所である。

周辺環境としては、JR 関西本線及び岩井川に近接しているほか、八条地区の民家が立ち並んでおり、施工ヤードの確保が難しい箇所である。

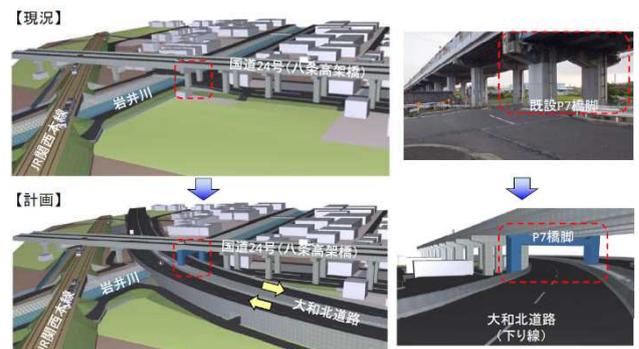


図-2 八条高架橋交差部 概略図

2. 計画条件

(1) 既設八条高架橋 構造諸元

既設橋脚の構造諸元は表-1の通りである。

今回撤去再構築の対象となっている P7 橋脚は、図-3に示すように P6 側が鋼桁、P8 側が PC 桁の掛け違い橋脚である。そのため、梁高が両側で異なるほか、鋼桁・PC 桁の異なる特性を踏まえた設計を行う必要がある。

(2) 新設P7橋脚設計の制約条件の整理

a) 上下線の間柱を設置することが必要

門型橋脚を設置するにあたり、専用部上下線を連続して跨ぐことは、梁が長スパンとなるため、後述の梁高制約条件下では構造が成立しない。よって門型橋脚の柱を上下線の間柱に設置する必要があることから、柱の幅が制限される。そのため、柱幅は2.3mに制限されている。

b) 仮受時における支点位置の変化への対応

既設橋脚を撤去し新設橋脚を設置するまでの間、上部工の支点位置が少なくとも一時的に、あるいは場合によっては恒久的に変化するため、既設の上部工に対しても支点位置変化に伴う補強等を施すことが必要になる。

c) 仮受構台の耐震性確保が必要

重交通路線である国道 24 号を供用しながら改築する必要があるため、下部工撤去に際して上部工を仮設構台に受け替える必要がある。仮受期間は長期間に亘るため、仮設構台にもレベル 2 地震動に対応できる耐震性能をもたせる必要があり、大掛かりな仮設構造物を構築する必要がある。

表-1 八条高架橋 構造諸元

		下り線	上り線
幅員		総幅員 W=9.0 m (車道部 7.0 m)	総幅員 W=9.0 m (車道部 7.0 m)
橋長	起点側	53.0 m	44.0 m
	終点側	19.6 m	117.6 m (6@19.6 m)
上部工	起点側	鋼単純合成箱桁橋	鋼単純合成箱桁橋
	終点側	PC 単純 プレテン T 桁橋	PC 6 径間連結 プレテン T 桁橋
下部工	橋脚形式	RC 張出式橋脚 (単柱式)	RC 張出式橋脚 (単柱式)
	基礎構造	場所打杭 (φ=1.0m, L=16.0m) 14 本	場所打杭 (φ=1.0m, L=16.0m) 12 本
	橋脚高	起点側: 12.7 m 終点側: 14.356 m	起点側: 12.5 m 終点側: 14.156 m
	フーチング 床付高	▽ 51.590	▽ 51.790

3. P7橋脚改築における課題の抽出

供用中である P7 橋脚の撤去再構築にあたり、新設橋脚は既設 P7 橋脚との干渉を極力回避し、道路中心に対して対称に配置し、フーチング床付高を既設橋脚と揃えるのが標準的な構造となる。(図-4)

一般的な施工手順としては①仮受構台設置②既設橋脚撤去③新設橋脚構築④仮受構台撤去の順となる。今回の計画でこのような標準的な改築構造とした場合、以下の点が課題として抽出される。

(1) 梁高が限られており構造的に厳しくなる

専用部が門型橋脚の梁下を通過するため、その建築限界を考慮すると梁高が最大 1.1 m に制限される。梁支間を 17.3 m とすることで構造を成立させることが可能であるが、その際には板厚が 93 mm と上限値に近いものを使用する必要がある。この場合施工において現場溶接が必須となるほか、鋼重が増大し大規模な重機を用いる必要が生じる。

(2) 既設橋脚と新設橋脚が干渉する

新設橋脚にはアンカーフレームを設置することが必要となるため、標準的な配置では既設橋脚と新設橋脚のフーチングが干渉することになり、新設橋脚を構築する前に既設橋脚をすべて撤去する必要が発生する。

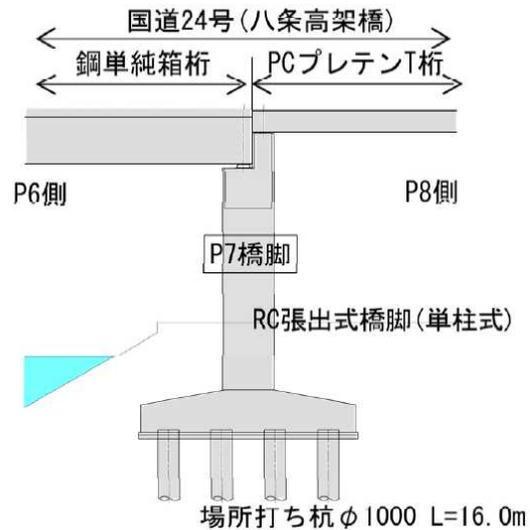


図-3 P7 橋脚概略図

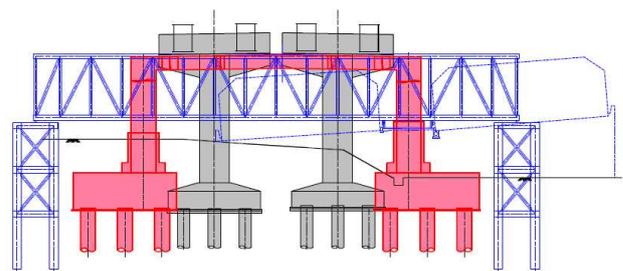


図-4 標準的な構造図

(3) 受け替え期間が長期に亘る

仮受構台を用いる期間が 22 ヶ月程度と長くなるため、上部工の応力変化の影響を考慮するとこれを短縮することが肝要である。

(4) 仮受構台の耐震性を確保する必要がある

仮受構台による受け替え期間が長期間に亘ることから、仮設構造物に本設構造物並みの性能をもたせることが必要となる。

(5) 上部工に作用する応力が変化する

仮受を行うに際して、一時的もしくは恒久的に現在の支点とは異なる位置で上部工を支える必要が生じるため、上部工に作用する応力が図-5の通り変化する。このため上部工に対して補強を行う必要があるが、既設鋼桁に対する補強の事例は多く存在するものの今回の終点側桁のように既設 PC 桁に対する支点位置変更に伴う補強を行った事例は少ない。

4. 構造的な課題に対する対応策の検討

(1) 改善案を検討する上での着眼点

今回の検討では、標準案に対して発生する前述の課題を解消するための対応策の検討を行った。その際の着眼

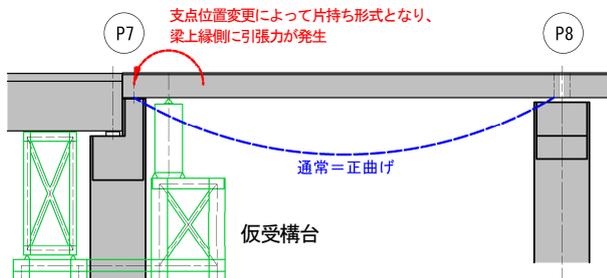


図-5 仮受時における作用応力変化の概念図

点は以下の項目である。

a) 新設門型橋脚の梁構造の応力抑制

梁高を低く抑えるため鋼材厚が厚くなることを回避するため、梁支間を短縮することにより梁にかかる応力の抑制が可能であるかの検討を行った。

b) 既設橋脚と新設橋脚の干渉回避

標準的な案では干渉を回避できないが、橋脚を斜めにしたり途中で曲げたりすること、あるいは橋脚フーチング床付位置を変更することによって既設橋脚との干渉が回避できないか検討を行った。干渉の度合いが小さくなることによって、既設橋脚を使用しながら構築できる範囲が大きくなり仮受が必要な工程が少なくなるので、仮受期間を短縮することにつながる。

c) 仮受構台のコスト縮減

本設計では仮設構造物が大規模となるため、このコスト縮減が重要となる。コストが縮減できる構造の検討を行い、新設構造物との併用も合わせて検討した。また、仮受構台を省略できないかの検討を行った。

d) 既設上部工に作用する応力変化の低減

既設上部工への負担を小さくするためには、応力変化する期間を短くすることが必要となるので、その削減手法の検討を行った。なお、この場合門型橋脚の梁が既設梁の回避のために特殊な形状となったり、施工段階に応じ梁形状を変化させたりと形状が複雑化することが懸念され、これは維持管理の観点からは好ましくない。

(2) P7橋脚改築工法の検討

以上の課題を踏まえ、それぞれの着眼点に則り、各構造について検討を行った。今回検討した案は表-2の通りである。第1案から第4案までが仮設構造物で仮受けをすることを前提として新設 P7 橋脚の構造検討を行ったものである。第5案から第8案までは、仮設構造物を省略し、永久構造物に直接受け替えることを検討したものである。まず次節において第1案から第4案の新設 P7

表-2 検討案の比較表

		評価	梁部材厚	干渉	仮受期間	仮受梁形式・支間長	
橋脚構造 に着眼	第1案 標準構造	○	93 mm	フーチング・梁	22 か月	トラス/箱	40 m
	第2案 梁支間短縮	○	54 mm	フーチング・梁・杭	22 か月	箱	30 m
	第3案 傾斜橋脚	△	93 mm	梁のみ	17 か月	トラス/箱	50 m
	第4案 フーチング位置変更	△	93 mm	梁のみ	17 か月	トラス/箱	50 m
仮受構造 に着眼	第5案 新設フーチング活用	○*	93 mm	なし	17 か月	箱	30 m
	第6案 口の字梁恒久	△*	93 mm	なし	2 か月	-	-
	第7案 既設梁の活用	△*	93 mm	なし	2 か月	-	-
	第8案 梁形状変更	○*	93 mm	なし	5 か月	-	-

*第5案～第8案の評価は、第4案の構造が採用可能であることを前提としている

橋脚の検討の流れを概観する。続いて再構築が前提となっている仮受構台の構造の検討を行う。最後に第5案以降の仮設構造物の省略可能性について論じる。

(3) P7橋脚構造の検討

まずは P7 橋脚の構造に着目して検討を行う。検討を行ったのは図-6に示す4案である。

a) 第1案：標準案

第1案が標準的な構造となり、前節までに論じた課題が存在している。第2案以降で、これらの課題への解決・緩和を試みた。

b) 第2案：梁支間短縮案

第2案は、標準案の課題である梁支間を短縮することにより梁の部材厚を小さくすることを検討したものであり、専用部下り線を跨ぐという条件のもとで極力構造規模を小さくしたものとイえる。梁スパンを短くすることにより梁に用いる鋼材厚を薄くすることができ、施工性が向上する。仮受構造物についても短支間となるため、仮設梁をトラスから箱梁にすることも可能となり、経済性に優れる。一定程度ヤードを確保することが可能となっているという点でも他案と比べ有利である。

一方で、フーチングを一体化しているなど既設構造物との干渉が大きく、既設杭とも干渉することから既設橋脚の撤去から新設橋脚の再構築完了までの長期間にわたり仮受けすることが必要となり、その期間は22ヶ月と想定されている。

c) 第3案・第4案：既設構造物との干渉の回避

第2案では新設構造物の構造を最適化することを重視

していたために干渉の度合いが大きくなり、仮受期間が長くなるという課題が発生していた。第3案および第4案では、干渉を極力避ける構造の検討を行った。基礎の干渉を避けることによって基礎の撤去時に仮受する必要がなくなる（あるいは撤去せず存置が可能となる）ため、その分だけ仮受期間を短縮することができる。具体的には、第1案・第2案の22ヶ月程度に対し、これらの案では17ヶ月程度と想定されている。

第3案では傾斜橋脚を用いて外側に新設橋脚の基礎を設置することで、既設基礎との干渉が回避可能となる一方、柱を傾斜させる必要があり構造自体が複雑になってしまう。

第4案では、フーチング位置を既設基礎よりも上に上げることによって干渉を回避している。第3案と比べ構造が複雑ではなく経済性は有利であると考えられるが、フーチング下に既設構造物が存置されることによる影響を考慮する必要がある。

いずれの案も、新設基礎位置が標準案よりも外側に設置されることになるため、仮設構造物の支間が最も長くなることも課題として挙げられる。

(4) 仮受構台の検討

前節において検討した案は、すべて仮受構台の構築による受け替えを前提としているため、これについて検討を行う必要がある。ここでは、梁と柱の2部材に分けて検討を行った。

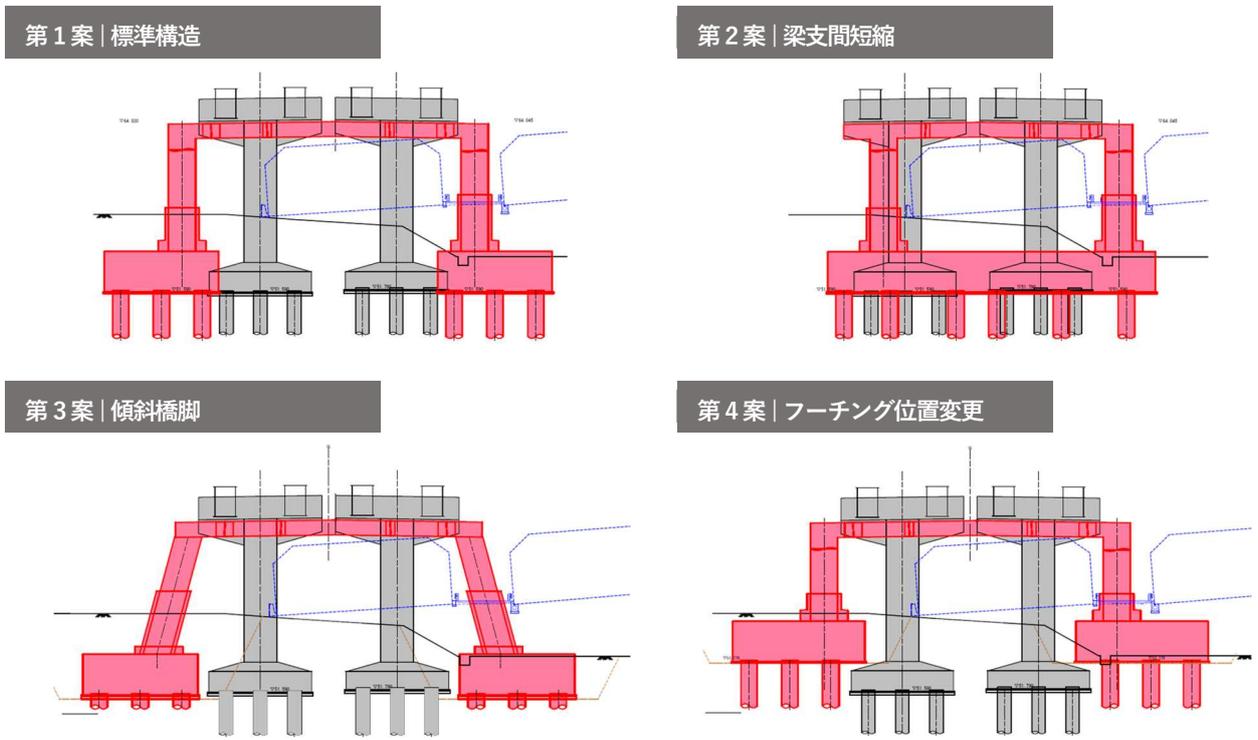


図-6 P7 橋脚構造案 概略図

a) 梁構造の検討

仮受構台は、大反力の主桁（鋼箱桁 5500kN、PCT 桁側 2100kN）を支持することになり、また既設構造物を避ける必要があることから長径間となる。このため、仮受構台の梁構造については、箱構造とトラス構造について経済性比較を実施した。なお、既設主桁反力が鋼桁と PC 桁で大きく異なるため、それぞれのケースにおける検討を行っている。

支間が短い場合であれば箱梁のほうが経済的に有利であるが、長支間となった場合には、大反力を支持することとなるためトラス梁の方が有利となる。本検討においては、支間 35m までは鋼桁側・PC 桁側共に箱断面構造の方が経済性に優位となった一方で、支間 35m を超えると鋼箱桁側の梁構造はトラス構造が優位となった。

これを踏まえて前節において述べた 4 案に対する仮受構造を検討すると、第 2 案については新設構造物がコンパクトになり仮受構台の梁支間縮減が実現し、鋼桁・PC 桁ともに経済的に優位な箱梁構造で支えることが可能となった。他の案では支間長が長いため、仮受構造としてはトラス梁（鋼桁側）・箱梁（PC 桁側）の併用となる。

b) 柱構造の検討

柱については、基本案となる鋼管支柱とコスト縮減の観点から検討される RC 柱が考えられる。しかし今回のケースについては RC 柱を使うことによって大規模な基礎構造を構築する必要が生じることから、結果的には鋼管支柱を用いたほうがコスト縮減の観点からも優位となる。

ることが判明した。

(5) 新設橋脚と仮受構造物の共用案の検討

工期・経済性共に仮受構造物の占めるウェイトが大きくなることから、これを省略することによって工期短縮・経済性の観点からも有利になるため、仮受構造を省略し新設橋脚に直接受け替える構造の検討を行った。なお、これらの案は全て既設橋脚と新設橋脚が干渉しない構造とする必要があるが、基本的な考え方は第 4 案と同様にフーチング位置を変更することによって既設橋脚を回避することとしている。検討した案は図-6 の通りとなる。

a) 第 5 案：フーチングの共用

第 5 案は、仮受構台を全て省略するのではなく、基礎部分を新設橋脚と共有することとした案である。なお、新設橋脚の構造としては第 4 案とほぼ同一のものを構築することが必要である。

仮受基礎を省略することができるのと同時に、第 4 案に比べ仮受梁の支間長を短縮することができることがメリットである。梁支間は 30m 程度となり、鋼桁・PC 桁ともに箱梁構造で支えることが可能となるので、コストの観点からは有利となる。

一方で、基本的な構造は第 4 案と変わらないため、仮受期間や構造上のデメリットは第 4 案と同様である。

b) 第 6 案：口の字型に新設梁を設置する案

既設橋脚の梁を避けるために、橋脚の両側に迂回する形で新設橋脚の梁を設置する案。これによって、既設橋

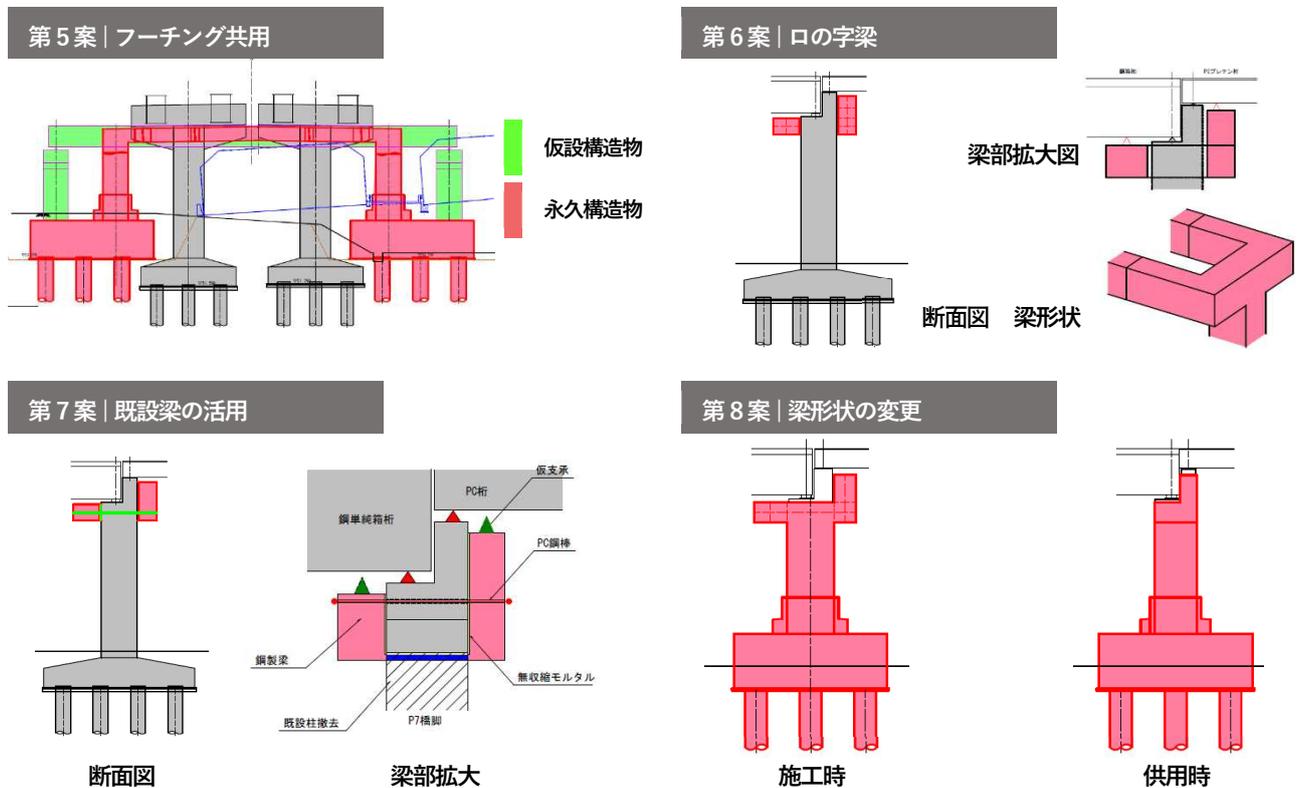


図-7 仮受構台共用案 概略図

脚から直接新設橋脚に受け替えを行うことが可能となり、仮設構台を省略することが可能である。なお、この場合においてジャッキアップ等による仮受が必要となるが、その期間は2ヶ月と短縮されるうえ、仮受構台による支持と比較して安全性が高い。

一方で、支点位置が恒久的に変わってしまうことに構造上の課題がある。上部工への作用応力が永久的に変化することから、大規模な主桁の補強が必要となる。PC桁の補強に関する施工事例は少ないことから、構造を実現させることは困難となることが予想される。

c) 第7案：既設橋脚の梁を活用する案

第6案では上部工への作用応力が変化することが課題となっていたが、既設橋脚の梁をそのまま存置することによって、支点位置の変更を避けることが可能となる案である。

図のように新設構造物の梁で左右から挟み込みPC鋼棒で固定し、既設梁部を柱部から切り離して存置する構造となる。既設の支承をそのまま利用し上部工を支えることになるので、既設上部工への作用応力は変化しないため、上部工にとっては構造的に理想的な形となる。

一方で、古い構造物を新しい構造物で覆ってしまうため、維持管理の観点からは難しい構造となることが課題として挙げられる。

d) 第8案：梁の形状を変化させる案

第6案において、恒久的に上部工の支点が変化することから構造的に課題が残っていたが、既設梁を撤去後に新設の梁形状に変更することができれば、上部工に対する作用応力の変化を最小限に抑えることができる。第8案は、このように施工時と完成時において梁形状を変えることによって既設上部工補強に対する課題の解決を図る案となる。この方法によって仮受構台は省略でき、また上部工に対する作用力の変化を一時的なものに留めることができるという点でも有利な案であると考えられる。

一方で、施工時において一度完成した梁の形状を完成形状に変化させることは容易ではなく、施工精度の確保や維持管理性の観点から課題の多い構造となることが懸念される。

5. 現時点における総括

本事例の構造の決定はさらなる検討を経た上でなされるものであるが、本稿執筆時点においては以下の案が優位であると考えられる。

第2案（梁支間短縮案）が標準構造における部材厚・仮受支間長の課題を解決した有効な案であると考えられる。一方で既設橋脚と新設橋脚の基礎の干渉の影響を解

決することが必要であるため、第1案（標準構造）も引き続き有力であるといえる。仮受構台の省略については、構造上の課題である既設橋脚のフーチングが存置されることによる構造上・維持管理上の課題を解決することが必要となる。これが解決されることを前提とした考察にはなるが、第5案（フーチング共用案）が最も有効と考えられ、続いて第8案（梁形状変更案）が梁形状の複雑化の観点で不安は残るものの有効と考えられる。

6. おわりに

本業務では、制約条件の整理、構造の概略検討を実施し、本計画に採用可能な構造案の抽出を行った。また、合わせて過去の類似工事の事例を収集した。その事例を見ると、改築構造や施工方法は、既設上部構造に依存され、補強が容易な既設桁は鋼桁の事例が多く、補強が困難なPC桁の事例は1件のみと少ない。また、近年の施工事例では、本設橋脚と同等性能を有する仮受構台を構築して、改築工事を行っており、本設工事費に比べて仮設費が数倍必要となっている。本業務は掛け違い橋脚で片側にPC桁を有するため、仮受時の大幅な支点変更が困難であることから、新設橋脚との併用案（仮受構台の省略）も有効と判断し、検討項目に加えている。

本事例における設計は、現況交通を供用した状態での橋梁下部工の撤去・再構築を行ったものであるが、いまだ検討段階である。しかしながら、現場状況が非常に厳しい中で検討された構造を整理することにより、類似事例における検討への応用可能性が十分にあるものと考え、現段階において報告を行った。

本稿では、京奈和自動車道大和北道路岩井川橋梁の詳細設計段階における検討経緯を報告した。難易度の高い設計となっているため、今後施工段階における継続した考察を行う必要があると考えている。橋梁の老朽化が課題となっている中、供用中の橋梁下部工を改築する必要に迫られるケースが増加することが想定されるが、そのような場面において本稿・本事例が一助となれば幸甚である。

※ 本稿の内容は、筆者の前所属である近畿地方整備局奈良国道事務所工務課における所掌内容である。

謝辞：本稿の執筆にあたっては、大和北道路八条地区他橋梁詳細設計業務の受注者である（株）近代設計 大阪支社の多大なるご協力をいただきました。この場をお借りして感謝いたします。

大阪湾岸道路西伸部 海上長大橋の 橋梁形式の検討について

森本 聡¹・杉山 裕樹²

¹近畿地方整備局浪速国道事務所大阪湾岸道整備推進室（〒651-0082神戸市中央区小野浜町7-30）

²阪神高速道路（株）神戸建設部設計課（〒650-0041兵庫県神戸市中央区新港町16-1）。

大阪湾岸道路西伸部（六甲アイランド北～駒栄）は、神戸市東灘区から長田区までの14.5kmのバイパス事業である。当該道路の大半は橋梁構造（陸上部約8km、海上部約7km）であり、神戸港の航路である新港・灘浜航路及び神戸西航路を跨ぐ2つの区間に長大橋を計画している。これらの海上長大橋の橋梁形式の選定にあたっては、大阪湾岸道路西伸部の路線計画に求められる要件を基にコンセプトを設定し、それを評価に結びつけて橋梁計画にも反映することとした。本稿では、本事業の海上長大橋におけるコンセプトに基づく橋梁計画の概要を述べるとともに、橋梁形式の選定について報告する。

キーワード 大阪湾岸道路西伸部, コンセプト, 橋梁形式選定, 長大橋, 斜張橋

1. はじめに

大阪湾岸道路西伸部（六甲アイランド北～駒栄）は、大阪湾岸道路の一部を構成する道路で、神戸市東灘区から長田区に至る延長14.5kmのバイパス事業であり、阪神高速5号湾岸線と阪神高速31号神戸山手線をつなぎ、阪神臨海地域の交通渋滞の緩和を図り、物流効率化による阪神港の機能強化に資するとともに、災害時の代替路確保といった役割を担うことを目的としている（図-1）。本事業は、平成28年度に公共事業として事業化され、平成29年4月には阪神高速道路株式会社の有料道路事業との合併施行方式の採用、平成30年7月には、海上橋の基礎工や西伸部事業に伴う航路移設関連工といった海上工事の効率化を図るために直轄港湾事業の導入がされており、早期開通に向けて事業を進めているところである。

当該道路は、大半が橋梁構造（陸上部約8km、海上部約7km）であり、神戸港の航路である新港・灘浜航路及び神戸西航路を跨ぐ2つの区間には長大橋を計画している。これらの一連の高架橋部及び長大橋部の設計・施工や、新たな発想による技術開発や高度な技術検討には、高い技術力と豊富な専門知識が必要となるため、学識経験者等からなる大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会を設置し、検討を進めている。

大型プロジェクトである本事業には、計画から設計・施工に渡り、多くの関係者が携わること等から、事業の上流の段階で事業者が共有すべき理念となるコンセプト

が特に重要で、コンセプトを定めてこれに基づき事業を進めていく方針とし、橋梁形式の選定においても、設定したコンセプトを反映した評価等を行うこととした¹⁾。

本稿では、本事業の海上長大橋におけるコンセプトに基づく橋梁計画を行い、橋梁形式を選定したため、これについて報告する。



図-1 大阪湾岸道路西伸部概要

2. 架橋条件概要

(1) 基本条件

大阪湾岸道路西伸部は、第2種第1級の6車線の道路で、設計速度は80km/h、計画交通量は97,000台/日で計画されている。耐震設計上の橋の重要度はB種に区分され、災害時の緊急輸送道路に位置づけられている。

海上部に計画している長大橋に対しては、橋梁計画にあたり、地形・地質条件（断層含む）及び航路条件に配慮する必要がある。なお、近くの神戸空港の空域制限の範囲に神戸西航路部の一部が入っているが、港湾審議会（H9.3第163回計画部会）において了承されており、橋梁計画にあたって大きく制約を受けるものではない。

(2) 地形・地質条件

大阪湾岸道路西伸部が建設される大阪湾沿岸部は「大阪堆積盆地」と呼ばれ、新生代の地層群で構成された軟弱地盤地域である。六甲山系の基盤岩である花崗岩は、厚い堆積層に覆われて地下1km以上の深部に位置する。

大阪湾岸道路西伸部全域の地質縦断図を図-2に、地層区分と土質を表-1に示す。海上部長大橋の基礎位置は、水深15m程度で海底以深にN値の低い軟弱な地盤（Ac層）が約15m程度堆積している。支持層としては洪積互層（Dsc1もしくはDsc2）が考えられるが、粘性土層と砂礫層の互層状で、位置により複雑に変化する。このため、各基礎位置の支持層の判定が重要となる。また、支持層以深にも粘土層が存在するため、圧密沈下のリスクを適切に評価する必要がある。

本事業の計画区間には、新港・灘浜航路部及び神戸西航路部付近において、大阪湾断層帯の北端部にある摩耶断層と和田岬断層がルートを横切る形で存在する（図-3）。断層は、深さ約2kmに渡り堆積した地層に「とう曲」として現出するが、その位置や特性に不明な点が多いため、音波探査やボーリング調査により、詳細に断層位置の確認を行った。両航路部の長大橋の計画・設計における、これらの断層に対する配慮は後ほど述べる。

(3) 航路条件

新港・灘浜航路部及び神戸西航路部の航路条件については、大阪湾岸道路（神戸港地区）検討委員会〔有識者・海事関連事業者・関係官公庁（神戸市：平成2年～平成6年）〕にて決定されている。その後、神戸港に入港するクルーズ船の近年の大型化を考慮し、新港航路の

航路高については、航路高59.0mから65.7mに見直されている。新港・灘浜航路部及び神戸西航路部の航路条件を表-2に示す。長大橋の主径間長は、この航路幅と施工時に航路に影響を与えないよう確保する余裕幅により制約を受ける。

表-1 地層区分と土質

時代	層名	記号	主な土質	
—	埋土層	B	・巨礫混じりの砂礫主体でN値17~10程度 ・締めり度合いは緩い〜中位程度	
第四紀 完新世	沖積粘性土層	Ac	・沖積粘性土層でN値12~5と非常に軟弱 ・埋立荷重により圧密沈下が生じる	
		Asc	・砂質土主体でN値18~15程度	
	洪積層	第1洪積互層	Dsc1	・砂質土主体でN値平均30程度、支持層に適用 ・ただし、部分的に粘性土が存在
		第1洪積粘性土層	Dc1	・大阪湾岸のM12層に相当しN値20以下 ・埋立荷重により圧密沈下が生じる
	第2洪積互層	Dsc2	・粘性土と砂質土の薄層互層	



図-3 断層位置図

表-2 航路条件

項目	灘浜航路		新港航路	第二航路	神戸西航路 (第一航路)
	主航路	副航路			
航路幅	300m	50m	400m (水深13m)	120m	300m (水深12m)
航路高さ	航路高	+54.6m/+52.4m	+65.7m	+28.1m	+59.4m
	T.P.	+55.7m/+53.5m	+66.8m	+29.2m	+60.5m

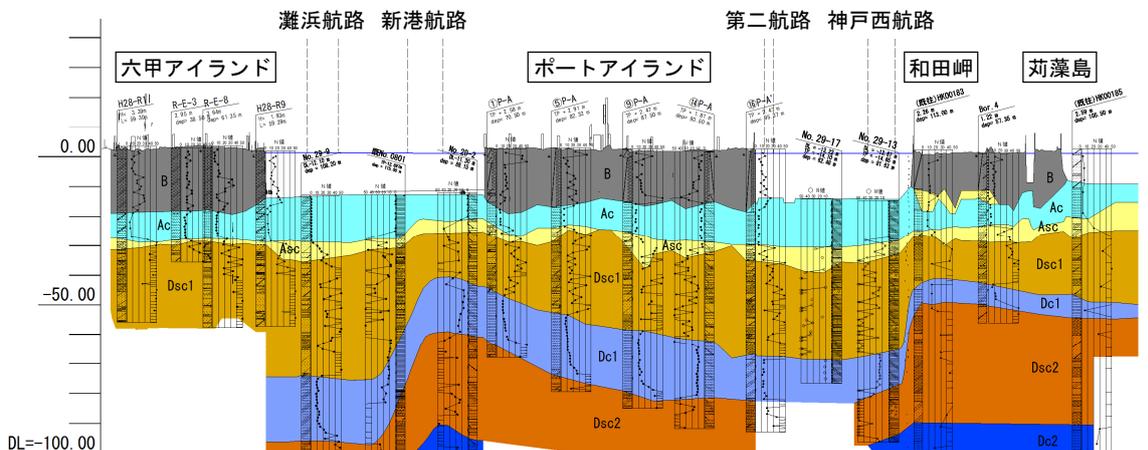


図-2 地質縦断図

3. 橋梁形式の選定方法

(1) 橋梁形式選定の流れ

本事業の長大橋の橋梁形式選定においては、本路線のコンセプトに適合する性能を、より低いコストで得られる橋梁形式を選定することを基本方針とした。橋梁形式選定のフローを図-4に示す。まず、本路線計画に求められる要件を整理した上で計画コンセプト（案）を設定した（以後、コンセプトと呼ぶ）。次に、橋梁計画のコントロールとなる周辺条件等について整理した。その後、コンセプトに適合する橋梁形式を支間割計画も含めて複数案抽出し、部材形式等の基本条件を仮設定したうえで概略設計を行い、経済性（初期コスト及びLCC）を把握して、各橋梁形式のコンセプトに係る長所・短所を踏まえた総合的な判断により橋梁形式案の絞り込みを行った。なお、明らかにコンセプトに適合しないと思われる橋梁形式は、当初段階から抽出しない。

(2) 計画コンセプト（案）

大阪湾岸道路西伸部の計画コンセプト（案）（図-5）は、広域および地域の道路ネットワークや地域の防災計画における当該道路の位置づけや役割、路線交通の特性、被災地からの教訓、神戸市域および港湾の開発計画や自然環境、地元の要望、道路の維持管理のあり方などから、本路線の計画に特に求められる要件を整理し、それらを実現するために常に守るべき理念として設定した。災害時のネットワーク確保、景観への配慮、維持管理への配慮の観点から3本の柱とした構成である。なお、今後の情勢の変化等により見直しの必要が生じることも可能性として考え、コンセプトは（案）のままとし、必要に応じて

て見直すものとしている。

次章以降に、新港・灘浜航路部及び神戸西航路部の橋梁形式選定の概要について述べる。

4. 橋梁形式検討

(1) 新港・灘浜航路部

a) 橋梁形式比較案の抽出

新港航路部及び灘浜航路部は、航路幅の制約から最小支間長がそれぞれ600m及び520mとなる。この支間長にお

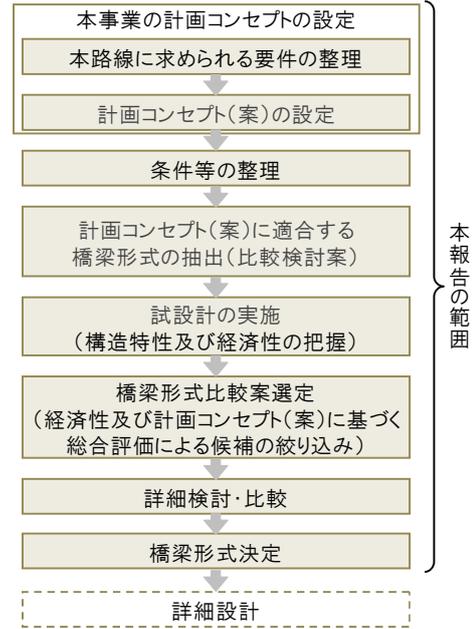


図-4 橋梁形式選定フロー概要

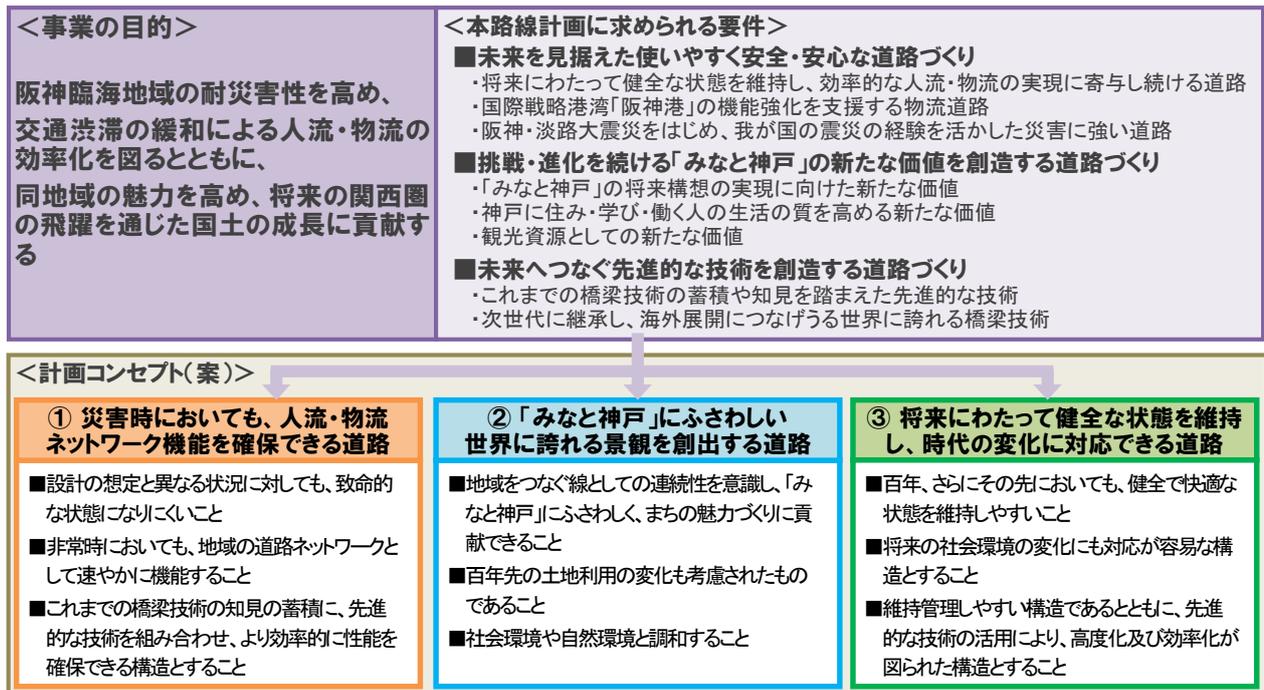


図-5 大阪湾岸道路西伸部の計画コンセプト（案）

いてコンセプトに適合する橋梁形式として、単独斜張橋、連続斜張橋、連続吊橋の3形式を軸に、支間割りのバリエーションを加えた複数案を立案した。多径間連続の吊形式である連続斜張橋および連続吊橋は、この規模では国内の実績はないが、近年の技術動向も踏まえると技術的にも実現可能性があると考え、比較案に含めた。

抽出した各橋梁形式について概略試設計を行い、構造特性と経済性を把握し、コンセプトに係る主な特徴と経済性を整理した。連続吊橋案は、今回の架橋条件においては斜張橋案に比べて経済性で不利となるとともに、軟弱地盤上に設置するアンカレイジの長期的な沈下リスクが課題と考えた。

以上から、「連続斜張橋（等径間案）」及び「単独斜張橋」の2形式を橋梁形式比較案に選定（表-3）した。

「連続斜張橋（等径間案）」の方が「単独斜張橋」に比べて、景観性と維持管理性に優れるため優位と評価される。しかし、橋を横切る摩耶断層の影響、および活荷重たわみが大きい（可撓性）等の技術的課題に対して、精緻な検討を実施し、両形式の優劣を見極めた。

b) 断層の影響

摩耶断層（とう曲）について、調査によるとう曲位置および変位量を推定し、構造への影響検討を行った。調査から、摩耶断層は、計画ルート上に幅約1,400mのとう曲帯が現出し（図-6）、単独斜張橋および連続斜張橋の両案とも、主塔の一部がとう曲帯に位置することを確認した。そして、断層の活動間隔の推定に基づき、とう曲変位量を推定し、推定されたとう曲変位量による上部構造への影響は、安全性に影響を与える程度ではないことを確認した。しかし、コンセプト①の「設計の想定と異なる状況に対しても、致命的な状態になりにくいこと」を踏まえ、不測の事態（とう曲位置や変位量の不確定性等）に対するリスクも考慮した上で、橋梁形式を選定することとした。

道路橋示方書では、断層の影響を受けないように架橋位置又は橋の形式の選定を行うこととされている。このため、断層上の堆積層に見られるとう曲についても、影響を受けないように、とう曲を避けた架橋位置又は橋の形式の選定を行うことが望ましい。これは、2つの橋梁形式に共通の課題である。

しかしながら、本橋梁区間にある摩耶断層のとう曲は、新港航路部の東側において幅約1,400mにわたり現出し、とう曲帯が広範囲であるため、「とう曲を避けた架橋位置又は橋の形式の選定を行うこと」とすることは現実的には難しい。このため、とう曲帯内に主塔を配置する橋梁形式を基本とするが、とう曲による橋への影響について、詳細な検討と対策を行うことで安全性を確保する方針とした。

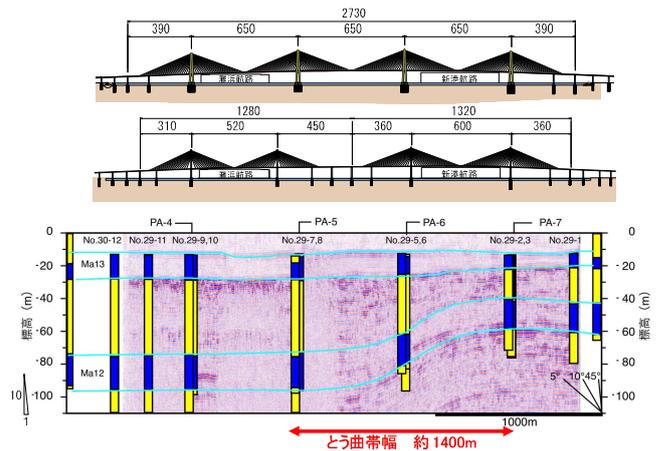


図-6 地調査結果に基づくとう曲帯の推定（新港・灘浜航路部）

c) 連続斜張橋の変形特性の改善

新港・灘浜航路部の橋梁形式案の一つである連続斜張橋は、支間長が大きく、この支間長では世界にも類をみない連続径間数となることから、その構造的特徴について明らかにした上で、連続化により顕著な影響が現れる橋梁全体系の変形特性の改善策を比較検討し、これまでの知見の延長で技術的な解決が図れる見通しがあることを確認した。主な検討結果は以下の通りである。

- 連続斜張橋の構造特性として、端橋脚および中間橋脚による拘束効果がないため、中央主塔の見かけの剛性が小さく、鉛直荷重が橋軸方向に偏って載荷されると斜張橋全体の変形が大きくなる。
- 主桁、主塔（主塔基礎含む）の剛性見直しや、追加ケーブルによる変形特性の改善を検討し、一般的な長大橋と比較して、これまでの知見の延長で技術的な解決が図れる見通しがあることを確認した。このうち、主塔剛性を形状により向上させる対策が最も効果的であり、特に橋軸A型主塔が効果的であることを確認した。

以上から、橋梁形式の選定段階における連続斜張橋の主塔形式は橋軸A型を基本とした。この変更に伴い、主桁形式は中央に開口を設けた構造とした（図-7）。

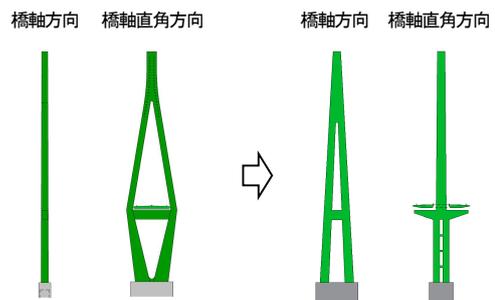


図-7 連続斜張橋の主塔形状の変更

d) 橋梁形式の選定

長大橋の形式選定に関わる個々の課題検討の結果を踏まえ、橋の変形特性の改善を行った4本主塔の連続斜張橋と2本主塔の単独斜張橋を比較した（表-3）。

単独斜張橋と比較して、連続斜張橋はコスト（初期建設費、LCC）が若干大きいものの、維持管理や景観、地震動や地盤変位に対する橋の冗長性および点検性・修復性が高いなど、総合的に優れると評価した。よって、とう曲帯内に主塔を配置することによる橋への影響について、詳細な検討と対策を行うことで安全性を確保することを前提に、4本主塔の連続斜張橋形式を基本案として選定した。

(2) 神戸西航路部

a) 橋梁形式比較案の抽出

神戸西航路部は、航路幅の制約から最小支間が 480m となる。この支間長においてコンセプトに適合する橋梁形式として斜張橋を選定し、一般的な2主塔案と1主塔案を立案した。1主塔案は、同形式では世界最大規模となるものの、近年の技術動向を踏まえると十分に実現可能性があり、コンセプトへの適合性も高いため、比較案に含めた。

両形式案について概略試設計を行い、構造特性と経済性を整理し総合的に評価した。2主塔斜張橋と比較して平面線形、景観性に加え、コスト面でも優れる1主塔斜張橋が優位であったが、主塔基礎付近に存在する和田岬断層（とう曲）による影響等の見極めが必要であった。

b) 断層の影響

和田岬断層（とう曲）について、調査によるとう曲位置および変位量を推定し、構造への影響検討を行った。調査から、和田岬断層（神戸西航路部）は、計画ルート

上に幅約700mのとう曲帯が現出し（図-8）、1主塔斜張橋（和田岬側に主塔を配置する案）および2主塔斜張橋において、主塔の一部がとう曲帯に位置すること、断層の活動間隔の推定に基づき、とう曲変位量を推定した。推定されたとう曲変位量による上部構造への影響は、安全性に影響を与える程度ではないことを確認した。しかし、不測の事態（とう曲位置や変位量の不確定性等）に対するリスクも考慮すれば、神戸西航路を跨ぐ長大橋は、とう曲による地層傾斜のない航路の東側（ポートアイランド側）に主塔が位置する1主塔斜張橋の形式を選定することで対応が可能である。よって、本案も比較案として選定した。

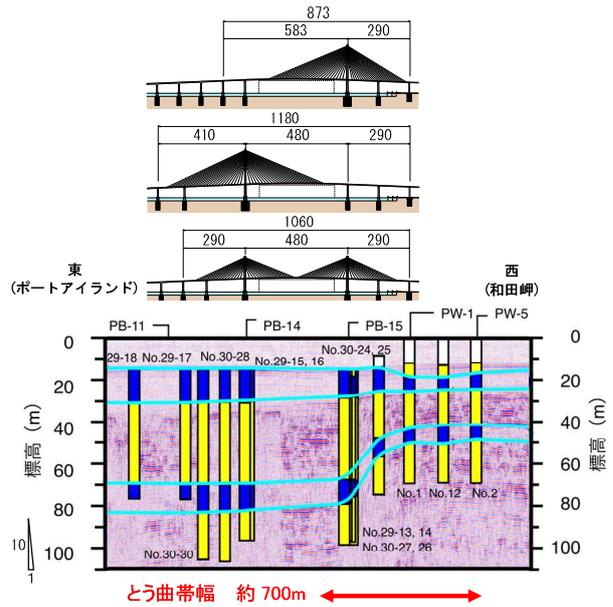


図-8 地調査結果に基づくとう曲帯の推定（神戸西航路部）

表-3 各橋梁形式の総合評価（新港・灘浜航路部）

計画案 / 経済性(コスト)	特徴 ①, ②, ③ は計画コンセプトの番号に対応
<p>【第1案】連続斜張橋</p> <p>鋼桁 鋼製主塔(橋軸A型を基本) 鋼管矢板基礎</p> <p>初期コスト 1.10 LCC 1.04</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 地震時に損傷リスクの高い桁端部が相対的に少ない【①】 ◎ 地震時に損傷リスクの高い桁端部が少なく、陸上部に近い海上部に桁端部を有することから、緊急点検時にアクセス・修復しやすい【①】 ◎ ゲート性、ランドマーク性、周辺景観との一体性があり、等支間で連続するため、1本の線としての連続性が生まれる【②】 ◎ 海上橋脚が少なく、土地改変への影響が小さい【②】 ◎ 連続化により海上橋脚が少なく、腐食・塩害の弱点となる桁端部、伸縮装置等や、確実な点検が必要な支承等が少ない【③】 ◎ 既存の航路空間を確保しつつ、中央支間部にも空間ができるため、将来の港湾計画変更の自由度が大きい【④】
<p>【第2案】単独斜張橋</p> <p>鋼桁 鋼製主塔(ダイヤ型を基本) 鋼管矢板基礎</p> <p>初期コスト 1.00 LCC 1.00</p>	<ul style="list-style-type: none"> △ とう曲の不確定性に対するリスクがある【①】 ◎ わじれ固有振動数が連続斜張橋より大きく、フラッター発現風速に対する余裕がある【①】 ◎ 単独斜張橋は、連続斜張橋に比べて、活荷重たわみが小さく、固有振動数が大きいいため、想定しない変形や振動が生じにくい【④】

c) 橋梁形式の選定

長大橋の形式選定に関わる個々の課題検討の結果を踏まえ、橋梁形式比較案3案を比較した（表-4）。

比較3案の初期建設費、及びライフサイクルコスト（LCC）はほぼ同等である。2主塔斜張橋に対して、1主塔斜張橋の両案はいずれも景観性に優れると評価した。2つの1主塔斜張橋のうち、1主塔斜張橋（和田岬側）は、平面線形にも優れるものの、とう曲の不確定性に対してリスクを抱える課題が残る。1主塔斜張橋（ポートアイランド側）は、斜張橋の最も重要な部材のひとつである主塔へのとう曲の影響を相対的に最も小さくできる。

この課題に対して、技術検討委員会において議論を重ね、平面線形の改善ととう曲リスクを比較衡量した結果、とう曲リスクを相対的に最も小さくできる、東側（ポートアイランド側）に主塔が位置する1主塔斜張橋を選定した。

細検討において、残された課題（とう曲による橋への影響について、詳細な検討と対策、風洞試験による耐風性の検証など）に対する検討を行っていく予定である。

謝辞：貴重なご意見を頂いた大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会（委員長 藤野陽三横浜国立大学上席特別教授）の委員の皆様、ならびに関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1)大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会中間とりまとめ：
https://www.kkr.mlit.go.jp/news/top/press/2018/019a8v0000018qhi-att/181214-2_1600_osakawanganseishinbu.pdf
- 2)大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会中間とりまとめ（Ⅱ）：
https://www.kkr.mlit.go.jp/naniwa/17/pdf/seisinbu_tyukan_torimatome2.pdf
- 3)令和元年度管内技術発表「大阪湾岸道路西伸部の海上長大橋の橋梁形式検討」：横井芳輝、杉山祐樹

6. まとめ

大阪湾岸道路西伸部の事業における、事業の目的や計画コンセプトに基づく橋梁形式選定の考え方の概要と、新港・灘浜航路部および神戸西航路部における、今後、詳細を検討していくための橋梁形式の選定について報告した。なお、海上長大橋の橋梁形式の選定結果及び今後の橋梁形式決定に向けた方向性については、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会において平成31年12月に中間とりまとめ（Ⅱ）として公表された²⁾。

今後は、それぞれの航路部での部材等の基本構造の詳細

表-4 各橋梁形式の総合評価（神戸西航路部）

計画案 / 経済性(コスト)	特徴 (①, ②, ③ は計画コンセプトの番号に対応)
<p>【第1案】 1主塔斜張橋（和田岬側）</p> <p>初期コスト 0.99 LCC 0.99</p>	<ul style="list-style-type: none"> △ とう曲の不確定性に対するリスクがある【①】 ◎ 1本主塔のシルエットは海上部の開けた海と空の開放感を演出する。また、主塔が海上部西端に位置し、和田岬を明示するシンボル性が高い【②】 ◎ 世界最長の支間長と世界最大の主塔高を有する1主塔斜張橋として、先進性を有する【②】 ◎ 海上高架橋部の線形改善が可能
<p>【第2案】 1主塔斜張橋（ポートアイランド側）</p> <p>初期コスト 1.01 LCC 0.99</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◎ とう曲の不確定性に対するリスクが小さい【①】 ◎ アクセス困難な主塔や海上橋脚の基数が少ない【①】 ◎ 世界最長の支間長と世界最大の主塔高を有する1主塔斜張橋として、先進性を有する【②】 ◎ 橋脚基数が少なく、土地改変への影響が小さい【②】 ◎ 海面付近の塩害のリスクや点検の負担が大きい主塔・橋脚の基数が少ない【③】
<p>【第3案】 2主塔斜張橋</p> <p>初期コスト 1.00 LCC 1.00</p>	<ul style="list-style-type: none"> △ とう曲の不確定性に対するリスクがある【①】 △ 2本主塔のシルエットは海上部の開放感を阻害しやすく、他案に比べて桁の連続性が低い【②】 △ 国内でも実績のある規模の斜張橋であり、先進性は低い【②】 ◎ 2主塔斜張橋は、活荷重たわみが小さく固有振動数が大きいいため、想定しない変形や振動を生じにくい【③】 △ 一般的に点検が困難な海上主塔が多い【③】

部材形式(共通)：鋼桁、鋼製主塔(ダイヤ型を基本)、鋼管矢板基礎

一般国道2号姫路バイパス曾根高架橋の ASR対策について

田ノ上 誠次¹

¹ショーボンド建設(株) 近畿圏支社 技術部 (〒536-0022大阪府大阪市城東区永田3-12-15)

1974年に竣工した一般国道2号バイパス曾根高架橋(ポステンPCT桁橋)の主桁ウェブや下フランジにアルカリ骨材反応(以下、ASR)によるものと思われる水平方向ひび割れが多数確認された。ひび割れの最大幅は1~1.2mmに達し、漏水や遊離石灰を伴うものも見られるなど早期に補修が必要な状態であった。本工事(下り線P15~P31)では、橋梁ドクター指導のもと調査方法を検討し、最新の知見に基づく詳細調査を実施した。また、調査後に実施した対策工事においては、径間の劣化度に応じて工法のグレード分けを行った事例やスターラップが破断したP16橋脚の補修事例等を紹介し、今後対応すべき項目について考察した。

キーワード ポステンT桁, ASR, グラウト充填不良, 調査および対策工事

1. 曾根高架橋の概要

曾根高架橋は、兵庫県高砂市西部に位置し、1974年に竣工した一般国道2号姫路バイパスに架かる橋長863.4mの全38径間からなる鋼・PC混合橋である。上部工は単純PCポステンT桁(上縁定着構造)や単純PCプレテンT桁、単純合成鉄桁などから構成され、ほとんどの径間に伸縮装置を有する構造である。(写真-1)

下部工は、主なものはPC梁構造で6段のPC鋼棒が配置されている。

1日交通量は約8万台で、大型車混入率は約26%(H27交通センサス)と高い値を示している。

同高架橋は、建設から約45年を経過し、老朽化が進むとともに、ASRによるものと思われる損傷が顕在化し現在対応を行っているところである。



写真-1 曾根高架橋 (P16付近)

2. 損傷状況

(1) 上部工主桁

2012年に下り線、2013年に上り線の定期点検を行ったところ、PCポステンT桁ウェブに水平方向の多数のひび割れが確認された。最大幅は1~1.2mmに達しており(写真-2)、中には漏水や遊離石灰を伴った箇所もあった。ひび割れの発生傾向としては、桁端部が著しい傾向にあった。また、桁単位では、変状が著しい桁と少ない桁があり、径間単位では、変状が著しい径間と少ない径間がそれぞれ見られた。



写真-2 主桁ウェブひび割れ状況(最大幅 1.2mm)

(2) 壁高欄

壁高欄は、ほぼ全線に亘って写真-3に示すような既設保護塗装のかぶりコンクリートのはく落や鉄筋露出、ひび割れなどが多数確認された。



写真-3 壁高欄損傷状況

(3) 下部工 P16

2017 年度に発注された補修工事中において、P16 橋脚 PC 梁側面の浮き箇所をはかり除去したところ ASR によるものと思われるスターラップ鉄筋の破断が確認された。(写真-4)



写真-4 P16 スターラップ破断状況

3. 現場で実施した調査および調査結果

(1) 上部工主桁

2014 年 11 月に神戸大学森川教授，同大学三木准教授，京都大学山本教授，同大学服部准教授に依頼し現地診断を行った。

現地診断の結果，ASR の可能性が高いこと，グラウト充填不良の可能性もあること，さらには凍結防止剤を含んだ水による塩害の影響の可能性もあることが指摘された。

ASR については，かなり以前から進行していたものとされ，局所的に水が供給される部位（伸縮装置部近傍など）は，ASR の進行も局所的であり，膨張が停滞あるいは収束している可能性がある。水は主桁端部や上縁定着部からシース内やシース周囲に伝わって主桁内部に浸入し，損傷が進行する原因になっているとの指摘があった。

橋梁ドクターの指摘を受け，詳細調査は，原因を特定するための調査および PC グラウトの充填状況や PC 鋼

材の腐食度を確認する調査を行った。また，2019 年 8 月および 9 月にも調査内容と施工方法について橋梁ドクターの現地診断を受けた。

a) 原因特定調査

原因特定調査は，変状が著しい径間で実施した。表-1 に原因を特定するために行った調査項目を示す。

①ゲル分析および②岩種判定は劣化要因として ASR を特定する目的で行う。③残存膨張試験は，膨張反応の現状把握と今後の膨張可能性を考察する目的で行う。試験方法としては，JCI-DD2 法に関して「試験中にアルカリ分が溶出する」「膨張しない反応性骨材が確認されている」などの問題点を指摘され，変状が少ない桁についてはアルカリ溶液浸漬法(旧カナダ法)で試験を行った。アルカリ溶液浸漬法は，試験期間でみると JCI-DD2 法の 13 週から 3 週となり短く済むが，JCI-DD2 法より安全側(厳しめ)の結果となることがある。また，反応性骨材として隠微晶質石英(微小石英)が含まれると遅延性の膨張反応を示すため，判定材齢 2 週での結果が「無害」であったとしても，将来的な膨張に対して留意する必要がある。

④一軸圧縮試験および⑤静弾性係数試験は，ASR の影響を受けて低下するといわれる物性値であり，①および②の結果と関連させて考察する目的で行った。調査対象としては「建設当時から品質が悪かった可能性が排除できない」との指摘を受け，変状が少ない桁でも試験を行い確認することとした。また，仮に劣化要因が ASR であった場合，桁内部含水率が膨張反応に影響を及ぼすことが指摘されたことから，⑥桁内部含水率測定¹⁾を行い内部含水率を確認した。

⑦桁端部塩分含有量試験は，伸縮装置からの漏水による影響を受け桁端部での塩分含有量が上昇し劣化要因となっている可能性を確認する目的で行った。

表-1 原因特定調査項目

	試験項目	試験方法	供試体区分
ASR 調査	①ゲル分析	SEMおよび目視	④⑤終了後の1本 (変状が著しい桁)
	②岩種判定	偏光顕微鏡	④⑤終了後の1本 (変状が著しい桁)
	③残存膨張試験	JCI-DD2	コアB 1本 (φ100×250) (変状が著しい桁)
		アルカリ溶液 浸漬法	コアC 1本 (φ50×130) (変状が少ない桁)
	④一軸圧縮試験	JIS A 1107	コアA 6本 (φ75×150) (変状が著しい桁) (変状が少ない桁)
	⑤静弾性係数試験	JIS A 1149	④と同じ供試体
	⑥桁内部含水率測定	φ6×150mm	-
⑦桁端部塩分含有量試験	JIS A 1154	ドリル粉(φ14)8試料 (変状が著しい桁)	

①ゲル分析の結果を図-1 に示す。コア供試体中に確認された白色析出物は，ゼリー状物質でアルカリ-カル

シウム-シリカ型に分類されるアルカリ骨材反応生成物であることが確認された。続いて図-2 に②岩種判定の結果を示す。反応性鉱物として微小石英(凝灰岩)および火山ガラス(安山岩, 玄武岩)が検出された。これらの反応性骨材を含む骨材のうち, 安山岩には骨材内部やその周囲にクラックが発達し, そのクラックを充填してアルカリシリカゲルが生成していることが確認された。これらの結果から主桁に発生した損傷の主たる劣化要因として ASR の可能性が高いことが確認された。過年度に実施された P16 橋脚の岩種判定結果を基に今回の岩石構成を比較すると, 安山岩, 石英, 砂岩, 花崗岩, 玄武岩が共通しており, 反応性骨材は概ね一致した。この結果から, 同一産地の骨材を使用している可能性が高いと考えられる。

なお, ⑦桁端部塩分含有量の平均値は, 1.66kg/m³であり発錆限界値の 1.75kg/m³より低かったことから, 塩化物イオンによる鉄筋腐食膨張によるひび割れの可能性は低いと推測した。

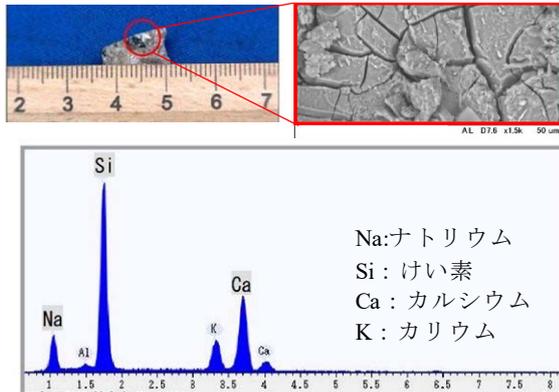
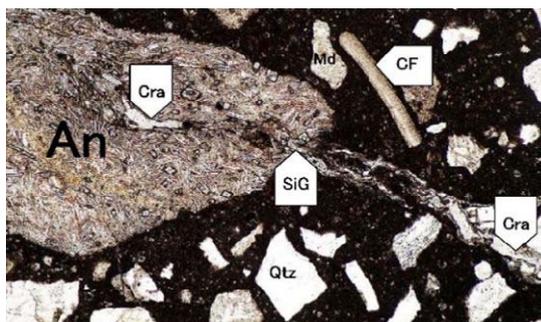


図-1 ゲル分析結果(主桁)



An : 安山岩 Qtz : 石英 CF : 石灰質化石
SiG : シリカゲル Cra : クラック Md : 泥岩

図-2 岩種判定結果

表-2 は桁表面の外観変状と④一軸圧縮強度, ⑤静弾性係数試験, ③残存膨張試験および⑥桁内部含水率測定の結果を関連させたものである。変状が著しい桁の圧縮強度および静弾性係数は ASR により発生したと思われる内部クラックの影響を受けて値が低くなっており, ゲル分析および岩種判定結果と関連する結果となった。

一方, 変状が少ない桁の圧縮強度および静弾性係数は, 設計値以上あるいは標準値²⁾内の結果を示していることから, 建設当時の品質に問題は無く ASR の影響を受けて物性値が下がったことを裏付ける結果となった。

③残存膨張試験の変状が著しい桁の結果は, 全膨張率が閾値である 0.05%を下回っており, 現状で膨張反応は収束しているとみられる。一方, 変状が少ない桁の結果は, 閾値 0.10%をわずかに上回る膨張率が確認され, 条件次第では将来的に膨張する可能性があることが確認された。また, ⑥桁内部含水率測定の結果, 変状が著しい桁, 少ない桁共に閾値を超える状況であることを確認した。ASR はコンクリート内部のわずかな含水率(4~5%程度)でも反応すると指摘されており, 変状が少ない桁の膨張可能性を考慮した場合, 膨張反応を抑制する対策が必要であると考えられる。

b) グラウト充填状況調査

図-3 にグラウト充填調査項目およびフローを示す。

①インパクトエコー法(以下, IE 法)は, 衝撃弾性波法を応用した非破壊試験であり, 探査深さが限られるため対象径間・桁の上縁定着 PC 鋼材を対象に「充填不良の疑い有り・無し」を判定する目的で実施した。②削孔・CCD カメラ調査は, 端部定着 PC 鋼材および IE 法で「充填不良の疑い有り」と判断された箇所を対象に, φ25 程度の小径孔により内部を CCD カメラで観察する調査である。調査対象としては, 「外観変状の程度と内部の空洞は関連がない場合もある」との指摘を受けて, 調査対象径間の変状が著しい桁と少ない桁の両方を調査することとした。削孔調査後に PC 鋼材が目視できた箇所については, シース内への塩分浸透状況を確認する目的で④PC 鋼材表面の簡易塩分含有量試験を行った。また, 「できるだけ全径間, 全主桁について調査を行い, 充填不良が発生している桁については補修を行うべき」との助言を受けて, 当初調査対象箇所を拡大し, 今回の工事範囲で調査可能なすべての桁について削孔調査を行うこととした。

表-2 桁表面の外観変状と各種試験結果

桁の変状	④一軸圧縮強度(N/mm ²)		⑤静弾性係数(kN/mm ²)		③残存膨張試験による全膨張率(%)			⑥桁内部含水率(%)	
	設計値	標準値	試験方法	判定	閾値	判定	閾値		
著しい	28.8	40	6.37	16.2~25.8	0.011	JCI-DD2	無害	4.1	4.0
少ない	58.5	40	28.4	19.4~34.2	0.103	アルカリ溶液浸漬法	有害	4.2	4.0

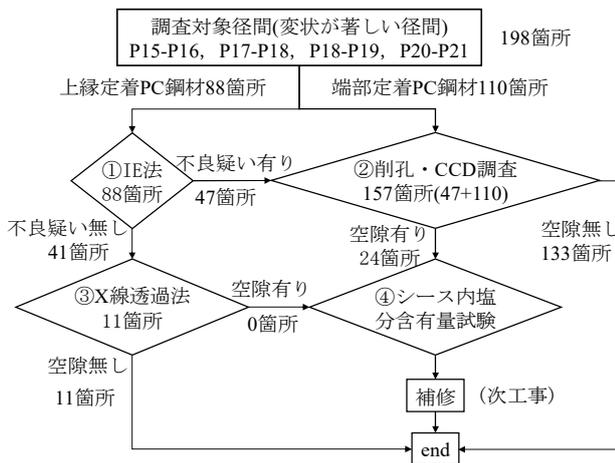


図-3 グラウト充填状況調査のフローおよび結果

IE法によるグラウト充填状況調査結果は、全調査箇所(88箇所)の約53%にあたる47箇所について「充填不良の疑い有り」と判断された。一方、「充填不良の疑い無し」と判断された箇所については、削孔調査を実施しないため内部状況を確認することができない。そのため、「充填不良の疑い無し」と判断された箇所について③X線透過法によるサンプリング調査を行った。その結果、補修が必要な空隙は確認されなかった。

表-3に桁の外観変状とシース内の空隙およびPC鋼材腐食度に関連させたものを示す。変状が少ない桁のシース内空隙およびPC鋼材腐食度Ⅱ(浮き錆程度)以上の割合は、変状が著しい桁より多かった。このことから外観変状の程度とグラウト充填不良は関連が無く、それぞれ別の要因に起因すると考えられる。

なお、全削孔調査の結果、シース内の空隙の割合は約15%(96/638)であった。この割合については、建設年次別で充填不良率をグループングした資料³⁾によると、曾根高架橋の建設年次である1970年代では充填不良率約23%となっており、同年代のPC桁の中では充填不良率が少ない結果となった。

PC鋼材の腐食は大半が腐食度Ⅱ(浮き錆程度)で、その割合も全体の5%程度と軽微であった。また、PC鋼材表面に付着した塩分量としては最大5mg/L(発錆限界3900mg/L)であったことから、シース内は腐食環境ではないと考えられる。

表-3 桁表面の変状と削孔・CCDカメラ調査結果

桁の変状	削孔による空隙箇所		PC鋼材腐食度Ⅱ以上	
	割合	箇所数	割合	箇所数
著しい	11%	(11/104)	3%	(2/73)
少ない	25%	(13/53)	5%	(2/41)

(2) 壁高欄

壁高欄の損傷状況から、劣化要因としてはかぶり不足

による中性化の可能性が疑われた。そのため壁高欄の調査項目としては、かぶり調査を行い設計値との比較を行うて考察する方針であった。しかし、上部工で反応性骨材が確認されたことを受け、骨材産地が上部工と同じ場合は、ASRの可能性を否定できなかったため、上部工で実施したASR調査(①ゲル分析、②岩種判定、③残存膨張試験)についても参考までに実施することとした。壁高欄の調査項目を表-4に示す。かぶり調査は、コンクリート表面から鉄筋の表面までの深さを測定した。ASR調査は③残存膨張試験については、外観変状の程度に関わらずアルカリ溶液浸漬法を適用した。その他の仕様は上部工にて実施したものと同様とした。

表-4 壁高欄の調査項目

目的	調査項目	仕様
かぶり深さの調査	かぶり計測	ノギス等
ASR調査	①ゲル分析	SEMおよび目視(変状が著しい径間)
	②岩種判定	偏光顕微鏡観察(変状が著しい径間)
	③残存膨張試験	アルカリ溶液浸漬法(変状が著しい径間) (変状が少ない径間)

かぶり調査の結果、計測したかぶり深さの平均値は19.4mmであり、設計かぶりの27.5mmを大きく下回っていることが確認された。このことから、かぶり不足による中性化が劣化要因の一つとして推測された。

次にASR調査結果について考察する。ゲル分析の結果を図-4に示す。骨材以外にエトリンガイトと考えられる針状物質が確認されたが、アルカリ反応生成物と考えられる物質は確認されなかった。図-5に岩種判定の結果を示す。反応性鉱物として微小石英(凝灰岩)、火山ガラス(安山岩)が確認された。これらは上部工と概ね一致した岩種構成であり、壁高欄の骨材についても上部工と同一産地の可能性が高いと考えられる。反応性骨材の内部にアルカリシリカゲルを充填したクラックの分布がみられたがその程度は軽微であった。これらの結果から、ASRの可能性は考えられるものの、その影響は小さいと考えられる。

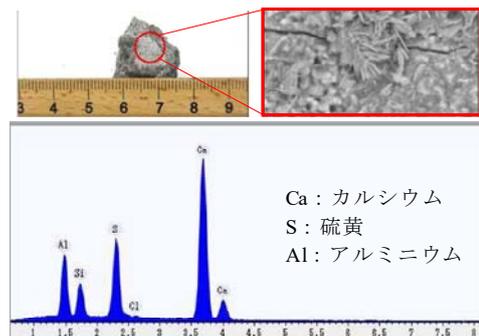
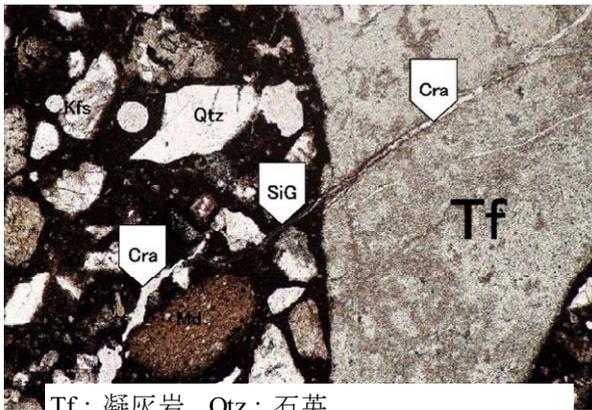


図-4 ゲル分析結果(壁高欄)



Tf: 凝灰岩 Qtz: 石英
SiG: シリカゲル Cra: クラック
図-5 岩種判定結果

表-5 に残存膨張試験の結果を示す。変状が著しい径間、変状が少ない径間共に閾値を下回っており、この結果からも膨張反応として収束あるいは軽微であったと考えられる。

上記の結果をまとめると、岩種判定の結果から ASR による劣化も否定できないが、残存膨張試験の結果からその影響は軽微と判断し、主たる要因はかぶり不足による中性化の可能性が高いと推測される。

表-5 残存膨張試験結果

変状	アルカリ溶液浸漬法による全膨張率(%)	
		閾値
著しい径間	0.022	0.10
少ない径間	0.050	0.10

(3) P16橋脚

2018年2月に神戸大学森川教授による P16 橋脚梁部スターラップ破断箇所の現地診断が行われた。その結果、損傷程度としては、破断したスターラップ以外に梁部材に曲げやせん断による構造ひび割れは見られないため、緊急措置が必要な状況ではないとしたものの、対策としては、損傷状況を考慮した 3次元 FEM 解析による安全性照査を行う必要があるとの指摘を受けた。具体的には、PC 鋼材の破断や付着、定着などの状況を詳細に調査して確認し、安全性が確認されれば、直ちに補強するのではなく、モニタリングで構造ひび割れ発生の有無など経過を確認しながら維持管理することで良いとのことであった。

4. 補修工事での対策内容

(1) ひびわれ補修工

ひび割れ補修工(写真-5)は ASR 反応因子の浸入防止を目的として行った。また、内部ひび割れを充填するこ

とによる再一体化の効果を狙った。工法は低圧注入工法としてエポキシ樹脂を注入した。施工手順は、下地処理を行った後、ひび割れ箇所のシール処理、座金設置、樹脂注入を行い注入確認後、注入器を撤去して完了した。



写真-5 ひび割れ注入状況

(2) 表面含浸処理工(シラン系)

表面含浸処理工(写真-6)は、外部からの水の浸入を防ぎ、内部の水分の逸散を阻害しない吸水防止層を形成することで、ASR を進行を抑制させる目的でシラン系を採用した。適用するグレードについては、変状の著しい箇所に合わせたグレードを一律で適用することが慣例化しているが、「様々な詳細調査を行い結果に対してそれぞれ考察しても一律の補修では意味がない。変状に応じた使い分けなどを行い、コストを適正化するべき」との助言を受けて、径間内に発生したひび割れ延長に応じて工法のグレード分けを行った。具体的には、径間内のひび割れ延長 100m 以上の径間にはプロテクトシル CIT(吸水防止層形成+鉄筋保護層)を、ひび割れ延長 100m 未満の径間にはプロテクトシル BHN(吸水防止層形成)を適用した。この 100m の根拠としては、径間毎のひび割れ延長と全径間の総延長を比較して相対的に設定した数値であるため、すべてのケースに当てはまるわけでは無いことに留意する必要がある。

施工手順としては、下地処理を行った後、表面含浸材を必要使用量塗布して養生後完了となる。

なお、本工法の効果を確認する目的で行った施工後の桁内部含水率測定結果によると、補修前の 4.2%から 3.4%まで下がっており、効果を確認することができた。



写真-6 表面含浸処理状況

(3) 壁高欄コンクリート保護塗装工(シート系)

壁高欄のコンクリート保護塗装は、既設保護塗装が再劣化してはく落していたことを考慮し、均一施工が可能で、コンクリートはく落防止性能を備えたシート系の保護塗装(写真-7)とした。特徴としては、施工工程が下地処理、プライマー塗布、シート接着工で完了するため、塗装系より工程短縮が可能である。



写真-7 コンクリート保護塗装工(シート系)

(4) P16橋脚補修工

P16 橋脚は ASR により破断したスターラップを溶接継手により再一体化したのち、ASR の膨張反応を抑制する亜硝酸リチウム入りの修復材にて断面修復を行った。

施工手順としては、カッターによる断面整形、継手長確保のためのはつり、鉄筋組立、フレア溶接・鉄筋防錆(写真-8)、プライマー塗布・モルタル充填を行い完了した。



写真-8 フレア溶接、鉄筋防錆処理完了

5. まとめ

(1) 詳細調査結果について

- ・上部工で見られた著しいひび割れの原因はASRであることを確認した。
- ・ASR 調査においては、なるべく多くの調査・試験を行い多角的な視点から考察することが望ましい。
- ・グラウト充填状況においては、外観変状の程度と内部の空隙および腐食程度に相関がみられなかった。そのため、外観変状にとらわれることなく調査箇所を選定することが重要である。
- ・劣化要因が ASR で膨張反応を抑制する対策を行う場合は、コンクリート内部含水率を測定し、補修後に含水率が下がっていることを確認することが望ましい。

(2) 今後対応すべき項目について

- ・今回の工事で施工できなかった「グラウト充填不良箇所の再充填」が必要である。
- ・上り線についても下り線で実施した対策が必要である。
- ・ASR で劣化している場合は、出来る限り「水分」をコンクリートに入れないことが重要であることから、「水漏れが確認されるジョイントについては更新」, 「舗装の更新時には防水層更新」を行うべきである。
- ・P16 橋脚については、モニタリング計画を作成し定期的な調査を行ったうえで、安全性を確認する。
- ・P16 橋脚以外の下部工についても、P16 同様に現在の「保護塗装」を「表面含浸処理工」へ変更する必要がある。
- ・同様に ASR が生じている橋梁について、今回の調査、補修工事を参考して対策を実施する。

謝辞：森川英典教授 三木朋広准教授(神戸大学大学院)、山本貴士教授 服部篤史准教授(京都大学大学院)には検討会、現場診断会においてご指導・ご助言をいただいた。本稿の場を借り、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会第71回年次学術講演会：含浸材によるコンクリート内部含水率の経時変化と測定時温度に関する考察, 2016.
- 2) 土木研究所：既存コンクリート構造物の健全度実態調査結果, 2002.
- 3) プレストレストコンクリート工学会：既設ポストテンション橋のPC鋼材調査および補修・補強指針, 2016.

3D-VR 可視化を可能にした法面作業の 安全教育について

菊地 薫¹・柳本 暁²

¹ライト工業株式会社 西日本支社 技術一部 (〒564-0063大阪府吹田市江坂町1-16-8)

²ライト工業株式会社 西日本支社 施工技術一部 (〒564-0063大阪府吹田市江坂町1-16-8)

安全教育VRは3Dのバーチャルリアリティ（仮想現実）を活用し、現場に潜む危険ポイントを探し出す新感覚の安全教育ソフトである。CGで再現されたバーチャルな現場に入りこむことで、実際の作業現場にいるかのような体験が可能となる。弊社では法面作業用の安全教育VRを開発し、コンテンツ中の事故の疑似体験やクイズ形式の気づき教育の繰り返し等により、基本的な関連法規や作業現場のルール周知徹底を図り災害防止活動の推進に役立てている。

キーワード 3D-VR, 安全教育, 疑似体験, バーチャル現場

1. はじめに

近年の当社における労働災害について検証を行った結果、比較的経験年数の浅い作業員や外国人の研修生、高齢作業員の災害が多発しており、建設現場におけるヒューマンエラーによる類似労働災害の撲滅が急務であることが分かった。

特に高所や急傾斜地において、作業員が命綱を使って作業を行う法面作業は、墜落・転落のリスクが高い危険な作業であり、一つのヒューマンエラーが大きな事故につながるリスクを有する。

ヒューマンエラーによる労働災害には危険軽視や近道・省略行動、無知・未経験・不慣れなど様々な原因がある。これらに対する安全教育は紙のテキストとDVDなど映像で実施する座学の場合や、現場の朝礼において安全意識を高める周知が一般的である。しかし話し言葉で伝えることは、教える側の主観による偏った教育になりやすく、また記憶に残りにくく相手に伝わりにくい。学習する側は労働災害の事例を知ったとしても他人事のような感覚で終わってしまう可能性が高い。

近年、建設業では安全教育にVRが導入されるようになったが、当社の主要工事である法面用、地盤改良用の「安全教育VR」はまだない。このような状況から作業の安全性を高める手段として座学の場合に加え、現実に近い場面を3D-VRで体験する法面作業に特化した安全教育コンテンツ「安全教育VR」の開発・製作を進め現場に導入した。本稿ではこの「安全教育VR」の概要について述べる。

2. 教育分野にVRを取り入れる一般的なメリット

VRでは頭部にヘッドマウントディスプレイを装着し、視界全体に広がり360度存在する3D映像により、体験者自らが「見渡す」という能動的なアクションを起こすことが可能である。座学や2D映像での受動的な学習より「記憶に残りやすい」「複雑な内容も理解しやすい」というメリットが提唱されている。¹⁾

安全教育のコンテンツを高精細なCGで作成、そしてインタラクティブな表現が可能である「リアルタイムCG」で作成することで、より能動的なアクションが必要とされ教育内容を深く記憶に定着させることが可能である。

加えてヘッドマウントディスプレイで両目を、またヘッドフォンで耳を覆うことで、周囲の情報から遮断され、集中力の維持にも効果が発揮される（写真2-1）。



写真2-1 ヘッドマウントディスプレイ装着

3. 「安全教育VR・法面篇」コンテンツ内容

座学による安全教育は、受動的に内容を見聞きするため学習者の興味や関心が低い場合は、教育により得られる効果が低い。安全教育VRではより高い学習効果を得られるよう、視覚効果に合わせ自発的な学習を促すクイズゲーム形式を採用している。

クイズ形式用の設問は多数用意されて、問題がランダムに出題されるため、マンネリ化せず繰り返し学習に役立つ。また何度も繰り返し教育を受けても新しい発見が可能となる。

体験者の属性（年齢・性別・国籍等）を入力する画面を作成し、属性による解答傾向などを分析できるようにし、将来の安全教育にフィードバックすることができる。

(1) VR現場から危険ポイントを探し出す新感覚ソフト

CGで再現されたVR作業現場に入り込むことで、現地にいるかのような体験が可能である。

体験コースは4つあり、①始業前準備コース、②始業前点検コース、③法面作業コース、④高所足場作業コースとなる。それぞれのコースでは作業現場に潜む危険ポイントを探し出すモードと、作業員の間違った発言を探し出す〇×クイズ形式の安全学習が可能となるソフトがある（写真3-1）。



写真3-1 体験コース選択画面

a) 作業現場に潜む5か所の危険ポイントを探し出す「現場篇」

目の前の現場作業状況や作業員の装備や行動を観察し、危険と思われる箇所を探し出しコントローラーで5か所を選択する（写真3-2）。VR内では体験者自身が動き回ることが可能で、その場から移動しポイントに近づくことで状況を確認したり、前後左右を見渡すことで不安全行動（状況）である正解を発見することが可能である。

問題は詳細に作られており、目の前の作業員の首にタオルがかけられていたり、火花の出る作業のそばに灯油缶が置いてあったり（写真3-4）、仮設足場の足場板に割れ目があるなど、近づいて確認しないと誤りに気付かないことがある。正解以外にダミーポイントが設定されているので注意して観察する必要がある。解答後は正解の箇所に対して音声と文字で解説を行う（写真3-3）。



写真3-2 「現場篇」解答選択画面



写真3-3 「現場篇」解説画面



写真3-4 「現場篇」不安全作業画面

b) 作業員の発言から3つの間違った発言を探し出す「発言篇」

目の前にいる作業員の6つの発言の中から危険と思われる発言や間違っている発言を3つを選択する（写真3-5）。

問題は熱中症対策や高所作業について、足場の組み立て作業ルール等関連法規や規則に則った内容となっている。解答後、正解に対して解説があり、法令で定められている規則や社内ルールを詳しく学習することが可能である（写真3-6）。



写真3-5 「発言篇」解答画面



写真3-6 「発言篇」解答画面

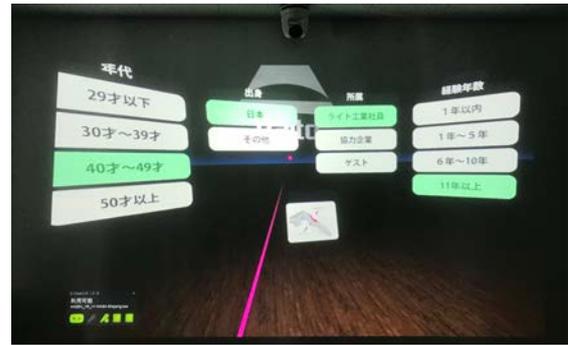


写真3-9 基本情報入力画面

c) リスクなく教育が受けられる「事故シーン体験」

体験学習が終了すると、それぞれのコースで、危険な現場にて起こり得る事故や不安全行動の結果として起きる事故を間近で疑似体験できる（写真3-7、写真3-8）。事故シーンは3パターンあり、目の前で起こる臨場感ある体験は特に記憶に残りやすく悲惨な事故を未然に防ぐ効果が期待される。



写真3-7 事故シーン体験コース選択画面



写真3-8 法面作業の事故シーン画面

(2) 体験者の解答傾向を分析することが可能

体験の初めに基本情報を入力することにより体験時の出題や解答状況のログがパソコンに残されるため容易にデータを解析することができる（写真3-9、図5-1、図5-2）。基本情報は年代、出身（国）、所属（社内・協力業者・ゲスト）、経験年数を選択する。

現場で起こり得る事故と体験者の理解度の比較検証を行うことにより、ヒューマンエラーが発生しやすい状況の確認、原因の特定、再発防止策の具体的な改善につながる。また、ソフトの設定を充実させコンテンツとしての品質を高めることが可能である。

4 VRを活用した安全教育の事例

実際の工事現場においてVRを活用した安全教育を実施した事例について紹介する。

安全教育VRは現場で毎朝行われるKY活動や日常の安全行動についての内容であるが、参加者がこのVRを体験し、記憶に残りやすい気づき教育や繰り返し教育の効果について体験してもらう。

事例1は斜面勾配45°を超える急傾斜地で施工箇所付近に送電線の鉄塔が存在していた。急傾斜地でのロープ作業は安全確保が重要であり、ロープ作業の教育が必要であった。事例2は災害に強い道路、交通混雑の緩和を目的とした道路を新たに作るため、切土により生じた斜面の補強対策を施工する現場である。土足場施工現場で足元が大変危険であり、不安全行動から労働災害が起こりやすいため始業前準備や始業前点検等の教育が必要と考えられた。

(1) 事例1

ICT・省人化機械とVRを活用した安全教育（渦ヶ森地区）（写真4-1）

開催日時：令和元年11月8日14：00～17：00

参加者：発注者・施工業者他

工事名：渦ヶ森地区1工区斜面对策工事

施工場所：兵庫県神戸市東灘区渦森台3丁目地先

発注者：近畿地方整備局六甲砂防事務所

工期：平成31年3月～令和2年3月



写真4-1 安全教育VR体験状況

(2) 事例2

ICT・省人化機械とVRを活用した安全教育（西舞鶴今田北地区）（写真4-2）

開催日時：令和元年11月22日14：00～17：00
 参加者：発注者・施工業者・コンサル関係者他
 工事名：西舞鶴道路今田北地区改良工事
 施工場所：京都府舞鶴市今田地先
 発注者：近畿地方整備局福知山河川国道事務所
 工期：平成31年2月～令和2年3月



写真4-2 安全教育VR体験状況

安全教育を実施後、体験者より「座学よりもわかりやすい」、「ヘッドマウントディスプレイを装着することで集中できる」、「ゲーム感覚で学習でき、繰り返し体験しても新たな設問を学習でき楽しく学ぶことができた」などの意見があった。安全教育VRを体験している人だけではなく、学習中の内容をディスプレイに映すことで非体験者が同時に経験でき、指摘しあうことで安全に対する意識が高めることが可能と考える（写真4-3）。



写真4-3 非体験者の学習状況

5. 今後の課題

今後の課題としてマンネリ化を防ぐために設問数を増加させたり、全国で安全教育VRを体験したデータを基に、間違いが多い解答を分析・比較検討し設問を充実させる。また改正される法令にも迅速に対応し、分かりにくく難しい法令を理解しやすいコンテンツに仕上げたいと考えている。

安全教育学習でVRを活用することにより、作業員一人ひとりがヒューマンエラーに気づき、危険の多い作業現場での労働災害を少なくする効果が期待される。体験者には今後も安全教育VRで繰り返し教育を受けてもらい、更なる安全意識向上につながる手法としたい。

日付	開始時刻	終了時刻	取付った設問	正答率	正答数(設問数)
2019/2/22	22:00:00	22:04:00	005.00～09.00	100%	4
2019/2/22	22:09:00	22:04:00	005.00～09.00	100%	4
2019/2/24	14:11:00	14:14:00	010.00～09.00	100%	4
2019/2/24	15:58:00	15:58:00	005.00～09.00	100%	4
2019/2/24	15:58:00	15:58:00	002.00～09.00	100%	4
2019/2/25	16:44:00	16:40:00	010.00～09.00	100%	4
2019/4/18	10:35:00	10:59:00	002.00 50.00～	100%	5
2019/4/20	10:12:00	11:19:00	1.07.00 50.00～	100%	5

図5-1 出力結果（例）

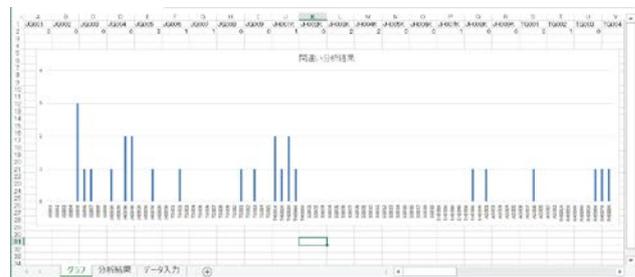


図5-2 分析結果（例）

6. まとめ

3D-VRで可視化した法面作業の安全教育VRについてメリット及びコンテンツの内容、安全教育体験の事例を紹介した。

現在公開できるコンテンツは法面工事現場を対象とする内容であるが、当社の主力工事である都市土木工事現場等についても順次製作を進めている。3D-VRの特徴を最大限に活用し、社員・協力業者の危険感受性向上及び、コンテンツ内における事故の疑似体験・気づき教育の繰り返し等により、基本的な法規や作業現場ルールの周知徹底を図り災害防止活動の推進に役立てたい。

謝辞：本稿に際して、国土交通省 近畿地方整備局六甲砂防事務所及び福知山河川国道事務所、またその他関係各位には多大なご指導をいただき、ここに記して謝辞を申し上げます。

参考文献

1) 瀬戸崎典夫ら：VR教材の効果的な活用場面に関する調査、日本化学教育学会年会論文集, vol33, 2009

港湾構造物における摩擦増大用 アスファルトマットの長期耐久性能評価

山本 滯

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 企画調整課（〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7番30号）

摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性能を調べるために、海水中に暴露された供試体を使用して、昭和44年(1969年)から定期的に物理的性状試験を行っている。これらの摩擦増大用アスファルトマットが昭和44(1969年)の試験開始から50年経過を迎えるにあたり、海水中から取出した暴露供試体を使用して物性試験及び摩擦試験を行い、摩擦増大用アスファルトマットの品質低下がないか、摩擦係数に問題が無いかなどの性状を確認して、長期耐久性能を評価するものである。

キーワード アスファルトマット，長期耐久性，摩擦試験，物理的性状試験，摩擦係数

1. はじめに

波浪，地震力等の外力によるケーソンの滑動安全率はケーソンの自重に摩擦係数を掛けたケーソン底面と捨石間の摩擦抵抗力で決まる。よって，摩擦抵抗力が増大すれば，ケーソン重量はより小さい物でも所定の安全率を確保でき，全体工費の大幅な低減を図ることが出来る。摩擦係数を増大させる工法として，一般的にケーソン底面と捨石基礎との間に摩擦増大用アスファルトマットを敷設する工法が採用されている。



写真-1 試験項目及び条件

摩擦増大用マットにアスファルトを用いるアスファルト工法は，昭和38年（1963年）に運輸省 第三港建設局和歌山港湾事務所（現；国土交通省 近畿地方整備局 和歌山港湾事務所）が有田港防波堤の施工に当り，わが国で初めて採用された。アスファルト工法は，その後も和歌山港防波堤などに採用されたが，長期にわたる耐久性において懸念がもたらされたことからアスファルトの劣化現象が，海水中において進行するか否かを調べるため

に昭和44年（1969年）にアスファルトの供試体を作成し，和歌山下津港の海水中に沈設（写真-1）して，定期的に物理的性状試験を実施してきた。

本研究の目的は，暴露開始から50年が経過した供試体の物理的性状試験及び，摩擦試験を実施し，これまでの結果と共に，アスファルトの海水中での長期（50年）耐久性を評価することである。

2. 試験項目及び条件

昭和44年（1969年）に，各試験用に成型した供試体を海水中が出入りするコンクリート方塊に収容し，和歌山下津港本港区に沈設して海水中暴露試験を開始した。其の後，0年（初期値），1年，2年，5年，7年，8年，10年，15年，20年，25年，30年，50年経過時の供試体を引き上げて，供試体の目視観察と物理的性状試験を行った。また，30年，50年経過時は摩擦試験も実施した。

(1) 供試体外観観察

試験に先立ち，供試体の寸法をノギスにて0.1mmまで測定した。試験は，0～30年経過時と同様の試験項目と条件、方法で行った。試験項目及び条件は，表-1に示す。物理的性状試験（曲げ、圧縮、せん断、引張）では，測定した最大荷重と最大荷重時の変位量から歪みとスチフネスを算出し，また，針入度・軟化点の試験の結果から針入度指数を算出する。

(2) 試験方法

a) 比重試験

比重とは、所定の温度（20℃）で養生した供試体の空中重量と水中重量を測定し、式(1)により算出する。

$$\text{比重} = \frac{\text{空中重量}}{\text{空中重量} - \text{水中重量}} = \frac{\text{空中重量}}{\text{容積}} \quad (1)$$

b) 曲げ試験

所定の温度（20℃）で養生した供試体を曲げ試験用アタッチメント（スパン100mm）にセットし、所定の変位速度（20mm/min）で1点中央載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

c) 圧縮試験

所定の温度（20℃）で養生した供試体を圧縮供試体用アタッチメント（加圧面積40mm×40mm）にセットし、所定の変位速度（20mm/min）で載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

d) せん断試験

所定の温度（10℃）で養生した供試体をせん断試験用アタッチメント（せん断面積40mm×40mm×2断面）にセットし、所定の変位速度（10mm/min）で複せん断載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

e) 引張試験

所定の温度（10℃）で養生した供試体を引張試験用アタッチメント（供試体中央断面40mm×40mm）にセットし、所定の変位速度（10mm/min）で載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

f) 針入度・軟化点試験

アスファルトの回収は、300mm×300mm×厚40mmの供試体から、アブソン抽出法により行う。回収されたアスファルトについて、針入度試験（JIS K 2207），軟化点試験（JIS K 2207 環球法）を行う。

また、式(2), (3)により針入度指数（PI）を算出する。

$$\text{針入度指数}(PI) = \frac{30}{1 + 50A} - 10 \quad (2)$$

但し、

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{\text{軟化点} - 25} = \frac{20 - PI}{10 + PI} \times \frac{1}{50} \quad (3)$$

P₂₅: 針入度(25℃)

g) 摩擦試験

摩擦試験は防波堤ケーソンにおける上下の位置の勘案し、コンクリート（上側）とアスファルト（下側），アスファルトマット（上側）と砕石（下側）の2ケースの境界面について、各3回行う。試験装置を写真-2に示す。



写真-2 摩擦試験装置

砕石板、コンクリート板は30年経過時と同一のものを使用した。アスファルトマットは300mm×300mmの供試体から150mm×150mmに切り出した。

構造物の滑動に対する安定性に用いられる摩擦係数は、静摩擦係数であるから、本研究における摩擦係数は、静摩擦係数とする。また、アスファルトマットの摩擦試験には純粋な摩擦抵抗の外に、ほぞ効果によるせん断抵抗、弾塑性変形による抵抗、付着抵抗の成分が含まれるが、ここでは、これまでと同様に静摩擦係数として表記する。

表-1 試験項目及び条件

試験項目	試験条件				
	供試体寸法 (mm)	個数	温度 (℃)	変位速度 (mm/min)	その他
比重試験	40×40×160	3	20	—	
曲げ試験	40×40×160	3	20	20	スパン:100 mm
圧縮試験(I)	40×40×160	3	20	20	加圧面積:40×40 mm
圧縮試験(II)	40×40×40	3	20	20	加圧面積:40×40 mm
せん断試験	40×40×160	3	10	10	加圧面積:40×40 mm
引張試験	40×40×170	3	10	10	供試体中央部断面:40×40 mm
針入度試験	—	1式	25	—	JIS K 2207(旧 JIS K 2530)
軟化点試験	—	1式	—	—	JIS K 2207(旧 JIS K 2531)
摩擦試験	150×150×40 (300×300×厚40から切出し)	6回	15	60	試験環境:水中 上載荷重:30tf/m ² (294kN/m ²)

試験手順を以下に示す。

- ・下側供試体（アスファルトマットまたは砕石版）を試験装置内の水槽に設置し、その上に上側供試体（コンクリート板またはアスファルトマット）を乗せ、上載荷重 392kN/m^2 (40tf/m^2) をかける。なお、アスファルトマットは、試験前に所定の温度 (15°C) に養生しておく。
- ・載荷開始から1時間後に上載荷重を 294kN/m^2 (30tf/m^2) にし、上側供試体（コンクリート板またはアスファルトマット）を変位 (60mm/min) をさせ、その時の水平荷重及び変位量を記録する。
- ・水平荷重の最大値と載荷時の上載荷重から静摩擦係数をしき(4)より算出する。

$$\text{静摩擦係数} = \frac{\text{水平荷重 (最大値)}}{\text{載荷時の上載荷重}} \quad (4)$$

(3) 摩擦試験機の相関性の確認

本研究において使用する試験機は、25年経過以降の物理的性状試験及び針入度、軟化点試験については、同じ試験機を使用している。しかし、摩擦試験に使用する試験機（以下、新試験機）は、30年経過時に使用しら試験機（以下、旧試験機）と異なっており、新旧試験機の相関性を確認する必要がある。

そこで、新試験機を使用して、旧試験機で行った摩擦試験時と同様の物理的性状を有するアスファルトマット合材を用いて、同一試験条件で摩擦試験を行った。試験は、アスファルトマットと砕石板間について、水平荷重の載荷速度と水平荷重をかけるまでの鉛直荷重の上載せ時間を変化させて行った。試験結果を図-1に示す。新旧試験機の結果は、ほぼ1:1の関係であり、両者に相関性があることを確認した。

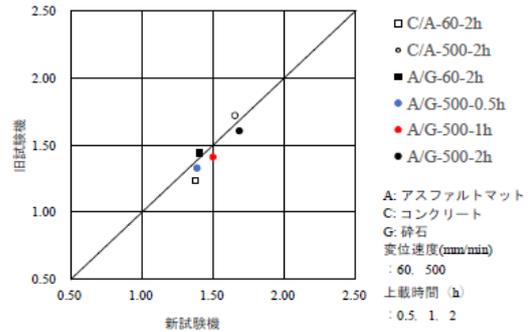


図-1 新旧試験機を使用した摩擦試験結果

3. 試験結果及び長期耐久性評価

(1) 試験結果

今回の試験結果と0年～30年経過時の試験結果一覧を表-2に示す。試験結果の最小値、最大値は、0～30年経過時の最小値と最大値である。また、基準値は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、港湾の技術基準）に定められる。

a) 供試体外観

供試体外観を目視で観察した結果、多少の変形や表面の汚れは見られなかったが、ひび割れ等は確認されなかった。コンクリート製保管箱から取り出し、水洗いした後の供試体を写真-3に示す。



写真-3 取り出した供試体

表-2 試験結果一覧（上段；50年経過時（平均値），下段；0年～30年間の測定値）

項目	試験結果				項目	試験結果	項目		試験結果
	強さ (Nmm ²)	変位量 (mm)	歪み (%)	スチフネス (Nmm)			摩擦試験	コンクリート板/ アスファルトマット /アスファルトマット /砕石板	
曲げ試験	45	37	89	503	比重試験	236			コンクリート板/ アスファルトマット
	34~59	28~50	5.7~17.9	22.9~89.5		232~240	1.15~1.21		
圧縮試験	45	44	110	410	針入度試験	23	アスファルトマット /砕石板	1.41	
	42~77	28~59	7.0~13.8	31.9~87.8		21~35		1.23~1.43	
せん断試験	27	27	65	410	軟化点試験	70.5			
	24~43	1.4~3.8	3.4~9.5	25.3~126.5		65.0~75.5			
引張試験	18	59	149	119	針入度指数	11			
	11~28	10~93	2.5~23.3	11.0~108.0		0.7~1.7			

b) 比重及び物理的性状試験

比重試験及び物理的性状試験（曲げ・圧縮・せん断・引張）の結果は、全ての項目において、0年～30年の試験の最小値と最大値の範囲であった。また、比重・曲げ・圧縮強さの各試験結果は、港湾の技術基準の管理基準値を満足していた。

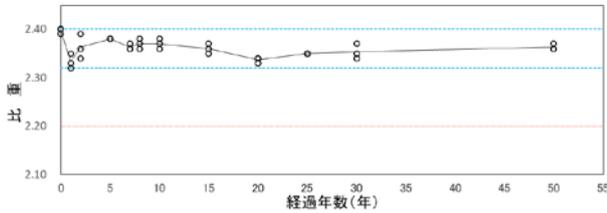


図-2 比重試験

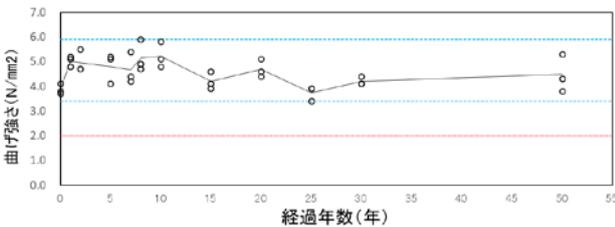


図-3 曲げ試験

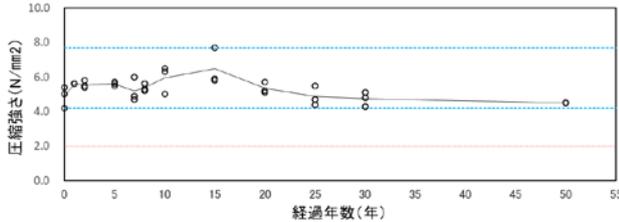


図-4 圧縮試験

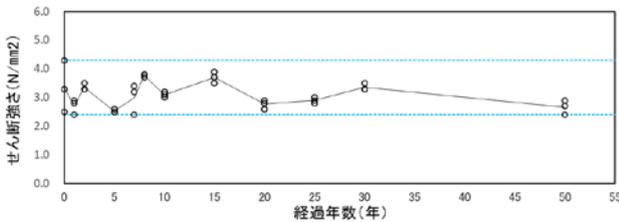


図-5 せん断試験

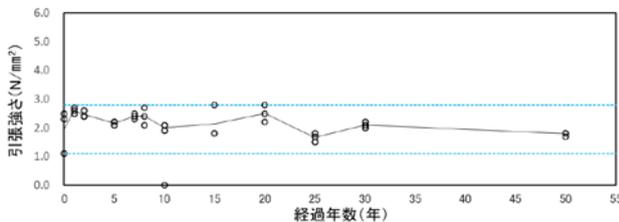


図-6 引張試験

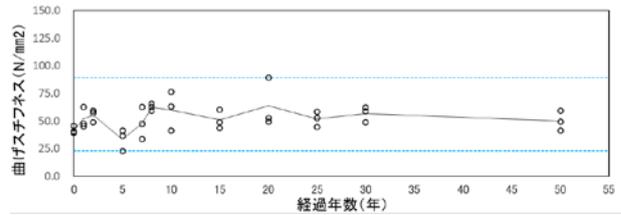


図-7 曲げスチフネス

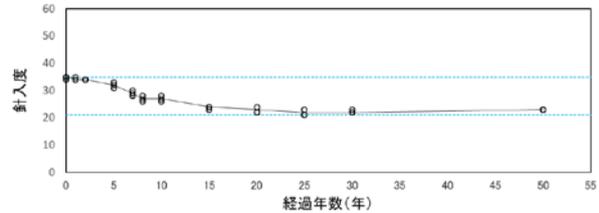


図-8 針入度試験

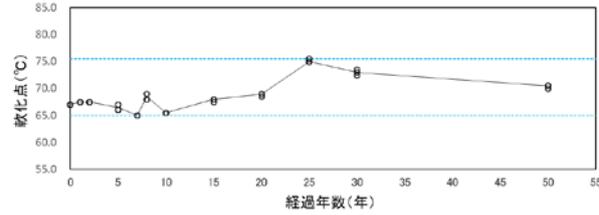


図-9 軟化点試験

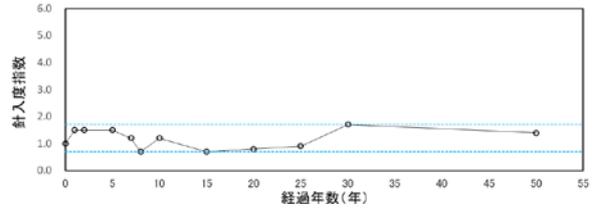


図-10 針入度指数

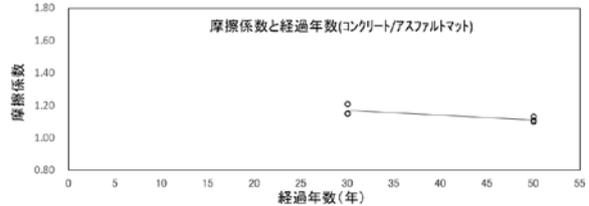


図-11 摩擦試験
(コンクリート板/アスファルトマット)

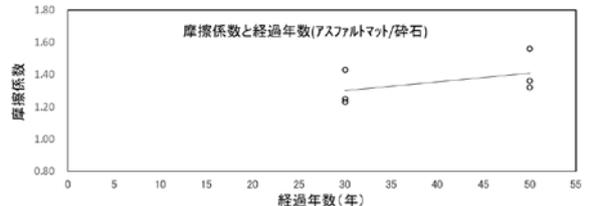


図-12 摩擦試験
(アスファルトマット/砕石板)

曲げ試験のスチフネスの結果を図-7に示す。アスファルトマット混合物の劣化が進むと、曲げ強さの最大荷重時の歪みが小さくなり、剛性を示すスチフネスは大きくなる傾向を示すとされているが、今回の試験結果からは、歪み、スチフネス共にそのような傾向は見られず、

暴露開始時と同様の値であった。また、他の試験（圧縮、せん断、引張）においても同様であった。

c) 針入度・軟化点試験

針入度・軟化点試験結果は、0～30年の試験の最小値と最大値の範囲であった。

針入度は初期の35（平均値、以下同じ）から、経年と共に小さくなる傾向を見せ、20年以降は21～24の範囲で安定している。今回の結果は23であり、20年以降と同様の値であった。

軟化点試験の結果は70.5℃であった。25年経過時をピークに下降傾向を見せているが、初期に比べると大きい値であり、25年以降は微増の傾向と考えられる。

d) 摩擦試験

摩擦試験は、30年経過時と今回の2回行っている。

コンクリート板とアスファルトマット間のケースは、30年経過時の静摩擦係数（ μ ）；1.17にたいして、今回は μ ；1.11であり、ほぼ同様の値であった。試験状況を写真-4に示す。

アスファルトマットと砕石板間のケースは、30年経過時の μ ；1.30に対して、今回は μ ；1.41であった。今回の方が若干大きな値となっているが、アスファルトマットと砕石板の間のケースは既往試験でもばらつきが大きいことを考慮すれば、試験誤差の範囲であり、同等の結果であったと考えられる。



写真-4 摩擦試験装置

(2) 長期耐久性の評価

今回引き揚げた供試体は、多少の変形のみでひび割れ等は無く、外観上は問題がない状態であった。

比重試験の結果は、2.35前後で安定し、また、物理的性状試験の結果は、0～30年間の試験の最小値と最大値の範囲に収まっていた。また、歪みやスチフネスに経年的な変化は認められなかった。

針入度は暴露開始から減少傾向（20年以降は安定）であり、軟化点はばらつきはあるが、25年以降は微増の傾向であった。針入度と軟化点から算出される針入度指数は、アスファルトの感温性を示す指標である。一般に、-2～2の範囲で「粘弾性型」とされている。本試験の針入度指数このことから、アスファルトマット中のアスフ

ルトは、50年経過後も粘弾性体としての特性を保持していると言える。

摩擦増大用アスファルトマットにとって重要な機能である摩擦係数は30年経過時と同等の値であり、低下の傾向は見られなかった。これまで行われた各ケースの静摩擦係数は、すべて1.10以上の結果で、港湾の技術基準に示された静止摩擦係数の特性値「摩擦増大マットと捨石」の0.75を十分に上回る値であった。また、同特性値の「捨石と捨石」の0.80を大きく上回っているため、波浪等によってケーソンが滑動する場合は、アスファルトマットの上面、下面ではなく、捨石間で滑動する。これらのことから、アスファルトマットは50年経過後も摩擦増大マットとしての機能を十分に保持していると言える。

アスファルト混合物の劣化要因としては、酸素、紫外線、熱、水等が考えられる。アスファルトマット供試体は常に海水中にあり、酸素、紫外線、熱の影響はわずかである。また、無空隙かつひび割れが発生しない合材であるため、アスファルトマット内部に海水が侵入することはないと思われる。

また、寒冷地における長期耐久性試験において、20年経過後に物理的性状や摩擦係数の経年変化が小さく、十分な耐久性を保持していること、30年経過後に摩擦係数を測定し、沈設初期の性状をほぼ維持していることが報告されており、今回の試験結果と同様な結果が示されている。

今回の試験結果は、これまでの30年間の結果と同等であり、有意な変化は見られなかったことから、海中暴露したアスファルトマットは、50年経過後も摩擦増大用マットとしての機能を十分に保持しており、50年以上の長期耐久性を有していると評価された。

4. おわりに

防波堤ケーソン等の下面に設置されたアスファルトマットは、供用中は不可視部分となり、調査や性状の確認ができない。そこで、昭和44年から、海水中に暴露した供試体を使用して試験を行い、物性変化の有無を確認してきた。結果は、50年経過後も性状に有意な変化は見られず、アスファルトマットの長期耐久性が確認された。本研究の結果と海水中という供用環境を考慮すれば、今後の経年による劣化の進行も遅いものと考えられる。したがって、供用中の防波堤ケーソン等の改良設計や移設時の設計においても建設時の物理的性状や摩擦係数を用いることが可能と考えられた。

参考文献：

浜田 敏明（2001年）「海水中における摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性（30年）」

巻末：

今回の論文は、従前の所属先(神戸港湾技術調査事務所)における所掌内容を課題として、報告したものである。

(国) 482号(町道岩小屋線)の供用に伴う 安全対策について

豊島 辰吾¹・足立 貴弘²

¹兵庫県道路公社 播但連絡道路管理事務所 保全課 (〒679-2204 兵庫県神崎郡福崎町西田原 1949)

²但馬県民局 豊岡土木事務所 道路第1課 (〒668-0625 兵庫県豊岡市幸町 7-11)

国道482号(旧町道岩小屋線)は、令和元年5月25日に供用を開始した兵庫県美方郡香美町小代区秋岡と鳥取県八頭郡若桜町つく米を結ぶ約6.4kmの道路である。同区間は、高山に囲まれる小代溪谷に位置する狭隘な道路であり、平成13年度に供用可能な状態まで整備を進めたが、度重なる災害で法面崩壊が発生し、平成16年10月に再び通行出来ない状態となり、国道482号では唯一の通行不能区間となっていた。地形条件から、抜本的な改良工事が困難であったため、道路防災、待避所設置、橋梁修繕、防護柵設置などに取り組み供用することが出来た。本稿では、安全な通行を確保するため実施した対策及び現在も引き続き取り組んでいる交通安全や緊急時の対策について説明する。

キーワード 道路防災 交通安全

1 国道482号(町道岩小屋線)の概要

国道482号は、京都府宮津市を起点に兵庫県北部地域を通過し、鳥取県米子市を終点とする幹線道路である。このうち、兵庫・鳥取県境付近は、国道482号唯一の通行不能区間となっていた。

これを解消するため、国道482号に並行する町道岩小屋線約6.4kmに道路防災対策などを集中的に施すこととし、平成25年度より工事着手した。

当該区間は、岡山・鳥取・兵庫の3県にまたがる、氷ノ山後山那岐山国定公園の高山に囲まれる小代溪谷に位置することから狭隘で、対策箇所が多く、積雪や地すべり対策が必要となるなど難工事であったが、無事工事を完了させ、令和元年5月25日供用を開始した。本稿では、安全な通行を確保するために実施した対策及び、現在も引き続き取り組んでいる課題とその対策案について考察する。



- ・ 事業延長 L=6.4km
- ・ 事業期間 平成25年～令和元年
- ・ 主な対策工法
落石防止網工
落石防止柵工
法枠工
待避所設置
路側防護柵設置



図-1 国道482号(町道岩小屋線)の概要図

2 防災工事

2. 1 大規模防災工事着手の経緯

国道 482 号の香美町小代区秋岡と鳥取県若桜町つく米間で不通区間となっていたことから、平成 5 年に国道 482 号の予定地とした並行する町道岩小屋線の舗装工事を平成 13 年に行い、通行可能とした。しかし、平成 16 年の台風により法面崩落が多発し、再び通行止めとなった。

古くから小代区（旧美方町）と若桜町には交流があったが、移動には国道 9 号などで鳥取市へ迂回し、約 1 時間 40 分必要となっていた。

当区間を含む周辺地域は、狭小区間が連続し、離合が困難であるが、氷ノ山後山那岐山国定公園内に位置していることから、豊かな自然を活かした観光振興、交流の活性化が期待されており、香美町と若桜町は平成 22 年に「国道 482 号早期整備完成を進める会」を結成し、不通の解消を訴えてきていた。

これを受け、平成 25 年から同区間の大規模防災工事に着手し、落石や地滑り対策工事を 33 箇所で行った。あわせて、同区間は全区間において道幅が 3～5 m と狭隘なため、小型自動車等が離合できるよう待避所設置を 10 箇所で行った。これにより、香美町小代地域局（旧美方町役場）から若桜町役場まで約 1 時間で行くことが可能となった。

2. 2 対策工事の概要

本工事区間では、全 33 箇所（表-1）の対策工事を 5 カ年で実施するため、区間内において同時並行で異なる工事を施工する必要があった。これだけであれば他の地域・路線でも実施しているが、本区間内は小代溪谷の最奥地に有るため、道幅が非常に狭く、車の離合も困難である箇所が大部分である。

そのため、工事箇所への出入り、資材の搬出入等において工事業者間の連絡・調整が非常に重要となった。

併せて、本工事区間は、県内有数の豪雪地帯であるため、降雪期の 12 月～4 月は工事を行うことが出来ない。

対策として月に 1 度、施工業者全体で工程会議を開催し、出入りを兵庫県側、鳥取県側に分けるなど、現場で混乱が生じないように調整に注力した。

表-1 対策工事概要

工種	対策工	数量	
法面对策工	落石防護柵	494m	全 8 箇所
	落石防止網	1438m	全 16 箇所
	岩塊撤去	870m ³	
	法枠工	532m	全 4 箇所
	重力式擁壁	158m	全 4 箇所
橋梁架替・補修		5 橋	
待避所		10 箇所	
路側防護柵	ガードケーブル ル・ガードレール	3600m	
舗装工	アスファルト舗装	5700m ²	



写真-1 対策工事の完成写真

2. 3 完成箇所における被災と対応

平成 25 年度より順調に工事を進めていたが、平成 28 年度の豪雪により、落石防止網等が被災を受けた（写真-2, 3）。

その原因は、当初の設計において最も近くの積雪センサーで記録された最大積雪深 2.0m を設計積雪深としていたが、平成 28 年はその積雪深を超える約 3.0m の積雪があったことから、積雪荷重により支柱アンカー、吊ロープの破断が発生したことが支柱の倒壊に繋がったと推定される。

これにより、設計積雪深を現場の実績に合うよう箇所毎に見直し、積雪加重に耐えられることを前提に施工条件も加味して復旧工法を選定した（ブレイクアンカー工法を採用）。

他にも、施工途中に落石、崩土が発生することもあったが、その都度対策工法を見直し、工事を完了させた。



写真-2, 3 落石防止網・防護柵の被災状況

3 供用開始と残った課題・対策

平成 29 年にも降雨などによる更なる被災を受けたが、それぞれ復旧工事を施工し、令和元年 5 月 25 日、無事に供用することが出来た。供用式典には兵庫県・鳥取県両県の地元の小学生などが参加し、盛大に開催された（写真-4）。

一般開放後、特に混乱は起きていないが、供用開始後に安全対策に係る以下の問題点（表-2）が残っていた。今後は供用しながらこれらの問題の中から課題を抽出し、決定した対応方針（表-3）に沿って工事を進めていき、安全な交通を確保していくこととした。



写真-4 供用式典の様子

表-2 供用開始後の問題点

問題点	対策案	対応の可否
道路幅員が狭い	拡幅する	地形条件から難しい
側溝に蓋がない箇所がある	蓋をかける	兵庫県側は設置済 鳥取県側は設置協議を行う
道路線形が悪い	道路線形を改良する	地形条件から難しい
待避所が少ない	待避所を増やす	地形条件から設置可能箇所が限られる
落石の危険がある	落石対策をする	危険箇所は対策済
事故の際に連絡できない	電話連絡できるようにする	携帯電話事業者は実施困難

表-3 今後の課題と対応方針

課題	対応方針
通行車両の安全確保（ハード）	待避所の増設
	待避所の位置表示、案内看板の設置
	道路側溝の蓋掛け
	注意看板、カーブミラー等の増設
道路管理の充実（ソフト）	道路パトロールの充実
	カーナビのルート案内を控える
事故などの際の連絡方法確保	衛星電話、有線電話の設置

(1) 待避所の増設

待避所は、道路構造令の設置基準（300m に 1 箇所）を基本に増設を図る。ただし、道路構造令には囚われず、普通自動車等が最低 1 台は停車できる空間があれば、整備する。

供用開始時は全 66 箇所であったが、用地買収が必要でなく、土砂を掘削するだけでスペースを確保できる箇所（写真-5）などを 28 箇所整備することにより令和元年 8 月時点で全 94 箇所となった。

今後は追加で設置可能な 10 箇所について、用地取得次第、順次待避所を設置していく予定である（全 104 箇所）。

(2) 待避所の位置表示

待避所の位置表示は、次の待避所までの距離を『この先〇m』と表示し、わかりやすく案内することとした（写真-6）。供用後 1 ヶ月以内で整備を完了した。整備完了までは暫定的に工事看板などで案内することで対応した。



写真-5 待避所増設箇所状況



写真-6 待避所案内標識

(3) 側溝蓋の設置

道路側溝に蓋が無い箇所が県境にあり、道路幅員が狭いため、離合する際に脱輪する恐れがあった（写真-7）。

兵庫県側は供用開始後 1 か月で蓋掛け等の対策を行った。鳥取県側の設置は鳥取県八頭土木事務所と調整している。



写真-7 脱輪の恐れのある側溝

(4) 道路パトロールの充実

本工事区間は道路幅員が狭く、携帯電話の不通箇所も有ることから、多くの車両が通過すると事故の発生の恐れがある。このため、供用から 2 週間は、通常の 2 回（早朝・昼間）に加え、5 回のパトロールを実施することで、緊急事態に対する備えを行った。

(5) カーナビのルート案内を控える

本工事区間では、事故対策として国道 482 号（町道岩小屋線）は狭隘で離合困難箇所が多く、線形・視距が悪いこと、携帯電話が不通であることから、事故等を未然に防ぐために積極的なカーナビでの案内を控えるよう、(財)日本デジタル道路地図協会に協力を依頼し、主要カーナビ 4 社（国内 90%以上のシェア）と「ルート案内を推奨しない区間に設定する」ことで合意した。

この対策については、供用した道路を通行させないという矛盾した形になっており、賛否ある対策であるが、事故を未然に防ぐために行ったものである。

(6) 衛星電話・有線電話の設置

当該区間では携帯電話の不通箇所が多く、事故などが発生した場合の連絡手段がないことから、携帯電話事業者へ基地局の設置などの協議を行ったが、携帯電話事業者から不採算により実施困難との回答があり、また、総務省が実施している携帯電話エリア整備事業にも該当しなかったため、代替案として、以下の 3 案を検討した。

- A 衛星電話（固定型）の設置
- B 有線電話（高速道路の非常用電話と同様）の設置
- C 携帯電話の基地局を県又は町が設置し、携帯電話会社が維持管理

検討の結果、ランニングコストを含めた経済性から衛星電話を設置することとし、不通区間に 1 km～2 km に 1 箇所設置する。現在は、電源の確保や機種を選定などの検討を行っている。



図-2 設置される衛星電話の例

4 おわりに

本工事区間は、供用開始から一年余りが経過したが、降雨や暴風の度に落石や倒木などの被害はあるものの、大きな事故なく交通を確保できている。

鳥取県側の若桜町つく米地区と兵庫県側の香美町小代地区では、住民が集まり昔話や両町に伝わる遊びなどを交流するイベントなどが開催されており、今後も両町で様々なイベントが企画される予定である。

今後もこの国道 482 号が地域交流に役立つよう、残る対策の早期完了を目指すとともに再び通行不能とならないよう、事務所が一丸となって維持管理に注力していきたい。

土石流危険渓流内における 安全・効率的な工事について

山村 祐太¹

¹奈良県 県土マネジメント部 道路建設課 (〒630-8501奈良県奈良市登大路30)

奈良県五條市大塔町に位置する砂防渓流、鍛冶屋谷にて実施中の砂防事業について、2012年（平成24年）の砂防全体計画策定から6年を経過した2018年度（平成30年度）より、全体計画の見直しを実施した。事業開始時から蓄積された知見ならびに現場環境の変化を踏まえた結果、当初全体計画と比較してより安全・効率的な施工方法を選定することが可能となった。

キーワード 砂防事業，土石流対策，砂防全体計画，安全

1. はじめに

奈良県五條市大塔町辻堂に位置する鍛冶屋谷は、2011年度（平成23年度）の紀伊半島大水害（紀伊半島豪雨）の影響で、斜面の大規模崩壊に起因した土石流が発生したことにより、人家および国道に甚大な被害が生じた土石流危険渓流である（図-1,2）。

鍛冶屋谷は急勾配な渓流であり、なおかつ資機材の運搬手段が仮設索道（ケーブルクレーン）に限られるなど、対策工事を施工する上での制約が非常に大きい現場となっている。

本論文では、鍛冶屋谷における砂防事業の実施状況を基に、土石流危険渓流内での工事を計画・実施するにあたって留意すべき事項を例示し、安全かつ効率的な事業執行を行うための案について述べる。

2. 鍛冶屋谷における砂防事業について

(1) 事業開始の経緯

鍛冶屋谷は、国道168号を横断し新宮川水系熊野川に流入する渓流であり、1889年（明治22年）および2011年（平成23年）に大規模な山腹崩壊を生じた経歴を持つ。2011年（平成23年）の崩壊時には、土石流の発生により人家、道路、ライフライン、公共施設などに甚大な被害が生じ、当時唯一の幹線道路であった国道168号（現在はバイパス整備が完了）は土砂により寸断、通行不能となり集落が孤立するという状況となった。

山腹の大規模崩壊により渓流内には大量の不安定土砂が



図-1 鍛冶屋谷位置図



図-2 鍛冶屋谷遠景(2016年（平成28年）撮影)

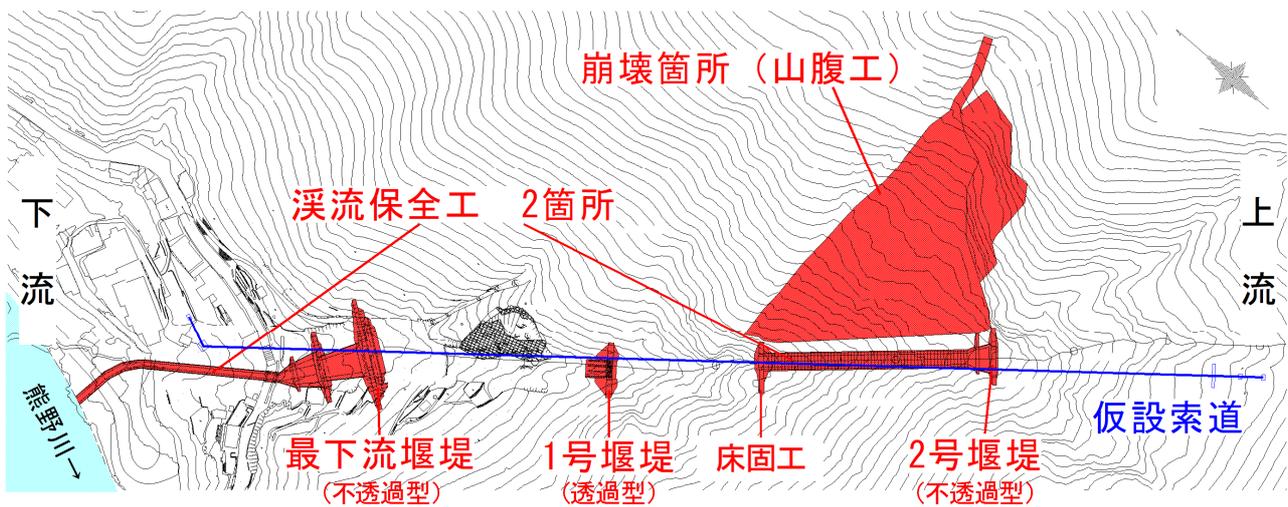


図3 鍛冶屋谷計画平面図



図4 降雨後の流水状況



図5 鍛冶屋谷最下流堰堤

堆積し、大規模な出水を受ければ再度集落に被害が及ぶことが懸念される状況であり、新たな被災を防ぐために鍛冶屋谷における砂防事業が実施されることとなった。

(2) 事業概要

2011年（平成23年）の紀伊半島大水害による被災を受けて策定された鍛冶屋谷における砂防事業の全体計画は、被災時の崩壊箇所より下流側に対策施設を整備することを中期目標としている。整備予定の施設は砂防堰堤3基（透過型堰堤1基、不透過型堰堤2基）、溪流保全工2箇所、および崩壊箇所に対する山腹工である（図-3）。

2019年度（平成31年度）末時点の進捗状況は、最下流堰堤（不透過型：コンクリート構造）、溪流保全工（下流側：コンクリート構造）、山腹工（植生工等）が施工済みであり、溪流保全工（上流側）を施工中の状態となっている。

(3) 鍛冶屋谷の特性

鍛冶屋谷の特徴としては、その急峻な勾配が挙げられる。計画河床勾配 $i = 1:1.8$ （約 29° ）という急勾配かつ谷地形であることから、対策工の施工箇所へのアクセス手段

として、工事車両の走行が可能な工事用道路を設置することが極めて困難であり、現在は国道168号に隣接した仮設ヤードと施工箇所を結ぶ仮設索道（ケーブルクレーン：吊り上げ荷重3.0t）を利用しながら資機材を運搬し、対策工を施工する状況となっている。

また、降雨後は溪流内の流量が増加して施工を中断せざるを得ない状況となる場合が多く、また流量が減少して作業の再開が可能となるのに要する時間も、長い場合で数日間に至るなど、流水対策が非常に重要な現場である（図-4）。

3. 施工面における課題と対応

2012年度（平成24年度）に策定された鍛冶屋谷における砂防全体計画では、溪流内に配置する砂防堰堤は、透過型鋼製堰堤が1基、および不透過型コンクリート堰堤が2基であり、すべての堰堤において大規模なコンクリート打設が必要となる想定となっていた。国道脇に位置する最下流堰堤（ $H=14.5m$ ）（2012年度（平成24年度）



図-6 鋼製続枠設置状況



図-7 溪流保全工設置状況（遠景）

～2013年度（平成25年度）施工）（図-5）は、建設機械が自走可能な坂路を整備することにより概ね計画通り施工することができたが、溪流の中腹に位置する床固工（H=10.0m）（上流側溪流保全工の下端構造物）（2015年度（平成27年度）～2017年度（平成29年度）施工）は、コンクリート構造を採用し、仮設索道を用いた資機材の運搬およびコンクリートの打設を実施した結果、コンクリート日打設量の上限が10～20m³/日と極めて少ないこと、および掘削に使用できる建設機械が仮設索道で搬入可能な重機（山積み0.28m³級バックホウを分解して運搬）に限られたこと等により工程が長期化し、結果として大規模降雨による斜面崩壊、積雪による施工の停滞など自然災害の影響を受けるリスクが増加することとなった。

しかし、前述の通り鍛冶屋谷はその地形勾配等の条件により、溪流上部への工事用道路の設置が極めて困難であり、大型重機の採用が不可能、かつ資機材の運搬手段については依然として仮設索道に頼らざるを得ない状況となっている。

このような状況下で施工された上流側溪流保全工（2018年度（平成30年度）一部施工）は、前述のコンクリート構造の床固工よりも更に上流にて施工を行うこととなったが、鋼製続枠工法（図-6, 7）を採用することで、水通部の一部を除きコンクリートを使用せずに施工をすることが可能となり、加えて降雨により溪流内の流量が増加した場合でも、鋼製続枠の内部（割栗石詰）が通水性を持つため、施工箇所の湛水が軽微となり、施工の停滞を軽減することができた。

また、鋼製続枠は比較小規模な部材により構成されており、それぞれの部材が人力により運搬・組立が可能であったため、使用できる建設機械の規模に制限のある本現場条件に適した工法であったと考えられる。

4. 全体計画へのフィードバック

これらの現場における施工上の実績を踏まえた上で、将来施工予定の2号堰堤（上流側溪流保全工の上端構造物）、および1号堰堤を施工するに先立ち、鍛冶屋谷における当初砂防全体計画の修正、および構造物の設計見直しを実施した。

鍛冶屋谷では2011年（平成23年）の被災後、対策工の施工を開始した以後も、大規模な降雨が発生するたびに溪流内で小規模な土砂の流出が発生し、数年に一度の頻度で最下流堰堤の堆砂敷が満砂状態となり、その都度堆積土砂の撤去工事を実施している。この際に撤去される土砂量を踏まえると、撤去後の時点における溪流内の堆積土砂量は、当初の全体計画で見込まれていた溪流内の堆積土砂量と比較して減少していると考えることが可能である。この土砂量見直しを行った結果を反映し、溪流内の砂防構造物の規模を縮小するように砂防全体計画の修正を行った（図-8）。

2号堰堤（当初：不透過型コンクリート堰堤、H=5.0m）は、溪流内の土砂量の見直しにより、計画捕捉土砂量が不要となり、溪流保全工の上端構造物としての役割のみを担う構造物として、帯工として整備を行う計画となった。

この見直しにより、堤高の大幅な縮小（H=5.0m→2.0m（溪流保全工と同等の規模））が可能となり、堤体の規模およびそれに伴う土工数量が減少した。なおかつ、構造を上流側溪流保全工と同様の鋼製続枠構造とすることで、仮設索道によるコンクリート日打設量の制限を受けずに施工を行うことが可能となり、工期の短縮、並びに被災リスクの軽減効果が期待されている。

2号堰堤の設計見直しに引き続き、溪流の中腹に位置する1号堰堤（当初：透過型鋼製堰堤）についても施工位置、および規模の見直しを実施し、より施工時の負担を軽減して安全な工事が可能となる施工方法を選定したいと考えている。

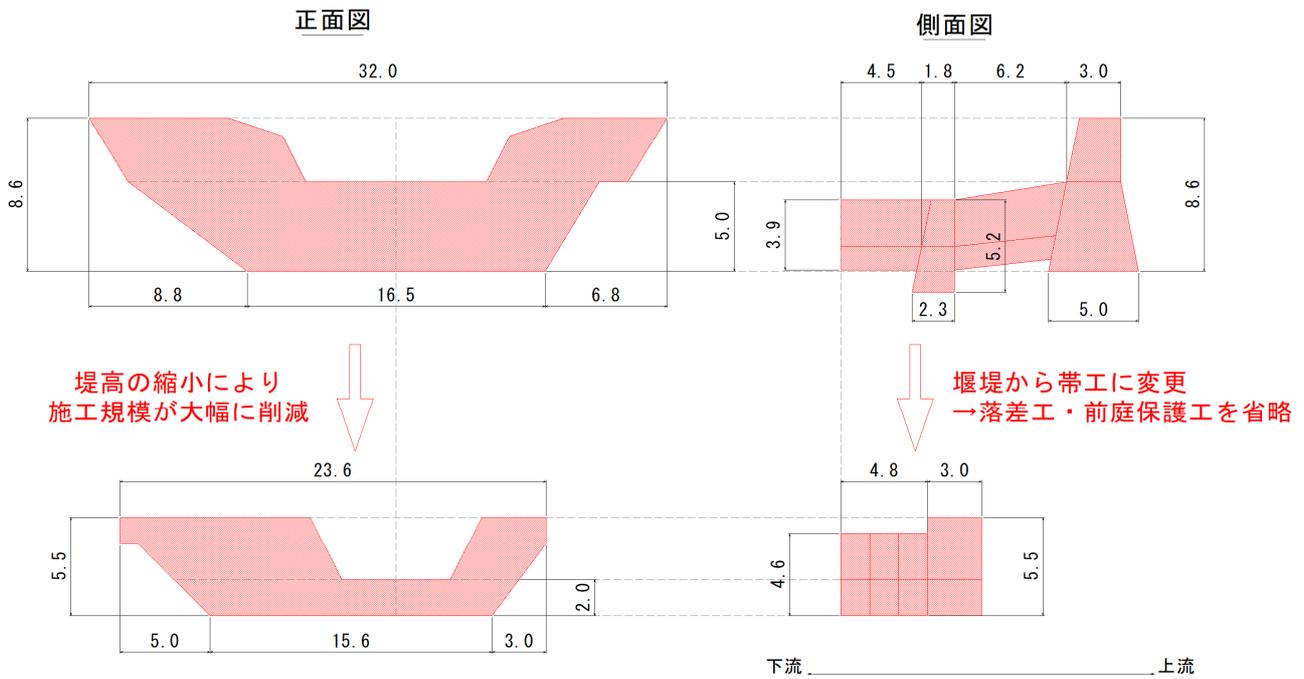


図-8 砂防構造物の規模見直し例（2号堰堤）

5. おわりに

鍛冶屋谷における砂防事業の事例から、事業開始当初に砂防全体計画を策定する際には、最重要事項となると考えられる土砂、流木の捕捉計画に加え、その溪流における地形特性や降雨時の挙動を十分に加味した施工計画を早期に立案することが重要であることが明らかとなった。

また、施工が長期化することの多い砂防事業においては、施工時に発覚した問題点、およびその解決策、そして現地条件の経時的変化を施工内容にフィードバックさせながら、必要に応じて全体計画を見直すなどの抜本的な計画修正を実施することの有効性を示すことができた。

今回の事例のように、厳しい条件の中で住民の安心・安全を守るために施工を行うより多くの現場において、柔軟な計画の見直しを行うことによって、事業に携わる人員の安全確保、並びに作業効率の向上が図られ、以ては事業効果の早期発現が得られる事を期待したい。

※本論文の内容は、筆者の前所属である奈良県県土マネジメント部、五條土木事務所工務第二課における業務に基づくものである

謝辞：最後に、本事業の計画・設計・施工に多大なる尽力を頂いている方々、並びに長年にわたり事業へのご理解・ご協力を頂いている地元の皆様方に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

奈良県の道路インフラの老朽化状況と「奈良モデル」による市町村支援について

松山 弘樹

奈良県 県土マネジメント部 道路保全課 (〒630-8501奈良県奈良市登大路町30番地)

2012年に発生した笹子トンネルの天井板落下事故をきっかけに道路法施行規則が一部改正(2014年3月)され、橋、トンネル、その他大型構造物の5年に1度の近接目視による定期点検が義務化された。県では昨年度、1巡目の定期点検が完了し、国土交通省では、道路管理者すべての点検結果(1巡目)などをとりまとめた「道路メンテナンス年報」を公表した。

これを踏まえ、本論文では、奈良県内にある橋梁、トンネル等の老朽化の状況等を、「道路メンテナンス年報」にて公表されている全国の状況と対比するとともに、土木技師が不足する自治体をサポートする「奈良モデル」の取り組み状況について紹介する。

キーワード 定期点検、道路メンテナンス年報、市町村支援、奈良モデル

1. 橋梁・トンネルの現状

本県の橋梁及びトンネルの管理者別の施設数は図1のとおりである。

橋梁は、本県に9,918橋あり、このうち地方公共団体が管理する橋梁は約9,319橋と94.0%を占め、トンネルは、本県に189施設あり、このうち地方公共団体が管理するトンネルは173施設と約91.6%を占める。以上から、県内にある橋梁・トンネルのほとんどが、県と市町村で管理している事がわかる。

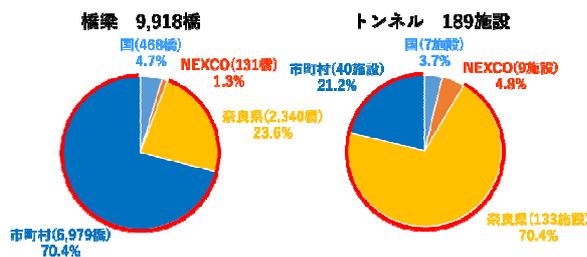


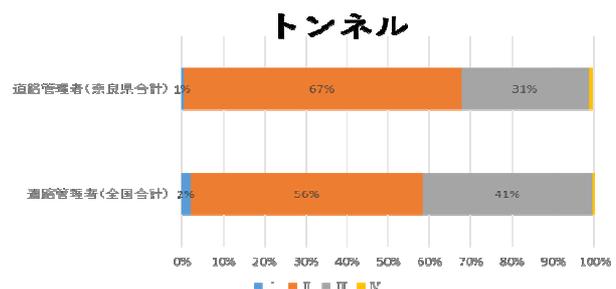
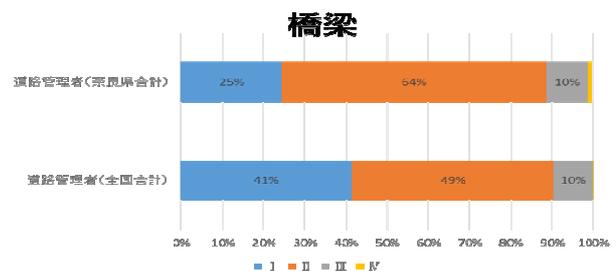
図-1 橋梁及びトンネルの管理者別の施設数(令和元年度 第二回奈良県道路メンテナンス会議資料より算出)

2. 定期点検結果と老朽化状況

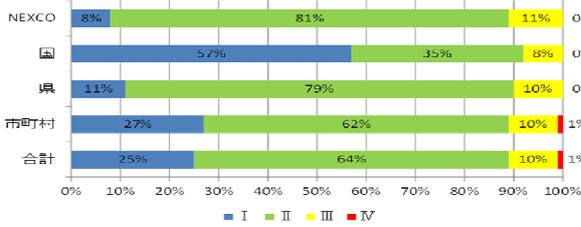
本県における橋梁およびトンネルの定期点検の診断結果と全国データを図2に示す。橋梁についてみると、判定区分Ⅲ(早期措置段階)と診断された割合は全国データが10%、本県が10%と同等であるが、判定区分Ⅱ

(予防保全段階)と診断された割合は全国データが49%に対し、本県が65%と約2割多くなっている。判定区分Ⅲと診断された橋梁の修繕を進めるとともに、判定区分Ⅱと診断された橋梁の劣化を防ぐことが課題であることから、両者の橋梁を、より効率的・効果的に修繕を行うことが必要と考えられる。

トンネルについてみると、判定区分Ⅲと診断された割合は全国データが41%、本県が32%と、全国に比べ少ない結果となっているおり、まずは、判定区分Ⅲと診断されたトンネルの修繕を進めて行く必要がある。



橋梁〔奈良県合計内訳〕



トンネル〔奈良県合計内訳〕

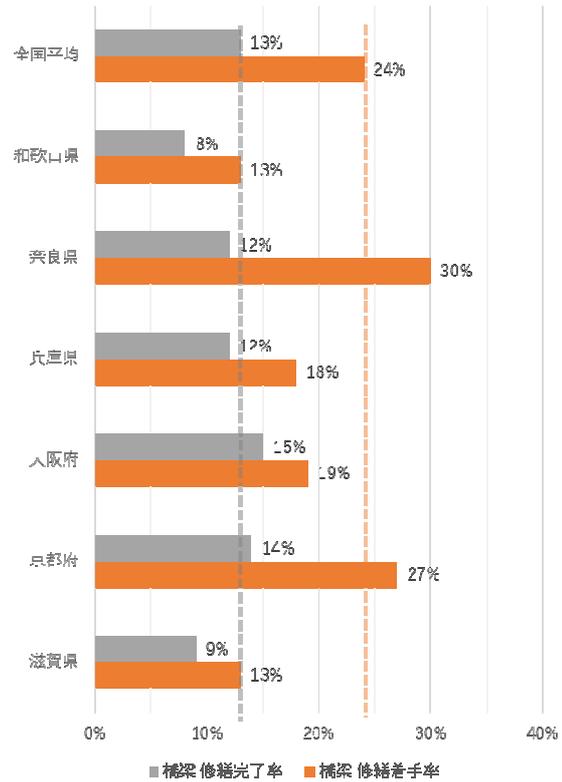
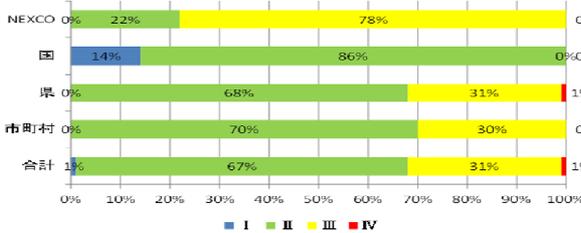


図-2 定期点検の診断結果（道路メンテナンス年報 国土交通省 道路局 2019年8月より）

表-1 判定区分

区分	状態
I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III 早期劣化段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV 緊急劣化段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

3. 橋梁とトンネルの修繕状況について

橋梁・トンネルの修繕着手率および完了率を図-3 に示す。

本県における橋梁の修繕着手率は30%で、近畿2府4県と比べると高く、全国平均と比べても高いことがわかるが、完了率は12%と、全国平均と比べると、同等であることがわかる。

トンネルの修繕着手率は25%で、近畿2府4県と比べると低く、全国平均と比べても低いことがわかる。

完了率についても5%と、全国平均と比べると、低い状況である。

修繕すべき施設はまだ多数残っている状況であることから、今後、早期の修繕に向けての取り組みが必要となる。

また、一方で、技術者がますます減っていく中、道路インフラを適切に維持管理することは困難であり、特に技術者が不足する市町村へは、道路インフラの適切な維持管理に向け、県が支援する必要があると考える。

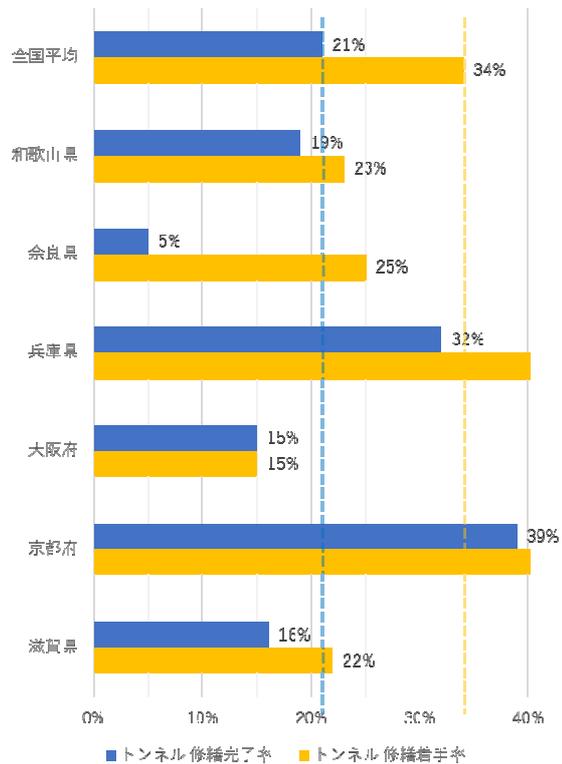


図-3 橋梁とトンネルの修繕状況（令和元年度第二回道路メンテナンス会議資料より算出）

4. 「奈良モデル」の取り組み

本県では、県と市町村の連携・協働のしくみである「奈良モデル」に取り組んでいる。

「奈良モデル」とは、地形的要因や地域への住民意識など様々な要因から市町村合併が順調に進まず、小規模市町村が多く残ることとなった本県で、「市町村合併に代わる奈良県という地域にふさわしい行政のしくみ」として誕生した取組である。

全国的に人口減少・少子高齢化が大きな課題となる中、合併という形態ではない、強い県・市町村連携を推進する「奈良モデル」として、県と市町村が従来の枠組みにとらわれず、連携・協働するとともに、県が市町村を様々な形でサポートすることにより、地域の活力の維持・向上や持続可能で効率的な行財政運営を目指している。

市町村が管理する道路インフラの機能を適切に維持し、道路交通の安全・安心を確保するには、点検→診断→措置→記録のメンテナンスサイクルを実施し、継続する必要がある。

しかし、点検、措置（補修工事）や補修計画の策定には専門の知識が必要であるが、各市町村とも技術者の数が減少傾向にあり、新たに土木技術者を抱えることが難しいのが現状である。

そこで、本県では、「奈良モデル」として、「垂直補完」による道路インフラの長寿命化に向けた支援を実施してきた。

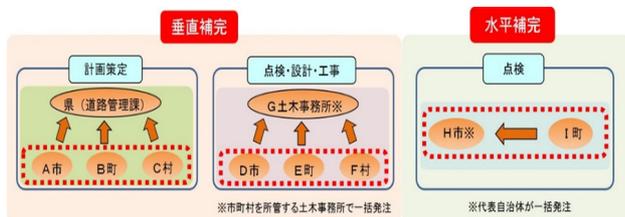


図4 垂直補完及び水平補完のモデル

これまでの実績は表3および表4のとおりである。2014年度より義務化された5年に1度の近接目視点検についても、「奈良モデル」の取組として、橋梁及びトンネル定期点検では、「垂直補完と水平補完」により、一括発注を行うことで、効率的な点検発注を実施している。

橋梁補修設計業務及び橋梁補修工事では、県土木事務所へ市町村職員を派遣し、県発注の現場に携わることで、技術力の向上を図り、技術力（技術職員）の不足という課題の解決に向けた取組を行っている。

これらの取組は、メンテナンスサイクルを実施し、継続していくことが困難な市町村に対して、県が支援を行うことにより、メンテナンスサイクルの定着を目指すものである。今後、修繕工事が本格化する中、ますます市町村のニーズが高まると考えられ、県全体の道路インフ

ラ施設が適切に維持管理されることで、県民の安全・安心が確保できるよう努めていきたい。

表-3 これまでの垂直補完および水平補完の実績（定期点検）

実施年度	垂直補完 (垂直点検)	垂直補完 (トンネル点検)	水平補完 (橋梁点検)	水平補完 (トンネル点検)
平成27年度	18市町村 480橋		6市町 21橋	
平成28年度	15市町村 436橋	2市町村 2施設	4市町 327橋	
平成29年度	14市町村 324橋		1市町 312橋	
平成30年度	13市町村 364橋	2市町村 1施設	4市町 342橋	3市町 7施設

(奈良県調べ)

表4 これまでの垂直補完の実績（設計・工事）

市町村名	実施年度	内容	橋梁数
田原本町	H25	橋梁補修工事	1 橋
御所市	H26	橋梁補修設計	2 橋
御杖村		橋梁補修工事	2 橋
御杖村		橋梁補修設計	3 橋
三宅町		橋梁補修設計	1 橋
御杖村	H27	橋梁補修設計	4 橋
河合町		橋梁補修工事	1 橋
三宅町	H28	橋梁補修工事	1 橋
御杖村		橋梁補修設計	4 橋
三宅町	H29	橋梁補修工事	1 橋

※令和元年度 第一回奈良県道路メンテナンス会議資料より抜粋

また、1巡目の橋梁点検において、垂直補完による支援を受けた20市町村のうち、4市町村は、ノウハウを取得した事により、独自発注に切り替えており、支援の効果が少しずつではあるが、発現されたと考えられる。

5. 今後の課題

現在、判定区分Ⅲ（早期措置段階）と診断された道路施設の修繕に取り組んでいるが、判定区分Ⅱ（予防保全段階）と診断された道路施設の修繕計画についても検討しなければ、推奨される「予防保全型」維持管理には転換できないと考える。

また、技術者の不足等の理由から、県内市町村には、修繕の進捗が進んでいない自治体もあり、市町村への支援のあり方についても、大きな課題である。

今後、判定区分Ⅲ（早期措置段階）と診断された道路施設だけでなく、判定区分Ⅱ（予防保全段階）と診断された道路施設にも視野を広げて、修繕に取り組む必要があると考える。

さらに、県全体で考えると、県内市町村における修繕の進捗率を上げるためにも、「奈良モデル」の実績を生かし、引き続き市町村を支援する必要がある。

6. おわりに

道路インフラの老朽化が進む一方で、技術職員が減少し、限られた予算の中で、いかに効率的・効果的にインフラを維持管理していくかが、道路行政を行う者の使命である。

また、県及び市町村だけで、維持管理の課題を解決することは困難であり、国や他都道府県、民間企業など様々な方面との連携強化が欠かせないと考えられる。

縦断変異管における管更生工事について

湯浅 雅人

奈良県 五條土木事務所 工務第二課 (〒637-1103奈良県吉野郡十津川村上野地221)

老朽化の進む下水道施設について、下水道としての機能を確保し、安定した下水道サービスを提供していくため、平成25年9月に国土交通省水管理・国土保全局下水道部より施行された、「ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化策定に関する手引き（案）」に基づいて、全国的に下水道長寿命化計画が策定されている。奈良県でも、長寿命化計画に基づき対策工事を進めているが、その中で供用中の下水道管渠が上下方向にたわんでおり（縦断変化しており）工事中止になってしまう例があった。本稿では、工事中止になってしまった事例について、問題点を紹介し、解決に向けた施工手法決定までのプロセスについて報告する。

キーワード 下水道、管更生、長寿命化、ストックマネジメント

1. はじめに

奈良県の流域下水道の幹線管渠（以下「流域幹線」とする。）は、1972年から順次整備を行ってきた。流域幹線は、老朽化が原因で起こる道路陥没が発生すると言われている。整備後30年を経過しているものも多く、管体にひび割れや漏水など破損が生じた場合、正常な流下能力の確保ができなくなる恐れがある。（写真-1参照）

2013年9月に国土交通省水管理・国土保全局下水道部より「ストックマネジメント手法を踏まえた長寿命化計画策定に関する手引き（案）」が示され、全国的に下水道施設の長寿命化計画が求められることとなり、奈良県でも2014年にストックマネジメント手法に基づき、幹線管渠長寿命化計画を策定し、対策が必要とされた箇所について、順次対策工事を始めている。（図-1参照）

本論文では対策工事の一例として天理北幹線管渠長寿命化対策工事について紹介し、施工現場で判明した問題について整理し、それを解決する施工手法に至るまでのプロセスについて述べる。



写真-1 下水道管腐食による土砂侵入被害

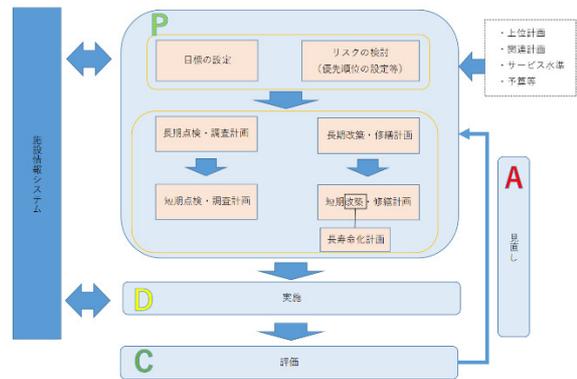


図-1 スtockマネジメント手法を踏まえた長寿命化計画

2. 設計対象施設

今回対象となる天理北幹線の概要は表-1に示す通りである。本区間は2009年に管渠内調査を完了しており、MNO.38～MNO.40の区間について、劣化部補修が必要であるという検討結果が出ている。図-2に付近見取り図、写真-2に管内調査時の内部の様子を示す。

写真-2に示す通り、既設管内が腐食しており、管繋ぎ部から侵入水が確認される状況である。天理北幹線は、1974年の竣工以来補修されておらず、前項で述べた整備後30年を経過している。また、写真-3に示す通り、国道25号線に埋設されており、道路陥没が発生した場合に、通行への影響が大きく、早急に対策工事を実施する必要がある為、流域幹線で最も高い緊急度をつけ、2017年度から長寿命化対策工事に取りかかっているところである。

表-1 対称構造物概要

対象位置	天理北幹線MNO.38からMNO.40
所在地	天理市山井庄町
道路状況	国道25号沿い(一部歩道内)
竣工年度	昭和49年
処理区分	大和郡山市、天理市、川西町、日原本町
構造	ヒューム管φ900



図-2 付近見取り図

写真-2 管内劣化状況(侵入水あり)

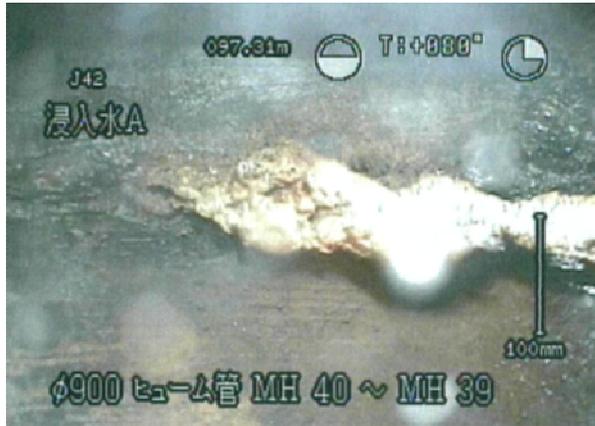


写真-3 国道25号線



3. 過年度工事と問題点について

管渠の長寿命化工事では一般に、更生部材を用いて管内部を補強し、一体化させる管更生工法、または既設管渠の布設替えのいずれかの手法が用いられる。その中でも管更生工法は一定水位までの通水下の施工が可能であ

るため、下水共用を妨げず、下水道管渠の長寿命化対策工事では広く用いられている。写真4、写真5に管更生工法の施工時の様子を示す。

本区間についても、国道の通行への影響を考慮し、管更生工法での対策工事を2017年度に実施した。しかし、施工の中で、MNO. 39からMNO. 40区間にたわみが発生しており、幹線が縦断変異している区間が存在することが判明した。縦断変異を起こしている区間は他区間より水位が高くなっており、作業員が内部で作業できず、施工が不可能となった。

その為、施工可能な水位まで管渠内水位を下げる水替え工法の検討が必要となった。

写真-4 管更生施工時の様子



写真-5 管更生後の管内の様子



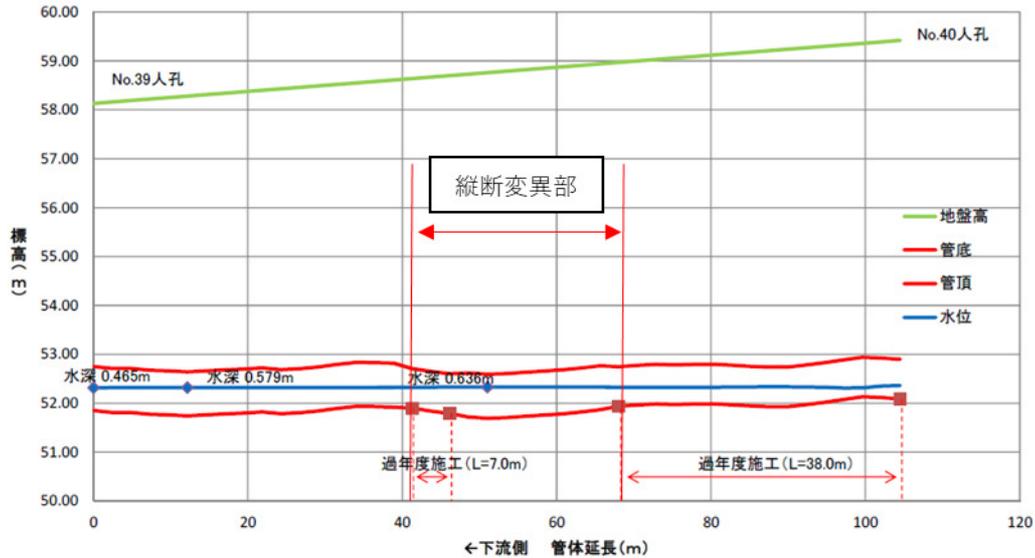
4. 管内水位の低下, 工事实現に向けた検討

奈良県では施工実績のない、縦断変異管に管更生を行うための、水位検討について以下に示す。

(1) 現地流量確認, 不等流計算

現地調査として、人孔内に流量計を設置し、管内を流れる流量を5月から6月の30日間測定した。また、不等流計算により、縦断変異部での水深を求めた。表-2に不等流計算結果から作成したMNO. 39~MNO. 40区間の簡易縦断を示す。その結果、縦断変異部の水深は最大63cmであり、既設管径900mmの70%の汚水が流れていることが判明した。これは、一般に管更生工法の施工可能水深である既設管径の30% (本現場では33cm) を大きく上回っている。その為、管内水深を30cm下げる水替え工法の検討が必要であるとわかった。

表-2 不等流計算結果から作成した簡易断面
簡易縦断



(2) 水替え工法の検討

管内水深を施工可能水位まで下げる為には、水替えポンプを使用して上流側から流れてくる汚水を下流側に配水する必要がある。その為、配水管を管内に配管する案（水中ポンプ案、当初案）、地上に配管する案（陸上ポンプ案、検討後案）の2案について検討した。

当初検討した水中ポンプ案では、上流側のマンホール内にポンプを据え付け、そこからホースで下流側に水を送る必要があるが、本現場では、水深を30cm下げる為に、管内のホースの口径が150mm必要となる。しかし、管径900mmの作業スペースに150mmのホースを配管することになり、管更生施工時の機材を動かすことができなくなる。その為、管内にホースを設置しない工法を検討する必要が生じた。

陸上ポンプ案は、汚水を地上へ揚水して地上配管で下流側のマンホールに送る工法のため、管内にホースを設置する必要がないので、本検討の有力案とした。（図-3参照）

図-3に示す様に、陸上ポンプを設置する場合、上流側にプラグを設置し、管内の水の流れをせき止める必要がある。しかし、管内流量が地上の揚水量を上回っている場合、上流側に汚水が留まり、溢水してしまう。ただ、揚水量を上げるためにポンプの性能を上げると、施工費が高額になってしまう。さらに、ポンプの性能に応じて地上に配管するホースも大きくなって、通行への影響が大きくなってしまふ。その為、管内水位を下げつつ、上流側が溢水しない、現場に則した機器選定の必要が生じた。

そこで、本検討では、流量計のデータより、時間帯によって管内の流量が変化しており、一定の傾向があることに着目した。

表-3に示す様に、本現場における管内水位は、午前1時頃を境に徐々に減少し、午前6時頃に元の高い水位まで戻ることが流量データから判明した。これは家庭排水の減少する時間帯であることが影響していると考えられる。

この時間帯を作業時間とすることで、必要な揚水量を抑えられると考えた。その為、雨天日などを除く、流量調査実施期間のなかでの最大流量(3.6m³/min)を汲み上げることが可能な陸上ポンプを選定した。これにより、陸上ポンプを現場に則した必要最小限の性能に抑えることができた。

しかし、施工時間の制限により、製管作業の日進量が少なくなってしまう。その為、流れを止めるプラグの着脱の手間を減らすことで、施工性を向上できないか検討した。当初、本施工では毎日上流側に設置したプラグを撤去して、施工時間外は通常の排水を行うことを考えていた。そこで、着脱するプラグをバルブで開閉可能な構造にすることで、毎日の着脱の必要をなくした。

これにより、毎日の作業時間の確保ができるようになり、作業時間帯を制限することによる日進量の減少に対応した。

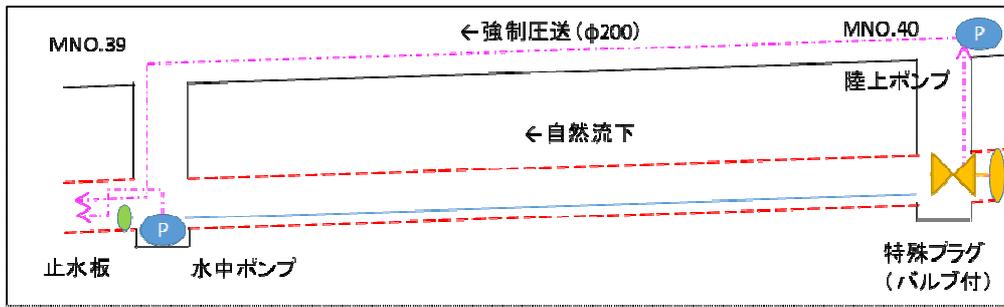
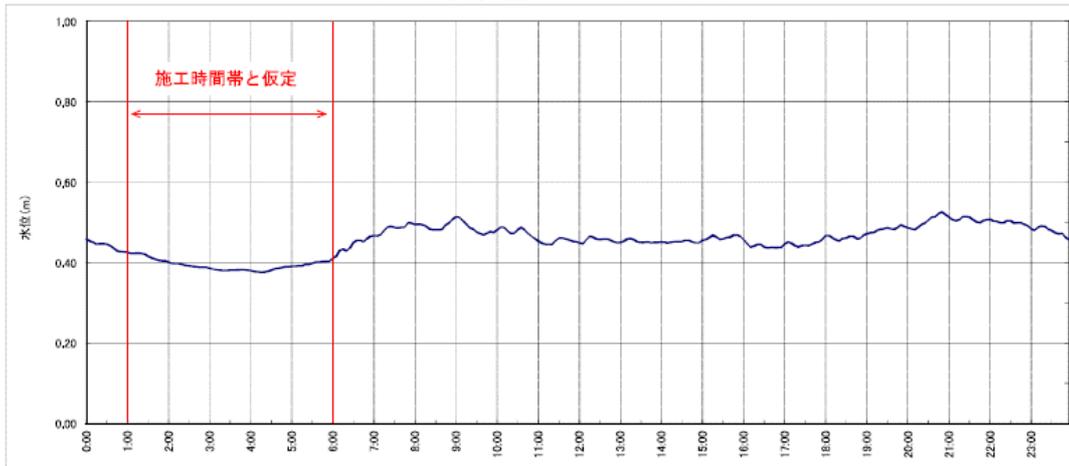


図-3 地上配管施工図

表-3 測定位置の1日の流量変化



5. 終わりに

下水道工事は天候や時間帯による流量等現場条件の変化が多く、十分な事前検討が必要となる。本検討では、当初想定されていなかった縦断変異部における施工手法について、奈良県内での施工実績が少ない中、検討を進めるこ

とができた。長寿命化計画は、ストックマネジメント計画として、今後も流域幹線全体で続いていく事業である為、今回の天理北幹線での検討・施工が実績となり、他幹線での類似状況の検討に役立つことで、奈良県に暮らす県民へ向けた下水道サービスの向上につながることを期待し、引き続き事業を継続させていく。

購入骨材調達における地域コミュニケーション

藤澤 大志¹・西 宏治郎²

¹独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 工事課 （〒518-0294 三重県伊賀市阿保 251 番地）

²電源開発株式会社 土木建築部 土木技術室 （東京都中央区銀座 6-15-1）

（前 独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 工事課）

川上ダムのコンクリート骨材には、経済性が有利なこと、近隣環境へ与える影響が小さくなることから、周辺の砕石工場から調達する「購入骨材」を採用しており、2018年9月より順次搬入を行っているところである。購入骨材の採用にあたっては、骨材の品質管理は元より、骨材運搬路の沿線住民をはじめとする地元地域の理解が不可欠である。川上ダムでは骨材運搬開始前から、地域と積極的なコミュニケーションを図り、円滑な骨材調達を実現している。

本稿では、川上ダムの購入骨材調達において実施している地域とのコミュニケーションとそれに対する取組みについて報告する。

キーワード コンクリートダム、購入骨材、骨材運搬、地域コミュニケーション

1. はじめに

川上ダムは三重県伊賀市に建設中の、堤高 84m、堤頂長 334m、堤体積約 45 万 m³の重力式コンクリートダムである。2017年より本体建設工事（以下本体工事という）を着手し、令和4年度の完成に向けて、2019年9月から堤体コンクリートの打設を実施している。

大量の骨材を使用するダム建設では、ダムサイト周辺に原石山を設けて、骨材を現場で製造することが一般的であるが、川上ダムにおいては、経済性及び周辺環境への影響を考慮して、周辺の砕石工場から調達する「購入骨材」を採用する計画としている。なお、川上ダムは、購入骨材を全量使用するコンクリートダムでは最大級の規模となる計画である。¹⁾

購入骨材を使用する場合、安定供給の観点から、運搬ルート沿線地域へ配慮した運搬計画を検討する必要がある。川上ダムでは、骨材運搬開始前から沿線地域へ足を運び、地域の意見を伺いながら骨材運搬計画について検討し、またその結果を地域に伝えるというキャッチボールを繰り返すなど、沿線地域とのコミュニケーションを図りながら、円滑な骨材調達を実現している。本稿では、川上ダムの骨材調達、特に骨材運搬において実施した、沿線地域との

コミュニケーションについて報告する。

2. 川上ダムの購入骨材計画

(1) 川上ダムにける採用の経緯

ダムで使用する骨材は、市場への影響が大きいこと、そもそもダム周辺に供給可能な砕石工場が少ないこと等から、ダムサイト近辺に「原石山」を設けて骨材を現場で製造することが一般的である。しかし、川上ダムサイトはわずか 500m のところに住宅地が近接していることもあり、原石山で骨材を製造する場合、骨材の製造により発生する騒音・振動などが、ダム建設期間中、長期的に継続するため、周辺環境に大きく影響を与える懸念があった。また川上ダムの周辺には砕石工場が点在しており、事前調査から、市場に大きな影響を与えることなく調達できることを確認していた。そこで周辺の砕石工場からの購入骨材の採用を検討し、経済性についても有利であると確認したことから、川上ダムでは購入骨材を採用することとした。

(2) 骨材の調達計画

川上ダムで使用する骨材は、粗骨材 4 分級と細骨

表-1 川上ダムで使用する骨材

分級	粗骨材				細骨材
	G1	G2	G3	G4	
粒径 (mm)	150-80	80-40	40-20	20-5	5-
数量 (千 t)	66 99	59 119	111 74	112 75	286
調達先	A社 C社	A社 C社	B社 D社	B社 D社	E社

材の全5種類である(表-1)。使用する骨材の量が膨大であるため、周辺の砕石工場の既設の設備能力を勘案すると、1社のみによる供給が難しいことから、運搬距離と製造能力から選定した5社の砕石工場から調達する計画とした。粗骨材については、1分級に対し2社による供給とし、決められた比率で各社の骨材をブレンドして使用する計画とした。ブレンド比は一般市場へ影響を与えない量を勘案し、各社の製造能力等を考慮して決定した。なお細骨材はコンクリートの品質に与える影響が大きいことから、1社供給とした。

搬入期間はできるだけ短期間である事が望ましいが、コンクリート打設期間中のみで、全ての骨材を現場まで直送することは、砕石工場の供給能力から困難であり、周辺の交通に与える影響も大きくなるので、川上ダムでは、打設に先行して骨材を搬入し、場内に仮置きする計画とした。仮置き期間は、砕石工場の供給能力や運搬能力、周辺交通量等を考慮し、打設の約1年前からとした。ただし、細骨材は長期の仮置きによる品質への影響が懸念されることから、全て砕石工場から直送して使用する計画である。

(3) 骨材運搬計画

川上ダムでは、約1,000千tの骨材を、仮置き及び打設期間の約2年半にわたり運搬する計画である。砕石工場と川上ダムとの距離は、最も遠いところは片道50km、近いところで片道25km程度あり、その間をピーク時には36台の運搬車両が通行し、最大で360台/日(往復)の通行量となる。

ダムの本体工事では、骨材をはじめ多くの資機材を使用することから、資機材の運搬により周辺道路

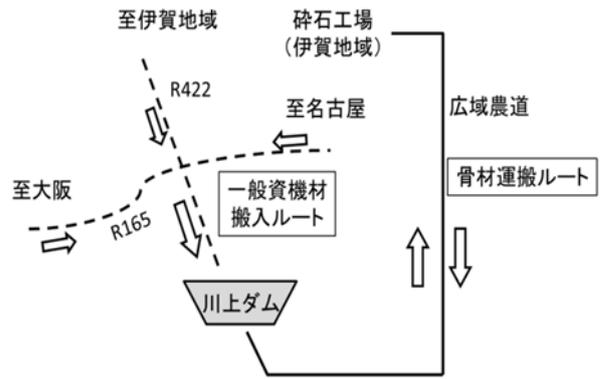


図-1 川上ダム周辺の資機材運搬ルート

の交通量が増大し、それに伴い沿線地域の負担も増大することが懸念される。そのため、資機材運搬にあたっては、運搬路沿線地域に対する配慮が必要となる。

川上ダムへの資機材のアクセスは、ほとんどの資機材が、接続する主要道路である国道165号線及び国道422号線を通じて下流側から搬入されることが想定される(図-1 破線)。一方、骨材運搬については、平成22年に開通した広域農道を通行することで、砕石工場からの運搬距離も短いうえに、上流側からのアクセスができるため、他の資機材との運搬ルートの分離が可能となっていた。そこで、骨材運搬を実施する本体工事では、広域農道を骨材運搬の指定ルートとして設定することで、資機材運搬全体の交通量の分散を図ることとした。なお、指定ルートは川上ダムから砕石工場に至るルートの一部のみであり、砕石工場から指定ルートまでは、本体工事請負業者の任意のルートとなる。しかしながら、指定ルート以外についても、ダム建設事業者としての説明責任を果たすため、請負業者と協力して、地域の意見を踏まえて検討することとした。

3. 骨材運搬に係る地域コミュニケーションと取組み

(1) 地域とのコミュニケーション

骨材運搬は、最も近い砕石工場でも往復50km以上となり、多くの沿線地域を通過する。そのため、骨材を安定的に供給するためには沿線地域の理解が不可欠となる。

地域の理解を得るために、骨材運搬開始の3ヶ月前から、沿線地域に対して説明会を実施した。説明会では、事業計画に対する疑問や、安全や生活への

影響に対する不安について多くの意見を頂戴した。

事業計画に対しては、原石山にすれば良いのではないかという意見や、指定ルートを廃止して全く別のルート（地域）を通して欲しいという意見が共通して多かった。これらの事業計画は、前述の通り、周辺環境への影響や、交通量の分散に配慮したうえで決定した計画であり、改めて検討する余地がないところである。そのため事業計画に対する意見に対しては、計画の経緯等について繰り返し丁寧に説明することにより、理解を求めた。

骨材運搬に対する不安については、安全対策を充実させる等、意見を反映させた計画を検討することで、解消する内容が多かった。そこで、地域との意見交換と計画への反映を繰り返し実施し、できる限り地域の意見を反映した計画とすることで、地域からの理解を得られるように努めた。

地域との説明会の他に、沿線地域の小中学校への説明、地域や学校へのチラシの配布、要望のあった地域への個別対応、地元自治体をはじめ関係機関との協議等、骨材運搬に向けて、地域とできる限り積極的なコミュニケーションを図った。約3ヶ月間、毎日のように地域の意見に真摯に対応し続けたことにより、概ね予定通り骨材運搬を開始することができた。

(2) 地域意見を反映した骨材運搬に係る取組み

沿線地域の意見等を踏まえて実施した具体的な取組みについて述べる。

a) 運搬ルートの検討による交通量の分散

説明会においては、指定ルートまでの運搬ルートについて、計画段階で想定していたルートである砕石工場からの最短経路のルートを提示した（図-3 点線）。しかし、当該ルートには非常に狭隘な区間があり、大型車の通行は困難であるとの意見が沿線地域からあったため、改めて当該ルートについて調査を実施することとした。その結果、確かに大型車が通ると対向が難しい狭隘箇所が存在し、運搬ルートには不適であると判断されたことから、ルートの見直しを実施することとした。

一方で、運搬ルートについて、各地域からは、他の地域も平等に負担しているのであれば、自分の地域も負担することはやむを得ないという意見が多く出ていた。そのため、できる限り交通量を分散させ、各地域の負担を均衡化した計画とすれば、地域の理解が得られ易いのではと考えた。そこで、指定ルー



図-2 当初ルートで確認された狭隘部

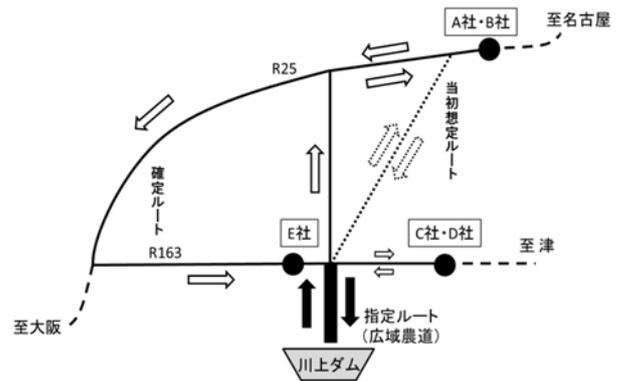


図-3 運搬ルートの変遷

ト以外の区間について、往路と復路を分けるルートとすることで、交通量の分散を図る計画とした。

このルートの見直しによって、骨材運搬に関係する沿線地域は増えることとなったが、交通量を分散し、各地域の負担を均衡化している旨を説明することで、新たに沿線となった地域からも理解を得られるように努めた。

b) 施設の充実による安全対策

沿線地域からの意見で最も多かったのが交差点や通学路に対する安全対策についてである。

交差点に対する安全対策については、地域から具体的に多くの地点が示された。そこで実際に運搬ルート上の全交差点を調査して、見通しの悪さなど危険な地点がないか確認することとした。調査の結果、見通しが悪く注意が必要だと確認された交差点については、運搬車側に注意喚起を促すための標識を設置することとした。また、過去に事故が起きているなど、特に注意が必要な地点については、標識の他に安全灯を追加設置するなどの安全施設を充実させた。

通学路については、より重点的な安全対策を求める意見が多かった。そこで、沿線地域の全小中学校に対して、運搬ルートに接する通学路や通学人数、通学時間帯などについて聞き取りを行い、当該地点



図-4 安全施設の例



図-5 誘導員の配置状況（通学路）

の状況について調査した。その結果、通学路においても、信号のない横断箇所や、ガードレールや縁石が全くない歩道など、安全上の配慮が必要であると確認された地点には、学童の安全を確保するため、誘導員を配置することとした。

上記の通り、安全対策について地域からの意見を踏まえて迅速に対応したことにより、沿線地域の方々からも安心できるといった意見も頂いており、少しずつ信頼関係を深めていった。

c) 運行管理システムの活用

運行管理システムとは、車両に GPS 機能付きのタブレット端末を搭載し、車両の位置や速度などの運行情報が自動的にシステムに保存されることで、インターネットを通じて、施工者・事業者ともにリアルタイムに運行状況を確認できるシステムである。このシステムには制限速度や注意が必要な地点など、ルート上の情報を予め登録することができ、車両が登録箇所を通過する際に、車載のタブレット端末から、音声ガイダンスで注意を促すような設定も可能となっている。川上ダムでは運行管理システムを活用し、運搬ルートにおいて注意が必要な地点については、音声ガイダンスで注意喚起できるように登録し、更なる安全対策として実施することとした。



図-6 運行管理システム画面

d) 骨材運搬路の道路補修に係る対応

沿線地域からは、大型車両の通行により道路が傷むのではないかと懸念する意見も多く出た。そこで、運搬ルートの道路管理者である三重県や伊賀市と協議を行い、対応を検討することとした。その結果、骨材運搬ルートで新たな損傷が生じ、損傷が骨材運搬によるものと認められる場合については、川上ダムが補修を実施することとする協定を、道路管理者と建設所間で締結した。この協定のもと、骨材運搬によって道路が損傷した場合は、川上ダムが責任を持って対応するという姿勢を地域へ示し、骨材運搬に対する理解を得られるように努めた。

4. 現在の購入骨材調達状況

骨材運搬は、2018年9月の開始以降、予定していた仮置き分の搬入が完了し、2019年9月からは予定通り堤体打設を開始している。沿線地域からは、適切な運行に対する取組み等に対して、感謝の言葉をもらうことも多くなっている。2020年5月までの実績として、粗骨材と細骨材を合わせて約71万tを運搬し、円滑な骨材の調達が実施できており、堤体約21万m³、堤高約33mまでコンクリート打設が進捗している。

一方、骨材運搬路の道路は、運搬開始前と比較して顕著に損耗が進んでいる状況である。道路管理者との協定に基づき、必要に応じて補修を進めているが、今後も補修が必要な箇所が増加していくものと思われる。引き続き道路管理者と協力し、道路状況が良好に保たれるよう、迅速に対応していく。

5. おわりに

骨材の安定供給は、コンクリートダム建設の生命線といえる。購入骨材の安定的な供給のためには、運搬路沿線地域とコミュニケーションを図り、地域の意見を踏まえながら、運搬計画を検討する必要がある。川上ダムでは本体工事着手後の限られた時間でも、積極的なコミュニケーションを図り、真摯に対応して理解を得られるように努めたことにより、円滑な骨材運搬を実現した。

長い運搬期間においては不測の事態が生じることも考えられる。常に骨材の供給を止めないように、地元自治体や沿線地域との情報共有により、不測の事態にも迅速に対応出来るようにしておかなければ

ならないと考える。そのため、引き続き定期的に地域へ足を運び、積極的なコミュニケーションを図ることで、何事にも迅速に対応できるよう努める。

謝辞：購入骨材の運搬にご理解を頂き、川上ダム建設事業に多大なご協力を頂いている、運搬路沿線地域の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 一般財団法人日本ダム協会. 2015. コンクリートダムの施工. P. 58-60.

※本論文の内容は、独立行政法人水資源機構川上ダム建設所工事課における業務に基づくものである。

ダムコン遠隔操作に向けた整備の検討について

小池 勇¹

¹近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒912-0021 福井県大野市中野29-28)

近年、台風、ゲリラ豪雨、線状降水帯による激甚な水害が各地で発生しており、異常洪水時のダム操作において、異常洪水時防災操作の可能性が高まっている。また土砂災害等による参集経路途絶により、ダム管理支所へ職員が参集することができない事象の発生が想定されている。

このような異常事態においても、九頭竜ダムの洪水吐きゲートの操作が可能となるよう、ダムから離れた場所においてゲート操作（遠隔操作）を行うために必要な設備や操作方法等について、現状を基に検討を行ったので導入への参考として報告する。

キーワード 九頭竜ダム、洪水吐きゲート操作、遠隔操作

1. はじめに

九頭竜川ダム統合管理事務所（以下「事務所」という。）ではより効果的・効率的に、洪水や渇水の被害から地域を守るため九頭竜ダムと真名川ダムを統合管理して運用を行っている。

九頭竜ダムは福井県を南東から北西に流れる九頭竜川の最上流、大野市長野地先に位置するロックフィルダムである。洪水調節と発電を目的とした多目的ダムで、堤高128m、堤頂長355m、集水面積184.5 km²、総貯水容量353000千m³、非常用洪水吐きゲート3門により、270m³/秒の放流能力がある。図1に九頭竜ダム写真と流域図を示す。



図-1 九頭竜ダムと流域図

(1) ダム遠隔制御を検討するきっかけ

ダムゲート遠隔制御は、電力のダム等で利水バルブで用いられていた。昨今ゲリラ豪雨や線状降水帯などの影

響により、局地的な大雨、それに起因する土砂災害などが発生し、職員の現地到着に時間がかかる可能性が考えられる。そのためダム管理用制御処理設備の更新に際して、遠隔制御を検討するダムが増えてきている。また、それに呼応してダムコン標準仕様の改訂による遠隔制御の追加として、以下の仕様書等も作成されている。

・ダム管理用制御処理設備標準仕様書
(平成28年8月版)

・ダムの洪水吐きゲートに係る遠隔操作の
導入指針(案) (平成28年8月)

九頭竜ダムでは、次の状況から九頭竜ダム管理支所（以下「管理支所」という。）の参集経路途絶のリスクが高いことから、遠隔制御実施の優先度が高いものと判断し導入を検討した。

① 土砂災害による職員の参集への影響

ダムの多くはその機能上山間部にあるのが一般的である。管理用道路やダムサイトまでのアクセス用道路については山を削って設置されることから土砂災害の影響を受けやすい。京都府にある天ヶ瀬ダムは平成23年度に、岐阜県にある横山ダムにおいても平成12年に土砂災害が報告されている。

② 管理支所の周辺状況

事務所～管理支所までの参集経路は、事前通行規制区間（連続雨量140mmで通行止め）に指定されている国道158号である。また、事前通行規制区間内には急傾斜地の崩壊警戒・特別警戒区域がいくつか指定されている。このため土砂災害の危険性が高く災害時には通行できない可能性がある。現況は規制時においても、許可の上通

行しているが土砂災害により通行できなくなる可能性はある。

また、迂回路もあるが同様に規制区間となっており、通常時で国道158号の約3倍の時間を要する。

図-2に管理支所周辺のハザードマップと参集ルートを示す。



図-2 管理支所周辺のハザードマップと参集ルート

③ 九頭竜ダムの管理運用状況

九頭竜ダムの操作人員は、平日の通常業務時間内は2名体制であるが、夜間及び休日はダム管理技士1名のみとなる。緊急に操作が必要になった場合は職員が管理支所まで行く必要があり、不測の事態においては、事務所からの遠隔操作が必要となる。

(2) 今回の検討の特徴

九頭竜ダムの遠隔制御とは、災害時等の緊急時で管理支所での遠方操作が不能となり、管理支所の処理設備が動作する場合に事務所において、遠隔操作することを指す。

具体的には、道路の被災等により管理支所に操作員が行くことができない場合や、職員の参集が困難な状況で操作員を管理支所へ派遣できない場合を想定したものである。この際に事務所から遠隔制御装置にて、クレストゲートを操作することを目的とする。

導入検討に当たり、「ダムの洪水吐きゲートに係る遠隔操作の導入指針(案)平成28年8月（以下「導入指針」という）」に基づき必要性及び必要設備を整理検討したものである。今回追加する主な機能は図-3のとおりである。

表1 九頭竜ダムで追加する遠隔操作機能

処理項目 処理対象の放流設備	遠隔操作				遠隔電源投入 非常停止
	手動	開度設定	半自動操作	自動操作	
クレストゲート3門	○	○	×	×	○
対象装置	遠隔手動操作装置	遠隔操作装置			遠隔手動操作装置

○: 適用
×: 適用不可

遠隔操作で追加する機能

2. 設備設計にあたっての課題

(1) 遠隔制御設備を設置する場所

ダムゲートの遠隔制御設備は、管理支所の操作室と同様に災害対応を行う上での情報取得の利便性、物理的な侵入を防ぐセキュリティ等を兼ね備えた上で、当該設備の設置スペースやダムゲートの操作が行える環境がある場所に設置する必要がある。

これらの条件を考慮し、事務所の水防指令室を対象とし設置を検討した。

(2) 監視機能の強化

a) ネットワーク

管理支所～事務所のネットワークは、現状は多重無線回線と衛星回線で事務所と接続されており、光ファイバの回線は整備されていない。当該回線を利用して、事務所からの遠隔制御を実施することとなるため使用可能な伝送容量に制限がある。

b) CCTVカメラによる遠隔監視

九頭竜ダムのCCTVカメラは、堤体の上流及び下流に設置されているが、事務所からの遠隔制御はできない。また、事務所ではこれらのカメラをネットワーク回線の制限から準動画かつ単画面での監視に限定されている状況である。

c) CCTVによる巡視代替機能

ダムゲートの遠隔放流にあたっては、事前に下流の巡視が必要となる。災害状況により巡視が行えない場合はこれを代替するため、CCTVカメラによる遠隔監視が必要となるが、巡視区間にCCTVは整備されていない。

d) 放流警報設備の制御

ダムゲートの遠隔放流時には、事前に下流への放流警報設備での情報提供が必要となる。したがって、遠隔制御場所での放流警報設備の遠隔制御も必要となる。

(3) セキュリティの確保

a) 設置部屋

遠隔操作設備の設置場所は、洪水吐き遠隔操作を実施するために整備した設備が第三者に無断使用されないようにするため、遠隔操作場所のセキュリティ対策を十分に講じておくものとし、厳重な施錠のほか、機械警備の活用などを検討する必要がある。

事務所においては、災害時の情報共有の迅速性及び設置スペースの観点から水防指令室及び電算室が適切と判断した。但し、現状の水防指令室は、自動ドア及びカードキーによる施錠がされておりセキュリティ対策が実施されているが、次に示す観点でセキュリティに課題もあり改修を検討することとした。

- ① 自動ドア部のセンサーの感知範囲を厳格にする。
- ② 自動ドアがガラス製であるため、ガラスを割っての侵入が可能である。

3. 運用にあたっての課題

(1) 現場設備の状況確認及び電源投入

遠隔制御により九頭竜ダムのクレストゲート機側操作盤の電源投入及び非常停止・復帰等を行うために以下の改造を実施する。

- ①非常停止操作によりトリップした電動機電源用の配線用遮断器を遠隔制御設備から再投入を可能とする。
- ②切状態の電動機電源用の配線用遮断器を遠隔制御設備から投入可能とする。
- ③洪水吐ゲートで発生した故障を遠隔制御設備から復帰可能とする。
- ④機能追加の為の機側操作盤等の具体的な改造
 - a. 電動機電源用の配線用遮断器を電気式配線用遮断器に取り換える
 - b. 機側伝送装置からの「電源投入」信号を機側操作盤に取り込み、その信号でトリップ状態または切状態の電気式配線用遮断器を投入させる回路を追加する。
 - c. 入力信号仕様はDC100V有電圧メーク接点（1秒以上のパルス信号）とする。
 - d. 機側伝送装置からの「非常停止復帰信号」を機側操作盤に取り込み、その信号で機側操作盤の故障を復帰させる回路を追加する。
 - e. 入力信号仕様はDC100V有電圧メーク接点（1秒以上のパルス信号）とする。
 - f. 電気式配線用遮断器を入切するための操作スイッチを機側操作盤内に取り付ける。

このため事務所側の遠方/遠隔の切替キーについては、厳格な管理のもとに保管するものとする。また、これらの操作方法、保管場所及び管理担当者をあらかじめ定めておき、明文化したマニュアル等を遠隔操作卓に具備する必要がある。

表-2 操作権の切替方法

	案1 九頭竜ダムで切替	案2 事務所ダムで切替	案3 後優先で切替
運用	九頭竜ダム管理支所で遠方と遠隔の切替を行う。	事務所側で遠方と遠隔の切替を行う。	九頭竜ダムと事務所側の双方で遠方と遠隔の切替が行うことができ、常に後側が優先される。
メリット	従来の遠方制御と機側制御の考え方と同様に現場に近い側が優先される。	遠隔操作が必要な際に九頭竜ダム川での切替が必要となるため、ダムに行く必要が発生する。	双方から切替が行えるため、どのような運用にも柔軟に対応できる。
デメリット	遠隔操作が必要な際に九頭竜ダム川での切替が必要となるため、ダムに行く必要が発生する。	遠隔時にダム側では操作できず、ゲート機側盤で手動操作する必要がある。	ゲート操作中に他方で切替操作をした場合安全のためゲートが停止する。このため双方の切替(鍵)は厳格に管理が必要となる。
評価	△ ダムでの切替操作が必須であり、不測の事態に人員がいない場合は切り替える事ができない。	△ 事務所での戻し忘れや不用意な切替によりダム運用に支障が出る場合が考えられる。	○ 柔軟に運用が可能なため、災害時のゲート操作実績が少ない九頭竜ダムに推奨される。通常時はダムでの切替とダムで不能な際は事務所で行う運用とする。

(3) 放流操作時の安全対策

洪水吐き遠隔操作を実施するために整備した操作設備には、下記の安全機能を有するものとして、放流操作時の安全停止対策を図るものとする。当該内容は、放流操作装置及び遠隔手動操作装置（PLC）の仕様に盛り込むものとする。

- ①動作制限タイマーによる安全停止機能
- ②遠隔操作装置、遠隔手動操作装置における故障時の安全停止機能
- ③洪水吐きゲート制御異常作動時における安全停止機能

4. 導入システム

(1) 今回導入するシステムの特徴

管理支所の既設ダム諸量処理装置では、手動操作のみとなっているが更新後は、開度設定操作が可能となる。遠隔操作においては、遠方操作の機能を利用して操作するため、「手動操作」及び開度設定操作を遠隔操作の対象とする。

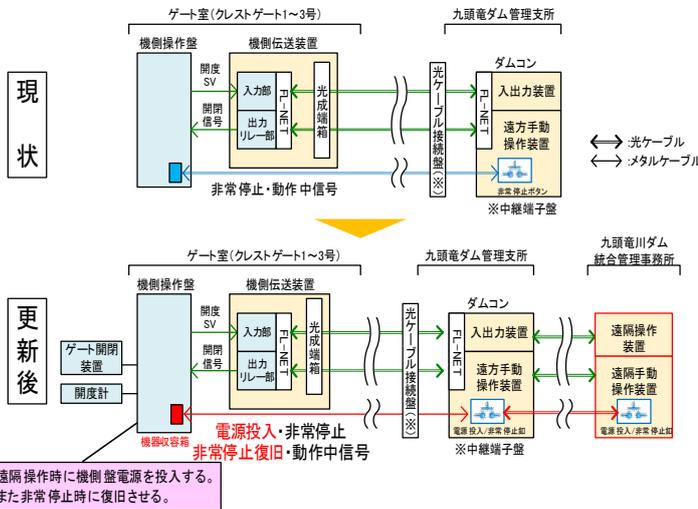


図-3 非常停止信号の伝送

(2) ダムコンの制御権切替

遠隔制御の運用において、操作の制御権の切替はダムゲートに近い現場優先が基本的な考え方である。したがって通常は 機側>遠方（管理支所）>遠隔（事務所）の順で優先される。

上記の考え方に則り、通常の運用では管理支所において操作制御権を遠方から遠隔に切替を行い、事務所側で操作を実施することとする。これができない場合に限り、事務所より遠方から遠隔に切替を行う運用とする。

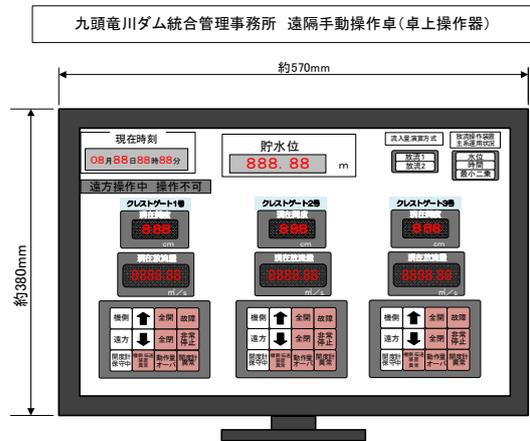


図-4 遠隔手動操作装置の画面表示案

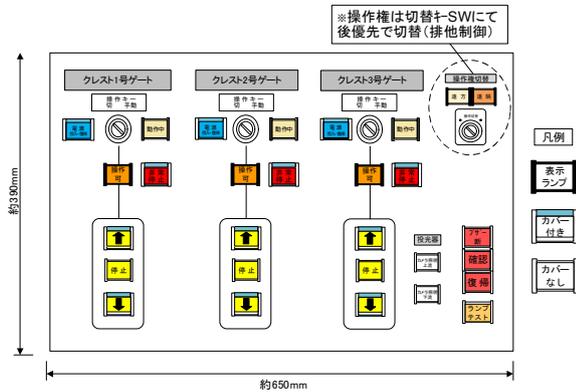


図-5 遠隔手動操作装置の操作器レイアウト案

(2) 操作方式と伝送容量

開度設定操作においては、遠隔操作装置より遠方操作装置を介して、入出力装置及び機側伝送装置のPLCが制御を行う。この際の事務所-管理支所間の伝送容量は、最大64kbps程度であり無線回線での運用には支障はない。

遠隔手動操作においては、遠隔手動操作装置より遠方手動操作装置のPLCを介して、機側伝送装置のPLCが制御を行う。この際の事務所-支所間の伝送容量は、128kbps程度であり連続的に使用される。また、手動操作では、開度数値やカメラ映像を確認する必要がある。現状のカメラ映像は、準動画相当であり視認性が良くないため、光ファイバの接続までは、開度設定操作による制御に限定した運用とする。

(3) 伝送方式の整理

遠隔制御に使用する回線は、開度設定制御系と手動系を分けることを標準設計仕様書では推奨しているが、九頭竜ダムでは、通信回線が無線と衛星回線のみである。下記に構成図を示すが行政系については、本線系L3-SWより6M-IP変換装置より多重無線機に接続し、多重無線回線で事務所に接続している。また、防災系については、マイクロルータより搬送多重端局装置から無線機に接続した上で、無線回線により事務所まで接続している。またバックアップ系として衛星モデムがある。

将来的には、行政系と同様に防災系も統合L3-SWに接続して無線系と光系の統合ネットワークにする予定である。このため、本設計では本線系L3-SWを利用することを基本とする。衛星モデムについては当面、上記のバックアップ回線と考えることとする。

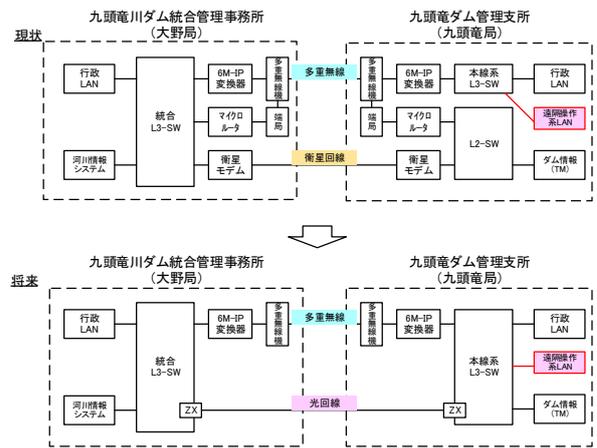


図-6 ネットワーク伝送方法

(4) 統合ネットワークとの分離

ダム制御のネットワークは、障害による誤操作や不正侵入等を考慮し、統合ネットワークとはセキュリティ上の分離が必要である。このため、統合ネットワークとの接続部分はVPN (バーチャルプライベートネットワーク) を利用して分離するものとする。VPNは、VPNルータを対向で利用して構築し、情報入力・提供装置よりファイアウォールを経由して統合ネットワークに接続する構成にした。

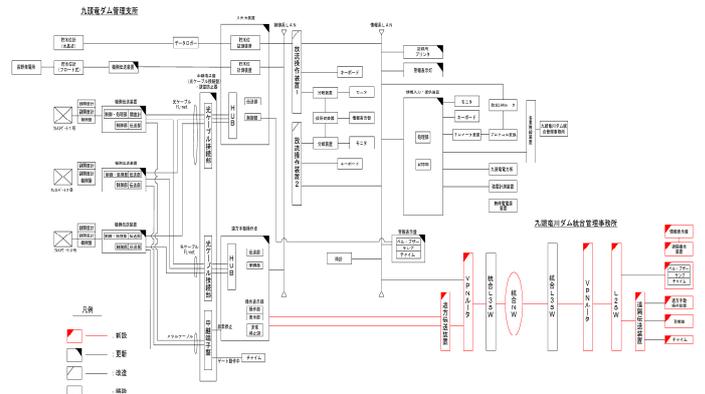


図-7 遠隔制御装置のネットワーク

(5) 遠隔操作装置の認証方式

遠隔操作装置には、操作のためのセキュリティを設ける必要がある。従来はパスワードロックを施す場合が多かったが、安価かつ高セキュリティの非接触型カードセキュリティを採用することとした。表3に認証方式の比較を示す。

表-3 認証方式の比較

項目	パスワード方式	非接触型カード方式	生体認証		
			指紋認証	静脈認証(掌・指)	顔認証
概要	パスワードのキー入力を必要とする認証方式である。	非接触型カードを用いて認証する方式である。当該事務所の入退室管理に利用されている。	指紋認証は指紋面に指を押し、手帳や財布に収納されている指紋認証方式である。なお、指が汚れている場合など認証できない場合がある。	近赤外光を手のひら、手の甲、指に透過させて得られる静脈パターンを用いる認証方式である。	カメラで顔を撮影し、検出した顔と登録する方式である。瞳の大きさや顔の表情、加齢による変化などによって認証率が低下する。
メリット	・安価である。 ・認証は容易である。	・カードにより確実に認証可能である。 ・カード費用がかかる。	・なりすましは困難である。	・なりすましは困難である。	・認証が容易
デメリット	・利用頻度が少ない為メモ等によりセキュリティが低下する。 ・悪意ある者がパスワード盗まれる可能性がある。	・カードがあれば認証されるため盗難、紛失などによるなりすましの可能性がある。	・指の状態により認証が不可となる可能性がある。 ・認証機が高価である。	・静脈スキャナが利用できない場合は別の認証方式が必要である。 ・認証機が高価である。	・ソフトウェアの精度によりセキュリティレベルにバラツキがある。
セキュリティ	低	高	高	高	中
管理面	定期的な更新等が必要となる等管理が煩雑となるためセキュリティが低くなる。	カードの物理的な保管であるため管理が容易。紛失時の再発行も容易	担当者の異動等で再登録が必要など管理は煩雑	担当者の異動等で再登録が必要など管理は煩雑	担当者の異動等で再登録が必要など管理は煩雑
コスト	安価(0)	中程度(1.0)	高価(2.0)	高価(2.2)	高価(1.8)
プライバシー	問題なし	問題なし	個人情報問題有り	個人情報問題有り	個人情報問題有り
評価	△	◎	○	○	○

※コストは非接触型カード方式を1とした場合のコスト費である。

(6) 遠隔手動操作の伝送

遠隔手動操作の伝送は、遠方手動操作装置より遠方伝送装置にて統合ネットワークに接続し、遠隔伝送装置まで送られる。遠方手動操作装置はPLCで構成されるため、通常は伝送にFL-NETが用いられる。FL-NETを使用した場合伝送装置はPLCとなり、PLCは装置に対してソフトウェアをプログラミングするため高コストとなる傾向がある。そのため、遠隔手動操作装置より接点で出力し汎用品の接点伝送装置で事務所まで伝送する方式とした。

(7) CCTVカメラによる巡視の代替

放流前の事前巡視をCCTVカメラで代替するには、巡視ルート周辺へに新規の設置が必要である。巡視ルートは主に放流警報設備の設置箇所と重なるため警報局付近への設置がよい。

管理支所でのヒヤリングにおいて、河川と道路の高低差が大きい場所については、放流警報設備まで行くことが困難でありカメラ監視の有効性が高い。また、所内の意見聴取により下記の箇所は、管理範囲外及び人がいないと考えられることなどからカメラ設置が不要であると回答を得た。また、逆にこれ以外の箇所は、カメラ監視が必要となるため、今後光ケーブルの敷設や無線伝送等伝送路を含めた設置検討を行う必要がある。

- ① 鷺ダム貯水池内
- ② 下山警報局～谷戸口警報局
- ③ 九頭竜川溪流釣り未実施エリア



図-8 巡視ルートと放流警報局及びカメラ監視箇所

5. まとめ

(1) 操作規則改定に向けた関係機関との協議

遠隔操作を運用するに当たり、上下流のダム管理者、特に、放流警報装置を共用している北陸電力株式会社、電源開発株式会社とは十分な協議を行い現状の操作規則に影響を及ぼす事項は改定をしておく必要がある。

(2) 実運用シミュレーション、訓練計画

実運用を実施するにあたり、新たに整備した設備が十分な安全性、信頼性、確実性があるかどうかを試験運用にて確認する必要がある。

管理支所では令和2年度から令和3年度にかけ、遠隔操作に向けた設備改修を行ってゆく。

試験運用時においては実際の遠隔操作を念頭において、現設備の不都合箇所等を抽出し改修していく必要がある。

(3) 遠隔制御の実施要領の作成

関係機関との協議内容や、実運用シミュレーション、関係機関との放流連絡を含めた運用訓練を実施し得られた知見を元に遠隔制御の実施要領を作成し、実運用時のマニュアルとする。

(4) システムセキュリティの確保

遠隔操作装置には操作するための認証方式の導入や、操作を行う部屋への入退室管理を行い、悪意ある者の侵入に参してセキュリティを確保することが非常に重要な要素となるため今後その対策をすすめていく。

(5) 監視体制の充実

先の「2. 設備設計の課題」でも述べたが、遠隔制御を行うに当たってはダム堤体の監視用 CCTV カメラの充実、流域巡視の代替となる CCTV カメラの整備が必要となる。実際の巡視で確認する地点との整合がとれるよう、整備地点を検討の上、設置を進めていく。

台風19号の越波による国道42号 路面陥没対応について

井出 善太¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 串本国道維持出張所

(〒649-3510和歌山県東牟婁郡串本町サコ台1107-8)

国道42号は紀南地域唯一の主要国道であり経済活動を支える上で重要な路線である。当該路線において、2019年10月に発生した台風19号を起因とした越波が生じた。その越波により東牟婁郡串本町姫地区において約70mにも及ぶ路面陥没の被害を受けた。

本論文では、今回の被災により紀南河川国道事務所が実施した緊急対応について紹介するものである。

キーワード 台風19号, 越波, 東牟婁郡姫地区, 路面陥没

1. はじめに

和歌山県は、日本有数の多雨地域であるとともに、急峻な地形が多く集中豪雨や台風により浸水被害が頻繁に発生している。

紀南河川国道事務所が管理する国道42号は、三重県南牟婁郡紀宝町成川から和歌山県御坊市湯川町大字富安間を走る紀南地域唯一の主要道路である。和歌山県の観光・救命救急・経済の活性化等を考えるうえで重要な道路となっている。また、並行する路線として近畿自動車道紀勢線がある。(図-1)

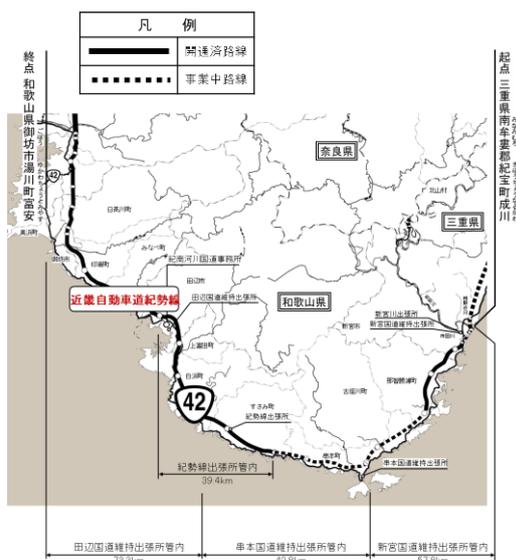


図-1 和歌山県の主要幹線道路位置図

2. 2019年台風19号について

2019年10月6日に南鳥島近海で発生した。台風は勢力を強めながら次第に北へ進路を変え、紀伊半島の南東沖を通過した後、10月12日19時頃に「大型で強い勢力」(中心気圧955hpa, 中心付近の最大風速40m/s)のまま、静岡県伊豆半島に上陸し、関東を通過した。

なお、紀南河川国道事務所管内の潮岬では10月11日21:10に最大風速13.2m/s, 最大瞬間風速25.5m/sを記録した。また気象庁の潮位観測では串本で、10月12日5:50に最高潮位172cm, 最大潮位偏差86cm (TPから)を観測した。(図-2)

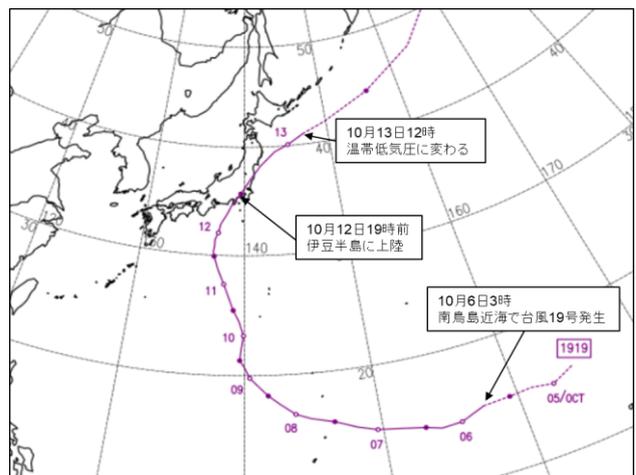


図-2 2019年台風19号の経路図¹⁾

3. 被災状況

2019年10月12日17時頃、東牟婁郡串本町姫地区（図-3）において、海側のコンクリート擁壁の一部が破損し、破損箇所から波が浸入したことで路体が海に流出し、国道42号の路面陥没が発生した。当該区間は越波による通行止めを行っていたが、陥没により通行止めを継続することとなった。また陥没の規模は最終的に約70mとなった。（写真-1）（写真-2）



図-3 路面陥没箇所



写真-1 被災状況



写真-2 被災全景

4. 初期対応

(1) 関係機関との調整について

災害時の初期対応は、①被災状況の把握②プレス資料の作成③関係機関への状況報告④記者対応等の運営を行いながら仮復旧にむけた施工方法の検討を行った。また、緊急災害応急対策業務に関する協定書に基づき、仮復旧施工業者の選定及び施工指示を行った。

(2) 通行止めによる迂回路の共有について

当該区間は、第一次仮復旧の完了まで、全面通行止めとしていた。しかし、当該区間は11,231台/日（平成27年度交通センサス）の交通量があり、紀南地域唯一の主要国道であるため、夜間でも物資輸送等の大型車が頻繁に通行する。そのため、渋滞や混乱を防ぐために片側交互通行を行うまで、迂回路の情報共有を早急に行った。また、上記に合わせ交差点における迂回路誘導要員の調整を行った。

5. 路面陥没復旧についての取り組み

(1) 第一次仮復旧に向けての取り組み

陥没被害の拡大を防ぐためにまず第一に浸食防止を最優先とする復旧作業を行った。内容としては、以下のとおりである。

a) 被害状況の調査

調査はまず復旧に必要な土量を概算で算出するため巻き尺等を用いて陥没の大きさを計測した。

夜間ということもあり、舗装下に広がる空洞の把握は困難だったが、安全に配慮しつつ慎重に調査を行った。

b) 復旧作業内容の決定

現場からの情報をもとに紀南河川国道事務所災害対策室にて復旧作業案の内容が検討された。その内容は下記のとおりである。山側の歩道にまで洗掘されていることが分かっていたため、海側から袋詰玉石300袋、大型土のう、砕石盛土を置いて遮蔽し、早期開放のために、アスファルト合材等180t、運搬・配置のためにクレーン2台、バックホウ2台、ダンプトラック1台を動員する計画を立案した。（図-4）

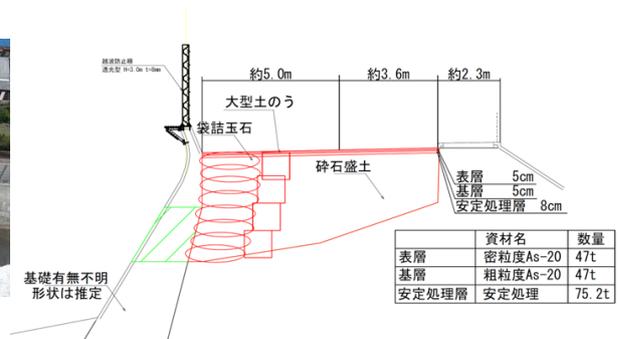


図-4 第一次仮復旧断面図

c)復旧作業について

所管施設等の緊急災害応急対策業務に関する協定書に基づき、施工業者に復旧作業の要請を行った。その尽力により、12日23時頃から開始し、13日4時頃には第一次仮復旧(写真-3)(写真-4)の施工が完了した。



写真-3 第一次仮復旧写真その1

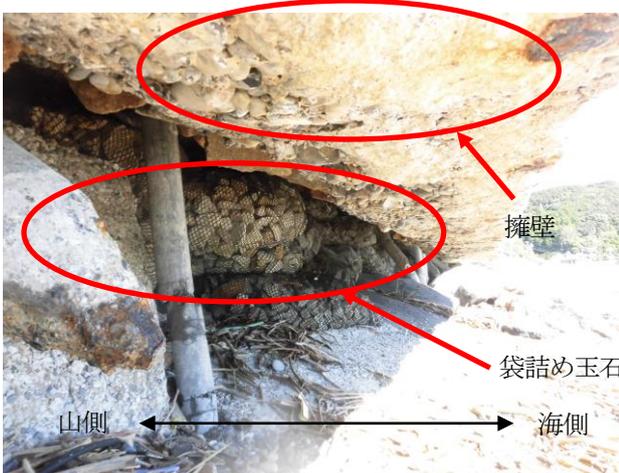


写真-4 第一次仮復旧写真その2

(2) 防災ドクターによる診断と空洞調査

a)空洞調査

被災箇所以外にも、高波・越波の影響による空洞発生が懸念されるため、被災箇所周辺と全面通行止め区間(西牟婁郡すさみ町口和深地区及び東牟婁郡串本町古座地区)において、周辺の安全確保を目的とした緊急調査を実施した。

調査は、スケルカを使用して三次元多配列レーダシステムによる空洞の計測、解析を行った。

調査の結果は、新規の空洞検出信号は0箇所であり、過去検出信号8箇所(すさみ町口和深地区：6箇所，串本町古座地区：2箇所)については、いずれも発生深度及び広がりに変化は見られず、今回の陥没復旧箇所についても空洞は検出されなかったため舗装を行い交通を解放(13日22:00に通行止めから片側交互通行に切替え)した。

b)防災ドクターによる診断

第一次仮復旧は完了したが、今後台風等による洗掘を防止する事に伴い道路の線形改良をする必要があった。そのような地域の災害特性に応じた、より安全性の高い適切な災害復旧対策を円滑に推進を目指すために紀南河川国道事務所は防災ドクターを要請した。

防災ドクターとは災害等により損傷した施設等の調査・復旧方法や道路施設の機能保全に必要な対策及び管理計画等に関する指導や助言を頂く高度な技術や専門的な知識を有する学識経験者である。

13日の11時から防災ドクターによる現地診断が始まり以下の回答が得られた。

①第二次仮復旧方法は問題は無く、応急復旧後規制区間は縮小してもよい。②擁壁崩壊箇所から波による洗掘が懸念されるため、締切り・土のうによる間詰め等は、1車線供用後遅延なく実施されたい。③既存擁壁は沈下しているため撤去が必要である。④被災区間外にも擁壁の開きが見受けられるため、張りコンクリート等実施が必要である。⑤元々が石積み擁壁でコンクリートによる増し厚をしているように見受けられるため、基礎部の擁壁形状・健全度の確認が必要である。

以上の回答から第二次仮復旧の施工方法が決定する運びとなった。

(3) 第二次仮復旧へのソフト面での取り組み

a)変位の観測

片側交互通行をするにあたり、路面陥没の拡大等の非常事態を回避するための通行止めの基準の取り決めを行った。基準を算定する要素を早急に作成することが困難であったため、2016年に国道9号で路面クックが生じた際の管理基準を参考にして、管理体制基準を作成した。上記によれば、第二次仮復旧施工中は1回/日巡視を行い、路面陥没箇所における擁壁天端高の変位を7箇所(図-5)測定し、20mm/日以上の変位又は10mm/日以上の変位が2日連続した場合は、常時監視への切り替えを行い、その後50mm/日以上の変位又は20mm/日以上の変位を2日連続した場合は、全面通行止めを行うというものであった。結果的には、最大17mmの変位を観測するものの上記に該当するような変位は観測されなかった。(表-1)



図-5 変位観測地点

表-1 変位表(一部抜粋)

測定日	10月16日	10月17日	10月17日	10月17日	10月18日	10月18日	10月18日	10月19日	10月19日
時刻	11:00	9:00	12:00	16:30	9:00	12:00	17:00	7:30	16:00
測点①	8.034	8.038	8.036	8.036	8.036	8.038	8.038	8.038	8.037
前回比	-	0.004	-0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	-0.001
測点②	7.866	7.867	7.865	7.866	7.863	7.865	7.863	7.863	7.861
前回比	-	0.001	-0.002	0.001	-0.003	0.002	-0.002	0.000	-0.002

b) 広報活動

第二次仮復旧をするにあたり、片側交通規制の期間が2ヶ月程度かかる見通しであったため、情報提供として基本的に復旧工事状況を紀南河川国道事務所のHPとTwitterで毎日情報発信(図—6)を行った。Twitterにおいてはアクセス数が多いときには約2万に達し、情報の周知に一定の効果を果たしたと考えられる。

また、本工事をするにあたり、夜間通行止めを実施するため、バス・トラック・タクシー協会、串本町消防本部及び支援学校等への事前周知を行った。迂回路については、普通車に関しては夜間通行止め区間のすぐ山側を走る町道を、大型車に関しては、町道を通る事が不可能であるため、国道371号線や県道38号線を通るルートを案内した。



図-6 HP・Twitter添付資料

(4) 第二次仮復旧へのハード面での取り組み

第二次仮復旧の目的は、暫定2車線確保であり遅くても12月までに完了させることを目指していた。復旧内容は大きく二つある。1つ目は路面陥没の原因となった擁壁の破損箇所の補修と、2つ目は安全に2車線確保するために山側に道路線形を振った事である。(図—5)

a) 防波堤空洞箇所の充填(写真—5)

10月17日から防波堤外側に防災ドクターの助言通り、波による洗掘防止のために大型土のうを設置を開始した。その後、防波堤の空洞部分をモルタル吹付で充填する作業を行った。

b) 迂回路の設置(写真—6)

迂回路設置のためにまず山側の既設法面コンクリートを取り壊し、拡幅盛土のために大型土のうを設置した。その後片側交通規制を海側に切り替え、山側の盛土部分の舗装路盤工と法面の整形を行った。その際、元あった歩道を有効的に活用した。片側交通規制を山側に戻し、海側車線の迂回路拡幅と海側法面の整形を進めたものの、12月11日に2車線を開放することが出来た。(写真—7)

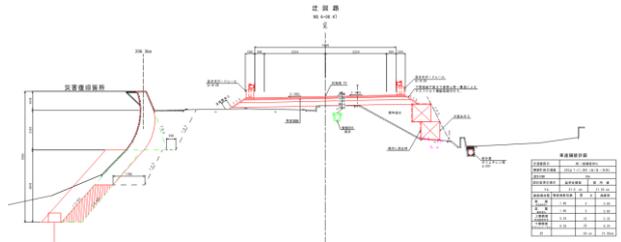


図-5 第二次仮復旧断面図



写真-5 防波堤空洞部のモルタル充填



写真-6 ドローン空撮



写真-7 第二次仮復旧完了写真

6. 終わりに

2019年台風19号は紀南地域での越波をもたらし、大規模な路面陥没を引き起こした。早急に通行止めを解消するため昼夜を徹した復旧作業を行った結果、翌日には片側交互通行に移行し、2ヶ月後には2車線を確保できた。ただし陥没箇所の擁壁は仮補修の状態であるため今年度発生する台風に間に合うよう本復旧工事を急ピッチで施工中である。

この工事では鋼管杭による構造体の構築を8月までに、

越波防止柵の設置を2020年12月までに完了させる予定である。

謝辞：今回の路面陥没で、復旧に協力して下さった地元関係者の皆様、組織・団体の皆様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

1)気象庁HP：台風経路図 平成31年/令和元年(2019年)

(http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2019.html)

熊野川における河口砂州の動態把握と維持管理に関する考察

二階堂 敏博¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 調査課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂 142)

熊野川ではこれまで、2011年（平成23年）9月の台風12号による紀伊半島大水害等の大規模出水が発生しており、流下能力確保のための河川整備を実施している。しかしながら、度重なる出水により、上流部等からの土砂供給が多く、熊野川における河口砂州の発達やこれに伴う流下阻害が懸念されている。これらを踏まえ、本考察では、河口砂州の動態を把握することによる効率的な維持管理について報告する。

キーワード 河口砂州，掃流力，土砂動態，UAV，RTK-GPS

1. はじめに

熊野川は、紀伊半島南東部に位置し、奈良県、和歌山県および三重県を流れる一級河川である。熊野川右岸0.1k付近で支川市田川、左岸3.0k付近で支川相野谷川が合流しており、河口砂州の発達に伴う河口閉塞により、熊野川本川や支川市田川における水位上昇が問題となっている。熊野川流域図と熊野川本川及び各支川の位置関係を図-1、写真-1に示す。

熊野川流域では、これまでに紀伊半島大水害等の大規模出水が発生しており、上流部等からの土砂供給による河口砂州の発達やこれに伴う流下阻害が問題となっている。そこで、熊野川本川の河道掘削等を実施しているが、河口砂州については、その発達速度が速く、河口砂州の動態を把握した上で、定期的な砂州掘削等を実施しながら砂州の維持管理を行う必要がある。しかしながら、河口砂州に関する土砂動態が十分把握されておらず、維持管理方策が確立されていない。また、後述の平成31年3



写真-1 熊野川本川と支川の位置関係

月に策定された市田川流域大規模浸水対策計画において、市田川での浸水被害解消を目的とし、熊野川における河口砂州の掘削が国における対策の一つとして決定されている。そこで、効率的な河口砂州の維持管理方策の確立が急務となっている。本考察ではUAVとRTK-GPSを用いた砂州地形測量により、河口砂州の土砂動態を把握することによって、効率的な河口砂州の維持管理について検討した。

2. 市田川流域大規模浸水対策計画

(1) 平成29年台風21号の被害

2017年（平成29年）10月の台風21号により、熊野川流域では非常に激しい雨が降り、新宮地点で時間最大雨量74.5mmを記録した。その際、市田川全区間で著しく水



図-1 熊野川流域図



図-2 市田川浸水範囲（2017年10月台風21号出水）

位が上昇し、下田水位観測所では昭和57年に次ぐ観測史上2番目に高い水位を記録した。台風21号での豪雨と熊野川本川水位の上昇によって市田川の水位が高い状態が続いた。それによって、新宮市内において大規模な内水が発生し、家屋1,000戸以上が浸水する甚大な被害が生じた。市田川沿川の浸水範囲を図-2に示す。

(2) 市田川浸水対策

台風21号の被害を受け、国、和歌山県、新宮市が連携・協力して台風21号の浸水被害の解消を目的とした市田川流域大規模浸水対策計画が平成31年3月に策定された。浸水被害の解消にあたっては、洪水時における熊野川河口部及び市田川の水位上昇の防止を目的とした河口砂州の掘削が国における対策の一つに位置づけられ、長期的に適宜砂州掘削を行い、維持管理することとなった。

3. 河口砂州の土砂動態

(1) 空中写真による河口砂州の長期的な変化の把握

熊野川河口砂州の変化について、長期的な砂州開口部の位置及びその変化を確認するため、1947年以降の国土地理院等の既往の空中写真を整理した。その結果を図-3及び図-4に示す。図-3より、2011年の紀伊半島大水害と2013年に熊野川河口部に設置した工事用の矢板（河口矢板と呼ぶ）によって、河口砂州開口部の位置は大きく変化しており、砂州の発達による河口閉塞と洪水によるフラッシュ等による砂州消失が繰り返し発生していることが確認できる。紀伊半島大水害前後の状況（図-3 (a), (b)



図-3 河口砂州開口部の位置

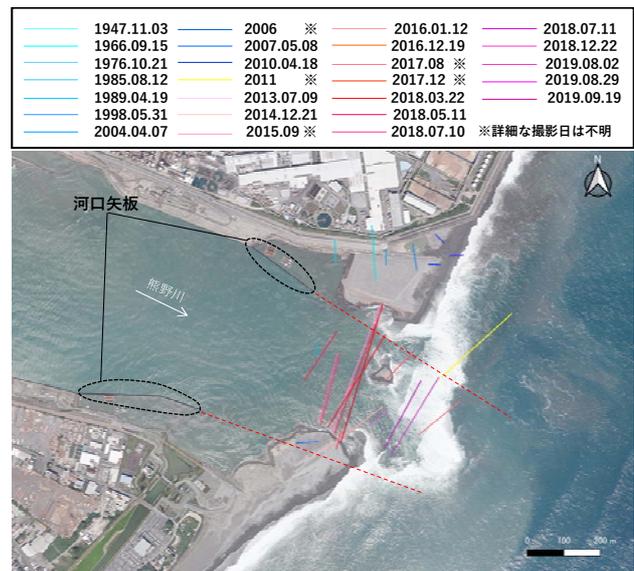


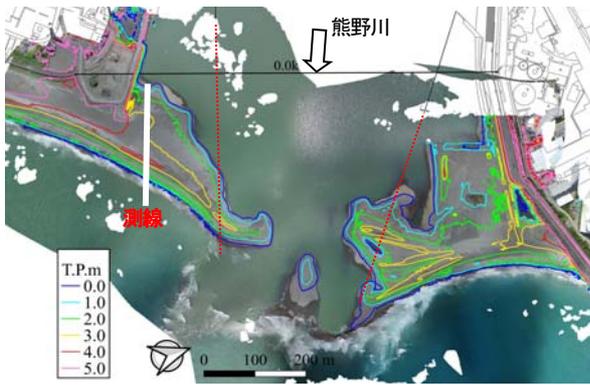
図-4 河口砂州開口位置の変化

より、中央部が開口し、砂州の位置も沖側へ移動していることが分かる。また、工事用の河口矢板設置以降の状況（図-3 (c), (d) 及び図-4）より、砂州の開口部は河口矢板の延長線間に開口部が集まる傾向に変化したことが分かる。これらを踏まえると、紀伊半島大水害によって、河口砂州の開口部や砂州の位置が変化するなど、河道特性が大きく変化しており、2014年の河口矢板設置によって、河口中央部の砂州がフラッシュしやすい状況に変化したことが確認できた。

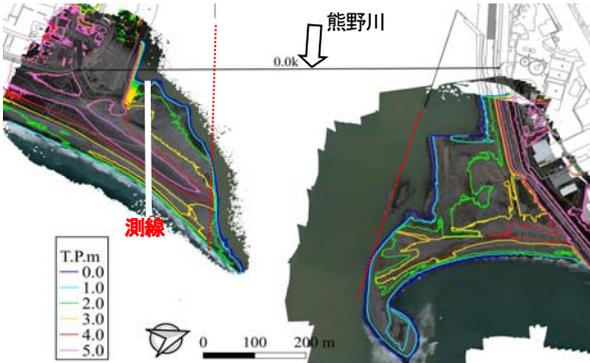
(2) UAVとRTK-GPSでの河口砂州の短期的な変化の把握

a) UAVとRTK-GPSによる観測概要

河口砂州が出水等によりフラッシュし、その後、発達するという短期的な砂州の動態把握のため、UAVとRTK-GPSを使った砂州地形測量を行った。測量は、2019年8月～2020年3月までの期間を対象とし、概ね月1回の頻度での地形測量を9回実施した。調査範囲は熊野川河口部の左右岸に広がる河口砂州の全域とし、右岸側は和歌山県が管理する砂浜海岸（王子ヶ浜）の一部も対象とした。



(a) 出水前（2019年8月2日測量）



(b) 出水後（2019年8月28日測量）

図-5 台風10号出水における砂州の変化

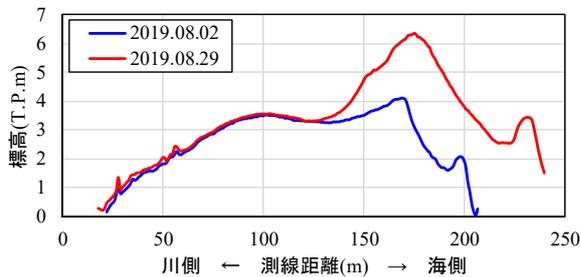


図-6 測線の河口砂州高計測結果

b) 台風前後の土砂動態

2019年8月15日～16日にかけて紀伊半島を通過した台風10号での出水前後で撮影・測量した熊野川河口部の状況について図-5に示す。台風10号による出水では、新宮川水系の流量観測所のある相賀地点で最大流量が約10,000m³/sと計画高水流量19,000m³/sに対して比較的小規模の流量を観測された。図より、河口矢板の延長線に沿って出水による砂州のフラッシュが生じていることが分かる。一方、図-6は、右岸側の砂州に設けた測線における断面地形を比較したものであるが、川側の断面地形はほとんど変化が無かったことに対し、海側では出水前後で最大4m程度も砂州が上昇していることが分かる。このことより、台風時に発生した海側の波浪による砂州の発達を示しており、出水による砂州のフラッシュと、波浪による砂州の発達が同時に発生していることが分かった。

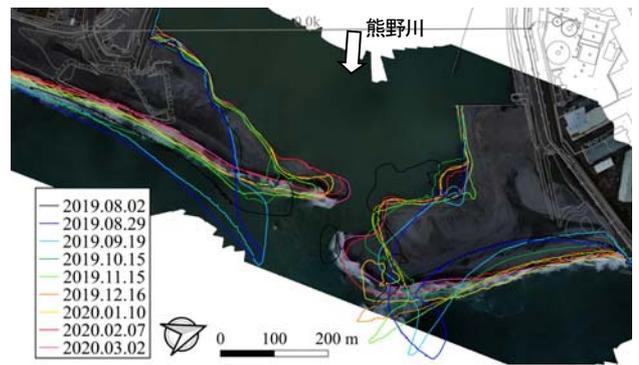


図-7 水際線の変化

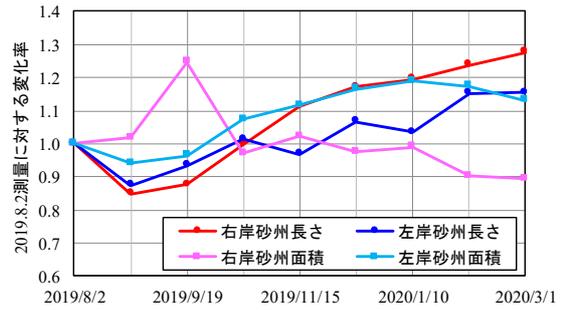


図-8 調査回ごとの砂州長さ及び砂州面積の変化率

c) 出水期後の土砂動態

図-7は、UAVとRTK-GPSによる合計9回の観測結果に、砂州の水際線（T.P.0m）の位置を表したものである。また、左右岸の砂州の長さや砂州面積の変化量について、2019年8月2日に行った第1回の観測結果を基準にグラフ化したものを図-8に示す。図-7より、左右岸の砂州ともに10月頃までの出水によって砂州がフラッシュし、海側へ押し出された後、3月頃までの間に回復する傾向にあることが分かる。図-8において、砂州長さや面積を左右岸で比較すると、右岸側の河口砂州の方が出水期において砂州面積の拡大が著しいことが分かる。また、左岸側に比べ、砂州面積は比較的安定しているが、砂州の延伸速度は左岸側より大きいことが確認できた。これらは、右岸側に存在する砂浜海岸からの土砂供給があるため、左岸側より砂州の発達が目立つと推測される。一方、左岸側の河口砂州は、右岸側と比べると出水期における砂州面積の拡大や、砂州の延伸速度は緩やかであり、11月以降は比較的砂州が発達していない状態が続いていることが分かった。

4. 数値解析による河口矢板の効果検討と砂州の維持管理

(1) 解析手法・条件

熊野川河口部では河口矢板の設置により、河口中央部の砂州がフラッシュしやすい状況に変化している等、河道特性が変化していることが確認できた。そこで、洪水流及び河床変動の数値解析を行い、河口矢板の設置による熊野川河口部の流況への効果を検討した。

表-1 解析条件

項目	設定値
メッシュサイズ	縦断方向 25m×横断方向 25m 程度
分割数	縦断方向 520×横断方向 42
河道条件	2017年測量データ 河口砂州：空中写真等から設定 砂州高：T.P.+3m，開口幅：50m
	1)：現状（河口矢板あり+砂州あり） 2)：河口矢板あり+砂州なし 3)：河口矢板なし+砂州あり 4)：河口矢板なし+砂州なし
上流端流量	6,000m ³ /s（小規模洪水程度） 12,000m ³ /s（平均年最大流量程度）

解析における対象範囲は熊野川の河口付近から流量観測所がある相賀地点（熊野川10.6地点）までとし、最新の河道横断測量成果（2017年）をもとに、河口閉塞状態を想定した場合に、河口矢板の有無による河口部の流速や水位について検討し比較を行った。なお、本解析における対象範囲では、河口閉塞による背水の影響が想定される。背水の影響がない状況での河口矢板の有無による効果の比較のため、河口砂州が形成されていない河道条件を加えて検討を行った。詳細条件については表-1に示す。

(2) 解析結果

表-1 で示した条件で解析を実施した流速分布を図-9 に示す。図-9 において、河口砂州の影響(1)と2)または3)と4)を比較すると、流量に関係なく、背水の影響を受け、砂州上流側の水位が上昇し、流速が減少する傾向にあることが分かる。一方、河口矢板の有無(1)と3)または2)と4)で比較すると、河口矢板がある場合(1)、2)には河口矢板間に洪水流が集中することで河口矢板設置箇所から下流側の河道中央部付近における流速が増加する傾向にあり、洪水流量が大きい場合ではより顕著に表れていることが分かる。図-10 では、平均年最大流量程度の12,000m³/sの流量が流下した場合の河床変動について、河口矢板あり+砂州あり(1)と河口矢板なし+砂州あり(3)の河道条件における計算後の河床高と両河床高の差分図を示す。流量6,000m³/sでは河床高の顕著な違いは見られなかったが、流量12,000m³/sでは、河口矢板がある場合(1)の方が河口部の流速が増加することから、河口矢板設置箇所から下流側の河道中央部付近及び右岸側河口砂州の一部(領域A)においてよりフラッシュされやすい状況になることが確認できる。以上のことから、河口矢板は、河口部の流速(掃流力)を増加させ、河口砂州のフラッシュを促進させる効果が高いことがわかった。

(3) 効率的な維持管理に向けた検討

上述のとおり、熊野川河口砂州では出水による砂州のフラッシュと波浪による砂州の発達と同時に発生していることが分かった。左右岸で河口砂州を比較すると、右岸側

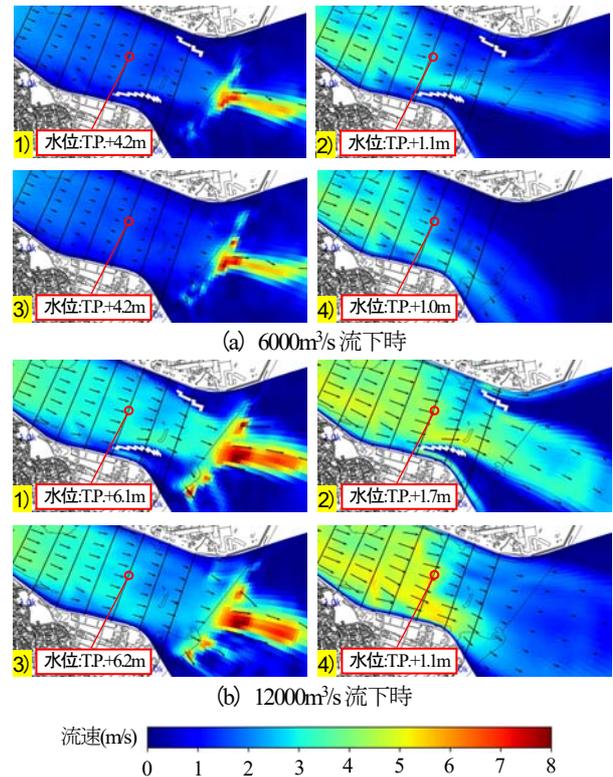


図-9 解析による流速分布(水深方向の平均流速)

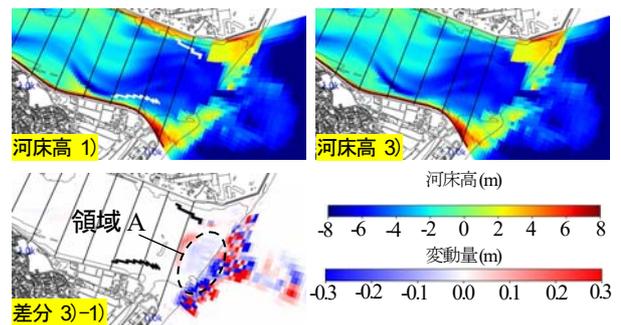


図-10 12000m³/s 流下時の計算後河床及び差分コンター図

の方が左岸側より砂州が発達しやすいことが確認された。このことから、河口砂州の維持管理については、土砂供給量が少なく、砂州の発達速度が比較的緩やかな左岸側の砂州を対象に行う方が効率的であることが示唆された。また、数値解析によって確認された河口矢板の効果から、河口矢板等の設置により河口部の掃流力が向上させる対策が有効であることが確認された。

5. おわりに

土砂堆積が著しい熊野川河口砂州では、長期にわたって定期的な掘削による維持管理が必要になると予想される。そのため、少ない流量でも砂州のフラッシュが可能となる掘削形状や、熊野川河口部における掃流力をより向上させる新たな方法等を検討し、より効率的かつ効果的な維持管理に資するよう検討を続けていきたい。

上秋津地区の地滑りに伴う田辺龍神線の 応急対策（仮設橋設置）の取組みについて

橋本 和夫¹・玉置 哲郎²

¹和歌山県 西牟婁振興局 建設部 (〒646-8580和歌山県田辺市朝日ヶ丘23-1)

²和歌山県 西牟婁振興局 建設部 (〒646-8580和歌山県田辺市朝日ヶ丘23-1)

主要地方道田辺龍神線は、和歌山県の田辺市市街地と旧龍神村を結ぶ幹線道路（第2次緊急輸送道路）である。2019年7月28日の夕刻、沿道の林地において斜面崩壊が発生し、巨石を含む崩石群により道路の一部が埋塞したため、全面通行止めとなった。直近の迂回路は幅員狭小で、乗用車のみ通行となり、また、迂回時間が30分程度かかるため、通勤、通学、通院あるいは緊急車両の出動に支障をきたす状況であった。そのため崩壊地を迂回する仮設道（延長約200m）を設置することを決定し、緊急に施工し、2020年3月27日に供用を開始したものである。

本論文では、応急対策として代替路を確保するための仮設道設置の取組みについて紹介する。

キーワード 応急対策， 仮設橋， 橋台基礎形式， 工期短縮

1. はじめに

主要地方道田辺龍神線（田辺市湊～田辺市龍神村湯ノ又）は、県南部を南北に走る田辺市市街地と旧龍神村を結ぶ延長30.175kmの主要幹線道路である。

本路線は、第2次緊急輸送道路に指定されており、また和歌山県の主要な農産物である梅・蜜柑の輸送路である。

さらに近隣には、吉野熊野国立公園に指定されている峡谷の奇絶峡があり、地域の生活道路、産業道路であり、かつ観光ルートとしても重要な路線である。

今回被災した箇所は、田辺市上秋津地内で、二級河川右会津川の右岸に位置している(図1)。

2. 被災状況

2019年7月28日夕刻、高さ約20m、幅約50mにわたり岩盤斜面の崩壊が発生し、崩落した岩塊群が治山事業で設置した高強度落石防護柵を突き破り、主要地方道田辺龍神線の一部が埋塞に至る事態となった(写真1)。

これに伴って、主要地方道田辺龍神線を全面通行止めとした。

被災要因としては、被災箇所上方に大規模地滑りブロックが存在し、末端部のトップリング現象によるものと推察されている。

当該斜面は、林野庁中国近畿森林管理局和歌山森林管理署で治山事業を実施しているところであり、現在も地すべり対策として集水井工・集水ボーリング工を施工中である¹⁾(図2, 図3)。

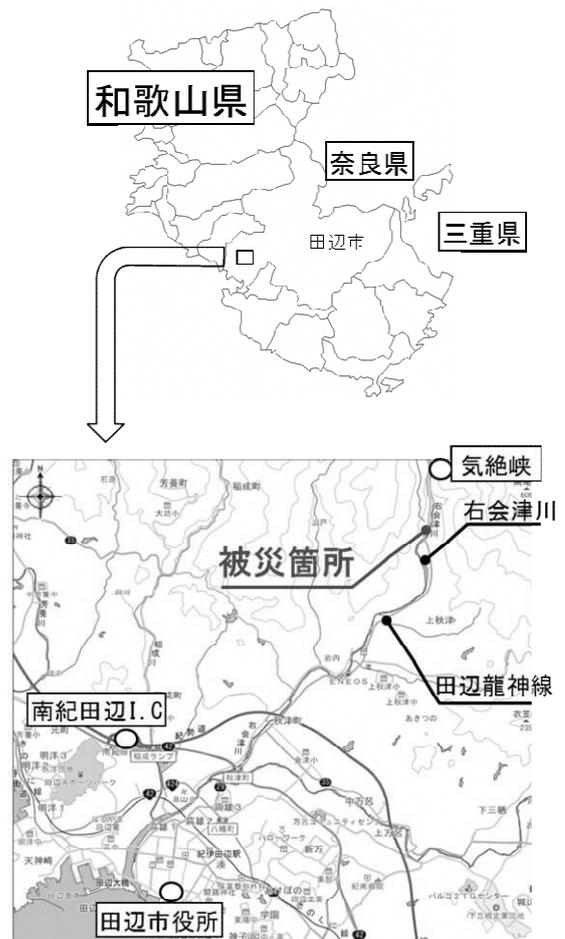


図1 被災箇所 位置図



写真1 被災状況 2019年7月28日

また大型車の場合は、迂回に1時間30分程度必要となるが、近隣工場への鋼材運搬や農産物等の輸送あるいは観光バスの通行も望まれており、早急な代替路の確保が必要であると判断した。

しかし、現地は再度の崩壊が懸念され、また地すべり対策が相応の効果を発現し、安全が担保されるには相当年数が必要であることから、崩壊地を迂回するための仮設道の設置を決定した。

計画の策定に当たり、地勢的条件の他、右会津川を渡って対岸に計画しなければならないこと、近隣の工場に向かうセミトレーラの通行を考慮すべきことなどの制約があり、以下のとおり検討を進めた。

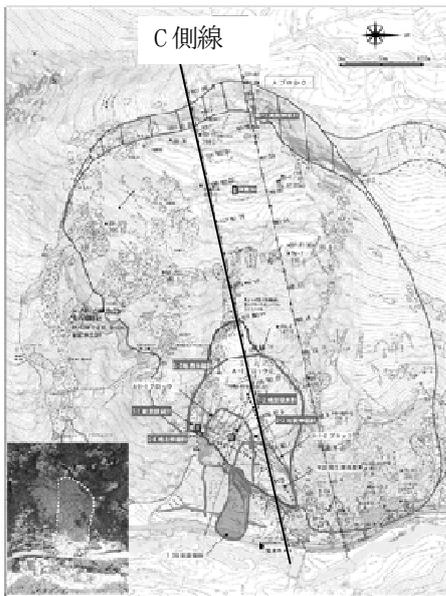


図2 平面図¹⁾

(1) 仮設道路のコントロールポイント

- ・ 民地境界
影響する民地を最小限にする
- ・ 上流側堰堤
構造物とその機能に影響しない範囲とする
- ・ 国立公園の敷地
国立公園内に構造物を造ることにより、眺望を阻害するため公園内に影響させない範囲とする
- ・ 危険箇所の回避
大規模地滑りブロック全体を回避すると長大になり過ぎるため、トップリングにより更なる崩壊が懸念される区間を回避する

(2) 県保有仮設橋（2基）の活用

早期の道路開通と経済性を考慮して、和歌山県が保有する仮設橋（2橋）を使用して計画する。

- ・ 仮設橋1 橋長L=34.0m 有効幅員W=8.0m
- ・ 仮設橋2 橋長L=34.0m 有効幅員W=6.0m

(3) セミトレーラの走行性

現地はセミトレーラの走行が想定されるため走行性を考慮して計画する。

4. 仮設道路（内仮橋2橋）の設計

(1) 地質状況

周辺では右会津川の侵食により急峻な谷地形が形成され、上流には絶壁の景勝地・奇絶峽がある。

調査箇所の河床部では、延長100mにわたり緩傾斜～平坦な地形を形成している。河床には数メートルから10メートル程度の巨大な転石が分布し、右岸斜面では大規模な地すべりが発生している。

また、左岸斜面においても地すべりの兆候が見られる。

調査地の基盤岩地質は、四万十累層の音無川層群羽六累層に属する砂岩泥岩互層、砂岩および礫岩からなり、河床には転石を含む堆積物が分布する。

3. 応急対策としての仮設道路の計画

全面通行止めに対応して迂回路を設定したが、直近の迂回路は、幅員狭小で乗用車のみの通行となり、時間も30分程度かかることから通勤、通学、通院、緊急車両の出勤に支障をきたしている。

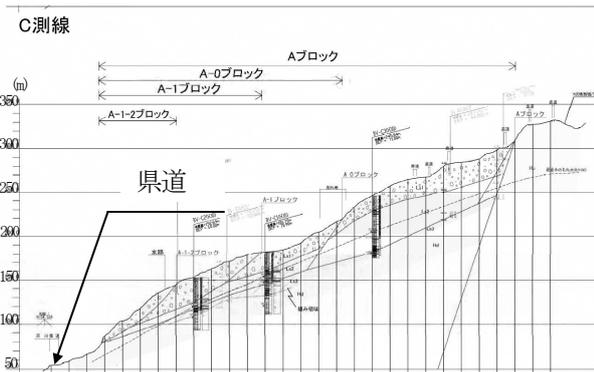
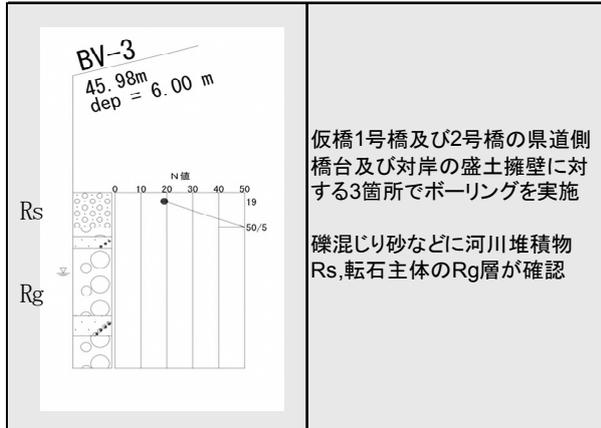


図3 横断図¹⁾

ボーリング結果の概要を以下に示す。

表1 ボーリング結果



(2). 基礎型式の検討

本仮橋は、地元要望などによる早期開通をめざし、また地すべりへの影響を極力最小限にする低振動による工法であることを条件に、以下の工法比較を行った(表2)。

- ケース1. 直接基礎 重力式橋台コンクリート基礎
- ケース2. 杭基礎① ダウンザホールハンマ工法
- ケース3. 杭基礎② 大口径ボーリング工法

(3). 橋梁架設方法の検討

上部工架設は、右岸側から一括で架設するものとした。油圧式トラッククレーンのアウトリガーの張り出し長は現況道路幅員を考慮して架設可能な規模として、300t油圧式クレーンを採用した(写真2, 図4)。



写真2 架設状況

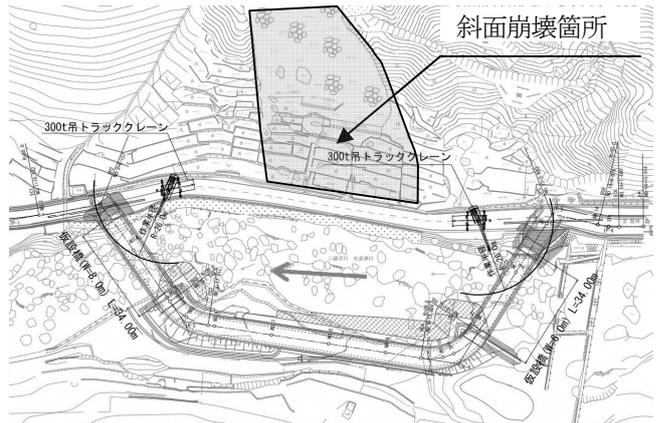


図4 架設平面図

表2 基礎形式比較

	ケース1 直接基礎	ケース2 杭基礎(DHT工法)	ケース3 杭基礎(大口径工法)
概略図			
特徴	現場の掘削状況によって薬液注入が必要となる可能性があるが、工期の短縮には最も有利な工法となる。床掘時に転石等除去に大型ブレーカーを使用するが、振動の発生は極めて小さい。	大型クレーンによる施工となるため、河川内ヤードが他ケースより広くなるため、転石処理作業が多くなる。ダウンザホールハンマーによる削孔時の振動は他工法に比べ大きい。	小型機械で施工可能のため、河川内ヤードがケース2に比べ狭くなるため、転石処理作業は少なくなる。大口径ボーリング工法は低振動工法であり、ダウンザホール工法に比べ振動影響は小さいが、転石処理に時間を要する。
	○	△	△

(4). 工期の短縮

仮設道路の路側工にプレキャストL型擁壁を使用することで工期短縮を実現した。また、仮設道路は右会津川の水位の影響を受けるがL型擁壁をH.W.Lより上で使用し、下部構造を盛土にすることで施工を可能にした(図5)。



写真3 仮設道路完成

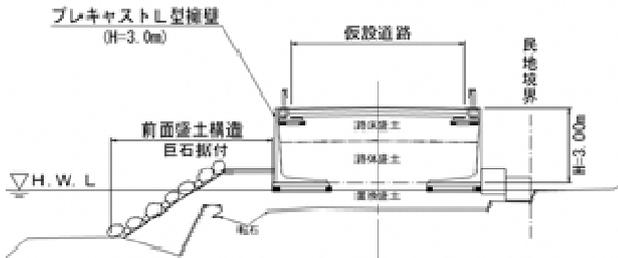


図5 標準断面図



写真4 仮設道の供用開始

5. 仮設道路の施工工程

地元住民からは農繁期（梅の収穫）までには通行したいという強い要望があったので、3月末までに供用できるように工程の調整を行った。

8月中旬から地元調整を行い、9月初旬に現地測量に着手、10月初旬から仮設橋・道路工の設計業務に着手した。仮設橋の設計ができたのが11月中旬となった。

工事期間は約4ヶ月半と短期であったため、様々な工夫を行った（表3）。

表3 工期短縮のための工夫一覧

番号	工夫した内容
①	橋台のコンクリートは、養生期間短縮のため、早強コンクリートを使用した。
②	取合せ部の土留めは、施工期間短縮のため、耐候性の大型土のうを使用した。
③	橋台の背面や路床盛土は、作業性の向上のため、碎石で埋め戻した。
④	擁壁・ガードレール基礎は、施工期間短縮のため、プレキャスト製品を使用した。

こうした工夫により工期短縮を行い、仮設道を3月27日に供用開始することができた²⁾(写真3 写真4)。

7月28日に被災し全面通行止になり、翌年3月27日に迂回路を供用したので、通行止めから解除までに約8ヶ月の期間という短期間で、通行止めを解除することができた。

6. おわりに

今回、2020年3月27日に無事に迂回路である仮設道を供用することができ、開通日には仮設道であるにもかかわらず、地元住民をはじめ多くの方々がお祝いの気持ちでかけつけてくれた。しかしながら、和歌山森林管理署が行っている斜面对策の効果が発現しないと、道路管理者としては現道を通行させることは難しい。あくまでも仮設道なので、耐用年数を考慮すると、斜面对策の早期の完了が望まれるところであり、道路管理者としても、和歌山森林管理署と協力しながら、対策に取り組んでいきたい。

<参考文献>

- 1) 近畿森林管理局 「上秋津への対応状況」
(<https://www.rinya.maff.go.jp/kinki/tisan/kamiakitukuikihenotaioujyoukyou.html>)
- 2) 和歌山県HP わかやま県政ニュース「田辺市上秋津地内の県道 田辺龍神線における仮設道路の利用開始について」
(<http://wave.pref.wakayama.lg.jp/news/kensei/shiryo.php?id=30975>)

謝辞

応急対策の仮設道の建設に当たり、地権者の皆様、地元関係者の皆様はもとより、応急仮設橋の計画に当たり多くのアドバイスを頂いた、近畿地方整備局はじめ建設に関わって頂いた、組織、団体の皆様に深く感謝申し上げます。