

国道9号若宮橋の防災や土地利用に適合した プレビーム工法 [鋼とコンクリートの複合 構造] での架け替え

高田 信夫¹

¹近畿地方整備局 京都国道事務所 (〒600-8234京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

今回採用のプレビーム工法 [鋼とコンクリートの複合構造] は、鋼桁のまわりをコンクリートで覆う構造で、あらかじめ鋼桁にテンションをかけ、コンクリートを圧縮した状態で設置するため剛性が高くなり、桁高を低く抑えスリムな形状にできる。

十分な河川断面を確保しながら、桁高が低く路面高さのすりつけが容易で、隣接の土地区画整理事業での沿道土地利用と整合し、上部工一体化のシームレスな形状から、長期のメンテナンス性が高く、周囲の景観となじみやすい。工法の特徴を生かす計画・設計、プレビーム桁の工場製作から現地での添接部プレストレス導入まで、計画から施工に至る特徴や留意点を紹介。

鋼とコンクリートの複合構造、プレビーム工法、防災、沿道土地利用、メンテナンス、景観

1. 国道9号若宮橋架け替え事業の目的

国道9号若宮橋は、京都府亀岡市において、桂川の支川である犬飼川を渡河する橋梁であり、橋梁周辺の川幅が狭いことから、河川改修事業による河川の氾濫や洪水の防止と併せて、大規模地震等の災害発生時に救命救急活動や物資輸送を行う重要路線としての耐震性や信頼性向上、自歩道整備による交通安全の確保を目的とした架け替え事業を進めているところである。

2. 架け替え事業の概要

本架け替え事業は橋長32.7mの3径間単純RCT桁橋から、橋長55.5mの2径間連続プレビーム合成桁橋に架け替え、橋長を長くし川幅を広げ、橋脚を1基減らし河積阻害を低減し水害リスクを抑え、併せて自歩道整備を行うもの。

(1) 架け替え事業実施前の状況

犬飼川の河川改修が進められるなか、旧若宮橋の架橋箇所のみ川幅が狭くなり、2013 (H25), 2014 (H26) と連続して台風による大雨で被災し、亀岡市洪水ハザードマップでは河岸浸食での氾濫想定区域となっている。(図-1)

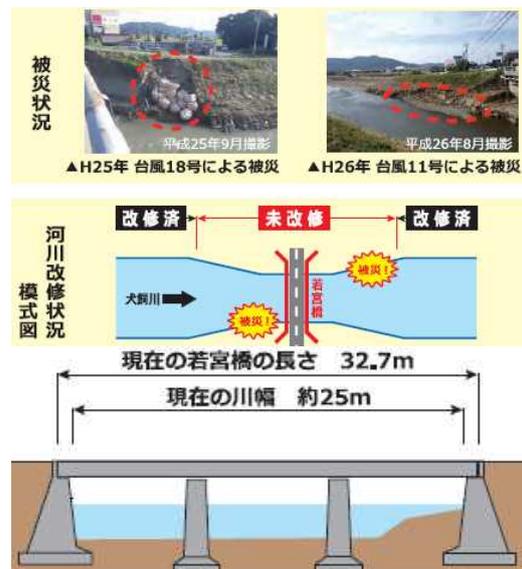


図-1 大雨での被災状況・亀岡市洪水ハザードマップ

また、旧若宮橋の耐震性については、1955(S30)架設の橋梁であり、落橋防止装置の設置はあったが、橋脚については、10mm丸鋼の配筋で配力筋が無く、フーチングは小規模で基礎杭は木杭であり、十分な耐震性が確保されていなかったと言える。(写真-1)

さらに、歩道が無いことで、歩行者や自転車の通行が危険であった。(写真-2)



写真-2 歩行者・自転車の通行状況

大井町南部土地地区画整備事業に隣接し、沿道土地利用との整合を確保するため、橋面高さを旧若宮橋と同等の高さで架け替えを行う必要があった。

(2) 架け替え事業実施後 (予定)

a) 大雨に対する防災

橋長を32.7mから55.5mに広げ、川の中の橋脚2基を1基減らし、大雨が降っても大丈夫な様に、必要な河川流下断面を確保するものである。(図-2)

2013(H25), 2014(H26)の台風による大雨での被災実績から、架橋地点のみ川幅が狭いことが水害リスクとなっていたが、川幅を広げることで、少し残る河川改修とあわせて水害リスクが取り除かれることで、亀岡市洪水ハザードマップでの河岸浸食による氾濫想定区域から今後除外され、防災上の安全・安心の確保が期待される。

河川拉幅に伴う費用は、協定により京都府の河川事業において適切に負担いただいている。



図-2 架け替え後の若宮橋の長さ55.5mと改修後の川幅

b) 歩行者と自転車の交通安全の確保

隣接する土地地区画整理事業の沿道では、商業的な土地利用に対応して自転車歩行者道の整備が進められ概成し、今後の歩行者や自転車の通行の増大が予想されることから、隣接する橋梁上においても、自転車歩行者道の整備により、人と自転車の通行の安全・安心を確保するもの。

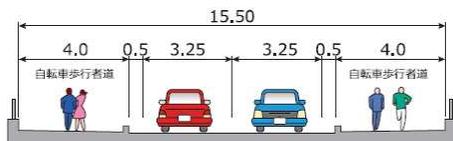


図-3 架け替え後の若宮橋の幅員構成(自転車歩行者道)

c) 地震時等の災害時への対応

国道9号は、災害時の「第一次緊急輸送道路」であり、災害復旧活動での活躍が期待され、これに対応すべく、L2タイプⅠ及びタイプⅡ地震動に対応した超高減衰ゴム支承を採用した「免震橋」とし、地震時の安全・安心を確保するとともに、大規模地震等の災害発生時において、救命救急活動や物資輸送を行う重要路線として、信頼性確保による活躍が期待される。

3. 2径間プレビューム合成桁橋の橋梁形式選定

架け替え後に必要となる河川断面を確保しながら、沿道土地利用に影響が少ない低い桁高で、河川との斜角約56°の斜橋の条件で、橋梁形式の比較検討が行われた結果、最終選定で、橋梁形式として「2径間連続プレビューム合成桁橋」が選定された。

プレビューム合成桁橋は、あらかじめ鋼桁にテンションをかけ、コンクリートを圧縮した状態で設置するため剛性が高くなり、低い桁高だけでなく比較的広い主桁間隔が可能で主桁本数が低減されている。

(桁間隔約3.4m、6主桁)

(1) 低い桁高と広い主桁間隔による桁本数の低減

鋼桁の場合は、斜橋の影響から、さらにたわみを防止する必要があり、どうしても桁高が高くなり、路面高さの沿道とのすりつけが困難となる。(図-4)

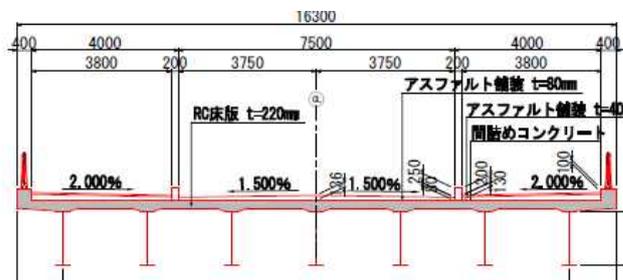


図-4 比較案 非合成鋼桁7主桁[桁高1.9m(路面まで)]

これを改善すべく鋼桁をベースとした桁高の低い合成床版橋を考えると、主桁本数がプレビューム合成桁の3倍の本数となり、支承数増加とあわせ不経済。(図-5)

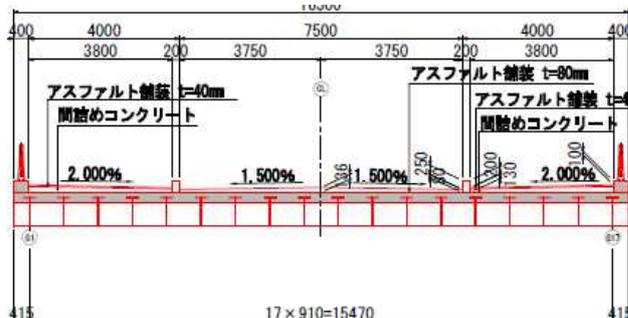


図-5 比較案 合成床版橋18主桁[桁高0.9m(路面まで)]

プレビーム合成桁橋の場合は前述の様に剛性が高く、比較的低い桁高で主桁本数が低減できる。(図-6)

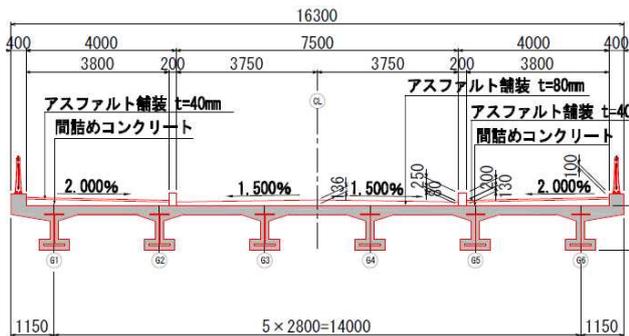


図-6 選定案 プレビーム合成桁橋6主桁[桁高1.2m(路面まで)]

(2) メンテナンス性の高さ

また、メンテナンス性においては、プレビーム合成桁は、鋼桁を全てコンクリートで巻立てた構造となっているため、塗装が不要であり、支承の数も少なくライフサイクルコストの低減が図れ、上部工一体化で表面がシームレスな構造となっていることから、点検も容易でメンテナンス性に優れる。

(3) 景観面などについて

さらに、桁本数が少ないことにより、桁間に添加物件を容易に収めることができるため、桁高の低いスリムな形状とあいまって、周囲の景観になじみやすい。

(4) 橋梁形式の選定について

以上の理由と、架橋地点の条件における経済性に加えてのライフサイクルコスト低減から、「2径間連続プレビーム合成桁橋」が選定されたものである。

また、一次選定では1径間案は経済性から除外され、PCコンクリート橋やこれを改良したコンポ橋などは、斜角約56°に対応できないことから除外されている。

4. 国道9号若宮橋架け替えの施工手順について

(1) 迂回路の設置と仮橋の設置

国道9号若宮橋架け替えは、旧若宮橋があったところと同じ場所に新しい橋を架け替えるため、迂回路と仮橋を設置して、2019年4月に国道9号の交通を迂回路に切り換えた。

(2) 旧橋の取り壊しと橋梁下部工の施工

その後、旧若宮橋を取り壊し、川幅を広げ、兩岸の橋台を設置して、2021年4月にP1橋脚が完成して橋梁下部工が完成した。P1橋脚は、約2m×20mの薄く細長い形状のため、コンクリート打設時に温度ひび割れが入り易いことが想定されたため、施工時に温度解析を行い、ひび割れ防止の補強鉄筋を追加することで、温度ひび割れ無く完成した。(写真-3)



写真-3 下部工及び護岸の完成(手前)(奥が迂回路仮橋)

(3) 護岸の施工について

犬飼川などの桂川支川に生息する、亀岡市の市の魚である「アユモドキ」などの生態系に配慮し、低水護岸には、生息環境となる隙間が多くても強度を確保できる、アンカー式空石積み工法を採用している。

若宮橋架け替え場所の護岸については、高水護岸を含め2021年6月に完成した。(写真-3)(写真-4)



写真-4 市の魚「アユモドキ」と生態系に配慮した低水護岸

(4) 若宮橋のプレビーム桁の工場での製作

a) 鋼橋製作

- 一般の鋼桁の鋼橋と同様にI断面の鋼桁を工場で作成する。(2021年10月に鋼桁完成)(写真-5)



- 放射線透過試験
溶接のきずが無い確認

写真-5 鋼桁の製作(工場検査時)

- ・下フランジに、工場でのコンクリート打設のための鉄筋が一部設置されている。(写真-5)
- ・ウェブに一部設置された鉄筋は現地でのウェブコンクリート打設で使用するもの。(写真-5)

b) 応力導入 (プレフレクション)

- ・7ブロックに分割した桁のうち、両サイドの3ブロックずつを繋いで組み立てる。(図-7)

鋼とコンクリートを組み合わせ断面力を高める
～プレビーム工法(鋼とコンクリートの複合構造)～

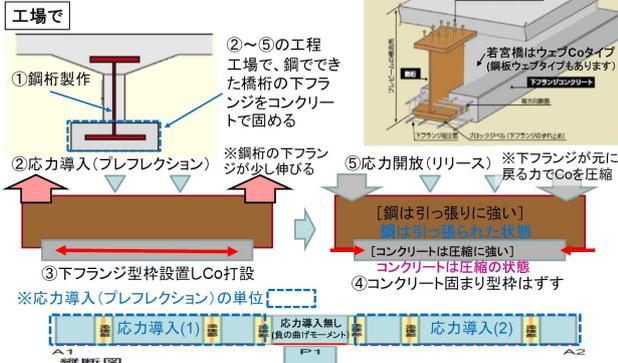


図-7 プレビーム桁の製作手順[鋼とコンクリートの複合構造]

- ・組み立てた各両サイドの各3ブロック分の支点部を固定して両端を油圧ジャッキで持ち上げ、鋼桁の下フランジを少し伸ばす。(写真-6)



写真-6 応力導入 (プレフレクション)

- ・P1橋脚上に設置される予定の中央の1ブロックは、負の曲げモーメントとなるため、応力導入は行わない。

c) 下フランジコンクリート打設

- ・応力導入した状態で下フランジの鉄筋と型枠を組み立て、コンクリート打設する。(図-7)
(Co圧縮強度50kN)
- ・中央の1ブロックは応力導入せずコンクリート打設。

d) 応力開放 (リリース)

- ・テストピースによりCo圧縮強度50kNの出現を確認後応力開放 (リリース) を行う。(図-7)
- ・この結果、下フランジコンクリートに圧縮方向の応力導入がされる。(図-7)

e) 分解して運搬

- ・再度7ブロック分割に分解して、現地まで運搬する。
(各桁7ブロック×桁本数6本 計42ブロック)

(5) 若宮橋のプレビーム桁の現地での施工

a) ワイヤークーブル足場の設置

- ・橋脚上でない分割位置の添接部を接続する際の足場が必要であり、上部工架設に先立ち、ワイヤークーブル足場を設置した。(写真-7)



写真-7 ワイヤークーブル足場

- ・ワイヤークーブル足場は、プレビーム桁の架設時に特有の足場であり、架設時は少したわんだ形で使用し、架設後の施工の際には、水平まで引き上げて、通常の吊り足場と同様に使用するものである。

b) 現地での地組み

- ・架設に先立ち、工場から現地へ各桁7ブロックに分割して計42ブロックで運ばれてきたプレビーム桁を、架設単位の4ブロック1つの組、3ブロック1つの組で、各桁2分割で計12組を組み立てる。
- ・後に現地で局部プレストレスをかけるため、添接部の組み立て精度は重要で、正確さを期するため、先の少し細いドリフトピンをボルト穴に入れて正確な位置出しを行い仮締めしながら順次ハイテンションボルトで締めしていく様な丁寧な組み立てを行う。(写真-8)



写真-8 地組作業

c) プレビーム桁の架設

- ・上部工架設回数は、各桁2分割、桁6本で12回架設。一日2回、実働6日間で架設を行った。(写真-9)
添接部接続は、地組時と同様の組み立てが必要。



写真-9 プレビーム桁の架設 (2022年1月)

d) ウェブコンクリート打設等

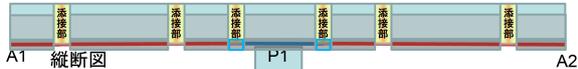
- ・プレストレスをかけない添設部 (P1の両側) の下フランジの鉄筋・型枠・コンクリート打設をまず行う。
(Co圧縮強度50kN+膨張剤)
- ・桁のウェブコンクリートの鉄筋・型枠・コンクリート打設 (Co圧縮強度30kN+膨張剤) を行う。(図-8)

e) 床版横桁工 (型枠・鉄筋・コンクリート打設)

- ・床版と横桁を一体としてコンクリート打設し、さらに合成桁であることから、プレビーム桁の上フランジにスタッドジベルが設置されていることから、上部工全体が一つの一体構造になるもの。(図-8) (写真-11)
(Co圧縮強度30kN+膨張剤)
(添設部下フランジは、この段階では未施工)
- ・現地での施工を低減し工期短縮を図るため、楕形状型枠を工場製作。現地に運搬して設置した。(写真-10)

現地で

⑨ウェブコンクリート打設



プレストレスをかけない添設部(P1の両側)の下フランジ桁の側面部分[ウェブ]の順に鉄筋・型枠を組んでコンクリートを打設します。

⑩床版・横桁工



床版・横桁の鉄筋・型枠を組んでコンクリート打設します。

図-8 ウェブコンクリート打設 床版横桁工



写真-10 床版の楕形状型枠 (工場製作) の設置



写真-11 床版横桁の配筋状況 (奥はコンクリート打設)

f) 橋梁附属物 (地覆・橋梁用高欄) の設置

- ・局部プレストレス工での現地プレフレクション載荷の設計荷重と整合させるため、舗装以外の上部工の重量物を全て設置しておく必要があり、地覆や高欄等の附属物工を局部プレストレス工の前に設置した。

g) 局部プレストレス工 (応力導入⇒添設部の鉄筋・型枠・コンクリート打設⇒応力開放)

- ・応力導入 (プレフレクション載荷) はクレーンで鉄板のカウンターウェイトを、各箇所、設計に必要な重量 (舗装前の場合舗装の重量を追加) を載荷。添設部の鋼桁の下フランジを僅かに伸ばした。(写真-12)
- ・応力導入 (プレフレクション載荷) した状態で添設部下フランジの鉄筋と型枠を組み立て、コンクリート打設を行った。(Co圧縮強度50kN+膨張剤)
- ・Co圧縮強度50kN確認し応力開放 (リリース) 行い下フランジコンクリートに圧縮応力導入。(写真-13)
- ・これで、プレビーム工法の上部工のプレストレスでの圧縮応力が必要な箇所の全てに力がかかり、添設部を含む上部工全てが一体構造となった。(図-9) (2022年5月に完了)

⑫局部プレストレス工～応力導入⇒添設部の鉄筋・型枠設置・Co打設⇒応力開放



図-9 局部プレストレス工～応力導入⇒添設部Co⇒応力開放～

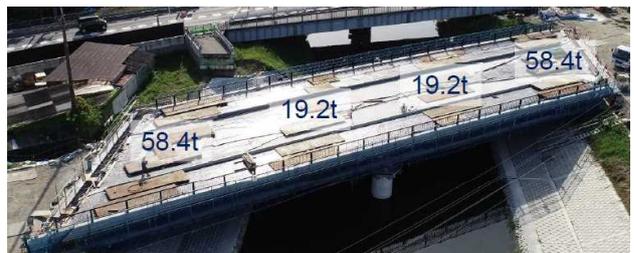


写真-12 応力導入 (プレフレクション載荷) 鉄板で載荷完了



写真-13 応力開放 (リリース) 鉄板をクレーンで除荷

(6) 超高減衰ゴム支承 (免震支承) の繰り返し載荷試験

支承の製作工場で、地震時と同様の揺れの水平力を繰り返しにかける試験を行い、十分な減衰力を確認している。

別現場で ～地震に対する安全安心～

- ・若宮橋は、L2タイプⅠ及びタイプⅡ地震動に対応する免震支承を採用した「免震橋」。
- ・国道9号は、災害時「第一次緊急輸送道路」であり、災害復旧活動での活躍が期待されます。
- ・地震時と同様の水平力の揺れを繰り返しにかける試験を行い、十分な減衰力があることを確認しています。

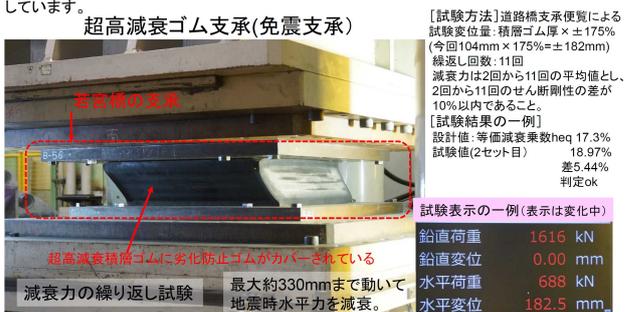


写真-14 超高減衰ゴム支承 (免震支承) の繰り返し載荷試験



写真-15 国道9号若宮橋（桁高低くスリムな形状）ほぼ完成

5. 見学会の開催と広報について

(1) 上部工架設見学会等の開催

小学校や住宅地に近くて地元の関心が高く、架設クレーンが周囲からよく見え、特徴あるプレビーム桁の架設は貴重な機会であることから、それぞれのニーズにあわせた事業説明と工法説明及び上部工架設見学会を行った。

2022年1月17日（月）吉川小学校 3～6年生 26名

1月21日（金）京都府南丹土木・所内 25名

1月24日（月）地元関係者・亀岡市 33名

吉川小学校からもクレーンが見えて、大変喜ばれ「橋をつくるのが楽しそう。私もつくってみたい。」という子供が複数名あられ、今後の成長に期待される。

京都府南丹土木は、若宮橋と類似の現地条件での橋梁かけ替えを検討されており、熱心に質問をされていた。

地元関係者及び亀岡市は、地元の期待が大きく、市議会、自治会、区画整理組合などから多数参加いただいた。

(2) 広報について

上記現地見学会の記者発表の結果、地元紙取材があり、小学校を対象とした見学会が掲載され、そのHPに動画が掲載された。京都国道事務所twitter、youtube、HPにも掲載し、小学校の学校便りもHPにも掲載された。また、業界紙2社から取材があり掲載された。

「プレビーム工法 [鋼とコンクリートの複合構造] での架け替え」がきっかけで、様々なことに配慮して橋を架け替えしていることに多方面から理解が得られたと思う。

6. 今後の予定について

(1) 供用予定と現地イベントなどの検討

年内に供用を予定しており、今後も供用までに現地でのイベントなどを通じた広報を検討しているところ。

7. プレビーム工法での架け替えについての感想

(1) 防災や土地利用との整合について

a) 剛性が高く桁高を低くできることの効果

プレビーム工法の特徴として、通常の鋼桁と比較して剛性が高く桁高を低くできることがあげられる。

鋼桁の場合、たわみで設計が決まっているケースも多く、プレビーム工法の桁高を低くできる効果は大きい。

設計条件によっては、桁間隔が広いままで、桁高を2分の1程度まで低減できると考えられる。

今回の様な現道架け替え工事で、河川断面を確保しながら沿道土地利用への影響を低減できる場合には有効。

b) 形状に比較的自由度がある

プレビーム工法では、河川条件などで、橋脚上より橋台上の桁高を低くする必要があった場合などでも、変断面での対応が可能で、過去に経験した同様のケースでは、鋼桁の変断面で対応したが、プレビーム工法であれば、剛性が高く桁高を低くできる特性から、さらにスマートな橋梁にすることが可能であったと思われる。

(2) メンテナンス性について

a) 上部工一体化による表面にほとんど継ぎ目のないシームレスな形状

上部工を全て一体化させる構造となり、添接部の下フランジコンクリート打ち継ぎ以外は、継ぎ目として認識できる様なものはなく、概ねシームレスな形状で、出っ張る部材が将来に老朽化損傷原因になる様なところは全くみあたらない。

b) 桁下空間について

概成した上部工の橋台付近桁下に入ると、通常の橋梁の橋台付近と異なり、桁高が低いにもかかわらず空間が広がり、桁間に設置される添架物件のスペースにも余裕があり、点検が大変容易と思われ、橋梁点検で入った経験のある多くの橋梁の桁下との大きな違いを感じた。

(3) 景観について

a) 景観面のポテンシャルについて

形状に比較的自由度があるなかで、上部工全体を一体化させることができる。

景観は周囲との関係性から議論されるが、景観面での周辺景観になじみ易い橋梁にできるポテンシャルは高い。

(4) 工程について

工程については、通常の鋼桁橋等と比較して、異なる点があり、プレビーム工法を採用して事業計画を策定する際には、この点を計画に織り込み進める必要がある。

a) 工場製作期間について

工場製作期間については、通常の鋼桁の製作期間に加え、下フランジの応力導入（プレフレクション）～下フランジの鉄筋・型枠・コンクリート打設～応力開放（リリース）の工程が必要なことから、2～3ヶ月追加で必要になるとと思われる。

b) 上部工架設後の現地での施工期間について

上部工架設後から局部プレストレス工が完了するまでの施工期間については、今回は、工場製作の楕円型枠で約1ヶ月程度短縮し、約3～4ヶ月となっている。

8. おわりに

計画から施工に至る特徴や留意点の紹介で、今後の橋梁架け替え事業などでの検討の参考になればありがたい。

雪害対策における インターネット広告の広報について

山下 真吾

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 総務課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

大阪国道事務所では、大阪府内の道路利用者に向けて、降雪時の道路走行での注意喚起に関する広報を2018年度から新聞広告にて実施していたが、2020年度よりWebサイトや検索エンジンなどを活用して配信する広告、いわゆる「インターネット広告」で実施している。

株式会社電通他のニュースリリース¹⁾によると、国内の総広告費において、2021年にインターネット広告費がマスコミ4媒体（テレビ、ラジオ、雑誌、新聞）広告費を初めて上回った。

本論文は、近畿地方整備局管内では初の試みとなるインターネット広告の結果及びそれに基づく効果を情報共有するものであり、皆様の今後の広報活動の一助になれば幸いである。

キーワード インターネット広告、雪害対策、注意喚起、広報

1. はじめに

(1) 雪害対策の広告を行う背景

近年、短期集中的な降雪が増加しつつあり、それに伴い、大規模な渋滞・車両滞留が発生することが見受けられる。これらを防止する対策の一環としての広報の「多様化」「多頻度化」が重要であるため、2018年度から毎冬期に大阪府内の道路利用者に対して雪害対策の注意喚起広告を行っている。

(2) 大阪府内の道路利用者の特性

大阪府内は、積雪することが少なく、一般ドライバーが雪道での走行対策をとらずに、大阪府内から福井県等の積雪寒冷地へ移動して、立ち往生となった場合、大規模な災害となるおそれがある。そのため、一般ドライバーの雪道でのマナーの向上や道路管理者が行う除雪作業への理解と協力などを呼びかけることが不可欠である。

(3) 広告をインターネット媒体にした理由

大阪国道事務所では、2019年度までは新聞媒体を用いて広告していたが、以下3つの視点により、インターネット媒体が優位であると考え、2020年度及び2021年度に実施した。

a) 新聞発行部数が毎年減少

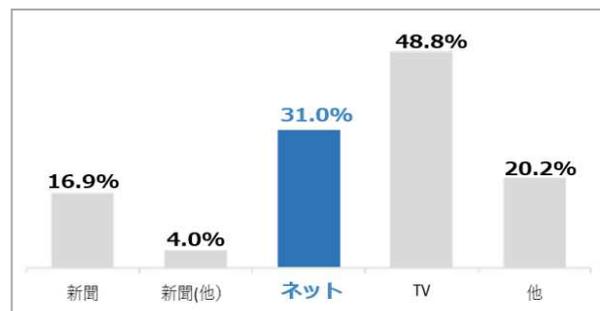
一般社団法人日本新聞協会²⁾によると、新聞の発行部数は、2016年度は約43百万部であったが、2019年度は約38百万部となり、毎年減少し3年間で約500万部も減少していた。

b) インターネット利用が拡大している

総務省が発表している令和2(2020)年度版情報通信白書³⁾によると、2019年におけるスマートフォンの世帯保有率は83.4%で、年々増加しつつあり、モバイル端末でのインターネット利用が拡大している。年齢が低い方が利用率は高い傾向はあるものの、60歳以上であっても8割以上がスマートフォンを利用している。

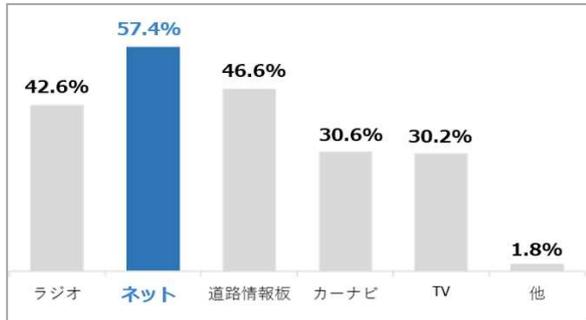
c) 新聞広告よりもインターネット広告で情報収集されている

2019年度に一般市民500人を対象に実施したWEB冬道運転アンケート結果において、「積雪・凍結により滑るおそれのある道路で滑り止めの措置を取らない場合、法令違反になることを知っている」と回答した248人に対し、「どの媒体で知り得たか」をアンケートしたところ、図_1で示すとおり、テレビ48.8%の次にインターネット31.0%で、新聞広告16.9%、その他新聞4.0%を大きく上回っている。



図_1 2019年度WEBアンケート1 (大阪国道事務所調べ)

また、「ドライブ時に道路情報・気象情報をどのように入手されていますか？」アンケートの結果では、図_2に示すとおりインターネットが57.4%で一番多い結果となっている。



図_2 2019年度WEBアンケート2 (大阪国道事務所調べ)

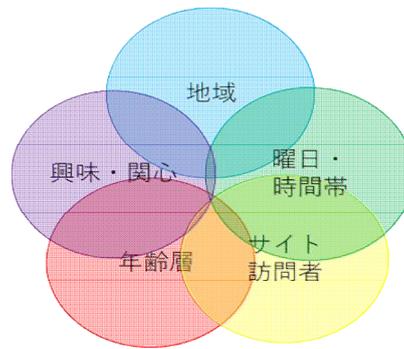
2. インターネット広告の概要

(1) 広告の特徴

インターネット広告とは、WEBサイトや検索エンジンなどを活用して配信する広告を指すものである。

最大の特徴は、見てもらいたい人々だけに、広告を届けられる点である。図_3に示すとおりターゲティング(地域、曜日・時間帯、サイト訪問者、年齢層、興味・関心など)の組合せや過去に閲覧したコンテンツやアクセス履歴をもとに、適切なタイミングで適切な対象者に適切なメッセージを届けられるため、潜在ニーズを持った人々の掘り起こし、認知の向上が期待できるものである。

また、広告のインプレッション数(表示回数)、クリック数、クリックした後の成果数などが集計できるため、費用対効果が可視化しやすいメリットもある。



図_3 ターゲティング組合せ例

(2) 広告の4つの掲載手法

掲載手法は、図_4に示すように主に①から④の4つに分類され、①ディスプレイ広告は、サイト・アプリ内に静止画などを表示する広告である。②リスティング広告は、検索エンジンで検索した際に結果画面に表示される広告である。③ネイティブ広告は、メディアの記事やニュースなどのコンテンツの中に溶け込んだような広告であり、SNS広告はTwitterやInstagramなどの広告である。

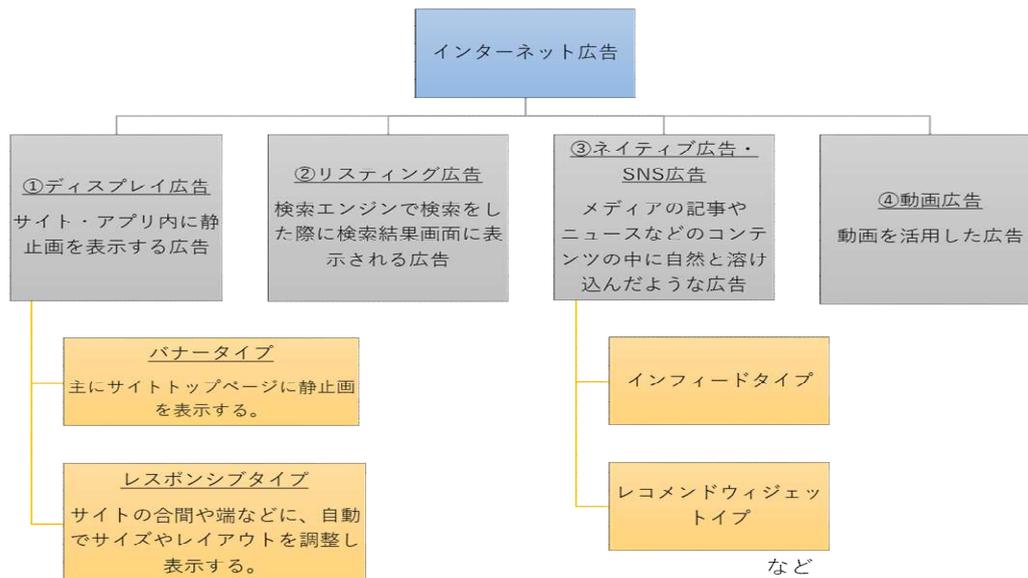
(3) 広告のタイプ

①ディスプレイ広告には、図_4に示すとおり大きく分けて2つのタイプがある。

バナータイプは、主にサイトトップページに静止画などを表示させるものである。レスポンシブタイプは、サイトの間や端などに、自動でサイズやレイアウトを調整して表示するものである。

以前は、バナータイプがメインであったが、最近ではレスポンシブタイプが主流となりつつある。

理由としては、インターネット広告を利用するケースが増加傾向にあり、また、配信する広告枠に合わせてサイズやレイアウトを調整できるレスポンシブタイプに主流が移行していることがあげられる。



図_4 インターネット広告掲載手法とタイプ (一部抜粋)

3. 雪害対策におけるインターネット広告

(1) 広告の実施

降雪時の道路走行に関する注意喚起や除雪作業のことを知らない潜在層に向けて、広告を配信することで、認知の拡大を図ることが重要であると考えた。

その点から、多種多様なサイトに掲載することが可能であり、かつ広範囲の潜在層に対してアプローチでき、認知拡大に効果があるといわれている①ディスプレイ広告での実施に至った。

続いて、①ディスプレイ広告には、バナータイプとレスポンスタイプの2つの掲載タイプがあるが、それぞれの特徴が異なるため、2020年度にはバナータイプ、2021年度にはレスポンスタイプで実施し、結果を分析することとした。

(2) 各年度の広告の方法

広告の方法をまとめると、図_5で示すとおりである。2021年3月内閣府の消費動向調査によると29歳以下の乗用車の普及率が44.7%であり、30歳代67.1%、40歳代77.5%と比べ大きく低下していることから、2021年度には、運転する機会が多い30歳代及び40歳代が含まれる区分である「30歳以上69歳未満」に配信における年齢を条件に加えた。

また、デバイスには、PC、タブレットを加えた。さらに、ネットワークには検索エンジンのシェア率No.1のGoogleを加え、幅広く認知拡大を目指すとともに、多種多様な検証結果が得られるようにした。

	2020年度	2021年度
広告手法	①ディスプレイ広告	①ディスプレイ広告
広告タイプ	バナータイプ	レスポンスタイプ
掲載期間	2020/12/25~29 2021/1/1~2/24	2022/1/7~2/20
ターゲティング	大阪府内全域	大阪府内全域 30歳以上69歳未満
掲載方法	インプレッション保証型	クリック保証型
デバイス	スマートフォン	スマートフォン、PC、タブレット
ネットワーク	Yahoo!JAPAN (YDA)	Yahoo!JAPAN (YDA) Google (GDN)

図_5 各年度の広告の方法対比

(3) 広告の内容

a) 2020年度 バナータイプ

スマートフォンのYahoo!Japanのトップページに、図_6のバナー①が表示され、数秒ごとに②から順に表示されるアニメーションを広告として、注意喚起を行った。



図_6 広告イメージ画像 2020年度バナータイプ

b) 2021年度 レスポンスタイプ

Yahoo!JapanやGoogleの広告枠（パートナーサイト含む）に画像の大きさや場所を変えて図_7のようにならゆる広告枠にAからCの画像の3種類の画像をテキストとともに表示させ注意喚起を行った。



図_7 広告イメージ画像 2021年度レスポンスタイプ

(4) 実施の結果

a) 2020年度 結果データ

2020年12月25日から29日, 2021年1月1日から2月24日までの間に, 約515万回掲載した. その結果を以下に示す.

○ 表示回数	5, 148, 801回
○ クリック数	21, 314回
○ クリック率	0.41%

クリック数とは, 広告の画像をクリックした回数で一般的により強く興味(反応)があった層と位置付けられている. また, クリック率は, 表示回数に対しクリックされた回数であり, 0.41%であった.

b) 2020年度 掲載効果

掲載の効果を把握するため, 掲載後(2020年3月)に大阪府内居住者の約600人を対象としたWEBアンケート調査結果を実施した. 「積雪・凍結により滑るおそれのある道路で, 滑り止めの措置を取らない場合, 法令違反になる事を知っていますか?」との問いに57.3%が知らなかったと答えたことから, 広告表示回数(約515万回)に対し, 知らなかったと答えた57.3%を乗ずると, 雪道対策について, 認知がなかった約300万人が注意喚起を見たと考えられ, またクリック数の約2.1万人が興味を示した結果となった.

c) 2021年度 結果データ

2021年1月7日から2月20日までの間に, 約7,000万回掲載した. その結果を以下に示す.

○ 表示回数	70, 333, 846回 (概算)
○ クリック数	106, 488回 (概算)
○ クリック率	0.15% (概算)

概算理由は, 雪害対策広告とともに落下物対策広告も同時に実施しており, 雪害対策広告のみを算出できないため, 一定の率を乗じて求めたためである.

d) 2021年度 掲載効果

b)と同様に, 掲載の効果を考えると, 広告表示回数(約7,033万回)に対し, 知らなかったと答えた57.3%を乗ずると, 雪道対策について, 認知がなかった約4,000万人が注意喚起を見たと考えられ, またクリック数の約11万人が興味を示した結果となった.

2021年度は, 多種多様な方法で掲載したため, その詳細について以下に示す.

e) 2021年度 詳細 (ネットワーク, デバイス別クリック率)

図_8に示すとおり, パソコン, スマートフォン, タブレットのデバイス別のクリック率は, 順に0.08%, 0.17%, 0.16%であった. ネットワーク別では, Yahoo!JAPANよりもGoogleの方が興味を持った方が多い結果であった. デバイス別では, Googleはパソコンに対してスマートフォンのクリック率が1.2倍であった. Yahoo!JAPANは, パソコンに対してスマートフォンのクリック率が1.7倍であり, GoogleはYahoo!JAPANに比べデバイスごとの差は少ないものとなった.

ネットワーク	デバイス	クリック率
Google	total	0.74%
	PC	0.63%
	スマホ	0.75%
	タブレット	0.64%
Yahoo!	total	0.11%
	PC	0.07%
	スマホ	0.12%
	タブレット	0.11%
ALL	total	0.15%
	PC	0.08%
	スマホ	0.17%
	タブレット	0.16%

図_8 ネットワーク, デバイス別クリック率

f) 2021年度 詳細 (画像別クリック率)

図_9に示すとおり, AからCの3つのタイプの異なる画像の種類ごとにクリック率をみると順に0.07%, 0.09%, 0.12%であり, 画像Cが興味を持った方が多い画像となった.

画像	クリック率
A	0.07%
B	0.09%
C	0.12%

図_9 画像別クリック率 (Yahoo!JAPAN)

g) 2021年 詳細 (年代別クリック率)

図_10に示すとおり, 年齢が高くなるにつれクリック率が高い.

年代	Yahoo クリック率
30歳~34歳	0.07%
35歳~39歳	0.08%
40歳~44歳	0.09%
45歳~49歳	0.10%
50歳~54歳	0.11%
55歳~59歳	0.12%
60歳~64歳	0.14%
65歳~69歳	0.15%

図_10 年代別クリック率 (Yahoo!JAPAN)

(5) 費用対効果

2021年度以前過去4回, 各広告後に行った500~602人の一般市民へのWEBアンケートでは, 掲載広告を見たと回答した割合は, 2018年度から順に14.2%, 17.2%, 35.6%, 28.7%であった. (図_11)

この「WEBアンケート結果」および「広告費用」から求めた費用対効果では, 2018年度を1とした場合, 2019年度は1.2倍, 2020年度5.3倍, 2021年度は5.8倍となり, 全体的にインターネット広告が費用対効果が高い結果となった.

例えば, 2018年度には100人に対し100円かかっていたものが2021年度には35円の費用で200人に広告を届けられたと考えられる. しかしながら, 各年度

ごとに実施条件に差があるため、結果はあくまで参考値としてみていただきたい。今後も引き続き検証していく必要がある。

年度	広告媒体	広告を見た割合	2018年度を1とした場合の費用対効果
2018年度	新聞広告	14.2%	1
2019年度	新聞広告	17.2%	1.2
2020年度	ネット広告(バナー)	35.6%	5.3
2021年度	ネット広告(レスポンス)	28.7%	5.8

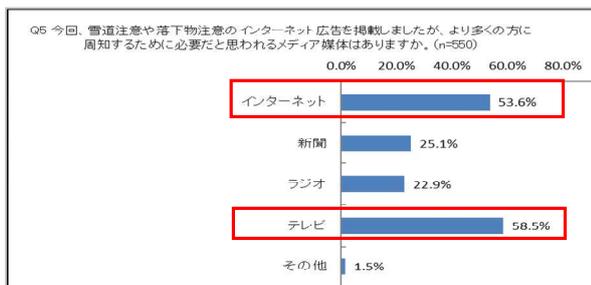
図_11 費用対効果 (大阪国道事務所調べ)

4. 次回に向けて

(1) 次回の広告媒体について

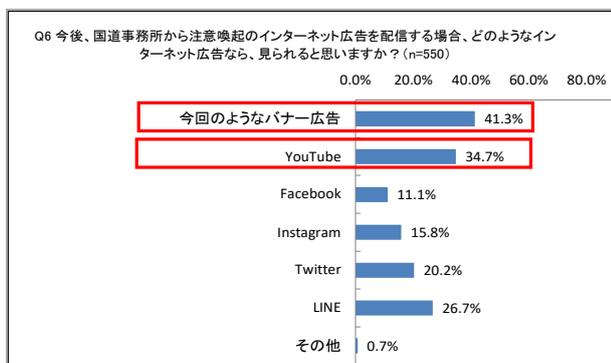
2021年度に一般市民550人を対象に実施したWEB冬道運転アンケート結果 (大阪国道事務所調べ) により、雪道での走行注意などについて、より多くの方に周知するために必要だと思われるメディア媒体を集計した。

結果は、図_12に示したが、テレビ58.5%、次いでインターネット53.6%、新聞25.1%であり、テレビとインターネットは有効という結果であった。



図_12 2021年度WEB冬道運転アンケート1 (大阪国道事務所調べ)

さらに、図_13では注意喚起についてインターネット広告で配信する場合、どのようなアプリ・広告種類なら見られるかを集計した結果、今回のようなバナー広告 (レスポンス含む) が41.3%、次いでYouTubeが34.7%であったため、YouTube広告も「インターネット広告の広報」の有力候補となると考えられる。



図_13 2021年度WEB冬道運転アンケート2 (大阪国道事務所調べ)

(2) 有力候補となるYouTube広告について

YouTube広告は、図_14に示すとおり目的別に主に3種類に分類される。

目的	種類	特徴
認知を広める	バンパー広告	6秒強制視聴
検討を促す	インストリーム広告	5秒後強制、その後スキップ可
行動を促す	アクション広告	メッセージが動画と共に表示

図_14 YouTube広告の種類一覧

降雪時の道路走行に関する情報は認知拡大が重要であることから、YouTube広告においては、バンパー広告が有効であると考えられる。この広告は、6秒間で視覚・聴覚で印象に残るような画像又は動画が必要かつ重要となる。

5. まとめ

近畿地方整備局では、2021年1月に発生した福井県集中降雪を踏まえ、広報の「多様化」、「多頻度化」に取り組んでおり、関係機関とともに記者発表、道路情報板などの提供手段に加え、SNSで多様な手段を活用し、雪害対策の一環として広報に取り組んでいる。

上記の広報とともに、事務所では継続的にインターネット広告を実施し、またYouTubeなど新しい分野でも取り組み、他事務所と連携して実施することで多くのデータが集まる。そのデータを使い、分析することで広報の精度が上昇し、広告の効果がより高いものにつながっていくと考えるため、他事務所においても、インターネット広告を使っていたら幸いである。

6. 異動について

論文提出時点 (2022年5月20日 (金)) における筆者の所属は豊岡河川国道事務所であるが、本論文は前年度 (2021年度) 所属である大阪国道事務所における所掌内容での課題を基に執筆した。

謝辞：本報告にあたり、ご助言、ご協力をいただいた皆様に対し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 株式会社電通他：2022年3月9日ニュースリリース 2021年 日本の広告費 インターネット広告媒体費 詳細分析
- 2) 一般社団法人日本新聞協会：新聞の発行部数と世帯数の推移
- 3) 総務省：令和2年度版情報通信白書

新工法による塗膜剥離時の 作業環境に関する実験的計測

南城和幸¹・川上修²

¹大阪国道事務所 西大阪維持出張所 管理第二係長 (〒551-0002大阪府大阪市大正区三軒家東5-6-4)

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

鋼橋の塗装塗替えや落橋防止構造等の取付工事では既存塗膜の除去が必須となる。既存塗膜の剥離工法は、ブラストや塗膜剥離剤が主流であるが、これらの工法による鉛中毒、火災、ベンジルアルコール中毒などの労働災害が報告されている。したがって、より安全な工法の開発が望まれている。今回は塗膜剥離工法として、レーザークリーナー、およびIHヒーターをとりあげた。両者ともに、施工実績は少なからずあるものの、その作業環境についての報告例は殆どない。本稿は、それらの工法を用いた場合の作業環境について、実験的に詳細な計測を実施した結果を報告するものである。

キーワード： レーザークリーナー、IHヒーター、塗膜剥離、PCB含有塗膜、新工法

1. はじめに

大阪国道事務所では458の橋梁を管理しており、このうち約20%が鋼橋である。鋼橋の維持修繕工事（塗装塗替え、耐震補強など）では既存塗膜の剥離工程が必須となる。「国道43号 中島出来島橋（下）補強補修工事（2021.4.1～2022.3.30）」で本施工に先立ち実施した塗膜分析（事前塗膜分析）により既存塗膜は、PCB、および鉛を含有している有害塗膜であることが判明した。PCB含有塗膜を有した橋梁工事が決して多くはない実情から、施工者より新工法（レーザークリーナー（図-1）およびIHヒーター（図-2））の試験フィールドとして活用したい旨の提案があった。

本稿は、それらの新工法を用いて塗膜を除去した場合の作業環境について実験的に実施した計測結果を報告するものである。

2. 背景および目的

塩素化ビフェニル（ポリ塩化ビフェニル、PCB：以下PCBと略す）含有物は、PCB特措法により2027年3月末までに処分委託を完了する必要があるため、それまでにPCBを含む既設の塗装塗膜についても完全に除去することが求められている。しかし、塗膜除去作業における作業者のPCBばく露実態についての知見が少なく、厚生労働省において2020年度よりばく露実態調査が開始されている。また、橋梁等の塗膜中にはPCBのみならず、防錆剤や顔料として鉛やクロムの重金属等も含有されており、それらのばく露実態や健康障害リスクについての知見も少ないのが現状である。さらには、橋梁等塗膜除去作業においては乾式（ディスクグラインダー、ブラスト等）と湿式（塗膜剥離剤）の剥離方法があるものの、乾式では発じんが大きく、有害物質を含む粉じんにより作業者の健



図-1 レーザークリーナーによる作業状況



図-2 IHヒーターによる作業状況

健康被害が懸念され、湿式では溶剤による中毒や環境への漏えい、火災発生等の恐れが指摘されている。よって、橋梁等の塗膜除去工法においては、これらの問題を解決できる適切な作業強度（作業員への負担の度合）での塗膜除去工法が望まれている。

今回、新たな工法として作業強度が比較的軽く、さらには産業廃棄物量を必要以上に増やすことの無い工法としてレーザー照射、およびIHヒーター加熱による塗膜除去工法を用いた。

これらの新工法での塗膜除去作業は、一部では実現しているものの、作業環境についての報告例は殆どない。したがって、本工事において模擬的に剥離作業を実施し、新工法での作業員の健康障害リスクの特定、および必要な防護設備や作業標準書作成の一助とすることを目的に調査を実施した。

3. 新工法の概説

レーザークリーナーは、レーザー光（光エネルギー）を集約して加工面に照射することで、母材に傷を与えずに、錆や塗膜などの付着物のみを除去する技術である。レーザーの出力を、一定して連続的に発振するものを連続波レーザー（Continuous Wave Laser）と呼び、断続的に発振して、レーザーのエネルギーを短時間に集中させることで高出力パルスを得る仕組みのものをパルスレーザー（Pulsed Laser）と呼んでいる。今回、前者は2,000W級を、後者は350W級のものを用意した。

IHヒーターは、電磁誘導加熱の原理により鋼材を加熱することで、既存塗膜を間接的に加熱・軟化させ、軟化塗膜をスクレイパーで削り落として除去する技術である。

両者ともに作業員が手持ちする機材が軽量であり、ブラストと比較すると粉じん濃度も低く、研削材や剥離剤などの2次的な廃材がないため、発生する廃棄物は既存塗膜のみとなることが特徴となる。

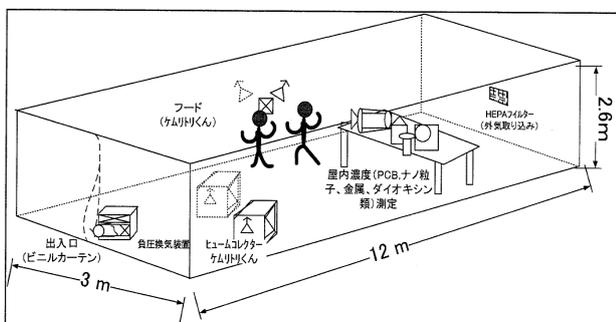


図-3 作業エリアの概況

4. 計測計画

(1) 測定エリアの分類

測定は、主桁で分割した区画を密閉養生し、①G1区画：レーザー（連続波）塗膜除去、②G3区画：レーザー（パルス）塗膜除去、③G2区画：IHヒーターを用いた塗膜除去、④G2区画：IHヒーター塗膜除去面へのレーザー（パルス）塗膜除去の4作業を実施した（図-3）。工程は、各エリアとも4時間（午前、午後）とし、合計2日間の計測を行った。

(2) 測定項目と測定・分析者

測定項目は、①事前塗膜分析とは別途、模擬作業個所での既存塗膜分析、②個人ばく露濃度測定として、PCB濃度、粉じん濃度、③作業エリア濃度測定として、PCB濃度、ダイオキシン濃度、粉じん濃度、ナノマテリアル粉じん濃度、④バックグラウンドエリア濃度測定（ダイオキシン濃度を計測していない以外は作業エリアと同じ。ただし、1日毎）とした。また、採取した粉じんより金属濃度（鉛、クロム、鉄）を求めた。なお、これらの計測は、中央労働災害防止協会および国立大学法人金沢大学古内研究室（同研究室が開発したパーソナルナノサンプラーを使用）が合同で実施した（図-4、図-5）。

(3) 分析手法

分析手法は表-1のとおりとした。



図-4 個人ばく露測定器具の装着状況



図-5 粉じん類、ダイオキシンサンプラー

表-1 分析手法の一覧

①空気中PCB NIOSH Manual of Analytical Method 5503 準拠 ガスクロマトグラフ/高分解能質量分析法
②空気中ダイオキシン類 ダイオキシン類に係る大気環境調査マニュアル(平成20年3月環境省)準拠 高分解能ガスクロマトグラフ/高分解能質量分析法
③粉じん濃度等 NIOSH Manual of Analytical Method 0500,0600等準拠 電子天秤にて秤量
④塗料中PCB濃度等 低濃度PCB含有廃棄物に関する測定方法(第5版)塗膜くず準拠 ガスクロマトグラフ-高分解能質量分析法(GC/MS/MS法) 金属含有量:底質調査方法平成24年8月5.2.4/ 5.5.4/ 5.12.2.3 準拠
⑤気中金属濃度 原子吸光法 作業環境測定ガイドブック分析法

5. 計測結果の評価手法

今回の計測結果を評価する手法は、日本産業衛生学会が示している評価基準(ばく露評価区分(表-2))を準用した。なお評価値は、作業員2名が実施する模擬作業が調査対象であることから、サンプル数が少ない場合の評価値の対応に準拠して、X95(上側95%推定値)は2名の算術平均値(AM)の3倍値を用いた。また、基準値となる日本産業衛生学会の勧告する許容濃度やACGIHのTLV-TWAは、8時間労働時の作業員ばく露濃度の指標であるが、今回の模擬作業では約4時間の作業であるため、4時間荷重平均値を8時間荷重平均値とみなして評価した。

6. 計測結果

本計測では、多種多様な分析を実施したが、本稿では紙面の関係から評価等に支配的な結果について報告する。

なお、計測結果は、今回採用した工法を適用した場合の代表値としての意味合いをもつものではないことに留意していただきたい。これは、①通常の工事と比較して狭隘な空間を密閉して作業を実施したこと。②局所排気

表-2 評価に用いた管理区分の定義

管理区分	定義	解釈(判定)
1A	X95 < OEL かつ	X95 < OEL・10% 極めて良好
1B		AM < OEL・10% 十分に良好
1C		OEL・10% ≦ AM 良好
2A	AM ≦ OEL ≦ X95 かつ	環境対策の有効性を精査、更なるばく露低減に努める
2B		OEL・50% < AM リスク低減措置を行う
3	OEL < AM	リスク低減措置を速やかに行う

注) OEL:ばく露限界値(=許容濃度),AM:算術平均値,X95:対数正規分布の95%上限値

を必ずしも有効に機能させられたわけではなかったこと。③機材の出力やレーザーの照射方法、または温度状況は、用いる機器により大きく左右されること。④既存塗膜の性状によっても結果が大きく左右されること。などが理由としてあげられる。

(1) 塗膜分析

事前の塗膜分析は、塗膜採取の容易な橋脚近傍で実施していたが、それらとは別途、作業前に各区画にて塗膜剥離剤にて試料採取した。また、各作業を実施後に剥離した塗膜くずを採取し、これらの成分分析を実施した。

剥離前の塗膜分析では、PCBについての事前分析値が100 mg/kg程度であったのに対し、その値が5,000 mg/kg程度と約50倍も高濃度である結果となった。一方、鉛は事前分析値の53,000 mg/kgに対して若干の差異はあるものの概ね同等であった。この原因は結論付けられなかったが、両者とも塗膜剥離剤により採取した試料を乾燥重量比で分析していることから分析方法に大きな違いはない。そのため、既設橋の塗膜性状は採取箇所により大きく変動する可能性があるとも考えられる。また、塗膜に強固に付着している排気ガス等の粒子状物質の濃度が影響している可能性も否定できない。

作業後に回収した塗膜くずの分析では、PCB濃度について、レーザークリーナーを用いた場合は濃度が減少していることに反し、IHヒーターでは既存時よりも濃度が増加していた。鉛濃度においても程度の差はあるものの同様の傾向を示していることに対し、クロムと鉄では全てにおいて既存塗膜より塗膜くずの方が高い値を示す結果となった(表-3)。

表-3 塗膜分析の結果

単位: mg/kg	①レーザー (連続波)		②レーザー (パルス)		③IHヒーター		④IH後 レーザー (パルス)	
	既存塗膜	除去後の 塗膜くず	既存塗膜	除去後の 塗膜くず	既存塗膜	除去後の 塗膜くず	既存塗膜	除去後の 塗膜くず
PCB	5,600	140 3%	4,800	1,200 25%	4,600	7,600 165%	3,200 70%	
鉛	73,000	56,000 77%	66,000	53,000 80%	56,000	65,000 116%	79,000 141%	
クロム	2,700	5,300 196%	2,300	3,000 130%	1,800	2,200 122%	4,400 244%	
鉄	50,000	91,000 182%	38,000	54,000 142%	39,000	42,000 108%	85,000 218%	

※既存塗膜と比べて増加したものに着色した

(2) 個人ばく露

作業員呼吸域(ばく露)でのPCB濃度は、IHヒーターによる塗膜除去作業において、算術平均値が許容濃度を超える結果となった(管理区分3)が、他の作業での算術平均値は、許容濃度の50%以下(管理区分2以下)となった(表-4)。

表-4 PCBばく露調査結果

呼吸域PCB濃度 許容値： 0.01 mg/m ³	①レーザー (連続波)	②レーザー (パルス)	③IHヒーター	④IH後 レーザー (パルス)
AM	0.00465	0.00300	0.19500	0.00150
X95	0.014	0.009	0.585	0.005
管理区分	2A	1A	3	1C

表-5 吸入性粉じんばく露調査結果

吸入性粒子径 粉じん濃度 許容値：1.0 mg/m ³	①レーザー (連続波)	②レーザー (パルス)	③IHヒーター	④IH後 レーザー (パルス)
AM	6.84	0.91	1.02	0.16
X95	20.52	2.73	3.07	0.49
管理区分	3	2B	3	1C
吸入性粒子径 鉛濃度 許容値：0.03 mg/m ³	①レーザー (連続波)	②レーザー (パルス)	③IHヒーター	④IH後 レーザー (パルス)
AM	1.420	0.060	0.020	0.019
X95	4.260	0.180	0.070	0.056
管理区分	3	3	2B	2B

吸入性粒子質量濃度は、IH後レーザー作業で管理区分が1となった。連続レーザー、パルスレーザー、IHヒーターのいずれにおいても粉じん量は多く、鉛も飛散する結果となった。なお、IHヒーターで計測された、粒子径が比較的大きな粉じんは、作業を観察した結果、スクレーパーによるかき落とし作業時に特によく発生していると見受けられた(表-5)。

(3) 作業エリアおよびバックグラウンド

a) PCBおよび粉じん濃度

計測結果は、呼吸域ではないため許容濃度と直接に関連する値ではない。そのため、許容濃度との比較判定は行わず、計測結果の報告のみとする(表-6)。なお、レーザー(連続波)時の粉じん濃度が呼吸域よりも遥かに大きくなっているが、これは局所排気装置をうまく稼働できなかった時間帯があったことが影響したためであり、通常であれば呼吸域と大差ない、または少し下がる傾向にあると考えて差し支えないと思われる。

b) ダイオキシン濃度

作業区域の室内ダイオキシン類濃度は、すべての作業区画において管理すべき濃度(ダイオキシン類濃度2.5pg-TEQ)を超える結果となった(表-7)。

PCB含有塗膜を加熱するため、ダイオキシン類の発生は必然である(ダイオキシン類の発生は、約300°C付近で最も多い事が知られている)。今回の作業においても、レーザー照射、IHヒーターによる熱でPCBや塩素系物質

が加熱されることにより発生したものと考えられる。

ダイオキシン類は粒子状での発生が主体となっている。レーザー(連続波)では局所排気の不具合により飛散したダイオキシン類が、ほぼ滞留している作業エリア内に濃縮された結果、比較的高い値になったと考えられる。

なお、試算として今回の最大濃度を焼却施設のダイオキシン類排出基準(処理能力2 t/h未満の新規施設で5,000 pg-TEQ/m³、排出ガス量を5,000 m³/tと仮定)と比較した場合、排出基準の10%程度(作業時の排出ガス量を10 m³/min、濃度1.7倍、時間当たり排出ガス量0.06倍と仮定)の値となる。

表-6 作業エリア、バックグラウンドのPCBおよび粉じん等

単位：mg/m ³	①レーザー (連続波)	②レーザー (パルス)	③IHヒーター	④IH後 レーザー (パルス)
●PCB濃度	0.0043	0.021	0.240	0.004
	0.00005		0.00004	
①総粉じん				
粉じん濃度	27.50	0.21	1.33	0.21
	0.04		0.04	
鉛濃度	6.752	0.024	0.028	0.013
	0.0003		0.001	
クロム濃度	0.29	0.001	0.002	0.001
	0.00004		0.0001	
鉄濃度	2.44	0.02	0.03	0.04
	0.001		0.001	
②吸入性粉じん				
●粉じん濃度	21.95	0.39	0.48	0.12
	0.02		0.02	
●鉛濃度	6.285	0.060	0.003	0.012
	0.0004		0.0003	
クロム濃度	0.21	0.003	0.00001	0.001
	0.0001		0.00003	
鉄濃度	1.94	0.05	0.006	0.02
	0.001		0.0002	

注1) ①SKC社製カセットフィルター ②レスピラブルサイクロンサンプラー

注2) 上段：作業エリア、下段：バックグラウンド

注3) ●付きは表-4、表-5にて呼吸域計測値を示している

表-7 作業エリアのダイオキシン類

単位：pg-TEQ/m ³	①レーザー (連続波)	②レーザー (パルス)	③IHヒーター	④IH後 レーザー (パルス)	
ガス状	PCDD類	3	1.1	1.2	1.3
	PCDF類	470	54	1.6	44
	Co-PCB類	27	21	17	11
	ダイオキシン類	500	76	19	57
粒子状	PCDD類	61	7.1	7.3	1.5
	PCDF類	7,700	630	57.0	98
	Co-PCB類	100	57	422	5.5
	ダイオキシン類	7,900	700	490	110
含量	ダイオキシン類	8,300	790	500	160

7. まとめ

今回の実験的計測結果から、以下の知見を得た。なお、これらは今回使用した機材と既存塗膜に限った結果ではあるが、これまでに知見が皆無に等しかった新工法を用いた場合の作業環境を把握できたことは、作業員の労働災害防止の観点から極めて有用な結果であると考えられる。

- ① PCB含有塗膜をレーザークリーナー、あるいはIHヒーターで剥離する場合、作業員呼吸域には、PCBを含有する粉じんが発生する。既存塗膜のPCB含有率が低濃度限界値付近（5,000 mg/kg）の既存塗膜においては、ばく露濃度は相対的に低いと考えられる。ただし、一部はダイオキシン類に変質し、作業環境の管理濃度基準より高い濃度を示す可能性がある。
⇒ 適切な防護が必要。
- ② 鉛含有塗膜をレーザーあるいはIHヒーターで除去する場合、作業員呼吸域には鉛を含有する粉じんが発生する。
⇒ 適切な防護が必要。

- ③ レーザークリーナー、IHヒーターはともに、一見すると作業環境がそれほど悪くない工法であると思われがちだが、前述の2点より、作業員の労働災害防止の観点からは、適切な呼吸用保護具、および経皮吸収を抑制する防護服の着用が必要であると考えられる。
- ④ 作業環境の改善を行う場合には、粉じん発生源の直近でHEPAフィルターを具備する局所排気装置の使用が有効である。
- ⑤ ダイオキシン類は粒子状での発生が支配的となる可能性が高く、局所排気装置の使用により作業エリアのダイオキシン濃度を低減できる可能性が高い。

謝辞：本研究にあたっては、これらの実験的計測を提案し、自社の技術開発として率先して行動していただいた酒井工業株式会社、ご多忙中にも関わらず世界でも稀な高度な計測機器を用いて計測、および分析とりまとめを実施していただいた中央労働災害防止協会 東久保氏、小川氏、青木氏、金沢大学 古内教授、畑准教授 他関係各位に深く感謝の意を表します。

TEC-FORCE被災状況調査におけるUAV自律飛行を 活用した3次元データ取得に関する検討 (中間報告)

山田 宏樹¹

¹災害対策マネジメント室（〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

TEC-FORCEが行う被災調査は、徒歩による目視点検を基本としている。危険な状況の調査箇所も多く、二次被害の恐れもある。近年は災害調査へのUAV活用が進んでおり、既存研究では対象物の3次元構造を推定するSfM技術とUAVを用いた災害調査の手法も検討されている。そこで、本稿はUAVの自律飛行とSfM技術を活用したTEC-FORCE被災調査の新たな手法を検討した。結果、容易に3次元モデル生成が可能であること、モデル上の計測値が従来手法と同等程度の精度を持つことを確認できた。今後は、飛行実験や精度検証の知見を蓄積していく。

キーワード TEC-FORCE, UAV自律飛行, SfM

1. はじめに

(1) 研究背景

日本は地理的条件から、災害が発生しやすい。諸外国に比べ急勾配な河川、多くの活断層やプレート境界、気候変動なども伴い、近年は激甚な洪水氾濫や土砂災害が頻発している。

国土交通省では、被災地域の早期復旧等に資する技術的支援として、専門知識を有する緊急災害対策派遣隊（以下、TEC-FORCE）を創設。発災直後より被災地域に派遣し、災害対策用ヘリコプター等を活用した被災調査、復旧工法の技術的助言などを実施。その活動規模は、2021年3月時点で延べ約12万8千人に及ぶ。

TEC-FORCEは、土砂崩落や道路の寸断、二次災害の懸念など、立ち入り困難な箇所を調査することも多い。広域調査ではヘリコプターによる空撮が有効だが、対象施設の詳細調査を実施する場合、その手法は徒歩による目視点検に頼っているのが現状である。

詳細調査では、ポールや巻尺などを用いた人力による確認を行っている。詳細設計や予備設計時に行う測量機器を用いた現地計測と比較すれば、調査結果の精度は高いとは言えない。

近年、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, 以下UAV）が急速に普及した、また、複数の写真から対象物の3次元構造を推定する技術（Structure from Motion, 以下SfM）が開発され、複数分野での応用が進んでいる。画像処理ソフトウェアを用いて3次元モデルが容易に作

成できるため、対象物の計測や任意箇所の断面図作成などが個人PCにて可能となった。既存研究¹⁾では、SfMを災害調査へ活用する検討も進んでいる。近畿地方整備局においても、2011年紀伊半島大水害現場の砂防事業にて、UAVとSfM解析を用いた調査手法が検証²⁾されている。

(2) 研究目的

TEC-FORCEが、被災施設を目視点検にて確認していることは先に述べた。安全対策を十分に行っている、被災調査を人的労力に頼っている限り、二次被害の危険は常にある。近年は被災調査にUAVも活用しているが、空撮による状況把握に留まっている。

UAVとSfMを被災調査に活用すれば、被災施設の空撮写真から3次元モデルを生成できる。3次元モデル上で対象施設の被災規模を把握することで、浸食等が生じている堤防のり面や土砂崩落などの危険個所に近づく必要がなくなる。UAVとSfMによる3次元モデルの活用は、TEC-FORCE活動の効率化および安全性向上に寄与する手法であると言える。

しかし、一般に3次元モデルを生成する画像処理ソフトウェアは高額である。また、SfM解析に必要な情報量をUAVで撮影するには、操縦者に高い技量が求められる。併せて、TEC-FORCEは限られた時間内に多くの被災施設を調査することも多い。1か所あたりの調査時間が、十分に取れないこともある。被災調査に3次元モデルを活用する手法が、従来の手法に比べ看過できない作業時間の増加を伴う場合、TEC-FORCE活動に適合しない可能性も高い。

以上の課題を踏まえ、本稿では、UAVとSfMによる三次元モデルを活用した被災調査の新たな手法が、TEC-FORCE隊員の効率性および安全性向上に資するものか検証を行う。なお、今回は初期検証として、画像処理ソフトウェアの選定とUAVによる空撮は以下のとおりとした。

a)画像処理ソフトウェア

SfM解析が可能な最低限の機能を満たす低価格品を用いて、解析時間、精度を確認する。併せて、誰でも使用、変更が自由なインターネット上に公開されているオープンソースソフトウェアも用いることとする。

b)UAVによる空撮

操縦者の技量によらず必要な空撮を実施するため、UAV操作は目視内における自律飛行とする。自律飛行は、無料で使用できる専用のアプリケーションから選定する。

2. 検証方法

本章では、UAV自律飛行による対象物の空撮、およびSfM解析による三次元モデル生成の検証方法を述べる。検証にあたり、操作の容易さ、1箇所あたりの調査時間、取得データの精度に着目した。

(1)検証に用いたUAV, ソフトウェア

本稿UAVの諸元、自律飛行および画像処理に用いたソフトウェアを表-1、表-2に示し、以下に概要を記載する。

a) UAV

近畿地方整備局TEC-FORCEの既存装備品である、DJI社製のMAVIC AIR2を使用した。

b) 自律飛行ソフトウェア

UAV製造元のDJI社は、公式HPにて自律飛行をサポート

表-1 使用UAVおよび搭載カメラ

UAV	搭載カメラ	UAV外観
MAVIC AIR2 ³⁾ (DJI社) 重量 570g 最大伝送距離 6km	F値 2.8固定 焦点距離24mm/35mm 有効画素4,800万画素 センサーサイズ 1/2型	

表-2 使用ソフトウェア

名称	使用目的
Drone Harmony (サードパーティ製アプリケーション)	UAV自律飛行の設定, 操作
Metashape Standard (低価格ソフトウェア)	3次元モデル生成
Open Drone Map (オープンソースソフトウェア)	3次元モデル生成

している。しかし、今回使用したUAVは動作対象外に位置づけられている。よって、本稿に必要な機能を満たしつつ、操作性が良い無料アプリケーションソフトウェアから選定した。

c)画像処理ソフトウェア

三次元モデル生成が可能な画像処理ソフトウェアは、一般的に数十万円を超える高機能の物が多い。本稿では、SfM解析に必要な最低限の機能を満たす数万円のソフトウェアを用いた。併せて、誰でも使用および変更が自由なインターネット上のオープンソースソフトウェアでも検証を行った。

(2)検証場所

検証は、大阪府能勢町のノマックドローンフィールドにて行った。約1.3haの野球場であり、フィールド中心部に軽トラックが2台設置されている。TEC-FORCE活動を想定すれば、実際の被災箇所等で検証するのが望ましいが、本稿は2.(1).表-1のUAVによる自律飛行の空撮可否も含めた初期検証である。よって、検証は平坦地で天頂が開けたUAV飛行に好条件の場所にて行った。

(3)検証手順

本稿UAVを用いた自律飛行による撮影、三次元モデル生成、および精度検証の作業手順は、図-1のとおり。

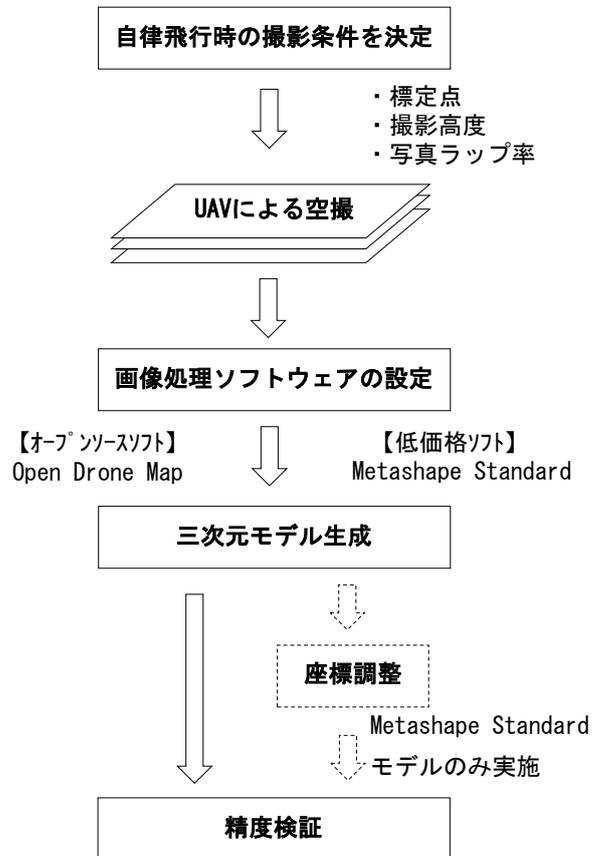


図-1 本稿の検証手順

(4) 自律飛行時の撮影条件

UAVを用いた公共測量⁴⁾⁵⁾では、求める精度に応じて標定点の配置数、地上画素寸法、撮影高度、写真ラップ率などを適切に設定する旨が記載されている。本稿で用いた撮影条件は、表-3のとおり。また、以下に撮影条件の設定方法を簡潔に記載する。

a) 標定点

既存研究⁶⁾では、50m四方の範囲内で標定点を3点から13点まで設置した場合を比較し、5点以上は精度に大きく影響しないことを示しつつ、計測範囲を網羅するように標定点を配置することの重要性が示唆されている。

本稿では、二次被害の懸念等から近接困難な被災箇所、または1箇所あたりの調査時間が限られた状況などを想定している。そのため、標定点は設置せず、現地作業の簡略化、迅速化を図った上で、得られる精度について検証した。

b) 地上画素寸法、撮影高度

UAV出来形管理要領によれば、写真上に投影された1画素に対する地上の寸法（以下、地上画素寸法）は1cm以内、撮影高度は50m程度が推奨されている。本稿は2.(4).a)から標定点を設置しないため、推奨値の50mでも精度が悪くなる可能性が高い。よって、高度は推奨値の50mと、より近接高度での2ケースにて検証を行った。近接高度は、低空飛行による撮影時間の増加、操作員の安全確保などを踏まえ、空撮写真から対象物の詳細がある程度確認できる10mとした。

地上画素寸法は、カメラ諸元と撮影高度で決定される。本稿UAVの場合、高度10mで0.36cm、高度50mで1.80cmとなる。

c) 写真ラップ率

UAV公共測量マニュアルに則り、オーバーラップ率を80%、サイドラップ率を60%とした。

(5) 画像処理ソフトウェアの設定

本稿で用いたソフトウェアは、2.(4).表-3の条件で取得した空撮写真を読み込むことで、ほぼ自動的に三次元モデルを生成できる。その精度、品質については生成時に調整が可能であり、設定を高くするほど処理時間が増加する傾向がある。

TEC-FORCE派遣時は、迅速な被災調査が求められる。ソフトウェアの処理時間は、短い方が望ましい。既存研究⁷⁾によれば、Metashapeは設定を高くするほど高精度になるが、「最高」設定と「中」設定では処理時間に約30倍の差を生じる場合が確認されている。併せて、「中」設定時に出来形管理要領の要求精度を満たす場合も示されているため、本稿ではMetashapeの設定を「中」とした。

Open Drone Mapは、既存研究が少ないこと、Metashapeの「中」設定と比較するため、設定を精度の高い「High Resolution」とした。

(6) 生成モデルの座標調整

土石流現場などの場合、生成した三次元モデルから被災規模を把握するには、比較データとして被災前の標高データ等を読み込む必要がある。当該データは国土地理院が公開している基盤地図情報から取得できるが、データの特徴として現地座標値を持っている（以下、測地座標系データ）。そのため、生成した三次元モデルが測地座標系データではない場合、モデルの座標系を調整する必要がある。

2.(1).表-2のMetashape Standardにて生成したモデルは、現地の座標値を持たないため、測地座標系データへ座標調整を行った。

本稿では、生成した三次元モデルと現地との対応点を図-2のとおり定め、現地の座標値を読み込むことで測地座標系データに変換した。

対応点の座標値は、TEC-FORCE既存装備品のハンディGPSを用いた現地計測値とした。併せて、近接困難地の調査を想定し、対応点の座標値を国土地理院地図⁸⁾から読み取った値も用いた。

Open Drone Mapの場合は、座標調整が不要だった。空撮写真に付与されているGPS情報を読み取り、自動的に三次元モデルを測地座標系データとして作成するためである。

表-3 UAV自律飛行時の撮影条件

項目	設定条件
標定点	無
撮影高度 (地上画素寸法)	10m(0.36cm) 50m(1.80cm)
写真ラップ率	オーバーラップ率80% サイドラップ率60%



図-2 現地と三次元モデル上の対応点

3. 結果

本章では、前章に沿って検証した三次元モデル生成に関して、UAV自律飛行の可否、三次元モデル生成に必要な時間、データ精度などについて述べる。

得られた知見からは、三次元モデル生成は既存装備品と低価格又はオープンソースのソフトウェアにて実現できることが明らかとなった。生成したモデル上で計測した値は、従来の調査手法と同等程度の精度を持つことも判明した。

(1) 自律飛行による空撮

本稿UAVと2. (1). 表-2の自律飛行アプリケーションを用いた結果、問題なく自律飛行を実現できた。また、自律飛行時に2. (4) 表-3の条件にて空撮を行ったところ、三次元モデル生成に必要な写真を短時間で取得できた。空撮に用いた時間は、離着陸を含め30分未満だった。撮影高度ごとの空撮時間を表-4に示す。

(2) 三次元モデル生成

検証の結果、取得した空撮写真を画像処理ソフトウェアに読み込むことで、短時間で三次元モデルが生成することが分かった。ソフトウェア別の処理時間を、表-5に示した。

表-5から、Metashape Standardの方が短時間で生成できたことが分かる。ただし、本結果は2. (6)の座標調整に用いる時間を含めていない。Open Drone Mapは座標調整が不要なため、全体の作業時間は短くなる可能性がある。図-3は、Open Drone Mapにて生成した三次元モデルを用いて、対象物の延長を測定している画像である。

(3) 精度検証

三次元モデル上の計測値と現地実測値の誤差を確認した。結果、若干の調整が必要だが、従来の調査手法と同等程度の精度を持つモデルであることが確認できた。

表-4 自律飛行による空撮枚数と時間

	撮影高度 10m	撮影高度 50m
空撮枚数	71枚	40枚
空撮時間	15分	10分

表-5 空撮写真から三次元モデルを生成する時間

	撮影高度 10 m (枚数 71枚)	撮影高度 50 m (枚数 40枚)
Metashape Standard	約10分	約5分
Open Drone Map	約25分	約12分

検証にあたり、2. (2)の検証場所に配置されている軽トラック周辺の四辺をABCD、軽トラックの全高をEとし、現地にて実測を行った。図-4は、実測箇所の位置を三次元モデル上に表現している。図-5、図-6は三次元モデルを用いてA~Eを計測した値と、実測値との誤差を示した。

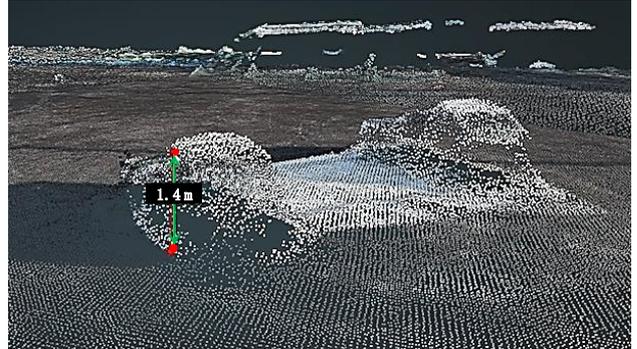


図-3 Open Drone Mapによる三次元モデル

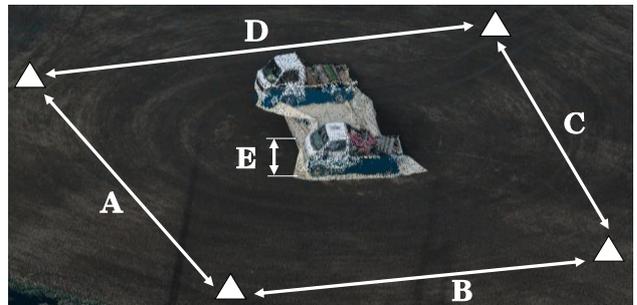


図-4 実測を行った箇所と三次元モデル上の位置関係

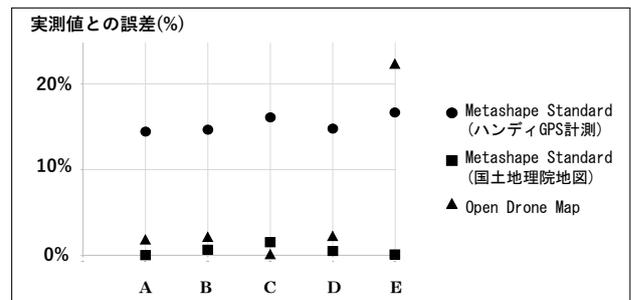


図-5 高度10mの写真で生成した三次元モデルと実測値の誤差

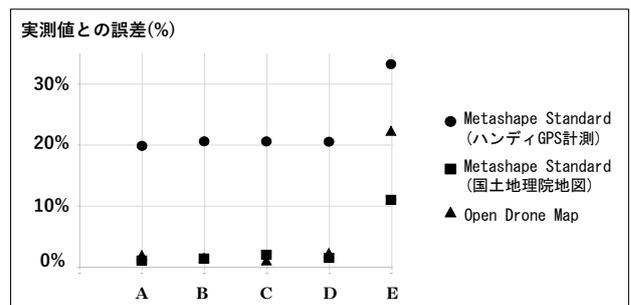


図-6 高度50mの写真で生成した三次元モデルと実測値の誤差

全体の傾向としては、撮影高度10mに比べ、高度50m時は誤差が増加傾向にあると言える。

画像処理ソフトウェア別に見ると、最も誤差が大きかったのはハンディGPSを用いたMetashape Standardモデルであり、高度10mの場合でも15%前後の誤差が生じた。これは、ハンディGPSの計測精度が要因と考えられる。公式HPによると、計測値には10m以内の製品誤差が内包されている。そのため、他の手法と比べ誤差が大きくなったと考えられる。

その他2つのモデルでは、実測値との誤差が2%程度であり、従来手法の精度と比較しても、遜色ない結果が得られた。ただし、軽トラックの全高Eのみ、10%を超える誤差が生じた。既存研究⁹⁾では、斜め撮影画像を追加することで、高さ方向の精度向上が示唆されている。その場合に留意すべきは、モデル生成時に用いる写真を増やすことは、解析時間の増加に直結することである。本稿でも、3. (2). 表-5から撮影枚数40枚に対して、71枚の場合はモデル生成時間が倍以上となった。

4. 考察と今後の展望

(1) 検証結果の考察

本稿では、TEC-FORCE装備品の既存UAVと低価格またはオープンソースのソフトウェアを用いることで、容易に被災調査に活用できる三次元モデル生成が可能であることを示した。

UAV操作検証からは、自律飛行を活用すれば操縦者の技量に寄らず必要な空撮が可能であることを確認した。このことから、最低限のUAV操作が可能なTEC-FORCE隊員であれば、誰でも必要な空撮が可能だと言える。

SfM活用検証からは、被災調査に活用できる三次元モデルが短時間で生成できることを確認した。UAVの空撮時間を加味しても、必要な時間は1時間程度だった。三次元モデルがあれば、従来のスケッチによる被災個所の概要図作成が不要となるため、報告書作成の時間短縮も見込まれる。よって、報告書作成も含めた1ヵ所あたりの被災調査時間で比較すれば、本手法は従来手法と比較しても遜色ないものと考えられる。特に、オープンソースソフトウェアのOpen Drone Mapは、初期投資が不要な公開ソフトウェアであり、座標調整も省略できることから、今後も継続検証していきたい。

三次元モデルの精度検証からは、従来手法の調査結果と同等程度の精度を持つことが確認できた。高さ方向の誤差は今後調整が必要であるが、危険箇所へ近接せずに被災調査が行える利点は大きい。本手法の検討が進めば、より短時間で実施することも可能となり、被災調査の効率化にも寄与するものと考えられる。

以上から、本稿にて検証した新たな手法は、TEC-FORCEの効率性および安全性向上に寄与するものであり、

被災調査に適合する手法だと判断することができた。

(2) 本手法の適用限界

本稿で検証した新たな手法は、三次元モデル生成に必要な写真をUAVにて取得できることが前提である。よって、UAV飛行が困難な条件下では本手法が適用できない。

被災調査時は、悪天候時や非GPS環境下での作業も多い。2. (1). 表-1の既存UAVは、雨天時の飛行に適用しておらず、自律飛行を行うにはGPS情報が必要である。

悪天候時の飛行には、全天候型UAVが適している。しかし、高額であり、本稿UAVに比べ大型になるため携帯性が悪い。今後のUAVの小型化、市場流通による低価格化に期待したい。

非GPS環境下におけるUAV自律飛行の取組として、近年はロボットの自動運転技術などに導入されているVisual SLAMの適用が検討されている。既存研究¹⁰⁾では、UAVにステレオカメラ等の専用機材を搭載することで、自律飛行時に前方対象物との距離を一定に保ちつつ、都市河川の護岸点検に必要な空撮を成功させている。本稿UAVは追加機材を搭載できる機種ではないが、将来的にステレオカメラ機能を持つ全天候型のUAVが低価格で普及されれば、天候等によらず発災直後から迅速な被災調査が可能になると考える。

(3) 今後の検証内容と展望

本稿では、UAV飛行に好条件な場所にて検証を行ったが、今後は被災地等での飛行実験や、様々な撮影条件を設定した場合の精度検証を実施するなど、三次元モデルを用いた効率的な被災調査の知見を蓄積していく必要がある。

TEC-FORCEは、現場経験が豊富な職員で構成されることが多い。平時とは異なる環境下で専門知識を求められるため、経験の浅い若手職員は派遣されることに一抹の不安を感じる場合もある。本稿で検証した手法は、被災調査時の効率性および安全性向上を目的としたものだが、より効果的な運用が可能になれば、現場経験が浅い職員でも被災箇所を定量的に調査することができる。また、高度な技術的判断に直面した場合でも、従来のスケッチによる被災概要図に比べ、三次元モデルは被災箇所の詳細を確認できる。これにより、被災調査の効率化を図るとともに、調査時の安全性向上に寄与できることを期待したい。

今後も継続検証を行い、被災地域の早期復旧支援の一助となるよう推進していきたい。

謝辞: 本研究の遂行にあたり多大なご助言、ご協力をいただいた日本工営(株)の方々には感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子: SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究, 防災科学技術研究所研究報告, Vol181, 2014年.
- 2) 北本楽, 柴田俊: UAVを用いたレベル3飛行(目視外補助者無し飛行)による河道閉塞および砂防施設の点検・調査活用について, 2021年.
- 3) DJI: MAVIC AIR2, <<https://www.dji.com/jp/mavic-air-2>> (入手2021.1.25)
- 4) 国土交通省国土地理院: UAVを用いた公共測量マニュアル(案), 2017.
- 5) 国土交通省: 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案), 2020.
- 6) 近津博文, 小高明彦, 柳秀治, 横山大: UAV写真測量における三次元モデリングソフトウェアの性能評価, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, Vol155, 2016年.
- 7) 櫻井淳, 中村健二, 田中成典: 平常時と災害時におけるUAV写真測量の解析パラメータの決定とその適用に関する研究, 土木学会論文集, Vol173, 2017年.
- 8) 国土地理院: 地理院地図, <<https://maps.gsi.go.jp>> (入手2022.2.28)
- 9) 松岡祐仁, 野末晃, 上原広行: 斜め往復撮影による標定点不要の造成地UAV写真測量手法の開発, 2020年.
- 10) 石井明, 天方匡純, 菅原宏明, 藤井純一郎, 小篠耕平, 六門直哉: 非GPS環境下におけるUAVの自律飛行実験, 建設ロボットシンポジウム論文集, 2019年.

PC円筒セル式旧第五防波堤の撤去について

里 明信

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

神戸港港湾計画において、新港航路の切替が位置付けられており、神戸港湾事務所では、その一環として航路切替の支障となる第四防波堤と旧第五防波堤を含む第五防波堤の一部の撤去を行った。

旧第五防波堤の撤去については、1964年の台風により転倒した上部PCセルの残骸や地中に埋め込まれた下部PCセルを確実に撤去する必要があった。下部PCセルには、円周に配置されたシース管内に高張力鋼材(PC鋼線)の束があるため、事前の試験工事で施工の確実性や安全確認を行った上で、撤去方法を確立させ、実際の工事では、残置した高張力鋼材の押え砂の投入等、現地の実情に合わせた施工を行った。

キーワード PC円筒セル、押え、高張力鋼材

1. はじめに

(1) 背景

神戸港は、我が国の代表的な国際貿易港であって、取扱貨物量は激増の一途をたどり、昭和30年代において、既に戦前最高の2倍に達していた。これらの貨物量の増加に伴い、新港地区と既設防波堤の東に新しく4突堤16バースよりなる摩耶埠頭を建設することになった(図1)。旧第五防波堤とは、その摩耶埠頭を外海の風浪から保護するため、昭和30年代に「三建式真空沈設工法」と呼ばれる特許工法で、埠頭の前面に建設された防波堤である。

この工法は、急速施工に適した工法であり、摩耶埠頭付近の水深、軟弱な粘土層及びそれらに伴う圧密沈下を考慮し開発されたものである。

旧第五防波堤は、図2に示すとおり上下2段のPCコンクリート製の円管(径15.5m、高さ11~11.5m、壁厚15cm)から出来ている。施工は、陸上で製作したPC管(重量250t)を起重機船にて防波堤法線上の所定の場所へ運搬し、下段セルを海底に据え付ける。据付後は、水中ポンプを取り付けた鋼製蓋を載せ、PC管内部の水を排除させる。内外の圧力差で沈下させ、砂礫層まで達したところで圧入を停止させる。沈下させた後は、鋼製蓋を取り除き、上段セルを載せ、中詰砂を充填する。最後に、蓋コンクリートを施工した上で、上部工の打設するものである。図3にて本工法を図解したものを示す。

本工法では、従来の防波堤施工に比べ、ほぼ捨石を使用しないため、捨石の使用量を減らすことが出来る。また、軟弱粘土層において、圧密沈下により多少水深が深くなっても、セルの嵩上げで対応をすることが出来る。さ

らに、PCセル円周方向には、約15cmピッチで配置されたシース管内に高張力鋼材を這わせており、昭和30年代としては、最先端の技術を活かした構造となっていた。

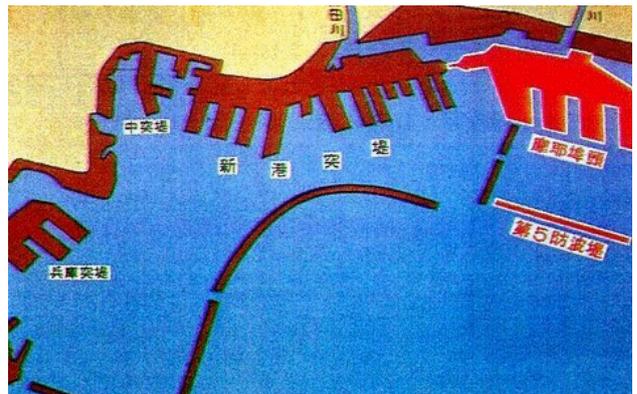


図1 昭和30年代の神戸港

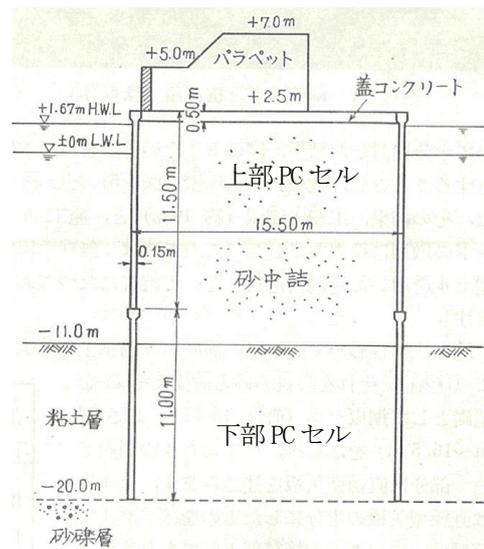


図2 旧第五防波堤断面図

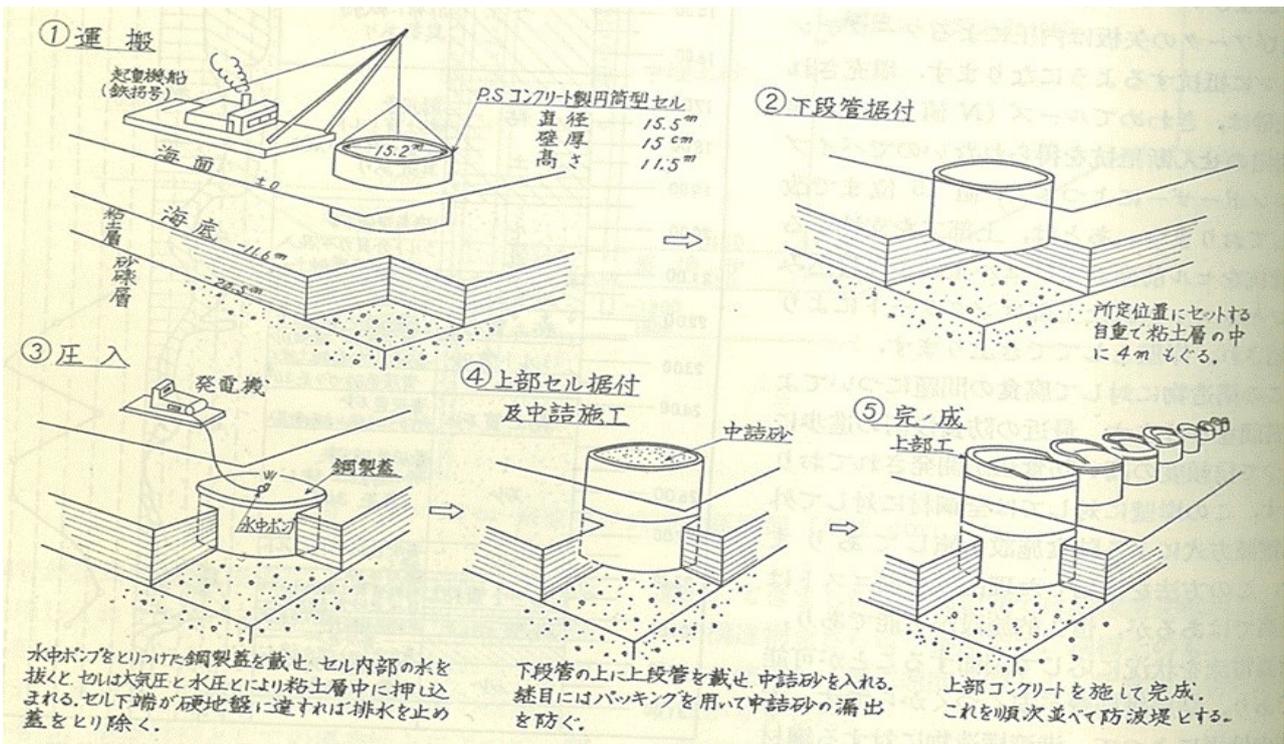


図3 PC円筒セル施工フロー

(2) 台風による被災とその後

工事施工は、1954年に試験的にPCセル1函を製作、圧入したことにより始まった。その後、年毎に施工量を増加させ、1963年より、上部工及び間隙工の施工が始まり、一部では完成断面まで施工した。昭和40年度にはほぼ完成の予定であったが、施工途中である1964年の台風6420号により、No.3のセルを除く47基において、上部工及び上段セルが大破倒壊し、下段セルは一部亀裂或いは傾斜した(図4)。

当時、日本で最初のコンテナターミナル・摩耶埠頭の前面の第一線防波堤の整備が急がれており、旧第五防波堤の残骸を海中に残したまま（一部は摩耶埠頭の埋立地に処分の記録もあり）、その前面に重力式の第五防波堤を急速施工して現在に至っている。



図4 被災したPC円筒セル

(3) 神戸港港湾計画変更

神戸港では、コンテナ船の大型化や取扱貨物量増加等により水域施設等の見直しが随時計画変更されているが、2016年7月、神戸港港湾計画一部変更において、新港航路の切替が位置付けられた。航路切替に際しては、浚渫工事とともに、港湾施設の沖合展開に伴いその役割を終えた第四防波堤及び旧防波堤の残骸を含む第五防波堤の一部撤去が必要となった(図5)。



図5 神戸港における新港航路の切替

2. 撤去について

(1) 試験工事の実施

旧第五防波堤の撤去にあたって、築堤されてからかなり経年しているため、旧第五防波堤の西端2函分において、PCセルの構造、現況、配筋、鉄筋の緊張状況及び周辺残骸物の散乱状況等を確認するとともに、後続工事

のPCセル撤去に伴う一連の作業について施工方法、能力、検査方法等を確立させるため試験工事を行った。

(2) 本工事の実施

-12.0mの水深を確保するため、試験工事の結果に基づき、航路切替に支障となる残りのPCセル残置範囲において、PCセル撤去作業を行った。試験工事より、グラブ浚渫船によるPCセル残骸を含むコンクリートガラ混じり土砂の撤去後、海底面から高張力鋼材が突出することが明らかになっていたため、本工事においては、グラブ浚渫船により鋼製の35t重錘(図6)を吊り下げ、施工範囲についてPC鋼線押え(図7)を行う際、施工の初期に以下のとおり数パターンの施工方法を試験的にを行い、潜水士により施工状況を確認した。

- ① 重錘を設定水深DL-13.4mまで下げ、深度確認後重錘を上げる(ケース1)
- ② 重錘を掘削地盤まで下げ、グラブ浚渫船の荷重計により荷重がゼロになったことを確認して重錘を上げる(ケース2)
- ③ 重錘を掘削地盤まで下げ、グラブ浚渫船の荷重計により荷重がゼロになった時点で2分間待機して重錘を上げる(ケース3)

上記施工方法において最も効果があったのは、ケース3であるが、ケース2でもそれほど大きな差はなかったため、通常はケース2により施工を行い、再度押える箇所についてはケース3により施工を行った。



図6 押えに使用した35tの重錘



図7 PC鋼線押え作業

(3) 施工の経緯

PCセル押え作業は、区域①(No.-55.9～No.150)、区域②(No.150～No.398.4)の2つの区域に分けて他作業の進捗に合わせて段階的に行った(図8)。区域①についてPC鋼線押え作業を行い、施工完了後に潜水士による押え状況の確認を行った。

区域①について、1回目の潜水確認の結果、部分的にD.L-13.0より飛び出ているPC鋼線や鉄筋(以下、PC鋼線等)が確認されたため、潜水士にて切断可能な物は適宜切断を行い、PC鋼線等が折り重なって密集している部分(以下、押え不能箇所)においては、水中切断施工不能と判断し、その部分について2回目のPC鋼線押え作業を行った。2回目のPC鋼線押え作業完了後、2回目の潜水確認にて再度押え不能箇所を確認し、一部は再度押えた効果があったが、押え不能箇所が残る結果となった。また、1回目の押え不能箇所と違う場所で押え不能箇所が確認された。

上記により、2回目の潜水確認による押え不能箇所について、再度3回目のPC鋼線押え作業を行い、3回目の潜水確認を実施したが、押え不能箇所に変化がなかった。区域②についても同様に、1回目の押え作業により押え不能箇所が発生したため、2回目の押え作業を行ったが、押え不能箇所が残る結果となった(図9)。

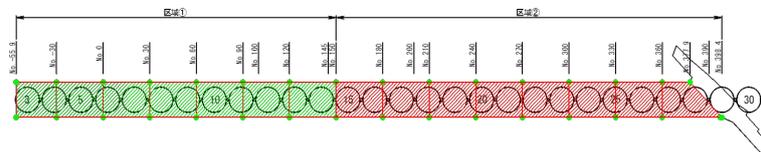


図8 施行区域図

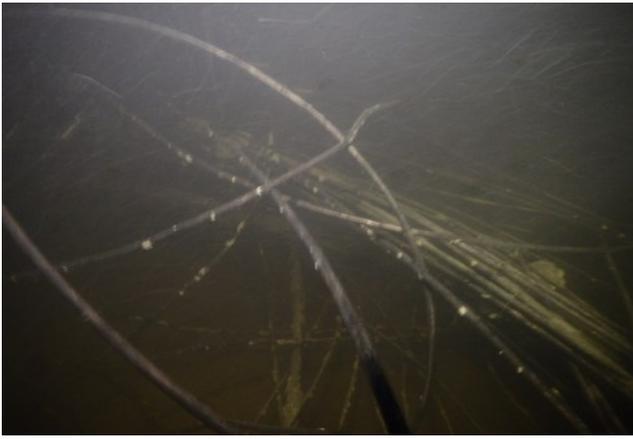


図9 押え不能箇所状況

(4) 施工の考察(PC鋼線押え作業)

PC鋼線押え作業について、1m以上の重ね幅を確保しつつ、押え時には重錘の自重を全て海底地盤に載荷するよう施工している。

それでも、押え不能箇所が発生したことについて、以下の要因が考えられる。

- ①掘削後の現地盤が柔らかい粘性土であり、かつPC鋼線等に復元力があるため、PC鋼線等が折り重なった部分については、押えてもある程度は復元する。
- ②PC鋼線等が密な部分については、再度押える作業により別の部分に影響を及ぼし、盛り上がることで新たな押え不能箇所が発生する。

(5) 施工の考察(潜水士によるPC鋼線等水中切断作業)

潜水士によるPC鋼線等の切断作業は、単体で飛び出しているものについては、随時潜水士により水中切断を行っている。

押え不能箇所についても潜水士による水中切断作業が考えられるが、以下の理由により施工不可と考える。

- ①現在の海中の視程が約0.5m程度であることおよびPC鋼線等が密に折り重なっていることを考慮すると、送気ホースの絡まり等による潜水災害の発生が懸念されるため、潜水士により安全に水中で切断できる場所は限られる。
- ②切断後PC鋼線等を取り除こうとしてもPC鋼線等が密になっているため潜水士による人力作業では取り除けない。また、起重機船等による撤去作業を行うとしても、撤去作業によりPC鋼線等を起こしてしまう結果となることや、潜水士によるPC鋼線等が密集した箇所での玉掛作業を考慮すると、施工不可である。

3. 施工方法の変更について

(1) PC鋼線押え材投入・均し

上述より、PC鋼線等を長期的にしっかり押え込み、なおかつ潜水士がPC鋼線等の水中切断作業する際に、安全に作業を行えるようにするため、PCセル撤去部(D.L-13.0m)全域について、押え材として砂を投入することとした(図10)。砂の選定においては、投入時に濁りの発生の少ない砕砂(7μ分以下含有量15%以下)を投入した。

砕砂は、ガット船(499GT級)により現場へ搬入し、起重機船に瀕取り投入を行った。起重機船による砕砂投入にあたり、汚濁防止枠(14m×14m級、カーテン丈長6m以上)を使用した。

砕砂の投入高さは、PC鋼線等の上で押える効果を考慮し、約1.0mの厚さで-12.0mの水深を確保出来るように、D.L-12.5mとし、規格値は±50cmとした。



図10 PC鋼線等押え投入状況

投入完了後、起重機船により方塊ブロック(20t級)(図11)を使用して天端を押え安定させた(図12)。天端押えの確認は、起重機船のクレーン先端にGNSS受信機を取付け、その位置をシステムにより記録することで施工履歴の確認を行った(図13)。



図11 方塊ブロック



図12 天端押え状況

これらの対応を重ね、工事完了後の出来形確認でPC鋼線の確実な押さえ込みを確認している(図14)。

4. まとめ

(1) 今回工事で得られた教訓

コスト縮減や効率化などの目的で、一般的な技術開発では見落とされがちである施設の使用目的を終えたあとの対策・対応もあらかじめ計画した上で整備する必要性があると考えられる。

また、今後は港湾施設の長寿命化とともに、港の再生・再整備においては、今後の港湾事業のなかでも中心を担っていくため、机上の検討だけでは判断できない現場での試験工事や施工のフィードバックと言った現場の技術力が重要だと考えられる。

(2) 自身の経験及び苦労談

今回、初めて現場担当として、防波堤撤去工事を担当した。今までは、主に直轄や地方自治体の予算担当をしており、設計図書から工事情報を整理するのに苦戦した。また、単純な防波堤の撤去工事では無く、PC円筒セルを撤去したあと、残置した高張力鋼材を押えて綺麗に仕上げるといった特殊な工事をいきなり担当したので、試験工事から本工事の施工内容・方法等を理解するのに非常に時間がかかった。

さらに、限られた工期のなかで、最善かつ安全に施工するにはどのような方法が良いのか、受注者と協議しながら方針を決定し進めるのに上司と共に非常に苦労した。

そんな中、無事に工事が竣工し、完成したのだが、私自身がこの1年間、防波堤撤去工事を通じて得たものが多く、通常では無い、特殊な工事であったからこそ、現場で学ぶべきエッセンスが様々な観点から沢山詰まっております。工事の変更方法や現場で見るとすべき着眼点等、今後の業務で活かせる知識を習得することが出来た。

巻末：本論文は、従前の配属先（第一建設管理官室）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) 土木技術：昭和39年3月号Vol. 1



図13 天端押え施工履歴

また、施工完了後は、潜水土により天端を確認した。確認後、PC鋼線等の突出しは、潜水土により切断した。



図14 PC鋼線押え材投入完了

夜間におけるCCTV等のカメラ映像を用いた 雨量推定手法について

小杉 恵¹・北本 楽¹

¹近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

近年では水害や土砂災害の発生しうる箇所においてCCTVによる現場の監視が不可欠である。他方、雨量も危機管理上の最も重要な情報であるが、山間部の雨量計測箇所は少なく、また、レーダー雨量もその精度に課題を抱えている。夜間降雨時のCCTVの映像は照明により反射した降雨の軌跡が多く映る映像となるが、それを活用して降雨軌跡を方向性解析により数値化し、降雨特徴量を求める雨量計測方法について、大型降雨実験施設で実験を行った。結果的としては背景の映像の影響を受けるものの、降雨強度と降雨特徴量の高い相関関係を確認することができた。

キーワード CCTV, 画像解析, 雨量推定

1. はじめに

水害や土砂災害の早期警戒において、現地の雨量は最も重要かつ基本的な情報であり、全国の地上雨量計は約9,000箇所¹⁾以上とされている。しかし、その主な雨量観測局の場所の多くは低平地で、砂防事業の対象としているような山間部は少なく、レーダー雨量についても数km上空を計測対象としているなどの理由から、計測精度に課題があるとされている。奈良県南部の紀伊山系砂防管内においては、2011年の紀伊半島大水害前から設置されている雨量計測箇所は極めて少なく、発災後に5つの河道閉塞と3箇所の深層崩壊斜面、那智川流域で雨量計測を行ったものの、管内の隅々まで整備が進んでいないのが現状であり、雨量観測局の設置費用や維持管理費用も比較的高価であることから、新たな雨量観測局の設置にかかるハードルは高い。

一方、近年においては災害現場や土砂災害が発生しうる現地状況の把握にCCTVは不可欠であり、紀伊山系砂防管内にも32台のCCTVが設置されている。CCTVの監視映像は晴天時や雨天の昼間については現地状況を確認しやすい映像であるが、夜間については、照明が雨滴により反射し、監視対象の視認性が低下することが多いが、そのことを利用して雨量計測に活用することで、特に平野部と異なる気候特性となる山間部の現地の雨量を把握することができれば、防災上有用となり得るうえ、既存の設備を活用するという点で効率化を図ることができる。

画像解析により雨量を計測する試みとしては、Grarg et

al.(2004)²⁾らのカメラパラメータを基に雨滴の数や速度を求め、そこから雨量を計測する試みやAllamano et al.(2004)³⁾の映像中の雨滴を抽出する方法の他にも、金澤ら(2021)⁴⁾のように映像内の輝度値による雨量推定等が試行されている。しかしこれらはいずれも昼間の降雨映像を対象としたものであり、また、夜間の降雨時には全く異なる特徴を有するため、それらを適用することはできない。本稿は夜間の映像を対象とした降雨強度の計測方法として、筋状に映る雨滴の軌跡から降雨特徴量を求めるための画像解析方法と国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下「防災科研」と表記する)の大型降雨実験装置を用いて実施した実験の結果を報告するものである。

2. CCTVの監視映像による夜間の雨量計測方法

(1) 夜間におけるCCTVの映像の特徴

山間部のCCTVでは、街灯などの光源がないことから、



図-1 CCTVと照明との位置関係

夜間の監視には照明が必要となるため、カメラに付属している照明(図-1)を監視対象に照射して撮影している。このため降雨時には図-2に示すように、その照明がカメラ近傍の雨滴で反射するが、暗い箇所ではシャッタースピードが遅くなるため、鉛直に近い角度での白い(輝度の高い)降雨の軌跡が多数映っている映像が記録されることとなる。このような映像では降雨強度が高いほど、線状となる雨滴の数は多くなるものと推察され、その線状の映像を数値指標化することで、少なくとも降雨強度の大小は把握できるものと考えられる。

(2) 監視映像の方向性解析

金澤(2020)⁹⁾では鉛直に近い筋状の輝度の高い線状の数

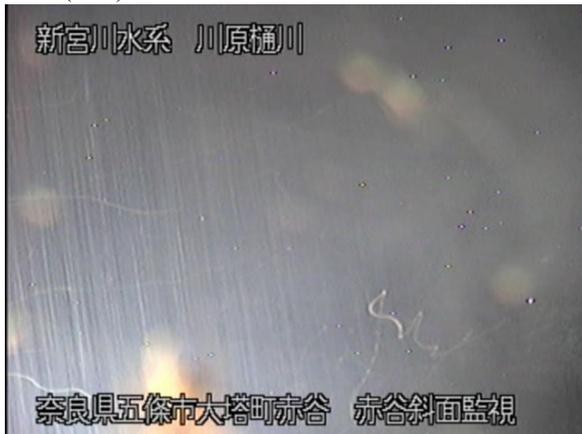


図-2 夜間の降雨時のCCTVの映像の例

を指標化するために、2次元周波数解析(2次元FFT: Fast Fourier Transform)を利用して。2次元周波数解析では図-3(a)及び(b)に示すように、縞状の映像から2次元のスペクトルを求めることで、その角度を把握することができる。図-3(c)の縦方向に近い多数の降雨の軌跡と水平方向に移動する虫の映像を2次元FFT解析すると図-3(d)に示すような周波数スペクトルが求まる。図-3(d)の白い部分は輝度の大きい成分を示している。図-3(e)の-90°(鉛直方向)での方向性フィルタや、図-3(f)に示す-81°の方向性フィルタを図-3(d)の周波数スペクトルに処理する(フィルタの白い部分だけの値を取り出す)ことで、特定の方向の成分を抽出することができる。1°毎の180個の方向性フィルタで処理することで、図-4に示すような筋状の雨の軌跡の角度の分布を把握することができると考えられる。この図-4に示す方向性フィルタで処理したヒストグラムを方向性ヒストグラムと呼んでいる。

なお、CCTVの監視映像の中には、樹木の幹や対策工の構造部材などの線状の映像が含まれる場合があるため、その影響を低減するために、1枚の映像を2枚の映像にして片方をガウジアンフィルタ⁶⁾で平滑化処理したものを求め、平滑化処理したものと処理していない映像の両方の方向性ヒストグラムを求めてそれらの差分を求めている(図-5)。

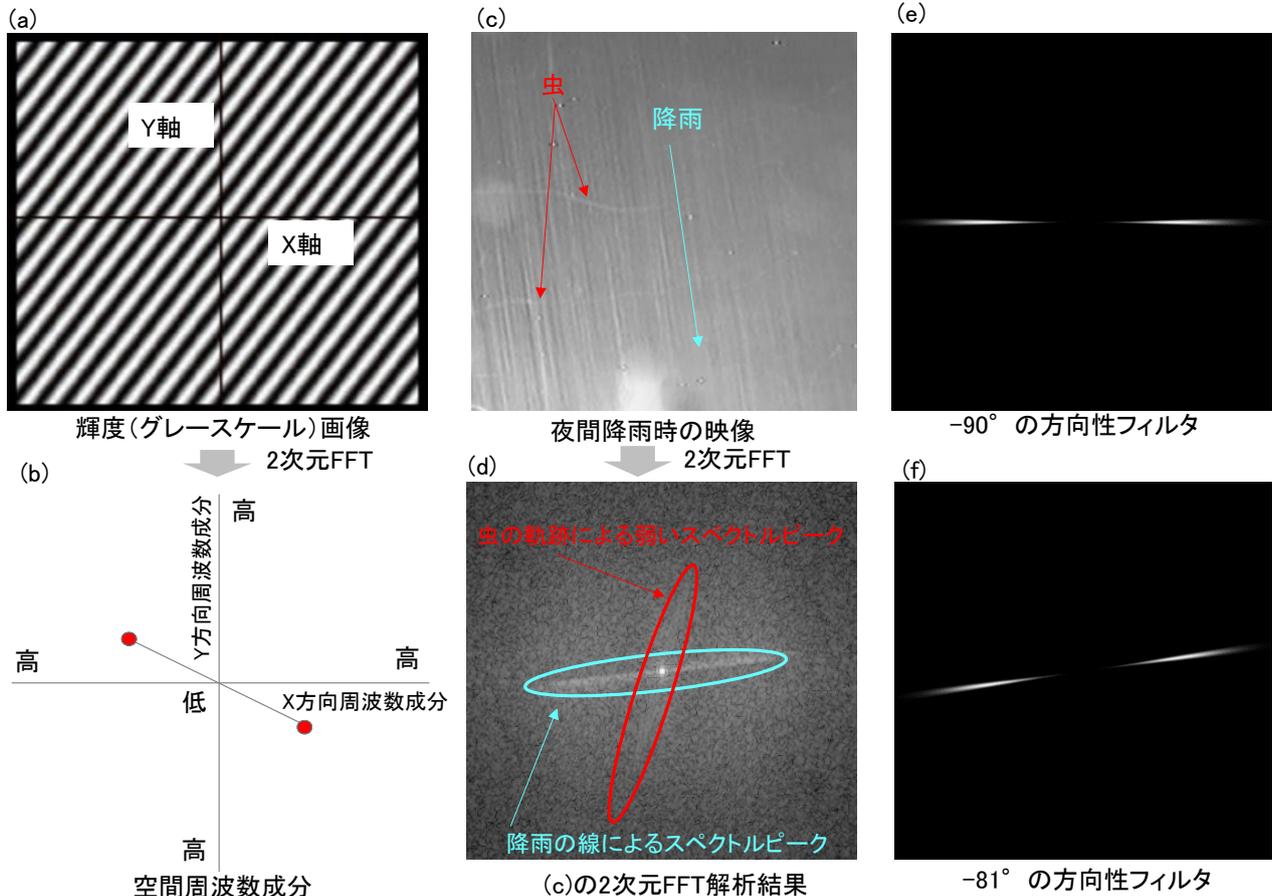


図-3 映像データの2次元周波数解析(FFT)(a)45°方向の縞状映像の例(b)縞状の映像のFFT解析結果(概念図)(c)夜間降雨時の映像の例(d)夜間降雨時の映像の2次元FFT解析結果の例(e)-90°の方向性フィルタ(f)-81°の方向性フィルタ

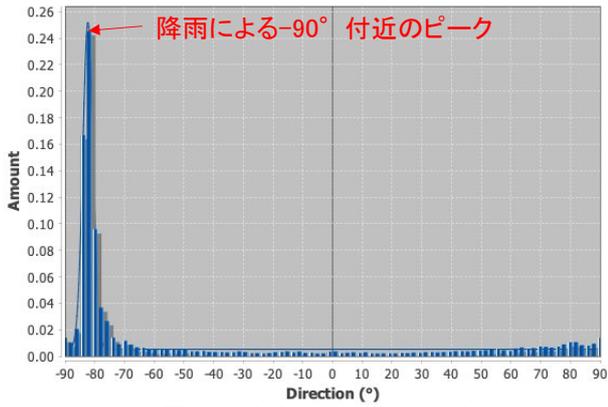


図4 方向性ヒストグラムの概念図

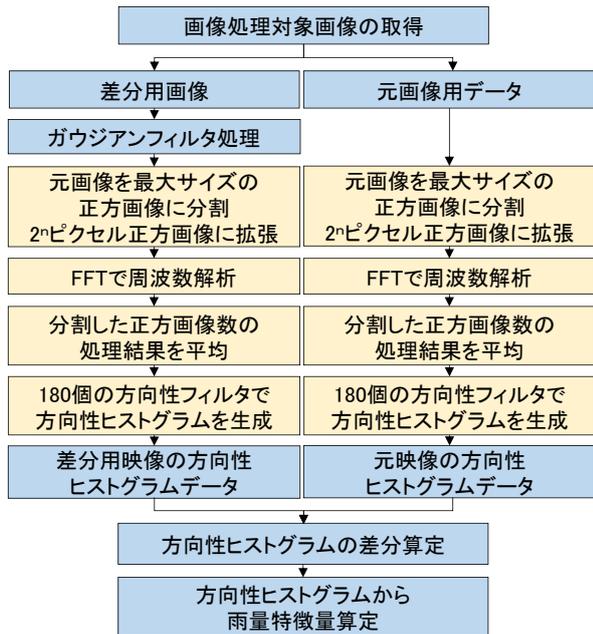


図5 方向性解析の流れ

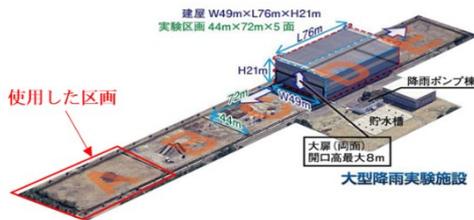


図6 大型降雨実験施設

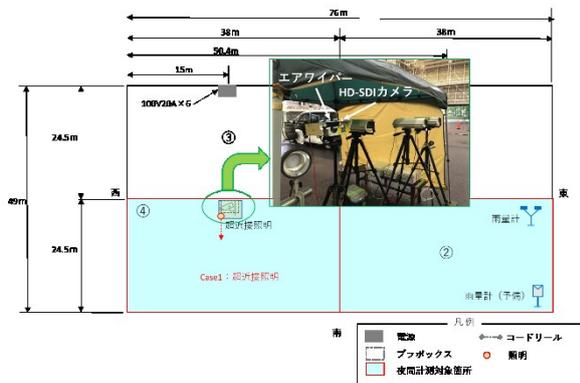


図7 Case1における資機材の配置

(3)降雨特徴量の算定

図4に示す方向性ヒストグラムから降雨強度と関連のある降雨特徴量を求める。夜間のCCTVに映る降雨の軌跡は鉛直方向が主体であるが、風の影響などで分布にばらつきが生じることを踏まえて、本稿では実験での方向性ヒストグラムの分布から鉛直方向となる90° に対し、±20° の方向に降雨の軌跡が分布していると判断し、その範囲の輝度の積算値Σ (90° ±20°)を降雨特徴量とした。

実験で取得した映像はCCTVと同様、1秒間で30枚の映像(30fps)であるが、3fp間隔で求めた10セットの方向性ヒストグラムの平均を1秒間隔で求めた。さらにその1秒間の映像取得期間(約2分間)の平均値をそのケースの方向性ヒストグラムの値として取り扱った。

3. 大型降雨実験装置での実験と解析

(1) 実験方法

防災科研の大型降雨実験装置(図6)による降雨実験では、前述のCCTVの映像による降雨計測について、時間雨量に換算して200mm/hr(33mm/10min)を超える高い高強度の降雨時のデータを取得することや、照明の違いによる降雨特徴量との関係性の把握を目的とし、多くの照明の条件を変化させた約20ケース×4段階降雨強度の映像を取得した。ここでは、紙面の都合上、最もCCTVの標準的な照明の状態に近いCase01の結果について報告する。

Case01におけるカメラの設置状況を図7に示す。Case01の照明はカメラの付属照明に近い位置に35WのLED照明(CCTVに付属している250Wハロゲン照明と同程度の照明)を設置したものである。カメラは現在のCCTVの最新の仕様と同じ解像度(1920×1080pixel)のHD-SDIカメラを使用し、また、高強度の降雨に備えてエアワイパーを設置して、レンズへの雨滴の付着を防止した。

降雨量の計測は、雨滴の粒径分布と移動速度を計測して雨量を求めるディストロメーター(Parsivel)で計測した。降雨は4種類のノズルを使って、Case01の場合は

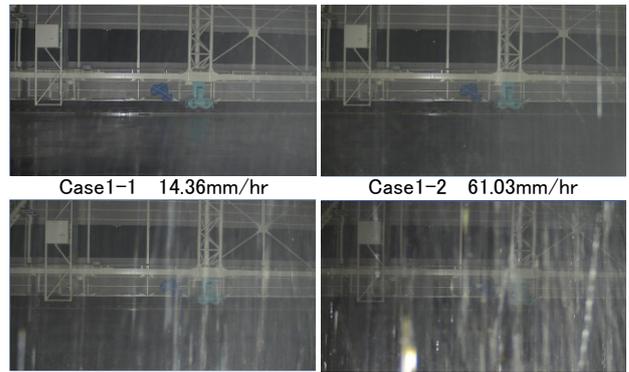


図8 降雨実験時の映像 (Case01)

表-1 映像の解像度に関する検討ケース

項目	検討ケース
映像サイズ	Full-HD(1920×1080), VGA(854×480) QVGA(426×240)の3ケース
計算時間間隔	1秒間平均値：3fps間隔×10の平均
背景/範囲	映像全体の1ケース

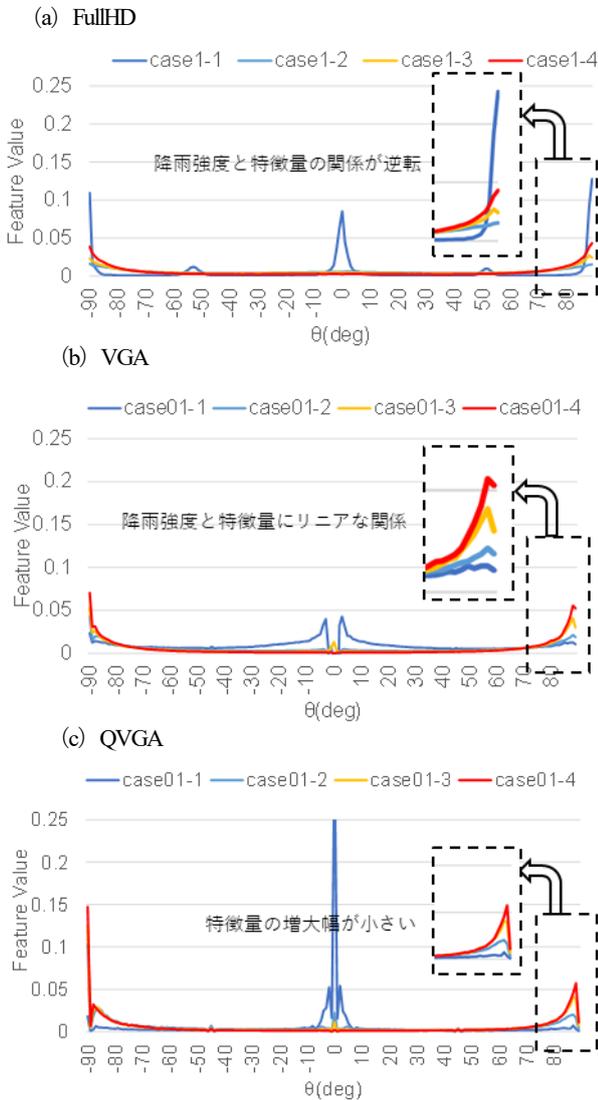


図-9 Case1の方向性ヒストグラム

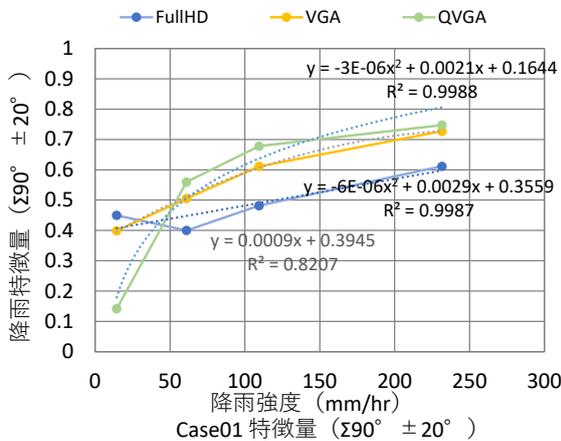


図-10 各解像度の降雨特徴量と降雨強度の関係

14.36mm/hr, 61.03 mm/hr, 109.52mm/hr, 231.57 mm/hrの4段階の映像をそれぞれ約2分間程度取得した。図-8に各Case01-1~Case01-4の映像のキャプチャ映像を示す。降雨強度が高いケースほど降雨の軌跡が多く映っている。

(2) 解析に適した解像度

降雨の軌跡の角度は、映像の解像度による違いは生じないものの、解像度が降雨特徴量に影響を及ぼす可能性もあるため、表-1に示すFullHD(1920×1080pixel), VGA(854×480 pixel), QVGA(426×240 pixel)の3種類の解像度の映像について、降雨特徴量と降雨強度の関係を確認した。各解像度の方向性ヒストグラムを図-9(a)~(c)に、降雨強度との関係を図-10に示す。方向性ヒストグラムについては、VGAは90°付近の分布は同じ角度で降雨強度が大きくなるにつれて特徴量も増加している傾向であるのに対して、FullHDでは90°付近の成分においても降雨強度と特徴量の関係が逆転している部分も見られる。図-8ではFullHDよりもVGAの方が降雨特徴量の値の変化も大きく、降雨強度の増大に対してリニアな関係となっており、また、QVGAは100mm/hr以上の範囲が特徴量が増大が少なくなっていることが分かる。このため、雨量計測を行う上ではVGA程度の解像度が望ましいと考えられる。

(3) 実験データの解析方法

第2章に示したように方向性ヒストグラムを求める際には、背景の影響を低減するような過程を盛り込んでいくものの、完全にその影響を除去できるものではなく、一定量の背景の影響を受けるものと考えられる。また、降雨の反射で白い線状の降雨の軌跡を数値化しているものであるため、背景は黒色が望ましいと考えられる。

そこで、実験データの解析にあたっては、図-11に示すように背景の異なる4つの解析対象範囲(ROI: Region of Interest)を映像内に設定して、映像全体と4つのROIの計5つの降雨特徴量を求めた。その解析条件を表-2に示す。なお、映像の解像度はFull-HDサイズ(1920×1080 pixel)であるが、前述の解像度に対する検討結果を踏ま

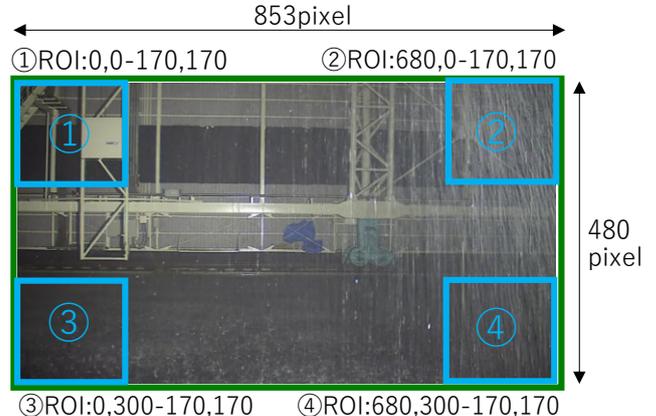


図-11 方向性解析の解析対象範囲

表-2 解析対象範囲についての検討ケース

項目	検討ケース
映像サイズ	VGA(854×480)
計算時間間隔	1秒間平均値：3fps間隔×10の平均
背景/範囲	ROI1~4と映像全体の5ケース

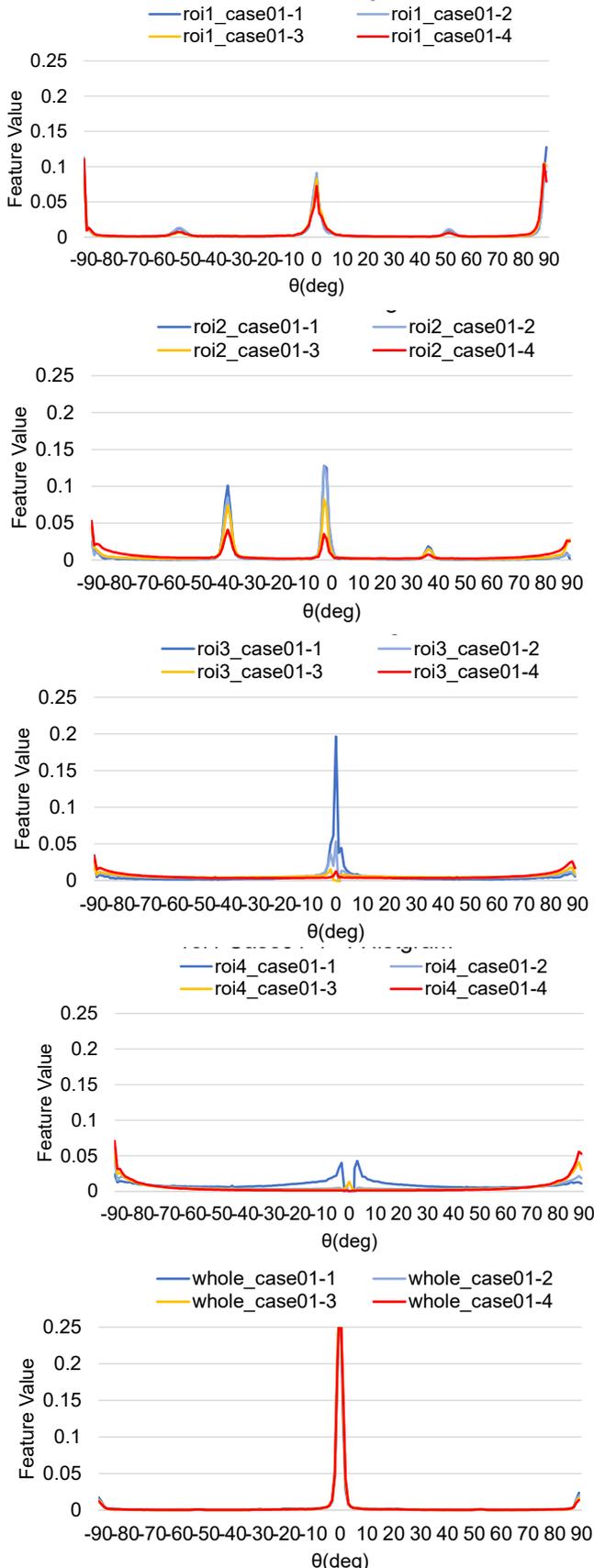


図-12 Case1の各ROIの方向性ヒストグラム

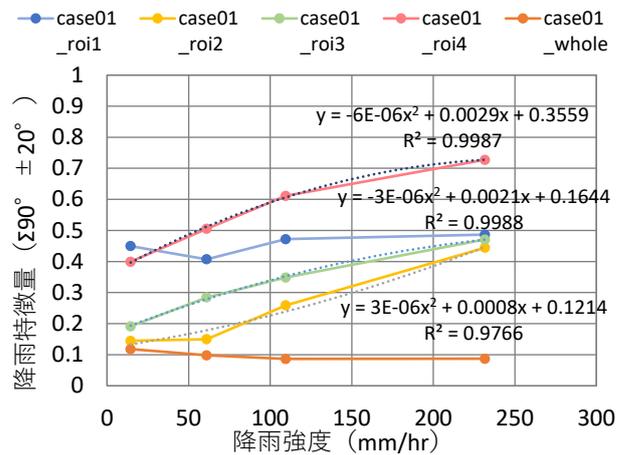


図-13 各ROIの降雨特徴量と降雨強度の関係

え、VGAサイズ (854×480pixel) に変換した映像で解析を行った。なお、VGAは、実際の紀伊山系管内のCCTVの映像サイズに近い解像度である。

4. 実験データの解析結果

図-12にCase01-1~4の各ROI及び映像全体の方向性ヒストグラムを示す。0°付近(水平方向)のヒストグラムのピークは降雨実験装置の建物の白い構造材によるものであり、90°付近のピークが降雨の軌跡を捉えたものである。特にROI1とROI2においては、背景の水平構造材や斜材の影響を受けているが、ROI4についてはその影響は小さいことが分かる。

ROIを映像全体としたケースを除くと、どのROIについても90°付近(-90°付近)の方向性ヒストグラムにおいて、降雨強度の低いCase01-1よりもCase01-4の方がピーク付近と、ピークの±20度付近までの範囲も輝度値が大きくなっていることが分かる。

図-13に示した降雨特徴量とした輝度の積算値 Σ (90° ± 20°) の値と降雨強度の関係ではROIを映像全体としたものやROI1については、降雨強度の変化に伴う降雨特徴量の変動がない。一方で、Case01-2、Case01-3、Case01-4で高い相関性が確認できており、その中でも背景に全く構造材のないROI4が最も信頼性ある結果であると考えられる。最も降雨強度の高い231.57 mm/hr(38.60mm/10min)のような強度の高い範囲に近づくにつれて、降雨特徴量の値の伸びが小さくなっている理由としては、映像中の降雨の軌跡は重複等が生じているためではないかと推察される。

5. まとめ

本稿では、夜間降雨時のCCTVの映像から、降雨強度を推定するための画像解析方法と大型降雨実験装置を使って高強度の降雨強度のケースを含む実験を実施した。

夜間降雨時の映像における照明の反射による鉛直方向に近い角度の線状の降雨の軌跡を数値化するため、2次元FFTと方向性フィルタで角度 1° 毎の輝度のヒストグラムを求め、 $90^\circ \pm 20^\circ$ の輝度値の総和を特徴量として、14.36-231.57 mm/hrの降雨強度の範囲についてそれらの関係性を確認した。

結果としては、ガウジアンフィルタによる処理映像との差分によっても、背景の映像の影響を受けるが、構造物等のない黒色の背景となっている範囲等を対象とした解析では良好な相関性が確認された。

今後は、実際のCCTVの監視映像の取得・解析を行い、実用性・汎用性を向上させることで、将来的にはCCTVを危険箇所の監視だけでなく雨量計測にも活用して、砂防事業が対象としている山間地の流域をより効率的かつ多角的に監視し、ひいては地域の警戒避難体制の早期確立に寄与することができるよう、検討を進めていきたい。

謝辞：国土技術政策研究所土砂災害研究グループ土砂災害研究室の中谷室長と金澤研究官、国立研究開発法人防災科学技術研究所の酒井総括研究員と小林氏には大型降雨実験施設における実験にあたり、多くのご助言と多大

な協力を得た。また、実験内容の企画・立案・実施およびその後の解析にあたっては、(株)エイト日本技術開発の皆様にご尽力いただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 牧原康隆, 気象学ライブラリ 1 気象防災の知識と実践, 朝倉書店, p.73, 2020.
- 2) Grag, K. and Nayar, S.K. ; When Does a Camera See Rain, Tenth IEEE International Conference on Computer Vision, Vol.1, pp.1067-1074, 2005.
- 3) Allamano, P., Croci, A. and Laio, F. : Toward the camera rain gauge, Water Resources Research, Vol.51, Issue3, pp.1744-1757, 2015.
- 4) 金澤瑛, 内田太郎, 中谷洋明 : 監視カメラの画素値を用いた降雨強度の推定, 砂防学会誌, Vol.74, No.3, pp.37-48, 2021.
- 5) 金澤瑛, 木下篤彦, 中谷洋明, 山田拓, 柴田俊, 海原荘一, 井深真治 : 防災用監視カメラを用いた降雨量推定手法の検討, 2020年砂防学会研究発表会概要集, pp.683-684, 2020.1) 土木学会 : 土木学会論文集の完全版下印刷用和文原稿作成
- 6) 公益財団法人 画像情報教育振興協会 (CG-ARTS) デジタル画像処理編集委員会, デジタル画像処理 (改訂第二版), 2020.

伊賀鉄道陸閘新設に係る地盤改良工事について

安達 成世

近畿地方整備局 木津川上流河川事務所 工務課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44) .

木津川上流河川事務所では、伊賀上野管内を服部川及び木津川の氾濫から守ることを目的に上野遊水地事業を進めている。本事業にかかり、2021年より実施された鉄道上に陸閘を施工する「伊賀鉄道陸閘築造等工事」において、当初計画されていなかった地盤改良工事の必要性が生じた。

本稿は、鉄道上で施工するにあたり、運休無く限られた現場条件の中で行う工事について、工法検討から施工の実施結果について報告するものである。

キーワード 陸閘, 地盤改良, 遊水地

1. 伊賀線第1陸閘設置の経緯

上野盆地は木津川、服部川、柘植川の3川が合流した直下流に岩倉峡という川幅約60m、延長約5kmの凶作ぶがあり、洪水疎通が著しく阻害されている。歴史的にも直情流の上野盆地での湛水により、幾多の水害被害を及ぼしている。

上記の地理的特性を踏まえた治水を目的として木津川では4つの遊水地を整備し、平成27年より運用を開始し、平成29年の台風21号では約600万m³を貯留し、上野盆地の治水上の成果を上げている。



た。

上記の条件を確保するため、ゲート操作によって運用の切り替えが可能な陸閘形式が採用された。



しかし、服部川の遊水地である新居遊水地及び小田遊水地を横断するように近鉄伊賀線の線路が走っており、その軌道高が遊水地を囲む周囲堤よりも低いため堤防高の不足が生じ、治水上の弱点となっていた。

運行中の鉄道が支障となるため、平時は鉄道の運行が可能でかつ、災害時にのみ堤防高を確保する必要があっ

2. 陸閘構造の検討

必要高の確保及び確実な止水機能を前提として以下の条件を考慮し、4案比較を行った。

- ・ 確実かつ迅速なゲートの閉鎖および開放
- ・ 容易な維持管理

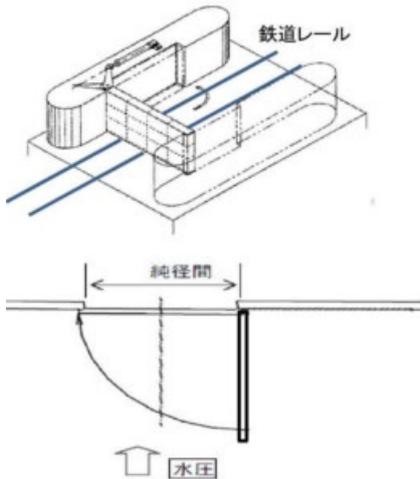
表 3.1.1 計画高一覧表

項目	計画値	備考
計画高水位	T.P.+137.05	
計画堤防高	T.P.+138.55	余裕高1.5m



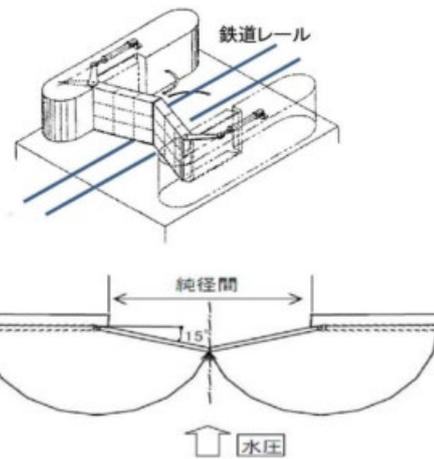
①スウィング式

ゲートの片側を軸に水平回転させる構造である。陸閘ゲートとしての実績が多く、鉄道上の陸閘として採用されている実例があるが、ゲート点検時に鉄道敷に立ち入る必要があるため不採用とした。



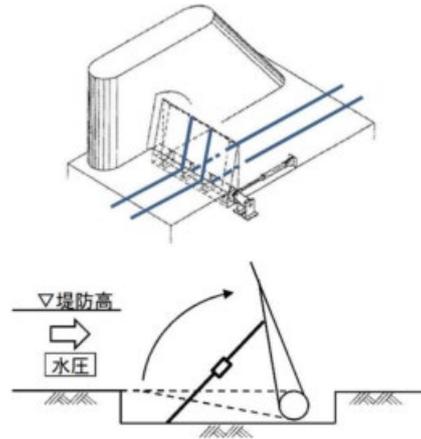
②マイターゲート式

2枚のゲートを用いる両開きの構造である。スウィング式に比べて開閉延長を短く出来るが端部の構造規模が大きくなることや、同じく点検時に鉄道敷に立ち入る必要があるため不採用とした。



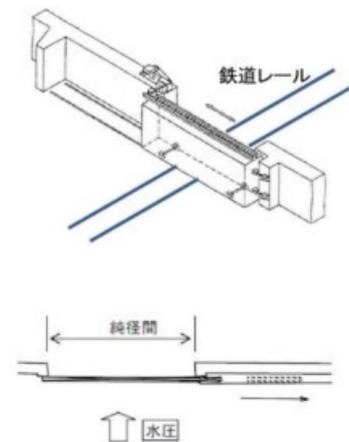
③起伏ゲート式

レール下に配置したゲートを洪水時の水圧により浮き上がらせる構造である。ゲート操作手間が少なく、開閉時間も短いのが、他案と比べ構造が複雑であり点検も困難となることから不採用とした。



④引き戸式

ゲートを垂直方向にスライドさせる構造である。構造が単純且つ施工実績もあり、鉄道敷の外から点検が可能のため採用した。



上記の検討で採用された構造で、施工に際し、軌道影響検討(FEM解析)を行ったところ、堤防機能確保のために必要な有効幅員6.5m, 有効高0.616mの陸間を支える地盤支持力が不足していることが判明し、地盤改良工を行う必要が生じたため、下記の通り検討を行った。

地盤改良の工法を検討する上での主な条件は以下の通りである。

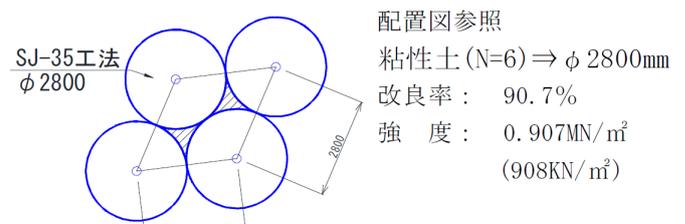
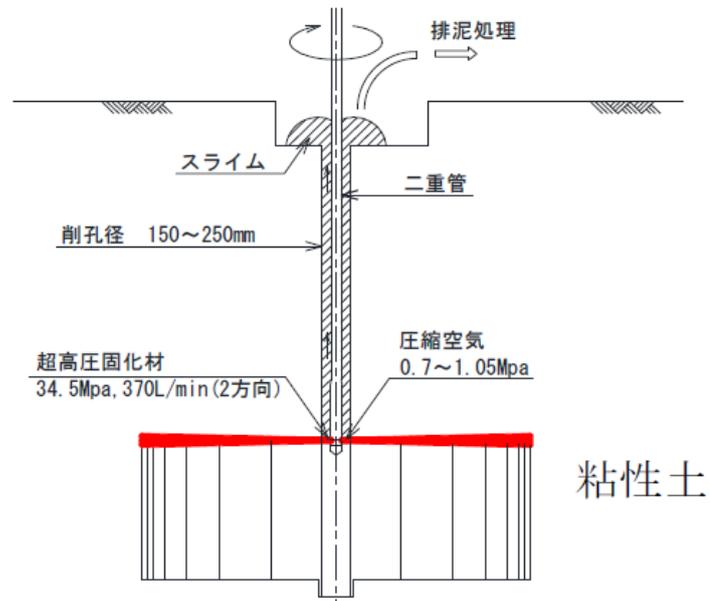
- ① 軌道直下の地盤を改良するため、列車運行に影響のない夜間の施工を前提とする。
- ② 列車運行時には確実に軌道が復旧している必要がある。
- ③ 改良深度は最大7.8m程度とする。
- ④ 軌道直下の地盤改良であり、軌道への影響を極力少なくする。
- ⑤ 地盤条件はN値13程度の砂礫層とN値6程度の砂混り砂質シルトである。
- ⑥ 夜間作業とし列車の始発時には軌道を復旧する。

(2) 工法選定

上記の条件を基に地盤改良の工法を以下の通りとして比較検討した。

- ① 薬液注入工法 (恒久グラウト材使用)
直径100mm程度のケーシングで削孔し、セメントベントナイトで充填する工法。施工箇所まで自走が可能であり、省スペースのため軌道付近の施工性が高いが、粘性土は地盤強化ができないため不採用とした。
- ② 機械攪拌混合処理工法
ベアスマシンに攪拌混合機を装備した地盤改良機を用いて現地盤を切削しながらセメント系固化剤を攪拌混合する工法。比較的小型であり、経済性も優れるが、改良深度が0.6mと条件未満であり、固化剤の硬化時間が必要なため夜間作業では軌道の復旧ができないため不採用とした。
- ③ 高圧噴射工法 (S J - 3 5 工法)
削孔孔に管を挿入し、改良材を噴射しながら引き抜く事で円柱形の改良体を造成する工法。施工時に排泥を出すため処理が必要だが地盤への影響が

少なく、軌道への影響が最小限であるため採用した。



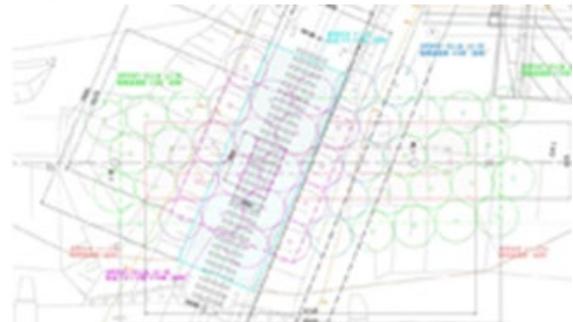
④ 高圧噴射工法 (C J G 工法)

S J - 3 5 工法と同じく削孔孔に管を挿入し、改良4材を噴射する工法だが、上記に比べ径が小さく、経済性で劣るため不採用とした。

3 実施結果

地盤改良の機能区分を軌道ブロック部と陸間基礎部に区分した。また、電路架線から3mの境界として昼間・夜間の施工に区分した。施工区分を下図に示す。また、伊賀鉄道と木津川上流河川事務所が施工する箇所も区分した。

施工範囲の検討の結果、2.8mの杭を22本施工することになった



地盤改良及び陸閘ゲートの施工が完了後、陸閘の動作試験を行ったが、問題無く動作したことから地盤の沈下等がなく、十分な改良が行われている事がわかる。



(夜間立会の様子)

4. おわりに

鉄道上で施工という制限された現場条件の中、大規模な地盤改良を伴う陸閘工事を実施し、大きな成果が得られたと考えている。

最後に本工事に従事した工事関係者やご指導、ご助言をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、本稿が今後の鉄道付近の工事の一助になれば幸いである。

ドローンを活用した上野遊水地巡視の実証実験

松本 壮央¹・中村 大輔²

¹木津川上流河川事務所 管理課 (〒518-0723三重県名張市木屋町812-1)

²琵琶湖河川事務所 管理課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4丁目5-1)

木津川上流河川事務所では4つの遊水地を整備し、管理運用している。遊水地は平時は農地として利用され一般道も存在するため、出水時において遊水地に洪水が流入する前に職員等による車両巡視を行い、遊水地内に人がいる場合は退避を呼びかけている。遊水地運用に伴う水難事故防止のため、巡視の確実性が求められる一方で、巡視員の責任や負担は相当である。そのような状況を改善すべく、確実な監視と労力軽減を図るためドローンを活用した巡視の現地実証実験を行った。本稿では、ドローンを活用した上野遊水地巡視の実証実験結果及び今後の課題と展望について報告を行うものである。

キーワード ドローン, 遠隔監視, 省人化, 遊水地

1. 現状と課題

国内の河川は3万以上ともいわれ、出水頻度の増加、経験豊富な技術者の高齢化、河川管理施設の老朽化といった様々な課題に直面している。木津川上流河川事務所では、これらの課題解決策の1つとして、巡視行為の無人化を目指した。河川管理における様々な巡視行為がある中、まずは上野遊水地における出水時巡視の省人化を目指して、ドローンを活用した巡視の実証実験を行った。

木津川上流河川事務所では長田遊水地(55.1ha)、木興遊水地(70.0ha)、新居遊水地(61.2ha)、小田遊水地(62.2ha)の計4つからなる上野遊水地(図-1)を整備している。普段は農地として利用され、一般道も存在するが、遊水地への越流が予想される場合は危険なため、立ち入らないようお願いしている。

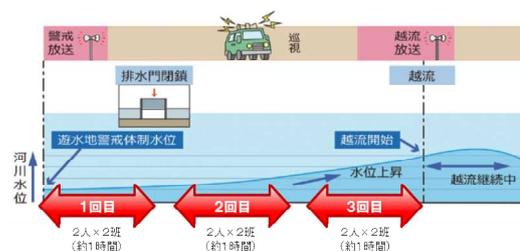
現在の出水時巡視は、冠水する遊水地内に残る人がいないか、越流が始まるまでに計3回、2人組の2班体制で車両巡回しながら目視確認している。(図-2) 巡視員は、遊水地への越流が始まるまでの限られた体制の中で、自身の安全確保にも留意しながら、多くの人員と時間を割いている。また、限られた時間の中では、車両移動ができる一部の道路から見える範囲しか確認できない。特に夜間ともなると、一層確認できる範囲が限定的となっている。(写真-1) このように、上野遊水地の出水時巡視は、時間や体制が限られるなかでも確実な安全管理が求められる。

これらの課題の解決方法として、カメラ搭載ドローン、赤外線カメラ、スピーカーを活用し、赤外線カメラの特性、最適な撮影方法、自律飛行の安全性ドローン遠隔監

視の方法、避難勧告誘導方法の5項目を確認事項とし、巡視の実証実験を計7回行った。



(図-1 上野遊水地)



(図-2 巡視スケジュール)



(写真-1 懐中電灯による出水時巡視)

2. 遊水地巡視ドローンの基本特性

使用した機器は、ドローン本体（写真-2）と各カメラがパッケージ化され市場に流通しているドローンを使用した。ドローンからの伝送画像として200万画素で確認を行った。対して、赤外線カメラの画像はもともと30万画素の記録のため、伝送画像も30万画素での確認となっている。

カメラ搭載ドローンの特性は、機動性に優れ短時間で広域移動が可能、空撮画像の取得による発見の確実性向上、自律飛行である。

赤外線カメラの特性としては、暗闇での発見の確実性向上である。（写真-3）

スピーカーの特性としては、切迫度の直接的な伝達、遠隔伝達による巡視員の安全性の確保である。



（写真-2 実験で使用したドローン本体）



（写真-3 可視カメラと赤外線カメラによる画像の比較）

3. 実証実験概要及び結果

（1）第1回実証実験（赤外線カメラの特性、最適な撮影方法）

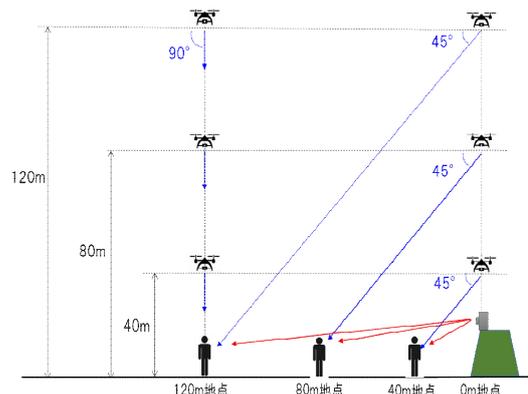
a) 概要

1つ目として、可視カメラと赤外線カメラを用いて、昼夜間別に、高度や角度を変えて、それぞれの被写体（表-1）の検出状況を確認した。

（表-1 被写体タイプ）

被写体タイプ			
人(長袖・反対色)		人(傘)	
人(半袖・近似色)		自動車(暖機状態)	
人(カッパ)			

2つ目に、ドローン巡視の最適な飛行高度と速度を確認しました。実験条件は、被写体とドローンの角度10度、45度、90度、飛行高度40m、80m、120m、飛行速度秒速4m、8m、12mで検証した。（図-3）



（図-3 ドローン巡視角度）

b) 結果

昼間の被写体は可視カメラと赤外線カメラともに判読可能だった。

夜間は可視カメラでは判読不能だったのに対し、赤外線カメラでは判読可能だった。（表-2）

（表-2 判読画像）

被写体タイプ	可視画像	赤外線画像判読
人(長袖・反対色)		
人(半袖・近似色)		
人(カッパ)		
人(傘)		
自動車(暖機状態)		

飛行角度は角度が浅い方が判読は容易だが角度が浅いほど背の高い植生で死角が生じやすい。飛行高度は確実な検出には高度80m以下が目安である。速度が遅いほどモニター表示時間が長く検出が容易であり秒速8m以上であれば30分程度の飛行で2遊水地を撮影可能であった。

よって、最適な撮影方法は、飛行高度80m、飛行速度秒速8m、撮影角度前方45度である。

(2) 第2回実証実験（現場における撮影方法の有効性の検証）

a) 概要

第1回実証実験でおこなった撮影方法の有効性の確認として、小田遊水地、新居遊水地の夜間撮影及び撮影方法をプログラミングしたドローンによる自律飛行の実施を行った。（図-4）

また、判読環境の改善として、大型モニターを活用したブラインドテストを行った。



(図-4 自律飛行テストルート)

b) 結果

小田遊水地、新居遊水地内でも人の検出が可能だった。自律飛行により最適な撮影を半自動で実現可能になり、巡視体制を半減でき、道路網に左右されず広範囲を一度に把握可能だった。（図-5）

また、大型モニターを活用することにより補助者との連携による判読作業が可能になった。



(図-5 人の検出画像)

(3) 第3回実証実験（出水期における適用性の検証）

a) 概要

出水期における本手法の適用性確認として、気温、植生繁茂の影響を確認するため、気温21~28度、植生繁茂している環境での服装・雨具の異なる被写体の撮影を行い、赤外線雨粒減衰の影響を確認するため、様々な条件下での撮影を行った。

また、飛行困難時の代替手法の確認として、人が赤外線カメラを使い地上から撮影して、検出可能な最大距離の計測を行った。

b) 結果

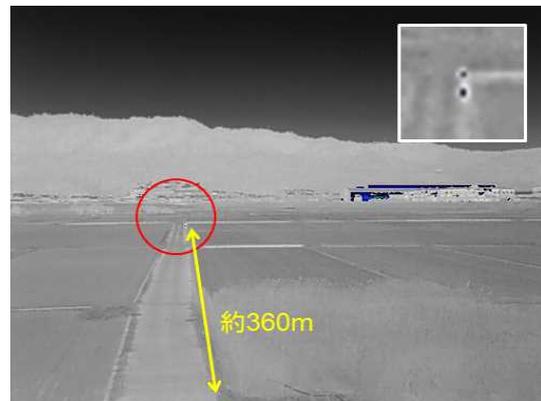
気温、植生繁茂の影響については、周囲と人体の温度差は少ないものの人を検出可能であり、また植生による影響はほとんどない。

赤外線雨粒減衰の影響としては、強い雨ほど赤外線画像の表現力は低下するが、10mm/h~15mm/hの雨であれば人の検出が可能だった。（図-6）また、カメラレンズに付着する雨滴の影響は少ない。

赤外線カメラの地上利用の効果としては、角度が浅く人体の撮影面積が大きいため最大360m程度先まで検出可能だった。（図-7）しかし、上半身が隠れるほどの草丈の場所では検出困難であり、遊水地の網羅的な確認には人・赤外線カメラが移動する必要がある。



(図-6 降雨時の赤外線カメラ画像)



(図-7 赤外線地上利用画像)

(4) 第4回実証実験 (伝送距離の確認)

a) 概要

伝送距離、受信電波強度の確認として、約1.6km往復長距離試験飛行を行った。(図-8)



(図-8 小田・新居往復飛行コース)

b) 結果

飛行高度80mで操縦者との距離1.6kmの飛行が可能だった。

受信電波強度は約1.6km先で5分の2に低減し、映像画質は約1.6km先で一瞬乱れる時があった。(写真-4)



(写真-4 受信映像の確認状況)

(5) 第5回実証実験 (自律飛行の安全性の確認)

a) 概要

電波障害、バッテリー消費量の確認として、2遊水地単位で撮影方法をプログラミングしたドローンによる自律飛行を行った。

また、支障物件撮影範囲の巡視方法の確認として、カメラアングルの変更による影響範囲外からの撮影を行った。

b) 結果

電波障害としては、飛行に影響する電波障害はなかったが、周辺における2.4GHz帯の使用状況等によるが、映像画質は最遠端で一瞬乱れる時があった。

バッテリーの消費量としては、小田・新居遊水地ブロックでは飛行時間23分、地上風速秒速1m~2mでバッテリーの残量は37%であり、木興・長田遊水地ブロックでは飛行時間24分、地上風速秒速2m~4mでバッテリーの残量

が28%であり、どちらもバッテリー消費量は許容範囲である。

支障物件影響範囲の巡視方法としては、カメラ操作により支障物件撮影範囲の確認が可能であり、遠距離確認は映像安定化のためホバリング時間の確保が必要である。

(6) 第6回実証実験 (本番を想定したドローン巡視)

a) 概要

基礎検討の再現性、運用手順の確認として、出水時本番を想定したドローン巡視を現行巡視と同時に行った。

リアルタイム映像配信技術との連携効果確認として、ドローンの飛行位置と撮影映像を6カ所にリアルタイム配信を行った。(写真-5)



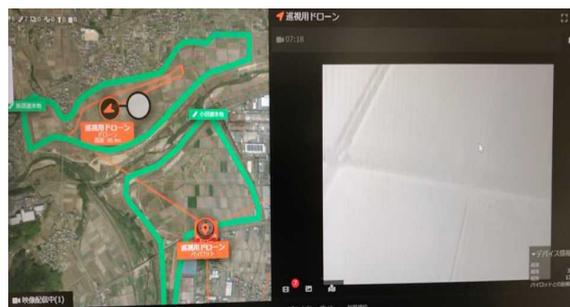
(写真-5 集中管理センターでの監視実験)

b) 結果

可視画像が使えない夜間でも温度差により人の検出が可能だった。懐中電灯で照らす範囲より広い範囲をまとめて確認でき、2遊水地を30分程度で網羅的に監視可能だった。自律飛行巡視により現行手法の半分の体制で巡視でき、移動も最小限で安全性も確保できた。

場所や時間帯によって影響度は変化するがドローン周辺でWi-Fi電波が多いと電波干渉が発生した。

リアルタイム配信では、複数の関係者から現場状況のリアルタイムが共有可能であり、飛行位置の共有により現場への迅速な応援急行が可能である。配信先から赤外線映像の判読支援が可能であり、配信映像はクラウドに保存されるため記録・検証できる。(図-9)



(図-9 リアルタイム映像配信の状況)

(7) 第7回実証実験(避難勧告・誘導の方法の検証)

a) 概要

受信電波強度の安定を確認するため、離発着場所・飛行範囲の変更と通信機器配置の見直しを行った。

ドローン搭載スピーカー(写真-6)の活用効果の確認として、聞き取り可能な音量計測、試験放送を実施した。バッテリー消費量の確認として、スピーカー搭載ドローンで全コースを飛行した。



(写真-6 スピーカー搭載ドローン)

b) 結果

受信電波強度の安定は、離発着場所の変更により最遠端での映像の乱れが減少し、カメラアングルを調整した撮影でも巡視可能だった。送信器周辺での携帯電話やWi-Fi利用の最小化は必須であり、電波干渉の多い時間帯は機内モードの活用も効果が大きかった。

聞き取り可能な音量計測は昼間、高度80mから100db以上の音量で音声の聞き取りが可能だった。試験放送の実施を行い自身上空からの呼びかけにより我が事と認識しやすく、ドローンの接近により切迫感を感じやすい。

スピーカー搭載ドローンによる全コース飛行の結果は、小田・新居ブロックでは、飛行23分地上風速秒速0~3mでバッテリーの残量が30%だった。木興・長田ブロックでは、歩行時間24分地上風速秒速0~3mでバッテリーの残量が26%だった。

4. 考察

今回のドローンを活用した実証実験では、自立飛行、赤外線カメラ及びリアルタイム映像配信技術の組み合わせは非常に有効であり、遊水池巡視の新たな選択肢に成り得ることが実証された。一方で、飛行関係・安全面・メンテナンス等の課題も生じた。また、木津川上流河川事務所では以前より、遊水地の巡視にかかる要員の捻出に苦勞してきた経緯がある。ドローン巡視により省人化が可能な一方で、これを成し遂げる体制の構築が必要であり、経験の浅い職員や委託で行う事を考えた場合、今後どのようにして本格運用まで持って行くかが重要である。本格運用に持って行くためにこれまでの実証実験で得られた課題を解決していく必要がある。

5. 今後の課題と展望

(1) 今後の課題

ドローンは、業務や災害において活用の幅は広がっているが、職員自身が業務において操縦を必要とする場面はほとんど無い。当事務所においても、今回の実証実験においてドローン巡視の有効性は確かめられたが、操縦できる職員がいない。今後は、当事務所においてドローンを操縦できる人材の育成と継続的な人材確保が大きな課題となっている。

その他には、赤外線の判読向上、自動充電・自動離着陸の飛行関係の課題、雨量や風速によってドローンが落下しないかなどの安全面の課題、機体メンテナンスなど多くの課題がある。

(2) 展望

ドローン巡視の有効性を確認できた一方で、様々な課題も洗い出してきた。現在はドローン巡視による省力化を目的としているが、今後これらの諸課題の解決や、技術力の向上により将来的にはドローン巡視完全無人化の実現に近づき、またダムや堰の放流前の巡視など多様な面で活用できる。これからも引き続きドローン巡視による省力化、完全無人化を目指し実証実験を実施していく。

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。

コスト評価に基づくコンクリート構造物選定 マニュアル（試行案）の策定 —さらなる生産性向上を目指して—

松寄 教子¹・多田 清富²

¹近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 企画部 企画課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

近畿地方整備局では、コンクリート工の規格の標準化等による全体最適の導入により、建設現場の生産性向上の取り組みを推進している。その一つであるプレキャスト製品の活用について令和3年5月に産官学で構成する『近畿地方整備局プレキャスト化推進検討会』を立ち上げ、特に現場ニーズが高いボックスカルバートとL型擁壁について設計段階から工法選定に活用するための検討を行い、コスト評価に基づいたコンクリート構造物選定マニュアル（ボックスカルバート・L型擁壁編（試行案））をとりまとめた。

キーワード i-Construction, 生産性向上, プレキャスト製品, 工法選定, マニュアル

1. はじめに

プレキャスト製品はこれまでも様々なコンクリート構造物に活用されているが、工法選定における定量的な評価手法が確立されておらず、工法選定時には、初期コストが優先されることが多い。一方で建設業団体などからは、省人化や、工期短縮による現場作業の効率化等の建設現場の生産性向上の視点を加えた具体的な工法の選定方法と更なる活用推進の要望を受けていた。

このような背景のもと近畿地方整備局では、産官学で構成する『近畿地方整備局プレキャスト化推進検討会』を立ち上げ、現場のニーズが高いボックスカルバートとL型擁壁について、設計段階からの工法選定への活用方法の検討を行い「コンクリート構造物選定マニュアル（ボックスカルバート・L型擁壁編（試行案））（以下、「マニュアル（案）」という）」を令和4年3月にとりまとめた。

本マニュアル（案）においては、現場条件等による制約や初期コストによる評価に加えて、コスト換算が可能な「ライフサイクルコスト(LCC)」や「プレキャスト製品の標準化が進むことによるコスト低減の可能性」を加え、定量的に評価する方法を検討した。また、現状においてコスト換算が困難なものについても、現場条件に応じて反映できるように定性的な評価についても検討し、マニュアル（案）「本編」にとりまとめ、このほか、工法選定時の比較検討例、設計・施工・維持管理の留意点、

プレキャスト製品の活用事例と不具合事例及び参考図書を「参考資料」にとりまとめた。

2. コンクリート工を取り巻く現状と課題

(1) 建設現場における就業者数

建設現場における就業者数は、2020年時点で約492万人で、ピーク時（1997年時点）の約685万人から約28%ほど減少している。現在就業者の内、60歳以上の高齢者が約25%であるのに対し、将来の建設業を担う若手の入職者は11.1%と不十分である。

また、建設業における長時間労働は全産業平均と比較して年間300時間以上多く、他産業では浸透しつつある週休2日は建設業全体の1割程度しか取得ができてない。

このように、引き続き求められるインフラ整備に対応するためには、労働生産性を上げることにより担い手不足のフォローをするとともに、労働環境の面からも魅力ある建設業にしていくことが不可欠である。

(2) コンクリート工の生産性

トンネル工事の生産性は約50年間で最大10倍向上しているのに対して、直轄工事の全技能労働者の約4割をも占めるコンクリート工の生産性は約50年間変わっていない。

この要因として、現場打ちコンクリートは、土工、足場工、型枠工、鉄筋工、コンクリート打設工、養生などの工程が多いほか、天候による工程への影響を受けやす

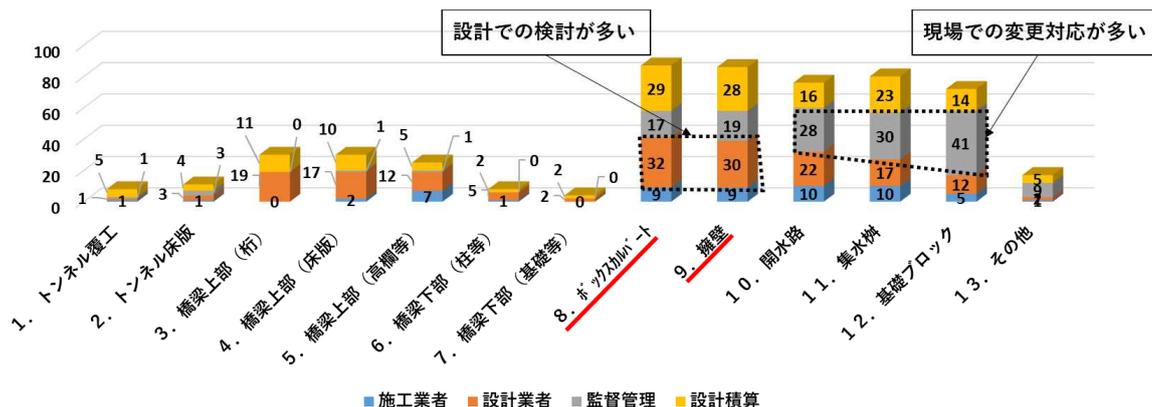


図-1 プレキャスト化に対する現場のニーズ

いことが挙げられる。このように現場打ちコンクリートは構造物が完成するまでに制約が多い工種であり、コンクリート工の生産性を高めるためには、これらの制約に対して工程の簡素化や平準化が課題であると考えられる。こうした背景により近畿地方整備局では全体最適を図るためコンクリート工における現場打ち工法及びプレキャスト工法の選定方法について着目することになる。

3. 建設業団体からの要請や現場におけるニーズ

2章で述べた建設現場の課題を解消するためには、現場における工程が簡素化かつ平準化され、天候の影響を受けにくい工場製作品であるプレキャスト製品の導入が効果的と考えられる。しかし、現状では生産性向上の観点での工法選定は手法が確立しておらず、現場条件による制約以外においては、多くの場合で設計段階及び施工段階において初期コストの比較や設計段階に予測出来なかった現場状況などにより現場打ちコンクリートが選定されているのが実態であった。

そこで、プレキャスト製品の活用について、(一社)日本建設業連合会関西支部及び(一社)建設コンサルタンツ協会近畿支部の協力を得て現場におけるニーズを調査した(図-1参照)。

(1) 建設業団体からの要請

- ・週休2日等の休日の原資を確保するため、工期短縮や省人化に効果の高いプレキャスト製品の活用促進が必要不可欠である。
- ・全体最適の観点からも当初設計段階からプレキャスト製品の採用が必要である。
- ・コスト比較だけでなく、プレキャスト製品の活用効果を含め総合的に評価する仕組みの全国展開が求められる。

(2) 現場におけるニーズ

- ・設計者・発注者からは、ボックスカルバート・擁壁

のプレキャスト製品のニーズが高い。

- ・開水路・集水樹・基礎ブロックは、現場条件により施工時に現場打ちからプレキャスト製品へ変更対応している実績がある。

4. プレキャスト製品の工法選定の実態把握

建設業団体に行った現場におけるニーズ調査によると、ボックスカルバートや擁壁は重要構造物であるため、設計段階において現場の調査も緻密に行うことが多く、まず現場条件により工法選定される。現場打ち又は、プレキャスト製品の施工可否の検討を行い、どちらでも施工可能であれば、現場条件に制限されない場合は初期コストにより比較され、おおよその場合で現場打ちコンクリートが選ばれる状況である。

一方、施工段階においては、設計段階に予見できなかった現場状況などによりプレキャスト製品による施工への変更が検討される場合がある。

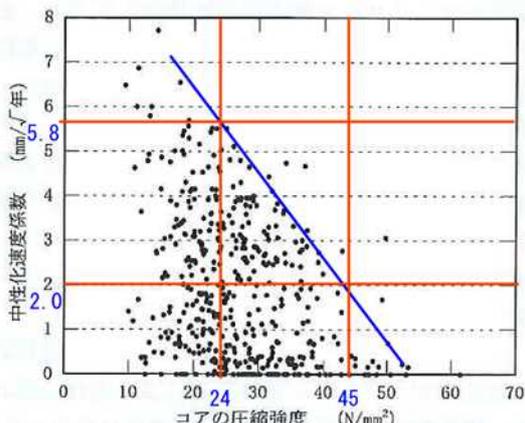
建設業団体や現場からの要請やニーズ、プレキャスト製品の工法選定の実態把握の結果から、これまでの初期コストのみの比較による工法選定ではなく、生産性向上の観点も取り入れた工法の選定方法を検討し、受発注者が共に取扱いしやすいマニュアル化することが求められる。

その結果、プレキャスト製品の促進が望まれ、中でもニーズの高いボックスカルバートとL型擁壁のプレキャスト化を進めるべくマニュアルの作成をすることとした。

以下、マニュアル作成の検討内容を示す。

5. プレキャスト化による付加価値とコスト評価

プレキャスト製品は工場で作成されることから、製品の均質化や構造物の品質向上が期待できる。また、製品の規格の標準化と活用が進むことで、工場における生産の効率化に伴う調達コストの低減、現場における生産性向上、働き方改革の進展、環境負荷低減などの付加価値



「土木技術資料42-12 (2000) コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果」
(平成12年2月 (一財) 土木研究センター) ③に一部加筆修正

図-2 圧縮強度と中性化速度係数の関係

表-1 圧縮強度と中性化期間の関係 (試算例)

	一軸 圧縮強度 (N/mm ²)	中性化 速度係数 α	鉄筋の かぶり d (mm)	中性化 までの期間 t (週)
現場打ち	24	5.8	50	74
プレキャスト 製品	45	2	25	156

$$d = \alpha \sqrt{t}$$

「土木技術資料42-12 (2000) コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果」
(平成12年2月 (一財) 土木研究センター) ③を参考に試算

が期待される。

そのような付加価値を、プレキャスト製品の導入に向けて、初期コスト以外の要素として評価に加えるための検討を行った。

本検討では、初期コストのほか、施工者、設計者、プレキャスト製品関係者等へのヒアリングおよび文献調査等により得られたライフサイクルコスト(LCC)や、プレキャスト製品の標準化が進むことによるコスト低減の可能性についてコストに換算し、工法選定時のコスト評価に加えることとした。また、プレキャスト製品の活用による効果としては、工期短縮効果、働き方改革への寄与、安全性向上、環境負荷軽減なども考えられるが、コスト換算が困難なものとして、本マニュアル(案)ではコスト換算による効果としては考慮していないため、個々の現場条件や必要に応じて反映できるものとしている。

(1) ライフサイクルコスト(LCC)

設計供用期間は、適切な点検・維持補修を行うこととして100年と設定した¹⁾。補修サイクルや補修内容は、既往の文献を参考に以下の考え方で設定した。

a) 品質

プレキャスト製品は現場打ちに比べて使用されるコンクリートの水セメント比が低く、成形や養生の環境がよいこと、製造・出荷時の検査体制も十分なことから安定

表-2 床版のライフサイクル

床版形式	初期建設後の寿命	部分補修の時期 (初期建設後)
RC床版	50年	25年
プレキャストPC床版	100年	50年
現場打ちPC床版	100年	50年
合成床版	100年	50年

「鋼橋のライフサイクルコスト」(平成12年2月 (一社) 日本橋梁協会)⁴⁾
に一部加筆修正

した品質を確保できる。また高強度コンクリートの使用によりコンクリートが緻密になり劣化要因の物質移動抵抗性が高いことから構造物の劣化要因が少なくなり、点検などの維持管理作業全体の効率化が期待できると考えられる²⁾。

b) 耐久性

プレキャスト製品及び現場打ちで使用されるコンクリートの圧縮強度と中性化速度の関係³⁾を図-2に示す。表面から鉄筋位置までの中性化期間を試算したところ、中性化までの期間が、現場打ちで約74週、プレキャスト製品が約156週とプレキャスト製品は現場打ちに比べて鉄筋位置までの中性化期間が約2倍であった(表-1参照)。なお、中性化速度は、強度、水セメント比、養生等の影響を受けると考えられるが、本試算では、強度の違いのみに着目した。

c) 補修サイクル

床版劣化のライフサイクルコスト⁴⁾に記載された部分補修の時期は、RC床版(現場打ち)の25年に対し、プレキャストPC床版(プレキャスト製品)は50年と2倍程度のプレキャスト製品の優位性が認められる(表-2参照)。そこで、プレキャスト製品はプレキャストPC床版と同様に水セメント比が低く、高強度コンクリートを使用しているため、同程度の優位性を有するものとした。

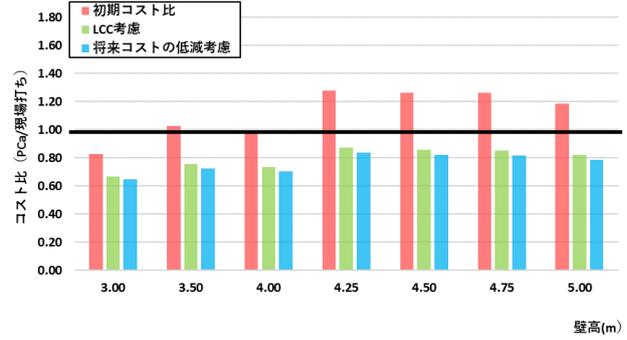
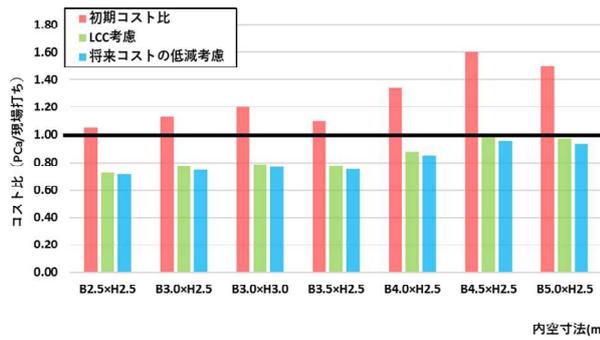
以上から、100年間に必要な補修回数として、現場打ちが4回、プレキャスト製品が2回とした。コンクリート構造物の補修内容は、表面被覆で内空表面積の100%、断面修復で内空表面積の10%を計上することとした⁵⁾。

このようにライフサイクルコスト(LCC)の算定を行ったが、算定方法については今後の研究開発や点検・補修データの活用が期待されることであり、今後も最新の知見を反映していく必要がある。

(2) プレキャスト製品の標準化が進むことによるコスト低減の可能性

プレキャスト製品のコストは、プレキャスト製品の標準化が進むことにより、工場製作における型枠製作の効率化や転用回数の増加、施工時期の平準化により在庫管理の効率化などにより低減されることが期待される。

また、工事現場においても施工管理の効率化によるコスト低減の期待もあることから、分割することなく運搬



「コンクリート構造物選定マニュアル (ボックスカルバート・L型擁壁編 (試行案)) 本編」(令和4年3月 近畿地方整備局)より抜粋

図3 分割することなく運搬可能な規格毎の比較 (左:ボックスカルバート, 右:L型擁壁)

表2 分割することなく運搬可能な規格の目安

	分割することなく 運搬可能な製品	分割して 運搬する 必要があるもの
ボックス カルバート	幅(B)3m×高さ(H)3m以下 上記に加え下記も可 B3.5m×H2.5m×L2.0m B4.0m×H2.5m×L1.5m B4.5m×H2.5m×L1.0m B5.0m×H2.5m×L1.0m	左記以外
L型擁壁	高さ(H)5m ×底版長(B)3m以下	左記以外

表3 大型ボックスカルバートのコスト比較評価

		高さH(m)		
		4.5	5.0	6.0
幅B (m)	4.0	—	0.89	0.92
	4.5	0.98	0.97	—
	5.0	0.99	0.96	0.98
	5.5	1.04	0.95	—
	6.0	1.04	0.98	0.97
	6.5	1.04	1.03	—
	7.0	1.10	1.09	1.13
	7.5	1.11	1.10	—
	8.0	1.16	1.13	1.11
	8.5	1.18	1.16	—

※「—」: 計算結果がないことを示す

可能な規格を対象に建設業団体へのヒアリング等により得られたコスト低減効果を計上した。

プレキャスト製品の標準化が進むことによるコスト低減の可能性については、ヒアリングを行ったところ製品費用は約7%、施工費用は約5%であったことから将来コストの低減の効果として計上した。

6. コスト評価によるプレキャスト化の範囲

(1) コスト比較 (分割することなく運搬可能な規格)

セミトレーラーでプレキャスト製品を分割しないで運搬できるプレキャスト製品の規格 (以下、「分割することなく運搬可能な規格」という) については、「初期コスト」、「ライフサイクルコスト(LCC)」、「プレキャストの標準化が進むことによるコスト低減の可能性」を踏まえてコスト比較を行った結果、標準寸法として規格化されたものにおいて全てのプレキャスト製品の優位性が確認できたため、標準化された規格については、プレキャスト製品を選定することとした (図3 参照)。特殊車両により分割することなく運搬可能な最大寸法の規格の目安を表2に示す。

(2) コスト比較 (分割して運搬が必要な規格)

分割して運搬が必要な大型構造物については、「初期

コスト」「ライフサイクルコスト(LCC)」を踏まえてコスト比較した結果を踏まえて、内空の幅と高さ(B×H)に応じた工法の選定方法とした。

なお、プレキャスト製品の大型構造物は、現地一品生産のため、プレキャストの標準化が進むことによるコスト低減の可能性は期待できないため考慮していない。

ボックスカルバートのプレキャスト製品がコスト優位となった範囲 (内空の幅と高さ(B×H)) は下記の通りであり、この規格の範囲においてはプレキャスト製品を選定することとした (表3, 図4 参照)。

- ・ $B \leq 5.0\text{m}$ かつ $H \leq 6.0\text{m}$
- ・ $5.0\text{m} < B \leq 6.0\text{m}$ かつ $5.0\text{m} \leq H \leq 6.0\text{m}$

コスト評価によりプレキャスト製品がコスト優位とならなかった大型ボックスカルバートについては現場打ちとした。なお、本検討においては、土被り3m以下の標準的な現場条件を想定して算定しており、地盤条件が著しく悪い場合や、大規模な仮設を伴う場合については、個別の検討を行う必要がある。

L型擁壁の壁高(H)については、5mを超えるプレキャスト製品は、コストの優位性が確認されていないことから現場打ちとした。ただし、現場条件等によってはプレキャスト製品が優位になることもあるため、必要に応じて個別に検討を行うこととした。



図4 大型ボックスカルバートのコスト比較結果

マニュアル(案)のフォローアップを行う。

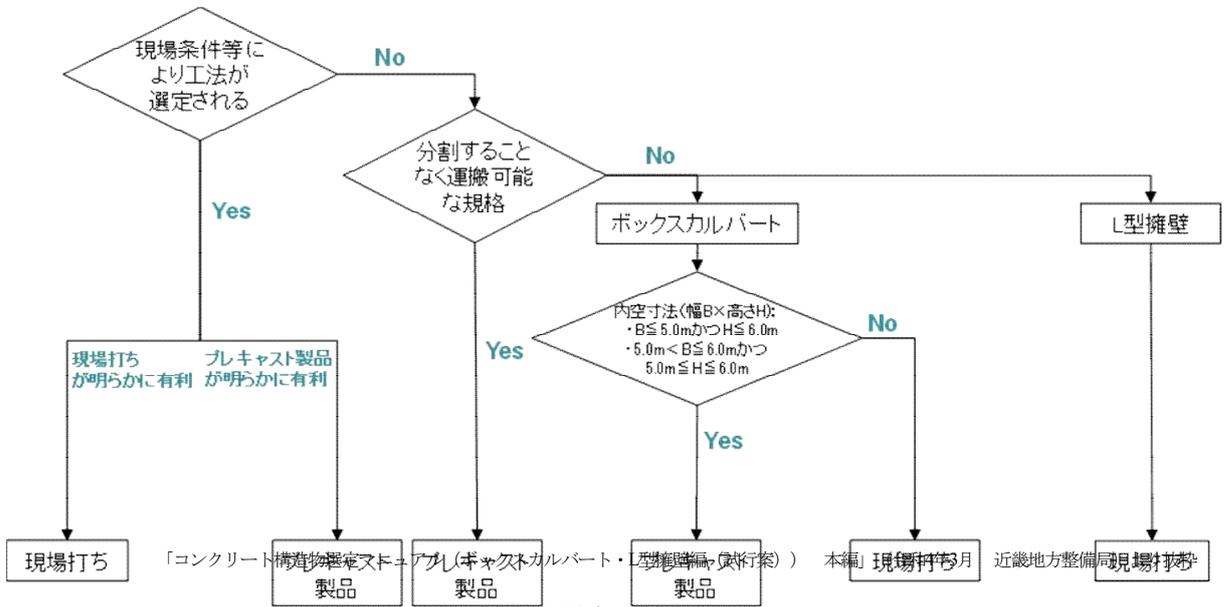


図5 工法選定フロー

7. 構造形式の工法選定フロー

本検討の結果から、標準的な比較工法選定時の工法選定フローを作成し、マニュアル(案)に掲載した(図-5参照)。

8. おわりに

建設現場の生産性向上の取り組みを推進するため、特に現場ニーズが高いボックスカルバートとL型擁壁について設計段階から工法選定に活用するための検討を行い、コスト評価に基づいた「コンクリート構造物選定マニュアル(ボックスカルバート・L型擁壁編(試行案))」をとりまとめた。今後はさらなる事例収集・分析を行い、

本マニュアルの活用のもと、働き方改革と生産性向上の観点からの評価も検討し、本マニュアルの見直しとともに、ボックスカルバート、L型擁壁以外の構造物についても構造形式の最適化など、「全体最適の導入(コンクリート工の規格の標準化)」について検討していく予定である。

また、現在取り組んでいるインフラDX(デジタルトランスフォーメーション)の取り組みと連携したプレキャスト製品の活用により、自動化施工への取り組みや製品情報、設計や施工の情報共有により以下の様な建設生産プロセスの変革などが期待される。

(1) 製品情報の共有

BIM/CIMの導入に伴うプレキャスト製品の3次元データと設計段階のデータの統合化等により、製品から設計、

施工，維持管理に至る情報の共有化。

(2) 自動化施工，無人化施工

プレキャスト製品の製作時にIC タグを埋め込んだ自動化施工の技術が実用化されつつあり，今後のプレキャスト化の普及に伴い，自動化施工の技術開発の推進が期待される。また，施工現場での労働災害リスクの低減や担い手不足の解消に対し，無人化施工の活用拡大。

(3) 現場管理の生産性向上

BIM/CI，ICタグ，QR コード等の活用により，プレキャスト製品の製作工場や現場での品質管理・施工管理における書類作成時間が削減されることによる生産性向上。

当マニュアル（案）により，定量的な評価手法をもってプレキャスト製品を適切に活用し，今後建設現場における省人化や，工期短縮による現場作業の効率化等の建設現場の生産性向上に寄与できることを期待するとともに，インフラDXと連携した関係者の更なる取り組みとあわせて，魅力的な建設業界となる大きな一歩となることを望む。

謝辞

本マニュアル（案）のとりまとめにあたり『近畿地方整備局プレキャスト化推進検討会』の委員長をお引き受

けいただきました京都大学学際融合教育研究推進センター インフラシステムマネジメント研究拠点ユニット 特任教授 宮川 豊章先生をはじめ，大阪工業大学 学長 教授 井上 晋先生，並びに関西大学環境都市工学部 都市システム工学科 教授 鶴田 浩章先生，また（一社）日本建設業連合会，建設コンサルタンツ協会近畿支部の委員の皆さま，近畿地方整備局の委員の皆さま，そして『近畿地方整備局プレキャスト化推進ワーキンググループ』にご参加いただいたメンバーの皆さまには，様々なご指導，資料提供やご意見を賜りましたおかげで，マニュアル（案）としてとりまとめ，発表することができましたことを，感謝申し上げます。

参考文献

- 1)（公社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編（平成29年3月）
- 2)（一社）道路プレキャストコンクリート製品技術協会：道路プレキャスト工指針（平成29年10月）
- 3)（一財）土木研究センター：土木技術資料 42-12（2000）コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果（平成12年2月）
- 4)（一社）日本橋梁協会：鋼橋のライフサイクルコスト（平成12年2月）
- 5)土木研究所（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会：ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(I)（平成13年3月）

航空レーザー測深（ALB）を活用した 河川状況の把握と今後の展開について

川野 竜平

兵庫県 土木部 河川整備課 河川武庫川整備班（〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1）

本論文は、水中測量が可能で陸上から川底までをシームレスに三次元地形データが計測でき、面的かつ連続的な河道形状の把握が可能となる航空レーザー測深を用いて、大河川において連続的に河川全体の堆積土砂や、洗掘状況を把握をしていき、より高度な河川管理を構築することを提案する。さらに航空レーザー測深を用いれば、これまで目視で判断していた堆積土砂撤去や樹木伐採の優先度を明確化し、効率的かつ計画的に河道管理を行うことができると期待できるため、現在の途中経過を報告するとともに、今後の展開について考察していくものである。

キーワード 航空レーザー測深（ALB）、事前防災、河川管理の高度化

1. はじめに

近年、豪雨災害が激甚・頻発化し、水害リスクが増大する中、現況河川の治水機能が出水時に最大限発揮できるよう戦略的な維持管理の必要性がこれまで以上に増している。その中でも、堆積土砂の撤去は河川の流下能力の確保に直結し、治水機能を維持するための重要な施策である。従前は、大規模出水で堆積した土砂は補正予算を組んで事後的に撤去してきたが、今後は事前防災の観点から、河川の有する流下能力を十分に確保するため、計画的かつ重点的に実施する必要がある。そのため、河川管理の高度化・効率化を目指し、従来の河川巡視（目視）に加え、水面下を計測できる航空レーザー測深機（図-1）（Airborne Laser Bathymetry（以下、ALB））による3次元測量を実施し、堆積状況等を把握することとした。

兵庫県では、令和2年度から加古川（兵庫県管理区間）・明石川・市川・千種川において、試行的にALBによる本川の測量業務を実施している。本論文は、その測

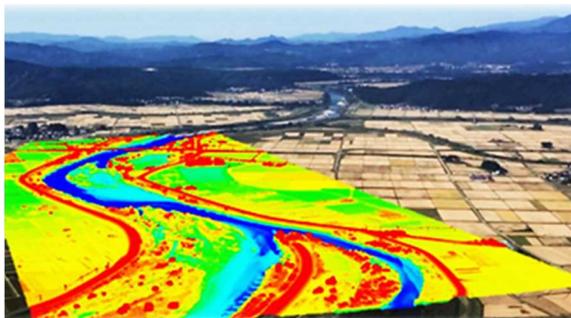


図-1 ALB計測イメージ

量結果をもとに土砂の堆積状況を分析し、堆積土砂撤去を計画的に実施するための優先箇所を選定に関する検討の取組について、途中経過ではあるが紹介する。また、ALBにより測量した3次元データが、今後どのような活用ができるか考察する。

2. ALBの概要と河川管理への活用

(1) ALB測定の仕組み

ALBは、一般的に陸上部で使用されている近赤外レーザーと、水中の状態を把握するグリーンレーザー（水中の測深能力は約3m）を組み合わせ、従来の陸部の地形データと水底の地形や構造物の高さと座標を点群データとして測量する航空レーザー測量システム（図-2）である。従来の現地測量とは違い、広大な面積に対して縦横断測量の工程を大幅に短縮することができ、コスト面でも安価と一般的に言われている。また、危険な現地への立入が不要なため、作業の安全確保、環境への負荷を軽減できる。

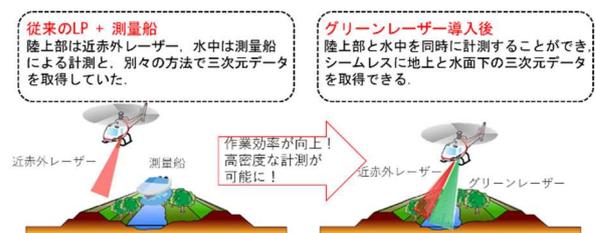


図-2 ALBのイメージ

計測データの照射密度は、1 m²の範囲で陸域は16点以上、水域は4点以上であり、計測精度は標高値較差の平均値の絶対値±0.25m（作業規程の準則）である。なお、本業務での成果では、-0.08～0.04mで良好な数値であった。

(2) 河川管理への活用

ALBにより水中の河床等の詳細な地形を把握できるため、経年的な変化を比較することにより土砂の堆積傾向などを把握でき、重点的に管理すべき箇所を洗い出すことが可能となる。また、河岸浸食の状況や護岸前面の深掘れの状況などを把握でき、定期的な測量を実施することでより正確かつ容易に河道の変化を捉えることができるため、高度な河川管理を実現することが可能となる。

3. 堆積土砂状況の把握と土砂撤去計画への活用

(1) 基準河床高及び土砂堆積率の設定

土砂堆積率を求めるためには、土砂撤去を実施する基準となる河床高を設定する必要がある。

まず、河川整備計画により計画河床高を設定されている区間はそれを採用し、計画河床高が設定されていない区間は、河川内横断工作物位置での河床高を縦断的に結んだラインを基準河床高とし、これを「土砂撤去基準河床高」とすることとした。

土砂堆積率については、H.W.L以下の断面において、堆積土砂が占める割合(図-3)とした。

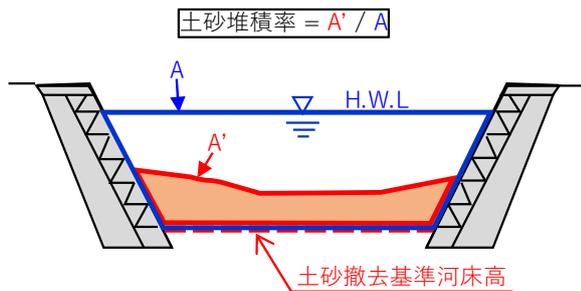


図-3 土砂堆積率の算定

(2) 現況流下能力を加味した優先度の設定

土砂撤去箇所の優先順位を検討するにあたり、単純に土砂堆積率だけで選定すると、治水効果に直結しない曖昧な選定となる可能性がある。そのため、現況流下能力を把握したうえで、計画流量と比較し、真に優先度が高い箇所を選定することとした。現況流下能力は等流計算により算定することとした。

(3) 箇所特性の整理

土砂が堆積しやすい箇所としては、河川合流部・湾曲部・橋梁部等があげられる。また、土砂撤去の優先度の指標として箇所特性を整理するため、河道形状（築堤、掘込み、パラペット、山付け）や背後地の状況等も整理することとした。さらに、優先度を明確にするために、DID地区に隣接している箇所と、各河川の洪水浸水想定区域を用い、想定最大規模洪水時の0.5m以上のメッシュが存在する箇所も併せて整理することとした。

(4) 諸条件から優先箇所の設定の提案

土砂堆積率、流下能力、箇所特性等を整理し、優先箇所を設定するため(表-1)に示すデータベースを作成している。

この表からは、⑦土砂堆積率と⑧流量比率を点数制として評価できるようにし、⑨にまとめている河川特性により加点していき、点数が高い箇所ほど優先度が高いこととする。そして、図4のALB測量結果図から洗掘状況や背後地等の状況を考慮のうえ、総合的に判断し、優先順位をまとめていきたいと考える。

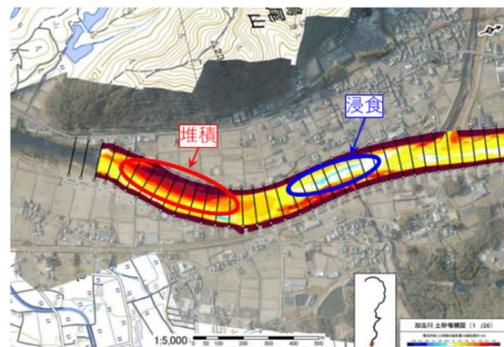


図-4 ALB測量結果

表-1 データベースのとりまとめ案

① 距離標	② 整備 計画 区間	③ 土砂堆積部 面積 (m ²)	④ 追加距離 (m)	⑤ 平均断面 (m ²)	⑥ 堆積土砂 (m ³)	⑦ 土砂堆積		⑧ 流下能力			⑨ 河川特性						
						土砂堆積率		流量比率		DID	合流部	湾曲部	橋梁部	重要水防 箇所	浸水 区域		
						計画面積	堆積面積	計画流量	現況流下能力								
51.000	1	225.950	250.0	172.967	43,242	755.00	225.95	0.30	2100	3390.90	1.61	0	0	1	0	0	1
51.250	1	119.983	250.0	110.108	11,011	747.64	119.98	0.16	2100	1871.28	0.89	0	0	1	0	0	1
51.500	1	100.233	100.0	71.279	14,256	723.86	100.23	0.14	2100	1954.27	0.93	0	0	0	0	0	1
51.600	1	42.324	200.0	188.638	37,728	749.29	42.32	0.06	2100	1882.43	0.90	0	0	0	0	0	1
51.800	1	334.952	200.0	266.485	53,297	1048.61	334.95	0.32	1600	1367.62	0.85	0	1	1	0	0	1
52.000	0	198.018	200.0	131.553	26,311	687.86	198.02	0.29	1600	2105.83	1.32	0	0	1	1	0	1
52.200	0	65.087	200.0	34.603	6,921	499.76	65.09	0.13	1600	1744.77	1.09	0	1	1	1	0	1
52.400	0	4.118	200.0	89.456	17,891	434.57	4.12	0.01	1600	1409.56	0.88	0	0	0	0	0	1
52.600	0	174.793	200.0	146.643	29,329	649.20	174.79	0.27	1600	1137.88	0.71	0	0	0	0	0	1
52.800	0	118.492	200.0	75.963	15,193	679.62	118.49	0.17	1600	1135.05	0.71	0	0	0	0	0	1

これまでの目視による河川管理から、ALB測量図面及びデータベースによる数値根拠により管理の高度化が期待でき、本川の土砂堆積状況の把握が可能となることで、計画的に土砂撤去が行え、事前防災の推進に寄与する。

4. 今後の展開について考察

(1) 河川専用ビューソフトの開発

本業務で計測した3次元データから、河川専用のビューソフトを開発している。イメージとしては、GoogleMapのストリートビューのように、河川上を歩いて確認できる「(仮名)リバービュー」。このソフトを活用することで、堆積傾向や河川周辺の人家の状況、護岸形状を把握できるとともに、蓄積したデータにより、河川の堆積・洗掘状況が把握できるなど、現地に行かなくても河川状況が把握できるように開発している。なお、このソフトは、職員のパソコンで操作できるようにした。

a) 堆積箇所及び洗掘箇所の把握の活用(図-5)

現況と計画河床の対比による土砂堆積、洗掘の範囲や土砂量について、断面や解析結果を確認でき、ビューワ上で段彩図により一目で堆積状況を把握することができる。

b) 3次元での河道形状把握の活用(図-6)

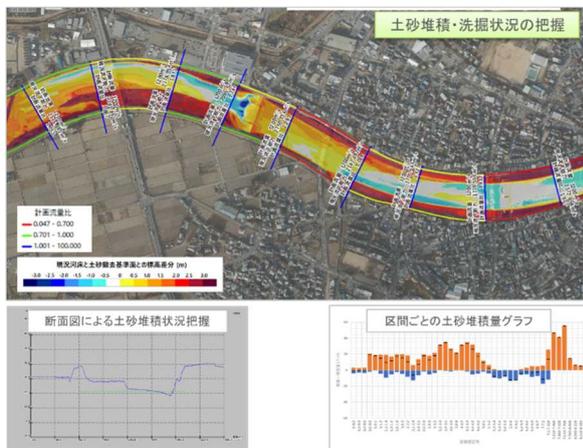


図-5 土砂堆積・洗掘状況の把握

任意位置において3次元ビュー(リバービュー)に変換することができ、河道形状を把握できる。段彩図と併せて閲覧することができ、立体的に河川の形状を把握することができる。

c) 浸水リスクの把握(図-7)

H.W.Lと地盤高の比高を算出し、色区分しているため、堤内地の地盤高の把握と、土地の浸水リスクを確認できる。

d) 樹木管理への活用(図-8)

10mピッチの植生による河道断面障害率を確認できる。障害率の色区分により、樹木伐採の優先度にも活用することができる。

e) 堆積土砂撤去工事の設計書作成への活用

ALBの成果を活用することにより、i-Constructionをさらに進めることができる。一例として工事箇所毎において設計段階で実施する測量が、ALBの成果を活用することで省くことができ、調査・測量段階における省力化に寄与できる。本ソフトにより、任意位置での平面図、縦横断面を出力できるよう開発している。

(2) ALBの活用による維持管理の可能性について

ALBによる測量を活用することにより、さらなる維持管理の高度化が実現できる。今後の展開として、具体的な活用について考察した。

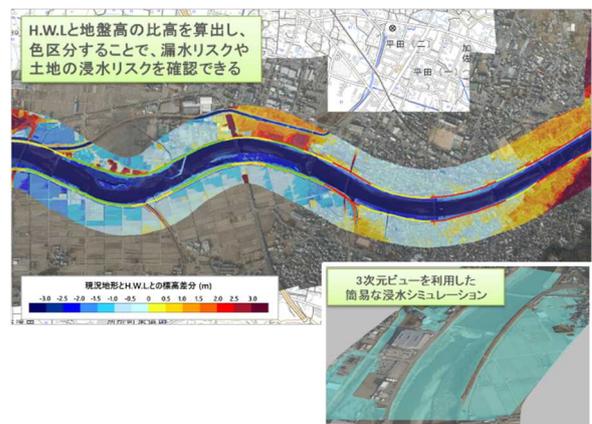


図-7 堤内地地盤高さ及び浸水範囲の把握



図-6 3次元による河道状況の把握

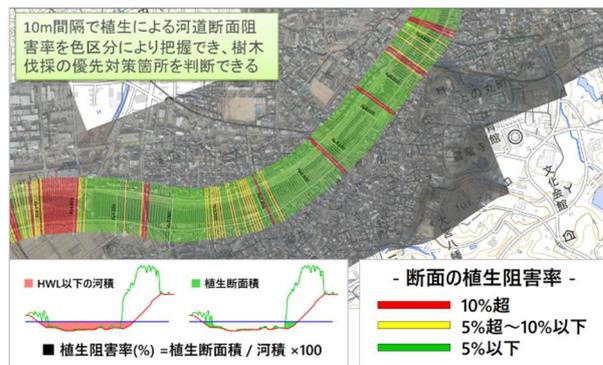


図-8 植生解析による河道内植生率の把握

a) 護岸高・形状の把握

数年毎に定期測量することで、堤防左右岸の高さの違いや、堤防はらみ出し、沈下（速度）状況等、目視で把握できない経年変化を捉えることが可能である。また、築堤形状を把握でき、カミソリ堤やH.W.L堤など堤防断面形状の確認が可能となり、より詳細に越水危険箇所の抽出が可能となり、水防活動に有効活用できる。

b) 河道形状の把握

植生解析により、樹木が繁茂した箇所の解析ができ、また立ち入り困難な箇所についても河道形状の把握ができるため、流下能力に関する詳細な検討が図れる。

c) 航空写真を用いた観測

全川の写真管理が可能となるため、護岸整備状況の把握や、占有者にデータを提供することで水管橋等の点検に活用できる。また、修繕計画や施工計画にも有効に活用できる。

d) 自然環境

瀬と淵の形状やその箇所等が面的かつ広範囲に把握できるため、河川環境調査の基礎データとして活用できる。

e) 不法盛土、不法占用等の把握

面的な変化を捉えることで、不法行為の客観的な把握が可能となり、適切な河川管理が行える。

(3) 今後の課題

今回の業務では基盤となるデータを作成し、今後は定期的に測量し情報を蓄積したいが、予算との兼ね合いにより、効率的な測量頻度の検討が必要である。また、点群データを含むため、蓄積されるデータは容量が大きいため、データの管理方法に課題が残る。本業務中で一定の方向性を見出すよう検討していきたい。

5. おわりに

今回の業務では、主要河川である加古川・明石川・市川・千種川を対象にALBによる河川測量を試行的に実施し、土砂堆積率、流下能力等を考慮した上で堆積土砂撤去の優先度を3.4で述べた指標により設定すべく検討している。これまでは地元要望や目視等により土砂撤去箇所を選定していたが、今回作成するデータベースを活用することで、効率的な土砂撤去が可能となり、事前防災の観点からより良い河川管理の高度化が実現できると考える。また、i-Constructionにも活用することができるため、今後の河川管理には3次元化を積極的に取り入れるべきだと考える。

なお、国土交通省でもDXの推進として3次元データへの移行を進めており、兵庫県内の河川でも、大河川からALB測量のエリアを順次拡大していき、紙ベースの河川台帳から3次元データへの移行を進めていくべきだと考える。業務改善の一環として、有効な業務だと考える。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）令和2年2月
- 2) 塩見優太. ほかに、三次元データを活用した河川管理の効率化・高度化の現状と展望. 河川総合研究所報告, 2020
- 3) 實村昂土. ほかに、航空レーザ測深（ALB）による河川・海岸線の計測事例紹介. 先端測量技術, 2016
- 4) 中村圭吾. ほかに、グリーンレーザを用いた航空レーザ測深（ALB）による河川調査の現状と可能性. 水環境学会誌, 2019
- 5) 中村圭吾. ほかに、グリーンレーザ（ALB）による河川測量とその活用. リバーフロント研究所, 2017

自治体所有施設における 特定天井改修のあり方提案 ～兵庫県立総合体育館を事例に～

上野 高寛

兵庫県まちづくり部営繕課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山路5-10-1)

東日本大震災での天井落下被害を踏まえ、地震時の人命確保・機能維持を目的とした建築物の天井耐震化が求められている。このような中で実施した兵庫県立総合体育館の特定天井改修について、改修工法選定や設計上の工夫等を報告するとともに、当事例を踏まえた自治体所有施設における天井耐震化の推進方策を提案する。

キーワード 天井落下、特定天井、改修工事、防災、災害対策

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災では、天井材の落下事故が多発し、直接的な人的被害だけでなく、公共施設が避難所として使えないといった機能上の被害が生じた。これを契機に、国土交通省では建築基準法令を改正（以下「改正建築基準法」という。）し、人が日常的に立ち入る場所の吊り天井で、高さ6m超、面積200㎡超、重量2kg/㎡超のいずれにも該当するものを「脱落によって重大な被害を生ずるおそれがある天井」として「特定天井」と定義するとともに、その技術基準を定めるなど、天井落下対策が強化されている。

本論では、兵庫県立総合体育館（以下「総合体育館」という。）における特定天井改修を事例として紹介するとともに、県内自治体で特定天井への対応が積極的に進んでいない実態に鑑み、本事例を通じて見えてきた自治体所有施設における特定天井改修のあり方を提案する。

2. 総合体育館における特定天井改修の経緯

(1) 県有施設における特定天井改修の取組状況

本県では、県有施設を計画的かつ適切に維持管理するため「兵庫県公共施設等総合管理計画」及びその個別計画「ひょうご庁舎・公的施設等管理プラン」を策定し、総量適正化、老朽化対策、安全性向上（耐震化）に取り組んでいる。老朽化対策では、平米単価に基づく安定的な予算確保の下、築年数に応じた周期的な改修に取り組む

体制となっている。

一方、既存の県有施設における特定天井改修については、計画的かつ全県的な対応が取られていない状況で、各施設に対応が一任されてしまっている。

(2) 特定天井改修を実施することとした経緯

総合体育館は、観覧席付きの大体育館、中・小体育館、格技室、会議室等の研修室、宿泊施設を備えており、県を代表する屋内体育施設である。日常的な地域スポーツでの利用、各種団体・学校の合宿での利用や各大会の開催、西宮市内の施設ということで春・夏の甲子園時に球児たちが一時利用するなどスポーツに関連して幅広く活用されている。大体育館は成人式などの各種式典会場としても利用され、県有施設で唯一、体操競技の公式大会が開催可能となっている。

大体育館の天井は、2014年4月1日に施行された改正建築基準法の「特定天井」に該当し、技術基準に適合していなかった。建築基準法では、改正建築基準法に適合していなくとも、建築時に適法であったものは増改築などの一定の建築行為がない限り法的な改修義務が生じない「既存不適格」として取り扱われ、大体育館の特定天井はこの既存不適格状態であった。

建物は築約30年（1985年7月完成）が経過し、老朽化対策のひとつである計画修繕の対象となった。計画修繕では防水や外壁などの外部改修による予防修繕を原則としているが、総合体育館では今後の施設利用における安全性を確保するため、予防修繕の範囲等を必要最小限に抑え、既存不適格状態である大体育館の特定天井を優先して改修することとした。

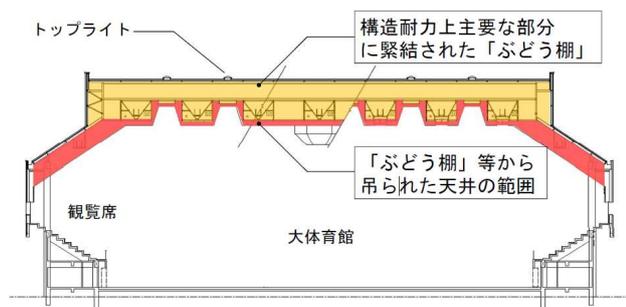


図-1 大体育館の既存天井 断面模式図

表-1 要求条件と各工法の評価結果

	天井レス化	軽量柔軟化		準構造化	特定天井化
		軽量天井	膜天井		
安全性	◎	○	○	○	△
意匠性	×	△	○	◎	△
音響環境	×	○	△	◎	△
工期	◎	○	○	△	○
費用	◎	○	△	○	○
適性	◎	△	○	◎	△
評価点	12	10	10	14	8

※評価点は◎=3点、○=2点、△=1点、×=0点で算出

3. 特定天井の改修工法選定プロセス

(1) 特定天井の改修工法

既存の特定天井における改修工法は、既往資料・文献等により多く論じられているところであり、「特定天井に該当させない工法」と「特定天井として改正建築基準法の技術基準に適合させる工法」に二分される。

特定天井に該当させない工法には、天井を設けないことで落下のおそれを排除する「天井レス化」、単位面積質量を 2 kg/m²以下とし落下時の危険性を低減する「軽量柔軟化」、建物の骨組となる支持構造部に天井材を張ることで吊り天井とせず、落下の可能性を限りなく低減する「準構造化」の3つがある。東日本大震災後、県立学校の体育館では原則として天井レス化とすることで天井落下対策が進められた。

特定天井として技術基準に適合させる工法は、仕様規定に適合させる方法、構造計算で仕様を決める方法、大臣認定を取得する方法があり、通称「特定天井化」と呼ばれる。また、既存天井に限ってはネット等の設置による「落下防止措置」も認められている。

(2) 改修工法の選定プロセス

総合体育館では、既存天井の現地詳細調査、要求条件の整理、要求条件を比較項目とした工法比較、施設の所有者及び管理者との協議を経て改修工法を選定することとした。

a) 既存天井の現地詳細調査

既存天井は、設備類を設置するための鉄骨フレーム「ぶどう棚」が設けられ、そのぶどう棚から天井が吊られる構成となっていた(図-1)。また、競技フロア上の水平な天井、観覧席上の勾配天井、大小計8か所設けられたトップライトの折上げ天井など、複雑な形状をなしていた。

天井仕上材は、その大部分に軽量の化粧グラスウール

ボードが使用されるなど、万が一の落下時に人的被害を抑える工夫がされていた。

b) 要求条件の整理

要求条件は、施設の所有者及び管理者の要望、工期・予算の制約、建物の利用特性や公共工事としての適性を踏まえ、6つに整理した。

1つ目は安全性である。公共施設という特性を踏まえ、災害時に避難所として機能維持できることが求められる。

2つ目は意匠性である。県を代表する施設として、既存のトップライト等を活かしたシンボル性を維持することが求められる。

3つ目は音響環境である。県施設で唯一、体操の公式大会が開催できる体育館として、演技に不可欠な音響環境の維持が求められる。

4つ目が工期である。設計時点での予約状況、予算年度による工事期間の制約を踏まえると、工事に当たり大体育館の利用を完全休止できる期間は6ヶ月に限られる。この期間内で実施可能な工法を採用する必要がある。

5つ目が費用である。計画修繕の予算であるため、最低限の予防修繕を行ったうえで、特定天井改修を実現することが求められる。

6つ目が公共工事としての適性である。メーカーや材料の指定を避け、どの施工者でも無理なく施工可能な工法とすることが求められる。

以上の6項目で改修工法を比較することとした。

c) 工法の比較・選定

6つの要求条件について優位性を評価するとともに、評価結果を点数化することで要求条件をバランス良く満たす工法を選定した。その結果、表-1のとおり「準構造化」を採用し、同じ形状・材料で仕上げることによって意匠性や音響環境を維持することとした。なお、「落下防止措置」は暫定的で既存不適格の根本的解消にならないため、工法選定の対象外とした。

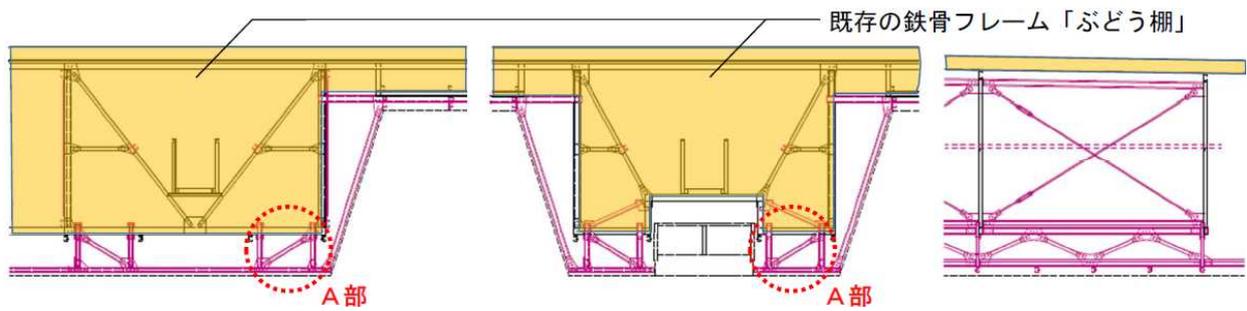


図-2.1 一般部

図-2.2 照明設備取合部

図-2.3 直交方向

図-2 追加する鉄骨フレームの概略図

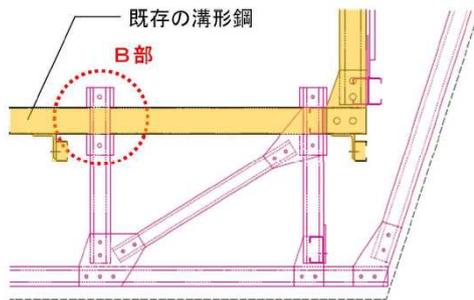


図-3.1 図-2：A部の拡大図

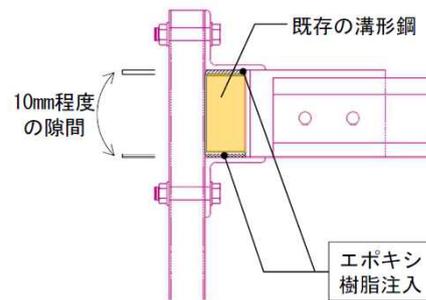


図-3.2 図-3.1B部直交工法の拡大図

4. 準構造化天井の設計

(1) 設計上の目標設定

準構造化の具体的な設計に当たっては、3つ目標を設定した。1つ目は工期・予算の制約を踏まえた「追加部材量の最小化」、2つ目が既存部材との精度調整に現場で対応できる「逃げしろの確保」である。最後に、施設を運用しながらの工事となることを踏まえ、工事による災害防止、特に来館者にも影響を与える火災の防止に配慮した「現場溶接・切断の回避」である。

(2) 追加部材量の最小化

天井の形状を維持するため、図-2のとおり既存ぶどう棚に新たな鉄骨フレームを追加する計画とした。鉄骨フレームは、既存を含めた各部材の許容応力度計算、部材追加による重量増を踏まえた全体架構の保有水平耐力計算を行い、安全性が確保される範囲で最小限の部材とした。

(3) 逃げしろの確保と現場溶接・切断の回避

図-2.1及び図-2.2のA部、図-3.1に示すB部について、あらかじめ工場製作した部材を既存部材に取り付ける逃げしろ（計10mm程度の隙間）を設け、普通ボルトによ

り固定し、その隙間にエポキシ樹脂を充填することで既存部材と一体化させる、火を使わない方法（以下、エポキシ樹脂固定）を採用した。

5. エポキシ樹脂固定の評価

施工者ヒアリング及び施工結果から、既存ぶどう棚との精度調整にB部の逃げしろが機能した点、追加する部材が仮吊りでき位置決めが簡便だった点、結果的に予定工期の6ヶ月で施工できた点において、エポキシ樹脂固定の有効性が確認できた。

一方、コスト面は一般的な高力ボルト接合や溶接接合に比べ劣るため、エポキシ樹脂固定のメリットを優先すべき場合の採用に限られる点に注意を要する。

6. 自治体所有施設における特定天井改修のあり方提案

2017年12月末時点で、県内特定行政庁の施設（県除く、教育委員会所管除く）の79%（123室のうち98室）が既存不適格の特定天井に関して未対策であり、より積極的

な対応が望まれる。総合体育館の事例を通じて見えた実態を踏まえ、改修実施を妨げている要因を考察するとともに、その対応策を自治体所有施設における特定天井改修のあり方として提案したい。

(1) 改修実施を妨げている要因

総合体育館の事例において問題となったのは、予算確保、施設の管理体制及び公共工事の発注体制である。

a) 予算確保

事例として紹介した総合体育館は、築年数に合わせた老朽化対策の対象として工事費が予算化されたものであり、特定天井改修のために工事費として予算確保したものではない。

特定天井への対応は各施設に一任されており、各施設が個別に財政部局に予算要求するなど非効率で、国土交通省から自治体施設における特定天井の解消を積極的に求められているものの、既存施設の特定天井は既存不適格扱いで法的な改修義務がないことから予算要求自体がされなかったり、限られた予算編成の中で特定天井改修が優先されていないなど、積極的な予算確保が進んでいない。

また、特定天井改修は高所での作業となることから、足場などの仮設費がかさむといった財政負担の大きさも予算確保を難しくしている。総合体育館のように老朽化対策の予算で対応する場合にも、本来求められる工事を実施しながら特定天井改修も実現しなければならないといった面で、財政負担の軽減が求められる。

b) 施設の管理体制

自治体所有施設への指定管理者制度の導入が一般的となり、所有者は自治体ながら、直接の管理者は指定管理者という例が増えている。総合体育館も指定管理者が施設運用をしている例である。

この場合、自治体に特定天井改修の意欲があっても、改修実施に当たっては、改修期間の運用調整、施設を休止しなければならない期間の収益検討、またその収益補填など、指定管理者との事前調整や合意形成が多岐にわたるため、企画立案のハードルが高くなっている。

c) 公共工事の発注体制

特定天井の改修工法のうち軽量柔軟化や特定天井化では、各メーカーが独自商品を開発してきており、これらには費用や工期の面で利点がある。

一方で、自治体の工事発注においては、施工者決定の入札手続において公平な競争性を担保するため、施工者や使用メーカーを指定しない設計内容とすることが求められる。このことから、メーカーの独自商品を採用することを避け、費用や工期で工夫することが難しい在来工法による設計が選択されがちである。

(2) 自治体所有施設における特定天井改修のあり方提案

改修実施を妨げている3つの要因に対し、総合体育館の事例を踏まえた対応策を提案する。

a) 「天井レス化」採用施設への一律対応

予算確保の問題に対し、安価な天井レス化が採用可能な施設は、安定した予算確保が望める老朽化対策に合わせ、計画的かつ一斉に改修することを提案する。例として、学校施設では東日本大震災後の文部科学省による号令で一斉に対応しており、本県でも全て対応済である。周期の老朽化対策に合わせて財政負担を平準化しながら計画的に実施することで、改修工事で共通して必要な仮設費・共通費も縮減することができ、全体的な財政負担軽減にもつながる。

b) 指定管理者の意向を踏まえた改修計画作成

管理体制の問題に対し、指定管理者による運用意向を反映した改修計画策定を提案する。具体的には、指定管理者選定のプロポーザルにおいて、「委託期間内での特定天井改修実施」を提案項目とする。これにより、特定天井における安全性確保について指定管理者と課題共有が図れるとともに、運用や収益について指定管理者の意向を踏まえた計画が可能となる。

総合体育館では、設計期間中に新たな指定管理者をプロポーザルで選定したため、改修工事中の管理を受託することとなる予定の指定管理者に対し、改修による運用休止等の条件をプロポーザル時に提示できたことが円滑な工事実施につながった。

c) 指定管理者による設計・施工の一括発注

発注体制の問題に対し、設計・施工を指定管理者から一括発注することを提案する。指定管理者発注であれば、メーカー指定だけでなく、発注・契約方法の面でも柔軟な企画が可能となる。また、設計・施工を一括発注することにより、設計段階からメーカー商品等の利点を反映させることも可能である。

その際、自治体の技術・検査部門が設計・監理・検査で技術支援することにより、公共施設としての品質を担保することが重要である。

7. おわりに

私自身、今回の経験で特定天井改修の重要性や、その対応が進んでいない現状を知ることとなった。県内の自治体所有施設における対策が芳しくない根底には、天井落下による被害の重大さを認識しておらず、優先度を低く捉えている現状があると推測する。本論をひとつの契機に、特定天井改修の優先度が上がるよう、自治体関係者に対する積極的な発信に貢献していきたい。

ドローンによる高精度計測の検証と利用について～RTKによる森林計測～

吉坂 英則

林野庁 近畿中国森林管理局 森林技術・支援センター (〒718-0003岡山県新見市高尾786-1)

ドローンによる高精度森林計測技術により得られるデータの精度を検証し、森林管理や林業への活用の検討を目的として、RTKドローンを活用したデータの解析による精度検証を行った。

RTKドローンにより取得したデータ、ドローン単独により取得したデータ、トランシット測量により取得したデータを比較した結果、RTKドローンによって高い精度の計測が可能であることがわかり、正確な計測により地上計測データとの関係が容易になり作業の大幅な効率化が可能であると考えられる。

キーワード UAV, RTK, ICT機器

1. はじめに

従来の森林計測においては、大面積、急傾斜地などを計測するのは難しいところでしたが、近年はドローンによる空撮写真を解析することにより、効率的な面積計測や樹高計測等が可能となってきています。

しかしながら、ドローン単独でのGNSSを用いた位置情報の計測では、数メートルの誤差が生じるなど、正確性に問題があります。

今回は、「RTKドローンによる高精度森林計測技術」により得られるデータの精度を検証し、森林管理や、林業への活用について検討を行いました。

従来のGNSS計測は、衛星からの電波のみにより、計測を実施するものですが、今回はRTKと呼ばれる計測方法で地上に設置した基地局と、計測を行う移動局間で、常に通信を行い、誤差を最小限に抑える事ができるか検証しました。図-1

2. 検証概要

(1) 検証箇所

試験地は、新見市内の菅ヶ峠国有林597林班で、2020年度の木材生産事業地の作業道の形状を計測します。

(2) 検証方法

まず、作業道上の13カ所へ観測点を設置し、トランシット測量により、縦断、平面、横断を計測し、真値となるX, Y, Z座標値を計算します。

RTKドローンの飛行計画の設定は、国土地理院のホームページから地形情報等を取得し、飛行計画を設定します。

現地地の13測点に、ドローンによる空撮写真で確認出来るよう対空標識として、十字にL杭を設置します。

RTK基地局を、上空が開けた場所に設置し、衛生から正確な座標を取得させます。

計測作業は5haほどの面積を10分程度で計測できました。



図-1 RTKの仕組み

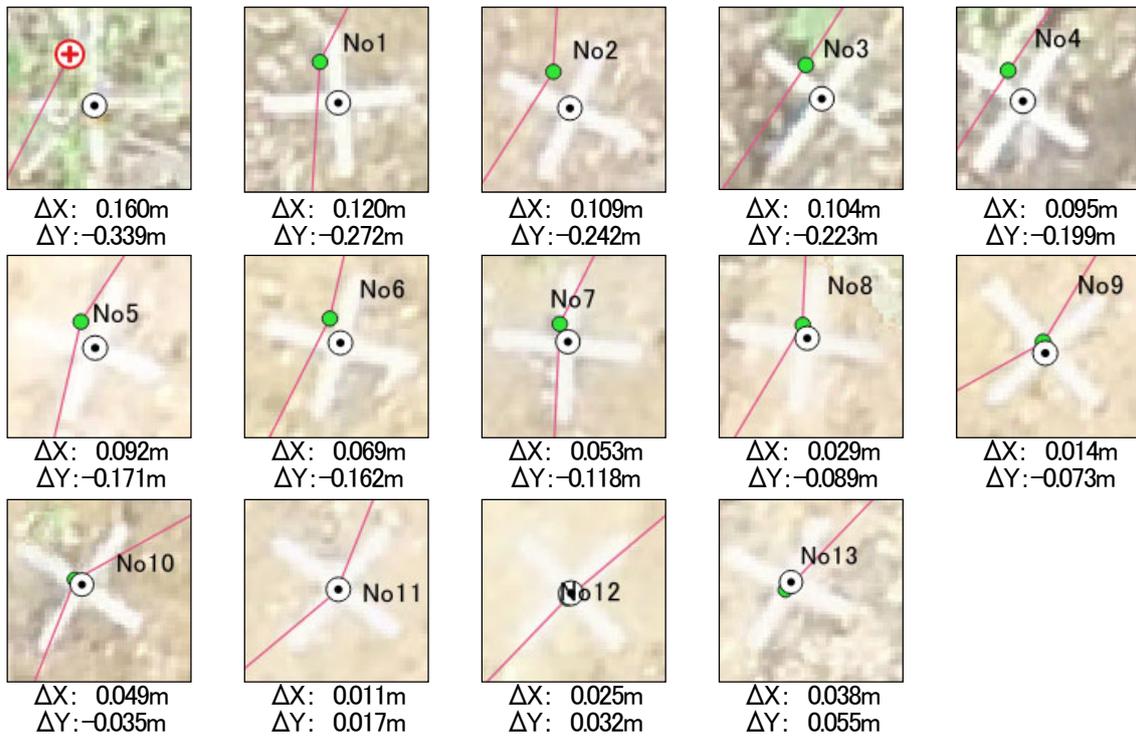


図-2 ●トランシット計測真値 ○RTK ドローン計測値

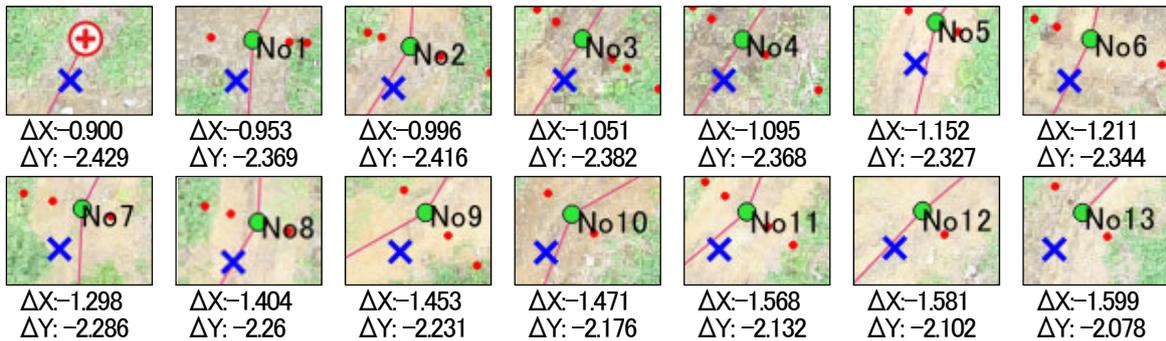


図-3 ●トランシット計測真値 ×ドローン単独計測値

表-1 RTK ドローン計測結果

座標	誤差平均Δ	標準偏差σ
X	0.0690m	±0.045m
Y	-0.1300m	±0.120m

表-2 ドローン単独計測結果

座標	誤差平均Δ	標準偏差σ
X	-1.267m	±0.247m
Y	-2.279m	±0.118m

3. 検証結果

(1) X, Y座標値の誤差, 精度比較

a) RTKドローンによる計測結果

RTK計測結果と、トランシット測量による水平方向、「X, Y座標値」の誤差の状況です。図-2

最大34cmほどの誤差が生じていますが、徐々に小さくなり、No12からNo13の誤差は数cmとなっています。

標準偏差についてX座標は±0.045m, Y座標は±0.120mとなり、標準偏差でのばつきは少なく精度は高いものとなっています。表-1

b) ドローン単独による計測結果

RTKを使用しないドローンの単独計測の結果です。

一定方向に大きくずれていることがわかります。図-3

水平方向のX座標では-1.267m, Y座標では、大きく-2.279mの誤差が生じています。表-2

標準偏差については、X座標±0.247m、Y座標±0.118mの結果となっています。

水平方向のRTKドローンと、ドローン単独計測との標準偏差をグラフ化してみます。

ドローン単独計測による誤差は1～2m見られますが、精度については、RTKのX座標以外は大きな差ではありません。

(2) Z座標値の誤差, 精度比較

Z座標値の誤差, 精度比較について検証します。

縦断計測の結果はドローン単独の場合、日時により標高の誤差が数十m～数百m生じることは通常であり、今回の検証でも約46mを超える大きな誤差が生じてしまいます。図-4

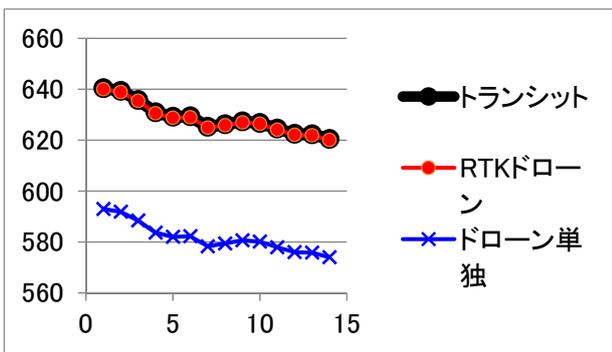


図-4 RTK ドローン、ドローン単独による標高計測

標高について、RTKドローン計測では誤差平均は-0.409m、標準偏差は±0.048mとなりましたが、ドローン単独による計測では、誤差が-46.928m、標準偏差は、0.382mとなります。

RTKドローンによる計測では、Z座標(標高)は、かなり高い精度が得られました。表-3

(3) RTKドローンによる断面計測

RTKドローンによる断面計測を検証します。

a) 縦断面計測

RTK計測の縦断面は、トランシット計測の真値の縦断とは平均-0.409m低く計測されていたため(図-5)、この数値を補正してみると、ほぼ一致し、精度が高いことがわかります。図-6

表-3 Z座標値計測結果

Z座標値	誤差平均Δ	標準偏差σ
RTKドローン	-0.409m	±0.048m
ドローン単独	-46.928m	±0.382m

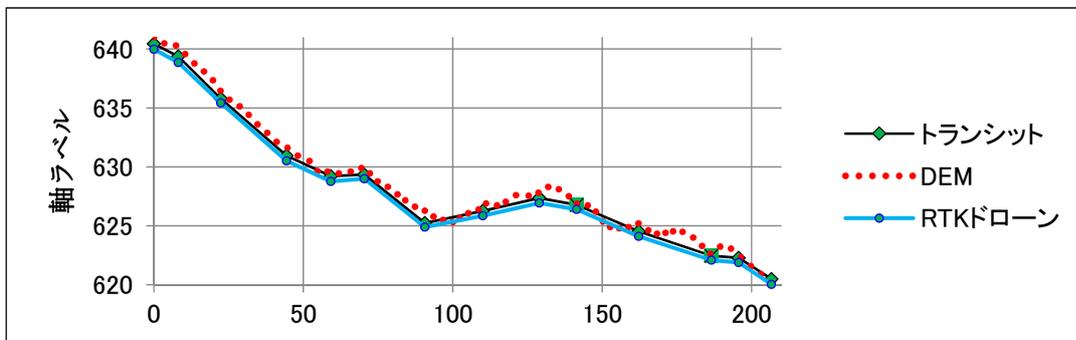


図-5 縦断面図(補正前)

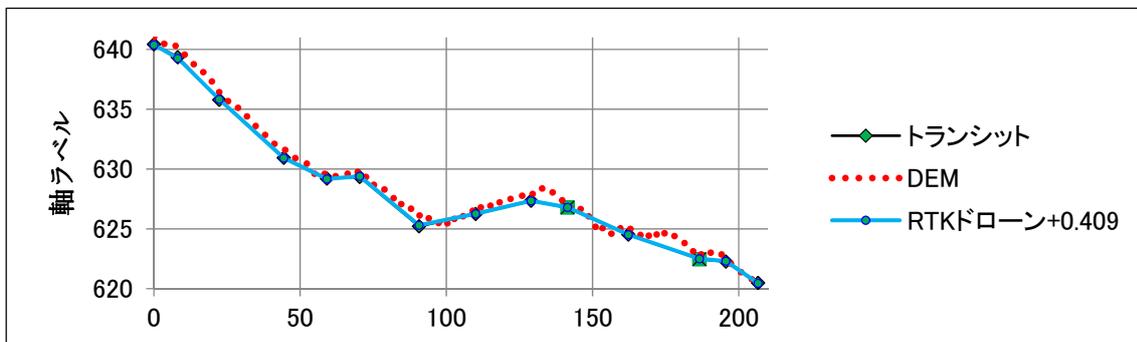


図-6 縦断面図(補正後)

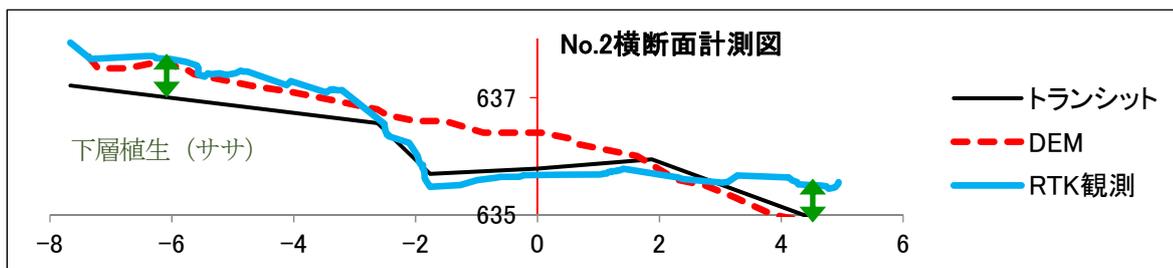


図-7 横断面計測図 (No.2)

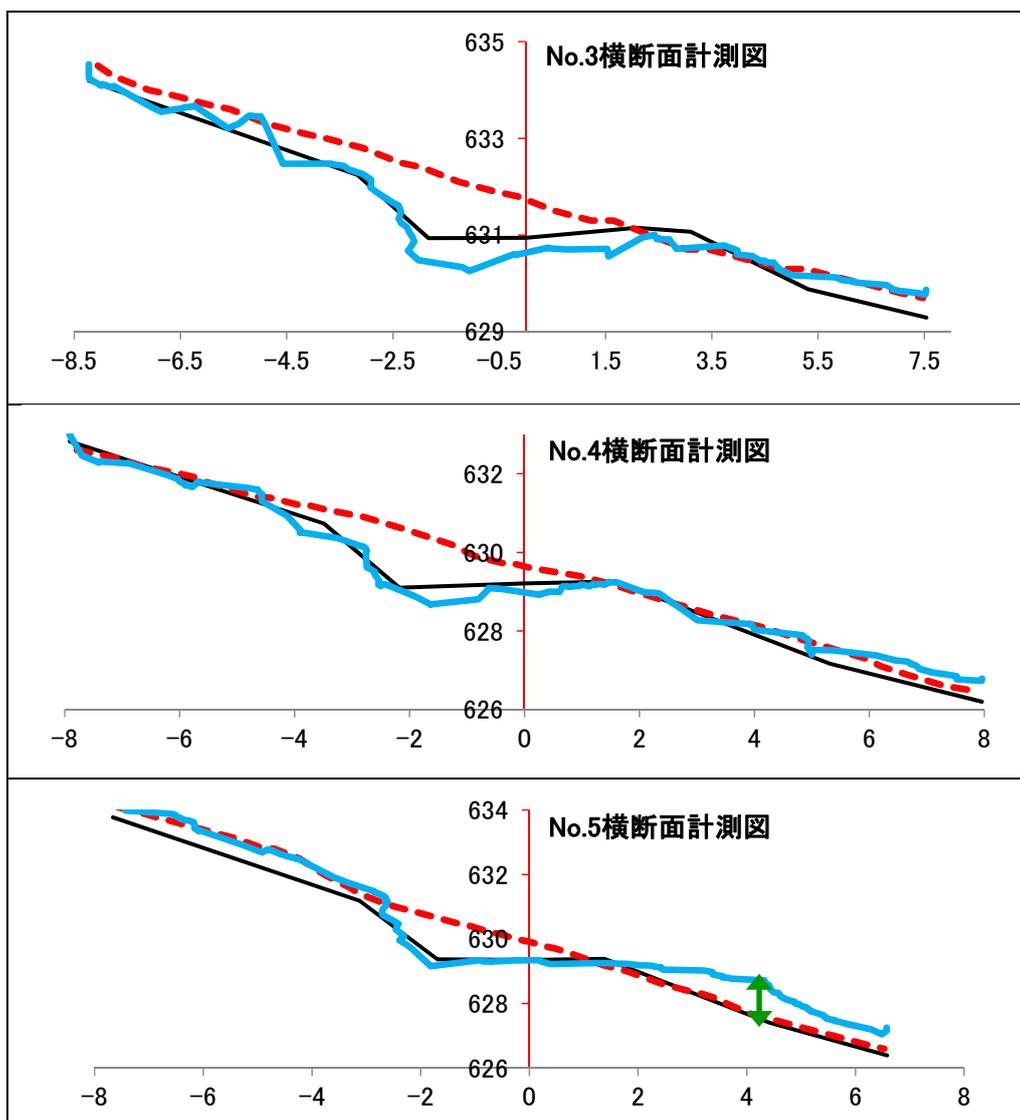


図-8 横断面計測図 (No.3-No.5)

作業道作設前の地形を重ね合わせると、各測点で掘削された高さが解ります。

赤い破線が、掘削前の地形 (DEM) です。

b) 横断面計測

横断面形状について、トラシット計測、RTK計測を比較し、掘削前の地形DEMを重ねてみます。

No.2の山側地山がトラシット測量の結果より高くな

っているのは下層植生のササが密生しているためです。図-7

No.5の路肩より谷方向でRTK観測値が高くなっているのは盛土工ではなく、植生によるものです。このような箇所は空撮写真や、現地写真による判断が必要となります。図-8

4. 考察

(1) 活用方法

以上の検証結果から、RTKドローンにより高い精度の計測が可能であることがわかりました。これにより、以下の活用が考えられます。

- ・林道設計や完成検査について、効率的に計測が行えます。
- ・自然災害での被災箇所においても、現地に立ち入ることなく計測できるため、安全を確保し、正確な計測が可能となります。
- ・植生の生長状況の把握により、下刈り実施の判断材料となります。
- ・正確な立木位置の特定により、地上計測データとの関係が容易になります。
- ・正確な位置情報が得られることから、森林境界の判断材料にも使えると考えます。

具体例として、延長700mの林道工事での測点数は81点にのぼり、トランシットによる地形測量が1測点当たり、15分かかるとして、81測点の場合には、約20時間かかります。RTKドローンによる計測では、測点数に関係なく、基地局などの準備作業に約40分、計測飛行に約10分と、1時間以内で作業が終了でき、大幅な効率化が図れます。

(2) 課題

- ・RTKドローンの使用やデータの活用に関して、データの取得や解析のために、幅広い知識が必要です。
- ・RTKドローンの解析だけでは地表面の高さは分からないため、下層植生の有無や平均高を把握することが必要です。
- ・RTK基地局は移動局との通信が必要なため、計測区域近くに設置する必要があるため、正確な位置情報を得るために、上空が開けている箇所を探す必要があります。
- ・RTKシステムを誰もが活用するための指導普及や、マニュアルの整備なども同時に進める必要があると考えます。

河川計画分野における災害に関する調査及びウィズコロナ・アフターコロナを見据えた新しい働き方のあり方に関する研究

西岡 昌秋¹

¹一般社団法人 建設コンサルタント協会 近畿支部 河川研究委員会
(〒540-0021大阪府大阪市中央区大手通1-4-10)

一般社団法人 建設コンサルタント協会 近畿支部では、支部活動の一環として、2020年（令和2年）4月から「河川研究委員会」の活動を続けている。本論文では、委員会の2つのテーマである「テーマ1：大規模災害発生後の各種調査方法に関する研究」と「テーマ2：河川計画分野での人材育成について（環境整備，効率化，技術力向上等）」について活動成果を示す。テーマ1については、災害発生後の浸水範囲を速やかにかつ的確に把握するための要素技術の事例整理を行い、加古川をモデル河川とした適用性を検討した。テーマ2については、WEB協議を中心とした働き方の変化についてアンケートを行い、現状の課題と今後の適用性について検討した。

キーワード 災害調査，ICT，WEB会議，新型コロナウイルス，ワールドカフェ

1. はじめに

一般社団法人 建設コンサルタント協会 近畿支部では、支部活動の一環として、2020年（令和2年）4月に「河川研究委員会」（以後、「委員会」と称す）を設立した。

委員会の目的は、豪雨災害の頻発，維持管理の効率化・高度化，気候変動の影響，技術継承や高度化など，河川に関わる建設コンサルタントの各種の課題や要望に迅速かつ的確に対応する必要があるとの認識のもと，短期的・長期的な将来を見据えた河川のあり方について，調査，研究することとしている。

このような中で，委員会では，「テーマ1：大規模災害発生後の各種調査方法に関する研究」と「テーマ2：河川計画分野での人材育成について（環境整備，効率化，技術力向上等）」の2つのテーマを掲げ，これまで研究活動を行ってきた。

「テーマ1」では，洪水浸水による災害の発生後の災害対応に対しての河川管理者のニーズを踏まえ，主に浸水範囲や規模を効率的，効果的に把握することを目的とした各種技術の適用性を検討した。その結果，外水氾濫，内水氾濫を含め，CCTVカメラや浸水センサーは設置範囲に限定されるものの有効性があることを示した。

「テーマ2」では，コロナ禍で様々な活動が制約される中で，業務の打合せや委員会で行われるWEB会議の現状や課題をアンケート調査を行って把握・整理した。また，大人数が一同に会して討論を行うような会議の開

催が困難な状況の中，WEB会議ツールを活用したWEB討論会の試行を行い，今後の課題を把握した。その結果，WEB会議については，課題はあるものの，メリットも多く，今後も働き方を変革する方法として期待される結果が得られた。また，WEB討論会についても，討論会の新たな形式の選択肢の1つとなり得ることを示した。

2. 大規模災害発生後の各種調査方法に関する研究

(1) 研究の背景・目的

2018年（平成30年）7月豪雨では西日本を中心として広範囲な浸水被害が発生し，2019年（令和元年）台風19号では東日本を中心として広範囲な浸水被害が発生した。今後，地球温暖化の影響も加わり，近畿地整管内においても甚大な浸水被害が頻発する可能性が考えられる。

浸水被害が発生した場合，実態把握等のための各種調査が実施される。しかし，発災後調査を行った経験者が少ないこと，確立された調査方法が無い場合があること等の理由により，調査の迅速性・確実性・精度等の面で問題が生じる可能性がある。

調査人員が不足し，被災地以外の遠方の業者への支援要請の可能性，各河川事務所において調査方法等が異なる可能性があることを考えあわせれば，近畿地整管内において災害発生後の調査内容・方法を整理・体系化し

ておくことが望まれる。

そこで、本検討では、発災後の各種調査方法を検討することを目的として実施した。

(2) 近年の大規模災害発生後の実態調査

a) ヒアリング調査の目的

災害調査時の課題や災害後の振り返りなどで得られた反省点・要望などを抽出することを目的として、災害発生に直面し、各種調査を経験した実務者にヒアリングを実施した。

b) ヒアリング調査の前提条件

本検討で対象とする災害ステージは、図-1に示すとおり、発災直後～応急復旧の期間を対象としてヒアリングを実施した。また、災害発生時に必要と考えられる調査項目を表-1に示す。

c) ヒアリング調査の概要と結果

2018年（平成30年）7月豪雨の円山川浸水被害、2017年（平成29年）10月台風21号の由良川浸水被害に関して、当時の実務者へのヒアリング結果を表-2に示す。

発災後は、車両通行が可能な道路の把握、浸水状況の早期把握、特に夜間に発生した浸水被害状況の把握が重要である。

(3) 既存技術の情報収集と適用性

a) 既存技術の事例収集

大規模災害発生後の浸水範囲調査方法について、実証実験の調査のほか、センサー技術や衛星・AI活用などの適用事例を収集した。

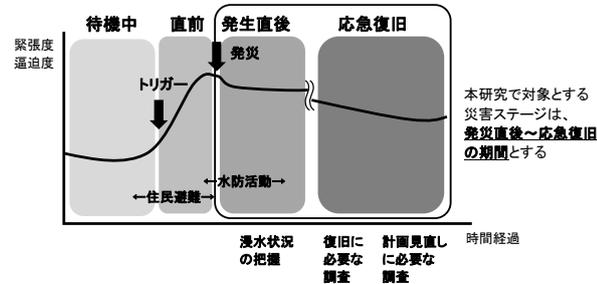


図-1 対象とする災害ステージ

表-1 災害発生時に必要と考えられる調査項目

カテゴリ	調査項目
被災状況の把握に必要な情報	気象・水文・水理情報 <input type="checkbox"/> 観測雨量 <input type="checkbox"/> 観測水位 <input type="checkbox"/> 痕跡水位 <input type="checkbox"/> 流量観測 <input type="checkbox"/> 予測雨量 <input type="checkbox"/> 予測水位 <input type="checkbox"/> ダム流入・放流量
	浸水状況 <input type="checkbox"/> 浸水要因（外水・内水等） <input type="checkbox"/> 浸水過程（浸水発生箇所・広がり方等）
	被害状況 <input type="checkbox"/> 人的被害（発生時刻・場所、被災状況） <input type="checkbox"/> 家屋・事業所等の被災状況 <input type="checkbox"/> インフラの被災状況
	避難状況 <input type="checkbox"/> 自治体の防災情報 <input type="checkbox"/> 避難者数 <input type="checkbox"/> 避難時刻 <input type="checkbox"/> 避難場所
災害復旧、再度災害防止計画に必要な調査	河道特性 <input type="checkbox"/> 河道形状 <input type="checkbox"/> 河床材料 <input type="checkbox"/> 河口砂州形状 <input type="checkbox"/> 樹木群・草本類（流出・倒伏状況）
	構造物 <input type="checkbox"/> 堤防漏水 <input type="checkbox"/> 河岸侵食 <input type="checkbox"/> 護岸・根固工被災状況 <input type="checkbox"/> 越水箇所・破堤箇所の状況
	施設効果 <input type="checkbox"/> ハード対策状況と効果 <input type="checkbox"/> ソフト対策状況と効果
	その他 <input type="checkbox"/> 水防活動状況

国土交通省（報道発表資料、革新的河川技術プロジェクト等）、国土地理院、気象庁、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、新聞記事（建設通信新聞、日刊工業新聞）、各種メーカーのホームページ等を調査した結果、以下の延べ49事例を収集できた。

- ・浸水センサー : 17事例
- ・監視カメラ : 8事例
- ・画像解析 : 12事例
- ・データ配信システム : 12事例

b) 活用事例の分類とニーズの設定

これらの収集事例をもとに、国土交通省近畿地方整備局と協議を行い、発災直後～応急復旧までの期間において、流域全体のリアルタイム浸水状況を把握するニーズとして、表-3のような項目に対し、既往技術を活用する場合の適用性を検証した。

表-2 ヒアリング調査結果

災害ステージ	質問事項	主な回答
発災直後	出水時の判断と対応	<ul style="list-style-type: none"> ● 発災後は、災害復旧のために被災状況を調査 ● 1週間程度のうちに整備局に報告した
	浸水状況把握の課題	<ul style="list-style-type: none"> ● 夜間に発生した場合の浸水被害状況の把握が難しい ● 堤内側の浸水範囲は非常に対象が広範囲となるため、多くの人員が必要となる
応急復旧	出水中に知りたい情報	<ul style="list-style-type: none"> ● 工事用車両が通れる道路幅や浸水に対して十分な高さが確保されているか、ルート上にアンダーパスはないか等の情報が必要である ● 内水浸水の状況は主にニュースで把握するが、一般からの問い合わせもあり、早めに知りたい
	災害対応時の自治体との協働	<ul style="list-style-type: none"> ● 支川の護岸損傷に対して、国と自治体で調整・対応したことがある ● 整備局所有のポンプ車は自治体からの要請で派遣対応を実施、ポンプ車の手配に決めはなく、状況に応じ臨機の対応となっている

表-3 活用技術とニーズへの適用性

ニーズ	活用技術	適用性
浸水範囲の把握	衛星	<ul style="list-style-type: none"> ● 広域の浸水範囲の把握には有用 ● 画像取得・解析にタイムラグが生じる
緊急対応可能なルート	センサー（ヘリ）	<ul style="list-style-type: none"> ● 緊急ルートに事前にセンサーを設置すれば把握可能（即時性あり、ヘリも不要） ● 緊急ルートにヘリを飛ばすことで、時間をかけずに浸水実態を把握可能
	カメラ	<ul style="list-style-type: none"> ● 緊急ルートに事前にカメラを設置すれば把握可能（即時性有）
夜間での実態把握	センサー（ヘリ）	<ul style="list-style-type: none"> ● 問題なし
	衛星	<ul style="list-style-type: none"> ● 問題なし

【設定ニーズと適用性】

① 浸水範囲の把握について

衛星の適用性が高く、昼夜・天候に係わらず広範囲での情報把握が可能な点が優位と考えられる。ただし、浸水深の把握までは難しいため、センサー等の併用が必要である。

②緊急対応可能なルートの把握

センサーやカメラの適用性が高い。センサーは開発や実装が進んでいる点、カメラは時系列データが保存可能な点と全体把握が可能な点が優位と考えられる。

③夜間での実態把握

センサーと衛星の適用性が高い。

(4) モデル河川の選定とケーススタディ

a) モデル河川の選定

背後地の土地利用として市街地および農地が、河道形態として築堤および堀込が存在し、氾濫形態も外水・内水と多様である加古川（直轄区間）とした。加古川は、近年も複数回の浸水被害があるため、ケーススタディーとして適すと判断した。

b) 加古川におけるケーススタディ

現在の水位計・CCTVカメラなどの観測機器の整備状況において、既往洪水が再来した場合に浸水被害状況を把握可能であるかを検証した。また、既存施設では浸水被害状況が把握できない場合の対応案を示した（表-4）。

外水氾濫に対しては、CCTVカメラで浸水状況をリアルタイムで把握可能である。支川合流部の背水氾濫に対しても、CCTVカメラで浸水状況をリアルタイムで把握可能であるが、水位計が設置されていない支川は浸水状況が把握できない。また、内水氾濫も本川から離れた箇所では浸水が生じると、既存機器でカバーできないため、支川の水位計設置や内水域のセンサー設置が課題である。

表-4 既存調査技術の活用に関する加古川のケーススタディ

氾濫形態	確認事項	加古川によるケーススタディ		
		浸水開始時点	時間経過	最大氾濫時
外水氾濫 (破壊・溢水)	把握可能	・ CCTVカメラで浸水状況をリアルタイムで把握可能	・ CCTVカメラで視認できる範囲は浸水の拡がり把握可能	・ なし
	把握困難	・ 水位計、CCTVカメラが未設置の箇所の浸水状況の把握	・ CCTV視認範囲外の状況把握 ・ ボックスカルパート等、局所的な氾濫源の拡散状況	・ 浸水が長期化する地域の道路通行可否 ・ CCTV視認範囲外の状況把握
	対応策	・ 空白地を解消するための観測機器の設置(CCTVまたは浸水センサー)	・ SNSからの浸水状況把握システムの構築 ・ 浸水センサーの設置	・ 道路冠水センサーによる監視 ・ 衛星画像、UAV又は防災ヘリの撮影等で氾濫域を把握
支川合流部の背水氾濫	把握可能	・ 支川合流部にはCCTVカメラで浸水状況をリアルタイムで把握可能	・ CCTVカメラで視認できる範囲は浸水の拡がり把握可能	・ なし
	把握困難	・ 水位が設置されていない支川の浸水状況	・ CCTV視認範囲外の状況把握	・ CCTV視認範囲外の状況把握
	対応策	・ 支川に水位計を設置 ・ CCTVカメラの増設・浸水センサーの新設を併用する	・ 浸水センサーの設置	・ 浸水センサーの設置 ・ 衛星画像、UAV又は防災ヘリの撮影等で氾濫域を把握
都市部の内水氾濫	把握可能	・ なし	・ なし	・ なし
	把握困難	・ 浸水箇所が本川から離れ、既存機器でカバーできる範囲外	・ 浸水箇所が本川から離れ、既存機器でカバーできる範囲外	・ 浸水箇所が本川から離れ、既存機器でカバーできる範囲外
	対応策	・ 河川管理者による水位計設置 ・ 道路や駅の冠水は浸水センサーで対応	・ 支川に水位計を設置 ・ 範囲がやや広範な場合は、浸水センサーを増設	・ 内水氾濫が広範囲かつ同時に発生した場合は衛星画像の写真等で把握

(5) まとめ

本検討では、過去に災害対応を行った実務者へ災害時の対応に関するヒアリングを実施した。また、既存技術として、カメラ、センサー等の活用事例を整理し、浸水状況把握におけるニーズへの適用性を検討した。さらに、加古川をモデル河川としたケーススタディを実施し、浸水被害形態ごとの適用性や対応策をとりまとめた。

今後の課題については、本稿の内容が妥当であるか確認するため、近年に洪水被害が発生している加古川を対象に、「発災時に浸水範囲を把握できていたか」、「設置機器の問題」等の調査を実施する予定である。また、自治体管理河川についても発災時の対応状況や課題等に関して調査を実施する予定である。

3. 河川計画分野での人材育成について

(1) 背景・目的

河川計画分野に携わる技術者にとって、今後の本分野を担う若手技術者の人材育成が重要な課題である。さらに、今次の新型コロナウイルス感染症対策のため、建設コンサルタントにおいても、業務一時中止・テレワーク・WEB会議、移動の制限もあり、働き方が一変した。

現在、平時に戻る過渡期であるが、再び同様の事態となる可能性も考えられ、これまでと同様の働き方や人材育成が困難と想定される時代において、その働き方等の方法を考えることは重要である。

本研究は、働き方、人材育成に資する環境整備、業務効率化等の取り組みを行うための基礎資料として、WEB会議・テレワークの取組状況を調査し、その課題の把握を目的とした。

(2)WEB会議・テレワークに関するアンケート調査

a) 調査概要

WEB会議・テレワーク（メール・TV会議が可能）（以降、テレワーク）における環境整備、取組状況、課題等の把握に向けて、近畿地方整備局、建設コンサルタンツ協会会員各社を対象としたアンケート調査を実施した（近畿地方整備局：2021年（令和3年）11月上旬、建設コンサルタンツ協会会員各社：2021年（令和3年）11月下旬に実施）。

b) WEB会議の取組状況・課題等の把握調査結果

WEB会議の実施率に対する設問（図-2）では、発注者、受注者ともに高い結果となった。この内、「移動時間の節約」等の理由も考えると、受注者の方がWEB会議の比率が高い傾向にある。

発注者の回答の中では、「対面、WEBともに実施していない」との回答が最も多くなっている。本調査結果の傾向として、WEB会議導入の有用性が確認できる結果となっていることを踏まえると、本理由としては、建

設コンサルタントとの打合せを行わない役職の担当者による回答であると推察される。

WEB会議での会議目標達成の割合に対する設問(図-3)では、「変わらない」、「多かった」で約70%となっており、「変わらない」の評価を優位側と捉えた場合、WEB会議でも十分目標を達成可能であることが確認できる。また、本設問の回答を発注者と受注者で比較した場合、発注者の方で「対面式の方が多かった」が多くなっている。別の設問での「WEB会議で困ったこと」に対する回答において、発言するタイミングが難しい、相手先の表情が読めない等が多い結果となっていたことから、発注者側では複数関係者との協議が多いことによる協議での難しさが要因であると考えられる。ただし、別の設問の「WEB会議で有効と思われる内容は」に対する回答において、「複数関係者間での調整が必要な会議」との回答が最も多くなっていたことから、WEB会議システムにおける工夫、ツールの使い易さ等の向上により、今後、使用頻度、目標達成度は上がると推察される。

WEB会議と対面式会議での割合に対する設問(図-4)では、受発注者ともに、WEB会議と対面式会議の割合は、50%:50%、70%:30%程度が適当であるとの認識である。全ての打合せをWEB会議対象とするのではなく、打合せ内容・状況等に合わせて対応することが望ましいとの認識となっている。例えば、大まかな条件確認等はWEB形式で行い、細かな数字や図面の確認等は、対面形式とする等の方法が考えられる。

調査の結果、受発注者ともにWEB会議の利用(業務打合せ、協議会・委員会等)が進んでいることが確認された。しかし、その他意見において、ルールづくり、通信環境の充実などの課題も確認された(表-5)。

c) テレワークの取組状況・課題等の把握調査結果

テレワークの実施に対する設問(図-5)では、発注者で50%以上の実施率が半数を超えるなど高い割合になっている。一方、受注者は、50%以上の実施率が3%程度と低い割合となっている。

テレワークに対するメリットまたは見込みがあるかの設問(図-6)では、発注者、受注者ともに8割以上の方が、メリットがあると感じている。

テレワークのメリットとデメリットに対する理由の設問(図-7、図-8)では、通勤時間の減少による時間の有効活用が発注者・受注者ともに8割以上の方が挙げており、WEB会議の活用とリンクしていることが確認できる。一方、「業務の生産性が向上する」の回答が2割以下に対して、「業務の生産性が低下する」の回答が発注者・受注者ともに5割程度と高くなっている。現状の環境においては、時間効率のメリットはあるが、生産性の向上には至っていない結果である。ただし、「集中する時間が増える」、「ストレスが減少する」などの働き方におけるメリットを感じている人も多いことが確認できる。

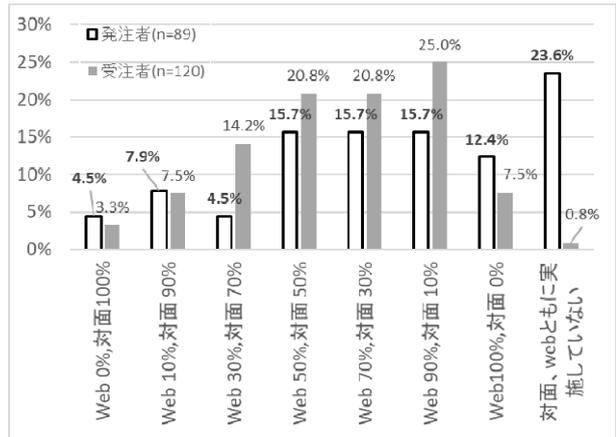


図-2 通常打合せにおけるWEBと対面式会議の実施率の割合 (緊急事態宣言解除後(2021年(令和3年)7月、10月ごろ))

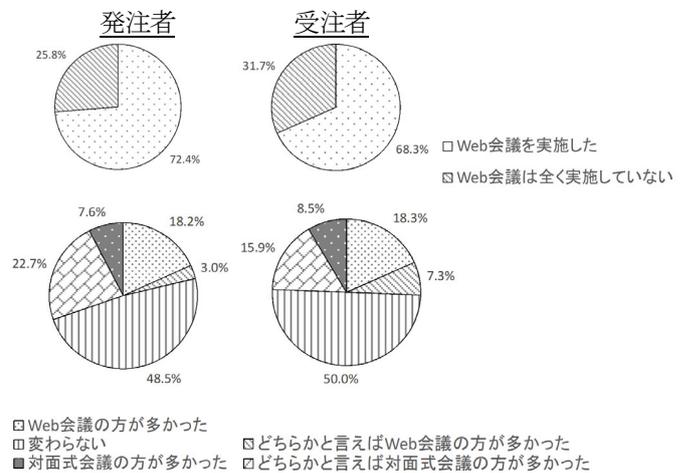


図-3 タイムライン・減災対策協議等の会議に対して会議目標を達成した場合のWEBと対面式会議の割合

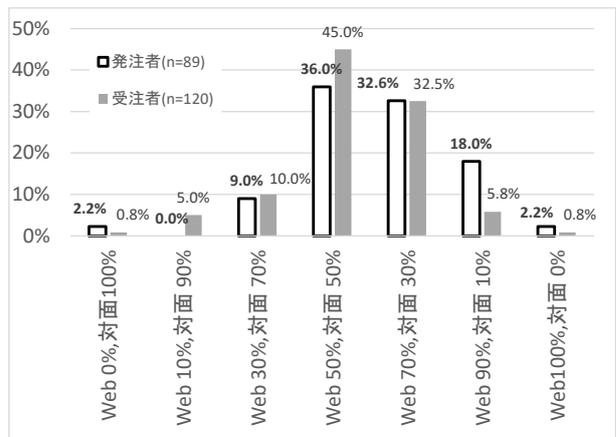


図-4 通常打合せにおいて WEB と対面式会議で望ましいと考える実施割合

表-5 WEB会議を導入する場合の留意点等（その他意見）

<p>Web 会議の取り扱い(定義・回数など)</p> <ul style="list-style-type: none"> Web会議の導入により会議を気軽に開催できるようになったため、打ち合わせ回数がやたら多くなることがある。 対面・WEBの両方で会議の短縮と効率化を図る必要があることを、受発注者双方が意識する。(2件)
<p>特記仕様書への記載・ガイドライン・ルールの必要性</p> <ul style="list-style-type: none"> Web会議を特記事項に明記（使用する標準ソフト等）(18件) Web会議についてのガイドラインの作成（8件） 可能な限りWEB会議を推進するよう特記仕様書に記載するとよい。(2件)
<p>基本ルールで検討すべき項目</p> <ul style="list-style-type: none"> 初回協議での確認事項項目に追加（3件） 禁止事項ルールや、禁止に違反した場合の対応等
<p>その他</p> <ul style="list-style-type: none"> 通信環境が悪い参加者が発言する時、通信不良で会議が止まる（5件） ツールへの慣れ：標準的なツールを1つ定め、受発注者によって操作や機能にばらつきが生じないようにする。(会議実施ツール(ソフト)の統一) (3件) プロポーザルヒアリング、納品、検査など、他社と相対的に評価される場合は、事務所内で統一されたルールが必要。 打合せ回数が異常に増え、短い納期が続くケースがあるので、ウィークリースタンスを守るためのルールが必要。 議題により向き不向きがある。会議参加者の役割(司会進行、議事録作成、資料修正等)を明確化。

- ・下線（無）・・・共通意見
- ・下線（波線）・・・受注者からの意見
- ・下線（二重線）・・・発注者からの意見

アンケート調査における自由意見では、通信環境や機材環境、資料の取り扱いなどが挙げられており、発注者、受注者や会社ごとでの異なる環境整備状況に対してある程度の標準化ができれば、多くのメリットを享受できると推察される。

また、その他、WEB会議、テレワークに関して「会議や点検だけでなく、誰かが現場にいて状況を確認しながら、会議や委員会をする方法もある」、「WEB会議及びテレワークには全国の技術者が様々な場所から参加できる面でも可能性が大いにある」などの意見もあり、WEB会議を活用した委員会、討論会や現場と会議室をつなぐ新しい会議の方法が求められている。

(3) WEB会議システムを用いた討論会実施に向けた試行 a) 試行概要

本研究会では、若手の人材育成・働き方等に対する討論会の実施を予定し、討論方法は大人数が集まって討論するワールドカフェ方式を想定していた。

しかし、コロナウイルス感染症の影響を受け、大人数が集まる討論会の実施は難しい状況であった。このため、

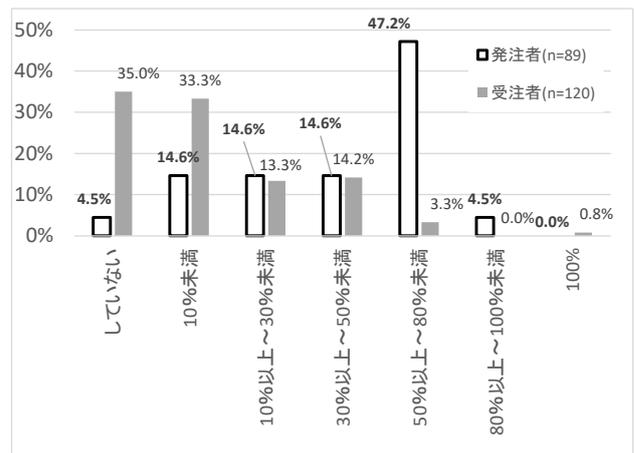


図-5 テレワークの実施率 (緊急事態宣言解除後 (2021年(令和3年)7月、10月ごろ))

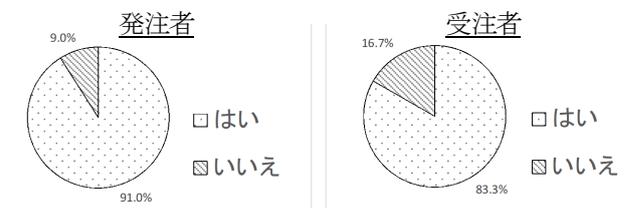


図-6 テレワークにメリットがあると考える技術者の割合

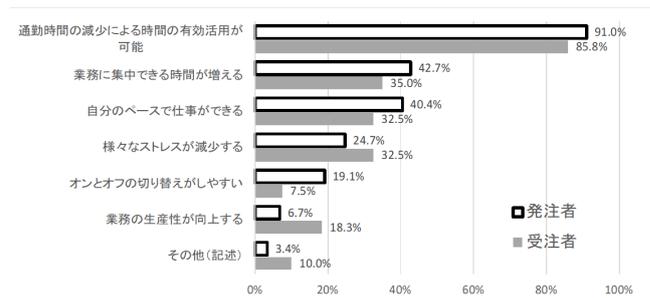


図-7 テレワークにおけるメリットとその割合

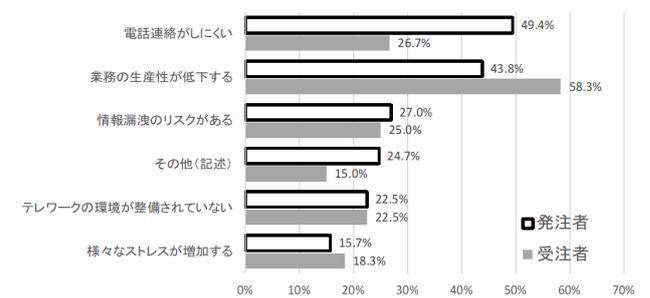


図-8 テレワークにおけるデメリットとその割合

代替の方法として、WEB会議システムを用いた討論会（以降、WEB討論会）の実施を検討した。また、大人数によるWEB討論会は未経験であったため、WEBで開催した場合のメリット・デメリット等の検証を行う場として、委員会の委員を対象者とした試行会を実施した(図-9)。



図-9 WEB会議システムを用いた研究討論会のイメージ

b) WEB討論会の試行結果

WEB討論会の試行は、表-6に示す概要で実施し、WEB形式でのメリット・デメリットを検証した。

試行の結果としては、表-7に示すメリット・デメリットが確認された。進行の難しさや通信環境上の課題等があるものの、WEB 討論会の実施は十分可能であると判断した。また、事前準備、移動時間の縮減などの有効性が確認できたことから、今後の討論会の形式の1つ選択肢になり得ると考えられる。

(4) まとめ

本研究では、河川計画分野に携わる技術者の働き方、業務効率化に向けたWEB会議、テレワークにおける取組状況・課題等の調査、WEB会議システムを用いた研究討論会の試行を行い、取組状況やメリット・デメリット等を取りまとめた。

今後の課題として、アンケートの調査結果では、発注者、受注者双方にとって望ましいWEB会議のあり方までは整理できていない。アンケート結果を分析し、受発注者双方にとって、WEB会議の望ましい方向性を整理する必要がある。

また、WEB討論会の試行結果を踏まえて、WEB会議システムの災害時の関係者間の合同会議や平時での連携手段などへの利用の方向性・適用性及び、受発注者間での意見交換のツールとしての活用方法を検討する。

4. おわりに

委員会は設立当初からコロナ禍で活動が制約された。一方で、テーマ2の研究対象としてWEB会議に着目するなど、WEB会議やテレワークの促進といった働き方の転換が図られた機会を捉え、委員会活動を行ってきた。

2022年度(令和4年度)以降も、2つのテーマについて継続的に研究を行うとともに、新たな課題に対しても取り組んでいく予定である。

表-6 WEB討論会の試行会の概要

方法	ZOOMのブレイクアウトセッション機能を用いたグループ討論
内容	WEB討論会の試行(3ラウンド、約50分) アンケート調査結果を題材に通常のワールドカフェと同様のメモ、口頭による討論 WEB会議システムを用いたことに対する討論 メリット・デメリットなど、試行会の講評(グループ毎、参加者全員の2部構成で実施)

※本来のワールドカフェは上段を繰り返す。

表-7 WEB討論会での主なメリット・デメリット試行概要

メリット	<ul style="list-style-type: none"> 会場規模による人数制限が不要であり、遠方の参加者とも会話が可能となる(普段、会話しない参加者とも会話ができる)。 当日の準備時間を短縮できる(会場準備等)。また、直前の欠席や増員等による人数調整が比較的容易である(WEB上での部屋数調整が可能)。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 参加者の表情、しぐさが分かりにくく、各テーブルの進捗、時間管理が難しい。特に、カフェマスター(ファシリテーター)の適切な進行が重要となる(実施前には事前打合せ等が望ましい)。 参加者の環境整備状況(通信環境、会議室環境等)による影響を受ける。

謝辞：委員会の活動にあたっては、近畿地方整備局 河川部の成宮 文彦 元河川調査官、久内 伸夫 元河川情報管理官、田中 徹 河川情報管理官、前羽 利治 元河川計画課長、寒川 雄作 河川工事課長、木村 佳則 河川管理課長に貴重なご示唆、ご教示を頂きました。ここに深甚な謝意を申し上げます。また、委員会の研究活動を支えていただいた委員12名の方にも謝意を申し上げます。

(2020年度(令和2年度)委員)

青木 健太郎 (いであ(株))、井上 靖生 (株) エイト日本技術開発)、内山 雄介 (日本工営(株))、河野 博 (中央コンサルタンツ(株))、武田 弘道 (株) ニュージェック)、竹村 仁志 (八千代エンジニアリング(株))、東出 唯 (株) 日本インシーク)、森下 祐 (パシフィックコンサルタンツ(株))、山口 功人 (株) オリエンタルコンサルタンツ)、吉田 和也 (中央復建コンサルタンツ(株))

(2021年度(令和3年度)委員) (交代委員のみ示す)

池羽 邦佳 (いであ(株))、小笠原 豊 (パシフィックコンサルタンツ(株))
(敬称略、五十音順)

区画整理工事における UAV 出来形管理技術の活用

亀元 大地¹・北園 清徳²

¹近畿農政局 土地改良技術事務所 企画情報課（〒612-0847京都市伏見区深草大亀谷大山町官有地）

²近畿農政局 農村振興部 設計課（〒602-2090京都市上京区西洞院通下長者町下ル丁子風呂町）

国営緊急農地再編整備事業「亀岡中部地区」における区画整理工事の田面標高の出来形管理について、UAV（無人航空機）と従来のレベル測量器具を用いたものの有用性について比較、検証するとともに、諸課題について整理し今後の対応について考察したものを発表する。

キーワード 区画整理，情報化施工技術，UAV，出来形

1. はじめに

国営緊急農地再編整備事業「亀岡中部地区」は狭小な農地の区画整理工事を行い、耕作放棄地を含めた農地の土地利用の再編などを目的としている。

一昨年、工事が完了した農地で営農を開始した農家から「圃場内で排水不良が起きている」と苦情があった。

当該工事は排水不良を防ぐために、基盤整地、表土整地は用水路側から排水路側へ一律に下り勾配をつけて施工する計画としており、施工管理上も特段の問題はなかった。農家には何度も説明を行い、納得してもらったが施工品質の証明にとっても苦労した。

農林水産省では国営土地改良事業の工事における情報化施工技術の円滑な適用、普及の促進を目的として、平成29年3月から情報化施工技術を活用した工事を試行している。情報化施工は工事の施工管理等に活用することにより、従来の手法に比べて施工品質の高度化が期待される手法であり、本地区でも令和2年度の区画整理工事でUAV（無人航空機）出来形管理技術を活用した。本報文はUAV出来形管理技術について、従来のレベル測量器具を用いた出来形管理技術と比較し、検証した結果、高い施工品質の証明が実現できたため、その有用性について報告する。

2. UAVを用いた出来形管理技術及び検証の概要

本技術はUAVを用いて計測対象の地形の空中写真を撮影し、空中写真測量による3次元形状の取得を行うことで、出来形や数量を面的に把握し、3次元設計データ

と出来形測定結果との差の算出、出来形管理帳票の自動作成等を行うものである。

区画整理工事の表土整地における従来の出来形管理測定基準は、表-1に示すとおり土木工事施工管理基準¹⁾にて、計測密度は10aあたり3点以上と規定されている。これに対し、UAV出来形管理測定基準では、表-2に示すとおり情報化施工技術の活用ガイドライン²⁾にて、1m²あたり1点以上とされている。このため、従来の出来形管理と比較して、300倍以上の密度で出来形管理を行うことが可能であり、高い施工品質を証明することが期待できる。

上記に記した、従来の出来形管理と比較したUAV出来形管理の有用性について、実際にUAV出来形管理技術を活用した工事にて検証を行う。なお、該当工事は通常の建設機械を用いて施工を行う。

表-1 従来の出来形管理基準

工種	項目	管理基準値 (mm)	規格値 (mm)	測定基準
表土整地	均平度	±35	±50	10a あたり 3 点以上

表-2 UAV出来形管理基準

工種	項目	規格値 (mm)		測定基準
		平均値	個々の計測値	
表土整地	標高較差	±50	±150	特記a~d

【特記】

- a. 個々の計測値の規格値には、計測精度として±50mmが含まれている。

- b. 計測は天場面の全面とし、全ての点で設計面との標高較差を算出する。計測密度は1点/ m²（平面投影面積当たり）以上とする。
- c. 法肩、法尻から水平方向に±50mm以内に存在する計測点は標高較差評価から除く。
- d. 評価する範囲は、連続する一つの面とすることを基本とする、規格値が変わる場合は、評価区間を分割するか、あるいは規格値の条件の最も厳しい値を採用する。

3. UAV出来形管理技術を用いた出来形計測

出来形計測を行うにあたって、情報化施工技術の活用ガイドラインに基づく作業手順を以下に示す。

(1) 撮影計画

空中写真測量の重複度は図-1に示すとおり、進行方向のラップ率90%以上、隣接コースとのラップ率は60%以上とする。また、出来形管理範囲は全区画を対象とし、区画毎に計測結果を取りまとめる。

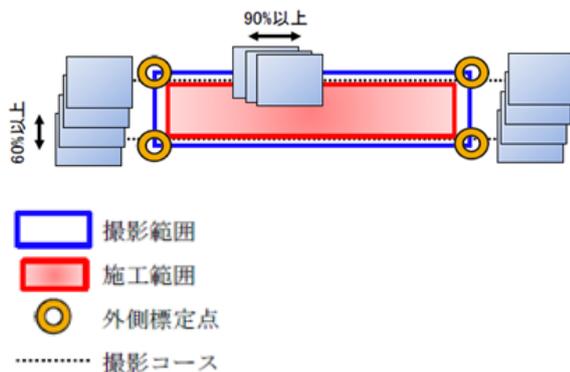


図-1 空中写真測量の重複度

(2) 標定点及び検証点の設置

UAVを活用した空中写真測量による計測結果を3次元座標へ変換するため、標定点と精度確認用の検証点を設置する。標定点及び検証点は、工事基準点からトータルステーションを用いて計測を行い、設置する。また、標定点及び検証点は空中写真測量による出来形計測中に動かないように固定し、図-2に示すとおり、計測対象範囲を包括するように、外側標定点として撮影区域外縁に100m以内の間隔となるように設置するとともに、内側標定点として撮影区域内に200m間隔程度を目安に設置する。

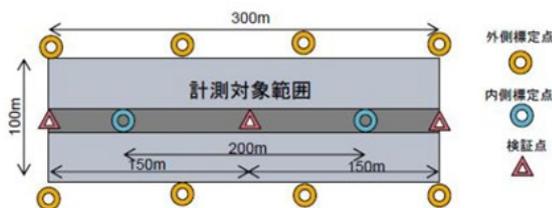


図-2 評定点及び検証点の設置位置

(3) 空中写真測量の実施

空中写真測量の実施に当たっては、航空法に基づく「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」の許可要件に準じた飛行マニュアルを作成し、マニュアルに沿って安全に留意して行う。

(4) 出来形計測

計測対象範囲内で0.01 m²（10cm×10cmメッシュ）あたり、1点以上の計測点が得られる設定で計測を行い、出来形測定データ（出来高評価用データの元になるもの）として管理する。

4. 出来形計測結果取りまとめ

出来形計測結果取りまとめにあたって、情報化施工技術の活用ガイドラインに基づく作業手順を以下に示す。

(1) 3次元設計データの作成

出来形計測から得られた点群データより確認した区画中心標高を基準として、区画ごとに3次元設計データを作成する。

(2) 出来形評価用データの抽出

出来形計測結果から中央値の抽出により、測定基準1 m²あたり1点以上の出来形評価

(3) 出来形管理帳票の作成

3次元設計データと出来形評価用データを用いて、出来形管理基準上の管理項目の計算結果と出来形の良否の評価結果を整理した出来形管理帳票の作成を行う。また、設計面と出来形評価用データの各ポイントの誤差を表した分布図（ヒートマップ）を作成し、出来形管理基準上の管理項目から出来形の良否を判断する。

5. 出来形管理結果の良否の判定及び従来の出来形管理との比較検証

(1) 出来形管理結果の良否の判定

本報文では圃場A（面積2,290 m²）の出来形管理結果を抽出して行う。

測定結果について、表-3に示す出来形管理帳票から、規格値内で適切に施工されていることが分かる。また、図-3に示すヒートマップから、一筆取水口側はプラス値、一筆排水口側はマイナス値が確認でき、下り勾配で適切に施工されていることが確認できる。

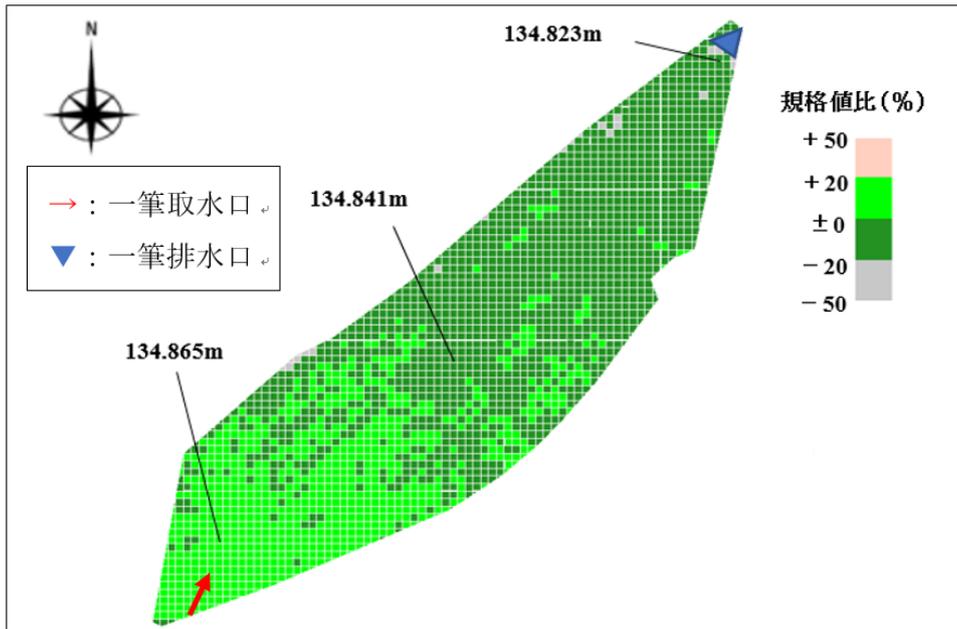


図-3 圃場Aの出来形管理結果を表したヒートマップ

表-3 出来形管理帳票

測定項目		実測値	規格値	判定
平場 標高 較差	平均値	-5.5 mm	±50 mm	○
	最大値 (個々の値)	21 mm	±150 mm	○
	最小値 (個々の値)	-54 mm	±150 mm	○
	データ数	2,313 点	1 点/m ² 以上	○

(2) 従来の出来形管理との比較検証

圃場Aの場合、従来の手法では、最低6点以上の出来形管理を行うこととなるが、UAVによる手法では2,000点以上の出来形管理を行うことが出来、また、その結果をヒートマップで表すことで、施工品質を細かく可視化して証明することが可能であった。その他、比較検証にあたって実際にUAV出来形管理技術を活用して得られたメリットやデメリットについて、施工業者等への聞き取りを行い、従来の手法と比較した結果を表4に示す。

(3) 結果の考察

検証結果からUAV出来形管理技術は従来法と比較して、時間及びコスト面で次の課題が残った。

UAV測量は短時間で広い範囲の測量が可能であるが、専門業者に委託することが必要となる場合が想定され、内業等の作業量増加により時間もかかり、費用が高額となる。これらの課題解決について、他地区の区画整理工事の事例収集を行ったところ、ICT建設機械による施工

表4 従来の手法と比較したUAV出来形管理技術のメリット・デメリット

時間 (デメリット)	<p>従来法：今回対象工事の場合、出来形計測から出来形成果作成までの日数は2日間と想定する。</p> <p>UAV出来形管理技術：現地踏査、施工計画、出来形計測(標定点設置・空撮)、解析作業、出来形成果作成までの日数は7日間であり、従来法と比較して時間がかかった。また、雨風等の天候に大きく左右されるため、実際の工程としては2週間程度の余裕を考慮していた。</p>
品質 (メリット)	<p>従来法：10aあたり3点以上の出来形管理を行う。</p> <p>UAV出来形管理技術：1 m²あたり1点以上の出来形管理を行う。また、その結果をヒートマップで表すことで、施工品質を細かく可視化して証明することが可能であり、従来法と比較して高い品質を得られた。</p>
コスト (デメリット)	<p>従来法：施工業者で対応可能。</p> <p>UAV出来形管理技術：出来形計測及び計測データの解析作業には熟練した専門業者に委託する必要がある、従来法と比較して高額となる。</p>

を併用し、起工測量からUAVを用いて3次元起工測量を行い、出来形管理まで用いることで作業日数の短縮が実現できた事例があった。

本地区で情報化施工技術を活用した工事は情報化施工技

術の受注者希望型であり、UAV出来形管理技術のみ活用したが、UAVを起工測量から出来形管理まで用いた場合に、時間及びコストの短縮が可能であるか、今後も検証を行いたい。

一方、品質では従来法と比較して300倍以上の密度で出来形管理を行い、その結果をヒートマップで表すことで、施工品質を細かく可視化して証明することが可能となる。冒頭に紹介した一昨年の農家からの苦情に対して、ヒートマップをもとに施工品質を説明することができていればもっと容易に理解が得られ、その対応に係る時間やコストが軽減されるという副次的な効果もあるものと思われる。

その他、UAV出来形管理技術で取得した詳細な座標データから、自動走行農機や肥料散布ドローンの自動運転用地図を作成し、営農段階でも活用することでスマート農業の実践上も活用が期待できる。これらは従来の出来形管理手法では得られない、UAV出来形管理技術を応用することによるメリットである。

6. 終わりに

本事業は区画整理工事を通じて農業生産性の向上と優良農地の確保を図るものである。このため、UAV出来形管理技術のように情報化施工技術を活用することで少しでも高い施工品質を確保し、効率的な営農の実現に貢献することが肝要である。また、工事で得られた3次元情報をスマート農業のための営農にも活用することで、事業の効果をより一層高めることができると感じた。

参考文献

- 1) 土木工事施工管理基準,平成31年3月28日,農林水産省
- 2) 情報化施工技術の活用ガイドライン,平成31年3月,農林水産省
- 3) 農業農村整備における情報化施工及び3次元データ活用,令和3年9月,農林水産省
- 4) 国営土地改良事業等における情報化施工技術活用事例集,令和3年8月,農林水産省
- 5) 亀岡中部農地整備事業概要,平成26年10月,農林水産省

伝法陸閘(右岸・左岸)他耐震対策工事について ～既設構造物内からの地盤改良～

湯川 文哉

ケミカルグラウト株式会社 関西支店 技術営業部 (〒540-0001大阪府大阪市中央区城見2-2-22)

わが国では、近い将来に南海トラフ巨大地震の発生が予想されており、被害を最小限に抑える為にも既設構造物の地震対策が急務となっている。伝法陸閘(右岸・左岸)他耐震対策工事は、淀川増水時に堤防の役割を果たす陸閘の耐震・液状化対策を行う工事であり、陸閘格納庫内という狭隘・超低空頭の場所から高圧噴射攪拌工法を施工するという非常に困難なものであった。しかし、自社にて開発した超小型施工機を用いるとともに、施工方法を工夫することでこの課題を克服しており、今後予想される既設構造物の耐震・液状化対策、沈下対策、リニューアル工事に広く応用できるものとして、この実績を報告するものである。

キーワード 既存施設改修, 耐震・液状化対策, 建屋内施工, JETCRETE工法

1. はじめに

陸閘(りっこう, りくこう)とは、河川等の堤防に切り欠きを設けて通常時は鉄道や道路を通しており、増水時にはそれをゲート等により塞いで暫定的に堤防の役割を果たす目的で設置された施設である。淀川本川には多くの道路橋・鉄道橋が架かっているが、中には高さが堤防より低くなっている物も存在しており、洪水や高潮等から沿川地域を守るために多数の陸閘が設置されている。(図-1)

2011年3月11日に発生した東日本大震災以降、レベル2クラスの地震に対する対策が見直されており、大津波が発生した際には、堤防及び陸閘が津波到達前に機能を損なわないよう耐震・液状化対策を早急に進めていく必要がある。

地理院地図
GSI Maps



図-1 淀川近辺に存在している陸閘

2. 工事概要

工事名称: 伝法陸閘(右岸・左岸)他耐震対策工事
発注者名: 国土交通省近畿地方整備局 淀川河川事務所
工事場所: 大阪市西淀川区・此花区～福島区
工事対象: 伝法陸閘・淀川陸閘(写真-1)
工事目的: 耐震・液状化対策
地盤改良工期: 2021年2月～2021年7月

表-1 地盤改良数量

右岸	伝法陸閘	φ6.0m・8本 φ3.5m・2本	φ4.9m・10本 φ3.0m・1本
	淀川陸閘	φ4.8m・2本	φ3.8m・1本
左岸	伝法陸閘	φ6.0m・8本 φ4.3m・1本	φ4.9m・10本 φ3.5m・1本
	淀川陸閘	φ4.9m・2本	φ3.8m・1本



写真-1 伝法陸閘本体部(右岸側) 外観

3. 工事内容

伝法陸閘及び淀川陸閘については、杭基礎構造になっているが、土質調査の結果、構造物直下に液状化する可能性のある土層が存在していることが判明している。仮に液状化現象が生じた場合、構造物の沈下や杭基礎の破損が起これ、大地震後の津波を防ぐことが出来なくなるため、液状化しないように対策を取る必要があった。

(1) 高圧噴射攪拌工法

陸閘の直下を改良しようとした場合、陸閘を避けての施工となるため、適用可能な工法は非常に限定的となる。今回のケースでは、既設構造物直下を接円配置した改良体で囲い、間隙水圧の上昇を抑えることで液状化させないという設計思想のもと、高圧噴射攪拌工法が採用されている。(図-2)

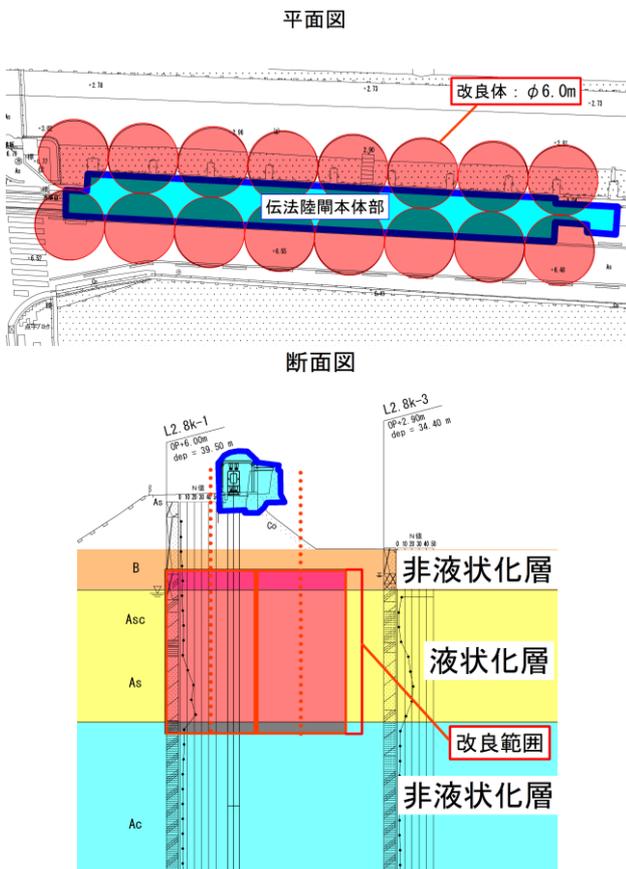


図-2 地盤改良工 平断面図

(2) 施工スペースの制限

陸閘を避けて施工を行うには、φ6.0m級の非常に大きな口径の高圧噴射攪拌工法を施工する必要があった。その場合、施工機も大型の物となる。しかし、今回のケースでは、稼働中の他現場との調整が困難であったことから施工スペースがとても狭く、特に河川側については新たに施工用の構台を組むことが出来ない状況であった。

(写真-2)



写真-2 陸閘格納庫外(河川側) 状況写真

4. JETCRETE工法の採用

伝法陸閘・淀川陸閘の耐震・液状化対策工として高圧噴射攪拌工法を実施するにあたり、現場条件により従来の工法では対応できない状況であった。そこで、様々な条件に対応可能なJETCRETE工法を採用した。

(1) 陸閘格納庫内からの施工

当初想定していた河川側の施工スペースが使用できなかったため、協議の結果、陸閘格納庫の中から地盤改良を施工する方針となった。

しかし、陸閘格納庫内空間は最も条件の厳しい箇所であり、高さ1.6m、横幅1.0mと極めて狭小であり、従来の施工機ではスペース内に収まらないため、施工不可となっていた。(写真-3)



写真-3 陸閘格納庫内 状況写真

そこで、人力持ち運び可能で、内空2m以下の条件でも施工出来る超小型施工機を採用した。(写真4・5)

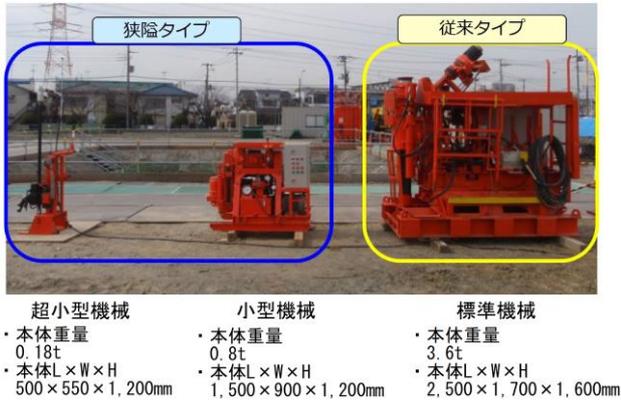


写真4 地盤改良施工機 比較

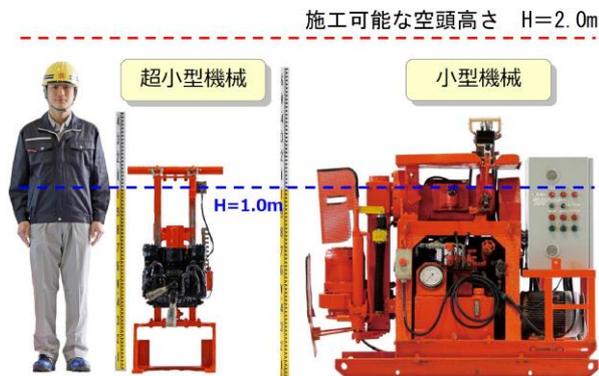


写真5 小型施工機 大きさ比較

(2) 改良径の確保

当初は、N値の低い砂地盤に対して大口径の改良体を造成する計画であった。しかし、再度実施した土質試験の結果、改良範囲内にシルト・粘土といった細粒分の多い地層が混じっていることが判明した。そのため、改良径を確保できるか確認を行う必要があった。(図3)

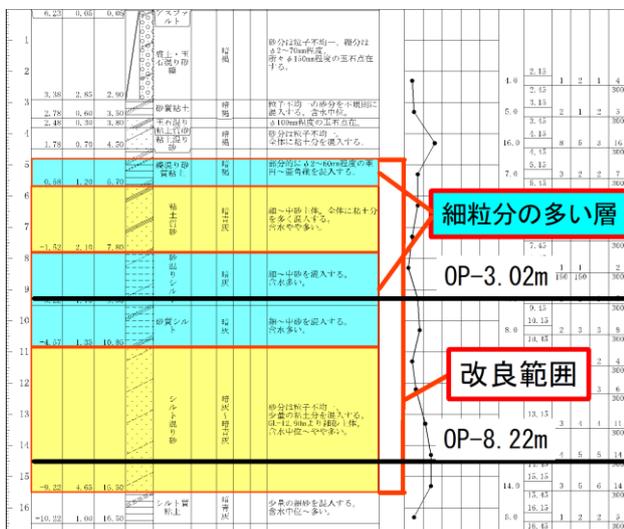


図3 改良対象の土質概要

そこで、施工中に噴流が到達した箇所のセメント固化熱による温度上昇を測定することで、改良径を確認することが可能な熱電対を設置し、施工仕様が要求品質を満たすことが出来るかの確認を行った。(図4)

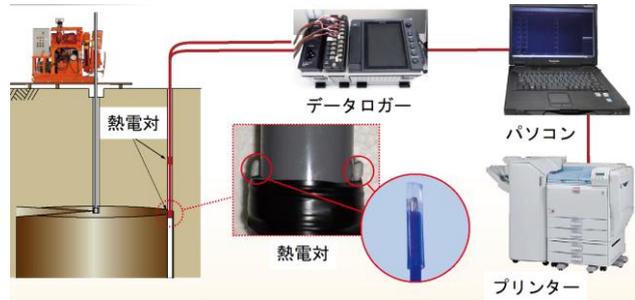


図4 熱電対による改良径測定概要

改良径に対してそれぞれ0.9R, 1.0R, 1.1Rの箇所に熱電対を設置し、温度上昇の確認を行った。試験施工の結果、0.9R及び1.0Rにおいて改良材の到達を確認し、事前に設定したJETCRETEの施工仕様において品質を満足していることが判明したため、本施工に適応した。(図5・6)

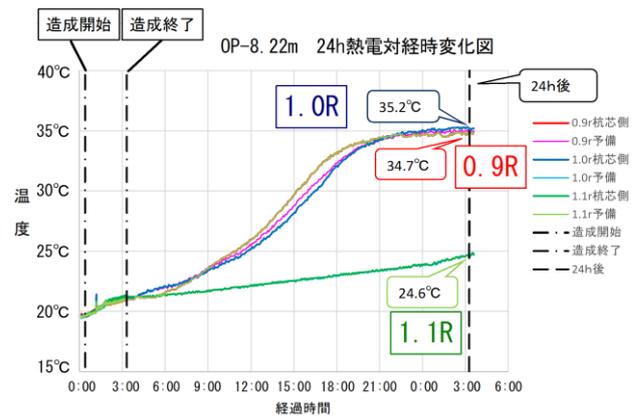


図5 砂質土層における熱電対反応状況

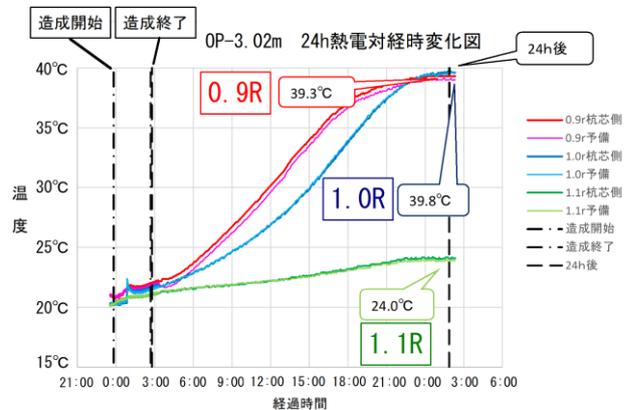


図6 粘性土層における熱電対反応状況

5. 本施工での取り組み

本施工では、陸開格納庫内からの施工にて生じる様々な課題の解決に取り組んだ。

(1) 狭隘部での施工

陸開格納庫内は極めて狭隘で、施工スペース以外に動線の確保が課題となった。そのため、超小型施工機を使用すると共に、配線配管関係を格納庫側部に整然と配置することでスペースを確保するようにした。（写真・6・7）

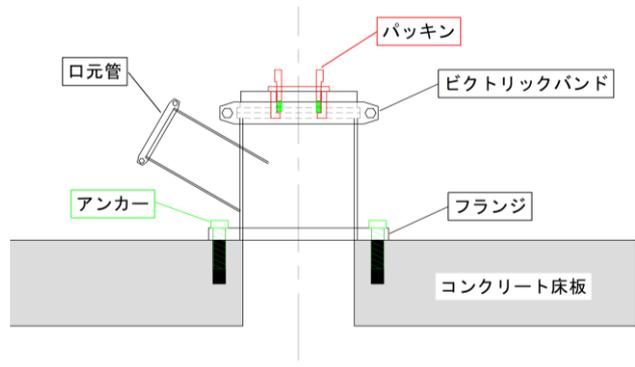


図-7 閉塞管 イメージ図

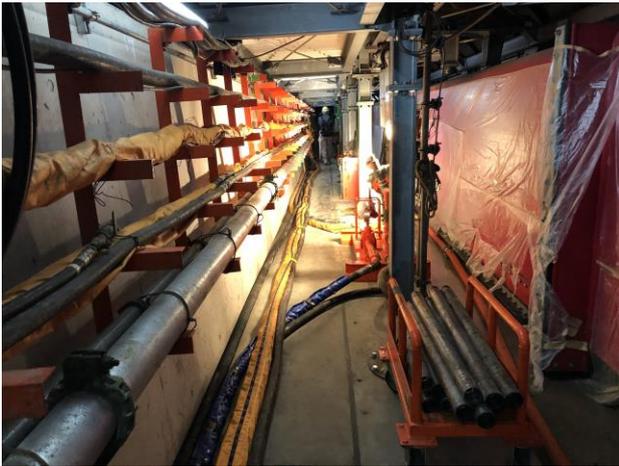


写真-6 配線・配管状況



写真-8 排泥処理用設備



写真-7 施工状況

飛散防止箱に溜まった排泥については、ホースを延長し、陸開格納庫外に停車させたバキューム車で直接処理を行った。（写真・9・10）



写真-9 排泥処理状況

(2) 排泥の処理

陸開格納庫内での施工においては、極めて狭隘であることや、陸開鉄扉を汚してはいけないことから、排泥ピットを掘って施工中の排泥をピット内に溜める通常のやり方が出来ない状況であった。そのため、鉄扉の養生を行うと共に、飛散防止箱や閉塞管等を設置することで周囲に排泥を飛散させないクローズドシステムを採用した。（図-7）（写真-7）



写真-10 バキューム車設置状況

6. まとめ

近年、熊本地震や阪神淡路大震災、東日本大震災をはじめとする地震災害によって、貴重な人命と財産が失われていることに加え、インフラ・ライフラインの損傷や公共サービスの低下など、甚大な経済損失が発生している。さらに近い将来、東海地震や東南海・南海地震、これが連動した南海トラフ巨大地震や首都直下地震が発生

するといわれており、既設構造物の地震対策がこれまでも増して重要になると考えられる。

今回の事例は、既設構造物の耐震対策において、構造物内という極めて狭隘な箇所から高圧噴射攪拌工を実施したのものとして、今後の計画の参考となれば幸いである。

謝辞：今回の施工にあたって、数々のご助言を頂きました(株)建設技術研究所の皆様や、現場にてご支援・ご協力いただきました井上工業(株)、(株)森組の皆様、並びに発表の機会を与えて頂きました国土交通省の皆様から感謝致します。

参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）（2012年8月）
- 2) 建設省土木研究所：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）（1999年3月）

トンネル岩判定における 遠隔臨場の適用について

山田 信人¹・西尾 彰宣²

^{1,2}株式会社オリエンタルコンサルタンツ・一般社団法人近畿建設協会設計共同体

(〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18 住友生命中之島ビル13F)

山岳トンネルの施工の際には、トンネル切羽に岩判定技術者が参集して切羽の地山評価を行い、必要に応じて支保パターンの変更を行うトンネル切羽岩判定が実施されている。しかしながら、熟練した岩判定技術者の減少、現場へのアクセスの困難さから、現地に参集することを前提とするトンネル切羽岩判定の実施が困難となってきている。この課題への解決策として、遠隔岩判定システムの仕様検討・システム構築を行い、実大トンネル実験施設および施工中のトンネルを利用した通信実験から、その適用性を実証した。

キーワード トンネル切羽岩判定、遠隔臨場、坑内無線通信、トンネル工事DX

1. はじめに

山岳トンネルの施工においては、切羽の観察や計測を指標としてトンネル切羽岩判定を行い、安全性および経済性が両立した合理的な施工となるよう、必要に応じて支保パターンの変更をおこなっている。トンネル切羽岩判定には、地質を評価する技術、トンネル工学に基づき支保の適正化を判断する両方の技術が必要であり、熟練した技術者の経験が必要となる。一方で、技術と経験を兼ね備えた判定者は近年減少しており、特に切羽状況が複雑な場合等において、適切な判定をすることが難しい場合がある。加えて、山岳トンネルは山間部に位置しており現地への移動に時間を要することから、判定者の拘束時間が長く、地山の急変時等の緊急時診断が困難な場合がある。以上のような事情から、トンネル切羽岩判定の実施効率化が求められている。

トンネル切羽岩判定実施効率化のための施策として、遠隔地からトンネル切羽岩判定を可能とする遠隔臨場システムの仕様を設定し、システムの構築を実施した。当システムを利用することにより、人員不足や作業効率改善のための課題解決が見込まれる。さらに、これまでスケジュール調整等によりトンネル切羽岩判定への参画が難しかった、有識者を含む第三者や、豊富な岩判定実績を持つ発注者側技術者の参加が可能となるという新たな付加価値の創出が見込まれる。

当報告では、実証実験を経て得られた遠隔で岩判定を可能とするシステムについて紹介するとともに、その検討プロセスで得られた、遠隔で岩判定を実施するシステ

ム（以下、遠隔岩判定システム）を構築する際の着目点、課題と対応方法について報告する。

2. トンネル切羽岩判定の概要

近畿地方整備局管内で施工される山岳トンネルでは「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」¹⁾（以下、判定マニュアル）をもとに統一された評価基準および様式を用いてトンネル切羽岩判定が実施されている。トンネル切羽岩判定のおおまかな実施順序は以下のとおりである。

- ① 設計上の支保パターン変更地点等の、工地上重要な地点の施工日に岩判定を計画する。
- ② 岩判定実施日に判定者が施工現場に参集して切羽を観察し、判定マニュアルに岩種ごとに記載されている切羽評価表に示される9項目の評価区分につき、それぞれ4段階の評点を付ける。
- ③ 岩判定員によってそれぞれの評価項目につけられた評点から、該当切羽の総合評価点を算出する。
- ④ 総合評価点と切羽評価表に示される判定基準および、必要に応じて判定マニュアルに示されるフローチャートや工学的判断を用いて、最終的な支保パターンを決定する。

図-1に判定マニュアルから引用した9項目4段階の評価区分表を示す。評価区分(A)～(I)の9項目についてそれぞれ4段階の評点を行い、切羽評価を行う。遠隔で岩

判定を実施する際にも、これら9項目を精度よく判定できるシステムの構築が求められる。

図-1 切羽岩判定評価区分表

評価区分 (掘削地点の地山の状態と挙動)					
(A) 切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出しを生じる	4. 鏡面は自立せず崩れ、あるいは流出	5. その他
(B) 素断面の状態	1. 自立(書誌不要)	2. 時間がたつと緩み崩れ落ちる(後書誌)	3. 自立困難掘削後早期に支保する(先書誌)	4. 掘削に先行して山を空けておく必要がある	5. その他
(C) 圧縮強度	1. $\sigma \geq 100\text{Mpa}$ ハンマー打撃はね返る	2. $100\text{Mpa} > \sigma \geq 20\text{Mpa}$ ハンマー打撃で砕ける	3. $20\text{Mpa} > \sigma \geq 5\text{Mpa}$ 軽い打撃で砕ける	4. $5\text{Mpa} \geq \sigma$ ハンマー刃先食いこむ	5. その他
(D) 風化変質	1. なし・健全	2. 岩面に沿って変色、強度やや低下	3. 全体的に変色、強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、破砕、当初より未固結	5. その他
(E) 割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1\text{m}$ 割れ目なし	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	4. $5\text{cm} \geq d$ 破砕当初より未固結	5. その他
(F) 割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土を挟む、当初より未固結	5. その他
(G) 割れ目の形態	1. ランダム形状	2. 柱状	3. 層状、片状、板状	4. 土砂状、層片状、当初より未固結	5. その他
(H) 湧水	1. なし・渉水程度	2. 滴水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水	5. その他
(I) 水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊、流出	5. その他

3. 遠隔岩判定の課題抽出と仕様検討

(1) 遠隔岩判定仕様策定のための課題抽出

遠隔岩判定システムを用いて岩判定を実施する際においても、遠隔で判定を行う判定員が現地で行う判定員と同程度かそれ以上の岩判定を行える環境を確保する必要があります。このような環境が構築できなければ、遠隔岩判定システムの利用により切羽岩判定の品質低下を招くことになり、結果としてトンネル工事の安全性および経済性確保を妨げることとなる。そこで、仕様の策定に先立ち、遠隔岩判定を実現するための課題を抽出した。以下に抽出した課題を示す。

課題1：切羽観察を行うために必要な画質の選定

切羽岩判定の9項目の評価項目の中には、風化変質、割れ目の頻度、状態、湧水の有無といった、切羽を細かく観察することにより初めて判断できる要素も含まれている。低画質の画像では、これらの要素を十分に判断できない可能性がある。どの程度の高画質であれば十分に切羽観察が可能であるかの指標が必要である。

課題2：切羽と遠隔地のリアルタイム双方向通信

切羽から遠隔地まで一方的に情報を発信するだけでは、遠隔地の岩判定員が十分に観察したいポイントを観察できず、岩判定の精度が低下する恐れがある。そのため、遠隔地の切羽判定員が自らの手でカメラを操作し、自由自在に切羽を観察することができる環境構築が必要である。また、9項目の判定項目のうち、圧縮強度については岩片のハンマー打撃音が参考されるため、音声のリアルタイム通信も必要である。

課題3：通信困難エリアである坑内での無線通信実現

トンネル切羽を撮影した映像は、ネットワーク通信を経由して遠隔地まで送信する必要がある。トンネル坑内の有線通信環境は施工現場により様々で、坑内に通信設備が設置されていない施工現場や、通信設備が設置され

ていても、高画質映像を送信することができる通信容量が確保されていない施工現場も存在する。現場環境に左右されず安定した通信環境を確保するためには、設置が簡易で、かつ高容量の無線通信設備が適していると判断した。無線通信設備には、トンネル坑内には、通常、セントル、防音壁、防水工台車、重機等の、無線通信を阻害する機器設備が多数配置されていることから、これらの存在にかかわらず安定した無線通信を実施できることが求められる。また、図-2に示すように、トンネルは坑壁に囲まれた閉鎖空間であることから、坑壁に反射した電波の乱反射に起因する干渉問題が発生し、データ遅延や中継の途絶が懸念される。選定する無線通信設備は、電波の乱反射の影響を受けにくい通信設備であることが求められる。

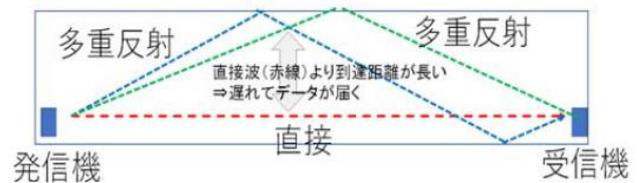


図-2 電波の乱反射に起因する通信障害発生イメージ

課題4：坑口から遠隔地までの通信実現

課題1から課題3までを解決することにより、切羽から坑口までの双方向高画質ネットワーク通信は可能となる。さらに坑口から遠隔地までの通信を確保することにより、遠隔地からの岩判定が実現する。

(2) 遠隔岩判定仕様策定のための課題解決

抽出した4項目の課題につき、以下に示すように課題解決を行い、遠隔岩判定の機器仕様を策定した。

課題1の解決：複数画質の切羽画像を観察した画質選定

どの程度の高画質であれば遠隔地からも切羽を効率よく観察できるかを判断するために、あらかじめカメラにより撮影した切羽画像を画像処理により複数の画質に変換し、それぞれを詳細に観察することにより、どの程度の画質であれば効率よく切羽観察を行えるかを確認した。

確認には、4K画質で撮影した切羽画像および、同画像に画像処理を施し、フルHD画質、HD画質とした計3枚の切羽画像それぞれについて、近畿地方整備局道路工事課および近畿技術事務所の協力を得て比較し、切羽観察に必要な画質の比較検討を行った。図-3に比較検討状況を示す。検討の結果、4K画質がもっとも画像による切羽判定に有効であるが、輝度の変化が大きくなる切羽周辺では、画質に加えて最低被写体照度の影響が大きくなるため、0.05lux程度の最低被写体照度を持つ撮影機材を確保すれば、フルHDでも画質は安定し、肉眼による切羽観察と同程度の観察が可能であることが判明した。そのため、4K画質のリアルタイム映像送信は必要

な通信容量が膨大となることを考慮し、フルHD画質を基本仕様として検討を進めることとした。



図-3 複数画質による切羽画像検討状況

課題2の解決：PTZカメラ、ウェアラブルカメラの利用

スマートフォンやタブレットを利用したweb会議システムでは、遠隔地の判定員が直接カメラを操作することができないため、判定者は任意に確認したい場所を確認できず、十分な切羽観察が実施できない。そのため、切羽と遠隔地の双方向通信が可能であり、遠隔地の判定員がカメラ操作を行える切羽映像撮影媒体として、PAN：水平操作、TILT：垂直操作、ZOOM：拡大縮小機能を有したPTZカメラを採用した。PTZカメラの選定の際には、課題1で明らかになった必要画質の映像送信が可能である点、0.05luxの低被写体照度に対応している点、切羽を詳細に観察するため光学ズーム機能を備えている点の3点すべてを満たす機器として、表-1に示す機器を採用した。

表-1 遠隔岩判定に採用したwebカメラ

分類	PTZ カメラ
カメラ名	VB-R13 (CANON)
写真	
重量、寸法	約 1990g、φ199×199mm
防塵防水仕様	—
画素数	210万画素 (フルHD)
ズーム倍率	30倍光学ズーム
パン角度	360° エンドレス旋回
チルト角度	180°
最低被写体照度	・デイモード (カラー) : 0.05lux ・ナイトモード (白黒) : 0.002lux
マイク	マイクなし
電源	PoE 給電対応

また、切羽付近の判定員と遠隔地の判定員が相互にコミュニケーションを取り、ハンマー打撃音のような現地の音を遠隔地に的確に伝えるため、切羽付近の判定員がウェアラブルカメラを着用することを基本仕様とした。ウェアラブルカメラは、手振れ補正機能および水平維持機能が搭載され、映像酔いを解消する機能が搭載されてい

る点を考慮して表-2に示す機器を選定した。また、坑内騒音に配慮し、マイクには骨伝導通話機能を有する機器を選定した。

表-2 遠隔岩判定に採用したウェアラブルカメラ

分類	ウェアラブルカメラ
カメラ名	CX-WE100 (ザクティ)
写真	
重量、寸法	約 140g、37×69×92 (mm)
防塵防水仕様	IP65
画素数	フルHD
ズーム倍率	2~4倍
パン角度	180° 広角レンズ
最低被写体照度	0.75lux
マイク	マイク搭載

課題3の解決：指向性のある無線通信技術の採用

通信難所であるトンネル坑内での無線通信を実現するためには、坑壁による電波の乱反射による通信障害を解消し、かつ、通信を阻害する重機、セントル等の坑内設備の隙間で通信が可能となるよう、指向性の高い無線通信機器を採用した。表-3に選定した二種の無線通信機器を示す。機器の選定の際には課題1により明らかになった、安定してフルHD以上の映像送信が可能な通信容量 (25Mbps以上) を持つ通信機器を採用した。

表-3 遠隔岩判定に採用した無線通信機器

	指向性	
	LED 通信	ミリ波通信
写真		
取扱会社	(株) 三技協	サンテレホン(株)
防塵防水仕様	IP67	IP67
通信速度	最大 750Mbps	1.3Gbps
通信距離	300m 中継器使用で延長可能	1km 中継器使用で延長可能

課題4の解決：4G回線を用いた坑口からの通信

施工現場によっては必ずしも坑口までネットワーク環境が整えられているとは限らない。また、施工業者により整備されたネットワーク環境を用いて双方向通信を実施するためには、ルータに進入用のポートを開くことが必要となるため、施工現場にセキュリティリスクが発生することになる。そのため、坑口からの通信環境も遠隔岩判定の実施のために独自構築することが好ましい。そのため、遠隔岩判定機器について、4G通信を用いて坑口から遠隔地まで通信可能な通信設備を構築した。

(3) 遠隔岩判定仕様策定

遠隔岩判定実施のための課題解決を実施した結果をもとに、遠隔岩判定の仕様を策定した。

図-4に遠隔岩判定通信模式図を示す。切羽付近にはPIZカメラが設置され、遠隔地の判定員はネットワークを介してカメラ操作を行い、自由自在にカメラを操作可能である。また、切羽付近の判定員はウェアラブルカメラおよび骨伝導マイクを装着し、web会議システムを通じて遠隔地の判定員とコミュニケーションを取り、指示に応じてハンマー打撃音等を送信する。映像および音声等のデータは坑内に設置した無線通信を通して坑口まで送信され、坑口からは4G通信を通して遠隔地まで送信される。

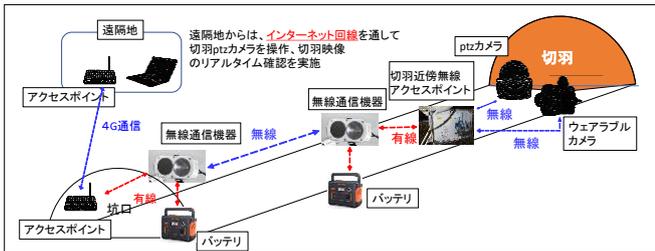


図-4 遠隔岩判定通信模式図

4. 遠隔岩判定システム実証実験

仕様策定した遠隔岩判定のシステムが現場に適用可能かどうかを判断するために、トンネル状実験施設および、2件の施工中の実トンネルを利用して通信試行を実施した。

(1) 実大トンネルを用いた通信実験

遠隔岩判定システム試行の第一段階として、選定した無線通信機器がトンネル内においても坑壁の電波乱反射の影響を受けずに通信可能かどうかを判断するために、国土技術総合政策研究所が所有する実大トンネル実験施設（茨城県つくば市）において無線通信機器の試行を行った。図-5に実大トンネルの概要を示す。

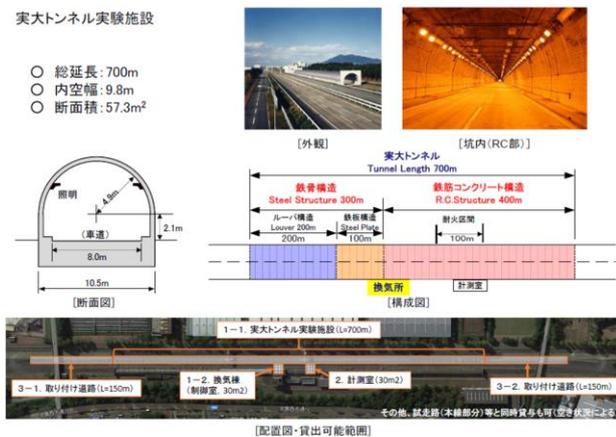


図-5 実大トンネル概要

実大トンネルは延長700mの直線状のトンネル型実験施設であり、トンネル坑内にはセントルや防水工台車、重機などの設備は設置されていない。そのため、当実験は、以下のテーマで実施した。

- ① トンネル坑内においても無線通信機器で通信を行うことが可能かどうかを確認する。
- ② 無線通信を行った場合の通信容量を数値化する。
- ③ 機器設置に必要な時間を計測する。

図-6に通信実施状況を示す。電波乱反射の影響を観察するため、通信機器は極力坑壁に近付いた地点に設置して実施した。



図-6 無線通信試験実施状況

通信試験の結果から、以下のような結論が得られた。

- ① 選定した通信機器はともにトンネル坑内で通信を行うことが可能であった。また、テスト用に接続したHD画質のPIZカメラでスムーズな映像送信が可能であった。また、通信確認にあわせて実施した、プラスチックおよび人を障害物と見立てた通信遮断試験では、両者ともに通信が遮断されないか、通信遮断後に数秒程度で通信復帰が可能であった。
- ② 通信速度は両者ともに85Mbps以上を記録し、フルHD映像のみならず4K映像を送信可能な通信容量であった。
- ③ 機器の組み立てに要する時間は両者ともに1分程度であり、実際の現場で実施される岩判定でも運用可能な短時間での準備が可能であった。

以上の実験結果から、無線通信機器に関してはトンネル坑内においても基本的に通信可能であることを確認した。一方で、当実験では以下が課題として残った。

課題) 当実験施設には重機やセントル等の通信の障害となると考えられる設備が存在していない。実トンネルでの試行により、これら設備があっても通信可能かどうかを判断する必要がある。

(2) 実トンネルを用いた通信実験(江住第二トンネル)

実大トンネルにおいて実施した通信実験で残った課題の確認を行うため、施工中のトンネルを利用して遠隔岩判定通信実験を行った。

通信試験には、実験当時すさみ串本道路において株式会社安藤・間により施工中であった江住第二トンネルを利用した。図-7にトンネル平面図および機器配置図を示す。

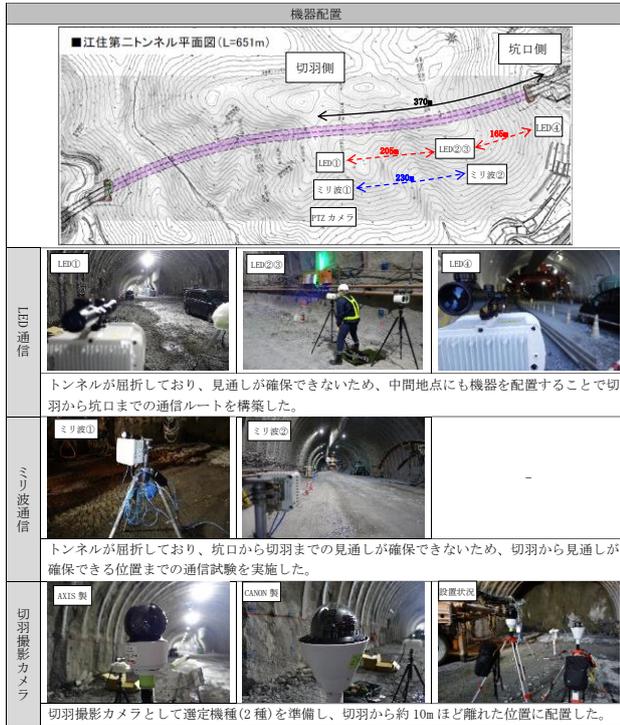


図-7 江住第二トンネル平面図および機器配置図

当トンネルは実験当時の延長が370mであり、距離呈30.0m付近に防水工台車、距離呈200m付近に防音扉が配置されている。当環境を利用し、以下3通りの実験を行った。

- ① 防水工台車の人用出入口を通した通信可否実験
- ② 防音扉の扉を非常に狭い感覚となるまで閉めた状態での通信可否実験
- ③ 選定したPTZカメラを用いた切羽から坑口までの映像送信実験

実験の結果は以下の通りであった。

- ① 図-8に実験対象とした防水工台車の写真を示す。防水工台車の人用出入口を通した通信実験の結果、防水工台車を通して良好な通信を確保し、スムーズにwebカメラを操作可能であることを確認した。



図-8 防水工台車

- ② 防音扉の扉間隔が50cmとなるまで扉を閉めて通信実験を行った結果、50cm程度の隙間であっても良好な通信環境を確保することが可能であることを確認した。



図-9 防音扉を用いた実験状況

- ③ 選定したPTZカメラを用いて、切羽から坑口まで無線通信で接続し、坑口付近に設置したPCで切羽を観察した結果、当無線通信機器を用いて、坑内設備がある状況でもフルHD映像のスムーズな通信が可能であることを確認した。図-10にPTZカメラによる切羽撮影状況を示す。



図-10 PTZカメラによる切羽撮影状況

当実験により、坑内設備が存在する実トンネルにおいても、切羽から坑口までの無線通信による遠隔岩判定が実施できることを確認した。一方で、当実験からは以下が課題として残った。

課題) 当実験では通信は切羽から坑口までにとどまり、

坑口から遠隔地までの4G通信を含めた遠隔岩判定の実施可否は未確認である。

(3) 実トンネルを用いた通信実験(高富トンネル)

江住第二トンネルにおいて実施した通信実験で残った課題の確認を行うため、株式会社大林組により、すさみ串本道路において施工中である高富トンネルを利用した通信実験を実施した。当実験は近畿地方整備局の協力を得て、高富トンネルから近畿地方整備局本局および近畿技術事務所の両者まで、4G通信を利用した遠隔地からPTZカメラを操作する遠隔岩判定実験を行った。高富トンネルは試験当時の延長が170m程度の直線状トンネルで、実験当時、防水工台車などの坑内設備は存在していない。

図-11に実験状況写真を示す。当実験では遠隔地から4G回線および坑内無線通信を通して双方向通信により切羽付近に設置したPTZカメラを操作し、坑内状況を観察することに成功した。



図-11 高富トンネル遠隔通信試行実験状況

5. まとめと今後の課題

当検討では、今後のトンネル切羽岩判定の作業効率化を目的として、遠隔地からトンネル切羽までを無線通信で接続する遠隔切羽岩判定の仕様検討、遠隔岩判定システム構築、遠隔岩判定システムの実証実験を実施した。検討当初には仕様検討を行い、以下のような結論を得た。

- ① 遠隔地からの映像配信を通して切羽岩判定を実施するためには、0.05lux以上の低被写体照度対応、かつ、フルHD以上の画質が必要である。

- ② 双方向通信による遠隔地からのカメラ操作が必要である。
- ③ 坑内は通信難所であることから、安定した高通信容量の無線通信実施のためには、坑内環境に対応可能な無線通信機器を選定する必要がある。
- ④ 坑口から遠隔地までの通信を確保するためには、4G通信環境を準備する必要がある。

以上の課題を解決するための仕様検討・機器選定を実施したうえで遠隔岩判定システムを構築し、実大トンネル、2件の実トンネルでの試行を通して、切羽から遠隔地まで双方向通信を行い、PTZカメラを操作して切羽観察を行うことに成功した。

今後は、当検討で作成した遠隔岩判定システムをより汎用性に利用可能なものとするため、クラウドを利用した切羽画像のリアルタイム保存、ネットワークセキュリティの確保等の仕様検討を行うとともに、通信技術の発展にあわせて、5G環境の利用等、機器の高精度化を継続して実施する予定である。

謝辞：当検討の実施に際しては、近畿技術事務所 榎本総括技術情報管理官（当時）、高祖技術情報管理官（当時）、近畿地方整備局道路工事課 浦本課長補佐に、切羽観察を行うために必要な画質の選定に際し、ご協力、ご指導、助言をいただいた。現場実験の実施にあたっては、江住第二トンネルにつき株式会社安藤・間に、高富トンネルにつき株式会社大林組に快くご協力いただいた。株式会社演算工房、株式会社三技協、サンテレホン株式会社、凸版印刷株式会社各位には実験実施にご協力いただいた。近畿地方整備局道路工事課 浦本課長補佐、近畿技術事務所 吉田技術情報管理官には、実験実施の際の遠隔地からのPTZカメラ操作確認につきご協力いただいた。関係各位にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路工事課：「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）（平成18年9月試行案の改訂版）」、2016

工事車両のリアルタイム走行状態を把握し 効率的な運行管理を支援するシステムの紹介

今井 隆行¹・村崎 充弘²

¹株式会社ケー・シー・エス 東京支社 (〒112-0002東京都文京区小石川1-1-17)

²応地質株式会社 経営企画本部サステナビリティ推進部 (〒101-8486東京都千代田区神田美土代町7)

2011年の紀伊半島大水害により深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区では、砂防堰堤造成のためにコンクリートブロックを運搬している。管理者は、車両位置、対向車両とのすれ違いが困難で狭隘な道路を通行する時刻をリアルタイムで把握したいという要望があった。

これらの要望を解決するために車両位置情報をリアルタイム監視や走行実績の確認が可能な運行管理システムを提案し、遠隔地や作業現場で走行中の車両位置の把握、運行実績作成作業の簡易化など成果を上げることができた。運転手から他の車両位置を把握できないなど、解決できなかった要望については、運行管理システムの改良を行いさらなる有用性の向上に努める。

キーワード 紀伊半島大水害、動態管理、リアルタイム監視、働き方改革

1. はじめに

2011年9月の台風12号（紀伊半島大水害）の影響により、紀伊半島（奈良県・和歌山県・三重県）では3,000箇所を超える斜面崩壊が発生し、その崩壊土砂量は約100,000,000m³に及んだ¹⁾。

紀伊山系砂防事務所では大規模崩壊による土砂災害に対する安全度の向上のため、砂防事業を実施しており、24,000,000m³の日本最大の崩壊土砂が発生した奈良県吉野郡十津川村栗平地区を流れる栗平川流域においても、湛水池埋戻しや砂防堰堤造成等の砂防事業が続けられている²⁾ (図-1)。

紀伊山系砂防事務所へのヒアリングの結果、砂防事業



図-1 位置図（左上）、実証中の走行車両に取り付けたドライブレコーダーの画像（左下）と工事現場（位置図と工事現場についてはパンフレット³⁾に一部加筆）

において、砂防堰堤造成のためにコンクリートブロックを工場や仮置場から現場まで運搬している。現場付近は山間部で、コンクリート堰堤や掘削土砂などを運搬する際、道路の道幅が狭く、ダンプ等の対向車両とのすれ違いが困難な箇所が多い(図-1左下)。無線等により各車両間で調整をしながら、通行をしている⁴⁾。運搬車両の現在位置が掴めないことが一つの要因となっている。

近畿地方整備局が公募した「現場ニーズに対応する新たな技術(シーズ)」において、リアルタイムに位置情報を把握することができる運行管理システムの実証実験を行い、課題解決につながる可能性と今後の展開を確認できたため、実証実験結果を報告する。

2. 先行事例と実証技術の紹介

(1) 先行事例

運行管理システムは、ベースエンジン(RATS: Radioactive wastes Transport System)を用いて、一般的な建設現場用にカスタマイズしたシステムである(図-2)。RATSは前田建設工業株式会社、応用地質株式会社、株式会社ケー・シー・エスの三者による共同開発したソフトウェアで、環境省中間貯蔵事業において、除去土壌等の輸送管理を行った実績がある。

主な機能は以下の6点である。6点の内、実証実験では

- ①, ②, ③, ⑥を用いた。
- ① スマートフォンのGPS機能と通信処理等の高速化システムを利用したリアルタイムの動態管理(サンプリングタイム1分)
- ② カメラ機能と映像の送受信による路面や積載物の常

時監視と運行履歴の記録

- ③ 加速度センサーによる速度管理(速度超過防止, 急加速, 急ブレーキ等の異常時の即時把握)
- ④ 専用ナビゲーションによる, 運行ルート管理(進入禁止エリア等の通過では警告音を発生)
- ⑤ 運転手と管理者との双方向の対話
- ⑥ 積載物の全数管理によるトレーサビリティの確保

(2) 実証技術の仕組み

運行管理システムは、専用アプリケーションをインストールしたスマートフォンを運搬車両に搭載し、運搬車両の走行位置情報をリアルタイムに監視することができる。スマートフォンのGPS機能を使用して車両の位置と時刻を計測し、通信機能で走行データをサーバにアップする。サーバにアップした走行データを事務所などの遠隔地においてもweb経由でPCで確認することができる。

スマートフォンに搭載されたカメラ機能を活用し、走行時の動画も同時に取得可能であり、走行中の状況を確認することができる。

スマートフォンの加速度センサーを活用し、運搬車両の急減速, 急加速を検知することが可能である。電波を利用できないトンネルなどでは、走行データをスマートフォンに蓄積し、通信可能な状態になった時点で走行データをサーバに送信することで、走行データの欠損を防いでいる。

(3) 実証技術の特徴

a) 使用機材

使用する機材は専用アプリを搭載したスマートフォン, SIMカードや充電器など汎用的な機器を使用し、運行管理システムを利用できる。

b) 走行履歴・走行動画の表示

運行管理システムはリアルタイムの位置情報だけではなく、走行履歴の表示や走行実績, 走行時の動画, 朝夕の通勤・通学時の走行禁止区間・時間中の走行の有無を確認することも可能となる。

c) 通信不可エリアでの挙動

運行管理システムはスマートフォンで用いられる通信技術を採用しているため、トンネルなどの電波不感地帯では通信ができないが、位置や時刻情報などのデータをスマートフォンに蓄積し、通信可能なエリアで走行データをアップロードすることで走行データの欠損を防ぐことができる。

d) 柔軟なカスタマイズ

利用者のニーズに合わせて、機能の追加や削除, 新規機能の構築が可能である。実証実験向けにカスタマイズを行っており、内容を次章に示す。

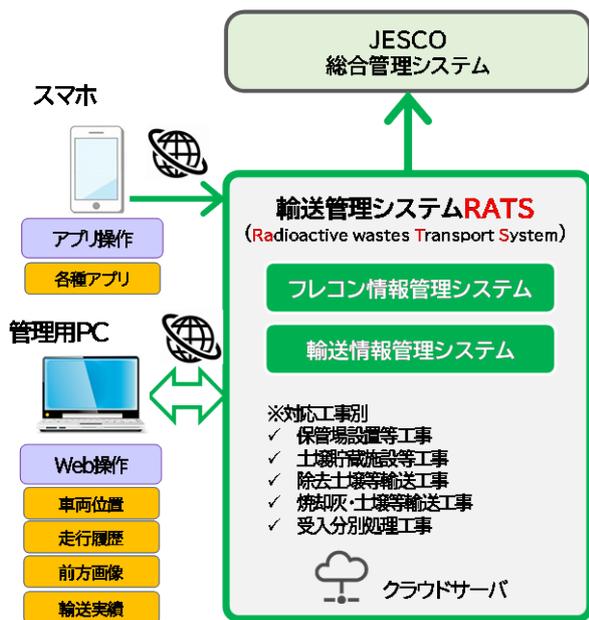


図-2 RATS 概要図

e) 採用実績

前述のRATS同様に環境省中間貯蔵事業において、運行管理システムは2019年から2022年3月で実績がある。

3. 実証実験

実証実験では、2021年度技術シーズの公募において、紀伊山系砂防事務所が提示した「山間部の狭隘・急峻な現場通行を事業者（受発注者共）で一元管理したい」、「土砂運搬時の現在位置、運行履歴、状態のモニタリングを可能にするシステム」というニーズに対するシーズの有用性を把握するために以下の検証を行った。

紀伊山系砂防事務所に対してヒアリングしたところ、下記7点のニーズを確認し、①～④については運行管理システムの改良を行った。⑤～⑦については7章に今後の対応を記載した。

- ① 車両走行位置のリアルタイム確認、車両走行履歴、車両走行実績の確認
- ② 電波不感地帯走行時でも利用可能
- ③ 車内スペースを侵さない小型な機器
- ④ コストが増大とならない
- ⑤ 車両に搭載したスマートフォン画面で他の車両位置も把握可能
- ⑥ 車両に搭載したスマートフォン画面から音声案内、注意喚起などの音声情報を通知
- ⑦ 通行禁止時間帯を設けている地域、電波不感地帯など、指定した特定箇所を通過した時の日時を記録

(1) 実施概要

実施箇所、期間や対象については以下に記す。

a) 実施箇所

実証実験現場は、コンクリート堰堤を製造している草竹コンクリート奈良工場（奈良県奈良市）ならびに同社第四工場（奈良県奈良市）から砂防事業箇所の区間など各施設や作業現場とした。また位置情報の監視箇所を作業所（奈良県吉野郡十津川村）ならび五條監督官詰所（奈良県五條市）にて行った。工場は奈良市の各施設や現場については表-1、位置図については図-3に示す。

b) 実施期間

実施期間は2022年2月14日（月）から2022年2月28日（月）とした。

c) 実施対象

実証実験は最大5台の車両を対象とし、専用アプリを搭載したスマートフォン一式を使用した。

(2) 実施内容

実証実験内容については以下3点の検証を行った。

表-1 施設・現場の所在地

施設・現場	住所
奈良工場	奈良県奈良市平清水町 558
第四工場	奈良県奈良市南京終町 6-616-3
上野地ヤード	奈良県吉野郡十津川村 820 番ほか
作業所	奈良県吉野郡十津川村滝川 407 番
詰所	奈良県五條市大塔町辻堂 1-3
現場	奈良県吉野郡十津川村栗平



図-3 位置図

(奈良県の国土数値情報を基に背景地図を作成し作成)

a) 走行位置のリアルタイム表示

奈良工場から現場、現場から上野地ヤード等、出発地から目的地までの走行位置がリアルタイムに表示されていることを管理画面で確認した。確認は現場、作業所および詰所において行った。現場は電波不感地帯であったが、電波不感地帯でもWEBによる立会（遠隔臨場）可能となるシステムを試験的に導入しており、紀伊山系砂防事務所の協力によりそのシステムで使用されている衛星通信用電波を利用することができ、現場でも位置情報をリアルタイムで把握することができた。

b) 走行履歴の確認

起終点までの走行履歴を管理画面で確認した。走行履歴は起終点位置と輸送経路から外れることなく運行していることを確認した。

c) 走行実績の確認

起終点までの走行実績を管理画面で確認した。走行実績の内容は車番、端末番号、所属会社、運転手、輸送開始時刻、輸送終了時刻、搬出先、実績の表示、出力を確認した。

d) 走行動画の確認

起終点までの車両前方動画の確認を管理画面で行った。特に急減速発生箇所や作業現場付近の狭隘な道路を中心に行った。

(2) 実施方法

アプリケーションを入れたスマートフォンを運転手に使用してもらい、管理画面において実施内容を検証した。

4. 結果

運転手は「アプリ起動→運転手と車両の登録→搬出先や積荷等の選択→車内に設置」という簡単な操作で準備ができた。設置状況を図-4に示す。

また、実証実験により得られた結果は以下のとおりである。

(1) 走行位置のリアルタイム表示

走行位置のリアルタイム表示機能により、電波が通じている区間だけでなく、電波不感地帯では車両は停止した状態に見えるが、電波が通じている区間を通過する時点でデータを自動でアップし、走行実績を確認することができた(図-5)。

(2) 走行履歴の確認

走行位置と同様に走行履歴(起点:奈良工場、終点:作業現場)の表示を確認した。現場以外でも電波不感地帯を通る区間があったが、起終点全区間で履歴が表示されていることを確認した(図-6)。

(3) 走行実績の確認

走行実績を確認したところ車番、端末番号、所属会社、運転手、輸送開始時刻、輸送終了時刻、搬出先が表示されていることを確認できた(図-7)。

(4) 走行動画の確認

走行動画を確認したところ、狭隘な道路を走行中などの動画を確認することができた(図-8)。また、急減速警告が出た箇所の動画を確認したところ、事故には至っていないことを確認した。

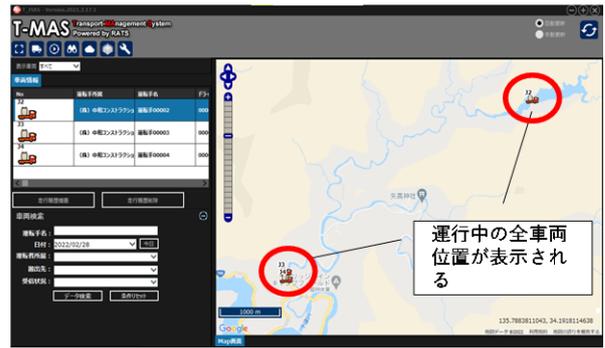


図-5 車両位置表示画面(作業現場にて)



図-6 車両履歴表示画面(奈良工場~現場)



図-7 運行実績管理画面

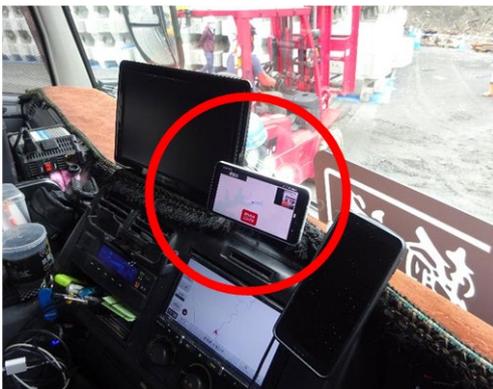


図-4 車内設置状況



図-8 運搬車の前方画像(図1左下再掲)

5. 考察

運行管理システムは、アプリケーション操作が容易、使用機器も汎用品のため、導入時の費用、時間面での負担が軽減でき、施工性の向上も図られた。

車両の通行履歴を自動出力できる機能については、通行報告作成の手間や記載ミスの削減、工程が短縮できることが分かり、管理作業の効率化を確認できた。作業所の職員によると、作業時間の約30%の短縮できることを確認した。

運行管理システムの利用で遠隔地でもリアルタイムに車両位置を把握できることで、実証実験のように長距離で、狭隘な道路など確認地点の多い輸送の作業確認に効果を発揮する。車両軌跡から通行時刻を確認し、その走行データを基に調整することで、通行禁止時間を設けている区間や待機場所での待ち時間の短縮につながり、環境負荷も抑えることが可能である。

現場から要望のあった狭隘な道路などの特定箇所地点を通過した日時を記録する機能があれば、通行報告書などのレポート作成時により使い勝手が向上する。

また、輸送作業時の無線回数を減らせ、安全性が向上したが、管理者側だけでなく運転手側でも他の車両の位置を把握できるようになれば、より安全性が向上できる。

6. 結論

運行管理システムの有用性を確認できた。4章に記載した結果により、運行管理システムは、3章に記載した紀伊山系砂防事務所が要望する7点のニーズのうち、①～④を解決し、走行位置と履歴の把握に有効であることを確認できた。解決できなかった⑤～⑦のニーズの対応については、次章にまとめる。

7. 今後の展望

実証実験を踏まえ、遠隔地や現場で走行中の車両位置の把握、運行実績作成作業を簡易にしたい現場への展開できることを確認できた。実用性のさらなる向上のため、実証できなかった3章に記載したニーズ⑤～⑦について、下記の通り短期間で改良、機能付加をすることができ、今年度の工事に使用可能である。

(1) ドライバー間で車両位置把握

実証実験では作業所などの遠隔地にいる人が車両位置を把握できることを確認できたが、ドライバーは車両位置を把握できない状態であった。ニーズ⑤のように、ドライバー間で他の車両位置を把握することができれば、

監督者が指示を出さなくても狭隘な道路での対向車両とのすれ違いを効率的に行えるようになる。車両に搭載したスマートフォン画面に他の車両等を表示できるようにプログラムを改良をする。

(2) 音声案内

ニーズ⑥の音声案内については、上位システム(RATS)において登録したルート音声案内、指定ルート以外を走行した場合の注意喚起も可能である。指定した箇所を通過時に音声鳴るようにする機能を改良する。

(3) 指定箇所通過日時の記録

ニーズ⑦の指定箇所を通過した日時を記録するためには、指定したエリアで通信が行われた時刻を収集するようにプログラムを改良する。

8. おわりに

今回の経験を踏まえ、より有用性のある運行管理システムを構築し、現場に投入することで、工事現場の車両運行管理を効率的に行えるようにして、建設業界のDX化に寄与したい。

謝辞：「令和3年度現場ニーズに対応する新たな技術(シーズ)」による実証実験を行うことができ、結果を報告している。実施に際し、紀伊山系砂防事務所 古江智博建設専門官ならびに同事務所 田尻 一朗建設監督官より現場や実証実験についてのアドバイスをいただいた。実証実験への協力を(株)中和コンストラクション 栗平 工事作業所 山村登作業所長をはじめ多くの方々にご協力いただいた。最後に、運行管理システムの構築に携わった前田建設工業(株)の井上卓氏と林信太郎氏他関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 紀伊山系砂防事務所：事業紹介パンフレット，2021年3月，P.1，<https://www.kkr.mlit.go.jp/kuisankei/outline/pdf/pamph.pdf>（閲覧日:2022/05/20）
- 2) 紀伊山系砂防事務所：魅せる！現場一砂防編— Vol.5 栗平～日本一の土を止める，2021年12月24日，<https://www.kkr.mlit.go.jp/kuisankei/map/8.html>（閲覧日:2022/05/20）
- 3) 紀伊山系砂防事務所：電波不感地帯でも”行動のDX”栗平地区において遠隔臨場テストを実施，2022年2月17日，https://www.kkr.mlit.go.jp/scripts/cms/kuisanchi/infoset1/data/pdf/info_1/202217_01.pdf（閲覧日:2022/05/20）
- 4) 近畿地方整備局：第3回現場ニーズと技術シーズのマッチング技術シーズの公募について別紙-1，別紙-2，2021年10月，<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/i-construction/019a8v000001jzww-att/R3bessi1to2.pdf>（閲覧日:2022/05/20）

中小河川の維持管理における 航空レーザー測量・測深の活用検討について

太田 宏生¹

¹滋賀県 南部土木事務所 道路計画第二課 (〒525-8525滋賀県草津市草津三丁目14-75)

近年、全国的に河川改修事業に伴う航空レーザー測量・測深の活用が促進されている。本県では、河川整備計画の策定に伴う広範囲の測量に航空レーザー測量・測深が活用され、その実績が徐々に蓄積されつつある。一方で、当該測量により取得できる3次元地形データの更なる活用により、河川管理の高度化・効率化が期待されているが、本県では、3次元地形データの取得後、河川管理への活用が十分とは言えない状況である。本報告では、ALB等によって得られる3次元データを中小河川の維持管理に活用し、河川管理の高度化・効率化が可能であるかを検証することを目的とする。本報告が、3次元地形データの更なる活用の一助になればと考える。

キーワード 航空レーザー測量, ALB, 中小河川, 維持管理, 点検マニュアル

1. はじめに

近年、全国的に河川改修事業に伴う航空レーザー測量・測深(以下「ALB等」とする)の活用が促進されている。これは、従来の近赤外線レーザーでは、流水部の地盤高が計測できなかったが、流水部を透過するグリーンレーザーにより、河床の計測が可能になったためである。本県においても、河川整備計画の策定に伴う広範囲の測量にALB等が活用され、その実績が蓄積されつつある。2020年には、一級河川大戸川において、河川整備状況の確認のため、ALB等を実施した。

また、現在、河川管理の高度化・効率化を目的として、3次元データの更なる活用が求められている。2020年2月付けで国土交通省より河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)(以下「マニュアル」とする)が策定されており、活用方法および注意点がまとめられているところである。全国的にも3次元地形データを用いた河川管理はこれから推進される分野である。特に、地方自治体が管理する中小河川での活用事例は、積みあがっていない状況である。

一方で、地方自治体における河川管理について、少子高齢化、価値観の多様化、財政の逼迫および河川周辺の土地開発等の社会環境の変化に伴い、従来の管理方針等では立ち行かなくなってきた。

本報告では、中小河川における河川管理の現状を一事例により示しつつ、ALB等によって得られる3次元データを中小河川の維持管理に活用し、河川管理の高度化・効率化が可能であるかを検証することを目的とする。

2. 河川管理の現状および課題

本県における河川管理の現状および課題から、河川管理の高度化・効率化の必要性について示す。

(1) 維持管理の状況と課題

本県の維持管理の状況として、令和2年度の大津市南東部エリアの例を以下に示す。当該エリアの対象河川は、24河川、延長約61.4km(琵琶湖を除く)である。

まず、補修工事の実施経緯について、地元等の要望が約63%と半数以上を占めており、定期管理および調査点検は併せて約34%にとどまっている(図-1)。

次に、要望件数について、年間172件の要望を受けている。また、要望内容の比率を示す(図-2)。除草・伐採が最も多く、約44%を占めている。次いで、河川構造物が約13%であり、浚渫が約11%と続く。

以上の状況より、以下の課題点があげられる。

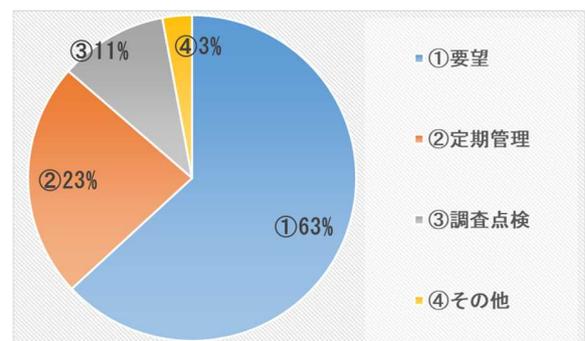


図-1 補修工事における実施経緯の比率

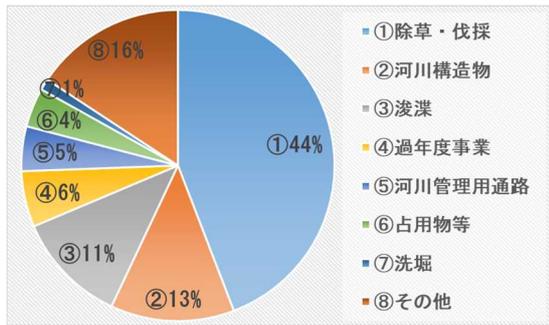


図-2 要望内容の比率



図-3 測量実施範囲

まず、維持管理が定期管理および調査点検だけでは十分行っておらず、地域住民等の要望により成り立っているということが言える。地元協働とも言えるが、河川管理者の立場としては事後対応になる。

次に、要望数が多く、職員の負担が大きい。勤務日数を約240日とすれば、約1.4日に1件のペースで要望を受けている。主な業務として改良事業を抱えながらの要望対応は、時間的に困難であり、効率化が必要である。

さらに、要望内容の比率に伴い、維持補修の内容も、除草等に重点が置かれているという点があげられる。除草等による景観保全や民地の侵害防止は河川管理において重要な点であるが、通水断面を確保する浚渫工事および流水を安全に流下させる河川構築物の補修工事の比率をより上げていく必要がある。

以上より、事後対応に追われる維持管理から、計画的な維持管理へ転換するために、河川管理の高度化および効率化が必要であると考えられる。

(2) 維持管理計画の状況と課題

維持管理計画は、2013年に改正された河川法等に基づき、各県土木事務所が策定した河川維持管理計画に沿って実施している。

当該計画では、河川巡視点検を実施し、設定している維持管理目標に対して、要対策箇所を評価し、補修することになっている。

河川巡視点検は、委託業務、河川パートナーおよび県職員が、目視点検により実施している。目視点検の利点は、現地確認により、細かな情報が入手しやすい点にある。

一方で、計画的な維持管理を進めるためには、以下のような課題点もある。

まず、目視点検は局所的になりやすく、俯瞰的に状況把握がしづらい。

次に、情報が定性的で、定量的な情報が得られない。

さらに、徒歩あるいは自転車での点検であり、草木の繁茂もしくは管理用通路の整備状況により、点検精度が左右される。

また、点検結果が写真データで取りまとめられ、経年比較がしづらいことや、工事履歴、計画断面および占用工作物等の基礎情報とリンクしづらい点も課題である。

表-1 計測機材および計測諸元の設定

項目	設定諸元	備考
搭載航空機	エアバス・ヘリコプターズ社 AS350B	
ALB計測システム	SAKURA-GH (RIEGL社VQ-880-GH搭載)	
データ記録方式	連続波形記録方式	
レーザ製品分類	Laser Class 3B	
レーザ波長帯	G channel 532nm IR channel 1064nm	G陸部・水部計測用 IR水面補正用
レーザパルス発射回数	G channel 550,000Hz IR channel 600,000Hz	円形スキャン 並行円弧スキャン
ビーム広がり角	G channel 2.0mrad IR channel 0.2mrad	高度690m 約138cm 高度690m 約14cm
レーザスキャン角度	±20°	高度690m 幅約500m
対地飛行速度	約100km/h	
対地飛行高度	約690m	計測基準面より
計測地点密度	G channel 約24点/m ² IR channel 約19点/m ²	
計測コース間重複度	50%	
付属デジタルカメラ	PhaseOne iXU-RS1000	RGB画素数1億pixel
航空写真地上画素寸法	約7cm	対地高度690m

計画的な維持管理をするためには、定量的かつ俯瞰的な調査点検データが必要不可欠である。また、維持管理の高度化および効率化のためには、点検精度の向上や中長期的な調査結果の分析等が必要となる。

以上より、河川維持管理が抱える課題の解決には、河川における調査点検の高度化・効率化等が必要である。

3. ALB等の概要

(1) ALB等の実施概要

今回、実施したALB等の概要を以下に示す。

対象河川は、一級河川大戸川およびその支川である。

実施範囲は、一級河川瀬田川合流地点(大津市黒津地先)から第二斧研橋(大津市牧地先)までの約9.0km、約3.0km²である(図-3)。

実施目的は、大戸川河川改修事業完了に向けて、河川整備状況の確認のためである。

測量内容は、以下のとおりである。

- ① 測量種別：航空レーザー測量・測深
- ② 区分：地図情報レベル500
- ③ 測点間隔：0.5mメッシュ相当
- ④ 計測機器仕様等：表-1のとおり

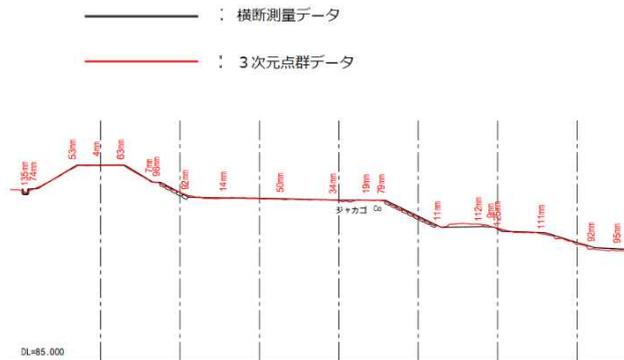


図4 TS測量および点群データ重ね合わせ横断面図



図5 パラペット護岸の参考写真

⑤ 成果物内容

- ・三次元計測オリジナルデータ
- ・グラウンドデータ水陸部
- ・グリッド(標高)データ
- ・等高線データ
- ・オルソ画像
- ・縦横断面図

(2) ALB等の精度および留意すべき特徴

ALB等の精度について、標高の較差が0.3m以内と定められている²⁾。参考までに、本業務におけるTSおよびレベルによる横断方向での点検測量(5測線、186点)の較差は、最大値0.147m、最小値0.02m、平均値0.057mとなっており、基準値は十分に達成されていた(図4)。

中小河川でALB等を使用する際に、留意すべき点を示す。

まず、ALB等のおさえておくべき特徴は、先述した測点間隔である。パラペット護岸のような測点間隔以下の狭小な天端幅の構造物が計測困難であり、堤防高が過小評価されるおそれがある(図-5)。本業務においても、横断面図において、2地点10測線でパラペット護岸が評価されなかった。これについては、既往測量データおよび工事履歴を重ね合わせることで補足した。同じように法覆

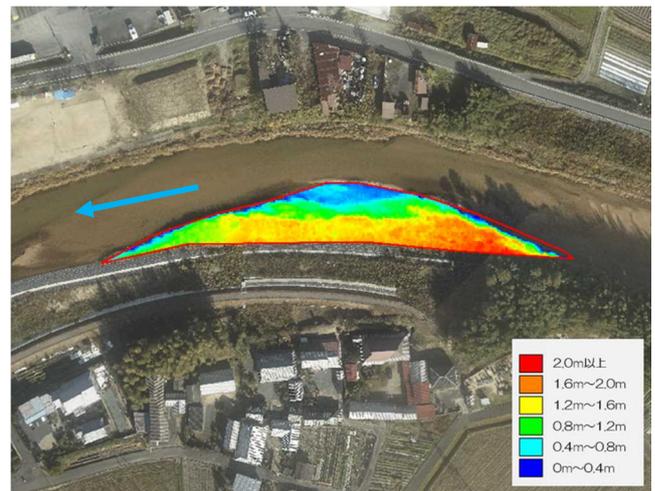


図6 計画河床からの差分解析結果

護岸工の法肩および小型堤脚水路等も計測困難な場合があることから、使用方法に応じて留意が必要である。

次に、樹木および草木の繁茂により、測量誤差が生じることである。幸いなことに、本業務では補備測量が必要なほどの測量誤差は生じなかった。

さらに、従来の横断測量と異なり、ALB等から作成した横断面図では、構造物等の属性等の判別ができないことから留意が必要である。

4. ALB等を用いた維持管理への活用検討

本技術を用いて、一級河川大戸川および支川の調査点検を実施したところ、大小あわせて約50箇所(経過観察箇所を含む)の異常箇所が確認できた。その代表的な検証事例を示すとともに、マニュアルとの比較を示す。

(1) 代表的な検証事例

以下に、検証した事例の中で代表的なものを示す。

a) 土砂堆積

3次元データを活用した堆積土砂の掘削土量算定を示す(図-6)。計画河床からの差を解析により算定している。3次元データより算定された掘削土砂量は、2,604m³であり、従来の平均断面法により算定された掘削土砂量は、2,650m³である。その差は、わずか46m³であった。また、3次元データを活用することで、より精度の高い掘削土量が算定されていると考えられる。

3次元データを活用することで、定量的な情報が得られた。また、一断面ごとに横断面図作成および数量計算の必要がなくなることから、土砂堆積量の把握において省力化につながると考えられる。

さらに、計画的な維持管理に対しても、本技術は非常に有効である。差分解析により、河川全体の土砂堆積量の把握が可能であることから、予算計画等がたてやすい。また、任意点での横断面図を併せて確認することで、断面閉塞率および土砂堆積量から、施工の優先順位等を決定



図-7 オルソ画像(左)と標高段彩図(右)の比較



図-8 法面崩れ現地写真

し、実施計画を策定することが可能である。この副次的な効果として、地域住民に対する維持管理計画の明確な説明等が可能となる。

加えて、数年毎に、3次元データを取得することにより、土砂堆積の進捗を分析することが可能であり、予測をもとにした中長期的な浚渫計画を策定可能となる。

b) 植生繁茂箇所への調査

マニュアルにおいて、植生の繁茂状況によって、計測精度が低下するとある¹⁾。しかし、植生が密に繁茂している箇所では、法面崩れが確認できた箇所を紹介する。

当該地は、管理用通路となる市道の河川側に樹木が繁茂している。そのため、目視点検およびオルソ画像による法面状況が確認できず、河川内からでなければ、法面の点検が困難な場所である。しかし、標高段彩図を作成すると、護岸上部の法面が一様でなく、崩れのような影が確認できる(図-7)。そして、現地確認により、法面崩れが確認された(図-8)。

草木繁茂および管理用通路の未整備等により、徒歩での点検が困難な箇所を活用することで、崩れ等の早期発見、つまり点検精度の向上や点検作業の省力化につながると考えられる。



図-9 市道橋下の河床洗堀

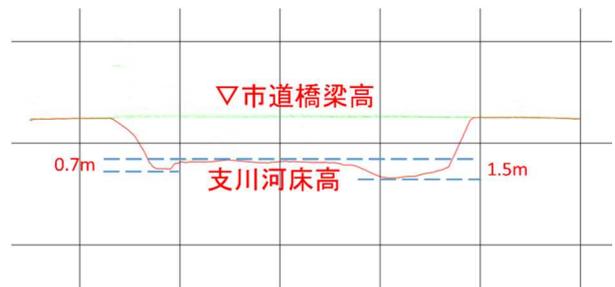


図-10 市道橋下の河床洗堀

c) 対策工検討への活用

本技術による調査をふまえ、原因分析および対策工の検討まで活用した例を示す。

大戸川と支川の合流部に位置する橋梁下で、河床洗堀が発生し、護岸の基礎が沈下した(図-9)。

まず、3次元データから橋桁で覆われた箇所を横断面図を出力する(図-10)。今回用いたALB等は、円形の軌跡でレーザ光が斜めに照射されているため、橋桁で覆われた一部についてもデータが取得されている。また、3次元データは、任意断面で、横断面図を作成可能であることが強みである。横断面図より、右岸側が約1.5m洗堀されており、左岸側が約0.7m洗堀されていることが判明した。この段階では、よくある橋梁下部の局所洗堀であり、根継工の実施が考えられる。

しかし、標高段彩図およびオルソ画像を確認すると、大戸川の右岸側に土砂が堆積し、左岸側は、洗堀していることが判明した(図-11)。そのため、支川縦断方向(大戸川横断方向)に、横断面図を出力すると、大戸川と支川で約1.5mの落差が生じていることが判明した(図-12)。

さらに現地調査を進めると、単なる局所的な河床洗堀ではなく、大戸川の洗堀により、支川右岸の護岸に沿って水みちが出来ていることが確認された。これを放置すると、さらに洗堀が進行し、他の構造物への影響が懸念された。

以上から、沈下した護岸の根継工だけでなく、大戸川と支川のすりつけ落差工を実施することとした(図-13)。

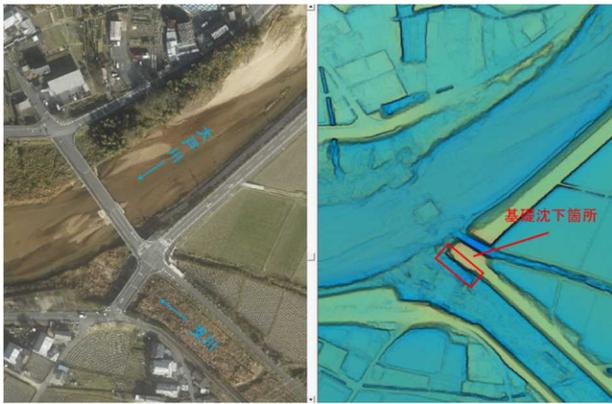


図-11 オルソ画像(左)と標高段彩図(右)の比較

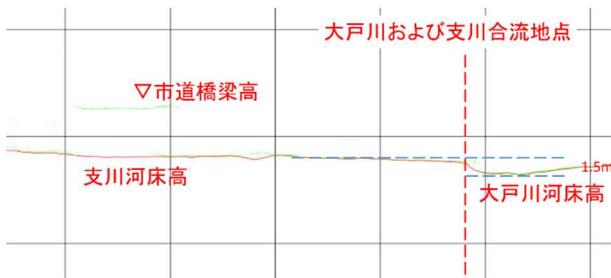


図-12 支川縦断方向横断面図



図-13 支川すりつけ工事完了写真

現地測量と異なり、任意断面の横断面図が机上で瞬時に作成が可能であり、調査の省力化および多面的な視点で評価が可能である。また、オルソ画像もしくは標高段彩図から俯瞰的な視点で分析も可能である。まさに維持管理の高度化、効率化につながった事例である。

(2) 本検証とマニュアルとの比較

本検証とマニュアルとの比較内容および結果を表に示す(表-2)。

まず河道流下能力評価に用いる堤防高・形状について、縦断的に連続した堤防高はマニュアル通り作成可能であったが、中小河川に多々見られるパラペット護岸の計測

表-2 本検証結果とマニュアルとの比較

大分類	中分類	小分類	マニュアル	検証結果	備考
治水関連	河道流下能力	堤防高・形状	○	△	パラペット構造測量不可
		河床形状	○	○	
		土砂堆積	○	○	土砂量計測
		植生(樹木)の繁茂	○	○	死水域からの伐採範囲算出
		河床材料	△	○	検証不可
	局所的な流速・流向・抵抗	水衝部	○	○	
		支川合流部	○	○	
		河川横断工作部設置箇所の下流	○	○	
		流況に影響を与える深掘れ等	○	○	
		植生(樹木)の繁茂	○	○	死水域からの伐採範囲算出
構造物	堤防高・形状	○	○		
	植生繁茂箇所(法面、堤防形状等)	○	○		
	河川管理施設(視察工等)	○	○		
	許可工作物(橋梁等)	○	○		
	撤去箇所調査	○	○		
危機管理	堤外地	○	○	災害無し	
	災害復旧	○	○	災害無し	
河川環境他	堤内地	堤内地地形形状	○	○	堤内地広範囲の測量無し
		水際線	○	○	未検証
	自然環境	瀬・淵構造	○	○	未検証
		植生(樹木)	○	○	未検証
		植生(樹木)	○	○	未検証
	利用	占用	○	○	施設無し
		利用	○	○	利用無し
その他	水防資材管理	○	○		
工事履歴	○	○			

「○」:メリットが大きい、「△」:ある程度メリットがある/条件によってメリットがある、「\」:対象外

が不可であり、注意を要することから条件によりメリットがあるとした。

次に、先に事例を紹介し、効果が確認された「支川合流部」および「植生繁茂箇所」の項目を追加した。

さらに、事例紹介はしていないが、河川敷地で管理している水防資材(盛土材、根固ブロック等)について、地盤面からの差分解析で体積を算出することが可能である。災害等で増減する盛土材の管理に役立つ。

最後に、過去の工事履歴および占用物等の情報をレイヤーとして重ねることで、より多様な活用が可能である。実際に、地元要望に対して、3次元データおよび工事履歴をあわせて活用することで、スムーズに対応できた事例があった。

5. 河川維持管理計画における調査点検への適用

第3章で、ALB等の維持管理への活用検討を行い、調査点検の高度化、効率化が図れることが実証されたと考える。そのことを踏まえて、現在、本県の各事務所が策定している河川維持管理計画への適用を検討する。

まず、ALB等の位置づけについて、現段階では目視の河川巡視点検のように年1回以上等の頻度等の設定は困難であり、河川定期縦横断測量のように、「必要に応じて実施」ということになる。

次に、ALB等を実施した際の点検チェックリスト(案)を以下のとおり作成した。本来チェックリストは、占用関係点検および親水施設等の安全利用点検といった形で複数存在するため、河川構造物等に関するチェックリストを代表で示す(表-3)。目視点検のチェックリストをもとに作成しており、変更箇所は赤字とした。ALB等の特徴である俯瞰的な調査および定量的な情報の取得を項目に盛り込んでいる。

さらに、チェックリストにより異常が発見された際の重点箇所個票(案)および点検の方法および注意点をとりまとめた点検マニュアル(案)を作成した。こちらは護岸に関するものを代表で示す(表-4、表-5)。ALB等で得られる3次元データの効果をより得られるように、重点箇

お手軽オリジナルハザードマップ 作製アプリの開発

露峰 周¹・筒井 和男²

¹豊橋技術科学大学 建築・都市システム学課程社会基盤コース

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

²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市野々3027-6)

小学校では、学習指導要領が改訂され、「自然災害に関する知識を得ること」や「災害から身を守ること」、「災害から人々を守る行動」などについて指導することが求められ、2020年度から全面実施されることになっている。

小学生に対する防災教育は、まず動機づけが重要であるが、次に地域のハザードを自ら認識し、避難行動に結びつけていく教育が必要となる。

本研究では、小学校の高学年の児童を主たる対象とし、写真やコメントも挿入可能で、児童が簡単に扱えるオリジナルハザードマップ作製アプリの開発した。

キーワード 土砂災害、防災教育、教材、避難行動

1. はじめに

(1) 背景

2011年の紀伊半島大水害を契機に、防災教育の重要性がより強く認識され、災害に関する正しい知識と理解や災害時の対応に関する教育が始まっている。

小学校では、新学習指導要領¹⁾に、防災教育における「生きる力」が提唱され、児童が自ら主体的に学べる教育の完全実施が指示されていることから、防災教育等の必要性が示唆されている。

しかし、実際の教育現場において、小学校の教員が自然災害や地元のことに詳しいとは限らず、専門家による児童への直接指導も、日程調整や事前の打ち合わせ等による負担が大きい。これらの理由から、児童がわかりやすく、教員も教えやすい教材の開発が必要不可欠である。そのためには、地域のハザードを知る必要があり、ハザードマップが重要な役割を担う。

(2) 既往の研究

種々のハザードに対して、ハザードマップが作成されており、これに避難経路、避難経路沿いのリスク、また逆に役に立つ情報などを書き込んで、オリジナルハザードマップを作成する取り組みはなされている。Web上でも、ハザードマップが利用可能なサイトはあり^{2) 3)}、また、これに必要な情報を書き込めるようしているものもある⁴⁾。これらは一般に、多機能でレイヤの重ね合わせができたり、別に用意されているファイルから避難所等のデータを読み込んで表示できるなど、ユーザーの種々

の要望が満たされる。しかし、多機能であるがゆえに、使いこなすのが容易ではなく、小学生を対象とした場合、機能を絞り、扱いやすいコンテンツが適切と考えられる。

(3) 目的

地域のハザードを知るためには、ハザードマップを見るだけでなく、現地を実際に見ることも大切である。また、避難経路などに潜むリスクについても、目的をもって見て回ることによって種々の気づきが生まれる。

一方、文部科学省のGIGAスクール構想により、小学校にはPCやタブレットが配置され、インターネット環境が整備されている。タブレットの場合は、外に持ち出し、写真を撮ることも可能である。

本研究では、小学校の高学年の児童を主たる対象とし、写真やコメントも挿入可能で、簡単に扱えるオリジナルハザードマップ作製アプリの開発を目的とする。

2. 教育の目標と学習内容

(1) 教育の目標

小学校の防災教育においては、学習の動機づけが重要となる。西萩ら⁵⁾は、小学校高学年の児童を主たる対象として土砂災害啓発のためのRPGを作用し、いくつかの学校で実践した。動機づけについては一定の成果は得られたが、生徒が住む地域での災害発生時の避難については不安の思う児童が多かったとしている。

災害時の避難の学習については、ハザードを正しく理

解するところから始まる。ハザードマップの見方の学習のみならず、これを利用し、自宅のリスクや避難場所の位置および自宅からの経路などについて、ハザードマップを活用することで、地域のことを知り、正しい避難行動を理解してもらうことが重要ある。

(2) 学習内容

上記の教育目標を踏まえ、本アプリケーションにおいては以下を主な学習内容とした。

- 1) ハザードマップの見方・使い方
- 2) 避難場所と避難ルート
- 3) 土砂災害の種類
- 4) 災害が発生する危険性のある場所
- 5) 避難ルート沿い・自宅・学校に潜むリスク

3. アプリケーションについて

(1) 開発環境

Visual Studio Code⁶⁾ を用いて作成した。Visual Studio Codeとは、Microsoft が開発したソースコードエディタである。アプリケーションのプレイフォーマットはPCとし、表-1に問題なく動作したPCの動作環境を示す。

表-1 アプリケーションの動作環境

OS	Microsoft Windows7/8/8.1/10 日本語版(32/64bit 版 OS 両対応)
CPU	Intel(R)Core(TM)i5-9500 CPU @3.00GHz 3.00GHz
メモリー	550MB 以上
ディスプレイ	解像度 800×600 以上
バージョン	1.57.1

(2) 使用言語

今回のアプリケーションを使用するにあたり、HTML, CSS, JS を言語として用いた。

a) HTML

HTML (エイチティーエムエル, HyperText Markup Language) とは、ウェブページを作成するために開発された言語である。現在、インターネット上で公開されているウェブページのほとんどは、HTML で作成されている。

b) CSS

CSS (カスケディング・スタイル・シート, Cascading Style Sheets) とは、ウェブページのスタイルを指定するための言語である。ワープロソフトなどで作成される文書も含めて、文書のスタイルを指定する技術全般をスタイルシートと言う。HTML で作成されるウェブページにスタイルを適用する場合に

は、スタイルシート言語の 1 つである CSS が一般的に利用されている。

CSS は、HTML と組み合わせて使用する言語である。HTML がウェブページ内の各要素の意味や情報構造を定義するのに対して、CSS ではそれらをどのように装飾するかを指定する。

c) JS

JS (ジャバスクリプト, JavaScript) とは、動的な Web ページを作成する事のできるプログラミング言語である。通常はブラウザ上で実行される。JS を使うと、ユーザーのアクションに応じたコンテンツの表示の他、ブラウザ上で表示される地図やグラフィックアニメーションなども表示する事ができる。JS は、HTML や CSS が翻訳された後で実行される。

4. アプリケーションの使用法

アプリケーションの初期画面を図-1 に、ハザードマップの完成例を図-2 に示す。

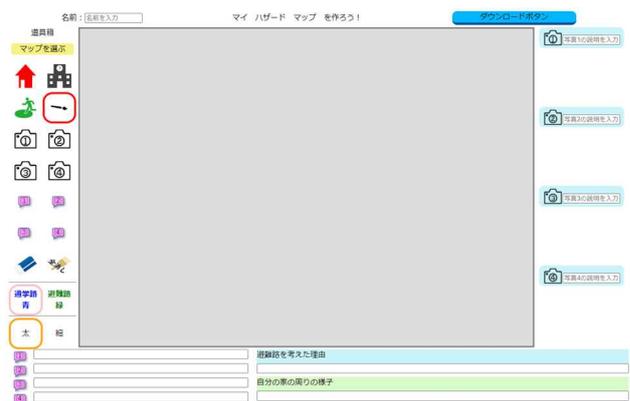


図-1 アプリの初期画面

アプリケーションの使用法を下記に示す。

a) ハザードマップの読み込み

「マップを選ぶ」をクリックし、ハザードマップを画面上に開く。

b) 自宅やカメラ位置などのアイコンの貼り付け

「自宅」「学校」「避難所」「吹き出し」「カメラ」のアイコンをクリックし、ハザードマップ上でもう一度クリックするとアイコンを貼り付けることができる。

c) 通学路と避難路の書き込み

「ペン」のアイコンをクリックする。「通学路 青」または「避難路 緑」をクリックし、ハザードマップ上でドラッグすると、線を描くことができる。太さのアイコンを選択すると、線の太さを変更することができる。

d) アイコン・線の消去方法

・一部を消したい場合

「消しゴム」アイコンをクリックし、消したいところをドラッグすると、アイコン・線を消すことができる。

・すべて消したい場合

「全消し」アイコンをクリックする。「本当にすべて消しますか」と表示され、「OK」をクリックすると、アイコン・線をすべて消すことができる。

e) 吹き出しのコメントの書き込みとカメラ位置の写真の貼り付け

画面左下の吹き出しアイコンの右側のスペースに、吹き出しアイコンに対応するコメントを書くことができる。

また、カメラアイコンをクリックすると、写真を貼り付けることができる。

f) その他コメント

「避難路を考えた理由」, 「自分の家の周りの様子」を書くことができる。



図-2 マイハザードマップの完成例

5. ゲームコンテンツを用いた教育実践の方法

各学校での実践にあたっては、校区内を歩き、施設や安全な場所、危険な場所を撮影し、マップにしていって流れていく流れである。流れのイメージを図-3に示す。

授業においては、予め用意した対象とする小学校周辺のハザードマップの画像ファイル読み込み、学校、自宅や避難所等のアイコンをハザードマップ上場に配置し、通学路や避難路を描画してもらう。つぎに、校外に出て、周辺のまち歩きをして、危険箇所などを持ち出したタブレットやカメラで撮影する。教室に戻って、ハザードマップ上に、吹き出しアイコンやカメラアイコンを配置し、コメントや画像の挿入を行う。そのようにして完成したオリジナルハザードマップを印刷し、自宅に持ち帰る。そして帰宅後、家族でそのハザードマップを見ながら情報を共有する。

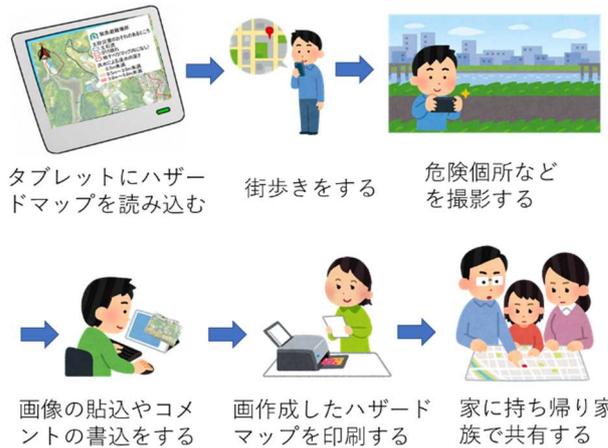


図-3 授業のイメージ

6. アンケート調査及び評価

アプリ利用後に、アプリによる学習の効果を評価し、改善のヒントを得るために、アンケート調査を実施することとした。

(1) アンケート調査の内容

児童用・教職員用にアンケートを作成した。小学生には多肢選択式として23の設問を用意した。

主な内容を以下に示す。

- ・ 自宅でハザードマップを見たことがありますか。
- ・ 家族と避難場所や避難ルートについて話し合ったことがありますか。
- ・ 自宅が、土砂災害の危険があるかどうかわかりましたか。
- ・ 避難ルートの近くに危険なところがありましたか。
- ・ 地すべり・がけ崩れ・土石流の発生する場所を、ハザードマップ上で区別できますか。
- ・ 土砂災害やその他の災害についてもっと詳しく勉強したいと思いましたか。
- ・ ハザードマップを日ごろから見ておくことが大切だと感じましたか。
- ・ 防災について興味がわきましたか。
- ・ 完成したハザードマップは見やすいですか。
- ・ 家族に、ここで作ったハザードマップを見せたいですか。

教職員用のアンケートは、教材としての使いやすさ、何年生のどの科目や単元で使えるか、学習意欲の向上につながるか、使っている児童の様子、改善の要望を記述してもらう内容である。

(2) 小学校教職員等による事前評価

新型コロナウイルス感染拡大の影響で、実際に生徒に使用してもらうことはかなわなかったため、いくつかの小学校や教育委員会の方々から事前評価を得た。肯定的

評価が得られた一方、改善点も明らかになった。

以下にそれらについて示す。

◇肯定的評価

- ・ 操作が簡単で、小学生にも使える。
- ・ 習得に時間がかからなそう。
- ・ 街歩き of 授業・地域を調べる授業で活用したい。
- ・ 小学生の方がすぐに自分で使い始めるだろう。

◇改善点

- ・ ピンチにより画面を拡大できる機能があれば、地図を詳細に見れる。
- ・ クラウド上で利用する場合、セキュリティの問題からアクセスできない（学校によっては、予め指定されたサイトの URL しかアクセスできないような設定になっている）。
- ・ 授業計画上、入れ込むのが難しい。
- ・ 子供たちは谷や尾根の地形が分かるか不安なので、地形が分かるアプリがあればいい。
- ・ 写真やコメントをもっと増やしたい。
- ・ 小学生はコメントを簡潔にまとめることが難しいので、文字数が多くなるといい。
- ・ 書きかけのデータを再度読み込んで再編集する機能が欲しい。

肯定的評価については、簡単に使えるという回答が多くあり、ねらい通りの評価が得られた。

一方、改善点について、セキュリティの問題は、タブレット等に直接アプリをインストールすることで対応可能である。それ以外については、アプリケーションの設計にかかわるものが多く、写真やコメントの数の設定や、編集状態を保存できるなど、柔軟に対応できるような機能が望まれていることが分かった。

7. まとめ

教育現場において、防災教育について新たな取り組みが求められており、効果的な教材の開発が必要とされている。

本研究では、災害を自分事として捉えるというところに着目し、ハザードマップを見ながら避難経路を作成し、他者と共有することができるアプリケーションの開発を目的とした。

本研究で得られた成果をまとめると以下ようになる。

- 1) 小学校高学年を対象としたハザードマップアプリを開発した。
- 2) 新型コロナウイルス感染予防のため、計画してい

た小学校での実践がキャンセルとなり、小学生からのアンケートを通じた評価はできなかった。しかし、事前に利用した小学校教員からの評価が得られ、授業での利用について肯定的な回答が得られた。一方、いくつかの改善点に対するヒントも得られた。

- 3) 防災教育の難しさは、実際に体験していない事柄に対して、正しく恐れ、自分自身や他者の命を守る行動がとれるような教育をすることにある。このアプリにより、実際に現場へ赴き状況等を学習することで、利用者の知的好奇心を刺激し、自然災害に対するリスクと災害発生時の対応を主体的に学びきっかけとなることが期待される。

謝辞: 本研究を進めていくにあたり、和歌山県土砂災害啓発センターの所長である坂口隆紀氏をはじめ、岸畑明宏氏、宮崎徳生氏には資料の提供や助言をいただきました。

那智勝浦町教育委員会、那智勝浦町立市野々小学校、日高川町教育委員会、日高川町立笠松小学校・川原河小学校、由良町立白崎小学校、田辺市立中山路小学校の関係者には教材の事前評価をしていただきました。

和歌山高専環境都市工学科の辻原治教授には研究全般についてご指導いただき、また終始暖かく励ましていただきました。

ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省：小学校学習指導要領（平成 29 年度告示），2009.
- 2) 国土交通省:重ねるハザードマップ<操作方法>，<https://disaportal.gsi.go.jp/hazardmap/pamphlet/pamphlet.html>, 2022-01-14 閲覧.
- 3) 国土交通省:わがまちハザードマップ<操作方法>，<https://disaportal.gsi.go.jp/hazardmap/pamphlet/pamphlet.html>, 2022-01-14 閲覧.
- 4) 江種伸之，吉野孝：デジタル防災マップ作成支援システム“あがらマップ”の利活用—システム改良—,和歌山大学災害科学・レジリエンス共創センター年報, Vol.1, pp.52-55, 2021.
- 5) 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，vol.74，p.48-53，2021.
- 6) Microsoft：Visual Studio Code，<https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/visual-studio-code/>，2022-01-14 閲覧.

直線多段式ローラゲートの止水性改善への取組

高橋 慶太

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

現在建設中の川上ダムでは、選択取水設備の形式として直線多段式ローラゲートを採用した。直線多段式ローラゲートの特徴としては、維持管理性、施工性及び経済性に利点があるが、構造上戸溝部や扉間部でのクリアランスが広くなってしまうことから、円形多段式等の他の形式に比べ、全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるのが課題であり、川上ダムでは、この課題に対する対策として、戸溝部内の水密ゴムを補助するためのブラシを付加することとした。本稿では、戸溝部内の隙間の見直し及びブラシを選定した結果と、今後実施する放流試験における止水性の改善効果を検証する方法について報告するものである。

キーワード 直線多段式ローラゲート、戸溝部、漏水量、ブラシ、放流水温

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の左支川である前深瀬川が伊賀市川上地先で川上川と合流した直下に建設する堤高 84m の重力式コンクリートダムで、洪水調節、流水の正常な機能の維持（既設ダムの堆砂除去のための代替補給を含む）及び水道用水の供給を目的とした多目的ダムである。

選択取水設備の形式は、9 形式の中から取水量等を考慮し、直線多段式、直線多重式及び連続サイフォン式の 3 形式に絞込み、①取水性能（水密性）、②維持管理性、③施工性、④経済性を総合的に比較した結果、川上ダムに最も適した直線多段式を採用している。

2. 直線多段式の課題

(1) 水密部構造

直線多段式ローラゲートとは、複数のローラゲートをすだれ状に配し、これを伸縮させることで取水するゲートである。

特徴としては、ダム・堰施設技術基準(案)によると「直線多段式や半円形多段式は、他の形式に比べて、戸溝部や扉間部でのクリアランスが大きくなるため、特に、取水量の小さい設備や取水量の大きい設備での最小取水時には、全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるように、水密ゴム等で止水処理を行う必要がある。」¹⁾とあり、また、水密部構造の解説には「戸溝内部の止水は全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるように、

かつ、ゲートの操作上支障とならない大きさの遮水板等を取付ける。」²⁾と記載されている（図-1 参照）。

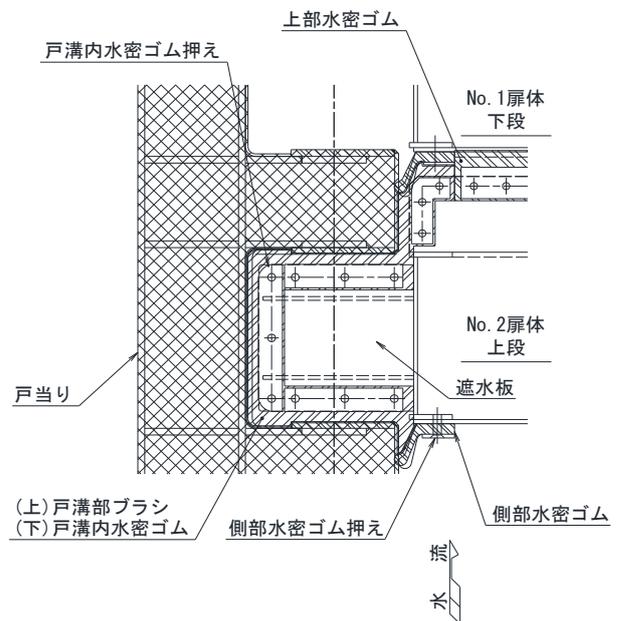


図-1 直線多段式の水密構造平面図 (右岸側)

(2) 他ダムの形式

機構内の特定施設のダム 24 施設、利水ダム及び高さ 15m 以上の調整池 24 施設、計 48 施設において、選択取水設備（表面取水含む）に採用されている形式は表-1 に示すとおり、川上ダムで採用した直線多段式が機構内で最も採用されている形式であることがわかる。

表-1 機構における選択取水設備の形式

形式	数量	施設名
直線多段式 (鉛直)	11	浦山、宇連、大島、岩屋、 阿木川、味噌川、徳山、 室生、布目、比奈知、江川
円形多段式	5	一庫、日吉、富郷、大山、 小石原川
半円形多段式	3	下久保、草木、早明浦
直線多段式 (傾斜)	3	奈良俣、青蓮寺、寺内
多重式	1	滝沢
多孔式	10	
無し	15	
計	48	

(3) 他ダム止水対策

a) 遮水板の有無

Aダムでは、表層から取水しているにも拘わらず、ダム下流の放流口水温と、貯水池表層の取水口水温との温度差が約10℃違う冷水放流となった事例がある。

扉体段数が多くなるとクリアランス（隙間）が広い戸溝部も多くなり、隙間面積が増えることで結果的に漏水量が多くなってしまいう傾向にある。

Aダム以外で冷水放流となった事例はないが、他ダムにおける戸溝部の止水（遮水）対策について調査した。

表-1 で示した直線多段式（鉛直）11基のうち、6基を対象に調査したところ、全ての戸溝に遮水板を設けているのはAダムを含めた2基であった。

図-2 で示すように、Bダム（3段扉構成のうち）では、No.2 扉体の戸溝部のみに遮水板と水密ゴムが設置されているが最下部のNo.3 扉体には設置されていない。

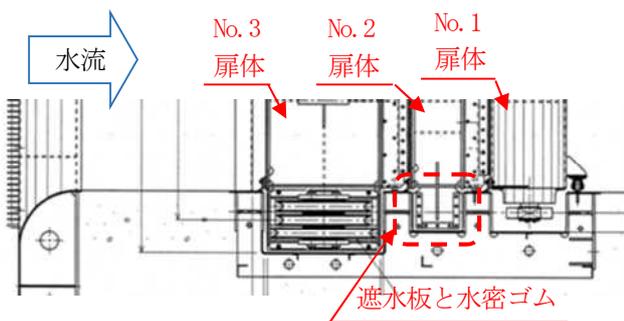


図-2 直線多段式（鉛直）の戸溝部平面図

b) 戸溝部内の隙間

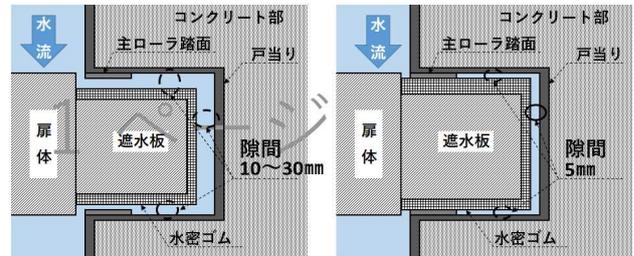
戸溝部内にある戸当りと水密ゴムの隙間は、ゲート動作時（上昇・下降）の揺れによる扉体と戸当りの接触を避けるため10～30mmとしている実績が多い。

3. 対策

冷水放流の事例のあったAダムでは、隙間面積が広いことが要因と考えられたため、止水性の改善を図る目的で戸溝部内の構造に着目し検討した。

(1) 隙間の見直し

川上ダムでは、戸当りと水密ゴムの隙間を実績の多い10～30mmに対し、戸当りの据付精度に考慮できる可能な範囲の5mmにすることとした（図-3 参照）。



他ダムの場合

川上ダムの場合

図-3 戸溝部内の隙間（平面図）

a) 左右岸（径間）方向の隙間

左右岸方向は、サイドローラと戸溝の隙間10mmとなるよう遮水板を大きくし、水密ゴムを取付けて5mmとした。

b) 上下流方向の隙間

上下流方向は、水圧方向を考慮して下流側を狭く（25mm）し、上流側が広く（45mm）なるよう遮水板を設け、左右岸方向と同様に水密ゴムによって5mmとした。

(2) ブラシの検討

戸溝部内の隙間を5mmとすることで止水性の改善を図ったが、さらにゲートの動きにも追従可能で水密ゴムを補助することができるブラシについて検討した。

ブラシとは、写真-1 のようにペンキを塗るハケのような細い繊維を密集させたものである。検討にあたっては、止水性及び柔軟性の2点について評価することとした。

ブラシの素材は、市場性の高い「ナイロン 66」を選定し、サンプルとして6種類を用意し、しなり具合や密集度等の質感から線径0.2mm、0.3mm及び0.6mmの3種類を選定し実験することとした。



写真-1 ブラシ（コーナー部）

a) 止水性

止水性を評価するため、ブラシを通過する流量を計測した。計測にあたっては、中壁を設けた水槽を用意した。その中壁の一部（底部）を切欠き、そこにブラシを取付け、中壁で仕切られた片側の水を水中ポンプによって片側に送り、強制的に中壁両側の水槽に水位差を付けることとした。水槽水位差が 150mm に到達した時点で水中ポンプを停止し、水槽水位差が解消（0 mm）するまでに要した時間を計測した。

表-2 ブラシ線径毎による水槽水位差解消時間

水槽水位差	ブラシ線径	時間 (秒)		
		ブラシ無	φ 0.2mm	φ 0.3mm
150 mm		0	0	0
125 mm		1	18	14
100 mm		2	38	31
75 mm		4	62	48
50 mm		6	94	71
25 mm		8	138	102
0 mm		13	304	193

計測結果は表-2 に示すとおり、ブラシ無では 150mm の水槽水位差を 13 秒で解消することに対し、線径 0.2mm では 304 秒を要した。

よって、線径 0.2mm が最も水が流れにくい結果となったことから止水性に優れていると評価した。

b) 柔軟性

ブラシを設けることにより開閉荷重の増大が懸念されるため、開閉荷重相当の抵抗値（反発力）を求めるための押付力を計測した。

計測にあたっては、ブラシを固定するための治具を用意し、ブラシを 1mm 毎に垂直方向に押付けその荷重（押付力）を台はかりによって計測した。

3 種類とも押付け量が 2mm 以上になるとブラシの線自体がたわむことで押付力は低下する傾向となった。

表-3 ブラシ線径毎による押付力

押付け量	ブラシ線径	押付力 (kgf)		
		φ 0.2mm	φ 0.3mm	φ 0.6mm
1 mm		2.41	4.80	7.48
2 mm		2.98	5.35	7.89
3 mm		2.85	5.03	6.50
4 mm		2.93	4.93	7.07
5 mm		1.90	4.23	6.02
6 mm		1.12	3.47	5.34
7 mm		0.79	2.77	5.64
8 mm		0.80	2.28	5.04
9 mm		0.68	2.01	5.18
10 mm		0.64	1.75	5.14
低下した押付力		1.77	3.05	2.34

計測結果は表-3 に示すとおり、押付け量 1mm の押付

力から 10mm 時点の押付力を比較し、低下した押付力が最も少ない 1.77kgf（2.41kgf - 0.64kgf）だった線径 0.2mm が最も抵抗値（反発力）が少ないため柔軟性に優れていると評価した。

以上の結果から、止水性及び柔軟性ともに評価が高い線径 0.2mm を採用することとした。

(3) ブラシの配置

ブラシは図-4 のとおり、遮水板に取付ける戸溝部ゴム上に押え板によって固定し、構造上ブラシ量（密度）が少ない接合部（半割同士の）とコーナー部には重ねるよう配置した。ブラシは、ボルト接合することによって脱着可能な構造とした。

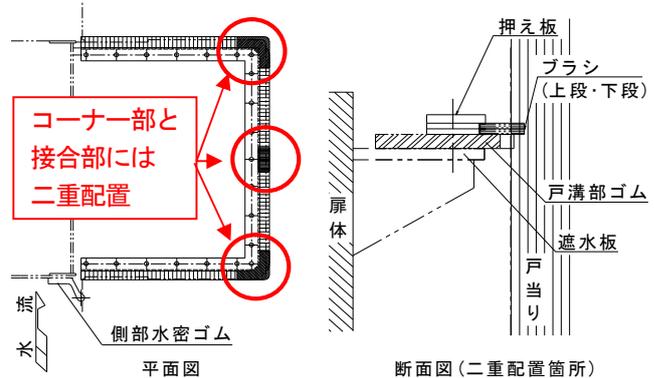


図-4 戸溝部ブラシ一般図

4. 今後の課題

(1) 漏水量による放流水への影響

止水性改善への取組を評価するため、放流水温がどの程度低下するか事前に算出した。

はじめに、扉体隙間からの漏水量による放流水への影響を算出するため、以下の式³⁾により算出する。

$$Q_2 = C \cdot a \sqrt{2gh_2(1 - \rho_1/\rho_2) + 1/\alpha \cdot Q_1^2/A^2 \cdot \rho_1/\rho_2}$$

C : 間隙の流量係数

→ 0.6

a : 間隙の断面積 (m²)

h₂ : 密度境界面からの間隙までの深さ (m)

ρ₁ : 表層水の密度 (g/cm³)

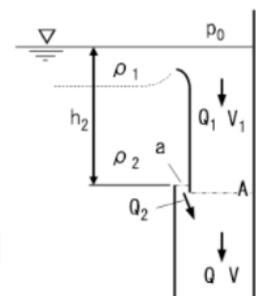
ρ₂ : 低層水の密度 (g/cm³)

α : 損失係数

→ (取水塔内) 0.8

Q₁ : 表層取水量 (m³/s)

A : 取水塔断面積 (m²)



算出にあたっては、計画最大取水量 25.0 m³/s、利水最大取水量 8.0 m³/s、最低維持流量 0.28 m³/s の 3 パターンについて算出する。

表-4 取水量3パターン時の想定漏水量

表層取水量 Q_1	想定漏水量 Q_2	全体取水量 $Q (Q_1 + Q_2)$
※ 24.800	0.151	24.951
※ 7.900	0.074	7.974
0.220	0.060	0.280

※表層取水量は、全体取水量が最大取水量以内とする。

表-4の結果に、シミュレーションデータ (H6.7.1) の表層水の温度 T_s 、低層水の温度 T_b から想定放流水温 T_0 を以下の式⁹⁾により算出する。

$$T_0 = (T_s \cdot Q_1 + T_b \cdot Q_2) / Q$$

結果は表-5に示すとおり、全体取水量 Q が少なくなるに伴い、水温差 ($T_s - T_0$) が大きくなるのがわかる。

表-5 取水量3パターン時の想定放流水温と水温差

全体取水量 Q	T_s	T_b	想定放流水温 T_0	水温差 $T_s - T_0$
24.951	19.287	5.923	19.206	0.081
7.974	〃	〃	19.163	0.124
0.280	〃	〃	16.423	2.864

(2) 全取水量に占める漏水量の割合

表-4で算出した想定漏水量 Q_2 を基に、課題とされる全取水量に占める漏水量の割合を算出した。

結果は表-6に示すとおり、川上ダム (予想) は 21.4% となり、冷水放流の事例のあるAダム (32.8%) と比較すると約 10%改善できることから、Aダムの事例のような冷水放流には至らないと想定できる。

なお、この漏水量の割合 21.4%はブラシを付加していない隙間面積 (0.1096 m^2) による数値のため、更に良い結果に繋がるのが期待される。

表-6 全取水量に占める漏水量の割合

項目		Aダム	川上ダム (予想)
全体取水量 (m^3/s)	Q	0.70	0.280
表層取水量 (m^3/s)	Q_1	0.47	0.220
想定漏水量 (m^3/s)	Q_2	0.23	0.060
漏水量の割合 (%)	Q_2/Q	32.8	21.4
隙間面積 (m^2)		0.884	0.1096

(3) 放流試験

川上ダムでは令和3年度より試験湛水を開始する予定である。試験湛水中には、放流試験として当該設備による放流水温と開閉荷重の計測を行う計画である。

放流水温の計測では、これまでに述べた対策を検証するため、最低維持流量 0.28 m^3/s 時における放流口と表層の水温を計測し、表-5で示した想定される水温差 ($T_s - T_0$) が 2.864°C以内であれば有効であると評価でき

る。

開閉荷重の計測では、ブラシを付加したことによって電流値が定格値を超えることにつながっていないことを確認する。仮に、定格値を超える結果であればブラシ量の密集度を低減させるなどの調整を行う予定である。

5. まとめ

本稿では、直線多段式における漏水量の割合が大きくなる課題に対し、他ダムの実績を参考に戸溝部内の隙間を遮水板と水密ゴムによって5mmとし、また、通過流量及び押付力を計測する実験を行うことで、止水性と柔軟性に優れた線径 0.2mmのブラシを選定することができた。

結果、漏水量の割合は、冷水放流の事例のあるAダムに比べ約 10%改善できることから、冷水放流には至らないと想定することができた。

さらに、想定漏水量及び想定放流水温を事前に算出することで、止水性改善への取組を評価する指標も示すことができた。

今回のブラシを付加する対策は、機構初の試みでありボルト接合による脱着可能な構造としたことで、既存ダムの直線多段式ローラゲートへの利用も可能と判断できる。

今後は、想定した放流水温と開閉荷重を試験湛水や放流試験によって検証し、更なる改善に繋がるよう取り組んでいく予定である。

さいごに、本稿をとりまとめるにあたり、施工者である西田鉄工株式会社はじめ、多数の方々にご協力頂いたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人ダム・堰施設技術協会. 令和3年1月. ダム・堰施設技術基準 (案) (マニュアル編) - p. 441.
- 2) 社団法人ダム・堰施設技術協会. 令和3年1月. ダム・堰施設技術基準 (案) (マニュアル編) - p. 452.
- 3) 一般財団法人ダム技術センター. 1984. ダム技術 Vol. 2-4 選択取水設備の水理設計 - p. 14.

高度なダム管理を目指したケーブル配線計画

後 雄貴

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

川上ダムでは新規ダム建設に伴い、ダム管理に必要な不可欠な動力ケーブル、通信ケーブル、光ケーブルなど各種ケーブル配線の計画策定にあたり、(独)水資源機構の管理施設におけるこれまでの経験を取込むことにより高度なダム管理を目指し、従来よりも安全で職員が快適にダム管理が行える設備設計に取り組んだ。

本論文では、ダム管理を意識したケーブル配線計画の考え方、現地条件を考慮した適切なケーブルの選定など川上ダムにおける総合的なケーブル配線計画及び関係部所と実施した調整事項について取り纏めたので、報告するものである。

キーワード 情報技術、水中光ケーブル、漏洩同軸ケーブル

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の左支川である前深瀬川と伊賀市布引峠に源を発する川上川の合流地点に建設される重力式コンクリートダムである。

ダムの堤体内には、各管理設備とダム管理所とを接続する非常に多くの様々なケーブルが長距離に渡り配線されており、その種類は動力ケーブル、通信ケーブル、光ケーブルなどがある。新設ダムの建設に伴い今回全てのケーブルについて配線ルート計画の作成から必要な電線管路やケーブルラックの設計を実施した。また近年映像伝送などの大容量通信、Wi-Fi環境がどこでも利用できることから、川上ダムにおいても光ケーブル、漏洩同軸ケーブルを積極的に採用し整備を行った。

2. ダム本体における配線

(1) 動力ケーブルの2重化

ダムの管理設備で特に重要なゲート設備の「動力ケーブルは原則として二重化を図る」ことが、ダム・堰施設技術基準(案)に明示されている。

ダムにおいて、配電線路に障害が発生するとケーブル長が長く、復旧のため長時間の電源断によりゲート操作が行えず、ダム管理の運用を阻害することとなる。動力ケーブルは通常20年以上使用するが、経年劣化による絶縁不良や水トリー現象による短絡事故や地絡事故が発生することがある。川上ダムの場合、洪水吐ゲートが1門のみであるため、動力ケーブル障害による電源断でゲート操作ができない状態になることがないように動力ケー

ブルの二重化を図り、配線系統の切替を行うための電源切替盤を設置した。そのため、動力ケーブルに障害が発生した場合でも即座にバックアップ用の配線系統への切替が行える作りとしている。利水ゲートについても同様に動力ケーブルの二重化と電源切替盤を採用している。図-11に川上ダム動力ケーブル配線図を示す。

機側操作盤の制御電源は、動力電源に異常が生じた場合でも状態の監視を可能にするため、動力電源とは別ケーブルによる配線としている。

(2) 通信ケーブルの光化による効率化

通信ケーブルには光ケーブルを採用する。光ケーブルは、光に変換した信号を非常に細い光ファイバーの中を通して通信するため、光ファイバーを増やすことで同時に多数の通信を行うことができる。ダムコンの機側伝送装置で集約した制御・監視信号やCCTVカメラ映像等を1本の光ケーブルでダム管理所内まで伝送できるため、設備毎に敷設する複数のメタルケーブルを集約し、少ないケーブル本数で効率的な通信を行える。また構造上雷害に強い特徴もある。

3. 管理しやすい機能的な配線経路の構築

(1) 堤頂道路部配管の工夫

川上ダムは重力式コンクリートダムであるため、堤頂に敷設する埋設配管は本体コンクリートにより周囲を固めるため、将来的にケーブル配管が不足した場合や配管内の詰まりにより使用できなくなったとしても増設することが不可能である。そのため、管理移行後数十年が経

過しても支障なくケーブルの通線や更新作業が行えるよう今後将来の管理を考慮した設計とする必要があり、当初計画が非常に重要となる箇所である。

機構内の既設コンクリートダムにおける堤頂道路配管に関する留意点を他ダム担当者に聞き取った結果、管理年数の経過と共に建設当初より付帯設備が追加されケーブル本数が増え、配管本数が足りなくなるという意見が多かった。

川上ダムでは堤頂道路に歩道部がないこともあり、堤頂道路部に埋設するしかない構造である。右岸管理所側から堤頂道路へ配管ルートを敷設するため、もっとも配管本数が多い右岸側で動力電源用の配管φ100×12条（予備管4条）、通信制御用の配管φ80×15条（予備管5条）の敷設を行った。

また、配線用ハンドホールは堤頂道路に7個設置し、配管本数が多い箇所については、ハンドホール内での通線作業時の施工性を考慮し、角蓋タイプの大型のハンドホールを採用した。角蓋タイプは上部開口が丸蓋に比較し大きく開くため、通線作業がやりやすい特徴がある。

堤頂配管は本体工事で施工したが、採用する配管種類、詳細なハンドホール位置の決定、堤体建屋へのケーブル引込み方法の検討、鉄筋や止水板との干渉、プレキャストの開口調整など最終的な施工図を作成するにあたり、数ヶ月に渡る調整を重ねる必要があった。

本体コンクリートに埋設することから、通常の地中埋設であればFEP管または角型エフレックス管の採用となるが、次に示す問題を解決する必要があった。

- 配管本数が多くコンクリートが管路の隙間に入らない。
- バイバックによる締め固め時に配管が動き蛇行してしまう。
- 骨材により配管が潰れるもしくは損傷し内部にコンク

リートが流れ込む恐れがある。

コンクリート打設と必要な配管本数を考慮した結果、川上ダムではFEP管を合成樹脂製のユニットで固定した「合成樹脂製多孔管」による敷設が最適であると判断した。合成樹脂製多孔管であれば、複数の配管を一つのユニットとして扱えるため、管路隙間へのコンクリート充填不足や締め固め時のずれなどを心配する必要がなく、密実な本体コンクリート打設が出来る構造とした。

(2) 堤頂橋梁部配管の見直し

川上ダムは非常用洪水吐きがゲートレスの自然越流堤であり、ダム中央部は橋梁構造としている。堤頂の中央にある修理用ゲート室へ動力や通信線を敷設するためには、橋梁部への配管ルートを検討する必要がある。

当初設計では橋梁下部に厚鋼電線管G82×4条を吊る形で設計されていたが、このまま施工した場合、管理移行後の電線管のメンテナンス、ケーブル張り替え時の作業が非常に難しい形となるため、維持管理を考慮した新しい配管ルートの敷設方法の検討を行った。

堤頂高欄の外側に露出配管による敷設が一つの案として考えられたが、電線管が露出することによる景観上の問題があることに加え、高欄外側であるためメンテナンスのためには橋梁点検車などが必要になり容易にメンテナンスができるとは言えない構造となる。そのため、プレキャストで製作する高欄の内部に予めケーブル用の配管（φ50×3条、φ80×1条）をセットした高欄を製作した。高欄の堤頂道路側にケーブルを引き出せる開口部を設けることにより、堤頂道路から容易にケーブル敷設が可能な構造とした。

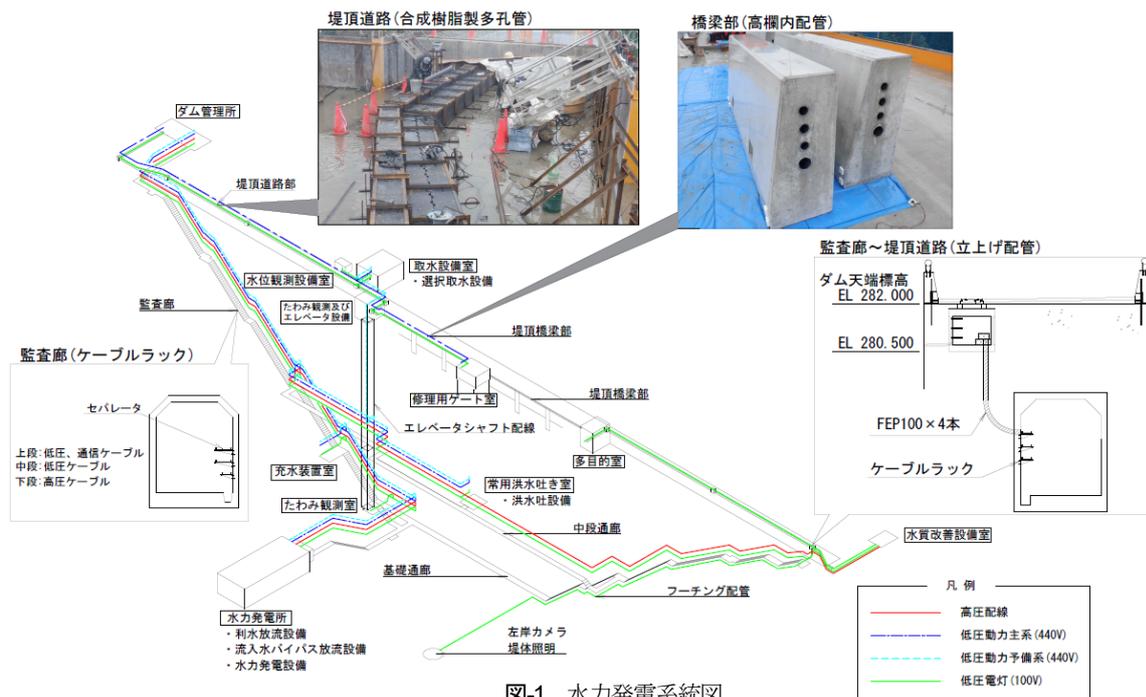


図-1 水力発電系統図

(3) 監査廊内配線経路の設計

ダム監査廊内は、ケーブルラックによる配線を行う。ケーブルラックの材質としてステンレス製、アルミニウム製、鋼製（めっきの違いによりZAM製、ガルバリウム鋼板製、スーパーダイマ製などがある）など複数の種類がある。ダム監査廊内は非常に湿気水気が多いことから、錆に強い耐環境性を考えるとステンレス製が最も優れているが、価格がほかの製品の1.5倍～2倍と高価である。また監査廊内は急な階段へのケーブルラック取付や敷設延長距離が長いこと、耐環境性と価格に加え施工性も重要となる。自重が軽く施工しやすく、耐環境性に優れ、ステンレス製よりも価格が有利であるアルミニウム製のケーブルラック（写真-1）を採用した。

ケーブルラックは、高圧、低圧、通信でケーブルを分ける3段構成を基本とした。ケーブル本数が少ない箇所については、ラックの1段をセパレータで分割しまとめることで、2段もしくは1段構成とし、コストを抑えた経済的な設計としている。

左岸監査廊上部から水質改善設備室までのケーブルルートは当初計画では、監査廊から一度下流側フーチング部へ出て左岸端部処理工のコンクリート部分を迂回する計画となっていたが、今回本体工事と調整することで、監査廊から直接堤頂道路ハンドホールへ接続する配線ルートへ見直しを行った。その結果、約40mケーブルルートを短縮することができ、電線管敷設数量の縮減、配線工事の省力化を図ることができた。

4. 自営光ケーブル配線計画

(1) 水中光ケーブルの採用

川上ダムの上流約2.2km地点にある流入水バイパス取水堰とダム管理所を接続する光ケーブルルートとして、隣接する県道沿いのルートを調査した結果、途中から約1.4kmに渡り無電柱区間となることがわかった。電柱共架による架空配線ルートを選定した場合、無電柱区間に自営の電柱を建柱してルートを確保しなければいけないため現実的ではないことから、今回ダム湖内となる旧県道沿いに水中光ケーブルを敷設することで必要な通信路を確保する計画とした。

水中光ケーブルには、海底ケーブルを主に製作しているメーカーの光ケーブルを採用した。通常の光ケーブルと違い、ケーブル中心の光ファイバーを水密溶接ステンレスパイプで保護し、その周りを更に鉄線外装で保護する構造の光ケーブル（図-2）となっている。耐水・防水特性、耐側圧特性に優れたケーブルであるが、細径・軽量のため、曲げやすく工事施工が容易である特徴を持っている。

機構内における水中光ケーブルの実績として、徳山ダ

ム、室生ダムのダム湖への水中光ケーブルの敷設、木曾川用水水路内への水中光ケーブルなどの施工事例があり、施工から10年以上経過しても通信障害や断線などの不具合はなく、十分な信頼性があることが確認されている。

川上ダムでは試験湛水開始前に施工するため水がないドライな状態で効率良く施工することが可能である。取水堰ゲートの監視制御、水質、水位、CCTV映像の通信、将来の設備増設時の予備を含め、SM-20C（20芯）の光ケーブルを選定した。

(2) 架空光ケーブル

川上ダムから木津川ダム総合管理までの約11.3kmの区間にダム諸量、CCTV映像伝送及びブクアネット等の通信を行うための幹線光ケーブル（SM-40C（40芯））の敷設を実施する。図-3に光ケーブル系統図を示す。

光ケーブルの敷設方法として、中部電力柱・NTT柱への共架による架空配線により施工する。中部電力柱が305本、NTT柱が40本と数が多く膨大な共架申請書類が必要となる。また道路占用、河川占用、鉄道会社との調整、国交省ケーブルとの一束線化箇所、地元ケーブルテレビとの一束線化箇所、民地に立つ電柱や途中の支障樹木枝払いのため、94人（法人含む）の地権者へ対して電柱共架工事の説明及び樹木枝払いの承諾を用地課の協力を得ながら職員の直営作業で対応した。これらの各種手続き完了後ようやく現地工事が着手可能となる。必要な手続きは多いが、自営ケーブルのため災害等でも他社の影響を受けず、確実な通信回線の確保が行える。

また幹線光ケーブルに加え、川上ダム下流河川沿いに支線光ケーブル（SM-12C（12芯））約2.3kmを整備し、下流河川のCCTV映像を伝送する計画とした。ダム下流には3箇所のCCTVカメラを設置する。①下流河川合流点、②潜水橋地点、③水防基準点のダムからの放流を行う上で重要な地点の河川状況の監視が可能となる。



写真-1 監査廊ケーブルラック

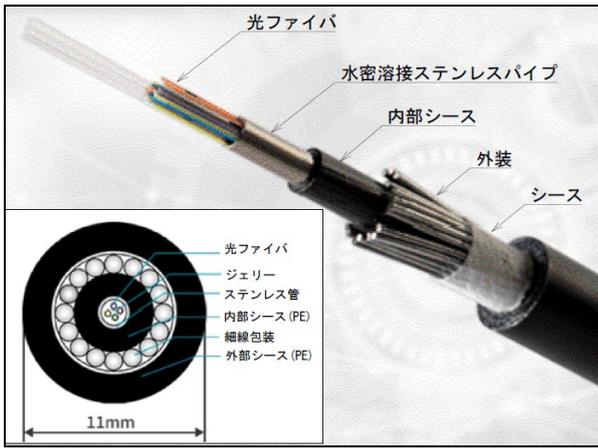


図-2 水中光ケーブル構造図

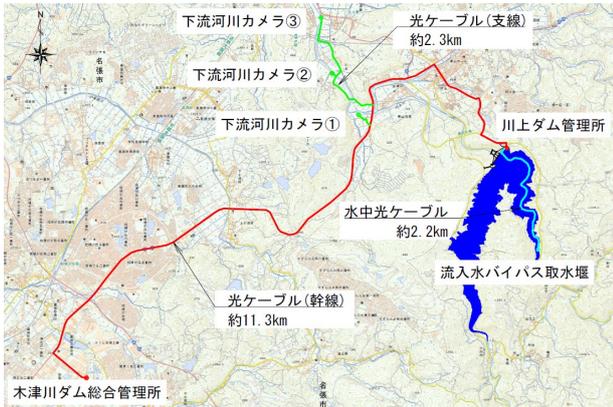


図-3 光ケーブル系統図

5. 監査廊内無線通信環境の整備

監査廊内には、全線にわたり漏洩同軸ケーブル（以下LCXという）の敷設を行った。LCXはスロットと呼ばれる隙間から電波を漏らすことでアンテナとして利用できるように設計されたケーブルで、通常の無線AP（アクセスポイント）よりも電波が届く範囲は狭いが、トンネル内など外部から電波が届きにくい閉鎖空間や障害物の多い屈曲した空間でも無線通信が行える特徴があり、ダムの監査廊での無線通信方法として適したケーブルである。LCX構造と無線エリア比較を図-4に示す。

川上ダムでは監査廊内のLCXを使用して、Wi-Fi環境の整備を行った。またSSIDを分けることで同じ1本のLCXで2つの無線LANネットワークの構築を行い、スマートフォンを用いた内線電話の通信回線の構築を行う設計と

している。LCXの敷設により、電波の届きにくい監査廊内のどこでもインターネットへ接続できるWi-Fi環境と監査廊内のどこでもスマートフォンによる内線通話が可能な通信環境の構築を実現した（図-5）。監査廊内であっても圏外などの通信制限無く連絡ができる環境が確保されたことで、漏水等不具合があった場合の現地状況をテレビ電話で接続しながらダム管理所と連絡し、設計図や建設時の施工状況を現地にてオンラインで確認するなど、従来のダムと比較して非常に効率的な管理が行えるインフラが整ったと言える。ダム監査廊にLCXを整備したのは、水資源機構のダムでは川上ダムが初めてとなる。

6. おわりに

ダムの管理設備における配管配線設備は、もっとも目立たない設備の一つであるが、各ゲートへ動力電源を送り、ゲート制御や状態監視信号の伝送を行うダム管理上欠かせない重要な設備である。設備が常に正常に稼働するよう安全性・信頼性を確保することは当然であるが、今回計画する上で、管理のしやすさと将来的なケーブル更新・増設に対応可能な将来的な維持管理を考慮した設備設計ということを強く意識して考えた。また通信環境のインフラが整うことは、従来よりも高度なダム管理へ繋がる。監査廊内のWi-Fiとして無線APを導入し、一部エリアのみカバーすることがこれまで多かったが、川上ダムで採用したLCXを使用すれば監査廊全域を効率良くカバーできるため、今後他ダムでも有効な技術である。

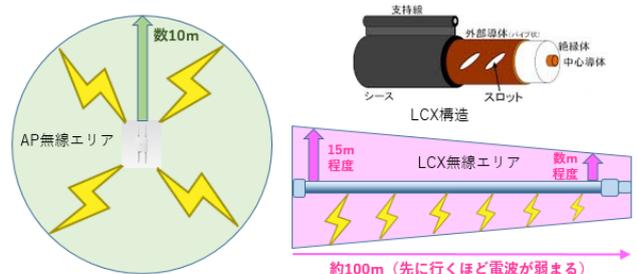


図-4 LCX構造と無線エリア比較

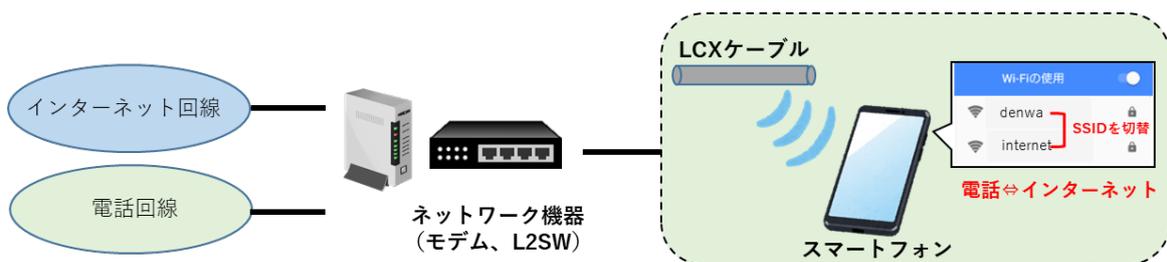


図-5 LCXネットワーク構成