

パソコン片手にTEC-FORCE出動

中西 忠行

近畿地方整備局 企画部 情報通信技術課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1-5-44)

TEC-FORCE活動では、被災状況調査等の活動に加え調査結果等の報告、共有、情報発信、取りまとめ等の作業量も相当な分量となっている。

このため、各地整のTEC-FORCE隊員は情報通信機器を持参し、これらの作業を行っているが、プリンタやスキャナなど比較的大きな機器も含め一式持ち込む必要があり、運搬手段の確保やLAN環境の構築に苦慮している。

また、LAN環境を構築したものの、派遣先において携帯電話等の通信キャリア回線に接続ができない事も多く、結果的に派遣元とのデータ送受信のために、受援地整のPCやネットワークを借用している場合がある。

これらの問題を解決するため、受援地整で構築したネットワークに派遣地整のTEC-FORCEが持参したPCが接続可能な設備の整備、派遣地整側のPCにおける設定方法、派遣先におけるネットワーク環境の改善効果等について、実験結果を含め報告する。

また、国土交通省以外の施設を利用した現地災害対策本部におけるネットワーク、通信環境の整備、近畿管内の府県、政令指定都市でのネットワーク利用についても併せて報告する。

キーワード TEC-FORCE、リモートアクセスVPN技術、情報通信環境の改善、近畿情報ネット

1. 現在の状況

(1) TEC-FORCE派遣時の情報通信環境

情報通信環境の確保として、TEC-FORCEを派遣する地整（以下、「派遣地整」という。）は、次の対応を行っている。（図-1 参照）

- ・被災状況の取りまとめ等に必要となる情報通信機器（パソコン、プリンタ・スキャナ等）を準備・運搬・設置
- ・派遣地整の本部（本局）への被災状況の報告資料送付等のために、通信キャリア回線（携帯回線等）を用意
- ・TEC-FORCE隊員（以下、TEC隊員）との連絡手段として、一般の携帯電話を用意

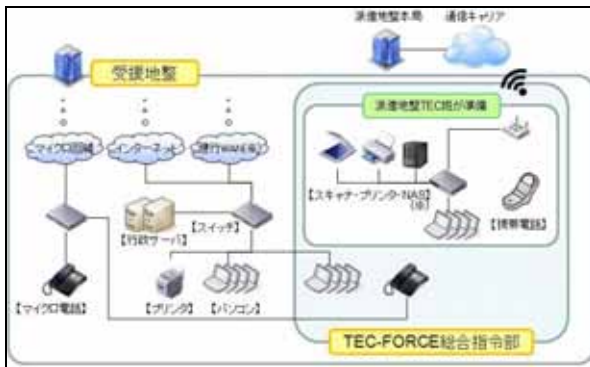


図-1 情報通信環境

(2) リエゾン派遣時の通信回線確立

被災地自治体への支援として、被災地自治体と国土交通省の間で連絡調整を行うリエゾンが派遣されるが、派遣元との連絡調整で使用する通信回線の確立が必要とされる。

災害対策本部への被災映像配信や、連絡手段として利用するもので、以下の手順にて対応を行っている。

- ・支援先自治体への通信設備の選定・運搬
- ・臨時通信回線が必要な部署（場所）の確認
- ・通信設備の運用可能な場所の選定
- ・通信設備から臨時通信回線が必要な部署（場所）までの配線ルートを選定
- ・支援先自治体への設備配置の説明及び了承を得る

(3) 被災時における通信キャリア回線

東日本大震災を踏まえ総務省が開催した「大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会」（平成23年12月総務省）における資料を参考に、被災時における通信事業者の通信トラフィック状況を確認したところ、図2～4のとおり、大幅に通信トラフィックが増加している。

被災直後は平常時と比較して約3倍～7倍の通信トラフィックが発生しており、被災から一定時間経過後においても、平常時よりも高い通信トラフィック量となっている。通信トラフィック量の増加により、通信キャリア

によっては特定エリアの発信規制を実施していた。



図2 東日本大震災発生時のドメイン状況 (ドコモ)

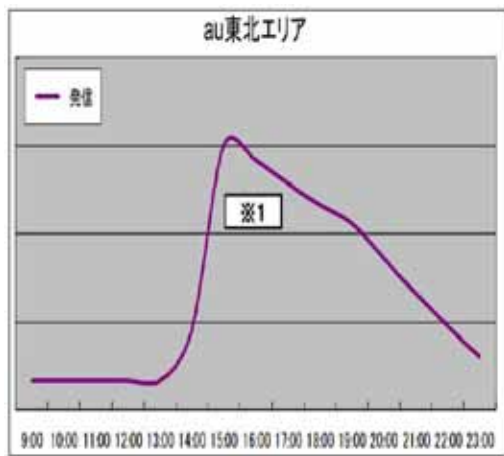


図3 東日本大震災発生時のドメイン状況 (KDDI)

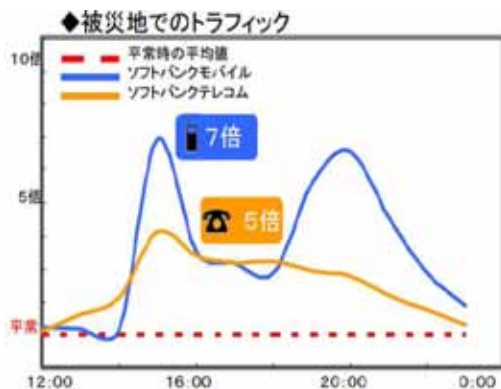


図4 東日本大震災発生時のドメイン状況 (ソフトバンク)
出典：大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会 第8回会合 配布資料

2. 課題の整理

(1) 通信環境に関する課題

災害発生時は、ドコモ、KDDI等の通信施設の被災や、通信集中による輻輳を防止するため、通信キャリアは発信規制を断続的に実施する場合が想定される。

そのため、通信が出来なかったり、出来た場合においても通信速度が遅く、派遣元の地整本局に大量のデータを送信する際には、長時間係ってしまう。

(2) 機器の設置・運搬に関する課題

プリンタやスキャナなどの大型機器があるため、運搬方法が限定され、運搬手段に手間取っている。

また、あらかじめ接続の設定を行っているが、設定機器が多く、手順誤り等により機器が正常に稼働しない場合がある。不具合の原因究明についてもTEC隊員自ら行う必要があり、本来の業務に支障が出ている。

(3) 連絡先に関する課題

通常、TEC隊員毎に与えられた携帯電話を使用しているが、派遣TEC隊員が交代する度に番号が変わるため、その都度連絡先を確認・周知する必要がある。

(4) リエゾン派遣時に関する課題

通信設備の選定から運用までに多くの確認及び調整事項があり、早期の支援体制確立の妨げになっている。

3. TEC隊員へのアンケート

熊本地震にTEC-FORCEとして派遣された職員を対象に、防災課が実施した「熊本地震におけるアンケート」における結果は、次のとおりであった。

- 被災地のLTEでの通信環境が他の通信と競合しているため、最初安定せず(後に改善)、途中で途切れたり、送信に時間がかかったり、少し大きめのファイルが通信途中で切断されたりして苦慮した。
- 活動拠点の変更に伴い、PC・プリンタ等の機器移動・設置を行ったが荷物も多く、立ち上げにも苦労した。
- 通信環境の改善。大容量の写真データの送付にかなり時間を要していたようなので、WiFiを含めた、モバイルの通信環境の改善が望まれる

アンケート結果から、通信環境が安定しないためデータの送信に時間を要したり、機器の移動や設置に苦労していたことなど、前項で整理した課題と同様の内容であることが確認できた。

4. 改善策及び実験結果

(1) 改善策

各課題に対して検討した改善策は次のとおり。

(a) 通信環境に係る改善

受援地独自の通信ネットワーク回線を使用することで、通信規制等の影響を防ぐことができ、

安定した通信環境を確保する。

(b)機器の設置・運搬に係る改善

派遣地整が用意する通信機器はパソコンのみとし、その他必要な通信機器は受援地整側で用意することで、派遣地整側の準備・運搬・設置の負担を大幅に軽減させる。

(c)連絡先に係る改善

派遣された各TEC班にマイクロ電話機（PHS）を割り当てることで連絡先を統一させる。

これらの検討を踏まえた改善後の情報通信環境を図-5に示す。

近畿地方整備局業務継続計画では、他地整からのTEC-FORCEを受け入れる際、大阪合同庁舎1号館の新館3階A会議室にTEC-FORCE総合指令部を設置することとなっている。

計画のとおり、A会議室に受援地整を受け入れた際の配置図は図-6のとおり。

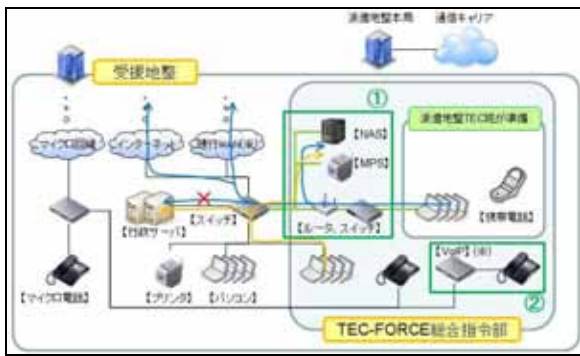


図-5 改善後の情報通信環境

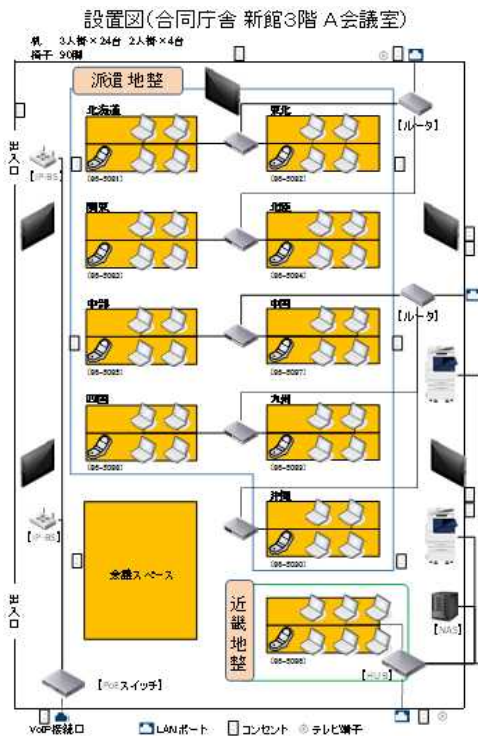


図-6 A会議室配置図

(d) リエゾン派遣時に係る改善

・体制確立に必要な確認事項について、事前に確認調査を実施し、台帳化する。台帳に記載する事項は以下のとおり。

- 1) 災害対策本部、リエゾン活動場所
- 2) 通信設備の設置可能場所
- 3) 配線ルート
- 4) 近畿地整との既設ネットワーク接続設備の有無

今回、府県・政令市と一部の町について台帳化を行った。作成した支援台帳の例は図-7のとおり。

近畿地整との既設ネットワーク接続が無い自治体については、衛星通信設備、簡易多重設備での構築を検討した。それぞれの実現性を考慮し、どのシステムが有効かの優先順位をつけ、判断の材料として整理した。

これにより、調査済みの自治体へ支援に向かう際は、必要な設備の選定や配置について容易に行え、また、自治体担当者との連携も容易になると考える。

・府県及び政令指定都市においては、特定の通信回線（近畿情報ネット）として構築していたネットワークを活用し、リモートアクセスVPN技術を使うことにより、本部共有ファイルサーバへのアクセス・電子メール・防災web閲覧（映像共有化・DIMAPS等）が可能となり、日頃利用している行政端末と同様の作業が可能となる。（図-8参照）



図-7 支援台帳の例

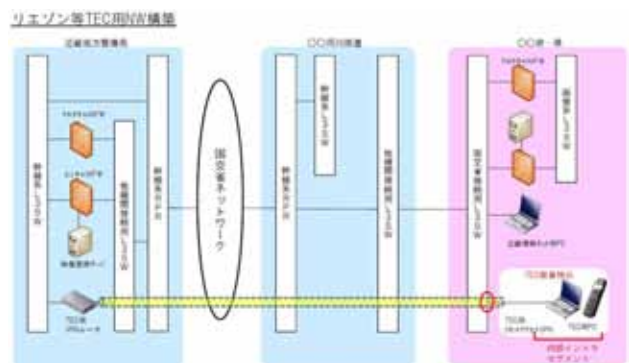


図-8 リエゾン等TEC-FORCE用NW構築

(2) 実験結果

(a) TEC-FORCEの受け入れ確認

他地整からのTEC-FORCEを受け入れ予定であるA会議室に、図-6のとおり通信機器を設置し、通信テスト等を行った。

受援地整が作業を行うテーブルにパソコンを設置し、行政系ネットワーク回線を接続することによって、インターネットやイントラネット、及びNAS（共有HDD）に接続できることを確認した。

同様に各テーブルにPHSを設置し、マイクロ電話機（地整内線電話機）として使用できることを確認した。



写真4 イントラネットと内線電話の利用状況

今後は、本台帳をもとに自治体との合同訓練を実施し、より実情に合うよう台帳の更新が必要であると考えている。



写真-1 A会議室配置状況 写真-2 インターネット等閲覧

(b) リエゾン派遣時の通信回線確認

近畿地整との既設ネットワーク接続設備がある大阪府について、通信回線確認を行った。

図-8のとおり、近畿地整にVPN設備を設置し、L3スイッチ等の必要な設定を行うことで、大阪府において、パソコンによるインターネットやイントラネット、さらには内線電話など、日頃の職場と同様の通信環境を確立できることが確認できた。



写真-3 大阪府災害対策室 設置完了状況

5. 今後の検討

(1) 他地整からのTEC-FORCE受け入れ時において、50人以上が同時に業務を行うことが想定される。そのような場合においてもネットワーク機器が負荷に耐えることが出来るか、確認が必要である。

また、他地整の共有ファイルサーバへの接続は、セキュリティの関係で実施できないため、接続可能とするための仕組み作りが必要である。

(2) 近畿地整のみの検討・整備を行ったが、他地整においても同様の整備が可能か検討し、各地整統一した整備が必要と考えられる。

(3) 支援台帳を作成した自治体は少なく、引き続き作成する必要がある。

また、ネットワーク接続が行えていない自治体については、通信キャリアの携帯電話回線等を利用することになるため、通信キャリアを利用しない、国土交通省の衛星通信回線の利用などについて、検討が必要である。

最後に、今回検討・確認した内容を基礎資料として、今後も他地整、各自治体担当者との情報共有や意見交換を行い、災害時においても迅速に設営ができ、より安定した通信環境となるよう整備を進めていきたい。

海水循環技術と現地実験について

春山 哲彦

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 沿岸防災対策室 (〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

大阪湾では、湾奥部の底層溶存酸素量が不足するなど、慢性的な水質汚濁に対して、「大阪湾再生行動計画」を策定し、環境改善施策が推進されているところである。

このような中、海域環境改善の一方策として、窪地状の地形である堺泉北港堺浜において、表層の低密度水を窪地底層に放流する海水循環技術を利用した現地実験を約2ヶ月間試験的にを行い、その前後期間に水温・塩分などの経時変化を確認するモニタリング調査を行った。

本研究では、その海水循環技術の概要と現地実験1年目の調査内容について、報告する。

キーワード 海域環境，海水循環，モニタリング，現地実験，貧酸素水塊

1. 技術開発の目的および背景

大阪湾は、瀬戸内海の東端に位置する閉鎖性海域であり、慢性的な水質汚濁に対して、様々な環境改善施策が推進されているところであるが、特に湾奥部は、流況(海水)の停滞性が強く、大阪湾に点在する窪地では、夏季及びその前後に貧酸素水塊が発生している状況である。窪地内の貧酸素化対策として、窪地の埋め戻しや、酸素供給装置による曝気が挙げられる。しかし、窪地の埋め戻しは、事業を進めるのに多大な時間と費用がかかることや、船舶航行に支障を来すといった問題がある。また、曝気による改善は、閉鎖性水域であるダム湖では実用化しているものの、開放的な海域で実用化している例はない。

このような背景を踏まえ、窪地の貧酸素対策を実用的に実施できる技術として、海水循環技術の現地実証実験を行う。

2. 概要

(1) 海水循環技術の概略

本検討における海水循環技術とは、低密度水を窪

地の底層に放流し、密度差により低密度水が浮上する力を利用して海水循環を起こし、窪地の貧酸素化を防ぐ技術である。

そのメカニズムは図-1に示すとおりであり、①表層水や下水処理水といった高温・低塩分の密度が軽い水を窪地内へ導水し、②浮力と連行で窪地内の冷たく密度の重い水塊の解消を促進し、③同時に起こる鉛直循環流によって、外部の海水を水平方向に引き込むことで、窪地水と直上水との海水交換を促進し、窪地内の貧酸素水塊を低減する。

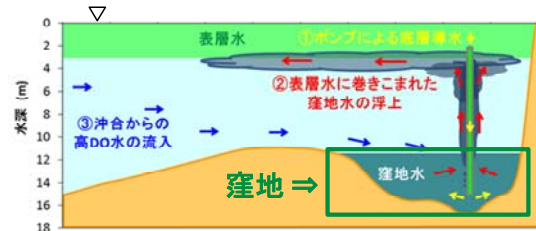


図-1 海水循環技術の効果発生メカニズムのイメージ

(2) 実験内容

a) 実験対象水域の特徴

現地実証実験は、一級河川大和川の河口部に位置する、堺泉北港堺浜(堺2区北泊地、次頁の図-2)で実施した。

この水域を実験場所とした主な理由は、①水域入口の水深(平均水面下約11m)よりも、水域内が深い窪地形状(最大水深が平均水面下約18m)となっているため、冬に形成された冷たく重い水塊が、密度成層ができる春から秋にかけて底層に滞留し続け、無酸素化する、②水域内の表層水が大和川の影響で低塩分となっており、本技術で必要となる低密度水として利用できる、③水域内に大阪湾水質定点自動観測所(堺浜MP)が存在しており、平均水面下約10m以浅の水温・塩分・D0等の連続データが取得可能ということである。

b) 実験装置の設置イメージ

水域内の表層水を窪地内へ導水するために用いた実験装置の設置イメージを図-3に示す。本装置はD.L. -1m(平均水面下約2m)の水塊を12,000m³/日の流量で窪地内に導水した。導水は2016年7月19日～9月18日に実施した。

(3) モニタリング調査の内容

水温、塩分、密度、D0等の空間分布やその経時変化を確認するため、以下のモニタリング調査を実施した。調査内容を表-1、表-2に示す。(次頁に続く)

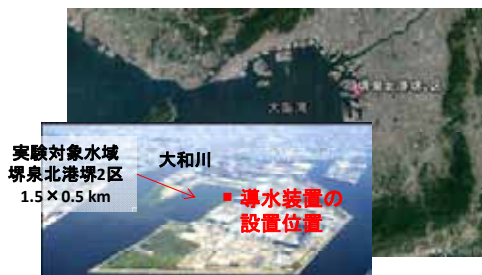


図-2 現地実験の対象水域(堺泉北港堺浜)

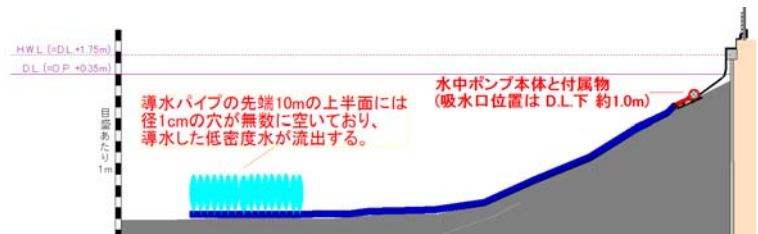


図-3 実験装置の設置イメージ

表-1 現地環境調査毎の主な役割

調査区分	主な役割
プレューム調査	装置の稼働開始時において、低密度水が窪地水内に導水されて、窪地内の冷水を連行して中層へ浮上していることを確認する。また、浮上水塊が表層付近まで浮上していないことを確認する。
連続調査	調査期間中の窪地内の密度(水温・塩分)を連続計測し、装置非稼働時(平成27年度の事前調査時)との比較を行うことで、低密度水の導水によって窪地内の冷たく重い溜まり水の解消が促進される効果を検証する。
水質調査①	調査期間中の密度とD0の空間分布を計測し、装置非稼働時(平成27年度の事前調査時)との比較を行うことで、低密度水の導水で窪地内の冷たく重い溜まり水の解消が促進される効果と、窪地内の無酸素水塊の存在期間の短縮効果を検証する。
水質調査②	低密度水の導水期間中において窒素・リン・硫化物濃度等を採水分析し、窪地内の高濃度の窒素・リンや硫化物が表層付近に浮上していないことを検証する。

表-2 現地環境調査毎の内容

調査区分	調査方法	調査項目	地点数	調査回数	調査層
プレューム調査	水質計による鉛直測定	水温、塩分	1点(放流口周辺で詳細測定)	計1回(7月19日)	放流口から鉛直上方へ1mごと
連続調査	水温・塩分計の設置	水温、塩分	1点(堺浜MP位置)	計1回(7/4～11/30)	海底面上4, 3, 2, 1m
水質調査①	水質計による鉛直測定	水温、塩分、濁度、D0など	18点(Stn. 1～18)	計13回(7/月上旬～11/下旬)	深度0.5m間隔
		pH	1点(Stn. 11)		
水質調査②	採水分析	窒素、リン、硫化物など	4点(堺浜内地点、大和川地点、大和川合流点、沖合地点)	計1回(8/2)	堺浜内地点⑩(海面下0、2、4、10、15m) 大和川地点⑨(海面下0m) 大和川合流点④(海面下0、2、4m、海底面上1m) 沖合地点①(海面下1m、1/2水深、海底面上1m)

(モニタリング調査の内容)

a) プリューム調査

導水した低密度水が、窪地内の冷たく重い水塊を連行して実験対象水域の入口の水深より浅い層へ浮上し、なおかつ表層付近までは浮上していないことを検証するため、導水開始時において、浮上するプリュームの水温・塩分を、図-5に示すイメージで計測した。

b) 連続調査

窪地内の冷たく重い水塊の解消が促進される効果を検証するため、大阪湾水質定点自動観測所(堺浜MP、図-4中の◆地点)において、自動観測の範囲外となっている底上4, 3, 2, 1m(平均水面下約11, 12, 13, 14m)で、水温・塩分を連続計測した(図-6)。

c) 水質調査①

窪地内の冷たく重い水塊の解消が促進される効果と、窪地内の無酸素水塊の存在期間が短縮される効果を検証するため、図-4の地点1~18において多項目水質計による水質鉛直計測を行い、密度(水温・塩分)、D₀の空間分布を把握した。

d) 水質調査②

窒素・リン・硫化水素を多く含んだ窪地内の水塊を浮上させたことで、実験対象水域内およびその周辺の表層でそれらの濃度が上昇していないことを検証するため、図-4地点1, 4, 11, 19を対象に、装置稼働期間中(8月上旬)に採水分析を実施した。なお、図-7に各調査の実施時期を示す。

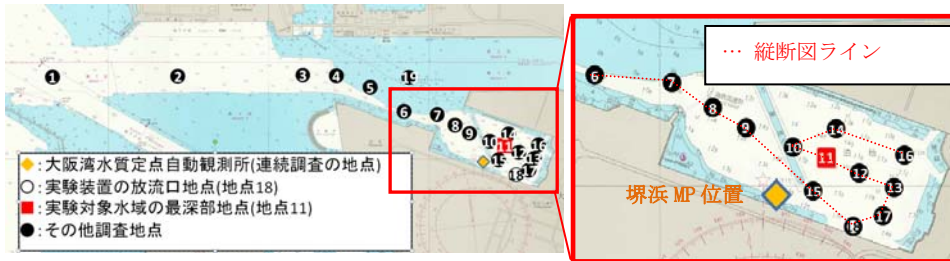


図-4 調査地点図

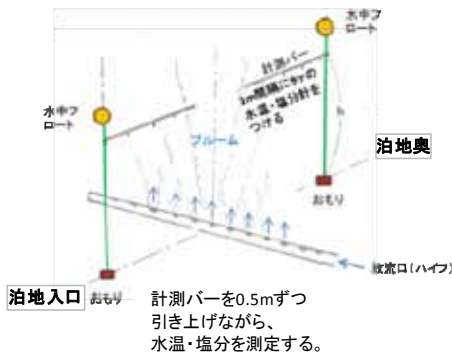


図-5 プリューム調査の計測イメージ

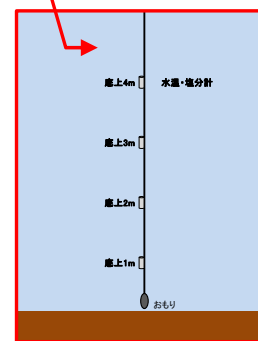
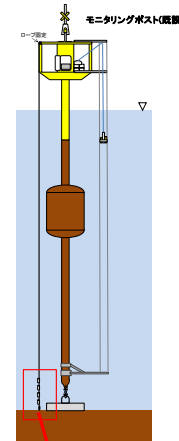


図-6 連続調査の計測イメージ

平成28年度	7月	8月	9月	10月	11月
導水期間	←→				
プリューム調査	↑				
連続調査	←→				
水質調査①	↑	↑	↑	↑	↑
水質調査②		↑			

図-7 導水とモニタリング調査の実施時期

3. 調査結果

(1) 放流水のプリュームの形成状況

導水の開始前後における放流口位置の水温・塩分分布を比較すると、導水開始後には低温・低塩分の水塊が水深8mまで浮上していることが確認された(図-8)。このことから、窪地底層へ放流された低塩分 waters は窪地内の冷水塊を連行して実験対象水域の入口の水深(平均水面下約11m)より浅い水深へ浮上し、かつ、表層付近までは浮上していないことが確認された。

(2) 密度躍層の季節変化

連続調査において、導水開始の約20日後となる8月6日以降、窪地内の水温は顕著に上昇し、導水を終了した9月18日の時点で、2015年度に実施した事前調査(導水無し)での同時期に比べ、2~3℃程度高い水温となった(図-9上図)。また、窪地内の水温上昇に伴い密度が低下したことで、中層側(底上4m)と底層側(底上1m)との間の密度差は、同時期的事前調査よりも小さくなった(図-9下図)。

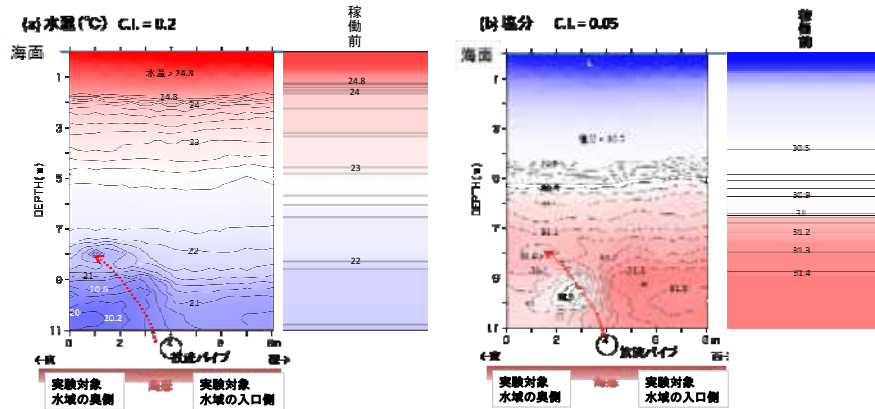


図-8 プリューム調査結果

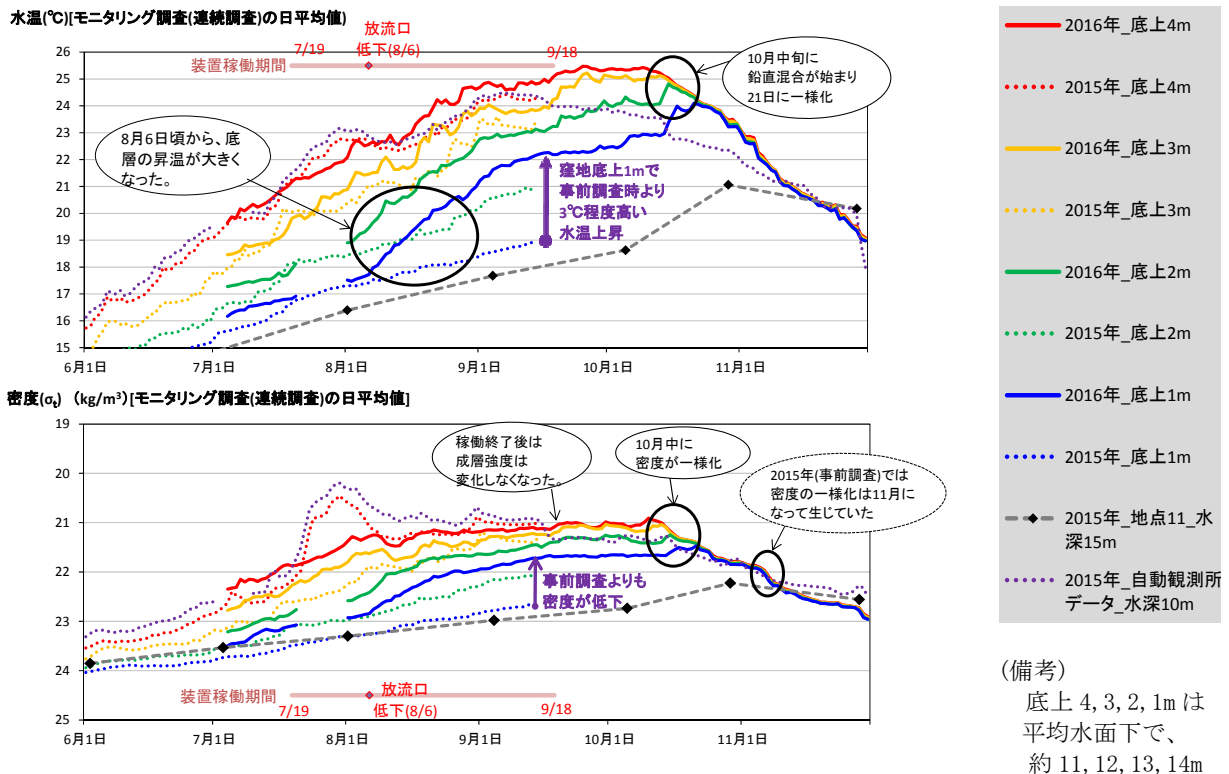


図-9 連続調査結果(上図:水温、下図:密度 σ_t)

(備考)
底上4,3,2,1mは平均水面下で、約11,12,13,14m

水質調査①(密度)の本調査では、10月下旬調査の時点で外海の高密度水が窪地内へ流入していた(図-10上段)。一方、事前調査では、10月下旬調査の時点では窪地内に重い水塊が残り、外海水は窪地内へ流入していなかった(図-10下段)。

この差は、装置稼働により窪地内の密度が低下し、中層との密度差が小さくなった効果と考えられる。

(3) 貧酸素水塊の形成状況

水質調査①(DO)の本調査では、10月下旬調査の時点で、窪地の最深部付近を除いて無酸素状態が解消した。また、11月下旬調査の時点では、窪地内のDOは3.5mg/L以上となっていた(図-11上段)。

一方、事前調査では、10月下旬調査の時点で窪地全体に無酸素水塊が残っていた。また、11月下旬調査時点においても、2mg/L以下の貧酸素水塊が残っていた(図-11下段)。

本調査で窪地内のDO上昇が10月下旬の時点で生じたのは、実験装置の稼働により窪地水の密度低下が早まったことで、外海の高DO水が早く窪地内へ流入したためと考えられる。

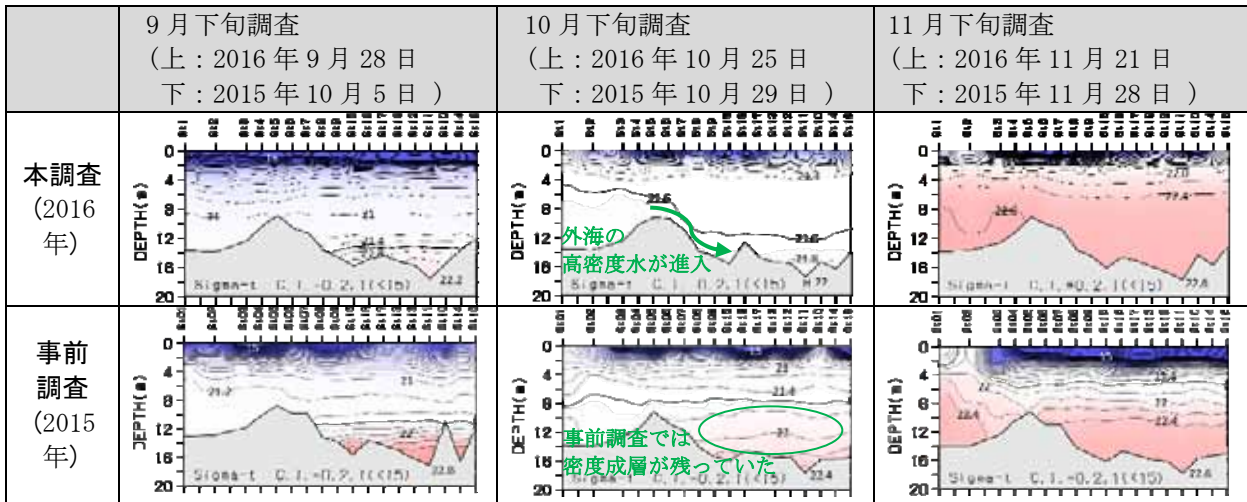


図-10 水質調査①結果(密度 σ_t の鉛直縦断分布)

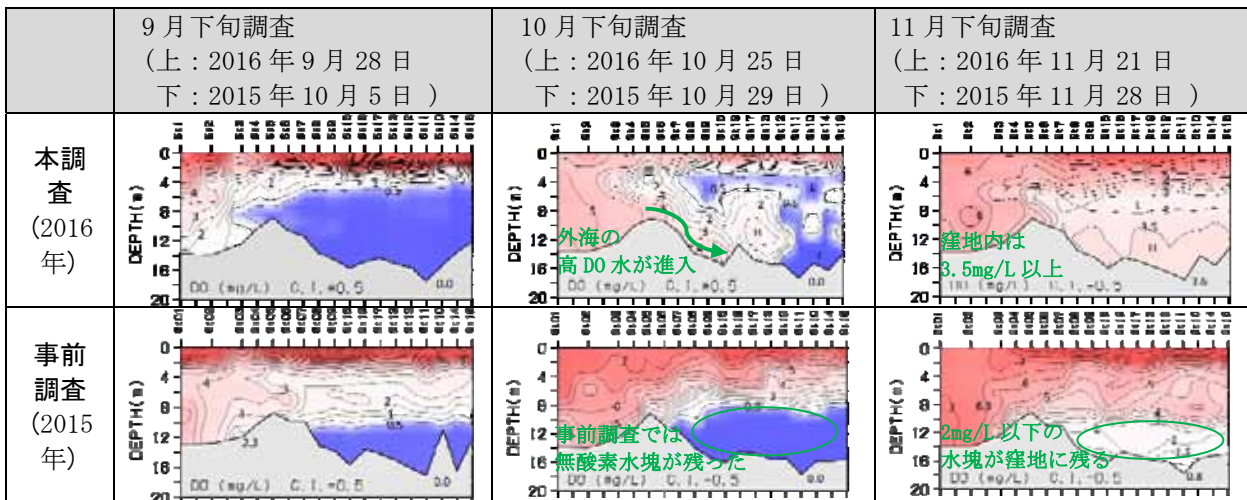


図-11 水質調査①結果(DOの鉛直縦断分布)

(4) 実験中の表層の窒素・リン・硫化水素濃度

水質調査②の結果、泊地内の水深10m以浅、および泊地外の地点において、全窒素・全リンの濃度は、通常時と同程度の濃度であり、硫化水素の濃度は定量下限値未満であった(図-12)。これらのことから、窪地内水塊の浮上による影響は確認されなかった。

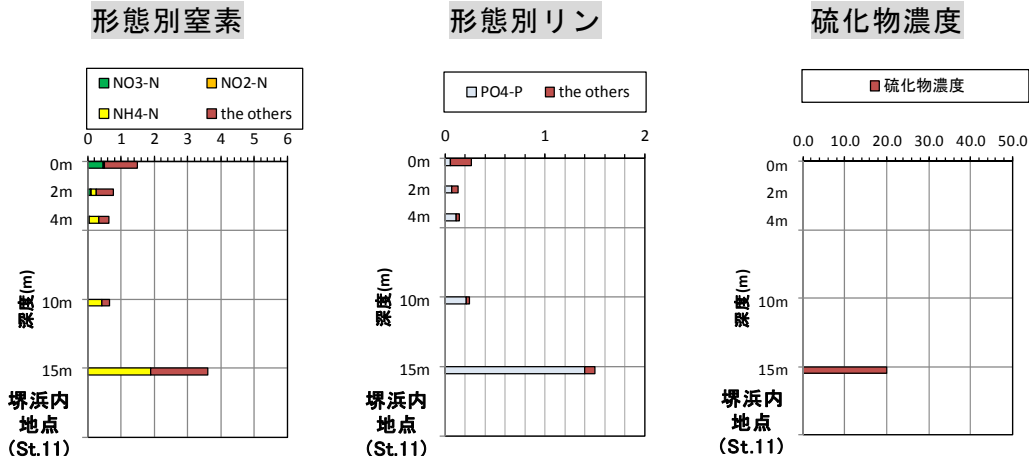


図-12 装置稼働期間中(8月2日)における堺浜内のN, P, 硫化物濃度の鉛直分布状況

4. おわりに

本論文では、海水循環技術を利用した現地実験とモニタリング調査について、報告した。

2016年度(1年目)は、密度成層が発達し窪地内が無酸素化した夏季を対象として、導水実験とモニタリング調査を実施した結果、窪地内の停滞水塊の水温上昇(密度低下)を早め、貧酸素水塊の解消時期を約1ヶ月早める効果が得られた。

2017年度(2年目)には、実験時期を変えて導水の開始時期を早め、春季から夏季にかけての貧酸素水塊の発生を遅らせる効果を確認する実験を行う予定である。

また、実験後、実海域実験の取りまとめや課題の整理、技術評価など、技術の確立に向けた検討業務を進める計画になっており、今後、大阪湾奥部における水質環境の改善に寄与するものと考えられる。

巻末：

今回の論文は、従前の所属先(神戸港湾技術調査事務所)における所掌内容を課題として、報告したものである。

災害レジリエンスの向上を目指した「縮災土のう」について

中森 康裕¹

¹西日本高速道路メンテナンス関西(株) 修繕工事部 (〒567-0032大阪府茨木市西駅前町5-1)

地震等の大災害が発生した場合、道路管理者としての最優先は「道路啓開」であり、この道路啓開がなければ救急業務、避難誘導、点検・復旧、物資輸送、各種支援等の社会的活動の復旧は成り立たないといっても過言ではない。過去の地震災害で発生した橋梁・ボックス等の段差、道路の亀裂・沈下などの発災後直後の対応は、土のうによって擦り付けて道路啓開を実施することが一般的な方法となっている。

本論文は、災害レジリエンスの向上を目指して開発した高強度で長期耐久性を有する土のうについて報告するものである。

キーワード 災害、レジリエンス、BCP、道路啓開

1. はじめに

地震等の大災害が発生した場合、道路管理者としての最優先は「道路啓開」であり、この道路啓開がなければ救急業務、避難誘導、点検・復旧、物資輸送、各種支援等の社会的活動の復旧はできない。

本論文は、土のうを作り置き備蓄することによって、災害時の初動対応の迅速化を図り、社会的影響の最小化(災害レジリエンス)に貢献することを目的とした土のうについて報告するものである。

2. 災害レジリエンス(縮災)とは

災害レジリエンス(縮災)とは、図-1の概念図のとおり、「被害を減らすと同時に、復旧までの時間を短くすることにより、社会的影響の最小化を図ること」と定義し、耐震補強等による被害の軽減策と集中的に復旧対策に取り組む等の復旧時間の短縮策の双方を総合的に行うことによって、災害の影響を最小化することである。

参考に、復旧までの時間短縮効果の指標として、図-2の時間当たりの県内総生産¹⁾は、東京都で約106億円(インドネシア1国分相当)、大阪府で約43億円(デンマーク1国分相当)、兵庫県で22億円(ニュージーランド1国分相当)であり、極めて高い経済的影響力を持っており、一刻も早く道路啓開を実施して、大地震による被害を復旧し、社会経済活動を立ち直らせる必要がある。

今回報告する縮災土のうは、長期耐久性のある土のうを作り置き備蓄しておくことにより、地震災害時の救急業務の根幹である道路啓開の迅速化ひいては早期の復旧・復興に貢献する材料として開発した製品である。

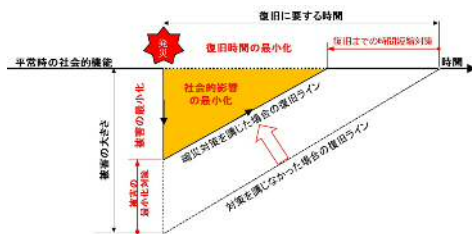


図-1 災害レジリエンス(縮災)の概念図

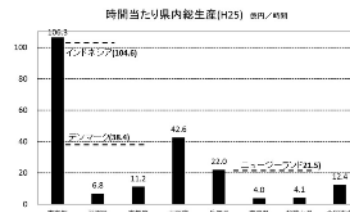


図-2 時間当たり県内総生産

3. 地震災害時の段差等の対応と振り返り

地震が発生すると橋台、カルバートボックス、盛土、切土、切盛境、トンネル等に高い確率で段差が発生する。発災初期段階は、人手、機械などが集中できないことから簡易な土のうを用いて道路啓開を実施し、救急業務、路上放置車両の排除、道路構造物の緊急点検及び応急復旧等の初動対応を行う方法が一般的である。

中越地震による道路啓開の振り返りでは、「400袋の作り置き土のうにより初動対応を図ったが、結局土のうが不足し、急遽4000袋を追加することとなり、人手が少なく中で土のう作りに時間を費やし、土のうの事前備蓄が必要だった」等の意見があり、事前配備の重要性が認識されている。

4. 路面変状の形態と震度階級の関係

(1) 路面変状の形態

過去の地震事例を基に地震時の路面変状の形態は、a～dの4形態に分類され、dに行くほど被害の程度が大きくなり、道路啓開までの時間が長期化する傾向にある。

a) うねり(コルゲーション)

定義としては、路面の縦断線形は連続しているが縦断線形が不規則に波をうった状態で、走行不可能といった状況ではなく、車両の走行速度は低下するものの、地震発生初期段階での道路啓開に支障を来すことは少ない。



写真-1 路面のうねり(熊本地震)⁶⁾

b) 段差

定義としては、縦断線形が局所的に変化している状態である。この段差量が大いいと路上放置車両の排除、道路構造物の緊急点検及び応急復旧等の初動対応に支障となることから、初動時は土のうなどを用いて道路啓開をすることが一般的である。主な段差の種類を、写真-2～8に示す。



写真-2 橋台部の段差(中越沖地震)⁷⁾



写真-3 C-Box部の段差(中越地震)⁹⁾



写真-4 橋梁伸縮装置部の段差(熊本地震)⁸⁾



写真-5 埋設物の浮上による段差(中越沖地震)⁴⁾



写真-6 埋設物の沈下による段差(中越地震)⁶⁾



写真-7 液状化地盤の沈下による段差(中越地震)



写真-8 地盤の隆起による段差(中越沖地震)⁴⁾

c) 亀裂

定義としては、路面が局所的に引裂かれて平面的連続性を大きく失った状態であり、段差を伴うこともあり、崩壊の一步手前の状態でもある。段差と同様に、初動時は土のうなどを用いて亀裂を埋めるなどの対応を図って道路啓開をすることが一般的であるが、余震等で崩壊につながる危険性があるので周囲の安全を確認することが必要である。主な亀裂の種類を、写真-9～10に示す。



写真-9 亀裂による段差(熊本地震)⁶⁾



写真-10 切盛境の亀裂による段差(中越沖地震)⁷⁾

d) 崩壊・破壊

定義としては、道路としての機能を著しく失った状態。道路啓開を実施する際は、崩壊部分の状況を調査し、安全を確保しながら道路啓開を実施することが必要で、特に大型機械や大型土のう、矢板等を用いて応急復旧する 경우가多く、道路啓開までに相当の時間を要する。このようなケースでは、迂回ルートを検討する必要がある。主な崩壊・破壊の種類を、写真-11～15に示す。



写真-11 盛土の崩壊(中越地震)



写真-12 沢地形部の盛土の崩壊(中越地震)



写真-13 切土の崩壊(熊本地震)⁸⁾



写真-14 落橋
(熊本地震)⁸⁾



写真-15 トンネル覆工の破壊(中越沖地震)⁷⁾

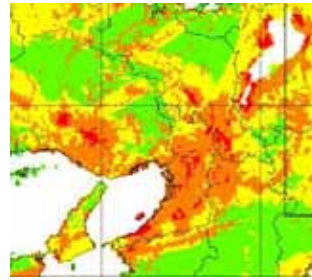


図-6 予防対策用震度分布図(内閣府)

(2)通行止めと震度階級の関係

新潟県中越地震における国道(直轄+県管理)の通行止めと震度階級の関係²⁾は、図-3のとおり、震度階級が上がるほど通行止め箇所は増えることがわかる。

また、通行止めの原因としては、図-4のとおり土のうで道路啓開が可能な沈下、段差が約5割を占めており、これに対応するための土のうの事前配備は、迅速な道路啓開はのために有効なツールといえる。

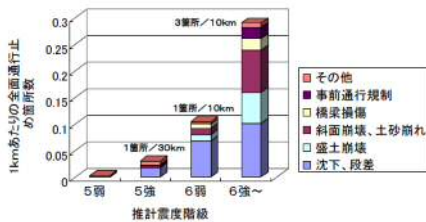


図-3 中越地震における震度階級と通行止め箇所²⁾

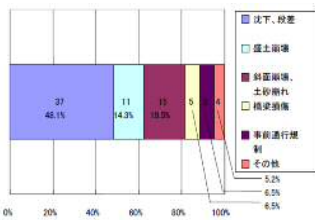


図-4 中越地震における通行止めの原因内訳²⁾

(3) 段差量と震度階級の関係

新潟県中越地震と能登半島地震における段差量と震度階級は図-5のとおり、震度が大きくなれば段差量も増えていくことが分かる。また、図-6の震度分布図によれば、近畿周辺の社会活動が行われている範囲は、震度6強以上が多くを占め、多数の段差等の発生が予測されること、この範囲には緊急輸送道路が多く含まれており、道路啓開のための事前準備をしておく必要がある。

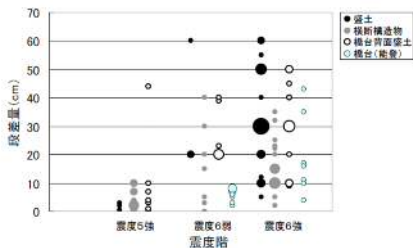


図-5 新潟県中越地震と能登半島地震における段差量と震度階級の関係²⁾

(4)中越地震における高速道路での段差

2004年に発生したM6.8、震源の深さ約13Kmの内陸直下型地震である中越地震では、関越道、北陸道83.4Kmのうち、段差対策が必要な5cm以上の段差が66か所発生²⁾、上下線トータルで換算すると2.5Kmに1か所の割合で土のう等による段差対策の必要性があった。一番多い段差の範囲は、25~50cmの高さであった。(表-1)

表-1 新潟中越地震における高速道路の段差

段差の範囲	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-50	50<	計	平均
段差箇所数	17	6	12	5	12	21	10	83	23

5. 作り置き土のうの配備による効果の試算

前章4(4)を基に、段差想定適所に土のうを事前配備している場合と、発災後に土のうの製作を開始する場合の道路啓開ダイアグラムの比較は、図-7のとおり、前者は、基地参集後に道路啓開に出発し、順次前に進みながら効率的に道路啓開ができるが、後者は、参集後の土のう製作待ち、基地から現場までの往復移動時間のロス、特に基地から遠い現場ほど移動時間ロスが大きくなり、道路啓開時間が前者より劣る。また、前者は、土のうを製作するための人員・機械等の省力化が図られる。

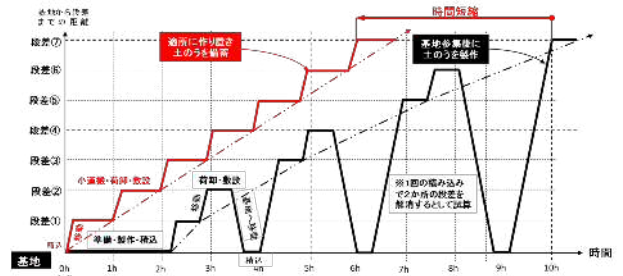


図-7 道路啓開ダイアグラムの試算

6. 現在普及している土のうの問題点と解決策

現在、一般に普及している土のうは、ポリエチレン(PE)またはポリプロピレン(PP)を生地とした土のうであり、以下の問題点が主にあげられる。

- ① 大型車両の通過に耐え得る強度がなく、繰返し受ける緊急輸送車両等による土のうの破損が懸念される。
- ② 現在確認されている耐候性の期間は、最長のもので3年と短く、数年放置すると写真-16のように劣化が進行し、作った状態での長期保管はできない。

- ③ 車輪等によるスタックに耐えられる引裂き抵抗性が弱く、土のうがすぐに破れやすい。
- ④ 燃焼性があり、存置期間中の野火等で焼失する。

これらの解決策として、高強度、長期耐候性、耐薬品性、耐熱・耐寒性、耐火性等を有する玄武岩を素材とするバサルト繊維を使用して土のう(縮災土のう)を開発することとした。



写真-16 朽ち果てた土のう

7. 要求性能と試験結果

高強度で長期耐久性・保管性等を有する土のうとして求める要求性能は、以下の項目とし、確認試験等を実施した。

(1)大型車両の通過に耐えられる強度

道路啓開時は、路上放置の大型車両及び災害応援、緊急輸送等の大型車両 100kN(T25)の輪荷重に耐える性能を必要とするため、下記の Matsuoka and Liu の式³⁾に基づいて算定した 270N/cm 以上の引張強度を生地の要求性能とした。

$$F = 2T \times \{ (B/H) \times K_p - 1 \} \times L$$

ただし、 $K_p = (1 + \sin\phi) / (1 - \sin\phi)$ F_s (安全率)1.5

F: 土のう強度, T: 土のう袋材の引張強度 (kN/m)

B: 土のうの幅 (0.4m), H: 土のうの高さ (0.08m)

L: 土のうの奥行 (0.4m),

ϕ : 土のうの中詰め材の内部摩擦角 30° の砂と仮定

確認試験として、車両総重量 20 t に調整したダンプトラックを通過させたところ、従来土のうは、一軸目通過の段階で破損したが、縮災土のうは複数回通過させても破損しないことが確認された。



写真-17 従来土のう(左)と縮災土のう(右)の大型車による耐久性

(2)長期耐久性

作り置きとして長期備蓄に耐えられる耐候性として、促進暴露試験(JIS L 1096)で 20 年相当の暴露時間(6000 時間)後においても、要求引張強度 270N/cm に比べ、初期強度で 140N/cm、20 年相当暴露で 612N/cm と大きく上回る性能であることが確認された。(表-2)

なお、現在一般的に販売されている耐候性土のうの耐候性は、初期の引張強度で 128N/cm で、要求性能を満たしていないため、確認試験は実施していない。

表-2 促進暴露試験結果

暴露時間	初期値	6000h	減衰率	備考
縮災土のう	1,407	612	43%	単位: N/cm
一般耐候性土のう	128	-----	-----	
要求性能	270N/cm			

また、事前に基礎試験として実施した生地重量 300 g/m² のバサルト生地で長期耐候性を確認した結果は、900 時間(3 年相当)までは強度低下がなく、900 時間から 3000 時間(10 年相当)の間で強度が減衰するものの、3000 時間から 6000 時間(20 年相当)は強度の減衰が見られなかった。この結果から 3000 時間以降は、バサルト繊維の引張強度の閾値と推察され、これ以上暴露しても強度変化は見られないものと思われる。(図-8)

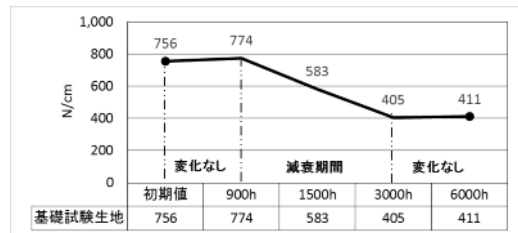


図-8 バサルト生地の促進暴露時間と強度減衰

(3)落下耐久性

トラックの荷台相当の高さから落下させても破れないことを要求性能とし、確立した試験方法がないため、ダンプトラックの荷台相当の高さ 1.5m から 25Kg の豊浦産標準砂を詰めた土のうを自由落下させ、土のうの破壊状況を確認することとした。(図-9)

試験結果は、参考に試験をした一般耐候性土のうは、1.0m からの落下で砂漏れしたが、縮災土のうは、1.5m から落下しても砂漏れしないことが確認された。(写真-18)



図-9 落下耐久性試験方法



写真-18 従来土のう(左)と縮災土のう(右)の落下状況

(4)打撃衝撃耐久性

土のうを敷設する際に、カケヤ等で土のうを叩いて整形する場合があります、その打撃によって土のうが破れにくいことを要求性能とし、確立された試験方法はないため、高さ3mから16ポンド(7.26Kg)の鉄球(砲丸)を、30Kgの豊浦産標準砂を詰めた土のうの中央部に自由落下させ、生地が破断するまでの回数をもって確認することとした。

(図-10)

試験結果は、参考に試験をした一般に出回っている土のうは、1回~10回で生地が破断したが、縮災土のうは、87回と従来土のうを大きく上回る打撃衝撃性を有していることが確認された。(表-3)

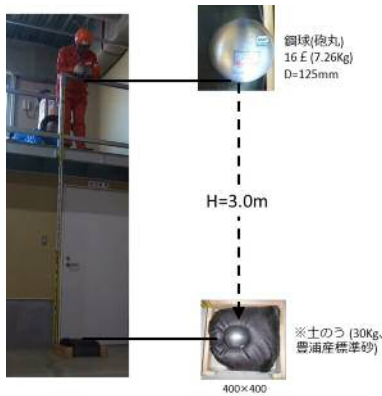


図-10 打撃衝撃試験方法

表-3 打撃衝撃試験結果

種類	落下回数	備考
縮災土のう	87.0	縦横縫製タイプ
一般土のう①	6.0	
一般土のう②	9.3	
一般土のう③	4.0	
一般土のう④	1.0	
一般土のう⑤	2.3	ずん胴タイプ

(5)耐引裂き性

敷設した土のうは、写真-19のように車輪のスタックより破断したり、長期現場存置中の動物等の爪等によって破断する場合がありますため、釘などによる引裂き性能を評価基準とした消防服の基準(100N)を準用した。

試験結果は、一般耐候性土のうは、基準を満たしてはいるが、縮災土のうは、基準を大きく上回る292~294Nと十分な引裂き特性を有していることが確認された。(表-4)



写真-19 スタックにより破断した従来土のう

表-4 引裂き強度試験結果

種類	たて	よこ	備考
縮災土のう	292	294	単位:N
一般耐候性土のう	89	66	
準用基準	100N以上(防火服の引裂き抵抗性)		
確認方法	JIS L 1096 A-1 シングルタング		

(6)耐薬品性・耐熱性・耐寒性

土のうが、酸性、アルカリ性、塩水、高温、低温の環境下でも使用に耐えられることを要求性能とし、試験方法及び試験項目は、「耐候性大型土のう」の性能評価試験⁹⁾に準拠して確認した。

試験結果としては、どの環境下においても初期強度から大きく強度低下することがなく、要求性能270N/cmが確保されていることが確認された。(表-5)

表-5 耐薬品性・耐熱性・耐寒性試験結果

種類	耐酸性	耐アルカリ性	耐塩性	耐熱性	耐寒性	備考
縮災土のう	1,393	1,238	1,469	1,216	1,535	単位:N/cm
	硫酸(pH2)	水酸化Na(pH12)	5%NaCl水溶液	60±2℃ 2時間	-25±2℃ 2時間	
要求性能	270					
確認方法	JIS K 7114準用			JIS Z 1651準用		

(7) 燃焼性

土のうを作り置きとして長期の備蓄期間内に、野火、車両火災等によって燃えないことを要求性能とし、試験方法はJIS L 1091により確認した。

試験結果は、自消性であることを確認した。(表-6)

また、簡易的にガスバーナーで炎を近づけて確認した結果は、写真-20のとおりPE製の従来土のうは、炎を近づけた段階で溶けて機能を失ってしまうが、縮災土のうは燃焼することなく機能を維持することが確認された。

表-6 燃焼性試験結果

種類	残炎時間	燃焼長さ	燃焼区分
縮災土のう	0秒	3.3cm	自消性
準用基準	20秒以下	10cm以下	自消性
確認方法	JIS L 1091 B法		JIS D 1201

試験機関: 日本繊維製品品質技術センター



写真-20 PE製土のう(左)と縮災土のう(右)の燃焼性

(8) 環境特性

土のうを作り置きとして長期間備蓄する際に、有害物質の溶出や水質汚濁を招かないことを要求性能とし、試験方法及び試験項目は、「耐候性大型土のう」の性能評価試験⁹⁾に準拠した。

試験結果は、重金属の溶出や水質汚濁は招かないことが確認された。(表-7)

表-7 溶出試験結果

項目	カドミウム	鉛	重金属	過マンガン酸 カリウム消費量	蒸発残留物
結果	検出せず	検出せず	検出せず	18 μg/ml	12 μg/ml
準用基準	有害物質を検出しないこと			25 μg/ml以下	500 μg/ml以下
	昭和34年厚生省告示第370号			公衆浴場 水質基準	水道水基準

試験機関: 日本食品分析センター



写真-21 防災訓練時の土のう敷設訓練

(9) 排水・透水性

土のうは、適切な排水・透水性を有することを要求性能とし、試験方法及び試験項目は、「耐候性大型土のう」の性能評価試験⁹⁾に準拠した。

試験結果は、砂～礫相当の透水係数を有することが確認された。(表-8)

表-8 開口径及び透水係数試験結果

項目	開口径 (mm)	透水係数 (cm/s)	備考
縮災土のう	0.424	1.10×10^{-2}	透水係数は、 砂・礫相当値
準用基準	1mm程度以下	1.00×10^{-2} 以上	
確認方法	ASTM D 4751	JIS A 1218	
準用基準	「耐候性大型土のう」の性能評価		

試験機関: 日本繊維製品品質技術センター

(4) 軽微な応急復旧の恒久化

縮災土のうは、耐久性が高く燃えにくいことから、写真-22のように、軽微な復旧での恒久対策材料としての使用が可能である。



写真-22 縮災土のうを恒久対策として活用

(5) その他の活用

長期間の保管が考えられる、汚染物質などの保管用として活用が可能である。

8. 縮災土のうの活用方法

(1) 基地等への配備

防災拠点、インターチェンジ、道の駅・SA等の休憩施設及び未利用地などにファーストエイド材として、配備する。

(2) 段差が予想される付近への配備

橋台、カルバートボックス、切盛境、亀裂の入っている路面、軟弱地盤などで地震が起こった際に段差の発生が予測される場所の近くに縮災土のうを配備する。

例として、のり枠工の中詰材(図-11)、橋台・カルバートボックスのウィング部の洗掘防止材及び遮音壁前面(図-12)などに縮災土のうを備蓄する。

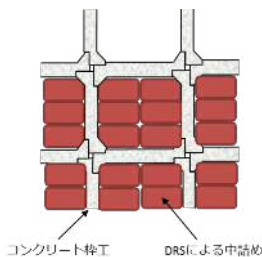


図-11 枠工の中詰材

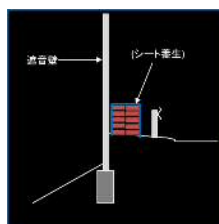


図-12 遮音壁前面備蓄

(3) 防災訓練での活用

縮災土のうは、耐久性が高いことから、防災訓練時(写真-21)に作成する土のうを縮災土のうに変更し、訓練後それを備蓄していくことによって、備蓄量や備蓄箇所を徐々に増やし対応力を強化していくことが可能である。

9. おわりに

今回開発した縮災土のうは、各種試験により、大型車通過に耐えられる性能と長期間の存置に対応する性能を確認することができた。また、この生地を活用したフレキシブル・コンテナ・バッグの開発を進めている。いつ起こるか分からない地震等災害時の道路啓開や応急復旧に備え、平時のうちから準備をしておくことが重要である。

参考文献

- 1) 内閣府経済社会総合研究所(2016年6月): H25年度県内総生産データ
- 2) 新道路技術会議(2008年7月): 道路政策の質の向上に資する技術研究成果報告レポートNo.17-4 研究テーマ: 路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する調査研究開発
- 3) 土木学会論文集(2007年8月): 開発途上国農村部における貧困削減に向けた未舗装道路改修方法
- 4) 新潟県: H19年(2007年)新潟県中越沖地震による被害状況(第5報)
- 5) 日本道路公団北陸支社: H16年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況及び復旧概要【第3報】
- 6) 国土交通省北陸地方整備局道路部: H16年新潟県中越地震(第一報)
- 7) 東日本高速道路会社: H19年度新潟中越沖地震～高速道路の被災状況及び復旧まで～(第一報)
- 8) 西日本高速道路株式会社: H28年熊本地震による高速道路の被災箇所と復旧状況(H28年4月27日)
- 9) 土木研究センター: 「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル(H24年3月)

ドローン「びわコプター」テイクオフ！！ 滋賀県のi-Constructionの取組

足立 憲悟¹

¹滋賀県 東近江土木事務所 道路計画課 (〒527-8511 滋賀県東近江市八日市緑町7-23)

滋賀県では、2016年（平成28年）8月にドローンの組織的な活用体制を整え、「びわコプター」として運用を開始しました。3つの取組（マニュアル整備・操縦者認定・機体数拡充）で安全かつ積極的にドローンを活用する、公共事業の生産性向上への挑戦です。

「i-Construction」をはじめとして、いま、盛んに進められている「土木×ICT」の取組。滋賀県では、2014年（平成26年）8月より、ドローンや3Dプリンタなど最新技術の活用、職員による3次元CADの訓練、地上3Dレーザー測量・4Dモデル設計・情報化施工・3Dモデル施工管理などの試行的な発注、など様々なICT活用にチャレンジしています。

キーワード i-Construction, ドローン, 3Dプリンタ, 3次元CAD, 4D設計, ICT建設機械

1. はじめに

建設産業に関わる企業・人々は、社会資本整備の担い手であるとともに、社会の安全・安心を担う地域の守り手だと言われます。災害時や降雪時などに、これらの企業・人々が果たす役割については、議論の余地はないでしょう。

一方、建設産業をとりまく状況と将来展望は依然として厳しいものがあります。特に、人口減少や3K労働環境を背景とした従事者不足、また財政動向を背景とした予算制限は大きな課題であり、産業構造の変換を迫られていると言っても過言ではありません。

このピンチをチャンスに替える大きな武器の一つがICT（Information and Communication Technology）です。TVのコマーシャルのようですが「ICTで建設産業の構造を変える」、いま全国で始まっているそんな取組のうち、滋賀県のチャレンジについて紹介します。

2. 国土交通省の取組「i-Construction」と「CIM」

人口減少・高齢化により、日本の生産年齢人口（15～64歳）は約30年後の2045年には30%も減少する見込みです。なかでも建設産業は、労働力不足が特に顕著であることに加え、人手による作業が多く残るなど、省力化等による生産性の改善も遅れています。業界を維持・発展

させていくためには、産業全体の労働生産性の向上が必要不可欠となっています。

このため、国土交通省は建設産業のICT化などによる生産性向上の取組「i-Construction」を2016年1月に発表し、2025年までの生産性20%向上を目標としました。

また、CIM（Construction Information Modeling）も2010年に国土交通省から提唱されました。測量・設計・工事・維持管理を通して、3次元モデルを活用・連携・発展させ、業務の効率化・高度化を図るものです。現在は2次元である設計図などのデータが3次元になることで、合意形成や意思決定の迅速化、設計の一部自動化、ミス防止、ICT建設機械の活用促進、現場の安全・施工性の向上、などの効果が見込まれ、産業全体の生産性・品質・安全の向上につながるものと期待されています。

3. 滋賀県版i-Constructionの原動力 「滋賀県CIM推進勉強会」の誕生とその役割

滋賀県では、2014年（平成26年）4月からCIMへの取組みを本格化させ、数ヶ月の準備期間を経た2016年（平成26年）8月に、滋賀県CIM推進勉強会を設立しました。国土交通省のi-Construction発表に先駆け、3Dプリンタやドローンの導入、ICT活用試行事業の発注、3次元CADの訓練などを進める原動力となった組織です。

勉強会は、20～30代の若手職員30名程度で構成しています。県庁各課と各事務所等から集まることで、それぞれの機関にある情報や課題を持ち寄って議論し、その結

果を各機関で活用していくための受発信源になっています。また、まだまだ職員全体に浸透したとは言い難い。ConstructionやCIMについて、効果や進め方を宣伝していく広告塔の役割も担っています。

具体的な検討内容は、ICT活用計画の立案、ICT活用試行事業の状況報告と情報共有(図-1)、ICT建設機械の視察(図-2)、最新ICT機器の活用調査(図-3)などです。勉強会での議論から、様々な試みが生まれて来ましたが、これからも生まれてくることを確信しています。



図-1 滋賀県CIM推進勉強会の開催状況



図-2 ICT建設機械の視察



図-3 最新ICT機器の活用調査(ドローン)



図-4 導入したドローン(DJI inspire1)

4. びわこプター テイクオフ!! ドローンの組織的な活用に挑戦

2014年(平成26年)の滋賀県CIM推進勉強会での調査を経て、2015年(平成27年)7月に最初の1台を導入したことで始まった滋賀県のドローン利用。「びわこプター」という愛称を得て2016年(平成28年)10月に離陸を盛大に行い、1つの実を結ぶと同時に、新たなスタートを切りました。この詳細について以下に記述します。

(1) 機体の選定

導入したドローンは中国DJI社製のinspire1(図-4)。DJI社は、世界シェア7割を占めると言われる世界No.1のドローンメーカーです。最も有名な機体は、エントリークラス機のPhantomシリーズ(10万円前後)ですが、滋賀県では2つの理由からミドルクラス機であるinspire1(60万円程度)を採用しました。

1つ目の理由は、2つの操縦機を使用し、機体とカメラの操縦者を分割できることです。操縦者はそれぞれの操作に集中することができ、安全性が高まります。

2つ目の理由は、カメラのパン(横振り)ができることです。機首を被写体に向ける必要がないため、機体操縦者は操作しやすい機首方向を維持することができます。

導入コストは若干高くなりましたが、操縦のし易さや安全面を重視したことは、組織的な活用に向けて操縦できる職員を増やしていく上で、極めて有効であったと考えています。

(2) 先行導入機体の運用

最初の1台で飛行した回数は150回以上に上りました。災害による被害状況の確認から、住民説明用に使う事業予定地の写真撮影まで、用途は様々でした。

特に、導入直後の2015年(平成27年)7月に行った台風11号による被害状況(山の表層崩壊による県道への土砂流入)の確認では、これまでは撮影困難であった琵琶湖面上100mからの写真(図-5)で、被害の全容をいち早く把握することができ、その有効性を実感しました。



図-5 県道 西浅井マキノ線の被災 H27.7.29撮影

また、非常時だけでなく日常管理でも活躍の場面が数多くあることが分かりました。例えば、河川における河口閉塞(図-6)・河道内堆砂・河川内立木繁茂(図-7)、砂防えん堤の堆砂(図-8)など、インフラの維持管理で重要となる「点検」を行う手段としても、ドローンによる写真や動画が極めて有効になります。

(3) 組織的な活用体制の整備

先行導入機体の運用実績から、ドローンの有効性は十分に確認できました。そこで、ドローンの活用を一層進めるべく、組織的な活用体制を整備することとしました。

体制実現に向けて課題となったのが、安全性の確保と積極的な利用です。単に機体数を増やすだけでは、最低限の知識や技術を持たない職員が操縦することで事故をまねいたり、逆に自信のなさから全く利用されなかったりする可能性が高いと考えられました。そこで、「ルール・人・モノ」を整備する次の3つの取組を行うことで、この課題を解決し、本格的な台風シーズンを控えた2016年(平成28年)8月に、運用体制を構築することができました。

a) マニュアルの策定

機体点検・危機管理・人員配置・利用方法・利用手続・利用者権限(ライセンス)など、ドローン利用に当たってのルールを定め、マニュアルとして整備しました。

b) 操縦者認定(ライセンス認定試験の実施)

職員に、ドローンを利用する上で必要となる知識や技術を習得させるため、学科講習と実技訓練を開催しました。それぞれに認定試験を設けて、水準をクリアした職員のみライセンス認定を与えています。(図-9)

c) 機体数拡充(1→5機)

機体を4機追加導入し、立地等を考慮しながら4つの出先機関に配備しました。県庁配備の機体を含めた計5機が、県土をバランス良くカバーするように配置されており、有事の際にも機動的に出動できる態勢となっています。

(4) びわこプターの離陸

2016年(平成28年)10月には、ドローンを「びわこプター」と命名し、安全意識の向上と士気の高揚を図るため、離陸式を開催しました。式では、部長訓示・安全宣誓・5台同時飛行などを実施し、テレビや新聞などでも数多く取り上げられました。

H29.3末現在、ライセンス認定者は86名で、総飛行回数は300回を超えており、今後も増加に取り組んでいく予定です。



図-6 河川の河口閉塞(琵琶湖流入)の状況 H27.11.13撮影



図-7 河道内堆砂・河川内立木繁茂の状況 H27.10.13撮影



図-8 砂防えん堤の堆砂状況(訓練) H27.10.22撮影



図-9 ライセンス認定証と認定試験(学科・実技)の様相

5. ICT活用試行事業の発注・実施状況

2014年（平成26年）の滋賀県CIM推進勉強会での議論を経て、2015年（平成27年）より、いわゆる発注者指定型で6件（測量1，設計5），受注者提案型で20件（すべて工事），合計26件のICT活用を前提とした発注を行ってきました。この詳細について以下に記述します。

(1) 【測量】地上3Dレーザー測量

2015年（平成27年）に滋賀県長浜市の県道 葛籠尾崎塩津線の法面崩落箇所で、地上3Dレーザー測量を実施しました。1秒間に数万回レーザーを照射し、その反射から座標値（点群）を取得する非接触方式の測量です。

崩落した法面は二次災害の危険があり、形状も複雑です。従来測量では、法面への立入りが必要で、横断測点以外は細密な座標を取得できません。対してレーザー測量は、法面への立入りが不要で、面的に細密な座標を取得できるため、安全に精密な測量を行うことができました。（図-10）

(2) 【設計】橋梁4Dモデルの作成

2015年（平成27年）に滋賀県大津市で実施中の国道422号バイパスで、橋梁の施工段階毎の3Dモデル（いわゆる4Dモデル）を作成しました。対象としたのは、琵琶湖から流れる唯一の河川である瀬田川、これをまたぐ（仮称）瀬田川橋梁です。（図-11）

この橋は、やや珍しいバスケットハンドル式ニールセンローゼ桁形式で、図面を見慣れた職員でも、橋梁一般図からその全景を頭に浮かべることが難しい計画でした。そのため、設計図ではなく、作成した4Dモデルを使って住民説明を行うことで、目立った質問もなくスムーズに理解を得ることができました。

そのほか、合意形成用の3Dモデルを作成した業務が3件、設計全体を3Dで実施した業務が1件あります。（実施中を含む）

(3) 【工事】ICT建設機械活用・3Dモデル活用

2015年（平成27年）から総合評価落札方式で次の二つのICT活用の取組について加点措置を行っています。

a) ICT建設機械の活用（情報化施工）

道路の切土・盛土工事や河川の堤防工事など、土工が主な工事で、これまでに11件のICT建設機械の活用を行っています。（実施中を含む）

おおむね土工10,000m³以上の工事を対象とし、入札時にICT建設機械の活用を約束すれば、加点する旨を明示して公告しています。

ICT建設機械は、ナビゲート画面が出るMG（マシンガイダンス）、操作の一部が自動化されたMC（マシンコントロール）があり、いずれも加点対象としています。GNSSなどの活用により丁張りが不要、経験の少ないオペレータでも精度の高い施工が可能、など様々なメリットがあります。（図-12）

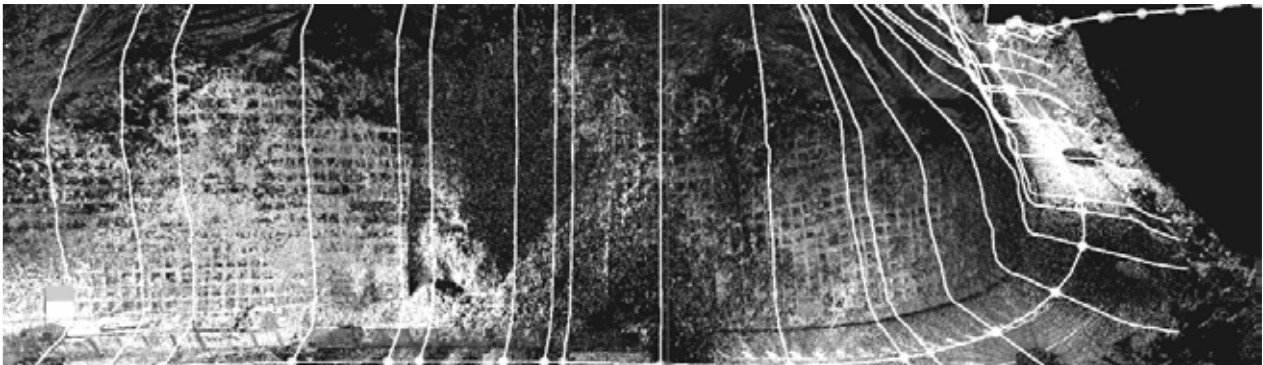


図-10 地上3Dレーザー測量により取得した崩壊法面における点群データ（滋賀県長浜市 県道 葛籠尾崎塩津線）

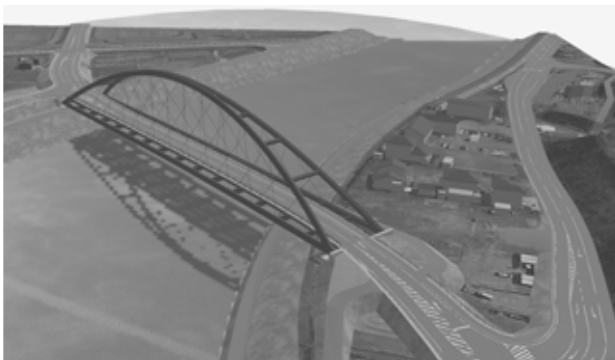


図-11 橋梁の4Dモデル（滋賀県大津市 国道422号BP）



図-12 ICT建設機械（MGバックホウ）

b) 3Dモデルの活用

道路・河川・砂防工事のうち、比較的規模の大きな構造物工事で、これまでに9件の3Dモデルの活用を行っています。（実施中を含む）

入札時に工事の中で何らかの3Dモデルの活用を約束すれば、加点する旨を明示して公告しています。

3Dモデルの活用方法は受注者の自由で、安全管理・施工管理・工事説明など、工事の特性に応じて様々な場面で3Dモデルが活躍しています。（図-13）

6. 最新技術 3Dプリンタの活用

2014年（平成26年）10月に、オランダ製3Dプリンタ「Ultimaker2」を導入しました。3Dデータを基に、熱で溶かした樹脂をノズルから押し出し、積み重ねて造形するタイプで、価格は50万円程度のものです。

設計で4Dモデルを作成した（仮称）瀬田川橋梁の1/300模型（全長約45cm）を作成して住民説明に活用したり、建設産業の魅力アップイベント「滋賀けんせつみらいフェスタ」（2015.11.8, 2016.10.22～23）で、来場者に楽しんでもらう3D市町パズル（標高に応じて凸凹のあるパズル）を作成したりしています。（図-14）

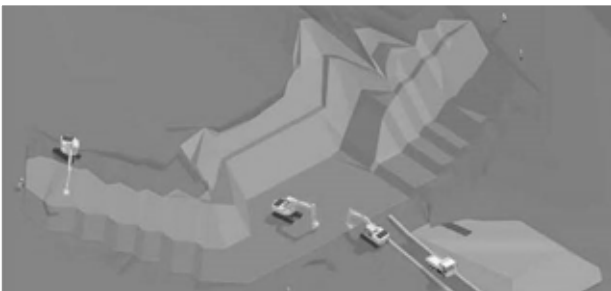


図-13 工事における3Dモデルの活用例（砂防工事）



図-14 導入した3Dプリンタと造形物（橋梁模型, 3Dパズル）

7. 3次元CAD習得に向けた訓練

設計図は、かつてCALSにより「手書き」から「CAD」に変化しました。そして今、i-ConstructionとCIMによって、2次元から3次元へ変化の時を迎えています。

図-15は、筆者が作成した砂防えん堤の図面です。これまでの設計図に比べ、その分かりやすさは明らかです。普段図面を見慣れていない方々への説明資料として、非常に有効なツールとなります。

滋賀県では3次元CADを2002年（平成14年）頃から導入し、現在は各職員のノートPCから、いつでも利用できる形になっています。2016年（平成26年）からは、集水桝の3D図面を自分で作成するといった初歩的な研修も開催し、利用者教育を強化したところです。なお、研修で作成した3Dデータを3Dプリンタで印刷し、記念の名前入りペン立てとして配布するなど、職員の興味を引くような仕掛けも行っているところです。（図-16）

8. おわりに

今後も、ドローンの更なる高度利用（災害時の生中継など）、ICT土工（起工測量～検査までのICT全面活用）を始めとしたICT活用事業の発注など、「土木×ICT」の取組に積極的に取り組み、公共事業にi（愛）を注いでいきたいと考えています。

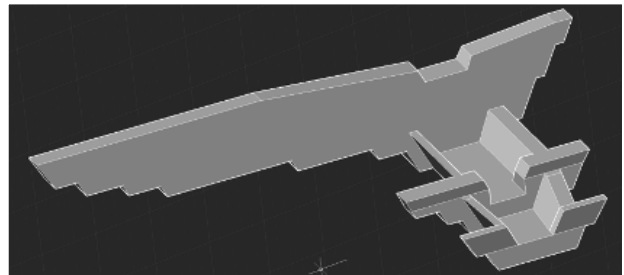


図-15 筆者が奮闘して作成した砂防えん堤の3D設計図



図-16 職員向け3次元CAD研修の様様

この論文は、筆者の昨年度（2016年度）の所属である滋賀県土木交通部 監理課 技術管理室の所掌内容について記載したものです。

床版下面増厚工法による橋梁長寿命化対策の 施工とその効果検証方法について

柳 咲貴¹・平野 康匡²

¹ 近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課（〒583-0001 大阪府藤井寺市川北3丁目8番33号）

² 近畿地方整備局 京都国道事務所 管理第二課（〒600-8234 京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808）

国道1号にかかる宇治川大橋は供用後50年以上が経過し、大型車両も多く通行する交通量の多い橋梁で、2016年度に長寿命化対策として床版下面増厚工法を部分的に実施している。今回、長寿命化対策の効果を検証するにあたり通行規制を行う事が困難な状況から、載荷試験を必要としない簡易計測による効果の検証手法の検討を行い、固有周波数と固有モード比により剛性変化倍率を確認する補強効果検証の2手法を選定し検討を進めているところである。今後、補強工事が完了次第、計測・解析を進め、それぞれの手法による効果検証の適用性を実証する予定である。

キーワード 橋梁長寿命化、補強効果検証、交通規制不要、映像によるたわみ計測

1 背景・目的

(1) 背景

今後、わが国では建設後50年を超える橋梁が増加し、長寿命化を進めるために補修・補強を実施する橋梁が増える。今後さまざまな補強工法の効果および推移を確認することで、長寿命化計画の見直しを行い、計画的に橋梁の維持管理を進める事が重要となる。

これまでの橋梁の補強効果確認手法としては、橋梁にひずみ計を設置し、交通規制を実施して載荷試験を行い、その結果から耐荷力を評価する方法が主に実施されてきた。

これらの手法ではひずみ計の設置にあたって高所作業車や橋梁点検車等を必要とし、載荷試験のためには交通規制を行う必要があるため、交通量の多い路線の橋梁では実施困難である。

今回、床版増厚工法を実施した宇治川大橋は国道1号を構成する橋梁で交通が多く、交通規制が困難であるため、交通規制を必要としない手法による補強効果検証を検討・実施する。

(2) 目的

センサーの設置が橋梁点検車等を使用せず簡単に行へ、載荷試験を必要としない簡易な計測で補強効果の検証が可能な「固有周波数による効果検証」、「固有モード比による効果検証」の2つの手法を実施し、検出可能範囲、作業の効率性および

コストを比較し、それぞれの適用条件の実証を行う。

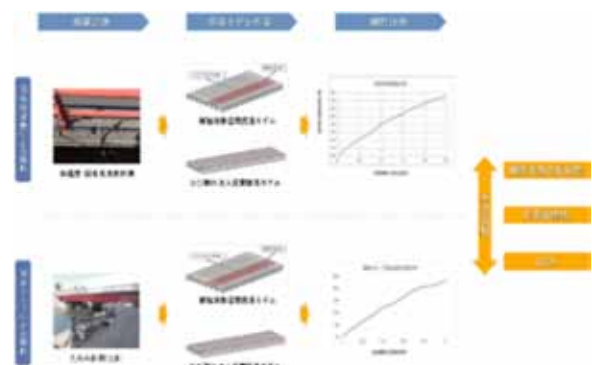


図1 補強効果検証イメージ

2 対象橋梁

[橋梁名] 宇治川大橋

[架設年次] 1965年（52歳）

[路線名] 国道1号

[所在地]

自：京都市伏見区横大路千両松

至：京都市伏見区向島大黒

[橋長] 546.58m

[径間数] 15径間



写真1 宇治川大橋

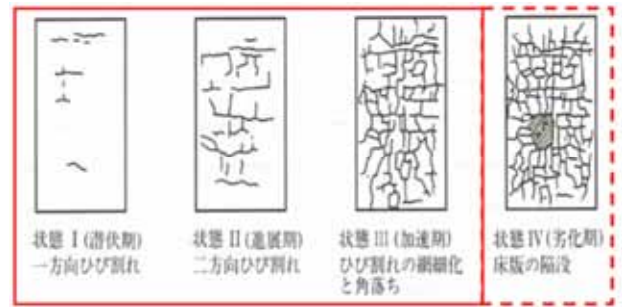


図3 床版の下面のひびわれと劣化状況¹⁾

[対象径間]

- ・ 補強径間（以下、対象径間） : P14-A2
- ・ 未補強径間（以下、比較径間） : P11-P12

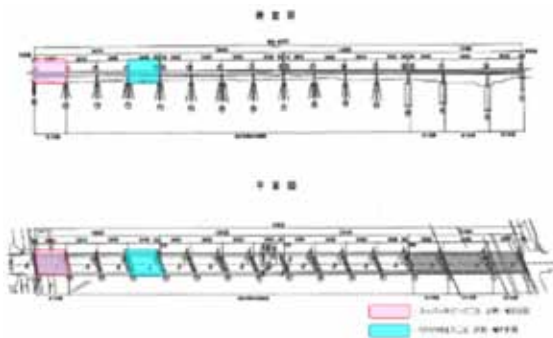


図2 検証対象径間

3 床版下面増厚工法

架設後 50 年以上を経過した宇治川大橋において、床版下面増厚工法の施工を実施することにより、床版の長寿命化を図るものである。

(1) 概要

宇治川大橋で実施する床版下面増厚工法のスーパーホゼン式工法は、経年劣化等による耐久性及び耐荷力性能が不足した橋梁の床版長寿命化対策工法の一つで、交通規制をせずに施工できる。既設床版コンクリート下面に網鉄筋をテーパ付きT型アンカーで圧着固定し、床版の振動・衝撃を緩和する。さらに、ポリマーセメントモルタル吹付増厚後に低圧でエポキシ注入を行うことにより、既設床版と完全一体化させる下面増厚工法である。

道路橋床版における本工法の適用範囲は、図3に示した状態Ⅰ～Ⅲを原則としているが、状態Ⅳを含む橋梁でも床版を部分打ち換えした後に対策を実施した実績がある。

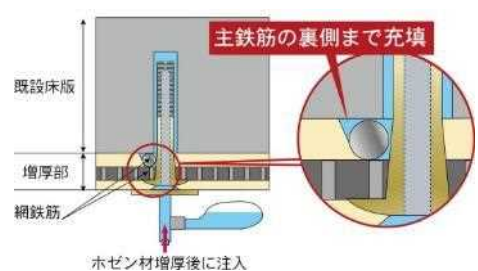
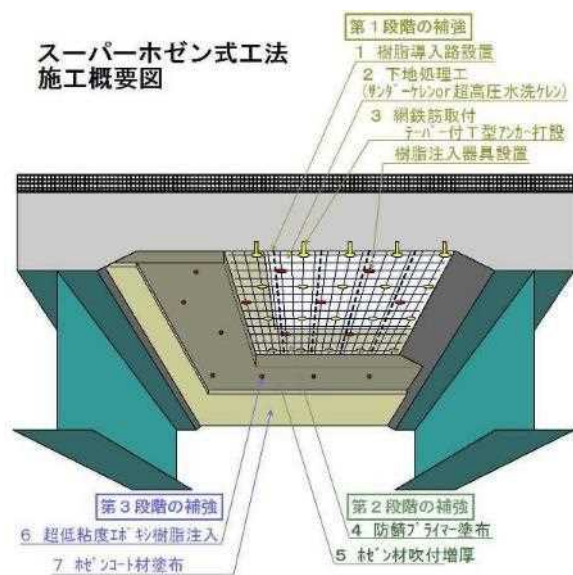


図4 スーパーホゼン式工法²⁾

(2) 期待される効果

- ① 耐久性向上による長寿命化対策効果が大きい。
- ② 補修と同時に補強効果も得られる。
- ③ 対策実施後も目視点検による変状の確認が可能であり、維持管理費が安価に抑えられる。

(3) 宇治川大橋での施工内容

床版補強工（スーパーホゼン式工法） 181.5 m²



写真2 宇治川大橋施工前後写真

(4) 工期

2016年9月～2017年7月

4 補強効果検証手法

(1) 解析手法検討

効果検証手法の検討に当たっては、載荷試験を伴うひずみ計測による耐荷力調査があるが、載荷試験を必要としない剛性変化倍率解析手法の「固有周波数による解析」と「固有モード比による解析」があり、どちらも比較的簡易な計測が可能であることから2手法の比較検証を行う事とした。

表1 検証手法の比較

手法	解析結果	計測項目	センサー設置工事	載荷試験	今回実施
1 耐荷力調査	応力	ひずみ	要	要	-
2 固有周波数による剛性変化倍率解析	剛性変化率	加速度	不要	不要	○
3 固有モード比による剛性変化倍率解析	剛性変化率	たわみ	不要	不要	○

① 固有周波数による効果検証

構造物は質量と剛性などにより、固有周波数を持っており、剛性が変化した場合、固有周波数も変化する。

このことを利用し、FEMモデルを作成し、剛性の変化に伴う固有周波数の変化の関係性を解析により求め、対象径間と比較径間の固有周波数を計測・解析し、補強による剛性の変化を推定する。

② 固有モード比による効果検証

補強の位置や範囲大小によって、固有周波数では剛性の変化を検知できない場合がある。

構造物の剛性変化に対して、固有周波数より固有モード比の方が敏感である。

この構造特性を利用して、FEMモデルを作成し、剛性の変化に伴う固有モード比の変化の関係性を解析により求め、対象径間と比較径間の固有モード比を計測・解析し、補強による剛性の変化を推定する。

図5に固有モード比による補強効果確認手法のプロセスを示す。

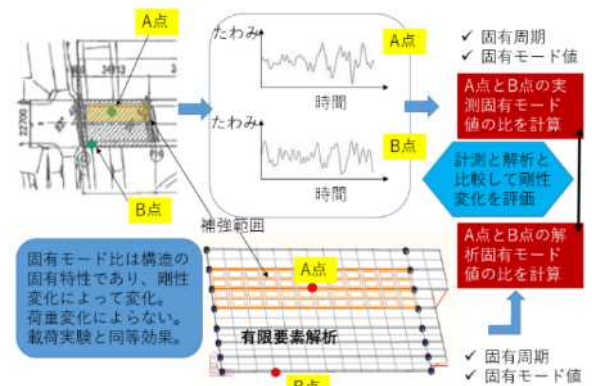


図5 固有モード比による補強効果確認手法

(2) 解析手順

固有周波数、固有モード比それぞれの解析は以下の流れで実施する。

本検証の検討時点において、補強工事が開始されており、事前計測が行えない状態であったため、本検証では未補強径間（比較径間）を計測・解析することにより補強前計測・解析の代替とし、検証を実施する事とした。

- ① 簡易計測手法により対象径間と比較径間の加速度、たわみを計測する。

- ② 図面より対象径間及び比較径間のFEMモデルを作成する。

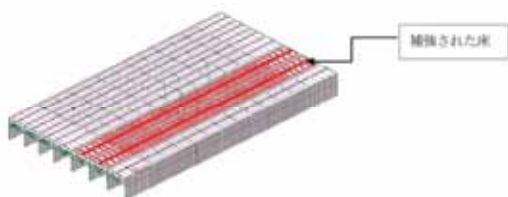


図6 FEMモデルイメージ

- ③ ②にて作成したFEMモデルを①にて計測されたデータを元に逆解析・調整を行い、現況のFEMモデルを作成する。

- ④ ③にて作成したFEMモデルを用いて、床版の剛性変化倍率と桁の固有周波数変化率、固有モード比変化率それぞれの関係曲線（以下、補強効果確認曲線とする）を作成する。

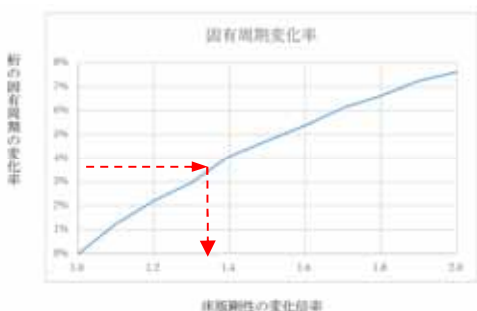


図7 固有周波数による補強効果確認曲線イメージ

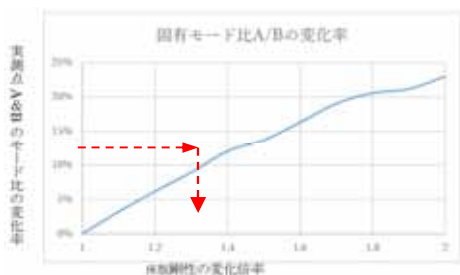


図8 固有モード比による補強効果確認曲線イメージ

- ⑤ 加速度計の計測結果により橋梁の固有周波数を算出する。また対象径間と比較径間の変位時刻歴を計測して、その変位時刻歴からそれぞれの径間の固有モード比を算出する。

- ⑥ 固有周波数、固有モード比それぞれの、比較径間に対する対象径間の変化率（対象/比較）を補強効果確認曲線と対照して、対象径間の比較径間に対する相対的な剛性変化倍率を確認する。

(3) 計測手法

それぞれの解析に必要な計測は、以下の2点を念頭に計測方法の選定を行った。

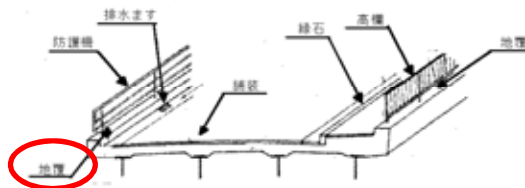
- ・高所作業車等によるセンサーの設置工事を必要とせず、簡易に実施できる
- ・交通規制を行わず設置・計測可能である

a) 【加速度計測】：固有周波数による効果検証

加速度計測は、主桁と床版と地覆が構造的に一体とみなせることから、センサーの設置が容易な地覆部かつ交通荷重に対する変位量の大きい径間中央付近で実施する。

(図9³⁾ 参照)

計測は加速度が最大値となる、大型車両が計測位置付近を通過するタイミングを見計らって開始し、1分間を連続して10回計測する。



※ 径間方向の設置位置(下部図材)のどこに設置するかについては、径間中央付近とする。

設置部位	向き	形状等	備考
主桁	○	×	・簡易手法にて理想的な計測位置 ・計測される振動=主桁の振動であり、橋床裏面/ノイズの心配がない ・橋床の下からクレーンなどを用いて設置する必要があり、コストが高くなる
床版/舗装	-	△	・主桁と構造的に一体とみなせるか疑問が残る ・主桁の真上に設置したいが、可能かどうかは構況による ・工法等による違いを生じることが考えられるので、個別対応となる可能性が高い ・主桁と同一構造物でないため、橋床裏面/ノイズが載る ・橋床裏面/ノイズが主桁の固有振動と一致もしくは近い値の場合、主桁の固有周波数/ノイズの切り分けが出来ず本手法が適用できない
地覆	-	○	・同上 ・床版/舗装に比べ、主桁と構造的に一体とみなせる可能性が高い ・主桁からの乗り出しに起因する振動がノイズとして載る

※1 主に現場での設置容易性に着目して定性的に評価

図9 センサー設置部検討

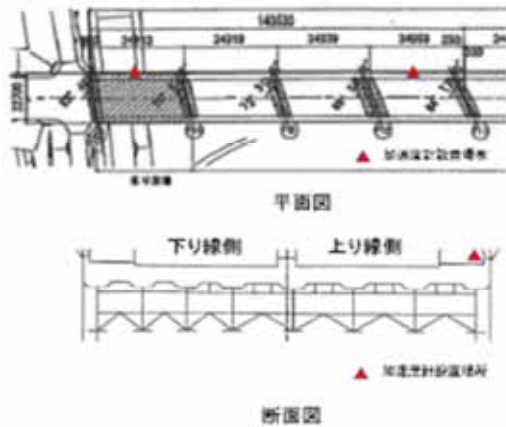


図 10 センサー設置予定位置



写真 3 センサー設置イメージ

表 2 加速度計測内容

使用センサー	IMV(株) HM-0013
サンプリング周期	100Hz
計測時間	60秒
計測回数	10回
計測開始のタイミング	大型車通過タイミング

b) 【たわみ計測】：固有モード比による効果検証

固有モード比による効果検証のためには、通常の交通荷重による対象径間及び比較径間のそれぞれで 2 箇所なたわみ時刻歴を同期計測する必要がある。

本検証では荷重試験を必要とせずカメラによる 2 箇所なたわみ時刻歴を同期計測できる

「映像によるたわみ計測」の計測手法の検討を行った。

映像によるたわみ計測手法としては、光学振動解析技術とサンプリングモアレ法によるたわみ計測の比較検討を行い、サンプリングモアレ法によるたわみ計測を実施する事とした。

表 3 画像解析によるたわみ計測手法比較

	サンプリングモアレ法	光学振動解析
計測手法	測面に計測用ターゲットを貼り、遠方より計測用カメラにて撮影し、撮影画像を解析してたわみ量を算出	遠方より計測用カメラにて撮影し、撮影映像より計測面の微小な動き(振動)を高遠かつ高精度に検出・解析を行い、たわみ量を算出
メーカー	共和電業	NEC
検出精度	40 μ m~400 μ m程度 (ターゲットのピッチサイズ40mmの場合の参考値)	100 μ m程度 (10mの距離より正対して計測した場合の参考値)
ターゲット有無	必要	不要 (ただし、計測面の状況によっては計測が難しいものあり)
サンプリング周期	~200Hz	~200Hz
同期計測	1台のカメラあたり16点の同期計測可能、最大3台のカメラでの同期計測可能	開発中

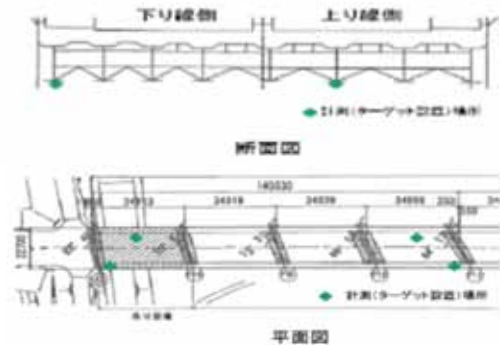


図 11 たわみ計測予定位置



写真 4 サンプリングモアレ計測イメージ

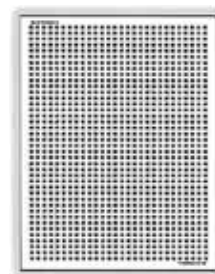


図 12 計測ターゲット

5 結論

(1) 補強効果確認手法の適用検討

本検証の計測および計測結果による解析はこれからであるが、FEMモデルを作成して解析を行っている段階で、以下の傾向が見えてきた。

両手法とも通行規制を伴う載荷試験が必要なく、非常に簡易かつ経済性のよい特徴を持っている。

固有周波数による効果検証は比較的構造が単純で、剛性変化の大きいものを捕らえる事が可能であるため、単純桁の橋梁かつ補強範囲が大きい場合などに適用できると思われる。

固有モード比による効果検証は、固有周波数による効果検証と比べて複雑な構造にも対応でき、より小さな剛性変化を捕らえる事が可能である。このため、連続桁橋などの構造的に複雑な橋梁形式にも対応可能であり、補強範囲が小さく剛性変化が比較的小さい条件でも適用できると思われる。

表 4 に固有周波数による効果検証と固有モード比による効果検証の特長と適用範囲を示し、図 12 と図 13 に本検証における宇治川大橋のFEMモデルと固有モードの解析イメージを示している。

表 4 補強効果確認手法の特長と適用範囲

確認手法	確認可能な剛性変化範囲	構造形式の適用性	計測条件の要求
固有周波数による効果検証	大	単純桁	
固有モード比による効果検証	中～大	単純桁、連続桁、その他形式	2点以上のたわみ同期計測

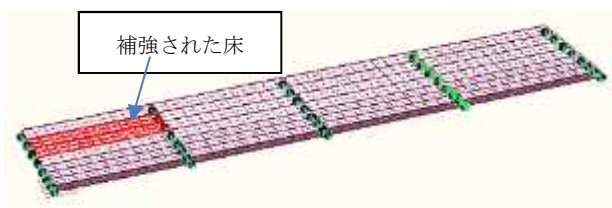


図 13 宇治川大橋FEMモデル

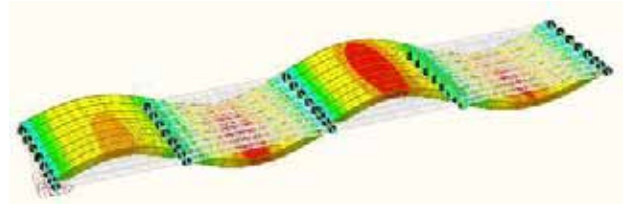


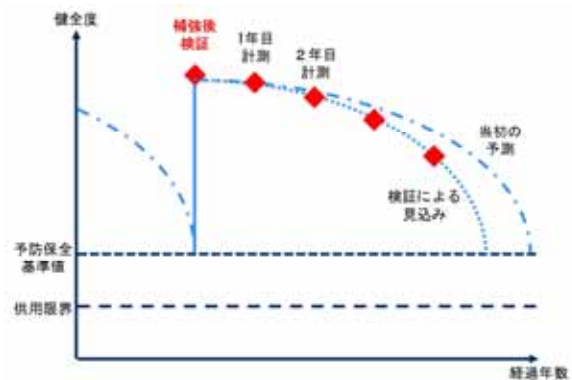
図 14 固有モードの解析イメージ

(2) 今後の展開

本検証が完了することにより、補強後の初期状態の剛性を明らかにでき、毎年計測・検証を実施することで、橋梁構造の劣化進行状況を確認できるようになる。

今後、長期的に計測のデータを蓄積し、橋梁の健全度や損傷発生との関係性を明らかにしていくことで、橋梁現状評価の指標として補修計画の見直しに活用できるものと考えている。

図 15 劣化状況確認イメージ



参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書維持管理編
- 2) 日本建設保全協会：スーパーホゼン式工法設計施工マニュアル
- 3) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領(図9路上図を参照)

アルカリ骨材反応の進展期におけるコンクリートの補修方法について

山城 渉¹

¹兵庫県中播磨県民センター姫路土木事務所 道路第2課(〒670-0947 兵庫県姫路市北条1-98)

アルカリ骨材反応の進展期におけるコンクリートの対策について、これまでは発生要因のひとつである水の進入の遮断を目的とした手法が多く施工されている。しかし、従来の手法では水の完全な遮断が困難であり、補修後に再度アルカリ骨材反応が進展する事例が分かってきた。本文は水の遮断による抑制対策のみならずアルカリ骨材反応を根本的に抑制できる工法を紹介するものである。

キーワード アルカリ骨材反応、亜硝酸リチウム、ASR リチウム工法

1. はじめに

京見橋は兵庫県の姫路市南部の夢前川に架かる主要橋梁である。当橋は1971年に竣工され46年が経過しており、橋台及び橋脚に亀甲状のひび割れ（アルカリ骨材反応（ASR））が発生している。ひび割れの原因はアルカリシリカゲルの吸水による膨張であり、建設当時の生コンの骨材にアルカリ成分と化学反応を起こすシリカ鉱物が含まれていたことに起因している。

従来の補修方法は、アルカリシリカゲルへの水の遮断を目的とした、ひび割れ注入工法と表面被覆工法、（もしくはひび割れ注入工法と表面含浸工法）を実施していた。しかし、従来の工法では補修後に再度ひび割れが進展する事例があることが分かってきた。それは、表面被覆工法の高い遮水性によってコンクリート内部に水分を閉じ込めてしまい、吸水膨張性が残存するアルカリシリカゲルの吸水膨張を助長してしまったせいである。また、橋台の背面や橋脚天端の支承やアンカーバー部などをつたい水が進入するため、水分の進入を完全に遮断することが困難なためである。

本報告の京見橋においても過去にASR対策とし

て表面被覆工法を実施したが、再劣化した。写真は亀甲状のひび割れである。（写真-1）再発の原因は、アルカリシリカゲルの吸水膨張性がコンクリート内部に残存しており、水の進入を遮断できなかったためである。そこで、従来の工法と違い、アルカリシリカゲルそのものを非膨張化させるASRリチウム工法で補修することとした。

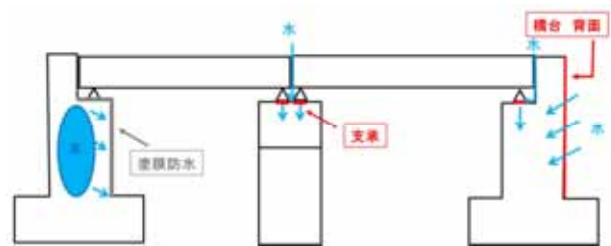


図-1 水分の完全な遮断が困難な事例

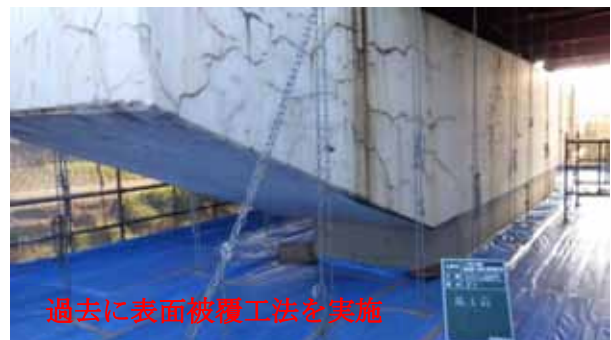


写真-1 京見橋の下部工での再劣化事例

2. アルカリ骨材反応について

(1) コンクリート損傷事例

ASRによるコンクリート構造物の損傷は、ひび割れ、変位・変形、段差、変色、ゲルの滲出など表面化することが多く、中でもひび割れの発生状況が特徴的で、無筋や鉄筋量の少ないコンクリートでは網の目状又は亀甲状のひび割れが多くみられる。また、ASRは構造物の置かれた環境条件(温度、湿度、日照、雨掛かりなど)の影響を大きく受けるため、同一のコンクリート構造物においても部位や位置によってASRの劣化程度が大きく異なる。そのため、橋脚においては柱や梁の中央部より、梁の張出部し部においてひび割れが発生する。京見橋においては橋台の堅壁及び橋脚の梁部で亀甲状のひび割れが発生していた。(写真1)



写真-2 京見橋におけるコンクリート損傷事例

(2) ASRの発生メカニズム

ASRの発生はコンクリートのアルカリ金属イオンと骨材中の反応性シリカ、十分な水の3つの条件が揃ったときに生じる。

コンクリートは本来高いアルカリ性を有しているが、そのアルカリ分がコンクリートに使用されたある種の反応性骨材(シリカ鉱物など)と科学反応を起こし、反応生成物である「アルカリシリカゲル」を生成する。アルカリシリカゲルは強力な吸水膨張性をもっており、コンクリート外部からの水分供給により膨張し、コンクリート内の組織に内部圧力をかける。結果、反応性骨材周囲のセメントペーストを破壊する。さらに時間の経過に伴ってASRが進行すると、反応性骨材の周囲に発生した微細なひび割れがコンクリート表面への巨視的なひび割れへと進展する。

	第1ステージ アルカリシリカゲルの生成	第2ステージ アルカリシリカゲルの膨張
概念図		
反応式	$nSiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 + H_2O$ <small>(シリカ鉱物) (水) (反応性骨材)</small>	$Na_2O \cdot nSiO_2 + mH_2O \rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$ <small>(反応性骨材) (水) (吸水膨張)</small>

図-2 ASRの劣化進行過程

3. 従来のASR対処方法

(1) 表面被覆工法

目的は外部からの水分侵入の抑制である。ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞した後、コンクリート表面に表面被覆材を塗布し、外部からの水分の侵入を抑制する。

a) 長所

- ・外部からの水分侵入を抑制することにより、以後のアルカリシリカゲルの吸水膨張の進行を抑制する。
- ・表面含浸材よりも遮水性は高い。
- ・施工後の美観性の向上。

b) 短所

- ・ASRの進行速度の低減でありアルカリシリカゲルの吸水膨張性は残存する。
- ・表面被覆材の高い遮水性により、コンクリート内部に水分を閉じ込める可能性がある。
- ・表面被覆材による目視点検の困難性。

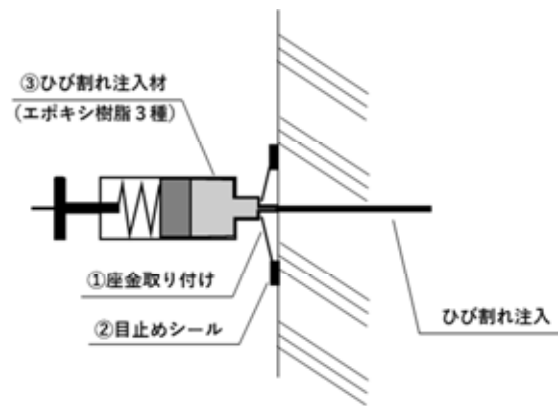


図-3 ひび割れ注入工法

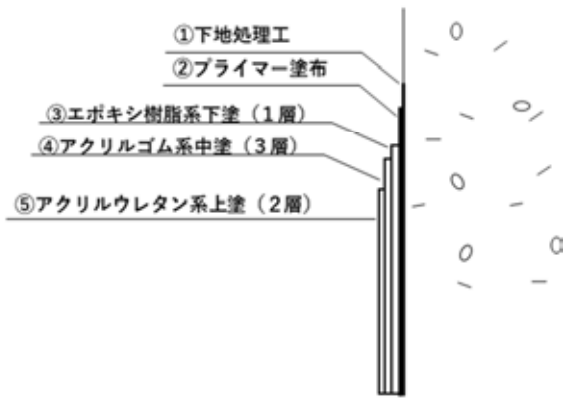


図-4 表面被覆工法

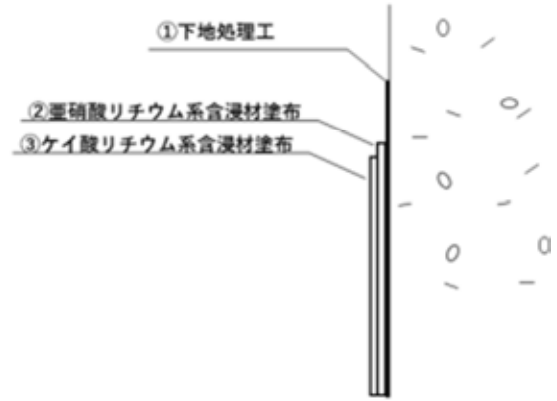


図-6 表面含浸工法

(2) 表面含浸工法

目的は外部からの水分侵入の抑制とアルカリシリカゲルの非膨張化である。ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞し、亜硝酸リチウム^{※注}を塗布含浸させた後、ケイ酸塩素系含浸材を塗布することにより、亜硝酸リチウム浸透範囲のアルカリシリカゲルの非膨張化及び外部からの水分の侵入を抑制する。

a) 長所

- ・ 外部からの水分侵入を抑制する。
- ・ 亜硝酸イオンによる鉄筋の腐食を抑制。
- ・ リチウムイオンによるアルカリシリカゲルの非膨張化。
- ・ 施工後も表面の外観を変えないため、以後のモニタリングが可能。
- ・ 表面被覆材よりコストが安価。

b) 短所

アルカリシリカゲルにおける非膨張化の効果はひび割れ注入部及び表面含浸にて拡散した範囲にとどまり、部材深部でのアルカリシリカゲルの膨張性は残存する。

4. ASR リチウム工法での ASR 対処方法

目的は外部からの水分侵入の抑制とアルカリシリカゲルの非膨張化である。ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞し、コンクリート前面から水平方向にφ20mmの削孔を行い、そこから浸透拡散型亜硝酸リチウムを内部に圧入した後、高分子系浸透性防水材料を塗布することにより、アルカリシリカゲルの非膨張化及び外部からの水分の侵入を抑制する。

a) 長所

- ・ 亜硝酸リチウムをコンクリート全体に供給することができる。
- ・ 亜硝酸イオンによる鉄筋の腐食を抑制。
- ・ リチウムイオンによるゲルの非膨張化。
- ・ 施工後も表面の外観を変えないため、以後のモニタリングが可能。

b) 短所

- ・ 施工工種が多く施工日数がかかる。
- ・ 従来の工法より高価。

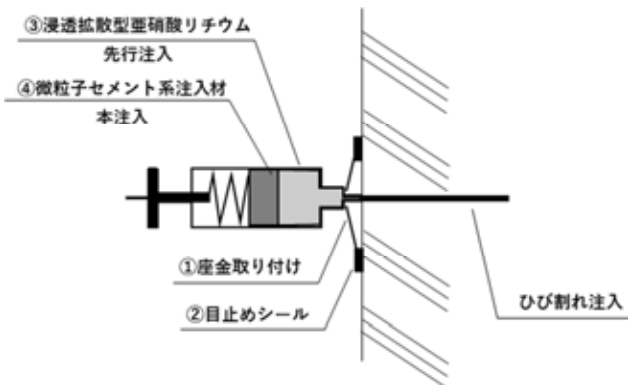


図-5 ひび割れ注入工法

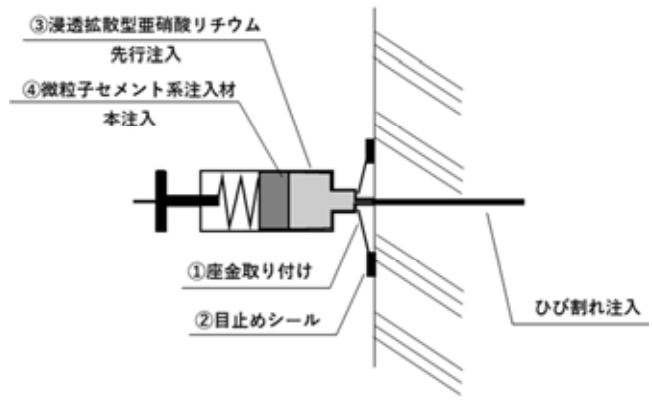


図-7 ひび割れ注入工法

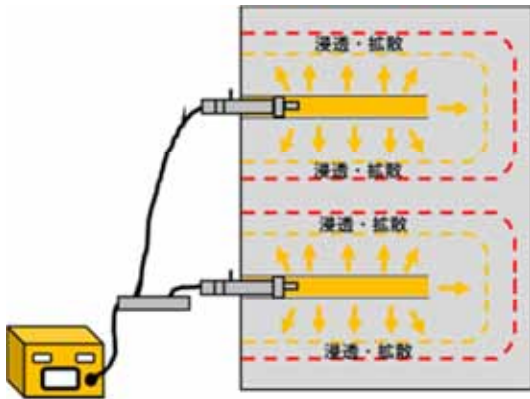


図-8 ASR リチウム工法

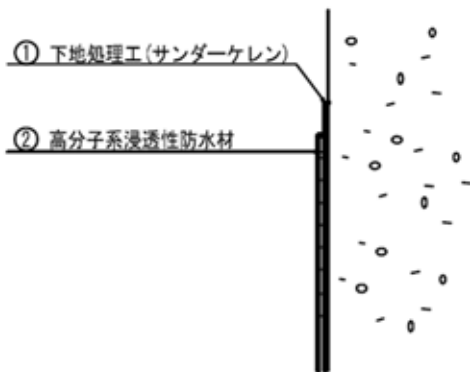


図-9 表面含浸工法

5. まとめ

本報告では、アルカリシリカゲルの吸水膨張性が残存するコンクリートに対して従来の工法とASR リチウム工法での補修を比較した結果を以下にまとめる。

- (1) 表面被覆工法においては表面被覆材の高い遮水性により外部からの水分抑制効果は高いが、いったんコンクリート内部に水が入ると滞留し、再補修の可能性がある。
- (2) 表面含浸工法におけるアルカリシリカゲルの非膨張化の効果は、ひび割れ注入部及び表面含浸にて拡散した範囲にとどまり、コンクリートの部材深部ではアルカリシリカゲルの膨張性は残存し再補修の可能性がある。
- (3) ASR リチウム工法は、コンクリート全体のアルカリシリカゲルを非膨張化させ、ASR の根本的な抑制が期待できる。

6. おわりに

今回紹介した ASR リチウム工法でのコンクリートの補修は、コンクリート全体における ASR を根

本的に抑制が期待できる工法である。当橋においても継続的に変状を観察し、根本的な ASR 対策に繋がったか確認する必要があるが、今回紹介した補修工法は ASR 対策の一つとして大きく貢献できる技術である。本工事の実績が、今後の同様の補修の参考となれば幸いである。

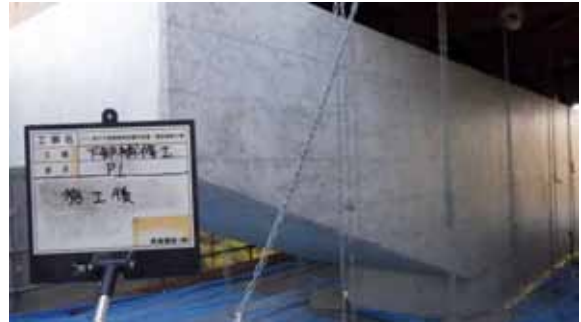


写真-4 京見橋の下部工 (施工後)

注釈：

亜硝酸リチウムを用いた補修工法の概要

亜硝酸リチウムイオンの成分であるリチウムイオンが初めて ASR の抑制効果を示されたのが 1951 年の MacCoy の発表した論文である。それ以降多くの実験的研究が国内外でなされ、ASR 膨張が抑制されることが検証されている。

亜硝酸リチウムは $(LiNO_2)$ の正の電荷を帯びたリチウムイオン (Li^+) は、アルカリシリカゲル $(Na_2O \cdot nSiO_2)$ と反応し、リチウムモノシリケート $(Li_2 \cdot SiO_2)$ 又はリチウムジシリケート $(Li_2 \cdot 2SiO_2)$ に置換され、アルカリシリカゲルを非膨張化させる。

	第2ステージ アルカリシリカゲルの膨張	リチウムによるゲルの非膨張化
概念図		
反応式	$Na_2O \cdot nSiO_2 + mH_2O$ (アルカリシカゲル) (水) $\rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$ (吸水膨張)	$Na_2O \cdot nSiO_2$ \downarrow NaとLiのイオン交換 $Li_2O \cdot nSiO_2$

図-10 亜硝酸リチウムを用いた補修概要

参考文献

- 1) (一社)コンクリートメンテナンス協会：コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR の効果的な補修技術～

ICTを活用した工事の課題について

地村 直隆¹

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務第一課 (〒918-8015 福井県福井市花堂南 2-14-7)

国土交通省では、「ICTの全面的な活用」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取組であるi-Construction（アイ・コンストラクション）を進めている。

福井河川国道事務所では近畿管内で初のICT活用工事を含む4件を実施したなかで、九頭竜川で行われた河道掘削工事3件を例に、ICTを活用した河道掘削工事での効果や課題を検討し、それに対する解決案やICT活用工事に適している工事条件等を考察した。その結果、ICT活用工事により平均20日の作業日数が削減された。

キーワード： i-Construction, 施工能力, 河道掘削

1. はじめに

日本において、2010年をピークに人口減少がはじまり、極めて速いスピードで高齢化も進みつつある。今後、労働力である生産年齢人口は毎年減少していく。だが、これまで経済を支えてきた労働力は減少し続けても、生産性を向上させていけば、経済成長を続けていくことは十分可能である。そのため、生産性向上こそがこれからの成長の鍵である。

国土交通省においては、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組であるi-Construction（以下、i-Conと称す）を進めている。ICT（Information and Communication Technology）によって、建設現場における一人一人の生産性を向上させ、企業の経営環境を改善し、建設現場に携わる人の賃金の水準の向上を図るとともに安全性の確保を推進していく¹⁾。

本論文では、九頭竜川で行われた河道掘削工事を例に、ICT活用工事の効果や課題、改善案を説明する。

2. ICT活用工事の概要

(1) ICT活用工事とは

これまでの情報化施工は²⁾、図-1に示すICT活用工事のフローのように、施工段階のみにICTを導入していた。しかし、ICT活用工事は土工における調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる段階において3次元データを使用している。

ICT活用工事においては、以下のa)からe)までの一連の

施工を行う。

- a) ドローン等による3次元起工測量の実施
ドローン等による写真測量やレーザースキャナにより、短時間で面的な3次元測量を実施する。
- b) 3次元設計データの作成
3次元測量データと設計図面との差分から、施工量（切土、盛土）を自動算出する。
- c) ICT建設機械による施工
3次元設計データを用いて、ICT建設機械（3Dマシンコントロール又は3Dマシンガイダンス）を自動制御して施工する。
- d) 3次元出来形管理等の管理施工
ドローン等による出来形管理技術を使用する。
- e) 3次元データの納品
3次元の設計成果や現況図を納品する。



図-1 ICT活用工事のフロー

(2) i-Conの目指すべきもの

i-Conの目標は、生産性を向上させることで、企業の経営環境を改善し、建設現場で働く方々の賃金水準の向上を図るとともに、安定した休暇の取得や安全な建設現場の実現を目指すものであり、具体には以下のa)からi)となる³⁾。

a) 生産性の向上

ICTの全面的な活用により、仕事の仕方が大きく変わるため、監督や検査においても施工管理や検査の労力を大幅に減らすことができ、受注者の負担が大きい工事完成時の書類も削減が進む。

将来的には生産性は約2倍、施工時期の平準化による効果とあわせ、1人当たりの生産性が約5割向上することを目指す。

b) より創造的な業務への転換

ICTの活用による効率化等により、技能労働者等は創造的な業務や多様なニーズに対応できるなど、一層の生産性向上を図ることが可能となる。また、人でなければできない仕事を行うというやりがいのある建設現場へ変えていくことが期待される。

c) 賃金水準の向上

生産性向上や年間を通じて仕事量が安定することにより、企業の経営環境が改善し、建設現場で働く方々の賃金水準の向上と安定的な仕事量の確保が実現される。

d) 十分な休暇の取得

建設工事の効率化、施工時期の平準化等により、安定的な休暇取得が可能になる。

e) 安全性の向上

重機事故で最も多いのはバックホウと作業員の接触であり、全体の半数を占めているがICTの活用により重機周りの作業が減少することにより、安全性向上が実現する。

f) 多様な人材の活用

危険の伴う作業や厳しい環境で行う作業が減少することから、建設現場において、若者、女性や高齢者等の多様な人材が活躍できる社会が実現する。

g) 地方創生への貢献

建設産業は地域インフラを支える重要な役割を担うとともに、地域経済を支える産業のひとつである。地域の建設産業の生産性向上により多くの魅力ある建設現場を実現し、地域の活力を取り戻す。

h) 希望が持てる新たな建設現場の実現

「給与、休暇、希望」を実現する新たな建設現場を作り出すことが重要である。

i) 広報戦略

より早く、より効率的にインフラが整備・維持管理される事や、地方創生につながる事等、その効果を公表し情報共有していく取組が必要となる。また建設現場や建設現場の仕事が魅力的になること、i-Conの導入効果についての周知が必要となる。

(3) i-Conを推進するために³⁾

a) i-Conの推進体制

直轄事業への本格的な導入により、発注や検査業務など仕事の仕方も大きく変更される。また地方公共団体等他の発注者へのi-Con普及を支援するための体制の整備が必要となる。

b) i-Conを推進するためのコンソーシアム

建設現場の生産性向上について各建設生産プロセスの関係者間において、常に情報交換し議論できる場が必要である。また、急速に発展するIoT (Internet of Things) など最新技術の動向等を踏まえるため、産学官との連携が必要である。

c) i-Conに伴うビックデータの活用

各建設生産プロセスにおいて作成される3次元データ等をビックデータとして活用し、更なる生産性向上の実現や維持管理・更新等に活用する。

d) 他の屋外生産分野との連携強化

他の屋外生産分野である、鉱業、農業、林業等に横転回するため、i-Conのノウハウを情報発信が必要となる。

e) 海外展開

日本の建設生産システムが世界トップランナーになることを期待し、各種基準類の国際標準化、i-Conの発注方式、検査基準等をパッケージ化し海外に展開する。

3. 福井河川国道事務所管内の事例

2. で説明したとおり、i-Conにはたくさんの期待が寄せられている中、昨年度から福井河川国道事務所では3件のICT活用の河道掘削工事が実施された。その効果や課題を述べる前に、各工事の条件や概要を説明する。

(1) 小尉地区水際再生工事

a) 工事の目的

陸域から水域にかけて緩勾配河岸と浅場の設置により流速や水深の小さい水域を設け、抽水植物の生育環境を保全・再生すること。

b) 工期

2016年8月3日から2016年11月30日

c) 発注形態

図-2より、全体工事費が3億円未満で土工量が20,000m³未満の工事のため、施工者希望型II型を適用。

d) 使用した建設機械

マシンガイダンスバックホウを使用

e) 測量方法

工事基準点や評定点を設置して、ドローンによる写真測量。ただし、水中部はTSによる。

f) 掘削土量

陸上部：9,930m³ 水中部：680m³

g) 測量面積

約2,000m²

(2) 日野川竹生地区河道掘削工事

a) 工事の目的

流下能力不足を解消するため実施する河道掘削にあわせて、多様な生物の生息・生育の場としても寄与する湿

地環境の創出する。

b) 工期

2016年9月8日から2017年3月10日

c) 発注形態

図-2より、全体工事費が3億円未満で土工量が20,000m³以上の工事のため、施工者希望型 I 型を適用。

d) 使用した建設機械

マシンコントロールバックホウ及びマシンガイダンスバックホウを併用して使用

e) 測量方法

工事基準点や評定点を設置して、ドローンによる写真測量。ただし、水中部はTSによる。

f) 掘削土量

陸上部：35,800m³ 水中部：2,400m³

g) 測量面積

約13,000m²

(3) 森田地区砂礫河原再生工事

a) 工事の目的

九頭竜川における生物の生息・育成空間としての特徴的な河川環境である砂礫河原を再生する。

b) 工期

2016年10月20日から2017年2月28日

c) 発注形態

図-2より、全体工事費が3億円未満で土工量が20,000m³以上の工事のため、施工者希望型 I 型を適用。

d) 使用した建設機械

マシンガイダンスバックホウを使用

e) 測量方法

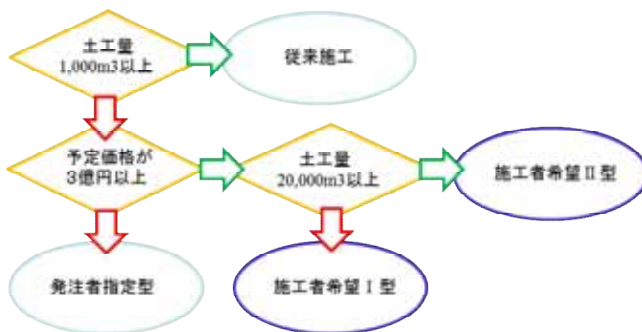
工事基準点や評定点を設置して、ドローンによる写真測量。

f) 掘削土量

陸上部：24,500m³

g) 測量面積

約39,000m²



凡例:

図-2 発注形態のフロー図

4. 従来工事との比較や効果

従来の手法（当該工事と同等の数量・条件を想定した場合）とICTを活用した手法で行った場合の一連の土工における差異の概要を工事ごとに以下に記載する、

(1) 小尉地区水際再生工事

a) 起工測量

測量時間が約18時間短縮されたことにより、作業時間が1/7になった。

b) 建設機械による施工

丁張り設置に必要な日数（2日間）を省略できた。

c) 建設機械の稼働日数や施工量

従来と同じ。

d) 3次元データの納品

出来形管理図の減少、成果品作成人数を削減できた。

(2) 日野川竹生地区河道掘削工事

a) 起工測量

測量時間が約5日間短縮されたことにより、作業日数が1/6になった。

b) 建設機械による施工

丁張り設置に必要な日数（10日間）を省略できた。

c) 建設機械の稼働日数や施工量

従来と同じ。

d) 出来型管理等の施工管理

作業日数（10日間）を短縮できた。

e) 3次元データの納品

出来形管理図の減少、成果品作成人数を削減できた。

(3) 森田地区砂礫河原再生工事

a) 起工測量

測量時間が約9日間短縮されたことにより、作業日数が1/10になった。

b) 建設機械による施工

丁張り設置に必要な日数（10日間）を省略できた。

c) 建設機械の稼働日数や施工量

従来と同じ。

d) 出来形管理等の施工管理

作業日数（10日間）を短縮できた。

e) 3次元データの納品

出来形管理図の減少、成果品作成人数を削減できた。

(4) 効果

上記の3件の工事の平均作業時間の比較を図-3に示す。ICT活用工事による平均削減日数は20日であった（従来工法85日→ICT活用工事65日）。各段階についてみると、起工測量については6日から1日に、出来形計測については5日から1日に、完成検査については3日から1日に短縮

され、ドローンを使用して行ったものは明らかな作業時間の短縮効果がみられた。施工については64日から56日に短縮され効果がみられた。これは丁張り設置に必要な日数を省略できたことによる。しかし、測量計算については1日しか短縮できなかった。これは、データ量が多くなったことやICT活用工事が初めての実施であったため、時間がかかったと考えられる。

従来工事とICT活用工事の効果の比較を表-1に示す。また、受注者及び発注者にICTを活用した工事の効果をアンケート調査し、その結果を以下に示す。

a) 受注者目線の効果

受注者の目線からの効果としては、ドローンによる測量の省力化、立体可視化による説明等の高度化が図られた。加えて、3次元設計データにより、土量算出の精度が向上した。また、丁張り設置作業の削減により施工の効率化や作業人員の削減、出来形計測の効率化や検査書類等の削減が効果としてあげられる。

b) 発注者目線の効果

発注者目線からの意見としては、立会に係る時間の削減や効率化、平面ではわかりにくいものが3次元データにすることでわかりやすくなった、各断面を確認していた完成検査が面的な確認になり簡素化された、などの意見が出された。

また、図-4に示すとおり施工範囲が広いとよりICT活用工事の効果が見られたことから、掘削土量よりも、施工範囲（測量面積）による工程の削減効果が認められた。3件の工事結果であるので、この解釈には注意が必要であるが、理由としてはドローンによる作業はすべて1日あれば完了できる。しかし、従来のTSによる作業は施工範囲が広がると測点も作業時間も比例して増えることから、掘削土量は工程の削減効果に関連していないと考えられる。

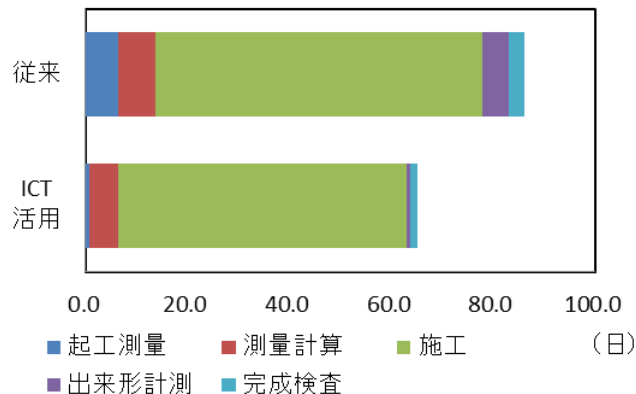


図-3 土工における作業時間の比較

表-1 従来工事とICT活用工事の効果の比較

	従来工事	ICT活用工事
起工測量	TSなどで実施 中心線測量、横断測量	UAVで実施 対空標識設置、UAV3次元起工測量
現場施工	丁張りなどを設置 数日間	3次元データを活用し、MGMC機械で施工 丁張り人員、資材不要。経験が不要
設計数量	平均断面法	3次元データをメッシュ法
検査書類の作成	出来形測量を行い、20m毎に出来形図、成果表、管理図表を作成	3次元データから出来形管理図表などを面的に1枚作成
書類及び実地検査	代表管理断面でTSや巻尺で測定	検査職員が指定する任意の箇所計測
	各断面の数値確認が必要	面的な確認により検査が簡単になり効率性が向上
完全管理	建設機械の周辺に作業員が立ち指示や合図	モニターで高さや勾配を確認
	常時作業員を配置するため事故の危険性がある	作業員の配置がないため省力化と事故リスクが減少

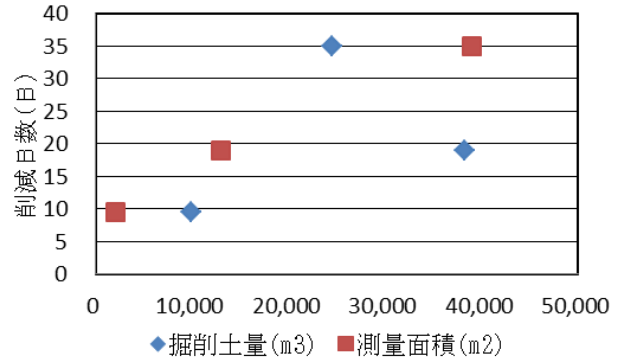


図-4 比例図

5. ICT活用工事の課題

福井河川国道事務所管内でICT活用工事を実施したなかで、効果については4. で論じたが、一方で課題も見えてきた。現場において困難なことや、改善して欲しいことなど、ICT活用工事の課題を以下に示す。

(1) 起工測量関係

空中写真測量を行っているが、施工範囲内の水中掘削部には活用できなかったため、従来の方法であるTSで測量をしている。水中部に活用できないため、TSを併用していることが労力の減少にはなっていない。

また、ドローンは気象条件に左右される。冬期の福井県では降雪・降雨が多いため、悪天候のためにドローンが活用できないことによる測量待ちで現場のロスが生じる。

(2) 施工関係

事務所の事例では、ICT活用工事の日当たり施工量は従来工事と比べても変わりなかった。ICT活用工事で丁張り人員や資材が不要になったが、土砂運搬等の制限があるため、日当たり施工能力は変わっていない結果となった。しかしながら、官積算では、日当たり施工量に×1.1を行い、工期を算定しているため、実態よりも過大に積算している傾向があった。

(3) 検査関係

従来は工事前に着工前測量を行っていたが、ICT活用工事ではドローンによる起工測量しか行わないため、誤差等の確認が不可能になる。また、数量の算出に用いた3次元データの根拠資料が発注者では確認できない。

加えて、降雪地帯での問題として、降雪があると正確な値が確認できないことがあげられる。従来であれば測定箇所のみを除雪すれば可能であったが、ICT活用工事では施工範囲すべてを除雪しなければならない。

(4) その他

土量の確認方法は従来では、平均断面法で行われていたが、今回はメッシュ(0.04m²)毎に算出しているため、データが多い。また3次元データを工事完了後に納品されているが、現在の発注者のパソコンでは対応できない。加えて、その3次元データを維持管理にどのように活用していくかが課題である。

丁張りが必要なくなり、掘削高をバックホウに搭載されているモニターで確認するため、重機周りに人は居なくなったが、モニターに集中しすぎて周りの確認を怠ることにつながるため注意が必要である。

6. 改善案

(1) 起工測量関係

ドローンでは水中部の測量が出来ないため、水中部をC3D等の水中部を3次元データとして測量できる機器との併用が考えられる。河道掘削工事は出水期でも施工可能だが、起工測量の時期が、台風の時期や天候がよくない時期にかぶるような発注をするべきではない。気象条件を考慮した発注が求められる。

(2) 施工関係

施工能力を上げるためにはマシンコントロールの導入が考えられる。マシンコントロールを使用すれば掘削高で自動停止するため、確認が不要になることから施工能力は向上する。土砂運搬の能力も考慮する必要がある。

(3) 検査関係

発注者で数量の算出に用いた3次元データを確認する方法の確立が必要となる。

降雪時には従来のTSを用いて測量することで、測定箇所のみを除雪になるため、施工管理が効率的になる。

(4) その他

3次元データは容量が大きいので、DVDに保存できない。そのためブルーレイディスクを使用しているが、現状必ずしも発注者が対応できていない。したがって、発注者が対応できるコンピュータ環境の整備が必要である。

マシンコントロールを使用することで掘削高がモニターで確認しなくても自動で止まるため、モニターに集中しすぎなくなり、安全が確保される。マシンコントロールの普及が求められる。

7. おわりに

本論文では、福井河川国道事務所管内で発注したICT活用工事を紹介し、その効果に加え、課題や改善案を述べた。

河川内は出水ごとに地形が変わってしまうため、段階的に確認の必要があるが、ICTを活用することで確認時間の削減や効率化につながる。また、施工範囲が広いほどICT活用工事の効果が見られたが、今回の少ない件数では結論付けることはできない。一方、福井県のように降雪・降雨が多い地域では、悪天候時にはICTを活用できないことが課題である。

謝辞：本論文を作成するにあたり、多大なるご協力をいただきました関係者の方々に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) ICTの全面的な活用：http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sos_ei_constplan_tk_000031.html
- 2) 情報化施工：http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000017.html
- 3) i-Construction 委員会報告書：<http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>

UAVを活用した防波堤(二重円筒ケーソン式)の調査点検の可能性について

竹下 航¹・山野 智志²

¹近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 保全課 (〒669-6544 兵庫県美方郡香美町香住区香住1702)

²近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 保全課 (〒669-6544 兵庫県美方郡香美町香住区香住1702)

柴山港は兵庫県北部に位置し、冬季における日本海の厳しい海象条件に対し、沖合を通航する貨物船の緊急避難用の港として位置付けられ、防波堤と避難泊地の整備を行っている。防波堤は大水深かつ冬期風浪による厳しい波浪に耐えるため、二重円筒ケーソン式という特殊な構造が用いられた大規模なコンクリート構造物である。しかし、1号函据付から20数年経過し、劣化部分が確認されるなど、継続的な維持管理のための調査点検が必要となっている。そこで、沖合防波堤上での安全かつ確実な調査点検手法のひとつとして、無人飛行機(UAV:Unmanned Aerial Vehicle)を用いた調査点検の可能性について報告する。

キーワード 柴山港, UAV, iConstruction, 維持管理

1. はじめに

兵庫県北部、日本海に面した柴山港は、海岸線の入り組んだ天然の良港であり、カニ等の水産資源の漁業基地となっている。また、近年においては、多様な地形・地質・風土と人々の暮らしが体験できる山陰海岸国立公園¹⁾として、京都府、兵庫県、鳥取県の民間団体や行政機関が連携³⁾し、ジオパーク活動を進めることによって、観光地としても脚光を浴びている。

柴山港の位置する日本海沿岸海域は、北日本～西日本～九州を結ぶ重要な航路筋であり、航行船舶も多い海域である。一方、冬季は気象海象条件が非常に厳しく、柴山港は、突発的な荒天状況下において船舶が安全に避難する場所である“避難港⁴⁾”として位置付けられており、港内静穏度を確保するための防波堤や、船舶が港内で避難するための泊地の整備を行っている。図-1に柴山港の整備計画を示す。2017年現在、泊地の浚渫は完了し、防波堤の計画延長450mのうち、240mまで完了している。

柴山港の防波堤は、図-2に示すように、外洋に面した沖合に整備されており、大水深かつ冬期風浪による厳しい波浪に耐えることを前提とした、二重円筒ケーソン式防波堤を採用している。また、図-3に示すように、1函あたりの大きさは直径30m、高さ26.5m、重量約14,000tであり、大規模かつ特殊な構造物となっている。二重円筒ケーソンの特徴としては、波を曲面で受けるため、全作用波力を低減できることや、壁体の開口部により、反射波を抑えることができることなどがあげられる。

しかしながら、1号函据付から既に20年数年が経過しており、劣化箇所が確認され、補修が必要な所も出てきている。今後の継続的な維持管理のためには、調査点検が必要となるが、沖合かつ高所での作業となるため、より安全かつ確実な調査点検手法が求められている。

本報告では、その手法のひとつとして、デジタルカメラを搭載した無人飛行機(以下UAV:Unmanned Aerial Vehicle)による調査点検の可能性について検証するため、陸上製作ヤードでのテスト撮影及び撮影画像とSfM(Structure from Motion)ソフトによる三次元モデルの作成を行った。

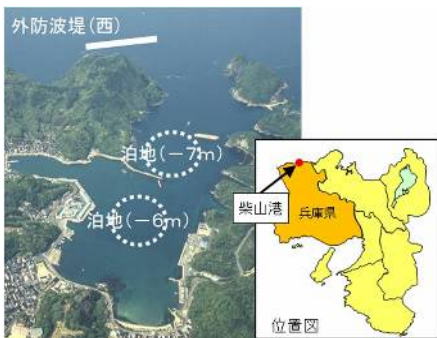


図-1 柴山港の整備計画

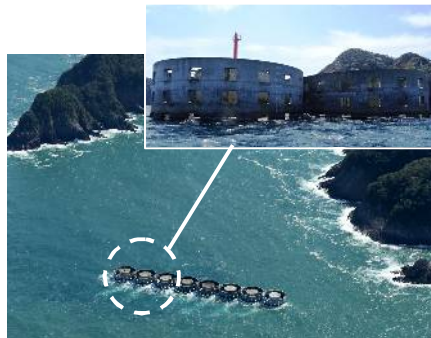


図-2 外防波堤(西)現況

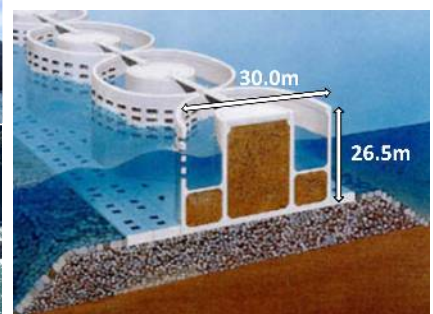


図-3 防波堤断面イメージ

2. テスト撮影の概要

(1) テスト撮影の実施場所

テスト撮影は、二重円筒ケーソンの製作場所である、陸上製作ヤードにて、過年度工事にて製作済のケーソン(9号函)を用いて行った(図-4)。

(2) 使用したUAVシステム

本撮影に用いたUAVは、Amuse Oneself社製のα-UAVである(図-5)。本UAVは、GNSS制御にて自動での飛行・撮影ができる機種である。UAVに搭載したカメラは、Panasonic社製のGX7である。UAV本体およびカメラの諸元をそれぞれ表-1、2に示す。



図4 陸上製作ヤード



図-5 UAV姿図



図-6 カメラ

表-1 UAV諸元

項目	諸元
重量	3.6kg
大きさ	1.0m×1.0m×0.3m
ペイロード	3.5kg(バッテリー含む)
飛行可能時間	約20分
自動飛行範囲	水平:半径1,000m, 高さ300m
耐風性	約6m/s

表-2 カメラ諸元

項目	諸元
重量	489g(バッテリー, メモリーカード含む)
センサー	4/3型 Live MOSセンサー
画素数	1,684万画素
焦点距離	42.5mm(35mm版換算85mm)

(3) 撮影手法の検討

今回の撮影では、カメラをUAVの下部に斜め45°の角度をつけて設置し、斜め撮影を行った(図-7)。また、UAV飛行の安全性を考慮し、ケーソン天端の20mの高さから撮影した。このため、カメラからケーソンまでの距離はおよそ28mとなり、画像の解像度約2.5mmを確保するため、撮影には焦点距離42.5mmのレンズを用いた。

(4) 撮影コースの設定

撮影のコースは、ケーソンの外壁だけでなく、内外円筒の間も撮影できるように、斜め中心向きと斜め外向きに撮影できるコースを設定し、4回のフライトを行った。

撮影位置をプロットした飛行軌跡を図-8に示す。

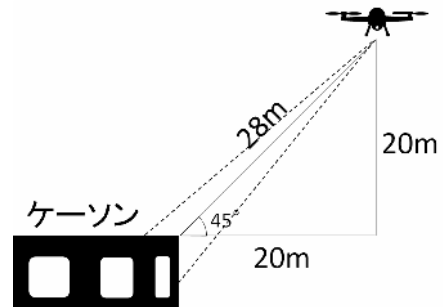
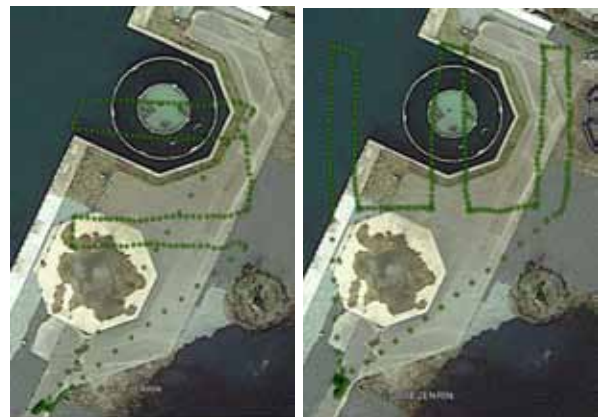


図-7 斜め撮影イメージ



(Flight 1)

(Flight 2)



(Flight 3)

(Flight 4)

図-8 飛行軌跡

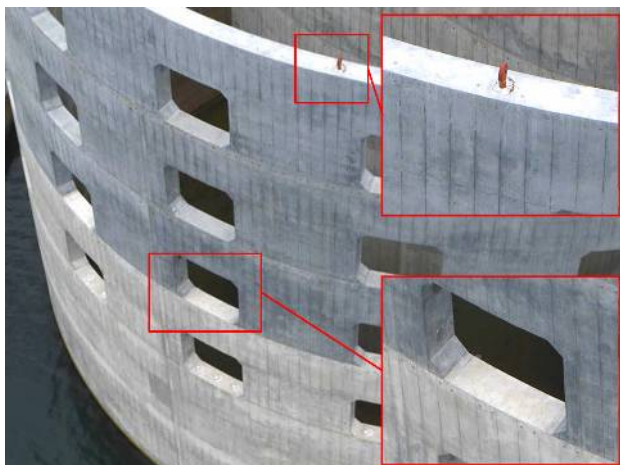


図-9 撮影写真

3.撮影結果

(1) 撮影した写真

今回の撮影は、2016年7月21日に実施した。撮影した写真を図-9に示す。吊り筋や施工目地が明瞭に確認できることが分かる。

また、港湾の施設の点検診断ガイドライン⁹⁾において、ケーソンの劣化度の判定基準として、「幅3mm程度のひび割れがある。」と定められており(表-3参照)、今回撮影した解像度2.5mmの画像から、点検診断ガイドラインに沿った調査点検ができることが分かる。

(2) SfMソフトによる画像解析

撮影した写真画像とPix4D社製「Pix4Dmapper」を用いて、各フライトの解析及び三次元モデルの作成を行った。

三次元モデル化の工程は、まず撮影された複数枚の画像から、ソフトにより自動生成された特徴点(キーポイント)のマッチングを行う。この特徴点とGNSSによる画像の撮影位置情報を用いて、三次元点群データを作成していく(図-10参照)。この作業により作成した点群データを高密度化し、三次元モデルを生成する(図-11参照)。また、撮影した画像をテクスチャとして貼り付けることで、より鮮明な三次元モデルを作成することもできる(図-12参照)。

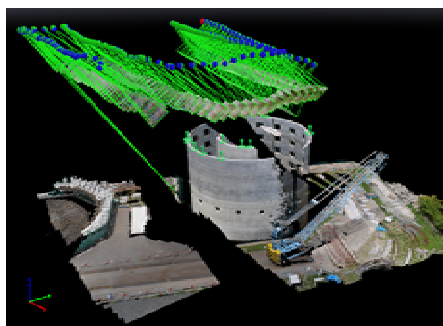


図-10 Pix4Dによる処理結果



図-11 三次元点群データ

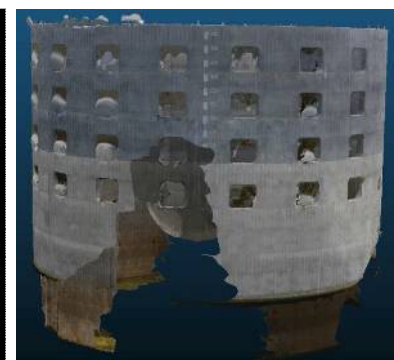


図-12 テクスチャ貼付結果

表-3 ケーソンの劣化度の判定基準

対象施設	点検診断項目	点検方法	劣化度の判定基準	
ケーソン式防波堤	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷、欠落 ・鉄筋露出 ・劣化の兆候	a	中詰材が流出するような穴空き、ひび割れ、欠損がある 広範囲に亘り鉄筋が露出している
			b	複数方向に幅3mm程度のひび割れがある
			c	1方向に幅3mm程度のひび割れがある 局所的に鉄筋が露出している
			d	変状なし

表-4 防波堤の移動、沈下の劣化度の判定基準

対象施設	点検診断項目	点検方法	劣化度の判定基準	
ケーソン式防波堤	移動	目視 ・水平移動量	a	ケーソンの一部がマウンドから外れている
			b	隣接ケーソンとの間に側壁厚程度(40~50cm)のずれがある
			c	小規模な移動がある
			d	変状なし
	沈下	目視 ・段差	a	著しい沈下(1m程度)が確認できる
			b	隣接ケーソンとの間に数10cm程度の段差がある
			c	隣接ケーソンとの間に数cm程度の段差がある
			d	変状なし

しかし、Sfmソフトによる画像マッチングの場合、複数の画像を合成し処理しているため、ひび割れのような微細な状況は、処理の過程で失われてしまい、三次元モデルから微細なひび割れ等の確認ができないという課題があることが分かった。

(3) 天端高さや水平性の確認

解析結果より、設置されたケーソン天端の水平性を確認した。結果を図-13に示す。また、表-4にガイドラインにおける、防波堤の移動、沈下の劣化度の判定基準を示す。

今回の撮影では、ケーソン天端の水平性を高い精度で確認することができた。また、得られた三次元データから、任意の点の三次元座標を求めることができるため、現地に標定点を設置して撮影を行えば、ケーソンの沈下量、水平移動量についても確認することができる。

このことから、得られた三次元データを用いて、防波堤の移動、沈下の劣化度についての調査点検を行うことができると言える。

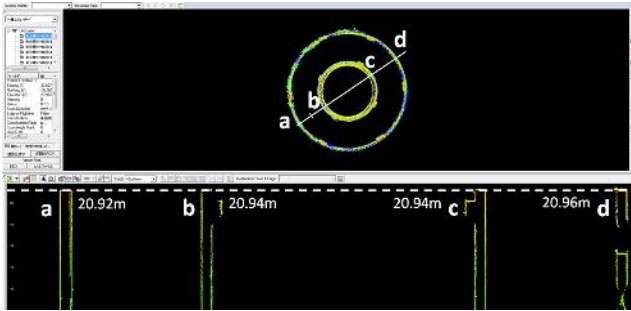


図-13 ケーソンの水平性確認

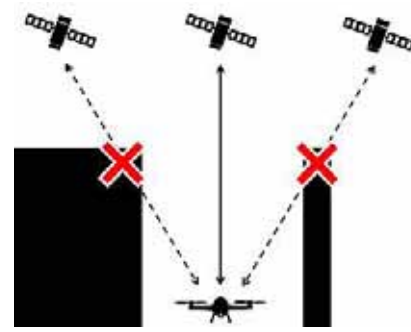


図-14 UAVのGNSS衛星補足イメージ

4. 課題と活用方法

まず、先に挙げた三次元モデル化の課程における、ひび割れ情報の損失という課題がある。これについては、得られた生画像から目視にて確認することはできるが、現状では処理に時間を要してしまう。画像処理ソフト等で処理するためには、画像内に基準点が含まれている必要があり、ケーソン壁面にマーキングを施す必要がある。これについては、今後検討していく必要がある。

UAVを用いることによる課題としては、以下の2つの点が挙げられる。1つ目に撮影場所が沖合にあることから、離発着場所の確保についての課題がある。近隣の島とした場合、飛行距離の増大による、撮影時間の短縮や墜落のリスクがある。また、ケーソン上を離発着場所とした場合には、ケーソンの鉄筋が磁化していることが考えられ、UAVの磁気センサーに与える影響を考慮する必要がある。2つ目に二重円筒内の撮影についての課題がある。UAVが円筒内に降下した場合、図-14に示すように、上空視界が狭まることから、GNSS衛星の補足数が不足し、位置精度の低下や自動操縦ができなくなるといった影響がある。

1つ目の課題については、UAVの技術は近年急速に進歩しており、今後解決されることが想定される。また、2つ目の課題については、橋梁点検用のポールカメラが既に実用化されており、これによる撮影と、UAVによる撮影を組み合わせることで、円筒内等、UAVによる撮影が困難な箇所についても必要なデータを得ることが可能であると考えられる。

今回は、UAVを用いて気中部分の確認を行った。一方で、防波堤の調査点検は水中部についても必要である。これについて、現状では潜水士による目視調査や水中ビデオカメラによる調査が行われているが、今後は、無人水中航走体(UUV:Unmanned Underwater Vehicle)による点検も可能になると思われ、水中部についても、安全な調査点検の可能性はある。

5. おわりに

本テスト撮影では、UAVを用いてケーソンの劣化状況確認のための撮影及び解析を試みた。撮影した解像度2.5mmの画像とSfM技術を用いた三次元モデルの作成を行い、以下の結論を得た。

- UAVとデジタルカメラを用いて、調査点検に必要な画像を撮影できることが確認できた。
- ケーソン天端から20mの高さでの撮影で、ケーソンの施工目地や吊り筋が明瞭に確認できた。
- 得られた画像は解像度2.5mmであり、3mm程度の大きさのものであれば目視にて判別が可能である。
- 解析結果から、ケーソンの水平性について、精度よく捉えられることが確認できた。

以上の結論から、UAVを用いて、沖合防波堤上での安全かつ確実な調査点検の可能性について、確認することができた。

なお、本論文作成にあたり、国際航業株式会社にご協力いただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省HP：山陰海岸国立公園 (<https://www.env.go.jp/park/sanin>, 2015.5)
- 2) 先山徹 他：山陰海岸におけるジオパーク活動—大地と暮らしのかかわり— (地質学雑誌, 118, pp.1-20, 2012)
- 3) 山陰海岸ジオパーク推進協議会HP：山陰海岸ジオパーク (<http://sanin-geo.jp/>, 2017.5)
- 4) 港湾法第一章第二条9項、港湾法施行令第一章第一条
- 5) 国土交通省 港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン【第2部 実施要領】

酢酸系薬剤を用いた定置式凍結防止剤散布装置の効果検証

久保 光¹

¹福井県笹生川・浄土寺川ダム統合管理事務所（〒912-0021福井県大野市中野28-36）

冬期路面の凍結対策は、局所的な管理手法として定置式散布装置を用いた薬剤散布方法や、ロードヒーティングといった無散水融雪等の方法がある。定置式の凍結防止剤散布装置としては、粒状の薬剤を散布する装置、道路に埋設したしみ出し部から液状凍結防止剤を散布する装置、或いは道路には埋設物を設けず、噴射ノズル等を用いて液状凍結防止剤を散布する装置等があり対策目的に応じた装置が使用されている。

2014年に、国道および一般県道において、酢酸系薬剤を用いた定置式の凍結防止剤散布装置を福井県で初めて設置したのでその概要と効果検証結果を報告する。

キーワード 凍結対策 凍結防止剤 定置式散布装置

1. はじめに

冬期路面の凍結対策は、図-1に示すように、作業系として凍結防止剤を用いた薬剤散布、施設系としてロードヒーティング等が挙げられる。凍結地域の日陰になり易い道路や急カーブ、急勾配の道路、橋梁部、トンネルの出入り口等では特に局所的な対策が望まれる。

局所的な管理手法としては、定置式散布装置を用いた薬剤散布方法や、ロードヒーティングといった無散水融雪等の方法があるが、これらの方法を費用対効果の観点から比較したのが、表-1となる。消雪パイプは、地下水等の水源が確保できれば、確実な効果が期待できるが、イニシャルコストは比較的高くなる。また、無散水融雪は確実な効果が望めるが、イニシャルコスト、ランニングコスト共に高くなる。定置式の凍結防止剤散布装置としては、粒状の薬剤を散布する装置、道路に埋設したしみ出し部から液状凍結防止剤を散布する装置²⁾、或いは道路には埋設物を設けず、噴射ノズル等を用いて液状凍結防止剤を散布する装置等があり対策目的に応じた装置が使用されている。

2014年に、福井県越前町内の国道および県道において、酢酸系薬剤を用いた、定置式の凍結防止剤散布装置を福井県で初めて設置した。また、2015年～2016年度にかけて定置式の凍結防止剤散布装置の効果について検証したのでその結果を報告する。

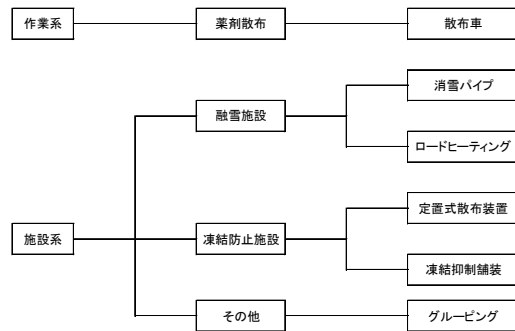


図-1 冬期路面の凍結対策¹⁾

表-1 定置式装置の比較¹⁾

	消雪パイプ	無散水融雪施設 (ロードヒーティング)	凍結防止剤 定置式散布装置
概要	路面の積雪を地下水などを散布することで消雪する施設	舗装内に埋設した電熱線或いは温水を循環させたパイプにより路面を加熱し融雪する施設	凍結防止剤を定置式の自動散布装置により路面に散布し、通行車両の引きずり効果により、局所的な凍結対策を行う装置
効果範囲	融雪・消雪 ほぼ全面	融雪・消雪 全面	凍結防止・融雪 車道・通行部
特徴	地下水などの水源が確保できれば可能であるが、気温の低下が著しいところでは不可	確実な効果が期待できるが、舗装内に埋設物があり、維持管理の労力大	通行車両に依存するため、通行車両台数が少ない場合は効果が小さい
融雪効果	○	◎	△～○※除雪との併用
イニシャルコスト	比較的高価	高価	安価
ランニングコスト	安価	高価	安価

2. 定置式凍結防止剤散布装置の概要

2.1 使用する凍結防止剤

本装置で使用する液状凍結防止剤は、酢酸カリウムとグリセリンを成分とする酢酸系液状凍結防止剤であり、引きずり効果が高く、環境や構造物への影響も極めて少ない凍結防止剤（カマグ）である。本装置では、ノズル

から噴射された液状凍結防止剤が通行車両のタイヤに付着し前方に引きずられる事により効果を拡散させる。この為、特に引きずり効果の高い液状凍結防止剤が求められる。また、本装置では、ノズルの目詰まりをさせない為、腐食性のあるものは望ましくない。このような要求特性を満足するのが本装置に使用する、環境配慮型の酢酸系液状凍結防止剤である。その特徴は、①成分中にグリセリンを含有することから高い引きずり効果が得られる。②最低凝固点が、図-2に示す様に-43℃と低く、高い凍結防止能力を有する。塩素系化合物を一切含有していない為、腐食性が極めて低く且つ自然環境や金属、コンクリートへの薬害の心配が殆どない事を特長としている。

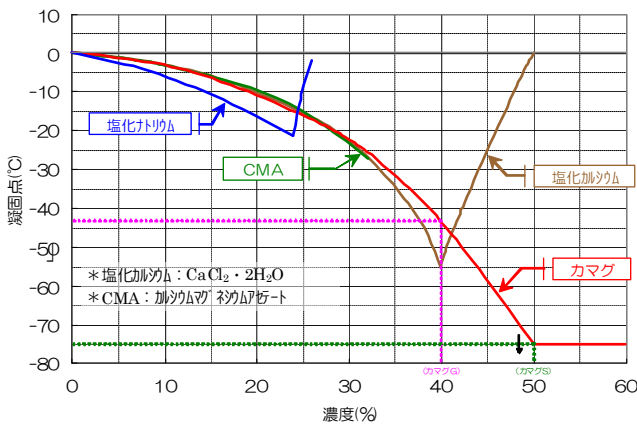


図-2 液状凍結防止剤の成分特性

2.2 本装置の概要

2014年度、国道365号（越前町内）および一般県道越前織田線（越前町内）に1箇所ずつ凍結防止対策用として定置式凍結防止剤散布装置を設置した。

図-3は、外形図を示す。表-2は、凍結防止剤散布装置の仕様を示す。写真-1は、凍結防止剤散布装置の設置状況を示す（県道）。当該施設の設置費用は、基本額として1基あたり約11百万円であった。ただし、電気引込みや設置スペースの条件により、追加費用が必要となる。1シーズンあたりの維持管理費用（シーズン前・後点検および薬剤補充）は約百万円であった。

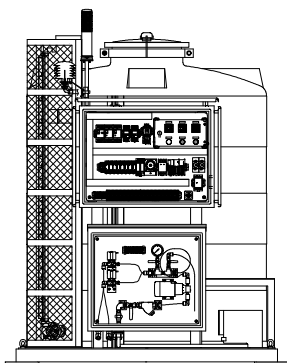


図-3 外形図

表-1 凍結防止剤散布装置の仕様

項目	仕様
寸法	幅 奥行 高さ 1680mm × 1850mm × 2090mm
タンク容量	2000ℓ
温度設定	噴射開始温度：1.0℃ 噴射停止温度：2.0℃
ノズル个数	2個（交互に噴射）
噴射間隔	30秒（15秒設定も可能）
噴射距離	最大約5m 距離は角度で調整
1回の噴射量	約40ml（調整可能）
1時間当たりの噴射回数	60回（毎時0分から噴射回数をカウントし、60回噴射したら打ち止め）
車両検出	車両をセンサーで検出後、10秒間噴射禁止



写真-1 凍結防止剤散布装置の設置状況（県道）

3. 試験方法

3.1 凍結防止剤付着量の測定

定置式凍結防止剤散布装置設置箇所（国道365号）は、橋梁部の下りカーブであるため、すべり摩擦係数を計測する計測車での測定は困難である。また、一般県道越前織田線の道口付近の道路線形が非常に悪いため同様である。上記理由から、すべり摩擦係数の測定は諦め、路面に拡散した凍結防止剤付着量を測定することにより、間接的にすべり摩擦係数の改善効果を検証することとした。通行車両により凍結防止剤を拡散させた状態で、各測定地点（100mピッチ）の路面の凍結防止剤をサンプリングし、サンプリングした凍結防止剤を室内試験にて分析し、各測定地点での凍結防止剤の付着量を測定した。

3.2 路面改質効果の検証

写真撮影により、凍結防止剤噴射箇所の手前部分と凍結防止剤噴射箇所以降の凍結防止剤拡散箇所での凍結路

面の比較を行い、凍結防止剤の効果を検証した。また、凍結防止剤の効果は検証日による気象や交通量にも影響することから調査を行った。本稿では、県道に設置した凍結防止剤散布装置の効果について検証した。

4. 調査結果及び考察

図-4は、凍結防止剤付着量測定結果を示す（2016年11月4日～5日にかけて実施）。図-5は、下り線の通行台数を示す。図-6は、上り線の通行台数を示す。試験日の天候は晴れて、路面は乾燥した状態であった。凍結防止剤散布地点から200m付近までは凍結防止効果が十分に得られる凍結防止剤量が検出された。5時間（20:00）経過時点で、すでに凍結防止剤付着量は200m付近にまで拡散していることがわかる。この原因は、通勤された方々の帰宅ラッシュの影響と考えられる。特にブレーキングポイントである0～100mでは凍結路面の改質が期待できる凍結防止剤付着量であった。300m地点では、凍結防止剤量は減少する傾向であったが、降雪時等に路面の水分量が増加する事で、引き摺り距離は300m程度に達する可能性が高いと考えられる。写真-2は、凍結防止剤による路面改質状況（2015年1月26日）の代表例を示す。凍結防止剤散布地点から、路面がシャーベットとなっており、路面改質されていることがわかる。写真-3は、1月26日午前8時における各観察地点での路面状況を示す。1月26日は、前日の降雪による積雪が残り、且つ気温が氷点下3℃程度まで低下、場所によっては、典型的な凍結路面が発生している状況であった。そのような気象状況の中で、路面観察を実施した。凍結防止剤散布前の50m地点では、凍結路面となっており、かなり滑り易い状況であった。一方、凍結防止剤散布地点から50mの箇所では、シャーベット状に凍結路面が改質されていた。シャーベットの状況は、ブレーキングポイントである100m地点まで観察された。150mから300m地点では、圧雪路面にシャーベット状の雪が混ざり込んだ状況であり、タイヤのトレッド痕跡が明確に確認できる状況であった。凍結防止剤散布手前の路面が凍結路面であったことから、約300m地点まで凍結防止剤の効果によって路面改質が行われたと推定される。

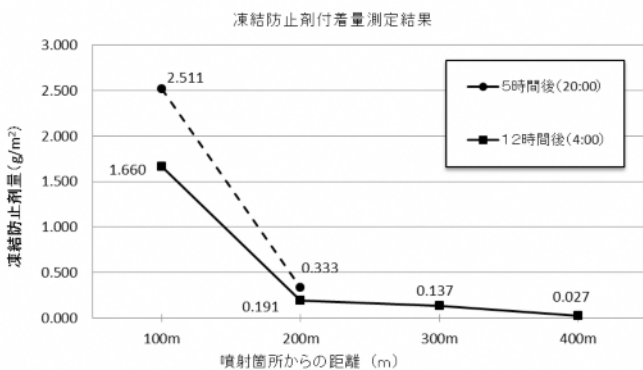


図-4 凍結防止剤付着量測定結果

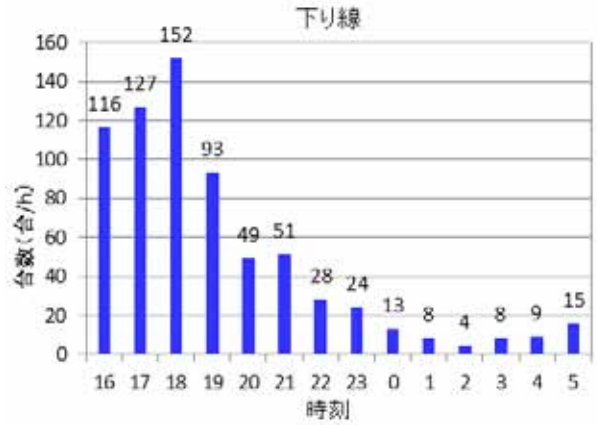


図-5 通行台数（下り線）

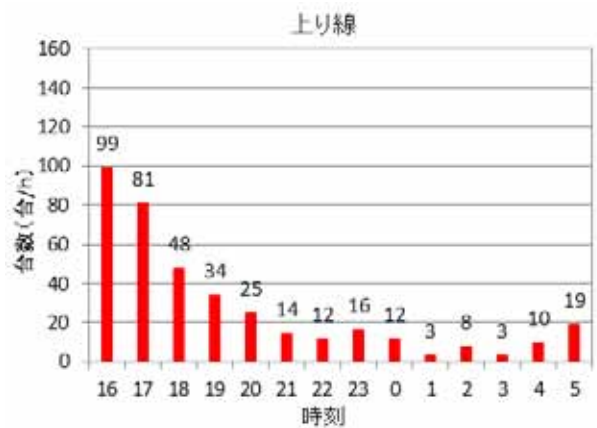


図-6 通行台数（上り線）



写真-2 路面改質状況（代表例）

図-4は、県道の下り線の通行台数を示す。17時～18時にかけて通行台数が100台を超えた。これは、通勤された方々の帰宅ラッシュの影響と考えられる。23時～5時にかけての通行台数は、時間当たり1～10台程度とかなり減少した。6時～7時にかけて通行台数が増えているのは、通勤する方々の影響と考えられる。このような通行台数では、十分な引きずり効果が得られないと予想されるが、

実際は、約200~300m程度の引きずり効果が認められる結果となった。この原因は、17時から22時にかけて通行した車両（時間当たり30~137台）によって、凍結防止剤が引きずられた結果と推察される。

図-5は、参考までに一般県道越前織田線の上り線の通行台数を示す。6時~7時にかけて、通勤ラッシュの影響で通行台数が増えていることがわかった。



写真-3 観測点の路面の改質状況

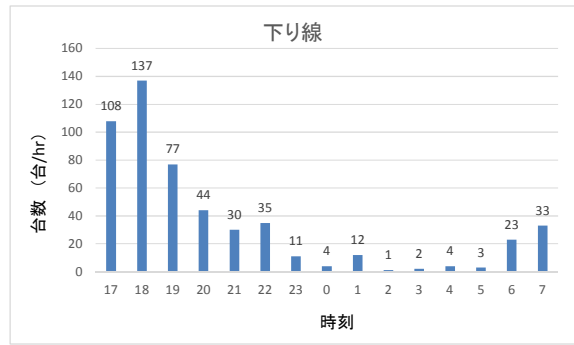


図-4 通行台数 (下り線)

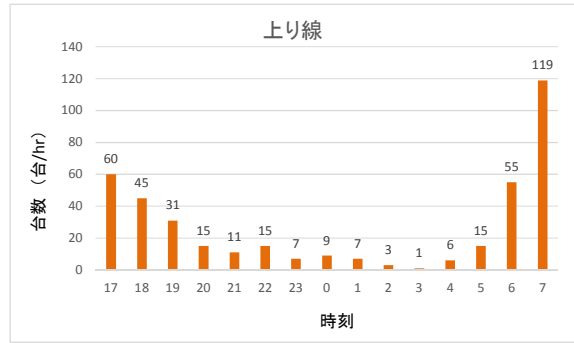


図-5 通行台数 (上り線)

5. まとめ

調査の結果、以下の知見を得た。

- (1) 凍結防止剤散布地点から200m付近までは、凍結防止効果が十分に得られる凍結防止剤量が検出された。
- (2) 凍結防止剤散布地点から50mの箇所では、シャーベット状に凍結路面が改質された。
- (3) シャーベットの状況は、ブレーキングポイントである100m地点まで観察された。
- (4) 150mから300m地点では、圧雪路面にシャーベット状の雪が混ざり込んだ状況であり、タイヤのトレッド痕跡が明確に確認できる状況であった。

以上の結果から、約300m地点まで凍結防止剤の効果があることを検証した。

2017年4月、福井県の定期人事異動により福井県丹南土木事務所鯖江丹生土木部から福井県笹生川・浄土寺川ダム統合管理事務所へ異動しました。

謝辞：酢酸系薬剤を用いた定置式凍結防止剤散布装置の効果検証に当たり、北海道日油株式会社営業部長 中地章氏にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用並びに参考文献

- 1)第 25 回ゆきみらい in 秋田研究発表会論文集：ソーラーバッテリー駆動式凍結防止剤自動散布装置による冬期路面对策について、高橋誠也、河野順二、長岡昭彦、時田和司、中地章、(2013)
- 2)福井県雪対策・建設技術研究所年報第 13 号：定置式凍結防止剤自動散布装置の研究開発、佐野弘、室田正雄、(2000)

3次元レーザスキャナを搭載したUAVによる 地形測量について

重岡 知之

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

北近畿豊岡自動車道 豊岡道路では、樹木の生い茂った急峻な山間部で地形測量をするにあたり、3次元レーザスキャナを搭載したUAVによる地形測量を行った。本稿では、国内でも事例が少ない、レーザスキャナを搭載したUAVを用いた測量について、その取り組みと有用性を検証した。また、測量の次工程となる地質調査、設計への活用状況や今後の課題について、検証した結果を報告する。

キーワード UAV, 3次元レーザスキャナ, 地形測量, i-Construction, CIM

1. はじめに

豊岡河川国道事務所では、北近畿豊岡自動車道 豊岡道路が平成28年度に新規事業化された。幅杭の位置を決定する道路予備設計を実施するために、地図情報レベル1000の地形図が必要となった。

豊岡道路の測量範囲は、90%が樹木の生い茂った急峻な山間部であり、周辺には、コウノトリ但馬空港や豊岡病院がある。また、豊岡病院ではドクターヘリが運航している。(図-1)



図-1 平面図

地形測量は、当初TS測量で計画していたが、短期間で精度よく測量する必要があり、測量手法を変更した。

現地の状況より、①樹木が生い茂っている山地の地表面が取得できる、②短期間で所定の測量精度を確保できる、③周辺に空港や病院があっても採用可能である、という条件を満たす「3次元レーザスキャナを搭載したUAVによる地形測量」(以下、「UAVレーザ測量」と述べる)を採用した。地上型レーザ測量は、急峻な山間部には不適である。UAV写真測量は樹木があるために地表面のデータが取得できないため、採用できなかった。

また、航空レーザ測量も要求精度を満たせないことや、ドクターヘリとの調整が難しい可能性があるかと判断した。

本稿では、UAVレーザ測量の取り組みと有用性を検証した。また、次工程となる地質調査、設計への活用状況や今後の課題について、検証した結果を報告する。

2. UAVレーザ測量について

(1) UAVレーザ測量とは

UAVレーザ測量は、空中から地形・地物の標高を計測する最先端の技術である。(図-2)

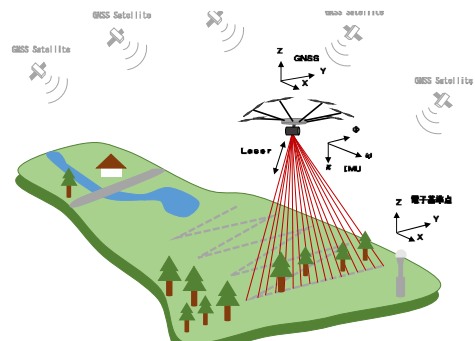


図-2 UAVレーザ測量の概念

その原理は、GNSS受信機(衛星測位システム)とIMU装置(慣性計測装置)によりUAVの位置と姿勢の情報を取得しながら、レーザスキャナにより左右にレーザを照射し、レーザ光の照射方向と地上までの距離を計測するものである。計測データの解析により、X,Y,Z座標をもった3次元点群データを得ることができる。UAVレーザ測量の最大の特徴は、樹木があってもその下の地表面を精度よく測量できる点である。このシステムは毎秒数十万測定という高密度なレーザを照射することで、樹木の葉の隙

間を通過して、地表面のデータを取得できる。樹木下を計測している様子を図-3に示す。

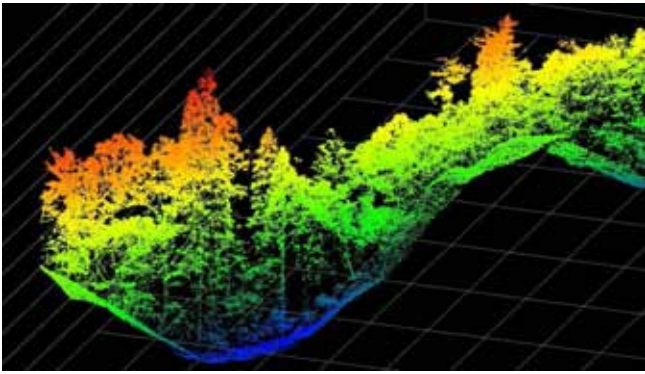


図-3 レーザが樹木下を計測している様子

(2) UAVレーザシステムの仕様

今回使用したレーザスキャナ (REIGL社製: VUX-1) とUAVを図-4に示す。また、機器の諸元を表-1に示す。

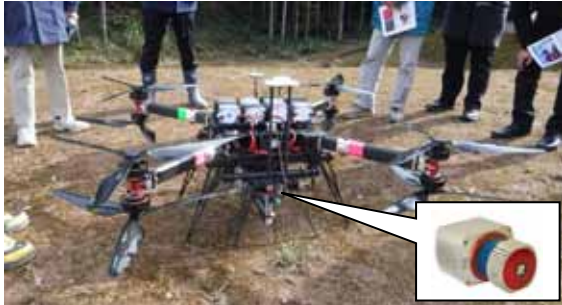


図-4 今回使用したレーザスキャナとUAV

表-1 機器の諸元

機体サイズ	110×110×70cm
フライトタイム	15分
自律航行	可能
フライト重量	24.5kg
飛行可能範囲	1,000m
レーザクラス	アイセーフクラス 1
最大測定距離	920m
有効測定レート	50万測定/秒
視野角 (FOV)	330°
取得パルス	オンライン波形解析

3. UAVレーザ測量および解析の実施

(1) 測量の実施

測量の実施にあたっては「作業規定の準則」および「UAVを用いた公共測量マニュアル」を準用した。調整用基準点は、11点設置した。UAVレーザ測量は高解像度で調整用基準点が視認できるため、XYZ座標すべてを使用して補正が可能であり、これにより、位置精度が向上する。配点図を図-5に示す。

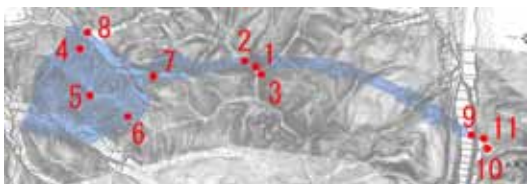


図-5 調整用基準点 配点図

飛行は自律航行により行い、対地高度は149m以下、対地速度は5m/secとした。飛行コースはコウノトリ但馬

空港の制限表面区域に含まれるため許可を得て飛行した。また、豊岡病院とも事前協議を行った。

飛行コースは北側, 中央, 南側の3エリアに分割した。(図-6) 作業の様子を図-7に示す。

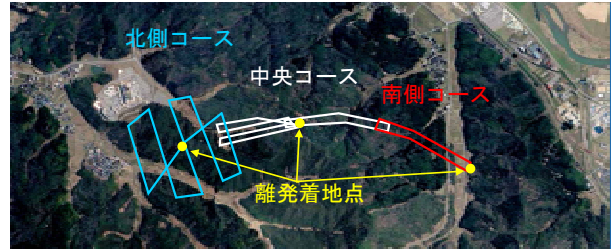


図-6 離発着地点と飛行コース



図-7 測量作業の様子

(2) 計測データの取得および処理

計測データの取得から、処理のフローを以下に示す。

(図-8)

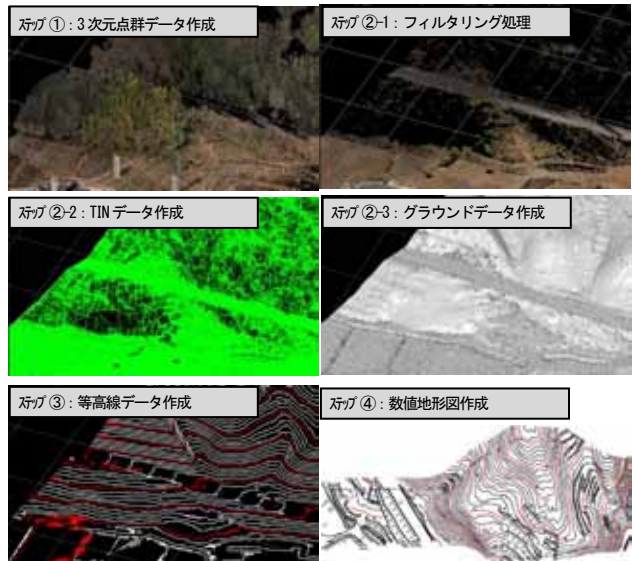


図-8 計測データの取得から処理のフロー

以下に各フローの詳細な内容を示す。

ステップ①: 3次元点群データ作成

計測データから、調整用基準点を用いて点検・調整した3次元点群データを作成した。座標の調整は北側, 中央, 南側の3区間ごとに実施した。(図-9)

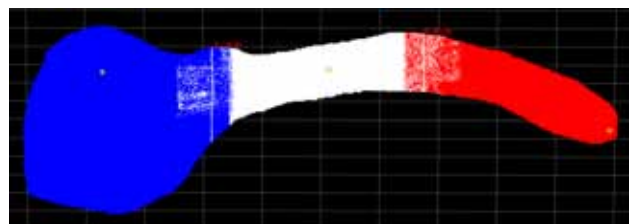


図-9 北側(青)・中央(白)・南側(赤)の点群の重ね合わせ

留意した点は、3区間の3次元点群データを一つに合成してから調整すると誤差が比較的大きく生じたため、区間ごとに調整用基準点を用いて調整したことである。この手法により、全体的な精度が向上した。

調整用基準点の水平位置及び標高値の較差について、平均値と標準偏差を表-2に示す。

表-2 水平位置および標高値の較差

水平位置の較差		標高値の較差	
平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
0.038m	0.045m	0.018m	0.044m

空中写真測量の標定点の要求精度（地図情報レベル1000）：水平位置の標準偏差0.1m以内、標高値の標準偏差0.1m以内に対して、許容範囲を満たしていた。

ステップ②：グラウンドデータへの処理

3次元点群データから建物や樹木等をフィルタリング処理し、地表面の3次元座標データを作成した。フィルタリングの状況を図-10に示す。

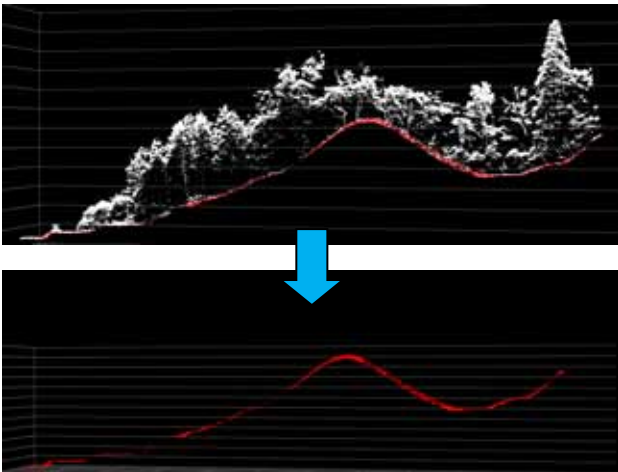


図-10 フィルタリング状況

フィルタリング後の点群からTIN(Triangulated Irregular Network)と呼ばれる不整三角網を作成した。

フィルタリングが適切に行われたか、作成されたグラウンドデータに異常が無いかを点検した。全測量範囲0.31km²のうち約50%となる0.16km²のエリアにおける、50本の断面（図-11）について異常が無いか点検した。点検の結果、適切にフィルタリングされていることが確認できた。断面の事例を図-12に示す。

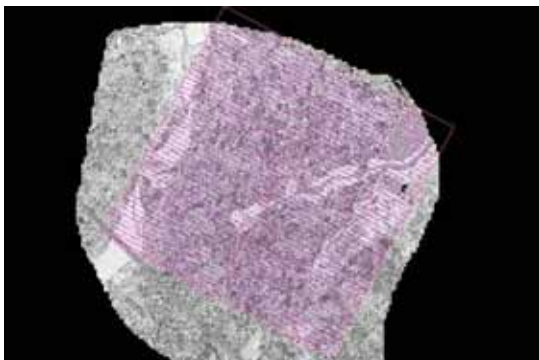


図-11 点検範囲と断面線（紫）

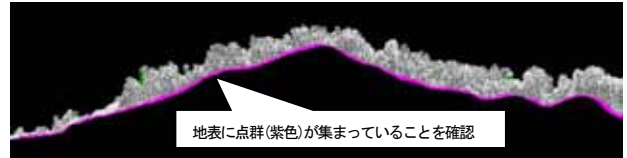


図-12 断面の事例

ステップ③：等高線データ作成

グラウンドデータから内挿補間により、1m格子中の複数の標高値から重心となる標高を算出して、グリッドデータを作成した。そのグリッドデータから、自動生成により、地図情報レベル1000の等高線データを作成した。専用ソフトウェアを用いて目視確認による点検を行った。点検画面を図-13に示す。

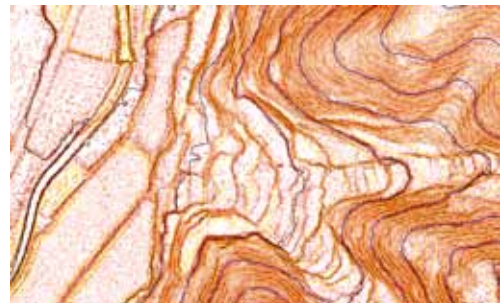


図-13 等高線データ点検画面

ステップ④：数値地形図作成

グラウンドデータを用いて、勾配を着色で表現した傾斜段彩図を作成し、その後、数値地形図を作成した。

専用ソフトウェアによる目視点検を実施し、結果は良好であった。点検画面を図-14、点検後の数値地形図を図-15に示す。



図-14 数値地形図点検画面



図-15 点検後の数値地形図

ステップ⑤：縦断面図・横断面図作成

「3次元点群を使用した断面図作成マニュアル

(案)」に準じて、グラウンドデータより縦断面図・横断面図の作成を行った。傾斜変換点の抽出画面を図-16に示す。

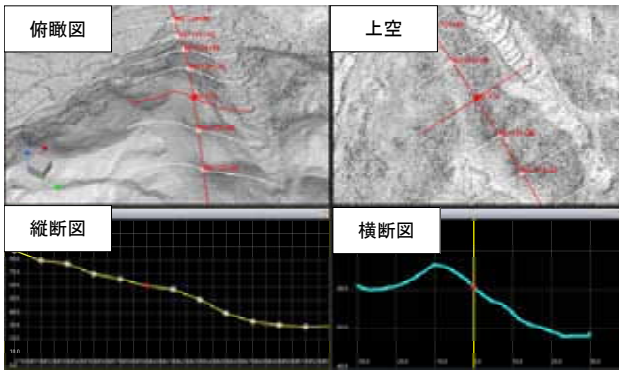


図-16 傾斜変換点の抽出画面

4. UAVレーザ測量の有用性

(1) 測量精度の検証

準則に準じた精度を確認した後、さらに自主的な精度検証を試みた。

(a) 数値地形図(平面図)の検証

数値地形図については、平地部で地上型レーザスキャナにより取得した点群との比較(図-17)及びUAV写真測量によるオルソ写真との比較(図-18)を実施した。目視確認した結果、いずれも数値地形図と一致していた。



図-17 地上型レーザスキャナと数値地形図の比較



図-18 UAVオルソ写真と数値地形図の比較

(b) 縦断面図・横断面図の検証

縦断面図、横断面図はTS測量による実測と比較して検証した。横断測量の較差の許容範囲(山地)は準則では $5\text{cm} + 15\text{cm}\sqrt{L/100}$ (L:測定距離)であることから、これを精度検証の目安とした。横断面図の検証は、4断面をTS測量により実測した。その後、横断方向61~67mに対して、10点を断面ごとに抽出し、横断面図と比較した。標高の較差について結果を表-3に示す。

表-3 標高の較差

No.	断面幅	較差の平均値	許容範囲
156+20	66.89m	0.063m	0.172m
157+20	66.89m	0.094m	0.172m
161+20	61.06m	0.114m	0.167m
161+60	61.30m	0.099m	0.177m

10点の較差の平均値は許容範囲内である。TSとUAVレーザの横断面図の比較を図-19に示す。なお、縦断面図も較差の平均値は許容範囲内であった。

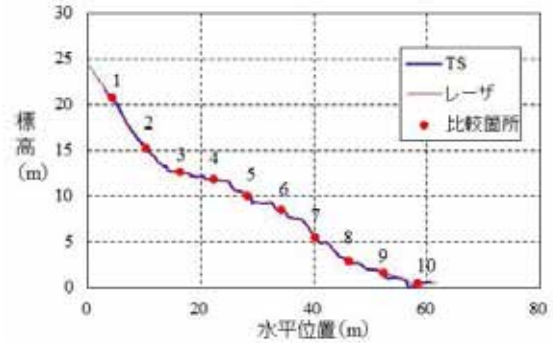


図-19 TSとUAVレーザの横断面図の比較(No.161+20)

(2) コスト・工程の検証

TS測量で外業159人・内業73人かかる作業を、UAVレーザ測量では、外業19.5人・内業81人に圧縮できた。一方で、機械経費が増えており、トータルコストは約1.1倍になっている。コストの比較結果を以下に示す。(図-20) 技術の進展により、機械経費が小さくなれば、今後大きくコストダウンできる可能性がある。また、測量結果を有効に活用できることで、測量業務の追加発注が減ることにつながれば、更なるコスト削減が期待できる。

工程としては、作業日数がTS測量と比べて外業が45日から1.5日、内業が45日から41日に短縮できた。(図-21)

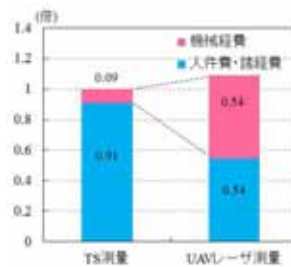


図-20 コストの比較結果

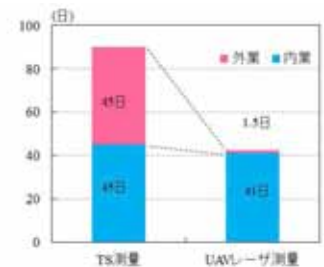


図-21 作業日数の比較結果

5. 地質調査や設計への活用について

測量の次工程である地質調査や設計における活用の状況を以下に示す。

(1) 地質調査

① 調査計画の精度向上

リニアメントや地すべり地帯などの地形判読を行う際に、3次元点群データを元にグリッドデータを再構成した。さらに、グリッドデータを元に、ウェーブレット解析図(地形の尾根、谷の区別が付きやすい図)を作成し、傾斜量図を乗算合成した微地形強調図を作成した。(図-22)

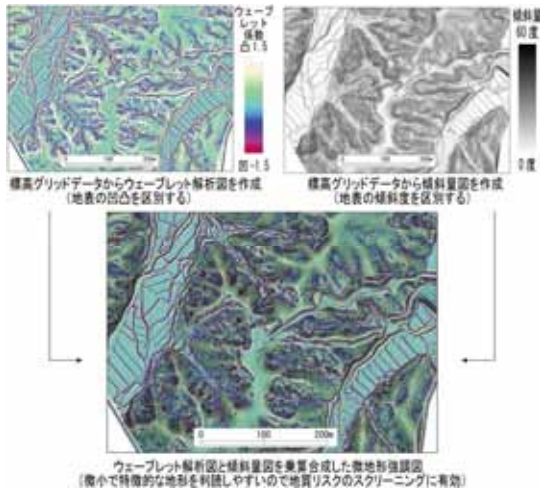


図-22 微地形強調図の作成

この図では微地形が強調されるため、地すべり・崩壊・浸食・リニアメントなどを明確に読むことができる。施工中や供用開始後に、問題を引き起こす素因の抽出に役立つことから、地質リスクを勘案したボーリング位置の選定が可能となる。3次元点群データの活用により、精度の高い調査計画が策定できた。

②活用を見送ったケース

地質の3次元モデル作成を検討したが、地質調査が全て完了していないことや、作成後の活用方法が明確でなかったことから、作成を見送った。

元々、地質の3次元モデルは不均質で不明確なものをモデル化するという難しさがある。複数のボーリング結果を元に、補完により地層のつながりを自動で図化するツールも存在するが、技術者の考えとは違う結果が出てしまう等、実用性には課題がある。入力やモデル化には相当な労力がかかるにも関わらず、自然の産物である地質をモデル化することは見込みや推定を多分に含んでしまう現実がある。さらに、地層の褶曲や断層などがあればそれを正確に表現するのは、困難であり、得られる効果が地盤の可視化だけでは、労力に対して効果が見合わない。

(2) 道路予備設計

①設計の精度向上

土石流危険渓流を通過する橋梁区間において、土石流の流下断面の照査を行った。航測図による地形図をベースとした検討では、渓流を改変しなくても桁下との比高差が1.6m確保できる(必要高さ1.1m)結果であったが、UAVレーザによる詳細な地形図を用いると地形が全体的に高くなり、掘削により流下断面の確保が必要という結果になった。(図-23)

ベースとなる地形の精度により、検討の結果は変わる。図-23を見ると、橋梁中心、上流側、下流側の各断面において微細な地形が明確になっており、グラウンドデータの活用により、従来よりも精度の高い設計が可能となった。

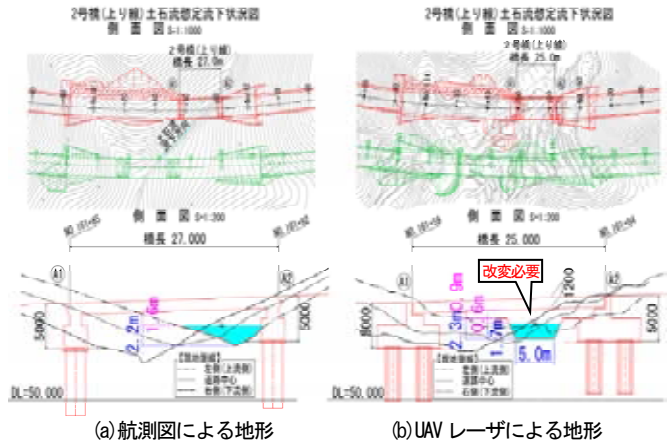


図-23 土石流危険渓流の検討結果

②設計作業の省力化

トンネル坑口の構造検討を行う際に、1Dの土かぶりを確保できる位置をトライアルで探す必要があった。従来は平面図からその都度、断面図を作成していた。今回は、グラウンドデータを用いることにより、任意の位置で簡易に断面図を作成できた。(図-24)今回、8箇所のトンネル坑口で1箇所あたり5~6断面の断面図を作成したが、グラウンドデータを活用した結果、約20時間程度の作業時間を短縮でき、設計作業の省力化につながった。

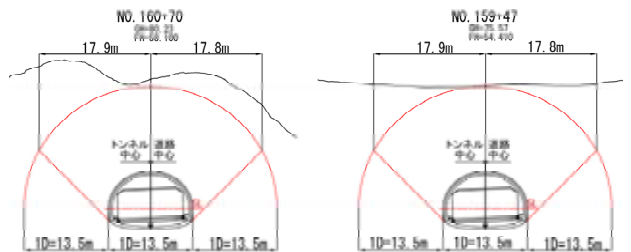


図-24 トンネル坑口の検討断面図の例

③受発注者間の合意形成の円滑化

景観検討では、フォトモンタージュをどのようなアングルで何カット作るか等、内容について打合せする際に、3次元点群データを利用した。イメージを図-25に示す。このように業務を進める上で、受注者と発注者の合意形成のツールとして活用した。



図-25 景観検討の内容決定イメージ

④積算の精度向上

CIMに用いるために、道路面や法面の3次元モデルを作成した。(図-26)今後、詳細設計、施工、維持管理と事業の段階が進むなかで、数量の算出や施工関連情報の入力などをするための基礎データとなるものである。

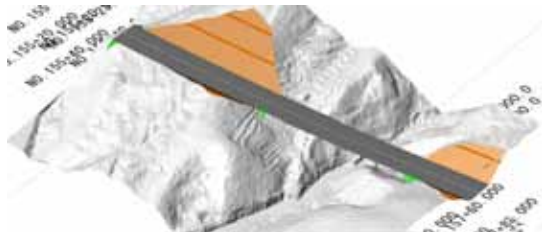
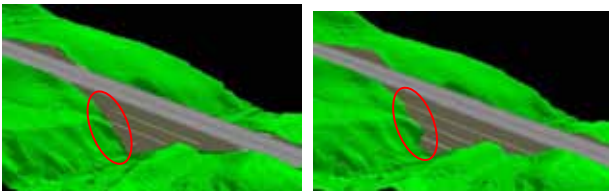


図-26 作成中の CIM モデル

今回、試行として、延長120mの盛土区間を仮想的に設定し、土量の算出を行った。(図-27) 従来の平均断面法(20mピッチ)と3次元モデルでの算出(1mピッチ)を比較した結果、平均断面法で31,700m³、3次元モデルで26,800m³となり、15%程度の差異が生じることが分かった。3次元モデルでは、地形の微細な起伏の影響を加味できるため、正確に数量を算出できた。



(a) 20m ピッチ

(b) 1m ピッチ

図-27 土量の試算に使用したモデル

⑤活用を見送ったケース

IC周辺に設置する大規模施設の位置を検討する際に、構造や概算工事費等を比較した。土工量の算出では、グラウンドデータと切土・盛土の3次元モデルを合成して算出することを検討したが、時間に制約があり、二次元の平均断面法で算出した。3次元モデル作成には、データ入力やチェックの手間がかかるため、短時間で確実な検討を行うには、慣れた方法を選択せざるを得なかった。ソフトウェアの操作性や技術者の熟練度も、発展途上であり、迅速性が求められるケースでは活用できていない現状が浮き彫りになった。

6. 課題と今後の展望

- (1) UAVレーザ測量は基準類が未整備である。整備されるまでは、精度の検証方法や成果の利用には、慎重かつ技術的な判断が必要となる。
- (2) 3次元モデルを利用した設計について、精通した技術者が少ない。データ入力に時間がかかること、照査のポイントが分からないことなどが原因で、活用が限定的となっている。発注者がリーダーシップを発揮して、発注者指定型のCIM試行事業を一層増やし、また、研修や勉強会を開催するなどの取り組みを進めることが、人材育成のために不可欠である。
- (3) 高精度であるがゆえに、3次元データの容量が大きい。そのため、作業や内容の照査を快適に行うには、受発注者のどちらも、初期投資としてハイスペックなPCが必要である。なお、今回のUAVレーザ測量のデータを利用するには、以下の動作環境が目安となる。

OS : Windows 10 Pro メモリ : 64GB
CPU : Intel Core i7 6900K 3.2GHz (8コア)
グラフィックボード : NVIDIA GTX1080

- (4) 地質調査、設計の分野では、3次元モデルの構築時に、データ入力や照査が容易にできるソフトウェアが十分に開発されていない。官民連携で開発を強化するとともに、利用者の利便性を考えると、仕様やインターフェースなどの統一が必要である。また、ブレークスルーとなるような新技術の開発が望まれる。
- (5) 地質の3次元モデルの活用効果は、明確ではない。3次元モデルを構築する労力に見合う活用効果を見いだししていく必要がある。例えば、支持層のチェックを目的として、支持層面のみサーフェスとしてモデル化を行うなど、利用する目的を明確にしなければならない。

7. おわりに

今回得られた知見を以下に示す。

- (1) UAVレーザ測量で作成した数値地形図(平面図)は、地図情報レベル1000の要求精度を満たしていた。
- (2) 3次元点群より作成した横断面図・縦断面図をTS測量と比較した結果、標高の較差の平均値は6cm~12cm程度であり、実用に耐えうるものであった。
- (3) UAVレーザ測量を従来手法と比較すると、コストはトータルで1割増加し、工程は約半分短縮できた。
- (4) 精度の検証や成果の利用をどのように行うかが重要であり、技術的判断が求められる。また、UAVレーザ測量の基準類の早期確立が望まれる。
- (5) 測量の次工程である地質調査、設計の3次元モデル活用において、①調査計画の精度向上、②設計の精度向上、③設計の省力化、④合意形成の円滑化、⑤積算の精度向上、等の効果が確認できた。
- (6) 3次元モデル活用において、現場では、①精通した技術者が少ない、②ソフトおよびハードの環境が十分でない、③3次元地質モデルは活用の方向性が不明確、等の課題が見られた。対策として、人材育成やCIM試行事業の推進、技術開発、PC機器への初期投資、3次元モデルの目的の明確化などが必要である。

本報告では、UAVレーザ測量の有用性や活用の状況を検証した。一方で、2次元で設計した結果を元に、3次元モデルを構築するという、手段が目的になっているような現状が見られた。今後、i-ConstructionやCIMの推進による生産性革命を進めるには、官民が一体となって課題の解決に取り組むことが必要である。

謝辞：論文を作成するにあたり、ご協力いただきました塩見測量設計株式会社(UAVレーザ測量)、株式会社エイト日本技術開発(道路予備設計)、株式会社ウエスコ(地質調査)のご担当者様、また、関係各位に感謝いたします。

ICT を活用した排水機場運転支援 ・不具合対応支援システムの開発

内田 颯太¹

¹ (独) 水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所
(〒 619-1421 京都府相楽郡南山城村大字田山字ツルギ 43)

琵琶湖開発総合管理所（以下「琵琶湖総管」）では、2013年（平成25年）台風18号の影響による琵琶湖水位の上昇に伴い、内水排除操作を行った。この防災業務を通じて、職種を問わず全ての職員による「迅速かつ安全・確実な運転操作」、「最低限度の不具合対応」の2点が課題として浮き彫りとなった。

本稿は、琵琶湖総管において、情報通信技術（以下「ICT: Information and Communication Technology」）を活用して構築・導入した排水機場運転支援・不具合対応支援システムについて報告するものである。

キーワード 内水排除,ICT,AR,タブレット端末,双方向通信,HMD

1. はじめに

琵琶湖総管は、琵琶湖一円に渡り多数の設備を管理している。そのため、防災業務の際には、防災班を9班編制し、職員等が琵琶湖周辺の巡視や水門等の操作を行い、請負業務の運転操作員が排水機場の運転を行うこととしている。

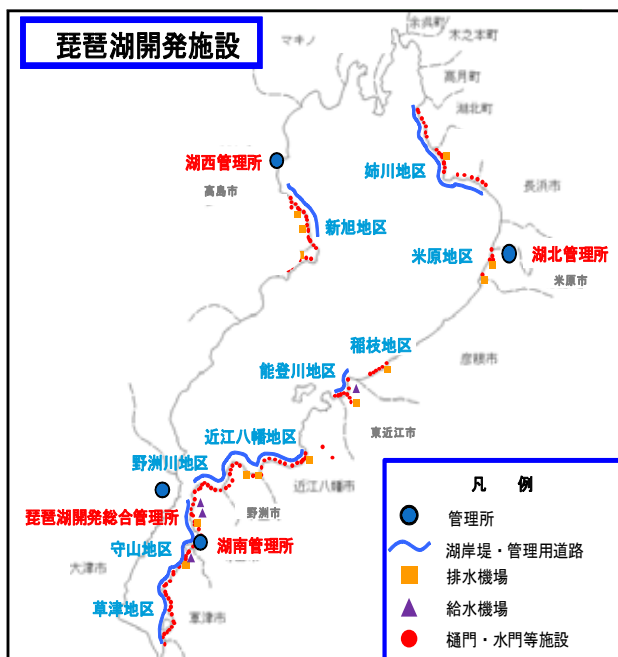


図1 琵琶湖開発施設配置図

表1 琵琶湖開発施設一覧

地区名	湖岸堤	水門等	給・排水機場
草津地区	6.9	18	-
守山地区	7.6	32	5
野洲川地区	9.2	19	1
近江八幡地区	6.8	16	2
能登川地区	3.4	14	2
稲枝地区	-	6	1
米原地区	-	5	2
姉川地区	10.0	24	1
新旭地区	6.5	24	4
計	50.4 km	158箇所 (263門)	18機場

2013年（平成25年）台風18号の影響により、琵琶湖水位が2日間で102cm上昇し、緊急的に内水排除を行わなければならない事象が発生した。当該出水では、時間雨量が大きく、公共交通機関の麻痺や道路冠水による通行止め等が発生したことにより、運転操作員の初期配置が不十分となった。このような状況下では、職種を問わず全ての職員が迅速かつ安全・確実に排水機場を運転操作しなければならない。

琵琶湖総管では、全職員を対象とした内水排除関連施設の操作説明会の実施や排水機場への操作要領の備え付けにより、迅速かつ安全・確実な運転操作に対し、日頃から備えてきた。しかしながら、防災業務発生頻度の低さ等から、全ての職員が迅速かつ安全・確実に運転操作ができる状況には至っていなかった。

また、琵琶湖総管における防災業務はダム等と比較すると長期間に及ぶことが多いため、ポンプ設備の故障や不具合の発生率が高くなっていく。各防災班には様々な職種の職員等が配置されているが、機械職については各管内（湖南・湖北・湖西）に1名ずつしか配置できず、故障・不具合発生時は復旧対応に追われることになる。

さらに、機械職の中でも設備の習熟度による技術力の差があるため、故障・不具合に対応できない場合も発生する。

平成25年の防災業務から、琵琶湖総管では次の2つの課題が浮き彫りとなった。

- 職種を問わず全ての職員による迅速かつ安全・確実な運転操作
- 職種を問わず全ての職員による最低限度の不具合対応

そこで、琵琶湖総管の諸課題への対応として、ICTを活用した職員等支援システム構築の検討を行った。

2. 排水機場運転支援システム

これまでポンプ・ゲート設備の運転については、職種を問わず誰もが操作できるよう、設備毎に写真や図を多用し、専門用語をできるだけ排除した操作要領を作成し、操作を行ってきた。

しかし、ポンプ設備の運転操作はゲート設備と比較し、数多くの確認や移動、操作が必要であり、紙媒体の操作要領では解りづらく、また雨天時の使用にも問題があった。

そこで、迅速かつ安全・確実な運転操作を実現するため、拡張現実（以下「AR: Augmented Reality」）を活用し、画像と音声により操作をナビゲーションするシステムを開発することとした。

(1) システムの概要



写真1 AR マーカー貼付・読込状況

ARを用いた運転支援システムでは、排水機場運転に必要な作業手順をシナリオ化し、AR マーカーに記録する。作業内容が記録されたAR マーカーは、写真1のように該当作業現場に貼付しておき、マーカーをタブレット端末のカメラで読み込むことで、シナリオ化した作業手順が順々と画面に表示される。画面上に表示された作業手順に従い、操作していくことで迅速かつ安全・確実に排水機場を運転操作することが可能となる。

(2) システム利用イメージ

図2にシステムの利用イメージを示す。手順化された作業シナリオはあらかじめクラウドサーバー上に登録しておく。職員等は、クラウドサーバーにアクセスし、作業シナリオをダウンロードすることでシステムの利用が可能となる。

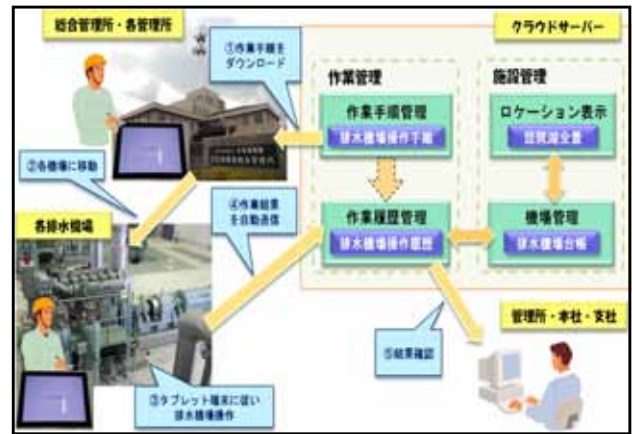


図2 システム利用イメージ

現場では、タブレット端末の画面上に表示される作業手順に従い、現場状況の確認、各機器の電源投入を行う。現場状況の確認および各機器の電源投入完了時には、写真2・3に示すように、2つの選択肢が表示され、該当する選択肢を選んでいくことで次の作業手順に進んでいく。



写真2 現場状況確認シナリオ



写真3 電源投入確認シナリオ

現場状況が正常または電源投入が完了したと選択された場合、排水機場運転操作に必要な次の作業手順が表示される。

現場状況が異常または電源が投入できない場合には、正常な状態へ復旧するための作業手順が表示され、復旧作業に専門的な知識を要する際には、不具合対応支援システムへと移行し、機械職に指示を仰ぎながら復旧作業を行う。復旧完了後は、正常な作業手順へと復帰し、手順に従い運転操作を実施する。

作業結果は、作業シナリオ終了後、クラウドサーバーに自動でアップロードされる。アップロードされた作業結果は、クラウドサーバーへのアクセスで即座に確認でき、琵琶湖総管だけでなく、本社・支社・他事務所からも閲覧が可能である。

また、作業結果を報告書として印刷することも可能で、これまで手書きの作業結果を、防災業務終了後にPCで作成していた手間を省略できる。

上記以外にも、排水機場の設備を更新した際にも本システムが利用できるよう、職員の直営により作業手順・作業対象の変更、追加、削除を行うことができる機能を有している。

本システムの構築は、機械職だけでなく、事務・土木等様々な職種の職員が携わることで、視覚的に理解しやすいシステムとなるよう配慮した。

(3) タブレット端末の諸元

表2 タブレット端末の諸元

項目	詳細
OS	Android™ 6.0
CPU	Qualcomm MSM8992 1.82GHz (デュアルコア) 1.44GHz (クアッドコア) ヘキサコア
メモリ	3GB
ストレージ	32GB
ディスプレイ	10.5インチ WQXGA (2560×1600)
バッテリー容量	6000mAh
その他	防水性能: IP×5・IP×8 防塵性能: IP6× 耐衝撃、耐振動、高温・低温時動作

表2に本システムで使用するタブレット端末の諸元を示す。屋外・悪天候での使用を考慮し、防塵・防滴・耐衝撃対策型のものを採用している。

3. 不具合対応支援システム

ARを活用したシステムは、事前に手順をシナリオ化しておく必要があるため、あらかじめ手順が想定できる作業に対しては、非常に有効である。

一方、故障・不具合対応についてはこれまでと同様に、専門知識を有する職員等や、メーカー・設備の点検業者に頼らざるを得ないが、排水機場は琵琶湖一円に点在しているため、不具合復旧だけでなく、現地までの移動にも時間を要する。そこで、専門知識を有しない職員等でも最低限度の不具合対応を可能とする不具合対応支援システムを開発することとした。

(1) システムの概要

不具合対応支援システムは、インターネット回線を利用し、映像と音声による双方向通信を行うことにより、不具合発生現場の状況をリアルタイムで確認できるシステムである。ヘッドマウントディスプレイ（以下「HMD」）のカメラで捉えた映像・音声は、図3のように遠隔地のPC・タブレット端末と共有しており、今まで専門知識を有する職員等やメーカーの熟練技術者などを現場に派遣せざるを得なかった不具合内容も、映像・音声から得られる情報により、遠隔地からの作業指示で対応可能となる。



図3 システム通信状況

図4にシステムの構成を示す。本システムは、最大6者までの同時通信を行うことができ、通信用のアプリケーションがインストールされたPCまたはタブレット端末があれば、不具合発生現場、琵琶湖総管のみならず、本社・支社・他事務所からも不具合対応支援が可能である。

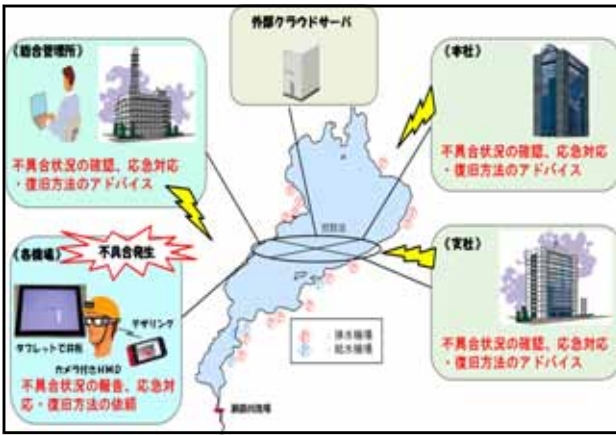


図4 システム構成



写真5 静止画像による不具合対応支援

(2) システム機能

前述のとおり、本システムは通常、映像と音声により故障・不具合情報の共有、作業指示を行う。

しかし、システム使用時には、ポンプ運転中であることも十分に考えられるため、騒音等により音声が届き取れない場合を想定し、文字による指示も行えるようにしている(写真4参照)。



写真4 文字による作業指示状況

(3) HMDの諸元

HMDの外観を写真6に、諸元を表3に示す。HMDはヘルメットに装着可能な構造であり、通信中でも両手を使っての作業が可能となる。

また、ディスプレイ部は可動式になっているため、移動時等は跳ね上げておくことにより、視界をさえぎることなく作業が可能である。



写真6 HMD外観

また、HMDのカメラにより静止画像を撮影し、通信上で共有することで、写真5のように遠隔地のPC・タブレット端末から静止画像へ指示の書き込みを行うこともできる。映像と音声だけでは指示内容が理解できなくとも、本機能を利用することにより、不具合発生機器のどこを確認し、作業すれば良いのか直感的に理解できる。作業者が何を撮影すればよいかわからない場合でも、遠隔地にいるPC・タブレット端末からHMDのカメラ操作を盗む(ジャック)機能を使うことで、遠隔から現場作業者のカメラ映像をロックすることも可能である。

表3 HMDの諸元

項目	詳細
形状	片眼 非シースルー
ディスプレイサイズ	15インチ 離隔距離81cm
ディスプレイ解像度	854×480
表示色数	約1,677万色
輝度	1,200cd/m ²
カメラ	800万画素 ズーム機能有り
OS	Android4.4
メモリ	8GB SDカード挿入により増設可
バッテリー駆動時間	3,300mAh 約4時間 バッテリー交換可
操作方法	音声認識 ウェアラブルキーボード
システム	6者同時双方向通信
その他	防水性能: IP×5・IP×7 防塵性能: IP5×

4. システムの導入効果

本システム構築後、「排水機場運転支援システム」および「不具合対応支援システム」の導入効果の検証を行った。

不具合対応支援システムについては、現場までの移動時間の短縮、移動による事故のリスク減、機械職からの確実な支援といった効果を得ることができた。

排水機場運転支援システムについては、1度もポンプ設備を見たことがない直接雇用職員の協力の下、従来通り紙媒体の操作要領により運転操作した場合と本システムにより運転操作した場合の比較を行った。その結果、本システムの使用により、従来に比べ操作時間を31%、報告書の作成時間を89%短縮できることが判った。

また、操作終了後、職員に感想を聞いたところ、AR マーカーの読込により、作業対象機器を間違える心配がないため、紙媒体に比べ、より「安全・確実な運転操作」ができるという評価を得た。

5. システム運用におけるランニングコスト

「排水機場運転支援システム」および「不具合対応支援システム」は、受注者のシステム、クラウドサーバーを利用し構築しているため、システム運用のためには、受注者と保守契約を結ぶ必要がある。

システム運用にかかるコストとして、表4に示す項目が挙げられる。

表4 ランニングコスト一覧

項目	詳細
クラウドサーバーの保守・運用	クラウドサーバーの利用・管理 システムメンテナンス データベースのバックアップ ウイルス対策・脆弱性対応 保守サポート・問い合わせ対応
タブレット端末 HMDの保守	ソフトウェアの保守
システムログインID	排水機場運転支援システム 不具合対応支援システム
Wi-Fiまたは テザリング使用料	タブレット端末・HMDの通信に利用する 携帯回線通信料（携帯会社への支払い）

ICT は各方面でその有用性が注目されている技術であり、今後さらに開発、普及が進むと考えられるため、ランニングコストは現在より安価となっていくことが予想される。

6. まとめ

排水機場運転支援システムの構築により、従来に比べ操作時間を短縮し、ヒューマンエラーのリスクを低減した。これにより、「職種を問わず全ての職員による迅速かつ安全・確実な運転操作」が可能となった。

また、不具合対応支援システムの構築により、機械職等を派遣せざるを得なかった故障・不具合でも、遠隔地からの支援だけで、「職種を問わず全ての職員による最低限度の不具合対応」を行うことが可能となった。

7. 今後の課題

琵琶湖総管では、運転操作支援、不具合対応支援としてシステムの開発・構築を行ったが、ダム・水路等の管理においては、防災時の下流巡視、放流警報、直営点検、緊急時の操作指示等に活用することで、管理業務の効率化を図ることができると考えられる。

また、琵琶湖総管のように多数の設備を管理し、現場まで移動距離がある事務所では、工事の施工管理への活用も可能であると考えられる。

さらに、双方向通信中の映像は動画として保存できるため、不具合対応支援以外にも、工事の施工監督、設備の直営点検時に使用することで、経験の浅い職員への技術伝承に活用できる。

本システムは、アイデア次第でさらなる業務の効率化・高度化を目指すことができるため、様々な分野へ活用方法を発展させていくことが今後の課題である。

本論文は、著者の前任地である（独）水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 機械課での成果について取りまとめたものである。

長大法面における空中写真測量による出来形管理

松田 裕也

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

2011年台風12号(紀伊半島大水害)による豪雨によって、奈良県十津川村の栗平地区で大規模な斜面崩壊及び河道閉塞が発生した。天然ダムの侵食崩壊を抑制するため天然ダム上の仮排水路工の施工に伴う掘削を行った。その出来形管理について、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を使用した空中写真測量技術の適用性を検証した。ここでは、①毎月の空中写真測量により生成した3D地形データより算出した土量の進捗管理、②掘削工完了後の出来形管理についてまとめ、今後の考慮すべき事項について考察した。

キーワード UAV, i-Construction, 空中写真測量, 長大法面

1. 災害～仮排水路構築と航測に至るまでの経緯

当該地は、奈良県十津川村の新宮川水系熊野川(十津川)支川栗平川に位置する。

その栗平川において2011年9月台風12号時に左岸の北西向き斜面で幅約600m, 斜面長約650mの大規模な斜面崩壊が発生し、高さ約100m, 幅約350mの天然ダムが形成された。

崩壊の拡大が懸念されるとともに、形成された天然ダムによって満水時には約700万 m^3 の水が湛水し、天然ダムが決壊すれば、下流域の住民への影響が長期化する懸念があり、緊急的な対策が急がれた。

その対策として、本工事では天然ダムの侵食崩壊を抑制するための仮排水路工の施工を行った。

仮排水路工の掘削箇所は、斜面崩壊箇所の対岸に位置し、その掘削土量は約26万 m^3 と多量であった。また、本施工箇所は、崩壊斜面の直下で天然ダム上であるため、効率かつ迅速な施工管理および広範囲な掘削工事の出来形管理が必要とされたことから、UAVを使用した空中写真測量による出来形管理を行った。

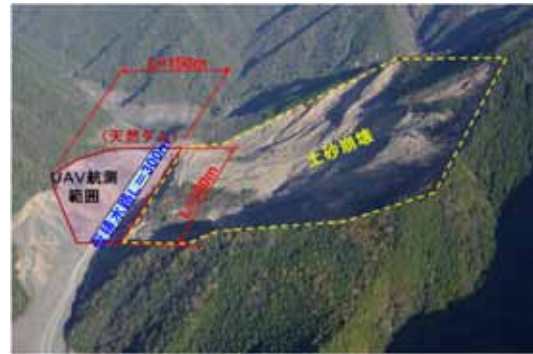
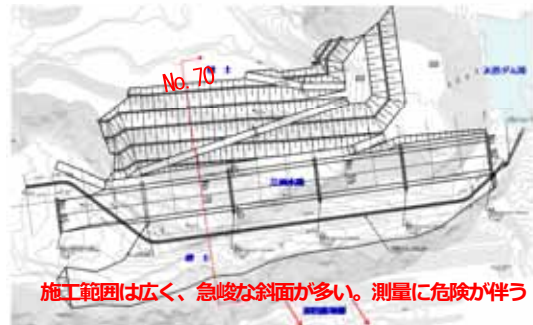
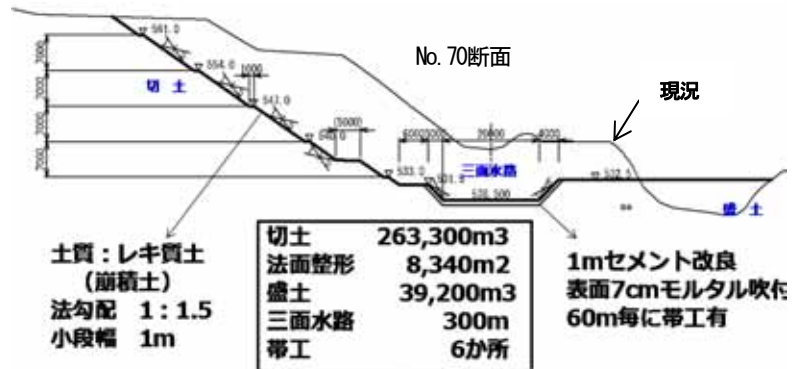


写真-1 実証現場全景



仮排水路工平面図

工事件名：栗平地区砂防堰堤他工事
 工事場所：奈良県吉野郡十津川村内原地先
 工期：2015年7月14日～2017年1月30日
 内容：約26万 m^3 (切土掘削)
 L=300m, W=150m



仮排水路工断面図と概要

2. 空中写真測量実施の背景

本工事は、前述のように2011年の台風12号により形成された天然ダム上での工事である。

現場での進捗管理や出来形管理については、今までは従来通りの人力によるTS測量で実施していたが、下記のような課題があった。

- ① 施工範囲が広大で測量時間を要する。
- ② 急峻な長大法面での作業となる。
- ③ 崩落斜面直下での測量作業のため危険を伴う。

また、当該箇所では過去の出水により被災を受けており、新たな出水で現場状況が変化する可能性が大きい現場である。そのような現場において、時間を要せず安全に進捗管理及び出来形管理を行うことの出来る技術が求められた。

- ① 2012年9月 台風17号
緊急工事で施工した仮排水路が流出
- ② 2014年8月 台風11号
暗渠排水管が流出

一方で工事現場における効率化、省力化を目的としたICT(情報通信技術)を活用した技術は、2016年度より本格的に導入されている。特にUAV(Unmanned Aerial Vehicle: 小型無人航空機)による計測処理技術は、近年UAVが低価格かつ高性能になってきたことから発展が著しい技術である。本技術は、上記の課題を改善できる技術として期待できることから、今回のUAVによる空中写真測量を実施することとなった。

測量手法の検討は、現在普及しているICT技術の基準が定められる前に行ったものであるが、本現場のような箇所へのUAVによる空中写真測量の適用性を含めて飛行方法の検討とその検証結果を紹介する。

3. 測量手法の検討

平成28年3月版の国土交通省「空中写真測量(UAV)を用いた出来形管理要領(土工編)」では図-1のような要求仕様・精度(以下、i-Con仕様)を記しているが、

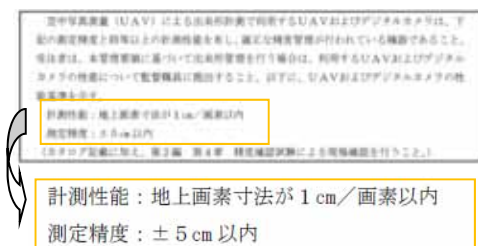


図-1 i-Con仕様の抜粋

検討当初は、測定精度の基準がなかったことから測定精度を±10cmと設定した。

この基準をベースとし、一般的で入手可能なUAV機材で測量が可能となるように、飛行高度、速度、ラップ率、シャッタースピード等について試験飛行を繰返し、下記の結果が得られた。

- ① カメラ撮像設定 (AUTOモード)
 - ・シャッタースピード (1/1000以下)
 - ・F値 (4.0)
 - ・ISO感度 (400以下)
- ② 地上標定点 (Ground Control Point 以下, GCP) の大型化 (100cm程度)
- ③ 法面に合った飛行方法 (高度一定)
- ④ ラップ率 (進行方向 80%、レーン間 60%程度)

i-Con仕様が定められてから検証しても最終的に満足しなかったのはラップ率基準(i-Con仕様では、進行方向90%、レーン間60%)であった。

《補足》

(平成28年3月版の国土交通省「空中写真測量(UAV)を用いた出来形管理要領(土工編)」)では、進行方向90%、レーン間60%と規定されているが、平成29年3月版では進行方向80%、レーン間60%に改定されている。

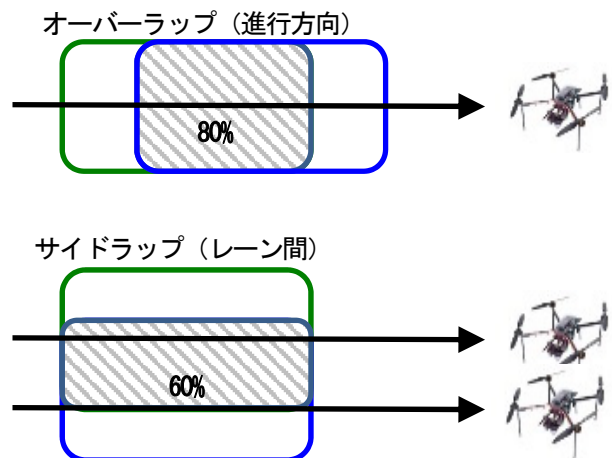


図-2 ラップ率イメージ図

また、測量精度を向上させるためには3次元データ作成に利用する画像の取捨選択が重要であり、下記の2点は特に精度への影響が出る事を確認し、処理の素材に含まない方が誤差が少ないと分かった。

- ① GCPが画像端部に位置するもの
- ② 離陸地点から撮影点迄の移動画像

4 空中写真測量の実証

(1) 使用機器

使用機器は、一般的に流通している機器を採用

- ・機体：エンルート社製 Zion QC730（重量5kg,積載4kg）
- ・点群生成ソフト：Agisoft社 Photoscan
- ・土量算出ソフト：ビーシステム社 Scan Survey Z

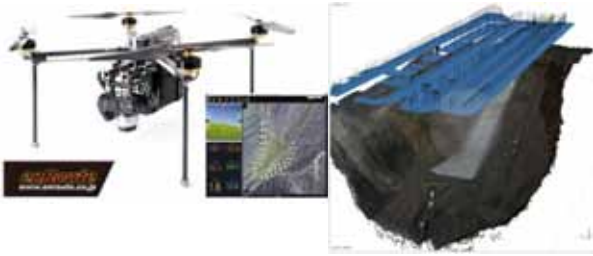


図-3 UAVと撮影航路イメージ

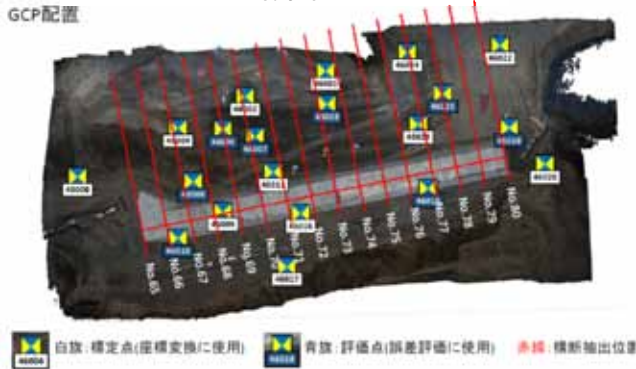


図-4 最終測量時の標定点(GCP)と検証点(CP)

(2) 航測準備

航測に先立ち地上標定点等の設置（基準点）及び航測に関する計画（航測計画（1）：進捗管理，航測計画（2）：出来形管理）を立案した。

《基準点》

- 標定点(GCP)：(図-4)
進捗管理(出来高)レベルの精度±200mmのみならず、i-Con出来形管理レベルの精度±50mmをもクリアするために近接100m以内を目標に随時拡張して設置
- 検証点(Check Point 以下, CP)：(図-4)
標定点と同様の理由により、近接200m以内を目標に随時設置

《航測計画》

- 航測計画(1)：飛行高 50~80m (図-5)
進捗管理の精度±100mmを目指した図-6に示す通りの航測計画とする。
- 航測計画(2)：飛行高 10~40m (図-5)
出来形管理の精度±50mmを目指した図-7に示す通りの航測計画とする。

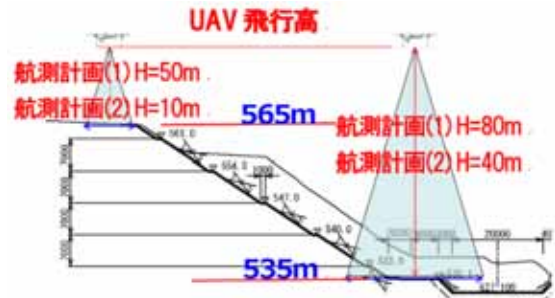


図-5 UAV航測計画の飛行高(水路中央部No.70付近)

撮影機までの距離 (m)	80.00m
焦点距離 (mm)	19mm
水平視野範囲 (m)	117.52m
垂直視野範囲 (m)	78.00m
水平mm/画素	19.59mm/画素
垂直mm/画素	19.59mm/画素
フライト飛行高度	84.32m
シャッター間隔	2秒
飛行速度	1.92m/秒

オーバーラップ：117.52÷(117.52×0.99)=1.92×5
サイドラップ：78.00×0.49=150.00

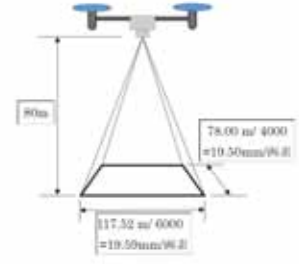


図-6 UAV航測計画 (1)

撮影機までの距離 (m)	40.00m
焦点距離 (mm)	19mm
水平視野範囲 (m)	58.76m
垂直視野範囲 (m)	39.00m
水平mm/画素	9.79mm/画素
垂直mm/画素	9.79mm/画素
フライト飛行高度	44.32m
シャッター間隔	2秒
飛行速度	1.92m/秒

オーバーラップ：58.76÷(58.76×0.99)=1.92×2
サイドラップ：39.00×0.49=150.00

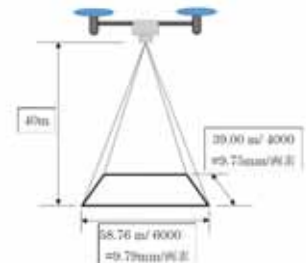


図-7 UAV航測計画 (2)

(3) 進捗管理

本件の進捗管理については、「空中写真測量 (UAV) を用いた出来形管理要領 (土工編)」の出来形管理要領1-3-3部分払い用出来形計測の精度±200mmを許容とする航測計画(1)を採用した。

また管理頻度は、出水による流出の可能性を考慮して2016年3月より2016年12月まで概ね1回/月のUAV航測による3次元モデルを生成して月ごとの掘削土量を算出した。掘削土量は、前回と当該月の3次元モデルの差分を解析ソフトを使用して算出した。結果は図-8に示すように、左側の俯瞰図と右側の平面図で表現し、それぞれ図-9に示すような凡例の施工厚さを9段階で、□5.0mごとに着色したヒートマップで表現している

(2016年12月の最終の航測は、i-Con仕様である精度±50mmを目指した航測計画(2)で実施)。これによって、掘削の進捗状況を3次元モデル及び従来の方法である2次元(図-10)でも容易に確認できるようになった。

掘削土量の検証は、当初LP測量と最終の出来形測量の差分と、進捗管理で作成した3次元データによる土量の差分の合計により比較したもので、前者で計測した土量が260,369m³(±50mmで管理)、後者の土量が256,514m³(±100mmで管理)となり、その差は3,855m³(+1.5%)と小さな誤差であった。

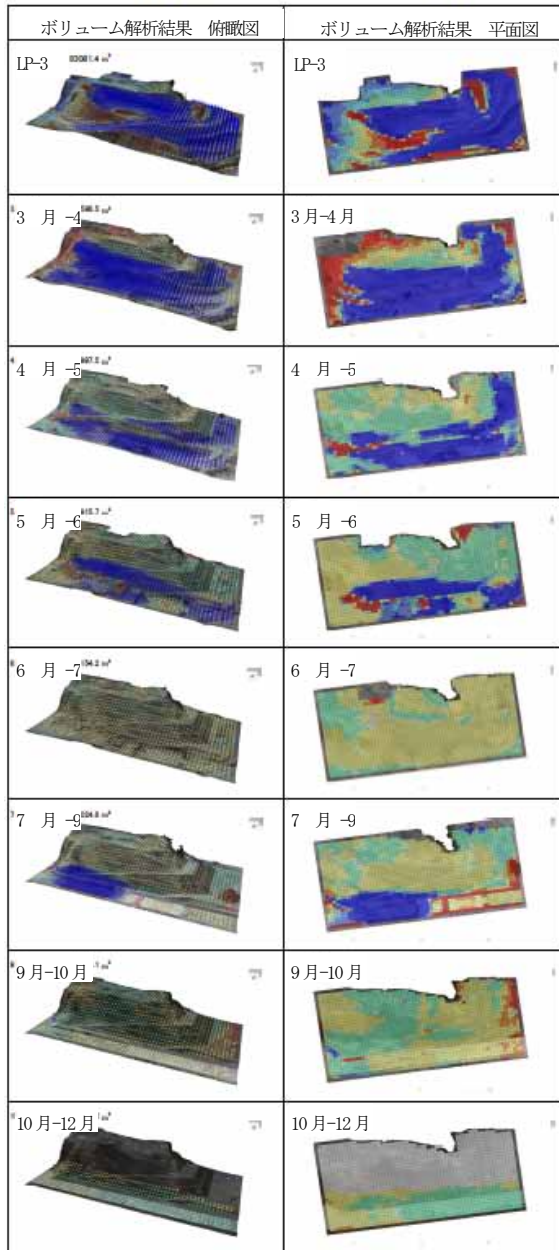


図-8 月別出来高の進捗管理状況

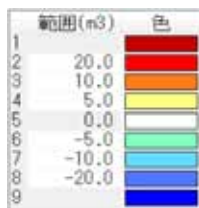


図-9 ヒートマップの着色凡例

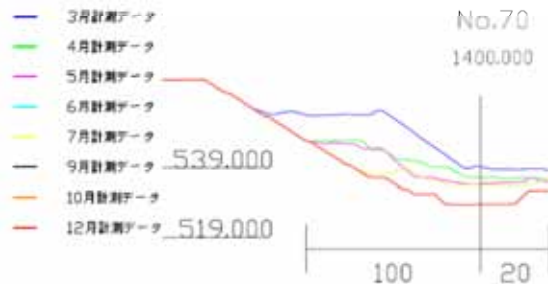


図-10 進捗管理の断面図による確認 (例 No. 70 断面)

(4) 出来形管理の精度検証

出来形管理については、航測計画(2)で進捗管理の最終回である2016年12月に実施した。結果は、図-11に示す通りであり、表-2の標定点と検証点の精度確認の結果、12点の標定点の誤差の平均は29.5mm、8点の検証点の誤差の平均は44.5mmとなり、i-Con仕様の精度±50mmを満足するものとなった。

また本件では、点群が合致せず精度が不十分であるため除外されている法肩と法尻前後50mmで、TS測量との精度検証を実施した。空中写真測量で作成された3次元のUAV出来形データを、TS測量の設計断面No.70と比較した(図-12)結果、5点の測定でその誤差は31~107mmであった。

これは、UAVの弱点である法肩、法尻等の大きな変化点が表現しづらいことに加え、測定範囲は長大法面であり、標高が低いところでは、UAVの飛行高からの高低差が大きくなることから誤差が100mm程度の低い精度となったものと考えられる。

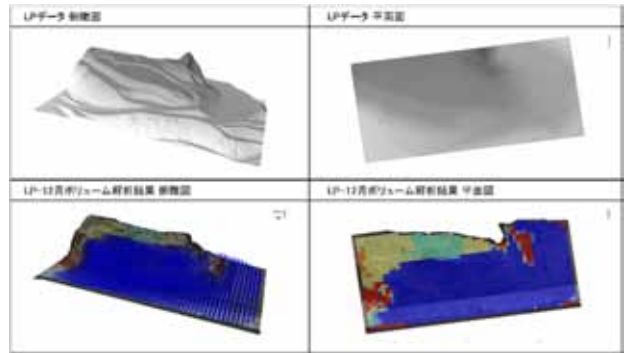


図-11 出来形管理状況 (ヒートマップ・3Dモデル)

表-2 出来形測量時の標定点・検証点 (単位 mm)

名称	誤差	名称	誤差		
標定点	46001	0.0491	評価点	46003	0.0494
	46002	0.0340		46005	0.0476
	46004	0.0346		46006	0.0110
	46008	0.0088		46007	0.0670
	46009	0.0249		46010	0.0397
	46011	0.0447		46018	0.0428
	46016	0.0163		46019	0.0597
	46017	0.0283		46025	0.0387
	46020	0.0306			
	46022	0.0235			
	46023	0.0231			
	46024	0.0410			
平均値	0.0295	平均値	0.0445		

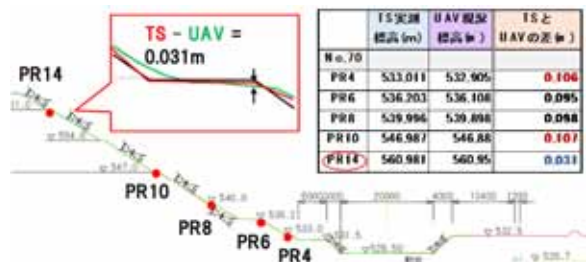


図-12 UAV航測とTS測量の比較

5. まとめ

本工事のような天然ダム上の長大法面での空中写真測量は、高低差のある箇所でのTS測量との近似は難しいものの、施工完了時の出来形管理の精度検証では、標定点と検証点についてi-Con仕様の±50mmを満足する結果となったことから、UAVを活用した空中写真測量による出来形管理は有効であると考えられる。

また、本件の測量範囲に対して、従来のTS出来形測量の手間と比較した場合、航測作業がi-Con仕様レベル

でも約1時間で済み、2名で1.5日を要していたTS測量に比べ大きな労務改善が得られると共に、本工事のような災害現場や2次災害が懸念される箇所での測量でも安全に正確な測量が行えることが分かった。

今後、長大法面における出来形管理の精度向上するためには、画像鮮度のばらつきを少なくすることが重要であるため、航測計画において、高度を変化させる分割航測や飛行速度を変化させる分割航測を行い、1画素の大きさをできる限り均一化することで精度向上に繋がると考える。

河川縦横断測量におけるALBの活用について

小川 善史¹・福岡 浩史²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第一課 (〒918-8015福井市花堂南2-14-7)

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 品質確保課 (〒918-8015福井市花堂南2-14-7)

全国の一級河川においては河川管理や河川改修計画を目的とした、定期横断測量を実施している。しかし、測量間隔においては200m毎とされており、横断測量を実施する箇所以外の地形情報については得られない。また従来手法の作業性として、水部の計測手法は、船舶による作業であるため、急流河川においては作業に危険が伴うことや、計測器が測線上に位置しているかを絶えず確認しながらの慎重な作業となり、一測線の計測に時間を要するといった課題もある。

本論文は前述のような現状と課題に対し、グリーンレーザによる定期横断測量を九頭竜川(福井県)において試み、その成果の一部を紹介し、さらにその活用の方向性について述べるものである。

キーワード ALB(Airborne Laser Bathymetry), 河川測量, 河川管理

1. はじめに

全国の一級河川では河川管理や河川改修計画を目的とした実測による定期横断測量が実施されている。しかし、河川定期横断測量は、縦断方向に200m毎に一測線程度の情報量であり、護岸前面の局所的な洗掘や、瀬・淵の詳細な地形など、河川管理が求める情報が十分得られないという現状がある。また、水部の計測手法は、主に音響測深機による計測が行われているが、船舶により河道内で作業を行うため、急流河川においては作業に危険が伴うとともに、計測器が測線上に位置しているかを絶えず確認しながらの慎重な作業となり、一測線の計測に時間を要するといった課題もある。

前述のような現状と課題に対し、陸部の河川測量においては航空レーザ計測で取得された点群データを利用した、横断図作成の事例研究が行われ、精度検証や横断図作成までの手順等が作成され実用化に向けた動きが見られる¹⁾。

一方、水部においては、近年の計測技術として、水中を透過するグリーンレーザを用いた航空レーザ測深(以下:ALB)が開発され、ALBによる河川測量への適用の研究が実施されている²⁾が、精度検証の報告が少なく点群データからの横断図作成の手順等がない現状である。以上のことを踏まえ、今回は深淺測量において、近年、水部の計測が行えるALB(Airborne Laser Bathymetry)を用いた点群データからの横断図作成を目的に、実測との精度検証を行った。また、航空レーザ計測の成果を活用した河川管理への応用を考察した。

2. 九頭竜川の特徴

今回の計測対象区間は、河床勾配は1/280~1/1,500と変化に富んでいる。水質は、日野川合流点の上流でA類型を満足するなど、比較的きれいな河川である。河川環境は、河道内に木本類や草本類の繁茂が顕著になり、砂州河原が減少していることから、礫河原の再生事業などが実施されている。特に魚類では、サクラマスやアユ等が生息し、九頭竜川中流域はカマキリ(アラレガコ)の生息地として国の天然記念物に地域指定されている。(図-1)

3. 従来手法による河川定期横断測量

河川定期横断測量は、一級河川の直轄管理区間を対象として、5年毎に実施している。

横断測量は、200m毎に配置された距離標を基に、左右岸を直線で結び、その測線上の地形の高低差を水準測量により測り、断面を作成する作業である。さらに水深が1m以上の区間では、小型の船舶を用いながらスタッフ(ロッド)もしくは音響測深機などの機材により測深する作業である³⁾。

また水部においては、急流河川においては危険が伴うとともに、計測器が測線上に位置しているかを絶えず確認しながらの慎重な作業である。

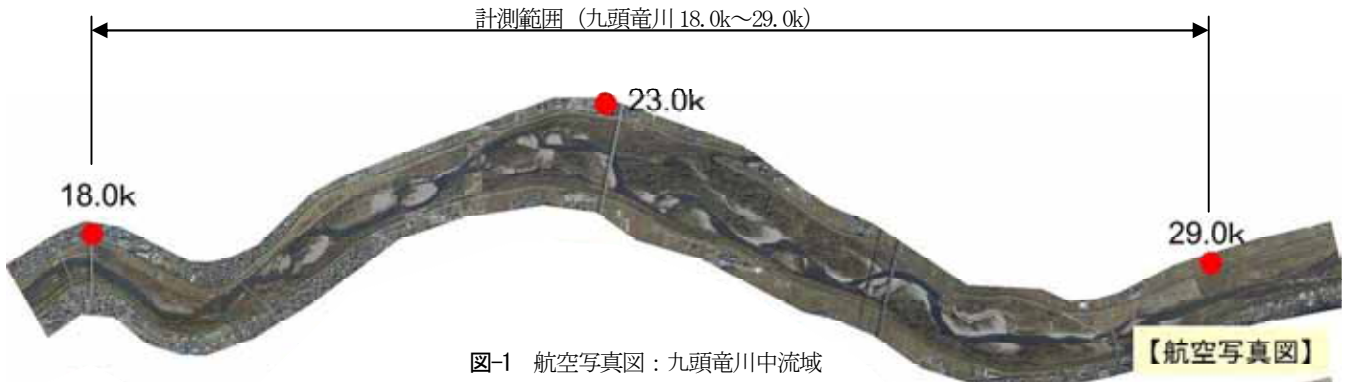


図-1 航空写真図：九頭竜川中流域

4. ALBの特徴

計測で用いるALB機器は、水部用と陸部用の2つのレーザを搭載し同時に運用するタイプである。このうち水部用のレーザは、可視域のレーザ光（緑色）を用いることで、河床の地形も計測が可能となる。なお測深性能は、透明度や水質に大きく依存するが、Chiroptera IIのカタログによると透明度の1.5倍とされ、最大15mまで測深でき、その精度は±0.15mである。計測イメージを図-2に、仕様を表-1に示す。

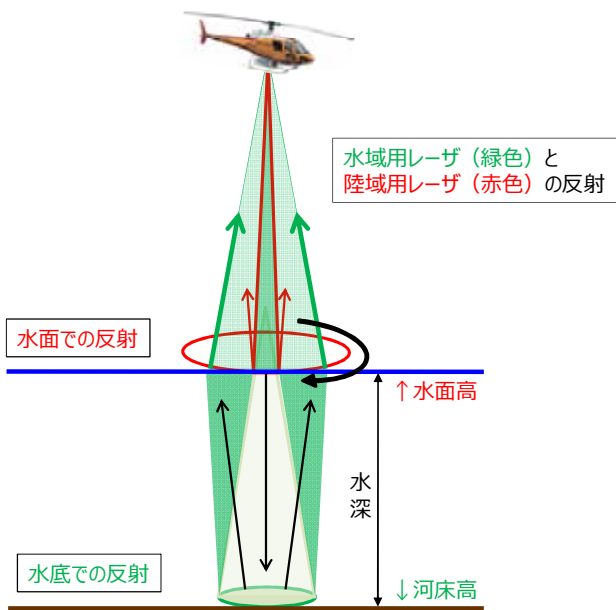


図-2 ALB機材による測深イメージ

表-1 使用する機器の仕様

項目	機器仕様	
水部用レーザ	35kHz(波長515nm)、波形記録方式	
陸部用レーザ	最大500kHz(波長1064nm)、波形記録方式	
運用対地高度	水部：500m、陸部：～1,600m	
スキャン方式	楕円方式（オプリークスキャン）	
計測密度（対地500m）	水部：約1点/m ² 陸部：約10点/m ²	
水部の測深精度	0.15m (2σ：95%)	
測深性能	～15m程度（～1.5×セッキ水深）	
デジタルカメラ	撮影バンド数	4バンド（RGB-近赤外）同時取得（機械式FMC装備）
	画素数	8000万（10,320×7,752）

(2) 計測諸元

ALBの計測延長は、距離標18.0k～29.0kの約10.8km、計測幅は約500m、計測面積は5.32 km²（陸部4.42 km²、水部0.92 km²）を対象とした(図-1)。

使用する機体は、回転翼とし飛行速度を遅くすることで水部での計測密度を約3点/m²確保するように計画した(表-2)。

(3) 計測実施

計測日は、水部での未測を防止するため、河川の濁りが少ないことや、水位が低いことが必須条件となる。そこで鳴鹿雨量観測所における降雨状況と中角水位観測所における流量状況を確認した。対象期間では大雨はないものの、2～4mm/hr程度の雨が繰り返し観測された。計測日前後の雨量・水位グラフを図-3に示す。こうした中で、ALBの計測は、無降雨の状態が比較的長く続き川の濁りが落ち着いた、平成28年12月4日の午前中に実施し、8:46～10:24の1時間38分で計測を完了した。

表-2 計測諸元

項目	計測諸元	
	水部	陸部
使用機器	回転翼	
飛行速度	72km/時（20m/秒）	
対地高度	483m～596m	
飛行高度	600m	
レーザ発射頻度	35,000発/秒	430,000発/秒
レーザスキャン角	前/後 ±14度、左/右 ±20度	
レーザスキャン頻度	約24回転/秒	約70回転/秒
サイドラップ率	50%	
計測密度	約3点/m ²	約44点/m ²
デジタル地上解像度	6cm/pixel程度	
コース数	10コース	

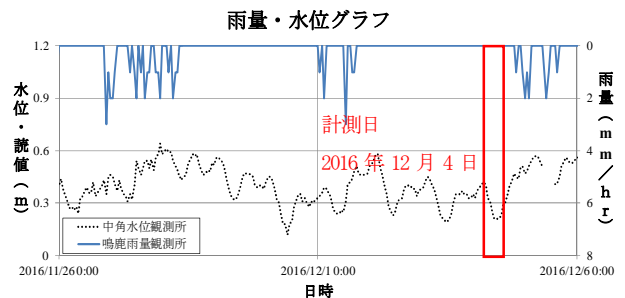


図-3 計測日前後の雨量・水位グラフ

4. 実測値との精度検証及び精度向上の検討

(1) 検証断面の設定

検証断面は、様々な水深で評価できるよう、断面を選定したほか、陸部での地表面の被覆状況の違いによる地盤高到達率なども考慮して選定した。対象断面の選定理由は表-3の通りである。

表-3 断面の選定箇所

距離標	最大水深	選定理由
18.0k	3.0m	下流側別業務成果との比較
18.8k	1.5m	河道内の被覆状況がグラウンド
23.4k	3.5m	河道内の被覆状況が樹林
26.6k	2.0m	河道内の被覆状況が草地
29.0k	1.0m	上流側別業務成果との比較

(2) 精度検証 (較差による比較)

ALBによる計測結果の精度を検証するため、実測による横断成果との標高較差を確認した。

ALBによる横断は、フィルタリング処理したALBの点群データを基に、TIN法により内挿補完した0.5mメッシュサイズのDEMデータを作成した上で、横断図を切り出した。ALBの標高は、実測点の水平位置を基準に垂線を延ばし、ALB横断図との交点標高を読み取った。この時の実測点とALBとの標高の差を較差とし、横断図を構成する全ての実測点について求めた。九頭竜川26.6kにおける重ね合わせ横断図を図-4に示すが、横断形状で大きな差異は見られなかった。

次に、各断面における較差を、水部と陸部に区分したのちに平均値と標準偏差で整理した。この結果、水部では平均値と標準偏差で10cm以下となり、河川定期縦横断の実施要領⁹⁾などの基準(±15cm)を満たしていた(表-4)。一方、陸部では基準の±15cmを超える箇所があったが、これは堤脚水路部の側溝等でALBデータによる地形の再現が難しい箇所や、護岸やブロック積等の勾急な箇所を中心に、局所的に較差が大きくなったためと考

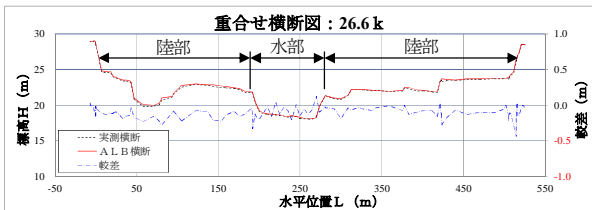


図-4 重ね合わせ横断図による断面形状の確認

表-4 各断面における較差の整理 (単位: m)

	水部			陸部		
	平均	標準偏差	点数	平均	標準偏差	点数
18.0k	0.10	0.04	14	0.01	0.68	134
18.8k	-0.01	0.07	23	-0.03	0.12	103
23.4k	0.00	0.09	10	-0.07	0.17	156
26.6k	-0.08	0.09	15	-0.11	0.08	88
29.0k	-0.06	0.07	22	0.00	0.39	115

えられる。したがって、横断図調製段階では過年度成果を基に修正することが望ましい。

(3) 精度検証 (河積断面による比較)

ALBによる計測結果を客観的に評価するため、河積を確認した。河積は、計画高水位(H.W.L.)より低い箇所を対象として断面積を計測した。この結果、ALBから作成した河積は実測値と比較して98%以上を確保しており、差異は僅かであった(図-5)(表-5)。

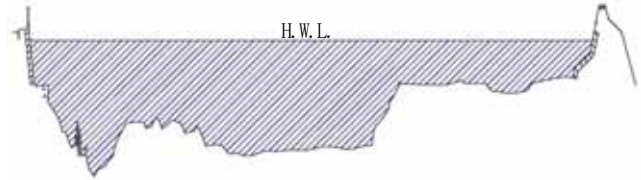


図-5 河積面積の算定イメージ

表-5 河積による面積比較 (単位: m²)

距離標	実測値	ALB	比率
18.0k	1,895	1,895	100%
18.8k	2,095	2,084	99%
23.4k	3,478	3,427	99%
26.6k	2,280	2,224	98%
29.0k	1,776	1,744	98%

5. 河川管理への適用の考察

本計測では、河川の横断図作成を目的に計測しているが、ALBは面的に計測できることで、今後の河川管理への応用が期待できる。ここでは、いくつかの事例について考察及び試行を行ったので以下に報告する。

(1) 河川管理施設点検への適用

河川管理においては、堤防等の施設の健全性を把握するため、日常的な河川巡視や出水期前の点検を行い、変状の状況によりランク付けを行っている⁹⁾。堤防および樋門等の目視できる変状においては、変状規模や施設に与える影響について定量的に計測できるが、水部などの護岸基礎部の洗掘や河岸の浸食については、水部内の状況が確認できないことから、目視できる範囲でランク付けを行っているのが現状である。このような水部の変状の状況について、ALBで計測した成果を活用した変状把握を試みた。

九頭竜川左岸の23.4kと23.6k付近は、河岸の洗掘が認められ要監視状況の箇所となっていた。そこでALBで計測した成果を活用した水深分布図を基に推測を行った(図-7)。

水深分布図では定期横断測量では把握ができていなかった測量箇所以外の箇所でも約6m洗掘していることを確認できた。また深さとその範囲等により対策の必要性についても確認できた。

さらにこれまでは対策工の具体的な立案においては対象区間での現地測量が必要となっていたが、ALBで計測

した成果により、検討対象区間において任意の箇所では横断面作成が可能であったため、対策工の検討を速やかに行うことができた(図-8)。

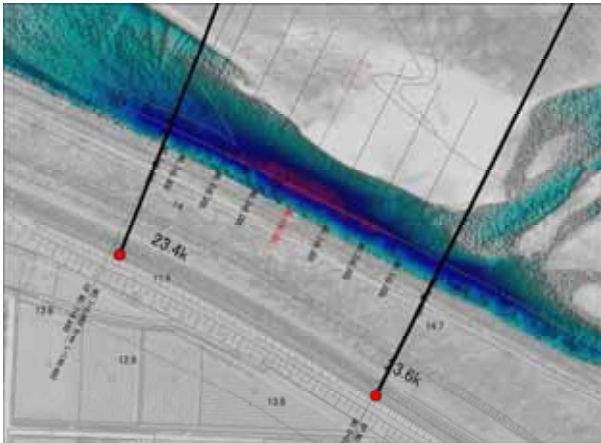


図-7 水深分布図
NO. 4+0.000

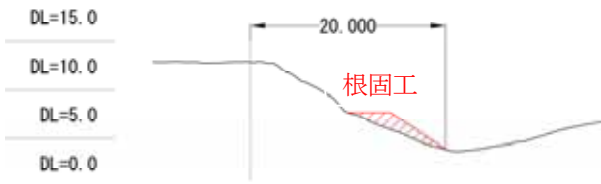


図-8 対策工横断面

(2) 許可工作物の占有状況の確認

河川構造物の点検のうち、橋脚部の洗掘状況の確認は、基礎がむき出しとなり、場合によっては根入れ長が不足し橋梁本体に影響を及ぼすこともあるため重要である。しかし定期縦横断の測線にかからない場合には、洗掘の状況を把握することはできず、見逃す可能性も高い。

今回用いるALB機器では、水部の地形が計測できることや、レーザを楕円状に発射できる特性を生かして、橋梁下の地形もある程度計測できるため、橋梁部における洗掘状況を確認した。

ALBで計測した成果から、橋脚周辺の洗掘状況が明瞭に把握することができた。橋梁直下については、橋梁が影となるため一定区間の欠測が生じているものと思われるが、橋梁前後で取得した地形データから内挿することにより、良好に補完できている(図-9)。

(3) 樹木分布図及び樹木横断面図の作成

レーザ計測での測量成果の特徴として、樹木の分布状況やその高さを面的に把握することが可能である。そこで、今回作成した横断面図に、DSMデータから作成した横断面図を重ねあわせて樹木横断面図を作成した(図-10)。

この樹木分布図及び樹木横断面図を用いることにより、樹高とH.W.L.との比較やその幅などを確認することができるため、今後の河道計算における死水域設定などへの利用が期待される。

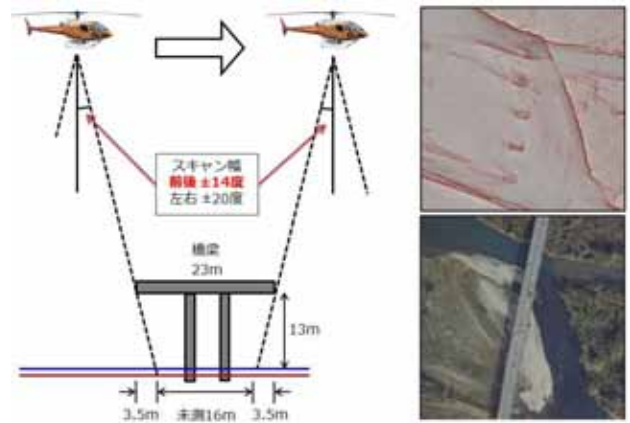


図-9 福井大橋直下における測深イメージ

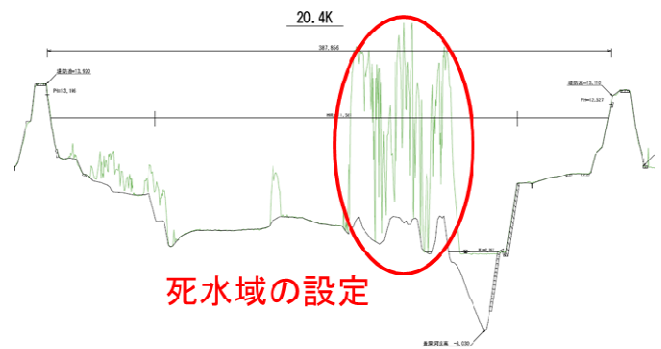
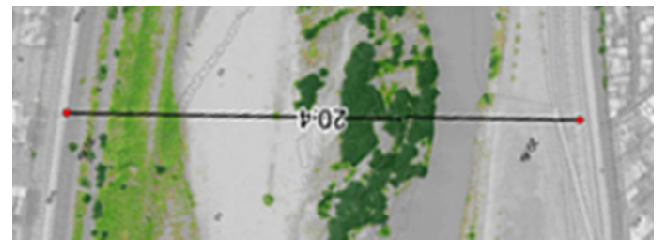


図-10 河道内樹木の把握と死水域設定のイメージ

(4) i-Constructionとの連携

計測の対象範囲である、20.6k~21.4kの河道内において、礫河原再生事業に伴う掘削等の工事がALB計測後に実施されている。

この工事は、ICT土工の対象工事として施工され、3次元設計データ交換標準(案)に基づきLandXML1.2形式で成果品が納品されている⁷⁾。LandXMLの記述では、測地原子の基準名、水平座標系の基準名を記述することとなり、インポート時の座標、標高の変換の必要が無く、ALB計測データとの連携が可能であり、施工後の維持管理業務などへの利活用が図られる。

工事完成後に納品されたLandXMLデータとALB計測データとを重ね合わせ、工事前後の面的変化を確認し(図-11)、定期横断測量で納品された工事前の横断成果を、工事の完成データを基に置き換え、工事後の横断測量データとして更新を行った(図-12)。

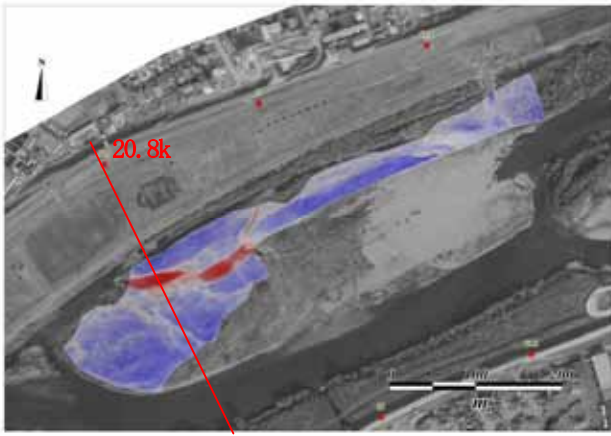


図-11 LandXML データと ALB 計測データとの重ね合わせ



図-12 工事掘削に伴う地盤高の面的変化把握

(5) 堤防点検へ活用

従来の横断測量は、観測点1点ごとの精度は高いものの計測間隔には限りがあるため、堤防天端や法面の形状などが良好に再現されていない場合もある。なお作業規定では、勾配変化点や変化が見られない場合には10m間隔程度で測量することになっている。

一方、国土技術政策総合研究所が別途業務で、1m間隔の実測横断測量を実施しており、その成果とALB計測による横断図との重ね合わせ図を作成し、再現性を検証した(図-13)。

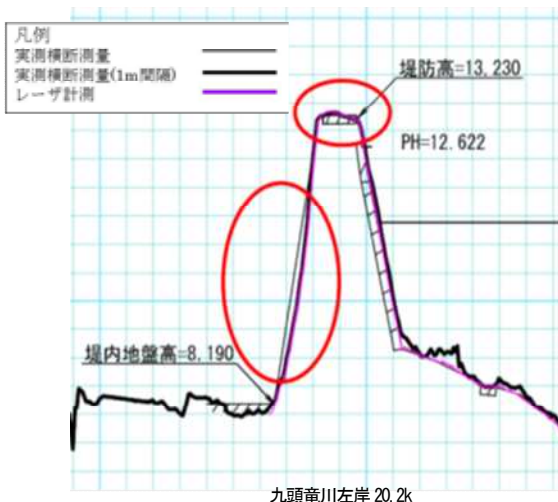


図-13 レーザ計測により作成した横断図の堤防再現性

この結果、従来の横断測量では把握が難しかった堤防天端のかまぼこ形状や法面の寺勾配などの形状などが、レーザ計測で作成した横断図では良好に再現されていることを確認した。

このことから、今後の堤防の変状確認などに成果の活用が期待される、

7. おわりに

一級河川九頭竜川の直轄管理区間のうち18.0k~29.0kを対象としてALB計測を行い、その点群データから横断図を作成して精度検証を行った。

計測に際しては、前後の降雨や水位の状況を考慮して実施日を決めたほか、計測の結果、橋梁下や白波が広がっている箇所の一部欠測がみられたものの、ほぼ全域において、大きな欠測なく作業を完了した。

水部の精度検証は、5断面を選定した上で、実測点との標高較差からその精度を評価した。その結果、①重ね合わせ横断図による形状比較では、大きな差異がみられなかったこと、②水部では、標高較差の平均値や標準偏差が10cm以下と河川測量の基準値を満足していたこと、③H.W.L以下の河積計測では、実測値と比較して98%以上確保されていたことなどから、ALB成果を横断図作成に適用することが有効であることを確認した。

最後にALB機器を用いて面的に河道内のデータを取得できることで、今後の河川管理への応用について考察した。

河川管理施設点検への応用では、水深分布図を作成することで、定期横断測量では確認できなかった箇所が最も洗掘していることを確認したほか、対策工の必要性まで推測する手がかりを導いた。

また河道内樹林評価では、樹木の高さや樹冠形状を定量的に評価する手法を用いることで、水理計算の死水域設定などに活用できる可能性を示した。

さらに橋梁部の洗掘状況の把握では、ALBが楕円状にレーザを発射する特性を生かして、橋脚周辺の洗掘状況も確認できることを確認した。

今後、様々な河川でALBでの実績を増やし、面的なデータを経年的に整備していくことで、効率的かつ効果的な河川管理に役立てていくことが期待される。

参考文献

- 1)田中成典ら：LPデータと過年度の河川定期横断測量成果を用いた横断図生成手法に関する研究，土木学会論文集F3（土木情報学），Vol.70，No.2，pp.1283-1292，2014.
- 2)今井龍一ら：河川定期横断測量へのレーザプロファイラの適用可能性と今後の展望，土木技術資料，57-7，pp.26-29，2015.
- 3)岡部貴之ら：ALBの河川縦横断測量への適用性の研究，河川技術論文集，第20巻，pp.55-60，2014.
- 4)山本一浩ら：グリーンレーザ(ALB)を用いた河川測量の試み
- 5)河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説
- 6)国土交通省：堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案），2016.
- 7)LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準（案）Ver.1.0 国土交通省国土技術政策総合研究所 2016.3

大阪国際空港B誘導路における 遮水型排水性舗装の試験施工について

寺田 ひろみ

新関西国際空港（株）伊丹空港施設オペレーション部（〒560-0036大阪府豊中市蛍池西町3-555）

大阪国際空港基本施設においては、従来より、水の浸み出し、プリスタリング、剥離等の舗装変状が繰り返し発生してきたことから、原因究明の調査を行った。その結果、長期の供用期間中に繰り返し行った単純オーバーレイ補修により、アスファルト混合物層内に蓄積された水が舗装変状の主要因であると判断した。そこで、抜本的対策として、舗装表面からの浸透水の排水と舗装内の蓄積水の上昇を遮断する機能を付加した「遮水型排水性舗装」を舗装体内に設置する舗装構造が望ましいと考え、適用性の検討のため、B誘導路において試験舗装を行った。本報告は、舗装変状の原因究明及び試験舗装について報告を行うものである。

キーワード 空港アスファルト舗装、遮水型排水性舗装、試験舗装、モニタリング

1. はじめに

1939年に開港した大阪国際空港は、1970年の万国博覧会を機に拡張整備され、高速脱出誘導路の増設を経て1991年に現在の姿となった。

滑走路、誘導路のアスファルト舗装部は、例年、春から夏の気温上昇に伴い、水の浸み出し、プリスタリング、剥離等の舗装変状が繰り返し発生している。

これまで、当時の技術を駆使し、改質アスファルト乳剤の使用や改良層の厚層化による対策を講じたものの、数年で大規模補修が必要となる場合もあり、抜本的な対策検討が急務であった。

本報告は、長年の供用期間中に繰り返し行った舗装改修により構築された特異な積層舗装に着目し、様々な調査を行った結果に基づき適用するに至った「遮水型排水性舗装」をはじめとする舗装体内に排水対策層を設置する改良構造の適用性を検証するための試験舗装について報告するものである。

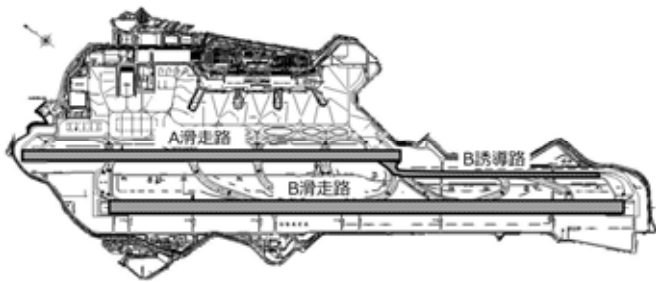


図-1 大阪国際空港平面図

2. 舗装履歴と舗装変状の特徴

当初、B誘導路で舗装変状が多く見られるようになり、その後B滑走路、A滑走路へと規模が拡大していった。施設によって改修年度、舗装厚、施工層数は異なるが、基本的な補修工法は、1990年代以前は単純オーバーレイ工法、2000年代以降は切削オーバーレイ工法により、概ね8～10年サイクルで大規模補修を行っている。

(1) B誘導路の舗装履歴と変状の特徴

B誘導路は1969年に整備され、2回の単純オーバーレイ補修及び3回の切削オーバーレイ補修が実施された。1980年代まではわだち掘れ対策に重点が置かれ、熱可塑性樹脂を添加したアスファルトを使用していたが、改修後のひび割れが多く、ひび割れ等に浸入した水の影響で、剥離やプリスタリングが顕著となった。

2003年の改修は、抜本的対策工法として、水分量及び剥離率の高い層を撤去するために、基層に大粒径アスコンを用いたシックリフト工法の採用により、28cmの切削打替えを行った¹⁾。

厚層改良により緊急補修の頻度は減少したものの、改修後7年程度で、プリスタリング、水の浸み出しが認められ、経年とともに拡大した。熱赤外線調査及び打音調査により、継続的に異常が確認される箇所は予防保全的な修繕を実施したが、開削すると、舗装面から26～27cm下に水が介在し、混合物の粒状化が確認される箇所もみられた。

1969～1979年	1986年	1995年	2003年	2014年
		表層(AC100) 40 基層(スツア) 60	表層(改質Ⅱ) 80	表層(改質Ⅱ) 80
	基層(TR100) 40	基層(TR100) 40		基層(改質Ⅱ) 80
	基層(TR100) 60	基層(TR100) 60		
	基層(TR100) 70	基層(TR100) 70	基層(大粒径) 200	
	基層(TR100) 40	基層(TR100) 40		基層(大粒径) 120
表層(TR100) 70	表層(TR100) 70	表層(TR100) 70		
基層(TR100) 80	基層(TR100) 80	基層(TR100) 80	基層(TR100) 80	基層(TR100) 80
表層(アスファルト) 40	表層(アスファルト) 40	表層(アスファルト) 40	表層(アスファルト) 40	表層(アスファルト) 40
基層(スツア) 50	基層(スツア) 50	基層(スツア) 50	基層(スツア) 50	基層(スツア) 50
基層(スツア) 50	基層(スツア) 50	基層(スツア) 50	基層(スツア) 50	基層(スツア) 50
基層(スツア) 60	基層(スツア) 60	基層(スツア) 60	基層(スツア) 60	基層(スツア) 60
粒調路盤 370	粒調路盤 370	粒調路盤 370	粒調路盤 370	粒調路盤 370
-	21cm単純オーバーレイ	10cm切削オーバーレイ	28cm切削オーバーレイ	16cm切削オーバーレイ

図-2 B誘導路の舗装履歴

(2) B滑走路の舗装履歴と変状の特徴

B滑走路は1969年に整備され、2回の単純オーバーレイ補修及び3回の切削オーバーレイ補修が行われている。

B滑走路の舗装変状は、プリスタリング、層間剥離、混合物剥離が主で、航空機の制動、偏心荷重の影響が大きいエリアではグルーピングの変形が見られる。

2009年の改修から3年経過した頃より、B滑走路に着陸した航空機が高速でブレーキをかけながら誘導路に脱出するエリアにおける舗装変状が生じ、年々緊急補修の範囲が拡大した。解体調査を行ったところ、1996年の改修工事で17cm切削と12cmのオーバーレイを行っているが、その下に存置された1996年の基層(薄層3cm)部分に滞水及び混合物の粒状化が確認された。原因として、表面のひび割れ等から浸入した水が薄層部分に滞水し、同時に航空機の偏心荷重が繰り返し作用したことで層間剥離が生じたものと推察される。

2014年の改修工事において、薄層を含む層までの撤去に加え、表基層にポリマー改質アスファルト混合物を適用し、約3年供用しているが、現時点で特に目立った変状はなく、比較的健全な状態を維持している。

1969～1978年	1989年	1996年	2009年	2014年
		表層(スツア) 50 基層(スツア) 50	表層(改質Ⅱ) 80 基層(スツア) 40	表層(改質Ⅱ) 80 基層(改質Ⅱ) 80
	表層(スツア) 50 基層(スツア) 40	表層(スツア) 50 基層(スツア) 40	表層(スツア) 50 基層(スツア) 40	表層(スツア) 40 基層(スツア) 40
表層(スツア) 50	表層(スツア) 50	表層(スツア) 50	表層(スツア) 50	表層(スツア) 50
基層(スツア) 40	基層(スツア) 40	基層(スツア) 40	基層(スツア) 40	基層(スツア) 40
表層(スツア) 40	表層(スツア) 40	表層(スツア) 40	表層(スツア) 40	表層(スツア) 40
基層(スツア) 160	基層(スツア) 160	基層(スツア) 160	基層(スツア) 160	基層(スツア) 160
粒調路盤	粒調路盤	粒調路盤	粒調路盤	粒調路盤
-	9cm単純オーバーレイ	10cm単純オーバーレイ	17cm切削12cmオーバーレイ	16cm切削オーバーレイ

図-3 B滑走路の舗装履歴

(3) A滑走路の舗装履歴と変状の特徴

A滑走路の舗装履歴は最も古く、最下層に1943年施工のコンクリート版、その上に5回の単純オーバーレイ補修及び2回の切削オーバーレイ補修が行われ、最大で100cm程度の積層舗装となっている。福岡空港や名古屋空

港の滑走路も同様の舗装履歴及び舗装構成を有するものの、A滑走路の厚みは際立っている。

舗装変状は春から夏の間に多く発生し、水の浸み出し、プリスタリング、層間剥離、混合物剥離が主な損傷である。

1943～1976年	1986年	1994年	2003年	2013年
			表層(改質Ⅱ) 60 基層(スツア) 70	表層(改質Ⅱ) 80 基層(改質Ⅱ) 80
		表層(スツア) 40 基層(スツア) 60	表層(スツア) 40 基層(スツア) 60	表層(スツア) 40 基層(スツア) 60
	表層(スツア) 40 基層(スツア) 60	表層(スツア) 40 基層(スツア) 60	表層(スツア) 40 基層(スツア) 60	表層(スツア) 40 基層(スツア) 60
表層(スツア) 40	表層(スツア) 40	表層(スツア) 40	表層(スツア) 40	表層(スツア) 40
基層(スツア) 60	基層(スツア) 60	基層(スツア) 60	基層(スツア) 60	基層(スツア) 60
スツア 150	スツア 150	スツア 150	スツア 150	スツア 150
スツア 150	スツア 150	スツア 150	スツア 150	スツア 150
スツア 70	スツア 70	スツア 70	スツア 70	スツア 70
コンクリート版 130	コンクリート版 130	コンクリート版 130	コンクリート版 130	コンクリート版 130
-	47cm単純オーバーレイ	10cm単純オーバーレイ	10cm単純オーバーレイ	13cm切削オーバーレイ

図-4 A滑走路の舗装履歴

3. 舗装変状の原因究明

A滑走路はB誘導路、B滑走路と比べ改修後早期にかつ広範囲で舗装変状が生じており、損傷の度合いも他施設と比べ高いことから、A滑走路において舗装損傷の原因究明のための各種調査を行った。

(1) コア調査

舗装表面の水の浸み出しが顕著な箇所でもコア採取による孔内観察を行ったところ、孔底部、孔側壁からの水の吹き出し、表基層の層間からの滲み出しが確認されたほか、深い層で層間剥離や一部で混合物剥離を確認した。試験結果の概要を表-1に示す。

表-1 試験結果の概要

試験項目	結果概要
密度試験 最大密度試験	締固め度は、半数以上が表基層ともに基準に達していない箇所がある 空隙率は、表層の半数程度が2%以下、基層の大部分で規格値上限の6%を超え、部分的に9.4%も確認された
含水比試験	全箇所を基層以下の層で1%以上の含水比が確認された 地中レーダ探査の深度方向の濃淡と、コア調査の含水比の高低は一致する
通気性試験	換算した透水係数は10 ⁻⁶ オーダーで表基層の透水係数は標準的である
層間引張試験	表層と基層の境界及び表基層と既設層との境界で採取時にコアが分離し試験が不可であった 試験可のコアは層間分離、付着力の低下が確認された
圧裂試験	コア採取後、孔内に滞水が認められた箇所は、長期間の滞水により混合物の剥離抵抗性が低下していた
マーシャル安定度試験	表層部は概ね良好、基層部はマーシャル安定度が低く、部分的に基層として扱うことのできないコアがあった
トレーサー試験 (蛍光水を使用した水みち追跡調査)	施工目地から基層下部へ流入することが確認された 着陸帯に設けた孔からショルダーの最下層となる旧コンクリート版へ流入することが確認された

(2) 地中レーダ探査調査

舗装変状が顕著なA滑走路中央部約1,000mにおいて、積層内に蓄積している水の範囲や深さを把握するため、地中レーダ探査を行った。その結果、滞水や砂利化等、舗装表面と異なる性状の範囲を特定した。

2012年に図-5に示すA,B,Cの3工区で改修工事を行っており、基層及び基層と既設層の境界で滞水の可能性が高い異常信号が多く見られた。

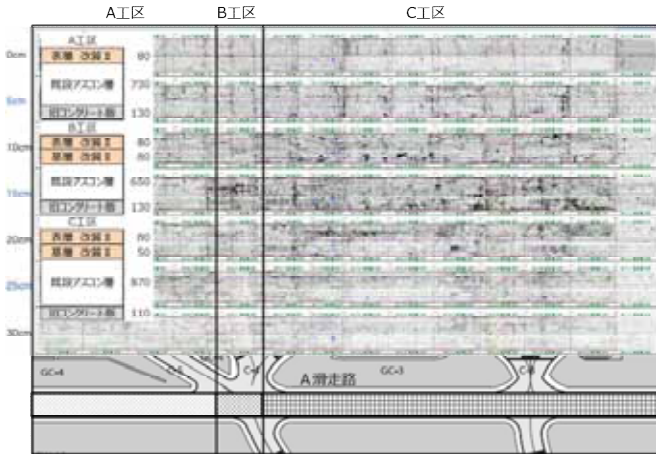


図-5 地中レーダ探査結果(黒い部分が滞水箇所)

(3) 変状の直接的原因

各施設における舗装履歴と変状の特徴及び調査結果より、旧コンクリート版及び鉋滓の存在と、長年の供用期間中に繰り返された単純オーバーレイ工法による補修が及ぼす影響について考察した。

A滑走路は最下層にコンクリート版、B誘導路は最下層に鉋滓といった不透水層が存在し、積層舗装内に蓄積した水の排水が困難な状況である。一方、B滑走路は積層舗装ではあるが、コンクリート版や鉋滓のような不透水層は存在しない。また、舗装変状は他に比べ相対的に少なく、傾向としては航空機の偏心荷重による損傷や切削時に取り残した薄層が舗装変状の要因と考えられる。

これらを踏まえ、積層舗装内に長期間にわたって蓄積された水が舗装に変状を及ぼす主要因と考え、それによって生じる舗装変状の原因を以下の通りと考えた。

a) ブリスタリング

航空機荷重により表層の空隙率が低下し、かつアスコン層間の付着力が低い箇所において、春から夏の気温上昇で舗装内の水分が水蒸気となり、体積が膨張して表層を持ち上げた。

b) 水の浸み出し

舗装内に蓄積された水が水蒸気となって上昇し舗装面で液化した、あるいはサクシオンにより舗装面に浸み出した。

c) 層間剥離

舗装内の水の影響により層間付着効果が低下すると同時に、航空機荷重によるせん断応力の発生で層間剥離が促進された。

d) 混合物剥離

舗装内の滞水と航空機荷重、気温の上昇の相互作用によりアスファルトと骨材の剥離が生じた。

(4) 水の供給ルート

舗装内の水分増加の要因として示される既往資料を参考にした²⁾A滑走路の模式図を図-6に示す。

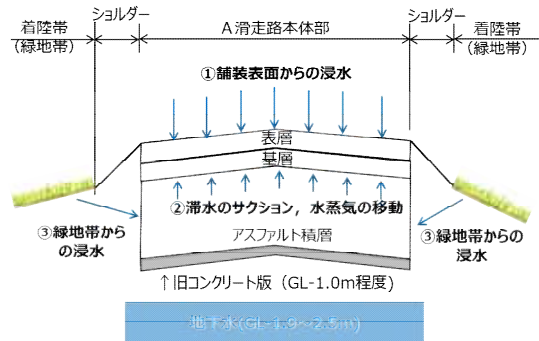


図-6 A滑走路舗装内水分増加の要因

A滑走路の地下水位は旧コンクリート版下面より低く、B誘導路の地下水位は鉋滓下面より低いいため、地下水が舗装内へ浸入することは考えにくい。逆に積層内に蓄積された水はコンクリート版や鉋滓の下方へは浸透しにくい構造であることから、舗装内の水の供給ルートを次のとおりと考えた。

- ① 施工目地等の舗装表面からの雨水の浸入
- ② 舗装内の滞水のサクシオン、水蒸気移動による浸水
- ③ その他からの浸水 (緑地帯等)

①はトレーサー試験(図-7)により施工目地から浸入した水が基層と既設層境界に滞水した結果に基づく。

②は既設層に3~4%に及ぶ含水量が確認されていること、また、過去の単純オーバーレイにより積層内に存置されたひび割れ、わだち掘れ、施工目地、グルーピングが水みちとなり、サクシオンや水蒸気の移動によって表基層まで上昇して蓄積した可能性が否定できない。加えて、本体の改修で行った単純オーバーレイと同時にショルダーのオーバーレイも行っており、積層されたショルダーは止水壁の役割を果たしている可能性がある。A滑走路、B誘導路は最下層が遮水層、ショルダーが止水壁となり、舗装本体部はプールのような状況で水を含んでいる可能性が高い。

③は旧コンクリート版が緑地帯に張り出しているため、降雨時に緑地帯に浸みこんだ雨水がコンクリート版上に到達し、A滑走路の最下層へ流入する可能性が否定できない。ただし、コンクリート版上の水が積層内を上昇して、表面に浸み出す可能性は不明である。各供給ルートは可能性として考えられるもので、相対的には、①施工目地 > ②既設舗装内の滞水の上昇 >> ③緑地帯からの浸入の順が推定されるものの、割合の推定は困難である。

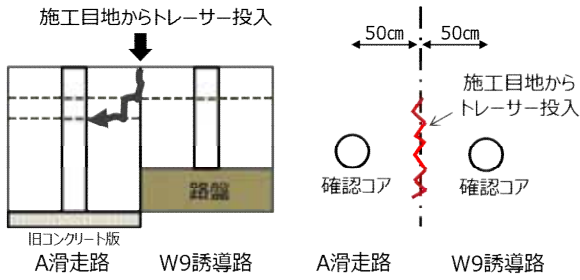


図-7 トレーサー試験（施工目地の水みち追跡調査）

4. 試験舗装構造の検討

オーバーレイの繰り返しによって積層舗装となった舗装内に蓄積した水の影響で、舗装変状が繰り返されるA滑走路、B誘導路の抜本的対策として、舗装表面から浸入した水の排水、積層内に蓄積された水の上昇を遮断する機能を付加した「排水層」+「遮水層」の設置が望ましいと考えた。舗装体内に排水層を設置した構造として、東京国際空港D滑走路の棧橋部において、舗装表面からの浸透水の排水を目的とし、基層下に排水層を設置した事例がある。当空港においては、表面からの水に加え、積層舗装内に蓄積された水の対策が必要であり、舗装内の水の上昇を遮断する「遮水層」設置の検討が必要である。かつて経験のない「排水層」+「遮水層」の設置にあたり、施工性、耐久性、排水及び遮水の効果等について、試験舗装により検証を行った。

(1) 基本方針

遮水方法及び設置深さに着目し、表層または基層以下に「排水層+遮水層」を設け、ショルダー内に導水管を敷設して暗渠排水溝に排水することを基本とした。排水性舗装、導水管、暗渠の要求性能は、舗装表面のひび割れ部等から浸透する雨水を速やかに排水する性能を有することとした。

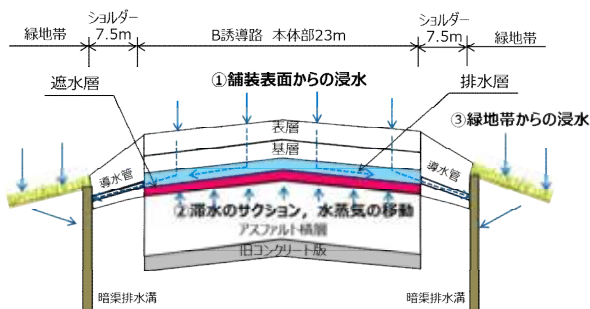


図-8 「排水層」+「遮水」設置のイメージ

(2) 遮水対策方法、舗装構造、施工位置の選定

① 遮水対策

遮水対策方法としては、遮水型排水性舗装(POSMAC)、密粒度アスファルト舗装、砕石マスチック舗装(SMA)、塗膜防水の塗布の4案を選定し、比較評価を行った結果を表-2に示す。

空港舗装工事は日々供用が前提となることから遮水型排水性舗装(POSMAC)が有効と考えた。POSMACは乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャーで高濃度改質アスファルト乳剤を多量に均一散布し、即時分解させると同時に排水性混合物を舗設する技術であるが、POSMAC用アスファルトフィニッシャーを所有している社に限られる。また、通常のPOSMACによる舗設は4~5cm程度の施工厚であるのに対し試験舗装は8cmのため、材料供給が課題である。よって、POSMACの遮水層に対し、密粒度アスファルト舗装を設置した比較断面の試験舗装を行うこととした。

なお、砕石マスチック舗装(SMA)及び塗膜防水材の塗布(人力塗布)について、遮水機能に問題はないが施工に要する作業時間に課題があり、日々供用の観点から試験舗装断面から排除した。

表-2 遮水対策の比較

遮水対策	A 遮水型排水性舗装	B 密粒度アスファルト舗装	C 砕石マスチック舗装(SMA)	D 塗膜防水材の塗布
長所・短所	空港の実績なし 表層以外の実績なし 完全防水ではない	施工が1層増	施工が1層増 Bより施工が難 遮水性は最も良い	Aより施工時間が長い
透水係数 (cm/sec)	$1 \times 10^{-7} \sim 6$	$1 \times 10^{-6} \sim 5$	1×10^{-7} 以下	単独材は不明 <参考>羽田D滑走路の供試体(SMA+防水層)は 1×10^{-7} 以下
遮水機能	○	△	◎	○
施工性	○	◎	△	△
評価	○・△	○・△ ※施工層数による	△	△

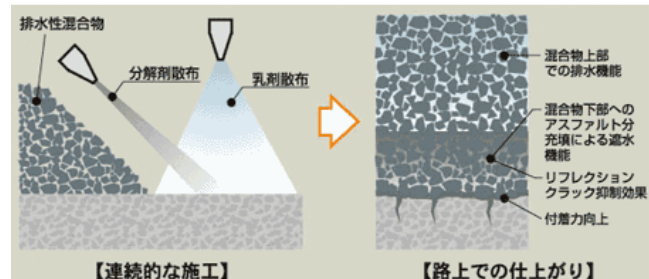


図-9 遮水型排水性舗装(POSMAC)の概念図
(遮水型排水性舗装工法研究会HPより抜粋)

② 舗装構造

舗装構造は、排水層の設置位置を表層の下、または基層の下に設置する複数案から施工性を考慮し表-3に示す3ケースを選定した。

③ 施工位置

施工位置は、延長方向に同じ交通量の条件で試験が可能となるB誘導路の直線区間とした。施工延長は各50mとし、比較のため隣接する標準部50mを設置して全区間においてモニタリングを行うこととした。標準部の舗装構成は、大阪国際空港基本施設の既往実績において標準的な改良構造であり、特に水対策を考慮していないものである。

表-3 試験舗装の比較

	(表層下) 排水性舗装+密粒As	(基層下) 遮水型排水性舗装	(表層下) 遮水型排水性舗装
舗装構造	表層改質Ⅱ(密粒) 8cm 排水性舗装 4cm 遮水層改質Ⅱ(密粒) 4cm	表層改質Ⅱ(密粒) 8cm 基層改質Ⅱ(粗粒) 8cm 遮水型排水性舗装 4cm	表層改質Ⅱ(密粒) 8cm 遮水型排水性舗装 8cm
長所	遮水層が密粒アスコンのため施工は比較的容易である	表層16cmの厚みがあり、遮水層への航空機荷重の影響が小さい	日々表層までの復旧が可能、日施工延長が最長となる
短所	二段階施工となる ⇒1段階:3層目, 2段階:2層目+1層目 遮水層の上に表層1層のため、遮水層への航空機荷重の影響が大きい	基層面で一時開放となる 遮水層が薄く空隙が目詰まりによる機能低下が懸念される	遮水層の上に表層1層のため、遮水層への航空機荷重の影響が大きい
課題	排水層とその上下層との付着, 供用による排水層の変形, 排水性能, 施工性		

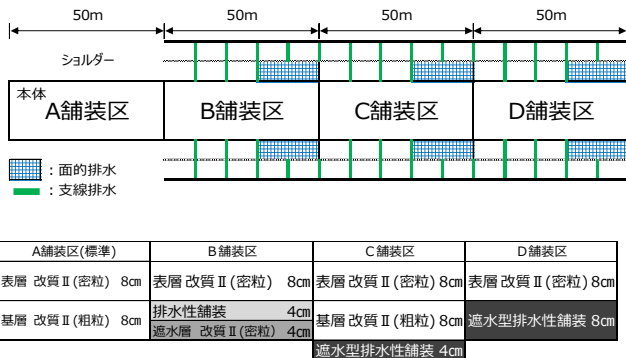


図-10 各試験舗装区の平面配置と断面

(3) 試験施工前の室内試験による確認

排水性舗装は通常の道路舗装では表層に適用される。本試験舗装は表層または基層の下部に設置するため、層間付着力試験により排水性舗装とその上部層との付着力を確認し問題がないことを確認した。

バインダーは、ポリマー改質H型または改質Ⅱ型の適用可能性を把握するため、港湾空港技術研究所所有の特殊WT試験機による繰り返し載荷試験を行い変形量の確認を行った。特殊WT試験において改質H型(排水性舗装)、改質Ⅱ型(排水性舗装)、改質Ⅱ型(密粒)の走行回数における沈下量の比較を行った結果、3者に大きな差はみられなかった。試験完了時の表面沈下量は、改質Ⅱ(密粒) < 改質H型(排水性舗装) < 改質Ⅱ型(排水性舗装)となった。ダレ量は改質Ⅱ型が大きく、長期的な耐久性を考慮し、改質H型を採用することとした。

5. モニタリング

(1) モニタリングの項目, 目的, 実施時期

2015年4月下旬にB誘導路にて試験舗装を施工して約2年が経過した。その間、各舗装区における排水及び遮水効果の比較検証のためモニタリングを継続している。その項目と目的を表-4に、実施時期を表-5に示す。

コア調査は2015年5月から2016年7月の時点で計5回実施した。現地調査は項目ごとに異なり、温度測定、地下水位観測、排水観察は、現地に設置したデータロガーにて連続的に計測し、1年のモニタリング期間を通じて傾向が把握できたため、2017年2月に計測を終了した。なお、排水観察は、排水性舗装から排水された水のみを対象としている。

(2) モニタリングの結果

2015年5月から2016年7月のモニタリング結果を表-6に示す。試験舗装区は例年春から夏にかけてプリスタリング現象が顕著であるが、排水層を敷設したB・C・D舗装区においてはプリスタリング現象が見られず、A舗装区(標準部)において多く見られた。これは、A舗装区において基層及び大粒径アスコンの水分量が他舗装区より多い水分量試験の結果と整合する。水分量の差は0.5%とわずかであるが、現象のみからは排水層設置の効果を確認できる。

1年経過時点の排水層を設置した3断面におけるモニタリング結果から、各ケースとも構造的な問題は生じておらず、排水機能は有効に機能していると考えられる。各断面ごとに大きな差は認められなかったが、標準部との違いは明確であった。

今後、3年から5年程度を目途に経過観察を行い、本工事における改良構造を設定する予定である。

表-4 モニタリング項目と目的

モニタリング項目	調査目的 (経年変化の把握)	
コア調査	コア密度試験	空隙率の把握
	含水比試験	含水比の確認
	間接引張試験	混合物の剥離抵抗性の把握
	層間付着力試験	各層間の層間付着力の把握
	加圧透水試験	遮水層の機能確認
現地調査	横断プロファイル	繰り返し荷重に伴う路面変化量の確認
	FWD試験	たわみ比による舗装強度の把握
	解体調査	各層の変形量, 水の浸み出しや層間剥離等の変状把握
	舗装内温度測定	舗装内の温度分布及び時間, 季節変動の把握
	地下水位観測	試験工区位置における地下水位の把握
排水観察	各断面の排水性能の比較	

表-5 モニタリング実施時期

モニタリング項目	2015年		2016年		2017年					
	5月	6月	8月	9月	6月	7月	2月	6月	7月	10月
コア調査	コア密度試験	○	○	○	○				●	
	含水比試験	○	○	○	○	○			●	
	間接引張試験	○	○	○	○	○			●	
	層間付着力試験	○	○	○	○	○			●	
	加圧透水試験	○				○				
現地調査	横断プロファイル	○	○	○	○	○			●	●
	FWD試験	○		○	○	○			●	
	解体調査			○	○					
	舗装内温度測定	○	→	→	→	→	→	→	→	→
	地下水位観測	○	→	→	→	→	→	→	→	→
排水観察	○	→	→	→	→	→	→	→	→	

○: 実施済 ●: 実施予定

表-6 モニタリングの結果

項目	2015年5月～2016年7月の結果	
空隙率	表層	全工区減少傾向 2016年7月の結果は2%未満(Dは2.5%)
	基層	A・Cは表層より緩やかに減少, Aは3%未満, Cは3%程度
	排水層	B・C・Dともに初期値からの変化量に大きな差はない
水分量 水分飽和度	表基層	0.5%以下(プリスタリング対策の目安は確保されている)
	排水層	水分量の推移の傾向は同じ 水分飽和度は, 他の層と比べ小さく, 排水機能は余裕があり, 余裕分は排水層が4cm, 8cmで大きな差はない
	大粒径	B・C・DがAより低く, 上層の遮水層が機能を有していると判断できる
間接引張強度	表層	全工区1.0～1.2Mpa, 傾向は各工区同じ
	基層	A・Cは1.1～1.3Mpa, 傾向は各工区同じ
層間付着強度	表層とその下の層は1Mpa以上ありプリスタリング対策の目安は確保されている	
	大粒径との層間は0.5～1.0Mpaと同程度	
加圧透水係数	B(排水層+遮水層)は透水性が低い	
	C(遮水型排水性舗装+大粒径)は透水性が非常に高い 大粒径アスコンも, 密粒アスコンと同等の遮水機能を有するが, 遮水型排水性舗装を設置することで遮水機能はさらに向上する	
横断プロファイル	最大沈下量は, 誘導路中心線から5～6mの位置に生じている 14か月の沈下量はBで相対的に大きい, 各工区の差は平均1mm以内で違いが見られない	
たわみ量	全工区たわみ比は1.0未満で構造上の問題はない Dは他と比べたわみ比にばらつきが大きく, 増加傾向	
解体調査	航空機主車輪の走行位置の表面沈下が多少見られるものの, その下層の圧縮量の変化は見られない	

6. 今後の課題

(1) 施工上の課題

① ショルダ一面的排水の施工

各舗装区のショルダーにおいて, 支線排水と面的排水の2断面を設けてモニタリングを行っているが, 単粒砕石を用いた面的排水の施工上の課題として, 締固めが困難である点が挙げられる。

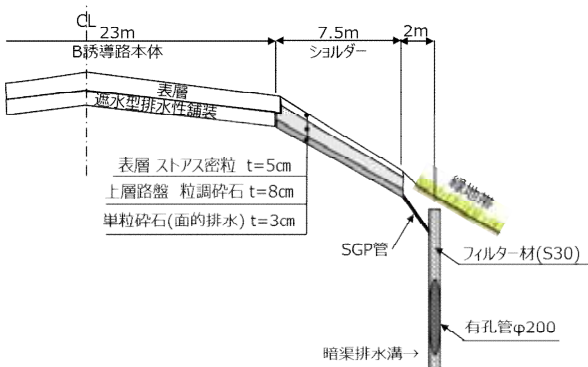


図-11 ショルダ一面的排水部の断面 (D舗装区)

② 施工目地の施工

施工目地からの水の浸入が舗装変状の要因の1つであることから, 施工ジョイント部の施工方法は極めて重要である。東京国際空港D滑走路では一層12cmの施工に対し種類の施工ジョイントで試験施工を行い, ジョイント部での締固め度が高い「重ね合わせジョイント」を採用しており³⁾, 本試験施工においても「重ね合わせジョイント」を採用した。また, 当空港基本施設のアスフ

ルト舗装工事において, 重ね合わせジョイントによる施工を標準とし, 特記仕様書に定めることとした。

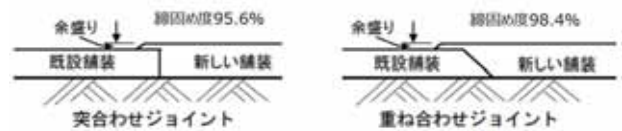


図-11 施工ジョイントの形式 (空港土木施設施工要領に加算)

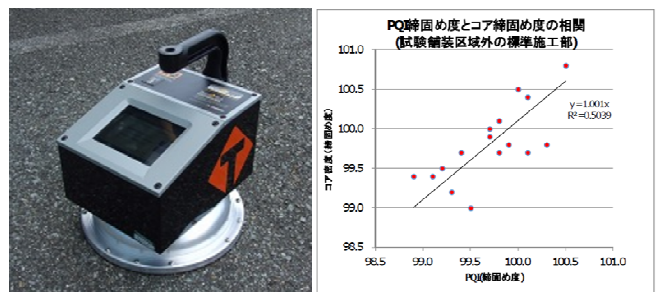
(2) 品質管理・出来形管理方法の課題

現行の空港土木工事共通仕様書に記載の管理方法は, 管理ロットが4,000m²に1点であるのに対し, 当空港における実際の施工の日施工面積は1,000m²以下であるため, それに応じた管理ロットの設定が望ましいと考える。

試験施工では, 日施工量を考慮したNEXCO西日本の管理基準を参考に, 試験数: 3個/1日/1フィニッシャ, 合格判定値: 98%を採用することとした。これにより, 試験数は現行の4,000m²に1個から24個(3個/1日/2フィニッシャ/1,000m²×4日)と大幅に増加する。そこで, 試験的にリアルタイムでの密度測定が可能なアスファルト舗装密度測定器(PQI)を併用し, 適用性を検証したところ, 抜取コア及びPQIによる締固め度に大きな差はなく, 図-12のような相関がみられた。

今後のアスファルト舗装工事においても, PQIと抜取コアを併用し, データを蓄積した上で, 不良率保証型の抜取検査基準に移行したいと考えている。

さらには, 蓄積したデータをもとに, 締固め度や空隙率の分布を統計理論的に把握したいと考えている。



PQI測定器

図-12 PQIと抜取コアの相関

謝辞: 本報告は, 大阪国際空港で行った舗装技術検討委員会の検討結果を取りまとめたものである。ご尽力頂いた各委員, 関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 瀧口高・江口秀二・茂崎慎治・福岡知久:
シクリフト工法の空港誘導路舗装への適用, 土木学会舗装工学論文集第10巻 2005年12月
- 2) 八谷好高・中村健・梅野修一・野田工・工藤隆志:
高地下水位における空港アスファルト舗装の構造設計, 港湾技研資料No875,1997.
- 3) 吉川知行・江良寧治:
羽田D滑走路埋立部および棧橋部舗装の施工について, 東京国際空港建設技術報告会(第9回),2010.6.25

橋梁の伸縮装置からの漏水対策とその効果

岡 智彦¹

¹滋賀県 土木交通部 道路課 (〒520-8577滋賀県大津市京町四丁目1番1号)。

橋梁の損傷因子の1つとして、水がある。水による主な損傷部位として支承や桁端部があり、橋面からの漏水により、桁端部の鋼部材（鉄筋または鋼製桁など）が腐食し、構造上致命的な損傷を及ぼすケースなど多数の事例がある。

主要地方道彦根近江八幡線（湖岸道路）に架かる神明橋は、伸縮装置からの漏水により、橋座部が湿潤状態となることを確認している。このため、桁端部において損傷が生じる前に、漏水対策として、簡易的な排水装置の試験設置を行ったところ、橋座部の湿潤解消の効果が確認されている。

キーワード 橋梁, 伸縮装置, 漏水対策, 簡易排水装置

1. はじめに

橋梁の伸縮装置からの雨水などによる漏水が見られる橋は湖東土木事務所管内（彦根市、愛荘町、甲良町、豊郷町、多賀町）においても多数見られる。この状態が続くことにより、桁端部の狭隘な空間は湿潤な環境となり、そこにある支承や桁端部の鋼部材を腐食させており（写真-1）、機能的または構造的な悪影響を及ぼしていることがある。

このような状況が確認される中で、橋梁長寿命化修繕計画（以下、「修繕計画」という）に基づく修繕工事を計画的に進めているところである。しかし、計画に沿って各年度に抜本的修繕を行える橋梁数は限られており、桁端部の湿潤な状態を確認しているものの、その状態を解消するための工事の実施が追いついていない場合がある。

このため、桁端部の湿潤解消の手段として、低予算かつ簡易的な工法があれば、修繕計画に基づく補修工事と併せて、橋梁の健全度の維持に繋がるのではないかの考えを抱いていた。この状況で国立研究開発法人土木研究所（以下、「土木研究所」という）より、桁の遊間部に設ける簡易排水装置の設置について、実橋での試験施工の提案を受け、当事務所内での検討の結果、試験施工を承認した。現在、主要地方道彦根近江八幡線にある「神明橋」（図-1、表-1）のA2橋台遊間部に簡易排水装置が設置されている。

本稿では、簡易排水装置の概要、試験施工承認までの経緯、設置後の効果について示す。



写真-1 コンクリート桁端部付近の損傷状況



図-1 神明橋位置図

表-1 神明橋橋梁諸元

架設年	平成7年3月
橋長	30.0m
幅員(全幅)	14.8m
上部工形式	ポストテンション方式PC単純T桁
設計荷重	TL 20
適用示方書	道路橋示方書(平成2年2月)

2. 簡易排水装置の概要

神明橋における設置後の状況を写真-2, 3に示す。



写真-2 簡易排水装置の設置状況



写真-3 排水柵

(1) 仕様

a) 素材および特徴

伸縮装置からの漏水を受ける排水樋（写真-4）は耐寒性、耐薬品性に優れるポリエチレン製であり、橋梁が伸縮しても常に遊間内部のコンクリート壁に排水樋の両側端部が密接するようなV型構造となっている。遊間長に応じて2タイプから選択できる。

設置断面イメージを図-2に示す。桁端部および胸壁と接する部分には不織布が貼付しており、密着性を高めている。さらに施工時においては、桁端部および胸壁と接する部分の微小な隙間を埋めるよう止水材を塗布し、漏水の集排水性をさらに高める構造としてある。

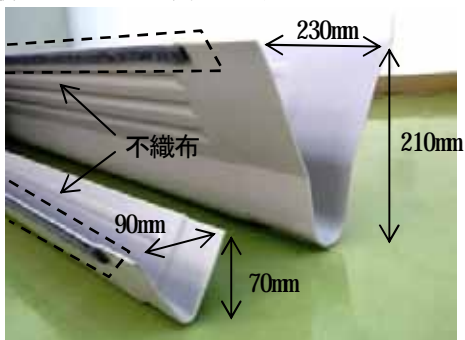


写真-4 排水樋 (2タイプ)



図-2 排水樋の設置断面イメージ

b) 適用範囲

簡易排水装置は桁端部遊間にある発泡スチロール材に穴を空けて排水樋を設けるものである。設置対象となる遊間長は50mm~120mmである。排水樋の両端部（上流側、下流側）には排水柵が設けられている。

このような装置を設置するため、水道管などの添架物の配置状況により設置が不可能な場合があり、さらに排水柵の設置スペースとして胸壁が2m以上張り出していることが望ましいとされている。また、発泡スチロールに穴を開ける作業と排水柵設置の作業スペースとして、ある程度の平地（橋軸方向1.0m 橋軸直角方向1.5m）が必要とされている。参考として簡易排水装置の設置が困難な状況を写真-5に示す。



写真-5 簡易排水装置の施工が困難な状況

(2) 施工方法

簡易排水装置は遊間内を通す排水樋と両端部に設置する排水柵から成っている。

施工工程を図-3に示す。遊間内の発泡スチロールの穴空け、排水樋の挿入、桁端部と胸壁に接する部分の止水処置（止水材塗布）、排水柵の設置となる。

施工時の特徴としては、発泡スチロールに穴を開ける際、徐々に孔径を拡げていく手法（先導孔削孔、1次拡径、2次拡径）となっている。

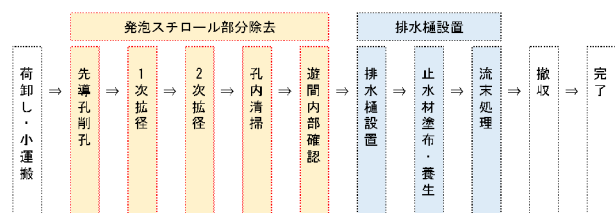


図-3 施工工程

2. 試験施工承認までの経緯

土木研究所からの試験施工の提案を受けてから施工承認までのポイントを図-4に示す。今回の簡易排水装置の設置は土木事務所内での検討の結果、道路法第24条の規定に基づき承認を行い実施されたものである。

ここで、施工承認までのポイントのうち、2つの共通点については、1つが「漏水による桁端部の損傷劣化への対応が必要であるという認識」であり、もう1つが「対策の対象が実橋である」ということであった。特に、土木研究所での研究開発は以前から進んでいるものであり、実橋での先行事例も既にあり、段階としては実橋にて実用性の検証が行われていた。

これらの2つの共通点は、漏水対策として簡易排水装置の設置承認を進める上で後述する論点整理の中で重要なものとなった。

施工承認に際して、道路法第24条または同法第32条の選択肢があった。土木事務所内での主な議論内容を表-2に示す。道路施設の一部としての効果は前述したとおり、

実橋での先行事例で漏水の排水効果が確認されており、有用と判断した。

また、狭隘な桁端部遊間内に排水設備を設置することと重要道路施設である橋梁への先駆的設備であるということから、設置後に維持管理を適切に行うことが可能かという議論については、研究施設の効果検証のためのモニタリングと併せて施設の健全性把握は可能であり、仮に不具合があったとしても維持管理についての技術的助言を受けられるという整理を行った。

その他の論点としては、先行事例はあるものの研究施設でもある簡易排水装置を承認することの意義であった。これについては、漏水による桁端部の損傷・劣化の対策が必要であるという共通認識のもとで、簡易排水装置の有用性が判断できるため、施工承認には意義があるとした。さらに、公的研究に協力すること自体にも価値があるという整理に至った。

これらの論点整理に基づき、簡易排水装置の施工後に道路施設の一部として最終的に県が引渡しを受けることとし、道路法第24条の規定に基づく施工承認を行った。

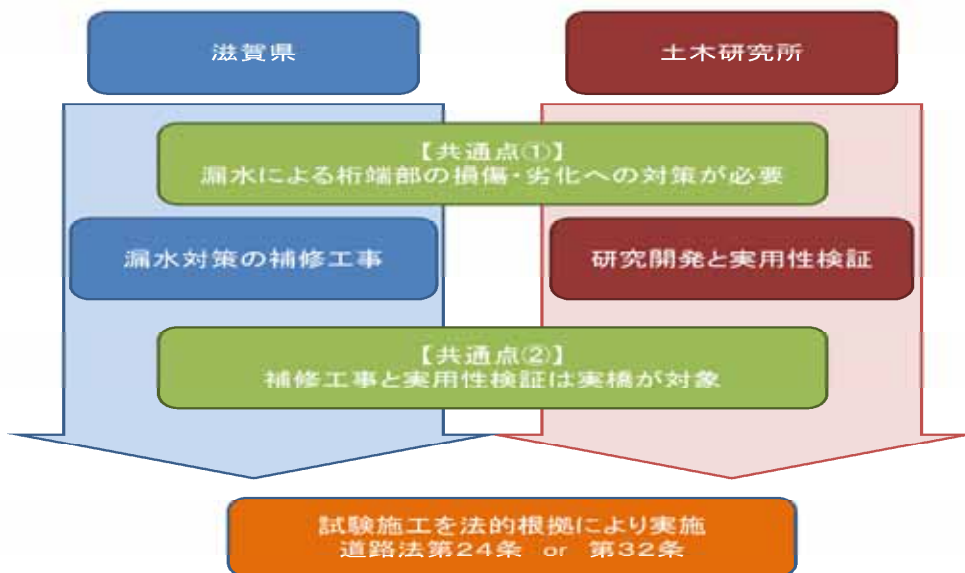


図-4 施工承認を行う上でのポイント

表-2 施工承認を行った際の主な論点整理

論点	整理
道路施設として効果的か	<ul style="list-style-type: none"> 実績があり、効果が確認されている。 有用な施設と判断できる。
道路管理者として維持管理可能か	<ul style="list-style-type: none"> 効果検証のためモニタリングが設置後続く。 研究施設でもあるため維持管理についても助言を受けられる。
道路管理者として施工承認する意義はあるのか	<ul style="list-style-type: none"> 漏水による桁端部の損傷・劣化の対策が必要という認識は共通である。 公的研究に協力すること自体に価値がある。

4. 対策後の効果確認および検証

(1) 検証方法

簡易排水装置の設置完了後の効果検証のため、橋座部と集排水の状況が分かるように桁間および下流側の排水柵にインターバルカメラを設置した(写真-6)。3箇所のインターバルカメラは3時間ごとに自動撮影する設定になっている。ただし、フラッシュ機能が無いため、夜間の撮影画像は状態が確認できない。

このインターバルカメラによる3時間ごとの画像と彦根気象台観測の降雨データにより効果検証を実施した。

(2) 簡易排水装置設置後の橋座状況

橋座部の状況を写真-7に示す。神明橋での簡易排水装置設置工事は2016年2月29日(月)～3月3日(木)の工期で実施された。

施工前の調査(2015年11月19日)では、橋座部全面に滞水が確認されていたが、施工後の調査では2016年6月17日の状況のように、局部的に湿潤な状態は見られるものの滞水は見られなくなった。

(3) 橋座状況と降雨の関係

橋座状況と降雨の関係を表-3に示す。これは、橋座お



写真-6 効果観察用のインターバルカメラ設置状況(破線丸部がカメラ)

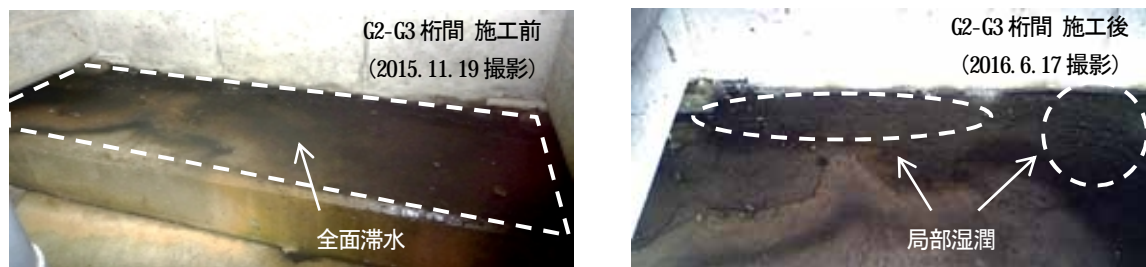


写真-7 橋座部の状況(G2-G3 桁間)

表-3 橋座状況と降雨の関係(上: G1-G2 桁間 下: 下流部排水柵)

●G1-G2桁間		時間																								計	
観測日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
7月8日																				1.0		0.5			1.0	2.5	
7月9日	1.0	2.0	4.0	5.5	9.5	5.0	3.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.5														34.0	
7月10日																											0.0
7月11日																											0.0
7月12日																											0.0
7月13日									6.0	2.5				0.5					0.5				1.0	9.0		19.5	
7月14日	0.5	2.0	0.5																			0.5	0.5			4.0	
7月15日																									0.5	0.5	
7月16日																										0.0	
7月17日										3.0																3.0	
7月18日																										0.0	
7月19日																										0.0	
7月20日																										0.0	
7月21日																										0.0	
7月22日																										0.0	
7月23日																										0.0	
7月24日																										0.0	
7月25日																										0.0	
7月26日								1.0	5.0	8.5	7.0	6.5	9.5	5.5	3.5	1.0	0.5	4.0			1.0	1.0	0.5		54.0		
7月27日																										0.0	
7月28日																										0.0	
7月29日																										0.0	
7月30日																										0.0	
7月31日																										0.0	

●下流部排水柵内		時間																								計
観測日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
7月8日																										2.5
7月9日	1.0	2.0	4.0	5.5	9.5	5.0	3.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.5								1.0		0.5			34.0	
7月10日																										0.0
7月11日																										0.0
7月12日																										0.0
7月13日									6.0	2.5				0.5					0.5				1.0	9.0		19.5
7月14日	0.5	2.0	0.5																			0.5	0.5			4.0
7月15日																									0.5	0.5
7月16日																										0.0
7月17日										3.0																3.0
7月18日																										0.0
7月19日																										0.0
7月20日																										0.0
7月21日																										0.0
7月22日																										0.0
7月23日																										0.0
7月24日																										0.0
7月25日																										0.0
7月26日								1.0	5.0	8.5	7.0	6.5	9.5	5.5	3.5	1.0	0.5	4.0			1.0	1.0	0.5		54.0	
7月27日																										0.0
7月28日																										0.0
7月29日																										0.0
7月30日																										0.0
7月31日																										0.0

●凡例(セル内の着色)



よび排水柵内の湿潤状態（排水柵内は集水状態）をインターバルカメラの画像から判断し、時間ごとに色分けしている。色が濃くなるにつれて湿潤が著しい状態である。また、数値は彦根地方気象台の観測降雨量である。

2016年7月9日は34.0mm/日の降水量があり、午前1時から午後12時まで継続的な降雨があった。この降雨の後、橋座部分は桁間の全面で滞水は見られなかったが部分的に湿潤箇所があるという状況が2日程度続いた。

2016年7月26日は54.0mm/日の降水量があった。このうち、午前8時から午後6時までに52.0mmの降水量があったが、橋座部分の湿潤状態は確認できなかった。

下流部排水柵はいづれの降雨時にも集排水されていた。

(4) 性能検証

簡易排水装置設置後に部分的な湿潤状態が降雨時などに見られる一因と考えられたのが排水樋が遊間と接触する部分の密着性であった。

遊間内への排水樋設置後の止水材塗布の状況を写真-8に示す。排水樋の設置後に遊間との設置部には前述したとおり、止水材を塗布して止水性を高めている。設置3ヶ月後の遊間内部確認において、写真-9に示すように止水材の縁切れが確認された。このため、止水材が縁切れした場合の不織布の性能を確認する試験を依頼した。

不織布の性能試験状況を写真-10に示す。写真は止水材を塗布せず、遊間内に排水樋が設置された状態を作り、着色水（赤）を漏水として滴下してるところである。

この結果、写真-11に示すように不織布に着色水が浸潤したがこれ以上の進展は見られなかった。また、不織布への流水試験でも止水効果が確認できた。



写真-8 止水材を塗布する状況（遊間内部）



写真-9 止水材の縁切れ状況（破線）

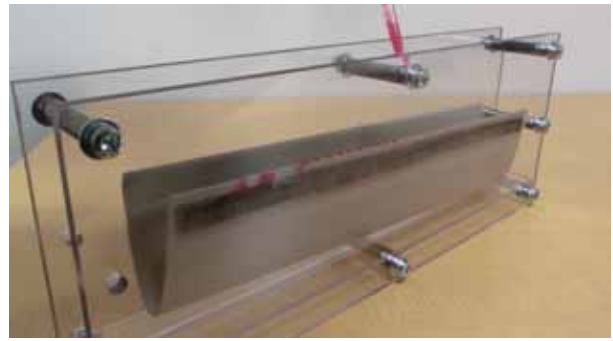


写真-10 不織布への滴下状況

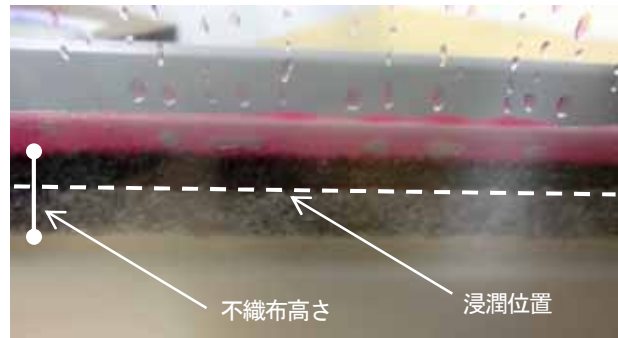


写真-11 不織布の浸潤状況

5. 評価と考察

インターバルカメラによる画像から、降雨時に排水柵内の集排水状態が確認されていることから、桁端部の遊間を伝ってくる雨水が簡易排水装置により集水されていることは確認できている。

また、橋座部では簡易排水装置の設置前に比べ、橋座部全面の滞水は確認されなくなったものの、部分的な湿潤状態が確認されていることから、排水樋の遊間との接触に課題があるのではないかと考えられた。

今回は接触部の充填・止水を期待している止水材の縁切れに注目し、接触部の不織布の性能試験を実施依頼した結果、不織布自体にも止水効果があることが分かった。

ただし、実橋の遊間壁面は平滑ではないことがあり、

（神明橋でも確認済み）、不織布の密着性が確保出来ない箇所も想定される。今後、さらに止水材の追従性向上と遊間壁面との密着性を高める工夫が必要であると考えられる。

これらの課題への取り組みにより、さらに効果的な排水装置になると思われる。

謝辞：神明橋にて設置した簡易排水装置は国立研究開発法人土木研究所および東拓工業株式会社の共同開発によるものであります。当原稿を作成するにあたり、観測資料の利用にご理解いただいた国立研究開発法人土木研究所 田中良樹主任研究員に感謝致します。また、装置の仕様・特性などに関する細かな疑問に適時対応いただいた東拓工業株式会社 藤田育男様にはお礼申し上げます。

災害時におけるUAV(無人航空機)の活用について

尾無 雅実

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

災害発生時において被災の情報を必要に応じて適切な時期に的確に取得することを目的として、UAV(無人航空機)の活用手法及び取得可能な情報(データ)を実証調査により検討した。

実証調査では、UAVによる撮影手法や搭載カメラの性能の違いによる成果の品質を確認し災害発生時において時系列的に必要な情報を踏まえ、活用方法を検討した。

その結果、発災初期段階では、迅速な画像取得を目的とした持ち運びや操作が容易な機種を利用して簡便な手法で活用することが効果的であり、緊急復旧等の段階では災害復旧の基礎資料の取得を目的として 測量成果を考慮した手法で活用することが有効であることが確認できた。

キーワード 被災状況調査, UAV, 三次元データ, 画像解析

1. はじめに

近年、災害時における緊急調査や構造物等の点検手法としてUAVの活用が広がっている。

一方、平成23年台風12号により近畿地整管内で発生した紀伊山地での大規模な土砂災害(深層崩壊)では、被災現場へのアクセスが困難であったことから従来の緊急調査による被災状況の全容把握に時間を要し、被災状況調査の初動期の課題も浮き彫りとなった。

また、近い将来に発生すると予測されている南海トラフ地震の地震災害、道路災害、河川災害へのより迅速で有効な災害対応を検討することが必要となっている。

このようなことから、迅速な災害対応を行うため、画像取得が可能で写真測量技術や画像解析技術による三次元データの迅速な取得が可能なUAVを活用し、災害発生後に迅速な情報収集を行うことが期待される。

本調査では、UAVを活用した被災状況調査を実施していくにあたり、被災状況調査における調査時期(災害対応フェーズ)、調査手法及び安全性に留意したUAVの活用方法について検証を行った。

2. 被災状況調査目的(災害対応)の時系列推移

災害対応では、表-1に示すとおり、まず第一に「何処で」、「何が」、「どのような状態で」被災しているかを把握することが重要である。次いで、災害規模の拡大防止や緊急復旧のための基礎資料を収集することが求められる。

表-1 災害対応の時系列推移

対応時期	対応内容	被災調査の目的
初期 (フェーズ1)	全体像を把握	被災箇所・種別の定性的把握
1~3日後 (フェーズ2)	被災箇所の安全確保 被害の拡大防止	被災箇所の規模、 範囲の概数把握
3日後~ (フェーズ3)	被災箇所の復旧 予防・保全対策	被災箇所の規模、 範囲の詳細把握 (測量成果)

3. 被災状況調査の品質

被災状況調査の成果は、調査時期の目的に応じて表-2に示す品質が求められる。なお、フェーズ1では、状況把握で十分であることから、迅速に画像データを提供することが重要であり、三次元データの取得は、必ずしも必要とはならない。

表-2 調査成果の品質

対応時期	品質
フェーズ1	被災の有無、種別が視認できる画像
フェーズ2	被災箇所の詳細な状態が視認できる画像
	地形がポール横断と同等精度で計測できる三次元データ
フェーズ3	1/500~1/1000レベル精度で図化(地形平面図作成)ができる画像
	1/500~1/1000レベル精度で地形が計測できる三次元データ

4.検証方法及び検証結果

UAVによる被災状況調査は、写真測量の一環であり調査にあたって規定しておく条件は、①データの標定(補正)方法、②地上解像度、③撮影方法(垂直・斜め撮影)である。

現在、UAVに関する写真測量の基準を定めているものとしては、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)国土地理院」がある。この基準は、主にI-Constructionを念頭においているため、要求精度は三次元点群データで0.05m以下となっている。

しかし、被災状況調査においては、迅速性・概要把握に主な目的を置くことから、ここまでの精度は要求しなくてもよいこととした。

(1) 検証に使用したUAVの機種

本検討に用いたUAVは、近畿技術事務所が保有している「α-UAV」及び「Phantom3」とした。

それぞれの機器仕様は、表-3に示すとおりである。

Phantom3は、機体が軽量で機体の運搬・機体組立が容易であり、機動力に優れている。

機器性能では、Phantom3の写真1枚の撮影範囲は、α-UAVと比べて広く、同一範囲を撮影する場合、写真枚数が少なくなる。また、同一ラップで撮影する場合、撮影速度が速く、コース間隔が広くなり撮影労力が少なくなる(時間短縮できる)。一方、同一高度で撮影した場合は、Phantom3の地上解像度(細密度)は、α-UAVに比べて粗くなることとなる。

表-3 検証に使用したUAVの機種

項目	α-UAV	Phantom3
機体重量	3,600g	1,280g
大きさ	99cm(最大幅)	35cm(最大幅)
機体準備	組立方式	組立済み
飛行方法	事前プログラミング	マニュアル操作
飛行制御	単独測位(GNSS)	単独測位(GNSS)
撮影位置計測	GNSS 2周波測位	単独測位(GNSS)
カメラ焦点距離	14mm(FOV=63°)	3.6mm(FOV=94°)
有効画素数	1600万画素	1200万画素

*FOVはカメラレンズ中心からの両側撮影角度(幅)

(2) 垂直撮影の三次元位置精度の検証(検証機種: α-UAV)

撮影写真を図化・画像解析した結果の位置精度及び作業量は、標定(補正)の方法によって異なるため、利用目的に応じて次の手法を検証した。

- カメラ主点位置情報(撮影位置)で補正
- 地上標定点をして補正

a) 検証方法

標定方法(補正方法)の違いによる三次元データの精度検証は、垂直撮影を行いα-UAVに搭載した撮影位置計測機器で計測(GNSS 2周波解析)したデータで補正した場合と、標定点を利用して補正した場合での結果を比較して行った。

b) 標定方法の違いによる三次元位置精度

検証結果は、表-4に示すとおり標定点を使用して補正した場合で、撮影高度100m、50mとも水平・高さ方向の誤差が1cm以下であるのに対し、撮影位置データで補正した場合は、水平・鉛直方向の誤差が数cm~数十cmとなった。なお、以下、誤差は真値からの標準偏差である。

このことから、標定点による補正を行うことで撮影高度に依存することなく高精度の成果が得られること、撮影位置データで補正する場合の精度は撮影高度に依存すること、が確認できた。

表-4 標定(補正)方法、撮影高度の違いによる誤差

撮影高度	標定点の数	X座標(cm)	Y座標(cm)	Z座標(cm)
100m	8点	0.35	0.44	0.27
	なし	32.25	63.81	29.54
50m	8点	0.26	0.41	0.13
	なし	14.69	4.97	3.91

(3) 垂直撮影の形状再現性の検証(検証機種: α-UAV)

地上解像度は、地形や地物等(被写体)の撮影可能な最小寸法で、地物・地形の再現精度に関連し解像度が小さいほど詳細な情報を取得でき、細密な三次元データを作成することができる。

地上解像度は、カメラの焦点距離と対地高度及びカメラの有効画素数に関連することから、撮影時には状況に応じて、カメラ性能や飛行高度等の設定を行う必要がある。被災調査では、複数の調査の同時進行が行われることが想定されることから、調査方法の汎用性を確保するため、地上解像度の規定のみとし、カメラ性能や飛行高度等は調査者が任意に設定することとする。なお、カメラの有効画素数が同じ場合のカメラ焦点距離と対地高度・地上解像度の関係は、図-1に示すとおりである。

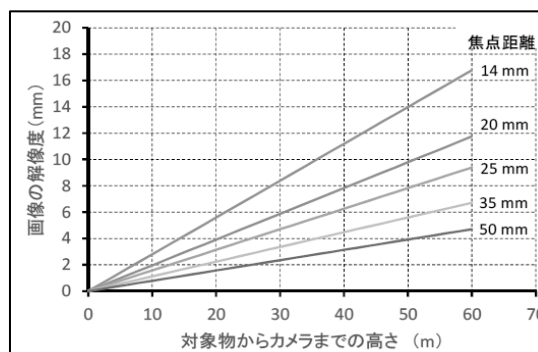


図-1 カメラ焦点距離と対地高度、地上解像度の関係

a) 検証方法

地上解像度の検証は、α-UAVの撮影高度を50m(地上解像度1.4cm)とした場合と、100m(地上解像度2.6cm)とした場合の地上解像度の異なる垂直撮影成果を用い、形状の再現精度を比較した。

b) 撮影高度の違いによる形状再現精度

検証結果は、図-2に示すとおり高度100mからの垂直撮影で標定点を使用しなかった場合で高さ方向に差がみられるものの、どのケースとも石積の崩壊した形状は再現している。このことから崩壊形状等は、撮影高度100mでも把握できることが確認できた。

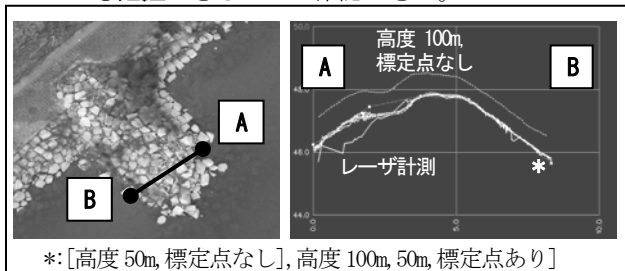


図-2 地上解像度の違いによる再現形状の比較

(4) 斜め撮影の検証 (検証機種: α-UAV)

撮影方法 (UAVの撮影方向) は、画像解析精度 (画像マッピング処理) に関連しており、安定した精度 (飛行) が得られるのは垂直撮影であるが、垂直に近い斜面や構造物側面を把握する必要がある場合は、斜め撮影を実施する必要がある。

本調査では、斜め撮影成果の精度を検証した。

a) 検証方法

撮影方法の違いによる三次元データの精度検証は、斜め撮影を行いα-UAVに搭載した撮影位置計測機器で計測 (GNSS 2周波解析) したデータで補正した場合と、標定点を利用して補正した場合の結果を比較して行った。

b) 標定方法の違いによる三次元位置精度

検証結果は、表-5に示すとおりである。なお、誤算に範囲があるのは、複数地区で検証したことによるものである。

標定点を使用して補正した場合は、水平・高さ方向の誤差が1cm以下であるのに対し、撮影位置データで補正した場合は、水平・鉛直方向の誤差が5cm~58cm程度となった。このことから、斜め撮影でも標定点による補正を行うことで高精度の成果が得られることが確認できた。また、撮影位置データで補正した場合でも、地図情報レベル 1/1,000 程度の成果が得られることが確認できた。

表-5 標定 (補正) 方法の違いによる誤差

撮影高度	標定点	X座標 (cm)	Y座標 (cm)	Z座標 (cm)
50m	32点	0.22-0.83	0.20-0.57	0.27-0.57
	なし	4.39-58.52	3.00-32.22	16.91-41.83

c) 標定方法の違いによる形状再現精度

地形の再現精度は、図-3に示すとおり標定点で補正した場合、撮影位置データで補正した場合とも地物形状に大きな違いはなく、地形の概要、定量的な概ねの損傷規模を把握することが可能であることを確認した。

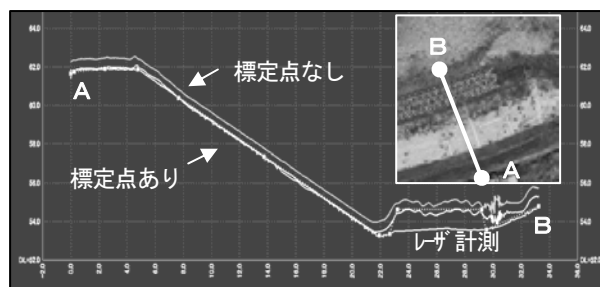


図-3 標定方法の違いによる地形の再現性

(5) α-UAVとPhantom3の比較

α-UAV及びPhantom3で垂直撮影した成果の計測精度の比較は、高度150mから撮影した画像を標定点により位置補正を行った場合について行った。

比較した結果は、表-6に示すとおりであり両機種とも概ね10cm以下の精度となった。

このことから、標定点を使用して補正する場合は両機種とも同等の精度が確保できることが確認できた。

表-6 α-UAVとPhantom3の計測精度比較

機種	X座標 (cm)	Y座標 (cm)	Z座標 (cm)
α-UAV	1.46-2.44	1.15-3.43	0.45-2.40
Phantom3	0.71-3.99	1.33-19.57	0.53-7.10

また、三次元データから地形の再現性を検証した結果は、図-4に示すとおり両機種とも斜面地形を同等な精度で再現している。このことから標定点を使用して補正する場合は、両機種とも同等の地形の再現性が得られることが確認できた。

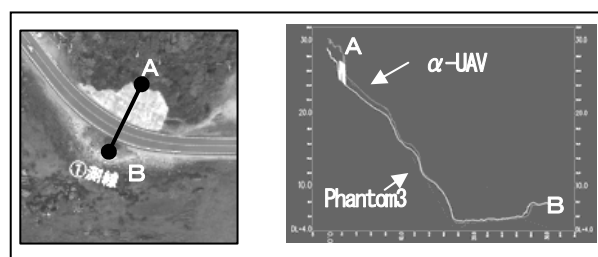


図-4 機種の違いによる再現形状の比較

(6) Phantom3の単独測位による精度

Phantom3は、α-UAVとは異なり上空での撮影位置を単独測位により計測し、画像データにその座標 (緯度、経度、高度) を記録している。

地上標定点による補正を行わないで、この記録された座標値を利用した場合の位置精度を検証した。

本調査による検証結果は、表-7に示すとおり水平位置は数m程度であるものの、高さ方向の誤差は30~50mと大きい。このことから、被災箇所を平面的に把握する場合は、支障がないが、標高が公共測量等と整合することが求められる場合は、解析した標高データの誤差計算す

るなどして補正する必要があることが確認できた。

表-7 Phantom3の単独測位による計測精度

X座標 (m)	Y座標 (m)	Z座標 (m)
1.50-8.68	0.42-6.44	27.5-49.40

また、Phantom3により撮影した結果は、高さ方向の誤差が本検証では30~50mと大きかったものの、相対位置関係（水平距離，比高）や形状の再現性は、 α -UAVと同等であり、崩壊形状等の把握は可能であることを確認した。

5.調査成果の活用方法

UAVにより撮影した写真は、主に図-6に示すフローで処理した成果が得られる。

これらの成果は、迅速性、必要な情報種別、成果の品質等が異なるため、災害対応時期に対応した活用を行う必要がある。

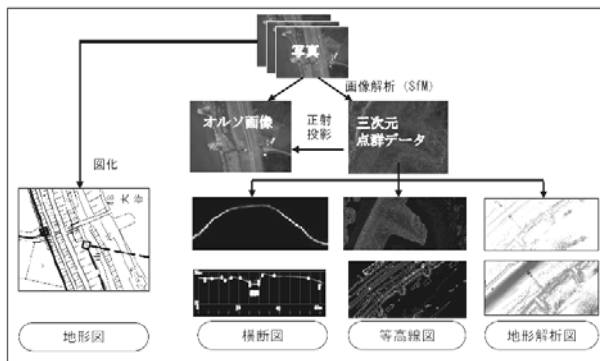


図-6 UAVの活用による成果

a) 対応フェーズ1 (初期段階)

この段階では、被災の有無や種別を確認することが重要であるため、撮影写真そのもの(単写真)又は撮影動画を活用する。低高度で撮影することから、航空機に比べて被災状況が詳細に把握することができる(写真-1参照)。

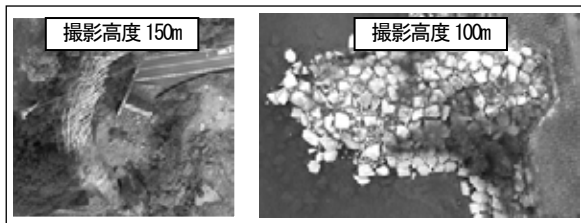


写真-1 UAVで取得した単写真

b) 対応フェーズ2 (2~3日後)

この段階では、災害の拡大や人の立ち入りの安全性を確認することが求められるため、被災状況の詳細な状態を平面的に把握するとともに、ポール横断程度の形状、規模等を把握する必要がある。このため、調査成果とし

ては、正射投影したオルソ画像(写真-2参照)や三次元データを用いた縦横断面図(図-7参照)が求められる。

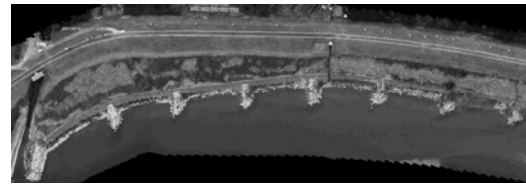


写真-2 オルソ画像

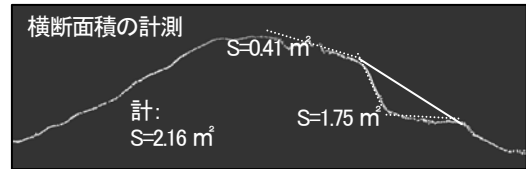


図-7 三次元データから作成した横断面図

c) 対応フェーズ3 (3日後以降)

この段階では、災害復旧設計・施工の基礎資料とするため、精度が担保できる平面地形、三次元データが必要である。このため、測量業務として調査を実施し、標定点を用いた補正により精度が確保された成果の作成が求められる。成果例を図-8~図-10に示す。

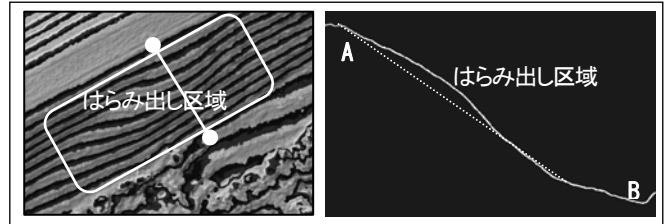


図-8 斜面のはらみ出しを再現した調査成果

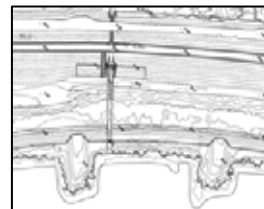


図-9 地形図

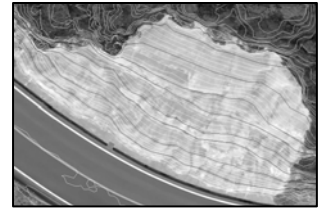


図-10 オルソ/等高線図

d) 斜め撮影の活用

斜め撮影は、垂直撮影では撮影できない直立に近い斜面(写真-3参照)や橋梁下部(図-11参照)等の場所において有効であることを確認した。

橋梁下部の地形については、橋梁の両側から斜め撮影を行いこれらの撮影成果を接合することで上部工下の三次元データが作成できる。

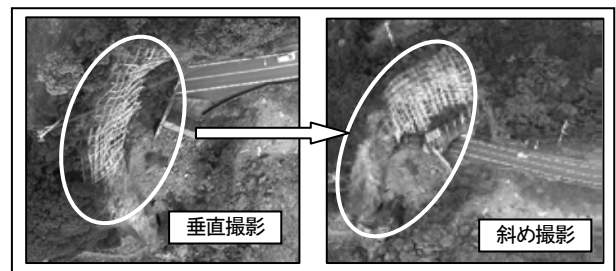


写真-3 斜面における垂直・斜め撮影の違い

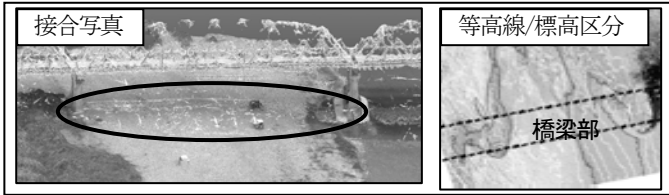


図-11 橋梁下部の状況を把握 (画像及び地形)

6.UAVの活用効果

災害対応フェーズ毎にUAVの活用効果を安全面、労力・時間、調査精度、成果の高度化について、従来調査手法、航空機による調査と比較すると表-8に示すとおりである。

表-8 被災状況調査におけるUAVの活用効果

	活用効果
フェーズ1	広域にわたる被災状況を迅速に把握することについては、従来の航空機による調査が効果的であるが、範囲を限定して航空機による調査を補完する調査としての活用は効果的である。
フェーズ2	UAVの主な活用目的は、被災直後に構造物や地形変化を迅速に把握し、応急復旧や二次災害を防止する資料を取得することとなる。この場合、区間も限定した調査となることから、従来の航空機による調査や目視調査に比べ、労力・時間及び成果品質面で活用効果は大きい。 また、人が立ち入れない場所での調査が可能であり、安全面での活用効果は大きい。
フェーズ3	成果の計測精度は、従来の現地測量に比べて劣るものの、地図情報レベルとしては高い精度(1/500等)で取得が可能であり、かつ面的なデータとなる。このため、現地測量を補完する設計資料の取得や工事箇所、その周辺区域の安全監視として、活用効果は大きい。 また、UAVを活用することで、従来の作業労力・時間を軽減することが可能で、労力面においても活用効果は大きい。

7.UAVの運用計画案

撮影諸元の違いによる比較・検証、解析手法の検討を踏まえ、災害対応フェーズに対応したUAVの運用計画案を表-9~表-11に示すとおり作成した。

なお、使用するUAV機種については、次の事項に留意状況に応じた選定を行う必要がある。

UAVの主な違いは、風等に対する対応力、撮影位置の精度、機動性、操作性である。

小型機は、機動性・操作性に優れており、局所的な範囲(区間)を短時間で数多く対応する場合に適応性が高い。一方、中型・大型機は、風への対応力が高いこと、有視界で遠距離まで飛行できることから、広範囲(区間)を対象とした概略調査や精度を要求する調査を行う場合に適応性が高い。

表-9 災害対応フェーズ1のUAV運用計画案

項目	内 容	
目的	対象範囲内における地形、構造物の変状箇所及びその種別について判読し、災害における被災状況の概要を把握することを目的とする。	
調査内容	空中写真撮影	
現地調査	補正(補正)	補正しない。
	撮影方法	地上解像度: 5cm以内 オーバーラップ率: 規定しない(未撮影区域がない)。 サイドラップ率: 規定しない(未撮影区域がない)。
整理・解析方法	データ処理	・単写真処理 ・被災箇所抽出 ・被災箇所の単写真に撮影位置を付与したExifデータを作成する。
	成果	・飛行コース図: Jpg, Tif, Pdfのいずれかの形式 ・単写真: Jpg, Tifのいずれかの形式
留意事項	・広範囲にわたる調査が想定されるが、UAVでは有人航空機の補完調査とする。 ・飛行中の機体を視認できないコース設定を行う場合は、事前コース設定が可能な機種選定を行う。	

表-10 災害対応フェーズ2のUAV運用計画案

作業項目	内 容	
目的	対象範囲内における地形、構造物の変状箇所及びその種別について判読し、災害における被災状況の概要を把握することを目的とする。	
調査内容	空中写真撮影、画像解析による三次元地形データ作成	
現地調査	補正(補正)	補正しないが、撮影時のカメラ主点位置座標を記録する。
	撮影方法	地上解像度: 3cm以内 オーバーラップ率: 80%以内。 サイドラップ率: 60%以内。
整理・解析方法	データ処理	・単写真処理 ・撮影した単写真に撮影位置の座標を付与してExifを作成する。 ・三次元データ作成 ・解析ソフトを利用して三次元地形データを作成する。 ・デジタルオルソ作成 ・撮影位置の座標、単写真、三次元データをもとにデジタルオルソ画像を作成する。 ・被災箇所抽出 ・デジタルオルソから被災箇所を抽出し、被災箇所の延長、幅等の規模を計測する。 ・被災箇所の代表測線の縦横断面を作成する。
	成果	・飛行コース図: Jpg, Tif, pdfのいずれかの形式 ・単写真: Jpg, Tifのいずれかの形式 ・被災箇所位置図: Jpg, Tifのいずれかの形式(背景はオルソ画像) ・三次元データ: L a s形式 ・デジタルオルソ画像: Tif形式 ・測線配置図及び縦横断面(ポール横断程度): Dxf形式
留意事項	・被災箇所の位置特定にあたり、カメラ主点位置座標の記録ができない場合は、標定点を設置する(距離標等の利用、位置が判明している既存地物の利用が可能)必要がある。 ・標定点を設置した場合、フェーズ3の手法と同様になるが、撮影高度が高くなるため、撮影時間、撮影枚数が少なく、成果作成までの時間がフェーズ3に比べて短時間となる。但し、成果の精度は低下する。	

表-11 災害対応フェーズ3のUAV運用計画案

作業項目	内 容	
目的	対象範囲内における地形、構造物の変状箇所及びその種別について判読し、災害における被災状況の詳細を把握することを目的とする。	
調査内容	空中写真撮影、画像解析による三次元地形データ作成	
現地調査	補正(補正)	補正する(既存地物、物標の利用も可能)。
	撮影方法	地上解像度: 1.5cm以内 オーバーラップ率: 80%以内。 サイドラップ率: 60%以内。
整理・解析方法	データ処理	・単写真処理 ・撮影した単写真に撮影位置の座標を付与してExifを作成する。 ・三次元データ作成 ・解析ソフトを利用して三次元地形データを作成する。 ・デジタルオルソ作成 ・撮影位置の座標、単写真、三次元データをもとにデジタルオルソ画像を作成する。 ・被災箇所抽出 ・デジタルオルソから被災箇所を抽出し、被災箇所の地形図(1/500)を作成する。 ・被災箇所において一定間隔毎での縦横断面を作成する。 ・被災箇所において等高線図を作成する。
	成果	・飛行コース図: Jpg, Tif, pdfのいずれかの形式 ・単写真: Jpg, Tifのいずれかの形式 ・被災箇所位置図: Jpg, Tifのいずれかの形式(背景はオルソ画像) ・三次元データ: L a s形式 ・デジタルオルソ画像: Tif形式 ・測線配置図及び縦横断面: Dxf形式 ・地形図(1/500): Dxf形式
留意事項	・標定点の配置は、区域4隅及び区域中央付近に配置するなど、設置点が偏らないようにする。(区域内にバランス良く、少なくとも5点の配置が望ましい) ・標定点設置は、VRS測量(GPS測量)により行うことで、時間短縮が可能である。	

8.今後の課題

本調査では、現有する機種や解析手法をもとに、被災状況調査におけるUAVの活用（運用）手法を検討した。その結果、多くの災害対応フェーズにおいて活用効果が確認され、災害対応フェーズ毎に対応目的と機器の特性を踏まえたUAVの運用計画案を立案した。

今後、この運用計画案に沿った活用を進めることで、円滑かつ迅速な被災状況調査の実施が可能となると考えるが、さらに活用効果や効率性を向上させるための課題として、下記の事項があげられる。

a) 標定点の設置手法

UAVで撮影した写真により、写真測量技術や画像解析技術を用いて地形図や三次元地形データを作成するためには、解析成果に位置情報を付与するための基準が必要である。このためには、撮影カメラの主点位置座標をGNSS衛星から計測して、その座標を利用する場合と地上に標定点を設置してその座標を利用する場合がある。

近畿技術事務所が保有するUAVには、カメラの主点位置を計測して記録する装置が装備されているため、成果に座標を付与することはできるものの、高精度な測量成果が必要となるものには利用できない。特に、Phantom3については、ある基準地点からの相対位置関係（比高等）を把握する場合は大きな差は生じないが、公共座標と関連付けて利用する場合は、高さ方向の誤差が大きい。また、カメラ主点位置を計測、記録することができない機種を利用した場合は、単なる写真撮影となり測量や解析には利用することができない。

より効率的にUAVを活用するためには、初期段階で撮影した成果の精度を高め、以降の測量成果として利用することが望ましい。この対応としては、地上に標定点を設置することとなるが、現状では初期の被災状況調査において標定点を設置することは、労力・設置場所の面で困難であり、対応策を検討していく必要がある。

b) レーザ計測の活用

UAVは、地物表面を撮影した写真を利用するため、植生の下面の計測は不可能である。本調査においても、植生のある箇所での地盤面のデータは取得できていない。

被災状況調査を行う場合、特にフェーズ2以降の調査においては、現地調査の安全性を確認することで活用する場面が多く発生すると想定されるが、山地災害や道路

斜面、法面の崩壊境界部には植生がある場合が多く、UAVの成果では危険性を判断するには不十分となる。こうした場所では、レーザ計測を併用して調査を行うことが有効である。近年、UAVにレーザを搭載した機種もあり、今後は汎用的に利用されていくものと推測され、被災状況調査での活用方法を検討することも望まれる。

c) 運用計画の見直し

本運用計画は、平常時での現地検証により検討したものであり、実際の災害時には予期できない事態が発生することも考えられる。また、近年のUAVに関する技術進歩は加速しており、新たな機能や、高性能な機材が実用化されることも考えられる。従って、本調査において立案した運用計画は、今後の技術動向に留意しつつ防災訓練等の中で試行し、適宜、見直しを行って、より充実した計画とすることが必要である。

d) 調査の安全

UAVは、比較的容易かつ安価に空中写真撮影などを行うことができ、三次元地形モデルの作成等を効率的に整備することができることから、多くの調査・測量の場面で活用されることとなる。しかし、現時点でUAVを使用する場合の安全対策は、絶対的な安全確保は難しいことから、UAVを活用した調査・測量では、公衆の安全を優先させて作業を実施する必要がある。特に、被災状況調査においては、調査・測量時における二次災害の防止のためにも安全管理計画を十分に検討する必要がある。

謝辞：本調査は、赤谷、紀ノ川、国道42号において実施しており、調査においてご協力頂いた関係各機関各位に対して感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル（案），2016年3月
- 2) 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），2016年3月
- 3) 国土交通省：国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画（近畿地方対策計画）（案），2014年3月
- 4) 国土交通省近畿地方整備局：大規模土砂災害発生時の対応力向上基礎資料作成業務報告書，2014年3月

実効雨量による事前通行規制の 適用性検討について

渡邊 涼一¹・上田 勝久²

¹株式会社気象工学研究所 技術グループ (〒550-0003大阪府大阪市西区京町堀1-8-5)

²阪神高速道路株式会社 神戸管理部 保安全管理課 (〒650-0041兵庫県神戸市中央区新港町16-1)

阪神高速道路では、豪雨等による土砂災害に対して利用者の安全性を確保するため、雨量規制基準を設定の上、事前通行規制をおこなっている。近年、全国各地で局地的豪雨等に伴う土砂災害が発生しており、通行規制をより適切に発動するための合理的な雨量指標が求められている。

本論では、阪神高速道路における降雨時の事前通行規制基準として、実効雨量を用いた土砂災害危険度判定手法を活用することの可否について評価を行い、その適用性を検証した。

キーワード 実効雨量，土砂災害危険度判定，通行規制基準

1. はじめに

近年、全国各地で局地的豪雨等に伴う土砂災害が発生しており、高速道路利用者の安全性を確保しつつも、不要なサービス停止を招かぬよう、通行規制をより適切に発動するための合理的な雨量指標が求められている。

一般に、土砂災害(斜面崩壊等)発生危険度の判定において、長期的雨量指標として「連続雨量」が、短期的雨量指標としては「時間雨量」が効果的な指標として用いられている。阪神高速道路の通行規制基準でも、同様の指標を採用しており、過去の実績に基づき設定した基準を超えた場合に事前通行規制を行っている。

平成26年台風11号に伴う大雨により、北神戸線の一部において、のり面崩落が発生した。のり面崩落発生時には、事前通行規制の基準に基づき通行止め規制が発動されていたが、通行止め措置がすべて完了していたわけではなく、通行車に被害を及ぼしかねない状況であった。これを踏まえた通行規制基準の見直し検討では、「実効雨量」の適用性についても検証された¹⁾。

本論では、実効雨量を用いた土砂災害危険度判定手法を、事前通行規制基準として適用することについてさらなる検証を行ったので報告する。

2. 土砂災害危険度判定手法について

(1) 実効雨量

実効雨量は、降雨量のうち土中に残留する水分量を単

一のパラメータ(半減期)を用いて表現した指標であり、長期的な影響と短期的な影響を半減期により調整できる。実効雨量の概念図を図-1に示す。実効雨量は、ある時刻に降った雨量の影響が半減期の時間だけ経過すると半分になり、時間と共に降雨の影響が減少していくことを表現している。半減期を長くしていくと、降雨による土中水分量への影響はより長時間持続することになる。

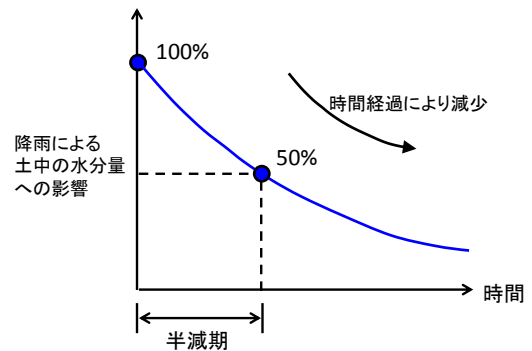


図-1 実効雨量の概念図

時刻 t における半減期 $M[h]$ の実効雨量 $R(t)[mm]$ は次式で定義される。

$$R(t) = r(t) + \alpha R(t-1) \quad (1)$$

ここで、 $r(t)$ は時刻 t における単位時間雨量であり、 $R(t-1)$ は1時間前の実効雨量である。減少係数 α は、半減期 M を用いて次式で求められる。

$$\alpha = \ln(0.5) / M \quad (2)$$

(2) 土砂災害危険度判定手法の概要

降雨に伴う土砂災害(斜面崩壊等)は、地下水位が臨界レベル(既往最大値)を超えることによって引き起こされる場合が多い。地下水位の変動は、2種類の半減期の実効雨量を組み合わせることで表現可能であるとされており²⁾、半減期を適切に設定しておけば「実効雨量既往最大値超過」から「地下水位既往最大値超過」を判定できる。しかし、地下水位変動を適切に表現できる半減期の組み合わせは、その土地(斜面)によって異なっており、地下水位未計測地点について適切な半減期の組み合わせを設定する事は困難である。

そこで本論では、様々な半減期の実効雨量の組み合わせを用いて、既往最大値超過(「これまでに経験したことのない状態」となっているか判定し、土砂災害発生危険度を評価する手法を用いた。近年の土砂災害を対象とした既往研究では、この手法の有効性が示されている³⁾⁴⁾。具体的には、スネーク曲線図を用いて、縦軸および横軸の実効雨量の半減期を様々に変化させて、いずれかの組み合わせで既往最大値(CL:クリティカルライン)を超過している場合に、土砂災害発生の危険性が高いと判定する(図-2)。

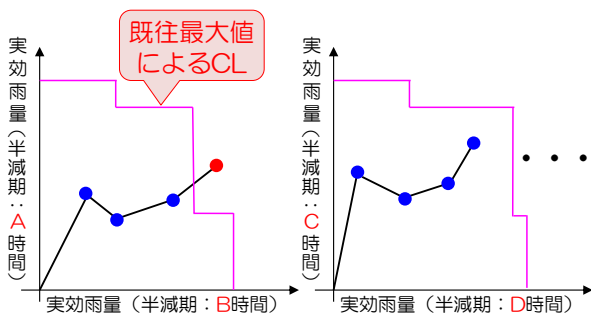


図2 土砂災害発生危険度の判定イメージ

(3) 土砂災害危険度の判定と評価手法

実効雨量の算定には、国土交通省解析雨量(表-1)を用いた。解析雨量は、全国に設置しているレーダーと地上雨量計を組み合わせで作成されるメッシュ雨量データである。阪神高速の北神戸線等では、7カ所の地上雨量計で観測した降雨データを用いて通行規制を判断しているが、解析雨量データを用いることで面的な危険度判定が可能となる。

表-1 解析雨量データの概要

データ期間	1988年4月以降
空間分解能	1km (世界測地系) ※データ期間によって格子サイズ・測地系が異なるが、格子変換・空間内挿により1km・世界測地系に統一
時間分解能	1時間 (毎正時)

本検討では、実効雨量の半減期を0.1~4000時間の範囲で、25種類設定し、合計325通りの組み合わせを用いた。半減期の設定範囲(0.1~4000時間)は、実効雨量が、降雨の短期的な影響と長期的な影響を十分に表現できるように設定している。

危険度判定に用いるCLは、メッシュ毎・半減期組み合わせ毎に、各路線供用開始~災害発生日の前月末までの既往最大値を用いて設定した。降雨事例毎に既往データが蓄積されることで、CLは更新されていく(図-3)。

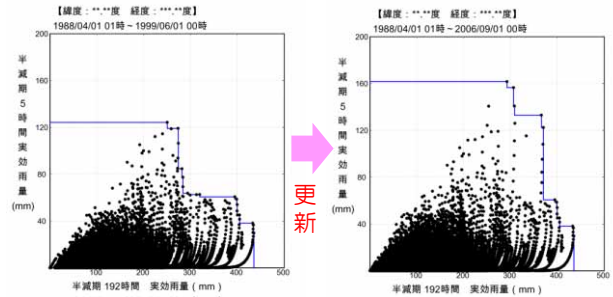


図3 既往最大値によるCLの設定と更新

上記で算出した実効雨量とCLを用いて、メッシュ毎に土砂災害危険度判定を行う。この時、「1時間であと何ミリ降れば既往最大値超過となるか」を325通りの組み合わせで算出し、その中の最小値をそのメッシュ(地点)の危険度とする。これにより、既往最大超過していない場合でも土砂災害発生の危険度を評価することができる(図-4)。

- ①メッシュ毎、半減期組み合わせ毎(325ケース)に「1時間であと何ミリ降れば既往最大値(CL)超過となるか」を算出。325ケースの最小値をそのメッシュ(地点)の危険度とする。
- ②上記の判定結果を用いて時系列や分布図を作成し、土砂災害発生危険度を評価。

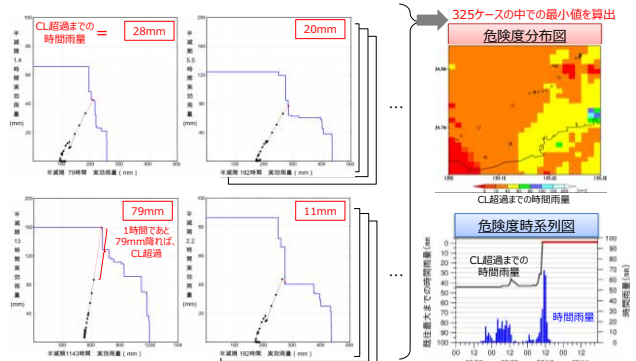


図4 危険度判定の評価方法

3. 土砂災害危険度判定手法の適用性評価

(1) 対象事例

2004年以降に発生した土砂災害を対象とし(表-2), 土砂災害危険度判定手法の検証を行った。対象事例のほとんどは, 台風に伴う降雨によって土砂災害が引き起こされていた。また, 土砂災害の発生は, 「箕谷」地点より北西部の山沿いに多く見られた(図-5, 図-6)。

表-2 検証対象とした土砂災害事例

No.	災害発生日(降雨要因)	発生路線	
1	2004年9月29日(台風21号)	7号北神戸線	
2		31号神戸山手線	
3			
4			
5		7号北神戸線	
6	2004年10月20日(台風23号)	7号北神戸線	
7		湾岸垂水線	
8			
9		7号北神戸線	
10		2006年7月20日(停滞前線)	7号北神戸線
11			7号北神戸線
12			
13			
14	2014年8月10日(台風11号)	7号北神戸線	
15		湾岸垂水線	
16			
17			
18			

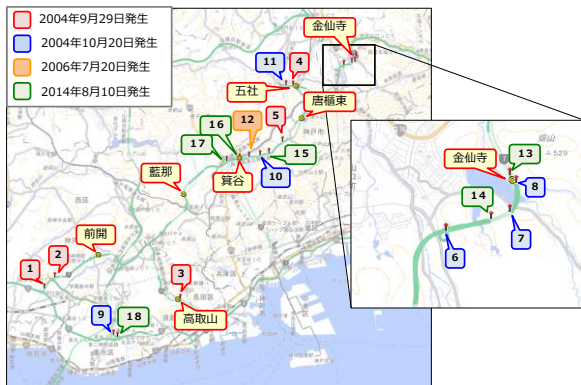


図5 地上雨量計及び土砂災害発生地点の位置

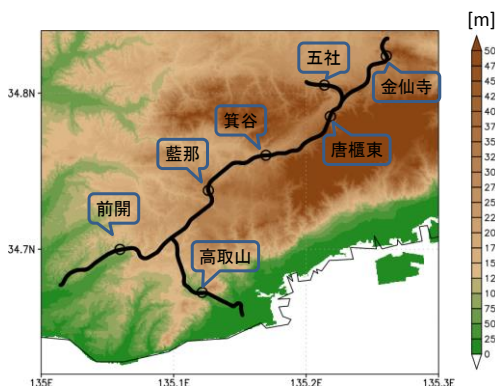


図6 標高地形図(国土地理院)

(2) 土砂災害危険度判定手法による災害事例検証

a) 災害捕捉事例

2004年9月29日事例および2014年8月10日事例における土砂災害危険度判定結果の一例を示す。算出した危険度(既往最大値超過までの時間雨量)の時系列(図-7, 図-8)をみると, 実効雨量が既往最大値を超過した時刻は災害発生時刻とほぼ一致しており, 災害発生を的確に捉えられていることが分かる。

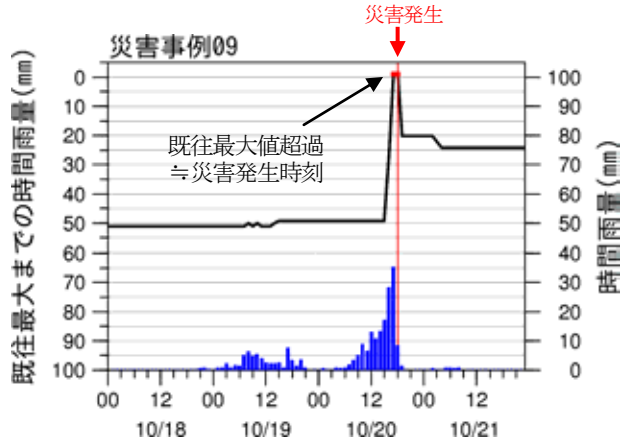


図7 危険度時系列図(2004年10月20日事例(No.9地点))

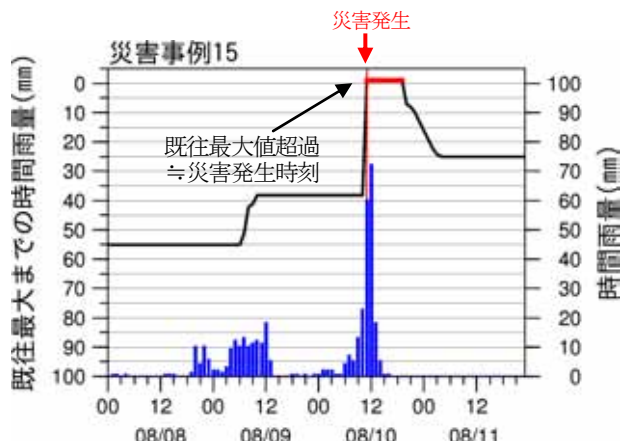


図8 危険度時系列図(2014年8月10日事例(No.15地点))

メッシュ毎に算出した危険度(既往最大値超過までの時間雨量)を用いれば, 土砂災害発生危険度を面的に把握する事も可能である。災害発生時の危険度分布図の一例を示す(図-9, 図-10)。災害発生時刻において, いずれの災害発生地点でも実効雨量が既往最大値を超過しており, 災害発生を捕捉できていたことが改めて確認できる。

この危険度判定手法では, 既往最大値を超過していても災害が発生しない場合でも, その既往データを用いてCLを更新することで, 空振り判定が減少し, 判定精度が向上していく点も大きな特徴である。

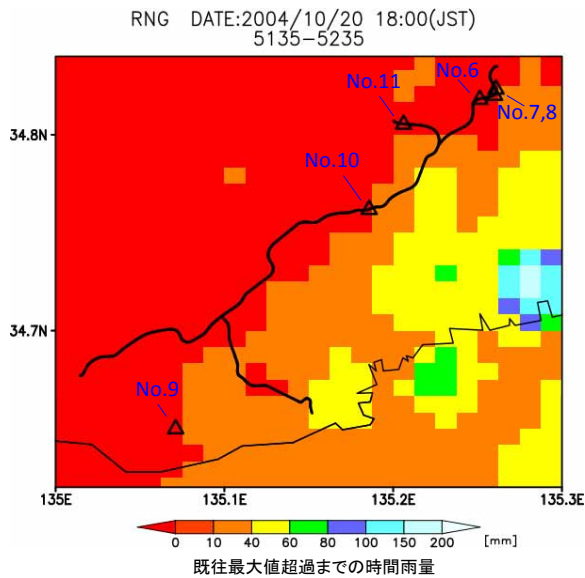


図9 災害発生時刻の危険度分布図 (2004年10月20日事例)
図中の△は災害発生地点を示す。

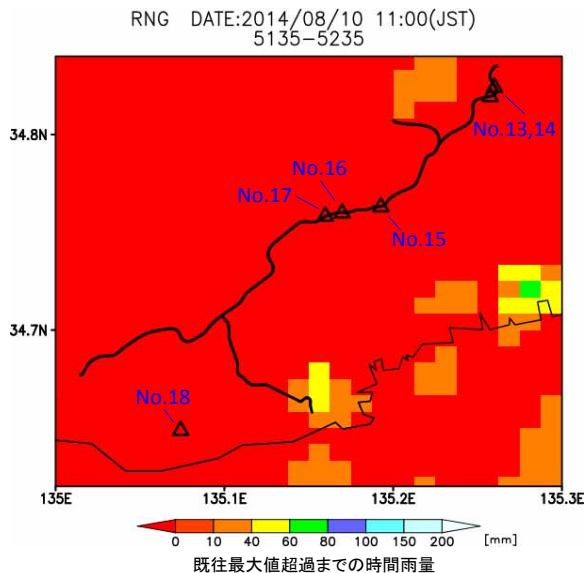


図10 災害発生時刻の危険度分布図 (2014年8月10日事例)
図中の△は災害発生地点を示す。

b) 災害見逃し事例

本手法では危険性が高いと判定されず、見逃しとなった事例もあった。2006年7月20日事例では、数日間断続的に続いた降雨により、斜面で表層崩壊が発生した。

危険度判定結果の一例を示す(図-11, 図-12)。19日～20日の災害発生時(詳細な発生時刻不明)には、既往最大値の超過はみられなかった。分布図より、周囲においても既往最大値を超過した地点はみられなかった。

この事例において表層崩壊が発生した斜面は、路線開通工事に伴う改変を受けており、斜面劣化より崩壊に至ったとされている。このような人為的な改変を受けた地点に本手法を適用する際は、斜面の劣化状況なども考慮する必要があることが示唆された。

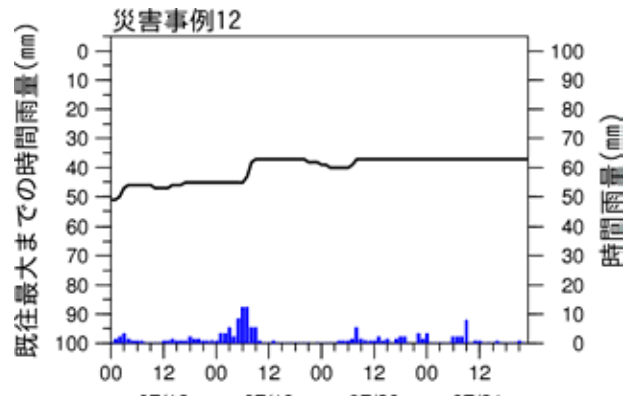


図-11 危険度時系列図 (2006年7月20日事例 (No.12地点))

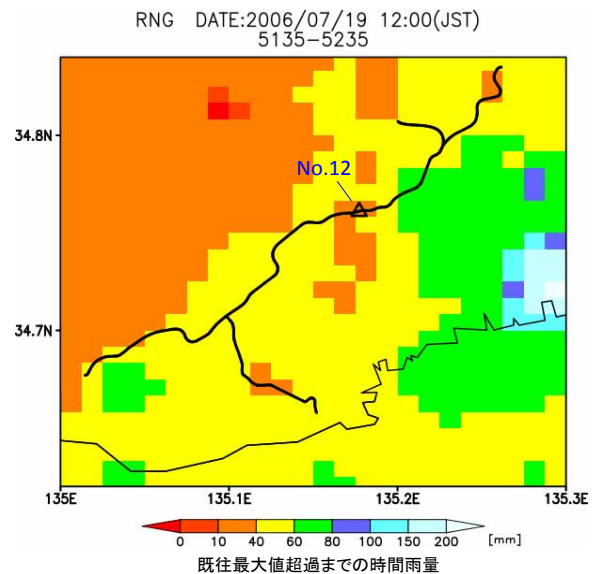


図-12 災害発生時刻の危険度分布図 (2006年7月20日事例)
図中の△は災害発生地点を示す。

(3) 通行規制基準への適用性評価

阪神高速道路 北神戸線・神戸山手線における現行の通行規制基準は、「時間雨量」と「連続雨量」の組み合わせによって設定されている。7カ所の地上雨量計の観測値に基づいて下記の①または②の基準を超過した場合に通行規制が発動される。

- ①時間雨量45mm以上かつ連続雨量160mm以上
- ②連続雨量210mm以上

連続雨量は6時間以上の降雨中断(2mm/h以下の降雨含む)によって0値にリセットする。

この現行基準による実際の通行規制発動状況と検討手法を用いた場合の通行規制発動状況を検証し、比較を行った(表-3)。ここでは、土砂災害発生事例だけでなく、通行規制を発動したものの、実際には災害が発生しなかった空規制事例についても検証を行った。事例毎にみると、検討手法を用いた場合は、現行基準に比べて見逃し、空振りが減少していることが分かる。次に、災害箇所・規制区間単位での評価(表-4, 表-5, 表-6)でも同様に検討手法の方が土砂災害の捕捉精度が高いことが分かる。

表-3 現行基準と土砂災害危険度判定手法（検討手法）における通行規制の検証。（○：災害捕捉規制，●：空規制，×：災害見逃し，△：一部捕捉・見逃し，－：判定無）

		現行基準	検討手法
土砂災害発生事例	2004年09月29日（台風21号）	×	△
	2004年10月20日（台風23号）	○	○
	2006年07月20日（停滞前線）	×	×
	2014年08月10日（台風11号）	○	○
通行規制発動事例 （※災害非発生）	2011年05月30日（台風02号）	●	－
	2011年09月03日（台風12号）	●	●
	2013年09月16日（台風18号）	●	●
	2015年07月17日（台風11号）	●	●

表-4 過去の土砂災害発生事例に対する検証（災害箇所単位）

	災害捕捉	見逃し	計
現行基準	5	13	18
検討手法	13	5	18

表-5 過去の土砂災害発生事例に対する検証（規制区間単位）

	災害捕捉	見逃し	計
現行基準	1	6	7
検討手法	5	2	7

表-6 過去の通行規制発動事例に対する検証（規制区間単位）

	空規制
現行基準	5
検討手法	6

4. まとめと今後の課題

(1) 実効雨量の適用性

本論では、様々な半減期の実効雨量を組み合わせを用

いた土砂災害危険度判定手法の適用性の検討を行った。本手法を用いた検証では、災害発生時刻を的確に捉えられており、現行基準に比べて土砂災害発生の捕捉精度が高いことが確認できた。

現在、阪神高速の北神戸線等では、7カ所の地上雨量計で観測した限定的な降雨データを用いて通行規制を判断している。本手法のようにメッシュ雨量データを用いることで土砂災害発生危険度を面的に把握できる点は、適切な通行規制を行う上で非常に有用であると考えられる。また、通行規制基準への適用だけでなく、構造物管理（巡視実施の判断等）の指標としての活用等も期待される。

(2) 実運用化に向けた課題

本検討手法を通行規制基準の指標として用いる場合、次の課題が挙げられる。

実運用上は規制準備の為にリードタイム確保が必須であるため、予測雨量を用いた危険度予測手法を検討する必要がある。また、実効雨量を用いた本検討手法では、降雨終了後も、危険判定が長時間続く場合がある。そのため、この手法における規制解除のタイミング（条件）を別途検討する必要がある。

参考文献

- 1) 上田勝久・青木康素・井上喬博：北神戸線のり面崩落を踏まえた事前通行規制基準の見直し検討，阪神高速道路第47回技術研究発表会論文集，2014
- 2) 小杉賢一朗・藤本将光・山川陽祐・正岡直也・糸数哲・水山高久・木下篤彦：山体基岩内部の地下水位変動を解析するための実効雨量に基づく関数モデル，砂防学会誌，Vol.66，No.4，p.21-32，2013
- 3) 小杉賢一朗・水山高久：2014年7月9日に発生した長野県南木曾町の土石流災害の誘因となった降雨イベントの解析，砂防学会誌，Vol. 67，No.4，p.18-22，2014
- 4) 小杉賢一朗：斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法，砂防学会誌，Vol.67，No.5，p.12-13，2015

河川浚渫現場におけるMG (マシンガイダンス) で効力・省力化を目指す

梶本 秀樹¹

¹近畿地方整備局 河川部 河川管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

本報告は、河川浚渫工事への「ICTの全面的な活用」の導入に向けた検討結果である。猪名川が流れる兵庫県尼崎市戸ノ内地区において、3次元データを活用するバックホウ浚渫3Dガイダンスシステム(以下、「3Dガイダンス」という)を用いた河川浚渫工事を実施し、生産性の向上に関する効果の把握を目的に、施工状況の現地調査及び受注者へのヒアリング調査を行った。その結果、河川浚渫現場への3Dガイダンスの適用によって、生産性、安全性、施工性などの面で非常に有効であることが確認できた。

キーワード i-Construction, ICTの全面的な活用, 河川浚渫工事

1. 背景

国土交通省は、建設現場における一人一人の生産性を向上させ、企業の経営環境を改善し、建設現場に携わる人の賃金水準の向上を図るとともに安全性の確保を推進するとして、「i-Construction」を取り組んでいる。そのトップランナー施策に「ICTの全面的な活用」「全体最適の導入」「施工時期の標準化」を3本柱として、さらに近畿地方整備局では、Plus 1として「受発注者間のコミュニケーションによる施工の円滑化」を位置づけ、プロセス全体の最適化を目指して展開しているところである。

「ICTの全面的な活用」については、建設生産プロセスの調査・測量、設計、施工、検査の全ての段階においてICT技術を活用することにより生産性及び安全性の向上を目指したICT土工の推進が、2016年度から図られた。また、それに合わせて紙図面を前提とした基準類を変更し、3次元データに対応した新基準類が整備された。さらに、2017年度からは、舗装工、港湾工事における浚渫工においても、ICT技術活用のための基準類が整備され、工種が拡大された。このように「ICTの全面的な活用」の対象工種の拡大が進められている中、河川浚渫工の3次元データによる基準類については現在、未整備となっている。河川土工マニュアルによると、河川浚渫工は、グラブ浚渫船、ポンプ船、バックホウ浚渫船の3つに分けられており、その中でも、バックホウ浚渫船は、近年、河川における浚渫での施工事例が多くなってきている。

従来のバックホウ浚渫船による河川浚渫工事は、河床の現況を把握するために事前に深淺測量を行い、測量結果を基に施工計画を作成する。その後、浚渫船運転工、土運船運搬、揚土工を繰り返し、その後、出来形測量と

して再度、深淺測量を行う。しかし、掘削面が水面下にあるため、完成度がオペレータの熟練度に影響されること、浚渫船の移動毎に掘り残し確認を目的としたスタッフ等を用いた簡易な測量を行う必要があることなどの様々な課題がある。そのため、課題の解決策として河川浚渫工事へ「ICTの全面的な活用」の導入が考えられる。河川浚渫工事において「ICTの全面的な活用」を導入した場合、三次元測量による水中施工箇所可視化によって、施工の効率化、施工数量を自動算出など、生産性の向上が期待される。そのため、河川浚渫工事の「ICTの全面的な活用」に向け、実際の浚渫工事現場において、3Dガイダンスを用いて工事を実施し、生産性の向上に関する効果の検証を行った。



図-1 浚渫工事の様子

2. 工事概要

(1) 工事の概要と目的

工事概要を表-1に示す。本工事は、淀川水系河川整備計画に基づき、戦後最大洪水（昭和35年台風）を安全に流すことを目的に、兵庫県尼崎市戸ノ内地区において浚渫工事を行った。

工法としては、バックホウ浚渫＋土運船運搬による工法を採用し、3Dガイダンスを用いて施工を行った。

表-1 工事概要

工事名	戸ノ内地区掘削工事
工事場所	兵庫県尼崎市戸ノ内地区 (猪名川0.6k～1.0k)
工期	2016年8月1日～2017年3月20日
受注者	香山組(株)
工事数量	掘削土砂量9900m ³



図-2 施工箇所

(2) 3Dガイダンスの概要

本工事には、GCS900 バックホウ浚渫3Dガイダンスシステム（NETIS登録No.QSK-090005-V）を用いた。3Dガイダンスとは、バックホウ浚渫船において、図-3のように、バックホウにチルトセンサー、ピッチセンサー、GNSS受信機等を取り付けることによって、バックホウの位置と向き、バケットの姿勢と爪先の位置及び高さの3次元情報が車載PCのログファイルに記録される。さらに河床掘削の図面データを入力する事により、バックホウのキャビン内に設置したモニターにバックホウのリアルタイムの3次元情報が表示（図-4,5）され、オペレーターは、この3次元情報を基に操作を行う事で、熟練度に関係なく、設計値と誤差の少ない施工が期待される技術である。



図-3 3Dガイダンスシステム構成図



図-4 バックホウの位置を示したモニター

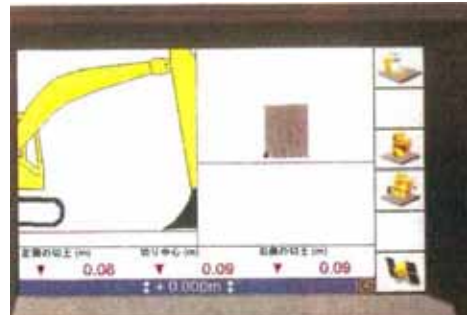


図-5 バケットの位置を示したモニター

3. 検証方法および検証結果

(1) 検証方法

3Dガイダンスの効果を把握することを目的として、以下の調査を実施した。

- ① 施工状況の現地調査
 - ② 受注者（香山組株式会社）へのヒアリング調査
- ヒアリングは、工事完了後に実施した。

検証方法については、従来の施工方法に対して、生産性、安全性、施工性などの観点で整理を行った。

(2) 検証結果

a) 施工状況の現地調査

従来施工では、水中のバケットの位置をアームなどの沈みおよび傾きやマーキング（図-6）などによって推測していたため、オペレータの熟練度に左右されていた。今回、3Dガイダンスにより、バケットの位置がモニターに表示されるため、オペレータはモニターを見ながら、操作を行うことができ、熟練度に関係なく、施工が容易となっていることから、施工性の向上が確認できた。

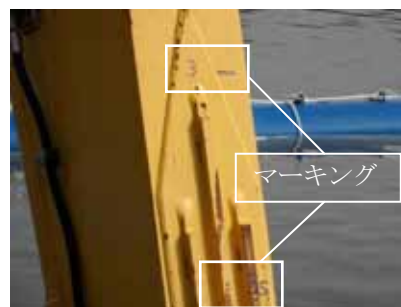


図-6 バックホウのアームに示されたマーキング

b)ヒアリング調査結果

・生産性向上

従来施工では、掘り残し及び推測による掘削になるため、設計河床高-30cmから-50cmとしていたのに対して、今回の施工では、モニターを通じてバケットの刃先で掘り残し確認が行えるため、計画河床高-20cmとすることが出来た。これにより、余分に掘削する土砂量が減少し、土運船が陸揚げ場と掘削場所との往復回数が減った。その結果、生産性の向上したと考えられ、日あたり施工量がおおむね2%～15%ほど向上した。

・施工性向上、安全性向上

モニターに正確な位置が表示されたバケットを河床に着けることによる掘り残し確認を行うことで、図-7のように重機周辺でのスタッフ等を用いた簡易な測量による浚渫船周辺の掘り残し確認が不要になり、省力化が見られた。加えて、人がいなくなるため、重機等との接触を未然に防ぐことが出来るため、安全性も向上した。

モニターには、バックホウの位置以外にも、掘削範囲の掘削状況が表示されるため、浚渫船の移動を行う際には、モニターに表示された位置情報を参考にすることで、船の位置決めが容易になり、施工性の向上が見られた。加えて、従来では、船の置き直しが頻発していたが、今回の施工では、起こらなかったことから、浚渫船の燃料費を削減できたため、環境性、経済性も向上した。



図-7 重機周辺での掘り残し確認

・施工管理の合理化

GPS機能及び3Dガイダンスの施工履歴データについては、クラウドサービスの活用により、施工管理者は、工事の進捗状況をPC等により随時、正確に確認できた(図-8)。さらに、進捗状況に関する資料作成に際しても、従来では、図面に掘削済み箇所を着色した資料の作成を行っていたが、施工履歴データの提示のみとなることで、作成の手間がなくなり、生産性の向上が見られた。



図-8 クラウドサービスに表示された進捗状況

(3)検証結果のまとめ

河川浚渫現場への3Dガイダンスの適用については、生産性、安全性、施工性などの面で非常に有効であることが確認できた。特に、水中部である不可視部分を3Dガイダンスのモニターを通じて、水中部を「見える化」することで、余掘り量の低減、掘り残しの防止、計測作業員と機械作業との接触事故の防止などが確認でき、河川浚渫現場の生産性等が向上していることが確認できた。

4. 今後の課題と効果

(1)課題

今回の検討結果から抽出された課題について整理する。

a)基準類の整備

今回の検討では、出来形管理基準などの基準類が未整備なため、従来の深浅測量による出来形管理も併せて行った。そのため、「ICTの全面的な活用」にまでは至っておらず、生産性等の向上の余地は残されていることが課題である。

b)キャリブレーションのルール整備

施工中に取得する3次元の位置情報のキャリブレーションは、毎日、始業時に行うのが理想的である。しかし、今回の施工現場は汽水域であり、川の水深も浅いため、GNSS基準点を設置した高水敷きには、満潮時以外では近づくことが出来なかった。そのため、キャリブレーションは施工期間中に2回しか行うことが出来なかった。今回の施工では、位置情報に狂いが生じた等の報告はなかったが、今後、キャリブレーションを毎日行わなかったことによって、施工中の位置情報に狂いが起きることも考えられる。そのため、「ICTの全面的な活用」を導入する場合には、施工中に取得する位置情報やキャリブレーションの基となるGPS基準局の設置箇所や設置数といった基準やキャリブレーションを行うためのルール整備が必要と思われる。

c) 位置情報が活用できない場合の対応策

桁下掘削箇所では、構造物の陰となり、バックホウおよびバケットの3次元の現在位置が確認できなかった。そのため、3Dガイダンスの特性を活かせず、従来施工の工法を採用することとなった。河川浚渫工事の現場で

は、掘削箇所と桁下箇所が含まれるケースがあり、今後の基準整備に際しては、ICTと従来施工が混在した現場の取扱についても整理されることが望まれる。

(2)ICTの全面的な活用による期待される効果

ICTの全面的な活用により期待される効果を、「従来工法の課題」と「ICTの全面的な活用による改善点」に分けて考察した。

○従来工法の課題

- ・紐を付けたロープを降ろし、1箇所ずつ水深を計測するため、多大な作業時間や労力が必要。
- ・検測と仕上げ作業の繰り返しが必要となり、手間がかかる。
- ・水流により、下ろしたロープが流れ、水深の計測結果に影響が出る可能性がある。
- ・計測毎に断面からの距離を測り、計測箇所の位置を出すため、多大な作業時間や労力が必要。



図-9 従来計測の様子

○ICTの全面的な活用による改善点

- ・3Dガイダンスにより、施工しながら施工箇所の座標を取得するため、施工後の計測作業が不要になる。
- ・計測作業不要
- ・仕上がりを実タイムに確認できるため、施工の手戻りが発生しない。



図-10 従来計測とICTを活用した計測の比較

5. 今後の展望

今後、河川浚渫工事への「ICTの全面的な活用」の導入に向け、出来形管理などの基準類についても検討する必要がある。

ICT建設機械には、施工履歴データが保存されていることから、施工履歴データを活用した出来形管理が期待できる。施工履歴データを活用した場合、出来形部分に対応した点群データを抽出して面データ化し、起工面と比較を行えば、現地を計測することなく容易に出来高数量を求めることができる。加えて、従来の浚渫工事の出来形管理に必要な計測作業が不要となり、計測人員の削減、作業時間の短縮が期待される。しかし、現在の施工履歴データは、3次元の位置情報を常時記録しているため、任意の位置情報を抽出する際には、フィルタリング作業に多大な労力が費やされる。そのため、今後施工履歴データは、適宜、位置情報の記録を行えるようにする必要がありと考えられる。

3Dガイダンスは、河川浚渫において、生産性、安全性、施工性などの面で非常に有効であることが確認できた。また、受注者は掘削がしやすく今後も是非活用したいと受注者からの感想があった。このことから、現在、河川浚渫工事へのICTの全面的な活用の導入は、課題があるものの、有意である。これからも、ICTの全面的な推進により、建設産業の生産性を高め、従来のイメージ「きつい、きたない、危険」の3Kから、「給与、休暇、希望」の新3Kの実現に向け、一人の技術者として今後も貢献して参りたい。

謝辞：本稿作成にあたっては、現地調査及びヒアリング調査を行わせていただいた香山組(株)、猪名川河川事務所及び近畿地方整備局の皆様より様々な助言等を頂きました。関係各位に深く感謝申し上げます。

すさみ串本道路における事業推進PPPの適用と考察

大森 功一

近畿地方整備局 道路部 道路工事課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

紀南河川国道事務所では、一般国道42号すさみ串本道路19.2kmの早期供用を目指し、計画的かつ効率的な事業展開を図るため、近畿地方整備局管内の道路事業においては初めて官民がパートナーを組み、官民双方の技術・経験を生かしながら調査・設計段階での効率的な事業を行う、事業推進PPP (Public Private Partnership) を導入した。

本論文では、事業推進PPPのスキームを示しながら、本事務所での取り組み内容を事例的に紹介し、すさみ串本道路における事業推進PPPの適用について論述する。

また、今回のすさみ串本道路への適用に対する課題や問題点等について考察を行った。

キーワード 事業推進PPP, 事業監理, 関係機関調整

1. はじめに

紀南河川国道事務所が事業を進める、一般国道42号すさみ串本道路は、近い将来発生すると予想される南海トラフ大地震による津波の影響回避効果など、地元住民からの期待も高く、1日も早い供用が望まれている。

しかし、工事着手までの間には、膨大な業務の実施が必要となり、これらをいかに計画的かつ効率的に実施していくかが早期供用の課題となっていた。

そのため、東北地方整備局の震災復興事業や、その他の道路事業において導入が報告されている事業推進PPP (Public Private Partnership) を適用し、課題の解決を図ることとした。

この取り組みは、近畿地方整備局管内の道路事業において初めての取り組みであるが、適用から半年を経過し、一定の事業推進が図られたことから、その取り組みを紹介する。



図-1 工事着手までの間の膨大な業務

2. すさみ串本道路の概要

すさみ串本道路は、既に供用している近畿自動車道紀勢線に接続し、国道42号の和歌山県西牟婁郡すさみ町から同県東牟婁郡串本町間における、異常気象時通行規制の解消、防災・災害時の代替路確保等を主な目的とした延長19.2km、完成2車線の自動車専用道路であり、2014年(平成26年)4月に事業化された。

近い将来発生すると予想されている南海トラフ大地震では、当該地域に3分で津波が襲来、国道42号の約6割の区間が浸水し、通行不能になると予測されており、救命・救助及び復旧支援活動を支える「命の道」確保が望まれているところである。

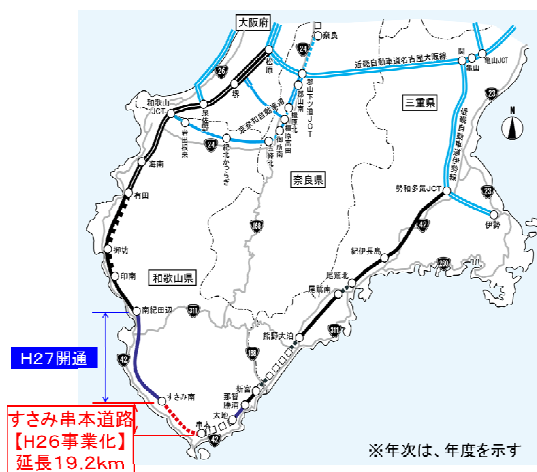


図-2 すさみ串本道路の位置

一方、本線工事を進めていく上では、国道42号から山手側へアクセスしていく必要があるが、国道42号と並行しJR紀勢線があることから障害となり、複数の工事用道路を新設しなければ工事着手できない課題がある。

ために実施した内容を事例的に紹介する。

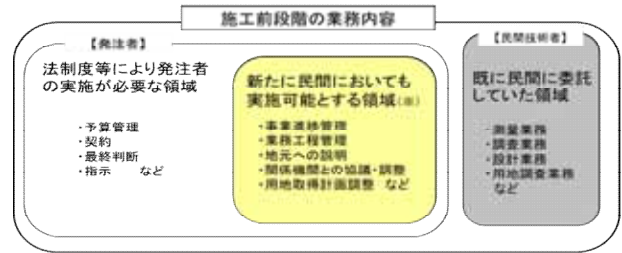


図-3 新たに民間においても実施可能とする領域

3. 事業推進PPPの適用

(1) 事業推進PPPの概要

PPPとは官と民がパートナーを組んで事業を行うことであり、事業推進PPPは、官民双方の技術・経験を生かしながら効率的なマネジメントを行うことにより事業の推進を図ろうとするものである。

具体的には、官側の職員と従来職員が行ってきた事業進捗管理や地元への説明、関係機関との協議・調整等の業務を新たに実施可能とした民間技術者（チーム）とが一体となって事業を進めていくものである。（図-3）

紀南河川国道事務所では、今回の民間技術者チームの導入にあたっては、業務内容を鑑み、プロポーザル方式で「すさみ申本道路事業監理業務（以下、PPP業務）」を発注し、チームを構成した。

PPP業務受注者は、管理技術者（非常駐）と主任技術者3名（事業監理担当1名、調査設計担当2名）から構成され、事務所別館に常駐し、職員と常に連携できる場を構築した。（図-4）

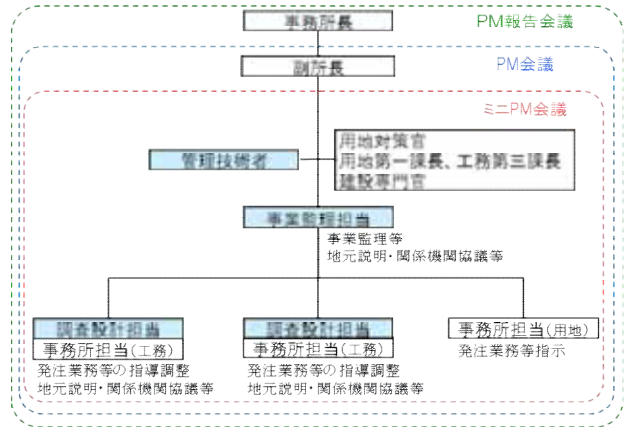


図-4 事業推進PPPの実施体制

(2) PPP業務の内容

PPP業務は、従来実施してきている事業監理補助業務等の発注者支援業務と異なり、従来職員が行っていた業務領域の一部を実施可能としたものである。

実施可能とした領域は、以下のとおり。

- 1) 事業監理（事業進捗管理，事業工程管理）
- 2) 地元住民への事前説明，関係機関との協議・調整
- 3) 測量・調査・設計業務等に対する指導調整

予算管理や契約，最終判断，業務受注者への指示等については，法制度等によりこれまで通り発注者の領域である。

本業務の実施体系は，図-5 のようになっている。

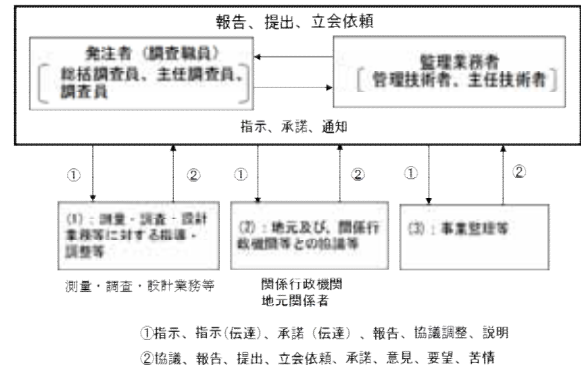


図-5 PPP業務の業務体系

4. PPP業務を有効に機能させるための手法

図-4のように、職員と民間技術者チームとが一体となって事業を進めるためには、PPP業務を有効に機能させることが重要となる。

以下に、本事業においてPPP業務を有効に機能させる



写真-1 関係機関協議の実施状況
・施工にかかる協議を実施
・協議書(案)まで作成し、事務所へ提出等
※協議書(案)を基に事務所内で決裁し公文書発出

(1) 円滑な意思疎通のための3階層の会議形式

職員とPPP業務受注者が、密接な意思疎通を図るためには、事業の進捗状況・課題の共有及び解決方針の議論が必要であるとともに、PPP業務として仕様書で定めた管理技術者打ち合わせが必要である。

当該事業推進PPPにおいては、3つの会議（事業進捗会議（PM会議）、ミニPM会議、PM報告会議）を設定し、その両方を満たす形で進めることとした。

以下に、各会議の主な目的とメンバーを示す。

a) PM会議

基本となる会議形式で有り、事業進捗状況を確認・共有し、当面の課題を整理、対応策をまとめ、事業の進め方について議論することを目的とする。

メンバーは、道路担当副所長、用地対策官、事業担当課長及び所属職員、用地担当課長及び所属職員、PPP業務受注者で構成し、原則隔週で開催する。

b) ミニPM会議

PM会議を踏まえた事業進捗状況を確認するとともに、事業を円滑に進めるために発注者の意思を確認し、測量・調査・設計業務受注者や関係機関への指示伝達事項をとりまとめ、業務遂行方針を決定することを目的とする。また、協議結果や予定の報告も併せて行う。

メンバーは、道路担当副所長を除く、PM会議メンバーで構成し、PM会議・PM報告会議が開催される以外の週に開催する。

c) PM報告会議

事業全体に関係する計画や方針、工程に大きな影響及ぼす課題と解決方法、協議方針の決定を目的とする。

メンバーは、事務所長以下PM会議メンバーで構成し、PM会議後状況に応じ、概ね月1回で開催する。

以上の会議を模式化すると、図-6に示すようなイメージとなり、PM会議を主体としながらミニPM会議を有効に活用し、意思疎通や業務実施上の遅れが生じないようにしている。

また、概ね月1回を目安に、事務所長まで参加したPM報告会議を実施することで、事務所としての意思統一を図っている。

PPP業務においては地元・関係機関との協議も実施内容に入っているが、このように毎週階層別会議を行うことで、事務所職員と一体となって協議を進めて来た。

なお、対外的な協議結果については、基本的に協議実施日の翌日までに議事録で報告してもらうこととした。これにより、地元・関係機関との協議状況について、最新の状況が常に把握できるようになっている。

(2) 役割分担の明確化

測量・調査・設計業務の進捗に必要な業務を例に、職員とPPP業務受注者の業務分担を示すと、図-7のようになる。

地元・関係機関協議等を踏まえた測量・調査・設計業

務への指導・助言、業務間調整は、ミニPM会議・PM会議等において確認・協議して決定した方針に基づき、PPP業務受注者が行う。但し、契約事項の変更等が生じる事項については、PPP受注者ではなく職員から測量・調査・設計業務に対して指示を行う。

なお、このような業務履行を実施出来るように、測量・調査・設計業務の受注業者に対しては、通常発注者が行う指示・承諾などの伝達や指導・助言をPPP業務受注者が行うことを特記事項として明示することで、業務

開催頻度

- PM会議 : 原則2週間に1回
- ミニPM会議 : PM会議・PM報告会議以外の週 (※実質2週間に1回)
- PM報告会議 : PM会議後、状況に応じて(概ね月1回)

イメージ

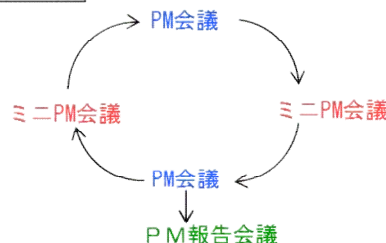


図-6 会議のイメージ



- ・事業進捗状況の確認
- ・業務遂行方針の決定
- ・協議結果や予定の報告 等

写真-2 ミニPM会議の実施状況

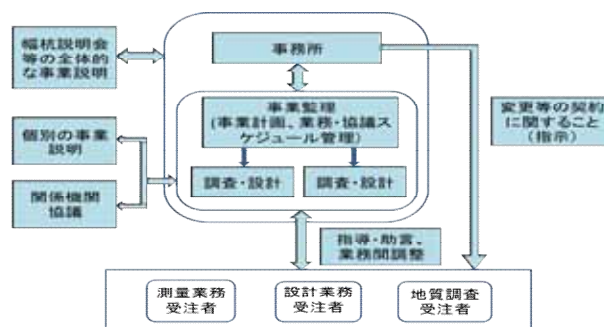


図-7 業務分担

上の指示協議システムを確保するよう設定した。

また、関係機関への協議や個別の事業説明についても仕様書に基づき、基本的にはPPP受注者が説明、協議を行った。

一方、幅杭設置説明会等の全体的な事業説明については、事前の段取りまでを、PPP業務受注者が行い、同説明会における説明や質疑応答は、職員が行うこととした。

このように、事務所職員とPPP業務受注者において、業務分担を明確化することで、円滑にPPP業務が実施できるようにした。

(3) 年度目標と実施事項の設定

PPP業務の業務内容については、3.(2)に記載のとおりであり、実施内容を定めたもので、具体的な成果としての仕様書とはなっていない。

しかし、具体的な目標の設定がなければ、事業監理や業務実施にあたってPPP受注者及び事務所職員において混乱を招くため、PPP受注者に対しては、業務当初に、事務所側から目標を提示することで、業務実施に当たっての指針としてもらう形をとった。

一例で示すと、2016年(平成28年)度においては、関係機関協議の一部完了、幅杭説明会を開催し幅杭設置といったような目標を設定した。なお、PPP業務を契約した時の事業段階は、道路予備設計(B)を本格的に始める前の段階であった。

した。

業務受注当初年度内の幅杭打設を目標に、道路幅を決めるために必要な設計及び協議項目を抽出して幅杭打設までの事業スケジュールの作成を行い、各業務間の調整を行った。

特に、区長等の地元関係者への事前協議、自治体への事前協議により、地先道路や水路について、地元の方々の意見も踏まえた上で機能復旧関係の協議を図りながら

具体的な実施内容(検討内容)

事業監理

- 事業計画書の検討
- 工事用道路計画書の検討(本数、箇所)
- 本線及び工事用道路の事業進捗管理
- 各種関係機関協議計画進捗管理
- 土量配分計画書の作成と管理(事業工程・費用を考慮)
- 工事着手箇所を踏まえた用地買収計画書の検討
- 工事用道路の借地契約完了に向けた工程管理
- 工事計画書の検討
- コスト削減計画書(新技術の活用、構造形式)の提案

関係機関協議等

- 公安委員会との工事用道路計画協議
- 関西電力との占用物件移設協議
- 林地開発協議 等

図-8 事業監理の実施内容

5. PPP業務の実施内容

(1) 事業監理

事業監理におけるPPP業務の主な実施内容は、図-8のとおりである。

事業工程は、現在の状況を勘案してこれから行っていくことを整理し、予備設計(B)及び本線工事に向けて効率的な事業工程案を検討した。さらに、これに対して、必要な工事用道路の配置等も含め、検討を行った。これらについては、調査設計等の進捗状況として、報告してもらい、事業管理を発注者だけでなく、受注者においても自主的に行うよう取り組んだ。

また、地権者不明箇所の存在の可能性が見られたことから、それらの課題も視野に入れた事業計画を検討した。

(2) 調査設計

調査設計におけるPPP業務の主な実施内容は、図-9のとおりである。

事業を迅速に進めるため、図-10に示すとおり工事用道路と本線の測量・設計、地質調査、関係機関協議並びに地権者調査等の20業務を同時並行的に進めることと

具体的な実施内容(検討内容)

発注業務等への指導調整

- 路線、幅杭測量業務の指導・助言等
- 橋梁・トンネル・地質・水文調査業務の指導・助言等
- 道路予備、橋梁予備、トンネル詳細設計の指導・助言等

関係機関協議等

- 公安委員会とのIC線連結協議
- JR事前協議(トンネル影響検討、橋梁計画説明)、設計協議
- 河川管理者との協議
- 町道管理者協議(予備B段階の計画協議)、使用協議(工事用道路計画協議)
- 学校関係者協議・説明会(学校近傍を通る工事用道路の安全確保・環境影響)
- 残土処分に関する関係機関との調整
- 電柱等の支障物件移転協議
- 幅杭設置及び地元説明の実施
・幅杭説明会開催にあたっての段取り
・事前協議における地権者からの意見・要望に対する回答案の作成 等

図-9 調査設計の実施内容

設計を進めていった。

さらに、同時並行して、設計上必要となる河川及び道路管理者や公安委員会との協議や、JR トンネルとの交差協議等の関係機関との協議は、図-11 示すとおり、協議内容等について、事前にミニ PM 会議等で内容を確認の上、PPP 業務受注者が協議を行い、速やかに議事録で報告させ、協議内容を確認しながら進めた。

これら、地元説明や関係機関協議の回数は8ヶ月間で延べ 136 回を数える。協議の内訳は図-12 に示す通りで、PPP 業務受注者が単独で実施した協議は、116 回と大半を占めており、事業における施工前段階業務である関係機関協議の実施に大きく寄与していることが分かる。単純平均だけで、17 回/月であり、ほぼ毎日、何かしらの協議を行っていることになる。

このように PPP を導入して職員と民間技術者チームが一体となり連携・役割分担を行いながら施工前段階の業務（地元調整、関係機関協議）を短期間に進めることで、事業延長 19.2km のすさみ串本道路の幅杭打設について、PPP 業務開始以降 6 ヶ月間で大半を完了することが出来た。

また、同時並行的に進める調査・設計等の発注業務に対して実施する指導調整内容については、PPP 業務受注者側からも提案をもらい、積極的に採用することで、効率的かつ効果的な発注業務の実施に寄与した。

6. 考察

(1) 職員とPPP業務受注者の密な連携

事業推進PPPでは、官側の職員とPPP業務受注者との密な連携が重要となる。

例えば、単独で実施する関係機関協議において、その場で結論を導けず、持ち帰ることになれば、それは事業の推進に繋がらない。このため、事前に官側の方針をしっかりと共有しなければならない。

また、官側は最新の情報・方針を速やかにPPP受注者に伝えなければならないし、PPP受注者側は協議結果を正しく報告しなければならない。

測量・調査・設計業務への指導・助言においても、これらは同様である。

今回、紀南河川国道事務所のすさみ串本道路においては、密な連携を図るにあたって3階層の会議形式という形をとった。しかし、これは一例であり、状況に応じて適切な連携を図る必要がある。

(2) 提案事項の速やかな対応

PPP業務受注者からは、事業を迅速に進めるための様々な提案を受けるが、その提案事項については、PPP受注者の業務遂行に影響を与えるため、官側は速やかに

意思決定をしなければ、提案の価値が薄くなる。

このような観点から、官側の上位意思決定者が入った、PM会議やPM報告会議を設定したことは有効な手法であったと考える。

(3) PPP業務の仕様

当該事業推進PPPでは、毎週実施する会議や関係機関協議等における議事録等のツールを大切にした。これは、現状を共有する上で重要だと考えたからである。

しかし、会議ごとに準備する資料や速やかに提出を求めている議事録の作成は、受注者の時間と労力が必要となる。今後は東北地方整備局で取り入れている技術補助員等の導入や、資料作成業務等の有効な活用を検討する必要がある。

業務内容	平成28年				平成29年			備考
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
地権者調査								測量に含む
工事用道路測量								6業務
地質調査								9業務
本線 予備設計 (19.2km)								2業務
工事用道路 詳細設計 (26ルート)								2業務
協議、計画説明								136回
幅杭説明会								10箇所
幅杭打設								測量に含む

図-10 業務内容及びスケジュール

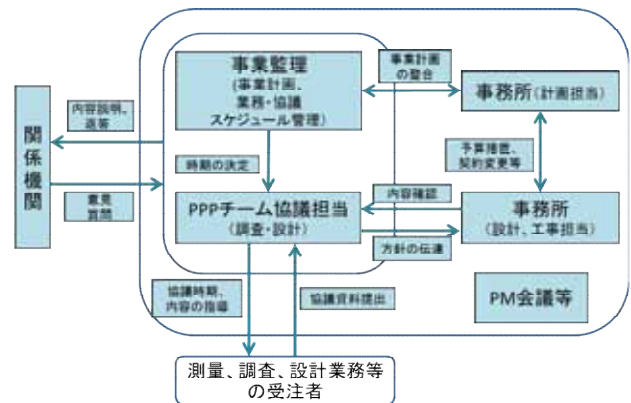


図-11 関係機関協議の進め方

期間	地元及び関係機関協議状況										合計	PPP単独		
	公安委員会	(JR トンネル 交差)	道路管理者	河川 管理者協議	(文化財 教育委員会)	占用 物性 開電等	林地 開発	保安 林	(土捨 場、土地 開発、 工事用 道路計 画等)	自治 体 本局(協 定)			地元説明 会 個人区	
h28.9~ h29.4月末 (8ヶ月)	8	6	3	7	4	15	7	1	11	2	10	62	136	116

図-12 関係機関協議の状況

また、事業が想定以上に進捗したり、事業促進のために事前段階からの仕込みが必要となった場合、当初求めた配置技術者とは異なる専門技術が必要となる場合がある。これらに対応するため、臨機に主任技術者を変更できる業務の仕様等を検討する必要がある。

7. おわりに

紀南河川国道事務所では、1日も早いすさみ串本道路の完成を目指し、事業推進PPPを導入した。

しかし、道路事業におけるPPP業務の仕様等については、東北地方整備局の震災復興事業等において構築さ

れているが、どのようにマネジメントし事業推進PPPに取り組むかは決まった手法がなく、近畿地方整備局管内の道路事業では初めての取り組みでもあり、導入時には所内で議論を重ね、4.において紹介した3階層の会議形式等を取り入れ適用した。

今後、本稿で紹介した取り組み事例や考察が参考となり、他事業での活用に際しての一助となることを期待する。

※本論文の内容は、著者が従前に所属していた紀南河川国道事務所工務第二課における業務に基づくものである。

局地的豪雨探知システムの探知範囲の拡大等について

小林 宏樹¹・中村 正樹²

¹近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町10-1)

²近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町10-1)

2013年度に、XバンドMPレーダを活用して豪雨となる可能性がある積乱雲を数分から10分程度前に探知する局地的豪雨探知システムを整備した。本論文では、2015年度より開始された近畿地方整備局管内のCバンドMPレーダ2局（深山，城ヶ森山）の3次元観測値を活用し、局地的豪雨探知システムの探知範囲を近畿全域に拡張する可能性について検討した。また、新たな豪雨事例を追加したメンバーシップ関数の更新と積乱雲のライフステージによる指標数の切り替えを行い、豪雨探知精度が更に向上することを確認した。

キーワード XバンドMPレーダ，CバンドMPレーダ，豪雨のタマゴ，早期探知

1. 局地的豪雨探知システムの概要

(1) 背景，目的および範囲

局地的豪雨探知システム（以下，本システム）は，XバンドMPレーダ（以下，X-MPレーダ）による高頻度・高分解能の3次元観測値を利用し，発生から数分から10分程度で豪雨をもたらす積乱雲を早期探知することを目的として，2013年度に整備された¹⁾。本システムの探知対象は，発生から30分以内に地上付近の降水強度が50mm/h以上に急発達する孤立した積乱雲（以下，豪雨セル）であり，対象範囲は，大阪，神戸，京都，堺の重点監視地域を含み，複数台のX-MPレーダで観測される図-1に示す範囲である。

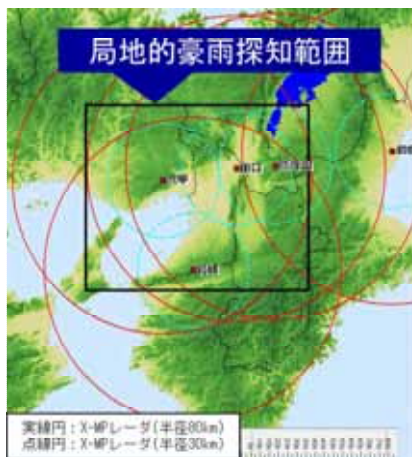


図-1 局地的豪雨探知システムの対象範囲

(2) 豪雨の危険度判定の手順

本システムは，中北ら^{2), 3), 4), 5)}の手法に基づき，上空で発生する積乱雲をレーダで早期探知し，その内部の反射強度やドップラー風速から計算される渦などの情報（図-2）から，豪雨セルに発達する危険度を3ランクで判定して通知する。危険度ランク判定の流れを以下に示す。

a) 等高度面データ（CAPPI）の作成

5台のX-MPレーダ（田口（たのくち），六甲，鷲峰山（じゅうぶさん），葛城，鈴鹿）から水平・鉛直ともに500mメッシュの等高度面データ（CAPPI）を上空10kmまで1分毎に作成する。

b) 降水セルの抽出および追跡

京都大学防災研究所で開発されたプログラムを基に，反射強度20dBZ（降水強度1mm/h相当）以上の閉曲面を1つの降水セルとして抽出する。抽出された各降水セルについて，1分前に抽出した降水セルの体積と重心位置が最も近いものを検索し，紐付けすることで追跡を行う。

c) 各降水セルの指標計算

反射強度，渦度，収束量のCAPPIから，図-3のようにエコー頂高度差，鉛直発達速度，鉛直積算エコー強度，渦度，収束量の5指標を各降水セルで計算する。各指標値が大きいほど，豪雨セルに発達する可能性が高い。

d) 危険度判定

c)の各指標について，指標値と豪雨セルになる確率(%)の関係はメンバーシップ関数（後述）で表される。これらの関数を用いて確率値を計算し，それらを加重平

均することで、豪雨の危険度を0~100の数値で表現する統合指標値Gを算出する。続いて、図-4に示す3つのしきい値から、危険度ランク1~3、危険性なしを判定する。

(3) Webによる表示

局地的豪雨探知システムの表示画面を図-5に示す。Web表示システムは、降水セルごとに判定された危険度ランクをXRAINの降水分布に重ねて表示する。危険度ランクは色分けした円で降雨域を囲むことにより表現し、追跡終了した降水セルは追跡終了時のランク円を同じ位置に点線で残すようになっている。また、過去1ヶ月程度の履歴表示やGIFアニメの作成も可能である。

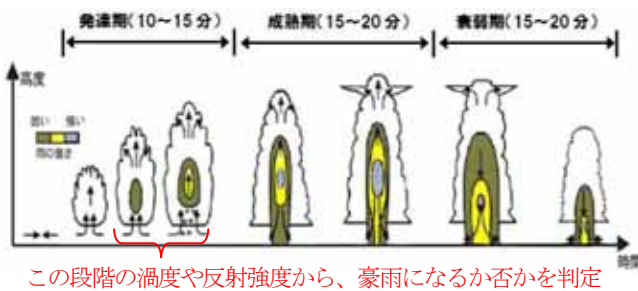
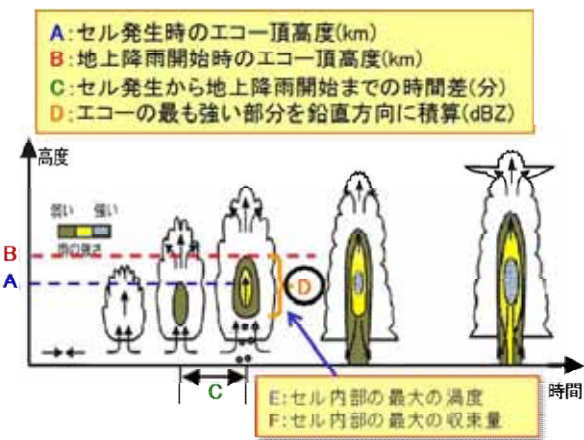


図-2 積乱雲の一生と本システムのターゲット



積乱雲（降水セル）が発達するか否かは、渦を含めた以下の5指標で判定

- ① エコー頂高度差 [km] ... $B-A$
- ② 鉛直発達速度 [km/分] ... $(B-A) / C$
- ③ 鉛直積算エコー強度 [dBZ] ... D
- ④ 渦度 [0.001/s] ... E
- ⑤ 収束量 [0.001/s] ... F

図-3 豪雨の危険度判定に用いる各指標

2. 探知範囲の拡張検討

現在、本システムの探知範囲は複数台のX-MPレーダに囲まれた近畿中央部（図-1、図-6の黒枠内）であるが、2015年度より、近畿地方整備局（以下、近畿地整）管内にあるCバンドMPレーダ（以下、C-MPレーダ）2局（深山、城ヶ森山）の高頻度な3次元観測が開始され、探知範囲の拡張が可能になった。そこで、近畿地整管内全域を囲む図-6の点線枠で示された範囲を拡張領域（案）とし、拡張の実現性について検討を行った。

豪雨危険度指数（統合指標値G）

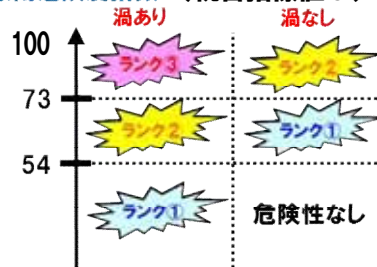


図-4 統合指標値（豪雨危険度指数）と危険度ランク



図-5 局地的豪雨探知システムの表示画面

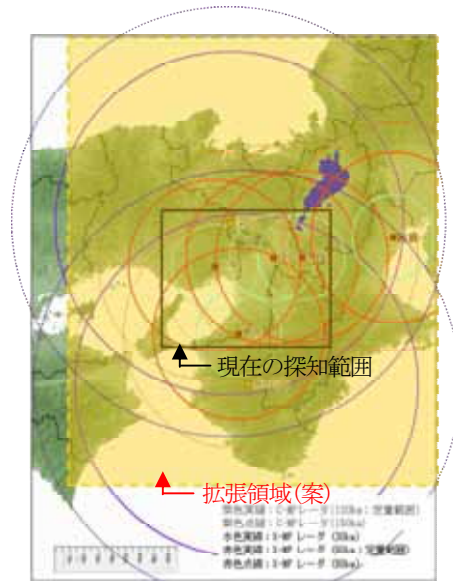


図-6 現在の探知範囲と拡張領域（案）

(1) 空間カバー率の検証

X-MPレーダ5局とC-MPレーダ2局の観測値を合成してCAPPIデータを作成し、空間カバー率を検証した。空間カバー率とは、ある地点の鉛直方向に連なる19メッシュ（1.0～10.0kmまで500m間隔で存在）のうち、レーダのビームが通過するメッシュの割合(%)のことで、空間カバー率が高いほど、空間的に欠落の少ない高密度なデータといえる。最新時刻の観測値のみでCAPPIデータを作成した場合、近畿中央部では70%以上の空間カバー率となっているが、兵庫県や京都府の北部、和歌山県南部では50%未満である（図-7左上）。一方、最新時刻と過去4分の観測値を合成した場合、福井県北部の一部地域を除いて99%以上の空間カバー率である（図-7右上）。また、現在利用しているX-MPレーダ5局に加えて、能美、尾西、熊山、常山の4局のX-MPレーダを追加すると、福井県北部でも80%以上の空間カバー率が得られることがわかる（図-7下）。以上の結果から、CAPPIデータ作成の際に、最新時刻と過去4分の観測値を合成するとともに、X-MP4局（少なくとも能美局）を追加することで、近畿地整管内全域をカバーできることがわかった。

(2) 探知精度の検証

C-MPレーダの高頻度な3次元観測が開始された2015年以降の局地的豪雨事例で早期探知試験を行い、拡張領域での探知精度を検証した。対象事例は、孤立した積乱雲による局地的豪雨が発生した8事例とし（表-1）、対象事例から豪雨セル118個と、非豪雨セル（再発達時の降雨強度が5mm/h未満）401個を抽出して、セルの追跡および危険度ランク判定を行った。

図-8に、上空0.5～10kmを観測しているレーダサイト数を示す。サイト数が多いほど、複数レーダで高密度な観測が行われるため、発生から間もない豪雨のタマゴを

把握するのに有利である。そこで、拡張領域をレーダサイト数で1～5の領域に分け、領域別の精度を比較した。検証に用いる精度指標は、ランク判定と実際のセル種別で4つのカテゴリに分け（表-2）、各カテゴリに入るセル数から、捕捉率(%) = $A \div (A+C) \times 100$ 、的中率(%) = $(A+D) \div (A+B+C+D) \times 100$ の2指標を算出した。精度検証結果（表-3）を見ると、捕捉率はサイト数が多い領域ほど高く、サイト数4.5の領域では、現行領域とほぼ同等の捕捉率が得られている。一方、サイト数1.2の領域で捕捉率が低下している理由として、観測できる時空間が粗いため、エコー頂高度や鉛直積算反射強度の急発達を見逃してしまうことが考えられる。また、捕捉率ほど顕著ではないものの、的中率についても同様の傾向が見られる。さらに、ランク3の判定が出てから50mm/h以上の豪雨になるまでのリードタイムを比較した結果、現行領域の9分29秒前に対し、サイト数1～5の領域順に、8分24秒前、7分30秒前、8分17秒前、9分05秒前、9分46秒前であった。これらの結果から、探知精度、リードタイムの両方で、サイト数4.5では現行領域とほぼ同等の精度を維持できることがわかった。

表-1 拡張範囲の精度検証における対象8事例

No.	対象日時	No.	対象日時
1	2016/07/22 11～15時	5	2016/08/16 11～18時
2	2016/07/28 11～16時	6	2016/08/18 12～17時
3	2016/08/06 11～17時	7	2016/08/25 14～19時
4	2016/08/14 13～18時	8	2016/09/06 12～17時

表-2 精度検証における4カテゴリに入るセル数(A～D)

		実際のセル種別	
		豪雨セル	非豪雨セル
判定	ランク判定あり	A	B
	ランク判定なし	C	D

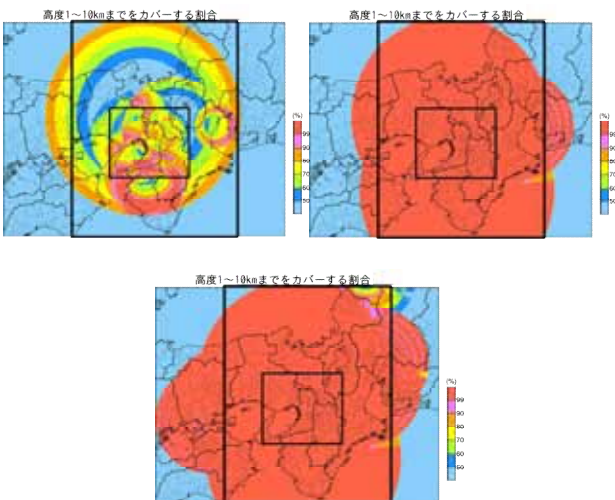


図-7 空間カバー率の検証結果

（左上：最新時刻の観測値のみ，右上：左上の図と過去4分の観測値を合成，下：右上の図にX-MP4局を追加）

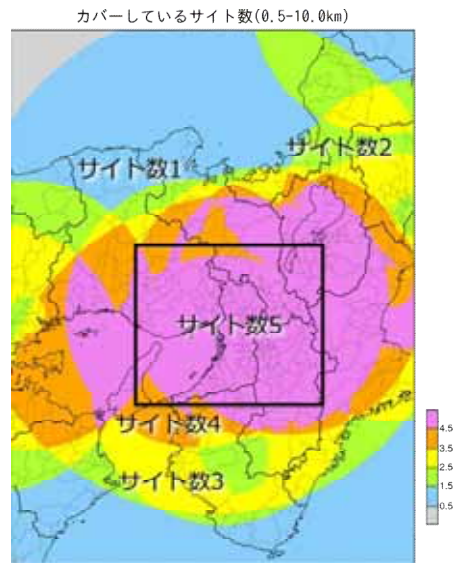


図-8 上空0.5～10kmを観測しているレーダサイト数（黒枠は現在の探知範囲）

表-3 領域別の捕捉率と的中率の検証結果
(赤字：現行領域と同等以上の精度)

		危険度ランク		
		ランク 1	ランク 2	ランク 3
捕捉率 (%)	現行領域	100.0	100.0	73.5
	サイト数 1	100.0	94.4	55.6
	サイト数 2	92.3	84.6	30.8
	サイト数 3	100.0	91.7	58.3
	サイト数 4	100.0	100.0	76.5
	サイト数 5	100.0	100.0	81.3
的中率 (%)	現行領域	50.7	89.4	91.5
	サイト数 1	81.5	97.5	90.1
	サイト数 2	58.1	82.3	79.0
	サイト数 3	64.2	90.6	90.6
	サイト数 4	57.8	95.3	92.2
	サイト数 5	51.9	89.4	94.9

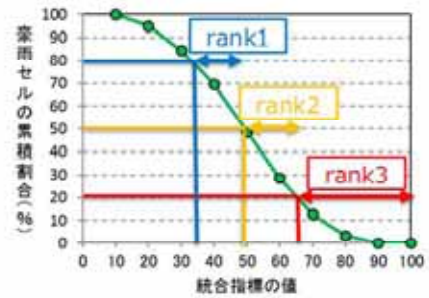


図-9 豪雨セルの累積割合と危険度ランク

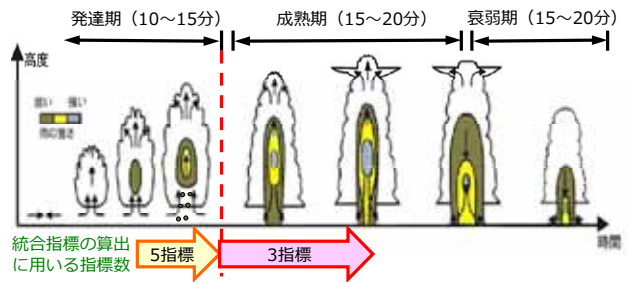


図-10 ライフステージによる指標の切り替えイメージ

3. 探知精度向上の取り組み

2014～2015年度に行ったシステム改良により、豪雨の見逃し、空振りは減少した。一方、豪雨セルに対して、高い危険度ランクが出ないケースが見られた。そこで、新たな事例を追加したメンバーシップ関数の更新と、積乱雲のライフステージによる指標数の切り替えを行い、豪雨探知精度の向上効果を検証した。

(1) メンバーシップ関数の更新

本システムでは、危険度ランク判定のために図-3に示す5指標についてメンバーシップ関数を設定している。メンバーシップ関数は、あらかじめ抽出した豪雨セルと非豪雨セルについて、地上降雨開始時の指標値の頻度分布を作成し、階級別に求めた豪雨セルの割合を一次回帰直線にフィッティングすることで、指標ごとに算出している。

現行では、2011,2012年の事例からメンバーシップ関数を算出したが、新たに2013～2015年の事例を追加して再計算を行った。再計算したメンバーシップ関数を用いて豪雨セルの統合指標値を計算し、指標値の高い方からセル数を累積した割合を図-9に示す。累積割合が20, 50, 80%を超える指標値をそれぞれランク3, 2, 1の閾値とした。

(2) ライフステージによる指標数の切り替え

組織化されたセル内部で新たな豪雨のタマゴが発生する場合など、すでに発達した積乱雲ではエコー頂高度差と鉛直発達速度の値が小さくなり、統合指標値が低くなるという問題がある。そこで、地上降雨開始後はエコー頂高度差と鉛直発達速度を除いた3指標で統合指標値を計算する手法を新たに導入した(図-10)。

表-4 統合指標の計算手法

	メンバーシップ関数算出期間	指標数の切り替え
現行版	2011, 2012年	なし
更新版	2011～2015年	なし
現行版 +指標数切り替え	2011, 2012年	降雨開始前後で 5指標→3指標
更新版 +指標数切り替え	2011～2015年	降雨開始前後で 5指標→3指標

(3) 現行領域と拡張領域における精度比較

(1), (2)で検討した内容を組み合わせ、表-4の4通りの計算手法について精度比較を行った。対象領域は現行領域とし、2013～2015年の事例に対し捕捉率・的中率・空振り数・リードタイムについて精度検証を行った。

表-5～表8は、メンバーシップ関数の更新と指標数の切り替えの有無についての精度検証の結果である。更新版は現行版に比べて空振り数が減少する改善効果が確認できた。また、指標数を地上降雨開始時に切り替えることで、捕捉率が向上し、50mm/hに到達するまでのリードタイムがランク2やランク3で30秒～1分程度改善することがわかった。総合的に見ると、「更新版+指標数切り替え」の精度が最もよいと考えられる(表-9)。

これらの結果より、現行版と「更新版+指標数切り替え」の2通りの手法について、2章で検討した拡張領域で2(2)と同様に精度検証を行った。

その結果、現行版と比べ「更新版+指標数切り替え」では、ランク3の捕捉率やランク1～3の的中率が向上し、空振り数が減少していることがわかった。このことから、拡張領域においても、概ね精度向上の効果を確認することができた(表-10、表-11)。

表-5 精度検証の結果 (現行版)

	ランク1	ランク2	ランク3
捕捉率(%)	100.0	98.8	72.9
的中率(%)	50.5	85.1	88.9
空振り数	143	42	9
リードタイム	15:42前	14:05前	11:12前

表-6 精度検証の結果 (更新版)

	ランク1	ランク2	ランク3
捕捉率(%)	100.0	96.5	64.7
的中率(%)	53.3	93.8	88.6
空振り数	135	15	3
リードタイム	15:28前	12:23前	9:25前

表-7 精度検証の結果 (現行版+指標数切り替え)

	ランク1	ランク2	ランク3
捕捉率(%)	100.0	100.0	100.0
的中率(%)	48.4	76.5	95.2
空振り数	149	68	14
リードタイム	15:53前	14:29前	12:11前

表-8 精度検証の結果 (更新版+指標数切り替え)

	ランク1	ランク2	ランク3
捕捉率(%)	100.0	100.0	91.8
的中率(%)	54.0	93.1	96.5
空振り数	133	20	3
リードタイム	15:26前	13:08前	9:43前

表-9 各判定パターンの長所のまとめ (◎:優, ○:良)

	捕捉率	的中率	空振り数	リードタイム
現行版	○			◎
更新版		○	◎	○
現行版 +指標数切り替え	◎			◎
更新版 +指標数切り替え	◎	◎	◎	○

表-10 拡張領域での精度検証 (現行版)

	ランク1	ランク2	ランク3
捕捉率(%)	99.2	96.6	68.6
的中率(%)	60.3	90.9	91.3
空振り数	205	43	8
リードタイム	13:07前	11:06前	9:01前

表-11 拡張領域での精度検証 (更新版+指標数切り替え)

	ランク1	ランク2	ランク3
捕捉率(%)	99.2	95.8	76.3
的中率(%)	63.6	92.9	94.4
空振り数	188	32	1
リードタイム	12:45前	10:05前	7:37前

4. 自治体等外部機関への試験配信

(1) 試験配信の取り組み

2015年7月より、本システムをインターネットにて自治体など外部機関へ配信する取り組みが始まった。2017年5月現在、滋賀県、兵庫県、京都府、大阪府内の14自治体で本システムが閲覧されている。本章では、2016年7~10月を対象に、システムのアクセス回数やアンケートによる調査から利用実態を明らかにし、今後の効果的な情報提供について検討を行った。

(2) アクセス回数の調査結果

各自治体による本システムの閲覧状況についてアクセス回数を基に調査した。アクセス集中日の降雨要因には、本システムの対象である不安定性の局地的豪雨(大気不安定日)が多かったが、低気圧や台風、停滞前線などの大規模擾乱も含まれていた(表-12)。総アクセス数が最も多かった8月25日の局地的豪雨事例では、豪雨の発生時間帯は16~20時であったが、それよりも早い時間帯にアクセスが増加した自治体、豪雨が発生し始めてからアクセスが増加した自治体、常時一定のアクセス数があった自治体に分かれていた(図-11)。これらのことから、閲覧状況として、豪雨が予想される荒天時に自動更新により継続して画面監視する場合や、豪雨発生時に事務所のPC端末で確認を行う場合など様々であることがわかった。

表-12 アクセス回数の多かった日と降雨要因

年月日	閲覧数の多かった自治体	降雨要因
2016年08月04日	大阪市, 大阪府, 枚方市	大気不安定
" 08月16日	神戸市, 枚方市	大気不安定
" 08月25日	神戸市, 大阪市, 枚方市	大気不安定
" 08月29日	枚方市	低気圧
" 09月11日	神戸市	停滞前線

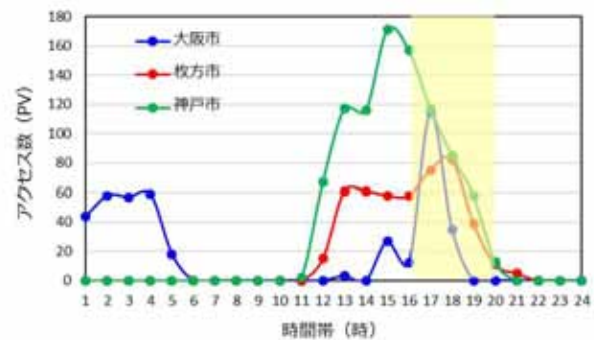


図-11 2016年8月25日における各自治体のアクセス数(黄色の陰影部は豪雨の発生した時間帯を表す)

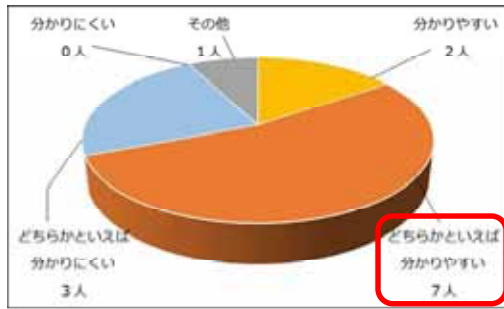


図-12 表現方法のわかりやすさに関する回答結果

(3) アンケートの調査結果

アクセスログでは分からない利用実態を把握するため、14自治体を対象にアンケート調査を実施した。その結果、豪雨時にシステムを閲覧した自治体が多かったものの、本システムの情報により、防災対策を実施した自治体は少なかった。また、表示方法については、「どちらかといえば分かりやすい」との回答が多かった(図-12)。一方で、常時監視ではなく、何かのトリガーにより本システムを閲覧したとの回答が多く、今後はメール等のPush通知機能や自治体の独自システムとの連携が有効であることがわかった。

5. 今後の取り組み

近畿地方整備局管内全域において、中小河川における安全対策や内水氾濫による災害防止のための監視体制強化などに資するため、今後も以下の取り組みを行っていく予定である。

(1) 遠方領域での探知精度確保に向けた検討

2章(2)の領域別の精度検証において、1~2台のレーダのみでカバーされる遠方領域について、捕捉率等の探知精度が現行と比べて低下することがわかった。そこで、ランク判定に用いる渦度のしきい値の変更、反射強度やドップラー風速以外の観測パラメータの活用、気象庁の数値予報GPV(Grid Point Value)の活用等により、レーダサイトから遠方領域における探知精度を確保する検討を行う予定である。

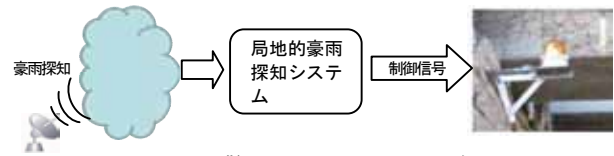


図-13 警報システムのイメージ

(2) Push情報の追加など自治体との連携促進

4章で明らかになったように、メールやポップアップ等のPush通知機能が望まれている。そこで、Web画面で監視枠を設定し、枠内に豪雨のランク円が出現した場合にポップアップやアラーム通知を行う機能を追加する予定である。また、自治体の警報システムとの連携については、自治体で現在運用している回転灯の作動システムとの連携等を通し、促進していく方向である(図-13)。

(3) 全国展開への可能性

本検討では、深山や城ヶ森山のC-MPレーダを用いることで、本システムの探知範囲を拡張できることがわかった。今後全国的にCバンドレーダのMP化が進む計画予定であることから、近畿のみならず他地域においても、本システムを適用できる可能性がある。

謝辞: 本研究において、京都大学防災研究所の中北研究室の皆様にご多大なご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 片山勝之・山路昭彦・中村文彦・森田宏・中北英一：局地的豪雨探知システムの開発, 河川技術論文集, 第21巻, 2015
- 2) 中北英一・山邊洋之・山口弘誠：ゲリラ豪雨の早期探知に関する研究, 水工学論文集, 第54巻, 2010
- 3) 中北英一・山邊洋之・山口弘誠：XバンドMPレーダを用いたゲリラ豪雨の早期探知と追跡, 京都大学防災研究所年報, 第54号B, 2011
- 4) 中北英一・西脇隆太・山邊洋之・山口弘誠：ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究, 水工学論文集, 第57巻, 2013
- 5) 中北英一・西脇隆太・山口弘誠：ゲリラ豪雨の早期探知・予報システムの開発, 河川技術論文集, 第20巻, 2014

寝屋川北部地下河川に関する 大深度地下使用について

灰原 通晴¹

¹大阪府寝屋川水系改修工営所 工務課 (〒536-0023大阪市城東区東中浜4-6-35)

寝屋川北部地下河川事業における大深度地下使用法の適用に向けた大深度地下の設定や地盤および地下水などの環境の保全に関する影響検討の結果について報告する。

キーワード 大深度地下使用, 地下河川, 影響検討

1. はじめに

寝屋川流域総合治水対策の一環である寝屋川北部地下河川事業は、寝屋川市、門真市、守口市、大阪市東部を縦貫する地下放水路を整備するものであり、地上河川や下水道増補幹線から取水して、大川（旧淀川）に250m³/sを排水する計画である（図1）。

現在、最上流の讚良立坑（寝屋川市）から鶴見立坑（大阪市鶴見区）に至る6.6km区間が完成し、20万m³の貯留施設として暫定運用している。また、松生立坑（門真市）から鶴見立坑に至る区間は現在事業中であり、平成32年度の完成を目指している。しかし、鶴見立坑から排水機場（大阪市都島区）までの区間において、占用を予定している都市計画道路の整備の目途が立っておらず、地下河川事業への着手ができない状況であった。

そこで、上面の道路事業の進捗に影響されずに地下河川事業を推進するため、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法（以下、大深度地下使用法と呼ぶ。）の適用による整備を目指している。大深度地下の使用に関する技術的な課題を検討するため、平成26年度から大阪府河川構造物等審議会 大深度地下使用検討部会（以下、部会と呼ぶ。）を設置して調査・検討を進めてきた。本稿では、大深度地下の設定、環境の保全のための検討状況および今後の予定を報告する。



図1 寝屋川北部地下河川位置図

2. 平面ルート決定

寝屋川北部地下河川事業の未着手区間における平面ルートについては、①都市計画道路整備後に事業着手する従来案、②大深度地下使用で都市計画道路下に施工する案、③大深度地下使用でほぼ最短距離で施工する案、の3案で比較検討を進めてきた。

部会においては、事業効率や住民への影響等を総合的に比較検討した結果、②の大深度地下使用による都市計画道路下ルート案が最適であるとの結論を得た（図2上）。

3. 大深度地下深さと地下河川縦断線形の決定

大深度地下使用法では、大深度地下の定義を次の①または②のうちいずれか深い方の深さの地下と定めている。（図3）

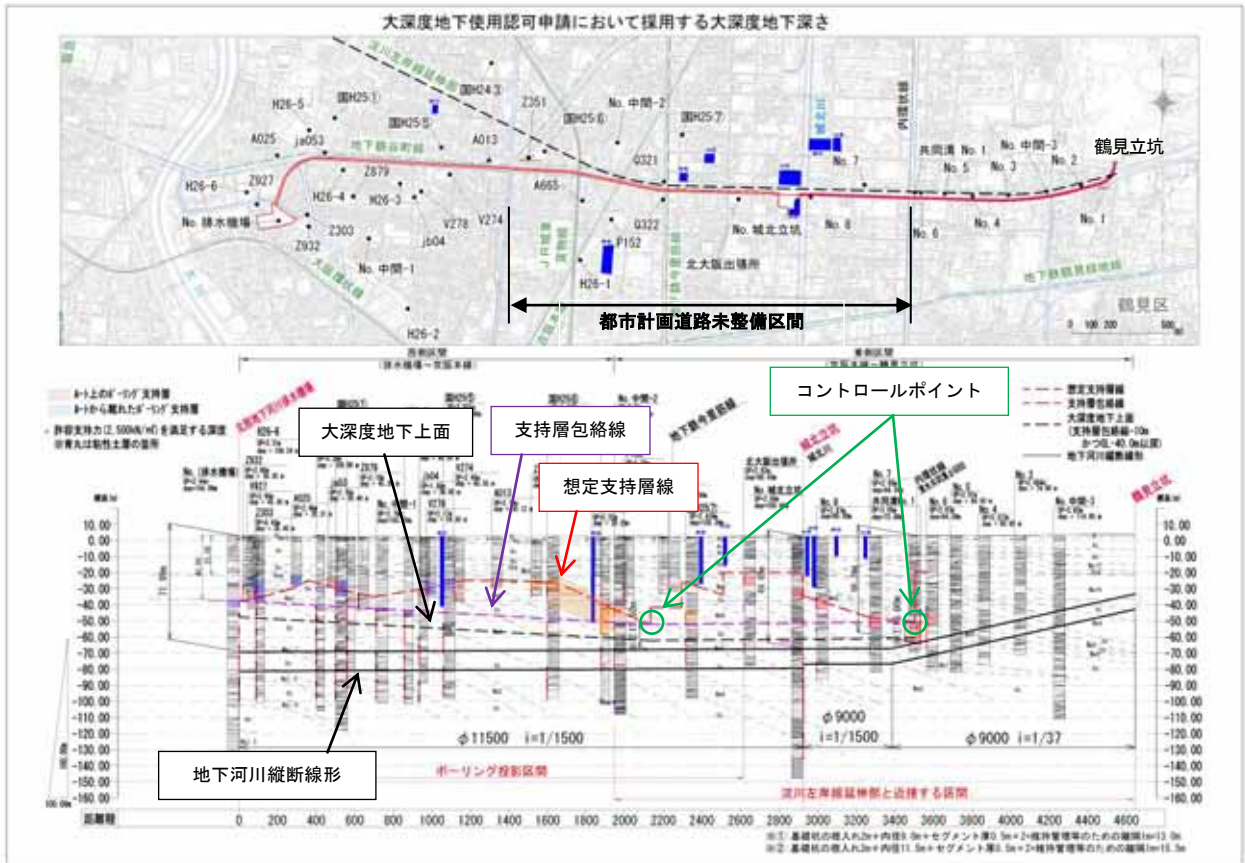


図2 寝屋川北部地下河川事業未着手区間の平面線形・縦断線形・大深度地下深さ

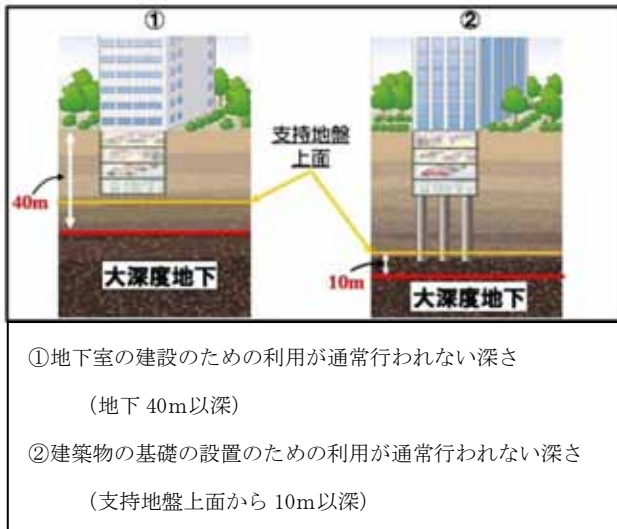


図3 大深度地下の定義

寝屋川北部地下河川の大深度地下の深さは、計画区間の地盤より、②の支持地盤により決定されることになるため、建築物等の基礎杭の貫入が想定される支持層を地質調査等によって特定しなければならない。

大阪府東部域の地層は東西方向に大きく傾動して

いることが知られているが、大深度地下の地質データは十分な蓄積がないため、部会においては、既往の地質調査データに加えて、計画ルート近傍においても追加の地質調査を実施し、想定地層断面図を作成して地層分布の把握を行った。

支持層の特定にあたっては、まず各地質調査地点で支持力の判定を行い、地質調査データが比較的密に得られている京阪本線から東側の区間においては、想定地層断面図上で連続的な支持層を特定した。一方、地質調査データが比較的疎な京阪本線から西側の区間においては、支持層のコンターを作成することで、データの補完を行って、連続的な支持層の分布を推定した支持層線を作成した。

さらに、図4に示すように想定支持層線の局所的な凹凸を消去するために支持層包絡線を作成し、これから10mの離隔を確保した深度を大深度地下上面ラインと決定した。

この大深度地下上面ラインよりも以深に地下河川

を配置することとなるが、国道 479 号（大阪内環状線）交差部付近と、国道 1 号（今里筋）交差部付近で大深度地下上面が深くなったため、これらが縦断線形のコントロールポイントとなった（図 2 下）。

縦断線形を設定した結果、鶴見立坑から国道 479 号（大阪内環状線）に至る区間において $i=1/37$ という急勾配が生じるとともに、下流端（排水機場）における管頂高は約 72m となり、従来案と比較して約 26m 深くなった。

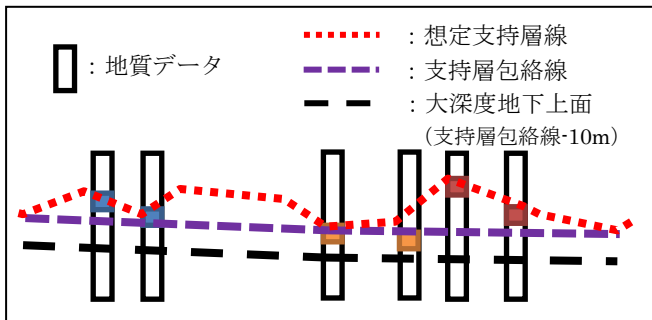


図 4 想定支持層線・支持層包絡線・大深度地下上面の関係

4. 都市計画の変更

平面ルートと縦断線形の決定を受けて、平成 2 年度に決定済みの都市計画の変更（平成 29 年 3 月 23 日付け大阪府告示第 519 号）を行った。これは、大深度地下使用法による権利設定に先立って、都市計画法による立体都市計画区域を定めて地域との合意形成を図っておくことが望ましいとされているためである。

今回の都市計画変更の要点は、①大深度地下使用法適用区間における立体都市計画の設定、②立体都市計画区間における離隔・荷重条件の設定（図 5）、③（仮称）淀川左岸線延伸部との調整による平面線形の変更、④守口調節池の追加に伴う管径の変更、である。離隔・荷重条件を設定することにより、この条件の範囲内の建築行為は都市計画法第 53 条第 1 項による許可申請が不要となるため、上面の土地利用規制の緩和につながる。

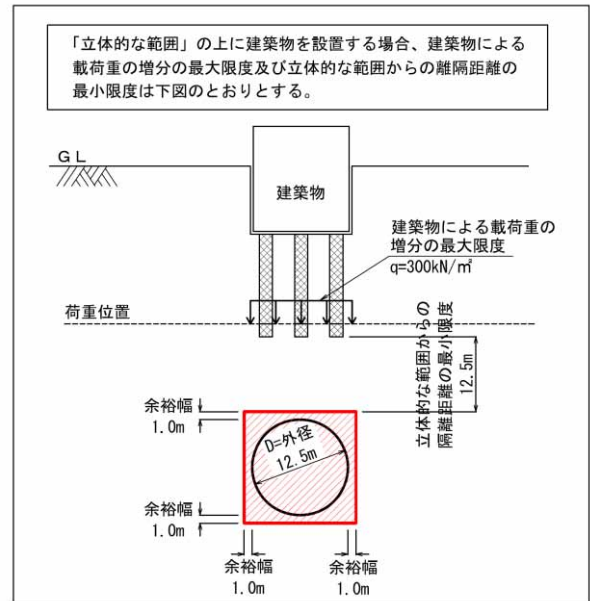


図 5 立体都市計画のイメージ

5. 水理模型実験による検討

大深度地下深さを考慮した地下河川の縦断線形の設定に伴い、急勾配区間と高落差における水理的な検証が必要となるため、水理模型実験により検討を行った。（図 6）

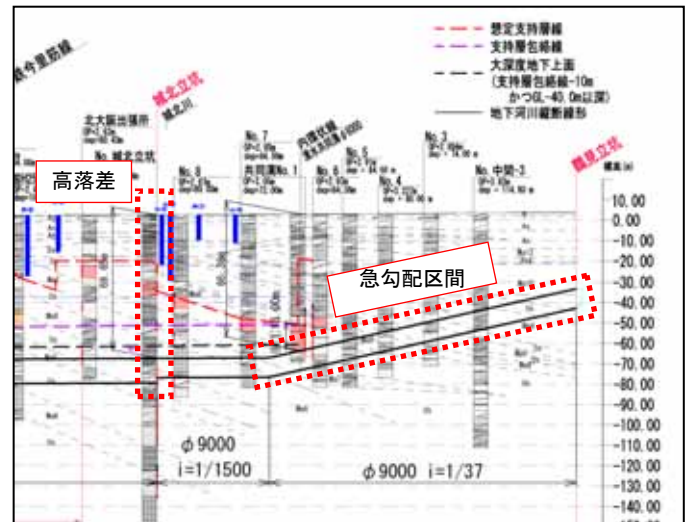


図 6 水理模型実験による検討箇所

まず、急勾配区間を開水路流状態で流下した場合に、河川砂防技術基準（案）同解説・設計編 [I] におけるトンネル河川の許容流速 7m/s を大きく上回る流速が生じ、管路や立坑の構造に悪影響を及ぼす可能性が高いと考えられるため、減勢対策について検討を行った。減勢工として、階段工や棧粗度（水

平、円形)の減勢効果を水理模型実験で検証し、目標とする効果を得る手法を確認することができた。

また、城北立坑においては、地上河川の城北川からの取水を予定しているが、ここでの落差が約70mとなる。従来深度の計画落差は約44mであり、これに対しては平成2~3年度に水理模型実験を実施し、千鳥階段型の減勢工が妥当であるとの結論を得ているが、今回落差が大きくなることにより、千鳥階段型での維持管理コストの負担増を踏まえ、ドロップシャフト型について改めて検討することとした。これに合わせて、城北川の取水堰についても水理模型実験により検討を行った。

ドロップシャフト型の減勢工では、水理模型実験により立坑流入部の狭窄部の設置位置を改良することなどにより、既往の千鳥階段型と同程度まで空気混入濃度を低減できることが確認できた。(図7)

なお、詳細な実験内容については、同時に「寝屋川北部地下河川における急勾配区間の減勢構造に関する水理模型実験について」、「寝屋川北部地下河川における城北取水立坑の減勢構造に関する水理模型実験について」、「城北川から寝屋川北部地下河川へ取水する堰構造に関する水理模型実験について」にて報告しているので参照されたい。



図7 水理模型実験の様子

(ドロップシャフト型減勢工)

6. 環境の保全のための検討

「大深度地下の公共的使用における環境の保全に係る指針」では、表1のとおり環境の保全のための検討項目が示されているため、これに従い調査検討を行った。なお、検討項目のうち、「その他」については、今回、目的構造物が地下河川であるため該当するものはない。

表1 環境の保全のための検討項目

項目	細目
地下水	地下水位・水圧低下による取水障害・地盤沈下
	地下水の流動障害
	地下水の水質
施設設置による地盤変位	施設設置による地盤変位
化学反応	大深度地下に存在する還元性の地層に起因する地下水の強酸性化、有害ガスの発生、地盤の発熱及び強度低下
掘削土の処理	掘削土の処理
その他	施設の換気等 交通機関等の大深度地下の使用

① 地下水

地下河川(管渠・立坑・排水機場)の築造による流動障害、取水障害、及び水圧低下による地盤地下の影響を検討した。その検討手法としては、構造物設置による三次元的な影響を定量的に評価できる「三次元解析」により実施することとした。「三次元解析」に必要となる、地盤、地下水位のデータを収集するため、既存の土質調査結果、地下水の既往資料を整理するとともに、地下河川のルート、立坑と排水機場の予定地の4箇所を地下水位観測点とし、それぞれ5~7の深度(帯水層)に対するストレーナーを有する観測井戸を設け、1年間水位を観測した。

これら土質調査結果等をもとに、現況再現解析として、三次元地層モデルを作成し、地下浸透量の条件や透水係数を設定、調整しながら、実際の観測井戸の水位の再現(キャリブレーション)を行った。

(図8上)

この解析モデルにより地下河川(管渠・立坑・排水機場)の築造後の影響を解析した結果、地下水位については、管渠、立坑では水位変化はほとんど生

じなかった。排水機場では、流動障害により 5cm 未満の微小な水位低下が生じるが、日々の水位変動の履歴内に収まる範囲であること、影響範囲が事業予定地内に収まることから取水障害は生じないものと判断した。地下水位低下に伴う圧密沈下量についても、排水機場において局所的に 5mm 未満の沈下が生じるのみであることから影響は軽微であると評価した。

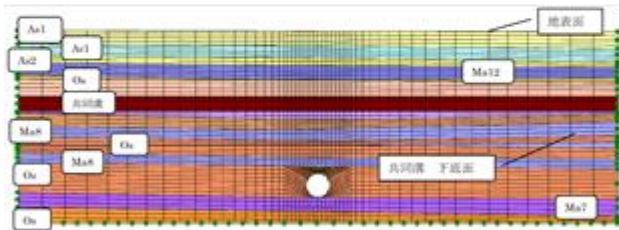
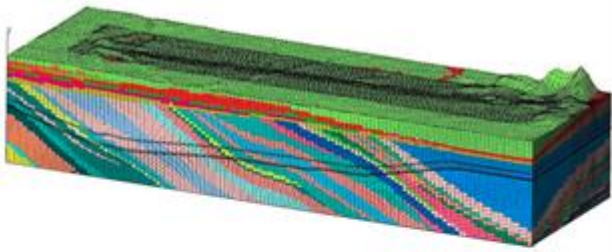


図8 数値解析モデルの例
 (上:三次元地下水浸透流解析モデル
 下:二次元地盤変位解析モデル)

また、地下水の水質に関しては、図9の示す位置で、地下水の環境基準(全28項目)について、地下水位観測地点4地点22検体の検査を行った確認した結果、ヒ素が2地点2検体で、塩化ビニルモノマーが2地点3検体で環境基準値を超過していた。地下河川管渠の築造は密閉型シールド工法の採用を予定しており、地下水の水質に著しい影響を与えるものではないと考えており、施工に合わせたモニタリング調査を実施し、水質に著しい変化が見られた場合、必要に応じて対策を講ずることとした。

② 施設設置による地盤変位

地盤変位解析は、横断方向断面を対象とした2次元FEM解析(弾性解析)により行った。解析断面は、全体の傾向を把握するため大深度地下使用法を適用

する区間で3断面とし、影響対象施設となる土被りの大きい地中構造物、高層建物に隣接する箇所を選定した。

地盤条件の設定にあたっては、ルート近傍の既往ボーリング調査結果を優先的に採用し、試験結果のないものは、一般値を採用した。応力解放率については、採用を予定している泥水式シールド工法での既往事例を整理するとともに、東日本旅客鉄道株式会社の近接工事設計施工標準を参考に算定した値から一律10%とした。(図8下)

地盤変位解析結果は、いずれも影響対象施設の変位は許容値以内に収まっていることを確認した。

③ 化学反応

大深度地下に存在する還元性を示す地層については、酸素に触れることにより、地層中に含まれる物質と空気・水との化学反応が発生し、地下水の強酸性化、有害なガスの発生、地盤の発熱及び強度低下が生じる可能性があるため、事業区域内の土壌や水質を調査する必要がある。(図9)

地下水のpHについては、6.8~7.6(平均7.3)とほぼ中性で、極端な酸性化を生じていない。また、極端な強還元性を示す地下水も確認されなかった。

土の酸性化について調査した結果、pH4.7~9.7(平均8.4)と極端な酸性化を生じておらず、COD等の分析結果では、施工深度付近に極端な強還元性を示す地盤は確認されていない。

これらの結果に加え、密閉式シールド工法では、掘削地盤と空気の接触は最小限で、化学反応を生じる可能性は極めて低いと評価した。

④ 掘削土の処理

泥水式シールド掘削機で掘削土は、土砂と汚泥に分離して処分することとなる。排水機場から鶴見立坑までの延長約4.7kmで、土砂は約32万 m^3 、汚泥は約26万 m^3 が見込まれ、これらの処分先については、現時点では、大阪湾広域臨海環境整備センターを想定し、本事業での土砂等を適正に処理できるも

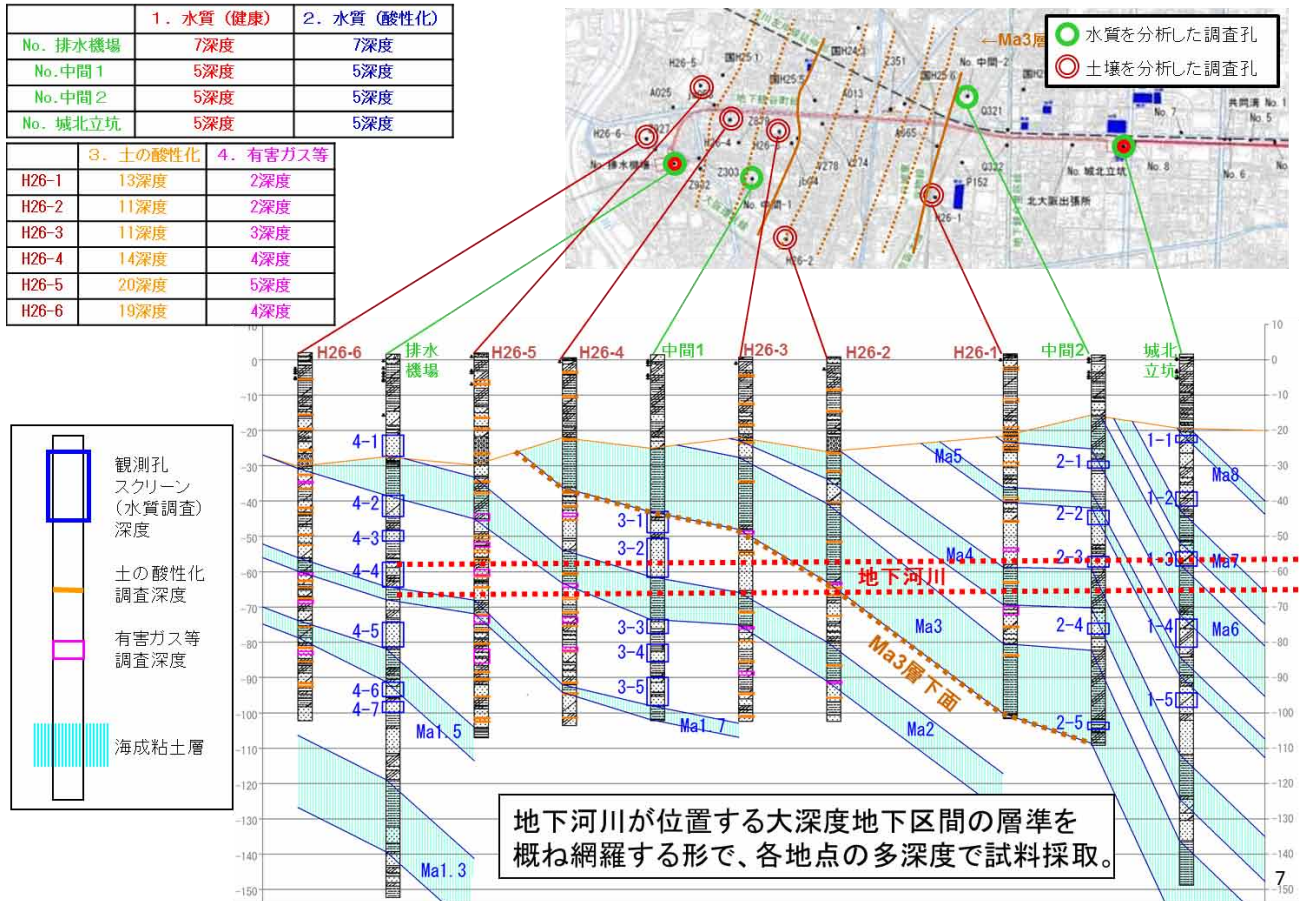


図9 水質調査・土壌調査 位置図

のと考えている。

また、掘削土の搬出車両による城北立坑周辺地域への影響を低減させるため、立坑用地に隣接する城北川を使った水上運搬についても検討を行い、その実現可能性を確認した。

7. 事業認可の取得

大深度地下使用の認可申請にあたっては、当該事業が所管大臣の認可を受けていることを証明しなければならない。本事業については、平成7年度に全体計画として大臣認可を受けているが、平成9年に河川法が改正され、圧力管運用の地下放水路については、河川整備計画とは別に国土交通大臣の認可を得ることが義務付けられた。現在、事業認可の取得を目指し、国土交通省と調整を進めている。

8. おわりに

大深度地下使用法の適用事例は全国的に見て非常

に少なく、特に河川事業においては、本事業が初適用となるとともに、検討すべき項目が多岐にわたることから、手探りの部分も多い状況であるが、部会委員に意見を賜りながら計画・検討を進めてきた。

本年度内にも大深度地下使用認可の申請に到達すべく、引き続き尽力していきたい。

最後に、本稿が類似事業の推進の参考となれば幸いです。

(謝辞)

今回の検討では、部会で審議をするにあたり、大阪市立大学大学院 阿部教授、関西大学環境都市工学部 石垣教授、大阪市立大学大学院 大島教授、京都大学防災研究所 川池准教授、一般社団法人地域地盤環境研究所 北田主任研究員、立命館大学理工学部 建山教授、京都大学大学院 戸田教授、京都大学大学院 三村教授に、さまざまご指導を賜り、厚く御礼を申し上げます。

ハット形鋼矢板のラインナップ拡充

佐野 陽一¹・永尾 直也²

¹新日鐵住金株式会社 大阪支社 建材開発技術室 (〒541-0041大阪府大阪市中央区北浜4-5-33)

²新日鐵住金株式会社 大阪支社 建材開発技術室 (〒541-0041大阪府大阪市中央区北浜4-5-33)

ハット形鋼矢板は、有効幅900mmの大断面で、左右非対称継手を有する鋼矢板であり、施工性、構造信頼性、経済性に優れている。従来は、10H、25Hの2サイズのみであったが、より高い断面性能を有する45H、50H型を新たに開発、2014年より製造、販売を開始することにより、ハット形鋼矢板のラインナップを強化した。本稿では、45H、50H型の特徴と、実用化に向け実施した各種取組み、および適用事例について報告する。

キーワード ハット形鋼矢板、ラインナップ強化、構造信頼性、経済性

1. はじめに

わが国の鋼矢板は、1929年に鋼矢板国産化に着手、1931年に製造、販売を開始して以来、河川工事、港湾工事、仮設土留め工事等の幅広い用途で、普及発展を遂げてきた。大量生産可能な圧延技術及び設計施工に関わる利用技術等の開発を進め、鋼矢板需要量はピーク時には年間100万トンを超え、近年も東北震災復興、全国防災・減災事業への適用が進められ、年間60万トン前後で推移している。

この間、建設コスト縮減の社会的ニーズを受けて、河川・港湾工事を中心とした永久構造物の本体壁に利用される鋼矢板は、400mm幅のU形鋼矢板から600mm幅のU形鋼矢板(広幅鋼矢板)が主流となった。その後、更なる建設コスト縮減が求められるようになり、その対応として、2005年より有効幅900mmのハット形鋼矢板の製造・販売を開始している。

2. ハット形鋼矢板 45H、50Hの特徴

ハット形鋼矢板は、有効幅が900mmの大断面で、嵌合継手の位置を壁体の最外縁部に配置し両継手を左右非対称とした形状の鋼矢板である。形状・寸法許容差、化学成分・機械的性質はJIS A 5523(溶接用熱間圧延鋼矢板)に準拠している。

ハット形鋼矢板は、販売開始当初、従来のⅡw、Ⅲw型に相当する10H、25Hの2種類のみであったが、2014年、新たに45H、50Hをサイズ追加し、ハット型鋼矢板のラインナップを強化した。ハット形鋼矢板の断面図、断面

諸元、および機械的性質を図1、表1、および表2に示す。

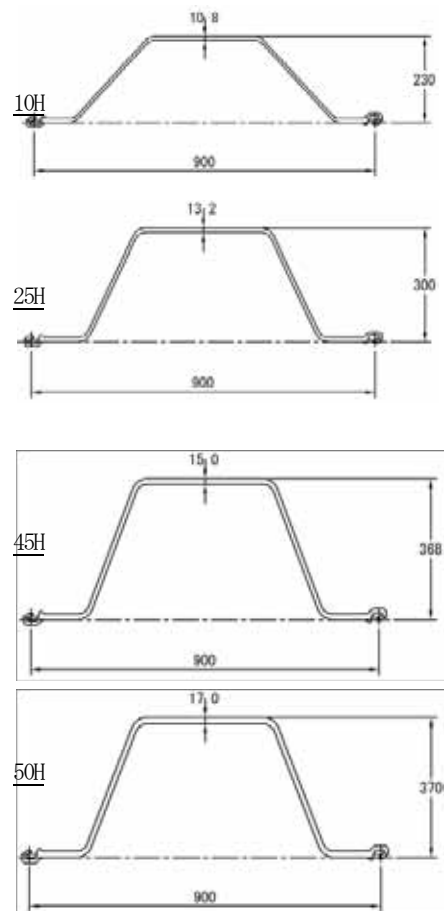


図-1 ハット形鋼矢板の形状、寸法

表-1 ハット形鋼矢板の断面諸元

型式	寸法			壁幅1m当たり断面諸量			
	有効幅	有効高さ	板厚	断面積	断面二次モーメント	断面係数	単位質量
	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	kg
10H	900	230	10.8	122.2	10,500	902	96
25H	900	300	13.2	160.4	24,400	1,610	126
45H	900	368	15.0	207.8	45,000	2,450	163
50H	900	370	17.0	236.3	51,100	2,760	186

表-2 ハット形鋼矢板の機械的性質(JIS A 5523)

規格記号	降伏点または耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	試験片	伸び
				(%)
SYW295	295以上	450以上	1A号	18以上
			14B号	24以上
SYW390	390以上	490以上	1A号	16以上
			14B号	20以上
SYW430	430以上	510以上	1A号	14以上
			14B号	19以上

ハット形鋼矢板は、以下のような優れた施工性, 構造信頼性, 経済性を有する。

a) 優れた施工性

ハット形鋼矢板は、継手近傍に平坦部を設け、部材一枚あたりの剛性を高くして施工時における土中での部材変形を抑制し、さらに、継手嵌合時に隣り合う部材の向きを揃えたことにより、施工時の部材の変形モードを一致させ、継手の競りによる貫入抵抗を抑制し、大断面でありながら優れた施工性を有している。

b) 高い信頼性

図-2 に示すように、継手が壁体最外縁に位置するため、鋼矢板単体の中立軸と壁体形成時の中立軸が一致し、U形鋼矢板で考慮していた継手効率(鋼矢板形状及び継手位置に起因する断面性能低減)を考慮する必要がなく、様々な適用条件においても確実に構造性能を発揮できる。

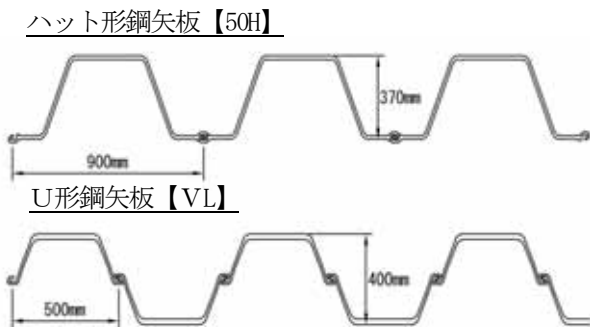


図-2 ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の比較

c) 優れた経済性

図-3 に示すように、U形鋼矢板に比べて鋼矢板壁、単位壁面積あたりの鋼材重量が低減されるとともに、図-2 に示すように、有効幅を900mmとしたことにより施工枚数を広幅鋼矢板と比べて削減でき、工期短縮による建設コスト削減を可能とした。材料費と施工費の比率を4:1と仮定し試算した各型式ごとの経済性効果の例を表-3 に示す。

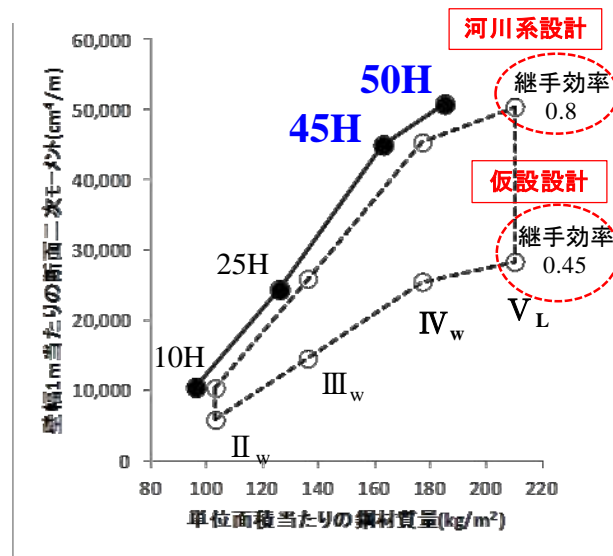


図-3 鋼材重量と断面性能の関係

表-3 ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の比較例

型式	比較	材料費		材工費
		▼	▼	
10H	(II _w →10H)	7%	20%	9%
25H	(III _w →25H)	7%	20%	9%
45H	(IV _w →45H)	8%	20%	10%
50H	(V _L →50H)	11%	25%	14%

※) 材料費 (2013年9月 物価版より)

ハット形鋼矢板のサイズ追加に伴い、45H および 50H の打設ができる施工機械および施工法の開発が必要不可欠であった。また、ハット形鋼矢板の普及促進を図るため、周辺技術の整備も並行して進める必要があった。以下では、ハット形鋼矢板のサイズ追加に合わせて実施した施工技術の開発および周辺技術の整備と、新たな適用法について述べる。

3. 施工機械および施工法の開発

鋼矢板の打設は、主として、バイプロハンマ工法と油圧圧入工法が用いられている。以下では、それぞれの工法の概要と、機械メーカーと共同で実施したハット形鋼矢板のサイズ追加に伴う技術開発について述べる。

(1) 施工機械の開発

a) バイブロハンマ工法

バイブロハンマ工法は、鋼矢板頭部を把持したバイブロハンマ機が起振し、鋼矢板及び地盤に振動を伝達して鋼矢板を打ち込む工法である(写真-1)。施工速度が速く、また硬い地盤への施工も可能である。



写真-1 バイブロハンマ工法による鋼矢板打設状況

バイブロハンマ工法については、従来のU形鋼矢板では矢板ウェブ部の1箇所把持(シングルチャック機構)であるのに対し、大断面であるハット形鋼矢板では振動を効率的に伝達させるために矢板フランジ部の2箇所把持機構(ダブルチャック機構)を標準施工仕様とした。バイブロハンマ本体は従来機がそのまま適用でき、鋼矢板把持機構にダブルチャック装置を取り付けるのみでハット形鋼矢板の施工に対応できる。ハット形鋼矢板のフランジ角度については、10H~50Hの型式毎に異なるため、写真1に示す45H、50H型向け専用ダブルチャックを開発した(図-4)。

ハット形鋼矢板

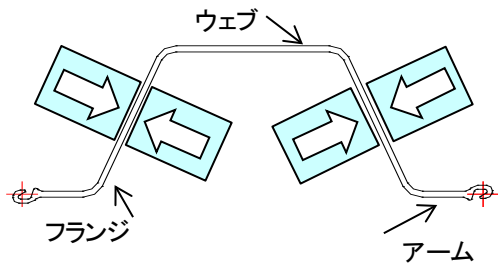


図4 ハット形鋼矢板のチャック装置

b) 油圧圧入工法

油圧圧入工法は、既に打ち込んだ鋼矢板の引抜き抵抗力を反力として鋼矢板を静的に地盤中に押し込む工法であり、都市内工事等での低振動・低騒音施工、狭隘地施工等に適した施工法である(写真-2)。



写真-2 油圧圧入工法による鋼矢板打設状況

図-5に示すように、油圧圧入工法では、ハット形鋼矢板の専用機により施工する。油圧圧入機においても、従来のU形鋼矢板では矢板ウェブ部の1箇所把持であったのに対し、大断面であるハット形鋼矢板では圧入力を効率的に伝達させるために矢板アーム部の2箇所把持としている(図-6)。

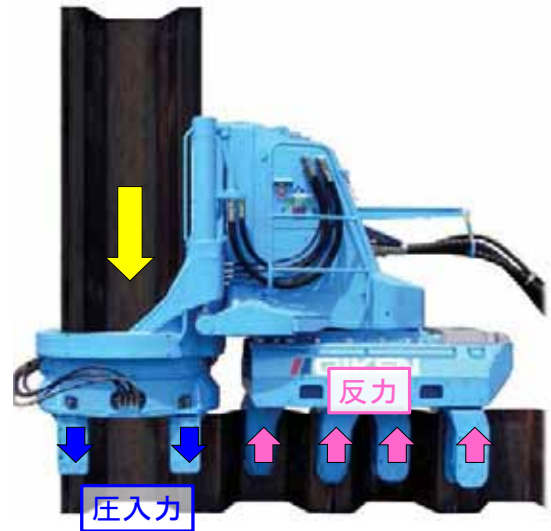


図5 油圧圧入機と圧入工法の概要

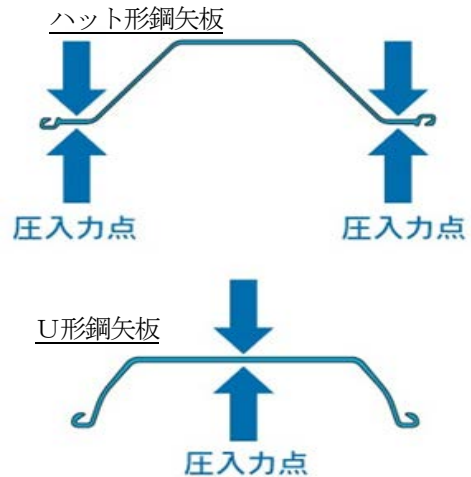


図6 ハット形鋼矢板の把持方法(油圧圧入工法)

また、圧入機は、ハット形鋼矢板 10H~50H の型式に左右されずにアーム部を把持できる形状であるため、これまでのハット形鋼矢板専用機での施工が可能である。また、ウォータージェット補助工法の適用範囲を超えるような硬質地盤(N 値>50)に対しても、オーガを併用した圧入施工が可能な施工機の開発を実現したことで、より広範囲の地盤条件への打設が可能となった(図-7)。



図-7 地盤特性と圧入施工法

施工スペースに制約がある等、クレーンの設置が困難な場合には、写真-3 に示すようなノンステージ圧入工法を適用することにより、施工を可能とした。これは、圧入機に加え、材料を建て込むクレーンも既打設の矢板の上を移動することができ、材料置き場(ヤード)と圧入機まではパイルランナーと呼ばれる運搬機が同じく既打設の矢板の上を移動する画期的な工法である。ハット形鋼矢板の普及にあわせて、ハット形鋼矢板全型式で適用可能な工法として確立した。



写真-3 ノンステージ圧入工法の 施工状況

(2) 施工性確認試験

市場投入に先立ち、パイロハンマ工法及び油圧圧入工法、それぞれについて、実地盤を用いた施工性確認試験を実施した。以下で、その内容について述べる。

a) パイロハンマ工法

本試験では、長さ 12.0m (単独施工試験用) と 25.0m (ウォータージェット補助工法併用試験用) の 45H, 50H およびIVw を用い、当社研究所敷地内の実地盤に鋼矢板を打設し、その施工性を確認するとともにパイロハンマやウォータージェット補助工法の有無による影響を比較した。なお、鋼矢板の把持は、ハット形鋼矢板はダブルチャック装置を、広幅鋼矢板はシングルチャック装置を用いた。

写真-4 に打設状況を、図-8 に本試験の地盤条件と打設深度 1m 毎の打設時間を示す。なお、パイロハンマ単独工法は N 値 50 を超えるまでとし(12.0m 材料適用)、より硬質な地盤への打設についてはウォータージェット補助工法を併用し打設性を検証した。



写真-4 打設試験状況 (パイロハンマ工法)

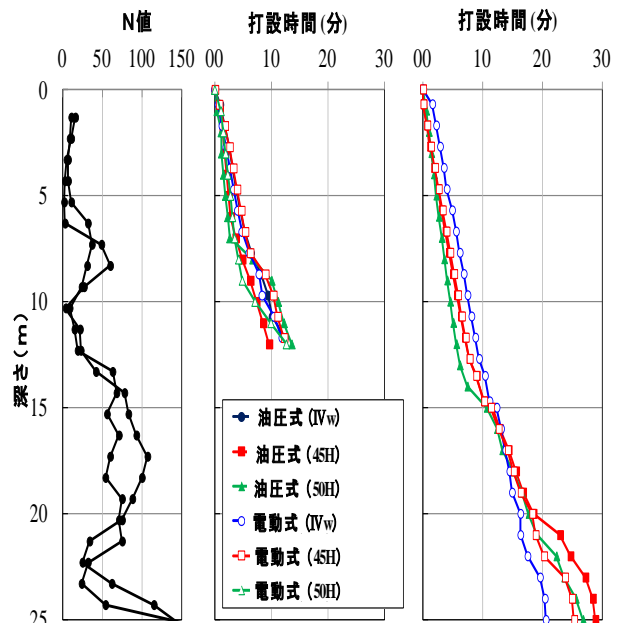


図-8 打設試験結果 (パイロハンマ工法)

打設時間の傾向には多少のばらつきはあるものの、ハット形鋼矢板の1枚当たりの有効幅は広幅鋼矢板の1.5倍を有していることを考慮すると、同一施工延長として見た場合の打設時間は、ハット形鋼矢板の方が短くなり、工期短縮および施工費削減に寄与することができる。

b) 油圧圧入工法

本試験では、前述の試験同様、長さ12.0m（ウォータージェット補助工法併用試験用）のハット形鋼矢板45H、50H（25Hは参考）およびIVwを用い、実地盤に鋼矢板を打設し、その施工性を確認した。写真-5に打設状況を、図-9に本試験の地盤条件と打設深度1mごとの打設時間を示す



写真-5 打設試験状況（油圧圧入工法）

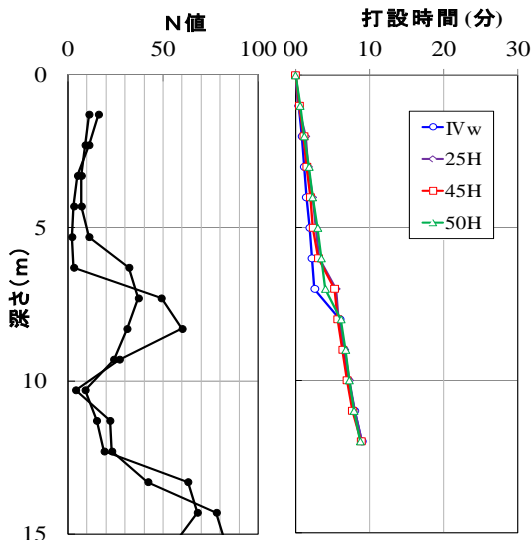


図-9 打設試験結果（油圧圧入工法、WJ有り）

本試験でも、ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の打設時間はほぼ同等で、十分な施工性が確認された。これは、同一施工延長として見た場合、ハット形鋼矢板の方が打設時間を短縮でき、工期短縮に伴う建設コスト削減に期待できることを意味するものと言える。なお、単独施工の実大施工試験も実施し、上記同様、打設時間はほぼ同等で、問題なく施工できることを確認した。

また、10H～45H型を同一機械で連続打設し、10Hと25Hおよび25Hと45H各々について嵌合性試験を行い、型式が変わっても同一機械での連続打設が可能であることを確認した（写真-5）。

4. 周辺技術整備

ハット形鋼矢板の普及促進に向け、サイズ追加と並行して周辺技術の整備も実施した。以下では、①鋼矢板の適用範囲を拡大するための高規格材料の実用化、②腐食環境の厳しい港湾・海洋構造物への適用を促進するための重防食対応技術の整備、③都市部の河川護岸等、景観対策が要求される構造物への対応技術の開発について、具体的に述べる。

a) 鋼矢板鋼材の高強度化

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震以降、海岸保全施設および河川堤防等の液状化対策、津波対策に対する社会的ニーズが全国的に高まっており（特に、南海トラフ地震対応としての東海～九州太平洋沿岸域）、鋼矢板法尻対策、二重鋼矢板堤防の需要が増加している。本分野では大きな作用力に抵抗し得る高い耐力が必要とされる傾向にあることからより高強度な材料が望まれる。そこで、表-2に示したように、従来のSYW295材・SYW390材に加えSYW430材を投入し、より大きな耐力が要求される構造物にも、鋼矢板の適用を可能にした。当該材質は、既にJIS A 5523(2012)に記載されたJIS規格品であることから、幅広い分野での普及を期待している。

b) 重防食塗装

港湾・海洋構造物は海水に接し、潮位の変動や波しぶきを受けるといった環境下にあることから、施設を適切に維持管理し、長期にわたり活用していくためには鋼材の腐食を抑止することが必要となる。そこで、ハット形鋼矢板45H、50H型に対しても、他の型式同様、工場でウレタンエラストマーを被覆して防食機能を付与した重防食鋼矢板（写真-6）の製造体制を整備し、実用に供している。



写真-6 重防食鋼矢板

c) 頭部笠コンクリートのプレキャスト化

ハット形鋼矢板は頭部拘束の有無に関わらず、継手効率による断面性能の低減が不要であるが、壁体としての景観面から頭部をコンクリート被覆することが多い。そうしたニーズに対応する技術として、コンクリート被覆に要する工期の短縮を目的に、ハット形鋼矢板全型式に適用可能なプレキャストタイプの頭部被覆ブロックが開発されている（写真-7）。



写真-7 ハット形鋼矢板へのプレキャスト笠コン実施事例

当近畿地区でも、先行して市場投入した 10H、25H の適用事例は着実に増加しつつあるとともに、今年度、南あわじ市の福良港の護岸工事で、45H の適用工事が実施される（写真-8.9）など、ハット形鋼矢板の適用事例は、今後、飛躍的に拡大していくことが期待される。



写真-8 現場納入したハット形鋼矢板（45H）



写真-9 鋼矢板打設状況

5. 適用事例

ハット形鋼矢板は本設構造物としての港湾工事、河川工事や仮設構造物としての土留め壁、止水壁等に幅広く適用され、数多くの実績を蓄積してきた。また、道路擁壁、軟弱地盤上への築堤時の応力遮断壁等、これまであまり鋼矢板が適用されてこなかった分野においても、鋼矢板の靱性・強度に優れる材料特性や、都市部等でも比較的容易に打設ができる施工特性を活かし、新たな需要分野での適用事例が増えつつある。特に、東北地方太平洋沖地震以降、想定地震動の巨大化（液状化範囲の拡大）や津波に対する対策として、鋼矢板を堤体の法尻に設置する堤体抑制や、堤体法尻に鋼矢板を 2 列設置し、地震・津波作用時に堤防機能を保持する海岸・河川堤防補強での需要が高まっており、ハット形鋼矢板の適用事例も着実に増大している。

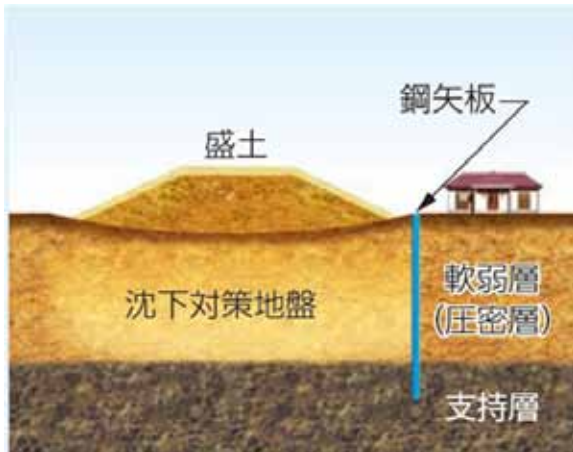


図-10 沈下対策（応力遮断壁）への適用

6. おわりに

ハット形鋼矢板は、鋼矢板の製造技術と、設計、施工に関する利用技術を結集して開発した建材製品であり、今回の 45H、50H 型の投入によりほぼ本設需要を網羅できるラインナップが整った。今後は、幅広い分野で建設コスト縮減、工期短縮等に繋がる技術提案を進め、ハット形鋼矢板の普及を促進することで全国的なインフラ整備に貢献したい。

参考文献

- 1) 乙志和孝, 原田典佳, 西山輝樹, 鈴木崇, 片岡直人, 横山秀幸, 山下浩, 三浦洋介: 新日鐵住金技報, No. 403, 56-61, 2015.
- 2) 原田典佳, 龍田昌毅, 黒澤辰昭, 西海健二, 妙中真治, 若月輝行, 三浦洋介, 江田和彦: 新日鐵住金技報, No. 387, 10-16, 2007.
- 3) (株)技研製作所ホームページ
- 4) 共和コンクリート工業(株)ハットブロックカタログ

第二阪和国道の切土工事におけるICT (i-Construction)の取り組みについて

橋本 清秀¹・加藤 修²

¹浪速国道事務所 建設監督官 (〒573-0094大阪府枚方市南中振3丁目2番3号)

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

「第二阪和国道」切土工事において、ドローンを用いた三次元測量を行い、三次元データを用いてマシンガイダンスを搭載したバックホーにより、切土の施工管理と出来形管理を行った。建設業の生産性向上を図るICT(i-Construction)における切土工事のモデル的な工事となるため、施工者にとっての生産性向上部分の課題や改善点、今後の展望及び監督者にとっての施工性や品質、出来形確保向上部分の改善点、今後の展望を述べるものである。

キーワード ICT, UAV, ドローン

1. 第二阪和国道の概要とICTの概要

1) 第二阪和国道

第二阪和国道は、大阪府阪南市自然田から和歌山県和歌山市元寺町を結ぶ延長約20.6kmの地域高規格道路で国道26号に於ける慢性的な交通渋滞の解消、急カーブ、急勾配等の解消を主な目的として計画された道路です。

平成15年4月19日に阪南市自然田～箱作ランプ間を、平成16年6月19日に箱作ランプ～箱の浦ランプ間を、平成23年3月26日に箱の浦ランプ～淡輪ランプ間を、平成27年9月12日に平井ランプ～大谷ランプ間を、平成29年4月1日に淡輪ランプ～平井ランプ間をそれぞれ、暫定2車線で供用開始したものである。

今回、ICT技術を活用したモデル的な切土工事(第二阪和国道大谷地区道路整備工事)は、平成29年4月1日に淡輪ランプ～平井ランプ間を暫定2車線で供用開始した区間内で淡輪ランプに隣接した大谷地区で実施したものである。

今回実施した切土工事の概要

- ・掘削工 43,650m³
(土砂2,500m³、軟岩34,840m³、中硬岩6,310m³)
- ・法面整形工 6,440m²
- ・植生工 6,880m²
- ・排水構造物工 1式



図-1 位置図

2) ICTの概要

近年、建設業界に取り巻く問題として労働力不足が最重要課題となっている。時代の流れとして、過去の労働力過剰時代から昨今の労働力不足時代へと移り変わっている。その根源には建設業界の世間からの評価が回復及び安定的な経営環境が実現し始めている今、根本的な生産性の向上に取り組む必要がある。

そこで、ICT(i-Construction)を活用することにより、以下の4項目を目指すものである。

- ① 一人一人の生産性を向上させ、企業の経営環境を改善。

- ② 設現場に携わる人の賃金の水準の向上を図るなど魅力ある建設現場。
- ③ 死亡災害ゼロを目指し、安全性が飛躍的に向上。
- ④ きつい、危険。きたない」から「給与、休憩、希望」。

実施内容は、測量・設計から施工・検査、さらには維持管理・更新までのすべてのプロセスにおいてICT技術を導入する。

その具体的な内容として、以下の4項目があるが、そのうち、3項目(①～③)を今回工事にて実施したものである。

- ① ドローン等による3次元測量
- ② 3次元測量データによる設計・施工計画
- ③ ICT建設機械による施工
- ④ 検査の省力化

2. UAVによる切土工事

1) ドローンを用いた3次元測量

3次元測量にはUAV (Unmanned Aerial Vehicle) という無人航空機(ドローン)による写真測量や、レーザーキャナーを利用した測量方法があります。

今回の工事施工箇所においてはドローンを活用して3次元測量を行っており、ドローンを用いる一番の利点として、法丁張りを掛ける必要がないことで工程短縮及び人員削減が行われ、また、重機が動いている状況での測量作業が不要となることで安全性が向上すると考える。

現場ではドローンを飛行させ、UAV搭載のカメラ+GPSと解析ソフトにより3次元立体形状データを作成しました。



写真-1 ドローン飛行状況

ドローンでの空撮にあたり多数の画像を撮影し専用ソフトで解析を行った。それを、1つのデータとする為には等高度・等速度・直進する連続した画像の取得が必要

となります。また、前後左右を必ずラップさせる必要があるので離発着以外はソフトにより自動航行管理を行いました。

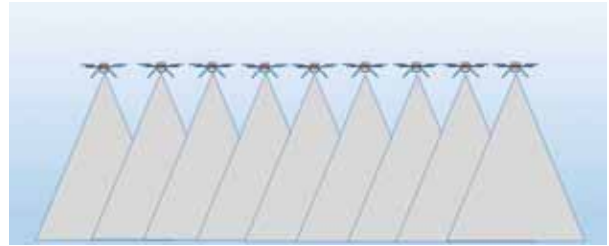


図-2 ドローン空撮ラップイメージ

ここで最も注意が必要なのは、ドローン飛行禁止区域等に関してです。これは、航空法により事前の調査が必要であり、空港及び空港周辺・人口密集地区上空、学校・病院の上空等の様々なケースでの禁止区域が設定されているためです。

今回は、近接して岬高校があり、学校に赴き許可を得ました。又、関西国際空港にも近く航空航路区域に指定されている為、関空へ問い合わせをし確認をおこなったところ、地盤から270m以上の高さまで飛行させなければ良いとの回答を頂きました。UAV飛行上限高さも地盤から150mまでとなっているので条件をクリアしてる事を確認しました。



写真-2 学校及び関空写真

まずは、計測精度を確保するためにGCP (GROUND CONTROL) の設置を行いました。

今回の施工箇所においては、測量延長が100mであるが、GCPを40箇所設置しました。

GCPとは測量成果として精度を向上させる為に上空から認識撮影できる座標(X・Y・Z)を持った対空標識の事です。

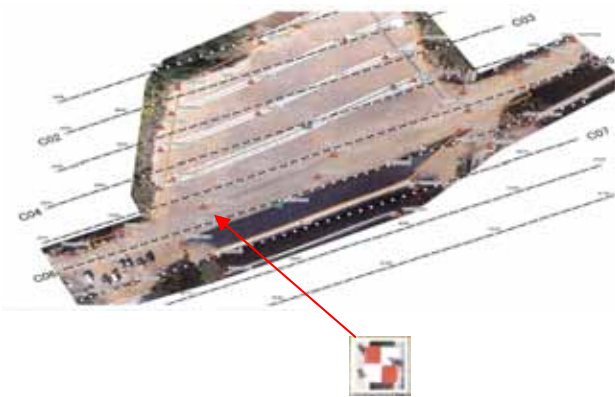


写真-3 GCP設置

次にドローンを飛行及び空撮を行い、そのデータを基に点群データを取得します。

今回は6,991m²に付き点群データの数は7,146個となりました。点群データとは位置情報としてのX座標・Y座標・高さの数値化されたデータとなります。



図-3 点群データ一部抜粋

上記の点群データを基に3次元化を行いました。

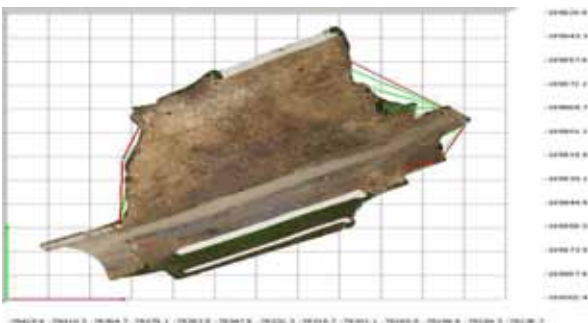


図-4 3次元測量結果

2) マシンガイダンスを搭載したバックホーによる掘削

3次元データを活用しマシンガイダンスを搭載したバックホーによる施工を行った



図-5 GNSSによるバックホウガイダンスイメージ

今回は施工規模により0.45m³級バックホウ1台により施工を行った。

まず最初にバックホウにバックホウガイダンス器具の取付を行った。



写真-4 バックホウガイダンス器具取付

バックホウガイダンス器具を取付後、切土を行った。



写真-5 切土作業状況写真



写真-6 切土作業状況写真

切土完成後、ドローン空撮により施工完了による結果のデータを取得したのが以下の結果である。

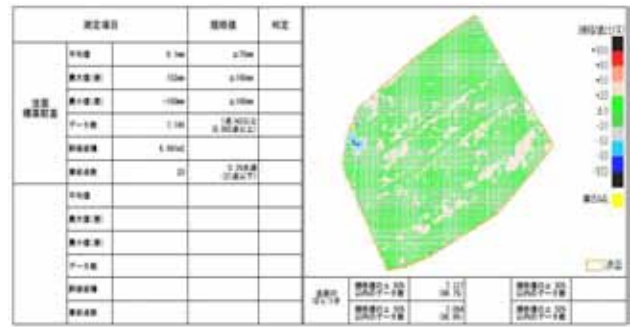


図-8 UAVによる出来形結果

検証結果としてはUAVによる測定では平均値+9.1mmになり平均規格値±70mmをクリアしています。

バックホウガイダンスによる誘導とオペレーターの丁寧な切土作業により良好な値が出たと思われる



図-6 起工測量3次元測量結果



図-7 施工完了3次元測量結果

3. ICT活用による効果及び課題

1)活用による効果

①UAV測量

- ・従来の測量では人的に行っているため、当該現場では法面上での作業となり法面からすべり落ち危険が伴っていたが、UAV測量をする事により安全性が向上した。
- ・測量の作業時間も従来であれば起工測量、出来形測量共に各々3日(3日×8時間=24時間)で合計48時間かかっていたところが、UAV測量をすることにより、起工測量及び出来形測量共に各々1時間の合計2時間の飛行でデータを取得する事ができ生産性が向上した。

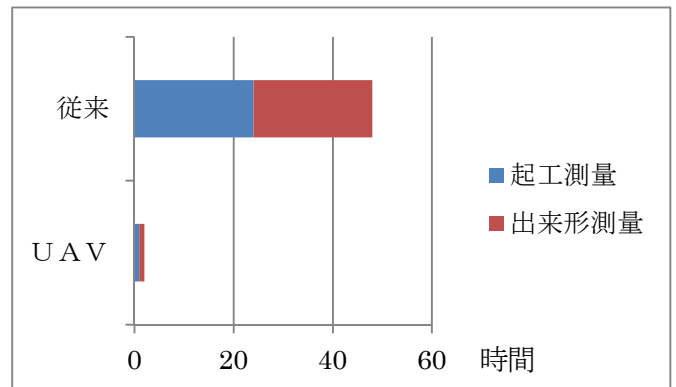


図-9 工程比較表

②バックホウガイダンス搭載のバックホウ掘削

- ・従来の掘削では、オペレーターが重機から降りて法勾配があっているか丁張を確認しながら作業を行っており、安全面からも法面を昇降するので危険であったが昇降する事がなくなったので安全性が向上した。

- ・従来の測量が不要となった事により重機周辺へ近寄らなくなり安全性が向上した。
- ・掘削作業も画面を見ながらガイダンスに従い行うのでオペレーターの理解度も向上し監督とオペレータとの意思の疎通が無くなり間違い等が減り生産性が向上した。
- ・設計に対してミリ単位で低い高いが判断できるので出来形の精度が向上した。
- ・従来であれば、掘削において丁張りで6日、法面整形で20日かかるところが、不要となり約26日間の工程短縮となった。

2)活用による課題と改善点

①UAVによる現況測量

- ・前工事にて掘削工事の一部が実施済みであり、残りの掘削工事が今回の工事であったため、課題とならなかったが、現況が地山からの掘削であれば、課題となるのが伐採である。
- ・起工測量をするに当たり、従来測量では山などの現況測量をする際は伐採をある程度行いながらNo.測点毎（断面管理）に光波やレベルを用いてデータを取っていくが、UAVに関しては面的管理となる為、伐採をすべて終わらせてからUAVにて写真撮影を行いデータを取得する必要がある。
- ・全面伐採をするのにパイロット道路の設置等を行いながら施工をするので、その時点で現況地山の形状が変更し土量数量への影響が出てくると考えられる。
その為、パイロット道路の設置により現況が変更した部分はそのままデータを取り反映をさせる。また、測量データ取得前にパイロット道路により発生した土量は別途測量等を行い、数量を把握する。

②UAVによる出来形測量

- ・土工事での出来形測量は1段毎の測量となり、小段排水の施工前にも測量データを取得する必要がある為、非常にコスト高となる。
- ・岩盤時の出来形は掘削作業時に大型ブレーカにて表面を研り凸凹になる為、規格値に収まらない場合がある。又、軟岩Ⅱ以上については掘削時、節理に添って割れる為、計画通りにならない場合がある。

③岩線計測

- ・岩線の変化点でデータ取得するが、岩の種類毎に全面掘削を完了してからデータ取得となるの

で、今回の現場では、工程上不可能であったため、従来通りの光波とテープによる計測を行った。そのため、範囲を決めてデータを取得したとしても取得した所としていない所の境目のデータが掘削等の施工中である為、大型重機（バックホウやブルドーザ）等でデータ取得する前に掘削や盛り替えをする必要がある。

今回の現場での、岩判定の測量では軟岩Ⅰで1回、軟岩Ⅱで1回、中硬岩で1回の合計3回の飛行であるが、工程上全面出しでの測量は不可能であるため、区割りして測量データを取得するに当たり、14回の飛行が必要になるので、約5倍のコスト増となる。

④技術力

労働力不足の対策としてICT技術の発展を進めてきているが、機械等の誘導に従い作業を行っているとは本来熟年のオペレータの様に技術が身についており何かあった時、現状に合わせて施工を行う事ができ対応ができるがこれからの若年層の様に機械の指示で作業を行っているとは誘導が無ければ何もできない又は現状に合わせて作業をする事ができない。

技術が身についていないと言った現象が起きる可能性もあり将来が不安である。

4. まとめ

今回、既に切土工事の一部が完成している箇所において、残りの切土工事を施工するにあたり、ICT技術を活用し施工したところ、起工測量をUAVによるGPS自動航行で実施し、通常1～2日かかる作業が短時間で完了するなどの効果があった。また、法面整形ではバックホウガイダンスというICT技術を活用したことで、手戻りのない作業が可能になるとともに、均一な施工となり品質が向上した。また、安全面においても、重機が動いている状況での測量作業が不要になることで、安全性が向上した。

一方で、今回工事のような切土工事であれば、岩種別が変更となる箇所でのUAV測量が効率的に実施できないため、従来の測量を併用しながらの作業となり、作業効率が向上しなかった。

このように課題はあるものの、開通を控えた工事では、隣接する盛土工事や後工事の舗装工事と工程調整を行いつつ、切土工事内に工事用道路を確保する必要のある工事において、ICT技術を活用し、工程短縮、品質向上、安全面について一定の効果を確認出来たことは、今後のICT技術の普及に貢献できたと考えられる。

管理型海面処分場の利用促進のための試験杭の打設について

上中 一弘¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾事務所 保全課 (〒651-0082神戸市中央区小野浜町7番30号) .

管理型海面処分場に適切な遮水性を確保した状態で基礎杭を打設することが可能になれば、低レベルの利用状態にある処分場跡地の利用レベルを向上させ、その経済効果を周囲に波及させる事が可能となる。そこで、より安価で確実な遮水層を貫く杭打設方法について知見を得るべく、尼崎西宮芦屋港にて、焼却灰等の廃棄物地盤において実施した杭打設試験で以下の知見が得られた。まず、オールケーシングを併用した中堀圧入工法は未処理廃棄物地盤に加え、焼却灰等の廃棄物地盤でも有用性が確認された。一方、中堀圧入工法、打撃工法を単独で用いた場合にはそれぞれ施工上の課題及び杭先端における廃棄物の連れ込みが確認された。また、打撃工法に併用する補助工法については一定の有効性が確認できた。

キーワード 管理型海面処分場, 杭, 粘土層, 遮水, 跡地利用

1. はじめに

海面処分場は大都市の海面を埋め立てて造成されることから、土地利用上大きなポテンシャルを有している。しかしながら、図-1.1のとおりその利用実態は公園やグラウンド、農地等の基礎工が不要な底層利用となっているのが実態である。これは、海面処分場がその立地上軟弱地盤であり、高層利用を行うには基礎杭の打設が不可欠である一方、遮水層として自然に堆積した粘土層地盤の遮水性を期待している事から、これを貫くことによる影響を適切に把握しなければならないためである。

このため、本試験施工は既往の知見を踏まえ、焼却灰等の廃棄物地盤における杭の打設における影響等を調べるために実施した。なお、実施に当たっては別途設けられている管理型海面処分場の早期安定化及び利用高度化技術に関する委員会より意見をいただきながら施工している。

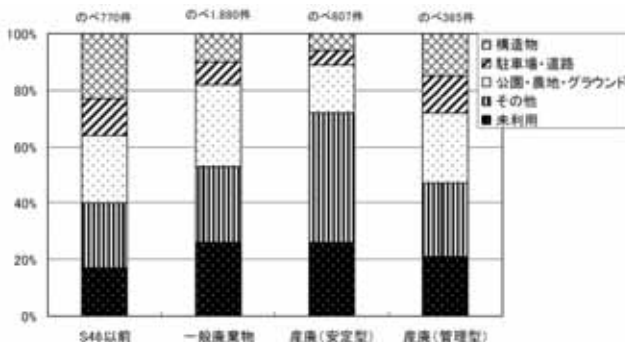


図-1.1 廃止された最終処分場跡地利用の実態¹⁾

2. 既往の知見について

(1) 既往の施行事例

菊池ら¹⁾の調べによると管理型処分場への杭打設事例は2件あるが、内1件(第二名神高速道路桑名ICでの橋梁基礎杭打設)は処分場の構造基準が定められた平成10年前後に検討されており、処分場外周全体に遮水壁を不透水層まで打設するような工法をとっているため、本項ではもう1件の東京港臨港道路建設に伴う橋梁基礎杭打設について事例を示す。

a) 概要

東京港臨港道路第(II)期事業においては一部の工区が廃棄物処分場に位置する橋梁工区となっている。

当該工区は厚さ10m程度の廃棄物層の下に遮水層となる厚さ20~40mの軟弱な荒川沖積層が堆積しており、橋梁構造を支える支持層はその下部に位置する。このため、杭が遮水層を貫いても遮水機能を保持するような基礎杭施工方法が検討された。

b) 施工方法

本工区では以下の方法で杭の施工が実施された。

まず、オールケーシング工法により廃棄物層を掘削、除去し、その中に廃棄物層と杭を隔離するための外周管、及び本杭を打設することにより、遮水機能を保持しつつ基礎杭の打設をおこなっている。(図-2.1)

しかしながら本工法はケーシング、外周管、本杭と三重の施工が必要であり多大な施工費用を要することが課題である。

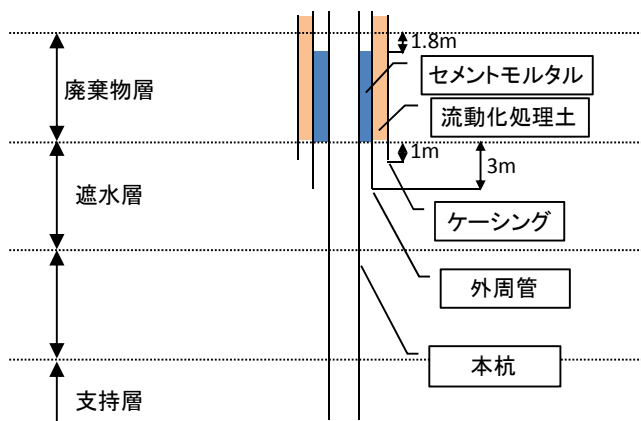


図-2.1 三重管工法の概念図²⁾

(2) 模型実験

菊池ら¹⁾が、管理型海面処分場に基礎杭を打設する際に遮水層に与える影響について実施した模型実験の結果が2012年にとりまとめられている。以下にその結果の概要を示す。

a) 杭打設に伴う廃棄物等の連込み

廃棄物等の連込みによる遮水層への影響深度は、粘土の圧密状態の違いにより異なり、正規圧密状態では杭径程度、過圧密状態では杭径の3~6倍程度まで影響がある。

また、廃棄物等の連込み低減の観点からは、杭打設工法として中堀工法が最適である。

b) 粘性土地盤と杭等の境界面における透水特性

杭と粘土の間に空隙が出来ないように施工した場合でも粘土が過圧密状態であれば杭境界面での透水性が多少上昇するが、それはわずかであり、ほとんど問題にならない。また、正規圧密状態であれば透水係数の上昇はほとんどない。

また、杭と粘土の間に空隙が生じるよう施工した場合には、相当量の通水が杭境界面で生じるが、正規圧密状態まで載荷すれば粘土と杭の空隙はほとんど閉塞し、閉塞後の境界面の透水性は非常に低くなる。

このことから、粘土と杭との境界面における透水性は、杭打設後の圧密状態による影響が大きいが、杭打設前の圧密度の違いによる影響はほとんどない。

(3) 未処理廃棄物地盤における現場試験

本試験に先立ち、東京港の海面処分場（中央防波堤外側処分場）で未処理廃棄物地盤に対する杭の打設試験が実施されており、渡部ら³⁾が2016年にその結果をとりまとめている。以下にその結果の概要を示す。

オールケーシングを併用した中堀圧入工法及び中堀圧入工法では、杭先に絡まった廃棄物の連れ込みは見られず、いずれも基準省令に示された遮水性能が得られた。

一方、打撃工法で施工した杭では先端に梱包用プラスチックバンドのような紐状のもの等の廃棄物の連れ込み量が多く、漏水量も多くなった。

また、PHC杭についても中堀圧入にて試験を行った

が、断面積が大きいため押し込み抵抗力が大きいこと、内径が小さいため杭内部でオーガスクリュと土砂と廃棄物が絡まり閉塞すること、内径が小さいためハンマグラブが使用出来ないことによって打設不能となった。

3. 試験実施上の着目点

上述の既往の知見を踏まえ、ガイドライン作成の基礎資料として以下の点に着目して試験を実施した。

- ・三重管に変わる安価な各施工方法の適用性の判断材料として焼却灰等の地盤における杭先端の廃棄物の連れ込み状況の確認と杭周面における遮水性の確認
- ・杭先端の廃棄物連れ込み確認としての水中カメラ観察の有効性の確認
- ・施工時の留意点、課題の抽出

4. 試験内容

(1) 試験場所の概要

今回の試験は、尼崎西宮芦屋港尼崎地区の西の端に位置する大阪湾広域臨海環境整備センター所有の尼崎沖埋立処分場の管理型区画にて実施した。試験場所と各杭の打設位置を図-4.1、図-4.2に示す



図-4.1 試験場所

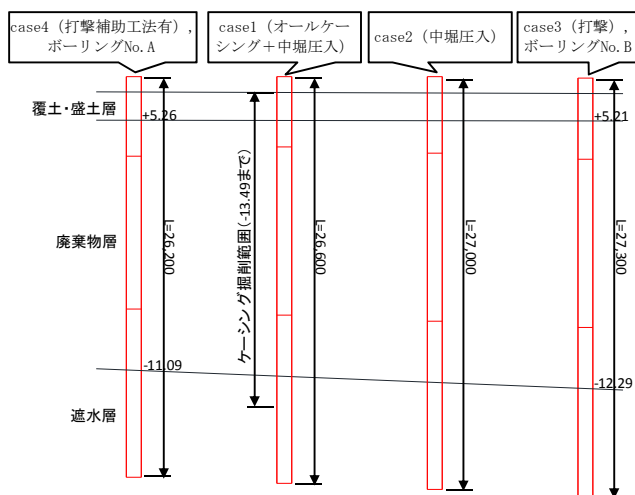


図-4.2 試験杭打設位置

(2) 事前調査

杭の打設試験の実施に先立って打設箇所にて、廃棄物層の性状確認及び遮水層の深度確認のため土質調査を実施した。なお、調査箇所は杭打設箇所を30mの直線で結んだ両端において実施している。

a) 廃棄物層の特性

本試験地の廃棄物層は焼却灰が構成の主要要素を占めているが、粉碎されたプラスチック片等の混入も見られた。表-4.1に詳細を示す。

b) 粘土層の特性

本試験地の遮水層を構成している沖積層上部は尼崎粘土層と呼ばれる海成の沖積粘土層である。一般には高含水量で柔らかく、組成均質なシルト質粘土又は粘土質シルトをなす。土質調査の結果として、本試験地は廃棄物層以深に存在するAsc層（粘性土Ⅰ層）と、さらに下のAc層（粘性土Ⅱ層）で構成される事が判明した。

粘性土Ⅰ層は埋立以前の海底面下を覆う表層堆積物で、層厚は1.40～2.20mである。砂質粘土や粘土で構成され、柔らかい部分と硬い部分が互層状をなし、N値は7～11を示した。

粘性土Ⅱ層は海底面下堆積物に相当する粘性土層である。概ね組成均質な粘土質シルト又はシルト質粘土で、N値は3を示した。

また、圧密状況については、圧密降伏応力と有効上載圧の関係から図-4.2のボーリングNo.A側において未圧密（粘性土Ⅰ層）及び正規圧密（粘性土Ⅱ層）を示したが、ボーリングNo.B側では両層とも過圧密を示している。これは調査位置が近接していても盛土・覆土及び廃棄物等の上載圧によって、対象粘性土層が受けた人為的な応力遍歴の違いによるものと考えられる。

(3) 杭の諸元と打設深度

打設する杭は鋼管杭（φ1000, t=12）とし、打撃工法にて打設を行う2本については先端内側に先端補強バンドを取り付けている。

表-4.1 廃棄物の組成試験結果一覧表

採取地点	NO.A及びBの平均				
	GL8m付近		GL13～14m付近		
	重量(kg)	組成(重量%)	重量(kg)	組成(重量%)	
組成 (乾きベース)	プラスチック類	0.007	0.1	0.007	0.2
	木・草類	0.001	0.0	0.021	0.6
	紙類	0.001	0.0	0.001	0.0
	繊維類	0.002	0.0	0.000	0.0
	金属類	0.080	1.5	0.072	2.0
	ガラス・陶磁器類	0.052	1.0	0.090	2.5
	下水汚泥	0.000	0.0	0.000	0.0
	無機性汚泥	0.000	0.0	0.015	0.4
	焼却灰	2.620	47.7	2.785	77.8
	スラグ	0.000	0.0	0.000	0.0
	改良土	0.000	0.0	0.000	0.0
	土砂・石	2.730	49.7	0.593	16.5

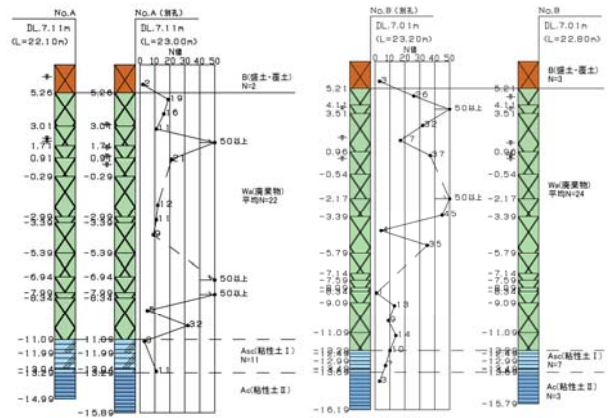


図-4.3 土質調査結果

また、打設深度は廃棄物除去を確認するための2m、水位変化観測のための根入5mの計7m遮水層に貫入するように土質調査結果から設定した。なお、一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令によって最終処分場の遮水工は透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下の地層を5m以上確保するものとなっているため、杭の打設深度はこれを確保する深度で設定されている。

(4) 杭打設方法

今回試験を行う打設工法は委員会において、東京港における試験結果及び実施工への適用性を加味して決定された。

a) case1オールケーシング+中堀圧入（二重管）

本工法はオールケーシングにて廃棄物層を除去後、ケーシング内に杭を立て込み、間詰砂充填後、中堀圧入にて遮水層に杭を貫入させる工法である。（図-4.4）

本工法の利点は三重管より安価な事、ケーシング内の廃棄物層を撤去した後に杭を立て込む事により、杭先端における廃棄物の連れ込みを確実に防止できる点にある。欠点としては通常の中堀圧入に加えてオールケーシングでの先行掘削が必要となるため後述の工法に比べ費用及び工期がかさむことである。

b) case2中堀圧入（一重管）

本工法は中堀圧入によって遮水層上面まで杭打設後、ハンマグラブにて杭内の廃棄物を除去し、杭先端の廃棄

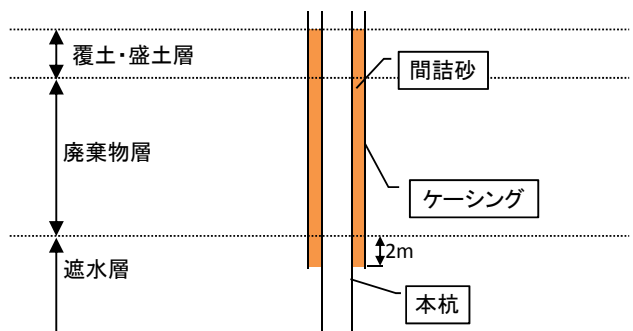


図-4.4 二重管工法の概念図

物の連れ込みを確認した後、再度中掘圧入にて遮水層に杭を貫入させる工法である。

本工法の利点としてはcase1のようなケーシングの打設が不要なため費用及び工期が低減出来る点にある。しかしながら、東京港での試験の際には廃棄物がオーガスクリュに絡まるような施工上の課題が判明している。

c) case3打撃（一重管）

本工法は油圧ハンマによって遮水層上面まで杭打設後、ハンマグラブにて杭内の廃棄物を除去し、杭先端の廃棄物の連れ込みを確認した後、再度油圧ハンマにて遮水層に杭を貫入させる工法である。

本工法の利点は各ケースの中で最安価で施工可能である事である。欠点は杭先端における廃棄物の連れ込みが懸念される。

d) case4打撃+補助工法（一重管）

本ケースは杭先端に連れ込まれた廃棄物の除去方法として、下記の補助工法の有用性を確認するために実施した。case3との差異は以下の補助工法を追加で実施している点である。

まず、ハンマグラブにおける廃棄物層の除去後、オーガスクリュを立て込み拡大ビットにおいて杭先端の遮水層を拡大掘削する。その後、底ざらいバケット（ドリリングバケット）において土砂を除去している。（図-4.5）

(5) 杭内カメラ観察

杭先端の廃棄物連れ込みを確認するために遮水層確認後1m及び2m掘削した段階で杭内の水替えを行い、それぞれ水中カメラにて観察を実施した。なお、case1についてはオールケーシングによる掘削時に実施している。

(6) 杭内水位観測

杭周面における遮水性の確認のため、所定の深度まで杭を打設後、杭先端までハンマグラブで遮水層を除去、杭内水位を地下水水位-2.0mに調整し、水位観測を実施した。なお、観測は一年間を予定し、本論文執筆時点で継続中である。

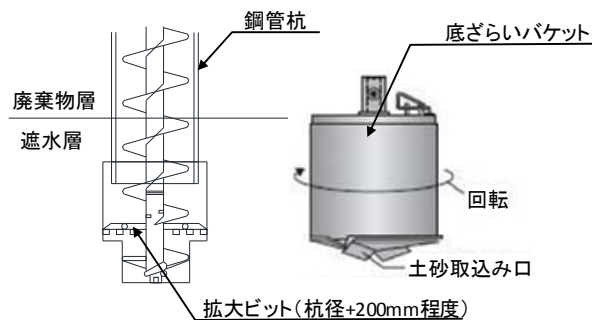


図-4.5 補助工法の概念図

5. 試験結果

(1) 試験杭打設結果

計画では遮水層が-11.09m~-12.29mで確認できる予定であったが、各杭とも遮水層が想定より深い位置で確認された。これは、計画段階では粘性土I層の上端を遮水層の上端としていたが、実際に掘削した土を確認すると、粘性土I層は廃棄物層と遮水層と呼べる粘性土層との遷移層を形成しており、想定より深い位置にならなければ遮水層と考えられる完全な粘土層が確認できなかったためである。

また、case2においてはハンマグラブでの掘削効率が低下する場面が見られた。これは、オーガスクリュによって、廃棄物と地下水が攪拌され泥土状になったためである。

さらに、case3,4においては打設時に鉋滓層にあたり一時打設不能になる場面が見られた。この鉋滓層は廃棄物搬入時等の仮設道路等の跡と考えられる。

以下に、各ケースごとの詳細を示す。

a) case1オールケーシング+中掘圧入（二重管）

計画では-11.49m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-14.08mであった。

杭打設に際し、障害は発生しなかった。

また、後述のカメラ観察で、底面に廃棄物の散在は確認されたが、杭先端への連れ込みは確認されなかった。

（図-5.1）

b) case2中掘圧入（一重管）

計画では-11.89m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-14.00mであった。

杭の打設においては日をまたいで打設作業を行った場合に杭周面摩擦の増大により一時打設不能になる場面が見られた。また、ハンマグラブでの杭内掘削の際に杭内の廃棄物が泥状となり掘削が困難になる場面が見られた。

また、後述のカメラ観察で、底面に廃棄物の散在は確認されたが、杭先端への連れ込みは確認されなかった。

（図-5.2）

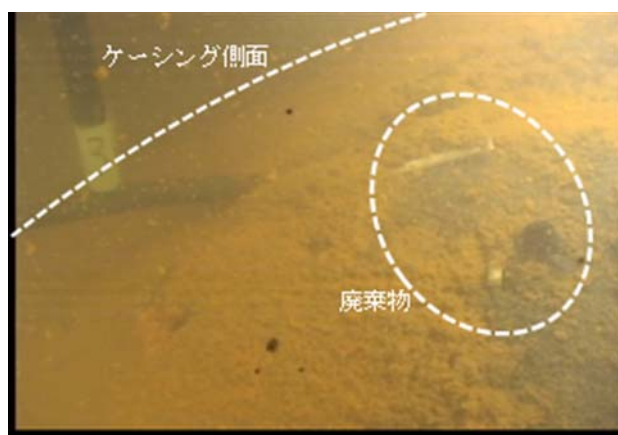


図-5.1 case1水中カメラ観察写真

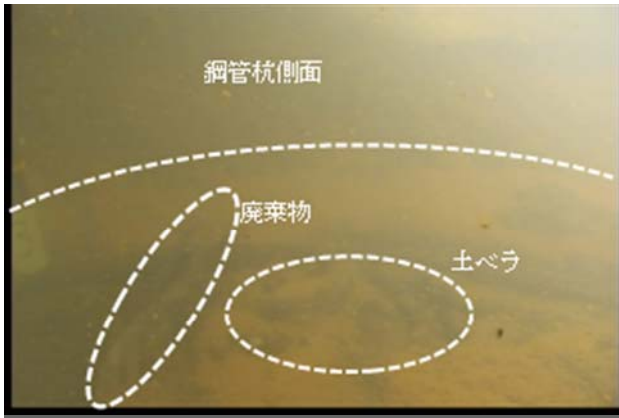


図-5.2 case2水中カメラ観察写真

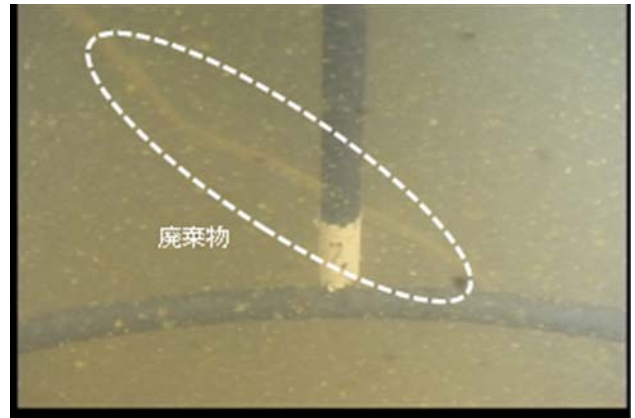


図-5.4 case4補助工法施工前水中カメラ観察写真

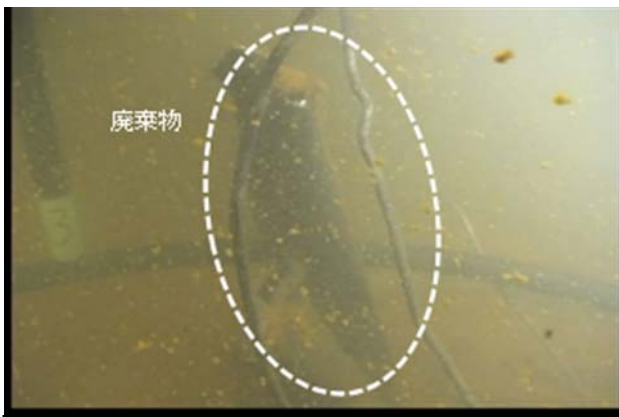


図-5.3 case3水中カメラ観察写真



図-5.5 case4補助工法施工後水中カメラ観察写真

c) case3打撃（一重管）

計画では-12.29m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-14.00mであった。

杭の打設においてはGL-2.0m付近で障害物（鉾滓層）にあたり一時打設不能になる場面が見られ、GL-3.8mまでブレーカにて障害物の破碎を行った。その後の打設においても障害物層にあたっていると思われる場面はあったが打設は可能であった。

また、後述のカメラ観察で、底面に多くの廃棄物の散在と鉛直方向に突出している廃棄物が確認された。この鉛直に突出している廃棄物は杭先端に連れ込まれていると考えられる。（図-5.3）

d) case4打撃+補助工法（一重管）

計画では-11.09m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-12.50mであった。

杭の打設においてはGL-2.5m付近で障害物層（鉾滓層）にあたり一時打設不能になる場面が見られ、GL-3.5mまでブレーカにて障害物の破碎を行った。その後の打設においても障害物層にあたっていると思われる場面はあったが打設は可能であった。また、補助工法については拡大ビットでの掘削及び底ざらいバケットの施工に際し障害は発生しなかった。

また、後述のカメラ観察で、補助工法実施前の観察で

は杭先端への連れ込みと考えられる鉛直方向の廃棄物の突出が確認されたが、補助工法施工後の観察では廃棄物は確認されなかった。（図-5.4, 5.5）

(2) 杭内カメラ観察結果

計画では遮水層確認後、1m及び2mの時点でカメラ観察を行う予定であったが、前述の遷移層があったことにより、予定通りの深度ではカメラ観察は実施できなかった。また、水替えを行っただけでは浮遊物による懸濁がひどく観察が困難であったが、水替後、一晚静置することで懸濁物は沈降し杭の周面における廃棄物の連れ込みが確認できる程度まで改善された。

(3) 杭内水位観測結果

杭打設時から2017年3月15日までの水位観測結果を以下に示す。各ケース共4.3～10.7cmの水位低下が見られた。この水位変動は杭内水位を周辺地盤の地下水位から低下させて試験を実施している事を考慮すると、杭内からの漏水ではなく、杭内の水の蒸発によるものと推察される。（図-5.6）

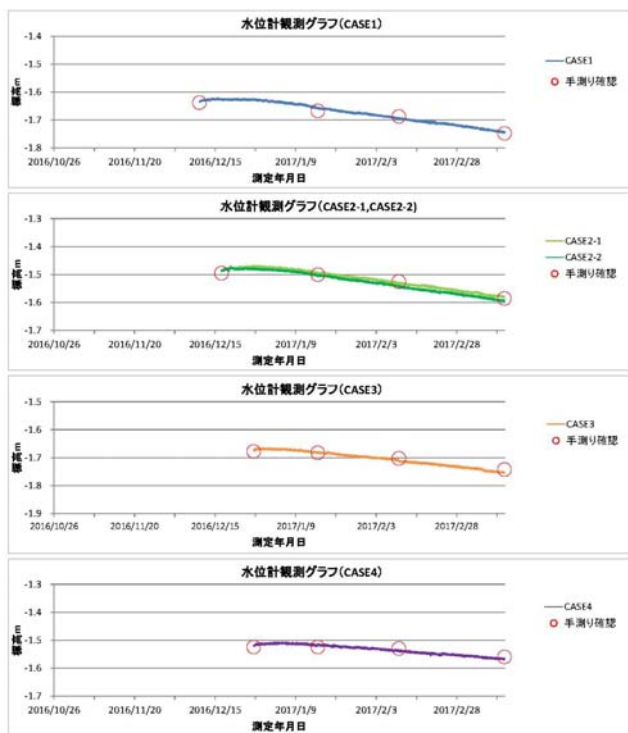


図-5.6 杭内水位観測結果

6. まとめ

(1) 廃棄物の連れ込みについて

a) オールケーシング+中堀圧入工法の有効性の確認

廃棄物の連れ込みもなく、焼却灰等地盤においても当該工法の有効性が確認された。

b) 中堀圧入工法、打撃工法での有効性の確認

打撃工法においては廃棄物の連れ込みが確認された。一方、中堀圧入工法において、廃棄物の連れ込みは確認されなかった。これはオーガスクリュによって杭先端を削孔しながら圧入するため廃棄物の連れ込みが生じにくいと考えられる。

また、打撃工法においても拡大ビット及び底ざらいバケットによる補助工法を用いる事において廃棄物の連れ込みは確認されなかった。

(2) 施工時の課題の抽出について

a) 障害物層に対する留意点

焼却灰を主とする処分場であっても、礫や仮設道路の跡と思われる鉋滓層など、杭が貫入不能になるような障害物が埋設されている可能性があることが確認された。このような場合ブレーカによる破砕や深い箇所であればオールケーシングによる先行削孔などが追加が必要となる。なお、オールケーシング+中堀圧入で施工した場合

においては当初からオールケーシングによる先行掘削を行うため、このような不測の事態にも当初計画通りの工法で対応が可能である。

また、施工計画の段階において事前調査として詳細な埋立履歴だけでなく、仮設道路の状況等も含めた埋立時の履歴を入手することで最適な工法の選択に役立てられると考える。

b) オーガスクリュによる掘削について

中堀圧入工法を単独で用いる場合、杭先端への連れ込み確認のための杭内掘削が、廃棄物と保有水が混合され、泥土状となり、その中に含まれる針金等がハンマグラブの可動部に絡まり、掘削が困難になる事が判明した。

(3) 水中カメラ観測について

杭先端における廃棄物の連れ込み状況の確認方法として一定の有効性が確認できた。透明度を上げる方法として静置時間を設けること、水替え時に濁りの少ない水、汚れのない水槽を用いる事が考えられる。

(4) 杭内水位観測結果について

case3において廃棄物の連れ込みが確認されたが、いずれの杭についても水位は減少傾向であり、杭周囲における遮水性は確保されていると考えられる。なお今後、一年間継続観測を実施する予定である。

謝辞: 本試験施工を実施するにあたり、管理型海面処分場の早期安定化及び利用高度化技術に関する委員会の委員・関係者から多くのアドバイスをいただいた。また、試験施工を実施するにあたっては、施工計画の立案及び事前調査において、中電技術コンサルタント株式会社、現地施工において、東洋建設株式会社、杭内水位のモニタリングにおいて応用地質株式会社から多大なご協力をいただいた。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 菊池喜昭, 森脇武夫, 勝見武, 平尾隆行, 蔦川徹, 服部晃, 岡本功一, 山田耕一, 佐々木広輝: 管理型海面処分場に打設する基礎杭が底面遮水基盤に与える影響, 港湾空港技術研究所資料No. 1252, 2012年
- 2) 前田宏, 宮崎祥一, 諸星一信, 長廻幹彦, 馬場英之: 三重管基礎杭工法の開発・施工, 一般社団法人国土技術研究センター第10回国土技術開発賞ホームページ
- 3) 渡部要一, 水谷崇亮, 金子崇, 増門孝一: 海面処分場における基礎杭の適用性—未処理廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験—, 港湾空港技術研究所資料No. 1321, 2016年

箕面森町「水と緑の健康都市」土地区画整理事業 におけるPFIの導入について

福森 世志夫¹

¹大阪府 箕面整備事務所 (〒562-0001 大阪府箕面市箕面2丁目12番28号)

本事業は土地区画整理事業にPFIを導入した初めての事例である。

本事業は大阪府の北部、箕面市において大阪府が事業主体の面積314haの特定土地区画整理事業である。造成工事の着手直後にオオタカの営巣が確認されたことから環境保全ため土地利用計画を変更、当初の造成計画が成り立たなくなり、大幅な事業計画変更を強いられた。

事業継続には事業費の低減・平準化が不可避となり、事業の一部にPFIを導入した。土地区画整理法などの法手続きは対象外とし、宅地造成・公共施設や附属施設の構築及び維持管理、保留地処分支援、タウンマネジメントをPFI事業の対象とした。本事業が2016年3月に終了したので、その経過・効果・課題等について報告する。

キーワード PFI, 土地区画整理, VFM, BTO方式, モニタリング

1. はじめに

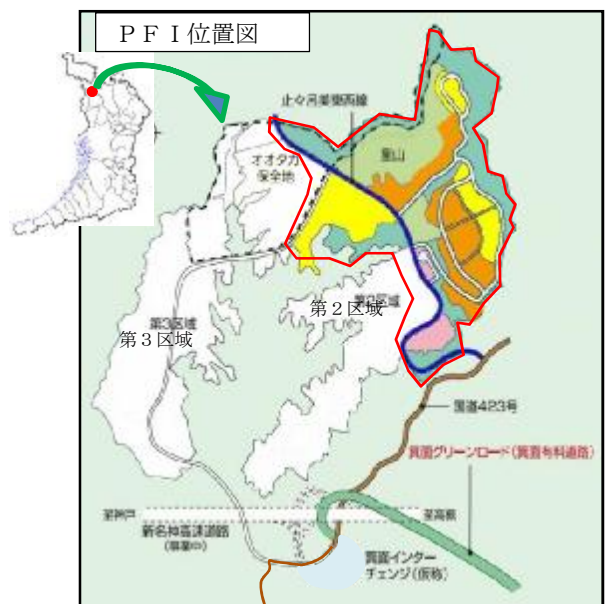
近年の逼迫する財政のもと、多様な府民ニーズに応える公共事業の推進には民間活力の導入による省コスト化・効率化・高品質化などが要請されている。

本事業は土地区画整理事業においてPFI導入に初めて取組んだ事業であり、同事業分野での取組は事業中の矢幅駅前地区(岩手県)、川西市中央北地区(兵庫県)におけるわずか2例のみである。

本事業は大阪府の北部、箕面市止々呂美地区において大阪府が事業主体となって進める計画戸数1,800戸、計画人口6,000人の居住地区と企業誘致地区を整備する事業面積314haの特定土地区画整理事業である。

1996年に事業認可を得て、1998年より造成工事を着手したが、開発区域内にオオタカの営巣が確認され環境保全対策のために土地利用計画を変更、また隣接地に同時施工する予定のダム事業が休止となったことで当初の造成計画が成り立たなくなり、大幅な事業計画変更を強いられた。

そのため、事業継続には事業費の平準化が不可避となり、PFI導入の検討を進めた。区画整理PFIのスキームとしては、都市計画法、道路法、河川法、宅地造成等規制法、林地開発協議や土地区画整理法における換地設計や事業計画などの法手続きは対象外とし、宅地造成・道路・公園・地区センターなどの附属施設工事の設計・施工・工事監理及び



維持管理、保留地処分支援、物販施設や来客用駐車場及び里山を運営するタウンマネジメントとした。

2005年にWTO対象の総合評価一般競争入札により公募し、事業者提案を審査して落札者を決定し基本協定を締結した後、落札したグループが設立したSPC(PFI水と緑の健康都市株式会社)と契約締結した。

このたび、PFI事業が2016年3月に終了したので、PFI導入の経過・効果・課題等について報告する。

1. 工事概要

工事名 : 水と緑の健康都市第1期整備等事業
 工事場所 : 大阪府箕面市下止々呂美 地内外
 施工面積 : 約138ha
 受注者 : PFI水と緑の健康都市株式会社
 工事内容 :

①設計・建設・維持管理・運營業務

- ・都市基盤施設
 - 都市計画道路(6路線)
 - 近隣公園、街区公園(6カ所)
 - 緑地、森林公園

- ・地区センター、里山

②保留地処分支援業務(2010年9月まで)

- ・全体コーディネート業務
- ・販売促進業務(保留地契約代理)
- ・現地販売業務(販売事務所運営)

③独立採算事業

- ・保留地先行取得業務(50区画)
- ・タウンマネジメント事業
- ・商業施設等収益事業
(駐車場、コンビニエンスストア)

2. 手続き経緯・経過

1995年 都市計画決定
 1996年 事業計画について建設大臣認可取得
 1997年 土地区画整理審議会の設置
 1998年 造成工事に着手
 オオタカの営業を確認
 2000年 オオタカ調査委員会の設置
 2001年 事業計画見直し案を公表
 2003年 都市計画変更・事業計画変更
 PFIの導入検討開始

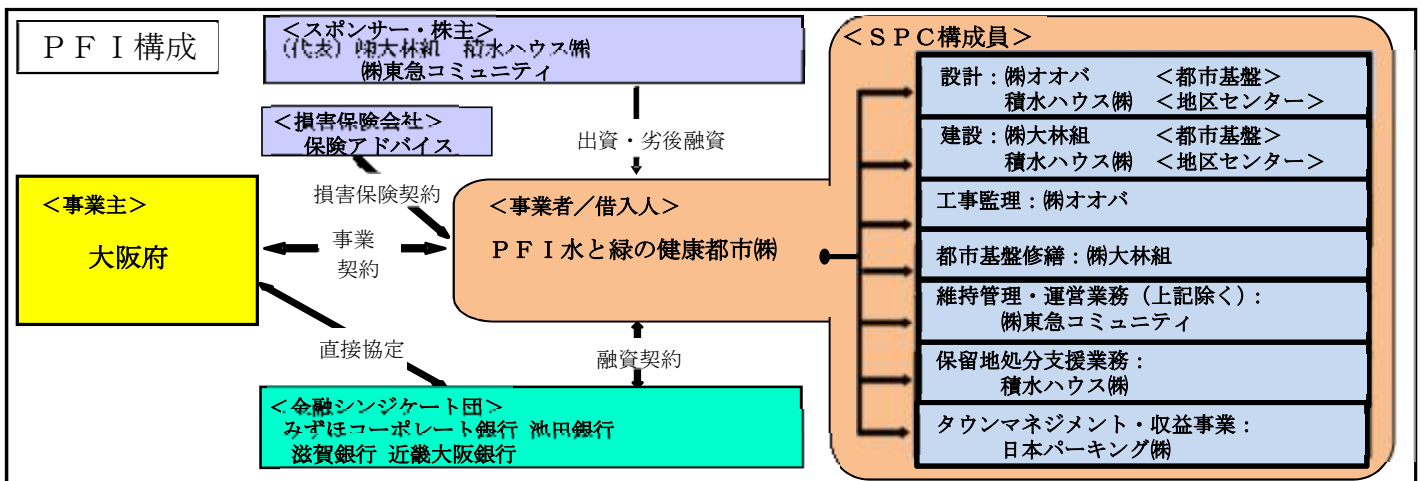
2004年2月 PFIアドバイザー募集
 7月 実施方針(案)の公表
 (PFI事業の意思表示)
 11月 要求水準書案の公表
 (PFI事業実施の意思表示)
 2005年2月 PFI事業者の公募
 (WTO対象、総合評価入札)
 6月 落札者の決定
 7月 SPC(PFI水と緑の健康都市株式会社)設立
 10月 SPCと契約
 2006年4月 金融シンジケート団と直接協定を締結
 10月 「まちのPR広告」開始
 2007年5月 幹線道路引渡し
 9月 幹線道路以外の道路引渡し
 10月 まちびらき
 2016年3月 PFI事業終了
 6月 SPC解散

3. 事業の特徴・効果

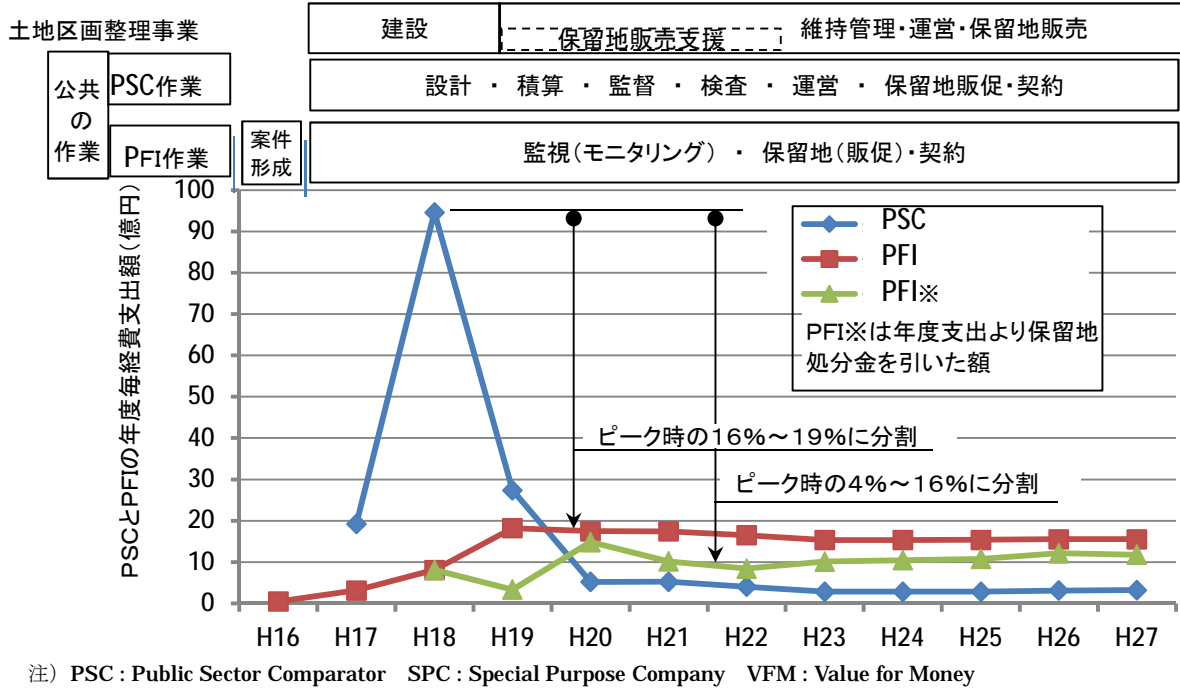
1) PFI導入によるコスト削減(VFM 約13億円)及び財政支出の平準化

本事業においては、工事発注の一括化・大規模化によるスケールメリットを活かしたコスト削減、大規模造成の財政支出に民間活力を導入した平準化、及び良好な維持管理・運営によるまちの醸成と迅速な保留地販売を図ることを目的にPFIを導入している。

また、土地区画整理事業の性格上、事業完了を待たずに工事完成地区から土地使用収益(まちびらき)を開始する。そのため、道路を本来管理者に移転し供用開始させる必要から、BTO方式を取っている。本来、PFI事業としては建設・維持管理を一括請負し、施行・運営を複合的に展開



PSCとPFIの年度毎経費支出額



することでもコスト縮減に繋がる要素となるが、公物管理の立場を取りサービス購入型とした。

VFMは約1.3億円であり、さらに想定より長期金利が低くなったため、事業費は加えて約2億円減額出来た。さらには、後年度支出となることで保留地収入を充てることで、保留地先行取得の効果も相まって初年度の平成19年度は4%まで、割賦払い期間中も16%までに抑え込めた。

事業費の平準化により財政難のもとでの大規模事業の進め方に事績を残せたと自負する。

2) 民間ノウハウによるまちのPR、イベント開催、顧客対応

平成19年10月のまちびらきに先駆けて、「ルーフに箕面森町をプリントした車両が新御堂を疾駆し、グリーンロードを通った先に新たな新市街地が生まれた」という、インパクトのあるテレビコマーシャルを放映して耳目を集めるとともに、近隣の住宅展示場において説明会を開催するなど業界大手のハウスメーカーが持つ民間ノウハウを活かした顧客対応を行った。

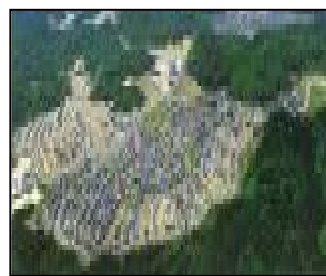
3) 民間与信力を活かした保留地販売

ハウスメーカーとしての実績により複数の金融機関と保留地担保ローンの協定を結び、先行取得区画にはつなぎローンを実施することで、顧客の

最終的な購入意思決定に関する不安を民間与信力で解消させ保留地販売を進めた。

また、不動産業界最大手からの保留地販促に関する民間ノウハウは『官による開発を強調せよ』という戦略的な官民役割分担であった。

即ち、行政担当者による住宅展示場のハウスメーカーへの直接セールス、大阪府内で初の公立一貫小中学校である「とどろみの森学園」の施設見学



第1区域と第2区域



公立小中一貫校



地区センター



来客者用一時貸駐車場

会開催と子育て支援日本一を目指す箕面市の支援内容、里山保全を掲げるNPOの取組を、当事者（府職員、箕面市教員・教育支援部署、NPO運営者）自らアピールすることにより、エンドユーザ等の箕面森町への住替えをその気にさせる最終意思決定を促すというものであった。

4) 魅力あるタウンマネジメント、商業施設等収益事業の展開

まちの情報発信を行うインフォメーションセンター、24時間常駐のセキュリティー体制をとる管理事務所を備え、郊外型のゆったりした戸建専用住宅地でありながらマンションのような居住環境を作った。

また、まちびらき時には商店がなく日用品の買い物にも困難な状況になるが、独立採算事業としてATMを備えたコンビニを運営するとともに、来客者用の一時貸し駐車場やバス待合室なども設置して住民サービスを展開した。

5. 課題と考察

1) BTO方式

土地区画整理事業は事業完了前から土地の使用収益が開始（まちびらき）される。PFI事業は施設の建設・運営・維持管理を一括化して行うが、運営・維持管理ができる範囲は従来型の民間委託で可能とされる範囲から変わるものではなく、公物管理の立場から道路はまちびらき開始時に引渡され、表面管理のみ継続するBTO方式を用いた。

運営段階に入って、カラー舗装の歩道部にポットホールとひび割れが多く現れ、維持管理の契約範囲が問題となった。



歩道舗装のポットホール



歩道舗装のひび割れ

歩道舗装に関しては、まちの骨格となる幹線道路において落ち着いたまちの醸成を印象付けるため、設計者の特別な思いを込めたものである。この補修に関して、SPCからは設計仕様により施工し完了検査を受けたものを引き渡しており、維持管理の範囲外との主張がなされ、契約により補修を求める我々と責任の所在について議論が並行した。

歩道舗装仕様が冬季に凍上する現地の気候に合わないことを立証するため半年間の暴露実験までなされたが、双方納得に至る結果が得られず、徒に時間のみ経過するので、利用者の安全レベル維持のため補修費用は折半することで決着した。

本来、PFI事業は設計・施工・維持管理を一括発注にすることにより民間のノウハウを適用した新技術の導入・省コスト化が図れるものである。一方、PFI事業に関して、公共物にも独立採算型が適用できるようコンセッション方式が進められているが、上記問題の解決策としては公物管理の観点より供用前に引渡しはなされることに対しても、指定管理者制度を公物管理に適用してBOT方式へ移行することにより、維持管理段階での責任分担が明確になるものとする。

2) モニタリング

PFI事業の施工・運営維持管理に対する確認行為はモニタリングで行われるが、会計法令に基づく監督・検査を行ってきた我々には困難であった。

従来型事業においても、施設の延命化・維持管理の省コスト化に資するため、不具合が起こってから補修する対処療法型から、日々の調査により不具合を起こす頻度と不具合を起こした場合の重篤性をクロス評価して対策する予防保全型への移行を図ってきたが、監督・検査の方法は設計時に設定したアウトプットに対して強度等の仕様や面積等の施工量が確保されているかという旧態依然のものである。

ところが、PFI事業のモニタリングにおいては、業務の履行状況が業務要求水準を満足するものかを確認する。モニタリングの方法においては、要求水準の満足度合に疑義がある場合においても、質問・指摘することは可能であるものの、直接作業指示等は行わずに契約の基づく修補がなされることを確認する、あるいはなされないことに対して減額等の措置をすることとなっている。これまでの維持管理に臨む姿勢は現地不具合に対して速やかにかつ機動的に対応することを目標としていたため、要求水準の履行確認から現場処理に至る流れをはっきりさせないと不安を感じる。

また、要求水準が、

「事故を起こさない。あるいは、不具合があれば排除する」

として最低限の施設管理レベルでしかない。上述のように歩道舗装に関しては街の骨格を印象付ける特殊舗装を用いているため、まちづくりの観点による要求水準を設定しても良いものとする。

両課題においては、これまで土木職は仕様発注に対する監理・検査を行ってきたので、資格を有するものによる建築確認が制度化され、デザインコンペや性能発注に慣れている建築職に比して取組み辛い感がある。

法や制度に関わる事項であるので、種々の検討を要すると思われるが、左欄に今回の取組及び望ましいと考える比較案を提案したい。

6. 終わりに

PFIの導入は、財政の逼迫する中において事業費の平準化が図られることにより大規模事業の推進に大きく寄与できるものであることがわかった。しかし、PFIは民間ノウハウを活かせるだけのスケールや検討段階からアドバイザー契約を行うことにより通常の公共事業にはない費用を要することから、これからの社会傾向、減少人口や少子高齢化を前提としたまちづくりであるコンパクトシティや既存ストックを活かすためのネットワーク化などに移行していかなければならない状況からすると、新たな郊外開発型の大規模土地区画整理事業に適用される可能性は低い。環境対策としての沿道区画整理事業や津波対策としての津波防災住宅等建設区を設ける土地区画整理事業などへ適用が望まれる。

一方で、従来より行われてきた仕様発注による施工監理・検査に加えて、品質管理が保てる多様な契約形態は増えてくる。指定管理者制度など既に履行確認による事業監理が行われており、今後導入される維持管理の地域的・包括的民間委託に移行するに際しても要求水準による性能発注がなされるものと推量する。このような時勢からの要請に対して、技術者として我々公務員は要求水準の監視（モニタリング）など新たなスキルを習得していかなければならないと感ずる。

B T O方式	
今回取組	設計業務及び建設・工事監理業務に着手。 まちびらき時に新施設として検査。 公的管理のため施設に関する全てを引渡し。 改めて、表面の維持管理業務に着手。 P F I 終了時＝施設の維持管理業務の終了。 （建設時と維持管理時で責任が分化）
望ましい案	設計業務及び建設・工事監理業務に着手。 まちびらき時に新施設として状況確認。 許認可権等、施設の公的管理を引渡し。 引き続き、表面の維持管理業務に移行。 P F I 終了時＝施設の維持管理業務の終了。 供用施設機能の引継ぎ検査。 （建設時から維持管理時まで一貫した責任）

モニタリング	
今回取組	道路維持管理要求水準（一部省略） ・舗装面の段差・穴・亀裂等、排水施設の破損・亀裂等、交通安全施設の不具合、法面に崩れ等の異常が発生した場合は、その状態を把握し、緊急度に応じて適正な補修・修繕又は取り換えを行うこと。
望ましい案	道路維持管理要求水準（一部省略） ・同上 ・加えて、道路が街の骨格を印象付ける機能を有することに鑑み、幹線においては段差・穴・亀裂等は直ちに補修し、以降は不具合を起こさせないよう質的改良を提案する。

タブレットを用いた施工管理帳票の 作成時間短縮について

村井 貫二¹・長谷川 裕員²

¹清水建設（株）関西支店 土木部 （〒541-8520 大阪府大阪市中央区本町3-5-7）

²清水建設（株）関西支店 土木生産計画部 （〒541-8520 大阪府大阪市中央区本町3-5-7）

近年の建設分野における作業環境は、国交省主導のもと官民で積極的に推進されている「i-Construction」をはじめ、生産性向上や働き方改革による大きな業務形態の変革が求められている。この動きの中で土木工事でもIoT、ICT、AIなどの技術を用いた新しい試みが次々と提案・実践されている。本論文においては、施工管理における検査記録作業の省力化を目的に新しく開発したタブレットシステムを用いることによる施工管理帳票の作成時間短縮化を行った適用事例を述べる。

キーワード 情報化施工, タブレット, 省力化, 施工管理帳票, i-Construction

1. はじめに

大阪府河川事業の一環で、平成25年10月に発表された南海トラフ巨大地震の被害想定に対応する耐震対策として、平成26年から防潮堤補強工事が進められてきた。

本工事は、神崎川筋系の水門に挟まれた西島川において、南海トラフ巨大地震時に発生が予想される液状化に伴う防潮堤の変位・沈下を防ぐ耐震補強工事である。

(図-1)

西島川は全区間にわたり、矢板背面に植樹帯が設置されており、市道が背後地に存在する。また、西島川の防潮堤は大半の構造が「矢板護岸+控え杭（タイロッド式）」で、特殊構造部（コンクリート特殊堤）が部分的に存在する。耐震補強工事は施工幅員=約7m、施工延長=574.2mであり、防潮堤の背面に分布する盛土層（B層）と砂層（As層）を高圧噴射攪拌工法で地盤改良する計画とされていた。狭隘かつ延長が長い箇所での施工のため、工事エリアが分散し、エリア間の移動が多く、終日現場での施工管理に時間を費いやされていた。

2. 工事概要

工事件名：一級河川西島川防潮堤耐震補強工事
H28その2（西島橋上下流左岸）

工事場所：大阪市西淀川区出来島3丁目地内外

工期：2016年6月13日～2018年1月31日

発注者：大阪府 西大阪治水事務所

施工者：清水建設株式会社 関西支店

表-1 工事数量（抜粋）

高圧噴射攪拌工	φ 3.6m	L=13.06m～12.66m	301本
	φ 3.5m	L=12.35m～10.10m	83本



図-1 工事位置図

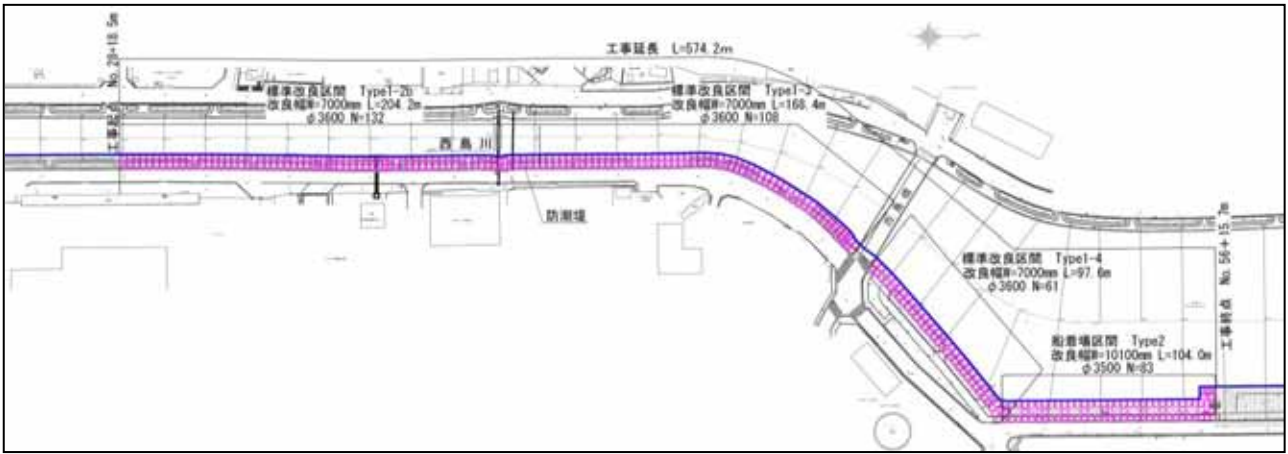


図-2 全体平面図

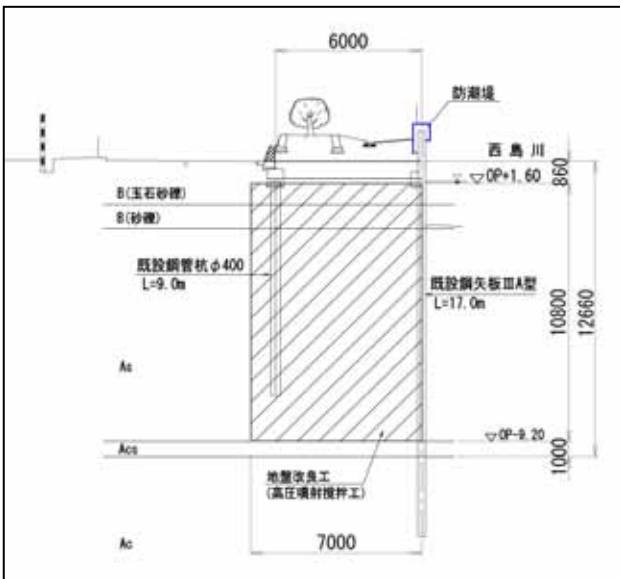


図-3 標準改良区間 Type1-3 断面図

3. 施工管理

高圧噴射攪拌による地盤改良工法は、既設護岸等周辺施設への影響を考慮し、単管工法以外の工法を選定することであった。また、改良範囲の盛土層は砂礫を主体とし、上層部には玉石等が点在しているため高圧噴射攪拌を行うためには先行削孔を必要とする地盤であった。本工事では、地盤条件に適応する「空気連行型大型多重管高圧噴射攪拌工法+ダウンザホールハンマー併用(NJP-Dy工法)」での施工を採用し、先行削孔を不要とした。(以下、NJP-Dy工法と称す。) (写真-1)

NJP-Dy工法では集中管理システムを使用し、ロット回転数・造成圧力・深度・積算流量の4項目を常時制御管理することができるが、その記録はチャート紙により、電子データ化は対応していない。(写真-2)

本工事で扱う施工管理の検査項目は、「西大阪治水事務所 神崎川出張所所管 一級河川神崎川外 防潮堤補強工事 地盤改良工法 施工管理要領書(案)」に準じ、施工機械の設置と盛替時に行うキャリブレーション検査

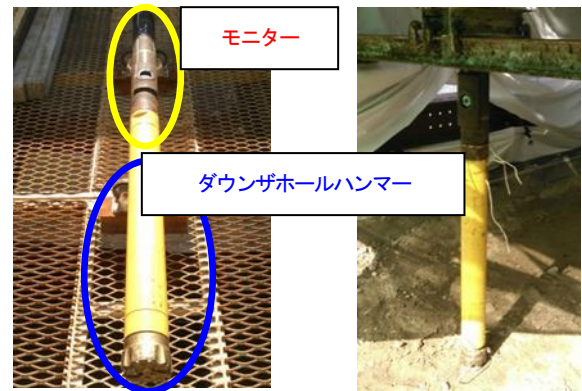


写真-1 ダウンザホールハンマービット



記録計(チャート)



写真-2 集中管理システム

(15項目)と地盤改良杭の造成時の施工管理チェック項目(杭1本当たり26項目)であった。(表-2)

表-2 施工管理項目

施工日							
杭番							
杭タイプ							
立会者名							
プロセスフロー			管理基準		社内検査	合否判定	
単位作業	管理項目				立会検査	合否判定	
杭芯出し	杭芯位置		±5cm				
マシン据付	据付位置		±10cm				
削孔	削孔角度(上端)	±0.5°以内	X				
		Y					
	削孔角度(下端)	±0.5°以内	X				
		Y					
	削孔深度	11.3 m以上					
改良体造成	モーター長	L=0.65m					
	圧縮空気圧力	1.05MPa以上					
	圧縮空気吐出量	5~8m ³ /分					
	固化材スラリー噴射圧力	40±2MPa					
	固化材スラリー吐出流量	300%/分以上					
	固化材配合	1.42±0.02					
	配合確認	固化材	618kg				
		水	803kg				
		計	1,420kg±20kg				
	回転数	下層	4~10 r.p.m以内				
		上層	4~10 r.p.m以内				
	引上速度	下層	15 分/m以上(90s/10cm)				
上層		17 分/m以上(102s/10cm)					
固化材スラリー積算流量	下層	28,500 ℓ以上					
	上層	23,460 ℓ以上					
排泥汚泥	上層						
	中層						
	下層						
造成完了	造成長	設計値 10.8 m以上					

4. 省力化の取組みについて

現在、国交省主導による「i-Construction」が官民挙げて推進されるなど、生産性向上に向けた土木分野の省力化施工の動きが盛んに行われ、さまざまな技術やツールが活用されている。

施工管理における検査の記録作業では、これまで表計算ソフトなどで作成した記録用紙を用いて現地で数値や文字を記入して記録を取り、記録した用紙を見ながらデータをパソコンに入力して帳票の作成を行っている。

本工事では杭の造成(384本)における検査作業が主な施工管理業務である。この繰り返し行う検査作業を少しでも効率化するための新しい試みとして近年導入したタブレットを用いた検査システムを開発し施工管理に導入した。

本論文では、今回開発したタブレットを用いた検査システムを用いることにより検査データのデータベース化を行い、帳票作成(事務所でのデスクワーク)においての省力化(時間短縮)に取り組んだ事例について述べる。

5. タブレットシステム

杭造成プロセスにおける施工管理検査に用いたタブレット検査システムについて以下に述べる。

(1) システムの概要

本システムは、タブレット検査システムと事務所のサーバー検査システムの2つから構成されている。システムはクロスプラットフォームデータベースソフト「ファイルメーカープロバージョン15」を用いて開発しており、タブレット検査システムは「ファイルメーカーGO15」を用いて実行している。図-4にシステム構造概念図を示す。

本工事では杭造成を2セットの施工機械により離れた2箇所で行うため、2台のタブレットを用いて作業を行い、サーバー検査システムにデータを転送して検査データの統合を行うことで工事全体のデータベースを管理している。タブレットは社内ネットワークに接続できない場所で使用するため、施工中のデータはタブレット検査システムのデータベースに保存を行い、一日の作業終了後にまとめて事務所のサーバーに転送する仕組みを採用した。システムを用いた運用フローを図-5に示す。

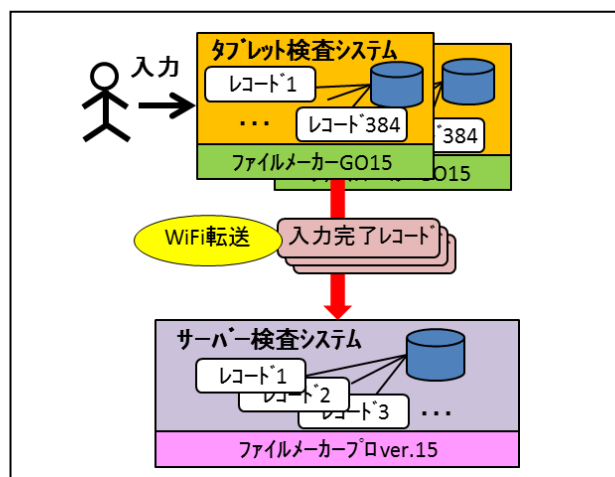


図-4 システム構造概念図

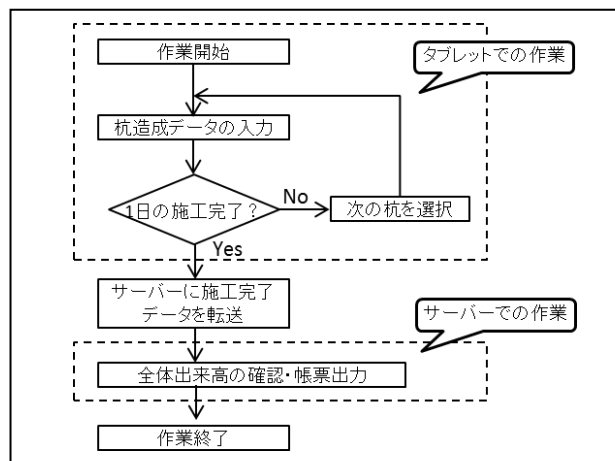


図-5 システムを用いた運用フロー

本システムのデータベースは、検査データと写真データを同一レコードで管理することでデータベースの構造をシンプルにしており、これにより検査データと写真をシステム内で関連付けた取り扱いを可能としている。

タブレットからサーバーへの転送処理では、施工完了フラグと転送完了フラグの2つのフラグを用いることでデータ転送必要なデータを抽出して転送処理(図-6)を行なっている。

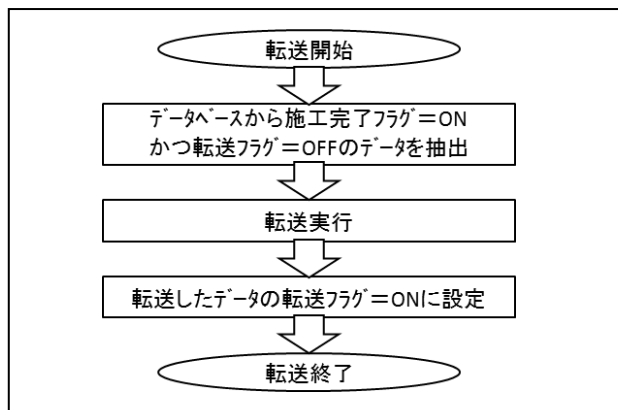


図-6 データ転送の処理フロー

(2) システムの操作画面

本システムでの操作画面(ユーザインタフェース)は図面をベースにして作成し、施工の進捗状況の確認も同時に行えるような機能を持たせている。図-7に杭の選択画面を示す。図-7では施工区間の杭配置図面を元にしており、データを入力完了した施工完了箇所を赤色(A列部)や青色(B列部)で表示している。色付けされていない部分が未施工箇所を示している。未施工箇所の杭をタッチ選択することで杭の入力画面(図-8)を表示し、また施工完了箇所の杭を選択することで入力済データが読み取り専用形式で表示される。タブレットではパソコンと異なり細かな操作は困難なため、文字や数字の表示もできるだけ大きくし、ボタンや入力フィールドも指での選択が容易なサイズとした。表示を大きくしたことでより多くの表示エリアが必要となり、複数画面をタブで切替えて全項目を表示する画面構成にしている。

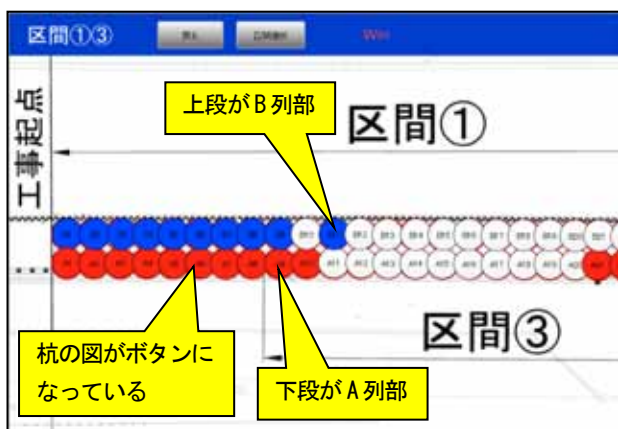


図-7 杭の選択画面



図-8 杭の入力画面

入力画面の写真エリアを選択するとカメラ撮影モードに切り替わる。計測写真や立会写真などはタブレット内蔵カメラを用いて撮影することで検査データと連動させた形でデータベースに保存される。写真撮影の様子を写真-3に示す。また撮影した写真は拡大表示してその場で写り具合の確認を可能にしている。システムに取り込まれた写真データは、サーバー転送を行うことにより、サーバー上で図-9に示す杭番号別のフォルダーに自動的に整理される。



写真-3 タブレットでの写真撮影の様子

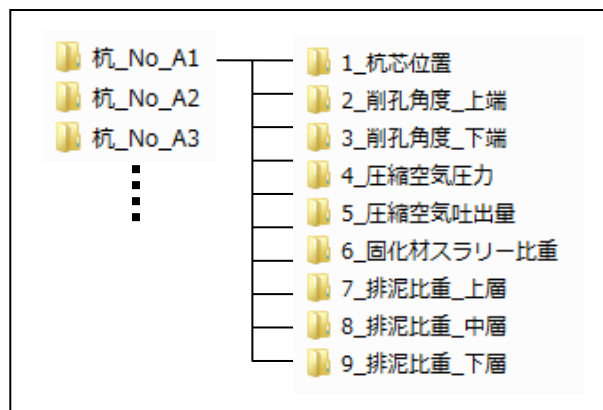


図-9 自動整理されるフォルダ階層

入力画面では、入力した測定値が管理基準値の範囲に入っているか合否判定を自動的に実行する機能を実装している。杭タイプにより管理基準の範囲が変わる項目に対しても、選択されているタイプに応じて自動的に管理基準値を変化させて判断できる。合否判定結果が「否」となった場合は図-10に示すような目立つ表示を行い注意を促す。

単位作業	管理項目	管理基準	社内検査	合否判定
改良体造成	モニター長	L=0.65m	0.65 m	—
	圧縮空気圧力	1.05MPa以上	1.05 Mpa	合
	圧縮空気吐出量	5~8m3/分	9 m3	否
	固化材スラリー噴射圧力	40±2MPa	39.7 MPa	合
	固化材スラリー吐出流量	300#/分以上	303.8 #	合

図-10 合否判定の表示

本システムには杭造成に用いる材料搬入に関する管理機能もあり、日々の材料搬入量が管理できる。図-11に材料搬入の管理画面を示す。材料搬入管理では材料を運搬してきたローリー車のナンバー、1回当りの搬入数量および立会写真を入力してデータベース化を行い、日々の台数や搬入数量を自動集計する。

図-11 材料搬入の管理画面

6. 施工管理帳票の作成

一日の施工作業が完了すると、事務所に戻りタブレット検査システムから同期処理を実行してサーバーにデー

タを転送する。サーバーに保存されたデータは、杭番号を指定するだけで帳票書式に変換してPDF形式ファイルを作成する。また表計算（エクセル）形式で作成する場合は、一度データをCSV形式で出力して専用の帳票ファイル変換プログラムを用いて帳票に変換を行う。これまでは事務所に戻ってから現場での記録をパソコンの帳票ファイルに打込みを行い、デジタルカメラから写真データを取り出してサーバーに保存、整理などを手作業で行う事に多くの時間を費やしている。

従来の帳票作成と本システム使用時の管理帳票作成にかかる時間を測定した結果、従来方法では40分程度を要するのに対し、本システムを用いることで10分程度に短縮できる結果となった。（表-3）

今回の結果より、現場管理において情報の電子化を早い段階で行うことにより、帳票作成など次工程での作業を大幅に効率化できる事が期待できる。

表-3 帳票作成の時間短縮

従来方法での帳票作成	本システム使用による帳票作成	短縮時間
約40分	約10分	約30分

7. まとめ

弊社の土木工事において、本システムは検査記録をタブレットから入力を行って施工管理する初めての試みである。今回の結果からタブレットを活用することで事務所でのデスクワークに対する時間短縮に効果がある事が確認できた。

本システムの運用において、社内ネットワークを屋外で使用することが出来なかったため、現場ではタブレットにデータを一時保存して事務所に戻ってからサーバーシステムに転送する方法でデータの集約化を行った。将来、クラウドサービスなどを利用してタブレットからの入力を常にリアルタイムにデータ共有ができれば、さらに業務の効率アップが図られ生産性の向上が期待される。

今回では検査システムからのデータを社内での共有に限定して用いたが、今後は発注者との情報共有ができる仕組みも取り入れていきたいと考えている。