

# 毛馬排水機場ポンプ設備整備について

栗山 大生<sup>1</sup>・辻野 直義<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 淀川河川事務所 施設管理課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

毛馬排水機場のポンプ設備は、設備設置後39年が経過し設備の老朽化が進んできており、定期点検において6号ポンプ設備のポンプインペラハブからの油漏れが発見された。

これを契機に的確な予防保全を目的としてポンプインペラハブ内部の分解整備を実施するとともに、精密診断をあわせて行い、残りのポンプの整備方針だけでなく、今後の維持管理計画を検討する取組をはじめたので報告する。

キーワード 排水機場、設備老朽化、分解整備、予防保全、危機管理

## 1. 毛馬排水機場の概要

### (1) 毛馬排水機場の目的

毛馬排水機場が設置されている寝屋川流域は、東側を金剛生駒紀泉国定公園に指定されている生駒山地、西側を大阪城から南に伸びる上町大地、北側と南側は淀川と大和川に囲まれた東西方向約 14km、南北方向約 19kmの盆地状の地形をしていて、流域面積は 267.6km<sup>2</sup> である。(図-1) また、流域内人口は約 273 万人で、大阪府全体の約 31%を占めている。寝屋川流域は低平地のため浸水被害が繰り返し発生している。

毛馬排水機場は、高潮や洪水時において寝屋川流域の水位低下を図るため大川の水を淀川本川に排水することを主な目的として1978年に完成した大規模内水排除施設である。また、寝屋川が低水位の時には、淀川本川から大川へ浄化運転を可能としている。

完成後、2017年3月まで計40回の排水運転を行っているが、近年稼働頻度が上昇しており、また、6台同時稼働台数が最も多い。(図-2) 他号機についても同様に年数が経過していることから、効果的・効率的な維持管理を行っていく必要がある。

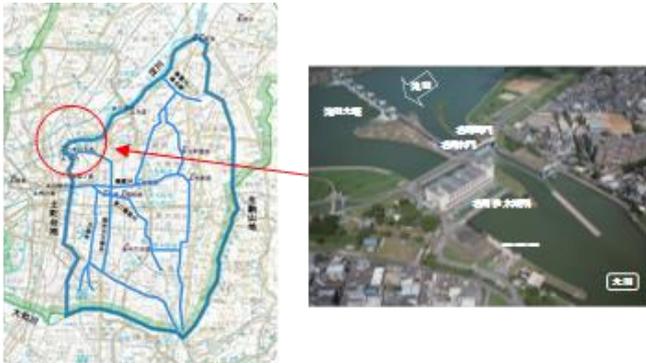


図-1 寝屋川流域と毛馬排水機場

### (2) 設備諸元

毛馬排水機場の設備諸元は、以下のとおりである。

主ポンプ	口径 4,000mm 立軸可動翼軸流ポンプ 55.0m <sup>3</sup> /s 6基 (合計 330m <sup>3</sup> /s) 高潮時 330m <sup>3</sup> /s × 実揚程 2.2m 洪水時 200m <sup>3</sup> /s × 実揚程 5.0m
主電動機	大電動機 (排水用) 2,500kW 6台 小電動機 (浄化用) 600kW 6台
発電設備	発電機 7,500kVA 3基 ディーゼル機関 8,670PS 3基

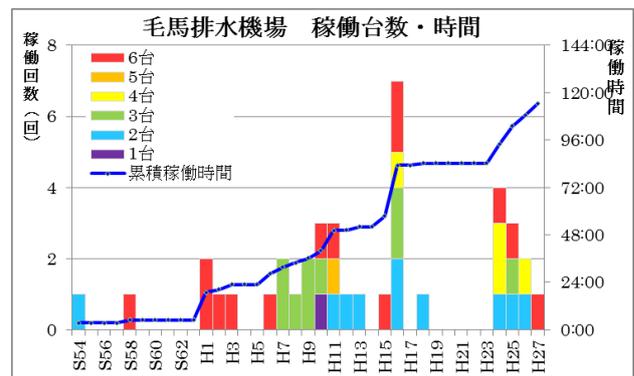


図-2 毛馬排水機場の稼働状況

表-1 大規模排水機場と超大形ポンプ

項目	毛馬排水機場	三郷排水機場	庄和排水機場	日光川排水機場	綾瀬排水機場	太間排水機場	久御山排水機場	平野川分水路排水機場	松戸排水機場
設置年度	1978	1978	2001	1978	1983	1995	1973	1982	1995
計画総排水量	330m <sup>3</sup> /s	200m <sup>3</sup> /s	200m <sup>3</sup> /s	200m <sup>3</sup> /s	150m <sup>3</sup> /s	135m <sup>3</sup> /s	120m <sup>3</sup> /s	105m <sup>3</sup> /s	100m <sup>3</sup> /s
代表号機口径・吐出量	4,000mm 55m <sup>3</sup> /s	4,600mm 50m <sup>3</sup> /s	高流速 50m <sup>3</sup> /s	4,600mm 50m <sup>3</sup> /s	4,600mm 50m <sup>3</sup> /s	3,400mm 30m <sup>3</sup> /s	3,400mm 30m <sup>3</sup> /s	3,600mm 45m <sup>3</sup> /s	4,600mm 50m <sup>3</sup> /s
ポンプ形式	立軸軸流(可動翼)	立軸渦巻斜流	立軸渦巻斜流	立軸軸流	立軸軸流	立軸渦巻斜流	立軸軸流(可動翼)	立軸軸流(可動翼)	立軸渦巻斜流
主原動機機種・出力	電動機 2,500kW	ディーゼル機関 4,563kW	ガスタービン 10,304kW	ディーゼル機関 4,270kW	ディーゼル機関 2,723kW	ディーゼル機関 4,413kW	ディーゼル機関 2,134kW	ディーゼル機関 1,324kW	ディーゼル機関 4,122kW
管理者	近畿 地方整備局	関東 地方整備局	関東 地方整備局	愛知県	関東 地方整備局	大阪府	近畿 地方整備局	大阪府	関東 地方整備局

(1) 毛馬排水機場ポンプ設備の特徴

(a) 国内最大排水量の主ポンプ

毛馬排水機場は、ポンプ一台当たり排水量55.0m<sup>3</sup>/s・口径4,000mm、排水機場全体で最大330m<sup>3</sup>/sの国内最大の排水能力を持つ大規模施設である。(表-1)

ポンプ本体をコンクリートケーシング形式として機場土木構造物と一体化し、吸込水路及び吐出し水路と直結した構造としている。(図-3)

(b) 電動機駆動

毛馬排水機場の設置条件、浄化運転への対応から主原動機に電動機を採用している。

(c) 可動翼機構の採用

始動時の負荷軽減、小水量運転対応のため可動翼機構を採用している。

逆流防止弁(フラップ弁)がないため、ポンプの始動・停止時には吐出し側のゲート全閉のいわゆる締切運転となるが通常の軸流ポンプでは過負荷となり始動できないので、毛馬排水機場の主ポンプは可動翼機構を採用して羽根角度を小さくすることにより過負荷を回避して運転可能としている。(図-3, 図-4)

また、毛馬排水機場は排水運転のほか浄化運転を可能とするために、吸込水路と吐出し水路のゲート開閉操作で送水方向を切り替える構造となっている。(図-5)

(d) 施設の設置環境

毛馬排水機場は、汽水域に接続されており常時水没している。主ポンプまわりは、塗装や電気防食等による腐食対策を行っている。

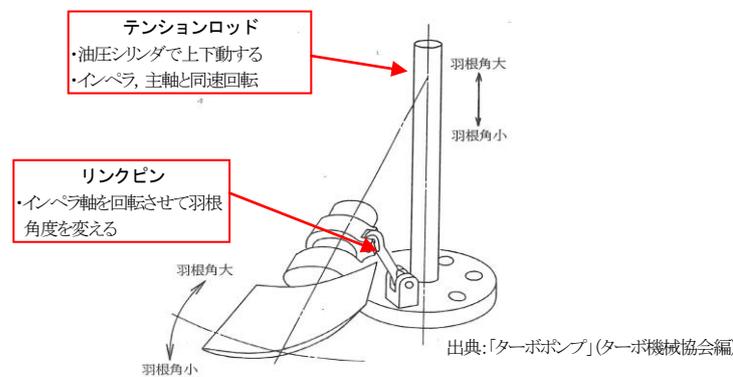


図-4 可動翼機構のイメージ図

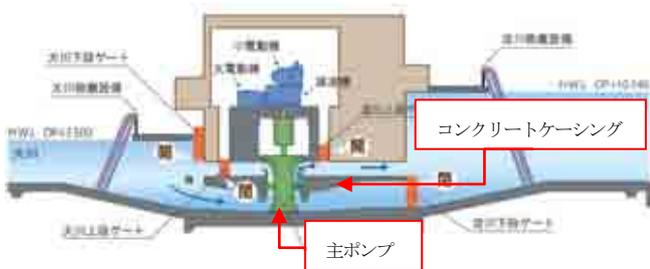


図-3 毛馬排水機場断面図

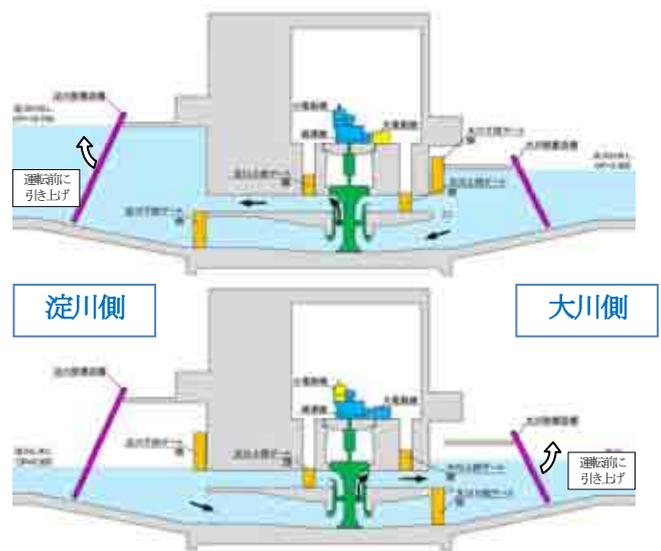


図-5 毛馬排水機場の運転方式(上:排水, 下:浄化)

2. ポンプ設備の現状

(1) これまでの点検の状況

(a) 主ポンプ設備の点検内容

本設備は、一般的な年点検、月点検のほか、6年に1度定期的に1台ずつ水抜き点検・補修（水路を角落し締め切り、ポンプ周りの水を抜いて行う常時水没部の外観目視、摩耗・腐食の計測及び補修塗装）を実施してきている。

しかし、可動翼機構については、ポンプを引き上げて分解しなければ点検できないため、設置後一度も点検されていない。

(b) インペラハブからの漏油

2013年度の6号ポンプ水抜き点検において、インペラハブのインペラ取付部にわずかな漏油が発見された。

(図-6) インペラハブには可動翼機構が内蔵され潤滑油(2,000L)で満たされている。

漏油の原因としてはオイルシールの摩耗が考えられる。オイルシールが破損すると内部の潤滑油が漏れて潤滑不良や海水浸入による腐食により可動翼機構の機能不良をきたすおそれがある。毛馬排水機場の主ポンプは上記13の(c)に示したとおり始動時の翼角操作が必要なので可動翼機構が機能しないと運転不能となる。



図-6 インペラハブと漏油の状況



60 t 吊天井クレーン

減速機

図-7 天井クレーンと減速機

(c) 主ポンプ分解整備

点検結果により、主ポンプ設備で一番重要な可動翼機構に影響を与えるインペラハブ内の腐食が想定されることから、早急に分解整備を実施することとした。

建設後39年間、分解して内部確認や部品交換等ができていないインペラハブ、可動翼機構の摩耗、損傷の確認も合わせて行う。

この分解整備は、H29年度出水期明け後に実施する。

(2) 今後の維持管理を考慮した整備内容の検討

(a) 分解整備実施上の課題

主ポンプの内部点検・整備を実施するに当たり、ポンプを天井クレーン(60t吊)(図-7)で引き上げ搬出し、工場において分解・整備する必要があるが、以下の課題がある。

- ・インペラハブの引き上げには、上部にある減速機を移動する必要があるが既設天井クレーンでは、約68tの減速機を移動することができないため、現場において減速機を分解する必要がある。(図-8)
- ・減速機を一度分解すると、再組立時に消耗品や部品の交換も必要となってくるが、部品調達に時間を要する。今後、ポンプの定期整備を実施するには、必ず減速機の分解整備も同時に必要となってくることから同様に多くの費用及び時間を要することになる。

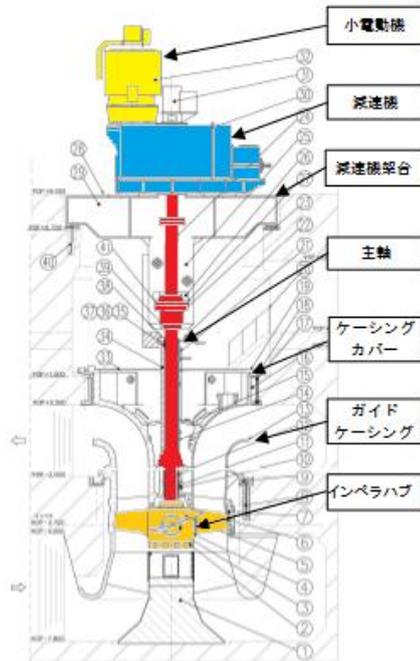


図-8 主ポンプと減速機の配置

(b) 効率的な整備内容の検討

毛馬排水機場の主ポンプ設備の維持管理計画検討において、維持管理費に占める定期整備費用が大きいことが明らかとなっている。そこで、維持管理を考慮した整備案についてLCC50年間、危機管理対応等を比較検討の結果、ポンプ定期整備を行うと同時に減速機の軽量化及び小電動機を撤去する案を最適案とした。

減速機改造（軽量化）案は通常の分解整備よりもインシャルコストは高くなるが、20年ごとにポンプ定期整備を行うことを考えると、減速機を60tクレーンで吊れるようになり、長期的に分解整備の期間が短くなることから、経費・時間が削減できる。よって、ランニングコストを削減でき、ライフサイクルコストにおいて優位となる。

また、ポンプ故障時の復旧に要する時間短縮を図ることができ危機管理上の効果も期待できる。

(c) インペラハブの点検を可能に

分解整備と同時にインペラハブの取替及びインペラハブの下部にステンレス製の蓋を設置し、今後の外観目視点検において、主ポンプを設置したまま内部潤滑油の抜き取り、内部の状況調査が出来る構造とする。

また、汽水域に接続していることから、インペラハブは超厚膜塗装(防食対策)を施し長寿命化を図る。

(3) 分解整備の内容

(a) 整備の実施内容

毛馬排水機場6号ポンプ設備整備内容は、上記(1)及び(2)の検討による主ポンプ分解整備及び減速機の軽量化更新のほか、通常の定期整備として実施する大電動機の分解整備、設備機能の見直し等により実施する小電動機の撤去（図-9）、操作制御設備の更新・改造等である。その内容を整理した。（表-2）

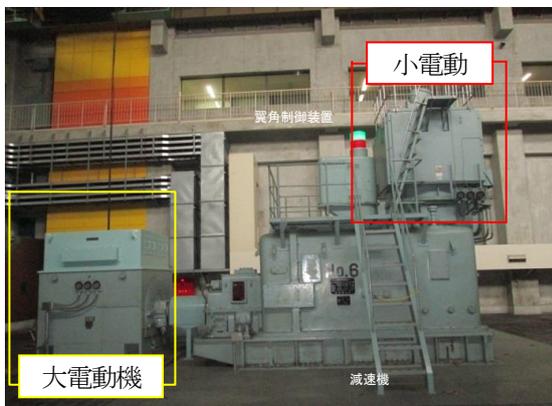


図-9 大電動機と小電動機

表-2 整備実施内容

種別	細別	内容	適 要
主ポンプ設備	主ポンプ	分解整備	SUS化、超膜圧塗装による長寿命化
	翼角制御機	分解整備	
主ポンプ駆動設備	大電動機	分解整備	固定子巻線巻替
	小電動機	撤去	軽量化、設備機能見直しによる撤去
	減速機	更新	軽量化更新
操作制御設備	6号主ポンプ盤	更新	
	既設制御盤	改造	小電動機撤去、減速機更新に伴う改造

3. 精密診断の検討

今年度の出水期明けに始めるポンプ設備の機会にあわせて、機器の健全度を把握するための精密診断を計画している。

今回の分解整備にあわせて実施する精密診断は「河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案)」（H28.3国土交通省）に準拠し、下記に示す2項目による診断を行うものとしている。

(1) 計測データ解析による診断

近年、産業分野で活用されている振動解析や潤滑油分析等のポンプ設備への適用例がある。

「河川用ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)」（H27.3国土交通省）においても「主ポンプ羽根車のアンバランス(摩耗や腐食による劣化)、主軸曲がり、減速機内部部品(軸受・歯車)の異常などについては、振動解析による診断の適用が可能となる場合がある。」と示されている。

(a) 振動解析による診断

毛馬排水機場ポンプ設備の振動解析による診断は、主に回転体の異常により現れる機会振動への影響を評価することとして、JIS規格(JIS B8301)による変位(振幅)計測に加えて振動速度や振動波形解析について計測することを計画している。分解整備の前後で計測するものとし、対象機器・部品と具体的な計測位置・方向、計測時の運転条件を事前に決定しておく。

(b) 潤滑油分析による診断

潤滑油分析は、油の劣化状態だけでなく、トライボロジー(摩擦、摩耗、潤滑を扱う工学)による内部部品異常摩耗把握による診断も実施する。対象はインペラハブ内の潤滑油、減速機潤滑油、可動翼機構の作動油等を計画している。

今回は分解整備と同時に実施するので、油分析によって得られたデータと、各部位計測結果とあわせて状態確認をし、今後の外角目視点検にて潤滑油分析を行っていく上での一つの指標とする。

(2)分解点検と精密診断

主ポンプ等の分解整備時に、機器内部の部品の摩耗、異常、損傷等を把握して健全度を把握する。

分解点検における精密診断は、機器内部の状態を目視で確認して評価することが主となるが、目視だけでは確認出来ない劣化要素については計測による判定が行われる。

現在運用されているマニュアル等において、目視以外の計測による状態監視項目を毛馬排水機場6号ポンプ設備の特徴や計測条件を反映し整理する。(表-3)

(a)診断項目例

振動解析による診断は、大がかりな分解を行わないで回転部の異常を検知出来る可能性があり、分解整備実施までの診断手法として有効である。

主ポンプの羽根車のアンバランス、主軸曲がり、スベリ軸受等が分解点検時において異常の兆候が見られた場合には、重要な診断項目となることから分解前のデータ収集のための計測を行う。

減速機についても、主ポンプを減速機で支える構造であり水平度が重要なので、分解点検前に水平度の計測、振動の計測及び分解点検時に摩耗状況等の計測を行う。

表-3 毛馬排水機場の精密診断の計測項目

毛馬排水機場の精密診断の計測項目

①対象機器：主ポンプ(羽根車・主軸・スベリ軸受)

②計測項目：振動(軸受・羽根車・主軸)

③計測条件：分解前・分解時・分解後

④計測方法：振動計・レベル計

⑤計測場所：主ポンプ(羽根車・主軸・スベリ軸受)

⑥計測結果：正常・異常

⑦計測結果の活用：異常発生時の修理・点検

項目	計測項目	計測条件	計測方法	計測場所	計測結果	計測結果の活用
主ポンプ	振動	分解前・分解時・分解後	振動計	主軸・スベリ軸受	正常・異常	異常発生時の修理・点検
	水平度	分解前	レベル計	主ポンプ(羽根車)	正常・異常	異常発生時の修理・点検
減速機	振動	分解前・分解時・分解後	振動計	主軸・スベリ軸受	正常・異常	異常発生時の修理・点検
	水平度	分解前	レベル計	減速機	正常・異常	異常発生時の修理・点検

4. 土木機械設備診断制度

近畿地方整備局では、河川土木機械設備を対象に設備診断の学識者で構成された「土木機械設備診断委員会」(以下、委員会という。)を中心に、技術的な指導・助言を受け、老朽化した機械設備の適切な維持管理を図るための制度を構築している。

今回の毛馬排水機場のポンプ分解整備にあたっては、建築後39年経て初めて分解整備を行う設備の精密診断を行い、今後続けて行う他号機の分解整備の方針や分解整備後の維持管理計画の見直しの指標とする。

精密診断を行うにあたっては、この診断委員会へ精密診断を行うにあたっての測定項目・確認項目及び指標等についてご指導・ご助言を頂くだけでなく、分解点検により得られた精密診断結果を基に、効果的・効率的に維持管理の実施を図って行く上での指導・助言を頂くことを計画している。

分解整備を今年度の出水期明けより実施するので、7月に診断委員会を開催し診断項目等に対するご助言を頂き、分解整備時にも実際に診断委員会による現状確認を行って頂くことを計画している。

5. まとめ

本報告では老朽化が進む大規模施設の整備とあわせて、精密診断を行い今後の維持管理を効率的・効果的に進められるような取組みの計画を紹介した。

実際の分解整備、精密診断はこれから実施するので、分解整備結果と精密診断による健全度評価や今後の維持管理計画を策定した段階で報告を行う予定である。

# 別府川の治水効果の早期発現に向けた 取り組みについて

齋藤 了<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 神戸県民センター 神戸土木事務所 河川課（〒653-0055 神戸市長田区浪松町3-2-5）

別府川は、加古川の支川である曇川の下流部から分派する河川で、流域では上流部の未改修区間の溢水による浸水と下流域の内水による浸水という課題を抱えている。また、下流域の一部は暫定的な整備状況となっており、上流部の曇川との接続に向けた改修の制約となっている。本稿では、上下流バランスに配慮し、早期に事業効果の発現を図るために実施した河川改修事例について述べると共に、今後の治水安全度の向上に向けた課題について述べる。

キーワード 河川計画、治水対策、河床掘削、暫定整備、早期効果発現

## 1. はじめに

別府川は、加古川の支川である曇川の下流部から分派し、加古川市街地を流れ播磨灘に至る延長9kmの一級河川である。

本河川は、1958年から中小河川改修事業、1968年から高潮対策事業により新川開削等の改修が行われている。河口からJR加古川線日岡駅付近までの区間は一次改修が完了しているものの、日岡駅から上流部は未改修で残っている。



図-1 別府川の概要

また、中流部の白ヶ池川合流点付近から下流は暫定的な整備状況となっている。そのため、流域では上流部の

未改修区間の溢水による浸水と下流域の内水による浸水が頻発している。本稿では、早期効果発現を主眼に曇川と接続させるための河道計画の立案と市街地等の現場条件を踏まえた施工方法の検討結果及び事業効果について述べると共に、今後の治水安全度の向上に向けた課題について述べる。

## 2. 別府川の治水計画

河川整備計画（計画規模1/30年）では曇川自流時には $35\text{m}^3/\text{s}$ を、曇川内水時には $30\text{m}^3/\text{s}$ を曇川から別府川に分派させる計画となっている（図-2）。白ヶ池川合流地点から下流の整備計画断面は矢板護岸を築造し、河床を掘り下げるものとなっている（図-3）。

一次改修では、矢板護岸及び河床掘削が未整備であり、最も流下能力が低い箇所（加古川市役所付近）では約 $20\text{m}^3/\text{s}$ （1/3年確率以下）であるため、曇川との接続に向け、下流を再整備し流下能力を向上させる必要がある。この再整備を河川整備計画断面で実施するには、矢板護岸、水門改築、井堰改築、落差工等が必要なことから多大な費用と期間を要することとなる。（概算事業費：230億円、事業期間：46年（年間事業費5億円とした場合））

このため、治水効果の早期発現を図るため、河川整備計画を段階的に実施することとし、その第1段階として、計画規模1/10年での曇川からの分派量 $18\text{m}^3/\text{s}$ に対応することを目標として、2015年度から新規事業（概算事業費：20億円、事業期間：8年）として下流部の再整備に

着手した。

### 3. 河道計画の検討と策定

#### (1) 別府川の現状

別府川は下流から日岡駅付近までの区間はブロック積み等で護岸が整備されており、高潮区間の大部分はブロック積みの上にパラペットが築造され防潮ラインを確保している(図-4)。

横断工作物としては、橋梁、別府川水門、安田井堰がある。橋梁については桁下が計画高水位以下になっているものもある。水門と井堰は河川整備計画の河道に対応したものとなっていない。

堤内地は特にJR山陽本線より下流側において市街地が形成されている。

#### (2) 河道計画の検討

河道計画の策定に際しては現状を考慮し、早期に治水効果を発現させるため、以下の点に主眼を置き検討を行った。

- ① 堤内地の状況から河道断面の確保は河床掘削を基本とし、堤防満杯評価で計画規模1/10年の流量に対応した河道とする。
- ② 既設護岸や橋梁、水門等の構造物への影響を極力生じさせない。
- ③ 河川整備計画断面の整備時に手戻りが生じない掘削断面とする。
- ④ 曇川の接続により現状(接続前)より水位を上昇させない。

既設構造物に対しては以下の調査を実施し、検討に反映させた(表-1)。

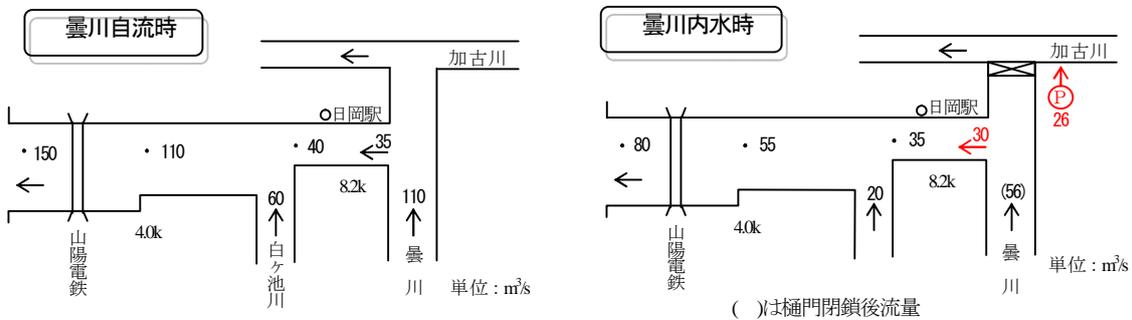


図-2 別府川整備計画流量配分図

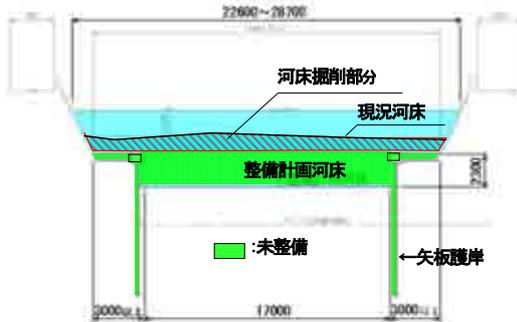


図-3 計画断面図  
高潮区間(対汐橋~良野大橋)



図-4 現況写真(対汐橋上流付近)

表-1 既設構造物の調査内容と方法

	調査内容	調査方法
護岸	構造物の根入れ	認可図書等の既存資料を調査
道路橋(17橋)	橋脚フーチングの根入れ	機械ボーリングにより橋脚フーチング天端まで掘進し確認(1橋を除き図面等の資料なし)
水門・井堰	下部工の根入れ	竣工図、認可図書等の既存資料を調査

(3) 河道計画の策定

河道計画は①掘削範囲、②別府川水門改築の有無を組み合わせた以下の3案を比較・検討し、案2を採用した(表-2)。

案2の概要は以下のとおり。

- ・掘削範囲：対汐橋～白ヶ池川合流地点 (L=約5.2km、V=約88千m<sup>3</sup>)
- ・縦断計画：対汐橋フーチング天端、別府川水門床版、安田井堰下部工をコントロールポイントとし現況河床から1.0m程度掘削

案2の実施することによる効果は以下のとおり(表-3, 図-5)。

- ・水位低減：対汐橋～白ヶ池川合流地点付近で50cm前後水位が低減<sup>※</sup>

※「現況河床・曇川分派なし」と「掘削後河床・曇川分派あり」の比較

表-2 河道計画の比較検討ケース

	掘削範囲	別府川水門	問題点等
案1	別府川水門～白ヶ池川合流地点	改築しない	水位上昇区間が生じる
案2	対汐橋～白ヶ池川合流地点	改築しない	特になし
案3	対汐橋～白ヶ池川合流地点	切下げする	水門改築費15億円が発生

表-3 水位低減量

測点	No. 12(別府町)	No. 25(尾上町)	No. 14(別府町)	No. 14(別府町)
水位低減量	約40cm	約55cm	約44cm	約44cm



図-5 河道掘削による水位低減効果 (No. 12)

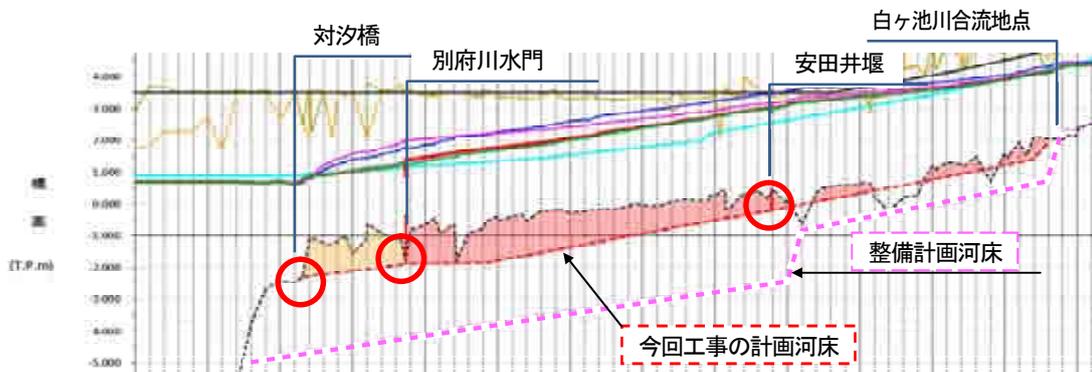


図-6 別府川縦断計画とコントロールポイント

4. 施工方法の検討・立案

(1) 施工にあたっての課題

施工方法の立案には、河床掘削範囲が河口部から中流部にわたること、周辺は市街化していることから、現場条件を踏まえ次に示す課題を解決する必要があった。

- ①水深に応じた施工方法の選定
- ②工事ヤードの確保
- ③掘削箇所から工事ヤードへの土砂運搬
- ④狭小な工事ヤードにおける残土処理

(2) 水深に応じた施工方法の選定

河床掘削範囲は河口部から中流部にわたるため水位の状況が異なる。対汐橋から五反田橋に至る延長約1.8kmの区間では潮位、水門の影響で水位が0.5～2.0m程度である。この区間では締切りを必要とする陸上施工は締切りにかかる工期等から採用できないことから水中施工とし、それより上流では0.3～0.5m程度であるため、大型土嚢により締切る陸上施工を採用した。

水中施工部の工法は、河川状況（川幅、水深、橋梁クリアランス）、河床材料の調査結果、周辺状況から表-4のとおり選定した（図-7, 8）。

(3) 工事ヤードの確保、工事ヤードへの土砂運搬

河床掘削範囲の周辺は市街地が形成されており、川沿いのまとまった土地は、公園と市所有地のみであったため、地元町内会、市担当部局と協議を重ね、これらを借地し工事ヤードを確保した。

水中施工部では特に管理用通路が幅員狭小でダンプの通行も困難であることから、掘削土砂は土運船により河川縦断方向に運搬する方法を採用した（図-9）。

水門、対汐橋部分は土運船が通過できないことから、これらの構造物で工区を分割し、それぞれの工事ヤードから揚土することとした。

(4) 狭小な工事ヤードにおける残土処理

工事ヤードからの残土処分については、日当たりの掘削土量に対して、天日干しできるだけの十分な広さを有する工事ヤードがないことから、ダンプトラックにより運搬が可能となるコーン指数（qc=200）を確保できるよう改良材による改良を行ない場外へ搬出することとした。

改良材の選定に際しては、工事ヤードが住宅密集地内であることを考慮し、発塵抑制タイプものを選定した。

表-4 水中施工部の掘削工法等

区間	対汐橋～水門	水門～五反田橋
掘削工法	バックホウ浚渫 ※1	バックホウ浚渫 ※1
掘削機械	水陸両用掘削機 ※2	泥状掘削機 ※3
ヤードへの運搬方法	引き船+土運船 ※4	引き船+土運船 ※4

※1：グラブ浚渫は河川規模から、ポンプ浚渫は河床材料から不採用とした。

※2：水深（満潮時2.0m程度）、橋梁クリアランス(2.0m未満)から選定。

※3：水深（1.5m以下）、橋梁クリアランス(2.8m以上)から選定。

※4：周辺状況から選定。



図-7 泥上掘削機による掘削状況



図-8 水陸両用掘削機による掘削状況



図-9 土運船による運搬状況

## 5. 事業効果

今回の河床掘削工事（対汐橋～白ヶ池川合流地点）による事業効果としては、前述の水位低減効果の他、曇川接続後に発生しうる中流域からの氾濫が解消する（図-10）。

また、前述の河床掘削工事後に実施が可能となる別府川と曇川の接続工事を行なうことにより、上流未整備区間からの氾濫が解消する（図-11）。

## 6. 今後の治水安全度の向上に向けた課題

河川整備計画では曇川も1/30年確率で計画的に整備することとなっており、改修に関しては地元からも強い要望がある。

しかしながら、曇川流域は、加古川市街地のの上流部に位置しており、曇川からの洪水の一部を別府川に分派させる計画になっていることから、曇川の改修に先行して、下流に位置する別府川の整備レベルを向上させる必要がある。

曇川の治水安全度の向上を図るため、別府川と併せた整備手法の立案が課題となる。

## 7. おわりに

50年以上を経て再整備に着手した別府川であるが、市街地部で課題が多いものの、再整備の着手から4箇年目の2018年度には河床掘削工事も完了し、治水効果を高めることができる予定である。

今回の別府川での経験をもとに、今後、様々な課題を有する他の河川での治水効果の発現にも取り組んでいきたい。

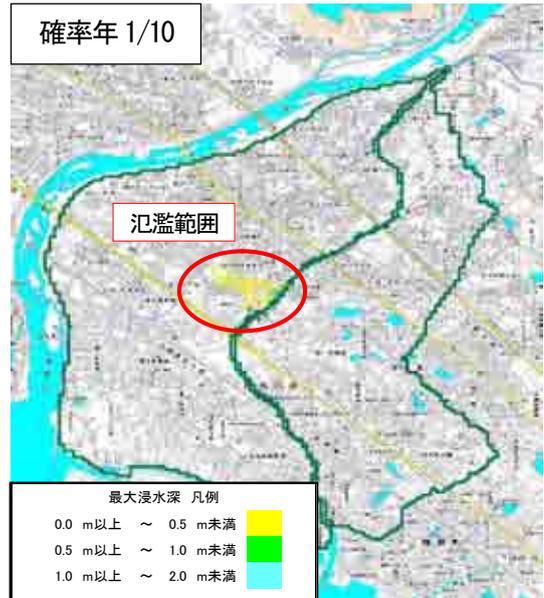


図-10 曇川接続後中流域からの氾濫範囲

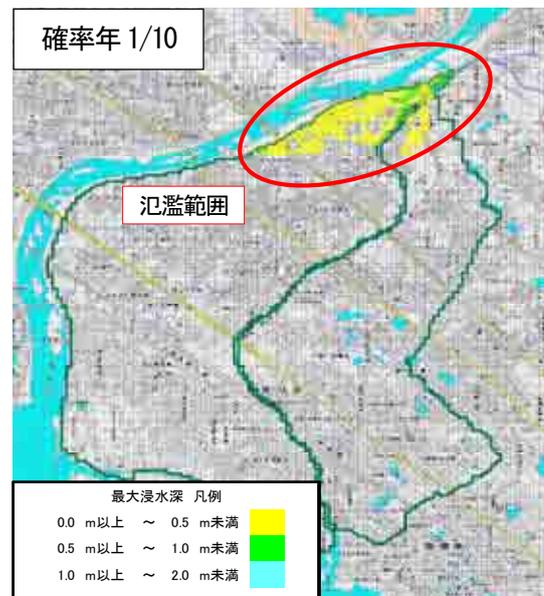


図-11 上流未整備区間からの氾濫範囲

# 供用中のコンテナターミナルに隣接した岸壁工事における施工上の工夫について

高木 誠

大阪港湾・空港整備事務所 建設管理官室 (〒552-0007 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、更なる船舶の大型化や取扱貨物量の増大に対応するため、コンテナターミナルの拡張を進めてきたところであるが、2017年1月に岸壁(延長250m)が完成し、供用を開始したところである。

本項では供用中の岸壁に隣接した場所において、工事着手から短期間に工事を完成させた施工上の工夫について報告する。

キーワード 工期短縮, 近接施工, 関係者調整

## 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、アジア主要港と遜色のないコスト・サービスを実現させ、国内港湾の国際競争力強化を図る施策であり、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、人口2100万人の近畿圏を背後に抱えた都市型港湾として、近畿圏の経済活動や安定した市民生活を支える、国内有数の国際貿易港となっており、年間約5,000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2015年の入港船舶数は約23,000隻で、取扱貨物量は7997万トンである。

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。

## 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つの連続バースを供用しており、一体的な運営が行われている。



図-1 大阪港概略図



写真-1 大阪港北港南地区国際海上コンテナターミナル

さらに、船舶の大型化や集貨・創貨および競争力強化の施策による取扱貨物量増大に対応するため、2013年度よりC-12の延伸工事に着手した。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。

### 3. 大阪港のC12延伸部の岸壁整備の流れ

岸壁構造は、隣接するC-12と同じく水深-16mとし、図-2に示すとおりジャケット式栈橋構造であり、あらかじめ工場で栈橋の骨組部分の製作を行い、工場製作と並行して現地では基礎工事や護岸部の本体工事を行うことにより、現地での作業期間短縮を図っている。

通常、護岸背後の埋立については、岸壁工事に先立ち実施するのが一般的であるが、早期に供用する必要があることから係留施設工事を先行して施工し、供用後も引き続き護岸背後の埋立ならびに盛土、荷さばき地の整備を施工することとしたため、3年3ヶ月の期間で係留施設工事を完了した(表-1)。

#### 1) ジャケット工事の施工まで

2013年10月より現地工事に着手し、最初にSCP工法による地盤改良工事を施工した。2014年度には、岸壁工事にあたって支障となる既設護岸の撤去及び移設、基礎工を施工した。2015年度は栈橋基礎部の頁岩土砂投入及び護岸部のケーソン製作据付ならびに護岸上部工の施工を行った。これと並行して三重県津市にある工場にて本体部となるジャケットの製作を開始した。

#### 2) ジャケット製作

岸壁本体となるジャケットについては、全部で5基製作を行っており、形状は延長50m、幅37m高さは最大

表-1 岸壁工事の実施工程

	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
海上地盤改良工				
既設護岸付替				
基礎工				
護岸本体工 (ケーソン式)				
ジャケット部杭打設				
ジャケット本体工				
護岸上部工				
養込・養理工				
柱礎上部工・盛土工				
舗装工・樹工				



写真-2 ジャケットの工場製作状況

17.3mである。製作にあたっては、まず屋内で各部材の加工や製作を実施し、その後屋外で組立を行い、係船柱や防舷材の取付や重防食塗装を行っている。製作期間は約9ヶ月であった(写真-2)。

#### 3) ジャケットの運搬据付

ジャケットの据付方法であるが、まず仮受杭を打設し、その上にジャケットを据付けてから鋼管杭を打設する「ジャケット先行方式」を採用した。

仮受杭の打設に先立ち、打設の支障となる基礎捨石層を全旋回オールケーシング掘削機で撤去し、置換材(砕

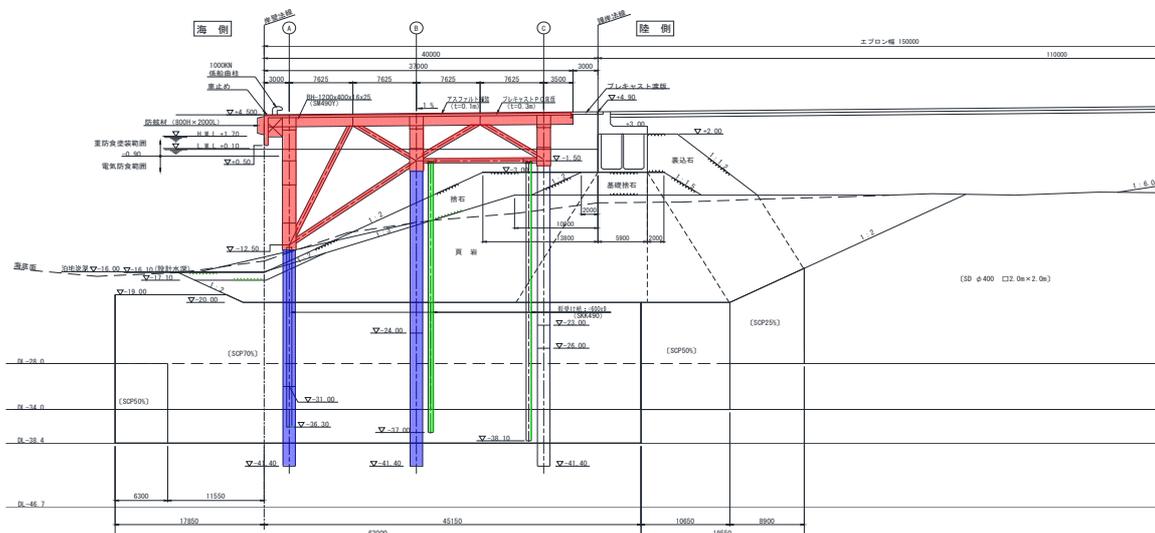


図-2 C12延伸部 標準断面図

石)へ置換を行った。その後、φ600mm、最大杭長39mの仮受杭をバイプロハンマーにて1基当たり9本、計45本打設した。その後、潜水作業で、仮受杭の天端にジャケットを受けるための杭頭プレートを設置している。

ジャケットの運搬については、製作工場がある三重県津市から長さ120m、幅42mの25,000t積台船にて一旦西宮市鳴尾浜岸壁まで約2日間かけ海上運搬を行った。1度に運搬できるのは2基であるため、作業は3度に分けて行われた。

ジャケットの据付については、起重機船(1,400t吊)にて1日1基ずつ行った。まず鳴尾浜岸壁において輸送台船上に固縛していたジャケットの解縛作業を行い、その後起重機船にて設置場所まで吊曳航を実施した。設置場所では位置決めの後、徐々に吊り下ろし、仮受杭上に据付を行った(写真-3)。その後速やかに仮固定のため鋼管を1基当たり4本打設した。



写真-3 ジャケットの据付状況

#### 4) ジャケットの固定

ジャケットの据付後、鋼管杭の打設を行った。鋼管杭はφ1,500mm、杭長は最大で約50mであり、ジャケット1基当たり15本、合計75本打設を行った(写真-4)。打設方法は、バイプロハンマーで支持層手前まで打設し、支持層部は油圧ハンマーにて施工を行った。その後、ジャケットと鋼管杭を一体化するために、潜水作業にて鋼管杭とジャケットのレグの間にグラウトの注入を行った。

#### 5) 岸壁完成まで

ジャケット上部については、福井県敦賀市にて工場製作したプレキャストPC版をトレーラで陸上輸送し、クローラークレーンにて設置を行った。PC版は長さ約4m、幅約2m、厚さ約30cmであり、計992枚設置を行い、その後PC鋼材により縦横両方向に緊張を行った。

あわせて、護岸部とジャケット部の間に渡版の設置を行った。ジャケット部と渡版部では、基礎構造の違いから沈下の挙動が異なるため、地盤の沈下に追従可能な構造となっている。また渡版の構造は上部工の床版同様プレキャストPC版であり、工場にて製作を行い、現地にて設置を行っている(写真-5)。

設置完了後、栈橋上、渡版部、護岸背後についてアスファルト舗装を施工、国際港湾施設として必要なフェンスや振動センサーなど保安設備の整備を行い、2017年1月末に係留施設工事が完了した。



写真-4 鋼管杭の打設状況



写真-5 渡版の設置状況

### 4. 岸壁工事の工夫

前述の通り、岸壁工事については短期間に施工する必要があり、また施工場所に隣接して供用中の岸壁があることから、施工上の制約もあった。

#### (1) 供用中コンテナターミナルとの近接施工、入出域船の情報収集と施工調整

施工場所に隣接する夢洲CT(C-10~C-12)には多数のコンテナ船の入出港があり、運航に支障を与えないように工事を進める必要がある。(C-10~C-12)~40,000t以上の入域船がある場合、入出港の支障となるため一旦作業を中止しなければならないが、ジャケットの据付途中で起重機船のアンカーを外すことはできず、中断ができないため、事前の入域情報の確認と据付開始時間の判断が特に重要であった。そのため大阪港情報センターと連

表-2 ジャケット据付のタイムスケジュール

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	
準備作業(鳴尾浜)	■																			
ジャケット吊り曳航(鳴尾浜→C12)			■																	
ジャケット据付作業(C12) 係留・据付・係留解除				■																
鋼管杭打設 係留・鋼管杭打設・係留解除										■										

携を図り、本工事の作業船の状況に関係者に周知すると共に、C-10～C-12)へのコンテナ船の入出域時間を把握し、本工事の作業場所の調整・作業船の配置場所を日々検討し、場合によっては施工場所の変更、作業船の移動や一時中断といった調整を行った。コンテナ船の入出域時間は正確ではなく、また、本工事の作業船の移動も時間がかかることから、長時間待機するような場面もあったが、供用中のコンテナターミナルと連携・調整を図ることで、コンテナターミナルの運営を妨げることなく、事故やトラブル・クレームを防ぐことができた。



写真-6 供用中C-12コンテナ船との近接施工

表-3 作業船の入行き状況の把握

船名		入域時刻		出域時刻		作業内容	
1	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
2	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
3	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
4	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
5	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
6	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
7	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
8	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
9	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考
10	船名	時刻	時刻	時刻	時刻	内容	備考

(2) イカナゴ漁に配慮した全作業船の曳航時間の調整及び誘導船の配備

大阪湾では、毎年2月から4月にかけてイカナゴ漁が行われるが、本工事のジャケット据付、鋼管杭打設と時期が重なる状況であった。そのため、事前に漁業関係者と綿密な調整を行い、イカナゴ漁の期間中は、「①大阪湾での全作業船の曳航は漁が終わる13時以降とする。②曳航船には前方監視船、後方監視船をつける」ということで、作業への理解・協力を得ることができた。

対象は、ジャケット輸送台船の曳航、起重機船の曳航、ジャケットの吊り曳航及び鋼管杭荷台船の曳航である。特に、ジャケット据付については、図-2に示すような施工サイクルとし、深夜までの作業に変更し対応することとした。また、13時以降の曳航時においても、大阪湾航行情報センターと連携を図り、イカナゴ漁の操業情報(位置)を収集し、細心の注意を図った。

各関係者との調整などにより、イカナゴ漁の期間中、トラブル、クレームゼロで作業を完了した。



写真-7 ジャケットの曳航状況

## 5. 今後の整備について

本工事については、現地着手から3年3ヶ月という短間、無事故で工事を完了した。これは、受注者はもちろん、港湾管理者、隣接する夢洲CTのユーザーならびに漁業関係者の協力もあってこそのものであり、岸壁整備にあたり、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。また、係留施設の早期供用が可能となったことにより、より効率的なコンテナターミナル運営が可能となり、物流の効率化に寄与している。

しかし一方で、係留施設工事を先行させたことから、これから護岸背後を埋立て、用地を造成していく状況である(写真-8)。そのため護岸部は、地盤沈下を考慮した天端高で施工しており、護岸部と棧橋部の勾配が急となることから、荷役車両の通行範囲を制限している状況である。今後も埋立の施工に合わせて沈下の動向を管理し、施設供用に支障の無いように施工していく必要がある。

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



写真-8 C12延伸部岸壁工事完成状況

# 碎石投入と薬液充填注入を組合せた埋戻しについて

上出 聡<sup>1</sup>・福井 雄一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>向日市 上下水道部 下水道課 (〒617-8665京都府向日市寺戸町中野20)

<sup>2</sup>向日市 上下水道部 下水道課 (〒617-8665京都府向日市寺戸町中野20)

向日市は、784年に桓武天皇が長岡京を造営した地であり、この都がたった10年で平安京へ遷都されることになった原因の一つが度重なる浸水であったとも言われている。近年の局地化、激甚化する降雨による浸水被害を軽減するため、市の中心市街地を流れる石田川の流下能力不足を補うためのバイパス水路工事を実施した。この工事で採用した埋戻しは、従来の小型転圧機械による施工ではなく、掘削幅を狭小にし、碎石と薬液充填注入によりボックスカルバートの埋戻しを実施した。この工法は、コスト縮減及び環境への影響を最小限に抑えつつ、市街地での安全な施工に有効であった。この埋戻し方法について報告するものである。

**キーワード** 浸水対策, コスト縮減, 安全, 環境対策

## 1. はじめに

西暦784年に桓武天皇が造営した“長岡京”の政治、経済、文化の中心であった大極殿の宮殿施設の遺構が、この向日市に存在している。そして、この都がわずか10年で平安京へ遷都する原因の一つが度重なる浸水被害に悩まされたことであるとも言われている。「続日本紀」によると「延暦9年閏3月16日詔して曰く、国災相ついで災変やまず・・・」と記されているように、天皇周辺の不幸が相次ぎ、さらには桂川、小畑川、小泉川の大氾濫が追い打ちをかけ、ついには遷都に至ったとされており、約1,200年前からこの地域は多くの水害に苦しめられていた。

近年では、昭和30年代から昭和48年の高度経済成長期において、急激な都市化による雨水流出量の増大と地下への浸透量が減少したことから、既存水路の改修に努めてきたが、これだけでは対応できず、浸水被害が頻繁に発生していた。また、市域の主な放流先となる京都市域に位置する一級河川西羽東師川についても著しい流下能力不足となり、たびたび氾濫したことから、河川改修による外水対策が急務になるとともに、市内の水路改修等の内水対策も検討された。市内水路の改修は、排水が京都市→本市→京都市と複雑に出入りしていることから、本市だけでは効果的な雨水排水対策の実施がきわめて困難な状況であった。

このような状況を抜本的に解消するため広域的な視野に立ち、向日市、京都市及び長岡京市を対象とする京都市府桂川右岸流域下水道雨水対策事業「いろは呑龍トンネル」の計画が京都府により策定され、本市においても、

京都府の事業と連携して雨水対策を進めてきた。現在も向日市の浸水対策下水道事業と京都府の「いろは呑龍トンネル」事業の両面からの整備を進めているところであり、これまでに実施した雨水対策は、市の北部に位置する寺戸川排水区において、「いろは呑龍トンネル」北幹線1号管渠と接続する寺戸川1号及び2号幹線と、市の中心部に位置する石田川排水区において、いろは呑龍トンネル北幹線2、3号管渠と接続する石田川2号幹線、市の単独雨水幹線である石田川1号幹線を整備した。

また、これら雨水幹線事業等の他に石田川1号幹線の upstream にあたる寺戸町初田周辺(図-1)において、既存石田川の能力不足を補うための石田川バイパス水路整備事業を実施した。この事業は、2013年度に着手し、15年度に完成したものであり、このバイパス水路の函渠施工(写真1)に採用した埋戻しについて報告する。



図1-位置図



写真1-【施工状況】

## 2. 石田川バイパス水路整備事業の概要について

### (1) 事業の目的

阪急東向日駅西側の銀行や商業施設がある市の中心市街地において浸水被害が発生していたが、平成15年度に貯留量11,700トンの向日市公共下水道石田川1号幹線が整備されたことで、この地域の浸水被害が大幅に解消された。しかしながら、近接する既存石田川が流下能力不足であることで局所的な浸水被害が発生していた。(写真2)

そこで、近年の局地化、激甚化する雨に対しても被害が最小となるように、既存の石田川を有効活用しながら効率的、効果的な整備を実施した。



写真2-浸水被害状況 (1999年6月)

### (2) 工事概要

市道第2087号線石田川バイパス水路整備工事は、施工場所が向日市寺戸町初田他地内(阪急東向日駅西側)であり、対象降雨量は、61mm/時間(1/10確率規模)、全体延長は、ボックスカルバート(L=240m)である。また、実施年度は2013年度からの2か年。総事業費は、約1億8千万円である。事業内容については、2013年度に試掘工事、地下埋設物の移設工事を行い、2014年度には、バイパス水路整備工事(L=175m)を行った。2015年度には、バイパス水路整備工事(L=65m)を実施した。

周辺交通を考慮し、車両通行止めにより実施した。



石田川 1.4m/1.0m×1.2m バイパス水路 1.3m×1.0m  
写真3-内空写真

### (3) 工事箇所

バイパス水路(赤色着色部)を埋設するルートは市道第2087号線車道下であり、同市道の歩道下にある既存石田川(青色着色部)と並行している。その離隔は、最も狭い場所で約50cmとなっており、最下流部の駅前付近で再び石田川と合流し石田川1号幹線の流入施設へと流れている。(図2、写真4~写真7)

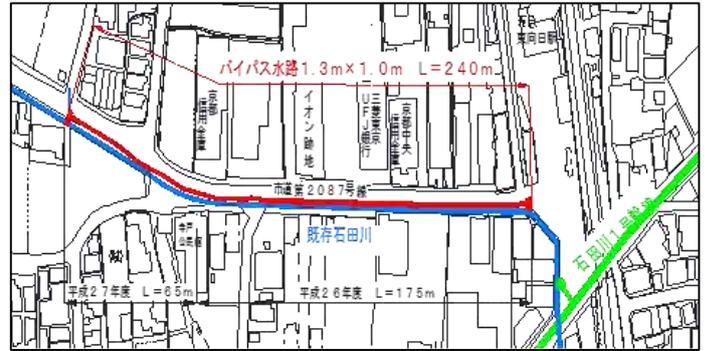


図2-工事箇所平面図

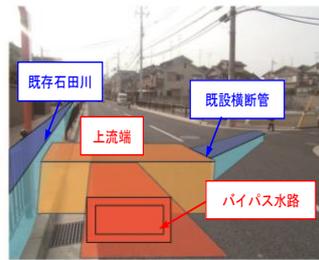


写真4-上流部

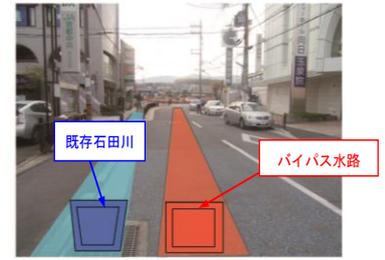


写真5-イオン跡地前

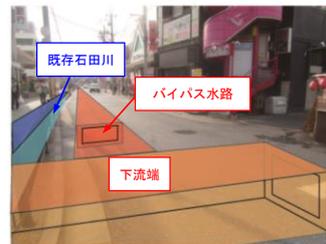


写真6-下流部



写真7-石田川1号幹線  
流入施設

## 3. 施工条件(制約条件)について

### (1) 地下埋設物の移設

市道第2087号線車道下には、図3に示すとおり、下水、水道、ガスのライフラインとなる地下埋設物が錯綜しており、更に南側の歩道下には既存石田川が流れている。このことからバイパス水路を埋設するにあたり影響する占用管の移設費用を最小限にする検討を行った。

この結果、南側の車道下にバイパス水路を設けることが、最も経済的なルートという結果となった。(占用管の移設が水道管のみ)

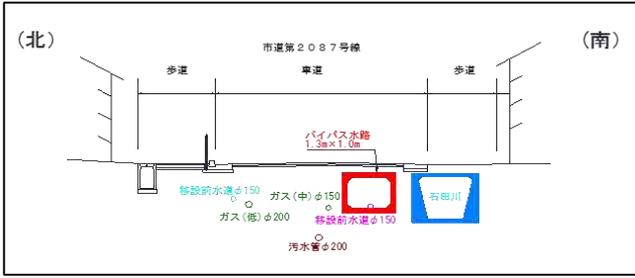


図3一断面図

(2) 施工時間

施工場所は、阪急京都線の東向日駅周辺であり、銀行などの商業施設が近接し、昼間の歩行者や車両交通量がとても多い状況である。(写真8) また公共交通のバス路線(写真9)でもあり、通行止めは困難であった。

この結果、交通状況や周辺環境への安全に考慮し、夜間施工とした。



写真8一昼間の交通状況



写真9一バスの通行

(3) 夜間工事における環境対策

工事箇所付近に住宅地やマンションがあり、夜間作業での振動・騒音による周辺住民の生活環境への影響が大きいことから、これらが発生する作業については、細心の注意を払い工事を実施した。(写真10,11)

また、周辺住民の理解協力が必要となることから、親切丁寧、きめ細やかな対応を実施するため、工事通知、月間及び週間工程表を下水道課職員により配布するとともに、夜間工事の翌朝には現場点検と清掃を継続的に実施した。(写真12)



写真10一周辺の住宅地



写真11一近接するマンション



写真12一現場点検状況

4. 埋戻し方法について

(1) 施工条件

バイパス水路の本体となるボックスカルバートの埋戻し条件は、①掘削幅を狭くすることにより、地下埋設物(ガス管)への影響を最小限にすること。②日進量を延ばし、夜間施工後の翌朝には交通開放すること。

(2) 施工方法の検討

a) 掘削幅の検討

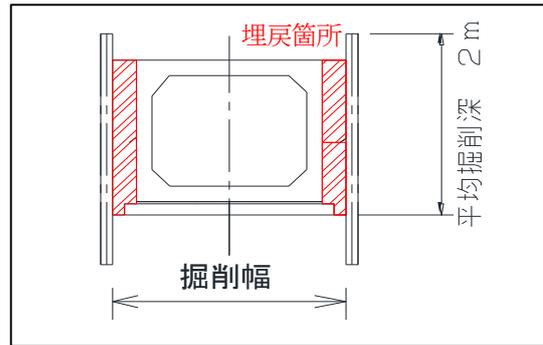


図4一断面図

表1のとおり、第1案の掘削幅を2mにすることで、ガス管への影響が最も少ないことが分かった。

表1一掘削幅の検討

項目	第1案	第2案
略図		
施工条件	掘削幅 1.96m 埋戻し幅 20cm	掘削幅 2.56m 埋戻し幅 50cm
問題点		・中圧ガス管の移設が必要
評価	○	×

b) 埋戻し材料の検討

表1のとおり、掘削幅を2mとすることで、埋戻し幅が約20cmとなり、小型機械による転圧は不可能であることから埋戻し材料やその工法について、表2のとおり検討した。

第1案：砕石+セメントベントナイト

第2案：コンクリート

第3案：流動化処理土

この結果、施工区間約20mという条件の場合においては、第1案のセメントベントナイトを埋戻し材料として使用することが経済的に有利である。

また第2案、3案では、材料の強度を得るまでの養生期間を必要となることから、翌朝の交通開放ができないため、第1案を採用とした。

表2ー埋戻し材料の検討

番号	第1案				第2案				第3案				
	セメント・ベントナイト				コンクリート				流動化処理土				
工事費	工程	数量	単位	金額	工程	数量	単位	金額	工程	数量	単位	金額	
	基礎 充填注入	2	m	19,884	200→ (1.5→4(薬液))	1.2	m <sup>3</sup>	17,780		流動化 処理土	1.2	m <sup>3</sup>	21,600
	覆工 (材料費)	2	m	3,200									
	工事費計	2m当たり		19,984	工事費計	2m当たり		17,780	工事費計	2m当たり		21,600	
	<b>1m当たり</b>		<b>8,492</b>	<b>1m当たり</b>			<b>8,880</b>	<b>1m当たり</b>			<b>10,800</b>		
利点	・最も経済的である。 ・即日交通開放が出来る。				・工期は最も短くなる。								
懸念点					・即日交通開放が出来ない。				・即日交通開放が出来ない。 ・経済性において最も不利なる。				
総合 評価	○				×				×				



写真15ー覆工板設置での通行状況

(3) 施工方法について

施行方法については、図5のフロー図の順に行った。

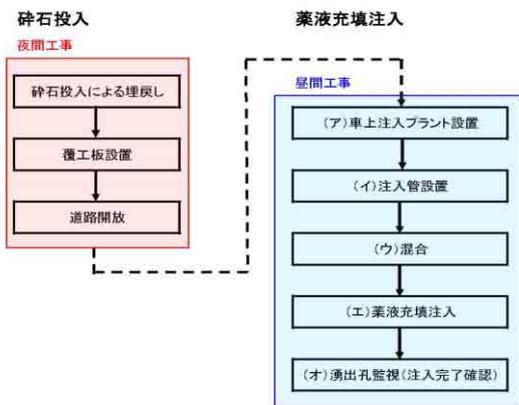


図5ー埋戻し方法フロー図

① 砕石投入 (夜間工事：午後10時から翌朝6時まで)  
ボックスカルバート設置後に、矢板とカルバート本体の隙間(約20cm幅の部分)に砕石(再生クラッシュラン)を投入する。



写真13ー埋戻し箇所



写真14ー砕石投入

② 覆工板設置 (夜間工事：午後10時から翌朝6時まで)  
通行に配慮した安全であると考えられる区間長の約20mを覆工板最大延長とし、砕石投入後に既設舗装から20cm下がりで路盤を仕上げ、その路盤上に覆工板を設置し、交通開放を行い、日々の仮復旧に必要な手間を省略した。

③ 薬液充填注入

近接する地下埋設物の影響を避けることから、圧力をかけずに注入するセメント・ベントナイトを用いた工法を採用し、①及び②を数回繰り返して、約20mの区間において、埋戻しを行った。(昼間施工：午前8時30分から午後5時30分)

(ア) 車上プラント設置

4tユニックの荷台に、セメント、ベントナイト及び水を混合するためのミキサー、薬液を送り出す注入ポンプ、注入量や圧力を管理する流量計、水タンク発電機を設置する。



写真16ー車上プラント

(イ) 注入管設置

工場製作時にボックスカルバートの底面と側面に削孔しておいたφ50mmの注入よりモルタルポンプから配管された注入管を設置する。

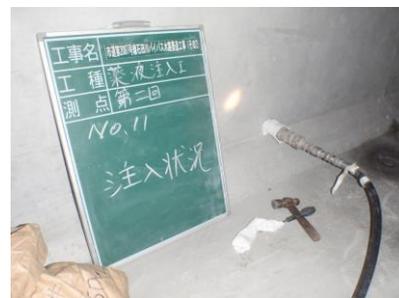


写真17ー注入管設置

(ウ) 混合

ミキサーにて、1袋当たり25kgのセメントとベントナイト、タンクから水を入れ混合する。配合量は、1m<sup>3</sup>当たりセメント450kg、ベントナイト50kg及び水838kgを混合する。



写真18-混合状況

(エ) 薬液充填注入

ボックスカルバートの底部中心位置にφ50mmの注入孔が2m間隔、側部は、ボックスカルバート左右交互にφ50mmの注入孔が2m間隔に開けている。注入は、下流側から底部→側部→底部→側部の順序で上流に向かっていく。

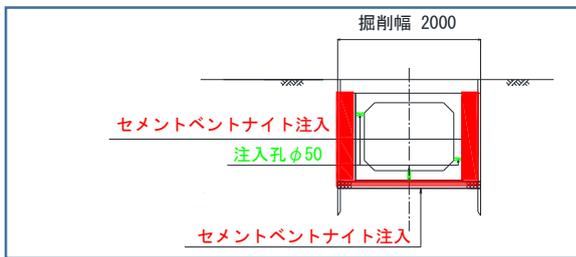


図6-注入断面図

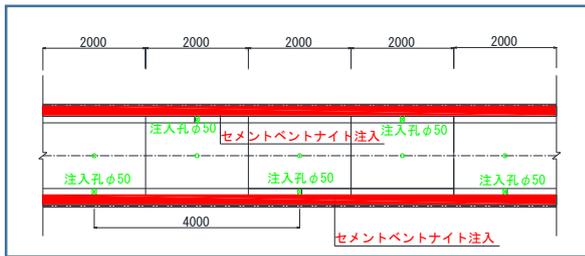


図7-注入平面図

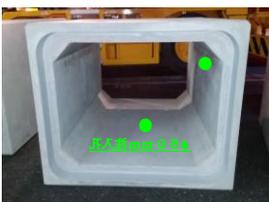


写真19-注入孔



写真20-注入状況

(オ) 湧出孔監視 (注入完了確認)

注入箇所の上流注入孔から薬液が湧出することにより、そのスパンの注入を完了とし、上流に移動する。

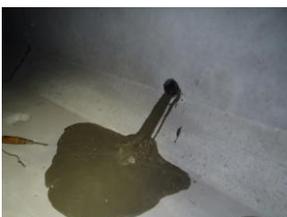


写真21-側部湧出確認



写真22-底部湧出確認

(4) 管理方法について

①車上プラントの流量計に設置されたチャート紙により、チャート紙の記録長さ (mm)、単位時間当たり記録表 (mm/分) 及び平均注入量 (ℓ/分) から注入量 (ℓ) を算定し、管理を行った。

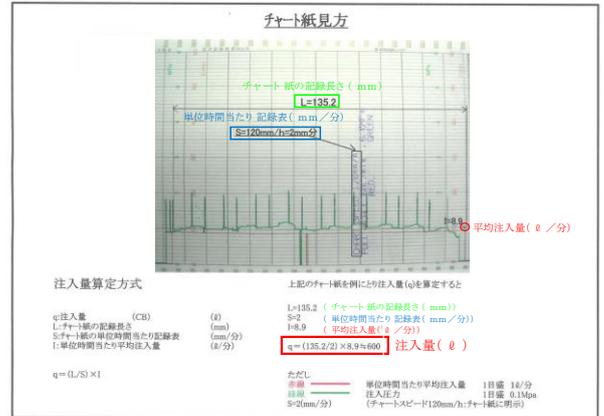


図8-チャート紙

②現場で配合したセメントとベントナイトのテストピースをとり、一軸圧縮試験を行い、1週圧縮強度の確認を行った。設計1週圧縮強度1.5N/mm<sup>2</sup>に対して2.1N/mm<sup>2</sup>の結果であった。



写真23-テストピース採取

③充填注入の確認方法として、フェノールフタレイン溶液を埋戻し箇所散布する。溶液はアルカリ性に反応することで、紫色に変色する性質をもち、この方法で確認する。ボックスカルバート注入孔にも、溶液を散布し変色反応で確認を行った。



写真24-側部での反応



写真25-底部注入孔確認

5.まとめ

従来の埋戻しは、ランマなどの小型機械を用い、構造物からの離隔を50cm以上を確保し、締固めを行います。この埋戻し幅を狭小にした砕石投入は、ボックスカルバートを据付けて、覆工板により仮復旧までを繰り返し、そして、安全を確保できる延長である約20mごとに内部からセメントベントナイトを砕石の空隙に充填し埋戻した後、舗装の本復旧を行うというサイクルで全体工事を行ったもので、この現場条件では、最も有効であった。

従来工法よりも工期短縮によるコストの削減と何よりも工事期間中の安全性向上を図れた。

(1)施工日数の短縮

実際の施工では、砕石投入と薬液充填注入を組合せた埋戻しを行う方法で、240mのボックスカルバートの敷設に71日の日数がかかった。一方、掘削幅2.76mの場合では、表1の第3案（掘削幅の検討）から、136日の日数を要する。今回の方法と比較して、65日の施工日数の短縮が図れた。その結果、夜間作業での振動・騒音による周辺住民の生活環境への影響が軽減できたと考えている。

工種	数量	砕石投入+薬液充填注入		埋戻し方法 (掘削幅2.56m)	
		施工日数	平均 施工量	施工日数	平均 施工量
カルバート工	L=240m	46日		136日	
薬液充填注入		13日		—日	
仮舗装工		12日		—日	
<b>合計日数</b>	L=240m	<b>71日</b>	<b>3.38 m/日</b>	<b>136日</b>	<b>1.76 m/日</b>
<b>直接工事費</b>	L=240m		<b>43,897,920</b>		<b>45,191,280</b>

表3—施工日数比較

(2)工事期間中の安全性向上

日々の交通開放を覆工板にて行い、延長約20m毎に舗装復旧を行ったことから、舗装の縦断継ぎ目が少なく、工事区間での段差の解消など通行車両の安全性が向上した。

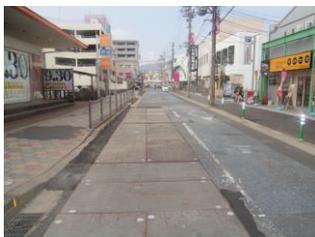


写真26—覆工板設置



写真27—舗装板復旧

(3)工事完了後の路面の状況

本工事完了後、商業施設の解体工事が始まり大型トレーラーや大型ダンプが頻繁に通行するようになった。現在も、その跡地にマンション建設が始まっており、大型車両が頻繁に通行しているが、現在のところ、路面の沈下も無く、目視で確認できるような異常はない。



写真28—解体工事での大型車両の通行状況



写真29—事業完了写真

以上のことから、砕石投入と薬液充填注入を組合せた埋戻し方法における効果は、次の4点が考えられる。

- ①歩行者や車両交通量が多い市街地において、有効な施工方法である。
- ②路面の沈下が発生していないことから、従来の埋戻し方法と同等以上の効果がある。
- ③施工日数の短縮による経費削減と工法による工事費の削減ができ、経済性に優れている。
- ④施工日数の短縮により、工事による周辺住民の生活環境への軽減が図れる。

6. 今後の課題

- ①地下水位が高い箇所では、セメント・ベントナイトが希釈されるため、薬液材の検討が必要である。
- ②ボックスカルバート内での薬液注入作業となるため、小断面では内部からの注入が困難であり、施工方法の検討が必要である。

7. おわりに

周辺住民の皆様のご理解とご協力により、石田川バイパス水路整備事業を安全に完了することが出来ました。本工事の施工に際しましては、受注者の皆様をはじめ、関係各課の皆様には、様々な面において大変お世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。今後も引き続き、向日市の「人と暮らしに明るくやさしいまちづくり」に努めてまいります。最後に、本日発表の場を設けていただきました国土交通省近畿地方整備局、京都府及び作成に伴いご尽力くださった方々へ感謝いたします。

参考文献

- 1) 公社) 日本下水道協会：下水道用設計標準歩掛 別冊 参考資料
- 2) 一社) 日本グラウト協会：薬液注入工 設計資料

# トンネル中間部の破砕帯に対する 性状把握と効果について

村岸 捺世<sup>1</sup>・加藤 翔<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>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)

京奈和自動車道大和御所道路のうち御所区間8工区は、御所南ICから五條北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1つである朝町トンネルにおいて起点坑口部の置換掘削に先立ち、整形作業段階で小崩壊が発生した。また、坑口掘削においてひび割れ等が発生したため、前方探査により地山の状態を把握する必要があった。そのため、トンネル工事を施工するにあたりDRISS（穿孔探査システム）を使用し前方地質調査を行った。本論文は、トンネル掘削を安全に行う事を目的としたDRISSの施工実績について報告するものである。

キーワード トンネル, 安全対策, 切羽前方探査, DRISS

## 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

その御所区間のうち御所南ICと五條北IC間は、平成29年度夏頃の供用を目指し、現在施工を続けている。大和御

所道路朝町トンネルは、その区間にある御所市朝町地先をぬける計画延長261mのトンネルである（図-2）。



図-2 朝町トンネル位置図

本論文は、対象トンネルの施工にあたって前方探査の必要が生じたことから、DRISSを使用したトンネル前方地質調査により掘削方法の検討を行った結果について報告するものである。

## 2. 朝町トンネル起点側掘削時の課題

### (1)朝町トンネルの地質構成

朝町トンネルの起点側坑口部には領家花崗岩類の石英閃緑岩が分布し、起点側坑口斜面一帯には崩壊地形などは認められず安定した斜面を形成している。坑口部東側斜面はやや谷状地形を呈し、現況では流水などは認められないが、降雨時には流水や土砂の流出が想定された。

### (2) 坑口位置の変更

起点側坑口部の置換工掘削に先立ち、切土面の抜根および整形作業を進めていたが、切土面の一部に小崩壊が発生した。(写真-1)そのため、未固結部分を掘削して、トンネル坑口を終点側へ5m移動した。



写真-1 坑口部崩落

また、起点側坑口付工の施工中に、坑口左側面部の法面にひび割れが発生し(写真-2)、支保工の上半左側足元に変位がみられた。対策として、吹付けコンクリートを増吹付し、注入式ロックボルトにて地山のゆるみ範囲の空隙充填とせん断補強を実施した。これらの事象から、本トンネルの地山は緩く、崩落が発生しやすいことが予想された。そのため注意深く掘削を進める必要があった。



写真-2 坑口部ひび割れ

## 3. トンネル切羽前方探査法DRISSの検討

### (1) トンネル切羽前方探査法DRISSの検討

先述の通り、坑口掘削、坑口付工において崩落が続いた。当初掘削前に水平ボーリングを行ったところ地山が脆く、固結度の低い地質が続くと予測された。そのため、トンネル掘削を安全に行うにあたり前方地山の詳細な情報が必要であった。また供用を控えている現場であり、早急に後続工事への引き渡しを求められたため出来るだけ掘削を止めずに前方探査を行っていく必要があった。その為、技術提案事項の1つであるDRISSを使用し、今後の掘削方法について検討を行う事とした。

### (2) トンネル切羽前方探査法DRISSの概要

DRISSはトンネル切羽前方の地山性状を原位置で迅速かつ直接的に把握することを目的に油圧式削岩機の穿孔データを利用した切羽前方探査法であり、一般的に実施される“探り削孔”と同様の手法で行われ、穿孔作業時に削岩機から得られる各油圧データを自動測定し、これらのデータを基に穿孔した地山性状に対する定量的な推定・評価を行うものである。

従来、トンネルの前方探査の方法として水平ボーリングや探り穿孔等が用いられていた。しかし、コストが増加する、時間がかかる等のデメリットがあった。

対して、DRISSの利点としては、以下の点が挙げられる。

- ・トンネル作業員が作業を行うため、結果が現場にフィードバックされやすい
- ・既存の機械(ドリルジャンボ)を利用して計測するため作業効率が良く、工程に影響しにくい
- ・重機入れ替え等が少なくなるため、他の探査法に比べて坑内の安全を確保できる

これらの利点から坑内の安全の確保及び効率化を両立できる本探査法を適用することとした。

本トンネルでは主に地山評価実績が豊富な穿孔エネルギーを用いて地山の前方探査を行った。

DRISSの施工の流れを下記①～③に示す。

①切羽へDRISS搭載のドリルジャンボをセットする。



写真3 ドリルジャンボへの機器設置及び計測画面

②先頭ロッド(3mが一般的)による穿孔を行い、得られたデータを記録する。1回当たりの探査深度は30mで、図-3に示す三箇所について実施する。また穿孔中は必要に応じてくり粉採取や穿孔水の色の観察を行う。

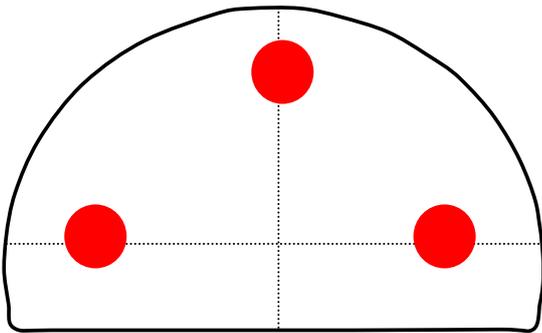


図-3 穿孔位置

③中継ロッドを継ぎ足して所定の探査長に達するまでデータの記録を繰り返す。

これらにより得られたデータを基に解析を行い、前方の地山の状態を把握する。解析には専用プログラムを用いて可視化し、地山の評価を行う。穿孔データの中から特に定量的な地山性状の評価が可能と考えられるパラメータとして下記項目が挙げられる。

①穿孔速度 (のみ下がり)

穿孔時にビットが進む速度であり、この速度が速いほどより脆弱層であると判断できる。

②穿孔エネルギー

単位体積あたりの岩盤を穿孔するのに要したエネルギー量を示し、より硬質な岩盤ほどより多くの穿孔エネルギーを必要とする。

③ダンピング圧(穿孔反力)

穿孔時に岩盤から削岩機に伝わる反力  
この反力が小さいほどより脆弱層であると判断する

(3) 本現場におけるDRISSによる評価方法及び補助工法の要否の検討について

前途の通り、DRISSによる探査結果より得られた前方の穿孔エネルギーについて図化する。実際には穿孔の際に出るくり粉及び穿孔水や他の探査法と併用し総合的に前方の地山の状態を判断する。

検討区間で得られた穿孔エネルギーとそれに対応する探査孔周辺の切羽評価点からDRISS評価を作成する。

以下に、『土木学会第58回年次学術講演会 穿孔探査システムによる支保パターン事前想定を試み』におけるDRISS評価基準例を示す。朝町トンネルは花崗閃緑岩であることから、表-1の地山分類の評価を適用する。

表-1 地山分類におけるDRISS評価基準例

岩種	地山分類	穿孔エネルギー (J/cm <sup>3</sup> )
花崗閃緑岩	C I	550～
	C II	250～550
	D I	150～250
	D II	～150

さらに、『NPO法人臨床トンネル工学研究所 技術研究部会 トンネル補助工法委員会 平成20年～21年活動報告書p.38 表-4.2.1 探りノミ判断基準』による補助工法の要否の評価基準例を参考に補助工法の要否判断基準を表-2のように定め、それぞれの対応策を表-3のように定めた。

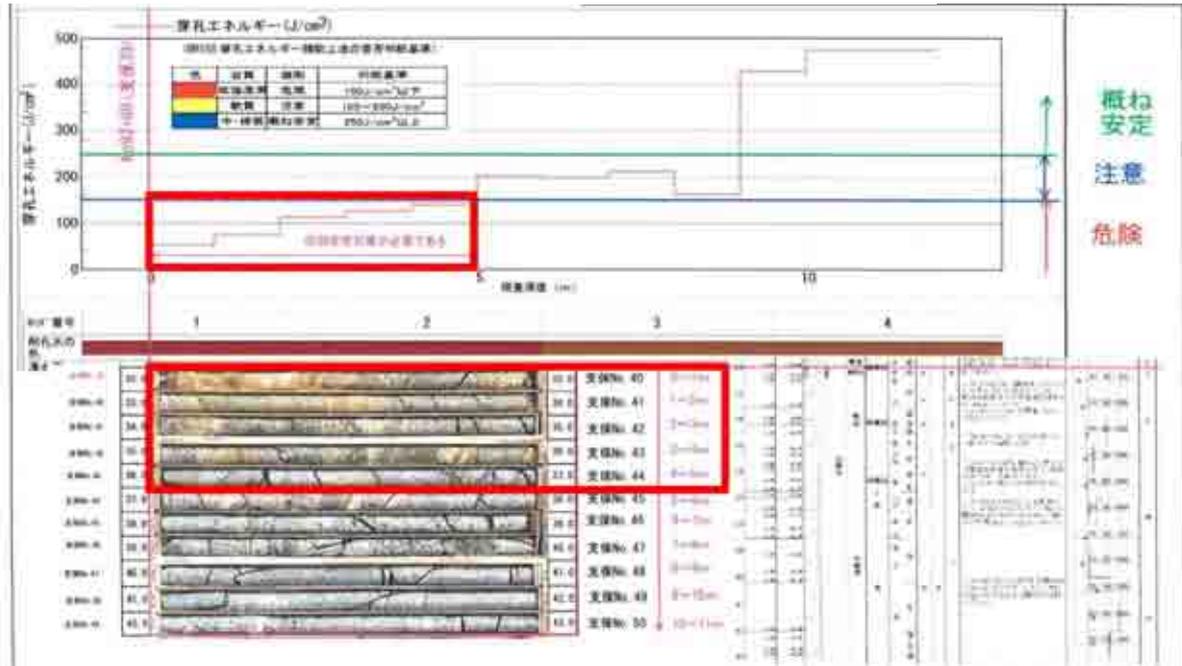
表-2 岩質におけるDRISS評価基準例

岩質	掘削	判断基準
低強度層	危険	150J/cm <sup>3</sup> 以下
軟質	注意	150～250J/cm <sup>3</sup>
中・硬質	概ね安定	250J/cm <sup>3</sup> 以上

表-3 各評価レベルにおける対策検討例

掘削	性状	対策(案)
危険	切羽天端部と切羽鏡面の自立が困難であり、切羽天端部と鏡面の肌落ちと崩壊の可能性が高く注意が必要である。	①先受け工の準備 ②鏡面の補強対策の準備(資機材調達・協議施工計画の作成)
注意	切羽天端部の自立が困難であり、天端部からの肌落ちに注意が必要	①先受け工の準備(資材調達) ②鏡面の補強対策の検討
概ね安定	切羽はおおむね安定し、補助工法の必要がないと思われる。	-

表-4 水平ボーリングと DRISS での穿孔エネルギーとの比較



この判断基準が本現場について適用が可能かを事前に検討した結果を表-4に示す。水平コアボーリングの結果と比較し、補助工法の要否が判定できるかを事前に検討した。

穿孔エネルギーが150J/cm³以下の低強度層はコア写真より茶褐色の部分が該当する。岩種区分は「軟岩」評価ではあるが岩片強度が低く、掘削ブリは粉碎し土砂状になって現れた。またこの部分は穿孔エネルギーが低く、危険な状態でもある。これらのデータから水平ボーリングの結果と同様の結果がDRISSも示すことができ、

補助工法の要否判断基準を適用しても問題ないとされたことから本現場ではこの要否判断基準を採用した。

#### 4. トンネル切羽前方探査法 DRISS の結果について

本トンネルは、図-4より、破碎帯のある①No.92+60～90, ④No.93+20～50, ⑤No.93+50～80, ⑦No.94+20～50の4箇所以外にも地質が悪いと予想されていたため、ほぼ全区間の合計8回、DRISSを実施した。今回は地山の状態の変化が著しかった第1回、第5回に着目した。



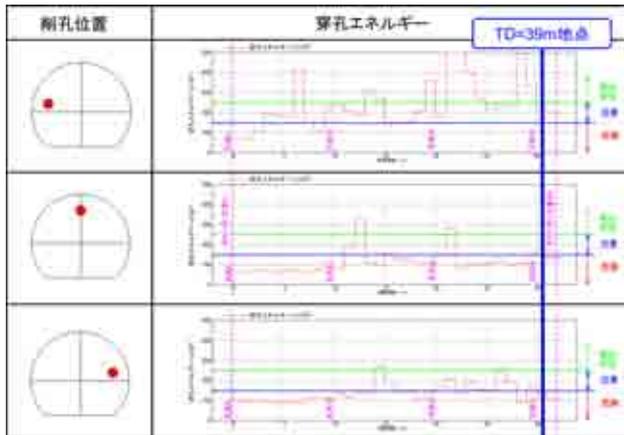
図-4 朝町トンネル地質縦断面図及び DRISS 実施範囲

(1) トンネル切羽前方探査法DRISSの解析

(a) 第1回 DRISS

トンネル天端が地山に達するのが掘削開始後8mのため、8m地点からDRISSを使用し、前方探査を行った。探査を行った結果、この地点は全体的に穿孔エネルギーが小さく、低強度層が続くと予測されたため、注意深く掘削を行う必要があった。1回目のDRISSを実施した結果を下記に示す(表-5)

表-5 第1回DRISS実施結果



トンネル番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
掘削位置	0										
掘削深度	2~5										
掘削方向	2~5										

表-5から全区間を通して穿孔エネルギーが150J/cm<sup>3</sup>以下の箇所が多く、さらに削孔水の色も濁っていることから破砕帯を通ってきた可能性があった。現在切羽に出現している低強度層が30m先まで続くと予想され、AGF工、鏡補強工が必要であると判断したため、注意深く掘削を行った。



写真-4 支保No.39での切羽崩落状況

しかし、写真-4のようにTD=39m付近で鏡面の崩落が発生するなど突発事項に見舞われたため、DRISSの予測精度の向上が必要となった。

(2) トンネル切羽前方探査法DRISSの

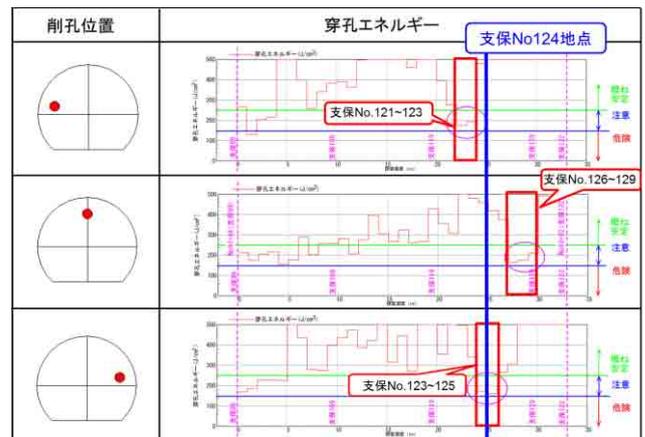
改善・予測

前回からの事例を踏まえてDRISSの穿孔エネルギーから判断して危険とされた区間では他の要素も正確に分析し、総合的に地山の評価をすることとした。そのため、危険と判断された区間についてはあらかじめ補助工法の材料手配をしておく、切羽観察を密に行う、他の探査法と比較検討し総合的に判断するなど工夫を行った。また削孔水を正確に評価するため動画撮影を行い、後の評価がしやすいよう配慮し、その後の検討を行った。

a) 第5回DRISS

表-6より支保No121~125区間の穿孔エネルギーが急激に落ちている。くり粉の状況は全体を通して5mm以下のものが大半で、支保No.121~129区間では黄土色の削孔水がみられた。これにより、粘土層が存在していると想定された。そのため、場合によっては補助工法の検討が必要な要注意箇所である

表-6 第5回 DRISS 実施結果



トンネル番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
掘削位置	1~5mm										
掘削深度	1~5mm										
掘削方向	1~5mm										
掘削速度	1~5mm										

実態として支保No124で切羽の天端崩落が発生したため、急遽補助工法の検討を行った。この区間では表-6より危険と判断されていることからDRISS、穿孔水、水平コアボーリングの結果から総合的に地山の状態を判断することとした。

水平ボーリングの結果では支保No125から硬岩という結果となっているが、調査位置が切羽中央位置のみのため、DRISSや穿孔水の評価を考慮して追加の補助工法の必要性を検討した。

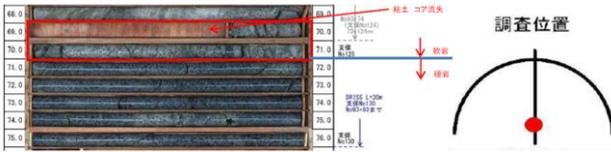


図-5 水平コアボーリング支保No.124-130

表-6から切羽天端位置では支保No126～129が、切羽左肩位置では支保No121～123が、右肩では支保No123～125において穿孔エネルギーが低下し、危険と判断されている。また支保No121～129区間の穿孔水が黄土色であることからこの区間は粘土層であることが考えられた。

天端部のDRISS評価から支保No129以降は穿孔エネルギーが高くなり、硬岩である可能性が高いことから補助工法の実施は支保No124～129の5m区間と判定し、判定結果から注入式フォアボーリング(L=3.0m)及び鏡補強工(L=4m, N=34本)を補助工法として選定し施工した。



写真-5 支保 No.125 の補助工法施工状況

またDRISSの検討結果から支保が進むにつれて右肩・左肩に切羽の硬岩領域が早く発現することが予測されたため不要と判断した場所については随時鏡補強工を実施しないなど臨機応変に対応することができた。

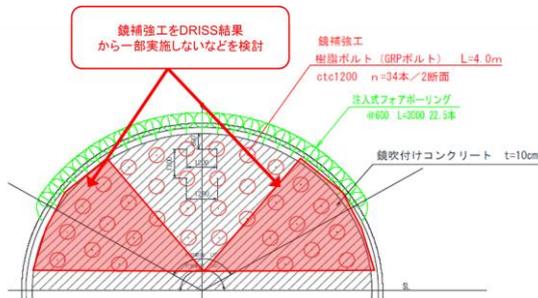


図-6 支保 No.124 での補助工法検討

## 5. 結果

従来の方法のみでは前方探査に時間がかかり、供用を控えた本工事において不利であった。しかし、DRISSを活用する事で低コストかつ前方探査の時間の短縮と安全性の確保を行う事が出来た。また事前探査から補助工法が必要であると予測された時点で材料をある程度用意しておくなど効率の良い段取りを行うことで掘削の停止を最小限にすることに寄与したと考えられる。またDRISSだけでなく削孔水等他の要素を総合的に分析する事でより正確な地山の評価を行う事が出来、結果、補助工法の必要箇所を予測することができた。当初は削孔水をみる役割の人間が判断し、それを元に解析を行っていたが、個人差が出やすく判断が偏る恐れがあった。動画を撮影することで地質の状態を担当者全員で共有し、意見を出し合っで判断することで判断が偏りにくくよりの確な分析に繋がった。

## 6. 結論

本工事ではDRISSによる穿孔探査をトンネル全区間行ったが、現場条件によっては一概に地山の状態を把握することは困難であったため、他の探査方法と併用して取り組むことでより正確な前方探査結果が得られると考えられる。結果、切羽安定対策のための速やかな資材の調達、坑内作業員の安全確保、工程の短縮に寄与したと考えられる。

今回は施工期間が短く、かつ地山の状態が不安定な中で前方探査により予測をしながら注意深く掘削し、2016年12月8日に事故なく貫通することが出来た。また、翌年2017年3月25日には無事覆工も巻き終えた。最後に、本報告が今後の同種工事の参考となれば幸いである。

謝辞：本論文の作成にあたっては、大和御所道路朝町トンネル工事の受注者であるアイサワ工業(株)の皆様にはお忙しい中、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。心から感謝します。本当にありがとうございました。

## 参考文献

- 1) 土木学会第58回年次学術講演会：穿孔探査システムによる支保パターン事前想定を試み
- 2) NPO法人臨床トンネル工学研究所技術研究部会トンネル補助工法委員会：平成20年～21年活動報告書

# 文化財を収蔵する大規模地下収蔵環境構築への 取組ーコンクリートのからし期間の短縮及び耐久性向上に関して (新総合資料館（仮称）新築工事の事例をもとに)ー

三品 実穂<sup>1</sup>・島谷 竜次<sup>2</sup>

<sup>1</sup>京都府商工労働観光部文化学術研究都市推進課（〒602-8570京都市上京区下立売通新町西入藪之内町）

<sup>2</sup>京都府建設交通部営繕課（〒602-8570京都市上京区下立売通新町西入藪之内町）

本報告は京都市左京区北山文化ゾーンに計画された新総合資料館（仮称）新築工事の地下収蔵庫の施工における取組内容である。

工事を実施するにあたり、収蔵品の変質や劣化の原因となる、コンクリート躯体や仕上げ材料から放散されるアルカリ性物質等の放散期間を短縮するための工夫や、地下水や湿気から収蔵品を守るため、耐久性の高い密実なコンクリートを打設することが求められた。

この2点を解決するために行った、材料選定から空気質の確認まで具体的な対策と段階的な収蔵庫の施工フローについて発表するものである。

キーワード 収蔵庫，コンクリート，からし期間，耐久性

## 1. はじめに

新設の博物館・美術館などにおける特有の問題として、コンクリート躯体や内装材から放散するアルカリ性物質及び酸性物質などによって、絵画や美術工芸品などの文化財が変質や劣化を起こすことがある。特にアルカリ性物質の主要な発生源のひとつに、大容量のコンクリート躯体があり、アルカリ性物質等の放散が低減する期間である「からし期間」は、通常コンクリート打設完了後、二夏必要といわれている。

今回の工事では、事業全体のスケジュールから、からし期間をできる限り短縮することが求められていた。その上で、文化庁より示されている空気質の望ましいレベ

表1. 文化財公開施設における空気質の望ましいレベル<sup>1)</sup>

レベル	物質名	アンモニア	ホルムアルデヒド	酢酸	蟻酸	評価基準の解説
基準値		30	80	170	20	1～2ヶ月の短期の展示期間で要求される展示空間における最低限度の値。
推奨濃度		30以下	40以下	80以下	10以下	常設展示室での展示で要求される展示空間における最低限度の値。
評価基準	レベルI	30以下	20以下	40以下	10	所蔵品等を長期保存する収蔵庫等空間の推奨レベル。
	レベルII	30～50	20～40	40～80	10	建物の新・改築直後に「レベルIV」のレベルにあれば、換気や空気正常装置等による汚染空気清浄化で半年～1年経過後に「レベルII」間での改善を見込める。
	レベルIII	50～100	40～80	80～170	10～20	
	レベルIV	100超	80～120	170～400	20～50	
	レベルV	—	120超	400超	50超	設備（内装・什器材含）改善等、抜本的な対策を必要とするレベル。

単位：ppb

ル（表1）のレベルIを目標とし、収蔵品を搬入するまでに収蔵環境を整えることとした。

また、新総合資料館（仮称）は地下階に大規模な収蔵庫を配置する計画となっており、国宝を含む貴重な収蔵物を永続的かつ確実に保管するという役割から、構造躯体を形成するコンクリートに耐久性が要求され、特に地下水や湿気から収蔵物を守るため、水密性の高いコンクリート打設が重要となった。

以上の条件から、今回の工事では、コンクリートのからし期間の短縮及び耐久性向上の2点を大きな課題として取り組んだ。

## 2. 報告内容について

計画地は、京都市街地北部の北山文化環境ゾーンに位置し、賀茂川、北山通、下鴨中通、府立大学南側通に囲まれた京都府立大学キャンパス内に所在している。周囲には府立植物や京都コンサートホール、陶板名画の庭などがあり、歴史的・文化的・学術的移設が集積している。

本施設は、旧府立総合資料館の老朽化に加え、京都に関する資料を収集・保存・提供する拠点として、学術・文化の振興と府民サービスの充実を図ることを目的として計画された。

今回の新総合資料館（仮称）新築工事の概要を表2に示す。また、収蔵庫は地下1階及び地下2階に配置されており、面積は全体の約4割程度を占めている。

表2. 工事概要

建築場所	京都市左京区下鴨半木町
床面積・建築面積	23,940.68 m <sup>2</sup> ・6,716.04 m <sup>2</sup>
構造	地上4階：S造 地下2階：RC造
用途	大学及び図書館
建築主	京都府
設計・工事監理	飯田義彦建築工房
施工	<建築工事> 竹中・増田・あめりか屋特定建設工事共同企業体 <電気設備工事> 光星・富士・中島特定建設工事共同企業体 <機械設備工事> 中川・春日・橋本特定建設工事共同企業体 <エレベーター設置工事> フジテック (株)
工期	平成25年7月～平成28年7月

注：各面積及び用途については建築基準法に基づく



図1 新総合資料館（仮称）全景

(1) からし期間の短縮等

からし期間を短くするため、有機ガスの放散量が少ない材料を使用するとともに、放散期間に強制的にからしを促すこととした。また、空気環境を保つため、躯体コンクリート面から放散される有機ガスの遮蔽や気密性を確保し有機ガスの室内への流入を抑制する手法を取入れた。

(2) コンクリートの耐久性向上

地下階のコンクリートの耐久性を向上させるには、密実なコンクリートを打設し、中性化や塩害等の現象を生じにくくさせる必要がある。また、水密性を確保するには、材料分離の防止や打継面の止水性の確保、厳格な単位水量の管理が重要となる。本工事では、特にリアルタイムな打設状況の確認を重視して、単位水量の管理及びコンクリートの充填確認をする手法を取り入れた。

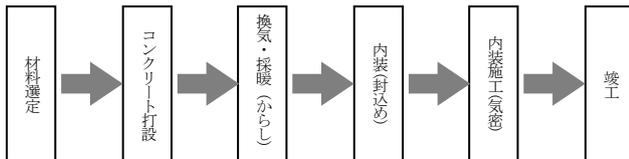


図2. 収蔵庫施工フロー

3. からし期間の短縮

(1) 有機ガス含有量の少ない材料の選定

限られた期間で規定値内の良好な空気質環境を満足させるため、有機ガス含有量の少ない材料を選定することとした。コンクリートから発生する有機ガス（アルカリ性物質）の主成分はアンモニアであることから、コンクリートから放散するアンモニアの含有量を計測し、アンモニア発生量が少ない2つのプラントを選定した（図3）。

計測方法は、受け入れ可能なプラントの中から材料（セメント・骨材・混和材）を入手し、試験体を作成し、アンモニア放散量を試験装置により計測した。

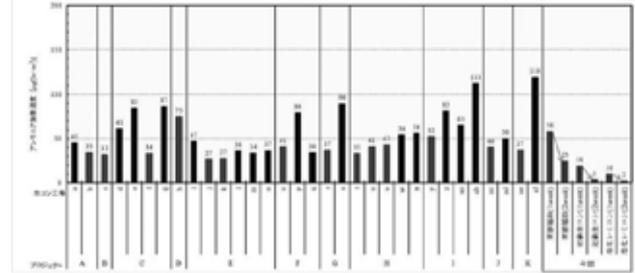


図3. プラント毎のアンモニア放散速度

(2) 効率的な「からし」の工期内達成

通常、セメント系材料から放散するアンモニア量は時

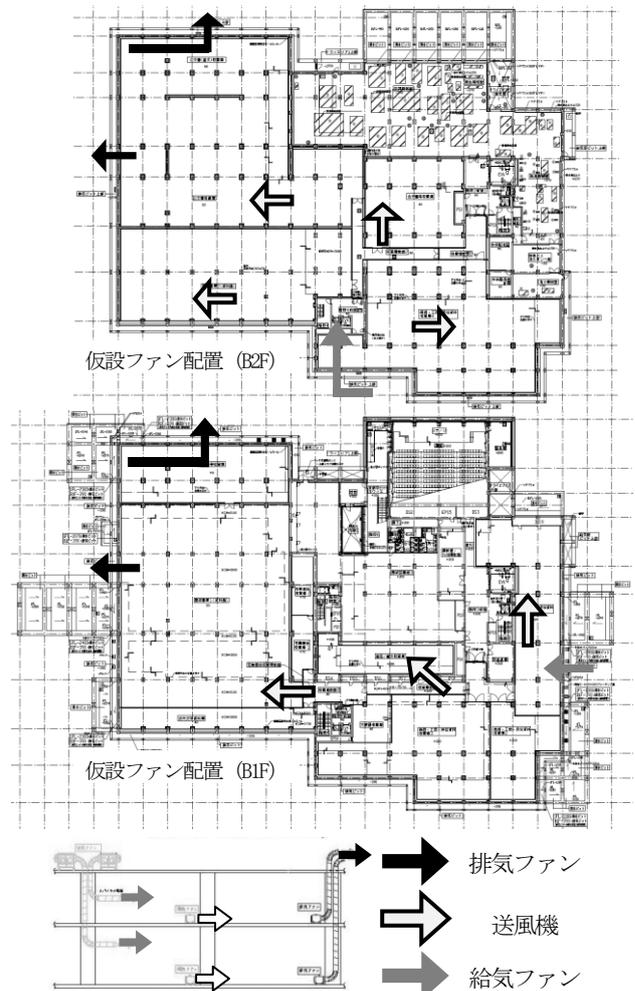


図4. 地下の送風機等の設置配置図

間の経過により低減していくが、この低減状況はコンクリート打設後の養生環境によって異なる。低減状況に寄与する対策として、換気・除湿・暖房・空調が挙げられるが、空調については、竣工後の空調機運転による除去のことであるため、それ以外の工事中に対応可能な対策について実施した。

今回の工事では10回/日程度の換気量を確保するよう各階ごとに仮設の排気ファンを設置・運転させ、収蔵庫内のアンモニアを含んだ湿った空気を地上に排気し、地上の乾燥した空気を給気することとした。また、循環用の送風機を設置することでそれぞれの収蔵庫内に空気の滞留域が生じないようにした(図4)。

また、平均外気温が10℃を下回る期間については、アンモニア放散量の低減が進みにくくなるため、ジェットヒーターを用いて採暖することによりアンモニアの放散を促した(図5)。

からの状況については、躯体表面からのアンモニア発生量の測定を定期的実施し、経過観察をした。その結果、既往調査事例よりも放散速度が速く低減していることがわかった(図6)。



図5. 送風機等設置状況

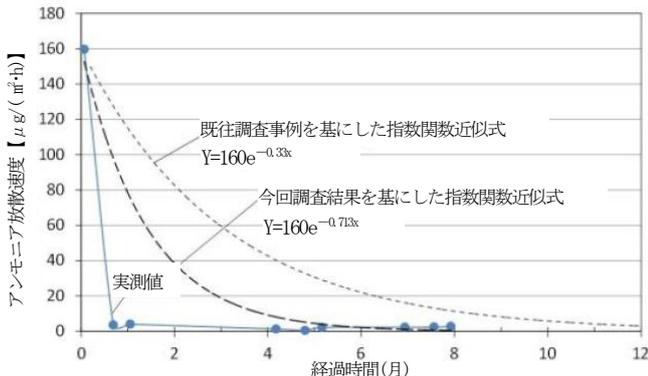


図6. アンモニア放散速度の低減状況

#### 4. 空気環境のコントローラー有機ガスの遮蔽及び気密施工について

既存調査でコンクリート面をウレタン断熱材で覆うことでアンモニア等有機ガスを封じ込める遮蔽効果があ

るという結果が得られていることから、コンクリート面から放散される有機ガスが一定低減した後(前述のからし対策実施後)に、収蔵庫の壁・床・天井面のコンクリート面をウレタン断熱材や床用塗料で遮蔽し、有機ガスの放散速度を低減させることとした。これは、コンクリートから放散される有機ガスの絶対量を低減するものではないが、放散量を緩やかにすることで収蔵庫内の有機ガス濃度を基準値以下にする工夫として実施した。実際の遮蔽材については、選定試験を実施し、遮蔽率の高かったウレタン吹付を実施することとなった(図7, 8)。

また、内装材についても気密性を高め、コンクリートから放散される有機ガスが収蔵庫内に入らないような施工管理を行った。内装の気密施工についてはモックアッ

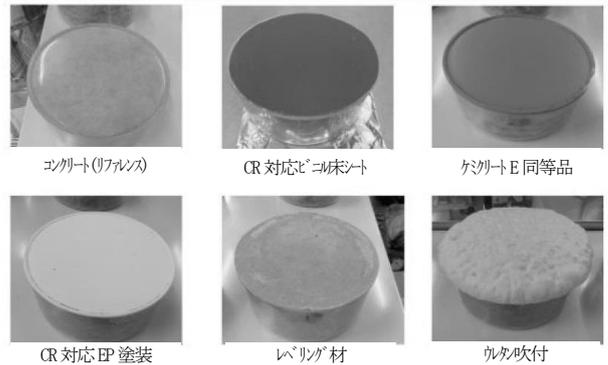


図7. 封じ込め材の試験体

アンモニアガス遮蔽率(%)

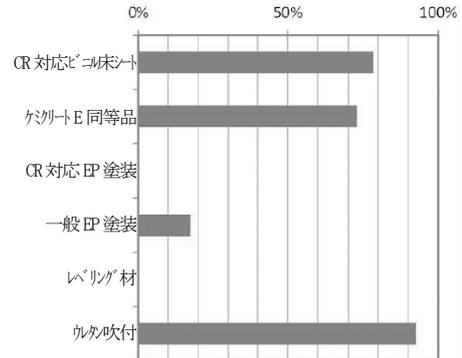


図8. 遮蔽材の効果

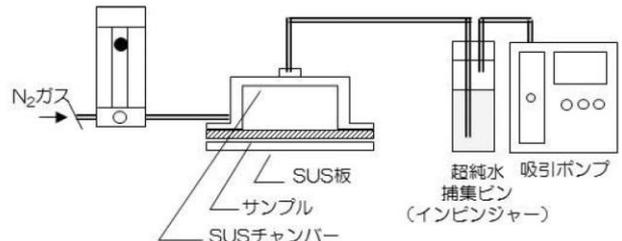


図9. 内装材からの化学物質発生量確認装置

ブを作成し、設備配管の貫通部や壁・床の取合箇所等、施工パターンを検討した上で施工方法を関係者間で共有化した。さらに確認体制の強化を図り、共通の自主点検表を作成し元請・下請業者、工事監理者による全数確認を行った。

さらに、内装材自体から発生する有機ガスを測定した結果、ブナフローリング、エマルジョンペイント（EP）塗装及びエポキシ樹脂塗料から有機ガスの放散速度が高かったが、どちらも28日後の試験で微量な値に減少しており、特段支障がないことが確認できた（図9）。

これらの結果を踏まえ、運用時の空気環境の計算を行ったところ、収蔵環境は望ましい空気質のレベルとなることが確認できた。ただし、運用時は空調設備にケミカルフィルターを設置することで、有機ガスが除去されることを前提としているため、定期的なフィルターの交換が必要となる。

## 5. 密実なコンクリートの打設ーリアルタイムの確認ー

密実なコンクリートを打設するために、打設中の単位水量のばらつきを抑えるとともに、充填不良をリアルタイムに確認・補修することにより充填性の高い、均一で密実な躯体を構築することを目的とした。単位水量の管理については、通常の管理値15kg/m<sup>3</sup>より厳しい±10kg/m<sup>3</sup>を自主管理値として設定し、打設中「連続RI法」により単位水量を全数連続確認することとした。「連続RI法」とは、コンクリート中の水素原子（主として水）と照射する中性子との衝突によって減衰する中性子の割合から単位水量を推定する方法である。これにより、リアルタイムな改善指示を行うことができ、標準偏差に大きな変化のないばらつきの小さい安定した単位水量のコンクリート打設ができた。（図10, 11）。



図10. 連続RI法の実施状況

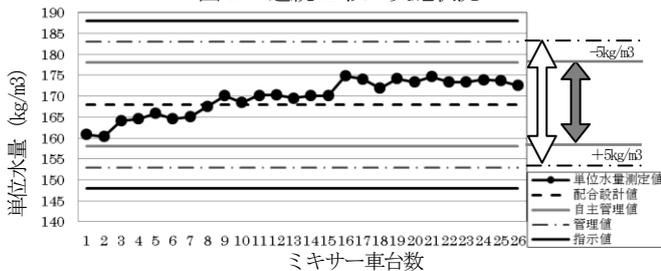


図11. 連続RI法の実施結果（抜粋）

また、地下外壁やSRC梁フランジ下部等、鉄筋や鉄骨が入り組み充填不良を起こしやすい箇所にセンサーを設

置し、コンクリート充填状態（空気層、ブリーディング水等、コンクリート充填完了）をリアルタイムに確認しながら打設することにより、打設中の充填不足箇所が確認でき即時に再充填処理ができた（図12）。その結果、空洞や豆板等のない密実なコンクリートが打設できた。

加えて、水密性の高いコンクリートを打設するための取組みとして、地下外壁となるコンクリートの打設では、水平打継位置が地下水位より高い位置になるような打設計画とした（図13）。また、土圧壁貫通部の止水性を確保するため、セパレーターの止水リングを3連のものを採用した（図14）。さらに、地下各階でのコンクリート打設は水平2段打ちとし、骨材分離への対策とした。

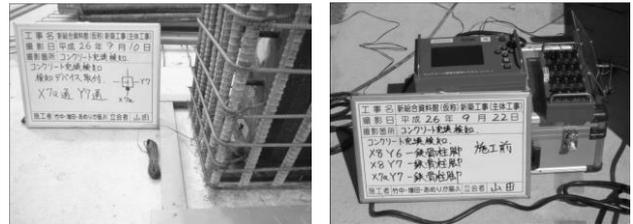


図12. センサーによる充填確認状況

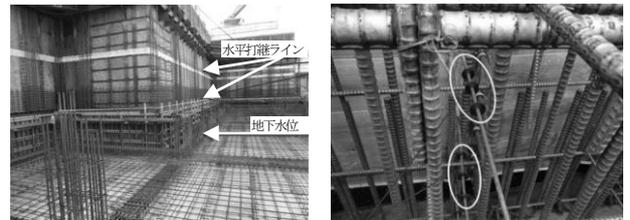


図13. 地下水位の確認

図14. 止水ゴム付セパレーター

## 6. おわりに

今回の地下収蔵庫の工事においては、コンクリート躯体のからし対策、有機ガス対策、密実なコンクリート打設の確認と、その時点毎に目標値の達成が確認でき、竣工時の空気環境測定においてもレベルIを満足する結果となった。しかし、収蔵品の搬入や空調運転状況等でも、収蔵庫内の空気質が変化する可能性があるため、引き渡し後は特に注視していく必要がある。

さらに、将来にわたり収蔵環境を保全のためには、日常的なメンテナンス、定期的な点検のはもちろん、建物の日常的な運用に関わる人が建物の構造・仕上げの施工状況を熟知し、それを引き継いでいくことが重要である。

なお、本論文は2014～2016年に所属した営繕課において工事監理を行った内容をもとに報告したものである。

謝辞：本稿の執筆にあたり、資料等提供いただきました設計者・施工者をはじめ、本工事にご尽力いただきました関係各位に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 佐野千恵：「美術館・博物館の空気質の現状と望ましいレベル・対策」

# 完全週休2日の取り組みについて

川村 達暉<sup>1</sup>・大西 孝幸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 工務第二課 (〒620-0875 京都府福知山市字堀小字今岡 2459-14)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 綾部監督官詰所 (〒623-0031 京都府綾部市味方町中ノ坪 21-1)

近畿地方整備局福知山河川国道事務所では、担い手確保・育成のため、休日は家族と過ごしたり、余暇を楽しむことが出来るなど、ワークライフバランス「仕事と生活の調和」を図り、建設業界の労働環境改善を進めるため、土日は現場閉所を実施し、休日を確保する「土日完全休日化促進試行工事」を発注しました。

また、実施企業に対してフォローアップ調査を行い、土日完全休日化促進の課題抽出をはかることで今後に反映していき、建設業界の労働環境改善の一助になれば幸いです。

キーワード ワークライフバランス, 土日完全週休2日, 試行工事

## 1. はじめに

ワークライフバランスとは、誰もがやりがいや充実感を感じながら働き、仕事上の責任を果たす一方で、子育て・介護の時間や、家庭、地域、自己啓発等にかかる個人の時間を持てる健康で豊かな生活ができるよう、今こそ、社会全体で「仕事と生活の調和」の実現を希求していくことです。そのため、国土交通省としては、建設現場において男女ともに働きやすい環境とするため、次のような環境整備を進めています。

### ● 週休2日モデル工事の更なる拡大

国土交通省が2014年から取り組んでいる週休2日モデル工事について、2014年は6件、2015年は56件実施しました。2016年は近畿地方整備局の実績として、約25件数となっており、更なる拡大に取り組んでいます。(図-1)

週休2日モデル工事の更なる拡大		
概要		
■建設現場の就業環境改善の取り組みとして、毎週2日を休日とする「完全週休2日制工事」の試行を平成26年度より実施。		
試行実施内容	H26試行	H27試行
○受注者が完全週休2日を踏まえた工程を提出。 ○週休2日が確保出来るよう発注者で工事工程の進捗調整。など	6工事	56工事

図-1 週休2日モデル工事について (全地整)  
(国土交通省のHPより)

### ● 長時間労働の課題

長時間労働の要因の一つとなっている発注者への提出

が必要な書類は、ICT土工の全面的な活用により作業手間の省略やさまざまな書類を大幅に削減します。

この取り組みの背景として1999年頃から建設投資額が減少し、それに伴い建設業者数、建設業就業者数の減少が挙げられています。(図-2)

建設業就業者数の減少は週6日勤務が一般的で、仕事はきついし、休日が少ないため若い世代(29歳以下)の就職率が他の業界に比べて低迷しているからです。

また、高齢化も進んでおり、55歳以上の人が建設業就業者の3割以上を占めているため10年後には引退することで就業者が減少し、担い手の確保が厳しい状況となっています。

ワークライフバランスとi-Constructionの導入により「給与、休暇、希望」の新3Kを目指すことで建設業界の労働環境改善を進めて、若い世代(29歳以下)の就職率向上に努めています。

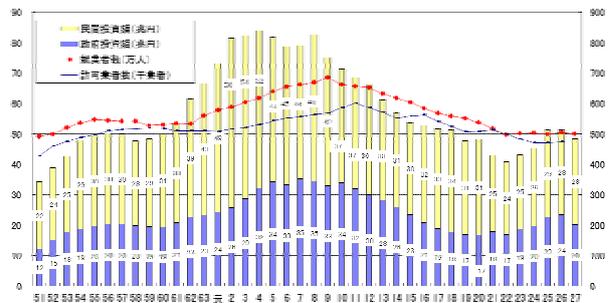


図-2 建設投資、許可業者数及び就業者数の推移  
(国土交通省「建設投資見通し」・「許可業者数調べ」、  
総務省「労働力調査」より)

## 2. 実施内容

### (1) 工事概要・内容

試行工事を実施する西舞鶴道路は、福井県敦賀市から京都府船井郡京丹波町に至る主要幹線道路であり、京都府北部地域、福井県嶺南地域の経済、産業、生活を支える道路である国道27号の舞鶴市西地域市街地の交通渋滞の緩和や京都舞鶴港と舞鶴若狭自動車とのアクセス改善を図ること等を目的としたバイパス道路です。(図-3)



図-3 西舞鶴道路の計画図

工事内容は、現場に入るための工事用道路を設置し、路体盛土を行う工事であり、発注時は盛土量として22,300m<sup>3</sup>、盛土材については約50km離れた場所からの運搬を行う工事です。(表-1) (図-4) (写真-1)

当初工期は2016年4月1日から2016年9月30日までであったが工事を進める中で、現場条件等の変更により盛土量35,000m<sup>3</sup>になり、併せて工期も2017年1月13日までに変更しました。

工事名	西舞鶴道路京田地区他改良工事
工期	当初 2016.4.1～2016.9.30 ～2017.1.13
金額	当初 ￥180,165,600 第三回変更 ￥276,501,600
主な工種	路体盛土工 法面整形工 仮設工

表-1 工事概要

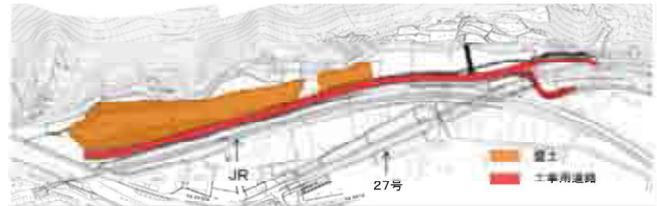


図-4 工事箇所について



写真-1 土日完全週休2日試行工事の工事状況

### (2) 土日完全週休2日工事について

近畿地方整備局として、土日完全週休2日工事は2015、2016 発注工事の中から各府県1～2 件程度を抽出し、発注者指定として発注段階から入札公告、入札説明書及び特記仕様書に土日完全週休2日工事であることを記載し発注しました。

工事成績評価についても他地整では工程管理に関する項目を評価し、最大3点の加点するところ近畿地方整備局は、土日完全週休2日を完全実施した場合最大5点の加点とし、取得状況に応じて加点します。(表-2)

休日取得率	加点
全土日実施	5点
土日休日取得率 88%以上 全土日実施未済	4点
75%以上 88%未済	3点
63%以上 75%未済	2点
50%を超えて 63%未済	1点

表-2 取得状況に応じた配点

また、フォローアップ調査として受注者、協力会社に対して、アンケート調査などを行うことで効果及び現状の課題や問題点を把握し、今後の労働環境改善に向けて、具体的方策等を検討する際の基礎資料になると考えています。(表-3)

Q1	土日完全休日化促進試行工事により日給労働者の給与を増額したか(または下請けに増額して支払ったか)
Q2	1)増額した場合・・・どの程度増額したのか 2)増額していない場合・・・その理由は
Q3	増額した場合・・・その原資はどのように確保したか (元請からの契約額があがったのか、自社でやりくりしたのか)
Q4	今後、土日完全休日化促進試行工事件数が増加した場合、同様に給与の増額を実施する予定はあるか
Q5	技能労働者への支払いは設計労務単価に基づくものか、自社基準に基づくものか(設計労務単価をどのように会社内で位置づけているか)
Q6	実際に週休二日を経験してみて、どのように休日を取得するのが好ましいと考えるか (土日休み、4週8休(雨休有りの場合は土曜は働く等)、工期内で4週8休相当の休日確保 など)
Q7	技能労働者の雇用形態(正規社員、パート、アルバイト、派遣、契約社員、嘱託、日雇い 等)
Q8	技能労働者が土曜日等に他現場に行く場合はどのように、他現場を探しているのか (企業の斡旋、技能労働者が自ら探す(その場合雇用形態は正規社員ではないということにより))
Q9	雨等で仕事が無いときにどのような作業をしてもらっているか。何もさせていないか。 (技術者、技能労働者別)
Q10	雨で現場作業ができないときや仕事が無いときに費用は払っているのか(つなぎとめるための費用は払っているのか)
Q11	Q10で費用を払っている場合・・・どの程度の金額を支払っているのか。
Q12	日給と月給は作業員が自ら選べるのか
Q13	日給と月給で給料(日当、年取)は違うのか
Q14	日給、月給の選択理由(どういうひとが日給を選択し、どういふ人が月給を選択するのか)

表-3 アンケート調査の内容

(3) 土日完全週休2日工事の候補とした理由

構造物築造の工事では、作業工程が多くなり各段階の調整等が必要となることから、工程管理が細かくなり施工業者の負担が多くなると思いました。

また、構造物築造の場合、一連での作業が必要となる場合があり土日完全週休2日が可能か分かりませんでした。(図-5)

本工事は盛土材を運搬し、現場にて盛土をする土工が主たる工種であったため、構造物築造の工事に比べて作業工程が複雑でなく、調整事項についても、ダンプ台数を何台で運搬するかにより一日に施工する量が決まるため、調整事項が少ないので、工程管理をする上でダンプ台数により簡易に管理できると思い選定しました。(図-6)

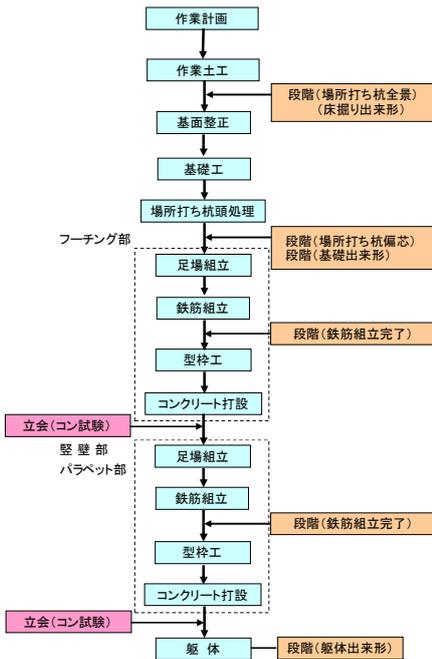


図-5 一般的な構造物工事の施工フロー (例)

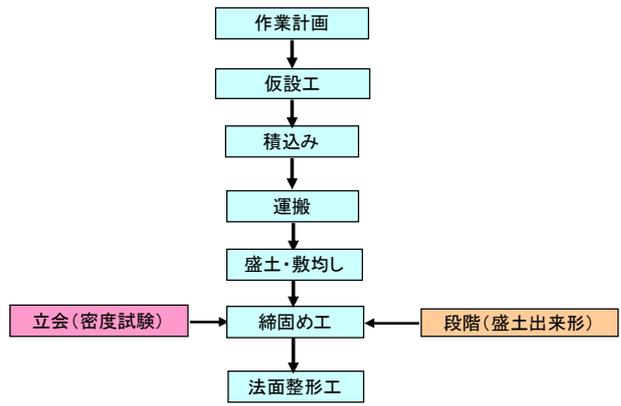


図-6 今回工事の盛土施工フロー (例)

(4) 完全週休2日を実行するために行ったこと

a) 発注者が実行するために行ったこと

工事着手後に、受注者との工程等調整にあたり受注者に対して、毎週履行状況の確認を行ない土日完全週休2日を実施できるかを確認するなど、受注者との連携を密に図りました。

施工がスムーズに進むように、ワンデーレスポンスに努めました。

b) 受注者が実行するために行ったこと

受注者としては、完全週休2日にするにはダンプ台数の確保が重要であったため、台数確保に力を入れました。

また、協力会社と密にコミュニケーションを図る取り組みを行いました。

工程管理をする上で、天候を気にしながら作業に当たり天候が良い日には、ダンプ台数を多くして天候が悪くて作業がうまく進まなかったものを少しでも回復するように工程のフォローアップを行いました。

3. 達成状況

当初発注時に行った工程計画のとおりであれば土日完全週休2日の履行は達成できたと思われます。現場条件の変更等により盛土量が増加したため、現場の施工は土日完全週休2日にできたものの書類整理で土曜日勤務になったこともあるという結果になりました。

なぜ、資料作成が土曜日勤務になってしまったかというと、数量増により工期が1月中旬までになったことで、12月から1月は積雪がある地域であり、例年に無いような積雪があったことから、施工が工期末間際になってしまい、検査等の資料作成が時間外勤務をしても間に合わなかったことから土曜日勤務を行ってしまいました。

(写真-2)



写真-2 工事完成間際の積雪状況

#### 4. 実施して良かったこと

##### ● 現場の意見

休日作業をなくしたため、現場作業員がメリハリをつけて現場に当たれたので事故等がないように安全に作業が進みました。他の工事では工期末が忙しくなり、現場作業員等に疲れが見られたが、本工事では見られませんでした。

##### ● 発注者の意見

工事現場の周辺地元住民に対して、土日は作業を行わないと説明できるので、工事への理解が得られやすくなり、地元住民と良好な関係になれました。

また、土日は周辺道路の交通量が多くなるため、土日に工事をしないことで、一般交通に影響を与えなくなり苦情等がありませんでした。

#### 5. 今後の課題等

##### ● 発注者としての課題

今回、達成できなかった原因としては工期の設定に施工の工程だけでなく、発注者にはあまり見えない地元調整や資料作成をもっと考慮して工期を設定していくべきでした。

また、受注者ともっとコミュニケーションを取り、現状把握や課題等を共有していくべきでした。

##### ● 受注者の意見

今回、舞鶴市周辺での土日完全週休2日の試行工事が本工事だけであったこともあり、周囲の現場は土曜も作業しているために、協力会社の作業員（特に日給の人）は週休2日になると普段週6日で仕事をしているため、1日分稼ぎが減り、1日でも収入を得るために他現場に行ってしまう傾向があり、作業員の確保が困難でした。

一部では日給の単価を上げたところもある。また、雨天等の中止の際に作業を土・日曜日に振り替えるのが不可能なために天候が良い時の一日の作業内容が多くなっ

てしまい、余裕を持って作業に当たれませんでした。

普段週休6日で仕事をしていて、1日減るので普段より書類作成等での残業が1日平均2時間程度増えた。週休2日にしたことはいいが、残業が増えたらきつい仕事のイメージは改善できないと思いました。

#### 6.改善できたら良い点

##### ● 受注者の意見

週休1日に比べて1日分稼ぎが減るため収入が減る人がいるので、作業員の生活の為に労働単価、経費の見直しが必要です。また、若い世代（29歳以下）の人も休暇だけでなく収入の低さも問題になっていると思われるので、建設業全体で労働単価、経費の見直しが必要になってくると思います。

また、本工事は試行工事であったことから、作業員（特に日給の人）は一日でも収入を得るために他現場に行ってしまうことについて、将来すべての現場を週休2日にする事ができれば他現場への流出を防げると思いました。

工期末に荒天が続いたら工期を守れなくなる可能性があるため、荒天日は土・日曜日に振り替えられる等の処置ができれば工期末にもっと余裕ができたと思います。

残業が1日平均2時間程度増えたことについて、無くなるのが一番であるが将来すべての現場を週休2日なれば残業が増えたとしてもいいと言う意見もありました。

また、現場を週休2日にすることで担い手確保にもつながると思いました。

##### ● 発注者としての意見

週休2日の工事に対応した工期の設定方法（不稼働係数や日当り施工量の見直し等）の確立や労働単価、経費の補正等を行うことで、試行から本格的な導入ができると思いました。

また、「給与、休暇、希望」の新3Kに変えるためにもっと週休2日の工事を行わない世間に対して、いいイメージを持ってもらえるように、広報活動を行う事が大切だと感じました。

#### 7.まとめ

今回、土日完全週休2日の試行工事を行って、当該工事ではあまり若い世代（29歳以下）の参加人数が増えたわけではないが、将来すべての現場を週休2日にする事ができれば若い世代の人の就職率が上がると思えた。

若い世代の人が「きつい、危険、きたない」の3Kから「給与、休暇、希望」の新3Kに改善出来ると思ってもらえるように、課題と改善を繰り返しながら進めていく事が大切だと思いました。

また、今回の試行工事後に工期が通常よりも長くなることから、間接工事費に補正を掛けるように2017年

3月28日付けで大臣官房技術調査課長より事務連絡が出ているため、今後土曜日の作業が無くなったことでの減収についても解消できたらいいなと思っています。

今回の試行工事については、多くの課題がありました。が試行であるため今後この課題を解消していき、将来すべての現場を週休2日にできれば建設業も変わっていくのではないかと思います。

また、これらの取り組みを積極的に発信していき、理解が得られることになり若手の就職率向上となって、建設業のさらなる発展で将来につながっていくと思っています。

**謝辞：**本論文の執筆に当たって、関係する皆様方に多大なご協力をいただきありがとうございました。  
また、多忙のところ資料提供いただいた（株）第一土木様にも謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 建設現場におけるワーク・ライフ・バランスの推進  
平成28年5月19日
- 2) 国土交通省「建設投資見通し」・「許可業者数調べ」
- 3) 総務省「労働力調査」
- 4) 西舞鶴道路京田地区他改良工事 工事資料

# 紀伊半島大水害 災害復旧工事について

石井 鉄也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>和歌山県 県土整備部 道路局 道路建設課 (〒640-8585和歌山県和歌山市小松原通1-1)

平成23年9月の台風第12号に伴う豪雨により、甚大な被害を受けた一般国道311号（和歌山県田辺市中辺路町栗栖川～真砂地内）における道路災害復旧工事について紹介する。

位置：和歌山県田辺市中辺路町栗栖川～真砂地内 路線名：一般国道311号

特色：平成23年9月の台風第12号に伴う豪雨により大規模土石流が発生し、被災直後は通行止めの長期化が危惧された。早急な通行止め解除に向け、3ステップ（応急仮設道路、仮設道路、本復旧の道路）の復旧計画をたて、道路利用者の利便性と安全性を確保しながら、無事完成させることができた。

キーワード 災害復旧, 3ステップの復旧計画

## 1. はじめに

一般国道311号は、三重県尾鷲市を起点とし、熊野市、和歌山県田辺市等を経て上富田町に至る延長155.8kmの幹線道路である。当路線は、和歌山県内陸部を東西に横断し、一般国道168号を介し県内主要都市である新宮市と田辺市を結ぶ重要な路線である（図-1）。

また、「和歌山県地域防災計画」においても「第一次緊急輸送道路」に指定され、防災上からも重要な路線である。



図-1 一般国道311号位置図

## 2. 被災の状況

### (1) 台風第12号による県下の被災概要

平成23年8月25日9時にマリアナ諸島の西の海上で発生した台風第12号は、日本の南海上をゆっくりと北上し、9月3日10時に高知県東部に上陸しその後もゆっくりと北上を続け、4日未明に山陰沖に抜けるまで紀伊半島に記録的な大雨をもたらした（図-2）。和歌山県内で



図-2 台風第12号の進路

は、県所管雨量観測所182か所のうち31か所で総雨量1,000mmを超え、田辺市の大杉観測所では最大総雨量1,998mmを観測する(図-3)など、昭和28年7月に本県で発生した「7.18大水害」を上回る降水量となった。

この台風による和歌山県全域での被害状況は、人的被害として、死者56名、行方不明者5名、住宅被害は、全壊240棟、半壊1,753等、一部破損85棟、床上浸水2,706棟、床下浸水3,149棟であった。

(2) 災害の発生

災害発生現場に近接する田辺市中辺路町栗栖川観測所においては、平成23年8月31日から9月5日まで断続的に降り続き、24時間最大雨量446mm、6日間累積雨量970mmを記録した(図-4)。この豪雨により、平成23年9月4日午前5時頃に、国道311号横の斜面において幅約110~130m、延長約250m、深さ20~35mの深層崩壊が発生(図-5)し、これによる土石流堆積物によって道路が埋塞し、また、併走する二級河川富田川も埋塞する状況となった(写真1,2)。

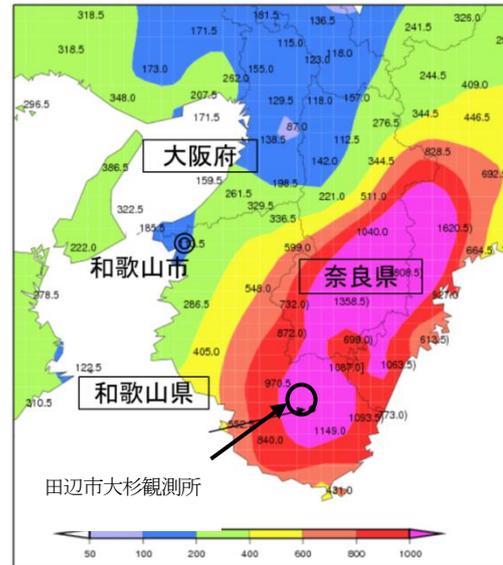


図-3 アメダス期間総水量  
(8月30日18時~9月4日24時)  
(和歌山気象台「気象速報 台風12号」より)

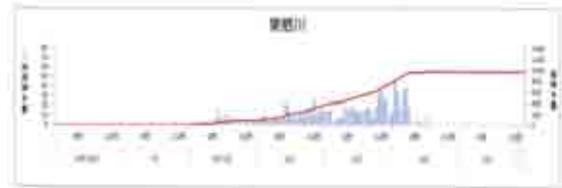


図-4 台風第12号に伴う降水量  
(田辺市中辺路町栗栖川観測所)

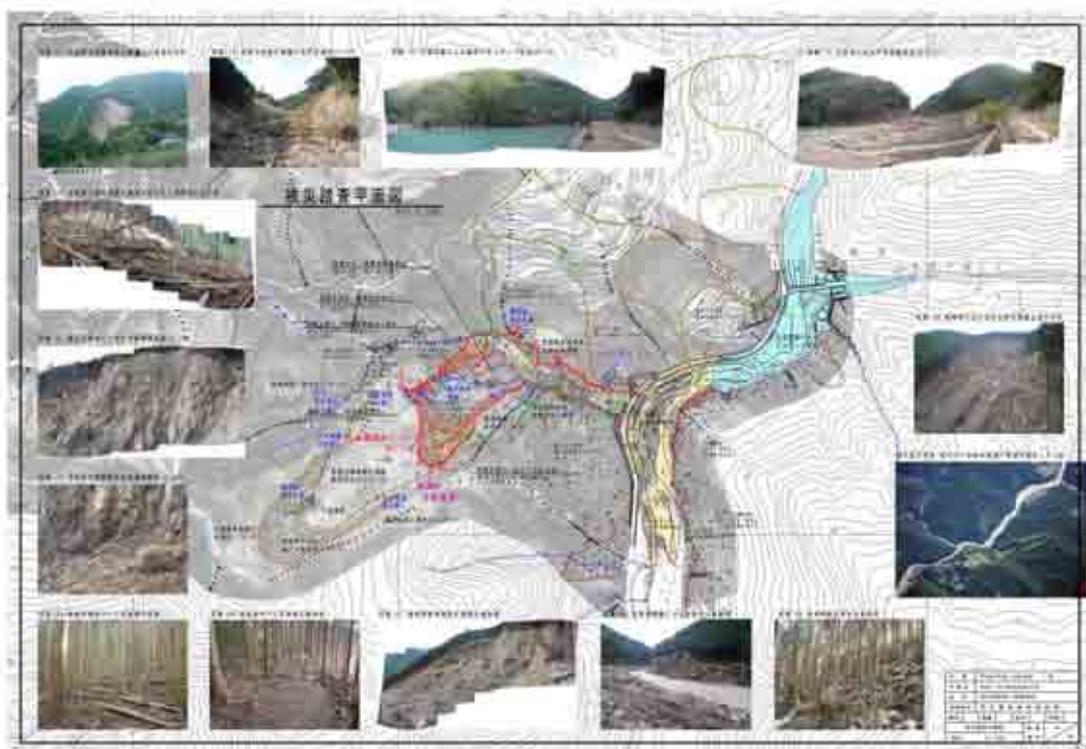


図-5 深層崩壊平面図

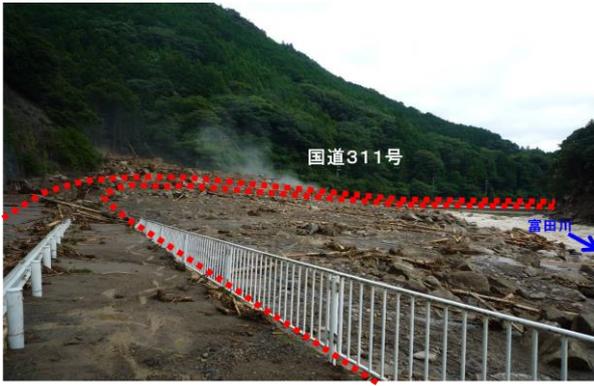


写真-1 被災当初の国道、富田川状況



写真-2 被災当初の全景

### 3. 復旧事業の概要

#### (1) 復旧事業の工事概要

- 延長 564.0m 幅員 6.00 (9.75) m
- 橋梁工 2橋
  - 鋼2径間連続非合成箱桁橋 86.5m
  - 鋼2径間連続非合成箱桁橋 95.9m
- もたれ式擁壁 (H=8.5~11.7m) 8,636m<sup>2</sup>
- アンカー工 258本
- 大型ブロック積 (SL=7.7~10.8m) 2,232m<sup>2</sup>
- 仮橋工 2橋 (L=57.0m、68.8m)
- 工事費 約27億円

#### (2) 3ステップの復旧計画

大規模土石流が発生した一般国道311号においては、被災直後は通行止めの長期化が危惧されたため、以下の3ステップにて段階的に施工することにより、利用者の安全性と利便性を確保するように努めた。

- ・ステップ1：早急な通行止め解除を目的とした応急仮設道路
- ・ステップ2：安全な道路の建設を目的とした仮設道路
- ・ステップ3：本復旧道路

先ずステップ1として土石流堆積物の上に大型土のうで盛土を行い応急仮設道路を施工した。応急仮設道路は不安定で、すぐ横に崩壊した山があるため、雨量規制（雨量計が時間5mm以上、又は24時間雨量が30mm以上、又は大雨警報発令）、地震規制（震度4以上）をせざるを得ない状況であったが、被災後約1箇月後の平成23年10月4日に通行可能とし、県内の内陸部の主要道路の機能回復を図った（写真-3）。



写真-3 ステップ1（応急仮設道路）

本格的な復旧は土石流が発生した区間を迂回し、橋梁2橋で対岸へ渡る新設道路を計画した。しかし、橋梁2橋の建設は、長期間（約2年半）となることが想定され、応急仮設道路による長期間の供用を回避するため、ステップ2として、対岸に設置する新設道路の一部と土石流が発生した区間を対岸へ迂回する仮橋を設置する仮設道路（写真-4）を計画した。仮設道路に用いた仮橋は中国地方整備局中国技術事務所より貸与され、国・県一体となった復旧工事であり、工事費の縮減に大きく寄与するものであった。仮設道路は約1年かけて工事を行い、平成24年10月1日に完成した。



写真-4 ステップ2  
(仮設道路 中国地方整備局から仮橋を借用)

なお、仮設道路完成までの約1年間の規制回数は14回におよび、利用者に多大な不便をかけざるを得ない道路であったが、仮設道路完成により、雨量規制等を行わない安全な道路の建設を行うことができ、利用者の安全性と利便性を確保することができた。

最後にステップ3となる本格的な復旧工事は先に記述したとおり、被災状況から原形復旧が困難であったため、新設道路による復旧計画を採用し対岸に渡る新設橋梁2橋を建設した。橋梁2橋と周辺道路工事を平成24年10月から約2年半かけて行い、平成27年3月27日に供用を開始し、県内陸部の幹線道路としての交通機能が確保できた(図-6)(写真-5)。

#### 4. おわりに

当災害復旧工事は、近年まれにみる非常に大きな災害であり、新設道路の復旧計画や災害事業の要望から採択に至る事務についてご指導いただいた国土交通省水管理・国土保全局防災課、仮橋を貸与いただいた中国地方整備局中国技術事務所をはじめ、各関係機関の皆様方から多大なご協力、ご指導を頂き深く感謝申し上げます。

また当工事は、ステップ2の仮設工事完成後に、迅速な応急復旧、これに続く仮設道路の短期間での完成を評価していただき、全日本建設技術協会の全建賞を受賞させていただきました。ここに改めて各関係機関の皆様方に深く感謝申し上げます。

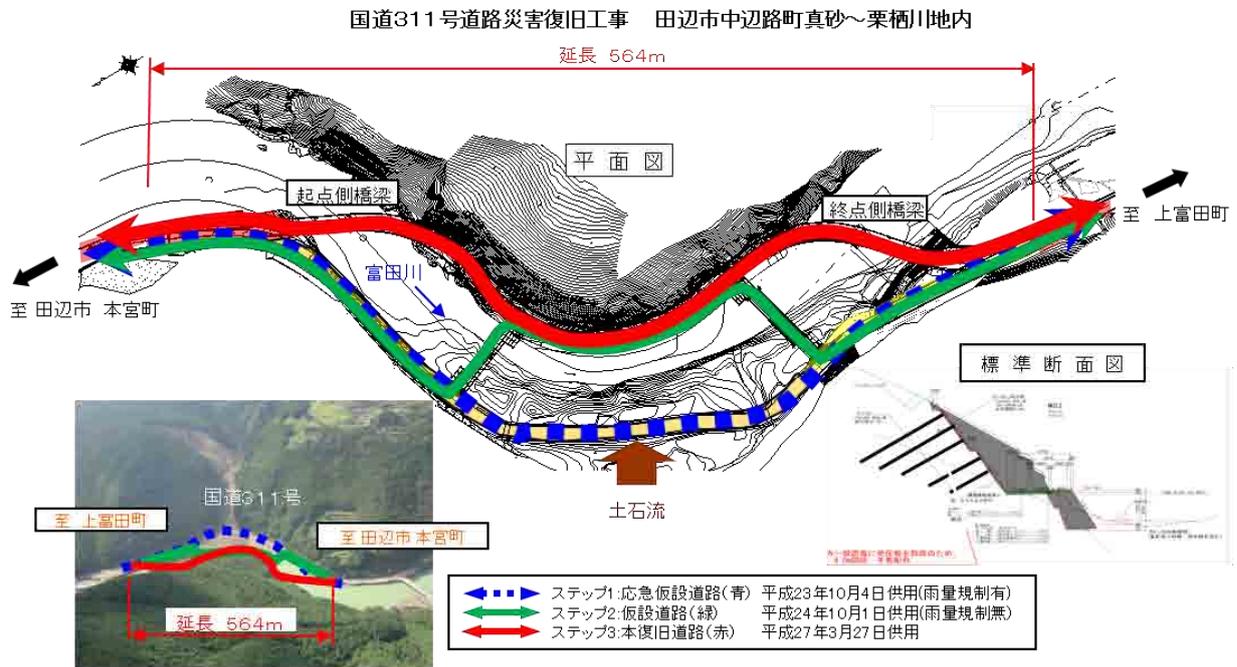


図-6 路線切替図



写真-5 ステップ3(完成状況)

# 真名川ダム主放水ゲート油圧シリンダー の更新検討について

宮川 昌樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 管理課（〒912-0021 福井県大野市中野 29-28）

九頭竜川ダム統合管理事務所が管理する真名川ダムの主放水設備主ゲート油圧シリンダーの維持管理および修繕手法を構築するにあたり、劣化状況の把握手法と健全度評価方法及び更新に向けた課題について検討を行った。大規模土木機械設備の維持管理及び修繕手法構築の一事例として紹介を行う。

キーワード 維持管理，ダムゲート，油圧シリンダー，健全度評価，更新検討

## 1. はじめに

真名川ダム主放水設備主ゲートは、大型の油圧シリンダー式の高圧ローラーゲートであり、昭和51年3月に設置後、41年が経過している。

当該設備の維持管理は、設備管理者による日常点検と専門技術者による定期点検が実施されているが、設置後41年を迎え経年劣化による不具合発生リスクが高まっていると考えられる。

「ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル」による標準的な取替・更新年数は下記のとおり示されている。

- ・ゲート扉体（扉体構造部） 93年
- ・油圧式開閉装置（油圧シリンダー本体） 48年

一般的に、コンクリート構造物の耐用年数はおおよそ100年と言われており、ゲート本体は適切に塗装塗替を実施すれば100年程度の耐用年数となる。

同マニュアルから考えると、真名川ダム主放水主ゲート用開閉装置の油圧シリンダーに関しては、向こう10年以内に更新時期を迎えることから、早急に劣化状況を把握したうえで、健全度評価を行い延命化および大規模修繕・更新等の検討を実施する必要がある。

今回、当該設備について、計画的な維持管理を行うため、更新時期の判断となる劣化状況の把握手法及び健全度評価方法、更新に向けての課題について検討を行った。

## 2. 真名川ダム概要

### ① 真名川ダムの概要

河川名：九頭竜川水系真名川  
所在地：福井県大野市下若生子  
型式：不等厚アーチ式コンクリートダム  
堤高：127.5 m 堤頂長：357.0 m

総貯水容量： 115,000 千m<sup>3</sup>

有効貯水容量： 95,000 千m<sup>3</sup>



図-1 位置図

### ② 事業の経緯

昭和40年10月 実施計画調査着手  
昭和42年4月 建設着手  
昭和51年12月～昭和53年4月 試験湛水  
昭和52年10月 竣工  
昭和54年4月 管理開始

### ③ 主放水設備概要

【主放水ゲート】

型式：高圧ローラーゲート（扉体圧着装置付）  
ゲート寸法：全幅8.5m×有効高4.8m 2門  
放流能力：1,000m<sup>3</sup>/s（500m<sup>3</sup>/s・門）  
開閉装置：油圧シリンダー式  
昭和51年3月 設置



図-2 全体写真



写真-1 主放水ゲート正面



写真-2 主放水ゲート放流状況

### 3. 主放水油圧シリンダ概要

#### 【油圧シリンダ】

倒立油圧シリンダ 直径 507mm ロッド径 320mm  
揚程 5.269m 全長 15.2m 開閉荷重 129.6tf

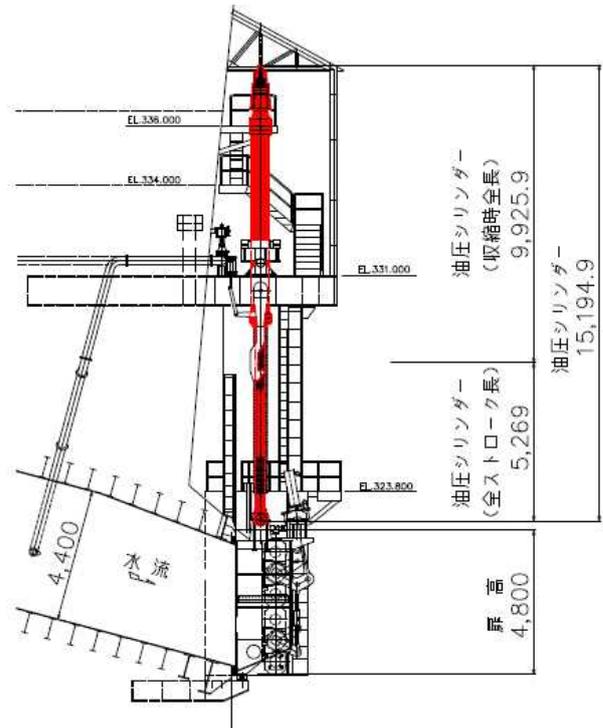


図-3 油圧シリンダ立面図

#### (1) 扉体の動き

油圧シリンダにより扉体を上下させ、扉体をダム堤体側に圧着させることで止水する。



図-4 開閉動作イメージ

#### (2) 扉体圧着・離脱の動き

扉体の圧着及び離脱は、油圧モータで駆動されるスピンドルとレバーにより、主ローラのロッカービームの偏心軸を回転し、扉体を約 18mm 上下流方向に移動する方式となっている。

当該設備の油圧シリンダは、1本のシリンダで扉体の上昇・下降操作と扉体の離脱・圧着操作機能を制御するもので、シリンダ内に送油を受け持たせる2重構造の特殊な送油方法が採用されている。また、シリンダのずり落ち防止のために、シリンダ内部にボールネジを有する特殊な構造が採用されており他に類を見ない、日本で一つしかない構造となっている。

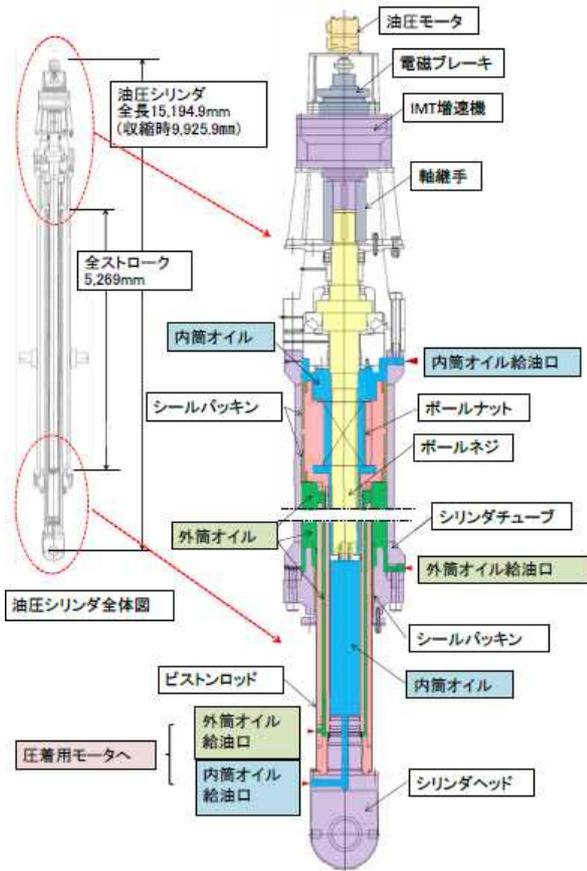


図-5-1 油圧シリンダ構造図

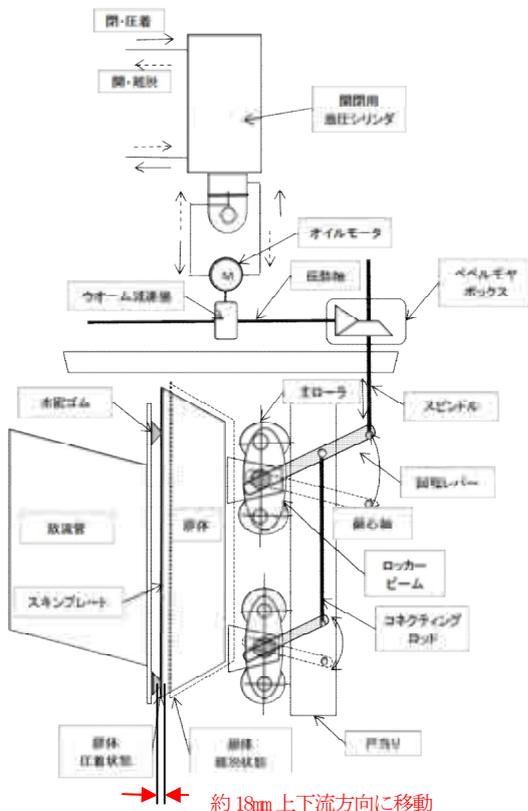


図-5-2 圧着機構動作イメージ

#### 4. 現況設備の課題

##### (1) 劣化状況把握の課題

- ・劣化診断のためのデータ（評価手法）

油圧シリンダの劣化状況把握にあっては、シリンダからの漏油や摺動痕の有無などが想定されるが、大型で複雑な構造から分解・整備が困難であり、不可視部分が多い。このため、従来の点検では劣化状況の把握が困難である。

##### (2) 構造的課題

- ・特殊なシリンダの再現性（新品製作の可能性）

当該設備の油圧シリンダは、1本のシリンダで扉体の上昇・下降操作と扉体の離脱・圧着操作機能を制御するため、開閉シリンダに送油を受け持たせる2重構造の特殊な送油方法が採用されている。大型で・複雑な構造から、メーカーからは再度組み上げることは困難であるといわれており、更新となっても、再製作が可能なのか不明確である。

##### (3) 更新方法の課題

- ・機能の分離（圧着装置を分離した構造等）

- ・シリンダの撤去・据付のための仮設方法

現状設備の構造（機構）で更新が出来ない場合、油圧シリンダの更新にあたっては、昇降と圧着機能の分離について検討課題である。

(1)から(3)の課題について、類似ダムの調査を含め検討を行う事とした。

#### 5. 検討

国内にある53のアーチダムの中から、真名川ダムと同形式の扉体圧着式ローラゲートが設置されている、天ヶ瀬ダム（近畿地整）・小渋ダム（中部地整）2つのダムを選定し、異なる圧着方式のダムとして、川治ダム（関東地整）・青蓮寺ダム（水資源機構）の2つのダムの施設を対象にその構造・機能の特徴について比較（表-1）した。

同じ扉体圧着方式を採用する2つのダムは、扉体の上下動作に対応するため、扉体圧着に必要な動力供給方法に、ドラムリールに電源ケーブルや油圧ホースを巻き取り送り出す方法を採用している。それに対して、真名川ダムは、扉体圧着装置の油圧モータへの油圧供給方法をシリンダロッドの内部を通してしているため、扉体の上下動作に関係なく動力を供給できる。2重構造の特殊な送油方法の油圧シリンダであるが、その分合理的な利点もあることが判ってきた。

真名川ダムの更新検討に当たっては、**ケース1**として、4. (1)の課題である健全度評価に必要な劣化状況を把握する手法を整理し、健全度の評価行いながら延命化をはかる方法。**ケース2**として、4. (2)の課題である特殊なシリンダの再現性について、現状設備の構造

表-1 類似ダム設備の圧着方式比較

	真名川ダム 主ゲート 扉体圧着方式	天ヶ瀬ダム 主ゲート 扉体圧着方式	小浜ダム 主ゲート 扉体圧着方式	川治ダム 主ゲート ゴム圧着方式	青蓮寺ダム 主ゲート 戸当り圧着方式
圧着方式略図					
圧着機構概要説明	油圧シリンダのピストンロッドを二重円筒とし、ロッド内にお金を通き、扉体上部に接続されたオイルモータを駆動させる。オイルモータ以降の駆動機構は、右記天ヶ瀬ダムと同じである。	扉体最上段中央の電動モータ・減速機により、傘歯車・傘歯車・スピンドルを介してロッカー軸に取り付けられたレバーを駆動する。この軸を約60°回転することにより、軸の傾斜を利用して扉体を水密ゴム面に移動圧着させる方式である。	左記天ヶ瀬ダムとほぼ同じ圧着機構。動力を油圧シリンダ直動式としている。	ゴム圧着方式は、厚体スキャット面に對して水密ゴムを機械的に圧着させて水密を図る方式で、戸当り側に機械的に取付けた水密ゴムを、加圧装置を用いて機械的に圧着させる。加圧装置には貯留水池の水を導き入れるが、寒冷地では貯留水が凍結する恐れがあるため不凍液を用いて機械的に加圧している。	戸当り圧着方式は、ゴムを取り付けている戸当りを機械的にスキャット面に押し出し圧着させるものである。水密装置は、放流管の外周に置かれた鎖錠状の水密ゴムとその裏面に設けた鎖錠状圧着支持部(戸当り)からなる。支持部を偏心軸を用いて前後に動かすことにより加圧・減圧を行う。

(機構)を踏襲した設備での更新方法。**ケース3**として、4.(3)の課題である機能の分離(圧着装置の分離した構造等)として、類似施設の技術で更新を概略検討する方法。3つのケースを、図-6の更新検討フローに基づき検討を行うこととした。

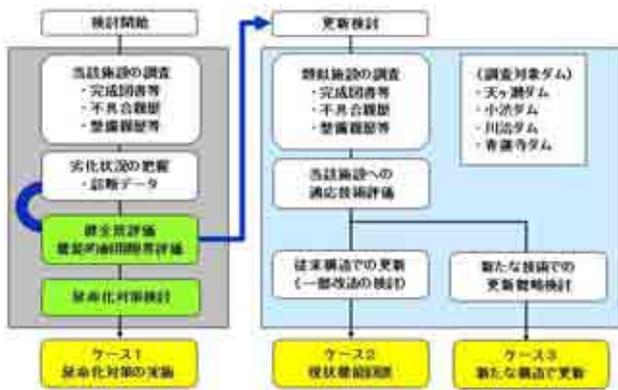


図-6 検討フロー

(1) ケース1 健全度評価を行うための手法検討

健全度評価の手法を検討するため、過去の点検・整備報告書・修繕履歴から油圧シリンダの現状を把握し、問題点を整理分析した。また、不具合履歴から構造的な問題がないか整理分析した。

①既設設備の点検・整備報告書および修繕履歴を調査し、不具合対応状況を時系列で整理し分析した結果、点検結果に基づき適切な処置がとられている。しかし特殊な構造を有する油圧シリンダについては、設置場所の制約や機器構成から分解整備ができず、これまで一度も劣化状況を把握できていないことが最大の問題であり、今後の維持管理上の着目点である。油圧シリンダの内部漏油の確認や作動油のサンプリングによる成分分析ができるように改造すべきと考えられる。

②設備が設置されて以降の不具合の履歴を整理し調査を行った。全24件あった不具合の中で、操作不可が発生した不具合は2件であった。平成22年3月に1号ゲートで放流運転時に「圧着異常」が発生した事象は、傘歯車、ステムナットのかみこみが原因で発生したもので、その後、1号・2号ゲートとも分解整備工事にて対応している。平成24年5月に1号ゲートで「離脱油圧異常」が発生した事象は、離脱リミットの動作位置が原因で発生したもので、動作位置の再調整で対応している。その後、点検時において調整・確認をおこなっている。いずれも、原因が判明しており、その対策も実施している。その後の現在に至るまで不具合は発生していない。このことから、構造的に大きな問題は無いものと考えられる。

①の対策として、シリンダ内の状況を把握できるように、油圧シリンダ入口の既設配管に3方弁を設置することで、開閉シリンダの実負荷による漏油チェック機構の設置およびシリンダ内作動油を採取することにより油圧シリンダの劣化診断が可能となる。

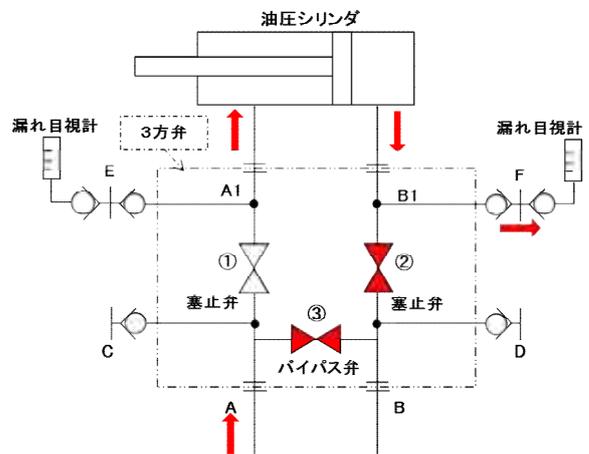


図-7-1 漏油診断及び作動油の採取方法

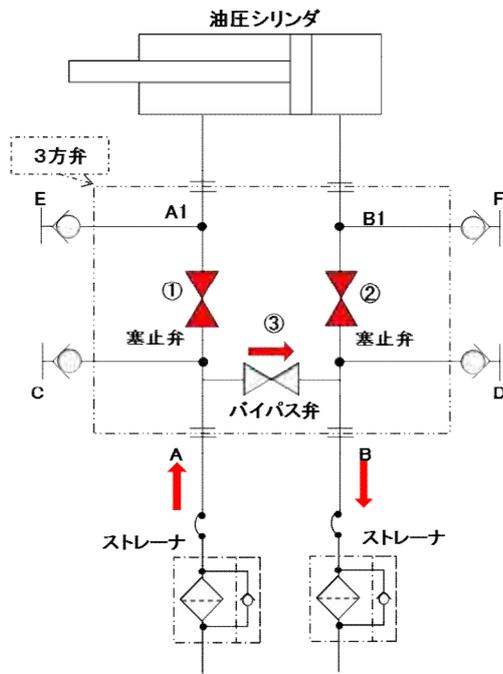


図-7-2 漏油診断及び作動油の採取方法

また、3方弁を作動油循環回路として使用し作動油に混入している異物等を除去するストレーナを設置することにより、シリンダ内への異物の混入がなくなり、シリンダ劣化の低減が図れる。

これにより、従来どおり適切に維持管理を継続すれば、建設以降致命的な故障が発生していないことも踏まえ、建設後48年の耐用年数は全うできると判断する。

以下に、油圧シリンダの健全度評価を実施するうえで、必要となるデータ収集項目について示す。

表-2 劣化データ収集項目

劣化項目	実施に際しての課題	劣化取得データ
パッキンの劣化や摺動痕による内部リークおよび漏油の発生状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>シリンダを現場で分解あるいは、取り外すことが容易でないためこれまでに分解して点検されたことはない。</li> <li>漏油チェックは、目視等によりシリンダロッドからの漏油をチェックしているが、摺動傷やパッキンの劣化による内部リークに関して、漏れ量等の定量的な確認はできない</li> <li>シリンダ内の作動油の採取ができないためタンク内の作動油で分析していることから、シリンダ内の摩耗粉や異物等の発生状況等の確認ができない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 油圧シリンダ内部リーク量</li> <li>② シリンダ内の作動油分析</li> <li>・計数法による汚染度測定</li> <li>・混入した異物の分析(ゴム等の混入分析)</li> <li>★漏油診断及び作動油の採取方法参照(図-7-1)</li> </ul>
ずり落ち防止用のボールネジの劣化状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>油圧シリンダ内のボールネジの摩耗状態等の確認は分解が必要</li> <li>油圧シリンダ内の作動油分析により摩耗粉等の定量的な把握を行いたいが、前述のとおりシリンダ内の作動油の採取ができない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① シリンダ内の作動油分析</li> <li>・計数法による汚染度測定</li> <li>・異物及び金属摩耗粉等の分析</li> <li>★漏油診断及び作動油の採取方法参照(図-7-2)</li> </ul>

(2) ケース2 特殊なシリンダの再現性について

現状設備の構造(機構)を踏襲した設備での更新について検討を行った。

総重量が約10tになる油圧シリンダについて、更新時の設備仕様変更箇所は最小限に留め、既存の真名川ダムの特徴を残した設備とし、既存の開閉シリンダと同構造のシリンダの製作可否について調査を行った。

油圧シリンダ製作時は、大きく以下の部位に分業して製作されていた。

- ・シリンダ組立
- ・シリンダチューブ
- ・ピストンロッド
- ・ボールネジ

製作する上でネックとなるボールネジの構造については、製作当時のメーカーヒアリング結果から、同じ規模での再製作は、製作を行った当時の大型の加工機械がないため、再度製作することはできないが、現在の加工技術であれば、ボールネジは小型化が可能であるとの回答であった。また、シリンダの組立については、当時シリンダを組み上げた工場が廃止されているため、当社では組み上げできないとの回答があった。

いずれも、加工機械・組み立て設備の問題からの回答であったため、加工機械・組み立て設備を有するメーカーが他にないのかについても調査を行った。

同種の工事実績等の調査を行い、実際の製作・加工を行ったメーカーへの調査も進めた結果、最長20m・最大重量30tまでのシリンダを製作可能で、ボールネジについても同規模の製作が可能でメーカーがあることが分かった。既存のシリンダと同構造のシリンダの製作は可能であると判明した。

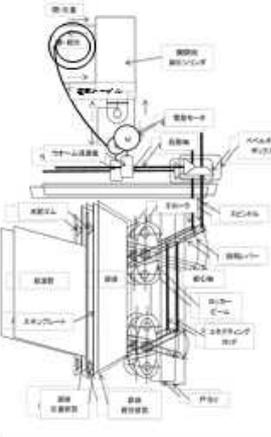
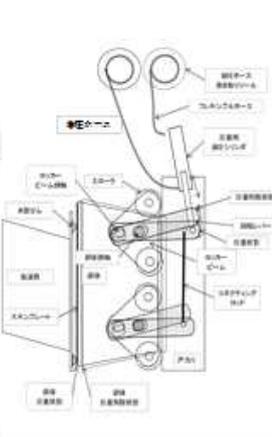
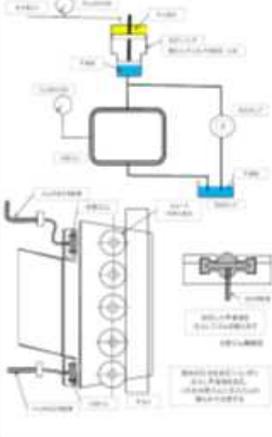
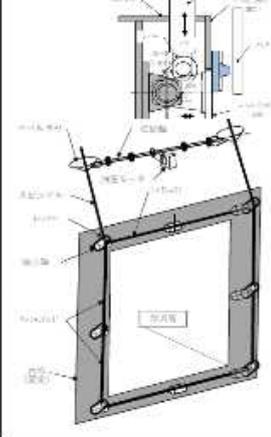
(3) ケース3 類似施設の技術で更新の概略検討

類似する4つのダムの圧着方式を真名川ダムに適用した場合の課題について整理(表-3)を行った。

結果、同じ扉体圧着方式への改造は、機構がほぼ同じであるため可能であると考えられるが、現状とほぼ変わることが無いため、得られる効果は少ない。

ゴム圧着及び戸当り圧着方式は、大きな水圧荷重を受ける扉体を上流側に移動させる必要がないため、それに費やすエネルギーが不要となる。離脱・圧着の時間が大幅に短縮されることから、操作時間の短縮につながるなどのメリットがあることが分かった。しかし、ゴム圧着及び戸当り圧着方式は、放流管末端部の堤体を大きく改造する必要があることから、十分な検討が必要である。

表-3 類似ダムの圧着方式を適用する場合の課題

	天ヶ瀬ダム 主ゲート 扉体圧着方式	小浜ダム 主ゲート 扉体圧着方式	川治ダム 主ゲート ゴム圧着方式	青蓮寺ダム 主ゲート 戸当り圧着方式
圧着方式略図				
課題の説明	<ul style="list-style-type: none"> <li>真名川ダムの現状に最も近い案で、機構変更は4案の中で最も少ない分、得られる効果は4案中最も少ない。</li> <li>水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ多大なエネルギーが必要な機構は変わらない。</li> <li>圧着装置は、既設油圧モーター方式を電動モーター方式に変更するのみであるが、電動モーターの容量(55kw)に見合う圧着用機枠の大幅改造が必要となる。</li> <li>この方式を採用しても、堤体への影響はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>真名川ダムの現状に近い案で、扉体天端上の圧着機構(油圧モーター、ペベルキヤ等)が必要となるが、得られる効果は天ヶ瀬ダムと大差はない。</li> <li>水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ多大なエネルギーが必要な機構は変わらない。</li> <li>圧着機構は大幅に簡素化できるが、操作時間の短縮効果は期待できない。</li> <li>本方式は、真名川ダム主ゲートへの対応は可能であるが、新設装置の配置スペースのための既存操作室の改造が必要となり、堤体への影響が生じることになる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>真名川ダムの現状からの変更は4案の中で中程度であるが、得られる効果は4案中最も大きい。</li> <li>大きな水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ必要がなくそれに買やすエネルギーも不要になる。</li> <li>ゲート開閉操作前に必要な圧着・離脱に要する時間が大幅に短縮され、迅速な操作が可能になる。</li> <li>この方式を採用する場合、放流管未端部への改造が必要となる。</li> <li>本方式は、真名川ダムの本体(堤体)への影響が発生するため、設備の更新にあたっては十分な検討が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>真名川ダムの現状からの変更は4案の中で最も大きい分、得られる効果は左案と大差はない。</li> <li>大きな水圧荷重を受けている扉体を上流側に移動させ必要がなくそれに買やすエネルギーも不要になる。</li> <li>開閉操作前に必要な圧着解除と圧着に要する時間が短縮され迅速な操作が可能になる効果が大きい。</li> <li>この方式を採用する場合、放流管未端部だけでなく、堤体の大幅な改造が必要となる。</li> <li>本方式は、真名川ダムの本体(堤体)への影響が非常に大きく対応は不可能であると判断する。</li> </ul>

6. まとめ

真名川ダム主放水ゲート油圧シリンダにおいては設置後41年程度経過しており、「ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル」でいう、標準的な更新実施時期までの期間において総合診断、延命化対策、更新の方向性の検討、仮設概略設計、詳細設計付き工事発注というスケジュールを想定しておく必要があることから、今回の検討は適切な開始時期と言える。

特殊な油圧シリンダの機構から、健全度評価の手法及

び油圧シリンダの再現性が不透明な状況であったが、今回の検討で、更新に向けての手順が明らかとなった。

今後は、健全性評価を行うための、油圧シリンダの漏油量の確認、作動油分析のデータを傾向管理を行うとともに、再製作が可能と分かったシリンダについて、現地での撤去・据付に係る仮設計書の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 国土交通省：ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル

表-4 今後の工程表

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	H31 2019	H32 2020	H33 2021	H34 2022	H35 2023	H36 2024	H37 2025	H38 2026		
経過年数	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
発注等	<ul style="list-style-type: none"> <li>□油圧シリンダ更新検討</li> <li>・現状課題の整理</li> <li>・不具合履歴、修繕履歴の整理</li> <li>・他ダムの同型設備の事例調査</li> <li>・油圧シリンダの健全度評価手法の検討</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>□仮設概略設計</li> <li>・仮設据付方法</li> <li>・概算金額の算出</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>★総合診断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●予算要求(設計費・工事費)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎設計施工一括発注方式による発注</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎詳細設計(油圧シリンダ)</li> </ul>			
現場			<ul style="list-style-type: none"> <li>○漏油チェック機構の追加</li> </ul>	以後、状態監視、健全度評価									製作・据付

# 大気腐食モニタリングセンサによる 塗装評価に関する一考察

前田 健児

福井県工業技術センター 建設技術研究部 (〒918-8108福井県福井市春日3丁目303)

鋼製橋梁のライフサイクルコスト (LCC, Life cycle cost) 縮減には適切な点検および塗替塗装が重要な役割を果たすが、塗替時期が定量的に示されていないのが現状である。省令・告示の施行等により、5年に1度の橋梁近接目視点検義務化により橋梁に近づく機会が増加する。そこで、塗替塗装に使われるRC-I 塗装系およびRC-III 塗装系における防食効果・浸透抑制効果のある防食下地および下塗塗装のみの簡易な塗装に着目して、点検と同時に簡易な塗装を行い全面塗替え時期を延ばす塗装を確立することを目的とした。本報では大気腐食モニタリングセンサによる10種類の応急塗装の腐食速度評価および腐食速度と膜厚の関係を報告する。

キーワード 鋼橋, 防食, 塗装, ACMセンサ

## 1. 目的

鋼橋, 鉄道, 鉄塔などをはじめとする多くの鋼構造物が大気環境下に暴露され腐食による劣化, 損傷が進んでいる。特に鋼橋は構造が複雑かつ構成する材料が多いことから、点検および補修が困難な構造物である。

福井県管理鋼橋数は 390 橋あり, 総延長 31,197m と県管理橋梁延長の約 5 割を占める。昭和 30 年から昭和 50 年にかけて建設された鋼橋が 169 橋, 建設後 50 年を経過した鋼橋が約 2 割 (59 橋), 10 年後には約 3 割 (115 橋) と今後, 維持管理を必要とする鋼橋は増えていく。

鋼橋の部位レベルの腐食環境をモニタリングするセンサに ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) 型腐食センサ (以下, ACMセンサ) が開発されている。このセンサを用いて, 未補修鋼橋の最も腐食による劣化, 損傷が進行している箇所, または断面欠損が著しい箇所をモニタリングすることで, その鋼橋の最も厳しい腐食環境をモニタリングすることができる。

本研究では, 予防保全により鋼橋の長寿命化を図ることで, 維持管理費のコスト縮減, 平均化を図ることを目的として, 局部的に腐食した箇所のみを 5 年に 1 度の点検と同時に簡易な除錆および塗装をして, 全面塗り替え時期を延ばす塗装 (以下, 応急塗装とする) を確立するため, 屋外環境下 (雨がかりのある条件下) において ACM センサによる大気環境の評価および応急塗装の腐食速度を評価した結果を報告する。

## 2. 実験方法

暴露箇所の様子を写真-1に, 諸元を表-1に示す。300×300×800mmのH形鋼にACMセンサを厚さ1mmの屋外用両面テープで接着させ, 南向き45°に取り付

写真-1 実験箇所



表-1 実験箇所の諸元

離岸距離 L(km)	気温 T(°C)	湿度 RH(%)	降水量 P(mm)	飛来塩分量 <sup>※</sup> w(mdd)
16.2	17	72	2,044	0.23

※飛来塩分量は2017年2月の計測値

表-2 ACMセンサ上の塗装条件

塗装系名	下地処理 (μm)		下塗り 1回 (μm)		下塗り 2回 (μm)		膜厚 (μm)
Zn40	有機ジンクリッチペイント	40	なし	—	なし	—	40
Zn60	有機ジンクリッチペイント	60	なし	—	なし	—	60
Zn80	有機ジンクリッチペイント	80	なし	—	なし	—	80
Ep40	なし	—	エポキシ樹脂	40	なし	—	40
MEp40	なし	—	変性エポキシ樹脂	40	なし	—	40
An40	なし	—	さび止めペイント	40	なし	—	40
ZE80	有機ジンクリッチペイント	40	エポキシ樹脂	40	なし	—	80
ZM80	有機ジンクリッチペイント	40	変性エポキシ樹脂	40	なし	—	80
ZA80	有機ジンクリッチペイント	40	さび止めペイント	40	なし	—	80
ZMII120	有機ジンクリッチペイント	40	変性エポキシ樹脂	40	変性エポキシ樹脂	40	120

けた。ACM センサには塗装系を塗付して、暴露期間中の電流出力 I (μm), 気温 T(°C), 湿度 RH (%)を計測した。ACM センサとは、2種類の金属 (Fe - Ag) を互いに絶縁して大気中に暴露すると、降雨や結露で表面に水膜が形成され、その水膜が2種類の金属を覆い電流が流れる。その電流を測定して解析することにより腐食速度 CRを推定するものである。

塗装系は表-2の10種類とした。塗装は下地処理後4日間養生。養生後下塗り1回目を塗付。下塗り1回目完了後、24時間再養生。再養生後下塗り2回目を塗付。塗装系を安定させるため、下塗り2回目後4日間最終養生を行った。ACM センサは、大きさ64mm×64mmのFe - Ag型、腐食防食学会認定品を用い、ACMセンサの電流出力と温度、湿度はデータロガー(4ch ACMデータロガー SACM-304B, ㈱シュリンクス)にて10分間隔で連続計測した。解析には、解析ソフト(Ver.1.2, 腐食防食学会頒布)を使用した。試験期間は、2016年3月から2017月の13ヶ月間である。

### 3. 結果と考察

#### (1) 福井県の大気腐食環境

福井県における無塗装炭素鋼の腐食速度を図-1に示す。月別の温湿度を図-2、降水量を図-3に示す。腐食速度は、夏期(6~8月)に減少し、冬期(1~3月)に増加することがわかった。季節によってはっきり差が出るということは、季節的な特徴である降雨時間、温度、湿度が影響すると考えられる。測定結果より、湿度が上昇すると腐食速度も上昇する傾向がみられ、降雨量と腐食速度には特徴はみられない。冬期に腐食速度が上昇する理由として塩分の供給があり、県内6箇所で行った塩分調査を実施した結果、全ての箇所1ヶ月が最大となった。また、冬期には路面凍結防止のため、凍結防止剤の散布による人工的な塩分供給も腐食速度が上昇した原因と考えられる。

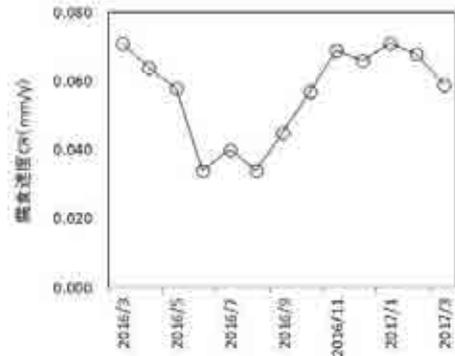


図-1 月別の腐食速度

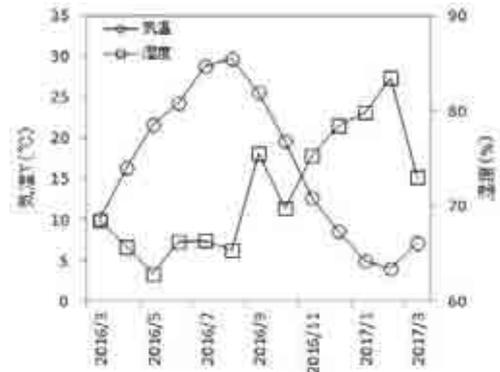


図-2 月別の温湿度

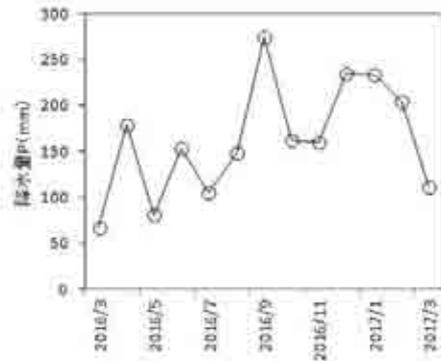


図-3 月別の降雨量

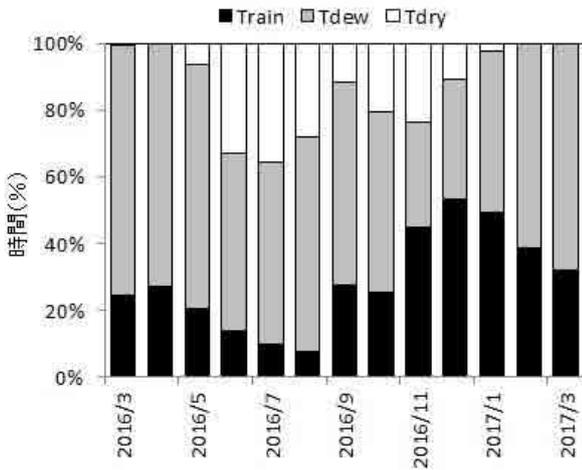


図-4 月別の降雨, 結露, 乾燥時間

2016年度の屋外環境下(雨がかりのある条件下)における無塗装炭素鋼の腐食速度CRは0.055mm/yであり、沖縄西原町の0.017mm/y(7年経過で約0.12mm) <sup>1)</sup>と比較すると、福井県福井市では3倍以上の速度で腐食することになる。

(2) 降雨・結露・乾燥の判別

図-4に測定期間の降雨時間( $T_{rain}$ ,  $I \geq 1\mu A$ ), 結露時間( $T_{dew}$ ,  $1\mu A > I > 10nA$ ), 乾燥時間( $T_{dry}$ ,  $I \leq 10nA$ )に分け月別に示す。冬期に降雨時間の割合が増え、夏期に乾燥時間の割合が増えることがわかる。また、測定期間中の平均値は  $T_{rain}$  が 28.9%,  $T_{dew}$  が 57.9%,  $T_{dry}$  が 13.2%と冬期に曇りや雨が多い日本海岸気候が顕著に現れた。沖縄県西原町 ( $T_{rain}$ : 9%,  $T_{dew}$ : 48%,  $T_{dry}$ : 43%)と比較すると福井県福井市は金属が腐食と言われているぬれ時間 (Time of wetness:  $TOW = T_{dew} + T_{rain}$ )が多い県であることが分かる。特に飛来塩分の多い冬期(1月~3月)の  $T_{dew}$ は59.3%, TOWは99.2%と多く、飛来塩分と水分が同時に供給される冬期の腐食環境の把握が重要な県であると言える。

(3) 腐食速度と降雨, 結露, 乾燥, ぬれ時間の相関関係

図-5に腐食速度と降雨時間, 結露時間, 乾燥時間,

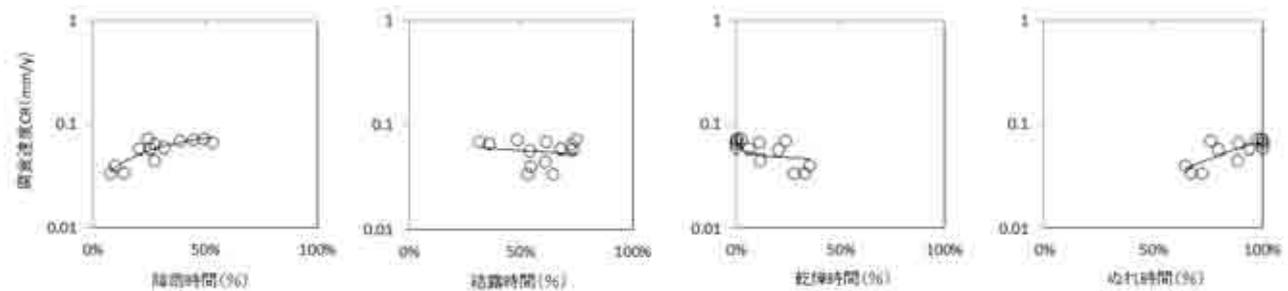


図-5 腐食速度と降雨時間, 結露時間, 乾燥時間, ぬれ時間の相関関係

表-3 腐食速度と各時間との相関係数

降雨時間 $T_{rain}$	0.857
結露時間 $T_{dew}$	0.161
乾燥時間 $T_{dry}$	0.580
ぬれ時間 TOW	0.770

表-4 計測期間中の全電気量, 腐食速度および低減効果

塗装系名	計測期間の全電気量 $\Sigma I(\mu A)^*$	腐食速度** CR(mm/y)	低減効果
無塗装	94,253	0.057	1.0
Zn40	16,886	0.036	1.6
Zn60	12,796	0.032	1.8
Zn80	10,051	0.029	2.0
Ep40	594	0.008	7.1
MEp40	1,187	0.009	6.3
An40	702	0.007	8.1
ZE80	82	0.004	14.3
ZM80	428	0.005	11.4
ZA80	985	0.007	8.1
ZMII120	30	0.003	19.0

\*2016年3月から2017年3月の13ヶ月の合計および平均値

ぬれ時間の相関関係を示す。また相関係数を表-3に示す。腐食速度 CR と降雨時間  $T_{rain}$  には強い相関関係が、結露時間  $T_{dew}$  にはほとんど相関関係がなく、乾燥時間  $T_{dry}$  には相関関係があり、ぬれ時間 TOW には強い相関関係がある。屋外環境下(雨がかりのある条件下)では、降雨時間およびぬれ時間が腐食速度に影響がある可能性がある。

(4) 塗装の評価

大気腐食環境をモニタリングするセンサ上に塗装を施工し、各塗装の効果を評価した結果を表-4に示す。膜厚が厚くなるにつれて腐食速度が減少することを確認した。有機ジンクリッチペイント Zn膜厚  $T$ と腐食速度 CRの相関係数は0.999とほぼ完全な相関関係にあることが確認できたため、関係式を以下に示す。

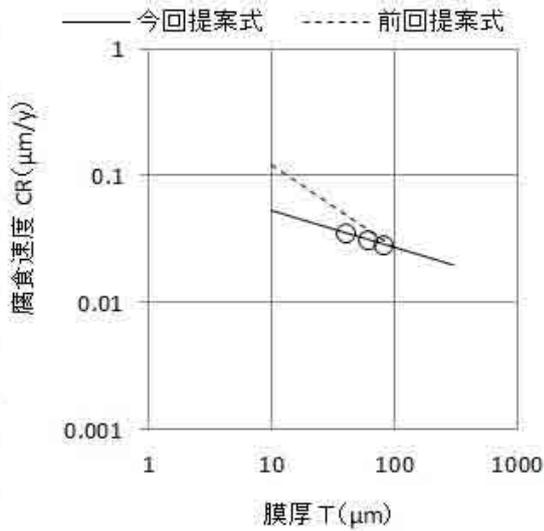


図-6 有機ジンクリッチペイントの腐食速度と膜厚の関係

$$\log CR \text{ (mm/y)} = -0.296 \log T \text{ (}\mu\text{m)} - 0.974 \quad (1)$$

図-6に今回得られた Zn の腐食速度と膜厚の関係を実線で示す。前回提案式<sup>3)</sup>を点線で示す。前回提案時の測定期間は2016年12月から2017年3月の4ヶ月間であり、大気腐食環境が最も厳しい冬期である。前回提案式は今回提案式に比べ、勾配が急である。勾配が急になるということは、薄膜厚が腐食速度に与える影響が増加することを意味している。すなわち薄膜厚の場合、大気腐食環境が厳しくなると腐食速度低減効果が減少し、一定の膜厚を確保することで腐食環境の違いによる腐食速度低減効果が変化しなくなる可能性があり、こまめな管理により膜厚を一定以上保ち続けることが重要となる。

Zn の単層使用による腐食速度は、膜厚 40 $\mu$ m で 0.036mm/y と無塗装に比べ 1.6 倍、80 $\mu$ m では 2.0 倍の腐食速度低減効果がある。一方、Ep40 や MEp40、An40 は 6.3~8.1 倍の腐食速度低減効果があり、Zn は他の塗装に比べ腐食速度低減効果が低いことが確認された。膜厚 80 $\mu$ m の Zn80 と ZE80 (Zn40 $\mu$ m に Ep40 $\mu$ m を上塗り) で比較すると、ZE80 は Zn80 に比べ、腐食速度低減効果が 7 倍以上の差が確認された。この原因は、Zn は平均 10 $\mu$ m 以下の金属 Zn 粒子が全体に分布しており、多孔質な状態である<sup>4)</sup>。この構造により、水や酸素が Zn に進入しやすいことで腐食速度が上昇したと考えられる。よって、Zn は塗膜の構造および腐食速度低減効果より単層での使用は他の塗装に比べて有効性は低いといえる。実橋でも Zn ペイントは最下層で使用されており、上塗りなどの塗装が何らかの原因で劣化、剥離して Zn ペイントが露出した場合のことを考えると、こまめな点検および補修が必要である。

#### 4. 結論

本報では、ACM センサによる大気環境の評価および大気暴露環境下における塗装系の腐食速度を計測・評価した。以下に本研究で得られた成果を列挙する。

- 1) 福井県福井市における無塗装炭素鋼の腐食速度は 0.055mm/y.
- 2) 福井県はぬれている時間が長く、その内訳は降雨時間  $T_{\min}$  が 28.9%、結露時間  $T_{\text{dew}}$  が 57.9%、乾燥時間  $T_{\text{dry}}$  が 13.2%.
- 3) 屋外環境下 (雨かがりのある条件下) では、降雨時間  $T_{\min}$  およびぬれ時間 TOW が腐食速度に影響がある可能性がある.
- 4) Zn の腐食速度 CR (mm/y) と膜厚 T ( $\mu$ m) には、ほぼ完全な相関関係があり、その関係は次式で示される.

$$\log CR \text{ (mm/y)} = -0.296 \log T \text{ (}\mu\text{m)} - 0.974 \quad (1)$$

- 5) Zn の単層使用は腐食低減効果が低く、上塗りなどの塗装が劣化、剥離しないようこまめな点検・補修が必要である.

謝辞：ACMセンサへの塗装材の塗付について、(株)野村塗装店 野村達生様、小林鉄也様、並びに北山幸弘様にご協力いただきましたことを深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 押川渡：沖縄における金属の腐食と環境評価，ウェザリング技術研究成果発表会講演テキスト，73-83 (2003).
- 2) 元田ら：ACM 型腐食センサで測定した海洋性大気腐食環境条件の年変化，材料と環境，44，4，218-225 (1995).
- 3) 前田ら：ACM センサーによる応急塗装の腐食速度評価，土木学会年次学術講演会概要集，71，I-066 (2016).
- 4) 長澤ら：高塩害環境下における無機 Zn プライマ塗布鋼板の Zn 腐食生成物の解析，材料と環境，199-202 (2015) .

# 加古川大堰ゲート設備の長寿命化塗装について

駒口 誠治<sup>1</sup>・小寺 一史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 流水調整課（〒640-8390 和歌山市有本462）

<sup>2</sup>近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 小野出張所（〒675-1342 兵庫県小野市阿形町1082-2）

加古川大堰の主ゲートは1号～5号の5門で構成されており、1門は純径間約50m扉高6m（1、5号ゲートは5.3m）のフラップ付シェル構造鋼製ローラゲートである。扉体は常に水中に没しており、塗装により防食対策を行っているが、塗膜は環境条件等により劣化するため、定期的に塗替塗装が必要である。H16年度以降の扉体外面の塗替塗装においては、従来のエポキシ樹脂塗装から高耐久性が期待できる超厚膜エポキシ樹脂塗装、ガラスフレーク塗装に変更しており、変更後5年及び10年が経過した時点で塗装の状況調査、効果の確認を行ったので報告する。

キーワード 塗替塗装, 長寿命化, コスト縮減

## 1. 加古川大堰主ゲートの塗装について

加古川大堰は、加古川の河口から12kmの地点に設けられた多目的可動堰である。既設の固定井堰を統合、可動化して治水の安全をはかるとともに、加古川下流域にある既得用水の確保と、加古川市および高砂市の上水道用水・工業用水の開発を目的として、昭和54年度に実施計画調査をはじめ、翌年度から建設事業に着手、その後7ヶ年の工期と2ヶ年の試験湛水を経て、昭和63年度末に完成し、今日の管理に至っている。図1に加古川大堰位置図を、写真1に加古川大堰全景を示す。



図1 加古川大堰位置図



写真1 加古川大堰全景（左岸下流より）

河川における機械設備は、水中に没したり、風雨に曝されたり、常時湿潤な環境にあるなど、非常に厳しい腐食環境に設置されることが多いが、これらの設備は、管理上、常に正常な機能を発揮することが求められるため、適切な防食を施すことが必要である。

防食方法は一般に、表面の被覆（塗料、メッキ等）、耐腐食材料の使用（ステンレス鋼等）、電気防食等の方法があり、防食方法の選定にあたっては、環境、設備規模、構造・形状、維持管理の合理化等考慮し行う。

### (1) 建設時の塗装仕様

建設時の主ゲート扉体外面塗装仕様を表1に示す。加古川大堰の主ゲートは純径間約50m扉高6m（1、5号ゲートは5.3m）のフラップ付シェル構造鋼製ローラゲートである。建設時、扉体は輸送等を考慮し下段扉が16分割、上段扉が4分割で現場に搬入し現地溶接で組み立てており、塗装も工場と現場で分割施行を行っている。ゲートが常時水中部にあることから、塗装仕様は水中部での付着性に優れているエポキシ樹脂系としている。

表1 建設時の主ゲート扉体外面塗装仕様

工程	施工場所	塗料名	回数	塗膜厚
一次プライマー	工場	無機ゾンクプライマー	1回	20μm/回
下塗	工場	エポキシ樹脂塗料	1回	60μm/回
下塗	工場	エポキシ樹脂塗料 MIO系	1回	50μm/回
下塗	現場	エポキシ樹脂塗料	2回	60μm/回
中塗	現場	エポキシ樹脂塗料	1回	40μm/回
上塗	現場	エポキシ樹脂塗料	1回	40μm/回

### (2) 塗替塗装周期と塗装仕様の見直し

塗膜は一般的に水分、塩分、紫外線等の環境条件及びその他の要因により劣化する。塗替塗装は、劣化した塗膜を除去し、再び塗装することによって構造物の腐食を

防止し、その構造物の寿命を延ばすことを目的として行うものである。塗替塗装を行う時期については塗膜劣化程度から検討が必要であり、一般に塗膜劣化程度の小さいうちに行うことが防食上有効とされている。

塗替塗装の塗装仕様（平成15年度まで）を表2に示す。塗装仕様は、建設時と同様のエポキシ樹脂系としており、塗装厚は下、中、上塗りとも塗膜厚40～50μmとしている。

表2 塗替塗装時の塗装仕様（～平成15年度）

＜扉体外面＞ エポキシ樹脂系塗装

工程	塗料名	回数	塗膜厚
下地処理	第3種Aケレン		
プライマー	有機ジンクリッチプライマー	1回	15μm/回
下塗	エポキシ樹脂塗料	1回	50μm/回
中塗	エポキシ樹脂塗料	1回	40μm/回
上塗	エポキシ樹脂塗料	1回	40μm/回

建設以後、毎年1門ずつ、各ゲートを概ね5年周期で塗替塗装を行っている。塗替塗装周期を表3に示す。

表3 建設以後の塗替塗装周期

年度	ゲート				
	1号	2号	3号	4号	5号
S57					
S58	新設				
S59		新設			
S60			新設		
S61				新設	
S62					新設
S63					
H1					●
H2			●		
H3		●			
H4	●				
H5					●
H6				●	
H7			●		
H8		●			
H9	●				
H10					●
H11			●		
H12				●	
H13		●			
H14	●				
H15					●
H16				●(厚)	
H17					
H18			●(厚)		
H19		●(厚)			
H20	●(厚)				
H21					●(厚)
H22				○	
H23			○		
H24		○			
H25	○				
H26					
H27				●(厚)	
H28			●(厚)		

新設：新設の年度

●：塗替塗装の年度  
(厚)は超厚膜エポキシ樹脂塗装

○：塗装調査の年度

※塗替塗装時に扉体修繕（水密ゴム取替等）も実施している。

平成16年度から超厚膜エポキシ樹脂塗装に仕様変更し、塗替周期も10年に見直している。

(3)長寿命化塗装によるコスト縮減

H16年度以降の塗装仕様は、長寿命化を考慮し、扉体外面の塗替塗装に超厚膜エポキシ樹脂塗装、ガラスフレーク塗装（扉体下部）を採用した。塗装仕様を表4に、超厚膜エポキシ樹脂塗装とガラスフレーク塗装の塗装箇所を図2に示す。

表4 長寿命化を考慮した塗装仕様

＜扉体外面＞ ゲート下部以外 超厚膜エポキシ樹脂塗装

工程	塗料名	回数	塗膜厚
下地処理	第2種ケレン		
下塗	変性エポキシ樹脂塗料（水中部用）	1回	60μm/回
	超厚膜エポキシ樹脂塗料	1回	300μm/回
中塗	エポキシ樹脂塗料	1回	40μm/回
上塗	エポキシ樹脂塗料	1回	40μm/回

＜扉体外面＞ ゲート下部 ガラスフレーク塗装

工程	塗料名	回数	塗膜厚
下地処理	第2種ケレン		
下塗	ガラスフレーク含有塗料用下塗	1回	80μm/回
中塗	ガラスフレーク含有塗料（ビニルエステル樹脂系）	1回	300μm/回
上塗	ガラスフレーク含有塗料（ビニルエステル樹脂系）	1回	300μm/回

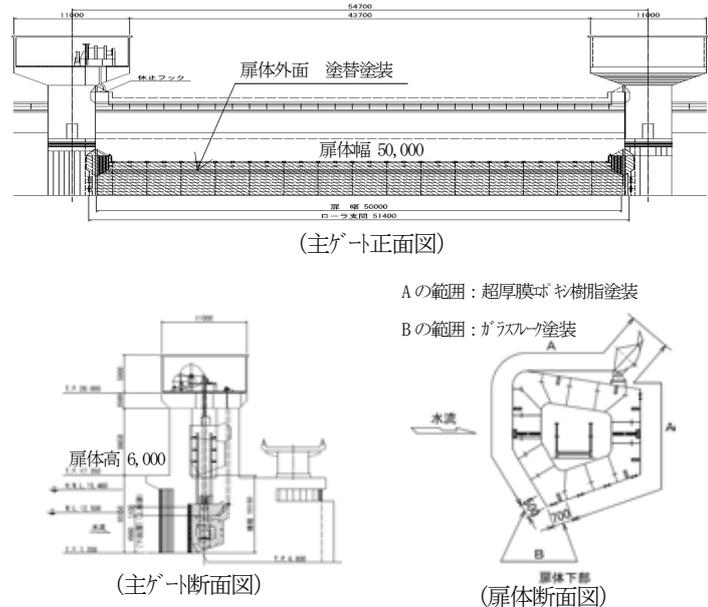


図2 超厚膜エポキシ樹脂塗装とガラスフレーク塗装箇所説明図

a)超厚膜エポキシ樹脂塗装について

一般的に塗膜の寿命は、腐食性物質が鋼板面に到達するまでの時間と腐食性物質が鋼板面に到着した後、付着破壊が生じるまでの時間の和によるとされている。よって、付着性物質が鋼板表面に到達する時間をできるだけ延長し、さらに付着力を確保することが塗膜の長期耐久性の維持につながるとされている。今日、高耐久性、省工程が可能な超厚膜形塗料が開発されており、加古川大堰の主ゲート外面の塗替塗装において、長期の耐久性による塗替塗装回数の低減を期待し、超厚膜エポキシ樹脂塗装を採用した。

図3に超厚膜エポキシ樹脂塗装によるコスト縮減を示

す。5門当たり、10年間で約3,000万円のコスト縮減となる見込みである。

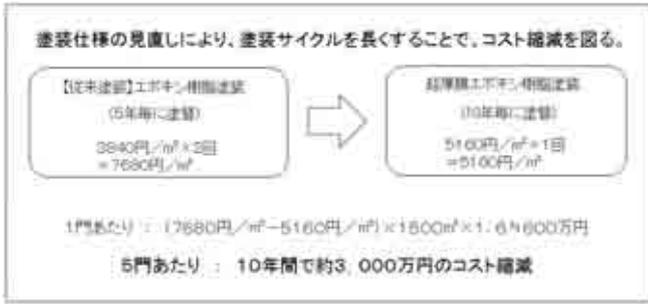


図3 超厚膜エポキシ樹脂塗装によるコスト縮減

b) ガラスフレーク塗装について

ガラスフレーク塗装に用いるガラスフレーク含有塗料は、ガラスフレークを20%程度含有した塗料で、ガラスフレークとエポキシ樹脂を主成分とする主剤と硬化剤からなる塗料であり、耐水性、耐摩耗性、耐衝撃性に優れている。主ゲート下部は、放流時にゲート下部から河川水の高速の流れにより土砂等巻き上げが発生し、それらが扉体に衝突するため、塗膜が損傷し塗装劣化の進行が早い。そこで、特に巻き上げの影響を受けるゲート下部（上流側50cm、下流側70cmの範囲）において、部分的にガラスフレーク

塗装により塗替塗装を行った。写真2にガラスフレーク塗装後の写真を示す。



写真2 ガラスフレーク塗装後

2. 塗装の評価

超厚膜エポキシ樹脂塗装、ガラスフレーク塗装を行った箇所について、5年経過後、10年経過後の塗装状況調査を行っており、その結果について報告する。

(1)5年経過後及び10年経過後の塗装の状況について

5年経過時点、10年経過時点に行った各ゲートの塗装状況調査時期、調査項目、調査箇所は表5～表7に示す。また調査箇所を図4に示す。ここでは3号ゲートの調査結果について説明する。

表5 塗装状況調査時期

ゲート名称	塗装実施	1回目調査	2回目調査
1号ゲート	H20	H25	H30 (予定)
2号ゲート	H19	H24	H29 (予定)
3号ゲート	H18	H23	H28
4号ゲート	H16	H22	H27
5号ゲート	H21	H26	H31 (予定)

表6 調査項目

調査項目	内容及び方法
塗膜外観	扉体の塗膜状態を目視で観察し、錆・ふくれ・われ・はがれの有無などについて、調査を実施。塗膜状態の代表部位を写真撮影を実施。
インピーダンス測定	インピーダンス測定は、塗装の劣化程度を電氣的に調べる方法。インピーダンス測定器により周波数0.2、0.5、1.0kHzにおける抵抗成分、容量成分、tan δを測定。
膜厚測定	電磁膜厚計により1箇所について5点測定。
硬度測定	バーコール硬度計によりガラスフレーク塗装箇所にて1箇所について10点測定。

表7 調査箇所

調査箇所	調査箇所	数量	備考
塗膜外観	A, B, C, D, E, F, G, H×16断面、側面	130箇所	目視調査
インピーダンス測定	A, B, C, D, E, F, G, H×3断面	29箇所	
膜厚測定	A, B, C, D, E, F, G, H×16断面、側面	130箇所	
硬度測定	D, E×3断面	32箇所	
計		321箇所	

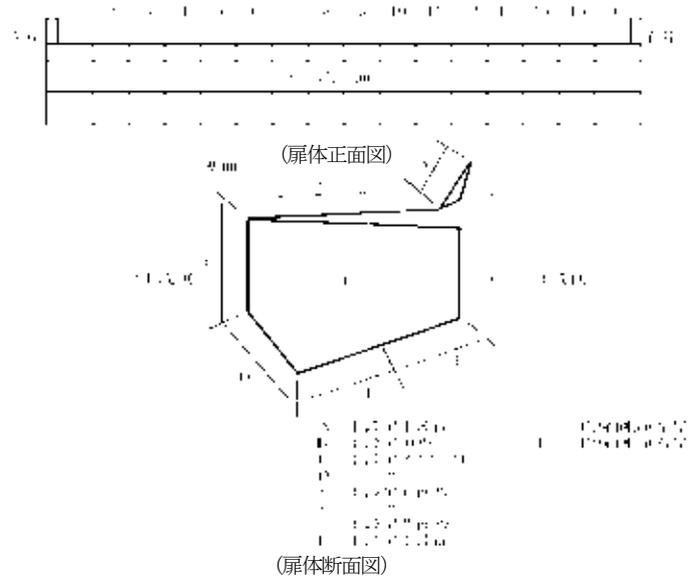


図4 調査箇所説明図

(2)調査結果

3号ゲートに関する5年経過後(H23)、10年経過後(H28)の調査結果を以下に示す。

a) 塗装外観

塗装外観の調査結果を表8に示す。また、塗装時の予備ゲート設置状況、足場設置状況、塗装外観等の写真を写真3～8に示す。扉体は常時水没環境にあり、汚れや藻の付着があるため、まず全体を水洗いした後、調査を行う。

超厚膜エポキシ樹脂塗装面は、5年経過後において、上段扉、下段扉スキンプレート等でふくれが見られたが、大きさは小さく数も少数であった。発錆はマンホール等

のエッジ部に見られる程度であった。一方、10年経過後においては、上下段扉スキンプレート全域でふくれが見られた他、各所で発錆、はがれ、われが多く見られた。(写真5~7)

ガラスフレク塗装面においては、5年経過後は塗膜良好であり、10年経過後も部分的な損傷、発錆は見られたものの塗膜良好であった。(写真8)

表8 塗装外観調査結果

位置(図4)	調査箇所	塗装種類	H23 塗装外観	H28 塗装外観
A	上段扉スキンプレート面	エポキシ	・両端部に径5mm程度のふくれが見られた ・その他変状は認められなかった	・全区画でふくれが多数見られた ・水密ゴム摺動面との境界部に局所的な発錆が多数見られた
B	下段扉頂板面	エポキシ	・全体的に径10mm程度のふくれが少数見られた	・全区画でふくれが多数見られた
C	下段扉スキンプレート面	エポキシ	・径10mm程度のふくれが中央から左岸側にかけて見られた	・ほぼ全区画でふくれが多数見られた
D	下段扉スキンプレート面	ガラスフレク	・塗膜良好	・塗膜良好 ただし、局所的な損傷・発錆が見られた
E	下段扉底面板	ガラスフレク	・塗膜良好	・塗膜良好 ただし、局所的な損傷・発錆が見られた
F	下段扉底面板	エポキシ	・大気部、及び没水部ともに塗膜良好	・塗膜は比較的良好的であるが、局所的なふくれ、はがれが見られる箇所があった
G	下段扉背面板	エポキシ	・マンホール等の部材エッジ部に僅かにさびが見られる程度 ・その他変状は認められなかった	・多数の区画で割れが見られた ・区画8でふくれ、区画11でははがれが見られた
H	上段扉背面板	エポキシ	・部材エッジ部に僅かにさびが見られる程度 ・その他変状は認められなかった	・塗膜は比較的良好的であるが、ヒンジ部、点検窓蓋の角部に発錆が見られた
I, J	下段扉側面	エポキシ	・塗膜良好	・水密ゴム取付部に発錆が見られた



写真3 予備ゲート設置状況



写真4 足場設置状況



写真5 塗装のわれ(H28)  
(G面 下段扉背面)



写真6 塗装のはがれ(H28)  
(G面 下段扉背面)



写真7 塗装のふくれ(H28)  
(C面 下段扉スキンプレート)



写真8 ガラスフレク塗装面(H28)  
(D面 下段扉スキンプレート)

b) インピーダンス測定

インピーダンスの測定結果を図5に示す。インピーダンス値は、各面について3箇所測定し、平均値を比較した。

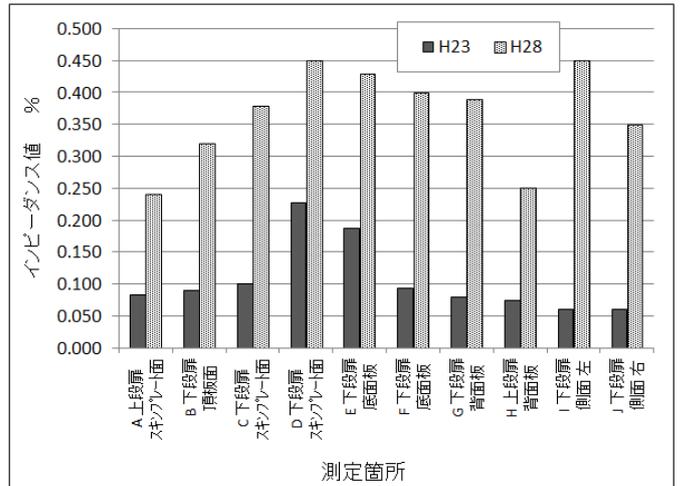


図5 インピーダンス測定値

インピーダンスの評価基準例を表9に示す。

表9 塗膜の劣化程度の評価基準例 (計器測定)

点検項目	評価基準			
	A	B	C	D
脆化	0~0.3	0.3~0.5	0.5~1.0%	1.0以上

注1) 脆化の数値は、1kHzの場合の  $\tan \delta$  値 (抵抗値と静電容量値から決まる数値) である。

注2) 劣化程度 (A~D) の目安: A(良好)→D (劣化)

注3) ダム堰施設技術基準 (案) 基準解説編、マニュアル編による

表9の評価基準によると、5年経過後の脆化の値は、超厚膜エポキシ樹脂面、ガラスフレク塗装面とも0.3以下であり良好 (A評価) であった。10年経過後は、5年経過後の調査時より、超厚膜エポキシ樹脂塗装面、ガラスフレク塗装面とも数値は悪化し塗膜劣化の傾向が見られ、いずれもB評価であった。

c) 膜厚測定

5年経過後、10年経過後に行った膜厚の測定結果を図6に示す。5年経過後、10年経過後において塗膜厚の変化は特に見られなかった。扉体下部においては、流水により巻き上がった砂等が塗装面に衝突し劣化が進行することが懸念されたが、ガラスフレク塗装面において塗膜厚が維持されており、効果的であったと考えられる。

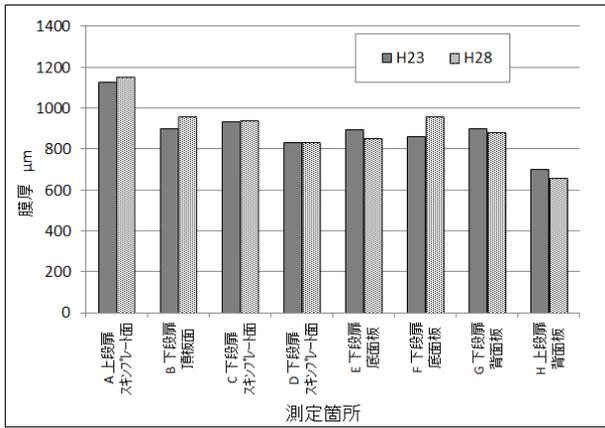


図6 膜厚測定値

d) 硬度測定

バーコル硬度計でガラスフレック塗装面の硬度を測定した結果を表10に示す。バーコル硬度計は、サンプルを切り取らず現地で測定することができる測定器具である。

表10 塗膜の硬度測定結果 (ガラスフレック塗装)

		測定年度	
		H23	H28
下段扉	スキップレール面	42.4	42.6
下段扉	底板面	44.3	42.8

測定値は各面16箇所測定した平均値である。5年経過後と比較し10年経過後の下段扉底板面で数値がやや小さくなっているが、測定結果に大きな変化は見られなかった。よって、経年劣化による硬度の変化は見られず、10年経過後でも十分な硬度を維持しているものと考えられる。「JIS K 6940ガラスフレック入りビニルエステル樹脂皮膜」によると、バーコル硬度は25以上あればよいとされている。

3. 評価と今回の対応について

(1) 超厚膜エポキシ樹脂塗装

超厚膜エポキシ樹脂塗装面は、インピーダンス測定値が5年経過後と比較し、10年経過後の今回は悪化しており、また、外観調査の結果、塗装面にわれ、ふくれ、はがれが多数見られることから塗替塗装が必要と判断した。

今回の対応として、これら塗膜不良部を電動工具等により除去し(3種ケレン(A))、超厚膜エポキシ樹脂塗装により塗替塗装を行った。

次回、超厚膜エポキシ樹脂塗装面の塗替塗装は10年経過後を予定している。今回の塗替塗装により、部分的に塗装面厚さが増しており、これ以上の重ね塗りを行うと、われやはがれの発生が多くなる恐れもあることから、次回塗装時は2種ケレンを行い、旧塗膜を全て除去した後に塗替塗装を行うことを検討する。

(1) ガラスフレック塗装

ガラスフレック塗装面は、インピーダンス測定値が5年経過後と比較し10年経過後の今回は悪化しているものの、10年経過後も硬度は良好に保たれており、外観的にも、局所的な損傷・発錆はあるが状態は良好であることから、今回の塗替塗装の必要性は無いと判断し、塗替塗装はさらに10年経過後とした。

主ゲートは、次回扉体引き上げを5年経過後に予定(扉体修繕のため)しているので、その時に超厚膜エポキシ樹脂塗装部、ガラスフレック塗装部とも塗装面の調査を行うものとし、必要に応じて補修塗装を行うものとする。

4. むすび

- ・超厚膜エポキシ樹脂塗装を採用することで、維持管理費のコスト縮減が図れた。
- ・今後も塗装調査を継続して行うことでデータを蓄積し、機械設備の適切な維持管理を行うことが重要である。
- ・加古川大堰は平成元年本湛水を開始し、まもなく30年が経過する。今後、永続的に設備の維持管理を行っていくうえで、扉体の塗替塗装、開閉装置等の機器更新や機械設備の点検整備は重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省：機械工事塗装要領(案)・同解説
- 2) ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・設備計画マニュアル編)

# ビワマスを対象とした魚道の設置効果について

岩崎 善之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>滋賀県 長浜土木事務所 河川砂防課 (〒526-0036滋賀県長浜市平方町1152-2)

琵琶湖の固有種として知られているビワマスは、琵琶湖と流入河川の間を行き来し、10月から11月にかけて流入河川で産卵する。一級河川天野川においても、下流域ではビワマスの遡上が確認されているものの、床固め等の河川横断構造物が遡上の支障となっており、ビワマス等が遡上できる川づくりが求められている。

滋賀県長浜土木事務所では、2011年から実施している米原市天野川ビワマス遡上プロジェクトの一環として、天野川のビワマスの遡上が困難な河川構造物に魚道を設置している。本報告は、魚道の設計内容と遡上調査の結果から、魚道の設置効果について検証したものである。

キーワード ビワマス, 魚道, 設計, 遡上調査

## 1. はじめに

ビワマス(琵琶鱒, 学名: *Oncorhynchus masou rhodurus*, 英: Biwa trout, 図-1)は、サケ目サケ科に属するヤマメ亜種の淡水魚で琵琶湖の固有種である。産卵期には大雨の日に群れをなして河川を遡上することから、アメノウオ(雨の魚, 鮭)ともよばれる。

天野川は、滋賀県北部の米原市中央部を横断し琵琶湖に流入する幹線流路延長19.0km, 流域面積111.6km<sup>2</sup>の淀川水系の一級河川である。天野川には、河川横断構造物として、落差工・取水工・築等が20数か所存在しており、そのうち、数か所は65~170cmの落差が存在する。

2011年に実施した天野川の環境調査<sup>1)</sup>の結果を表-1に示す。河口付近(米原市世継~上多良付近)ではビワマスを含む20種の魚類が確認されている。しかしながら、中流域(米原市醒ヶ井~一色), 上流域(米原市長岡~柏原)においては、確認種数はそれぞれ12種, 10種と減少しており、遡上魚であるアユ・ビワマスは確認されていない。天野川においては、過去にビワマスが遡上していた記録があるが、現在確認されていないのは、河川横断構造物が整備されたことにより河川の縦断的連続性が断たれ、遡上が困難になったことが原因と考えられる。



図-1 産卵期に琵琶湖北部の川に遡上したビワマス雄(上)とビワマス雌(下)

## 2. ビワマスプロジェクト

### (1) プロジェクトの概要

魚類の遡上の支障となっていた築(1.7km地点)が、2011年3月に撤去されたことを契機に、ビワマスを天野川に遡上させることを目的とした「米原市天野川ビワマス遡上プロジェクト」(以下、「ビワマスプロジェクト」と記す。)が米原市主体で発足した。プロジェクトのメンバーは米原市と県の担当機関のほか、漁業組合、土地改良区、商工会等の関係機関から構成されており、「天野川にビワマスが遡上し、繁殖できる環境をつくる(天野川丹生川合流点までのビワマスの遡上)」および「市民とともに、ビワマスを活かしたまちづくりを展開する」の2つを基本目標としている<sup>2)</sup>。

表-1 2011年天野川環境調査結果(魚類)

No.	種名	確認時期		確認個体数			合計
		6月	10月	下流域 世継~上多良	中流域 醒ヶ井~一色	上流域 長岡~柏原	
1	スナヤツメ	●		0		0	1
2	ヨイ(鱒首品種)	●	●	(3)	(12)	0	(15)
3	キンブナ	●	●	0	6	0	6
	フナ属	●	●	(15)	0	0	(15)
4	アラホテ	●		0	0	1	1
5	カネヒラ	●	●	3	0	0	3
6	ハス	●		2(9)	0	0	2(9)
7	オйкаワ	●	●	23(70)	24(32)	3	47(102)
8	カワムツ	●	●	30(8)	129(75)	71(50)	230(133)
9	ヌマムツ	●		0	2	0	2
10	アブラハヤ	●	●	39	1	0	40
11	ビワヒガイ	●		10	0	1	11
12	カマツカ	●	●	64(1)	24(1)	2	90(2)
13	ニゴイ	●		(1)	0	0	(1)
14	ナマス	●	●	0	0	1	1
15	アカザ	●		0	0	1	1
16	アユ	●	●	147(615)	0	0	147(615)
17	ニジマス	●		0	1	0	1
18	ビワマス	●	●	(1)	0	0	(1)
19	メダカ	●		1	0	0	1
20	ウツセミカジカ(琵琶湖型)	●	●	3	0	0	3
21	ブルーギル	●		4(1)	0	13	17(1)
22	オクチバス	●	●	12(13)	1	0	13(13)
23	ドンコ	●	●	4	12	4	20
24	ウキヨリ	●	●	28	0	0	28
25	トウヨシノボリ(型不明)	●	●	82(172)	0	0	82(172)
26	カワヨシノボリ	●	●	0	23(8)	38(10)	61(18)
27	ヌマチチブ	●	●	7(3)	0	0	7(3)
計	27種	25種	17種	20種	12種	10種	27種

※( )は目視数

(2) これまでの取り組み

プロジェクトでは各関係機関が連携し、これまでビワマスのふ化実験・稚魚放流イベント、シンポジウムの開催等、ビワマスの遡上や天野川の実態についての情報発信を行ってきた。また2012年から2013年には、市民とともに鋼製の簡易魚道(図-2)の設置を行った。

長浜土木事務所は河川管理者として、河川の縦断的連続性を回復することを目的に参加し、ビワマスを対象とした魚道を設置することとなった。対象箇所は、ビワマスの遡上が困難とされる河川構造物のうち、落差高の大きい下中川井堰、大王寺井堰、蒲ヶ原井堰、西代井堰、上川原井堰の5箇所(以下、A~E地点と記す。)としている。2012年度から毎年1箇所ずつ下流側から設置を行っており、2016年度末に全5箇所のコンクリート製の棚田式魚道の設置が完了した(図-3)。



図-2 簡易魚道

3. 魚道設計

長浜土木事務所において設置する魚道を検討するにあたり、対象となるビワマスの行動特性、現場条件等を勘案し、以下のとおり魚道設計<sup>3)</sup>を行った。

(1) 魚道設計諸元

魚道機能の水理的検討に当たっては、遡上の対象となる魚種の行動特性を把握する必要がある。特に遡上機能を計算によって事前確認するために、魚種の体長、体高、突進速度を把握する必要がありその検討を行った。

表-2に設計条件を示す。ビワマスの成熟年齢(成魚)における体長は概ね30~60cm程度であり、過去に天野川河口付近において60cm程度のビワマスの遡上を確認されていることから、体長は60cmとした。体高は類似種のヤマメの体高比3.9を参考にし、 $60 \div 3.9 = 15.38\text{cm}$ となることから、15cmとした。最大遊泳力(突進速度)はヤマメが150~250cm/sとされているため、安全側を考慮し150cm/sとした。遊泳に必要な最小幅は、体長の1/2以上とされているため、 $60 \times 1/2 = 30\text{cm}$ 以上とする。遊泳に必要な最小水深は、体高の2倍程度と考え、 $15 \times 2 = 30\text{cm}$ 以上とした。休息場所として最小限必要な広さは、回転しながらの休息を想定すると体長の3倍程度と考え、長さ180cm( $60 \times 3$ )以上×幅180cm( $60 \times 3$ )以上を確保するものとした。

これらの条件を元に設計した魚道において、越流流速がビワマスの突進速度以下となることを確認することにより、魚道形状を決定した。



図-3 天野川に設置した棚田式魚道

表-2 魚道設計条件

項目	設計値	適用
体長	60cm	ビワマスの体長: 概ね30~60cm程度
体高	15cm	ヤマメの体高比: 3.9 60cm × 3.9
最大遊泳力 (=突進速度)	150cm/s	ヤマメの突進速度: 150~200cm/s
遊泳に必要とする 最小幅	30cm	体長の1/2 60cm × 1/2
遊泳に必要とする 最小水深	30cm	体高の2倍 15cm × 2
休息場所として 最小限必要な広さ	180cm × 180cm	体長の3倍 60cm × 3

(2) 魚道の形式

魚道の形式は、経済性、対象魚種（ビワマス）への順応性および学識経験者の意見等を総合的に勘案し、プールタイプ魚道の一つである扇形の柵田式魚道を採用した。柵田式魚道は、土砂が堆積しにくい構造であり、180°に展開しているため側方面からの遡上が可能であることが特徴として挙げられる。

図-4に2015年にD地点に設置した柵田式魚道の平面図・横断図を示す。落差高と水叩き部の規模を考慮し、3段の隔壁を並べた形状とした。魚道の設置位置は河川の中心線上とし、兩岸から遡上したビワマスが魚道を見つかることができるよう配慮した。また、魚道直下の砂州を撤去することにより、滞筋の確保を図った。なお、護床ブロックの下流部において40cm程度の落差があったため、袋詰め玉石を設置することによりこれを解消した。

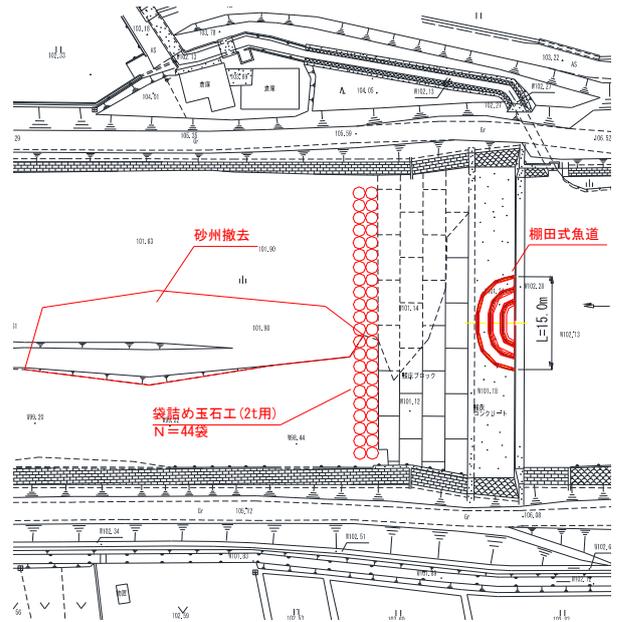
4. 遡上調査

魚道の設置効果の検証のため、ビワマスプロジェクトの推進のために設置された市民団体である「米原市ビワマス倶楽部」により、ビワマスの遡上調査が実施された。調査方法および調査結果を以下に記す。

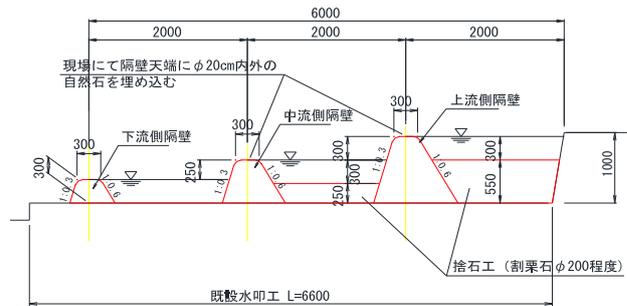
(1) 調査方法

調査は2015年および2016年のビワマスの遡上期間（10月～11月）に実施された。対象区間は天野川の河口から丹生川との合流地点までの約7.5kmとした。A～E地点の5箇所を境とした各区分において、調査期間内に発見されたビワマスの死骸を雄・雌ごとに個体数を調査し、各個体の体長を計測した。また、雌の個体については、腹腔内の状態を確認することにより産卵状況を調査した。

なお、2015年の調査期間においては、A・B・C地点に柵田式魚道、D・E地点に簡易魚道が設置されており、2016年の調査期間においては、A・B・C・D地点に柵田式魚道、E地点に簡易魚道が設置されていた。



(a) 平面図



(b) 横断図

図-4 柵田式魚道 平面図・横断図 (D地点, 2015年度施工)

(2) 調査結果

調査結果を図-5に示す。調査期間内に確認されたビワマスは2015年および2016年調査ともに計26尾であった。最も多くの個体数が確認された区間は、最上流部の柵田式魚道の上流区間（2015年調査においてはC～D地点間、2016年調査においてはD～E地点間）であったため、設置した柵田式魚道が機能を発揮しているものと考えられる。また、2015年調査においては、簡易魚道が設置されていたD地点の上流区間においても2尾のビワマスが発見されたことから、簡易魚道についてもビワマスの遡上が可能であったと判断できる。

雌の個体の産卵状況を調べたところ、産卵済みの個体数は、2015年調査においては16尾中9尾、2016年調査においては15尾中8尾であった。最上流部の柵田式魚道の上流区間においても産卵済みの個体が確認されたため、柵田式魚道を設置した区間がビワマスの産卵域となっているものと考えられる。



図-5 ビワマス遡上調査結果



図-6 魚道を遡上するビワマス (A地点, 2013年10月)

## 5. 結論

滋賀県長浜土木事務所においては、ビワマスプロジェクトの一環として、2012年度からビワマスの遡上が困難とされる天野川の河川構造物にコンクリート製の棚田式魚道の設置を進めてきた。遡上調査の結果、魚道を設置した箇所の上流部において多くのビワマスが確認され、魚道の設置がビワマスの遡上に一定の効果をもたらしたことが示された。また、2013年に米原市職員がA地点の棚田式魚道を観察した際には、実際に魚道を遡上するビワマス(図-6)が確認された。

なお、2016年度末にE地点において5基目の棚田式魚道が完成したことにより、プロジェクトにおいてビワマスの遡上目標地点とされていた丹生川合流点までの縦断的連続性が確保できるものと考えられる。

今回のプロジェクトは、多くの地元住民がビワマス・魚道に興味をもち、河川に足を運んでいただくきっかけとなったと考えられる。今回の取組を機に地元間のつながりの強化や河川愛護に取り組むことができる環境づくりを進めていきたい。河川環境の整備は河川管理者だけで取り組みがちであるが、本プロジェクトのように関係機関と連携し市民との協働で川づくりを実施していくことが重要であると考えられる。

**謝辞:** 本報告をまとめるにあたり、米原市環境保全課をはじめとした米原市天野川ビワマス遡上プロジェクトの各関係機関に資料提供をいただいた。記して感謝致します。

## 参考文献

- 1)平成22年度 第605-4号 天野川単独河川改良調査業務委託
- 2) 米原市天野川ビワマス遡上プロジェクト会議(平成24年3月): 米原市天野川ビワマス遡上プロジェクト基本計画
- 3)平成23年度 第62-15号 天野川みずべみらい再生(河川環境保全)設計業務委託



II. オープンケーソン工法の施工について

1. オープンケーソン工法の施工手順

オープンケーソン工法とは、地上で作ったコンクリートの函（ケーソン）を地下に沈め縦穴形状の空間を作る工法である。

ここで、オープンケーソン工法の施工手順について説明する。

ケーソンを圧入するため圧入時の反力となるグラウンドアンカーを設置し、ケーソンを沈下させるために刃口金物を設置する。

函（ケーソン）を鉄筋とコンクリートで作成し、コンクリートの強度発現後、油圧ジャッキを用いて、グラウンドアンカーから反力を取りケーソンを圧入する。

圧入時には、ケーソンの中をクラムシェルバケットで掘削し、ケーソンを沈設していく。

当ケーソンは、深さ 40m と深く、地下水位も高いことから、ボイリングや盤ぶくれを防止するため、水中コンクリートを打設するまでの間、函内は周辺の地下水位と同じ高さまで水を張った状態で施工を行う。（図-2, 3）

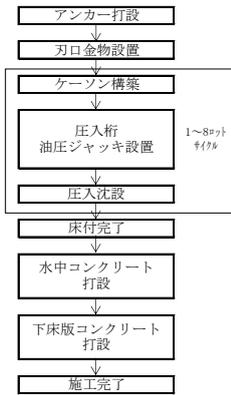


図-2 オープンケーソン工法施工フロー

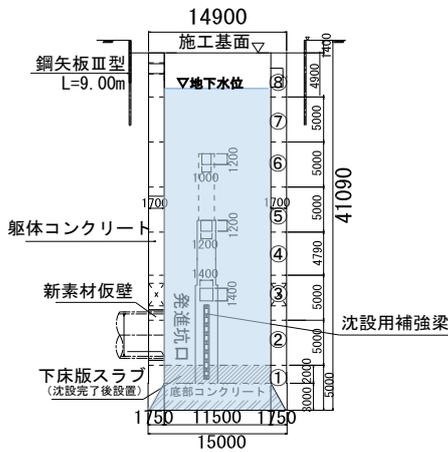


図-3 発進立坑と水位関係

また、本現場では、地上より 20m 以上が N 値 50 以上の砂礫を主体とした硬質地盤となっており、ケーソン沈設が困難となる事が予想されていた為、ケーソン施工前に予め刃口金物直下部を砂に置換える先行削孔砂置換工法が採用されている。

2. 実際の施工時の状況について

水を張った状態で施工を行うため、水中の掘削状況は

目視出来ない条件での施工となる。

ケーソン躯体内外の地下水位差に注意してクラムシェルにて水中掘削する。水深も深い為、目視確認が不可能で、オペレーターの熟練した技術が必要となる。

更に掘削時は、クラムシェルバケットで躯体壁を傷つけないように木材で養生する等の工夫が必要であった。

先行削孔砂置換工法を採用しているが、GL-25m 以下に土質柱状図に示されていない強固な硬質粘土層が出現したため、沈設出来なくなり、粘土盤をほぐす補助工法（突き矢）を併用して、掘削・沈設する必要があった。

（写真-1, 2, 3, 4、図-4）



写真-1 掘削状況全景



写真-2 水中掘削状況



写真-3 硬質粘性土



写真-4 突き矢

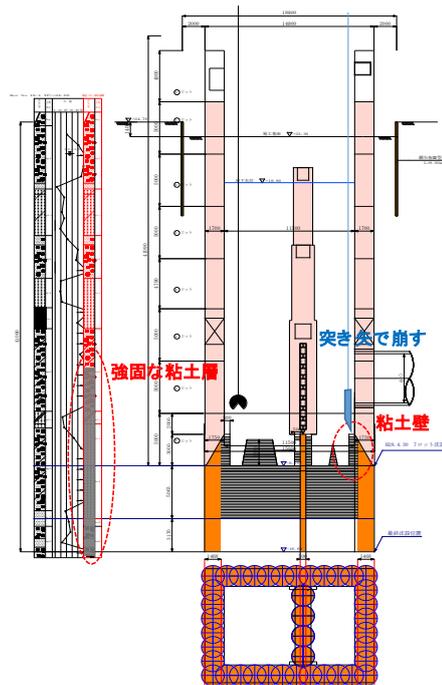


図-4 硬質地盤掘削イメージ図

また水中掘削土は高含水のため、そのままではダンプトラックによる運搬ができない。更に当初の処分地での受入は期間と土質が理由で事前に断られており、場内が狭隘で掘削土砂の抜気ヤードが確保出来ない為、一時水槽に預け、その中でセメント改良を行い改良土としてダンプトラックで民間施設へ運搬することで対応した。

躯体では、品質確保に寄与すべく①水平部の打継部型枠にもセメントペースト流出防止策②外防水③コンクリート養生時のパイプクーリングによる温度ひび割れの発生の抑制を実施している。



写真-5 パイプクーリング状況

### 3. 水中コンクリート打設～揚水時について

ケーソンの沈設が完了すると、底部を水中コンクリートで閉塞し、水や土砂の底部からの噴出を防止する。水中コンクリート打設前には、刃口と水中打設したコンクリートの密着性を向上させるため、潜水土による刃口付近の付着土清掃及び止水シール材の設置を行う。

しかし立坑内の泥水は、高分子混合によりフロック化し、沈降させる事ができるが、夏場の施工が原因するためかコケが発生し水が緑色になり、更に水深が35mもある為、濁度と暗さで刃口付近の水中の視界は1mも無かった。

水中コンクリートは、設計で指定されている水中不分離性コンクリートを使用した。これは水に溶けにくく、通常のコンクリートよりも粘性が高い為、流動速度が遅くなり、施工性が極めて低くなる傾向が伺えた。360m<sup>3</sup>の実質打設時間は14時間を要した。(写真-6)



写真-6 水中コンクリート打設状況

その後、発進立坑内の水を揚水し、底版を施工するが、揚水中に立坑内へ地下水が流入してきていることが判明した。

### Ⅲ. 今回事象の要因分析

#### 1. 水中コンクリートで完全止水が困難な要因について

水中コンクリートで完全止水が出来なかった要因について、下記の2点が考えられる。

- ① 第1ロッド部は沈設するため刃口金物が先端にあり、ケーソンも沈設させやすいように小刀の刃先のような形状となっている。底部コンクリート打設時にケーソンの躯体が円形であれば角が無いためスライムが残りにくいですが、矩形であるが為、コンクリートに押されたスライムが四隅に追い込まれ、ハンチ形状で矩形の場合、四隅が折れているため上手く抜けきれず隅角部に留ったと考えられる。この部分が弱点となり立坑内の揚水時に生じた立坑内外の水頭差でスライム混入部に水みちが形成された。(図-5)

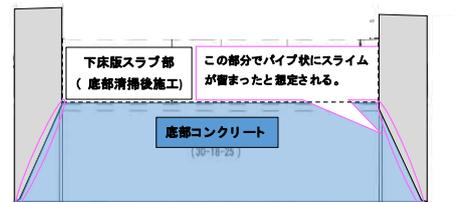


図-5 底部スライム滞留想定図

- ② 先行削孔砂置替工は全回転工法の機械により施工している（ケーシング径直径 2.0m）。当然であるが、躯体壁厚（1.7m）より大きい為、壁の外側は砂に置き換わっている部分（躯体外側砂置換部）が存在することが水みちを形成しやすい要因だと考えられる。

(図-6)

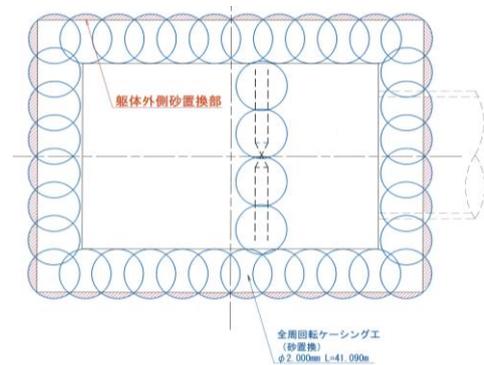


図-6 先行削孔砂置替工施工位置平面図

IV. 対策について

1. 現地における対策工

このまま立坑内の揚水作業を継続すると、立坑内への地下水の流入に伴い、周辺地盤の沈下や崩壊をまねく危険性があり、止水対策をまず行い、揚水作業を再開する事とした。

検討の結果、坑内水を滞水させた状態で、長期耐久型かつ強度発現型の材料を用いた薬液注入工法を立坑底部周辺に施した。

潜水士による漏水箇所確認を行ったが、水がコケで緑色のため水中内の目視確認が出来ない。また、砂の堆積もあり、手触りで漏水箇所を見つけることは困難であった。よってスライムが残ってしまった事が予想される刃口金物周辺部を中心に立坑底部コンクリート直下に薬液注入を実施し、毎分当りの地下水の流入量を観測しながら、止水の効果の確認を行った。

薬液注入を施した結果一定の止水効果は見られたが、揚水作業完了後、突発的な再流入の危険性が残り、流入量を時間毎に確認しトラブル発生後即座に止水対応が出来るよう薬液注入設備を待機させ、慎重に揚水作業を行った。

揚水完了後、下床版スラブ鉄筋組立時の止水対策として底部コンクリート天端部全面に鉄板を配置し、隅間にモルタルを充填し突発的な水の流入を防止した。

(写真-7,8)



写真-7 立坑底部周囲薬液注入施工状況



写真-8 立坑底部鉄板補強状況

2. 施工時における創意工夫

ケーソン工事は水中掘削による土砂の汚れが壁面に残り、壁面清掃を行う必要がある。通常は揚水完了後足場組立を行うが、この発進立坑は 35m 程度の足場が必要となり、組立及び解体の作業に費やす工程やコスト面で問題がある。

水の浮力に着目し、発泡スチロールにより浮き架台を作り、壁の清掃、クラック調査、クラック補修を揚水作

業と同時に出来るよう工夫した。また昇降設備を吊り階段として予め底部まで先行設置した事で水面がどの高さでも地上へ上がれる状態にした。(写真-9,10)



写真-9 浮き架台施工状況



写真-10 浮き足場・昇降設備

V. まとめ

今回、オープンケーソン工法で施工し、結果的に立坑内に水が流入してきたことは事実であるが、設計ミスなのか、施工不良なのかは判断が難しいところである。

オープンケーソン工法の事例について、圧入ケーソンの専門業者における H24 年までの実績を確認したところ全部で 61 件実績があった。そのうち今回施工と同じ形の矩形は 14 件、一番オーソドックスな形状は円形の 41 件であり、沈設長はいずれも 40m 以上であった。

当初設計は、経済性が優先され、水中コンクリートで底部コンクリートを打設し止水を行い、下床版コンクリートを打設する計画であったが、結果的に水中コンクリートで止水出来ず、止水対策を講じる必要があった。

周辺を考慮しなくても良い環境であれば、ディープウェル等で水位を低下させ底版コンクリートを打設することは可能だが、日交通量 4 万台を超える国道 9 号に面し、市街地の地盤沈下のリスクを考慮するとそれも不可能である。

当初設計では、計算上、止水対策をする必要が無いと判断している。

では、施工不良かと言うと、コンクリート構造物の品質コンテストで表彰されていることから出来映えも良い。また、水中コンクリート打設も適切な手順で施工されており施工不良とも言えない。

では今回の事象は何故起こったのか検証してみた。

要因を探るに当たり、ポイントは 2 点考えられる。

1 点目は打設方法で、通常的水中コンクリートの打設方法はトレミー管を打設深さまで配管しコンクリートポンプ車にて打設を行う。トレミー管を通過したコンクリートは打設位置で円状に拡がる為、その拡がり重なるようにトレミー管を平面的に配置した。(図-8)

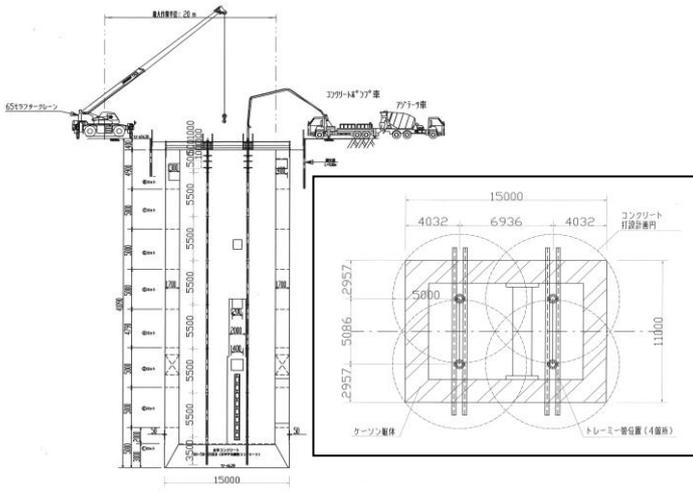


図-8 水中コンクリート打設計画図

しかし今回のケーソンの形状が矩形の為、刃口金物周辺の四隅へ底部コンクリートが十分に入りづらかったと想定される。

2 点目は水中コンクリート材料の性質である。今回採用したのは水中不分離性コンクリートであったため、通常の水中コンクリートであれば水中でセメントが溶け出しスライムと混ざりやすく一定の強度が発現するが、水中不分離性コンクリートの場合は函（ケーソン）四隅に残されたスライムと馴染みにくかったと考える。打ち重ねの過程の中で逃げ切れ無かったスライムが留まり、十分にケーソン刃口金物周辺へのコンクリート充填が出来なかった。

これら2点の要因に対する改善案を次に示す。

矩形の場合、水中不分離性では無く通常の水中コンクリートを使用する。

ケーソン躯体構築段階で、予めケーソン先端の刃口部分にコンクリート打設用のパイプを埋め込んでおき、水中コンクリート打設時にこのパイプを利用し、間詰め充填用コンクリートを四隅に充填する。この設備を取り入れることで、ケーソン矩形の弱点となる四隅に対し、確実にコンクリートが充填できる。(図-9)

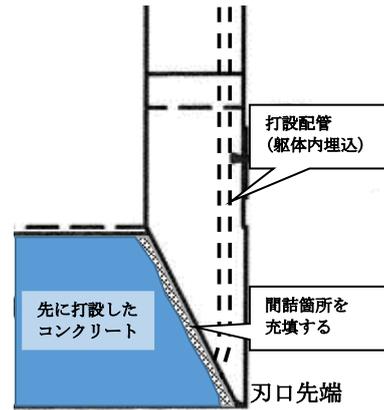


図-9 水中コンクリート刃口金物  
周辺四隅の打設イメージ

今回は、オープンケーソン施工時の現場施工における目に見えない世界における工事の問題点及び改善策について整理してみたが、実際今まで施工実績が多数あるにも関わらず、問題点が明るみになっている文献はほとんど存在しないと思う。やはり各企業において、現場で苦労したことは次の現場へ繋がる財産であるからだ。今回の発表により他の企業と財産を共有することになるが、この報告によって、今後同様の事象を繰り返すことなく、オープンケーソン工法によるコンクリート構造物の品質確保に寄与されることを祈念する次第である。

今回、本論文の作成に協力していただいた本対象工事の施工業者である株式会社フジタに敬意を表す。

# 主要渋滞箇所 六枚橋交差点改良工事について ～制約事項とその方策～

北脇 徹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>滋賀県 東近江土木事務所 道路計画課 (〒527-8511滋賀県東近江市緑町7番23号)

県道近江八幡竜王線と国道8号が交差する六枚橋交差点は、交通集中が著しく、滋賀県渋滞対策協議会において「地域の主要渋滞箇所」に指定されていた。そこで、右折待ち車両により生じる渋滞を解消するため交差点改良工事（右折レーン設置）を実施した。

本工事では、道路下部に残置されていた旧河川ボックスの閉塞が必要であったが、住宅地であるため借地ができない現場条件であり、道路区域外に迂回路を設置することができなかった。

本稿では、このような状況下において、限られたスペースの中で道路切り廻しにより工事を施工した事例や、その他の制約事項について紹介する。

キーワード 交差点改良工事、道路切り廻し、主要渋滞箇所

## 1. はじめに

県道近江八幡竜王線の六枚橋交差点（以下 本工事箇所）については、近江八幡市中心市街地部に向かい県道近江八幡竜王線、土山蒲生近江八幡線、下羽田市辺線を走行する車両が集中する箇所に位置し、特に通勤時間帯を中心に交通集中が著しいが、交差点部は片側1車線のみで右折レーンが設置されていないため、右折待ちの車両により渋滞が発生しやすい状況にあった（図-1、写真-1）。



写真-1 右折待ち車両による渋滞



図-1 六枚橋交差点周辺主要道路

2012年度に「地域の主要渋滞箇所」に指定されており、渋滞緩和を目的とした右折レーン設置による交差点改良工事が急務とされていた。また、2012年度より本工事箇所地下を流れる三明川の切替え工事を行っており（2014年度河川切替え完了）、交差点改良工事に合わせて道路

下部の旧河川ボックスを閉塞する必要があった。さらに、本工事箇所は、一定数の歩行者・自転車の通行があり、区域内にバス停も設置されているが、歩道が設置されておらず、路肩も狭隘であり、信号・バス待ちをするスペースも十分に確保されていなかった。そのため、歩行者・自転車の安全性向上のため、歩道設置が求められていた。

本工事箇所では2016年3月より県道部の工事に着工し、2017年3月に完了した。本稿では、道路切り廻しにより交差点改良工事・旧河川ボックス閉塞工事を行った概要や、関係機関との調整など工事施工上制約となった事項とそれに対する方策を報告するとともに、今後の事業見直しについて述べる。

## 2. 旧三明川閉塞と道路切り廻し

### (1) 三明川河川改修事業について

三明川は、近江八幡市と東近江市の行政区境界を上流端とし、近江八幡市中心市街地方面へと流下する都市河川であるが、国道8号横断部において急激に河道が折れ曲がっており、当該箇所断面も小さく、河積拡幅および法線是正工事が求められていた。

2012年度より国道8号横断部の工事に着手し、2014年度に河川切替え・工事が完了している。

旧河川部は廃川となっており流末が確保されていないが、閉塞・撤去工が行われておらずボックスが残置されている状況であった(写真-2)。雨水が排水されずボックス内に溜まってしまっており、閉塞・撤去が必要であるが、河川改修事業との調整の結果、本工事にて閉塞作業を行うこととなった(図-2)。



写真-2 旧三明川閉塞箇所 (本工事閉塞箇所①)



図-2 三明川切廻し工事図

### (2) 道路切り廻し方法の検討

県道下部の旧三明川を閉塞・撤去するにあたり、工事施工中は一般車両交通を現道区域外へ切り廻すこととしたいが、本工事箇所は現道に沿って両側ともに住家や工場が隣接しているため、借地を行い迂回路を設置することができない状況にあった。また、一定数の通行量があり(2015年度交通センサス8,297台/12時間・上下)通行止めによる施工も困難であった。そのため、以下の方針のもと用地買収範囲内で迂回路を設置し、道路切り廻し

により作業を行うこととし、図-3, 4のとおり施工計画を立てた。

### ●旧三明川閉塞・撤去方針

- ①現道を一般車両通行部とし、現道外箇所の閉塞作業を行う。
- ②一般車両通行部を現道外の部分に切り廻し、現道下部の閉塞作業を行う。

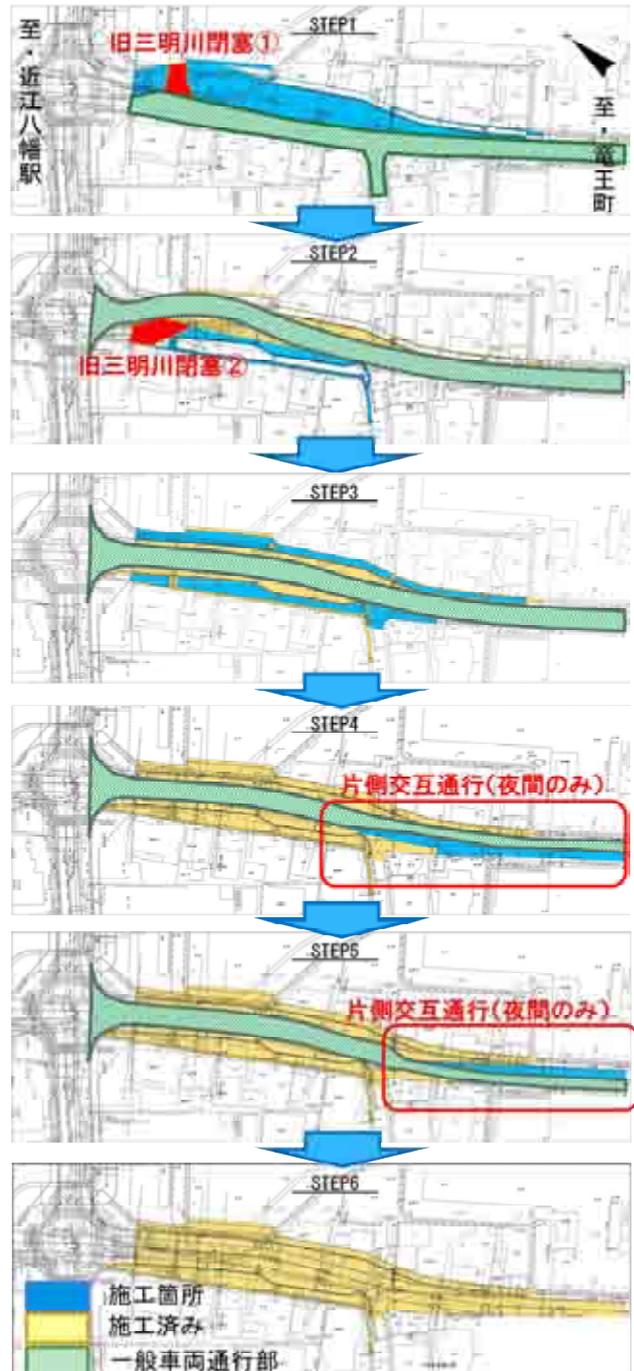


図-3 道路切り廻しSTEP図

### ●道路切り廻し施工計画

- (STEP1) 2016年3月～9月下旬  
道路拡幅部を基層まで完成させ、道路北東側の構造物

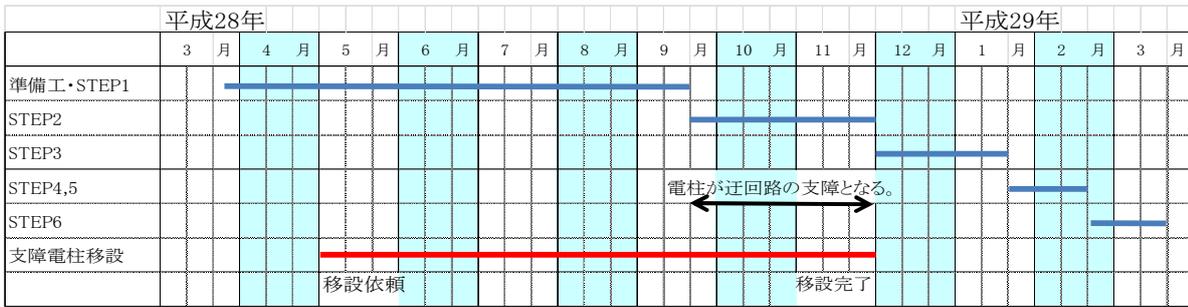


図-4 道路切り廻し工程表

を設置する。また、閉塞箇所①・②間に鋼矢板を打込み、閉塞箇所①にかかる閉塞作業を行う。

(STEP2) 2016年9月下旬～11月下旬

一般車両通行部をSTEP1で完成した拡幅部に切替え、道路南西側の構造物を設置し、現道部の舗装工を行う。また、現道下部の掘削時に合わせて、閉塞箇所②にかかる閉塞作業を行う。

(STEP3) 2016年12月上旬～2017年1月下旬

歩道舗装工および未施工の構造物工を実施する。

(STEP4・STEP5) 2017年1月下旬～2月下旬

本工事区間終点側の車道舗装工を、車道中央を境界として片側ずつ実施する。施工時は片側交互通行とする必要があるが、本工事箇所は通行量が多く日中の交通規制が困難であるため、夜間施工とする。

(STEP6) 2017年3月

車道部全体の表層工・区画線工を行い工事完了。

### 3. 支障構造物移設と迂回路の調整

#### (1) 各占有者との調整

本工事箇所北東側の道路拡幅箇所については用地買収により発生した残地が存在し、水道管の延伸（引込み）が必要であったが、道路拡幅後は引込み工事が困難になるため、本工事に合わせて引込み工事を行うこととなった。STEP2には迂回路が拡幅部に切り替わるため、近江八幡市上水道課と工程協議を行い、STEP1期間中に引込み工事を完了させることとした。

また、工事着工にあたり、支障電柱やそれに占有している信号ケーブルの移設が必要であり、2016年度早々に占有者である西日本電信電話株式会社（以下 NTT）に移設依頼を提出したが、NTT内での手続などに日数を要することから、移設完了時期が2016年11月末になることとなった。

#### (2) NTT電柱移設と迂回路設置方針の変更

NTT電柱移設が11月末抜柱完了となったことにより、STEP2の迂回路設置に関し、電柱を残置したまま施工せざるを得なくなり、電柱が障害となるため当初の施工計画では迂回路設置が不可能となった（図-5）。

そのため、STEP2迂回路設置方針の再検討を行い、支

障NTT電柱を残置したままで、電柱と構造物（集水桙・STEP1施工）間のスペースに迂回路を設置することとした。

当初計画では、迂回路は近江の道づくりルール「補助幹線道路 上位値」の車道幅員に準拠し、車道3.25mの2車線としていたが、電柱を残置したままでは電柱・構造物間の幅が狭く、路肩部を含め迂回路幅員を6.0mしか確保することができなかった（写真-3）。これより、6.0m幅の間に迂回路を設置できるように、車道幅員の見直しを行った。

前後区間の車道幅員を確認したところ、車道2.65m、路肩0.5mという状況であった。そこで、前後区間の幅員を鑑み、車道2.75mの2車線を採用し、可能な範囲で路肩幅員を確保することとした（図-6）。

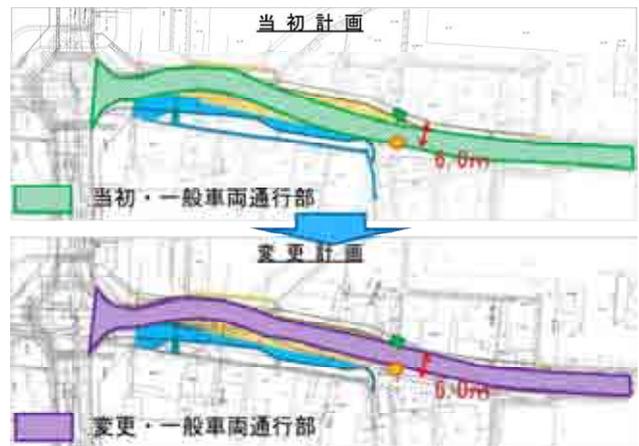


図-5 STEP2 迂回路設置方針の変更



図-6 迂回路横断面



写真-3 電柱残置部 STEP2 迂回路



写真-4 台風18号・冠水状況

#### 4. 地元要望の反映・関係機関協議

##### (1) 洪水対策に関する地元要望

全国初の大雨特別警報の発令に至った2013年9月の台風18号災害の際(図-7、写真4)には、県内多数の小河川が氾濫したが、三明川についても氾濫が起り。9月16日未明、本工事区間前後にわたって道路冠水が生じた。これにより県道近江八幡竜王線は9月16日6時頃から16時頃まで通行止めとなった。

この災害の経験から、近隣住民の水害に対する危機意識が高まっており、本工事の事業説明会において雨水排水に対する要望が多数寄せられた。

側溝・排水施設にかかる設計は、「道路隣接地の影響を受ける排水施設」として、降雨確率年数7年、降雨強度90mm/hで計算されており、隣接地の排水を受けることも想定して設計している旨を説明したが、鋭角に折れ曲がった既設水路へ流入させることとなっていた。そのため、台風18号級の降雨となった時に、鋭角部分で閉塞を起し反乱を招くのでは、という意見が出された。

この意見を受け、排水計画の見直しを行うこととした。既設水路へ流入させることになっていた箇所にて可変側溝を増工し、排水施設を全体的に直線的な形状にし既設水路の鋭角部分で閉塞が生じても排水が流下できるようにした(図-8)。



図-8 排水計画図

##### (2) 国道事務所施工工事との調整

六枚橋交差点は、国道8号部分についても、右折レーンが設置されておらず交通渋滞が慢性化していたため、滋賀国道事務所にて交差点改良・右折レーン設置工事が実施された。

本工事と同時期の工事で、連続した工区であったため施工範囲・期間・すりつけ高など施工調整が必要であり、どちらかの工事に変更が生じるたびに協議を行い、状況にあわせて施工計画を変更する必要があった。

施工範囲について、本工事発注前の協議においては、国道部分の交差点改良工事が2016年度第一四半期に完了している予定であったため、本工事にてすりつけ部の車道舗装を行う方針で役割分担を決定していた。しかし、国道部分の交差点改良工事の完了時期が変更となり、本工事施工時にも工事中である工程となったため、すりつけ部の車道舗装の役割分担を変更し、国道・県道の境界まで互いの工事で行うこととなった(図-9)。

このように、工事施工にあたり現場条件に即した施工計画の変更が生じたが、その都度、国道事務所と互いに調整を図りながら方針の変更・決定を行った。

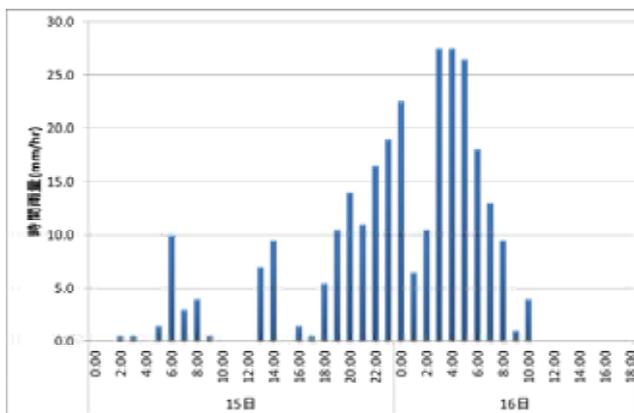


図-7 台風18号雨量観測データ (近江八幡)

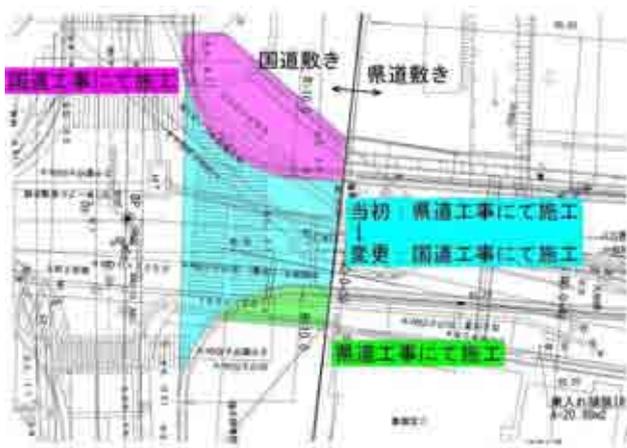


図-9 国・県工事施工分担



写真-5 工事完了・供用開始状況

## 5. まとめ

### (1) 2017年3月工事完了・供用開始

迂回路の切り廻しや夜間施工時の片側交互通行など一般車両の通行にも影響の出る工事であったが、大きな事故や苦情などもなく順調に工事を進めることができ、2017年3月に交差点改良工事を完了することができた(写真-5)。

右折レーン設置により、懸案事項であった右折待ち車両による渋滞が緩和され、通行車両の流動性を高めることができた。また、両側に歩道が整備されバス停で待っている歩行者の安全性を高めることができた。道路改良工事以外の内容についても、ごみステーション周辺環境の向上など周辺地域から出された要望に応えることができ、ゆたかな地域づくりに貢献できたのではないかと感じている。

### (2) おわりに

本事業は、工事施工にあたり調整すべき関係者が多く、他事業の影響により施工内容や工程に影響を及ぼすなど一筋縄ではいかない面があったが、各関係者との調整を通じて、申請・手続の手順など多くのことを勉強することができ、貴重な経験を積むことができた。

また、三明川切替えを含め、国道事務所との調整を開始してから、20年近くの歳月をかけ交差点改良工事の完成に至ったわけであるが、その最後を担当することができ、非常に幸運であったと感じている。

本事業および本稿作成にご尽力・ご協力いただいた全ての方に、この場を借りて深くお礼申し上げたい。

### 参考文献

- 1) 滋賀県土木交通部：台風18号に係る災害記録誌
- 2) 平成27年度 第A405-1号 近江八幡竜王線道路整備設計委託成果品
- 3) 平成27年度 第946号 道路交通情勢調査委託成果品

# 何故、第二阪和は事故無く開通できたのか？

妹尾 昂希<sup>1</sup>・永見 晃之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 妹尾 昂希 (〒573-0094大阪府枚方市南中振3-2-3)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 永見 晃之 (〒573-0094大阪府枚方市南中振3-2-3)

2017年4月1日に開通した「第二阪和国道」の建設工事では、工事の最盛期となった2016年度には最大40社を超える施工業者がひしめき安全管理が難しい現場環境であったにもかかわらず、同年度の工事事故措置は3件(軽微)と少なく、また、「もらい事故」についてもゼロ件であった。

本稿では、開通が迫り多数の工事が輻輳した状況で各受注者がどのような点を注視して対策や取り組みを行ったのか、また、それに携わる作業員の隅々までどのようにしてモチベーションを保持したかなどに着目して、意識調査などを通して分析を行った結果について報告するものである。

キーワード 安全管理、事故防止、コミュニケーション

## 1. 第二阪和国道の事業概要

第二阪和国道は、大阪と和歌山を結ぶ幹線道路であり、国道26号の慢性的な交通渋滞やそれによる都市機能の低下を解消することを目的とした約5.3kmの道路である。

2017年4月に地域高規格道路部の淡輪ランプ～平井ランプ(7.6km)が暫定2車線で完成し、事業区間が全線開通したことにより、国道26号の渋滞解消、沿線地域における緊急車両の走行時間の短縮、交通の信頼性の向上に寄与することが期待されている(図-1)。



図-1 開通区間平面図

## 2. 第二阪和国道の工事概要

今回の工事区間は、西側に約16,000台/日の交通をもった国道26号(現:府県道和歌山阪南線、以下

同様)と南海電鉄本線が並行し、東側には山をかかえ細長く狭い作業スペースのなかで最大42件の工事が輻輳する現場環境であった(図-2)。

このような状況で、土砂運搬等の交通管理や、各社輻輳する安全管理の難しい環境において事故無く工事を進めてきた。

- ・工事区間  
大阪府岬町淡輪地先～和歌山県平井地先
- ・工事延長  
約7.6km  
(土工部:5.9km、橋梁:0.8km、トンネル:0.9km)
- ・工事内容(2016年度実施工事件数)  
42件(改良20件、舗装9件、橋梁4件、トンネル2件、建築1件、機械1件、電気・通信4件、標識1件)



図-2 第二阪和国道の現場状況

### 3. 第二阪和国道の事故発生状況

図-3のとおり、浪速国道事務所における第二阪和国道の工事開始から供用（2012年度から2016年度）まで工事件数は増加を続け、全線供用を控えた2016年度には工事件数がピークをむかえた。一方で、事故件数は2014年度をピークに減少し、工事件数の最も多い2016年度に最小となっているほか、事故率（=事故件数/工事件数）についても、同様に2016年度が最小となっている。

そこで、開通をひかえ工事件数がピークを迎えるなか、いかにして各受注者が安全に関する取り組みを行い、第二阪和国道の開通を無事に迎えることができたのか、各受注者への意識調査により分析した。

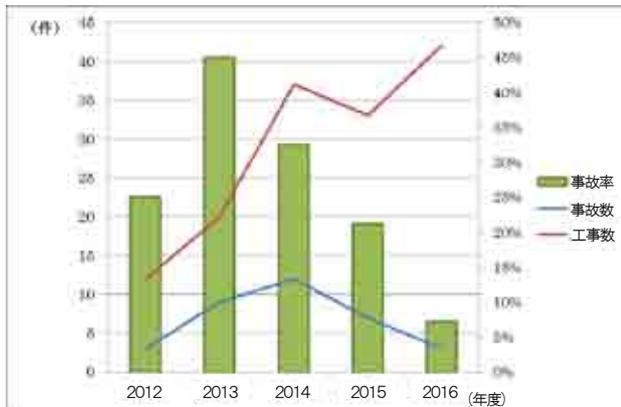


図-3 工事、事故件数の推移 (もらい事故、事故外含む)

### 4. 受注者の意識調査

今回の調査では第二阪和国道の開通を控え、工事が最も輻輳する状況でありながら事故が最も少なかった2016年度の受注者に対して工事安全確保に関するアンケートを実施し、安全に関する取り組みの内容をとりまとめ、なぜ工事件数が最も多いにもかかわらず事故件数が減少したのかを考察した。

○アンケート内容

(質問1) 安全管理において重視した項目について、以下から2点選択しその内容を記載

- ①資機材の充実
- ②作業環境の充実
- ③安全教育の充実
- ④安全巡視等の充実
- ⑤自工事内のコミュニケーションの充実
- ⑥他工事とのコミュニケーションの充実
- ⑦その他

(質問2) 現場でおきたヒヤリ・ハットの内容、およびその対策を記載

(質問3) 安全確保のために発注者に求めることを記載

### 5. 安全管理について重視した項目 (質問1)

(1) 集計結果

アンケート調査をした結果、37社から回答をいただき、回答の多い順に集計した結果、下記、図-4となった。

○安全管理において重視した項目について2点選択しその内容を記載

- ⑥他工事とのコミュニケーションの充実 39%
- ⑤自工事内のコミュニケーションの充実 24%
- ①資機材の充実 12%
- ③安全教育の充実 9%
- ④安全巡視等の充実 8%
- ②作業環境の充実 7%
- ⑦その他 1%

アンケートのうち特に回答の多かったのが「⑥他工事とのコミュニケーションの充実」、「⑤自工事内のコミュニケーションの充実」であり、この2つの項目で全体の約6割以上を占めていた。

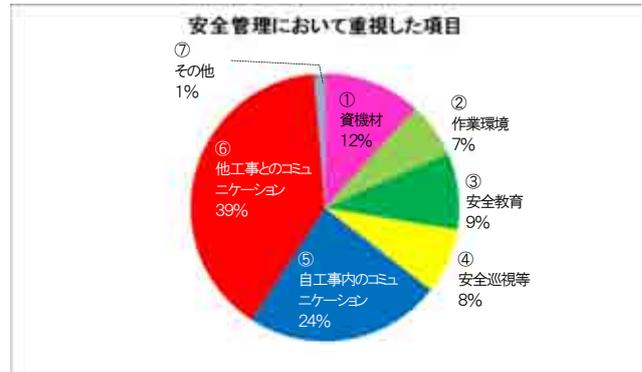


図-4 安全管理で重視した項目

(2) 受注者の取り組み内容

回答の多かった2つの項目について実際の取り組み内容を紹介します。

1) 『回答⑤ 自工事内のコミュニケーションの充実』の具体例

- ・ 工事を円滑に進め、かつ無事故で竣工するのに、一番大切な事が作業員とのコミュニケーションと考える。コミュニケーションを充実するためには、元請会社が指示ばかりするのではなく、作業員の意見も取り入れながら進めていく事が大事。

そのためには、作業員が何でも話ができる環境が必要になるため、日々、各作業員と仕事以外の話もし、各作業員の性格・行動を掴む様になっている。

また、現場で使用する安全用品に各作業員の意見を反映するなどし、コミュニケーションの充実を図った。

- ・ 作業員と日頃からの雑談を行うようにし、話しやす

い環境を作り、現場で感じたことや作業上の問題点など個々の作業員から聞くようにした。

その環境作りのために休憩所を工夫し、図-5のように作業員と職員が気軽にくつろいで雑談できる場所を確保した。



図-5 くつろげる休憩スペース

- ・ 朝礼時に危険箇所、危険作業と思われる内容についての繰返し周知と、近接する他工事危険箇所の伝達。都度の現場巡視時に注意や危険予知の一声掛けを行った。
- ・ 「声掛け運動」を実施する事により協力会社間で仲良くなり、お互いちょっとした言いにくい事でも注意しあえる様になった。
- ・ 新規入場業者は朝礼時に自己紹介を図-6のように行い、職長同士の連携を向上させ、月一回の協力業者合同自主パトロールを行い、お互いの意見を交換しあう機会を設けた。



図-6 新規参入業者の自己紹介

2) 『回答⑥ 他工事とのコミュニケーションの充実』の具体例

- ・ 元請職員および下請けの作業責任者ともども、別工事

の作業責任者との挨拶などのコミュニケーションを徹底した。

- ・ 作業員と日常より安全管理以外の部分においても意見交換・情報交換を行い、更には、他業者と出会った際には『一声掛け』として、挨拶や会話をするよう元請職員・下請業者ともに徹底した。
- ・ 関連他工事の作業内容、資機材の搬入予定を毎日FAXで相互確認するとともに、毎週、関連工事で工程調整会議（図-7）を実施し工程調整を図り安全作業エリアを確保した。
- ・ 前日に、各社の作業内容を相互確認し各社毎の作業範囲を決め、互いにロスの無いように調整した。
- ・ 頻繁に大幅な工事用走路の切替が必要であったため、関係の5工事にて図面を使用し随時打合せを行った。  
打合せの際には、安全対策等についても各社意見を出し合い、互いに納得のうえ工事を進めた。
- ・ 他業者との作業範囲区別、進入路の管理・確保、工事車両の通行時間、台数制限等を日々連絡しあった。
- ・ 隣接工事とは週間工程を共有し、また工事用道路の通行止め情報などをメール等で常に相互で確認しあうことにより互いに工事に支障のないように調整した。
- ・ 各関連工事会社とのように工程確認調整連絡を毎日行った。



図-7 関係工事との打合せ

これらの回答から、工事が輻輳し安全管理が難しい現場環境においても、日々の作業員とのコミュニケーションを通じた安全確保、また、隣接する関連工事とのコミュニケーションを通じた密な情報共有・調整等が、受注者にとって安全に工事を進めるうえで重要と認識されていることが分かった。

### 6. 工事現場でおきたヒヤリ・ハット（質問2）

2016年度の第二阪和国道の工事においては事故件数が非常に少ない状況で開通を迎えることができたが、事故につながる可能性のあるヒヤリ・ハットの発生事例やその対策についても調査を行った。その結果、どの受注者においても複数のヒヤリ・ハットの事例があり、そのたびに速やかに対策を行い、事故につながらないように様々な工夫をしていることが分かった。

その事例と対策について、以下に記載する。

#### 【事例①】

（事象）

機器を搬入時、1人の作業員が指を機器の下に入れたまま、他の作業員が機器を引きずろうとし指を挟みそうになった。

（対策）

重量物の下には指を入れないこと、また、動かす際には声を掛け合うことを周知徹底した。

#### 【事例②】

（事象）

工事用出入口から出る際、草で見えにくく、急に自転車が通行しヒヤリとした。

（対策）

すぐに工事用出入口付近の草刈りを行い、見通しを確保した。

#### 【事例③】

（事象）

工事用道路に隣接する土砂仮置き場内でダンプを誘導中、他工事のダンプが誤進入してき、危うく轢かれそうになった。

（対策）

工事用道路と土砂仮置き場の区分が明確になるよう蛍光色の誘導表示看板を設置した。

各受注者が、KY活動や日々のコミュニケーションを通じて作業員からヒヤリ・ハットの事例を聞き取る工夫をし、また、速やかに対策を講じている。

作業員にとって、実際に発生したヒヤリ・ハットは、元請会社からミスとも取られかねないため言いにくい事だと考えられる。しかしながら、「作業員が発言しやすい環境づくり」を各社が取り組んだ結果、速やかに対策

を行うことができ、それにより事故を防ぐことができたのは、まさしくコミュニケーションの重要性を示すものだと考えられる。

### 7. 受注者が発注者に求めること（質問3）

安全確保のために施工業者が発注者に求める事項について意見を求めたところ、以下のような回答が得られた。

#### 1. 適正な工期の確保・輻輳工事の解消

- ・工程管理だけでなく、安全管理にも十分に目をむけることができるだけの工期の確保
- ・積算工程よりも、さらにゆとりのある工期の設定
- ・余裕のある全体事業工程の確保による、輻輳工事の解消

#### 2. 受発注者間・受注者間のコミュニケーション

- ・受発注者間を交えた調整会議の充実
- ・地区毎に選出する幹事会社による工程・通路の統括管理の充実、およびそれに必要な経費の積算への反映

#### 3. 安全設備の標準仕様

- ・重機に設置するバックセンサーなどの有用な対策の義務化、およびそれに必要な積算への反映

#### 4. モチベーション向上

- ・建設監督官詰所単位での安全表彰
- ・合同パトロールの充実による全体の意識向上

適正な工期確保、および受発注者間・受注者間のコミュニケーションの充実について特に多くの意見が寄せられた他、安全設備の標準化やモチベーション向上策など有用な意見があり、今後、発注者としても積極的に検討する必要があるものと考えられる。

なお、今回の事業においては、発注者としてもコミュニケーションの充実に力点をおき取り組みを行ったところで、この内容を次章にて記述する。

### 8. 発注者の取り組み

今回の第二阪和国道事業においては、浪速国道事務所内で開催するプロジェクト・マネジメント会議(以下、PM会議)にて、発注者内での情報共有や事業進捗管理を行ったが、このPM会議を核とし、現場調整会議や受注者間調整などの受発注者間・受注者間コミュニケーションを図-8に示す体制で取り組んだ。

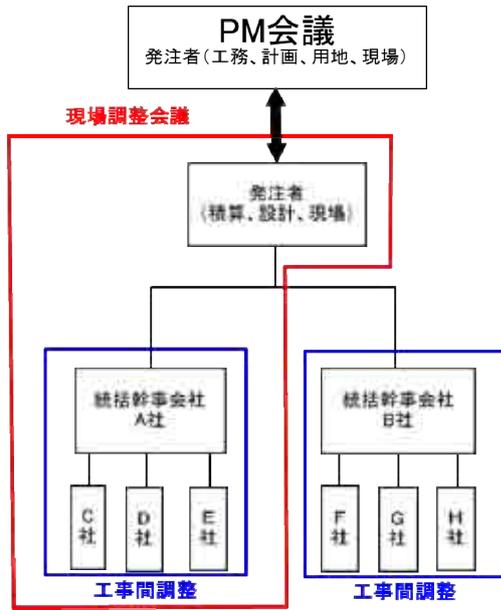


図-8 コミュニケーション体制



図-9 現場調整会議

これらの取り組みが効果を発揮し、工程調整の円滑化や技術課題・現場課題への対応の迅速化を図ることができ、その結果、目標時期までに安全に事業を完成させることができた。また、各受注者からも、これらの取り組みに対し評価を頂いたところである。ただし、幹事会社への負担については、今後、何らかの検討が必要と考えられる。

1. 現場調整会議（図-9）

開催頻度：2週間に1回

討議内容：工程調整・工事進捗における課題

参加者：受注者・・監理技術者等  
 発注者・・設計担当者  
 積算担当者  
 現場担当者

開催区分：工事エリア別に、5グループに分けて開催

その他：別途開催するPM会議と連携

2. 幹事会社による統括管理

- ・特に工事が輻輳するエリアを対象に、エリア毎の幹事会社を選出
- ・幹事会社により、エリア内の工程・走路の確保等の横断的調整を実施
- ・各工事の工程を集約した「重ね合わせ工程」を幹事会社がとりまとめ、これをもとに「1. 現場調整会議」で議論。

9. まとめ

これまでの結果から、最大工事件数が40件を超える輻輳した状況下においても無事完成を迎えることができたのは、各受注者における個々の取り組みへの努力はもとより、「受発注者間」「受注者間」「自工事内」における密なコミュニケーションが、意思疎通や互いの気遣いを生み出し、安全確保へのひとつの手法として極めて重要であることがあらためて分かった。

我々発注者としては、コミュニケーションのさらなる充実を念頭に「仕組みづくり」を強化するとともに、受注者からの意見をもとにモチベーション向上などの新たな取り組みにもチャレンジしていくべきと考える。

謝辞：アンケートへの協力を頂いた受注者様、および第二阪和国道事業に係わった全ての受注者様へ感謝します。

# 南海トラフ地震に対する防潮堤等の沈下対策について ～西宮市朝風町における取り組み～

田中 彦行<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 県土整備部 土木局 港湾課 (〒650-8567神戸市中央区下山手通5-10-1) .

近い将来発生が懸念される南海トラフ地震では、地震動による地盤の液状化を受け、防潮堤などが沈下し、防護機能が十分に果たされなくなることで、津波による甚大な浸水被害が想定されている。兵庫県では津波による浸水被害を軽減するべく、「津波防災インフラ整備計画」を平成27年6月に策定し、本計画に則り防潮堤等の沈下対策を実施している。本論文では、西宮市朝風町における沈下対策を事例に、沈下対策必要箇所の抽出から実施設計における対策工法決定までの取組みについて述べ、対策範囲の精度向上に関する提案についても述べるものとする。

キーワード 調査, 計画, 防災, 沈下対策

## 1. はじめに

近い将来発生が懸念される南海トラフ地震では、地震動による地盤の液状化を受け、防潮堤等が沈下し、防護機能が十分に果たされなくなることで、津波による甚大な浸水被害が想定されている(図-1)。

兵庫県では津波による浸水被害を軽減するため、「津波防災インフラ整備計画」を基に防潮堤等の沈下対策を実施している。本論文では「津波防災インフラ整備計画」の「重点整備地区」である西宮・今津地区の西宮市朝風町における沈下対策を事例に、沈下対策必要箇所の抽出から実施設計における対策工法決定までの取組みについて述べ、対策範囲決定の精度向上に関する提案についても述べるものとする。



図-1. 尼崎西宮芦屋港 津波浸水想定図

## 2. 西宮市朝風町における取り組み

### (1) 沈下対策必要箇所の抽出

沈下対策が必要な箇所を抽出するにあたり、学識者等で構成する兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画検討委員会(以下、「委員会」という)の助言を得ながら、簡易耐震診断システム(チャート式)及び動的液状化解析(FLIP解析)の2つの方法で検討を行った。

チャート式は、沿岸構造物を様々な条件でシミュレーションした変形量の算定結果をデータベース化しており、入力条件をデータベースに照合するだけで地震による変形量を簡易的に算定し、地震に対し危険性の高い施設を抽出することができる。

FLIP解析は、個々の防潮堤の形状・寸法や粒径、密度等詳細な土質条件を基に、2次元の変形状態を解析する手法である。また、チャート式より精度の高い沈下量が得られ、地盤や構造物の詳細な挙動、特に液状化現象を伴う場合の残留変位、残留応力を精度良く予測することができる。

チャート式及びFLIP解析を用い、沈下対策必要箇所の抽出を次の①～③の順により行った。

①近隣の既往ボーリングデータのN値等からチャート式により沈下量を算定する。沈下量が概ね1m以上あり、津波越流により背後に浸水被害が生じる施設を対象に抽出を行い、FLIP解析を行う。

②FLIP解析を用いて、近隣の既往ボーリングデータのN値から推計した液状化係数及び土質構成から、液状化による2次元の変形状態を解析する。委員会の助言を受け、FLIP解析により液状化の沈下量が概ね1m以上、水平変位が概ね1.5m以上、堤体傾斜角が概ね8°以上、部材断面力が全塑性である施設を抽出し、要対策箇所を決定する。

③要対策箇所について、現地のボーリング調査及び土質試験により設定した液状化係数及び土質構成によりFLIP解析を行い、精度の高い沈下量、水平変位等を算出し、必要な防潮堤高さや耐震の安全性に対する照査を行う。

耐震照査基準としては南海トラフ巨大地震に対する国の基準等が整備されていないため、委員会の助言や他府県の事例等を参考にし、以下のとおり兵庫県独自で照査基準値を決定している。

- i) 設計津波水位より低くならないこと
- ii) 水平変位が 150cm 以下
- iii) 堤体傾斜角が 8° 以下
- iv) 主要部材及び控え工に発生するモーメントが全塑性モーメント以下

西宮市朝風町では、②の FLIP 解析により要対策箇所の施設延長が 760m であることが判明し、その区間を対象に現地ボーリング調査を実施し、③の FLIP 解析による照査を行ったところ、約 608mの区間で沈下対策が必要であることがわかった。(図-2)

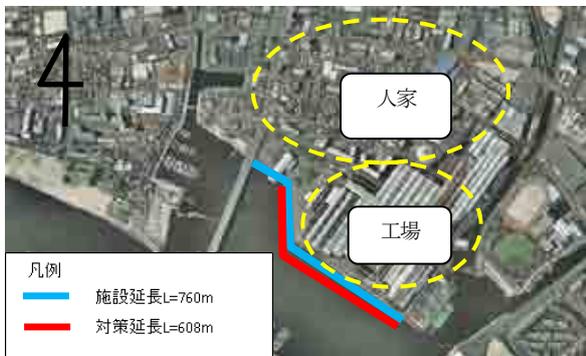


図-2. 西宮市朝風町平面図

(2) FLIP解析の結果

西宮市朝風町では新たに現地で 5 箇所のボーリング調査 (図-3) を行い、土質試験による液状化係数を設定し、FLIP 解析を行った。砂質土である As 層でせん断ひずみ (図-4) や過剰間隙水圧比 (図-5) が高い値を示していることから、液状化によるせん断変形が起こっていることがわかる。液状化に伴う地盤のせん断変形により、防潮堤は堤体直下及びその周辺地盤でひずみが発生し、鉛直変位が約 1.4m、水平変位が約 2.1m と大きく変形することが判明した (図-6)。このことから、地盤の変形対策としては委員会の助言等を踏まえ、液状化対

策を主とする地盤改良工法を中心に検討を行った。

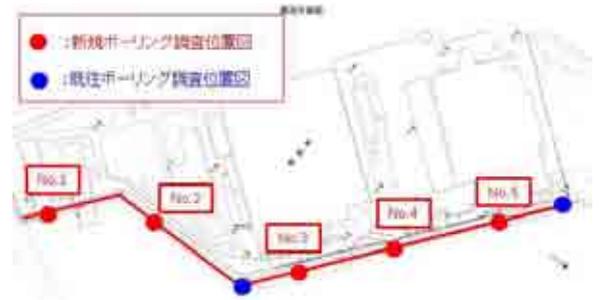


図-3. 地質調査平面図

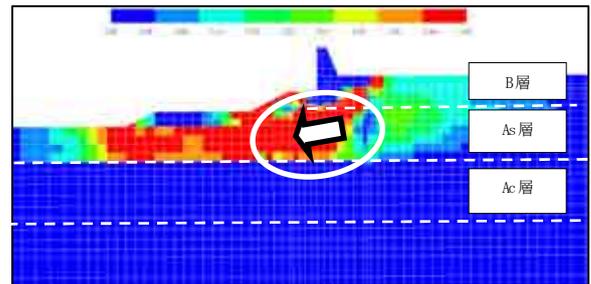


図-4. 残留ひずみ分布図 (最終時刻)

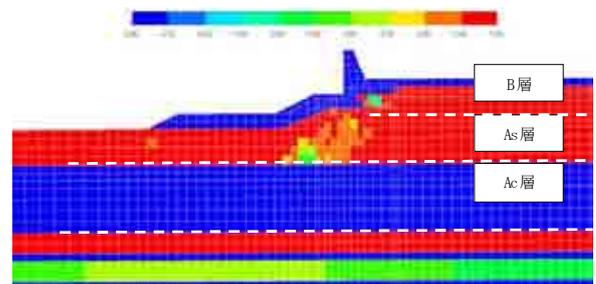


図-5. 過剰間隙水圧比分布図 (最大値)

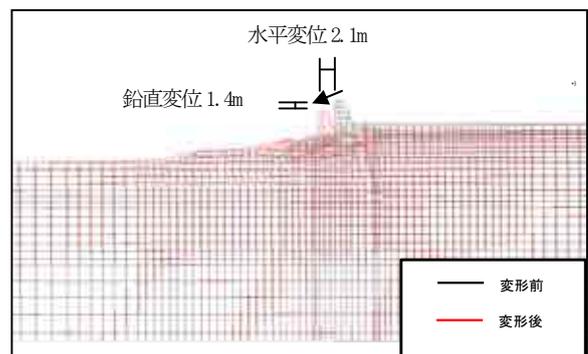


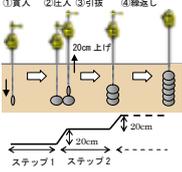
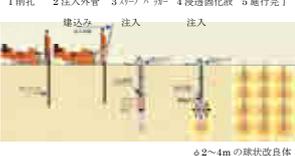
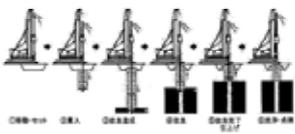
図-6. 残留変形図

(3) 対策工法の選定

工法選定としては堤体直下の施工が可能であり、人家や工場などの周辺施設への影響が少ない工法を抽出し、比較検討を行った。

対策工法は砂圧入式静的締固め工法、薬液注入

表-1. 液状化対策工法 3案比較表

代表工法名称	砂圧入式静的締固め工法	浸透固化処理工法（薬液注入工法）	高圧噴射攪拌工法	
工法概要	<p>砂を専用プラントにて流動化剤と混練し、ポンプ圧送可能な状態にして使用する。所定の深度まで貫入されたロッドを通じて地中に圧入され、周囲の地盤を締固める工法である。</p> 	<p>浸透性の良い恒久薬液を注入することで、間隙水をゲル状物質で置き換え、粒子間粘着力を与え、せん断強度を増すことで液状化を防止する工法である。</p> 	<p>超高圧硬化剤を地中に噴射し、地盤を切削すると同時に、地盤に円柱状の改良体を造成する工法である。</p> 	
環境	振動	ほとんど無い	ほとんど無い	ほとんど無い
	騒音	小さい	小さい	小さい
	変位	盛り上がりが生じる場合がある	ほとんど無い	施工時に既設構造物の傾きが生じる場合がある。
特徴	長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型ボーリングマシンが設置できる程度の作業空間で施工可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型ボーリングマシンが設置できる程度の作業空間で施工可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂質土を改良する場合、一軸圧縮強さで300kN/m<sup>2</sup>以上となり、かなりの高強度を発現する。</li> </ul>
	短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>密度増大の締固め工法であるため、施工後に周辺地盤及び堤体直下地盤の変形を伴う。(盛り上がりが生じる場合がある)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂礫または礫混り砂質地盤では、薬液が逸走するため注入材料の選定等に注意を要する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「多重管式高圧噴射工法」は、施工時に排泥が地上に上がってくる為、海上施工の場合、大規模な産廃処理が必要となる。対策として、海側に矢板での締切り等が必要となり、対策費用が増大する。</li> </ul>
評価	×	○	○	

工法、高圧噴射攪拌工法の3案を抽出し、以下のとおり比較検討を行った。(表-1)

①砂圧入式静的締固め工法

砂を専用プラントにて流動化剤と混練し、ポンプ圧送可能な状態にして使用する。所定の深度まで貫入されたロッドを通じて地中に圧入され、周囲の地盤を締固める工法である。

長所：小型ボーリングマシンが設置できる程度の作業空間で施工可能。対象地盤の上部に硬い地盤が存在しても施工可能。

短所：密度増大の締固め工法であるため、施工時に堤体直下地盤及び周辺地盤の変形を伴う。事前に使用材料砂と流動化剤を混練りして、配合試験を実施する必要がある。

②浸透固化処理工法（薬液注入工法）

浸透性の良い恒久薬液を注入することで、間隙水をゲル状物質で置き換え、粒子間粘着力を与え、せん断強度を増すことで液状化を防止する工法である。

長所：低圧で浸透注入するので、地盤の隆起などの影響が非常に小さい。小型ボーリングマシンが設置できる程度の作業空間で施工可能。対象地盤の上部に硬い地盤が存在しても施工可能。

短所：砂礫または礫混り砂質地盤では、薬液が逸走するため注入材料の選定などに

注意を要する。

③高圧噴射攪拌工法

超高圧硬化剤を地中に噴射し、地盤を切削すると同時に、地盤に円柱状の改良体を造成する工法である。

長所：砂質土を改良する場合、一軸圧縮強さで3000kN/m<sup>2</sup>以上となり、かなりの高強度を発現する。

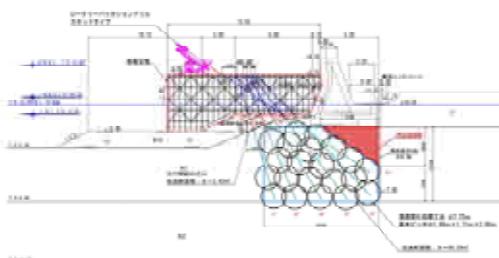
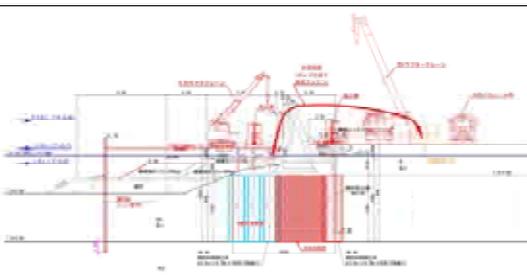
短所：施工時に排泥が地上に上がってくるため、海側から施工する場合、大規模な産廃処理が必要となる。対策として、海側に矢板での締切り等が必要となり、対策費用が増大する。

圧縮空気を噴流しながらの工法であるため、堤防直下の地盤が緩みやすくなり、空気の逃げ道が少ない堤防直下では、空洞が生じる可能性がある。空洞化により、施工時に堤防の傾きが生じる可能性がある。

比較検討の結果、砂圧入式静的締固め工法では工場等への影響が大きい為、当該現場では不適合である。よって、工場等への影響が少ない浸透固化処理工法及び高圧噴射攪拌工法の2案で最終比較を行った。

2案による比較の結果、概算工事費を比較すると高圧噴射攪拌工よりも浸透固化処理工法のほうが

表-2. 浸透固化処理工法及び高圧噴射攪拌工法 比較表

代表 工法名称	浸透固化処理工法	高圧噴射攪拌工法
工法概要図		
概算工事費 (直接工事費) (100m 当 り)	<ul style="list-style-type: none"> <li>仮設足場設置 44,500 千円</li> <li>薬液注入工法 190,000 千円</li> </ul> 合計 234,500 (千円)	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼矢板打設 2,500 千円</li> <li>高圧噴射攪拌工法 320,300 千円</li> </ul> 合計 322,800 (千円)
評価	○ (採用)	×

安価であったため、朝風町では沈下対策工法として浸透固化処理工法を採用した。(表-2)。浸透固化処理工法で使用する薬液は、水ガラスからアルカリ成分を除去した溶液型恒久薬液(溶液型活性シリカグラウト)である。特徴としては改良体の劣化要因となるアルカリ成分を含まないため、固結後の溶出成分がほとんど無く、長期的に安定したゲル構造を持ち、耐久性に優れる。また、環境に対しては、pHの変化がほとんどなく、マウスやあさりを使用した毒性試験においても安全性が確認されており、影響は少ない。

地盤はロータリーパッカションドリルを使用し削孔する。堤体直下での施工に対応するため、仮設足場を堤外地に設け、斜め削孔を行う(表-2)。

また、浸透固化処理工法による対策後の断面についてFLIP解析を行った。照査基準は対策前と同じ基準とし、FLIP解析後、変位量などが基準値を満足しているか照査を行う。FLIP解析の結果、せん断ひずみは対策前と比べ堤体直下の変形数値が低くなっていることがわかる。(図-7)

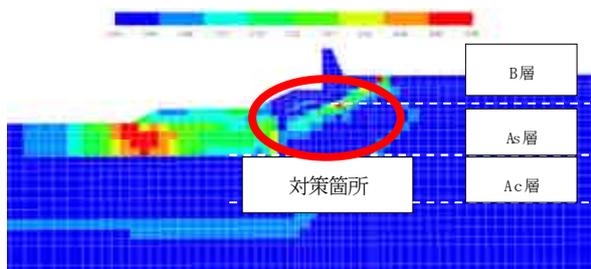


図-7. 残留ひずみ分布図 (最終時刻)

過剰間隙水圧比分布図についても、対策前と比べ、対策範囲内で液状化が起こっていないことが確認できる。(図-8)

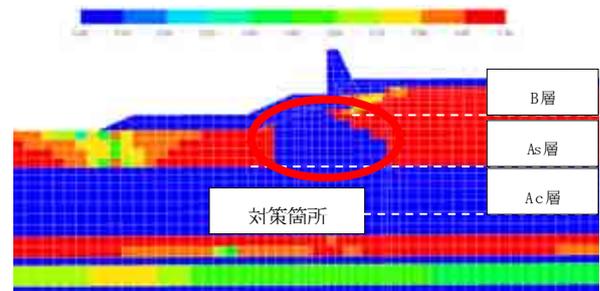


図-8. 残留ひずみ分布図 (最終時刻)

変形図では鉛直変位が0.4m、水平変位が0.5mと大幅に変形量を抑えることが確認でき、防潮堤としての機能を満足できる結果となった。(図-9)

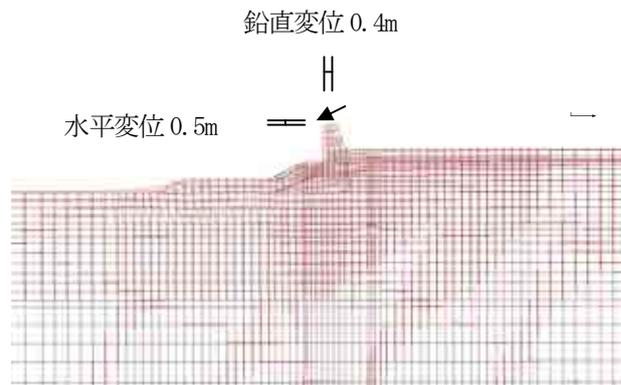


図-9. 残留変形図

液状化対策が必要な現場ではFLIP解析においてせん断ひずみや過剰間隙水圧比などにより変形メカニズムを分析し、背後地状況を勘案しながら液状化層の地盤改良工法及び改良範囲を設定することが有効である。また、対策後の断面に対し、FLIP解析による照査を実施することで、対策の有効性を確認することができる。

### 3 対策範囲決定の精度向上に関する提案

#### (1) ボーリング調査の弱点

実施設計において沈下対策の要否を検討する際、現地でボーリング調査を実施し、精度の高い変形量を算出している。しかし、ボーリング調査では「点」での地質情報であるため、連続的な地層の把握ができない場合がある。(図-10)そのため、2箇所でのボーリング調査地点間では、液状化層の層厚変化が把握しにくく、安全側で厚めに対策範囲を設定することから過大設計となるリスクが高いと考えられる。

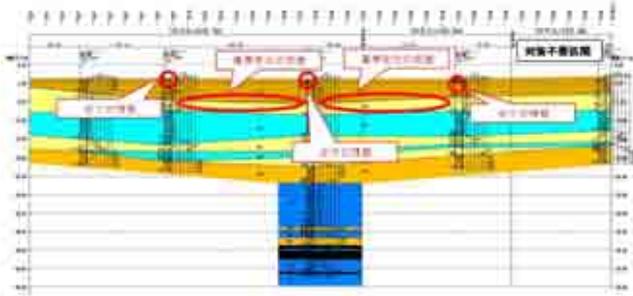


図-10. 地質縦断面図

#### (2) 弾性波探査調査による地質情報の補完

連続的な地層を把握するには弾性波探査調査を実施するのが有効であると考えられる。弾性波探査は地表から人工的に弾性波（P波またはS波）を発生させ、地下の速度の異なる地層境界で屈折して戻ってきた屈折波を、地表に設置した測定装置で観測し、地下の速度構造を求める探査法である。弾性波探査から得られた情報を2箇所でのボーリング調査地点を結ぶ線状の補完的な地質資料として用いることで、縦断的に連続的な地層を把握できる。ボーリング調査結果及び弾性波探査調査結果を総合的に判断し、液状化層の層厚変化を把握することで、より精度の高い対策範囲を設定でき、過大設計のリスク軽減及びコスト縮減に繋がると考えられる。

### 4. おわりに

本論文では西宮市朝風町を事例に、沈下対策箇所の抽出から工法選定までの考え方について紹介してきた。また、弾性波探査調査による対策範囲決定の精度向上に関する提案も行った。兵庫県では耐震照査基準を設けるなど、独自基準をもって津波対策を進めているが、今後、弾性波探査調査を活用することで、より精度の高い津波対策が期待できるのではないかと考えている。

# 猿谷ダム反射板斜面の復旧について

高越 誠也

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

反射板基礎法面对策工事は、奈良県五條市大塔町猿谷地先において猿谷ダムより下流域の右岸山腹斜面に位置する反射板（多重通信回路装置）の基礎法面が表層崩壊したため、斜面安定・法面保護対策をおこなうものである。当該工事は標高900mに位置し猿谷ダム付近との比高は500mに達し、猿谷ダム周辺の山腹斜面は急峻で、現場までのルートは徒歩で片道2時間を要する施工条件であったため、作業環境の向上、安全性の向上、品質の向上が重要であった。本書では、現場施工管理で工夫した点を紹介する。

キーワード 表層崩壊，ヘリコプター運搬，施工性の向上

## 1. はじめに

1978年に情報通信設備として設置された、反射板の機能と役割について述べる。

情報通信として光ファイバとマイクロ無線網が整備される中で、両者には次のような特徴がある。光ファイバは伝送速度、伝送距離に優れるが、災害で切断あるいは損傷を受ける可能性が高い。一方、災害に強く、被災した際の復旧が容易であるのがマイクロ無線網である。

マイクロ無線網は、空間を介して電磁波を伝送するが、山間部では無線局との間に固定障害物が干渉するため、無線中継所を設けることが不可欠である。反射板は無線中継所として機能を発揮し、電波を反射させて情報の伝送を行うことが役割となっている。

反射板が完成してから30年後(2008年)に、地質調査を実施したところ、斜面下方の管理フェンス部分より下方で表層崩壊の発生が確認された。また、地質調査から3年後(2011年)の台風12号の豪雨により、表層崩壊が進行し反射板の谷川基礎前面にまで表層崩壊が達した。基礎のフーチング下端まで露出したため、今後暴風により谷川基礎に多大な荷重が作用した場合、現状の均衡状態が崩れ、反射板が倒壊する可能性があった。そのため、恒久対策を講ずる必要性があった。

尚、現場周辺の地質は、基盤岩の頁岩を覆って、軟質な岩錐堆積物が山腹斜面に分布しており、降雨による侵食や表層崩壊が発生しやすい地質条件である。



写真-1 猿谷ダム反射板被害状況



図-1 現場位置図

2. 法面对策工事の概要

(1)工事概要

表-1に本工事の工事概要を示す。

表-1 工事概要

工事名称	反射板基礎法面对策工事	
工期	平成28年9月～平成29年2月	
施工場所	奈良県五條市大塔町猿谷地先	
工事内容	法面保護工	130m <sup>2</sup>
	基礎被覆工	15m <sup>2</sup>
	ラス張工	130m <sup>2</sup>
	鉄筋挿入	59 本
	ワイヤー連結工	75m <sup>2</sup>
	防護柵撤去	46m
	防護柵設置	61m
	足場工	1式
	ヘリコプター運搬	1式

(2)立地条件

当現場は山頂付近にあり、猿谷ダムからの運行手段は徒歩しかなく、林道を片道約2時間を要す。図-2に施工箇所までの徒歩ルートを示し、写真-2に猿谷ダム管理支所から反射板の眺望を示す。



図-2 施工箇所までの徒歩ルート



写真-2 猿谷ダム管理支所から反射板の眺望

(3)工事内容

図-3に施工フローチャートを示し施工手順について述べる。

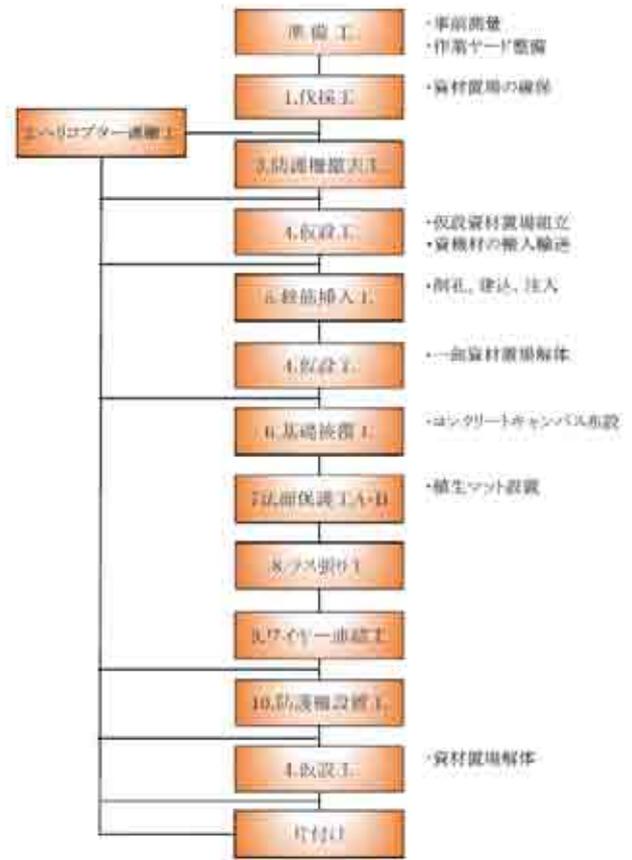


図-3 施工フローチャート

a)ヘリコプター運搬工

資機材の輸送にはヘリコプターを使用するが、高額であるため、資機材輸送計画を作成して費用の増加を防いだ。下記の表-2に資機材輸送計画抜粋を示す。

資機材の輸送合計重量は74 t、最大吊荷加重(空気圧縮機)で1.8 tあるため、機体吊上能力が3.5 tと0.7 tを併用することとした。ヘリコプターによる輸送状況について下記の写真-3に示す。

表-2 資機材輸送計画抜粋

運搬回数(回目)	吊上能力(t)	輸送回数(回)	輸送内容 ( )内は搬出資機材
1	3.5	5	足場材・安全資材
2	3.5	9	足場材
3	3.5	4	足場材
4	3.5	13	主要材料・機器材
5	0.7	11	(足場材)・(フェンス材)
6	3.5	6	(機器材)
7	0.7	4	(足場材)
8	0.7	11	(足場材)
9	3.5	7	(足場材)・(安全資材)



写真-3 ヘリコプターによる輸送状況



写真-6 布設状況と散水固化状況

**b) 仮設工**

反射板周辺は急峻で45°の勾配であるため、資機材の荷受場としてステージを仮設した。



写真-4 荷受足場組立完了

**c) 鉄筋挿入工**

作業性の効率化、運搬経費の低減を考慮して無足場削孔工法（無足場法面削孔装置）にて施工を行った。

又、地質が礫質で孔壁の自立が難しいことから、二重管削孔方式にて施工を行った。



写真-5 無足場法面削孔機による削孔状況

**d) 基礎被覆工**

反射板谷側基礎のフーチング部が露出していることから、将来的に周辺地盤の侵食、基礎の腐食が懸念された。コンクリートキャンバスを布設することで基礎部の保護、侵食の抑制が計画されていた。

コンクリートキャンバスはドライコンクリートを繊維マトリクス織編物とPVCシートでサンドイッチした構造となっており、所要の面に布設し散水することでドライコンクリートが硬化する。布地の厚さは8mmで柔軟であり高耐久であるため、フーチング部の立体面に対しても密着させることが出来た。写真-6に布設状況と散水による固化状況を示す。

**e) ワイヤー連結工**

ワイヤー連結工は、ロックボルトとワイヤーロープを格子状に相互に連結することにより、連結されたワイヤーロープが地山を繋縛し、土塊を主導的に押さえ込み斜面の表層崩壊を防止する効果が期待される。



写真-7 ワイヤー連結工施工状況

**3. 施工性向上の取組み**

当該現場には施工管理において下記に示す課題が生じたため、課題を解決するために行った対処法について述べる。

表-3 施工管理における課題

	課題
安全性の向上	ヘリコプター運搬に関する安全対策
作業環境の向上	監督職員の立会・段階確認の履行 気候による作業判断基準の確立
品質の向上	凍害による品質低下の抑制

**(1) ヘリコプター運搬に関する安全対策**

**a) 課題**

ヘリコプター運搬の吊荷作業時は、ダウンウォッシュ（ヘリコプター機で下向きに発生する気流）の影響で台風時の暴風並みの風が発生するため、万全な安全対策を講ずる必要性があった。

**b) 解決策**

関係者での勉強会を実施して、資機材の固縛方法、荷受前準備、合図方法、資機材の輸送手順等の確認をした。

**c) 効果**

上記の解決策により、作業員の意識が高まり、不安全行動の排除に繋げることが出来た。



写真-8 勉強会の実施と固縛方法の確認

当作業所の作業中止基準(降雨, 降雪, 落雷, 風速)詳細を設定登録すると, 事前にメールで通知してくれるため, 迅速な対応をとることが出来た。



写真-11 気象モバイルシステム使用状況

## (2) 監督職員の立会・段階確認の履行

### a) 課題

当現場までの道のりは険しく, 時間を要するため, 施工段階毎の確認を頻繁に行うことが難しかった。

### b) 解決策

WEB定点カメラと通信タブレットを併用し, 現場事務所から各工種の立会・段階確認を履行した。

### c) 効果

WEB定点カメラで全景, 通信タブレットにて近景を確認することで, 現場の死角を網羅することが出来た。



写真-9 ソーラー電源供給によるWEB定点カメラ



写真-10 WEB定点カメラと通信タブレットによる確認

## (3) 気候による作業判断基準の確立

### a) 課題

当現場は山頂付近にあるため, 気候の変化による作業判断が難しかった。

### b) 解決策

気象モバイルシステムを導入し, 現場地点と標高を登録することで, 現場ピンポイントの気象予報を把握した。

### c) 効果

事前に現場ピンポイントの気象情報を得ることで, 作業員の作業判断基準として活用することが出来た。又,

## (4) 凍害による品質低下の抑制

### a) 課題

施工時期が厳冬期であり, 山頂付近は低温であるため, 各工種について凍害による品質低下が懸念された。

### b) 解決策

- ①鉄筋挿入工における, 注入打設時のセメントミルクの強度低下を抑制するため, パイプヒーターを使用して練り混ぜ水を温め, 練り上がり温度の日々管理を実施した。
- ②基礎被覆工における, コンクリートキャンパス散水時, 外気温が低温であると固化後の強度低下に大きく影響するため, 電気毛布を敷設し養生シートで覆い, 養生内の温度を10°C程度に保った。

### c) 効果

- ①安定した品質を確保することが出来た。
- ②厳しい条件下でも, 所定の強度を発現させる事が出来た。



写真-12 基礎被覆工における養生状況

## 4. まとめ

現場施工管理において, 安全性の向上, 作業環境の向上, 品質の向上に着目して工夫した点を紹介をした。

施工時期は厳冬期で, 急峻な山頂にあるため, 施工において厳しい条件下であった。だが, 課題を抽出して対策を行うことで, 無事故で工事を終えることが出来た。

今後は厳しい条件下での施工管理の簡略化を図るため, i-Construction施工を取り入れ, 生産性の向上に繋げていきたいと考える。

**謝辞:** 本工事に際して, 国土交通省 近畿地方整備局 紀ノ川統合管理事務所には多大なご指導をいただき, ここに記して謝辞を申し上げます。

# 和歌山地方合同庁舎の地下部施工にかかる湧水対策について

葛城 孝

近畿地方整備局 営繕部 保全指導・監督室 (〒530-0005大阪府大阪市北区中之島4-1-6)

営繕部においては、現在、平成29年度の完成を目指し和歌山地方合同庁舎の新築整備を進めている。当庁舎は地下階を有し、安全施工のためには地下水対策および当該対策による敷地周辺への影響がない工法が求められた。各種地下水対策がある中、営繕工事でははじめてとなるスーパーウェルポイント工法及び真空プレス型リチャージウェル工法を採用した。

本研究では、本工法の採用にいたる検討事項や、現場施工の状況を報告するとともに、現場見学会「魅せる！現場」において、本工法の技術を紹介し、建築関係技術者の知識習得を図ったことについても紹介したい。

キーワード 地下水対策、排水工法・リチャージ工法、魅せる！現場

## 1. はじめに

和歌山地方合同庁舎は、現合同庁舎の耐震性能不足と老朽等の問題解消と、市内の国家機関8官署の集約化を図ることによって、新たな行政拠点を形成して、安全安心、業務効率化と行政サービスの更なる向上を図ることを目的に整備を進めている。

また和歌山城周辺の景観と調和した良好な都市環境づくりを推進することで、和歌山の地域風土・歴史・文化に配慮した合同庁舎を目指している。

本庁舎の計画地は、地下水位が高い（GL-2.5m）ことから、地下部施工にあたっての地下水対策が課題であった。その解決策として採用したのがスーパーウェルポイント工法（以下SWP工法）及び真空プレス型リチャージウェル工法（以下VPRW工法）である。

本研究では検討経緯を含め、その概要について報告する。

## 2. 工事概要

工事場所：和歌山市二番丁3

敷地面積：6,501.17㎡

構造・規模：庁舎 鉄骨造（一部鉄筋鉄骨コンクリート造）  
地上10階、地下1階

延床面積：21,589㎡

屋外立体駐車場 地上2階（3層駐車）

工期：H27.9～H30.2（庁舎部分 H29.7末）

敷地は和歌山城のお堀の東側に面する堀端通り沿いにある。（図-1 参照）

## 3. 全体工程計画

工事の全体工程の概要は図-1による。工程計画では杭工事の後、建物外周部分にシートパイル（L=16.5m）による山留め工事、続いて掘削等土工事を行う計画であった。工事準備を進める中、地下水位が高く、相当量の地下水が見込まれることが懸念されたことから工事受注者から提出された、山留め工事の変更を含めた仮設工事の変更提案を検討することになった。

庁舎完成日から逆算すると、検討に許される時間は約1.5月に制約された。（図-2 参照）



図-1 敷地周辺図

	H27年度				H28年度				H29年度			
	9	11	1	2 3	4	6	1	3 4	7	8	2	
庁舎工事												
準備工事												
杭工事												
山留工事												
土工事												
躯体工事												
仕上工事												
立体駐車場工事												

図-2 工事工程表と検討時期

#### 4. 山留め工法の検討

山留め工事の変更にあたっては、工事場所の地盤の状況や地下水対策について、設計者が発注時にどのように考え、工事図面及び仕様書に反映させたかを確認するところから始めることとなった。

設計段階では、当時あった5本のボーリングデータがあったが、うち3本は1961年当時のものでGL-20mまでのボーリングデータであったことから、ボーリング深度深い2本のデータよりGL-24m付近に遮水層（礫混り砂質粘土）があると判断されていた。このため、地下水の排水量を少なくするためにシートパイルを遮水層まで延ばす案と、排水量が増えてもシートパイルを必要最低限のGL-16mで止め、施工性を高める案の比較検討を行った。その結果、排水にかかる下水道使用料金とシートパイルの総延長の差額が同等と考え、施行性等を考慮し、後者のシートパイルをGL-16mで止める案に決定したものだ。

しかし、工事発注後、工事受注者は設計図どおりに施工を行った場合、想定外の地下水量により、排水量が下水道能力を超過する恐れや山留めの変形量が大きく周辺への影響が大きい、ドライ施工が見込めない等の懸念材料が考えられたため、2本の現地ボーリング調査を実施し、地層の再確認を行った。

その結果、遮水層の厚みが薄いところは30cmほどしかなく、しかも遮水層として有効な地層が確認されない

箇所が存在が明らかになった。

このため、設計段階で比較したシートパイルをGL-24mまで延ばす案では、24mのシートパイルを打設し、かつ薄い遮水層で止めることが可能なかどうか、また、シートパイル間や遮水層が有効でないところからシートパイルの下端を回り込む地下水の発生は避けられないのではないかと懸念事項が残った。

そこで、シートパイルに変えて、GL-24mまでSMW工法で行う案を検討した。施工コスト面では約1.4倍であるが、シートパイルに比べ、剛性が大きいので土圧による変形量を抑えることが可能となる上、山留め面からの地下水の流入の低減は期待できるものの、敷地境界付近での施工となることから施工スペースの確保や建設機械や斫りに伴う騒音・粉じん対策の問題、遮水層が有効でないところからシートパイルの下端を回り込む地下水の発生は同程度発生するという課題が残った。（図-3に山留め工法の比較を示す。）

なお、薬液注入による不透水層を形成し遮水する底盤改良工法も検討したが、費用や工程の面で明らかに不利と判断し採用に至らなかった。

#### 5. 更なる検討

また、検討を進める中で、地下水排水量の試算が重要な項目になるのではないかと方向性が見いだされた。すなわち、各種山留め壁及び揚水装置にかかるイニシヤ

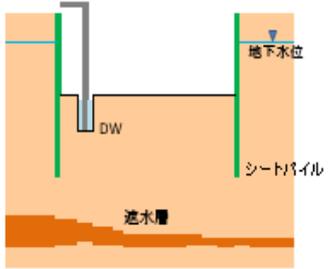
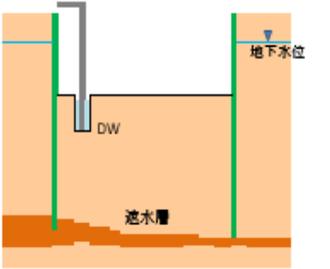
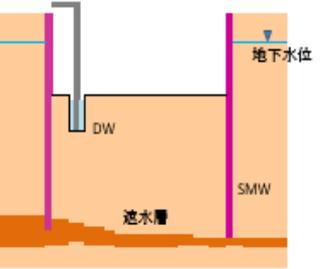
	当初計画	検討 A案	検討 B案
検討図			
山留仕様	シートパイル 長さ L=16.5m ディープウェル(DW) 3ヶ所	シートパイル 長さ L=24.0m ディープウェル(DW) 3ヶ所	SMW 長さ L=24.0m ディープウェル(DW) 3ヶ所
湧水量	約5.5倍	約1.3倍	1倍(基準)
山留変形量	大	大	小
工期	基準	0.5月増	残置させることで当初計画と同じ
施工コスト	1倍(基準)	約1.25倍	約1.4倍
排水コスト	約5.5倍	約1.3倍	1倍(基準)
トータルコスト	1倍(基準)	約0.85倍	1倍
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>排水量が下水道能力を超過するおそれ</li> <li>変形量大で隣地の地割れ発生のおそれ</li> <li>ドライ施工が見込めない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遮水層の存在不明で排水コスト増のおそれ</li> <li>変形量大で隣地の地割れ発生のおそれ</li> <li>シートパイルが長大で施工性に難あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工スペースの確保が困難</li> <li>施工コストが増</li> </ul>
評価	×	△	△

図-3 山留め工法の比較検討

## 施工・安全管理対策部門:No.18

ルコストと地下水の排水にかかる下水道使用料のランニングコストとのトータルコストにおいて、どの工法が最も優位かを判断するため、より正確な地下水量の想定が求められた。

試算にあたっては、現場周辺での工事实績値から単位時間あたりの降雨量、山留め壁からの浸透量、山留め壁を回り込む湧水量に区分して検討した。また、地下部の施工期間が長くなれば、下水道使用期間も長くなることから施工期間も加味して検討した。

地下水は一般的にディープウェル工法により揚水し、下水道への排水するものであるが、当敷地周囲の下水道の処理能力を確認したところ、当初計画で試算した地下水量を処理するだけの能力がないことが判明した。

また、現場周辺での工事では、地下水発生により山留めや水替えに苦労したとの情報があったことから、更なる別の工法を模索した。

その結果、下水道に排水する地下水を、覆水管を設置して地中に戻す（リチャージ）ことで、費用面では下水道排水と同等程度以下で、かつ作業員の安全確保、地下

部施工の作業効率性の確保が可能となるSWP工法・VPRW工法を検討することとした。

本工法の特徴は真空圧を排水しようとする掘削底面地盤に伝授させることによって山留壁で囲われた内部の水位低下を外部に比べて優位に促進することにある。

この事によって山留め壁外部の水位低下はディープウェル工法に比べて少なく、周辺への影響も少ない。また、揚水した地下水は地中深部に覆水させるために下水道の使用がディープウェル工法に比べて極端に少ないところにあることから、SWP工法・VPRW工法を採用することとした。（図-4に水替工法の比較を示す。）

### 6. 現場の施工状況

設計時の想定地下水位はGL-2.5mであったが、試掘したところ、GL-2.0m付近で地下水が確認された。このため効率的に揚水を行うためにGL-17mまで揚水管（ストレーナー）を設置し、またリチャージのため不透水層に深のGL-56mまで覆水管を設置してシステムを構成するものである。

本工事では、山留め内に揚水管（ストレーナー）を庁

	ディープウェル工法	スーパーウェルポイント・真空リチャージ工法
概念図		
工法の概要	揚水した地下水は下水道に排水 ディープウェル 16m 2本 12.5m 1本	揚水した地下水は覆水井戸に排水 スーパーウェル 17m 3本 覆水ウェル 56m 2本
水 位	山留壁の内側外側ともに水位低下	山留壁の外側の水位低下を抑制
真空度	0%	50~90%
揚水期間	14ヶ月	同左
施工コスト	1倍(基準)	約7.5倍
排水コスト	電気料金 1倍(基準) 下水道料金 約44倍	電気料金 約4.5倍 下水道料金 1倍(基準) 井戸洗浄時に利用
トータルコスト	約2.2倍	1倍(基準)
評価	△	○ (採用)

図-4 水替工法の比較検討

舎部分（A工区）2本と地下部に接続するスロープ部（B工区）1本の計3本を設置した。また、それらの揚水を排水するために覆水管を計2本設置した。

その結果、実揚水量については、1.86m<sup>3</sup>/分、山留壁外側の水位はGL-6m前後で落ち着き、ドライ施工が実現した。なお、運転期間は、2016年2月27日から2017年4月19日までの役14ヶ月間となった。（SWP・VPRWの配置は図-5による。）

## 7. 考察

本工事では、地下部の掘削土を場外搬出するものであるが、SWP工法・VPRW工法の採用により、ドライ施工が可能となり、掘削土の水分を取り除く工程は不要となり、直接ダンプに積載し搬出することができたことが長所の1つといえよう。なお土質は砂層主体であり、掘削工程は順調に進んだ。

また、山留め外周部の地下水位は、GL-6mに保たれ、和歌山城の堀の水位への影響はなかった。また、近隣周辺への影響もなかった。

加えて、実揚水量については、運転期間が14ヶ月となったことから、総量で352,450m<sup>3</sup>となり、これをリチャージせず下水道を使用したとすると、119,833,000円の使用料金が掛かることとなり、経費の削減が出来た事も大きな成果だと言える。

## 8. 現場見学会「魅せる！現場」の取組み

本工事は平成28年度において、近畿地方整備局の「魅せる！現場」に登録し、「ものづくり」の玉手箱

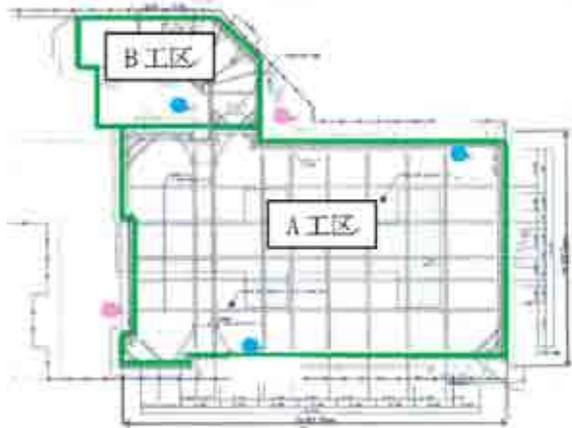


図-5 スロープ・ウェル・リチャージウェルの配置図



図-6 ストレイナーの施工状況 図-7 VPRWの施工状況

ろんな建築技術をみてみよう」と銘打って、近畿管内の建築分野においては採用実績がほとんどない、SWP工法・VPRW工法を始め、地下躯体の止水対策、鉄骨の建方状況、外壁プレキャストコンクリートパネルの設置状況等、見学時期により様々な建築技術を見て頂くことで、建築への関心と夢を広げてもらう事を目的に、2016年5月25日から2017年3月28日の期間に10回開催し、延205人の参加があった。参加者は工業高校生、大学生、障害児者福祉サービス利用児童、自治体職員、建築資材メーカー団体と幅広い参加となった。

特に、建築への関心と夢を広げてもらう事を目的としている観点から、和歌山工業高校建築科、和歌山大学システム工学部に案内を行い賛同を得た。

また、見学会後のアンケートでは、SWP工法・VPRW工法について、「大きなシステムを実際に見て良い経験になった」「効率の良い工法だ」「興味を持った」「勉強になった」等の意見が寄せられた。

それ以外でも、「とてもやりがいのある仕事だと思った」「現場で働きたいと思った」「積層の外壁デザインに興味を持った」「作業員の方が格好良かった、同じ様な仕事してみたいと思った」「将来、何かの職人になろうと思い、良いきっかけになった」などの声が寄せられ、目的どおり建築への関心と夢を広げてもらうことが出来たと考えている。（図-8参照）

## 9. おわりに

今回の工法選定に当たっては、営繕部内で「営繕工事施工計画検討委員会」を開催し、様々な条件を想定し検討を行った。その際、多くの方から意見やアドバイスを頂き、より良い検討が出来た。

また、「魅せる！現場」では、施工業者の若手職員に現場の楽しさや苦勞を紹介して頂いたほか、作業員の方に作業の説明や実演なども行って頂き、参加者の方に好評価を得た事を報告すると共に、「魅せる！現場」に参加した若者達が建築関係の仕事に携わることを期待し、終わりとする。



図-8 「魅せる！現場」の開催状況

# 栈橋リニューアル工事における施工上の工夫

小西 優貴<sup>1</sup>・坂本 健治<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>東洋建設株式会社 大阪本店 (〒541-0043大阪府大阪市中央区高麗橋4-1-1 興銀ビル7階)

現在、国際拠点港湾の1つである堺泉北港において、劣化した栈橋の更新工事が進められている。更新中の汐見3号岸壁は、鋼管杭（φ812.8）基礎の直杭式横栈橋であり、総延長520m、延長60mを1工事として継続発注されている。本工事は、岸壁を供用しながら更新を行っていくため、周囲を航行する船舶の影響を受ける施工箇所において、いかにして品質や安全性を確保するかが課題であった。

本稿では、供用中の岸壁における栈橋上部工施工時の施工性や安全性を向上させるために行った提案、およびその施工方法について詳細を記述する。

キーワード 栈橋リニューアル、供用中の岸壁、プレキャスト

## 1. はじめに

国際拠点港湾の1つである堺泉北港は、堺市、高石市、泉大津市の3市、約14kmにわたってまたがる港湾である。中でも汐見埠頭は現在、上屋や倉庫が充実した一大外貿埠頭として機能している。しかし、建設後40年以上が経過しており、写真-1に示すように汐見3号岸壁の栈橋上部工は鉄筋の腐食やコンクリートの剥落等による老朽化が深刻化している。そのため大阪府において、将来的に物流を確保するための整備が進められている。

本工事は、堺泉北港汐見3号岸壁において栈橋上部工を鋼管杭上部位置で切断、撤去した後、残った鋼管杭に継杭して新たに栈橋上部工を構築するものである。



写真-1 汐見3号岸壁 栈橋下部の劣化状況

## 2. 工事概要

工事名 : 堺泉北港 汐見3号岸壁外 更新工事その2  
 施主 : 大阪府港湾局 堺泉北港湾事務所  
 施工場所 : 大阪府泉大津市汐見町地先 外  
 施工期間 : 2015年9月25日～2016年6月30日 (当初)  
 2015年9月25日～2016年8月31日 (最終)  
 主要数量 : 表-1参照

表-1 主要工事数量一覧

工種	単位	数量
構造物撤去工		
栈橋上部工撤去	個	30
ブロック撤去	個	534
石材撤去	m <sup>3</sup>	342
コンクリート取壊し	m <sup>3</sup>	854
被覆・根固め工		
被覆石 (400～600kg)	m <sup>3</sup>	486
被覆均し	m <sup>2</sup>	504
本体工 (鋼杭式)		
鋼杭	本	60
上部工		
支保	m <sup>2</sup>	377
足場	m <sup>2</sup>	284
鉄筋	kg	102,947
コンクリート	m <sup>3</sup>	928
付属工		
係船柱	基	3
防舷材 (埋込栓のみ)	基	6
車止め	m	15
電気防食	式	1
ベトセラタム被覆	式	1
渡版工	m	120

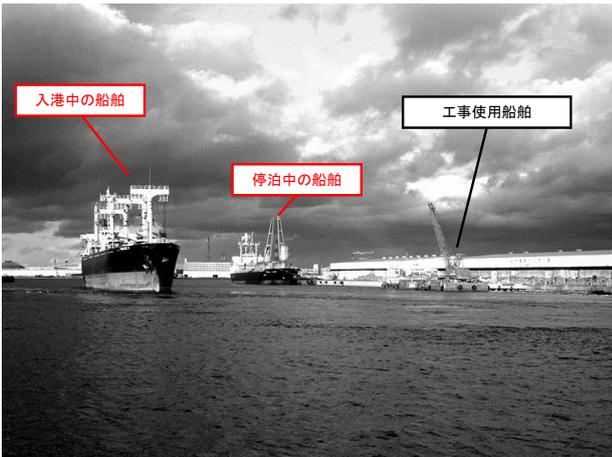


写真-2 現場周辺の船舶入出航状況

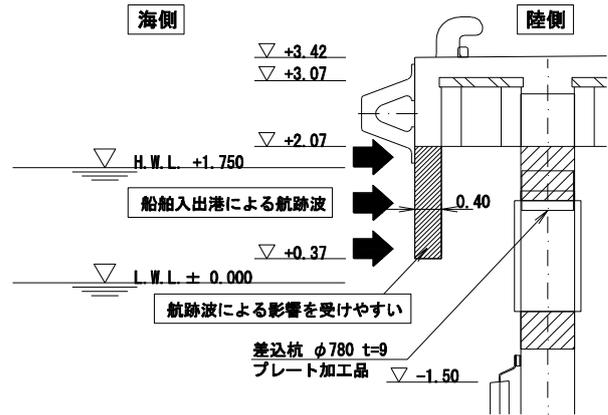


図-1 栈橋上部工前面断面図

### 3. 施工にあたっての問題点

#### (1) 余裕のない工程

契約時の工期内に施工を完了する場合、各作業の工程の遅延が許されない余裕のない工程であった。よって、工程の遅延を吸収できるように、各作業の作業効率向上による工期の短縮が必要であった。

#### (2) 岸壁を供用しながらの施工

本工事場所は、荷役作業により搬入された資材の保管場所となっている上屋の目の前に位置しており、施工場所の陸側は常に港湾利用者のトレーラーやフォークリフトが稼働しているため、陸側に大型クレーン等の重機を配置することが困難であった。そのため、施工には起重機船を使用することとした。しかし、現場周辺の岸壁は常に使用されており、写真-2に示すように施工する岸壁の両隣には船舶が入出港を繰り返している。よって、施工中に使用船舶の退避等による工程の遅延が考えられた。

#### (3) 場所打ち施工によるコンクリートの品質低下

図-1に栈橋上部工前面の断面図を示す。栈橋上部工の前面部分は干満帯にあり、水中部に打設したコンクリートの材料分離等によるコンクリートの品質低下が懸念された。また、型枠や鉄筋の組立が潮間作業となり、施工中に隣接岸壁に離着岸する船舶の航跡波の影響を受けるため、夜間作業や手戻り等による工程の遅延が考えられた。

#### (4) 作業の危険性

図-2に示すように支保工撤去作業と防食工を施工する場所が栈橋上部工の下部となり、作業時の視界が極めて悪くなることに加え、栈橋下部の状況確認が困難な中で

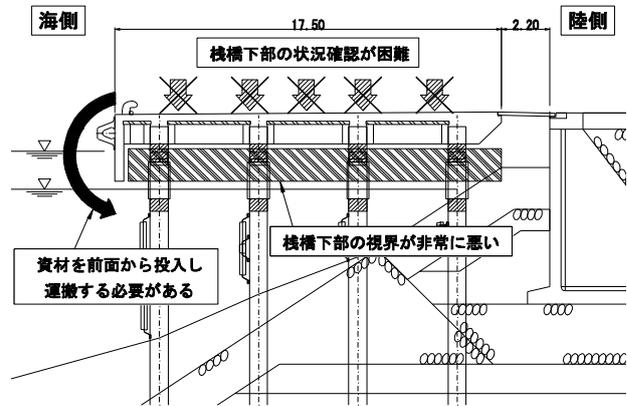


図-2 施工時の危険箇所

の危険作業が考えられた。また、施工場所の両隣の岸壁が供用中のため、使用した支保工は両隣の岸壁側から引き抜くことができず、海側のみからの撤去を余儀なくされた。しかし完成する上部工の前面は図-1に示したように資材の出し入れが困難な形状となっており、支保工の撤去作業が困難になることが予測され、防食工に関しても、資材を海側から投入し施工場所まで運搬する作業となるなど、工程の遅延が考えられた。

### 4. 埋設型枠（PC床版）の使用による工期短縮と安全性向上

#### (1) 概要

支保工撤去作業と防食工の安全性向上のためには、各作業員を職員が目視で確認でき、良好な視界を確保した状態で作業する必要がある。そこで、施主と協議を行い、栈橋上部工の床版部を施工するための支保工（サポート）を必要とせず、栈橋構造に自重の増加による悪

影響が小さい埋設型枠（写真-3参照）を使用することとした。図-3に示すように、床版底面に埋設型枠を使用することで埋設型枠が底枠の役割を果たす。

また、図-4に示すように梁コンクリートに用心鉄筋を増筋することで、床版コンクリートの打設時重量を埋設型枠部と梁コンクリート部で支えることが可能になるため、支保工撤去後に床版コンクリートを打設できるようになる。よって、表-2に示す施工手順となる。

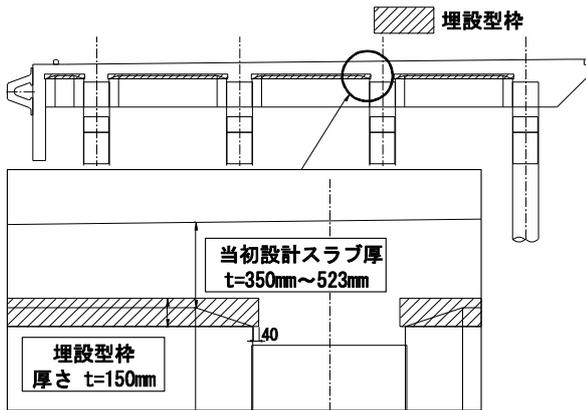


図-3 埋設型枠施工断面図



写真-3 埋設型枠

(2) 実施結果と考察

支保工の撤去は床版コンクリートを施工する前に実施するので、地上から容易に作業状況を確認することができただけでなく、写真-4のように良好な視界を保ったまま支保工の撤去作業を行うことができた。支保工の撤去は写真-5のように起重機船とラフテレーンクレーンの相吊作業で行い、海側の支保工は海側へ撤去し、陸側の支保工は梁部コンクリートの合間から引き抜いて撤去することが出来たため、効率的かつ安全に撤去作業を行うことができた。

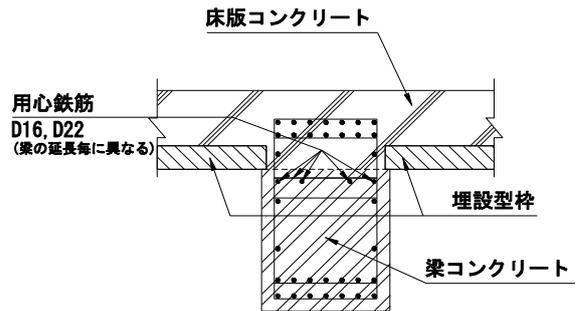
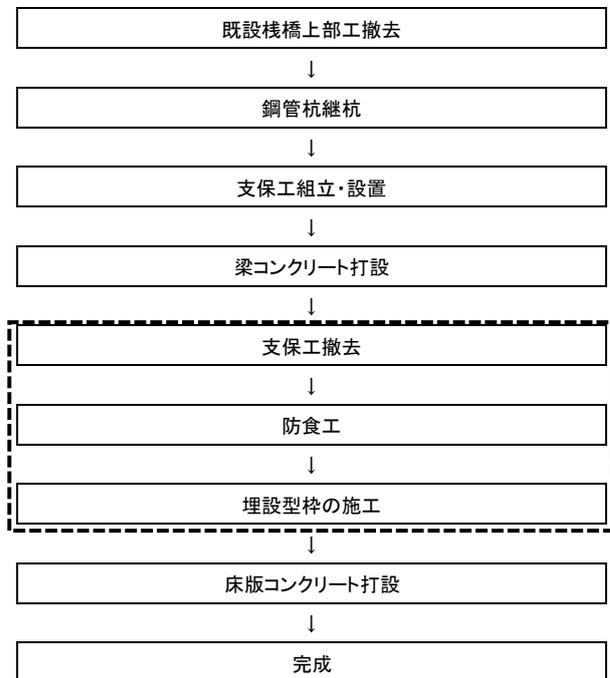


図-4 用心鉄筋背筋断面図

表-2 施工フロー



┌──────────┐ 先行施工



写真4 支保工撤去状況



写真6 陽極取付状況



写真5 支保工撤去状況



写真7 被覆防食施工状況

防食工の施工においても、電気防食工で使用する陽極や被覆防食工で使用するFRPカバー等の資材を海側から投入するのではなく、**写真-6**や、**写真-7**に示すように取付箇所<sup>1</sup>に直接投入することができ、作業の効率が向上した。また、支保工の撤去作業と同様に視界を確保することができたため、潜水士の陽極取付作業や被覆防食の作業を職員が梁の上から確認でき、安全に作業することができた。

梁コンクリートの施工が完了した後に埋設型枠の寸法を測量により算出し、割付図を作成後、発注を行った。

埋設型枠はトレーラーで現場に搬入し、現場仮置き後に専用の玉掛け用具を使用してラフテレーンクレーンにより据付を行った。据付けの状況を**写真-8**に示す。埋設型枠の据付け完了後、床版部の鉄筋組立を行い、コンクリートを打設した。



写真8 埋設型枠据付け状況

表-3 実施工程表

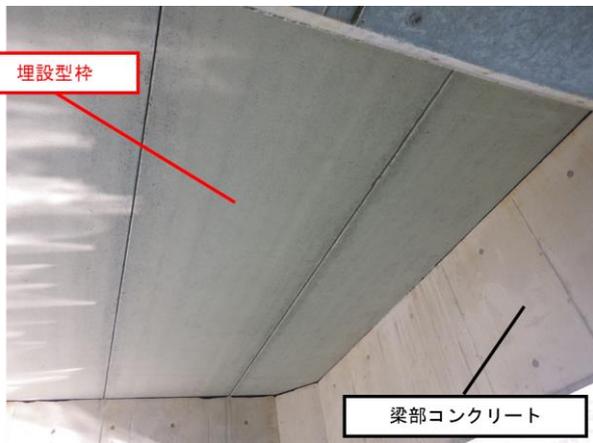
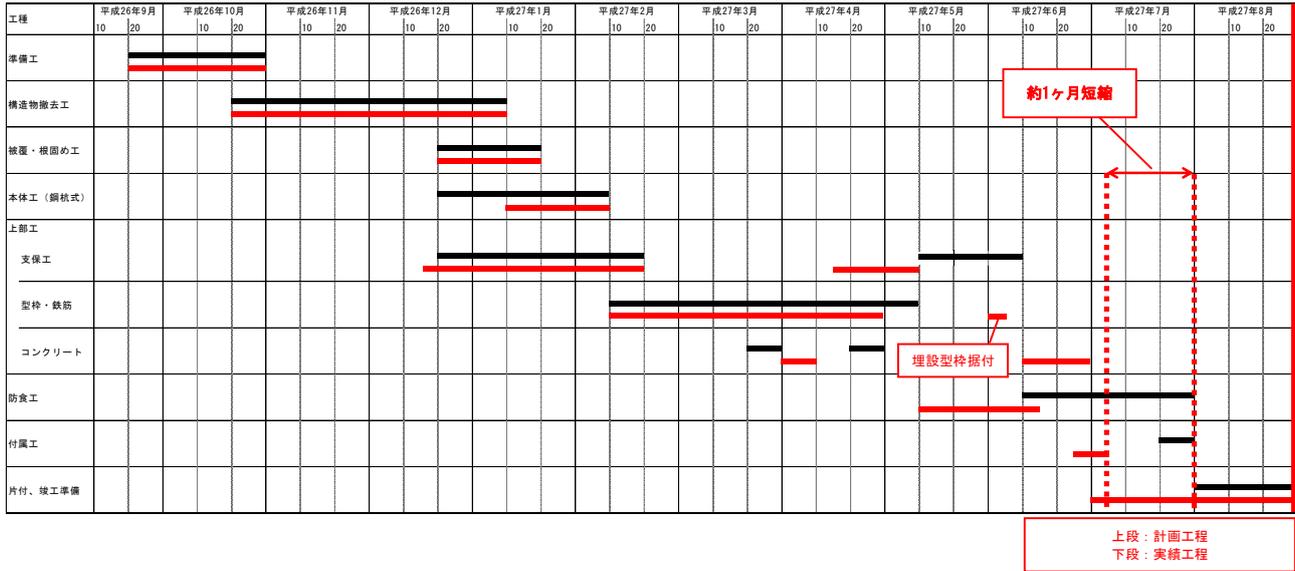


写真-9 コンクリート打設後の栈橋下部



写真-10 陸上製作した栈橋上部工前面部

床版コンクリート打設後の状況を写真-9に示す。撤去前の既設栈橋において劣化の著しかった床版底面を、コンクリート二次製品である埋設型枠で保護するので、床版コンクリートの耐久性が向上していると考えられる。

工程についても、表-3に示すように埋設型枠を使用したことによる支保工撤去作業と防食工の作業効率向上により施工期間が短縮され、約1ヶ月早く施工を完了することができた。

### 5. 栈橋上部工前面部分のプレキャスト化による品質確保対策

#### (1) 概要

周囲船舶の航行による航跡波の影響と、水中施工によるコンクリートの品質低下を防ぐため、図-5に示すD.L.+0.37m~D.L.+2.07mまでの高さ1.70m分をプレキャスト化することとした。

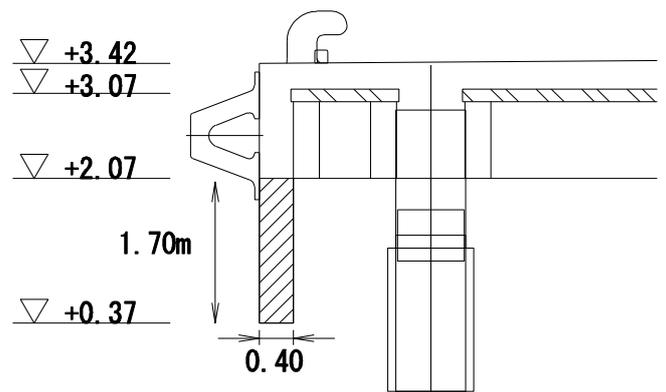


図-5 前面部のプレキャスト化範囲

#### (2) 実施結果と考察

栈橋上部工前面部は、施工区域内の既設栈橋上に型枠と鉄筋を組み上げ、コンクリートポンプ車を使用してコ

ンクリートを打設し製作した。製作した栈橋上部工前面部を写真-10に示す。陸上施工のため、周囲船舶の航行等に影響されることなく、施工することができた。また、潮間作業や夜間作業を避けることで、工程の遅延のリスクを回避することができた。水中施工を避けたことにより、施工後のコンクリートにクラック等は確認されず、栈橋上部工前面コンクリートの品質を確保することができた。

陸上製作後、起重機船を使用し支保工前面へ据付を行った。据付け状況を写真-11に示す。据付け作業は1日で行うため、起重機船を使用する際の周囲船舶の入出港との調整が容易であり、周囲船舶の入出港による起重機船の退避等を回避することができた。

## 6. おわりに

栈橋更新工事における支保工の解体は、波の影響を受ける起重機船を使用し、完成された栈橋下部で行う作業となる事が多く危険を伴う作業である。本工事では埋設型枠を使用することで作業の安全性を高め、工事を無事故・無災害で竣工することができただけでなく、栈橋上部工の品質向上にも寄与することができた。また、本工事のように周囲船舶が常時入出港を繰り返す場所での工事は船舶の影響を受けやすく、水中部にコンクリートを施工する場合の品質確保が問題となるが、陸上製作して起重機船にて据付を行うことにより品質を確保することができた。今後、本工事のように工事区域周辺で船舶が稼動する中での栈橋更新工事において、今回記述した実績が参考になることを期待している。



写真-11 前面部プレキャストコンクリート据付状況

# 琵琶湖大橋有料道路における ETC導入計画について

中井 健太郎<sup>1</sup>・筒井 一成<sup>1</sup>

<sup>1</sup>滋賀県道路公社 道路部 道路整備課

琵琶湖大橋有料道路において、利用者の料金支払い時のストレス緩和を図り利便性を向上させるため、料金所にETCを導入する計画である。本論では、地方道路公社における高速道路に接続しない独立した路線でのETC導入にかかる課題検討及び計画概要について報告する。

キーワード 琵琶湖大橋有料道路, 料金所, ETC, WCN

## 1. ETCについて

ETC(自動料金収受システム)とは、有料道路の料金所において自動車の通過を遠隔受信し、料金を自動計算して口座引き落としとするシステムである。料金収受の際に自動車が停止する必要がなく、小銭を用意するための待機時間も解消されるメリットがある。

イタリアで1989年に導入されて以後、国内では平成13年3月に63箇所の料金所で一般運用が開始された。その後順次設備の設置が進められ、平成17年には旧道路公団の全料金所でETCが対応可能となった。現在、高速道路でのETC利用率は90.9%に達する(平成28年6月現在)。

地方道路公社では、平成12年7月3日にORSEの地方道路公社向け第1回ETC説明会が開かれ、神戸市道路公社が先駆けてETCの運用を開始した。現在は13の地方道路公社で運用が行なわれており、高速道路に接続している公社路線では大半でETCが導入されている。直近では平成26年3月20日に福岡県道路公社がETC運用を開始した(福岡前原道路, 福岡西・前原料金所)。

## 2. 導入検討の経緯

琵琶湖大橋有料道路は琵琶湖の東西を結ぶ大動脈であり、物流や観光のみならず、通勤や買い物等の日常利用としても活発に利用されている。東側の国道1号および8号と西側の国道161号を連絡するが、他の高速道路には接続していないのが特徴である。平成28年度の日平均通行台数は34,576台にのぼるが、料金徴収は徴収員により行っている状況である。支払形態は現金と回数券がそれぞれ約半数である。

当公社では、平成23年度に当時公社管理であった近江大橋有料道路と併せて、ETC導入の可能性について検討

を行っている。ここで最終的な導入には至らなかったが、独自仕様のETCシステムを開発する案と、構想段階であったNEXCO西日本のシステム利用案を比較検討した。

通行台数が計画を上回って順調に推移し、当公社の財務状況のみから判断すれば早期償還が可能な状況で、建設有料事業を継続すべきか議論が必要となり、平成26年度に「琵琶湖大橋有料道路のあり方に関する研究会」が開催された。計5回にわたり行われた研究会のまとめには、建設有料事業を継続する場合の検討課題の一つとして、ETC導入が位置付けられた。また、利用者からも利便性向上のためETC導入を求める意見が多く寄せられた。

これらを踏まえ、ETC導入に向けて再度検討を行った。平成23年度ではまだ構想段階であった、地方道路公社が既存のETCシステムを利用する枠組みは既に構築されており(図-1)、最初の事例として、福岡県道路公社がこの枠組みを用いてETCを導入していた。

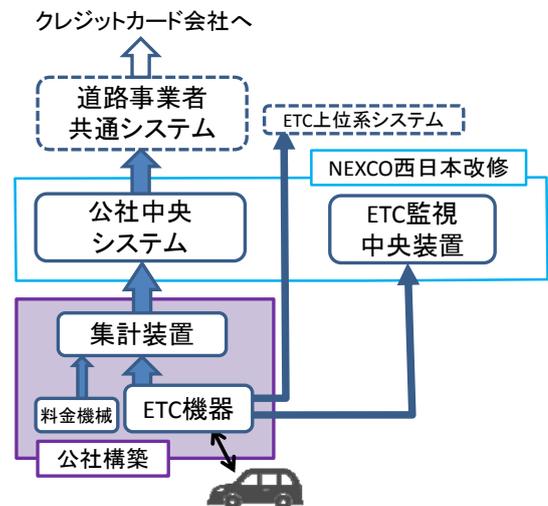


図-1 地方道路公社におけるETC導入の枠組み  
(NEXCO西日本のシステムを利用する場合)

このシステムにおいては、料金所のETC機器で車両から受け取った通行情報は、集計装置から公社中央システムを経て道路事業者用共通システムに受け渡され、決済処理となる。この通信網は公社が新規に構築する必要があるが、NEXCO西日本の持つ既存の中央システムに接続することにより、システム開発等の初期投資および維持管理費を抑えることが可能となる。これを踏まえ、さらに具体的な検討を進めていくこととした。

### 3. 導入検討のための現状把握

ETC導入に利用者の理解を得るため、利用者の何割がETC整備効果を受けることができるのか、現状のETC搭載率を把握する必要がある。

高速道路でのETC利用率は約90%となっているものの、高速道路に接続しない独立した路線である琵琶湖大橋有料道路において、ETC搭載率を調査する手法は確立されていない状況であった。

そこで類似の調査事例を収集したところ、国土交通省中部地方整備局が発注した同管内交通流調査検討業務において、ETCの通信時に路側機(ETC2.0アンテナ)とETC車載器がやりとりするワイヤレスコールナンバー(以下WCN)を取得し、交通状況把握の活用策として検討した事例があることが判明した。これはWCN取得の観測精度の調査にビデオ観測を併用したものであるが、WCN取得データとビデオ映像の照合により、ビデオ映像に映っているがWCNの受信が無い車両はETC非搭載車であることが確認された。

この手法を応用し、ビデオ映像から車種を判別することで、車種別を含めたETC搭載率を調査することとした<sup>1)</sup>。調査方法を図-2に示す。

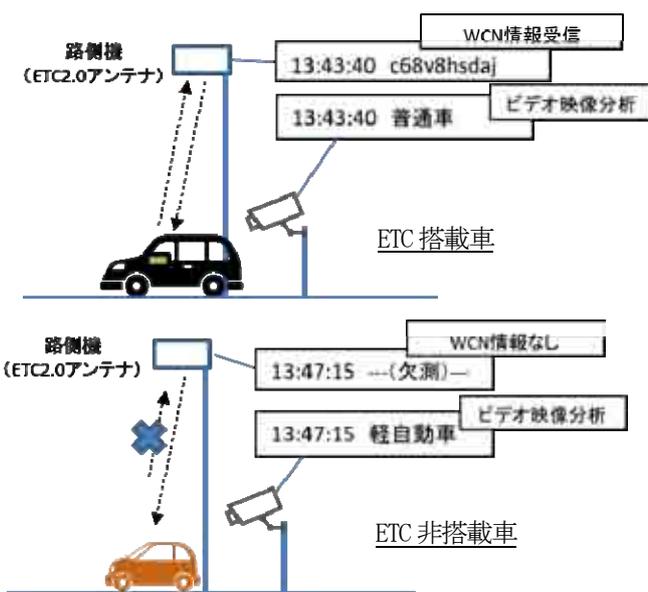


図-2 ETC搭載率調査の模式図

路側機(ETC2.0アンテナ)が通行車両のETC車載器に固有なIDの照会を要求し、返答されたWCNを受信して別に接続する記録機へ送信する。記録機にはWCNとその受信日時が蓄積されていく。

なお、WCNは電波法第4条に規定された「無線局の呼出符号」であり、ETC車載器の識別番号にすぎず、ETC搭載車の自動車登録番号や所有者の氏名、決済カード番号など個人を特定する階層の情報は含まれないため、比較的自由に活用できるものである。

調査は平日分を平成27年9月10日(木)、休日分を同年9月13日(日)に0~24時の24時間で実施した。観測に当たっては路側機(ETC2.0アンテナ)並びにビデオにて大橋の通過車両を漏れなく捕捉しやすく、渋滞等の影響を受けない場所に設置することとし、設置位置は西行き(大津行き)は東詰の料金所を過ぎた地点、東行き(守山行き)は西詰橋台付近とした。調査結果を図-3に示す。

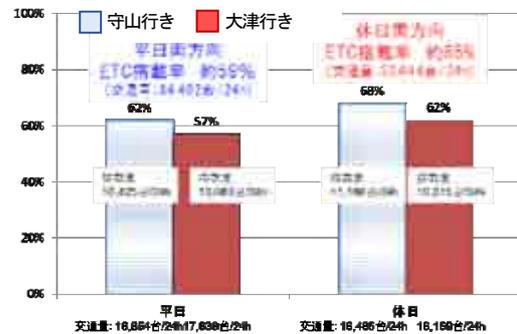


図-3 琵琶湖大橋通行車両のETC搭載率(平日・休日別)

ETC搭載率は両方向・全車種合計で平日59%、休日65%であり、平休日を合わせて平均62%の車両がETC車載器を搭載していることが判明した。車種別のETC搭載率を図-4に示す。

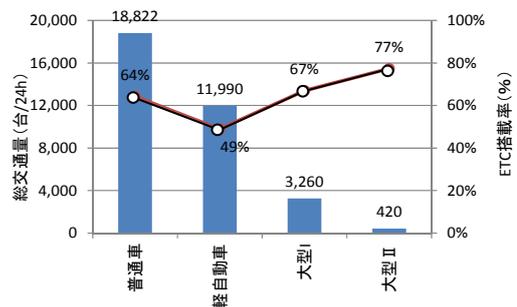


図-4 琵琶湖大橋通行車両のETC搭載率(車種別)

普通自動車(64%)と比べ軽自動車(49%)の搭載率が低いですが、これは軽自動車が高速道路を利用した長距離移動よりも、通勤や買い物等日常の近距離移動に志向されているためであると考えられ、この傾向は全国的なETC利用実態でも同様に見られる。

前述のとおり琵琶湖大橋有料道路では通行料金の支払

いは現金、回数券がそれぞれ約半数となっており、現状のETC搭載率が過半数を超える6割であることを勘案し、利用者の理解は得られるものと判断した。

#### 4. ETC車線数の検討

ETC車線数の決定<sup>2)</sup>にあたっては、「NEXCO設計要領」に準拠する。ここでは車線数を下記の式(1)を満たす値として算出している。

[ETC車線数の算出式]

$$DHV \times x / 100 \leq Ce \times Le \quad (1)$$

- DHV* : 整備後5年間に於ける各年の30番目時間交通量(台/h)
- x* : 該当年に於けるETC利用率(%)
- Ce* : ETC車線1車線あたりの処理能力(台/h/車線)
- Le* : ETC車線数

まず、*DHV* については、近似値として平成27年度交通量の方面別30番目時間交通量を採用し、2,108台(守山方面)・1,593台(大津方面)とした。*Ce* については設計要領より800とし、*x* については3パターンの想定によりパラメータを決定した。想定パターンと各必要車線数の算出結果を表-1に示す。

表-1 各想定パターンにおける必要車線数の算出結果

		想定①	想定②	想定③
		導入時	ETC利用率増加を想定	道路事業者6社の現況
ETC利用率( <i>x</i> )		65% <sup>※1</sup>	75%	90.9% <sup>※2</sup>
必要車線数( <i>Le</i> )	守山方面	ETC 2 一般 2	ETC 2 一般 2	ETC 3 一般 1
	大津方面	ETC 2 一般 2	ETC 2 一般 2	ETC 2 一般 2

※1 現況調査時からETC導入時(H31.4)まで3年あることを考慮し、ETC利用率を65%とした。

※2 東日本高速道路㈱・中日本高速道路㈱・西日本高速道路㈱・首都高速道路㈱・阪神高速道路㈱・本州四国連絡高速道路㈱における平成28年6月現在の値

この結果を踏まえ、想定①より両方面についてETC車線数2・一般車線数2を採用することとした。

ただし、ETC利用率が向上し想定②の75%を上回った場合、守山方面で*Le* が2を超えるため、ETC車線を2車線から3車線へ増設する必要が生じる。この場合を考慮し、将来、ETC車線の増設が可能のように管理棟施設や電源設備の規模を計画することとした。

#### 5. ETCレーンの配置検討

ETCレーンの配置に関して「NEXCO設計要領」では、本線料金所は「料金所の左右両端に分けて配置する」とされており、琵琶湖大橋料金所は本線料金所の取り扱いとなるが、以下の検討により、独自のレーン配置計画を策定することとした。

##### (1)ETCレーン配置案①

「本線料金所」の取り扱いとし、NEXCO設計要領に基づくレーン配置を行った場合、内側の一般レーン2本を挟むように外側2レーンがETCレーンとなる(図-3①)。

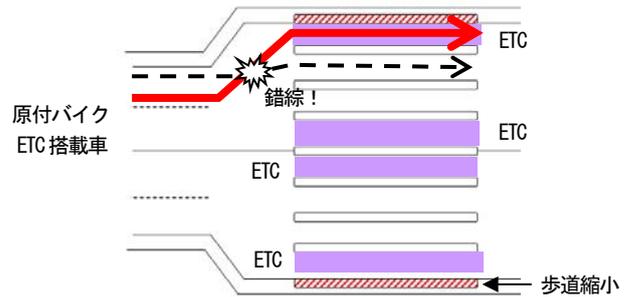


図-3① 外側2レーンをETCレーンとした場合

この配置には以下に示すとおり、琵琶湖大橋有料道路が持つ特有の問題がある。

- ①原付バイクが通行可能なため、路肩付近を走行していた原付バイク(ETCは非搭載)とETC搭載車の錯綜が生じる
  - ②歩道が設けられているため、ETC関連施設を設置するために歩道幅を縮小する必要が生じる
- これらの問題に対処するため、進行方向左端レーンは一般レーンとする必要がある。

##### (2)ETCレーン配置案②

配置案①より左端のETCレーンを一つ内側にずらした配置とする(図-3②)。

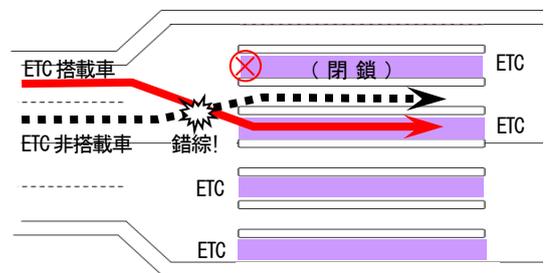


図-3② ETC・一般レーンを交互配置した場合

料金所前後は片側2車線であるので、この配置により車両は各車線からスムーズにETCレーンへ進入できる。しかし、ETCの故障やトラブルにより、ETC車線を一

時的に閉鎖しなくてはならない場合、ETC搭載車とETC非搭載車との錯綜が生じることになり、両者のスピード差も相まって事故の蓋然性は高い。このことから、ETC車線は隣り合わせて配置することが望ましい。

(3)ETCレーン配置案③

配置案②の結果を踏まえ、ETCレーンを料金所中央側へ隣り合わせて配置したのが図-3③である。

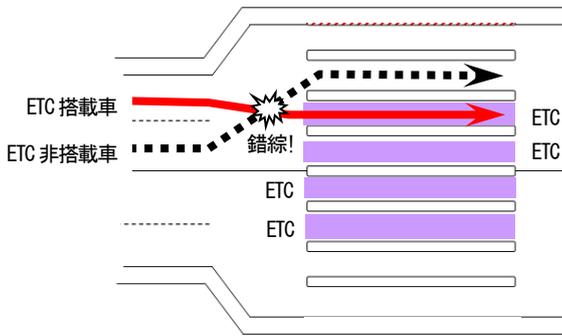


図-3③ ETCレーンを料金所中央側へ集約した場合

この配置では、ETCレーンがトラブル等で閉鎖された場合のETC搭載車と非搭載車との錯綜やETC搭載車と原付バイクとの錯綜問題が解消できる。しかし、料金所手前までに追越車線をETC搭載車、走行車線をETC非搭載車に振り分けするために誘導標識が必要になり、その標識を見落としたETC搭載車、ETC非搭載車が料金所直前で錯綜することになる。

また、守山方面から料金所までは誘導標識を設置する距離も短く、堅田方面から料金所までは橋梁上に新たに誘導標識を設置する必要があるが、標識での交通誘導については構造上難しい。

(4)ETCレーン配置案④

配置案③と同様にETCレーンを隣り合わせたうえで、中央に配置したのが図-3④である。

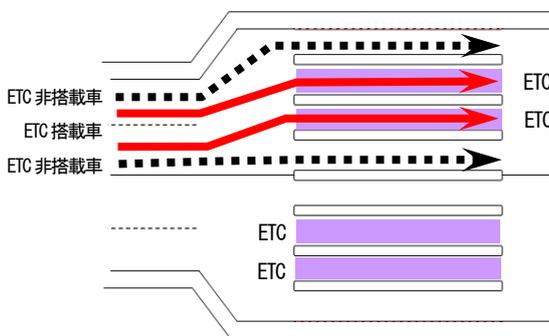


図-3④ ETCレーンを中央に配置した場合

配置案③と同様にETCレーンをまとめて配置するため、ETC搭載車とETC非搭載車が料金所では錯綜しない配置となる。

また追越車線・走行車線を走行しても、ETCレーン・一般レーンの両方を利用可能となり、料金所手前での運転者の視線混乱が生じにくい。

以上の検討をふまえ、警察協議を行った結果、ETCレーン配置については配置案④を採用することとした。

6. NEXCO西日本との事業分担および今後の予定

ETC導入を含めた新たな追加事業である琵琶湖大橋有料道路第6期事業は、平成28年1月20日に国の許可を受け着手したところである。

ETC導入に当たってはNEXCO西日本のETCシステムを利用するため、導入検討時からNEXCO西日本関西支社と協議を行っており、建設に係る事業分担は表-2のとおりとなった。

表-2 ETC設置にかかるNEXCO西日本・道路公社の事業分担

NEXCO西日本関西支社	道路公社
<b>ETCシステム改修</b> ・ETC監視中央装置 ・公社中央システム  <b>ETC設備</b> ・路側無線装置 ・車両検知器 ・発信制御器 ・車線監視カメラ ・料金所サーバ ・車線監視制御盤 等	<b>施設改修</b> ・受配電設備 ・自家発電設備 ・料金機械 等  <b>料金所建物</b> ・ETC機械室 ・安全通路

ETCシステム本体の整備は協定によりNEXCO西日本へ委託するが、これにかかる協定を次のとおり締結した。

基本協定：平成28年8月 4日  
 建設協定：平成28年10月31日  
 設計協定：平成28年11月 7日

NEXCO西日本関西支社と道路公社は各々平成28年度にETC、関連設備の詳細設計を完了した。今後、平成29～30年度の設置工事、平成31年4月の運用開始を予定している。

琵琶湖大橋有料道路の利用者はもとより沿線自治体や県議会等からETCの早期整備を求める声も多く、道路公社としても利用者の利便性向上のため、NEXCO西日本関西支社と連携協力しながら、一日も早い運用開始に努める所存である。

参考文献

- 平成27年度 維持 第A-25号  
 琵琶湖大橋有料道路ETC搭載状況調査分析業務委託 報告書  
 株式会社オリエンタルコンサルタンツ
- 平成27年度 建設 第B-2号  
 琵琶湖大橋有料道路 ETC 設備導入基本計画検討業務委託 報告書  
 西日本高速道路ファシリティーズ株式会社

# 交差点における交通事故対策と効果検証について

太田 奈津江<sup>1</sup>、本宮 有剛<sup>2</sup>

近畿地方整備局 兵庫国道事務所 管理第二課 (〒650-0042 兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号)<sup>1</sup>  
 近畿地方整備局 兵庫国道事務所 計画課 (〒650-0042 兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号)<sup>2</sup>

国道2号春日野交差点は、10車線の国道と7車線の神戸市道が交差する大規模な3差路の信号交差点であり、交通事故(人身事故)が多発している状況であった。

本取組ではこの状況を改善するため、ビデオ調査等による現地状況の確認を行うことで、急な車線変更や減速への対応の遅れがその事故要因となっていることを明らかにした。また、その要因となる行動改善を促す効果的な対策を検討・実施するとともに、それらの行動変化及びドライバーへのアンケート調査から対策効果を検証することができた。

本論文では、効果的な交通安全対策を実施するまでのプロセスと、更なる展開を見込んだ効果検証について紹介するものである。

キーワード 交通事故対策, 交差点改良, カラー舗装化

## 1.はじめに

国道2号春日野交差点は、過去より交通事故が多発しており、平成22年度には『事故ゼロプラン(事故危険区間重点解消作戦)』での対策箇所のひとつとして抽出された。その後、平成24年度に「兵庫県道路交通環境安全推進連絡会議」において、交差道路管理者の神戸市及び公安委員会、兵庫県、学識経験者と現地検討会等を実施し、現状確認・対策の方針を決定した後、平成27年度に事故防止対策工事を実施した。

当交差点で発生している交通事故(H21-H24)には以下の特徴がみられる(図-1, 図-2)。

- ・追突事故の割合が最も高く全体の6割を占めており、次いで出会い頭事故が全体の14%である。
- ・追突事故は国道2号下り線の第1～3車線で多発しており、交差点直近から150m手前まで広く分布している。
- ・出会い頭事故は国道下り線を走行する車両と市道からの流入車との間で多く発生している。

## 2. 春日野交差点の状況

### (1) 交差点概要

国道2号は、大阪府大阪市を起点とし、兵庫県尼崎市、西宮市、芦屋市、神戸市等を経て、福岡県北九州市に至る延長約681kmの主要幹線道路である。

神戸市中央区に存する国道2号の春日野交差点は、10車線の国道2号と7車線の神戸市道が斜めに交差する大規模かつ変則な交差点であり、主に国道2号の下り線で交通事故が多発している状況であった。

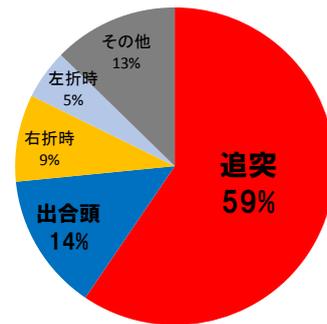


図-1 春日野交差点の事故類型 (H21-H24)

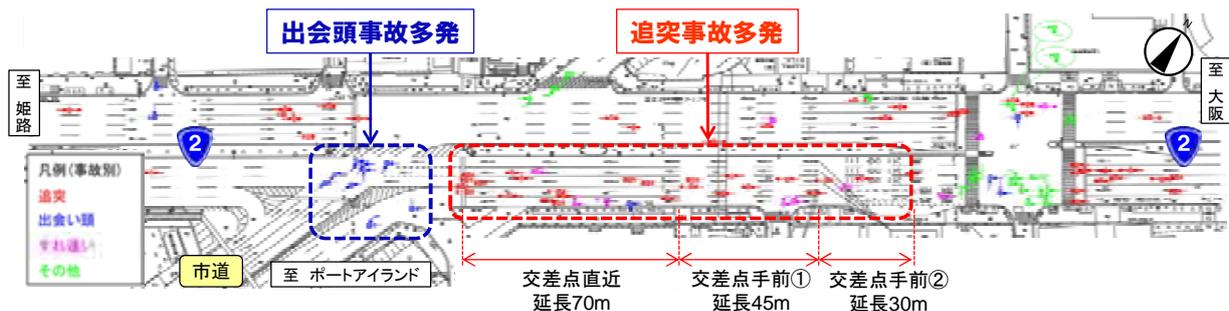


図-2 春日野交差点の事故状況 (H21-H24)

### 3. 交通事故要因の分析

#### (1) 現地視察による現状確認

交通事故の特徴を踏まえ、学識経験者、公安委員会、道路管理者による現地検証のうえ、国道2号下り線で発生している交通事故の要因を分析し、以下の要因が交通事故を誘発していると想定した。

- ① 当該交差点付近の国道2号は長い直線区間が続いており、車両速度が上がりやすい。
- ② 国道2号の下り線では進路が分岐（第1・2走行車線が左折レーン、第3～5走行車線が直進レーン）するため、無理な車線変更を行い急減速が発生する。
- ③ 交差点が広大であるため、走行位置が分かりづらい。

#### (2) 挙動調査による現況確認

さらに追突事故の要因を詳細に把握するため、ビデオ撮影による挙動調査を実施した。ビデオ撮影にあたっては現地視察で想定した事故要因を分析できるよう観測項目を設定し、カメラの台数やアングル等を決定した。また、考察を行ううえで下記のとおり3つの区間に分類した（図-2、表-1）。

交差点直近：停止線から70m（車線変更禁止区間）

交差点手前①：停止線から70m～115mの区間

交差点手前②：停止線から115m～145mの区間

表-1 観測項目

要因	観測項目
①	a. 車両の走行速度
②,③	b. 車線変更台数及び位置
②,③	c. 車線変更車両の後続車両が減速する割合
その他	信号無視車両台数、ウインカーの有無、乱横断者数 等

ビデオ調査は平成24年12月20日（木）7時～10時（朝）、22時～25時（夜）に、ビデオ7台により7アングル撮影した。以下に調査結果のうち、本交差点の特徴が現れた項目について記載する。

#### a) 車両の走行速度

平均速度は直進車線で50.6km/h、左折車線で43.8km/hであり、直進車線においては法定速度（50km/h）超過が約5割と高速走行車両の存在が確認できた（図-3）。

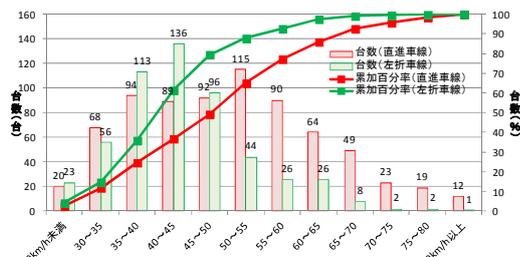


図-3 車両の走行速度

#### b) 車線変更台数及び位置

車線変更台数は左折車線から左折車線の移動（第1車線と第2車線間の移動）が最も多く、無駄な車線変更が発生していることが判明した。また、区画線により車線変更が禁止されている交差点直近の区間での車線変更も確認された（図-4）。

この原因は、本来、直進車線とは独立に付加して設置すべき左折車線がそのような構造になっておらず、進行方向が分かりにくいこと、また、進行方向に気づいても交通量が多くスムーズな車線変更が困難であるためと考えられる。

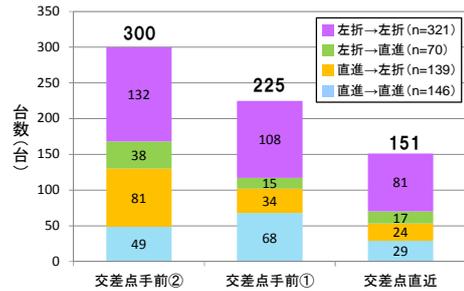


図-4 車線変更台数及び位置

#### c) 車線変更車両の後続車両が減速する割合

車線変更した車両の後続車両が減速する割合は、交差点手前①区間で最も高く、また、直進車線と左折車線間の車線変更時に高い割合であった（図-5）。

この原因は、高速走行している直進車両の前後で無理な車線変更によるものであり、信号による減速が少ない交差点手前①区間でその影響を強く受けていると考えられる。

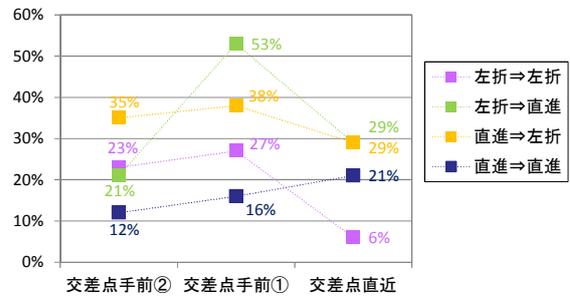


図-5 車線変更車両の後続車両が減速する割合

以上の結果のとおり、現地視察で想定した事故要因が引き起こしたと思われる危険挙動が各項目で確認できた。

#### (3) 交通事故の要因分析

現場視察および挙動調査の結果を踏まえ、事故類型で最も発生数が多い追突事故について交通事故の要因分析を実施した。①道路環境・交通環境が交通事故当事者（運転手）へどのような影響を与え、②当事者がどのような意識・判断をし、③当事者がどのような行動を取るか、それぞれの相関を想定した「バリエーションツリー」を以下のとおり作成した（図-6）。

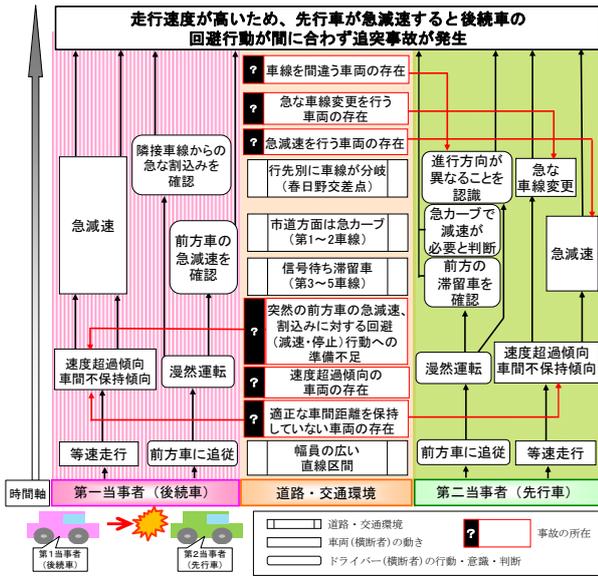


図-6 バリエーションツリー

追突事故の要因を分析したバリエーションツリーで下記のとおり判断した。

広幅員の直線区間を走る車両は漫然運転となり、速度超過や車間距離を十分に空けずに走行することになる。それに加え、複雑な交差点形状であることにより前方の滞留車や急カーブへの認知が遅れ急減速を行ったり、急な車線変更を行うことになる(先行車)。一方、後続車も漫然運転となっていることから、急減速・急な車線変更をした先行車への認知が遅れ回避行動が間に合わず追突事故が発生すると判断した。

出会い頭事故は、国道2号を西進する車両の信号無視が原因であり、長い直線区間と高い走行速度による漫然運転が要因であると判断した。

今回、追突事故をターゲットとした対策を行い、対策の効果検証を行った。

4. 交通事故対策の検討と実施

(1) 交通事故対策の検討・実施

これまでに検討を行った交通事故要因を解消すべく事故対策案の検討を行った(図-7)。

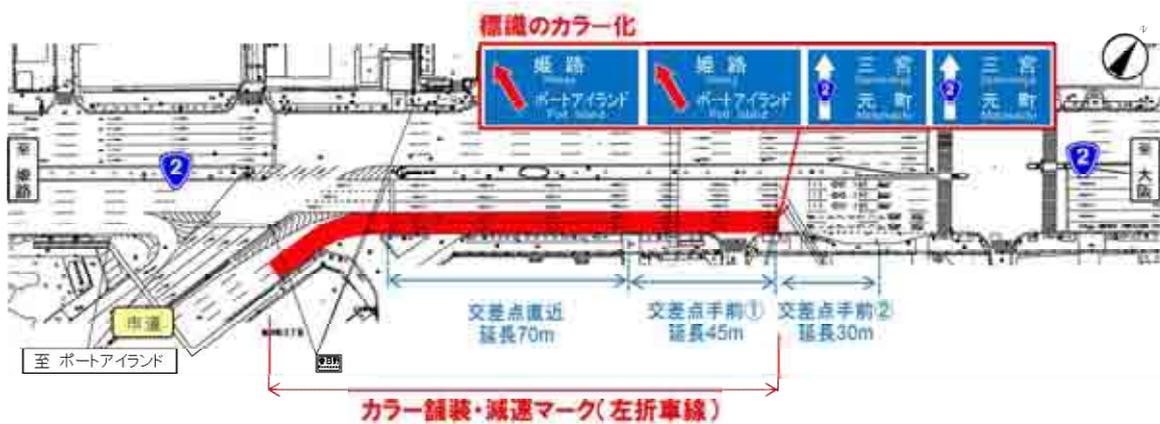


図-7 春日野交差点の対策図

① 迷走対策

本交差点は第1・2車線が左折専用レーン、第3～5車線が直進レーンであり、進行方向を明確にするため既に標識や路面標示による案内をしているが、迷走が生じている状況である。更に運転者が進行方向を把握できるよう、左折車線(ポートアイランド行き)をベンガラ色に着色し、合わせて案内標識も着色することで進行方向を分かりやすくする対策とした。

② 速度超過対策

幹線道路における速度超過対策には一般的に、信号機・信号現時の改良や路面標示・標識による注意喚起、滑り止め舗装等の改良がある。

本交差点は車線数が多く路傍への標識設置では全車線から視認することが困難であることから、車道を狭く見えるように路面標示(減速マーク)を設置するとともに、減速時の制動を向上させるよう舗装の改良(樹脂系滑り止め舗装)を行うこととした。

幹線道路でのカラー舗装化は兵庫県内では、初めて行う対策であり、警察と協議を重ね、車線変更車両が多い左折車線車両の春日野交差点から手前の交差点間をカラー舗装化することにした。

また、カラー舗装化により車線変更車両が減少すれば、直進車線における追突事故も解消されると想定し、路面標示(減速マーク)については急カーブがある左折車線のみに設置することにした。

表-2 対策内容

追突事故	広い直線区間であるため漫然運転になり、速度超過になりやすい	路面標示(ドットライン)の設置	ドットラインの設置により減速を促し、前方車両が減速した場合でも衝突を回避できるようにする
		塗装改良(滑り止め舗装)	タイヤの滑りを抑制し、車両の制動をしやすくして危険時に衝突を回避しやすくする
	車線数の多い区間で進路が分岐するため、進行方向をまちがえた車が急な車線変更を行う	カラー舗装化(進行方向明示)	左折専用レーンにカラー舗装を行うことで進行方向をわかりやすくし、急な車両変更を行う迷走を防止する

5. 対策後の効果検証

効果検証では、交通挙動の変化と利用者意識の変化の2つの観点から検証を行った。交通挙動の変化についてはビデオ観測、利用者意識の変化についてはWEBによる本交差点利用者へのアンケート調査を実施した。

(1)挙動調査

①調査概要

挙動調査は、平成27年10月22日(木)7時~10時(朝)、22時~25時(夜)に事前に実施したビデオ観測と同一の角度で撮影し、対策前後での交通挙動の変化を分析した。

②調査結果

a) 平均速度

平均速度は、直進車線で44.5km/hであり整備前と比較し6.1km/h速度が減少した。一方左折車線は48.8km/hであり整備前と比較し、5.0km/h上昇する結果となった(図-8)。



図-8 平均速度

b) 車線変更台数及び位置

車線変更台数は、左折車線から直進車線、左折車線から左折車線への交差点直近での減少が確認できた。特に、事前調査で車線変更割合が最も多かった左折車線から左折車線への移動が約4割減少しており、車線変更を行う車両全体は676台→458台と約3割減少した(図-9)。

車線変更位置の割合は、カラー舗装が始まる交差点手前①での車線変更が増加し、車線変更が禁止されている交差点直近での車線変更は減少している(図-10)。



図-9 車線変更台数

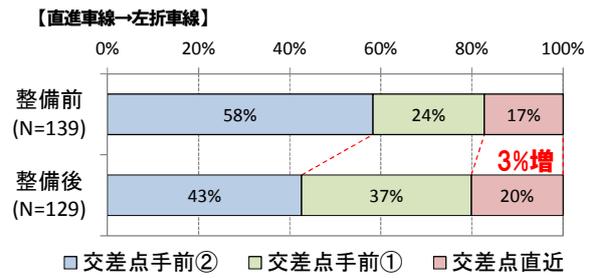
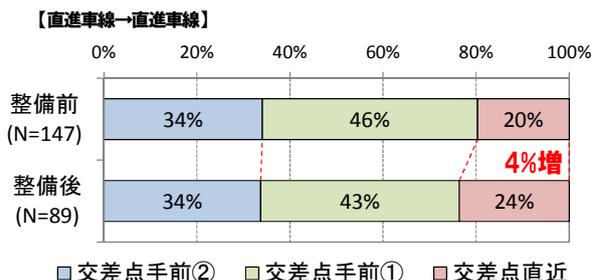
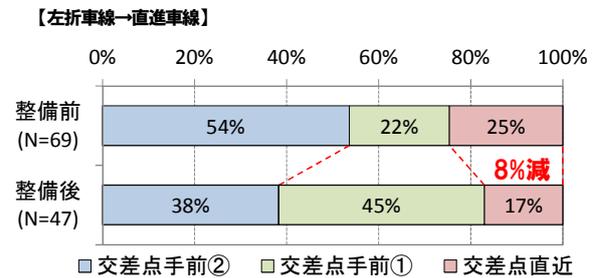
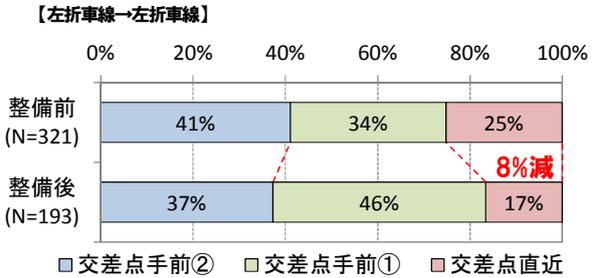


図-10 車線変更位置

c) 車線変更車両の後続車両が減速する割合

車線変更車両の後続車両が減少する割合は、各計測位置で減少した。特に、事前調査で減速割合が最も多かった交差点手前①の区間においても大幅な減速が確認できた(図-11)。

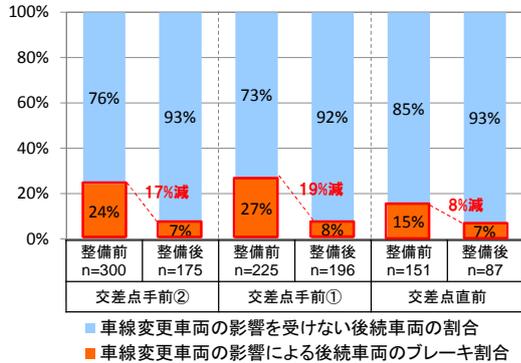


図-11 車線変更車両の後続車両が減速する割合

(2) アンケート調査

① アンケート調査概要

交通事故対策による効果や課題を把握するため、本交差点利用者に対するアンケート調査を実施した。アンケートの概要を以下に示す(表-3)。

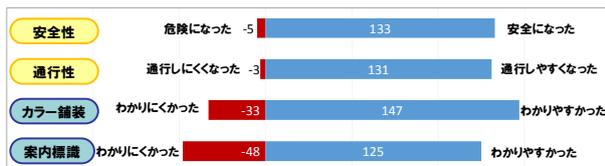
表-3 利用者アンケート調査概要

調査方法	WEB アンケート
調査対象	神戸市在住かつ国道2号春日野交差点利用者かつ自動車運転者
サンプル数	100 サンプル
調査時期	平成27年12月19日~21日
質問概要	安全性、通行性の変化に関する質問 総合的な観点から対策効果の正負評価を行うために、「安全になった/危険になった」「通行しやすくなった/通行しにくくなった」等を-5点から+5点の11段階(0点を含む)で点数付けできる質問とした。

② アンケート調査結果

「安全性」「通行性」とともにプラスの回答が多い結果となったが、対策のわかりやすさに関しては、「カラー舗装」、「案内標識のカラー化」でマイナス評価も目立つ結果となった(図-12)。

自由意見では、「赤色の舗装と案内標識により、左折車線であることが事前に分かりやすくなった」という意見が多く挙げられた。一方で、マイナスの意見としては「対策に気づかない」との回答が多い。



※-5点から+5点の11段階(0点を含む)に重み付けされた回答と回答数とを乗じて得点化し、集計した。 ●:全体評価 ○:個別評価

図-12 アンケート結果

(3) 対策後の効果検証結果

1) 挙動調査

対策前後の交通挙動の変化に着目し、効果検証を実施した結果、①迷走対策、②速度超過対策の効果が以下のとおり確認された。

① 迷走対策 (カラー舗装・案内標識のカラー化)

左折車線にカラー舗装を行うことで進行方向が明確化され、交差点直前で無理な車線変更をする車両が減少した。さらに、車線変更車両の後続車両が減速する割合が低下したことから、追突事故に起因する危険挙動が減少したと推察される。

② 速度超過対策 (減速路面標示・舗装改良)

減速路面標示の設置・舗装改良を行ったが、カラー舗装化等、他の対策を実施したことにより単純比較はできなかった。ただし対策前より左折車線の走行速度が上がっているため、経過を観察し、必要に応じて追加対策を検討することが考えられる。

2) アンケート調査

アンケート調査においても対策効果を認める意見が多く挙げられており、追突対策への一定の効果が認められた。

6. まとめと課題

挙動調査と現地視察により箇所固有の課題である事故要因を特定し、要因に対応した早期に実施可能な対策を講じ、効果検証を行った。

本対策を行うことにより、追突事故の要因と考えられる交差点直近での車線変更の減少を確認することができた。本対策の効果検証より、カラー舗装は車線変更に起因する追突事故の対策として一定の効果が期待できる対策と考えられる。

一方で、カラー舗装が始まる交差点手前①で車線変更をする車両の割合が増加しており、アンケート結果ではカラー舗装に気づかないといった意見もあった。これらの課題については、今後継続してモニタリングを行い、必要に応じて追加対策を検討したい。

今回はビデオ調査等による効果検証を行ったが、対策から期間が経過していないことより、事故データが蓄積しておらず、交通挙動と事故発生との因果関係について統計的な分析は行っていない。

今後継続的にモニタリングを行い、長期的な時系列の中で効果検証を行っていくことも必要と考える。

# 橋梁補修における予防保全の抱える課題について ～失敗から学んだ教訓～

高田 隆史<sup>1</sup>・濃野 大地<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県加古川土木事務所道路第2課 (〒675-8566兵庫県加古川市加古川町寺家町天神木97-1)

<sup>2</sup>兵庫県農政環境部農林水産局治山課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5丁目10番1号) .

本県では、断面欠損や材料の強度低下等により早急に対策が必要な橋梁については、概ね補修が完了し、現在は予防保全にシフトしていく過渡期にある。しかし、橋梁の予防保全を進める際、解決すべき2つの大きな課題を抱えている。①予防保全の代表的な工法であるひび割れ注入工法は、施工管理の方法が確立されておらず、施工不良がよく見られること、②橋梁補修の詳細設計業務で決定した施工内容が、工事実施時の事前調査を受けて大きく変更せざるを得ず、詳細設計業務に費やす時間とコストが無駄になっている点である。本論文では、今後益々需要が高まる予防保全が抱える2つの大きな課題について分析するとともに、着実かつ円滑に実施していくための改善策について提案および検証を行う。

キーワード 橋梁補修, 予防保全, ひび割れ注入工

## 1. はじめに

本県では、施設の安全性の確保に加え、コストの低減と予算の平準化を図り、計画的・効率的に老朽化対策を推進するため、「ひょうごインフラ・メンテナンス10箇年計画」に基づき橋梁補修工事を進めている。これら補修工事のうち、断面欠損や材料の強度低下等により早急対策が必要な橋梁については、概ね平成28年度までに補修が完了し、現在は予防保全にシフトしていく過渡期にある。しかし、橋梁の予防保全を進める際、解決すべき2つの大きな課題を抱えている。①予防保全の代表的な工法であるひび割れ注入工法は、施工管理の方法が確立されていないため、施工不良がよく見られること、②橋梁補修の詳細設計業務で決定した施工内容が、工事実施時の事前調査を受けて大きく変更せざるを得ず、詳細設計業務に費やす時間とコストが無駄になっている点である。

本論文では、今後益々需要が高まる予防保全が抱える2つの大きな課題について分析するとともに、着実かつ円滑に実施していくための改善策について提案および検証を行う。

## 2. ひび割れ注入工法の施工管理上の課題

ひび割れ注入工法とは、ゴムやバネ等の復元力を利用して専用の注入器具により、桁や橋台に発生したひび割れに充填材料(エポキシ樹脂、セメント系注入材など)を低圧で注入する工法である。老朽化の進む橋梁は、まず

ひび割れが発生し、そのひび割れから空気や水分および塩分等がコンクリート内部に進入し劣化が進行することが多く、大半の橋梁補修工事において実施している工法である。本県においても2012～2016年度までの5年間で100件以上のひび割れ注入工法を施工している。その施工フローを図-1に示す。

本工法は従前より建築物の補修工法として用いられていたが、阪神淡路大震災以降は復旧・復興の中で橋梁補修にも数多く採用されるようになった。しかし、橋梁補修の現場へ急速に広まったことから、施工管理基準の整備が追い付かないまま現在に至っている。



図-1 低圧注入工法の施工フロー

(1) 施工不良につながる可能性

前述したとおりひび割れ注入工法は、統一的な施工管理基準が確立されていないため、工事毎に監督員と施工者が協議を行い、施工管理方法を決定しているのが現状である。しかし、ひび割れ注入工法は不可視部への施工であるため、注入状況等を確認するための厳格な施工管理を行わなければ、注入材がひび割れに充填されない施工不良につながる可能性がある。次項では兵庫県加古川土木事務所管内で実際に発生した施工不良事例を示すとともに、発生原因の分析を行う。

(2) 施工不良の発覚とその原因

2016年7～8月に実施した国道250号の橋梁補修工事のひび割れ注入工法において、工事検査時に注入材が十分に充填されていない施工不良が発覚した。全ての補修部分を再チェックしたところ、充填不足は全360箇所のうち97箇所(27%)に及び、施工方法の再確認と施工者にヒアリングを行った。その結果、施工不良となった原因を以下に示す。

a) 注入器具の取付方法が不適切

- ・外見から一連となっているひび割れに対し30cmピッチで注入器具を取付ける計画であったが、幅の狭い部分ではひび割れは一連となっていないケースがあり、注入経路が途切れ充填不足が発生した。
- ・注入器具は注入材をスムーズに充填するため、ひび割れ開口部の中心にセットする必要があるが、ひび割れの形状が複雑であり、注入器具が中心にセットされず注入孔の位置がひび割れ開口部からずれていた。

b) 現場条件への対応が不適切

- ・本施工は夏季に実施しており、対象構造物の温度が使用可能温度よりも高く、注入材の硬化速度が速まり流動性を失ったことにより、ひび割れ末端まで届いていない箇所があった。
- ・一連のひび割れの途中で遊離石灰や漏水が生じている箇所、ゴミやレイタンスが詰まっている箇所があり、注入経路が断たれたことで充填不足となった。

c) 注入状況の確認が不十分

- ・各注入器具の注入量を管理しておらず、各ひび割れの注入量をチェックしなかったため、充填が不十分な箇所に気付かなかった。また注入作業時の経過時間も管理しておらず、注入材の硬化が開始していることに気付かなかった。
- ・注入材の硬化後、グラインダー等でシール材を撤去する際に発生する微粉末を適切に除去しなかったため、充填状況を目視確認できず充填不足に気付かなかった。

上記a)～c)に示す通り、今回の施工不良は、施工者が丁寧かつ慎重に施工を実施しなかったことと経験不足が大きな原因ではあるものの、本工法は専門性が高いにもかかわらず現状では明確な施工管理基準がなく、曖昧に施工を進めている実態があることが明らかとなった。



写真-1 低圧注入工法の施工状況



写真-2 充填不足箇所

(2) 効率的な予防保全の推進に向けた課題

損傷の程度による主な対策工法を表-1に示す。損傷の程度が小さい段階で補修を繰り返す予防保全では、ひび割れ注入工、断面修復工、表面保護工が主な工法となる(表-1)。

このうち、ひび割れ注入工及び断面修復工の設計に関しては、詳細設計段階の現地調査では詳細な打音点検や触診を実施しないため点検精度は低く、工事実施段階で施工業者が吊足場等を設置し、近接調査を行うと、詳細設計業務で決定した施工内容から大きく変更されるケースが多く発生している。

表-1 損傷の程度による主な対策工法

程度	対象工法の例	種別
損傷小	ひび割れ注入工、断面修復工、表面保護工	予防保全
損傷中	床版増厚工、炭素繊維シート張工、鋼板接着工	事後保全
損傷大	床版打換工、外ケーブル工	
損傷特大	橋梁架替	

表-2 ひび割れ注入工および断面修復工の変動状況

※絶対値を表示

施工年度	工事名	低圧注入工施工量(m)		変動率(%)※	断面修復工(m <sup>3</sup> )		変動率(%)※
		当初設計(a)	実施数量(b)	(b-a)/a×100	当初設計(a)	実施数量(b)	(b-a)/a×100
2014	A工事 橋梁補修・耐震工事	482.4	490.3	1.6	0.015	0.035	133.3
2015	B工事 落橋防止装置設置工事	300.0	521.2	73.7	0.171	0.188	9.9
2015	C工事 落橋防止装置設置工事	276.97	-	-	-	0.012	-
2015	D工事 橋梁補修工事	286.41	313.7	9.5	0.590	1.330	125.4
2016	E工事 橋脚補強工事	104.7	94.5	9.7	-	0.080	-
2016	F工事 橋梁補修工事	202.7	147.6	27.2	0.020	0.694	3370.0
2016	G工事 橋梁補修・耐震工事	98.15	70.4	28.3	1.509	1.096	27.4
2016	H工事 橋梁補修工事	1668.0	982.3	41.1	0.750	1.520	102.7

2014～2016年度に兵庫県加古川土木事務所管内で実施した橋梁補修工事のうち、施工規模が比較的大きな8工事について、ひび割れ注入工及び断面修復工の施工実績を確認すると、数量が33倍となる工事があるなど、両工法ともに詳細設計段階と工事実施段階で施工内容を大きく変更していた(表-2)。

そのため、詳細設計の使える部分は少なく、詳細設計業務に費やす時間とコストを無駄にしていると言わざるを得ない。今後、予防保全橋梁の急増が予想される中、この点は更に大きな課題になると考えられる。

### 3. 改善策の提案

前述した各課題に対して以下の改善策を提案する。

#### (1) 新たな施工管理の導入

##### a) 注入器具の取付状況をチェックリストで確認

前述した施工不良の原因となるひび割れの性状及び注入器具の設置状況を管理するには、人為的なミスを防ぐためにもチェックリストを用いた確認が有効である。注入器具の取付け時、注入時、完了時の3段階に分け、ひび割れ性状等に関する11項目を確認するチェックリストを提案する(表-3)。

表-3 注入器具の取付状況チェックリスト

番号	取付け時					注入時					完了時
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
1	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
2	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
3	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
4	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
5	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
6	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
7	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
8	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

- ① ひび割れに石や埃等きれいに除去出来ているか
- ② 座金取付け口の中央にひび割れが位置しているか
- ③ 取付け間隔は30cm以内か
- ④ ひび割れに塗切れた箇所はないか
- ⑤ ひび割れの端部までシール出来ているか
- ⑥ 対象構造物の温度が5℃以上50℃以下になっているか ※温度についてはメーカーに確認。
- ⑦ 注入剤の温度が5℃以上50℃以下になっているか ※温度についてはメーカーに確認。
- ⑧ 可時間内に注入出来ているか ※温度毎の可時間をメーカーに確認
- ⑨ 注入剤の漏れはないか
- ⑩ 最終的に注入器具に注入剤が残った状態であるか
- ⑪ シール剤除去後、注入剤が表面まで充填できているか

##### b) 注入材使用量の管理

各ひび割れにより注入量が異なるのは当然であるが、極端に注入が促進されていない箇所は充填不足の疑いがあるため、表-4に示す管理表により注入量の管理を行うことを提案する。

表-4 注入量の管理表

番号	ひび割れ		セット日時	注入量			撤去日時
	幅(mm)	長さ(m)		1回目(当初)	2回目	注入量 合計	
1	0.7	0.4	O/O 10:00	16		16	△/△ 11:00
2	0.3	0.5	O/O 10:00	12		12	△/△ 11:00
3	0.4	0.6	O/O 10:10	8		8	△/△ 11:00
4	0.3	0.7	O/O 10:10	18		18	△/△ 11:10
5	0.5	0.8	O/O 10:10	20	4	24	△/△ 11:10
6	0.5	0.4	O/O 10:10	20	8	28	△/△ 11:10
7	0.6	0.6	O/O 10:20	12		12	△/△ 11:10
8	0.4	1.2	O/O 10:20	8		8	△/△ 11:20
9	0.4	1.2	O/O 10:20	20	10	30	△/△ 11:20
10	0.5	0.8	O/O 10:20	12		12	△/△ 11:20

本管理表により各注入量の異常値判定を行い、注入量が極端に少ない箇所を検出し、その箇所については再施工を行う施工フローが必要である。

##### c) 温度の管理

注入材は現場で配合を調整することができないため、硬化速度の管理項目は温度管理のみとなる。一般的に注入材の使用可能温度は5～50℃とされているが、注入を行うコンクリート内部の温度は、施工時期・時間帯で適用範囲を超える場合があると考えられる。ひび割れ注入工を実施する際には、注入材の温度だけでなく、対象構造物の温度が適用範囲をはずれていると推測される場合は、構造物を温度調整することや注入材を冷却もしくは加熱する等の工夫が必要である。

また注入材の硬化は完了するまで1日程度の時間を要するが、特に硬化が促進する時間帯である12時間後までの温度管理を表-5に示す管理表で行うことを提案する。大幅に使用可能温度の範囲を超えている場合は、充填不足の可能性を疑い、目視やスコープ等により再確認する必要がある。

表-5 注入材の温度管理表

施工箇所	番号	開始時刻	開始時 注入剤温度 (℃)	気温				撤去時刻	温度管理 判定欄		
				開始時 (℃)	3時間後 (℃)	6時間後 (℃)	12時間後 (℃)				
P1橋脚	1	○/○	10:00	25.3	30.1	28.3	29.1	30.1	△/△	10:00	☑
	2	○/○	10:00						△/△	10:00	
	3	○/○	10:00						△/△	10:00	
	4	○/○	10:10						△/△	10:10	
	5	○/○	10:10						△/△	10:10	
	6	○/○	10:10						△/△	10:10	
A1橋台	7	○/○	10:10	26.0	36.2	29.9	29.8	28.3	△/△	10:10	□
	8	○/○	10:20						△/△	10:20	
	9	○/○	10:20						△/△	10:20	
	10	○/○	10:20						△/△	10:20	
	11	○/○	10:20						△/△	10:20	
	12	○/○	10:20						△/△	10:20	

(2) 概数の施工数量による工事発注の導入

詳細設計業務を省略し、概数の施工数量で積算し工事発注した後に、工事実施段階で詳細調査を行い、施工内容を確定する手法の導入を提案する。本手法の導入により、ひび割れ補修に係る詳細設計業務を省略できるため、10～20%のコスト縮減及び4～6ヶ月の工期短縮が期待できる。また跨線橋や跨道橋の管理者協議が必要となる橋梁については、詳細設計業務で実施する現地調査に係る協議を省略することができるため、発注者の事務量低減にも寄与する。本手法は構造計算を必要としない予防保全的補修工法に導入しやすいと考える。

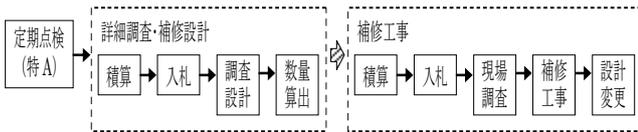


図-2 従来の標準的な橋梁修繕工事のフロー

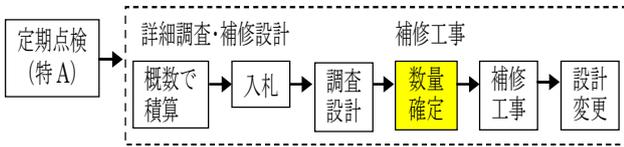


図-3 概数工事発注を導入後のフロー

4. 提案した改善策の検証

(1) 新たな施工管理の試行

提案した施工管理方法の効果を検証するため、2016年に実施した主要地方道神戸加古川姫路線に架かる小川橋(橋長:22.08m、幅員:9.0m)の橋梁補修工事で試行を行った。その際、以下の2点に留意した。

- ・ 十分な品質を確保できるか。管理項目は適切か。
- ・ 施工者及び監督員に過度な負担とならないか。

試行を実施した結果を以下に示す。

新たな施工管理の導入により、施工段階毎に注入状況を確認することが可能となり品質の高い施工を完了させることができた。ひび割れ注入工は吊足場等の仮設工を伴うため、手戻り工事を防止する観点からコスト縮減及び工期短縮に大きな効果があった。

ただし今回試行した小川橋は小規模な橋梁にも関わらず、施工者はひび割れ毎の管理表作成に多くの時間と労力を要し、また監督員の現場確認も長くなり、監督員への負荷もかなり大きくなった。今後は大規模な橋梁補修も想定し、未充填等の施工不良が発生しやすい箇所を絞り込んだ上で、その箇所について新たな施工管理を導入していく等の改善が必要である。更に、夏季施工以外は温度管理の頻度を一部省略することも検討したい。

(2) 概数の施工数量による工事発注の試行

兵庫県加古川土木事務所管内の2015～2016年度橋梁補修工事において、概数による工事発注を2件試行した。いずれも比較的小規模な橋梁を3橋まとめて発注したものであり、詳細調査・補修設計を省略することにより大幅な時間とコストの縮減を実現した。但し、今後本手法を本格導入する際に留意すべき点が2点ある。ひとつは点検結果から当初設計に用いる概数の設定方法であり、橋梁補修工事に不慣れな職員が担当した場合でも、正確かつシステムチックに概数を設定することができるよう、手法の確立が不可欠である。このため、今後とも大規模な橋梁も含めて試行を重ねつつ実績データを蓄積及び分析し、当初設計の概数を設定する手法を改善していく必要がある。もうひとつは工事の事前調査段階ではじめて把握される詳細な損傷状況について、短時間で原因を分析し対策を決定するための技術力が監督員に求められる。そのため、実践的な講習会や勉強会を実施する等、職員の技術力の底上げを図ることが本格導入に移る鍵となる。

5. おわりに

本論文では兵庫県加古川土木事務所管内の工事实績から、予防保全の抱える課題について分析し、その改善策を提案した。既に提案した内容を一部試行し、効果を十分確認していることから、本格導入に進めるべき段階にある。近い将来大量の橋梁補修工事が必要となる中、これらの有効性について更に検証し、効率的な予防保全の実施スキームを早期に確立していくことが重要である。

参考文献

- 1) 土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)H28.

# FRPM管の変状逆解析における 管基礎設計・施工への適用について

内村 和彦

近畿農政局 淀川水系土地改良調査管理事務所 (〒612-0855京都市伏見区桃山町永井久太郎56)

滋賀県長浜市に造成された農業用基幹水利施設の草野幹線水路は、昭和55年度から昭和57年度に草野川沿いに造成されたオープンタイプのパイプライン（FRPM管,5種,管径,Φ900～1,350mm,延長4.2km）で、平成23年度に実施した機能診断調査において、許容たわみ超過、割れ、変形、これらに伴う漏水が確認された。

本報告では、FRPM管の変状要因の解明のため、管内部にひずみ計を設置し、上載荷重を段階的に減少させ、ひずみ値の逆解析を行い、パイプライン施工に係る留意事項と管基礎設計への適用として取りまとめを行った。

キーワード 農業用水路, FRPM管, ひずみ, 管基礎

## 1. はじめに

国営土地改良事業により造成された基幹的な農業水利施設は、戦後の食糧増産時代や高度成長期に多く整備されているため、今後一斉に耐用年数を超過していくこととなり、突発事故や経年変化による施設機能の低下が懸念されており、これら、農業水利施設の長寿命化対策を実施するに当たり、ライフサイクルコストの低減を図る必要があるが、診断技術、劣化予測、評価手法、対策工法の有効性など、技術の確立が必要不可欠となっている。

本報では、この技術の確立のために実施したひずみ値の逆解析によるFRPM管の変状要因の解明について、パイプライン施工に係る留意事項と管基礎設計への適用を報告する。

## 2. 施設の概要

1980年～1982年に滋賀県長浜市に造成された草野幹線水路は、オープンタイプのパイプラインで、地上条件を水田及び農道とする延長4.2km、口径900mm～1,350mmのFRPM管5種となっており、2011年に実施した機能診断調査により、図-1に示す位置において変状が確認された。

確認された管体の主な変状は許容値の5%を超過する管体のたわみ（最大15%）で、その他に割れ、変形、それらに伴う漏水となっている。図-2に変状状況を示す。



図-1 草野幹線水路変状位置図



図-2 変状状況写真

3. 解析の概要

(1) 解析の概要

一般的なパイプラインの変状は、変状現象と変状要因に関係性をもっており、変状現象によっては複数の変状要因が考えられ、管体の許容たわみ超過においては、品質不良、過載荷重、地盤の緩み、施工不良が主要因として推定できる。

このうち、地盤の緩みを確認する手法として、管体に発生したひずみの状態をひずみゲージにより把握し、ひずみの状態から地盤の状態を推定する逆解析を行った。

このひずみの計測は、通常は応力を与える前の測定対象物にひずみセンサを設置し、応力を加えることで測定対象物に発生するひずみを計測するが、今回は、既設変状管に発生済みのひずみを計測するため、応力が加わっている状態の管体内面にひずみセンサを設置し、そこから応力を解放することで、管体に発生していたひずみの復元把握を行った。

(2) 調査管体の諸元等

a) 管体の諸元

- 管種 : FRPM管 5種
- 形成法 : フィラメントワインディング法
- 口径 : φ1,350mm
- 管厚 : 27mm
- たわみ : 5.3% (最大)
- 造成年 : 1982年

b) 設計・施工上条件 (造成時)

- 基礎 : 砂基礎
- 支持角 : 90° (施工支持角)
- 基床厚 : 300mm
- 土被り : 約3.8m
- 地上部 : 水田 (造成時から変化はない)

(2) 計測結果

管体に作用する応力は、一般的には管底において最大となるが、応力解放により計測したひずみ量は、管頂で-2,658μm、管側部右岸側で3,377μm、管側部左岸側で3,421μm、管底で-730μmといった結果になった。表-1にひずみ量計測結果、図-4にひずみの分布を示す。

なお、管体の内圧試験及び外圧試験、燃焼試験を実施したが、いずれの試験においても規格値を満足しており、管体の品質不良等の問題は確認されなかったことから、変状要因は管側部埋戻土の支持力低下である考えられた。

表-1 ひずみ量計測結果

区分	番号	ひずみ量 (μm)	備考	
埋戻部	管頂部	23	52	
		24	-2,844	
		1	-2,658	
		2	-2,524	
		3	-1,482	
	管側部 右岸部	4	34	
		5	1,732	
		6	3,027	
		7	3,377	
		8	2,136	
基礎部	管底部	9	47	
		10	-1,134	
		11	-1,344	
		12	-853	
		13	-730	最小値
		14	-1,048	
		15	-1,795	
埋戻部	管側部 左岸部	16	-1,139	
		17	15	
		18	1,973	
		19	3,421	最大値
		20	2,024	
		21	1,840	
		22	-1,590	

+ : 管外側方向のひずみ  
- : 管内側方向のひずみ

4. ひずみ計測

(1) 計測方法

ひずみの計測位置は、最大たわみ5.3%を計測した管の中央部とし、センサの設置作業に支障を及ぼさない離隔を確保で、横断方向のひずみを密に計測するため、15° 間隔で24点の計測を実施した。ひずみゲージのセンサ設置イメージを図-3に示す。

センサ設置後は、μm単位の微小なひずみ計測に影響を及ぼさないよう、土圧影響ラインの外から慎重に管側部埋戻土 (基礎部上面) まで掘削し、管体に作用していた応力の解放を行い、ひずみの復元把握を行った。

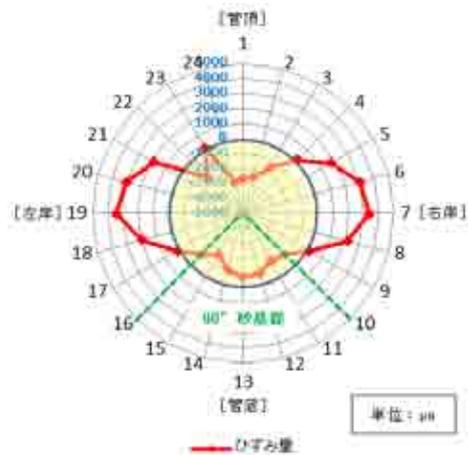


図-3 ひずみ分布図

5. 構造解析

ひずみの発生状態から地盤状態を把握するため、図4に示す解析モデルで平面2次元歪み解析を実施した。



図4 解析モデル

(1) 境界条件

a) 固定条件

周辺土の底面及び側面を法線方向に固定

b) 負荷条件

管と埋戻部のみ自重

c) 接触条件

土と管，摩擦係数0.3

d) 種類

- (管) : 管 体
- ① : 地表面～管頂
- ② : 管側部
- ③ : 管基礎
- ④ : 地 山
- ⑤ : 基礎地盤

(2) 材料物性値

管は弾性モデル，土はモールクーロンモデルとし，物性値は管側部(②)の弾性率を除き土質試験結果等によって表-2のとおり設定した。

なお，管側部(②)の弾性率については，管側部の緩みを考慮し，たわみ率5%に合うように小さく設定した。

表-2 物性値

	弾性率E (MPa)	ポアソン比	摩擦角 $\phi$	粘着力c (kPa)	重量 (kN/m <sup>3</sup> )
管	15,000	0.30	-	-	19.6
①	11	0.35	30	5	19.0
②	0.065	0.40	30	5	17.0
③	2.3	0.40	30	5	-
④	75	0.30	30	5	-
⑤	75	0.30	30	5	-

(3) 解析結果

a) ひずみ

解析ひずみと，現場で実測した復元ひずみを比較すると，形状が類似し，ひずみ量に若干の差はあるものの整合性があることが確認された。図-5にひずみ分布の比較図を示す。

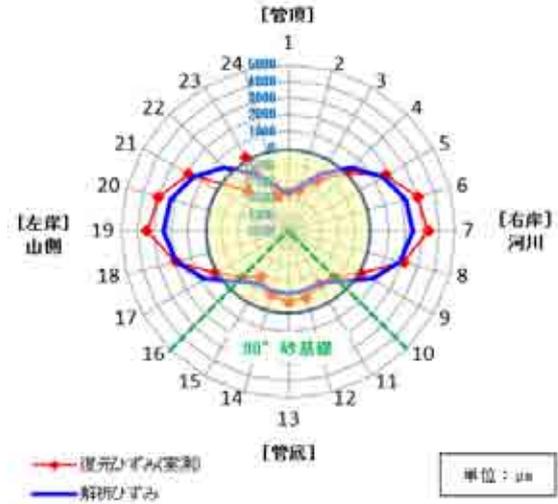


図-5 ひずみ分布比較図

b) 全体変位

全体変位は，図-6に示すとおり，管直上部に載っている土全体が一様に鉛直変位を起こし，地表面において113mmの沈下が発生する結果となった。なお，調査管体の直上部は田面であったことから，地表面の沈下が判然としなかったが，今回調査地点から約15m下流の道路部においては，地表面で10cm程度の沈下が確認されており，地表面の変形形状は解析結果と現場状況に整合性があると考えられる。

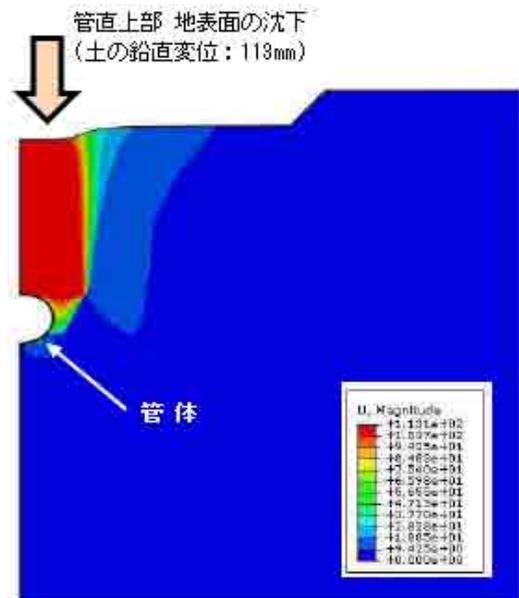


図-6 全体変位分布図

c) 土の塑性ひずみ

管直上部の土の境界において大きな塑性変形が発生しており、この領域のせん断崩壊により、周辺の土と縁切りされる結果となった。図-7に土の塑性ひずみの分布図を示す。

設計基準では、土被り2.0m以深ではマーストンの公式により構造計算を行うこととなるが、今回の現場においては、塑性変形に伴う周辺の土との縁切りによって、マーストンの公式より土圧の大きくなる鉛直土圧公式に近い土圧が作用したと思われる。

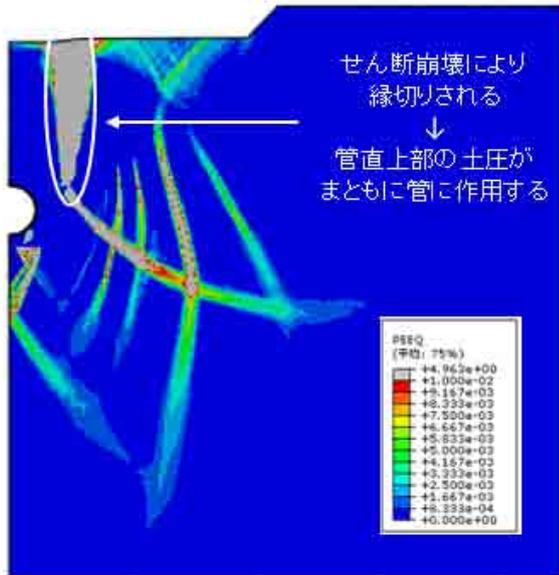


図-7 土の塑性ひずみ分布図

d) 管体の変位

管体の変位は、管側部埋戻土の支持力低下に加え、土の塑性ひずみに伴う管体へ作用する土圧の増大によって、図-8に示すような、大きなたわみが発生していると考えられる。

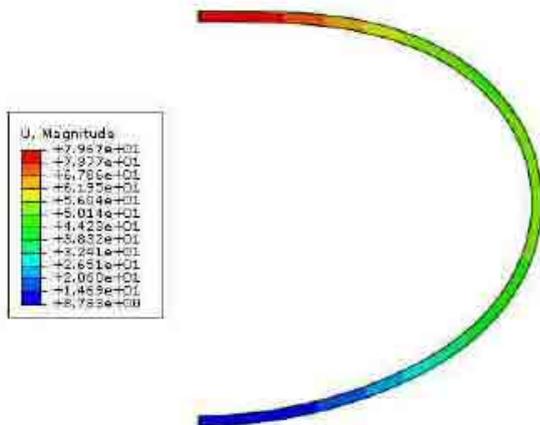


図-8 管体の変位分布図

(4) 評価

今回の調査に合わせ、管側部埋戻土の現場密度試験を実施したところ、締固度が75%と非常に緩い状態であることが確認でき、変状要因として推定した管側部の緩み（支持力低下）と一致する結果となった。

また、地盤状態の逆解析により、土の全体変位や土の塑性ひずみから管体に作用する土圧の状態を推定・把握することで、変状メカニズムの解明に繋がる有効性の高い調査であると考えられる。

なお、一般的なひずみゲージ調査は、模擬管路試験や埋戻時などにおいて管体に作用する応力の増加状態を計測するために実施されるが、今回実施した調査手法はこれとは逆であり、管体に作用する応力の低減状態を計測することにも有効であることが確認できた。

(5) 緩みの要因

今回調査した管側部の埋戻土においては、開削確認により細流分が地山に付着していることが確認され、地下水調査によって、地下水位が管頂付近の高い位置で推移していることが判明しており、地下水の影響により埋戻土の細流分が流亡したことで、管側部の緩みが発生したと推察される。

6. 管基礎設計・施工への適用

設計基準においては、地下水は浮力の検討や変形遅れ係数の補正といった構造計算上での評価となっており、基礎部に与える影響は評価されていないため、基礎及び埋戻し材料の選定においては、地下水などに対する留意が必要であると考えられる。

今後、改修計画等のある地区では、調査や実施段階において、ひずみゲージを用いた実測確認及び再現解析などを行い、地盤の状態を詳細且つ適切に把握することで、その地域の地下水特性や現況に見合った基礎構造の選定、基礎材の検討、施工管理上の留意点などに資すると考えられる。

7. おわりに

管水路における構造計算では、基礎反力は均一と仮定した上で断面での計算を行うが、基礎材料等に緩みが生じた場合、基礎反力は必ずしも等分布とならないことが考えられるため、特にFRPM管のような異方性を持つ管体においては、管接続部と管中央部のたわみ変化に留意するとともに、断面方向以上に管軸方向の評価が重要になると考える。