

有害物質を含む塗膜処理について

大西 広祐¹・福島 尚美²

¹近畿地方整備局 兵庫国道事務所 管理第二課 (〒650-0042神戸市中央区波止場町3-11)

²近畿地方整備局 兵庫国道事務所 神戸維持出張所 (〒658-0015 神戸市東灘区本山南町4-1-18)

橋梁等の塗装塗替えを行うにあたり既存塗膜に有害物が含まれる場合があり、適正な方法での除去及び処理が求められている。

国道2号左門橋と浜手バイパスにおいて有害物を含む橋梁塗装塗替工事を実施したので、その施工事例を紹介する。

キーワード 塗装塗替え, 鉛, PCB, 左門橋, 浜手バイパス, 剥離剤, 産業廃棄物処理

1. はじめに

橋梁等の塗装塗替工事にあたり、既存塗膜に有害物が含まれている場合がある。有害物とは、鉛及び鉛化合物、クロム及びクロム化合物、PCB等を含有したもの指す。

鋼橋の防錆塗装として鉛系塗装材が知られており、安価かつ高性能であることから、古くは塗装の標準品として使用されてきた。鉛は自然界に存在し、日常的に人は微量の鉛を摂取しているが、通常環境条件では摂取量と尿からの排泄量がバランスしており、鉛が体内に蓄積する量は制限される。しかし、呼吸器や消化器から多くの鉛が摂取されるとその一部が血液に吸収され、蓄積量が増えて鉛中毒に至る。

2014年5月31日に、厚生労働省より「鉛等有害物を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について」が発出され、作業環境及び健康確保や周辺環境保護の観点から適正な方法での除去及び処理がより強く求められるようになった。

PCB (ポリ塩化ビフェニル) は、脂肪組織に蓄積しやすく、発癌性、皮膚障害等の毒性が明らかになり、1973年に「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」が制定され、PCBの製造、輸入及び使用が禁止されたが、同法が施行される以前に使用された塩化ゴム系塗料にはPCBの含有が確認されている。また、PCBを含んだ廃棄物 (以下、「PCB廃棄物」) については、処理がされないまま長期間保管された状態が続いたため、紛失や漏洩による環境汚染の進行が懸念されたことから、2001年に「PCB措置法」が施工されPCB廃棄物の確実かつ適正な処理が推進されるよう

になった。

塗装塗替えの際、機械式による既存塗膜の除去が一般的であったが、塗膜に含まれる有害物の粉塵飛散による作業員の人体や周辺環境への影響を配慮し、剥離剤を使用した湿式工法への転換が強く求められている。

国道2号の左門橋及び浜手バイパスにおける塗装塗替工事で、既存塗膜に鉛の含有が認められ、塗膜除去時の粉塵飛散による健康管理と周辺環境への配慮を行った。また、左門橋においては、低濃度PCBの含有が確認されたため、より一掃の厳しい管理によるPCBの除去及び処理を行った。

2. 工事概要

(1) 国道2号左門橋補修工事

場所：一般国道2号

自) 大阪府大阪市西淀川区佃2丁目地先

至) 兵庫県尼崎市梶ヶ島地先

工期：2013年8月21日～2015年6月15日

橋長：138.2m

橋梁形式：単純PC^レレン中空床版橋、単純鋼非合成
鉸桁橋

竣工年度：1926年度

塗装仕様：エポキシ樹脂塗料 (下塗り)

フッ素樹脂塗料 (中、上塗り)

本工事は、主桁補修、落橋防止装置設置、支承取替に伴う2径間 (P3-P4) の塗装塗替えが当初の工事内容であったが、塗膜の含有物質試験をした結果、低

濃度のPCBが検出されたため工事内容を変更し、4径間（P2-P6）のPCB除去を主とした塗装塗替工事となった。



写真-1 左門橋遠景

(2) 国道2号浜手バイパス高架橋塗装塗替工事

場所：一般国道2号

自) 兵庫県神戸市中央区浜辺通2丁目地先

至) 兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目地先

工期：2015年9月12日～2016年3月23日

橋長：2201.8m

橋梁形式：連続鋼鋼床版箱桁橋 1)

竣工年度：1986年度

塗装仕様：エポキシ樹脂塗料（下塗り）

ポリウレタン樹脂塗装（中・上塗り）

1)は、工事場所に於ける橋梁形式である。

本工事は、浜手バイパス（下）のP34橋脚～P35橋脚、P43橋脚～P45橋脚の鋼橋本体及び高欄部の塗装塗替工事である。鋼橋本体の下面は、下塗りから層状剥離が生じたため、1種ケレンによる施工とした。



写真-2 浜手バイパス遠景

3. 既存塗膜の含有試験及び塗膜除去方法の検討

鋼橋の塗装を塗替える際は、塗膜に鉛・PCB・六価クロムが含まれることがあるので、事前に塗装仕様や現地にて有害物が含まれていないかの試験を行い、労働安全衛生法等に基づく塗膜の除去作業や産業廃棄物の処理を実施する必要がある。

(1) 含有量試験

塗膜に有害物が含まれるかについては、含有量試験で判定する。

鉛の試験方法、濃度や量の規定について特に明示したものはないが、労働安全衛生法等で鉛を含む塗膜除去作業の際に作業員や周辺環境への配慮することが義務づけられている。

PCBが含まれるかの試験方法は、「低濃度PCB含有廃棄物に関する測定方法」（第2版）（環境省）に明記されている。PCBを含む場合の作業については、1.0%以上の場合(10,000mg/kg以上)、0.1%～1.0%の場合(1,000～10,000mg/kg)、0.1%以下の場合（1,000mg/kg以下）の濃度により適用法が分かれる。

労働安全衛生法では、「クロム酸及びその塩」として作業環境基準に基準はあるが、工事現場での規制はない。

(2) 溶出量試験

産業廃棄物として鉛を含む特別管理産業廃棄物かどうかの試験方法は、「産業廃棄物の検定方法に係る分析操作マニュアル」（環境省）にある溶出量試験で行う。金属を含む産業廃棄物に係る判定基準により「鉛又はその化合物」が0.3mg/l以上、「六価クロム又はその化合物」が1.5mg/l以上の場合には、有害な特別管理産業廃棄物となる。

(3) 塗膜除去方法

これまで機械式による塗膜除去では粉塵が発生し、周辺環境や作業員の人体への影響が懸念される。有害物含有塗膜を飛散させずに除去するため、剥離剤を使用した湿式工法での塗膜除去を基本とし、除去しきれない塗膜については、動力工具等を併用して除去を行った。

剥離剤の選定は、新技術に登録されているものから選定し、現場試験により現地塗装系に適合した材料の選定を行った。

(4) 各工事の試験結果及び塗膜除去方法

a) 国道2号左門橋補修工事

含有量試験により鉛50,000mg/kg, PCB 1.1mg/kgが検出された。有害物が含有していることが確認された場合、有害物や粉塵を発生する等有害な作業場ではその原因を除去し改善等必要な措置を講ずることになっており、鉛を含むPCBの除去を実施した。溶出量試験による鉛の溶出濃度は120mg/lで判定基準以上であったため、特別管理産業廃棄物の扱いとなった。また、低濃度PCBも含有しているため特別な扱いが必要となった。

剥離剤の選定は、バイオハクリX (KT-140050-A)を採用した。



写真3 左門橋 バイオハクリX 試験施工 (1回目剥離)

b) 国道2号 浜手バイパス高架橋塗装塗替工事

含有量試験により鉛6,700~24,000mg/kg検出された。有害物が含有していることが確認されたため措置を講じた。溶出量試験による鉛の溶出濃度は0.1mg/l未満で判定基準内のため、産業廃棄物の扱いとなった。

剥離剤の選定は、バイオハクリXで現場試験を実施したが塗布後24時間経過しても軟化が確認できなかった(写真-4)ため、新技術登録ではないが、現場試験で軟化が顕著に確認できた(写真-5)MSハクリ(株)武蔵野化学を採用した。バイオハクリXは、エポキシ樹脂塗料及びウレタン樹脂塗料に軟化しにくく、既存塗料系との相性がよくなかったと考えられる。



写真4 浜手バイパス バイオハクリX試験施工状況
(塗布後24時間以上経過)



写真5 浜手バイパス MSハクリ試験施工状況
(塗布後40分経過)

4. 塗装塗替え時の周辺環境及び作業者への配慮

(1) 国道2号左門橋補修工事

左門橋において鉛及びPCBが検出された。PCB濃度が1,000mg/kg以下の場合の適用法である労働安全衛生規則(有害な作業環境)第567条に従い、有害物の除去及び粉塵の飛散防止、立入禁止措置等を講じた。

標準足場と板張防護の他に二重シート張り防護を設置し、作業場外に塗膜カスが飛散しないよう作業場の隔離を行った。作業場内は集塵機を使い塗膜カスの集積と共に作業性への配慮を行った。除去した塗膜カスは、廃棄用袋に詰めドラム缶に格納した。

さらに、粉塵計を用いて、作業場外に粉塵が漏れ出し、左門橋を通行する一般歩行者がばく露してないかの監視も行った。

作業員は、電動ファン付き呼吸用保護具、全身化学防護服、シューズカバー、防護手袋を装着することにより、有害塗膜カスの吸引、皮膚への付着を防

いた。作業後は隔離された脱着所にて更衣，洗身してから退場することにより外部への有害塗膜の拡散を防止した。使用済みの防護服や保護具については，専用の廃棄容器に捨て，適正に処分を行った。



写真-6 左門橋 仮設置状況



写真-7 左門橋 作業状況 (剥離1回目)

(2) 国道2号浜手バイパス高架橋塗装塗替工事

浜手バイパスにおいて鉛が検出された。厚生労働省からの通知（「鉛等有害物を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について」）のとおり，湿式による作業の実施が基本となるが，1種ケレン（ブラスト処理）を実施した箇所もあり，嚴重な対策を行った。

左門橋と同様に板張防護及びシート防護により作業場を隔離し，作業場内は集塵機による塗膜カスの集塵及び局所排気を行った。また，1種ケレン（ブラスト処理）部では，粉塵量に対応可能な大型で鉛対応の集塵機を設置した。

昇降階段付近にはセキュリティールームを設置し

た。ルーム内は間仕切りを行い，エアシャワー，集塵専用掃除機，更衣室を設け，粉塵の持ち出しを阻止した。

作業員は，電動ファン付き呼吸用保護具，全身化学防護服，シューズカバー，防護手袋を装着することにより，吸引，皮膚への付着を防いだ。使用済みの防護服や保護具については，専用の廃棄容器に捨て，適正に処分を行った。



写真-8 浜手バイパス 作業状況 (ブラスト処理)



写真-9 浜手バイパス エアシャワー使用状況

5. 産業廃棄物の処理

浜手バイパスは，溶出量試験による鉛の溶出濃度は0.1mg/l未満と判定基準値内であったため，除去した塗膜は産業廃棄物として処理を行った。

左門橋において除去した鉛を含むPCB含有塗膜は，PCB廃棄物となり，特別管理産業廃棄物に区分され嚴重な管理となる。養生の解体時に生じる養生材や作業員の防護服等も同様に特別管理産業廃棄物として

処理を行った。

PCB廃棄物を含む有害物については、廃棄物処理法により、事業活動に伴い特別管理産業廃棄物を生ずる事業場を設置している事業者は、特別管理産業廃棄物管理責任者を置かなければならないと規定されており、当事務所では、職員が資格を取得し特別管理産業廃棄物管理責任者となっている。厳重に管理する必要があるため管理用コンテナにドラム缶を格納し、現場から保管場所へ運搬時は特別管理産業廃棄物管理責任者の立会を行い搬出・運搬・搬入を当事務所が契約したPCB汚染物運搬許可取得している運搬業者が行った。適正な処理が出来るまで漏洩することが無いように厳重に保管している。

参考文献

- 1) 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会：鋼橋塗装塗替え設計施工マニュアル
- 2) 環境省：低濃度PCB含有廃棄物に関する測定方法（第2版）
- 3) 環境省（平成25年5月）：産業廃棄物の検定方法に係る分析操作マニュアル



写真-10 PCB保管状況

6. 今後の課題

近畿圏内に鉛を含む低濃度PCBを最終処理できる施設がなく、PCB廃棄物は、廃棄物処理法に基づき厳重に保管している状況である。PCB措置法により2027年3月31日までに処理することが義務づけられており、今後速やかに処分場の検討が必要で、PCB廃棄物処理の動向を注視していく必要がある。

また、PCBは試験方法や混入していた場合の作業の濃度による適用法が示されているが、鉛作業については濃度や量の規定、具体的な対応策が示されていないため、塗装塗替え時の安全対策方法に苦慮した。

さらに、有害物の飛散防止措置を講じた今回の塗装塗替工事では、コストが大幅にかかった。今後、安価な対策方法の開発を期待する。

雨水南幹線シールド発進立坑（いろは呑龍^{どんりゅう}トンネル）について～浸水から街を守る～

正木 利一

京都府流域下水道事務所 施設整備室 （〒617-0836京都府長岡京市勝竜寺樋ノ口1）

京都市、向日市、長岡京市にまたがる桂川右岸地域は、幾度となく浸水被害が発生しているが、河川や水路周辺に人家が密集しており、さらに鉄道橋や道路橋などが架かっているため、河川の拡幅が困難である。そのため、京都府が地下に雨水貯留管を設置し、浸水対策に取り組んでいるところであり、今回報告する工事は、その最下流の雨水南幹線のシールド発進立坑である。雨水南幹線シールド発進立坑は、地上から地下約35mまで掘進する工事であり、硬質地盤や高い水圧に対応するため、多くの技術を活用し、コスト縮減と工期短縮を図りながら工事を施工したので、その内容について報告するものである。

キーワード 浸水対策, オープンケーソン工法, 立坑, コスト縮減, 地下水

1. はじめに

京都市、向日市、長岡京市にまたがる桂川右岸地域は、784年に桓武天皇が長岡京を造営した歴史的な地域であるが、わずか10年で平安京に遷都となった一因ともいわれるように、度重なる浸水被害に悩まされた地域である。

近年は、J R東海道本線や阪急京都線及び国道171号などの交通網の発達により、急激に都市化が進み、多くの雨水が河川や水路に流れ込むようになり、大雨のたびに浸水被害が発生していた。そこで、京都府は、1995年度から浸水対策事業として「いろは呑龍トンネル」を整備している。

「いろは呑龍トンネル」は、全体延長約9.2km、対策量24万 m^3 の地下トンネルであり、雨水が流入して増水した雨水排水路から水をトンネル内に取り込んで一時的に貯留し、河川や水路の水位が下がってから排水を行い、浸水被害を軽減している。なお、全体計画完成時には、流下させる機能も有している。この「いろは呑龍トンネル」の全体計画の内、2001年6月に上流部の雨水北幹線第1号管渠を供用開始し、2011年10月に雨水北幹線第2号及び第3号管渠を供用開始したので、現在、合計約10万7千 m^3 の雨水を貯留することができる。

2013年台風第18号及び2014年台風第11号では、いろは呑龍トンネルが満管となるまで貯留し、浸水被害の軽減に大きな効果を発揮した。

今回、雨水北幹線に続く雨水南幹線（内径3.5m、延長4,260m）のシールド発進立坑工事を2014年から着手し、2015年に完成したので概要について報告する。

2. 雨水南幹線シールド発進立坑の概要

今回報告する雨水南幹線シールド発進立坑は、雨水南幹線を掘進するシールドマシンが発進する立坑である。

発進立坑は、京都府の洛西浄化センター内に設置し、工事費が約5.7億円で、内径12.5m、深さ34.8mのオープンケーソン工法で施工する。地下約35mまで掘削し、コンクリート構造物を構築する工事であり、地盤が硬く、水圧も高いことから、様々な工法、技術を用いて施工している。

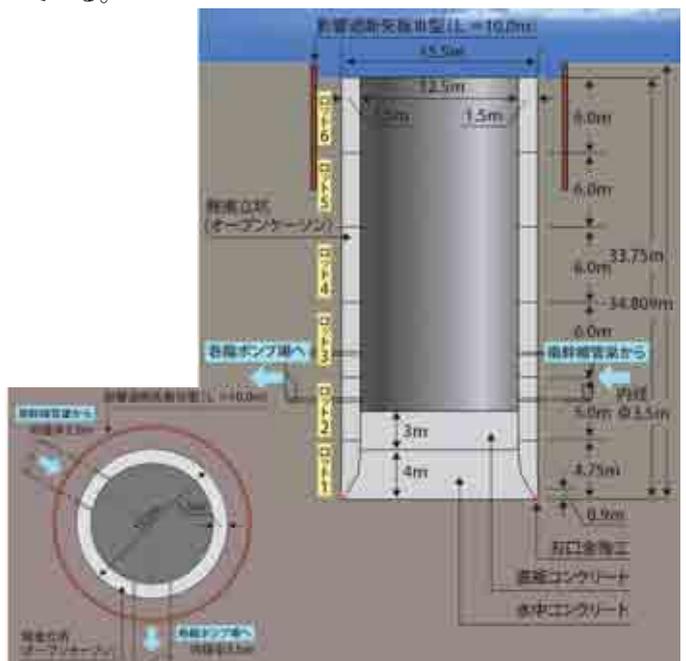


図-1 雨水南幹線発進立坑の概要

3. 施工の流れ

(1) 施工前

今回施工する発進立坑は、「いろは呑龍トンネル」の最下流に位置する京都府洛西浄化センター内に施工する。シールドマシンを発進し、雨水南幹線が完成すれば、この発進立坑を呑龍ポンプ場の一部として利用する。



写真-1 発進立坑の施工場所

(2) 刃口金物据付及び影響遮断矢板

発進立坑を深さ34.8mまで掘削するための刃口金物（カッターのような金物）を設置する。刃口金物の周囲には、圧入沈下させるために使用するアースアンカー（深さ48.5m、定着長14m、12本）を施工する。

また洛西浄化センターの水処理施設が近接しており、施設への影響を防ぐため、影響遮断矢板を打設する。



写真-2 刃口金物据付

(3) 足場・型枠組立

刃口金物の上に鉄筋コンクリートを打設するため、作業足場及び型枠を設置する。



写真-3 足場・型枠組立

(4) 鉄筋組立

設置した型枠内部に鉄筋を配筋する。なお、シールドマシンが発進し開口する部分には、鉄筋の代わりに鉄筋と同じ形状の炭素繊維を設置する。



写真-4 鉄筋組立

(5) コンクリート打設

型枠内部に鉄筋を配筋した後、コンクリートを打設する。コンクリートの打設は、ロッド内に目地ができないように1日で、1ロッド約400m³を打設する。



写真-5 コンクリート打設

(6) 掘削・沈下

打設した円筒形のコンクリート（ケーソン）の上部に圧入ジャッキを12箇所設置し、圧入ジャッキにより、圧入沈下させると同時にクラムシェルでケーソン内を掘削する。ケーソン内を掘削すると地下水が出るが、排水せず、そのまま掘削する。

（沈下速度は、平均約40cm/日）



写真-6 掘削・沈下

(7) 壁面清掃

(3)～(6)を6回繰り返し、6ロッド沈下させた後、ケーソン内部に水中コンクリートを打設する。水中コンクリートの施工後、内部の水を排水しながら、壁面を清掃し、壁に付着した泥等を落とす。壁面清掃は、ケーソン内部の排水による水位低下を利用し、フロート（いかだ）を浮かべて実施する。



写真-7 壁面清掃



写真-9 オープンケーソン工法

(8) 完成

ケーソン内部の排水及び壁面清掃の完了後、底板コンクリートを施工し、発進立坑が完成する。



写真-8 発進立坑（完成）

(2) 影響遮断矢板

掘削箇所が洛西浄化センターの水処理施設に近接しており、水処理施設が沈下、傾斜すれば、適切な下水道処理ができなくなる可能性がある。そこで、影響遮断矢板（深さ10m）をケーソン周囲に設置し、周辺構造物への影響の軽減を図った。工事完了後、周辺地盤変状を把握するために設置した沈下計及び傾斜計で、周辺への影響がないことを確認できた。



写真-10 影響遮断矢板

4. 現場のポイントと使用した工法・特徴

(1) オープンケーソン工法

地下約35mまでコンクリート構造物を構築するので、水圧や土圧の影響が大きく、本来なら大規模な土留等の仮設構造物が必要である。そこで、今回は、ロッドごとに地上でケーソンを構築し、荷重を載荷しながら地中にケーソンを沈下させ、所定の深さに達した後、中詰めコンクリートを打設する大規模な仮設構造物が不要なオープンケーソン工法で施工した。オープンケーソン工法でケーソン内部を掘削すると地下水が出てくるが、地下水を排水せずそのままの状態掘削することで、ボーリング、ヒービング、盤ぶくれ等の発生を抑制した。

その結果、硬い地盤と高い水圧であったが、オープンケーソン工法により大規模な土留等の仮設構造物を施工せずに、ケーソンを沈下することができた。

(3) ケーソン沈下管理システムによる情報の一元管理

今回の施工現場である洛西浄化センターは桂川に隣接しており、粘土層などの軟弱地盤があり、さらに施工深度が地下約35mと深いことから、N値5～60と幅広い土

質が分布している状況で、ケーソンを傾けず沈下させる必要がある。そこで、自動追尾トータルステーションやジャッキ圧力計などで取得したデータをリアルタイムにまとめ、ケーソン沈下管理システムで情報を一元管理する。そのデータを瞬時にケーソン姿勢制御として活用することで、沈設精度の向上を図る。

その結果、軟弱地盤や地盤の変化による不等沈下を防ぎ、ケーソンを傾けず沈下することができた。

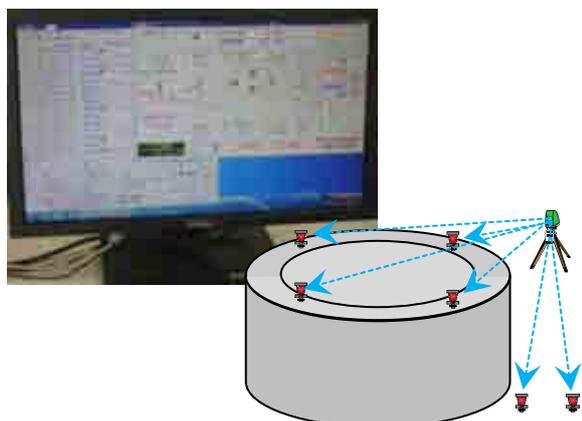


図-2 ケーソン沈下管理システム

(4) 特殊突矢及び高性能滑材による沈下促進

地下17m以深からN値60程度の硬い砂礫層となることから、ケーソンの沈下が難しく、沈下が困難となる可能性がある。そこで、湾曲した形状の鋼材先端に幅広鋼を添付した突矢で硬い地盤をほぐす特殊突矢を使用した。

さらにケーソン躯体と接している地盤との周面摩擦力を低減するため、高性能の滑材を投入した。その結果、N値60程度の硬質地盤であったが、沈下速度約0.4m/日と普通地盤（N値10程度で約0.4m/日～0.5m/日）と同程度の沈下ができた。



写真-11 特殊突矢



写真-12 高性能滑材

(5) パイプクーリングによるコンクリート水和熱の低減

本ケーソンと躯体コンクリート（厚さ1.5m）は、マスコンクリート（厚さ80cm以上）であり、水和熱（セメントと水が反応して凝固硬化する時に発生する熱）により温度が高くなり、温度ひび割れの発生が懸念される。そこで、鉄筋配筋時にあらかじめ設置した鋼管（内径25mm）に冷却水（約17度）を流すことで水和熱の低減を図るパイプクーリング工法を使用する。無対策の場合、解析で最高温度約85度のところ、パイプクーリングにより平均約60度となり、その結果、温度ひび割れの発生を抑制することができた。

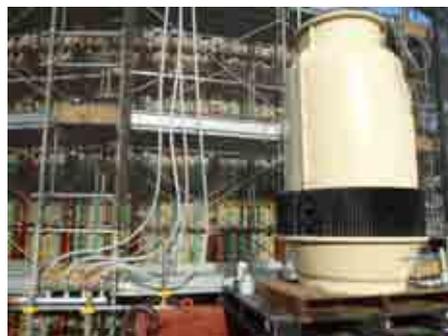


写真-13 パイプクーリング

(6) コンクリート打設管理システムの導入

ケーソンのロッド内に打継目を設置することができないので、1ロッド約400m³を連続して1日で打設する必要がある。そこで、生コン工場、現場事務所、打設現場をネットワーク化し、PCやタブレットで一元管理した情報をリアルタイムに関係者で共有するコンクリート打設管理システムを導入する。これにより、コンクリートポンプ車の位置、運搬時間、搬入及び打設の時間、台数等をリアルタイムに管理し、情報共有することでコンクリートポンプ車や打設の待ち時間等のロスタイムを減らすことができる。その結果、1ロッド約400m³（生コン車

96台/日)を1日で打設することができ、コールドジョイント等の発生がないコンクリート構造物とすることができた。

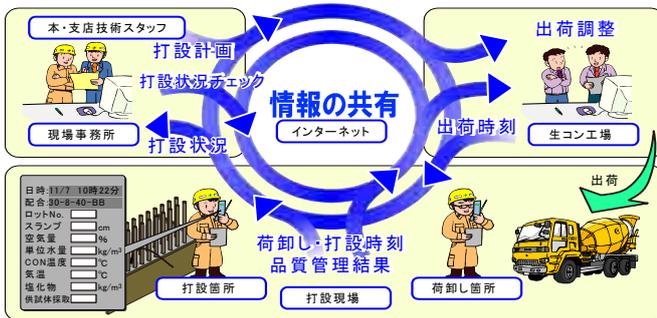


図-3 コンクリート打設管理システム

(7) 特殊止水材の設置と止水対策

高い水圧（地下約35m）により、ロッド間やロッドと底板コンクリートの間等から漏水する可能性がある。

そこで、一つ目の対策として、ケーソン駆体の各ロッド間に標準で設置する塩ビ止水板に加えて、膨張する止水材であるポリニットロープを設置する。ポリニットロープは、コンクリート中の水分により、膨張し、コンクリート表面の凹凸になじみ、パッキン効果で止水効果を向上させる。またポリニットロープの網目から出るベントナイトにより、みず道が出来ても目詰まり効果で塞ぐことができる。

二つ目の対策として、第1ロッドの刃口金物部に磁力によって固定する磁着式止水材を設置する。この止水材は、水に触れると膨張し、刃口金物部と底板コンクリートの間からの漏水を防ぐ。

三つ目の対策として、コンクリートのロッドの継目及びセパ穴にガスファルト（ゴムアスファルト系塗膜防水剤）を塗布し、漏水を防ぐ。

このように高い水圧に対して、様々な止水対策を施工した結果、漏水を抑制することができた。



写真-14 ポリニットロープ施工状況



写真-15 ガスファルト施工後



図-4 磁着式止水材

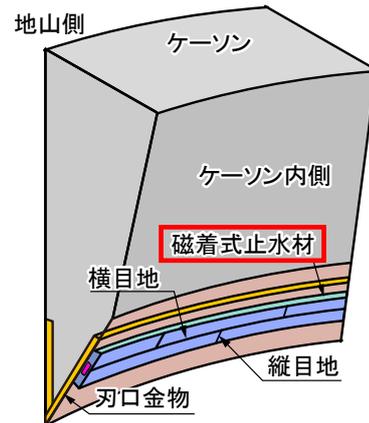


図-5 磁着式止水材（拡大）

5. コスト縮減効果

地下約35mまでコンクリート構造物を構築する工事であり、水圧や土圧の影響が大きく、大規模な土留等の仮設構造物が必要であったが、大規模な仮設を必要としないオープンケーソン工法を標準として、総合評価競争入札を実施した。

オープンケーソン工法と総合評価競争入札による技術提案の相性が非常に良く、硬い地盤と高い水圧であったが、使用した工法・技術により、容易にケーソンを沈下することができたので、工期に余裕を持って工事が完成した。

総合評価競争入札の提案で、工期より早く完成すると想定し、損料などをコスト縮減の上、応札があり、その結果、コスト縮減として約2億円の効果があつた。

6. おわりに

雨水南幹線シールド発進立坑は、地下約35mまで掘削する工事であり、硬質地盤や水圧に対応するため、多くの技術を活用し、問題なく工事が完成したところである。

現在、雨水南幹線管渠を今回の発進立坑からシールドマシンにより掘削しているところであり、2021年の供用開始を目指している。

近年になって、ゲリラ豪雨、スーパー台風、線状降水帯のように局地化・集中化・激甚化する豪雨が増えており、さらに毎年のように「観測史上最大の雨量」、「過去最大の時間雨量」と報道されている。計画規模を超えるような雨量に対応するのは、困難であり、府民の防災意識の向上や自助・共助による減災がますます重要となっている。

府民の防災意識の向上等のため、浸水対策事業の効果をPRし、さらに施設の限界を知っていただくことが必要であるが、「いろは呑龍トンネル」は、地下にあるので、普段、目で見ることができない。そのため、いろは呑龍トンネルのマスコットキャラクター「呑龍太郎」を活用しながら、大人から子供まで楽しく、身近にそして、親しみやすい浸水対策事業のPRや見学会を実施している。この「呑龍太郎」は、2014年全国下水道マスコット総選挙で全国1位となり、さらに下水道展の出展者表彰として、京都府が優秀賞を受賞したところであり、事業のPRや公共事業のイメージアップの取り組みを認められたところである。

今後も府民や来訪者の安心安全のため、浸水対策事業の必要性をPRするとともに、ハード対策とソフト対策を進めていく。



図-7 いろは呑龍トンネルマスコットキャラクター (呑龍太郎)



写真-17 呑龍太郎によるPR (下水道展)



【2014年全国下水道マスコット総選挙：全国1位】
【2014年下水道展の出展者表彰：優秀賞】

写真-18 下水道展での表彰式



図-6 地下の「いろは呑龍トンネル」



写真-16 今回工事のイメージアップ (呑龍太郎)



写真-19 「いろは呑龍トンネル」見学会

大和御所道路水泥トンネルに近接する廃坑がトンネル施工に及ぼす影響と対策について

加藤 翔¹・村岸 捺世²

^{1,2}近畿地方整備局 奈良国道事務所 工務課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)

京奈和自動車道路 大和御所道路御所区間8工区は、御所南ICから五条北ICをつなぐ7.2kmの区間である。主に山間部に路線を計画していることから、区間の大部分がトンネル構造となっている。その一つである水泥トンネルでは、起点側坑口近傍に鉱山の廃坑道が確認された。トンネル掘削にあたり、坑内の安全に支障をきたす恐れがあることから、廃坑の対策工法を検討する必要がある。そのため、坑口及び廃坑道の位置を詳細に調査した。調査の結果、廃坑道がトンネル断面に交差し、また1D範囲内に坑道が存在することが判明した。そのため、トンネル施工時の影響が懸念されることから坑道の状態によって対策工法を複数立案し、検討を行った。

キーワード 廃坑 トンネル 安全対策 廃坑対策工 1D 充填材

1. はじめに

京奈和自動車道は京都と和歌山を結ぶ延長約120kmの高規格幹線道路で、図-1に示すように関西大環状道路の重要な路線の一つとして供用を目指している。そのうち、大和御所道路は大和区間と御所区間で構成される延長約27.2kmの道路である。南部13.4kmの御所区間は橿原市から五條市までの4市を通過し五條道路へと接続する。これらは高速道路や主要国道と連携することで相互のネットワークを形成し近畿大都市圏での時間短縮を図るための重要な役割を担う。



図-1 関西大環状道路

御所区間のうち御所南ICと五條北IC間にあるトンネルの一つである大和御所道路水泥トンネルは、御所市朝町地先から御所市五百家地先をぬける計画延長上り1,172m、下り1,220mのトンネルである。今回の懸案

事項の廃坑道は図-2に示すように、大和御所道路水泥トンネル北工区工区の工区内に存在する。そのため、トンネル施工の際に影響を及ぼす可能性がある。本論文では、廃坑道とトンネルの位置関係の調査及びそれに基づいたトンネル施工時における対策について報告するものである。



図-2 御所区間8工区及び水泥トンネル

2 廃坑道がトンネルに近接する際の課題

トンネルに近接して廃坑道がある場合、トンネル掘削時に切羽崩壊やインバート陥没、それに伴う安全性の低下及び工事工程の遅延や工事費の増額につながる。さらに施工中に影響が発生しない場合でも、開通後に覆工コンクリートやトンネル支保工の変状が起こることも否定できない。

よってこれら予想される事態を回避する必要があるため、水泥トンネルの本線掘削と並行して廃坑の調査を行った。

3 廃坑の事前内部調査について

(1) 第一回内部調査とその結果

平成 26 年 12 月に水泥トンネルの掘削を開始し、それに並行して廃坑についての情報収集を行った。その結果、学識者より銅を採掘していた鉱山であったこと、坑口は過去に土砂で埋めて閉塞したなどの状況を得た。さらにトンネル切羽が翌年に到達することから平成 27 年 11 月に入坑調査を行った。

トンネル上部の立坑より入坑調査した結果、

- ①最深部は水泥トンネル本坑より深い
- ②トンネル上部にも坑道があり、坑道最深部とトンネル上部の坑道に滞水があること

が確認出来た。これらを踏まえて、最深部への二次調査を実施した。また調査中に地元住民から起点坑口側の廃坑口は少し掘削すればすぐ出現するとの情報が得られたため、ミニバックホウで掘削を試みたところ、廃坑内の滞水と地山の支持力不足で掘削は不可能であった。以上を踏まえ、再調査が必要なことから第二回調査が実施された。

(2)第二回内部調査及び3Dレーザ測量について

平成 28 年 1 月～2 月にかけて起点側廃坑坑口付近の伐採及び掘削を行い、入坑調査を行った。その結果、

- ①奥行き約 40m 程度で坑道の崩壊を確認。
- ②3D レーザ測量により、廃坑道がトンネルインバート部と干渉することが確認。



写真-1.2 廃坑坑口及び内部（水泥トンネル起点側）



写真-3.4 廃坑坑口及び内部（水泥トンネル上方側）

3 月に起点側廃坑内に安全設備を設置し、坑道最深部の内部調査を実行。No.96+75 付近で崩壊閉塞が確認出来た。また、廃坑道内を専用機器にて 3D レーザ測量を行い、トンネルとの位置関係を調査した。

4. 廃坑調査の結果

以上の調査結果より、図-3 は廃坑とトンネルとの位置を 3D 図面にしたものである。上部から下ってきた廃坑が図の①で本坑下部を交差し、カーブを描きながら図の②で坑口付近で交差している。また交差時にトンネルインバートに干渉していることが図-4 で確認できる。

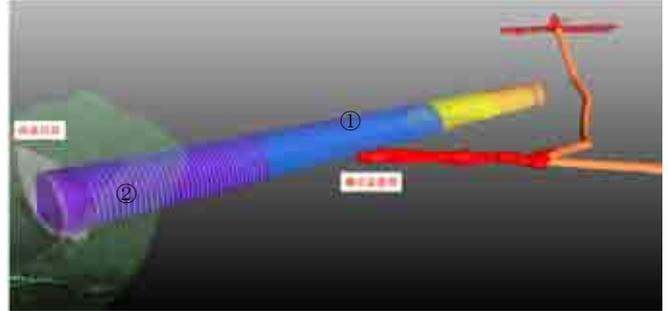


図-3 3D 図面

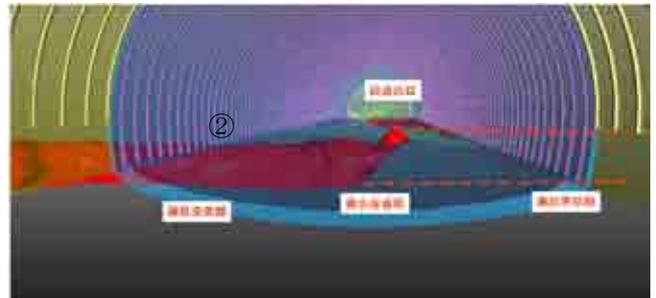


図-4 3D 図面（インバートとの干渉部）

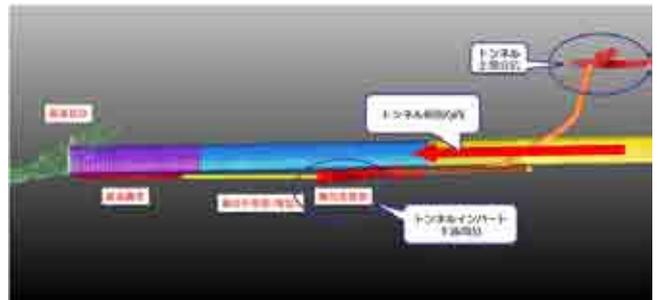


図-5 3D 図面（トンネルと廃坑道の位置関係）

これらの調査結果から廃坑道の内部の状態及びトンネルとの位置関係によって区間毎の対策工の検討を行った。その結果、

- 区間 A : 坑道内の状態が確認され、空洞かつ滞水している。
- 区間 B : トンネルより 0.5D 以内で坑道が崩落しており、内部が確認できない
- 区間 C : トンネルより 1.0D 以内で坑道内部が空洞もしくは崩落か不明部
- 区間 D : 坑道内の状態が確認され、空洞かつ滞水なしと分類し、図-6 のようにそれぞれ対策工 A～D として対策を行う。

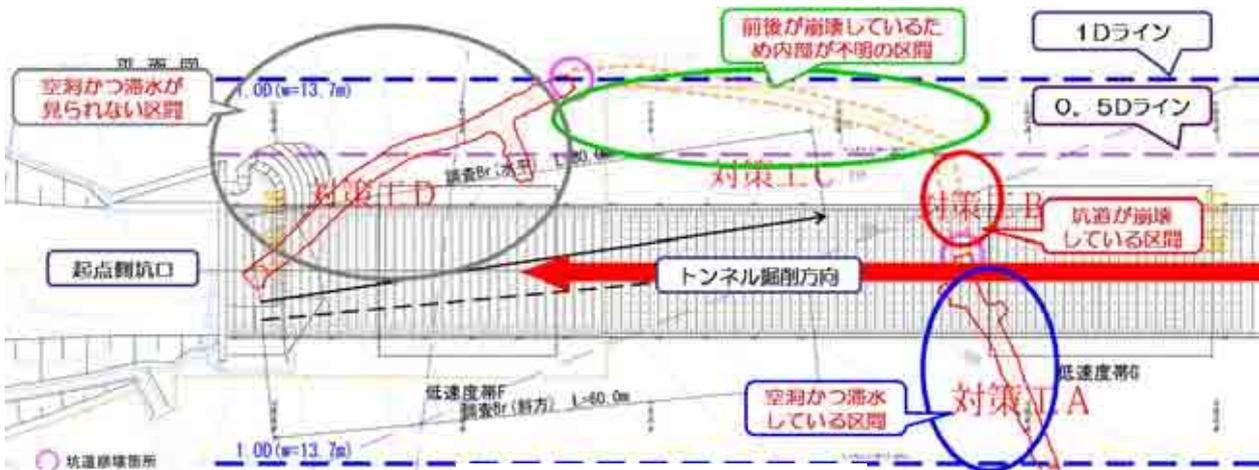


図-6 トンネル対策工の分類

5. 廃坑対策工について

坑内の安定化を図るための対策として、廃坑へトンネル切羽から1.0D (Dはトンネルの外径を指す) 以内に充填材を注入する工法を行う。

この1.0D以内とは、鉄道総合技術研究所発行の「既設トンネル近接施工対策マニュアル」内に記載の近接度が要対策範囲であることを指すものを準用している。

また、事前に学識者へのヒアリングを行い、1D内に充填材を入れ、トンネル坑内の安全を保つことで了解を得た。充填材は材料選定の結果、可塑性エアモルタル、高発泡ウレタン、流動化処理土の三種類を対策工A～Dに対応して使用した。

また廃坑を充填する際に、鉱山の権利者の許可無く坑道内へ充填作業を行って良いのかという問題も起こったが、事前に鉱山の権利に関する謄本を管理している近畿経済産業局へ確認を行い、この鉱山が廃坑になった時点で権利が放棄されていることを確認した。

(1) 対策工A

対策工A区間は写真-5のように廃坑道内部が空洞かつ滞水が確認された箇所である。



写真-5 対策工A区間の内部状況 (滞水あり)

そのため、充填材には水と接触しても消泡しにくく、水により分離や希釈されにくい可塑性エアモルタルを採用した。これは従来の流動状のエアモルタルを可塑性にすることにより、水に強く、限定注入が可能で、小さな隙間からの漏出が防止できる改良エアモルタルである。作業工程を以下に示す。

- ①廃坑付近まで通常掘削を行い、充填断面の切羽へ鏡吹付けを行い補強する。
- ②注入のための鋼管を打設する。このとき、注入の位置がずれることを防止するため先孔掘削を行う。
- ③可塑性エアモルタルを充填し (図-8)、坑道内の安定化を図る。

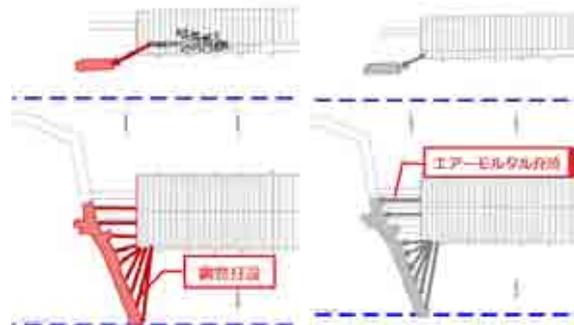


図-7,8 工程②及び③の模式図



写真-6 対策工Aの施工状況 (鋼管打設)

(2) 対策工B

対策工Bは写真-8より内部が崩壊している可能性が高いため、細かい隙間に充填材を詰めて安定化を図る必要がある。



写真-8 坑道の崩壊状況 (対策工Aの先が埋まっている)

対策工Aで用いた可塑性エアモルタルでは細かい隙間への充填は不可能なため、充填材として高発泡ウレタンを採用した。

高発泡ウレタンはKCF-12とKCF-40の二種類があり、KCF-12は12倍、KCF-40は40倍に発泡する。そのため、少量で空洞を充填でき、比重が小さいために坑道内に大きな荷重が作用しない。固化時間は1~2分で、溜まり水に対しては硬化するが、発泡倍率は空気中よりも小さくなる。圧縮強度はKCF-12が1.0(N/mm²)、KCF-40が0.17(N/mm²)であるため、トンネル内部に近接する対策工B区間ではKCF-12を採用した。

工程は以下の通りである。

- ① 崩壊不明部である廃坑交差部より約3m手前まで掘削を行う。その間に全ての切羽にt=5cmの鏡吹付を状上半部に行う。
- ② 充填管の打設前に詳細な位置把握のためドリルジャンボにて探り削孔を行う(探り削孔はトンネル1.0Dラインと推定廃坑の交差点へ到達するようにする)。

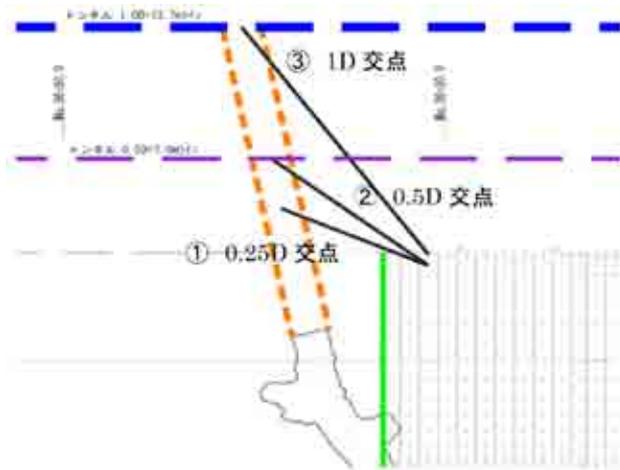


図-9 探り削孔モデル図

- ③ 廃坑位置を把握した後、1.5m間隔で注入管を打設する。

- ④ 廃坑崩壊不明部へ高発泡ウレタンを充填する。以上の作業により坑道内の安定化を図る。

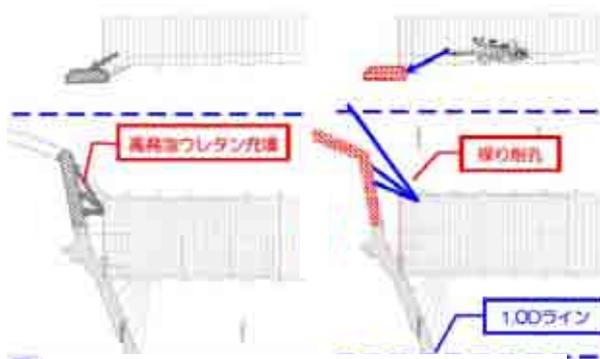


図-10,11 対策工B 工程②及び④の模式図



写真-9 発泡ウレタン注入の状況

(3) 対策工C

対策工Cは坑道崩壊が不明部であるので、坑道の崩壊時と空洞時の両方の対策を考える必要がある。



写真-10 坑道の崩壊状況 (対策工Dの先が埋まっている)

作業工程は以下の通りである。

- ① 予測される廃坑近傍まで上半掘削で掘り進み、補強のため上半に鏡吹付を行う (No.96+33 付近)。
- ② トンネル縦断方向 10m ごとに廃坑道へ向け最大 15m の深さまで探り削孔を行い、廃坑の位置及び崩壊しているか、空洞であるかの状態の確認をする。

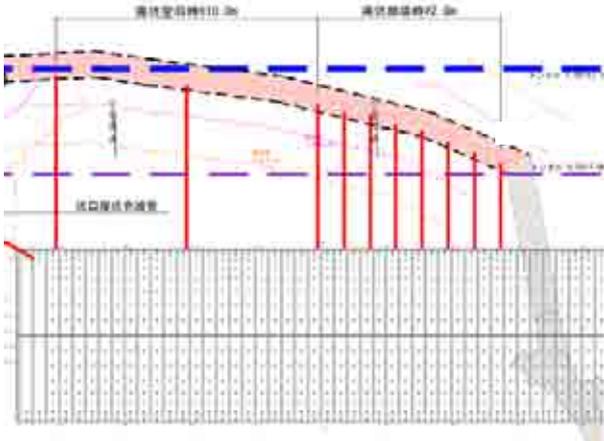


図-12 廃坑不明部への鋼管の打設間隔

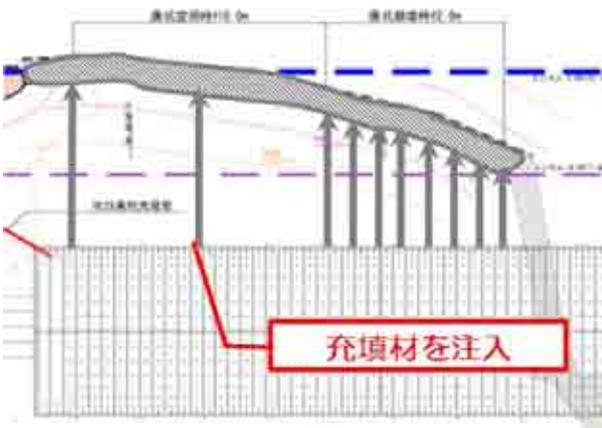


図-13 廃坑不明部へ鋼管打設後に充填

- ③ 廃坑不明部の注入を行う。図-12 のように坑道内崩落時と坑道内が空洞時の 2 パターンで施工する。崩落が起こっている場合は発泡ウレタンを充填する。強度では KCF-12 が KCF-40 に勝るが、経済性では KCF-12 が 15.3 万円/m³、KCF-40 が 5.0 万円/m³ であり後者が有利である。当区間では、対策工 B より離れた坑道の充填のため充強度的に問題ないと判断し、KCF-40 を採用した。

1) 廃坑崩落の場合

- i. 注入管 (φ114.3mm) を同一箇所から 2 本ずつ (図-13 参照)、2.0m 間隔で打設する。
- ii. 高発砲ウレタン (40 倍発砲) 充填材を注入する。

2) 廃坑空洞の場合

- i. 注入管を (φ114.3mm) を 1 本ずつ (図-14 参照)、10.0m 間隔で打設する。
- ii. 流動化処理土 (場外プラントより運搬) を充填する。

このときの鋼管長及び打設角度は探り削孔の結果で決定する。以上の作業より坑道内の安定化を図る。

(4) 対策工 D

対策工 D 区間の充填材は流動化処理土を採用した。これは土砂に大量の水を含む泥水と固化材を混合して整正したスラリー状の処理土で、狭小な空間や締め固めの困難な箇所などの埋め戻しや充填に用いられる。専用プラントから流動化処理土を運搬し、空洞に注入する。流動性が高いため小さい空隙への充填も可能であり、価格も安価である。ただし溜まり水がある場合適用困難であるが、対策工 D では事前調査で溜まり水が無いことが分っているので問題はないと判断し、採用した。



写真-11 対策工 D 区間の内部状況 (空洞かつ滞水なし)

作業工程は以下の通りである。

- ① トンネル内部から充填管を打設し、廃坑充填はコンクリートポンプ車にて圧入する。
- ② 坑口内部には障壁を設ける。この障壁はコンクリートブロック等で作成し坑道との隙間はモルタルでふさぎ、隔壁上部は VP 管でエア抜を作る。
- ③ 充填確認はエア抜き孔から溢れた後にポンプ車の圧力ゲージが上昇した地点とする。

図-14 は上記の模式図である。

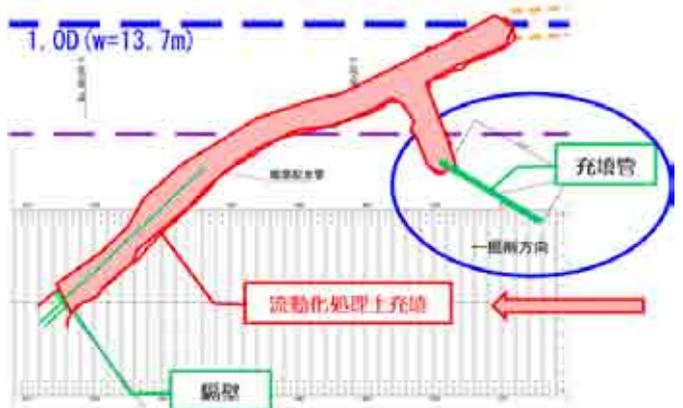


図-14 対策工 D の施工図

6. まとめ

廃坑道の調査及び対策工を行ったのは、何よりも第一に施工時の安全確保が目的である。廃坑道がトンネルに近接する中で何が起こってもおかしくない中、どうすれば安全性を確保できるかが焦点となった。また供用後にもトンネルが変状するなど重大事故につながる恐れがある。そのため、事前に対策工を行うことで事故を未然に防ぐ取り組みを行った。今回は事前情報をもとに廃坑道の調査及び対策工の立案を行い、実際に対策工A、Bまで施工を行った。調査時の困難な点として、廃坑道がトンネルの周りにどのように近接しているのかを正確に判断すること、規模が不明なため、どの程度充填材を充填すれば良いのかが苦勞した点である。

その中で、様々な文献や学識者の助言により対策工の方法を固めることができた。

今後も細心の注意を払いながら事故無く供用に向けて事業を推進していく。

謝辞

本論文の作成にあたっては大和御所道路水泥トンネル北工区工事の受注者である(株)竹中土木の皆様には資料の提供や助言など様々な面でご協力をいただきました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所 (1995) 既設トンネル近接施工対策マニュアル
- 2) NEXCO(2015)設計要領 第3編トンネル編

関西国際空港におけるLCCエプロン拡張整備について

坂本 岳志

関西エアポート株式会社 技術・施設部 基本施設グループ（〒549-8501泉佐野市泉州空港北1番地）。

本整備は、我が国初のLCC（Low Cost Carrier）拠点として2012年に整備した第2ターミナルに続き、更なるLCC需要を取り込むため、新たなLCC拠点施設を整備するものである。新ターミナルビル等の整備は2016年度中の供用を目指して整備中であるが、拡張エプロンや誘導路等のエアサイド部分については、高い拡張性と中大型機への対応を実現するための計画を基本理念とした整備が完了し、2016年3月31日に供用を開始している。本稿では、エアサイド部分における拡張整備の計画、設計概要および施工実績について述べる。

キーワード 空港、コスト削減、LCC、路床造成、情報化施工

1. はじめに

2010年5月に国土交通省が策定した成長戦略の1つにLCC専用ターミナルの整備と、それに伴う各種規制緩和の実現への取り組みが規程された。これを受け、関西国際空港においては、LCCの路線拡充を成長戦略の柱の一つに位置付け、LCCの誘致や専用ターミナル（第2ターミナル）の整備に取り組んできた。

2012年10月、関西国際空港2期島に第2ターミナルがオープンしたが、LCC需要は成長著しいアジアの需要を背景に益々高まっており、その処理能力は近い将来限界が生じると予測されることから、新LCCターミナルの整備を決定した。新LCCターミナル整備のうち、拡張エプロンや誘導路等のエアサイドについては2015年度中の供用開始を目指して2014年11月に現場着手し2016年3月31日に供用を開始している。なお、新ターミナルビルについては2016年度中の供用開始を目指し、現在整備中である。

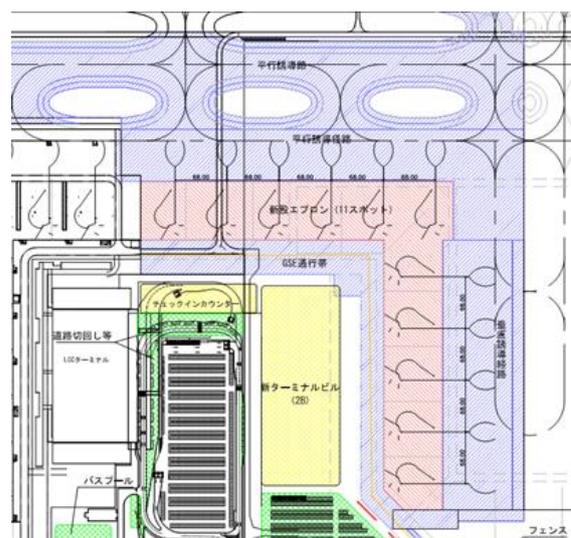


図-1 従来方式でのスポット配置案

2. LCCエプロン拡張整備計画の概要

LCCエプロン拡張整備計画においては、シンプル、コンパクトといった第2ターミナルのコンセプトを継承しつつ、自走運用とプッシュバック運用の併用による施設規模の低減と、運用効率性の両立や中大型機への対応が可能なスポット配置方法を検討し、整備コスト削減を図った。

スポット配置については、第2ターミナルエプロンをベースに改善策を盛り込み、6スポット（コードC機材であれば11機駐機可能、約9万m²）を整備することとした。

(1) スポット配置における課題

新たに整備するスポットを第2ターミナル同様の従来方式で配置した場合（図-1）、整備範囲が大きくなり、以下のような課題が発生する。

- ・早朝ピーク対応にあわせた施設規模となるため、昼間時間帯のスポット運用に無駄が生じる。
- ・チェックイン棟からの旅客移動距離が長く、旅客ハンドリング効率が悪い。
- ・将来拡張時、ターミナルビル前面にスポットの増設が不可能（バスハンドリングが発生。）

これらは整備コストの増加、拡張性の低下、将来スポットにおける運用効率低下の要因となる。これらの改善のためには、所要規模を満足しつつ整備範囲をコンパクト

トにするスポット配置が不可欠であった。

(2) 自走方式とプッシュバック方式のマルチ駐機案の採用

上記課題の改善のため、自走方式とプッシュバック方式を併用したスポット配置案(図-2)を採用した。

a) マルチ駐機案の特徴

本案は、自走方式スポットとプッシュバック方式スポットを交互に配置したマルチ駐機案である。以下に本案の特徴を示す。

- ・早朝のピーク時にはプッシュバック運用を主とし、スポット占有状況によっては自走運用に切替えることで施設規模の低減が可能。
- ・将来拡張時、ターミナル前面にスポットの増設が可能(バスハンドリング不要)。

以上のように、本案を採用することで整備範囲をコンパクト化し、従来案における課題の改善が可能となる。また、旅客歩行距離の短縮、機材集約によるハンドリング効率の向上等も可能になると考えた。

b) 従来方式との違い

第2ターミナルエプロンでは、自走運用スポット幅を60mとしたが、本案においては、スポット幅81mの自走運用スポットを6スポット配置し、各スポット間にコードC(表-1参照)プッシュバック運用スポット(空港土木施設の設置基準:幅40.5m)を5スポット配置することで、自走運用とプッシュバック運用の併用を可能とし、ピーク対応と施設規模の低減を両立した。従来方式と本案の駐機方法を図-3に示す。

また、プッシュバック方式スポットの未使用時には、自走方式スポットはコードE機材用プッシュバック方式スポットとしても使用可能であり、コードE機材を運航するLCCを昼間時間帯に受け入れる等の柔軟な運用が可能である。

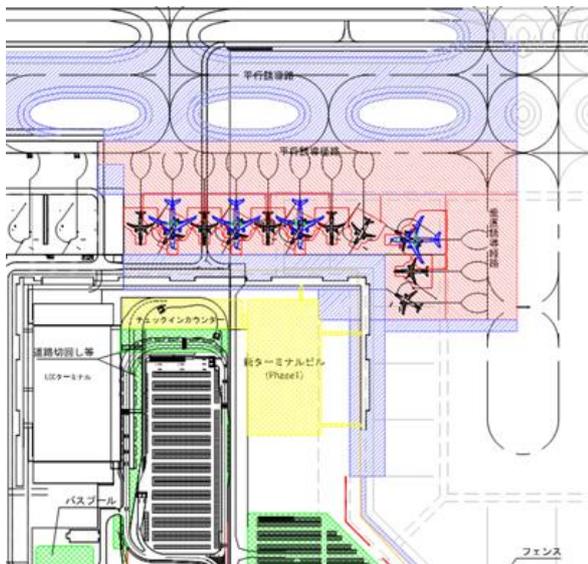


図-2 マルチ駐機案

表-1 機材コード区分

コード	翼幅	代表機材
A	15m未満	BN-2B等
B	15m以上、24m未満	CRJ200, CRJ100等
C	24m以上、36m未満	A320, B737等
D	36m以上、52m未満	B767等
E	52m以上、65m未満	A330, B747, B777等
F	65m以上、80m未満	A380等

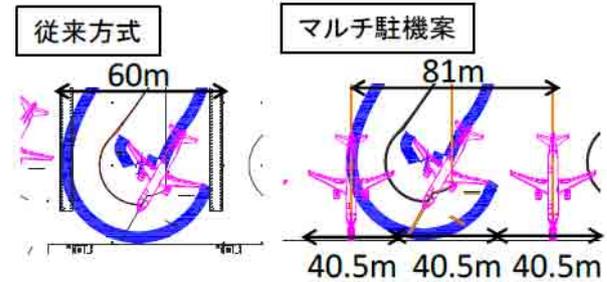


図-3 従来方式及びマルチ駐機案の駐機方法

表-2 設計反復作用回数の区分

計算で求めた反復作用回数	設計反復作用回数	設計反復作用回数区分	安全率
~ 3,500回未満	3,000回	M	1.7
3,500回以上 ~ 6,000回未満	5,000回	N	2.0
6,000回以上 ~ 12,000回未満	10,000回		
12,000回以上 ~ 25,000回未満	20,000回		
25,000回以上 ~ 50,000回未満	40,000回	0	2.2

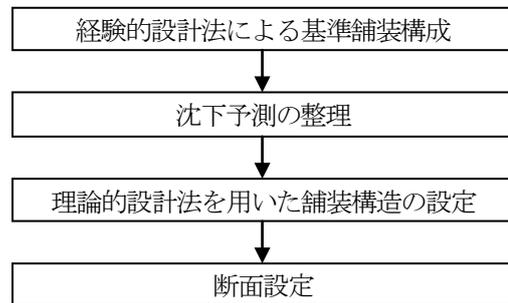


図-4 舗装断面設定の作業フロー

3. エプロン舗装設計の概要

(1) 設計条件

関西国際空港2期島で実施された過年度設計条件を整理し、今回の設計条件を以下のように設定した。

- ・設計年数: 20年
- ・設計荷重: LA-1 (B747-400)
- ・設計交通量: 20,000回 (20年: A330-300, A320-200)

なお、設計交通量については需要想定をもとにB747相当に換算した反復作用回数を算出(14,664回)して設定しており、設計反復作用回数の区分は表-2のとおりN区分となる。このような設計条件から、図-4に示す作業フローに基づいた舗装断面の設定をおこなった。

(2) 経験的設計法による基準舗装構成

「空港舗装構造設計要領 平成17年6月一部改訂」に準じ、基準舗装構成を設定する。設定に必要なとなる路盤支持力の値は周辺の路盤支持力と同じ値の150MN/m³として設定する。

エプロン舗装で使用するコンクリートの設計曲げ強度は5N/mm²であり、N区分での安全率は2.0である。この場合のコンクリート曲げ応力度は (5N/mm²) / 2.0 = 2.5N/mm²となる。図-5より路盤設計支持力が150MN/m³の場合を算出するとコンクリートの基本断面の舗装厚は36cmとなる。

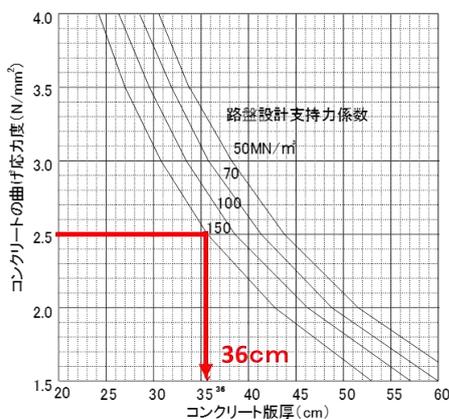


図-5 コンクリート版厚設計曲線 (B747-400)

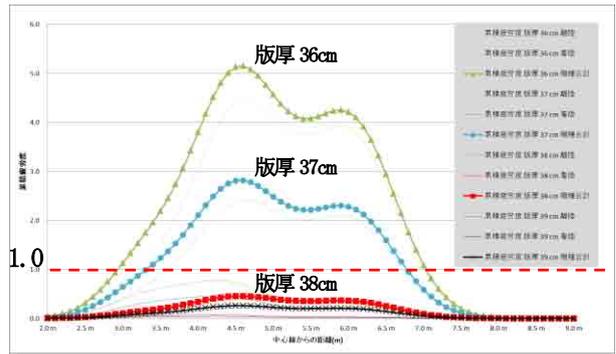


図-6 舗装厚別累積疲労度 (8.5m版)

(3) 沈下予測の整理

関西国際空港は海上空港であるため、埋立地盤に起因する沈下が現在も進んでおり、2期島では年間34cm沈下している。また、沈下量は場所ごとに異なるため、不同沈下に伴うコンクリート版下面で想定される空隙量の確認を行った。その際、近年の空港のコンクリート舗装の目地幅の主流である7.5mと8.5mで検討し、その結果7.5m版下面で想定される空隙は20年後の最大で0.5mm、8.5m版では0.7mmとなった。

ただし、今回の検討においてはコンクリート特有のクリープ特性を考慮し、コンクリート版は航空機が走行していない場合にも版自体の自重によるたわみが発生していると仮定し、クリープ変形した版には空隙(隙間)は無く、常に路盤から反力を受けているものと整理した。このため、本検討では沈下は考慮しないこととした。しかし、想定外の沈下挙動により空隙が発生する可能性があるので整備後の維持管理の中で空隙の有無については確認することとする。

(4) 理論的設計法を用いた舗装構造の設定

前項より、沈下を考慮せず疲労度が1.0以下となる舗装厚を設定する。各コンクリート版厚に対する累積疲労度は図-6のとおりとなり、累積疲労度が1.0以下となる38cmの舗装厚を採用する。

ただし、経験的設計法による基準舗装構成検討時点での設計路盤支持力を150MN/m³設定しているが、累積疲労度 (FD≤1.0) に余裕があるため、路盤支持力を下げた場合の経済比較を行い、路盤支持力と路盤厚の選定を行った。

関西国際空港ではNC版を施工する際の路盤は、CSセメント安定処理路盤 (σ_r=4N/mm²) を採用しており、「空港舗装設計要領及び設計例 平成25年4月一部改訂」に記載された「コンクリート舗装の路盤厚設計曲線」とは一軸圧縮強度が異なり使用できない。そのため、本検討ではハーバーの2層弾性理論¹⁾を用いて必要路盤厚を設定した。設計路盤支持力別必要路盤厚と疲労度の関係を整理すると表-3のとおりとなる。

表-3によれば路盤支持力を下げると路盤厚は薄くなる。ただし、セメント安定処理路盤の最小施工厚は15cmであるため、必要路盤厚が15cm以下となる支持力は、全て路盤厚を15cmとし、経済比較を行った。その結果、本検討では、最も経済的となる設計路盤支持力は130MN/m³であり、その際必要な路盤厚は14cmとなるが、最小施工厚から15cmを採用した。

以上より、エプロン舗装断面は図-7のとおりとなる。

表-3 設計路盤支持力別必要路盤厚と疲労度の関係

路床K値 MN/m ³	路盤K値 MN/m ³	路盤厚 cm	Co舗装厚 cm	疲労度	路盤単価 円/m ²	Co舗装単価 円/m ²	舗装単価 円/m ²
80	150	17	38	0.46	679	8,359	9,038
80	140	16	38	0.56	646	8,359	9,005
80	130	14	38	0.74	613	8,359	8,972
80	120	12	38	1.02	613	8,359	8,972
80	120	12	39	0.50	613	8,540	9,153
80	110	10	39	0.68	613	8,540	9,153
80	100	8	39	1.00	613	8,540	9,153
80	100	8	40	0.54	613	8,721	9,334

※注) 路盤厚15cm以下の単価は最小施工厚である15cmの単価で検討



図-7 エプロン舗装断面図

4. エプロン拡張整備工事の舗装工事実績

(1) 工事概要

LCCエプロン拡張整備工事の概要は以下の通りである。

- ・工事数量 (主要工種)
 - コンクリート舗装: エプロン 88,000m²
 - アスファルト舗装: 誘導路本体 54,000m²
 - アスファルト舗装: 誘導路ショルダー 30,000m²
 - アスファルト舗装: GSE通行帯 13,200m²
- ・工期: 2014年10月3日～2015年11月30日

なお、本整備においては制限フェンスの撤去・新設が含まれており、施工の効率性を踏まえ、先行して制限フェンス新設を実施することで新たな制限ラインに切替え、一様な舗装整備を実施できるようにした。図-8に整備全体図を示す。

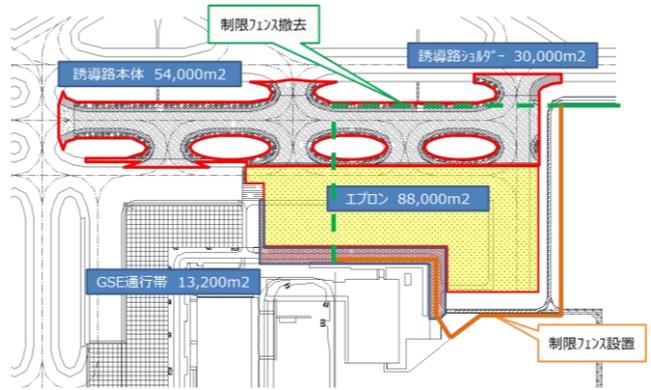


図-8 整備全体図

(2) 施工フロー

コンクリート舗装 (エプロン) の施工フローを図-9に示す。

なお、本稿では記載しないがアスファルト舗装の施工に関しても土工事から路床調整盛土までは同様のフローで実施しており、路盤と舗装に関してそれぞれの舗装構成での施工を実施している。

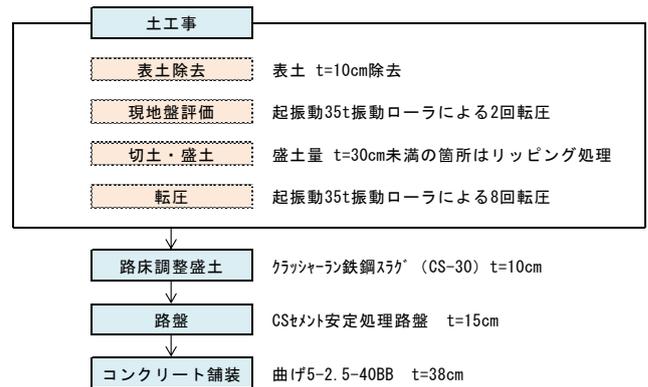


図-9 コンクリート舗装施工フロー

(3) 土工における施工および品質管理手法

a) 振動ローラによる転圧締固め工法

エプロン、誘導路等の広大な範囲の路床造成を面的かつ効率的に管理する必要があることから、地盤の面的均一性を施工中にリアルタイム評価できる手法として、最大粒径300mmの岩砕土砂を用いた振動ローラによる転圧締固め工法 (振動ローラ加速度応答法) を採用した。

本システムは図-10 (a) に示す振動ローラのフレームに取り付けた加速度計をもとに、2秒間の加速度応答波形を高速フーリエ変換し、乱れ率 (地盤剛性の向上に伴う高周波成分スペクトルの出現率) により、地盤の締固めを評価するものである。加速度剛性は図-10 (b) に示すモデルより導き出された式 (1a) から、乱れ率をもとに2秒ピッチ (2m×2m) 毎に算出する。²⁾

$$E = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{B \cdot \pi} \cdot \frac{\left(\frac{4}{3} \text{乱れ率} + 1\right)^2 \cdot (2\pi f_0)^2 \cdot m_2}{1 - 0.32\alpha + \sqrt{0.1024\alpha^2 - 1.64\alpha + 1}}$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{m_1 + m_2} g\right)^2$$

式 (1a)

b) 現地盤処理・性状把握

路床造成のための切土・盛土に先立ち、過去の空港島用地造成時から長年放置され、その間の降雨の影響や頁岩のスレーキング等により経年劣化した可能性のある地盤の表土10cmを除去した。

表土除去後、地盤の緩みなどを解消する観点と地盤変形係数により地盤剛性を評価することによる現地盤の性状把握を目的に、振動ローラによる2回転圧を実施した。

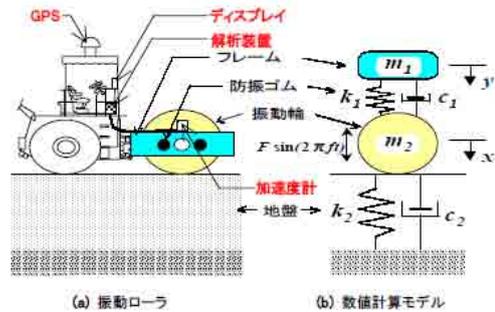


図-10 振動ローラ～地盤系モデル

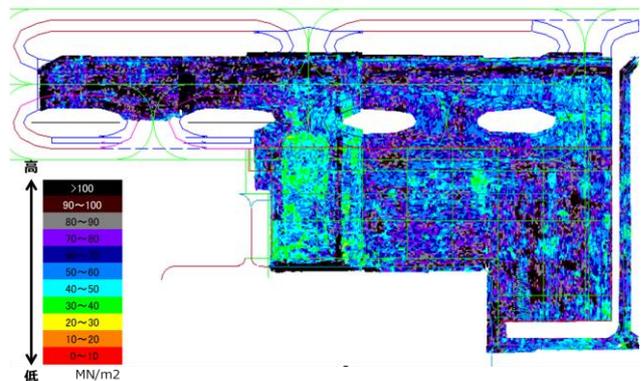


図-11 地盤変形係数分布図 (2回転圧後)

地盤変形係数の分布を図-11に示す。これまでの経験か

ら地盤変形係数が $30\text{MN}/\text{m}^2$ 以上であれば路床体として概ね良好であると判断しており、今回の結果では一部 $30\text{MN}/\text{m}^2$ を下回っている箇所(黄色着色部)が見受けられたが、当該箇所は切土範囲に該当し除去されるため造成、転圧後に路床体としての良否を判断することとした。

なお、振動ローラ加速度応答法により得られる地盤変形係数以外にも、平板載荷試験(K75)による支持力係数(基準値： $80\text{MN}/\text{m}^2$)やSRIDによる含水比、締固め度を $2,000\text{m}^2$ に1箇所測定し、全ての管理測点において基準値を満足していることが確認できた。よって現地盤の性状としては概ね良好であることが確認できた。

c)造成土工

現地盤の性状が良好であると判断できたため、路床造成のため切土、盛土に着手した。岩砕土砂の最大粒径 300mm と振動ローラによる転圧効果を考慮し、盛土については1層の仕上がり厚さを 30cm 以上 60cm 以下と規定し、 30cm に満たない箇所については、現地盤をリッピングにより掻きほぐし、仕上がり厚さが 30cm 以上となるように実施した。切土面、盛土面ともに 35t 振動ローラによる8回転圧を行い、現地盤処理時と同様にGNSSによる転圧回数管理と振動ローラ加速度応答法による面的管理を行った。なお、転圧回数の根拠は過去の2期空港島用地造成やエプロン・誘導路造成工事での試験施工結果により実証されている回数であり、締固め度が収束する回数である。8回転圧後の地盤変形係数の分布図を図-12に示す。

転圧後は、現地盤処理と同様に平板載荷試験等の品質管理試験を実施するとともに、全ての範囲をプルーフローリング試験により確認した。

d)切土路床面の不良箇所

切土路床面において、転圧後に所要支持力が得られない箇所が見受けられた。原因は現地盤の性状であると考えられたため、切土路床面以下を掘削したところ、路床面から 60cm 以内の箇所で滞水している状況が確認された。

(図-13)

これは空港島造成時の転圧層間が不透水層となったことで雨水が滞留し、今回最適含水比より湿潤側で振動ローラによる締固めを行ったことが、所要支持力が得られなかった要因であると推察される。このように土中に水分が存在する条件下ではセメントを添加し、一体的に締

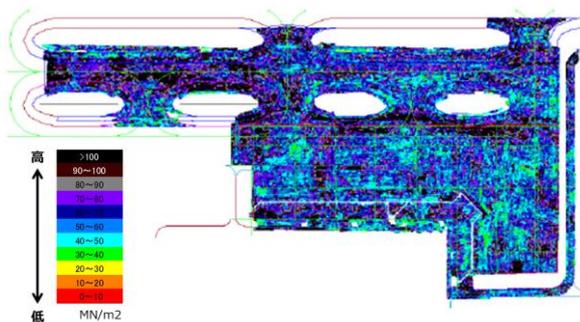


図-12 地盤変形係数分布図(8回転圧後)



図-13 路床面下部滞水状況



図-14 移動式プラントによる製造状況

固める対策が最も効果的でかつ、確実であると判断されたため、路床面下部 60cm を原位置でセメント改良することとした。なお、セメント添加量は本地盤での試験施工結果より $30\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

(4) 路床調整盛土～セメント安定処理路盤の施工

a)路床調整盛土の施工

路床造成に用いた土砂は、最大粒径 300mm の岩砕土砂であり仕上げ高の調整が困難なため、不陸整正層として平均厚 $t=10\text{cm}$ のクラッシャーラン鉄鋼スラグ(CS-30)を敷均し施工した。

b)セメント安定処理路盤の施工

コンクリート舗装の路盤として、一軸圧縮強度 $\sigma_7=4.0\text{N}/\text{mm}^2$ のCSセメント安定処理路盤材を移動式プラント(リテラ)にて現地で製造し、厚さ $t=15\text{cm}$ で施工した。

(図-14)なお、実機による試験練り結果からセメント添加量 6.1% 、最適含水比 11.8% として製造を行った。

(5) GNSSによる情報化施工

情報化施工(mmGPSによる機械の制御)を実施することにより、高精度の仕上がり結果が得られ、従来のマニュアル操作の作業より大幅に作業効率が向上した。前述した土工、路床調整盛土、路盤施工にはmmGPSを搭載したブルドーザ、モーターグレーダー、ベースペーパーを使用した。情報化施工の採用により、丁張の設置数が少なく測量作業の軽減も図れ、作業員と機械の接触事故も



図-15 mmGPS搭載ベースペーパー

無く完了することができた。(図-15)

(5) コンクリート舗装の施工

a) 初期ひび割れ対策

コンクリート舗装の施工時期が4月上旬～8月下旬で暑中コンクリートとなるため、乾燥や急激な温度変化による初期ひび割れを防止するための対策を事前に検討し、以下の対策を実施することとした。

- ・遅延形の混和剤の使用（初期硬化速度抑制によるワーカビリティの向上）
- ・浸透型初期養生剤の使用（後期養生実施までの時間短縮）
- ・特殊繊維を織り込んだ養生マットの使用（吸水により変色することで客観的に湿潤状態を把握）

b) 施工方法

コンクリート舗装の施工は、セットフォーム工法により実施した。セットフォーム工法による機械編成を図-16に示す。

コンクリート版は基本8.25mの正方形版であり、隣接するコンクリート版との間には目地を設け、荷重伝達のためにダウエルバーで繋いでいる。また、コンクリート舗装全体の膨張収縮を吸収するため一般的に100～200mの間隔で膨張目地を設置する必要がある。今回の場合、最大で150mの間隔で膨張目地を設置しており、その間を1日の打設範囲として施工を行った。(図-17)

施工時には各段階での確認事項を抽出したチェックリストを作成し、打設範囲毎に徹底した管理を行った。その結果、養生不足などの施工方法に起因する初期ひび割れの発生は無く、すべての打設を完了することができた。

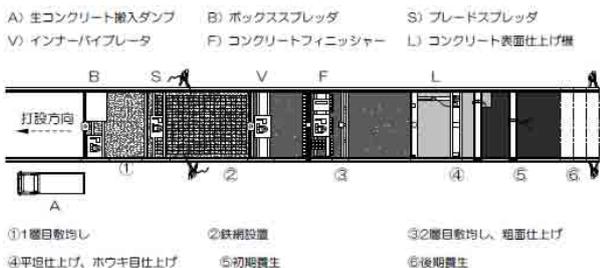


図-16 セットフォーム工法の機械編成

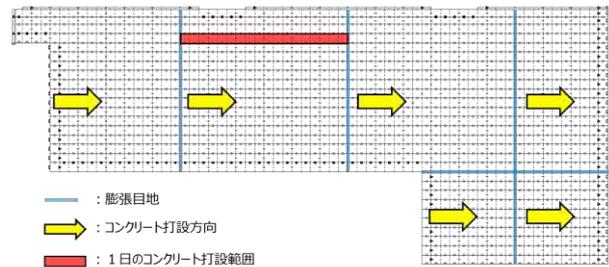


図-17 コンクリート打設平面図



図-18 コンクリート打設状況

5. まとめ

以上のように、関西国際空港のLCCエプロン拡張整備においては、計画段階からLCCが持つ特徴的な運航形態に対して様々な工夫を盛り込むことで、施設規模の低減を図り整備コストの削減を実現した。また、設計段階においても累積疲労度 (FD≤1.0) を満足する中での経済比較を行い、さらなるコスト削減を図った。

施工段階においては、関西国際空港特有の地盤（最大粒径300mmの岩砕土砂）での路床造成を振動ローラ加速度応答法を用いた面的管理を実施し、広大な施工範囲の中で均一な支持力を有した路床を構築することができた。ただし、空港島造成時の転圧層間が不透水層となり滞水している箇所が見受けられたので、今回の事象を教訓とし次回以降の整備に活かしたい。また、コンクリート舗装については事前の対策により、初期ひび割れの発生は無かったが、今後1年を通して膨張・収縮を繰り返すなかでひび割れが発生する可能性がある。さらに2016年3月31日に供用を開始していることで、航空機の繰り返し荷重が作用することや、沈下の影響によりひび割れ等の変状が生じる可能性があるため、今後の維持管理を適切に行うとともに、今後ひび割れ等の変状が生じた場合には、その要因を分析し、今後の設計手法にフィードバックさせることとしたい。

参考文献

- 1) 空港コンクリート舗装設計要領解説書 1977.3/P30
- 2) 藤山・建山：振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法, 土木学会論文集 No.652/III-51,115-123,2000.6

国立京都国際会館の電気設備リニューアルについて

西永 桂造

近畿地方整備局 京都営繕事務所 保全指導・監督官室 (〒606-8395 京都府京都市左京区丸太町通川端
東入ル東丸太町34-12)

日本で唯一の国連方式を採用した会議場である国立京都国際会館のメインホールにおいて、照明設備や音響設備の品質向上を図ったその施工について報告する

キーワード リニューアル 施工品質

1. はじめに

国立京都国際会館は、日本初の国際会議場として日本のコンベンションの歴史をリードしてきた。また、そのメインホールは日本で唯一の国連方式を採用した会議場であり、大空間に多数の照明設備や音響設備を備え、様々なシーンに対応する。また、多数の人に同時通訳設備を通して多国語の音声を伝える設備を設けている。本稿では平成23年度から平成26年度までに実施したリニューアル工事の概要を紹介し、各設備の施工品質を確保するために実施した取組を紹介する。

2. メインホールの概要

メインホールは、2,040㎡の床面積とし、1階から4階まで台形状に吹き抜けた15mの天井高を有し、2,000名を収容する大会議場である。国際会議の舞台にふさわしい荘厳な空間であり、政府間・国際機関会議、学術会議や講



写真1 メインホール

演会はもちろん、企業の周年記念式典、インセンティブ、表彰式など様々な用途に活用されている。

3. 照明設備のリニューアル工事の概要と施工品質確保の取組

今回のリニューアル工事では、メインホール内の全ての照明器具を取替えた。既設器具はハロゲンランプを使用していたが、改修後はLED照明を主とし、照明負荷を低減し、省エネルギー化を図った。また、LED照明のランプ寿命はハロゲンランプの約20倍であり、ランプ交換作業が大幅に軽減される。

施工品質確保として、次のとおりハロゲンランプとLED照明の特性等の違いに対応した。また調光機能やその操作性の向上を図った

(1)ハロゲンランプとLED照明の特性の違いへの対応

a) 配光範囲の違い

大ホール中央部は円盤状天井を特徴としており意匠的に重要である照明器具の配置は変えていない。しかしながら、LED照明器具は配光範囲が狭く、そのまま置き換えると客席中央部のみが明るくなる。これを防ぐため円盤状天井の各器具は完全に水平でなく微妙な傾きを持たせることとし、照明器具は天井取付部分と光源部分が分かれたものとし、そそれを組み合わせて取り付ける構造のものとした。このことでLED照明の配光範囲の狭さを解消しただけでなく、改修前より広い範囲を照明できるようになった。

また舞台部分は口径の大きなハロゲンランプが使用されていたが、改修後は同等の開口を持つ枠を取り付け、

その開口の中にLED照明器具を4台設置し、それぞれの角度を調整し従来と同等の配光を得られるようにした。

b) 色温度等の違い

LED照明とハロゲンランプでは発光原理が異なるため改修前後の色合い等の違和感が懸念された。このため色温度がハロゲンランプに近く、演色評価数が特に高い器具を選定し、現場で発光状況を確認した上で設置した。

c) 器具形状の違い

照明器具の外観の変化も懸念された。このため、照明器具は装飾部分の形状を踏襲して特注し外観の変化を少なくした。

d) 応答時間の違い

照明シーン切り替え時にハロゲンランプと類似のレスポンスで明るさの変化が起こるよう応答時間の設定を行った。

(2) 調光機能とその操作性等の向上

a) 調光機能の向上

前述のとおりメインホールは様々な用途に用いられる。またそれぞれの会議やイベントの中でもいろいろな照明パターンを必要とすることが少なくない。このため、2,000パターンの照明シーンを記録できる調光装置を採用し、あらかじめ必要な照明シーンを記憶させることにより素早くシーンの切り替えができるようにした。

工事においては、基本的な照明パターンをあらかじめ設定しておくこととし照度分布や見え方をシミュレーションし、実際に検証して適正な設定を決めるなどを行い照明パターンを記憶させた。

b) 操作性の向上

簡易操作機能を設け、会場内リモコン操作器にあらかじめ5つの照明パターンをプリセットした。講演会などシーンの少ない用途では主催者がリモコン操作簡単にシーン切り替えができるよう工夫した。

また、作業灯スイッチを設け、メインホール全体の照明を簡単にON/OFFでき、会場準備作業に適した中庸な明るさの状態に容易に切り替えられるよう工夫した。

c) 拡張性の向上

DMX, イーサネット等のインターフェース接続端子を設置し、複雑な調光シーンを用いる演出の場合、主催者が持込みの調光卓を用いて調光操作を行うことが出来るようにした。

4. 音響設備のリニューアル工事の概要と施工品質確保の取組

今回のリニューアル工事では、舞台上部に設置されているメインスピーカー16台（舞台の下手と上手に各8台）を取り外し、上手と下手に2台ずつ追加して、計20台に変更して再設置した。また舞台サイドにもスピーカ

ーを計12台新設した。

施工品質の確保としては、会場内の音圧分布を平準化させるなどにより、音場の改善を図るとともに、誘導雑音の防止を図った。

(1) 音場の改善

a) 施工前のシミュレーションと設置・調整

まず、工事に先立ち旧設備での音響測定を行った。このデータを参考に新設備でより良好な状態となるようシミュレーションし、メインスピーカーの軸方向の調整等を行うとともにイコライザーの設定、アンプのレベル設定を行った。スピーカーの調整についてはホール内の基準点にマイクをおいて測定を行い、リアルタイムに状況を見て調整を行った。またマイクを移動しては同様にを行い、その作業を繰り返しその結果を専用ソフトウェアを用いて全体の状況をシミュレーションし、イコライジング調整や周波数分布を調整検討した。そして大ホール内で音響測定を行ないソフトウェアにフィードバックして再度調整さらに行った。

b) 音響測定

音響設備の設置調整作業が完了した時点でホール全体の詳細な電気音響測定を行った。以下にその測定内容と結果を示す。

伝送周波数測定について

定常状態での受音点の音圧レベルの周波数測定を行った。目標値として160Hz～5kHzにおいて偏差10 dBを目標とし36箇所で測定した。結果は3箇所ですでに超えていたが試聴テストにおいて特に問題はなかった。図1にレベル測定例を示す。

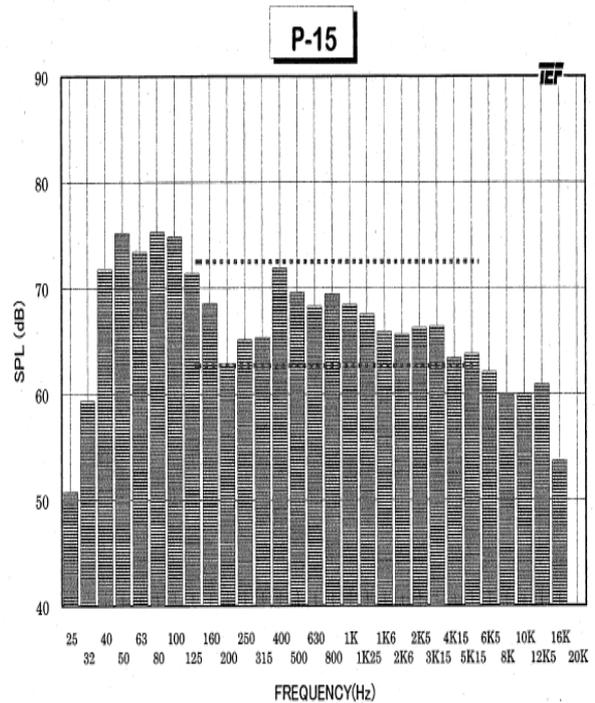


図1 周波数特性

音圧レベル分布について

この音圧分布の偏差が小さければ、座席間またはエリア間による音の大きさが少ないことになる。

今回増設したスピーカーのほか全スピーカーを使用した状態において、4kHzバンドパスノイズにおいて音圧分布を測定した。各座席位置(部屋の形状が左右対象形のため正面に向かって左半分97箇所)で測定、図2)で音圧偏差7.1dBに収まり目安となる8dBをクリアした。

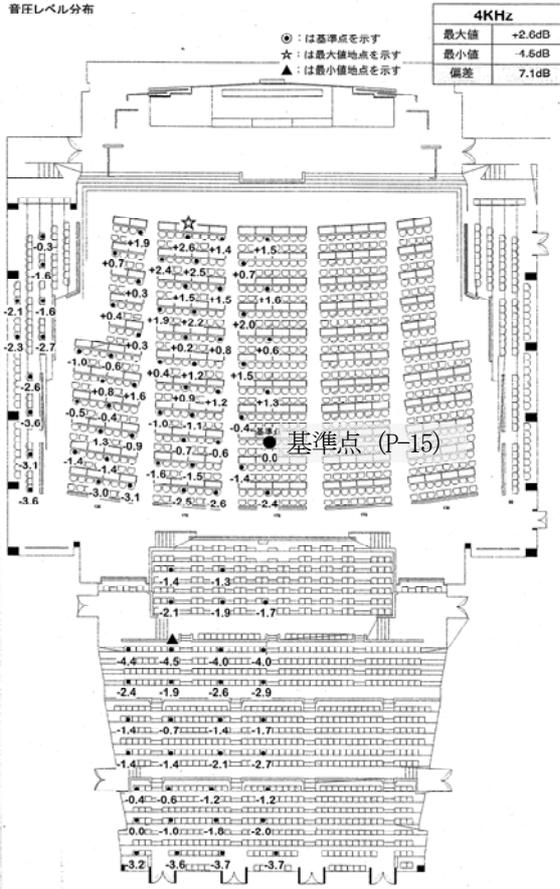


図2 音響測定位置図

安全拡声利得について

安全拡声利得とは、拡声装置がハウリングに対して十分安定(拡声装置の増幅度をハウリングの起こる直前の状態から6dB下げた状態)な状態にあるとき、使用マイクロホンと客席内の聴取位置での音圧レベル差のことで、次の式で表される。

$$\text{「安全拡声利得 (dB)」} = \text{「客席位置の音圧レベル① (dB)」} - \text{「マイクロホン位置の音圧レベル② (dB)」}$$

まず音響設備を通常状態に設定し、マイクロフォンを舞台上の代表点にセットする。今回の場合通常よく使用する1) 下手演台位置 と 2) 中央演台位置とした。

この状態で音響設備の利得をあげてゆき、自然フィードバックが起こるポイントより6dB利得を下げた安定な状態にした。

次にマイクロフォンの正面50cmの位置にトーカースピー

カーを置きピンクノイズを発生させ、そのマイクロフォン位置で80dBになるようそのノイズの音量を調整する。このようにして得られた値と前述の式から安全拡声利得を算出する。(図3参照)

今回の場合、客席基準位置を参照とした。

メインスピーカーとサイドスピーカーを駆動し測定した。

設計目標値は-10dB以内。結果は-9.5dB~-13.5dBで実用上問題の無い値となった。

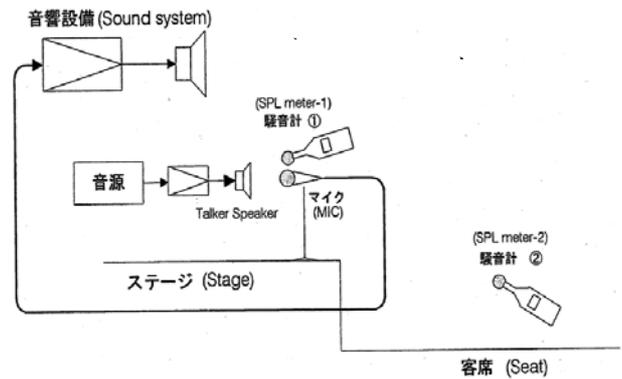


図3 音響測定模式図

最大音圧レベルについて

最大音圧レベルとは、電気音響設備が歪みのないクリアな音で再生できる総合出力音圧レベルの値を言う。

音源にピンクノイズを使用し、拡声システムを通常の使用状態に設定した後、出力レベルを上げてゆき客席代表点で、95dB(spl)の出力を再生し、システムが問題なく動作していることを確認する。また同時に最も出力の大きなメインアンプの出力レベルをミリボルトメーターで記録し、出力可能な最大レベルを算出予測し、システムの余裕度を検証する。(ピンクノイズとは、パワーが低音で大きく、高音で少なくなるという周波数とパワーが反比例特性を持つ雑音のこと。各1オクターブごとの帯域のエネルギーが同じになるため、様々な音響測定に使用される。)

今回の基準点は図2のP-15とした。設計目標値は95dB以上であり、95dBc再生時における各パワーアンプの出力を測定した。これによると、最もマージンが少ない下手UPPER-LOWスピーカーにおいてもアンプの出力余裕24dB以上のマージンがあり、十分に余裕を持ったシステムであると考えられる。また、上記音圧の連続再生時に聴感による確認を行ったが、異常音等は確認されなかった。なお、アンプ出力はアンプ出力電圧をミリボルト計で測った電圧と、スピーカーの公称インピーダンスを抵抗値として算出したものを用いた。

残留雑音

ホールにおける騒音としては、外部から入ってくる音、空調ノイズ、調光器ノイズ、電気音響装置からのノイズ

等が考えられるが、ここでは電気音響装置によるノイズを測定した。測定結果の表示は、L. L. Beranek氏が耳に感ずる音の大きさと会話に対する騒音の妨害程度の研究を基に、騒音の許容量を周波数別の結果数値であらわせるようにしたNC値（騒音評価値）を用いるのが一般的である。このNC値は各週は数別の測定値を基にNC曲線により求められる。

まず、音響システムを通常使用状態にセットした後、調整卓の入力フェーダーを絞りきります。その後、騒音計と1/1オクターブバンドフィルターをセットし、63 Hz～8 kHzまでの各周波数の値を測定します。測定点としては、基準点（P-15）とした。設計目標値はNC25以下、駆動スピーカーはメインスピーカー、サイドスピーカーとした。おおむね20以下が確認出来た。（図4）

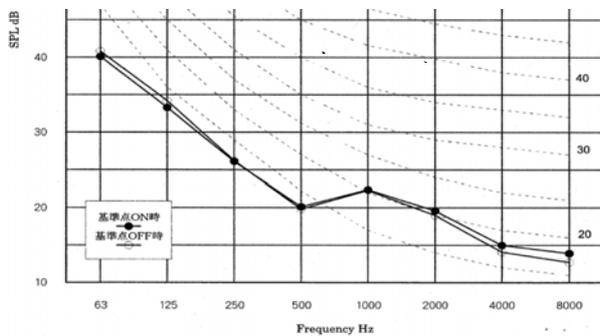


図4 NC線図

(2) 誘導雑音の防止

調光装置はランプの主電流が流れる装置のため電磁ノイズを発生する。電磁ノイズは調光設備のそばでは強い影響を及ぼすが距離が離れると急激に少なくなる性質がある。このため調光盤は専用の室に設置し他の設備を同居させないことにより雑音防止を図った。

メインホールには様々な音響設備が備えられている。これらに誘導雑音を発生させないため、特に誘導雑音源となりやすい調光回路は弱電線と1m以上接近させない施工を行った。

5. 同時通訳設備のリニューアル工事の概要と施工品質確保の取組

今回の改修工事では従来のFM誘導方式から赤外線方式に変更することとし、既存ループアンテナ（床）を撤去し、天井面に赤外線放射パネル16台を設置した。これにより雑音が少なく他室との混信の恐れもなくなることを意図した。

施工品質の確保としては、台形状の特殊な断面形状を有するメインホールにおいて、すみずみまで赤外線が到達するよう、赤外線パネルの設置について検討や調整を行

なった。

(1) 外線放射ラジエーター配置の検討

パネルからの赤外線ははおおむね60度の頭頂角の正方形のエリアに到達する。会議場は床面より天井が狭くなる独特の形状をしている。このため側方の席に向かっては天井の端に設置してもより壁向きに向けなければならない。また、座席は後部に向かって高くなり最後部は4階フロアと同じ高さとなっている。このため天井との距離が短くなり放射面積が少なくなる。この対策として部屋の隅までいずれかの赤外線放射器がカバーするように赤外線分布をシミュレーションをおこない、取付位置を決定した。中央部は複数台の赤外線放射器の相乗効果でカバーできることとした。（図5 赤外線ラジエーター放射範囲図）

ステージ部分はステージ前方の中央寄り左右に各1台とし、左右方向には水平に対し10度、ステージ奥に向かって15度の傾斜とした。

1階席エリア部分は8台でカバーすることとした。中央寄りに設置したものは水平に、左右寄りの物は壁向きに8度の傾斜とした。

後方階段席エリアは6台とし、後方はより間隔を狭く配置した。そのうち前側4台は水平に対し左右に各10度、後方に向け15度の傾斜とした。後ろの2台は左右は各10度、後方に向け30度の傾斜とした。人物による陰を少なくするため傾斜が少なく、真上から赤外線が届くのが望ましいが後部座席は赤外線ラジエーターの設置間隔を狭くすることでカバーすることとした。

(2) 赤外線放射ラジエーターの設置後の調整

設置完了後は、会議場内のどの席の位置でも十分な感度が得られるよう角度調整を行った。細かい角度の調整を要するため天井内で角度を設定してから天井面を下ろす昇降可能な取付架台を製作し繰り返し調整を行なった。

（図6 赤外線強度分布図）しかしながら在席状態でのテストではやや受信強度の弱いところも発見され受信不良箇所をなくすよう調整を繰り返し行い改善した。

赤外線式に改修したことにより電波式や誘導式のような雑音の影響や会場内外との干渉の恐れも無くなり良好な設備となった。

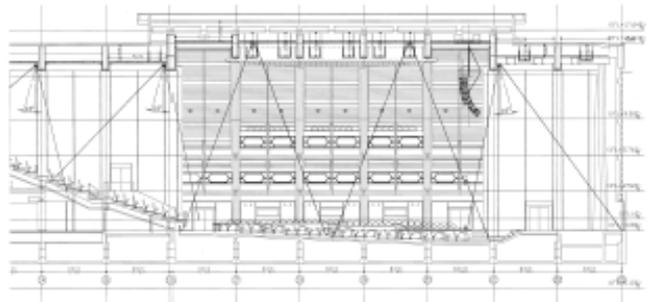


図5 赤外線放射範囲図（メインホール断面図）

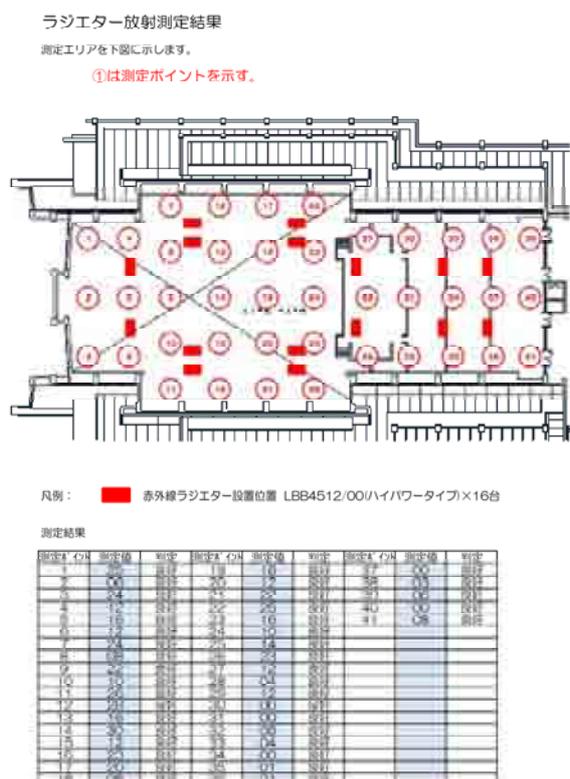


図6 赤外線強度分布図

6. 設備の耐震性の向上

(1) 設備器具の落下防止

大型の照明器具やスピーカーは専用の架台金具を製作し構造部材から支持を行った。

メインスピーカーは既存が8台連結のところを2台増やし10台連結としたため重量だけでなく重心位置も変わったがそれに対応した架台を新たに作成した。また振れ止めワイヤーを配置した。(超軽量タイプ ツアースピーカー72kg×2、左右各一式)

メインスピーカーは一体に組上げられる前の本体10台分だけで約800kgの重量がある。支持基は梁を両側から鉄板で挟み込む構造とした。それらとつり下げ金物架台一式が520kgと見込まれ総重量1,320kgとなった。金物は鋼板、角鋼管などから独自の形状のものを各部の構造計算強度計算を経て形状や部材が決定され製作した。振れ止めとして4方向からワイヤーを併用する方式とした。これも吊りもとの金具を取り付ける場所は梁とした。1本のワイヤーはアンカーボルトを含めメインスピーカに金物を含めた全重量に0.5を乗じた地震力に耐えるものとした。ワイヤーを併用することにより比較的細い鋼管によりつり下げの形とし、重圧感のないスマートな姿とすることができた。

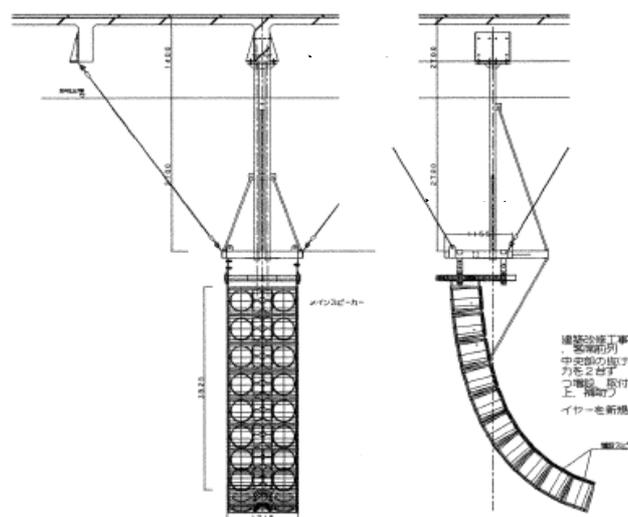


図8 スピーカー取付姿図

小型の照明器具は通常の取付を行った上、落下防止ワイヤーを構造部材から支持した。近くに構造部材が無い場合は鋼材を構造部材の間に取付、それをワイヤーの支持に用いた。

7. まとめ

一般の事務室における改修と異なり、形状、デザイン、用途等が特殊であるメインホール内の電気設備のリニューアルにおいては、設計で意図された性能が確保されるよう施工段階における器具の選定、設置方法についての検討、設置後の確認・調整がきわめて重要である。前述のような工夫や対策によって、1966年の開館から大切に守られてきたメインホールの荘厳な空間を損ねることなく、LED化による省エネ化、スピーカーの増設等による音場の改善、赤外線方式による同時通訳の明瞭度の向上等が図られ、会議主催者からも好評をいただいているところである。

今後、各設備の長寿命化等のリニューアルが行われていく際の参考になれば幸いである。

謝辞: 本工事は、別室で開催する会議との関係から、作業時間や作業方式が限られたほか、既存のデザインを大切にするため作業スペースが限られるなど工事の実施には多大な労力を要したが、無事故、無災害で完成できた。ここに関係者各位に感謝申し上げる。

国道2号バイパスを跨ぐ県管理橋の架替えに伴う通行止めの実施について

松本 俊輔¹・田尻 尚登²

¹姫路河川国道事務所 道路管理第二課 (〒670-0947兵庫県姫路市北条1-250)

²豊岡河川国道事務所 調査第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

国道2号バイパスを走行中の車両が、国道を横断する県道の陸橋に衝突し主桁のPCケーブルを破断したことから、同橋梁を架け替えることとなった。国道2号バイパスは、日交通量が約12万台を誇る国道であり、架け替え工事に伴う通行止めの際には大規模な渋滞の発生が懸念された。そのため、本工事においては、①国道2号バイパスの通行止め期間をいかに短くするか、②通行止め期間中の迂回路をどう確保するかが主な課題であった。本稿では、これら架替え計画の検討内容や工事及び交通規制の実施結果を報告する。今後増加が懸念されている直轄国道や自動車専用道路等を跨ぐ都道府県管理橋梁の補修・架け替えにおいて、本稿が計画立案の一助となれば幸いである。

キーワード 自専道、通行規制、橋梁架替

1. はじめに

2012年(平成24年)2月に、国道2号バイパスを走行中の車両が、国道を横断する県道神吉船頭線砂部陸橋(以下「砂部陸橋(いさべりっきょう)」という。)に衝突し、同橋梁の主桁PCケーブルを破断する事故が発生した。これに対し、国土交通省と兵庫県は、事故直後の応急復旧と、8ヶ月後の仮復旧を実施するとともに、本復旧として橋梁の架け替えを行った。

国道2号バイパスは、日交通量が約12万台と、道路交通センサスの一般国道で全国5位の交通量を誇ることから、工事に伴うバイパスの通行止めの際には大規模な渋滞の発生が懸念された。そのため、下記の主課題に対して対策を講じた。

- ①国道2号バイパスの通行止め期間をいかに短くするか
- ②通行止め期間中の迂回路をどう確保するか

本稿では、これら架替え計画の検討内容や工事及び交通規制の実施結果を報告する。

2. 損傷状況と仮復旧

(1) 損傷状況

平成24年2月27日午前11時頃、国道2号バイパスを跨ぐ砂部陸橋(昭和45年架設、12径間PC単純T桁橋、橋長222m)に、同バイパスを東向きに走行する大型トレーラーに積載された油圧ショベルのアーム部分が衝突、同橋の主桁が損傷した(図-1、図-2)

同橋は、国道2号バイパスの上り車線側の跨道部に

いて、桁長約24mの5本の主桁(G1~G5)のうちG1桁が大きく損傷(PCケーブル全6本のうち3本が破断)、G3桁もPCケーブル1本が破損、その他の桁(G2~G5)についても、下フランジの断面欠損や鉄筋切断が生じた。



図-1 砂部陸橋の全景



図-2 主桁の損傷

(2) 応急復旧

事故後、砂部陸橋に対し、自転車及び歩行者を除いて通行止めとし、同日夜間、国道2号バイパス路肩部に仮設支保工を設置し桁落下防止対策を図った(図-3)。同時に、桁の変位・ひずみの常時監視を実施するとともに、異常が発生した際の連絡体制を確保した。



図-3 架設支保工の設置状況

(3) 仮復旧

通行止め前の砂部陸橋の交通量は、3,678台/日、うち大型車255台/日(混入率6.9%)、路線バス6往復/日であり、地域の南北交通を担っていたことから、利用者から早期の通行止め解除が要望されていた。これを受け、G1桁を架設桁(図-4)にて補強し、事故から8ヶ月後の平成24年10月10日に片側交互通行にて車両の通行を再開した。



図-4 補強桁の設置状況

3. 本復旧の検討・設計

兵庫県は、自動車専用道路や鉄道などの重要路線を跨ぐ陸橋を優先的に耐震補強する方針であり、以前より砂部陸橋の耐震対策が検討されていたことから、本復旧に併せて跨道部の耐震補強を実施することとなった。また、架設から40年以上が経過しており老朽化が進んでいることや今回の損傷以外に他の損傷も認められること、将来のメンテナンスの容易さ等を考慮し、損傷した桁の交換だけでなく、架け替えを含め本復旧の方法を検討することとした(表-1)。

表-1 本復旧の検討方針

- ・既設橋は耐震対策未実施であるため、国道2号バイパス跨道部の耐震対策を併せて実施
- ・将来的な維持管理の容易性を考慮し、架け替えも含めて検討

検討の結果、既設橋の耐震補強には、国道2号バイパスの中央分離帯に設置されている橋脚(以下「P6橋脚」という。)及びP6橋脚基礎に対し長期のバイパス規制を伴う補強工事が必要となることや、将来的なメンテナンスコストを抑える事が出来ること、鋼橋は部分的な損傷復旧が可能であることなどから、中間橋脚を撤去し、上部工を既設のPC橋から鋼橋に変更することとなった(図-5)。

なお、鋼橋を採用することにより、上部工の死荷重が軽減(840t⇒260t)されたため、P5,P7橋脚の補強を軽減することが出来たほか、主桁の高さを低く抑え国道2号バイパスに対して、桁下高を4.70mから4.85mに改善することが出来た。

表-2 検討・設計結果の主な内容

- ・本復旧にあわせて跨道部の耐震補強を実施。
- ・国道2号バイパス中央分離帯の中間橋脚の撤去
- ・上部構造の変更(PC橋から鋼橋へ)

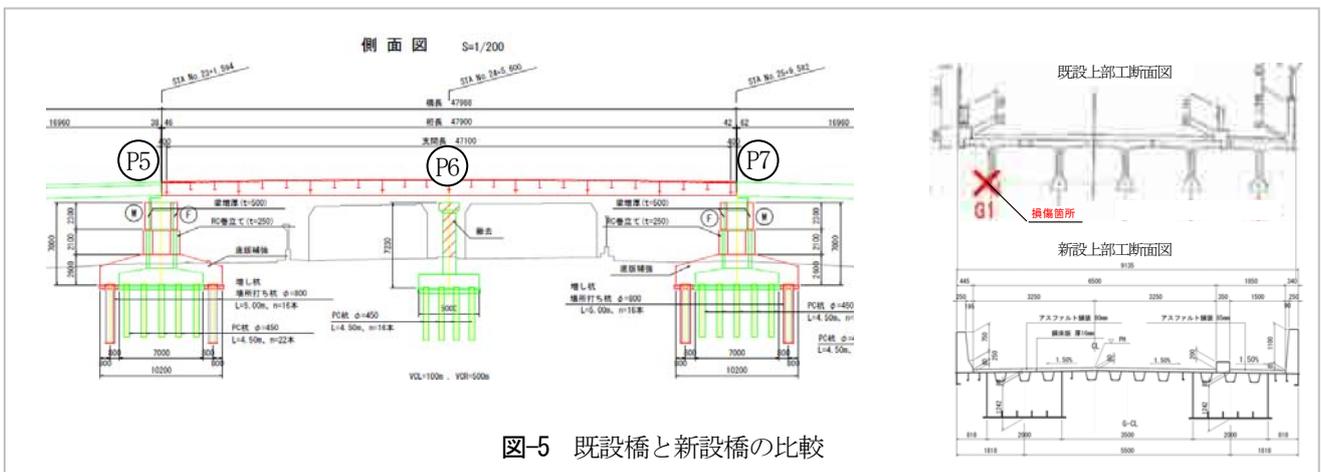


図-5 既設橋と新設橋の比較

4. 架け替え計画の検討

本工事における主課題①②への対策として撤去・架設計画及び規制計画を検討した。

- ①国道2号バイパスの通行止め期間をいかに短くするか
- ②通行止め期間中の迂回路をどう確保するか

(1) 撤去・架設計画

既設橋の撤去及び新橋の架設計画について、「通行規制時間」「撤去時間の短縮」「架設時間の短縮」の観点から検討を行った。

a) 通行規制時間

国道2号バイパスの通行止めによる渋滞長を簡易な交通シミュレーションを用いて検討した(表-3)。全日48時間の規制を行い集中して工事を実施した場合、本線上に約20~30kmの渋滞が発生するため、社会的に許容できる範囲を超えるものと考えられる。一方、1日の作業時間を短縮し、夜間8時間(22時~6時)の規制とした場合は、本線上の渋滞は約1km程度である。

表-3 規制時間と渋滞長

規制時間(通行止)	渋滞長
全日48時間	約20~30km
夜間8時間	約1km

※全ての車両が通行止めを認知し、最短経路を通行する条件で推計

次に、バイパスの時間別交通量データにより交通量の変化を確認した。夜間交通量は、比較的日々の変動が小さく概ねまとまっている事がわかる(図-6)。22時台は減少傾向ではあるものの依然交通量が多く、23時台には交通量が20%程度減少することや、早朝は交通量の立ち上がり速く6時以降に飛躍的に交通量が増えることなどから、夜間6時間(23時~5時)の規制とした。よって、規制準備と規制解除の各1時間を差し引いた実作業時間4時間を施工条件とした。

なお、緊急車両については、規制中であっても通行ができるよう対応することとした。

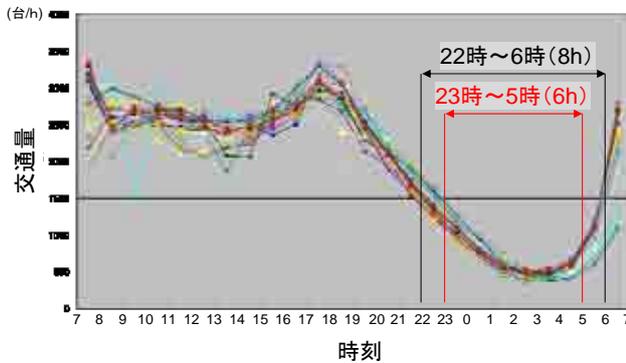


図-6 バイパスの交通量と規制時間

b) 撤去時間の短縮

既設橋の撤去にあたっては、ワイヤーソー等であらかじめ既設橋を切断し、小割りにした桁をクレーン撤去す

ることで1日の作業時間を短縮することを想定していた。

しかし、クレーンによる1日の撤去作業を4時間以内で実施するためには、次の課題があった(表-4)。

表-4 クレーンによる撤去の課題

桁撤去のためのクレーン運搬・組立・解体に時間を要し、規制時間内で桁撤去作業が完了できない。

桁撤去には360tクレーンを用いる必要があったため、カウンターウェイトの設置撤去に時間が必要であった。

当初は、別所PAや非常駐車帯などにクレーンを仮置きすることを検討したが運搬距離が長くなり、規制時間内で全ての作業を完了させることが出来なかった。

現地確認を行った結果、バイパス本線と側道の高差がほとんど無いことから、北東側空き地に工事ヤードを設置し、側道嵩上げ、本線遮音壁を撤去することで、現場に直接乗り入れ出来るようになった。

クレーンの移動時間を短縮し、カウンターウェイトを1部設置したままとすることで組立・解体時間を時間を短縮できたため、規制時間内に作業を完了させることが出来ようになり、工事に着手することが出来た。

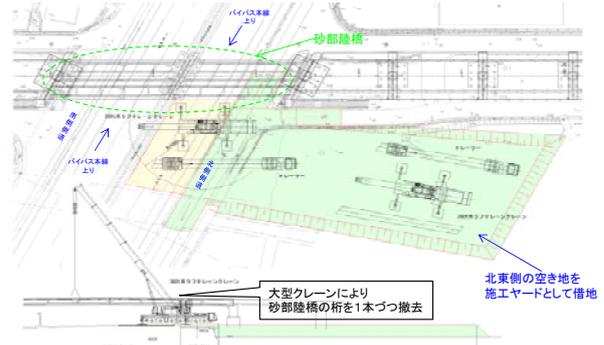


図-7 施工ヤードからの大型クレーンの乗り入れ

c) 架設時間の短縮

新橋の架設については、当初から送り出しによる架設を想定するとともに、自走台車を使用することでジャッキの盛り替え時間を無くすなど、送り出し時間を短縮するよう計画していたものの、送り出しには6時間を必要としていたことから、次の①②を実施することとし、4時間以内に工事が実施可能となった(図-8)。

- ①手延べ桁を短くすることで送り出し延長を短縮
- ②到着側ペントを設置することにより、手延べ桁到着時のジャッキ盛り換え時間を短縮

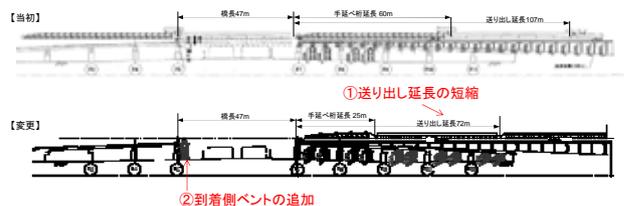


図-8 架設方法の変更による時間短縮

(2) 迂回路計画

通行止め期間中の迂回路の確保については、「迂回路ルート選定」「最適現示」「案内・広報計画」の観点から検討を行った。

a) 迂回路ルート選定

砂部陸橋の工事に必要な規制区間は、国道2号バイパスの加古川西詰ランプから加古川西ランプの区間ではあるものの、接続する一般道に十分な交通容量が無いため、国道250号(明姫幹線)を主な代替路として使用する事を想定し、加古川ランプから高砂西ランプの区間を通行止めとすることとした(図-9)。

また、南北交通が県道19号に集中しないよう、明石西からの迂回路についても、広報等で事前周知交通の分散を促すこととした。



図-9 通行止め区間と迂回路

b) 最適現示

一般道は通常、国道2号バイパスの流出入を想定した信号現示にて運用されている。これを前提に、バイパス利用交通量が全て加古川ランプで流出入する場合のバイパス本線渋滞長を想定したところ、約18kmの渋滞が発生する結果となった(図-10)。これに対し最適現示(国道250号の青時間を長くする信号機制御)に変更した場合には最大約2.5kmに短縮できる結果となった(図-11)。



図-10 現況の信号現示での想定渋滞長



図-11 最適現示での想定渋滞長

c) 広報計画

広報計画を適切に実施し、バイパス利用交通量が他道路(明姫幹線等)へ分散し、信号を最適現示とした場合のバイパス本線渋滞長を想定したところ、本線渋滞なしとの結果となった(図-12)。



図-12 広報等で他道路へ分散した場合の想定渋滞長

上記の検討結果を踏まえ、広報による交通の分散を促すため、夜間通行止め実施の概ね2ヶ月前より、リーフレット等の配付(周辺住民、新聞折り込み、関係機関、広報誌に対し約62万枚)やホームページ、メール一斉送信、ラジオ放送、横断幕(約40枚)、道路情報板による掲示等を行うとともに、現地への案内看板(約200基)の設置等を実施した(図-13)。

また、夜間通行規制期間中の問い合わせに対応するために、専用の電話受付窓口を設置するとともに、同電話番号を広報等で案内した。



図-13 案内看板とリーフレット

5. 架け替え工事

平成26年度より、砂部陸橋の上部工の製作を開始した。また並行して、架け替え工事に必要となる施工ヤードの確保と造成工事、既設橋脚の耐震補強工事等を実施した。なお、砂部陸橋の跨道部の撤去・新設工事は、国道2号バイパスの通行止めを伴うことから国が実施し、耐震補強工事等は兵庫県が実施するなど、国と県が役割を分担し架け替え工事を実施した。

なお、規制を伴う工事の工程は表-5の通り、表中の赤色で示した夜間通行止めは、既設橋の撤去工事に約1ヶ半月半、新設する橋梁上部工事に4日間であった。

表-5 工事実施工程

工事行程	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1) 既設橋撤去工事												
①作業区形成												
②クレーン進入路工事												
③既設橋撤去工事												
④クレーン進入路撤去												
2) 橋梁上部工事												
⑤測量・制作等												
⑥上部工送り出し												
⑦上部工降下												
⑧高欄コンクリート打設												
⑨落下物防止柵設置												
2. 交通規制行程												
1) 夜間1車線規制 (22:00~6:00)												
2) 夜間通行止め(加古川~高砂西) (23:00~5:00)												

(1) 撤去工事

既設橋の撤去工事については、計画通りワイヤーソーにてあらかじめ既設橋を切断し、小割りにした主桁を大型クレーンにて撤去した(図-15)。なお、クレーンについては、あらかじめ施工ヤードにて組み立て、並行して整備した工事用進入路を通りバイパス本線へ進入した。なお、使用した大型クレーンはバイパス本線へ自走にて進入可能なラフテレーンクレーンを使用した(図-14)。



図-14 360 t吊りラフテレーンクレーン



図-15 既設橋主桁撤去の状況

(2) 架設工事

新橋の架設工事については、平成27年12月1日に、計画通り送り出し工法にて架設した(図-16、図-17、図-18)。

砂部陸橋は、平成28年3月末に上部工の架設を終え、国による本体工事が完了したことから、県に引き渡された。その後、県により実施された橋面工事を終えたため、4年3ヶ月ぶりの平成28年5月29日正午に開通した(図-19)。



図-16 架設前の状況



図-17 送り出し架設の状況



図-18 架設後の状況



図-19 供用後の状況

6. 計画の検証

今回の架け替え工事の完了後、渋滞状況と広報に関して、事前に想定した計画の検証を実施した。

(1) 渋滞状況の検証

渋滞長は、バイパス本線で最大約500m程度であり、慢性的な渋滞の発生などの大きな問題は発生しなかった。また、道路利用者からの苦情等も少なく、無事国道2号バイパス本線の工事を完了することができた。

なお、バイパス本線の交通量（規制区間外）について、事前（規制前）と通行止め期間（規制後）を比較した（図-20）。図より、規制中の国道2号バイパスの交通量は、22時台までが増加し23時以降が減少していることから、道路利用者が23時からの規制を認識し、道路の利用時間をあらかじめ調整したものと考えられる。

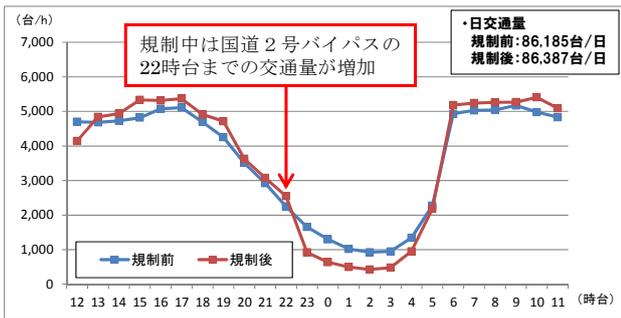


図-20 交通量の変化

(2) 広報の検証

広報の効果検証のため、道路利用者に対しウェブ及びPAでのアンケート調査を実施した（図-17、図-18）。

今回実施したアンケート調査結果から、道路利用者への直接的な広報としては、電光掲示板、路上看板が有効的であるとの結果が出ている。また、チラシや新聞、市町広報誌等の多様な媒体での広報も実施したことから、アンケート調査結果では約8割の回答者がバイパス夜間通行止めを事前に認知しており、交通量調査結果から山陽自動車道への交通シフトや、22時台までの通行止め時間外への交通シフトも確認できた。さらに、兵庫県警とも協力して、主要な迂回路となる国道250号等の青時間を長くする信号機制御設定変更も実施しており、これら各種交通対策が有効に機能したといえる（図-21）。

結果、49日間実施した夜間電話受付のうち、苦情は全体の3.6%（11件）と非常に少なかった（図-22）。

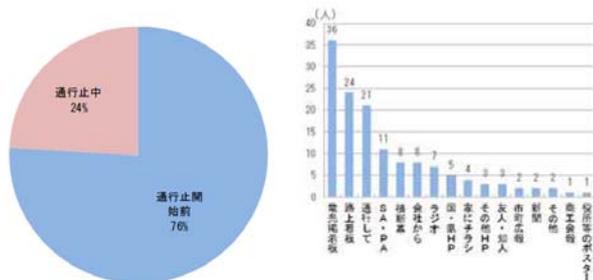


図-21 通行止めを知った時期と媒体

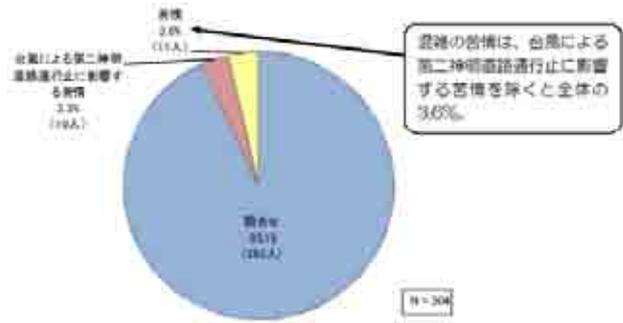


図-22 受付窓口の電話内容

7. おわりに

本稿では、国道2号バイパスを跨ぐ県管理橋梁（砂部陸橋）の架け替え事業について、国道2号バイパスの夜間通行止め計画等の検討内容や工事及び交通規制の実施結果を報告した。今後増加が懸念されている直轄国道や自動車専用道路等を跨ぐ都道府県管理橋梁の補修・架け替えにおいて、本稿が、計画立案の一助となれば幸いである。

謝辞：本事業の実施にあたり、関係機関の皆様には、多大なるご協力を頂きました。また、設計・施工を担当頂いた中央復建コンサルタンツ(株)、前川建設(株)、(株)駒井ハルテックには安全・迅速な施工にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。最後になりますが、長期間かつ度重なる交通規制等にご協力頂いた道路利用者の皆様にお詫びとお礼申し上げます。

*本稿は、筆者が姫路河川国道事務所工務第二課在職時に携わった工事に関するものである。

紀北西道路無事故700日達成 の軌跡と創意工夫について

木村 信雄¹・井上 謙²

¹近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 建設監督官 (〒640-8482 和歌山県和歌山市六十谷226-76)

²近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 工務第二課 (〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁16)

和歌山河川国道事務所では京奈和自動車道の平成28年度開通に向け、現在、紀北西道路の建設を行っています。紀北西道路建設事業において、工事事務防止のための工事安全連絡会を設立し、「無事故現場チャレンジ」を掲げ、工事安全連絡会関係者が連携し、約2年間に渡り、無事故700日を達成した軌跡とその過程での創意工夫について紹介するものである。

キーワード ゼロ災害、安全、工事関係者間の連携

1. はじめに

京奈和自動車道とは、京都～奈良～和歌山の拠点都市の連携強化を図る高速道路であり、整備されることにより、地域の産業、観光及び農業振興の面で大きく期待されています。

京奈和自動車道の和歌山県域（整備延長40.4km）では平成27年度9月までに33.9kmが供用し、現在、平成28年度末全線供用に向け、紀北西道路6.5kmの工事を実施しています（図-1）。



図-1 京奈和自動車道（和歌山県域）の整備状況

平成26年度当時、和歌山建設監督官詰所が担当する紀北西道路8工区において、平成25年度の近畿地方整備局管内の工事事務等の発生件数が過去10年間で最も多く発生したこと（図-2）を受け、紀北西道路8工区の工事関係者が工事安全連絡会（8工区）を平成26年度4月に設立し、「無事故現場」チャレンジを掲げ、安全の取り組みを開始しました。

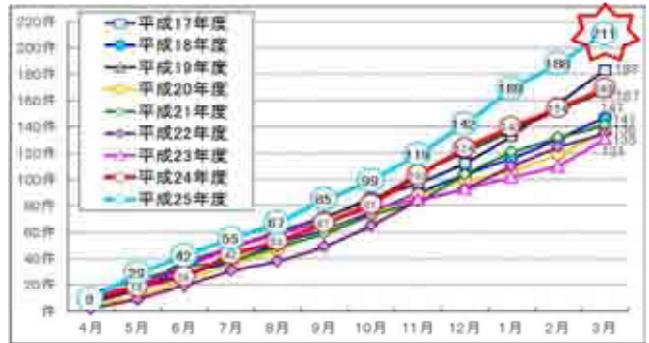


図-2 近畿地方整備局管内における工事等事故発生状況

2. 工事安全連絡会における取り組み

工事安全連絡会では以下のような取り組みを実施しました。

- ・安全パトロール（年4回程度）（図-3）

工事安全連絡会関係者による合同パトロール、長期休暇前の全現場安全パトロールを実施しました。



図-3 工事安全連絡会での合同パトロール

・外部講師の安全講話

以下の関係機関から講師として招き、工事安全に対する講話をいただいた。

- 和歌山河川国道事務所副所長及び工事品質管理官
- 和歌山労働基準監督署
- 和歌山県警察署
- 労働安全コンサルタント
- 建設業労働災害防止協会



和歌山労働基準監督署

・救命講習、訓練（心肺蘇生・AED）

消防署の指導のもと、救命講習、訓練を実施し、救急時に備え、現場へのAEDの設置も行った。（例、高さ約70mもある橋梁工事では各橋脚毎に上部工施工場所へのAED設置を実施）。

・ビデオ教育（建退共、交通安全、防災）

・全国安全週間標語募集への参加

・ダンプトラックの過積載防止の教育

月毎の工事安全連絡会の実施にあたっては、開催幹事を連絡会員による順番性とし、連絡会員全員が積極的な参加を行うことで安全意識の向上を図りました。

工事安全連絡会の設立1年後には関係者連携のもと、ゼロ災が達成され、継続1年を記念し、監督官詰所玄関に安全掲示板を設置しました（図4、700日達成時）。

その後、目標500日の達成、続いて目標700日については平成28年2月29日に連続日数700日を達成しました。

工事関係者は詰所へ来庁し、安全掲示板を目にする度に、自らの現場だけでなく、工事安全連絡会として無事故を継続できていることを再確認し、改めて、チャレンジの気持ちを持つことができました。



図4 安全掲示板の設置（ゼロ災継続状況）

3. 工事毎の安全管理の取り組み

（切土盛土工事について）

- ・場内工事用道路と作業箇所の分離
法面の大型土嚢設置による走路確保、カラーコーンによる走路確保を行いました。



- ・一般道走行における安全パトロールの強化
ダンプトラックの土砂運搬ルートについて、ハザードマップの作成及び周知を行い、また、一般道での安全パトロールも実施しました。

また、土砂運搬が最大600台/日あることから、GPS端末による車両位置管理システムの導入とダンプトラック待機場の確保を行いました。



残土運搬ルート ハザードマップ



パトロール実施状況(国道24号線)

(橋梁上下部工事について)

・安全パトロールの強化

元請安全衛生責任者だけでなく、当該作業とは別作業の安全衛生責任者や下請業者も参加し、パトロール内容の充実を行いました。

・安全教育訓練等の充実

玉掛け訓練、救命訓練、防火訓練等の実地訓練を導入することで教育内容の充実を行い、作業員全体の理解度が向上しました。

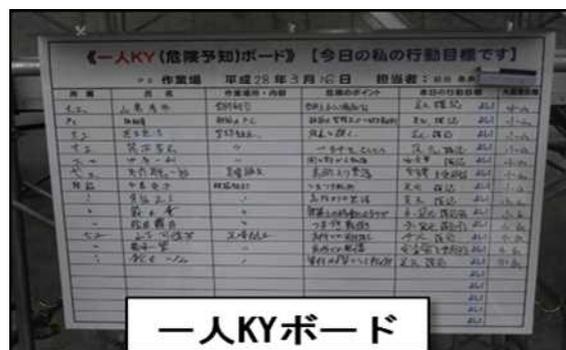


玉掛け実地訓練の実施

・リスクアセスメントの活用

毎日の作業前のKY活動において、作業員一人

一人が自ら、作業時のリスクを考え、KYボードへ記載することで、個々の安全意識及び理解度の向上を行いました（一人KYボードの採用）。



一人KYボード

・現場作業環境の改善

エアコン、ウォーターサーバー等の作業員が要望する作業環境設備には極力応え、費用を惜しまず実施し、現場作業環境の改善を図りました。

・元請職員と作業員のコミュニケーション

元請職員と作業員とのコミュニケーションを図るため、「やれ」「やってください」ではなく、「一緒にやろう」の気持ちで現場の一体感を創造しました。

安全の取り組みについて、積極的に取り組み、優秀な取り組みについては安全表彰を行い、作業員の安全意識の向上を行いました。



安全表彰

4. まとめ

どのような現場においても、日々の安全活動は厳格に管理され実施されています。

工事安全連絡会として、無事故700日を継続できたのは以下のようなことが考えられます。

・協力業者とのコミュニケーションを活発にする。

何でも言い合える現場の雰囲気を作る。

元請職員が協力業者の模範になる。

現場作業環境の改善要望には応え、安全管理に係わる設備には費用を惜しまない。

協力業者と一体化したパトロールを実施する。

- ・隣接工区との情報共有と協力体制を強化することで一体感が生まれ、互いの安全意識の向上が図れる。

5. おわりに

工事事故の発生は工事関係者だけでなく、地域へ与える影響も大きく、公共事業のイメージそのものを低下させるものです。

受注者である元請業者は下請業者等の工事関係者全てに対して、安全教育及び安全点検等適切な安全管理を行う責務があり、重要なことは言うまでもありません。

今回、安全に対する取り組みを通じ、元請業者からの教育だけでなく、作業員全体の安全に対する意識向上のための環境づくりと工事関係者の連携が無事故・無災害を達成する上で最も重要であると感じました。

工事安全連絡会を構成するメンバーは経過とともにかわりますが、引き続き、無事故・無災害の継続と工事事故の撲滅に向け、より一層取り組んでまいりたいと考えています。

供用中岸壁の老朽化対策について

富田 祐輔

近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 (〒624-0946京都府舞鶴市字下福井910)

舞鶴港第2ふ頭地区は、東アジア等の対岸諸国との間で完成自動車や紙・パルプ、りん鉱石等を扱う外貿埠頭であり、近年は、舞鶴の市街地に近いことからクルーズ船の係留施設としても利用されている。しかしながら、当該岸壁は築造当初から既に50年以上が経過し、著しく老朽化しているため一部の荷役作業等が制限されている状況である。そのため、早急な対応が求められているものの、舞鶴港の貨物を取り扱う主要な施設のひとつであり港湾荷役を中断することは出来ない。本報告は、岸壁を供用しながら改良工事を行った施工事例を報告するものである。

キーワード 供用中、老朽化対策、岸壁

1. はじめに

舞鶴港は本州日本海側のほぼ中央に位置する重要港湾で、古くは軍港として栄え、近年は近畿の日本海側の門戸港として対外貿易の重要な物流拠点である。また、2011年には、「国際フェリー・国際RORO船」「国際海上コンテナ」「外航クルーズ」の3機能で近畿唯一の日本海側拠点港に選定されている。

舞鶴港第2ふ頭地区（以下、岸壁）は、東アジア等の対岸諸国との間で完成自動車や紙・パルプ、りん鉱石等を扱う外貿埠頭として供用されており、2015年7月には韓国及びロシアとの国際フェリーが就航している。また、近年は舞鶴の市街地に近いことからクルーズ船が係留するバースとしても利用するといった既存ストックの有効活用を図ることにより、新たに旅客バースを整備することなくクルーズ船の寄港回数が増加し大きな経済波及効果を生み出しているところである。（2015年は8回、2016年は17回を予定（2016年5月現在））¹⁾

しかしながら、岸壁は築造当初から既に50年以上が経過し、2013年に実施した岸壁の現況調査では著しく老朽化している状況が確認されたため、一部で荷役作業等が制限されており早急な対応が求められているところである。しかしながら、舞鶴港の貨物を取り扱う主要な施設のひとつであり港湾荷役を中断することは出来ない。さらに、クルーズ船が寄港する時期（4月～10月）には工事が出来ない。

本報告では、岸壁を供用しながら改良工事を行った施工事例のひとつとして「平成27年度舞鶴港第2ふ頭地区岸壁（9m）改良工事（工期：2015年9月3日～2016年3月25日。以下、本工事）」について報告を行うものである。



写真-1 舞鶴港全景



写真-2 外航クルーズ船接岸状況

2. 現地状況と課題

(1) 施設の概要

対象となる岸壁は、1929年から1938年にかけて重力式岸壁（延長260m）が整備された。その後、築造された重力式岸壁を土留め護岸として利用し、コンクリートウェル杭による栈橋式構造（延長176m、1956年～1958年）で前出しして築造したものであり、上部工の打ち替えを経て竣工後58年が経過している。（図-1）

また、他にも鋼管杭による栈橋式構造（延長84m、1986年～1991）で同様に前出した区間、重力式構造による延伸部（1980～1984年、延長70m）の3タイプで構成されており、現在は、水深-9m、延長330m、岸壁2バースとして供用している。（写真-3）

(2) 現況調査

2013年より岸壁（延長330m）について調査を実施したところ、目視調査および潜水目視調査の結果より岸壁が著しく老朽化していることが判明し、早急な対策が必要となった。

a) 目視調査

目視調査では、写真-4に示すとおり床版下部の梁において、確認されたひび割れから錆汁が発生しており、鉄筋の腐食が進行している状況が明らかになった。

また、写真-5に示すとおり床版の一部が剥落して鉄筋が露呈しており、コンクリートが著しく劣化していることも確認された。

b) 潜水目視調査

潜水目視調査ではコンクリートウェルに幅800mm×高1200mm程度の貫通孔が確認された。また、錆汁並びに粗骨材の露出が多数みられ、粗骨材露出箇所付近のコンクリートは非常に脆くなっており、コンクリートウェルが局所的な劣化による耐力不足である状況が判明した。

（写真-6）

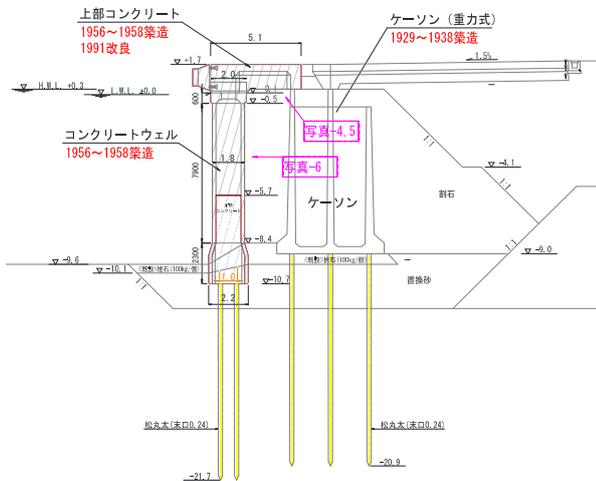


図-1 コンクリートウェル杭による栈橋式構造



【第2埠頭の構造形式と築造年】

- ①重力式構造 260m
1929～38年（77年経過）
- ②コンクリートウェル栈橋式構造 176m
1956～58年（57年経過）
- ③重力式構造 70m
1980～84年（31年経過）
- ④鋼管杭栈橋式構造 84m
1986～91年（24年経過）

写真-3 第2埠頭の構造形式と築造年



写真-4 ひび割れ及び錆汁状況



写真-5 床版裏剥離・鉄筋腐食



写真-6 コンクリートウェル貫通孔

3. 設計

(1) 現地状況を踏まえた対策方針

コンクリートウェルが著しく損傷しており、杭自体の残存耐力を有していない可能性が高いこと等から、部分的な補修ではなく抜本的な対策により補修を行う必要があると判断されたため、撤去・更新することとした。

構造については、隣接する岸壁と同様に鋼管杭による栈橋構造を採用することとした。設計断面は、本体内（鋼管杭L=24.5m、鋼矢板L=10.0m）、基礎工（基礎捨石10~200kg/個）、上部工（設計基準強度24N/mm²）で構成される。（図-2）

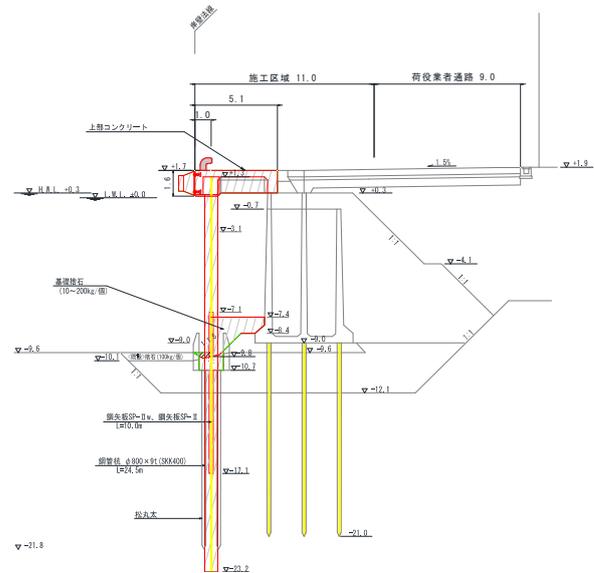


図-2 設計断面

4. 施工

(1) 施工条件

a) 自然条件

舞鶴港は、施工時に数十分程度の短時間周期の潮位変動（いわゆる副振動）が生じている。これは、舞鶴港のように湾口が小さく入り江のような港湾で生じる特有の現象であり、海上作業時の潮位変動予測を妨げる要因である。（図-3）

b) 作業条件

施工場所背後には上屋があり、供用中の岸壁であるため、港湾荷役業者の車両通行路を確保しつつ施工する必要がある。そのため、作業ヤードを最小限度にとどめる必要がある（写真-7）。また、工事期間中は、対象となる岸壁（延長330m）全ての荷役活動を休止することは出来ないため、ユーザー及び港湾管理者と調整し、船舶が着岸できるように分割施工を行う計画とした。

c) 工程、その他関連事項

施工場所は供用中の岸壁であり、貨物船やクルーズ船が利用している。特にクルーズ船が寄港する時期（4月~10月）には工事が出来ないため、現地着手は10月以降にせざるを得ない。また、本工事の完了は、3月25日に予定されているクルーズ船の寄港を実現するために、工期内での竣工が必須であった。

また、施工場所の対岸は海上保安部の巡視船の係留場所となっており、海上作業船による作業時には、巡視船の入出港時に安全に航行するための配慮が必要である。

(2) 施工方法

本工事は、重力式岸壁の前面に張り出したコンクリートウェルによる栈橋式構造の岸壁を撤去し、新たに鋼管杭による栈橋式構造の岸壁を築造するものである。本工事の施工手順を図-4に示す。

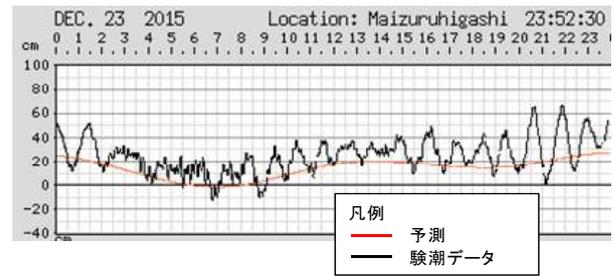


図-3 舞鶴港における潮位変動²⁾
（縦軸：潮位変動、横軸：時間）



写真-7 車両通行路を確保しながらの施工状況



写真-8 施工条件

a) 上部コンクリート撤去

既設のコンクリート構造物を撤去する手法としては、コンクリートブレイカーによる破碎を行うことが一般的であるが、クルーズ船の寄港が無いわずか6ヶ月程度（10月～3月）の工期では、上記作業を行うには作業日数が不足する。そのため、大型作業船による吊り撤去を行い、陸上作業ヤードで小割りすることで工期短縮を図った。しかし、既設上部コンクリートを撤去しようとしたところ、コンクリートどうしが、互いにせり合って吊上げることが出来ないといった現状不一致が発生し、工程の遅延が懸念された。そこで、構造物を縁切りする方法を検討したが、構造物の厚さが1.4m程度ありコンクリートカッター等による切断が不可能であるため、コアボーリングによる連続削孔により上部コンクリートを背面と縁切りして吊り撤去することで、滞りなく撤去作業を進めることができた。

b) コンクリートウェル撤去

既設上部コンクリートの脚柱であるコンクリートウェルを海底面から引き抜くためには、既設の捨石を撤去する必要があるが、捨石を撤去した場合の構造物安定性能照査をおこなったところ、円弧すべりの抵抗が不足することが確認された。供用中の岸壁の安定性を失うことは出来ないため、既設捨石を撤去しない工法を検討した。その結果、コンクリートウェルは2分割して撤去することとし、上部はワイヤーソーで切断したものを吊り撤去し（写真-9）、コンクリートウェル基礎は全回転オールケーシング掘削機によるケーシング掘削を行うことにより（写真-10）、円弧すべりへの抵抗を確保しながら撤去することができた。

c) 本體工（鋼管杭打設、鋼矢板打設）

鋼管杭および鋼矢板のいずれについても、打込みの施工方法は振動工法（パイプロハンマ）を採用した。施工に際しては、施工場所背後において港湾荷役業者の車両通行路を確保する必要があるため、大型施工機械（クローラクレーン等）による作業範囲を確保することができなかった。そのため、作業船での海上作業による施工となったが（写真-11）、舞鶴港に在港している作業船では杭打ち作業ができないことから、水島港（岡山県）から杭打ち用作業船（起重機船）を回航し、鋼管杭および鋼矢板の施工を行った。日本海側で発生する冬期風浪が支障となるため作業船を回航する時期は冬期を避ける必要があるが、鋼矢板の施工方法を工夫するなどして工程どおり施工ができ、作業船を予定どおり帰港させることができた。

d) 上部コンクリート打設

現場海域では、周期が概ね60分で潮位差が40cmくらいの副振動が生じており、鋼材溶接や鉄筋組立、型枠組立の作業に大きく影響することが懸念されるため、潮位のリアルタイム観測を行うことにより、作業を行うタイミングの把握に努めた。また、施工場所の潮位は高く、作

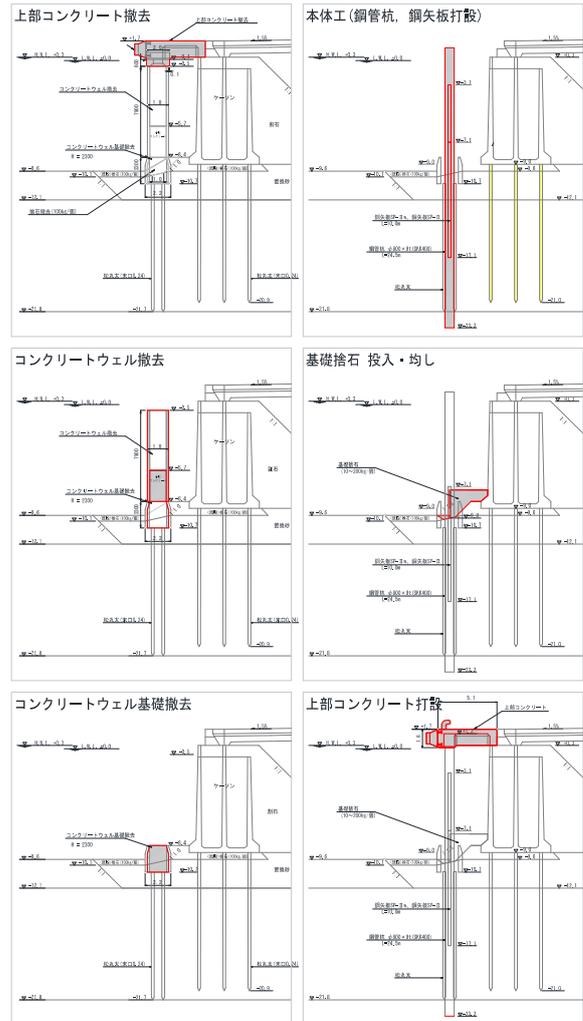


図4 施工手順



写真-9 コンクリートウェル撤去状況



写真-10 コンクリートウェル基礎撤去状況

業足場や支保は潮位より低い位置にあるため、異常潮位や航跡波により資機材が流出する恐れがあった。そのため、工事区域の外周に流出防止ネットを設置することで、供用中の岸壁に支障ときたすことなく作業を終えることができた。(写真-12)

コンクリートの打設の際は、潮位変動が少ない中で発生する副振動を予測しながら潮目の良い日時を見極めたコンクリート打設計画を立案する必要があるが、打設日の決定が予めできなかったことから、年度末の繁忙期のため生コン業者を確保できないといった苦労もあった。

(3)安全管理, その他

本工事は作業船による海上作業が多かったため、船舶の航行や岸壁への貨物船等の入出港の際には、作業を休止し待避する必要性が生じた。待避については、関係者との事前調整で予測できるものもあれば、冬期の降雪時に使用する融雪剤の入荷など船舶の入港が予測できない場合もあった。さらに、対岸に係留する海上保安部の巡視船が安全に入出港できるように必要な可航幅を確保する必要があるが、機密上の問題から入出港の日時を予め知ることができないため、海上保安部と日々の連絡体制を整え綿密な調整により滞りなく作業を行うことができた。

施工場所の背後では、港湾荷役業者のトラック等が頻繁に行き交うため、交通事故等が無いよう注意した。また、本工事の陸域一帯は、SOLASエリア内であり工事関係車両や作業員の入場に際しては、立入り申請を行う必要もあり手間が生じたが、事前に調整したことにより問題無かった。

5. まとめ

本工事は、岸壁を供用しながら施工を行うことが条件であったため、背後に通路を確保しなければならないことから、十分な陸上作業ヤードを確保できず海上作業を行う必要があったこと、計画時点では想定できない航行船舶の入出港により作業船の待避が生じ計画工程に遅れが生じる可能性があること、10月～3月といった非常に限られた工期しか確保できないこと、等が課題があったが、施工方法の工夫や関係者調整により何とか工期内に工事を終えることができ、工期末の3月25日にはクルーズ船の寄港を予定どおり迎えることができた。

現在、2016年度に引き続き岸壁の改良工事を予定しており、2018年度には当該岸壁の改良工事を終える予定である。高度経済成長期を中心に集中的に整備された港湾施設の多くは、今後急激に老朽化が進行することが懸念されており、本施設と同様、必要に応じて改良工事を行っていく必要があるが、工事期間中に港湾施設の使用を停止することが可能な施設は多くないと思われる。港湾施設を供用しながら工事を実施していくことは、各現場



写真-11 鋼矢板打設状況



写真-12 上部工施工状況

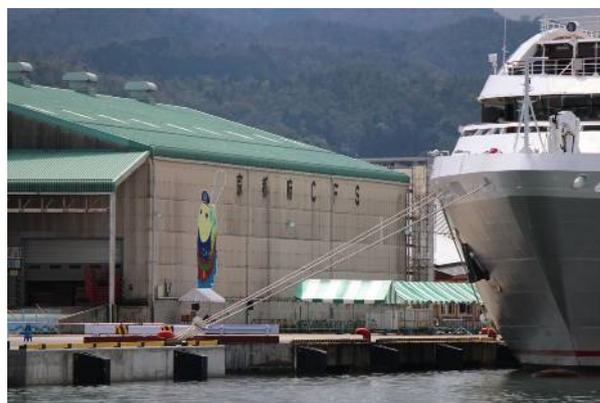


写真-13 工事完了後のクルーズ船寄港

毎に特有の課題があると思われるが、今回の工事がこれらの課題解決に役立てられれば幸いである。

最後に、論文作成に当たり多くの関係者の方々にご指導、ご協力いただきました。ここに深く謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 一般社団法人 京都舞鶴港振興会HP
<http://www.port.maizuru.kyoto.jp/>
- 2) 気象庁 潮汐・海面水位に関する診断表、データ
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

木津川 竹蛇籠製作プロジェクト 市民の力で河川の生き物は増えるか

北野 大輔^{1,2}・小林 慧人^{1,3,4}

¹淀川管内グループ河川レンジャー (〒573-0056 大阪府枚方市桜町3-32)

²滋賀県立大学大学院 環境科学研究科 環境動態学専攻 (〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町2500)

³同志社大学 理工学部 環境システム学科 (〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3)

⁴京都大学大学院 農学研究科 地域環境科学専攻 (〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町)

木津川流域で活動している木津川グループ河川レンジャーは、現行の河川法および木津川の河川環境における課題を考え、それらを解決に導くための方法として竹蛇籠水制の設置を提案した。多くの地域住民が参加した竹蛇籠の製作および設置活動の結果、木津川本流に6つの竹蛇籠水制を設置した。竹蛇籠水制の設置は木津川の生物相や物理的環境を大きく変化させただけでなく、竹蛇籠という伝統工法が全国各地で再認識されるきっかけとなったと評価できる。本プロジェクトは、木津川グループ河川レンジャーが自ら課題をたて、その解決を目的に治水と河川環境保全の両立および地域との連携をコーディネートした重要な事例である。

キーワード 竹蛇籠, 伝統工法, 住民参加, 河川環境管理, 生き物, グループ河川レンジャー

1. はじめに

(1) 木津川グループ河川レンジャーとは

2014年度に発足した「木津川グループ河川レンジャー(以下、Gレンジャー)」は、河川レンジャーアドバイザーと大学生によって構成される団体であり、木津川流域で地域連携活動を行なっている。主な参加者の対象を小学生とし、木津川の自然に親しむことができる活動を展開している。そして、参加者とともに木津川の課題を考え、それを解決できるような活動を企画運営し、発信することを目指している。本稿で報告するプロジェクトにおいて、このGレンジャーが中核的役割を担った。

(2) Gレンジャーが考える地域の課題

a) 河川管理の課題と解決への手立て

現行の河川法は、河川管理の目的として治水と利水だけでなく河川環境の整備と保全も含めている。そして、河川整備においては地域住民の意見を取り入れる必要がある。しかし、これらすべてを達成することは容易ではなく、防災や減災を考慮すると、河川環境という視点は治水や利水に比べ重要視されにくいと考える。河川環境に配慮した整備の実現には、コスト削減型の方法を地域住民と共同で考えて行なっていくことが重要である。

地域住民や市民団体による河川等の自然生態調査や保全活動は年々増加している¹⁾。河川行政がこれらの課題

を解決するためには、このような担い手と協力を図っていくことが大切である。その意味で、行政と地域住民、市民団体の橋渡しの役割を担う河川レンジャーの存在意義は大きい。特に、大学生中心のGレンジャーは主な対象を小学生としているため、河川環境の整備に向けて自ら考え行動できる将来の川の守り人を育てる役割が期待される²⁾。

b) 木津川の課題

木津川は三重県に源流を持ち、京都府南部の南山城地域を流れる一級河川である。流域上流の山間部から花崗岩質の土壌が流れ込むため、木津川の中流から下流部にかけて、河川敷には砂浜が広がるという特徴がある。堤防環境においては、京都府レッドデータブック(以下、RDB)で絶滅寸前種指定のレンリソウ(*Lathyrus quinquerivius*)など希少な植物が、支流では同じく絶滅寸前種指定のカスミサンショウウオ(*Hynobius nebulosus*)などが生息する。川の周辺ではこのような環境がみられており、河川の本流内にも多様な瀬が形成されている報告はある³⁾。しかし他の環境の変化に乏しく、小型水生生物の棲みかや隠れ場所となる環境が少ない。これが筆者らが考える木津川の課題である。実際に、木津川本流には流水性の環境を好むオイカワ(*Opsariichthys platypus*)やカワムツ(*Nipponocypris temminckii*)などの魚類が数多く生息している。他方、比

較的流れの緩やかな止水性の環境を好む種は、その多くが支流や数少ないワンドに生息しており、本流で活動している際に見かけることが少ない。

また、木津川においては河道内に樹木や竹類の繁茂が認められる。全国的に、河道内における樹林域の繁茂と拡大は河積阻害により流下能力の低下をもたらし、治水上の問題として捉えられてきた⁴⁾。これまで、木津川では砂州の保全も考慮され適宜伐採が行われてきた⁵⁾が、これら伐採木の利用方法には工夫の余地が残されてきた。

(3) 竹蛇籠製作プロジェクト

上記の課題を検討するために、国交省淀川河川事務所は木津川土砂環境検討会を設置した。この検討会は木津川の漁協や流域市民団体が委員として参加している点に特徴がある。この検討会で、木津川本流に生き物を増やすための事業として「竹蛇籠水制（以下、単に竹蛇籠と呼ぶ）」の設置をGレンジャーが提案し、地域住民のプロジェクトとして実施する運びとなった。蛇籠とは、石を中詰めにした籠状の構造物のことをいい、一般には治水を目的として護岸に使用される⁶⁾。また、近年は鉄線を用いて作られることが一般的であるが、鉄線蛇籠は壊れた場合に非生分解性のゴミとして木津川の環境に負荷を与えること、その製作や設置活動を地域住民で主導することが難しく多くの地域住民の参加が見込めないことが懸念された。

今回のプロジェクトでは、竹を材料とする竹蛇籠の製作を計画した。竹蛇籠の利点として、製作および設置活動がGレンジャーなどの地域住民主導のもと多くの参加者を募って行えること、治水効果だけでなく新たな河川環境の創出が見込めること、河道内に繁茂する竹を材料として利用できること、ゴミとして木津川の環境に与える負荷が小さいことが考えられた。よって今回は、河川環境や伐採木の利用、地域住民と連携した活動という視点から、竹蛇籠を水制として用いることとした。これは

古くから行われてきた伝統工法であることから⁷⁾、伝統工法の伝承の役割も果たすことになる。さらに、河道内に生育する竹類のマダケを使うことによって、河道内の樹林化問題を解消する手段としても発展性がある。

本稿では、大学生を中心としたGレンジャーが行政や市民団体の橋渡しをし、市民を巻き込んで実施した竹蛇籠製作プロジェクトについて報告する。また、本プロジェクトを河川環境の管理や生物の保全という観点からだけでなく、地域との連携とその広がりという点からも評価した。

2. 竹蛇籠製作活動

(1) 製作当日までの準備

竹蛇籠の材料には、蛇籠本体に使用する竹（マダケ）、蛇籠を固定するための杭に使用するマツ、中に詰めるための石が必要であった。そこで、地元のNPO団体と同志社大学の大学生が、竹の伐採とそれらを割る作業に奮闘した。竹を割る作業には手作りの装置を使用し（図-1）、計200本以上の幹を4つ割にした。また、伐採したマツの先端を削り、杭を作った。中詰め用の石は、工事現場で掘削されたものを準備した。さらに、竹で編む伝統的な蛇籠の製作方法を学ぶために、静岡県川根町の建築会社原小組に関係者数名が訪れた。

(2) 竹蛇籠の製作

竹蛇籠製作活動は、2015年10月17～18日の2日間行われた。木津川周辺地域を中心に京都府内外から参加者を募ったところ、2日間で合計170人を超える参加者があった。木津川で生き物とりをする小学生やその保護者など木津川周辺に住んでいる人だけでなく、竹蛇籠製作のノウハウを地元を持ち帰り実践したいと考える人々が大阪府、滋賀県、岐阜県、遠くは高知県から集まった。



図-1 竹（マダケ）を4つに割る工程



図-2 竹蛇籠の組み始め



図-3 完成した竹蛇籠

竹蛇籠製作に際しては、静岡県から招聘した原小組の社長ならびに社員に講師となつていただき、直接ご指導いただいた。竹蛇籠を組み上げる際に最も難しかったのは、6本の竹を籠状に組み始める部分であった(図-2)。しかし、建設会社の方の熱心な指導により端の部分が組みあがると、中ほどは同じ工程の繰り返しであるため、その長さをどんどん伸ばすことができた。開始からおおよそ4時間後、1本目の竹蛇籠が組みあがった。竹蛇籠は直径45 cm、長さおよそ6 mと非常に大きなものであった(図-3)。続々とできあがった竹蛇籠は、大きさや形が一つひとつばらばらであったが、それは市民の手作りならではの「味」といえるだろう。

(3) 竹蛇籠の設置

完成した竹蛇籠は、京都府綴喜郡井手町玉水橋の下流部(三川合流地点の15.2 km上流)に設置した。竹蛇籠を川岸に置き、松の杭を打ち込んで固定した。3本をピラミッド状に積んで固定した後に、籠の隙間から石を詰めて1セットの設置が完了した(図4)。地元の企業がボランティアで重機を用いて協力してくれたこともあり、杭の打ち付けや石詰め作業は、人力のみで行うよりもはるかに短い時間で終わった。また、足場が悪いために車



図-4 竹蛇籠水制設置後の様子。写真手前から奥にかけて3セットの竹蛇籠を設置した。

で蛇籠を運ぶことができなかつた右岸側には、左岸からカヌーに乗せて運搬するという工夫をした。結果、2日間で計15本の竹蛇籠が完成し、木津川に5セットを設置できた。後日新たに1セットを追加し、現在木津川には計6セットの竹蛇籠が設置してある。設置した竹蛇籠は、籠本体の材料から固定のための部品までほぼすべてが木津川周辺の自然の中にあるものでできていた。その中でいわゆる人工物は、竹を編む過程において竹同士をつなぎとめる際に使用した細い針金だけであった。

3. 竹蛇籠設置前後の生き物調査

竹蛇籠設置が木津川にもたらす変化を評価するために、竹蛇籠設置地点において生物調査を行なった。調査は、2016年4月24日および5月22日に河川レンジャーおよび地域住民で実施し、およそ9人がタモ網、1人が投網を用いて竹蛇籠周辺の生物を約1時間採集した。

調査の結果、計33種(うち2種は属までの同定、1種は交雑種)の生物を採集できた(表-1)。オイカワやコクチバス(*Micropterus dolomieu*)、キバリマメゲンゴロウ(*Platambus fimbriatus*)など流水性の環境を好む種だけでなく、蛇籠の内側ではミナミメダカ(*Oryzias latipes*)

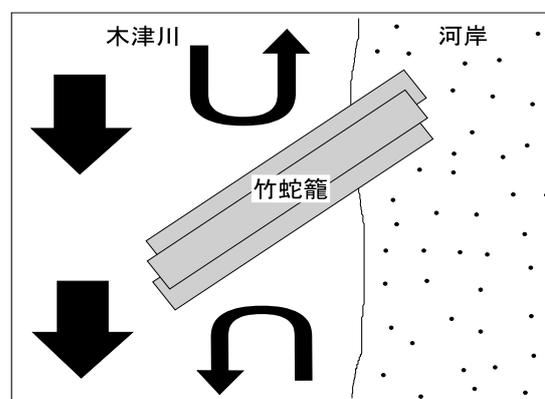


図-5 竹蛇籠水制設置地点の水流の模式図。矢印は水の流れを表しており、矢印が太いほど相対的に流速が大きい。

施工・安全管理対策部門: No.09

表-1 2016年の生物調査において採集した生物種とその個体数. 個体数の記号は, +: 11~20個体, ++: 21個体以上を表している.

科名	標準和名	学名	個体数*	
			4/24	5/22
コイ科	オイカワ	<i>Opsariichthys platypus</i>	5	
	カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>	1	
	ニゴイ	<i>Hemibarbus barbus</i>		1
メダカ科	ミナミメダカ	<i>Oryzias latipes</i>	2	1
ハゼ科	カワヨシノボリ	<i>Rhinogobius flumineus</i>	1	1
	ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>		1
ドジョウ科	ヌマチチブ	<i>Tridentiger brevispinis</i>	3	24
	ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		1
ギギ科	ギギ	<i>Pelteobagrus nudiceps</i>		1
サンフィッシュ科	コクチバス	<i>Micropterus dolomieu</i>		1
ヌマガメ科	ミシシippアカミミガメ	<i>Testudo scripta elegans</i>	1	
	クサガメ×イシガメの交雑種	-		1
タニシ科	ヒメタニシ	<i>Bellamya quadrata histrica</i>	1	
テナガエビ科	スジエビ	<i>Palaemon paucidens</i>	++	6
	テナガエビ	<i>Macrobrachium nipponense</i>	3	6
ヌマエビ科	カワリヌマエビ属	<i>Neocaridina</i> spp.	++	++
	ミナミヌマエビ	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i>	4	
アメリカザリガニ科	アメリカザリガニ	<i>Procambarus clarkii</i>	1	
ゲンゴロウ科	キバリマメゲンゴロウ	<i>Platambus fimbriatus</i>	3	
ミズスマシ科	コオナガミズスマシ	<i>Orectochilus punctipennis</i>		1
サナエトンボ科	コオニヤンマ	<i>Sieboldius albardae</i>		3
カワトンボ科	ハグロトンボ	<i>Calopteryx atrata</i>		8
ヤマトンボ科	コヤマトンボ	<i>Macromia amphigena</i>		1
コオイムシ科	コオイムシ	<i>Appasus japonicus</i>		1
フタメカワゲラ科	フタツメカワゲラ属	<i>Neoperla</i> sp.	+	
その他				種数
カゲロウ類	カゲロウ類8種	-	6種	2種
総種数	33種	調査日別出現種数	20種	19種

やミシシippアカミミガメ (*Testudo scripta elegans*) などの止水性の環境を好む種も採集した. さらには, ヌマチチブ (*Tridentiger brevispinis*) をはじめとした石の隙間などを棲み処とする生き物や, 反転流のある水辺環境が生息に必要であるコオナガミズスマシ (*Orectochilus punctipennis*, 環境省 RDB 絶滅危惧種Ⅱ類に指定) も採集できた. その他には, カワゲラ類やカゲロウ類をはじめとした水生昆虫類, エビ類を多く採集できた. また, 表-1には記載していないが, コイ科魚類の稚魚 (種不明) が蛇籠の内側に多数集まっていたことを目視で確認した.

竹蛇籠を設置した地点の流速は, 本流側は速いままであったが, 竹蛇籠の内側は非常に緩やかになっていた (図-5). また, 蛇籠の内側を回転するような流れ (反転流) が形成されており, 蛇籠の下流部には上流部よりも砂が多く堆積していた. 加えて, 水中にある蛇籠の先端部付近の河床は流れによって削られて傾斜がついており, いわゆる「かけあがり」が形成されていた. また, 近年, 木津川において河岸の浸食が問題となっているが, 竹蛇籠を設置した地点の河岸は, 最上流の竹蛇籠上部のみが削れており, 下流部の河岸は浸食されていなかった. このように, 竹蛇籠の設置は, 木津川の物理的環境に様々な変化をもたらしたことが示された.

4. 竹蛇籠製作活動の評価

(1) 河川環境の変化

竹蛇籠を設置した地点では, 流水性の環境を好む生物だけでなく, 止水性環境を好む生物もみられるようになった. たとえば, 今回の調査で採集されたトンボ類のヤゴには落ち葉や植物の茎に擬態するものがあり, 通常それらはワンドで採集されることが多い. また, ドジョウは泥質環境を好む生き物であり, 竹蛇籠の背面に泥がたまることでその生息環境が作られたものと考えられる. これらのことから, 竹蛇籠設置地点には止水性の環境が新たに形成されたことが示唆される. また, 新たに蛇籠の内側に形成された反転流は, 本流から入ってくる餌を待ち伏せする習性をもつコオナガミズスマシなどの生き物にとって重要である. さらに, 竹蛇籠本体の石の隙間にはヌマチチブやギギ (*Pelteobagrus nudiceps*) など多くの生物が生息していたことから, 竹蛇籠本体が生物の棲みかとしての機能も果たしていることがわかる. このように, 竹蛇籠の設置は木津川の物理環境に変化をもたらした, 絶滅危惧種をはじめとした多くの生物の生息環境をつくり出すことに大きく貢献しているといえる.

竹蛇籠設置による効果は, 設置前の調査結果と比較してみるとよくわかる. 設置直前の2015年10月12日に調査を行なった際に採集できた生き物は, 魚類はオイカワと

ヨシノボリ属 (*Rhinogobius* sp.) のみであり、止水性環境を好む種はみられていない⁹⁾。竹蛇籠の設置によって環境が変化した結果、これまでワンドや溜まりなど河川の一部の環境にしか生息していなかった止水性生物や遊泳力の小さい稚魚が生息できる環境が新たに作り出されたと評価できる。また、コクチバスなどの大型捕食者も設置地点を利用して、つまり、竹蛇籠の設置によって微小な水生昆虫類が増加し、それを捕食する小型魚類、さらにそれらを捕食する大型魚類が竹蛇籠の周辺に現れたことから、設置地点の周辺のみで一つの生態系が築かれていることがわかり、竹蛇籠が河川生態系に与える影響の大きさを物語っている。

本稿冒頭で述べたように、本流内の環境が変化に乏しいことが木津川の課題の一つである。竹蛇籠の設置により河川の物理的環境および生物相に変化がみられた。このことから、新たな河川環境の創出という価値を竹蛇籠に見出すことができたといえる。一方で、河岸の浸食の防止効果がみられるなど、蛇籠本来の治水効果も発揮していることが確認できた。治水、利水、環境という三つの河川管理目的の中で、今回は特に環境という点に注目したが、竹蛇籠の設置では治水効果も十分に見込める。今後、継続したモニタリング調査を行い、詳細な評価を行う必要がある。

(2) 本プロジェクトにおける地域の連携とその広がり

竹蛇籠製作活動は、開催母体と大学の研究室、建設会社や参加した地域住民など、準備段階から多くの参加、協力を得ることで実現した。このことは、行政課題の解決のために地域住民や市民団体が協力して取り組んだという点で大きな意義をもつ。また、地域内外から多くの参加者があったことは、竹蛇籠という新たな河川環境管理方法を広く認知してもらい、それぞれの地域にそのノウハウを持ち帰ってもらえたということであると評価する。実際に、高知県からの参加者が地元で同様の竹蛇籠設置活動を進めており⁹⁾、この活動は各地に広がり始めている。さらに、この活動は全国で販売されている雑誌にも掲載され¹⁰⁾、より広い範囲への活動の認知が期待できる。流域内に存在する自然の素材を使用していること、製作にかかるコストが低いことは、竹蛇籠が広く普及するために重要な要素であり、その点においても価値のある取り組みであると評価する。

(3) Gレンジャーが考える課題と竹蛇籠水制

本稿で報告した木津川における竹蛇籠制作活動は、竹蛇籠の製作には多くの労力がかかる一方、周辺の自然のものを利用することで壊れた際の河川環境への負担を少なくできる河川管理技法として非常に有用であると考え

る。また、新たな河川環境を創出することが十分にできると考えられ、Gレンジャーの考える木津川の課題を大きく解決に導くことができると評価できる。

また、本プロジェクトは竹蛇籠の製作から設置までのほとんどをGレンジャー主導のもと地域住民の協力で行なったという事例である。これは、河川レンジャーという制度が行政と地域住民、市民団体の橋渡しの役割をうまく担うことができた結果であり、地域住民と水辺をつなぐという大きな目標の一つ達成したことになる。これは同時に、行政がGレンジャーという組織を介して、大学生の育成および地域住民による地域の水辺管理の試みをコーディネートした事例となったことを意味する。

本プロジェクトにおいて、Gレンジャーは自ら立てた課題に対して竹蛇籠を製作し設置するという策を講じ、その結果、治水と河川環境という河川法における河川管理の目的を大きく達成することができた。その過程で、大学生が行政と地域住民をつなぐ存在として機能し、試行錯誤を行なう中で地域連携の重要性を再認識した。

謝辞: 本論文の執筆にあたり、京都大学工学研究科の狩野幹太氏には生物データの一部を、淀川管内河川レンジャーアドバイザーの山村武正氏には関連資料を提供していただき、学生メンバーの橋口峻也氏には内容や表現を丁寧にご指導いただいた。また、竹蛇籠の製作に際しては、静岡県川根町の原小組社長の原廣太郎氏と社員の皆様にご指導いただいた。竹蛇籠を水制に用いる方法や設置場所ならびに水生動物の調査方法や結果の解釈については、京都大学防災研究所の竹門准教授にご指導いただいた。また、竹蛇籠に詰める石は国土交通省淀川河川事務所に調達と運搬をしていただいた。さらに石を竹蛇籠に運び詰め込む際には田中組に重機を操縦していただいた。そして、当日は、NPO法人やましる里山の会、京の川の恵みを活かす会、淀川管内の河川レンジャー、同志社大学の学生、桂川流域ネットワーク他、様々な団体個人の皆様の参加協力によって、本活動を達成することができた。ここに記して、深く御礼申し上げる。

参考および引用文献

- 1) 神谷大介, 池田晴香, 赤松良久 (2013) 河川環境保全・再生のための地域活動に関する分析. 土木学会論文集B1, 4:I_1705-I_1710
- 2) 小林慧人, 山村武正 (2015) 木津川におけるグループ河川レンジャーの活動展開～大学生が取り組む地域連携～. 平成27年度近畿地方整備局研究発表会.
- 3) 小林草平, 竹門康弘 (2013) 木津川における底生動物生

施工・安全管理対策部門: No.09

- 息場としての瀬の形態の歴史の変遷. 京都大学防災研究所年報, 56: 681-689
- 4) 佐貫方城, 大石哲也, 三輪準二 (2010) 全国一級河川における河道樹林化と樹木管理の現状に関する考察. 河川技術論文集, 16: 241-246
- 5) 吉村真, 丸岡昇, 内藤正彦 (2010) 木津川の樹林化メカニズムに関する研究. リバーフロント研究所報告, 21: 49-56
- 6) 石崎正和 (1987) 蛇籠に関する歴史的考察. 第7回日本土木史研究発表論文集, 253-258
- 7) 安達 實, 後迫政道 (1998) 治山治水のための森林保護と竹蛇籠に関する研究. 土木史研究, 18: 217-226
- 8) 狩野幹太 (2016) 木津川における竹蛇籠水制の生息場形成効果. 平成27年度京都大学防災研究所卒業論文
- 9) 高知新聞「土佐清水市の下ノ加江川にも竹蛇籠で魚道設置」 2016年2月21日 (最終閲覧日: 2016年5月31日)
<<https://www.kochinews.co.jp/article/4069/>>
- 10) 北野大輔, 小林慧人, 山村武正 (2016) 木津川 竹蛇籠製作プロジェクト—市民で増やす木津川の生き物—. ボテジャコ, 20: 13-16

由良川緊急治水事業における掘削・築堤工事の総合的なマネジメントについて

堀田 直之¹・北川 眞一¹

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所工務第一課（〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14）

平成25年台風第18号により由良川では、福知山基準点水位が観測史上最高水位となる8.30mを記録し、直轄区間沿川で浸水家屋約1,600戸、浸水面積約2,500haとなる甚大な被害が発生した。このため、由良川緊急治水事業として、特に中流部では、河道掘削及び築堤をおおむね10年間実施することとしている。今後予定されている築堤計画や河道掘削等の緊急治水対策事業の実施にあたり、大きな課題となる工程管理及び工事発生材の有効利用方法等の総合的なマネジメントについて報告する。

キーワード コスト縮減，リサイクル，ゼロエミッション

1. はじめに

(1) 由良川の概要

由良川はその源を京都、滋賀、福井の府県境三国岳に発し、京都府南丹市美山町の山間部を西流しながら綾部市を経て、福知山市内において土師川を合わせて流れを北に転じ、宮津市及び舞鶴市を左右岸に望みながら日本海に注ぐ流域面積1,880km²、幹線流路延長約146kmの一級河川である。

(2) 緊急治水事業の概要

由良川では、過去より大きな洪水被害に度々見舞われているが、近年では2004年(平成16年)台風第23号と2013年(平成25年)台風第18号による大きな洪水被害が発生している(図-1)。これら浸水した区間を対象に緊急治水事業として築堤・宅地嵩上げ・河道掘削を実施中であり、無堤区間が多く残る中流部(図-2)で、これから本格化されることである。

本研究では、掘削土を築堤材にリサイクルし、残土処分費、築堤材料費のコストを出来る限り縮減するゼロエミッションを目指しながら事業を効率的に実施する方策を明らかにすることを目的としている。

2. 築堤及び河道掘削事業の進め方

(1) 中流部で予定している事業

今後、中流部の無堤区間に必要な築堤(図-3)は延長約



図-1. 2013年(平成25年)洪水時の被害状況(私市地区)



図-2. 位置図

6,840mで土砂量は約51万m³(表-1)、一方、河道掘削(図-3)で発生する土砂量は約58万m³と見込んでいる(表-1)。

また、過去に行った地質調査から、中流部の掘削土は粘性土が約45%、砂質土が約26%、礫質土が約29%で構成されていることがわかっている。表-1で示すように、築堤材を全て賄える掘削土量が発生するが、中流部では粘性土が多く、混合する際に砂質系の土砂が不足すると思われる。なお、築堤は上流側から、河道掘削は下流側から行う計画としており、発生する掘削土は築堤材に適した土質に混合して有効利用する。



図-3. 河道掘削及び築堤位置

表-1. 河道掘削及び築堤土量

距離標(km)	左岸		右岸			
	地区名	築堤量(万m ³)	掘削量(万m ³)	地区名	築堤量(万m ³)	掘削量(万m ³)
37.2						
37.4						
37.6						
37.8						
38.0						
38.2						
38.4						
38.6						
38.8						
39.0						
39.2						
39.4						
39.6						
39.8	前田	20.0	2.2			
40.0						
40.2						
40.4						
40.6						
40.8						
41.0						
41.2						
41.4						
41.6	戸田	11.5	16.6	川北	18.2	16.2
41.8						
42.0						
42.2						
42.4						
42.6						
42.8						
43.0						
43.2						
43.4	興・観音寺	-	7.8	私市	0.9	9.0
43.6						
43.8						
44.0						
44.2						
計		31.5	26.6		19.1	31.4
		掘削(万m ³)	58.0			
		築堤(万m ³)	50.6			

(2) 近傍の機関との調整

近傍では、他機関の道路拡幅工事で約16万m³の土砂、京都府による河川改修事業で約5万m³の土砂がそれぞれ発生する。また、大規模な圃場整備により約20万m³の土砂を必要としており、近傍では様々な事業により、土砂の需要と供給が発生している状況である。

築堤材として不足している粒径の土砂は他機関が粒径の調整を行った物を受け入れることとする。

3. 掘削土を有効利用する上の課題

掘削土を有効利用する上での課題を以下に述べる

(1) 土砂仮置きヤードの確保及び管理

河道掘削、土砂仮置き、土砂混合、築堤の工程調整を可能にするためには土砂仮置きヤードを確保する必要がある。しかし、保有している土地は、事業に必要な用地しかなく、一定のまとまった土砂仮置きヤードが新たに必要になり、地権者の同意や地区の加えて土砂仮置きヤードの適切な位置や使用方法の検討、また、一時仮置きをする際にこの地域が無堤区間であることから由良川の氾濫時についても土砂が流出しないようにする対策の検討が必要である。

(2) 事業を進めていく中で必要となる調整

効率よく、必要最小限の借地を行い、土砂仮置きヤードを確保するために、どのくらいの借地面積が必要かを検討する必要があるが、土地利用、地域特性を踏まえ、一定のまとまったヤードを確保するには、限度がある。

このため、河道掘削、仮置き、混合、築堤の事業サイクルと、実際に借地出来る仮置きヤードとのバランスを考え、事業スケジュールを検討する必要がある。

また、河道掘削は下流側から実施、築堤は上流側から実施することを基本として事業スケジュール管理を行うが、発生する土砂の性状、或いは、用地買収行程、その他事業者間の調整、地域からの要請、さらには、河川利用、管理、環境の観点からも、事業を進めて行く上での各種調整がその都度多岐に渡り発生することは想像に難くない(図-4)。

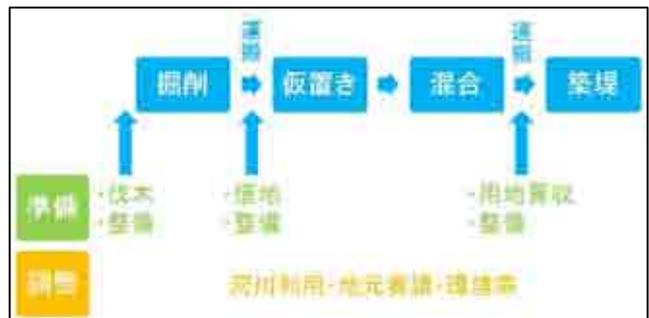


図-4. 事業行程及び調整事項

(3) 掘削土の質の改良及び品質確保

河道掘削で発生した土砂は、築堤に適した性状に混合して利用することを想定しているが、先に述べたとおり、掘削土の性状は、分布により性質にバラツキがあり、全量では築堤土量を満足しているものの、混合する際に余剰ないしは不足が予想される。

また、混合した土砂は、直ちに築堤に利用出来なければ、適正に保管する必要があり、ヤードと性状の維持が課題となる。

(4) 河道掘削予定地の樹木伐採

河道掘削を予定している箇所は、立竹木が群生している(図-5)ため、掘削前には、これらの伐採が必要となるが、土砂同様、有効利用を検討する必要がある。



図-5. 群生樹木(猪崎地区)

に掘削工事名、土質試験結果を記載した看板を設置する等の工夫を行う。加えて、搬入土を利用した大型土嚢で土砂仮置きヤードを囲むことにより出水時の土砂流失対策を行う(図-7)。



図-6. 土砂仮置き有効面積

4. 掘削土砂の有効利用検討

前章で抽出した課題を踏まえて掘削・築堤を行う上での総合的なマネジメントとして、以下の(1)から(4)について、検討を行った。

(1) 土砂仮置きヤードの確保・計画・管理

土砂仮置きヤードの借地は、中流部中心の極力非耕作地でまとまったエリアであり、由良川氾濫時の土砂流失リスクの少ないことを条件として検討した。その結果、川北橋の左岸地区で最大約14haの土地を選定した。土砂仮置きヤード内ではその土地の表土や混合機、通路等の必要面積を除くと、実際に土砂仮置きヤードとして使用できる有効面積は約8haであり、仮に約4m盛土を行うとすると、約24万m³の土砂を仮置きすることができる。

土砂仮置きヤード内では、土砂を発生場所や粒度ごとに小分けにしてブロック配置することにより、土砂を搬出しやすいよう計画した。また、搬出土や混合土の選定を行いやすくするために小分けにして配置した盛土の上



図-7. 土砂仮置きヤードの配置図

(2) 土砂仮置きヤードを最大限活かした事業間調整

土砂仮置きヤードには土砂を最大約24万m³仮置きすることができることがわかったが、発生する掘削土約58万m³を置くことは不可能であるため、河道掘削及び築堤の時期・規模を調整することにより土砂が常に仮置き最大量を超過しないようにする必要がある。また、掘削土の性状では、砂質・礫質系の土砂が不足する見込みであるため、砂質・礫質系が見込まれる他機関の道路拡幅工事の発生土を受け入れ、混合する際に粒度調整することで検討した。受入量は、最大で約16万m³を予定している。また、最終的に余剰となる土砂や築堤に適さない粒径の土砂などは、圃場整備事業等への搬出することを検討した。

土砂仮置きヤード内の土砂量収支を調整するために、土砂量シミュレーションを行った。6月から10月末まで

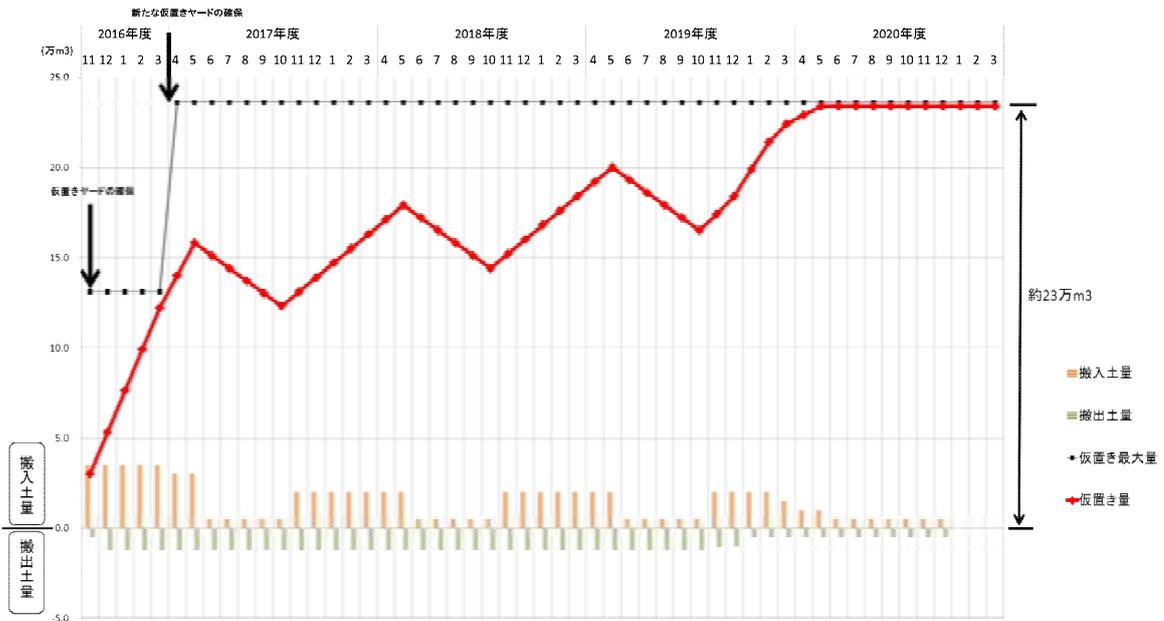


図-8. 土砂仮置きヤードでの土砂量シミュレーション

の期間は降雨が多い時期となっているので、作業効率の低下を予想し、それ以外の時期に比べて掘削量を少なくしている。トータル搬入量と搬出量の差は最終的な仮置き量約23万m³であり、仮置き最大量を下回っていることがわかる。先行して河道掘削を行い続けると仮置き最大量を超過する。シミュレーションでは、毎月の築堤を平滑して行うことにより、仮置き最大量の超過を防ぐことができたが、最終的に土が余剰している。土砂仮置きヤードは地権者に返還する必要がある、この残土は借地を行っている間に有効利用する必要がある。有効利用の方法としては、今後、予定している河川防災ステーション及び下流域での築堤の盛土材や、圍場整備の基盤材としての活用などが挙げられる。河道掘削を行った時点で他の土砂と混合を行っても明らかに使用できないと判断できる土についても、築堤以外の用途に使用できないか検討していく必要がある。

(3) 築堤材に適した粒径の土砂確保

現在の河道掘削計画では、下流側からの掘削を予定しているが、下流側の土砂の粒径に偏りがでている場合や、築堤材に適した土砂が掘削されない場合は、築堤を進めることができなくなり、中流側や上流側から異なった粒径の土砂を掘削する等の河道掘削計画に変更する等の計画変更を行う必要がある。河道掘削事業も今後、事業を進めていく上で土砂の確保が困難であると判断できた場合、早急に計画を見直し、他機関との調整を図る。

(4) 土砂混合の際の品質確保

河道掘削土砂は土質試験により掘削土層の粒度分布を確認し、土質ごとに分けて土砂仮置きヤードに配置する。

現場に搬入する際には工事業者が土の配合計画を定め、試験施工を行ってから使用する。各掘削地区からの発生土を築堤材料に転用する場合には、「河川土工マニュアル」に規定された要求品質を確保することとする。「本土工マニュアル」によれば、築堤材料として望ましい土は図-9のとおりとなっている。

- 条件1：粒度分布のよい土
(理由：様々な粒質が含まれていると粒子のかみあわせが良くなり強度を発揮できるため)
- 条件2：使用する材料の最大粒径：100mm～150mm 以下
(理由：大きな礫が混入していると、締め固めの効果が十分に発揮できない)
- 条件3：使用する材料の細粒分含有率：Fc=15～50%
(理由：不透水性を確保し、漏水を防ぐ)
- 条件4：シルト分のあまり多くない土
(理由：含水比の増加によるのり面崩壊を防ぐ)
- 条件5：細粒分のあまり多くない土
(理由：細粒分が多すぎるとクラックの入る危険性があるため)

図-9. 築堤材料に適する土

このため、発生土を築堤材料に使用する際には、粒径が150mmを超える巨礫等については除去し、細粒分含有率が15～50%の範囲内に入るように粒度調整を実施する

必要がある。土砂配合比については築堤業者が仮置きヤードの土砂を把握し、配合比を決定する。さらに、河川土工マニュアルによれば、堤体材料の適正範囲参考例として図-10の範囲が示されており、斜線部についてはクラックの危険のある範囲（≒Bの半透水性部材料の上限値）となっている。また、堤防の浸透に対する安全性の観点から、堤体の土質材料は「できるだけ不透水であること」と記載されている。したがって、築堤材料の粒度分布は、Bの半透水性部材料の上限値～Aの不透水性部材料の下限値の範囲（望ましい値：図-10 黄色ハッチング部）を目標に配合計画を行う。また、混合土の仮置きは、降雨等により品質低下となり、品質確保が困難となる場合があるので、作成した混合土は、仮置きせず、即日築堤工事に運搬することを基本とする。

知山河川国道事務所付近では、チップ化やバイオマス事業での燃料化を検討している企業も存在しているので、市を通して、今後、調整を図る必要がある。



図-11. 過去に市民に配布を行った伐木

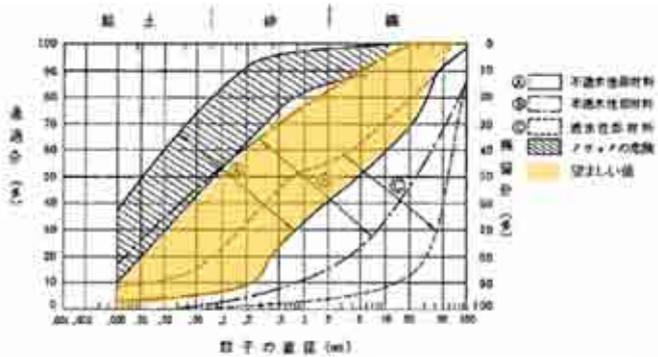


図-10. 堤体材料の適正範囲参考例（アメリカ開拓局 1974 に加筆）

(5) 伐木の仮置き場及び有効利用方法

樹木伐採の際に発生する伐木は、一時的に仮置きをする必要があるため、仮置きヤードを確保する必要がある。幹が10cm以上の伐木については無料引き取りを行っているリサイクルセンターの利用、幹が10cm以下の伐木については市民への無料配布を検討する。

市民への伐木無料配布等を行う上で必要となる一時仮置場は現在、福知山市と調整を図っている。

また、樹木伐採範囲には竹も多く植生しているが、福

5. まとめ

4章で検討を行った総合的なマネジメントを実施することにより、掘削土を築堤材へ有効利用する事業は、由良川においても十分に可能であることがわかった。

しかし、河道掘削で発生する土砂の性状の調査・分析が不十分であり、本研究では、量の検討は満足しているが、質を見た更なる検討が必要である。

また、伐木に関する一時仮置きヤードの選定を早急に行う必要があり、事業を進める上で、余剰土の使用先の選定と調整も必要になってくる。

一連の掘削・築堤・その他のリサイクルも含め、本事業がモデルとなり、他の同様事例の参考となるよう、今後、事業を行っていく上で、更に精度をあげ調査を進め管理マネジメントしていくと共に今後、新たな課題が発生すると思われるが、日頃から他機関や外部との調整を図り、円滑な事業展開となるよう努めて参りたい。

参考文献

1)河川土工マニュアル 平成21年4月

崩壊地堆積土砂上における砂防堰堤の沈下について

松永 正明¹

¹近畿地方整備局 紀伊山地砂防事務所 工務課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

2011年に発生した台風12号の影響で奈良県野迫川村の北股地区では大規模な斜面崩壊が発生、堆積土砂による下流家屋への二次災害を防止するため崩壊地の堆積土砂上に砂防堰堤などの恒久的対策が急がれた。ここでは、崩壊地の堆積土砂上に地盤変形を許容した砂防堰堤を構築するにあたって、想定した変形と実際の変形を観測した結果を元に今後の設計・施工などで考慮すべき事項について考察した。

キーワード 砂防堰堤、堆積土砂、安定計算、沈下量、INSEM工法

1. 災害発生～堰堤構築に至るまでの経緯

当該地は奈良県吉野郡野迫川村北股地内にあり、急峻な紀伊山地の北西部に相当し、標高1,000m級の稜線などに囲まれており、新宮川水系熊野川（十津川）支川北股川の左支川溪流に位置し、流域面積0.57km²、平均河床勾配1/3の土石流危険溪流に指定されている溪流である。

その溪流において2011年9月4日に右岸斜面が幅約200m、斜面長約400mの大規模崩壊が発生し、約120万m³の土砂が直下の河道内を流下し、下流人家11棟を巻き込み本川である北股川まで達した。幸いにも住民は避難しており人的被害はなかったが、溪流に高さ25mの天然ダム及び崩壊斜面頭部に大規模な滑落崖が形成され、天然ダムの決壊のみならず再度の崩壊拡大が懸念されるとともに、河道閉塞によって約130万m³の土砂が堆積しており、流出すると周辺住民への影響が長期化する懸念があり、恒久的な対策が急がれた。

2012年度河道閉塞対策検討委員会において恒久的な対策方針が策定され、崩壊地及び崩壊土砂の堆積域からの土砂流出を抑制することなどから、崩壊地直下流の溪流付近に砂防堰堤（以下、「基幹堰堤」とよぶ）1基と、堆積する崩壊土砂の二次移動を抑制することから家屋直上溪流出口付近に砂防堰堤（以下、「下流堰堤」とよぶ）1基の計2基の砂防堰堤などを構築することとなった。

北股地区の砂防堰堤に求められる機能及び、崩壊地から家屋までの距離が400mと近い現場条件から、崩壊土砂が堆積する河道及び河道閉塞部下流端に砂防堰堤を設置することとした。そのため砂防堰堤2基は、厚く堆積した緩い地盤で支持力の確保及び、堆積土砂の沈下に対応する機能が求められた。

また、当該地区は狭小な山間地に位置するため計画地



写真-1 崩壊発生後の流域図

周辺に十分な建設発生土処理場を確保することが難しい現場であり、施工時に発生する掘削土砂の処分（有効利用）も含めて検討する必要があった。

2. 下流堰堤の施設設計について

設計にあたり、現地条件を十分に踏まえるため、当該地の与条件整理を行ったうえで、進入路が比較的容易な下流堰堤から設計に着手することとした。

(1) 特徴的な与条件の整理

a) 未固結堆積物を踏まえた構造検討

下流堰堤候補地のボーリング調査の結果、ルーズで不均質な砂礫層である未固結堆積物が、新規土石流堆積物で6.5m程度、旧土石流堆積物で7.0m程度の計13.5mの位



図-1 北股地区施設配置方針

置まで連続し、基幹堰堤位置では、新規土石流堆積物及び崩積土（砂質土）で15m程度、旧土石流堆積物で4.0m程度の計19mと下流堰堤よりも5.5m深い位置までN値20未満の層が連続した

そのため、設計にあたっては、基礎地盤の条件が大きく影響することから、堰堤構造と基礎処理工法の組み合わせで構造検討を行った。

b) 崩積土の有効活用

深層崩壊及び河道閉塞の膨大な土砂量に対して全て処分できる場所を確保できないため、堰堤の堤体に有効活用できる構造形式の検討を行った。

(2) 砂防堰堤の構造形式及び基礎処理について

以上の前項(1)の与条件を踏まえて、砂防堰堤の構造形式は、基礎地盤条件が経済性及び施工性などに大きく影響することから、堰堤構造と基礎処理工法の組み合わせの1次選定で抽出した工法を対象として、2次選定で構造比較検討を行った結果(表-1)、沈下に対する追従性及び、完成後の浸透流に対する安全性及び経済性に優れている『INSEM-ダブルウォール+二重鋼矢板基礎』

表-1 構造比較検討結果

	【第1案】 コンクリート砂防堰堤 +基礎工	【第2案】 鋼製ソイルセメント +二重鋼矢板基礎	【第3案】 鋼製ソイルセメント +セル基礎	【第4案】 鋼製ソイルセメント +GM基礎
概略図				
経済性	○ 概して安価	○ 概して安価	○ 概して最も高価	△ 1案、2案と比べて高価
施工性	○ 突進もあり施工性が高い	○ 特別な技能を要しない	○ 特別な技能を要しない	○ 特別な技能を要しない
留意点	△ 浸透流の未みもの可能性有	○ 不平等沈下に対応動荷重が必要	○ 不平等沈下に対応動荷重が必要	○ 支持力、沈下に問題ない
評価	△	○	×	△

の組み合わせで決定した。

(3) 下流堰堤の施設設計について

施設設計のための安定計算条件は、ボーリング調査結果及び設計便覧などに基づいて設定した。

設計対象流量など主な設計条件の考え方は、下記のとおり。

- 設計対象流量：基幹堰堤上流の河道閉塞部の河床勾配が2°程度と緩くなっていること等から、洪水時（静水圧）を対象とした。
- 砂防堰堤の形式：河道堆積土砂を扞止することから、砂防堰堤2基ともに不透過型砂防堰堤とした。
- 砂防堰堤位置：下流堰堤は、北股集落や過去の土石流発生沢より下流で溪流出口付近とし、基幹堰堤は河道堆積土砂を扞止できる位置とした。
- 砂防堰堤高：「設計便覧(案)」より、砂礫地盤とする場合（フローティング堰堤）、15m未満に抑えることから、堰堤高さ14.5mとした。
- 鋼製堰堤の中詰め材：計画規模以上の流量で外部材が破損した場合、中詰め材が流出しないように砂防ソイルセメントを用いることとした。

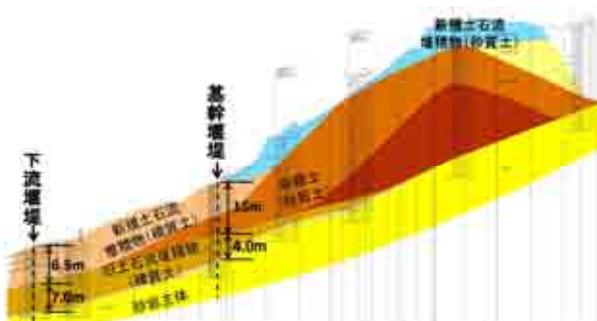


図-2 下流堰堤及び基幹堰堤位置の地質縦断面

<参 考>

二重鋼矢板を採用する上で、安定計算及び構造計算の基本となる考え方を参考に記述する。
基礎地盤の支持力は、主に以下の2点の考え方を満足する必要がある。

- 上部堤体荷重による基礎地盤のせん断破壊抵抗力(基礎地盤のすべり破壊)を懸念されるが、基礎部に鋼矢板を二重に設置することで基礎地盤を拘束し、せん断によるすべり破壊を生じさせない。(図-A)

【図-A 二重鋼矢板基礎によるすべり破壊の防止(概念図)】

- また、二重鋼矢板基礎工を設置して地盤を拘束すれば、地盤のせん断破壊は防止でき、側方移動は考慮しなくてもよいため、沈下は基礎地盤の圧縮性に基づくもののみを考慮する。

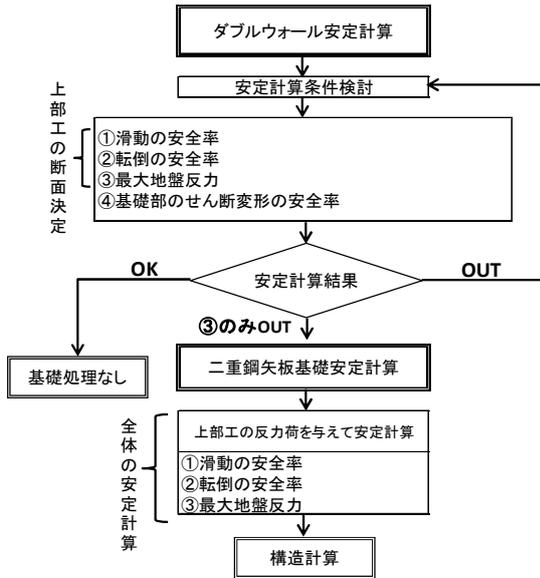


図-3 安定計算フロー

a) 砂防施設及び基礎部の安定計算

以上のことを踏まえて、安定計算は、図-3に示すとおりINSEMダブルウォール本堤及び基礎のせん断変形の安定計算を行い、最大地盤反力（支持力）以外（＝滑動と転倒）の条件でダブルウォール本堤の断面を決定し、本堤の反力荷重を下部に作用させ安定計算を行い全体構造（本堤＋基礎）として安定条件を満足するか確認した。その結果、表-2のとおり天端幅をB=13.9mにおいて、3つの条件を満足した。

基礎部の安定計算は、上部工からの反力荷重を受けるものとして安定計算を行い、表-3のとおり基礎（矢板）の必要長さL=7.0mとなった。

また、部材の構造計算は、矢板の最大曲げ応力度が許容応力度内か、タイ材の引っ張り応力度が許容応力度内

表-2 安定計算結果一覧

天端幅 (m)	計算位置	滑動に対する安全率 Fs ≥ 1.2	転倒に対する安全率 Fo ≥ 1.2	支持力に対する安全率 Ff ≥ 1.2	中詰めせん断変形の安全率 Fsr ≥ 1.2	判定
13.8	非越流部	1.54 ≥ 1.2 OK	2.00 ≥ 1.2 OK	1.16 < 1.2 NG	1.199 < 1.2 NG	中詰めせん断変形がNGのため不採用とする。
13.9	越流部	1.50 ≥ 1.2 OK	1.89 ≥ 1.2 OK	1.22 ≥ 1.2 OK	1.98 ≥ 1.2 OK	越流部および非越流部ともすべてOKとなるため採用する。
	非越流部	1.56 ≥ 1.2 OK	2.02 ≥ 1.2 OK	1.21 ≥ 1.2 OK	1.22 ≥ 1.2 OK	

表-3 中詰めせん断変形の各層の安全率一覧

調査位置	非越流部		評価
	せん断変形	支持力	
4.50	1.96	0.81	NG
5.00	1.74	0.88	NG
5.50	1.51	0.95	NG
6.00	1.27	1.03	NG
6.50	1.22	1.12	NG
7.00	1.22	1.21	OK

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \cdot H \dots\dots\dots (解5-3)$$

ここに、

- S_c: 一次圧密沈下量 (m)
- e₀: 圧密層の盛土前の鉛直応力 p₀ での初期間隙比
- e₁: 圧密層の盛土荷重による圧密後の間隙比で、e-log p 曲線に圧密層中央深度の盛土後の鉛直応力 p₀ + Δp に対応する間隙比
- H: 圧密層の層厚 (m)

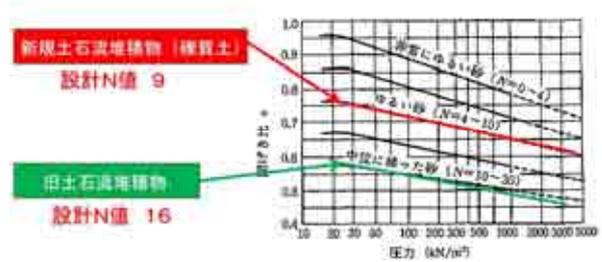


図-4 砂の圧力-間隙比曲線

か、タイ材連結材のせん断力が許容応力度内か、を構造照査した。

以上の手順で、下流堰堤本体及び基礎工の形状などを決定した後、堆積土砂に対する沈下量（スライド量）の検討を行った。

b) 想定沈下量及びスライド量の検討

沈下量の推定は、室内土質試験から、中粒以下が新規土石流堆積物で31%、旧土石流堆積物で41%程度であったため、砂質土相当とみなして図-4のとおり「道路土工軟弱地盤対策工指針」の砂の圧力-間隙比曲線から求めた。

各断面で沈下量を算定した結果、本堤の沈下量は表-4のとおり最大で30cm程度と想定されたことから、土質の不均一性を考慮して、スライド部の長さは0.5mと設定した。

(4) 動態観測による実績沈下量

堰堤が完成時（2014年3月）及び1年経過後（2015年2月）に堰冠材天端及び水通しの目地材で縁切りしているブロックごとに上下流で計8か所計測した。計測地点及び観測結果は下記の図-5及び表-5のとおり。

これにより、最大沈下量は、左岸側の袖部で0.014m（1.4cm）程度であった。竣工後から1年程度経過時の沈

表-4 各断面の沈下量一覧

	右岸袖部	水通し部	左岸袖部
新規土石流堆積物層での沈下量 (cm)	20.11	15.09	17.60
旧土石流堆積物層での沈下量 (cm)	9.09	9.09	9.09
総沈下量 (cm)	29.20	24.20	26.69
	≒ 30cm	≒ 25cm	≒ 30cm

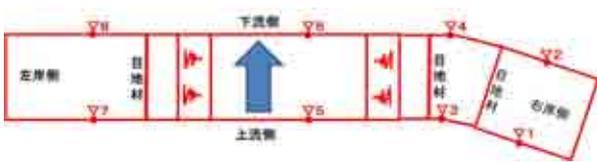


図-5 下流堰堤本堤の沈下量計測地点

表-5 沈下量観測結果

計測位置	計測高 ①	竣工時 2014/3 ②	1年程度経過時 2015/2/25 ③	竣工時 沈下量 (m) ④=①-②	1年程度経過時 沈下量 (m) ⑤=①-③	竣工時~1年程度経過 時沈下量 (m) ⑥=⑤-④
V1 堤冠材天端	782.400	782.396	782.393	0.004	0.007	0.003
V2 堤冠材天端	782.400	782.400	782.399	0.000	0.001	0.001
V3 堤冠材天端	781.900	781.904	781.904	-0.004	-0.004	0.000
V4 堤冠材天端	781.900	781.891	781.893	0.009	0.007	-0.002
V5 水通しセンターCo天端	778.900	778.911	778.913	-0.011	-0.013	-0.002
V6 水通しセンターCo天端	778.900	778.912	778.911	-0.012	-0.011	0.001
V7 堤冠材天端	781.400	781.388	781.386	0.012	0.014	0.002
V8 堤冠材天端	781.400	781.390	781.387	0.010	0.013	0.003

下量がほぼ0であることより概ね即時沈下は収束しているものと考えられた。

(5) 想定沈下量と実績沈下量の考察

想定沈下量（最大値）29.2cmに対して、実績沈下量は1.4cmであり、想定と実績の差が27.8cmあった。

主な要因を特定し検証するため、当初設計と実施工を比較したところ、以下の2点が異なった。

a) 基礎地盤の流出対策防止などに対するセメント改良

下流堰堤は被災直後より堰堤建設に着手する必要があったが、深層崩壊地内及び河道の堆積土砂はルーズな状態にあり、写真-2のように降雨により浸食が卓越しており、砂防堰堤基礎地盤の流出が懸念された。

このため、砂防堰堤の緩い基礎地盤である新規土石流堆積物を対象として、土砂流出防止を目的としてバックホウ混合が可能な深さ2.0m範囲及び堰堤本体底部までの間1.8mの計3.8mを地盤改良した。

b) 既設治山堰堤の存在

下流堰堤の基礎掘削時に、高さ4.6mの既設治山堰堤が存在することが判明した。

以上2点の含まれる層が、地盤沈下の可能性が低いと仮定すると、沈下量が見込まれる層は、下記の図-6のとおり旧土石流堆積物（砂礫土）層の残り2.7mが沈下の



写真-2 仮堰堤位置での浸食状況

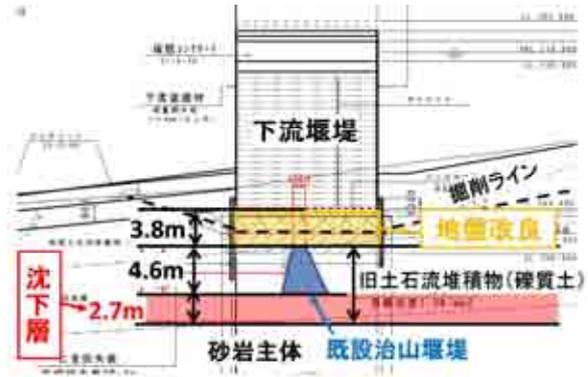


図-6 地盤改良及び既設治山堰堤を含む縦断面図

表-6 地盤改良及び既設治山堰堤を考慮した想定沈下量

地質	設計N値	堆積層厚 h(m)	全高 H(m)	圧力 (kN/m ²) と間隙比				圧縮変形量 Sc(m)	備考
				地盤改良後		塞堤後			
				P0	e0	P1	e0		
地盤改良	—	3.80	17.50					0.00	沈下なし
既設治山堰堤	—	4.60						0.00	沈下なし
旧土石流堆積物 (砂礫土)	16	2.70		201	0.54	534	0.53	0.02	中位に締まった砂
合計								0.02	

対象と考えられた。

以上の仮定を考慮して、沈下量を再度計算結果、想定沈下量は表-6のとおり2cm程度となり、ほぼ実績の沈下量の1.4cmに近い値となった。

これらのことから、下流堰堤が沈下しなかった主な要因は、地盤改良と既設治山堰堤の影響が大きいと考えられた。

3. 基幹堰堤の施設設計について

(1) 基幹堰堤の施設設計について

下流堰堤と同様の手順で当該箇所の地質条件を踏まえて、施設設計を行った。

a) 砂防施設及び基礎部の安定計算

INSEMダブルウォール本堤の安定計算は、天端幅をB=14.4mにおいて、3つの条件（滑動、転倒、地盤支持力）を満足した。

また、基礎工の安定計算は上部工からの反力荷重を受けるものとして安定計算を行った。その結果、安定計算上において基礎（矢板）の必要長さはL=9.5mとなり、

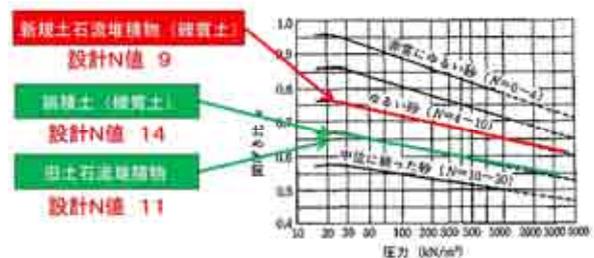


図-7 砂の圧力-間隙比曲線

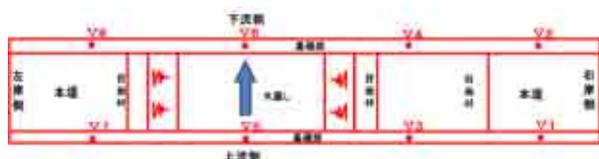


図-8 基幹堰堤基礎部の沈下量計測地点

表-7 沈下量観測結果

計測位置	計測高 ①	基礎部完成時 2015/11月 ②	半年程度経過時 2016/3月 ③	完成時～半年程度 経過時沈下量(m) ④=③-②
▽1 基礎部 天端(右岸上流(右))	785.700	785.720	785.720	0.000
▽2 基礎部 天端(右岸下流(右))	785.700	785.714	785.712	-0.002
▽3 基礎部 天端(右岸上流(左))	785.700	785.720	785.720	0.000
▽4 基礎部 天端(右岸下流(左))	785.700	785.712	785.712	0.000
▽5 基礎部 水通しセンター(上流)	785.700	785.720	785.720	0.000
▽6 基礎部 水通しセンター(下流)	785.700	785.715	785.712	-0.003
▽7 基礎部 天端(右岸上流)	785.700	785.716	785.715	-0.001
▽8 基礎部 天端(右岸下流)	785.700	785.725	785.725	0.000

下流堰堤基礎の必要長さと比較して2.5m長かった。部材の構造計算(矢板、タイ材、タイ材連結材)についても下流堰堤と同様に構造照査を行った。

b) 想定沈下量及びスライド量の検討

沈下量の推定は、室内土質試験から、中粒以下が新規土石流堆積物で44%、崩積土で34%、旧土石流堆積物で26%程度であったため、砂質土相当とみなして図-7のとおり「道路土工軟弱地盤対策工指針」の砂の圧力-間隙比曲線から求めた。

各断面で沈下量を算定した結果、本堤の沈下量は最大で60cm程度と想定されたことから、土質の不均一性を考慮して、スライド部の長さは1.0mと設定した。

(2) 動態観測による実績沈下量

動態観測による沈下量は、基礎部が完成した時点(2015年11月)と現発注工事完了時点(2016年3月)である堰堤高さ1.0m程度が立ち上がった時点の2回実施した。

観測箇所は、堰堤本体の目地材で縁切りしているブロックごとに基礎部の上流側及び下流側計8箇所を実施し、計測地点及び観測結果は下記の図-8及び表-7のとおり。以上、表-7のとおり、現在は基礎部+堰堤1m程度を立ち上げた時点であるため、現時点において沈下はほぼ認められない。

(3) 想定沈下量と実績沈下量の考察

基幹堰堤は、下流堰堤と現場条件(地盤改良や既設治山堰堤の存在)の違いを踏まえて、引き続き施工中及び完了後の定点観測(場合によっては臨時観測)が重要と考える。

4. 今後の施設設計・施工で考慮すべきこと

砂防堰堤2基の設計・施工の実績を踏まえて、同様の現場条件でINSEMダブルウォールを採用する場合に、以下の点を考慮して設計・施工を実施していく必要がある。

- 当該地砂防堰堤の基礎地盤は、地質が砂・礫が主体であり即時沈下で収まる程度であったが、残留沈下が残る(圧密沈下が起こり得る)粘性土などの地盤に対しては、スライド部の長さを十分に検討する。
- 今回は、緊急対策工事ということもあり、想定(設計)沈下量の推定式は、砂質土相当とみなして「道路土工軟弱地盤対策工指針」の"砂の圧力-間隙比曲線"を用いて一般式から算出したが、多様な地質などに適応する場合は、ボーリング調査本数を増やすことや平板載荷試験など原位置試験を踏まえたFEM解析などを用いることも検討する。
- 不等沈下による内部材(INSEM材)のひび割れやタイ材への過度な変形を防止するため、今回砂防堰堤本体の荷重不連続地点(越流部・非越流部の境界など)に誘発目地を設けたが、今後は観測結果を踏まえて目地の間隔、構造及び必要性を十分検討する。
- 施工中の観測施工を想定したモニタリング方法(沈下盤設置など)、それら挙動に応じた施工休止及び再開の判断基準及び、挙動を超過した場合の対処方法などを検討する。

以上、当該地では現場条件の違いから基礎地盤条件の異なる砂防堰堤を2基構施工しており、各々で砂防堰堤本体及び基礎部の挙動が異なることが想定されるため、今後も引き続き継続して2基の砂防堰堤の動態観測していく。

河川内に於ける橋脚補強工事の施工例

狭川 鉄男¹・畑上 仁司²

¹中林建設株式会社 土木部 工事課 (〒556-0014大阪府大阪市浪速区大国2-1-19)

²中林建設株式会社 土木部 工事課 (〒556-0014大阪府大阪市浪速区大国2-1-19)

本工事は、近い将来懸念されている東南海地震に備えて、和歌山県、三重県の県境に位置する熊野川にかかる新熊野大橋の橋脚耐震補強を行い、予防的な修繕及び補修を行うことにより橋梁の長寿命化を図り、主要道路である一般国道42号の安全性・信頼性を確保する事により道路ネットワークをより強固なものとする目的で施工を行ったものである。

キーワード 河川内、組立台船、鋼矢板打設工・水替え工

1. はじめに

本工事の施工箇所は、和歌山県と三重県の県境に流れる熊野川に於いて和歌山県新宮市及び三重県南牟婁郡紀宝町間を結ぶ新熊野大橋のP4橋脚柱部の耐震補強工事である。



図-1 位置図



図-2 位置図 (詳細図)



写真-1 新熊野大橋P4橋脚

2. 当該河川の特徴

熊野川は大峰山脈の有報である山上ヶ岳・稲村ヶ岳・大普賢岳の間に発して西流し、五條市大塔町坂本で南流に転じ、宮井で大台ヶ原を水源とする北山川と合流し、南流して熊野灘にそそぐ一級河川である。

熊野川の流域は、奈良・和歌山・三重県の3県にまたがり、流域面積は2,360km²にも及び近畿地方の河川の中では、淀川、九頭竜川に次いで3番目の大きさである。

南海気候区に属する流域は黒潮の影響を受けた温暖とあいまって上流域で年間4,000mm、下流域でも3,000mmを超える日本有数の多雨地域である。よって流域に日本有数の多雨地帯を抱え、流域全体として、両岸に産地が迫り平野部がほとんどなく、河川縦断勾配が非常に急である。

よって流速が早く、水量も多い為に土砂が運ばれやすい条件が整っているため、河口付近には土砂の堆積が必然となる。また河口に於いては地形的に沿岸流や波の影響を受けやすい地形となっている。(図-3参照)

上記理由により、河口部には砂洲が発達しており、平常時に砂洲によって河口が閉塞され、大水時に流出する事を繰り返している。



図-3 熊野川砂洲平面図

ちなみに熊野川は北山川も合流しており、上流部には多数のダムが存在し、特に降雨時には事前にダムの放流がある。特に二津野ダム(熊野川)・小森ダム(北山川)の同時放流時には急激な河川水位の上昇があり、ダム放流に関する情報入手が必要であり、放流時間は夜間を問わず行うので、情報入手方法の確立が必然である。



図-4 熊野川ダム位置図

3. 当該河川施工に伴う制約

上記記述である通り、当該河川内での施工を行うにあたり河口付近に砂洲が形成されるので閉塞水域での施工となる。当該箇所施工対象物は河川内に位置し、施工を行うには仮栈橋の設置による施工、もしくは台船による施工との選択になるが、渇水期(11月1日~3月31日[工期末])内での施工という時間工期制約に基づき考えると栈橋設置・撤去期間に要する時間を考慮すると台船案での施工が選択肢となる。

閉塞水域での台船搬入に関しては、通常は外洋から台船を曳航するが、今回は外洋からの航路が砂洲により絶たれているので、組立台船により陸上輸送及び河川内にて組立を行い、曳航船も陸上輸送して施工箇所への曳航を行った。

4. 台船の選定

台船に関しては、今回組立スパット台船と組立資材台船を用意する事とし、まずスパット台船には60tクローラークレーンを搭載する事とした。既設橋梁直下での作業となる為、クローラークレーンが橋桁に接触しないようにブーム長及びブーム上昇角度を設定し、クローラークレーンがブームを倒した際に台船内に収まる寸法設定(30m×12m)とした。資材台船は主要資材として鋼矢板、土留支保工材、足場材、鉄筋、型枠材になるが、鋼矢板を積込可能な大きさに設定し、24m×12mの資材台船とした。資材の積込場所として河口付近左岸側で、施工箇所から24kmはなれており往復1.5時間を要したが積込場所が確保できた。



図-5 組立ヤード位置図



写真-2 台船組立状況

5. 水替え工

鋼矢板打設、土留支保工の架設が終了後、水替えを行いました。当初水中ポンプ8吋×3台分（能力 4m³/min×3台=12m³/min）での設備を想定し、予め8吋水中ポンプ×3台分の仮設電気（11kw×3台=33kw）を施工箇所直上橋面に設置しました。



図-6 仮設電気平面図



写真-3 仮設電気設置位置

ここで水替え水量は約580m³であり、理論上は 580m³÷720m³/h=0.8hで水替えが完了するが、水中ポンプ8吋×3台を稼働させたところ矢板内水位は-1.7mの結果となり残り-2.3mの水位低下が必要であった。ここで考えられるのは施工箇所の河床が玉石混じりの砂利であり、土分がほとんどない土質であり透水係数が非常に高いものであった。

この件に関しては、上記に記述済であるが底板部からの湧水はある程度予想していた、矢板打設時にもほとんど濁りの発生もなく、8吋×3台分の電気容量を用意していたのだが、ここまで透水係数が高い土質であるとは想定を超えていた。

したがって水中ポンプの増設を行う事とした。

ちなみに仮設電気容量の件については、当地方の地域総電気容量が限られている為工事に使用できる電気容量もこれ以上確保できない為に電気の供給については発電機によるものとした。

ここで水中ポンプの能力についてだが、設置・撤去回数削減の意味も含めて、既に設置済である8吋（11kw）水中ポンプと同様タイプの増設ではなく能力が良いタイプの水中ポンプ設置を検討した。

ここでは水中ポンプ本体を10吋で接続のホース径が8吋のポンプを設定しました。

（揚水量は8m³/minで消費電力は22kW）

必要ポンプ台数は以下の通りとしました。

揚水量 8吋×3台 = 4m³/min×3台×60min=720m³/h

水頭差1.7mで水位が安定したので

揚水量=底部からの湧水量

となる。

よって必要水位低下量4.0mと上記水位差1.7mとの関係により4.0/1.7=2.3倍の湧水量が想定される。

湧水量=720×2.3=1656m³/h

増設水中ポンプ台数は

1656-720=936m³/h

936m³/480m³=1.95≒2台

水中ポンプ10吋×2台の設置を行った。

（ここで本体10吋水中ポンプ+8吋ホース径にしたのは10吋ホースは受注生産の為、納期的に不可能であったため。）



写真-4 水替え状況



写真-5 水替え工（接写）

6. 土留支保工の変更

当初設計では切梁にスルーサーを使用して施工を行う事となっていた。

スルーサーは、切梁式土留め工法による既設橋脚などのRC巻立て耐震補強工事で用いる金具であり、土留め工を行う際に、既設構造物と切梁の間の巻き立て部に設置し、コンクリート打設後埋戻す金具である。

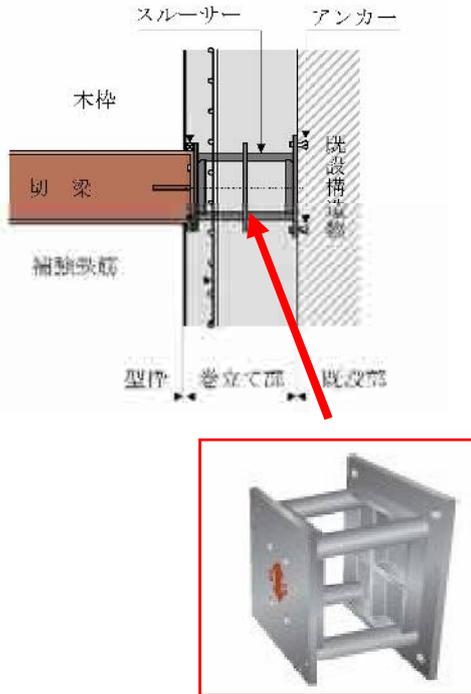
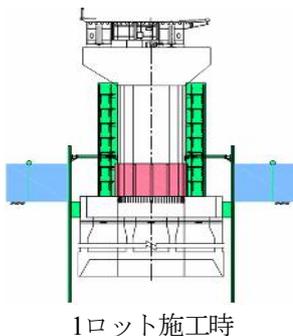


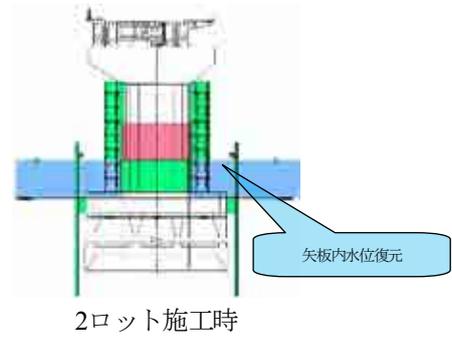
図-7 スルーサー施行例

この金具は基本的にコンクリート中に埋め殺しであり、金属製の物質が鉄筋かぶり内に存在してしまう。また本体施工完了後、切梁解体後、表面仕上げが必要となる。

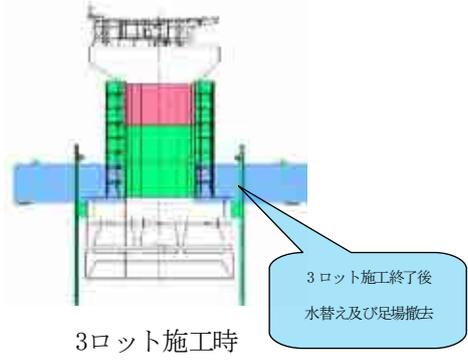
品質面から考えてこの金具を使用せずに施工を行う事とした。この現場は河川内での作業であり、土留に作用する土圧（水圧）を内部の水位を上下させる事により、土圧（水圧）も調整可能である為以下の手順でスルーサー金具を使用せずに施工を行った。



1ロット施工時



2ロット施工時



3ロット施工時

図-8 施工手順



写真-6 施工状況

7. あとがき

今回、熊野川での施工を行うにあたり、天候面及び施工場所の制約が多いなかでの作業でありました。河川内特有の施工条件についての打開方法をのべさせていただきましたが

- ①ダム放流に関する情報入手方法
- ②仮設電力容量の検討

以上の事を検討され今後残された工事に参考になればと思っています。

コンクリートの品質向上に向けて

松岡 一成

近畿地方整備局 福井河川国道事務所 九頭竜川出張所 (〒910-0039福井市三ツ屋町10-9-2)

コンクリート品質については、材料・配合・打設・養生によって決まる。材料・配合については、基準により決められており、現場練りでなければプラントによりある程度画一的な管理が出来る。しかしながら打設・養生については現場の環境等に大きく影響を受け、特に作業・監督する者の経験等に影響を受けるところがあり画一的で合理的な管理は難しいのが現状である。

今回、コンクリート打設状況および出来映えの合理的な確認手法として、「施工状況把握チェックシート」¹⁾及び「表層目視評価法」²⁾を用いた品質管理を実施したので、その効果等について報告する。

キーワード コンクリートの品質、耐久性、表層目視評価法、施工状況把握チェックシート

1. コンクリートの品質

土木構造物は長期間に渡ってインフラとして生活・経済等を支えるものである。また工場で生産される通常の商品に比べて、その品質管理は材料・施工・環境条件等に大きく影響される。その建設には発注者・設計者・施工者・材料供給者等の多くの関係者が存在することもその特徴である。

土木構造物の代表格である、コンクリートについて、その品質管理については、所定の強度をクリアすることに重点を置かれた品質管理となっている。強度の品質管理は数値化されたものであり、またテストピースによって直接確認するもので判断も明確にできる。

一方、耐久性の品質管理については、材料等の塩化物量等、経年劣化の原因となる因子それぞれについて安全率内に収まっているか数式を使って間接的に確認するのに加え、「的確な施工・養生の確認」やクラック等の「完成物の表面の確認」等の初期欠陥に関するチェックがある。これは数値化されていないことでチェック者の経験に寄るところが大きく画一的・合理的な管理をするには課題がある状態である。

2. 本論の目的

コンクリートの耐久性に影響のある初期欠陥の対策として、混和剤や新材料・新工法のようにお金を掛けるのではなく、従来の施工管理を工夫することで効果が期待される、「表層目視評価法」(以下、目視評価法)及び、施工状況把握チェックシート(以下、チェックシート)を実際に実施してみて各手法について画一的評価が可能で合理的であるかを確認するとともに、その利点、課題

を抽出することを目的とする。

3. 施工状況把握チェックシート・表層目視評価法

チェックシートは、コンクリート標準示方書(施工編)の中から打設時に最低限チェックすべき項目をまとめたもので、○(的確に実施されている)、×(実施されていない)で判断する。

目視評価法は、脱型直後のコンクリート表面状況を、(表-1)のような表を使って1点~4点で評価し初期欠陥を判断するものである。ただし、評価が1点でも従来の基準で「良」とされる範囲である。

チェックシート及び目視評価法は、単独でも効果があるとされるが、組み合わせて以下のようなPDCAサイクルに乗せて、継続的な品質向上を図ろうとするものである。

打設時チェックシートにより現場で実際に打設状況等を把握(DO)し、その後、目視評価法により表層のクラック等を確認して品質を確かめ(CHECK)、次に悪かった箇所の原因を検討(ACTION)し、次の打設計画を改良(PLAN)。その後、同様のサイクルを繰り返す。

4. 施工状況把握チェックシートの実施及び結果

今回は、福井県の九頭竜川水系の馬渡川排水樋門改築工事の樋門本体の打設をフィールドとして試行的にチェックシートを使った品質管理に取り組んだ。

チェックシートについては、本体打設が完了直前に実施したということもあり、実施者は主任監督員1名。1回のみの実施となった。ただし、チェックシートの内容は打設する関係者に事前に示して、チェックする内容をオ

表-1 目視評価法に使う評価基準

評価基準	一般的に「良」とされる範囲				不適合
	4点	3点	2点	1点	
(1) 洗みひの粉れ					評価基準のイメージから、良と判定される状況で撮影を要するもの
(2) 表面風況					
(3) 打置の硬					
(4) 気持絶ぎ目のノリ粉れ					
(5) 養生					

表-2 施工状況把握チェックシート

事務所名		福井河川国道事務所		工事名		馬渡川排水樋門改築工事			
構造物名		樋門		部位		函渠部 3R			
受注者		[REDACTED]		確認者		松岡			
配合		24-8-25BB		確認日時		12月22日 8:00~13:00			
打込開始時刻		予定	実績	AM6:30	AM6:45	打込開始時気温 5℃~12℃ 天候 晴れ			
打込終了時刻		予定	実績	PM4:00	PM4:45	打込量(m3) 308m3			
施工段階	チェック項目						記述	確認	
準備	運搬装置・打込設備は汚れていないか。						—	未確認	
	型枠面は湿らせているか。						目視	○	
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。						目視	○	
	かぶり内に結束線はないか。						目視	○	
	硬化したコンクリートの表面のレイタンス等は取り除き、ぬらしているか。						目視	○	
運搬	コンクリート打込作業員※に余裕を持たせているか。						14人	○	
	予備のバイブレータを準備しているか。						目視	○	
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。						点検表	○	
打込	練り混ぜてから打込終わるまでの時間は適切であるか。						最大時間26分	○	
	ポンプや配管内部の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。						伝票は確認	未確認	
	鉄筋や型枠は乱れていないか。						目視	○	
	横移動が不要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。						目視	○	
	コンクリートは、打込が完了するまで連続して打ち込んでいるか。						目視	○	
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。						目視	○	
	一層の高さは、50cm以下としているか。						目視	○	
	2層以上に分けて打込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層コンクリートが固まり始める前に行っているか。						伝票時間	○	
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。						目視	○	
	表面にブリーディング水がある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。						目視	○	
締固め	バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。						目視(目印)	○	
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下としているか。						目視(目印)	○	
	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。						打合せで周知徹底	△	
養生	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。						目視	○	
	バイブレータは穴が残らないように徐々に引き抜いているか。						目視	○	
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。冬期は温度が下がらないようにヒーター等備えているか。						目視	○	
要改善事項等	湿潤状態を保つ期間は適切であるか。						14日間	○	
	型枠および支保工の取り外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。						報告	○	
要改善事項等		バイブレータが鉄筋等に接触させない工夫があれば対策できないか。(回答) 事前打合せで周知徹底する。							

オープンとし打設状況を確認しながらどのような工夫をしたか確認をおこなった。

結果、チェックシートの実施では、事前に示してチェック項目を示していたこともあり各項目概ねクリアする結果となった。(表-2参照)ただし、実施する中でチェック方法について色々な議論があった。例えば、チェック項目の中で「鉄筋にバイブレータを接触させていないか」との箇所、施工者としては打設時にバイブレータの手元とスイッチ担当者を置き事前に打設の打合せをして対応していたが、チェック実施者としては実際に当たっているかが確認出来ないというものであった。協議の結果、バイブレータの移動時に電源を切ることは事前打ち合わせで徹底しており締固め中に鉄筋に接触することがあっても、直ぐに放す等、作業員の意識の中に鉄筋に触れることは品質に悪影響を与えるという認識があれば足りるということでお互い納得した。(図-2)

チェックシートにおいては実施者が一人であり1回だけの試行であるので画一的及び合理的という判断は出来ない。しかし一回の実施で、施工者(受注者)においてはチェック項目が明確化したことによって、より効率的に対応検討が出来、監督者(発注者)においても施工者の工夫が明確に確認出来る。また上記でも記述しているように、チェックシートが「何処をどのようにチェックするか」という具体的な記述がなく曖昧なことで施工者・監督者双方での技術的なやりとりのフィールドが出来、「ものづくりの共同関係」を醸成し、チェックと結果(目視評価法)の関係性を認識することで確実な技術の積み上げが出来ると考える。

課題としては、監督者(発注者)はコンクリート打設中絶えず張り付き、養生中もチェックしなければならず時間が掛かるということ。

5. 目視評価法の実施及び結果

目視評価法については、同様に福井県、九頭竜川水系の馬渡川排水樋門改築工事において、チェックシートを実施しなかった箇所(①単純函渠部)と、前述のチェックシートを実施した箇所(②単純函渠)実施出来なかったが、②の後に実施した箇所(③門扉部分の2箇所)を比較するという方法とした。実施者は、学識経験者(目視評価法の考案メンバー)1名、発注者9名、受注者18名の合計28名で実施した。

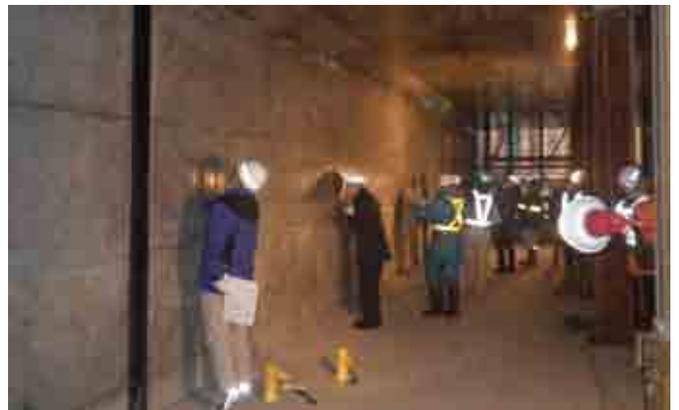


図-1 目視評価法の実施状況

目視評価法の実施状況を図-1, 結果を表-3に示す。

表-3より学識経験者及び評価者平均どちらにおいてもチェックシートを実施し無かった箇所①より実施した箇所②の方が品質向上したことが解る。また、その後コンクリートを打設した箇所③についても高い品質が維持されていることが解る。

表-3 目視評価法の結果 (評価者平均) ※4点満点

	ひび割れ	表面気泡	打重ね線	ノロ漏れ	砂すじ
①	(3.5)	(3.5)	(3.0)	(3.0)	(4.0)
チェック無	3.6	3.1	3.1	3.0	3.8
②	(4.0)	(4.0)	(4.0)	(3.5)	(4.0)
チェック有	3.9	3.5	3.5	3.2	4.0
③	(4.0)	(4.0)	(3.0)	(3.0)	(4.0)
チェック無	3.9	3.7	3.4	3.3	3.8

※()書きは、学識経験者の数値

実施者のコンクリートに携わった経験の差が評価にどれほど影響するか確認したのが図-2である。



※学識経験者の評価を正解として換算

図-2 評価者の経験年数による正解率

図より、正解率は10年以上の経験がある方がやや上昇しているが、経験年数と正解率に関連性は明確には確認出来なかった。ただし、経験年数が少ない方が評価として低く評価する傾向があることが解った。これは、経験の低い方は全体で評価せず、1箇所でも悪い箇所があれば評価を下げる傾向があることが影響しているように考える。

次に、目視評価法の実施回数により各項目の正解率は推移を表したのが表-4である。

表より、正解率が向上している「ひび割れ」「表面気泡」と、「打重ね線」「型枠継ぎ目からのノロ漏れ」「砂すじ」のように向上しない項目があることがわかる。

表-4 各項目の正解率の推移

	ひび割れ	表面気泡	打重ね線	ノロ漏れ	砂すじ
1回目	20.0%	3.3%	70.0%	66.7%	76.7%
2回目	80.0%	40.0%	40.0%	26.7%	93.3%
3回目	90.0%	60.0%	33.3%	40.0%	66.7%

※学識経験者の値を正として評価

これについては、目視評価法を今後取り入れる場合において、実施者へのトレーニング方法等について検討する必要があると考える。

最後に評価者にアンケートに協力してもらいその「解り易さ」、「品質向上期待度」、「必要性」について回答してもらった。

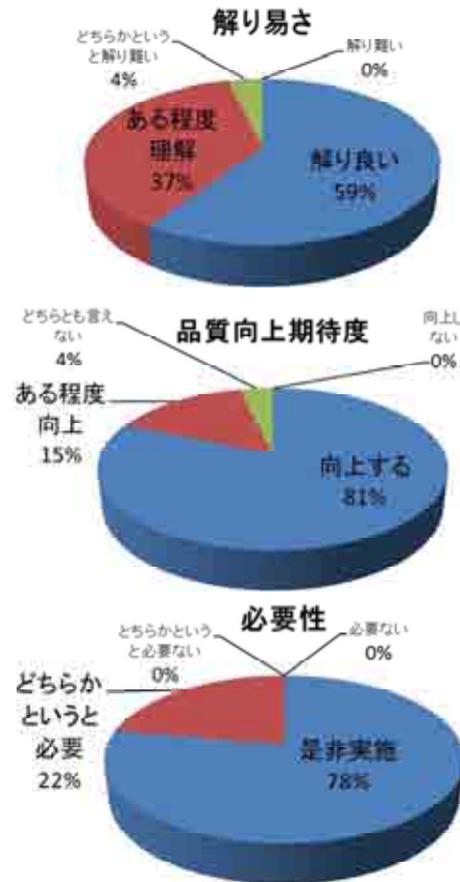


図-3 アンケート結果

図-3より、目視評価法は分かり易く(解り易い、ある程度理解併せて96%)、品質向上に寄与(向上する、ある程度向上する併せて96%)、その必要性については評価者全て(是非実施、どちらかという
と必要併せて100%)が必要と回答している。このことから、今後導入に向けて検討することは有意なものと考える。ただし、必要性の中で「どちらかという
と必要」と答えた理由の中で、「必要性は解るが人員が足りないのでは?」という意見もあり導入に向けてはしっかりした人員確保も必要と考える。

以上のことから目視評価法において画一的な評価につ

いては、同じ表を使って実施するので実施方法は画一的ではあるが、その評価については「ひび割れ」、「表面気泡」のように数回で評価が安定するものと、「打重ね線」等のように同じように評価を続けても“ズレ”が生じる項目に分かれる、これは評価するには知識と経験の一定の蓄積が必要な部分もあり、その導入には実施者のトレーニング方法等に検討が必要。合理的であるかについては、実施者ほとんどの方が分かり易く、品質向上に寄与すると感じていることから合理的な評価法であると考え。

6. まとめ

今回は、チェックシートを実施した箇所と未実施の箇所について目視評価法を使って比較することを行ったが、この手法は、PDCAサイクルに乗せて繰り返し実施することで品質向上を目指すものである。このため今回の内容で、真に画一的及び合理的であるかの判断は難しい。ただし、1回のチェックシート、目視評価法の実施で確実にコンクリートの品質は向上しており、これを繰り返すことで更に品質が向上することは想像できることから、この手法の効果は確認できた。

課題としては、チェックシートも目視評価法については、それなりの人員が必要となるということである。特にチェックシートについては、コンクリート打設及び養生中は張り付いている必要があり、その時間の確保が今の状況で監督者に出来るかという疑問がある。この点については品質向上には、混和剤、新材料、新工法等のように一定コストを掛けるか、今回の取組のように手間を掛けるかしか方法がないということの社会的理解が必要と考える。

近年、日本の土木業界においては高齢化が著しく技術の伝承が叫ばれている。また、高度経済成長期より50年程度が経ち、コンクリート建造物の寿命も同時に向かえている状況である。このような中、品質向上のための技術の継承をより効果的に進める今回、試行したチェックシートならびに目視評価法については、品質向上とともに技術の伝承・蓄積にもつながる、現在の社会的要求にまさに合致した取組と考える。特にチェックシートについては、特別な準備は何も必要なく思い立ったら直ぐに実施でき、その効果についてはコンクリートの品質に直結するだけではなく、発注者と受注者がともに物作りの担い手であり、共同者という関係づくりに寄与出来る取組と考える。

今後は、この取組を近畿の中で浸透させようと考えている。そのためにはコンクリート打設現場が必要であり今回の研究発表も機会の一つとして広く募集するものである。

謝辞：横浜国立大学大学院 准教授 細田 暁先生にはチェックシート及び目視評価法の利用方法、実地のご教授等、多岐にわたるご協力をいただきました、この場をかりて謝意を表す。

参考文献

- 1) 細田 暁, 二宮 純, 森岡 弘道, 阿波 稔, 田村 隆弘: 施行状況把握チェックシートによるコンクリート建造物の品質確保と協働関係の構築, コンクリートテクノ, Vol.34, No.5, pp.63-82, 2015
- 2) 坂田 昇, 渡邊 賢三, 細田 暁: 目視調査に基づくコンクリート建造物の表層品質評価手法の実績と調査結果を反映した表層品質向上技術, コンクリート工学, Vol.52, No.11, pp.999-1006, 2014

琴ノ浦水門本体工事における マスコンクリートの施工について

山野井 研人

近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 海岸課 (〒640-8404 和歌山市湊薬種畑の坪1334)

和歌山県海南市沿岸部は、津波浸水想定区域の中に行政・防災中枢機能や高付加価値製品製造企業群が集積していることから、巨大地震による津波の襲来により、甚大な被害を受けることが危惧されている。災害から人命、財産を守るため、現在、護岸及び津波防波堤の補強、嵩上げと水門の設置を組み合わせた施設を整備し、津波浸水被害の軽減を図る津波対策事業を実施している。その一環として整備を進めている琴ノ浦水門は、海南地区の津波対策における防護ラインの一翼を担う重要な施設である。本稿は、当該水門の躯体構築に使用したマスコンクリートに係る施工について報告するものである。

キーワード 津波対策水門, マスコンクリート, パイプクーリング, 保温型枠

1. はじめに

紀伊半島に位置する和歌山県では、今後 30 年以内に 70%程度の確率で発生するとされている南海トラフ巨大地震・津波により、広範囲にわたり甚大な被害を受けることが危惧されている。和歌山下津港海岸（海南地区）背後地は、行政・防災中枢機能や主要交通施設に加え、世界的シェアを誇る高付加価値製品の製造企業群が集積しており、海南市における東海・東南海・南海 3 連動地震の津波による被害額は約 5,000 億円に上ると試算されている¹⁾ (図-1, 図-2 参照)。

このため、近畿地方整備局和歌山港湾事務所では、2009 年度より津波対策事業を進めている。2012 年 8 月に内閣府が南海トラフ巨大地震による地震・津波想定の上方修正値を公表したことに伴い、当初の事業計画を見直して、護岸および津波防波堤の補強・嵩上げと水門の設置を組み合わせた施設整備を実施しているところである。

このうち本稿では、津波防護ラインの一部である琴ノ浦水門の本体築造工事におけるマスコンクリート対策について紹介するものである。



図-1 和歌山下津港海岸(海南地区)位置図



図-2 和歌山下津港海岸(海南地区)全体図

2. 琴ノ浦水門の概要

(1) 形状・寸法

琴ノ浦水門は、柱高 30m, 径間長 30m, 扉体高 9.5m の日本最大級クラスの水門である。また、本体コンクリートは、底版、堰柱、門柱、および操作台で構成されている。底版は厚み 4m の広がりのあるスラブ、堰柱・門柱は最大幅 5m の壁または柱状であり、いずれも大断面のコンクリート部材である (図-3 参照)。

(2) 打込みブロック割

当該地区におけるレディーミクストコンクリートの供給条件等から、底版は鉛直打継目を設けて平面的に 1 ブロック 10m × 約 13m とする 9 分割、堰柱は打込み高 3.0~3.5m として両岸で 6 分割、門柱は打込み高 3.5~4.1m として両岸で 10 分割、両岸の操作台を加えて、全 27 ブロックに分割してコンクリートの打込みを行った。

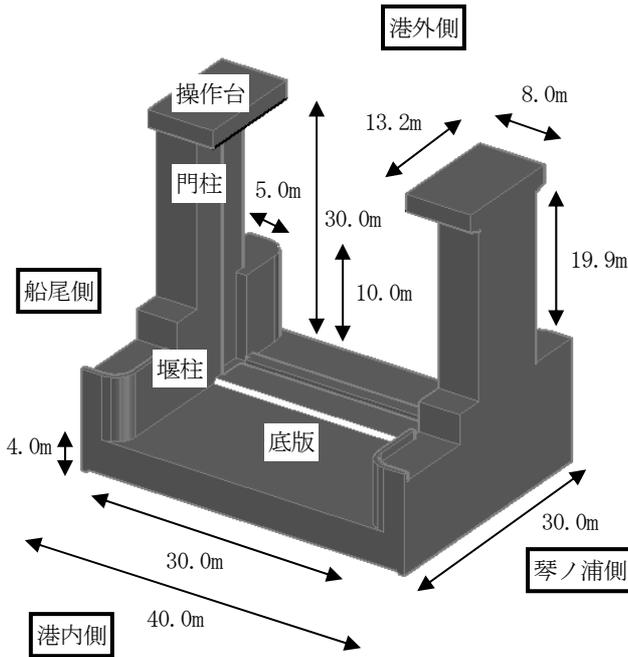


図-3 水門本体内工鳥瞰図

(3) 使用材料

本体コンクリートには、安全性、使用性、耐久性、および後述する設計時のマスコンクリート対策検討から、表-1に示す材料を使用した。

なお、下表に示す膨張コンクリートは、JIS A 5308に規定されるレディーミクストコンクリートに準じる規格外品であるため、打込みに先立ち試験練りを行い、ワーカビリティ、発現強度、および拘束膨張率等について計画配合の妥当性を確認した。

表-1 使用材料

対象構造物	躯体コンクリート
セメントの種類	低熱ポルトランドセメント
呼び強度	33N/mm ² (56日強度)
スランプ	12cm
粗骨材の最大寸法	20mm
細骨材の種類	砂
粗骨材の種類	砕石
混和材の種類	膨張材
単位セメント量	327kg/m ³
単位膨張材量	20kg/m ³
単位水量	170kg/m ³
水結合材比	49%

(4) 施工時期

本体コンクリート打込み時期は、2015年10月から2016年2月である。本稿では、その際のマスコンクリート対策について述べる。

3. マスコンクリートについて

(1) マスコンクリートの定義

マスコンクリートとは、一度に打込むコンクリート容積の大きさ等により、水和熱による温度応力が問題となるコンクリート構造物を指す。マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の部材寸法の目安は、下端が拘束された壁の場合は厚さ50cm以上、広がりのあるスラブの場合は厚さ80cm以上とされている²⁾。

(2) 温度応力によるひび割れパターン

図-4に温度応力によるひび割れパターンを示す³⁾。水和熱による温度応力は、内部拘束と外部拘束に大別される。前者は、大断面のコンクリートの場合に、水和発熱に伴う温度上昇が断面内で一様とならないことにより生じるものであり、温度上昇過程では高温の内部の膨張変形を低温の表面部が拘束し、表面部に引張応力が生じる(図-4左参照)。一方、後者は、既設コンクリートの上に壁状構造物を立ち上げる場合等に、新設コンクリート温度が最高점에達した後から常温に降下する過程で既設コンクリートに拘束され、打継部より少し上の領域で引張応力が生じる(図-4右参照)。一般に、内部拘束が主原因であるひび割れは表面ひび割れ、外部拘束が主原因であるひび割れは貫通ひび割れであることが多い。

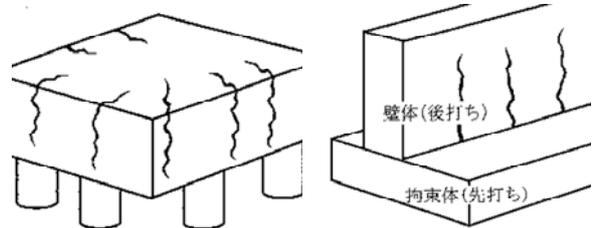


図-4 温度応力ひび割れパターン

(3) 温度応力によるひび割れに対する照査方法

温度応力によるひび割れ発生に対する照査は、以下に示すひび割れ指数の最小値を用いて行うことができる。3次元有限要素法を用いた温度応力解析により、ひび割れ指数を算定する場合、図-5に示す安全係数とひび割れ発生確率との関係が得られている⁴⁾。

また、一般的な配筋の構造物における、対策レベルに応じたひび割れ発生確率と安全係数の参考値を表-2に示す。

$$I_{cr}(t) \geq \gamma_{cr}$$

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma(t)$$

ここに、

- $I_{cr}(t)$: 材齢 t 日におけるひび割れ指数
- $f_{tk}(t)$: " コンクリートの引張強度
- $\sigma(t)$: " コンクリート最大主引張応力度
- γ_{cr} : ひび割れ発生確率に関する安全係数

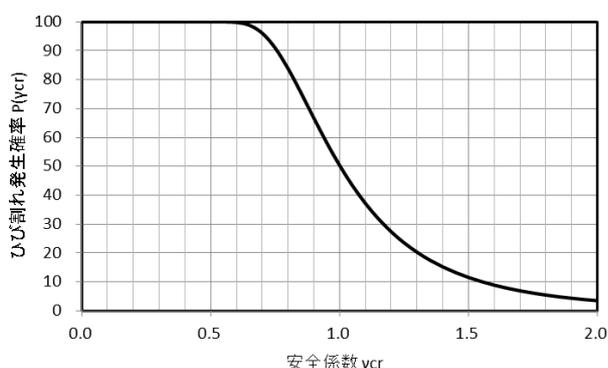


図-5 安全係数とひび割れ発生確率

表-2 標準的なひび割れ発生確率と安全係数の参考値

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85 以上
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	15%	1.40 以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50%	1.00 以上

4. 対策工の検討

対策工の検討は2段階で実施した。まず、設計時において無対策時および複数の対策ケースについて検討を行い、各種対策工の効果の特性を把握した。次に、施工着手前に実施工条件に即した解析条件で再検討を行い、対策工仕様を決定した。

(1) 設計時の検討

当該水門は、使用性の観点からコンクリートによって水密性を確保する必要はなく、また、安全性の観点から温度ひび割れにより部材の耐力が大きく低下することはないと考えられたため、温度ひび割れの発生は許容するものとした。一方、耐久性の観点からコンクリート内部に鋼材腐食の因子が供給されることを抑制するため、ひび割れ幅を制御する方針とした。温度ひび割れ抑制の対策レベルは、表-2を参考としてひび割れ発生確率に関する安全係数 1.0 以上と設定した。

コンクリート標準示方書およびマスコンクリートのひび割れ制御指針に準じて3次元温度応力解析を行った結果、無対策の場合の内部最高温度は80~90℃となり、水和熱による温度応力により最小ひび割れ指数は大部分で1.0を下回った。図-6、図-7に解析結果の一例を示す。

無対策ケースの検討結果より、温度ひび割れ対策の必要性を確認し、以下の対策を単独あるいは併用で実施した場合の効果を検討した。内部温度上昇を抑制

する対策は、内部拘束と外部拘束の両方に有効であり、引張応力抑制は、既設コンクリートによる外部拘束応力を低減させるものである。検討の結果、それぞれの対策単独では、要求性能（安全係数 1.0 以上）を満足させることができず、3つの対策を併用することとした。

▼体積変化を抑制する方法（温度上昇抑制）

- ・低熱ポルトランドセメントの使用
- ・パイプクーリングの実施

▼引張応力を抑制する方法

- ・膨張材の使用

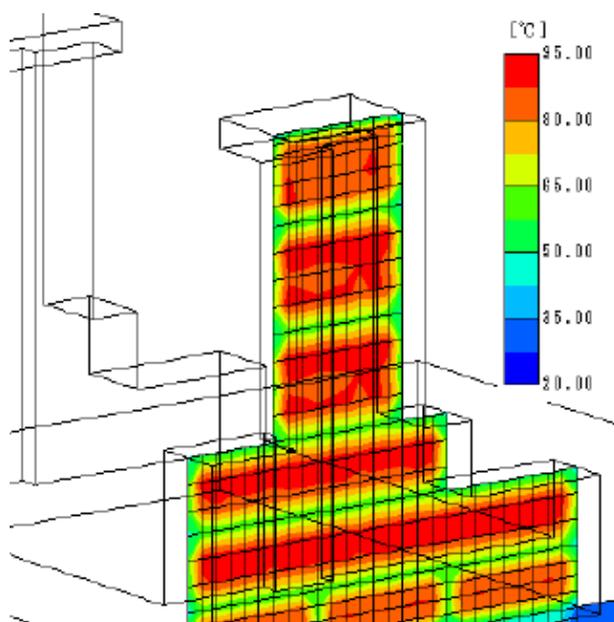


図-6 無対策解析結果の一例（内部温度）

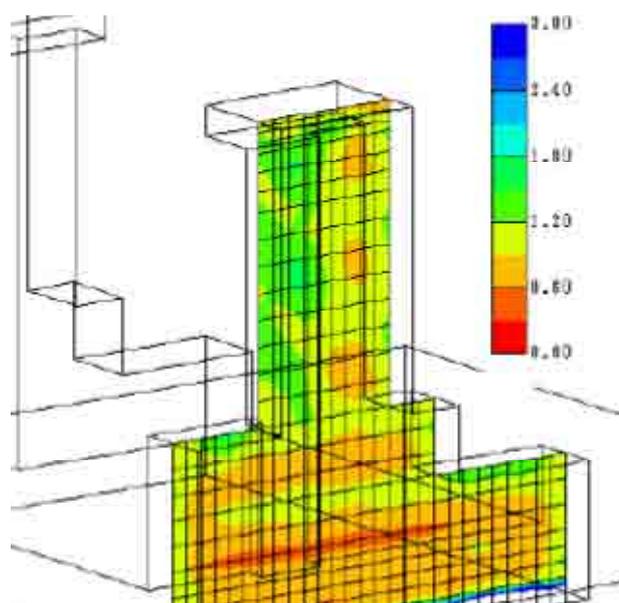


図-7 無対策解析結果の一例（内部ひび割れ指数）

(2) 施工着手前の検討

実施工時期は 10 月から 2 月であったため、工事の施工時期に合わせて施工着手前に解析条件等を再設定し、最適の温度ひび割れ対策の決定を目的として検討した。

表-3 に施工着手前の検討ケースを示す。対策ごとの効果の違いを明確に示すため、表中項目以外の、配合条件(表-1 参照)、外気温(和歌山県過去 10 年間の日平均気温を採用)、熱物性、力学特性、拘束条件(いずれもコンクリート標準示方書に準じて設定)は各ケースで同じとした。図-8~図-10 にそれぞれのケースの表面部最小ひび割れ指数分布図、図-11 に各ケースの内部最小ひび割れ指数分布、図-12~図-13 に各ケースの表面ひび割れ指数発生比率を示す。

全ケース共通の傾向として当該構造物では、図-11 より断面全域でのひび割れ指数低下は見られないことから、既設ロットの拘束による外部拘束型の貫通ひび割れが発生する可能性は低く、これは膨張材の効果が見れているものと考えた。一方、打込み後の内外温度差に起因する内部拘束型の表面ひび割れの影響は大きく、構造物の長期的耐久性を確保するためには、表面部に発生する内部拘束型ひび割れを抑制する対策が重要と考えた。

case1 では、打込み時期等の施工条件が設計時検討から変更されたため、表面部のひび割れ指数が 1.0 を下回る箇所が全体の 50.5%となった。温度応力ひび割れ抑制対策として十分ではなく、改善対策が必要であると判断した。パイプクーリングの通水条件、配管配置、および門柱のリフト割を変更した case2 では、底版のひび割れ指数は改善するものの、冬季の施工となる柱部で改善度合いが小さく、全体としてひび割れ指数が 1.0 を下回る箇所が 28.1%となった。冬季施工の

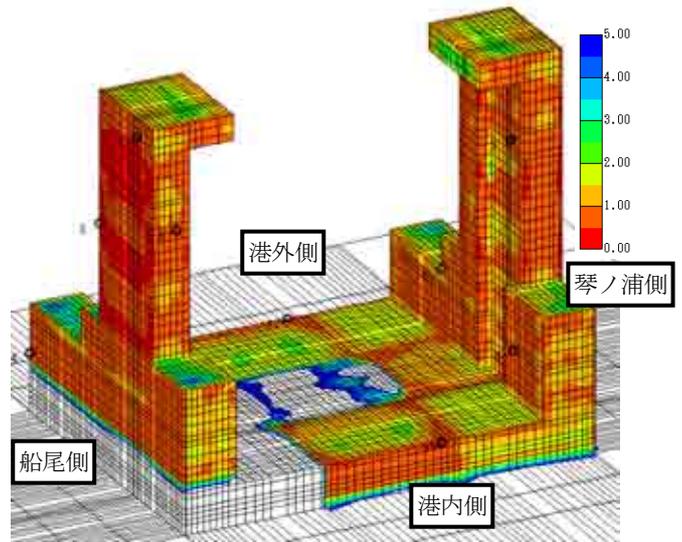


図-8 case1表面最小ひび割れ指数分布

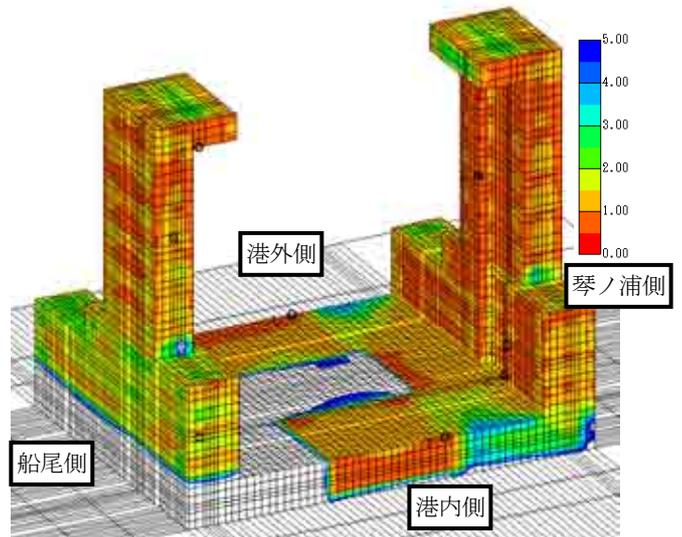


図-9 case2表面最小ひび割れ指数分布

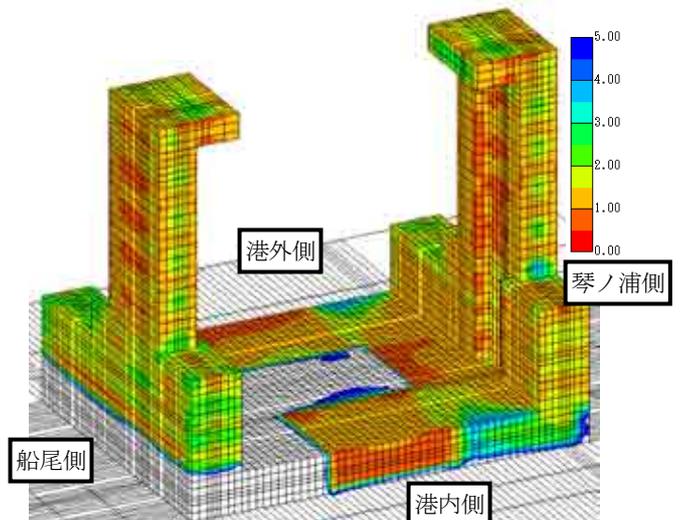


図-10 case3表面最小ひび割れ指数分布

表-3 施工着手前検討ケース

ケース		内容
case1	設計仕様	<ul style="list-style-type: none"> 通水温度：10℃ 通水速度：20cm/sec(φ34) 通水期間：14日 配管配置：110~350cmピッチ 門柱打込：3分割
case2	対策案①	<ul style="list-style-type: none"> 通水温度：20℃ 通水速度：30cm/sec(φ34) 通水期間：5日 配管配置：75~150cmピッチ 門柱打込：5分割
case3	対策案②	<ul style="list-style-type: none"> 通水条件はcase2と同じ 配管配置：75~150cmピッチ ※底版、琴ノ浦側堰柱のみ 保温型枠：堰柱、門柱 門柱打込：5分割

特徴である表面部からの放熱による内外温度差が原因であると考えられた。case3 では、冬季施工となる柱部で保温型枠により表面からの放熱を抑制することで、ひび割れ指数が大幅に改善し、全体としてひび割れ指数が 1.0 を下回る箇所が 11.6% となった。

要求性能として表面部全箇所ではひび割れ指数 1.0 以上を目安としたものの、対策による経済性も考慮し、検討ケースの中で最もひび割れ指数改善効果が高い case3 を対策仕様に決定した。

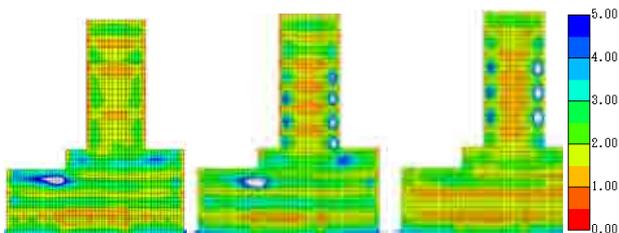


図-11 内部最小ひび割れ指数分布
(堰柱中央部、左からcase1,case2,case3)

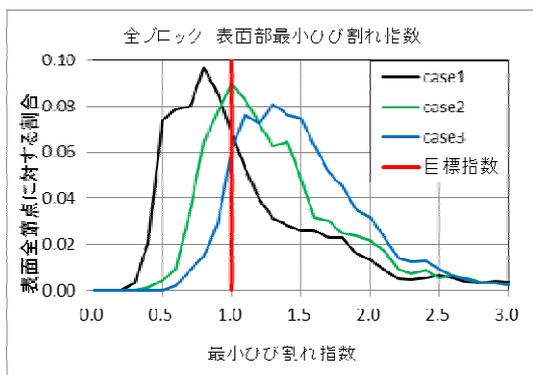


図-12 最小ひび割れ指数発生比率

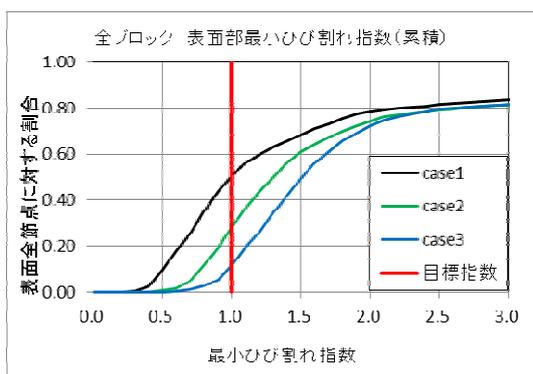


図-13 最小ひび割れ指数発生比率 (累積)

5. 対策工の実施

(1) パイプクーリング

10~11月の比較的外気温が高い時期に施工した底

版および琴ノ浦側堰柱では、鉄筋・型枠組立時にコンクリート断面内に配管を行い(図-14参照)、打込み直後から5日間、20℃の水を継続的に通水した(図-16参照)。通水には、送り出し側の通水温度が常に20℃程度に保たれるよう、水タンクに貯めた上水、冷却装置、およびコンクリート内配管を循環するシステム(図-15参照)を構築した。



図-14 クーリングパイプ配管状況



図-15 循環水冷却装置



図-16 クーリングパイプ通水状況

(2) 保温型枠

施工時期が12~3月の寒冷期にあたる堰柱(パイプクーリングを実施した琴ノ浦側含む)、門柱の型枠には、通常用いられる鋼製型枠(メタルフォーム)の裏側に、熱伝導率が小さい発泡ポリエチレン製の断熱材を取り付け、保温効果を高めた型枠(本稿では保温型枠と称す)を使用した(図-17参照)。



図-17 保温型枠設置状況

(3) コンクリート温度計測

コンクリート温度計測の目的は、施工初期段階でコンクリートの温度特性を把握し、型枠取り外し後の表面点検結果を踏まえて、解析結果の妥当性確認、および必要に応じて次工程の対策仕様にフィードバックさせることであった。

各ブロックの温度計測位置は、コンクリート断面の内部、側面部、上面部、および角部とし、パイプクーリング実施ブロックについては、クーリングパイプからの離隔の影響を確認するため、内部計測点をパイプ近傍と少し離れた個所の2点とした。温度計測には、コンクリート打込み前に熱電対を設置し、データロガーにより打込み直後から30分ごとのコンクリート温度データを全ブロックで取得した(図-18参照)。



図-18 温度計測状況

図-19 に温度計測結果の一例を示す。温度計測データは、解析結果より得られた温度時系列データと比較し、両者の差、および生じた差の原因(打込み時温度、養生中外気温等)を推定した。全ブロックの計測結果から、実測温度と解析予測値は概ね同様の傾向を示しており、解析の妥当性を確認した。また、実測値と解析値の差を、型枠取り外し後の表面点検結果を踏まえて整理することで、次工程のコンクリート養生中にひび割れ発生の可能性を推定する判断材料となった。

施工中随時行った表面点検結果から、著しい腐食性環境に立地する構造物の耐久性に影響を及ぼす目安とされる 0.2 mm幅のひび割れは発生しなかった。これにより、新たな追加対策は不要であると判断できた。

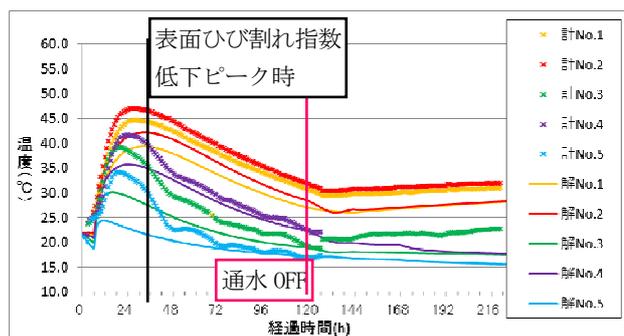
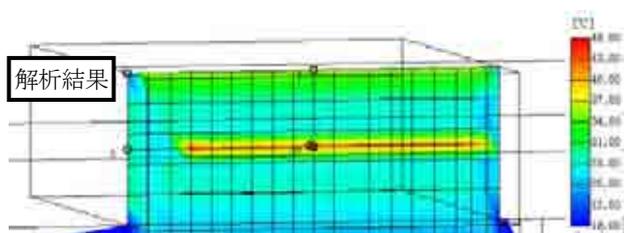


図-19 温度計測結果の一例

6. おわりに

本稿では、和歌山下津港海岸(海南地区)で施工した大型水門本体築造工事における、マスコンクリート対策について、対策工の検討および実施した対策内容を紹介した。対策検討は、設計時および施工着手前の2段階で実施し、低発熱コンクリート、パイプクーリング、膨張材、および保温型枠の使用を組み合わせ、施工時期に応じた対策を実施した。施工後の表面点検から、発生したひび割れは幅 0.2 mm未満のものが、ごく部分的に発生したのみであり、実施した対策の妥当性を確認した。

琴ノ浦水門は、海南地区津波防災事業の最初の水門工事であり、後続の水門工事におけるマスコンクリート対策の参考となれば幸いである。

- 1) 近畿地方整備局事業評価監視委員会：和歌山下津港海岸直轄海岸保全施設整備事業，近畿地方整備局 HP，2015.3
- 2) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針，2008.11
- 3) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修，補強指針，2013.4
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書【設計編】，2012.12

供用中の岸壁前面の浚渫工事について

岡田 達彦

大阪港湾・空港整備事務所 保全課（〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1丁目2番1-1500号オーク1番街15階）

大阪港北港南地区国際海上コンテナターミナル(夢洲コンテナターミナル)は、国際競争力の強化を目指す「国際コンテナ戦略港湾」大阪港の中核施設である。夢洲コンテナターミナルでは、さらなる船舶の大型化や取扱貨物量の増大に対応するため、岸壁の延伸工事等を進めている。

一方、この岸壁に接続する主航路は、暫定的に水深-15mで供用しているが、2015年度より主航路及び航路・泊地の水深-16m化の拡幅・増深工事を開始した。

本項では供用中岸壁前面の浚渫工事について、コンテナ船をはじめ一般船舶の航行安全確保の方策及び既設構造物へ影響を及ぼさない工法について報告する。

キーワード 航路泊地浚渫、船舶航行安全、維持・管理

1. はじめに

2010年、大阪港は神戸港とともに「阪神港」として「国際コンテナ戦略港湾」に選定された。「国際コンテナ戦略港湾」は大型化が進むコンテナ船に対応し、アジア主要国と遜色のないコスト・サービスを実現させ、港湾の競争力強化を図る取り組みであり、他に京浜港（東京港・川崎港・横浜港）も選定されている。

大阪港は、現在では人口2,100万人の近畿圏を背後に抱えた都市型港湾として、大阪市圏の経済活動や安定した市民生活を支える、我が国有数の国際貿易港となっており、1年間に約5000隻の外国船が入港している。そのなかで、主な輸出入の相手国は、取扱貨物量の上位から中国・韓国・台湾となっている。また、国内船も含めた2014年の大阪港入港船舶数は約2万4000隻で、取扱貨物量は8600万トンである。

このように大阪港は、日本国内と世界各地と結び経済・文化・社会の発展、産業や市民生活の基盤を支えている。



図-1 大阪港概略図

ースを供用しており、一体的な運営が行われている。

さらに、船舶の大型化や集貨の取り組みによる取扱貨物量の増大に対応するため2013年度より、C-12の延伸工事を進めている。夢洲CTは、1年間に100万TEU以上のコンテナを扱うことが可能であり、これは大阪港の取扱量全体の約半分である。

2. 夢洲コンテナターミナル

「国際コンテナ戦略港湾」の中核の一つとなるのが、北港南地区国際海上コンテナターミナル（夢洲コンテナターミナル＝以下「夢洲CT」と表記）である。夢洲CTでは、水深-15m岸壁が2バース（C-10、C-11）、水深-16mの耐震強化岸壁が1バース（C-12）の計3つの連続バ

3. 大阪港の航路整備

夢洲CTに接続する主航路は、夢洲CT 供用開始時(2009年)に水深-14m、2013年には主航路水深-15m・航路幅400mと段階的に整備してきた。現時点では、暫定的に水深-15mで供用しているが、2015年度より主航路及び航路・泊地の水深-16m化（航路幅560メートル）の拡幅・増深

工事を開始した。

4. 供用中の岸壁前面の浚渫等工事

供用中の岸壁前面の航路・泊地浚渫工事にはさまざまな制約条件が課せられている。第一に、航路・泊地の増深工事中であっても、夢洲CTを利用する船舶の航行を阻害することは許されない。加えて、コンテナ船をはじめ一般船舶の航行安全や港湾荷役にも支障を及ぼさないこと、また、岸壁等の既存構造物に損傷を与えないこと、近隣住民・施設に対する景観・騒音など、施工の影響を抑制することも求められる。

航路・泊地の整備にあたっては、大型の浚渫船団(1船団：約80m×約50m、図-3参照)による施工が主となるが、前述の条件をクリアするために関係者との事前協議や周知及び連絡体制(図-4参照)の確立、特殊な施工方法の採用などさまざまな対策を実施した。

航行安全対策については学識経験者・海事関係者及び関係団体・関係官公庁で構成する委員会を開催し検討した。安全対策の基本的な考え方は、①コンテナバス入出港船の安全を確保すること、②入出港に支障がある場合には、工事作業船は原則として待避することとした。

(1) 航行安全対策

a) 入出港コンテナ船の動静把握

コンテナ船入出港予定については、入出港の前週末及び前日の情報を把握するが、入港当日を含め変更されることが多いので、コンテナターミナルから常時動静情報の提供を受ける連絡経路をコンテナターミナル・工事受注者間で確立した。

b) 着岸・離岸時に施工不可範囲の設定

浚渫船団の退避行動などに混乱が生じないように、コンテナ船の着岸・離岸時に工事作業ができない範囲を、これまでの入出港操船事例に基づき、あらかじめ設定した。

c) 工事施工予定

工事施工予定(場所・時間帯)については、入出港コンテナ船の動静情報を基に、施工不可範囲を考慮

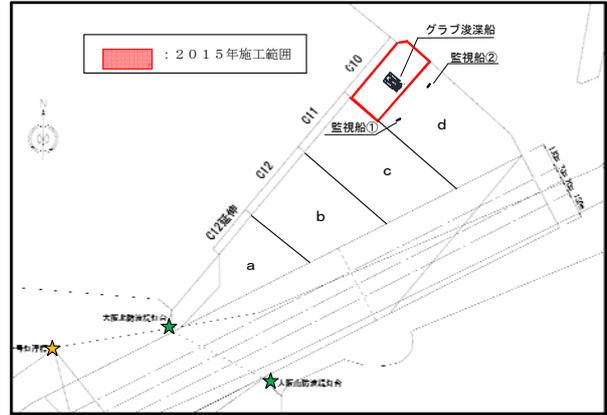


図-2 2015年工事位置図

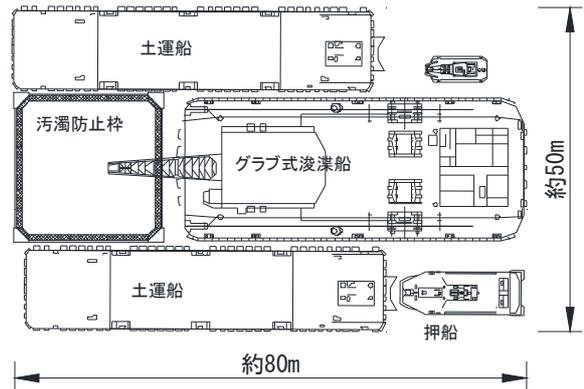


図-3 グラブ式浚渫船団

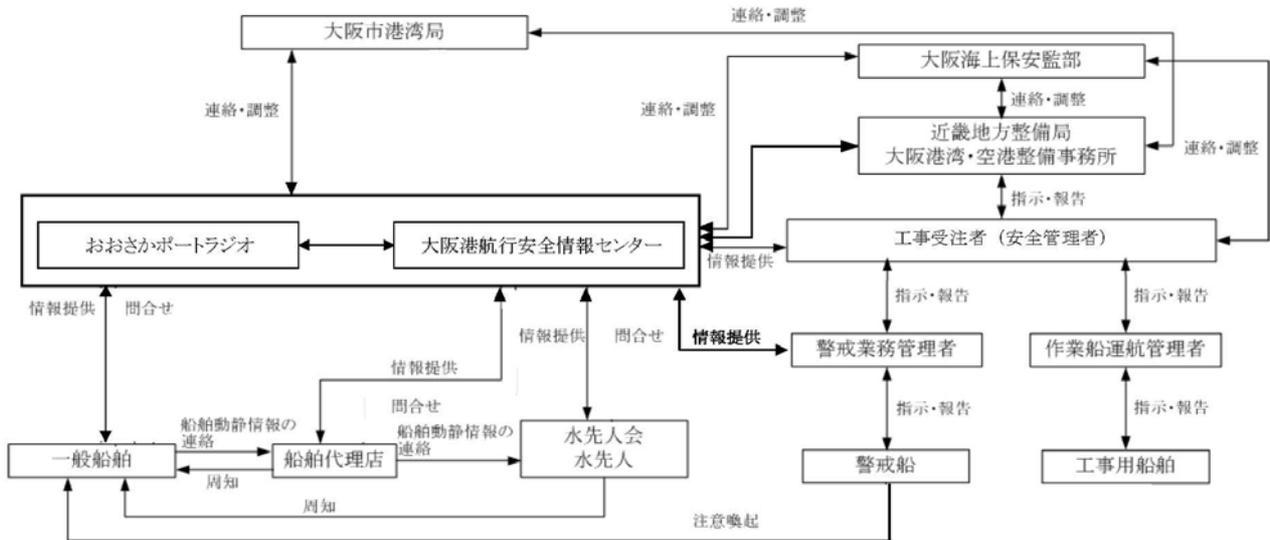


図-4 情報系統図

して決定した。

なお、浚渫船団の作業位置については、水先人会・船長・船社・コンテナターミナルにあらかじめ連絡し、情報を共有した。

d) 浚渫船団

浚渫船団は、泊地・航路泊地全域において2船団以下とし、監視船を各浚渫船団に1隻以上配備した。



図-6 施工不可範囲①
C-10入港の場合

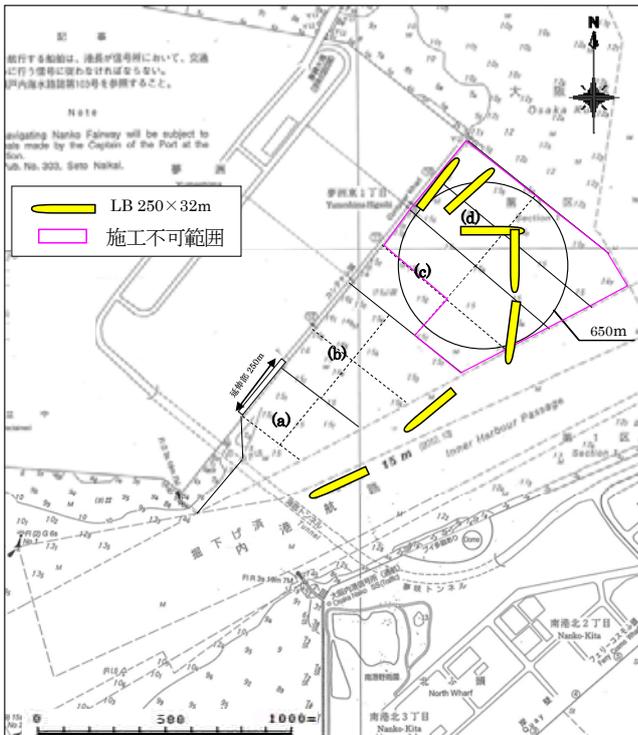


図-7 施工不可範囲
C-10出港の場合

e) コンテナ船の入出港に対する安全対策

浚渫船団が、コンテナ船の入出港に際し支障となる位置にある場合は、入出港時間30分前までに支障ない場所に退避した。

f) 付近航行船に対する注意

工事施工区域は、一般船舶の航行路であるため、十分注意し、必要に応じて監視船による注意喚起を行った。

g) 夜間作業

入出港船舶及び着岸荷役船により昼間作業では対応しきれない場合、夜間作業による対応とし、その際、工事作業船は海上衝突予防法に定められた灯火を掲げた。

(2) 既設岸壁前面床掘工

本施設は栈橋構造であるが、その栈橋下及び前面の捨石上面に浮泥が堆積していた。それを除去するための工法としては、捨石に損傷を与えないこと及び効率的に施工することが求められるため、水底土砂移送装置による工法を採用した。

水底土砂移送装置は、半割円管にウォータージェットを取り付けた構造であり、水流により浮泥を移動させるものである。



写真-1 水底土砂移送装置①



写真-2 水底土砂移送装置②

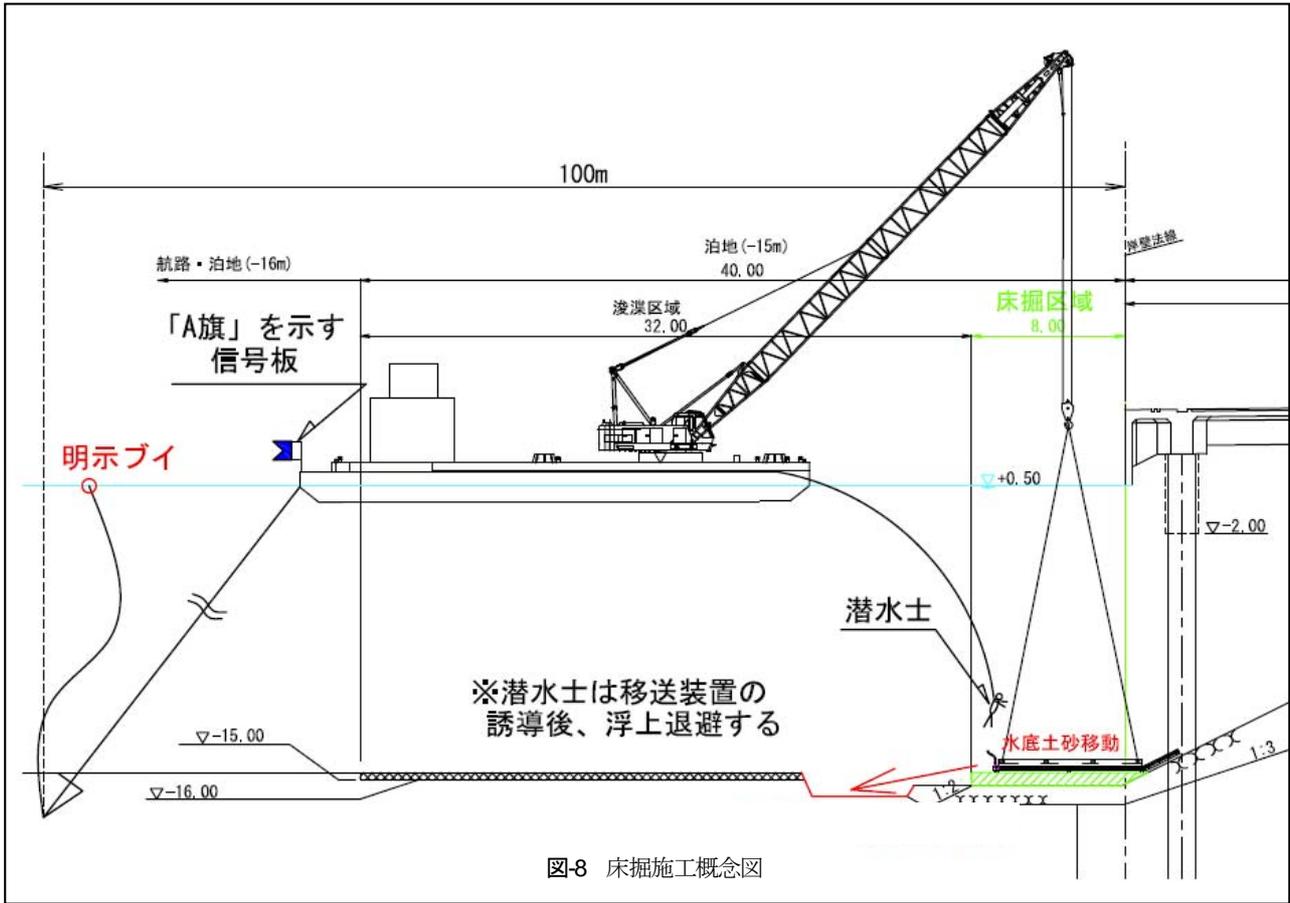


図-8 床掘施工概念図

(3) 2015年度工事の実施状況

2015年度は、C-10前面の床掘工及び浚渫工を行った。本工事は、コンテナ船の入出港時だけでなく接岸中もコンテナ船周辺では施工ができないことから、浚渫工（グラブ浚渫船：1船団）については比較的コンテナ船の入出港の影響の少ない夜間作業を行った。工事期間中（11月13日～12月26日）のコンテナ船接岸はC-10=58隻・C-11=39隻であり、コンテナ船の入出港による退避は3回、作業ができない待機は8日であった。

床掘工については、潜水作業があることから昼間作業を基本としたが、水底土砂移送装置による施工方法を採用したことで夜間作業も可能となり、捨石に損傷を与えることなく工事期間も短縮することができた。

航行安全対策の根幹である船舶動静情報の共有を確実にし、トラブルなく施工できた。

5. 今後の航路等整備にあたって

2015年度の工事では、いわゆる「ヒヤリハット」事例はなかった。今後本格化していく大阪港における主航路及び航路・泊地の水深-16m整備事業にあたり、情報の共有・関係者との連携の確実な実施が最重要であることを再認識した。



写真-3 水底土砂移送装置③ 試運転状況

近年、社会資本の老朽化が課題となっているが、供用後相当な年月が経過する中で、岸壁前面の埋没も報告されている。岸壁前面捨石など既設構造物上に堆積する土砂等の除去に対して、今回使用した水底土砂移送装置による施工方法も有効な手法の一つである。

また、コンテナ船の入出港による浚渫船団の退避は、作業に復帰するまで2時間を要する。退避の回数が多くなると、浚渫作業が非効率になることに留意して、施工範囲や位置の決定など可能な対策を講じる必要がある。

このような施工経験の蓄積を、継続する工事に反映させ、より安全・効率的な実施を追求していきたい。

高山ダムにおけるポンプ車有効利用の事例報告

山上 邦彦

独立行政法人水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所

(〒619-1421京都府相楽郡南山城村大字田山字ツルギ43)

高山ダムでは、ダム総合点検を実施するなかで、減勢池の底面および側壁部分の健全性を確認するために貯留水を排水する必要が生じた。この減勢地には排水設備がないため貯留水の排水方法について検討することになった。

排水作業は、水資源機構が所有する災害対策用のポンプ車を利用して実施した。本論文は、事前検討・作業計画の策定、実作業、作業施工上の問題点、及び今後ポンプ車を使用するに当たって留意することについて報告するものである。

キーワード 災害対策用ポンプ車、総合点検、減勢池、実施報告

1. 減勢池の排水の必要性

高山ダムでは、2014・2015年度の二ヶ年でダム総合点検を実施しており、2014年度については、減勢池（写真-1）の底面及び側壁の健全性を検証するために減勢池内の排水を行う必要が生じた。

高山ダムの減勢池は、高山ダムの約1km下流にある関西電力大河原取水堰の湛水池と繋がっているため、減勢池内の水は自然排水ができない構造であり、また排水設備が無く、常に満水状態となっている。



写真-1 高山ダム減勢池

2. 減勢池貯水容量

高山ダムの減勢池内の底面及び側壁を確認するためには、貯留水約24,000m³（幅約50m×長さ約60m×深さ約

8m）（図-1）の排水を行う必要があった。

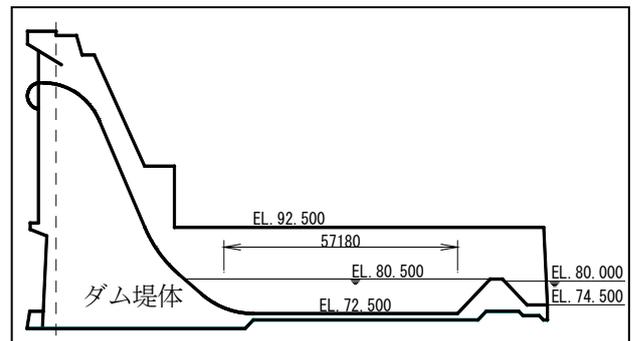


図-1 減勢池縦断図

3. 排水作業にポンプ車を活用した理由

減勢池の排水を行うにあたり災害等に備え水資源機構（以下「機構」という）が配備している大型のポンプを利用することにした。また、このポンプを利用することで保有機械の有効利用につながると考え機構の保有するポンプ車60m³/min、30m³/min、20m³/minのなかから選択することとした。

これらの排水ポンプのトラックによる搬入可能な場所は、ダム左岸下流の関西電力高山発電所（以下「発電所」という）構内に限定される。60m³/minポンプ車は、発電所への管理用道路を通れない。また、30m³/minポンプ車は、発電所構内の門型クレーン等の支障物により配置が困難であることから、20m³/min（ポンプパッケージ10m³/min×2組）を選択することとした。

4. 排水計画

排水作業は、発電所構内での作業となるため平日作業とした。また、機構が保有するポンプ車は、いずれも1m以上の水深を必要とすることから、底水の残水についてはサンドポンプ等で排水することとした。ポンプ車を使つての作業は、これらの作業も考慮する必要がある。

排水作業の日程は、ダム総合点検における減勢池の健全性の確認作業及び資料作成等の期間を考慮すると2014年12月中旬に排水作業を完了する必要がある。一方、減勢池の排水に先立ち、別途施工中であるゲート整備工事においてゲートの試運転のために、放流管内の水を減勢池へ流す作業を11月末に予定していた。これらの条件から減勢池の排水計画は、準備・後片付けを含め下記の作業日数と想定した。(表-1 作業予定表)

表-1 作業予定表

	12月										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
	▼作業開始可能日					目視調査日▼					
作業可能日											
排水ポンプ設置・撤去											
排水ポンプ運転											
サンドポンプ準備・撤去											
サンドポンプ運転											

5. ポンプ車の仕様と排水作業の検討

ポンプパッケージ10m³/minでの排水を行うにあたって下記の項目について検討を行った。

(1) ポンプ車の排水能力

機構のポンプ車が配備されている事務所で高山ダムに最も近い事務所は、三重用水管理所であり、ポンプ車は、ポンプパッケージ2組が配備されている。そのポンプパッケージ1組の諸元は以下のとおりである。

(a) 総排水量 10m³/min (全揚程10m)

(b) 装備品仕様

- ポンプ形式 水中モータポンプ
- ポンプ口径×台数 φ200×2台
- 発動発電機 45KVA 1台
- 操作制御盤 1面
- 排水ホース 25m×4本
- その他付属品 一式

ポンプパッケージ1組の総排水量は、ポンプ2台で10m³/minであり、ポンプ1台あたりは5m³/minとなる。ポン

プパッケージ2組のポンプ4台で1日6時間運転として
 $24,000 (m^3) \div \{5 (m^3/min) \times 60 (min) \times 4(台) \times 6(時間/日)\} = 3.3日$ となり、準備等を含め予定の期間内に排水可能と考えた。

(2) 輸送方法

機構の排水ポンプパッケージは、通常2組配備されており、災害現場まで1台のトラックで複数回輸送する設計思想となっている。三重用水管理所のポンプ車も、クレーン付トラックは1台となっており、1組のパッケージを搭載するようになっている。

このため、もう1台輸送用車両として木津川ダム総合管理所のトラックも使用し、パッケージ2組を同時に輸送することとした。

(3) 操作制御盤及び発電機の設置場所

排水ポンプの電源ケーブルの長さは40mで、発電所構内における操作制御盤等の設置位置はその範囲内に限られた。ポンプパッケージは、60m³/min、30m³/minのポンプ車と違い、トラックから操作制御盤等をおろして自由に設置位置を選べるため発電所端部の減勢池に近い場所(図-2)に設置することとした。

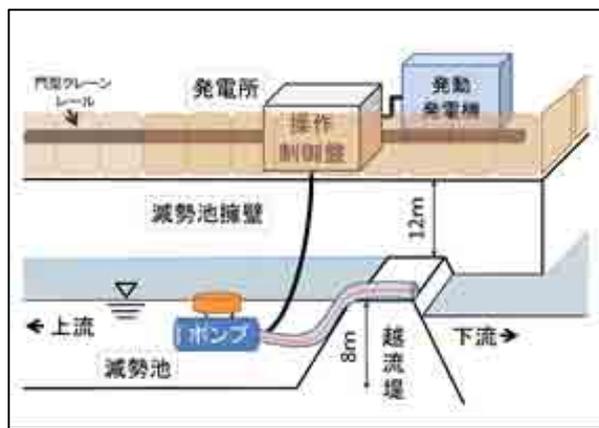


図-2 排水作業想定図 (減勢池断面図)

(4) 搬入、設置方法

減勢池内への排水ポンプの搬入は、発電所構内からクレーン付きトラックで行うこととし、その組立ては、越流堤天端で行い、ポンプに付属している電源ケーブル端末を発電所構内へ引上げ、操作制御盤に接続することとした。

6. 実施作業

(1) 機材搬入

初日に三重用水管理所から排水ポンプパッケージを陸

送り、当日午後に発電所構内に搬入した。搬入した機材の内、排水ポンプとホース、接続器具等を先にクレーン付きトラックのクレーンで減勢池越流堤天端に降ろし、その後、発電所構内の減勢池に近い場所に発電機と操作制御盤を2組並べて配置し、初日の作業を終えた。



写真-2 減勢池の越流堤と機材搬入

(2) 組立, 設置

作業2日目は、発電所構内では操作制御盤と発電機の接続を行い、並行して越流堤天端で排水ポンプの組み立て設置作業を行った。

越流堤での排水ポンプの設置は、ポンプの組み立て（フロート及びホースの接続）後に電源ケーブルを発電所構内へ引き上げ、操作制御盤と接続した。その後ポンプ本体を減勢池水面へ投入した。



写真-3 操作制御盤・発電機設置
ポンプ本体は減勢池水面の低下に伴い隣り合うポンプ

が絡まないように発電所構内からロープで繋ぎ止めた。また排水ホースは、減勢池側へ引き込まれないよう、ホース吐出口にロープを結び右岸の下流側に繋ぎ止めた。

これら一連の作業はポンプ1台ずつ完了させながら4台を午前中に設置完了した。その後、試運転を行い、正常にポンプが排水することを確認した。



写真-4 排水ポンプ組立完了



写真-5 ポンプ運転

(3) 排水作業

排水作業は、試運転後ポンプ本体の動きや排水の勢いに伴うホースの動きのほか、発電機と操作制御盤の運転状況を監視しながら日没前に排水初日の運転を終えた。

作業3日目以降は、毎朝、発電機の燃料を契約ガソリンスタンドに配達してもらうとともに、運転前の日常点検を行ったうえで運転を開始した。運転中は、電流・電圧値及び排水状況の監視を行った。

作業4日目、減勢池の水位が下がるのに伴い、排水ホースが減勢池側へ落ち込み引きずられ、長さが不足するようになった。越流堤天端では排水ホースを固定出来る

ものがなく、排水ホースを延長した。

さらに、排水が進むにつれて吐出し揚程が高くなり減勢池側のホース内の水の量も増えたため、排水ホースが減勢池側に引き込まれるようになった。



写真-6 排水ホース延長

作業5日目は、1台のポンプの排水ホースが、起動時に減勢池側のホース内の水の重みで減勢池内に落水してしまい排水出来なくなった。そこで、残り3台のポンプの排水ホースの落水防止処置として、ホースの連結金具にロープを結び、そのロープを発電所放流口のタラップにロープで繋ぎ止めた。

また、減勢池の水位が低下するにつれ、排水ポンプの吸込み力により隣り合う排水ポンプや側壁との引合いが始まったので、その都度係留ロープと排水ホースを引っ張ってポンプを引き離した。その後、減勢池水深が1m以下となり、ポンプ運転の限界水深となったのでポンプパッケージによる排水を停止した。

作業6日目からは、減勢池底水の排水を、別途手配したサンドポンプで3日間排水し、減勢池底面を目視可能な水深まで排水することができた。



写真-7 排水作業完了

(4) 撤去

運転を停止した排水ポンプの回収作業は、減勢池底面までクレーンが届かないため、ロープを取付けた台車に乗せて越流堤天端まで人力で引上げ、その後クレーンで発電所構内まで回収した。その後、排水ポンプとホースは、高圧洗浄機で洗浄し乾燥させてから操作制御盤内の梱包容器に収納し三重用水管理所に返却した。

7. まとめ

高山ダムの総合点検の一環として目視調査を行うために実施した減勢池の排水作業において、機構が保有する排水ポンプ車を有効利用し、検討から作業までの実施上の問題点もその場で修正を加えることにより、計画した期間内に排水作業を進めることができた。また、排水ポンプ車を利用することで、汎用ポンプのみで排水するより大幅に工期を短縮することができ、さらに機構直営によって運用することで、人件費や機器のリース代の縮減にもつながった。

今回の作業における反省点と改善事項は次のとおりである。

(1) 排水ホースの固定

排水ホースは、ホース内の水の重みで減勢池側に引きずられた。その対処方法として、ホース吐出口を下流側にロープで引っ張ったが、吐出口とロープの連結が外れるものがあった。ホースを越流堤天端にアンカー等を設置して固定しておけば、ホースの延長も必要なく、ホースの落水防止も可能だったと思われる。

(2) ポンプ離隔距離の保持

排水作業では、吸込みによる排水ポンプ間の引き合いが生じ、ポンプの離隔距離を保持することが難しかった。

堤防や水路と違い、木杭等が打ち込めない減勢池での作業ではポンプを固定する手段を準備し、となりあうポンプ間及び減勢池側壁との離隔距離をとるべきであった。

今後、使用実績の少ない保有機械の活用において、本事例の運用上の利点・改善点等が参考になれば幸いである。

謝辞：最後に、ご指導ご協力を頂いた関係者各位に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1)排水ポンプパッケージ (10m³/min) 取扱説明書
- 2)排水ポンプ車 (60m³/min級) 取扱説明書

下水道におけるエネルギーの効率化と有効利用 ～湖西浄化センター汚泥燃料化事業より～

一色 一平¹

¹滋賀県 下水道課 建設管理第二係

下水処理の過程で発生する「汚泥」は下水処理施設で発生する最も大きな産業廃棄物であり、湖西浄化センターにおいても1日当たり平均で約30t発生している。
この「汚泥」は従来、多くのエネルギーを使用し焼却処分をしているが、湖西浄化センターでは有効な「資源」として利用するため、汚泥燃料化施設を立ち上げた。今回その施設の報告をする。

キーワード 汚泥燃料化施設, 温暖化ガス削減, DBO方式,

1. はじめに

汚泥燃料化施設とは、下水処理の過程で発生する汚泥を炭化させ、石炭などの代用として利用できる燃料化物を製造する施設である。

燃料化施設の説明の前にまず湖西浄化センターについて案内をする。

湖西浄化センターは天津市苗鹿に位置しており、北は大津市の北小松から南は大津市の際川（自衛隊演習場）までの家庭や工場等から排出される汚水を浄化した後、琵琶湖に放流している施設である。大津市の人口の約1/3の汚水を受け持っており、残りは大津市が運営管理している下水処理場と県の施設である湖南中部下水処理場で処理をしている。（図-1の斜線部が湖西区）



図-1 処理区域図

- 汚水は次の各工程を経て、琵琶湖に放流をされる。
- ①沈砂池：流入した汚水の中の大きなゴミおよび砂を取り除く。
 - ②ポンプ室：①を通った汚水を次の工程へ送る。
 - ③最初沈殿池：汚水を緩やかに流し、泥などの固形物を沈殿させる。
 - ④生物反応槽：空気を吹き込み、又は攪拌をさせ、微生物に汚水の中の汚物を食べさせ分解させる。分解しにくい物質であるリンは薬剤（PAC）を入れ除去する。
 - ⑤最終沈殿池：汚物を食べ、増殖した微生物を含んだ泥を底に沈める。上澄みの水に塩素を加え消毒をし、次の工程へ送る。
 - ⑥急速砂ろ過池：⑤の上澄み水を目の細かい砂の層の中に通し、浮遊物を取り除く。

その後、琵琶湖に放流をする。

汚泥とは前述の③および⑤の底に沈殿した泥のことである。（図-2の茶色部）

汚泥は下記の工程で水分を取り除く。

- ⑦-1 汚泥濃縮槽：固形物を沈殿させる。
- ⑦-2 遠心濃縮機：遠心力で水分を飛ばす。
- ⑧ベルトプレス脱水機：ローラーとローラーの間のろ布に汚泥を挟み水分を絞り出す。その後、場内の焼却施設にて焼却し、発生した灰を産業廃棄物として埋立処分している。今回下記の赤丸部を汚泥燃料化施設に変更した。

湖西浄化センターの平成26年度の実績		
	流入量	汚泥ケーキ量 (ベルトプレス脱水後の汚泥量)
	m ³	t
年間	15,211,463	10,453.9
日平均	41,675	28.6

表-1 湖西浄化センターの実績

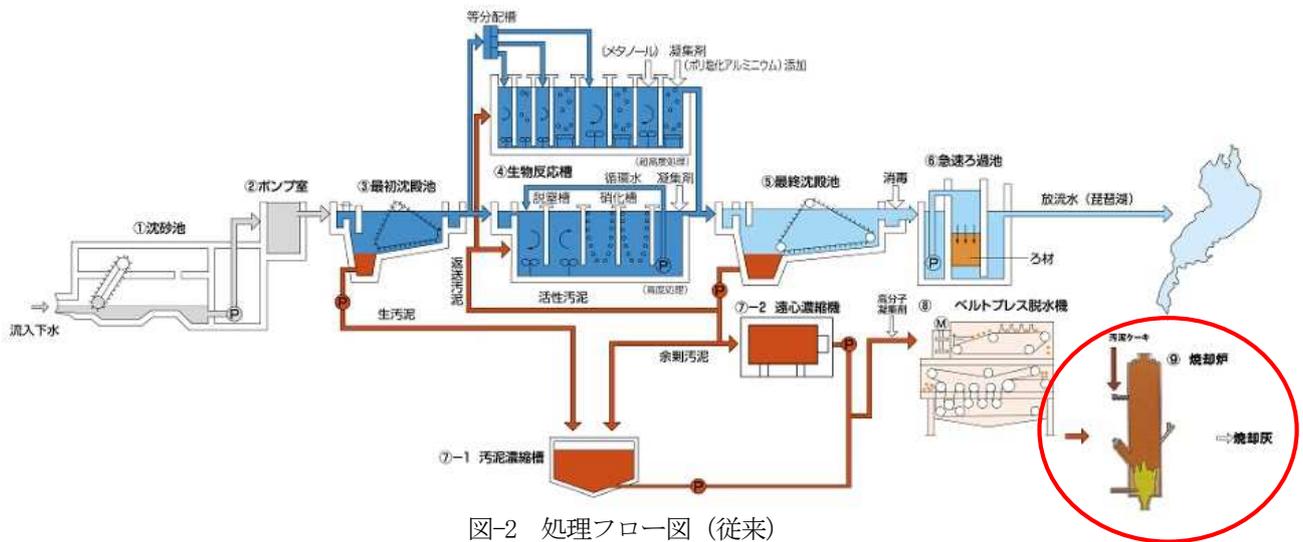


図-2 処理フロー図 (従来)

燃料化施設へ変更

2. 湖西浄化センターの汚泥処理の歴史

(1)汚泥燃料化施設以前の汚泥処理について

湖西浄化センターは1984年（昭和59年）より供用を開始したが、当初汚泥は脱水した後、最終処分場にて埋立処分を行っていた。脱水した汚泥の一部を業者に引き取ってもらい試験的に肥料化（コンポスト化）も行っていた。

年度の経過に伴い、最終処分場の確保が困難になってきたため、汚泥の減量・安定化が切望され、汚泥の有効利用の推進が急務となった。

上記の流れの中で2001年（平成13年）より焼却溶融炉施設が完成した。脱水した汚泥をガラス質の石である溶融スラグにする施設である。脱水した汚泥を800～850℃の高温で焼却灰にする焼却炉と、焼却灰に石灰を添加し、1,400～1,450℃の高温で熱し、溶解することにより溶融スラグを生成する溶融炉からなる施設である。

溶融スラグは路盤材料や細かくし細骨材として利用することでコンクリートの二次製品やアスファルトに利用されていた。

2013年（平成25年）1月末には、溶融スラグの販売ルート確保が厳しい現状、費用が多くかかることにより、溶融施設を停止し、焼却施設のみ運転することで、脱水した汚泥を焼却灰にし、それを最終処分場で埋立処分することになった。

3. 汚泥焼却施設の更新計画

汚泥を焼却する施設を2001年（平成13年）より稼働しているが、焼却施設が標準耐用年数10年を迎えたこと、また大津市が運営する下水処理場（大津水再生センター：大津市由美浜）の汚泥を焼却していた大津市汚泥焼却施設（大津市大石）が耐用年数を迎え、地元協議により施設を解体・廃止することになり、その汚泥処理を湖

西浄化センターが受けることになったことから、新たな焼却施設を建設する計画が立ち上がった。

2009年（平成21年）1月に汚泥の処理方式について検討するための委員会が発足し、検討の結果、経済性、環境性を考慮し「汚泥燃料化方式」が採用となった。

検討委員会の結果を受け、平成22,23年度に発注方式の選定および仕様書・契約書の内容を検討する業務を行った。

発注の方式はDBO方式（設計建設維持管理一括方式：設計から工事、維持管理までを一つの業者が行う）を採用し、平成24年度に契約をし、設計業務を経て2015年（平成27年）9月に工事が完了し、10月より試運転を開始している。2016年（平成28年）1月には本格運転を開始した。

なお、本業務は2036年(平成48年)3月31日までの維持管理業務が含まれている。

設備機械	年号	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040
焼却溶融炉				2001(H13)		2015(H27)		
燃料化炉						2015(H27)		2036(H48)
処理方法								
埋立処分 (一部肥料化)		1984(S59)		2001(H13)				
溶融スラグ				2001(H13)	2013(H25)			
焼却灰					2013	2015		
燃料化物						2015(H27)		2036(H48)

表-2 湖西浄化センターの汚泥処理の流れ

4. 汚泥燃料化方式への決定

汚泥の処理方式を決定するための方式として、次の候補があがった。

- ①焼却炉方式
- ②汚泥ガス化システム
- ③肥料（コンポスト化）方式
- ④燃料化方式

この中で④が汚泥を燃焼して固形燃料物を生成するのに対し②はガスを生成し、それを発電利用するものである。建設費および環境性に優れていたが、下水での実績がないため、最終候補には上がらなかった。

③は汚泥を発酵させて肥料化にするとともに発酵の過程で発生したガスを発電等に利用できるなどのメリットが挙げられるが、下記の理由により採用にはならなかった。

- ・発酵の過程で臭気が発生し、民家に近い本浄化センターでは難しい。
- ・発酵作業を行うには広大な土地が必要となる。
- ・処理の過程で使用している薬剤(PAC)の中に含まれるアルミニウムが作物の育成阻害を及ぼす。
- ・下水汚泥肥料が立入検査により重金属の基準値を超えた事案が散見されている。
- ・需要先の確保が難しい
- ・発酵の過程で発生する濃縮水を処理系統にもどすと放流水質に悪影響を及ぼす。

最終的には①焼却炉方式と④の燃料化方式が残った。

①については従来は埋立処分をしているが、灰からリンを採取する技術が確立され始めていること、またそれによってリンが含まれているため再利用できなかったセメントの原料などにも再利用できる可能性が出てきたことなど環境によい面もでてきた。①、④ともに経済性についてはほど差異がみられなかったが、温室効果ガスの低減という環境性において④燃料化方式が優れているため、採用となった。

2012年(平成24)年5月にDBOの入札公告を行うと、プラントメーカー大手数社の応募があった。20年間の維持管理を含む一大事業であるため、各社とも熱が入っており、分厚い提案書はどれも工夫を凝らした独自性のあるものであった。燃料化の方式においても「乾燥汚泥」「中温炭化」「低温炭化」など様々な提案が寄せられた。

期間中述べ500件以上もの質問が寄せられ、担当者は毎日その返答作成に多忙を極めた。その後県担当職員によるヒアリング、技術対話を通じて確定した技術提案書により、12月には入札が実施された。

有識者等による検討委員会での議論を経て、メタウォーター(株)の流動床式炭化炉による中温炭化の案が採用された。他にも県内産材を多量に使用するなど目を引く提案もあったが、価格その他を含めた総合的な評価で決定案が採用されることになった。

5. 汚泥燃料化施設の工程

汚泥燃料化施設は大きく分けて次の工程に分かれている。

(1)汚泥乾燥機

水分約77%の脱水汚泥を乾燥し、水分約15%の乾燥汚泥とする。後述の汚泥燃焼の際の排熱を利用するため、補助燃料は必要としない。



写真-1 汚泥乾燥機

(2)炭化炉

乾燥汚泥を低空気比で500℃程度の温度で熱し、炭化物を取り出す炉。高温の砂を炉内で巻き上げることにより、より効率よく熱分解反応をさせる。完全に燃焼させないため、灰にする既存の焼却炉の温度800～850℃と比較して低い。

(3)炭化サイクロン

炭化炉にて生成された粉末状の炭化物とガスとを遠心力により分解し、粉末状の炭化物を回収する。

(4)炭化物冷却コンベヤ

炭化サイクロンにて回収した炭化物を冷却、搬送する。

(5)造粒機

炭化物を加湿・造粒し飛散防止を図ることで、運搬・使用しやすくする。



写真-2 造粒機

(6)炭化物ホッパー

完成した炭化物を一時貯留する。安全性を考慮し、炭化物の発熱防止のため、上部に冷却器を設置している。

(7)再燃炉

炭化炉から排出されるガスの二次燃焼および乾燥空気中の燃焼脱臭を行う。高温で熱することで臭気や有害物質を分解する。

(8)熱交換器

再燃炉から出た燃焼排ガスが持っている熱量を汚泥乾燥機へ行く循環ガスへ渡す。

(9)乾燥用熱風炉

熱交換器にて熱した循環ガスで乾燥に必要な熱量が不足する場合、所定温度まで加熱する。

(10)冷却塔

排ガスの温度を低下させ、バグフィルタでの集塵に適した温度に調節する。

(11)バグフィルタ

排ガス中のダストを集塵除去する。

(12)排煙処理塔

排ガス中の酸性ガス(SOX,HCL等)を除去する。苛性ソーダ(NaOH)を添加した水を排ガスに接触させ、中和反応により除去する。

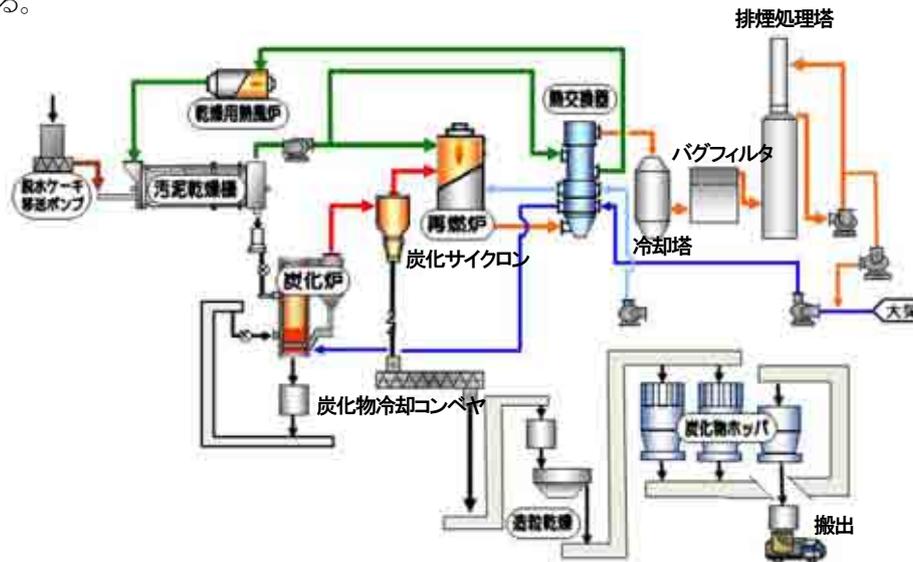


図-3 燃料化施設フロー図

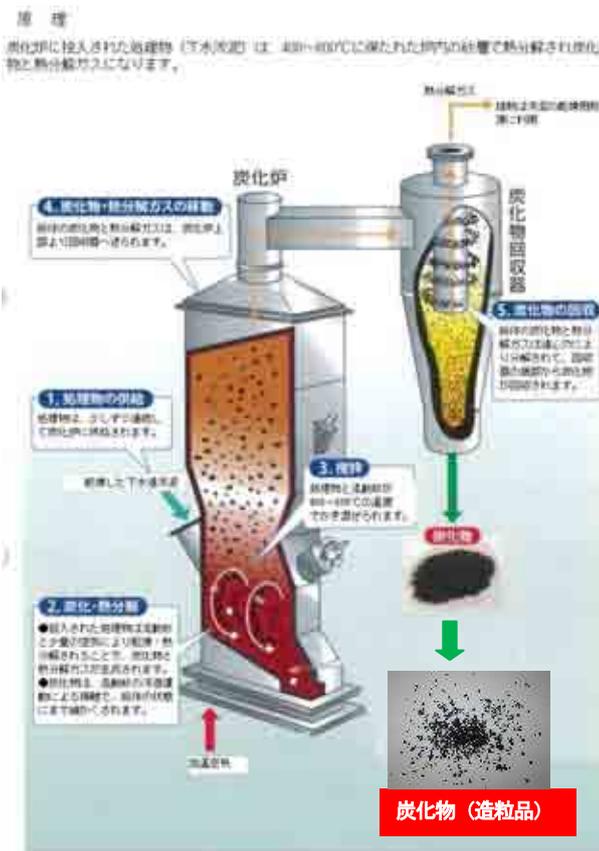


図-4 燃料化施設の仕組み

6.燃料化物とは

汚泥燃料化施設は80t/日の汚泥に対して燃料化物約7t/日製造される。この燃料化物は100円/t(税抜)で燃料化事業者へ県が売却をする。事業者はさらに販売先へ売却をするが、セメント工場の自家発電燃料や、製鉄所

の電気炉の燃料として利用される予定である。なお、燃料化物の販売ルート確保、販売は受注業者が行う。燃料化物の発熱量は12.4GJ/tである。ちなみに石炭の発熱量は25.7GJ/t¹⁾、木材の発熱量は14.4GJ/t²⁾である。写真-3において左側が完成品(造粒品)、右側は造粒前の炭化物。粉末状の炭化物を造粒するのは運搬・使用時の飛散防止を図るためである。



写真-3 炭化物

7. 特徴

(1)温室効果ガスの削減

既存の焼却施設と比較し、燃料化施設は温室効果ガス年間削減量はCO₂換算で約6,500 t/年である。また、製造した炭化物は石炭の代替燃料として利用することで、石炭由来の温室効果ガスも削減することができ、年間削減量はCO₂換算で約3,100t/年である。合計で約9,600t/年の年間削減ができ、一般家庭約3,200世帯/年の排出量に相当する。表-3参照。

温室効果ガスを削減できる理由として二酸化炭素(CO₂)の310倍温室効果が高いとされる一酸化二窒素(N₂O)を既存の焼却施設より削減できるからである。

炭化により汚泥から排ガス中に移行する窒素分が少ない点、排ガス中に移行した窒素分が再燃炉（図-3のフロー図参照）により窒素（N₂）まで完全燃焼されてN₂Oが残りにくい点があげられる。

図-5のとおり燃焼温度が高くなるにつれ、N₂Oの排出量は減少する。既存の焼却施設の炉内温度が800～850℃、汚泥燃料施設の再燃炉はN₂Oの排出量0.0386kgN₂O/t以下に抑えるため、約1/5以上の削減が可能である。

項目	焼却設備(既存施設)	汚泥燃料化施設
	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年
都市ガス	2,095	374
電力	1,172	729
N ₂ O由来	4,596	275
合計	7,863	1,378

表-3 CO₂排出量の比較

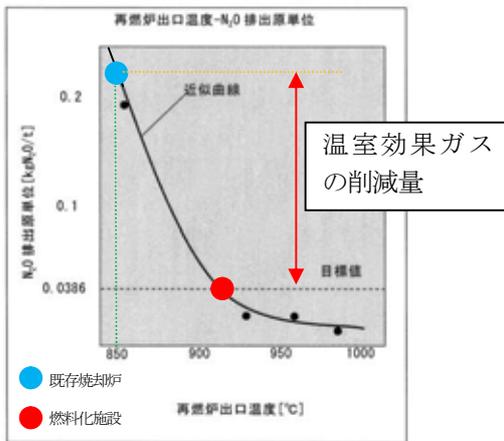


図-5 N₂Oと燃焼温度の関係

(2)燃料費の削減

炭化炉内の温度は、汚泥の一部を部分燃焼することでまかなっているため補助燃料の大幅な削減が可能となった。

また、系統内で発生する熱源を汚泥乾燥機の熱源として再利用することにより省エネをはかっている。

(3)工事費の削減

大津市下水処理場から排出される汚泥と湖西浄化センターの汚泥を併せて湖西浄化センターで集約して処理することにより、大津市が単独で汚泥焼却設備を建設する費用約25億円の削減ができた。

また、排煙設備関係は既存の焼却設備のものを流用することにより建設費を抑えた計画となった。設計から維持管理までの一括した事業費は50.5億円である。参考に既存の焼却炉の建設費は55億円である。工事から維持管理費を含めた金額で比較すると44.5億円の削減となる。

項目	焼却設備(既存施設)	汚泥燃料化施設
建設費	55億円	50.5億円
維持管理費	2億×20年=40億	
合計	95億	50.5億円

※維持管理費は平成28年1月～平成48年3月までの費用である。

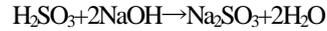
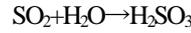
表-5 工事費と維持管理費の比較

(4)環境への配慮

大気汚染防止法および滋賀県公害防止条例、大津市条例によって定められている規制値より厳しい管理値を設け、遵守することで環境に配慮する。表4参照

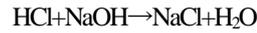
①硫黄酸化物

苛性ソーダ(NaOH)水溶液にて除去する



②塩化水素

同様に苛性ソーダで除去



③窒素酸化物

空気量および燃焼温度を一定に保つ、またO₂の濃度を監視し、N分と残存O₂が結合しないようにする。

④ばいじん

サイクロンおよびバグフィルタにて捕集

⑤ダイオキシン

燃焼温度を850℃以上に、また滞留時間を2秒以上確保することで不完全燃焼を防止し、ダイオキシンの発生を抑える。

項目	規制値	運転管理値
硫黄酸化物	K=8.76	K=1以下
窒素酸化物	250ppm以下	150ppm以下
ばいじん	0.08g/m ³ N以下	0.03g/m ³ N以下
塩化水素	700mg/m ³ N以下	100mg/m ³ N以下
ダイオキシン	1ng-TEQ/m ³ N	0.1ng-TEQ/m ³ N

表-4 排ガスの規制値と管理値

8. 課題

これまでは汚泥焼却に係るユーティリティ（電力・ガス・薬品等）は全て県が負担してきたが、DBOには委託料にこれも含まれることになる。原料である汚泥の含水率などの成分、量によりユーティリティが大きく変動し金額に影響するため、今後は供給する汚泥に対しての要求がよりシビアになることが想定される。

県の下水道では初めてのDBOによる事業であるため、わからないことばかりであるが、一つ一つ課題をクリアしていきたい。

9. 終わりに

滋賀県は近畿の水がめである琵琶湖を有していることもあり、環境に対する意識が非常に高い県である。このため、滋賀県の下水道は全国に先駆けて富栄養化の原因となる窒素・リンの除去ができる「高度処理」を初めて採用した県である。30年ほど前の話ではあるが、この発表会を通して、滋賀県の下水道は今も環境意識を高く持ち、常に新しい技術を積極的に採用しているということをしこしこでも多くの方に知ってもらえればと思う。

参考文献

1)2)環境省、経産省「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル



写真-4 施設全景

片持張出架設橋の工期短縮について

川口 達也¹・並川 武²

^{1,2}前田建設工業株式会社 関西支店 土木部 (〒541-8529 大阪府大阪市中央区久太郎町2-5-30)

本工事は京都縦貫自動車道丹波綾部道路の京丹波町に位置する大簾川橋（全長506m）のうち、延長338mのPC4径間連続ラーメン箱桁橋を築造する工事である。丹波綾部道路の開通に向けて工期短縮が課題となる中で上部工のみの発注である本工事では下部工を含めた修正設計を行う期間を確保することが出来ない状況であった。そのため、工期短縮計画については片持張出架設工法の各段階において様々な施工手順・施工方法を工夫することを計画し、当初計画工程の12.5ヶ月から50日の工期短縮を実現した。本報告では、工期短縮大きくに寄与した具体的な内容について紹介するものである。

キーワード 工期短縮, コスト削減, 施工, PC上部工

1. 工事概要

大簾川橋は橋梁形式の異なる2橋からなり、A1橋台～P4橋脚間がPC4径間連続コンポ桁橋（他工事にて施工済）、P4橋脚～A2橋台間がPC4径間連続ラーメン橋（本工事）である。上下部分割発注のため、橋梁上部および橋梁下部のうちの橋梁上部に係るRC橋脚最上部（脚頭部）と橋台胸壁・翼壁のみが工事対象であった。（図-1）

工事名：丹波綾部道路大簾川橋ムカイ山地区上部工事
 工期：平成25年12月12日～平成27年7月31日
 工事場所：京都府船井郡京丹波町大簾地先



図-1 橋梁上下部工の分類

2. 工事・現場の特徴

(1) 交差条件

P4～P5径間において府道59号市島和知線と交差しており、工事中の飛来落下対策に注意を要した。特にP4・P5各橋脚におけるブラケット支保工・移動作業車（ワーゲン）・吊支保工といった重量仮設組立解体時は府道の交通規制を含め、より慎重な配慮を行いながら施工した。

P5～P6径間においては急峻な谷筋と大簾川があり急勾配の仮橋（幅員：6.0m、縦断勾配：12.0%）により渡河する必要があるため、大型クローラークレーンや移動作業車（ワーゲン）の運搬車両計画を綿密に行う必要があった。（図-2）

(2) 作業ヤード

作業ヤードおよび運搬路は下部工事からの引継ぎとなっていたが、大型架設（仮設）機材の組立解体や鉄筋・PC鋼材等の大量の材料を仮置きするには手狭であった。しかし、谷あいの地形であることや、民地の追加借地は不可能であることから現有のヤードで計画する事となった。

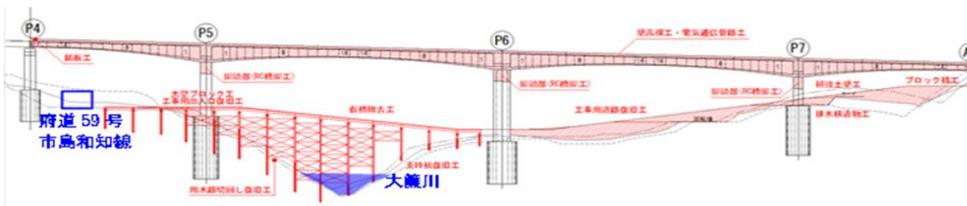


図-2 工事概要図



写真-1 完成写真

(3) 気候

工事場所は日本海側に位置し、冬期の12月下旬～3月下旬にかけては降雪がみられ、週の半分程度は積雪がある地域であったため、冬期のコンクリートの養生は寒中コンクリートとしての対策が必要であった。また、重量仮設の解体・運搬についても天候を見据えた作業計画を行った。

(4) 構造

当該橋梁はP5橋脚上に非常駐車帯があり、標準部より約1.7mの拡幅となる。標準部の張出床版はPC片持スラブ構造であるが、拡幅部では床版下面にリブが付加されたPC梁＋スラブ構造となっていた。

(5) 工期

事業着手当初、丹波綾部道路は平成27年3月末の開通を目指しており、その中で最後に発注されたのが本工事であった（当初工期：平成25年12月12日～平成27年1月31日 約13.5ヶ月）。作業時間の制約により下部工事に遅れが生じたことから、発注者より本工事において施工方法を含めた抜本的な工期短縮策の立案・履行の要請を受けることとなった。舗装工事（次工事）の工程を逆算して平成27年1月31日までに橋梁部の引渡しを行うため、上部工事限定で12.5ヶ月→11.0ヶ月（約50日）の短縮要請を受けた。

(6) 本工事での架設方法（カンチレバー工法）

カンチレバー工法（cantilever：片持梁）とはワーゲン（移動作業車）を使って橋脚上から左右対称に1ブロック（2.5～4.0m）ずつ張出して橋桁を構築する工法である。左右のバランスをとりながら張出していく様子から、よく玩具の‘やじろべえ’に例えられる。

カンチレバー工法の場合、張出架設区間の各ブロックは、【ワーゲンセット→型枠セット→鉄筋・PCケーブル（シース）組立→内型枠組立→コンクリート打設→PCケーブル緊張→脱型→ワーゲン移動】のサイクル施工が繰り返される。主桁コンクリート（早強コンクリート）が所定の強度発現した後、PCケーブルを緊張してサイクルが回っていくが、この養生期間（1～3日）の長さが大きく工程に影響する。また昼夜施工が不可能な場合、型枠・鉄筋・PC組立作業での日数短縮は非常に困難とされる。



図-3 ワーゲンによる張出架設

3. 本工事で適用した工期短縮方法について

ここで、本工事にて実施し工程短縮に大きく寄与した施工方法について以下に示す。

一般にカンチレバー工法では仮設荷重や施工ステップを反映した精緻な上越し検討により各ブロックの上越し計画を設定しているため、施工途中での荷重変化を伴う計画変更は大きな手戻りとなる。したがって、これらの検討は構造への影響を精査したうえで工事着手の早い段階で行う必要がある。

(1) 非常駐車帯拡幅部の施工方法（架設方法）

当初設計において、非常駐車帯（拡幅部）は主桁構築後（張出架設完了しワーゲン解体後）の分割施工となっており、これは中型ワーゲン（200t・m級、幅員12m以下）の使用を前提としたものである。これは非常駐車帯（拡幅部）をワーゲン後退より先に構築すると、中型ワーゲンの横幅が小さいため吊材が干渉し後退できないためである。これに対し、ワーゲンの解体位置変更やワーゲンの拡幅（小規模な改造）により干渉の問題がクリアできれば張出架設の後追い並行施工により工期が大幅に短縮される。

そこで本工事においては、ワーゲンを拡幅（小規模な改造）し、ワーゲンが非常駐車帯区間を通過した後に、張出架設と並行して拡幅部を後追い施工し、全体工期を短縮した。

その他の方法として、大型ワーゲンを導入（または大規模な改造）することにより主桁と拡幅部の一括施工が可能となり、後施工に伴う支保工組立作業や構築作業を省略することも考えられたが、大型ワーゲンを導入する場合は仮設荷重が増加するため、橋梁全体の修正設計およびワーゲンの改造に時間を要することが予想されたため不採用とした。

(2) 非常駐車帯拡幅部の施工方法（構造）

「2.工事・現場の特徴」で記述した通り、主桁標準部はPCスラブ構造であるのに対し、拡幅部はPC梁＋スラブ構造となっている。カンチレバー工法は主桁を同じ形状とすることで型枠を組んだまま転用することにより作業効率を上げるのが売りであるが、床版下面に梁（リブ）などの突起物がある場合はブロック毎に型枠を組み替える（鋼製→木製）必要が生じ1サイクルの日数が2日前後余分にかかることとなる。

そこで本工事においては、床版増厚および鉄筋・PC鋼材の増量により床版下面を平滑化し、型枠・支保工組替の省略することで張出架設工程を10～15日短縮した。

（図-4、写真-2）

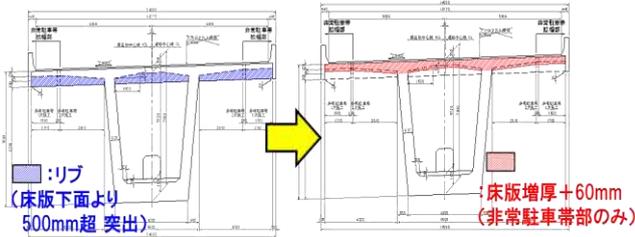


図-4 非常駐車帯の構造変更

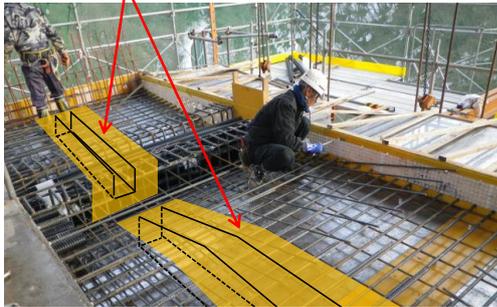


写真-2 リブ部の型枠構造

(3) 側径間の分割先行施工

側径間(図-5)は張出架設先端～桁端までの区間の通称であり、通常5～10m程度で設計される。桁端部は支承や多数のPCケーブルの緊張端となっていることから形状や配筋が複雑で構築に日数がかかる。

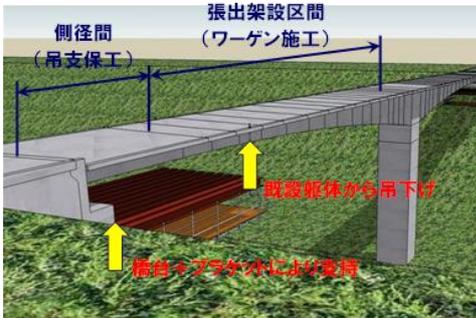


図-5 側径間の位置

側径間の構築着手は張出架設完了を待つ必要があるが、分割施工として構築に日数を要する桁端部を張出架設と並行して先行施工することにより全体工程の短縮が図れる。ただし、支保工計画が複雑となり支保工の組替えの必要やコスト増が生じるため、適用には慎重な検討が必要である。本工事におけるP4橋脚側の実施例を図-6に示す。

前述のとおり桁端部(側径間①)をブラケット支保工により張出架設と並行して先行施工し、残りの閉合部分(側径間②)を小型の吊支保工により閉合することで全体工程を20日短縮した。なお、P4橋脚側の側径間は一般道直上にあたるため、この分割施工による支保工の小型化により交通規制の縮小(全面通行止め→片側交互通行)にも寄与した。

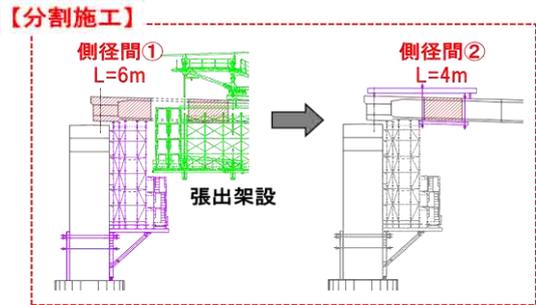
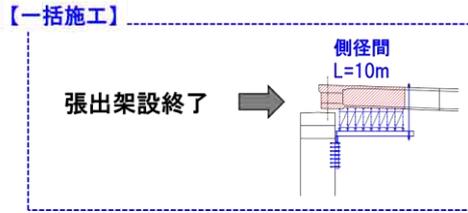


図-6 側径間先行施工

(4) 外ケーブルの材料変更

一般的に外ケーブルは内ケーブルと同様、シース内にPC鋼材を挿入し緊張後にグラウト充填することにより防食性能を確保する。グラウト作業やその後のケーブル架台解体作業では箱桁内への出入りが伴うため、作業完了まで仮設開口を設けておかなければならず橋梁構造の完成にとってクリティカルとなることが多い。

これに対し、工場にてPC鋼材を束ね防錆被覆をすることにより現場グラウトを省略できるプレファブケーブルを適用することにより、ケーブル挿入作業の施工性向上や現場グラウトの省略を図ることができる。(図-7)

本工事においては、外ケーブルの材料をグラウトタイプからプレファブタイプに変更することで10～15日の全体工程短縮を実現した。

また、充填確認が困難な現場グラウトに代わり工場で防錆処理を施すことから、PCケーブルの長期耐久性の向上も期待できる。

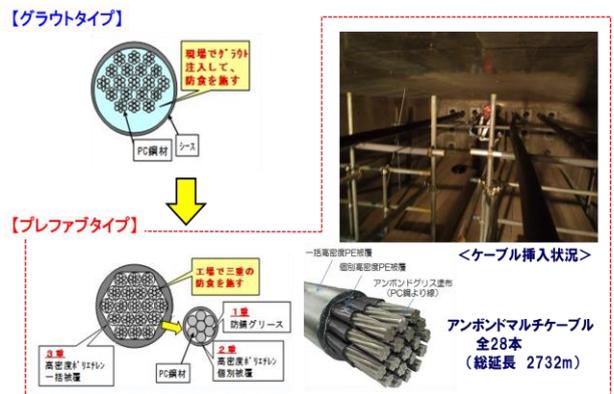


図-7 プレファブタイプ ケーブル仕様

4. 上部工事で検討されるその他の工期短縮案

上部工事で一般的に検討される工期短縮案のうち、検討の余地はあったが本工事で採用しなかったものを以下に記載する。

(1) 張出架設におけるブロック数の縮減

ブロック長はワーゲンの能力で決まり、桁高との相関により1ブロックあたりのコンクリート重量がほぼ同等となるように設定されている。大型ワーゲンを導入することによりブロック長を大きくしトータルのブロック数を減らすことで工期短縮は可能であるが、仮設荷重の増加やPCケーブル配置の変更が伴い、大幅な設計の見直しが必要となる。本工事は上部工事のみであり、下部工を含めた抜本的な変更ができないこと、充分な変更設計の時間を確保できないことから不採用とした。

(2) 壁高欄のプレキャスト化

高規格道路橋の壁高欄には電気通信設備が埋設されるためフルプレキャスト構造の適用事例は非常に少ない。また、外型枠に埋設型枠を用いるハーフプレキャスト構造は事例があるものの、壁高欄のほとんどの部分が現場打ちになることから費用対効果の面で工期短縮策として適用されることは稀である。このことから本工事においても不採用とした。

(3) 壁高欄の同時施工

壁高欄は橋梁構造完成後に一括して施工されることが多い。これは下記の理由による。

- ① 支間の大きいPC橋はプレストレス導入や仮設荷重の変化により桁にそりが生じる。壁高欄施工後に主桁からその影響を受けると、断面係数やコンクリート強度が主桁に比して小さいため、ひび割れを生じることがある。
- ② 張出架設の場合、ブロック毎に施工誤差が生じ幅員や高さが波打つ場合がある。橋梁構造完成後に施工すると誤差をカバーできるため、出来形精度を向上することができる。
- ③ 壁高欄の足場は床版下面に張出式の腕木足場を取付けるが、標準的なワーゲンをを使用する場合は足場とワーゲンが干渉することが多い。

本工事においては、同時施工による張出架設工程の間延びを避けるために不採用とした。

5. その他の現場条件への対応

(1) 交差条件（府道59号市島和知線）

通常、ワーゲンの下段作業台は地組みした後、電動チェーンブロックで所定の高さまで吊り上げる。しかし、

府道直上に設置するP5橋脚起点側のワーゲンは地組みスペースがなく、上空での組立となると府道全面通行止めが必要であった（全面通行止めおよび夜間作業は不可）。そこで、柱頭部ブラケットを大型化したうえで、構築後も存置しワーゲンの組立作業床および府道防護として使用することにより、府道の安全通行を阻害することなく作業を進めた。(図-8)

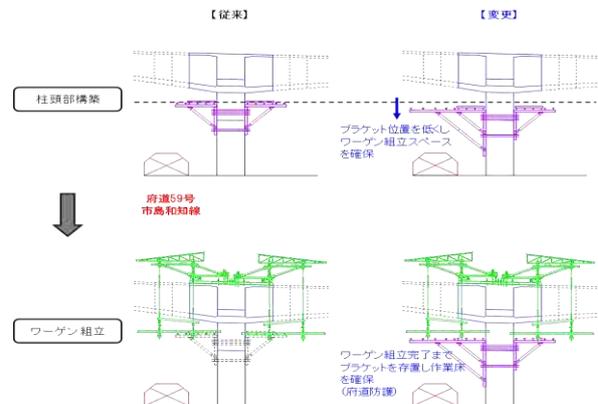


図-8 一般道上でのワーゲン組立

(2) 作業ヤード（ワーゲン解体位置）

張出架設完了後は張出先端において側径間や中央閉合部の構築にかかるために、作業の支障とならないよう、また仮設荷重の変動による影響が張出先端部に大きく及ばないようにワーゲンを橋脚付近まで後退させ解体するのが一般的である。

本工事においては中央閉合で使用したP6ワーゲンを解体する時期が外ケーブル挿入時期と重なり、P6橋脚付近の橋面上は大型資機材が輻輳することとなる。そこでP6ワーゲンのうち1基をP7橋脚まで前進させ解体することで、外ケーブル材料の搬入・仮置きスペースを確保し、並行作業を可能とするとともに、各作業の輻輳防止とワーゲン解体機材の仮置き・搬出作業の場所を確保した。

6. まとめ

一般的にカンチレバー工法はブロック毎のサイクル施工であり、ワーゲン等の仮設荷重や施工順序まで反映した設計となっているため、大幅な工程短縮は困難である。これに対し、工期短縮方法や徹底的な施工の効率化を実施することで、PC上部工（橋体・橋面工：橋梁本体および壁高欄等の橋梁付属物）の工程を約50日短縮し、舗装工事への引渡し期日を満たすことができた。

張出架設区間の各ブロックにおける型枠、鉄筋など個々の工種別での工程短縮は前述の通り困難であるが、特筆すべきは並行施工による全体工程の短縮効果である。現場条件による各案の適否はあるが、作業班数の確保により為し得た工期短縮の一例である。

トンネル地山等級判定マニュアル の改訂について

矢羽田 寛治¹・福本 雅宏²

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 建設監督官 (〒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 事業対策官 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

近畿地方整備局が発注、監督するトンネル工事では、これまで、2006年（平成18年9月）に整備したトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）により、岩判定（地山等級判定）を試行的に実施してきたところであるが、切羽評価点から目安となる支保パターンが複数選定されるケースが多いこともあり、支保パターンの決定にあたって判定員ごとでばらつきが生じやすい、マニュアル全体に定性的な表現が多く経験豊富なトンネル技術者でなければ活用しづらいといった、現場から指摘や、改善の要望が多く寄せられた。

今般、近畿地方整備局管内の過去のトンネル工事から切羽評価点を整理、分析し、目安となる代表的支保パターンを選定しやすいように判定方法を改良した。また、正確な切羽評価、判定に寄与するよう具体的な判定事例や解説等を加えるとともに、これまで明確な定めのない判定のタイミングについても目安を示し、画一的なトンネル工事岩判定の実施にむけマニュアル改訂を行ったので、これを報告する。

キーワード トンネル地山等級判定マニュアル、切羽評価、岩判定、支保パターン

1. はじめに

近畿地方整備局は、現在、直轄国道23路線、約1,900kmにおいて道路の維持管理を行っており、その中には196本のトンネルがある。近畿管内のトンネルは、大阪万博前の高度経済成長期に数多く建設されているが、1970年代以降、現在に至るまで、各地でトンネルは建設され、供用され続けている。（図-1）近年では和歌山県内で数多く建設され供用されている。（図-2）

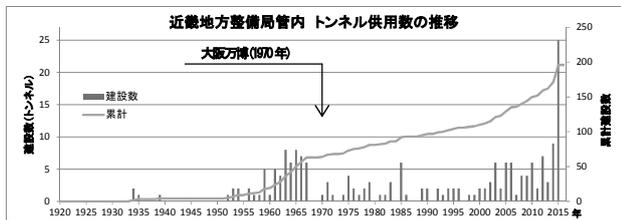


図-1 近畿地方整備局管内 トンネル供用数推移

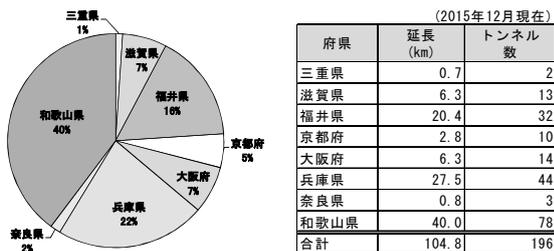


図-2 近畿地方整備局管内 府県別トンネル供用数

現在も近畿地方整備局管内の各地で建設されている山岳トンネルであるが、その設計にあたっては、地山の工学的諸性質を類型化して地山分類（＝地山等級区分）を行い、地山分類に応じて標準的な支保構造（＝支保パターン）を設定している。また、施工にあたっては、切羽の観察・計測により地山等級を判定し、「安全性」及び「経済性」を確保した合理的な施工ができるよう、必要に応じて支保パターンの変更を実施している。

トンネル地山等級の判定は、切羽における岩の硬さや亀裂等を観察し、その結果を点数化して地山を評価するものであるが、その評価基準・様式等については統一されたものがなく、各現場において担当者がそれぞれ工夫してきたところである。このことから、近畿地方整備局ではトンネル地山等級の判定を客観的かつ統一的に運用するため、2006年にトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）をとりまとめ、これを試行的に運用してきたところである。

今般、近畿技術事務所は、更なる画一的なトンネル地山等級判定の実施、支保パターン判定基準の明確化を目的に、試行後10年が経過するトンネル地山等級判定マニュアルの改訂作業に取り組み、改訂版のとりまとめに至った。

2. マニュアル改訂の背景

2006年9月以降、近畿地方整備局においては地山等級判定マニュアル(試行案)に基づきトンネル工事の地山等級判定を試行的に実施してきたが、トンネル工事の現場から、以下のような指摘、改善の要望が出されていた。

①. 切羽評価点をもとに支保パターンを目安を確認するが、目安となる支保が複数選定されるケースが多いことから、支保の決定にあたって判定員による判定のばらつきが生じやすい。

『切羽評価点から支保パターンを選定できるマニュアル』を望む。

②. マニュアル全体に定性的な表現が多く、経験豊富なトンネル技術者でなければ活用しづらい部分がある。

『トンネル専門家でない技術者でも活用可能な分かりやすいマニュアル』を望む。

このことから、改訂にあたっては、理解しやすい、使いやすいマニュアルにすることを念頭に改訂作業を行った。

3. 切羽観察データの分析

(1) 分析対象トンネル

マニュアル改訂にむけた切羽観察データの分析は、2006年度～2015年度の期間に近畿地方整備局管内で施工が行われた80トンネルを対象に、岩判定を実施した計1,027断面のうち、切羽評価点によらず支保を決定する坑口付近や薄土被り区間のDIIIa等を除いた980断面で分析を行った。

(2) 近畿地方整備局のトンネルの傾向

分析対象のトンネル断面から以下の傾向が確認された。

●岩石グループは中硬質岩(塊状)、中硬質岩(層状)で71%を占め、硬質岩、軟質岩が少ない。(図-3)

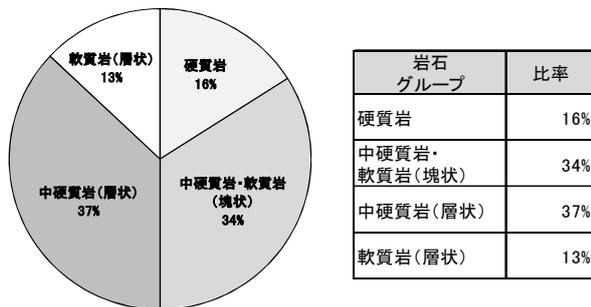


図-3 岩石グループの比率

●施工支保パターンはC II, D Iで89%を占めC I, D IIの割合が非常に少なく、Bは皆無に近い。(図-4)

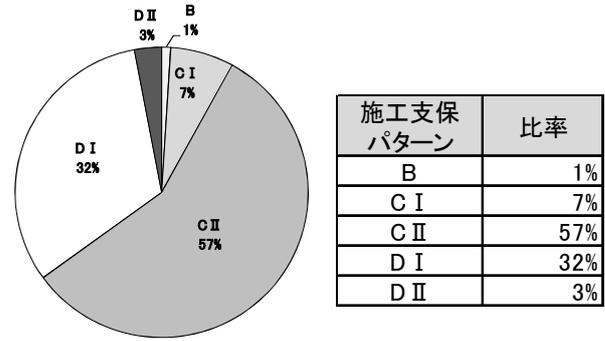
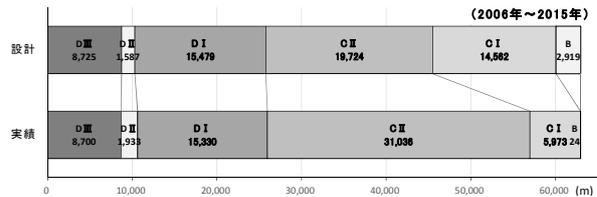


図-4 施工支保パターンの比率

●全体的な傾向として、当初設計で支保パターンC I, C IIと判断された区間について、実施工の支保パターンとの間に大きな乖離がみられた。(表-1)
この乖離は、鋼製支保工を必要としない支保パターンC Iで当初設計され工事発注されていたものが、実施工において鋼製支保工を必要とする支保パターンC IIに変更されており、支保パターンC I, C II区間では工事費の増加につながる重い支保へ変更される傾向を示している。

表-1 設計と実績の支保パターンの比較



4. 【改訂版】切羽評価点の判定方法

(1) 近畿の実績に基づく箱ひげグラフの改訂(近畿版箱ひげグラフの作成)

地山等級判定について、従前マニュアルでは全国版の実態調査の結果をもとに、2006年に土木研究所が作成した箱ひげグラフが用いられており、図-5に示すように切羽評価点によっては複数の地山等級が目安として選定されるものであった。このことが支保パターンの決定にあたって判定員ごとでばらつきが生じる原因となっていた。改訂マニュアルでは近畿地方整備局管内で掘削が行われたトンネル工事の地山等級判定の資料を収集し、近畿の施工実績に基づく、近畿版箱ひげグラフに改訂した。この結果、目安となる支保パターンの重複がまったく無くなったわけではないものの地山等級の分布グラフの重複は少なく、分離性の良いグラフとなった。(図-5)

なお、切羽観察および評価項目は、従前マニュアルと同様に、「道路トンネル観察・計測指針(社)日本道路協会」に示される9項目4段階評価法を用いている。

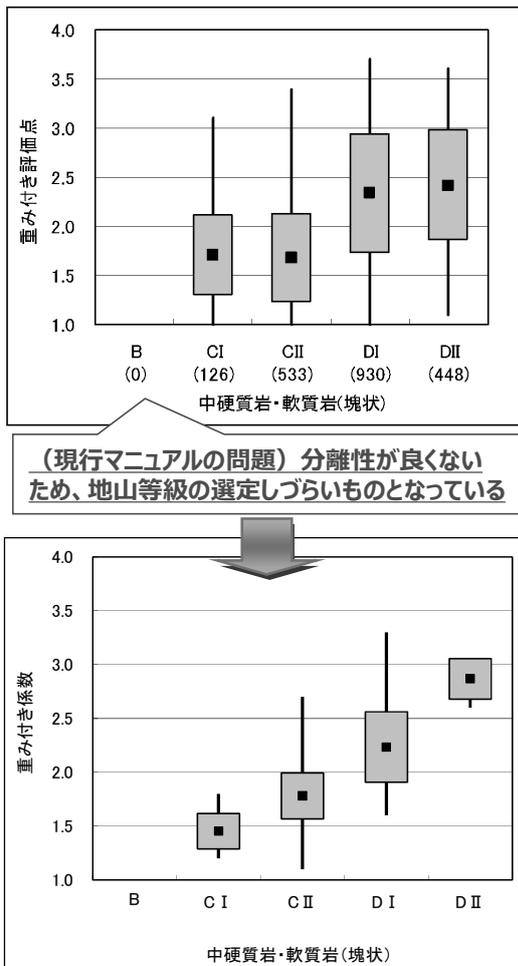


図-5 箱ひげグラフの改訂
(中硬質岩, 軟質岩 (塊状) の場合)

※ 図-5の「箱髭グラフ」とは、各岩質における重み付き評価点による地山等級の分布グラフのことであり、既往の直轄道路トンネルの施工時に得られたデータを基にまとめ、縦軸に評価点、横軸に地山等級、長方形の箱部分がデータの±1σ (σ:標準偏差)の領域を示しており、評価点による判定の目安を示すものである。

(2) 地山等級の目安が重複した場合の判定

近畿の実態に即した箱ひげグラフにおいても、評価点によっては複数の地山等級が選定されることから、統計解析で用いられる数量化 II 類により、地山等級の判定に大きく影響している切羽評価項目を抽出し、地山等級の目安を絞り込むことができるフローチャートを作成した。

この結果を図-6に示す。図中の評価点1から5は表-2に示す各要因の 카테고리を示している。このカテゴリースコアがプラス側に大きいものほどDI評価に影響し、マイナス側に大きいものほどCII評価に影響していることを示している。着目する事項としてはカテゴリーが小さい(1側)ほどCIIへ、大きい(5側)ほどDIに影響している要因であることに注目した。

中硬質岩・軟質岩(塊状)のCIIとDIの評価に関し

ては、「圧縮強度」と「割れ目の状態」が地山等級判定に大きく影響している要因となった。なお、他にもカテゴリースコアの値が大きく地山等級判定に影響の大きい要因はあるが、第1要因とよく似ている要因や、明確に区分することができない要因を除いて、影響の大きい2要因を選定した。

表-2 現行マニュアルの切羽評価表
(中硬質岩・軟質岩(塊状)の事例)

要因No.	要因	カテゴリー
(A)	切羽の状態	1.安定 2.鏡面から岩塊が抜け落ちる 3.鏡面の押し出しを生じる 4.鏡面は自立せず崩れ、あるいは流出 5.その他
(B)	露出面の状態	1.自立(普請不要) 2.時間がたつと緩み肌落ち 3.自立困難掘削後早期に支保する(普請) 4.掘削に先行して山を突 5.その他
(C)	圧縮強度	1.σ<100MPa ハンマー打撃はね返る 2.100MPa<σ<200MPa ハンマー打撃で砕ける 3.200MPa>σ<300MPa 支保する(普請) 軽い打撃で砕ける 4.50MPa<σ<100MPa ハンマー刃先食いこむ 5.その他
(D)	風化変質	1.なし・健全 2.岩面に沿って変色、強度低下 3.全体に変色、強度相当 4.土砂状、粘土状、破砕、当初より未固結 5.その他
(E)	割れ目の地質	1.間隔d≧1m 2.1m>d≧20cm 3.20cm>d≧5cm 4.5cm≦d 5.その他
(F)	割れ目の状態	1.密着 2.部分的に開口 3.開口 4.粘土を挟む、当初より未固結 5.その他
(G)	割れ目の形態	1.ランダム方形 2.柱状 3.層状、片状、板状 4.土砂状、細片状、当初より未固結 5.その他
(H)	湧水	1.なし・湧水程度 2.湧水程度 3.集中湧水 4.全面湧水 5.その他
(I)	水による劣化	1.なし 2.緩みを生ず 3.軟弱化 4.崩壊、流出 5.その他

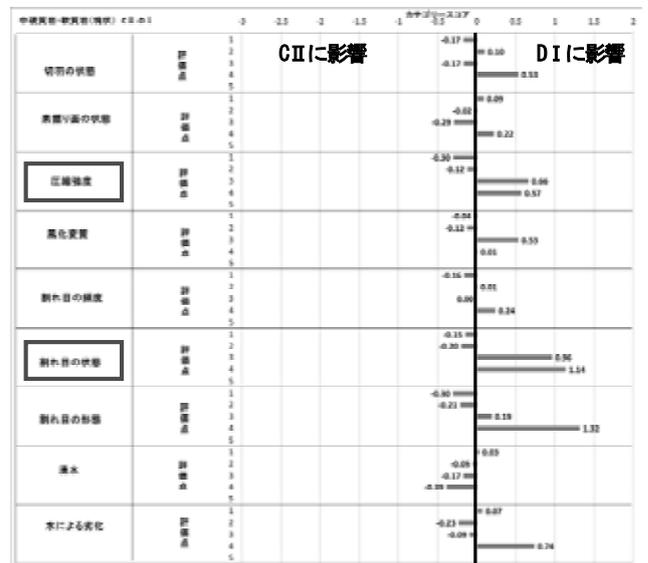


図-6 数量化 II 類によるカテゴリースコア
(中硬質岩・軟質岩CIIとDIの事例)

この数量化 II 類による分析結果を用いて、各岩石グループ毎に地山等級の目安を絞り込むフローチャートを作成した。

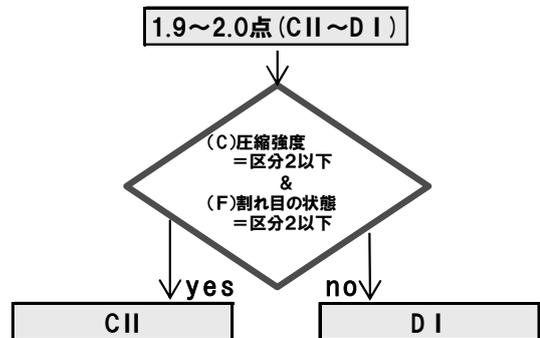


図-7 切羽評価点により重複して地山等級が選ばれる場合の地山等級選定フロー
(中硬質岩・軟質岩(塊状)CIIとDIの事例)

(3) 近畿版箱ひげグラフの調整

(1) で作成した箱ひげグラフについて、さらに、以下の分析により、箱ひげグラフの調整を行った。

(2) の数量化II類により得られた各要因のカテゴリースコアを用いて、収集した切羽評価のサンプルスコアを求めた。サンプルスコアとは表-3に示すように各切羽評価結果に示されるカテゴリに対応するカテゴリースコアの合計点を示している。この合計点を地山等級別に値の大小順に並べ図-8に示す。

表-3 サンプルスコアの算定事例

切羽事例	採用支保	要因	切羽の状態	素掘り面の状態	圧縮強度	風化変質	割れ目の頻度	割れ目の状態	割れ目の形態	湧水	水による変化	計
切羽A	D I	切羽評価	3	3	3	2	2	2	3	1	1	0.18
		サンプルスコア	-0.17	-0.29	0.66	-0.12	0.01	-0.2	0.19	0.03	0.07	
切羽B	C II	切羽評価	1	1	1	1	1	1	2	1	1	-0.84
		サンプルスコア	-0.17	0.09	-0.3	-0.04	-0.16	-0.15	-0.21	0.03	0.07	

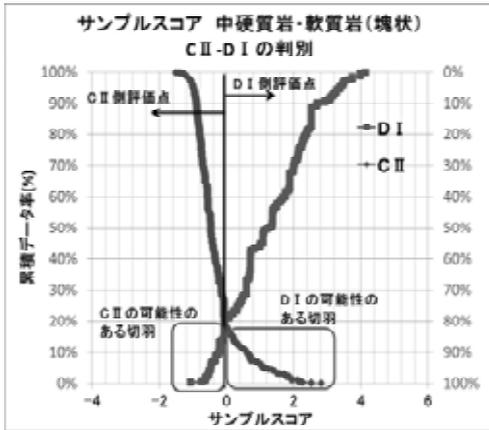
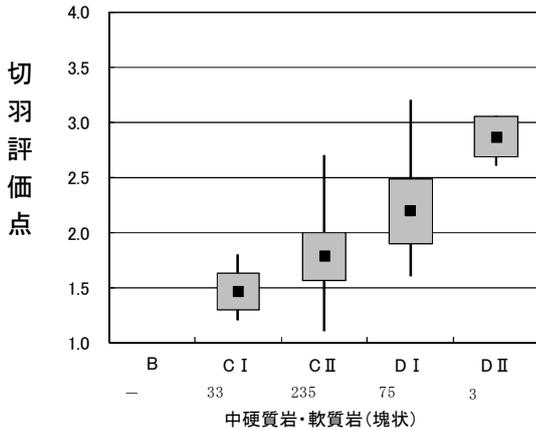


図-8 サンプルスコアの分布
(中硬質岩・軟質岩(塊状) C IIとD Iの事例)



地山等級	B	C I	C II	D I	D II
標本数	—	33	235	75	3
標本割合(%)	—	9.5	67.9	21.7	0.9
最大値	—	1.8	2.7	3.2	3.0
平均値+偏差	—	1.6	2.0	2.5	3.1
平均値	—	1.5	1.8	2.2	2.9
平均値-偏差	—	1.3	1.6	1.9	2.7
最少値	—	1.2	1.1	1.6	2.6
標準偏差	—	0.2	0.2	0.3	0.2

図-9 近畿の実績を考慮した切羽評価点と地山等級の関係

(中硬質岩・軟質岩(塊状)の場合)

図-8で示すD IとC IIのグラフの交点よりプラス側はD I、マイナス側はC IIの評価となるが、D I側の評価点にありながら実際の切羽評価はC IIであったものや、C II側にありながらD I評価であったものは、サンプルスコアから地山等級が変更できる可能性があるサンプルとなる。このようなサンプルのうち、図-6で求めた地山等級に大きく影響する要因、カテゴリに該当するサンプルについては、地山等級をより妥当と考えられる地山等級に変更した上で、近畿の施工実績に基づく箱ひげグラフに反映し調整した。この結果は図-9に示すとおりであり、従前マニュアルよりも地山等級の分布グラフの重複は少なく、分離性の良いグラフとなり、使いやすいグラフを得ることができた。

(4) 工学的判断の明確化

今回作成した近畿版箱ひげグラフと、重複した場合に絞り込むフローチャートにより、地山等級の目安は非常に選定しやすいものとなった。

しかしこれらは、過去の事例に基づいた統計解析の結果であり、複雑な地質や特殊性を持つ地山の場合には、必ずしも適用できない場合も想定される。

このため、過去の切羽評価に記載のあるコメントや、山岳トンネル掘削時に用いられる管理基準や、前方探査結果等から得られる工学的判断指標を明確化し、表-4のとおり整理した。近畿版箱ひげグラフとフローチャートにより目安となる地山等級を選定することを基本として考えるが、特殊な地山状態や、前後の区間で地山に問題があるような場合には、このチェック項目、およびその他条件を考慮し確認することで、工学的な判断による地山等級の判定を可能とした。

表-4 工学的指標によるチェック項目

判定I~IIの支保パターン	チェック項目
Bパターン	<input type="checkbox"/> 岩塊の局所的な抜け落ち対策を図る必要があるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか
C Iパターン	<input type="checkbox"/> 素掘りの天端から吹付けだけでは固定できないほどの肌落ちがみられるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか
C IIパターン	<input type="checkbox"/> 切羽からの押し出し、あるいは切羽が自立せずに崩れることがあるか <input type="checkbox"/> 集中湧水以上の湧水があり、湧水によるゆるみ~軟弱化があるか <input type="checkbox"/> 押し出し、あるいは、切羽が自立せずに崩れることがあるか <input type="checkbox"/> 先行して山を受けるなどの掘削のための補助工法が必要か <input type="checkbox"/> 切羽、素掘り面は土砂状、粘土状、未固結か <input type="checkbox"/> 盤ぶくれの恐れがあるか(将来的なことも考慮) <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか
D Iパターン	<input type="checkbox"/> 切羽からの押し出しが顕著か <input type="checkbox"/> 変形余裕量を見込む必要があるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか

5. 改訂版マニュアル(試行案)のとりまとめ

前述した【改訂版】切羽評価点の判定方法の検討結果を、改訂版マニュアル(試行案)に反映するとともに、『理解しやすい、使いやすいマニュアル』を踏まえ、次

の点に配慮して最終とりまとめを行った。

- ① 切羽評価点の判定方法の修正
- ② 切羽評価区分に関するQ&Aと地山等級判定事例の追加
- ③ 地山等級判定の基礎事項の解説
- ④ 地山等級判定のタイミングの設定

このうち、地山等級判定を行うタイミングについては、従前マニュアルでは定められていなかったが、過大な支保構造や、過小な支保構造を継続して設置し続けるという問題の是正や、地山に応じた適切な支保構造を設置するためには不可欠な項目であると考え、今回、新たに設定しマニュアルに掲載した。(表-5)

表-5 地山等級判定を行うタイミング

タイミング	実施地点
A. 設計変化点	設計上の支保パターン変更点
B. 切羽評価点	判定Ⅰ・Ⅱにより判定される地山等級と、実施中の支保パターンが合致しなくなった地点。
C. 延長	同じ支保パターンが50m以上続いた地点
D. その他	発注者、施工者のいずれかが岩判定を必要と判断した地点

6. まとめ

トンネル工事において「安全性」及び「経済性」を確保した合理的な施工をするためには、地山状態に応じた適切な支保構造の選定が重要である。

今般の改訂地山等級判定マニュアルは、2014年、2015年の2年間で、過去のトンネル工事のデータ収集、分析を行い、とりまとめたものであるが、地盤は元来不均質であり岩盤の中には断層や層理などの不連続面が内在しており、地下水の状態も場所により異なるものであることから同一のトンネル地山は存在しないことを念頭に置

かなければならない。従って、本マニュアルで導き出される判定結果は目安であり、あくまで試行的な位置づけであることを申し述べておく。

しかしながら、近畿における過去の地山判定結果等のデータを反映させ、とりまとめた【改訂版】「トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)」は、従来のマニュアルに比べ近畿の地山状態を反映した適切な支保構造を選定するための重要な目安となるものであると考えている。今般、改訂したマニュアルが、近畿管内のトンネル工事現場で有効に活用され、現場の地山に応じた適切な支保パターンの選定に寄与できれば幸いである。

近畿技術事務所は、今回、改訂したマニュアルの検証を行うとともに、さらに使いやすく、現場を支援できるものを目指し、マニュアルを補完する検討を引き続き重ねていく考えである。

また、近畿技術事務所では、トンネル技術支援として、① 第三者を含めた体制でのトンネル岩判定の実施、② トンネル工事中の問題発生時・不測の事態に学識経験者等から指導助言を受けるトンネルアドバイザー制度の確立、③ トンネル工事岩判定員の正しい技術の習得等を目的とした研修会の実施等を行っており、近畿地方整備局の技術を下支えする取り組みに出精しているところであり、現場において何か問題等があれば、気軽に近畿技術事務所に相談いただきたい。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路部道路工事課：
トンネル地山等級判定マニュアル(試行案) 平成18年9月
- 2) 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ(トン研)：
切羽観察表を用いた地山等級判定に関する試験施工について 平成18年1月
- 3) (社)日本道路協会：
道路トンネル観察・計測指針 平成21年2月

道路管理システムの不具合がお客様へ与える影響の”見える化”

才藤 浩司¹・北野 謙太²

¹阪神高速道路（株） 保全交通部 システム技術課 （〒541-0056大阪府大阪市中央区久太郎町4-1-3）

²阪神高速道路（株） 保全交通部 システム技術課 （〒541-0056大阪府大阪市中央区久太郎町4-1-3）

道路情報板やETC設備等の道路管理システムに、障害発生による運用停止などの不具合が生じた場合にお客様へ及んだ影響を指標化し”見える化”することで、補修を実施する優先順位を決定し、お客様への影響を最小限に抑える。

キーワード 道路管理システム, “見える化”, 道路情報板,

1. 道路管理システムの概要

阪神高速道路には、道路に設置された各種設備に安定した電力を供給する配電設備などの電力系システム、各種設備からのデータを伝送するネットワーク設備、事故・故障などの非常時に交通管制センターとの連絡を行う非常電話設備などの通信系システム、阪神高速道路を利用する際の料金を徴収するETC設備などの営業管理系システム、交通状況を把握するための情報収集設備、収集された情報を速やかに情報処理し、道路交通情報を提供する情報提供設備などの交通管制系システムがあり、以上のシステムを総称として道路管理システムという。

2. “見える化”の検討

当社では、企業理念に掲げる「安全・安心・快適なネットワークを通じてお客様の満足を実現」に向けて、道路管理システムの不具合によりお客様へ与える影響の“見える化”を検討した。

お客様に直接的な影響を与える道路情報板の“見える化”を報告する。

(1) 不具合状況

道路情報板は、全部で489面設置されており、そのうち2事象の道路情報板は233面設置されている。2事象の道路情報板については、不具合時間および不具合アラームは、1事象ずつダブルでカウントしている。3

月の延べ不具合時間は約5,200時間、不具合アラームは約14,600回となっている。

道路情報板の不具合の一例を「道路情報板異常点灯状態」（図-1）「道路情報板文字欠け状態」（図-2）に示す。

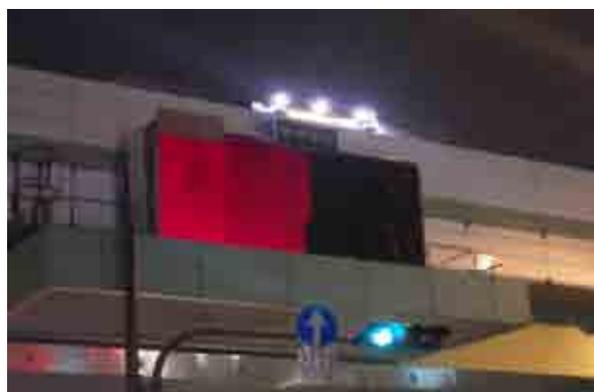


図-1 道路情報板異常点灯状態



図-2 道路情報板文字欠け状態

(2) 要件整理

道路情報板は、高速道路上の出口および分岐部の手前に設置し、道路交通情報を提供して、お客様が経路選択を行えるようにしている。また、入口・街路にも設置し、経路選択を行えるようにしている。

道路情報板に不具合などが無い場合は、道路交通情報が表示されるため、お客様が経路選択を行える。(図-3)



図-3 道路交通情報が提供できている状態

道路情報板に不具合などがある場合は、道路交通情報が表示されないため、お客様が経路選択を行えない。この状態は、お客様へ影響を与えているとする。(図-4)



図-4 不具合により道路交通情報が提供できない状態

図-4の状態であっても、消灯時や広報情報(例えば、シートベルトは忘れずに)などを提供しており、お客様が経路選択に必要なと思われる場合は、お客様へ影響を与えていないとする。(図-5)



図-5 不具合により広報情報が提供できない状態

(3) 影響台数の定義

不具合などが発生した道路情報板にて、道路交通情報を提供できていない間に、当該道路情報板の区間を通過した車両台数を影響台数とする。阪神高速には図-6に示すように、入口・本線・街路の道路情報板があるので、それぞれの道路情報板を通過する車両台数を計測する必要がある。それらの車両台数は、入口に設置される車両検知器(入口検知器)で計測した入口交通量と、分合流など交通量に変化する本線区間に設置している車両検知器(区間検知器)で計測した区間交通量を採用する。ただし、街路に設置している道路情報板については、車両検

知器がないため、車両台数が得られない。そこで、影響台数の試算上、直近の入口に設置されている入口検知器で計測した入口交通量を影響台数として試算する。

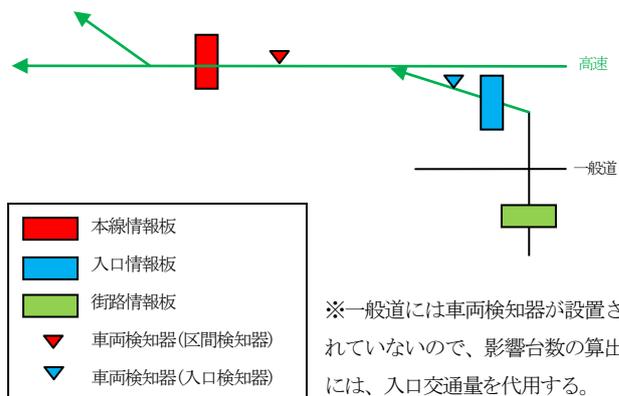


図-6 各道路情報板の影響台数の考え方

3. 影響台数の試算について

全道路情報板を1ヶ月毎に影響台数の試算を実施し、“見える化”を図る。

(1) 不具合時間および区間・入口交通量の抽出

交通管制系システムのデータウェアハウス(以下、DWHという。)は、交通量データ、渋滞データ、障害データなど蓄積している装置で、DWHより影響台数の試算に使用するデータを抽出する。

DWHから「文字情報板表示内容日報」(表-1)・「区間交通量日報」(表-2)・「入口交通量日報」(表-3)の1ヶ月間の情報抽出を行う。

表-1 文字情報板表示内容日報(抜粋)

系統名	文字情報板	開始日時	終了日時	時間	表示内容	エラー
神戸線下り	下湊川本上	2016/3/2 19:31	2016/3/2 19:32	0:01	湊川JC 妙法1T 工事 注意	H
神戸線下り	下湊川本上	2016/3/2 19:32	2016/3/2 19:35	0:03	湊川JC 妙法1T 工事 注意	H
神戸線下り	下湊川本上	2016/3/3 16:48	2016/3/4 6:40	13:52	湊川JC 妙法1T 工事 注意	H
神戸線下り	下湊川本上	2016/3/4 6:40	2016/3/4 6:46	0:06	若宮 故障車 注意	H
神戸線下り	下湊川本上	2016/3/4 6:46	2016/3/4 7:17	0:31	湊川JC 妙法1T 工事 注意	H
岸線入り	住吉浜入口	2016/3/1 0:00	2016/3/1 6:19	6:19	湾岸線 兵庫側 凍結防止 作業中	H
岸線入り	住吉浜入口	2016/3/1 6:19	2016/3/1 8:37	2:18	全線 凍結 注意	H
岸線入り	住吉浜入口	2016/3/1 8:37	2016/3/1 8:40	0:03	魚崎浜 深江浜 故障車 注意	H
岸線入り	住吉浜入口	2016/3/1 8:40	2016/3/1 8:55	0:15	深江浜 故障車 注意	H
岸線入り	住吉浜入口	2016/3/1 8:55	2016/3/1 9:06	0:11	全線 凍結 注意	H

表-2 区間交通量日報(抜粋)

地区名	系統名	区間	年	月	日	曜日	日種	時間	交通量
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	00.01	723
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	01.02	653
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	02.03	535
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	03.04	576
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	04.05	760
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	05.06	1309
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	06.07	2293
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	07.08	2584
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	08.09	2527
兵庫	神戸線下り	下柳出 ー下湊出 <276>	2016	3	1	(火)	平日	09.10	2871

表-3 入口交通量日報 (抜粋)

地区名	系統名	入口	年	月	日	曜日	日種	時間	交通量
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	00.01	270
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	01.02	240
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	02.03	226
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	03.04	215
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	04.05	288
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	05.06	405
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	06.07	729
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	07.08	976
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	08.09	982
兵庫	岸線	上り 住吉浜	2016	3	1	(火)	平日	09.10	952

(2) 不具合時間と区間交通量・入口交通量の紐付け

不具合が出ている時間帯の区間交通量および入口交通量の時間帯と紐付けする。

しかし、不具合が出ている時間（不具合時間）に紐付ける区間交通量および入口交通量は、1時間単位の交通量データであるため、時間比率で試算を行い、道路情報板毎に1ヶ月間の車両台数を合計し、影響台数としている。

表-4 道路情報板毎の不具合時間および影響台数

地区名	系統名	文字情報板	区分	不具合時間	影響台数
兵庫	神戸線	下湊川本上	区間	156:49	308,215
兵庫	神戸線	下湊川本下	区間	58:44	118,584
兵庫	岸線	上り 住吉浜入口	入口	47:03	37,353
大阪	湾線	下り 岸北本上	区間	25:02	23,416
兵庫	北神戸線	下り 布施西本線	区間	20:24	19,227
大阪	環状線	西道頓堀	街路	70:42	16,636
大阪	森小路線	上り 森小路入上	入口	60:54	14,425
大阪	森小路線	上り 森小路入下	入口	32:01	9,291
兵庫	岸線	下り 鳴尾浜本上	区間	4:19	7,147
大阪	大阪港線	下り 市岡1	街路	54:03	6,928

(3) 不具合によるお客様へ与える影響の“見える化”

表-4で算出した不具合時間および影響台数から影響台数の多い順に並び替え、グラフ化し、不具合対応の優先順位を決定する。不具合対応状況の確認を行うため、当該月を含めた3ヶ月間の日平均影響台数を併記し、更に3ヶ月平均の日平均影響台数を併記する。

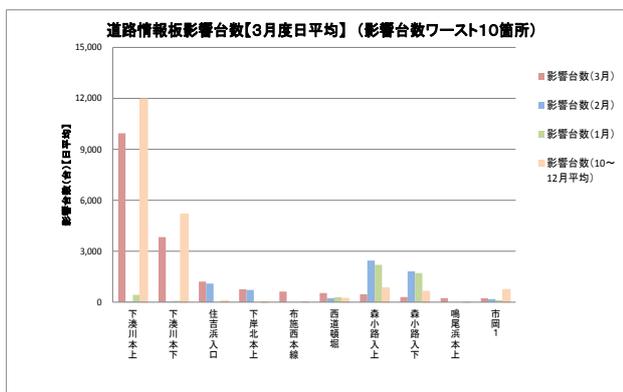


図-7 3月度道路情報板毎の影響台数

4. “見える化”による効果

2015年11月度より“見える化”に取り組み、お客様への与える影響が大きい道路情報板を優先的に不具合対応した結果、2016年1月度から影響台数が減少傾向となり、一定の効果が得られた。(図-12)

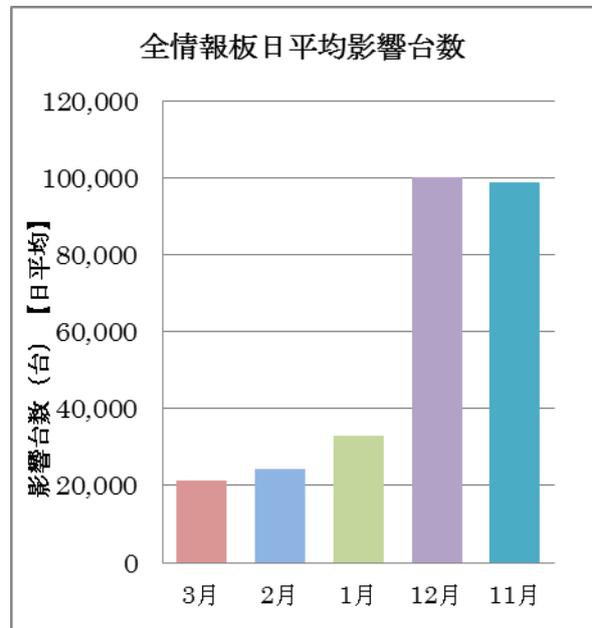


図-8 全道路情報板の日平均影響台数

5. 影響台数の試算における課題

“見える化”まで約2週間要し、不具合対応の優先順位の決定に時間を要しているため、お客様に与えている影響が大きい箇所の対応が遅れている。

対応を迅速にするためには、“見える化”を早めにする必要がある。現状は、人手で不具合時間の抽出、不具合時間と影響台数の紐付けを行っている。この人手の部分システム化し、いつでも“見える化”を見られるように行うこととし、課題解決を行う。また、抽出期間については、1ヶ月単位で抽出を行っているため、対応が遅れる要因にもなっているため、システム化することにより解決できるものと考えている。

6. 今後の取り組み

不具合がお客様へ与える影響をお客様目線で係数化し、他の設備についても“見える化”を実施し、他の設備も含めた総合的な不具合対応の優先順位を決定し、お客様への与える影響を縮減していきたい。

7. まとめ

今回の報告したお客様へ与える影響の“見える化”により、お客様に与えている影響が大きい箇所から不具合対応を実施し、お客様への与える影響を縮減することができた。

今後も引き続きお客様目線で「安全・安心・快適なネットワークを通じてお客様の満足を実現」するため、さまざまな取り組みを行っていくことを考えている。

加古川・揖保川での河川維持管理における 堆肥化の取り組みに関する報告

衣斐 俊貴¹・安井 潤²

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課 (〒583-0001大阪府藤井寺市川北3-8-33)

²近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 工務課 (〒520-2279 滋賀県大津市黒津4-5-1) .

加古川・揖保川では、河川の維持管理のため年2回の堤防除草を行っている。除草によって発生した刈草は、一般廃棄物として処理しており、処分費用が深刻な問題となっている。一方、ゴミの減量化の観点からも、堤防の刈草をリサイクル活用することは重要である。加古川・揖保川の両河川では、刈草を堆肥として活用するため、2012年度（平成24年度）から堆肥化に着手、2014年度（平成26年度）から堆肥として登録・配布を行っている。本報告では、これまでの取り組み概要や具体的なコスト縮減効果、生産過程における留意点及び外来植物種子の死滅実験について結果をとりまとめるとともに、新たな堆肥化の簡素化手法を提案するものである。

キーワード 維持管理，コスト縮減，堆肥化

1. はじめに

姫路河川国道事務所では兵庫県南西部を流れる揖保川・加古川の二つの河川を管理している。揖保川は全長約70km、流域面積約810km²。加古川は全長約96km、流域面積約1,730km²の兵庫県下最大の一級河川である（図1）。

各河川では日々の河川維持管理（堤防管理）のため、毎年出水期前・後の年二回堤防の草刈りと点検を行っており、刈草の処分には、多大な費用を要している。例えば、揖保川では、草刈りに要する費用のうち約34%が処分費用となっており（図2）、維持管理費を逼迫してきてい

る。このような状況を踏まえ、処分費用の縮減と刈草の再利用・リサイクルによる資源の有効活用を行うべく、揖保川では、2012年度（平成24年度）から加古川では、2015年度（平成27年度）から刈草の堆肥化を実施している。本稿では、昨年度、山田^らが懸案として発表した内容について最近の堆肥化から得られた知見から考察するとともに、これまでの取り組み概要や具体的なコスト縮減効果、生産過程における留意点及び外来植物種子の死滅実験について結果をとりまとめ、新たな堆肥化の簡素化手法を提案する。



図1. 揖保川・加古川位置図

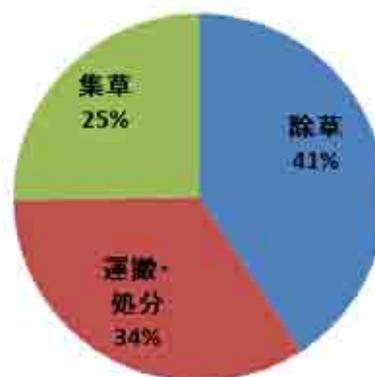


図2. 除草費用の内訳

2. これまでの取り組み

(1)過去の取り組み内容

揖保川では、2012年度（平成24年度）に堆肥化に着手、2013年度（平成25年度）には、学識者の助言を受けながら攪拌を実施。2014年度（平成26年度）は、堆肥としての性能を確認の上、肥料取締法に基づく届け出を行い、「いいほのさと堆肥」と命名し、一般配布を実施。2015年度（平成27年度）は引き続き堆肥化を実施した。一般への配布は3月1日、2日及び3日の計3日間実施し、173名が来場し、170m³生産した堆肥の内、140m³の堆肥を配布した。加古川では、揖保川の取り組みを踏まえて、2015年度（平成27年度）から堆肥化を実施した。揖保川の「いいほのさと堆肥」と同じく、兵庫県に対して肥料取締法の届け出を行い、「加古川堤防刈草堆肥」と命名した。一般への配布は、2月23日に実施し、生産した52m³全ての堆肥を配布した。

(2)生産方法

2015年度（平成27年度の）堆肥の生産方法は、以下の通りである。

a)生産方法概要

「堤防刈草の堆肥化の手順(H25年度策定)」に則って、攪拌、温度管理、水分管理を行って発酵させ、堆肥を生産

揖保川の搬入、攪拌の実施時期

- ・除草・搬入…6～8月
- ・攪拌…8月20日、10月3日、12月18日

加古川の搬入、攪拌の実施時期

- ・除草・搬入…6～8月
- ・攪拌…8月21日、10月7日、10月13日、12月7日

b)攪拌のタイミング（温度管理）

- ・定期的に、堆肥用温度計による温度計測を行い、発酵の進行状況の推察と攪拌タイミングを検討した。
- ・「堤防刈草の堆肥化の手順(H25年度策定)」に基づき、温度に低下傾向が見られたタイミングで攪拌を行い、再度発酵を促進させた。その工程を揖保川で3回、加古川で4回実施。
- ・攪拌後に温度の上昇が見られなくなったことを確認し、堆肥が完成したものと判断した。

(3)コスト削減効果

2015年度（平成27年度）における加古川及び揖保川の堆肥化によるコスト削減結果は表1の通りである。

表1. 堆肥化によるコスト削減額 (万円)

	運搬・処分費用		堆肥化費用 (攪拌・散水+配布作業)		削減額 (①-②-③)
	①有料処分 (運搬費用+処分料)	②堆肥化 (運搬費用のみ)	③総額	1m ³ あたりの堆肥化費用 (搬入時体積)	
加古川 (453m ³ あたり)	114	32	83	1,830円/m ³	▲1
揖保川 (1035m ³ あたり)	638	126	136	1,310円/m ³	376

コスト削減を目的に堆肥化を実施したが、加古川では約1万円コストが嵩んでしまった。この原因は、加古川の刈草の処分場が揖保川と比較すると近いため運搬コストの削減幅が小幅なものとなったこと、攪拌作業において揖保川より手間を掛けて攪拌したため堆肥化の費用が嵩んだことの2点である。これら2点については、今後増やす予定の堆肥化範囲選定時に処分場と堆肥化ヤードまでのそれぞれの距離を考慮すること、攪拌作業の効率化により解決できるものと考えている。

3. 過年度からの課題

山田ら¹⁾は次の点を課題として挙げている。

①外来植物種子の死滅確認

特定外来生物を含む外来植物の生育範囲を堆肥配布により拡大させることはあってはならないことから、堆肥の生産過程で外来植物の種子が死滅しているかを確認するため実験を実施した。昨年度、行った実験で使用した堆肥は、堆肥の山の表層部分の1箇所であることから、中心部の温度上昇の把握及び追加実験が必要としている。

②最適な攪拌回数、時期、積み上げ方など堆肥化の簡素化手法の確立

昨年度、揖保川で生産した堆肥内部に刈草の原型が残っていることが判明し、これが堆肥内部に酸素が不足し好気呼吸が抑制され、発酵が停止してしまったと考えられることから、堆肥内部が酸素不足とならないような攪拌回数、時期、積み上げ方（積み上げる高さ）の検討が必要としている。

①②の内容を検討するべく2015年度（平成27年度）の堆肥生産において、加古川と揖保川で堆肥の攪拌回数及び積み上げ形状にバリエーションを持たせ、完成した堆肥の出来映えを比較することとした。また、内部の温度変化を把握するために温度データロガーを積み上げた刈草内部に設置し、発酵過程の温度変化を把握することとし、併せて追加実験を実施した。

4. 外来植物種子の死滅確認

(1)継続実験の結果

山田ら¹⁾の研究で実験中となっていた外来植物種子の死滅実験を継続し実施した。

a)実験概要

特に河川堤防に見られる特定外来種5種（アレチウリ、オオキンケイギク、オオカワヂシャ、オオハンゴンソウ、ナルトサワギク）は春～夏、秋～冬にかけて、発芽～成長～開花する植物が混在している²⁾ことから、長日条件・短日条件下の両条件において実験を実施した。また、

種子の発芽に際して、一定の温度変化や低温を必要とする種子もあるので、実験途中で擬似的に冷蔵庫にて冬期を経験させる。

b)実験方法

- ① 堆肥を中心部・表面部からランダムに5箇所×2の10サンプル採取する。(図3) (各地点5箇所のサンプル×1:サンプル①, 残りのサンプル:コントロール)
- ② サンプル①を2ヶ月間冷蔵庫にて低温保存する。コントロールは暗所にて常温保存とする。
- ③ 2ヶ月後、試験地(野外)においてサンプル①, コントロールを5cm程度の厚さで広げる。(乾かない程度に水分を散布する。)
- ④ 1ヶ月程度を実験期間とし、外来植物の発芽の有無を確認する。同様に短日条件については、図4のスケジュールのとおり実験を実施した。

c)実験結果

いずれのサンプル, コントロールからも外来植物の発芽は確認されなかった。

(2)堆肥内部の温度計測

種子・菌等は、55℃まで温度が上がれば死滅すると考えられており、特にアレチウリについては、53℃~62℃程度の発酵温度があれば種子が死滅することが分かっている。³⁾ データロガーによる温度の計測頻度を3時間に1回に設定し、堆肥内部は、湿潤状態であることから防水カプセルに封印後、密閉チャック付きのビニール袋に入れて鉄ピンの先に粘着テープで固定した。加古川では、設置した5個の温度計の内2個は機器の異常のためデータの観測が出来ていなかったため観測できたデータは3つだった。揖保川では、同じく5個の温度計を設置したが内4個は、機器の異常のためデータの観測が出来ていなかった1つしかデータ観測出来なかった。今回実施した堆肥内部の温度計測結果では、いずれの地点も55℃以上の温度上昇を計測(図6・図7)しており発酵過程により種子は死滅していると推定された。

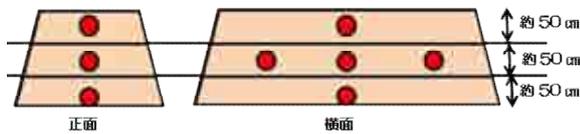


図3. サンプル採取図

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
長日条件	←			→								
コントロール	←			→								
短日条件	←						→					
コントロール	←						→					

←→ : 冷蔵期間
 ←→ : 発芽試験期間
 ←→ : 常温・暗所保存

図4. 実験スケジュール

(3)考察

種子の発芽実験と堆肥内部の温度計測結果より現在の堆肥生産方法であれば発酵過程において外来種を含む植物の種子は死滅していると考えられるが今後も堆肥の生産・配布を行う中で外来植物の発芽がないかを注視していく必要がある。一方で除草作業の仕様書には、作業に先立ち、外来植物が自生していないか確認することが明記されているため工事監督の立場でも受注業者と協力して堆肥用の刈草に外来植物の混入がないように努める必要がある。

5. 堆肥化の簡素化手法検討

(1)検討概要

加古川と揖保川それぞれで生産した堆肥のボリュームや刈草の積み上げ形状、攪拌回数及び攪拌時間については表2のとおり。各項目の違いと完成した堆肥の出来映えから堆肥化の簡素化手法を検討した。

(2)堆肥の「出来映え」

加古川では、揖保川と比較し約3倍の手間(表2の攪拌時間より)をかけて攪拌を実施した。作業途中には両者の堆肥に違いを感じることはなかったが揖保川の堆肥では、図5のとおり一般配布の際に内部に刈草の原型が残っている状況が確認された。一方で加古川の堆肥は、刈草の原型は確認されず内部まで一様に黒色の堆肥が確認された。

表2. 刈草積み上げ形状と攪拌回数

	体積 (m ³)	積上形状 (断面積m ² ×延長m)	積上高 (m※最大)	攪拌回数 (回)	攪拌時間 (min/m ³)
加古川	453	8.3×55	1.5	4	4.2
揖保川	1035	17.0×60	2.3	3	1.4



図5. 刈草が原型を残している堆肥

(3)堆肥内部の温度計測

堆肥内部の温度変化を確認するためデータロガーによる堆肥内部の温度計測結果を確認することとした。加古川・揖保川の堆肥内部の温度計測結果は図6、図7のとおり。

(4)温度計測結果より

加古川・揖保川ともに攪拌後は、内部温度が約30℃上昇していることが確認出来た。最高温度は、揖保川では、77.2℃と80℃近くまで上昇していた。加古川でも72.5℃と70℃以上の温度を記録した。12月の攪拌後は、温度が上昇せず横ばいもしくは下降している状況が判明した。また、グラフは共に日平均気温であるが揖保川のグラフが滑らかな温度変化を描いている一方で加古川のグラフは、日毎の変化が目立ち、大きな温度変化を記録してい

た。近傍の気象庁の観測地点の日平均気温と比較すると似たような変化をしていることから加古川の堆肥内部が外気温の変化を大いに受けていることが推測される。

(5)考察

攪拌の手間と堆肥内部の最高温度は、比例関係にないが堆肥を置いている形状、特に断面積と日々の温度変化は密接に関係しており、昨年度の揖保川の堆肥と同程度の断面積があれば攪拌により上昇した内部温度を持続させられること及び冬期の攪拌は堆肥内部の温度を下げてしまい、発酵を促す効果がないことが分かった。なお、揖保川の堆肥では一部刈草の原型が残っていたが配布にあたり問題のない水準の堆肥は完成しており、攪拌の手間は、揖保川程度で問題ないと考えられる。

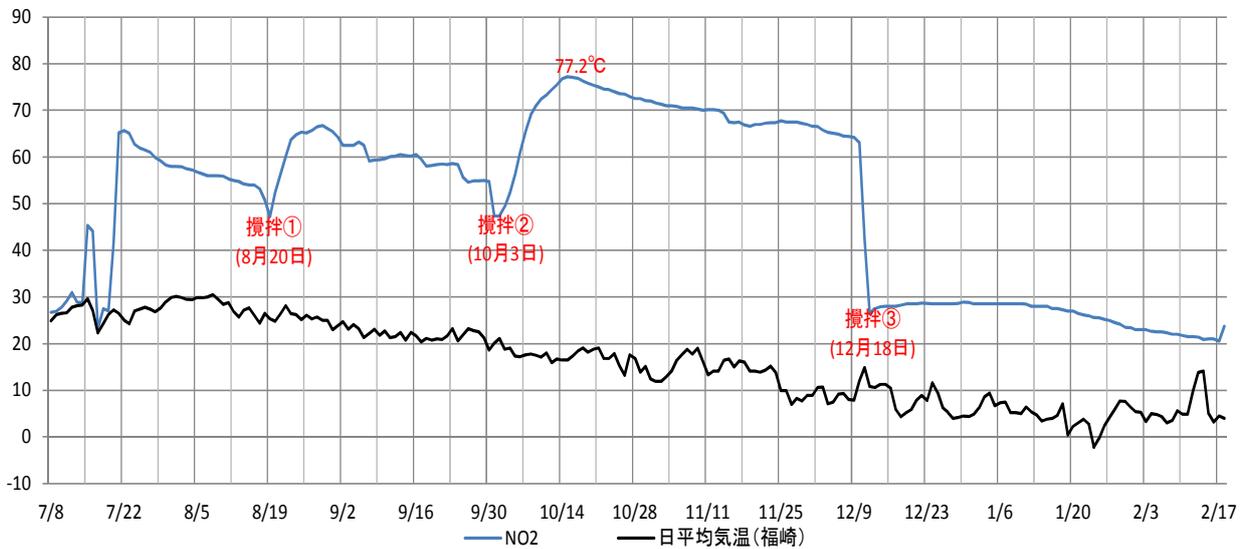


図6. 堆肥内部の温度計測結果 (揖保川)

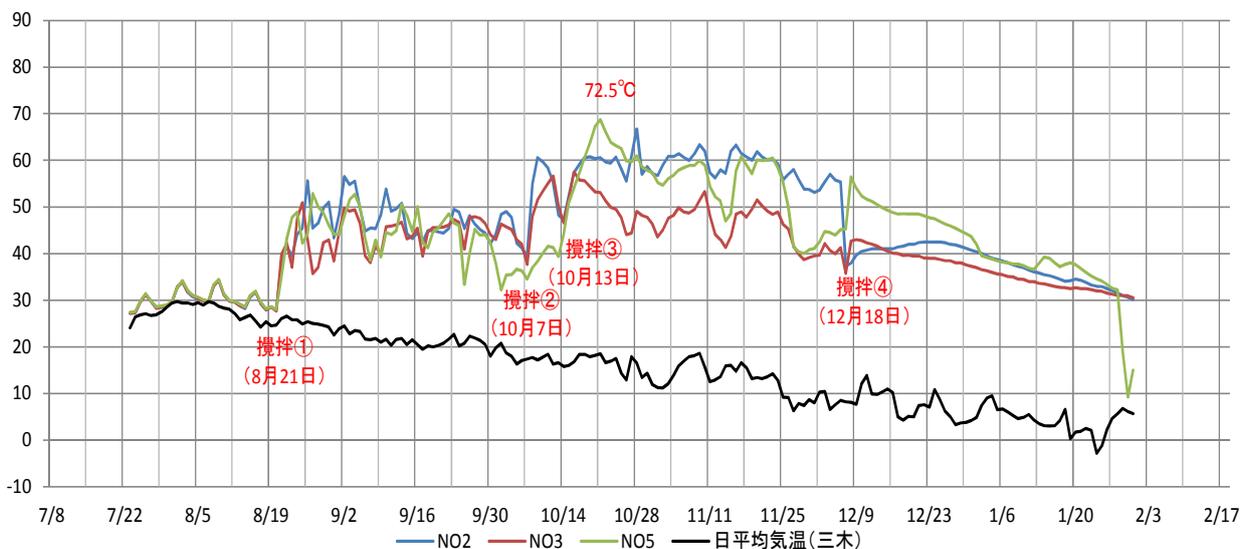


図7. 堆肥内部の温度計測結果 (加古川)

6. 新たな堆肥化の簡素化手法の提案

加古川と揖保川の堆肥生産方法の違い、堆肥内部の温度計測から新たな堆肥化の簡素化手法を提案する。なお、以下の手順は、出水期前（1回目刈り）の除草により発生した刈草の堆肥化手順であり出水期後（2回目刈り）の場合、攪拌のタイミングはこの限りではない。

①刈草搬入

刈草を堆肥化ヤードに運ぶ、刈草は出来るだけ早く堆肥の生産場所に運び、ビニール・ペットボトル等のゴミは出来るだけ除去する。締め固めや特別な施設等は不要で、水分を含ませて積み上げる。前年度の完成堆肥を10～20%程混ぜ込むと効率良く発酵する。内部の温度変化が外気温に影響されないよう、安全上問題の無いことを確認のうえ断面積は15m²程度（最も高いところで高さ2m以上）を確保し、かまぼこ状に積み上げる。

②水分・温度管理

基本的に刈草表面が乾燥状態であっても堆肥内部は湿潤であることが多いため、極端な小雨傾向な場合を除き攪拌時以外に散水は実施しない。ピーク温度及び攪拌時期を把握するため2週間に1回を目安に内部の温度を把握する。

③攪拌

堆肥化するまでに2回（8月下旬、10月上旬を目安に）攪拌する、「内側で良く発酵している草」と「外側の発酵していないもの」を混ぜ合わせる。混ぜるタイミングは、温度がピークを過ぎ50℃程度まで低下した時点とし、堆肥内部に空気が入り、発酵過程で内部の空気が無くなること無いよう混ぜ込む。搬入時点の刈草体積1m³あたり1分程度の攪拌作業を2回に分けて実施する。（攪拌1回あたりの時間は、搬入した刈草体積が500m³であれば4時間程度となる。）

7. まとめ

加古川と揖保川の堆肥生産方法の違いと温度計測結果の比較によりコスト縮減が実現できる簡素化手法を提案することが出来た。また、この堆肥化手法により生産すれば外来植物の種子は死滅している可能性が高いことも確認出来た。今後は、本報告を踏まえ堆肥化を行い、その出来映えを確認しながら、堆肥化を行う除草範囲等に留意し、さらなるコスト縮減を図る必要がある。堆肥の生産を実施してみて、あらためて自然の力を感じた。我々は、草が土に還る手助けをしているに過ぎない。そのポイントが刈草を搬入した際の断面積、攪拌のタイミング及び回数である。今後も、慎重にも失敗を恐れず、堆肥化以外のコスト縮減方策も考えていきたい。

謝辞

本稿作成にあたり御教授いただいたすべての方々、そして、本事業に関わったすべての方に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 山田陽・安井潤 河川維持管理における堆肥化・チップ化への取り組みについて
- 2) 河川における外来植物対策の手引き（国交省H25.12）
- 3) 清水矩宏（1998）最近の外来雑草の侵入・拡散の実態と防止対策. 日本生態学会誌 48:79-85.

なお、本稿は従前の所属である姫路河川国道事務所小野出張所及び龍野出張所の所掌業務の内容である。

表 3. 簡素化手法の留意点まとめ

段階	留意点	理由
刈草搬入時	・刈草を出来るだけ早く堆肥化ヤードに運搬すること	・刈草に含まれる水分が乾く前に運搬し、初期発酵を促進させる
	・ビニールやペットボトル等のゴミを除去すること	・発酵との因果関係は明らかでないが、一般配布を考えると混入がない方が望ましいため
	・断面積を15m ² 以上、高さは2m以上確保すること	・発酵により上昇した温度を持続させることが出来るため
水分・温度管理	・攪拌時以外に散水は実施しないこと	・これまでの経験から堆肥内部は湿潤であるため
	・2週間に1回を目安に温度計測を実施すること	・温度計測結果より2週間に1回程度の温度計測により傾向は確認できるため
攪拌	・内部温度がピークを過ぎ、50℃程度まで低下した段階で攪拌すること	・既往論文 ³⁾ より55℃以上の温度を維持すれば外来植物の種子が死滅するため
	・刈草搬入時の体積1m ³ につき0.5分程度の攪拌を2回実施すること	・揖保川の事例より、2回の攪拌で堆肥生産が可能であると推察される。 なお冬場の攪拌は、温度上昇が見込めないため 実施しない(1回目刈りに限る)

PC上部工の実物大供試体と実橋における 乾燥収縮ひずみについて

河中 涼一¹・小林 仁¹

¹(株)ピーエス三菱 大阪支店 土木技術部 (〒530-6027大阪市北区天満橋OAPタワー27F)

プレストレストコンクリート構造物は、使用状態でひび割れを許容しないために、耐久性に優れる構造形式である。しかし、ひび割れ発生限界状態で設計され、近畿地方整備局管内に連続して施工されたプレストレストコンクリート橋梁上部工(以下、PC橋)群に、完成後の比較的早い段階で、多くのひび割れによる損傷が発生し、社会的な問題となった¹⁾。原因がコンクリートの乾燥収縮ひずみであると推察されたため、実橋を模した実物大供試体を製作し、実橋と伴にそのひずみを測定することが決定した。本報告は、実験開始から5年間の各供試体および実橋の計測結果報告と、各基準類との対比および考察を行うものである。

キーワード 乾燥収縮ひずみ、コンクリート橋梁上部工、ひび割れ、実物大供試体

1. はじめに

昨今、乾燥収縮ひずみが大きなコンクリートを用いたPC橋上部工において、ひび割れなどの初期欠陥が問題となり、平成21年2月に京都大学宮川教授を委員長とする「京奈和自動車道紀北東道路に使用する生コンクリートの品質確保に関する検討会」が開催された。その中で、PC橋に生じる実際のひずみ量と各基準類との相関を明らかにするために、実構造物とそれを模した実物大供試体を製作し、5年間を目標にこれらの乾燥収縮ひずみを測定することなどが決定した。

本報告は、実験開始から5年間の各供試体および実橋の計測結果報告と、各基準類との対比および考察を行うものである²⁾。

なお、実物大供試体は平成22年12月に紀北東道路事業における上部工工事の一環として製作され、当初は実橋建設現場の敷地内に設置していた。その後、紀北東道路の開通工程に合わせて平成24年2月より近畿技術事務所に移設し、測定を継続した。

2. 実験概要

(1) 実物大供試体の製作

実験には図-1に示す箱桁供試体を2体、図-2に示すウェブを切り出した寸法の角柱供試体を5体用いた。箱桁供試体は計測を行った実橋と同一断面であり、図-1に示すとおり、断面の中央および表面から100mmの位置に4線式ひずみ計(容量 $\pm 5,000 \times 10^6$ 、標点距離:100mm、見かけの弾性係数:約 40N/mm^2)を埋

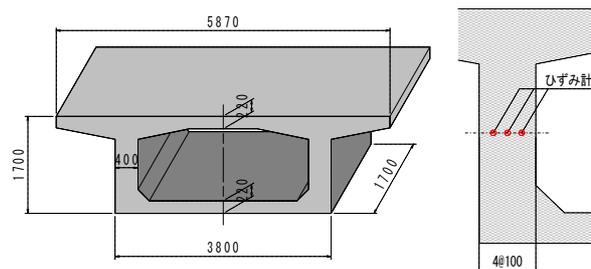


図-1 箱桁供試体寸法および計測位置図

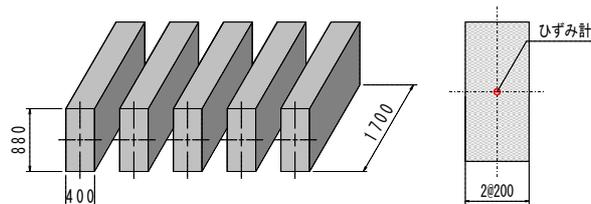


図-2 角柱供試体寸法および計測位置図



写真-1 供試体設置状況(近畿技術事務所)

表-1 コンクリートの配合

配合 No.	粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
					水 W	セメント C	混和材料 EX, RA	細骨材		粗骨材	
								S1	S2	G1	G2
1				41.9	165	384	-	508	217	1020	-
2	20	43	4.5	42.8				519	222	-	989
3				43.6	160	352	26	535	229	989	-

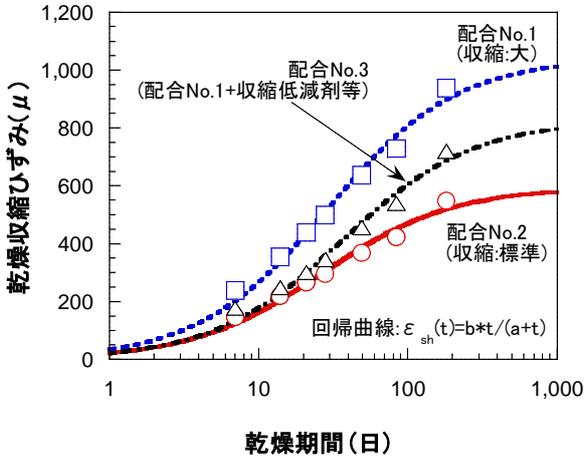


図-3 JIS A 1129 長さ変化試験の結果

め込み、ひずみの経時変化を測定した。本報告の図に示すひずみ計の計測結果は、1時間ごとの計測値を1ヶ月単位で平均し、それぞれを結んで折れ線としたものである。写真-1に近畿技術事務所に移設された後の供試体設置状況を示す。

(2) コンクリートの配合

実験に用いたコンクリートは、乾燥収縮ひずみが大きくなる粗骨材を用いたコンクリート(配合No.1)、乾燥収縮ひずみが標準的な粗骨材を用いたコンクリート(配合No.2)、および配合No.1に収縮低減剤と膨張材を添加したコンクリート(配合No.3)の3種類である。用いたコンクリートの配合を表-1に示す。実橋の施工には乾燥収縮ひずみが標準的な粗骨材を用いたコンクリート(配合No.2)を用いた。

(3) JIS試験に基づくコンクリートの乾燥収縮ひずみ

それぞれのコンクリートのJIS A 1129長さ変化試験の結果を図-3に示す。これらの結果をそれぞれ双曲線で回帰すると、配合No.1、No.2およびNo.3の乾燥収縮ひずみの最終値はそれぞれ1,041 μ、595 μおよび826 μとなる。

3. 実験結果

(1) 供試体のひずみ計測定結果とコア供試体から求めた乾燥収縮ひずみ

供試体の乾燥収縮ひずみを測定するために、箱桁供試体MODEL-AおよびMODEL-Bからコア供試体を採取した。コアの採取数は型枠脱型から71日後、191日後、344日後、528日後および1,661日後の計5回である。コアの採取位置は図-4に示すとおりであり、先ず供試体からφ70mm×500mmのコアを採取し、そのコアを実験室にて

表-2 箱桁供試体の配合と配筋量

供試体名	配合 No.	軸方向鉄筋量
MODEL-A	No.1(収縮:大)	D13@250
MODEL-B	No.2(収縮:標準)	D13@250

表-3 角柱供試体の配合と配筋量

供試体名	配合 No.	軸方向鉄筋量
model-a	No.3(No.1+収縮低減剤など)	D13@250
model-b	No.1(収縮:大)	D13@250
model-c	No.2(収縮:標準)	D13@250
model-d		D22@125
model-e		なし

φ50×100mmに再成形して計測に用いた。コアを採取した位置はいずれもウェブと上床版の付け根近傍で、乾燥条件に大きな差はない。φ50×100mmの円柱供試体の長さ変化の測定には、写真-2に示すリニアゲージ(検長:100mm, 最小目盛り:5/10,000mm)を用いた。箱桁供試体MODEL-AおよびMODEL-Bから採取したコア供試体の収縮測定結果を図-5および図-6に示す。これらの結果より、MODEL-Aの乾燥収縮ひずみが、MODEL-Bのものよりも大きくなっていることが分かる。また、採取日が遅くなるに連れて、乾燥収縮ひずみの最終値も小さくなっている。

図-7は、図-5および図-6に示される乾燥収縮ひずみの経時変化を双曲線で回帰して求めた乾燥収縮ひずみの最終値を縦軸に、型枠脱型後からコアを採取した時点までの経過時間を横軸に示した図である。すなわち、図の横軸は、箱桁供試体の乾燥期間に相当する。この図における型枠脱型後からコアを採取した時点までの経過時間0日における乾燥収縮ひずみの最終値が、乾燥開始と同時に測定を行ったコンクリートの乾燥収縮ひずみの最終値に等しくなる。従って、図-8に示されるように、型枠脱型直後にコアを採取したとして、そのコアを成形した供試体から得られる乾燥収縮ひずみの最終値と、型枠脱型から71日後、191日後、344日後および582日後に採取されたコアより得られるコンクリートの乾燥収縮ひずみの最終値の差が、材齢7日より乾燥を開始した箱桁供試体のコンクリートの乾燥期間71日、191日、344日および582日における乾燥収縮ひずみに一致する。この方法³⁾を用いて各採取日における箱桁供試体の乾燥収縮ひずみを推定した結果が、図-9および図-10に示す■である。図-9および図-10では、これらの結果と、式(1)のコンクリート標準示方書(2012年制定)に示される乾燥収縮ひずみの計算値、道路橋示方書に示される乾燥収縮ひずみの計算値および供試体に埋設したひずみ計による計測結果を比較する。

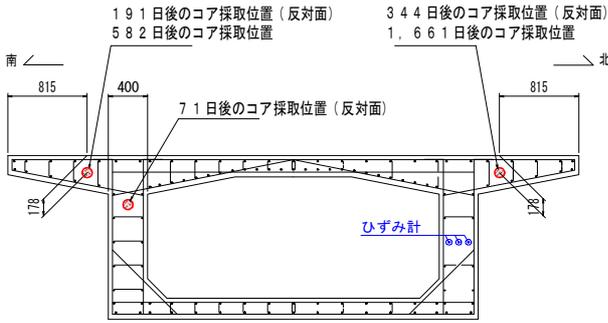


図-4 コア採取位置正面図(東側から)



写真-2 コア供試体の収縮測定

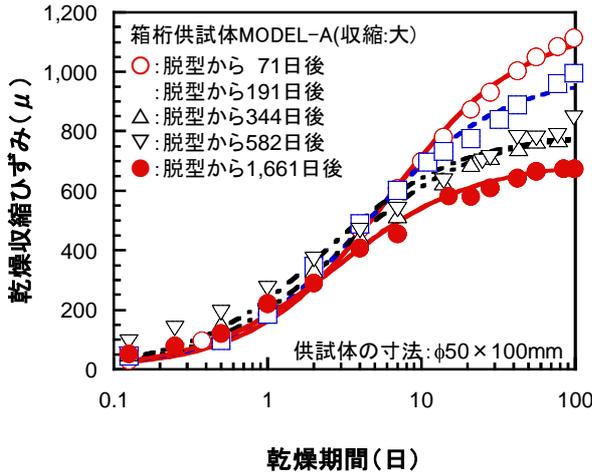


図-5 MODEL-Aのコアの乾燥収縮ひずみ

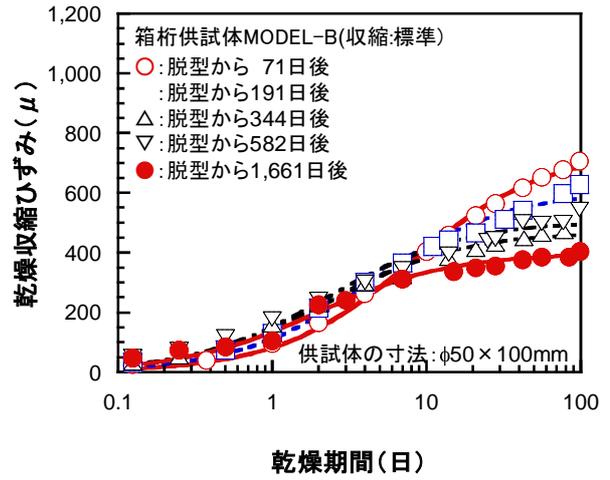


図-6 MODEL-Bのコアの乾燥収縮ひずみ

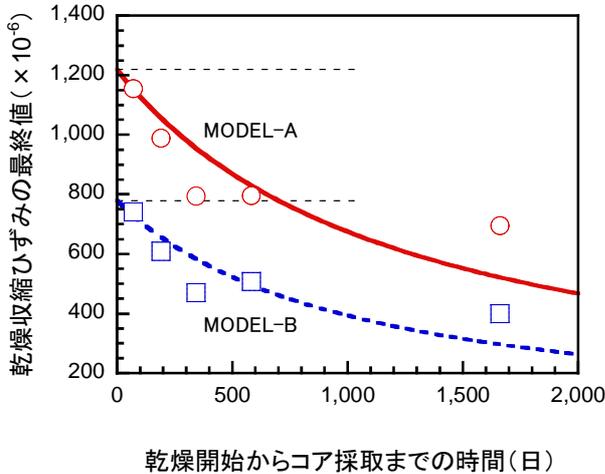


図-7 コア供試体における乾燥収縮ひずみの最終値

$$\varepsilon_{sh}(t) = \frac{1 - RH/100}{1 - 0.6} \cdot b \cdot t \cdot \left(\frac{d_b}{100} \right)^2 \cdot a + t \quad \dots (1)$$

式(1)中の乾燥収縮ひずみの経時変化を表す項aおよび乾燥収縮ひずみの最終値bにはJIS A 1129に従い100×100×400mmの角柱供試体より求めた値を、部材を代表する厚さdbにはコアを採取した部位の厚さ400mmを用いた。また、相対湿度には供試体を設置した現地の計測結果より、年間の平均相対湿度である70%を用いている。

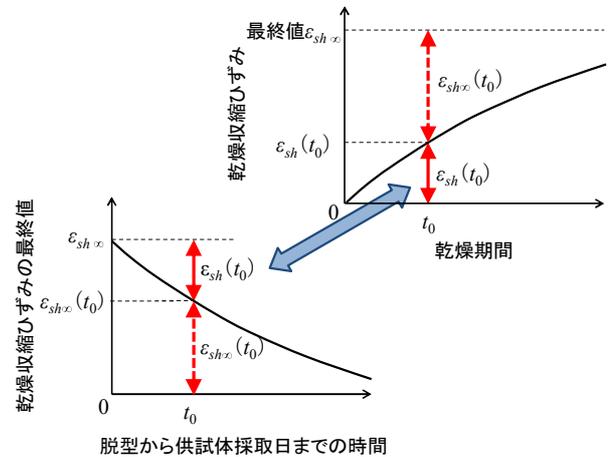


図-8 コア供試体による乾燥収縮ひずみの推定方法

これらの図から、コア供試体を用いて求めた箱桁供試体の乾燥収縮ひずみは、いずれも式(1)を用いて算出した計算値と概ね一致していることが分かる。また、箱桁供試体および角柱供試体のひずみ計から得られた測定値はコア供試体の乾燥収縮ひずみ量およびコンクリート標準示方書の計算値よりも小さいが、これは雨露の影響によって乾燥収縮ひずみが低減していることや、特に配合No.1を用いた供試体は表面のひび割れによって収縮ひずみが解放された可能性があることなどが原因だと考えられる。一方、道路橋示方書の計算式から算出される乾燥

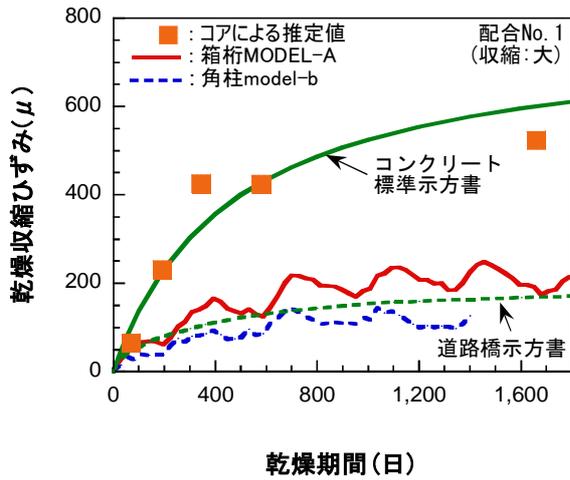


図-9 配合1を用いた供試体の乾燥収縮ひずみ

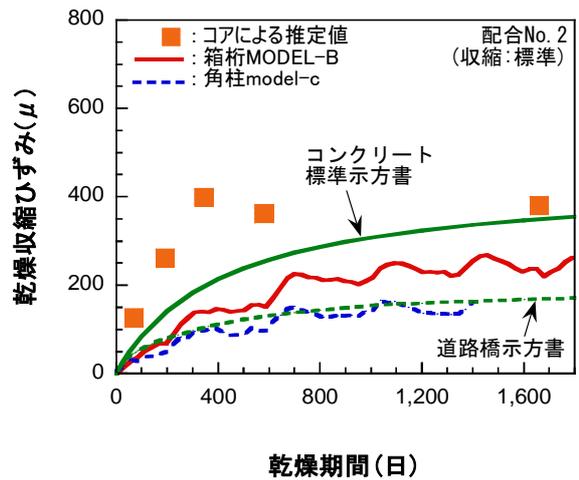


図-10 配合2を用いた供試体の乾燥収縮ひずみ

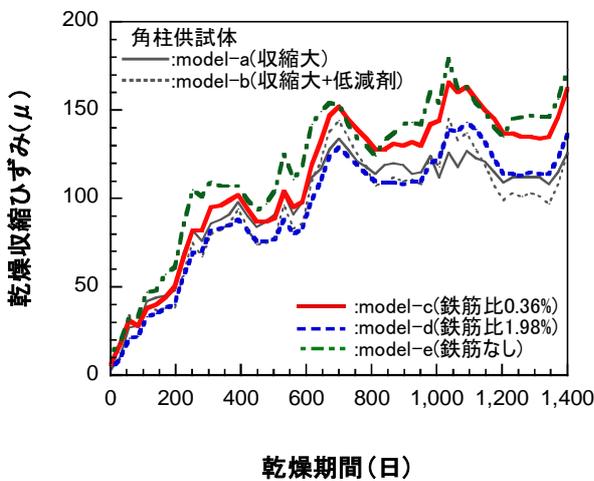


図-11 角柱供試体の計測結果

収縮ひずみと箱桁供試体および角柱供試体のひずみ計から得られた測定値は概ね近い値を示しているが、道路橋示方書はクリープによる応力緩和の影響を考慮するために算出されるひずみ量を低減しているため、結果的に測定値に近い値を示していると考えられる。

(2) 角柱供試体の計測結果

図-11に角柱供試体model-a～eの計測結果を示す。まず乾燥収縮ひずみが標準的な粗骨材を用いたコンクリート(配合No.2)で製作したmodel-c、model-dおよびmodel-eについて、これらの供試体はその軸方向鉄筋量が異なり、鉄筋比はそれぞれ標準的な配筋量である0.36%、その5倍強である1.98%および無筋の0.00%である。この図から、それぞれの角柱供試体の乾燥収縮ひずみ量は、鉄筋量が多く拘束効果が大きくなる順に小さくなっていることが分かる。また、乾燥収縮ひずみが大きくなる粗骨材を用いたコンクリート(配合No.1)で製作したmodel-aおよびmodel-bは、配合No.2で製作した角柱供試体と同程度の乾燥収縮ひずみを示しているが、これは供試体表面のひび割れによって収縮ひずみが解放されたことなどが原因であると



写真-3 実橋のひずみ計測位置

考えられる。

また、角柱供試体の計測結果は、いずれも同じ骨材と同じ軸方向鉄筋量で製作した箱桁供試体の結果よりも小さな値となっている。これは、角柱供試体の体積表面積比が箱桁供試体のそれよりも約30%大きいことや、箱桁供試体のように上床版が存在しないことから雨露など外部環境の影響を受けやすかったことが原因であると推測される。

(3) ホイットモア式ひずみ計による計測

実物大供試体の乾燥収縮ひずみの測定には埋め込み型ひずみ計を用いた電氣的計測を行ったが、その寿命や不具合に対するバックアップとして、ホイットモア式ひずみ計(検長250mm, 最小目盛1/1,000mm)を用いて、別途供試体表面に設置したゲージを手動でも計測することとした。結果を図-12および図-13に示す。この手動計測は埋め込み型ひずみ計による計測を終了した現在も年4回程度計測しており、今後も継続する。

(4) 実橋の計測結果

実橋のひずみ計測は写真-3に示すPC箱桁方杖ラーメン橋で行い、箱桁供試体と同断面である写真に示す箇所ウェブにひずみ計を設置して行った。図-14は、

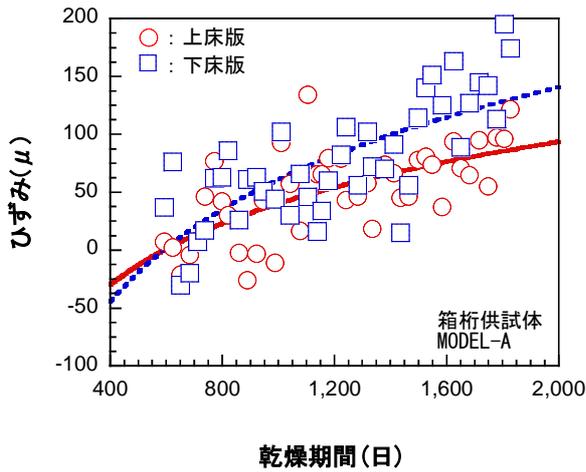


図-1 2 箱桁供試体の手動によるひずみ測定結果

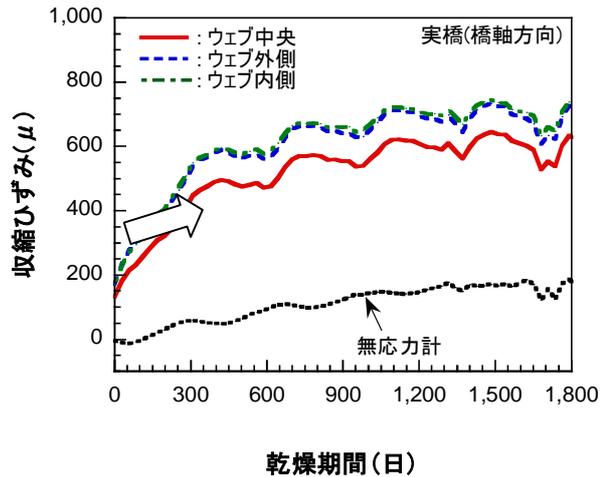


図-1 4 実橋のひずみ計測結果

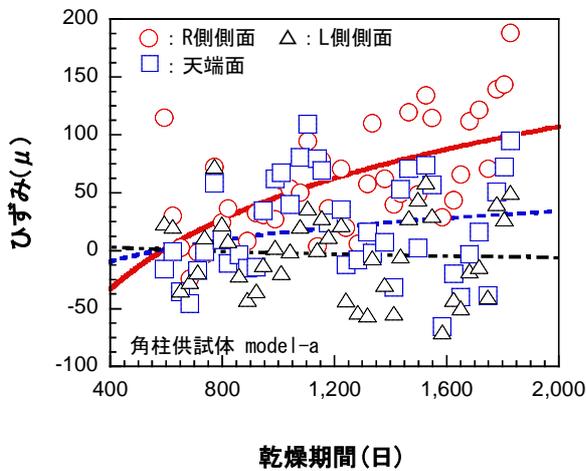


図-1 3 箱桁供試体の手動によるひずみ測定結果

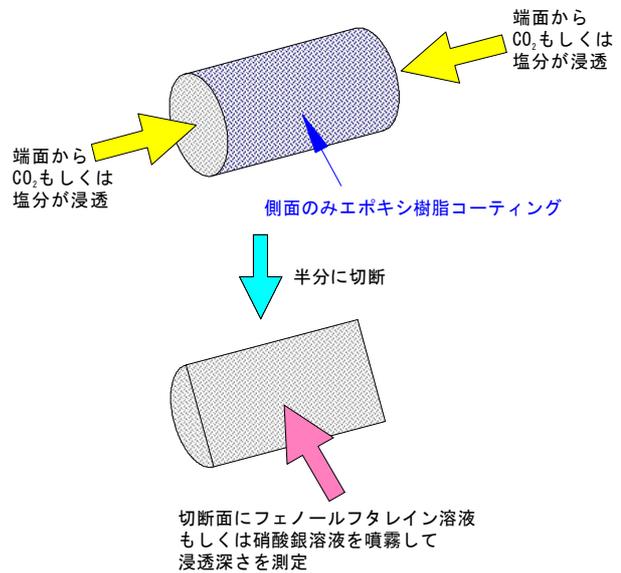


図-1 5 塩化物および中性化試験概要図

実橋の橋軸方向のひずみ計測結果を示す。この図から分かるように、乾燥期間5年におけるウェブ外側、中央および内側の橋軸方向のひずみ量はいずれも約600 μ である。この計測値は、主桁の軸方向に対して導入されたプレストレスによる弾性変形およびクリープの影響を含んでいる。道路橋示方書よりプレストレス導入から5年後のクリープおよび弾性ひずみを求めると合計で約430 μ となる。よって、クリープの影響を控除した実橋の乾燥収縮ひずみ量は約170 μ となる。これは図中に示す無応力計の計測結果と概ね一致する。また、図-7および図-8に示す箱桁供試体MODEL-AおよびMODEL-Bのひずみ計による計測結果とも概ね一致する。

(5)塩化物浸透試験結果

各配合によって製作したコンクリートの耐久性を比較するために箱桁供試体からコアを採取して塩化物浸透性試験を実施した。コアは乾燥開始からそれぞれ約900日が経過した箱桁供試体から採取し、図-15に示すとおり両端面の1方向からのみ塩化物が浸入するよう側面にエポキシ樹脂コーティングを行った。表-3に示すとおり

り、コアはMODEL-AおよびMODEL-Bの上床版およびウェブから採取し、いずれもコアの片側端面には0.10mm以下のひび割れが生じている箇所を選定した。供試体は濃度10%の塩化ナトリウム水溶液に約530日間浸漬させ、乾式カッターにて切断し、切断面に硝酸銀水溶液を噴霧することで塩化物イオン浸透深さを測定した。実験の結果を図-16および図-17に示す。またコアNo.1の試験状況を写真-4に示す。塩化物イオン浸透深さは、コンクリートの表面にひび割れがある場合、その幅が大きいほど塩化物イオンの浸透深さが深くなることが分かった。一方、コンクリート表面にひび割れがない場合は、コンクリートの収縮性状によらず大きな差は見られないことが分かった。

(6)中性化深さ試験結果

前述の試験と同様、角柱供試体からコアを採取して中性化深さ試験を実施した。供試体の作成方法やコア採取日などは塩化物浸透性試験と同様である。供試体は温度

表-3 塩化物イオン浸透試験に用いたコアの種類

コア No.	供試体No.	採取箇所	ひび割れ面の最大ひび割れ幅 (mm)
①	MODEL-A (収縮:大)	上床版	0.10
②	MODEL-B (収縮:標準)	上床版	0.05
③	MODEL-A (収縮:大)	ウェブ	0.05
④	MODEL-B (収縮:標準)	ウェブ	0.05以下



写真-4 塩化物イオン浸透試験状況



写真-5 中性化深さ試験状況

20℃, 湿度60%, 炭酸ガス濃度5%の中性化促進槽内に設置し, 約630日後に取り出して中性化深さを測定した。その結果, 写真-5に示すとおり, いずれの供試体も中性化はほとんど進行していなかった。塩化物浸透性試験と異なり, 気体では液体のように表面張力が作用せず因子の浸入速度が低かったことが, 供試体ごとで差が生じなかった原因であると考えられる。

4. まとめ

・箱桁供試体からコア供試体を採取して求めた乾燥収縮ひずみは, コンクリート標準示方書から求まる計算値と概ね一致することが分かった。ただし, ひずみ計で計測した値は, 外部環境やひび割れの影響で小さめに算出されることが分かった。

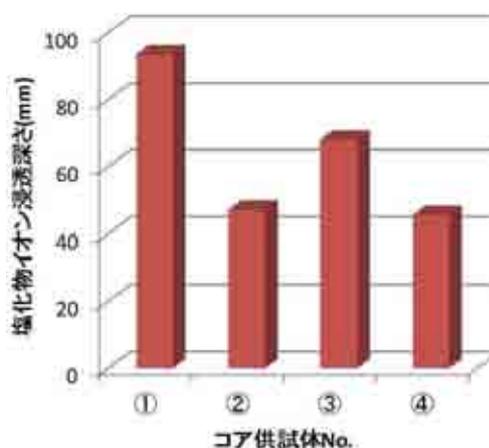


図-16 塩化物イオン浸透試験(ひび割れ面)

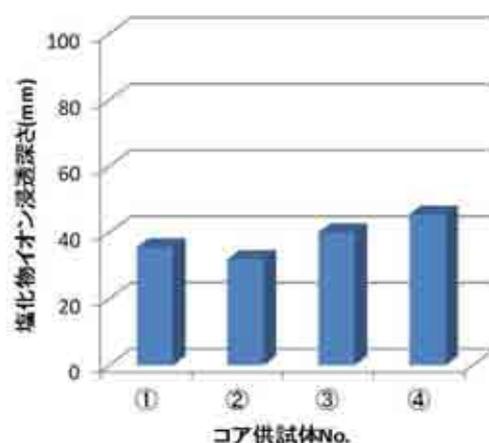


図-17 塩化物イオン浸透試験(ひび割れなし)

- ・角柱供試体の計測結果より, 鉄筋量の違いによるひずみの拘束効果が確認できた。
- ・実橋のウェブ内に設置したひずみ計から得られた計測値は, 箱桁供試体に設置したひずみ計の計測値と概ね一致することが分かった。
- ・塩化物イオン浸透深さは, コンクリート表面にひび割れがない場合, その収縮性状によらず大きな差は見られないことが分かった。

参考文献

- 1) (社)土木学会: 第二阪和国道の橋梁損傷対策検討特別委員会報告書, 2010.3.
- 2) 河中涼一ほか: 約2年間実環境に曝露したPC上部工の実物大供試体における乾燥収縮ひずみ, 第22回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2013.10
- 3) 小林仁ほか: 乾燥収縮ひずみに与える部材寸法の影響, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.69, No.4, 377-389, 2013

供用中のトンネルでの プレキャストインバート設置工事について

藤原 寿友

兵庫県 企業庁 水道課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

兵庫県道路公社が管理する西宮北有料道路の盤滝トンネルでは、阪神・淡路大震災以後、局部的に舗装が隆起する変状が進行し、通行車両の走行に支障をきたしていたため、対策としてプレキャスト製品を用いたインバート設置工事を行った。施工にあたっては、覆工コンクリート下を掘削することで、覆工コンクリートに変位が生じる可能性があったことから、インバートと覆工コンクリートを早期に閉合させることが課題であった。

本稿では、供用中のトンネルでのプレキャストインバート設置工事について、課題に対する様々な工夫について報告する。

キーワード トンネル、インバート、隆起対策

1. はじめに

西宮北有料道路は、六甲山地の東端に位置し、西宮市北部（西宮市山口町船坂）と南部（西宮市越水）を結ぶ一般有料道路で、平成3年3月に供用開始し、延長4.3kmの内、約1.7kmがトンネル区間となっている（図-1参照）。



図-1 位置図

当該トンネルは、阪神淡路大震災により南側坑口より230m付近の約15mの区間でコンクリート舗装に2~3cm程度の隆起が発生した。その後も隆起する変状が進行し、平成25年の調査時には、最大11cm隆起し、通行車両の走行に支障をきたしていた（写真-1参照）。

舗装の隆起対策として、新たにインバートを設置することとしたが、供用中のトンネルであり、様々な現場条件からプレキャスト製品を用いる必要があった。

本論文では、全国的にも事例のない、供用中のトンネルでのプレキャストインバート設置工事について、課題に対する様々な工夫について述べる。



写真-1 隆起している路面

2. 隆起の原因について

当該トンネルはNATM工法により施工されている。建設当時や震災被災時の資料より、隆起箇所には粘土層が斜め方向に存在する可能性があり、イバートが設置されていない断面で、隆起が発生していることがわかった(図-2参照)。

更にのちの工事で掘削してわかったことは、

- ・ (地震による隆起で) 中央排水管に亀裂が発生し、トンネル湧水が漏水していた(写真-2参照)。
- ・ 確認された粘土には、膨潤性をもつスズクバが含まれていた(写真-3参照)。

この2つの要因により、当該粘土に水が供給され膨張したことが隆起の原因と考えられる。

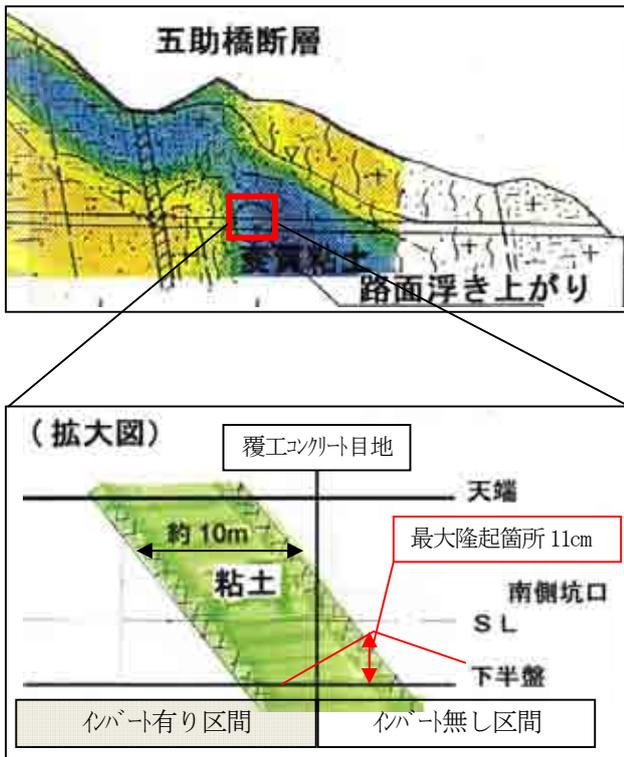


図-2 隆起箇所の地質図と震災時調査資料

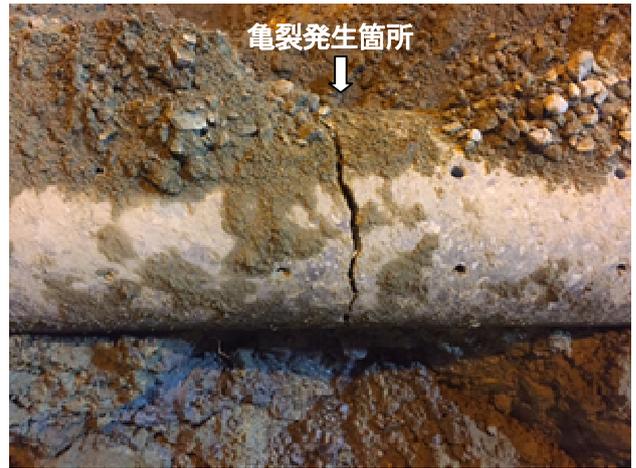


写真-2 中央排水管の亀裂



写真-3 確認された粘土

3. 現場条件と対策工法の選定について

隆起対策として、イバート有り区間に隣接するイバート無し区間(覆工コンクリート1スパン10.5m)にイバートを設置し、隆起の発生していないイバート有り区間と同様の断面にすることとした(図-3参照)。

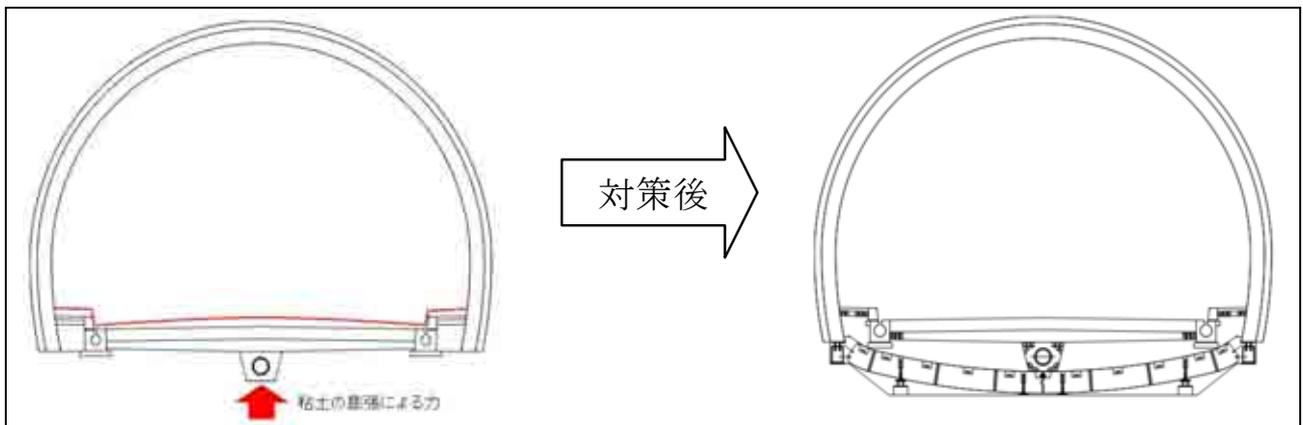


図-3 隆起箇所の現況トンネル断面図とイバート設置対策後断面図

インバート設置工事には、舗装の撤去及びインバート設置箇所
の掘削、インバートコンクリート打設・養生が必要となるため、10
日間程度の終日通行止規制が必要となる。しかし、

- ① 山岳部のトンネルであり、旧道の峠道以外、迂回路
がないこと。
- ② 1日当たり12,000～14,000台の交通量があること。
- ③ 西宮市北部と西宮市街地を結ぶ重要な路線であり、
かつバス路線であること

これらの3つの要因により、社会的な影響を考慮し、交
通量が減少する21:00～翌朝5:30の間の夜間通行止規制
で工事を実施することとし、日中は仮舗装で供用させる
こととした。このため、コンクリートの養生時間を考慮すると、
規制時間内に、仮舗装で供用させることができないため、
プレキャストインバートをを用いることとした。

4. 現場条件と対策工法の選定について

トンネルを新たに建設する場合は、インバートを施工してから
覆工コンクリートの施工を行う。今回は、プレキャストインバートの据
付時に覆工コンクリートが支えのない状態になる(図-4参照)。このため、以下に示す課題を解決する必要があった。

- ① 覆工コンクリートの下部を掘削する時に、覆工コンクリート沈下
等の変位をいかに防止するか。
- ② 覆工コンクリートとプレキャストインバートをいかに一体化させるか。
- ③ トンネル内で使用できるクレーンの大きさが制約される
ことから、プレキャストインバート1ブロックあたりの重量およ
び形状をどのように決めるか。

↓ : 覆工コンクリート死荷重

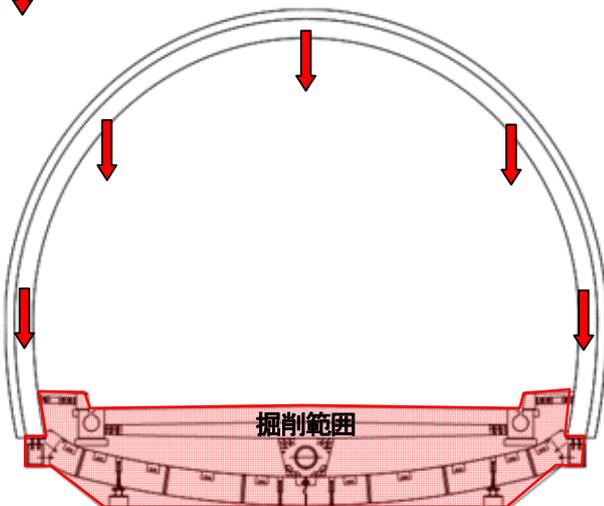


図-4 覆工コンクリート下掘削による変位発生模式図

5. プレキャストインバート据付課題対応と工夫

(1) 覆工コンクリート変位発生防止対策(覆工コンクリート支保方法の工夫)

覆工コンクリート下を掘削後すぐにH鋼支保を据え付け、覆
工コンクリートの死荷重を支保させることで変位を防止するこ
ととした。このため、支保工は外側で高さ調節ができる
構造とし、覆工コンクリートの死荷重を地山へ確実に伝達する
こととした(写真-4, 図-5参照)。



写真-4 支保工設置状況

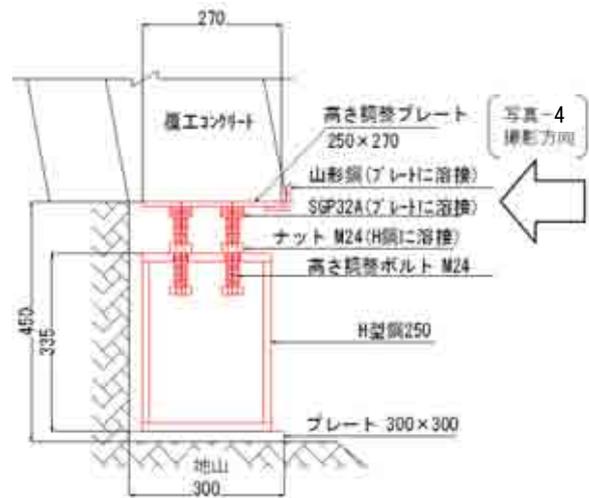


図-5 支保工詳細図(横断図)

(2) 覆工コンクリートとインバート接合構造の検討

a) 裏込充填材に超速硬無収縮モルタルの使用

プレキャストインバート工では、インバート下の地山との隙間に、裏込充填を行う必要がある。この充填材を覆工コンクリート下にも充填し接合部のコンクリート構造物とすることで、早期に覆工コンクリートとインバートを一体化することが可能となった(図-6、写真-5参照)。

充填する材料は、超速硬無収縮モルタルとし、その仕様は以下の条件から1時間材令圧縮強度を、 $\sigma_{1h}=0.6N/mm^2$ の地山強度以上を確保することとした。

- ・ 規制時間内作業を完了させるため、充填完了後、時間を置かず埋戻し作業を行う。
- ・ 覆工コンクリートの死荷重を支保だけでなく、できるだけ早期に硬化した無収縮モルタルで受けさせる。

b) 接合部のずれ止め処理

覆工コンクリートとの接合部は、トンネル建設時にインバートを設置する場合と同様に、図-7に示す形状とすることが望ましい。しかし、覆工コンクリート下端部を取壊し、同様の形状にしようとする、規制時間内に作業が終了しなくなるため、既存の形状のままで接合せざるを得なかった。

この場合、接合部でズレが発生する恐れが予想されることから、接合部において以下に示すズレ止め処理を行い、覆工コンクリートとインバートの一体化を図った(図-8参照)。

- ・ 無収縮モルタル充填の上端の仕上げを、覆工コンクリート下面より3~10cm高く仕上げ、覆工コンクリート内側に、巻き込む形状とした。
- ・ プレキャストインバートへ用心鉄筋として、あと施工の差筋を設置した。



図-6 プレキャストインバートおよび接合部断面図



写真-5 接合部無収縮モルタル充填状況

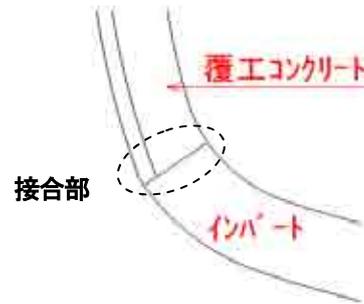


図-7 一般的なインバートと覆工コンクリートとの接合部断面図

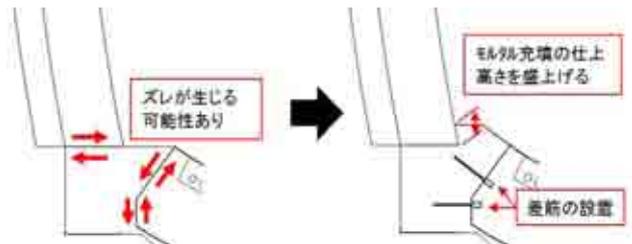


図-8 ズレ止め対策模式図

(3) プレキャストインバート形状の検討

以下に示すトンネル内でクレーンの制約条件から、重量7t以上のプレキャストインバートは使えないことがわかった。

クレーンの制約条件 (図-9 参照)

- ・ クレーンの大きさ : 50t 吊フッククレーン
- ・ アウトリガーの張出幅 : 約 7.5m
- ・ 最大作業半径 : 約 13m 必要
- ・ ブーム角度 : 0°



吊上げ可能なプレキャストインバートの重量

1ブロックあたり 7t 未満

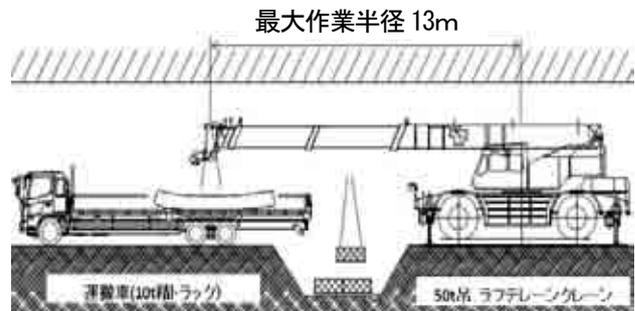


図-9 プレキャストインバート据付模式図

上記の条件のもとで検討した結果、プレキャストイバートの形状を以下のとおりとすることで、1ブロックあたりの自重を6.2tとした(図-10参照)。

- ・幅(横断方向) : 4.11m (イバート幅全体の1/2)
- ・長さ(縦断方向) : 1.15m (施工縦断延長を9分割)
- ・厚さ : 0.45m

この結果、今回の工事で18ブロックのプレキャストイバートを据付することとなった(写真-6参照)。

今回の施工実績が、供用中のトンネル改築工事で参考になれば幸いである。

なお、本稿は従前の所属である兵庫県道路公社の所掌内容である。

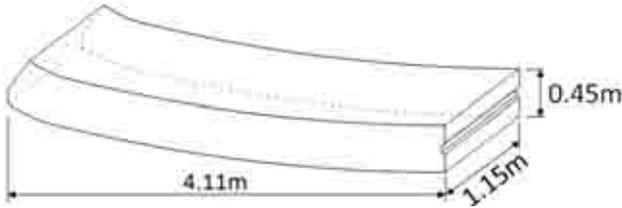


図-10 プレキャストイバート形状図



写真-6 プレキャストイバート据付状況

6. おわりに

実際の施工では、土工・プレキャストイバート据付・無収縮珪砂充填と複数の専門作業員の連携が不可欠であった。また、作業毎の工程管理も10分単位での管理を行い、据付作業を重ねる毎に、水替え方法の見直しなど、複数の作業手順の改善が行われ、規制日数内で工事を完了することができた。

これまで供用中のトンネルにイバートを設置するには、対面通行のトンネルの場合、長期間終日通行止規制を行う必要があった。しかし、プレキャストイバートを用いることで、夜間通行止規制でイバートを設置することが可能となった。

また、現場打ちコンクリートでイバートを設置する場合と比較し、コストは増加するが、養生時間が必要無いため、工期短縮に有効である。よって、終日通行止規制で工事を行う場合でも、規制日数の短縮に寄与すると思われる。