

道路が複雑交差する高架橋での上部工横ずれ復旧手法について

山田 陽¹・川上 修²

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

²酒井工業株式会社 大阪本社 技術部 (〒559-0025大阪府大阪市住之江区平林南1丁目3-30)

畑田高架橋(国道171号)は名神高速道路茨木ICランプや府道14号と交差する箇所に架設されており、PC橋部4径間と鋼箱桁部7径間で構成されている。このうち鋼製橋脚であるP5橋脚部では大阪府北部地震により支承セットボルトが全数破断し上部工が約50mm横ずれを起こした。本工事は震災直後に応急復旧した支承部に対して本復旧することが目的であった。

本稿では、路下道路の切り直しおよび交通規制を伴うベント・調整装置工法に替わって、鉛直・水平ジャッキを分割して設置する鋼製ブラケット工法を採用することで橋面および路下交通を規制することなく、横ずれした上部工を元の位置に復旧した手法について報告する。

キーワード 震災復旧, 横移動, 支承取替え, 連続高架橋

1. はじめに

畑田高架橋(以下、本橋)は国道171号大阪府茨木市に位置している。名神高速道路茨木ICランプや府道14号と交差する箇所に1974年に架設されており、PC橋部4径間と鋼箱桁部7径間で構成されている。

本橋は、大阪府北部地震(2018.6.18 7:58am.)により震度5強から6弱の揺れに被災したことでP5橋脚において既設鋼製支承を鋼製橋脚と接合しているセットボルトの全てが破断し、その結果、上部工が北側(横断勾配の低い側)に約50mm変位した。それらの損傷は橋梁定期点検

(2018年11月)にて把握され、2019年9月に応急対策としてズレ止めプレートが設置されていた。その復旧対策検討において、「本復旧時には支承を元の位置に戻した後に、耐震補強設計に基づく耐震性能を有する支承に取替える」方針が結論付けられた。

支承位置を動かす上部工横移動のような施工例は稀である。また、当該箇所は道路が複雑交差することで施工制約が多い条件下での工事となった。このような工事は今後発生が危惧される大規模地震の災害復旧において参考事例となるため、本稿では現道交通を確保しつつ安全に上部工を横移動した手法について報告する。

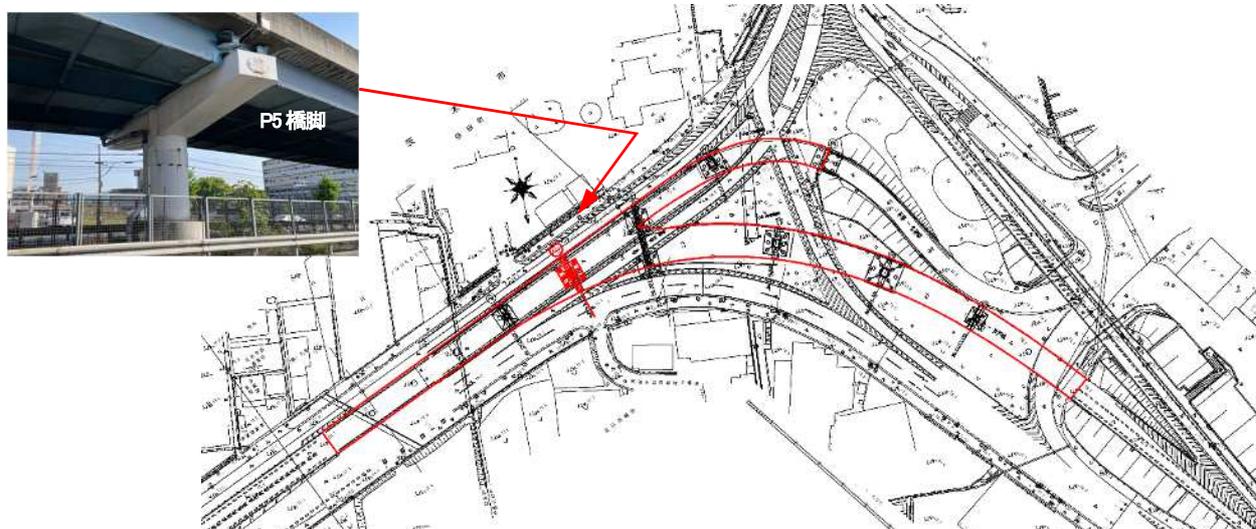


図-1 平面図およびP5橋脚全景

2. 横移動計画

本工事の施工場所は名神高速道路茨木ICにあり、橋梁の下には府道が通行している。このことから施工時の交通への配慮が最も大きな課題となっていた。

上部工を横移動する場合は、一般的には横取り装置と呼ばれるジャッキシステムを利用する。その場合、ジャッキシステムのスペースを確保する必要があるが、本橋のように桁端切り欠き構造でブラケット設置スペースが十分でない場合には、橋脚を挟んで起終点両側にベントを設置する必要があり、路下道路の切り廻し・復旧が必要となる(図-2)。

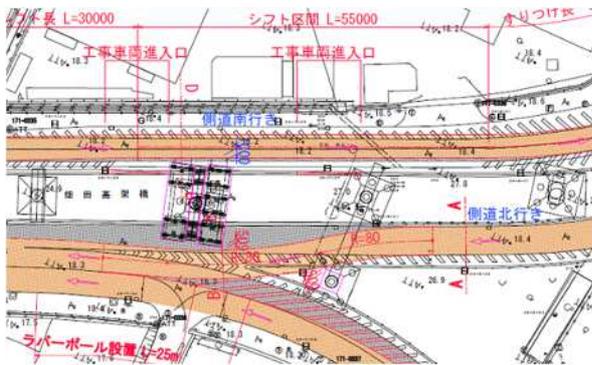


図-2 路下道路切り廻し計画図

そこで切り廻し・復旧を行わず、現交通への影響を最小限とするため、一般的に使用するジャッキシステムを使わず、ベントを設置しない横移動計画を検討した。

本現場では、鉛直荷重を支持するジャッキと横移動反力を受け持つジャッキを個別に設置することとした。その横移動の手順を図-3に示す。

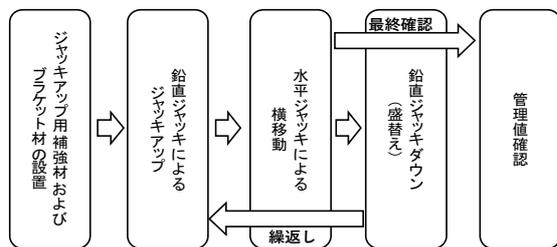


図-3 横移動の手順

以下、横移動するための計画策定時に特に配慮した次の3点について詳述する。

- (1) ジャッキ配置とジャッキ受け方
- (2) 移動完了時の管理基準
- (3) 安全性を高めるための工夫

(1) ジャッキ配置とジャッキ受け方

- ① 鉛直ジャッキは橋脚梁前面に追加するブラケット上に設置するため、ブラケット設計が成立するか否かが一番のポイントとなった。ブラケットは、製作・設置が煩雑になることを避けるため、AG1-R側のような単純な形状とすることが一般的である。しかしながら、AG1-L部では橋脚梁先端付近の接合面高さが不足するため、単純形状のブラケットは設置できなかった。設計が成立しない場合、路下道路の大規模規制が必要となるベント工法に帰着することから、製作・設置上の問題点をすべて解決したうえで、敢えて特異な形状のブラケット(図-4、写真-1)を設計した。

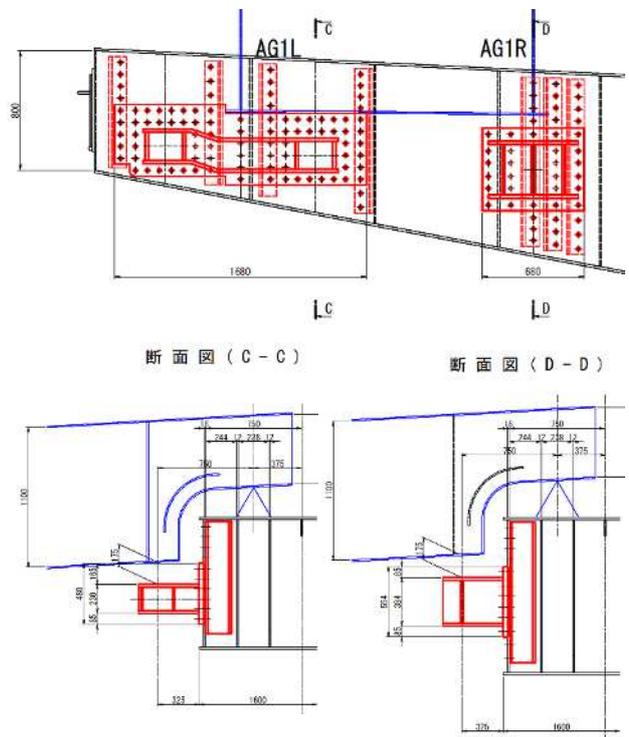


図-4 梁端部ブラケット構造



写真-1 梁端部ブラケット構造

- ② 鉛直ジャッキ用ブラケットを梁側面に配置できたことから、横移動用装置類は図-5、写真-2に示すとおり梁天端に配置した。具体には、横移動は梁横断勾配の低い側から高い側に向けて上部工を移動させるため、水平ジャッキ用反力架台は横断勾配の低い側に現場溶接接合することとした。溶接接合としたのは、横移動が想定外の方に動いた場合に、水平ジャッキ推力方向を変更するために臨機に架台の設置方向を変更することに適しているからである。また、横断勾配の高い側にはガイドプレートを設置した。ガイドプレートは、横移動終着点への誘導、ジャッキアップ中の不測の外力による意図しない方向への移動の抑制、必要以上の横移動の防止といった安全対策である。

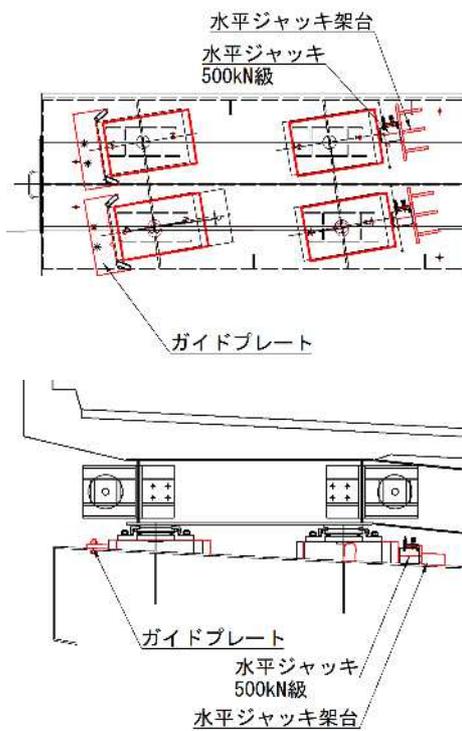


図-5 横移動構造の配置 (G1部抜粋)



写真-2 横移動構造

(左：水平ジャッキ、右：ガイドプレート)

(2) 移動完了時の管理基準

横移動の目的は支承を「元の位置」に戻すことであるが、竣工時の支承位置がどこなのかを正確に現地に墨出しすることは困難である。それは橋脚内部には支点補剛材やダイヤフラム、フランジ補剛リブなど多くの部材があり容易に距離を計測できないことに加え、出来形寸法が不明なことに起因する。よって、元の位置を決定するためのガイドプレートは、写真-3に示すとおり、鋼材表面の発錆状況などを頼りに設計した。検証として、その幾何構造を図面上で再現したが、竣工時図面とはセンチメートル単位で誤差があることが判った。

このような事実から横移動出来形管理は、竣工図を基準とするのではなく、現実的な管理基準を設ける必要があることが判った。よって、管理値は図-6に示すとおり、各桁最低1か所で支承セットボルト孔と橋脚セットボルト孔の重なり誤差が10mm以下とした。これは、支承線上の相対位置は上部工全体で形状保持されているため、個々に大きく変位することはなく、両外桁である程度の誤差範囲に収まっていれば、支承線全体としてはその後の取替支承設置時に大きな問題にならない程度の誤差であると考えたからである。

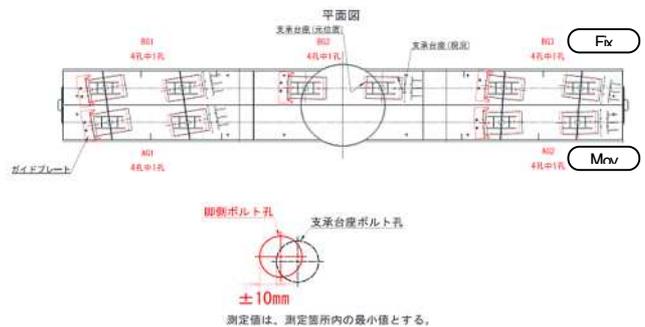


図-6 管理基準の設定



写真-3 ガイドプレート製作実測状況

(3) 安全性を高めるための工夫

本工事では横移動する際の摩擦による橋軸直角方向反力を精度よく把握して設計に反映することが安全な施工を行う上で重要と考えた。

油圧ジャッキ製作会社が実施したすべり試験では摩擦係数平均値は $\mu=0.0093$ であった。この値を基に、ブラケット構造は死活荷重反力に対して $\mu=0.1$ （死荷重換算すると概ね0.2）、横移動設備は交通量が大きく減少する夜間に実施することを踏まえ、死荷重反力に対して $\mu=0.15$ と想定した。

ただし、現場作業と試験室との環境の乖離により、現場では摩擦係数が高くなることが想定されるため、できるだけ滑りを良くするために、PTFE乾性潤滑剤を摩擦界面に塗布することとした。



写真4 PTFE剤塗布状況

3. 施工

(1) 仮設

工事用足場等は、小規模な横移動計画が成立したため、通常の吊り足場となり、交通への影響を最小限にすることができた。



写真5 施工足場設置状況

(2) 横移動

横移動作業状況を写真-6に示す。作業は夜間に実施し、約3時間で横移動を完了した。

最初のステップとして、ジャッキ反力の検証を実施した。その結果、水平反力はジャッキ油圧（10MPa程度で滑動開始）から圧力換算すると、400kN程度であった。これは設計死荷重3,600kNに対して摩擦係数 $\mu=0.11$ 相当

であり、設計想定（ $\mu=0.15$ ）を下回っていたことから横移動作業を安全に実施できると判断した。

なお、死荷重については正確な測定はできなかったが、ジャッキアップ時鉛直ジャッキ油圧平均230kg/cm²から算定すると、実際の死荷重は3,700kN程度であり、設計値から大きな逸脱はなかった。



写真6 施工足場設置状況

その後、横移動のための水平ジャッキ入圧と鉛直ジャッキ滑り板の盛替えを交互に実施し、写真-7に示す通り既設支承がガイドプレートに収まるまで横移動を行った。

ガイドプレートに支承部が接触した時点でセットボルトの孔の目違いを確認し、管理基準を満たしていた（写真-8）ことから夜間作業を完了した。



写真7 移動完了時橋座状況

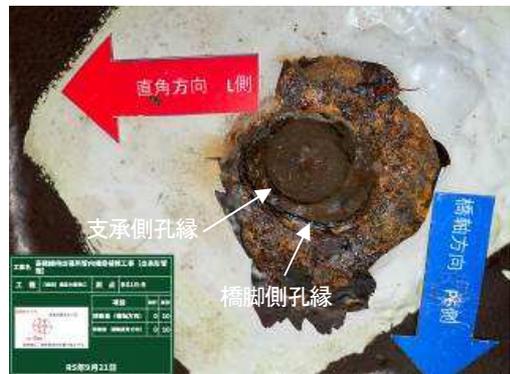


写真8 セットボルト孔整合状況

(3) 結果

横移動後のセットボルト孔の目違いについて表-1に示すが、横移動結果は、「各桁において最低1か所で孔の目違い量を10mm以内とする」とした管理基準値内に収まった。結果を詳細にみると、A橋（可動支承側）とB橋（固定支承側）で目違い量に差異がでたが、これは可動支承では横移動に際して下桁が橋軸方向に動いたことに起因すると考えられる。

また、横移動後は耐震基準を満足するBタイプのゴム支承に支承を取替えたが、横移動精度に関連する不具合はなく、支承取替えも含めて安全に作業を終えた。

表-1 管理基準に対する施工結果一覧

単位：mm

B橋(Fix)			A橋(Mov)			
G1	L	L	6	G1	L	7
		R	6		R	9
	R	L	11		L	11
		R	3		R	15
G2	L	L	7	G2	L	12
		R	14		R	10
	R	L	8		L	15
		R	1		R	17
G3	L	L	0	【総括】 全支承部において管理基準を満足できた		
		R	8			
	R	L	2			
		R	1			

※着色は基準値範囲外を示す



写真-9 完成

4. まとめ

本工事をとおして得られた知見を以下に記す。

横移動計画においては、狭隘な現場に合わせた専用ブラケット設計およびジャッキ配置計画を検討することで交通に配慮した計画を立案した。

また、大規模地震による橋梁の横ずれを復旧する特殊な施工であり精度管理基準がない中、実際の変状を踏まえた現実的な許容範囲の視点から独自に管理基準を定めることで品質向上を図った。

現場施工においては、現道を通しながら正確な横移動を行う必要があることから、ガイドプレートを用いることで横ずれした橋梁を既設支承の位置まで復旧することができた。

以上から、本稿にて行った大規模地震時の橋梁上部工の変位復旧施工は、現道交通に特段の配慮が必要な現場条件、標準的なブラケット設置が困難な狭隘施工が求められる現場において優れた施工方法であり、今後南海トラフ地震などの大規模地震が想定されるに日本における有用な施工事例であると言える。

5. 今後の展望

本稿では、精度管理において支承線全体としてある程度の誤差を許容する基準を設けることで、一定の成果を得た。今後、更なる精度向上を考えていきたいが、当面措置としては本稿の考え方を参考に支承線全体で評価した場合の標準的な精度管理基準を設けることで、大規模災害時の復旧工法の一助となることを望む。

以上

シールドトンネル等の施工時における 近接影響把握の検討に関する一考察

増田 一喜¹・小玉 高司²

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

²近畿地方整備局 奈良国道事務所 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11) .

大和北道路（奈良北IC（仮称）～奈良IC（仮称））は、奈良市歌姫町から奈良市八条三丁目を結ぶ6.1kmの高規格道路であり、計画延長のうち約4.0kmのシールドトンネル区間、約0.5kmの開削トンネル区間が計画されている。それらのトンネル区間のなかでも南側立抗付近ではJR関西本線（奈良・郡山間）高架化、新駅設置事業などが予定されているなど、近接箇所では複数の工業者が稼働している状況。

本稿ではそのような限られた作業エリアの中で、新たに整備される鉄道施設に対してシールドトンネル等の施工時にどのような影響を及ぼすのか考察したものである。

キーワード 大和北道路、シールドトンネル、開削工事、近接影響検討

1. はじめに

大和北道路は京奈和自動車道の一部で、京奈道路の木津IC付近から西名阪自動車道までの区間の延長約12.4kmの高規格道路である。

平成21年3月に奈良IC（仮称）～郡山下ツ道JCT間（延長6.3km）が事業化され、平成30年4月には奈良北IC（仮称）～奈良IC（仮称）間（延長6.1km）が事業化されるとともに、大和北道路全線において、公共事業と有料道路事業との合併施行方式にて事業が行われることになった。

大和北道路（奈良北IC（仮称）～奈良IC（仮称））の区間には約4.0kmのシールドトンネル区間、約0.5kmの開削トンネル区間が計画されている。

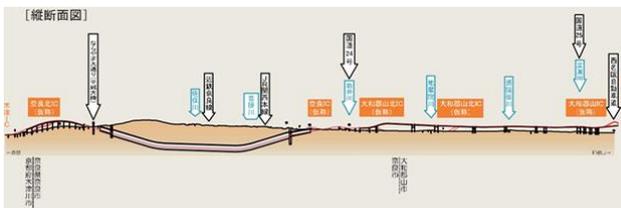


図-1 大和北道路 縦断面図

更に奈良IC（仮称）周辺では、シールドトンネル南側立抗及び開削トンネル、JR関西本線（奈良・郡山間）高架化、新駅設置事業、都市計画道路 西九条佐保線の整備事業、奈良市のまちづくりなどが狭隘な作業スペースの中で同時に行われている状況である。また、シールド

トンネルには立抗やそこに繋がる開削トンネルがあり、非開削工法のシールド区間より、開削工法の立抗や開削トンネルの施工時に与える影響が課題となっている。

本稿では奈良IC（仮称）周辺の中でもシールドトンネル（開削トンネル含む）と最も近接するJR関西本線（奈良・郡山間）高架化事業に対して近接施工影響解析を行い、その解析結果について考察したものである。



図-2 奈良IC（仮称）周辺 計画平面図

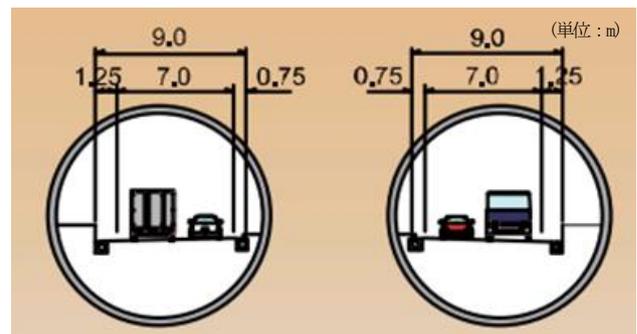


図-3 シールドトンネル 標準断面図

2. JR関西本線への影響検討について

(1) 検討概要

JR関西本線（奈良・郡山間）高架化事業とは、JR関西本線奈良駅～郡山駅間（奈良市大森町～八条4丁目）の踏切による交通渋滞や踏切付近における交通事故、鉄道による市街地の分断などの課題が顕在化していることから、4箇所の踏切を除却し、鉄道と道路を立体交差化することで交通の円滑化や通行の安全性を図るとともに新駅を設置し奈良県有数の交通結節点となることを期待し、整備を進めている事業である。

新駅の設置及び線路の高架化を行うに伴い、運輸路線を既設線路から仮線に移す必要があるが、事業用地が狭隘なため、仮線設置を既設線路の東側（奈良IC（仮称）側）に移すしかなく、大和北道路シールドトンネルの南側立抗及び開削トンネルに近接する状況である。

(2) 解析内容

シールドトンネル南側立抗及び開削トンネルがJR仮線に与える影響を定量的に把握することを目的に、2次元FEMによる影響解析を図-4に示す3断面で実施した。

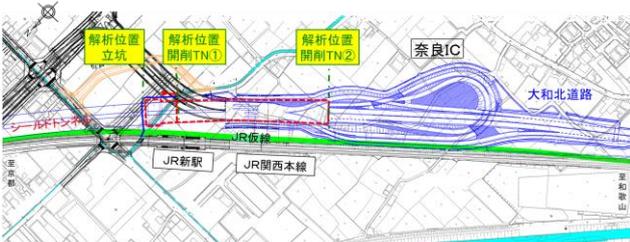


図-4 近接影響解析実施 位置図

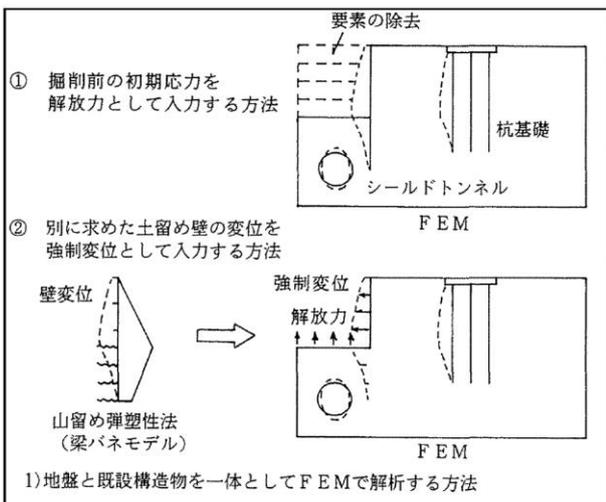


図-5 既設構造物の挙動の予測方法の例1)

開削工事に伴う近接影響検討は、弾塑性法により求めた土留め壁の変位を2次元FEMモデルに強制

変位として入力し、地盤の変状を予測する方法により行った。

(3) 解析結果

開削TN②の断面で影響解析を行ったところ、軌道左側（仮線下り）の水平変位は-24.2mm、鉛直変位は-4.3mm、軌道右側（仮線上り）の水平変位は-18.2mm、鉛直変位は-2.5mmと水平変位の値が大きい結果となり、JR西日本との協議においても、変位抑制が課題となった。

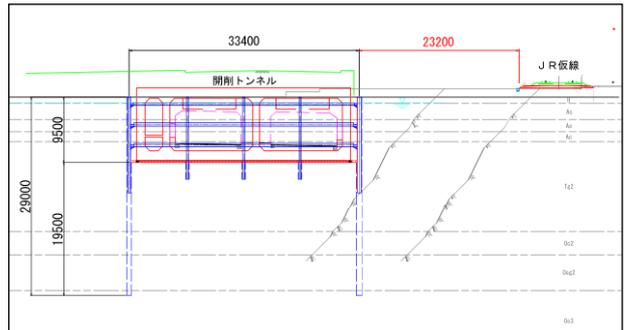


図-6 開削TN② 検討断面

変位抑制のためまず検討したのが土留め工施工時の変位抑制である。

あらかじめ軸力を加えることで土留壁の変形を抑制するプレロードを切梁、盛替梁全段に対して50%導入する、土留壁（SMW）の芯材ランクアップ等の対策を行った場合、変位をどの程度、抑制できるか確認したところ、軌道左側（仮線下り）の水平変位は2.8mm、鉛直変位は0.5mm、軌道右側（仮線上り）の水平変位は2.6mm、鉛直変位は0.5mmと、当初の水平変位から軌道左側（仮線下り）で21.4mm、軌道右側（仮線上り）で15.6mmの抑制をすることができた。

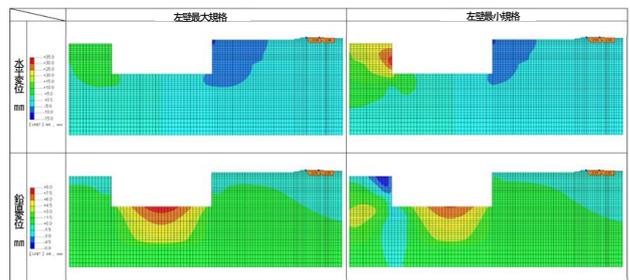


図-7 開削TN② 検討断面の解析結果

掘削する深さが図-6より深くなり、JR仮線に与える影響が大きくなると想定される開削TN①についても開削TN②と同様、土留変位抑制対策を検討したが、プレロードを切梁、盛替梁全段に対して50%導入、支保工段数の増加（一部2mピッチに切梁・腹起し設

置) , 土留壁 (SMM) の芯材ランクアップ (最大部材) などの対策をモデルに組み込んで解析を行ったが図-6断面と同程度までの変位抑制には至らなかった。

その他の仮設工法での対策も検討したが、作業スペースの不足等の要因もあり、これ以上の対策を講じることは現実的ではなかったため、掘削底面を薬液注入による地盤改良することで、水平変位の変位量の抑制を試みた。

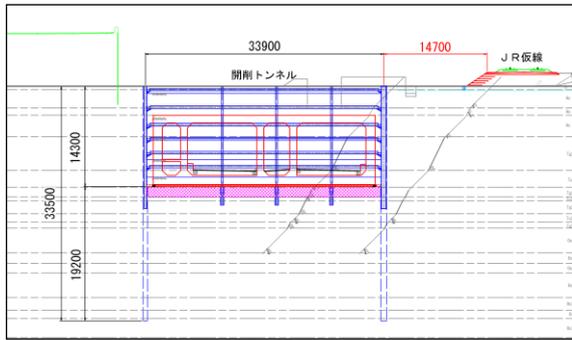


図-8 開削TN① 検討断面

その結果、底盤改良有り無しでは軌道左側 (仮線下り) の水平変位は2.6mm, 軌道右側 (仮線上り) の水平変位は2.9mm変位量を低減することができた。

	底盤改良無し		底盤改良有り	
	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)
軌道左 (仮下り本線)	5.0	1.8	2.4	0.2
軌道右 (仮上り本線)	5.1	1.9	2.2	0.3

表-1 開削TN① 検討断面の変位量

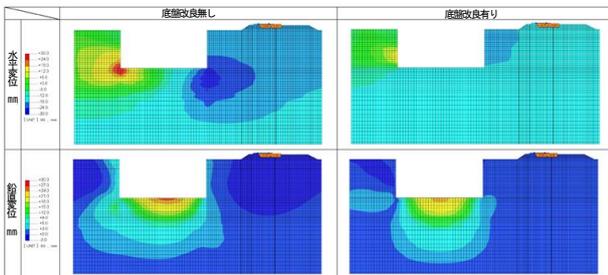


図-9 開削TN 検討断面①解析結果

今回解析した3断面の中で最も苦労したのが南側立坑の解析である。掘削深さが最も深く、JR仮線にも最も近接する南側立坑については、仮設工法の検討、底盤改良などの対策をモデルに反映し検討を行ったが、軌道左側 (仮線下り) の水平変位は

-21.9mm, 鉛直変位は-5.9mm, 軌道右側 (仮線上り) の水平変位は-22.3mm, 鉛直変位は-7.6mmと開削TNの変位量と比較しても水平変位, 鉛直変位ともに変位量が大きい結果になってしまった。

モデルの現地条件を再度確認している中でJR仮線の構造が橋梁であることに気づき、JR仮線の下部工の抵抗力 (鉛直力) を考慮してみた。鉛直力は下部工を支点とした片持ち梁に見立てFEM解析結果から得られる変位より逆算した。

そのモデルで改めて解析を行ったところ、土留め工の変位抑制対策として、プレロードを切梁、

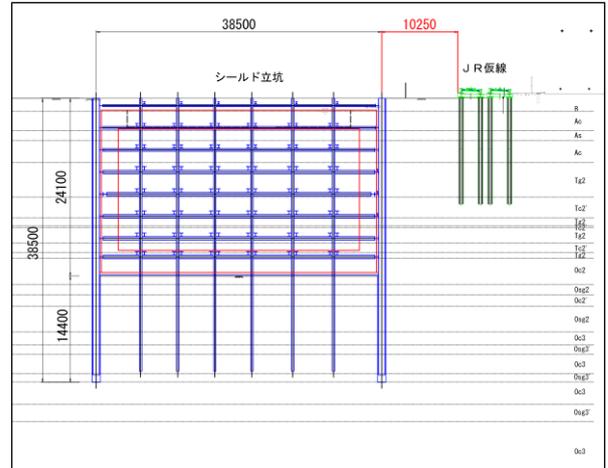


図-10 南側立坑検討断面

盛替梁全段に対して50%導入、壁体施工方法 (TRD工法) で適用可能な最大剛材を適用するなどの対策は必要であったものの、底盤改良は行わず、軌道左側 (仮線下り) の水平変位は-1.8mm, 鉛直変位は3.9mm, 軌道右側 (仮線上り) の水平変位は-2.7mm, 鉛直変位は1.3mmと開削トンネルと同程度の変位量に低減することができた。

	リバウンドによる影響		土留め変位による影響		リバウンド + 土留め変位による影響	
	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)
軌道左 (仮下り本線)	7.0	4.4	-8.8	-0.5	-1.8	3.95
軌道右 (仮上り本線)	6.4	3.1	-9.1	-1.8	-2.7	1.3

表-2 南側立坑の変位量

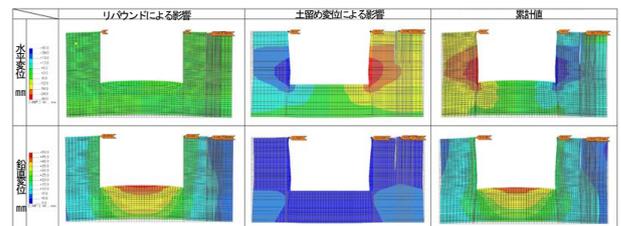


図-11 南側立坑解析結果

3. 考察

本稿ではシールドトンネル施工時にJR関西本線に与える近接施工影響を抑える一例を紹介したが、今回検討した対策以外にも近接影響の対象との間に影響遮断壁を設ける等、影響を低減する方法は多岐にわたり存在する。

影響解析を行うにあたり、周辺の現場状況をいかに正確に把握し、解析モデルに反映することが重要であり、今回の検討も結果が出るまでに何度も解析モデルの条件設定を調整し少しずつ現場条件と一致するようトライアルを行った。特に奈良IC（仮称）周辺のような複数の開発事業計画が並行して進んでいる現場においては、十分な作業スペース確保が困難な上、各事業の工事工程の調整が必要であり、対策工法も限定されるため、対策工法選定にあたり大変苦慮した。今回、紹介した対策が、別の現場状況にそのまま適用できるとは限らないが、本現場での対策としては最も効果的かつ工事への影響も少ない対策であると自負している。

大和北道路のシールドトンネルが計画されるルート上には、JR関西本線以外にも近接する構造物が存在し、管理者と近接協議が必要なため、今回の解析手法・結果を参考に各現場の周辺状況を正確に把握し、的確な影響解析を行い実現性のある効果的な工法を採用してまいりたい。

巻末：本稿は従前の配属先である奈良国道事務所における所掌内容を課題として報告したものである。

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社：「近接工事設計施工マニュアル」2016年10月

電線共同溝における地下埋設物の「見える化」に向けた取り組みについて

渡辺 朝晴¹

¹大阪国道事務所 工務課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

電線共同溝事業における課題の一つに、工事段階において台帳上で確認した位置と異なる箇所で既設埋設物が発見されることによる、手戻りがあげられる。そのため電線共同溝工事は試掘による現況確認と現況に合わせた修正設計前提の発注となっており、工事完了まで3年程度の工期を要している。

今回、これらの手戻りを解消するために、地下埋設物探査を活用し、設計段階の現況把握の精度向上を試みた。本稿では、既設埋設物情報のフロントローディングによる効果の検証、既設埋設物情報の3Dモデル化と活用検討についての所見を示す。

キーワード 地下埋設物探査、フロントローディング、3Dモデル、詳細設計、電線共同溝

1. はじめに

(1) 無電柱化事業の背景

無電柱化は、「防災性の向上、安全性・快適性の確保、良好な景観形成の観点」から実施されており、1995年の「電線共同溝の整備等に関する特別措置法」の成立により、道路の掘り返し防止や道路景観の整備の観点から、道路管理者が電線の収容空間として電線共同溝を整備するという仕組みが整った。

しかし、日本の無電柱化率は欧米やアジアの主要都市と比較して低く、東京都区部の無電柱化率は約8%、大阪市では約6%となっている。また全国には、約3,600万本もの電柱が存在しているが、毎年数万本単位で増加し続けている。これを受け、国土交通省は令和3年5月に無電柱化推進計画を策定し、令和3年度からの5年間で約4,000kmの新たな無電柱化に着手することが発表した。

計画の実施においては、無電柱化の完了までに平均7年かかる期間を事業のスピードアップを図り、特殊な現場条件を除き事業期間の半減に取り組むことが掲げられている。

無電柱化の事業手法のひとつに電線共同溝方式があり、電線共同溝は、二者以上の電線管理者の電線類を収容するために道路管理者が道路の地下に設ける施設である。

電線共同溝の整備においては、道路管理者、電線管理者、道路占有者、地域住民など利害関係者が多岐にわたり、計画や設計段階における合意形成に多大な時間を要している。



図-1 無電柱化の整備前と整備後

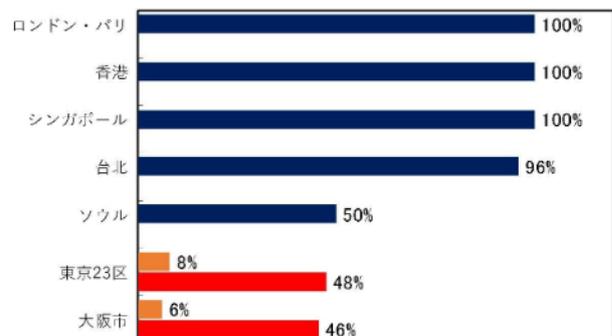


図-2 欧米やアジアの主要都市と日本の無電柱化の現状

(2) 電線共同溝の課題

電線共同溝の整備の課題のひとつが既設埋設物の位置についてである。

電線共同溝の詳細設計は、配線計画から得たケーブル収容条件を基に、管路断面および特殊部の断面を設定し、電線共同溝の敷設位置を検討するものであるが、交差・近接等による支障移設を減じるために既設埋設物との離隔を調整し、既設埋設物の維持管理も考慮した敷設位置を検討する必要がある。

しかし、検討の段階で用いる既設埋設物台帳の精度が低い場合、施工段階の試掘において設計通りの離隔が確保できず、特殊柵や管路が入らないことが確認され、修正設計などの手戻りが生じる。これには複数の要因が考えられるが、道路拡幅等の情報が図面に反映されず埋設位置確認の基準が現況と異なる場合や、管路移設・新設情報の反映が追いついていない、現場合わせの施工が図面に反映されない場合などが想定される。

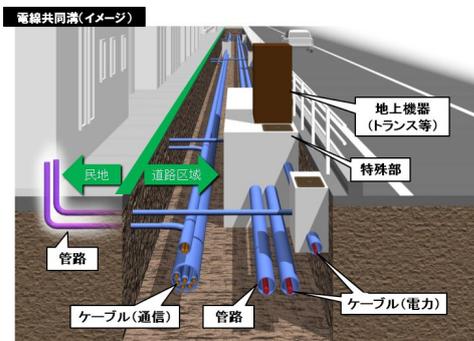


図3 電線共同溝の標準的な構造

(3) 目的

大阪国道事務所管内の国道 25 号志紀南地区電線共同溝事業では、令和5年度に埋設物の位置を正確に把握し効率的に事業を進めるため、3Dレーダー探査、地上レーザー測量を行い、地上・地下統合3Dデータを作成する埋設物調査業務を実施した。また、同時並行で電線共同溝詳細設計業務が行われ、埋設物調査業務と業務間連携を図りながら、設計精度の向上に取り組んだ。

本稿では、業務での取り組みから確認した効果等を整理し、今後の課題等について考察する。

また、令和5年度より全ての公共工事および詳細設計業務について、BIM/CIM原則適用となったが、設計が頻繁に変更されることや高い精度が要求されることにより、電線共同溝事業においては、BIM/CIMモデル活用が十分に進んでいない状況である。しかし、安全性の向上や合意形成の迅速化などモデル活用によるメリットは多数想定される。

そこで本稿では、本事業において実践した活用内容を整理するとともに、今後の活用について検討した結果について報告する。

2. 志紀南電線共同溝事業における既設埋設物情報フロントローディング

(1) 志紀南地区電線共同溝事業の概要

大阪府八尾市の南東部に位置する国道25号志紀南地区では、「志紀南電線共同溝(事業延長1.36km)」の整備を進めている。本区間は、歩道幅員の狭い箇所が多いうえ、地下埋設物の占用物件も多いことから、歩道や交差点を中心に既設埋設物の輻輳している状況が想定された。さらに、車道舗装はコンポジット舗装となっており、コンクリート版が事業に影響することが想定された。



図4 地下埋設物調査業務位置図

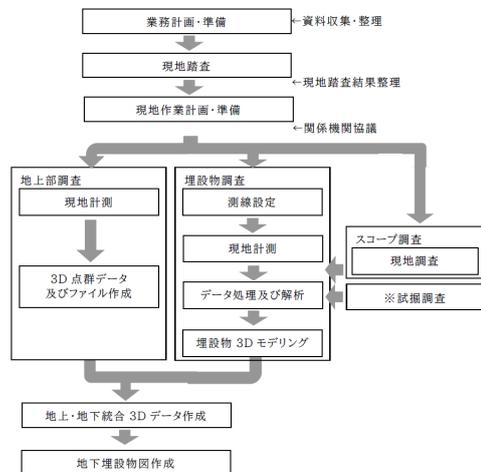


図5 地下埋設物調査業務の業務フロー



図6 現地調査状況

(2) 地下埋設物探査について

a) 3Dレーダー探査

地下埋設物探査は、地中レーダー法が広く活用されており、マイクロ波を地中に照射し、異なる物性の境界からの反射波を受信して埋設管等の埋設位置を調査する技術である。3Dレーダー探査は、多配列の地中レーダーを用いて対象範囲を面的にデータ取得・結合し、三断面（平面・縦断・横断）で解析を行う探査手法である。本事業では、地上・地下インフラ3Dマップ（NETIS登録番号:KT-180111-VE）を採用した。

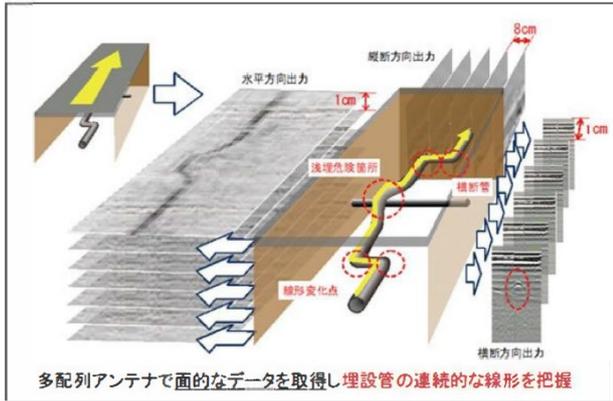


図-7 3Dレーダー探査の特徴

面的に地中のデータを取得し、既設埋設管の連続的な線形を捉えることで、埋設管の平面・深度・線形変化点や上越し、下越し、離隔等が把握可能となる（図-7）。また、台帳に記載のない不明管の検出や、台帳との線形の相違なども確認できる。調査精度は、8~9割程度の埋設物を検出可能で、平均誤差±10cm程度で位置を特定することができる（表-1）。現地調査は、歩道部においては移動規制で作業が可能で交通への影響は小さく、騒音振動も発生しない。

スペック	
深度限界	1.0~1.5m 諸条件により異なる
検知可能な材質	金属系、コンクリート系、プラスチック系、その他 φ50mm 以下の小口径の埋設物については土質条件等から検知できない場合あり
調査精度（誤差）	水平位置:平均±10cm 程度 埋設深さ:深度1m以浅:平均±10cm 程度 深度1m以深:平均±10%程度

表-1 3Dレーダ探査の主なスペック

机上調査で収集した台帳と地下埋設物探査結果を比較した結果、埋設位置や平面線形、線形の変化点が台帳と大きく相違した箇所が複数確認された（図-8）。また、台帳に記載のない埋設物や不特定管についても複数確認された。探査の結果、図面に記載のない横断水路が3箇所、台帳に記載のない不特定管が84本検出されている。

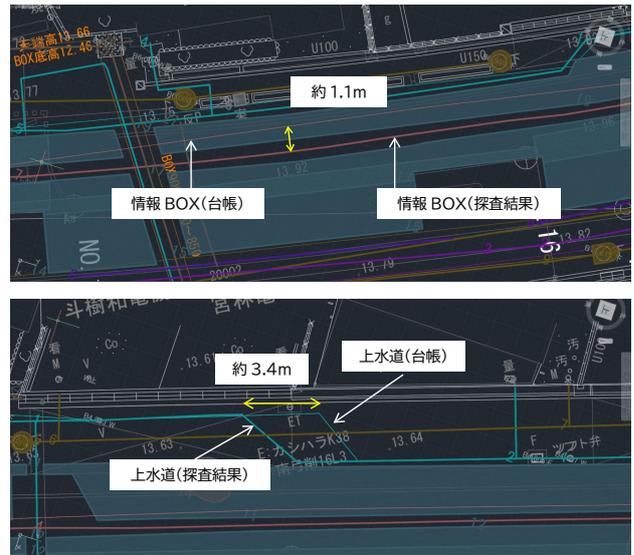


図-8 探査結果（既存埋設物台帳と現況の相違箇所）

b) スコープ調査

3Dレーダー探査でコンクリート版の分布範囲を解析したうえで、データ解析結果の整合性及びコンクリートの版厚確認を目的に、スコープ調査（簡易コア削孔と孔内カメラ撮影）を実施した。

スコープ調査により、3Dレーダー探査で解析したコンクリート版の分布範囲が適切であることが把握できた。また、3Dレーダー探査の結果と舗装台帳の照合を行ったところ、舗装台帳作成後に行われた埋設管敷設工事などによるコンクリート版の撤去が一部で確認できたほか、台帳に情報のない歩道部について、一部コンクリート版が存在していることが確認できた（図-9）。地中レーダー法と組み合わせてスコープ調査を活用したことで、得られる情報の精度が向上した。

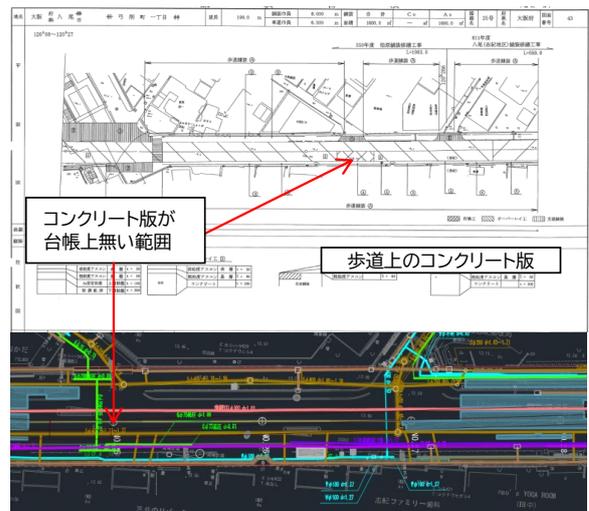


図-9 探査結果（舗装台帳と現況の相違箇所）

(3) 活用効果の検証及び考察

a) 活用効果の検証

3Dレーダー探査結果に基づいて詳細設計を行ったことで、施工時に回避できる手戻りを集計し、効果として試算を行った。「台帳に基づいた設計ルート」と探査結果を照合し、干渉する箇所を抽出して手戻り箇所と想定した(図-10)。予備設計のルートは、探査より前段階で作成しており、既設埋設物の位置は台帳情報を用いている。詳細設計図面ではないが、台帳記載の既設埋設物の位置を考慮してルートを設定していることを踏まえて、予備設計のルートを「台帳に基づいた設計」と仮定した。手戻り箇所に、工事中断などの手戻り所要日数を乗じて手戻り日数を算出(表-2)し、工事遅延日数および全体の工事に対する割合などを確認し、効果の検証を行った。

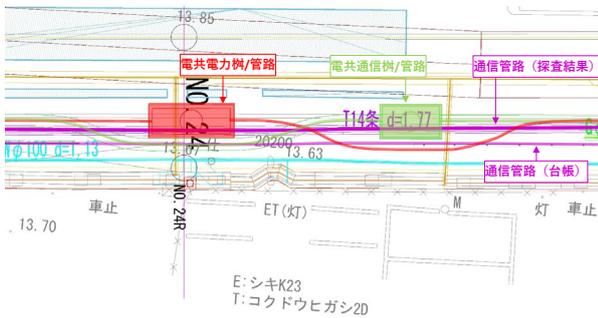


図-10 台帳に基づいた設計と探査結果の干渉事例

台帳に基づいた設計で生じると想定される施工時の手戻り箇所は、特殊部付近で28箇所、管路部で31箇所確認された。手戻り所要日数はヒアリング等より設定し試算を行い、施工時の延べ手戻り日数は113日であった。従来通りの台帳に基づいた設計を行った場合、1日の当りの施工進捗を10mと仮定した場合の施工日数が135日、延べ手戻り日数113日を合算した248日程度要することになる。3Dレーダー探査を活用して詳細設計事前に、既設埋設物情報の精度向上を図ることで、延べ手戻り日数113日を回避できるため、従来手法による工事日数を46%削減できるという結果となった。

表-2 手戻り日数の試算

予備設計	特殊部	特殊部	管路部	管路部
探査結果	既設管	残置管	既設管	残置管
干渉箇所数	25箇所	3箇所	20箇所*	11箇所
修正作業所要日数	5日/箇所	1日/箇所	3日/箇所	1日/箇所
平均施工数	1.5箇所/日	2.5箇所/日	2.5箇所/日	2.5箇所/日
手戻り所要日数	84日	2日	24日	4.4日
延べ手戻り日数	113日			

※干渉区間長が10m以上の箇所は、特殊柵間を1箇所換算。

修正作業所要日数、平均施工数は既往文献「電線共同溝の詳細設計段階における既設埋設物位置の精度向上と3D設計ソフトを活用した設計精度向上に向けた取り組みについて、澤井・高田・小林、第68回土木計画学研究会発表会、2023」を参考に設定。

b) 考察

試算では従来手法と比較して、大きく工事日数を削減できることが示されたが、以下のような課題もある。

- ①試算方法の課題：エビデンスとなる手戻り所要日数が、手戻りの発生時期や場所によって異なると考えられる。
- ②非破壊調査以外の手法の検討：上記検証では地下埋設物探査のみを用いており、試掘を効果的に活用する方法についても検証は必要である。
- ③非破壊調査の精度を踏まえた検討：3Dレーダー探査は非破壊調査であり、環境条件によって探査の精度の限界がある。

取り組むべき課題はあるが、地下埋設物の「見える化」に貢献する手法であり、電線共同溝事業の円滑な推進に資する取り組みであり、継続して試行や活用効果の検証を実施していくことが重要である。

3. 既設埋設物情報の3Dモデル化と活用検討

(1) 既設埋設物3Dモデルの作成

3Dレーダー探査で解析した埋設物の線形を解析ソフトから出力し、点群データから抽出した絶対座標を有する道路面のサーフェスデータを用いて、地盤高基準のデータに変換した。このデータに、各占有企業の埋設物台帳や現地確認情報をもとに管径や条数・段数を与えて3Dモデルを作成した。深度が深いなどの理由で解析未検知の管については、視覚的に違いが分かるようにモデルの透過度を変更した。また、3Dモデルの各オブジェクトに対して、企業者情報や口径、条段数、施工年度、情報源の信頼性などの属性情報を付与した。既設埋設物3Dモデルと3Dレーザースキャナで取得した地上点群データを統合し、現地状況を再現したデジタルツインを作成した(図-11)。

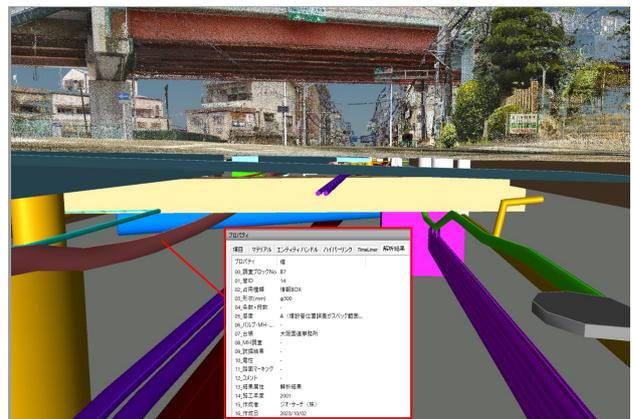


図-11 地下埋設物探査に基づく既設埋設物3Dモデル

(2) 設計業務への活用

a) 干渉チェック

詳細設計業務では、特殊柵などの配置検討を円滑に進めるために、既設埋設物3Dモデルを活用している。埋

設物が輻輳する交差点付近について、2次元設計図面から3Dモデルの作成を行ったうえで、地下埋設物探査結果から作成した既設埋設物3Dモデルへ統合し、離隔や干渉のチェックを実施した。従来の2D図面においては一元的な干渉チェックを行うことが難しく、平面図・縦断面図・横断面図それぞれの確認が必要であったが、3Dモデルを活用することで視覚的に容易となった(図-12)。

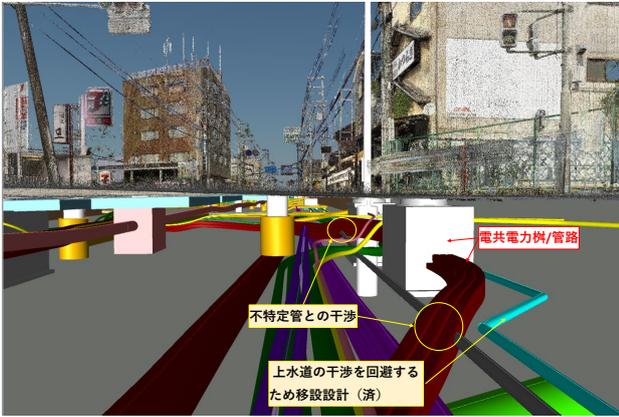


図-12 3Dモデルを活用した干渉チェック

b) 既設埋設物情報の任意断面での切出し

3Dモデルを活用して、平面図・横断面図・縦断面図に使用する既設埋設物情報の切出しを行った(図-13)。1つの3Dモデルから図面を機械的に切り出すため、図面間の不整合は起こらず、これまで人が情報を転記しながら行うことで生じるヒューマンエラーも防ぐことができる。その他の利点として、測点以外の任意の位置、任意の角度で切り出すことができる。道路を斜めに横断する水路の土被り情報を連続的に得るために、切り出す断面を任意に定められる利点を活用し、横断水路の線形で断面図を作成し、連続的な土被り情報を抽出した。

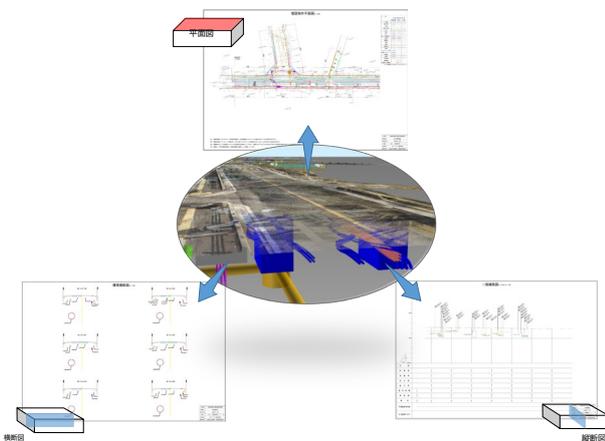


図-13 3Dモデルからの図面切出し

c) 現地確認におけるAR可視化

事業関係者との特殊部設置位置等の現地確認時に、AR技術を活用した現地説明会を実施し、特殊部設置位置の

確認や、連系設備立上周りの埋設物位置情報、横断水路の埋設状況等を確認した(図-14)。電線共同溝設計や既設埋設物の3Dモデルの状況が現地で可視化されたことにより、占有企業者との協議を円滑に進めることができた。地上機器設置により歩道幅員が懸念される箇所について、地上機器と特殊柵、移設後の縁石をAR投影し、仮想状況を現地で確認した際、自転車や歩行者の動線との関係が見える化でき、地上機器設置位置の修正につなげることができた。



図-14 AR技術を用いた現地説明会

(3) 地下埋設物管理への活用検討

a) 活用イメージと現状の課題

電線共同溝事業の詳細設計前段階で作成した3Dモデルは、詳細設計や施工段階で情報の更新を行うことで、精度が高く最新の情報を反映したデータとして、維持管理段階においても活用できる(図-15)。ただし、現状は、3Dモデルの更新は大きな労力を要することから、当分野の技術開発の進展が待たれる。一方で、情報の更新方法として、試掘や新設管路布設時に埋設管が露出したタイミングで点群データを取得する方法がある。

b) 掘削箇所の3Dデータ取得方法検討

掘削箇所の点群データ取得技術として、据置式、ハンドヘルド型3Dスキャナ、iPad LiDAR、写真測量についてメリット、デメリットを比較し、適用性を考察した。据置式は点群取得精度は高いが、掘削箇所の点群データ取得には作業性が低く、機材も高価なため、導入の障壁となる。LiDARSLAM式のハンドヘルド型3Dスキャナは、据置式より価格は下がるが機材は高価である。ただし、作業性の観点から掘削箇所においてもデータ取得が可能なことから適用性はあると考える。iPadLiDARを用いた点群取得は作業性が高く、専用端末は必要であるが、前者と比較して安価である。座標および位置の補正などを含めた精度面の検証は継続的に必要であるが適用性はあると考える。写真測量はスマートフォン等で撮影した画像や動画から点群データを生成する技術で、現場での作業性は高い。特別な測量機器や専用端末を用意する必要がなく導入障壁は低く、適用性はあると考える(図-16)。

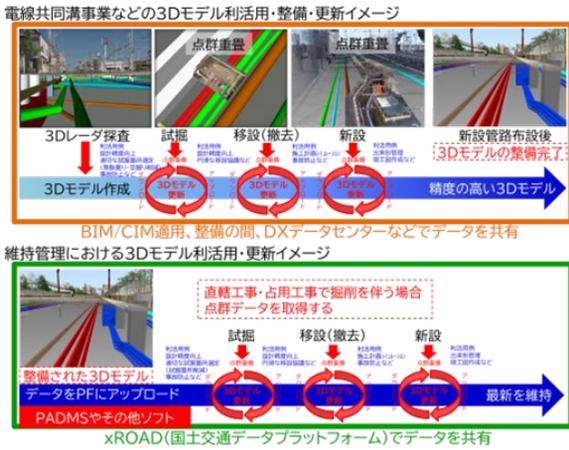


図-15 3Dモデル活用・更新イメージ

	据置式	ポッド/ドック型 3Dステータ	iPadLiDAR	写真測量
作業性	△	○	◎	◎
データ取得時の作業性	設置に時間を要する、発注がある場合複数回所へ設置が必要	事前の設定が必要、SLAMが正常に機能するために照準の取れは不可	作業は容易、アプリを起動し、対象範囲を走りつづけることでデータ取得	作業は容易、対象範囲を走りつづけることでデータを撮影
点群精度	◎	○	○	◎
	FARO Focus Premiumのレンジが最大0.07m	Atos社GS-1のレンジが最大0.02m	LoadLiDARを用いたOPTIMGeoScanのNETISの精度は0.042m	撮影試験場所におけるTSを用いた精度確認試験は0.04m
入手コスト	△	△	◎	◎
機材の購入費用	メーカーにより異なるが、¥8,000,000 ~ 10,000,000程度	メーカーにより異なるが、¥5,000,000 ~ 10,000,000程度	LoadLiDARは約¥100,000、LoadPROは4世代以降¥170,000程度	携帯端末にカメラを使用するための機材購入費用はかからない
メリット	高精度	データ取得が比較的容易	取得後データ確認がすぐにできる	誰もが保有している携帯端末を使用
デメリット	機材が高価	機材が高価	専用端末が必要	投稿や処理時間を要する
総合評価	△	○	◎	◎
適用性	向かない		適用性あり	

図-16 掘削箇所の3Dデータ取得方法検討

c) 民間の利活用方法検討

取得したデータは、将来的には道路データプラットフォーム(xROAD)上に格納する方法が想定されるが、現時点でxROADと紐付けされた適切なデータ格納場所は存在しない。そこで、現状考えられる格納場所を検討した。

① DXデータセンター

電線共同溝事業の施工段階までは、DXデータセンター(図-17)に地上・地下インフラ3Dデータを格納し、そのデータ上で掘削箇所の点群データの重畳や3Dモデルのインポートを行うことが可能である。ただし、閲覧や更新は、設計者、施工者、発注者に限定されるため、例えば、占用企業者が行う移設時に取得した点群データなどは直接登録ができない。発注者に提出を求め、発注者が登録を行うなど臨機の対応が必要となる。

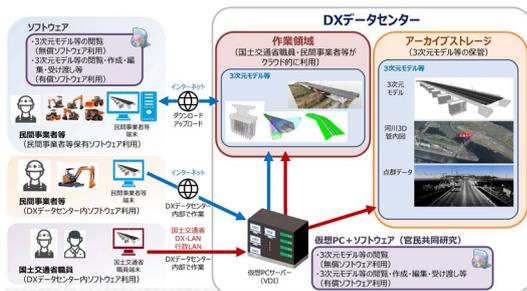


図-17 DXデータセンター

② PADMS

xROADにおいてMMSデータは基盤データとして位置付けられている。そのMMSデータを閲覧するビューワーソフトであるPADMS(図-18)を活用して点群データを登録する方法を検討する。PADMSはMMSで取得した点群データと同時に取得しているカメラ画像を閲覧できるビューワーソフトで、大阪国道事務所でも保有しているソフトである。納品されたMMSデータの閲覧以外にも点群データの重畳が可能のほか、オプションを利用すれば、3Dモデルの登録が可能である。

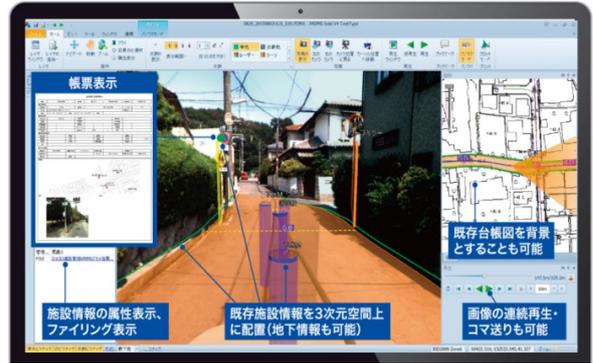


図-18 PADMS活用イメージ
<https://www.pasco.co.jp/cim/road/>

4. まとめ

本事業において実践したフロントローディングの取り組み、BIM/CIM活用内容とともに、今後の3Dモデルの活用について検討した事例を紹介した。紹介した取り組みはいずれも課題は残されており、継続的な試行や検証を行っていく必要がある。今後も、活用効果を適切に確認しながら、生産性向上に資する技術の積極的な活用を推進していく。

謝辞：本稿の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等を頂きました関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：無電柱化推進計画について、2021
- 2) 国土技術政策総合研究所：無電柱化事業における合意形成の進め方ガイド(案)、2023
- 3) 金原紀雄：電線共同溝事業のスピードアップに向けた考察について、令和5年度近畿地方整備局研究発表会について、2023
- 4) 澤井・高田・小林：電線共同溝の詳細設計段階における既設埋設物位置の精度向上と3D設計ソフトを活用した設計精度向上に向けた取り組みについて、第68回土木計画学研

中郷遊水地における掘削残土の有効利用について

坂井 以知佳

琵琶湖河川事務所 管理課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1)

現在、近畿地方整備局では、循環型社会の形成に向け、建設発生土の更なる有効利用の促進が求められている。

豊岡河川国道事務所では、中郷遊水地整備事業において、遊水地内の掘削土を盛土材へ転用することにより建設発生土の有効利用を行っている。

本論文では、土砂有効利用の検討結果及び今後の課題について報告する。

キーワード 掘削残土, リサイクル, コスト縮減, 遊水地

1. はじめに

天然資源が極めて少ない我が国が持続可能な発展を続けていくためには3R(リデュース, リユース, リサイクル)の取り組みを充実させ、廃棄物などの循環資源が有効に利用・適正処分される「循環型社会」を構築していくことが必要である。

近畿地方整備局では近畿地方における建設リサイクルの現状を踏まえ、近畿地方における目標値の設定や、行動計画を加えた近畿地方整備局独自の建設リサイクルの推進計画を策定し、建設副産物の発生抑制、再資源化・縮減、再生資材の利用促進及び建設発生土の有効利用等に取り組んできた。

そのため、建設副産物全体の再資源化率や縮減率は年々増加傾向にある。建設発生土の有効利用率も年々増加しており、2022年度における建設発生土の有効利用率は82.5%であり、2024年の達成基準値以上になっていることがわかる。(表-1)

表-1 近畿地方における副産物実態簡易調査結果¹⁾

対象品目	指標	2018 目標値	2022 実績値 (単純集計)	2024 達成基準値
アスファルト・ コンクリート塊	再資源化率	99%以上	99.6%	99%以上
コンクリート塊		99%以上	98.9%	99%以上 未達成
建設発生木材	再資源化・縮減率	95%以上	99.6%	95%以上
建設汚泥		90%以上	96.9%	95%以上
建設混合廃棄物	排出率	3.5%以下	2.5%	3.0%以下
建設廃棄物全体	再資源化・縮減率	96%以上	96.8%	96%以上
建設発生土	有効利用率	80%以上	82.5%	80%以上

しかし、建設発生土の有効利用率は、建設副産物の再資源化・縮減率と比較して、やや低い水準となっている。

その理由として、建設発生土の量、質、発生時期が適合していないと工事間での有効利用が難しいこと、建設工事間の土砂搬出・受入れ等の調整が煩雑であることが挙げられる。

「循環型社会」の構築には、上記課題を解決し、建設発生土の有効利用をより促進させることが重要だと考える。

2. 中郷遊水地の概要

豊岡河川国道事務所では、中郷遊水地整備事業において、遊水地内の掘削土を盛土材へ転用することにより建設発生土の有効利用を行っている。

中郷遊水地は、円山川下流部や豊岡市街地の洪水時の河道水位を低減するために整備を進めている。

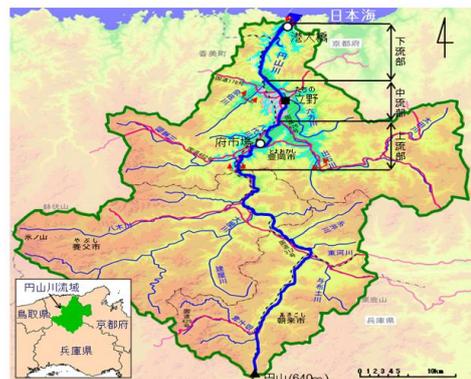


図-1 豊岡河川国道事務所 流域図

(1) 円山川の治水の現状

円山川は、本川の勾配が支川より緩やかであり、豊岡盆地の直上流で合流する支川の長さが本川と同程度であるなど、洪水が豊岡盆地に集中しやすい地形となっている。

また、河床勾配が出石川合流点付近で大きく変化しており、下流は1/9,000程度と非常に緩やかな勾配であるが、上・中流区間やそこに流入する支川の勾配は1/100~1/780で、下流に比べて急である。(図-2)

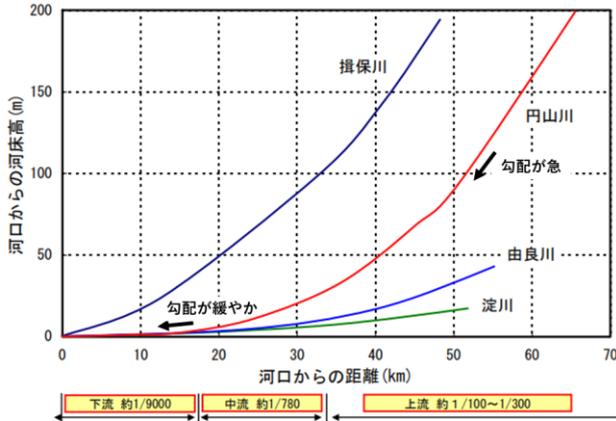


図-2 円山川と近畿他河川の河床勾配の比較

このため、豊岡盆地では上流の本支川から集中した洪水が流下しにくくなっており、盆地内に位置する低平地では大雨による内水被害が発生しやすいという特徴がある。

円山川では、豊岡盆地に人口、資産が集中する市街地が広がっているため、洪水が発生すると甚大な被害が生じるが、豊岡盆地は軟弱地盤地帯であるため、暫定堤防や無堤となっている区間が多く、円山川下流部では、県道、JRが隣接していることから堤防築堤上の制約が多い。

以上のことから遊水地整備による上流での洪水調節により下流の水位を抑制することが重要となる。(図-3)



図-3 遊水地位置図

(2) 中郷遊水地の諸元

中郷遊水地は豊岡市街地の直上流の河道内に位置し、堤外地の状況と河道内の河畔林への配慮から、下・上池の2池として設計されており、洪水調節容量は合計270万m³である。(表-2)

表-2 中郷遊水地諸元

遊水地諸元	上流遊水地	下流遊水地
貯水面積	約 20ha	約 22ha
計画貯水位	TP11.48m	TP10.85m
洪水調節容量	約 120 万 m ³	約 150 万 m ³

遊水地は以下の施設から構成されている。(図-4)

- ① 囲ぎよう堤：洪水時、遊水池に貯留された水を円山川に排水しないために設置する堤防
- ② 越流堤：遊水池に円山川の流水を導く導く施設
- ③ 減勢施設：越流後に安定した流れに減勢する施設
- ④ 調整池：洪水時の水を貯留する施設
- ⑤ 排水樋門：遊水池内の水を円山川へ放流する施設



図-4 中郷遊水地平面図

3. 土砂の有効利用の検討

中郷遊水地における土砂の有効利用については、詳細設計において検討を行い、掘削土を囲ぎよう堤、越流堤の盛土材として利用することとしている。(図-5)

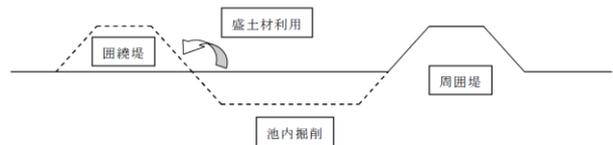


図-5 掘削土の盛土材利用イメージ

下記に検討結果を記す。

(1) 掘削土の築堤材料評価

「河川土工マニュアル²⁾」では、築堤材料として望ましい土として以下の項目が挙げられており、これを参考に掘削土を築堤材料として転用可能か評価する。

- ① 粒度分布のよい土（粒径加積曲線においてB半透水性材料の範囲）
- ② 最大寸法が10~15cm以下
- ③ 細粒分（0.75mm以下の粒子）が土質材料（75mm以下の粒子）の15%以上
- ④ シルト分のあまり多くない土
- ⑤ 細粒分（0.75mm以下の粒子）のあまり多くない土

中郷遊水地の掘削土は概ね砂質土(以下、As1)層と礫土(以下、Ag1)層であり、各地点でボーリングが存在し、室内試験が実施されている。

室内試験結果を基に粒径加積曲線を描き(図-6)、As1とAg1について築堤材評価を行った結果、対象地のAs1層、Ag1層は表-3のとおり単体の場合は築堤材料として適していないことが分かった。

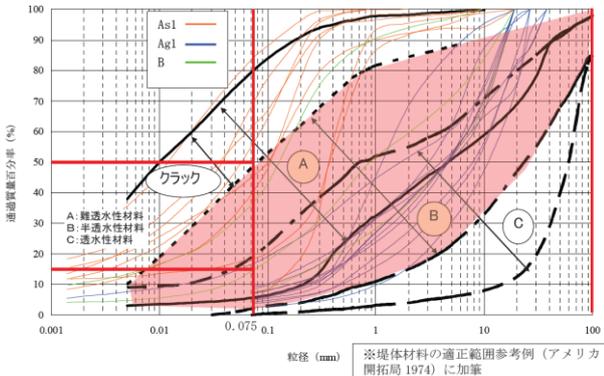


図-6 掘削土に相当する土層の粒径加積曲線

表-3 As1層とAg1層の築堤材料評価

堤体材料として望ましいとされる土	遊水地掘削土	
	As1層	Ag1層
粒度分布のよい土(下図の粒径加積曲線において半透水性材料の範囲)	範囲外	概ね半透水性材料の範囲に含まれる
最大寸法が10~15cm以下	最大粒径1.9cm	最大粒径2.7cm
細粒分(0.075mm以下の粒子)が土質材料(75mm以下の粒子)の15%以上	15%以上	15%以下
シルト分のあまり多くない土	シルト分は少ない	シルト分は少ない
細粒分(0.075mm以下の粒子)のあまり多くない土	一部50%超	50%以下

以上のことから、掘削土を築堤材料として転用する場合には、上記条件を概ね満足する粒度分布となるように現地掘削土を混合する必要がある。

(2) 土砂混合方法

土砂混合には、「万能土質改良機による建設発生土再利用システム」を採用する。(写真-1)

本技術は、土質性状の異なる最大3種類の土砂を組み合わせ、4軸直列混合方式を使用した「万能土砂改良機」により混合処理し、第3種建設発生土以上に土質改良を行うものである。中郷遊水地においては、AsとAgの2種類の土砂を混合する。



写真-1 万能土質改良機

入れ替え工法(不要土処分、良質土購入)と比べると、現場条件として、プラント設置及び施工ヤードが必要となるが、不良土が再利用できることにより、投棄処分が減少し、資源の有効利用が図れることや、購入土及び不良土処分費用が不要となりコスト縮減効果がある等のメリットが挙げられる。(表-4)

表-4 比較表

	万能土質改良機による建設発生土再利用システム	入れ替え工法(不良土処分、良質土購入)
経済性	8,610,000円/10,000m ³ 2種混合(地山土量換算) 不良土:良質土=50:50 不良土の活用によりコスト縮減となる	29,500,000円/10,000m ³ 不良土処分(50%) 良質土購入(50%)
品質	混合攪拌しているため、均一な混合処理土の製造が可能であり、品質が向上する。	不良土は処分し、良質土を購入するため、品質に問題はない。
現場条件	プラントヤード設置面積:150~500m ² 混合ヤード必要面積:750~1,500m ²	設備は不要であり、特に作業ヤードは必要ない。
リサイクル	建設発生土をリサイクルし、有効利用することができる。	建設発生土を処分し、新材を購入するため、有効利用はできない。

※経済性については工法検討時の金額

(3) 掘削残土量の把握

中郷遊水地において掘削土を混合し、築堤材料に転用した場合の掘削残土量は表-5のとおりである。

表-5 発生土残土量一覧

	①掘削土量 (m ³)	②築堤土量 (m ³)	①-②残土量 (m ³)
上池	283,000	172,000	111,000
下池	577,000	237,000	340,000
合計	860,000	409,000	451,000

4. 工事における土砂の利用状況

(1) 掘削土の配合及び品質確保

前章の検討結果より、AsとAgを混合することで掘削土を築堤材料として転用可能であると分かったが、発生土を建設資材として利用する場合、「建設発生土利用基準³⁾」で示されるコーン指数の条件を満たす必要があり、河川築堤に発生土を利用する場合は第2種建設発生土(コーン指数800kN/m²以上)及び第3種建設発生土(400kN/m²)が適しているとされている。

上記を踏まえ、中郷遊水地工事において土砂混合を行う場合は、掘削土の粒度試験を行い、築堤材料として望ましい粒径加積曲線の範囲に収まる混合率を複数パターン算定し、算定した混合率で室内配合試験を行い混合土のコーン指数が800kN/m²以上となる混合率を採用するようになった。

採用した混合率は工事毎に異なっているが、As:Ag=50:50及びAs:Ag=60:40の2パターンになった。

(2) 中郷遊水地整備事業の工事進捗状況

中郷遊水地整備事業は令和元年より工事に着手している。各工事の工事名、工期及び施工数量は表-6、7のとおりである。

表-6 中郷遊水地【下池】工事 施工数量一覧表

施工年度	工事名	工期	施工数量一覧表			
			掘削m ³	盛土m ³	土砂混合m ³	運外量m ³
令和元年	引野地区災害復旧工事	H30.12.20~R元.6.28	190			
	中郷遊水地下池整備工事	H31.3.27~R2.2.28	43,400	17,200	20,400	
	円山川鴨岡地区河道掘削工事	R元.8.27~R2.3.31	8,900			
令和2年度	中郷遊水地掘削工事	R2.4.1~R3.2.24	52,300	30,000	33,400	
	中郷遊水地掘削工事	R2.4.1~R3.3.31				29,000
令和3年度	中郷遊水地掘削工事	R2.10.3~R3.3.31	27,900	26,600	26,300	
	中郷遊水地下池掘削工事	R3.1.22~R4.2.28	46,100	82,900	64,600	15,200
	円山川中郷遊水地下池掘削工事	R3.3.31~R3.11.29	56,400	9,400	40,600	8,300
	円山川中郷遊水地下池越流堤中流部整備工事	R3.4.1~R4.3.31	31,200			
	円山川中郷遊水地下池越流堤下流部整備工事	R3.4.1~R4.3.31	31,500			
	円山川中郷遊水地下池周部堤中流部整備工事	R3.9.11~R4.3.31				
	円山川中郷遊水地下池周部堤下流部整備工事	R3.9.11~R4.2.28				
	円山川中郷遊水地下池掘削工事	R3.11.2~R4.2.28	3,300		8,200	1,100
	中郷遊水地上池整備工事	R4.4.1~R5.2.24	14,750			
	中郷遊水地下池周部浸透対策工事	R4.4.1~R5.6.24		610		
令和4年度	中郷遊水地下池掘削工事	R4.5.19~R5.2.28	1,100			
	引野地区掘削工事	R4.9.27~R5.2.28	1,500	30		
令和5年度	中郷遊水地下池中流部掘削工事	R5.4.1~R6.1.25	66,100		5,500	47,600
	引野地区掘削工事	R5.7.19~R6.2.29	14,200			17,900
	円山川中郷遊水地下池排水樋戸周辺掘削工事	R5.7.22~R5.11.30	18,400			9,000
	中郷遊水地下池掘削工事	R5.8.2~R6.3.25	13,700			16,700
	新田掘削工事					
合計			430,940	166,740	199,000	144,800

表-7 中郷遊水地【上池】工事 施工数量一覧表

施工年度	工事名	工期	施工数量一覧表			
			掘削m ³	盛土m ³	土砂混合m ³	運外量m ³
令和3年度	円山川中郷遊水地上池周辺整備工事	R3.7.1~R4.3.31	49,600	64,600	46,400	
令和4年度	中郷遊水地上池整備工事	R4.4.1~R5.2.24	31,950	52,000	58,500	
	中郷遊水地上池掘削工事	R4.9.1~R5.3.31	47,100	14,700	33,200	
合計			128,650	131,300	138,100	

5. 土砂混合により得られた効果

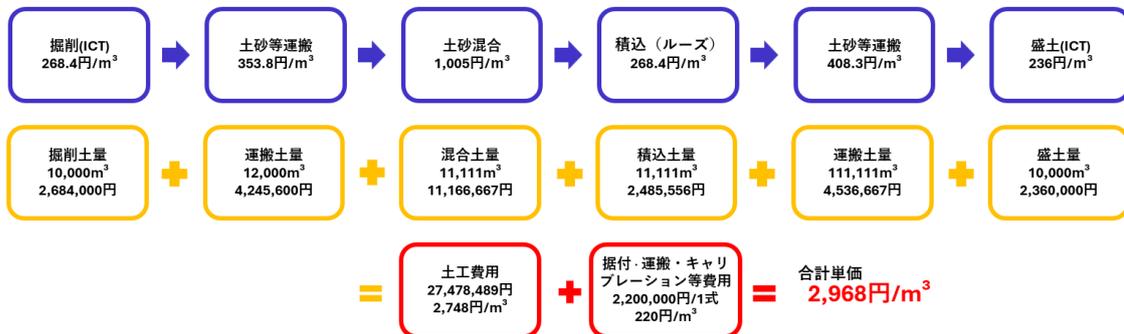
(1) 残土処分量の減少

掘削土を盛土材に転用することで、建設発生土の処分量を減少することができた。転用検討時点では中郷遊水地内のみで混合土を使用すると想定していたが、中郷遊水地整備事業以外の河川工事にも混合土を使用したため、建設発生土をより有効利用することができた。

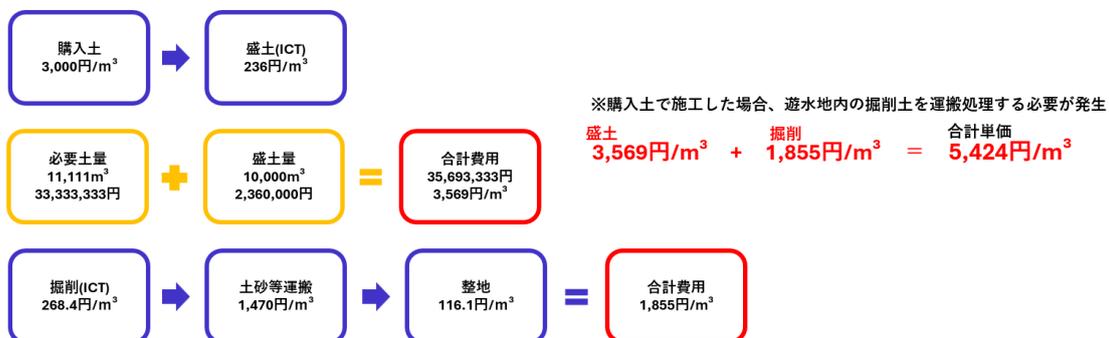
(2) コスト削減

掘削土を盛土材に転用した場合にかかる費用及び購入土を使用した場合にかかる費用は図-7のとおりであり、購入土を使用した場合に比べ、掘削土を盛土材に転用して施工した場合の方が、2,456円/m³安い結果となった。

①掘削土を盛土材に転用した場合（盛土10,000m³）



②購入土を使用した場合（盛土10,000m³）



○結果

- ケース① 2,968円/m³
- ケース② 5,424円/m³ となり、掘削土を土材に転用した場合の方が、2,456円/m³安い

図-7 土砂混合と購入土の単価比較

6. 今後の課題と解決案

(1) 今後の課題

現在、豊岡河川国道事務所管内の河川工事において、築堤土は全て中郷遊水地において混合される混合土を使用しているが、中郷遊水地整備事業が完了すると、現在混合に使用している場所が遊水地となるため、土砂改良プラントスペースとして利用することができなくなる。土砂改良プラントには混合前の土や混合後の土を置くヤード及び土砂改良機設置に必要な面積を確保する必要があるため、十分な広さが必要となるが、豊岡管内の事業用地には土砂改良プラントに使用できるような用地はないため、中郷遊水地整備事業完了後も土砂混合を継続する場合は借地等が必要となる。

また、建設発生土は「リサイクル原則化ルール⁴⁾」に基づき、工事間利用が原則となっているが、建設発生土を当該工事現場外へ搬出する際は、50km範囲内の他の建設工事受入地へ搬出することが原則となっている。豊岡河川国道事務所は他事務所と距離があるため、建設発生土情報交換システムで建設工事受入地が出てくることが少なく、民間工事の受入先も少ない。そのため、事務所内の工事で建設発生土を利用できない場合は、内陸受入地等に搬出するほかない。

(2) 解決案

前節の解決案として、他事務所と協力し、工事現場の中間地点に土砂のストックヤードを設置することが挙げられる。

ストックヤードは建設発生土を搬入するために両事務所の工事現場から50km以内の場所に設置する必要があるが、複数の事務所が使用できるストックヤードを設置することで、事務所間での土砂利用調整が可能になる。

また、ストックヤードに土砂改良機を設置することで、第4種発生土等のそのままでは工事に使用しにくい発生土もストックヤードに搬入し、混合材料として利用可能となる。

以上のことから、ストックヤードを設置することで課題を解決するだけでなく、内陸受入地等に搬入する土量及び新材利用量のさらなる減少につながると考える。

7. おわりに

本論文では、中郷遊水地整備整備事業において、遊水地内の掘削土を盛土材へ転用するための検討結果及び工事における土砂利用状況をまとめた。

その結果、掘削土単体では、築堤材料に向いておらず、AsとAgを混合する必要があることが分かったため、工事において土砂混合率の検討を行い、土砂混合を行った。

土砂混合を行うことで、残土処分量の減少やコスト縮減につながったが、土砂混合を行うには、土質改良プラント設置のための十分な広さが必要となる。現在、豊岡河川国道事務所では中郷遊水地において土砂混合を行っているが、遊水地事業が完了した場合、土砂改良を行う場所が無くなるという課題がある。課題の解決策としては、ストックヤードの設置が挙げられ、複数の事務所が使用可能なストックヤードを設置することで、事務所間での土砂利用調整が可能になり、事務所毎ではなく近畿地方整備局全体で建設発生土の有効利用の促進に貢献できるようになると考える。

なお、本論文は従前の所属である豊岡河川国道事務所工務第一課の所掌業務の内容である。

謝辞：本論文の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等を頂きました関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：令和4年度簡易調査結果(近畿)
- 2) 財団法人国土技術研究センター：河川土工マニュアル(平成21年4月)
- 3) 平成18年8月10日付け大臣官房技術調査課長，大臣官房公共事業調査課長，大臣官房官庁営繕部計画課長通達：建設発生土利用基準について
- 4) 平成18年6月12日付け大臣官房技術調査課長，大臣官房公共事業調査課長，大臣官房官庁営繕部計画課長，総合政策局事業総括調整官通達：公共建設工事における「リサイクル原則化ルール」の策定について

河川管理施設操作の効率化 に向けた取り組みについて

沼田 圭毅

近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 河川管理課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

福知山河川国道事務所は、樋門・水門・排水機場の点検、洪水時の操作について、水門等水位観測員に委嘱等を行っているが、堤防整備による河川管理施設の増加や地球温暖化等による洪水頻度・長期化が問題となっている。また、河川管理者と水門等水位観測員との間で、情報伝達する手段が少ないという問題がある。これらの問題により生じる河川管理者、水門等水位観測員の負担を軽減することを目的に、デジタル技術を活用した取り組みを行ったものである。

そこで本取り組みは、水門等水位観測員にタブレットを試行的に配布したことにより、河川管理者、水門等水位観測員の負担軽減について、得られた効果や課題のとりまとめについて報告する。

キーワード デジタル技術、タブレット、効率化

1. 現状と課題

(1) 現状

由良川水系由良川は、その源を京都府、滋賀県、福井県の境の三国岳に発し、芦生の原生林を抜けて山間部を西流し、高屋川、上林川などと合わせ綾部市を西流し、福知山市内に出て土師川と合流し、そこから方向を変え北流し旧大江町を経て舞鶴市と宮津市の市境において日本海に注ぐ、幹川流路延長 146km、流域面積 1,880km² の一級河川である。中流部の福知山盆地は標高が低く、そこから河口までの下流部では勾配が緩やかで狭長な谷底平野となっている。

由良川は、幾多の洪水被害を経験し、直轄改修事業として 1947 年より本格的に築堤が進められてきた。これに伴い、1999 年では樋門等河川管理施設（樋門、水門、排水機場）が 20 施設であったのに対し、現在、39 施設と増加している。

近年、地球温暖化等による異常気象が問題となっている。気象庁によると、日本国内の大雨及び短時間強雨の発生頻度について、日降水量が 200mm 以上となる年間の日数を「1901 年から 1930 年」と「1990 年から 2019 年」で比較すると、直近の 30 年間は約 1.7 倍の日数となっており、長期的に増加していることが分かっている。

2017 年台風 21 号、2018 年 7 月豪雨では、水門等水位観測員の出勤時間が 48 時間を超える長時間に及んだ。そこで 3 カ年（2016 年から 2018 年）の台風等による主な出水（11 出水）を対象に、各河川管理

施設のピーク水位から操作水位を下回るまでにかかる時間を整理した(図 1.1)と、出水規模が大の場合、推定操作時間が 50 時間を超える河川管理施設が 3 カ所みられ、また、出水規模が小であっても推定操作時間が 20 時間を超える樋門があることがわかった。

河川管理施設の操作は、河川管理者が水門等水位観測員に委嘱等をしており、情報伝達は電話にて行っている。このため、河川管理施設に生じた不具合等の報告をわかりやすく正確に情報伝達することが難しい。

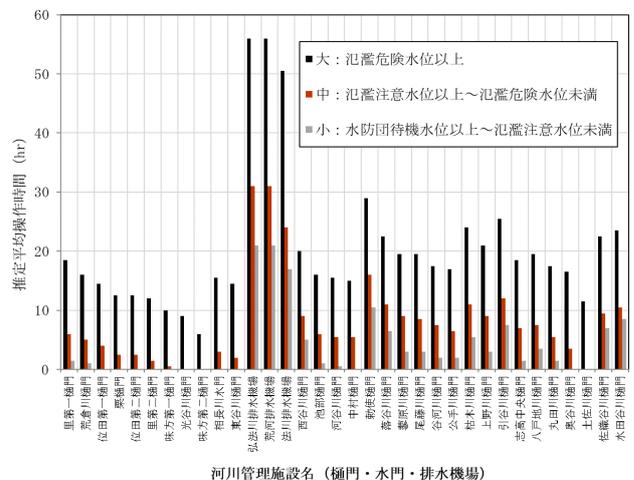


図 1.1 出水規模別の推定操作時間

a) 河川管理者の課題

河川管理者の課題として、河川管理施設の増加に伴い、監視する施設数が増加したことである。河川管理者は、水門等水位観測員に河川管理施設の不具合点検、毎正時、30分ごとの内外水位・流れの方向（順流・逆流）の指示や、報告を受ける。河川管理者はこれらの報告内容を整理し、適切に状況把握を行わなければならない。また、河川管理者は氾濫注意水位を上回った場合、堤防等の巡視を指示し、報告を受けて対応を講じる必要がある。こうした業務がある中で、河川管理施設の増加は河川管理者の業務量を増加させている。特に毎正時、30分ごとの内外水位等の報告整理は、河川管理施設の監視時間を減少させており、河川管理施設の操作に遅れが生じる可能性がある。

b) 水門等水位観測員における課題

水門等水位観測員の課題として、出勤時間の長期化があげられる。水門等水位観測員は河川管理施設の内外水位を悪天候の中量水標を目視で確認し、内外水位等を河川管理者に報告し、水位記録簿、操作記録簿に報告内容を記入するが、洪水の発生から終息までの時間が長くなると心身への負担が大きくなる。

また、河川管理施設の増加に伴い、河川管理者への内外水位等の報告が同時刻に集中することで、電話が繋がりにくいというストレスが生じている。

このように、河川管理施設の増加や台風や前線等による洪水頻度の増加・長期化、情報伝達手段が問題となる中で、水門等水位観測員、河川管理者の負担を軽減するため、デジタル技術の活用を進める必要性が生じた。

2. タブレットの導入

(1) 情報提供ツールの選定

2018年7月豪雨で、水門等水位観測員の出勤時間が長時間に及んだことから2019年度に、水門等水位観測員から洪水対応時に河川情報、気象情報、災害情報を入手可能な情報提供ツールの利用要望があがった。これを受けて福知山河川国道事務所は、情報提供ツールの機種について水門等水位観測員にアンケートをとった。アンケート結果を図2.1に示す。これによるとテレビが最も多く、ついでラジオ、タブレットとなった。また、その他の機種としてスマートフォンが利用要望としてあがった。

福知山河川国道事務所は表2.1に示すように各情報提供ツールのメリット・デメリットを整理した。アンケート結果では、テレビが最も多いが必要な情

報を選択できないことや、テレビを設置するにあたっての工事が必要であること、持ち運びができず盗難の恐れがあるという問題がある。また、ラジオは広域情報のみ入手可能であり、情報量が不足するという問題がある。したがって、福知山河川国道事務所は設置工事不要で必要な情報を収集可能であり、なおかつ水門等水位観測員と河川管理者が情報伝達可能なタブレットを選定した。

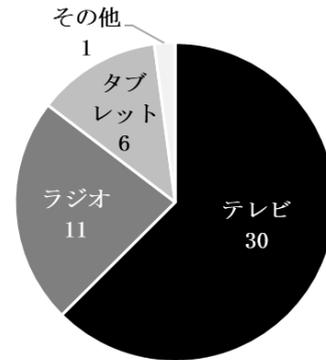


図 2.1 情報提供ツールのアンケート結果

表 2.1 情報提供ツールのメリット・デメリット

	メリット	デメリット	評価
テレビ	<ul style="list-style-type: none"> 操作が簡単 リアルタイムに情報を入手可能 ストレス解消 	<ul style="list-style-type: none"> 必要な情報を選択できない 持ち運びができず盗難の恐れがある TV アンテナ、データ放送等の工事が必要（台風時に安定した電波受信が可能か） 	○
ラジオ	<ul style="list-style-type: none"> 操作が容易 持ち運び可能 設置工事が不要 	<ul style="list-style-type: none"> 広域情報しか入手できない 情報量が不足（台風位置、河川の状況は確認不可） 	△
タブレット	<ul style="list-style-type: none"> 持ち運び可能 インターネットでテレビ・ラジオも視聴可（NHK プラス等） リアルタイムに必要な情報を検索可能 操作員側から写真や情報を送信可 	<ul style="list-style-type: none"> 使い慣れないと操作が困難であり、アプリ等の開発が必要 インターネット回線が必要（維持費がかかる） 	◎

タブレットは、過去の洪水により出勤頻度が多く、なおかつ図 1.1 により得たピーク水位から操作水位を下回るまでにかかる時間が長期間に及ぶと考えられる、大砂利川樋門、西谷川樋門、引谷川樋門の計 3 樋門を対象に試行配布を行った。その後、対象施設を増やし、2021 年度は 4 樋門、2022 年度、2023 年度は 10 樋門、2024 年度は 11 樋門にタブレットを配布している。

(2) タブレットの配布効果について

タブレットには、要望のあったテレビ (NEWS など)、水文情報 (由良川リアルタイム防災情報、川の防災情報)、操作記録 (内外水位報告フォーム)、メールなどのショートカットをホーム画面に設定した。これらの機能を活用することにより、下記に示す配布効果を確認した。

a) 情報伝達の効率化

操作記録は、ホーム画面から内外水位報告フォーム (図 2.2) を開き、樋門名、報告者、内外水位、ゲートの開閉状況、流れの方向を記入し送信することで、電話による連絡を不要とした。前項で電話連絡が不要となったことから、第1章にて問題提起した水門等水位観測員の電話が繋がりにくいことを改善した。実際に、タブレットによる内外水位報告フォームの使用者にアンケートをとったところ、全ての水門等水位観測員から負担軽減の声が上がった。

b) 情報伝達手段の拡充

水門等水位観測員は、河川管理施設に不具合が生じた際、河川管理者に電話にて情報を行ってるが、タブレットを導入したことにより、河川管理者のグループメールアドレスに写真等を送付することが可能となった。これにより、河川管理者と水門等水位観測員との間で情報伝達を円滑に行うことが可能となり、河川管理施設に支障が生じた際に早急な対応が可能となった。

c) 水門等水位観測員の情報入手手段の拡大

リアルタイムの気象情報や各水位観測所の 10 分毎の水位変動を入手することができるようになった。これにより、水門等水位観測員は降雨による急激な水位変動への対応や体制解除までの目安を確認することができ、河川管理施設の操

作に対する不安や操作体制解除の不透明さに対するストレスを削減した。

d) 河川管理者の業務効率化

内外水位報告フォームにより送信されたデータは、河川管理者の管理するスプレッドシート (図 2.3) に記入される。これにより、内外水位等のデータを取りまとめる作業が減少した。

スプレッドシートには、内外水位等の報告内容の他に河川管理者が水門等水位観測員による報告時間の記入ミスを確認することができるTS (Time Schedule) 乖離や外水位が内水位より高くなっていることを確認することができる不等号が赤字で表示される。これにより、河川管理者は記入ミスの修正や、流れの方向と内外水位差の双方を確認することにより河川管理施設に逆流が生じていないかを容易に確認できるため、データの見落としを減らすことが可能となった。



図2.2 水門等水位観測員による内外水位等報告データ

タイムスタンプ	樋門名	報告者	報告日	午前・午後	時分	TS乖離	外水位	内水位	ゲートの開閉状況	流れの方向
2024/5/28 16:02	21_勅使樋門		2024/5/28	午後	4:00		1.67 <	1.72	全開	順流
2024/5/28 16:03	22_落谷川樋門		2024/5/28	午後	4:00		2.11 >	2	全開	不明
2024/5/28 16:08	12_大谷川樋門		2024/5/28	午後	4:00		2.27 <	2.29	全開	順流
2024/5/28 16:10	12_大谷川樋門		2024/5/28	午後	3:00	4:00	1.88 <	1.9	全開	順流

図2.3 スプレッドシートによる情報整理

(3) スマートフォンによる内外水位報告

2021年度より、タブレットを配布していない水門等水位観測員からも電話以外での内外水位等の報告を可能とするため、図2.4に示すQRコードを全水門等水位観測員に配布した。

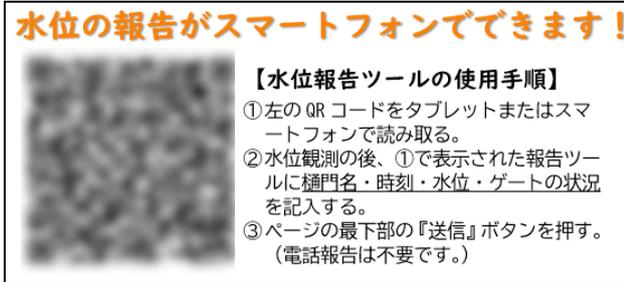


図2.4 スマートフォンによる内外水位報告ツール

内外水位等の報告は、配布したQRコードを水門等水位観測員のスマートフォンから読み取ることで、図2.2と同様の内外水位報告フォームが表示され、タブレット同様に内外水位等の情報を記入し送信することで完了する。送信されたデータもタブレット同様に河川管理者の管理する図2.3に記録される。

3. 結論

本論文では、水門等水位観測員にタブレットを配布したことにより、以下の成果を得た。

河川管理施設の増加に伴う河川管理者の業務量の増加について、タブレットの導入により業務の効率化を可能とした。

水門等水位観測員の河川管理施設操作の長期化について、タブレットの導入により、水門等水位観測員による内外水位等の報告が容易になった。また、水門等水位観測員は水文情報を閲覧し、降雨による急激な水位変動への対応や体制解除までの目安を判断することが可能となった。

水門等水位観測員は、河川管理者にタブレットから写真を添付した報告を行い、河川管理施設に支障が生じた際に正確な情報共有を可能とした。また、河川管理者は水門等水位観測員から受け取った情報により、早急な対応が可能となった。

4. 今後の課題と展望

今後の課題と展望について、以下の3つを挙げる。

第一に、予算面としてタブレットを配布するにあたってのリース代である。2024年度のタブレットリース料金は通信代を含み年間、一台につき21,500円である。このた

め、全ての河川管理施設に配布することは難しい。今後の展望として、水門等水位観測員のスマートフォンから河川管理施設の不具合や内外水位等の報告が可能であることを確認したため、洪水による出勤頻度、操作の長期性、水門等水位観測員のスマートフォンの保有状況等を考慮して可能な限りタブレットの配布台数を減らし、スマートフォンへ切り替えていく必要があると考える。実現するに当たって、河川管理者は水門等水位観測員のスマートフォンによる情報の取得方法や内外水位の報告等を水門等水位観測員講習会にて周知および実演していく必要があると考える。一方で、水門等水位観測員のスマートフォンによる報告等にかかる費用は、出水毎に支払う必要があると考える。

第二に、水門等水位観測員による内外水位の確認方法である。タブレットの配布により水門等水位観測員による内外水位等の報告による負担は軽減されたが、内外水位の確認については未だ量水標の目視で行っている。水門等水位観測員の高齢化が進む中、30分毎に内外水位等を把握するために悪天候の中階段を上り降りすることは大きな負担になっている。今後の展望として、タブレットから河川管理施設に設置されているCCTVを利用し、内外水位の確認を実現する必要があると考える。このためには、CCTVの未整備な河川管理施設や整備済みであるが堤内外水路に設置している量水標の視認が難しい施設を改善し、CCTV映像のタブレットへの取り込みができるよう検討していく必要があると考える。

第三に、河川管理者による水門等水位観測員の急な出勤指示である。河川管理者は水門等水位観測員に日中・夜間問わず出勤指示の連絡を行うため、水門等水位観測員が工作中であったり、就寝中であることが多々ある。一方で、河川管理者も水門等水位観測員へ連絡がつかないという問題があり、大規模出水時には大きな問題となる。このような河川管理者による急な出勤指示は、水門等水位観測員の出勤準備時間の確保を難しくしている。今後の展望として、水門等水位観測員のスマートフォンや配布したタブレットに河川管理者から出勤の可能性がある場合、事前にメール等により連絡を行う必要があると考える。

謝辞： 本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様に心から感謝申し上げます。

5. 参考文献の引用とリスト

気象庁 日本の気候変動2020

小型ICT建設機械の刃先位置計測機能を用いた 効率的な出来形管理手法の構築について

尾楠 雅樹¹・船曳 誠二²

¹近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所（〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16）

²近畿地方整備局 近畿技術事務所 技術活用・人材育成課（〒573-0166大阪府枚方市山田池北町11-1）

小規模土工において小型ICT建設機械の活用により丁張レス施工が可能となるほか、施工中の確認作業等が減少し、現場の施工効率を上げることが可能となり、小型ICT建機の刃先に位置計測機能を持たせることで、別途計測機器を用いることなく出来形管理が実施できることにより、施工効率を上げることが可能となり、安全な施工にもつながる。

今回、刃先に位置計測機能を持たせた建設機械による現場試行調査を行い現場適用性について確認を行い、全国運用に向けた出来形管理試行要領（案）を作成した。

キーワード 生産性向上、ICT施工、小規模土工、ICT建機、ICT出来形管理、刃先位置計測

1. はじめに

(1) ICT施工を取り巻く現状（小規模工事への拡大）

国土交通省では、生産性向上に向けたプロジェクトの一つとして、「ICT技術の全面的な活用」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す「i-Construction(アイ・コンストラクション)」を平成28年度から推進している。ICT施工については、直轄工事で対象になり得る工事のうち約8割で実施され、その効果については、延べ作業時間が約3割縮減するなどの効果が現れている。しかし、地方自治体におけるICT施工の実施率は約3割弱にとどまっている。

一方、全体の対象工事件数では、直轄工事が2割で、地方自治体が8割を占めており、中小企業へのICT施工の普及拡大が建設業における生産性向上の課題となっている。中小の建設業者が施工する現場は比較的小規模な現場が多いため、小規模な現場に対応したICT施工の導入が求められている。

(2) 小規模工事へのICT施工への拡大

国土交通省では小規模工事へのICT施工の拡大に向け、令和4年3月に「ICT土工（小規模施工1,000m³未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工」¹⁾において、都市部や市街地などの狭小現場でも小型のマシンガイダンス（MG）技術搭載バックホウを使うことでICT施工が可能とするICT実施要領等を策定している。図-1にイメージ

を示す。ICT小規模工事においては小型ICT建機を活用しICT施工することにより、丁張作業を行うことなく作業が行えるため土工作业全体の迅速化、現場の補助員削減による安全性の向上等が期待できる。

現在の実施要領等の出来形管理では、衛星測位（RTK-GNSS）やトータルステーション（TS）等を活用した断面管理を標準とし、施工履歴データを用いた点群計測や市販のモバイル端末を活用した面管理も活用可能である。



図-1 ICT 土工（小規模施工）（イメージ）¹⁾

小型ICT建設機械の刃先位置計測機能を用いた出来形計測が実施可能となれば、出来形計測用機器を別途用意することが不要となる他、MG を用いた施工と同時に出来形計測を終了させることができるようになるため、より効率を上げる事が期待できる。

近畿技術事務所では、地方自治体の工事を含めた小規模工事へICT施工を導入・活用しやすくし、更なる施工効率の向上と普及を目指すことを目的として、小型建設機械への後付ICT機器における刃先位置計測機能（施工履歴データ）を活用した出来形管理手法の確立にむけて2022(令和4)年度から取り組んでおり、その取組について報告する。図-2にイメージを示す。

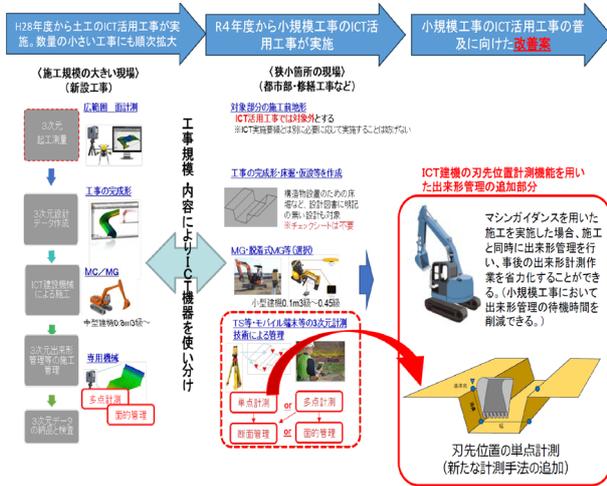


図-2 ICT 建機の刃先位置計測機能を用いた出来形管理手法 (イメージ)

2. ICT建機の刃先位置計測機能を用いた出来形管理手法の検討

(1) 小型ICT建機への後付マシンガイダンスの実態調査

小規模工事で利用される建設機械の多くは狭隘な現場で利用されることが多いことや、側溝設置の床掘りなどの細かな作業に利用されることが多いことから、山積み0.25m3以下の小型建機（BH）が利用されることが多いが、ICTを標準装備として販売されることがほとんどないのが実態である。一方、ICT活用工事の普及と小規模工事への適用拡大の動きに合わせて、近年、後付けタイプのマシンガイダンス（MG）が発売、レンタルできる環境が整備されつつある。

2022年（2022年）10月時点、主なシステムは図-3の3種類で、刃先の計測機能を調査した。結果は表1に示す。



左から MG_A(自動追尾式TS)、MG_B (RTK-GNSS(基準局あり))、MG_C (RTK-GNSS (VRS方式))

図-3 後付けマシンガイダンスの種類(システムイメージ)

表 1 後付けMGにおける刃先計測機能

システム	変化点計測	連続計測
(1) MG A (自動追尾式TS)	○	×
(2) MG B (RTK-GNSS(基準局あり))	○	○
(3) MG C (RTK-GNSS(VRS方式)、ネットワーク通信をベースにしたシステム)	○	○

変化点計測：操作を止めた状態で刃先の位置を計測・記録する機能

連続計測：操作中の刃先位置を一定（時間・距離）間隔で連続的に計測する機能

(2) 小型ICT建機の後付マシンガイダンスによる施工履歴データを用いた出来形管理手法の適用性の検討

ICT 活用工事の出来形管理手法は「3 次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（以下、既要領(案)）」に規定されており、土工および河川浚渫工事で、ICT 建設機械（掘削はバックホウ、盛土はブルドーザおよびローラ）を用いた施工履歴データによる出来形計測による面的管理が認められている。施工履歴データを用いた出来形管理手法（面管理）では、通常の MG や MC の機能に加えて、ICT 建設機械の稼働中の刃先データを連続的に計測し取得するシステムと計測後の点群処理用の専用アプリケーションを用い出来形点群データを抽出する面管理と、TS 等光波方式を用いた 1 日の施工範囲に対して 3 箇所の出来形計測との両方を実施することになっており、施工規模が大きく多くの労力と経費を要する大規模な土工工事で適用されている。

既要領（案）における施工履歴を用いた出来形管理の対象工種は、土工（掘削、法面整形、盛土）であることから、「小規模工事への適用も可能」である。

なお、小規模工事へ適用する上での課題・留意点は、以下の事項である。

a) 小規模工事の対象範囲の検討

小規模施工においては、側溝工や構造物の床掘りや埋戻し作業が頻繁に行われることから、今回の小規模工事の対象範囲（対象工種）は、「ICT 活用工事における小規模施工（土工 1,000m3 未満）における土工、床掘工、小規模土工（埋戻し工等）・法面整形」とする。

小規模工事の対象範囲は、図-1 のとおりである。

b) 小型施工の施工実態に沿った出来形計測方法の検討

小規模工事では床掘りなどの構造物の設置に伴う土工が多いことから日当たりの施工量も少なく、掘削作業では検測を繰り返しているため、検測と実際の出来形管理（従来の断面管理では、数か所程度）が同程度の作業となることから、現在の手法（連続的な計測）ではほとんどメリットがない。

小規模施工では、「掘削後に刃先を土工面において静止した状態で計測（単点計測）」することで、計測位置と計測精度の安定と向上を図る方法とする。

c) 小型ICT建機（小型バックホウ）における施工履歴の取得精度に関する検討

既要領は 0.8m3 級や 0.45 級のバックホウを用いたシ

システムにおける施工履歴の取得精度を検証して策定されており、機械の揺れや刃先の動きが激しい小型建設機械の施工履歴精度について検証がなされていない。

小規模工事の出来形管理に利用できる取得精度が可能かできるのか検証しておく必要があり、刃先を静止させた状態での出来形計測精度について確認する。

(3) 小型ICT建機の施工履歴データを用いた出来形管理手法のコンセプト

上記の検討結果から、小規模工事に対応した施工履歴を用いた出来形管理手法のコンセプトを以下のとおり設定した。

- 基本的には、刃先を静止させた状態で出来形計測（単点計測）を行う。
 - 刃先は、従来の断面管理における計測と同様に、幅、長さ、高さの計測箇所とし、長さや幅は2点座標間距離から計測後に計算で求める。
 - 出来形計測の頻度は、刃先の計測精度が TS 等と同等である場合は、従来の断面管理の計測頻度とする。TS 等に比べて劣る（面的管理に利用する場合と同等以上であることが条件）場合は、計測断面数を作業を阻害しない範囲で増やす。
- 又、本コンセプトのメリットは、以下のとおりである。
- 施工履歴とは別に TS 等により 3 箇所以上（1 日の施工範囲当たり）の計測が不要。（TS 機器が不要。）
 - 刃先を連続的に取得するシステムの別途手配が不要。
 - 点群処理に専用のアプリケーションが不要。

本コンセプトの実現に向けて検証が必要な事項は以下のとおりである。

- 静止状態による刃先計測（単点計測）が小規模工事の作業を阻害していないかどうかの検証
 - 静止状態による計測精度の検証
- 本コンセプトについて、図-4 に示す。

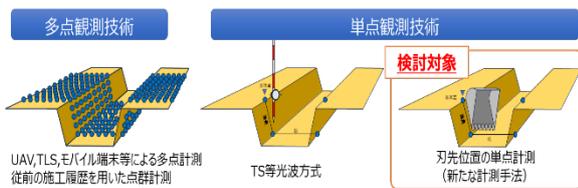


図4 小型 ICT 建機の刃先位置の施工履歴データを用いた出来形管理手法のコンセプト

3. 小規模施工を想定した小型ICT建機による出来形管理手法の適用性の検証

(1) 近畿技術事務所での検証状況

本手法の実現性に向け、近畿インフラDX推進センター（近畿技術事務所）構内の小規模工事のU型側溝の敷設に伴う掘削工事を想定した検証フィールドで検証を実施

した。検証フィールド概要を図5に示す。

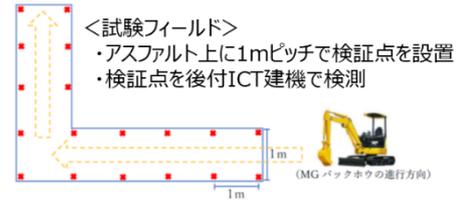


図-5 検証フィールド概要（近畿技術事務所構内）

本検証では、表-1 の3機種（山積 0.25m3以下）MG バックホウ（TS 方式、RTK-GNSS（基準局あり）、RTK-GNSS（VRS 方式））を検証対象とし、従来施工（丁張りの準備、丁張り設置時間、施工、出来形計測）と MG バックホウを用いた施工（3D データ作成、施工、刃先を利用した出来形計測）との比較を行った。

(2) 刃先位置計測機能を用いた出来形管理手法検証結果

a) 計測精度の検証結果

MG3機種について、1機種につき18箇所の検証点の差分を、TSによる真値とMGの刃先データで取得した座標値を比較した。3機種の計測精度の検証結果を表2に示す。精度検証の結果、どの機種も適正なキャリブレーションを実施することで、計測差は±50mm(±0.05m)以内を満足できる。

表 2 3 機種の計測精度の検証結果

	MG_A			MG_B			MG_C		
	差分 (刃先-TS)			差分 (刃先-TS)			差分 (刃先-TS)		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
①平均値	0.019	0.012	-0.017	0.003	0.006	0.005	0.025	0.008	-0.009
②標準偏差の2倍	0.021	0.020	0.007	0.017	0.015	0.016	0.019	0.024	0.011
①+②	0.040	0.032	0.024	0.020	0.020	0.021	0.044	0.033	0.020

b) 作業性の検証結果

作業性について、従来施工と刃先位置計測機能を用いた出来形管理手法（3機種MG）を実施し、施工管理に要する人工数・作業時間について比較した。従来施工と3機種の施工の作業性比較グラフを図6に示す。

比較した結果、いずれも、計測作業について、従来施工の出来形計測に対し、MGの刃先データを用いた出来形計測の方が2割程度の計測時間の削減が期待できる。準備作業についても、MGの準備時間が従来の丁張り時間に対しておよそ半分程度になっている。

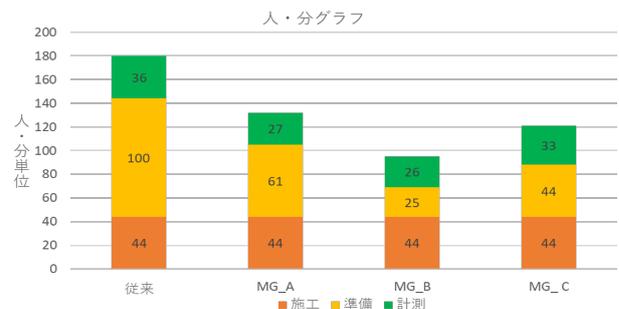


図6 作業性比較グラフ

4. ICT建機の刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）の作成

(1) 刃先データを用いた出来形管理要領への反映事項

検証結果を踏まえ、小規模施工における刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）への反映事項を以下にまとめた。

a) 刃先の計測精度への要求事項

既存のICT活用工事における小規模施工においては、断面管理が基本事項となっており、断面管理で求められる幅や長さ、高さの3次元座標データとしては±50mm以内（検証点において）が原則となっている。本検証においても、刃先の精度検証結果から、TS等を基準としてばらつき（平均値に標準偏差の2倍）を含めても、±50mm以内を満足していることから断面管理への適用が可能であると考えられるため、従来の規格値を採用した。

その要求精度の確認方法として、MGバックホウを用いた刃先データの精度確認実施手順(案)を作成した。

b) 出来形管理方法

小規模施工においては、後付けのMGの利用が多い、狭隘な場所での施工も多いと考えられる。また、小規模施工での普及に向けて導入費用を軽減するため、作業中の刃先の連続データの取得機能および点群処理ソフトウェアは必須とせず、全てのMGで機能として装備している静止段階における刃先データの記録機能を利用する。このため、面的な管理ではなく、断面管理（座標から幅や長さ、高さを求める）手法を標準とする。

c) 出来形計測基準（頻度）

既存のICT活用工事における小規模施工においては、断面管理が基本事項となっており、出来形管理基準は従来手法と同様である。

一方、床掘などの現場では、出来形管理基準に定められた頻度以上に仕上がりを確認（検測）しながら施工を行っている実態である。さらに、3章(3)(b)作業性の検証結果で、作業時間の削減効果も期待できることから、従来の検測作業と同程度であれば施工性を阻害しないと考えられる。

(2) 刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）の作成

刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）を整理、作成した図7に示す。

土工(1,000³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工・ICT建機の刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）目次

第1編 土工(1,000³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工・ICT建機の刃先データを用いた出来形管理要領（試行案） 1-1

第1章 本要領の目的（第1編） 1-1

第2章 適用の範囲 1-3

第3章 3次元計測技術を用いた出来形管理に必要な実務事項 1-6

第3節 施工計測費 1-6

第3節 工事品質の確保 1-6

第3節 工事測量（第1測量）（断面管理の場合） 1-9

第4節 3次元設計データ（断面管理の場合） 1-10

4-1-1 3次元設計データ作成システム 1-10

4-1-2 3次元設計データの作成 1-11

4-1-3 3次元設計データの確認 1-12

4-1-4 3次元設計データの更新 1-12

第5節 出来形管理（断面管理の場合） 1-14

5-1-1 出来形管理確認ソフトウェア 1-14

5-1-2 出来形計測 1-14

5-1-3 出来形計測手順 1-14

5-1-4 出来形管理データの作成 1-14

図7 出来形管理要領（試行案）（一部抜粋）

5. ICT建機の刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）を用いたフォローアップ調査

2022年（令和4年）度作成した「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」における小型ICT建設機械（バックホウ）の刃先位置計測機能を用いた出来形管理手法（2022年度作成出来形管理要領（試行案））の現地適用性を確認するため、2023年（令和5年）度に試行案を適用した施工現場（5件）を対象にフォローアップ調査を実施し要領等の適用性と効果を検証した。

検証内容は、計測精度と作業性とし、図8にイメージを示す。また、施工現場の検証状況を図9に示す。

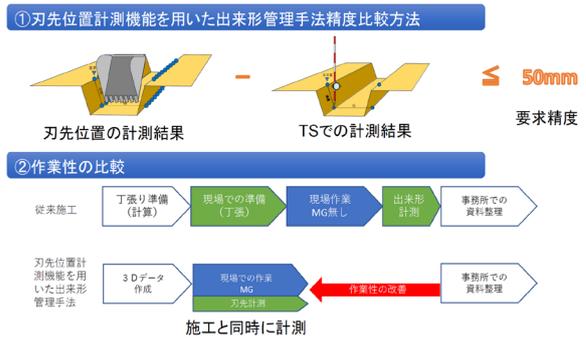


図8 試行案の検証内容（イメージ）



図9 施工現場の検証状況（試行案）

(1) 計測精度の検証結果

刃先計測箇所をTSで計測し、TSでの計測結果を真値として平面（X、Y）鉛直（Z）それぞれ比較した結果、真値との差が計測要求精度の±50mmを超える箇所が見られた。

計測精度の検証結果一覧を表3に示す。

表3 計測精度の検証結果一覧

記号	現場の作業種別	計測タイプ	データ数	X		Y		Z	
				平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
A	歩道部陥没・U字溝床掘	自動追尾TS	N=56	44mm	36mm	76mm	51mm	12mm	9mm
B	道路改良（路床置換え）	GNSS	N=24	21mm	16mm	27mm	24mm	48mm	32mm
C	宅地基礎掘削工	自動追尾TS	N=160	15mm	15mm	24mm	18mm	14mm	10mm
D	側溝工床掘	GNSS	N=144	94mm	24mm	83mm	21mm	11mm	23mm
E	擁壁工床掘り	自動追尾TS	N=33	126mm	68mm	56mm	59mm	8mm	5mm

(2) 計測精度検証の結果を受けた課題と対応

(1)の検証結果から、結果から、計測精度に関する課題・原因を整理し、改善案を検討した。作業現場での計測精度が低下する原因は次の状況が影響していることが判明した。

- i) ICT建設機械の姿勢やアームやブームの位置
- ii) 作業エリアのGNSSの受信状況
- iii) 施工中のブームのスイング軸等のずれ

2022年（令和4年）度作成した要領（試行案）の精度確認試験実施手順書では、の精度確認試験実施手順書では、i)～iii)についての留意点等の記載がなく、作業時の精度を担保する条件が不足していたと考えられる。刃先計測精度の低下原因が精度確認試験手順で改善される可能性が高いため、計測精度確認試験実施手順の改定を行った。これらの改定内容は次のとおりである。

- i) 事前精度確認時に、ブーム・アーム・バケットの最大伸長・中間・最大縮小時で±50mm以内を確認する項目を追加
- ii) GNSSを利用する場合は、事前精度確認に加えて、作業範囲内で安定したGNSSの受信が可能であることを確認する留意点を追加
- iii) スイング等機構を有するバックホウでは、作業中に軸が動かないように留意することを追加

(3) 計測精度確認試験実施手順の改定

上記(2)の課題に対応するため、刃先計測精度の低下原因が精度確認試験手順で改善される可能性が高いため、計測精度確認試験実施手順の改定を行った。

特にシステムのキャリブレーションが最も重要であり、事前精度確認の実施手順（改定）について説明する。図10に解説図、図11に3姿勢の状態を示す。

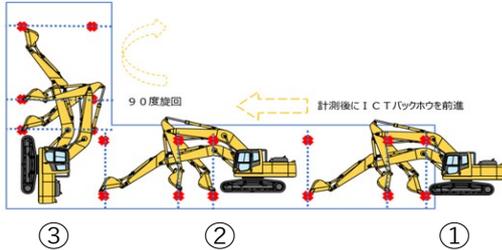


図10 事前精度確認の実施手法（改定）解説図

- ①1断面（2点以上）を3姿勢で3断面を計測する。
- ②計測後、ICTバックホウを前進させ、本体位置を変えた上で、同様に3断面を計測する。
- ③次に、再びICTバックホウを前進させたあと、90度回転して同様に3断面を計測する。

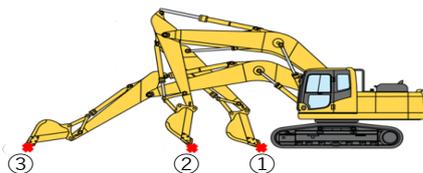


図11 事前精度確認の実施手法(改定) 3姿勢の状態図

- ①ブーム、アームを最も縮めた状態。
- ②可動範囲の中間まで伸ばした状態。
- ③最も伸ばした状態。

(4) 改訂後の計測精度確認試験実施手順を用いたフォローアップ調査

改定後の精度確認試験実施手順を適用した施工現場（3件）を対象に追加フォローアップ調査を行った。施工場所を図12に、追加施工の追加計測精度の検証結果一覧を表4に示す。

結果として、すべての現場で要求精度を満たしたため、精度確認試験実施手順（改定案）の妥当性が確認された。従って、従来同様の出来形管理基準及び規格値を採用する。



図12 追加施工現場の検証状況（試行案）

表4 追加計測精度の検証結果一覧

記号	現場の作業種別	計測タイプ	データ数	X		Y		Z	
				平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
F	掘削工	自動追尾TS	N=20	15mm	11mm	19mm	12mm	5mm	3mm
		GNSS	N=16	12mm	9mm	18mm	13mm	10mm	8mm
G	上水道の配水管埋設工事	自動追尾TS	N=48	20mm	13mm	11mm	8mm	9mm	7mm
H	コンクリートブロック積の床留工（土工）および仮設仮設	自動追尾TS	N=42	12mm	9mm	0mm	28mm	3mm	10mm

(5) 作業性の検証

ICT機器を用いた出来形管理手法を適用しフォローアップ調査を実施、作業性の比較を行った。作業性の検証結果一覧を表5に示す。

検証の結果、全ての現場で従来施工に比べ1～5割の人工（人・分）の省力化が実現されている。刃先計測は、常に1人工で作業が行え従来施工と比較して、作業人工を削減できたため人工時間の削減に繋がった。また、MGの導入による丁張り削減効果の影響が大きく、出来形計測員の確保、計測機材の確保が不要であることも確認できた。

今回の検証では、精度検証を兼ねているため実際の計測頻度より多くの断面を計測している。従来手法と同等の計測頻度とすることで更なる作業性向上が期待できる。

表5 作業性の検証結果一覧

記号※1	種別	種別	丁張り	施工	出来形計測	施工と刃先位置の計測	合計	削減率	備考※2
									(計測回数)
A	L=65	従来	1:51	3:18	0:30		5:39		3断面
	自動追尾TS	刃先		2:12		0:48	3:00	47%	2断面
B	L=80	従来	0:46	7:08	0:24		8:18		3断面
	GNSS	刃先		6:32		0:22	6:54	17%	8断面
C	L=40	従来	1:48	1:09	0:10		3:07		3断面
	自動追尾TS	刃先		0:53		0:55	1:48	42%	2断面
D	L=40	従来	0:35	0:49	0:08		1:32		3断面
	GNSS	刃先		1:01		0:20	1:21	12%	1断面
E	L=10	従来	0:30	1:00	0:10		1:40		3断面
	自動追尾TS	刃先		0:35		0:10	0:45	55%	11断面
F	L=6	従来	2:02	2:02	0:36		4:40		6断面
	自動追尾TS	刃先		1:23		0:42	2:05	20%	6断面

※1：8現場のうち、従業員2名の比較は6現場で実施。
 ※2：通行には影響を軽減するためより多くの断面を計測したため。
 ※3：Fの現場は配水管埋設工のため丁張りはなし。

5. 全国運用に向け、刃先位置計測機能を用いた出来形管理試行要領（改訂版案）の策定

6. 刃先位置計測機能を用いた出来形管理試行要領（改訂版案）の普及に向けた今後の取組

(1) 刃先位置計測機能を用いた出来形管理要領試行（改訂案）への反映事項

検証結果を踏まえ、小規模施工における刃先データを用いた出来形管理要領（試行案）への反映事項を以下にまとめた。

a) 小規模の断面計測のツールとしてMGの刃先位置計測機能の活用手法

小規模の断面計測のツールとしてMGの刃先位置計測機能を活用する手法として下記の3項目を追加した。

- 刃先の事前精度確認実施手法（改定）を追加
出来形管理基準・頻度は従来から変更はなし
- 刃先精度の日々確認を追加
- 刃先精度を担保するための留意事項を追加
(作業範囲のGNSSの受信環境の確認)
(スイングアーム等の軸ずれの確認)

b) 計測精度

計測精度については、小規模土工の出来形管理（断面管理）の要求値となる±50mm以下を満足できたことから、従来同様の出来形管理基準及び規格値を採用する。

(2) 刃先位置計測機能を用いた出来形管理要領試行（改訂案）の策定

上記結果から、改定後の精度確認試験実施手順の妥当性が検証できたため、全国運用に向け下記の要領（案）を策定した。改定要領（案）等は図-14のとおりである。

- 「土工（1,000m3未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工・ICT建機の刃先データを使った出来形管理（試行要領改訂版案）」の作成
- 「3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工（1,000m3未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工編）ICT建機の刃先計測機能対応版（試行要領改訂版案）」の作成

小規模工事へICT施工を導入・活用しやすくし、更なる施工効率の向上と普及を目指すことを目的に、刃先位置計測機能を用いた出来形管理試行要領（改訂版案）及び監督・検査要領（試行案）を策定した。併せて、本要領の解説動画、現場検証を元に事例集を作成した。

2024年（令和6年）度は全国運用に向け、本要領（改訂版案）を適用した現場実証を更に行い、本要領案を確立する。また、地方自治体や中小企業に対し、近畿地方整備局インフラDX推進センターで実施しているICT活用研修、自治体への説明等で事例集や解説動画を活用し、ICT普及促進に向け、要領案を広く展開していく。

7. まとめ

小型ICT建設機械の刃先位置計測機能を用いた効率的な出来形管理手法が構築できたことは、ICT活用が進んでいない地方自治体における中小規模工事での生産性向上に向け、省力化が大きく期待でき、中小規模工事へのICT施工を導入・活用への更なる期待もできる。

更に、近畿技術事務所では近畿地方整備局インフラDX推進センターでのインフラDX研修（ICT活用研修、BIM/CIM施工研修等）や講習会を通じて、地方自治体、中小企業を含め小型ICT建設機械による刃先計測技術の普及推進を進め、ICT活用を広く普及していくとともに、地域の建設業に向けてICT施工に炊けた人材育成にも力を注いでいく。

謝辞：本編を執筆するにあたり、現地適応性検証の現場を提供して頂いた国、府県、自治体の皆様にご心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省 HP

異動に伴う対応

本論文は、(前)近畿技術事務所 技術活用・人材育成課長 (2022.4-2024.3 在籍)に実施したものである。

<p>第1編 土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工・ICT建機の刃先位置計測機能を用いた出来形管理(試行要領改訂版案)</p> <p>第1章 本管理要領(案)に記載のない事項</p> <p>1 本管理要領(案)に記載されていない事項については、以下事項に定めるものとする。</p> <p>① 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>② 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>③ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>④ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑤ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑥ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑦ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑧ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑨ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑩ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑪ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑫ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑬ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑭ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑮ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑯ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑰ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑱ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑲ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>⑳ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉑ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉒ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉓ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉔ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉕ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉖ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉗ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉘ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉙ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉚ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉛ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉜ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉝ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉞ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㉟ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊱ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊲ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊳ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊴ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊵ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊶ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊷ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊸ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊹ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊺ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊻ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊼ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊽ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊾ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p> <p>㊿ 「土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」の「出来形管理」(案)の適用範囲(案)。</p>	<p>3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工(1,000m³未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工編)ICT建機の刃先位置計測機能を用いた出来形管理対応版(試行要領改訂版案)</p> <p>令和6年3月</p> <p>国土交通省</p>
--	---

図 14 出来形管理試行要領（改訂案）、監督・検査要領（案）

長尺グラウンドアンカーを用いた耐震強化岸壁 における効率的な維持管理手法の確立に向けて

岩本 和樹

近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 技術開発課

(〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

神戸港ポートアイランド（第2期）地区岸壁（-16m）（PC-15E～17）は、グラウンドアンカー工法により耐震化を行っている。グラウンドアンカーの維持管理としてアンカーの残存張力を継続的に計測することで監視しており、あらかじめ設定した残存張力の閾値から外れているアンカーに対して張力調整を行っているところであるが、長年の計測結果により残存張力が年単位及び長期的に変動していることがわかった。本検討では、この残存張力の変動要因を特定しようとするものである。そして本検討により得られた変動要因から現在の維持管理手法を見直し、より効率的な維持管理手法の確立につなげていこうとするものである。

キーワード 長尺グラウンドアンカー，残存張力，季節変動，長期変動，圧密沈下，維持管理

1. はじめに

神戸港ポートアイランド（第2期）地区岸壁（-16m）（PC-15E～17）は、水深-16m、岸壁延長1,150mの施設であり、阪神港における中心的なコンテナターミナルである。本施設の位置図を図-1に示す。



図-1 本施設位置図

本施設は 1998 年に水深-15m として供用開始し、2010 年に水深-16m への増深化に併せてグラウンドアンカー補強工法による耐震化を行った。本施設の断面図を図-2に示す。グラウンドアンカー補強工法は、地中に造成するアンカー体と構造物を PC 鋼線等の引張材で連結し、構造物にプレストレスを与え抵抗力を補強する工法であ

る。本施設は、供用中の岸壁であるため、経済性、工期、岸壁利用への影響より本工法が用いられた。当該工法は、L1 地震動、L2 地震動作用時にケーソンの水平変位を抑えることを目的としており、アンカーには、地震時の衝撃力を回避するために初期緊張力 150kN を導入し、残存張力を継続的に監視している。定着層は N 値 50 以上の Dg1 層としている。

本検討は、効率的な維持管理手法の確立に向け、残存張力の変動要因、特に長期的な残存張力の減少要因を特定しようとするものである。

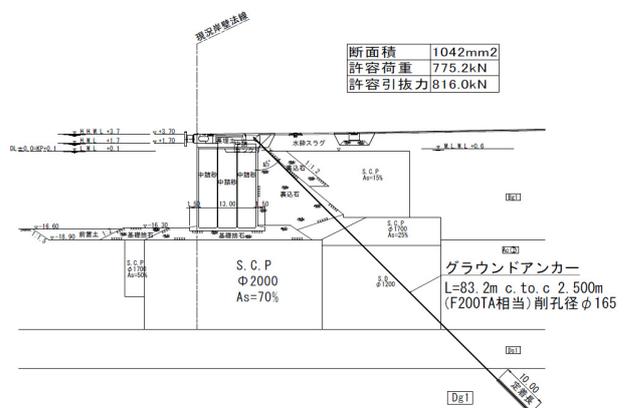


図-2 本施設断面図

2. 残存張力の計測方法および計測結果

(1) 残存張力の計測方法

本施設では、油圧ディスク式荷重計を採用している。計測方式は荷重（油圧）をその場で目視計測するブルドン管式と荷重を電気信号に変換し、データロガーに送信して読み取り自動的に計測する圧力変換方式がある。50m（4函）に1箇所は圧力変換方式の油圧ディスク式荷重計を設置し、自動計測をしている。手動計測は3ヶ月に1回程度行い、自動計測は月1回データ整理を行っている。全90函のケーソンに対し、自動計測は全24箇所、手動計測は全66箇所行っている。

表-2、表-3に示す健全性調査の必要性の評価は、初期緊張力（150kN）の80%～130%は健全と評価し、この範囲外となる場合に対策を検討することとしている。

表-2 残存張力に関する健全性調査の必要性の評価

内容	評価
初期緊張力の0%	I
初期緊張力の50%未満	II
初期緊張力の80%未満	III
初期緊張力の80%～130%	-
初期緊張力の130%～150%	III
初期緊張力の150%～160%	II
初期緊張力の160%以上	I

評価 I	アンカーの健全性に重大な問題があることは明らか、または可能性が高い
評価 II	近いうちに健全性に重大な問題が生じる可能性がある
評価 III	現時点では大きな問題ではないが、いずれ重大な問題に移行する可能性がある

表-3 点検概要

点検項目	点検時期	概要	
		目視点検	残存張力計測
日常点検	手動計測:3ヶ月に1回 自動計測:月1回 ケーソン位置測量:年1回	手動計測時に 外観目視	ロードセルによる 連続計測
定期点検	5年毎	外観目視	ロードセルによる 連続計測
臨時点検	偶発作用等の異常発生時	外観目視	リフトオフ試験
健全性調査	定期点検等にて施設異常確認時	外観目視	リフトオフ試験

(2) 残存張力の計測結果の一例

2013年～2018年の残存張力の計測結果の一例を、図-3に示す。図-3より残存張力の計測結果（以下残存張力）は、約1年の周期の短期間で増減を繰り返していることがわかる。また、長期間で残存張力が年々低下している傾向があることがわかる。本検討では、この1年周期の変動および長期的な減少の要因について分析を行った。

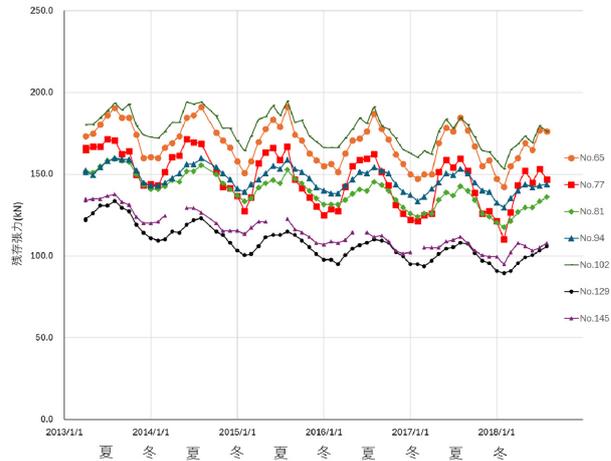


図-3 残存張力計測結果（2013年～2018年）

3. 計測結果の考察

(1) 残存張力の変動要因の抽出

残存張力の変化に影響を与えている可能性のある事象を抽出し、変動作用（気温、潮位、波高、地震、降水量変位（沈下））および偶発作用（L2地震、船舶衝突）に分類した。それぞれについて、抽出した理由を表-4に示す。

表-4 残存張力に影響を与えている可能性のある事象

作用状態	抽出した事象	抽出した理由
変動作用	気温	温度の影響を受けて、残存張力を計測するセンサーの計測値が変動する可能性
	潮位	ケーソンに作用する浮力や水圧、土圧が潮位によって変動することで、残存張力が変化する可能性
	波高	ケーソンに波力が作用することで、残存張力が変化する可能性
	地震	ケーソンに地震力が作用することで、残存張力が変化する可能性
	降水量	ケーソンに作用する浮力が降水量によって変動することで、残存張力が変化する可能性
	変位（沈下）	ケーソンが経年変位（沈下）することで、残存張力が変化する可能性
偶発作用	L2地震	ケーソンに地震力が作用することで、残存張力が変化する可能性
	船舶衝突	ケーソンに船舶が衝突することで、残存張力が変化する可能性

表-5 残存張力と各事象の相関

	No.145と気温の関係	No.145と潮位の関係	No.145と日平均有義波高の関係	No.145と日最大波高の関係	No.145と降水量の関係
時系列					
散布図					
相関係数	0.7571	0.5183	-0.05451	-0.0012	0.0763

(2) 残存張力の季節変動要因

残存張力の季節的な変化の要因を明確にするため、残存張力の経時変化と各要因（事象）との相関関係を分析した結果を表-5に示す。対象期間は2016年4月1日から2018年4月1日の2年間とした。なお、データの季節的な変動の特徴を正確に捉えるために、近似線形の式から近似値を求め元のデータから引くことで、長期的な変動傾向を控除した。表-5より、気温及び潮位については、残存張力との相関がみられたが、その他の事象については、残存張力との相関がみられなかったことから、残存張力の季節変動は気温と潮位が影響している可能性があると考え、それぞれについて詳細に検討した。

a) 残存張力と気温の関係

代表ケーソン3箇の残存張力と気温の関係を表-6に示す。散布図をみると、ケーソン3箇所すべてにおいて、残存張力が気温の変動に対して比例（直線）的に変動しており、相関係数も高い。このことから、残存張力は気温が高いほど大きい値を示し、気温が低いほど小さい値を示すことがわかった。

よって、残存張力の季節変動は気温が大きく影響していると考えられる。

表-6 残存張力と気温の相関関係

	No. 77	No. 129	No. 145
残存張力と気温の経年変化			
散布図			
相関係数	0.87	0.95	0.77

b) 残存張力と潮位の関係

気温と同様に、潮位変動が残存張力にどの程度影響を及ぼし得るかを検討した。毎正時（1時間毎）の潮位計測記録は、分析時の直近1年分（2022年3月8日から2023年3月22日まで）のデータのみ残っていたため、対象期間は分析時の直近1年間とした。

代表ケーソン（No.77）の残存張力と毎正時及び毎零時（1日毎）における潮位の関係を表-7に示す。残存張力との相関は毎零時計測記録よりも毎正時計測記録の方が小さい値を示した。毎零時計測記録では、潮位の季節変動の様子が顕著であり、大潮・小潮と思われる月毎の上下の変動も明確に表れている。これらの傾向の中で、季節変動による影響（気温による影響）が卓越することにより、残存張力との相関関係が高くなっていると考えられる。

よって潮位については、残存張力の季節変動への影響はないと考えた。

表-7 残存張力と潮位の相関関係

	No.77(毎零時)	No.77(毎正時)
残存張力と潮位の経年変化		
散布図		
相関係数	0.70	0.20

次に、同ケーソンにおいて、1日における潮位変動が残存張力にどの程度影響を及ぼし得るかを、堤体の自重（浮力含む）、水圧、および土圧を要素として検証した。算出モデルを図-4に、潮位変動に対するアンカー張力変化量の推定結果を表-8に示す。表-8より、高潮位+1.30mから低潮位+0.10mに潮位が変動した場合に残存張力の実測値が約-10kN/本であるのに対し、推定値は-8.6kN/本と非常に近い値を示した。したがって、潮位変動は残存張力の季節変動要因とはなり得ないが、日変動に影響を及ぼす要因となっていると考えられる。

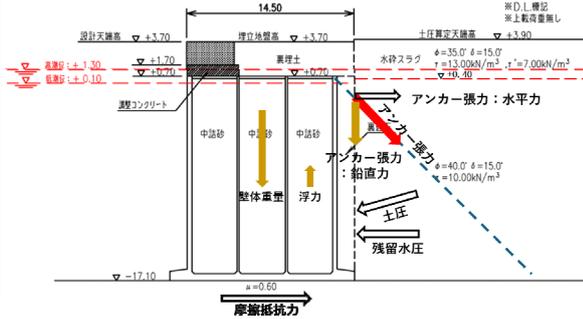


図-4 荷重値の算出モデル

表-8 荷重値の算出結果

	【高潮位時】 外水位：D.L.+1.30m 残留水位：D.L.+1.30m		【低潮位時】 外水位：D.L.+0.10m 残留水位：D.L.+0.40m 潮位差の1/4		変化量（低潮位時～高潮位時） ※張力変化量の推定	
	V (kN/m)	H (kN/m)	V (kN/m)	H (kN/m)	ΔV (kN/m)	ΔH (kN/m)
土圧 (kN/m)	120.51	449.66	125.6	468.66	5.09	19
残留水圧 (kN/m)	-	0	-	52.57	-	52.57
壁体重量 (kN/m)	6267.03	-	6254.13	-	-12.9	-
浮力 (kN/m)	-2705.18	-	-2574.02	-	131.16	-
合計 (kN/m)	3682.36	449.66	3805.71	521.23	123.35	71.57
アンカーへの負荷 外力 (kN/m)	-1759.756		-1762.2		-2.4	
張力変化量 (kN/本) (推定値)					-8.6	
張力変化量 (kN/本) (実測値)					-10.7	

(3) 長期的な残存張力の変動要因

残存張力の時系列変化には、季節変動の他に長期的な変動があり、ほぼ全てのアンカーの残存張力が減少し続けている。この長期的な変動の要因の一つとして、地盤の沈下によるケーソン変位の影響が考えられる。そこで、PC-15～17の既往測量成果（2013年11月23日～2022年11月26日）を用い、両者の関係性について分析した。側線15-aと対象ケーソンの位置関係を図-5、図-6に、側線15-aにおけるアンカー頭部の位置にあたる側点a-1と側点a-1付近のケーソンNo.61及びNo.65の残存張力との関係を表-9に示す。表-9より、残存張力は側点a-1の標高が低くなるほど低くなるのがわかり、両者には高い相関性がみられた。

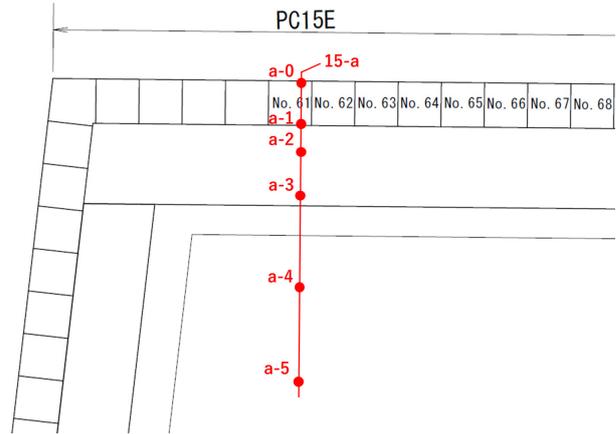


図-5 側線15-aとケーソンNo.61およびNo.65との位置関係

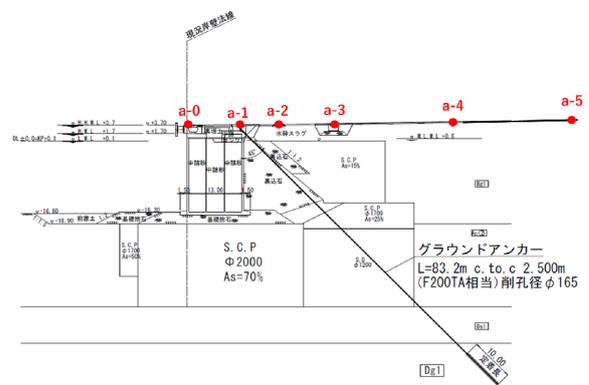


図-6 側線15-aにおける断面図

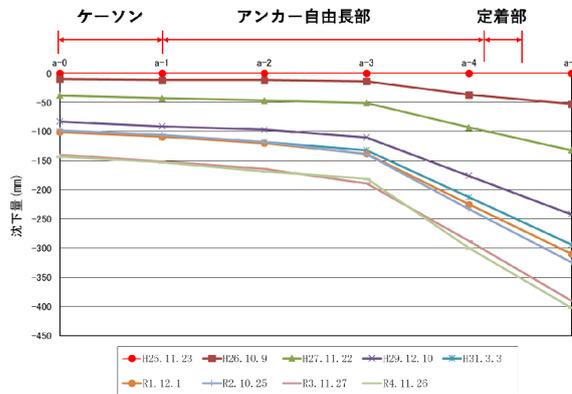


図-7 PC-15Eバースヤード内（側線15-a）沈下量断面図

表-9 残存張力と標高の関係

	No. 61の残存張力と標高の関係	No. 65の残存張力と標高の関係
散布図		
相関係数	0.87	0.934

次に、沈下量に対応するグラウンドアンカーの見掛けの縮み量とバネ係数から算出できる残存張力の減少量が張力計測結果と一致するかについて分析した。グラウンドアンカーの見掛けの縮み量（アンカー頭部と定着部との距離の縮み量）は、ケーソン直下の沖積層の鉛直変位量とアンカー頭部の水平変位量より算定した。残存張力の変化量の算定方法は式(1a)(1b)による。

$$F=K \cdot x \quad (1a)$$

$$K=As \cdot Es/Lsf \quad (1b)$$

ここに、

F:張力変化量

K:バネ定数

x:伸縮量

As:アンカー断面積 1,042mm²

Es:アンカー弾性係数 186×10³N/mm²

Lsf:アンカー自由長 81,625mm

図-6に示す通り、アンカー頭部（側点a-1）直下の沖積層はサンドコンパクションパイルで改良（改良率70%）している。そのため、9年間で153mmの沈下が改良した沖積層で発生しているとは考えにくい。

そこで、グラウンドアンカーの見掛けの縮み量を、同期間において定着部が位置する洪積層が沈下していない場合（Case-1）と洪積層が70mm沈下している場合（Case-2）の2ケースで検討した。その結果（表-10）、Case-1での算定値は、実測値の乖離が大きく、Case-2での算定値は、実測値と近い値が得られた。以上より、洪積層が70mm沈下している場合、圧密による地盤沈下は残存張力の長期的な変動要因であるといえる。

表-10 残存張力（算定値及び計測値）の減少量の関係

Case	ケーソンNo.	鉛直変位量(mm)			水平変位量 (mm)	アンカー 伸縮量x (mm)	残存張力減少量	
		アンカー 頭部	定着部 (洪積層)	ケーソン 直下沖積層			算定値 (kN)	実測値 (kN)
Case-1	No.61	-153	0	-153	65.5	-62	-147.2	-18.2
	No.65				63.5	-63	-149.6	-29.2
Case-2	No.61	-153	-70	-83	65.5	-12	-28.5	-18.2
	No.65				63.5	-14	-33.2	-29.2
備考		側点a-1			平面測量			

次に、Case-2における洪積層の沈下量70mmの妥当性について考察した。図-8はコンテナターミナル内で測定している層別沈下計の設置概要である。沈下計は洪積層であるDg1層（48.96m）に設置されている。標高の測定期間と同じ2013年～2022年の9年間において、洪積層は212mm沈下していた。今回仮定した洪積層の沈下量70mmとは若干の乖離がみられるが、おおよその値としては近いことが確認できた。なお、層別沈下計の設置位置は、沈下に伴う嵩上げ工事を行っており、それに伴

い載荷重は、側点a-1よりも大きい。また、岸壁側よりも背後の方が土の応力がかかることを考慮すると、側点a-1における洪積層の沈下量が背後の沈下量の半分程度であるという算定結果は説明のつく範囲内だと考えられる。

以上より、残存張力の長期的な減少の要因は圧密沈下が影響していると特定した。

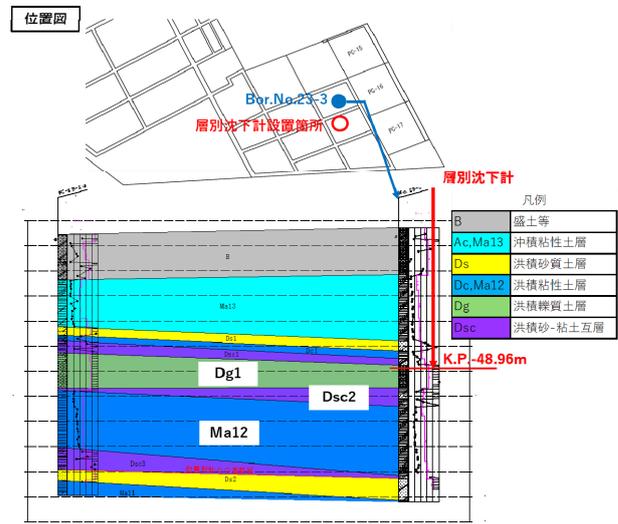


図-8 観測地点の情報（層別沈下計設置深度と地質断面図との関係）

4. まとめおよび今後の検討

本検討より、残存張力の季節変動要因は気温による影響が大きいこと、残存張力の長期的な減少要因は圧密沈下による影響が大きいことを特定した。

気温による残存張力の季節変動については、一定の範囲内の値を1年周期で増減するものであるため、維持管理上の影響は少ないと考えられる。しかしながら、リフトオフ試験等による張力調整の際には、この気温による季節変動を考慮する必要がある。

圧密沈下による長期的な残存張力の減少については、減少量によっては、地震時の引き止め効果が発揮しきれずに許容値以上の変形量が発生する可能性が生じるため、維持管理上考慮すべきである。そのため、引き続き継続した沈下測定を行い、圧密沈下の収束状況を確認する必要がある。

今後の検討として、効率的な維持管理手法の確立、偶発状態での迅速な利用可否判断の導入などを目指し、残存張力の閾値の見直し、維持管理計画書の改訂などを進めていく所存である。

堰管理用制御処理設備更新での設備運用の検討について

杉田 雅幸¹

¹近畿地方整備局 紀の川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

和歌山河川国道事務所が所管する紀の川大堰は、紀の川の河口より6.2km付近に建設されて2003年より運用されてきました。昨今は近畿地方でも非常に激しい雨（1時間降水量50mm以上）の年間発生回数が増加する一方で無降水日（1日の降水量が1.0mm未満の日）の年間発生日数も増加しており、大堰の役割は欠かせないものとなっている。

紀の川大堰の放流を行うゲート機能を制御する管理用制御処理設備は、2001年度に製造されて運用されてきたが2023年・2024年度に更新されるため、基礎的な設備更新の課題検討と現場意見を基にした運用性向上の検討を行ったので参考として報告する。

キーワード 設備更新、堰操作、堰管理用制御処理設備

1. はじめに

紀の川大堰は、大台ヶ原を源として奈良県、和歌山県にまたがり流れる紀の川下流域の和歌山市内に設置された可動堰で、上流にあった農業用水の取水を目的として農林水産省により建設された新六ヶ井堰（固定堰）を改築して、洪水の疎通能力の増大と流水の正常な機能の維持と増進を図るため、2003年6月の暫定運用を経て、2011年3月に完成しました。



図-1 紀の川大堰全体写真

紀の川大堰は総延長542m・可動部369m、放流設備は主ゲート（鋼製シェル型ローラーゲート）5門、流量調節ゲート（スライド式鋼製シェル型ローラーゲート）2門、呼び水水路ゲート（起伏式ゲート）2門、魚道を左右にそれぞれ（階段式・デニール付バーチカルスロット式・人工河川式）で構成されて、堰管理用制御処理設備（以

下、「堰コン設備」という。）によりゲートによる流水の制御処理が行われる。この堰コン設備の更新に合わせて設備を運用してきた操作員など現場の意見を反映するための検討を行った。



図-2 紀の川大堰ゲート機側操作盤と開閉装置

2. 既存設備と更新設備仕様

堰コン設備は、操作員のいる操作室（遠方）に配置され、ゲート室にあるゲート機側操作盤（機側）に信号を伝達して機械設備を制御処理する仕組みで、既存も更新設備も変わらず国土交通省の一般的なダムなども違いはない。

設備更新に際しては、制御処理と信号伝達の方法が変更されるので、比較することで導入としたい。

(1) 既存設備の仕様について

既存設備は2001年当時の「ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案）」（1995年3月（初版）ダム水源地環境整備センタ）（以下、「1995年仕様」という。）に準拠したものとなっており、操作室で操作員が行う操作には2種類ある。

遠方手動操作装置で行う押しボタン操作での手動操作
 入出力装置で行う、PC操作での自動、半自動、開度設
 定一回限り操作の2系統である。その操作の制御処理に
 においては統合装置で2種類の操作処理を一本化して、1系
 統にまとめて、操作室（遠方）～ゲート室（機側）まで
 の信号伝達は光ケーブルを用いて標準仕様に規定は無い
 が、光ケーブル断線などによる通信遮断に強いリング型
 にて数珠つなぎで伝達していた図-3。

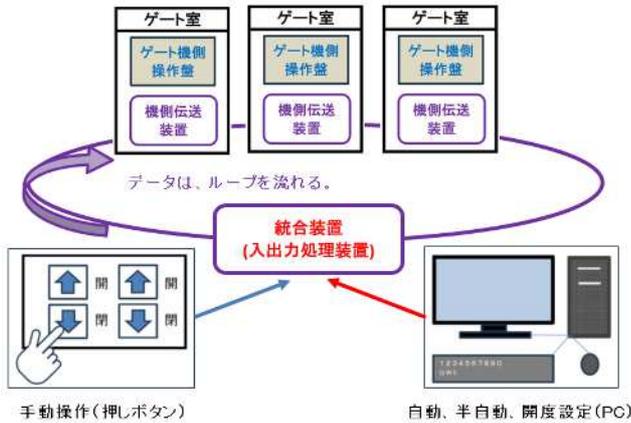


図-3 既存設備の装置構成

紀の川大堰の構成は、少し標準仕様の形と異なる部分
 もあるので「1995年仕様」で構成された設備は図-4 の
 構成が他ダムでも汎用的であるため以後の説明のため示
 す。

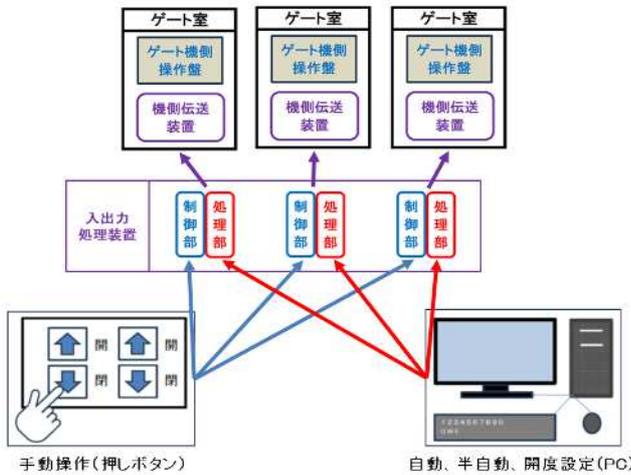


図-4 汎用的な既存設備の装置構成

(2) 更新設備の仕様について

更新設備は「ダム管理用制御処理設備標準設計仕様
 書・同解説」（2016年8月 国土交通省）（以下、
 「2016年仕様」という。）に準拠して設計されており、
 操作室で行う操作自体は2種類と変わらず遠方手動操作
 装置と入出力装置で行う操作も継続してあり画面が見や
 すい、フォロー機能が充実など操作性が改良される。

その制御処理においては、一本化していた2種類の操
 作処理を2系統のままにして共用する部分を無くすこと

で1系統が故障しても別操作方法でゲート制御を継続で
 ける様にリスク分散されている。

また、遠方～機側への信号伝達はスター型接続という
 個別に接続する方法を原則として、介在していた機側伝
 送装置が無くなり図-5 のようにゲート機側操作盤に直
 接接続する方法が採用されているため一部設備が支障を
 受けても各々接続には影響しない接続方法となっており、
 その信号伝送方式もFL-netという一般的な制御装置間の
 信号伝達に普及している方法で、装置も容易に構成でき
 るものとなっている。

これらの制御処理、信号伝達の方法は「2016年仕様」
 の前にある2004年に改訂された同仕様・解説の時点で規
 定されているため、それ以降に製造、改修されたダム・
 堰においては図-5 の構成が実装済みの施設が多い方法
 ではあるが、紀の川大堰の堰コン設備は2世代前の設備
 仕様を継続していた。

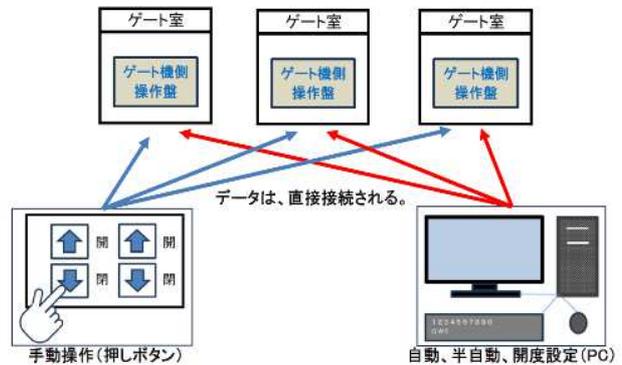


図-5 更新後設備の装置構成

3. 更新設備移行へ設備運用の課題

(1) ゲート機側操作盤の対応について

堰コン設備の制御処理と信号伝達方法を「1995年仕
 様」から「2016年仕様」に変更するにあたり、問題と対
 応方法は、以下のとおり対応する。

a) ゲート機側操作盤の課題

紀の川大堰設備では現在図-6、左 の構成となっており、
 完成形で図-6、右 の構成になることを目標として
 いる。しかし図-3 のとおり堰コン設備の入出力処理装
 置で、制御処理を一本化して機側伝送装置へ伝送して、
 機側操作盤に接続する、このペアで1構成となっていた
 ために、操作室からの堰コン設備の制御が2系統になっ
 ても制御の受付先が一つしかない状態である。

さらに、制御処理の2系統とともに信号伝達方式も新
 たにFL-net化に対応する必要となり、堰コン設備の
 「2016年仕様」に合わせる事が課題となるが、合わせる
 には次の3パターンが考えられる。

- ・機側操作盤を新仕様に合わせ更新する
- ・機側操作盤を対応するように改造する
- ・機側操作盤は、そのままに堰コン設備の設備追加によ
 り「2016年仕様」と仲介する

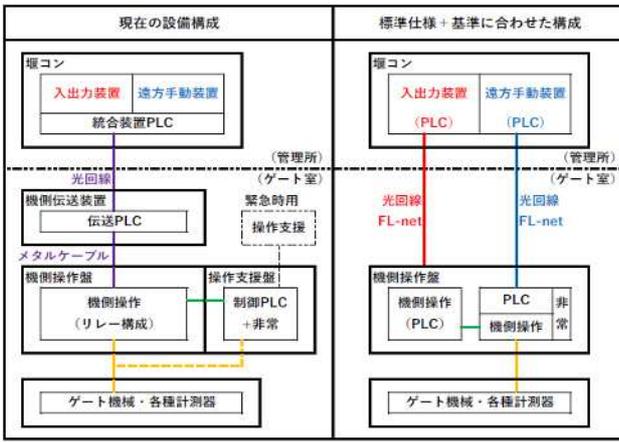


図-6 遠方一機側構成概略 (1)

b) ゲート機側操作盤の対応

堰コン設備更新により図-5の構成に移行するため移行期においては図-7、左のとおり、一時的に2系統となった堰コン設備からの制御処理を一本化するための統合制御PLC（制御装置）を設けて機側操作盤への制御を受け渡し、光ケーブルの信号伝達方法のFL-net化にもPLC信号部にて対応する設計がされており、設備更新が成される際には図-7、右のPLCとして設定を変更して継続活用を行う予定としている。

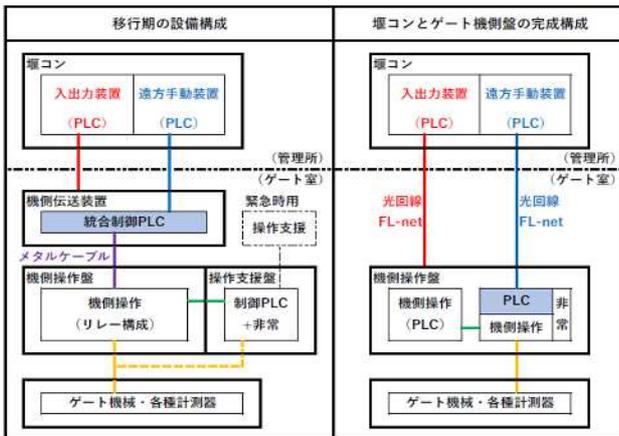


図-7 遠方一機側構成概略 (2)

図-7、左の統合制御PLCには、制御を受け渡すため具体的には何が求められるのかを整理することで、紀の川大堰の堰コン設備のみならず、他ダムでも同年代の設備を更新するとき、機側操作盤とダムコン設備更新を同時期に行えない場合の対応方法の提案とする。

ただし提案する対応方法、堰コン設備の機側伝送装置で機側操作盤に制御を受け渡す考え方は、オリジナルなものではなく「2016年仕様」の前にある2004年の同仕様に対する解説「ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案）、同解説」（2005年6月 ダム水源地環境整備センタ）更新編にある（2）ダムコン先行更新）に準拠しているが、具体的には書かれていないので紀の川大堰の例を紹介するが、実施の導入に際しては個々の設備を検

討・確認する必要があるため概要に留める。

イ. 既設設備は、メタルケーブル（銅線など金属ケーブル）で、電気的な接点信号を1本ずつ用いて機側伝送装置と機側操作盤の間に通信している。図-8

ロ. 「2016年仕様」では、最終的に機側伝送装置がなくなり機側操作盤に直接FL-net接続するが、機側操作盤の更新タイミングが遅れる場合には、機側伝送装置の機能を一時的に残して、既存の機側伝送装置と同じ接点信号で機側操作盤と通信することで動作を継続することができる。

ハ. 機側操作盤の改造を行わないため機側伝送装置の内部更新を堰コン設備の責任で行い、責任範囲の切り分けが容易となる。

この方法については、堰コン設備でなくゲート機側操作盤の更新が先になっても既存と同じ接点信号で通信を行い動作することで適用可能である。

ゲート機側操作盤	監視	動力電源	→	動力電源	機側伝送装置	監視
		制御電源	→	制御電源		
		機側操作	→	機側操作		
		開中	→	開中		
		閉中	→	閉中		
		停止	→	停止		
	etc. etc.	→	etc. etc.			
	制御	開指令	←	開指令	機側伝送装置	制御
		閉指令	←	閉指令		
		非常停止	←	非常停止		
		etc. etc.	←	etc. etc.		
	計測	開度	→	開度	機側伝送装置	計測
etc. etc.		→	etc. etc.			

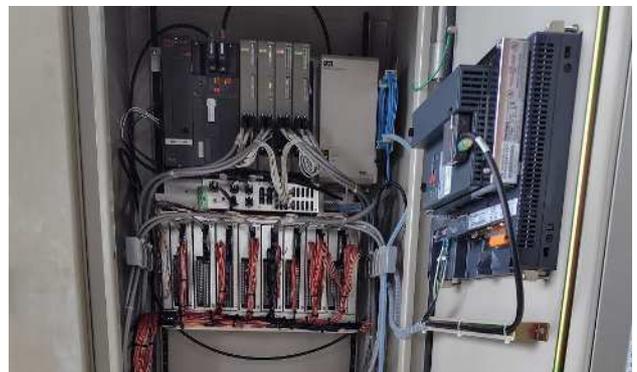


図-8 電気的接点信号の概要と機側伝送装置内PLC

(2) 大堰の機能維持について

紀の川大堰は、洪水や流水の正常な機能維持を行うために24時間365日、その役割を維持していかなければならないため、非出水期の工事施工でも堰コン設備の停止時間は管理下の元で行いかつ、最短に抑える必要がある。

a) ゲート設備の運用維持への課題

紀の川大堰は、貯水池の常時満水位（平常時に確保すべき水位）は標高3.6mとされており、洪水警戒体制の洪水の安全な流下のための操作でないときは図-9のとおり、左・右岸の呼び水水路ゲートと流量調節ゲートの操作を行っている、非出水期においても貯水池の水位を保つ流水の管理を行うためにも、このゲートの機能維持は

必要であり、平常時に動作しない主ゲートも和歌山市内における安全な流下の操作機能のため長期の停止は避けるべきである。

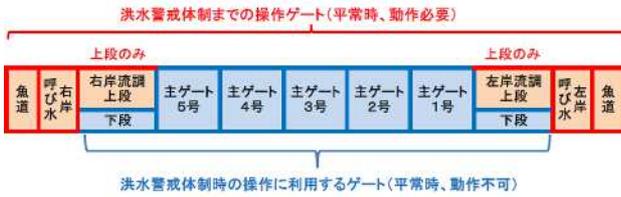


図-9 紀の川大堰の操作ゲート

b) ゲート設備の運用維持への対応

これらの機能維持を継続していかなければならない重要設備を更新する際には、2通りの方法が用いられる。

- ・代替できる設備に機能を委ねる方法
- ・新旧の設備を並立させて順次移行させる方法

紀の川大堰堰コン設備でも、仮に前項の図-5 の様に制御処理が2系統の構成であれば、遠方手動操作装置と入出力装置で行う操作を代替しながらの更新を検討の余地があった。

しかし、紀の川大堰堰コン設備の更新に際しては、堰コン設備からの制御処理、信号伝達方法を一括更新する必要があるため途中での機能代替は不可能となり、新・旧堰コン設備を並立させて各ゲート機側操作盤への接続を順次移行する方法図-10を採用した。

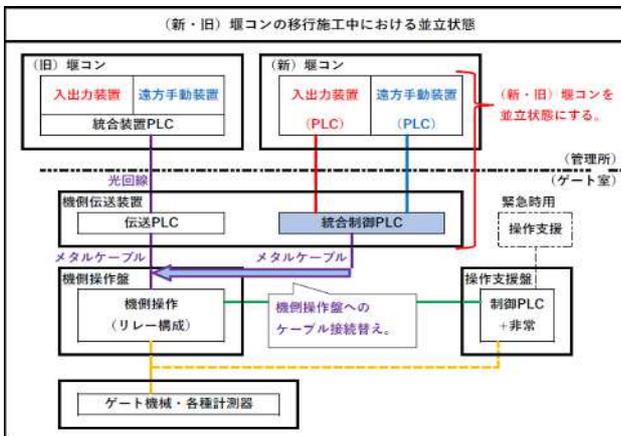


図-10 遠方機側の並立概略

更新される堰コン設備を構築してからタイミングを見計らい各ゲートの機側操作盤の接続先を順次移行することにより堰コン設備機能全体を停止すること無く、機能停止するゲート設備を移行スケジュールの調整により管理して作業ができるため流水の機能維持、洪水への備えを途絶えなく行い施工できる方法として採用した。

4. 設備運用性の検討について

紀の川大堰の2003年から20年間運用してきた「1995年仕様」から「2016年仕様」への堰コン設備更新に先立ち

運用で懸念となることを聞き取った。

(1) 運用管理端末操作への懸念

日常の管理運用を委託している支援業務の方は、これまで「1995年仕様」で放流設備の操作に影響することのない、表示端末装置、監視端末装置で記録の打ち出しや故障の報告など管理運用してきたが、2003年仕様や「2016年仕様」では表-1 のとおり1装置で運用管理を行える構成となっている。

基本的には、放流操作装置のみで日常管理に必要な機能は問題無く具備しているが、これまで日常管理で行ってきた状態や帳票表示放流設備の操作を同端末装置で行うことで誤動作・誤操作などを生じる恐れが無いが、ヒューマンエラー対策が心配であるとの意見が出たために「2016年仕様」を採用している近隣ダムにおける運用を確認して検討を行うこととした。

処理機能	「1995年仕様」表示設定操作卓			「2016年仕様」
	表示用 端末装置	操作設定 端末装置	監視 端末装置	放流操作装置
現在時刻の表示	○	○	○	○
ダム水文量データの表示	○	○	○	○
テレメータ水文量(雨量、水位、流量)の表示	○		○	○
水文量演算定数の設定と表示	○			○
操作演算処理定数の設定と表示	○			○
放流設備の操作	放流方式の指定と表示		○	○
	放流設備操作のための設定値入力		○	○
	放流設備の操作起動、停止		○	○
	目標開度、放流量の表示		○	○
	除外ゲートの指定、表示		○	○
情報の判定	ダムコン設備の動作状態異常の表示	○	○	○
	水理、水文状態、異常の表示	○	○	○
	ゲート、バルブの動作状態、異常の表示	○	○	○
	警報、通報の確認、復帰操作		○	入出力装置
	警報、通報音の鳴動		○	"

表-1 操作端末の役割

(2) 放流設備操作の操作権設定

放流設備の操作を行う上では「2016年仕様」のセキュリティ対策についての記載があり、パスワードによる操作員認証機能の他に、手動操作で用いられているキースイッチやICカードなどが提案されている。

紀の川大堰より紀の川上流にある大滝ダムのダムコン設備においては、遠隔操作場所を含めてICカードをセンサにかざしていることで操作権の付与図-11 が行われており日常の管理運用では、操作機能が動作できないために誤操作が行われることはないことを確認を行った。

紀の川大堰においても、同様のICカードやキースイッチなどの物理的にアクセスしなければ操作されないセキュリティを設けることで、ヒューマンエラー対策が行えることを確認したので、これらの対策を参考にして導入を検討したい。



操作機能が押せるようになります。

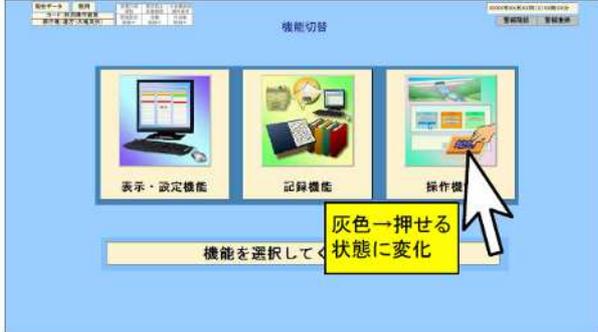


図-11 大滝ダムの操作権ICカード

謝辞：工期開始後，配置換えとなり監督職員と受注者の方に後を託すことになりましたが，設計意図は本稿のとおりです，引継ぎ紀の川大堰堰コン設備の施工を行っていただき感謝申し上げます。

参考文献

- 1) ダム水源地環境整備センター：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案）（1995年3月）
- 2) ダム水源地環境整備センター：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案），同解説（2005年6月）
- 3) 国土交通省：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書・同解説（2016年8月）
- 4) 国土交通省：紀の川大堰制御設備詳細設計業務（電設コンサルタント株式会社）（2019年9月）
- 5) 国土交通省：大滝ダム管理用制御処理設備設置工事（日本無線株式会社）（2017年3月）

5. おわりに

紀の川大堰を含めて，ダム・堰は地域の方々の生活に無くてはならないもの。そのため設備の老朽化に対して信頼性を確保するため設備更新が必要となりますが，一括で仕様を合わせて設備更新できないこともあるため，ゲート機側操作盤と時期をずらして堰コン設備更新を施工する紀の川大堰の実例を報告した。

紀の川大堰は，これからも計画的に設備管理を行い地域の安全・安心に寄与していきたい。

オフィス空間における 室内照明の微動検知人感センサ計画

泉屋 勇斗

近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

オフィス空間における執務環境の快適性を確保する事を前提に、省エネ効果の向上を目的とし、照明制御の新技术である微動検知人感センサの効果検証のための計画を行う。今回導入する微動検知人感センサは、人の在・不在に加え、人のわずかな動作を検知し、照明制御が可能なセンサであり、従来の明るさセンサ以上に省エネ効果が期待されている。研究対象は、微動検知人感センサを採用している令和6年度竣工の大阪運輸支局なにわ自動車検査登録事務所庁舎の事務室とする。本研究では、竣工後の運用段階で省エネ効果を想定し、検証手法を検討する。比較対象は、従来の明るさセンサによる調光とし、指標は照明の消費電力量とする。

キーワード オフィス空間、微動検知人感センサ、照明制御、省エネ

1. はじめに

なにわ自動車検査登録事務所庁舎は、職務内容の都合上、一般的な事務庁舎と比較して職員の移動が頻繁であり、事務室内の職員がまばらに点しているにも関わらず、照明が常時全点灯している状態だった。庁舎を新築するにあたり、効率的な省エネ技術の導入を検討した結果、新技术である微動検知人感センサを採用することとした。今回の研究は、そのセンサを導入することにより、想定される効果及び、その効果の検証手法について報告する。

2. 庁舎概要

今回の微動検知人感センサを採用した庁舎の概要は下記のとおりである。

施設名称：なにわ自動車検査登録事務所庁舎
所在地：大阪府大阪市住之江区南港東3-1-14
地域地区：準工業地域
建物用途：庁舎
構造規模：鉄筋コンクリート造 地上2階建て
敷地面積：22,470.03㎡
建築面積：877.67㎡（庁舎）
延べ面積：1,143.82㎡（庁舎）
発注者：国土交通省 近畿地方整備局
設計者：株式会社 都市環境設計



図-1 庁舎イメージ図

3. 微動検知人感センサの概要

微動検知人感センサは、在・不在を人の微細な動きを画像解析により検出するとともに、設定した照度となるよう個別の照明器具ごとに調光を可能とする照明制御機器である。従来では明るさセンサによる昼光利用制御、初期照度補正制御、プログラムタイマ制御など、様々な手法を用いて照明設備の制御を行うことで、省エネに寄与する取組が図られてきた。近年ではさらなる省エネ効果を期待する手法として、在・不在制御と呼ばれる制御手法が、先進的に採用されるケースが見られている。その中でも最新の微動検知人感センサは、赤外線によるスイッチの代替である熱線式人感センサや、制御信号により一括調光する明るさセンサと異なり、画像解析機能で照明器具を個別に制御することが可能となることから、より高効率な省エネ効果が期待されている。

(1) 微動検知人感センサ仕様

品名：スマートアイセンサーライト¹⁾
設置方式と設置高さ：天井面設置高さ 2.4m～3.3m
検知範囲（画像センサ）：最大9.0m×9.0m
検知エリア（画像センサ）：最大9エリア
検知範囲（赤外線センサ）：直径9.0m
検知エリア（赤外線センサ）：1エリア（人感）

(2) 微動検知人感センサの機能

今回使用する微動検知人感センサの機能は以下のとおりである。

a) 明るさセンサ機能

室内の明るさが一定になるよう、外からの光に合わせて照明器具の出力を調整する機能である。

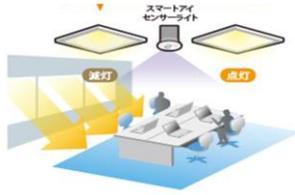


図-2 明るさセンサ機能¹⁾

b) 在・不在検知機能

画像解析により人の在・不在を判断し、不在であれば消灯、在であれば点灯する機能である。画像解析を伴うため、十分に機能するためには一定程度の明るさ※が必要である。

※設置高2.7m～3.0m, 検知範囲2.7m×2.7m以下の場合, 最低照度50lx以上必要



図-3 人感センサ機能¹⁾

c) エリア分割機能

検知範囲を最大9つのエリアに分割し、それぞれのエリアごとに画像解析を行い、調光制御を可能とする機能である。エリア分割機能を活用することで、前述の明るさセンサ機能や在・不在検知機能の制御を細かく設定できる。

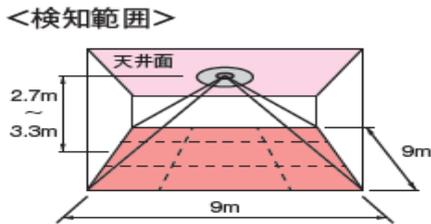


図-4 エリア分割機能1¹⁾

エリア分割は、より細かいグリッドの集合で構成された検知範囲を切り分けて設定するため、照明器具の配置を踏まえたきめ細やかな設定が可能である。

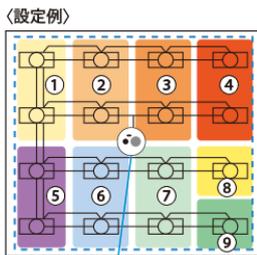


図-5 エリア分割機能2¹⁾

また、検知範囲全てを対象とせず、非検知エリアの設定も可能である。通路など頻繁に人が往来する範囲を非検知エリアとすることで、無駄な点灯防止が可能となる。

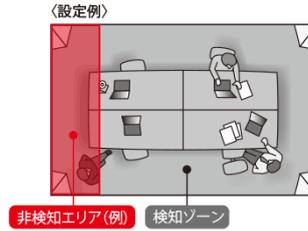


図-6 エリア分割機能3¹⁾

d) 暗闇検知(人感センサ)機能

熱線センサにより暗闇でも人を検知する機能である。ただし、前述の在・不在検知とは異なり、エリア分割機能と連動することはできない。



図-7 暗闇検知機能¹⁾

e) 通過検知機能

画像解析により人が滞在しているのか通過しているのかを判断し、通過の場合は短く点灯し、省エネをはかる機能である。

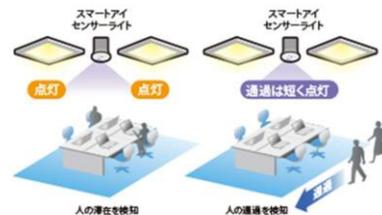


図-8 通過検知機能¹⁾

4. 効果検証の目的

微動検知人感センサは新技術であるため、その導入にあたっての設定方法の指針や、効果の具体的な成果については、実績データが少ない。本研究では、机上計算で求められる省エネ率を参考に、標準的と思われる調光設定時における省エネ率の達成状況を確認するとともに、微動検知人感センサの設定を検証期間中に調整することで、より効果的な調光設定を検討し、今後の設計業務に役立てることを目的とする。

5. 与条件の整理

(1) 照明器具及び微動検知人感センサの配置

本庁舎においては、最小1デスクごとの細やかなエリア分割がしたいため、下図のとおり照明器具4～6灯に対して1台の微動検知人感センサを配置する設計とし、事務室20㎡程度につき1個程度のセンサ配置とする。

記号	名称
□	照明器具(LEDスクエア器具)
▽ NC	微動検知人感センサ

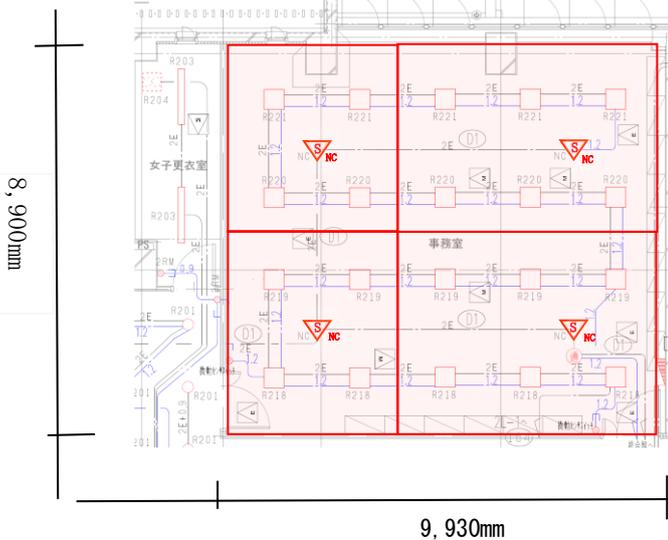


図-9 2階事務室 微動検知人感センサ配置例

(2) 効果検証の期間、範囲、計測方法

今回の効果検証において、期間、範囲及び計測方法は下記とする。

- a) 検証期間
令和6年10月1日を起算日とする1年間で検証する。
- b) 計測場所
当該庁舎の2階の事務室エリアとする。
- c) 計測方法
電力量は電力計測装置による計測値の計量とし、計量データはコンパクトフラッシュカード等小型記憶媒体での取得とする。
各階に設置された分電盤の内部に電力計測装置を設け、照明分岐回路の積算電力量(kWh)を算定する。この計量方法で、週、月ごとの照明分岐回路の積算電力量が算出可能である。

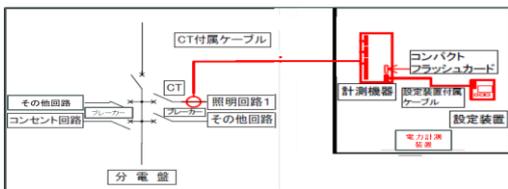


図-10 分電盤内部 電力計測装置設置参考図

6. 想定される省エネ効果

公表されている資料から、微動検知人感センサを導入する場合に想定される省エネ率を算出する。

なお、算出方法は、日本照明工業会の技術資料130「照明制御装置による消費電力削減効果の評価手法」²⁾(以下「技術資料130」とする。)、一般社団法人公共建築協会が出版した「建築設備設計計算書作成の手引(令和3年版)」³⁾に掲載されている、照明制御装置による消費電力削減効果の評価計算書(以下「計算書」とする。)及び、「建築設備設計基準(令和3年版)」⁴⁾(以下「設計基準」とする。)を参考とする。

(1) 明るさセンサの省エネ率計算(理論値)

従来の明るさセンサによる省エネ率を算出する。明るさセンサによる照明制御は、設計照度となる調光比を上限、器具毎の制御装置により定まる最低出力となる調光比を下限とし、外光を取り入れた場合の昼光照度を低減して調光する方式である。

昼光照度は、開口部(窓)の大きさと向き、センサ器具の位置により定まるセンサ部昼光率と、年間あたりの全天空照度の確率分布により算出する。

計測場所である2階事務室は、南面に開口長さ8.9(m)、高さh = 1.9(m)の窓を持つ小部屋である。

照明器具の配置状況から算出した、未調光の算出照度は $\alpha 2 = 882(1x)$ であった。事務室の設計照度 $\alpha 1 = 750(1x)$ および器具の保守率 $M = 0.81$ から、

$$\begin{aligned}
 \text{調光上限値}m(\%) &= \text{設計照度}/\text{算出照度} \times \text{保守率} \\
 &= \alpha 1 / \alpha 2 \times M \quad (1a) \\
 &= 750 / 882 \times 0.81 \\
 &= 69(\%)
 \end{aligned}$$

となる。これは、明るさセンサを導入しない初期照度補正による調光率である。

センサは、窓から2.5(m)および4(m)の位置に配置されている。計算書(様式電-4-3)より、窓側 $n=1$ 、部屋側 $n=2$ とすると、

$$\begin{aligned}
 \text{センサ部の昼光率}b(\%) &= \delta n(1, 2) \quad (1b) \\
 &= 2.504, 1.134(\%)
 \end{aligned}$$

外光は時間により変動するため、5%毎の累積確率分布を用いて算出する。参考に、50%時の全天空照度 $ani=21,677(1x)$ の場合の算出結果を示す。

上記の結果及び計算書(様式電-4-4)より、

$$\begin{aligned}
 \text{センサ部の昼光照度}Cni(1, 2)(1x) &= \text{全天空照度} \cdot \text{センサ部の昼光率} \\
 &= ani(5 \sim 100\%) \times \delta ni(1, 2) \quad (1c) \\
 &= 21,677 \times \delta n1, \delta n2 \\
 &= (C1)543(1x), (C2)246(1x)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{設計照度差 } d_{ni}(1,2) &= \text{設計照度} - \text{センサ部の昼光照度} \\ &= \alpha_1 - c_{ni}(1,2) \quad (1d) \\ &= (d1)207(1x), (d2)504(1x) \\ \text{調光比 } e_{ni}(1,2) &= \text{設計照度との差} / \\ &\quad \text{設計照度} \cdot \text{調光上限値} \\ &= d_{ni}(1,2) / \alpha_1 \times m \quad (1e) \\ &= (e1)0.25, (e2)0.464 \end{aligned}$$

となる。e1は単純計算すると0.19であるが、下限値(0.25)以下をとらないため、留意が必要である。

累積確率分布i(5%~100%)を算出した結果、調光比の平均値はe1 = 0.361, e2 = 0.468となった。照明器具の定格消費電力がβ = 41.5(W), それぞれの制御台数が10台であることから、1台あたりの平均消費電力を算出すると、

$$\begin{aligned} \text{外光制御時の平均電力 } I(W) &= \sum h/i \quad (1f) \\ &= 17.5 [W] \end{aligned}$$

以上より、

$$\begin{aligned} \text{補正係数 } E &= I / \beta \quad (1j) \\ &= 0.422 \end{aligned}$$

となる。補正係数Eとは、照明制御を行っていない場合の定格消費電力(W)に対する、明るさセンサを用いた場合の低減率である。

(2) 微動検知人感センサの省エネ率計算 (理論値)

微動検知人感センサの補正係数Hを算出する。計算書(様式電-4-2)及び、技術資料130より、平均在籍人数 a = 単位制御エリア面積 (2a) ・ (在籍人数 / 室の面積)

$$\begin{aligned} &= 3\text{m}^2 \cdot (20\text{人} / 8.9\text{m} \times 9.93\text{m}) \\ &= 0.678 \end{aligned}$$

計算書(様式電-3)より、天井面輝度15 (cd/m²), 壁面輝度20 (cd/m²) 以上を満たすために、不在時調光率f = 50%以上とすると、

$$\begin{aligned} \text{省エネ率} &= (1 - \text{不在調光率}f/100) \\ &\quad \times \text{日平均有効不在時間率} \times 100 \quad (2b) \end{aligned}$$

$$\text{補正係数 } H = 1 - (2b) / 100 \quad (2c)$$

計算書(様式電-4-2)表-1, 技術資料130より、a<1の場合、a=1人とみなす。

人感保持時間を1分(60秒)で設定すると、

$$\begin{aligned} \text{日平均有効不在時間率} &= 0.388 \\ (2b) &= 19.4(\%) \\ (2c) &= 0.806 \end{aligned}$$

人感保持時間を5分で設定すると、

$$\begin{aligned} \text{日平均有効不在時間率} &= 0.193 \\ (2b) &= 9.7(\%) \\ (2c) &= 0.903 \end{aligned}$$

人感保持時間を10分で設定すると、

$$\begin{aligned} \text{日平均有効不在時間率} &= 0.128 \\ (2b) &= 6.4(\%) \\ (2c) &= 0.936 \end{aligned}$$

となる。補正係数Hとは、照明制御を行っていない場合の定格消費電力(W)に対する、微動検知人感センサを用いた場合の低減率である。

(3) 月間消費電力量及び総合省エネ効果 (理論値)

月間の消費電力量及び総合省エネ効果を計算する。計算書(様式電-4-1)より、

$$\begin{aligned} \text{月間総消費電力量 } D(\text{kWh}) &= \text{定格消費電力 } \beta(W) \times \text{器具台数 } B(\text{台}) \\ &\quad \times \text{月間点灯時間 } C(\text{h}) / 1,000 \quad (3a) \\ &= (41.5 \times 20 \times 208.3) / 1,000 \\ &= 172.9(\text{kWh}) \end{aligned}$$

これは、照明制御を行わなかった場合の電力量II(無)に等しい。加えて、明るさセンサの照明制御を行った場合の月間の消費電力量は、

$$\begin{aligned} \text{月間総消費電力量 } I(\text{明})(\text{kWh}) &= \text{月間総消費電力量 } D \\ &\quad \times \text{明るさ補正係数 } E \quad (3b) \\ &= 172.9 \times 0.422 \\ &= 72.92(\text{kWh})(\text{月}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{総合省エネルギー効果} &= (\text{II}(\text{無}) - I(\text{明})) \\ &\quad / \text{II}(\text{無}) \cdot 100 \quad (3c) \\ &= 57.78(\%) \end{aligned}$$

となる。

また、微動検知人感センサと、明るさセンサ両方の照明制御を行った場合の月間の総消費電力量I(明+微)及び、総合省エネ効果は、

$$\begin{aligned} \text{月間総消費電力量 } I(\text{明}+\text{微})(\text{kWh}) &= \text{月間総消費電力量 } D \\ &\quad \times \text{微動検知人感センサ補正係数 } H \\ &\quad \times \text{明るさ補正係数 } E \quad (3d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{総合省エネルギー効果} &= (\text{II}(\text{無}) - I(\text{明}+\text{微})) \\ &\quad / \text{II}(\text{無}) \cdot 100 \quad (3e) \end{aligned}$$

人感保持時間を1分(60秒)のとき、

$$\begin{aligned} (3d) &= 172.9 \times 0.806 \times 0.422 \\ &= 58.77(\text{kWh})(\text{月}) \\ (3e) &= 66.01(\%) \end{aligned}$$

人感保持時間を5分で設定すると、

$$\begin{aligned} (3d) &= 172.9 \times 0.903 \times 0.422 \\ &= 65.84(\text{kWh})(\text{月}) \\ (3e) &= 61.92(\%) \end{aligned}$$

人感保持時間を10分で設定すると、

$$\begin{aligned} (3d) &= 172.9 \times 0.936 \times 0.422 \\ &= 68.25(\text{kWh})(\text{月}) \\ (3e) &= 60.53(\%) \end{aligned}$$

となる。

7. 効果測定の手法

(1) 標準設定時における微動検知人感センサの効果検証 (計測値)

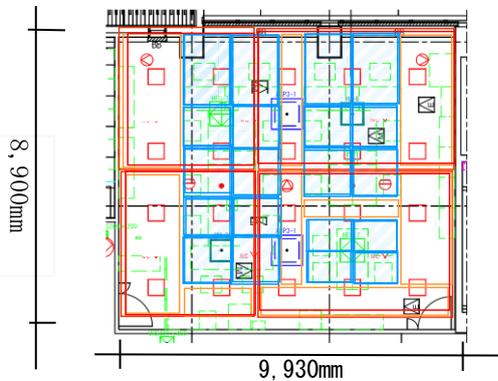
今回の庁舎で微動検知人感センサが最大限効果の発揮ができる標準設定時の条件を検証する。下記の設定時における月間消費電力 (kWh) を計測、(3c)(3e)より、計測上の省エネ率を算出する。

a) 微動検知人感センサ設定 (明るさセンサ併用)

今回、最大限の省エネ効果検証として、明るさセンサ機能を併用した設定とする。

b) 微動検知人感センサ設定 (検知エリア設定)

最大限の省エネ効果が期待できる微動検知人感センサの検知エリア設定は下記とする。入居官署の業務に支障がない範囲で設定を行った。検知エリアは20㎡程度につき、最小のデスクが点灯できる3㎡程度×9エリア以下とする。



※ 1デスクごとの検知エリア
図-11 2階事務室 検知エリア設定例

c) 微動検知人感センサ設定 (感知時間設定)

最大限の省エネ効果が期待できる感知時間の設定としては下記とする。入居官署の業務に支障がない範囲で、業務時間に合わせて設定をおこなった。

・微動検知人感センサ感知時間設定

- ① 人感センサモード：省エネモード
- ② 人感保持時間：1分(60秒)
- ③ 不在フェード時間：30秒
- ④ 人感ディレイ時間：30秒
- ⑤ 不在調光度：50%

人感センサモードは今回の機器は通常、残置、省エネ3モードがある。今回は業務時間にあわせて省エネに最も適切な省エネモードとする。

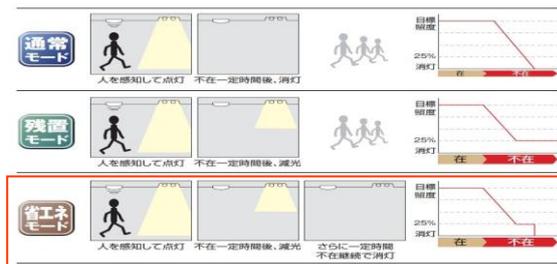


図-12 人感センサモード概要図¹⁾

省エネモードでは人不在時に人感保持時間後、不在フェード時間で不在時調光度まで減光させる。さらに人感ディレイ時間に移行し、一定時間人不在が継続する場合に消灯させる動作がある。

人感保持時間は、点灯後に人不在が一定時間継続する時に消灯または減光する時間である。設計基準を参考にし、今回は省エネ効果が期待できる最短の1分(60秒)で行うこととする。

不在フェード時間は、人在時の点灯から不在時の調光度までの下り時間である。

人感ディレイ時間は、省エネモードに設定する場合に適用される時間である。不在フェード時間後にさらに人不在が継続する時に消灯させる時間である。

省エネ上は最短で消灯することが望ましいが、在席者に違和感、不快感を与えないよう、今回は不在フェード、人感ディレイとも30秒、不在調光度は50%とする。

(2) 離席率の考え方

省エネルギーの達成度合いには、微動検知人感センサにおいては離席率が大きく影響すると考えられるため、平均離席率の推定方法についても併せて検討する。職員へのヒアリングの結果、登録車台数と職員の離席率は、比例関係にあることがわかっている。昨年度の月別登録車台数の推移は統計データから下記となった。



図-13 月別登録車台数推移

上記より2023年3月が約75,000台で登録車台数の最も多い時期であることが分かる。

また、上記の結果及び職員へのヒアリングから、3月～4月は繁忙期であり、車両検査登録業務のため、大多数の職員が出払っており、受付等対応業務のため20人中、最低1人のみが在席していることが多いことがわかった。このことから、

$$\text{離席率 } \alpha = \frac{\text{検査登録業務従事不在職員数}}{\text{全職員数}} \quad (4a)$$

である。特に3、4月においては、
(4a) = 19人/20人
= 95.0 (%)

となる。また、4月の離席率が上記であることから、検査登録業務の台数と離席率が正比例するものと想定すると、

月別平均離席率 (%) (≦95%)
 = 月別登録車台数×95% (4b)
 /56,000 (台)
 となる。

(3) 設定調整時における微動検知人感センサの効果検証 (計測値)

微動検知人感センサの設定を検証期間中に調整することで、より効果的な調光設定を検証する。

a) 設定調整時期

調整回数は下記 表-1 工程表に記載とおり、①～④四半期ごとの計測期間の前月末とし、9月末、12月末、3月末、6月末の計4回とする。月間消費電力a～1 (kWh) を計測、式 (3c)(3e)より、計測上の省エネ率X, Y, Z, G(%)を算出する。

b) 設定調整条件

設定調整条件としては下記とする。

- ① 第3四半期 (10月～12月) :
 微動検知人感センサ (点灯保持時間10分)
 + 明るさセンサ,
- ② 第4四半期 (1月～3月) : (標準設定時)
 微動検知人感センサ (点灯保持時間1分)
 + 明るさセンサ
- ③ 第1四半期 (4月～6月) :
 明るさセンサのみ
- ④ 第2四半期 (7月～9月) :
 微動検知人感センサ (点灯保持時間 5分)
 + 明るさセンサ

上記の設定調整条件、7.(2)の離席率の推移、

5.(3)で計算した理論値、7.(3)の計測値を表-1 工程表にまとめた。

表-1 設定調整工程表

測定期間 (月)		① 第3四半期 (10月～12月)			② 第4四半期 (1月～3月)		
		2024年10月	11月	12月	1月	2月	3月
月別登録車台数 (台)		57,000	55,000	52,000	39,000	50,000	75,000
平均離席人数 (人) (想定)/20人		19	19	18	13	17	19
平均離席率 (%) (想定)		95.0	93.3	88.2	66.2	84.8	95.0
点灯保持時間 (分)		10分	10分	10分	1分	1分	1分
理論値	微動検知人感センサ+ 明るさセンサ	68.25			58.77		
	総消費電力量 (kWh)	68.25			58.77		
	総合省エネ率 (%)	60.53%			66.01%		
計測値	微動検知人感センサ+ 明るさセンサ	a	b	c	d	e	f
	総消費電力量 (kWh)	X%			Y%		
	総合省エネ率 (%)	X%			Y%		
測定期間 (月)		③ 第1四半期 (4月～6月)			④ 第2四半期 (7月～9月)		
		4月	5月	6月	7月	8月	9月
月別登録車台数 (台)		56,000	48,000	56,000	51,000	48,000	55,000
平均離席人数 (人) (想定)/20人		19	16	19	17	16	19
平均離席率 (%) (想定)		95.0	81.4	95.0	86.5	81.4	93.3
点灯保持時間 (分)		5分			5分		
理論値	微動検知人感センサ+ 明るさセンサ	72.92			65.84		
	総消費電力量 (kWh)	72.92			65.84		
	総合省エネ率 (%)	57.78%			61.92%		
計測値	微動検知人感センサ+ 明るさセンサ	72.92			65.84		
	総消費電力量 (kWh)	72.92			65.84		
	総合省エネ率 (%)	57.78%			61.92%		
測定期間 (月)		③ 第1四半期 (4月～6月)			④ 第2四半期 (7月～9月)		
		4月	5月	6月	7月	8月	9月
月別登録車台数 (台)		56,000	48,000	56,000	51,000	48,000	55,000
平均離席人数 (人) (想定)/20人		19	16	19	17	16	19
平均離席率 (%) (想定)		95.0	81.4	95.0	86.5	81.4	93.3
点灯保持時間 (分)		5分			5分		
理論値	微動検知人感センサ+ 明るさセンサ	72.92			65.84		
	総消費電力量 (kWh)	72.92			65.84		
	総合省エネ率 (%)	57.78%			61.92%		
計測値	微動検知人感センサ+ 明るさセンサ	72.92			65.84		
	総消費電力量 (kWh)	72.92			65.84		
	総合省エネ率 (%)	57.78%			61.92%		

(4) 比較検証の方法

職員へのヒアリングより、3,4月は19人/20人 (95.0%)離席しており、表-1工程表より、同等の登録車台数の10,11,6,9月も離席率が最大の95%に近しいと想定される。よって、比較検証方法は下記とする。

a) 設定調整時の省エネ効果の比較検証

上記の条件下で、表-1工程表において①②③④の最大の離席率が想定される月の計測上の総消費電力、省エネ率の比較し、微動検知人感センサにおける省エネと点灯保持時間の関係性、明るさセンサ機能のみで省エネする場合との差異を確認、検証する。

b) 離席率と省エネ効果の比較検証

②の条件下で離席率が最も高い最大の省エネが想定される3,4月と、離席率が一番低い1月との計測上の総消費電力、省エネ率の比較し、離席率と微動検知人感センサの省エネの関係性を確認、検証する。

c) 省エネ効果の理論値と計測値の比較検証

上記の理論値と計測値の誤差を確認、検証する。

8. 結論

本論文では、微動検知人感センサの省エネ効果について、机上計算を通じて理論値及び想定される月間消費電力量を算出した。理論値によれば、照明制御を行わない場合に比べ、明るさセンサのみを用いた場合は57.78 (%)の省エネ効果が得られ、さらに、明るさセンサと微動検知人感センサを併用する場合は最大66.01 (%)もの省エネ効果が得られることが確認された。

また、比較検証として標準的と思われる調光設定時における省エネ率の達成状況を確認するとともに、微動検知人感センサの設定を検証期間中に調整することで、より効果的な調光設定を検討した。

次回の論文では、2024年7月に完成した本研究の舞台、なにわ自動検査登録事務所庁舎において、本論文の理論値と、10月から1年間設定調整した計測値の差異を確認検証し、発表する。

謝辞 :

本研究のために調査にご協力いただいた、近畿運輸局大阪運輸支局なにわ検査登録事務所等各行政機関並びに各工事関係者及び関連企業のみなさまに心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 東芝ライテック株式会社 :
 照明器具個別制御システム 有線T/Flecsシステム
 2023年カタログ、ホームページより
- 2) 一般社団法人日本照明工業会 :
 技術資料130
 「照明制御装置による消費電力削減効果の評価手法」
- 3) 一般社団法人公共建築協会 :
 建築設備設計計算書作成の手引 (令和3年版)
- 4) 一般社団法人公共建築協会 :
 建築設備設計基準 (令和3年版)

和歌山工業高等専門学校と連携した 土砂災害防災学習教材の開発

嵯山 雄亮¹・有田 貴洋²

¹和歌山県土砂災害啓発センター（〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字市野々3027-6）

²和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課（〒647-8551 和歌山県新宮市緑ヶ丘 2-4-8）

和歌山県土砂災害啓発センターでは、過年度より、国立和歌山工業高等専門学校と共同で、土砂災害に関する研究および防災学習教材作成を行っている。高専の学生とともに取り組むため、災害復旧におけるDX推進や、若年層が興味を持って取り組める防災学習教材の開発など、比較的新しい課題の解決をテーマとして取り組んでいることが特徴である。本発表では、令和5年度に実施した取り組み3件の概要を報告する。

キーワード 土砂災害, 防災学習, すぐろく, プログラミング, バーチャル現場

1. はじめに

和歌山県土砂災害啓発センター（以下、当センター）は、平成23年紀伊半島大水害により甚大な被害を受けた那智勝浦町に、土砂災害に関する研究および啓発の拠点として設置された施設である。

当センターでは、子ども向けの防災学習を重視している。これは、子どもから家族へ、そして地域の方々へと防災意識が伝達されていくことを意図しているためである。そのため、子どもたちが興味を持って学習できる教材開発は非常に重要な意味を持つ。

そこで、当センターは国立和歌山工業高等専門学校（以下、和高専）と共同で土砂災害に関する防災学習教材を開発してきた。過去には、防災RPG¹⁾ ²⁾ や防災学習砂場³⁾ などを開発し、それらを県内の小中学校での出前授業や防災関連のイベントで活用している。

今回の発表では、令和5年度に当センターと和高専が共同開発した2件の防災学習教材の概要を報告する。

また、防災学習教材の開発ではないが、令和5年度に共同で取り組んだ研究の概要についても併せて報告する。

2. 防災すぐろく～土砂災害編～の開発

防災学習はそのテーマ上「堅く」「難しい」というイメージを持たれることが多く、教材としての「敷居の低さ」は重要である。

そのため、誰もが遊んだことのある「すぐろく」の形式で土砂災害の知識を学べる教材として「防災すぐろく～土砂災害編～（以下：防災すぐろく）」を開発した。

(1) 教材の概要

防災すぐろくはPC上で遊べるようにMicrosoft Excelを用いて開発した。プログラミングはVBAで行っている。

プレイヤーが行う操作は、基本的にマウスの左クリックのみで完結するため、子どもでも操作がわかりやすい。

この防災すぐろくは一度のプレイで1名～4名まで遊ぶことができる。スタートは自宅に設定しており、ゴールは避難所である。「サイコロを振る」ボタンを押すと、画面上でサイコロが振られ、サイコロの目の分だけ自動でプレイヤーが進んでいく。

止まったマスには、マスのコメントとともに「土砂災害に関するクイズ」や「ゲーム」が仕込まれており、それに正解したり勝ったりすることでアイテム（非常持ち出し品）が手に入る。反対に、アクシデントによりアイテムを落とすこともある（図-1）。

すぐろくのマスはプレイヤーが進むにつれて「自宅」「がけ崩れ警戒エリア」「土石流警戒エリア」「洪水警戒エリア」「地すべり警戒エリア」「避難所」へと移り変わっていく。そこで起こるイベントや出題されるクイズもそのエリアにちなんだものである。

通常のすぐろくは一番早くゴールにたどり着くことを目的とするが、この防災すぐろくでは、最終的にクイズの正解（：土砂災害に関する知識）数や持っているアイテム（：非常持ち出し品）数も加味して、最終的な総合順位を決めるようにしている。早く避難することだけに気を取られて知識や物資を軽視してほしくないためである。

また、特定のアイテム（水や携帯電話など）を持っていない場合、避難所エリアにたどり着いた際にトラブル

防災すごろく (土砂災害編)									
21:→ 石につまづいちゃった。 (アイテムロス)	22:↓ さらにいやな予感がする。 (クイズ)		27:→ 水かさが増している気がする。 (クイズ)	28:↓ 急ごう！		33:→ そうか〜。こういう場所で「アレ」が起こるのか〜。	34:↓ 道路に段差ができています。 (クイズ)	38:→ 親戚のおじさんに連絡したい。携帯電話がなければ7マス戻る。 (アイテム→戻る)	39:↓ 緊張がゆるんで眠くなってきた。毛布がなければ8マス戻る。 (アイテム→戻る)
20:↑ いやな予感がする。 (クイズ)	23:↓ 川が近づいてきた。		26:↑ あ！水たまりにはまっちゃった。 (アイテムロス)	29:↓ 水が堤防に激しく打ち付けられている。 (クイズ)		32:↑ 緩い斜面に棚田が広がっている。 (映像問題)	35:↓ 足をねんざした。 (アイテムロス)	37:↑ 避難所に到着。水を飲んで一休み。水がなければ6マス戻る。 (アイテム→戻る)	40:→ な か ル み た
19:↑ あ！この地形、なんて言ったっけ？ (クイズ)	24:→ ちょっと休憩。ゲームしよう。 (ゲーム)		25:↑ 大きな川に差し掛かる。 (クイズ)	30:→ ヤバイよ、ヤバイよ。	31:→↑ 洪水の浸水危険区域を抜けた。		36:→↑ 地すべりの危険区域を抜けた。ゲームデモしよう。 (ゲーム)		
18:↑ 谷川に差し掛かる。 (映像問題)									
	14:→↓ もう少しで頂上だ。		13:→ 山の険しさが気になる。 (クイズ)		8:↓ 防災無線が鳴り「避難指示」発表。 (クイズ)	7:→ おじさん、おばあさんに連絡する。 (クイズ)	2:↓ リビングでを非常持ち出し品を見つける。 (水をゲット)		
17:↑ かけ崩れの危険区域を抜けた。 (クイズ)	15:↓ いやな予感がする。 (クイズ)		12:↑ 足がすべった。 (アイテムロス)		9:↓ 避難場所に迷う。 (クイズ)	6:↑ 裏山の安全性が気になる。 (クイズ)	3:↓ ついついゲームをしてしまう。 (ゲーム)	1:→↑ スタート	
	16:→↑ あ〜疲れた。ゲームしよう。 (ゲーム)		11:↑ 山道に入る。 (映像問題)		10:→ 避難しよう。忘れ物はないかな？	5:↑ 天気予報が気になる。 (クイズ)	4:→ 雨が強まった。避難準備だ。もう一つ非常持ち出し品を見つける。 (懐中電灯をゲット)		

図-1 防災すごろくの盤面

に見舞われ「6マス戻る」などの結果になる。アイテムの重要性を到着順位にも反映するための処置である。

さらに、すごろくの特性として「自分が止まったマスに他のプレイヤーも止まる」ことや、「自分が止まらなかったマスに他のプレイヤーが止まる」ことが多々ある。これにより、同じクイズを復習したり、他のプレイヤーの回答を見て新たな知識を得たりする効果が期待できる。

(2) ふれあい土木展における実践

実践のフィールドとして、国道交通省近畿地方整備局近畿技術事務所で行われた「ふれあい土木展」にて展示させていただき、来場の方々に遊んでいただいた(写真-1)。

小学生から社会人まで幅広い年齢層の方々に楽しそうに遊んでいただけた。中には親子で対戦し、負けた子どもが泣き出すほど白熱した場面もあった。

遊んでいただいた後アンケートを実施し、15の回答を得た。いただいた回答の中で、「楽しかった」「避難中に起こりそうな場面が想定されていて良かった」「単純に進めるだけでなく、ゲットしたアイテムを失ったり特定のアイテムがないと戻されるという要素がいいと思った」など、おおむね好意的な感想をいただいた。一方、「持っていないゲームに影響のないアイテムが複数あったのが少し気になった」「クイズに正解/不正解したときの演出がわかりにくい」「もう少し長いバージョン

があってもよい」など改善点も書いていただいたので、それを反映し改良ができれば、当センターの展示や出前授業等に活用していこうと考えている。



写真-1 ふれあい土木展の様子

3. プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践

2020年の小学校学習指導要領の改正で、防災学習の必要性が指摘され、「自然災害に関する知識を得ること」などの指導が追記された。また、同時に「プログラミング」に関しても必修化された。

上記2点の改定は小学校の先生にとってなじみの薄い分野である。さらに先生自身が多忙であることも相まって、新しい教材開発は容易ではない。

以上のような状況を踏まえ、プログラミング学習の要素を取り入れて、生徒がゲーム感覚でロボットの動きをコントロールしながら、土砂災害について楽しく学習できる教材を開発し、実践授業を実施した。

なお、本企画は、(株)村田製作所の取り組み「動け!! せんせいロボット」⁴⁾に刺激を受けており、令和5年5月に同所を訪問した際、担当者からアドバイスを受けた。また、独自の技術で低コストの人間ロボットを作成して防災教育を行う企画に賛同していただいた。

(1) 教材の概要

土砂災害の発生するフィールドを設定し、危険を避けるルートを考えて、ロボット役に指示をして避難所(ゴール)へと導くことを目的とする。

学習内容として、防災に関しては、土砂災害に対する知識、有効な対策、そしてそれらを考慮した避難行動に重点を置いた。プログラミングに関しては、行動を分析し組み合わせていくアルゴリズム的思考を意識させることに重点を置いた。

教材は、小学校で使うタブレットまたはPC、教育向けマイコンボードの「micro:bit」、ロボットの頭部、土砂災害の模型とそれを設置したフィールドなどから構成される。ロボットの頭部や土砂災害の模型は段ボール等で作成しており、デジタル一辺倒とならず親しみを持ちやすいよう工夫している。

ロボットの動きを指示する仕組みとして、多くの小学校で導入されているビジュアルプログラミング言語「Scratch」を用いる。ロボットの頭部内には「micro:bit」が設置されており、「Scratch」でプログラミングした指令(進行方向)が信号(矢印)となって「micro:bit」に無線転送される。ロボット役は、その信号を頼りにフィールドを進み、避難所(ゴール)を目指す。(図-2)

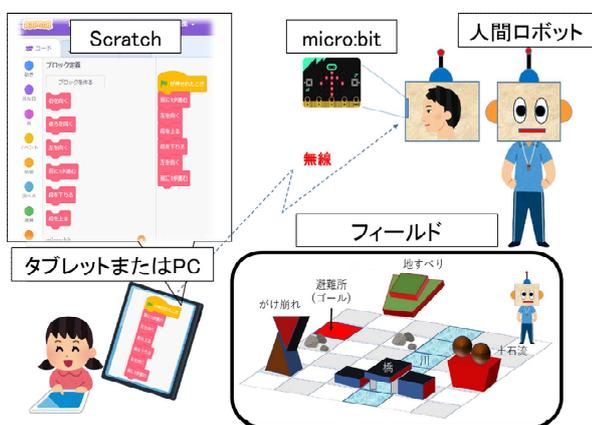


図-2 教材の概要

(2) 小学校における実践授業

実践授業には、那智勝浦町立市野々小学校5、6年生にご協力いただいた。

最初に代表的な土砂災害及びその対策工について講義を行った。

次に、教材の説明や各個人でのプログラミング練習を行った。

最後に、3つの班に分けてそれぞれに土砂災害の対策状況が異なるフィールドを課題として出題し、班ごとに相談してロボットを避難させるようにした(写真-2)。



写真-2 授業の様子

特に授業で工夫した点は下記の通りである。

- ・班ごとに土砂災害の位置・対策工の有無を変更した。これに伴い避難ルートが変わり、フィールドのバリエーションをつくることができる。
- ・土砂災害に児童自らが対策工を実施することで、課題のとなるフィールドが完成するようにした。これにより土砂災害に対応する対策工が何だったか(最初の講義の内容)を復習する効果を狙った。
- ・災害時にパニックにならず行動するには、前もって、順序立てて考えておくことが大切であることを強調した。ゴールするためには20個程度のプログラミングブロックが必要となるが、これを順序立てて組み合わせるには時間がかかる。実際の避難行動はより複雑な選択肢から自分の行動を選ぶ必要があり、その分パニックを起しやすい。そのため、事前に「どのような行動パターン(プログラミングブロック)があるか」、そして「どのような組み合わせ方(プログラミング方法)があるか」を考えておくことが大切になる。

Scratchを用いたプログラミング実践は避難行動(移動)のみに限定しているが、プログラミング的思考は避難行動全般に通じるものである。実際の避難行動では、

- ①ハザードマップを見て自宅、避難所、ハザードの位置を確認する。また、対策工の有無を確認しておく。
- ②避難ルートを検討する。
- ③避難ルートの安全性を検証する。もし安全であればそ

のルートで避難する。安全でなければ再度ルート検討を行う。

となる。これは授業で用いたフィールドで実践した内容と同じである。普段無意識に行っていることではあるが、手順を分解し、順序立てて物事を考え、条件によってルートの通行可否を考えることなどを含んでおり、プログラミング的思考と避難行動全般の親和性は高いといえる。

授業実施後、児童及び教職員を対象にアンケートを実施した。児童には「楽しく学習できた」と好意的に受け止められた。また、教職員からは、プログラミング要素を取り入れるという視点や、児童が関心を持って取り組めたことに対し好意的な意見をいただいた。一方、「もう少し難度を上げてよかった」「場の設定、準備や片付け等をいかに負担少なくするか」といった指摘をいただき、難易度調整や準備・運営の簡便化が今後の課題といえる。

4. フリーウェアによる土砂災害応急対応バーチャル現場の作成

令和5年度には、防災学習教材開発以外でも共同で研究を実施した。

i-ConstructionやBIM/CIMなどDX技術を用いて建設業界の働き方改革を行おうという動きが活発化している一方、システムの導入費用や専門知識の壁などのため、地方まで普及しきっていないのが現状であり、担当者がその有用性を実感するに至っていない。

そのため、土木におけるDX技術の代表例として取り上げられることも多い「3次元バーチャル現場」を、地方自治体や学生レベルでも「安全・安価・迅速」に実現できないかを試みた。

(1) 3次元バーチャル現場作成の流れ

3次元バーチャル現場作成の流れを下記①～④に示す。基本的な流れは土木研究所地すべりチーム作成の「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」⁵⁾を参考にしている。

- ①発災後の崩壊地形をUAV（本研究ではMAVIC AIR2（DJI社）を使用）にて空中写真撮影を行う。
 - ②撮影した写真データから、SFMソフトウェア（本研究ではwebODMを使用）により3次元バーチャル現場を作成する。また、同ソフトより3次元点群データを取得する。
 - ③発災前の同箇所3次元点群データをオープンソースにより取得する。
 - ④発災前後の3次元点群データをGISソフトウェア（本研究ではQGISを使用）により地図上に展開し、差分から崩壊土量を算出する。
- ①で用いるMAVIC AIR2は空撮用の入門機という位置づ

けであり、比較的安価な部類である。②で用いるwebODMと③で用いるQGISは無料で利用できるソフトウェアである。地方自治体や学生にとって、①②④で使用する機材・ソフトウェアが高額になることは避けたいので、できる限り費用を抑えた選択となっている。

(2) 災害現場での実践

実践のフィールドとして、和歌山県日高振興局建設部管内にある県道たかの金屋線で発生した災害現場を撮影させていただいた（写真-3）。



写真-3 災害現場

まず、UAV（MAVIC AIR2）により、崩壊後の地形を空撮した。115枚の写真を約30分で撮影できた。機材や飛行アプリのセッティング等を含めても所要時間は約1時間であった。

次に、SFMソフトウェア（webODM）に、現場で撮影した写真データをアップロードし、画像解析を行った。約50分で解析が完了し、3次元バーチャル現場が再現できた（図-3）。このバーチャル現場はPC画面上で拡大、縮小、回転、延長・高さ・表面積などの測定も可能である。また、画像解析後、3次元点群データをテキストデータとして取得できる。

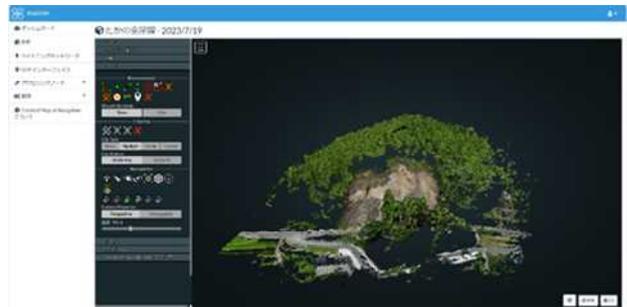


図-3 3次元バーチャル現場

次に、このようにして取得した3次元点群データ（以下「発災後データ」）をGISソフトウェア（QGIS）上でレイヤとして重ねる。QGISの無償プラグインを用いれば、発災後データの断面形状を任意の位置で確認することが可能である。

また、和歌山県HPよりダウンロードした地形図データ（以下、発災前データ）をレイヤとして重ねることで、発災後－発災前の断面図を比較することも可能である（図-4）。

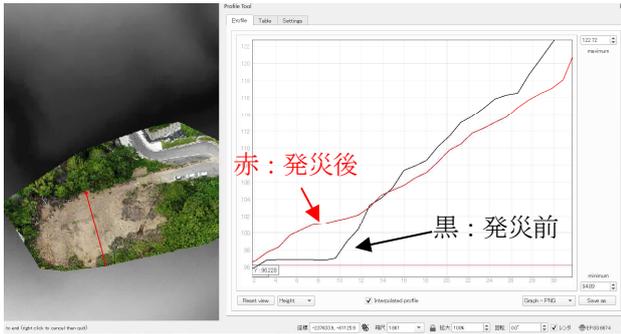


図-4 発災前後の断面比較

さらに、発災後データと発災前データの標高の差分をとり、それを新たなレイヤ（以下：差分レイヤ）とすることで、土砂が崩壊した箇所と堆積した箇所が明確になる（図-5）。この差分レイヤを崩壊箇所と堆積箇所に分類した上でそれぞれを積分することで、崩壊土砂量と堆積土砂量を求めることができた。断面図確認から崩壊土砂量の求積まで、一定の手順に従えば約1時間で実施可能である。



図-5 発災前後の標高差分(土砂の差分)

以上に示した流れは合計約3時間で実現できた。実際にはこれに加えて事務所から災害現場への往復時間を考慮する必要がある。

発災時には現場状況をいかに迅速に把握できるかが求められる。災害報告第一報として必要な情報（例えば、崩壊延長・高さ・面積・崩壊土砂量の概算）は、自らの手持ちの機材とこの程度の手順で得ることができると認

識できることが、自治体等の災害復旧活動の助けになると考えている。

また、現場経験の浅い職員が災害現場を確認して上司に報告する場合、撮影すべき・計測すべきポイントのずれや見落としなどで手戻りが発生することがある。今回の手法であれば、事務所でモニター上の現場を見ながら上司と相談しつつ計測ができるので、OJT用の手法としても効果があると考えている。

5. おわりに

以上、令和5年度に和歌山工業高等専門学校と共同で実施した取り組みを紹介した。地方自治体職員と学生が共同でテーマを持って取り組むことで、異なる視点を得られるなど双方にとってメリットは大きいと考えている。

参考文献

- 1) 岸畑明宏, 坂口隆紀, 筒井和男, 宮崎徳生, 西萩一喜, 辻原治, 木下篤彦: 土砂災害ロールプレイングゲーム「土砂災害が発生したとき」の開発とゲームを用いた防災教育の検証, 第70回令和3年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 169~170, 2021.
- 2) 西萩一喜, 辻原治, 坂口隆紀, 岸畑明宏, 筒井和男, 宮崎徳生, 木下篤彦: 土砂災害啓発のためのRPGコンテンツの開発と評価, 砂防学会誌, Vo. 74, No. 4, pp. 48-53, 2021.
- 3) 辻原治, 田中勇摩, 山添成毅, 稲田健二, 筒井和男, 岸畑明宏, 有田貴洋: 学官連携によるAR砂場の構築と土砂災害啓発教育の取り組み, 土木学会第78回年次学術講演会公演概要集, pp. CS1-06_1- CS1-06_2, 2023.
- 4) 株式会社村田製作所: 体験型プログラミング教育「助け!!せんせいロボット」紹介映像, <https://video.urata.com/ja-jp/detail/video/6025379553001>, 2024. 7. 9 閲覧.
- 5) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ 地すべりチーム: 地すべり災害対応の BIM/CIM モデルに関する技術資料 (土木研究所資料 第 4412 号), 2021.

大和川河川事務所における動画、チラシ等を用いた直轄事業の広報活動について

國政 氷流¹・田中 幹久²

¹ 近畿地方整備局 大和川河川事務所 管理課 (〒582-0009大阪府柏原市大正2-10-8)

² 近畿地方整備局 国営飛鳥歴史公園事務所 総務課 (〒634-0144奈良県明日香村平田538)

2023年度、大和川河川事務所では、事務所内の各課職員で構成した「見える化プロジェクトチーム（以下、見える化PT）を立ち上げた。見える化PTでは、職員同士で意見を出し合い、さまざまな工夫を行い、チラシ作成や動画作成を行った。本論文はその活動の中で行った工夫やそれらに用いる写真や動画の撮影の際の留意点などを紹介し、今後の近畿地方整備局の広報活動の活性化に資することを目的として執筆する。

キーワード 広報、動画作成、チラシ作成

1. はじめに

(1)背景・目的

近畿地方整備局の業務内容は社会と密接に関わっているものの、その仕事内容が広く国民の目に触れる機会は決して多いとは言えない。例えば工事について、誰も工事をしている様子を見たことはあるだろうが、その工事は誰が、何のためにやっているのかまではなかなか認知するに至らないと思われる。一方、昨今のインターネットを通じたSNSや動画無料閲覧サイトの発展はすさまじく、多くの国民がそれらを利用している。それらのメディアは個人的な利用にとどまらず、民間企業やさまざまな団体が自分たちの活動を伝えるために利用している。そんな状況の中、ここ数年ほどで、行政組織の使用も多くみられるようになり、実際に動画サイトYou Tubeでは多くの登録者や再生回数を有する行政組織も出てきており、各種SNSの利用も目立ち始めている。それらのメディアは普段知られることが少ない我々の業務の広報に活用が可能である。そこで本論文では大和川河川事務所の「見える化PT」で行ったチラシ、動画作成における工夫や撮影の際の留意点などをご紹介し、今後の近畿地方整備局及び各事務所の参考にしていただければと考え執筆するものである。

(2)見える化PTとは

2023年度、大和川河川事務所では「見える化PT」とい

う活動を行った。これは事務所職員が取り組んでいる直轄事業や行政の仕事を住民の皆さまによりわかりやすく知ってもらうために職員同士で意見を出し合い、実際に行動していく取り組みである。見える化PTでの主な活動内容として動画作成、チラシ作成がある。直轄事業の工事現場へ出向き、その様子を実際に撮影したうえで編集等を行い、SNSや事務所出入り口付近のオープンスペースで動画を流したり、画像等を用いて作成したチラシを配布した。

2. 作業過程と留意点

(1)現場での撮影

現場での撮影はチラシ作成においても動画作成においても基本的に必要となる作業となる。

(a)アポイント・現場での動き

当たり前のことであるが、直轄工事の撮影においては担当職員及び現場代理人にしっかりと情報共有し事前にアポイントを取った。日時、人数、どのような目的か、どのような撮影をしたいのか、どの範囲まで立ち入るのかを明確に伝え、迷惑にならないよう十分注意し実施した。事前に伝えていない行動をとるときは都度許可を取るようにして行った。

(b)可能な限り数を撮る

後からあの場面も取っておけば良かったと後悔しないように、できる限り多くの場面を収めるようにした。またデジタルカメラのSDカードの容量等を気にしないで済むように、事前に不要なデータを削除しておき、容量の大きいものを用意するなど撮影時に気にならないように工夫した。

(c)作成時からの逆算

ただ単に目の前の様子を撮影するのではなく、事前にどのようなチラシや動画を作成するのかをできる限り明確にイメージし実施した。そのためにはどのような場面が必要になるのか、どのような対象物がどのぐらいの大ききで画像や動画に収まっておれば良いのか等を考えて撮影に臨んだ。

また、タイトルや文字を挿入する部分を決めておき、それらが挿入される部分の背景を地面や空にするなど、出来上がりのイメージと画角を紐づけて考えるとよりスムーズに成果物を作成できる。

(d)現場作業員の撮影

チラシや動画の中に現場作業員の方の作業の様子等を盛り込む場合はSNSに顔が出て問題ないかを事前確認を実施した。撮影に関しては現場作業を止めてしまわないように注意し、体の向きや角度、表情に留意し作業員の方が勇ましく映るように工夫した。図1、図2の例では作業員の方のインタビューを実施し、実際の声として、現場での喜びや苦勞を聞いて、チラシや動画に活用させていただいた。

(2) チラシ作成

チラシ作成について紹介する。チラシ作成は普段直轄樋門の点検操作を行っていただいている樋門操作員の点検の様子及び功勞者表彰の様子を伝えるために作成したものを事例とする。

(a)使用ソフト

文字や画像を自由に切り貼りすることについてはパワーポイントが利用しやすかった。最終的に大きなパネルを作成する可能性や事務所発行の冊子等に差し込む可能性などを考えて、用紙は縦向きで作成した。

(b)2枚でワンセット

チラシは①1枚に印刷した場合、裏が白紙だとせっかく手に取ってもらったのに伝える内容が少なくもったいないこと、②1枚目のインパクトで引き付け詳細情報は2枚目に記載するというスタンスをとると見てもらいやすかつ知ってもらいやすいことから2ページ分作成した。ただし、2ページあるからといって、細かすぎる内容を記載すると閲覧者が嫌がる可能性があるため簡潔な内容

を心がけた。



図1：樋門操作員チラシ(1枚目)



図2：樋門操作員チラシ(2枚目)

(c)見出し

見出しは印象的なフレーズを心がけた。これは何だろうと興味を引くようなフレーズを数点考え、上司等に意見をいただき、決定した。そのフレーズに合った写真を厳選し、見出しはできるだけ少ない写真で構成するように心がけた。図1の例では敢えて少し大きめのフレーズとし、背景の写真については2枚としている。それに加え操作員を映したかったため小窓で写真を挿入している。操作員の写真は笑顔というよりは勇ましさを出したかったため、敢えて横顔や後ろ姿にしている。

(d)色使い

色はできるだけ少ないほうが良いと考えた。多くの色を利用すると情報量が多くなり何を伝えたいのかが不明瞭となる。複数色を使用する場合は色の系統をそろえると、まとまりがでるため、事例では緑系でまとめている。

(e)引用画像利用の注意

事業の説明を行う際に既に他の資料内に存在する図や表を使うことは時間短縮につながる。しかし、そのようなものを利用するとき、そのまま使おうとして引き延ばしなどを行うと画像が荒くなり、見にくいものとなる。そんな時は元画像を生かしつつ、パワーポイントなどで字の部分のみ編集するなどして改良を行うことが望ましい。図2の樋門の動きのポンチ図は文字をすべて挿入しなおし、文字の端部をはっきりさせるようにし、見えやすくした。

(f)写真利用の注意

写真を利用する際にその写真が何の写真なのかという表題を挿入するかどうかはそのチラシの目的で判断すべきと考える。広く一般的に知られているような対象物にわざわざ説明をつける必要はない。また、ページ全体のデザイン性を重視する場合(ページ全体のバランスから不要と判断される場合)は必要ない。我々が行う事業等の紹介が目的の場合はひとこと表題をつけると「理解してもらおう」という観点からは望ましいと考える。図1についても施設名や河川の状態の日時を挿入することで閲覧者に理解を深めてもらうことを狙っている。

(g)ロゴマーク

図1の右上右下に流域治水のロゴを挿入している。これは大和川河川事務所において特に力を入れている流域治水を印象付ける狙いがある。文言のみでも一般の方は意味を調べることができるため、きっかけになることを狙い挿入した。事務所棟でロゴマークがある場合は挿入すべきと考える。ロゴマークは視覚的に記憶に残りやすいと考えるためである。

(h)QRコード

本事例では次節で紹介する動画とセットのイメージで作成したため、チラシを見た方には動画を見てほしいという思いがあった。そのため、すぐに見られるようにQRコードを追加した。過去に資料内にURLを載せる事例が多くあったと思われるが、URLは紙媒体になるとたちまちアクセスのハードルが上がる。その点QRコードは手間が最小限である。QRコードの作成はスマートフォンのアプリで簡単に作成できる。

(2) 動画作成

動画作成は2種類を事例とする。1点目は高規格堤防整備事業に関する動画(図3)、2点目は第2節で紹介したチラシとセットとなる樋門操作員に関する動画(図4)である。



図3：高規格堤防整備事業に関する動画切り抜き



図4：樋門操作員に関する動画切り抜き

(a)使用するアプリ

スマートフォンで簡単に動画編集ができる「CapCut」というアプリケーションを利用した。基本操作は無料で行えるため問題ない。非常に感覚的に編集が行えるためある程度スマートフォン操作に慣れている方であれば問題なく編集が行えると思われる。

(b)時間

動画の時間は長くても3分ほどを目指し、長くならないようにした。閲覧者は長い動画は見ようとしなからである。

(c)構成

構成は目的によって決定した。事例1は「簡単に事業を知ってもらうこと」を目的とし作成した。よって「見出し→事業内容説明→実際の工事の様子→締め」という流れとした。

事例2は「作業員の苦勞を知ってもらうため」に作成したため、事業説明などはなく、「見出し→作業の様子→インタビュー→締め」とした。こちらはチラシ画像とセットとしたため、樋門の説明などはチラシに任せた。

(d)字幕

行政組織が作成する媒体のためできる限り多くの方に見てもらおうと努める必要がある。よって聴覚障がい者の方にも閲覧していただけるよう字幕は挿入した。字幕は一言一句そのまま表記する必要はないと考える。閲覧者が理解しやすいように良い塩梅に言い換えることは必要と考える。

(e)視覚及び音声効果の多様

事例1についてはその目的から多くの方に気軽に見てほしかったため、視覚エフェクトやコミカルな読み上げ機能、ポップな音声を敢えて利用し、見やすい動画をイメージして作成した。一方、事例2については樋門操作員の勇ましさを前面に出したかったため淡々と仕事をこなす、仕事人のようなイメージで動画を作成した。

(f)場面転換

場面転換のエフェクトについてはできるだけ使用すべきと考える。使用しない場合ただ単に動画をつなぎ合わせた感じが前面に出てしまうからである。じわっとフェイドアウトしたり、フェードインしたりするだけで動画のクオリティが格段に上がる。

(g)インタビュー

事例2ではインタビューを実施した。回答者が長く話をしてしまって間延びしてしまう場合は字幕で切るようにまとめ、動画はフェイドアウトすることも必要であると考える。

(h)締め

動画の締めについては動画の目的や意図から一番伝えたいことを表す文言を表記するのが良いと考える。

事例1では「災害に強い大和川を目指します！」という決意表明のような文言とした。事例2では「大和川河川事務所一同感謝しております」と普段から樋門操作を通じた点検や災害対応に従事して下さっている樋門操作員への謝意を表した。

(3)発信の方法

(a)X

大和川河川事務所のXアカウントを利用してXでのポストを実施した。Xは多くの国民が利用しているため、広報には必須である。140字以内で文言を考える必要があるがその内容の確認は可能な限り事務所長まで取るべきと考える。動画の長さの上限は140秒(2分20秒)であるため、それ以上の動画投稿には適していない。

(b)YouTube

事例2の動画は長尺であったため大和川河川事務所のYouTubeチャンネルを利用して投稿した。長尺の場合にはXにはYouTubeへのリンクを添付するとXの利用者にも広報が可能である。YouTubeに動画を投稿する場合サムネイル(投稿された際のトップに出る画像のこと)と動画概要文を設定する必要がある。サムネイルは動画の中の一場面を切り取ることもできるが、今回は内容がわかりやすいよう意識し新たにパワーポイントで作成した。概要文はXの投稿文と同様できる限り事務所長まで確認するのが良い。

(c)事務所閲覧コーナー

事務所の閲覧コーナーにA4等で印刷して紙媒体で置いておいたり、動画はモニターを利用し流すことで一般の方の目に触れる機会を創出できる。今回作成した樋門操作員のチラシについては紙媒体で印刷し、実際にインタビューに参加いただいた操作員には郵送でお送りした。

3. 今後の課題

今後の課題を大きく2点述べさせていただきます。

(1)堅さとラフさ

行政組織のチラシ作成や動画作成は誤れば命に関わることもある。例えば災害時の避難場所等を動画にしたとしてその内容に誤りがある命に関わる。そのため安易な気持ちで適当に作成することは避けるべきであると考ええる。しかし一方で前述のように考える余り、良い意味でのラフさ(多くの人がとっつきやすいような作り方)に欠ける堅い内容となってしまうことが多い。これら2点の中間点をいい塩梅で探し出すことが今後の課題の1点目である。

(2)職員の負担

今回、事務所各課の職員が事務所で進めている事業について、チラシや動画を作成し、各種SNS等で発信を行ったが、作成から発信までに多大な時間を要することになり、負担がかかってしまった。今後は、河川愛護モニターに委嘱いただいている方に協力いただければ、職員の負担軽減に繋がっていくと考える。

4. おわりに

我々の事業を知ってもらうことは、事業推進の円滑化や災害のソフト面対策にもつながり、加えて若年層に届けば人材確保にも貢献できると考える。

本気で取り組むためには多くの職員の理解が必要となるため、この論文を通じて発信の重要性そのものを多く

の職員に知ってもらえれば幸いである。

田中 幹久

2024年4月1日付異動

(前)近畿地方整備局大和川河川事務所管理課

(現)近畿地方整備局国営飛鳥歴史公園事務所総務課

新たな堤防植生管理の手法について

大久保 昌英¹

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

近年、堤防除草回数を削減したことにより、外来草種が増加し、在来草種が減少した。このことにより堤防には背丈の高い外来雑草が繁茂し、シバ等の在来種が衰退傾向となり、堤防の耐久性・視認性の低下が問題となっている。また、維持工事における除草費の割合も非常に高く問題である。これを解決する手法として、低草丈草種への植生転換・薬剤による堤防植生管理・土壌改善対策を試行した結果、絶大な効果が確認されつつあるので、その手法・成果を報告するものである。

キーワード 堤防植生管理, 植生転換, 薬剤散布, 土壌改善対策

1. はじめに

河川管理に携わる皆さん、貴方は河川維持管理において除草に係る費用の高さに驚いたことはないだろうか。河川堤防の法面を覆う植生は、堤体保全や堤防の状態把握のため、年2回を基本として除草が行われているが、近畿地方整備局管内では堤防維持管理にかかる費用のうち、除草に占める割合は約20%で、除草に多くの費用を要している。適正な堤防管理を持続しながら、将来必要となる維持管理コストをいかに削減するかが課題となっているため、近畿地方整備局では堤防植生管理の効率化に向けた様々な取組を行っている。

2. 堤防植生の現状と解決手法

堤防のり面は河川管理施設等構造令により、芝等によって覆うものと定められており、河川法施工令により堤防除草・巡視を行うよう定められている。

堤防植生としては通常ノシバが用いられ、そのノシバを維持するためには、年4回以上の除草が必要とされている。一方、近年では除草回数が年2回に減少するなどの堤防植生の管理水準低下により(図-1参照)、張芝後10年程度までに草丈の高い雑草が侵入・繁茂することで、芝の衰退・消失が進行している事例が多い(図-2参照)。

このことにより、堤体の耐侵食性の低下、堤防の状態把握及び水防活動への支障、刈草量の増加による堤防除草コスト(処分費)の増加等の問題が発生している(図-3参照)。このような問題を解決するため、様々な試

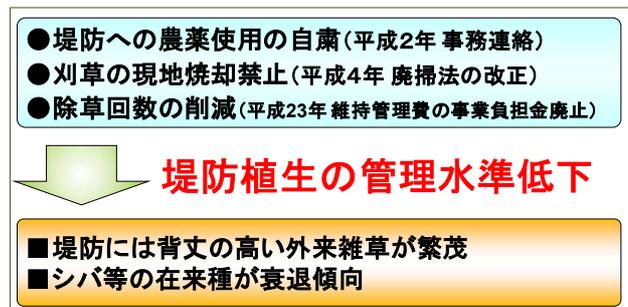


図-1 堤防植生 管理水準低下の経緯



図-2 シバからセイバンモロコシへの遷移例



図-3 シバの衰退・消失による問題

行・検証を行ってきたが、①低草丈草種への植生転換、②薬剤を用いた堤防植生管理、③土壌改善対策の3手法が効果的であることがわかってきた。

3. 低草丈草種への植生転換

植生転換とは、堤防の維持管理に支障を及ぼす外来種等の現況堤防植生を草丈の低いノシバ以外の植生（改良芝等）に転換するものである。低草丈草種はイニシャルコストがかかるものの、刈草量の削減など、ランニングコストを削減でき、長期的には堤防除草コストを削減できると考えられている（図-4参照）。



図-4 刈草量の削減 と コスト削減効果（試算）

(1) 実験方法

植生転換に用いる低草丈草種は、堤防植生機能に優れ、雑草抑制効果が高い草種 ①ザッソレス（改良イヌシバ）、②ティフブレア（改良ムカデシバ）、③TM9（改良コウライシバ）、④エルトロ（改良ノシバ）、⑤ビクトール（ノシバ・コウライシバ種間雑種）の計5種を適用した。近畿技術事務所の研修用堤防に張芝完了後、1～3年目の養生期間は年2回の抜根除草を行い、4年目以降は年2回の機械除草を行った。

(2) 評価方法

堤防植生として求められる機能は耐侵食性と視認性であるため、具体的な評価項目は、低草丈草種の被度（地表面を覆う割合）、芝草丈、侵入雑草の被度、根系強度とした。

(3) 結果

評価項目毎に植生転換の効果を検証した。低草丈草種（5種）の草丈や根系強度については期待される効果が確認されたが、通常管理移行後（4年目以降）に侵入雑草との競合により芝被度等の低下傾向が確認され、効果の持続的な発揮には、侵入雑草の抑制が課題であることが確認された。外来種 ①ザッソレス ②ティフブレアは芝の維持・侵入雑草抑制に高い効果を示したが、在来種 ③TM9 ④エルトロ ⑤ビクトールは4～5年目以降に雑草が侵入・繁茂し、芝の衰退が確認された（図-5、表-1参照）。

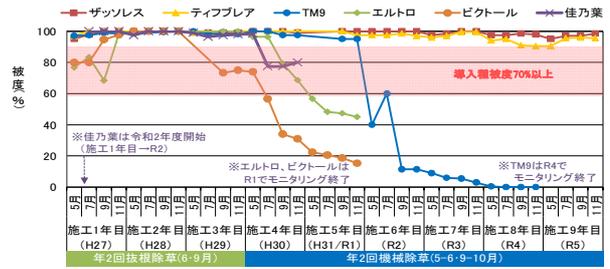


図-5 低草丈草種の被度（地表を覆う割合）の推移

表-1 各シバ種、3年・6年後の結果

実験区	①	②	③	④	⑤
芝種	ザッソレス	ティフブレア	TM9	エルトロ	ビクトール
年	外来	外来	在来	在来	在来
芝被度%	3	99	99	99	100
	6	100	98	31	49
芝草丈cm	3	10	16	3	19
	6	12	16	7	10
侵入雑草被度%	3	1	9	18	33
	6	9	8	61	67
根系強度 kgf. cm	3	339	329	654	275
	6	386	354	395	292
総合評価	◎	◎	△	△	△

(4) 現況堤防での試行実験結果

近畿地方整備局管内では、平成28年度より低草丈草種への植生転換の試行を位置づけ、各河川事務所の現況堤防にて植生転換を試行した箇所を対象に、河川維持管理データベースシステム「RiMaDIS」を用いた河川巡視によるモニタリングを実施している。この結果、通常管理（年2回、機械除草）移行後も生育が維持され、施工当初に確認された導入効果（耐侵食性、視認性）を維持している草種は、特に①ザッソレス及び②ティフブレアの2種であった。

なお、①ザッソレス及び②ティフブレアは外来種であることが課題であるが、周辺植生への逸出・繁茂による雑草化リスク及び既存植生への生態的影響は小さいとされている。その根拠として、近畿地方整備局管内の由良川・奈佐川で施工7年経過してもそのような逸出や生態的影響に関する実態はないことを確認している（図-6参照）。



図-6 ティフブレア施工後7年経過した状態

(5) 考察

低草丈草種【在来種③④⑤】への転換のみでは侵入雑草を抑制することに限界があるため、薬剤による堤防植生管理や土壌改善対策など、他の手法も組み合わせる必要がある。【外来種①②】は施工後8年経過した現在も良好な状態を保っているが、現場によっては環境面への影響に配慮して導入を見送る判断がなされる場合もあることから、引き続き逸出や生態的影響が小さいことを確認する必要がある。

4. 薬剤による堤防植生管理

薬剤による堤防植生管理は、植物成長調整剤・土壌処理剤・茎葉処理剤等の薬剤を散布することにより、堤防の芝を維持しつつ、雑草の侵入を抑制することを目的としたものである。この手法について、現地実証実験を通じた効果検証を行った。

(1) 実験方法

実験は木津川（京都府八幡市上津屋）で実施した。堤防強化工事で裏のりを改良高麗芝で整備した後に、芝を育成・維持できると考えられる3種類の手法（薬剤散布、抜根除草、高頻度除草）を実施した。

(2) 手法の評価方法

評価は芝の被覆状況・活着状況・堤体表面の視認性・年間の実施コストの4項目により、4段階の評価目安を定め、数値化して評価した。

(3) 結果

a) 対象区（従来の年2回機械除草）

1年目のみ年2回の抜根除草を行ったため、1～2年目は良好な状態であったが、2年目以降は年2回の機械除草に切り替えたため、3年目には雑草の侵入が顕著となり5年目には、芝はほぼ消失した（表-2参照）。



図-7 張り芝後【3年目】と【5年目】の状況(対象区)

b) 薬剤散布（年2回）

1～3年目は年2回の薬剤散布（除草なし）を行い、4年目以降、上段では薬剤2回+除草1回、下段では除草3回の管理手法に切り替えた。

薬剤散布を続けた1～3年目は雑草の侵入は見られず、

芝の被度もほぼ100%を保っていた。

4年目以降、薬剤散布を止めた下段は5年目に若干、雑草の侵入が見られたが、概ね雑草の侵入は抑制され、芝を維持出来ている。薬剤散布を継続している上段は特に優れており、薬剤の継続使用は芝を長期・恒常的に良好な状態に保つと予測される。

評価が3手法の中で最も優れている上に、従前の管理手法（年2回除草）に比べて62%のコスト削減も図れる驚異的な結果となった（表-2参照）。

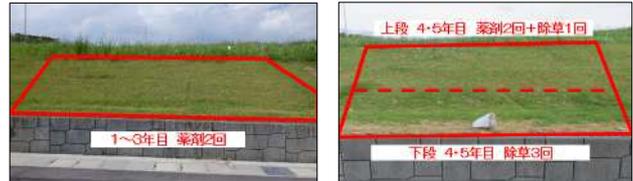


図-8 薬剤散布【3年目】と異なる管理手法【5年目】

c) 抜根除草（年3回）

1～3年目は年2回の抜根除草および年1回の機械除草を行い、4年目以降、上段では薬剤2回+除草1回、下段では除草3回の管理手法に切り替えた。

抜根除草を続けた1～3年目は芝の被度はほぼ100%を保てたが、3年目に雑草の侵入が見られた。

4年目以降、抜根養生から機械除草に切り替えた下段では、芝は著しく衰退し、植被率が低下した。しかし、薬剤散布に切り替えた上段では、芝が維持され、確認されたセイバンモロコシは沈静化し、雑草の拡大は抑制されている。3年目まで抜根除草を行っているため従前の管理手法（年2回除草）に比べてコストは高くなった。

3年間の抜根除草後に、切り替えたの管理手法の違いにより芝の状態は雲泥の差となった（表-2参照）。

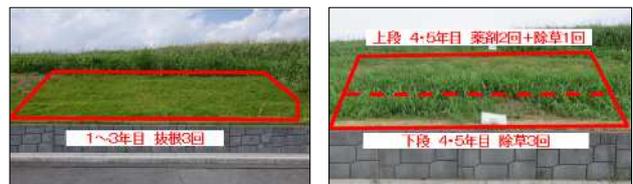


図-9 抜根【3年目】と異なる管理手法【5年目】

表-2 養生・管理手法による結果一覧

芝の養生・管理方法		芝の性能評価		経済性
1～3年目	4・5年目	3年目	5年目	5年合計
除草2回	除草2回	良【3.4】	否【1.4】	1.00
薬剤散布 (2回)	薬剤2回+除草1回	優【4.6】	優【5.0】	0.38
	除草3回		優【4.7】	0.45
抜根除草 (3回)	薬剤2回+除草1回	良【3.7】	優【4.4】	1.23
	除草3回		可【2.7】	1.30
高頻度除草 (4回)	薬剤2回+除草1回	可【3.0】	良【4.0】	0.91
	除草3回		良【3.5】	0.97

d) 高頻度除草（年4回の機械除草）

1～3年目は年4回の機械除草を行い、4年目以降、上段では4年目に薬剤2回+除草1回、下段では除草3回の管理手法に切り替えた。

高頻度除草を続けた結果、3年目に芝の被度は10%程度低下し、侵入雑草が著しく増加した。

4年目以降、高頻度除草から薬剤散布に切り替えた上段では、5年目にセイバンモロコシを抑制し、シバの回復が見られた。年3回除草に切り替えた下段はセイバンモロコシ等の雑草侵入が増加し、芝の衰退が進行した。

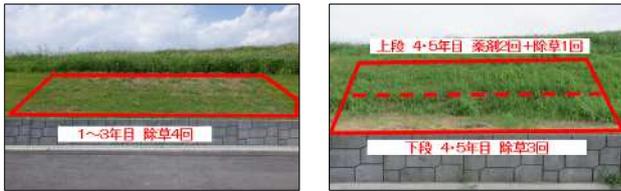


図-10 高頻度【3年目】と異なる管理手法【5年目】

(4) 考察

新規張り芝の植生管理を1年目から薬剤散布で行うことにより、雑草の侵入は抑制され、芝を維持（被度100%）できることが確認できた。堤防植生の状態は常時良好に保てる上に、従前の管理手法（年2回除草）に比べて62%のコスト縮減も図れる（表-2参照）。

また、薬剤散布を継続することにより、芝は長期・恒常的に良好な状態を保つと予測される。更に、ある程度雑草に侵入された状態でも、薬剤散布の管理手法に切り替えることにより雑草は抑制され、芝の回復も見られた。

一方で、堤防への農薬使用は、平成2年の事務連絡以降、自粛されてきたが、農薬取締法の改正等を経て近年、農薬の安全性等は飛躍的に向上している。現在、農薬は人の健康や環境に対して安全と認められ、登録された物しか製造・流通・使用できない規定もあり、一定の安全性は確保されている。平成2年当時とは状況も異なるため、低コストで恒常的に良好な状態を保てる薬剤による堤防植生管理は、段階的に取り入れることが望ましいと考えられる。

5. 土壌改善対策

河川堤防の張芝施工に使用する土羽土は、当該工事発生した掘削土・他工事からの流用土を使用することが多い。しかし、掘削土・流用土には種子・根茎が含まれていることが多く、芝が活着する前に雑草が発芽・繁殖してしまう事例が多く見られる（図-11参照）。

検討した土壌改善対策は、①土羽土に使用する土砂及び施工する法面に対し薬剤の散布を行うこと。②植生基盤土壌をpH調整することにより、芝を維持しつつ雑草の発生・生育を抑制するものである。



図-11 土壌の違いによる雑草発芽生育状況の比較

(1) 薬剤を用いた土壌改善対策

a) 実験方法

実験は近畿技術事務所の構内で実施した。土羽土に使用する土砂は構内の地盤を掘削して採取し、土羽土への茎葉処理剤の散布は、掘削の1箇月前と3日前の2回とした。土羽土を施工する掘削面には土中に残された根茎・種子からの発芽を防止・抑制できるように、土壌処理剤を散布した（図-12参照）。

実験期間中の芝養生は、年2回の抜根・集草、年1回の機械除草を実施した。効果検証のためのモニタリング調査は、植生調査・刈草量調査・根系強度調査等を実施した。

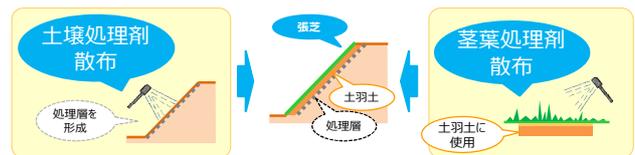


図-12 薬剤を用いた土壌改善対策の考え方

b) 結果

実験は①土壌改善に加え、比較対照として土羽土に②流用土を使用したケース、③購入土を使用したケースで実施した。①土壌改善は、雑草の生育量（刈草量・侵入雑草）が③購入土と同等であった。また、②流用土と比較すると、施工後約2年半の時点で刈草量を約55%、侵入雑草を約79%抑制できており、雑草を抑制する高い効果が確認できた（表-3参照）。

表-3 薬剤を用いた土壌改善対策 各ケースの結果

ケース	①	②	③
	土壌改善	流用土	購入土
刈草量 g/m ²	430	965	380
侵入雑草被度	10	47	3
芝被度	100	100	100
コスト比	0.997	1.000	1.071
総合評価	◎	×	○

(2) pH調整による土壤改善対策

a) 実験方法

実験は近畿技術事務所の構内で実施した。ノシバ等の芝草は比較的幅広い土壤pHに適応可能であるため、土壤を酸性もしくはアルカリ性側に改良することにより、芝を維持しつつ雑草の発生・生育を抑制するものである。

試験区として対象区（pH調整なし）と改良区（酸性pH4.5～5.2、アルカリ性pH8.1～9.0）と強改良区（強酸性pH4.5以下、強アルカリ性pH9.0以上）を設ける。

資材として、酸性改良には硫酸第一鉄、アルカリ性改良には炭酸カルシウムを使用し、pH調整レベルを維持するために追加で資材散布を行う。実験期間中の芝養生は、年2回の抜根、年1回の機械除草を実施した。

b) 結果

アルカリ性改良区では5月の刈草量が多かったが、総合的には何れの試験区も雑草の侵入を抑制しており、対照区よりも刈草重量が少ないことが確認できた（図-13参照）。実験用斜面の向き・日当たりが異なるため正確な比較は出来なかったがアルカリ性より酸性の方が効果が高いと予測された。なお、薬剤散布手法に比べ効果は弱く、若干のコストアップはあるが、薬剤の現場使用が難しい現場では有効と考えられる。

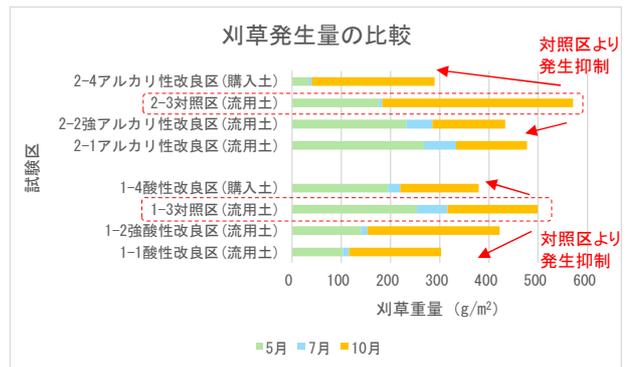


図-13 pH調整による刈草量の比較



図-14 土壤酸性化による雑草抑制効果

6. おわりに

河川堤防の植生を適正に管理するには、複数の手法①植生転換、②薬剤散布、③土壤改善対策を組み合わせることが非常に効果的であると考えられる（図-15参照）。現在の堤防植生管理手法（年2回の機械除草等）を見直すことによって、堤体が保全され、点検がしやすい環境が維持でき、維持管理コストは削減される。

また、2024年度は淀川河川事務所の一部の区間において薬剤散布による堤防植生管理の試行を開始するため、職員及び維持業者を対象に薬剤散布の説明会・練習会を行った（図-16参照）。薬剤散布等による堤防植生管理が標準的な手法の一つになるには時間を要すると思われるが、引き続き実証実験・モニタリングを行い、技術の現場展開を図っていきたい。



図-16 薬剤散布の説明会・練習会

巻末：

「河川堤防の植生転換による堤防植生機能確保とコスト削減の取り組み」（近畿地整研究発表会、2021年）

「堤防法面の芝の維持に向けた基盤土からの発芽抑制手法の提案」（河川技術論文集、第29巻、2023年）

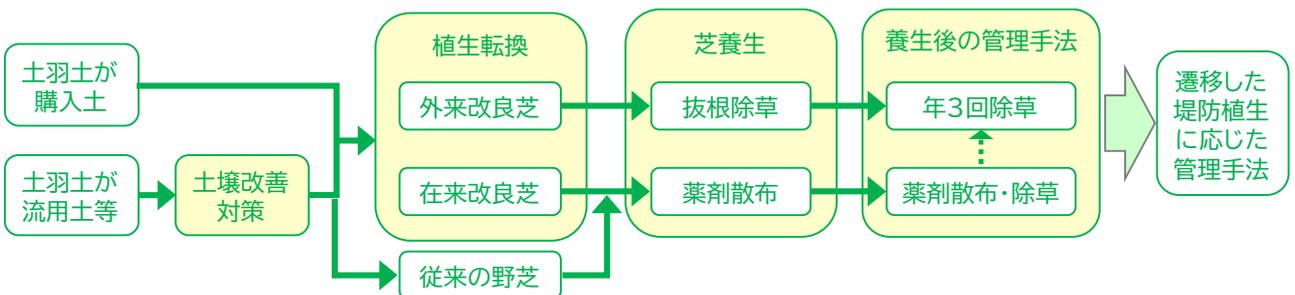


図-15 芝を長期的に維持する管理手法

電力消費量削減により脱炭素社会を目指して —交通流検知によるトンネル照明設備の制御—

田尻 貴大¹

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

中部縦貫自動車道大野油坂道路下山トンネルに設置したトンネル照明設備の入口照明においては、野外の照度による調光制御に加え、交通流検知により、より細かい調光制御を行っており、電力消費量のより一層の削減を目指している。今回、システム概要、運用開始後に収集した稼働状況データの検証結果、結果による考察及び今後の展望について報告する。

キーワード カーボンニュートラル, 新技術

1. はじめに

トンネル照明は「道路照明施設設置基準・同解説」に基づき、設計速度や交通量、野外輝度等の諸条件によって、その施設規模等を定めている。また、同基準ではトンネル照明の運用に関して、「トンネル照明は、交通の安全に配慮のうえ、効率的かつ経済的に運用するものとする。」としており、入口部照明については一般的に野外の明るさに応じて路面輝度を2段階または4段階で調光制御している。

2023年10月28日に供用開始した中部縦貫自動車道大野油坂道路下山トンネルでは、上述の一般的な照明の運用に加えて、当該トンネルにおける車両の通行状況をセンサにより検知し、車両無通行時の電力を削減するシステムを導入した(図-1)。

本システムは僅少交通量のトンネルでより効果が高くなるものと想定され、車両通行時には必要な照明の運用を図りながら、車両無通行時において電力を合理的に削減することによって、脱炭素社会の実現に貢献することが期待できる。

2. 照明制御システムの概要

(1) 照明設備の概要

中部縦貫自動車道大野油坂道路は対面2車線の自動車専用道路である。そのうち下山トンネルは延長416m、設計速度60 km/h、上下線を剛性防護柵で分離した構造のトンネルであり、照明の設備容量は約3.8kVA(基本照明0.7kVA、入口照明2.9kVA、坑外灯0.2kVA)である。

基本照明は一般的な千鳥配列であるが、入口照明については片側車線照明方式を採用しているのが設備上の特徴である(表-1)。

表-1 下山トンネル照明設備の諸元

項目	諸元	備考
路線名	中部縦貫自動車道大野油坂道路	
交通形態	自動車専用道路 対面2車線通行	
トンネル名	下山トンネル	
トンネル延長	416 m	
設計速度	60 km/h	
日交通量	10,000 台/日 未満	
野外輝度	起点側 終点側とも 2,500 cd/m ²	
基本照明の調光動作	昼間(全光) - 夜間(63%調光) 朝200Lx以上で昼間、夕100lx以下で夜間	自動調光装置による動作
入口照明の調光動作	「晴天1」: 全光 「晴天2」: 75% 「曇天1」: 50% 「曇天2」: 25%	自動調光装置及び車両検知による動作

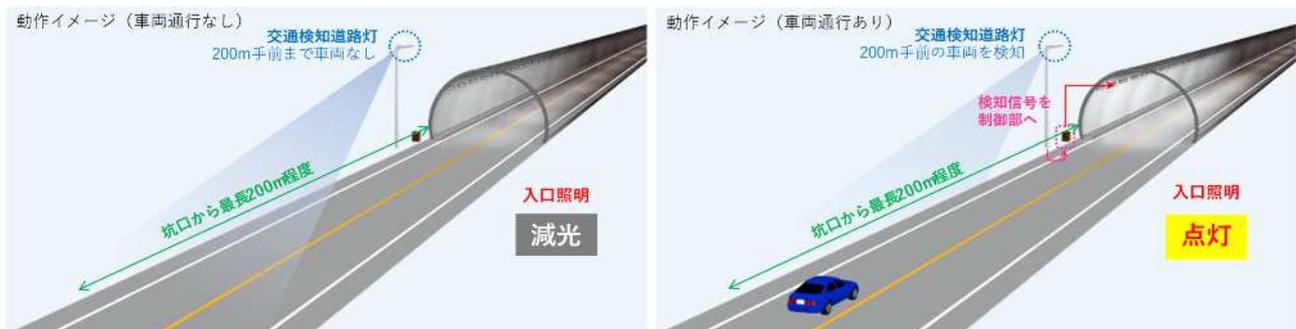


図-1 システムの動作イメージ

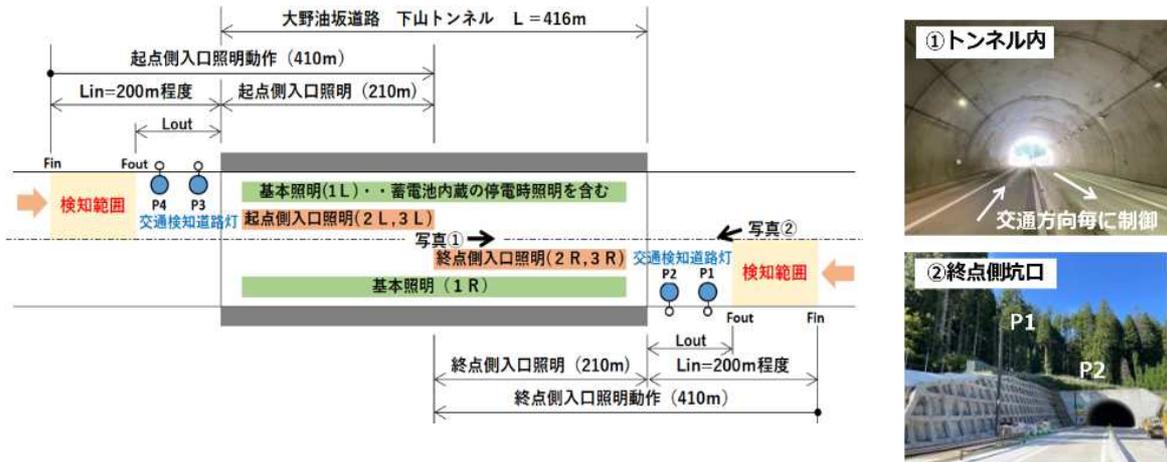


図-2 制御システムの概要

(2) 制御システムの概要

制御システムの概要を図-2に示す。車両検知による制御は入口照明のみを対象としており、交通方向毎に独立した制御系統を有している。

センシングは画像処理センサを実装した交通検知道路灯（坑外灯）を各坑口に2基ずつ配置し、照明分電盤内に実装した入口照明制御ユニットで、センサから得た2つの車両検知信号を論理和で処理し調光出力している。

車両検知位置は坑口より概ね200m手前の明かり部に設定し、通過車両が画像からフレームアウトするまでの間、検知ONを保持している。

車両検知終了は検知ONの解除地点（フレームアウト地点）からのタイマー動作とし、入口照明区間を通過するまでの所要時間に、一定の余裕時間を加味した設定としている。

トンネル照明の制御動作は表-2に示すように、野外の明るさに連動した入口照明4段+基本照明2段の点灯モードを基本とし、これに車両検知の有無を掛け合わせた動作として、車両が無いときには入口照明を25%調光（曇天2に相当）で点灯する省エネ運用としている。

表-2 トンネル照明の制御動作

灯具種別	入口照明灯具				基本照明灯具		
	晴天1	晴天2	曇天1	曇天2	昼間以下	昼間以上	夜間
自動調光装置の点灯モード	← 野外の明るさ(照度)に連動 →						
ON照度 (Lx)	20,000	10,000	4,000	2,000	200	200	—
OFF照度 (Lx)	10,000	5,000	2,000	1,000	100	100	—
交通検知	「車両有り」：通常運用				消灯	100%	63%
	↓ 交通流で変動						
	「車両無し」：省エネ運用				消灯	100%	63%
	25%						

3. 稼働状況データの収集と解析

(1) データ収集の目的

本システム導入による省エネ効果は天候状況と交通状況に依存するものと考えられ、野外が明るい（晴天1点灯）ほど、車両通行の有無が消費電力の差（比）に影響し、高い省エネ効果を得ることができる。同様に、交通

量が少ないほど省エネ運用の時間が長くなるので省エネ効果が高くなる。即ち、

$$\text{省エネ効果[Wh]} = \text{消費電力差[W]} \cdot \text{省エネ運用時間[h]}$$

と説明することができる。

本システムの省エネ効果が、どの程度の効果があるのか、具体的数値を示し評価することを目的として稼働状況のデータを収集することとした。

(2) 稼働状況データの収集

稼働状況データの収集は、2023年11月11日（土）から2023年12月10日（日）の1か月間に渡り、下山トンネル終点側の照明分電盤にて、仮設カメラによる車両通行状況の期間連続撮影及び入口照明制御ユニットのPLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）ログ記録を実施した（図-3）。



図-3 仮設カメラ映像（上段）、仮設状況（下段左）、分電盤内部（下段右）

収集したデータは交通量、車両検知信号ログ及び照明モードログであり、これらのデータを車両検知精度の確認と省エネ効果の検証に利用した(表-3)。

表-3 収集データ及び検証項目

収集データ	内容
交通量	実交通映像より上下線両方向の交通量を目視観測し、時間交通量をカウント
車両検知信号	車両を検知した時刻データ
照明モード	照明モードが変化した時刻データ



検証項目	内容
車両検知精度	車両通過とモニター点灯の同時目視観測により、終点側における車両検知状況を4分類(表-4)に整理
省エネ効果検証	車両検知信号ログと照明モードログを突き合わせて、本システムの有無における双方の電力量を1時間単位で試算

(2) 車両検知精度(不検知率)とフェールセーフ機能

上述のとおり、車両検知精度の確認には実交通映像を用いて車両通過とモニター点灯の同時目視観測により、終点側における車両検知状況を次の4分類で整理した(表-4)。

表-4 車両検知状況の分類

分類	内容
正検知	車両が通過した際に正しく検知している
過検知	ヘッドライトの影響などで、車両が映像内に入る前の検知
誤検知	車両以外(反対側車線を走行するトラックや黄パト等、小動物、画像ノイズ等)の検知
不検知	車両が通行しているにも関わらず検知しない

入口照明制御時間帯に相当する昼間10時間(7時~17時)における車両検知精度の解析結果を表-5に示す。

データ収集期間中の不検知率は0.85%であった。不検知は全て降雪時(11月18日及び12月1日)に発生しており、いずれも荒天により点灯モードが曇天2以下で推移していたことに加え、画像処理のフェールセーフ機能である“視界不良検知”の信号も送出されていた。

フェールセーフ機能の動作中は車両検知状況の4分類に関わらず強制的に通常運用に切り替わるので、曇天2以下での運用を確認している。なお、上述の降雪時を除く不検知率は0.00%であった。

過検知及び誤検知は降雪時以外においても発生している。これらは降雨そのものや降雨による濡れた路面の反射等が原因であるが、本システムにおいては安全側に動作する事象でもあるので現段階では許容範囲であると認識している。しかしながら、これらが少なくなるよう、検知パラメータの調整等による改善を検討したい。

表-5 車両検知状況のまとめ

日付	曜日	天候	交通量(-)	正検知		過検知		誤検知		不検知		不検知率 P1,P2平均
				P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	
11/11	土		1,090	1,090	1,090	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/12	日	雨	826	826	826	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/13	月		616	616	616	0	0	1	0	0	0	0.000%
11/14	火		639	639	639	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/15	水		672	672	672	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/16	木		688	688	688	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/17	金	雨	613	613	613	1	0	2	3	0	0	0.000%
11/18	土	雪	554	443	431	3	8	55	46	111	123	21.119%
11/19	日		680	680	680	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/20	月	雨	620	620	620	0	0	7	3	0	0	0.000%
11/21	火		747	747	747	0	0	0	1	0	0	0.000%
11/22	水		831	831	831	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/23	木		1,329	1,329	1,329	0	0	0	1	0	0	0.000%
11/24	金	雨	818	818	818	1	2	8	10	0	0	0.000%
11/25	土		783	783	783	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/26	日		1,046	1,046	1,046	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/27	月	雨	716	716	716	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/28	火	雨	541	541	541	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/29	水	雨	509	509	509	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/30	木	雨	470	470	470	0	0	1	1	0	0	0.000%
12/1	金	雪	455	412	399	4	4	29	50	43	56	10.879%
12/2	土		(積雪により観測不能)									
12/3	日		(積雪により観測不能)									
12/4	月		546	546	546	0	1	1	6	0	0	0.000%
12/5	火		493	493	493	0	0	1	1	0	0	0.000%
12/6	水		694	694	694	0	0	0	1	0	0	0.000%
12/7	木	雨	486	486	486	3	2	6	8	0	0	0.000%
12/8	金		593	593	593	0	0	0	0	0	0	0.000%
12/9	土		795	795	795	0	0	0	0	0	0	0.000%
12/10	日		704	704	704	0	0	0	0	0	0	0.000%
合計			19,554	19,400	19,375	12	17	114	84	154	179	0.851%
降雪日(11/18,12/1)を除く			18,545	18,545	18,545	5	5	30	38	0	0	0.000%

4. 省エネ効果の検証

(1) 電力量のシミュレーション手法

a) 単位電力

各調光モードにおける消費電力は、各灯具の定格値を採用した。車両無通行時は昼間の野外照度に関わらず、曇天2に相当する25%調光としている(表-6)。

表-6 各点灯モードにおける消費電力

回路番号	回路名称	各点灯モードにおける消費電力(W)						
		自動調光装置動作	晴天1	晴天2	曇天1	曇天2	昼間	夜間
		ON 照度(Lx)	20,000	10,000	4,000	2,000	200	-
	OFF 照度(Lx)	10,000	5,000	2,000	1,000	100	-	
1L・1R	基本照明(W)	7543	7543	7543	7543	7543	5598	
2L・2R	起点側入口照明(W)	1,403.2	1,045.9	705.8	372.4			
3L・3R	終点側入口照明(W)	1,403.2	1,045.9	705.8	372.4			
	合計(W)	3,560.7	2,846.1	2,166.0	1,499.1	7543	5598	

初期光束補正機能あり(点灯初期の値)

b) 点灯時間

車両無通行時も含む各調光モードの点灯時間は、ログデータに基づく実測値によるものとする。

c) 電力量の算出

各調光モードにおける単位電力と点灯時間との積で表し、時間単位で求める。これらは、本システムを導入した場合と従来通りの場合と双方について計算し、併せて両者の比較で省エネ率を算出するものとする。

(2) 省エネ効果の検証

電力削減量を計算した結果を表-7に示す。検証期間中は、入口照明が点灯する昼間10時間交通量（7-17時）が平均1,712台/10hであり、入口照明の電力削減率は平均25.9%という結果を得た。日別では1日当たりの電力削減率は最大で40.4%（12月2日）、最小で0.0%（11月24日及び12月9日）であった。

また基本照明も含めた照明全体の電力削減率では平均9.9%、最大が20.4%、最小が0.0%であった。

電力削減率が0.0%となった2日間はいずれも天候が悪く、終日曇天2で推移したことが要因である。

一例として電力削減率が期間平均値に近い11月11日（土）の検証結果を図-4に示す。

5. 考察

表-7 電力削減量の検証まとめ

日付	曜日	交通量 昼間10時間 (7-17)	無交通時間比 率昼間10時間 (7-17)	入口照明の電力量(kWh)				削減量		基本照明含みの電力量(kWh)			
				従来運用	本システム運用	差	削減率	CO ₂ 削減量 [kg]	レジ袋換算 [枚]	従来運用	本システム運用	差	削減率
11/11	土	3,029	52%	13.69	10.19	3.50	25.6%	1.70	52	29.14	25.64	3.50	12.0%
11/12	日	2,204	57%	8.30	6.80	1.50	18.1%	0.73	22	23.63	22.12	1.51	6.4%
11/13	月	1,548	66%	12.46	8.06	4.40	35.3%	2.14	65	27.88	23.49	4.39	15.7%
11/14	火	1,600	65%	12.52	8.73	3.79	30.3%	1.85	56	27.95	24.15	3.80	13.6%
11/15	水	1,670	64%	14.68	9.76	4.92	33.5%	2.40	73	30.12	25.19	4.93	16.4%
11/16	木	1,739	65%	11.40	8.19	3.21	28.2%	1.56	47	26.80	23.59	3.21	12.0%
11/17	金	1,578	64%	6.42	5.12	1.30	20.2%	0.63	19	21.64	20.34	1.30	6.0%
11/18	土	1,370	63%	5.24	4.11	1.13	21.6%	0.55	17	20.58	19.45	1.13	5.5%
11/19	日	1,787	63%	8.12	6.19	1.93	23.8%	0.94	28	23.36	21.43	1.93	8.3%
11/20	月	1,500	65%	8.88	6.67	2.21	24.9%	1.08	33	24.20	21.99	2.21	9.1%
11/21	火	1,838	63%	8.98	7.31	1.67	18.6%	0.81	25	24.38	22.71	1.67	6.8%
11/22	水	1,995	60%	7.10	6.54	0.56	7.9%	0.27	8	22.49	21.92	0.57	2.5%
11/23	木	3,107	51%	11.42	8.95	2.47	21.6%	1.20	36	26.83	24.36	2.47	9.2%
11/24	金	1,929	58%	3.01	3.01	0.00	0.0%	0.00	0	18.15	18.15	0.00	0.0%
11/25	土	1,993	61%	11.03	8.24	2.79	25.3%	1.36	41	26.41	23.62	2.79	10.6%
11/26	日	2,525	56%	13.00	9.58	3.42	26.3%	1.67	50	28.40	24.98	3.42	12.0%
11/27	月	1,710	64%	8.54	6.22	2.32	27.2%	1.13	34	23.78	21.46	2.32	9.8%
11/28	火	1,303	67%	6.12	4.68	1.44	23.5%	0.70	21	21.20	19.75	1.45	6.8%
11/29	水	1,228	68%	6.58	5.17	1.41	21.4%	0.69	21	21.81	20.40	1.41	6.5%
11/30	木	1,111	70%	6.09	4.98	1.11	18.2%	0.54	16	21.37	20.26	1.11	5.2%
12/1	金	1,064	66%	8.51	6.32	2.19	25.7%	1.07	32	23.80	21.61	2.19	9.2%
12/2	土	※天候により観測不能	60%	15.62	9.31	6.31	40.4%	3.07	93	30.96	24.66	6.30	20.3%
12/3	日	※天候により観測不能	69%	9.61	7.51	2.10	21.9%	1.02	31	24.92	22.82	2.10	8.4%
12/4	月	1,296	69%	11.61	8.02	3.59	30.9%	1.75	53	26.98	23.39	3.59	13.3%
12/5	火	1,142	71%	13.27	8.26	5.01	37.8%	2.44	74	28.61	23.59	5.02	17.5%
12/6	水	1,532	68%	11.08	7.63	3.45	31.1%	1.68	51	26.43	22.99	3.44	13.0%
12/7	木	1,135	67%	5.87	5.00	0.87	14.8%	0.42	13	21.12	20.25	0.87	4.1%
12/8	金	1,374	68%	9.28	6.83	2.45	26.4%	1.19	36	24.60	22.15	2.45	10.0%
12/9	土	1,833	62%	5.94	5.94	0.00	0.0%	0.00	0	21.29	21.29	0.00	0.0%
12/10	日	1,784	64%	10.82	7.89	2.93	27.1%	1.43	43	26.12	23.20	2.92	11.2%
合計		47,924	64%	285.19	211.21	73.98	25.9%	36.03	1,092	744.95	670.95	74.00	9.9%

注) 交通量及び無交通時間比率は昼間10時間（7-17）の値とする
CO₂削減量)環境省「主要な電気事業者のCO₂排出係数(R4年度実績)」北陸電力の基礎排出係数：0.487[kg-CO₂/kWh]より算出
レジ袋換算) 一社) 環境エネルギー・事業協会 レジ袋を1回断ることによるCo2削減量 33g-Co2/枚

●電力削減効果まとめ

項目	従来運用の場合	本システム運用の場合	電力比率
起点側：入口照明[kWh]	6.85	5.25	76.7%
終点側：入口照明[kWh]	6.85	4.94	72.1%
入口照明計[kWh]	13.69	10.19	74.4%
入口照明の電力削減率			25.6%

制御システム対象外の基本照明も加えたトンネル照明全体

基本照明[kWh]	15.45	15.45	100.0%
トンネル照明合計[kWh]	29.14	25.64	88.0%
基本照明も加えたトンネル照明全体の電力削減率			12.0%

時間帯	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	合計
時間交通量(台/h)	14	15	15	14	19	28	83	168	208	228	339	354	291	345	399	401	296	196	130	94	60	48	34	19	3798台/日
無通行時間比率(%)	93	95	93	94	92	89	79	66	63	62	51	46	49	48	41	42	49	58	66	72	81	85	90	93	71%
電力量(※パル無)(kWh)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.65	1.71	2.17	2.57	2.85	2.77	2.17	2.17	2.17	1.62	1.05	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	29.14kWh
電力量(※パル有)(kWh)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.65	1.53	1.74	1.90	2.16	2.19	1.84	1.85	1.89	1.57	1.05	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	25.64kWh
電力比(%)	100	100	100	100	100	100	100	89	80	74	76	79	85	85	87	97	100	100	100	100	100	100	100	100	88%



図-4 電力削減率が検証期間平均値(25.9%)に近い11月11日の検証データ

電力削減率の結果は上述のとおりであるが、降雪等により正常に観測出来なかった日を除く26日間の交通量データ（26日×24h×2方向=1,248）を元にして時間交通量と無通行時間比率（省エネ運転の時間的比率）との関係を求めた。

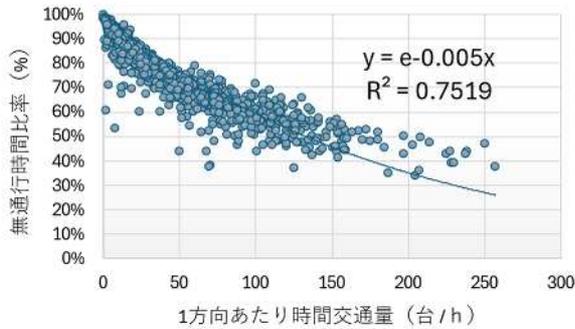


図-5 時間交通量と無通行時間比率との関係

これによれば、時間交通量が少ないほど無通行時間比率は高くなり、時間交通量を与えれば無通行時間比率を求めることができる。

図-5は検証期間のみのデータではあるが、無通行時間比率に関しては時間交通量が同じであれば定性的に次のことがいえる。

- ・制御対象区間長さが短いほど無通行時間比率が高い
- ・通行車両の速度が高いほど無通行時間比率が高い
- ・交通流が「密」なほど無通行時間比率が高い

他のトンネルでも同様にデータを収集し、上述の要素に着目しながら整理することにより、省エネ効果を予測できる可能性を高めていくことが有効と考える。

6. 今後の展望

検証の結果は昼間10時間交通量が1,712台/10hで入口照明の電力削減率は25.9%であった。検証期間中のCo2排出削減量は約36kg-Co2であり、レジ袋を1,092回断る所作に相当する。

また、交通状況を連続的に観測したことによって時間交通量と無通行時間比率との関係を定量的に把握することができた。今後、同様の照明制御システムを導入する際の参考データとして活用できれば幸いである。

現在、近畿地方整備局が管理する道路では、電気使用量の約7割を道路照明が占めている状況である。このため、従来の高圧ナトリウム灯などよりも消費電力が大幅に削減できるLED灯に転換することにより、Co2排出量の削減を推進しているところであるが、本技術のようなセンサー照明の新技術導入による更なる削減も進めている、脱炭素社会の実現を目指していきたいと考えている。

園部大橋上部工における 技術的課題とその対応について

東口 洋介¹

¹近畿地方整備局 京都国道事務所 京都第二維持出張所 (〒604-8416京都市中京区西ノ京星池町213)

国道9号南丹市園部町本町地区では歩道整備事業の一環として園部大橋の架替え工事が行われており、本工事は園部大橋に新設橋梁を製作・架設する上部工の1期工事である。

本文では、本工事の現場条件および構造特性に対する技術的課題とその対応内容について述べる。

キーワード リバーブリッジ, 溶接ロボット, 出水期施工, 暫定供用

1. はじめに

本工事は、国道9号南丹市園部町本町地区歩道整備事業の一環として、京都府南丹市を流れる一級河川である園部川を横過する園部大橋の架替え工事である。工事概要、完成時の状況(写真-1)を以下に示す。

工事概要

- (1) 工事名：国道9号園部大橋上部1期工事
- (2) 工事場所：京都府南丹市園部町上本町地先
～河原町地先
- (3) 工期：2022年6月9日～2023年11月29日
- (4) 橋梁形式：2径間連続中空合成床版橋
- (5) 橋長：62m
- (6) 支間長：36.35m+24.35m

施工内容として、工場製作工、鋼橋架設工、橋梁現場塗装工、床版工、橋梁付属物工となっている。

橋梁形式は、「出水期には河積阻害率を悪化させないこと」、「現況の流下能力を低下させないこと」、「橋



写真-1 園部大橋上部1期工事

脚は基準径間以上を確保すること」の条件から、総合的に優れる中空合成床版橋を選定している。

2. 合成床版橋の特徴

本工事で採用された合成床版橋(以下、リバーブリッジと称す)は、中小支間において適用されるコンクリート床版橋の主桁フランジに鋼突起付きT形鋼を使用することで、経済性を失うことなく構造高を支間長/構造高比は1/30～1/42、桁端部の高さは最小30cm程度まで低くできる橋梁形式である。計画高水位と計画道路高に余裕がない場合においてもリバーブリッジであればゆとりある道路線形の計画が可能である。

ずれ止めは、合成構造において鋼・コンクリートを一体として挙動させるための重要な役割を担う。リバーブリッジではこのずれ止めとして、主桁にDFTを使用している。DFT(Deformed Flange T-Shapes)とは、フランジ外面に圧延時に成形した横節状の突起を有するH型鋼(Deformed Flange H-shapes)を高さ方向に切断したT形鋼の呼称である。主桁高は継ぎ足しウェブの高さによって調整する。

リバーブリッジは図-1のとおり、充実タイプと中空タイプに二分され、支間長によって分別される。支間長が20m程度までは充実タイプ、それを超える場合は中空タイプを標準としている。本工事では支間長が20mを超えるため中空タイプを採用した。

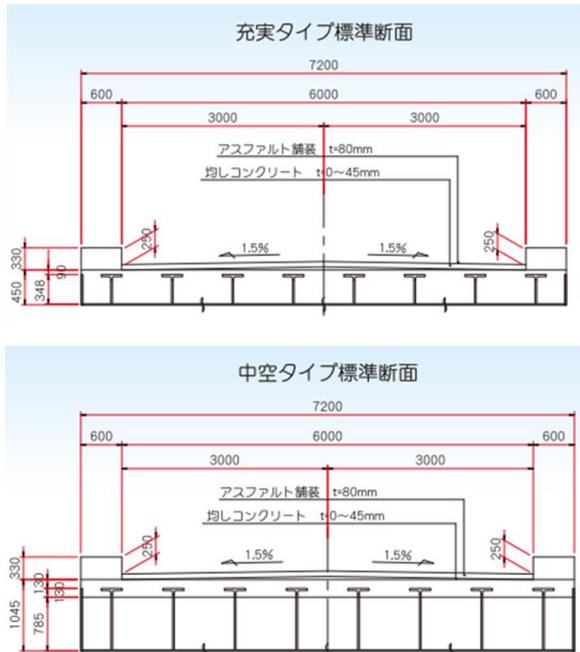


図-1 リバーブリッジ標準断面図

3. 桁製作における技術的課題とその対応

(1) 技術的課題

桁製作の課題としては、板厚12mmの薄い底鋼板と主桁ウェブが連続して溶接される点にある。薄板には溶接による多量の入熱が入ることにより、収縮・ひずみが発生する。そのため、部材寸法・平坦度に影響することから、下記2点の課題を生じる。

- a) 溶接入熱による部材の収縮
- b) 不均等なひずみが発生することによる底鋼板平坦性への影響(図-2参照)

(2) 課題への対応

a) 溶接入熱による部材の収縮対応

過去の実績を踏まえ、パネルごとに、構造に応じて(縦リブあり、なし等を踏まえ)溶接で縮むことを想定し、鋼材の長さを伸ばして(0.3mm/m~0.5mm/m)を製作データに付加してモデリング(原寸)を行い、切断加工を行った。その結果、最終的に各部材溶接収縮後の形状で部材精度を保つことができた。

b) 不均等なひずみが発生することによる底鋼板平坦性への影響

底鋼板平坦性に対して主に影響する主桁ウェブと底鋼板を、溶接作業による半自動溶接(炭酸ガスアーク溶接)から写真-2に示すロボットによる溶接に変更した。ウェブプレート両側の溶接をロボットで同時に溶接することにより、底板のひずみ低減を図ることができた。また、電子制御によるトーチの均一な移動により、部材製

作後、本工事は全量の実仮組立(写真-3, 4, 5参照)を1度で行い仮組立精度の確認を行った。ここまでの対応により、最終的に仮組立精度・部材精度は計測点数のうち90%を規格値の50%以内に収めることができた。

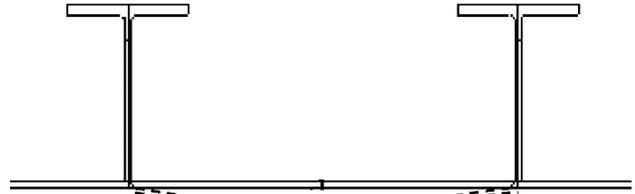


図-2 底鋼板ひずみイメージ図



写真-2 ロボットによる溶接状況



写真-3 平坦度確認状況



写真-4 仮組立搭載



写真-5 仮組立全景

4. 現地施工における技術的課題とその対応

(1) 技術的課題

a)出水期施工時の桁下作業

本事業(図-3参照)は下部工事を濁水期、上部工事を出水期に施工することで早期に架替えを行う計画であった。しかしながら、河川内における施工については近年豪雨災害の激甚化・頻発化に伴い、出水期施工期間はHWL+1m以上の施工を厳守する必要があった(図-4参照)。本工事では架設工及び支承工において橋梁下における作業が発生するため、上記条件を満足した施工計画の立案が必要であった。

b)将来系を見越した暫定供用時の対応

本事業は将来的に橋梁幅を拡幅する計画であり、本工事の施工後に、走行車線ラインの切替えや歩車道境界ブロックの増設が予定されていた。本橋を暫定系として供用させるため、完成系の構造物を予め本工事の構造に設置する必要があった。暫定系では、橋梁幅拡幅時必要な歩車道境界の継手鉄筋及び一部の排水柵が舗装内に埋設する構造となっていたため、橋梁幅拡幅時に問題なく施工できるように対応が必要であった。(図-5参照)

(2) 課題への対応

a) 出水期施工時の桁下作業への対応



図-3 園部大橋上部1期工事 側面図

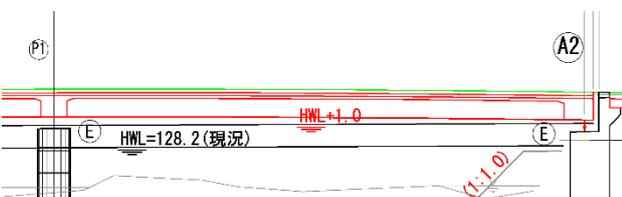


図-4 本工事とHWLの関係

出水期に河川上で施工が必要な箇所として、A1, P1, A2の支承工における無収縮モルタル打設作業, J3の現場継手工における鋼橋架設時の添接作業が挙げられる。上記の作業において桁下での作業が必要となり、協議事項であるHWL+1.0m以上高を満足できる施工案の検討を行った。

施工案として、「①案：吊足場をHWL+1.0m以上高となるよう橋桁の高さを嵩上げる」、「②案：吊足場をHWL+1.0m以上高となるよう都度巻上げる構造にする」という案を検討することとした。①案では、各支承を鋼製サドル材で嵩上げを行って架設作業を実施、濁水期に入った後に油圧ジャッキを使用して橋梁を所定の高さまでジャッキダウンするという施工方法である。吊足場をHWL+1.0m以上にでき桁下作業が可能となるが、濁水期以降も作業が必要となり、予定工期を厳守することが困難であった。②案では、架設作業中に吊足場を組立て、吊足場に設置したワイヤー及びレバーブロックを使用して吊足場をHWL+1.0mまで都度巻上げる施工方法である。作業時は一時的にHWL+1.0m内に立ち入る必要が生じるが、作業後は直ちに足場の巻上げを行うことで、河川の増水時に吊足場が流出するリスクを排除することが可能になるとともに、工程に大きな影響を与えることなく施工が可能となる。表-1に以上の検討結果を整理したものを示す。

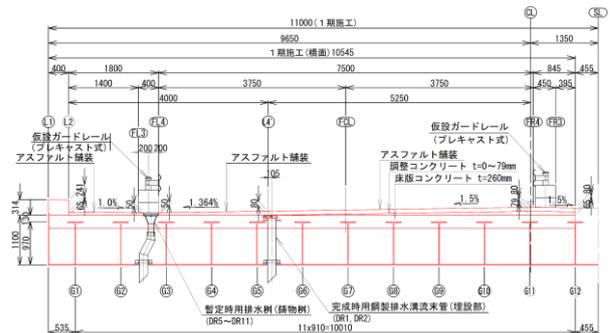


図-5 園部大橋上部工事標準断面図(暫定系)

表-1 施工案比較

通常系 吊足場を組み立てる		①案 吊足場をHWL+1.0m以上高となるよう橋桁の高さを嵩上げる		②案 吊足場をHWL+1.0m以上高となるよう巻上げる構造にする	
概要	・桁下作業が発生する前に吊足場を組み立てて作業を実施する。				
河川協働条件	・HWL+1.0m以下に吊足場を設置することになる。	評価	×	・HWL+1.0m以上高となるため満足している。	評価
施工性	・従来の施工方法のため施工性に問題はない。	評価	○	・吊足場を巻上げる作業が追加となるが、桁下作業は通常通り施工可能である。	評価
工程面	・従来の施工手順のため工程面に影響はない。	評価	○	・施工手順に大きな変更はないため、工程面に大きな影響はない。	評価
総合評価	河川協働条件を満足しないため×とした。	評価	×	河川協働条件、施工性、工程面を総合的に判断して○とした。	評価
概要					
河川協働条件	・HWL+1.0m以上高となるため満足している。	評価	○	・HWL+1.0m以上高となるため満足している。	評価
施工性	・桁下作業は通常通り施工可能であるが、濁水期中に吊足場を組立てないといけない。	評価	△	・吊足場を巻上げる作業が追加となるが、桁下作業は通常通り施工可能である。	評価
工程面	・通常作業に加えて、橋梁のジャッキダウン等の追加作業を濁水期に施工する必要がある。	評価	×	・施工手順に大きな変更はないため、工程面に大きな影響はない。	評価
総合評価	工期内で施工が不可能となり工程面に影響が大きい×とした。	評価	×	河川協働条件、施工性、工程面を総合的に判断して○とした。	評価

結果として、「②案：吊足場をHWL+1.0m以上となるよう巻上げる構造にする」を提案し、河川管理者から承認を得ることが出来た。(図-6, 7参照)

これにより、出水期間中に架設工及び支承工において制約条件を満足しつつも、工程を遵守して施工することが出来た。

b) 将来系を見越した暫定供用時の対応

本橋の付属物の配置図を図-8に示す。歩車道境界配筋用の継手鉄筋において本工事の完工時に機械式継手が露出する状態となる。暫定供用のため舗装を実施した際、機械継手内に合材等が流入し完成時の歩車道境界の施工を実施する際に目詰まりが発生し将来工事において機械式継手を使用できなくなる懸念があった。

また、完成時の排水柵は暫定時供用時仮フタを設置して舗装直下に埋設した状態となる。しかし、暫定時に排水柵の直上は車道として利用されるため、暫定供用時に車両の通行により仮フタがたわみ、舗装が損傷することが懸念される。そのため将来工事や暫定供用時を見越した、配慮を当工事で行う必要があった。

歩車道境界の継手鉄筋の養生方法として、機械継手の径に対応した仮ボルトを設置した。また、床版水抜きパイプ床版突出部施工要領図(図-9)と同様に舗装に使用する合材等の温度に対して耐久性のある養生テープをボルトの頭に追加で貼付することによりボルトと機械継手の隙間から舗装材料が流入し、機械式継手の目詰まりが発生しないよう対策を行った。(写真-6参照)

暫定供用時に車両通行時の仮フタのたわみによる舗装の損傷を防止するためには、仮フタ下の排水柵内を何らかの部材で一時的に充填させ、完成時の施工の際に容易に

撤去できる構造にすることが望ましい。以上を踏まえて本工事では、排水管接続部に鋼板を設置した上で空洞に砂を充填することにより排水柵内を密閉することで、暫定供用時の仮フタのたわみによる舗装の損傷の懸念を解消した。

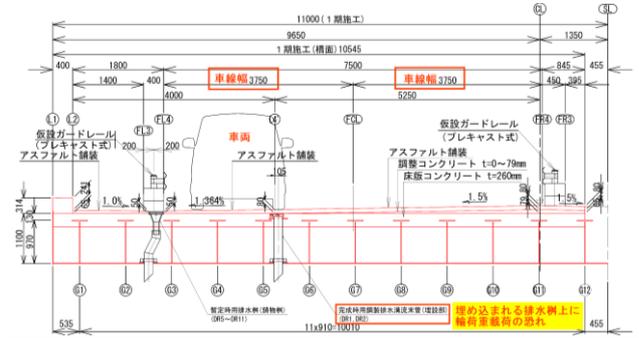


図-8 橋梁付属物配置図

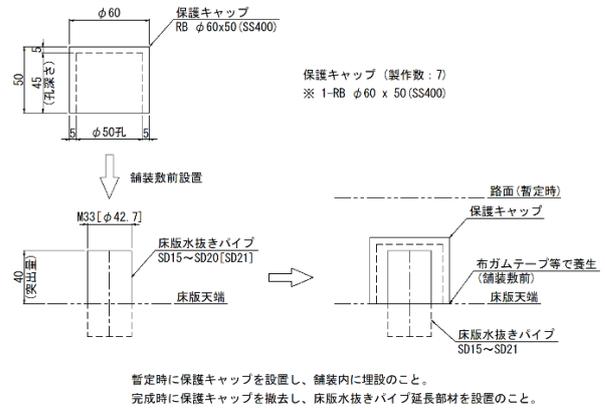


図-9 床版水抜きパイプ床版突出部施工要領図

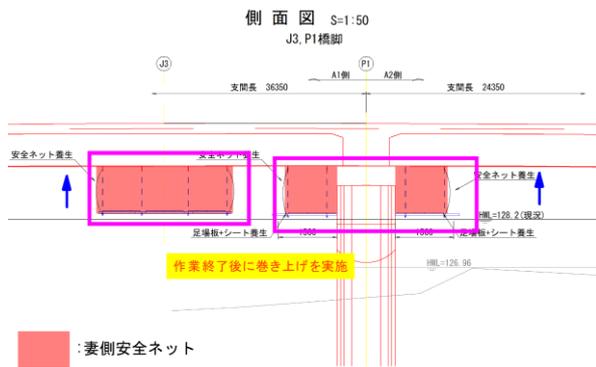


図-6 吊足場計画図



写真-6 機械継手養生状況

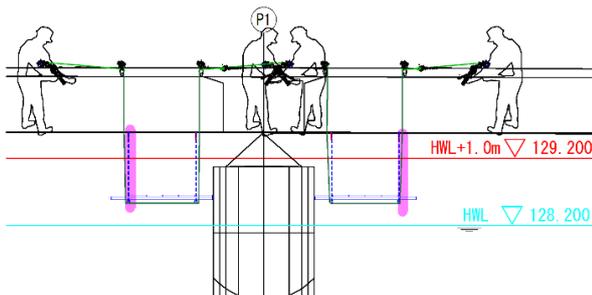


図-7 吊足場巻上げ詳細図

5. おわりに

リバーブリッジは計画水位と計画道路高に余裕がない場合においてもリバーブリッジであればゆとりある道路線形の計画が可能であるが、本工事における製作及び現地施工の課題点を洗い出し、対応策を述べた。他のリバーブリッジ案件において、製作及び現地施工の検討をする際の参考の一助となれば幸いである。

謝辞：本工事に対してご尽力、ご協力いただきました関係機関の皆様に深く御礼申し上げます。



写真-7 排水柵鉄板養生状況



写真-8 排水柵密閉状況

生コンクリートの 需給調整について

澤田 修佑

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 紀勢線出張所 (〒649-2621和歌山県西牟婁郡すさみ町周参見2947)

紀南河川国道事務所が進めるすさみ串本道路事業では、全線供用に向けて、トンネル16本・橋梁19橋を含む大型構造物工事が多数同時に稼働している。工事進捗に伴い、コンクリートの需給問題が発生した。本研究はコンクリートの需給問題に対し、紀南河川国道事務所にて対応を行ったものである。

キーワード 生コンクリート、道路改築、事業計画

1. はじめに

紀南河川国道事務所が進める一般国道42号すさみ串本道路事業は、和歌山県東牟婁郡串本町サンゴ台から同県西牟婁郡すさみ町江住に至る19.2kmの自動車専用道路である。紀伊半島南部に位置するこの地域では、大雨によるのり面崩落、台風による越波などにより被災するリスクの高い箇所が多数存在している。また、南海トラフ巨大地震の発生時には、津波の襲来により並行する国道42号において最大6割の区間が浸水し、通行不能となることが予測されている。2024年元日には能登半島地震が発生し、津波によって甚大な被害がもたらされたが、すさみ串本道路沿線でも同様の被害が生じる可能性は高く、「命の道」である高規格道路の整備が地域から望まれて

いる。

すさみ串本道路の一日も早い全線供用に向けて、紀南河川国道事務所では工事を全面展開している。令和5年度下半期には、トンネル10本・橋梁19橋を含む大型構造物に関する工事が多数同時に稼働していた(図-1)。

これほどまでに大型構造物に関する工事が事業の後半で集中しているのは、すさみ串本道路事業がJR紀勢本線と並行する位置で進められていることによる。建設予定地と主な輸送路である国道42号との間にJRの線路が存在し、踏切との交差道路は高さ制限が3m未満の箇所もある。それゆえ、新たな工事用道路を既存道路とは別に設けた後で、ようやく本線構造物の工事に着手できる状況だった。



図-1 すさみ串本道路の全景

工事用道路の整備が完了し、2023年度以降、大型構造物に関する工事発注手続きを進めていたところ、新たに生コンクリートの供給能力に関しての課題が浮上した。一日も早い開通に向け、トンネルや橋梁の工程短縮案についても検討していたところ、地域におけるコンクリートの供給能力によっては、工程短縮が難しいことが判明した。工事発注時の積算工程をもとにコンクリートの必要量を算出したところ、最大で10,000m³/月の需要が9か月続くと見込まれていた。特に、コンクリート橋上部工については、コンクリート打設後の収縮量を加味して鉄筋量などが計算されており、一度施工を開始すると設計通りの施工日数で作業を進める必要がある。それゆえ、必要なコンクリート量を事前に確保しておく必要が生じていた。

このような懸念事項に対応するため、紀南河川国道事務所では、工事発注前に地域の生コンクリート協同組合と意見交換を実施し、プラントの供給能力を把握した上で、事業工程に応じたコンクリート需要の見込みを、需要増大前に情報提供して来たほか、施工業者の打設計画や要望等を取りまとめて調整を重ねた。

2. 生コンクリート調達に関する課題

生コンクリートの調達に関する課題について、より詳細に対応方法を検討するため、施工業者・生コンクリート協同組合双方の意見を、紀南河川国道事務所から聞き取った。

(1) 施工業者へのヒアリング

2022年度以前にすさみ串本道路に関する工事を受注していた施工業者に、コンクリート調達に関する課題を聞き取った。その結果、「工程を前倒しに行っても、生コンクリートの打設ができないため、工程に余白ができてしまうだけであり、工程短縮を行っても意味がない。」「5か月前に予約して生コンクリート打設日が決まってしまう。」といった意見が挙げられた。

(2) 生コンクリート協同組合による課題提起

生コンクリート協同組合には、月最大10,000m³の供給が可能かどうかを中心に、供給における課題を聴取した。その結果、主に下記の3点が課題として挙げられた。

a) 早強コンクリートの調達

すさみ串本道路では、片持ち張り出し工法によるコンクリート橋上部工事を7橋予定している。これらは全て、早強ポルトランドセメントを用いた生コンクリートが必要となる。紀南地域では、早強ポルトランドセメントを100km離れたセメント工場から入荷しているコンクリートプラントも存在し、貯蔵施設・運搬車両の運用を含めた調整が求められている。

b) アジテーター車の不足

早強コンクリートの需要が集中する場合を除いて、組合内のプラントにおける生コンクリートの生産量には余裕があると考えられる。だが、アジテーター車の不足により運搬量が制限される可能性があった。

c) 施工サイクルによる制限

三つ目は、施工上の問題である。工期が決まっている中、片持ち張り出し架設工法のサイクルや、トンネル覆工の後追いでインバート工を行う必要がある場合など、発注時から打設日やセメントの種類が決まっている場合、別工事で生コンクリートが必要となった際に、プラントの対応が難しくなる。

生コンクリート協同組合と調整を行うにあたり、すさみ串本道路事業の残工事量より、必要となる生コンクリートの量を調査した結果、第一回調整会議の時点で2023年度に100,000m³、令和6年度に70,000m³となった(表-1)。

第一回調整会議の結果をもとに作成した、月ごとの生コンクリート需要を図-2に示す。ピークは、10,000m³/月以上の打設が2023年8月から2024年4月の9か月間となる。また、早強コンクリートの打設量は、最大で2024年10月の3216m³/月となり、1日の打設量は約160m³となる。

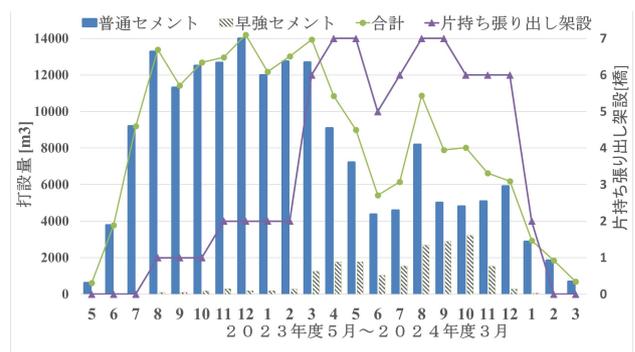


図-2 生コンクリート需要の予測結果

表-1 年度別生コンクリート需要量

年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	事業全体
需要量[m ³]	3,500	2,400	28,600	63,600	100,000	70,000	268,100
割合	1.3%	0.9%	10.7%	23.7%	37.3%	26.1%	100%

3. 生コンクリート協同組合との調整

(1) 第一回調整会議

第一回調整会議は2023年2月に行った。2023年度以降、生コンクリートの需要が高まるため、供給能力や打設日の調整について議論を行った。生コンクリート協同組合から以下の意見が挙げられた。

a) 生コンクリートの供給量について

生コンクリート協同組合の出荷能力として、年間100,000m³の供給であれば十分可能。ただし、打設時期が集中した場合供給が厳しくなる。組合で保有しているアジテーター車のみ使用した場合、月毎の最大出荷能力は10,000m³となる。打設量が月10,000m³を超える場合、遠方からチャーターするなどにより出荷能力を向上させることで対応可能となる。チャーターを行うため、月毎の需要表がほしい。

b) 早強コンクリートの出荷について

生コンクリート協同組合では、セメントサイロを普通セメント、高炉スラグセメント用に各1基保有しており、普通セメント、高炉スラグセメントをストックしている。早強セメントを出荷する場合、事前に普通セメントのセメントサイロを空にして早強セメントをストックしなければならないため、同時期に普通セメント、高炉スラグセメント、早強セメントの出荷が重なった場合、出荷することができない。早強セメント専用のセメントサイロを増設することで出荷可能だが、コンクリート需要を確認し、調整する必要がある。

c) 生コンクリートの打設調整について

5か月前に打設日が決まっているというのは、天候により工程が左右されないトンネル工事の予約が入っているためである。

工事業者との生コンクリートの契約は、基本的には組合で行っている。打設日の調整について、組合で各工事にメイン・サブプラントを割り当て、工事とメインプラントで調整を行い、出荷できない場合は、組合が調整依頼を受けてサブプラントで対応している。

打設日の調整、前倒しについて、すべて許容することは不可能だが、調整し、できる限りの対応を行う。

夜間における生コンクリートの出荷は、プラントにアジテーター車に戻った後、洗浄時間が2時間必要となる。翌日の出荷に影響するため、原則20時打設終了としている。ただし、個別調整は可能。

以上の生コンクリート協同組合からの意見に対し、紀南河川国道事務所として下記の対応を行った。

a) 生コンクリートの需要量について

施工中の工事の他に、残工事数量より、発注スケジュールと各工事の工程を考慮し、月ごとの生コンクリート需要の予測(図-2)を行い、結果を生コンクリート協同組合と共有した。

b) 早強コンクリートの需要について

早強コンクリートが必要となる橋梁の、発注時期および位置関係がわかる資料(図-3)を生コンクリート協同組合と共有した。

(2) 第二回調整会議

第二回調整会議は2023年6月に行った。生コンクリート需要増大を目前に、生コンクリート供給量の増加について議論を行った。生コンクリート協同組合から以下の意見が挙げられた。

a) 生コンクリートの供給量について

生産能力不足とは考えていないが、アジテーター車の台数及びサイクルタイムが課題となっている。中でも現場までの距離が重要と考えている。

b) 生コンクリートの打設調整について

深礎工のように400~500m³/日の出荷が決まっている場合、単独のプラントでは他の予約を受けることが困難となる。また、コンクリートの打設は午前中に出荷が終了することが通例のため、午後からの打設であれば、出荷することが可能と考える。ただし、施工業者に情報が伝わっているかわからない。

c) 割当プラントの増加について

施工業者との契約は、雨等の影響により打設予定日が変更となった場合に備え、メイン・サブのプラント契約を行っている。組合内のプラントにて第3、第4プラントを設定することは可能であり、打設日の調整がメイン・サブプラントで困難となった際、組合内での調整が容易となる。

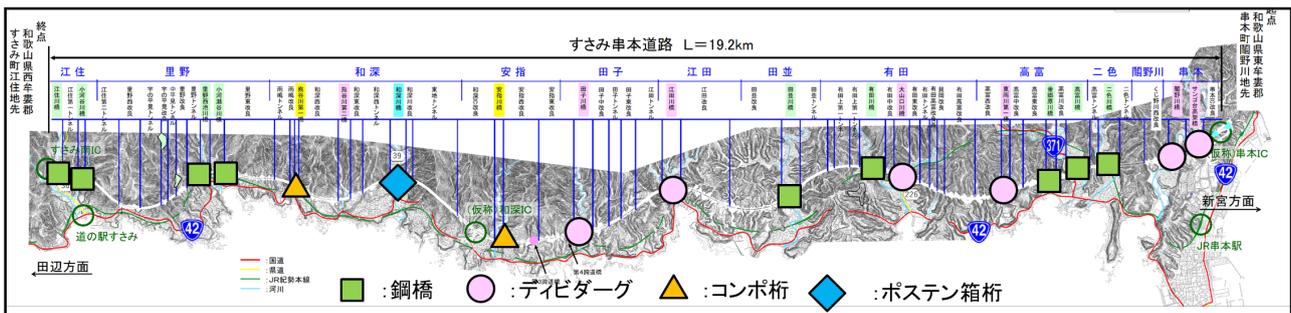


図-3 橋梁の種類と位置

a) **アジテーター車の確保について**

2月より追加で3台確保している。また、5台確保可能であるため、生コンクリート需要量が増加しても対応可能と考えている。組合内でも融通することで対応している。

施工業者がアジテーター車を確保することは、組合として歓迎する。

b) **試験室の人員確保について**

コンクリートの打設が午前中に集中するため、午後から試験を行うことで対応可能である。また、試験が集中した場合には、セメントメーカーから応援増員が可能である。

c) **夜間の出荷について**

各プラントの立地条件にもよるが、民家が隣接していることにより制限される。また、翌日の出荷に支障が出るため、洗浄作業を含め22時までにはプラントを閉める必要がある。

以上の生コンクリート協同組合からの意見に対し、紀南河川国道事務所として下記の対応を行った。

a) **生コンクリートの打設調整について**

午後の打設について、事務所として施工業者へ午後打設による計画を依頼した。

b) **割当プラントの増加について**

打設可能なプラントを前もって増やしておくために、生コンクリート協同組合の全プラントと契約し、事前審査の書類を提出するように施工業者へ依頼した。

(3) **第三回調整会議**

第三回調整会議は2024年2月に行った。早強コンクリートの需要が高まるため、早強コンクリートの供給量や打設計画について議論を行った。生コンクリート協同組合から以下の意見が挙げられた。

a) **早強コンクリートの供給量について**

打設時期を事前に共有すれば160m³/日程度は可能となる。ただし、200m³/日となると対応が難しくなる。

組合内の一つのプラントからであれば、300~400m³/日程度出荷することができるが、アジテーター車の確保が課題となる。

また、コンクリートを供給したセメントサイロを一日で充填しきるのは難しいため、工程計画の際に留意していただきたい。

b) **バラセメント車について**

バラセメント車については、大阪の業者を利用しているプラントもあるため、他事業と取り合いになる可能性がある。

c) **アジテーター車について**

アジテーター車が不足している。アジテーター車の確

保については、日本全国をまわっている業者に依頼する方法と、生コンクリート協同組合共同で購入することも考える必要がある。

生コンクリートの供給予定に対し、予備日を設けているが、供給の効率が悪くなってしまう。

可能であれば日割り工程をいただきたい。

d) **生コンクリート打設可能日について**

現時点では概ね第二、第四土曜日が休みとなっているが、第二、第四土曜日も稼働を予定している場合でも、単価の割増しは生じない。

以上の生コンクリート協同組合からの意見に対し、紀南河川国道事務所として下記の対応を行った。

a) **早強コンクリートの需要について**

早強コンクリートの打設は、最大2工事までになるよう調整を行った。また、各橋梁の施工開始日を曜日で割り振らなければ、早強コンクリートが供給できなくなる可能性があるため、調整を行った。

b) **日割り工程について**

1年分の日割り工程を施工業者から提出し、順次ブラッシュアップする方法で調整を行った。

c) **生コンクリートの打設可能日について**

生コンクリートの打設予備日を、第二、第四土曜日とするよう調整を行った。

4. **まとめ**

以上のように、すさみ串本道路の事業を円滑に進めるため、紀南河川国道事務所では施工業者・生コンクリートプラントから寄せられたコンクリート調達に関する課題に対して、両者との意見交換や情報提供を通して解決に向けた取組を実施した。具体的には、生コンクリート需要のピーク時に対し、残工事量より月毎の需要量を算出、生コンクリート協同組合との需要スケジュールの情報共有や、施工業者との打設日の調整を行うことにより、生コンクリートの供給を行うことができた。また、早強コンクリートの供給量の制限に対し、生コンクリート協同組合との需要スケジュールの共有、施工業者との打設日程の調整により早強コンクリートの供給を行うことができた。

今後、道路改築事業のみならず、災害復旧や国土強靱化などの取組のため、一時的にコンクリート需要が集中することは想定される。その際には本件のように、発注者・施工業者・コンクリート供給者が事前に協議・調整をする仕組みが導入されれば、円滑な事業推進に寄与すると期待している。

舗装点検支援技術の活用について

人羅 真一

¹近畿地方整備局 道路部 地域道路課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

2023年3月に舗装の点検支援技術性能カタログが拡充され、舗装点検においては本カタログの積極的な活用が求められた。そこで、滋賀国道事務所ではこれまで目視で舗装を点検していたが、スマートフォンをパトロール車に取り付けて舗装を評価できる点検支援技術を活用した。本編では活用した点検支援技術の概要および結果、より活用するための今後の展望を記す。

キーワード インフラDX, AI技術, スマートフォン, 舗装点検

1. はじめに

滋賀国道事務所は、国道1号、8号、21号、161号の計4路線、総延長242.8kmを管理している。車線延長としては、約639kmであり、これらを3つの維持出張所で管理している。

これまで、当事務所では舗装点検に関して、維持出張所の職員により目視点検を実施してきた。評価区間については、舗装点検要領記載の10mごとにはなっておらず、維持出張所ごとで管理しやすい区間にて設定しており、長いものでは区間長が最長で2,200mとなっている区間もあった。

また、現地での点検作業と維持出張所へ戻ってからのとりまとめ作業に要する時間が非常に負担となっていた。

そして、目視点検を行うには、点検者の技量が一定必要であり、先立っての教育、訓練が必要である。また、教育後であっても個人差も出やすいことから、点検結果の質の画一化の課題も有していた。

そこで、当事務所では、基礎情報の再構築と従来までのやり方からの転換を目指し、2023年3月に拡充された舗装の点検支援技術性能カタログを活用して2023年度の舗装点検を実施した。

2. 技術の選定

当事務所に適した舗装点検技術を選定するにあたり、必要な要件を整理した。

- (a) 点検支援技術性能カタログに掲載された技術であること。
- (b) 維持出張所のパトロール車に搭載するため、可搬式測定機器であること。
- (c) 1台の機器でひび割れ、わだち掘れ、IRIの3項目の同時取得が可能であること。
- (d) 職員での操作を想定しているため、専用オペレータがいらず簡単に操作できること。

表-1 点検支援技術性能カタログ【舗装編】掲載技術一覧

3. 選定技術の概要

検討の結果、スマートフォンを用いて測定する技術を選定した。測定機器の仕様を表-2に、その技術の概要モデルを図-1に示す。

表-2 測定装置の仕様

項目	方式	性能
測定装置	距離	方式：GPS測位 距離分解能：1m
	ひび割れ	方式：iPhoneのメインカメラ 測定最大幅員：4.0m 測定最大速度：60km/h 測定精度：幅1mm以上のクラック検出 記録：内蔵ストレージ その他：日中測定
	わだち掘れ	方式：iPhoneのメインカメラ 測定最大幅員：4.0m 測定最大速度：60km/h 測定精度：3ランク解析 記録：内蔵ストレージ その他：日中測定
縦断凹凸	方式：iPhoneの6軸センサ 測定最大速度：60km/h 測定最大凹凸度：100mm 記録：内蔵ストレージ 測定精度：±30%（縦断プロフィールメータに対して） その他：IRI（クラス2）算出	

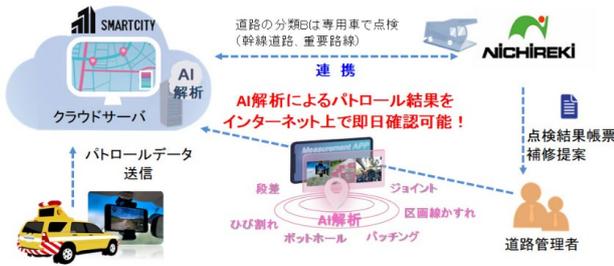


図-1 採用した舗装点検技術

当技術が有する機能を以下に示す。

(1) ひび割れ

ひび割れは、AIが自動で評価範囲および路面に発生したひび割れを検知し、カメラからの距離を踏まえた式を用いてひび割れ率を算出する。

ひび割れの診断は、区分（区分 1：0～20%，区分 2：20～40%，区分 3：40%以上）の 3 ランクで評価する。



図-2 ひび割れ評価の原理

(2) わだち掘れ

わだち掘れは、わだち掘れのランク別の画像をAIが自動で評価範囲および路面に発生したひび割れを検知し、カメラからの距離を考慮した式を用いてひび割れ率を算出する。

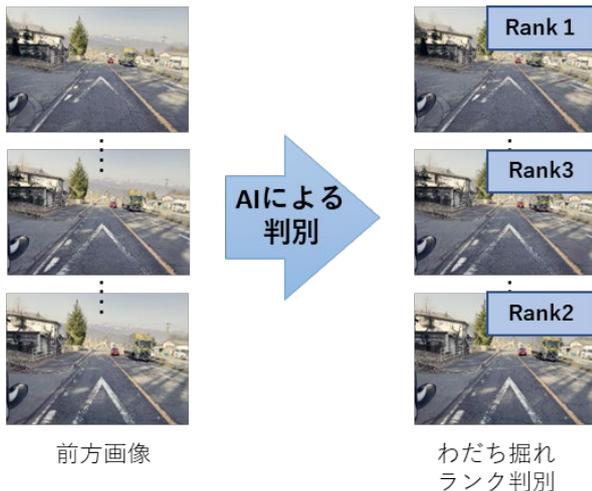


図-3 わだち掘れ評価の原理

(3) IRI

IRIは、スマートフォンから車両ボディの鉛直加速度や角速度等を取得し、路面の縦断凹凸形状を生成し、IRIや段差量を算出する。

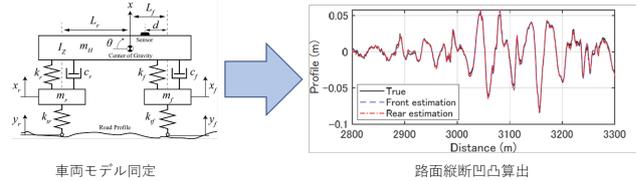


図-4 IRI 評価の原理

(4) その他の評価項目

その他、ポットホール、段差、路面標示（区画線）、道路付属物の不具合等を検知する。

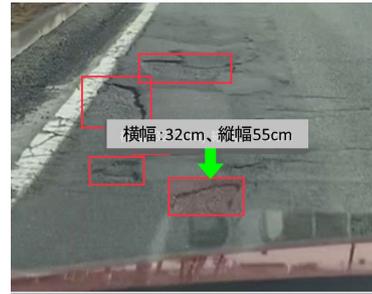


図-5 ポットホールの検知例



図-6 ガードレールの不具合検知例

4. 舗装点検

スマートフォンによる舗装点検の手順は以下のとおりである。①～④までを車内で行い、⑤～⑦は、システムから自動で整理される。⑧は、必要に応じ、システムから実施が可能である。

- ①アプリを起動
- ②スマートフォンを設置
- ③測定開始
- ④走行（撮影）
- ⑤動画から画像を抽出
- ⑥データベースへアップロード
- ⑦インターネットで損傷状態を表示
- ⑧点検記録様式抽出

留意事項としては、スマートフォンが熱くなるおそれがあることから、冷却装置を別途用意しておいた方がよい。雨天時や雨上がりの測定は、避ける。

測定時間については、明るさを確保できる昼間とし、長時間対応は可能であるものの、のちのデータ整理の観点から、2時間程度までが望ましい。

同じくデータ整理の観点から、測定者は、測定日時、路線名、上下車線（走行車線・追越車線）、概算区間長などを測定時にメモしておく方がよい。



図-7 舗装点検手順

2023 年度に当事務所で実施した舗装点検のスマートフォンの取付状況を図-8、図-9 に示す。



図-8 スマートフォン取付状況



図-9 スマートフォン取付状況

5. 測定結果

今回の測定結果と 2022 年度末時点の点検結果の判定区分の割合を表-3 に示す。Ⅲ判定について、当技術では、現時点では「Ⅲ-1」, 「Ⅲ-2」へ振り分けができないため、「Ⅲ」にまとめたもので比較する。

結果、判定区分「Ⅰ」「Ⅱ」の割合が上昇し、「Ⅲ」が減少した結果となった。

これまで区間長が長い状態で判定し、整理していたものを 10m という最小区間にて確認することで、「Ⅲ」と判定されていた区間内において「Ⅲ」ではない箇所が含まれていたことが考えられる。

表-3 判定区分割合

時点	判定区分(%)		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
①2023年度測定時点	52.6	34.7	12.7
②2022年度末時点	37.9	30.6	31.5
①-②	14.7	4.1	-18.8

6. 測定結果の確認の必要性

測定結果をそのまま活用するには、まだ注意が必要であるということがいえる課題も発見できた。その例を2点挙げる。

①補修済み箇所の判定

部分的な修繕が実施できず、維持管理上やむを得ず部分的な補修を実施した路面に対し、「Ⅰ」「Ⅱ」の判定をしている事例があった。原因としては、測定時点では補修が完了していることから、AI が表面を判断し、「Ⅰ」「Ⅱ」判定となったのだが、部分補修を行う前であれば、その箇所は、ポットホールや轍掘れなどの不具合が生じていた箇所である。そのため、応急的に措置する必要がある、対処した箇所であることから、抜本対策はできておらず、しばらくすると再劣化し、状況が悪化する可能性が高いことから、修繕計画を立てる上で、注意が必要な箇所であり、AI の判定に精査が必要である。

②使用材料に伴う誤判定

ひび割れが発生していないにもかかわらず、ひび割れ判定にて「Ⅲ」判定となっている事例があった。原因を調査した結果、AI が判定するに際し、路面の色の濃淡でひび割れを判別していることから、当該箇所の舗装の粗骨材が黒色、細骨材が白色であったため、色の濃淡をひび割れと判断していた。

これらの事象は全体の割合からみると、わずかではあるが、AI による判定結果をそのまま採用するためには、地域特性や道路特性を把握し、補正等を行っていく必要があるものと考えられる。

精度の向上には、継続的な活用が必要で、蓄積されたデータにより、道路管理者に寄り添ったシステムになっていくことを期待する。



図-10 部分補修の箇所



図-11 使用材料による誤判定箇所



図-12 使用材料による誤判定箇所（拡大）

7. 当技術の有効性

簡易な機器を用いた舗装点検は、新たな試みであるにも関わらず、測定が比較的スムーズにできた。また、当技術を活用したことで、測定した結果を数時間後には、クラウド上のサーバで確認することができたことから、日常管理において、活用ができた。

道路利用者の方から問い合わせがあった場合に、速やかに現地状況や舗装の判定区分を確認することができ、維持出張所との情報伝達においても有効であった。さらに、舗装修繕工事の発注計画を立てるにあたり、より詳細な区間割りでの発注計画を立てることが可能となり、修繕したい箇所が限定できるとともに、効率的に選定できた。

8. 当技術の課題

外業がスムーズにできた一方で、内業では当事務所が管理するキロメートル標との整合に時間を費やした。その要因は、当事務所から、キロメートル標の座標を渡せず、道路附図から座標を確認し、合わせたからであった。測定結果は、GPSにて把握できていることから、元となるキロメートル標の座標と繋げる作業に手間がかかってしまった。特に、バイパス整備により新旧接合部でキロメートル標を調整している路線があり、その地点のキロメートル標の確認と位置合わせが必要となり、調べることに時間を要した。この課題に対しては、キロメートル標の位置情報を取り込み、キロメートル標に合わせた点検記録様式を出力できる機能が新たに開発されているので、その機能を活用した運用を期待する。

9. まとめ

道路管理者は、限られた予算、人員の中で効率的に維持管理、点検をしていくことが求められており、それを実現するためには、従来の点検方法から脱却する必要があると考え、舗装点検支援技術の利用を試みた。

点検結果としては、ほとんどが判定区分に即した結果であり、効率性は感じたが、一部については、修正も必要であり、注意する点が確認できた。今回、確認された課題については、既に改良が加えられ改善がなされている。

しかし、今回、測定区間を短くした結果、データ量が膨大になっており、膨大なデータの中には、維持出張所が把握している現地状況の感覚と乖離がある区間があるかもしれない。そういった点を改善していくためにも、一度きりの利用で終えず、継続的に利用し、点検結果の更なる精度向上、そして道路管理者として使いこみ、点検のみならず、日常管理の負担軽減に繋げなければならない。

当技術に限らず、他も含め、技術開発は日々進化していることから、担当者としては、情報は広く入手し、活用の可能性を日々模索しておく必要があると改めて感じた。

謝辞：本論文作成にあたり、(株)ニチレキ 岡村様には、ご協力賜りこの場を借りて御礼申し上げます。

更新事業における水利システム改善の 効果検証について

奥山 悠大¹・前野 恭成²

¹近畿農政局 加古川水系広域農業水利施設総合管理所 (〒673-0515兵庫県三木市志染町三津田1525)

²近畿農政局 加古川水系広域農業水利施設総合管理所 (〒673-0515兵庫県三木市志染町三津田1525) .

農林水産省では、兵庫県加古川水系において過去に築造したダムなど基幹的農業水利施設群を対象に施設管理や利水管理等の直轄管理事業を行っている。そのうち、受益農地側の期別必要水量の変化に対し、長大な導水路途中で分水する揚水機場のポンプ運転形態が原因と考えられる水資源の圧迫という課題が生じていたことから、2013年度～2021年度に実施した更新事業において、流量制御システムの導入や調整池の新設といった水利システムへの改善対策を行っている。今回、管理事業の中で整理している導水路の送水量やポンプ揚水量、運転状況等のデータを引用し対策前後の状況を比較することで、対策の効果検証を試みたものである。

キーワード 利水管理, 水資源の圧迫, 更新事業, 流量制御, 効果検証

1. はじめに

直轄管理事業加古川水系地区（以下、「本地区」という。）は、兵庫県南東部に位置し、一級河川加古川の水系内において過去に実施した国営土地改良事業3地区（東条川地区、加古川西部地区及び東播用水地区）で築造された施設のうち、基幹的な農業水利施設（ダム5箇所、頭首工4箇所、揚水機場4箇所及び幹線水路等約70km）を対象に、1990年度から農林水産省が一元的かつ総合的に管理を行っているものである。

本地区における利水管理の課題の一つに、東播用水地区の水資源の圧迫、具体的には大川瀬ダムにおける用水不足傾向があった。大川瀬ダムは東播用水地区において、図-1の大川瀬導水路模式図のとおり、川代ダムと呑吐ダムの間に位置し、下流の約23kmに及ぶ長大水路である大川瀬導水路により、大川瀬ダム掛かり及び南部の淡山疏水掛かりの受益地約7,300haへの安定的な農業用水の供給や、県上水道の水がめにもなっている呑吐ダムへの確実な送水という重要な役割を担う施設となっている。

本稿は、直轄管理事業を実施している中で整理している導水路の送水量やポンプ揚水量、運転状況等のデータを用いて、2013年度～2021年度に実施された東播用水二期土地改良事業（以下、「更新事業」という。）における上記課題に対する対策の効果検証を試みたものである。

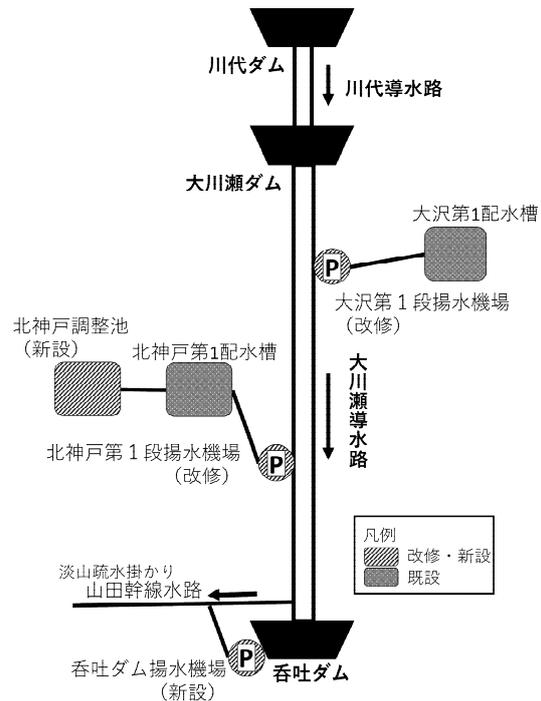


図-1 大川瀬導水路模式図

2. 要因と更新事業での対策

大川瀬ダム掛かりの受益地では、水稻の中でもより多くの水を必要とする、全国的にも有名な酒造好適米「山田錦」を中心とした営農が展開されており、その作付け面積は当初事業時と比べ増加している。その受益地への大川瀬導水路からの分水方法は、主に大沢及び北神戸の2箇所の手揚機場における直接取水であり、大川瀬ダムから各手揚機場のポンプ揚水量に応じた配水（送水）管理を行わなければならない実情にあった。

そのなかで、受益地側での期別の水需要の変化や手揚機場の配水槽容量に起因するポンプの頻繁な間断運転により導水路内流況では脈動の発生とともに、ポンプ運転停止時には無効放流（送水ロス）が生じていた。また、大川瀬導水路の最末端に位置する淡山疏水掛かり（山田幹線水路）への安定した分水対応等のため必要量以上の用水を大川瀬ダムから送水している傾向にもあった。これらの要因によって大川瀬ダムでの用水不足（貯水量の減少が早い状況）が引き起こされると考えられた。なお、大川瀬ダムの貯水容量（ $V=8,150$ 千 m^3 ）が吞吐ダムの貯水容量（ $V=17,800$ 千 m^3 ）の1/2以下であることも、よりその傾向を大きくしていたと推察できた。

更新事業では、当初事業後の経年変化によるダムや用水路等の施設の老朽化や機能低下に対する改修や耐震化対策、営農上の水需要の変化に対する用水再編対策、小水力発電施設の整備等が実施された。また、今回の課題に対しても、受益地側での水需要の変化や大川瀬ダムからの送水量に対応したポンプ揚水が出来るよう、手揚機場のポンプ運転方式を台数制御からインバーター制御による流量制御システムへ見直すとともに、写真-1の北神戸調整池を新設し調整容量を増やすことでポンプの間断運転の頻度を軽減させる対策を行った。



写真-1 新設された北神戸調整池

さらに、大川瀬ダム掛かりと比べるとダム必要水量に若干の余裕が生じた吞吐ダムから、ポンプ運転停止時に

無効放流となり注水される水も含め、山田幹線水路の用水が不足する場合に補給するための吞吐ダム揚水機場を新設するなど、大川瀬ダムと吞吐ダム間での合理的な用水管理、地区の利水運用面の安全度向上に繋げるための対策も図られた。

今回、2021年度の更新事業完了後において上述の対策に対する効果の検証は行われていなかったため、管理事業に従事している中で、実際に無効放流量がどの程度減少しているか、ポンプの間断運転がどの程度改善しているかについて検証方法を考えるとともに、管理データを用いて整理、確認することで、対策の効果検証を試みたものである。

3. 検証方法

(1) 無効放流量の比較

無効放流量については、大川瀬ダムからの送水量のうち、無効放流量が全量吞吐ダムに注水されると仮定し、対策前後3年間のかんがい期（6月～9月）における吞吐ダム注水量がどの程度変化しているのか比較を行った。

比較対象とした年は、対策前3年間の2014年～2016年及び対策後の2021年～2023年とし、かんがい期間の累計注水量及び平均日注水量の比較を行った。対策前後の平均日注水量の比較においては検定を用いて検討した。また、各年の日注水量についてグラフ化し、日注水量変化の傾向について比較を行った。

なお、比較対象年の気象（特に雨量）状況や吞吐ダム流入量の違いにより、大川瀬導水路掛かりの農業用水必要量に差が生じたり、吞吐ダムへの注水には水道用水が含まれることになるが、水道用水については毎年概ね同量程度が注水されると考え、農業用水についても、受益農地の必要用水量を管理している土地改良区からの日々の送水要請に応じた量で大川瀬ダムから大川瀬導水路に送水していることから、前述のとおり、「大川瀬ダムから大川瀬導水路への送水量のうち、無効放流量が全量吞吐ダムに注水される。」と仮定することとした。

(2) ポンプ運転状況の比較

ポンプの運転状況は、計画揚水量の大きい北神戸第1段手揚機場（大ポンプ2台、小ポンプ1台）の運転状況を例にとって比較を行った。

かんがい期初期の6月12日から6月15日におけるポンプの吐出量をもとにポンプの運転状況をグラフ化し、対策前後で運転時間の比較を行った。

比較対象の年は、対策前は「平成27年度東播用水二期事業北神戸幹線水路等管理施設実施設計業務」において運転状況を確認することができた2014年とし、対策後は、2021年と2022年のデータを用いて比較を行うこととした。

4. 検証結果

(1) 無効放流量の比較

対策前後3年間のかんがい期（6月～9月）における吞吐ダム累計注水量及び平均日注水量を整理すると表-1のとおりとなった。

表-1 対策前後における吞吐ダム
累計注水量及び平均日注水量

	対策前		
	2014	2015	2016
累計注水量 (千m ³)	5,638	8,746	11,228
平均日注水量 (千m ³)	46.2	71.7	92.0
	対策後		
	2021	2022	2023
累計注水量 (千m ³)	4,467	12,111	3,878
平均日注水量 (千m ³)	36.6	99.3	31.8

表-1において、対策前の2016年及び対策後の2022年の注水量が多い傾向にあるが、その理由としては、表-2の吞吐ダム流域月降水量に示す通り、梅雨時期の6月～7月中旬及び夏場の用水が必要な7月～8月において、吞吐ダム流域の雨量が平年と比べて少雨であり、低下したダム貯水率を回復させる目的で川代ダム（大川瀬ダム経由）からの補給注水を他年に比べて増加させていたことによるものである。

表-2 吞吐ダム流域月降水量

(単位: mm)

月	年	2014	2015	2016	2021	2022	2023
6		72	130	254	80	73	189
7		74	488	89	213	206	107
8		428	206	85	443	98	329
9		86	164	235	217	148	48
累計		660	988	663	953	525	673

よって今回は、川代ダムからの補給注水の影響が少なく、注水量の変動も比較的安定している2014年、2015年と2021年、2023年を比較することとした。

吞吐ダム累計注水量を比較すると、対策後の累計注水量は減少しており、対策前の2014年及び2015年に比べ、対策後の2021年及び2023年は概ね80%～45%程度に減少している結果となった。

平均日注水量については、対策前の2014年、2015年と対策後の2021年、2023年の間にはともに有意差がみられ（検定 $p < 0.05$ ）、対策後の平均日注水量の方が少ない結果となった。

また、日注水量についてのグラフは図-2に示すとおりとなった。

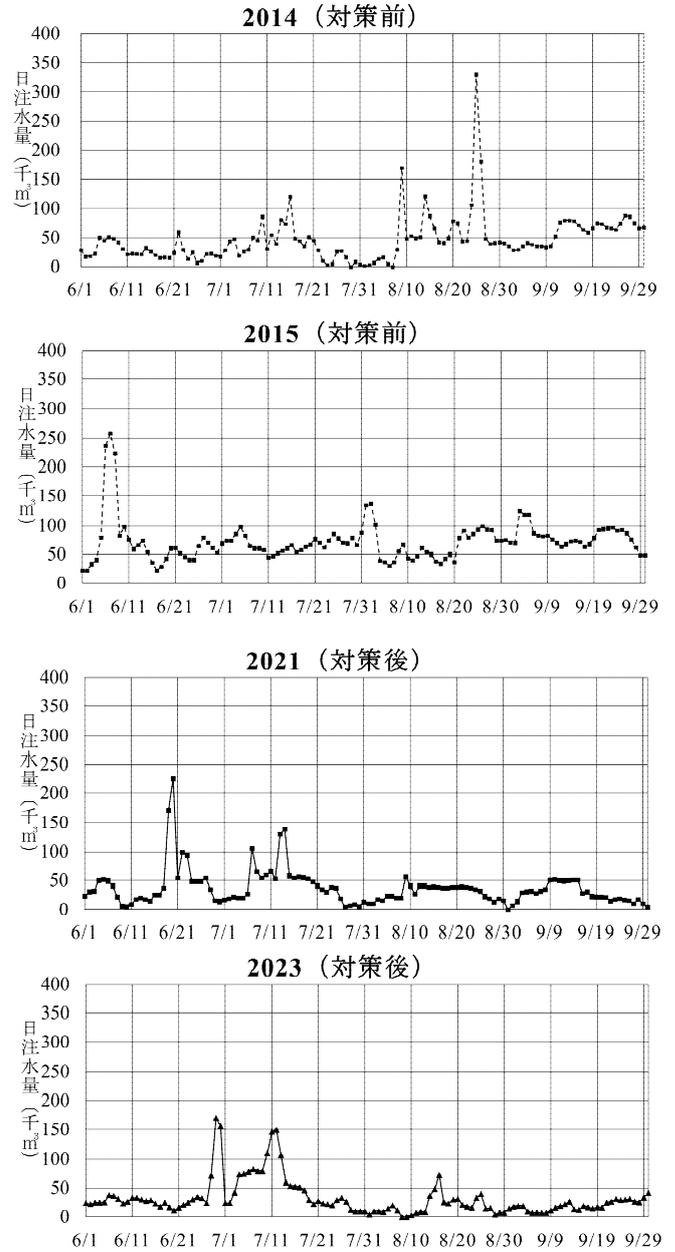


図-1 各年における日注水量グラフ

日注水量のグラフを対策前後で比較すると、対策前よりも対策後の日注水量の方が増減する回数減少している傾向がみられた。また、日注水量の増減の幅についても対策後の方が小さく、急激な日注水量の増減が減少している傾向がみられた。

なお、対策後の2021年及び2023年のかんがい期（6月～9月）において、山田幹線水路への必要水量補給のために吞吐ダム揚水機場が稼働しているのは、水量にして416千m³（2021年）及び714千m³（2023年）となっており、この量についても無効放流として整理した累計注水量の

抑制に寄与しているのではないかと考えられる。

(2) ポンプ運転状況の比較

北神戸第一段揚水機場におけるポンプの運転状況は、以下の図-3のとおりとなった。

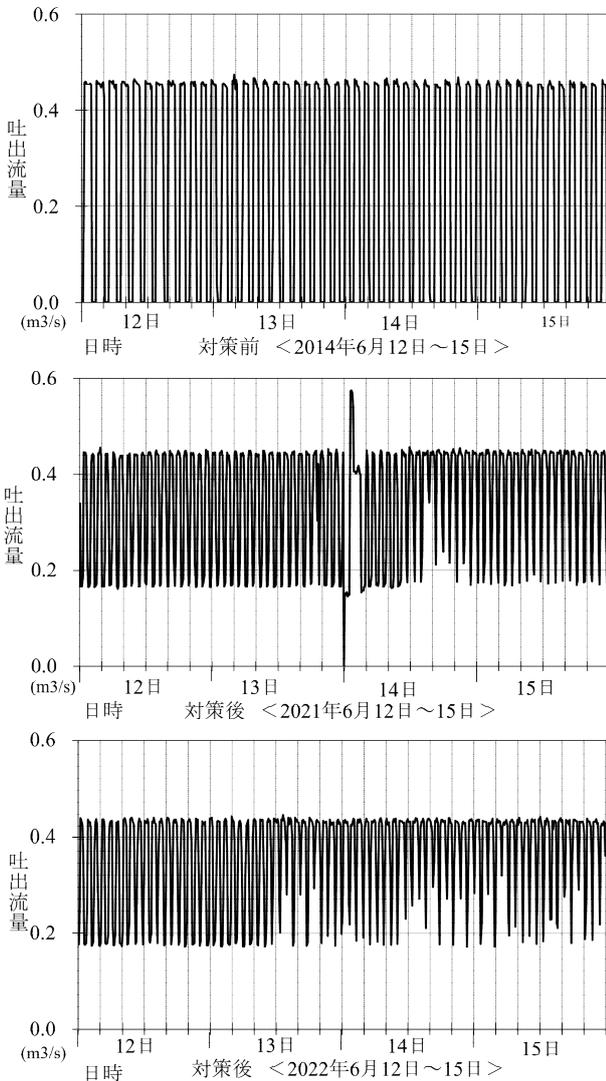


図-3 ポンプ運転状況

対策前後でポンプの運転状況を比較すると対策前の2014年の運転状況に比べ、対策後の2021年及び2022年の運転状況は、ポンプ吐出流量の増減はあるものの、間断運転がほとんど生じなくなっていることが確認された。

この結果も無効放流量の減少に寄与しているものと考えられる。

5. 考察

対策前後の無効放流量とポンプの運転状況の変化について、無効放流量においては、吞吐ダムへの注水量を比較した結果、それぞれの日注水量に有意差がみられ、対策後の日注水量が減少していることが確認された。一方、ポンプの運転状況においては、更新事業において揚水機場のポンプ運転方式を台数制御から流量制御システムへの見直し、調整池の新設により調整容量を増大する対策を行ったことで、ポンプの頻繁な間断運転が大幅に減少し、急激な日注水量の増減回数も減少している傾向が確認できた。

これらのことから、揚水機場のポンプ運転制御方式の見直しや調整池の新設による調整効果によって無効放流量が減少していると考えられ、更新事業における改善対策の効果が表れていると考えられる。

6. まとめ

今回の検証により、更新事業における対策によってポンプの運転状況が改善されるとともに、無効放流量も減少していると考えられ、対策の効果が発現していることを確認できた。

また、インバーター制御による流量制御システムへの見直しについては、無効放流の減少や導水路内の流況安定による利水安全度の向上への効果はもちろん、管理している立場としては、近年の電気代高騰に対する節電効果についても今後長期的に効果検証を進めていきたいと考えている。

実際に管理事業に携わる担当者として、雨の少ない兵庫県南東部の受益農地や水道利用者に安全かつ確実に用水を届けられるよう、管理業務の中で感じた疑問点や改善の可能性について常に検証や改良を行う気持ちを持ちながら引き続き適切な管理を行うことで、加古川水系における限りある水資源の有効かつ効果的な運用に努めていきたい。

長尺なグラウンドアンカーにおける 削孔精度向上の工夫について

太田 宗男¹・竹内 廣高²

¹㈱安藤・間 四国支店 営業部 (〒760-0040香川県高松市片原町11番地1)

²㈱安藤・間 大阪支店 土木部 冷水斜面对策作業所 (〒638-0322奈良県吉野郡天川村南日浦396)

奈良県吉野郡川上村に位置する高原トンネルは、地すべり活動が原因とされる亀裂が覆工面に多数発生し、種々の地すべり対策工の検討を経て、グラウンドアンカー工（以下、アンカー）が選定された。推定地すべり面は深く、設計アンカー長が最大80mを超える前例が稀な長尺アンカーの施工が求められた。一般的にアンカー体間の距離が1.5m以内に近接した場合には、アンカーの設計にグループ効果¹を考慮する必要があることから、長尺アンカーの削孔精度の管理が重要となる。

本論では、隣合うアンカー先端での離隔を確保するため、様々な施工の工夫を行った内容と、削孔精度の計測を通じて得られた孔曲りの傾向について考察するものである。

キーワード 地すべり、グラウンドアンカー工、長尺、孔曲り、グループ効果

1. はじめに

当工事のアンカーは水平3m・鉛直2m間隔で配置計画されており、グループ効果を考慮しない原設計思想に準じるには、**図-1**に示すように1本当たりの孔曲りを75cm以内する必要がある。また、施工箇所は、中生代ジュラ紀から白亜紀の付加体である混在岩が分布し、様々な岩種が区別なく入り混じった複雑な地質となっている²。このような地山に80m超のアンカーを施工した事例・削孔精度に関する測定事例や十分な知見も見当たらない。

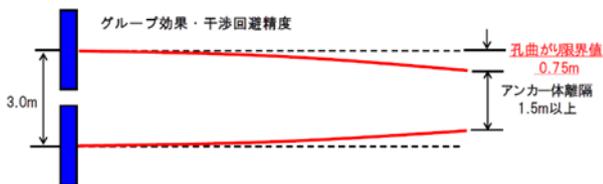


図-1 孔曲り概要図（水平方向の場合）



図-2 現場周辺の地質図³

2. 孔曲り抑制の工夫

隣合うアンカー同士の離隔を確保するため、アンカー削孔時の孔曲りを抑制するために実施した施工時の工夫を以下に述べる。

(1) 大型削孔機の使用

様々な岩種の入り混じった地質での施工となるため、アンカー挿入のための削孔に使用する削孔機は、適用地質が広いロータリーパーカッション式削孔機を使用した。削孔機の規格は土木工事標準積算基準書では55kW級が標準積算とされているが、削孔長が長く硬質な地質も存在するため、**写真-1**に示す165kW級の大型削孔機を使用することとした。



写真-1 ロータリーパーカッション式削孔機（165kW級）

長尺かつ硬質な地山の削孔に対して、大型削孔機を使用することで削孔能力に余裕を持たせ、削孔機への負荷を抑制して削孔を安定化することで削孔精度の向上に繋がっている。

(2) 足場・削孔機の固定

削孔中の揺動による削孔機のズレを防止するため、法面にロックボルトを打設して削孔機の足場の滑動を防止した。足場には型枠支保工で使用する材料を使用して硬固なものとするとともに、荷重分散を目的として敷鉄板同士を溶接・一体化した。敷鉄板に吊りピースを溶接し削孔機をワイヤー及びレバーブロックで固定し削孔機のズレ防止を行った。削孔機の固定状況を写真-2に示す。

削孔初期はケーシングが地山に貫入している長さが短いため、ケーシングと削孔機が自由に動きやすく、削孔方向のズレが生じやすい。特に削孔初期は削孔機のズレを計測管理しながら削孔し、ズレが生じた場合は再削孔を行うことを計画していたが、再削孔を実施した箇所は798箇所中2箇所であった。以上の足場・削孔機の固定対策により、削孔機の揺動を抑えたことによる効果があったものと評価できる。



写真-2 削孔機固定状況

(3) 削孔データ・スライムの採取

長尺削孔中に孔曲りを誘発する要因として、地質の不均質性が挙げられる。削孔断面中に軟質な地盤と硬質な地盤が同時に出現する場合には、削孔に対する抵抗が少ない軟質方向に曲がりやすくなるものと推察される。そこで、削孔中の削孔速度、回転トルク、給進力、打撃圧力、空気圧等の各種削孔機械データを、削孔長10mm毎の計測間隔で全削孔延長で取得した。また、全ての施工箇所での削孔1mごとの削孔スライム採取し、既存のボーリング調査調査結果と照らし合わせ、地質を判定した(写真-3)。

削孔データと削孔スライムから、地質の変化や最適な削孔方法を施工にフィードバックし隣接する施工箇所での地質状況を予見しながら施工することで、削孔精度向上に繋がった。



写真-3 削孔スライム採取状況

(4) 孔曲り測定

50mを超えるアンカー305本の10%の31本に対して、孔曲り測定を実施した。測定方法としては、削孔後にインナーケーシング内に50回/secで連続サンプリングが可能なジャイロセンサー (TUG-NAVI) を挿入し、先端までの孔曲りを測定する。この孔曲がり測定結果と、前述の削孔データ・スライム採取から、どのような地質で孔曲りが生じやすいかを分析しつつ施工を進め精度向上に繋がった。ジャイロセンサー (TUG-NAVI) の仕様を図-3に示す。

TUG-NAVI 標準品一覧

		TAG0010
位置精度(横計測) ^{※1}		3/1000~2/1000
位置精度(縦計測)		5/1000~3/1000
センサ構成	角速度	※2 TRS×3軸
	加速度	※4 MEMS×3軸
センサ部外形 ^{※5}		φ50×907(mm)
質量 ^{※5}		7Kg以下

※1 精度:横計測時間***TAG0010とTAG0011は連続5分以内、TAG0011は連続10分以内
 ※2 TRS:Twin axis Rate Sensor
 ※3 DRS:Dual axis Rate Sensor
 ※4 MEMS:Micro-Electro-Mechanical Systems
 ※5 外形・質量・ガード機構等の外形及び質量は含まない。



図-3 ジャイロセンサー仕様

3. 孔曲がりの傾向及び精度

施工中に実施した孔曲がり計測の結果は最大で、削孔長が81.5mの箇所では鉛直方向が下に71.7cm水平方向が右に58.4cmという結果であり、グループ効果の考慮が必要ない値であった。最大の値となった箇所は削孔長の長い最初の箇所であり、その後はこれ以上の値が出ることは無かった(図-4)。

本節では、孔曲りの傾向と施工時に1m毎に採取した削孔スライムの地質区分自体との関連性を統計的に整理して考察する。

(1) 孔曲がり量と地質の関係

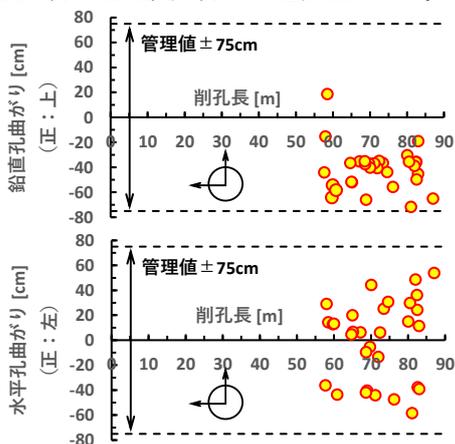
施工中に実施した孔曲がり計測の結果から、孔曲がりは地質区分間の遷移領域で卓越することが分かっている。全ての計測結果に対して鉛直・水平の孔曲がり変化率を整理したところ、全ての地質に対して正規分布に近似していることが判明した。図-3に各地質区分に対して、鉛直・水平の孔曲がり変化率を正規分布に近似した結果を示す。方向性については、鉛直方向では下向き（重力）方向が卓越するもの、水平方向には左右の優位性は認められなかった（図-5）。

(2) 孔曲がり量と削孔機械データの関係

施工中に削孔機械から得られた各種データ（削孔速度 回転トルク・給進力・打撃圧力・空気圧）のうち、削孔速度と回転トルクに着目して統計的に整理して考察する（図-6）。

a) 削孔速度

削孔速度の分布を地質区分毎に近似整理した。地質毎



に整然とした結果が得られ、削孔速度が速い順に、風化粘板岩>チャート>粘板岩=石灰岩>緑色岩となり、分布幅も同様の順番に小さい結果が得られた。また、孔曲がり変化率との関係は、鉛直・水平ともに-20mm/m～15mm/mの範囲に削孔時間に寄らず分布していることから、孔曲がり傾向と削孔時間との関連性は小さいこと、さらには、地質区分毎にその関連性は同様であることが判明した。

b) 回転トルク

孔曲がり測測を実施した施工箇所の回転トルク (kN/m) の分布は正規分布に近似しており、回転トルクは5～7kN/mを中央値として分布することは各地質に共通し、粘板岩・風化粘板岩のバラつきが比較的大きい。また、5～7kN/m程度で孔曲がり量の最大値を迎えるが、それ以上の値はバラつきや頻度が少ないことから、ある一定以上の値に至って削孔ツールに負担が掛かるような状況に至った際は、オペレータの技能により制御していることが推察される。

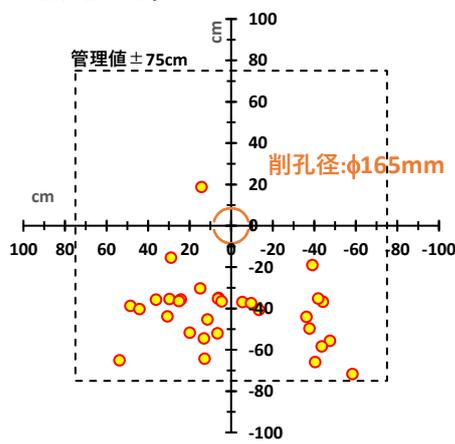


図-4 孔曲がり測定結果

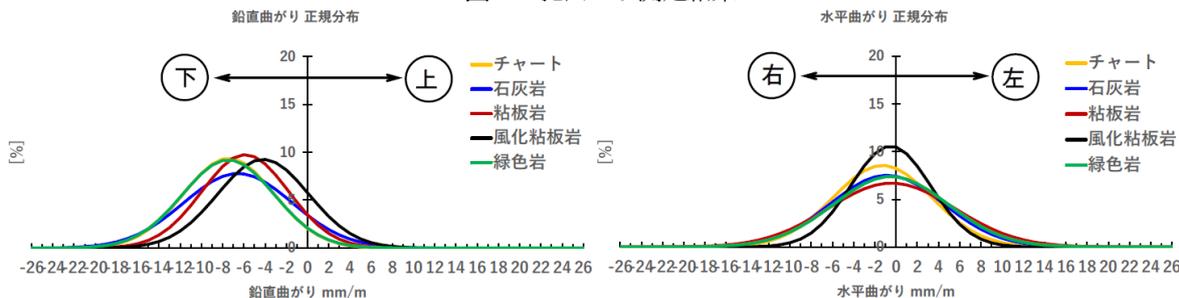


図-5 孔曲がり変化率と地質区分の関係

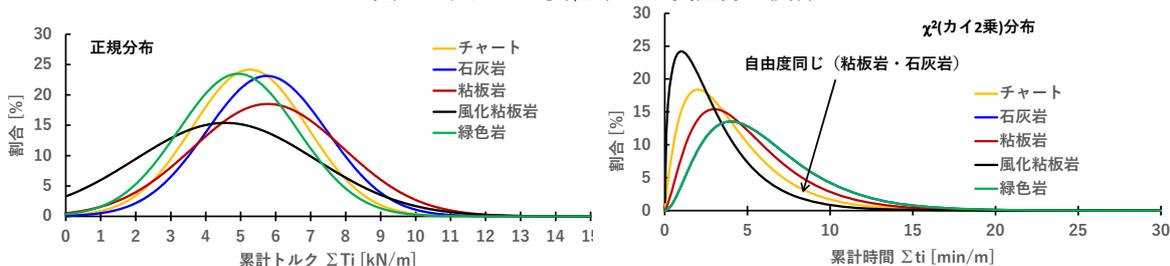


図-6 削孔速度の地質毎の分布と孔曲がり変化率の関係

(3) 削孔地質のデジタルツイン

上述した通り、孔曲がりの変化を生む因子として地質区分間の遷移領域が強い。地質自体・削孔機械データと孔曲がりとの関連性を評価した結果、どりたも明確な関連性は認められなかった。したがって、削孔精度管理には、削孔中に遷移領域を予測することが求められた。

混在岩質で形成される地すべり土塊内の複雑な地質の遷移領域を、削孔時に予測しながら削孔管理に反映させることを目的として、得られた地質情報を深層学習させて、図-7に示すように削孔時のスライムから地質を推論するプログラムを搭載したWEBアプリケーションを構築した。これにより、施工進捗に伴って地すべり土塊内の地質を3次元的に視える化し、遷移領域の予測に活用して施工を進めた。WEBアプリケーションであるため、アカウントがあれば誰でもどこでも共有することが可能である。AI分析による地質を3次元モデリングして視覚化することによって、先行施工結果の集合を参考にしながら、施工箇所の地質状況を予測し施工に配慮できることが可能であり、意義深いものであると評価する。

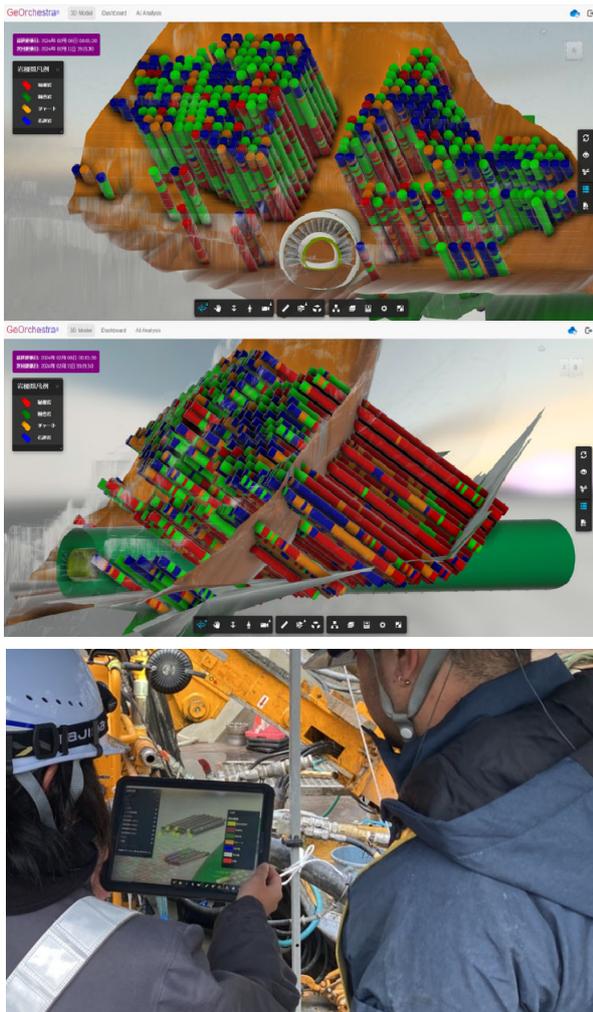


図-7 削孔地質のデジタルツイン

4. おわりに

本工事の特徴は、前例のない国内最長クラスのグラウンドアンカーの多数本施工である。また、非常に複雑な地層構成を有する混在岩中で、80mを超える長尺なアンカー施工が十分に可能であることは、複数計測した孔曲がり計測結果からも明らかであり、これは、グラウンドアンカーの適用範囲を大幅に広げる非常に貴重な施工実績であったことは言うまでもない。気象災害の甚大化・頻発化に対する自然災害対策の一つが斜面防災であり、既存のインフラ施設に対する予防保全的な気運の高まりもある。その中で、長尺なグラウンドアンカー工という選択肢としての貴重な施工実績、類似工種の今後の参考になれば幸いである。

謝辞：前例のない長尺アンカーが互いに干渉しない高い精度の削孔が可能か否かという点の不確実性を払拭することが難しく、国土交通省近畿地方整備局様のご指導、土木研究所様のご助言なども賜り、全ての孔曲がり計測で規格値を十分満足した結果となった。このような高品質な施工が行えたことを携われた皆様に末筆ながら厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (JGS4101-2012)，2020.2.
- 2) 奈良県吉野土木事務所：一般国道169号 高原トンネル周地すべり対策工 詳細設計業務委託 (災害復旧関連調査委託費) 第31 災委 602-委 7号，2020.5.
- 3) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：地質図表システム 地質図Navi, <https://gbank.gsj.jp/geona>

関連論文

太田宗男他：長尺なグラウンドアンカーの削孔精度に対する地質的観点からの一考察，土木学会全国大会第78回年次学術講演会，2023.9

Ryosuke TSURUTA, Makoto KIMURA, Mehdi BEDJA and Hironori NAGAYAMA : Development of an Automated System for the Evaluation and 3D Modelling of Site Geological Strata Using Artificial Intelligence, 土木学会AI・データサイエンス特別シンポジウム「デジタルツイン」, 2023.5.