

グラウンドアンカーの維持管理を踏まえた設計手法の検討

辰巳 恵理

近畿地方整備局 港湾空港部 港湾事業企画課 (〒650-0024兵庫県神戸市中央区海岸通29番地)

本論文は、神戸港ポートアイランド（第2期）地区岸壁（-16m）（PC-15E～17）において耐震改良のため採用したグラウンドアンカー工法について、維持管理における計測データより得られた現象を基に新たな設計手法を検討したものである。改良後のアンカーでは、張力変動が確認されたが、当初設計では張力変動の影響が十分考慮されていない。本検討では工法の力学特性を整理し、残存張力が地震応答に線形的影響を与えること、地震の繰り返し作用により張力・変形が累積することを解析により定量的に示した。これらを踏まえ、残存張力を設計パラメータとする性能照査体系や張力管理の考え方を提示し、合理的耐震設計の方向性を示す。

キーワード グラウンドアンカー工法、耐震強化岸壁、地震時応答解析、維持管理、設計手法

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、阪神港における基幹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、大規模地震発生後も国際海上コンテナなどの幹線貨物輸送機能を維持することを目的とし、「耐震強化施設（特定（幹線貨物輸送対応））」に位置付けられており、2009年には、船舶の大型化に対応するための水深-16mへの増深化に併せ、「グラウンドアンカー工法」による耐震改良を行っている。

ここで「グラウンドアンカー工法」は、既設ケーソン上部から斜め下部方向にグラウンドアンカーを設置し、ケーソン上部に接合して滑動抵抗力等を増大させるものである。本施設のグラウンドアンカーは頭部、引張り部、アンカー体で構成され、洪積砂礫層（Dg1）へアンカー体を10m定着させた全長83.2mの構造体である。施設の断面図を図-2に示す。

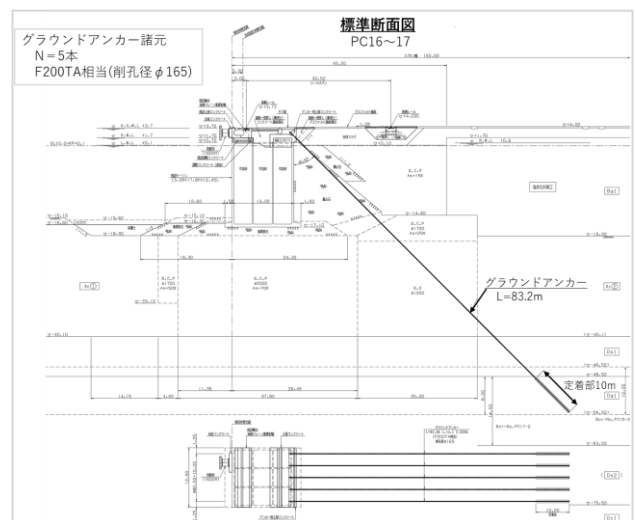


図-2 施設の断面図 (PC-16.17)

耐震改良後の2011年1月以降、本施設では継続的な残存張力の計測を通じたアンカーの張力管理を実施しているが、気温や潮位に伴う季節性の短期変動に加え、地盤

沈下による長期的な張力低下が確認されているところである。

本検討は、耐震強化岸壁の信頼性向上を目的に、グラウンドアンカーの残存張力の変動が本施設の耐震性能に与える影響について2次元地震時応答解析（FLIP）を用い、解明する。また、本工法の地震動作用時の力学的特性を体系的に整理した上でアンカーの残存張力に着目した性能規定の見直しも含めた合理的な設計手法及び耐震強化岸壁として被災直後の利用可否判断方法を提案するものである。

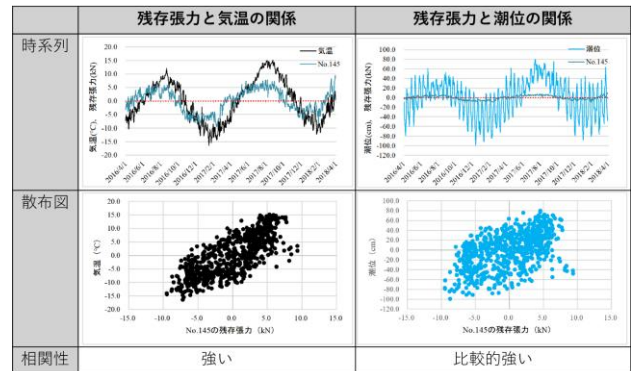


図4 残存張力と気温・潮位の関係

2. アンカー張力計測データの整理と要因分析

(1) アンカーの張力の計測

2011年1月にグラウンドアンカーが設置されて以降、現在まで継続的に張力測定を実施している。2011年2月から2022年3月までの張力計測結果を整理し、同時期の気温、潮位、波高、地震、降水量のデータを整理した。データ整理の結果より、張力の変動を確認したところ、季節性の周期的な短期変動と継続的な長期変動があることが判明した。（図-3）

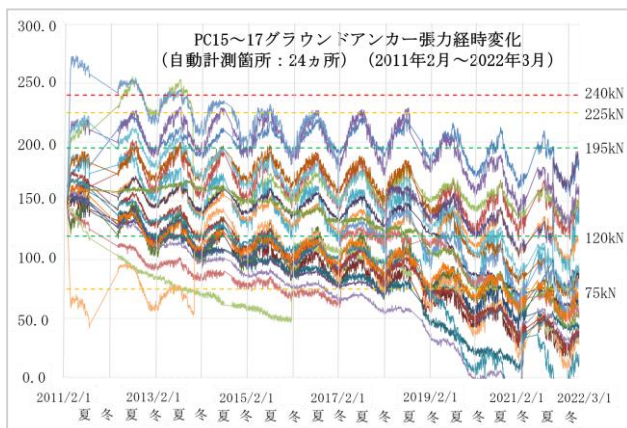


図-3 残存張力計測結果

(2) 残存張力の短期変動要因

グラウンドアンカーの残存張力の季節的な変化の要因を明確にするため、残存張力と各事象（気温、潮位、波高、降水量）との相関関係を時系列及び散布図により比較分析し、関係性が高い事象を季節的な変化の要因として抽出した。その結果、残存張力は「気温」、「潮位」との間に強い相関があることが分かった。残存張力と気温・潮位の関係を示した時系列及び散布図を図4に示す。残存張力の変動は年周期20kNの変動幅であり、長期的に増減が生じるものではないため、張力調整は不要なレベルであるが、耐震性の確保も踏まえた管理基準値の設定にあたっては、20kNの短期変動幅を考慮した値の設定が必要だと考えられる。

(3) 残存張力の長期変動要因

グラウンドアンカーの残存張力の長期的変動要因を明確にするため、残存張力と地盤沈下との関係を整理した。ケーソンのアンカー張力と、近傍の測量結果（a-1地点の地表面標高）の関係を図5、図6に示す。

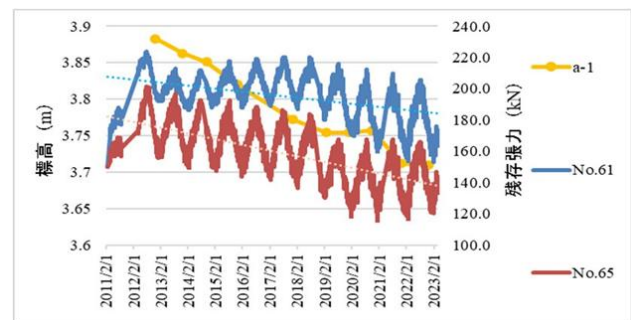


図-5 残存張力と標高の関係

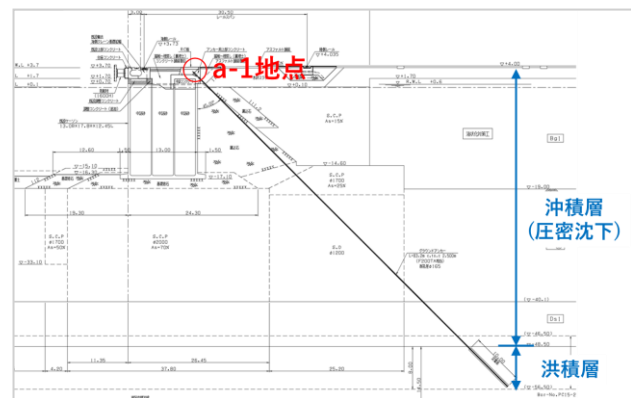


図-6 測量点（a-1地点）位置図

アンカー張力の長期的な変動現象と地表面標高の変化（ケーソンの沈下量）の間には高い相関があることを確認した。また、年間10kNの張力低下が継続的に発生している。この現象は沖積層の圧密沈下に伴い張力低下が生じたものである。耐震性の確保を踏まえた管理基準値の設定にあたっては、10kN/年の長期変動幅を考慮した値の設定が必要である。長期変動における継続的な張力低下に対する対応は、本施設の耐震性能確保の上で設計、

維持管理段階での課題となる。本施設のグラウンドアンカー工法の設計では、アンカーが一定の張力を保持し、地震時のケーソンの滑动等に対して抵抗することを前提とするものであるが、本施設の張力計測を通じ、地盤沈下によるアンカー張力の変動が確認、さらには中小地震の繰り返し作用後の周辺地盤の沈下に伴う張力の変動が予測されるため、その影響を設計、維持管理において考慮する必要が生じた。

3. アンカーの残存張力の変動が施設の性能に与える影響について

(1) 地震の繰り返し作用の影響

地震の繰り返し作用が施設に及ぼす影響を解明するため、2次元地震時応答解析（FLIP）で本施設の地震時の挙動等を再現した。地震時には、初期緊張されたアンカーで補強されたケーソンの変位に伴い、アンカーが伸びることで機能が発揮され、ケーソンには残留変形、アンカーには残留張力が発生する。その後、2回目の地震動が作用すると、最初の地震動による残留変形・残留張力が初期条件となり、2回目の地震動による残留変形・残留張力が累積する結果となった。

ここで、L1地震動及びL2地震動に対する2次元地震時応答解析（FLIP）よりアンカーの地震前の残存張力とケーソンの残留変形量の相関性について検討を行い、地震の繰り返し作用が施設に及ぼす影響について把握した。なお検討は、当該岸壁が保有すべき耐震性の性能規定と関係する「岸壁法線の残留変形（水平・鉛直・傾斜角）」、「ケーソンの底面反力」、「ケーソン基礎のレールスパンの間の相対変形（水平・鉛直）」、「アンカー発生張力（最大値・最小値）」の項目で行った。

検討の結果、以下2点の知見が得られた。

- ① L1地震動及びL2地震動ともに、地震前の残存張力と地震後のケーソンの残留変形には高い相関があり、一次関係（線形関係）が強い（図-7、図-8）
- ② L1地震動及びL2地震動作用後において、岸壁全体の変形程度により、アンカーに一定以上の残存張力が発生し、地震が繰り返し作用する場合、その残存張力が蓄積する（図-9）

これらを受け、要求性能が「使用性」であるL1地震動の作用に対しても、余震等の地震の繰り返し作用の影響を考慮した場合、アンカーに残存張力が累積することとなる。したがって、要求性能を満足し、本施設を継続して使用するためには、発生するアンカー残存張力に基づくケーソンの底版部材の耐力評価及び維持管理段階でのアンカーの適正な張力管理が必要となる。

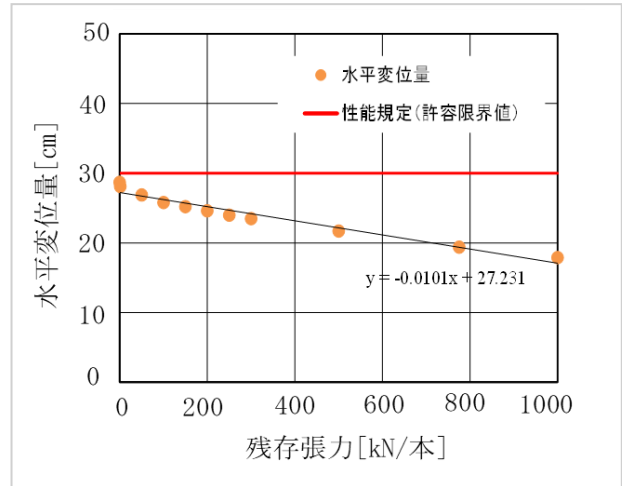


図-7 L1地震時の残存張力とケーソン変位量の関係

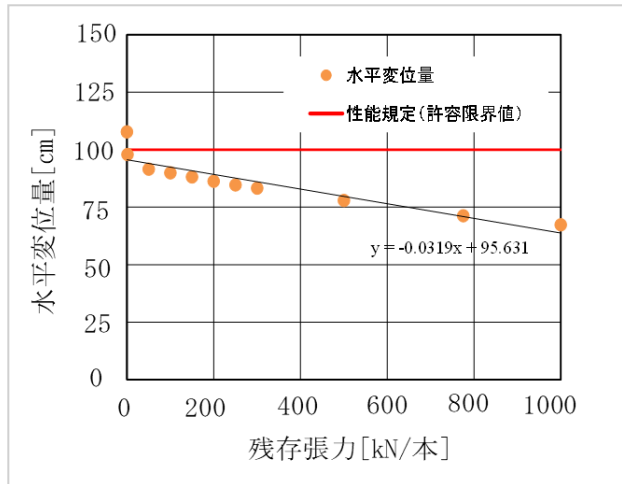


図-8 L2地震時の残存張力とケーソン変位量の関係

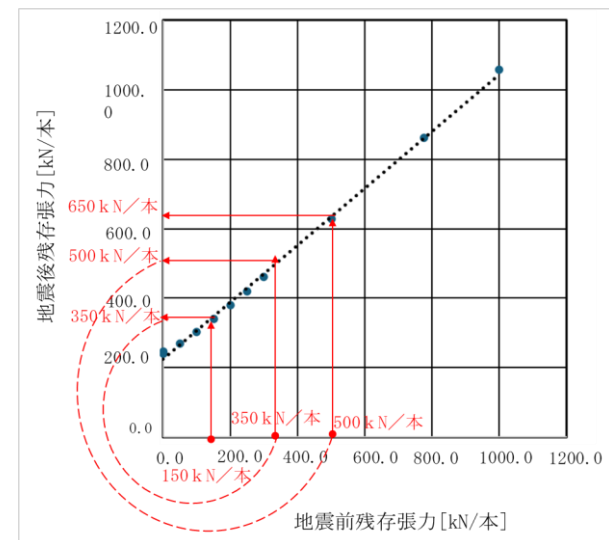


図-9 地震前と地震後の残存張力の関係

(2) グラウンドアンカー工法の特長及び当初設計の課題

長年の張力計測の結果では、アンカーの残存張力は気温と潮位による季節的な短期変動に加え、地盤沈下による長期的な変動に起因した累積的な張力増加が確認されている。また、2次元地震時応答解析（FLIP）による地震

時の挙動等の再現を行った結果、地震の繰り返し作用により残存張力が蓄積することが知見として得られている。

しかしながら、本施設の耐震改良に用いるグラウンドアンカー工法の当初設計では震度法を用い、地震作用時に不足する耐力に対し、必要となるアンカー張力を照査用震度から設定した静的な水平力とのつり合いから算出し、設置本数、規格を決定している。ここで震度法は、アンカーの張力増加、残存張力の蓄積が発生しない（作用後は作用前の状態に回復する）ことを前提とした設計手法であり、地震の繰り返し作用時など施設に起こり得る本検討で判明した事象は考慮されていない。したがって、本施設のような港湾構造物において耐震性の確保を目的とし、グラウンドアンカー工法を採用する場合は、地震の繰り返し作用によりその残留張力が蓄積する等の特性を考慮し、その影響を評価できる2次元地震応答解析（FLIP等）の動的解析を用い、照査する必要がある。

カー工法の特性を考慮した照査項目、さらには「使用性」及び「修復性」の要求性能に対応した性能規定値の設定が必要となる。

前章で述べたとおり、本施設の当初設計では、重力式岸壁の照査手法を準用し、震度法によりケーソンの「滑動、転倒、支持力」の性能規定値を満足するアンカーの設置本数、規格を設定している。そのため、アンカー部材には、初期に導入した一定の張力が発生している前提からその部材に関する照査項目及び性能規定値は定めていない。しかしながら、本工法では、地震の繰り返し作用によりアンカー部材に残留張力が蓄積することから、初期に導入した一定以上の張力が発生することを前提とした照査項目及び性能規定値を設定する必要がある。また、偶発状態となるL2地震作用後においても、本格復旧までの短期間内ではあるが、軽微な余震の作用も踏まえた照査項目及び性能規定値を設定することとした。

4. 照査項目、性能規定を含む設計手法及び管理基準値の見直し

(1) 照査項目及び性能規定値の見直しにおける留意事項

本施設は、「耐震強化施設（特定（幹線貨物輸送対応））」であることから、設計に際し、グラウンドアン

(2) 照査項目及び性能規定値の見直し

前項の留意点を踏まえ、重力式岸壁の照査項目を基本に、アンカー部材に関する照査項目と地震動の繰り返し作用及び余震に対する照査項目を付加し、性能規定値を見直した。一覧を表-1に示す。

表-1 設計状態及び性能規定の見直し結果（※：当初設計時との相違点）

要求性能	設計状態			照査項目	性能規定値
	状態	主たる作用	従たる作用		
使用性	永続	自重	水圧、載荷重	円弧すべり	耐力作用比1.0以上 許容引張り荷重以下 許容引抜き力以下 許容引張り荷重未満 (ケーソン底版耐力未満)
		土圧	自重、水圧、載荷重	壁体の滑動、転倒、基礎地盤の支持力	
				アンカー破壊※	
				アンカーの定着※	
	変動	L1地震動 ※繰り返し作用含む	自重、土圧、水圧、載荷重	アンカーの残存張力※	耐力作用比1.0以上 (岸壁天端の許容変位量：Da=10cm) 許容引張り荷重以下 許容引抜き力以下 許容引張り荷重未満 (ケーソン底版耐力未満)
				壁体の滑動、転倒、基礎地盤の支持力	
				アンカー破壊※	
				アンカーの定着※	
修復性	偶発	L2地震動	自重、土圧、水圧、載荷重	法線の変形	・残存変位量：100cm未満 ・残留傾斜角：3° 未満 ・ケーソン背後段差：0.3m以内 許容引張り荷重以下 極限引抜き力以下 許容引張り荷重未満 (ケーソン底版耐力未満)
				エプロンの変形	
				アンカー破壊※	
				アンカーの定着※	
	偶発 発災後※	余震(L1地震動未満)※	自重、土圧、水圧、載荷重※	アンカーの残存張力※	許容引張り荷重未満 (ケーソン底版耐力未満) 許容引張り荷重以下 極限引抜き力以下 許容引張り加重未満 (ケーソン底版耐力未満)
				アンカー破壊※	
				アンカーの定着※	
				アンカーの残存張力※	

永続状態においては、円弧すべりや、ケーソンの滑動、転倒及び基礎地盤の支持力の照査項目に対する性能規定値に加え、アンカー部材の健全性の確保の点から、アンカー破壊、アンカーの定着、アンカーの残存張力の照査項目に対し、許容引張り荷重以下、作用する許容引抜き力以下及び許容引張り荷重未満（ケーソン底版耐力未満）の性能規定値を追加した。また、変動状態に対して、基本的な照査項目は、永続状態と同じであるが、地震発生後の継続した岸壁利用（使用性）の観点から、アンカーの残存張力が当該岸壁の健全性に及ぼす影響について配慮する必要があることを特記事項として追加した。また、L1地震動の作用によりアンカーに残存張力が発生した後、L1相当の地震動が繰り返し作用する状態においてもアンカーが破断しない等、上述にある照査項目と性能規定値を設定し、照査を行うこととした。ここで繰り返し作用するL1相当の地震動がアンカーの張力等へ及ぼす影響については、2次元地震応答解析（FLIP等）の動的解析による照査結果に基づき、確認することとした。

偶発状態に対しては、偶発作用（L2地震動）後、本格復旧（2年程度を想定）までの期間における「暫定供用」を想定するが、本期間中においても、軽微な余震（L1相当未満の地震動）に対し、構造上支障が生じない性能を保有するものとする。なお、性能照査は、変動状態同様、2次元地震応答解析（FLIP等）の動的解析による照査結果を基本とする。

(3) 管理基準値の見直し

前項において、地震発生後の継続した岸壁利用（使用性）の観点から、アンカーの残存張力が当該岸壁の健全性に及ぼす影響について配慮する必要があると記したが、設計段階での2次元地震応答解析（FLIP）の動的解析による照査結果に基づき、維持管理段階でのアンカー張力の管理基準値を設定、見直しを行った。初期導入張力（地震前張力）と地震後の張力の関係から設定するが、アンカー張力の変動要因による変動にも留意し、設定、見直しを行った。ここで、管理基準値の考え方について、図-10に示す。

初期張力の管理基準値は、岸壁の耐震性能の向上（変形抑制効果）、また地震後に発生（残存）し得るアンカー張力が底版耐力へ及ぼす影響も考慮し、現行のまま「150kN/本」とする。アンカー張力の下限値については、地震前のアンカー張力が0kN/本となる場合、地震作用後の変形が性能規定値を超過することが確認されている。そのため、地盤沈下による1年間の減少幅（10kN/本程度）、季節的な増減幅（20kN/本程度）を考慮した「30kN/本（10kN/本+20kN/本）」を下限値とした。

またアンカー張力の上限值は、常時におけるケーソン

床版耐力から決まるアンカー張力を超過しないように管理する必要がある。そのため、常時におけるケーソン底版部耐力の限界値である「250kN/本」を基準とし、季節的な変動幅に配慮して、「230kN/本（250kN/本-20kN/本）」を上限值とした。

加えて、残存張力の変動要因が明確になり、閾値の精度が向上したことから、現行の評価基準、健全性調査の実施基準を緩和するとともに、点検頻度を低くした。これらを含めた管理基準値の見直し内容を図-11に示す。

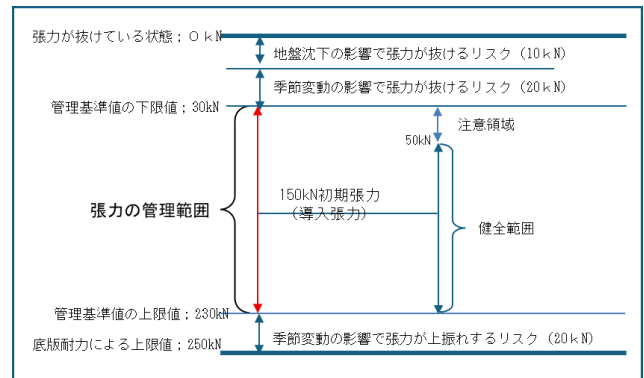


図-10 アンカー張力の管理基準値の考え方

	現行		見直し	
項目	点検内容	評価	点検内容	評価
残存張力	0kN	I	30kN未満	I
	0kN以上75kN未満	II	30kN以上120kN未満	経過観察
	75kN以上120kN未満	III		
	120kN以上195kN未満	健全	120kN以上180kN未満	健全
	195kN以上225kN未満	III	180kN以上230kN未満	経過観察
	225kN以上240kN未満	II		
	240kN以上	I		
健全性調査の実施基準	Ⅰ：1つ以上　または Ⅱ：2つ以上　または Ⅲ以上：3つ以上		Ⅰ：1つ以上	
点検回数	手動：3ヶ月に1回 自動：月1回データ整理		手動：年1回 自動：月1回データ整理	
備考 Ⅰ：アンカーの健全性に重大な問題があることが明らか、または可能性が高い Ⅱ：近いうちに健全性に重大な問題が生じる可能性が高い 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				

図-11 管理基準値の見直し

5. まとめおよび今後の展望

本検討は、継続的な計測で把握されたグラウンドアンカー張力の周期的な変動や長期的な低下の要因分析とともに得られた知見に基づき、性能規定を含む設計手法及び管理基準値の見直しを行ったものである。また本検討に加え、地震被災時の残存張力と変位量の関係を算出し、施設の利用可否判断を行うための閾値を設定した。これに基づき、地震被災時、迅速に本施設の利用可否判断を行うことが可能となり、耐震強化岸壁としての使用可否

判断を踏まえた維持管理方法を検討の上、維持管理計画書の改訂を行った。

これらの成果は、今後、同様の耐震改良を行う他の施設の維持管理計画の見直し、及び新たに施設整備・設計を行う施設においても活用が図れるものとする。

謝辞：本検討を遂行するにあたり、ご指導とご助言を賜りました菅野高弘先生(国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 フェロー)及び水谷崇亮先生(国土技術政策総合研究所 港湾・沿岸海洋研究部 港湾新技術研究官)に深く感謝申し上げます。また、本検討にご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝いたします。

淀川大堰閘門の電気通信設備の整備と同時におこなった淀川大堰管理制御処理装置の更新工事の工夫

総谷 慧大¹・浅田 勇喜²

¹近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 河川管理第二課（〒675-1205兵庫県加古川市八幡町中西条875-1）

²近畿地方整備局 淀川河川事務所 毛馬出張所（〒531-0063大阪府大阪市北区長柄東3-3-25）

1995年に発生した阪神淡路大震災。倒壊した建物等により道路交通が麻痺し、陸上輸送による復旧資材の運搬が困難になった。その際に、船を用いた水上輸送が災害の早期復旧に寄与したことから、淀川大堰に淀川の上下流を通行できる閘門を整備することとなった。この淀川大堰閘門の電気設備、通信設備の整備目的及び、堰管理制御処理装置の更新工事の際の工夫点について報告する。

キーワード 設備更新、切替、堰管理用制御処理装置

1. はじめに

淀川大堰は淀川に設置されている淀川河川事務所と水資源機構が共同で管理する可動堰である。1983年に竣工され、河川環境の管理・洪水時の水管理・水道用水、工業用水の確保・海水の遡上防止が主な役割である。

淀川大堰の管理・制御は毛馬出張所にて行っている。毛馬出張所では淀川大堰以外に、淀川本線と大川（旧淀川）をつなぐ毛馬水門・毛馬閘門、出張所より上流右岸に位置する神崎川と淀川本線をつなぐ一津屋樋門、新たに設置された淀川大堰閘門の管理・制御も行っている。

1995年に阪神淡路大震災が発生した際に、淀川大堰自体に大きな被害はなかったが、液状化により堤防が沈下する被害を受けた。建物の倒壊や火災等による道路の寸断、線路の蛇行・沈下や駅舎の損傷による鉄道の機能停止により、陸路が使用不可能になった。このとき、復旧資材の運搬が可能であった方法は、船による水上輸送を行うことであった。これが河川施設の早期復旧につながったことから、災害時に水上輸送が復興に活用できることが分かり、舟運の必要性が見直されたが、淀川は淀川大堰により上下流を分断されていたため、閘門の整備が計画された。

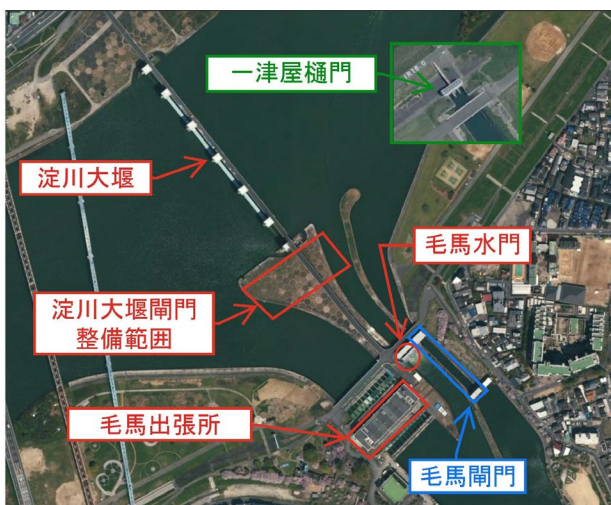


図-1 淀川大堰全体写真（大堰閘門整備前）



図-2 淀川大堰閘門（2025年11月時点）

淀川大堰閘門は2026年3月に竣工した淀川大堰の左岸に位置する閘門である。上下流に閘門ゲートとバイパスゲートを備えており、大堰により上下流が分断されている淀川を、船が通行するために利用される。仕組みとしては、閘室内に船を入れた後閘門ゲートを閉め、バイパスゲートから水を出し入れすることで閘室内の水位を上流か下流の水位にあわせ、水位を合わせたほうのゲートを開き船を通すというものである。この淀川大堰閘門の整備工事では、閘門を操作制御する際に必要な電気設備、通信設備、堰制御処理設備を設置する工事を実施した。



図-3 淀川大堰放流操作装置（左：現用・右：予備）

表-1 大堰閘門整備工事にて実施した工事

発注年度	工事	主な工事内容
2023	淀川大堰管理制御処理設備設置工事	堰コンの更新及びケーブル敷設
2024	淀川大堰閘門通信設備設置工事	閘門のCCTV・放送設備等の新設
2023	淀川大堰閘門電気設備設置工事	閘門の電気設備の新設

本報告は大堰閘門が電気設備、通信設備の整備の目的と堰管理制御処理装置（以降、「堰コン」とする）の更新工事の際の工夫について報告を行う。

2. 毛馬出張所の堰コンについて

2025年3月に完了した、淀川大堰管理制御処理設置工事にて更新した堰コンの詳細について記述する。

(1) 堰コンの構成

今回新設・更新を行った堰コンは「ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書・同解説（平成28年・8月 国土交通省）」に基づいて設計されたもので、新堰コンのシステム仕様は、大堰閘門が追加されたことを除き、旧堰コンのシステム仕様をほぼ踏襲したものとなっている。放流操作装置及び遠方手動操作卓は、毛馬出張所2階の操作室に設置されている。

放流操作装置はFA-PCである。遠方手動操作卓と入出力装置を経由して淀川大堰・毛馬水門・一津屋樋門の機側操作盤に制御信号を送信することで、遠隔で放流操作を自動制御している。また、操作制御や異常・故障履歴、観測した水文データ観測した堰水文データを記録するデータベースとしての機能を持ち合わせている。放流操作装置は淀川大堰・毛馬水門・一津屋樋門の施設ごとに2台ずつ用意されており、一方を現用、もう一方を予備としている。現用でゲートの自動制御を行い、予備で水文データの監視を行っている。現用が故障した場合、予備のほうで自動制御ができる構成になっている。

淀川大堰閘門と毛馬閘門の遠方手動操作卓は専用の鋼製操作卓で構成されており、通船する際は常駐する操作員が遠方手動操作卓を用いて閘門の開閉操作を行う。淀川大堰・毛馬水門・一津屋樋門はFAパソコンとスイッチボックスのセットとなっており、これにより各放流設備の手動制御を行える。また、各設備ごとに放送卓があるが、これは「淀川大堰閘門通信設備設置工事」にて設置したものになる。

入出力装置と水位計測装置は、操作室の隣に位置する情報指令室の装置架内に収容されている。入出力装置は放流操作装置と機側操作盤に対する制御信号の入出力を、水位計測装置は各設備の水位データを堰コンに取り込む装置である。水位データは流入量や放流量などの堰水文データの演算のために利用される。



図-4-1 淀川大堰閘門 遠方手動操作卓（中央部は放送卓）



図-4-2 淀川大堰 遠方手動操作卓（中央部は放送卓）

(2) フラッシュ放流について

淀川大堰の運用において、毛馬水門ではフラッシュ放流を行っている。もともとは大阪市の急激な人口増加に

伴う大川（旧淀川）の水質悪化を改善を図るための放流で、大阪湾の潮の満ち引きに合わせて大川へ放流する水量を、満潮時：100m³/s、干潮時：40～53m³/sと変化させることで、人工的な洪水をおこし大川の汚水を大阪湾へ流すことで水質改善を行っている。現在も大川の河川環境の維持のために続けられている。



図-5 毛馬水門（左）と毛馬閘門（右）

3. 電気通信設備設置工事・通信設備設置工事の整備目的と施工時の工夫について

(1)電気設備設置工事にて設置した設備と工夫

電気通信設備工事では、大堰閘門の受変電設備・照明の製造、設置、電源ケーブルの配管・配線を行った。

高圧受変電設備は大堰閘門の上流側操作室に新設した。大堰の1号堰柱と7号堰柱の連絡盤から電力配線を引き込み、閘門ゲートと屋外・屋内照明に電力を供給している。当初、自家発電機側と7号堰柱受電側の間に受変電盤を設置する内容となっていたが、既設インターロックができなくなることから1号堰柱受電側と7号堰柱受電側との間に設置することに変更し、淀川大堰7号堰から約400mの高圧ケーブルを新設した。

無停電電源装置は蓄電池盤・UPS盤・入出力盤で構成され、上流側と下流側の閘門操作室に設置された。停電発生時に、電力が復旧するまでの間、閘門に設置されているCCTV・水位計・塩分濃度計等に電力を供給する。また、閘門の屋外照明は本工事にて15台を設置した。屋外照明は夜間などでも閘門周囲の確認や、船が閘門の場所を確認できるよう、航路と閘門を照らすように配置されている。

電源ケーブル配線の工夫として、当初はCVケーブルであったが、配線ルートは曲がり箇所が多く立ち上がり箇所があるため、CVケーブルより曲がりやすく施工性の良いCVTケーブルを使用した。また、一部の区間についてはケーブルのサイズを小さくすることで、当初は7日を予定していた配線工を3日短縮し、5日を予定していた端末処理工を2日短縮することができた。



図-6 閘門上流側操作室に設置した無停電電源装置

(2)通信設備設置工事にて設置した設備

通信設備設置工事では、大堰閘門を操作するために必要な設備の製造、設置及び、既存設備の更新を行った。

大堰閘門には通船の際などに閘門周囲を監視するCCTVを6台設置、簡易型HDIPカメラとなっており操作室からカメラの向きを操作できる。放送設備は閘門に設置されたスピーカ4台と操作室に設置された放送操作卓1台で構成されており、事前に録音された音源、もしくはマイクを使って閘門周辺の船に注意を促す。信号機は閘門の上下流にそれぞれ4台ずつ、長距離用のものを2台ずつ設置しており、通船の際に閘門周囲の安全が確認できた場合に、船に停止や通ってよいことを視覚的に知らせる。閘門の内外水位を計測する水位計4台、閘門から海水が逆流していないか確認する塩分濃度計3台を製造、設置した。

また、淀川大堰・毛馬閘門・毛馬水門・一津屋樋門に設置していたCCTVと放送設備は大堰閘門に設置したものと同一仕様で更新し、大堰閘門のCCTVの設置に伴い画像管理サーバの更新も行った。

アンカーボルトを設置する際の工夫として、新技術「アンカープロチェッカー（APC）」を使用した。これは従来の引抜試験機と異なり、荷重を音と色と振動により知らせるため、アンカーボルトにかかる荷重をかけすぎることなく試験を行えた。また、組み立て・分解調整を必要がないため、試験時間が1本あたり約10秒程度まで短縮されたため、作業効率の向上につながった。

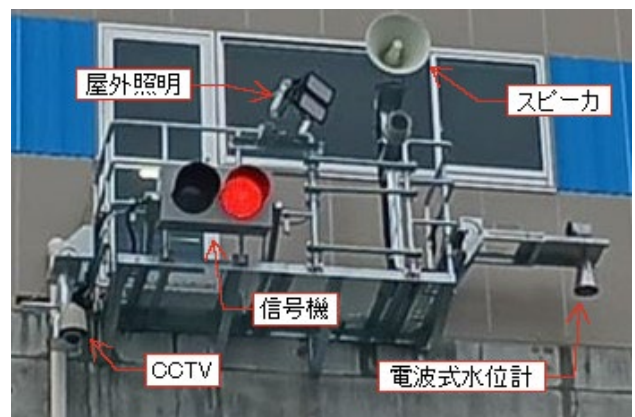


図-7 閘門下流右岸側に設置した機器

4. 堰コンの更新時における問題点

淀川大堰閘門は今回の工事にて新たに設置されるため、大堰閘門の堰コンは新たに設置するだけでよいが、淀川大堰・毛馬閘門・毛馬水門・一津屋樋門に関しては、既存の堰コンからの更新作業が必要となる。そして、更新作業を行うには各施設の制御を停止する必要がある。毛馬閘門は船が通行しない日があるため作業の実施は容易であるが、淀川大堰・毛馬水門・一津屋樋門に関しては各設備の自動制御、特に毛馬水門はフラッシュ放流を行うために、また、水文データの観測・堰水文データの演算ために常時稼働することが求められる。そして、1日のうちに全システムを移行することは時間的に不可能であるため、以上のことから、堰コンの更新作業の際には堰コンを機能を停止させない、もしくはいかに停止期間を短くするか工夫が必要となる。

5. 堰コンの更新作業時にした工夫

更新作業の作業方針として、旧堰コンから新堰コンへ機能の移行を段階的に行うことで、一度の停止期間を短くすることとなった。そのため、移行期間中は、システムの移行が完了した設備を新堰コンで、まだ終わっていない設備を旧堰コンで運用することとなった。まず、新堰コンを操作室の空いているスペースに仮設・配線を行い、新堰コンの調整作業を開始した。

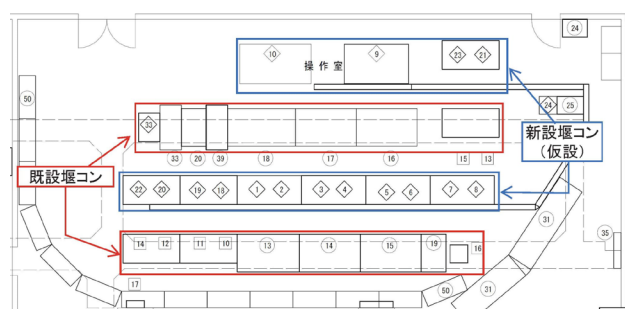


図-8 新旧堰コン設置時の図

新堰コンの調整作業を行うために、事前に水文データの新堰コンから統一河川情報システムへ送信するようにした。水位データは水位計コードから分岐して新・旧堰コンに並行で取り込んだ。各ゲートの開度は調整が終わるまで新堰コンの開度データを送信できないため、仮設した仮想ノードシステム（PLC）から旧堰コンの開度データを新堰コンに取り込み、新堰コンからデータを送信するようにした。

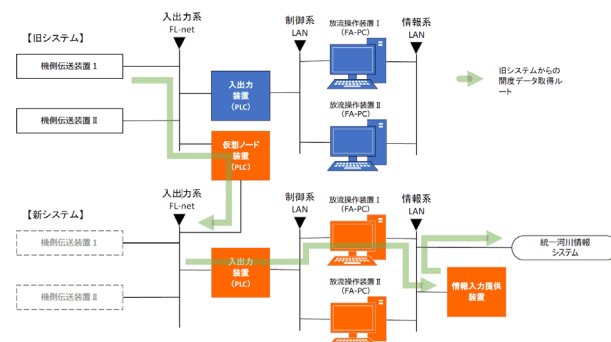


図-9 ゲート開度の取り込みイメージ

続いて堰コンの旧から新への切替作業を行った。作業は施設ごとに別日に分けて順次新堰コンへ切替えていった。毛馬閘門は通船予定のない日にまとめて切替を実施し、淀川大堰・毛馬水門・一津屋樋門に関しては、切替を行っているゲートを停止させている間、他の稼働しているゲートにて、切替中のゲートの分も合わせて放流するよう自動制御を行った。淀川大堰の調整ゲートである1号と6号ゲートの切替作業の場合は、2日に分けて行われた。1日目に6号ゲートを新堰コンに切り替える際には、6号ゲートを全閉し、1号ゲートで6号ゲートの分も放流することで、水位調整を行った。2日目に1号ゲートの切り替えを行った際も同様に、6号ゲートで1号ゲートの分も含めて水位調整を行った。毛馬水門・一津屋樋門でも同様の手順で切替作業を行うことで、各設備の自動制御、水文データの観測・演算のために堰コンを常時稼働させることが可能となった。

6. おわりに

本報告では、淀川大堰閘門の新設に伴い実施した電気設備および通信設備の整備内容と、それと同時に行った堰コンの更新工事における工夫について述べた。特に、既存施設である淀川大堰、毛馬水門、一津屋樋門においては、洪水対応やフラッシュ放流などの運用上、堰コンを長時間停止することが困難であるという制約条件のもとでの更新作業が求められた。そのため、本工事では新堰コンを仮設し、新旧堰コンを並行運用しながら機能移行を段階的に実施する手法を採用することで、制御機能を維持したまま更新を行うことが可能となった。

また、大堰閘門の電気・通信設備の整備においては、施工性や作業効率を考慮したケーブル種別の変更や、新技術を活用した施工方法を採用することで、工程の短縮および安全性の向上を図ることができた。これらの工夫は、今後の河川管理施設における設備更新や新設工事においても、有効な事例として活用できるものと考えられる。

淀川大堰閘門は、平常時の舟運のみならず、災害時における水上輸送の確保という重要な役割を担う施設である。本工事により、同閘門を含む淀川大堰関連施設の管理・制御体制が強化され、より安全かつ確実な運用が可能となった。今後は、運用実績を踏まえつつ、設備の信頼性向上や維持管理の高度化に引き続き取り組んでいく必要がある。

※本論文の内容は、筆者の従前の所属である国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所毛馬出張所における業務

に基づくものである。

参考文献

- 1) 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）
- 2) 国土交通省：淀川大堰閘門管理制御処理設備設置工事完成図書（2026年3月）
- 3) 国土交通省：淀川大堰閘門通信設備設置工事完成図書（2026年3月）
- 4) 国土交通省：淀川大堰閘門電気設備設置工事完成図書（2026年3月）

竹被覆工によるシカ被害対策の効果検証

西川 大貴¹・小林 正典²

¹和歌山森林管理署 本宮治山事業所（〒647-1752 和歌山県田辺市本宮町切畑276）

²和歌山森林管理署（〒646-0011 和歌山県田辺市新庄町2345-1）

治山事業では崩壊地の復旧を目指し緑化に取り組んでいますが、シカの生息密度が高い地域では、シカによる食害のため緑化が進んでいない箇所があります。このためシカの侵入対策として和歌山森林管理署が開発した「竹被覆工」について、試験施工から約9年経過したため、効果検証を行いました。その結果、試験地では初期成長の早い樹木が優占する木本植生が成立しており、竹被覆工の効果を確認することができました。

キーワード 治山事業,食害,シカ,侵入防止,緑化工

1. はじめに

¹「竹被覆工」（小林ほか 2017）とは、約30度以上の傾斜地に半割にした竹を敷並べることでシカの足を滑らせて侵入を防ぐ工法で、緑化したい箇所を竹で囲うように設置します（写真-1）。また、当工法は、施工が簡単なことや、施工後のメンテナンスが不要であること、自然に朽ちるため撤去が不要であること、自然物のため景観に配慮できることなど様々なメリットがあります。

和歌山森林管理署では、2015年から開発を進め、2017年及び2018年に民有林直轄治山事業地（八升前地区、下モ谷地区、本田垣内地区）において試験施工を行いました。施工から約2年半までは、シカの侵入防止効果が持続することが分かっており、2017年に「竹被覆工」の効果について報告を行っています。施工から約9年が経過し、試験地の緑化状況等の追跡調査を実施しました。



写真-1 法枠工に設置した竹被覆工

2. 調査方法

各試験地に生育していた植物を同定し、その配置や樹高、シカの食害状況を確認するとともに、ドローンで航空写真を撮影し、オルソ化ソフトウェアを用いて作成したオルソ画像からGISを用いて、植物種ごとの占有面積を求め、木本類、草本類、²シカの嗜好性（橋本ほか2014）の有無で4パターンに分類し、その占有割合を算出しました。

3. 試験地概要

(1)八升前地区

2017年に法枠工施工箇所を5つの区画に分けて試験施工を行っています。試験区①②③は傾斜30度以上、試験区④と対照区⑤は傾斜30度未満となっており、試験区①②は竹被覆工を法枠工2枠幅（約4m）、試験区③④は法枠工1枠幅（約2m）で囲うように施工しています。また、試験区①では隣接する枠内モルタル吹付箇所からの侵入の有無を検証するため、枠内モルタル側は施工しておらず、試験区②では上部の傾斜70度の急傾斜地からの侵入の有無を検証するため、上部をあえて施工しない区画としています（図-1）。

また、すべての施工箇所に緑化基材を撒き、ヤマグリ、アラカシ、ケヤキの地域性苗木を合計100本植栽しています。

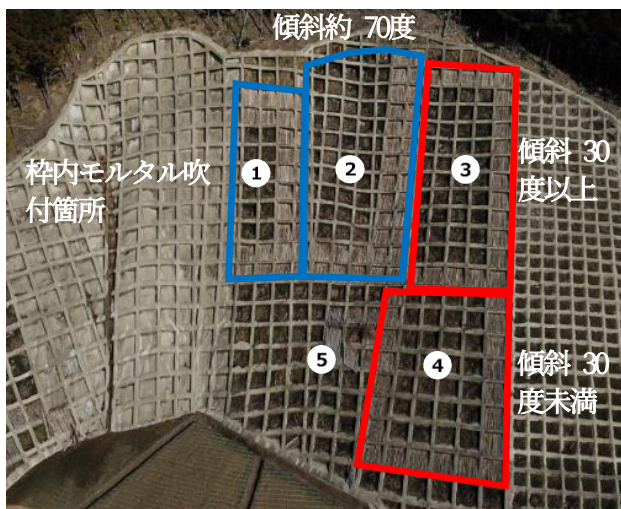


図-1 八升前試験区の全景 (2017年 7月施工)

(2) 下モ谷地区

2018年に傾斜 30度以上の試験区を 3箇所設け、すべて約 2mの幅で施工し、地域性苗木を植栽しています。試験区①は法枠工施工箇所に竹被覆工を施工し、内側にセンダン 7本を植栽。試験区②は伏工の施工箇所に竹被覆工を施工し、内側にヤマグリを 1本植栽。試験区③は法枠工施工箇所に竹被覆工を施工し、ケヤキ、ヤマグリ、アラカシを合計 10本植栽しています。(図-2)



図-2 下モ谷試験区の全景 (2026年 7月)

(3) 本田垣内地区

2017年に傾斜 30度以上の法枠工施工箇所に 2枠幅(約 4m)で施工した箇所です(図-3) 本田垣内地区は、八升前、下モ谷とは異なり、自然侵入を期待し、木本類の植栽は行わず、牧草類の吹付のみを行いました。施工から約 2年半までの間はシカの侵入を防ぎ、牧草類が良好に生育していることが確認されましたが、竹の上部に生えた草が滑り止めになったことや腐食の影響により、その後はシカの侵入が確認されました。

現在は吹付した牧草類がほぼ消滅し、全体的に自然侵入した不嗜好性のススキが優占しています。しかし、直接竹で覆われた箇所では樹木が多くみられたことから、直接竹で覆われた箇所を①地区、その内側を②地区として調査しました。

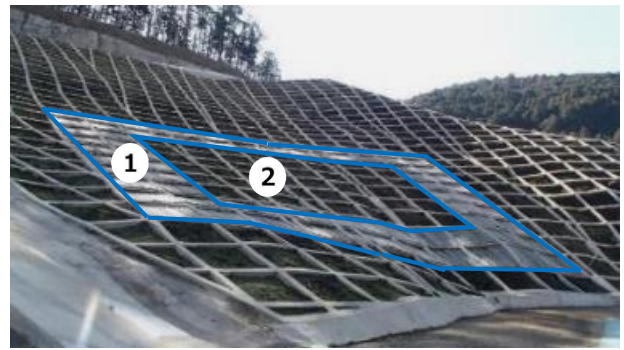


図-3 本田垣内試験区の全景 (2017年 2月)

4. 調査結果と考察

(1) 八升前地区

傾斜 30度以上である試験区①～③の箇所では、木本類の占有面積が 39m² (占有率 80%)、草本類の占有面積が 39m² (占有率 8%)と木本類が非常に多くみられました(図-4 表-1)

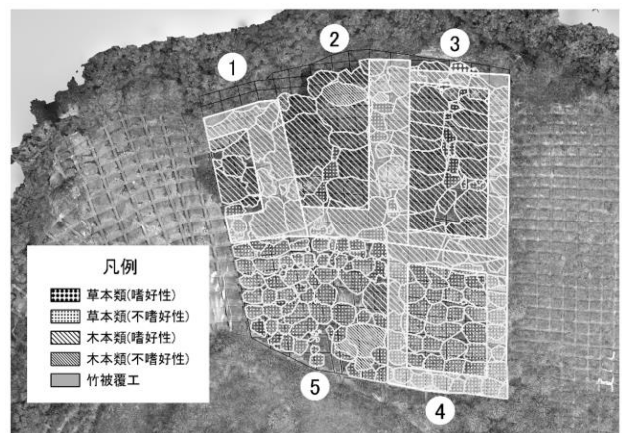
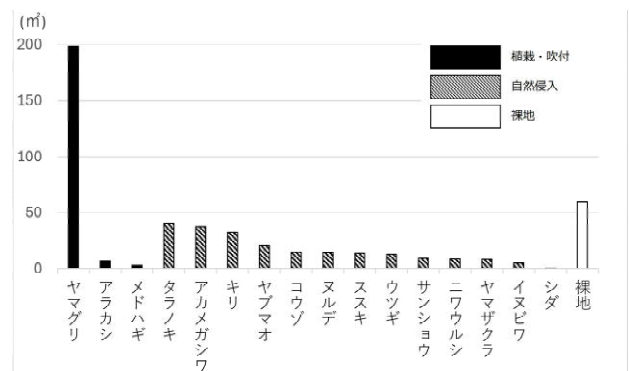


図-4 八升前試験区 木本・草本別の分布図

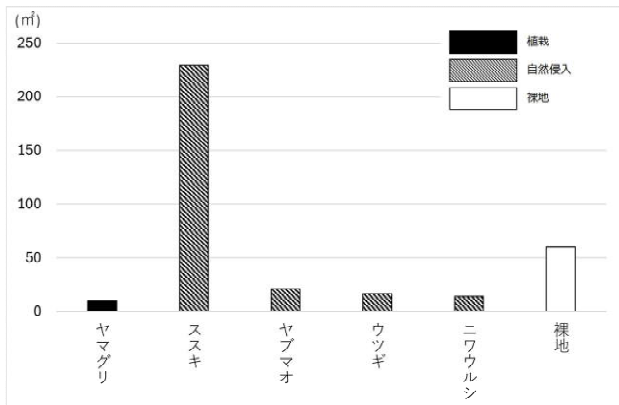
表-1 八升前試験区①～③植物種別の占有面積



一方で試験区④と対照区⑤では、不嗜好性のススキが優占し、草本類の占有面積が 25m² (占有率 70%)と多くみられ、木本類の占有面積は 40m² (占有率 12%)と少数でし

た(図-4 表-2)

表-2 八升前試験区④ 対照区⑤植物種別の占有面積



また、傾斜30度以上の箇所では、陽樹を中心とした13種類の植物が自然侵入していることが確認されました(図-5 表-1)

一方で試験区④と対照区⑤では、自然侵入した植物種は非常に少ないことが分かりました。(図-5 表-2)

また、樹高を測定した結果 試験区①～③において植栽したヤマグリが約6mに生育し、自然侵入したタラノキが約6m、キリが約12mに生育していることが確認されました。

傾斜30度以上の試験区①～③で、植栽したヤマグリや自然侵入した陽樹が多く生育していた理由としては、樹木の初期成長期にシカの侵入、食害を防げた結果と考えられます。一方で、成長の遅いアラカシ、ケヤキの植栽木は、ほとんどが消滅しており、竹被覆工が有効に機能する間に生長しきれず食害にあったものと考えられます。

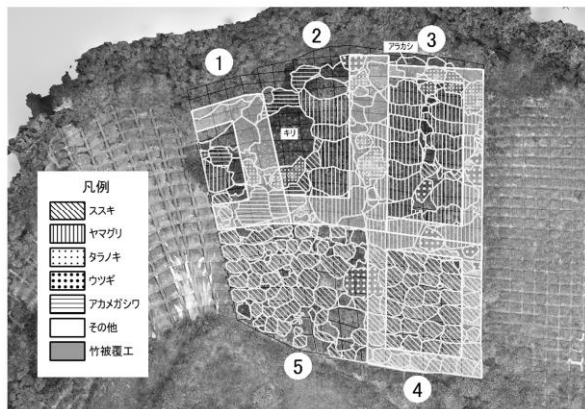


図-5 八升前試験区 植物種別の分布図

(2) 下モ谷地区

試験区①のセンダン植栽地では、竹被覆工の内側に植栽したセンダン7本の樹高が最大で9m程度に生育していました。また、一部でウツギなどの植物がみられたものの、八升前に比べて、自然侵入した植物は多くみられませんでした(図-6)。

要因として、下モ谷は乾燥が激しい環境であることに加え、天然の種子供給が限定的であったことなどが考えられます。

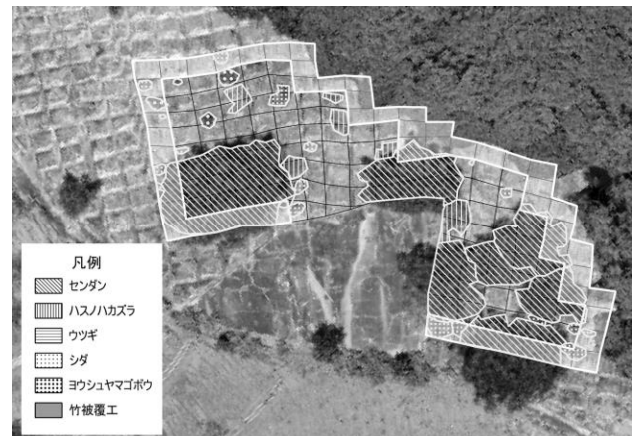


図-6 下モ谷試験区 植物種別の分布図

試験区②(写真-2)では、植栽したヤマグリが樹高3m程度に生育していました。樹高約1.2m以下の枝はシカの食害が確認されましたが、ディアライン(シカの口が届く高さ)を超えて、成長していたことから、生育に問題はみられませんでした(写真-3)。



写真-2 ヤマグリの生育状況(2026年7月)



写真-3 地上1.2mに確認されたディアライン(2026年7月)

竹被覆工が有効に機能している間にヤマグリの頂芽が

シカに食べられることなく生育したためと考えられます。この結果から傾斜 30度以上の伏工施工箇所においても竹被覆工の有効性が確認できました。

試験区③ (写真-4)は施工直後からシカに侵入された場所です。施工地直下に平場があり、施工直後からシカが助走をつけて侵入したと考えられ、植栽木はケヤキ 1本を残して消滅し、土壌が流出していました。

しかし、直接竹で覆われた箇所では、ニワウルシやシダ類が確認されました (写真-5)。



写真-4 試験区③の全景 (2026年 7月)



写真-5 竹の隙間から植物が生育している様子 (2026年 7月)

竹被覆工の内側と対照区では、シカの踏み荒らし等により表土が流出していたのに対して、直接竹で覆われた箇所は表土が残っていたことが要因であると考えられ、竹被覆工による表土保護効果が確認できました。

(3) 本田垣内地区

①地区では、不嗜好性のススキの占有面積が約 64m² (占有率 33%)であったものの、嗜好性の木本類の占有面積は約 91m² (占有率 42%)と比較的多く残っていました (図-7、表-3)。一方で、②地区では対照区と同様にススキが優占しており、草本類の占有面積が 135m² (占有率 92%)で、木本類の占有面積は 2m² (占有率 2%)のみとなっていました (図-7、表-4)。

①地区において、確認された樹木の樹高は、カナクギ

ノキが約 3m コアカソが約 2m ウツギが約 4mになるなど良好に生育していることが確認されました。

①地区の竹被覆箇所では、施工から約 2年半後にシカの侵入を受けた後も滑りやすい状態が継続したことに加え、法枠 2枠幅で施工していたことにより、竹の外からシカが食べにくく、自然侵入した樹木の多くが生存できたと考えられます。

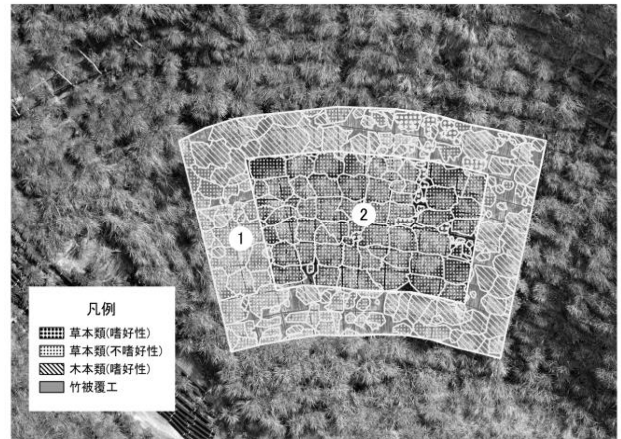


図-7 本田垣内試験区 木本・草本別の分布図

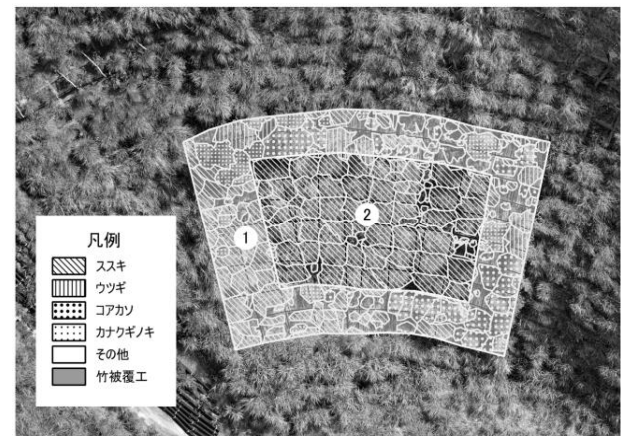


図-8 本田垣内試験区 植物種別の分布図

表-3 本田垣内①地区植物種別の占有面積

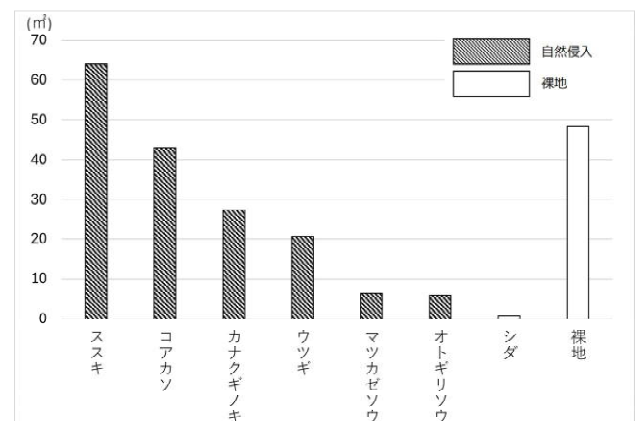
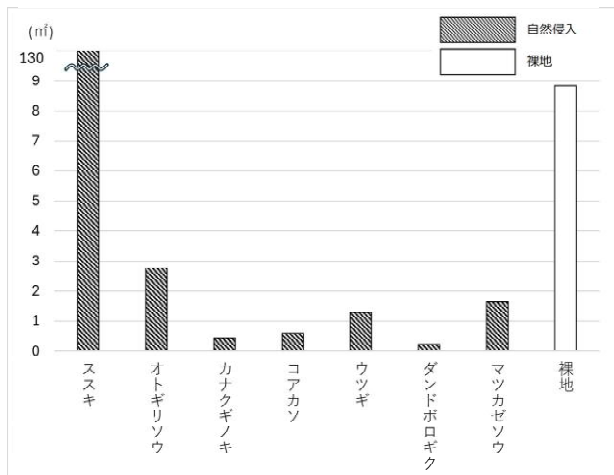


表-4 本田垣内②地区植物種別の占有面積



5.まとめ

シカの生息密度の高い地域における災害復旧等において、傾斜30度以上の箇所では、竹被覆工を幅約2m以上で施工することにより、施工後約2年半はシカの侵入を防ぐことができることから、それまでの間にディアラインを超える樹高に生長するセンダンやヤマグリ等の初期成長の早い樹木を同時に植栽することで、崩壊地の森林への早期回復が可能であることが分かりました。

また、傾斜30度未満の箇所も含めて、竹で直接覆われた箇所は、シカの踏み荒らしから表土が守られるため、

土壌の流出が抑えられ、シカの侵入後も植生の回復を期待できる状況となっていました。特に竹被覆工の幅約4mの施工箇所では、周りからシカが食べにくく幅2mの施工より天然更新がしやすいことが分かりました。

また、試験地に施工した竹は腐食が進み、土に還りつつあり、一般的なシカ防護柵等と比べ、撤去が不要であることが確認されました。

これまでの研究から本工法の有効性が確認されたため、2025年に新たに下モ谷地区で竹被覆工を施工しており、引き続き森林への早期回復を進めているところです。

今後は竹に防腐処理を施し、侵入防止効果をさらに持続させることで初期成長の遅い樹木の植栽も想定しています。

また、和歌山森林管理署で開催した現地検討会において、本工法の成果についてマスコミや民有林関係者、請負事業体等へ紹介しました。今後も竹被覆工の普及に努め、シカ被害箇所の森林への早期回復の一助となることを考えています。

参考文献

- 1) 小林正典, 岡井邦仁, 秋田顕二 シカによる緑化被害の対策について 平成29年度 国有林野事業業務研究発表集, 57~62 林野庁, 2017
- 2) 橋本佳延, 藤木大介 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト :人と自然, 133-160 兵庫県立人と自然の博物館, 2014

レーザートラッカーによる仮橋施工の高精度化と効率化

奥野 祐平¹・綿貫 将太¹

¹奥村組土木興業株式会社 環境開発本部 第二技術部（〒552-0016 大阪市港区三先1-11-18）

河川内における仮橋工事では、出水期の施工制約条件などから全体工程が長くなることもあり、上部工と下部工を分割して発注することがある。先行する下部工施工では、アクセス道路や施工ヤードを整備した後、下部工を構築することになる。上部工の施工は出水期明けの作業となるため、出水期間中の水位上昇により下部工の支間長が変化している恐れがあること、施工ヤードの地耐力が低下している恐れがあることなどから支間長の確認と施工ヤードの再整備が重要である。

今回、上部工桁の製作に反映させるために精確な支間長の確認を行うとともに、上部工工事を開始する前に施工ヤードの状態を確認し、安全に作業ができるかを検討する必要があった。そこで高い精度での測量が可能な「Leica レーザートラッカー」による支間長の確認とSWS試験で原位置の換算N値を計測したことで、整備された施工ヤードの地耐力について再検討を行った。

キーワード 河川工事、レーザートラッカー、SWS試験（スクリューウェイト貫入試験）

1. はじめに

木津川上流域に位置する上野地区は、木津川・服部川・柘植川が合流し直下流に岩倉峡の狭窄部を抱えており、浸水常襲地として古来より悩まされてきた地域である。木津川では、狭窄部下流の河川整備が進捗していないのが現状である。木津川上流部大規模水害・土砂災害に関する減災対策として、淀川水系上野遊水地事業に伴

う三田地区引堤により、伊賀上野橋延伸を行うことを目的に、迂回路（仮橋）を設置する必要があった。併せて、服部川左岸高水敷き部を掘削することにより、服部川の水位を低下させることを計画した。

国道422号本線の整備に伴い、迂回路として仮橋（プレガーダー橋）を設置する計画である。下部工（支持杭・桁受・受桁）は施工済みであった（図-1）。

仮橋橋の上部工の支承条件はFIXおよびMOVであり、

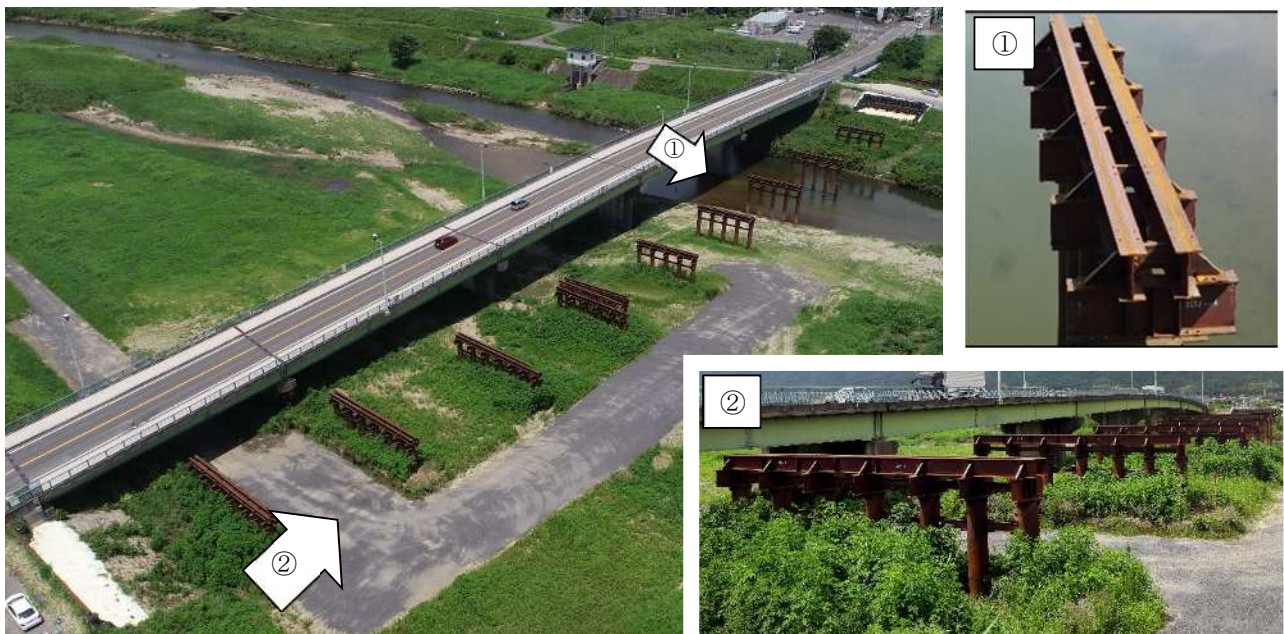


図-1 伊賀上野仮橋（2024年7月撮影）

受桁にボルトで固定されるため、上部工の製作には高い精度が求められる。このことから、上部工製作前にボルト固定位置の確認が必要である。また、施工ヤードの地耐力についても、改めて確認する必要があった。

2. レーザートラッカーによる支間長調査

(1) レーザートラッカー（ATS600, Leica社）の概要

支間長の情報は設計図面での情報しかなかったため、従来のレーザースキャナーよりも高精度な三次元測量が行えるレーザートラッカー（以下、トラッカーという）を用いることにした。トラッカーは、航空機や自動車部品を製造する工場などで使われる産業用の計測機械であり、土木工事での使用例はかなり少ない。機器構成を図2に示す。



図2 レーザートラッカーの機器構成

一般的に使用されるレーザースキャナーには無い大きな特徴が3点ある。1点目は精度が良く、計測対象まで30mかつレーザーの入射角が 45° 以上でスキャニング計測を行った場合、誤差は $\pm 0.3\text{mm}$ である。2点目はリフレクターと呼ばれる器具を用いて、トータルステーション（以下、TS）のように点を計測することも可能である。3点目は点間ピッチを 0.5mm から 1m の間で任意に設定することができる。図3の通り、レーザースキャナーは測定距離に近い箇所では点群が密に、遠い箇所では点群が疎になる特性があるが、トラッカーは、測定距離にかかわらず均一のピッチを維持したまま点群の計測が可能である。

(2) 調査方法

トラッカーの高い測定精度を保持するためには、対象物に正対して計測することが基本である。

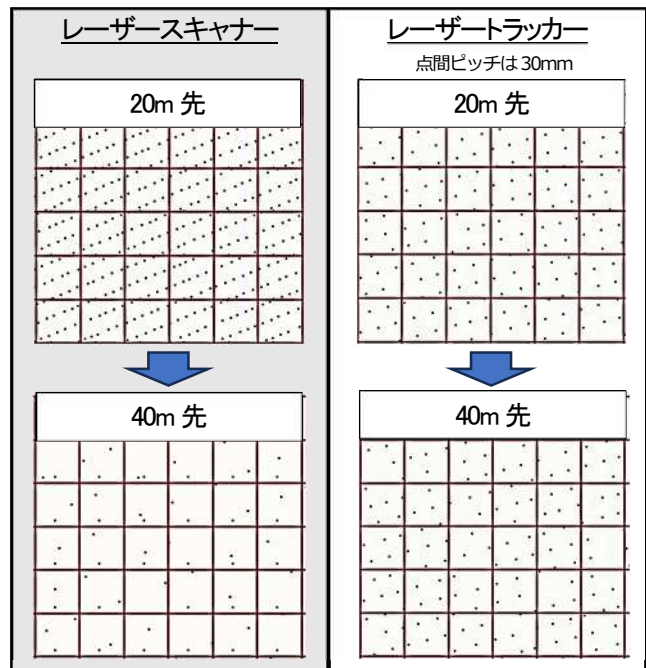


図3 点群密度の比較

このため、隣接する既設橋上にトラッカーを設置して計測することになるが、既設橋は供用された状態での計測となるため測定不良や測定精度の低下などが懸念された。車両通行時の振動の影響を受けないよう測定時間を極力短くする必要があり、1回の計測では1基の受桁を対象として、基準点を確認し、隣の受桁の計測を順次行った（図4）。計測距離は最大で約25m、最小で約3mであった。

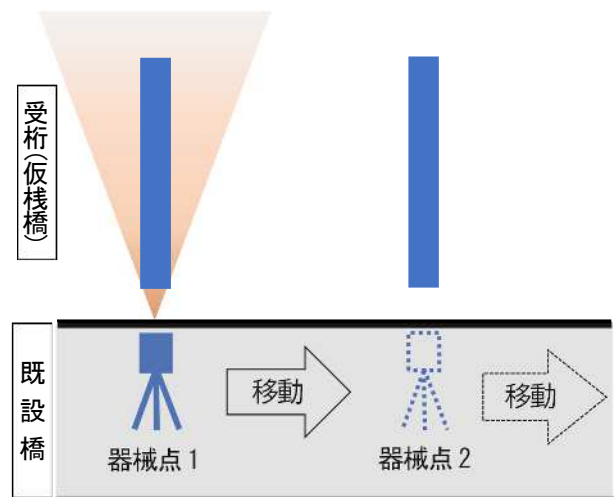


図4 計測の手順

実際の計測の様子を図5に示す。既設橋にトラッカーを据え置き、受桁の計測を行った。

精度が求められるスキャンであるので、受桁の孔のみをスキャン範囲として設定し、計測点群のピッチは 1.5mm とした。次に、孔の点群のみでは後の解析で孔の区別が難しくなるので、受桁全体をスキャン範囲として、計測点群のピッチは 25mm とした。このようにトラッカ

一を用いることで、精度が求められる箇所は点群を密に計測し、そうでない箇所は点群を疎に計測するといったことが可能であり、従来のレーザースキャナーに比べて効率的かつ精度良く計測を行うことができる。

今回のように橋梁が近接しているような条件下では、出水期間であっても計測可能であることや渇水期において水位が低くならない場合でも計測が可能であり、出水期明けの施工がスムーズに行えるというメリットがある。



図5 計測の様子

受桁の計測を始めてから次の受桁の計測を始めるまでにかかる時間は30分程度であった。これはトラックの盛替え、各器械点での基準点計測やスキャンにかかった時間を含むものである。

(3) 調査結果

測量に要した時間は4日で人員は2名、点群の解析には5日を要し人員は2名であった。

点群の処理には、専用の点群解析ソフト（PolyWorks）を用いた。下部工ごとに計測（図-4）を行い、基準点をもとに計測データを繋ぎ合わせて、下部工の位置関係を再現した。

点群の例として、図-6に仮橋橋下部工KP5の点群データを示す。

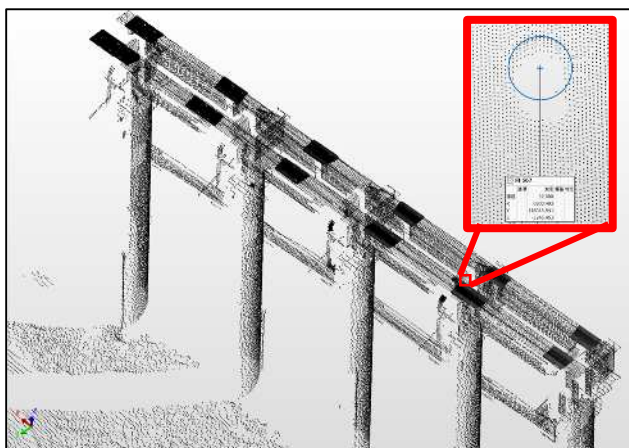


図-6 仮橋橋下部工 KP5 の点群

受桁の孔の抽出方法としては、沓座を固定する孔を円（直径は既知）として抽出し、円のモデルをiges形式で出力した。Autodesk Civil 3Dにiges形式で出力した円のモデルを取り込み、沓座の4つの円のそれぞれ対角上にある2つの円の中心を線で結ぶ。その2つの対角線の交点間の距離を支間長とした（図-7）。



図-7 孔位置と支間長

a) トラックと設計値の差分

計測した支間長は、一部で設計図面の支間長と大きく異なる箇所が確認された。KP11~KA2間の主桁において、設計値と比べて支間長は最大で27mm短かった。これは支間長の規格値を超えるものであった。

b) TSとの比較

トラックとTSの支間長の差分について、8箇所と比較した結果、±3mmに収まった。トラックで測量したデータは有効なデータであると判断できる。

c) 主桁中心間距離の調査（メジャーとTSとの比較）

TSで支間長を測量する作業と並行して、主桁中心間距離もメジャーで計測を行った。

メジャー、トラック、TSの3つを用いて13箇所を計測した。メジャーで計測した数値とトラックで測量した数値は±1mm程度の誤差であった。

3. 施工ヤードの地耐力確認

(1) 施工ヤードについて

仮橋の桁の架設作業は、先行した下部工工事で整備した施工ヤードで行う計画であった。整備された施工ヤードは出水期を越えているため、浸水の影響による地耐力の低下などが懸念され、安全に作業を行うためには桁の架設作業に用いるクレーンの設置圧を満足する地耐力が確保されているかの確認が必要であった。調査は3箇所で行った（図-8）。



図-8 現地施工ヤード

(2) 地耐力確認

地耐力を確認する調査方法として行われているのが、ボーリング試験（標準貫入試験）、平板載荷試験、SWS試験等がある。今回は記載した3つの調査方法の中から、最も簡易的に調査ができ、作業時間が短く早期に結果を判断できることを考慮し、SWS試験による施工ヤードの地耐力確認を行った（図-9）。

a) SWS試験（スクリーウェイト貫入試験）

先行した下部工工事では、地耐力確保を目的として、盛土層（B層）をすべて良質土に置き換えて、表層に厚さ0.2mの砕石を敷きならしていた（図-10、11）。置き換え土より以深は原地盤である。置き換え土の上の砕石0.2mは薄層であったため、支持力検討の対象外とし、荷重の分散効果のみ考慮した。



図-9 現地計測状況



図-10 施工ヤードの断面



図-11 下部工完了時の施工ヤード

b) SWS試験結果

3箇所で行ったが、置換土の層厚や、N値、せん断抵抗角が異なる結果となった（表-1）。

表-1 試験結果一覧

試験箇所	層構成	換算 N 値	せん断抵抗角
No.13	1層目 砕石 0.20m	—	—
	2層目 置換土 1.75m	11.6	28
	3層目 原地盤	113.7	56
No.15	1層目 砕石 0.20m	—	—
	2層目 置換土 1.83m	10.1	27
	3層目 原地盤	113.7	56
No.17	1層目 砕石 0.20m	—	—
	2層目 置換土 0.75m	18.9	32
	3層目 原地盤	85.8	51

c) 地耐力照査結果

地耐力の照査を行った結果、下部工工事とクレーン荷重が異なることや出水期の影響などにより、桁の架設に用いるクレーンの設置圧が地耐力を上回ることがわかった。対策として採用した条件を表-2に示す。

表-2 地耐力の照査結果一覧

試験箇所	検討条件	結果
No.13	敷き鉄板無し	NG
	敷き鉄板無し + 砕石 50cm 追加	OK
	敷き鉄板 1 枚	NG
	敷き鉄板 1 枚 + 砕石 35cm 追加	OK(採用)
No.15	敷き鉄板無し	NG
	敷き鉄板無し + 砕石 60cm 追加	OK
	敷き鉄板 1 枚	NG
	敷き鉄板 1 枚 + 砕石 40cm 追加	OK(採用)
No.17	敷き鉄板無し	NG
	敷き鉄板無し + 砕石 20cm 追加	OK
	敷き鉄板 1 枚	OK(採用)

4. おわりに

通常では上部工工事の開始後に下部工の出来形を確認することになるが、河川の流量によっては下部工への近接のために足場等の設備が必要となることがある。トラッカーを使えば出水期間であっても測定でき、水流のある場所や高さのある場所でも測定可能なため、出水期明けの着手が早められるなど、安全性の向上、コストの軽減や工程短縮に寄与すると考えられる。

地耐力確保を目的に置き換えた場合、出水期間中に乱されて地耐力の低下が生じやすくなるため、地耐力の確認が必要であることがわかった。

先行工事で施工した正確なデータの引き渡しが行われないと、品質や安全性の低下に繋がる恐れがある。支間長や地耐力においても後続工事業者で確認作業を入念に行う必要がある。

参考文献

- 国土交通省：出来形管理基準及び規格値（案）令和6年3月，I-123
- 国土交通省：「日本の川 木津川の歴史」，
（https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0612_kizugawa/0612_kizugawa_01.html）

大和北道路橋梁工事における 国道24号 既設橋脚に対する近接施工影響検討について

影澤 拓知¹・簗内 慎司²

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

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

大和北道路の本線が一般国道24号をアンダーパスする箇所において、本線に支障となる一般国道24号八条高架橋の既設P7橋脚を撤去し、新設門型橋脚へと再構築する。新設P7橋脚はアーバンリング工法により施工されるが、供用中の既設P7橋脚に対して約1.0mのきわめて近接した条件となる。このため、施工に伴う既設構造物への影響を把握するために、FEM影響解析を含む近接施工における影響検討手法ならびに計測管理手法の立案を行った。本論文では、この内容を報告するとともに、実計測で確認された温度に対する変位量の相関関係を計測管理へ反映した事例を示し、今後の近接施工時における計測計画への展開を報告する。

キーワード 近接施工（影響検討）、自動計測、アーバンリング工法

1. 概要

(1) 工事概要

a) 京奈和自動車道 大和北道路

京奈和自動車道は近畿圏の環状道路ネットワークを構成する高規格道路であり、このうち、奈良県内の未開通区間である大和北道路の一部が2008年度に事業化された。交通容量を超過し多数の主要渋滞箇所や速度低下による交通混雑が発生する一般国道24号から、新たに整備される大和北道路へ交通が転換することにより、奈良市周辺地域の交通円滑化が期待されることに加え、沿線自治体から和歌山・大阪・中京圏へのアクセス向上により、企業進出や観光行動へも大きく寄与する（図-1）。



図-1 京奈和自動車道の概要図

b) 離隔約1.0mの近接施工

大和北道路は奈良市八条地先において一般国道24号と交差し、一般国道24号の八条高架橋をアンダーパスする構造であるが、大和北道路の本線が八条高架橋の既設P7橋脚と干渉するため、この既設P7橋脚を撤去し、新設P7橋脚（鋼製門型橋脚）へと再構築を行う。八条高架橋は、迂回路が確保できない重交通路線であり通行止めができないため、ECI契約方式（技術提案・交渉方式「技術協力・施工タイプ」）により、設計段階より高度な工法等の活用を行った。狭隘な施工ヤードや隣接河川の条件より、新設P7橋脚基礎は、場所打ち杭から深礎杭へ変更された。この深礎杭を構築するオープンケーソンが既設P7橋脚へ約1.0mと近接する（図-2）ことから、施工時の地盤変位が既設橋脚へと影響する可能性があり、供用中の八条高架橋の安全性確保が重要な課題だった。

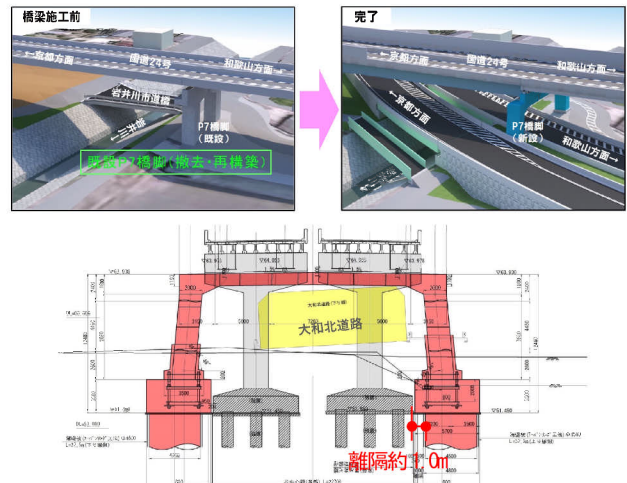


図-2 近接施工概要図

(2) 近畿地方整備局管内の近接施工実績

近畿地方整備局管内における近接施工の実績は、いずれも一般国道の既設橋脚に対する離隔約1.0m程度と近接したオープンケーソンの施工条件とはなっていない（表-1）。このため、本工事の施工条件に合致した近接施工の影響検討手法ならびに潜在リスクに対する管理手法を構築し、関係部門と事前調整を行う必要があった。

2. 近接施工影響検討とリスクに対する管理手法

(1) 近接施工の概要

近接施工となるオープンケーソンは、圧入ケーソン工法に分類されるアーバンリング工法により構築する。直径約4.8mの円形に組み立てたアーバンリング鋼殻を、四隅に設置した沈設用グラウンドアンカーの反力を用いた圧入装置により圧入しながら内部を水中掘削することで、地表から40m超の深い地中まで順次アーバンリング鋼殻を沈設する（図-3）。数メートルに1か所設けたフリクションカットにより28mm程度地山を余掘りするため、1.0m程度のわずかな離隔しかない既設P7橋脚の変位が発生する可能性があった。

(2) 近接程度の判定

a) 規準類における近接程度の判定手法

設計便覧（案）第3編道路編りならびに近接基礎設計施工要領（案）²⁾に基づき、近接程度を判定すると、アーバンリング圧入掘削時の主働崩壊角 $45^\circ + \phi/2$ の内側に八条高架橋既設P7橋脚が位置することになるため、「影

響範囲Ⅲ」と分類される（図-4）。これは最も近接程度が高い状況であり、対策工法の検討、既設構造物の許容変位量の設定ならびに現場計測管理を行う必要がある（表-2）。

b) 既設P7橋脚の許容変位量の設定

許容変位量の設定では、近接基礎設計施工要領（案）を参照すると、「伸縮継手や支承の移動可能量、自動車の走行性」「上部構造及び下部躯体の応力度」などから定まる変位量とされているが、これらは構造物毎の固有の値であり、管理対象構造物が幅広いことから一律の設定はなされていない。一方、近接工事に関する設計施工指導要領書³⁾では、橋梁を主眼とした構造安全性ならびに自動車走行安全性を確保する観点から定められた許容変位量が具体的に記載されている（図-5）ため、本工事における八条高架橋既設P7橋脚において許容変位量（沈下量、傾斜量、移動量）の準用を検討した。基準類の比較表を表-3に示す。

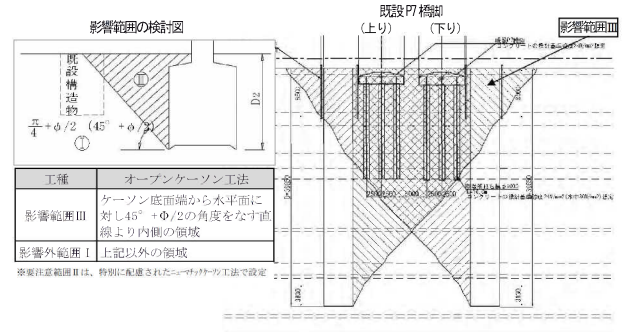


図-4 影響範囲図

表-1 近接施工実績

工事名	工法	近接状況
大和御所道路曾我高架橋（P 9 L他）下部工事	オープンケーソン工法	-
国道9号京都西共同溝発進立坑他工事	オープンケーソン工法	-
西舞鶴道路上安久高架橋P 9 橋脚他工事	ニューマチック工法	線路近接
奥瀬道路（3期）1号橋P 2 下部工事	ニューマチック工法	河川近接

※近畿地方整備局調べ

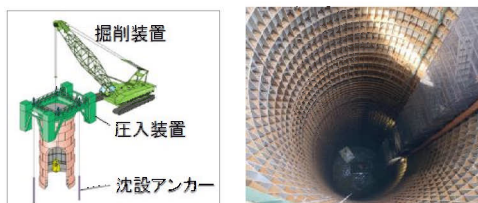
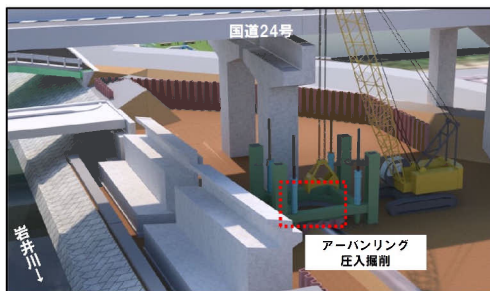


図-3 アーバンリング工法概要

表-2 近接程度による検討の必要性

検討対象	近接程度の判定	既設構造物に影響を与える工種
八条高架橋P7	影響範囲Ⅲ	新設P7橋脚基礎
近接程度の判定	対策工法の検討	既設構造物の許容変位量の設定
影響範囲Ⅲ	○（要検討）	○（要検討、計測が必要）

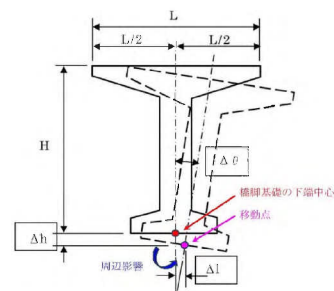


図-5 変位量算定図

表-3 近接施工の基準類の比較表

比較項目	設計便覧（案）、近接基礎設計施工要領（案）	近接工事に関する設計施工指導要領書
管理対象	管理対象構造物が多岐にわたる	主に橋梁を対象
近接判定	掘削時の主働崩壊角により判定	掘削時の主働崩壊角により判定
許容変位量	「伸縮継手や支承の移動可能量、自動車の走行性」 「上部構造及び下部躯体の応力度」 「確保すべき桁下空間や建築限界」	橋脚高さ・橋脚幅員に応じた許容変位量を具体的に記載

c) FEM影響解析モデル

近接施工時における八条高架橋既設P7橋脚の変位について、施工に伴う変位が許容変位量を超過する可能性を事前に確認して対策工の必要性を判断するために、有限要素法（FEM）による影響解析を実施した。実施フローに従い、新設P7橋脚の2つの基礎を順次掘削した場合に、各段階で既設P7橋脚に生じる変位量を算定した。断面モデルにおける新設P7橋脚の掘削は、フリクションカットによる余掘り分の地盤変位として表現される一方で、実際の掘削形状は円形であるため、周辺地盤にアーチ効果が生じて地盤変位が抑制される傾向がある。このため、平面モデル解析により、円形掘削時の変位抑制効果を算定し、この効果を断面モデルへ導入した（図-6）。これにより、アーバンリング工法における円形掘削形状に起因する地山のアーチ効果を断面解析モデルへ反映し、施工時における既設P7橋脚の変位量を適正に算出した。

d) 変位量評価による対策工の必要性検討

FEM影響解析結果より、アーバンリング工法を用いた40m超と深い近接掘削時における八条高架橋既設P7橋脚の変位量は許容変位量以内であることが確認された。このため、施工着工前段階での対策工は不要と判断し、既設P7橋脚の施工時変位量が許容変位量以内に収まっていることを現場計測により確認することとした。一方、施工時の配慮としては、掘削時の滑剤を周辺地盤影響低減型へ変更するなど、掘削影響が周辺地盤を介して既設P7橋脚へ伝達することを防ぐため万全を期した。

(3) 自動計測計画

a) 計測機器

ターゲットプリズムを既設P7橋脚（上り・下り）に取付け、別途設置したトータルステーションから変位量を読み取り水平・鉛直変位を算出するとともに、傾斜計を取付けて橋脚の傾きを計測する。また、熱電対により橋脚表面の温度を測定する手法とした（図-7）。

b) 計測器の設置位置

解析変位量の算定位置であるフーチング下端は、実現場では土中にあり計測機器の取付けができないため、地表面の柱下端に計測機器を設置した。この設置位置の乖離による変位量への影響は、FEM解析により最大0.4mmと微小であることをあらかじめ確認している。

c) 計測方法及び頻度

近接施工時の計測では、水平器や光波測距儀を用いた人力による計測も用いられるが、この手法では、1日に数回程度の計測が限度となり、夜間や現場閉鎖時の計測異常値が把握できない。このため、供用中の重要路線である一般国道24号八条高架橋に対する近接施工時の安全性確保の観点から、トータルステーション等による計測結果を即時記録可能な自動計測システムを導入した。これにより、計測頻度を1時間に1回まで高め、アーバンリング施工時における連続的な変位監視を可能とした。

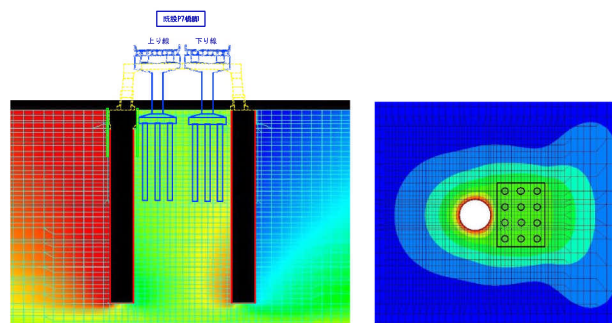


図-6 FEM解析モデル（左：断面モデル、右：平面モデル）

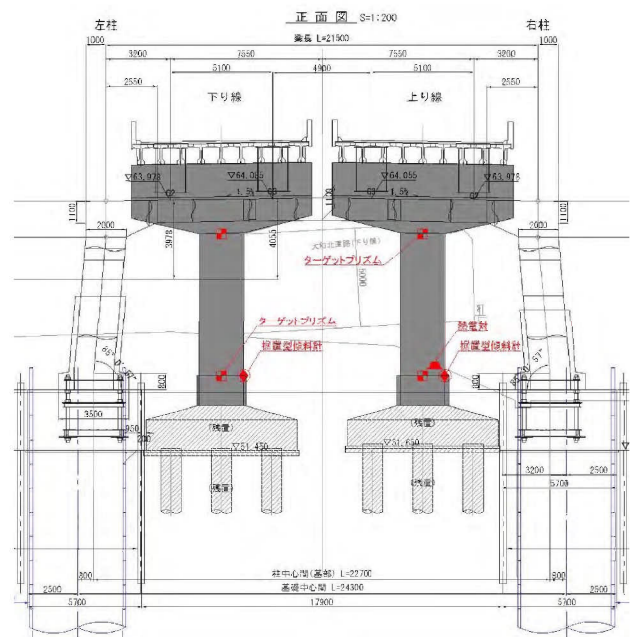


図-7 自動計測概念図

d) ユーザーインターフェースならびに通知

計測結果は、現場事務所に設置したモニターや携帯電話・タブレット等へ反映するとともに、管理値を超過した計測結果が発生した場合には、メール配信等により、現場担当者へ即座に通知を行う体制を構築した。

(4) 管理体制

a) 管理値毎の管理体制

自動計測の計測値が管理値を超過した場合は、原因究明や施工手法の修正、変位抑止対策、走行車両の安全確認、既設構造物の調査、補強対策の検討、通行止め対応など、素早い措置が求められる。実現場での施工進捗に応じて、これらの即時対応を可能とするために、あらかじめ管理フローを策定して、管理値超過時に適切な報告

がなされる体制を構築した（図-8）。

b) 重大インシデントに対する交通迂回計画

特に、限界管理値超過時は、橋梁の安全性を確認して緊急対応を迅速に実施することが求められる。この方針を維持管理部門と定め、既設八条高架橋に損傷がないかを確認し、緊急措置を講ずる必要がある場合に通行止めを行う方策を調整した（図-9）。一般国道24号八条高架橋は奈良県内の重要路線であることから、万が一の通行止め時の交通迂回検討もあわせて実施することが望ましい。このため、通行止め時の交通量推計を行い、通行止めで交通量の増大が生じても混雑度が一定程度以内に収まる路線を迂回誘導先候補とし、交通誘導や看板の検討を行った。

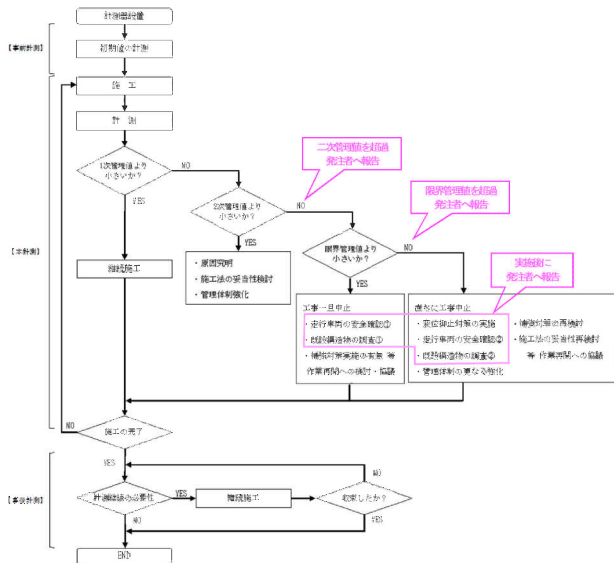


図-8 管理値に応じた連絡体制

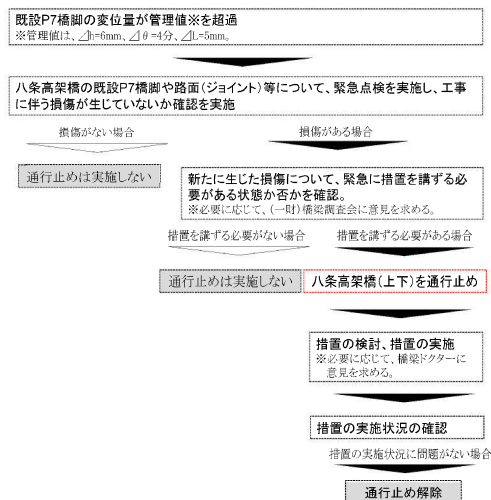


図-9 限界管理値超過時の対応方針

表4 計測管理値

計測項目	管理値	一次管理値	二次管理値	限界管理値
沈下・隆起		3.0mm + α	4.8mm + α	6.0mm + α
傾斜		2.0分 + α	3.2分 + α	4.0分 + α
水平移動		2.5mm + α	4.0mm + α	5.0mm + α

3. 実計測における知見

(1) 事前計測

既設橋脚の計測管理にあたっては、施工に伴う変位のみならず、橋梁固有の季節変動や車両通過時の振動、計測誤差等の自然変動を考慮する必要がある。八条高架橋の既設P7橋脚は、鋼単純合成箱桁と、PC単純プレテン箱桁または6径間連結プレテンT桁の掛け違い部である（図-10）。構造の特殊性ならびに築年数の経過より、温度応力等による橋脚の自然変動量を解析で事前に定量評価することが困難である。このため、あらかじめ自動計測期間を2週間設けて、既設P7橋脚固有の自然変動量が織り込まれた計測値のばらつきを考慮し、段階的な計測管理値（一次管理値、二次管理値、限界管理値）を設定した（表-4）。

(2) アーバンリング1基目の影響

アーバンリング工法の制御圧入掘削は、2基のうち上り（右柱）を先行する。事前計測から上り（右柱）掘削時の本計測までの計測結果を確認すると、土圧バランスに偏りが生じて最も既設P7橋脚の変位が大きくなると想定された施工段階においても、既設P7橋脚の変位量が一次管理値を下回った。さらに、既設P7橋脚上りと下りの変位量の重ね合わせ図（図-11）では、掘削箇所付近に近接した上り側の変位量に特異な点が見られないことから、アーバンリング工法の施工による既設P7橋脚への影響が微小であることが確認された。

(3) 温度による影響

a) 鉛直変位上昇の発生

一方で、本計測の半ばで、橋脚温度が約20℃を下回った時期より、事前計測による温度相関で説明可能な範囲を逸脱して、既設P7橋脚の鉛直方向変位が上昇し始めた。FEM影響解析結果によると、アーバンリング掘削時における既設P7橋脚の主な変位現象は、周辺地盤の水平変位や引き込まれに伴う既設橋脚の沈下であるため、鉛直変位上昇はアーバンリング工事による影響とは考えにくい。

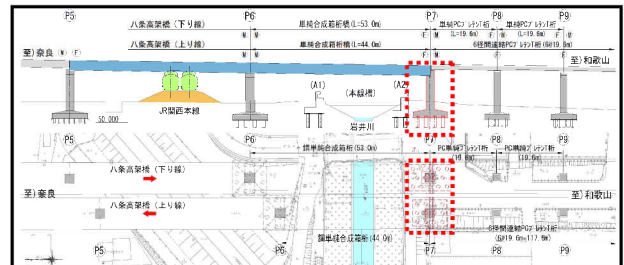


図-10 既設八条高架橋

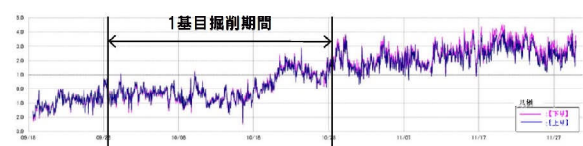


図-11 上り・下り変位量重ね合わせ図

温度に対する鉛直変位量の変動図を図-12に示す。

b) 橋脚特有の要因の推測

既設P7橋脚の支承は、築造年代から旧仕様であると考えられ、経年劣化の影響も想定される。このため、気温低下に伴う鋼桁の収縮変位が支承の固着点に達し、固定支承を介して桁の応力が直接橋脚へ伝達されたことで橋脚が上昇した可能性がある(図-13)。いずれにしても、本現象はこの橋脚固有の挙動であると考えられるため、管理値の設定ではこれらの影響を反映する必要があった。

c) 相関関係の再分析

事前計測での鉛直変位と温度の相関係数を確認すると0.4程度と弱い相関であるが、約2週間の事前計測で取得できたデータは橋脚温度がおおむね20℃以上の範囲に限られる。一方、事前計測から約2か月間の本計測までを含めると、橋脚温度が5℃以上まで幅広いデータが取得できており、0.9程度の強い温度相関が示された(図-14)。これにより、既設P7橋脚固有の自然変動量には、橋脚の温度変化が大きく影響していることが確認された。

d) 幅広い温度帯を考慮した計測管理値

以上より、幅広い温度帯での既設P7橋脚固有の挙動を表すデータを用いて、温度変化の鉛直変位に対する回帰式を再設定して計測管理値を設定し直した。

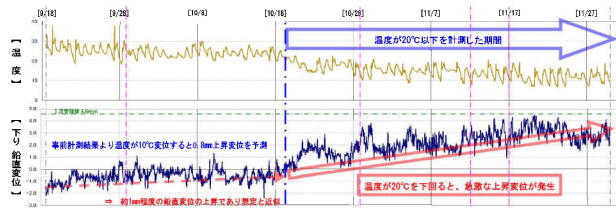


図-12 鉛直変位量 変動図

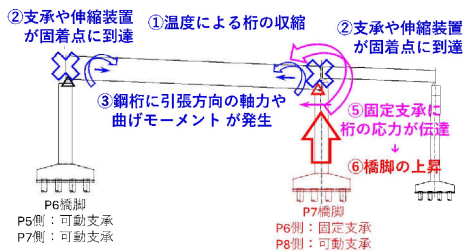


図-13 橋脚上昇の説明概念図

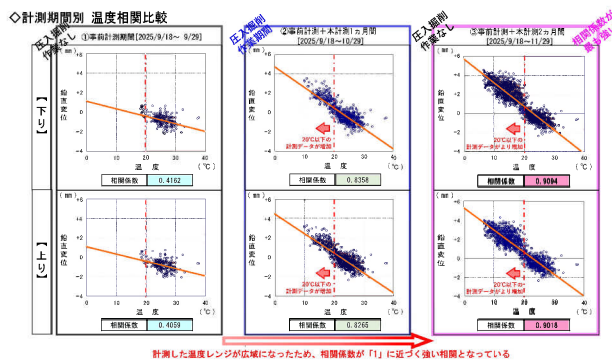


図-14 温度相関の変化

(4) アーバンリング2基目の影響

温度相関を再検証して設定した計測管理値を用い、自動計測により変位量を確認しながらアーバンリング2基目の下り(左柱)掘削を進めたところ、既設P7橋脚の変位量はいずれも一次管理値以内に収まり、顕著な変位増加等は確認されなかった。また、上り(右柱)施工時と比較しても、施工に起因する新たな変位傾向はみられず、既設P7橋脚への影響は軽微であることが確認された。

4. その他の近接施工時の影響検討

(1) 止水目的薬液注入時の影響

新設P7橋脚基部の土留め掘削に先立ち、鋼矢板内において止水を目的とした薬液注入(二重管ストレーナ工法(複相タイプ))を実施したが、鋼矢板と既設P7橋脚との離隔が10cm以下と極めて近接した施工条件であった(図-15)。施工時に自動計測結果を確認すると、薬液注入の進行に伴い、既設P7橋脚に水平変位が発生していることが確認され、一次管理値超過の可能性が懸念された。このため、計測頻度を自由に設定可能な自動計測の利点を活用し、従前の1時間に1回の計測を改め、20分に1回の計測へ切り替えることに加え、施工現場に常備したタブレット端末によりリアルタイムで計測結果を監視しながら薬液注入を行う措置を講じた。

また、薬液注入を一時停止した場合には変位量が一定程度復元する傾向が確認されたものの、注入前の変位水準までは復元しない(図-16)ことから、注入に伴う地盤内圧力が既設P7橋脚へ影響している可能性が示唆された。そこで、注入圧力の局所集中を抑制するため、平面的に分散配置した複数台の注入機により順次注入する「サイクル注入」など、注入手法に関する試験施工を行い、既設P7橋脚への影響を計測結果により確認した。

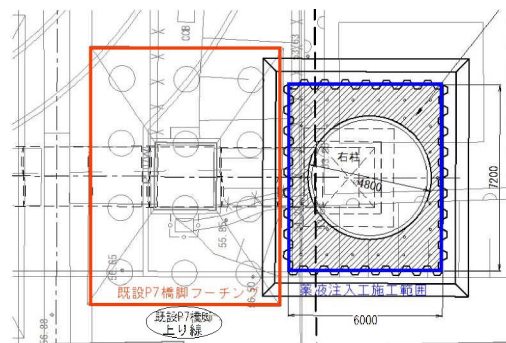


図-15 薬液注入概念図

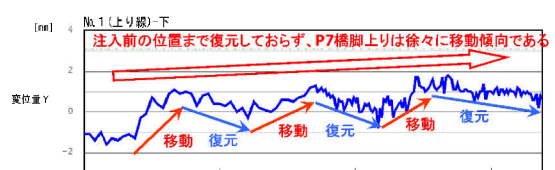


図-16 薬液注入時の変位図

(2) 土留め掘削時の影響

土留め掘削では、自立式鋼矢板の頭部変位に周辺地盤の変位が追従し、八条高架橋既設P7橋脚に変位が発生する可能性が想定された(図-17)ため、有限要素法

(FEM)による影響解析を行ったところ、既設P7橋脚に発生する水平変位が限界管理値を超過することが判明した。このため、上載荷重の一部を排除して作用土圧を軽減する対策工をあらかじめ検討して施工を進めることが可能となった。

5. まとめ

(1) 近接施工時の事前検討ならびに施工時の対応

供用中の一般国道24号八条高架橋既設P7橋脚に対し、約1.0m程度まで近接する前例のないアーバンリング工法の施工において、既設橋脚の自然変動量を考慮した計測管理値を設定し、事前の対策工の必要性を有限要素法(FEM)による影響解析で判断し、万が一の通行止め規制に至る判断フローをあらかじめ維持管理部門と調整したうえで安全に工事を進捗させることができた。

また、リアルタイムで計測結果を管理する自動計測システムを構築したことにより、アーバンリング施工時に既設P7橋脚への影響が生じていないことが確認でき、さらに自動収集されたデータの活用により、温度変化と橋脚変位量の相関関係分析に基づいて、計測管理値をタイムリーに設定して基礎工事を完了させることができた。

(2) 近接施工と自動計測に関する知見

a) 近接施工における計測計画立案の一手法

今回、実現場に即した既設橋梁の許容変位量を設定し、FEM影響解析により変位量推定を行った一事例を示した。近接影響検討で用いる基準類は、管理する既設構造物の種類・規模により計測管理方法の具体化の程度に差がみられる。今回の事例も踏まえ、近接施工時の計測管理がさらに体系化され、改善されることが望ましい。

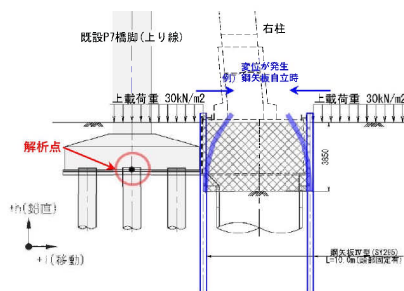


図-17 土留め掘削時の変位発生図

表-5 計測手法の比較表

比較項目	手動計測	自動計測
計測頻度	現場末稼働の休日・夜間等は測定不可能	任意に設定可能
後処理	計測データを表計算ソフト等へ入力して図化を行う必要がある	計測データは自動的に蓄積され、データの取り出しが可能
速報性	計測データの後処理を行い管理値と比較するまでにタイムロスが生じる	測定値を管理値と自動比較し、超過が生じた場合は、即座に通知を行うことが可能
費用面	計測回数増加に応じて人件費が増大	測定機器等の費用は計測頻度に関わらず一定

b) 自然変動量を踏まえた事前計測期間の示唆

既設橋脚は、旧基準で築造された築年数50年を超える構造物から、新基準による構造物まで幅広いため、温度変動を含めた各橋脚の挙動にも大きなばらつきがある。本工事で実施した相関分析の手法により、既設橋脚固有の自然変動量がいかなる要因で定まっているかを分析して、実現場に即した計測管理値を設定することが可能である。さらに、橋脚の変位に季節変動が生じることを踏まえると、1年程度以上の長期にわたる事前計測期間を設定することが、計測管理値の信頼性を高め、供用中の既設橋梁に対する安全性向上につながることを示唆された。

c) 自動計測の適用性

本工事で実施した自動計測は、手動計測と比較して、計測頻度の柔軟さ、計測データの後処理の容易さ、計測結果の速報性に優位性がある(表-5)。特に、本工事のように、供用中の重要路線の既設構造物に近接した工事、長期にわたり継続的な計測結果と維持管理上の管理値を比較して大量のデータを処理する必要がある工事、計測頻度を適時適切に調整して試行錯誤による対策工法の選定を行う工事等については、昨今の週休二日制も踏まえ、自動計測の優位性がより際立ち、適用性が増すと考えられる。

(3) 今後の展望

既設構造物への近接施工に先立ち、FEM影響解析を踏まえた各部門との事前調整により、計測異常時の判断フローを構築した一事例を示し、近接施工に伴う自動計測等における留意点の一端を考察したため、同様の近接工事への示唆となれば幸いである。一方で、今後も既設構造物に対する様々な近接施工ならびに、八条高架橋上部工の受替え工事等、より精度の高い計測が求められる高難度工事が継続するため、自動計測による計測結果を施工計画へ反映して、タイムリーな報告体制の構築を通して、安全な工事施工を推進するとともに、本工事における知見を、高規格道路の幹線道路ネットワークの形成などへと繋げていきたい。

謝辞： 本論文の執筆にあたり、本工事の受注者である大成建設株式会社および工事関係者の皆様、道路の維持管理の観点でご指導・ご調整いただいた近畿地方整備局道路管理課、奈良国道事務所管理第二課および奈良維持出張所の皆様、ならびに施工実績情報をご提供いただいた近畿地方整備局道路工事課の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：設計便覧（案）
- 2) 土木研究所：近接基礎設計施工要領（案），1983年6月
- 3) 阪神高速道路株式会社：近接工事に関する設計施工指導要領書，2009年6月

アンカー式鋼管土留め擁壁工における 動態観測について（中間報告）

雲雀 翔太

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)

一般国道42号すさみ串本道路 和深IC（仮称）において、多段アンカー式鋼管土留め擁壁の施工中である。その規模は最大擁壁高17.1mに達する前例のない規模であることから、施工箇所の現地状況を勘案すると、施工中の安全確保、施工後の地山挙動確認が必須である。このため、変位計・荷重計・水位計等の計測機器を用いて実挙動と設計想定挙動との整合性を確認しながら施工を進めている。

本報告では、施工途中の段階ではあるものの、実施工において得られた計測データと設計値との比較・検討結果について報告するとともに、今後の展望についても考察する。

キーワード 鋼管土留め擁壁、動態観測、水平変位、多段アンカー、管理基準値

1. はじめに

紀南河川国道事務所では、和歌山県東牟婁郡串本町から同県西牟婁郡すさみ町に至る19.2kmの自動車専用道路として一般国道42号すさみ串本道路事業を推進している。この道路が完成することにより、異常気象時の通行規制区間の解消、南海トラフ地震発生時には、防災・災害時の代替路としての機能が発揮されることが期待されている。当工事は和深IC（仮称）の施工を担当している。

本工事では道路擁壁に多段アンカーを併用した最大壁高17.1mの鋼管土留め擁壁を施工するが、国内におけるこの規模の施工実績は存在しない。このため施工中の安全確保には多段アンカーの緊張力や、鋼管の変位について管理基準を定め実施工において動態観測を行い、各管理基準を満足しているか確認しながら施工を進める必要がある。

本報告では、動態観測によって得られた計測データと設計値を比較・考察するとともに、今後の展望について考察するものである。



図-1 位置図

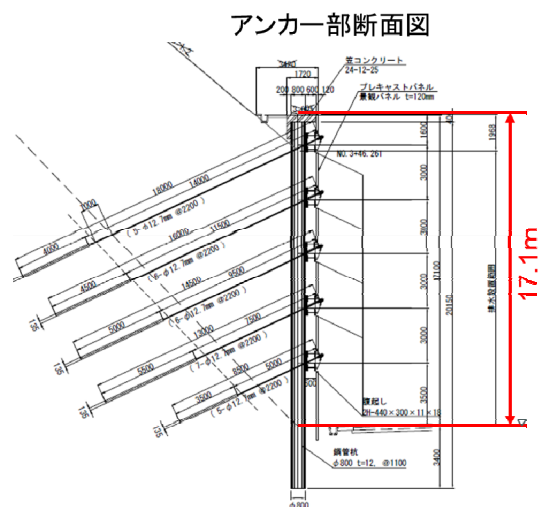
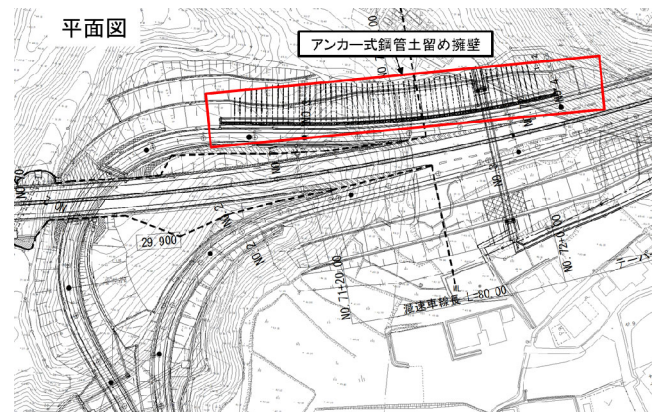


図-2 平面図（上） アンカー一部断面図（下）

2. 多段アンカー式鋼管土留め擁壁の概要

(1) 現場条件

本現場の地質条件として、泥岩が堆積している牟婁群層が分布していることから、切土安定勾配を1:1.2と設定している。しかし、一部、用地取得が困難な箇所が存在しており、設定した切土安定勾配では用地を侵すこと、また道路構造上の幅員確保のため、土留め構造が必要となった。

また、背面地山が擁壁に対して地滑り型の地山崩壊の可能性が考えられ、擁壁背面の地下水位は高い状況である。アンカー式土留め擁壁は水抜孔を設置することにより背面水位を考慮しない構造であるが、近年頻発するゲリラ豪雨等により一時的に背面水位が上昇することで擁壁に水圧が作用する可能性が考えられる。

(2) 施工方法

施工フローを図-3に示す。ジャイロプレス工法による鋼管杭回転圧入のため反力架台を設置する。設置完了後、架台上で圧入機（ジャイロパイラー）の組み立てを行い鋼管杭の鉛直度・圧入法線を確認しながら計画天端まで回転圧入を行う。次の鋼管杭の回転圧入には、既に圧入された鋼管を反力架台として圧入をする。以上の手順で鋼管杭の回転圧入を実施し、鋼管杭打設完了後、鋼管全面の掘削を実施し、所定高さにて、アンカー体を挿入する。そのアンカーに所定緊張力を作用させて、腹起しへ定着させる。アンカー工完了後、鋼管杭全面にコンクリートパネルを設置し、パネル背面の空隙をエアモルタルで充填を行う。

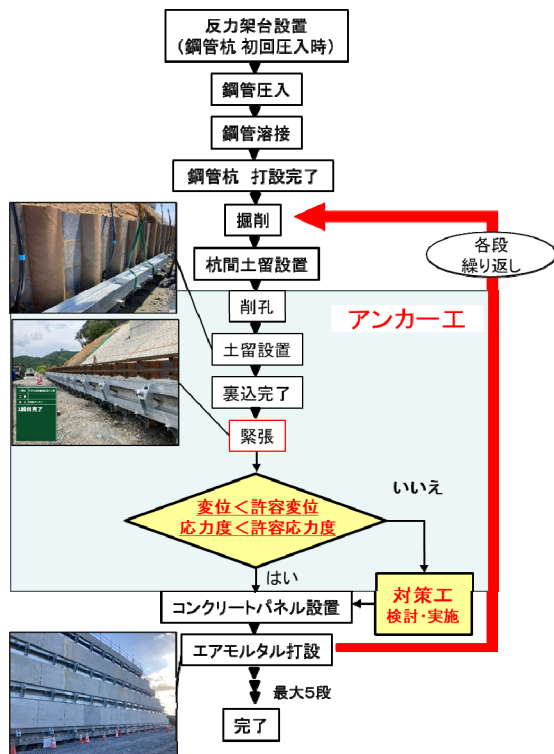


図-3 施工フロー

3. 動態観測工について

本章では計測項目、計測理由および管理基準値について述べる。最大壁高となる5段アンカー部を管理断面とし、各計測装置設置箇所を図-4に示す。

(1) 計測項目

a) 水平変位計測（地中変位）

多段アンカー式土留め擁壁の変形および背面地山の地中水平変位の把握を目的として、多段式傾斜計を5段アンカーの最大壁高部に11箇所設置し、計測を実施した。

b) アンカー荷重計測

アンカー式土留め擁壁は、土圧を鋼管杭とアンカーで分担する構造であるため、アンカーに作用する荷重を把握することにより擁壁に作用する土圧を計測するとともに、アンカーの緊張力を計測することで背面地山の変状を把握することを目的としてロードセルによる計測を実施した。また、温度変化によるアンカー緊張力の増減の可能性を考慮し、温度計測も合わせて実施した。

c) 水平変位計測（面的管理）

管理断面として1断面を設定しているが、擁壁全体の変位挙動の把握を目的として面的な変位計測を実施した。計測方法として、アンカー工の各段にターゲットシールを設置し、光波測距儀（トータルステーション）を用いて計測を実施した。また、多段式傾斜計による計測値と光波測距儀による計測値を比較することにより、変位計測の精度向上および背面地山挙動を多角的に把握することを目的として実施した。

d) 背面水位計測

背面水位がアンカー荷重および擁壁変位に与える影響を確認するために水位計測を実施した。

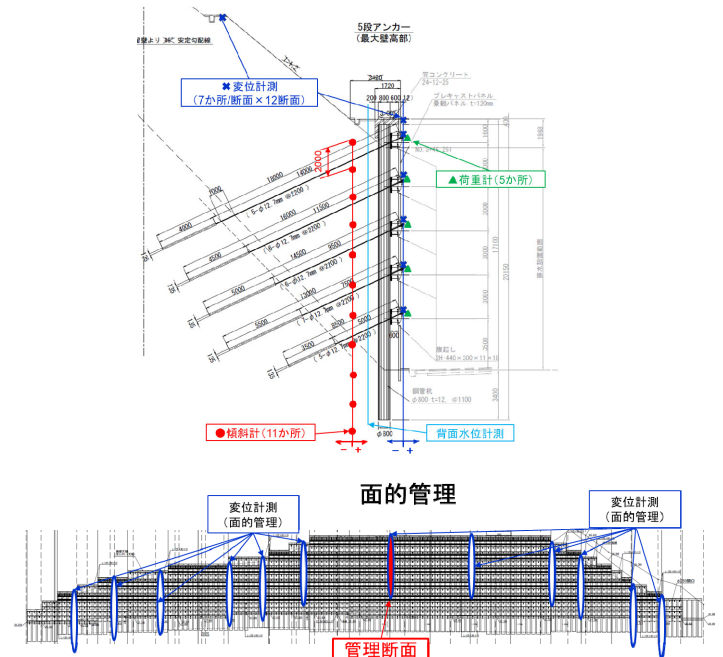


図-4 計測装置設置箇所

(2) 管理基準値

水平変位（地中変位）とアンカー荷重の管理基準値を表-2に示す。管理基準値の設定、運用方法について「道路土工 仮設構造物指針¹⁾」に準拠して設定した。水平変位の管理基準値については「ジャイロプレス（回転切削圧入）工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針²⁾」によると、4m以上の壁高となる擁壁の場合、杭頭部の許容水平変位量が50mm~100mmの範囲で採用されることが多いとあるが、本工事の施工規模と本設構造物であることを考慮し、水平変位とアンカー荷重の1次管理値は常時の設計値を管理基準値と設定した。また、2次管理値については水平変位・アンカー荷重ともにL2地震時における設計値を採用している。なお、アンカー荷重の管理値については、アンカー許容応力の80%と設計値（常時・L2地震時）の比較を行い、小さい設計値を採用している。次に、管理値を後述のとおり運用することとした。

測定値<1次管理値

：土留めについては特に問題なく工事を続行。

1次管理値<測定値（予測値）<2次管理値

：2次管理値（L2地震時）を許容値としているため、現施工段階では問題は無いが、次の掘削ステップにて、2次管理値を上回るか否かを検討し、計測頻度を多くするなど警戒観測態勢を取る。

2次管理値<測定値

：工事を中断。対策工の検討・実施を行い工事続行。

4. 計測結果

本章では動態観測工の計測結果を示す。なお、本工事は6次掘削（最終掘削）を施工中であり、土圧が鋼管へ及ぼす影響が大きいと考えられる3段目以降について結果を整理する。

a) 変位計測結果（地中変位）

水平変位の計測結果について、図-5に傾斜計において最も変位量大きい鋼管天端における計測結果を示す。掘削が進むにつれ変位も増加する傾向が確認されたが、5次掘削完了時における最大変位は鋼管天端部の4.9mmであり、1次管理値17mmに対して十分な余裕を有している。以上のことから、現時点における擁壁の水平変位は管理基準値に対して十分な余裕を有していることから、施工は安定した状態で進捗していると評価できる。

b) アンカー荷重計測結果

アンカー荷重計測結果を図-6に示す。各段で増減は確認されたものの大きな変化は確認されなかったことからアンカー力の安定性が確認された。また、気温が及ぼすアンカー緊張力への大きな影響は確認されなかった。なお、引き続きアンカー荷重計測を行う。

表-2 管理基準値

○1次管理値

			1段アンカー	2段アンカー	3段アンカー	4段アンカー	5段アンカー
水平変位		(mm)	6	10	12	14	17
アンカー 緊張力	1段目アンカー	(k N)	84	123	113	152	111
	2段目アンカー	(k N)		81	121	178	182
	3段目アンカー	(k N)			96	246	240
	4段目アンカー	(k N)				156	313
	5段目アンカー	(k N)					192

※ 1 次管理値＝常時荷重における設計値×100％

○2次管理値

			1段アンカー	2段アンカー	3段アンカー	4段アンカー	5段アンカー
水平変位		(mm)	40	50	57	60	52
アンカー 緊張力	1段目アンカー	(k N)	392	548	554	559	434
	2段目アンカー	(k N)		318	481	529	542
	3段目アンカー	(k N)			308	595	574
	4段目アンカー	(k N)				342	649
	5段目アンカー	(k N)					380

※ 2 次管理値＝L2地震時荷重における設計値×100％

※ 1次管理値=常時荷重における設計値×100%

※ 2次管理値=L2地震時荷重における設計値×100%

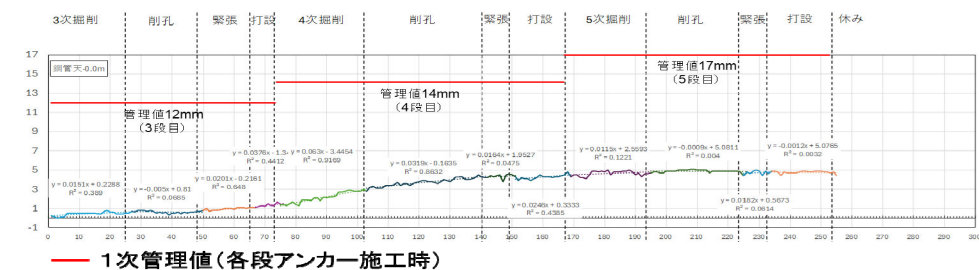


図-5 傾斜計計測結果（鋼管天端）

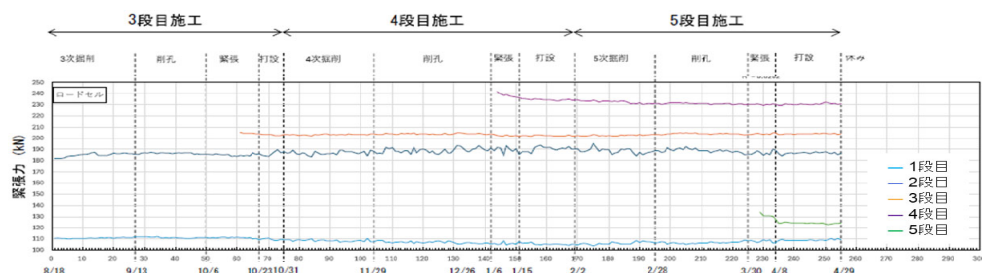


図-6 アンカー荷重計測結果

c) 変位計測結果（面的管理）

図-7に光波による水平変位計測結果を示す。光波による手動計測においても水平変位は0～5mmの範囲で増減を繰り返しており、地中変位と同様、大きな変位の進行は確認されなかった。

d) 背面水位計測結果

図-8に降雨量が及ぼす背面水位への影響と鋼管変位の関係を示す。計測期間中の3/30に最大降雨量118.5mm/日（最大時間雨量35.1mm/h）を記録し、降雨時には一時的に背面水位の上昇が確認されたが、降雨後には速やかに水位が低下しているため、擁壁の排水構造が正常に機能していることを示している。また、鋼管に及ぼす影響についても、鋼管天端における降雨による変位

差は5mmの範囲に収まっていることから、降雨が擁壁変位に与える影響は軽微であることが確認された。

e) 地震時挙動

計測開始の2025年8月18日から2026年5月19日時点において、施工箇所周辺では震度1以上の地震が4回観測された。図-9に震度3を記録した2026年5月における、地震時の変位計測結果、アンカー荷重の計測結果を示す。図から読み取れるとおり、地震発生後における変位とアンカー緊張力ともに多少の増減はあるものの、地震発生前の計測値へ収束していることが確認出来ることから、震度3程度の地震では擁壁挙動への影響はないと評価できる。

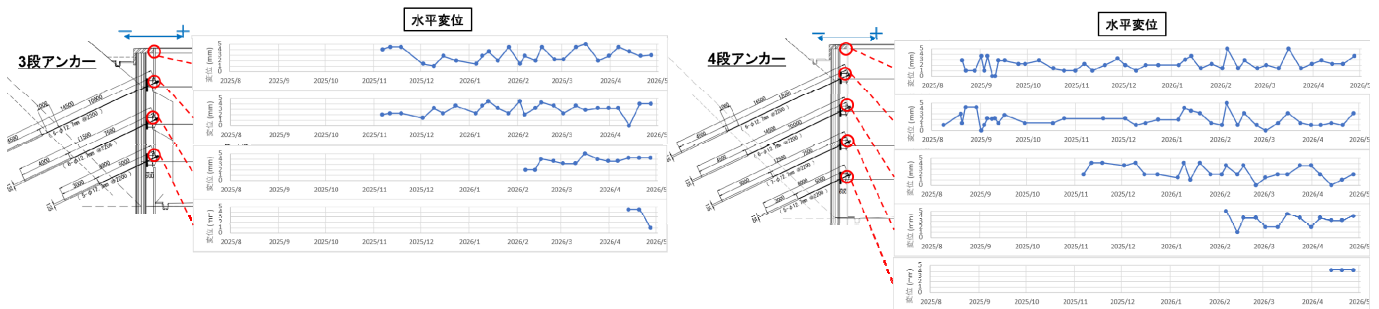


図-7 光波による水平変位計測

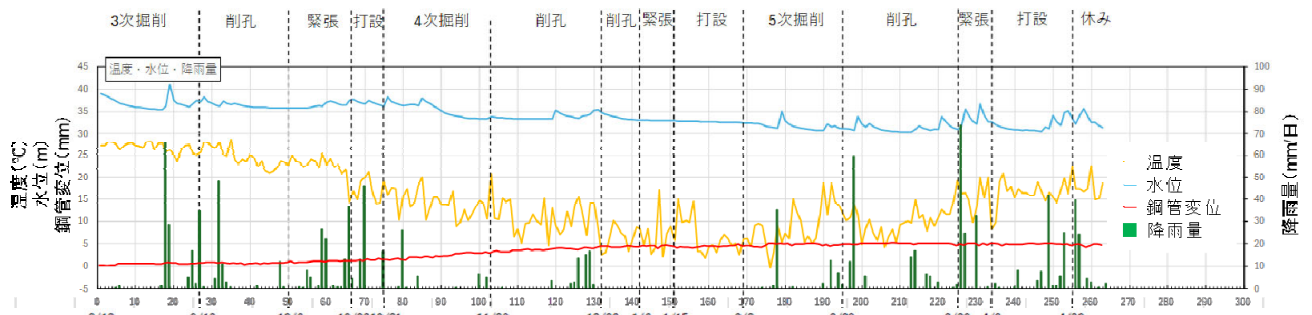
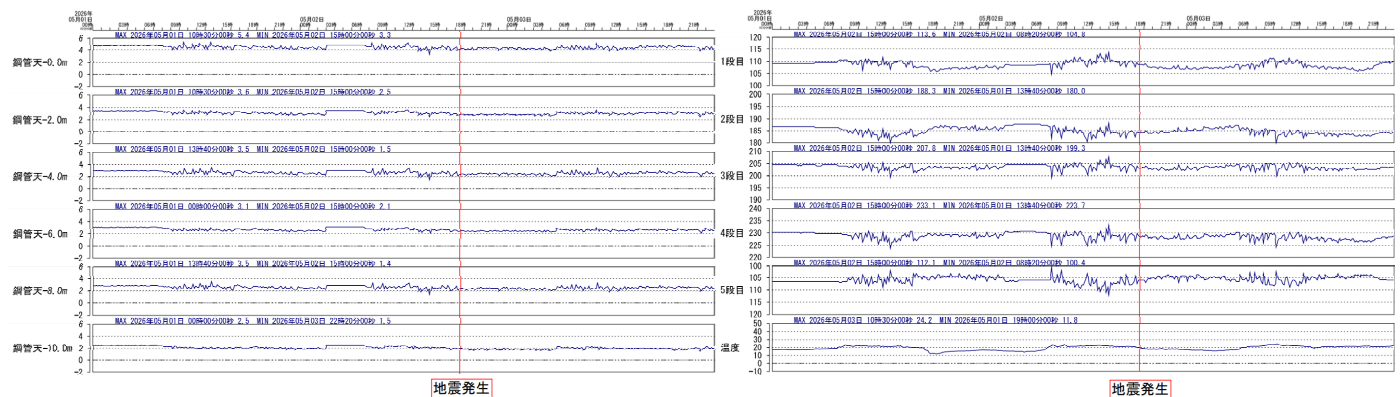


図-8 降雨量－（背面水位・鋼管変位）



水平変位一時間

緊張力一時間

図-9 地震時における鋼管変位（0.0～-10.0m）

5. 考察

アンカー式土留め擁壁は、弾塑性法により設計を実施しており、掘削時とアンカー緊張時を考慮したステップ解析を実施している。図-10に3～5次掘削完了時における設計変位量と実変位量の比較図を示す。施工は、前述したとおり実変位量が表-2に示す1次管理値以内であるか確認を行いながら実施した。比較図から鋼管天端（0.0～-8.0m）において、設計変位量と実変位量に差があることが確認できるが、設計ではアンカーの引張力により変位を抑制する構造であり、鋼管天端では変位を生じさせない計算であるため、実変位量との乖離が発生したと考えられる。また、5次掘削完了時の鋼管天端部（0.0～-2.0m）においては、設計変位量との差がより大きいことが確認できるが、ジャイロプレス工法での施工に際して、先行して圧入した鋼管杭をパイラーのジャッキで反力として鋼管杭を打設するため鋼管天端から-1.5m下がりまで先行掘削を行う必要があり、鋼管天端から-1.5mは埋戻し地盤であることから、設計変位量との差が大きくなっていると考えられる。

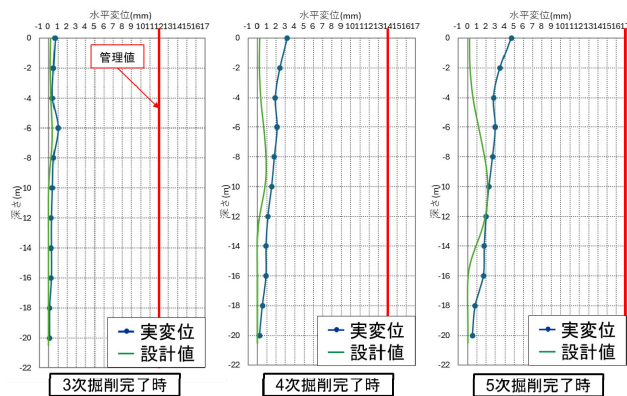


図-10 設計変位量と実変位量の比較

6. 今後の展望

本報告では、国内初となる最大壁高17.1mの多段アンカー式鋼管土留め擁壁の施工中における動態観測結果を報告した。

以上の結果より、中間報告であるものの、本構造の有効性が確認された。本報告が、今後の類似工事における工法選定の一助となり、有効な選択肢の一つとして活用されることを期待する。

謝辞：本論文作成にあたり関係者の皆様には、多大なるご協力を頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路土工 仮設構造物指針
- 2) 国際圧入学会 (International Press-in Association)：ジャイロプレス（回転切削圧入）工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針

堤防除草に係るコスト縮減を目指した 広報活動の展開について

西元 孝輔¹

¹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が発注する由良川の維持作業において発生する堤防除草の刈草については、従来、有償処分を行っていた。本論文では、刈草ロール及び堆肥の無料配布による刈草処分費用の縮減を目的として実施した広報活動について述べる。SNSを活用した情報発信や堆肥の無料配布イベントを実施した結果と課題を整理するとともに、利用者層の拡大や安定的な利用者の確保に向けた取組、広報効果の検証手法、自治会回覧等による今後の展開について報告する。

キーワード 河川維持管理、堤防除草、コスト縮減、広報活動、広報効果検証

1. はじめに

(1) 由良川の概要

福知山河川国道事務所では、由良川水系の直轄管理区間の由良川54.1km、土師川2.3kmを管理している。(図-1)

由良川の上流部は河床勾配が約1/200～1/300と急で流れが速いが、中流部では約1/500～1/900と緩くなり洪水が貯まりやすく、下流部では約1/8000とさらに緩やかになり、かつ兩岸に山が迫った狭長な谷底平野となっている。このような地形から、洪水時に中流部で溜まった洪水は、出口が狭まった下流部に流れにくく、水害が発生しやすい地形となっている。

また、直轄管理区間の堤防が必要な区間のうち約33.0%（令和6年3月時点）が無堤区間を占めており、全国的に見ても無堤区間が非常に多い河川となっている。

そのため、由良川では古くから多くの洪水被害を受けてきた。近年においても2004（平成16）年台風23号や2013（平成25）年台風18号など多くの洪水被害を受け、対策として「由良川下流部緊急水防対策事業」（2015（平成27）年度事業完了）や河川整備計画の対策の一部を大幅に前倒しして行う「緊急的な治水対策」（2021（令和3）年度対策終了）で、連続堤・輪中堤による築堤や宅地嵩上げ等を実施してきた。

このような治水対策事業の進展に伴い、由良川の築堤延長及び堤防管理延長は急激に増加した。

また、これに伴い、維持管理対象施設も増加している。

(2) インフラメンテナンスの課題

私たちが日常的に利用している道路、橋梁、河川堤防等のインフラ施設の多くは、高度経済成長期以降に集中的に整備されており、現在では建設後50年以上が経過した施設の割合が増加している。

今後も老朽化施設の割合は増加すると見込まれており、適切な維持管理及び施設更新を継続していくことが重要な課題となっている。

一方で、維持管理に必要な予算や人員には制約があることから、施設の機能を確保しつつ効率的な維持管理を進める必要がある。

由良川においても同様の課題を抱えており、維持管理コストの縮減に向けた取組が求められている。

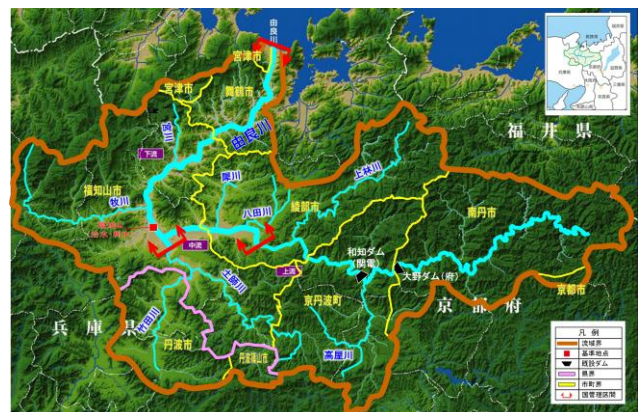


図-1 由良川流域図

2. 堤防除草に係るコスト縮減の取組と課題

(1) 堤防除草に係るコスト縮減の取組

河川堤防は流域の治水安全度を確保する上で重要な施設であり、堤防点検を実施するため、出水期前及び台風期を基本として年2回の堤防除草を実施している。

また、R6年度の由良川の河川維持修繕費全体に占める維持作業に係る費用の割合は約42%であり、そのうち堤防除草費は約97%を占めている。（図-2）

このことから、由良川の河川維持修繕費全体の約4割を堤防除草が占めており、堤防除草に係るコスト縮減は維持管理コスト縮減において重要な取組である。

R6年度における「刈草ロールの無料配布」、「堆肥の無料配布」及び「刈りっぱなし」によるコスト縮減効果は、最大で除草費用全体の約3割に相当すると試算している。

このうち、「刈りっぱなし」は集草及び運搬を必要としないため、高いコスト縮減効果が得られている。

一方で、家屋周辺では刈草の飛散による影響が懸念されるため実施が困難であり、また継続的に実施した場合には堤防点検や除草作業に支障を及ぼすおそれがあることから、適用できる範囲及び頻度には限りがある。

このため、更なるコスト縮減を図るためには、刈草ロール及び堆肥の無料配布を推進し、刈草の有償処分を極力少なくすることが重要である。（図-3）

(2) 堤防除草に係るコスト縮減の課題

刈草ロール及び堆肥の無料配布については、例年、事務所ホームページ及び事務所Xによる周知を行っていた。

しかしながら、利用拡大による十分なコスト縮減には至っておらず、R6年度には大口利用者の廃業に伴い刈草ロールの大口受入れ先が失われ、余剰となった刈草ロールを処分せざるを得ない事例も発生した。

このことから、従来から無料配布の周知が十分に浸透しておらず、利用者層の拡大及び安定的な利用者の確保が進んでいないという課題がある。

この要因として、無料配布の周知に関する認知度不足及び特定の利用者への依存があったものと考えられる。

そのため、刈草処分費用の更なる縮減を図るには、認知度向上による利用者層の拡大に加え、安定的な利用者の確保に向けた取組が必要である。

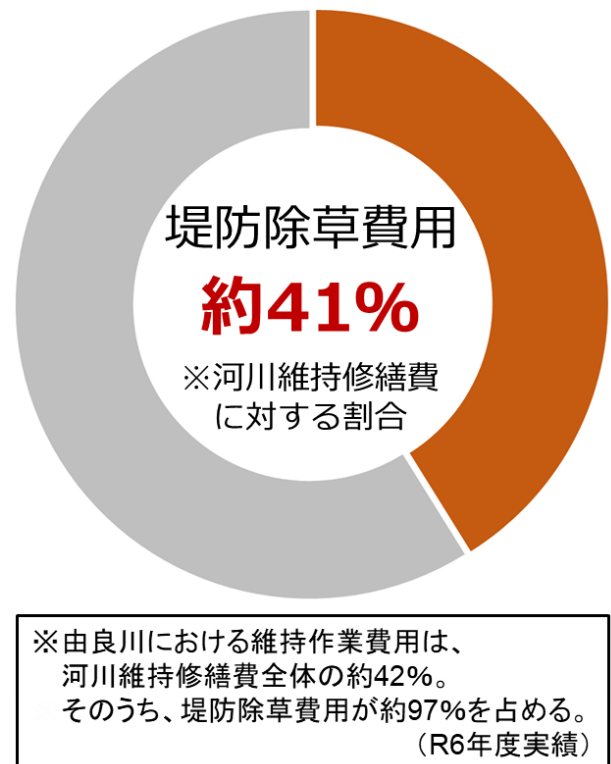


図-2 由良川の河川維持修繕費における堤防除草費用の割合

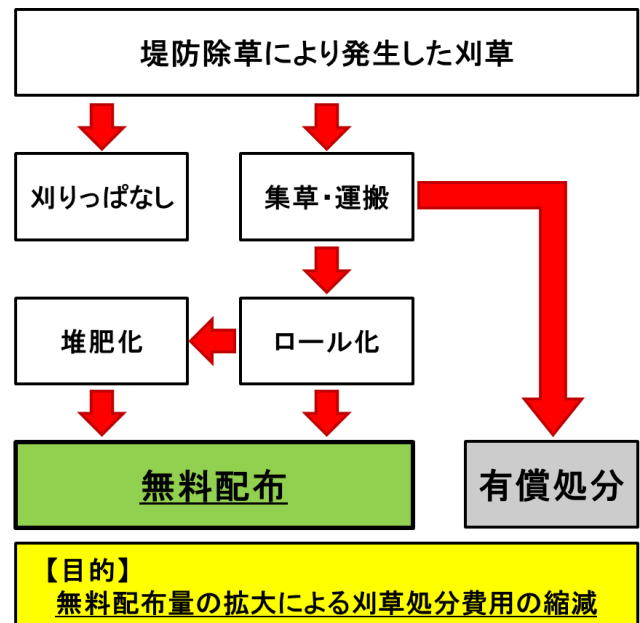


図-3 刈草有効活用による処分費用縮減の概要

3. 広報活動の試行

刈草ロール及び堆肥の利用促進を図るため、R7年度は認知度向上による利用者層の拡大を目的として、例年の広報に加え、SNSを活用した情報発信の強化及び堆肥の無料配布イベントを実施した。

(1) SNSを活用した情報発信

従来実施していた事務所Xでの記者発表に加え、刈草ロール及び堆肥の認知度向上を目的として、「刈草ロールの作り方に関する動画投稿」及び「堆肥の実証試験に関する投稿」を実施した。

a) 刈草ロールの作り方に関する動画投稿

除草から集草、ロール化までの工程を紹介する約30秒の動画を作成し、事務所Xに投稿した。R8年7月時点の閲覧数は約10,000回であり、本事務所の通常投稿の平均閲覧数約900回（災害関係を除く）と比較して、多くの閲覧数を得た。（図-4）

b) 堆肥の実証試験に関する投稿

堆肥の性能を確認するため、職員が堆肥を用いて野菜を栽培し、その生育状況を継続的に投稿した。投稿数は5件、総閲覧数は約5,000回であった。

閲覧数は平均的な水準であったが、実証試験を通じて堆肥の利用効果を確認するとともに、その結果を記録として整理することができた。

これにより、今後の広報活動において堆肥の有効性を示す根拠資料として活用できる知見を得た。（図-4）

c) 無料配布に係る記者発表投稿の引用ポスト

上記2種類の投稿において、刈草ロール及び堆肥の無料配布に係る記者発表投稿を引用した。これにより、R8年7月時点で無料配布に係る記者発表投稿の閲覧数は約15,000回となった。（図-4）

前年度の無料配布に係る記者発表投稿の閲覧数が約850回であったことから、例年に比べ多くの利用者に情報発信できたものと考えられる。

(2) 堆肥の無料配布イベント

由良川流域内でアクセス性の高い「道の駅 和（なごみ）」において、堆肥の無料配布イベントを実施した。

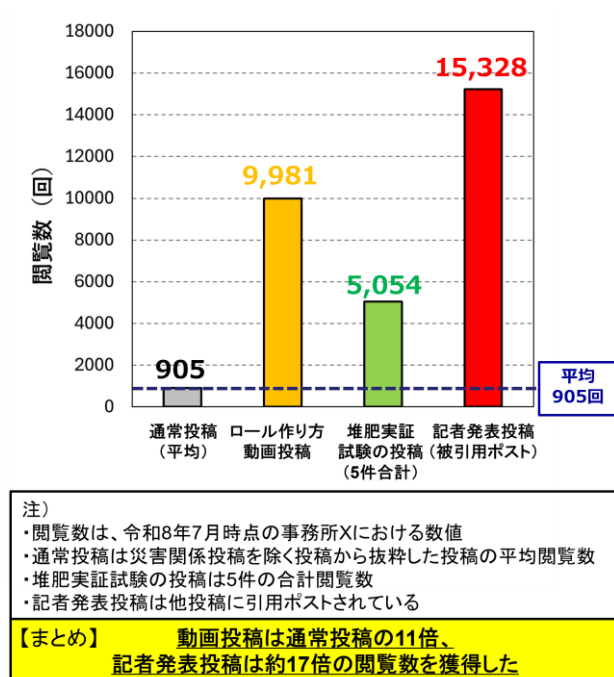


図-4 SNS投稿別閲覧数

イベントでは、密封可能な袋に堆肥を小分けして配布し、堆肥の利用を促進するとともに、事前申込み不要で堆肥を受け取ることができる配布場所の利用者増加を図った。

a) 告知及び事前広報

イベント開催に先立ち、記者発表及び事務所Xによる周知を実施した。開催場所の特性を踏まえ、従来の記者クラブに加え、周辺市町村及び京都府、大阪府の記者クラブにも情報提供を行った。

その結果、京都新聞から取材を受け、イベント前に取組が記事として掲載された。

b) イベント当日

イベント当日は開始前から来場者があり、用意した堆肥200袋は開始後約4時間で全て配布した。来場者数は延べ234名となり、通常時の堆肥受取人数と比較して、多くの方に堆肥を配布することができた。（図-5）

また、イベント当日に堆肥を受け取った来場者の一部が、最寄りの配布場所へ堆肥を受け取りに来所したことを確認した。このことから、イベントの目的であった事前申込み不要で堆肥を受け取ることができる配布場所の利用促進にも一定の効果があったものと考えられる。

4. 結果と考察

R7年度の刈草ロール配布数は324個、把握している堆肥の配布量は22m³であり、刈草ロールの申込人数は17人であった。

また、刈草ロールの無料配布によるコスト削減額は、R6年度の1,812,861円に対し、R7年度は7,141,851円となり、約4倍に増加した。一方、堆肥の無料配布によるコスト削減額は、R6年度が15,685,600円、R7年度が9,894,275円であった。



図-5 堆肥の無料配布イベントの様子

表-1 令和6年度及び令和7年度の実績比較

	令和6年度	令和7年度	増減
刈草ロール申込人数（人）	11	17	+6
刈草ロール配布数（個）	95	324	+229
堆肥配布量（把握分）（m ³ ）	36	22	-14
刈草ロール縮減額（円）	1,812,861	7,141,851	+5,328,990
堆肥縮減額（把握分）（円）	15,685,600	9,894,275	-5,791,325
注）コスト縮減額は、各年度の維持作業実績から算出した刈草ロール1個当たり及び堆肥1m ³ 当たりの縮減単価に、把握している配布実績を乗じて算出した推計値である。なお、堆肥については配布量を十分に把握できていないため、実際の縮減額はこれを上回る可能性がある。			
【比較結果】刈草ロールの申込人数及び刈草ロール配布数が増加			

表-1に示すとおり、R6年度と比較すると、刈草ロールの申込人数は11人から17人へ増加し、配布数は229個増加した。

一方で、把握している堆肥配布量は14m³減少した。刈草ロールについては申込人数、配布数及びコスト縮減額の増加が確認されたが、堆肥については把握している配布量及びコスト縮減額が減少している結果となった。

ただし、堆肥はR6年度及びR7年度において利用しやすさを優先し、事前申込みを不要としていたため、利用者情報及び配布数量を十分に把握できていなかった。配布量は出張所への問い合わせ時に聴取した数量を集計したものであり、実際の配布量及びコスト縮減額はこれらの数値を上回っている可能性がある。そのため、堆肥配布量及びコスト縮減額の増減については、現時点では正確な評価が困難な状況である。

(1) SNSを活用した情報発信

前述のとおり、SNSを活用した情報発信により、刈草ロール及び堆肥に関する投稿の閲覧数は増加した。特に無料配布に係る記者発表投稿については、例年を大きく上回る閲覧数を確認した。

また、表-1に示すとおり、R6年度と比較して刈草ロールの申込人数及び配布数は増加している。

しかしながら、投稿閲覧数の増加と刈草ロールの申込人数及び配布数の増加との関連性を示す客観的なデータは得られていない。これは、刈草ロール及び堆肥の配布時や配布イベントにおいて、利用者が情報を得た媒体に関する聞き取りを実施していなかったことが要因であると考えられる。

そのため、現時点ではSNSによる情報発信が利用実績の増加にどの程度寄与したかを評価することは困難である。

今後は、利用者の情報取得経路を把握し、SNSによる情報発信と利用実績との関連性を検証する必要がある。

(2) 堆肥の無料配布イベント

道の駅での堆肥の無料配布イベントについては、記者

発表や新聞掲載等による周知を行った結果、予定していた配布数量を短時間で配布するとともに、事前申込み不要で堆肥を受け取ることができる配布場所の利用者獲得にもつながった。

また、イベント当日に来場者から利用目的や居住地等について聞き取りを行ったところ、本取組による無料配布を初めて知ったという意見が多く確認された。

このことから、SNSによる情報発信のみでは一部の潜在的利用者に情報が十分届いていない可能性があると考えられる。一方で、イベントや新聞掲載などの直接的な広報手法については、一定の周知効果があったものと考えられる。

しかしながら、アンケート等による定量的なデータ収集を実施していないため、イベントの効果を客観的に評価することはできていない。

ただし、本イベントでは無料配布の取組を初めて知った利用者が多く確認されており、SNS以外の広報手法によって新たな利用者へ情報を届けられる可能性が示された。

今後は統計的な情報収集を行い、利用者層に応じた効果的な広報施策の検討につなげていく必要がある。

5. 刈草処分費用縮減推進における課題と今後の展望

(1) 広報活動に係る課題

広報活動の実施により、SNS投稿の閲覧数増加や配布イベントへの来場者増加などの成果が確認された。

しかしながら、利用者がどの媒体から情報を得たかを把握できていないため、各広報活動が刈草ロール及び堆肥の配布実績にどの程度寄与したかを分析することができていない。

また、把握している範囲では、R7年度の堆肥配布量は前年度を下回っており、SNSによる情報発信や堆肥の無料配布イベントが堆肥配布量の増加に寄与したとは判断できない状況である。一方で、堆肥配布量については配布実績を十分に把握できていないことから、実際の広報効果を定量的に評価することは困難である。

このため、どの広報手法がコスト縮減に効果的であるかを客観的に評価することが困難な状況となっている。

今後は、利用者が情報を得た媒体や利用目的等の情報収集を行い、広報活動の効果を継続的に検証できる仕組みを構築する必要がある。その上で、効果の高い広報手法を重点的に実施し、刈草ロール及び堆肥の利用促進による更なるコスト縮減につなげていく。

(2) 処分費縮減推進に係る処分業者への対応

無料配布の利用促進に向けた広報活動に加え、刈草処分費用の更なる縮減を進めるためには、関係機関及び関

係事業者との事前の調整が求められる。

R8年度はコスト削減を推進するため、刈草を可能な限り刈草ロール及び堆肥として最大限有効活用する方針としている。

しかしながら、刈草の搬入が大きく減少した市の指定する刈草処分業者から、「搬入量の減少による経営への影響」や「刈りっぱなしが適切な処理方法となるのか」といった意見が示され、地域関係者への説明が求められる状況となっている。

このような状況を踏まえ、コスト削減を推進するに当たっては、事前に関係機関及び関係事業者への情報共有を行い、関係者の理解を得ながら段階的に取組を進めることも考慮すべきと考えられる。

(3) 今後の展望

R7年度の広報活動により利用者層拡大の可能性が確認された一方で、安定的な利用者確保や情報取得経路の把握といった課題も明らかとなった。これらの課題に対応するため、今後は「地元自治会への回覧」を試み、また「大口利用者候補の確保に向けた取組」を推進する。

これらの取組により、利用者層の拡大及び安定的な配布先の確保を図り、刈草ロール及び堆肥の利用促進につなげることで、堤防除草に伴い発生する刈草の有効利用を推進し、堤防除草に係るコスト削減効果の持続及び拡大を目指す。

また、無料配布の推進に当たっては、新たな利用者の獲得による利用者層の拡大だけでなく、安定的かつ継続的に受け入れ可能な利用者確保することも重要である。

このため、利用者層の拡大を目的とした取組と並行して、大口利用者候補の確保に向けた取組を進める。

a) 地元自治会回覧とデータ活用型広報手法の展開

配布イベントにおける聞き取り結果から、無料配布の取組が十分に認知されていない利用者層が存在することが確認された。このため、自治会回覧を活用し、地域住民が無料配布の取組の情報に接する機会を増やすことで、認知度向上を図る。

また、回覧資料には刈草ロール及び堆肥の申込フォームへアクセスできるQRコードを掲載し、申込手順の簡素化を図る。これにより、24時間いつでもスマートフォンから約2分で手軽に申込みが可能となり、新たな利用者の獲得が期待できる。さらに、申込情報を電子データとして一元的に管理できるため、利用者情報の整理や集計作業の効率化にもつながる。

加えて、申込フォーム内に「情報を得た媒体」に関する回答項目を設けることで、広報手法ごとの効果を把握し、今後の広報活動の改善に活用する。本手法は、申込みの簡素化による利用促進だけでなく、利用者情報及び広報効果をデジタルデータとして継続的に蓄積できる点に特徴がある。

これにより、従来は広報活動の効果を十分に把握でき

なかった運用から、データに基づき評価・改善する運用へ転換し、刈草ロール及び堆肥の無料配布を拡大するための広報活動のイノベーションとして展開していく予定である。具体的には、広報の実施に留まらず、広報効果を定量的に把握し、次の施策へ反映する仕組みへ転換することを目指す。

この広報効果の検証を可能とするデータ活用型広報手法は、自治会回覧に限らず、他の広報媒体についても同様に実施し、広報活動の効果検証につなげる予定である。

また、本手法により新規利用者の獲得及び利用者層の拡大を図り、無料配布の利用促進につなげる。

b) 大口利用者候補の確保に向けた取組

前述のとおり、自治会回覧等による広報活動の強化により利用者層の拡大を図る予定である。しかしながら、無料配布の取組を安定的に継続するためには、新規利用者の獲得だけでなく、継続的かつ大量に利用する利用者確保することも重要である。

刈草ロール及び堆肥の無料配布を推進する上で、大量に利用する利用者の存在は重要な要素である。実際に、R6年度に大口利用者がなくなった際には、刈草ロールの配布量が大きく減少した。

大口利用者候補については、次の条件を満たすことを前提とする。

- ・由良川流域管内に所在すること。
- ・継続的な利用が見込まれる団体又は施設であること。
- ・刈草ロール又は堆肥の利用量が多いこと。

今後は、これらの条件を満たす利用者候補への働きかけを行い、大口利用者の確保を図る。

また、R6年度の事例を踏まえ、特定の利用者への依存を避けるため、複数の大口利用者確保することを目標とする。

6. 最後に

由良川における堤防除草のコスト削減に向けた取組は、現在も推進中の段階にある。刈草ロール及び堆肥の無料配布を推進するため、R7年度はSNSを活用した情報発信や堆肥の無料配布イベントを実施した。これらの取組により、投稿閲覧数の増加やイベント来場者の増加など、一定の成果を確認することができた。

また、刈草ロールについては、申込人数が11人から17人へ増加するとともに、配布数及びコスト削減額についても増加が確認された。

一方で、利用者がどの媒体から情報を得たかについて十分な情報収集を行っていなかったため、各広報施策が利用促進やコスト削減にどの程度寄与したかを定量的に評価することはできなかった。

広報活動の効果を把握し、継続的な改善につなげるた

めには、利用者からのフィードバックを収集・分析する仕組みの構築が必要である。

また、本取組を通じて、利用者層の拡大、広報手法の効果検証、安定的な利用者の確保及び関係機関との調整など、今後取り組むべき課題が明らかとなった。これらの課題に対応しながら、刈草の有効活用を推進し、維持管理コストの縮減につなげていくことが重要である。

特に、本論文で提案したデータ活用型広報手法については、広報活動の効果を把握しながら継続的な改善を行う仕組みとして、他の広報活動への展開も期待できるものとする。

堤防除草に係るコスト縮減は、由良川に限らず全国の河川管理における共通の課題である。本稿で得られた知見や課題が、今後の広報活動及び刈草有効活用の取組の参考となり、維持管理の効率化に資することを期待する。

謝辞：本稿のとりまとめにあたり、ご助言、ご指導、ご協力頂いた全ての方にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：由良川水系河川整備基本方針（変更）（2023（令和5）年8月）
- 2) 国土交通省 近畿地方整備局：由良川水系河川整備計画【国管理区間】（2013（平成25）年6月）
- 3) 国土交通省 河川データブック 2025：4-2-2 直轄河川堤防整備状況等

Googleマイマップを活用した砂防施設 の新たな維持管理手法

藤田 拓郎

兵庫県まちづくり部 公園緑地課 (〒650-8567 神戸市中央区下山手通5-10-1)

土砂災害警戒区域の現地調査では、紙媒体の区域図や住宅地図による位置特定が主流であり、調査効率の低下が課題となっている。本論文では、Googleマイマップを活用した現地調査手法の効率化を目的とする。GoogleマイマップはWebGIS環境であり、専門知識を要さず位置情報や写真データの登録・共有が可能で、スマートフォン等による現地での即時利用に優れている。本手法では、土砂災害警戒区域の境界情報および砂防施設諸元・写真を同マップ上に統合し、情報参照の迅速化を図った。その結果、従来手法と比較して調査の効率化および施設管理の適正化に有効であることが示された。本論文では、具体的な適用方法と得られた効果を報告する。

キーワード 土砂災害警戒区域、Googleマイマップ、DX、災害時情報共有

1. 基礎調査業務の概要

土砂災害防止法に基づく基礎調査業務は、都道府県が実施する重要な調査であり、急傾斜地の崩壊、土石流、地すべりなどによる土砂災害を防止することを目的としている。この調査はおおむね5年ごとに行われ、土砂災害警戒区域や土砂災害特別警戒区域の指定、ならびに防止対策の検討に必要な基礎情報を収集するものである。具体的には、急傾斜地の崩壊のおそれがある土地の地形改変状況や、土砂災害発生の恐れがある土地の利用状況等を現地にて確認・記録する。

しかしながら、現状の基礎調査における現地調査では、紙媒体の区域図や住宅地図を用いて調査対象箇所の位置を特定する手法が採られており、事前準備から現地での位置確認に至るまで多大な手間と時間を要しているのが実情である。加えて、調査員個人の経験や知識に依存する部分が大きく、調査品質の均一化や情報の引き継ぎにも課題が生じている。また、調査結果や砂防施設に関する情報が紙媒体で管理されているため、現地における即時参照が困難であり、施設の適切な維持管理にも支障をきたしている。

こうした課題を踏まえ、調査業務の効率化および情報管理のデジタル化を図るツールとして着目したのがGoogleマイマップである。Googleマイマップは専門的な知識を要さず、位置情報や写真等のデータを容易に登録・共有できるWebGISプラットフォームであり、スマー

トフォン等の携帯端末を通じて現地においてもリアルタイムで情報を参照することが可能である。この特性は、現地調査における位置確認の迅速化や、砂防施設情報の一元管理という課題解決に対して非常に有効であると判断し、本論文における活用手法の検討・提案に至った。

2. 現状の課題

(1) 情報の分散管理による業務効率の低下

丹波土木事務所では、砂防施設や土砂災害警戒区域に関する情報が図面、台帳、写真、HDD、紙媒体と多様な形式で分散管理されており、情報の一覧性が欠如している。このため、施設全体の状況把握や過去の点検結果との比較・照合に多大な時間と労力を要するだけでなく、土砂災害発生時など迅速な判断が求められる場面において対応の遅延や情報の見落としを招くリスクがある。

国土交通省においてはインフラデータプラットフォームの構築を通じた情報の統合管理と利活用の向上が推進されており、分散した情報を一元的に管理・活用できるデジタル基盤の整備は現場レベルにおいても早急に取り組むべき課題となっている。しかしながら、高度な専門システムの導入にはコストや運用面での障壁が大きく、現場担当者が容易に活用できる実践的なデジタル管理基盤の構築が求められている。

(2) 現地調査における経路把握及び情報アクセス

現地調査では、各施設の詳細な位置や関連データを把握するために事務所のPCで地図情報を確認し、区域図や住宅地図を紙媒体に出力する必要がある、準備段階において相当の時間を要している。また、職員の定期異動による土地勘の不足も重なり、現地での移動が業務負担となっている。

基礎調査業務は委託により実施されるものの、委託事業者からの地形改変箇所や報告や地元住民からの問い合わせが入った際には、行政担当者も紙媒体を参照しながら対応しなければならない。しかし、紙媒体では現地の詳細な状況を即座に把握することが難しく、迅速な対応が困難となる場面が生じている。

このように、行政担当者においても地図情報への即時アクセスが求められる実態があり、現状の紙媒体に依存した情報環境はアクセス性と即応性の両面において不十分であり、対応の遅れや情報の漏れにつながるリスクがある。

(3) 地図情報の把握

兵庫県CGハザードマップに掲載されている公示図書は、土砂災害警戒区域の範囲を示す地図情報として重要な役割を担っているが、住宅の配置や形状の特徴を詳細に判別することが難しく、住民が自宅周辺の危険箇所を直感的に把握しづらいという課題がある。特に高齢者等の地図に不慣れな住民にとっては、自身の居住地と警戒区域との位置関係を正確に理解することが困難な状況にある。また、ハザードマップや公示図書においては、砂防堰堤等の施設ごとの所管部署の判別も難しいため、住民や関係機関からの問い合わせに際して内部での確認作業が煩雑化し、適切な問い合わせ対応に時間を要している。これらの問題は、住民サービスの低下と職員の業務負担増加という共通の課題に直結しており、情報提供のあり方そのものを見直す必要性を示唆している。

3. Googleマイマップの概要

Googleマップは国内で月間約4,700万人が利用する地図アプリケーションであり、その拡張機能であるGoogleマイマップ（図1）は、地図上に情報をレイヤー形式で重ねて表示することができる無料のWebGISツールである。大阪・関西万博パビリオンの位置情報や丹波土木事務所の広報紙において活用された実績があり、QRコードを通じて施設や工事箇所の位置情報を容易に閲覧することが可能である。導入時にはマップが標準で非公開設定となっており、管理者権限によって使用者を制限することで、情報漏洩を効果的に防止することができる。位置情報には写真や文書等の各種情報を紐づけることができ、作成

および更新に専門的な知識を必要とせず、直感的な操作で運用できる点が大きな利点となっている。誰でも容易に運用できることから、情報の一元管理と即時共有が実現され、災害対応時における関係機関との迅速な連携が可能となる。加えて、導入のハードルが低く既存業務への円滑な移行が期待できるため、災害調査、施設点検、維持管理業務における生産性の向上に寄与するものと考えられる。また、Googleマップと同様の経路検索機能も備えており、土地勘のない職員にとっても業務を強力に支援するツールとなっている。



図1 Google マイマップ

4. 基礎調査の具体的な運用

(1) 基礎調査業務への運用

土砂災害警戒区域および砂防施設情報をGoogleマイマップ上に反映することで、紙媒体では困難であった基礎調査の進捗状況をリアルタイムで管理できるようになった。現地調査では紙媒体が不要となり、砂防施設の状況や地形改変箇所、人家の増減といった変化を即座に調査記録へ反映できる。また、調査員が自身の現在地と警戒区域との位置関係を視覚的に確認でき、効率的な現地調査が可能となった。さらに、管理者がアクセス権限を付与した関係者に限定して共有できるため、情報セキュリティを確保しつつ、受注者・発注者間での進捗の即時共有と迅速な意思決定に寄与する。

5. 課題への効果

(1) 情報の集約

地図上に（図2）のように砂防施設の位置をピン（山マーク）として登録し、施設名、点検結果、諸元、施設写真等のあらゆる情報を紐づけることが可能であり、担当職員が現地においてスマートフォンを通じて必要な情報を即時に確認することができた。従来は事務所に戻って図面や台帳を参照しなければ確認できなかった施設情報が、現地においてリアルタイムで参照できるようになったことは、維持管理業務における大幅な効率化につながるものと考えられる。また、点検結果の総合判定に応じてアイコンの形状や色を変更することが可能であり、これにより施設ごとの健全度を地図上で直感的に把握することができるようになった。具体的には、管内における砂防施設の分布状況を俯瞰的に確認できるとともに、継続的な観察や早期対応が必要な箇所を一目で判別することが可能となり、優先度を考慮した計画的な維持管理の実施に寄与するものと考えられる。このように、GoogleマイマップはGISとしての視覚的な情報整理機能を十分に発揮しており、砂防施設の維持管理業務における有効なツールとして機能することが確認された。

(2) Googleマイマップ活用による現地調査の効率化

現地調査では、スマートフォンを用いて施設情報その場で即時に確認できるため、目的地までの最短経路の把握と詳細な地点の位置特定が容易となった。これにより移動時間の大幅な短縮が実現できるとともに、調査対象に変更が生じた場合において事務所に戻って紙の台帳を確認する必要がなくなり、現地において柔軟かつ迅速に対応することが可能となった。結果として、従来の調査手法と比較して調査業務全体の大幅な効率化が図られたことが確認された。本手法の効果を検証するため、Googleマイマップを活用したA社（285箇所）と紙媒体を使用したB社（157箇所）の調査効率を比較した（図3）。両社とも1班体制（各3名）で5月より調査を開始した結果、A社は調査箇所数がB社の約1.8倍であるにもかかわらず6月末に調査を完了したのに対し、B社は7月末まで調査期間を要した。当初の予定工期が9月末であったことを踏まえると、両社ともに大幅な前倒しでの完了となったが、調査箇所数あたりの効率を比較すると、Googleマイマップを活用したA社はB社と比較して約2.7倍の調査効率を達成しており、地形条件や調査面積の違いを考慮しても、Googleマイマップの活用が現地調査の効率化に大きく寄与したことを示す定量的な根拠として非常に有効であると考えられる。さらに、管理者がアクセス権限を付与した関係者間でマップのURLを共有することにより、同一の地図情報をリアルタイムで閲覧することが可能となった。加えて、現地の状況を写真付きで即座に

アップロードし共有できることで、受注者と発注者間における迅速かつ正確な情報連携が実現され、業務における円滑なコミュニケーションと意思決定の迅速化に大きく寄与するものと考えられる。

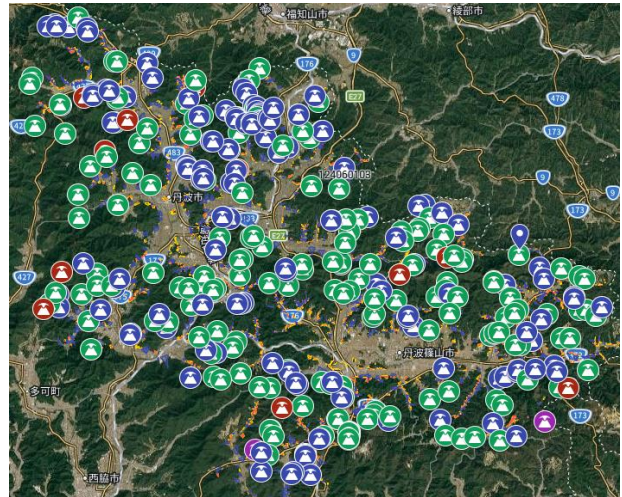


図2 砂防施設のピン設置

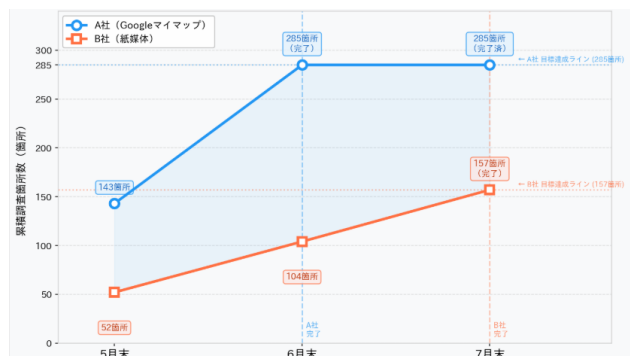


図3 進捗状況の比較

(3) 地図情報の視認性向上

ハザードマップの視認性を検証するために、一般公開されている複数の地図（図4）（図5）を比較した結果、多くの地図では土砂災害警戒区域の範囲確認は可能であるものの、対象家屋の特定は困難であることが判明した。特に、デジタル機器の操作に不慣れな高齢者にとっては、地図上で自身の家屋を判別することが極めて困難な状況にあり、情報格差が顕在化している。その結果、所管部署の窓口で直接問い合わせに訪れる住民が多く、担当職員が地図を用いて対象家屋の位置を説明するために多大な時間を要しているのが実情である。この課題に対して、航空写真を活用することで対象家屋の特定が可能となり、業務効率の飛躍的な向上が期待される。その具体的な効果は以下の通りである。



図4 最大に拡大したハザードマップ航空写真

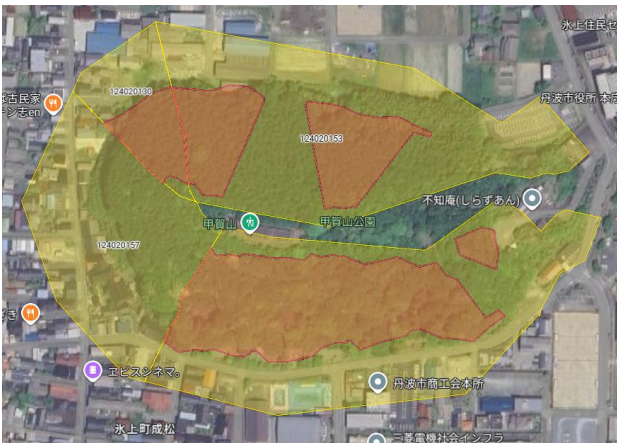


図5 Googleマイマップ航空写真

a) 視認性の向上による位置特定

航空写真をスマートフォン上で参照することにより、住民が自身の家屋と土砂災害警戒区域との位置関係を直感的かつ視覚的に確認することが可能となる。これにより、高齢者を含む地図に不慣れな住民に対しても迅速かつ的確な説明が実現され、窓口対応における説明時間の大幅な短縮が期待される。

b) 窓口業務の省力化

従来は紙媒体の住宅地図や自席PCでの再確認が必要であったため、窓口対応を中断して確認作業を行う場面が生じていた。Googleマイマップの活用によりスマートフォン上で必要な情報を即時に参照できるようになったことで、対応業務を中断することなく窓口において完結することが可能となり、担当職員の業務負担の軽減にも大きく寄与するものと考えられる。

c) 情報のデジタル化

土砂災害警戒区域に関する公示図書（箇所名、所在地、

告示年月日、告示番号）の情報をGoogleマイマップ上に登録することにより、紙媒体を介することなくスマートフォンで即時に確認することが可能となった。これにより、スマートフォンで情報を先行確認したうえで兵庫県CGハザードマップ上での位置特定を迅速に行うことができ、問い合わせ対応業務全体の効率化と住民サービスの向上に資するものと考えられる。

6. 災害対応への応用

(1) 災害時情報共有

近年の自然災害は激甚化・頻発化しており、道路、橋梁、上下水道といった社会インフラが大きな損傷を受ける可能性が高まっている。これらの社会インフラは多分野にわたって多数存在し、施設ごとに異なる管理者が存在する。さらに、地震の後に豪雨が発生するといった複合災害の可能性もあるため、各関係機関の間での迅速な情報収集と情報共有が強く求められる。しかし、機関ごとに使用するシステムが異なる場合、情報の連携が滞り、円滑な災害対応の妨げとなる。Googleマイマップの概要で述べた「管理者権限によって使用者を制限」を活用することにより、通行不可区間、土砂災害の発生箇所、避難所の開設状況、避難所の現時点での収容人数、物資の不足状況などの情報を一枚の地図上に集約できる（図6は情報集約画面の例である）。各機関はこの地図を通じて、リアルタイムに更新された最新の情報を共有することが可能となる。



図6 情報集約画面の例

このような情報集約を実現するうえで、本システムは次の点に強みを持つ。

a) 共通システムの基盤

各関係機関が同一のプラットフォーム上で情報を閲覧・入力できるため、機関ごとにシステムが異なることによる連携の遅れを防ぐことができる。

b) Googleマイマップを利用したリアルタイム更新

広く普及しているGoogleマイマップを活用することで、特別なシステムを新たに構築することなく、地図情報を随時更新・共有できる。これにより、常に最新の被災状況を各関係機関で把握することが可能となる。

c) 操作の簡便性

緊急時においても、専門知識がなくても短時間で情報を入力・確認できるため、現場の担当者が迷わず利用できる。

7. まとめ

GoogleマイマップをCGハザードマップの補助ツールとして活用することで、現地調査の効率化、情報の電子化、問い合わせ対応の改善が可能となる。これにより、従来の業務プロセスで発生していた時間的・物理的なコストを削減し、長期的に無理なく続けられる効率的な運用体制の構築に貢献できると考えられる。

運用にあたっては、紙媒体とデジタルの併用も選択肢に含め、業務内容に応じた柔軟な運用を行うことで、DX（デジタル化）を着実に推進していくことが重要である。

また、複数の担当者がツールを利用する際には、地図上の表示方法が担当者ごとにばらばらにならないよう、記号や色、凡例などの表示ルールをあらかじめ統一しておくことが望まれる。表示方法を統一することで、誰が入力した情報であっても、他の担当者が一目で正確に理解できるようになる。

今後の課題としては、地図情報や施設情報を定期的に更新していくことが挙げられる。情報の鮮度を維持するためには、定期的な精査と更新を行い、常に最新のデータに基づいてツールを活用することが求められる。

さらに、防災対応への実装にあたっては、土木事務所、市町の防災担当とも連携し、活用の方が広がるよう検討を深めていく必要がある。今後、本ツールが多方面で利活用できるものとして普及が促進されることを期待する。

謝辞：基礎調査業務にあたり、Googleマイマップの作成にご協力をいただきました復建調査設計株式会社 中藪恭介氏、田口雄登氏に深く感謝申し上げます。

*本稿は、前所属である丹波県民局丹波土木事務所公園砂防課での基礎調査業務における現地調査の効率化についてとりまとめたものである。

足羽川ダムにおける着岩RCDの施工について

渡邊 智大¹・今田 光一²

¹近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工事課 (〒910-0005福井県福井市大手3-14-9)

²清水・大林特定建設工事共同企業体 (〒910-2513福井県今立郡池田町寺島21-41-1)

RCD工法によるダムの着岩部は有スランブコンクリートで施工しており、重機の段取りや打設の養生期間が必要で施工の効率性向上を阻害するといった課題があった。

近年では、それらの課題の解消、施工の効率化を目的として着岩RCD工法が開発され、平坦部や緩勾配箇所での施工が進められている。

足羽川ダムでは、更なる施工性の向上を目的に、急勾配箇所における着岩RCD工法の施工仕様を決定し、施工を実施した。施工後に採取したコアの試験結果から、不陸への充填性および密実性が確保されていることを確認した。

キーワード 足羽川ダム, RCD工法, 着岩, 効率化, 充填性

1. はじめに

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）（図-1）に建設する高さ96m、総貯水容量28,700千m³、有効貯水容量（洪水調節容量）28,200千m³の重力式コンクリートダムである。下流域の洪水被害軽減を目的としており、平常時は水を貯留しない洪水調節専用の流水型ダムである。2026年7月末時点における堤体工の進捗は、コンクリートの打設高さ91m、打設量65万m³と全体の約97.5%の進捗となっている。

足羽川ダムは中標高部において高速施工を目的とし、RCD工法を採用したダムである。RCD工法はゼロスランブの内部コンクリートを打設し、端部法面の締固めを実施した後に、有スランブの外部コンクリートを施工することで高い施工性を確保した打設工法である。施工方法を図-2に示す。



図-1 足羽川ダム位置図

RCD工法によるダムの着岩部は、基礎岩盤の不陸凹凸への確実なコンクリート充填と一体化による密実性を確保する必要があることから、有スランブコンクリートで打設されてきた。そのため、着岩部では有スランブコンクリートで使用する施工重機が必要であり、RCD工法で使用する重機と異なることから、重機の錯綜や大幅な段取り替えが生じ、施工の効率性向上を阻害する要因であった。また、内部コンクリートと異なり、有スランブコンクリートでは、打設後に養生期間が必要となるため、次リフトに向けた準備作業（GC・清掃）までの待ち時間が長くなることで打設サイクル向上短縮に影響を与えていた。しかし、近年では段取り替えを不要とし、着岩部のコンクリート打設の施工効率を大幅に改善することを目的に、着岩部の要求性能を満足する着岩RCD工法が開発・採用された。¹⁾福岡県の実ヶ山ダムでは堤体右岸河床部の基礎岩盤の緩勾配箇所が着岩RCD工法で施工されている。また、九州地方整備局の鶴田ダムの再開発では既設洪水吐きの改修工事において河床の平坦箇所が着岩RCD工法で施工されている。

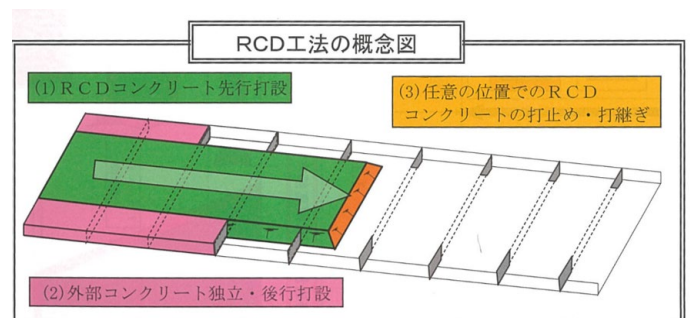


図-2 RCD工法の概念図¹⁾

表-1 着岩RCDコンクリートの配合区分図

配合名	区分	配合条件						単位量 (kg/m ³)									
		骨材の最大寸法	SL, SF 範囲	VC値の範囲	空気量の範囲	W/B	s/a	水	セメント	フライアッシュ	膨張材	細骨材	粗骨材			A E 減水剤 15SR	
		(mm)	(cm)	(秒)	(%)	(%)	(%)	W	B			S 1	80-40	40-20	20-5	(B × %)	(kg/m ³)
									C	FA	EX		G1	G2	G3		
D1	着岩 RCD	40	—	20.0 ±10.0	1.5 ±1.0	50.9	45.2	112	154	66	—	954	—	522	638	0.6	1.320

上記のように、着岩RCD工法は既往の施工実績があるが、足羽川ダムでは、RCD工法のさらなる施工性向上を図るため、急勾配箇所では着岩RCD工法に取り組んだ。

本稿では、急勾配箇所における仕様決定の試験施工結果および堤体での実施の結果を報告する。

2. 急勾配箇所における着岩RCDの試験施工

(1) 試験施工

急勾配箇所での着岩RCD工法では、岩盤に対して垂直方向の締固めのみで、不陸部へのコンクリートの充填と密実性を確保できるかが課題であった。このため着岩RCDコンクリートの配合の選定、敷均し転圧方法の設定、コンクリートの品質管理要領の妥当性を検証することを目的として試験施工を実施した。試験施工は堤体内で実施し、実施と同等の勾配条件下で行った。

試験に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。使用した着岩RCDコンクリートは、不陸部への充填性の向上を図るため、堤体内部コンクリートで使用している最大骨材寸法80 mmを40 mmに変更した。また、単位結合材量は足羽川ダムの外部コンクリートと同等の220 kg/m³とし、スランプ0 cmのRCD施工用コンクリートとした。

試験施工は、堤体右岸EL220m盤の岩級CL～CM級および岩級CM～CH級のエリアを対象に実施した。試験施工箇所の岩盤の状況を図-3に示す。また、着岩RCDコンクリートのまき出し厚さは、20cm×5層および25cm×4層と2条件を設定した。試験施工の仕様一覧を表-2に示す。対象箇所を図-4、エリア分けを図-5で示す。

試験施工では、試験前準備として平坦部の岩盤凹凸部に着岩RCDコンクリートを先行打設し、不陸整正を実施した。

平坦部における着岩RCD工法は、試験施工を行うための十分なヤードを確保できる原石山で試験施工を実施し仕様を決定した。

着岩RCD工法の試験施工は、以下の手順で行った。

- ①手塗りによるモルタルの散布。
- ②着岩RCDコンクリートをケーブルクレーンで運搬。
- ③0.4m³級バックホウでまき出し。

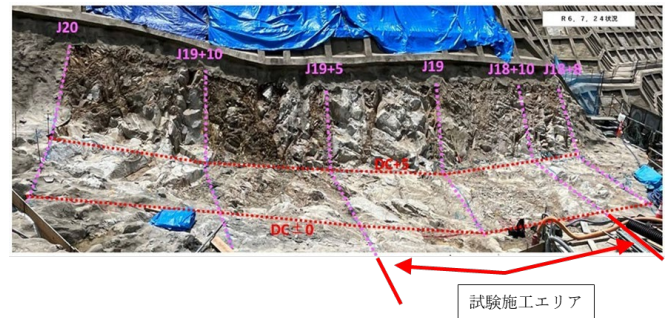


図-3 試験施工した岩盤の状況

表-2 試験施工の仕様

区画	着岩部		転圧仕様	アバットメント部		転圧仕様
	重機	厚さ		重機	厚さ	
CL CM 卓越部	60kg ランマ	25cm	4 往復	端部 締固め機	25cm	30 秒
CM CH 卓越部	60kg ランマ	20cm	4 往復	端部 締固め機	20cm	30 秒

一般 RCD 施工部

着岩 RCD 施工部

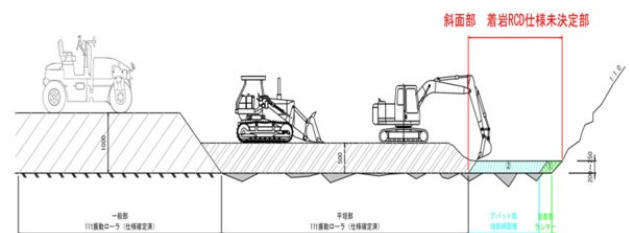


図-4 試験施工の対象箇所

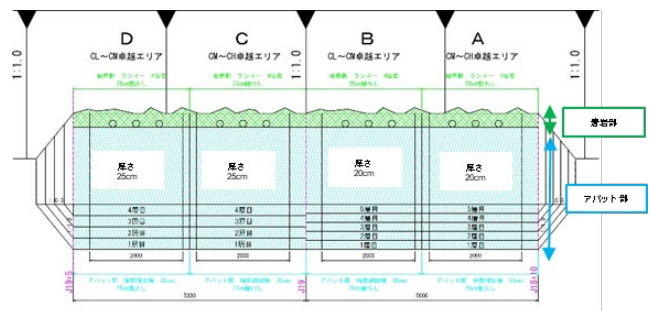


図-5 試験施工のエリア分け



図-6 試験施工の状況

④転圧・締固め.

比較的大型の重機で転圧可能な着岩手前のアバット部については端部締固機を用いて各層30秒の締固めを行った。岩盤際については、大型重機が近寄れないため、60kgランマを使用し4往復の締固めを行った。試験施工の状況を図-6に示す。

(2) 試験施工の結果

試験施工を実施した法面のアバット部および着岩部で、着岩RCDコンクリートと岩盤の密着状況・密度・強度を確認することを目的にコアを採取（図-7）した。採取したコアの観察を行うとともに、材齢91日の圧縮強度試験および単位容積質量試験を実施した。コアの状況を図-8、圧縮強度試験および単位容積質量試験結果を表-3に示す。

コア表面の観察結果から、概ね有害な空隙は認められず、密実な状態であった。また、岩盤と着岩RCDコンクリートの密着状態も良好であった。

圧縮強度試験の結果、1箇所のコアを除き、圧縮強度が設計基準強度である25.2N/mm²を上回った。設計基準強度を下回ったコアは、コンクリートのまき出し厚25cm、岩級CL～CM級のDエリアから採取したD-S-5であった。

D-S-5のコアを断面でカットしたところ、コア表面から内部にかけて空隙が確認された。（図-9）

既往の研究²⁾では、転圧・締固め時に、骨材が微動することで骨材周辺に空隙が生じることが報告されている。

本試験施工においても、ランマによる締固め時に同様の現象により空隙が発生し、この空隙を起点に圧壊につながり、強度が低下したものと考えられる。

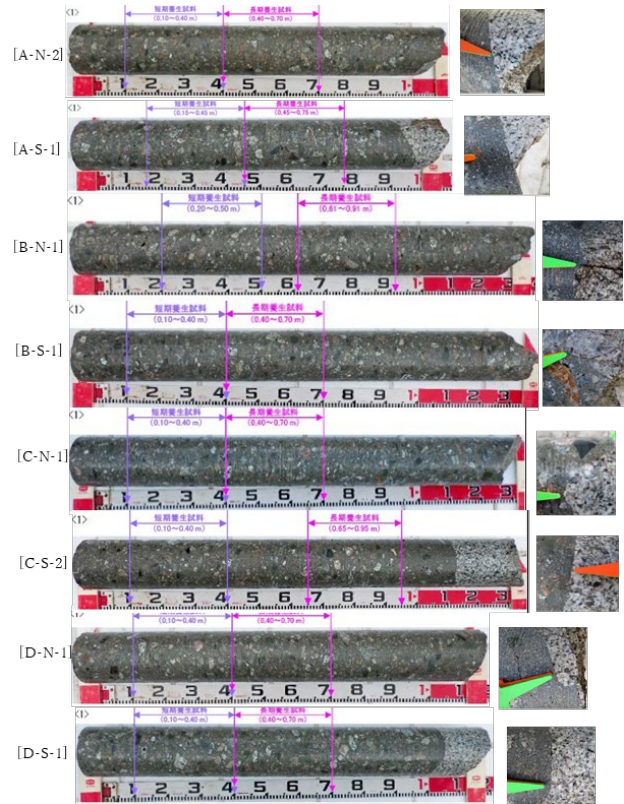


図-8 コアの状況

表-3 試験の結果

エリア	供試体番号	コア評価	単位体積重量 (t/m ³)	エリア別平均 (t/m ³)	圧縮強度σ ₉₁ (N/mm ²)	エリア別平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)
A	20cm×5層 端部締固機 アバットCMH	A-N-1	2.489	2.487	36.3	34.7	2.4
		A-N-2	2.480		33.6		
		A-N-3	2.491		38.3		
		A-N-4	2.520		32.6		
		A-N-5	2.475		32.9		
	20cm×5層 ランマ 着岩CMH	A-S-1	2.519	2.502	41.1	34.3	4.3
		A-S-2	2.512		33.4		
		A-S-3	2.503		37.3		
		A-S-4	2.480		29.0		
		A-S-5	2.502		29.3		
B	20cm×5層 端部締固機 アバットCLOM	B-N-1	2.506	2.498	43.9	42.1	4.0
		B-N-2	2.500		46.9		
		B-N-3	2.489		40.5		
		B-N-4	2.475		36.3		
		B-N-5	2.541		43.0		
	20cm×5層 ランマ 着岩CLOM	B-S-1	2.756	2.554	32.9	36.8	5.6
		B-S-2	2.433		35.3		
		B-S-3	2.487		38.4		
		B-S-4	2.595		45.6		
		B-S-5	2.590		31.7		
C	25cm×4層 端部締固機 アバットCMH	C-N-1	2.487	2.503	32.0	37.8	4.6
		C-N-2	2.465		37.3		
		C-N-3	2.461		42.0		
		C-N-4	2.477		35.0		
		C-N-5	2.624		42.8		
	25cm×4層 ランマ 着岩CMH	C-S-1	2.509	2.492	35.1	33.9	1.3
		C-S-2	2.489		34.6		
		C-S-3	2.476		32.1		
		C-S-4	2.518		32.9		
		C-S-5	2.466		34.5		
D	25cm×4層 端部締固機 アバットCLOM	D-N-1	2.481	2.482	39.4	39.6	2.4
		D-N-2	2.457		39.0		
		D-N-3	2.487		43.7		
		D-N-4	2.506		38.7		
		D-N-5	2.480		37.3		
	25cm×4層 ランマ 着岩CLOM	D-S-1	2.477	2.459	34.9	34.9 (32.4)	2.1 (5.9)
		D-S-2	2.485		36.7		
		D-S-3	2.378		32.0		
		D-S-4	2.487		36.1		
		D-S-5	2.469		27.4		

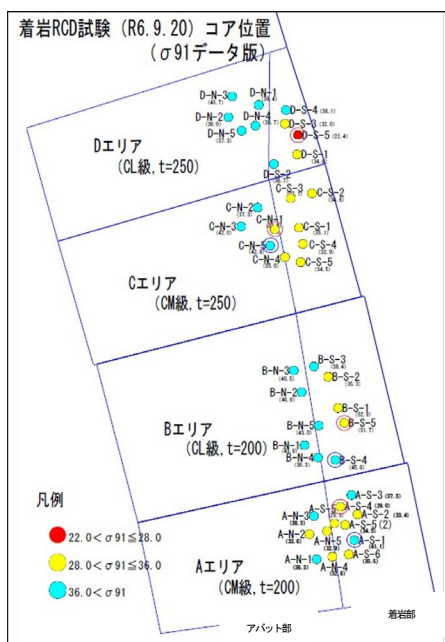


図-7 コアの採取位置

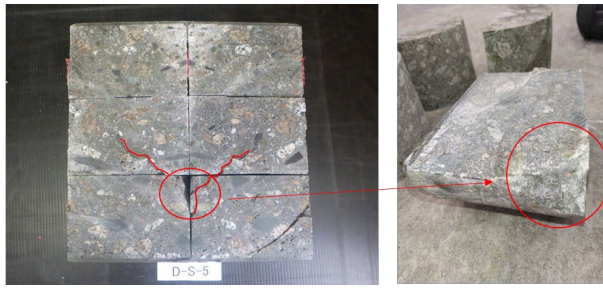


図-9 D-S-5の空隙

単位容積質量試験の結果では、単位容積質量の最小値が2.378t/m³であり、すべてのコアで規格値2.3t/m³を上回る結果となった。

3. 着岩RCDの実施工

(1) 堤体での採用

試験施工により、着岩RCD工法が急勾配箇所においても所要の品質および性能を確保できることを確認した。この結果を踏まえ、足羽川ダム堤体の左右岸急勾配箇所に着岩RCD工法を採用した。堤体で実施した施工仕様を表-4に、施工手順を図-10に示す。採用した範囲はダム堤体(EL175～EL271m)に対し、左岸はEL219～239m、右岸はEL229～255mとした。(図-11)

施工の状況は図-12～15のとおりでRCD工法と同じ重機で施工している。

表-4 実施工での着岩RCD工法の仕様

着岩部 重機 60kg ランマ	厚さ 25cm	転圧 仕様 4往復	アパートメント部		転圧 仕様 30秒	平坦部	
			重機	厚さ 25cm		重機 11t振動 ローラー	転圧 仕様 6往復

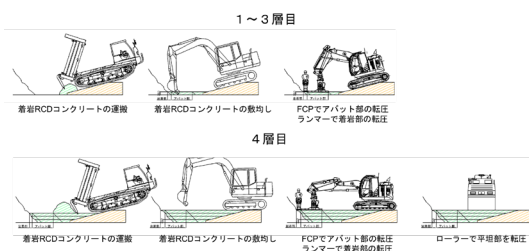


図-10 着岩RCD工法の施工手順

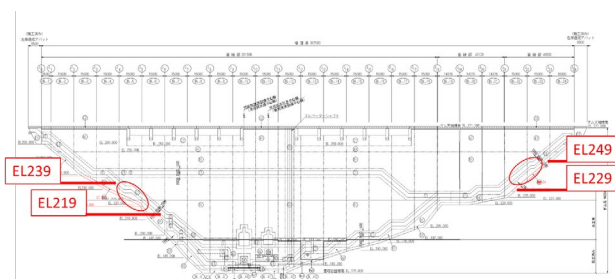


図-11 着岩RCD工法を採用した範囲



図-12 着岩RCDコンクリートのまき出し



図-13 ランマによる転圧

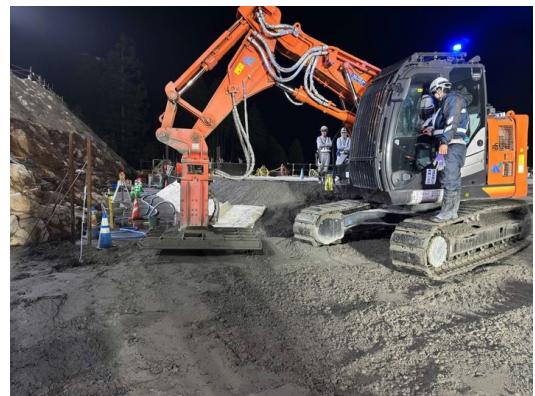


図-14 端部締めめ機による転圧



図-15 11t振動ローラによる転圧

表-5 着岩RCDの効果

	採用前	採用後
重機の段取り替えの低減	RCDコンクリートの施工で使用しない、パイバック等の重機を使用する必要が生じた。	内部コンクリートと着岩部の施工で同様の重機を使用することができ、重機の移動や安全通路盛替え等が低減し施工性が向上した。
打継面処理、仕上掘削等次工程への早期着手	着岩コンクリート(有スランプ)施工後、打設箇所に人や重機等が乗り、打継面処理、仕上掘削等の施工を開始するためには、養生期間(24時間程度以上)が必要。	着岩RCD工法を採用することで、打設終了後速やかに人や重機等が打設箇所に乗ることが可能であり、早期に打継面処理や仕上掘削等を開始することができた。
SC プレミアムベルコンの早期使用開始 3)	有スランプコンクリートでは養生期間中(24時間程度以上)、SCプレミアムベルコン使用中、堤体打設に使用するグランドホッパを打設箇所に設置できず、打設開始が遅滞した。	着岩RCD工法を採用することで、打設終了後速やかにグランドホッパを打設箇所に設置でき、SCプレミアムベルコンを使用した早期打設開始を実現した。
打設前検査回数の低減	有スランプコンクリートと内部コンクリートの施工を同時に行えないため、検査前の清掃や検査を別で実施する必要があった。	着岩RCDコンクリートと内部コンクリートを並行して施工できるため、一度に清掃でき検査を同時に実施することができた。

(2) 実施工結果

着岩RCD工法の適用効果を表-5に示す。着岩RCD工法の適用により、コンクリートの運搬、まき出しおよび締固めを内部コンクリートと同一の施工機械で実施することが可能となった。その結果、重機の錯綜や段取り替えが低減され、施工性の向上が図られた。また、従来の有スランプコンクリートでは、施工後24時間の養生期間を確保する必要があり、その間は人力作業や重機の立入ができなかった。一方、着岩RCD工法では有スランプコンクリートに比べて硬化時間が短く施工後早期に人力作業および重機の立入が可能となることから、グリーンカット(GC)や清掃等の準備作業に係る待機時間が短縮され、打設サイクルの向上が図られた。

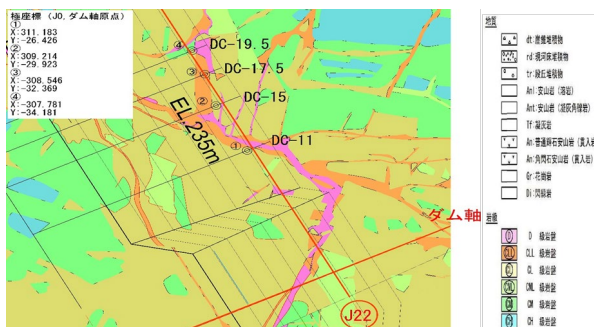


図-16 堤体内コア採取位置(施工前に位置決定)

表-6 測定結果

試験項目	1) 水中置換法による 密度試験 規格値 2.35 g/cm ³ 以上	2) 非破壊試験器による 密度試験 規格値 2.35 g/cm ³ 以上	3) 圧縮強度試験 (σ ₉₁ 相当) 規格値 25.2 N/mm ² 以上
No①孔	2.532 g/cm ³	2.510 g/cm ³	39.2 N/mm ²
No②孔	2.509 g/cm ³	2.524 g/cm ³	33.0 N/mm ²
No③孔	2.481 g/cm ³	2.494 g/cm ³	35.5 N/mm ²
No④孔	2.505 g/cm ³	2.510 g/cm ³	29.8 N/mm ²
平均値	2.507 g/cm ³	2.510 g/cm ³	34.4 N/mm ²

天端からの 深さ	No①孔 g/cm ³	No②孔 g/cm ³	No③孔 g/cm ³	No④孔 g/cm ³
0cm	—	—	2.524	—
5cm	—	2.539	2.465	2.491
10cm	2.464	2.559	2.483	2.499
15cm	2.483	—	2.469	2.473
20cm	2.485	—	2.487	2.518
25cm	2.485	—	2.511	2.525
30cm	2.492	2.526	2.519	2.490
35cm	2.520	2.520	—	2.509
40cm	2.543	2.521	—	2.513
45cm	2.561	2.503	—	2.574
50cm	2.557	2.502	—	—
55cm	2.515	2.526	—	—
60cm	—	2.523	—	—
平均	2.510	2.524	2.494	2.510

(3) 着岩RCDコンクリートの密度・強度の確認

堤体内の着岩RCD工法の施工箇所においてボーリングコアを4箇所採取し、岩盤の密着状況の確認および密度・強度の評価を実施した。採取位置を図-16に示す。

採取したコアについて、円柱供試体となるよう整形し、材齢91日における圧縮強度試験、水中置換法による全体密度の測定および非破壊試験器による深さ方向の密度の測定を実施した。

採取したコアの観察結果から着岩RCDコンクリートと岩盤との密着状態は良好であることを確認した。(図-16) 各試験及び測定の結果を表-6に示す。

圧縮強度試験の結果、4本全てのコアで強度が規格値25.2N/mm²を上回った。

水中置換法による密度試験では、4本全てのコアで密度が規格値2.3g/cm³を上回る結果となった。(図-17)

非破壊試験器による測定には、配管用RI密度計を使用し、深さ方向に5cm間隔で測定を行った。その結果、全ての測定箇所において規格値である2.3g/cm³を上回ることを確認した。(図-18)



図-16 コアの状況

1) 水中置換法による全体密度測定

測定方法
 1) 容器を重量計に乗せた状態でセッティングし、目盛りで70Lになるように水を入れて重量を測定する(満水状態)
 2) コア重量を測定する
 3) コアを容器に入れた状態でセッティングし、目盛りで70Lになるように水を入れて重量を測定する(コア投入満水重量)
 4) 満水状態の数値からコア投入満水重量の数値を差し引くことでコアの体積を算出
 5) コア重量とコア体積より比重を算出

コアNo.	満水重量	コア重量(kg)	コア投入満水重量	コア投入満水重量(増分)	比重(g/cm ³)
1	70.00	24.64	84.63	14.63	2.533
2	69.50	25.51	84.01	14.51	2.500
3	70.00	22.38	83.98	13.98	2.481
4	70.00	22.11	83.97	13.86	2.507

図-17 水中置換法による密度測定

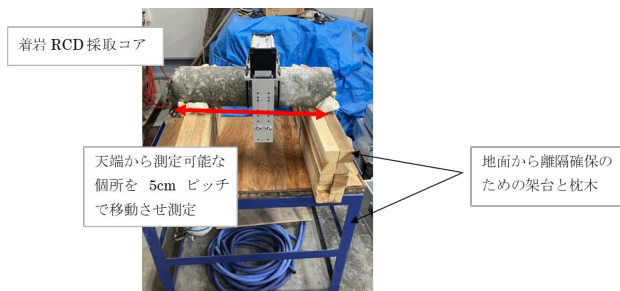


図-18 非破壊試験器による密度の測定

4. 結論

急勾配箇所における着岩RCD工法について試験施工を実施し、施工仕様を決定した。加えて、足羽川ダム堤体で当該施工仕様を適用した結果、岩盤と着岩RCDコンクリートの密着性、強度および密度が所要の品質を満足することを確認した。上記より、急勾配箇所においても着岩RCD工法による不陸部への充填性および密実性を確保できることを示した。今後、同様の条件を有するダムへの適用により、さらなる施工の効率化が期待される。

今回の施工では、着岩部をランマを用いて人力で施工しているが、基礎岩盤のオーバーハング等の要因でランマが入れない場合、施工できないといった課題があった。ランマで施工できない場所を施工する方法を確立することができれば着岩RCD工法の適用範囲を広げることができると考える。

さらに、まき出し厚の増大及びアバット部と着岩部をあわせて端部締め機で施工する等、締め固め時間の短縮に関する検討ができれば更なる施工の効率化を図ることができると考える。

謝辞：本試験にご協力いただいた全ての皆様に感謝いたします。(一財)ダム技術センターには試験施工の計画や施工の評価で技術的助言をいただきました。皆様のご支援に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) (一財)ダム技術センター：RCD工法施工技術資料，2019年，3月
- 2) 天明 敏行ら：RCD コアのX線CT法による物性分布の評価，土木学会論文集F，土木学会，Vol.64 No.3，248-260，2008.7
- 3) 糸 純司，長谷川 悦央：ダム建設現場におけるi-Construction 2.0 ～足羽川ダムの挑戦～

堤防への野生動物侵入抑制を目的とした 天然由来忌避剤の効果検証 ～北川水系遠敷川を対象として～

林 百合子¹・徳田 幸司²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務第二課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

²八千代エンジニアリング株式会社 大阪支店 河川・水工部 (〒540-0001大阪府大阪市中央区城見1-4-70)

北川水系遠敷川において、イノシシ等による堤防の掘り返し被害が増加している。従来、被害箇所には盛土や張芝等の土工復旧を実施してきたが、近傍が繰り返し掘り返されるため抜本的対策が追いつかず、応急的な「埋戻し」の対応を余儀なくされる等、維持管理の大きな負担となっている。本試行は、実害を未然に防ぐ予防保全型の管理への転換を目指し、インターネット等で容易に入手可能な天然由来忌避剤の有効性を実現場で検証した。本稿では、動画記録と巡視記録を用いた効果検証結果、従来比約58%のコスト削減効果の算出、および今後の課題と展望について報告する。

キーワード 河川維持管理、獣害対策、天然由来忌避剤、トレイルカメラ、コスト削減

1. はじめに

(1) 堤防における獣害被害の実態と維持管理の課題

福井河川国道事務所が管理する九頭竜川水系および北川水系において、近年、イノシシ、キツネなどの野生動物による堤防への穴あけや掘り返し被害が増加傾向にある。特に北川水系の遠敷川においては、イノシシによる法面の掘り返しが堤防の本来の機能に影響を与えるほど深刻化しており、出水期における堤防の安全性確保の観点から対策が急務となっている。



写真-1 遠敷川におけるイノシシの掘り返し被害
(遠敷川左岸 0.5k 付近)

従来、これらの変状に対する対応策としては、河川砂防技術基準に基づく定期的な巡視・点検により変状箇所を早期に発見し、盛土、法面整形、張芝などの土工による復旧が実施されてきた。しかしながら、RiMaDISの堤防点検・巡視記録を確認すると、「一度掘った近傍を繰り返し掘り返す」傾向が見られ、復旧の都度、多額の補修費用と施工管理の手間が発生しているのが実態である。その結果、限られた維持管理予算と人員の中では抜本的な対策（盛土や張芝等）まで手が回らず、応急的な「埋戻しのみ」の対応を繰り返さざるを得ない状況に陥るケースも多く、河川維持管理上の大きな負担となっている。

(2) 本試行の目的

このような背景から、被害発生後の復旧という事後対応の「いたちごっこ」から脱却し、繰り返される実害を未然に防ぐ「予防保全型」の維持管理への転換が必要不可欠である。そこで本試行では、物理的な対策に代わる新たな維持管理手法として、簡易かつ低コストに実施可能な「忌避剤」の散布に着目した。

本稿では、遠敷川の現場において天然由来の忌避剤を試験散布し、トレイルカメラによる定量的観測と巡視記録を用いたモニタリングを通じて、イノシシに対する被害抑制効果を検証するとともに、維持管理における実用性（コスト削減効果・施工性）の評価、および今後の獣害対策の展望について報告する。

2. 忌避剤の選定と実証フィールドの計画

(1) 環境負荷と「入手しやすさ」を考慮した忌避剤選定

忌避剤の選定にあたっては、河川環境という公共空間で使用するため、散歩中のペット（イヌ等）をはじめとする周辺環境への匂いの影響がないよう最大限留意した。また、河川管理者が日常の巡視業務の中で簡易に運用できるよう、定量的な散布量（使用目安）が明示されていること、粉末や粒状で散布がしやすいこと、さらに特殊なルートを通さずインターネット通信販売やホームセンター等で容易に入手可能であることを必須条件として選定を行った。

他機関で実績のあった獣尿系の製品等は、匂いが強く犬の散歩等への影響が懸念されることや、専門業者からの入手が必要となるため除外した。また、農地用のシート類は、効果の持続期間が不明瞭なため不採用とした。

比較検討の結果、主成分や動物が嫌がる仕組み（嗅覚への刺激や本能的な警戒など）が異なる天然由来の3製品を選定した。第一に、乾燥ヒトデに含まれる成分が嗅覚を刺激する「ヒトデ抽出物（粉末、使用目安40～50g/m²、160～200円/m²）」、第二に、唐辛子成分が嗅覚や皮膚を刺激する「カプサイシン（粉末、使用目安40～50g/m²、160～200円/m²）」、第三に、木材を熱して得られる液体で臭いが山火事を連想させる「木タール（粒状、使用目安30mL/m²、約50円/m²）」である。

表-1 使用した忌避剤一覧表

No	区分	忌避剤	
1,2	不快臭	ヒトデ	過去の実績資材との比較基準としての忌避効果の検証。
3,4	刺激臭	カプサイシン	嗅覚や皮膚への物理的刺激を用いた忌避効果の検証。
5,6	不快臭	木タール	山火事を連想させる煙の臭いによる忌避効果の検証。

※表中の「No」は、図-1のNoと同じ。

(2) 実証レイアウトと区間設定

試行箇所を選定においては、遠敷大鷲大橋からJR橋の区間においてイノシシの被害が多発している現状を踏まえた上で、詳細な区間選定を行った。自転車道や住居が近接している区間（1.0k～1.2k等）は匂いの影響を避けるため除外し、人の往来が少なく今後も被害増加が見込まれる遠敷川右岸（0.6k付近）の川表法面（低水護岸より上部の法面）を試験対象箇所として選定した（図-1）。

3種の忌避剤ごとに効果の持続性を検証するため、「ケース1（2ヶ月に1回定期散布）」と「ケース2（初回のみ散布）」の2つの条件を設定し、川表のみ計6箇所に試験区間（各延長10m、幅約5m）を配置した。

この際、各試験区間が密接していると、異なる忌避剤の匂いが風等によって混ざり合い、どの成分が効果を発揮しているのか正確な判定ができなくなる懸念があった。そのため、各試験区間（ケース）の間に「20mの緩衝帯（隔離区間）」を試験的に設定し、独立した環境下で忌避剤ごとの比較検証が可能なレイアウトを立案した。

(3) トレイルカメラによる定量的観測体制の検討

イノシシは主に夜行性であるため、昼間の目視巡視だけでは忌避剤への反応や侵入の有無を正確に捉えることが難しい。そこで、忌避剤散布箇所（ケース1の上流側）に向けて、赤外線センサー付きのトレイルカメラ（WAMキャプチャー05）を計3台設置した。

草が伸びても撮影可能な高さ1.5mとし、根入れ0.5mの角材杭（2.0m）に固定した（図-2）。設定は、動物の行動が鮮明に確認できるようHD（720P）画質での30秒動画撮影モードとし、センサー感度を「高」、動画の撮影間隔を「10秒」として、夜間を含む24時間の連続監視体制を整えた。同時に、河川管理情報システム（RiMaDIS）を用いた週2回の巡視記録と照合し、「映像上の動物の行動」と「実際の堤防変状（掘り返しの有無）」の相関を客観的に分析する体制とした。

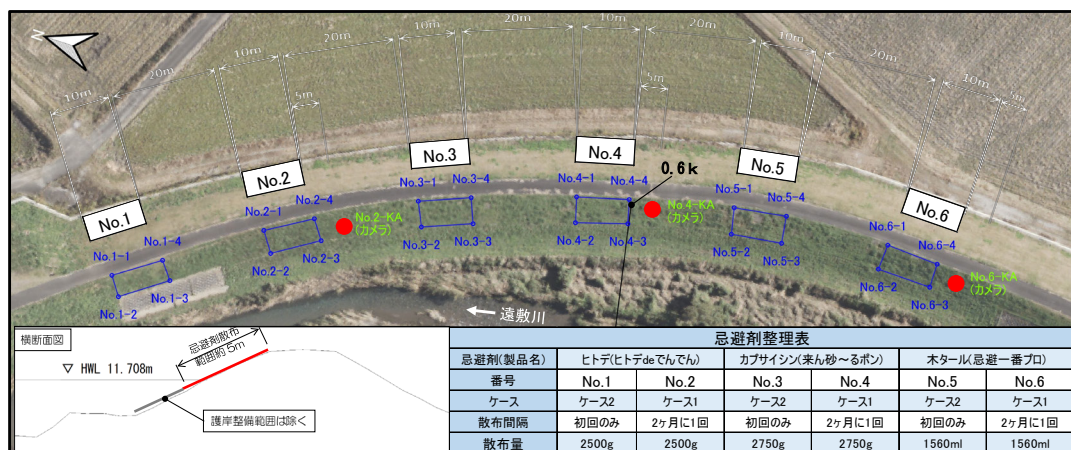


図-1 忌避剤散布範囲およびカメラ設置位置●説明図



図-2 トレイルカメラの設置状況(No. 4)

3. モニタリング結果と現状分析

2025年6月に忌避剤の初回散布（全6区間）を実施し、その後ケース1については忌避剤の効果持続期間である2ヶ月ごとに散布を実施した（表-2）。本稿では、カメラによる観測を開始した2025年6月から2026年3月までの約10ヶ月間のデータを分析した。

表-2 忌避剤散布月（ケース1）

年	2025						2026			
月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
散布	○		○		○		○		○	

(1) 観測期間を通じた動物の出現傾向

観測期間を通じてカメラが捉えた動画記録の大半は、シカおよびキツネによるものであった（図-3）。時系列で動画記録数を確認すると、6月～10月の期間と比較して、11月～3月の冬季期間に記録数が大きく増加する傾向が見られた。これは、冬季に向けて日没が早くなったこと（18時台から17時台、さらに翌朝6時台まで活動）により、動物の活動時間帯が相対的に増加したことが影響していると分析される。また、1月下旬から2月上旬までの積雪時期においては、シカの記録数が一時的に減少する傾向も確認された。

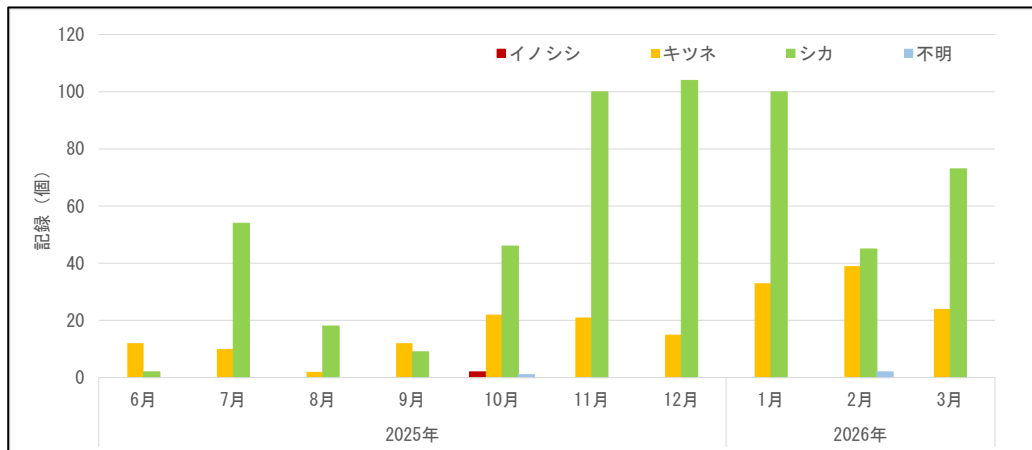


図-3 期間別・獣種別の動物記録推移グラフ

(2) イノシシに対する実害の抑制効果

当初の検証目的としていた「イノシシが忌避剤の匂いを嗅いで引き返す（避ける）」といった、明確な忌避行動の動画を撮影することはできなかった。実際、約10ヶ月の全期間を通じて、カメラの映像にイノシシの姿が記録されたのは、わずか2回のみであった。

しかし、この結果は忌避剤の効果がなかったことを意味するものではなく、映像に記録されたイノシシは、2回とも天端と法面を移動する様子が確認されたものの、忌避剤散布箇所の外側（緩衝帯等）を移動しており、忌避剤を散布した区間内に留まることはなかった（写真-2）。

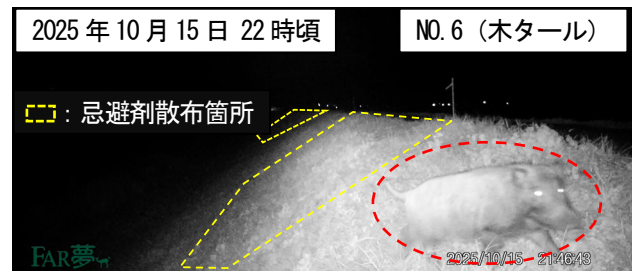


写真-2 忌避剤散布箇所の外で行動するイノシシ

また、忌避剤を散布した右岸側の試行区間内（延長160m）におけるイノシシによる新たな掘り返し（実被害）は、本試行期間を通じて一件も発生しなかった。

この成果を裏付けるように、同時期のRiMaDISの巡視記録を確認すると、本試行区間の対岸（左岸）や区間外の上流部（右岸0.8k付近のイノシシの徘徊痕跡箇所）

（写真-3）においては、イノシシによる掘り返しの再発や徘徊の痕跡が明確に確認されている。これらの結果から、天然由来忌避剤は、イノシシを完全に遠方へ退散させるほどの効果はないものの、散布区間全体を「掘り返しという行動を抑制する防護帯（バリア）」として機能させる一定の抑止効果を有していると推察される。

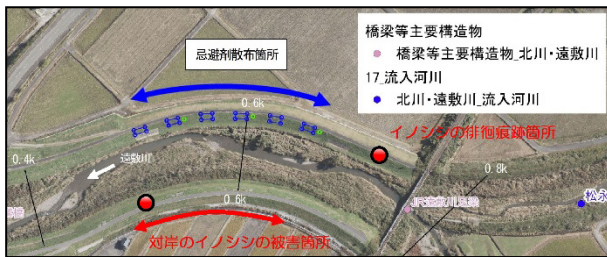


写真-3 上流側・対岸で発見されたイノシシの徘徊痕跡箇所

(3) 他獣種の行動特性から見る忌避剤の限界

イノシシに対して一定の防護効果が見られた一方で、シカやキツネに対する効果は限定的であった。映像記録の分析結果によれば、シカは全地点において忌避剤散布範囲への侵入や滞在が常態化しており、群れで匂いを嗅ぎながら移動したり、散布箇所付近の草を食べたりする行動が多数確認された（写真-4）。



写真-4 忌避剤散布箇所内のシカ

また、キツネについても忌避剤に対する警戒反応は確認されず、天端を移動するだけでなく、カブサイシンや

木タールの散布箇所近傍で頻繁にマーキング（尿）や毛づくろいを行う様子が映像で確認された（写真-5）。

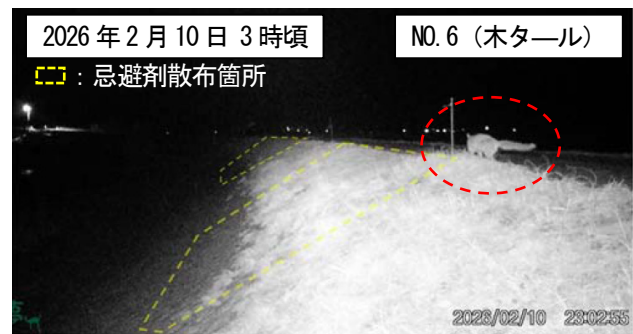


写真-5 忌避剤散布箇所内のキツネ

忌避剤別に見ると、ヒトデ抽出物が相対的に記録数が少なく一定の忌避効果が高いと考えられるものの（図-4）、いずれの忌避剤もシカやキツネの侵入を完全に防ぐには至らず、キツネに至っては前述のマーキングや毛づくろいが見られてきたことから、匂いに対する「慣れ」が生じている可能性が高いことが判明した。

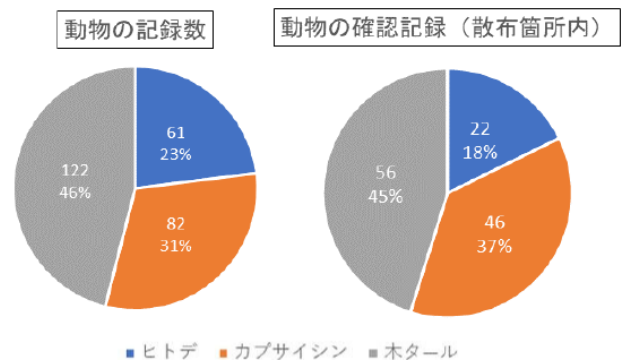


図-4 忌避剤別記録数

(4) 匂いの干渉と緩衝帯に関する知見

本試行では、各忌避剤の匂いの干渉を物理的に防ぐ目的で20mの緩衝帯を設定したが、実際の現場での観察の結果、人間の嗅覚でも風向き等の気象条件によっては20m離れた隣接区間まで十分に匂いが到達してしまうことが判明した。室内実験とは異なる、自然環境下における「匂い」を利用した検証の難しさと限界が確認された形であり、実現場での評価指標整備に向けた知見が得られた。

4. 経済性の検証と維持管理への適用性

(1) 維持管理コストの縮減効果

本試行の最大の目的である維持管理コストの縮減について、予防保全策として忌避剤を散布した場合と、実害が発生するたびに事後対応として定期的な補修（従来工

法)を行った場合の経済性比較を実施した。

試行対象範囲のうちの1箇所程度の範囲(延長10m×幅約5m=面積50㎡)において、予防保全段階の評価となる深さ0.3mの掘り返しが発生(掘り返し体積 $V=15\text{m}^3$)したと仮定する。従来工法(盛土+法面整形+張芝)による概算工事費は、掘削(0.6万円)、土砂等運搬費(4.5万円)、積込(1.9万円)、法面整形費(3.5万円)、仮置き場での整地(0.2万円)、張芝費(14.5万円)の直接工事費計25.2万円に諸経費(70%想定:17.7万円)を加算し、合計42.8万円と算出された。

一方、今回実施した忌避剤散布に要した概算費用は、普通作業員による忌避剤散布の直接人件費(10.7万円)、忌避剤材料費(4.0万円)の直接工事費(14.7万円)に諸経費(70%:10.3万円)を加算し、合計25.0万円であった。

両者を比較すると、忌避剤の運用により約42%(約17.8万円)のコスト削減効果が得られる計算となる。維持管理予算に限られる中、近傍を繰り返し掘り返される被害に対して、その都度多額の土工補修費用を投じ続ける循環を断ち切る有用性と経済性が定量的に示された。

表-3 従来工法と忌避剤運用のコスト比較(試算)

項目	単位	金額	コスト削減額
盛土+法面整形+張芝	円	428,000	-178,000
忌避剤	円	250,000	

(2) 施工の容易性と実用性

忌避剤による対策のもう一つの利点は、施工の容易性である。盛土に必要な重機の搬入や、土砂・張芝といった資材の手配等、大がかりな準備プロセスを必要としない。インターネット通信販売等で容易に入手した粉末や粒状の材料を、日常の河川巡視の延長線上で少人数で散布できる。この使い勝手の良さは、働き方改革が推進され人手不足が深刻な課題となる河川維持管理業務において、実務的な負担軽減に直結する大きなメリットである。

5. おわりに

(1) 結論

本試行の結果、インターネット等で入手可能な天然由来忌避剤は、イノシシを完全に排除せずとも、堤防機能の致命傷となる「掘り返し被害」を低コストかつ簡便に抑制できる、予防保全手法として一定の防護効果を有することが確認された。約58%のコスト削減効果と施工の容易性は、今後の維持管理業務の省力化に大きく寄与するものである。

(2) 今後の課題と展望

本試行を通じて得られた今後の課題と、次なる維持管理の展望は以下のとおりである。

a) 異常値の検証と多年度にわたる観察

2025年度のRiMaDIS記録を集計した結果、北川水系におけるイノシシによる変状数は、前年度から大きく減少していた(図-5)。この減少が忌避剤の効果によるものか、あるいは気象条件等による一時的な個体数減少(異常値)であるかの特定は、単年度の試行結果のみでは困難である。

そのため、来年度以降もイノシシの活動期である11月まで観察を継続し、複数年にわたり試行を実施することでデータの信頼性を担保していく必要がある。また、今後は天候・気温・風向等の気象条件と動物の出現数との関係等についても詳細な検証を行っていく。

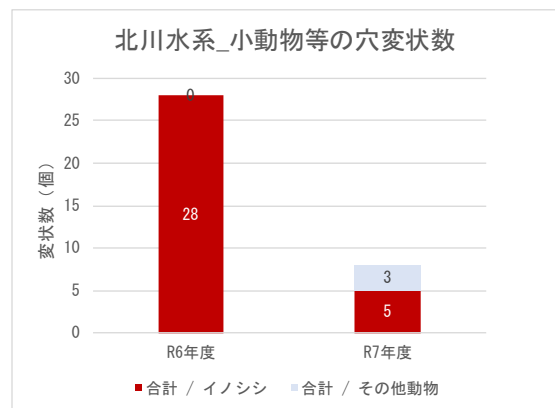


図-5 小動物の記録数(北川水系 新規・進行あり)

b) キツネ等の別獣種への対応と深穴被害対策

本試行の動画記録が示す通り、シカやキツネはイノシシ用の忌避剤にはあまり反応せず、効果の持続期間が限定的である可能性が見られた。

近年、九頭竜川水系等においてはキツネによる穴の被害が急増しており(図-6)、その深さが1m以上となることも多く、堤防機能の評価に深刻な支障を与える懸念がある。今後は、キツネの特性に効果のある忌避剤の検討・試行を九頭竜川水系へ展開し、獣種に応じた対策を講じていくことが望ましい。

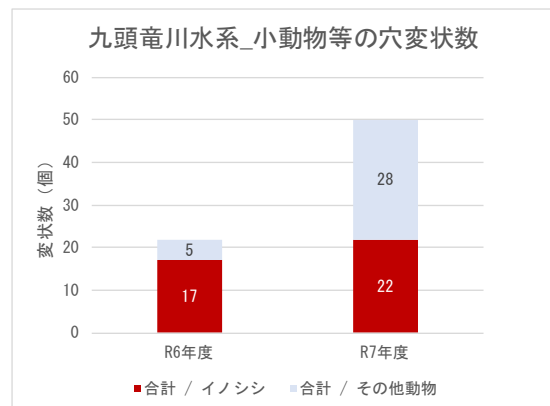


図-6 小動物の記録数
(九頭竜川水系 新規・進行あり)

c) 防護柵の影響検証と地域連携の推進

現地確認において、遠敷川周辺の背後農地および北川において、防護柵の設置が確認された。動物が河道側から堤内側へ移動していると推察されることから、柵の設置が記録数の減少に与える影響を検証するため、関連機関から柵の設置情報を収集し分析する必要がある。忌避剤の匂いに対する「慣れ」への対策も含め、今後は地元自治体や地域住民、猟友会等と連携・協働し、防護柵や檻の設置といった「動物の防除」を含めたハード・ソフト一体の総合的な獣害マネジメントを進めることが望ましい。

d) 新技術を活用した維持管理のDX化

今回の試行では、膨大なトレイルカメラの動画データを全て目視で確認したが、実際に動物が映っている動画は全体の約6%に過ぎず、確認作業に多大な時間を要した。

将来的な維持管理業務のDX化を見据え、コントラスト調整、リアルタイム性に優れる物体検出AI、動体検出を組み合わせた自動抽出プログラムの実装に向けた試行

を進めている。AIによる動画スクリーニング手法を確立し、さらなるモニタリング業務の省力化と効率化の実現を目指していきたい。

謝辞：本論文の作成、本試行の実施およびデータ分析にあたり、貴重なご意見や多大なご協力を賜りました関係機関ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準維持管理編（河川編），2024.
- 2)国土交通省 中国地方整備局 中国技術事務所：河川堤防における小動物被害 点検・評価・対策の手引き（案），2020.
- 3)国土交通省 水管理・国土保全局：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領，2023.
- 4)国土交通省 水管理・国土保全局：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 参考資料，2021.