

自由課題 一般部門<イノベーションⅡ>

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	新猪ノ鼻トンネルにおける連続ベルトコンベアシステムによるトンネル掘削ズリの搬出について	四国地方整備局 香川河川国道事務所 工務第二課	高橋 加奈子	5-1
2	今後のダム再生事業につなげる ～既設堤体コンクリート殻を活用したCSG工法の適用～	九州地方整備局 川内河川事務所 工務課	遠山 哲生	5-5
3	大鳴門橋補剛桁の近接範囲拡大に向けた桁作業車改造の取組	本州四国連絡高速道路株式会社 鳴門管理センター 機械課	松葉 真人	5-11
4	ビッグデータを活用した生活道路における仮設ハンブ設置の効果検証について	横浜市 道路局 施設課	榎田 洸介	5-17
5	既設大規模空間への空調設備設置に関する検討について	兵庫県 県土整備部 住宅建築局 設備課	池田 泰	5-23
6	ボックスカルバートの基礎地盤対策について ～カルバート基礎補強工法の施工結果～	北海道開発局 釧路開発建設部 釧路道路事務所 第3工務課	小林 佳太郎	5-28
7	持分契約の契約書における工夫 ～地権者の負担軽減と事務の効率化～	中部地方整備局 設楽ダム工事事務所 用地第一課	中野 僚平	5-34
8	地域と連携した法面除草の実施	東北地方整備局 仙台河川国道事務所 石巻国道維持出張所	伊藤 秀樹	5-38
9	ETC2.0プローブ情報を活用したボトルネック指数によるボトルネックの把握	国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路研究室	松田 奈緒子	5-43
10	AIと空撮情報を用いた河床表層の粒径推定技術	国立研究開発法人 土木研究所 つくば中央研究所 水工研究グループ 水理チーム	竹内 大輝	5-47
11	「だいち2号」の干渉SARで見る地震の地殻変動	国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室	山田 晋也	5-51

新猪ノ鼻トンネルにおける連続ベルトコンベアシステムによるトンネル掘削ズリの搬出について

高橋 加奈子¹・阿部 浩之¹・橋本 高明¹

¹四国地方整備局 香川河川国道事務所 工務第二課 (〒760-8546 香川県高松市福岡町4-26-32) .

一般国道32号猪ノ鼻道路 新猪ノ鼻トンネル(仮称)では、トンネル掘削断面が比較的小さいなかで、「安全性・効率性の向上」「坑内環境の改善」を目的に、連続ベルトコンベアシステムによるトンネル掘削ズリの搬出を行った。本稿では、平成27-31年度 新猪ノ鼻トンネル工事で採用している連続ベルトコンベアシステムの現場適用における課題と対策、掘削完了までの施工効果について事例報告する。

キーワード 安全性向上 効率性向上 坑内環境改善 連続ベルトコンベアシステム

1. はじめに

一般国道32号は、香川県高松市を起点に徳島県西部を經由して高知県高知市に至る四国の主要幹線道路であり、沿線地域の日常生活を支える重要な路線である。このうち、猪ノ鼻峠は見通しの悪い急なカーブや坂道が多く、交通事故が多発するほか、大雨による通行止めや冬季の積雪など、多くの課題を抱える交通の難所となっている。これらの問題を解消するため、猪ノ鼻道路 延長8.4kmの整備をすすめている。

当工事は猪ノ鼻道路のうち、香川県と徳島県の県境を跨ぐ全長4,187mの新猪ノ鼻トンネル(仮称)の香川県側にあたる2,803mを含む延長2,900mの道路新設工事であり、NAIM工法(New Austrian Tunneling Method)によるトンネル掘削を行っている。

本稿では、中断面トンネルの掘削において採用した連続ベルトコンベアシステムによるトンネル掘削ズリ搬出の概要とともに、掘削完了までの施工効果について報告する。

2. 工事概要

工事名：平成27-31年度 新猪ノ鼻トンネル工事

工期：2017年 2月 2日～2019年 8月30日

工事内容：

掘削延長 L=2,803m

掘削工法 N A T M工法、発破工法

内空断面 A=54.02m²

岩種 砂岩、頁岩



図-1 工事位置図

3. 施工条件

本工事の坑口は、国道32号に接しており、現道を迂回させて工事施工ヤードを確保している関係でヤードが狭く、仮設備の配置や掘削ブリの仮置き場の確保などに工夫が必要であり、また、トンネル掘削断面が約60m²程度と比較的小さく(図-2)、さらに、延長が2,803mと長い為、施工機械の選定や坑内運行方法についても検討が必要であった。

4. 連続ベルトコンベアシステムによるズリ搬出

(1) タイヤ方式でのズリ搬出における課題

NATM工法における施工手順は、「削孔・装薬」→「発破」→「ズリ搬出」→「1次吹付け」→「支保工建て込み」→「2次吹付け」→「ロックボルト打設」を1サイクル作業として、この一連の作業を繰り返し実施する。前記のうち、「ズリ搬出」について、当初設計ではタイヤ方式でのズリ搬出を採用しているが、実施にあたっては以下a)～d)課題の解決が必要であった。

a) 建設市場での労働力不足問題

掘削の進行に伴って、サイクル確保のために坑内ズリ運搬ダンプ及び運転する作業員の増大(最大4名)が必要である。事前にダンプ及び作業員の増大時期を検討し、建設市場における労働力不足の中で、その時期にあわせた人材確保が必要となる。

b) トンネル路盤の維持管理

路盤損傷の主要因はズリ運搬ダンプの走行である。比較的脆く、湧水の影響で泥濘化する頁岩では特に路盤損傷が著しいと想定されるため、不良路盤に起因する車輛の故障・パンク等による効率性の低下を防ぐべく、良好な路盤確保のための日常的な維持管理が求められる。

c) 掘削の進行によるサイクルロス

掘削延長が長くなると1サイクルにおける所要時間に影響を与えるのが掘削ブリの運搬である。通常はダンプの増大や坑内仮置きで対応するが、狭い限られた空間の中で実施可能なサイクルロスを無くするための対策を行う必要がある。

d) 安全性の確保

重機・車輛のすれ違い、掘削進行に伴うダンプや作業員の増大が考えられるが、その中でも安全性を確保するための工夫が必要である。

(2) 連続ベルトコンベアシステムの採用

前記課題に対する対策として、本工事では、連続ベルトコンベアシステムによるトンネル掘削ブリの搬出を採用した。本システムでは、ズリ出しダンプの運行が無い為、前記課題の解消及び坑内環境の改善が期待できる。

他にもサイクルロスの解消に有効と言われている、ベッセルダンプ方式の採用についても検討したが、タイヤ方式と同様、ダンプの運行があるため課題の解消には至らず、本工事では不採用としている。

ただ、連続ベルトコンベアシステムはタイヤ方式と比較して坑内外に大型の設備が必要になる。一般的な設備配置をトンネル掘削の最先端である切羽側から順に列挙する。

① 自走式クラッシャ (図-3、図-4)

掘削ブりを細かく破碎する機械。

② テールピース台車 (図-3、図-4)

ベルト位置の調整を行うための機械がついた台車。

③ カテナリー台車 (図-3、図-4)

ベルトの高さを変えるための台車。ベルトを上に移動する上げ台車と下に移動する下げ台車を使用。

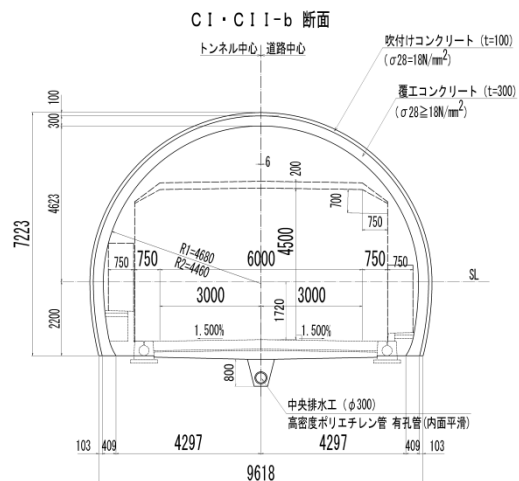


図-2 トンネル標準断面図



図-3 坑内設備配置

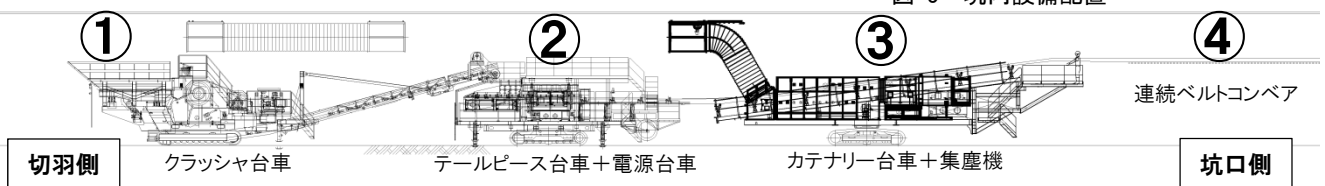


図-4 連続ベルトコンベアシステム配置概要図

④連続ベルトコンベア (図-3、図-4)

トンネル掘削ズリを坑内から坑外まで運ぶ設備。

⑤コンベアドライブ (図-5)

連続ベルトコンベアを動かすための装置。

⑥坑外ベルトコンベア (図-5)

切羽から連続ベルトコンベアによって運搬されてきたズリをズリ仮置き場へ運ぶ設備。

(3)連続ベルトコンベアシステム現場導入に対する課題と対策

トンネルの施工において、60m²程度の比較的小さい断面での連続ベルトコンベアシステムの使用実績が少ないのが現状である。小さい断面で採用されにくい要因として、設備の配置・運用において以下の課題があるが、本工事にて実施した対策を記述する。

a)課題

①坑内での重機・車輛のすれ違いが難しい

②坑内設備の配置と移動が難しい

b)対策

①通常の設置高さでは、ベルトコンベアが坑内の片側スペースを占有するため、大型機械のすれ違いが出来ないが、切羽近傍に設置したカタナリー台車を使用してベルト設置高さを上に移動することで、3ブームドリルジャンボ、エレクター付吹付け機などの大型重機同士のすれ違いが可能なスペースを確保した。(図-6)

また、ターンテーブルを併用することにより、回転場所の拡幅等を行わずに、大型車輛(アジテーター車等)が坑内で転回出来るようにした。(図-7)

②トンネル掘削における坑内設備として、クラッシュャ、ベルトコンベア設備と共に、集塵機・電源台車等が必要である。従来はそれぞれ単独で配置していたため、後続設備の配置延長が長くなる欠点があった。また、ベルト延伸作業時に各々の設備を移動するため、長い作業時間が必要であった。従来、別途電源台車に搭載するトランスやケーブル等の電気設備を、テールピース台車(図-3、図-4_②)に搭載したほか、図-8のように集塵機をカタナリー台車に搭載した。これらの設備一体化により後続設備をコンパクトにし、各台車を自走式とすることで、連続ベルトコンベアシステムの延伸作業時間の短縮を図った。



図-5 坑外設備配置

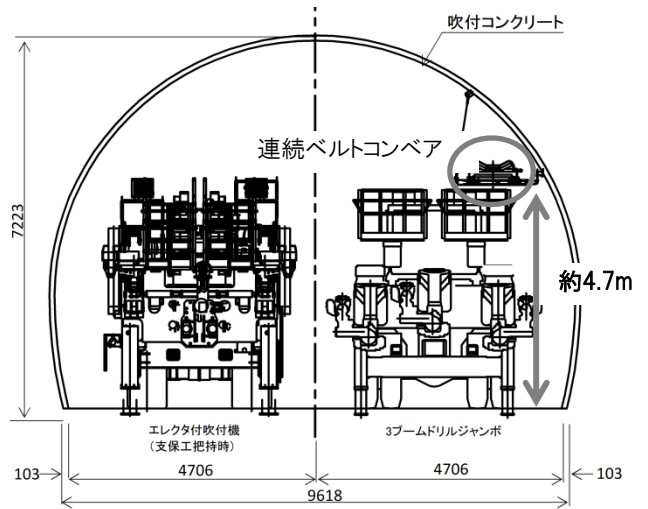


図-6 坑内重機すれ違い図



図-7 ターンテーブル使用状況



図-8 集塵機搭載型カタナリー台車

(4)運用方法

連続ベルトコンベアシステム設備は、トンネルの進捗にあわせて、1週間に2回の延伸作業を行う。1回当たりの延伸長さは15m程度である。ベルトはストレージカセット(図-9)内に最大300mのベルトがストック出来る構造となっており、ストックしてあるベルトを使用して延伸作業を行う。トンネル掘削が進みストックしてあるベルトが無くなる前(進捗が150m程度に達した時)にベルトを切断して新しいベルトの接合作業(加硫作業)を行う。

連続ベルトコンベアは上記作業を繰り返して運用を行っている。

5. 掘削完了までの施工効果

(1)安全性向上

ベルトコンベアシステムを導入したことにより、ズリ出しダンプトラックの運行が無くなり、坑内の安全性が飛躍的に向上した。また、掘削完了まで連続ベルトコンベアシステムにより掘削ズリの搬出を行ったが、稼働時や延伸作業時の坑内合図や、ベルトコンベア下部立入禁止明示、各設備の定期的な点検、坑内走行速度厳守、作業員同士の合図厳守などを継続することで、連続ベルトコンベアシステム導入後も、安全に施工出来ている。

(2)効率性向上

ベルトコンベアシステム導入後、切羽におけるズリ出し作業に要する時間は一定であり、掘削延長が長くなることによるサイクルロスがないため、掘削完了まで平均月進100m超えを確保出来ている。また、各台車を自走化したことにより、これまで延伸時に必要であった、移動・微調整に要する時間が短縮され、効率性が向上している。

(3)坑内環境の改善

ベルトコンベアシステムの導入で、ダンプ走行時に発生する排気ガスや粉じん発生が無くなり、坑内環境の改善に役立っている。

6. おわりに

2018年9月末で香川県と徳島県の県境まで掘削が完了し、連続ベルトコンベアシステムもその役目を終えている。

集塵機搭載型のカテナリー台車を使用するなど、新しい試みを行うことで、これまで躊躇されていた60m2程度の断面においても、連続ベルトコンベアシステムを有効活用出来ることが確認出来た。

ただ、連続ベルトコンベアシステムはイニシャルコストが高く、施工条件によってはタイヤ方式より不利になる。また、設備が増えることにより施工機

械の選定や配置計画、坑内運行方法等タイヤ方式と比較して検討項目も多くある。しかし、各現場条件にもよるが、安全性、効率性、坑内環境ではタイヤ方式よりも有利となる項目が多くあり、採用の可否については総合的な評価が必要と思われる。

この報告が、今回と同様な幅員10m以下の中断面長大トンネル施工において、連続ベルトコンベアシステム採用の参考になれば幸いである。



図-9 ストレージカセット



図-10 掘削部連続ベルトコンベア稼働状況



図-11 覆工部連続ベルトコンベア稼働状況

謝辞：本稿の作成にあたり、ご協力及びご助言をいただきました。佐藤工業株式会社の皆様に、感謝申し上げます。

今後のダム再生事業につなげる～既設堤体コンクリート殻を活用したCSG工法の適用～

遠山 哲生¹・神野 隆司²・鶴田ダム再開発PT³

¹川内川河川事務所工務課専門員（〒895-0075 薩摩川内市東大小路町20番2号）

²川内川河川事務所工務課長（〒895-0075 薩摩川内市東大小路町20番2号）

³川内川河川事務所工務課（〒895-0075 薩摩川内市東大小路町20番2号）

鶴田ダム再開発事業では、増設放流設備の配置に伴い発生した掘削斜面の安定化対策の1つとして、法面下部での抑止工が必要であった。一方、放流管増設時の堤体削孔や既設減勢工改造時の減勢工取壊しにより発生した大量のコンクリート殻に対する産業廃棄物処理が課題となっていた。このような背景のもと、抑止工としてCSG工法を適用し、かつ、CSGの母材としてコンクリート殻を有効利用することを検討した結果、抑止工としての目的を達成したうえで、環境負荷の低減、コスト縮減を図ることが可能となった。「ダム再生」は、近年、全国で多くの事業が進捗されており、本稿では、ダム再生事業で必然的に発生する既設堤体コンクリート殻等を有効活用した先駆的な取組みについて報告する。

キーワード：ダム再生、CSG、地滑り抑止工、コンクリート殻の再利用、コスト縮減

1. はじめに

鶴田ダムは、図-1に示すように九州で2番目の流路延長を持つ川内川のほぼ中央にあたる、河口から約51kmの地点に位置する洪水調節と発電を目的とした九州最大規模の多目的ダムである。

平成18年7月豪雨により鹿児島県北部では、総雨量1,165mm（西ノ野雨量観測所：7月19～23日）と記録的な豪雨となった。

鶴田ダムは、洪水調節を行ったことによりダムから約13km下流の宮之城水位観測所で、洪水調節を行わなかった場合と比較して、最高水位を約1.3m低下させ、最高水位に達する時間を約4時間遅らせる効果を発揮した。しかし、川内川流域では、浸水家屋2,347戸をはじめと

する甚大な被害が発生したため、河川激甚災害対策特別緊急事業が採択された。鶴田ダムについても激特事業と相まって川内川流域の洪水被害を軽減するために、平成18年12月に洪水調節機能の強化を図る鶴田ダム再開発事業が採択された。

平成28年4月には増設放流設備の完成により、事業採択から10年という異例の早さで治水効果発現を果たした。その後、後述するCSG抑止工の施工、仮設ヤード等の跡地整備を行い、平成30年10月をもって全ての工事が完了した。

本稿では、増設放流設備の配置に伴い発生した掘削斜面の安定化対策工として、ダム事業で開発されたCSG工法を適用し、かつ、その材料として、既設堤体コンクリート取壊し等により発生した大量のコンクリート殻を有効利用することを検討、施工した事例を報告するものである。

2. 既設堤体コンクリート殻の発生と再利用

(1) 鶴田ダム再開発事業の主な工事概要

鶴田ダム再開発事業では、主に以下5つの工事を実施、平成30年10月にはすべて完成している。

- ・洪水調節用の放流管3条の増設
- ・増設放流管から洪水を流下させる増設減勢工構築
- ・増設放流管、増設減勢工を造るための法面掘削
- ・増設減勢工と同様の減勢工方式とするための既設減勢工改造
- ・発電を行うための発電取水管2条の付替え

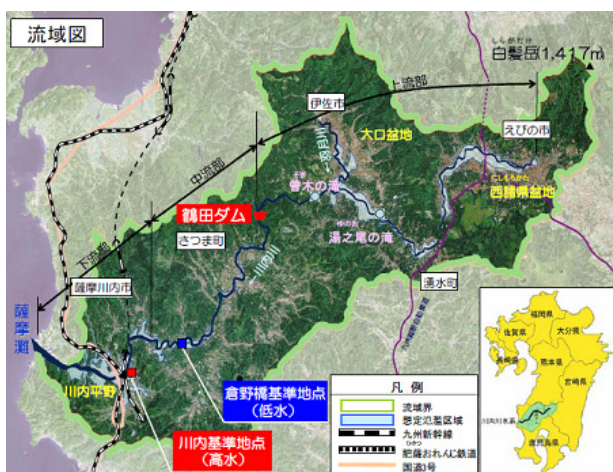


図-1 流域図

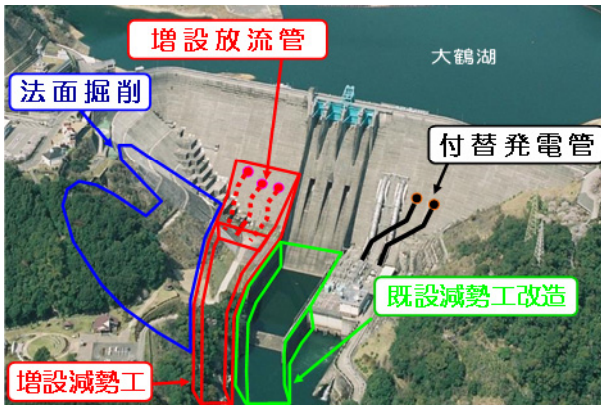


図-2 再開発事業の工事概要

(2) 再開発事業に伴う既設堤体コンクリート殻の発生

鶴田ダム再開発事業では、これまでより低い貯水位から放流できるように、現在の放流施設より低い位置に放流管3条を増設するとともに、発電管2条の付替え等を行っており、その削孔本数（5本）、削孔断面（高60m×幅60m）、削孔長（約60m）は、ダム再開発事業として、国内最大規模のものとなった（図3）。

平成25～26年に施工された、この大断面の堤体削孔工事により、約25,900t（約11,000m³）の既設堤体コンクリート殻が発生した。

また、既設減勢工改造で行われたコンクリート取壊し作業は、図4のように、一度、既設減勢工のほとんどを

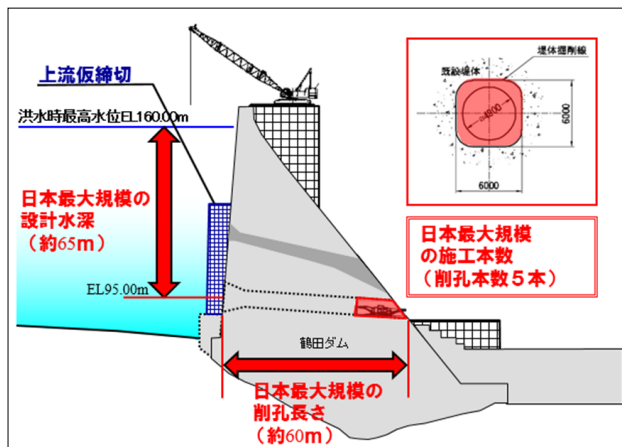


図-3 日本最大規模の堤体削孔

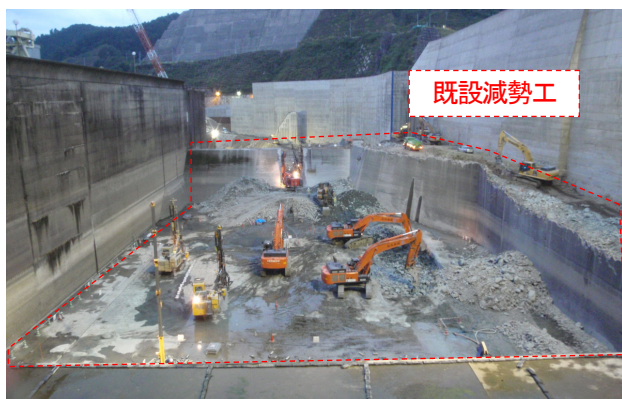


図-4 既設減勢工取壊し状況

取壊す大規模なもので、平成28年度に約61,100t（約26,000m³）のコンクリート殻が発生した。

(3) 既設堤体コンクリート殻の課題

建設工事で発生したコンクリート殻は、事業活動に伴って生じた廃棄物であるため、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法）に則り、産業廃棄物として処理を行う必要がある。同時に、建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（以下、建設リサイクル法）では、特定建設資材廃棄物とされており、発生抑制が求められ、再資源化が義務づけられている。そのため、原則、再資源化を行う中間処理施設に搬出することになる。

今回、一連の工事により、合計約 87,000t にのぼる大量のコンクリート殻が、極めて短い期間で発生したことで、近隣中間処理施設の処理能力及びそのコストの両面で課題となった。

(4) 既設堤体コンクリート殻の自ら利用

そこで、鶴田ダム再開発事業では、同工事現場内で図5の自走式破砕機によりコンクリート殻を破砕、再生砕石のように転圧できる性状の材料にすることで土石材料として流用する計画とし、廃棄物処理法、建設リサイクル法を所管する鹿児島県環境部局と協議をおこない以下を確認した。

a) 廃棄物処理法上の扱い

廃棄物処理法上の扱いとしては、土石材料として転圧・締固めができるように現地で破砕し砕石状に処理することで、十分に使用可能な状態とできることを条件に、廃棄物ではなく有価物として取り扱い、産業廃棄物の不法投棄のような扱いにはならないことを確認した。

b) 建設リサイクル法上の扱い

建設リサイクル法上では、同一現場内で流用することにより、「自ら利用」の範疇と解釈されることから、中間処理施設として通常必要な県知事の許可は不要であることを確認した。

なお、土石材料として流用するにあたり、土壤汚染対策法の観点から、六価クロムなど特定有害物質25項目の含有量が環境基準値以下であり、周辺環境への影響がないことを確認した。

以上の対応を行うことで、既設堤体コンクリート殻の現場内流用を行うことが可能となった。



図-5 自走式破砕機

3. CSG抑止工について

(1) 右岸法面掘削に対するCSG抑止工の適用

増設放流設備および増設減勢工を配置するため、ダム下流右岸側の地山を大きく掘削する必要があった。対象地山の地質を調査したところ、断層や破碎帯による影響を受け良好ではないことが掘削工事の施工中に判明し、施工中の応急対策としてアンカー工を実施している。

これら法面不安定化に対する恒久対策として、法面下部に抑え盛土工を実施する計画となったが、増設減勢工があることから盛土ヤードは限定的であり、土の重量だけでは抑止力が不足するためせん断強度を有する弾性構造体による抑止工法を検討し、コスト縮減、工期短縮が図られるCSG工法を採用した。

なお、これら一連の法面对策の採用にあたっては、専門家、学識者から構成される「鶴田ダム再開発技術検討委員会」により意見を伺いながら検討を進めたところである。

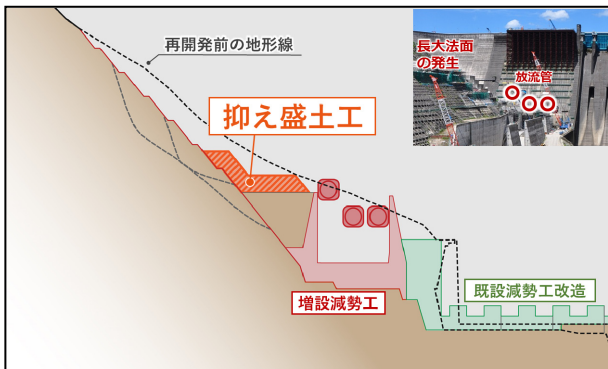


図-6 CSG抑止工のイメージ

(2) CSGの概要

ここで、CSGとは「コンクリート」と同様に材料を示す用語であり、Cemented Sand and Gravelの略称で、現地で採取した砂れき質の土石等にセメントと水を加えて混合した材料である。CSG工法とは、これをブルドーザで所定の厚さで敷均したのち、振動ローラ等により転圧、締固める工法である。

CSGの原材料となる現地採取の土砂等（以下CSG材）の粒度、およびCSG工法の施工を適正に行うための単位水量（CSG締固め1m³あたりの水量）は、ある幅をもって分布する。このため、それらを用いた材料であるCSGの強度も図-7の模式図のような範囲で分布すると考えられる。この考え方は、強度の分布範囲がひし形を示すことから、「ひし形理論」と呼ばれており、「ひし形」を形成する強度範囲の最低値を「CSG強度」と定義している。

CSG工法は、台形CSGダムとしてダム堤体の構築工法として実用化されており、近年では、東北地方の「粘り強い海岸堤防」にも適用されている。CSGがこのような重要構造物に用いられている理由として、以下に示す品

質保証システムが確立している点であり、これが通常のセメント改良材と異なる点である。

- 1) 強度の定義と強度決定手法を有する
- 2) 品質管理手法を有する

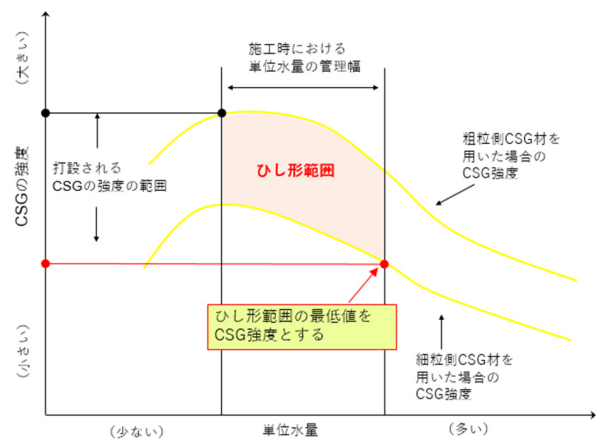


図-7 CSG強度の模式図

(3) CSG抑止工の設計

法面の不安定化ブロック全体をカバーするため、細長い形状でCSG抑止工を配置、高さは法面小段2段分にあたる約10mの範囲を押さえることとした。

横断面を図-9に示す。天端の施工幅は、敷均・転圧等の使用重機より約6m程度とした。また、管理用道路を兼ねるため、下部は約8m程度の道路幅員を確保した。CSGの表面には、耐久性を向上させる目的から50cm厚の保護コンクリートを配置し、また地山との境界には地山からの浸透水を排水するための排水工を配置している。

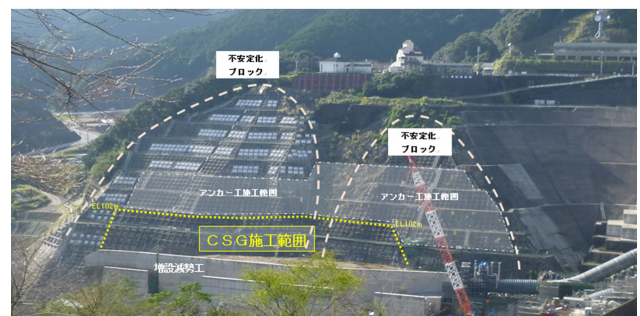


図-8 CSG抑止工施工位置

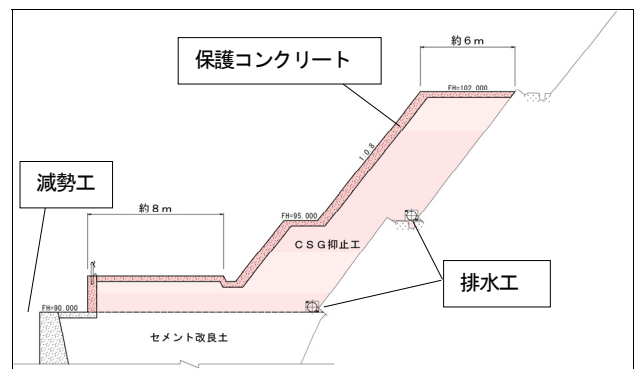


図-9 CSG抑止工標準横断面図

4. 既設堤体コンクリート殻を活用したCSG抑止工

(1) 既設堤体コンクリート殻の有効活用

CSG抑止工の検討を行った時期は事業末期にさしかかっており、予算・工期に限られていたことから、コスト縮減、環境負荷の軽減を目的にCSG抑止工の母材として既設堤体を取壊して発生したコンクリート殻を再利用することを前提に、その適用性を検討した。

(2) CSG母材の製造

まず、既設堤体コンクリート殻をCSG母材として再利用するため、自走式破砕機にて粒径80mm程度以下に破砕しCSG母材を製造した。ここで、一般的にCSGのブルドーザ敷均しにおける施工性から、CSG材の最大粒径は80mm程度とされている。なお、コンクリート殻だけでは、CSG抑止工に必要な母材量が確保できなかったため、基礎掘削等により発生した建設発生土も再利用することとした。発生源、性状の違いから母材A,B,Cを以下のように定義した。

母材A: 土捨場に仮置きされている建設発生土を最大粒径80mm程度以下に破砕したもの

母材B: 既設減勢工を取り壊して発生したコンクリート殻を最大粒径80mm程度以下に破砕したもの

母材C: 放流管の増設にともない既設堤体削孔により発生した削孔ずりを最大粒径80mm程度以下に破砕したもの



図-10 CSG母材

(3) CSG材の製造

これら3種類の母材のうち、母材B,Cを全て使用した場合に、CSG抑止工設計量に不足する量について、母材Aを混合することで、ブレンド比率 (A : B : C = 6.6 : 1.4 : 1) を設定し、ブレンドパイルを造成した。ブレンドパイルは、図-11のように、それぞれの母材を互層状に (1層あたりの敷均し厚 A : B : C = 990 : 210 : 150mm) 敷均して造成し、これをCSG打設の進捗に合わせて切崩し、攪拌することでCSG材を製造する計画とした。

(4) CSG材およびCSGの試験

ブレンドしたCSG材を用いて、CSG試験施工を実施した。一連のCSG試験施工については、「台形CSGダム設計・施工・品質管理技術資料 (以下、技術資料)」を

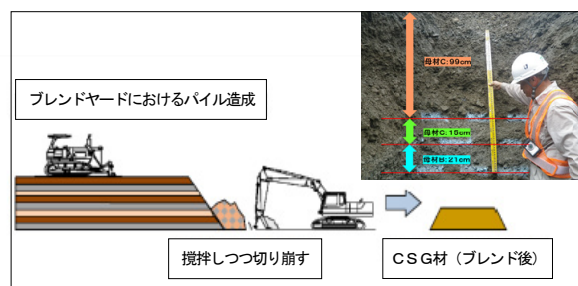


図-11 CSG材製造イメージ

準用し、平成29年7月～11月の約4ヶ月かけて、CSG材試験 (粒度、吸水率等)、単位セメント量検討試験、単位水量幅試験、標準供試体試験、大型供試体試験、現地転圧試験 (試験施工) を実施して、コンクリート殻をブレンドしたCSGの適用性について確認した。今回、CSG試験施工では、以下3点について特に留意した。

- 3種母材をブレンドする場合のCSG材粒度範囲の設定
- 比較的低い必要強度に対する適正な単位セメント量設定
- 実機を用いた試験施工

a) 3種母材をブレンドする場合のCSG材粒度範囲の設定

図-12に示すように、ブレンドパイルの異なる10地点から切崩し採取したCSG材の粒度は、比較的ばらつきが少ないことがわかった。しかしながら、今回は3種類の材料のブレンドとなり、ブレンドには互層ストックパイルを用いるため、単一材料の破砕材よりも粒度のバ

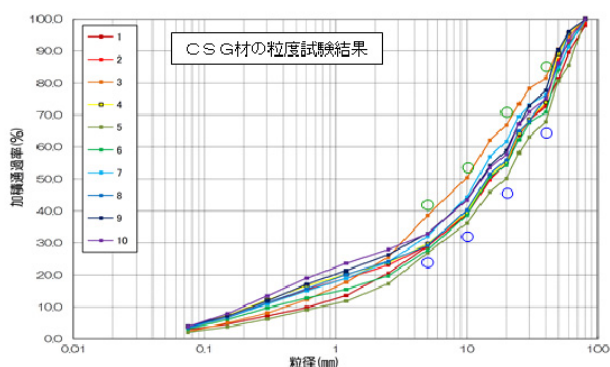


図-12 CSG材粒度試験結果

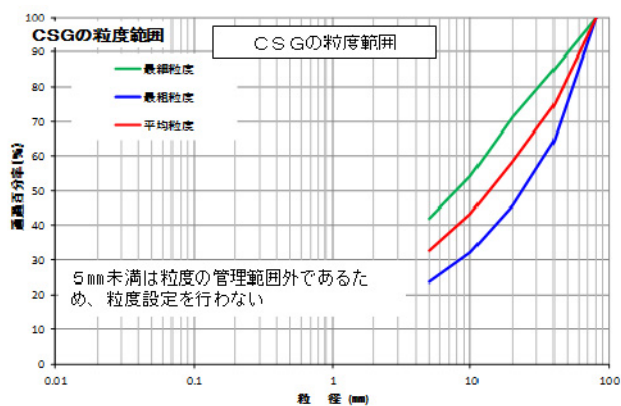


図-13 CSGの粒度範囲

ラツキは大きくなることが予想された。よって試験で得られた粒度のバラツキの範囲に、若干の余裕を見込んでCSGの粒度範囲を設定するものとした。

すなわち、80、40、20、10、5 mmふるいの通過百分率に対して、試験施工で得られた最大値、最小値に若干の余裕（各粒径の通過百分率試験値の 1σ ）を見込んで最細粒度、最粗粒度を設定した。設定したCSGの粒度範囲を図-13に示す。

b) 比較的低い必要強度に対する適正な単位セメント量の設定

技術資料では、CSG締固め 1m^3 あたりのセメント添加量は 60kg 以上とすることが一般的とされている。しかし、今回のCSG抑止工では、必要CSG強度（ $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ ）が比較的低いことを踏まえ、まず単位セメント量検討試験を実施した。

ここでは、単位セメント量を 60kg 及び 40kg とした2水準で標準供試体試験（現場粒度、単位水量 $80, 95, 110, 125, 130\text{kg}/\text{m}^3$ ）を行った。その結果、単位セメント量 40kg では、今後の試験施工により必要強度や施工性を満足しない可能性があることから、単位セメント量 60kg を採用することとした（図-14）。

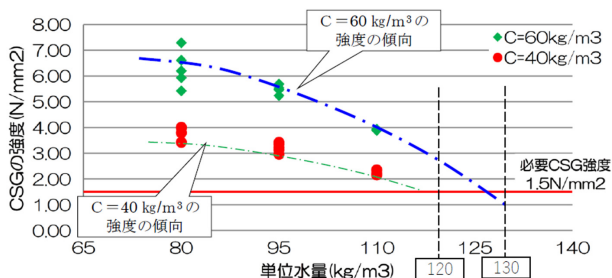


図-14 単位セメント量試験結果

c) 実機を用いた試験施工

実施工で使用する重機（CSG混合機械：土質改良機、敷均機械： 4t 級振動ローラ、転圧機械： 7t 級ブルドーザ）を用いた現場転圧試験を行い、あわせて大型供試体試験、コア採取等を行うことで、本施工時の転圧回数決定、品質管理手法の検討を行った。これら一連のCSG試験により、既設堤体コンクリート殻を活用したCSGの適用性について確認した。

なお、試験施工にあわせ、台形CSGダムで計画の中の本明川ダム建設事業を実施している長崎河川国道事務所の職員も視察し技術力向上にも寄与した（図-16）。

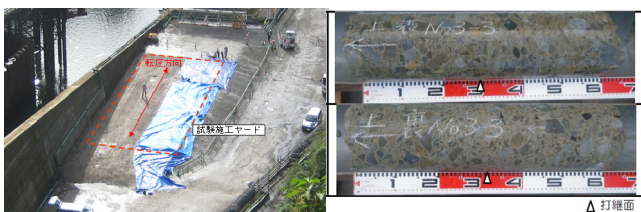


図-15 試験施工ヤードと採取コア



図-16 試験施工視察状況

(5) CSG抑止工の施工

一連のCSG試験施工を完了し、平成30年2月～平成30年6月にかけてCSG打設を行った。打設中は、リアルタイム転圧回数管理、製造時の単位水量管理およびCSG材の粒度管理（ $1\text{回}/\text{hr}$ ）、R I密度測定（ $1\text{回}/\text{日}$ ）、砂置換密度測定（ $1\text{回}/\text{週}$ ）等により、CSG及びCSG材の品質管理を実施した。

当初計画とおり、平成30年度出水期前までには、既設堤体コンクリートを活用したCSG抑止工の施工が無事完了した。



図-17 CSG抑止工完了状況

5. 既設堤体コンクリート殻を活用したCSG抑止工の効果

今回報告した既設堤体コンクリート殻を活用したCSG抑止工の適用について、その効果を以下で整理する。

(1) コスト縮減について

従来工法を通常のコンクリート打設と仮定すると、今回CSG抑止工を適用したことで、工事費を約4.1億円から約2.6億円へ約60%に縮減、既設堤体コンクリート殻を再資源化を行う中間処理施設への搬出処理を行わず、現地で破碎し再利用することで、工事費を約2.9億円から約1.3億円へ約40%に縮減、合計約3.1億円のコスト縮減効果を試算しており、事業終盤で切迫した予算の中事業を進捗していた背景からも、大きなコスト縮減効果だ

ったと評価している。

なお、CSG抑止工については、今回は、性状の異なる2種類の既設堤体コンクリート殻と現地発生土を、破碎・ブレンドする費用が発生しているが、コンクリート殻のみの単一材料で施工可能であれば、さらなるコスト削減が可能である。

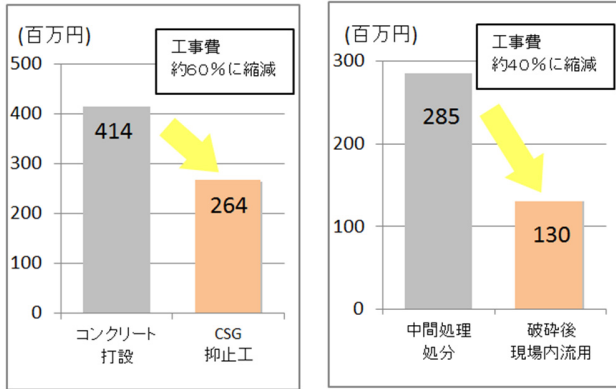


図-18 コスト削減額試算

(2) 環境負荷の低減について

既設堤体コンクリート殻を場外搬出行わないことで、約87,000tの建設副産物発生抑制に寄与し、環境負荷低減効果があった。なお、今回は、比較的広大な仮設ヤードが近隣に確保できていたため、これらの長期間(最長約4年間)の仮置き、CSG材のブレンド・ストックが可能であった。

(3) CSG試験・品質管理について

現地発生材を母材とするという観点から、試験施工・品質管理は品質のバラツキを考慮しながら念入りに行う必要がある。

例えば、本施工時におけるCSG材粒度や表面水量の品質管理頻度は、1時間ごとに実施している。つまり、CSG材は安価な材料であるが、施工中の品質管理に配慮が必要となる。これとは逆に、コンクリート用骨材は規格に基づき作られた材料であり、比較的高価となるものの、安定した品質が期待できる。

一方で、CSG試験施工で行う大型供試体試験、乱さないコア採取などは特許を含む精巧な技術が必要でその分費用もかかる。

このように、試験施工や品質管理については、より合理的にCSGの品質を特定できる試験手法の検討・開発が待たれるところである。

以上、検討当初は大量の既設堤体コンクリート殻の処分というダム再開発の課題解決を主眼として取り組んだものだったが、コスト・環境負荷の低減について想定以上の効果を得ることができた。また、既設堤体コンクリート殻をCSGの材料に再利用することは、法的制約、品質面からも課題とならないことから、有効的で汎用性が高い工法と評価している。

6. おわりに ～今後のダム再生事業への適用～

国土交通本省において、平成29年6月に「ダム再生ビジョン」、平成30年3月に「ダム再生ガイドライン」が策定され、現在、全国で様々なダム再生事業が新規事業採択されている。

「ダム再生ビジョン」では、既設ダムの有効活用を行うメリットとして、環境負荷を抑制できる点、短い期間で経済的に完成させることができる点等があげられており、本稿の事例は、既設堤体コンクリート殻を有効活用し、さらなる環境負荷の低減、コスト削減を図ったことで、ダム再生のメリットを最大限発揮できたものと考えている。

今後、多くのダム再生事業においても、その事業特性から必然的に発生する既設堤体コンクリート殻の処理について課題になるとと思われる。各事業毎に仮設ヤードの広さや既設堤体コンクリート殻の発生時期など現地条件は様々であるが、本稿で報告した事例が、課題解決のアイデアの1つとなれば幸いである。

特に、既設堤体コンクリート殻をCSGの材料とすることは、有効で汎用性が高いものであることを今回報告した。よって、例えば、ほとんどのダム事業で実施している貯水池地すべり対策の対策工法選定の1案として、CSG抑止工を念頭に置くなど、既設堤体コンクリート殻の再利用を事業計画時点から模索しておくことが、今後のダム再生事業を進捗するうえで、ダム再生事業特有のデメリットをメリットに変える有効な取り組みになってくると考えている。

鶴田ダム再開発事業は、「ダム再生ビジョン」策定より遡ること10年前からダム再生事業のリーディングプロジェクトとして進捗してきた事業であり、今年度で事業最終年度となるが、本稿を含め、鶴田ダム再開発事業で培った知見が今後のダム再生の一助になることを祈念している。

大鳴門橋補剛桁の近接範囲拡大に向けた 桁作業車改造の取組

松葉 真人

本州四国連絡高速道路(株) 鳴門管理センター 機械課
(〒772-0053 徳島県鳴門市鳴門町土佐泊浦字大毛18)

大鳴門橋は海峡部を跨いで建設された吊橋であり、補剛桁は複雑なトラス構造で海面上からの高さは40m以上の高所にある。補剛桁の定期的な点検と補修塗装等の保全作業には、安全性の確保と作業効率の向上が求められる。本橋は建設当時から補剛桁への接近方法が検討され、管理路と橋梁点検補修用作業車(以下「桁作業車」という。)を設置している。しかし、既設の管理路と桁作業車では接近困難な部位が多く、保全作業には仮設足場の設置等が必要となり、改善が求められた。本稿では、大鳴門橋補剛桁の桁作業車改造による桁部材等への接近範囲の拡大に向けた課題とその取組について報告する。

キーワード 補剛桁、接近範囲、桁作業車、改造、径間渡り桁

1. はじめに

大鳴門橋は、本州と四国を結ぶ本州四国連絡橋(以下「本四連絡橋」という。)のうち、兵庫県の淡路島と徳島県鳴門市に挟まれた鳴門海峡を跨いで建設された橋長1,629mの吊橋である(写真-1)。本橋の補剛桁は、海面上からの高さが40m以上の高所にあり、かつ複雑なトラス構造となっている。補剛桁の定期的な点検と補修塗装等の保全作業(以下「点検・補修作業等」という。)には、安全性の確保と作業効率の向上が求められる。本橋では、建設当時から補剛桁への接近方法が検討され、管理路の設置や移動足場として橋梁の構造に応じた橋梁点検補修用作業車(以下「桁作業車」という。)を開発し設置している。

本四連絡橋の管理路と桁作業車による桁部材表面への接近範囲の面積割合は、構造が単純な箱桁で約70~100%と高いが、構造が複雑なトラス桁は約40~82%と



写真-1 大鳴門橋

低く、特に本四連絡橋の建設初期に完成した大鳴門橋は著しく低い。

近年、橋梁等の5年に1回の近接目視を基本とする点検が必要となっており、さらに補剛桁の全面塗替の数年後に部分的に局所的な腐食が確認され、随時補修を実施している。しかし、既設の管理路と桁作業車では接近困難な部位が多く、保全作業には仮設足場の設置等が必要となり、改善が求められた。本稿では、大鳴門橋補剛桁の桁作業車改造による桁部材等への接近範囲の拡大に向けた課題とその取組について報告する。

2. 桁作業車の配置と構成

桁作業車は、強風及び海塩粒子が飛来する厳しい自然環境下で、海上の高所にある長大橋梁の補剛桁の構造部材、橋梁付属物及び添架物等の点検・補修作業等を効率よく行うための各橋梁専用の常設式移動足場であり、以下の性能が必要となる。

- ①補剛桁の構造部材、橋梁付属物及び添架物等の複雑な構造の各部位に作業員及び資機材を搭載し、安全かつ迅速に接近できること。
- ②補剛桁の補修及び塗替塗装等で、資機材の運搬及び作業足場として使用できること。
- ③操作が容易であり、誤操作時には停止できること。
- ④橋体の荷重負担を軽減し、製造費が経済的であること。

⑤維持管理が容易であり、経済的であること。

以上を踏まえ、大鳴門橋の補剛桁には、1985年の供用当初から桁外面作業車5台、桁内面作業車4台を設置¹⁾している(図-1)。桁外面作業車は、下面作業台及び側面フレームから構成され、桁下面に橋軸方向に設置した軌条を走行して、主に主構及び下横構等の桁外面の点検・補修作業等に使用する(写真-2)。桁内面作業車は、桁内中央の垂直材に橋軸方向に設置された軌条を走行する走行台車、横行台車を鉛直方向に昇降するXバー及び橋軸直角方向に横行する横行台車等から構成される。桁内面作業車は、桁内を橋軸方向に移動して昇降・横行動作により、桁外面作業車では接近困難な鋼床版下面、主横の小組トラス上部の中弦材等に接近でき、桁内面の点検・補修作業等に使用する(写真-3)。なお、主塔と補剛桁の間には、車両の通行、気温、風、地震等による橋体の変形に伴う大きな伸縮や角折れがあるため、桁内面作業車が塔を通過し径間移動できる構造となっていない。

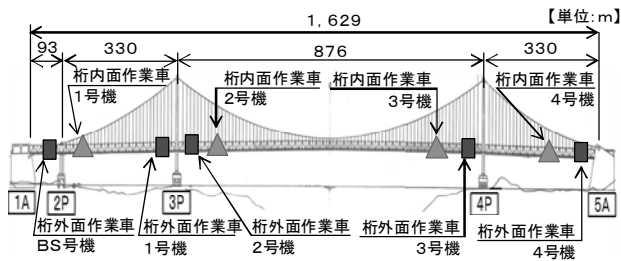


図-1 大鳴門橋桁作業車の配置

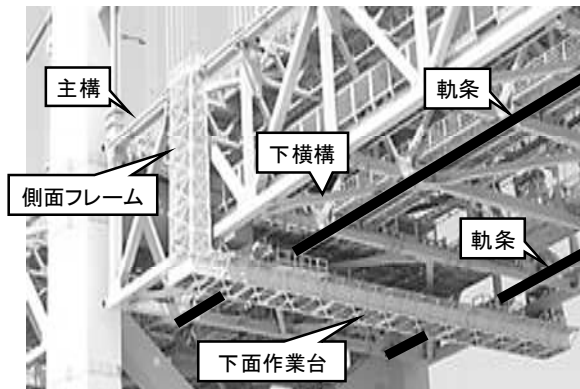


写真-2 桁外面作業車の構成

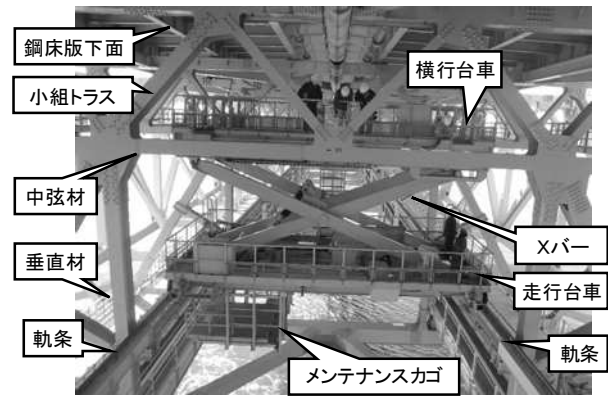


写真-3 桁内面作業車の構成

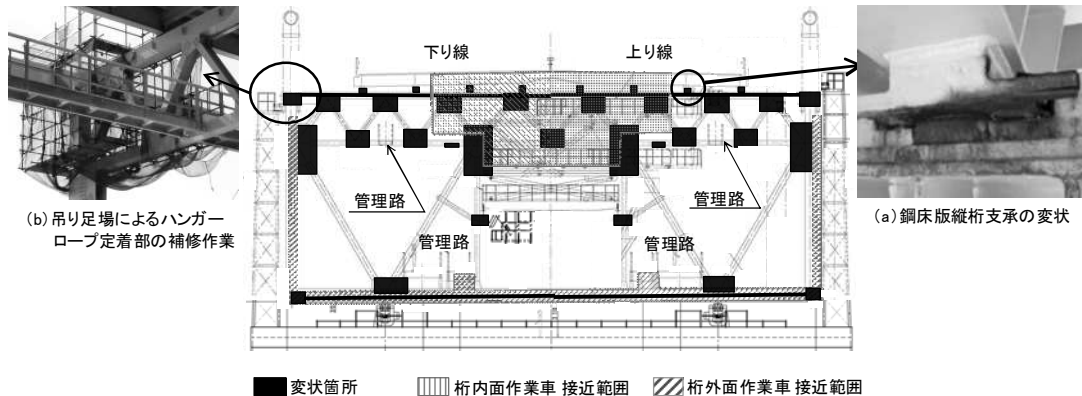


図-2 大鳴門橋補剛桁の変状箇所と管理路及び桁作業車による接近範囲

3. 桁作業車の接近範囲拡大のための課題

(1) 補剛桁の保全上の課題

大鳴門橋の補剛桁は、供用後13年が経過した1998年度から2004年度にかけて全面塗替塗装を施工した。しかし、大鳴門橋は本四連絡橋の中で唯一、瀬戸内海と太平洋に面し、海峡部の厳しい腐食環境にある。このため、塗替塗装施工完了後数年で鋼床版縦桁支承や橋梁部材の添接部等に局部的に腐食する変状が確認された(図-2)。本変状箇所の補修塗装を施工するには接近が必要となるが、約6割の縦桁支承は既設の管理路と桁作業車で接近することが困難であった。

また、2014年7月に道路法施行規則の一部を改正する省令が施行され、橋体部材を5年に1回の近接目視を基本とした点検の実施が必要となった。しかし、トラス桁は構造が複雑であり、特に本四連絡橋の建設初期(1985年)に完成した大鳴門橋は、明石海峡大橋等に比べ桁作業車の機能不足等から桁部材等への接近範囲の面積割合が約40%と他橋に比べ著しく低い。

さらに、既設の管理路と桁作業車で接近困難な変状箇所等への接近は、吊り足場の架設等で対応しているが、①設置・撤去時に仮設資機材の落下リスクが高い、②吊り足場等を使用する場合は施工費が高額となる等から、安全で経済的な接近手段の確保が望まれた。

(2) 桁内面作業車の使用上及び設計上の課題

点検・補修作業等を行う作業員等に桁内面作業車の使用状況等をヒアリング調査した結果、桁内面作業車の接近範囲の拡大を図るための次の課題を確認した。

- ①横行台車の側面に操作用の制御ケーブル線（ケーブルベア）が敷設されているため、横行台車による小組トラスへの接近距離は約0.8mと離れている（写真-4）。
- ②横行台車の床幅約2.9mに対して、補助足場の床幅が約0.9mと狭いため、一部の鋼床版縦桁支承とその近傍の小組トラスへの接近が困難である（写真-5）。
- ③現状のXバーでは横行台車を最下限で横行できる強度がないため、管理路付近の中弦材等への接近が困難である（写真-6）。
- ④既設の走行軌条桁の強度を踏まえ、改造後の桁作業車質量を12.9t以下にする必要がある。

(3) 桁外面作業車の使用上及び設計上の課題

点検・補修作業等を行う作業員等に桁外面作業車の使用状況等をヒアリング調査した結果、桁外面作業車の接近範囲の拡大を図るための次の課題を確認した。

- ①BS、1、3及び4号機は、側面フレームに張出床が設置されていないため、ハンガーロープ定着部付近、主横トラス上弦材、小組トラス、中弦材及び主構垂直材との接合部等への接近が困難である（写真-7）。
- ②2号機は、側面フレーム上部に差込長さ約1.5mの張出床を供用後に設置しているが、差し込み長さが短く、

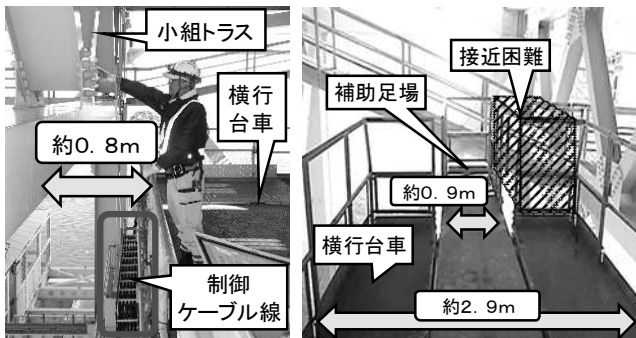


写真4 横行台車の接近状況

写真5 補助足場の床形状

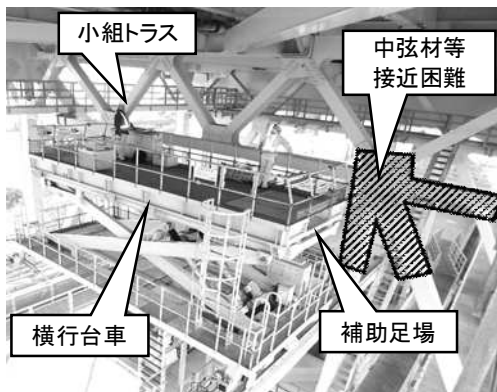


写真6 中弦材の接近困難箇所

かつ昇降できないため接近可能範囲が狭く、さらに主構斜材がある箇所では差し込み位置が限られるため、点検・補修作業等では吊り足場が必要となる（写真-7）。

- ③既設の走行軌条桁の強度及び作業車本体構造部の強度を踏まえ、改造後の作業車質量を現在の約45tから増加させないことを原則とした。

(4) 桁作業車の改造台数の削減と改造号機の選定

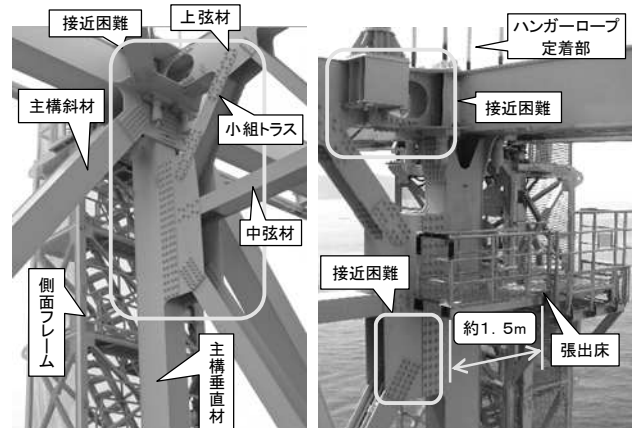
桁作業車の桁部材等への接近範囲を拡大するために、全ての桁作業車を改造すると、改造費が高くなり経済性の確保が困難となる。一方、桁作業車は、補剛桁の点検・補修作業等に使用するほかに、全面塗替塗装作業等の資機材の運搬等としても使用する。このため、補剛桁の点検・補修作業等と全面塗替塗装作業等が効率的に実施できるように、桁作業車の運用方法の実態を調査して、最適な改造台数と改造号機の選定が必要である。

4. 桁作業車の接近範囲拡大のための改善

(1) 桁内面作業車の接近範囲拡大の改善

桁内面作業車の前述の課題を解決し補剛桁への接近範囲を拡大させるため、①横行移動範囲の拡大（中弦材の接近が可能）、②横行台車の補助足場の拡幅、③制御ケーブル線の小型化と移設を検討した。以下に、桁内面作業車2号機で実施した接近範囲拡大の改善とその効果を示す（写真-8）。

- ①補助足場の床幅を横行台車幅まで拡幅すると共に、制御ケーブル線を横行台車側面から下面に移設した。これにより、小組トラスと横行台車との接近距離が0.8から0.1mに短縮でき、鋼床版縦桁支承及び小組トラスの点検・補修作業等が仮設足場を設置せず実施できた。



(a)主構斜材あり

(b)主構斜材なし

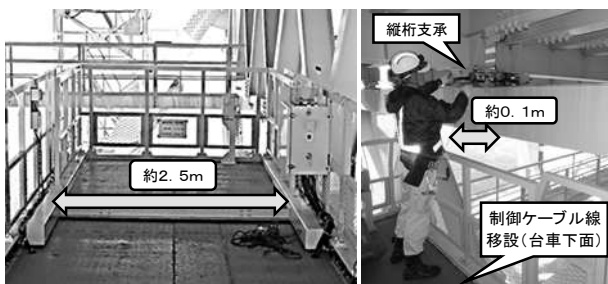
写真7 ハンガーロープ定着部の接近状況

- ②横行台車の補助足場の床幅を0.9mから2.5mに拡幅した結果、横行台車の床面積が拡大し、資機材の運搬及び仮設資材の設置・撤去等の作業効率が向上した。
- ③最下限位置での横行台車の可動範囲を拡大した結果、管理路近傍の中弦材及び小組トラスの点検・補修作業等が仮設足場無しで実施できるようになった。
- ④補助足場の拡幅に伴い質量が約400kg増加したが、強度に余裕のある横行台車を約1.3t軽量化し、改造後の作業車質量を12.8tに抑え、走行軌条桁の応力を許容値内にした。
- ⑤既設の桁内面作業車下面にあるメンテナンスカゴは片側のみであり、2本の走行軌条架台部や桁内面作業車下面の点検・補修作業等は実施困難なため、後述のように桁外面作業車の下面作業台中央に伸縮ブーム作業装置を搭載して可動範囲を広げ、接近を可能にする。

(2) 桁外面作業車の接近範囲拡大の改善検討

既設の桁外面作業車は、トラス桁内に接近できる張出床が無く、走行軌条桁の強度及び作業車本体構造部の強度の制限もあるため、下面作業台両側の側面フレームを撤去して質量削減を図り、伸縮ブーム作業装置を搭載して、桁の内側及び外側より各部材へ接近できる構造とした。以下に桁外面作業車3号機で実施する接近範囲拡大の具体的な改善方法を示す(図-3、図-4)。

- ①桁内面作業車の軌条架台部及び走行台車下面に接近するため、下面作業台中央に作業床高さ約10m級の中央部伸縮ブーム作業装置を1台搭載する。
- ②桁内面作業車及び中央部伸縮ブーム作業装置で接近困難な桁部材等に接近するため、下面作業台両側に作業床高さ約17m級の側部伸縮ブーム作業装置を各1台搭載し、側面フレームを撤去する。



(a) 補助足場の拡幅と小組トラスへの近接範囲が拡大



(b) 中弦材の接近が可能

写真8 桁内面作業車の改造事例

(3) 大鳴門橋の桁作業車による接近範囲のまとめ

前述の改造を実施することで、管理路と桁作業車による桁部材等への接近範囲の面積割合は約90%となり、変状箇所への接近は約99%可能となる予定である。桁作業車の改造方針と改造後の接近範囲を図-3、4に示す。

(4) 桁作業車の最適な配置と改造台数

a) 桁内面作業車の改造

桁内面作業車の改造台数の選定には、補剛桁の点検・補修作業等と全面塗替塗装作業の作業効率の確保が必要となる。このため、作業車の使用頻度が多い補剛桁の全面塗替塗装時における作業車の使用実績を調査した。調査の結果、全面塗替塗装作業における桁内面作業車は、足場等の資機材の運搬及び塗替作業の仮設作業台に使用されていた。なお、補剛桁の全面塗替塗装時の桁作業車は、補剛桁に仮設足場が設置され仮設足場設置区間を通過することが困難となる。このため、仮設足場設置区間以外の点検・補修作業等を行う場合は、仮設足場設置区間の両側に改造後の桁内面作業車を配置することで、全径間の点検・補修作業等が可能となることが分かった。

以上を踏まえ、桁内面作業車の改造台数は2台とした。また、2台の改造号機で補剛桁全長の点検・補修作業等ができるように、既設の走行軌条が途絶して径間移動できない3P及び4Pの主塔下部水平材下面に径間渡り桁と軌条を設置し、桁内面作業車が全径間を移動できる構造に改造することとした。以上より、改造を実施する桁内面作用車は2号機及び4号機の2台とした(図-5)。

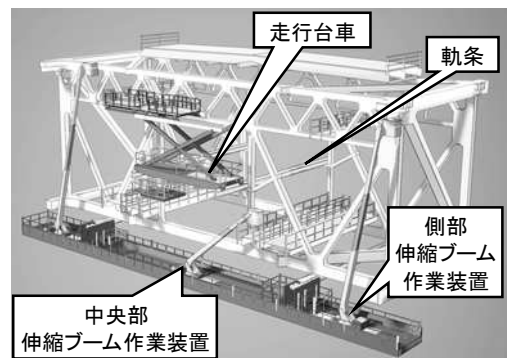


図-3 桁外面作業車の改造イメージ図

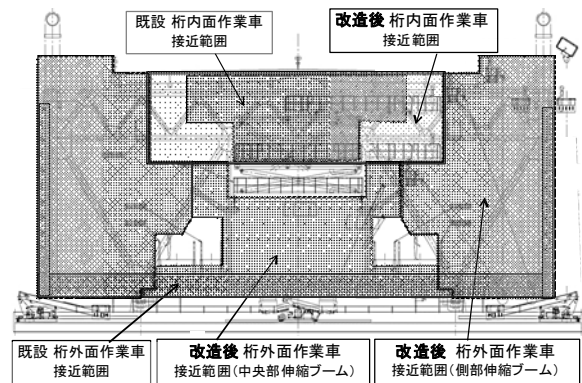


図-4 改造後の桁作業車による接近範囲

b) 桁外面作業車の改造

桁外面作業車の改造台数の選定においても、桁内面作業車と同様に、補剛桁の点検・補修作業等と全面塗替塗装作業の桁外面作業車の使用実績を調査した。調査の結果、①点検時には側面フレームに点検員が搭乗した状態で作業車を走行させ、桁外面の目視確認を連続的にしている。②全面塗替塗装作業では桁外面作業車を足場等資機材の運搬及び塗替作業の仮設作業台に使用している。

以上を踏まえ、①点検区間が長い中央径間の2号機は側面フレームにより桁外面の目視確認を連続的に行うため、現状を維持する。②中央径間の3号機は伸縮boom作業装置を搭載して補剛桁の点検・補修作業等も可能とすることで作業効率の低下防止と確実な接近を可能とする。③点検・補修作業等の作業は少人数で班編制されていることから、各号機に伸縮boom作業装置は搭載せず、必要となった場合に号機間で移設できる構造とし、伸縮boom作業装置の製作台数を削減した(図-6)。④伸縮boom作業装置の走行レールは下面作業台の側面に取付けることで、補剛桁の全面塗替塗装における資機材の運

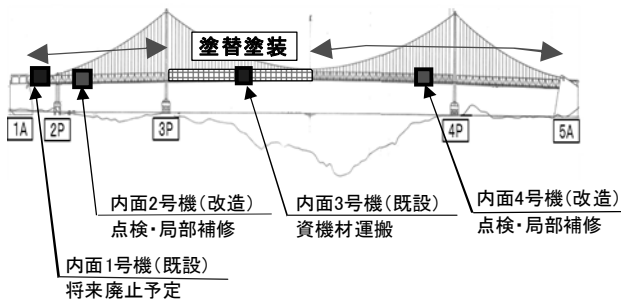


図5 桁内面作業車の配置パターン

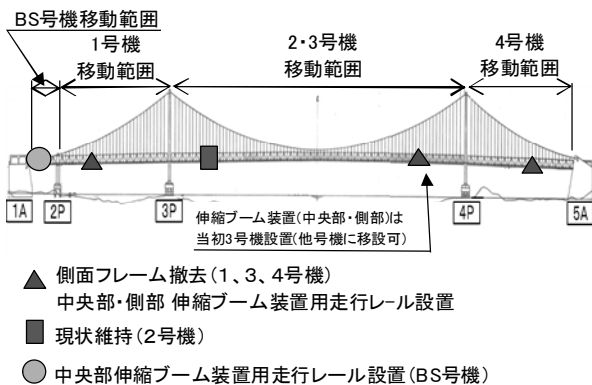


図6 桁外面作業車の配置パターン

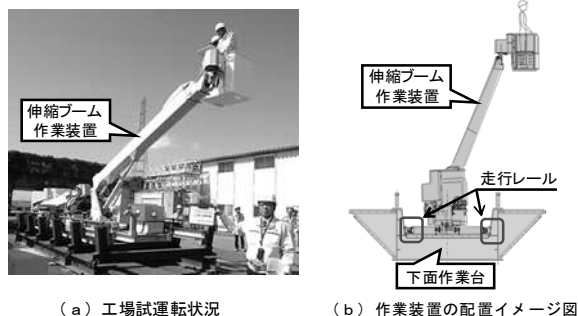


図7 伸縮boom作業装置

搬及び仮置きに支障がないようにした(図-7)。以上より、改造を実施する桁外面作業車はBS号機、1号機、3号機及び4号機の4台とした。現在、桁外面作業車3号機を改造中であり、試験運用後に残りの桁外面作業車も改造する予定である。

5. 径間渡り桁の開発

(1) 径間渡り桁の課題と対応

本四連絡橋の桁内面作業車において、補剛桁と主塔間の伸縮量が大きい箇所に径間渡り桁がある橋梁として、明石海峡大橋がある。本径間渡り桁は建設時に検討され、桁内面作業車の径間移動時に、クレーン装置付トラックが走行できる幅広管理路上に仮置きされた長さ約4m、質量約900kgの径間渡り桁を、走行軌条が途絶する主塔部にその都度設置する構造となっている。一方、大鳴門橋では、現在主塔水平材下部に径間渡り桁及び吊り上げるための設備は設置されていない。このため、主塔部に径間渡り桁を追加して桁内面作業車が全径間を移動できる方法を検討した。なお大鳴門橋では、①管理路への径間渡り桁の仮置きは幅が狭い等から困難であること、②径間渡り桁の設置及び撤去作業が煩雑となることから、径間渡り桁の構造は橋体の伸縮及び角折れに追従する常設型とした(写真-9、図-8)。

径間渡り桁は、質量約13tの桁内面作業車を安全に通過させると共に、既設の走行軌条と容易に接合でき、後述する伸縮機能等を確保するため、桁断面の形状を箱形とした。径間渡り桁の部材構成は、主塔水平材下部に設置される渡り桁(軌条付)と箱形の渡り桁内に靴形式で格納し伸縮する伸縮軌条桁(軌条無し)からなる。

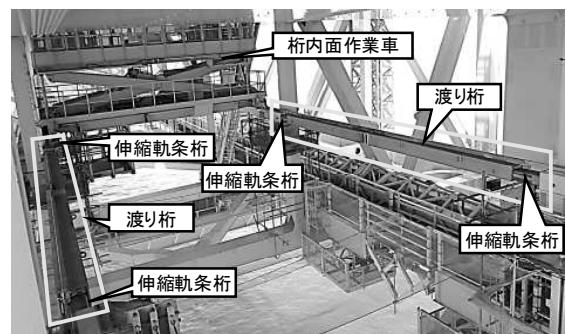


写真9 主塔部への径間渡り桁の設置

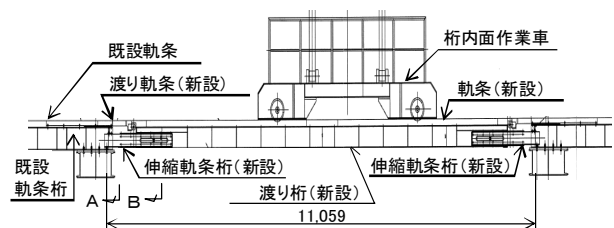


図8 主塔部の径間渡り桁の構造

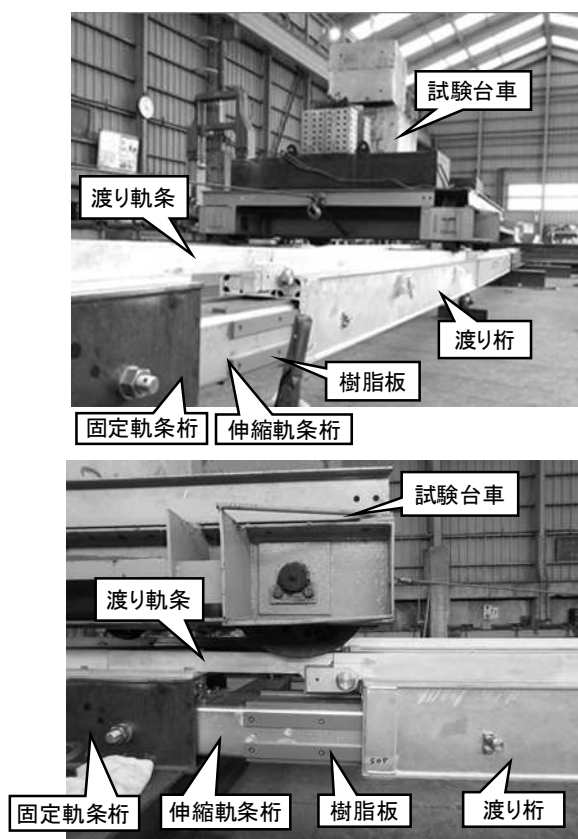


写真-10 径間渡り桁の工場試験状況

なお、補剛桁側の既設軌条と渡り桁軌条の間には、軌条間が伸縮しても桁内面作業車が走行できるようにスライド機能を有した渡り軌条を取付けた。渡り軌条は、常時は取り外し、桁内面作業車が走行する際には取り付ける構造とした。

また、径間渡り桁の橋軸方向の伸縮量は、主塔部伸縮装置の最大移動量（側径間側±450mm、中央径間側±740mm）及び上弦材のリンク支承による補剛桁の角折れ（回転量）を考慮し、1,300mmで設計した。更に伸縮軌条桁には鞞部での可動を容易にするため、表面に機械的強度、耐久性、耐摩耗性及び自己潤滑性に優れた樹脂板を設置している。既設軌条桁と伸縮軌条桁との接合は、主塔部における補剛桁の最大角折れ（鉛直面内は中央径間側の下に凸で24.3%、水平面内は中央径間側で±34.9%）に対応するため、ルーズな構造とした。

(2) 径間渡り桁の工場試験

桁内面作業車通過時の径間渡り桁の作動確認を行うため、製作工場において実橋を模した勾配、支間長で径間渡り桁を設置し、改造後の桁内面作業車の質量と同じ分銅を積載した試験台車を走行させ、径間渡り桁の最大たわみ量と伸縮状況を確認した（写真-10）。結果、最大たわみ量は、許容たわみ量22～37mm（支間長の1/300～1/500）に対し、26mmとなり、設計値を満足した。また、径間渡り桁の伸縮状況を確認するため、伸縮軌条桁をチ

ェンブロックで抜き差しして、伸縮状況に問題がないことを確認した。

(3) 径間渡り桁架設と可動状況

大鳴門橋3P主塔部に径間渡り桁を設置し、可動状況を確認した。架設後、瞬間最大風速約30m/sの台風が通過したが、伸縮部の損傷はなく良好に作動していた。今後、桁内面作業車で走行すると共に台風通過時等の補剛桁端部の伸縮量及び角折れに対する性能を確認する予定である。

6. まとめ

大鳴門橋の今回の桁作業車の改造により、トラス桁部材等への接近範囲の面積割合を90%以上確保すると共に、桁内面作業車用径間渡り桁の開発等により改造台数を削減した。

本四連絡橋は200年以上の長期にわたり、お客様に安心して利用される橋を目指し、予防保全を基本として万全な維持管理に取り組んでいる。本取組の一環である橋体の点検・補修作業等を安全かつ効率的に行う上で、桁作業車は必要不可欠な設備である。しかし、大鳴門橋の桁作業車は供用から30年以上が経過し、新たな機能や更なる性能向上等が求められている。今後も桁作業車の接近範囲拡大等のように、求められるニーズに対応するための新しい技術開発を行い、更なる安全性の向上、維持管理作業の効率化、保全コストの削減等の保全作業の課題の解決を目指して、桁作業車の改善及び改良に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 今中靖雄・谷口肇・阿部重美：大鳴門橋および門崎高架橋の橋梁点検補修用作業車，建設の機械化，pp. 32-37, 1985. 3

ビッグデータを活用した生活道路における 仮設ハンプ設置の効果検証について

榎田 洸介¹

¹横浜市 道路局 施設課 (〒231-0017 神奈川県横浜市中区港町1-1)

横浜市では、歩行中の交通事故死者数が自動車乗車中の交通事故死者数を上回り、全ての死者数に占める割合でも約5割と最も多く、特に65歳以上の高齢者はそのうちの約8割を占めている現況にある。このため、身近な道路の対策である生活道路事故対策に取り組む必要がある。

本論文では、神奈川県横浜市港北区大倉山三丁目地区を対象にビッグデータを活用し、交通実態分析、交通安全対策を検討し、住民と協働しながら進めた仮設ハンプの社会実験についてその対策効果を報告する。

キーワード：社会実験、生活道路、ビッグデータ (ETC2.0)、ハンプ、狭さく

1. はじめに

横浜市では、歩行中の交通事故死者数が自動車乗車中の交通事故死者数を上回り、全ての死者数に占める割合でも約5割と最も多く、特に65歳以上の高齢者はそのうちの約8割を占めている現況にある。¹⁾

今回対象とした大倉山三丁目地区は、横浜市内において、歩行者・自転車事故件数が非常に多い状況にあり、本地区の交通安全対策を早急に進める必要があった。

本稿では、横浜市初の取り組みである仮設ハンプの社会実験を通して、ビッグデータを活用した交通実態分析・交通安全対策検討、安全対策の計画立案から策定までの取り組み、地域住民との合意形成手法について報告するとともに、各検討過程において明らかとなった留意事項を示す。

2. 現況把握

(1) 現状の課題

a) 大倉山三丁目地区の概要

大倉山三丁目地区は横浜市の東側にあり、近くに駅、商店街及び学校があるため、朝夕には通勤・通学の歩行者・自転車、昼間には買い物客が大変多くなっている。

(図-1) に大倉山三丁目地区の位置図を示す。

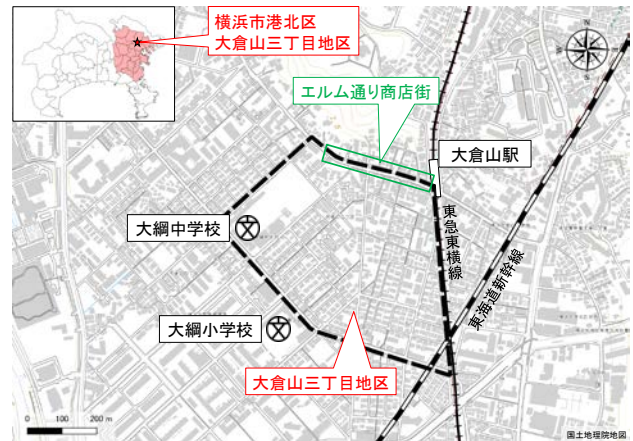


図-1 大倉山三丁目地区の位置図

b) 交通事故及び交通状況

本地区の課題を把握するために、国土交通省のご協力により、事故データとETC2.0プローブデータによる交通事故の発生状況と交通状況の分析結果を提供頂いた。

当該地区の当事者別事故発生状況を(図-2)に示す。これより、南北方向の2つの通りでは自転車事故が多く、駅前では歩行者事故が多いことが分かった。

当該地区のETC2.0プローブデータ活用して分析した車両の走行速度を(図-3)に示す。これにより、規制速度が30km/hである東側の道路では、40km/h以上と速度が高いことが分かった。

また、並行する主要地方道県道2号東京丸子横浜(綱島街道)の大豆戸交差点が渋滞するため、当該地区を抜け道として利用し、当該地域を通行する14.6%が抜け道と

して利用していることがわかった。当該地区の抜け道と渋滞ポイントを（図-4），当該地域の抜け道の利用割合を（図-5）に示す。

このため、南北方向2つの通りのうち、東側道路の走行速度が高く、抜け道になっている事が明らかになったため、速度を低下させるなどの安全対策が必要であると考えた。

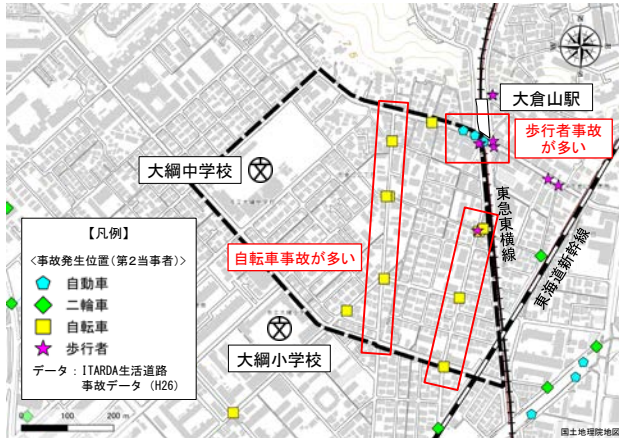


図-2 当事者別事故発生位置図（事故データ）

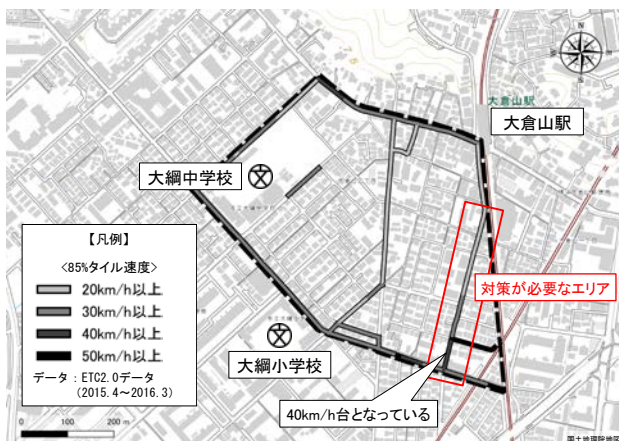


図-3 車両の通過速度の分析結果図（ETC2.0プローブデータ）

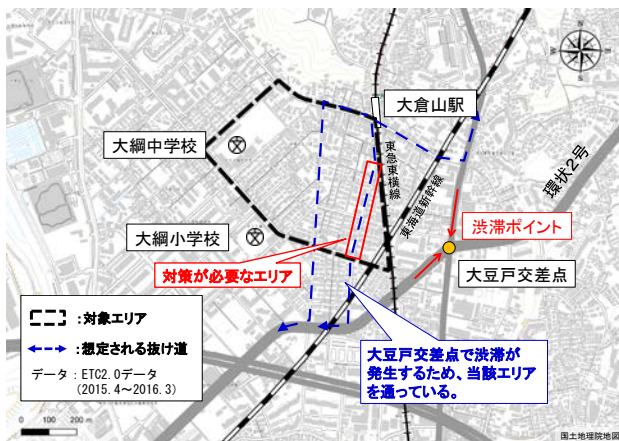


図-4 抜け道と渋滞ポイント（ETC2.0プローブデータ）

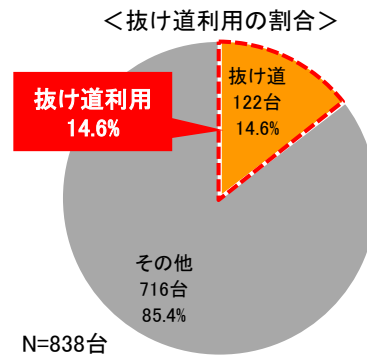


図-5 抜け道利用の割合（ETC2.0プローブデータ）

(2) 対策方針

当該地区の東側にある南北方向の道路のこれまでの安全対策を（図-6）に示す。この道路は、30km/hの速度規制が設定されているほか、歩行者が通行する部分にグリーンベルトが設置されている。しかしながら、前述の通り、未だに速度が高い状況にあるため、物理的に速度を落とすことが可能であるハンプ・狭さくの設定の可能性について検討を行った。

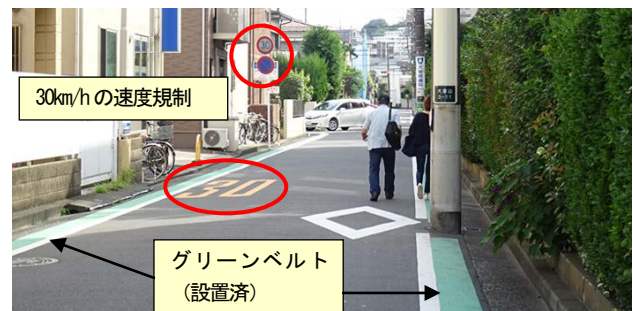


図-6 本地区の既存の安全対策

(3) 対策立案

生活道路のゾーン対策マニュアルによると、走行速度を抑制するためには、ハンプを複数箇所連続的に設置することを推奨しており、ハンプの設置間隔は、40m以下とすることが望ましいとされている²⁾。また、ハンプを設置する場合、交差点付近に設置するとより高い効果があるとされている。しかしながら、ハンプ設置位置を検討した結果、当該区間には交差点付近を含め、沿道住居等の乗り入れ口が多数あり、ハンプ設置間隔が約130m離れてしまった。このため、ハンプ間で速度が上がる事が懸念された。そこで、ハンプで減速した状況を区間全体で維持させるため、2基のハンプの間に、2基の狭さくを設置する事とした。この理由として、ハンプは最低10m以上の長さを確保する必要があるが、狭さくの場合は任意に設定することができるためである。

（図-7～図-9）にハンプ、狭さくの位置、写真を示す。

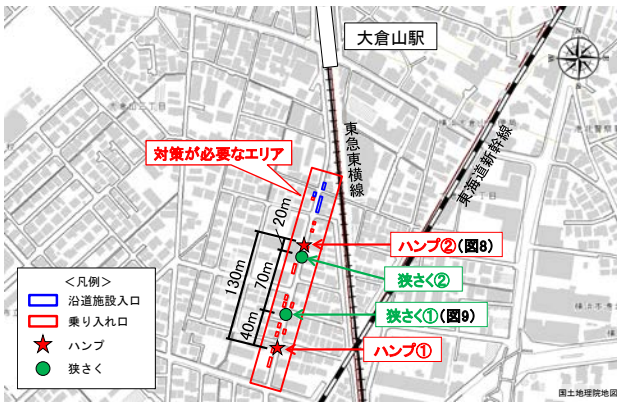


図-7 ハンプと狭さくの設置箇所



図-8 社会実験時のハンプ設置と乗り入れの様子



図-9 社会実験時の狭さく設置

(4) 検討会の実施

ハンプ等の物理的デバイスの設置は速度抑制をねらったものであるが、住民生活にどのような影響が生じるのかを知る必要があった。このため、当該地区の安全対策を住民参加で検討する会議（以降、検討会という）を設立し、住民の皆様の意見を取り入れて仮設ハンプの社会実験を行う事とした。

a) メンバー構成

検討会に参加する住民メンバーの検討を行った。当該地区では速度超過する車両があり、子ども達の通学路にもなっているため、安全対策を円滑かつスピーディーに策定する必要があった。このため、参加メンバーは、町内会長（大倉山明和会、太尾中町会）、大倉山エルム通り商店会長、大綱小学校（副校長、PTA）などの地区の代表者とし、意思決定を迅速に行える体制とした。また、国土交通省の国土技術政策総合研究所、横浜国道事務所の方々には、オブザーバーとして参加していただき、技術的なアドバイスをして頂いた。

b) 検討会の開催

検討会の主な議題を（表-1）に示す。第1回では、当該地区の危険性と対策の必要性の認識を高めるため、事故状況、ETC2.0分析結果を説明した。住民の皆様からは「町内以外の運転者がスピードを出している。」、「荷捌きの車の駐車を考慮してほしい。」、「対策内容をもっと詳しく知りたい。」という意見を頂いた。

また、検討会は地区の代表者という限られたメンバーで行われているため、地域住民の全員に広報・周知することが重要と考えた。このため、検討会での報告、頂いた意見など、取り組みの進捗状況が分かる資料を作成し、住民全員に回覧板で回すことにした。配布した回覧板を（図-10）に示す。

表-1 検討会の実施内容

検討会	主な議題
第1回	<ul style="list-style-type: none"> 神奈川県内の事故発生状況 大倉山三丁目地区の事故発生状況 大倉山三丁目地区の急ブレーキ・速度（ETC2.0データ分析） 安全対策メニュー
第2回	<ul style="list-style-type: none"> 車両速度抑制対策メニュー及び事例の紹介 大倉山三丁目地区における車両速度抑制対策 ハンプ体験会の実施
第3回	<ul style="list-style-type: none"> 社会実験概要 ビデオ調査による効果検証 アンケートによる効果検証 次年度の本対策



図-10 交通対策ニュース（回覧板）

第2回では、大倉山三丁目地区における対策案と社会実験について意見を交換することを目的に行った。この際、住民はハンプを見たことが無い方も多くいるため、実物のハンプを見てもらい、歩いたり、自転車でも走ったりしてもらう機会が必要と考え、ハンプ体験会を実施し

た。結果として、「ハンプはイメージよりも段差が高く
ない。」や、「自転車でも通りやすい。」との設置に前
向きな意見を頂いた。当日の様子を（図-11）に示す。
住民からは「スピードを抑制させるには、1箇所よりも
複数箇所でハンプを設置することが有効。」と理解して
もらい、対策の必要性も感じて頂いた。

また、社会実験1週間前、安全対策内容について沿線
の皆様に対し、現場で複数回説明を行った。



図-11 第2回検討会（ハンプ体験会）

第3回では、社会実験の効果検証結果を報告すること
や、次年度の本対策を説明することを目的に行った。

対策による速度低下の効果を説明し、地域住民の皆様
には一定の理解を頂いたが、「なるべく音が最小限にす
る設置方法を検討してほしい。」「ハンプ脇のラバー
ポールによって車の出入りが不便になった。」「沿線
住民に配慮して調整しながら進めてほしい。」という改
善・要望も頂いた。

3. 社会実験の実施及び効果検証

(1) 社会実験の実施

対策案が期待する効果を発揮するかどうか、また対策
による副作用がないかどうかを確認することを目的に、
約1ヶ月間（2017年10月6日～2017年11月1日）の社会実験
を行った。

(2) 社会実験の効果検証

対策効果を検証するため、国土交通省のご協力により、
ETC2.0 プローブデータ分析と実験中の交通状況の変化
を捉えるためのビデオ調査、住民意見を把握するための
アンケート調査を実施した。社会実験の効果検証内容を
（表-2）に示す。

ETC2.0 プローブを用いた分析は、社会実験前と社会実
験中の2ヶ月間において、走行速度・旅行速度の分析を
行い、ビデオ調査は ETC2.0 データの補足として、社会
実験前と社会実験中の2日間において、歩行者・自転車

の挙動を計測した。

表-2 社会実験の効果検証内容

項目	評価内容	期間
ETC2.0 プローブデータ	走行速度・旅行速度	社会実験前・社会実験中の各1ヶ月
ビデオ調査	歩行者・自転車の挙動	社会実験前・社会実験の各1日間
アンケート調査	住民意見	

a) ETC2.0プローブ分析

平均速度をみると、ハンプの設置により、社会実験前
の32.6km/hから社会実験中の22.9km/hと約10km/h低下し、
30kmを超える車の台数の割合が減った。しかし、幹線道
路からの抜け道の台数には大きな変化は見られなかった。
結果は（図-12～図-14）に示す。

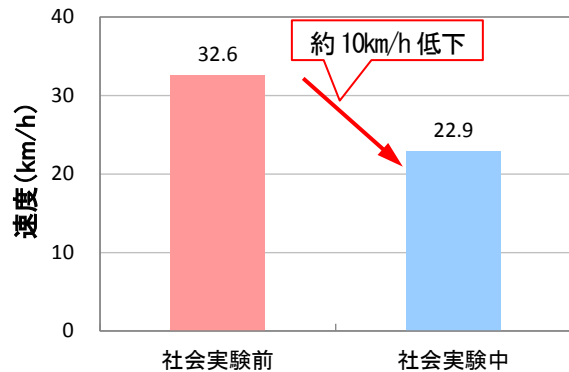
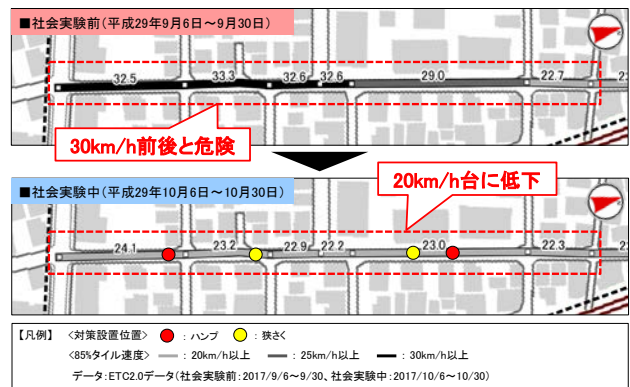


図-12 社会実験前・実験中の車両速度（平均速度）

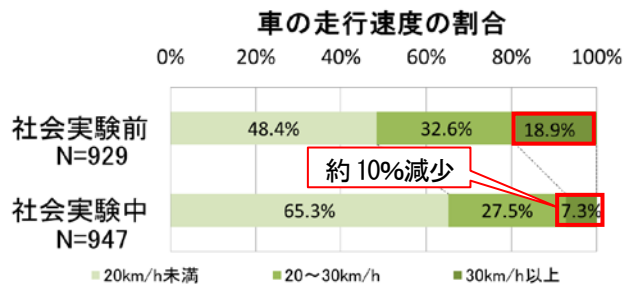


図-13 社会実験前・実験中の走行速度の割合

＜抜け道利用の社会実験前後の割合＞

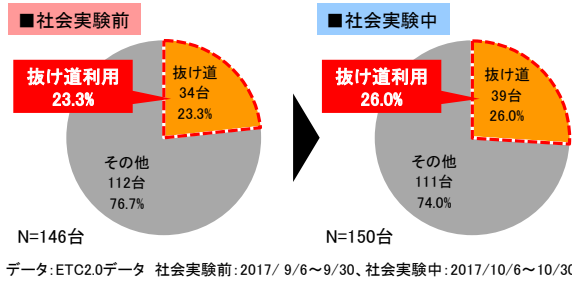


図-14 社会実験前・実験中の抜け道利用の割合

b) ビデオ調査

ハンプや狭さく付近のグリーンベルト内の歩行者の通行率を(図-15)に示す。この結果、社会実験前と比較するとグリーンベルト内の通行率が約40%増加した。これはハンプを通行する車両が道路中央を走行するため、グリーンベルトにはみ出すことが少なくなり、歩きやすくなったことや、ハンプ脇にはラバーポールがあるため、歩行者がラバーポールの外側を通行できるようになったものと考えられる。

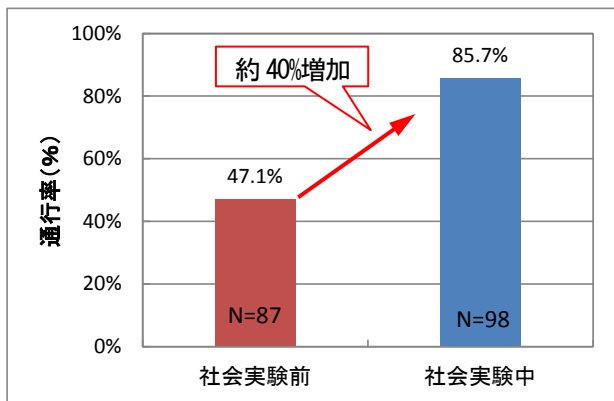


図-15 グリーンベルト内の通行率 (ハンプ北側)

c) アンケート調査

大倉山三丁目地区の周辺の住民を対象に実施したアンケートの調査概要を(表-3)に示す。

表-3 アンケート調査の概要

調査方法	町内会を通じて、大倉山三丁目地区、一部大倉山七丁目の住民に配布。郵送回収。
配布数	1,500 票
回収数	282 票 (18.8%)

(表-4、表-5) に社会実験による安全性の向上と今後の対策の意向についての結果を示す。地域住民の60%が「安全性が向上した」と感じ、77%の方が対策継続を希望している。

また、沿線住民と沿線以外の住民の回答を比較してみると、沿線住民の方からは「危険となった」、「今後の対策を希望していない」と回答している割合が多く、今後の対策は希望しないと考えていることが分かった。地域住民の皆様の声として、「ラバーポールがあるため、沿道から車の出入りがしにくい。」、「ハンプと狭さくの間で、再加速しやすい。」等のハンプ・狭さくの形状に関するものが多かった。

表-4 沿線住民とそれ以外の比較 (安全性)

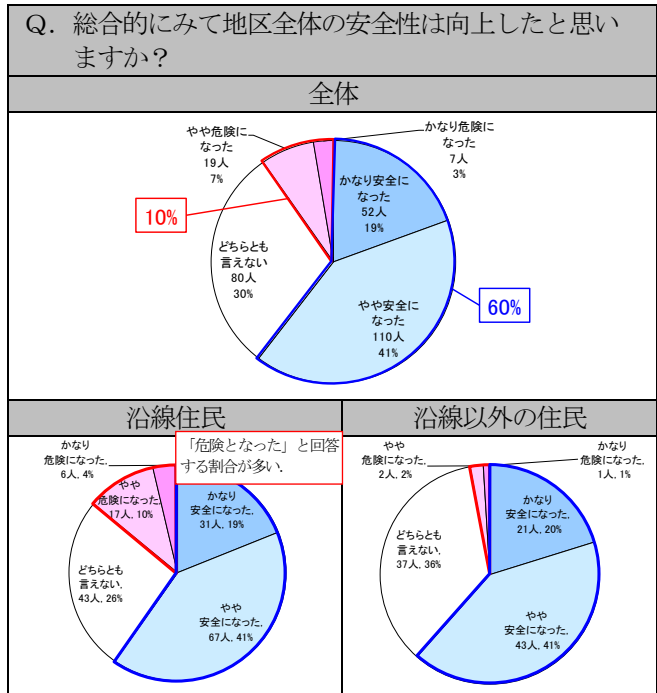
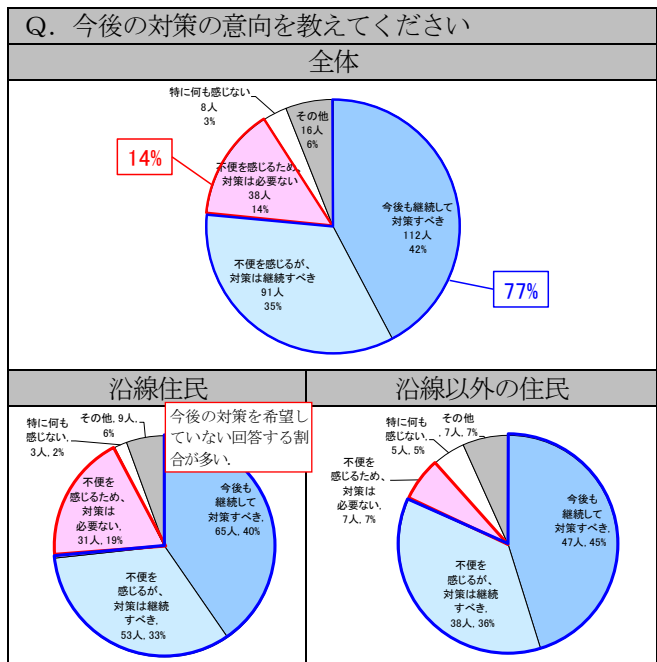


表-5 沿線住民とそれ以外の比較 (今後の対策)



4. 本格施工

社会実験の効果検証を踏まえ、課題を抽出するとともに、本施工時の対応を（表-6）に示す。

課題として、一部の箇所ではラバーポールにより車の沿道出入りや歩行者の通行がしにくいことや、ハンプと狭さくの間で再加速しやすいとの意見があり、その対応として、ラバーポールを一部撤去することや、ハンプや狭さくは加速しにくいようにクランク状に互い違いに配置する事で改善した。（図-16～図-17）

表-6 課題と対応

課題	対応
①ラバーポールがあることにより、沿道から車の出入りがしにくく、また、歩行者やベビーカーが通行しにくい	・ラバーポールの一部撤去 (一番手前側のポールを撤去)
②ハンプと狭さくの間で、再加速しやすい	・直線からクランク状に変更(加速しにくいように互い違いにする。)



図-16 北側のハンプ・狭さくのイメージ図

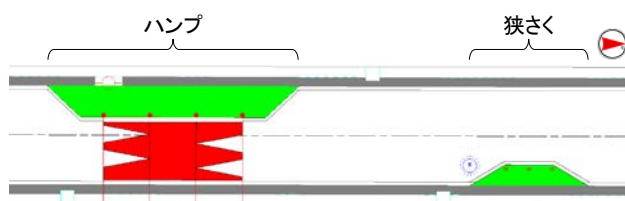


図-17 北側のハンプ・狭さく的设计図

5. おわりに

(1) まとめ

今回の生活道路における仮設ハンプ設置の社会実験は、横浜市では初めてであり、横浜市の担当者として、できる限り地域住民の皆様の声に耳を傾けることを意識して

本社会実験に取り組んだ。今回の取り組みの中で、住民参加の検討会を設立し、地域住民の皆様と一緒に対策検討を行い、仮設ハンプの社会実験を実施し、効果の検証まで行った。また、社会実験で抽出された課題を踏まえ、対策内容を見直し、ハンプや狭さくなどの物理的デバイスの本施工を行う計画まで立てることができた。今年度中には、ハンプ・狭さくを設置し、設置後には、効果検証（PDCA）を継続する予定である。

(2) 本取り組みを通じた留意点

最後に、本取り組みを通じ、生活道路の安全対策を検討する際の留意点を整理した。これらの留意点が今後、他地区での取り組みの参考になれば幸いである。

a) 関係機関との調整

社会実験の実施の際に、ハンプの貸借の手続き、地域住民との協議、住民検討会の日程の調整など、様々な日程に制約があった。このため、調整に要する時間を考慮し、計画を立てる必要がある。

b) 対策実施の広報・周知

社会実験の仮ハンプ設置について、住民には回覧板や現場説明会を実施したが、一部の住民の方に情報が伝わらず、本格施工の際の協議時に、納得いただくことに時間を要する結果となった。このため、特にハンプを設置する箇所に近い住民に対しては、きめ細かく説明する必要がある。

c) ハンプ設置等の工夫

対策区間は道路幅員が狭いことや沿道出入り口が複数あるため、ハンプが設置できる箇所が限られた。このため、対策マニュアルは参考とし、現場状況に応じ、ハンプ（クランク状に互い違いにする等）、狭さく（ラバーポールを減らす等）の形状を工夫する必要がある。

d) 他地区への展開

生活道路の安全対策は全国で取り組まれており、手順、内容、課題等は様々である。対策事例は、効果があった事だけでなく、留意すべき事もしっかりと蓄積し、他地区へ展開していく事が重要である。

なお、国土交通省の「生活道路の交通安全対策に関するポータルサイト」には全国の事例が掲載されている。

参考文献

- 1) 横浜市交通安全対策会議：第10次 横浜市交通安全計画、2016年6月
- 2) 国土交通省：凸部、狭窄部及び屈曲部の設置に関する技術基準、2016年3月
- 3) 一般社団法人 交通工学研究会：改訂 生活道路のゾーン対策マニュアル、2017年6月

既設大規模空間への 空調設備設置に関する検討について

池田 泰¹

¹兵庫県県土整備部住宅建築局設備課（〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通 5-10-1）

ビーンズドームは立体鋼管トラスを用いた国内最大級の屋内テニス場である。平常時は屋内テニス場として利用されているが、災害時には広域防災拠点の一部としての機能を担うことになっている。今回、新たにドーム内に空気調和設備を設置することとなったが、その設計においては大規模空間をいかにして空調するかという技術的検討に加えて、平常時、災害時の施設運用方法を変更せずにこれまで通りとすること、建築物の持つ高い意匠性に配慮することが設計条件として求められていた。本論文では、これらの技術的課題や設計条件に対する検討内容とその結果について報告する。

キーワード 大規模空間、空気調和設備、置換換気空調、改修

1. はじめに

ビーンズドームは兵庫県三木市に位置する三木総合防災公園内にある屋内テニス場である（図-1）。その構造は立体鋼管トラスを用いたドームで、内部は面積 16,167m²、最大高さ 22.85m の大規模空間であり、屋内テニス場としては国内最大級のものとなっている。

また、その設計は建築家の遠藤秀平氏によるものであり、非整形曲面ドーム屋根を始めとした特徴的な意匠と、屋根面の緑化による周辺環境との調和が国内外から高く評価され、2012年には公共建築賞優秀賞にも選ばれている。

三木総合防災公園は、平常時は地域スポーツ振興の拠点として利用されているが、緊急・災害時には、隣接する広域防災センターと一体となって兵庫県全域の広域防災拠点として機能することとなっている。

ビーンズドームも平常時は地域のテニス教室や大規模大会等に利用されているが、東日本大震災などの災害時には広域防災拠点の一部として救援物資の荷捌き場所に利用されたほか、2017年

には災害時における地域住民の避難所にも指定されている。

今回ビーンズドームにおいて、これまでの施設利用実績をふまえ、今後のより高い品質での「平常時の地域スポーツ振興、テニスの大規模大会の開催」と「緊急・災害時の防災拠点、避難所」として活用されることを目的に、ドーム内に新たに空気調和設備を設置することとなった。本論文では、この設計において課題となった内容及びその検討結果について報告する。

2. 設計において配慮が求められる事項

ビーンズドームの内部にはセンターコート1面、サブコート8面の計9面のテニスコートを有しており、大規模大会時にはセンターコート周囲の通路に観客席を増設することによって、最大2400人まで観戦できるようになっている（図-2）。

また、ドーム内部は柱のない大規模空間である



図-1 ビーンズドーム外観

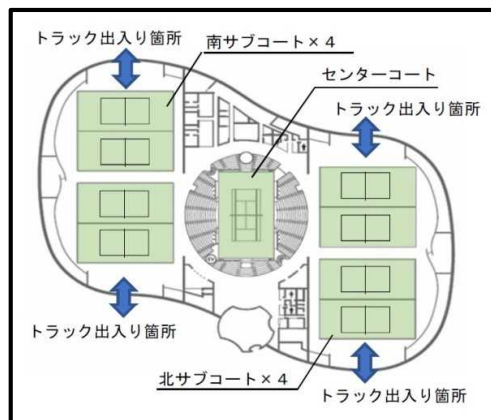


図-2 ドーム内のコート配置



図-3 ビーンズドーム内観

ため、誰がどこで何をしているかがひと目で把握でき、人や物の情報を効率よく整理することができる(図-3)。このため、災害時には消防・警察等の応援要員の集結・宿泊場所、近隣住民の避難場所、救援物資の集積・仕分け場所として利用されることとなっており、サブコート部分の床面はフォークリフトやトラックなどの車両が往来出来る床仕様になっている。

今回の設計にあたっては、空気調和設備設置後も上記の施設運用方法を変えずにこれまで通りの運用が出来るようにすることが求められた。このため、観客席の増設場所、荷捌き作業空間、ドーム内の車両通路幅、床仕様などを変更せずに空調機器を設置しようとする、ドーム内の殆どの部分は空調機器、配管等の設置場所として利用できないこととなった。

また、前述したとおり、ビーンズドームは、その特徴的な意匠(デザイン)が国内外から高く評価されている建築物である。このため、今回新たに設置する空調機器、配管等については、建築物の持つデザイン性を損なわないことが求められ、その外観についても慎重な検討が必要となった。

3. 大規模空間における空調設備の設計

大規模空間の空調設備は、事務所建築の空調設備と異なり、対象となる空間の巨大さや形状の多様性により、その設計手法が確立していない。

このため今回の設計においては、設計の途中段階から室内の気流分布、温度分布等のコンピューターシミュレーションを重ね、空調効果や問題の有無を確認し、設計内容の修正を繰り返しながら設計を進めることとした。

なお、今回の設計条件としては、主に平常時のテニス大規模大会時における施設利用を対象として各種負荷計算や気流分布等の検討を行い、災害時の応援要員や避難者の受け入れについては、設置された空調設備能力の範囲内で対応するものとした。

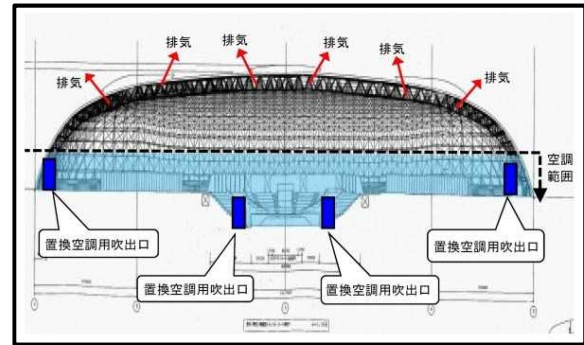


図-4 ドーム内冷房イメージ

(1) 冷房方式の検討

大規模な室内空間を冷房しようとする場合には、「大型の吹出ノズルを複数配置して冷風を勢よく吹き、空間全体を均等に冷房する」という方式が一般的である。

だが、大規模空間における人の活動範囲は地上から数メートルの範囲だけであり、「空間全体を均等に冷房する」という方式にしてしまうと、人が活動することのない範囲までも冷房することになり、無駄の多い冷房方式となってしまう。

そこで、大規模空間に適した冷房方式として、「置換換気空調」という方式が考案されている。これは置換換気空調専用の吹出口から、大規模空間にゆっくりと染み出すように冷風を送る冷房方式である。冷えた空気は暖かい空気より比重が大きく、空間の低いところに溜まる性質がある。

このため、冷えた空気を大規模空間に染み出すように送ると、空間内にあった暖かい余剰空気は空間上部へと押し出され、地上から数メートルの範囲が冷えた空気ですみ込まれる。このようにして、「置換換気空調」は人の活動範囲だけを冷たい空気に置き換えることにより、大規模空間においても効率的に冷房と換気を行うことができる。

また、ビーンズドームは屋外の既設機械室とセンターコートが地下管廊で結ばれており、その地下管廊に敷設された換気ダクトを通じて、新鮮空気をセンターコート付近に送ることにより換気を行っている。この際に、ドーム内の余剰空気は屋根上部の開口部から排気されており、これは上記の置換換気空調を導入した場合と同様の空気の流れであった。このため、置換換気空調を導入する場合は、既設の換気ダクトや屋根上部の開口などの既設給排気経路の再利用による工事費の低減が見込まれた。

これらを総合し、冷房方式については、「置換換気空調」を採用する方向で検討を進めた(図-4)。

(2) 暖房方式の検討

冬季の暖房において、夏季の置換換気空調と同様に人の活動範囲のみを集中的に暖房する方法

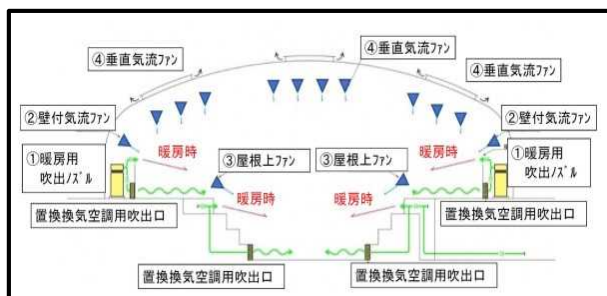


図-5 ドーム内暖房イメージ

としては、床暖房や床吹出方式の暖房などがある。

しかし、ビーンズドームでこれらの暖房方式を導入するには、広い範囲の床面に機器やダクト等を埋め込む必要があり、膨大な量のコンクリート床の研り掘削作業を伴う工事となる。その上、機器やダクトを埋め込んだ床面は、車両の通行に適した耐荷重の確保が難しく、冷暖房時の伝熱による床面の変形や亀裂、テニスコートとしての床仕様からの逸脱なども懸念され、必要となる膨大な工事費や長い工事期間も考慮すると現実的な方法ではなかった。

このため今回の設計では、コート周辺に横からの吹出ノズルを分散配置する従来の暖房方式を前提として検討を行った。以下に今回の設計において検討した暖房方式のイメージ図を示す(図5)。

暖房方式としては、ドーム内各所に暖房用吹出ノズル(①)設けて暖気を供給しつつ、供給した暖気が効率的にテニスコート部分に到達するように、壁付気流ファン(②)やドーム内の諸室棟、事務所の屋根に屋根上ファン(③)を設置することを検討した。また、ドーム内に供給された暖気は室内の空気と比べて暖かく軽いため、比重の違いにより空間上部に上昇してしまう。そこで、供給された暖気ができるだけ長く人の活動範囲に滞留するよう、天井面に複数の下向きの垂直気流ファン(④)を設置することを検討した。

これらの①～④の機器の設置効果については、それぞれの機器を設置した場合と設置しなかった場合のシミュレーションを行って検討した。例として①～④を全て設置した場合の温度分布のシミュレーション結果(図-6)と風速分布のシミュレーション結果(図-7)を示す。

図-6の温度分布のシミュレーション結果より、①～④の機器を全て設置した場合、センターコート部分及びサブコート部分共にほぼ均一な温度分布となることがわかったが、図-7の風速分布のシミュレーション結果を見ると、センターコートの一部で風速の高い部分が生じる結果となった。

通常の屋外テニスコート上でこのような極端に偏った風速分布が生じることは考えにくく、この偏った風速分布はセンターコートにおけるテニスのプレーへの支障となることが懸念された。

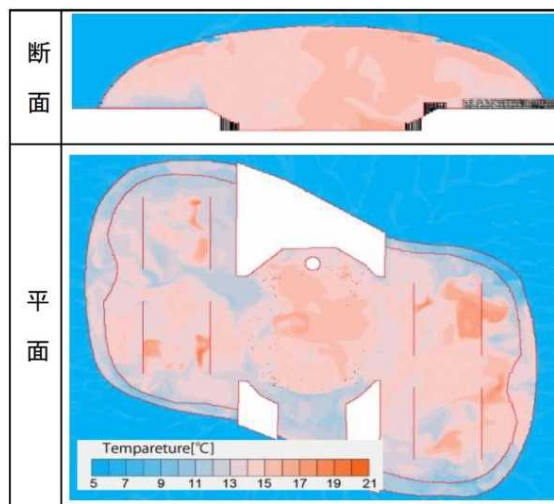


図6 温度分布のシミュレーション結果

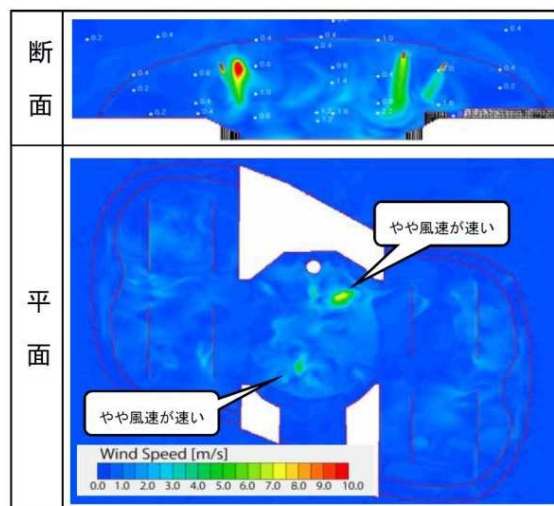


図-7 風速分布のシミュレーション結果

そこで、屋根上ファン③を設置しない条件で再度シミュレーションを行ったところ、ほぼ均一な温度分布となった上で、極端な偏りの無い気流分布になるシミュレーション結果となったため、設置を検討していた屋根上ファン③については、今回の設計では設置しないこととした。

4. 既設デザインとの調和

今回の設計においては、新たに設置する機器が建築物の持つ高いデザイン性を損なわないことが求められていた。だが、図面から既設デザインと調和しているかどうかを読み解くことは非常に難しく、その判断も個人の感性による部分が大きいため、担当者だけでは設計の良否を判断することは難しかった。

そこで今回は、機器や配管の設置について、複

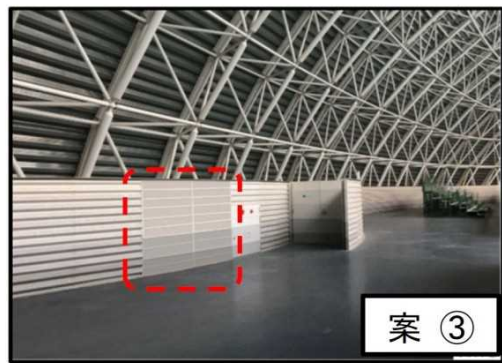


図-8 置換空調吹出口設置方法の検討案

数の設置形状、カラーパターンを考案し、そのそれぞれについてドーム内部の写真と合成した設置イメージ図を作成して複数の関係者と協議することにより、既設デザインとの調和についての検討を行った。

またその過程においては、当初のデザイン思想を崩さないよう、当初の設計者である遠藤秀平氏からも意見やアドバイスを頂きながら設計を進めた。次にその具体的な検討例を示す(図-8)。

図8はドーム内に設置する空調吹出口の設置方法の検討例である。ビーンズドーム内の外壁付近にはコルゲート板が配置されており、このコルゲート板と外壁との間がメンテナンススペースとなっている。今回の設計ではこのメンテナンススペースに隠れるように設置した空調機からサブコート側への吹出口の設置方法について、複数の案を作成して検討を行った。

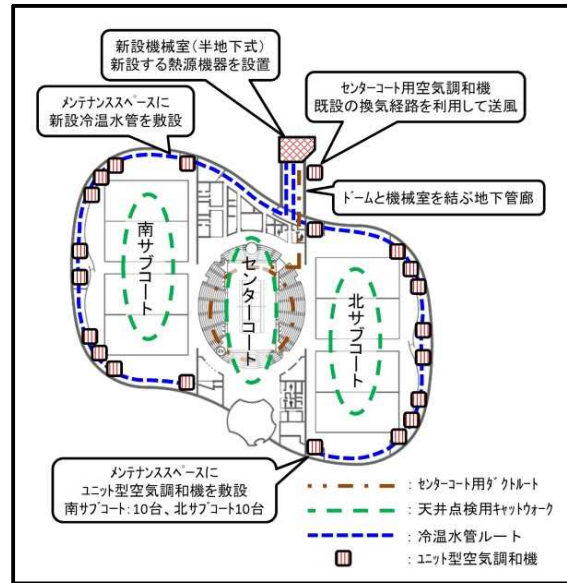


図-9 空調機器配置図

案①と案②は配置されているコルゲート板を加工せず、コルゲート板の上部よりノズル型の吹出口や角型の置換空調用吹出口を設置した場合のイメージ図である。案③はコルゲート板を一部撤去し、そこに既設のコルゲート板と大きさ、色を合わせた置換換気空調用の吹出口を設置したイメージ図である。

検討当初は既設建築物の持つデザイン性を損なわないよう、ドーム内部を取り囲むように配置されているコルゲート板の撤去を行わない案①又は案②で検討をしていた。だが、設置後のイメージ図を複数作成して検討した結果、案③のようにコルゲート板を一部撤去し、その周辺のコルゲート板と馴染むように調整した吹出口を設置した方が既設建築物の持つデザイン性を損なわないと考え、案③の方法で設置することとした。

5. 空気調和設備設置工事の設計概要

今回検討した設計の概要を示す(図-9)。

増設する空調熱源機器やポンプ類は、屋外に新たに設ける機械室に設置する。なお、機械室は景観に配慮して半地下式の機械室とした。

センターコート部分については、既設機械室に新たに設けるユニット型空気調和機により行い、既設の換気ダクト経路を再利用して冷温風を送風するものとした。

サブコート部分については、ドーム内外壁付近のメンテナンススペースに冷水管及びユニット型空気調和機(北サブコート用10台、南サブコート用10台)を設置して空調を行うこととした。

【主要機器】

吸収式冷温水機 (灯油焚)	1台	冷房能力：1,400kW	屋外機械室
		暖房能力：1,100kW	
温水ヒーター (灯油焚)	2台	定格出力：930kW	屋外機械室
ユニット型空調和機 (センターコート用)	1台	33,300m ³ /h	屋外機械室
ユニット型空調和機 (北サブコート用)	10台	12,000m ³ /h	ドーム内 メンテナンススペース
ユニット型空調和機 (南サブコート用)	10台	12,000m ³ /h	ドーム内 メンテナンススペース
垂直気流ファン (センターコート用)	30台	1,476m ³ /h × 100Pa	センターコート 天井点検用キャットウォーク
垂直気流ファン (北サブコート用)	22台	630m ³ /h × 100Pa	北サブコート 天井点検用キャットウォーク
垂直気流ファン (南サブコート用)	22台	630m ³ /h × 100Pa	南サブコート 天井点検用キャットウォーク

【最大熱負荷】

冷房時最大負荷	1,149[kW]	FL+3m以下を空調範囲
暖房時最大負荷	2,653[kW]	屋内全域を空調範囲

【設計条件(参考)】

屋内温湿度	夏季	温度：28℃、湿度：50%
	冬季	温度：15℃、湿度：40%
屋外温湿度	夏季	9時 温度：31.0℃、湿度：69%
		12時 温度：33.1℃、湿度：61%
		14時 温度：33.8℃、湿度：59%
		16時 温度：33.6℃、湿度：60%
	冬季	温度：-0.5℃、湿度：50%

また、冬季の暖房時に暖気ができるだけ長く人の活動範囲に滞留することを目的として、垂直気流ファン（センターコート用 30 台、北サブコート用 22 台、南サブコート用 22 台）を天井点検用キャットウォークに設置するものとした。

熱負荷については、冬季はドーム内全域（FL+22mまで）を空調範囲として熱負荷計算を行ったのに対し、夏季は置換換気空調を採用したことにより人の活動範囲のみ（FL+3mまで）を空調範囲として計算を行った。

その結果、夏季の冷房時最大負荷（1,149kW）は、冬季の暖房時最大負荷（2,653kW）の 43%程度に抑えられる計算結果となった。また、冷房時最大負荷よりも暖房時最大負荷が大幅に大きくなったため、熱源は冷房時最大負荷に見合った能

力の吸収式冷温水機を冷熱源として採用し、暖房時の熱源の能力不足分については、温水ヒーターを熱源に追加して賄う設計とした。

6. 今後の検証課題

今回の設計で採用した置換換気空調は、兵庫県が管理する施設では初めての採用であり、設計における検討段階で期待している空調効果やランニングコストなどについては、運用段階にてデータ収集を行い、検証していく必要がある。

また、今回これまで非空調空間であったドーム内に新たに空調設備を設置するもので、空調設備を設けたことによる騒音や結露などの二次的な悪影響が生じる恐れがある。これらについても、運転状況を注意深く観察し、二次的な悪影響が生じた場合には、その対策方法に関する検討も行う必要がある。

7. まとめ

今回、「平常時と災害時におけるそれぞれの施設運用方法を変えることなく、大規模空間に新たに空調設備を設置する」という、設計上の制約が非常に多い中で、無駄の少ない効率的な空調設備を設けることができるような様々な検討を行った。

現有資産の有効活用の点からも、今後は「より効率的で合理的な行政サービスの提供のために、既設建物に竣工当初とは異なる新たな役割や行政機能を持たせる」という事例が増えると思われるが、このような設計事例は数が少なく、事業が始まってから担当者が手探りで設計手法や検討方法を模索し、事業を進めることが多いと考える。

よって、今回のような特殊な設計・検討を行った過程は、その後の検証も含めて積極的に研究会等で情報発信し、組織及び自治体間でそれらの知見を共有・蓄積していくことが、職員の技術力及び行政サービスの向上につながると考える。

ボックスカルバートの基礎地盤対策について

— カルバート基礎補強工法の施工結果 —

釧路開発建設部 釧路道路事務所 第3工務課 ○小林 佳太郎
 釧路開発建設部 釧路道路事務所 第3工務課 結城 哲哉
 釧路開発建設部 釧路道路事務所 第3工務課 三浦 之裕

北海道横断自動車道阿寒釧路間(L=17km)は、全区間の約75%が泥炭性軟弱地盤上の盛土区間で38基のボックスカルバートが計画されている。しかし、指針改訂に伴い従来のプレロード工法では支持力不足となることが課題となり、解決策として「プレロード+カルバート基礎補強工法(ジオシンセティックス使用)」を支持力の不足するボックスカルバートで計画した。

本論文は、本線施工箇所でのカルバート背面盛土時の動態観測とFEMの再現結果を報告する。

キーワード：軟弱地盤、沈下、支持力、ボックスカルバート

1. はじめに

北海道横断自動車道「阿寒ICから釧路西IC間(L=17km)」は、釧路市阿寒町下舌辛から釧路市市街地近郊を結ぶ高速自動車国道で、全区間の約75%が平野部の盛土区間となり、盛土部には道路28基・水路10基の全38基のボックスカルバートが計画されている(図-1)。

平野部の地盤は、表層部に泥炭層(層厚1~3m程度)が分布し、砂層(層厚5~10m程度)を挟み、下層部にはシルト質粘性土層(層厚10~25m程度)が分布する層厚15~40m弱の泥炭性軟弱地盤が形成されている。

当該地盤を形成する泥炭は、道央地域に分布する石狩低地帯と比較して、層厚が薄く($t=1\sim3m$)、間隙比と含水比が小さい($e=3\sim15$, $w=100\sim500\%$)傾向にあり、さらに少雪低温地域のため未分解の繊維質を呈している。このため、載荷盛土による圧密沈下速度が速く、比較的迅速な地盤の強度増加が期待できる載荷重工法(プレロード工法・サーチャージ工法)に適した地盤であるのが特徴である。

しかしながら、平成21年度「道路土工-カルバート工指針」改訂により、地盤の許容鉛直支持力は、カルバート底面地盤の極限支持力の1/3(常時安全率3)を満足させることが明記され、軟弱地盤上にボックスカルバートを構築する際の基礎地盤対策としては、従来のプレロード工法による対策では支持力を確保できなくなった。これにより、基礎地盤対策として、従来のプレロード工法よりも大幅にコストが高い固結工法による地盤改良が必要となることが懸念された。

そこで、建設コスト削減を念頭にした基礎地盤対策工として、従来の「プレロード工法」(不同沈下・基礎地盤の強度増加対策)に「カルバート基礎補強工法」(支持力対策)を組み合わせた新たな基礎地盤対策について、

有識者会議による協議を交え検討することとなった。

ここで、「カルバート基礎補強工法」とは、中詰材の碎石をジオシンセティックスで巻上げ盤状構造としたもので、平成28年度の報告¹⁾では、本工法のフィールド試験とその結果を踏まえ本施工(本線での試験施工)採用に至った結果について報告した。このフィールド試験は、上載荷重を大型土のうで代用して行った試験施工で、本工法により上載荷重を低減させる可能性があることが示唆された。

そこで、本施工では、その効果等の確認を目的として、本工法を採用したNo.2, No.4ボックスカルバート箇所において動態観測を実施している。

今回、図-1に示すNo.2ボックスカルバート箇所では、躯体構築から本線天端までの盛土の施工が完了したことから、施工時の動態観測結果とFEMによる再現解析を行ったので、その結果について報告する。



図-1 動態観測箇所図(阿寒釧路間)

2. カルバート基礎補強工法の原理

カルバート基礎補強工法とは、軟弱な基礎地盤上に、中詰材（砂利・碎石）と高強度の補強材（ジオシンセティックス）を用いて立体的かつ盤状に形成した合成部材（基礎補強体）を敷設することで、上載構造物の荷重分散幅を拡げ、かつ、中詰材と補強材によりせん断抵抗を増加させることによって構造物の基礎地盤対策とする新たな工法である。ジオシンセティックスとは、ジオテキスタイルやジオグリッド等の補強材の総称であり、以下「補強材」と呼ぶ。

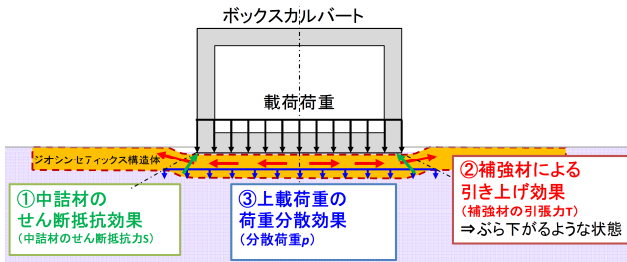


図-2 カルバート基礎補強工法の概念図

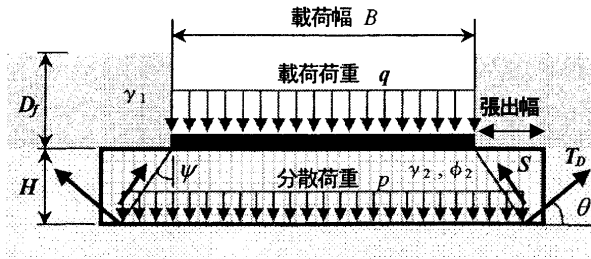


図-3 カルバート基礎補強工法の補強効果

また、本工法は「ジオグリッド工法」ガイドライン²⁾および「地盤補強技術の新しい適用」—他工法との併用技術—³⁾に示されている「マットレス工法」を応用したもので、その補強効果としては、下式に示すように、①中詰材のせん断抵抗効果（中詰材のせん断抵抗力 S ）、②補強材による引き上げ効果（補強材の引張力 T ）、③上載荷重の荷重分散効果（分散荷重 p ）が期待できるものである（図-2、図-3）。

$$\textcircled{1} S = \left(\gamma_1 D_f H + \frac{1}{3} \gamma_2 H^2 \right) K_p \tan \phi_2$$

ただし、 K_p はランキン受動動圧係数で、

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_2}{2} \right) \text{である。}$$

$$\textcircled{2} T = 2T_D \sin \theta$$

$$\textcircled{3} p = \frac{qB - S - T}{B + 2H \tan \psi} + \gamma_2 H$$

ここに、

- B : 載荷幅 (m)
- H : マットレスの厚さ (m)
- D_f : マットレスの根入れ深さ (m)
- q : 載荷荷重 (荷重強度) (kN/m^2)
- ψ : 荷重の分散角 ($^\circ$)
- T_D : 補強材の設計引張り強さ (kN/m)
- p : マットレス下面での分散荷重 (kN/m^2)
- θ : ジオグリッドの許容伸びに対する変位角 ($^\circ$)
[ガイドラインでは $\theta = 25^\circ$]
- γ_1 : 埋め戻し地盤の単位体積重量 (kN/m^3)
- γ_2 : 中詰め材の単位体積重量 (kN/m^3)
- ϕ_2 : 中詰め材のせん断抵抗角 ($^\circ$)
[一般に C-40 か RC-40 を用いるため $\phi_2 = 45^\circ$]

3. 基礎補強体の張出幅と課題

昨年度実施したフィールド試験では、載荷端部からの張出幅を載荷幅 $B/2$ の2倍、3倍を確保した基礎補強体（合成部材）を構築することで（図-4）、基礎補強体下面の支持地盤に作用する荷重を低減させる効果があることが示唆された。

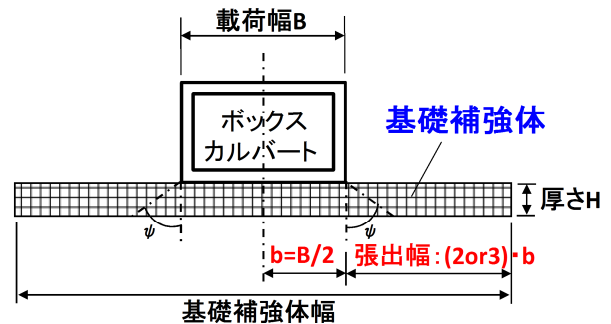


図-4 基礎補強体の張出幅の概念図

このフィールド試験の結果は、張出部に盛土を載荷していない状態での結果であり、張出部に盛土を載荷した場合における効果については、これまで確認されていなかった。

今回、本施工（本線での試験施工）において動態観測を実施しているNo.2ボックスカルバート箇所では、本線天端までの盛土の施工が完了している。No.4ボックスカルバート箇所については、カルバート頂版高さまでの盛土を施工している（天端までの盛土は未実施）。

そこで、張出部に盛土を載荷した状態における本工法の有効性について、盛土施工が完了したNo.2ボックスカルバート箇所における動態観測結果により確認するものとした。また、その結果を踏まえたFEMによる再現解析を行い検証するものとした。

次章でNo.2ボックスカルバート箇所での動態観測結果について報告する。

4. 本施工での動態観測結果

本線天端までの盛土の施工が完了したNo.2ボックスカルバート箇所での動態観測結果について報告する。

4.1 基礎補強体の対策規模

当該箇所のカルバート基礎補強工法の対策規模は、平成28年度の報告のとおり、フィールド試験結果を踏まえた検討により「基礎補強体の張出幅3倍（厚さ55cm）、補強材の引張強度20kN/m」を採用しており、本線プレロードによる沈下収束が完了した後のプレロードを撤去した地盤（表-1）に、図-5、図-6に示す範囲で構築している。

この補強材の引張強度は、カルバート設計荷重に対するすべり計算を行い、所定の安全率 $F_s \geq 1.20$ を満足する強度に設定している。また、基礎補強体の張出幅や厚さについては、フィールド試験で確認された荷重低減率を用いて支持地盤に作用する分散荷重を求めて支持力計算を行い決定している。このときの地盤強度については、設計時に素地盤の粘着力($C=19.5\text{kN/m}^2$)からプレロード後の粘着力($C=52\text{kN/m}^2$)を推定⁴⁾して決定し、その後、プレロード完了後に原位置試験等で得られた粘着力($C=56\text{kN/m}^2$)により最終的な対策規模を決定している。表-1に現地におけるプレロード前後の試験結果を示す。

表-1 当該箇所の地盤特性(プレロード前後)

地下水位	土層名	土層記号	深度 Z (m)	層厚 h (m)	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	プレロード前 (素地)		プレロード後 (強度増加後)	
						粘着力 C (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	粘着力 C (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
GL-			Z	h	γ_t	C	ϕ	C	ϕ
-0.0m									
	粘性土	Ac1-U	3.00	3.00	15.5	19.5	0	56.0	0
	粘性土	Ac1-L	5.60	2.60	16.5	27.9	0	56.0	0
	砂質土	As1	6.00	0.40	17.0	0	30	0	30

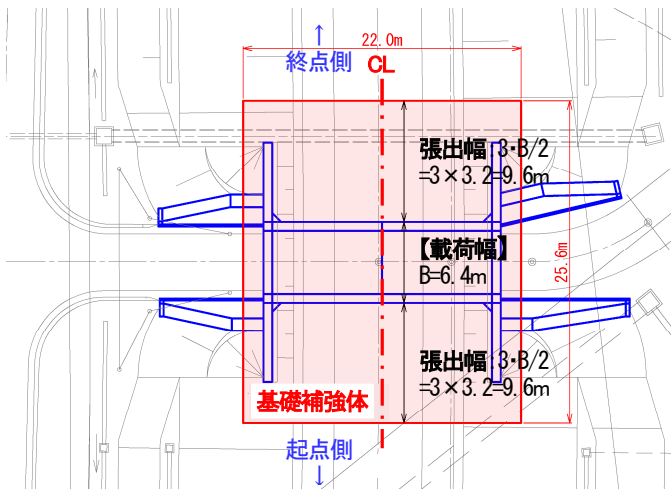


図-5 カルバート基礎補強工法の平面図
(No.2ボックスカルバート)

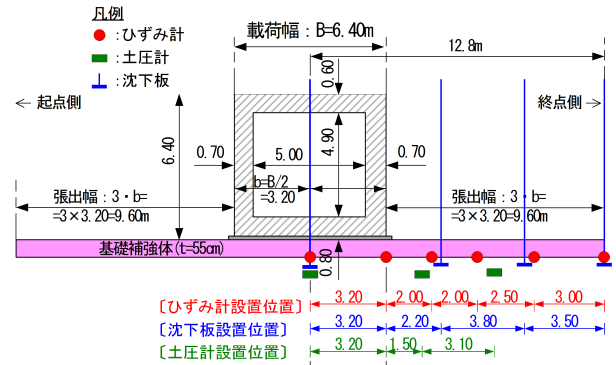


図-6 動態観測の計器設置断面図
(No.2ボックスカルバート)

4.2 動態観測の計測項目と施工状況

基礎補強体を構築する際には、動態観測を行うための計器を設置しており、その計測項目は、①土圧計による基礎補強体の下面に作用する鉛直土圧の計測、②基礎補強体の下面に貼付したひずみ計によるひずみ発生状況の計測、③沈下板による上載荷重による荷重直下および周辺地盤の沈下量の計測である（図-6）。

また、当該箇所の施工状況を写真-1（基礎補強体の構築完了時の状況）および写真-2（躯体および盛土の施工状況）に示した。

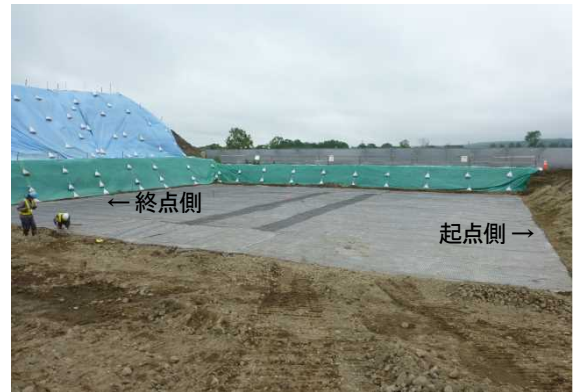


写真-1 カルバート基礎補強工の施工状況
(No.2ボックスカルバート:2016.7.27撮影)

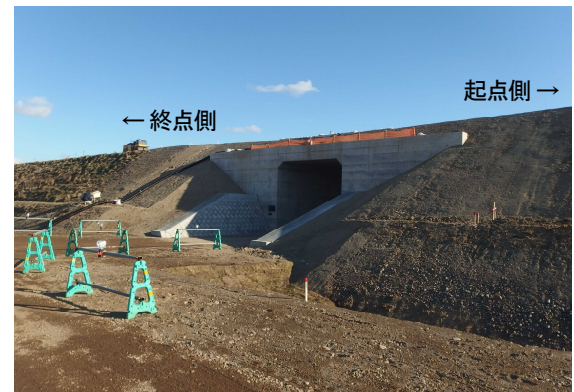


写真-2 躯体および盛土の施工状況
(No.2ボックスカルバート:2017.12.1撮影)

4.3 動態観測結果

(1) 沈下量の計測結果

図-7(a)にカルバート背面盛土施工時の沈下量の推移、図-8(a)に各施工段階のボックスカルバート断面方向の沈下状況を示した。

カルバート基礎補強工法の施工箇所では、事前にプレロードを実施して圧密沈下により発生する残留沈下量を最終沈下量に対して10cm以下とすることをプレロード撤去の判定基準として施工を行っているが、実際には、図-7(a)、図-8(a)に示すように、最終盛土完了後の沈下量(12/1計測データ)は、基礎補強体の載荷中央部で9cm程度、張出部で12~13cm程度発生した。

この沈下の発生については、各段階の沈下の推移が盛土施工直後に短時間で収束状態になっており、最終盛土完了後からは増加傾向にないことより、上記沈下の大部分はプレロード撤去時に発生したリバウンド量によるものと推察される。

これより、カルバート基礎補強工法の施工に際しては、「プレロード除荷時に計測しているリバウンド量」≒「施工時の上げ越し量」として構築することも検討されたい。

(2) 土圧の計測結果

図-7(b)に施工時の土圧の推移、図-8(b)に各施工段階のボックスカルバート断面方向の土圧の状況を示した。これらの土圧計については、図-9に示す基礎補強体の底部にて計測を行った。

カルバート基礎補強工法の基礎補強体に作用する躯体自重および土被り圧($\sigma = \gamma \cdot t \cdot h$)の上載荷重(単位面積当たりの荷重)については、図-10に示すように躯体幅分を「カルバート領域」、それ以外を「盛土領域」とする2つの検討領域に区分して考えている。

土圧計測の結果、最終盛土完了後の基礎補強体下面に作用する土圧(12/1計測データ)は、図-8(b)に示すように

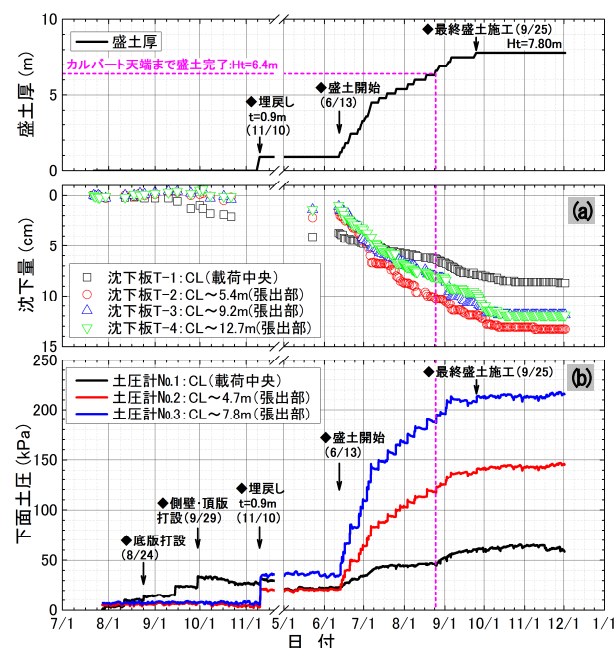


図-7 沈下・土圧の経時変化

載荷中央部で58.5kPa(=kN/m²)となっており、図-10に示す設計時の上載荷重88.5kPaと比べると30.0kPa小さな値を示している。一方、張出部の中央部(センターから7.8m地点)における下面土圧は、図-8(b)に示すように最大215.7kPaを示しており、図-10に示す上載荷重140.4kPaと比べると75.3kPaも大きな値を示す結果が得られた。

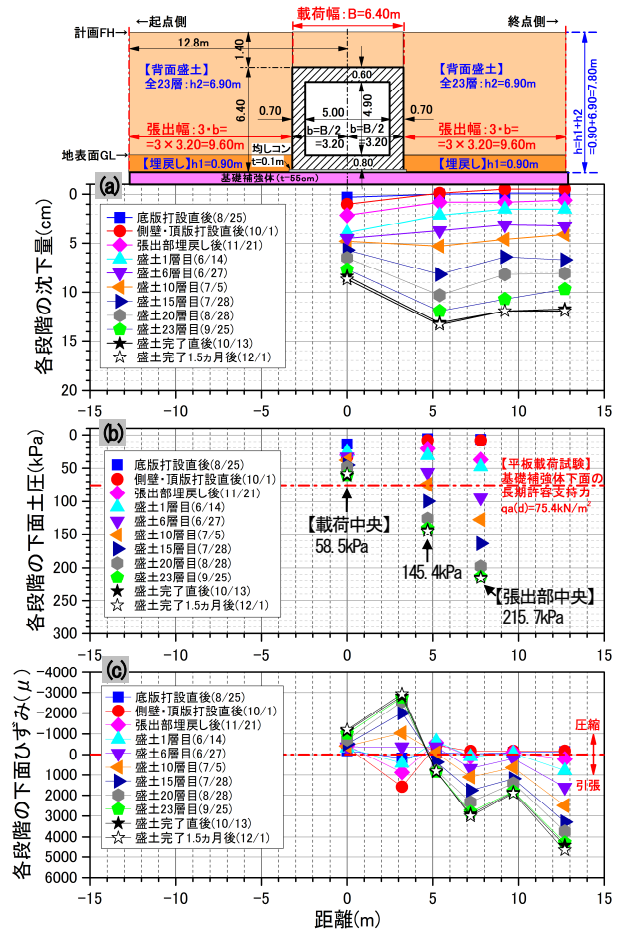


図-8 断面方向の沈下・土圧・ひずみ計測結果

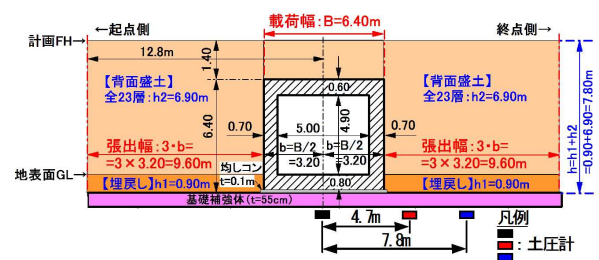


図-9 断面方向の土圧計測位置

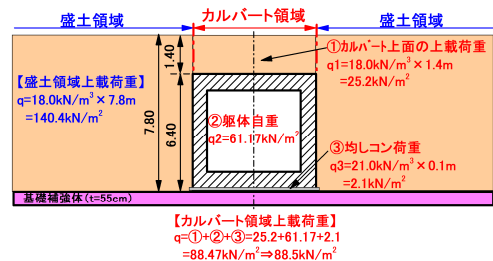


図-10 基礎補強体に作用する上載荷重

これら土圧について、設計時の上載荷重と基礎補強体の下面土圧(土圧計の計測値)の関係を図-11に示した。

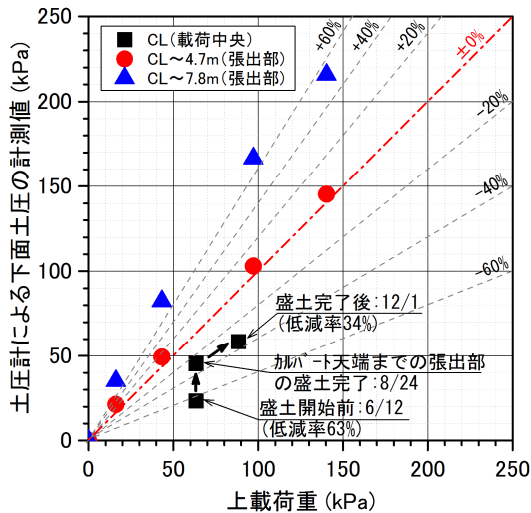


図-11 上載荷重(設計時)と下面土圧の関係

これより、張出部の下面土圧は、盛土荷重による上載荷重に比例して増加する傾向にあり、その値はセンターから4.7m地点で上載荷重よりも約5%増加、センターから7.8m地点で約60%増加した鉛直荷重が作用している。この要因については、今後検討していく予定としている。

一方、荷重中央部の下面土圧は、躯体構築後の盛土開始前の状態の時には上載荷重よりも約63%低減された値を示し、フィールド試験で確認された低減率60%と同等の効果が確認されていた。その後、基礎補強体の張出部の盛土荷重に伴い、下面土圧は増加傾向となったものの、最終的には荷重が低減された状態を保持し、盛土完了後においては、上載荷重よりも約34%低減された値を示す結果となった。

以上より、カルバート基礎補強工法は、躯体構築後、基礎補強体の張出部に盛土を荷重した状態においても、カルバート領域における支持地盤に作用する荷重を低減させる効果があるものと考えられる。ただし、荷重中央部での荷重低減率は、フィールド試験で得られた値の1/2程度になった。

(3) 補強材のひずみ計測結果

図-8(c)に各施工段階のボックスカルバート断面方向の補強材のひずみ状況を示した。

これより、基礎補強体の張出部の盛土施工前までは、躯体端部直下に引張側のひずみが作用し、その外側の張出部では圧縮側のひずみが確認でき、躯体部分(カルバート領域)が基礎補強体にぶら下がるようなひずみ状態(基礎補強体が下に凸の形状)になっていた。

しかし、張出部の盛土荷重に伴い、基礎補強体のひずみ状態は変化し、盛土完了後においては、沈下の進行に伴い躯体直下で圧縮側、その外側の張出部では引張側のひずみが確認でき、盛土施工前とは真逆の基礎補強体が躯体部分で上に凸となるような形状のひずみ状態となっていることが推察できる。

Keitarou kobayashi, Tetuya Yuuki, yukihiro miura

5. FEMによる再現解析結果

前章の動態観測結果で確認された沈下・土圧の挙動を再現し、本工法の対策効果等について検証することを目的に、FEMによる再現解析を行った。解析は、躯体構築から背面盛土完了までの施工工程を反映させ、各段階で検討を行った。表-2にFEM解析で設定した地盤定数を示した。

表-2 地盤定数一覧

土層名	土層記号	解析モデル	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
粘性土	Ac1-U	弾塑性	15.5	38,500	0.365	56.0	25.2
粘性土	Ac1-L	弾塑性	16.5	38,500	0.340	56.0	29.0
砂質土	As1	弾性	17.0	42,000	0.300	-	-
盛土	Bk	弾性	18.0	14,000	0.300	-	-
碎石		弾性	21.0	102,900	0.300	-	-
BOX		弾性	24.5	2.50E+07	0.200	-	-

ジオシンセティックスは通常、引張に対する剛性のみを考慮する材料である。しかし、カルバート基礎補強工法は、中詰材の碎石をジオシンセティックスで巻上げた盤状構造である。このため、カルバート基礎補強工法のジオシンセティックスは、ジオシンセティックスを単独で敷設した場合とは異なる挙動を示す可能性がある。

つまり、従来の解析モデルでジオシンセティックスを引張剛性のみでモデル化することは非常に困難であることから、本解析では、ジオシンセティックスを①引張剛性のみを考慮した材料(トラス要素)の場合と、②引張剛性、せん断剛性および曲げ剛性も考慮した材料(梁要素)の場合の2ケースを想定した。

また、カルバート基礎補強工法は、上載荷重の増加によって、碎石が締め上がり剛性が増加することが想定される。このため、剛性の違いによる沈下量および鉛直土圧への影響を確認するために、剛性を①E=1.0E+06kPaと②E=1.0E+15kPaの2ケースを想定した。表-3にジオシンセティックスの解析条件を示した。

表-3 ジオシンセティックス解析条件一覧

解析ケース	モデル	剛性E (kPa)
ケース1	トラス要素	1.0E+06
ケース2		1.0E+15
ケース3	梁要素	1.0E+06
ケース4		1.0E+15

図-12(a)に最終盛土完了から1.5ヶ月経過した段階の実測沈下量およびFEM解析より算出された沈下量を、図-12(b)に下面土圧を示した。これより、実測沈下量は9~13cm程度発生しているのに対し、解析沈下量は1~2cm程度しか発生していない。これは、FEM解析ではプレロードによる圧密沈下が収束した地盤をモデル化して解析を行っているため、実測沈下量と解析沈下量の間で違いが発生している結果となった。

また、沈下量の横断形状に着目すると、実測値では張出部の沈下量に対して、ボックスカルバート直下の沈下

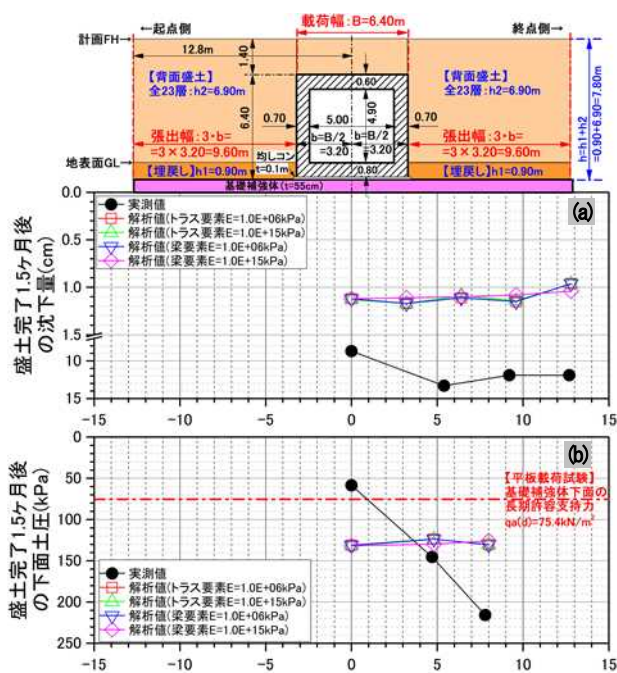


図-12 断面方向の沈下・土圧の比較

量が小さくなっていることが分かる。これは、図-12(b)の下面土圧の横断分布からも分かる通り、実測値ではボックスカルバート直下の下面土圧が大きく低減されているが、FEM解析ではどの解析ケースにおいてもボックスカルバート直下の荷重低減効果が再現できておらず、上載荷重がそのまま基礎地盤へ伝達している結果となっているためである。

以上のことから、カルバート基礎補強工法の動態観測で確認された挙動をFEMで再現するための課題として、今後、ジオシンセティックスのモデル化（トラス要素・梁要素）や上載荷重の増加に伴うジオシンセティックスの剛性変化に着目したモデル化について検討を要する。

6. まとめ

カルバート基礎補強工法の本施工（本線での試験施工）の動態観測結果とFEMによる再現解析結果について以下にまとめた。なお、カルバート基礎の平板載荷試験での支持力確認については、躯体下面（置換材や改良体上面）で実施するのが通例である。ただし、本工法の基礎補強体形状においては明確な評価規定がないため、ここでは基礎補強体下面での土圧計測結果についてまとめるとともに、その上面での支持力評価についても整理した。

(1) 基礎補強体下面の土圧計測結果により、荷重中央部の計測値は、盛土開始前では上載荷重よりも約63%低減された値を示し、フィールド試験で確認された低減率60%と同等の効果が確認されていた。しかし、盛土完了後においては、上載荷重よりも約34%低減された値となり、張出部に盛土を載荷した状態においても荷重の低減は保持されるが、その値はフィールド試験で確認された値の1/2程度になった。

これに対し、張出部の下面土圧の計測値は、実際

Keitarou kobayashi, Tetuya Yuuki, yukihiko miura

の土被り圧よりも増加した値を示し、この要因については今後検討していく予定としている。

- (2) 一方、盛土完成後の支持力の評価位置については、躯体下面で評価することが通例であるため、当該現場においても基礎補強体の上面で平板載荷試験を実施した。その結果、許容支持力を満足することが確認できた。しかし、その評価については明確な規定がないのが実情で、今後、動態観測箇所を増やして精査していく予定である。
- (3) 現場におけるボックスカルバートの安全性の評価については、躯体や盛土の静荷重が作用した状態での確認となるのが現状である。このため、今後、複数箇所での動態観測を実施し、活荷重が作用した状態での基礎補強体、躯体および下面土圧への影響について確認を行い、継続して有識者会議を開催し、当該箇所のボックスカルバートの長期的な安全性について評価していくことにしている。
- (4) 今回のFEM解析では動態観測で確認された沈下および土圧の挙動を再現できなかったため、今後、FEMで再現するための課題としては、ジオシンセティックスのモデル化（トラス要素・梁要素）や上載荷重の増加に伴うジオシンセティックスの剛性変化に着目したモデル化についての検討を要する。

7. おわりに

今後は、泥炭層が分布するNo.24ボックスカルバート箇所においても今回と同様の計器を設置し、動態観測を行う予定である。また、これまでの箇所も含めた動態観測を継続し、本工法の問題点・課題等を整理するとともに、対策効果やそのメカニズム等について動態観測やFEM解析結果により確認していく予定としている。

最終的には、有識者会議を継続的に開催し、これまで得られた知見等を取りまとめた「カルバート基礎補強工法の設計・施工の手引き」を完成させていく予定である。

謝辞 最後にこの論文作成に御協力頂いた室蘭工業大学大学院木幡行宏教授、寒地土木研究所橋本聖主任研究員、山根土建(株)、(株)ドーコンの関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 釧路道路事務所 富田・谷野・片井：ボックスカルバートの基礎地盤対策についてーカルバート基礎補強工法の施工ー、第60回(平成28年度)北海道開発技術研究発表会, 2017. 2
- 2) ジオグリッド研究会：「ジオグリッド工法」ガイドライン(第1分冊)ー材料試験法, 設計法ガイドラインー, pp. 219-228, 1990. 7
- 3) (社)地盤工学会：地盤補強技術の新しい適用ー他工法との併用技術ー, pp. 60-69, 2006. 9
- 4) (国研)土木研究所 寒地土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル, p. 66, 2017. 3

持分契約の契約書における工夫 ～地権者の負担軽減と事務の効率化～

中野 僚平

中部地方整備局 設楽ダム工事事務所 用地第一課 (〒441-1341 愛知県新城市杉山字大東57)

共有名義となっている複数の土地（今回は5筆）に関する多数相続案件（相続人50名）において、従来のやり方では地権者の土地毎の持分が異なるため5本の契約をしていたが、印鑑証明書を5通取ると補償金が少額であるため地権者が赤字になること及び5件契約するには、必要書類への記名押印が20回以上となるなど、契約書の記入だけでも負担となることなど課題が生じた。

5本の契約をまとめて1本の契約書で契約することができないか検討し、関係部署と調整した。

キーワード：多数相続，持分契約，契約書

1. 設楽ダム建設事業について

豊川は源を愛知県北設楽郡設楽町の段戸山に発し三河湾に注ぐ延長約7.7km、流域面積7.24km²の一級河川で、流域市町には約6.1万人（3市1町）の人々が生活しており、この地域の産業・経済・社会・文化の発展の基盤を築いてきた。

豊川はこれまで幾度も洪水による被害を受けてきた。そのため、放水路の整備や豊橋市内の狭窄部の改修工事などを実施してきたが、近年でも洪水被害が発生しており、洪水を安全に流せる状態には至っていない。また、豊川の水は豊川用水事業によって東三河地域や静岡県湖西地域の水利用に応じてきたが、近年でも渇水に見舞われており、中部圏においても最も水需要が逼迫している地域である。

設楽ダムは、豊川で幾度となく繰り返されている洪水氾濫と頻発する渇水の被害から人々の暮らしを守るため、そして活力に充ちた東三河地域の発展に貢献するための3つの役割を果たす多目的ダムである。1つ目は洪水調節機能である。大雨が降った際に一度に川に流れ出さないように水の量を調節し、下流の洪水被害を軽減する。2つ目は川の流れを保つ機能である。雨が降った時の水を貯めておき、10年に1度ぐらいの割合でおこる渇水時に、豊川に一定量の水を流すように計画されている。3つ目は利用可能な水をつくる機能である。貯水池の水を新たな水源として、東三河地域かんがい用水（農業用水）と水道水を合わせて毎秒約0.5m³の水を新たに使

えるようにする。

2. 用地取得の状況について

設楽ダム建設事業では、124世帯の皆様の移転をはじめとし、多くの関係者の方々にご協力いただいている。用地の取得状況としては、全体の約94%が取得済みであり、八橋、川向、大名倉の各地区については全戸の移転が完了し、閉区式が行われた。

現在は、湛水地及び付替道路の土地について取得を進めている状況である。

3. 持分契約について

残件のうち用地第一課で担当しているのは、共有地や多数相続の土地がほとんどである。設楽ダム建設予定地内は、共同墓地など、登記名義人が10名、20名というような共有地が幾つもある。また、地目が山林であるような土地は、明治時代生まれの方の名義でそのまま残っている土地も多くあり、相続人の数が50名を超えるような土地も数多く存在している。このような土地は通常1通の契約書に取得しようとする土地の権利者全てについて連名で署名、押印を頂いて、その土地の所有権を国に移転する登記を行うこととなる。しかし、設楽ダ

ムにおいては、共有者の数が多いため通常のやり方では、契約書の作成が煩雑となること、同時に複数の権利者を回ることができず効率が悪いことなどから、平成27年からは用地部との協議を経て、全筆買収など一定の条件を満たしている土地については、持分契約を行っている。持分契約とは、例えば、10人が同じ割合で一筆を所有していれば、それぞれ持分10分の1となるのだが、その各人の持分10分の1ずつについて契約し、所有権移転していくというやり方である。

4. 共有地や多数相続ならではの課題について

前述のとおり設楽ダム建設用地については、共有地かつ多数相続の土地があり、多数相続ならではの問題が生じてくることとなる。用地取得のうえで問題となるのは以下の3点だと考える。

1点目は、土地の補償金が少額となる点である。元々、共有地の場合、算定した土地の補償金額を共有者の人数で割ることとなるのだが、共有者が既に死亡して相続登記がされていない場合がほとんどで、さらに多数の相続人で割ることとなる。持分が何千分の1という事例が大半であり、何万分の1という例も珍しくない。例えば、1筆の土地の補償金が100万円あったとしても、持分が1万分の1であれば、その相続人に対する補償金は100円となってしまふ。補償金額があまりにも少額となることは、用地交渉を行ううえでマイナスの要因となり得る。補償説明を行った際に地権者から「これだけの金額のために大の大人が」や「これだけの金額のためにわざわざ交通費を払って」と言われた事例もある。地権者にとっては、時間を割く労力、書類記入の労力、印鑑証明取得の労力が際立つこととなる。後述するが、特に印鑑登録証明書の取得にかかる手数料は契約への大きな関門となり得る。通常、300円程度かかるため、100円の契約では、協力して頂く地権者が赤字となってしまふ。今回の論文のテーマからは外れるが、立会謝金のような協力して頂くことに対する謝礼が払えるといいなど常々感じているところである。なお、市町村によっては、一定の手続きをとれば、無料交付に応じてもらえるところもあり、各市町村に事前に確認をし、協力をお願いしているところではある。

2点目は、多数相続においては、長年、相続登記がされないまま放置されている場合がほとんどであることから、相続人に土地の権利者としての認識が希薄となる点である。補償説明で回っていても、「土地の名義人知らない」「自分は関係ない」というところから入る場合が非常に多い。家系図のような関連図を用いて説明してやっと相続人として土地に権利を有していることを理解してもらえらるという場合がほとんどである。なるべく関わ

りたくないというご意見を伺うことも多く、契約手続が面倒だと感じられている場合も多い。

3点目は、関係する人数が多いという点である。人数が多くなればなるほど、様々な考え方や感じ方が存在するのが当然であり、全員の同意を得るのが困難であったり、時間がかかることとなる。また、契約相手方となる相続人にたどり着くまでに何代にも亘る相続に伴い、持分の計算が複雑で難解となる事例も多い。

5. 持分契約の契約書について

持分契約の契約書については、契約書の相手方の欄に、「持分10分の1 中部太郎」と記入をすることとなる。同様に登記原因証明情報兼登記承諾書についても「持分10分の1 中部太郎」と記載する。このやり方では、複数の筆について契約しようとする際に、それらの持分が異なる場合は、その持分毎に契約書を作成しなければならない事態となる。

例えば、土地A、土地Bに対する持分が共に2分の1であれば契約書は1通で済むが、土地Aに対する持分が2分の1、土地Bに対する持分が3分の1であれば、契約書を2通作成することになる。過去の事例では、同時に複数の土地を契約するにあたって、持分が異なるために、同一の地権者から3通の契約書をもたらしている事例があった。

6. 平成29年度の事例

平成29年度にあった事例について、具体的に紹介すると、同一の被相続人が登記名義人となっている土地が5筆あり、そのうち4筆が共有地、1筆が単独所有地であった。過去にその地区の共同墓地であった土地が含まれており、土地Aが15名共有地、土地Bが35名共有地、土地Cが18名共有地、土地Dが17名共有地、土地Eは単独所有地であった。いずれも相続登記はされておらず、法定相続人は50名という状況であった。持分契約を行っていく要件には合致していたため、持分契約を行っていく予定であったが、AからDまでの土地が共有者の数の異なる共有地であるため、被相続人の持分が全て異なり、今までのやり方では5通の契約書を作成することとなる状況であった。すなわち、被相続人に対する持分が10分の1であった場合に、土地Aは持分150分の1、土地Bは持分350分の1、土地Cは持分180分の1、土地Dは170分の1、土地Eは持分10分の1となる。持分が全く異なる5筆の土地について契約していく状況となった。

さらに、特に土地Bについては、元々の地積が小さいことに加えて、35名共有地であるため被相続人の持分が35分の1であり、それを相続人50名で法定相続することになった。ひ孫の世代では被相続人に対する持分が1000分の1という相続人もあり、土地Bに対する持分が35000分の1、補償金が1円という算定結果が出た。5筆の合計金額では、一番少ない相続人でも数百円はある状況であったが、同じような契約書を5通も記入してもらい、印鑑証明書を5通も取得してもらうこと及び1円の契約を締結することに対しての違和感が今回の論文のテーマのきっかけとなった。

なお、遺産分割協議により、相続人の誰かに集約する方法も考えられたが、相続人が多く、被相続人は何代も前にあたるため、簡単にはいかないだろうという想定をした。

7. 解決策

5筆の合計金額では数百円はあることから、1通の契約書にまとめることができれば印鑑証明書を取ることで赤字になるという事態は回避できるという点に着目した。持分が異なるという理由だけで5通の契約書を作成していたのだが、このことを解消できないかという視点で考えた。5通の契約書を作成することに対する弊害は以下の2点であり、契約締結への障壁になると思われた。

1点目は印鑑証明書が5通も必要となることである。1通300円とすると1500円かかることになる。1割程度の地権者において、補償金額が少ないため赤字となる状況であった。公共事業に必要な土地の嘱託登記が目的である場合は、無料交付となる市町村もあるが、全ての市町村が無料という訳ではなかった。

2点目は書類に記入する手間である。用地を契約するまでには、土地調書、物件調書、契約書、登記原因証明情報兼登記承諾書、請求書といった多くの書類に記入、押印をしてもらう必要がある。住所氏名等の署名、押印箇所は8箇所にもなり、これが5倍となつては、事業に協力する気持ちがあつたとしても「書きたくない」と言われても仕方ないだろう。また、地権者は高齢の方が多く、手が震えながら署名頂くという場面も多く見ており、書いてもらうこと自体も大きな負担となり得る。

そこで、解決策として、契約書の様式等は既存のものをそのまま活用することとしたうえで、契約者の欄に持分を記入せずに各土地の持分を「別表第一 取得する土地の一覧」の摘要欄に委ねることを考えた。このやり方で登記、支払が問題なく進むかについて、関係各所と調整を行った。

まず、法務局で打合せを行ったところ、民間の土地の売買契約においても、「持分後述のとおり」と記載して、

別紙に筆毎の持分の一覧を添付するやり方があると教えてもらい、登記原因証明情報兼登記承諾書の「契約者」の欄に「持分は摘要のとおり」と記載するとなお良いというアドバイスももらった。これにより登記については問題がないことを確認した。

次に、契約書の「契約者」の欄にも「持分は別表第1摘要のとおり中部太郎」と記載することとしたことから、支払事務において問題がないことを確認し、持分が異なる複数の土地について契約書1通で契約するという方針を立てた。

8. 事務の効率化

当初、地権者の負担軽減をきっかけに取り組んだこの課題は事務の効率化にもつながることとなった。契約書をまとめることにより、その後の嘱託登記に関する書類、支出負担行為、支払決議書の作成等について5分の1の量に軽減することができるようになった。関係する地権者の数が元々50名であったため、負担行為を250件作成する必要があつたのだが、5分の1の50件に軽減された。負担行為の作成に要する時間を1件あたり5分で計算すると5分×200件=1000分、単位を時間に換算すると16時間となる。さらに、これらの書類は用地課における事務の軽減だけではなく、事務所経理担当課の処理及び本局会計課での処理が必要であり、各段階においても時間短縮が図られる結果となった。

9. 課題及び注意点

最も気を付けなければならないのが、複数の土地をまとめて契約するために、1つでも間違っていると、影響が全部に波及し、登記や支払ができなくなる恐れがあるということである。

一点目に、複雑な相続に対する注意が必要となる。山間部の地域における相続では、昔から狭い地域内で婚姻や養子縁組などが行われてきたために、地区内の人ほぼ全員がいわゆる親戚にあたるような状態になっていることから、ある地権者が複数の系統の相続人となっている場合が多いように感じられる。また、山林等で古い時代に登記されたものがそのまま放置されている例も多く、一度に多数の相続をしなければならない。そもそも一昔前は兄弟姉妹の数が多く、さらに子どもが無く亡くなっている場合はその相続分が兄弟姉妹に及ぶ。また、家制度の名残か配偶者が早くに亡くなり再婚を繰り返した事例では、持分計算は特に難しくなるし、相続人の漏れも発生しやすくなる。

さらに相続制度の変遷への対応が必要な事例や、戸籍に関する資料の収集自体が容易ではない事例も多くなる。結果的に持分計算の間違いや戸籍書類に不備が発生するリスクも必然的に高くなる。

今回の案件では司法書士への事前確認をしっかりと行ったことと被相続人の系統が1系統であったことにより問題なく進めることができた。複雑な相続を伴う契約書をまとめる際には細心の注意を払う必要がある。

二点目は、取得管理をきちんと行う必要がより高くなる点である。今回の事例では、50名すべての相続人と契約することができたが、一部を残件として残していくような形となる場合、どの土地のどの持分を取得したかの管理をしっかりと行っていかないと引継ぎ等をした際に訳が分からなくなってしまうことである。

三点目は、契約に必要な書類に対して摘要欄に記入していくのだが、システムから出力したものに手入力で加える作業をしていくことになるので、入力ミスが起らないようチェックができる体制を整える必要がある。

10. まとめ

昨今、働き方改革が求められ一層の事務の効率化が必要となってきた。今回の取り組みで気が付いたことは事務の効率化に必要な「引っ掛かり」の段階において、「同じ書類を何度も記入してもらうのは無駄なのではないか」、「少額の契約のために印鑑証明書の交付料を負担するのは馬鹿らしい」と地権者の立場に立てたことが

良かったという点である。

事務の効率化を行おうとする際には、多かれ少なかれ各担当部署との調整が発生する。それが効率化を進める際の障壁となって、途中で頓挫する結果となったり、名目だけの効率化になってしまう原因ともなりうる。

今回は、80歳の地権者が手を震わせながら契約書を記入する姿を想像しながら、また、合計数百円の契約のために市役所の窓口へ出向いて、印鑑証明書を5通も取得して1500円を払う姿を想像しながら取り組むことができたために、各種調整に対しても前向きに向かうことができてうまくいったのだと思う。

そして、結果的には地権者の負担を軽減して用地交渉におけるハードルを下げることができただけでなく、副次的な効果として追加の経費や時間をかけることなく、契約に必要な書類の作成、負担行為決議、登記に関する手続き、支払に関する手続きを5分の1の量に減らすことにつながり、事務の効率化を図ることができた。

事務の効率化においては、まず、大きな改革をしようとするのではなく、普段の業務のちょっとした引っかかりを大切に、なるべく既存の枠組みの中で取り組むことが肝心だと分かった。調整に時間がかかりすぎるとチャンスを逃すことになってしまう。さらに「事務の効率化」「業務改善」「合理化」と聞くと今まで何となく「冷たい」とか「割り切る」というようなマイナスの印象を持ってしまっていたが、「自分の時間短縮」だけでなく、「その効率化によって誰かに優しくできるようになる」という視点を持ち続けられれば、より効率化が進みやすくなるのではないかと今回の取り組みで感じることもできた。

地域と連携した法面除草の実施

伊藤 秀樹¹・伏見 友宏¹

¹東北地方整備局 仙台河川国道事務所 石巻国道維持出張所（〒986-0861宮城県石巻市蛇田字新谷地前116）

国道における維持管理は、老朽化する社会資本の増加に対応するため、経常的な維持管理費の縮減が求められている状況であり、限られた予算のなかでいかに行政サービスのレベルを確保するかが課題となっている。

現在は、維持管理基準に基づいた道路の維持管理計画（案）により経常維持に努めているが、地域住民の目には、サービスレベルが低下していると映っているのが実態である。

本件は、地域住民による協力を得ることで、維持管理費を抑えながらのサービスレベル維持と地域との信頼関係構築が図られた、道路法面の除草作業につき報告ものである。

キーワード 維持管理、道路除草、維持費縮減、地域連携

1. はじめに

東北地方整備局における道路除草作業の実施基準は、道路の維持管理計画(案)において次のとおり定めている。

- ・ 建築限界内の通行の安全確保が出来ない場合
- ・ 運転者から歩行者や交通安全施設等の視認性が確保できない場合

石巻国道維持出張所（以下：石巻国道）では、路肩から1.0mまでを目安とし、維持工事による年1回の定期除草を基本に実施している。

しかし、実態は、雑草繁茂の状況から年1回の除草では不十分であるため、地域からの要望が随所であがり、道路巡視や個別での追加対応を余儀なくされている。

一方で、定期除草の範囲外となる道路法面の下方部分においては、基本は除草を実施しないことから、雑草の木質化や樹木も確認される状態となり、荒地化が進んだ道路区域に対しては、個人や自治会関係なく除草要望の案件となっている。

本件では、寄せられた除草要望の対応にあたり、地域住民との連携を図ることで、管理者と地域の双方が納得できる形で、要望に応じることが可能となった。

2. 雑草繁茂と苦情要望

(1) 荒地化する道路法面

石巻国道では、荒地化が進む道路区域内の法面に対して問題意識を持っていたところではあったが、東日本大震災の被災地である管内は復興工事が盛んに行わ

れているため、道路損傷、汚損への対応の優先度が高くなってしまいうことから、なかなか対応出来ない状況が続いていた。

代表的な場所は、国道と民地の高低差が大きい長大な法面部（図-1）耕作地の隣接部（図-2）であり、いずれも道路からも目に付きやすい場所となっている。



図-1 長大な法面部（R45石巻市河北町地内）



図-2 耕作地の隣接部（R45東松島市浅井地内）

(2) 苦情要望の状況

石巻国道の管内における、H29年度の苦情要望の状況割合を図-3に示す。

除草に関する苦情要望は、全体で13%となっている。

他の苦情は、一年を通じて苦情要望が寄せられるのに対して、雑草繁茂は約半年間であることを考慮すると、非常に苦情要望率が高いものとなっている。

苦情要望者の多くは、道路の維持管理計画(案)による管理基準が明確化される以前の、年2回程度の除草を実施していた時期と比べることで、除草実施を訴えてくる。

対応していると、苦情要望者は、基準や維持管理費に理解を示しつつも、行政サービスレベルの低下を感じ、我慢の限界となっているのが受けて取れる。

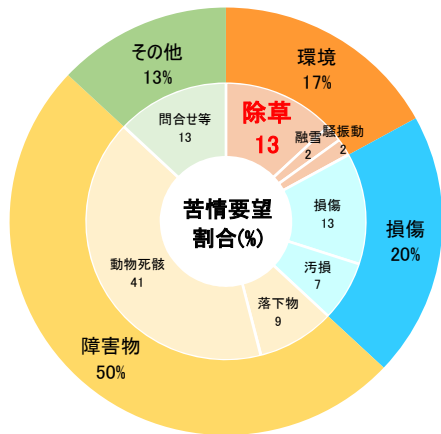


図-3 H29年度石巻国道における苦情要望の割合(%)

3. 法面除草の要望書

本件における除草要望の箇所は、国道45号の宮城県東松島市上下堤地区である。

上下堤地区の国道45号は、歩道の設置されていない上り側の全てに水田が接しており、法面下部には、農業用水路が設置されている。

本件における要望は、「上下堤地区における道路法面の定期的な全面除草の実施」であり、要望における訴えは、次の内容であった。

- ・農業用水路の維持管理を目的に、自治会では年2回、道路法面下部1.0m程度を自主的に除草している。
- ・雑草の木質化、さらには樹木も茂りだしたため除草機械が使えず、現在の道路管理では、自主的な除草も出来かねる深刻な状況である。(図4,図5)
- ・道路法面の荒地化は、ゴミ投棄にも繋がっており、しっかりと管理されている状況を作り出すことで

ゴミ投棄の抑制を図りたい。

- ・自主的な除草は止めてしまい、用水路や水田に影響が発生した場合は、国に管理責任を追求すればよいとの意見が自治会の中から出始めている。

要望者は、自治会として要望書を提出していることに加え、荒地化した道路区域が耕作に影響を及ぼした場合の責任追及についても、明確に発言している。

おおかたの除草要望に対しては、国の除草実施基準を理解してもらえぬ様に説明し断っているのが実態である。

しかし、道路管理者が耕作物に対し影響を与え、管理瑕疵を問われた事例があることも鑑み、対応について検討することとした。



図4 要望区間の状況 (R45東松島市上下堤地内)



図5 境界を越え水路を覆う雑草

4. 地元協力と除草の実施

(1) 周辺地域との差別化

要望により除草を実施するには、除草を実施しない周辺地区との差別化が重要となる。

他の要望者が、なぜ上下堤地区は除草可能で自分の要望は不可なのか、という意見を持つことを想定するのは、非常に安易である。

本件では、従来から自治会をあげて法面下部の除草を実施していた点に着目した。

法面下部については、引き続き自治会で対応していくこと。即ち、除草作業に対して、道路管理者と自治会が協力している体制にすることで、差別化を図れると考えた。

除草実施範囲の考え方を図-6に示す。

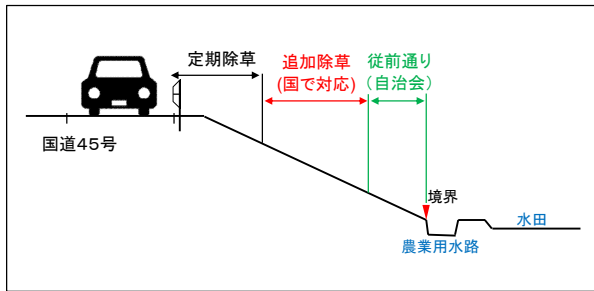


図-6 東松島市上下堤における除草作業区分

(2) 維持管理費への影響

道路の経常維持は、限られた予算の中で実施するため、苦情要望に費用を割いてしまうと本来実施すべき作業の予算が不足してしまう。

本件でも、除草を実施した場合に、要望内容に対してどの程度まで対応可能か自治会に提示するために費用を算出した。

図-6の区分で除草を実施した場合の作業面積を表-1、工事費を表-2示す。

試算では、要望の除草を実施すると、要望分だけで除草の工事費が約6割も増加してしまい、要望に沿うことは厳しいとなった。

表-1 除草作業の面積

	除草延長	法面面積	うち、	
			路法肩 (道路管理者)	法尻 (自治会)
東松島市 上下堤地区	3.38 km	11,370 m ²	5,075 m ²	2,971 m ²

表-2 除草に必要な工事費

	施工面積	除草単価	処分費	工事費(税込)
定期除草	5,075 m ²	256 円/m ²	45,591 円/式	1,344,700 円
要望部分	3,324 m ²	239 円/m ²	29,861 円/式	824,200 円
※要望部分は、飛散防止なし				2,168,900 円

(3) 刈草処分の取止めと総工事費の縮減

本件では、用水路などへの影響における、管理責任についても発言している。

石巻国道では、管理責任を問われなかったためにも、工事費だけで結論をつけるべきでは無いと考え、改めて自治会から詳細に事情を聞き、耕作に影響を与えない最低限の除草範囲について調整を図った。

自治会の回答は、耕作への影響を考えて、全面除草は譲れないとのことであった。

しかし、自治会からは、雑草の木質化や樹木の繁茂が抑制できるのであれば、隔年もしくは、毎年の対応範囲を区分けしても構わないという意見を引き出した。

また、いずれの対応にあっても刈草の処分は必須ではなく、存置してもらっても構わない。仮に刈草が用水路などに飛来しても、自治会にて実施の用水路掃除にて掻き出せるため、容認できるとのことであった。

自治会の意見を踏襲した工事費を表-3示す。

試算結果は、積込運搬と処分費が不要となり、当初の試算と比較して工事費が約5割低減することとなった。

表-3 刈草処分を除いた除草の工事費

	施工面積	除草単価	処分費	工事費(税込)
定期除草	5,075 m ²	172 円/m ²	00 円/式	872,900 円
要望部分	3,324 m ²	154 円/m ²	00 円/式	511,800 円
※積込運搬なし				1,384,700 円

(4) 除草における協力体制の合意

集草不要の対応は、工事費の低減に繋がる。

しかし、刈草の存置量につき自治会と調整したところ、全要望区間の刈草を毎年存置することは、用水路や水田への飛散量も膨大となり、自治会による清掃活動では追いつかないことが想定された。

よって今後は、定期除草と要望の全面除草を交互に実施することとした。

自治会へは、道路法面への刈草存置ならびに、引き続きの法尻1.0mの除草協力を打診したところ、自治会として協力し取組みたいとの回答を頂き、合意形成に至った。

今回の東松島市上下堤地区において、自治会と調整し合意した除草方針を次に、最終的な工事費を表-4に示す。

- 定期除草範囲外の全面除草は、道路管理者において隔年で実施
- 法面下部1.0mは、自治会において毎年除草を実施
- 全面除草に際して発生した刈草は、路肩部も含めて法面下部に存置

- ・存置にともなう、用水路や水田への刈草飛来に対しては、自治会において撤去

表-4 今後の除草費(試算額)

	工事費(税込)			備考
	1年目	2年目	総工事費	
従来	1,344,700 円	1,344,700 円	2,689,400 円	路肩法肩のみ
今後	872,900 円	1,384,700 円	2,257,600 円	全面除草あり

5. 除草と雑草の繁茂対策

(1) 維持管理基準に該当しない区域の除草

本件における対応は、H29年度を初年度とし、国側は対象区間の全面除草、耕作者側は水路から1.0mを目安に除草を実施している。(図-7)

除草作業にあたっては、実施時期の調整などは特に行わず、双方の都合のなかで実施している。(図-8)

H30年度においては、計画通り定期除草の範囲のみ除草を実施し、H29年度の施工分も含めて刈草を存置しているが、農業用水路などへの影響は、確認されていない。



図-7 国側の除草作業



図-8 耕作者側の除草作業

(2) 路肩部などへの除草剤適用

近年は、耕作地のあぜ道など、農地部においても除草剤を散布している状況が、良く見受けられる。

石巻国道では、自治会とのやり取りのなかで、除草剤散布について意見を伺ったところ、除草剤は、茎葉処理型と土壌処理型があり、茎葉処理型の液体噴霧であれば、耕作に影響は与えることは無く、特に問題視していないとの回答を得ることが出来た。

薬剤散布は、要望区間における路肩部において試験的に噴霧を実施したところ、雑草の繁茂抑制に一定の効果をあげることができた。

また、薬剤散布は、上下堤地区だけではなく他の自治体や沿線住民からも、除草の代替策として要望されている実態がある。

石巻国道では、平成30年度から自治体や苦情要望者と調整を図ることで除草剤の散布範囲を拡大したところ、雑草繁茂をさらに抑制する事が出来た。

H30年度9月末時点では、H29年度と比較して除草に関する苦情要望が大きく減少し、応急対応の実施が無くなる結果となっている。(図-9, 図-10)



図-9 2017年9月7日 国道45号鳴瀬大橋(東松島市)



図-10 2018年9月12日 除草剤と機械除草の併用結果

ただし、他機関では、除草剤による耕作への影響が問題となっている点もあることから、除草剤散布を定常とするには慎重な判断が必要と考えている。

雑草は、3～6月 イタドリ、8～10月セイタカアワダチソウやクズと、発生時期が異なることから、適切な時期を見極めて、最低限の散布となるように対応する考えである。

6. おわりに

道路除草は、路面損傷や構造物補修に比較すると優先順位が低くならざるを得ず、除草要望の大半は断っているのが実態だ。

しかし、法面の荒地化が進む状態を放置し続けることは、ゴミの投棄や害虫の発生といった、地域住民の生活環境を悪化させる可能性もある。

さらには、法面の適切な管理という視点においても課題である。

本件では、自治会との協力体制が整えられたことにより、コストを抑えながらの道路行政サービスの維持、さらには、地域との信頼関係構築に繋がった、良い事例であった。

本件以外に、地域と協力体制に繋がった事例はまだ無いが、今後は、先駆的な本事例を他の地域へも拡大していける様に、調整を図っていきたい。

苦情要望には、要求内容だけでは判断できない、真の問題点が隠されている。

現場の第一線である出張所業務は、丁寧に耳を傾けることで要求の本質を見つけ、対応することが非常に重要であると、本件で再認識することが出来た。

今後も寄せられる地域の意見に真摯に対応し、経済性と信頼性を両立させた道路維持管理の実現に貢献したい。

ETC2.0プローブ情報を活用した ボトルネック指数によるボトルネックの把握

松田 奈緒子¹・瀬戸下 伸介¹・瀧本 真理¹・中田 寛臣¹

¹国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

渋滞対策を進めていく上で渋滞の起点をピンポイントに把握する事が重要である。これまでVICSや一般車プローブを用いた分析により効率的なボトルネック箇所の把握が可能になったが、さらにピンポイントでのボトルネック箇所の把握が求められている。国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、ボトルネック指数という指標を用いてボトルネック箇所を把握する手法について研究を進めている。本稿では、デジタル道路地図（以下「DRM」という。）区間単位およびETC2.0プローブ情報における走行履歴情報（走行位置や時刻）を加工することでDRM区間延長に左右されない等分割区間単位で分析を行い、より精緻かつ適正にボトルネックの先頭箇所を把握する方法を提案する。

キーワード ETC2.0プローブデータ、交通渋滞、ボトルネック箇所

1. はじめに

平成28年3月に設置された「国土交通省生産性革命本部」において、生産性革命プロジェクト¹⁾の1つとしてピンポイントの渋滞対策が掲げられている。また、道路分科会建議（平成29年8月）²⁾において「局所的な渋滞要因の特定を更に高度化しながら、効果的なピンポイント対策や交通需要をアクティブに制御する手法を積極的に導入する必要がある」とされ、ボトルネック箇所をピンポイントで特定する手法の開発が求められている。

効果的に渋滞対策を進めていく上では、渋滞箇所、渋滞時間帯、渋滞の原因となるボトルネック箇所の特定等、詳細な交通状況の把握が必要となる。従来はコスト面や人的労力等の制約から特定の1日、特定の箇所での人手・目視による調査³⁾に頼ってきたが、限られた特定の箇所での調査では真の渋滞原因を把握することは困難である。近年、ICT技術の進展に伴い24時間365日の道路交通状況を把握することが可能なプローブデータの活用が進められている。例えば、プローブデータを用いた速度コンター図により効率的なボトルネック箇所の把握が可能となった。しかしながら、交通渋滞が道路区間を跨いで影響が及ぶ場合や複数のボトルネックが近接して存在する場合があります、詳細のボトルネック箇所の把握は難しい。

国総研では、プローブデータを用いて更にピンポイントでのボトルネック箇所を把握することを目的に、ボトルネック指数⁴⁾⁵⁾⁶⁾を用いてボトルネック箇所を把握する手法について研究を進めている。本稿では、DRM区間単位およびETC2.0プローブ情報における走行履歴情報（走行位置や時刻）を加工することで等分割区間単位で

分析を行い、より精緻かつ適正にボトルネックの先頭箇所を把握する方法を提案する。

2. 分析の概要

(1) ボトルネック指数の概要

ボトルネック指数は、ある区間における「渋滞の起点のなりやすさ」を表す指標であり、隣接する道路区間の「渋滞」と「非渋滞」の組合せから算定する。分析対象路線を区間分割し、区間毎に時間帯別の旅行速度を算出し「渋滞」と「非渋滞」を判定する。分割区間とその下流側に隣接する区間の「渋滞」と「非渋滞」の組合せからポイントを付与し、ボトルネック指数を算定する（図-1）。ボトルネック指数が大きいほど分析対象区間下流側の交差点がボトルネック交差点になりやすいと考えられる。

例えば、7時台のボトルネック指数の算定を考える。任意の日において、分析対象区間が渋滞し、下流側の区

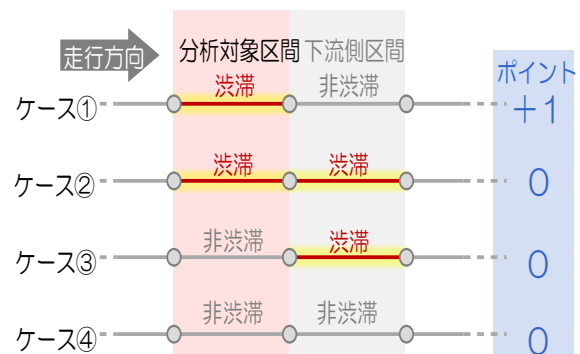


図-1 ボトルネック指数の設定の考え方

間が非渋滞であれば、分析対象区間が渋滞の先頭となっていると判断し「+1」、その他は「0」のポイントを付与する。次に、分析対象期間内で、同じ7時台を対象として、「+1」を付与された日数分ポイントを合算し、それぞれ7時台のデータ取得日数で除して、ボトルネック指数を算定する。

なお、本研究では、「渋滞」と「非渋滞」の判定の閾値として、高速道路においては時速40km、一般道においては時速20kmを用いる。

分析区間は、DRM区間（分析区間①）および100mの等間隔区間（分析区間②）の2つの区間を設定し分析を行う（図-2）。DRM区間は、ETC2.0プローブ情報のDRM区間単位の旅行時間がサーバにより算出されるため効率的に分析することが可能である。一方、DRM区間は比較的区間長が長く詳細なボトルネック箇所の把握が難しく、区間長が一定でないため区間毎の比較が困難であると考えられる。そこで、等間隔区間における分析を試みた。等間隔区間の区間長は、データ数とボトルネック箇所の把握のしやすさの観点から100mとした。

(2) ETC2.0プローブ情報の概要

本研究で用いたETC2.0プローブ情報（走行履歴情報）の概要を述べる。ETC2.0プローブ情報は、ETC2.0車載器を搭載した車両が200m進んだ際、もしくは45度方向変更した際にデータが蓄積され、蓄積されたデータは、高速道路や直轄国道等に設置されている路側機と通信を行うことによって収集される。

図-3に示すように、ETC2.0プローブ情報（走行履歴情報）のデータの整理方法は3種類あり、車両ごとの地点単位速度データ、各車両ごとにDRMリンク単位で集計したデータ、DRM単位ごとの集計データに分類される。

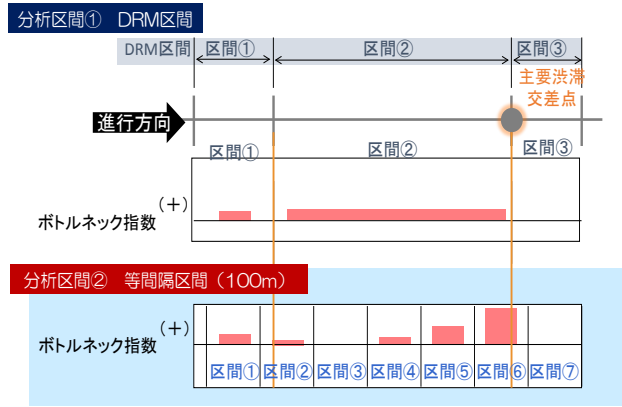
本研究では、DRM区間（分析区間①）の分析にDRM単位の集計データを用い、100mの等間隔区間（分析区間②）の分析に地点単位速度を用いる。

(3) ETC2.0プローブ情報の加工方法

図-4にETC2.0プローブ情報の車両毎の地点単位速度（200m間隔の位置と時刻）を用いて、100mの等間隔区間毎の平均旅行速度を算定する方法を示す。

まず、位置情報と時刻から2点間（200m）の所要時間を算出し、100mで等分割した各区間に要する所要時間を延長比で按分することで算出する。次に、各車両の等分割区間（100m）毎の所要時間を足し合わせ、各区間のサンプル数で除すことで平均所要時間を算出する。

この加工により、100mの等間隔区間の平均旅行速度が算出され、渋滞・非渋滞の判定が可能となる。



※DRM：位置IDを持つデジタル道路地図

地点単位のデータ		DRM区間単位のデータ	
データ分類	地点単位 走行履歴データ	リンク単位 車両単位 旅行時間データ	リンク単位 旅行時間データ 集計値
データ項目	個別車両単位の地点走行履歴（緯度・経度）	個別車両単位の走行リンク別旅行時間	リンク単位の15分単位の旅行時間（平均、分散等）
データ概要	個別車両単位の地点走行履歴（緯度・経度）	個別車両単位の走行リンク別旅行時間	リンク単位の15分単位の旅行時間（平均、分散等）
基本情報	あり（車種、用途等）	あり（車種、用途等）	なし（集計値のため）
車両位置情報（走行履歴）	緯度・経度（200m毎）	リンク単位（進入・退出時刻、旅行時間）	リンク単位（平均旅行時間、分散等）
データ形式のイメージ	個別車両の走行履歴（点群） 	個別車両の走行経路・旅行時間 	リンク単位の平均旅行時間

図-3 ETC2.0プローブ情報の種類

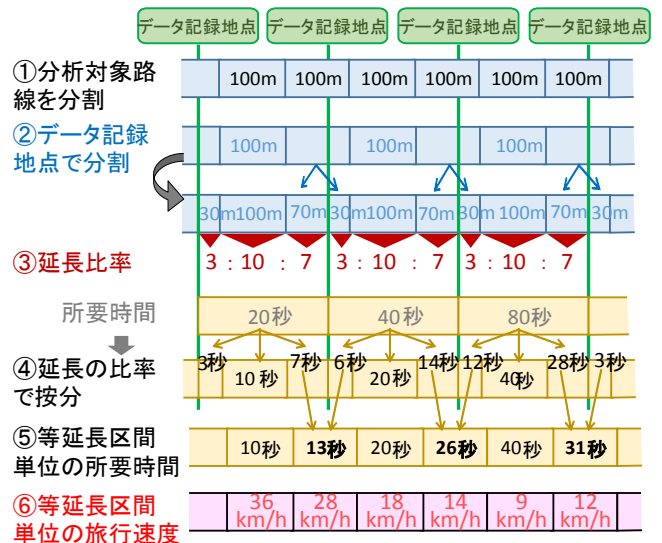


図-4 ETC2.0の100m等間隔区間毎の旅行速度算定方法

3. ケーススタディ

ケーススタディは平成28年4月～平成29年3月の平日の18時台を対象に実施した。算定条件および算定結果について以下に述べる。

(1) 算定条件

a) 対象区間

図-5に対象区間（国道408号（茨城県つくば市内））を示す。分析対象区間には中心市街地や主要路線との交差点において茨城県の主要渋滞箇所を選定される交差点が9箇所あり、朝・夕ピーク時を中心に渋滞が発生している。

b) 区間データ

図-6に、DRM区間（分析区間①）および100mの等間隔区間（分析区間②）の区間データを示す。

(2) 算定結果

a) DRM区間単位のボトルネック指数の算定

DRM区間単位の分析結果を図-7に示す。主要渋滞交差点を先頭にボトルネック指数が大きくなっており、対象路線におけるボトルネックの位置を把握することができる。

渋滞のなりやすさを示す折れ線グラフ（図-1におけるケース①とケース②の回数を足し合わせた値）は、同区間の速度コンター図と同様の傾向が見られた。速度コンター図において同じ速度帯の区間でも、ボトルネック指数は箇所によって異なり、速度コンター図よりもボトルネック箇所が詳細に把握することが可能といえる。

一方、DRM区間を用いると区間延長が一定でないため、どの区間がより混んでいるのか等の相对比较は難しい。

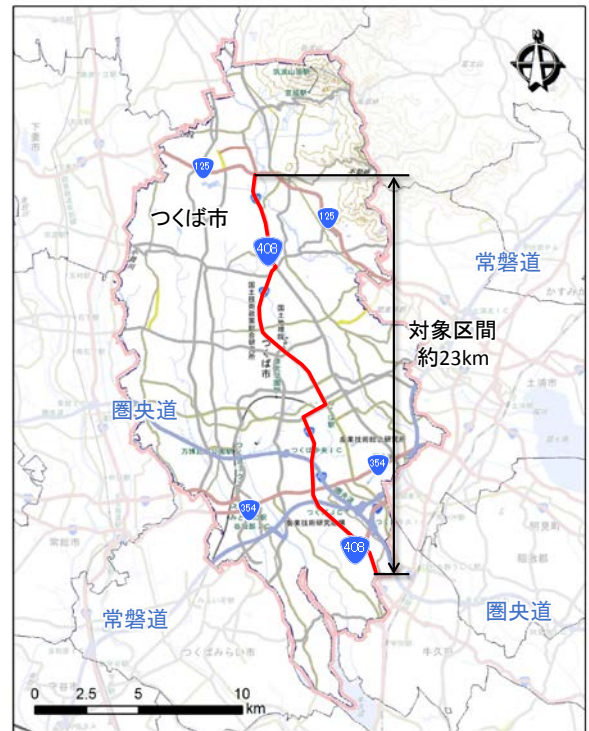


図-5 対象区間

	分析区間① DRM区間	分析区間② 等間隔区間
区間長	最小11m 最大約1500m	100m
区間数	67	227
平均サンプル数	355/区間	386/区間

図-6 区間データ



図-7 DRM区間単位のボトルネック指数

b) 100m等間隔区間単位のボトルネック指数の算定

100m等間隔区間単位のボトルネック指数の分析結果を図-8に示す。

西大通り入口交差点においてボトルネック指数が最も大きい結果となった。当交差点は主要渋滞箇所を選定されている交差点であり、対象区間において最も渋滞が起きる交差点の1つとして現在、茨城県が交差点改良工事を実施している箇所であり、ボトルネックの先頭箇所を適切に把握できたと言える。なお、当交差点について、DRM区間単位の分析ではボトルネック指数が大きい結果が得られなかった。これは、DRM区間単位は区間延長が比較的長いので速度が平均化され、ボトルネックとして表れなかったものと考えられる。

また、学園西交差点の数100m下流の地点において、DRM区間単位の分析ではみられなかったボトルネックが確認された。この交差点は、店舗への右折のための渋滞が起こっている箇所であり、実感と合う結果となった。

以上より、100m等間隔区間単位のボトルネック指数の分析により、ボトルネックの先頭を適切に把握できる可能性があるといえる。また、DRM区間単位での分析に比べて精緻にボトルネック箇所とその影響範囲を把握することができる事がわかる。

4. まとめ

ETC2.0プローブ情報を用いたボトルネック指数について、DRM区間単位およびETC2.0プローブ情報における走行履歴情報を加工することで100mの等間隔区間単位で分析を行った。

どちらの区間単位の分析においても、速度コンター図のような従来の手法よりも、ボトルネック箇所を詳細に把握できる可能性があることがわかった。また、100mの等間隔区間単位での分析により、区間延長の大小に影響を受けずにボトルネック箇所について把握する事が可能である。

本研究の手法を用いることにより、交差点間を基本とするDRM区間単位での分析方法では把握することができない単路部のボトルネック（カーブやサグ、幅員狭小、トンネル等）についても把握できる可能性がある。今後は、全国の高速道路、一般道でその有効性について引き続き検討を行うとともに、より簡便な分析方法の研究を進めて参る予定である。

参考文献

- 1)国土交通省；国土交通省生産性革命プロジェクト、
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000021.html>, (2017.6.28 入手)。
- 2)国土交通省；社会資本整備審議会 第16回道路分科会、
<http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_00_0370.html>, (2017.8.22 入手)。
- 3)社団法人 交通工学研究会：交通調査実務の手引、2008。
- 4)木村洋平, 長谷川裕修, 内藤利幸, 田村亨：札幌市における交通渋滞の発現特性と空間分布に関する研究, 土木学会北海道支部 論文報告集, 第66号, 2009。
- 5)水木智英, 橋本浩良, 小塚清, 高宮進, 前川友宏：民間プローブデータを用いたボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法に関する分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 2013。
- 6)橋本浩良, 水木智英, 高宮進：プローブデータを利用したボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.70, No.5 (土木計画学研究・論文集第31巻), 2014。1) 土木学会：土木学会論文集の完全版下印刷用和文原稿作成例。
- 7)加藤哲, 橋本浩良, 瀬戸下伸介, 松田奈緒子：ボトルネックとその影響範囲を特定するための ETC2.0 プローブ情報の活用に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.73, 2017

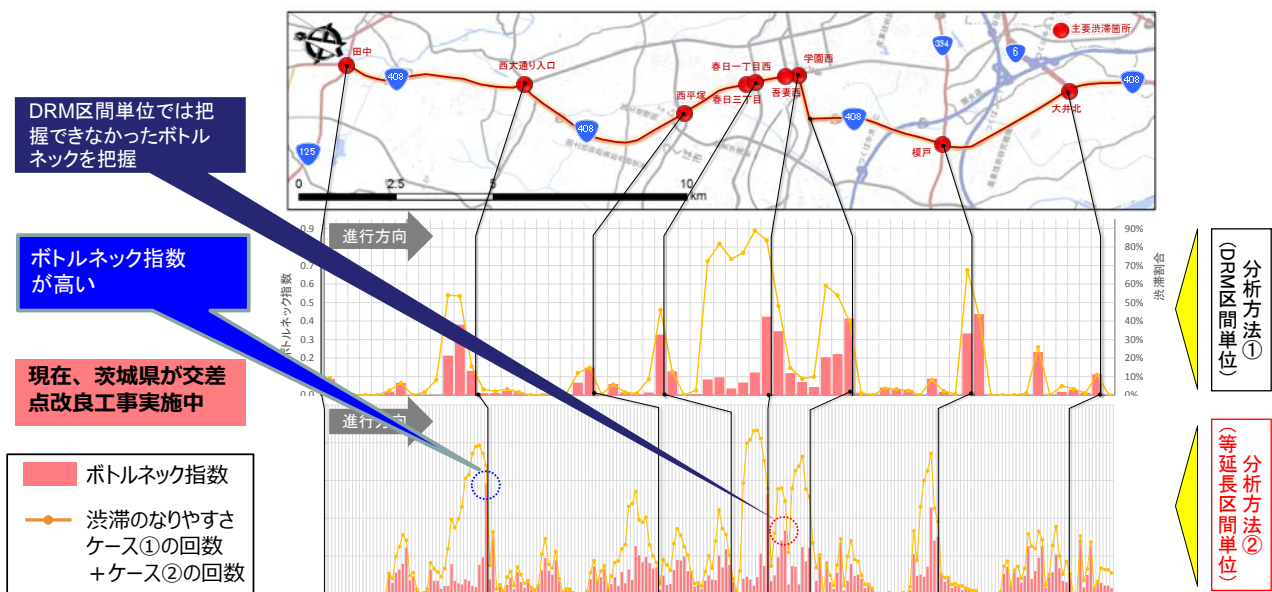


図-8 等延長区間単位のボトルネック指数

AIと空撮情報を用いた 河床表層の粒径推定技術

竹内 大輝¹・中西 哲¹

¹国立研究開発法人 土木研究所 水工研究グループ 水理チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

河床材料の調査手法には線格子法や面積格子法、容積法などが用いられてきたが、これらの方法は短時間に多くの箇所を調査を行うことが難しく、面的な情報を得ることができない。そこで、近年では画像解析もしくは3次元地形データを用いた手法が検討されているが、河床材料の湿り具合や調査時の天候、対象粒径によって解析精度が左右されるなどの課題がある。そこで、本研究ではオルソ画像と3次元地形データの双方を用い、ニューラルネットワークによって礫・砂・シルトに分類を行った。その結果、本手法はそれぞれを単独で用いる手法よりも礫・砂・シルトの領域の形や大きさを高精度に捉えられることがわかった。

キーワード AI, 河床材料調査, UAV, オルソ画像, 3次元地形データ

1. はじめに

我々の生活に必要な水を供給する河川は多くの生命を育む。河川には多様な生物が生息できる環境が存在し、これが多様性を生み出す源である。流れの速い瀬や流れの緩やかな淵、柳や水草等の植物、粒径の様々な砂礫が生物それぞれが好む河川環境を創り出している。

河川環境を評価するための基本的な調査項目に河床材料調査がある。河床材料調査の手法には任意の直線状に存在する材料の粒径及び形を記録する線格子法や代表地点における最大礫径程度の格子点直下の粒径を記録する面積格子法、容積法などが用いられてきた。これらの方法は調査に時間を要し、短時間に多くの箇所を調査を行うことができない。そこで、面積格子法や線格子法を写真上で行う写真測定法^{例えば1)}、ドローンや航空写真などを用いた粒度分析手法^{例えば2)}、などの研究が進められており、河床表層の粒度分布を広域で把握するための技術として開発が進んでいる。しかし、河床材料の重なり具合によっては正確に粒径を判読できないこと、捉えることのできる粒径が画像の解像度に依存すること³⁾、写真撮影時の天候や河床材料の湿り具合に解析精度が左右されること³⁾などの課題がある。

一方、近年では測量技術の進歩により詳細な3次元地形データを取得できるようになってきており、Pearson et al.は数値標高モデル(DEM)の標準偏差が代表粒径(D50)の推定精度向上に有効な情報となることを示唆した⁴⁾。

これまで推定手法は相関や確立分布などの統計的な手法に頼らざるを得なかったが、最近ではNeural Network(以下、NNとする)に代表される人工知能(AI)を用いた推定手法が多く分野において導入されている。

そこで、本研究ではUAVによる空撮画像から取得したオルソ画像とDEMを用い、NNによって河床表層の粒径情報を面的に把握することを目的とする。ただし、現地調査を十分行えていないことから検証が不十分であるため、本稿ではオルソ画像から目視にて判別可能な情報を基に、上記目的を達成するための基礎的な検討を行う。2章で使用データ及び解析手法を述べ、結果を3章に示し、4章にまとめを記す。

2. 使用データ及び手法

調査箇所は天竜川水系小渋川の小渋ダム直下より約1.8km地点であり、図-1に示すように任意の約22m×約26mのグリッド内を解析対象とした。

(1) UAVによる測量条件

UAVによる撮影は平成28年10月の晴天時に行った。解像度は5cm/pixel以下、撮影高度は地上150m、ラップ率及びサイドラップ率は60%以上である。オルソ画像及び3次元点群データを作成するにあたりStructure from Motion(SfM)ベースの市販ソフトウェアの一つであるPix4Dmapperを用いた。入力したパラメータはデフォルト値を使用した。

(2) 3次元地形データ

生成された3次元地形データにリアルタイムキネマティック(RTK)測量にて計測した標定点の座標を与えて公共座標に変換した。点群データとして出力された3次元地形データは解析を容易にするために格子状データに変



図-1 作成したオルソ画像と解析対象範囲(赤枠内).

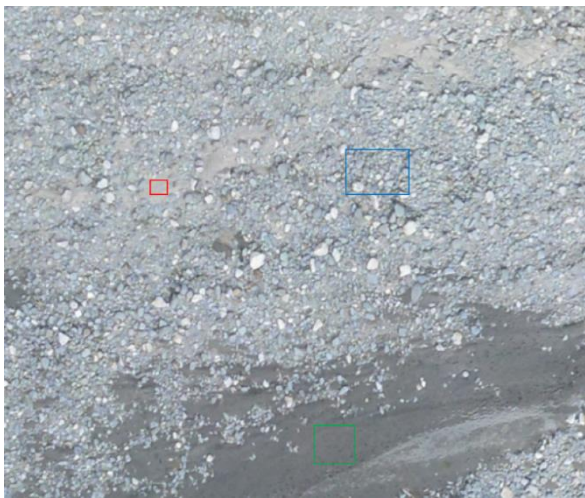


図-2 解析対象範囲におけるオルソ画像. 青枠, 赤枠, 緑枠内のデータをそれぞれ礫, 砂, シルトの教師データとして使用した.

換した. 格子化には格子内の点の標高値を平均したものをその格子の標高値とする手法を用いた. 格子の大きさは欠損値が生じず, できる限り小さな格子とすることができた約5cmとした.

(3) 解析手法

本研究では河床表層に体積した土砂をNNを用いて礫, 砂, シルトに分類を行った. NNはAIのアルゴリズムの一種であり, 入力層と隠れ層, 出力層から構成される. 本手法では, 入力層には表-1に示す14特徴量を入力し, 隠れ層は100ノードからなる3層の構造とした. NNにはpython上で動作するライブラリscikit-learnを使用し, 活性化関数には(1)式で表されるランプ関数を用いた.

$$\text{ReLU}(x) = \max(x, 0) \quad (1)$$

ここで, ReLUはランプ関数, maxは最大値関数をそれぞれ示す. また, 入力層, 隠れ層, 出力層を結びつける関数は(2)式である.

$$X_{i+1} = \text{ReLU}(W_i X_i + B_i) \quad (2)$$

ここで, X_i は入力層($i=0$), 隠れ層($i=1\sim 3$), 出力層($i=4$)のいずれかで, W_i は重みパラメータ, B_i はバイアスパラメータをそれぞれ示す.

Z_a	Z_b	Z_c
Z_d	Z_e	Z_f
Z_g	Z_h	Z_i

図-3 標高値データの配置図.

表-1 解析に使用した特徴量. Case-Cについては14特徴量すべてを使用した.

No.	Case-A	No.	Case-B
1	R(Red)	7	Elevation
2	G(Green)	8	Smoothed Elevation
3	B(Blue)	9	Moving Standard Deviation
4	H(Hue)	10	Inclination angle(Elevation)
5	S(Saturation)	11	Inclination angle(Smoothed Elevation)
6	V(Lightness)	12	Laplacian of Elevation
		13	Laplacian of Smoothed Elevation
		14	Elevation - (Smoothed Elevation)

本稿においては, 現地にて調査を十分に行えていないため, 上記解析手法を用いて得られた結果を目視による推定結果と比較した.

(4) 教師データ

教師データには図-2の青, 赤, 緑の枠で囲まれた領域内のデータをそれぞれ礫, 砂, シルトとして使用した. これらは目視による推定結果から得られたものである. 各領域のピクセル数は2,856, 208, 1,188であり, 教師データ数のバランスは悪いものの, 解析対象グリッド内に存在する礫, 砂, シルトそれぞれの割合を考え, 今回はこのような教師データの与え方とした.

(5) 使用した特徴量

オルソ画像, 3次元地形データのそれぞれが河床表層の粒径推定に与える影響を調べるため, Case-A(入力: オルソ画像から得られる特徴量), Case-B(入力: 3次元地形データから得られる特徴量), Case-C(入力: 全ての特徴量)の3ケースについてNNを用いた解析を行った.

特徴量として使用したDEMの平滑化値には11×11メッシュにおける移動平均値を用いた. 移動標準偏差は地面の凸凹具合を示す指標であり, 11×11メッシュのDEMの平均値に対する移動標準偏差とした. 傾斜量Iは図-3に示す配置のDEMデータを対象とした近隣9ピクセルにおける平面を最小二乗法で当てはめた場合の最大傾斜方向の傾斜であり, 式(3)-(5)で定義される.

$$S_x = \frac{Z_a + Z_d + Z_g - (Z_c + Z_f + Z_i)}{6d_x} \quad (3)$$

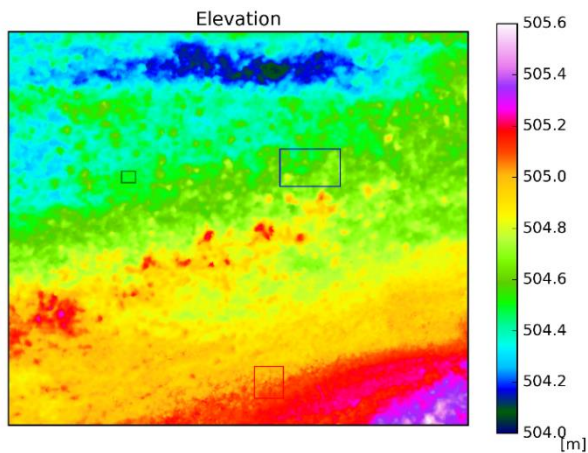


図4 UAVによる空撮測量から作成したDEM. 図中の四角枠内は礫(青), 砂(赤), シルト(緑)として教師データに与えた領域を示す.

$$S_y = \frac{Z_a + Z_b + Z_c - (Z_g + Z_h + Z_i)}{6d_y} \quad (4)$$

$$I = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (5)$$

ここで、 d_x, d_y は1ピクセルの水平方向及び鉛直方向の長さである．傾斜量はDEM及びDEMの平滑化値それぞれで算出したものを使用した．これは、DEMの傾斜量は粒径の大小に影響を受ける一方、DEMの平滑化値の傾斜量は河床材料の安息角に影響を受けた特徴量となることを期待したものである．

凹凸度の指標となるラプラシアン L_e は岩橋⁹⁾が提案している式(6)によって算定した．

$$L_e = 4Z_e - (Z_b + Z_d + Z_f + Z_h) \quad (6)$$

また、DEMから平滑化値を差し引いたものも凹凸度を表す指標であるが、ラプラシアンが前後左右のピクセルに対するものである一方、DEMと平滑化値の差は11×11メッシュのより大きな範囲を対象とした凹凸度を表す指標となる．

特徴量として用いたデータは絶対値の大小が学習に影響を与えないよう式(7)を用いて平均を0、標準偏差を1に正規化した．

$$X = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (7)$$

ここで、 X は正規化後の特徴量、 x は正規化前の特徴量、 μ は特徴量の平均値、 σ は特徴量の標準偏差をそれぞれ示す．

3. 結果

(1) UAVによる3次元地形測量結果

図4はUAVによる空撮測量から作成したDEMである．解析対象地のDEMは標高約500mであり、高低差は最大1.6m程度であった．DEMの移動標準偏差を図5に示す．同図は対象ピクセルを中心に11×11メッシュ内の標高にどれだけばらつきがあるかを表す．青枠内のように礫が

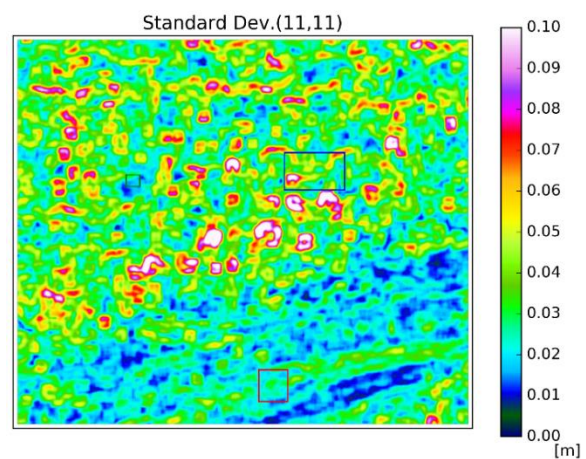


図5 UAVによる空撮測量から作成したDEMの11×11メッシュにおける平均値に対する移動標準偏差. 図中の四角枠内は礫(青), 砂(赤), シルト(緑)として教師データに与えた領域を示す.

存在する場所は標準偏差が大きい一方、緑や赤枠内のように砂やシルトのように粒径が小さい河床材料が堆積している箇所は標高値のばらつきが小さい傾向がある．

傾斜量やラプラシアン、DEMとその平滑化値の差などのその他の特徴量についてもそれぞれ河床表層の粒径に関する特徴を見ることができ、紙面の都合により本稿では割愛する．

(2) AIによる礫、砂、シルト分類

Case-A、Case-B、Case-Cにおける河床表層の粒径推定結果を図6(a), (b), (c)に、目視による結果を図6(d)にそれぞれ示す．Case-Aにおいては砂、礫、シルトの分布特徴を概ね捉えているが、砂、シルトの領域が目視による推定結果よりも小さい．これはオルソ画像から得られる特徴量のみでは礫、砂、シルトの境界を識別することが難しいことを示す．

Case-Bにおける分類結果は、Case-Aとは反対に砂及びシルトの領域が目視による推定結果よりも大きく、礫と砂、礫とシルトの誤認箇所が多いもののおよその分布特徴を捉えている．これは、地形測量データから得られる地面の凹凸具合や傾斜量などの特徴量は粒径推定に対して有用な情報であるものの、オルソ画像同様礫と砂、礫とシルトなどの境界の識別は困難であることを示唆する．

Case-Cでは、図6(c)の右下や左下のように礫とシルトの境界の識別能力がCase-AやCase-Bに比べ良好化した．さらに、シルト領域に囲まれた礫領域の判別ができている箇所もあり、オルソ画像と3次元地形データの双方から得られる特徴量を使用したことで領域の境界の識別性が向上したことがわかる．一方、礫と砂の領域については図6(c)の左上のように礫と砂を誤認している箇所が見られる．これは、Case-A及びCase-Bの結果から推察するに、同箇所における3次元地形データから得られる特徴量の教師データへの類似度がオルソ画像のそれに比べて

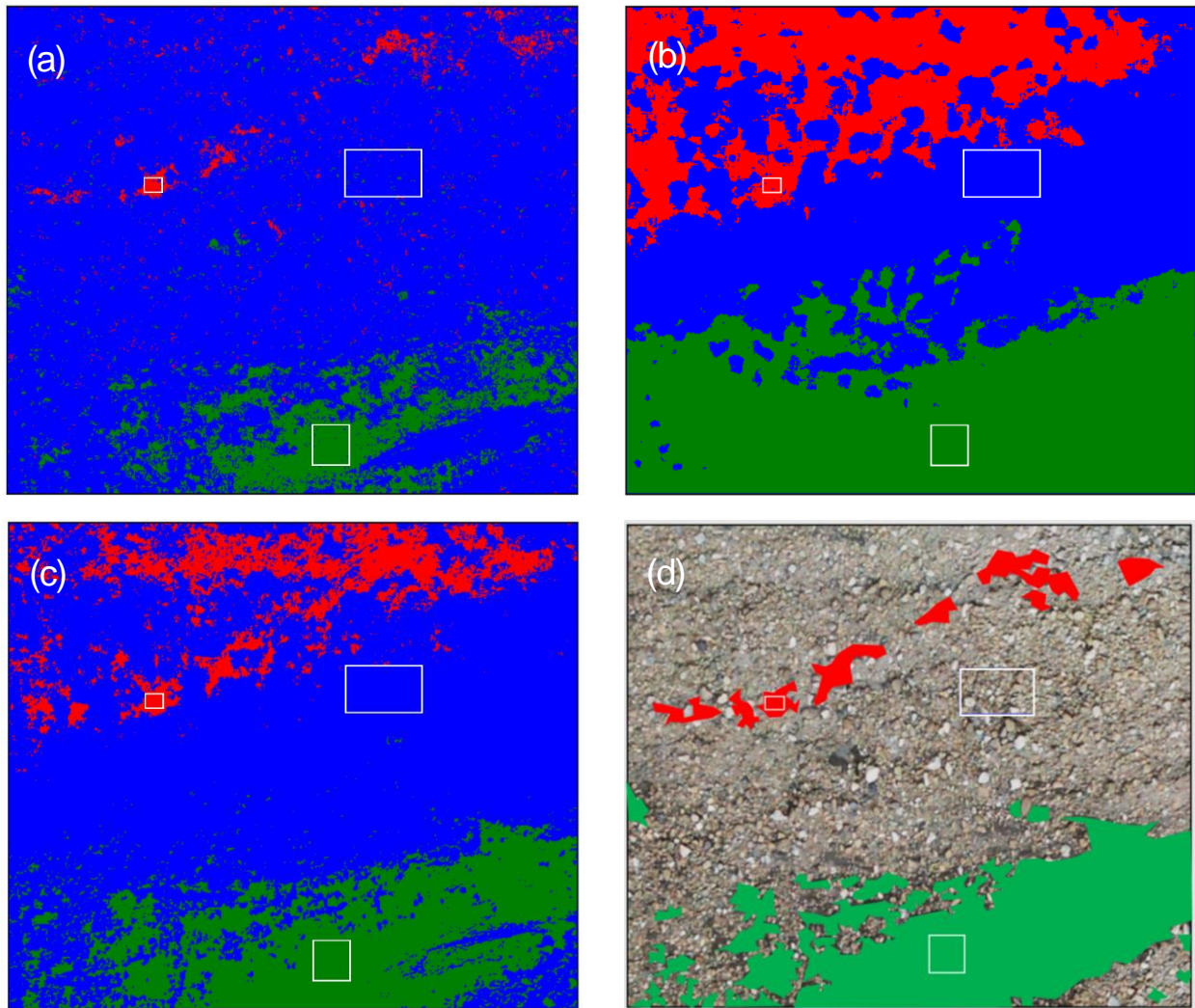


図-6 Neural-Networkによって河床表層の粒径を推定した結果，(a)はCase-A，(b)はCase-B，(c)はCase-C，(d)は目視による推定結果をそれぞれ示し，色は青(礫)，赤(砂)，緑(シルト)を表す．図中の四角枠内は礫，砂，シルトとして教師データに与えた領域である．

大きかったために得られた結果と考えられる．ただし，Case-Aにおいて目視による推定結果と一致した砂の領域についてはCase-Cにおいて砂領域の識別性が向上した．

4 まとめ

本研究はUAVによるオルソ画像と3次元地形データから得られる特徴量からNNによって河床表層の粒径を推定するものであり，本稿はこれを達成するための基礎的な検討によって得られた知見についてまとめたものである．得られた成果は下記のとおりである．

- ・オルソ画像及び3次元地形データは河床表層の粒径推定に有用な情報であることを示唆した．
- ・オルソ画像と3次元地形データの双方を用いることで河床表層の粒径推定精度を向上させる可能性を示した．

今後は現地にて河床材料調査とUAVによる測量を行い，礫，砂，シルトといった大きな区分でなく，生物評価に使用できるような区分で粒径推定できるように開発を進める．

参考文献

- 1) 大橋慶介，井原一樹，安田真悟: 画像処理による河床粒度分布情報の高空間解像度化，土木学会論文集 F3(土木情報学)，Vol67，No2，L111-L118，2011.
- 2) 原田守啓: UAV による河川地形・河床材料モニタリング手法の検討，インフラ・イノベーション研究会，第 31 回講演会発表資料，2016.
- 3) 平生昭二，阿佐美敏和，吉村真，西口祐輝，河合彩里伊: UAV 撮影画像処理による河床表層粒度分布把握に関する基礎的研究，河川技術論文集，第 24 巻，263-266，2018.
- 4) Pearson, E., Smith, M. W., Klaar and M. J., Brown, L. E.: Can high resolution 3D topographic surveys provide reliable grain size estimates in gravel bed rivers?, *Geomorphology*, 293, 143-155, 2017.
- 5) 岩橋純子: 数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発，京都大学防災研究所年報，第 37 号，B-1，1994.

「だいち2号」の干渉SARで見る 地震の地殻変動

山田 晋也¹・矢来 博司¹・小林 知勝¹・森下 遊²・宗包 浩志³

¹国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

²国土地理院 地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

³国土地理院 測地部 宇宙測地課 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

国土地理院は、宇宙航空研究開発機構が運用する地球観測衛星「だいち2号」の観測データを解析することで、地震に伴う地殻変動の詳細を把握し、その発生機構の解明を通じて地震防災への貢献を目指している。だいち2号は面的な地殻変動を把握するのに有用な方法であるが、一般に衛星SARの観測データを用いて干渉SARの解析を行うときには、電波が地上に届くまでに通過する電離層の影響を受け、解析結果に誤差を生じる。この電離層の誤差を推定し、補正を行うためのプログラムを開発した。海外の地震の解析に適用したところ、非常に高い誤差低減効果が得られ、詳細な地殻変動の把握と発生機構の解明に貢献した。

キーワード 干渉SAR, だいち2号, 地殻変動, 地震, 電離層

1. はじめに

SAR (Synthetic Aperture Radar : 合成開口レーダー) は航空機や衛星に搭載されたレーダーの一種で、地上に電波を照射し、地表で反射され戻ってきた電波を受信する。各々の地点から受信した反射波には衛星と地表面との距離に関する情報が含まれており、ある地域を同じ条件 (同じ軌道位置からの観測であること等) で観測した2時期の観測を用いて差分をとる解析 (「SAR干渉解析」と呼ばれる) をすることで、地表面の変動 (位置の変化) を計測することができる (図-1)。これが「干渉SAR」と呼ばれる技術である。衛星によるSAR観測の場合、衛星が動きながら電波の照射を行うことで、衛星の軌道に沿った幅数十kmから数百kmの帯状の領域を一度に観測することができる。観測したデータは画像として処理され、得られた画像のピクセル (画素) 一辺の長さは照射する電波の波長により数mから数十mとなる。ピクセルごとの変動量には様々な誤差が含まれるために、フィルターを用いた平均化処理等を行う。その結果、実用的な変動量が求められるのは100m四方程度の広がりを持つ場所ごとであり、その変動量計測の精度は数cmである。このように干渉SARでは、広範囲にわたる領域における変動を一度の解析で検出することができる。

空中写真や光学衛星での撮影の場合、悪天候のときに

雲が写りこんでしまう。また、夜間に撮影を行うことはできない。しかしSAR観測では自ら電波を地表面に照射するので、雲を透過して昼夜問わず観測できる。地殻変動を観測する方法としてGNSS連続観測があるが、GNSSは地上に観測機器の設置が必要かつ変動を捉えることができるのは機器を設置した点であるのに対し、SARは観測機器の必要がない上、観測領域全体の変動を面的に捉えることができる。以上から、干渉SARは他の観測方法とは別に、地震や火山活動に伴う地殻変動を把握するための有用な手段の一つといえる。

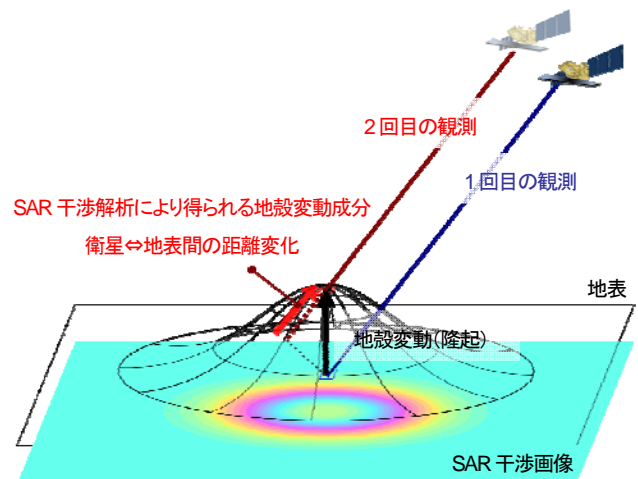


図-1 干渉SARの原理の概略

国土地理院では主に、宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」）が運用するだいち2号のデータをSAR干渉解析に用いている。SARの衛星は各国が運用しているものがあり、それぞれ照射する電波の波長が異なる。大きく3つに分けて波長の短い順にXバンド、Cバンド、Lバンドがあり、だいち2号は最も長い波長帯であるLバンドを用いている。Xバンド、Cバンドに比べ、Lバンドは植生を透過して地表面まで電波が到達しやすい。国土の中の森林面積の割合が多い日本では、地表面の変動をSARで捉えるにはLバンドの衛星が最も適している。その他だいち2号の諸元について表-1に示す。

表-1 だいち2号の諸元

波長帯		Lバンド（約24cm）
回帰日数		14日
電波照射方向		左右両方可
高分解能観測モード	観測幅	50kmまたは70km
広域観測モード	観測幅	350kmまたは490km

2014年にだいち2号の運用が開始されて以来、国土地理院はこれまで多くの国内外の地震に対してSAR干渉解析を行い、地殻変動を把握してきた。例えば、国内では、2016年熊本地震¹⁾、海外では、2016年ニュージーランドカイコウラ地震²⁾などSAR干渉解析を行っており、それぞれ結果を国土地理院のwebサイト上に公開している。

2. JAXAとの協定

国土地理院とJAXAは、だいち2号のデータを用いて地理空間情報の整備及び高度利用を推進することを目的に、協定を2014年4月7日に締結している。この協定ではだいち2号のデータの利用実証を行うことを規定しているほか、「地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ（以下「地震WG」）」を設置し、国土地理院が事務局として、大学・研究機関等の実験協力者と防災利用実証実験を進めることが定められている。地震が発生したときには、地震WGから緊急観測要求を行うことができ、JAXAは要求に応じた観測を行い、地震WGに観測データの提供を行っている。本稿で紹介するSAR干渉解析の結果についても、観測データは地震WGの活動に基づいて提供された。

3. SAR干渉解析の誤差

国土地理院では、解析のためのGUIソフト「新GSISAR」を開発し、これをSAR干渉解析に用いている。インターフェース画面を見ながらマウス操作で解析のプロセスを一連に行うことができる。

SAR干渉解析では、観測したときの状態によって様々な誤差が生じる。一つは大気中の水蒸気による誤差である。電波が通過する空気中に含まれる水蒸気量によって、電波の速度が変わり、遅延が生じる。国土地理院では、数値気象モデルを用いて誤差を低減する処理を開発し、2014年度から「新GSISAR」に組み込んでいる⁴⁾。

もう一つは電離層による誤差である。高度約60km～800kmの電離層には、太陽からの紫外線やX線によって大気分子が電離し、自由電子やイオンが多く存在している。この領域を電波が通過する際にも遅延が生じる。この遅延量は電波が通過する領域の自由電子数に比例し、電波の周波数の2乗に反比例する。つまり波長が長いほど影響が大きく、Xバンド、Cバンドに比べてLバンドの衛星における影響は無視できないほど大きくなる。

電離層の影響は、SAR干渉画像内に長空間波長の位相誤差として現れる。これまで国土地理院では、電離層の影響による誤差を補正するために、国内の電子基準点の観測データを利用した手法⁵⁾を用いていた。この手法では、電子基準点の位置におけるSAR干渉画像の変位量と電子基準点で観測された変位量との差を近似曲面でモデル化することにより長空間波長の誤差を補正する。しかし、補正にはGNSSデータが別途必要なことから海外の解析では適用できないという問題があった。また、誤差が複雑な空間分布で現れる際には、使用する近似曲面モデル等に補正効果が左右されることがあり、補正に細かな調整作業が必要な場合もある。そのため、別の観測データを使わないで補正できる手法が望まれていた。そこで2017年度に国土地理院では、Gomba et al.⁶⁾に紹介されている「Split Spectrum法」と呼ばれる方法を基に補正を行うプログラムを開発し、「新GSISAR」の改修を行う際にこの技術を用いた補正を行うプログラムをGUIに組み込んだ。本論文では、この補正を用いた海外の地震の解析事例も紹介する。

4. 解析結果事例

(1) 2018年2月パプアニューギニア地震

2018年2月27日にニューギニア島の中部を震源とするモーメントマグニチュード7.5の地震が発生した。地震WGは緊急観測要求を行い、国土地理院はだいち2号の地震前と地震後の観測データを用いて、SAR干渉解析を行い、結果をwebサイトに公表した。その結果が図-2である。画像中央部の幾重にもなった縞模様が地震による

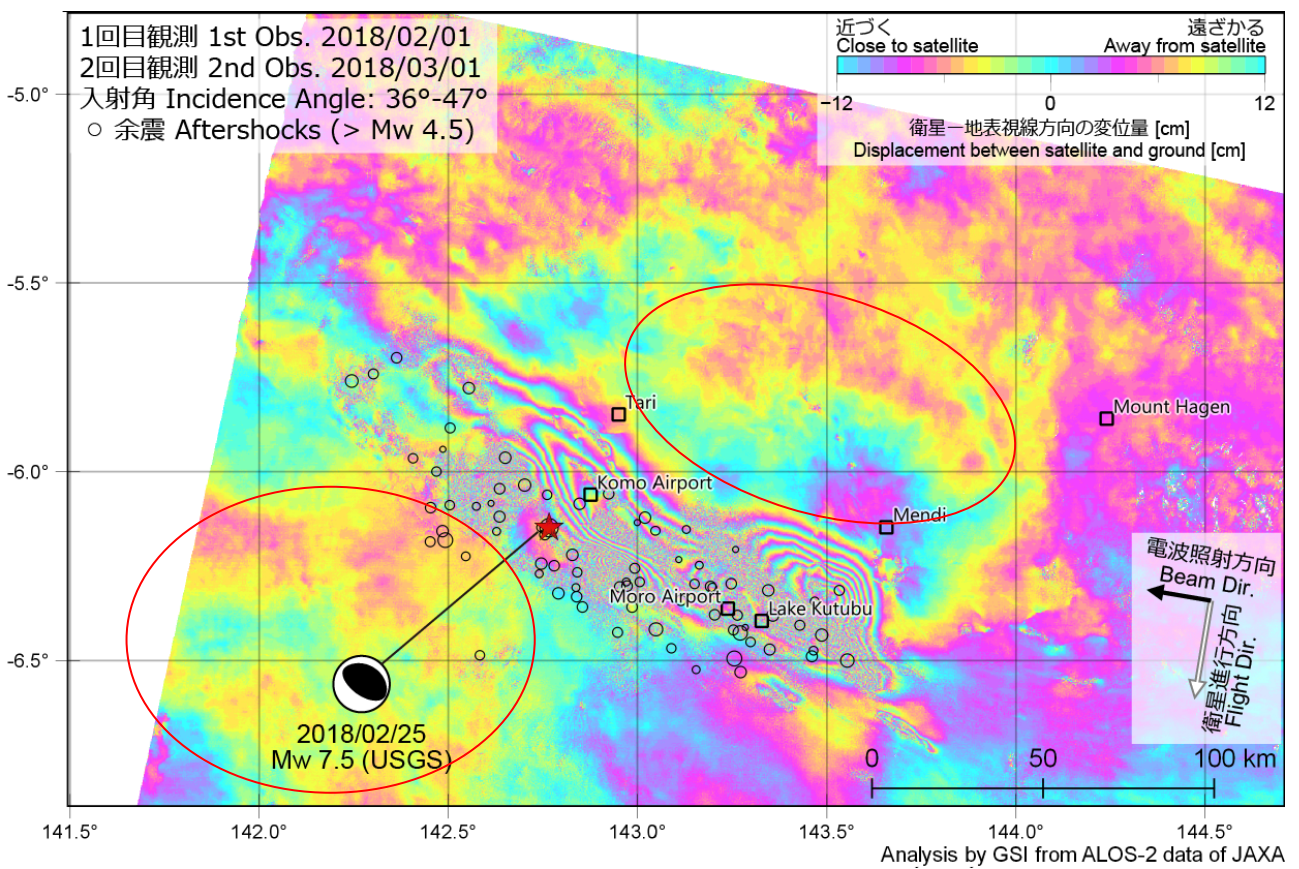
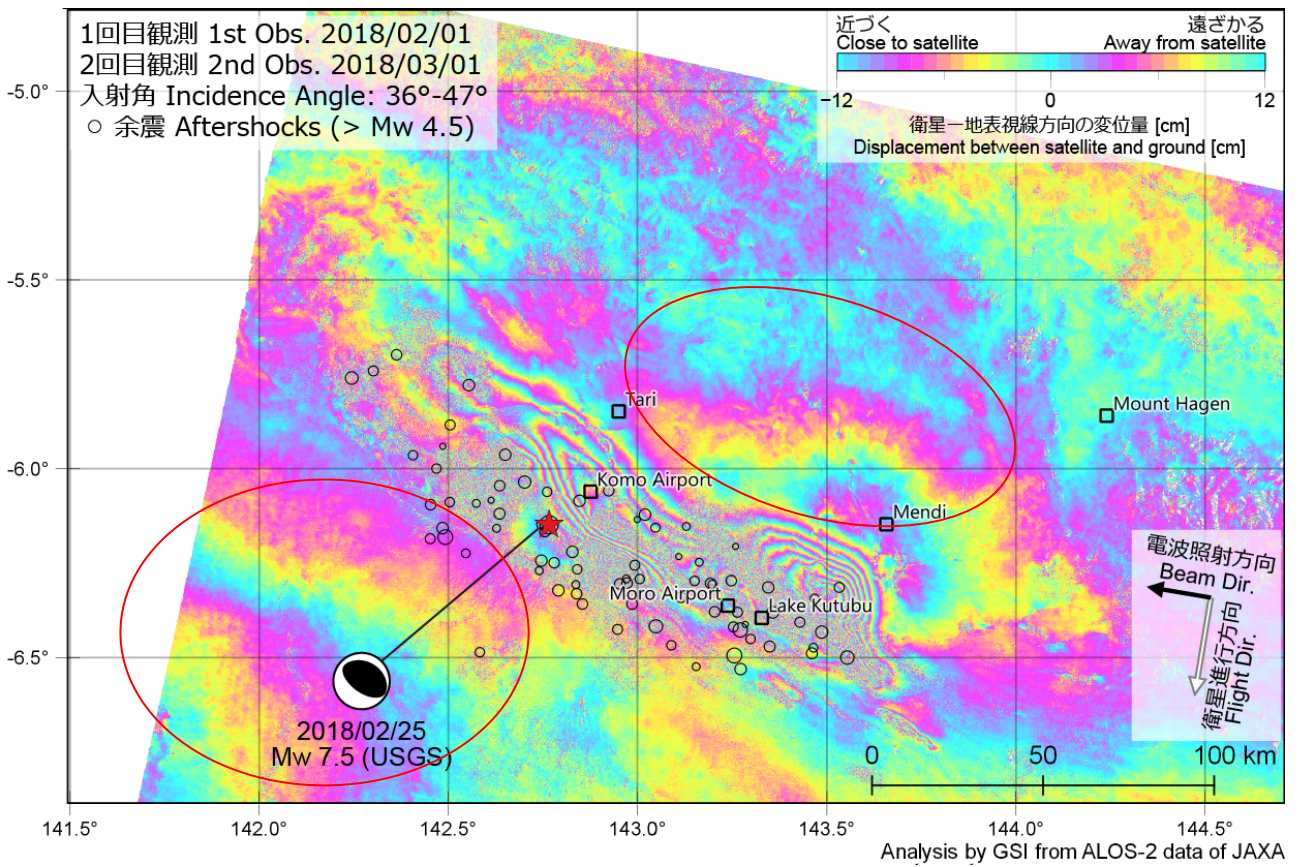


図-2 パプアニューギニア地震の解析結果（上：電離層補正前 下：電離層補正後）

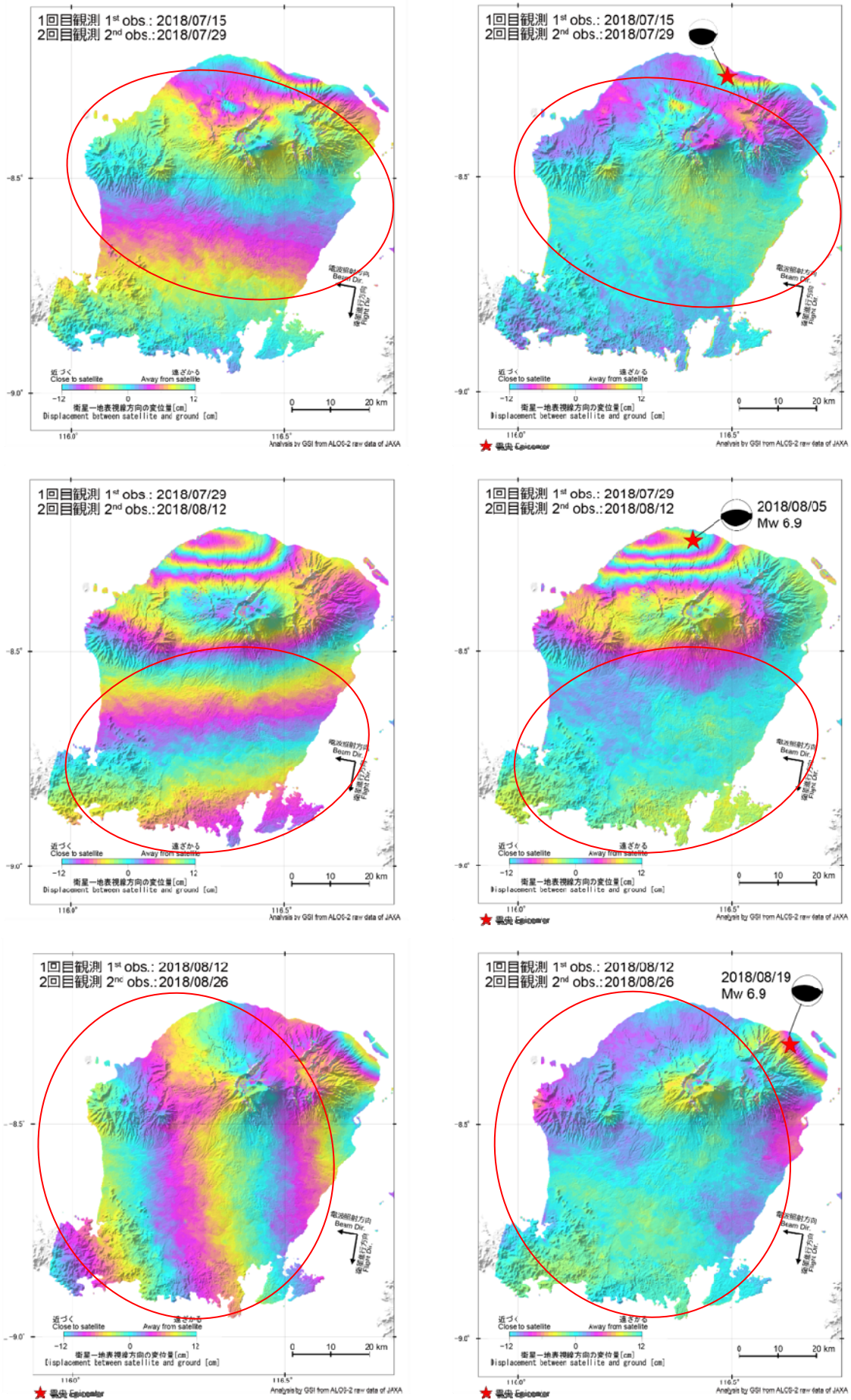


図-3 ロンボク島地震の解析結果 (左：電離層補正前 右：電離層補正後)

地表面の変動を表しており、変動領域は約170kmにも及ぶ帯状に広がり、最大変位は1m以上あったと考えられる。また、断層運動による変動のほかにも、山地斜面で局所的な変動が多数見られた(図-2(上))。この解析を行ったのは2017年度であったが、2018年度から電離層補正のプロセスが新GSISARに実装されたことから、電離層補正を含めて再解析を行った。その結果が図-2(下)である。図-2(上)中に2か所の楕円で示した長波長の縞模様が、図-2(下)で軽減された。この電離層誤差を軽減することにより、実際の変動と電離層の影響による見かけの変動を区別しやすくなった。

(2) 2018年7月～8月インドネシア・ロンボク島地震

2018年7月28日にインドネシア・ロンボク島の北部を震源とするモーメントマグニチュード6.4の地震が発生した。同様に地震WGから緊急観測要求を行い、だいち2号で観測、国土地理院はSAR干渉解析を行い、結果をwebサイトに公表した。この地震を含めロンボク島北部では表-2のとおり、7月から8月にかけて、震源を別にしてモーメントマグニチュード6以上の地震が3回発生した。その都度だいち2号で緊急観測を行ったが、3回の観測がそれぞれ3回の地震後の観測となり、それぞれの地震による変動を分離して検出することができた。その結果が図-3(左)である。また、電離層補正を行うことにより、島の中央部から南部にかけての電離層による見かけの変動(図中の楕円で囲んだ部分)を軽減することができた(図-3(右))。解析結果はWebサイトに公表した。

表-2 ロンボク島で発生した地震の概要

発生日時 (UTC)	モーメントマグニチュード
7月28日14時56分	6.4
8月5日11時46分	6.9
8月19日14時56分	6.9

3. まとめ

国土地理院で行っているSAR干渉解析において、新た

に電離層に起因する誤差を補正するプロセスを導入した。海外の地震の解析に適用し、画像の判読が飛躍的にしやすくなった。地殻変動を検出した後は、地震の発生機構の解明のため、断層の形状や動きを表すパラメータや断層面上の詳細な滑り分布の推定を行っており、その精度の向上にも効果が見られた。国内の解析においても補正の有効性は確認されており、今後、国土の監視を目的とした国内の定常解析にも補正を適用していく予定である。

国土地理院は、地震の発生機構を解明していくことを目指して、今後も国内外の地震に伴う地殻変動を観測、解析を行っていく。海外においてはGNSS連続観測を行う観測点が少なく、干渉SARによって地表面の変動を検出することが重要となる。そのために引き続き、SAR干渉解析を正確に実行できるための技術開発を行っていく。

参考文献

- 1) 上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅・仲井博之・本田昌樹・攪上泰亮・山下達也・矢来博司・小林知勝・森下遊(2016) : だいち2号 SAR 干渉解析による熊本地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 128, 139-146.
- 2) 藤原智・矢来博司・小林知勝・森下遊・中埜貴元・宇根寛・宮原伐折羅・仲井博之・三浦優司・上芝晴香・攪上泰亮(2016) : だいち2号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出, 国土地理院時報, 128, 147-162.
- 3) Morishita, Y., T. Kobayashi, S. Fujiwara, and H. Yaraï (2018) : Complex crustal deformation of the 2016 Kaikoura, New Zealand, earthquake revealed by ALOS - 2, Bull. Seismol. Soc. Am., 108(3B), 1746-1756.
- 4) 小林知勝・石本正芳・飛田幹男・矢来博司(2014) : SAR 干渉解析のための数値気象モデルを用いた大気遅延誤差の低減処理ツールの開発, 国土地理院時報, 125, 31-38.
- 5) 森下遊(2016) : GNSS データを用いた干渉 SAR に含まれる空間的長波長誤差の低減, 測地学会誌, 62, 89-100.
- 6) Gomba, G., A. Parizzi, F. D. Zan, M. Eineder, Senior Member, IEEE, R. Bamler, Fellow, IEEE (2016) : Toward Operational Compensation of Ionospheric Effects in SAR Interferograms : The Split-Spectrum Method, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 54, 1446-1461.