構造物の維持管理技術に関する研究報告書

～産学官共同研究報告書～

平成30年6月

一般社団法人　福井県測量設計業協会

＜発刊にあたって＞

（一社）福井県測量設計協会では、協会員の技術力向上を目的に産学官一体となった地域の安全・安心の確保の為の課題に取り組み社会資本の整備・維持管理に貢献してゆきたいと考えております。

老朽化が進む構造物の点検が本格化する中で、効率的かつ効果的な手法が模索され、今回は橋梁、舗装、斜面、河川の 4 グループで新たにＵＡＶ等を用いた手法にも今後の課題としてトライしておりますし、ｉ－Ｃｏｎｓｔｒｕｃｔｉｏｎが進む中で点検にもデータベース化が求められてゆくものであると感じております。

前回の 27 年の発表同様に、今回も県内技術者の皆様には大変な労力をかけて作成に取り組んでいただいたことに深く感謝申し上げ、この研究成果をこれからの実務に大きく活かし、皆様からの信頼、信用が得られる協会となるよう努力してまいりたいと思います。

平成 30 年 6 月

（一社）福井県測量設計業協会

会長　中西誠一郎

まえがき

（一社）福井県測量設計業協会専門部会（建コン）では、「産学官共同研究事業」を活動の柱の一つとしております。本事業は、県内公共施設の維持管理や補修に関する技術的な課題等について、産学官が連携して課題解決に向けての検討を行い、県内技術者の技術向上や新技術の開発に寄与することが目的です。

今回は、平成 28 年度と平成 29 年度の活動期間で、「構造物の維持管理技術に関する研究」と題して、橋梁・舗装・斜面・河川の４つの研究グループを設置して活動を行いました。各グループの研究内容とその成果の概要を、以下に報告します。

１．橋梁グループ

グループ内で意見交換を行い、次の 2 つのテーマで研究方針を定めて取り組んだ。

(1)「UAV を活用した橋梁点検方法に関する研究」では、UAV の現状把握を目的とした現場検証を 2 回実施した。その結果、直近の課題と今後の対応に、次の 3 点を挙げている。

課題 1.飛行技術の向上：操縦スキルを向上させる取り組みが必要である。

課題 2.安全対策の充実：墜落時の措置に物理的な飛行制限が必要である。

課題 3.最新技術の動向調査・研究：継続していくことが有意義である。

(2)「補修補強工事等の橋梁維持管理技術レベルの向上に関する研究」では、現場見学の実施と、工事に際し設計変更が生じた事例等の収集整理を実施した。その結果、次の課題と対応方針を挙げている。

課題 1.問題事例を整理し、活用する仕組みが存在しない：橋梁データベースの構築により、設計と工事の関連付けと課題抽出が必要である。

課題 2.データベースを活用するための整理手段がない：産学官の連携で意見交換会を実施し、整理していくことが有意義である。

２．舗装グループ

舗装修繕の計画的な実施には、車載型 FWD での舗装構造の診断が有効であるが、高価で台数が少なく、当県は保有していない。そこで今回は、経済的で簡易な小型 FWD の実用化に向けての研究を行った。そして、小型 FWD を用いて現地実験を行い、振動の原因を明らかにすること、振動を少なくする修繕工法の目途をつけることを目的とした。研究手順は、次の通りである。

手順 1.調査箇所の抽出：振動による苦情が発生している 11 箇所を抽出した。

手順 2.振動レベルの測定：抽出箇所から現地調査の同意を得られた 9 箇所で測定した。

手順 3.小型 FWD による現地試験：振動レベル測定で要対策と判断した 4 箇所で実験した。

手順 4.評価：小型 FWD による現地試験結果を総括した。

評価後は、今後の課題として次の 3 点を提案している。

課題 1.対策工法の効果確認：工事後に再度測定を行い、対策工法の効果の確認が必要である。

課題 2.データの活用：データの蓄積・分析・評価が、計画時の基礎資料になると考える。

課題 3.計測機器の改善：小型 FWD システム以外のセンサの使用など、改善の余地がある。

３．斜面グループ

既存吹付モルタル斜面の補修に着目した、調査・設計手法の提案を行うことを目的として、設計・施工事例の収集・整理分析と現地調査を実施した。その結果、次の 2 つに関して、それぞれ課題と今後の展望等を挙げている。

(1)「空隙充填の設計から施工における精度向上に向けて」

課題 1. 対象面積の重要度や健全度に応じた調査コア数の設定手法の整備が必要

課題 2. 出来形との差異の縮小には、今後もデータを蓄積（分析）していくことが必要

展望 1. 設計・施工のための技術マニュアル(案)の作成が望まれる。

展望 2. 簡易な調査方法の立案が望まれる。

展望 3. 工事履歴を盛り込んだ斜面台帳の作成（データベース化）が望まれる。

(2)「ひび割れ調査の効率化に向けて」

課題 1. 現行の調査では、安全確保や交通への影響低減、写真データ処理時の効率化が必要。

課題 2. UAV での空撮は、表面が乾燥した状態時が理想的。また安全な範囲で近接撮影を行い、空間分解能を向上させることが望ましい。

展望 1. UAV を活用し、経年変化を 3 次元的に管理する点検作業への適用性の検討が望まれる。

展望 2. 熱画像カメラ搭載の UAV で、空隙などの内部欠損の把握への適用性の検討が望まれる。

４．河川グループ

県管理の河川に着目して、次の手順で研究を進めた。

手順 1. 河川の概要並びに状況の把握

手順 2. 一般的な護岸の被災原因と被災事例の把握

手順 3. 県の河川における被災事例と被災要因の分析、並びに今後の方策の提案

今後の方策では、次の 3 点を挙げている。

提案 1. 大出水に対しては、河川整備を進めることで対策すべきである。

提案 2. 中小河川では、以下の実施で、災害の未然防止、出水時の被害拡大防止が可能と思われる。

・気象情報による降水地域の絞り込みの実施

・弱点となる箇所の重点的な点検と整備の実施

今回、被災事例を整理して、被災を受けやすい箇所の絞り込みを行ったが、今後も絞り込みの精度を上げ、重点的な点検等により災害発生の未然防止に役立てたい。

提案 3. 災害が発生した場合に備えて、仮復旧工法についての知識を高めるつつ、被災を受けやすい箇所には、出水期前に護岸等を保護するような仮設工を設けて安全度を高める工夫が必要である。

本報告書は、以上 4 グループの研究活動の概要と今後の展望・課題についてまとめたものです。

本研究は、平成 28 年 9 月から 30 年 3 月まで実施し、この間、研究員全員参加の全体会議 9 回と、各グループでの活動（現地調査、現地実験および評価など）を実施しました。

大学・高専の先生方や、福井県建設技術研究センター、（公財）福井県建設技術公社、（NPO 法人）福井地域地盤防災研究所からのご参加とご支援に深く感謝する次第です。

本報告書は、現時点の県内での技術の状況をまとめたものが多くなりましたが、県土の安全安心確保の観点から、公共構造物等の維持管理に関する研究はこれからも継続する課題と思われます。

今後、本報告書を通して関係者が現状認識を共有したり、本報告書が課題解決・研究のための一助として活用されることを期待するものです。

平成 30 年 6 月

産学官共同研究事業研究会

産学官共同研究　全体会議　開催一覧

年	回	開催月日	議　題
平成28年	第1回	10月17日（月）	1.運営事務局による議事進行 ・要綱:「平成28年度産学官共同研究事業(案)」の説明 ・運営事務局の紹介と議長の選出 ・研究グループ（橋梁・舗装・斜面・河川）の紹介と人員配置決め 2.各グループに分かれてグループ会議の実施 ・グループリーダー決め（正・副） ・研究対象・目的等の方針決め
	第2回	12月19日（月）	1.事務連絡 ・全体会議の運営方法について ・活動予算について ・CPDについて ・議事録の作成方法について 2.各グループの作業状況報告 ・研究対象(案)の報告
平成29年	第3回	2月20日（月）	1.各グループの作業状況報告
	第4回	5月15日（月）	1.新年度、研究メンバーの異動について 2.各グループの作業状況報告
	第5回	7月24日（月）	1.研究期間（全体スケージュール）の意見調整 2.各グループの作業状況報告
	第6回	9月25日（月）	1.研究期間（全体スケージュール）の大枠決定 2.各グループの作業状況報告
	第7回	11月20日（月）	1.各グループの作業状況報告
平成30年	第8回	1月22日（月）	1.研究期間（報告書とりまとめ準備）の日程調整 2.各グループの作業状況報告
	第9回	5月14日（月）	1.発表会の開催予定について（H30.6.20） 2.各グループ研究成果の内部報告会

産学官共同研究事業　研究会委員

（H28・H29年度実施）

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	区分	ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ/運営事務局	氏名	所属（会社名等）	備考
橋梁G	産	正ﾘｰﾀﾞｰ/事務局（委員）	藤田　貴準	（株）キミコン	
		副ﾘｰﾀﾞｰ	古市　裕介	丸一調査設計（株）	
			宮崎　雄治	（株）川上測量コンサルタント	
			古木　敬三	日光産業（株）	
			福田　育弘	前田工繊（株）	
			清明　邦央	前田工繊（株）	H28年度参加 H29年度はオブザーバー
			臼井　裕喜	（公財）福井県建設技術公社	
			齋藤　高輝	（公財）福井県建設技術公社	
			山内　義康	（公財）福井県建設技術公社	H29年度参加
	学		磯　雅人	福井大学	
			鈴木　啓悟	福井大学	
舗装G	産	正ﾘｰﾀﾞｰ/事務局（委員）	田中　健司	丸一調査設計（株）	
		副ﾘｰﾀﾞｰ	森國　直明	（株）サンワコン	H28年度参加
		副ﾘｰﾀﾞｰ	福島　隆義	（株）サンワコン	H29年度参加
	学		吉田　雅穂	福井工業高等専門学校	
	官		三田村　文寛	(H28まで)福井県建設技術研究センター (H29以降)福井県工業技術センター	
斜面G	産	正ﾘｰﾀﾞｰ	竹内　孝朗	（株）サンワコン	
		副ﾘｰﾀﾞｰ	岡田　元	（株）エイコー技術コンサルタント	
		事務局（委員・議長）	西尾　忠	（株）構造設計研究所	
			松見　義信	京福コンサルタント（株）	
			野尻　敏也	日光産業（株）	
			小林　洋文	前田工繊（株）	
	学		小林　泰三	(H28まで)福井大学 (H29以降)立命館大学	H28年度参加 H29年度はオブザーバー
			澤崎　雅之	福井工業大学	
			辻野　和彦	福井工業高等専門学校	
			藤本　明宏	福井大学	H29年度参加
	官		林　泰正	福井県工業技術センター	H29年度参加
河川G	産	正ﾘｰﾀﾞｰ/事務局（委員長）	野坂　和典	中央測量設計（株）	
		副ﾘｰﾀﾞｰ	佐野　淳	ジビル調査設計（株）	
			百田　昌弘	（株）エイコー技術コンサルタント	H28年度参加
			南本　政司	前田工繊（株）	
	学		荒井　克彦	NPO福井地域地盤防災研究所	
	官		流　守博	(H28まで)福井県土木管理課 (H29以降)福井県建設技術研究センター	H28年度参加
			野村　吉範	福井県工業技術センター	H29年度参加

全体の目次

発刊にあたって

まえがき

全体会議 開催一覧

研究会委員

第１編　橋梁グループ

第２編　舗装グループ

第３編　斜面グループ

第４編　河川グループ

あとがき

本報告書は、（一社）福井県測量設計業協会 HP（//www.fukusoku.jp/）でダウンロードできる。

第１編　橋梁グループ

橋梁グループ　目次

はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1-1

第 1 章　UAV を活用した点検方法に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-2

1.1　橋梁点検における新技術活用の現状

1.2　研究方針

1.3　UAV の現状把握を目的とした現場検証

1.4　UAV を用いた橋梁点検に関する現場検証

1.5　今後の課題と対応方針

第 2 章　橋梁維持管理技術向上に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1-18

2.1　橋梁維持管理技術の現状

2.2　研究方針

2.3　現場見学

2.4　事例整理

2.5　今後の課題と対応方針

第 3 章　参考資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-33

【参考資料.1】概要版

はじめに

全国で 73 万橋あるといわれている橋梁の多くが、高度経済成長期に建設されていることから、今後、老朽化した橋梁の安全性確保が問題視されている。

そこで、我が国では H26 年度に道路法施行規則の一部を改正し、5 年に 1 回の近接目視による定期点検を義務付けている。現在の近接目視による定期点検は、橋梁点検車やロープアクセス技術等を用いて実施されているが、交通規制や技術者不足などの諸問題により、新技術の開発・導入による省人化・効率化が求められている。そこで、今回、橋梁グループにおいては、近年、災害現場の状況把握や施工現場での盛土管理等で実用化されている、UAV（英: Unmanned aerial vehicle, UAV　無人航空機　通称：ドローン　英: drone　）を活用した点検方法に関する研究を目標の一つとして掲げた。

また、老朽化橋梁については近年、補修補強工事が盛んに実施されているが、補修補強工事は対象となる橋梁の形式、状態等、様々な制約を受けることが多く、多くの経験と高い技術力が要求される。そのため、橋梁維持管理技術レベルの向上に関する研究を行った。

第1章 UAV を活用した点検方法に関する研究

1.1 橋梁点検における新技術活用の現状

1.1.1 UAV 活用の現状

現在、国土交通省が定めている点検要領では近接目視が原則である。しかし、国土交通白書2014において「将来を見越し､厳しい財政状況や技術者の不足といった制約のなかで、今後の社会インフラの老朽化に適切に対処していくためには、インフラの効率的な維持管理を可能とする新技術の開発・活用を進めていくことが重要である」と記されいる。事実、国土交通省が提唱する次世代インフラ用ロボット開発における 5 つの重点分野のひとつとして、近接目視の支援および代替技術としてカメラによる点検（UAV を含む）に関する研究・技術開発が挙げられる。

国土交通省および経済産業省が公募した「平成 27 年度次世代社会インフラ用ロボット(維持管理・災害対応）開発・導入の推進」の「橋梁維持管理技術　現場検証・評価の結果」において、点検要領に基づく近接目視の代替または支援ができる技術・システムとしていくつか紹介されているが、この中で橋梁に近接するために飛行体（UAV）にカメラを搭載する技術については、現時点では従来技術の近接目視による調査レベルには至らないとの報告がなされている。しかし、技術革新が急速に進む昨今、そう遠くない将来に実用に耐えうる UAV 関連技術の開発が行われることは想像に難くない。

1.1.2 UAV 活用方法

（1）三次元点群データの概要

UAV を橋梁点検に活用するための基本的な事項である点群データについて以下に整理する。点群データとは、コンピュータ上で扱う点の集合体を指す。ひとつひとつの点がそれぞれ X、Y、Z の座標データおよび R、G、B の色データ等を有しており、これらの点が集合体（何万・何億単位）となることで地形や構造物を立体的に表現することが可能となる。UAV の最大の特徴として、地上からでは把握できない点群データを取得することにより地形や建物を立体的に捉えることが可能となる。

(2) 三次元点群データの取得方法と特徴

点群データの取得方法は以下の 2 つに大別できる。本研究においては一般的に用いられている方法①を用いるものとする。

方法①　写真データから点群を生成する方法
メリット　：比較的安価な方法である。
デメリット：可視部分のみの再現となるため、仮に障害物（草、木等）が存在する場合は障害物の点群を取得することとなり、求めたい形状を再現することが困難となる。

方法②　3D レーザースキャナを用いて直接点群データを取得する方法
メリット　：障害物（草、木等）が存在する場合、多数照射されるレーザーのうち、一部のレーザーが障害物間をすり抜け、地表面をとらえることにより、求めたい表面形状を忠実に再現することができる。
デメリット：重量面から市販の UAV では搭載できないため、実施には膨大な投資が必要である。

1.1.3　その他の新技術活用の現状

なお、UAV 以外の新技術として産学官共同研究参加会社であるジビル調査設計株式会社において「橋梁点検カメラシステム視る診る（以後、「視る診る」と称す）が開発されている。本技術は国土交通省の検証結果において最高評価の「Ⅰ.試行的導入に向けた検証を推奨する」との評価を受けている。今回、橋梁グループではジビル調査設計株式会社の全面的な協力のもと、「視る診る」に関する技術講演会および現場見学会を開催し、当部員をはじめ参加者らの橋梁点検の新技術に対する知見を高めた。講演会概要としては下記の通りである。

【ジビル調査設計㈱「視る診る」に関する講演】
題　目：橋梁点検支援のための次世代インフラロボットの開発と現状性能について
日　時：平成２９年５月１２日（金）１３：３０ ～
場　所：測量会館　２階
講　師：ジビル調査設計㈱　調査部　南出重克氏
参加者：計２８名

（1）講演内容

①経緯及び実績

「視る診る」は橋梁点検車の使用が困難である橋梁の点検作業を目的に、平成２０年度より開発を着手しており、平成２１年から平成２６年の間で、全国２２０橋の点検を実施している。

しかし、平成２６年６月に橋梁定期点検要領が改訂され、近接目視が原則となったことから「視る診る」などの橋梁点検支援ロボットの使用が困難になった。平成２７年以降は橋梁点検の補完手法として活用され、総点検実績は２７８橋となる。構造形式としては複数回の改良を重ねて、現在のクローラ式（自走式）を採用している。

②構造特徴

「視る診る」の特徴として、下記が挙げられる。

① 幅員が狭い歩道橋やトラス橋等、橋梁点検車の使用が困難である橋梁の点検が可能
② 橋面での作業となるため、点検員の安全性向上やストレス減少による精度向上
③ ライブ画像（静止画、動画、音声を含む）により、個人差による点検結果のバラつきが減少
④ 画像撮影の他に回転式打音装置及びクラックゲージシステムによる調査が可能

③技術の位置付け

国土交通省および経済産業省が公募した「平成27年度次世代社会インフラ用ロボット（維持管理・災害対応）開発・導入の推進」の「橋梁維持管理技術　現場検証・評価の結果」に参加し、「視る診る」は最高評価の「Ⅰ.試行的導入に向けた検証を推奨する」との評価を受けている。現在国土交通省が直轄管理する橋梁において試験的導入に向けた最終検証に向けて準備中である。

平成２６年の検証当初は、作業員による点検の代替えとしてロボット活用を想定したが、平成２７年以降は完全な代替えは困難と判断し、作業員の支援・補完的な立場でロボット技術の活用を検討している。

(2) 質疑応答等

講演の後、質疑応答を行った。結果は下表の通りである。

質問	回答
点検に必要な桁下空間は。	１.５ｍ以上必要。
業者向けに販売は可能か。	現状では販売は行っていない。
導入した場合は見積り対応となると思うが、標準積算との費用の差額はどうか。	一概に言えないが、大型橋梁点検車と比較すれば半分以下の費用と考えている。
国交省の評価、試行的導入については、あくまでも点検作業の支援、補完的な手法としてのことか。	その通りである。

講義状況

(3) 実機見学

講義終了後に実機を用いて説明を頂いた。

「橋梁点検カメラシステム視る診る」見学状況

(4) 考察

上記講習会を通じて、新技術の現状として下記のことが明らかとなった。UAV に関する研究についてもこの現状を十分に理解したうえで進める必要がある。

- 新技術の導入は求められているが、近接目視が基本となって以降、実績は伸び悩んでいる。
- 新技術は代替え手段ではなく、補完手段として検討されている。
- 新技術は完成されたものではなく現在も検証段階であることが明らかとなった。

1.2 研究方針

UAV 及びその他の新技術に関する基本事項や現状を踏まえた上で、研究方針について橋梁グループ内で意見を交換した。その一部を以下に記す。

- UAV を用いて点検業務を実施した実績がない。そのため、実際に UAV を用いて橋梁点検を実施してみてはどうか。
- 近年の UAV 活用事例としては、施工現場における盛土管理が挙げられる。UAV の利点や問題点を整理するにあたり、実務において UAV を活用している施工業者にヒアリングしてはどうか。
- 本産学官共同研究メンバーの中で UAV について専門的に研究されている、福井高専の辻野准教授にご協力いただき、UAV に関する現状及び課題等についてご講演いただくのはどうか。
- 現時点における UAV の活用目的としては､あくまでも点検作業の支援､補完となる。支援の具体的な方法として、スクリーニング手段として活用できると考えられ、その手法について検証するのはどうか。(例えば UAV による点検により、重要点検箇所の抽出を行う等)。

以上の意見を踏まえて、橋梁グループの研究方針としては、UAV の操縦及び UAV を用いた橋梁点検を実施することで、UAV を橋梁点検に適応する場合の現状および課題等について体感し、整理することとした。

具体的には UAV の現状把握を目的とした現場検証を、2 回に分けて実施した。

まず 1 回目の現場検証においては、UAV の現状把握を目的とし、性能の異なる 2 機の UAV を用いて、橋梁点検への適用性を比較するとともに、実際に UAV カメラを使用し撮影を試みた。

2 回目の現場検証においては、UAV を用いた橋梁点検に関する現状把握を目的とし、福井高専辻野准教授のご協力のもと、近接目視点検の実績のある橋梁に対して UAV を用いて撮影を行い、近接目視による点検結果と UAV 撮影画像との比較を試みた。

1.3 UAV の現状把握を目的とした現場検証

1.3.1 概要

UAV の現状把握を目的とし、カメラ性能が異なる 2 機の UAV を用いて、機器の性能差を比較するとともに、実際に UAV カメラを使用し構造物（樋門）の撮影を試みた。

（1）現場条件

日　時：平成２９年６月１３日（火）　１３：３０～
場　所：福井市布施田町　江上排水機場付近
参加者：計１６名
天　候：晴れ

第１回現場見学会場位置図

(2) 使用機材の概要

①Inspire1

メーカー： DJI

所 有 者： 丸一調査設計（株）

特　　徴： 機体重量 2870ｇで最大離陸重量 3400ｇ。一般用 UAV としては、同社ファントムに比べ、機体重量が 2 倍重く飛行時の安定性が高い。

カ メ ラ： 搭載可能な機材は純正カメラ（有効画素数：1200 万画素）に限る。

Inspire1 全景写真

②Matrice　600Pro

メーカー： DJI

所 有 者： （株）川上測量コンサルタント

特　　徴： 産業用 UAV である。機体重量 10ｋｇで最大離陸重量 15.5ｋｇであるため、より解像度が高い市販のデジタルカメラを搭載可能である。

カ メ ラ： SONY 製のフルサイズミラーレス１眼カメラ(有効画素数:4200 万画素)。

Matrice　600Pro 全景写真

1.3.2　橋梁点検への適用性検証

（1）概要

ここでは、主に飛行性能やカメラ性能（ジンバル機能含む）の違いについて検証する。ここで、ジンバルとはカメラが水平を維持するための装置であり、センサーを用いて機体の傾きを感知し、小型モーターにより補正を行うものである。

（2）検証結果

各々の機体のカメラ機能・飛行性能の検証結果は以下のとおり。

①Inspire1

飛行可能時間：　バッテリー1 個を使用して、約 15 分間飛行可能。
飛行可能風速：　カタログスペック上は風速 10M/s 未満まで飛行可能であるが、丸一調査設計（株）では安全面を考慮し、飛行可能風速を風速 5M / s 未満としている。
撮影可能方向：　下向きおよび横向き
撮影最大高度：　参考として、「UAV を用いた公共測量マニュアル（案)」を満足するためには、撮影高度を 23m 程度とする必要がある。

②Matrice　600Pro のカメラ機能・飛行性能の検証結果

飛行可能時間：　バッテリーを 1 回の飛行に 6 個使用し、約 16 分間飛行可能。
飛行可能風速：　カタログスペック上は風速 8M/s 未満まで飛行可能であるが、（株）川上測量コンサルタントでは安全面を考慮し、飛行可能風速を風速 5M / s 未満としている。
撮影可能方向：　下向きのみ。
撮影最大高度：　参考として、「UAV を用いた公共測量マニュアル（案)」を満足するためには、撮影高度が 80m 程度となる。

（3）考察

Inspire1 の純正搭載カメラは、Matrice 600Pro に搭載されている市販のフルサイズカメラと比較した場合画質性能は劣る。カメラが高画素であれば、遠方からにおいても変状を詳細に把握可能であるため、作業の省力化につながる。一方、I nspire1 は Matrice 600Pro と比較して、小型軽量で機動性に優れており、バッテリーの消費も少ないというメリットがある。例えば使用目的が状況確認程度であれば Inspire1 においても十分であるし、損傷を確実に確認したいのであれば Matrice 600Pro が優位であろう。ただ、いずれにせよ、両者とも市販の状態では真上方向の撮影は不可能であるため、桁下の撮影は不可能である。

上記のように点検箇所、使用目的等を勘案して、機器の選定を行う必要がある。

1.3.3　自動飛行撮影の適用性検証

（1）概要

UAV の特徴として自動飛行撮影機能が挙げられる。操作用タブレットに飛行ルート、高度、撮影ポイント等を入力することにより、離陸後は自立飛行及び自動的撮影が可能となる機能である。なお、一度作成した飛行ルートは保存することも可能であるため、異なるオペレーターが操縦したとしても、同様のルートによる飛行が可能となる。

定期点検業務において、このような属人的影響を受けないことから高い再現性が確保できる点は、変状の追跡調査を実施するうえで非常に大きな利点といえる。さらに、操作が簡便となり、飛行自体には特別な技能が不要となる点もメリットであるといえる。

（2）検証結果

各々の機体の自動飛行撮影の検証結果は以下のとおり。

①Inspire 1

DJI 社製純正自動飛行アプリ「DJI GSPro」を使用している。撮影範囲、撮影高度、写真のラップ率等を指定することにより、オートパイロット機能によって正確な自動飛行撮影が可能である。ただし、安全面を考慮して丸一調査設計（株）においては橋梁をはじめ、構造物への近接飛行は実施していない。

②Matrice　600Pro

純正の飛行制御ソフトウェアは制限が多いことから、現場の条件に合わせて他社製のソフトウェアを数種類使い分けている。こちらも安全面を考慮して（株）川上測量コンサルタントにおいては橋梁をはじめ、構造物への近接飛行は実施していない。

（3）考察

Inspire 1 においては純正自動飛行アプリによる自動飛行撮影が有効に機能したが、Matrice　600Pro では制限された。理由として、前者は機体・カメラ・ソフトウエアが同一メーカーで統一されているため互換性が高いが、後者は、高画素対応の純正以外のカメラを搭載しているため、カメラと純正ソフトウェアの互換性に問題があったためと推定される。ただ、いずれにせよ、安全面を考慮し構造物への近接飛行を実施していないことから現段階において橋梁点検への適用は困難であると考えられる。

1.3.4　撮影結果

Matrice　600Pro を用いて撮影した写真及びそれを三次元形状復元処理したものを以下に示す。直上空約 40m からのみの撮影であるため、樋門正面の画像は欠落しており、また詳細処理を実施していないため若干の湾曲が認められる。

撮影写真

三次元形状復元処理

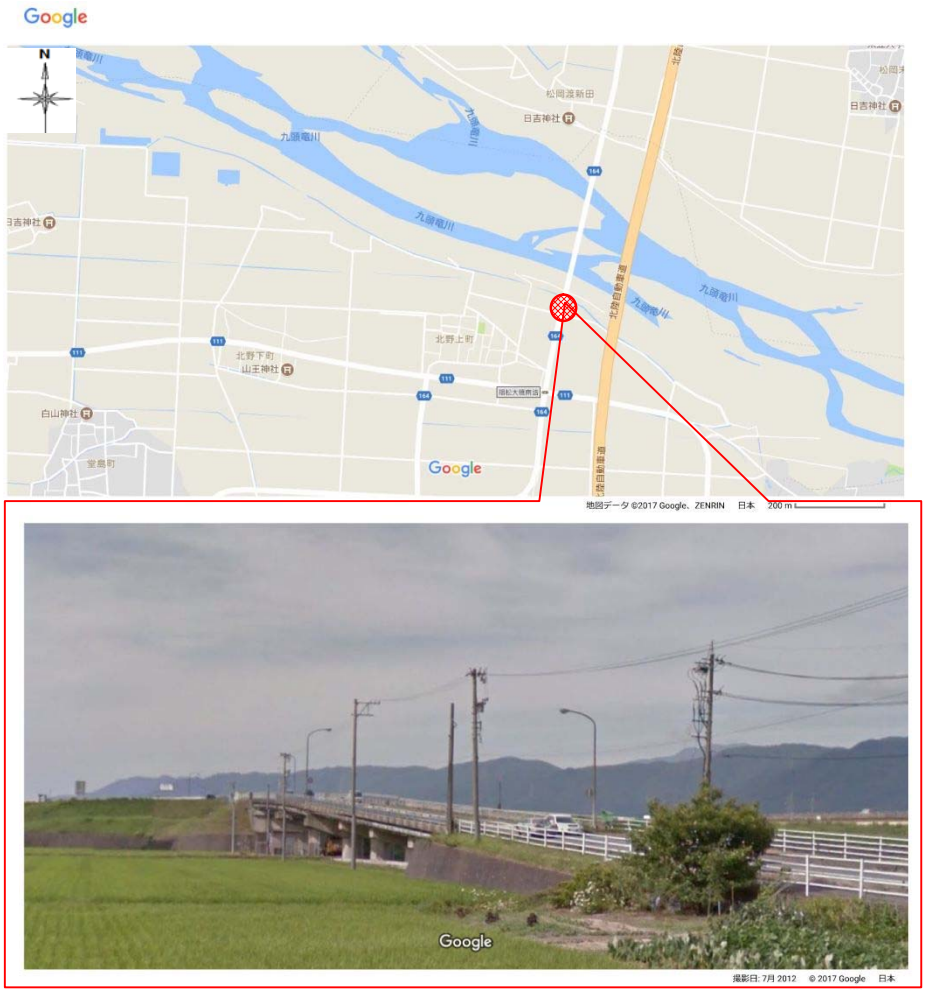
1.4　UAV を用いた橋梁点検に関する現場検証

1.4.1　概要

近接目視による点検が完了している橋梁に対して、UAV を用いて撮影を行い、点検結果との撮影画像との比較を試みた。

（1）現場条件

日　時：平成２９年９月１３日（火）　１３：３０～
場　所：福井市北野上町　県道 164 号線 北野橋
参加者：計９名
天　候：晴れ



第 2 回現場見学会場位置図・写真

(2) 使用機材の概要

①カスタマイズ機

メーカー： ー
所 有 者： 福井高専辻野研究室
撮影方向： 上向き方向
特　　徴： 本機は一般に市販されている UAV ではなく、様々な部品・装置を組み合わせて特別に製作された機体である。最大の特徴として、機体上部に上向きに撮影可能なジンバルが設置されているほか、機体下部にもカメラが 2 台（うち 1 台は近赤外線カメラ用）搭載可能なジンバルが設置されている。なお、搭載可能な機器の総重量は約 600 g 、飛行時間は約 15 分である。
カ メ ラ： 今回搭載されたカメラは、CANON 製のコンパクトデジタルカメラであり、有効画素 1200 万画素、解像度は撮影距離 30m 程度で 1 画素あたり 1cm となる。

②Phantom

メーカー： DJI
所 有 者： 福井高専辻野研究室
撮影方向： 水平方向
特　　徴： 本機は DJI 社製の UAV であり、ユーザー数が多い機体である。小型軽量で機動性に優れており、飛行可能時間は約 20 分間である。
カ メ ラ： 搭載されている純正カメラの解像度は撮影距離 23m 程度で 1 画素あたり 1cm となる。

カスタマイズ機（上向き方向撮影用）

Phantom（水平方向撮影用）

1.4.2　UAV による空撮結果

（1）上向き方向の撮影（桁下）

カスタマイズ機を用いて、桁下から真上方向の近接撮影を試みた。しかし、桁下空間でのホバリングが安定せず、安全面を考慮して複数枚撮影した段階で撮影を中断した。

部分的ではあるがカスタマイズ機が撮影した画像を以下に示す。添付画像では分り難いが、写真ソフトを使用して画像拡大を行うことにより、ひび割れ等の変状を確認することは十分に可能であった。

上向き方向撮影状況

UAV その 1 による桁下近接写真

（2）水平方向の撮影（地覆部側面）

次に Phantom を用いて、地覆側面部の撮影を試みた。だが、こちらも飛行中に通信エラーが表示され、アンコントローラブルな状態に陥る状態が散見された。このため安全面を考慮して、一部区間を撮影した段階で撮影を中断した。Phantom が撮影した画像を以下に示す。こちらも解像度は十分確保されているといえる。

水平方向の撮影状況

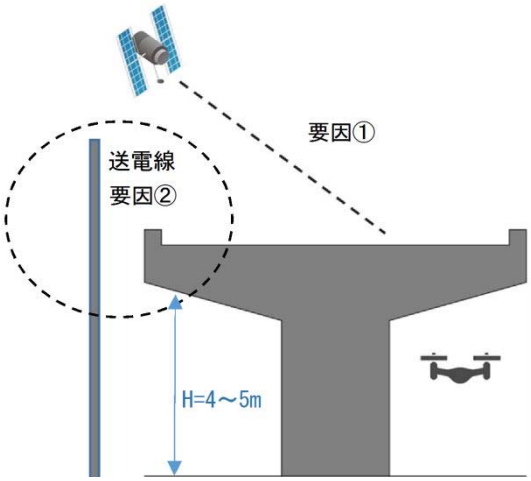
UAV その 2 による地覆部近接写真

1.4.3　考察

今回の現場検証の結果、橋梁点検車等を用いて近接撮影した写真と遜色ないものを UAV によって撮影が可能といえた。そのため、点検者が簡単に寄り付けない危険箇所などにおいて、UAV は安全面や仮設費用面から適用性が高いといえる。一方で、今回カスタマイズ機、Phantom ともに安定しない中での飛行が要求され、構造物に近接するためには UAV の高い操縦技術が要求されることが体感できた。

不安定となった要因として、偶発的なメカトラブルやソフトウェアのエラー以外に、現時点では以下の点が考えられる。

- 要因① 桁下ということもあり、GPS の受信環境が悪化したこと。
- 要因② 送電線が隣接しており、誘起電圧（磁束の変化により生じる電圧）による電子回路の誤作動、電磁波や磁場の影響によるコンパスの狂いなどが生じたこと。



不安定要因イメージ図

現場状況

1.5 今後の課題と対応方針

以上を踏まえ、今後、UAV を活用する上での直近の課題とそれに関する対応方針について以下に記す。

（1）飛行技術の向上

UAV は GPS を利用して自動飛行やホバリングが容易にできることが利点である。しかし、桁下等 GPS 信号が受信し難い環境下ではその機能を発揮することができない。このため、GPS が受信不可能な環境であっても安定した飛行が行える操縦技術の習得が必要である。

今後の対応としては、日常的に GPS を OFF モードにしての飛行訓練や安価なトイドローンを用いた室内練習の実施など、操縦スキルを向上させる取り組みが必要と考えられる。

（2）安全対策の充実

UAV が万が一、構造物等に接触した場合でも墜落を防止できる対策や、最悪墜落した場合でも第 3 者に被害が及ばないための措置が必要である。

今後の対応としては、ポール等による機体（特にプロペラ）の保護や UAV にケーブルを設置する等、物理的な飛行制限（有線 UAV 等）が挙げられる。

（3）最新技術の動向調査・研究

UAV については、今回の研究で明らかとなったように、近接の手段として利用するにあたって電波や接触の問題があるものの、これらの問題について NEDO では研究開発が進んでいる。

また、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）における「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一つとして、コンクリートの画像診断技術が挙げられ、今後、これらの技術開発が進めば、

UAV で撮影した画像からのひび割れの定量評価が期待できる。よって、当グループにおいては、今後、このような新技術に関する調査・研究についても行っていくことが有意義であると思われる。

第 2 章　橋梁維持管理技術向上に関する研究

2.1 橋梁維持管理技術の現状

橋梁維持管理技術に関する現状及び課題について、橋梁グループ内で意見を交換した。その一部を以下に記す。

- 橋梁補修設計は設計業務の中でも知見が比較的少なく、技術的に確立されていない工種も存在する。例えば鋼橋の塗装塗替え工事に関して近年環境に特段の配慮が必要となり、技術の進歩が目覚ましい。よって、このように橋梁補修に関する新技術について整理するのはどうか。
- 補修工事を行うに当たり、設計図通りに施工が行えない現場が見受けられる。そのため、一般的な補修現場を見学し、補修工事の実態や問題点を施工業者からヒアリングし、参考資料として取りまとめてはどうか。また、工事において変更が必要となった事例を整理し、提供してはどうか。
- 橋梁に関する点検マニュアルの完成度は高いが、一部判断が難しい点があると思われる。そのため、点検マニュアルの補足資料として、判断基準例を整理し、資料としてまとめてはどうか。

2.2 研究方針

上記意見を踏まえて、下記事項について取り組むこととした。

① 橋梁補修の実態を把握するため、試験施工現場や橋梁補修工事現場を見学する。その際、補修工事の実態や問題点を施工業者からヒアリングを行う。
② 次に点検・調査時の留意点及び工事に際し設計変更が必要となった事例等について資料を収集整理し、再発防止のための一資料として提供する。

2.3 現場見学

2.3.1 塗膜剥離剤適性試験現場見学

橋梁塗膜には鉛、クロム（化合物を含む）、PCB 等の有害物が含まれている場合があり、近年塗装除去方法及び除去した塗膜の処理方法等が問題となっている。鋼橋の塗装塗り替え時に利用される塗膜剥離剤の適性試験を見学し、塗膜剥離の実施工、懸案事項・問題点などについて見識を深めた。

（1）現場条件

日　時	：	平成２９年１月１８日（水）　１３：３０～
場　所	：	主要地方道　丸岡川西線　舟寄１号橋
参加者	：	計８名
塗装年月	：	１９９４年３月
既存塗装	：	下塗塗料 鉛系錆止めペイント１種　１回
		中塗塗料 長油性フタル酸樹脂系塗料１回
		上塗塗料 長油性フタル酸樹脂系塗料
		試験位置での現況塗装塗膜厚 １８０μm～２６３μm
外気状況	：	気温 8℃　湿度 54%

第１回現場見学会場位置図

(2) 試験概要

山一化学工業㈱ 石井氏 より当該適性試験の概要、使用材料、試験方法、試験経過等について説明を受けた後、質疑応答を行った。

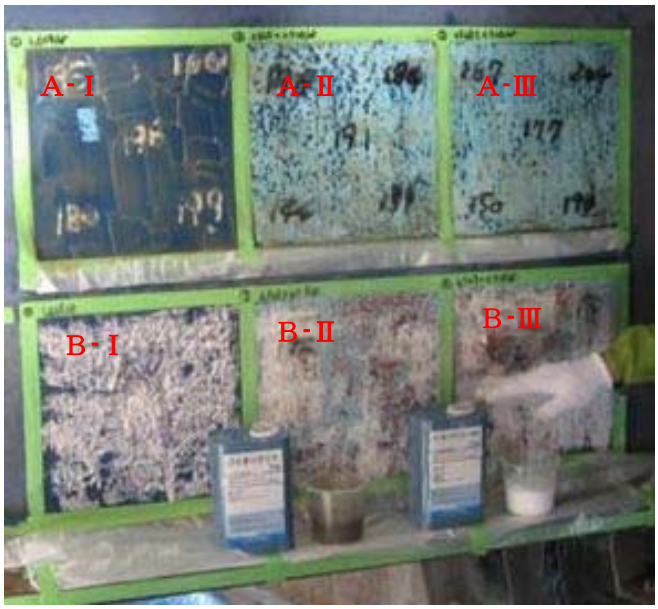
① 使用材料

A アルコール系塗膜剥離剤 バイオハクリ X（NETIS 登録 No.KT-140050-A）

B 水系塗膜剥離剤 バイオハクリ X-WB （NETIS 登録 No.KT-160043-A）

② 試験方法

下図に示すように、ウェブ部において使用材料ごとに単位面積当たりの塗布量及び塗布回数を変化させ、最適な組み合わせを決定する。



試験状況

組み合わせ一覧

A－Ⅰ 1kg/㎡	A－Ⅱ 0.8kg/㎡ +0.5kg/㎡	A－Ⅲ 0.5kg/㎡ +0.5kg/㎡
B－Ⅰ 1kg/㎡	B－Ⅱ 0.8kg/㎡ +0.5kg/㎡	B－Ⅲ 0.5kg/㎡ +0.5kg/㎡

※上段は試験ケース、下段は塗布量
+は二回目の塗布量

③ 試験結果

- 使用材料Aは剥離効果がほとんど見られない。
- 使用材料Bにおいて、B－Ⅰ（１回塗り）とB－Ⅱ、B－Ⅲ（２回塗り）とを比較した場合、後者（２回塗り）のほうが効果が大きい。
- B－Ⅱ・B－Ⅲについて塗布後の放置時間や３回塗りについて検討し、最適方法を決定する。

④ 質疑応答

質問	回答
水系塗膜剥離剤の特徴はなにか。	消防法上、非危険物として取り扱える点である。
塗布作業に特別な資格は必要か。	特に資格は必要ない。塗装工としての技能があれば作業上支障はない。
気温が低いと剥離効果は下がるのか。また、凍結しないのか。	気温が低いと剥離効果は下がる。気温５℃の場合塗膜への浸透は遅延する。湿度 85%以上の場合施工不可。現在までに塗布後の凍結は確認されていない。 材料試験によると－５℃を下回ると凍結し、凍結するとゲル状になり温度が上昇しても元には戻らない。
本塗膜剥離剤の有用性は何か。	塗膜を湿潤シート状態で剥離・回収することが可能であるため有害物の飛散が無い点が挙げられる。
剥離しにくい材料はないのか。繊維シートの剥離には有効か。	黒皮は剥離不可能であり、鉛丹さび止めペイント、無機ジンクリッチプライマー等は剥離に時間を要す。基本的に樹脂系材料に対して効果を発揮する。 繊維シートのような厚いものには不向き。また、コンクリート構造物の不陸整正材（パテ）も剥離できない。
廃棄物重量の算出方法は。	除去した塗膜の重量を計測することにより算出する。今回の場合、115ｇ/0.09 ㎡＝1.2kg/㎡
剥離後の残存した塗膜の処理方法は	ブラスト工法や電動工具等を用いて素地調整を実施する必要がある。ただし、残存塗膜が無い場合においても塗替え塗料の接着性向上のため素地調整は必須である。前述の鉛丹さび止めペイント、黒皮等は残存する可能性が高く、除去工法の検討に加え、別途有害物質飛散防止工法の検討が必要となる。そのため、事前調査を実施しない場合、発注後に大幅な数量変更の可能性がある。

(3) まとめ

橋梁塗装塗替えの現状について確認し、事前調査の重要性について理解を深めた。また法改正並びに新技術について常に最新の情報を収集することが必要と思われる。

2.3.2　橋梁補修工事現場見学会

実際の橋梁補修工事の現場 2 箇所を見学し、補修設計を実施する際の留意点等について検討を行った。

（1）現場条件

現場①

日　時　：　平成２９年１０月１７日（火）　９：００～
場　所　：　大野市下半原（林谷橋）
参加者　：　計５名
工事概要：　工場製作工（鋼製支承、主桁補強材・仮受け部材）
橋梁補修工（鈑桁補修工、支承取替工、仮受部材取付工、橋座補修工、塗装塗替え工、伸縮装置取替工、仮設工）

第 2 回現場見学会場位置図　その 1

現場②

日　時	：	平成２９年１０月１７日（火）　１０：００～		
場　所	：	大野市　黒当戸（細ヶ谷橋）		
参加者	：	計５名		
工事概要	：	①舗装補修工	196.9m2	②地覆補修工　1 式
		③伸縮装置取替工	8.0m	④胸壁・桁・遊間確保工　1 式
		⑤断面修復工	1 橋	⑥ひび割れ補修工　1 橋
		⑦配水管延長工	8 カ所	⑧防護柵補修工　1 式

第２回現場見学会場位置図　その２

(2) 留意事項

工事に際し設計変更を行った工種について以下に整理する。なお、その他工事概要については巻末の議事録を参照されたい。

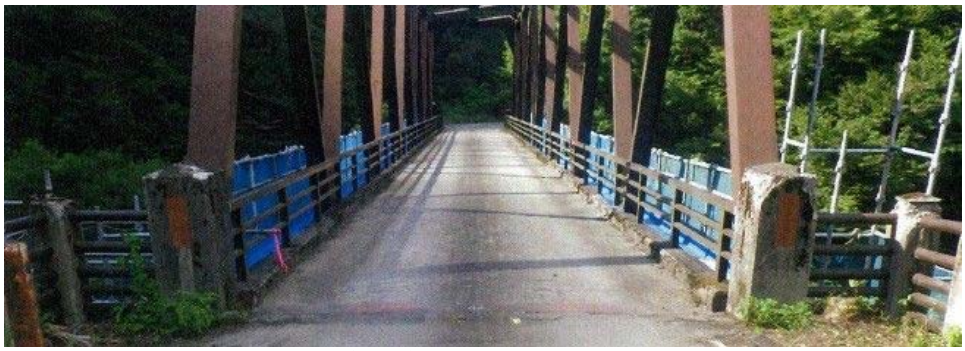
①舗装補修工

【工事内容】

- コンクリート舗装はつり撤去（平均厚 8cm）
- 橋面防水工
- アスファルト舗装復旧

【問題点】

- 舗装撤去工は当初機械切削となっていたが、幅員が狭く切削機が搬入できなかったため、人力施工に変更を行った。
- 防水材は当初シート防水が計画されていたが、舗装撤去後の床版上面は不陸が多いため、塗膜防水に変更を行った。



着工前橋面状況

施工状況写真

(3) まとめ

本現場見学を通じて一般的な補修工事に関する知識を習得することができた。また、一例ではあるが、設計変更の事例についてヒアリングが行えたため、これを今後の設計業務へフィードバックすることにより、施工時の設計変更手間が削減できるものと考えらえる。

2.4 事例整理

次に点検・調査時の留意点及び工事に際し設計変更が必要となった事例等について資料の収集整理を行った。

2.4.1 点検業務

橋梁点検業務においては橋梁定期点検要領等に基づき実施するが、損傷評価を行う際、判定に迷うことがある。また、損傷によってはその要因が重要となることもあるため、ここでは特に留意すべき判断ポイントについて以下に整理する。

(1) 腐食及び防食機能の劣化

基本的に板厚減少（減肉）を伴う錆の発生を「腐食」として扱い、板厚減少等を伴わない程度の軽微な錆の発生については「防食機能の劣化」として扱う。福井県では「防食機能の劣化」については判定を１～２、「腐食」は３以上と評価するものとしている。腐食状況が塗膜を損傷させ、母材に影響を及ぼしているかどうかを見極めることが重要である。

腐食及び防食機能の劣化の事例

(2) 亀裂

鋼材の亀裂損傷の原因は外観性状のみでは判定不可能であることが多いため、位置や大きさなどに係らず、鋼材表面に現れたわれは全て「亀裂」として扱う。鋼材のわれや亀裂の進展により部材が切断された場合は、「破断」として扱う。鋼材に発生した亀裂については、車両との衝突や材料劣化（経年劣化）で生じたものなのか、もしくは構造的に問題があり発生したものなのか、発生原因を推定することが重要である。なお、亀裂が確認された場合、速やかに監督職員に報告するものとし、橋梁点検員又は橋梁検査員のみの判断でグラインダー等による削り込みを行ってはならない。

亀裂の事例

(3) ゆるみ・脱落

ボルトにゆるみが生じている状態及びナットやボルトが脱落している状態を指す。ボルトが折損しているものも含む。普通ボルト、高力ボルト、リベット等の種類や使用部位等に関係なく、全てのボルト、リベットが対象となる。高力ボルトのうち、 特に F13T、F11T は、遅れ破壊を生じる可能性があるため注意が必要である。

F13T：1967 年に JIS から削除され、1972 年に道路橋示方書から削除。

F11T：1980 年に道路橋示方書から削除。

F 13T、F11T が確認され、第三者被害が懸念される場合は、対策として連結キャップ・ネット等の追加が一般的である。ボルトについては接合形式（摩擦、引張、支圧）を考慮し評価することが重要である。例えばリベットについては、頭部が腐食し断面欠損が生じた状態であっても、接合部が緩んでいなければ支圧接合力を保てるため、取り替えの必要はない。

ゆるみ・脱落の事例

（4）剥離・鉄筋露出

コンクリート部材の表面が剥離している状態を「剥離」、剥離部で鉄筋が露出している場合を「鉄筋露出」という。「剥離・鉄筋露出」には露出した鉄筋の腐食、破断などを含むものとし、「腐食」、「破断」などの損傷としては取り扱わない。特に損傷度の判断が難しい損傷であり、損傷程度（鉄筋減肉 or 破断）、範囲（部分的 or 広範囲）、環境、進行度、鉄筋の種類（主筋 or 帯鉄筋）等、様々な情報の中で総合的に判断する必要がある。

剥離・鉄筋露出の事例

（5）漏水・遊離石灰

コンクリートの打継目やひび割れ部等から水や石灰分の滲出や漏出が生じている状態をいう。排水不良などでコンクリート部材の表面を伝う水によって発生している析出物は、「遊離石灰」とは区分して「その他」として扱う。また、外部から供給されそのままコンクリート部材の表面を流れている水については、「漏水・滞水」として扱う。主桁間の間詰めに生じている「漏水、遊離石灰」については、主桁ではなく「間詰め床板の損傷」とし

て扱う。遊離石灰そのものが構造物の耐久性を損なうものではないが、発生箇所への水の浸入経路を把握することが重要である。錆汁を伴うような着色した遊離石灰が確認された場合は、注意が必要である。

漏水・遊離石灰の事例

（6）漏水・滞水

伸縮装置、排水施設等から雨水などが本来の排水機構によらず漏出している状態や、桁内部、梁天端、支承部などに雨水が侵入し滞留している状態をいう。コンクリート部材内部を通過してひび割れ等から流出するものについては、「漏水・遊離石灰」として扱う。下部工における漏水や支承部、橋座における滞水の主な原因としては、橋面防水の未施工や伸縮装置の損傷であることが多い。現状で下部工等への損傷は小さくても漏水、滞水の主たる原因を追究することが重要である。

漏水・滞水の事例

（7）その他

橋梁に付随する道路照明設備の点検については、照明の台座、アンカーボルト類はもちろんのこと、灯具の落下防止のための点検を実施する必要がある。つまり、第三者及び利用者に被害が及ぶ恐れがあるものについては、全て点検対象とする。添架物については取付金具等を対象とし、添架物本体の損傷については管理者に報告するものとする。

2.4.2　調査業務

橋梁補修設計に際し一般的に実施される調査としては、中性化試験や圧縮強度試験等が挙げられる。これらについては試験方法が規定されており、実施の際に問題となることは少ない。ここではその他の調査として調査計画の不備により、再調査が必要となった事例を紹介する。

（1）概要

下図に示すように、跨線橋の歩道部（マウントアップ）に、供用後情報管路の敷設を行った。その後の橋梁点検において桁下にコンクリートはく落、鉄筋露出、腐食及び錆汁等が確認された。損傷原因追究を目的とし、橋面において試掘調査を実施したが、原因は明らかにされていなかった。

橋面状況

桁下状況

(2) 考察

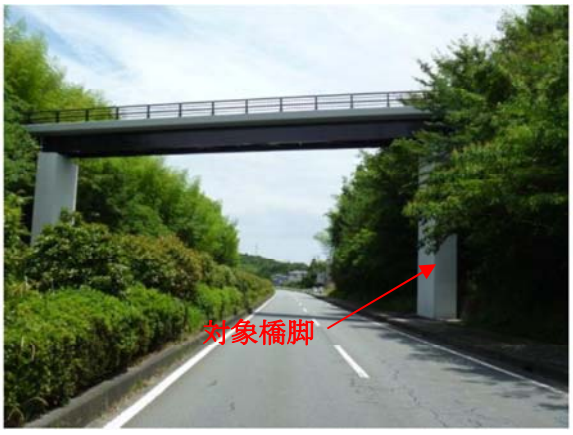
損傷要因を検討するに当たり調査を実施した結果、既存試掘調査と桁下損傷箇所の位置に数mの相違があることが明らかとなった。跨線橋であるため、桁下での調査が制限されていたことが要因として考えらえるが、誤った調査によって適切な補修設計が実施できない可能性がある。このため、個々の橋梁特有の条件に十分に配慮し、調査計画を行う必要がある。

2.4.3　設計業務

工事に際し、現場条件や周辺環境への配慮不足から工法の変更を余儀なくされた事例を紹介する。

(1) 概要

跨道橋の橋脚耐震補強を目的として、橋脚ＲＣ巻立て工法が採用されていた。しかし実施に際し橋脚背面に擁壁が近接しており、型枠が設置不可能であることが明らかとなった。そのため、ポリマーセメントモルタル吹付工法への変更を余儀なくされた。



跨線橋全景

橋脚背面施工スペース

(2) 考察

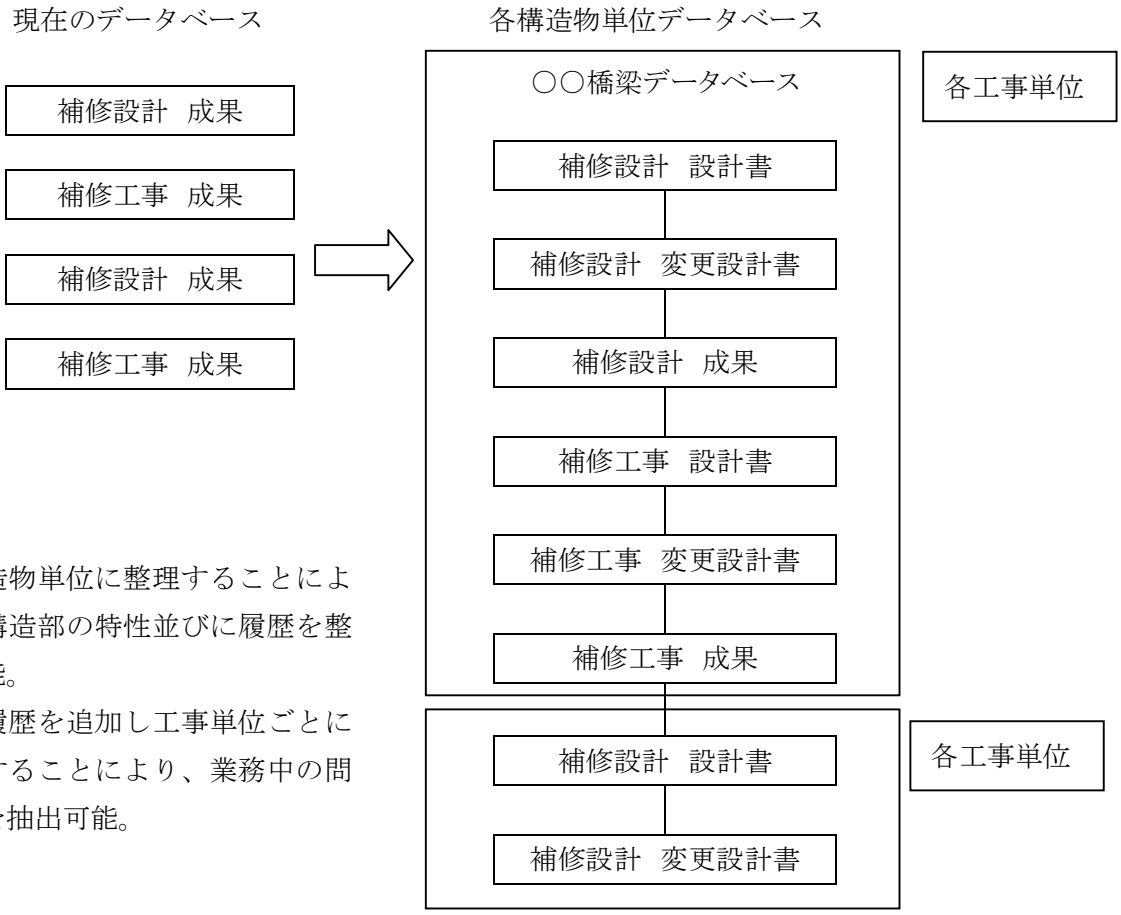
当然のことではあるが、補修補強工法は既存の橋梁固有の条件に依存するため、工法を検討するうえで現場の状況の把握、施工方法を十分に理解することが重要であるといえる。

2.5 今後の課題と対応方針

（1）橋梁データベースの構築

事例の整理を行うことにより一定の成果は挙げられたと思われるが、収集できた事例はわずかであり、再発防止資料として十分とは言い難い。今回事例の収集を通じて明らかとなった課題としては、問題となった事例を整理し、今後に活用する仕組みが存在しないことが挙げられる。

対応方針としては、まず橋梁におけるデータベースの構築が挙げられる。例えば設計成果、工事図書等のデータを各構造物単位に有機的に関連付けることができれば、課題の抽出が可能と考えられる。



ポイント

- 各構造物単位に整理することにより、構造部の特性並びに履歴を整理可能。
- 変更履歴を追加し工事単位ごとに整理することにより、業務中の問題点を抽出可能。

(2) 事例整理方法

データベース作成の次に必要となるのは、データベースを活用しやすい形に整理する作業となるが、これには建設コンサルタントだけではなく、発注者、コンサル、施工業者等、橋梁維持管理関係者が意見を交換し、連携して行う必要がある。しかし、現在そのような連携する場が存在しないことが課題と考えられる。解決策の例としては、独自の資格制度（例えば長崎県における道守制度等）を通じて連携を強めている事例があるが、産官学共同研究の中でこのような意見交換会を実施し、事例を整理することができれば、今後の橋梁維持管理に有意義であると考えられる。

第 3 章　参考資料

参考資料.1　概要版

UAV を活用した点検方法に関する研究

学；磯 雅人[1]、鈴木 啓悟[2]
産；藤田 貴準[3]、古木 敬三[4]、宮崎 雄治[5]、臼井 裕喜[6]、斎藤 高輝[6]、
山内 義康[6]、福田 育弘[7]、古市 裕介[8]

H29 年度 橋梁グループ メンバー（順不同）

[1]福井大学工学部学術研究工学部門 建築建設工学科専攻 准教授

[2]福井大学工学部学術研究工学部門 建築建設工学科専攻 講師

[3]株式会社キミコン

[4]日光産業株式会社

[5]株式会社川上測量コンサルタント

[6]公益財団法人 福井県建設技術公社

[7]前田工繊株式会社

[8]丸一調査設計株式会社

本報告書は、第 28 年度産学官共同研究事業における橋梁グループの研究目標のうち「UAV を活用いた点検方法」に関する研究成果をとりまとめたものである。

1. はじめに

橋梁は全国で 70 万橋あるといわれている。その多くが高度経済成長期に建設されていることから、今後、老朽化による安全性への影響が懸念される。そこで、国では H26 年度に道路法施工規則の一部を改正し、5 年に 1 回の定期点検（近接目視）を義務付けている。現在の点検方法（近接手段）は橋梁点検車を用いた方法やロープアクセスによる方法が主流であるが、交通規制や人手不足（技術者不足）などの問題より、新技術の開発・導入によりこれを省人化・効率化していきたいという流れがある。

そこで、今回、橋梁グループにおいては、近年、災害現場の状況把握やゼネコンでの盛土管理等で実用化されている UAV を橋梁点検の分野に活用することを研究目標の一つとして挙げた。

2. 橋梁点検における UAV 活用の現状

2. 1 橋梁点検における UAV 活用の現状

現在、国が定めている点検要領では近接目視が原則である。だが、国土交通白書 2014 において「将来を見越し、厳しい財政状況や技術者の不足といった制約のなかで、今後の社会インフラの老朽化に適切に対処していくためには、インフラの効率的な維持管理を可能とする新技術の開発・活用を進めていくことが重要である」と記されているとおり、国交省が提唱する次世代インフラ用ロボット開発における 5 つの重点分野のひとつとして、近接目視の支援および代替技術としてカメラによる点検（UAV を含む）に関する研究・技術開発が行われている。

国土交通省および経済産業省が公募した「平成 27 年度次世代社会インフラ用ロボット（維持管理・災害対応）開発・導入の推進」の「橋梁維持管理技術　現場検証・評価の結果」において、点検要領に基づく近接目視の代替または支援ができる技術・システムとしていくつか紹介されているが、この中で橋梁に近接するために飛行体（UAV）にカメラを搭載する技術については、現時点では従来技術の近接目視による調査レベルには至らないとの報告がなされている。だが、技術革新が急速に進む昨今、そう遠くない将来に橋梁点検現場での実用に耐えうるような UAV 関連の技術が開発されると思われる。

なお、本県のジビル調査設計株式会社が開発した「橋梁点検カメラシステム視る診る」においては、同省の検

証結果において最高評価の「Ⅰ.試行的導入に向けた検証を推奨する」との評価を受けていることから、今回、当研究グループではジビル調査設計株式会社の全面的な協力のもと、「橋梁点検カメラシステム視る診る」に関する技術講演会および現場見学会を開催し、当部員をはじめ参加者らの橋梁点検の新技術に対する知見を高めた。

2. 2　当グループにおける研究方針

UAV に関する基本的事例や現状を踏まえた上で、当グループにおける研究方針について部員同士で意見交換した結果、以下の意見が挙げられた。

・自社ではドローンを用いた経験がない。現在の使用実績としては、ゼネコンでの盛土管理が挙げられる。ドローンの利点や問題点を整理するのであれば、ゼネコンにヒアリングをしてはどうか？

・斜面の分野で UAV を積極的に活用している福井高専の辻野先生に一度ドローンを橋梁点検に適応する場合の現状及び課題等についてご講演いただくのはどうか？

・UAV を用いた点検手法は精度としては近接目視にはかなわないが、スクリーニングとして活用できるのではないか？（例えばドローンによる点検により、重要点検個所の抽出を行う等）

・現在、国が定めている点検要領では近接目視が原則であるが、今後の基準緩和のための準備として、本委員会でドローンに関する検討を行うことは有意義であると思われる。また、見えない箇所のドローンを用いた点検には高度な技術が必要となる。

以上の意見を踏まえて、当グループの研究方針としては、まずは福井高専 辻野先生のご協力のもと、実際に橋梁グループ部員において、UAV を操縦したり、UAV を用いて橋梁点検を行ってみることで UAV を橋梁点検に適応する場合の現状および課題等について身をもって体感し、整理することとした。

3.　ＵＡＶの現状把握を目的とした現場検証

3. 1　概要

当グループでは、UAV の現状把握を目的とした現場検証を 2 回に分けて実施した。

まず 1 回目の現場検証（3. 2～3. 4）では、カメラ性能が異なる 2 機の UAV を飛ばして、現在の UAV でできること、できないことの確認を行うとともに、実際に飛行している UAV のカメラを使用した撮影を行ってみた。

2 回目の現場検証（3. 5）では、福井高専辻野先生のご協力のもと、点検が完了している橋梁に対して UAV を用いて撮影し、近接目視による点検結果との UAV が撮影した画像との比較を試みた。

第 1 回現場見学会場位置図
場所：福井市布施田町　江上排水機場駐車場
日時：平成 29 年 6 月 13 日（火）13：30 より

第 2 回現場見学会場位置図・写真
場所：福井市北野上町　県道 164 号線 北野橋
日時：平成 29 年 9 月 13 日（水）13：30 より

3. 2　三次元点群データの取得

3. 2. 1　三次元点群データの概要

UAV を活用することの最大のメリットの一つとして、空撮画像データ等から「点群データ」を取得し、地上からでは把握できない地形や建物を立体的に捉えることが挙げられる。なお、点群データとは、コンピュータ上で扱う点の集合体のことをいう。ひとつひとつの点がそれぞれ X、Y、Z の座標データおよび R、G、B の色データ等を有しており、これらの点が集合体（何万・何億単位）となることで地形や構造物を立体的に表現することが可能となる。

3. 2. 2　三次元点群データの取得方法と特徴

点群データの取得方法は以下の 2 つの方法に大別できる。なお、方法①については、丸一調査設計（株）が同時期に第 1 回現場見学会場において検証した結果を、方法②については、同社が第 4 回国際ドローン展（2017 年 4 月に幕張メッセで開催）に出席した際に、出展者からのヒヤリングにより得られた情報を記載する。

方法①：写真データから点群を生成する方法
メリット：比較的安価な方法である。
デメリット：可視部分のみの再現となるため、求めたい地表面に障害物（草、木等）がある場合は障害物の形状を再現してしまう。

方法②：3D レーザースキャナーを用いて直接点群データを取得する方法
メリット：レーザーが葉っぱ等の障害物を通過できるため忠実に地表面を再現することができる。広域な山林の測量においては、地上測量と比較して大幅に工期を短縮できる。
デメリット：重量面から DJI 機など市販の UAV では搭載できない。実現するには膨大な投資が必要である。参考までに第 4 回国際ドローン展の出展者で実際にレーザースキャナを UAV に搭載して運用している関東地方の測量会社からのヒアリングによれば、実用化にあたり、UAV 本体（特注）1000 万+搭載型レーザースキャナ 3000 万+ソフトウェア（機体設計含む）1000 万の合計 5000 万円程度の投資を行っている。

3. 3　自動飛行撮影の検証

3. 3. 1　概要

UAV の大きな特徴として自動飛行撮影が挙げられる。操作用タブレットに飛行ルート、高度、撮影ポイント等を入力するのみで操作が可能である。離陸後は、あらかじめ入力した目標地点まで自立飛行し、必要な動画や静止画像を自動的に撮影することができる。一度作成した飛行ルートは保存することも可能なため、異なるオペレーターが操縦しても、同様のルートで飛行することができる。

点検業務において、このような属人的影響を受けない再現性が確保できるということは、非常に大きな利点である。さらに、操作が簡便であるため、飛行自体には特別な技能が必要とならないこともメリットである。

3. 3. 2　使用機材（UAV）の概要

①Inspire1
メーカー：DJI
所有者：丸一調査設計（株）
特徴：機体重量 2870ｇで最大離陸重量 3400ｇのため、搭載可能な機材は純正カメラ（有効画素数：1200 万画素）（**写真 2**）に限る。同社ファントムより、機体重量が 2 倍重く飛行時の安定性が高い。

写真 1　Inspire1

写真 2
純正カメラ ユニット
・モデル名：Zenmuse X3
・1/2.3 インチ CMOS センサー
・有効画素数 1200 万画素
・35mm 換算値 20mm（単焦点）

②Matrice 600Pro
メーカー：DJI
所有者：（株）川上測量コンサルタント
特徴：産業用ドローンである。機体重量 10ｋｇで最大離陸重量 15.5ｋｇであるため、より解像度が高い市販のデジタルカメラを搭載できる。なお、本機は SONY 製のフルサイズミラーレス 1 眼カメラ（有効画素数：4200 万画素）を搭載している。

写真 3　Matrice 600Pro

3. 3. 3 検証結果

各々の機体の自動飛行撮影の検証結果は以下のとおり。

Inspire 1 の自動飛行撮影の検証結果

DJI の純正自動飛行アプリ「DJI GSPro」を使用すれば、撮影範囲、撮影高度、写真のラップ率等を指定すれば、オートパイロット機能によって正確な自動飛行撮影が可能である。ただし、安全面を考慮して橋梁をはじめとした構造物への近接飛行は実施していない。

Matrice 600Pro の自動飛行撮影の検証結果

飛行を制御するソフトウェアは純正「DJI GSPro」の場合は制限が多いことから、現場の条件に合わせて他社製のソフトウェアを数種類使い分けている。

こちらも安全面を考慮して橋梁をはじめとした構造物への近接飛行は実施していない。

3. 3. 4 考察

純正自動飛行アプリによる自動飛行撮影が Inspire 1 においては有効に機能したが、Matrice 600Pro では制限された理由として、前者は機体・カメラ・ソフトウエアが同一メーカーで統一されており、特に搭載カメラとソフトウェアの互換性が高いことが挙げられる。一方で、後者は、高画素に対応するため、一般に市販されているカメラを搭載しているため、カメラと純正ソフトウェアの互換性に問題があったためと推定される。

ただし、この場合でも現場の条件に合わせて他社製のソフトウェアを数種類使い分けることで対応可能となるため、大きな欠点とはならない。

3. 4 カメラ機能・飛行性能等の検証

3. 4. 1 概要

ここでは、主に飛行性能やカメラ性能（ジンバル機能含む）の違いによる「使い勝手」について検証する。なお、ジンバルとは、カメラが水平を維持するためにセンサーで機体（カメラ）傾きを感知して小型モーターで補正する装置をいう。

3. 4. 2 検証結果

各々の機体のカメラ機能・飛行性能の検証結果は以下のとおり。

Inspire1 のカメラ機能・飛行性能の検証結果

・飛行可能時間は、バッテリー1 個を使用して、約 15 分間可能。
・カタログスペック上は風速 10M/s 未満まで飛行可能であるが、丸一調査設計（株）では安全面を考慮して風速 5M/ｓ未満の場合に限り運用している。
・カメラは下向きおよび水平方向を撮影可能。
・本機は純正カメラ（有効画素数：12.4M）のみ搭載可能である。このため、カメラ解像度の制限により「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」を満足するためには、撮影高度 23m 程度とする必要があることから、公共測量での運用には不向きである。

Matrice 600Pro のカメラ機能・飛行性能の検証結果

・Inspire1 で使用しているバッテリーを 1 回の飛行に 6 個使用する。飛行時間は約 16 分間。
・カタログスペック上は風速 8M/s 未満まで飛行可能であるが、（株）川上測量コンサルタントでは安全面を考慮して風速 5M/ｓ未満の場合に限り運用している。
・利用目的が i-construction での利用を前提としていることから、カメラ撮影方向は下向きのみ。
・高解像度（4200 万画素）のカメラを搭載しているため、1 画素 1cm となる撮影高度が 80m となり、「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」に十分対応できる。

3. 4. 3 考察

Inspire1 の純正搭載カメラは、Matrice 600Pro に搭載している市販のフルサイズカメラと比較して画質性能は劣る。だが、本機は Matrice 600Pro 等の大型機と比較して、小型軽量で機動性に優れており、バッテリーの消費も少ないというメリットがある。

橋梁点検においてはカメラが高画素であれば、変状をより詳細に把握できることは間違いないが、撮影方向の問題もあるため、一概に両者に優劣はつけれない。

いずれにせよ、両者とも市販の状態では真上方向の撮影は不可能であるため、橋の桁下の撮影は不可能である。

3. 5 UAV を用いた橋梁点検に関する現場検証

3. 5. 1 概要

点検が完了している橋梁に対して UAV を用いて撮影し、近接目視による点検結果との UAV が撮影した画像との比較を試みた。

具体的には、橋の桁下は上向きの写真撮影が可能であるカスタマイズされた UAV を用いて撮影し、水平方向（地覆部側面）についてはファントムを用いての撮影を試みた。

3. 5. 2 使用機材（UAV）の概要

①UAV その 1（上向き撮影用）
機体名称：－（カスタマイズ機）
所有者：福井高専辻野研究室

特徴：　本機は DJI 機など一般に市販されている UAV ではなく、様々な部品・装置を組み合わせて特別に製作された機体である（**写真 4**）。最大の特徴として、機体上部に上向きに撮影可能なジンバルが設置されているほか、機体下部にもカメラが 2 台（うち 1 台は近赤外線カメラ用）搭載可能なジンバルが設置されている。なお、搭載可能な機器の総重量は約 600ｇ、飛行時間は約 15 分である。

今回搭載されたカメラは、CANON 製のコンパクトデジタルカメラであり、有効画素 1200 万画素、解像度は撮影距離 30m 程度で 1 画素あたり 1cm となる。

写真 4　ＵＡＶその 1

①UAV その 2（水平方向撮影用）
機体名称：ファントム
所有者：福井高専辻野研究室

特徴：　本機は DJI 社製の UAV であり、ユーザー数が多い機体である（**写真 5**）。小型軽量で機動性に優れており、写真撮影は下向き、水平方向が可能である。

搭載されている純正カメラの解像度は撮影距離 23m 程度で 1 画素あたり 1cm となる。飛行可能時間は約 20 分間である。

写真 5　ＵＡＶその 2（ファントム）

3. 5. 3　UAV による空撮結果

(1) 上向き方向の撮影（桁下）

UAV その 1 を用いて、桁下から真上方向の近接撮影を試みた。だが、桁下空間でのホバリングが安定せず、安全面を考慮して複数枚撮影した段階で撮影を中断した。

部分的ではあるが UAV その 1 が撮影した画像を**写真 7** に示す。添付画像では分り難いが、写真ソフトを使用して画像を拡大すれば、ひび割れ等の変状を確認することは十分に可能であった。

写真 6　上向き方向の撮影状況

写真 7　UAV その 1 による桁下近接写真

(2) 水平方向の撮影（地覆部側面）

次にファントムを用いて、地覆側面部の撮影を試みた。だが、こちらも飛行中に通信エラーが手元のコントローラー（タブレット）に表示され、アンコントローラブルな状態に陥る状態が散見された。このため安全面を考慮して、一部区間を撮影した段階で撮影を中断した。UAV その 2 が撮影した画像を**写真 9** に示す。こちらも解像度は十分確保されているといえる。

写真 8　水平方向の撮影状況

写真 9　ＵＡＶその 2（ファントム）
による地覆部近接写真

3. 5. 4　考察

(1) UAV による撮影画像の利活用

今回の現場検証を踏まえた結果、橋梁点検における UAV による空撮画像の利活用について、以下の点が考えられる。

・UAV が撮影した写真の画質は、人が点検車等を使用して近接で撮影した写真と遜色ないため、危険な高所等人が簡単に寄り付けない箇所の撮影では、安全面や費用面（仮設）から効果が高いといえる。ただし、構造物に近接するには UAV の高い操縦技術が要求される。

・生じている変状に対して肉眼で観るのと写真で観るのとでは、捉え方が異なる可能性も考えられる。このため、点検者の熟練度に点検結果が左右される点は従来どおりといえる。

・国交省の公募技術の一つとして画像診断技術が挙げれる。今後、開発が進めば、画像からのひび割れの定量評価が期待できる（希望的観測）。

(2) UAV のホバリングが安定しなかった要因について

今回、UAV その 1、その 2 ともにホバリングが安定しなかった要因として、現時点では以下の点が考えられる。

要因① 桁下ということもあり、GPS の受信環境が悪化したこと

要因② 送電線が隣接しており、誘起電圧（磁束の変化により生じる電圧）による電子回路の誤作動、電磁波や磁場の影響によるコンパスの狂いなどが生じたこと

要因③ その他の要因（偶発的なメカトラブルやソフトウェアのエラー等）

写真 10　現場状況

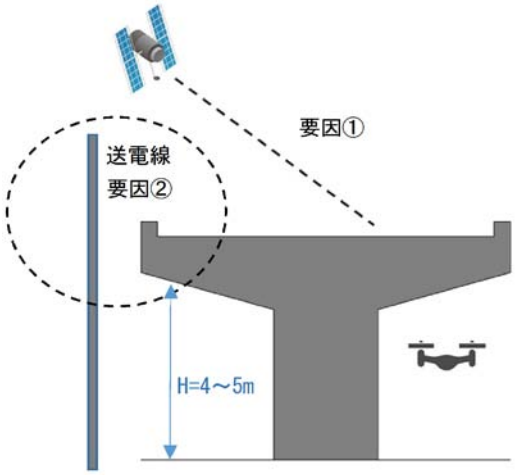


図 1　橋梁桁下におけるＧＰＳ受信環境
悪化のイメージ図

4.　今後の課題と対応方針

以上を踏まえ、今後、UAV を活用する上での短期的な課題と対応方針について記載する。なお、長期的には、UAV を用いたスクリーニング（重要点検個所の抽出）を行えることが理想であるが、そのためにも、まずは短期的な課題をクリアする必要がある。

飛行技術の向上：　UAV は GPS を利用して自動飛行やホバリングが容易にできることが利点である。しかし、桁下等 GPS 信号が受信し難い環境下ではその機能を発揮することができない。このため、GPS が受信できなくても飛行できるだけの操縦技術の習得が必要である。

今後の対応としては、日常的に GPS を OFF モードにしての飛行訓練や安価なトイドローンを用いて室内練習を行うなど、操縦スキルを向上させる取り組みが必要がある。

安全対策の充実：　UAV が万が一、構造物等に接触した場合でも墜落を防止できる対策や、最悪墜落した場合でも第3者に被害が及ばないための措置が必要である。

今後の対応としては、ポール等による機体（特にプロペラ）の保護やケーブルによる物理的な飛行制限（有線ドローン等）を検討する必要がある。

5.　おわりに

今回、橋梁を対象とした現場検証では、残念ながら先に述べたトラブルにより、UAV を用いて想定していた箇所での点検結果との比較は出来なかった。

だが、UAV の可能性は感じ取ることができたし、当初は想定してなかった UAV を飛行させる上での留意事項についても、身をもって体験できたことは大変有意義であった。特に今回のような供用中のインフラの点検においては、なによりも安全性を優先すべきということを再認識させられた。

昨今、多くの業界（建設（i-construction）、ドローンによる宅配事業、山林におけるリードロープ架設、農作物の生育状況の把握、災害現場の状況把握等）で UAV 活用の機運が高まる中、インフラ点検分野にも UAV の活用が期待されることは必然であり、今回の経験を糧に今後も継続的に UAV による点検技術の向上（情報収集含む）に取り組みたいと思う。

最後に、福井高専 辻野和彦 准教授をはじめ、当部員各位におかれましては、様々な情報提供や丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

以上

「県内コンサルタントの橋梁技術レベル向上」に関する取り組みについて

学；磯 雅人[1]、鈴木 啓悟[2]
産；藤田 貴準[3]、古木 敬三[4]、宮崎 雄治[5]、臼井 裕喜[6]、斎藤 高輝[6]、
山内 義康[6]、福田 育弘[7]、古市 裕介[8]

H29 年度 橋梁グループ メンバー（順不同）

[1]福井大学工学部学術研究工学部門 建築建設工学科専攻 准教授

[2]福井大学工学部学術研究工学部門 建築建設工学科専攻 講師

[3]株式会社キミコン

[4]日光産業株式会社

[5]株式会社川上測量コンサルタント

[6]公益財団法人 福井県建設技術公社

[7]前田工織株式会社

[8]丸一調査設計株式会社

本報告書は、平成 28 年度産学官共同研究事業における橋梁グループの研究目標のうち、「県内コンサルタントの橋梁技術レベル向上」に関する取り組みについて成果をとりまとめたものである。

1. はじめに

道路橋の点検について、2014 年（平成 26 年）7 月に道路法施工規則が一部改正され、5 年に 1 回の定期点検を実施し健全性の診断を行うことで統一された。

前述の技術的基準等の条文中には「点検は・・・点検を適正に行うために必要な知識及び技能を有する者が行うこと・・・」とある。点検実務者の技術習得のために、国土交通省では道路構造物管理実務者研修を実施している。福井県においても、「福井県道路メンテナンス会議」と連動し実地研修や講習会が開催されている。また、「福井県道路構造物保全協会」も専門知識を生かした、工法・材料選定、施工方法について研修会等を開催し活動している。

2. 県内コンサルタントの橋梁技術レベル

2014 年（平成 26 年）7 月の省令施行から現在までに、福井県内においても各自治体が数多くの定期点検を実施している。現場での点検・調査等作業を行う者の多くは、各自治体から委託を受けたコンサルタント会社等の専門技術者であろう。

県内には、橋梁点検ロボットを開発・運用している企業もあれば、調査・診断～補修設計を主な事業として展開する企業、補修・補強工事の専門工事業者、資機材開発メーカー等関連する事業者が数多くあり、それぞれが独自のノウハウや高い技術力を保持していることは容易に想像できる。

点検・調査等作業を行う専門技術者は、点検・調査等に必要な資格を持つ有資格者であり、一定レベル以上の技量を身につけている。しかしながら、経験の浅い技術者と熟練技術者とを比較した場合、後者がより高いレベルでの判断が期待できる。専門技術者の知識不足による、重要点検部位の点検漏れによる事故発生はあってはならないことである。

今回、橋梁グループの研究対象を討議するなかで、「県内コンサルタントの橋梁技術レベル向上」についての提案を受けて意見交換した。

【提案】

橋梁はその形式ごとに損傷が生じる場所が異なるが、現在の福井県における点検成果はその主たる部分に着目されていないように思われる。そのため、構造や立地条

件ごとに特徴のある点検方法について検討が必要ではないか。また、補修工法にも寿命があるが、これを一般化できれば計画的な補修工法の提案ができるのではないか。

【意見】

・農水において、補修を行ったが再劣化が生じた経験がある。そのため現場の補修工事の実態や問題点を施工業者からご教示いただき、参考資料として取りまとめることは今後の補修設計において有意義であると思われる。
・橋梁形式別の問題点に関する資料は現存しており、橋梁点検者はこれを熟読する必要がある。ただし、橋梁形式ごとの特に重要な部分を整理することは、橋梁点検の初心者には有効な資料となるのではないか。
・橋梁に関する点検マニュアルの完成度は高いと考えられる。基準書の理解度向上を向上する方法としては、勉強会を開催するのはどうか。また、国交省の点検要領等に記載がない、福井県で起きやすい損傷事例を整理し、資料としてまとめてはどうか。
・技術力向上には資格取得が効果的であるが、資格取得のためのモチベーション向上（入札時の参加条件とする等）が重要であると思われる。損傷の知識も重要であるが、架橋年度や諸元がわからないような橋に関する知見を取りまとめてはどうか。
・実際の現場をよく理解したうえで、点検や補修設計を行う必要があると思う。

【本研究における取り組み】

これらの意見を踏まえて、橋梁技術レベル向上のため下記事項について取り組むこととした。

①橋梁補修工事現場等を見学し、点検、補修のポイントを確認する。これを点検の補足資料として提案する。
②橋梁グループメンバーそれぞれが、点検・調査、施工事例の資料を提供し、建設コンサルタントの陥りやすいミス等について討議・情報共有する。

【補足追記】

前項では詳細を割愛したが、ほかに「鋼橋塗り替え時の有害物質対策検討」に関連して、塗膜の斫りに関するマニュアル作成の提案がなされたが、マニュアル作成は困難との判断から、塗膜に含まれる有害物質についての理解を広めるため、現場見学を通じて報告書として取りまとめるものとする。

3.1　現場見学会①

【塗膜剥離剤適性試験現場見学】

塗膜に含まれる有害物として、鉛、クロム（化合物を含む）、PCB 等が知られている。

鋼橋の塗装塗り替えの施工現場における塗膜剥離剤適性試験の見学を通して、塗膜剥離の実施工、懸案事項・問題点などについて見識を深める。

工事概要　橋梁塗装工 床板補修工 橋面補修工 仮設工
補修対象橋梁記事
塗装年月　1994 年 3 月
素地調整　3 種 B ケレン
下塗塗料　鉛系錆止めペイント 1 種 1 回
中塗塗料　長油性フタル酸樹脂系塗料 1 回
上塗塗料　長油性フタル酸樹脂系塗料
試験位置での現況塗装の塗膜厚　180μm～263μm

山一化学工業㈱　石井氏　より当該適性試験の概要、使用材料、試験方法、試験経過等について説明を受けた後、質疑応答を行った。

① 使用材料
　A　アルコール系塗膜剥離剤　バイオハクリ X
　　（NETIS 登録 No.KT-140050-A）
　B　水系塗膜剥離剤　バイオハクリ X-WB
　　（NETIS 登録 No.KT-160043-A）

② 試験方法

A－Ⅰ 1kg/㎡	A－Ⅱ 0.8kg/㎡ + 0.5kg/㎡	A－Ⅲ 0.5kg/㎡ + 0.5kg/㎡
B－Ⅰ 1kg/㎡	B－Ⅱ 0.8kg/㎡ + 0.5kg/㎡	B－Ⅲ 0.5kg/㎡ + 0.5kg/㎡

上表は、各使用材料ごとの単位面積当たりの塗布量を示す。

③ 試験経過
- 使用材料Aは剥離効果がほとんど見られない。
- 使用材料Bにおいて、B－Ⅰ（1回塗り）とB－Ⅱ・B－Ⅲ（2回塗り）とを比較すると、後者の2回塗りのほうが効果大である。
- B－Ⅱ・B－Ⅲについて塗布後の放置時間や3回塗りについて検討し、最適方法を決定する。

④ 質疑応答

Q：水系塗膜剥離剤の特性は？塗布作業に特別な資格は必要か？

A：消防法上、非危険物として取り扱える。
塗膜を湿潤シート状態で剥離・回収することが可能なので有害物の飛散が無い。
特に資格は必要ない。塗装工としての技能があれば作業上支障ない。

Q：気温が低いと剥離効果は下がるのか？また、凍結しないのか？

A：気温が低いと剥離効果は下がる。気温5℃の場合塗膜への浸透は遅延する。
（湿度85%以上の場合施工不可）
－5℃を下回ると凍結する。
（材料試験にて）
材料の物性がエマルジョンなので、凍結するとゲル状になり元に戻らなくなる。
現在までに塗布後の凍結は確認されていない。

Q：本塗膜剥離剤の有用性は何か？

A：前述のとおり、塗膜を湿潤シート状態で剥離・回収することが可能なので有害物の飛散が無い。

Q：剥離しにくい材料はないのか？繊維シートの剥離には有効か？

A：黒皮は剥離できない。（鉛丹さび止めペイント、無機ジンクリッチプライマー・ペイント等は剥離に時間がかかる）基本的に樹脂系材料に対して効果を発揮する。
繊維シートのような厚いものには不向き。また、コンクリート構造物の不陸整正材（パテ）も剥離できない。

Q：廃棄物重量の算出方法は？

A：除去した塗膜の重量を計測する。今回の場合、115ｇ/0.09㎡＝1.2kg/㎡

Q：剥離後の残存した塗膜の処理はどうするのか？

A：塗膜剥離後、再塗装に適した素地調整程度を検討する。
残存した塗膜がある場合は除去方法の検討が必要となる。
前述、鉛丹さび止めペイント、黒皮等は残存する可能性が高く、除去に際して（ブラスト工法・電動工具処理）有害物質飛散防止処置が必須となる。

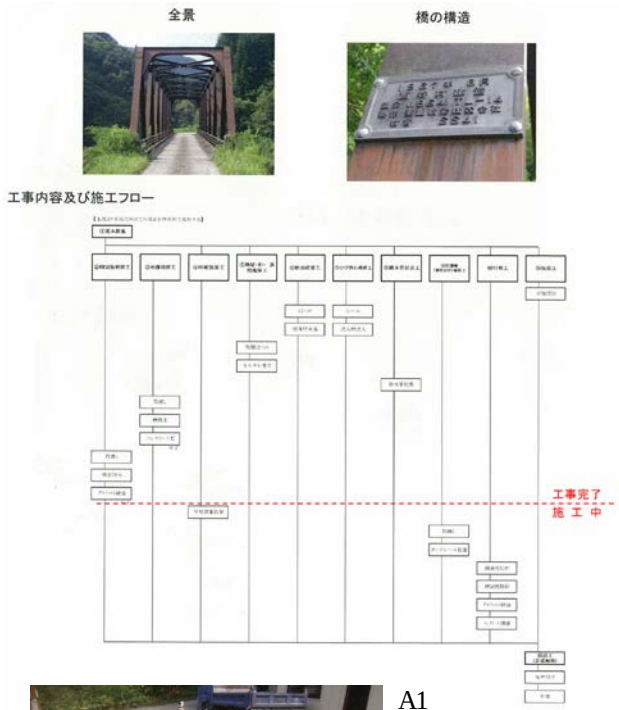
【講　評】
- 水系塗膜剥離剤は比較的取り扱いが容易（消防法上：非危険物）である。
- 平成26年度5月30日厚生労働省通達にある「剥離等作業は湿潤化して行うこと。」に合致している。
- 作業環境の保全についても前述のとおり、塗膜剥離作業時の有害物質飛散は抑制され、騒音・振動の発生はほとんど無い。
- 廃棄物処理量についてもブラスト工法（研削材は廃棄物処理）に比べ、大幅に抑制できる。
- 無機系のプライマー・ペイントは軟化せず剥離できない。
- 黒皮鋼板面上に直接鉛丹さび止めペイントが塗装されている場合、剥離できない場合がある。
- 上記2項目の剥離できない残存塗膜除去や、再塗装前の素地調整による残存塗膜に有害物質が含まれる場合は、除去工法に即した飛散防止対策・適正廃棄物処理が必須となる。

以上のことから、事前調査による現況塗装諸元（施工年、塗膜厚、塗膜構成等）の把握と作業現場の特性（形状、対象規模・面積等）、コスト面を総合的に判断することが、工法選択においては重要であろう。

3.2　現場見学会②

【林道橋梁改良工事現場見学】

当該工事は、1967年8月（鋼示1964 TL-14）に架設された林道橋の改良工事であり、原型復旧を基本としている。主な工種として、舗装版補修（既設コンクリート舗装撤去・橋面防水含む）、地覆補修、伸縮装置取替、遊間確保（胸壁斫り）、断面修復およびひび割れ補修がある。
- 地覆コンクリートには当該による断面欠損がみられた。既存コンクリート撤去、幅止鉄筋配筋のうえ地覆コンクリート復旧の施工がなされた。
- 舗装版補修の当初設計は、シート防水・アスファルト舗装であったが、床版厚不足の懸念から、塗膜防水・コンクリート舗装に変更となった。
- 遊間確保のため、ウォータージェットによる胸壁斫り、モルタル補修による断面修復を実施した。
- 現在、伸縮装置取替を施工中であり。今後、橋面防水・舗装工と工程は進捗していく。



A1
伸縮装置設置状況

A2
伸縮装置設置完了

ウォータージェットによる胸壁斫り、モルタル補修による断面修復

3.3　現場見学会③

【一般国道橋梁補修工事現場見学】
工事内容
　工場制作工
　（鋼製支承、主桁補強材、仮受部材）
　橋梁補修工
　（鈑桁補修工、支承取替工、仮受部材取付工、橋座補修工、塗装塗替工、伸縮装置取替工、仮設工）

全　景

鈑桁補修工部
塗装工施工状況

- 本工事では、鋼製支承・仮受部材等の工場制作に 3 ヵ月以上時間を要した。工事工程への影響が大きいので、特に留意が必要。
- 伸縮装置取替において、後打ちコンクリートには 3 時間で設計強度に達する超速硬コンクリートを使用している。
- 橋座モルタルの断面修復には、汎用のポリマーセメントモルタルを使用している。

3.4　橋梁グループ内討議・意見交換

所属メンバーが提供した資料を基に、建設コンサルタントの陥りやすいミスや、点検・調査、施工事例等について討議・情報共有ならびに意見交換した。

3.4.1　損傷評価基準の紹介

橋梁定期点検要領に基づき、損傷評価する際に特に注意して見ておく事項について

○腐食

基本的に板厚減少(減肉)を伴う錆の発生を「腐食」として扱い、板厚減少等を伴わない程度の軽微な錆の発生については「防食機能の劣化」として扱う。（支承・ボルトも同様）

⇒福井県では

「防食機能の劣化」：1～2

「腐食」：3　と評価するよう指導している。

⇒添架物については取付金具等を対象とし、添架物本体については管理者に報告する。

⇒補修を実施する目安としては、板厚減少(減肉)が㎡換算 3 割以上程度を対象としているが、部材の重要性を考慮し、判断している。

○亀裂

トラス橋斜材等の亀裂については、車両との衝突や材料劣化（経年変化）で生じたものなのか、もしくは構造的に問題があり発生したものか、発生原因を推定することが重要である。

○ゆるみ・脱落

高力ボルト F13T（1967 年 JIS 削除、1972 年道路橋示方書削除）、高力ボルト F11T（1980 年道路橋示方書削除）に留意する。また、接合形式（摩擦、引張、支圧）を考慮し評価することも重要である。

○剥離・鉄筋露出

特に損傷度の判断が難しいので、部分的、局部的、広範囲、環境、進行度、主筋、いろいろな情報の中で総合的に損傷の重要度を判断する。

○漏水・遊離石灰

遊離石灰そのものが構造物の耐久性を損なうものではないが、発生個所に水が浸入している原因追究が重要である。

○漏水・滞水

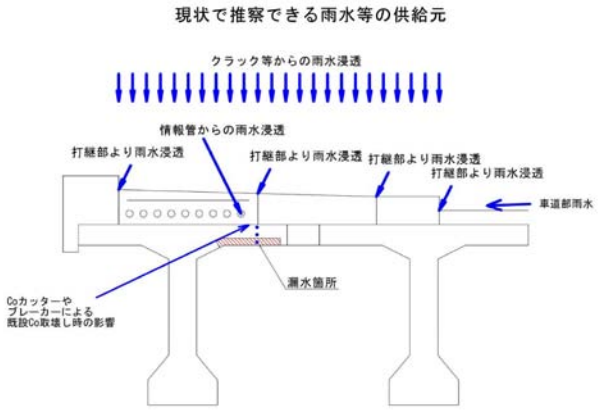
漏水・遊離石灰の項と同様、漏水・滞水の原因（橋面防水の未施工や伸縮装置の損傷等）を追求することが重要である。

○その他

橋梁に付随する道路照明設備については、照明の台座、アンカーボルト類はもちろんのこと、灯具の落下防止のための点検を実施する。

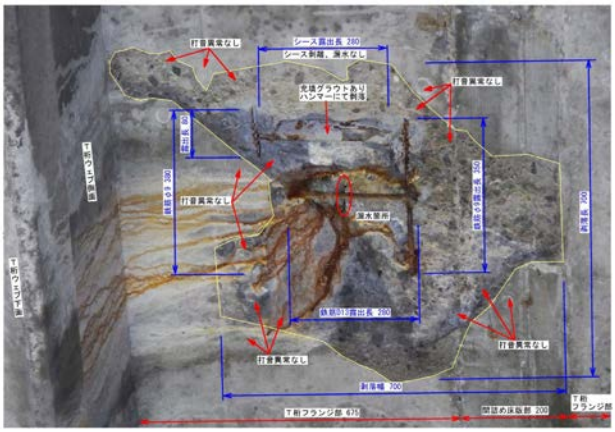
3.4.2　漏水の原因調査と対策方法の検討事例

T 桁フランジ部からの漏水の原因調査と対策方法の検討事例について



上り線端部桁下面のコンクリート剥落状況
鉄筋露出、腐食、錆汁
写真上方にシースあり

歩道部開削後埋戻し状況
開削部の左側には情報管路が敷設されている



○漏水の原因

橋梁歩道部情報管路敷設に伴い、既設歩道舗装撤去（カッター切断や斫り作業等）の際に T 桁フランジ部に何らかの損傷が生じたのではないかと推察される。以前に漏水原因調査を兼ねて、直近部分を開削・防水工施工・舗装復旧がなされているようであったが、その位置が当該漏水個所とズレていた。

⇒情報管路や添架物、消雪設備施工の際は、施工対象となる橋梁の設計図面等資料を十分精査することが重要だが、架橋時期が古いと当時の資料が不明の場合も多いのではないか。

⇒漏水原因調査位置がズレていることについては、事前の調査を慎重に行い位置決定することで防げたであろう。

○対策方法の検討

基本的には、下地処理（コンクリート斫り）、止水剤注入、断面修復工施工を提案した。しかしながら、実施工はどのようであったかは確認できない。

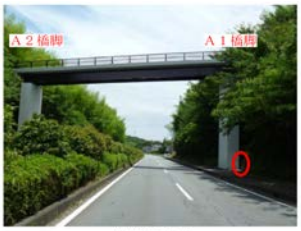
⇒設計・コンサルと施工者との関係で、実施工についての情報を得ることは難しい。施工者は発注者との協議が主となるのではないか。

⇒施工途中の現場見学が有効だと感じるが、発注者・施工者との調整や、実際の施工現場への立入りはいろいろと制約を受けるのではないか。

3.4.3　設計変更の施工事例

橋脚耐震補強における設計変更の施工事例について

○RC 巻立てから PP 工法（左官）に設計変更



跨道橋全景

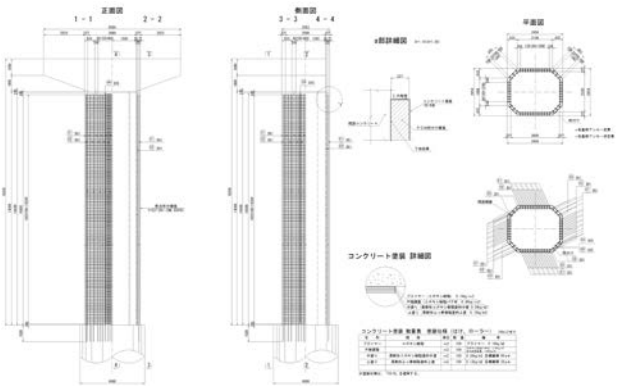
A１橋脚

当初設計の RC 巻立てでは、A1 橋脚部に型枠が設置できないため、型枠が不要の PP 工法（左官）に設計変更となった。

⇒コンサル、発注者とも現地確認の際に型枠が設置不可であることが判断できなかったのか。

⇒現場の状況の把握、工法を検討するうえで施工方法を理解（長所・短所、適、不適等）することが重要であろう。

○乾式吹付工法から湿式吹付工法に変更



当初設計は乾式吹付工法であったが、施工場所が観光地周辺でありハイピア(16.5m)であったため、粉塵飛散による環境負荷を低減できる湿式吹付工法に変更となった。

⇒乾式吹付工法：吹付ノズル先端で材料混合
吹付ホースの延長が長くできる
飛散：多
湿式吹付工法：プラント等で混合済みの材料を吹き付ける
材料混合にムラがない　飛散：少
材料が詰まることがある
⇒現場の施工条件についても注意し発注者と協議する。

3.4.4　意見交換

①補修設計対象範囲と実際の補修工事箇所について
- 補修設計時の点検業務の際、時間的・設備的（仮設足場を設置することはほとんどなく、橋梁点検車等を用いることが一般的である）制約から、面的に広範囲な調査に漏れが生じる可能性がある。また、スラブのシート・鋼板接着部は物理的にスラブ本体を確認できない。
- 補修工事においては、実施工前に打音検査等を実施することになっている。結果的に点検業務の内容を補足し、ダブルチェック・クロスチェックすることとなっている。シート・鋼板接着部については、補修工事の段階で初めて損傷の程度が確認できることが少なくない。
- 以上より、発注者にはこのように設計業務と実際の工事においては補修数量が増える可能性が高いことを認識していただくことが重要と考えられる。また、点検業務にあっては、基本的な損傷評価はもちろんのこと、補修数量の確定よりも、その原因追究を主眼に置いた姿勢も必要であろう。

②情報共有について
- 福井県にて実施した設計データや工事データは電子納品成果として、福井県建設技術公社に納品されているが、業務名等に橋梁名や構造物名が明記されていないため、これらがあまり活用できていないのではないか。
- 業務発注の際、路線名だけでなく橋梁名など具体的に場所を特定できる内容を明記してはどうか。

③現場見学会について
- 設計コンサルタントは特に、補修設計等、既設構造物条件によって左右されやすい設計業務については、机上の設計だけではなく、実際の施工現場を確認する必要があると思われる。その際、ただ単に現場を見るだけではなく、当初設計から変更せざるを得なかった点等をまとめていただけると非常に有効と考えらえる。見学を有効に活用していくためには、発注者、施工者に理解いただき、協力していかなければならない。

4.　今後の課題

今後、県内コンサルタントの橋梁技術レベル向上を目指して、橋梁の基礎的知識を深めることはもとより、その知識を有用に活用するために、以下の事項を提案する。

- 点検・調査を行う上で、橋梁形式ごとの重要な着目点について整理する。

- 国交省の点検要領等に記載がない、福井県で起きやすい損傷事例を整理する。

- 架橋年度や諸元が不明な橋梁について、その構造条件の推定方法を取りまとめる。

この提案が、今後の活動の一助となれば幸いである。

5.　おわりに

今回、橋梁技術レベル向上のためには、橋梁についての基礎知識を熟知することが重要であると感じた。充分な基礎知識を有することで、橋梁形式・立地条件に応じた着眼点を見いだし、的確な点検・調査を実施することが理想である。

その点、現場見学は施工フローや施工状況、仮設工に至るまで実際に目にできること、施工上の問題点等をその場で質疑できることは、橋梁技術レベル向上に寄与するものである。

最後に、橋梁グループメンバー各位におかれましては、様々な情報を提供していただき、活発な討議をとおして有意義な意見交換をすることができました。また、現場見学会におきましては、各現場担当者様のご協力の下、丁寧な説明をしていただきました。

ここに、橋梁グループメンバー一同、感謝の意を表します。

以上

第 2 編　舗装グループ

舗装グループ　目次

第 1 章　研究の背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2- 1
1.1　概要
1.2　道路振動の苦情の大きな箇所

第 2 章　研究の目的・目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2- 5
2.1　研究の目的
2.2　研究の目標

第 3 章　研究の手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2- 7
3.1　研究の手順
3.2　振動測定の方法
3.3　小型 FWD 調査・解析方法

第 4 章　研究結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-17
4.1　振動測定の結果
4.2　小型 FWD 調査・解析の結果
4.3　考察
4.4　まとめ

第1章 研究の背景

1.1 概要

福井県における国道・主要地方道等幹線道路の舗装は、昭和 40 年代後半にひととおり行きわたり、その後の供用に伴い、舗装の修繕工事が繰り返し行われてきた。しかし、供用年数の経過とともに、路盤や路床を含めた舗装全体に損傷が及び、表層のみの修繕では十分に対応できないケースもある。実際、道路交通振動の対策工事として表層の修繕を行った箇所においても、再び振動の苦情が発生していることから、舗装構造の劣化が振動の原因となっていると考えられる。

現在、全国的には、道路管理者は車載型 FWD(以下、FWD)を用いて舗装構造の診断を行い、計画的に修繕を行っているが、FWD は高価で全国でも台数が少なく、当県は保有していない。そのため FWD による舗装構造の診断が難しい状況にあり、舗装の修繕を計画的に進めることが困難である。

そこで本研究では、経済的で簡易な小型 FWD システム(以下、小型 FWD)を用いた舗装構造の診断方法を実用化するため、振動の苦情が発生している箇所において、小型 FWD を用いた現地試験により舗装の構造を把握し、振動の原因と舗装構造の関係性について評価を行う。

1.2 道路振動の苦情の大きな箇所

本研究にて調査対象とする地点を設定するため、道路交通振動による苦情が発生している箇所を、道路管理者に対するヒアリングにより抽出する。

表-1.1 苦情が発生している箇所

番号	市 町	路 線	場 所
1-①	福井市	(主)福井丸岡線	高木2丁目 高木跨線橋北詰市道との交差点
1-②		一般国道416号	八ツ島 えちぜん鉄道踏切近傍東行車線
1-③		〃	八ツ島 藤島中学交差点東側両車線
1-④		(主)福井加賀線	大宮4丁目 大宮交差点南側北行車線
1-⑤		(一)福井停車場・米松線	志比口２丁目 ハーツ～長本交差点間西行車線
1-⑥		(主)福井丸岡線	文京1丁目 えちぜん鉄道踏切近傍南行車線
2	坂井市	(主)福井金津線	細呂木 細呂木橋南詰両車線
3-①	敦賀市	(一)松島若葉線	平和町 両車線
3-②		(一)敦賀美浜線	櫛林町 西行車線
4	越前町	一般国道417号	西田中 東行車線
5	若狭町	(主)上中田烏線	大鳥羽 北行車線

※番号２および５の地点については、現地調査の同意を得られなかったため研究対象から除外している。

1-①
1-②
1-③
1-④
1-⑤
1-⑥
中藤保育園
オートバックス 福井北
ジョーシン福井本店
高木中央公園
福井県立ろう学校
北部公園
新田塚
福井市藤島中
日華化学前
大宮店
日新小
福井大
福井県立美術館
幾久公園
町屋公園
福井開発郵便局
啓新高
北陸高
田原町
えちぜん鉄道三国芦原線
越前開発
福大前西福井
西公園
福井市湊小
松本通り
福井口
福井県立病院
ホテルフジタ福井
アパホテル〈福井片町〉
福井県庁
北陸本線
お原水通り
416
268
251
30
128
179
115
8

図-1.1　位置図（福井市）

図-1.2　位置図（敦賀市）

図-1.3　位置図（越前町）

第2章　研究の目的･目標

2.1 研究の目的

(1) 振動の原因を明らかにする。

舗装の構造は、土台となる路体の上に路床、路盤、表層といった弾性体の層を重ね合わせて形成されている。これら弾性体の層は、通行車両の荷重により変形、復元するため、振動が発生する。特に表層に段差がある場合は、車両による衝撃荷重が路面に与えられ、大きな振動が発生する。そのため、補修工事により表層の段差を解消し、振動の対策とするのが一般的である。

しかし、補修工事により表層の平坦性を回復させた箇所においても、再び振動が発生するケースがあることから、地中の路盤層や路床層に脆弱部が存在し、振動発生の原因になっていると推定される。特に空洞がある場合は、振動が更に大きくなるのではないかと考えられる。そこで、小型 FWD を用いた現地試験により舗装の構造性能を把握し、地中の脆弱部といった、地表からは見えない振動の原因を明らかにする。

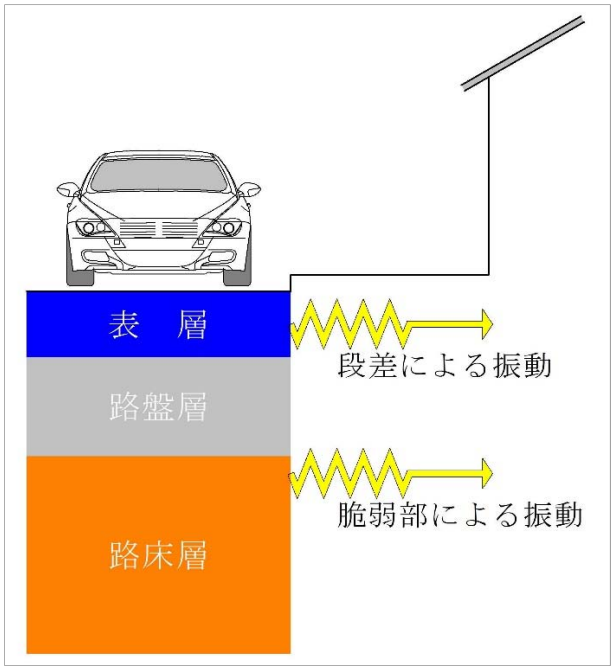


図-2.1　道路交通振動の発生イメージ

(2) 振動を少なくする修繕工法のめどをつける。

小型 FWD を用いた現地試験の結果を解析し、舗装全体の損傷度や路床の支持力、不足している舗装厚など、既設舗装の性能を診断評価する。その結果を基に、振動を少なくするために適した修繕工法を、損傷状態や現地条件を考慮して検討する。

2.2 研究の目標

(1) 振動の状況と舗装構造の損傷についての関係を明らかにする。

道路交通振動による苦情が発生している箇所にて、振動レベル計を用いて測定を行い、振動の状況について把握する。その結果、振動レベルが大きく対策が必要であると判断された場合は、小型 FWD を用いた現地試験を行い、舗装の構造性能を把握し、振動と舗装構造の損傷についての関係を明らかにする。

(2) 将来に向けての振動の状況と修繕工法についての事例集の参考とする。

各箇所の振動計測結果や小型 FWD を用いた診断結果、振動を少なくするための対策など、調査・診断・修繕情報をデータとして蓄積することで、損傷パターンに応じた修繕工法の事例集の参考とする。

第3章　研究の手順

3.1　研究の手順

本研究の手順は下図に示す通りである。

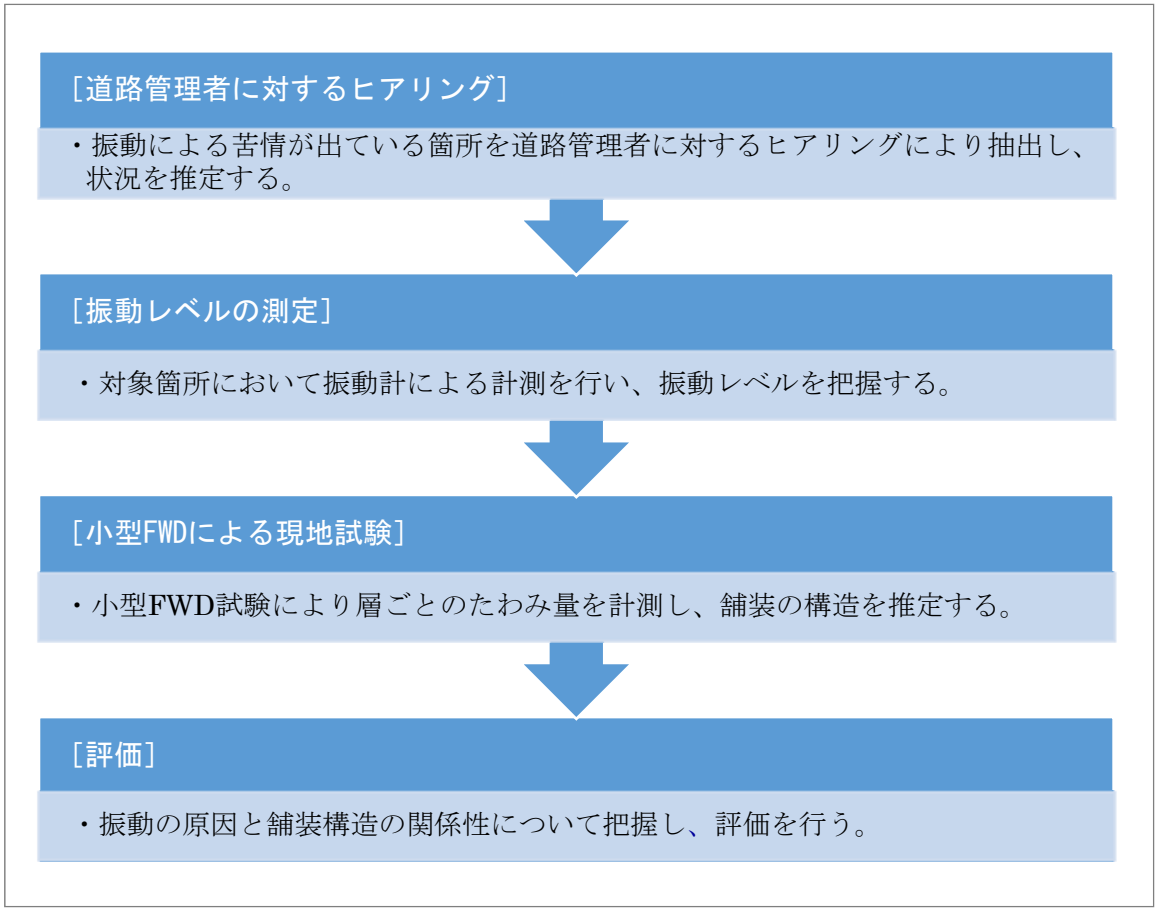


図-3.1　本研究のフローチャート

3.2 振動測定の方法

(1) 振動測定の概要

対象箇所において振動計による計測を行い、振動レベルを把握する。なお、計測した振動は「振動規制法－道路交通振動の規制」の要請限度を目安に評価する。

写真-3.1　振動計測機器

「振動規制法－道路交通振動の規制」

対象振動	規制基準/要請限度	区　域	昼　間	夜　間
特定工場等	規制基準	第１種区域	60 デシベル以上 65 デシベル以下	60 デシベル以上 65 デシベル以下
		第２種区域	65 デシベル以上 70 デシベル以下	60 デシベル以上 65 デシベル以下
特定建設作業	規制基準		75 デシベル	
道路交通振動	要請限度	第１種区域	65 デシベル	60 デシベル
		第２種区域	70 デシベル以上	60 デシベル以上

○要請限度(道路交通振動)：法第 16 条第１項の環境省令で定める限度

第１種区域：良好な環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする区域及び住居の用に供されているため、静穏の保持を必要とする区域

第２種区域：住居の用に併せて保全するため、振動の発生を防止する必要がある区域及び主として工業等の用に供されている区域であって、その区域内の住民の生活を悪化させないため、著しい振動の発生を防止する必要がある区域

昼間：午前５時、６時、７時又は８時から午後７時、８時、９時又は、10 時まで

夜間：午後７時、８時、９時又は 10 時から翌日の午前５時、６時、７時又は８時まで

(2) 使用機材

汎用振動計 VM-83

メーカー：リオン株式会社

概　要　：サーボ加速度計で検出された振動を測定、評価する振動計。

写真-3.2　汎用振動計

サーボ加速度計 LS-10C

メーカー：リオン株式会社

概　要　：サーボ型加速度センサにて、鉛直方向変位を加速度として検出する。

写真-3.3　サーボ加速度計

(3) 振動測定機器の設置

a) 測定点の選定

振動の測定点は道路端とし、道路交通に支障の出ない箇所に機器を設置する。

b) 振動ピックアップの設置条件

緩衝物や傾斜および凹凸が無い、コンクリートまたはアスファルト上の硬い水平面に設置する。

(4) 振動データの測定方法

a) 測定器と測定量

汎用振動計と加速度計を使用し、鉛直方向加速度(m/s²)のピーク値を測定する。

b) 測定値の変換

加速度(m/s²)を振動加速度レベル(dB)に変換する。

$A(dB)=10\log(a1/a0)^2$

ここに、

a1：測定値(m/s²)

a0：10^{-5}(m/s²)

3.3 小型 FWD 調査･解析方法

調査は小型 FWD システムで行う。

(1) 小型 FWD システム

小型 FWD システムは小型 FWD 本体、専用表示器、外部変位センサ、接続コードからなる。

a) 小型 FWD 本体

重錘を自由落下させ、そのときの衝撃荷重と変位量を内蔵の荷重計、加速度計を用いて測定する。変位量は加速度計の測定値を内蔵のマイコン処理で求めている。

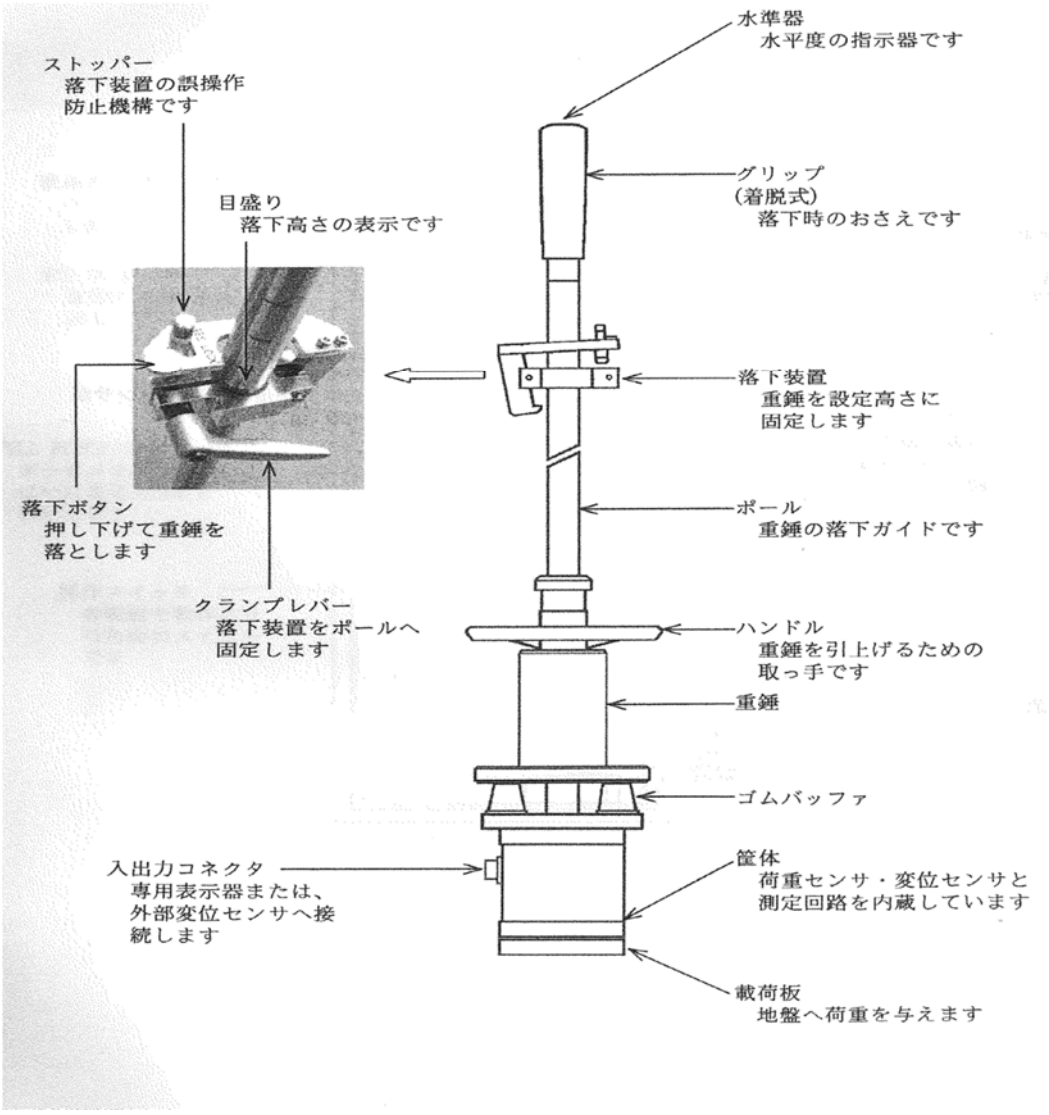


図 3.2　小型 FWD 本体構造

b) 専用表示器

専用表示器(型番 TC-351F)には衝撃荷重値と変位量が表示される。荷重計・加速度計の計測データを小型 FWD 本体に内蔵した A/D 変換器でデジタル変換され、2 線式伝送ラインの技術を用いて表示器に転送される。

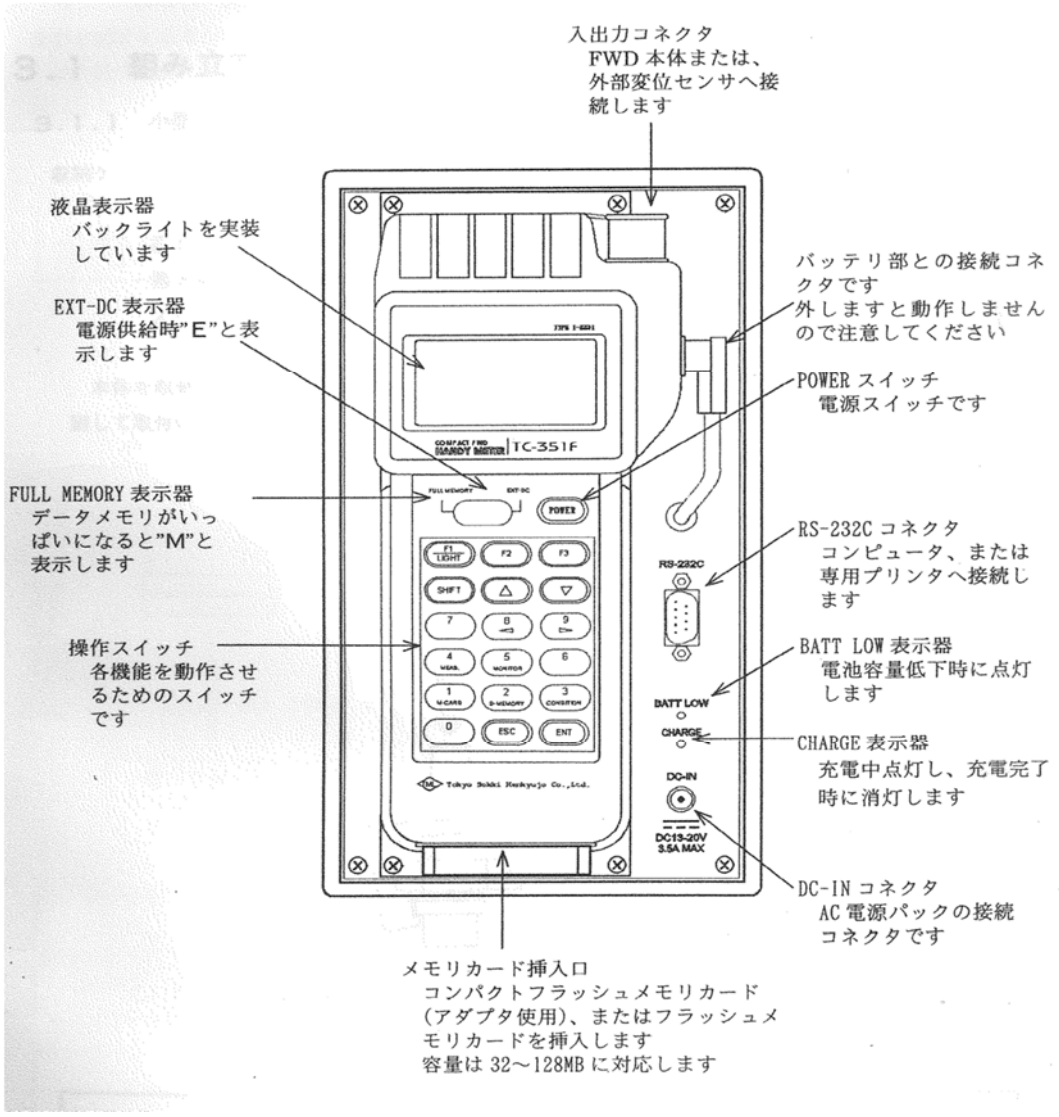


図 3.3　専用表示器

C) 外部変位センサ

重錘の落下点以外の変位は本体とコードにより接続した本体外部のセンサで計測する。

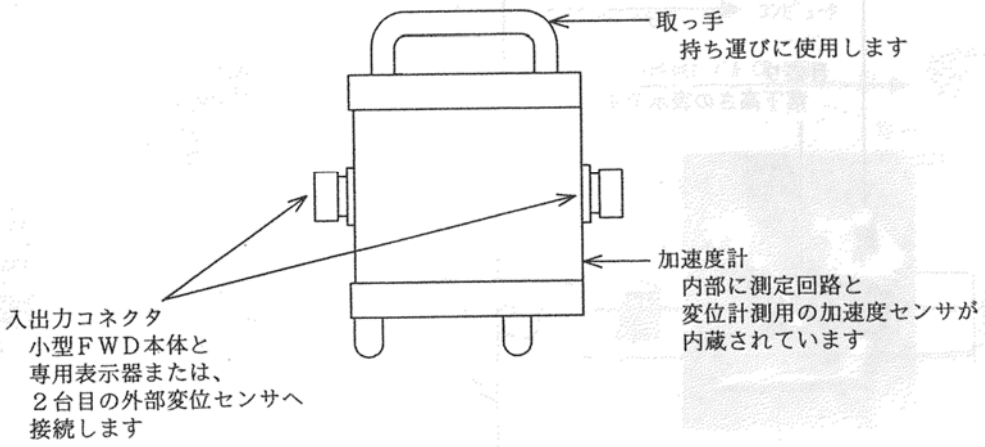


図 3.4　外部変位センサ

(2) 機器の設置

道路の外側線上(ない場合は路肩のもっとも内側)から0.5m内側に道路線上に小型FWD本体と外部変位センサを設置する。外部変位センサは小型FWD本体から20、30、45、60、75、90、120、150cmの測線上の位置に設置する(**図3.4**参照)。

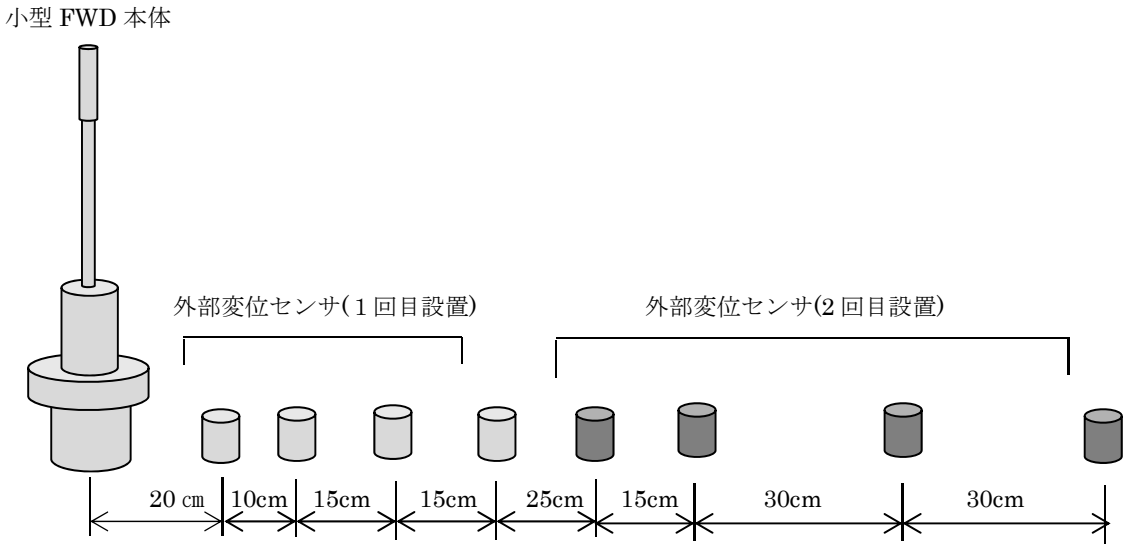


図3.5　小型FWD本体と外部変位センサの設置箇所

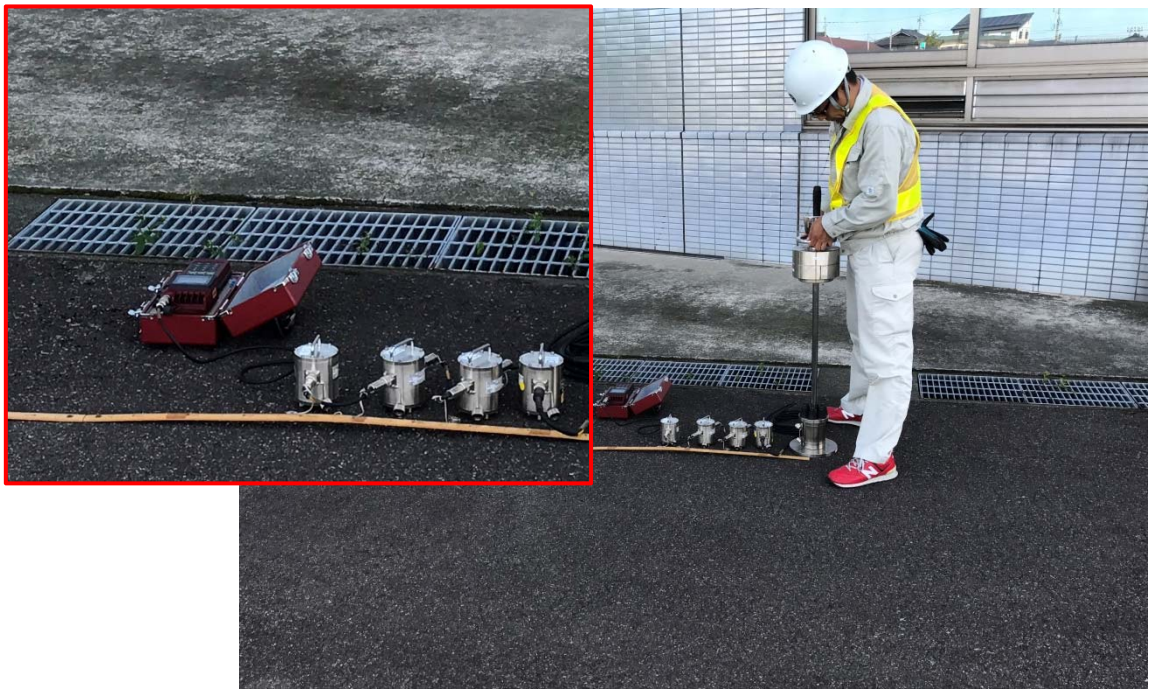


写真3.4　小型FWD本体と外部変位センサの設置箇所

(3) 測定方法

測定は 2 回に分けて行う。1 回目は外部変位センサを載荷位置から 20、30、45、60 ㎝の距離に設置し、2 回目は載荷位置から 75、90、120、150 ㎝の距離に設置して測定する。はじめの値と明らかに異常と思われる値は棄却して、1 回目の測定は、採用値は最低 3 個を得るようにする(測定回数は最低 4 回)。2 回目の測定は、D150 (載荷点から 150 ㎝)のセンサを載荷点からの距離を等間隔に保ちながら少しずつずらし採用値を最低 6 個得るようにする。

(4) 解析方法

解析は**図 3.5** の手順で行う。順解析、逆解析、舗装履歴から総合評価を行う。

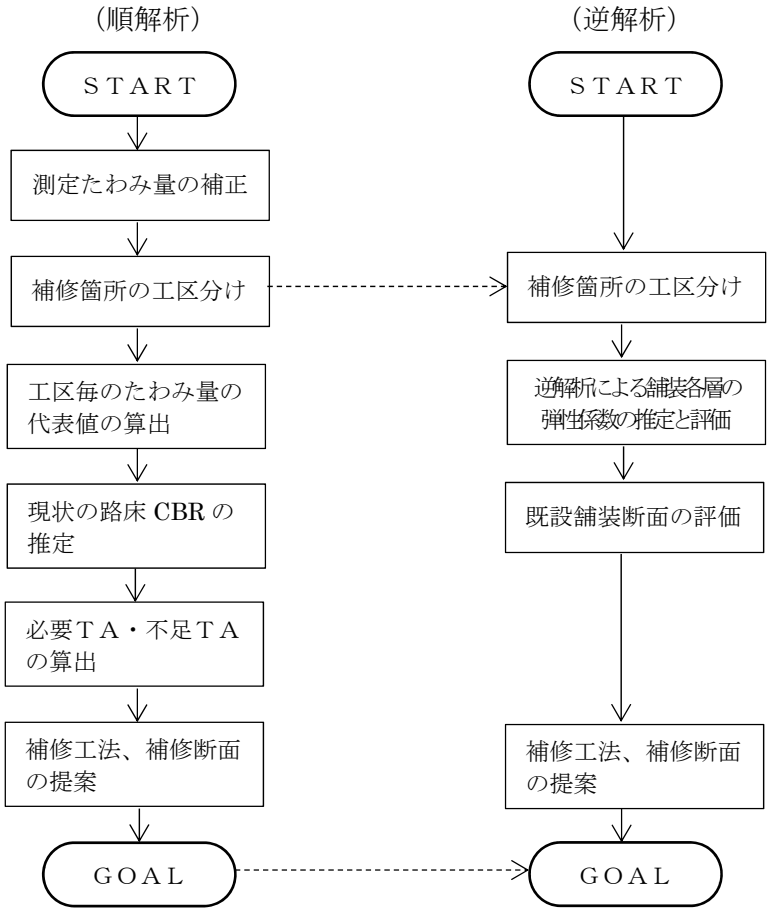


図 3.6　解析の手順

測定たわみの補正

アスファルト混合物は、温度により強度特性が異なるため、FWD 測定時の舗装体の温度により、また、路面に加える載荷荷重のバラツキよっても、測定値に違いが生じる。これらの影響を排除するためには、「測定値の標準化(標準条件 49kN、20℃)」を行う必要がある。補正は、荷重、温度の順に行う。

補修箇所の工区分け

たわみ量 D_0(載荷点のたわみ μ m)に着目し累積差法を用いて行う。累積差法とは、縦断方向にプロットされたデータを、単位間変動を考慮した区間に分類する手法である。

工区毎のたわみ量の代表値の算出

Qテスト検定で棄却、平均し標準偏差値を加算する。

現状の路床 CBR の推定

次式により推定する。

$$\text{現状の CBR}(\%)=\frac{1{,}000}{D_{150}}$$

D_{150}：載荷点から 150 ㎝の距離のたわみ(μ m)

必要 T_A・不足 T_Aの算出

現状の路床 CBR 値と交通量区分で必要 T_A を求める。残存 T_A は次式で求める。

$$\text{残存 } T_A=-25.8\times\log[(D0-D150)/10^3]+11.1$$

逆解析による舗装各層の弾性係数の推定と評価

フリーソフト BALM(バーム)に D0～D150 の値を入力し計算させると各層の弾性係数が求まりQテスト検定で棄却、平均し標準偏差値を減算する。

既設舗装断面の評価

弾性係数と等値換算係数の関係式から等値換算係数を求めて既設舗装断面の評価を行う。

$y=0.023x^{0.3433}$　y：等値換算係数、x：弾性係数

第4章　研究結果

4.1　振動測定の結果

(1) 現地調査

振動計測器を用い、各調査箇所で大型車両(トラック、バス)通行時の振動を計測する。また調査箇所①については、えちぜん鉄道の軌道沿いでもある為、電車が通過した時の計測も合わせて行った。

写真 4.1　振動調査状況

(2) 調査結果

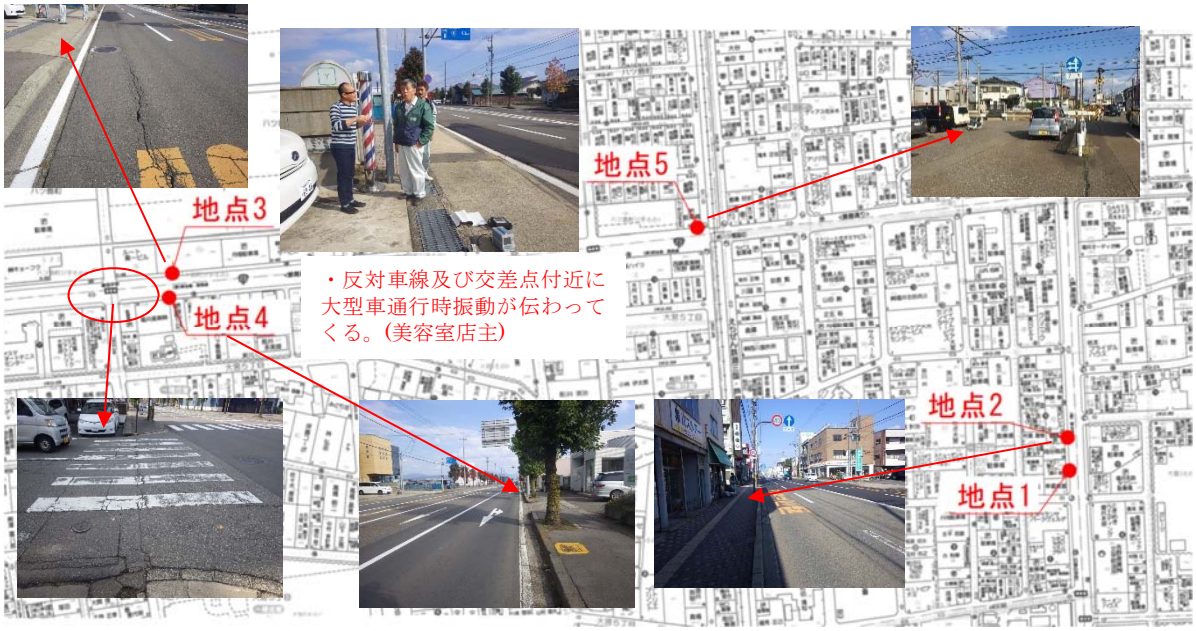
1-①（主)福井丸岡線 福井市高木2丁目 高木跨線橋北詰市道との交差点

対象箇所	日 時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備 考
地点 1	2016年11月4日 10:55		30.0	69.5	
地点2	2016年11月4日 11:00		6.6	56.4	
地点2	2016年11月4日 11:02		19.8	65.9	
地点3	2016年11月4日 11:09		24.2	67.7	
地点4	2016年11月4日 11:12		19.2	65.7	

1-②　一般国道416号 福井市八ツ島町 えちぜん鉄道踏切近傍東行車線(地点5)

1-③　一般国道416号 福井市八ツ島町 藤島中学交差点東側両車線(地点3,4)

1-④　(主)福井加賀線 福井市大宮町 大宮交差点南側北行車線(地点1,2)



対象箇所	日　時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備　考
地点1	2016年11月4日 12:45		35.9	71.1	要請限度を上回っている。
地点1	2016年11月4日 12:55		27.8	68.9	
地点1	2016年11月4日 12:58		27.1	68.7	
地点2	2016年11月4日 13:00		24.9	67.9	

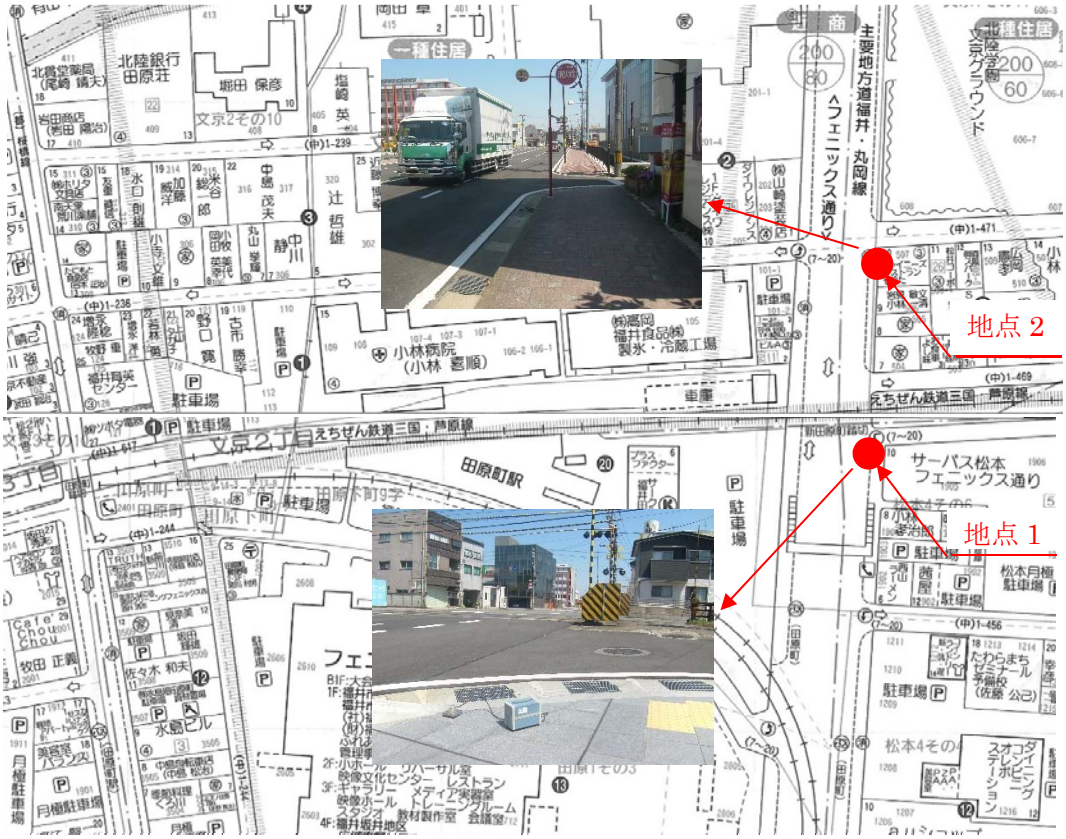
対象箇所	日　時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度 レベル(dB)	備　考
地点3	2016年11月4日 13:30	10tダンプ	16.4	64.3	
地点4	2016年11月4日 13:36		39.8	72.0	要請限度を上回っている。
地点4	2016年11月4日 13:46		28.0	68.9	
地点4	2016年11月4日 13:48		35.3	71.0	要請限度を上回っている。
地点5	2016年11月4日 13:57	電車	28.5	69.1	
地点5	2016年12月12日 夜間	大型車	24.1	67.6	

1-⑤ 福井停車場線・米松線　福井市志比口 2 丁目

福井県民生活協同組合ハーツ～長本交差点

対象箇所	日 時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備　考
地点 3	2017年5月23日 10:38		4.1	52.3	

1-⑥ 福井丸岡線　福井市文京1丁目5番　えちぜん鉄道踏切近傍



対象箇所	日　時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備　考
地点 1	2017年5月23日 10:18		31.6	70.0	
地点 2	2017年5月23日 9:50		30.0	69.5	
地点 2	2017年5月23日 10:00		30.8	69.8	

3-①（一）松島若葉線　敦賀市平和町 両車線

対象箇所	日 時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備 考
地点 1	2017年1月26日 10:35		22.0	66.8	
地点 1	2017年1月26日 10:36		13.9	62.9	
地点 1	2017年1月26日 11:02		37.8	71.5	要請限度を上回っている

3-②（一)敦賀美浜線　敦賀市櫛林町 西行車線

対象箇所	日 時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備 考
地点 2	2017年1月26日 15:58		8.3	58.4	
地点 2	2017年1月26日 16:04		7.9	58.0	

4 一般国道417号　越前町役場東交差点

対象箇所	日　時	対象車両	加速度(mm/s2)	振動加速度レベル(dB)	備　考
地点 4	2017年5月23日 11:27		14.6	63.3	
地点 4	2017年5月23日 11:28		8.7	58.8	
地点 4	2017年5月23日 11:33		7.7	57.7	

(3) 調査結果一覧

表 4.1　箇所ごとの振動加速度レベル

番　号	昼・夜	対象車両	振動加速度レベル (dB)	備　考
1-①	昼	大型バス	69.5	要対策
1-②	昼	電車	69.1	対策困難
	夜	電車	73.8	
	夜	大型トラック	67.6	
1-③	昼	大型トラック	72	要対策
1-④	昼	大型トラック	72	要対策
1-⑤	昼	大型トラック	67.8	対策不要
表層対策後 1-⑤	昼	大型トラック	52.3	
1-⑥	昼	電車	70	対策困難
	昼	大型バス	69.8	
3-①	昼	大型トラック	71.5	要対策
表層対策後 3-②	昼	大型トラック	58.4	対策不要
4	昼	大型トラック	63.3	対策不要

4.2 小型 FWD 調査･解析の結果

振動測定の結果、要対策と判断した番号 1-①、1-③、1-④、3-①について、小型ＦＷＤ調査・解析を行う。

1-①（主）福井丸岡線 福井市高木2丁目 高木跨線橋北詰市道との交差点

1-③ 一般国道416号 福井市八ツ島町 藤島中学交差点東側両車線

1-④（主）福井加賀線 福井市大宮4丁目 大宮交差点南側北行車線

a) 位置図

b) 試験状況(2017 年 7 月 14 日)

1-①高木跨線橋北詰市道との交差点

1-③藤島中学交差点東側 下り

1-③藤島中学交差点東側 上り

1-④大宮交差点南側

c) 解析結果

1-①（主)福井丸岡線 福井市高木2丁目 高木跨線橋北詰市道との交差点

たわみ値解析結果

測点	ｱｽﾌｧﾙﾄ層厚 H_{as}（cm）	アスファルト層の弾性係数（MPa）	小型ＦＷＤ補正値									CBR
			Ｄ０	Ｄ20	Ｄ30	Ｄ45	Ｄ60	Ｄ75	Ｄ90	Ｄ120	Ｄ150	
No.0（+0.0）	10.0	2,746	0.478	0.286	0.292	0.271	0.237					
No.0（+0.0）	10.0							0.219	0.188	0.137	0.159	6.3
No.1（+10.0）	10.0	761	0.856	0.367	0.325	0.291	0.240					
No.1（+10.0）	10.0							0.210	0.188	0.135	0.144	6.9
No.2（+20.0）	10.0	2,888	0.707	0.538	0.519	0.406	0.321					
No.2（+20.0）	10.0							0.263	0.240	0.253	0.202	5.0
No.3（+30.0）	10.0	1,863	0.669	0.423	0.406	0.326	0.252					
No.3（+30.0）	10.0							0.221	0.201	0.209	0.179	5.6
No.4（+40.0）	10.0	3,296	0.636	0.481	0.462	0.364	0.290					
No.4（+40.0）	10.0							0.242	0.222	0.232	0.190	5.3
No.5（+50.0）	10.0	1,759	0.700	0.445	0.422	0.330	0.273					
No.5（+50.0）	10.0							0.243	0.227	0.233	0.187	5.3
No.6（+60.0）	10.0	2,418	0.717	0.523	0.491	0.393	0.328					
No.6（+60.0）												

順解析結果

工区	距離	測点	荷重 [kN]	補正後のたわみ量 [mm]								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
高木 2丁目 北進車線	0	No.0	49.000	0.478	0.286	0.292	0.271	0.237	0.219	0.188	0.137	0.159
	10	No.1	49.000	0.856	0.367	0.325	0.291	0.240	0.210	0.188	0.135	0.144
	20	No.2	49.000	0.707	0.538	0.519	0.406	0.321	0.263	0.240	0.253	0.202
	30	No.3	49.000	0.669	0.423	0.406	0.326	0.252	0.221	0.201	0.209	0.179
	40	No.4	49.000	0.636	0.481	0.462	0.364	0.290	0.242	0.222	0.232	0.190
	50	No.5	49.000	0.700	0.445	0.422	0.330	0.273	0.243	0.227	0.233	0.187
	60	No.6	49.000	0.717	0.523	0.491	0.393	0.328				
測定数		7										
Qテスト		Q90%										
検定値		0.507										
検定用		最大値		0.856	0.538	0.519	0.406	0.328	0.263	0.240	0.253	0.202
		最大値から2番目		0.717	0.523	0.491	0.393	0.321	0.243	0.227	0.233	0.190
		最少値から2番目		0.636	0.367	0.325	0.291	0.240	0.219	0.188	0.137	0.159
		最小値		0.478	0.286	0.292	0.271	0.237	0.210	0.188	0.135	0.144
最大値検定		r=(7・Q90%)=0.507		0.368	0.060	0.123	0.096	0.077	0.377	0.250	0.169	0.207
最小値検定				0.418	0.321	0.145	0.148	0.033	0.170	0.000	0.017	0.259
最大値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無

工　区	距離	測点	荷重 [kN]	補正後のたわみ量 [mm]								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
異常値 除外後	0	No.0	49.000	0.478	0.286	0.292	0.271	0.237	0.219	0.188	0.137	0.159
	10	No.1	49.000	0.856	0.367	0.325	0.291	0.240	0.210	0.188	0.135	0.144
	20	No.2	49.000	0.707	0.538	0.519	0.406	0.321	0.263	0.240	0.253	0.202
	30	No.3	49.000	0.669	0.423	0.406	0.326	0.252	0.221	0.201	0.209	0.179
	40	No.4	49.000	0.636	0.481	0.462	0.364	0.290	0.242	0.222	0.232	0.190
	50	No.5	49.000	0.700	0.445	0.422	0.330	0.273	0.243	0.227	0.233	0.187
	60	No.6	49.000	0.717	0.523	0.491	0.393	0.328				
	平均値			0.6804	0.4376	0.4167	0.3401	0.2773	0.2330	0.2110	0.1998	0.1768
	標準偏差			0.1128	0.0890	0.0838	0.0503	0.0372	0.0197	0.0218	0.0514	0.0215
代表値				**0.793**	**0.527**	**0.501**	**0.390**	**0.315**	**0.253**	**0.233**	**0.251**	**0.198**

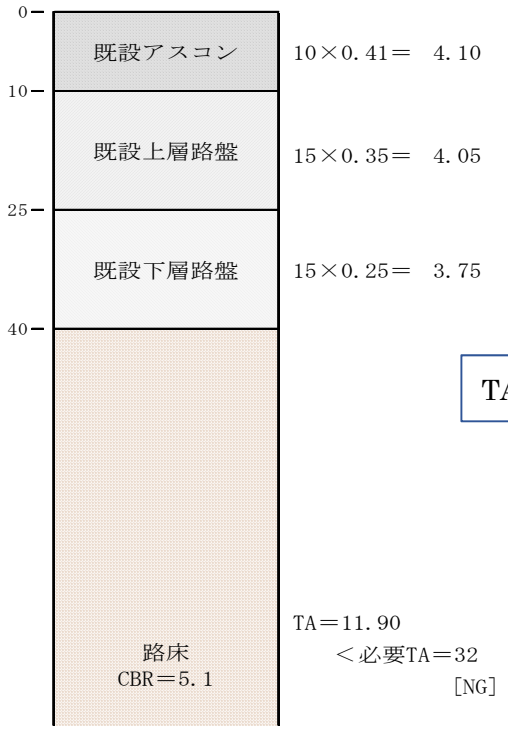
逆解析結果

工　区	距離	測点	既設アスコン(順解析結果)	既設アスコン(20℃)		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数[kgf/cm2]	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	CBR[%]
高木2丁目北進車線	0	No.0	2,746	12,722.3	0.59	21,657.1	0.71	15,141.0	0.63	828.4	8.4
	10	No.1	761	2,448.9	0.34	24,628.4	0.74	18,450.1	0.67	862.5	8.8
	20	No.2	2,888	12,928.1	0.59	17,344.8	0.66	1,710.5	0.30	610.1	6.2
	30	No.3	1,863	7,460.8	0.49	14,381.3	0.62	6,966.5	0.48	730.5	7.4
	40	No.4	3,296	14,512.8	0.62	17,128.4	0.65	2,846.7	0.35	656.3	6.7
	50	No.5	1,759	6,741.1	0.47	13,926.5	0.61	9,402.3	0.53	663.2	6.8
測定数		6									
Qテスト		Q90%									
検定値		0.560									
検定用		最大値		14,512.8	0.62	24,628.4	0.74	18,450.1	0.67	862.5	8.80
		最大値から2番目		12,928.1	0.59	21,657.1	0.71	15,141.0	0.63	828.4	8.45
		最少値から2番目		6,741.1	0.47	14,381.3	0.62	2,846.7	0.35	656.3	6.69
		最小値		2,448.9	0.34	13,926.5	0.61	1,710.5	0.30	610.1	6.22
最大値検定		r=(6・Q90%)=0.56		0.131	0.085	0.278	0.243	0.198	0.118	0.135	0.135
最小値検定				0.356	0.494	0.042	0.051	0.068	0.151	0.183	0.183
最大値除外				無	無	無	無	無	無	無	無
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無

工　区	距離	測点	既設アスコン(順解析結果)	既設アスコン(20℃)		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数[kgf/cm2]	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	CBR[%]
異常値除外後	0	No.0	2,746	12,722.3	0.59	21,657.1	0.71	15,141.0	0.63	828.4	8.4
	10	No.1	761	2,448.9	0.34	24,628.4	0.74	18,450.1	0.67	862.5	8.8
	20	No.2	2,888	12,928.1	0.59	17,344.8	0.66	1,710.5	0.30	610.1	6.2
	30	No.3	1,863	7,460.8	0.49	14,381.3	0.62	6,966.5	0.48	730.5	7.4
	40	No.4	3,296	14,512.8	0.62	17,128.4	0.65	2,846.7	0.35	656.3	6.7
	50	No.5	1,759	6,741.1	0.47	13,926.5	0.61	9,402.3	0.53	663.2	6.8
平均値				9,469.0	0.52	18,177.8	0.66	9,086.2	0.49	725.2	7.4
標準偏差				4,663.6	0.11	4,195.2	0.05	6,667.4	0.15	101.4	1.0
代表値				4,805.4	0.41	13,982.6	0.61	2,418.8	0.35	623.8	6.4
たわみ量を用いる方法				12,554.9	0.59		0.35		0.25		5.1

改良計画の提案

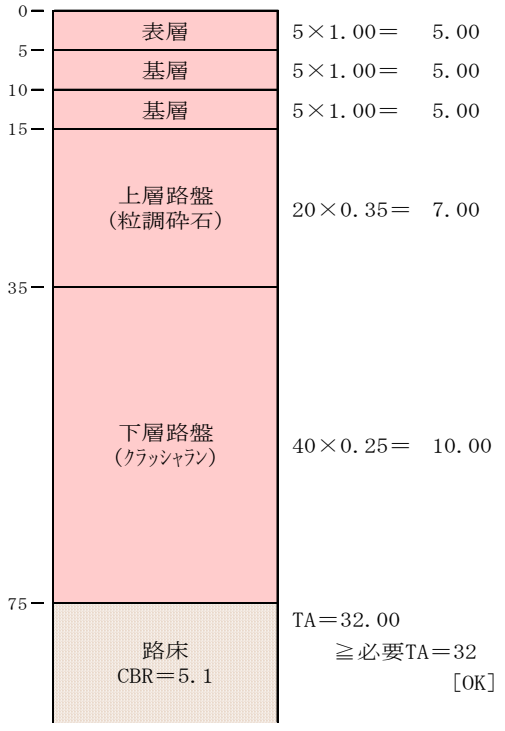
＜現況＞



設計CBR＝4　N6(C)交通

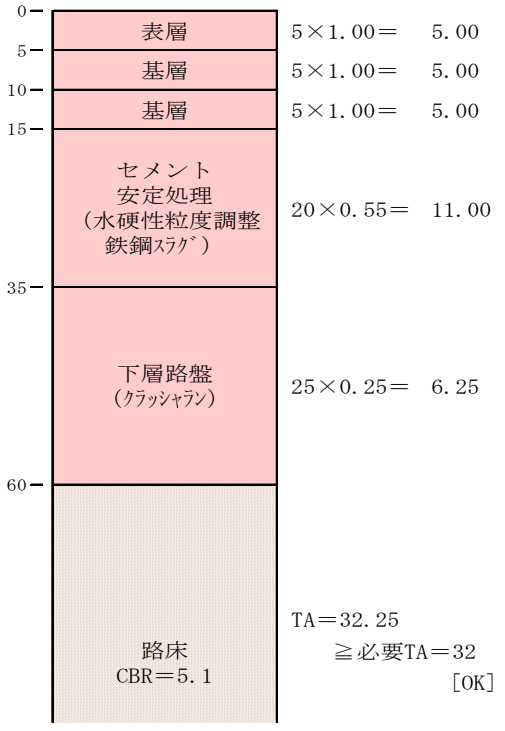
TA が不足しており、路床位置からの修繕が必要。

＜計画案①＞



設計CBR＝4　N6(C)交通

＜計画案②＞



設計CBR＝4　N6(C)交通

1-③ 一般国道416号 福井市八ツ島町 藤島中学交差点東側両車線

たわみ値解析結果

測点	ｱｽﾌｧﾙﾄ層厚	アスファルト層の	小型ＦＷＤ補正値									
	H_{as}（cm）	弾性係数（MPa）	Ｄ０	Ｄ20	Ｄ30	Ｄ45	Ｄ60	Ｄ75	Ｄ90	Ｄ120	Ｄ150	CBR
No.0（+0.0）	10.0	2,746	1.027	0.796	0.649	0.479	0.363					
No.0（+0.0）	10.0							0.317	0.246	0.232	0.180	5.5
No.1（+10.0）	10.0	761	1.125	0.807	0.672	0.464	0.359					
No.1（+10.0）	10.0							0.300	0.262	0.240	0.216	4.6
No.2（+20.0）	10.0	2,888	1.159	0.731	0.601	0.438	0.313					
No.2（+20.0）	10.0							0.311	0.254	0.189	0.197	5.1
No.3（+30.0）	10.0	1,863	1.282	0.817	0.653	0.458	0.339					
No.3（+30.0）	10.0							0.326	0.282	0.231	0.237	4.2
No.4（+40.0）	10.0	3,296	1.187	0.747	0.637	0.479	0.349					
No.4（+40.0）	10.0							0.314	0.285	0.223	0.208	4.8
No.5（+50.0）	10.0	1,759	1.211	0.814	0.657	0.445	0.322					
No.5（+50.0）	10.0							0.299	0.253	0.159	0.143	7.0
No.6（+60.0）	10.0	2,418	1.131	0.799	0.659	0.457	0.341					
No.6（+60.0）								0.294	0.250	0.235	0.197	5.1

順解析結果

工区	距離	測点	荷重［kN］	補正後のたわみ量［mm］								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
高木2丁目北進車線	0	No.0	49.000	1.027	0.796	0.649	0.479	0.363	0.317	0.246	0.232	0.180
	10	No.1	49.000	1.125	0.807	0.672	0.464	0.359	0.300	0.262	0.240	0.216
	20	No.2	49.000	1.159	0.731	0.601	0.438	0.313	0.311	0.254	0.189	0.197
	30	No.3	49.000	1.282	0.817	0.653	0.458	0.339	0.326	0.282	0.231	0.237
	40	No.4	49.000	1.187	0.747	0.637	0.479	0.349	0.314	0.285	0.223	0.208
	50	No.5	49.000	1.211	0.814	0.657	0.445	0.322	0.299	0.253	0.159	0.143
	60	No.6	49.000	1.131	0.799	0.659	0.457	0.341	0.294	0.250	0.235	0.197
測定数		7										
Qテスト		Q90%										
検定値		0.568										
検定用		最大値		1.282	0.817	0.672	0.479	0.363	0.326	0.285	0.240	0.237
		最大値から2番目		1.211	0.814	0.659	0.479	0.359	0.317	0.282	0.235	0.216
		最少値から2番目		1.125	0.747	0.637	0.445	0.322	0.299	0.250	0.189	0.180
		最小値		1.027	0.731	0.601	0.438	0.313	0.294	0.246	0.159	0.143
最大値検定		r=(7・Q90%)=0.568		0.277	0.034	0.188	0.006	0.082	0.281	0.086	0.059	0.222
最小値検定				0.382	0.183	0.496	0.160	0.171	0.175	0.088	0.375	0.394
最大値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無

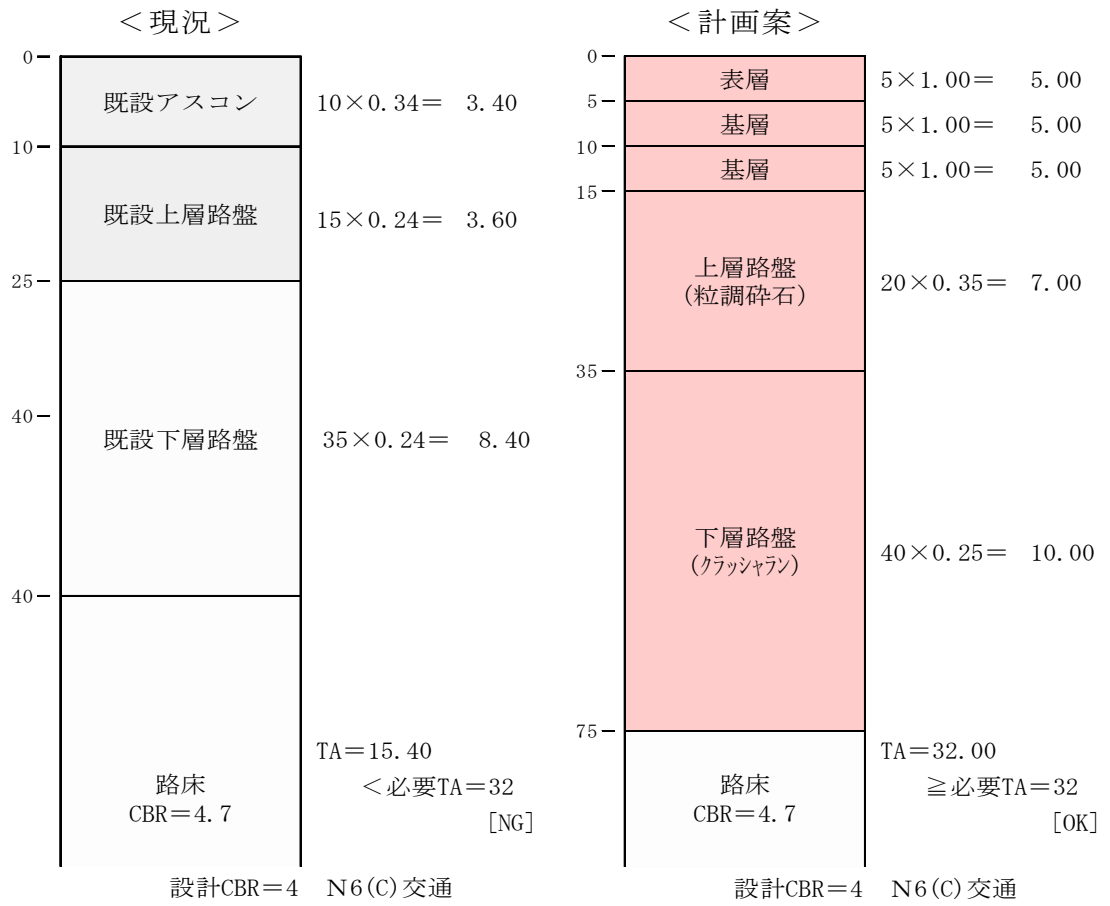
工　区	距離	測点	荷重［kN］	補正後のたわみ量［mm］								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
異常値除外後	0	No.0	49.000	1.027	0.796	0.649	0.479	0.363	0.317	0.246	0.232	0.180
	10	No.1	49.000	1.125	0.807	0.672	0.464	0.359	0.300	0.262	0.240	0.216
	20	No.2	49.000	1.159	0.731	0.601	0.438	0.313	0.311	0.254	0.189	0.197
	30	No.3	49.000	1.282	0.817	0.653	0.458	0.339	0.326	0.282	0.231	0.237
	40	No.4	49.000	1.187	0.747	0.637	0.479	0.349	0.314	0.285	0.223	0.208
	50	No.5	49.000	1.211	0.814	0.657	0.445	0.322	0.299	0.253		
	60	No.6	49.000	1.131	0.799	0.659	0.457	0.341	0.294	0.250	0.235	0.197
	平均値			1.1603	0.7875	0.6468	0.4598	0.3407	0.3086	0.2617	0.2251	0.2057
	標準偏差			0.0795	0.0341	0.0228	0.0154	0.0181	0.0113	0.0155	0.0183	0.0196
代表値				**1.240**	**0.822**	**0.670**	**0.475**	**0.359**	**0.320**	**0.277**	**0.243**	**0.225**

逆解析結果

工　区	距離	測点	既設アスコン（順解析結果）	既設アスコン（20℃）		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数 [kgf/cm2]	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	CBR [%]
高木2丁目北進車線	0	No.0	16,679	8,608.6	0.52	1,525.7	0.28	1,069.1	0.25	562.3	5.7
	10	No.1	10,281	5,538.4	0.44	1,160.5	0.26	1,054.1	0.25	545.1	5.6
	20	No.2	7,263	2,847.0	0.35	958.0	0.24	3,319.1	0.37	499.9	5.1
	30	No.3	5,820	2,666.9	0.35	879.9	0.24	1,965.6	0.31	554.7	5.7
	40	No.4	6,941	3,372.0	0.37	1,003.9	0.25	2,021.3	0.31	500.7	5.1
	50	No.5	7,381	3,236.1	0.37	1,281.3	0.27	982.9	0.24	650.6	6.6
	60	No.6	10,047	5,241.1	0.44	1,104.6	0.25	1,394.7	0.28	562.2	5.7
測定数		7									
Qテスト		Q90%									
検定値		0.349									
検定用		最大値		8,608.6	0.52	1,525.7	0.28	3,319.1	0.37	650.6	6.63
		最大値から2番目		5,538.4	0.44	1,281.3	0.27	2,021.3	0.31	562.3	5.73
		最少値から2番目		2,847.0	0.35	958.0	0.24	1,054.1	0.25	500.7	5.11
		最小値		2,666.9	0.35	879.9	0.24	982.9	0.24	499.9	5.10
最大値検定		r=(7・Q90%)=0.349		0.517	0.424	0.378	0.338	0.556	0.458	0.586	0.586
最小値検定				0.030	0.046	0.121	0.142	0.030	0.047	0.005	0.005
最大値除外				8608.6	0.5	1525.7	無	3319.1	0.4	650.6	6.6
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無

工　区	距離	測点	既設アスコン（順解析結果）	既設アスコン（20℃）		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数 [kgf/cm2]	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	CBR [%]
高木2丁目北進車線	0	No.0	16,679				0.28	1,069.1	0.25	562.3	5.7
	10	No.1	10,281	5,538.4	0.44	1,160.5	0.26	1,054.1	0.25	545.1	5.6
	20	No.2	7,263	2,847.0	0.35	958.0	0.24			499.9	5.1
	30	No.3	5,820	2,666.9	0.35	879.9	0.24	1,965.6	0.31	554.7	5.7
	40	No.4	6,941	3,372.0	0.37	1,003.9	0.25	2,021.3	0.31	500.7	5.1
	50	No.5	7,381	3,236.1	0.37	1,281.3	0.27	982.9	0.24	650.6	6.6
	60	No.6	10,047	5,241.1	0.44	1,104.6	0.25	1,394.7	0.28	562.2	5.7
平均値				3,816.9	0.39	1,064.7	0.25	1,414.6	0.27	553.6	5.6
標準偏差				1,248.2	0.04	146.2	0.01	491.0	0.03	50.5	0.5
代表値				2,568.7	0.34	918.5	0.24	923.6	0.24	503.1	5.1
たわみ量を用いる方法				7,138.0	0.48						4.7

改良計画の提案



TA が不足しており、路床位置からの修繕が必要。

1-④（主)福井加賀線 福井市大宮4丁目 大宮交差点南側北行車線

たわみ値解析結果

測点	ｱｽﾌｧﾙﾄ層厚	アスファルト層の	小型ＦＷＤ補正値									
	H_{as}（cm）	弾性係数（MPa）	Ｄ０	Ｄ20	Ｄ30	Ｄ45	Ｄ60	Ｄ75	Ｄ90	Ｄ120	Ｄ150	CBR
No.0（+0.0）	10.0	600	1.205	0.711	0.574	0.334	0.250					
No.0（+0.0）	10.0							0.224	0.191	0.180	0.140	7.1
No.1（+10.0）	10.0	846	1.089	0.697	0.569	0.384	0.266					
No.1（+10.0）	10.0							0.219	0.199	0.204	0.139	7.2
No.2（+20.0）	10.0	2,710	0.733	0.558	0.509	0.388	0.311					
No.2（+20.0）	10.0							0.258	0.212	0.189	0.172	5.8
No.3（+30.0）	10.0	916	1.041	0.665	0.583	0.418	0.333					
No.3（+30.0）	10.0							0.263	0.226	0.196	0.139	7.2
No.4（+40.0）	10.0	572	1.163	0.631	0.527	0.364	0.277					
No.4（+40.0）	10.0							0.273	0.198	0.186	0.122	8.2

順解析結果

工区	距離	測点	荷重［kN］	補正後のたわみ量［mm］								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
大宮4丁目北進車線	0	No.0	49.000	1.205	0.711	0.574	0.334	0.250	0.224	0.191	0.180	0.140
	10	No.1	49.000	1.089	0.697	0.569	0.384	0.266	0.219	0.199	0.204	0.139
	20	No.2	49.000	0.733	0.558	0.509	0.388	0.311	0.258	0.212	0.189	0.172
	30	No.3	49.000	1.041	0.665	0.583	0.418	0.333	0.263	0.226	0.196	0.139
	40	No.4	49.000	1.163	0.631	0.527	0.364	0.277	0.273	0.198	0.186	0.122
測定数		5										
Qテスト		Q90%										
検定値		0.642										
検定用		最大値		1.205	0.711	0.583	0.418	0.333	0.273	0.226	0.204	0.172
		最大値から2番目		1.163	0.697	0.574	0.388	0.311	0.263	0.212	0.196	0.140
		最少値から2番目		1.041	0.631	0.527	0.364	0.266	0.224	0.198	0.186	0.139
		最小値		0.733	0.558	0.509	0.334	0.250	0.219	0.191	0.180	0.122
最大値検定		r=(5・Q90%)=0.642		0.089	0.092	0.122	0.357	0.265	0.185	0.400	0.333	0.640
最小値検定				0.653	0.477	0.243	0.357	0.193	0.093	0.200	0.250	0.340
最大値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無
最小値除外				0.7330	無	無	無	無	無	無	無	無

工　区	距離	測点	荷重［kN］	補正後のたわみ量［mm］								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
異常値除外後	0	No.0	49.000	1.205	0.711	0.574	0.334	0.250	0.224	0.191	0.180	0.140
	10	No.1	49.000	1.089	0.697	0.569	0.384	0.266	0.219	0.199	0.204	0.139
	20	No.2	49.000		0.558	0.509	0.388	0.311	0.258	0.212	0.189	0.172
	30	No.3	49.000	1.041	0.665	0.583	0.418	0.333	0.263	0.226	0.196	0.139
	40	No.4	49.000	1.163	0.631	0.527	0.364	0.277	0.273	0.198	0.186	0.122
	平均値			1.1245	0.6524	0.5524	0.3776	0.2874	0.2474	0.2052	0.1910	0.1424
	標準偏差			0.0735	0.0611	0.0324	0.0311	0.0339	0.0243	0.0139	0.0093	0.0182
代表値				**1.198**	**0.714**	**0.585**	**0.409**	**0.321**	**0.272**	**0.219**	**0.200**	**0.161**

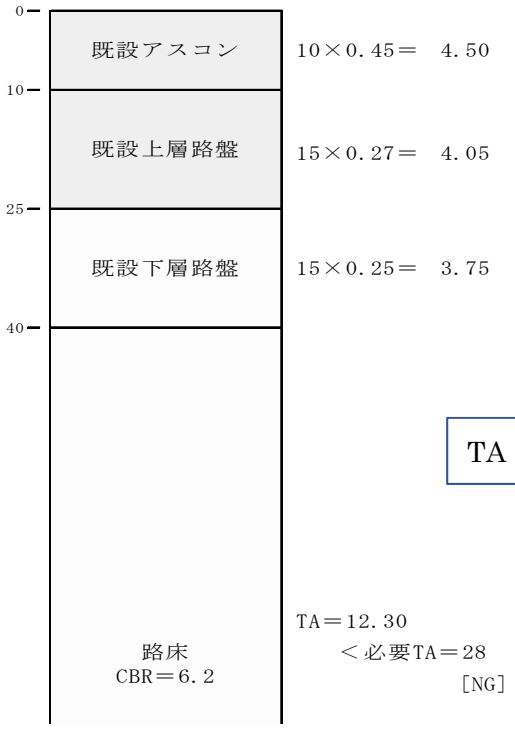
逆解析結果

工　区	距離	測点	既設アスコン（順解析結果）	既設アスコン（20℃）		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数 [kgf/cm2]	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	CBR [%]
大宮4丁目北進車線	0	No.0	6,118	10,822.6	0.56	1,199.8	0.26	1,269.1	0.27	821.4	8.4
	10	No.1	8,627	14,287.2	0.61	1,520.0	0.28	1,177.4	0.26	771.6	7.9
	20	No.2	27,634	39,808.2	0.87	3,360.8	0.37	1,839.5	0.30	678.1	6.9
	30	No.3	9,341	14,558.9	0.62	2,087.8	0.32	1,495.7	0.28	671.1	6.8
	40	No.4	5,833	7,329.6	0.49	1,805.5	0.30	2,367.6	0.33	740.6	7.6
測定数		5									
Qテスト		Q90%									
検定値		0.642									
検定用		最大値		39,808.2	0.87	3,360.8	0.37	2,367.6	0.33	821.4	8.38
		最大値から2番目		14,558.9	0.62	2,087.8	0.32	1,839.5	0.30	771.6	7.87
		最少値から2番目		10,822.6	0.56	1,520.0	0.28	1,269.1	0.27	678.1	6.92
		最小値		7,329.6	0.49	1,199.8	0.26	1,177.4	0.26	671.1	6.84
最大値検定		r=(5・Q90%)=0.642		0.777	0.663	0.589	0.506	0.444	0.389	0.331	0.331
最小値検定				0.108	0.182	0.148	0.199	0.077	0.096	0.047	0.047
最大値除外				39808.2	0.9	無	無	無	無	無	無
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無

工　区	距離	測点	既設アスコン（順解析結果）	既設アスコン（20℃）		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数 [kgf/cm2]	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数 [kgf/cm2]	CBR [%]
異常値除外後	0	No.0	6,118	10,822.6	0.56	1,199.8	0.26	1,269.1	0.27	821.4	8.4
	10	No.1	8,627	14,287.2	0.61	1,520.0	0.28	1,177.4	0.26	771.6	7.9
	20	No.2	27,634			3,360.8	0.37	1,839.5	0.30	678.1	6.9
	30	No.3	9,341	14,558.9	0.62	2,087.8	0.32	1,495.7	0.28	671.1	6.8
	40	No.4	5,833	7,329.6	0.49	1,805.5	0.30	2,367.6	0.33	740.6	7.6
平均値				11,749.6	0.57	1,994.8	0.31	1,629.9	0.29	736.6	7.5
標準偏差				3,402.3	0.06	831.9	0.04	485.0	0.03	63.5	0.6
代表値				8,347.3	0.51	1,162.9	0.27	1,144.8	0.26	673.0	6.9
たわみ量を用いる方法				5,941.0	0.45		0.35		0.25		6.2

改良計画の提案

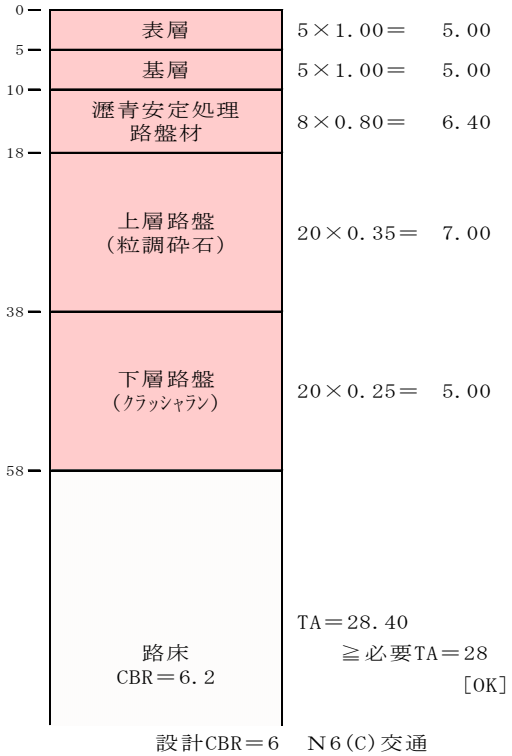
＜現況＞



TA が不足しており、路床位置からの修繕が必要。

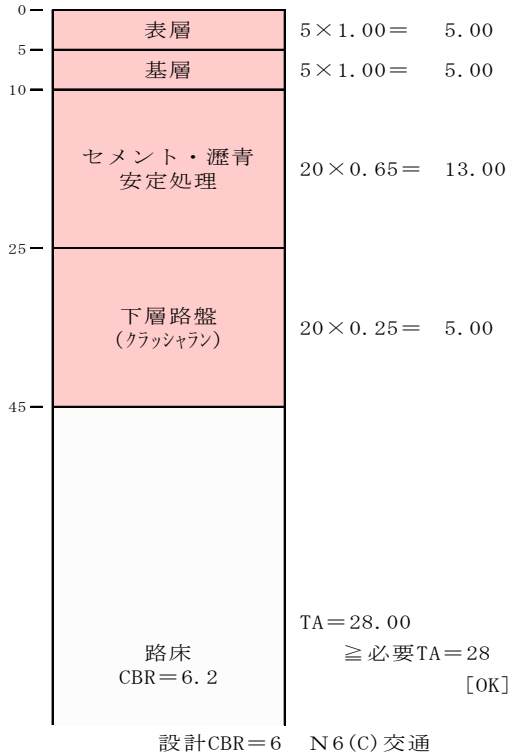
設計CBR＝6　N6(C)交通

＜計画案①＞



設計CBR＝6　N6(C)交通

＜計画案②＞

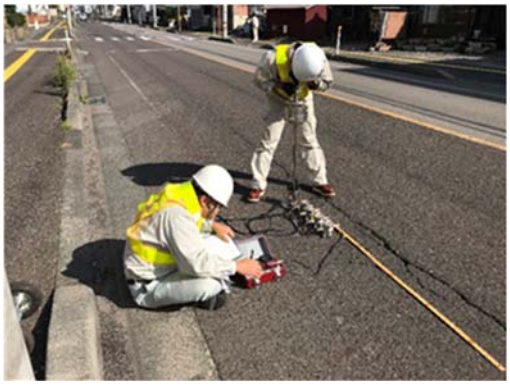


設計CBR＝6　N6(C)交通

3-①（一）松島若葉線 敦賀市平和町 両車線

a）位置図

b）試験状況(2017 年 11 月 7 日)



たわみ値解析結果

測点	ｱｽﾌｧﾙﾄ層厚	アスファルト層の	小型ＦＷＤ補正値									
	H_{as}（cm）	弾性係数（MPa）	Ｄ０	Ｄ20	Ｄ30	Ｄ45	Ｄ60	Ｄ75	Ｄ90	Ｄ120	Ｄ150	CBR
No.0（+0.0）	11.0	4,308	0.612	0.495	0.460	0.401	0.344					
No.0（+0.0）	11.0							0.280	0.252	0.216	0.179	5.6
No.1（+5.0）	11.0	4,558	0.905	0.808	0.703	0.556	0.456					
No.1（+5.0）	11.0							0.363	0.294	0.238	0.179	5.6
No.2（+10.0）	11.0	2,234	0.933	0.761	0.686	0.523	0.404					
No.2（+10.0）	11.0							0.333	0.276	0.219	0.171	5.8
No.3（+15.0）	11.0	5,271	0.760	0.667	0.591	0.498	0.407					
No.3（+15.0）	11.0							0.325	0.279	0.225	0.179	5.6
No.4（+20.0）	11.0	2,637	0.803	0.642	0.579	0.469	0.386					
No.4（+20.0）	11.0							0.313	0.268	0.216	0.164	6.1
No.5（+25.0）	11.0	11,080	0.544	0.489	0.451	0.364	0.324					
No.5（+25.0）	11.0							0.260	0.230	0.203	0.176	5.7
No.6（+30.0）	11.0	11,769	0.626	0.574	0.524	0.459	0.393					
No.6（+30.0）	11.0							0.309	0.252	0.208	0.181	5.5

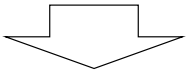
順解析結果

工区	距離	測点	荷重［kN］	補正後のたわみ量［mm］								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
平和町北進車線	0	No.0	49.000	0.6120	0.4950	0.4600	0.4010	0.3440	0.2800	0.2520	0.2160	0.1790
	5	No.1	49.000	0.9050	0.8080	0.7030	0.5560	0.4560	0.3630	0.2940	0.2380	0.1790
	10	No.2	49.000	0.9330	0.7610	0.6860	0.5230	0.4040	0.3330	0.2760	0.2190	0.1710
	15	No.3	49.000	0.7600	0.6670	0.5910	0.4980	0.4070	0.3250	0.2790	0.2250	0.1790
	20	No.4	49.000	0.8030	0.6420	0.5790	0.4690	0.3860	0.3130	0.2680	0.2160	0.1640
	25	No.5	49.000	0.5440	0.4890	0.4510	0.3640	0.3240	0.2600	0.2300	0.2030	0.1760
	30	No.6	49.000	0.6260	0.5740	0.5240	0.4590	0.3930	0.3090	0.2520	0.2080	0.1810
測定数		7										
Qテスト		Q90%										
検定値		0.507										
検定用		最大値		0.9330	0.8080	0.7030	0.5560	0.4560	0.3630	0.2940	0.2380	0.1810
		最大値から2番目		0.9050	0.7610	0.6860	0.5230	0.4070	0.3330	0.2790	0.2250	0.1790
		最少値から2番目		0.6120	0.4950	0.4600	0.4010	0.3440	0.2800	0.2520	0.2080	0.1710
		最小値		0.5440	0.4890	0.4510	0.3640	0.3240	0.2600	0.2300	0.2030	0.1640
最大値検定		r=(7・Q90%)=0.507		0.072	0.147	0.067	0.172	0.371	0.291	0.234	0.371	0.118
最小値検定				0.175	0.019	0.036	0.193	0.152	0.194	0.344	0.143	0.412
最大値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無	無

工　区	距離	測点	荷重［kN］	補正後のたわみ量［mm］								
				D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
異常値除外後	0	No.0	49.000	0.6120	0.4950	0.4600	0.4010	0.3440	0.2800	0.2520	0.2160	0.1790
	5	No.1	49.000	0.9050	0.8080	0.7030	0.5560	0.4560	0.3630	0.2940	0.2380	0.1790
	10	No.2	49.000	0.9330	0.7610	0.6860	0.5230	0.4040	0.3330	0.2760	0.2190	0.1710
	15	No.3	49.000	0.7600	0.6670	0.5910	0.4980	0.4070	0.3250	0.2790	0.2250	0.1790
	20	No.4	49.000	0.8030	0.6420	0.5790	0.4690	0.3860	0.3130	0.2680	0.2160	0.1640
	25	No.5	49.000	0.5440	0.4890	0.4510	0.3640	0.3240	0.2600	0.2300	0.2030	0.1760
	30	No.6	49.000	0.6260	0.5740	0.5240	0.4590	0.3930	0.3090	0.2520	0.2080	0.1810
	平均値			0.7404	0.6337	0.5706	0.4671	0.3877	0.3119	0.2644	0.2179	0.1756
	標準偏差			0.1509	0.1235	0.1000	0.0671	0.0434	0.0340	0.0213	0.0114	0.0061
代表値				**0.891**	**0.757**	**0.671**	**0.534**	**0.431**	**0.346**	**0.286**	**0.229**	**0.182**

逆解析結果

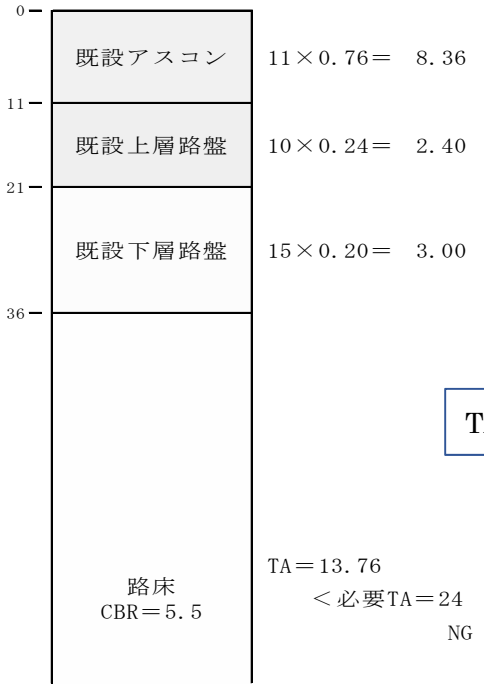
工　区	距離	測点	既設アスコン(順解析結果)	既設アスコン(20℃)		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数[kgf/cm2]	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	CBR[%]
平和町北進車線	0	No.0	43,929	46,939.4	0.92	6,924.8	0.48	5,565.6	0.44	587.9	6.0
	5	No.1	46,479	72,299.2	1.07	776.8	0.23	588.3	0.21	541.5	5.5
	10	No.2	22,780	48,045.4	0.93	1,221.1	0.26	876.2	0.24	571.0	5.8
	15	No.3	53,749	86,564.8	1.14	1,595.7	0.29	1,160.6	0.26	561.2	5.7
	20	No.4	26,890	42,402.2	0.89	3,769.6	0.39	1,541.3	0.29	582.4	5.9
	25	No.5	112,985	109,019.8	1.23	4,504.8	0.41	3,702.3	0.39	636.7	6.5
	30	No.6	120,010	168,719.2	1.43	1,173.0	0.26	841.9	0.23	601.3	6.1
測定数		7									
Qテスト		Q90%									
検定値		0.507									
検定用		最大値		168,719.2	1.43	6,924.8	0.48	5,565.6	0.44	636.7	6.49
		最大値から2番目		109,019.8	1.23	4,504.8	0.41	3,702.3	0.39	601.3	6.13
		最少値から2番目		46,939.4	0.92	1,173.0	0.26	841.9	0.23	561.2	5.72
		最小値		42,402.2	0.89	776.8	0.23	588.3	0.21	541.5	5.52
最大値検定		r=(7・Q90%)=0.507		0.473	0.369	0.394	0.260	0.374	0.243	0.372	0.372
最小値検定				0.036	0.059	0.064	0.136	0.051	0.113	0.207	0.207
最大値除外				無	無	無	無	無	無	無	無
最小値除外				無	無	無	無	無	無	無	無



工　区	距離	測点	既設アスコン(順解析結果)	既設アスコン(20℃)		既設上層路盤		既設下層路盤		路床	
			弾性係数[kgf/cm2]	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	等値換算係数	弾性係数[kgf/cm2]	CBR[%]
異常値除外後	0	No.0	43,929	46,939.4	0.92	6,924.8	0.48	5,565.6	0.44	587.9	6.0
	5	No.1	46,479	72,299.2	1.07	776.8	0.23	588.3	0.21	541.5	5.5
	10	No.2	22,780	48,045.4	0.93	1,221.1	0.26	876.2	0.24	571.0	5.8
	15	No.3	53,749	86,564.8	1.14	1,595.7	0.29	1,160.6	0.26	561.2	5.7
	20	No.4	26,890	42,402.2	0.89	3,769.6	0.39	1,541.3	0.29	582.4	5.9
	25	No.5	112,985	109,019.8	1.23	4,504.8	0.41	3,702.3	0.39	636.7	6.5
	30	No.6	120,010	168,719.2	1.43	1,173.0	0.26	841.9	0.23	601.3	6.1
平均値				81,998.6	1.09	2,852.3	0.33	2,039.5	0.29	583.1	5.9
標準偏差				45,305.2	0.20	2,292.2	0.10	1,875.8	0.09	30.5	0.3
代表値				36,693.4	0.89	560.1	0.24	163.6	0.20	552.6	5.6
たわみ量を用いる方法				26,893.2	0.76						5.5

改良計画の提案

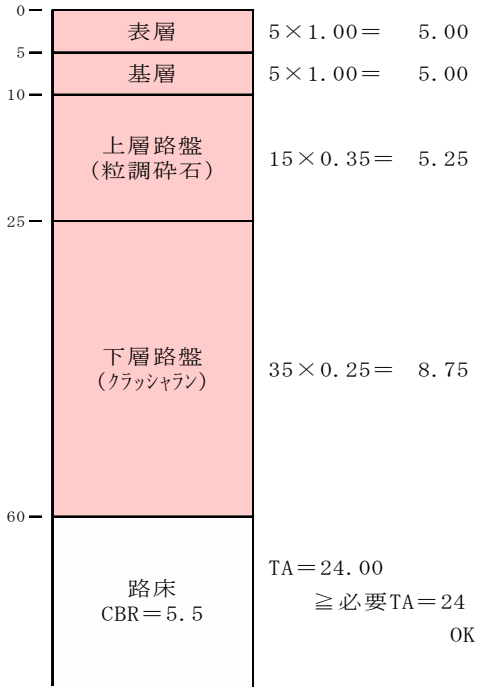
＜現況＞



TA が不足しており、路床位置からの修繕が必要。

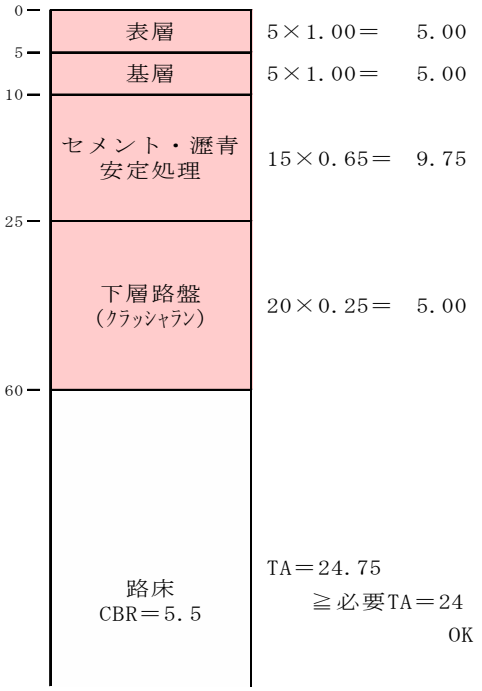
設計CBR＝4　N5(B)交通

＜計画案①＞



設計CBR＝4　N5(B)交通

＜計画案②＞



設計CBR＝4　N5(B)交通

4.3 考察

振動計測により要請限度を超える振動が確認された箇所では、小型 FWD の測定・解析結果からも舗装構造の劣化が推定され、その関係性が確認できた。

振動が問題となっている殆どの箇所で、表層から下層路盤までの舗装構造全体に劣化が確認され、等価換算厚(TA)での評価では、必要値に対して約 40～60%強度が低下していた。なお、現地試験時に計測した変位の波形データを確認すると、各センサでのピークに遅れが無いことから、舗装構造内の空洞は検出されなかった。

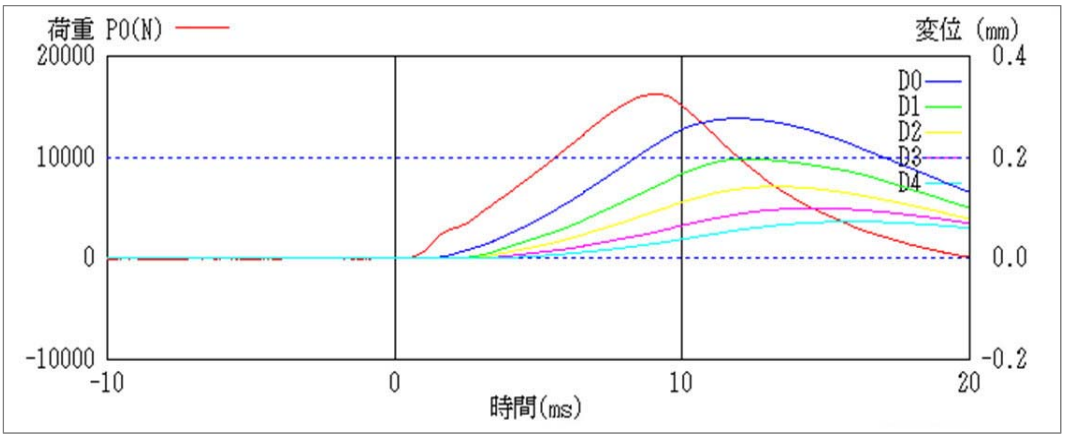


図 4.1　変位の波形データ

舗装構造の深い位置まで劣化状況を確認できたことから、高価な車載型 FWD を用いなくとも、経済的で簡易な小型 FWD システムにより、舗装構造の診断が可能であると考える。

4.4 まとめ

今後の課題として、以下の事項が挙げられる。

① 対策工法の効果を確認

国道 416 号(福井市八ツ島)おいて、小型 FWD の測定・解析結果を基にした対策工法の設計を行っており、実際に工事を行う予定である。工事施工後に再度、振動計測および小型 FWD 測定を行い、対策工法の効果を確認する必要がある。

② 調査・診断・対策データの活用

振動計測結果や小型 FWD 測定・解析結果、診断・対策工法、対策の事後評価をデータとして蓄積し、分析・評価することで、同様な事例が出た場合、修繕計画立案のための基礎資料になると考える。

③ 計測機器の改善

小型 FWD にて測定した D150 と D120 のたわみ量の値に、運用上用いない方がよいとされている 25μm に近い数値が含まれるケースがあった。D150 の値は路床の支持力に関係が大きく、必要 TA、不足 TA の算定に用いる数値である。したがって、D150 の値が 25μm 未満となり、信頼性に欠ける場合は、外部たわみセンサに小型 FWD システム以外のセンサを使用するなど、D150 のセンサ感度を大きくする方法で改善を図っていく方法が考えられる。

第 3 編　斜面グループ

斜面グループ 目次

第 1 章　はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3- 1
1.1　研究概要
1.2　現在の調査方法
1.3　既存吹付モルタルにおける補修の工事例

第 2 章　吹付モルタル背面の空隙充填に関する実績調査と現地調査・・・・・・・・・3- 7
2.1　施工実績の収集
2.2　設計数量と出来形の差異に関する考察
2.3　現地調査

第 3 章　設計の実施事例と出来形との対比に関する一考察・・・・・・・・・・・・・3-27
3.1　概要
3.2　概略設計と詳細設計の比較
3.3　設計内容の比較（概略設計と詳細設計）
3.4　設計数量と出来形数量の比較
3.5　考察

第 4 章　ひび割れ調査の効率化に向けた方策の立案・・・・・・・・・・・・・・・・3-58
4.1　従来のひび割れ調査方法と課題
4.2　損傷調査の効率化に向けた方策の検討
4.3　現地調査による UAV を用いたひび割れ調査の適用性の検証

第 5 章　今後の課題および展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-72
5.1　空隙充填量の設計から施工における精度向上に向けて
5.2　ひび割れ調査の効率化に向けて
5.3　おわりに

第1章 はじめに

1.1 研究概要

高度経済成長期に大量に整備された道路橋やトンネルをはじめとする既存ストックの維持管理、更新が進められている中で、斜面の表層風化の防止等を目的とし、比較的軽微な設備で施工できることから多用されてきた吹付モルタルにおいても老朽化が進行している。

例えば、「老朽化吹付法面の調査・対策の手引き」によると、近年では環境や景観への配慮から斜面の風化防止用の対策工として、吹付モルタルの採用件数は減少傾向であるが、既に施工された斜面は膨大な量に達していると推定されている。

① 大規模な切土法面の保護工　② 岩盤斜面の表層保護

写真 1.1.1 吹付モルタルの施工事例

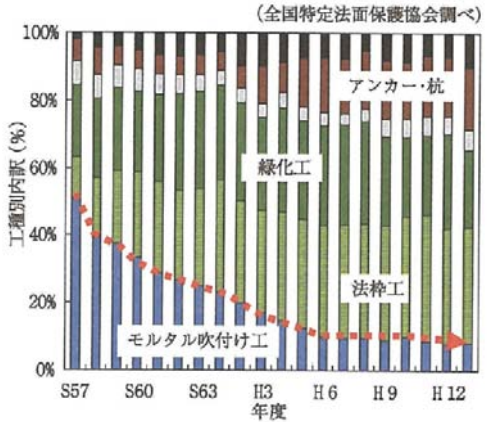


図 1.1.1 法面保護工の施工実績の推移

(老朽化吹付け法面の調査・対策の手引き;斜面等健全性検討研究員会編、p.3 より)

一方、これらの老朽化した吹付モルタルの補修方法のひとつとして、モルタル背面と風化した地山との間に生じた空隙をグラウトで充填する工法が挙げられるが、この補修方法においては、「調査方法～設計数量の算出方法～施工での対応～維持管理・補修」に至るまでのマニュアルが整備されていない状況であり、実務においては、設計業務ごと、または、工事ごとに対応されている状況である。

そこで、本研究では、既存吹付モルタルの補修を対象とし、次の目的に基づき研究活動を実施した。

【研究の目的】

「既存吹付モルタルの補修に着目した調査・設計手法の提案」と題して、次の２つの内容について行うことを目的とする。

【研究内容】

①空隙充填の設計から施工における精度向上に向けて

②ひび割れ調査の効率化に向けて

【概　要】

本研究において既存吹付モルタルの補修に向けた調査・設計手法を提案するために実施した研究活動の成果を下記に示す。

まず、第１章では、老朽化した吹付モルタルに対して、当研究の実施に先立ち、現在実施されている主な調査方法および補修工事について整理した。

第２章では、設計図書や竣工図書に基づく吹付モルタル背面の充填工事の施工事例から調査方法および設計数量の算出方法、さらには出来形との差異等を整理し、考察を行った。

また、これらの施工実績および考察を踏まえ、空隙充填工事が行われる現場において、実際に空隙厚の計測を行うための現地調査を実施した。

第３章では、ある斜面をモデルケースとし、概略設計および詳細設計における調査内容や充填量の算出方法の違いによる出来形との比較・検討を行い、調査時における留意点および設計数量の算出方法に関する提案を行った。

第４章では、新たな調査方法の試みとして、UAV を活用した現地調査として、既存吹付モルタル斜面状況（ひび割れ）の空撮を実施し、画像解析により ひび割れの抽出を行った。

また、この解析結果を従来の調査手法（測量図面と写真のつなぎ合わせによる損傷調査図）と比較し、新たな調査手法としての適用性を検討した。

最後に、第５章では、本研究における一連の検討結果に基づき、既存吹付モルタルの補修工事における調査・設計に関する課題および今後の展望等をとりまとめた。

1.2 現在の調査方法

現在、吹付モルタルにおいて実施されている主な点検・調査方法として、以下のものが挙げられる。

表 1.1.1 主な点検・調査方法

点検・調査事項	目的・対象
遠望視点検	斜面全体を概略的に把握するため、遠方から双眼鏡などで観察する。
近接目視点検	斜面の表面状況を把握するため、斜面へ立ち入り調査する。 写真撮影やスケッチを実施し、上方の斜面も調査する。
打音調査	吹付モルタル面をハンマーで打撃し、音感から地山との密着性や空洞状況を推定する。 ある程度面的に実施し、異常個所の分布を調査する。
コア抜き調査	空洞化していると推定される箇所をコア抜きし、吹付材の厚み、地山の風化状態を確認する。 ファイバースコープなどでの観察やコアの強度試験を行う場合もある。
コンクリートハンマーテスト	吹付材の強度を確認する。 広範囲に脆弱している範囲を確認する。
熱赤外線映像調査	早朝と午後の２回の撮影から温度差分布を解析し、吹付材背面において空洞化している範囲を調査する。
写真測量、光ファイバ計測	３Ｄ写真のデジタル情報から斜面の形状を記録する。光ファイバにより２点間の変位量を記録する。
弾性波探査	吹付モルタル背面の風化程度を把握する。
地中レーダ法	吹付モルタル背面の空洞化の状態を把握する。

（老朽化吹付け法面の調査･対策の手引き;斜面等健全性検討研究員会編、p.24 を参照、加筆）

上記における調査方法のうち、「近接目視点検」、「打音調査」等は、吹付モルタルの健全性を評価する上で基本的な調査方法である。

実務においては、一般的に、打音により空隙範囲を推定した後、必要に応じてコア抜きにより空隙厚さを確認する方法が多い状況である。また、吹付面の損傷を把握する調査としては、吹付モルタル面のひび割れをチョーキングした後、スケッチまたは写真撮影により斜面における損傷状況を面的にとらえ、対策工の検討に用いる事例が多い状況である。

なお、これらの調査方法と設計数量の設定等については、第２章および第３章において整理し、考察する。

一方、その他の調査方法として、熱赤外線映像調査、弾性波やレーダを用いた探査により吹付モルタル背面の風化程度や空洞化を把握する事例もある。

そこで、本研究では、新たな調査方法として、UAV を活用した空撮により、吹付モルタルの表面を画像解析により ひび割れの抽出等を試みた。これらの成果については第４章において詳述する。

1.3 既存吹付モルタルにおける補修工事の事例

（１）補修工事における工法の選定

例えば、「老朽化吹付け法面の調査・対策の手引き」では、調査結果に基づく老朽化吹付モルタルの補修を目的とした対策工の選定において、下図に基づき対策工を選定する流れが示されている。

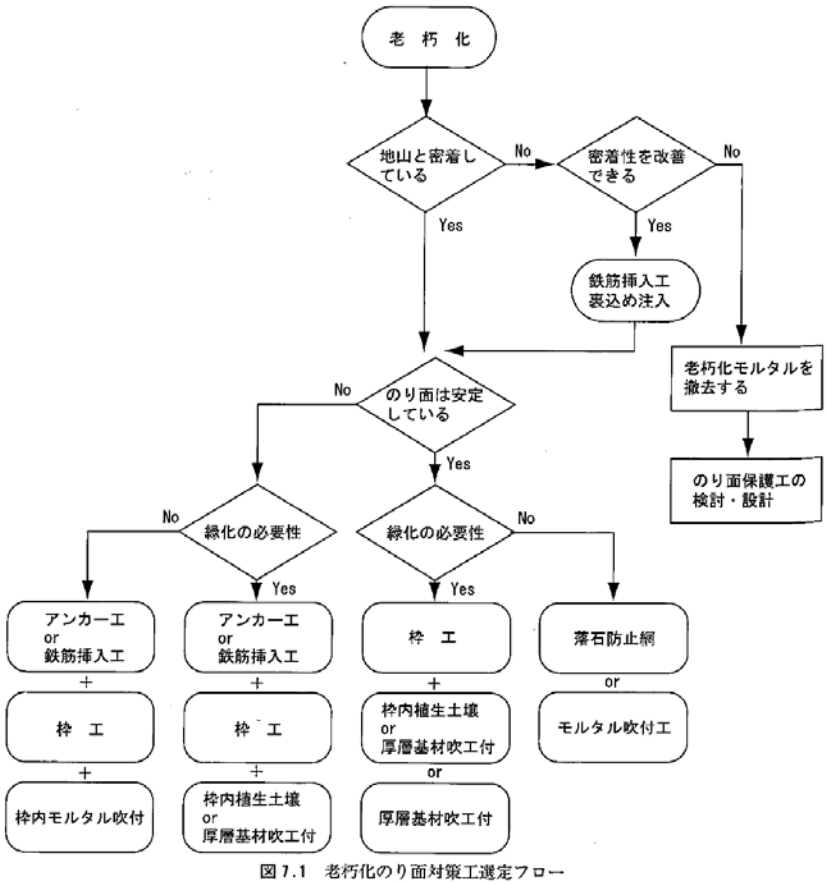


図 7.1 老朽化のり面対策工選定フロー

図 1.1.1 老朽化のり面の対策工の選定フロー

（老朽化吹付け法面の調査・対策の手引き;斜面等健全性検討研究員会編、p.76 より）

事例として挙げた この選定フローでは、「地山との密着」の判定後、「密着性を改善できない」場合においては、既存の吹付モルタルを撤去し、のり面保護工の設計を行う流れの選定となることが確認できる。

一方、「地山と密着している場合」や「密着性が改善できる場合」では、斜面の安定状態に応じて、また、緑化の必要性の有無に応じて、モルタル吹付の他、法枠工やアンカー工、鉄筋挿入工等を選定することが確認できる。

（2）既存吹付モルタルの再施工における留意点

従来は、老朽化した吹付モルタルの補修は、取壊し撤去後、再度、吹付モルタルを実施する再施工が主流であった。しかしながら、取り壊されたモルタル殻の産業廃棄物としての処理問題等を背景として、近年は既存吹付モルタルを残存させ、補修を行う事例が増加している。なお、既存吹付モルタルの補修工事において、老朽化した吹付モルタルを撤去した場合と残存した場合の得失点について整理された事例を下記に示す。

表 1.1.2 既存吹付モルタルの補修に関する得失点

	長　所	短　所
撤去する場合	○対策工法の選択肢が広くなり、景観を重視した法面対策工を選定できる。 ○撤去することで、最善な法面対策の実施が可能となる。	●廃材の処理。 ●大規模な保護工が必要となる。 ●用地の確保が必要となる場合が多い。 ●高所の作業は人力作業となり、容易とならない。
残存する場合	○廃材の処理に問題がない。 ○速やかに対策工を実施できる。	●補修のサイクルが短くなる場合が多い。 ●緑化する場合は高価となる。 ●空洞や風化層の厚い斜面では裏込め注入効果は期待できない。

（老朽化吹付け法面の調査･対策の手引き;斜面等健全性検討研究員会編、p.76 より）

このように、老朽化した吹付モルタルの補修を行う場合は、吹付モルタルを撤去するか否かが大きな要素となるため、補修工事に向けた調査や設計を行う場合においては、既存吹付モルタルの背面状況の評価と共に、撤去の有無を考慮した補修方法の検討も必要となることが確認できる。

（3）主な対策工の例

既存吹付モルタルの補修を目的とした対策工の実施例（対策工法）は下記のとおりである。

表 1.1.3 対策工の例

分類	対策の目的	工　種	備　考
撤去しない場合	モルタル背面の空洞処理	・裏込め注入	必要に応じて鉄筋挿入工を併用
	既存吹付モルタルの補強	・モルタル吹付（上吹補修） ・繊維モルタル吹付 ・吹付枠工	
	モルタル背面地山の安定対策	・鉄筋挿入工 ・グラウンドアンカー工	
	補修後のモルタル面の景観改善	・植生基材吹付工 ・連続繊維補強土工 ・階段金網工	植生基材吹付工は法面勾配に応じ補助工法が必要
撤去する場合	吹付モルタルの除去	・はつり工	
	吹付モルタル及び風化層の除去	・切土工	
	撤去後の法面保護	・新設切土面と同様の対策	

（老朽化吹付け法面の調査・対策の手引き;斜面等健全性検討研究員会編、p.77 より）

これらの対策工のうち、当研究では、既存吹付モルタルを撤去せず「裏込め注入」を対策工と選定された現場における調査方法～設計数量の算出方法および出来形との差異に関する検討と提案を行うとともに、新たな調査手法の提案を行う。

第2章　吹付モルタル背面の空隙充填に関する実績調査と現地調査

老朽化した吹付モルタルの補修工事のひとつであるモルタル背面の空隙充填工事の状況を把握するため、福井県内の斜面で実施された施工実績の確認とともに、充填量の設定に至った調査・設計業務委託における内容等の確認および空隙充填の実状を把握する。

本章では、まず、空隙充填に関する施工事例の情報収集を行い設計数量と出来形について整理する。

次に、設計業務委託における調査方法を整理し、設計数量と出来形の差異の状況について考察する。

さらに、施工時における設計数量と出来形の差異の縮小を図るべく、現地調査の立案と実施結果をとりまとめ、考察する。

2.1 施工実績の収集

吹付モルタル背面の空隙充填に関する施工実績の収集は、測量設計業協会に加盟している建設コンサルタント各社および環境型法面技術協会に加盟の施工会社、さらには、福井県道路保全課を通じた各土木事務所への調査依頼により施工実績を収集した。

なお、調査結果の整理においては、回答をいただいた工事に関連する設計図書や工事の竣工図書を借用し、その中から空隙充填に該当するものを整理した。

さらに、工事の竣工図書の確認では、設計数量と出来形の差異に関する打合せ記録における協議内容も整理した。

次頁は、空隙充填工事に関する施工実績を整理した結果を示す。

また、これらの中から、設計数量と出来形の関係をグラフ化し、考察を行ったものを次頁以降に示す。

空隙充填工 出来形調査結果一覧

No.	施工地区	施工年度	設計					工事				
			調査方法	吹付モルタル全体面積(m^2)	空隙充填対象面積(m^2)	対象面積あたりコア数	設計数量 算出方法	施工時の追加調査	設計数量(m^3)	出来形(m^3)	差(m^3)	工事打合せ簿による充填量に関する事前協議等
1	A	H24	なし	314	314	−	吹付け面積×2cm	なし	7.7	0.43	−7.27	出来形数量にて設計変更。
2	A	H24	なし	422	422	−	吹付け面積×2cm	なし	8.4	0.62	−7.78	出来形数量にて設計変更。
3	A	H24	なし	1220	1200	−	吹付け面積×2cm	なし	24.0	1.97	−22.03	出来形数量にて設計変更。
4	A	H24	なし	1190	1190	−	吹付け面積×2cm	なし	24	1.74	−22.26	出来形数量にて設計変更。
5	A	H25	なし	698	698	−	吹付け面積×2mm	なし	1.4	1.41	0.01	前年度の実績を踏まえ空隙厚を2mmと設定。(注入量の変更なし)
6	A	H25	なし	480	480	−	吹付け面積×2mm	なし	1.0	確認できず	−	協議を確認できず。
7	A	H26	なし	313	313	−	平均空隙厚＝2mm	なし	6.6	6.65	0.04	協議を確認できず。
8	A	H26	なし	313	313	−	平均空隙厚＝0.2mm	なし	0.5	0.5	0.0	協議を確認できず。
9	B	H27	打音＋コア抜き+法肩は簡易貫入試験	1235	37	2	充填対象面積×最大値の半分(2.8cm)	注入孔で確認	1.9	1.90	0.0	
					19	2箇所(ひび割れ箇所で確認)	充填対象面積×最大値の半分(3.5cm)					
10	B	H28	打音＋コア抜き	929	145	1	充填対象面積×平均厚(4.0cm)	注入孔で確認	5.8	0.50	−5.30	
11	B	H28	打音＋コア抜き	860	103	1	充填対象面積×平均厚(6.2cm、5.8cm)	注入孔で確認	6.4	5.80	−0.60	
12	C	H26	防災点検に基づく	1067	338	コア調査なし	対象面積×1cm	なし	3.0	3.00	0.00	協議を確認できず。(防災点検に基づく設計数量)
13	D	H26	コア抜き	126	3	1 ※1	平均空隙厚=51mm×補正係数(0.4)	なし	0.3	0.64	0.34	実数量を変更値とする。(協議より)第1回変更数量=0.60m^3
14	D	H28	コア抜き	1937	221	25 ※2	平均空隙厚=51mm:中間部 平均空隙厚=46mm:上流側 ×補正係数(0.4)	なし	14.9	20.20	5.30	協議を確認できず。 変更数量=20.0m^3
15	D	H26	打音＋コア抜き	1435	185	18	平均空隙厚×補正係数×対象面積	なし	14.0	14.28	0.28	設計より2割多く注入し完了とする。(協議より)→でも入らなかった。
16	D	H25	不明	175	175	コア調査なし	確認できず	なし	6.7	7.03	0.33	協議を確認できず。
17	D	H26	コア抜き	541	104	4 ※3	平均空隙厚=22mm×補正係数(0.4)	なし	3.0	3.39	0.39	実数量を変更数量とする。(協議より)
18	D	H23	不明	確認できず	確認できず	確認できず	平均空隙厚=10mm	なし	10.8	27.28	16.48	協議を確認できず。
19	E	H27	なし	300	300	コア調査なし	吹付け面積×5cm	なし	15.0	18.59	3.59	協議を確認できず。

※1:コア数は、追加の設計業務で実施。

※2:コア数は、追加の設計業務も含め合計22箇所で実施。(このうち3つは同一箇所で実施)

※3:コア数は、追加の設計業務も含め合計4箇所で実施。(このうち1つは同一箇所で実施)

1）工事が実施された箇所

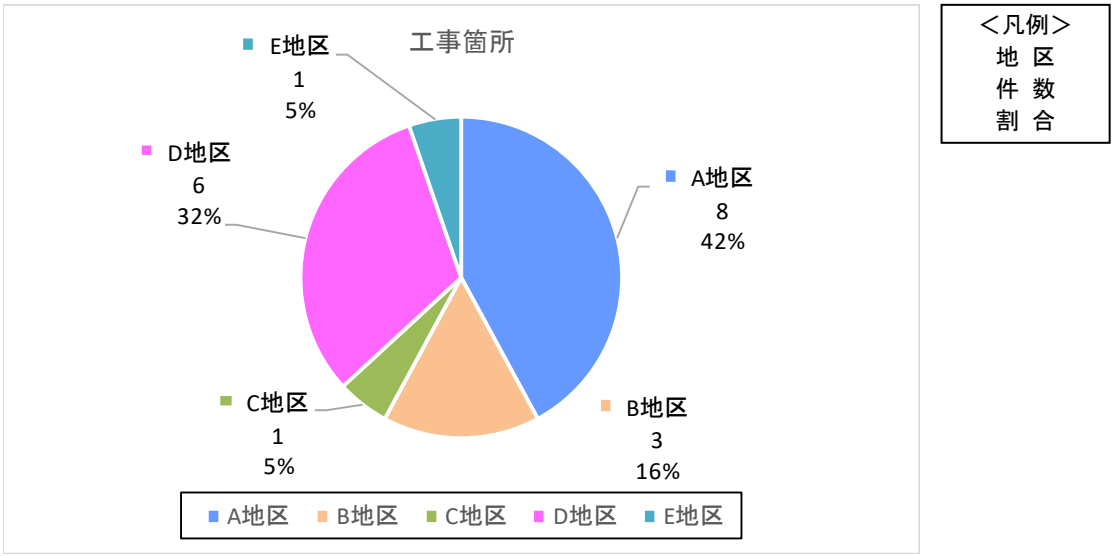


図 2.1.1 工事の実施箇所

⇒ H23 年～H28 年において、福井県内で実施された吹付モルタル背面の空隙充填工事は、A 地区は全体の約 4 割、D 地区は約 3 割を占め、地区より偏りがある。

2）設計時に空隙調査が実施された業務の数

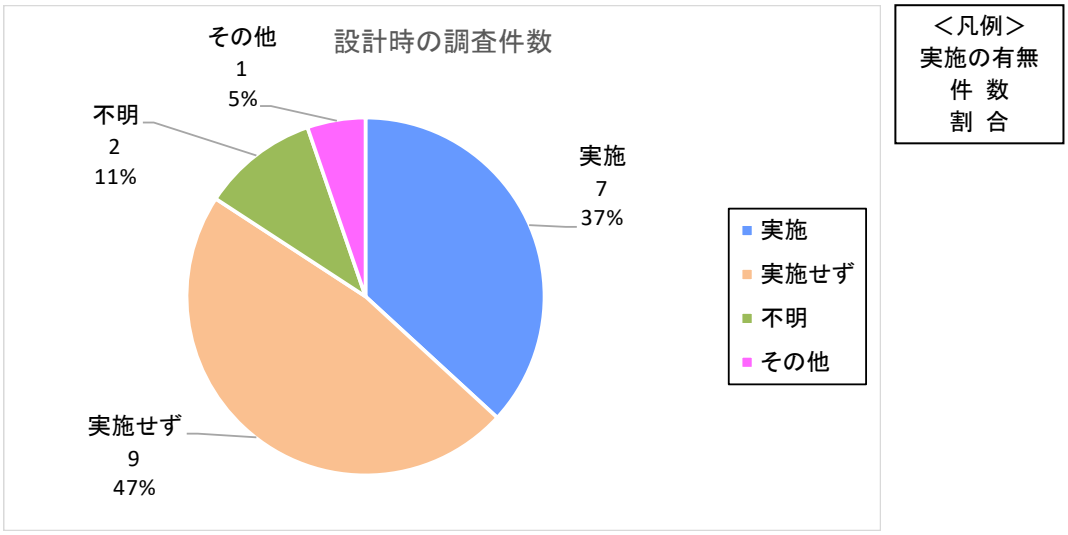


図 2.1.2 設計時に空隙調査が実施された業務数

⇒ 設計時に空隙調査が実施されたものは、全体の約 4 割程度であった。

一方、設計時に調査を実施せず、過年度の事例の参照や、対象面積に充填厚を乗じるなどして工事が発注されている事例が 5 割程度であった。

3）設計時における調査方法

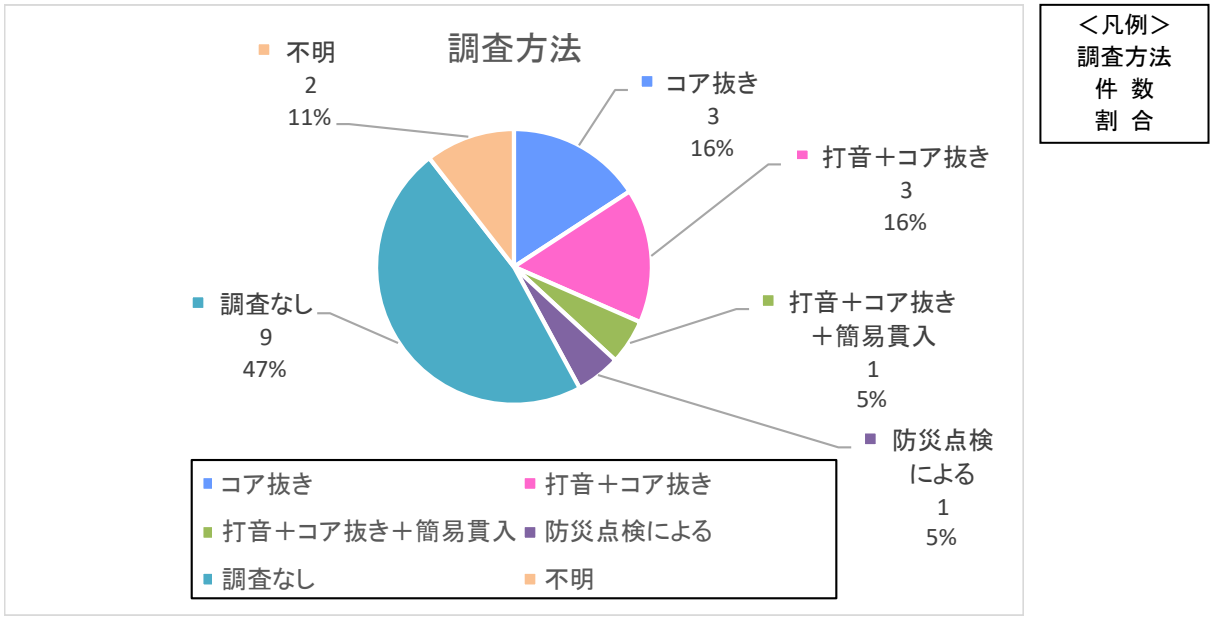


図 2.1.3 設計時における調査方法

⇒ 「打音＋コア抜き」、または、「コア抜き」によるもので約３割程度であった。
また、「打音＋コア抜き＋簡易貫入試験」を実施している事例もあった。

4）対象斜面における調査コアの数量

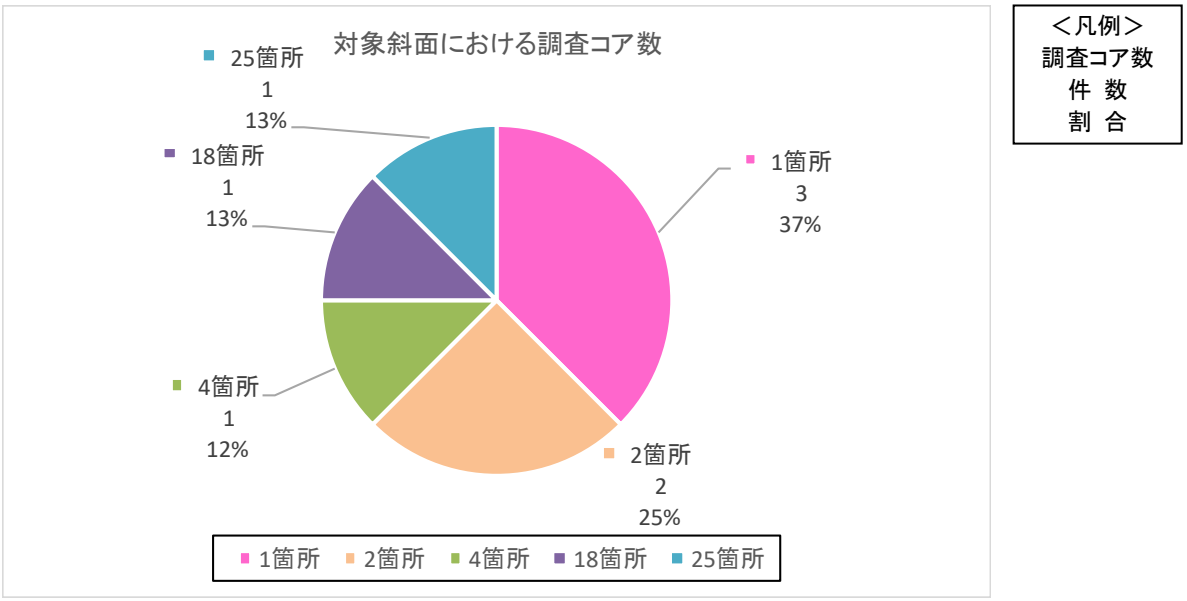


図 2.1.4 対象斜面における調査コアの数量

⇒ コア抜きの実施箇所は対象斜面の面積によるが、対象とした斜面あたり１箇所～22 箇所の実績であった。

5）空隙充填の対象面積当たりの調査コア数の関係

図 2.1.4 では、調査対象の斜面において実施された調査コアの箇所数を集計したが、調査の対象とした斜面の面積は一様ではなく、空隙充填の計画範囲を対象とした面積当りの調査コア数の実績について整理した。

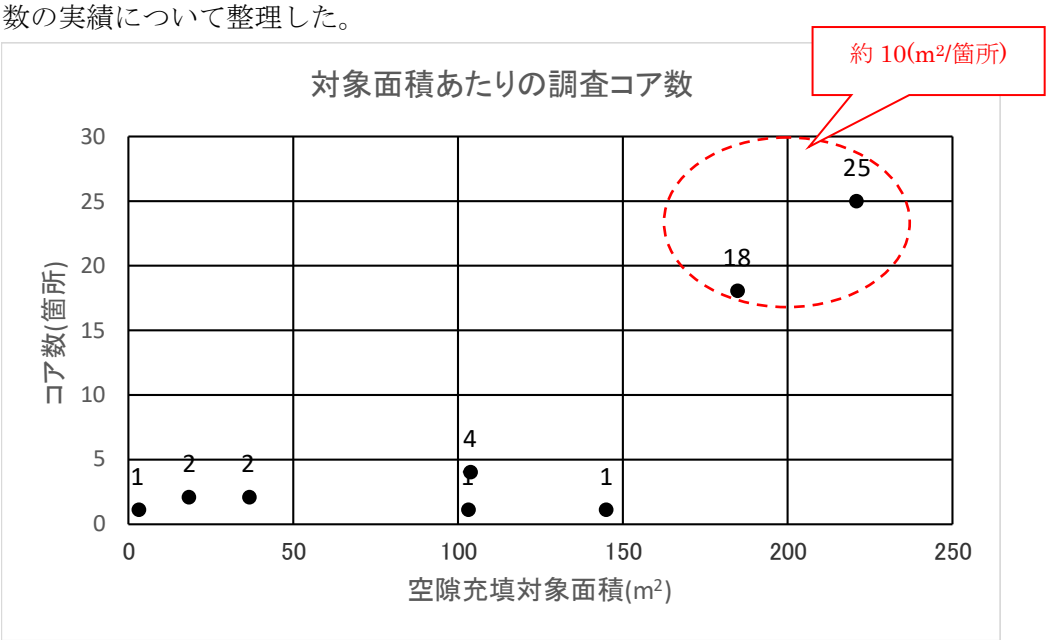


図 2.1.5 対象面積あたりの調査コア数 （※●上の数値は、コア数を示す。）

⇒ 対象面積が 200(m²)程度では、調査コア数がおおむね 10(m²/箇所)程度で実施されているが、100～150(m²)程度でも 1 箇所しか実施されていない事例もあった。

また、調査コア数と対象面積あたりの実績を下記に示す。

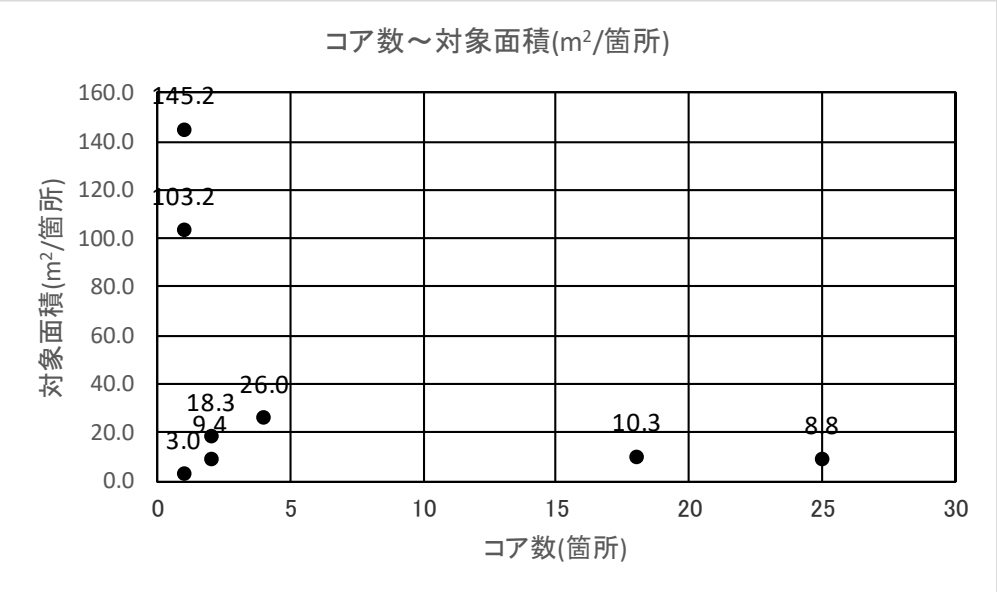


図 2.1.6 調査コア数と対象面積(m²)あたりの実績

（※●上の数値は、調査コア 1 箇所あたりの対象面積を示す。）

⇒ コア数が 15 以上の斜面では、おおむね 10(m²/箇所)で実施されているが、大半は、１斜面あたり５か所以下のコア数で実施されており、対象面積の幅も 3.0～145.2(m²/箇所)と大きい実績であった。

さらに、対象面積あたりの調査コア数と空隙充填の出来形との関係を整理した。

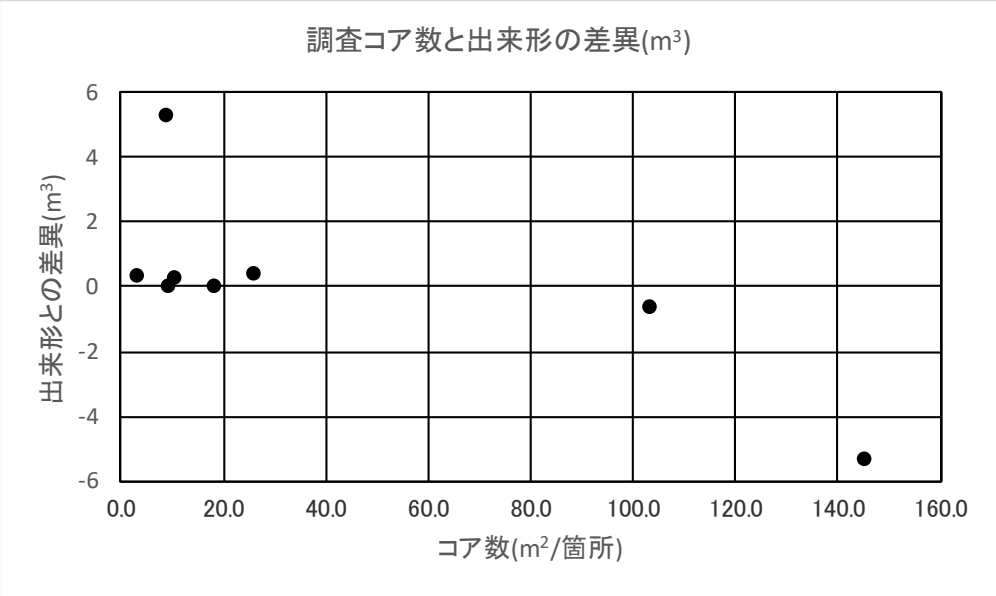


図 2.1.7 調査コア数と出来形との差異

表 2.1.1 調査コア数と出来形との差異の内訳

調査コア数 N(箇所)	コア数 N(m²/箇所)	出来形との差異 V(m³)	備　考
2	18.3	0.00	施工時に注入孔で確認
2	9.4	0.00	施工時に注入孔で確認
1	145.2	－5.30	施工時に注入孔で確認
1	103.2	－0.60	施工時に注入孔で確認
1	3.0	＋0.34	
22	8.8	＋5.30	
18	10.3	＋0.28	
4	26.0	＋0.39	

※着色部は出来形との差異が 0.5(m³)以下となった施工事例。

⇒ 対象面積あたりの調査コア数(m²/箇所)が小さくなるほど、出来形との差異も小さくなる傾向となったが、差異が大きな事例も確認された。

また、施工時に注入孔で空隙厚を確認した事例においては、おおむね差異が小さくなる傾向であった。

次に、「出来形との差異」～「事前打ち合わせの内容」を下記に示す。

表 2.1.2 事前打合せの事例

コア数 (m^2/箇所)	出来形との差異(m^3)	事前打ち合わせの内容
3.0	+0.34	実数量を変更値とする。
9.4	±0.00	記録なし。
8.8	+5.30	記録なし。
10.3	+0.28	設計より２割増で完了。（でも入らなかった）
18.3	±0.00	記録なし。
26.0	+0.39	実数量を変更値とする。
103.2	-0.60	記録なし。
145.2	-5.30	記録なし。

⇒記録がないものもあるが、調査コア数によらず事前打ち合わせを行った工事においては、出来形との差異が小さい傾向であった。

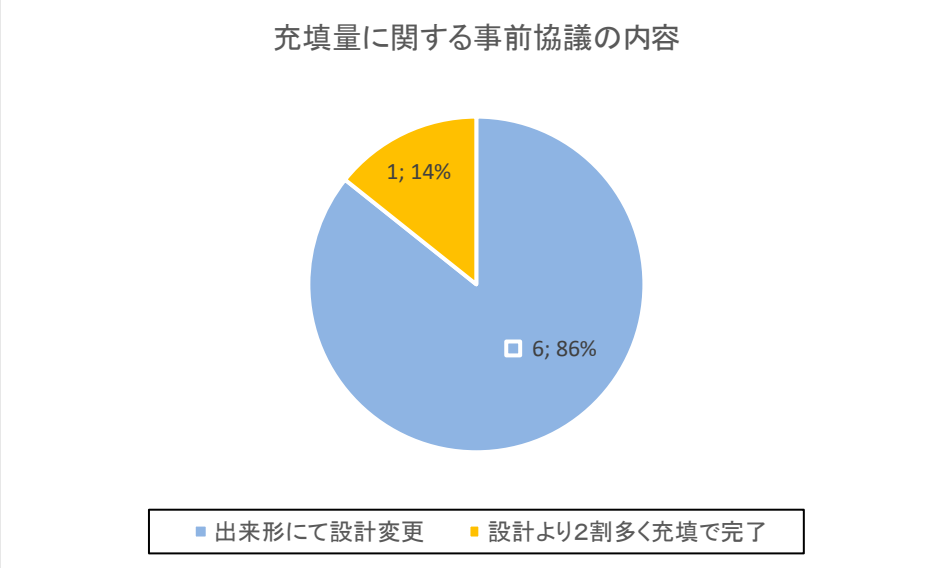


図 2.1.8 充填量に関する事前協議の件数

⇒事前打ち合わせが行われた工事の約８割強において、充填量＝出来形とされている状況であった。

6）設計数量の算出方法

次に、設計数量の算出方法の実績について整理する。

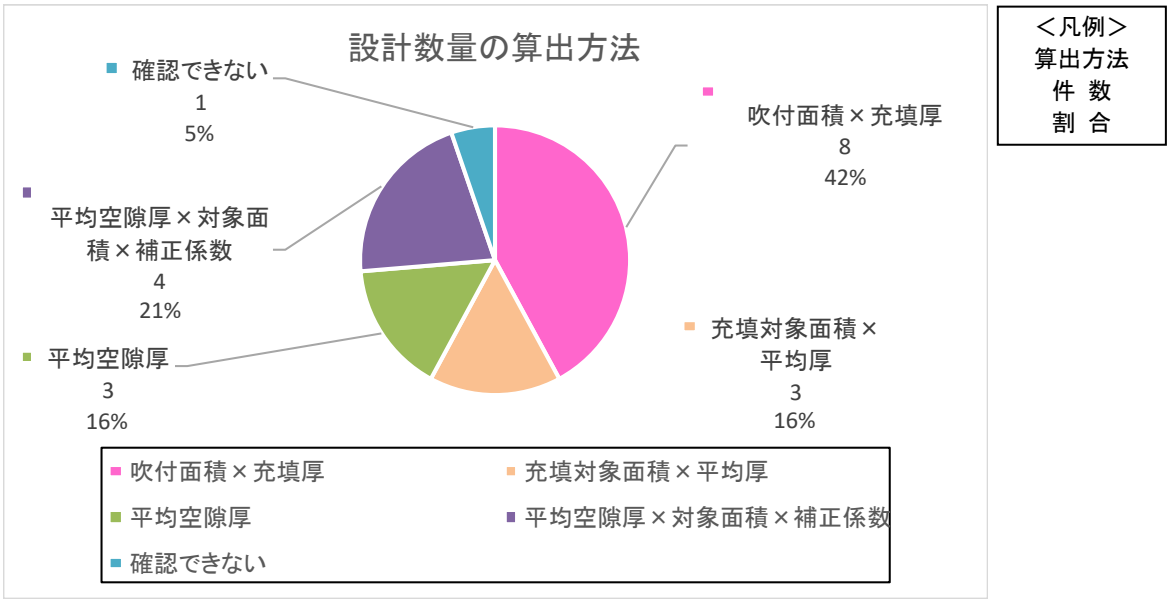


図 2.1.9 設計数量の算出方法

⇒ 設計数量の算出方法は、おおむね「吹付面積×充填厚（平均空隙厚)」として算出されていたが、「補正係数」を考慮した事例も確認された。

なお、補正係数を考慮した設計数量の算出方法と出来形との考察については、第３章において詳述する。

7）施工時において追加調査の実績

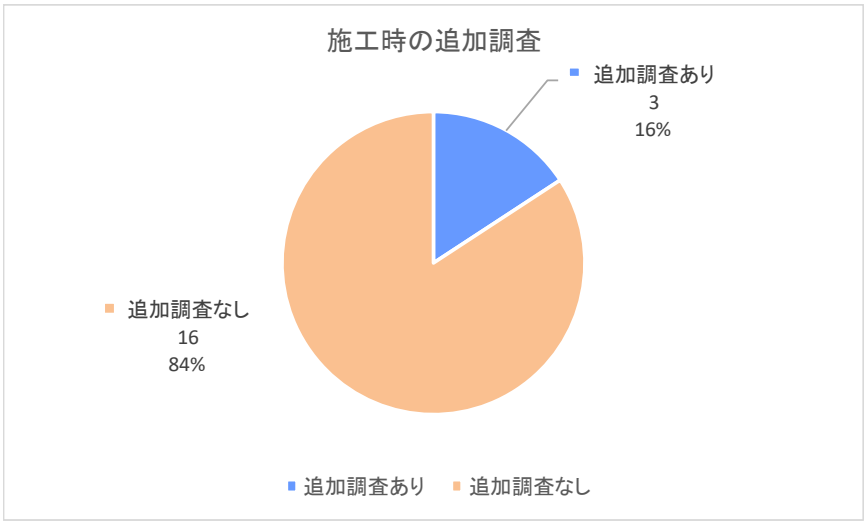


図 2.1.10 施工時における追加調査の実績

⇒ 施工時において追加調査が実施された例は約２割弱と少なく、設計時の調査に基づき数量が算出されている状況であった。

８）設計数量と出来形および差異の関係

続いて、設計数量と出来形および差異に関する実績を整理する。

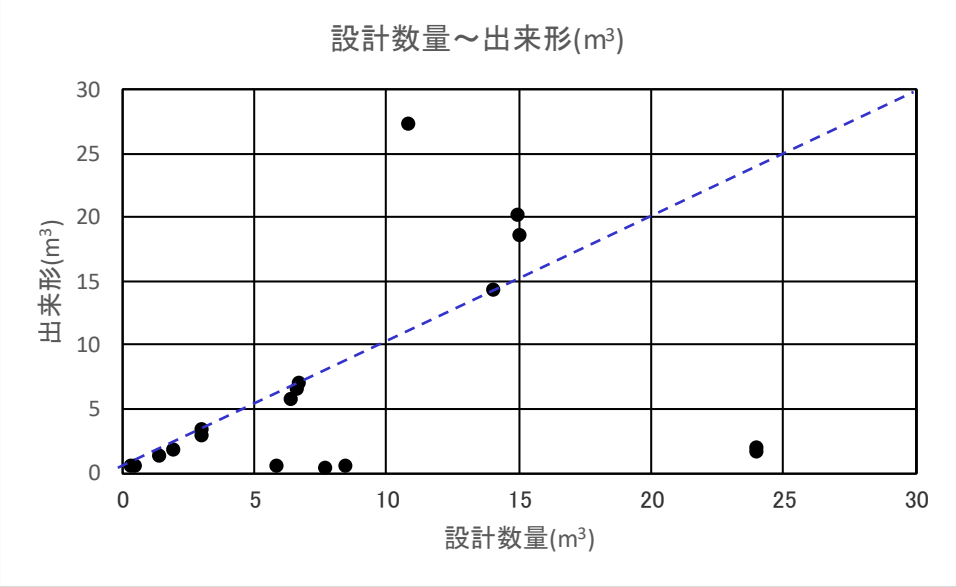


図 2.1.11 設計数量と出来形

⇒「設計数量～出来形」の関係は、設計数量が少ないほど、「設計数量≒出来形」である傾向であった。なお、設計数量の増加に伴い出来形との差異が大きくなる傾向であった。

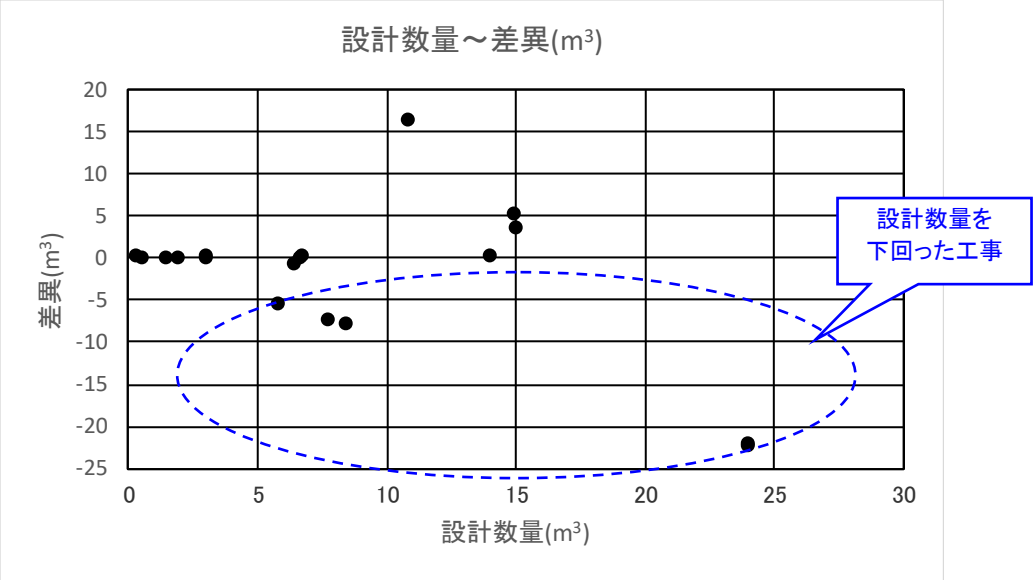


図 2.1.12 設計数量と出来形との差異

表 2.1.3 設計数量と出来形との差異の内訳

設計数量 V(m³)	差異(m³)	備考
7.7	−7.27	
8.4	−7.28	
24.0	−22.03	
24.0	−22.26	
1.4	0.01	
6.6	+0.05	
0.5	0.00	
1.9	0.00	調査コア実施
5.8	−5.30	調査コア実施
6.4	−0.60	調査コア実施
3.0	0.00	
0.3	+0.34	調査コア実施、補正係数を考慮
14.9	+5.30	調査コア実施、補正係数を考慮
14.0	+0.28	調査コア実施、補正係数を考慮
6.7	+0.33	
3.0	+0.39	調査コア実施、補正係数を考慮
10.8	+16.48	
15.0	+3.59	

※（参考）着色部は設計数量が 5.0(m³)程度以下の施工事例。

⇒「設計数量～出来形との差異」の関係は、設計数量がおおむね 5m³ 程度と少ないほど、差異も少ない傾向であった。

一方、設計数量が 10(m³)程度以上となると、設計数量との差異が大きくなる傾向であった。

また、差異が生じた工事の出来形は、おおむね設計数量を下回る傾向（設計よりも充填されなかった）であった。

なお、設計数量へ「補正係数」を乗じた 4 事例の出来形は下記のとおりである。

表 2.1.4 補正係数を考慮した場合の出来形との差異

現 場	設計数量(m³)	出来形(m³)	差異(m³)	調 査
A 工事	0.30	0.64	+0.34	コア抜き
B 工事	14.9	20.20	+5.30	コア抜き
C 工事	14.0	14.28	+0.28	打音＋コア抜き
D 工事	3.0	3.39	+0.39	コア抜き

なお、補正係数を乗じたケースにおいては、差異が小さくなる傾向であるが、補正係数を考慮しても差異が大きい工事も確認できる。

設計数量に補正係数を乗じた場合の検討および考察については、第 3 章において詳述する。

9）設計数量と差異の事例数

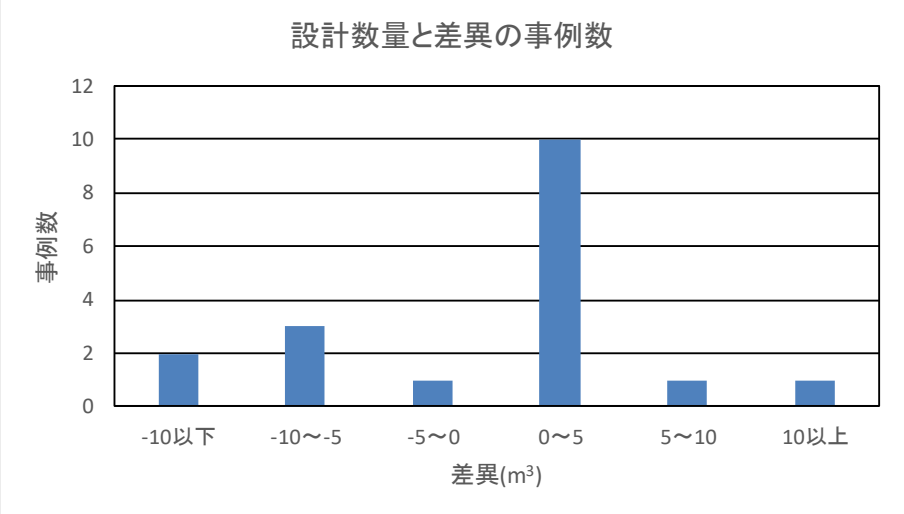


図 2.1.13 設計数量と差異の事例数

⇒ 設計数量と出来形の差異は、0～+5(m³)以内である事例が多い傾向であった。

2.2 設計数量と出来形の差異に関する考察

施工実績の集計結果の概要および集計系結果に基づく設計数量と出来形の差異に関する考察を下記に示す。

（１）施工実績の集計結果

①施工実績は、地域によって偏っている状況であった。（図 2.1.1）

②設計時における調査事例は 40%程度と半数以下であった。（図 2.1.2）

③設計時の調査としては、打音検査とコア抜きを併用している割合が半数以上を占める状況であった。(図 2.1.3)

④調査コア数は、3～145(m²／箇所)と幅広い実施結果であった。(図 2.1.6)

⑤面積当たりの調査コア数(m²／箇所)が小さくなるほど、出来形との差異が小さくなる傾向であったが、例外も確認された。(図 2.1.7、表 2.1.1)

⑥工事の事前打ち合わせでは、出来形を変更数量とする事例が約８割以上であった。

（主な協議内容）

・出来形数量にて設計を変更する。

・設計より２割多く充填したら完了する。（しかし、出来形は２割も充填できず）

(表 2.1.2 および図 2.1.8)

⑦設計数量の算出方法は、「吹付面積×充填厚」とする事例が多いが、補正係数を乗じるなど、精度の向上が図られている事例もあった。(図 2.1.9)

⑧施工時において追加調査を行っている事例もあったが、大半は追加調査を実施せずに出来形を変更数量としている状況であった。(図 2.1.10)

⑨設計数量が 5(m³)程度までは、おおむね設計数量≒出来形の傾向であったが、設計数量が増えると差異のバラつきが大きい状況であった。(図 2.1.11～図 2.1.12)

また、設計数量へ補正係数を考慮した場合は、出来形との差異が縮小できる傾向であった。(表 2.1.4)

⑩設計数量と出来形の差異は、0～+5(m³)以内である事例が多い状況であった。(図 2.1.13)

（２）設計数量と出来形に関する考察

①調査コア数を多くするほど、出来形との差異が小さくなる傾向であったが、対象面積に応じた調査コアの設定が課題となる。

②設計数量に補正係数を乗じた事例は 4 箇所あるが、設計数量との差異は 0.5(m³)以下となる事例が多く差異の縮小が図られる傾向がみられるが、適切な補正係数の設定が課題となる。

③設計数量が少ない 5(m³)程度の工事では、補正係数の有無によらず、打音検査＋調査コアの実施により出来形との差異の縮小が期待できると考えられ、適切な調査コア数の設定が課題となる。

（３）施工実績の調査結果に基づく差異の縮小に向けた提案

１）施工実績

① 設計数量が 5(m³)程度の工事では、打音検査による範囲推定、または、調査コアの併用により出来形との差異が縮小される傾向であった。

② 設計数量が①より多くなる場合では、打音検査による範囲推定＋調査コアに加えて、補正係数を考慮した設計数量の算出により出来形との差異が縮小される事例が確認できた。

２）差異の縮小に向けた提案

①打音検査＋調査コアの実施により差異の縮小が図られる傾向であり、調査コアの実施は、おおむね 10～30(m²／箇所)程度とすることで出来形との差異の縮小が図られると考えられる。

②設計数量へ補正係数を考慮することで出来形との差異との縮小が図られると考えられる。

③施工時に注入孔で空隙厚を確認し、空隙範囲を推定する方法も有効である。

なお、設計数量算出時における補正係数の評価については、第３章において実施する。

以上の施工実績からの実例を踏まえ、調査密度を増減した場合の充填量を検証するため、現地調査を計画、実施した。

次項において、現地調査の内容および調査結果について詳述する。

2.3 現地調査

本項では、実際に空隙充填工事が行われる現場において空隙厚を計測し、その計測箇所の密度と充填量の関連について検討する。

（1）現地調査の目的

既存吹付モルタル背面への空隙充填量の設計数量の算出法は精度が低く、工事おける出来形数量との誤差が大きい事例も確認されている。

このため、設計数量と実施数量の差を小さくすることを目的として、調査時の精度向上に向けた調査手法の確立を目指すことを目的とする。

（2）調査個所

福井県内のA斜面

（3）調査内容

既存モルタル背面の空隙厚を計測し、空隙の調査箇所の密度から充填量を推算し、出来形との差異を比較検討する。

なお、充填量は、出来形から確認する。

1）調査斜面

「増し厚工」として「繊維モルタル吹付」が実施される斜面において調査を実施した。なお、既存モルタル吹付の背面状況により、次のように斜面が区分されている。

①鉄筋挿入工を併用する範囲

②アンカーボルトのみの範囲

③アンカーボルト＋空隙充填の範囲 ← 調査対象の範囲

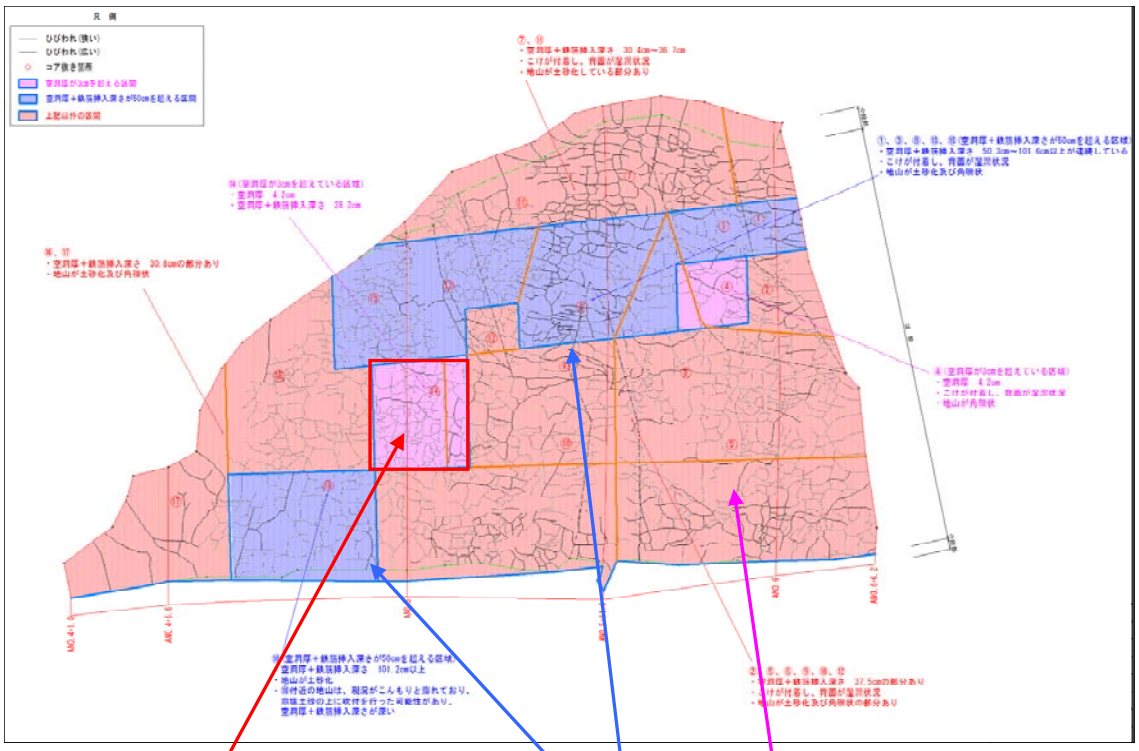


図 2.3.1 調査斜面の正面図

写真 2.3.1 調査斜面(L≒45m、H≒20m)

2）断面図（模式図）

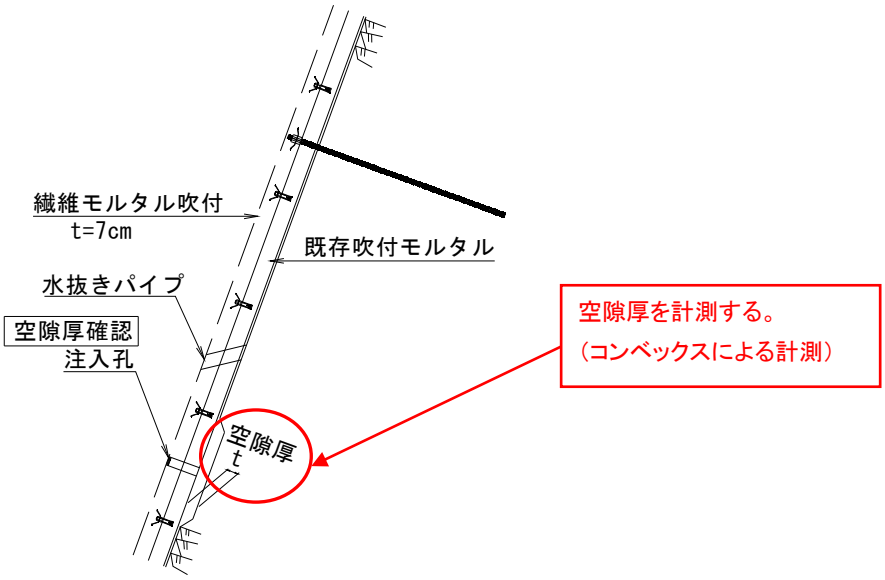


図 2.3.2 断面図（模式図）

※空隙を計測する箇所は、既存吹付モルタルの表面へ「増し厚工」として施工される「繊維モルタル吹付(t=7cm)」の実施に伴う「注入孔（空隙充填孔(4.5m² に 1 箇所)）」を利用して空隙を計測した。

3）計測状況

写真 2.3.2 調査斜面の状況

斜面状況

- 県道のほぼ直線区間の上側斜面。
- 斜面は南向き。
- 斜面中腹に凸部
- 斜面勾配 1:0.3 以下の箇所もあり。

（雑木は伐採、清掃済み）

写真 2.3.3 調査斜面の状況

斜面状況
（反対方向より撮影）

（※工事の工程の都合上、鉄筋挿入工の範囲には、足場が設置されている。）

写真 2.3.4 注入孔の削孔状況

注入孔の削孔状況

赤丸の箇所を削孔

写真 2.3.5 注入孔の状況

削孔後の斜面状況

写真 2.3.6 計測状況

計測状況

・空隙厚の計測
・既存モルタル厚の計測
・風化の度合いの確認と地山状態の確認

（５）調査方法

既存モルタル吹付背面の空隙調査は、縦 5.9～6.4m、横 5.4m の範囲において削孔された８つの注入孔から空隙厚を計測する。

なお、「注入孔番号６」（別紙調査シート参照）には設計業務で調査が行われた「調査孔１４」が隣接する位置関係となった。

（６）空隙の推算方法

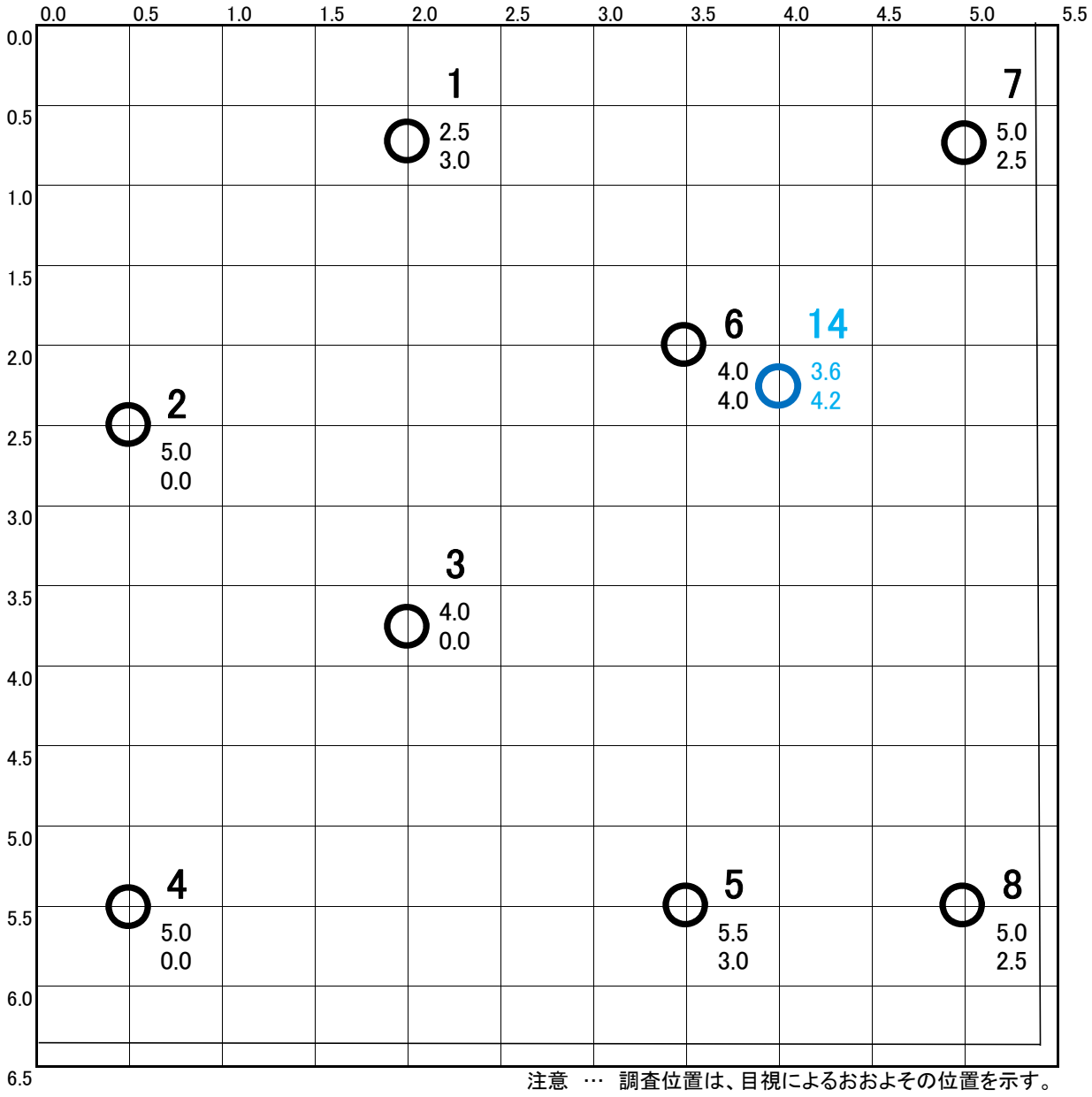
注入孔を用いて計測された空隙厚は合計 8 つとなるが、これらの密度を変化させ、充填量の差異を検討する。

（７）計測結果

次頁に計測結果を示す。

産学官共同研究事業　斜面グループ　現地調査記録シート

法面2-1区間　：　面積A=34.2m^2（縦5.9～6.4m、横5.4m）



注意　…　調査位置は、目視によるおおよその位置を示す。

削孔No	モルタル厚 cm	鉄筋挿入深さcm	空洞厚 上側 cm	空洞厚 下側 cm	写真撮影順序	備　考 地山乾湿状態	
調査孔14	3.6	24	4.2		–	乾燥	※1
1	2.5	–	3.0	0.0	1	–	
2	5.0	–	0.0	0.0	2	乾燥	
3	4.0	0	0.0	0.0	4	–	
4	5.0	–	0.0	0.0	3	–	
5	5.5	15	3.0	0.0	8	乾燥	※2
6	4.0	7	4.0	0.0	5	乾燥	
7	5.0	0	2.5	0.0	6	乾燥	
8	5.0	7	2.5	0.0	7	やや湿潤	

凡　例
上段：モルタル厚cm
下段：空洞厚cm(上側)

点検孔：4.5m2/箇所
34.2÷4.5＝7.6≒8孔

※1　既往調査
※2　鉄筋打撃挿入時は、25cm貫入した。

（8）充填量の推算

現地調査で計測した空隙厚の調査密度を変化させ、充填量を推算した。

	検討条件	対象とする孔	空隙厚 t(mm)	対象面積 A(m^2)	推定充填量 V(m^3)
①	全てを平均	全て	21	34.2	0.73
②	中央部を平均	調査孔 3,6	27	34.2	0.93
③	空隙ありを全て	調査孔 1,5～8	32	34.2	1.09
④	外周部を平均	調査孔 1,2,4,5,7,8	18	34.2	0.63

（9）工事における出来形

（設計数量）

①調査方法：打音検査、調査コア(N=1 箇所)、鉄筋の挿入による風化厚の確認。

②空隙厚　：t=4.2cm

③対象面積：A=34.2m^2

④充填量　：V=34.2×0.042 = 1.4(m^3)

（出来形）

空隙充填は実施されなかった。

（考察）

現地調査により調査密度が増加したため、上表のように対象範囲の平均空隙厚は 21mm となり、充填量も多くて 1m^3 程度と推算された。また、空隙が確認されない箇所も存在していた。

したがって、対象箇所における空隙厚は小さく、連続しておらず、また、周辺では鉄筋挿入工を併用した対策工も実施されているため、斜面全体としての吹付モルタルの健全性確保としては、増し厚工のみでの対策とし、充填までは実施されなかったと推定される。

さらに、当該斜面の対象範囲において空隙がないと推定されるエリア周辺など、充填量が少ない範囲における施工時の対応も今後の課題になると考えられる。

第３章　設計の実施事例と出来形との対比に関する一考察

3.1　概要

1）はじめに

本研究では、「既存吹付モルタルの維持補修等に関する調査」と題して資料収集を行い、既存吹付モルタル背面に生じた空洞へのモルタル充填工法に着目した研究を進めた。

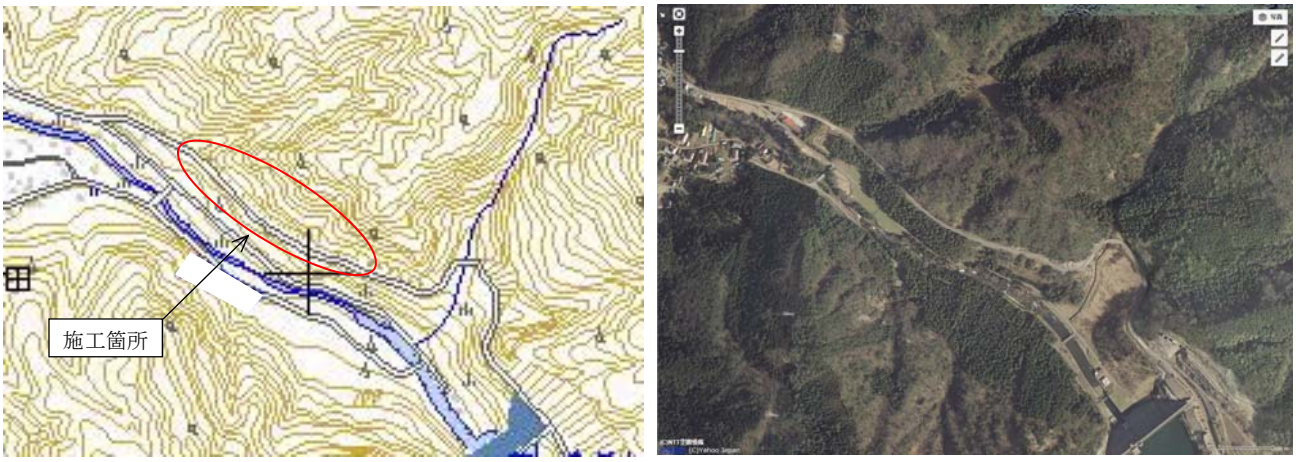
本章では、工事の完了した事業で、吹付モルタル補修（増厚工を含む）に着目して、次の点で一考察を試みる。

・概略設計と詳細設計には、どのような違いがあるか。
・設計内容は、どのように変化したか。
・設計数量と出来形数量の差はどの程度か。差を縮小することはできるか。

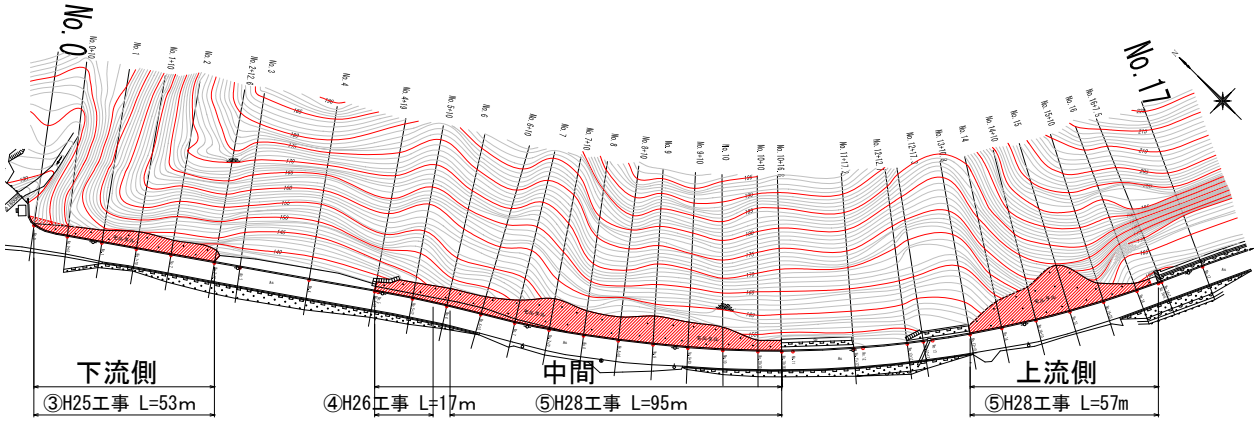
2）実施内容（設計・工事）

・①H23 設計（測量、外観調査・コア抜き、落石対策工設計）　…概略設計
・②H25 設計（老朽化モルタル吹付法面調査、モルタル吹付法面補修設計）…詳細設計
・③H25 工事（No. 0　～No. 2+12.6　L=53.0m　…下流側）
・④H26 工事（No. 4+19　～No. 5+16　L=17.0m　…中間）
・⑤H28 工事（No. 6+ 1.9～No.10+16.8　L=94.9m　…中間）
　〃　（No.13+10.8～No.16+8　L=57.2m　…上流側）

3）位置図、平面図



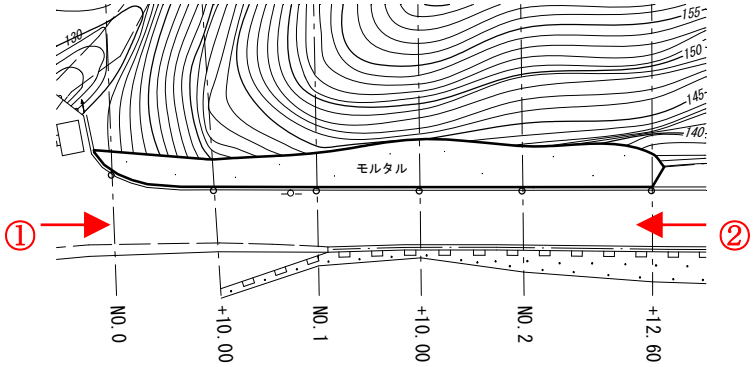
位置図・航空写真　　グーグルアースより



平面図

4）対象斜面の概要　…「②H25 設計」抜粋

a. 下流側法面（NO.0～NO.2+12.6）



①

②

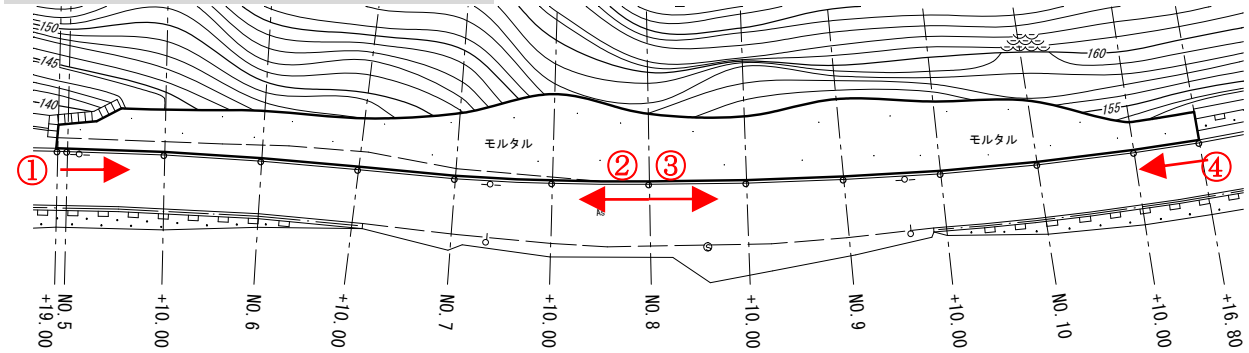
1)斜面状況（下流側）
・切土高（斜面高）12.0m・斜面平均勾配 1:0.3～1:0.4・法面表面積 540.6m2
・連続する大きな段差クラックは少ない。地滑りや深層崩壊の可能性は低い。
・背面の岩盤に風化は無し。
・モルタル法面からの湧水は無い。

2)モルタル吹付面の状態（下流側）
・写真①：開口クラック（幅 0.5mm～10.0mm）。クラックは比較的少ない。
・写真②：局部的な剥離・欠落。吹付（平均厚 45mm）は、基準値（80～100mm）より薄い。
・空洞（平均厚 22mm）が発生。（吹付面積 540.6m2、空洞化面積 103.9m2、全体の 19%）

写真①：開口クラック

写真②：剥離・欠落

b. 中間法面（NO. 4+19. 0～NO. 10+16. 8）



①

②

③

④

1)斜面状態（中間）

・切土高（斜面高）15. 0m・斜面勾配 1:0. 5～1:0. 9・法面表面積 1, 267. 7m2
・連続する大きな段差クラックは少ない。地滑りや深層崩壊の可能性は低い。
・写真①：段差クラック（60. 0mm） … NO. 9+14. 0
・局部的な土砂の堆積 … NO. 5+8. 0（厚さ 17. 0cm）、NO. 7（厚さ 82. 0cm）
・写真②：湧水（浸み出し）…数箇所。写真③：常時湧水が流出 … NO. 8+18. 5
・写真④：大型土嚢設置 … NO. 6+2. 5～NO. 6+14. 0。写真⑤：仮設網設置 … NO. 7～NO. 9+19. 0

2)モルタル吹付面の状態（中間）

・クラックは比較的少ない。開口クラック（幅 0. 5mm～50. 0mm）発生。
・写真⑥：局部的な剥離・欠落。吹付（平均厚 64mm）は、基準値（80～100mm）より薄い。
・空洞（平均厚 51mm）が発生。（吹付面積 1, 267. 7m2、空洞化面積 97. 4m2、全体の 8%）

写真①：段差クラック

写真②：湧水（浸み出し）

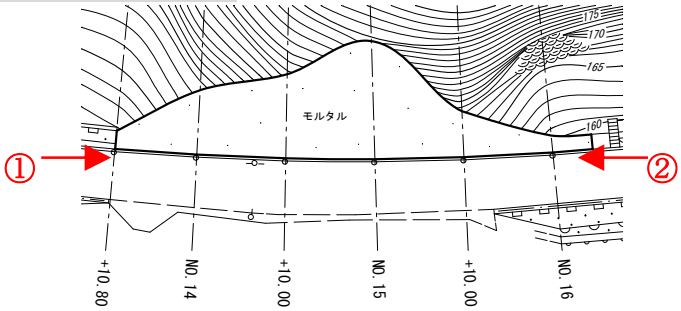
写真③：湧水流出

写真④：大型土嚢設置

写真⑤：仮設網設置

写真⑥：剥離・欠落

c. 上流側法面（NO. 13+10. 8～NO. 16+6. 5）



①

②

1)斜面状況（上流側）

・切土高（斜面高）24. 0m・斜面平均勾配 1:0. 5～1:1. 0・法面表面積 818. 7m2
・連続する大きな段差クラックが無い。地滑りや深層崩壊の可能性は低い。
・写真①：段差クラック（50. 0mm） … NO. 15+17. 0。土砂の堆積（厚さ 46. 0cm） … NO. 14+15. 5
・写真②：湧水（浸み出し） … 数箇所。写真③：仮設網が設置 … NO. 13+11. 0～NO. 16+1. 0

2)モルタル吹付面の状態（上流側）

・写真④：開口クラック（幅 0. 5mm～50. 0mm）。全体的にクラックが多い。
・吹付（平均厚 61mm）は、基準値（80～100mm）より薄い。
・写真⑤：浮き … NO. 13+17. 0～NO. 14+12. 0。写真⑥：局部的な剥離・欠落。
・空洞（平均厚 46mm）が全域で発生。（吹付面積 818. 7m2、空洞化面積 130. 5m2、全体の 16%）

写真①：段差クラック

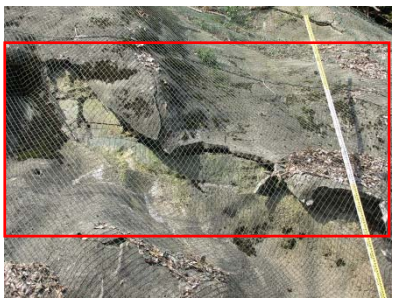
写真②：湧水（浸み出し）

写真③：仮設網設置

写真④：開口クラック

写真⑤：浮き

写真⑥：剥離・欠落



3.2 概略設計と詳細設計の比較

1)「①H23 設計」 … 概略設計

1.調査計画（概略）

・作業図面 : 図 3.2.1「調査位置ゾーンニング図」
・基準 : 表 3.2.1「吹付工の点検における着目点」…H19「斜面防災マニュアル」,p227

調査方法

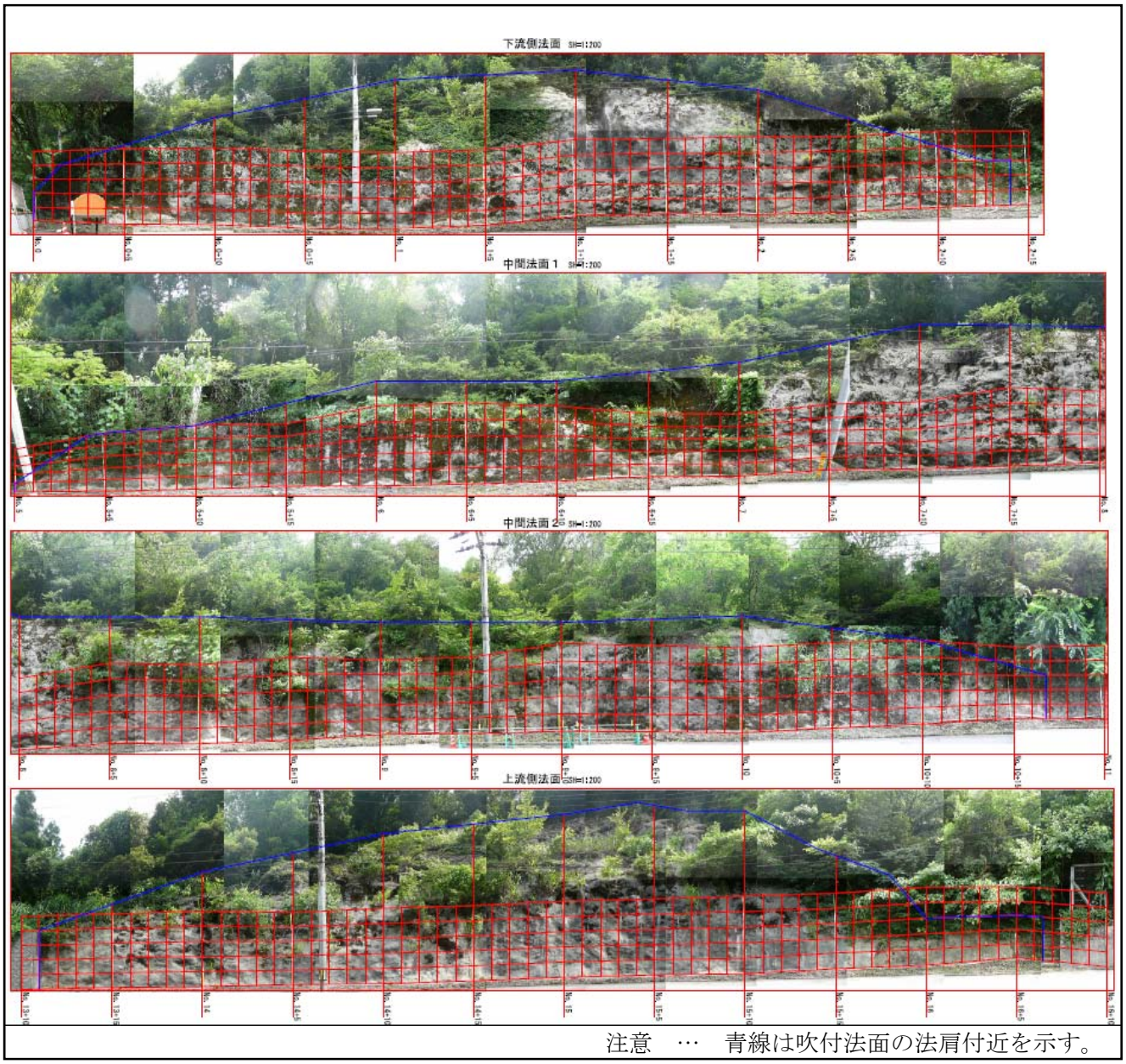
調査位置のゾーンニング
① 測点位置を基準に、5m間隔で目印を付け、延長 5m分を 1 区間とする。
② 起点側から、1 区間の両端に、法尻からスタッフ（高さ 5m）を立てかける。
③ 法尻付近には、リボンテープを張る。(1 区間の延長 5m分)
④ 道路端でカメラを固定して、1 区間の法尻から法肩までを（1 枚～2 枚で）撮影する。
⑤ 隣の区間へ移動して、順次②～④の作業を繰り替えす。
⑥ 撮影後の写真上に、スタッフとリボンテープを目印に 1m間隔でメッシュを入れる。
⑦ 写真下には、写真に対応した同様のメッシュを作成し、調査結果の記載欄とする。

亀裂調査
① 調査位置のゾーンニング時と同様、スタッフとリボンテープを置く。
② 目視により、亀裂の状態を確認する。
③ スタッフとリボンテープを目安に、亀裂範囲の位置を特定する。
④ 前述で作成したメッシュ入りの写真と調査結果記載欄のあるシートに亀裂の状況を書き込む。
⑤ 亀裂の大きさは 5mm単位で整理する。
⑥ 法面の状態は、「斜面防災マニュアル」,p227 の点検項目（整理番号）に従って分類する。

打音調査
① 区間端より順番に、ハンマーで法面を叩いて打音を確認する。
② スタッフとリボンテープを目安に、打音状態から空洞と想定される範囲の位置を特定する。
③ 空洞の範囲は、打音確認のものと、打音や目視（亀裂）から推定のもので整理する。
④ 法面の状態は、「斜面防災マニュアル」,p227 の点検項目（整理番号）に従って分類する。

空洞確認調査（コア採取）
① 亀裂調査・打音調査の結果より、大きな亀裂があり空洞と想定される箇所の上下で選定する。
② 高所作業車を用いてコア採取位置に移動し、電動ハンマドリルでコアを採取する。
③ コア抜き孔から、吹付厚と空洞の奥行、地山状態（岩/土砂、乾/湿）などを確認する。
④ 確認後、モルタルを充填して孔を閉塞し、現状に復旧する。
⑤ 調査の結果は、記録用紙や現場記録写真に整理して取りまとめる。

補足調査（高所作業車での調査）
① 打音調査で、コア採取周辺の空洞の広がりを確認する。
② 道路面からの目視では困難な高所位置の亀裂を確認する。
③ 法面上に自生する雑木や雑草を取り除き、そこに存在する亀裂の広がりを確認する。
④ 調査の結果は、前述の亀裂調査・打音調査に追記する。



注意　…　青線は吹付法面の法肩付近を示す。

図 3.2.1　調査位置ゾーニング図

表 3.2.1　吹付工の点検における着目点　出典：H19「斜面防災マニュアル」，p227

整理番号	点検項目		着目点に対する考え方	異常を確認した時の初期対応		初期対応でさらに問題があった場合の対応
				対応	判断基準	
C21	吹付面のき裂・欠け落ち		吹付工自体の老朽化で，剥離，剥落する可能性がある。 背面の水圧により，剥落する可能性がある。 崩壊・地すべりの予兆である可能性がある。	斜面や上部斜面に開口き裂・段差がないか確認する。	ある。	A16に準ずる。 ※1
				打音検査で空洞の有無を確認する。	空洞化している。	①空洞化の範囲を特定する。 ②対策を検討する。
C22	吹付面頭部の変状		吹付工自体が老朽化していて，剥離，剥落する可能性がある。 吹付工背面に水圧が発生していて，剥落する可能性がある。 崩壊・地すべりの予兆である可能性がある。	斜面や上部斜面に開口き裂・段差がないか確認する。	ある。	A16に準ずる。 ※1
				打音検査で空洞の有無を確認する。	空洞化している。	①空洞化の範囲を特定する。 ②空洞化の範囲が斜面下部にまでおよぶ場合は背後の地山の状態（岩層）を確認し，対策を検討する。 ②斜面上部が空洞化している場合は，地表水が吹付工背面に流入しないよう対策を検討し，かつ空洞に対する対策を検討する。
C23	はらみ出し		吹付工自体が老朽化していて，剥離，剥落する可能性がある。 吹付工背面に水圧が発生していて，剥落する可能性がある。 崩壊・地すべりの予兆である可能性がある。	斜面や上部斜面に開口き裂・段差がないか確認する。	ある。	A16に準ずる。 ※1
				はらみ部分の打音検査を実施する。	空洞化している。	①空洞化の範囲を特定する。 ②対策を検討する。
				光波測距儀などによりはらみの進行を計測する。	変位が進行している。	斜面や上部斜面に開口き裂・段差がないか確認する。
C24	目地の変状	開口幅。 ズレの量。 定点で開口の幅，ズレの量を計測。	吹付工自体が老朽化していて，剥離，剥落する可能性がある。 吹付工背面に水圧が発生していて，剥落する可能性がある。 崩壊・地すべりの予兆である可能性がある。	斜面や上部斜面に開口き裂・段差がないか確認する。	ある。	A16に準ずる。 ※1
				基礎地盤の沈下を検討（簡易計測）する。	累積傾向が認められる。	基礎地盤に対する対策を検討する。
					累積傾向が認められない。	観測間隔を長くして，観測を継続打音検査で空洞の有無を確認する。
C25	背面の空洞	降雨後に乾き安い部分がないか。 熱赤外線映像で局所的に温度が高い場所がないか。 熱赤外線映像で温度の高低のパターンに変化がないか。	吹付工による風化・侵食防止効果が機能していない可能性がある。 崩壊に至る可能性がある。 空洞に地表水が流入し，水圧により吹付工が剥落する可能性がある。	打音検査で空洞の有無を確認する。	空洞がある。	空洞の範囲を特定し，調査，対策を検討する。
C26	水抜き孔の目詰まり		吹付背面から水圧を受け，吹付が剥落する可能性がある。 斜面内の間隙水圧を上昇させ，崩壊の誘因となる可能性がある。	水抜き孔を清掃する。	—	—

※1　…　点検項目が、「A16：き裂の状態の変化」の対応に準じる。同 p221

2. 調査実施（概略）

・亀裂調査・打音調査　：　図 3.2.2「法面調査結果整理図」
・空洞確認調査　　：　図 3.2.3「コア抜き位置選定図」、表 3.2.2「コア抜き観察記録一覧表」

法面の健全度評価（考察）

法面の状況について
　下流側　：　全体的には健全
　中　間　：　背面地山が岩で密着している範囲は問題ない
　上流側　：　背面地山が岩で密着している範囲は問題ない
対策工の選定について（モルタル吹付補修工）
・亀裂が 5mm以上の箇所は、空隙充填工が必要。
・亀裂や空洞の範囲が大きく、背面地山が土砂状の箇所は、増厚工と空洞部分の空隙充填工の併用が必要。完全に浮いた状態（撤去後に斜面崩壊や不安定化の恐れがない）の範囲は、事前に撤去しておく方がよい。
維持管理について
・雑木は定期的に伐採し、堆積土砂も撤去が必要。

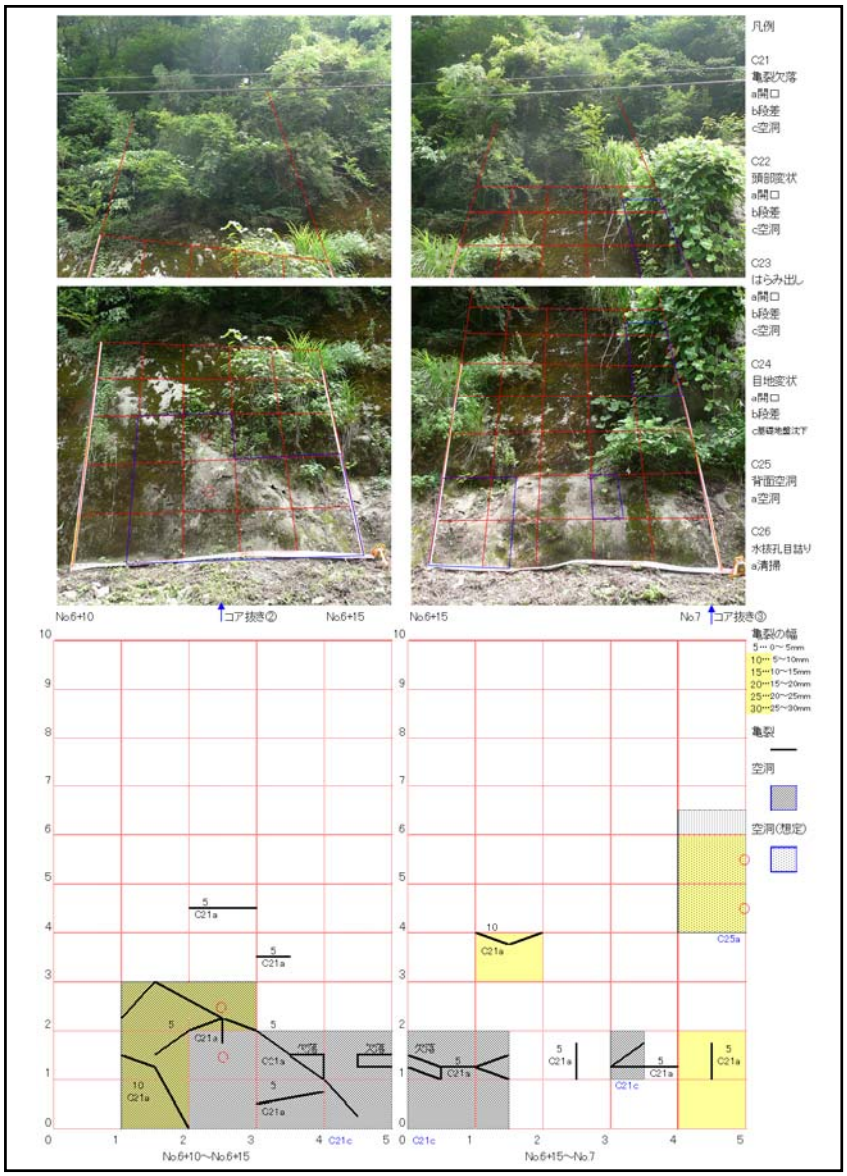
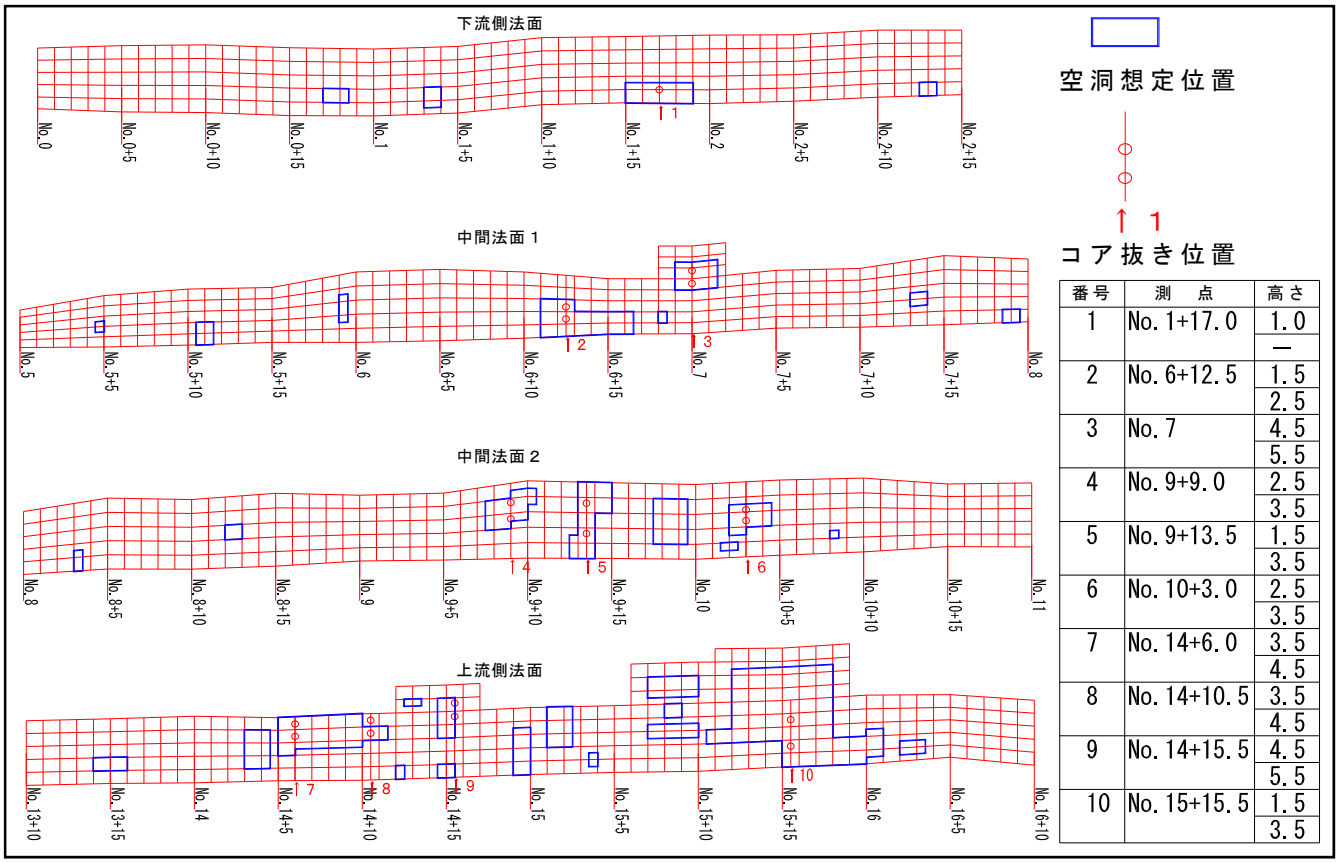


図 3.2.2　法面調査結果整理図　（例：中間 4/12）



番号	測　点	高さ
1	No. 1+17.0	1.0
		—
2	No. 6+12.5	1.5
		2.5
3	No. 7	4.5
		5.5
4	No. 9+9.0	2.5
		3.5
5	No. 9+13.5	1.5
		3.5
6	No. 10+3.0	2.5
		3.5
7	No. 14+6.0	3.5
		4.5
8	No. 14+10.5	3.5
		4.5
9	No. 14+15.5	4.5
		5.5
10	No. 15+15.5	1.5
		3.5

図 3.2.3　コア抜き位置選定図

表 3.2.2　コア抜き観察記録一覧表

番号	測　点	高さ（m）	孔の奥行（mm）			地山状態				備考（地山状態／空洞の広がりなど）
			吹付厚	削孔長	空洞	岩	土砂	乾燥	湿潤	
1	No. 1 + 17.0	1.0	40	130	—	○		○		吹付面は軟質な岩に密着している。
2	No. 6 + 12.5	1.4	50	100	—	○		○		吹付面は軟質な岩に密着している。
		2.5	90	230	140		○	○		地山は土砂状で、空隙には礫を多く混入している。
3	No. 7	4.5	60	85	25		○	○		地山はドライバーの先で容易に崩れる。／木の根が混入している。
		5.5	75	100	25		○	○		地山は強風化岩状で、ドライバーの先で容易に崩れる。／木の根が混入している。
4	No. 9 + 9.0	2.5	30	60	30	○		○		地山は岩状で、土砂が僅かにある。／空隙には礫が多く、木の根も混入している。
		3.5	50	120	70	○		○		地山は岩状である。
5	No. 9 + 13.5	1.5	30	60	30	○		○		地山は軟質な岩状である。／周辺に大きな開口亀裂があり、吹付面は全体に浮いている。
		3.5	90	160	70	○		○		地山は軟質な岩状である。／周辺に大きな開口亀裂があり、吹付面は全体に浮いている。
6	No. 10 + 3.0	2.6	50	90	—		○		○	吹付面は土砂状の地山に密着しているが、容易に掘れる。／湿潤状態にある。
		3.5	60	150	90	○			○	地山は岩状である。／湿潤状態にある。
7	No. 14 + 6.0	3.3	100	100	0		○	○		吹付面は地山に密着している。／削孔時の振動で、亀裂のある周辺のモルタルが浮く。
		4.5	65	130	65	○		○		地山状態は不明。／空隙に3～5cmの礫が多量に混入している。
8	No. 14 + 9.5	3.5	90	90	0	○		○		地山は強風化岩状で、軟質でドライバーの先で容易に崩れる。
		4.6	50	105	55		○		○	地山は土砂状であるが、安定している。
9	No. 14 + 15.5	4.5	60	60	0	○		○		軟質な岩に密着している。／ドリルで容易に崩れる。
		5.5	70	110	40		○	○		地山は強風化岩～土砂状。／草根混じる。
10	No. 15 + 15.5	1.5	65	65	0	○		○		地山は岩に密着している。
		3.5	65	105	40	○		○		地山は軟質な岩で、礫状に割れやすい。

3.設計計画（概略）

・対策工の選定　：　①表 3.2.3「既設モルタル吹付法面対策工法比較表」
②図 3.2.4「対策工選定図」　…　対策工法の選定
図 3.2.5「対策工選定位置図」　…　対策工の選定位置
③対策工位置の選定基準と施工時の留意点　…　以下の通り

対策工位置の選定基準

・対策工を実施する範囲は、1m×1mを 1 ゾーンとして、次の基準で選定する。

①空隙充填
・5mm 以上の亀裂を含むゾーン
・コア採取で空洞が確認されたゾーン
・亀裂やコア採取位置が、ゾーンの境界にある場合は、両側のゾーン

②増厚
・5mm 以上の亀裂を含むゾーンがあり、かつ空洞が想定されるゾーンが 4 つ以上連続する範囲

③選定箇所
・下流側　空隙充填（単独）　…　5 箇所
・中　間　空隙充填（単独）　…　17 箇所
空隙充填（＋増厚工）　…　6 箇所：No. 9+ 7～No. 9+16
空隙充填（＋増厚工）　…　5 箇所：No.10+ 1～No.10+ 5
・上流側　空隙充填（単独）　…　1 箇所
空隙充填（＋増厚工）　…　17 箇所：No.13+19～No.14
空隙充填（＋増厚工）　…　9 箇所：No.15+ 7～No.15+18

施工時の留意点

・増厚工では、事前に試掘を行って地山状態を確認することが望ましい。
（材料発注前なら、地盤の補強を行う工法への変更も可能である。）

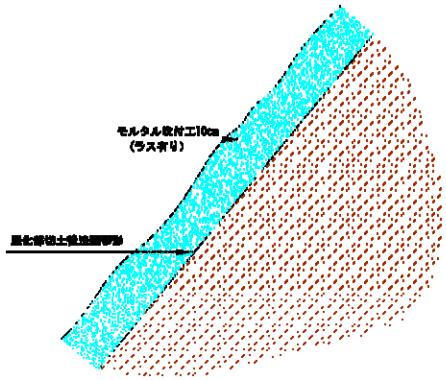
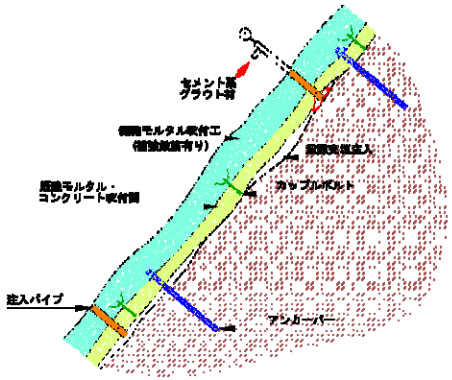
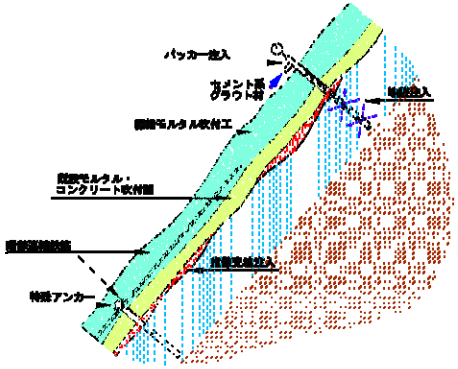
・浮いた状態の既設吹付面は、容易であれば撤去することが望ましい。
撤去部分はラス張り＋吹付厚 10cm として、増厚工 7cm の部分とすりつけるものとする。

・空隙充填（単独）部分の注入穿孔は、4.5m^{2}未満でも 1 箇所で計上する。
箇所数は現場の状態に応じて変更すること。

・増厚工の範囲では、全て空隙充填を行うものとして計上している。

・空隙充填工の平均空洞深さは、調査結果の平均値より 40mm で計画している。

表 3.2.3　既設モルタル吹付法面対策工法比較表

形　式	第1案：切土＋新設モルタル吹付		第2案：増厚（繊維モルタル吹付）＋背面空隙充填		第3案：増厚（繊維モルタル吹付）＋背面空隙充填＋地盤注入	
概略図						
施　工 手　順	↓既設モルタル吹付面を撤去 ↓切土法面整形（強風化部分を撤去） ↓新設モルタル吹付		↓アンカーバー打設 ↓カップボルト打設 ↓短繊維混入モルタル吹付（t＝7cm）） ↓空隙充填注入		↓特殊アンカー打設 ↓頭部連結鉄筋の配筋 ↓短繊維混入モルタル吹付（t＝7cm）） ↓セメント系グラウト材地盤注入 ↓空隙充填注入	
特　徴	・地山を目視で確認できる一方、露出により不安定な状態になる	△	・地山状態は不明だが、現状の状態を維持したまま補強できる	○	・地山状態は不明だが、現状の状態を維持したまま補強できる	○
	・撤去時の不測の崩壊など、作業員の安全確保に問題がある	△	・作業時の危険性は1案に比べて少ない	◎	・作業時の危険性は1案に比べて少ない	◎
	・地山状態が悪い場合、強風化部分の撤去が必要である	△	・地山や既設法面と一体化して、斜面形状はほとんど変化ない	◎	・地山や既設法面と一体化して、斜面形状はほとんど変化ない	◎
	・現状の法勾配より緩くなると、用地の問題も発生する	△	・切土がないため、官地内での施工が可能である	◎	・切土がないため、官地内での施工が可能である	◎
	・交通規制や頑丈な防護柵の設置が必要となる	△	・交通規制の制限が少なく、簡易な防護柵で対応可能である	◎	・交通規制の制限が少なく、簡易な防護柵で対応可能である	◎
	・撤去後に産業廃棄物が発生する	△	・空洞部は、空隙充填注入で間詰めされる	○	・空洞部は、空隙充填注入で間詰めされる	○
	・工費は安価となる	◎	・地山が風化している場合は、安定性を損う恐れがあり適さない	△	・風化地山にグラウトするので、安定性が高くなる	◎
経済性	人力併用切土（軟岩） 法面整形・集積運搬（風化層50cmの場合） 吹付法面取壊し モルタル吹付（t＝10cm）　合計　11,800円/m2 既設モルタル吹付撤去分産廃処分	1位	アンカーバー打設 カップボルト打設 短繊維混入モルタル吹付 空隙充填注入　合計　12,000円/m2	2位	アンカーバー打設 補強鉄筋配筋 短繊維混入モルタル吹付 セメント系グラウト材地盤注入　合計　15,000円/m2 空隙充填注入	3位
評　価	・地山の安定勾配が確保できるかどうかが明確でない	△	・地山の風化状態が不明確で、現状維持での補強となる	○	・地山の風化も補強でき、最も安定度が高い	◎
	・交通規制や頑丈な防護柵が必要である	△	・交通規制の制限が少なく、簡易な防護柵で対応可能である	◎	・交通規制の制限が少なく、簡易な防護柵で対応可能である	◎
	・工費は最も安価であるが、産業廃棄物が発生する。	△	・工費は若干高めだが、施工は容易である	◎	・工費は高めだが、施工は容易であり、高い耐久性が期待できる	○
順　位	△		◎		○	

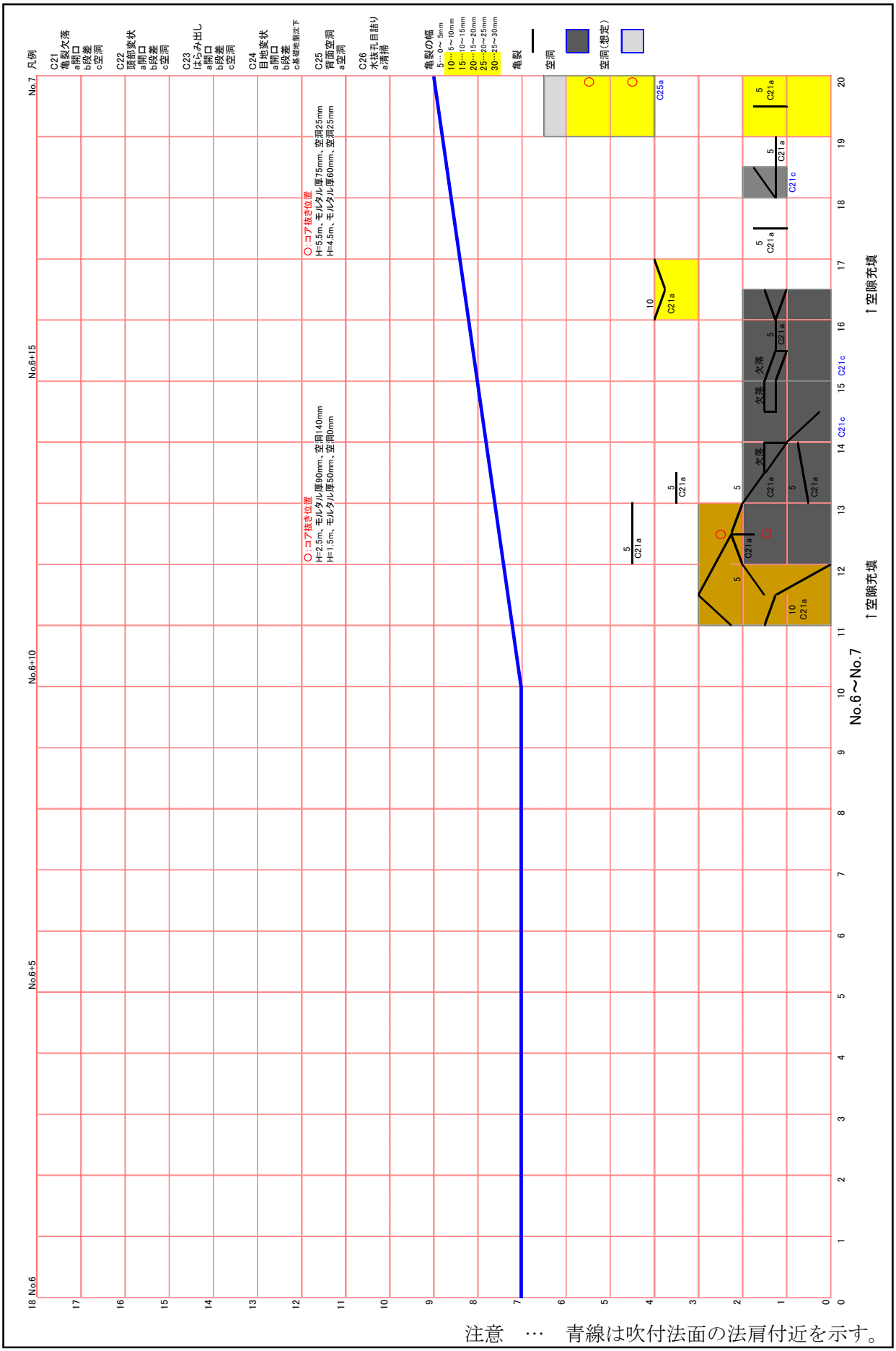


図 3.2.4　対策工選定図　（例：中間　2/6）

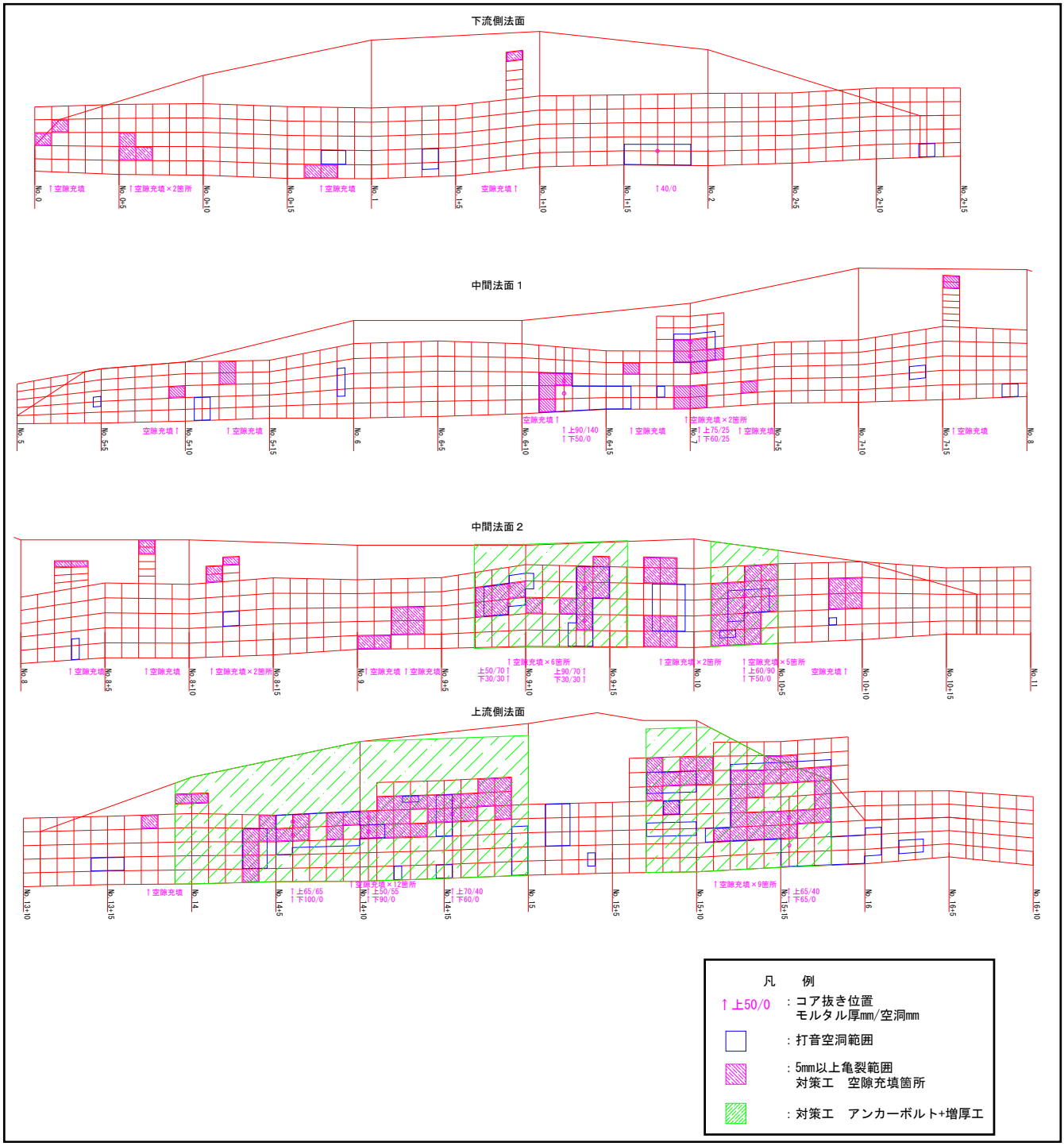


図 3.2.5　対策工選定位置図

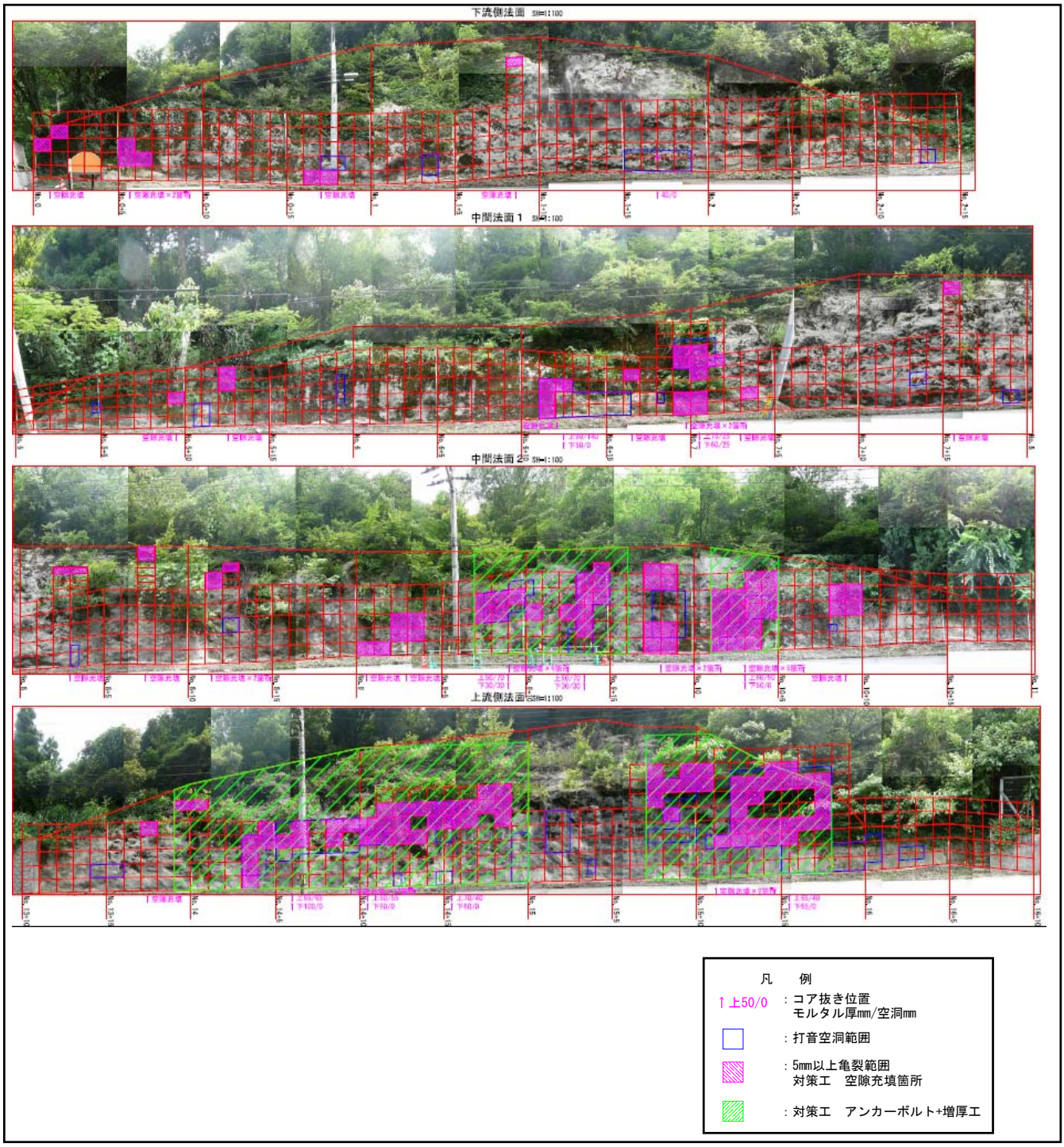


図 3.2.5　対策工選定位置図（写真）

4. 設計実施（概略）

概略設計の数量と設計図を、以下に示す。

・数量　：　表 3.2.4「モルタル吹付補修工（増圧工＋空隙充填）数量集計表」
・数量　：　表 3.2.5「モルタル吹付補修工（空隙充填）数量集計表」
・図面　：　図 3.2.6「法面対策工展開図」

表 3.2.4　モルタル吹付補修工（増圧工＋空隙充填）数量集計表

種別	細別	規格	単位	数量					備考
				中間		上流側			
				No. 9+7～No. 9+16	No. 10+1～No. 10+5	No. 13+19～No. 15	No. 15+7～No. 15+18	合計	
モルタル吹付補修工 増厚工+空隙充填工	法面水洗清掃工	圧力水洗浄	m^2	81.0	32.0	210.0	110.0	433.0	草木処理含む
	アンカーボルト削孔工	砂質土φ42 D19×1000 1本/4.5m2	本	18	8	47	25	98	
	アンカーボルト注入工		本	18	8	47	25	98	
	カップルプレート工	（A）	個	18	8	47	25	98	
	カップルボルト工	2個/m2	個	144	56	373	195	768	アンカーボルト分を除く
	注入孔穿孔工	φ40　VP30 1本/4.5m2	箇所	18	8	47	25	98	
	増厚工	短繊維混入吹付 t＝7cm	m^2	81.0	32.0	210.0	110.0	433.0	
	空隙充填工	平均4cm	m^3	3.6	1.4	9.2	4.8	19.1	10% ロス含む
	水抜き工	φ65　VP50 1本/4m2	箇所	21	8	53	28	110	

表 3.2.5　モルタル吹付補修工（空隙充填）数量集計表

種別	細別	規格	単位	数量				備考
				下流側	中間	上流側		
				No. 0～No. 2+12.6	No. 5～No. 10+16.8	No. 13+10.8～No. 16+6.5	合計	
モルタル吹付補修工 空隙充填工（単独）	箇所数	最小単位1m2	箇所	5	17	1	23	増厚工部を除く
	〃		m^2	8.0	46.0	1.0	55.0	
	法面水洗清掃工	圧力水洗浄	m^2	8.0	46.0	1.0	55.0	草木処理含む
	注入孔穿孔工	φ40　VP30 1本/4.5m2	箇所	5	17	1	23	
	空隙充填工	平均4cm	m^3	0.4	2.1	0.1	2.6	10% ロス含む

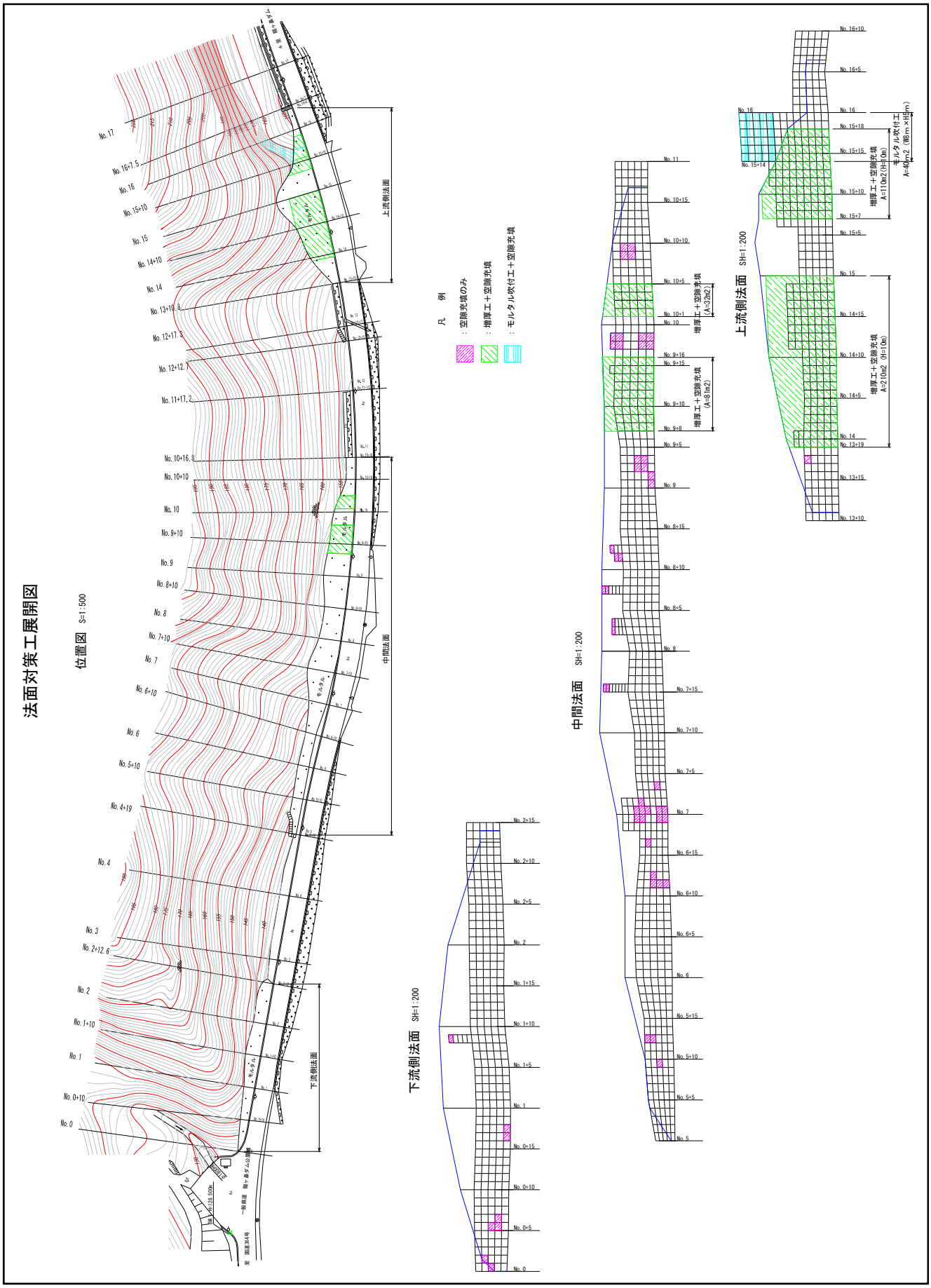


図 3.2.6　法面対策工展開図（縮尺：任意）

2）「②H25 設計」　…　詳細設計

1. 調査計画（詳細）　…　概略設計と同様のようである。

・作業図面　：　図 3.2.12「法面展開図」（後掲）　…　1m×1mメッシュのゾーニング図
・基準　　：　表 3.2.1「吹付工の点検における着目点」（前掲）…「斜面防災マニュアル」, p227
・調査方法　：　概略設計と同様（高所作業車での調査実施の有無は不明）

2. 調査実施（詳細）　…　概略設計と同様のようである。

・亀裂調査・打音調査　：　図 3.2.7「法面調査結果整理図」
・空洞確認調査　　：　図 3.2.8～図 3.2.11「コア抜き詳細位置図・調査結果一覧表」
・調査結果のまとめ　：　「4）対象斜面の概要」（前掲）

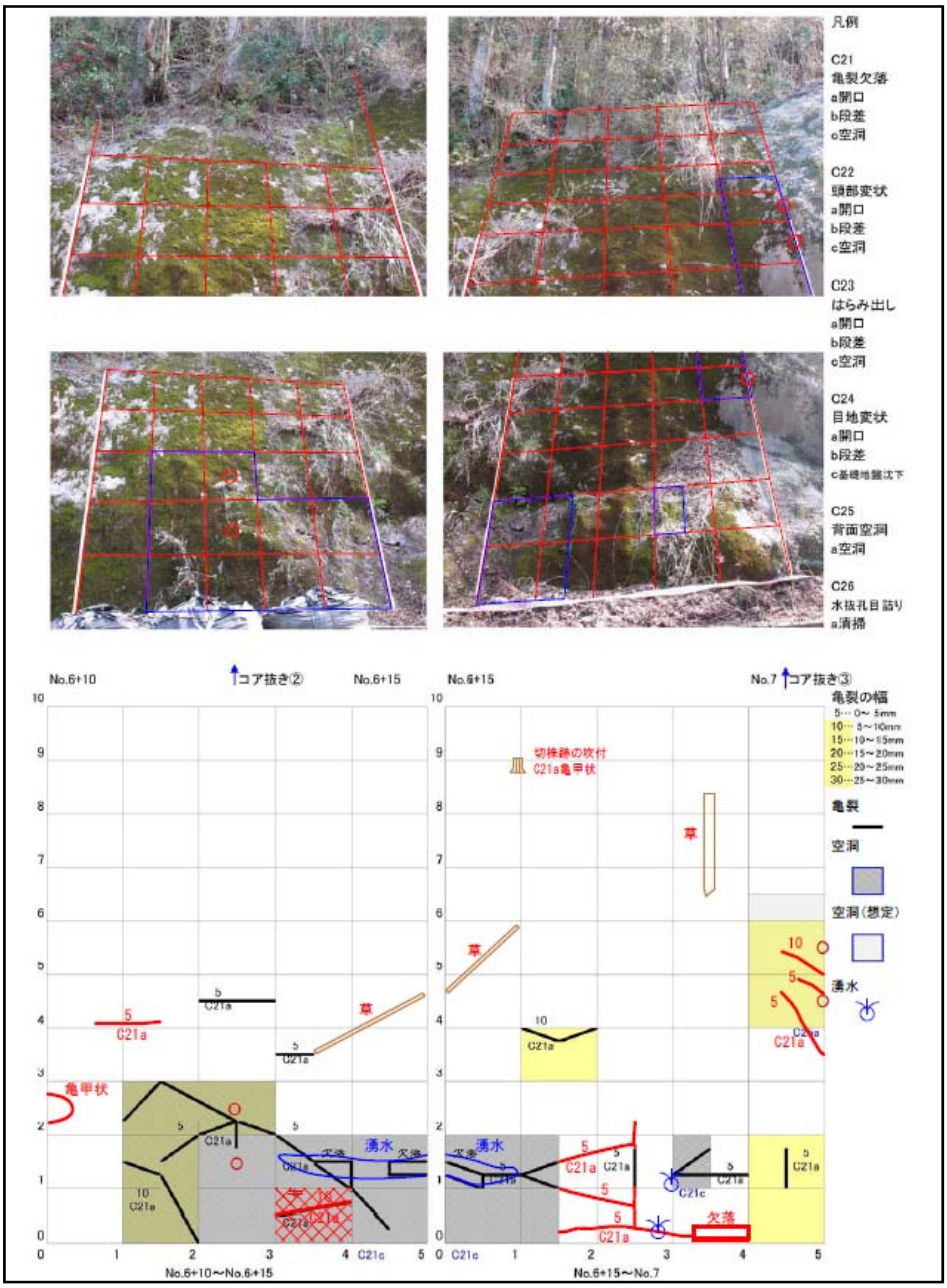
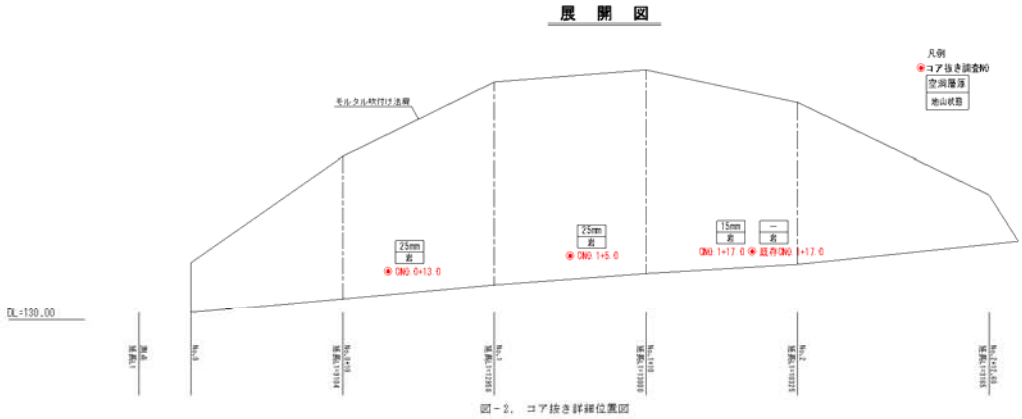
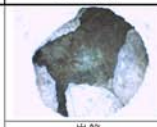
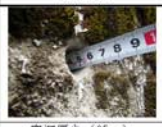
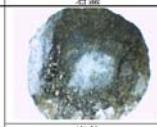
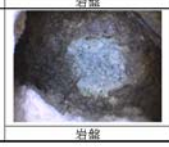
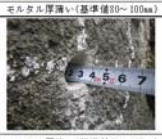
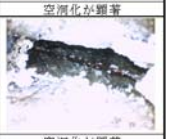


図 3.2.7　法面調査結果整理図　（例：中間 4/12）

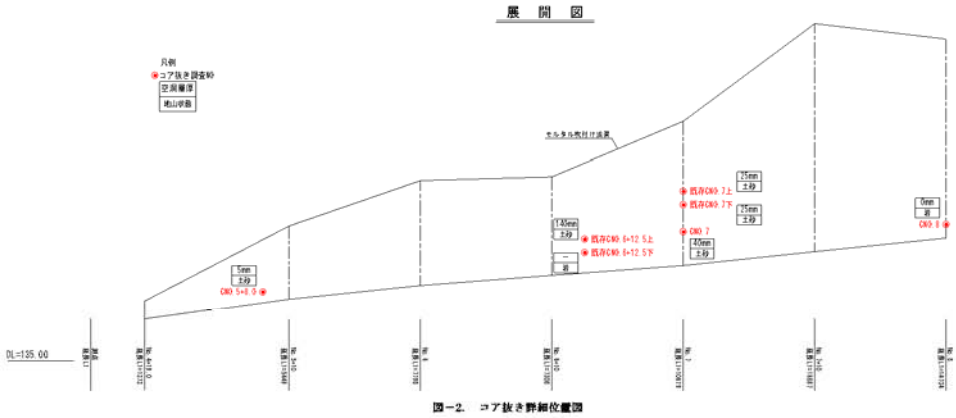


図－2.　コア抜き詳細位置図

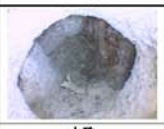
調査法面	下流側				帳票No		1			
No	吹付け状況		変状		地山状態	風化層厚（貫入量）	写　真			
	モルタル厚（mm）	ラス金網の有無	空洞層（mm）	リバウンド層（mm）	種類	軽打（mm）（十砂層）	地盤状態	吹付け厚	空洞層厚	孔内近景写真、その他
0+13.0	35	有	25	0	岩盤	0	 岩盤	モルタル厚薄い（基準値80～100mm）	 空洞厚さ（25mm）	空洞化が顕著
1+5.0	60	有	25	0	岩盤	0	 岩盤	モルタル厚薄い（基準値80～100mm）	空洞厚さ（25mm）	空洞化が顕著
1+17.0	40 (40)	有	15 (－)	0	岩盤 (岩盤)	0	 岩盤	 モルタル厚薄い（基準値80～100mm）	空洞厚さ（15mm）	 空洞化が顕著

※（ ）内は近傍の既存データである。

図 3.2.8　コア抜き詳細位置図・調査結果一覧表（下流側　帳票 No. 1）

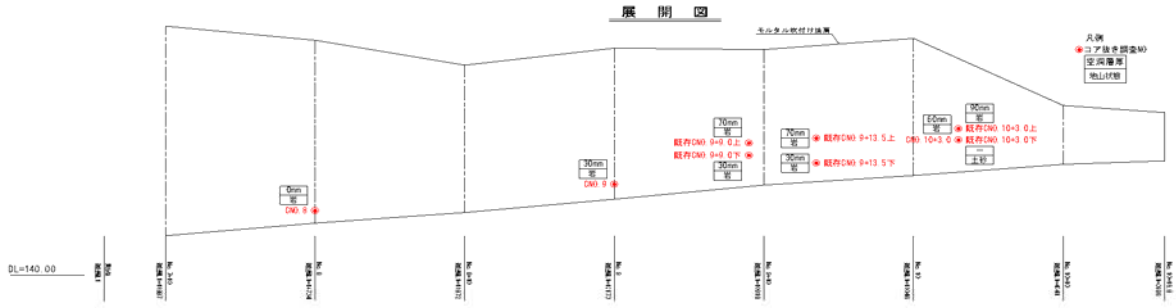


図－2.　コア抜き詳細位置図

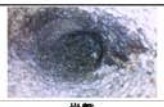
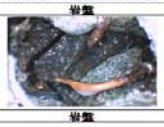
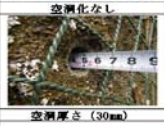
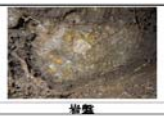
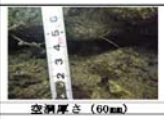
調査法面	中間				帳票No		2			
No	吹付け状況		変状		地山状態	風化層厚（貫入量）	写　真			
	モルタル厚（mm）	ラス金網の有無	空洞層（mm）	リバウンド層（mm）	種類	軽打（mm）（十砂層）	地盤状態	吹付け厚	空洞層厚	孔内近景写真、その他
5+8.0	100	有	5	0	土砂	170	 土砂	モルタル厚正常	空洞厚さ（5mm）	植物根あり
既存 6+12.5	50		－		岩盤					
既存 6+12.5	90		140		土砂					
7	85	有	40	0	土砂	820	土砂	モルタル厚薄い（基準値80～100mm）	空洞厚さ（40mm）	空洞化が顕著
既存 7下	60		25		土砂					
既存 7上	75		25		土砂					

※（ ）内は近傍の既存データである。

図 3.2.9　コア抜き詳細位置図・調査結果一覧表（中間 1　帳票 No. 2）



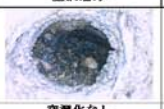
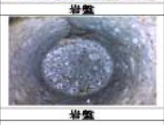
図－2.　コア抜き詳細位置図

調査法面	中間				帳票No		3・4			
No	吹付け状況		変状		地山状態	風化層厚（貫入量）	写　真			
	モルタル厚（mm）	ラス金網の有無	空洞層（mm）	リバウンド層（mm）	種類	軽打（mm）（十砂層）	地盤状態	吹付け厚	空洞層厚	孔内近景写真、その他
8	95	有	0	0	岩盤	0	 岩盤	モルタル厚薄い（基準値90～100mm）	空洞化なし	空　白
9	20	有	30	0	岩盤	0	 岩盤	モルタル厚薄い（基準値90～100mm）	 空洞厚さ（30mm）	植物根あり
既存 9+9.0下	30		30		岩盤					
既存 9+9.0上	50		70		岩盤					
既存 9+13.5	30		30		岩盤					
既存 9+13.5	90		70		岩盤					
10+3.0	60 (50)	有	60 (－)	0	岩盤 (土砂)	0	 岩盤	モルタル厚薄い（基準値90～100mm）	 空洞厚さ（60mm）	空　白
既存 10+3.0	60		90		岩盤					

※（ ）内は近傍の既存データである。

図 3.2.10　コア抜き詳細位置図・調査結果一覧表（中間２　帳票 No.３・４）

図－2.　コア抜き詳細位置図

調査法面	上流側				帳票No		5・6			
No	吹付け状況		変状		地山状態	風化層厚（貫入量）	写　真			
	モルタル厚（mm）	ラス金網の有無	空洞層（mm）	リバウンド層（mm）	種類	軽打（mm）（十砂層）	地盤状態	吹付け厚	空洞層厚	孔内近景写真、その他
14+6-1	70 (100)	有	0 (－)	10	岩盤 (土砂)	0	岩盤	モルタル厚薄い（基準値90～100mm）	 空洞化なし	リバウンド層10mm
14+6-2	50	有	0	0	岩盤	0	 岩盤	モルタル厚薄い（基準値90～100mm）	空洞化なし	空　白
既存 14+6上	65		65		岩盤					
既存 14+9.5	90		0		岩盤					
既存 14+9.5	50		55		土砂					
既存 14+15.5	60		0		岩盤					
14+15.5	30 (70)	有	25 (40)	0	岩盤 (土砂)	460	岩盤	モルタル厚薄い（基準値90～100mm）	空洞厚さ（25mm）	ラスの腐食
既存 15+15.5	65		0		岩盤					
既存 15+15.5	65		40		岩盤					

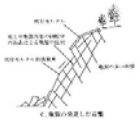
※（ ）内は近傍の既存データである。

図 3.2.11　コア抜き詳細位置図・調査結果一覧表（上流側　帳票 No.５・６）

3. 設計計画（詳細）

劣化原因の推定　　：調査結果から、「a. 空洞化」、「b. ひび割れ」、「c. 剥離・欠落」で整理した。
予想される崩壊形態　：表 3.2.6「予想される崩壊形態一覧表」の①と②で整理した。
補修の優先度　　：調査結果から、「1. 上流側」、「2. 中間」、「3. 下流側」で選定した。
対策工の選定　　：①表 3.2.7「補修工法選定のポイント」
②表 3.2.8「工法比較表 1」、表 3.2.9「工法比較表 2」
③表 3.2.14～表 3.2.16「一般計算書（裏込注入工）」（後掲）…　算出図

表 3.2.6　予想される崩壊形態一覧表

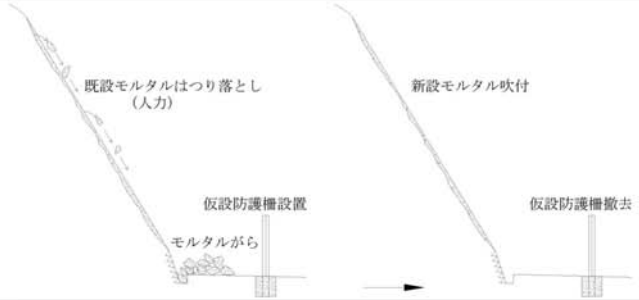
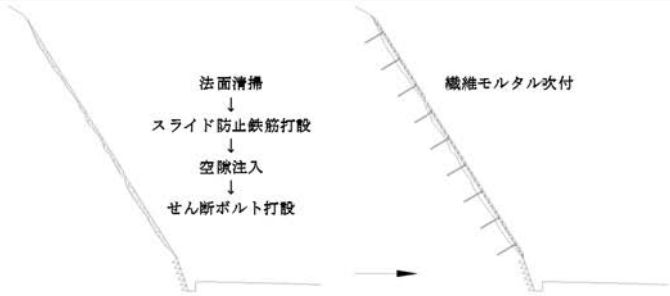
	崩壊形態	要　因	概要図	該当
地山浅層部の崩壊	①吹付モルタルの劣化による崩落	経年変化に伴う劣化の進行によりひび割れが発生し、凍結融解の繰り替えし作用で剥落する。		○
	②地山とモルタルの密着不良によるモルタル崩落	吹付法面の背後に発生した空洞化や、地山の土砂化により地山との付着力が低下し崩落する。		○
	③地山表層の土砂化による法面崩落	モルタルの劣化や、地山背後からの地下水の浸透等により表層部が土砂化し崩落する。		
	④落石型の崩落	モルタルの剥離により地山が露出し、地山が凍上を受け、風化の進行により固結度が低下し崩落する。		

建設省 土木研究所　熱赤外線映像法による吹付法面老朽化診断マニュアル　p. 8-10

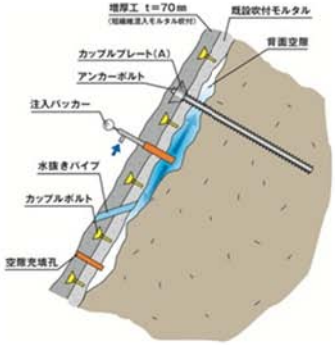
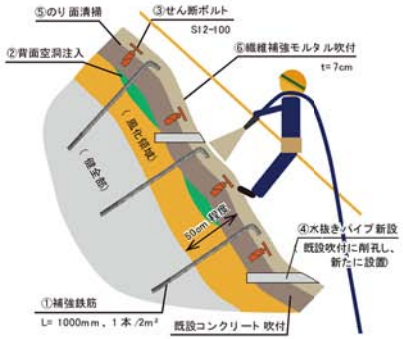
表 3.2.7　補修工法の選定ポイント

変状①	**モルタル吹付と地山との密着不良　→　密着性の改善**
〔下流側〕	空洞厚15～ 25mm（平均22mm）脚部。（空洞化面積103.9m2　全体の19%）
〔中　間〕	空洞厚 5～140mm（平均51mm）脚部。（空洞化面積 97.4m2　全体の 8%）
〔上流側〕	空洞厚10～ 40mm（平均46mm）全域。（空洞化面積130.5m2　全体の16%）
変状②	**開口ひび割れ・段差ひび割れの発生　→　ひび割れ補修・吹き直し**
〔下流側〕	クラックは比較的少ない。 開口クラック（幅0.5mm～10.0mm）。
〔中　間〕	クラックは比較的少ない。 開口クラック（幅0.5mm～50.0mm）。
〔上流側〕	全体的にクラックが多い。 開口クラック（幅0.5mm～50.0mm）。
変状③	**剥離・欠落の発生　→　吹き直し**
〔下流側〕	局部的な剥離・欠落。第三者被害の危険性あり。
〔中　間〕	局部的な剥離・欠落。第三者被害の危険性あり。
〔上流側〕	局部的な剥離・欠落。第三者被害の危険性あり。広範囲に浮き。
変状④	**モルタル吹付厚が薄い**
〔下流側〕	吹付厚（平均45mm程度）　＜　基準値（80～100mm）　… 満足しない
〔中　間〕	吹付厚（平均64mm程度）　＜　基準値（80～100mm）　… 満足しない
〔上流側〕	吹付厚（平均61mm程度）　＜　基準値（80～100mm）　… 満足しない

表 3.2.8　工法比較表 1

	従来工法	繊維モルタル吹付工法
工法概要	老朽化した吹付モルタルの補修工事として、道路上に仮設防護柵を設置した後、既設の吹付コンクリート（t＝10cm程度）を全面的にはつり取り、新たにモルタル吹付（t＝10cm）を実施する。	老朽化した吹付モルタルの補修工事として、既設の吹付コンクリート（t＝10cm程度）をはつり取らずに、スライド防止鉄筋（L＝60cm）・背面空隙注入工・せん断ボルト工・繊維モルタル吹付（t＝7cm）を実施する。
施工図		
施工フロー	仮設防護柵設置 → 法面清掃(伐採) → 既設モルタルはつり取り → モルタル廃材処理 → ラス張り・モルタル吹付 → 仮設防護柵撤去 → 完了	法面清掃 → スライド防止鉄筋打設 → 空隙注入 ※1 → せん断ボルト打設 → 繊維モルタル吹付 → 完了 ※1,亀裂やﾓﾙﾀﾙの浮きが著しい場合は、空隙注入を最後にする場合もある。
工法の特徴	老朽化吹付法面の補修方法として一般的に実施されてきた工法であるが、はつり取りは作業時に地山崩壊やモルタル崩落が発生する危険性が高く、また第三者および通行車両への危険性も高い。このため、比較的規模の大きい仮設防護柵が必要となり、24時間の交通規制も必要となる。工程も人力作業が多いうえに大量のモルタルガラ搬出があるため時間がかかる。さらに、はつり取ったモルタルが産業廃棄物となりその処分の問題も発生する。 凹凸のある法面において、ラス金網を中心に配置するのは困難であるため、将来的には現状の法面と同様な症状（ラスの腐食・剥離・欠落）になる可能性がある。	老朽化モルタルをはつり取ることなく、吹付法面の効果が完全に喪失する前に法面保護機能を再構築する工法である。はつり取りが無いため施工時の安全性が高く、第三者・通行車両(施工時の簡易防護柵程度)への影響も少ない。さらに在来工法に比べてモルタルガラ・金網屑が発生しないことから産業廃棄物を大幅に抑制できる。また、繊維の補強効果によって従来の吹付に比べひび割れの拘束性及び耐久性等の性能が向上する他、吹付厚さの低減と金網張り工の省略ができる。 在来工法に比べてはつり取りの手間が無く、ラス張りも省略できるため工程は短縮できる。
	評価 作業の安全性：はつり作業が多く、危険性大 第三者への影響：落下物、常時交通規制の影響大 施工性：人力が多く劣る 工程：長期間 産業廃棄物：大量に発生する 仮設防護柵：大規模なものが必要	評価 作業の安全性：はつり作業が無く、危険性小 第三者への影響：影響は少ない(施工時の交通規制はある) 施工性：はつりが無い分、人力が少ない 工程：従来に比べ短縮できる 産業廃棄物：少ない 仮設防護柵：簡易で対応できる
概算工事費	・仮設防護柵工：150㎡→ 3,297 千円 (施工延長50m、H3.0mと仮定) ・人力はつり取り：1,000㎡→ 2,090 千円 (施工延長50m、SL20m、t=10cmと仮定) ・モルタル吹付工：1,000㎡→ 5,000 千円 (標準 t=10cm) ・モルタル殻処分費：100m3→ 1,500 千円 (ﾗｽ入有筋処分費、集積･積込･運搬20km) ※通常は、地山ごと落ちるためほぼ2倍の量になる。 合計 11,887 千円	・法面清掃工：1,000㎡→ 534 千円 (雑木の量にもよる) ・空隙注入工：5.0m³→ 580 千円 (空洞部約50%、空洞厚1cmの場合) ・せん断ボルト工：2,000本→ 1,605 千円 (2本/㎡、標準のS12-100の場合) ・繊維ﾓﾙﾀﾙ吹付工：1,000㎡→ 7,474 千円 (標準 t=7cm) ・水抜きﾊﾟｲﾌﾟ増設工：250本→ 392 千円 (新設部が、1本/4㎡の場合。既設利用が半分。) ・簡易防護柵工：150㎡→ 332 千円 (施工延長50m、H3.0mと仮定) 合計 10,917 千円
総合評価	比較の結果、作業の安全性・第三者への影響・施工性・工程・産業廃棄物の抑制・仮設対策・工費の全てにおいて在来工法より繊維モルタル吹付工法が有利と考えられるため、本件については同案の選定が妥当であると判断される。	

工法比較表2

工法名	第１案　A工法		第２案　B工法	
工法概要	老朽化した吹付モルタルの補修工法であり、従来は「モルタル取り壊し+モルタル吹付工」で対応していた。本技術は、短繊維混入モルタル吹付けとカップルボルトを用いて、既設吹付モルタルの上から補修することができ、経済性の向上が期待できる。		既設吹付法面を剥ぎ取らず(はつり取らず)に、補修・補強することによって、法面を再構築する吹付工法である。有機繊維を使用することにより安定した吹付となった。従来に比べ産業廃棄物の発生抑制、安全性の向上、工期短縮を可能とした。	
概略図				
経済性	(1,000㎡以上)　9,527円/m2	◎	(1,000㎡以上)　9,565円/m2	◎
施工性	48日/1,000m2 3分以上の法面で必要 準備工 → のり面水洗清掃工 → 吊り足場工 → アンカーボルト工 → ボルト注入工 → カップルボルト工 → 注入孔穿孔工 → 水抜きパイプ設置工 → 増圧工 → 空隙充填工 → 完成	○	31日/1,000m2 準備工 → 補強鉄筋工 → せん断ボルト工 → 水抜きパイプ増設工 → 法面清掃工 → 注入孔穿孔工 → 繊維補強モルタル吹付工 → 空隙充填工 → 完成	◎
品質	・繊維補強モルタルの使用により、品質(強度、クラック抑制、耐久性)が向上する。 ・吹付厚は、7cmとなる。 ・実績はある。（福井県では、無し）	○	・繊維補強モルタルの使用により、品質(強度、クラック抑制、耐久性)が向上する。 ・吹付厚は、7cmとなる。 ・実績が最も多い。（福井県では、約10,000m2） ・NEXCO基準をクリアできる品質を確保している。	◎
構造性	・数種類のタイプがあり、空洞充填や風化層注入が可能である。 ・地山表層の風化領域が3.0m程度の厚さまで対応可能。 ・風化領域が0.5m以上または滑りが想定出来る場合は、ロックボルトを併用したタイプがある。	◎	・数種類のタイプがあり、現場に則した対応が可能である。(経済性を考慮) ・風化領域が0.5m以上または滑りが想定される場合は、ロックボルトにて対応できる。	◎
安全性	・従来技術に比較して老朽化した吹付モルタル・コンクリートのはつり作業の省略化により危険作業が回避できる。	◎	・従来技術に比較して老朽化した吹付モルタル・コンクリートのはつり作業の省略化により危険作業が回避できる。	◎
備考	・吹付モルタルの取り壊しが不要であるため、産業廃棄物を抑制できる。	◎	・吹付モルタルの取り壊しが不要であるため、産業廃棄物を抑制できる。	◎
総合評価	・経済性に優れるが、施工性及び品質が劣る。 ・実績があり、優れた工法ある。	○	・経済性は若干劣るが、施工性及び品質に優れる。 ・実績が最も多く、最も優れた工法である。 **採用案**	◎

4. 設計実施（詳細）

詳細設計の数量と設計図を、以下に示す。

・数量　：　表 3.2.10「数量総括表」
・数量　：　表 3.2.11「数量集計表（吹付工）」、表 3.12「平均法長面積計算表（吹付工）」
・数量　：　表 3.2.13「数量集計表（裏込注入工）」
　　表 3.2.14～表 3.2.16「一般計算書（裏込注入工：下流側、中間、上流側）」
・図面　：　図 3.2.12「対策工基本計画図(1/4)～(4/4)」

表 3.2.10　数量総括表

レベル3(種別)	レベル4(細別)	レベル5(規格)	積算用単位	数量計算用単位	数量区分	合計	
吹付工			式				
	繊維モルタル吹付工			m2	合計	2,627.0	2,627.0
		t=7cm				2,627.0	2,627.0
裏込注入工			式				
	グラウト注入工			m3	合計	18.6	18.6
						18.6	18.6

表 3.2.11　数量集計表（吹付工）

細別	規格	単位	繊維モルタル吹付工 t=7cm					合計	摘要
繊維モルタル吹付工	t=7cm	m2	2,627.0					2,627.0	

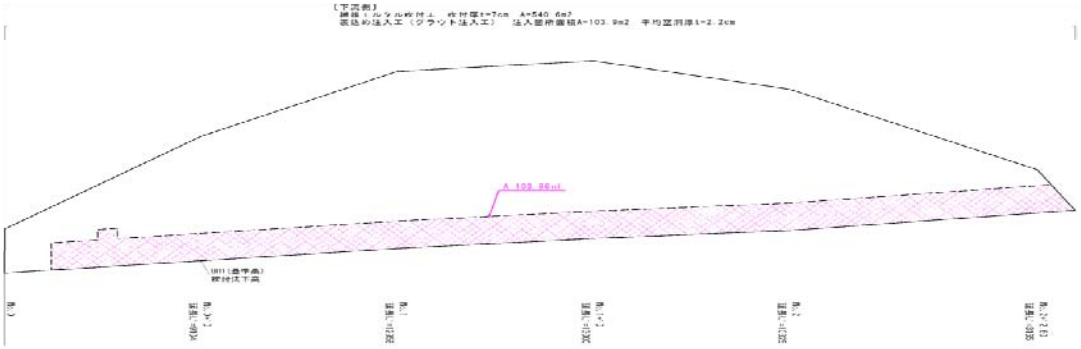
表 3.2.12　平均法長面積計算表（吹付工）

測点	距離(m)	法長(m)	平均法長(m)	面積(m2)	摘要
No.0	—	4.9	—	—	下流側
No.0+10.0	10.0	9.2	7.05	70.5	
No.1	10.0	13.3	11.25	112.5	
No.1+10.0	10.0	13.7	13.50	135.0	
No.2	10.0	10.7	12.20	122.0	
No.2+12.6	12.6	4.4	7.55	95.1	
No.2+13.7	1.9	1.4	2.90	5.5	
小　計	54.5			540.6	
No.4+19.0	0.0	2.4	—	—	中間
No.5+10.0	11.0	6.6	4.50	49.5	
No.6	10.0	9.6	8.10	81.0	
No.6+10.0	10.0	8.9	9.25	92.5	
No.7	10.0	11.3	10.10	101.0	
No.7+10.0	10.0	17.5	14.40	144.0	
No.8	10.0	15.4	16.45	164.5	
No.8+10.0	10.0	12.4	13.90	139.0	
No.9	10.0	13.1	12.75	127.5	
No.9+10.0	10.0	12.1	12.60	126.0	
No.10	10.0	11.7	11.90	119.0	
No.10+10.0	10.0	6.1	8.90	89.0	
No.10+16.8	6.8	4.1	5.10	34.7	
小　計	117.8			1,267.7	
No.13+10.8	0.0	5.5	—	—	上流側
No.14	9.2	12.8	9.15	84.2	
No.14+10.0	10.0	21.0	16.90	169.0	
No.15	10.0	28.0	24.50	245.0	
No.15+5.0	5.0	21.4	24.70	123.5	
No.15+10.0	5.0	13.4	17.40	87.0	
No.16	10.0	4.3	8.85	88.5	
No.16+5.0	5.0	4.3	4.30	21.5	
小　計	54.2			818.7	
合　計	226.5			2,627.0	

表 3.2.13　数量集計表（裏込注入工）

細別	規格	単位	下流側 平均空洞厚 t=2.2cm	中間 平均空洞厚 t=5.1cm	上流側 平均空洞厚 t=4.6cm			合計	摘要
グラウト注入工		m3	3.2	7.0	8.4			18.6	

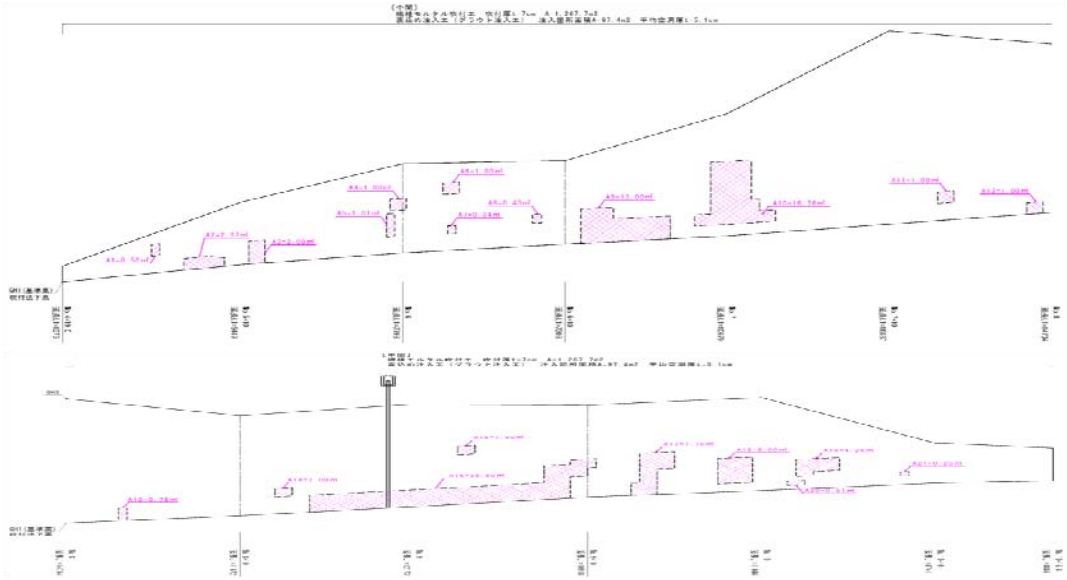
表 3.2.14　一般計算書（裏込注入工：下流側）



種　　別：裏込注入工
ブロック：下流側
区　　分：平均空洞厚 t=2.2cm

細別／規格	算　　式　／　　図	数　量
略図	※面積はﾌﾟﾗﾆﾒｰﾀ算出 A=103.86	
グラウト注入工	注入量V＝A×t×(1＋k)　(A:対象面積,t:空洞厚さ,k:補正係数) A=103.86㎡ t=2.2cm k=0.4（補強鉄筋工の補正係数に準じる） V=103.86×0.022×(1+0.4)=3.20	3.2　m3

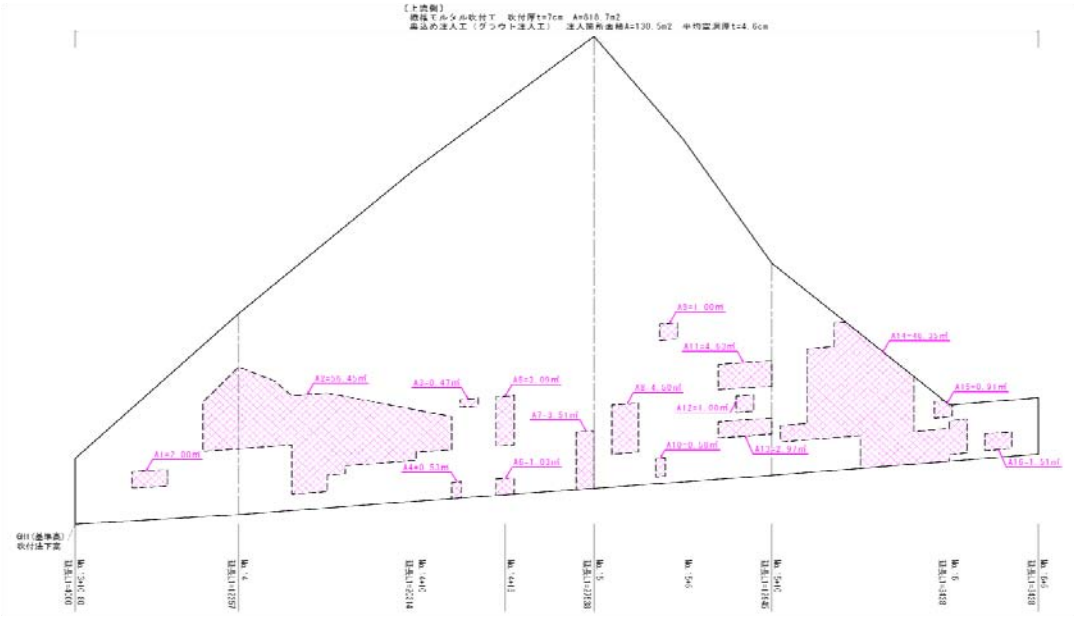
表 3.2.15　一般計算書（裏込注入工：中間）



種　　別：裏込注入工
ブロック：中間
区　　分：平均空洞厚 t=5.1cm

細別／規格	算　　式　／　　図	数　量
略図	※面積はﾌﾟﾗﾆﾒｰﾀ算出 A=0.50+2.37+2.00+1.00+1.01+1.00+0.34+0.43+13.00+16.76+1.00+ 1.00+0.75+1.00+1.00+35.50+7.75+6.00+4.26+0.51+0.25 ΣA=97.43	
グラウト注入工	注入量V＝A×t×(1＋k)　(A:対象面積,t:空洞厚さ,k:補正係数) A=97.43㎡ t=5.1cm k=0.4（補強鉄筋工の補正係数に準じる） V=97.43×0.051×(1+0.4)=6.96	7.0　m3

表 3.2.16　一般計算書（裏込注入工：上流側）



種　　別：裏込注入工
ブロック：上流側
区　　分：平均空洞厚 t=4.6cm

細別／規格	算　　式　／　　図	数　量
略図	※面積はﾌﾟﾗﾆﾒｰﾀ算出 A=2.00+56.45+0.47+0.53+3.09+1.03+3.51+4.50+1.00+0.58+4.63+ 1.00+2.97+46.35+0.91+1.51 ΣA=130.53	
グラウト注入工	注入量V＝A×t×(1＋k)　(A:対象面積,t:空洞厚さ,k:補正係数) A=130.53㎡ t=4.6cm k=0.4（補強鉄筋工の補正係数に準じる） V=130.53×0.046×(1+0.4)=8.41	8.4　m3

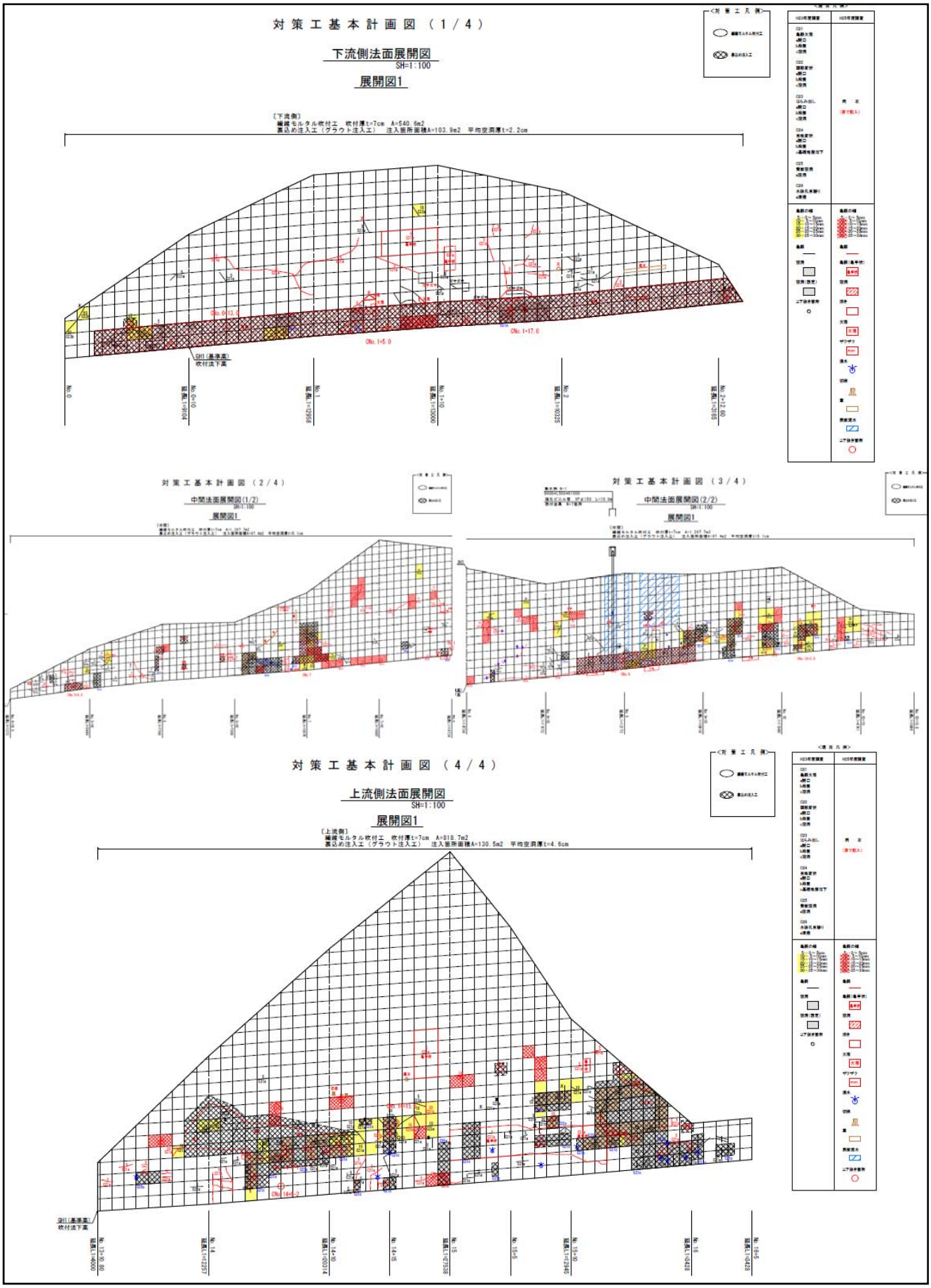


図 3.2.12　対策工基本計画図(1/4)～(4/4)（縮尺：任意）

3.3 設計内容の比較（概略設計と詳細設計）

1）設計空洞深さ（表 3.3.1）

概略 ・全調査箇所（19 箇所）の空洞深さの合計を、全箇所数で除した平均値を求める。
（空洞が 0㎜ の 7 箇所も含めて平均している。）
・平均値で、一の位を四捨五入して設計空洞深さとする。
・施工時のロス率を 10%とする。（老朽モルタル補修補強工法技術資料の参照値。）

詳細 ・区間毎の調査箇所の空洞深さの合計を、空洞 0㎜ を除く箇所数で除した平均値を求める。
（詳細での調査は 11 箇所で、概略での調査 19 箇所も含めている。）
（空洞 0㎜ の 1＋3＋6＝10 箇所は除いて平均している。）
・平均値で、少数一位を四捨五入して設計空洞深さとする。
・施工時のロス率を 40%とする。（補強鉄筋工の補正係数に準ずる。）

表 3.3.1 設計空洞深さの比較

設計段階	区間	全調査箇所	空洞0(mm)箇所	空洞深さ合計(mm)	平均空洞深さ(mm)	設計空洞深さ(mm)	施工時ロス率(%)	備 考	※参考値
概略	全区間	19	7	680	35.8	**40**	10	空洞0も箇所数に含める 一の位を四捨五入する	44.0
詳細	下流側	4	1	65	21.7	**22**	40	概略設計時の調査箇所も含める 空洞0は箇所数に含めない 少数一位を四捨五入する	30.8
	中間	15	3	615	51.3	**51**			71.4
	上流側	11	6	225	45.0	**46**			64.4

※ 設計空洞深さにロス率を考慮した時の換算深さ

2）設計数量（表 3.3.2）

概略 ・増厚工の必要な範囲（箇所）を、区間毎に限定している。
・増厚工の箇所では、充填工も行う。充填工の 1 箇所は、1m×1mを最小単位としている。

詳細 ・吹付工（増厚工）は、全区間とも既設吹付法面全面としている。
・注入工（充填工）の箇所は、個別に選定している。

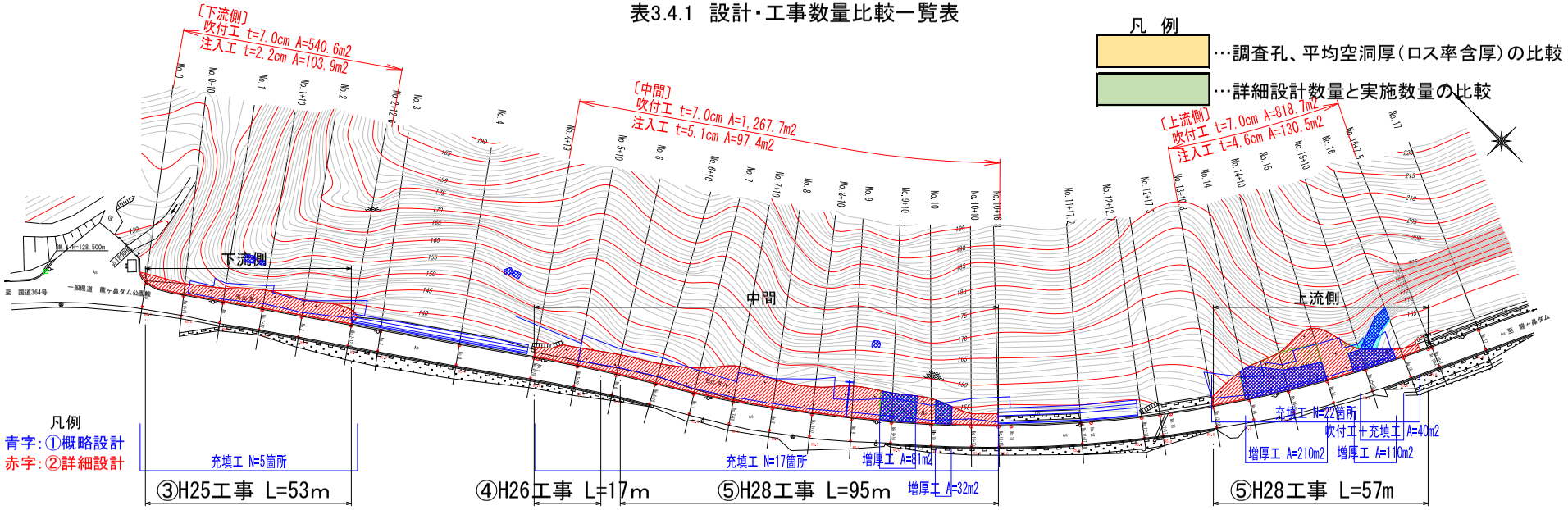
表 3.3.2 設計数量の比較

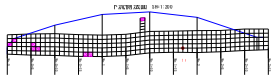
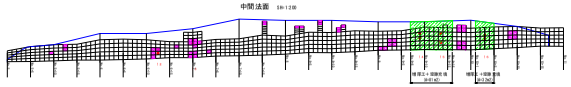
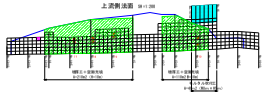
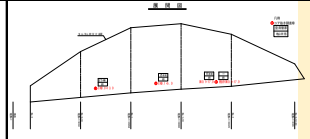
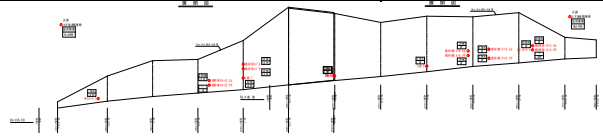
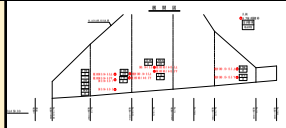
設計段階	区間	増厚工/吹付工		充填工/注入工 ※						備 考
		箇所	面積(m2)	箇所		面積(m2)		堆積(m3)		
概略	下流側	－	－	－ 5	6	－ 8	8	0.0 0.4	0.4	※上段は増厚工箇所の充填工 **増厚工413m2** **充填工20.8m3**（27箇所）
	中間	2	93	2 17	19	93 46	139	4.1 2.1	6.2	
	上流側	2	320	2 1	3	320 1	321	14.1 0.1	14.2	
詳細	下流側	1	540	1		103		3.2		**吹付工2,630m2** **注入工18.6m3**（38箇所）
	中間	1	1,270	21		97		7.0		
	上流側	1	820	16		130		8.4		

3.4 設計数量と出来形数量の比較

吹付工と注入工に着目して、設計数量と出来形数量を比較した結果を、次表に示す。
次表より、詳細設計数量は、ほぼ出来形数量に近い値を示しているといえる。

表3.4.1 設計・工事数量比較一覧表



区間 / 測点	下流側 No. 0～No.2+12.6		中 間 No.4+19～No.10+16.8			上流側 No.13+10.8～No.16+6.5	
延長 / 面積	L= 53m A= 540m2		L=118m A=1260m2			L= 56m A= 820m2	
①概略設計 調査孔 平均空洞厚 （ロス率含厚）		1孔 40mm (44mm)			10孔 40mm (44mm)		8孔 40mm (44mm)
対策工数量	増厚工 +充填工 A=0m2 充填工 A=8m2（N=5）	A= 0m2 V=0.0m3 V=0.4m3	増厚工 +充填工 A=0m2 充填工 A=3m2（N=2）	A= 0m2 V=0.0m3 V=0.2m3	増厚工 +充填工 A=113m2（N= 2） 充填工 A= 43m2（N=15）	A=113m2 V=5.0m3 V=1.9m3	増厚工 +充填工 A=320m2（N=2） 充填工 A= 1m2（N=1）	A=320m2 V=14.1m3 V=0.1m3
②詳細設計 調査孔（概略+詳細） 平均空洞厚 （ロス率含厚）		0+3=3孔 22mm (30.8mm)			7+5=12孔 51mm (71.4mm)		2+3=5孔 46mm (64.4mm)
対策工数量	吹付工 注入工 A=103m2（N=1）	A=540m2 V=**3.2**m3	吹付工 注入工 A=7m2（N=5）	A=140m2 V=**0.5**m3	吹付工 注入工 A=90m2（N=16）	A=1130m2 V=**6.5**m3	吹付工 注入工 A=130m2（N=16）	A=820m2 V=**8.4**m3
③④⑤工事 数量 設計 / 実施	③H25工事 吹付工 A=513m2 注入工 V=3.0m3	A=513.7m2 V=**3.39**m3	④H26工事 吹付工 A=126m2 注入工 V=0.6m3	A=126.8m2 V=**0.64**m3	⑤H28工事 吹付工 A=1111m2 注入工 V=6.47m3	A=1122m2 V=**9.54**m3	⑤H28工事 吹付工 A=862m2 注入工 V=8.41m3	A=882m2 V=**10.75**m

①概略設計の充填工の1箇所とは、1m×1mを1単位として、空洞と亀裂が連続している範囲とする。
対策工の組合せは、①概略設計が増厚工+充填工と充填工、②詳細設計が吹付工と注入工である。

3.5 考察

当該事業の吹付モルタル補修（増厚工と充填工）に着目した検討の結果、次のように考察する。

１．概略設計と詳細設計には、どのような違いがあるか。（調査方法・結果の整理方法に着目して）

・調査方法・結果の整理方法は、概略も詳細も同様である。
・コア抜き調査は、概略 19 箇所、詳細 11 箇所で、詳細は概略の値も含めて整理している。
・充填工の注入量設定方法（面積の求め方や補正係数の値）は概略と詳細で異なる。（後述）
・検討区間は、概略は 1 斜面として考え、詳細は 3 区間に分けて考えている。
・空隙厚の設定方法は、概略は cm 単位、詳細は mm 単位で整理している。

結論１

①両設計とも同様の調査方法であり、調査結果は設計に十分反映されていると評価する。
②面積の算出方法は、（1m2 を基本単位とするなど）簡便な方が良いと思われる。

２．設計内容はどのように変化したか。（設計数量に着目して）

・充填工の面積は、概略では 1×1ｍを基本単位に算出し、詳細では個別に算出している。
・概略では、増厚工の範囲では全て充填工も併用している。
・増厚工の範囲は、概略が限定的（4 箇所）に対し、詳細では斜面全体としている。

結論２

①充填工の位置選定は、亀裂・打音・コア抜きなどの調査結果を踏まえて個別に選定されている。
面積の算出方法は、（1m2 を基本単位とするなど）簡便な方が、現地確認が容易と思われる。
②増厚工での補修範囲を、全面で行うか部分的とするかを決定するには、調査結果や構造物の重要度などを考慮して、総合的な判断が必要と考えられる。
③増厚工の補修範囲で全て充填工も必要なのかどうかは、調査結果を踏まえた判断が必要である。

３．設計数量と出来形数量の差はどの程度か。差を縮小することはできるか。（充填工に着目して）

・充填工の注入量は、次式で求めている。
V＝A×t×（1＋k）（A：対象面積、t：空洞厚さ、k：補正係数）
・ここで、空洞厚さ t を求めるために、両設計ともコア抜き調査結果を反映している。
・空洞厚さ t の求め方は、区間の設定や平均値の求め方で、両者に違いがある。
概略：全区間で同一。全てのコア抜き調査結果の平均値で cm 単位（t=40mm）
詳細：区間毎に設定。空洞 0mm 結果を除き区間の平均値で mm 単位（t=22mm、51mm、46mm）
・補正係数 k は、両者に大きな差がある。
概略：k=0.1（施工時のロス率 10%：老朽モルタル補修補強工法技術資料の参照値）
詳細：k=0.4（補強鉄筋工の補正係数に準じる）

・設計数量と出来形数量との差の縮小を検討するために、概略設計と詳細設計の設計条件のうち、次の３つの条件を変えて、出来形数量と比較した結果を次表に示す。
なお、対象面積は、詳細設計時＝施工時の値を用いる。

条件 1：　区間の区分　…　全区間で求める　または　区間毎に求める
条件 2：　平均空洞厚　…　空洞 0mm の調査箇所を含める　または　空洞 0mm は含めない
条件 3：　補正係数　　…　k=0.1　または　k=0.4

検討ケースは、以下の通りとする。

検討ケース		条件 1	条件 2	条件 3
概略設計	当初	全区間	空洞 0 含める	k=0.1
	ケース 1	区間毎	空洞 0 含める	k=0.1
	ケース 2	区間毎	空洞 0 含める	k=0.4
	ケース 3	区間毎	空洞 0 含めない	k=0.1
	ケース 4	区間毎	空洞 0 含めない	k=0.4
詳細設計	当初	区間毎	空洞 0 含めない	k=0.4
	ケース 5	全区間	空洞 0 含めない	k=0.4
	ケース 6	全区間	空洞 0 含めない	k=0.1
	ケース 7	全区間	空洞 0 含める	k=0.4
	ケース 8	全区間	空洞 0 含める	k=0.1

表 3.5.1　充填工（注入量）における、数量算出方法の比較検討

		区間	下流側	中間		上流側	備　考
		対象面積	103m2	7m2	91m2	130m2	
		条件1： 条件2： 条件3：	コア抜き調査数N（箇所），平均空洞厚t（mm） 注入量（m3）				
概略設計	当 初	全区間 空洞0含める k=0.1	N=19,t=40 4.5	0.3	4.0	5.7	調査数N=19（下流1，中間10，上流8） 空洞0mm（下流1，中間2，上流4）も含める 平均空洞深さは、cm単位で四捨五入 補正係数k=0.1
	ケース1	区間毎 空洞0含める k=0.1	N=1,t=48 5.4	N=10,t=48 0.4	4.8	N=8,t=25 3.6	N=1の値が空洞0のため、 t=48mmは中間区間の値を採用した
	ケース2	区間毎 空洞0含める k=0.4	N=1,t=48 6.9	N=10,t=48 0.5	6.1	N=8,t=25 4.6	N=1の値が空洞0のため、 t=48mmは中間区間の値を採用した
	ケース3	区間毎 空洞0含めない k=0.1	N=0,t=60 6.8	N=8,t=60 0.5	6.0	N=4,t=50 7.2	N=0のため、 t=60mmは中間区間の値を採用した
	ケース4	区間毎 空洞0含めない k=0.4	N=0,t=60 8.7	N=8,t=60 **0.6**	**7.6**	**9.1**	N=0のため、 t=60mmは中間区間の値を採用した
詳細設計	当 初	区間毎 空洞0含めない k=0.4	N=3,t=22 **3.2**	N=12,t=51 0.4	6.5	N=5,t=46 8.4	調査数N=30（下流4，中間15，上流11） 空洞0mm（下流1，中間3，上流6）は含めない 平均空洞深さtは、mm単位で四捨五入 補正係数k=0.4
	ケース5	全区間 空洞0含めない k=0.4	N=20,t=45 6.5	0.4	5.7	8.2	
	ケース6	全区間 空洞0含めない k=0.1	N=20,t=45 5.1	0.3	4.5	6.5	
	ケース7	全区間 空洞0含める k=0.4	N=30,t=30 4.4	0.3	3.8	5.5	
	ケース8	全区間 空洞0含める k=0.1	N=30,t=30 3.4	0.2	3.0	4.3	
工事		出来形数量	**3.4**	**0.6**	**9.5**	**10.8**	

設計注入量は、V=A×t×（1+k）で算出する。

上表での比較検討の結果、設計数量が出来形数量に最も近い値を示すのは、次の通りである。

・下流側区間：「詳細当初」　3.2m3　→　3.4m3（＋0.2m3）
・中　間区間：「概略ケース４」0.6m3　→　0.6m3（＋0.0m3）
・中　間区間：「概略ケース４」7.6m3　→　9.5m3（＋1.9m3）
・上流側区間：「概略ケース４」9.1m3　→　10.8m3（＋1.7m3）

この結果より、前述の設計条件は、次のようにした方がよいと考えられる。

・区間毎に求める。
・平均空洞厚は、空洞 0mm の調査箇所は含めない。
・補正係数は、k=0.4 を用いる。

次に、上表から両設計のコア抜き調査数の違いに着目して、試算した結果を次表に整理する。
また、新たな指標として、調査密度（コア抜き調査１箇所当りの対象面積）を用いて示す。
そして、設計数量と出来形数量との差が縮小するときの調査密度の範囲を求める。

表 3.5.2　コア抜き調査数に着目した試算結果

	区　間	下流側	中間		上流側
	対象面積(m^2)	103	7	91	130
概略設計 コア数=19	コア抜き調査数（箇所）	1	10		8
	調査密度(m^2/箇所)	103	10		16
	空洞厚(mm)	―	60		50
	充填工注入量(m^3)	―	0.6	7.6	9.1
		17.3			
詳細設計 コア数=30 （19+11=30）	コア抜き調査数（箇所）	4	15		11
	調査密度(m^2/箇所)	26	7		12
	空洞厚(mm)	22	51		46
	充填工注入量(m^3)	3.2	0.4	6.5	8.4
		18.5			
出来形	充填工注入量(m^3)	3.4	0.6	9.5	10.8
		24.3			

空洞厚は、空洞0mmの結果を除いた調査数の平均値で求めた。

上表より、調査密度は、10～30（m^2/箇所）程度（赤字）の範囲で求められた。
以上より、設計数量と出来形数量との差を縮小するには、次の点に留意するとよいと思われる。

結論３（設計・施工事例での推定結果）

①コア抜き調査を実施して、その結果を用いて推定した方がよい。
②対象範囲が区間毎に分かれる場合は、区間毎に求める方がよい。
③調査密度は、10～30（m^2/箇所）程度の割合で実施することが望ましい。
　・調査密度の範囲は、今後もデータの蓄積と分析を行って整備することが必要と思われる。
④空洞厚は、調査で空洞が 0mm となる箇所の値は除いて、平均値して求めるとよい。
⑤空洞厚の設定方法は、mm 単位で整理した方がよい。
⑥補正係数は、k=0.4 を用いた方がよい結果が得られている。
　・補正係数の値の妥当性は、今後の施工実績等による検証が必要と思われる。

第４章　ひび割れ調査の効率化に向けた方策の立案

４．１ 従来のひび割れ調査方法と課題

４．１．１ ひび割れの成因および評価

吹付のり面に現れるひび割れは、成因から次の２つに大別できる。

・吹付自体に原因のあるもの

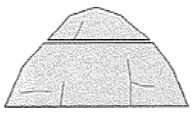
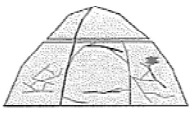
・背面からの土圧に伴うもの、吹付の滑動に伴うもの

前者の成因によるものとしては、施工直後の乾燥収縮やその後の温度変化に伴う伸縮によるものの他、施工時の品質不良、養生不良、不適切な時期による施工などにより、初生的に生じた微細なひび割れが経年劣化に伴い顕在化したものなどがあり、多くの場合は段差（変位）を伴わない。これに対して背面からの土圧や吹付の滑動に伴って発生するひび割れは、すべりの頭部と下部に組み合わせで発生する。また、段差を伴う等の特徴を有することが多い。

ひび割れに対する評価では、成因に分けて行う必要があり、吹付自体の劣化で生じているひび割れについては、ひび割れの位置、長さ、密度、開口幅、地山への貫通の有無、連結状態、変位や進行の有無などが評価項目となる。このうち、開口幅や地山への貫通の有無は、主に遮水性の評価に、長さや密度は主に耐荷性の評価につながる指標となる。

吹付と地山の密着性の低下や背面からの土圧の作用により発生しているひび割れについては、ひび割れの位置・組み合わせ、形状、変位や進行の有無のほか、他の変状との連動の有無などが評価項目となる。

表 4.1.1 ひび割れに着目した吹付のり面の健全度評価区分例

健全度		A （健全）	B （軽微な低下）	C （低下）	D （著しく低下）	E （危険）
共通	模式形状					
	開口状況	ヘアクラックや閉じたひび割れが存在する。遊離石灰の析出が認められる。	開口ひび割れがあるが、開口幅 1mm 以下で、地山へは貫通していない。	開口幅 1mm を超えるひび割れが存在し、地山まで貫通しているものもある。	地山に達する開口ひび割れが存在する。	数 cm オーダーで開口し、他のひび割れや変状と連動する。
	段差・変位	なし	なし	なし	段差や変位を有する。	段差や変位（移動幅 1cm 以上）を有する。
吹付の劣化	形状	目視でようやく確認できる程度の微細ひび割れが無方向、亀甲状、格子状に存在。	微細ひび割れが進展し、相互に連結するとともに、ひび割れの周囲はやや湿った状態となり、苔類が繁茂する場合もある。	ひび割れがのり面全体へ広がり、相互に連結する。吹付面には一辺 50～100cm ほどの多角形模様が形成される。	ひび割れに植物が侵入するなどして、ひび割れが大きく開口している、めくれ上がっている。	吹付が大きくめくれあがり、剥落の危険性がある。
吹付・地山の動きに連動	位置	（特に特徴なし）	（特に特徴なし）	・のり肩の水平ひび割れ ・のり尻の水平ひび割れ ・縦方向のひび割れ （あまり連動していない。単発）	のり肩の水平連続開口ひび割れ、段差・ずれを伴うひび割れが生じている（連動して生じている）。	円弧・馬蹄形のひび割れ、一連のブロック形状ひび割れが生じている。多くのひび割れが連結している。
	他の変状	—	—	—	一部にはらみ出し、押し出しが生じている。	はらみ出し、押し出しを伴う。
	節理や凸部との連動	—	（節理やオーバーハングなどに沿って）ひび割れが生じている。開口幅は 1mm 以下で、連続しない。	（節理やオーバーハングなどに沿って）開口幅 1mm を超えるようなひび割れが生じている。湧水がある。	節理やオーバーハングに沿って、開口ひび割れが連続して生じている。変位や、湧水がある。	節理やオーバーハングに沿って開口ひび割れが生じ、大きな段差や変位が生じている。
性能の評価*		性能低下は見られない。	軽微な性能低下が生じている。不安定化の兆候あり。	遮水性、耐荷性の低下が生じている。	遮水性、耐荷性が著しく低下している。	—
				剥離片落下の可能性がある。	剥落、滑落、表層崩壊の可能性がある。	剥落、滑落、表層崩壊の発生の危険性が高い。

*性能の評価は、上段が「風化・浸食防止性能」、下段が「安全性能」に関わるもの。

＜吹付のり面 診断・補修補強の手引きより引用＞

４．１．２ ひび割れの調査方法

ひび割れ調査は前述した評価項目および指標に即して実施することが重要であり、現状では目視観察によってひび割れの位置、伸展方向、開口幅、長さ、密度、進行性、段差やずれの有無などを確認し、のり面展開図にのり面スケッチ図として記録する手法が多く取り入れられている。

ひび割れ調査の事例を以下に示す。

【①目視観察】

高所作業車やロープアクセスにより近接目視を行い、指標となる項目について直接のり面にマーキングを行う。

写真 4.1.1 高所作業車によるマーキング状況

写真 4.1.2 ロープアクセスによるマーキング作業

【②ひび割れ損傷図（スケッチ図）の作成】

＜ステップ 1＞

基準点となるポイントの現地座標を観測。写真撮影された観測ポイントの点間距離を観測値と同じになるよう写真補正を行う。

写真 4.1.3 補正後ののり面全景写真

写真 4.1.4 マーキング状況

＜ステップ 2＞

写真上の基準点とのり面展開図上の基準点を重ね合わせる。

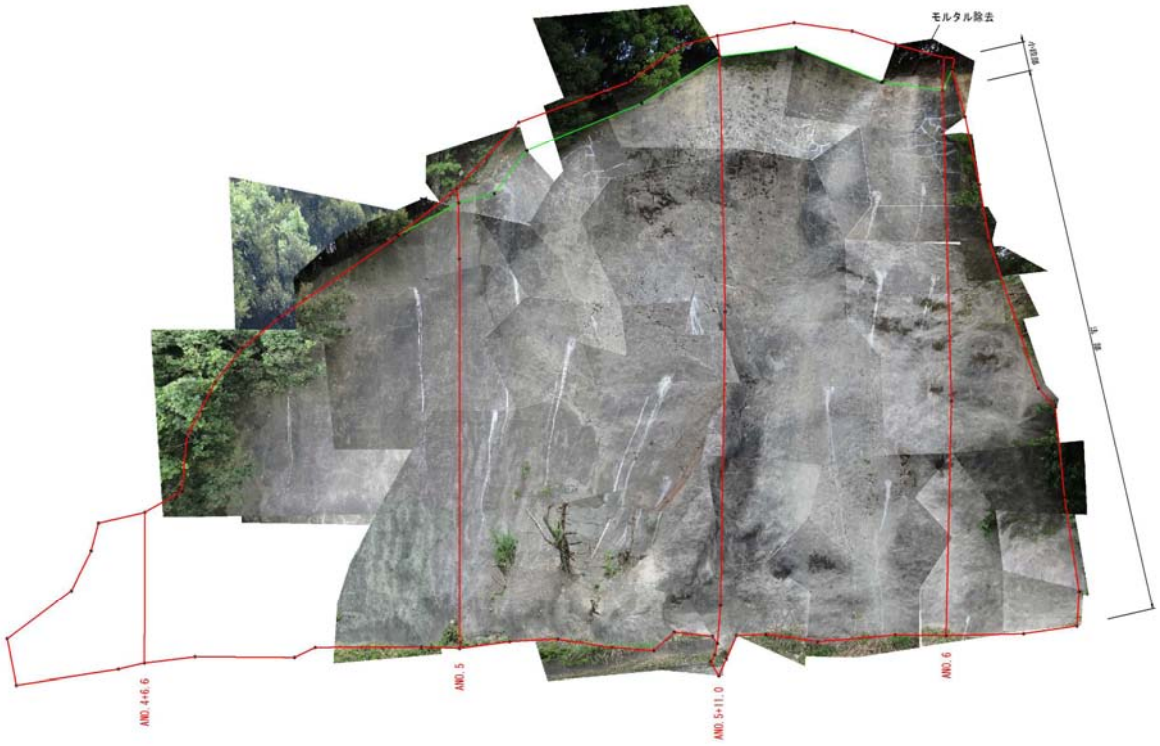


写真 4.1.5 合成されたのり面展開図

＜ステップ 3＞

合成されたのり面展開図にマーキング情報をトレースし、ひび割れ損傷図を作成。
ＣＡＤ図面とすることで、ひび割れ長さや密度などが計測可能となる。

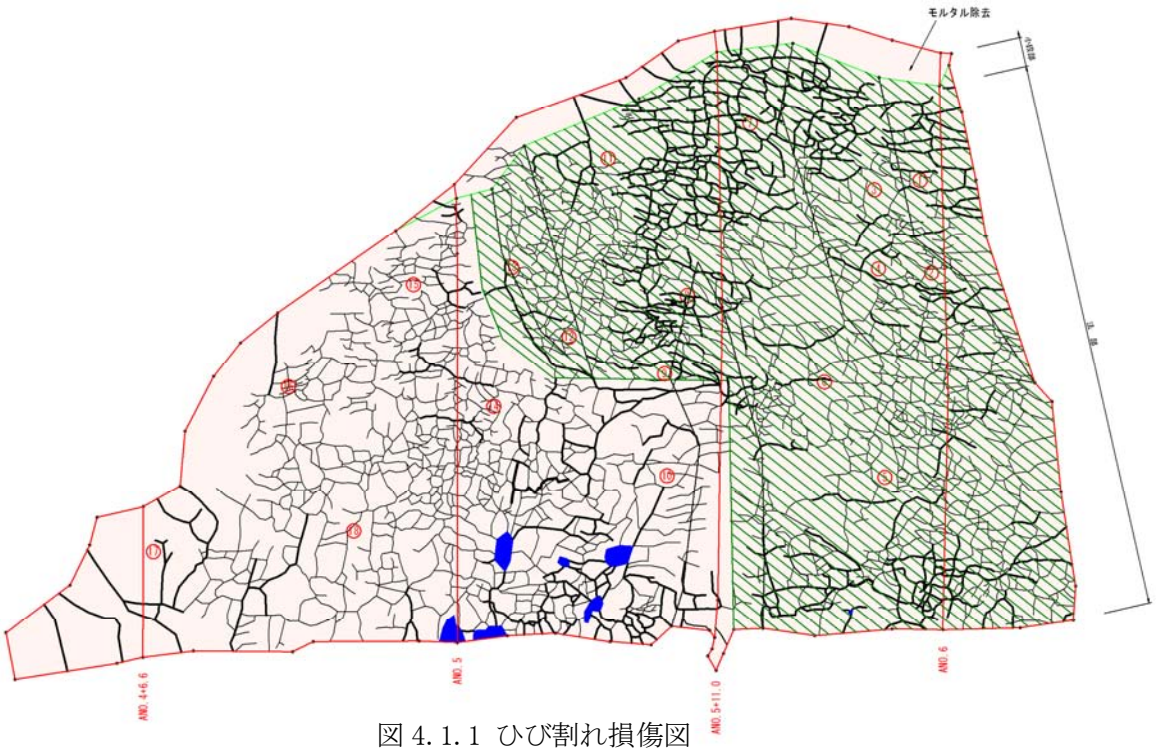


図 4.1.1 ひび割れ損傷図

４．１．３ ひび割れ調査の課題

吹付に生じたひび割れは、吹付自体の劣化や地山との密着性および背面からの土圧の作用状態を評価する上で全ての指標となる変状である。特に、ひび割れの位置、長さ、伸展方向、形状、進行性、開口度の確認は劣化進行過程を知る重要な情報であり、継続的な調査が必要である。

事例で示した調査方法において、継続的な調査に着目すると次の課題が掲げられる。

・長大法面ではロープアクセス調査となり、調査員の安全性の向上が課題

・高所作業車の場合は、作業車の確保、交通規制による地元住民の負担が課題

・データ処理では写真の加工やトレースといった様々な工程が必要。

４．２　損傷調査の効率化に向けた方策の検討

４．２．１　UAV の活用に関する利点と欠点

前節では，吹付法面に関するひび割れ調査の課題を挙げたが，調査員の安全性の向上や交通規制の解消，損傷調査の効率化に向けた方策として，本節では UAV（Unmanned Aerial Vehicle :無人航空機）の利用を提案する．UAV を用いることのメリットとして，時間の制限を受けずに比較的近接で空撮することが可能であることが挙げられる．機種によってはオートパイロットによる完全自立型の自動飛行が可能であり，範囲が決まっている場合の調査や複数回の調査に有効である．また，高度 150m 以下は航空法の適用を受けずに飛行が可能であること，構造物に接近して近接での撮影も可能であることが挙げられる．さらに，技術的なメリットとしては，回転翼式のマルチコプターは離着陸のスペースが広くないため，道路も片側の交通規制程度で調査ができることが挙げられる．

デメリットとしては，多くの UAV は動力をバッテリーから得るためフライトできる時間が短いこと，強風や雨など，悪天候の際には飛行できないことが挙げられる．

なお，当然であるが，UAV は遠隔で操作させるため，安全性の確保が最も重要である．利用するケースに適した使用をしなければ，継続的に発展するツールとして社会に認識されない．さらに制御関連機材やソフトウェア，プラットホームに搭載されているセンサー機能(カメラ・ビデオ等)，取得情報の解析方法などの組み合わせの中から目的に合った使用方法を見つけ出す必要がある．

４．２．２　本調査で使用した UAV

本調査で使用した UAV は，DJI 社製の Phantom 3 Professional である．本調査で使用した UAV を図 4.2.1 に示す．Phantom 3 は，高解像度のカメラ(4,000 画素×3,000 画素)，リアルタイムの HD ビデオ(4K)の撮影ができることが特長として挙げられる．さらに，自分の手で自由に運用できる操作性・機能性も備えている．機体サイズは，590mm×590mm で機体重量 1,280g と小型かつ軽量であり，バックパックに一式を収納できるため可搬性にも優れている．さらに，最も特徴的な機能は約 2km の距離からリアルタイムで撮影状況の映像を表示できること，操縦無線機から手を放してもその場でホバーリングする自動ホバーリングや離陸・帰還・着陸操作を全自動で行う自動帰還モードなど，操作性と安全性が考慮されている．これに加えて，垂直離着陸が可能であり，目的に沿った空撮を自分自身の手で実行できる高い自由度を持つ．

図 4.2.1 本調査で使用した UAV（DJI 社製 Phantom 3 Professional）

４．２．３　UAV を用いたひび割れ調査の流れと 3D モデルの生成

⑴ 調査概要

本調査の対象斜面は，福井県内の A 斜面（幅が約 45m，高さが約 23m）である．また，調査は平成 29 年 8 月 30 日に実施した．前日の天候は雨であり，調査当日は曇りであった．一般的に，UAV は上空から地表面（鉛直方向）を撮影するが，対象とした法面は急斜面であるため，正面に対して鉛直方向にコースを設定した．飛行コースの概略を図 4.2.2 に示す．また，UAV による法面の空撮状況を図 4.3.3 に示す．なお，撮影する際のオーバーラップは 80%程度，サイドラップは 60%程度を基準として手動で撮影した．

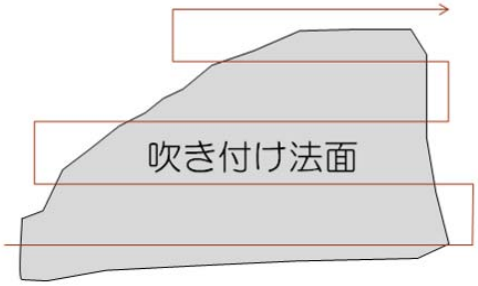


図 4.2.2　飛行コース（法面正面に対して鉛直方向に飛行コースを設定）

図 4.2.3 UAV による法面の空撮状況

三次元点群測量を精度良く実施するためには，画像内に GCP（Ground Control Point：地上基準点）を複数与える必要があるが，今回は基準点として，路線の中心線測量の成果を利用した．対象斜面周辺の平面図を図 4.2.4 に示す．同図中，基準点(AT.3)にトータルステーションを据え，(AT.4)方向を基線として斜面の特徴点（水抜孔やアンカーボルト）に関する水平角，鉛直角，水平距離を測量し，平面直角座標系（第 6 系）の座標に変換した．

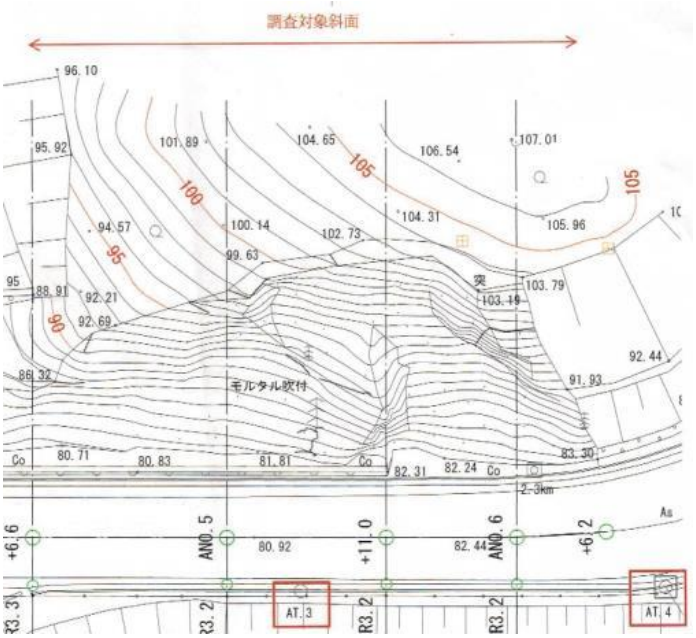


図 4.2.4　調査対象斜面の平面図

(2)3D モデルの生成の流れ

3D モデルの生成には，Agisoft 社製の PhotoScan を使用した．以下に，その流れを示す．

① UAV によって空撮した画像をインポートする．

② ポイントクラウドを生成する．なお，ポイントクラウドとは，3 次元点群データを意味する．ここでは,GPS カメラにおける撮影位置と飛行高度より計算される比較的粗めの三次元点群データを指す．

③ 空撮画像に写された特徴点（水抜孔やアンカーボルト）を探し，GCP としてプロットする．なお，この GCP には，前述の測量により得られた座標（X，Y，Z）を入力する．

④ 各空撮画像における基準点(GCP)の位置確認を行う．PhotoScan は，1 つの GCP を与えることで，同一点が写っている画像の候補を自動で検出する．それらの画像に対して，位置の確認を手動で行う．

⑤ 高密度ポイントクラウドを生成する．ここでは，カメラ座標だけでなく GCP の地理座標も与えた後にポイントクラウドを生成するため，②に示す三次元点群データよりも密度が向上する．

⑥ 次のステップで 3D モデルを構築する．このステップでは，メッシュ構築，テクスチャ構築，タイルモデル構築などの処理を行う．

⑦ 最後に，DSM（Digital Surface Model：数値表面モデル），およびオルソモザイク画像を生成する．

図 4.2.5 に生成したオルソモザイク画像（吹付法面の正面図）を示す．前述のように，鉛直方向にコースを取って撮影した結果，生成した正面図の空間分解能は 4mm/pix となった．正面図を確認すると，表面が乾燥している場合（Case 1），表面の一部が湿潤の場合（Case 2），表面の一部が湿潤でメッシュで保護されている場合（Case 3）が見られた．

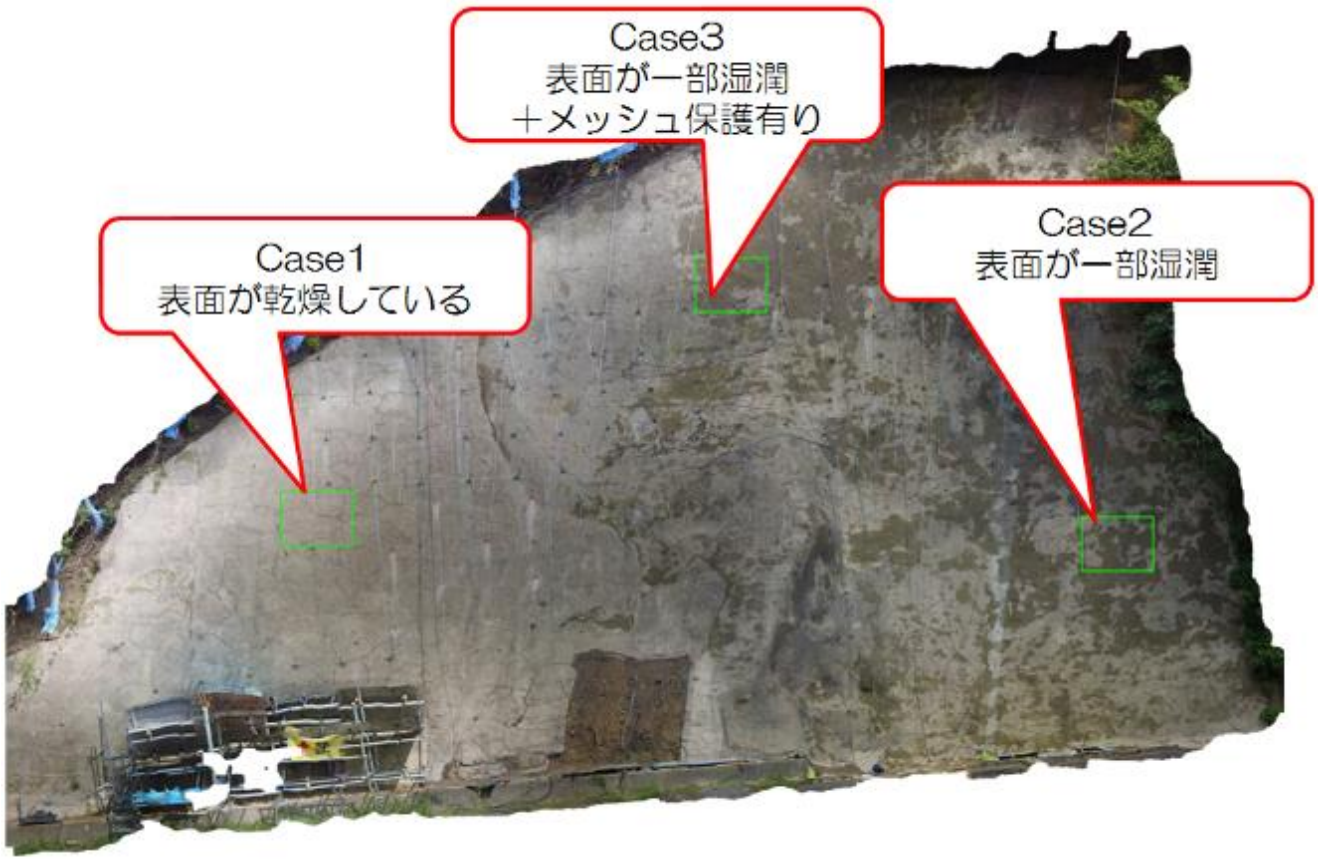


図 4.2.5　対象斜面の正面図（オルソモザイク画像）

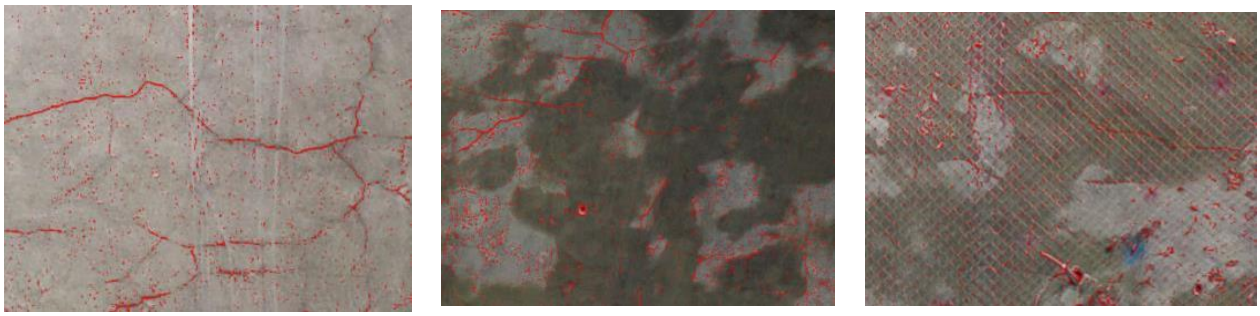
４．３　現地調査による UAV を用いたひび割れ調査の適用性の検証

４．３．１　切り出した画像のひび割れ抽出

対象斜面の正面図から原画像として 500×375 画素（約 2m×1.5m）を切り出した結果を図 4.3.1 に示す. 表面の状態が異なることから，一括して処理するよりも複数の方法を検討する必要があると考えた. 一つ目の方法として，エッジ抽出と 2 値化を併用した結果を図 4.3.2 に示す．ここでは画像の二次微分でエッジを抽出するラプラシアンフィルタを用いた．どのケースにおいてもひび割れを捉えていることが判る．これは，前日の雨が浸透し，ひび割れが見え易くなっていることに起因すると考えられる．しかし，モルタル吹付法面の表面にある汚れや凹凸などが原因となりノイズとして抽出される欠点もある. また，細いひび割れは捉えることができていない．細いひび割れを抽出するには，さらに近接で撮影するなどの工夫が必要である. 二つ目の方法として，ひび割れの色に近い色を選択し，ひび割れを抽出する方法を検討した．得られた結果を図 4.3.3 に示す．ケース 1 ではノイズが少ない結果が得られたが，ケース 2 では，湿っている箇所を大きく抽出していた．したがって，ひび割れの色を設定する際に注意を要することが判った.

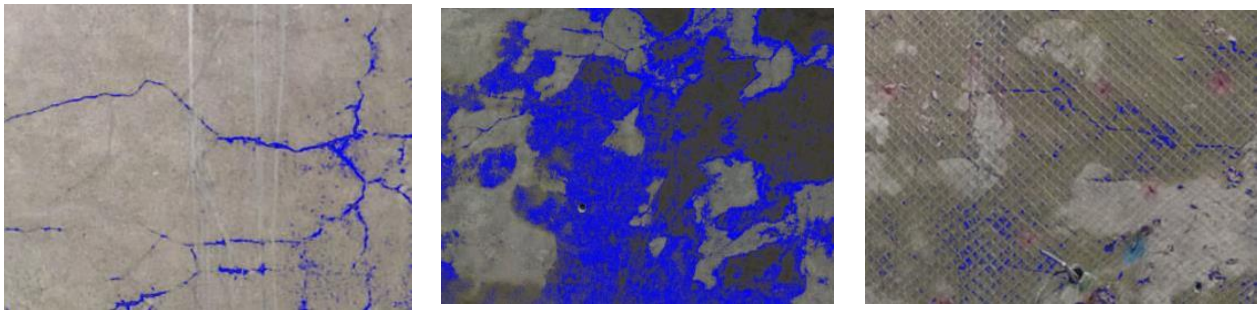
ケース 1　原画像　　ケース 2　原画像　　ケース 3　原画像

図 4.3.1 原画像（約 2m×1.5m）



Case 1 における方法 1 の結果　　Case 2 における方法 1 の結果　　Case 3 における方法 1 の結果

図 4.3.2 方法 1（エッジ抽出＋二値化）による処理結果

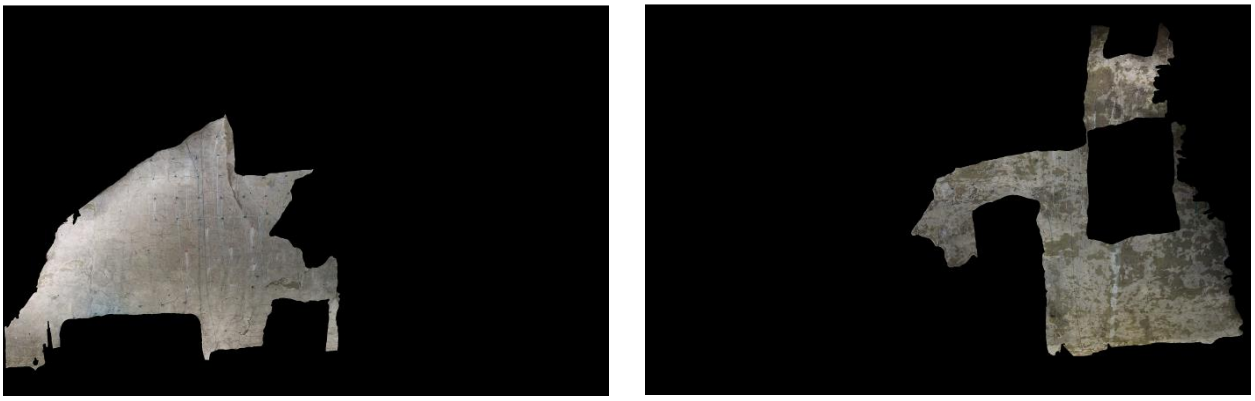


Case 1 における方法 2 の結果　　Case 2 における方法 2 の結果　　Case 3 における方法 2 の結果

図 4.3.3 方法 2（ひび割れと同色を抽出）による処理結果

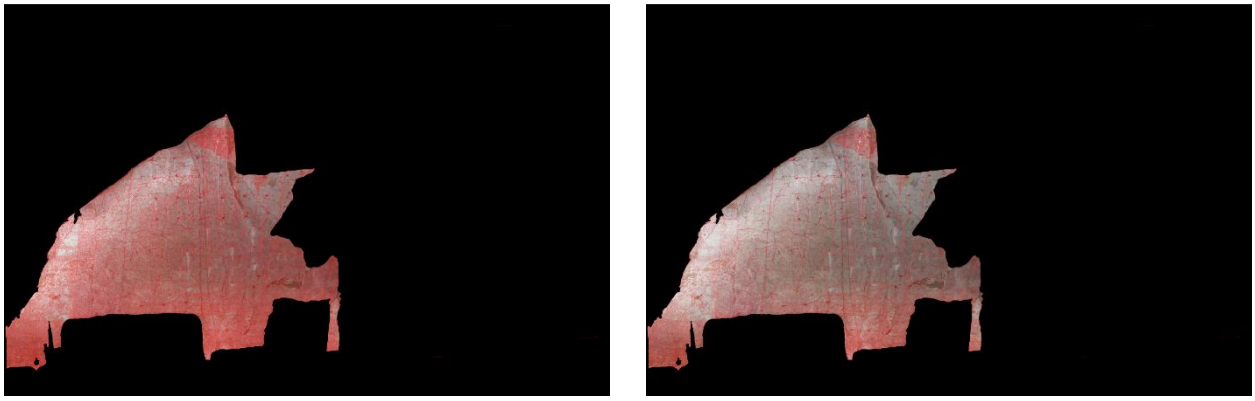
４．３．２　ケース毎のひび割れ抽出結果

以上の結果を踏まえ，ケース毎にひび割れの抽出を行った．各ケースの領域のみに着目するため，正面図にマスク処理を施した結果を図 4.3.4 に示す．Case 1 の領域を同図(A)，Case 2 の領域を同図(B)とした．メッシュ保護は，モルタルの増し吹きによる補強のために施されている．当然，ひび割れだけでなくメッシュも抽出されるため，処理結果は割愛する．

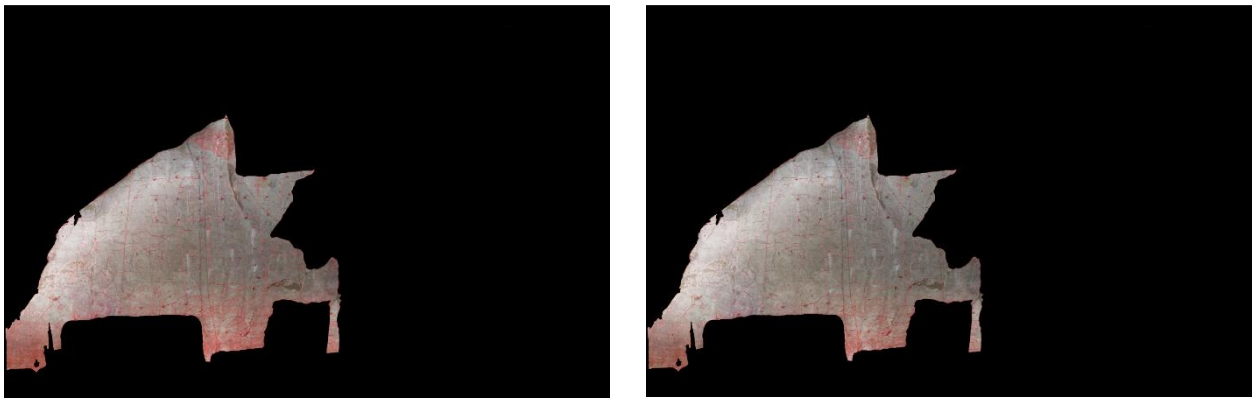


(A) Case 1 の領域　　(B) Case 2 の領域

図 4.3.4　マスク処理の結果



(A) Case 1（しきい値 10 の場合）　　(B) Case 1（しきい値 20 の場合）



(C) Case1（しきい値 30 の場合）　　(D) Case1（しきい値 40 の場合）

図 4.3.5　しきい値の設定によるひび割れ抽出結果の比較（Case 1）

(A) Case 2（しきい値 10 の場合）

(B) Case 2（しきい値 20 の場合）

(C) Case 2（しきい値 30 の場合）

(D) Case 2（しきい値 40 の場合）

図 4.3.6　しきい値の設定によるひび割れ抽出結果の比較（Case 2）

マスク処理した画像を用いてラプラシアンフィルタによってひび割れを抽出した．なお，原画像（カラー画像）から R のチャンネルのみを用いてグレースケール画像とし画像の色も反転させた後，ラプラシアンフィルタを用いてひび割れの抽出を試みた．エッジ抽出画像を二値化する際，しきい値を変えてひび割れ抽出結果の比較を行った結果を図 4.3.5 示す．同図中（A）はしきい値を 10 と設定した場合，(B)はしきい値を 20 と設定した場合，（C）はしきい値を 30 とした場合，(D)はしきい値を 40 と設定した場合である． 二値化のしきい値を 10，または 20 に設定した場合，細かいひび割れまで抽出できているがノイズも多く含まれていた．しきい値を 30 に設定するとある程度の大きさのひび割れが抽出できており，比較的ノイズも少ない結果となった．しきい値を 40 に設定すると，ノイズは少ないが細かいひび割れの抽出はできていないことが判った．

また，Case 2 において，しきい値を変えてひび割れ抽出結果の比較を行った結果を図 4.3.6 示す．二値化のしきい値を 10，20，30 に設定した場合は，ひび割れは抽出できているがノイズも多い結果が得られた．しきい値を 40 に設定するとある程度の大きさのひび割れが抽出でき，ノイズも比較的少ない結果が得られた．Case 1 と比較すると Case 2 は全体的にノイズが多く見られた．

４．３．３　ひび割れ損傷図との比較と精度検証

CAD を用いて作図されたひび割れ損傷図と今回の結果を比較するために重ね合わせを行った．ひびわれ損傷図は，4.1.2 に示される方法で作成されたものである．UAV を用いて生成したオルソモザイク画像（正面図）にひび割れ損傷図を重ねた結果を図 4.3.7 に示す．なお，正面図は平面直角座標系の地理

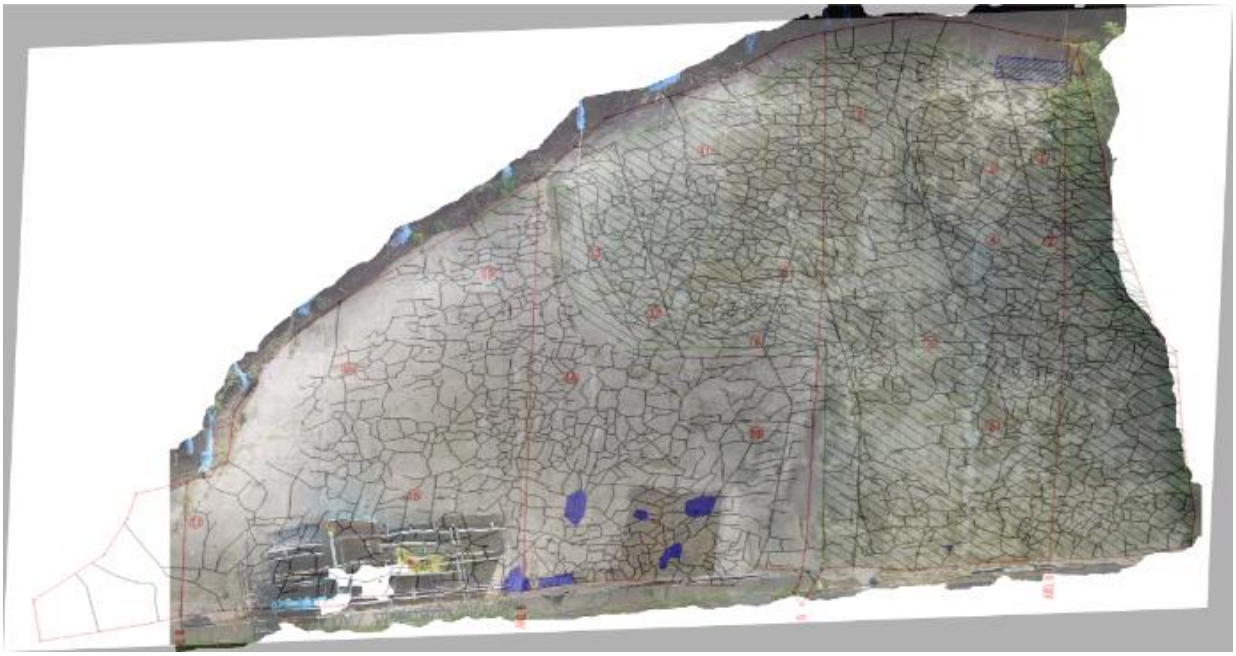


図 4.3.7　吹付法面の正面図とひび割れ損傷図の重ね合わせ

座標を有しているため，CAD の図面をベクター-ラスター変換し， アフィン変換による幾何補正を施した．

その結果，UAV で撮影した画像より生成した正面図のひび割れの分布とひび割れ損傷図に示されるひび割れとには重なりが見られなかった．当初は，この画像を検証データとして利用したいと考えたが，重なりが見られなかったため，今回は使用することができなかった．

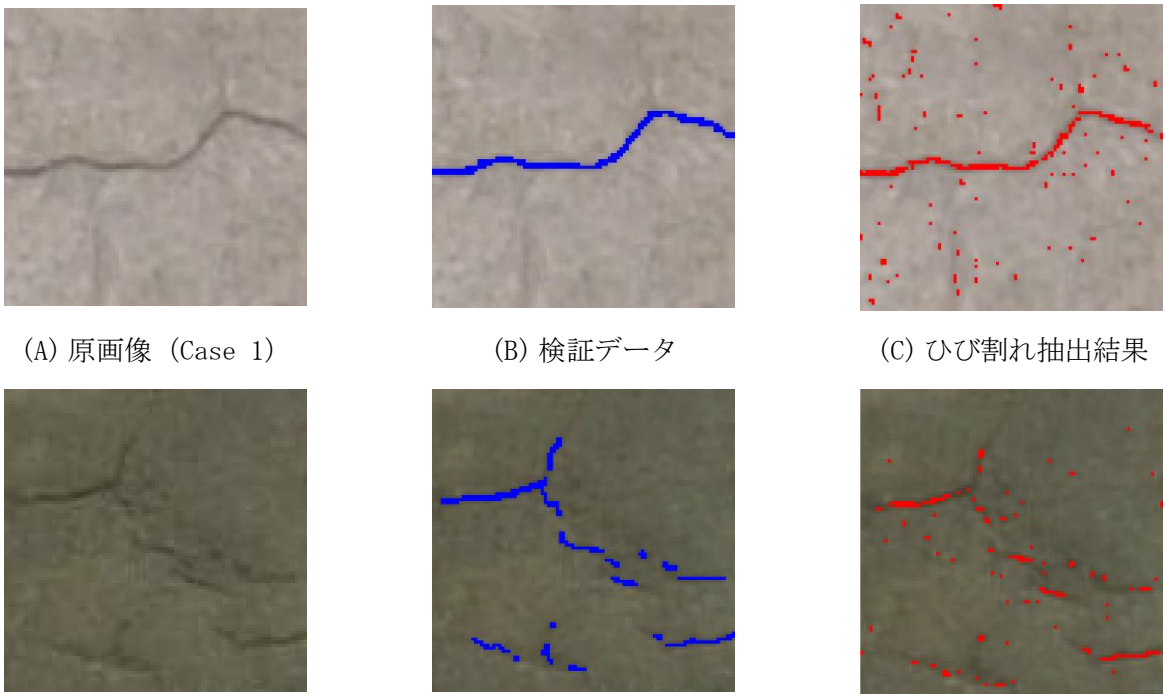
精度検証を行うために，一例として両ケースにおいて二値化のしきい値を 40 と設定した場合の抽出率，および適合率を求めた．また，吹付法面には，ロープアクセス用のロープや調査用のマーキングが施されており，これらを避けるために 100×100 画素（40cm×40cm）を切り出し比較した．Case 1 および Case 2 の原画像，検証データ，ひび割れ抽出結果の比較を図 4.3.8 に示す．なお，抽出率と適合率は以下の式によって求めた

$$\text{抽出率} = \frac{\text{抽出できたひび割れの画素数}}{\text{検証データの画素数}}$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{抽出できたひび割れの画素数}}{\text{ひび割れとして推定した画素数}}$$

Case 1 の場合，抽出率は 69.7%，適合率は 54.2%であった．Case 2 の場合，抽出率は 43.8%，適合率は 73.7%であった．求められた抽出率および適合率と参考文献とを比較すると，本研究で求めた抽出率，適合率の精度はあまり高くないといえる．今回は場所を限定し，しきい値を 40 と設定した場合で精度検証を試みたが，しきい値が異なる場合の結果も求める必要がある．

精度を向上させるためには，本調査で実施したよりもさらに法面に近づいて撮影することで，画像の分解能が改善されると考える．



(A) 原画像 (Case 1)　(B) 検証データ　(C) ひび割れ抽出結果

(D) 原画像 (Case 2)　(E) 検証データ　(F) ひび割れ抽出結果

図 4.3.8　原画像，検証データ，ひび割れ抽出結果の比較

４．３．４　吹付法面の形状把握

吹付法面は，吹付工自体の老朽化によって剥離や剥落する可能性もある．また，はらみ出しなどの返上が発生する場合もある．空撮画像を用いて 3D モデルや DSM を生成することで，これらの点検にも活用できる．今回の調査で生成した 3D モデルを図 4.3.9 に示す．同図中，法面の下部が膨らんでいることが確認できる．この場所に着目し，DSM と 1m 刻みの等高線を描画した結果を図 4.3.10 に示す．89m の等高線に着目した場合，等高線の下に突の部分から上に突になる部分までの距離が約 2.6m であることが判る．この膨らみが施工当初からのものであるかは不明であるが，3D モデルや DSM は，吹付工の点検にも有用であると言える．

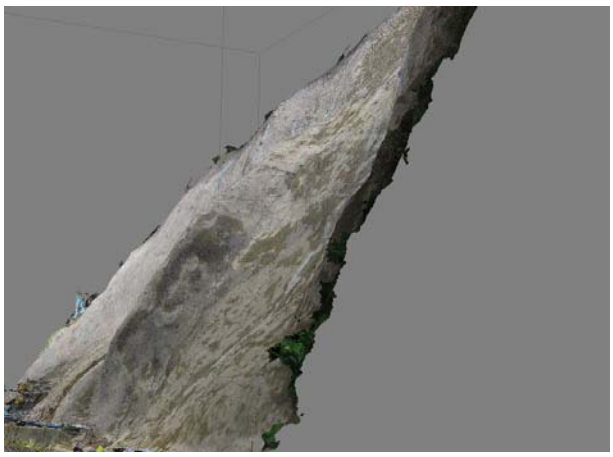


図 4.3.9　法面の 3D モデル

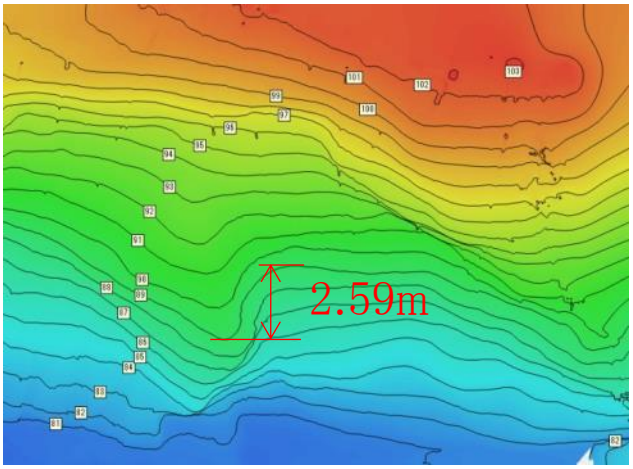


図 4.3.10　等高線による法面形状の把握

４．３．５　まとめ

本調査では，モルタル吹付法面をターゲットとしてUAVを用いた空撮を行い，空撮した画像からひび割れを抽出した．なお，本節では，吹付法面の表面の状態に応じてひび割れの抽出方法を検討した．得られた結論を以下に示す．

ラプラシアンフィルタによるエッジ抽出を行ってから，二値化処理を施した場合，ひび割れは抽出できていたが表面の乾燥・湿潤の状態やメッシュ保護の有無などによってノイズが発生した．また，二値化する際のしきい値は，30から40程度が良いことが判った． 今回は，現地調査を行った前日に雨が降っていたため，吹付法面のひび割れが湿っており，ひび割れの抽出がしやすくなっていたと考えられる．しかし，表面の状態が異なるとひび割れの抽出がしづらくなることも考えられるため，表面が全体的に乾燥しているときに，安全を確保しながら可能な限りUAVを斜面に近づけて撮影する必要がある．

展望として，定期的に吹付法面の空撮を行うことで，3Dモデルや DSMの変化に着目し，形状変化がどの程度で把握できるかを調査することが挙げられる．また，UAV に搭載可能な熱画像カメラを準備し，空隙などの内部欠陥の把握も行いたいと考えている．

第5章　今後の課題および展望

本研究では、既存吹付モルタルの補修に着目した調査・設計手法等の提案を目的とし、施工実績調査、設計と出来形との対比、さらには、ひび割れ調査の効率化を図るため UAV を用いた現地調査結果と現行の調査方法との対比を行った。

これらの研究活動により得られた課題および今後の展望等を以下に示す。

5.1 空隙充填の設計から施工における精度向上に向けて

既存吹付モルタル背面への空隙充填対策工事における設計から施工における精度向上に向けた、調査・設計時における留意点、並びに課題と今後の展望を以下に示す。

（1）調査・設計時における留意点

① 現地調査では、斜面ごとにコア抜き調査を実施し、対象面積あたり おおむね 10～30(m²／箇所)程度で行うのが望ましい。

② 空隙の平均厚の設定は、コア抜き調査結果に基づき mm 単位で算出し、充填量に対する補正係数を考慮することで設計数量と出来形との差異の縮小が図られる。

なお、平均空隙厚の算出では、空隙厚が 0mm と計測された箇所を考慮しないのがよい。

（2）課題

① 施工実績調査結果では、調査コアの密度が高い場合でも出来形との差異が大きくなった事例もあるため、対象斜面の重要度や健全度に応じた調査コア数の設定手法の整備が必要と考えられる。

② 充填量に対する補正係数は、対象斜面の規模により異なることが想定されるため、出来形との差異の縮小を図るためには、今後とも工事の出来形や設計数量の算出根拠等のデータを蓄積していくことが必要と考えられる。

（3）今後の展望

① 設計・施工のための技術マニュアル（案）の作成
・適正な調査数量の提案。
・設計数量の精度向上と、補正係数の推奨値の提案　など。
② 簡易な調査方法の立案（調査コアの他、現地調査で行った注入孔を用いた空隙厚の確認など)。
③ 工事履歴を盛り込んだ斜面台帳の作成（データベース化)。

5.2 ひび割れ調査の効率化に向けて

既存吹付モルタルのひび割れ調査の効率化に向けた課題と今後の展望を下記に示す。

（1）課題

① 近接目視等による現行の調査方法では、長大斜面における調査員の安全性確保や車道の交通規制による地元への影響の低減が必要となる。
また、データ処理時においては、写真の加工等の作業の効率化が必要である。
② UAV を用いた空撮画像を処理した結果、一般的なエッジ抽出処理を用いても、斜面に生じているひび割れを抽出することができた。ただし、吹付モルタル表面の乾燥状態が一様で無い場合（とくに表面の一部が湿潤状態の場合）にノイズが確認できた。
このため、ひび割れの抽出精度の向上を図る上では、表面全体が乾燥している状態で空撮を行うことが理想的であると言える。
また、安全が確保できる範囲内で近接しての撮影が必要と考えられる。今回の空撮では、空間分解能が 4mm/pix であった。空間分解能を向上させることでデータ容量は大きくなるが、細いひび割れの抽出も可能になると考えられる。

（2）今後の展望

① UAV を用いた吹付モルタル面の撮影・処理によって作成された、3D モデルや DSM(数値表層モデル)に基づく、吹付モルタル表面の経年変化を 3 次元的に管理する点検作業への適用性の検討。
② 熱画像カメラの UAV への搭載による空隙などの内部欠損を把握する場合における適用性の検討。

5.3 おわりに

以上、「既存吹付モルタルの補修に着目した調査・設計手法の提案」と題して、平成 28 年秋から研究活動を開始し、ここに報告書としてとりまとめることができました。

なお、本研究で実施しました調査におきまして、ご多忙の中、工事関係図書等を書庫から探していただくなど、ご協力いただいた各土木事務所の方々に深く感謝を申し上げます。

また、年度末でお忙しい中、施工実績等に関するアンケート調査にご回答いただいた測量設計業協会加盟各社の方々、環境型法面技術協会加盟の施工会社の方々におかれましても厚くお礼申し上げます。

さらに、現地調査の実施においては、当研究のために工事を中断していただき、計測や撮影にご協力いただいた発注者および施工者の方々におかれましても深く感謝を申し上げます。

第 4 編　河川グループ

河川グループ　目次

概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-1

第１章　福井県の河川の状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-2
　1.1　福井県の河川
　1.2　嶺北地方の河川概要
　1.3　嶺南地方の河川概要

第２章　護岸の被災原因と被災事例、災害復旧事例・・・・・・・・・・・・・・・・・4-23
　2.1　護岸の作用現象
　2.2　護岸被災のフローチャート
　2.3　各パターンによる護岸被災の模式図
　2.4　各パターンの被災事例
　2.5　災害復旧事例

第３章　福井県の被災事例と被災要因・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-45
　3.1　災害復旧箇所河川特性整理表（A 表）
　3.2　災害事例の整理結果
　3.3　被災要因と今後の方策

概要

河川グループの当初の研究テーマは、「堤防決壊防止のための対策工法及び調査方法の提案」とした。近年頻発している河川災害である堤防決壊に着目し、様々な河川被災事例を分析することによって堤防決壊防止の対策工法及び調査方法の提案を行うことを意図したものである。

河川施設の維持管理において、堤防等の点検調査を通じて河川の状況を把握し、洪水等の災害を未然に防ぐことが強く求められている一方で、その施設数が膨大であり、様々な要因によって災害が生じるため、河川施設の維持管理の実施を効率的かつ効果的に行う必要がある。本研究は河川災害に着目し、その特徴を整理・分析することで維持管理上の重要な役割を果たす点検調査等の円滑化に寄与することを目的としている。

当初は、全国の堤防決壊事例を収集し、堤防決壊の要因やメカニズムを整理し、福井県における堤防決壊対策等の提案を行うことを目的としていたが、福井県内では堤防決壊事例が少ないため、福井県内の中小河川に着目し、主に護岸の被災事例の収集を行い、被災原因や傾向を分析することとした。
はじめに、文献調査を行って、河川の維持管理に関する資料の整理を行い、福井県における河川整備の状況や点検要領等についての情報の共有を行った。次に、文献調査により、一般的な護岸の被災原因と被災パターンの把握を行った。

これらの結果を踏まえて、福井県の土木事務所の協力を得て、福井県管理河川における過去 6 年間の河川災害事例を収集した。収集した災害事例について統計的な処理を行って災害の特徴・傾向を把握し、河川の維持管理における留意点について整理を行った。本報告書は、これらの整理結果をまとめたものである。

河川グループの WG 開催の状況

回数	日付	内容
第 1 回	平成 28 年 10 月 17 日	研究の方針の決定
第 2 回	平成 28 年 11 月 16 日	資料のとりまとめについて
第 3 回	平成 28 年 12 月 16 日	文献調査
第 4 回	平成 29 年 1 月 27 日	文献調査
第 5 回	平成 29 年 3 月 10 日	研究テーマの検討
第 6 回	平成 29 年 7 月 11 日	研究テーマの検討
第 7 回	平成 29 年 8 月 23 日	調査方法について
第 8 回	平成 29 年 9 月 28 日	調査方法について
第 9 回	平成 29 年 10 月 27 日	とりまとめ方法について
第 10 回	平成 29 年 12 月 14 日	とりまとめ結果について
第 11 回	平成 30 年 2 月 22 日	とりまとめ結果について
第 12 回	平成 30 年 4 月 26 日	報告書の確認

第１章 福井県の河川の状況

1.1 福井県の河川

1.1.1 河川の管理区分

福井県の河川は、管理主体により、

・国（国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所）が管理する直轄河川
［九頭竜川 0.0km～31.2km、日野川 0.0km～11.0km、北川 0.0km～20.0km、遠敷川 0.0km～1.3km］
・福井県が管理する河川
・市町村が管理する河川

に分かれる。**表 1-1** に福井県の河川数、延長及び面積を示す。

表 1-1 福井県の河川数、延長及び面積（福井県ＨＰより）

河川種別	水系別	本数	延長 (km)	流域面積 (km2)	管理者	本数	延長 (km)
一級河川	九頭竜川	150	1,029.1	2,930.0	国土交通省 知事	16 140	101.3 927.8
	北川	10	71.0	210.2	国土交通省 知事	2 10	16.5 54.5
	小計	160	1,100.1	3,140.2			1,100.1
二級河川	大聖寺川他 21 水系	41	252.8	835.9	知事	41	252.8
準用河川	九頭竜川他 18 水系	70	134.5	－	市町長	70	134.5
合計		271	1,487.4	3,976.1	国土交通省 知事 市町長	18 191 70	117.8 1,235.1 134.5

本章では、主に県管理の河川について述べるものである。
県が管理する河川を各土木事務所別に一覧とした。
なお、九頭竜川など一部河川は、複数土木事務所で重複して表記されている。

■三国土木事務所管理河川

一級河川（16 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
1	九頭竜川	7	権世川	14	磯部川
2	竹田川	8	田島川	15	八ヶ川
3	兵庫川	9	五味川	16	北川
4	高間川	10	椹ノ木谷川	79	五領川
5	熊坂川	11	片川		
6	下金屋川	12	片川放水路		

二級河川（３河川）

番号	河川名	番号	河川名
1	大聖寺川	3	観音川
2	北潟川		

■福井土木事務所管理河川

一級河川（39 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
1	九頭竜川	25	大谷川	42	滝波川
11	片川	26	三万谷川	43	平尾川
13	七瀬川	27	芦見川	44	江端川
15	八ヶ川	28	羽生川	45	朝六川
16	北川	29	縫原川	46	高橋川
17	日野川	30	計石川	76	馬渡川
18	底喰川	31	東俣川	77	大森川
19	赤川	32	上味見川	78	芳野川
20	足羽川	33	野津又川	80	永平寺川
21	荒川	38	狐川	81	犀川
22	古川	39	未更毛川	82	南河内川
23	一乗谷川	40	志津川	83	河内川
24	鹿俣川	41	山内川	84	天王川

二級河川（４河川）

番号	河川名	番号	河川名
4	高須川	6	一光川
5	三本木川	7	大味川

■奥越土木事務所管理河川

一級河川（54 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
1	九頭竜川	－	旅塚川	－	岩屋川
－	真名川	－	打波川	－	畝見川
－	清滝川	－	谷間川	－	古川
－	赤根川	－	琵琶ノ谷川	－	皿川
－	木瓜川	－	嵐谷川	－	温川
－	日詰川	－	亥向谷川	－	野津又川
－	内川	－	美濃俣川	－	日谷川
－	堂動川	－	矢高沢川	－	宮前川
－	雲川	－	事小鍋谷川	－	鹿谷川
－	中島鎌谷川	－	瀬戸谷川	－	東川
－	巣原川	－	最尻谷川	－	滝波川
－	巣原鎌谷川	－	荒島谷川	－	暮見川
－	熊河川	－	シッタカ谷川	－	浄土寺川
－	小沢川	－	小尾谷川	－	大蓮寺川
－	石徹白川	－	大納川	－	三室川
－	三面谷川	－	智那洞谷川	－	淀川
－	上川	－	橋懸谷川	－	女神川
－	蝿帽子川	－	大雲谷川	－	杉山川

■丹南土木事務所管理河川

一級河川（32 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
17	日野川	54	血ノ川	65	織田川
20	足羽川	55	天神川	66	吉野瀬川
34	部子川	56	服部川	68	大塩谷川
38	水海川	57	水間川	69	清水川
39	魚見川	58	月尾川	70	牧谷川
40	東俣川	59	穴田川	71	金粕川
50	浅水川	60	天王川	72	阿久和川
51	黒津川	61	和田川	73	奥野々川
52	鞍谷川	62	石田川	80	黒谷川
52	鞍谷川	63	近田川	81	赤谷川
53	河和田川	64	越知川		

二級河川（３河川）

番号	河川名	番号	河川名
8	玉川川	10	河野川
9	糠川		

■敦賀土木事務所管理河川

二級河川（20 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
152	笙の川	159	落合川	166	浦見川
153	木の芽川	160	馬背川	167	水月湖
154	助高川	161	太田川	168	菅湖
155	黒河川	162	耳川	169	三方湖
156	五位川	163	横谷川	170	はす川
157	井の口川	164	早瀬川	171	高瀬川
158	三味線川	165	久々子湖		

※　敦賀土木事務所管内には、一級河川は存在しない。

■小浜土木事務所管理河川

一級河川（10 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
－	北川	－	野木川	－	安賀里川
－	江古川	－	中川	－	河内川
－	遠敷川	－	杉山川		
－	松永川	－	鳥羽川		

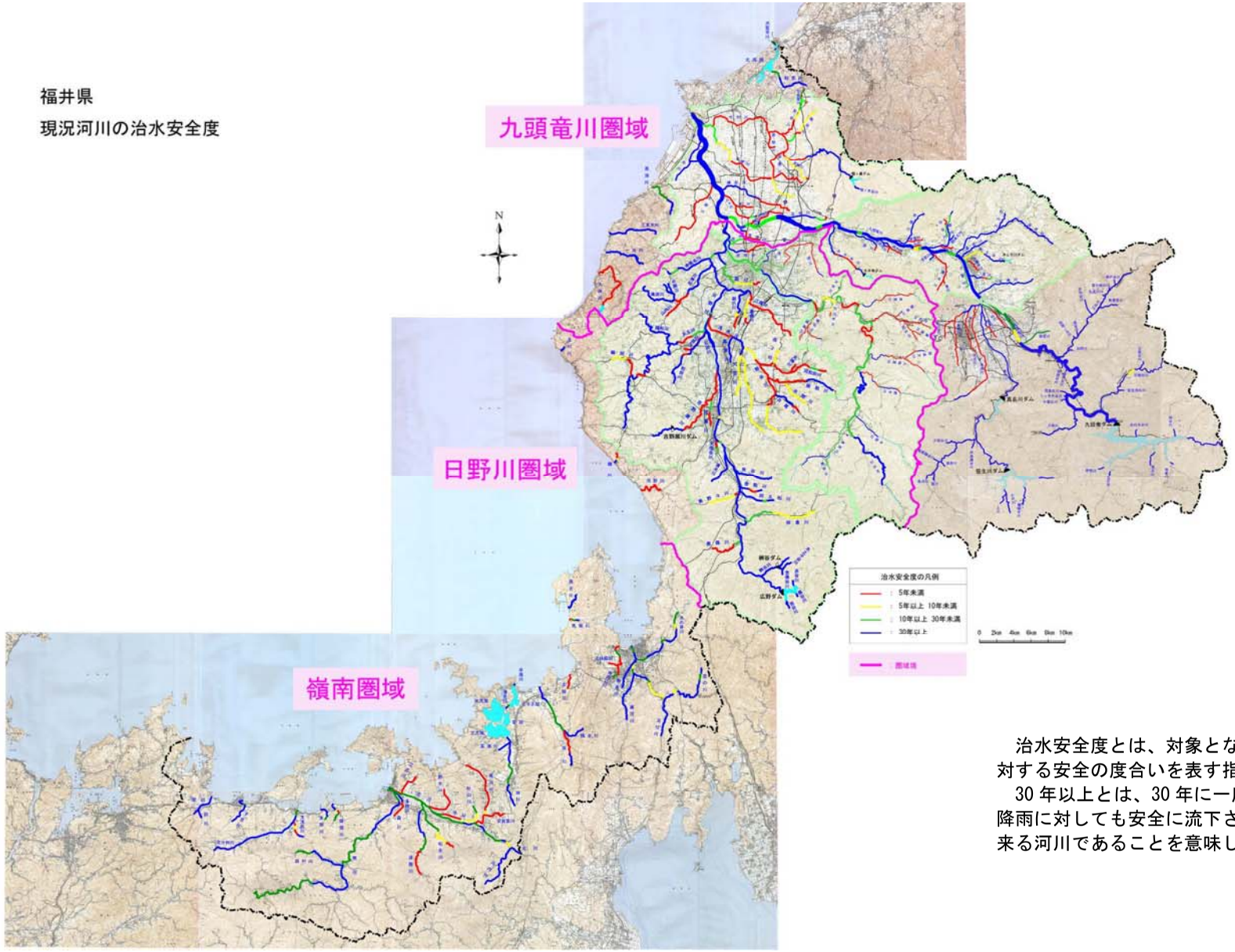
二級河川（11 河川）

番号	河川名	番号	河川名	番号	河川名
－	多田川	－	飯盛川	－	子生川
－	森川	－	本所川	－	関屋川
－	南川	－	佐分利川	－	前川
－	田村川	－	大津呂川	－	

1.1.2 河川整備状況

現況各河川の治水安全度を示した**図 1-1** を、次頁に示す。

図 1-1　現況河川整備状況



（福井県ＨＰより）

治水安全度とは、対象となる地域の洪水に対する安全の度合いを表す指標です。
30 年以上とは、30 年に一度起こるような降雨に対しても安全に流下させることが出来る河川であることを意味します。

1.2　嶺北地方の河川概要

福井土木事務所、三国土木事務所、奥越土木事務所、丹南土木事務所が位置する福井県嶺北地方の河川は、概ね、九頭竜川水系に属する河川と、直接日本海に注ぐ小河川に分かれる。

ここでは、嶺北地方の大半を占める、九頭竜川（水系）の河川概要を述べる。

a)　九頭竜川の概要

九頭竜川は、その源を福井県と岐阜県の県境の油坂峠(標高 717m)に発し、大野盆地に入り真名川等の支川を合わせ、福井平野に出て福井市街地を貫流し日野川と合流、その後は流れを北に変え日本海に注ぐ、幹川流路延長 116km、流域面積 2,930km^2 の一級河川である。**図 1-2** に九頭竜川水系図を示す。

図 1-2　九頭竜川水系図（国交省ＨＰより）

その流域は、福井、岐阜の両県にまたがり、福井市をはじめ 7 市 8 町からなり、流域の土地利用は山地等が約 81%、水田や畑地等の農地が約 13%、宅地等の市街地が約 6%となっている。

流域内には福井県の県庁所在地であり流域内人口の約４割が集中する福井市があり、沿川には、北陸自動車道、JR 北陸本線、国道 8 号、157 号、158 号等の基幹交通施設に加え、中部縦貫自動車道が整備中であり、京阪神や中部地方と北陸地方を結ぶ交通の要衝となるなど、この地域における社会・経済・文化の基盤を成すとともに、九頭竜川の豊かな自然環境に恵まれていることから、本水系の治水・利水・環境についての意義は極めて大きい。

図 1-3 に示すように、九頭竜川流域は、加越山地、越美山地、越前中央山地、丹生山地に東・西・南の三方を囲まれ、上流域の一部は昭和 37 年に白山国立公園に指定されているほか、河口には三里浜砂丘が発達している。

図 1-3　九頭竜川流域地形図（国交省ＨＰより）

九頭竜川は流域の約 80%が山地であり、山間渓谷部を比較的急勾配で下り、大野盆地で真名川を合流した後、河岸段丘の挟まれた平地を蛇行を繰り返しながら瀬や淵を形成している。その後、永平寺町鳴鹿地点で福井平野に入り、河床勾配を緩めながら西流し、福井市において日野川を合流した後、川幅を広めて北流し、三国町において日本海に注いでいる。

河床勾配は、真名川合流点から鳴鹿地点までは概ね 1/100～1/300、鳴鹿地点から日野川合流点までは概ね 1/300～1/1,000、日野川合流点下流では 1/6,700～1/5,100 である。
河床の粒径は、真名川合流点から鳴鹿地点までは人頭大の転石が多くみられ、鳴鹿地点から真名川合流地点の間で 100mm から 1mm 程度に変化する。日野川合流点より下流では 0.5mm 程度である。

一方、日野川は標高 1,100m の夜叉ケ池を源流とし、武生盆地に入り吉野瀬川、和田川、天王川、浅水川等、樹枝状の支川を多く集め、福井市において足羽川を合流した後、北流して九頭竜川に合流する。
河床勾配は、松ケ鼻堰堤より上流では概ね 1/100～1/200、そこから天王川・浅水川合流点までは 1/250～1/850、さらに足羽川合流点までは概ね 1/850～1/6,000 と急激に緩くなり、そのまま九竜川に合流している。

九頭竜川と日野川が合流する地点上流の河床勾配を比較すると、九頭竜川が 1/1,100 に対して日野川は 1/6,000 と九頭竜川に比べて緩勾配であるのが特徴である。

また、**図 1-4** のように福井市周辺の平野部は、九頭竜川、日野川、足羽川などの洪水時の河川水位より低い位置にあり、氾濫時には甚大な被害が予想される。

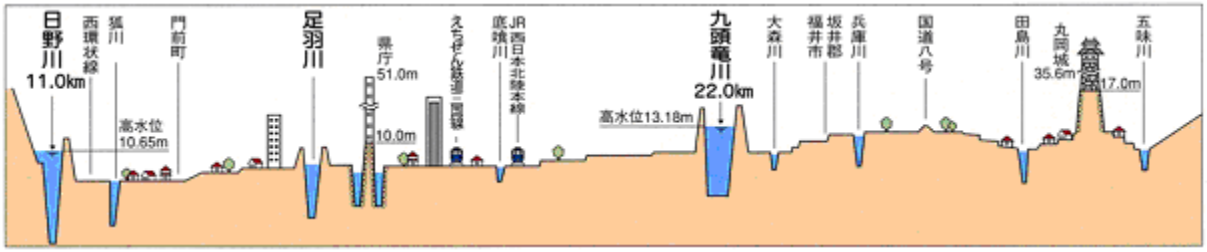


図 1-4　地盤面と河川水位の比較図（国交省ＨＰより）

b)　九頭竜川の治水計画

九頭竜川および支川の日野川については、国土交通省の直轄区間と、その上流側の県管理区間に分かれるが、改修計画については下記計画の元、順次改修が行われている。

流域における産業の発展、人口及び資産の増大、土地利用の高度化が著しく、治水の安全性を高める必要性が増大したことから、昭和 54 年 4 月に中角地点における基本高水のピーク流量を 8,600㎥/s とし、上流ダム群により 3,100㎥/s を洪水調節して、計画高水流量を 5,500㎥/s とする現在の工事実施基本計画に改定した。**図 1-5** に九頭竜川計画流域分配図を示す。

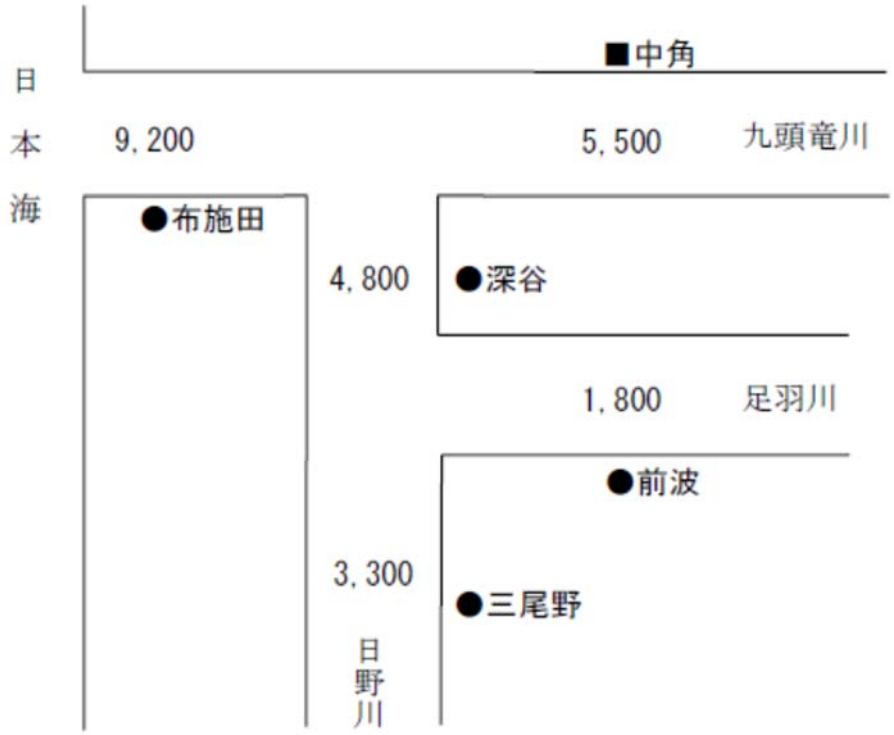


図 1-5　九頭竜川計画流量配分図

直轄区間の堤防整備状況を**表 1-2** に示す

表1-2　堤防整備状況（直轄区間）

種　別	延長(km)
完　成　堤　防	23.8(30.4%)
暫　定　堤　防	51.2(65.5%)
未 施 工 区 間	3.2(4.1%)
堤防不必要区間	4.4
計	82.6

1.3　嶺南地方の河川概要

敦賀土木事務所、小浜土木事務所が位置する、福井県嶺南地方の河川は、北川水系、南川水系等、幾つかの水系からなっている。

1.3.1　北川水系

a)　北川の概要

北川は、福井県と滋賀県の県境をなす野坂山地の三十三間山（標高 842m）付近に源を発し、天増川として滋賀県内を南流し、県境付近で寒風川をあわせて北川となる。

北川は福井県に入って流路を北西に転じ、若狭町で河内川、鳥羽川、杉山川などをあわせ、さらに小浜市に入って野木川や遠敷川などをあわせて若狭湾に注ぐ一級河川である。**図 1-6** に北川水系図を示す。

図 1-6　北川水系図

流域面積は 210.2km^2、幹川流路延長 30.3km をなし、その流域の約 83%が山林等、約 13%が農地、約 4%が宅地その他で構成されている。

また北川流域は、小浜市、高島市、若狭町の 2 市 1 町からなり、若狭地方における社会・経済・文化の基盤をなしている。

河床勾配は、上流部は約 1/30、中流部では 1/120～1/390 の急勾配、下流部では約 1/790 と比較的緩やかとなっている。
河口から 14 ㎞付近まで築堤区間となっており、それより上流は、ほぼ掘込み河道となっている。

図 1-7 のように下流部では、洪水時の河川水位が市街地や田畑より高く、洪水がひとたび氾濫すると甚大な被害が発生する可能性がある。

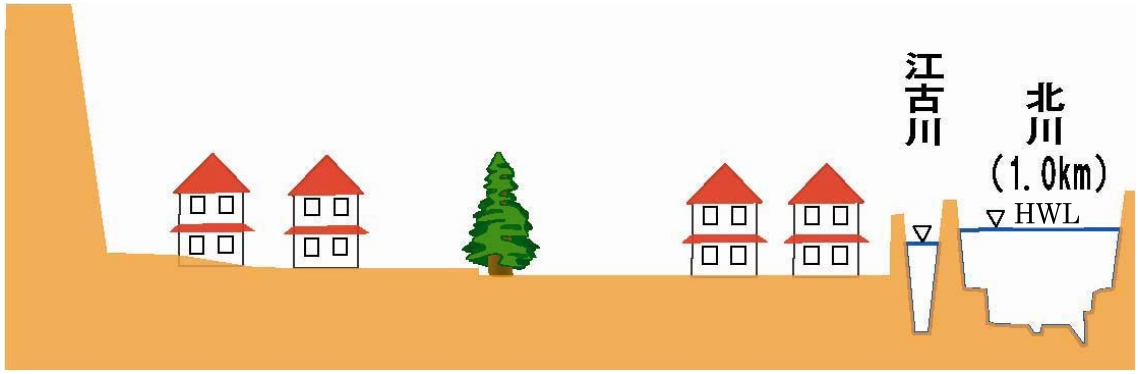


図 1-7　下流部の地形横断図

b)　北川の治水計画
北川水系（県管理区間）では、これまでの改修事業等により、各支川とも一定の整備効果は現われてきているものの、依然として十分な安全度を有しているとはいえない状況にある。加えて、近年の短期集中豪雨の発生など洪水の危険性が高まる中、今後も流域全体での治水安全度の向上に向けての計画的な整備が必要な状況にある。
北川本川（県管轄区間）については、近年では家屋の浸水被害はないものの、これまで抜本的な治水対策が行われていないため、計画的な整備が必要な状況にある。
図 1-8 に北川計画流量分配図を示す。

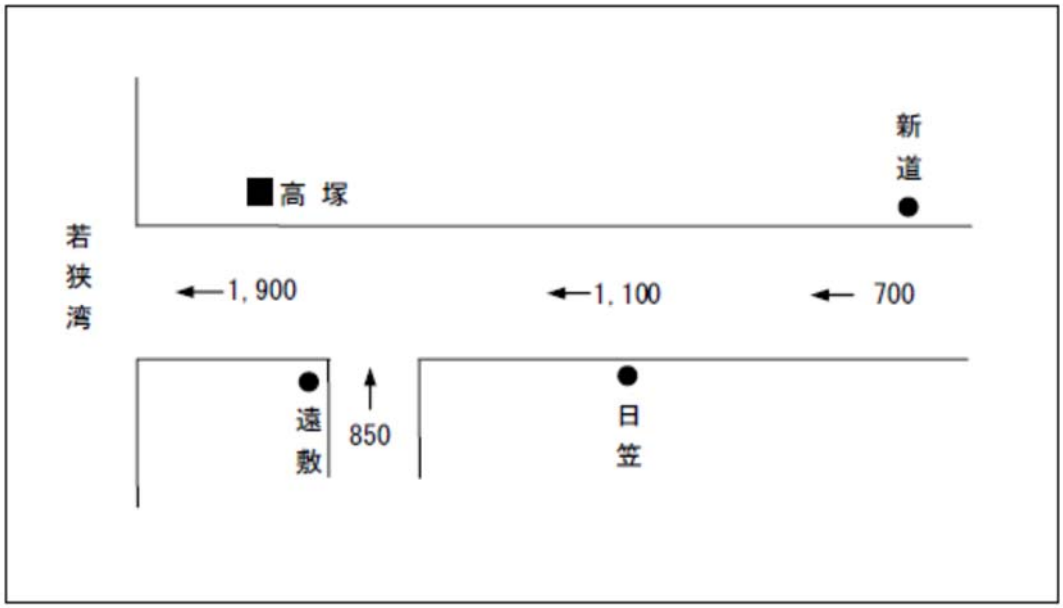


図 1-8　北川計画流量配分図

1.3.2　南川水系

a)　南川の概要

南川は、京都府・滋賀県との境の若丹山地にある頭巾山に源を発し、大飯郡おおい町（旧遠敷郡名田庄村）を東流し、北東に方向を変えてからは小浜市内を流れ、途中、支川である田村川のほか多くの渓流や小河川を併せ、日本海に面した小浜湾に注ぐ二級河川である。**図 1-9** に南川水系図を示す。

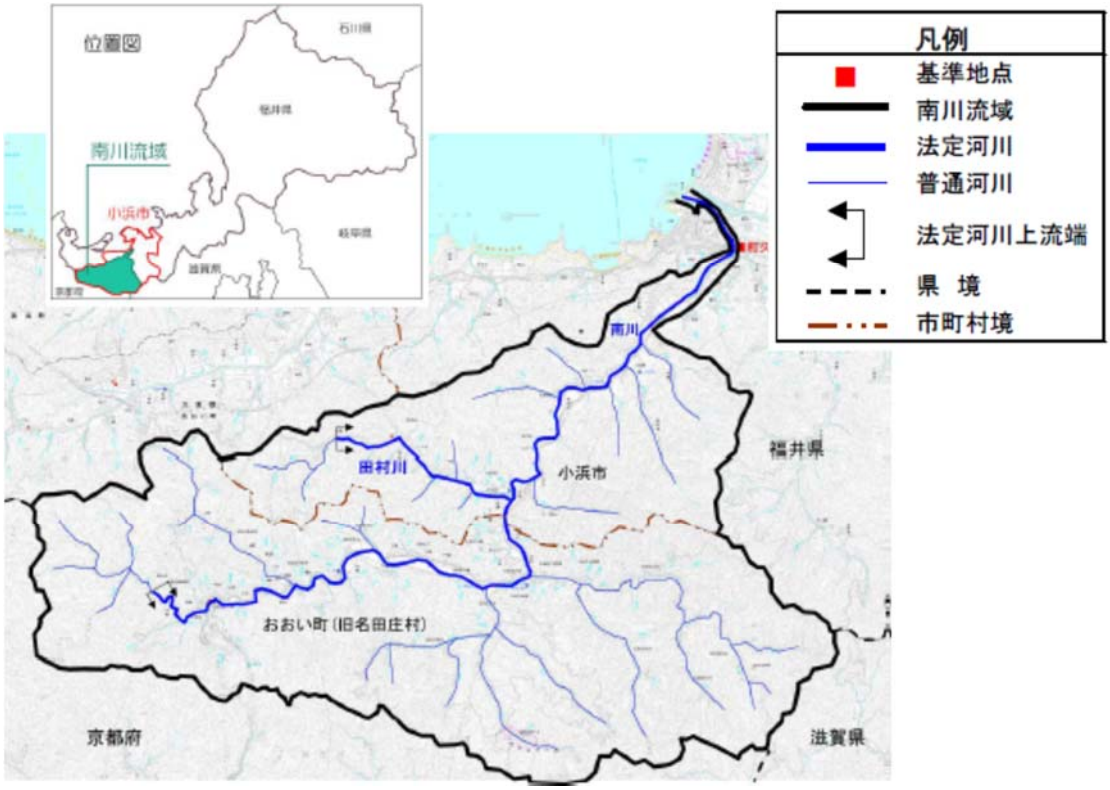


図 1-9　南川水系図

流域面積は 211km^2、法定河川延長は南川 32.42km、田村川 8.6km である。

その流域は、おおい町および小浜市に属し、おおい町では旧名田庄村区域の全面積を、小浜市では全面積の約５割を占めている。流域のほぼ９割が山地で構成されており、上、中流部の沿川では狭小な谷底平野に集落、農地が形成され、下流部は沖積平野に立地する小浜市の中心市街地を貫流している。

河口～5.8k は有堤部区間で、河床勾配が 1/770～1/470 程度と水系の中では比較的緩勾配となっている。河口から 2.3k までの区間は、潮汐の影響を受ける感潮区間である。

5.8k～県管理区間上流端（32.0k）は、河床勾配が 1/390～1/70 と急勾配である。このうち 5.8k～18.0k は堀込河道区間、18.0k ～上流端では有堤部と堀込河道部が混在した河道形状となっている。

b)　南川の治水計画

南川では、昭和 28 年 9 月の台風 13 号による大出水を契機として、昭和 29 年度より河川災害復旧助成事業として、基準地点和久里地点における計画高水流量を 1,800m3/s と定め、掘削、護岸整備等が行われた。

また、昭和 55 年からは、14.0k～17.6k の区間で、中小河川改修事業により掘削、護岸整備等が行われた。**図 1-10** に南川計画流量分配図を示す。

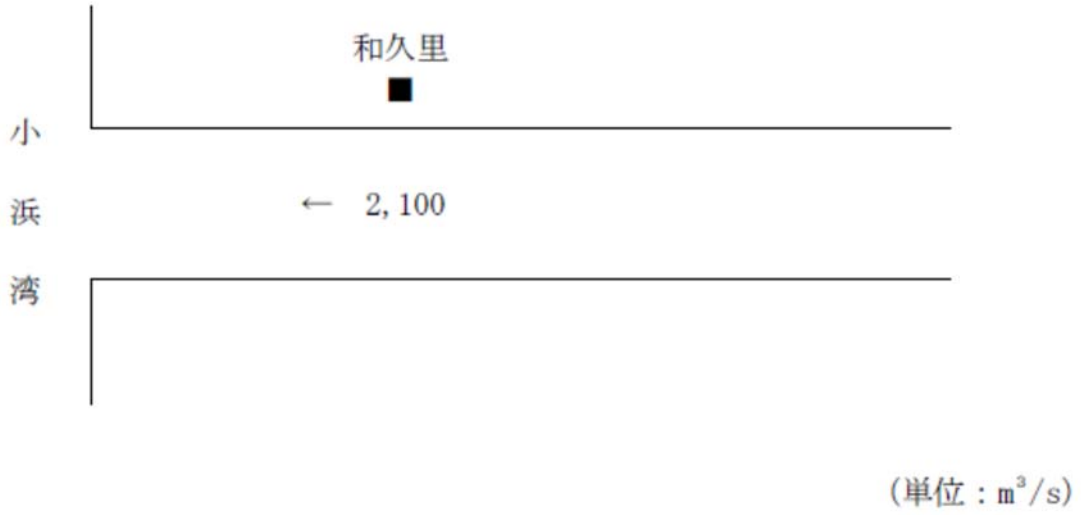


図 1-10　南川計画流量配分図

1.3.1　多田川水系

a)　多田川の概要

多田川は、その源を多田ケ岳（標高 712m）に発し、途中左支川森川を合わせ、小浜市市街地では北川と南川に挟まれて流下し、小浜湾に注ぐ、流域面積 14.0km^2、幹川流路長 7.4km の二級河川である。

その流域は、福井県小浜市に属し、北川、南川とともに府中、和久里、木崎、生守地区等における社会、経済の基盤をなしている。

流域の地形は、山地部を標高 400～700m の中起伏山地で形成し、下流部では三角州性低地を形成している。

河道形態は、単断面の堀込河道である。河床勾配は上流部で 1/90～1/400 と急であり、下流部では 1/700～1/1,000 と緩やかである。**図 1-11** に多田川水系図を示す。

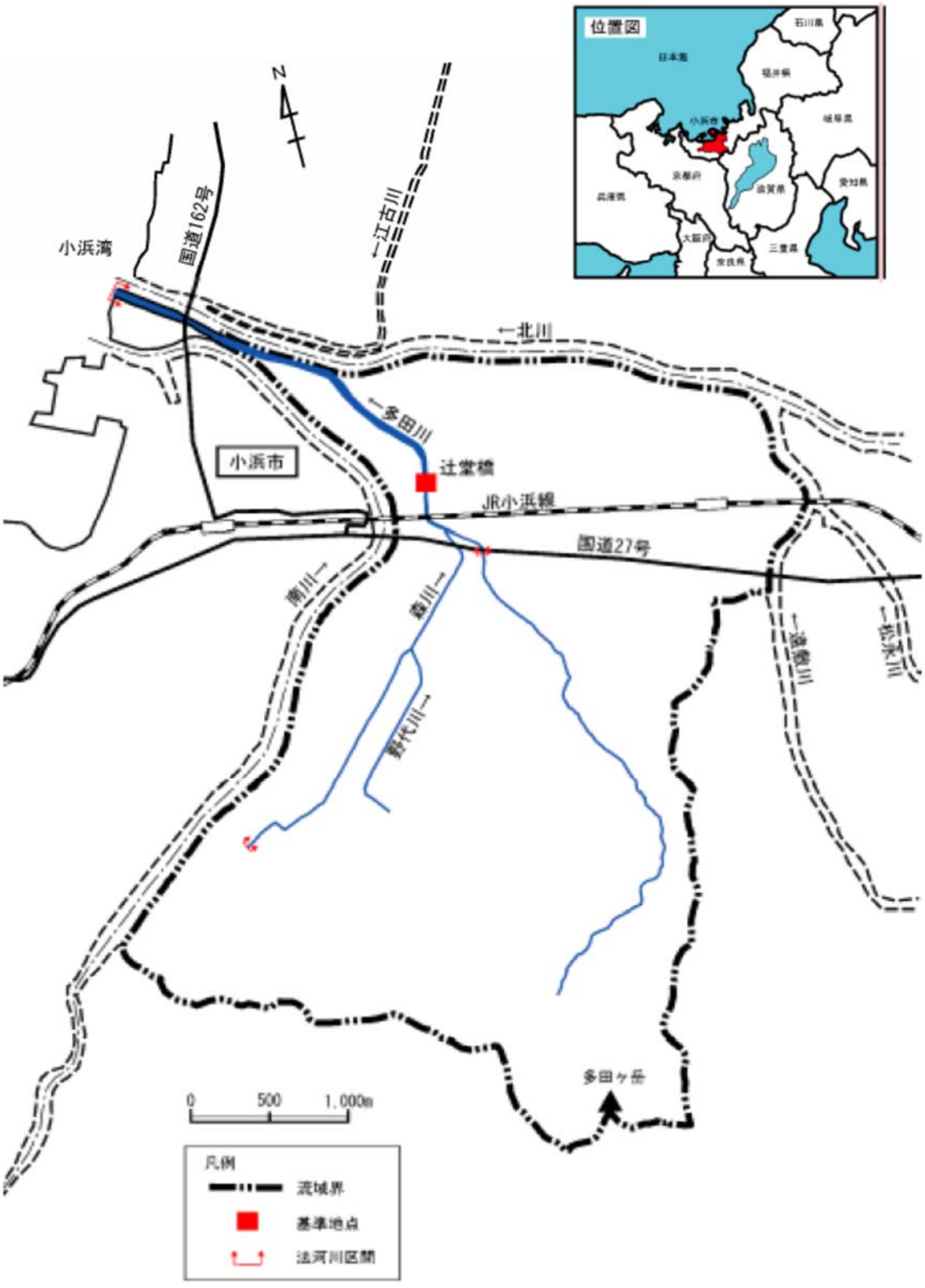

位置図
日本海
石川県
福井県
小浜市
岐阜県
京都府
滋賀県
愛知県
兵庫県
大阪府
三重県
奈良県
N
小浜湾
国道162号
←江古川
←北川
←多田川
小浜市
辻堂橋
JR小浜線
国道27号
南川→
森川→
野代川→
←遠敷川
←松永川
多田ヶ岳
0
500
1,000m
凡例
流域界
基準地点
法河川区間

図 1-11　多田川水系図

b)　多田川の治水計画

多田川水系は、元来、北川の左支川で、高い堤防を有する北川、南川に挟まれた堀込河道であったため、内水氾濫が頻発し、昭和 40 年 9 月の台風 24 号による洪水時には、多田川下流の府中、和久里、上竹原地区及び北川と南川に挟まれた市街地、支川森川一帯が甚大な浸水被害を受けた。

このため、早急な治水対策が求められ、昭和 44 年度より多田川を北川と分離し放水路を小浜湾まで延長するとした中小河川改修事業が実施され、昭和 58 年度に現在の放水路が通水した。

北川の左支川であった多田川は、昭和 46 年 3 月に北川とともに一級河川に指定されたが、放水路の通水後、平成 8 年 5 月に放水路を含む多田川及び支川森川が二級河川に指定された。

現在、県管理区間 3.2km の約 78%程度にあたる河口～辻堂橋の約 2.5km 区間の河川改修が完了している。**図 1-12** に多田川計画流量配分図を示す。

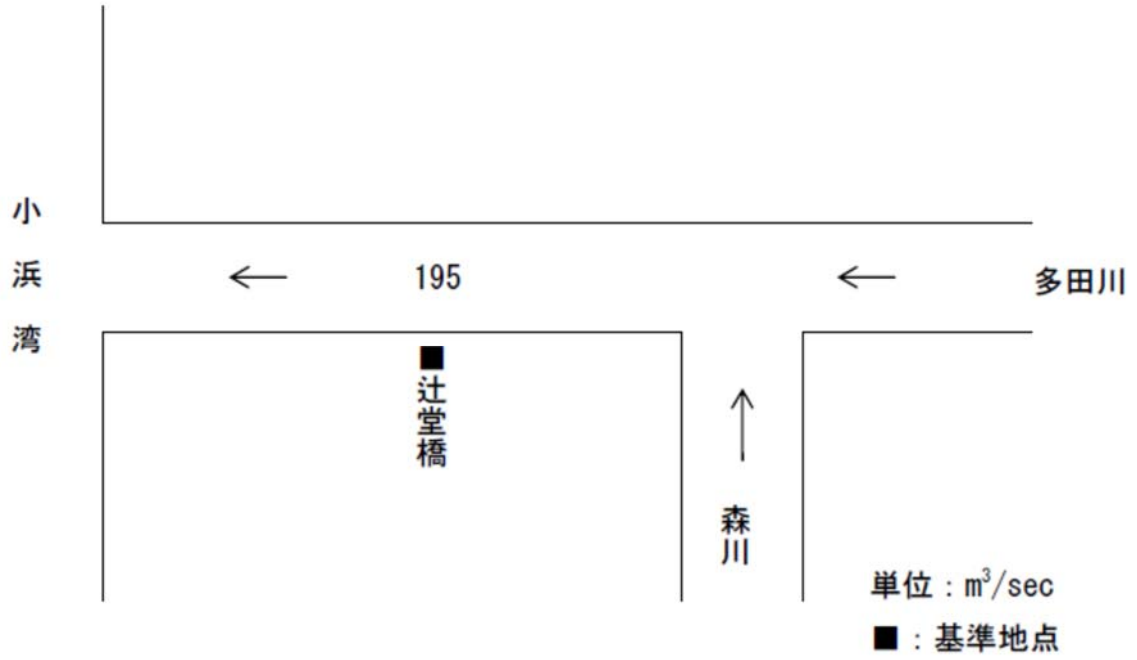


図 1-12　多田川計画流量配分図

1.3.2　井の口川水系

a)　井の口川の概要

井の口川は、福井県敦賀市の南西部に位置する野坂岳に源を発し、敦賀市を南から北へ貫流し、途中、支川である大瀬川、野坂川、三味線川及び原川と合流しながら敦賀湾に注ぐ流域面積約 28.4km^2、幹川流路延長 9.2km（法河川区間延長：井の口川 5.35km、三味線川 1.76km）の二級河川である。

図 1-13 に井の口川水系図を示す。

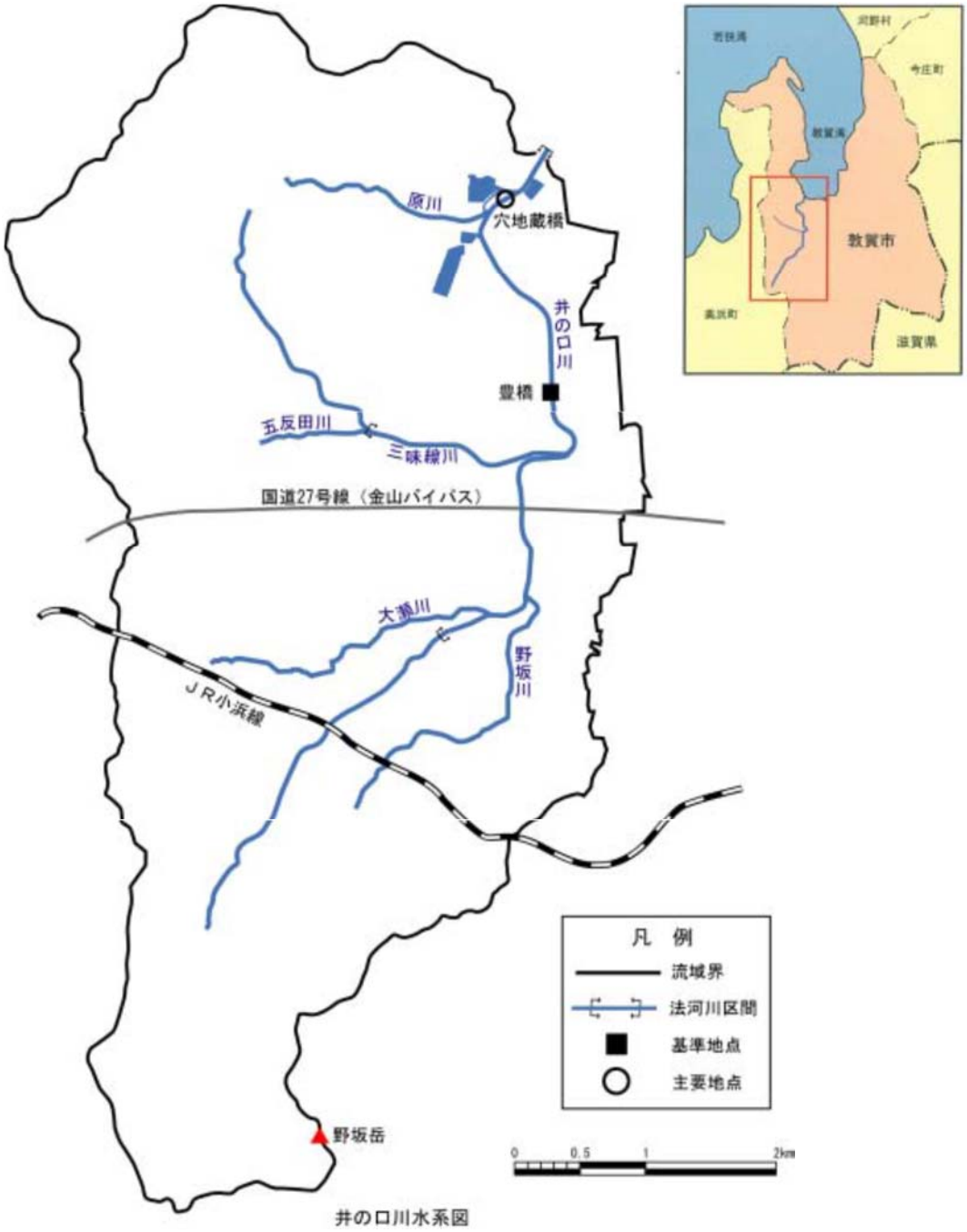


図 1-13　井の口川水系図

井の口川の河道の現状は、野坂川合流点より上流では河床勾配が 1/60～1/70 と急であり、概ね掘込河道となっている。また、四石橋～野坂川合流点では河床勾配が 1/130～1/280 とやや急で、築堤河道となっている。一方、四石橋より下流部では、河床勾配が 1/400～1/780 と緩やかであり、築堤河道となっている。

b) 井の口川の治水計画

井の口川の治水事業については、昭和 62 年度に中小河川改修事業に採択され、平成 3 年度より工事に着手している。さらに、平成 7 年に「ふるさとの川整備事業」のモデル河川として認定され、下流 1.9km の整備がされている。**図 1-14** に井の口川計画流量配分図を示す。

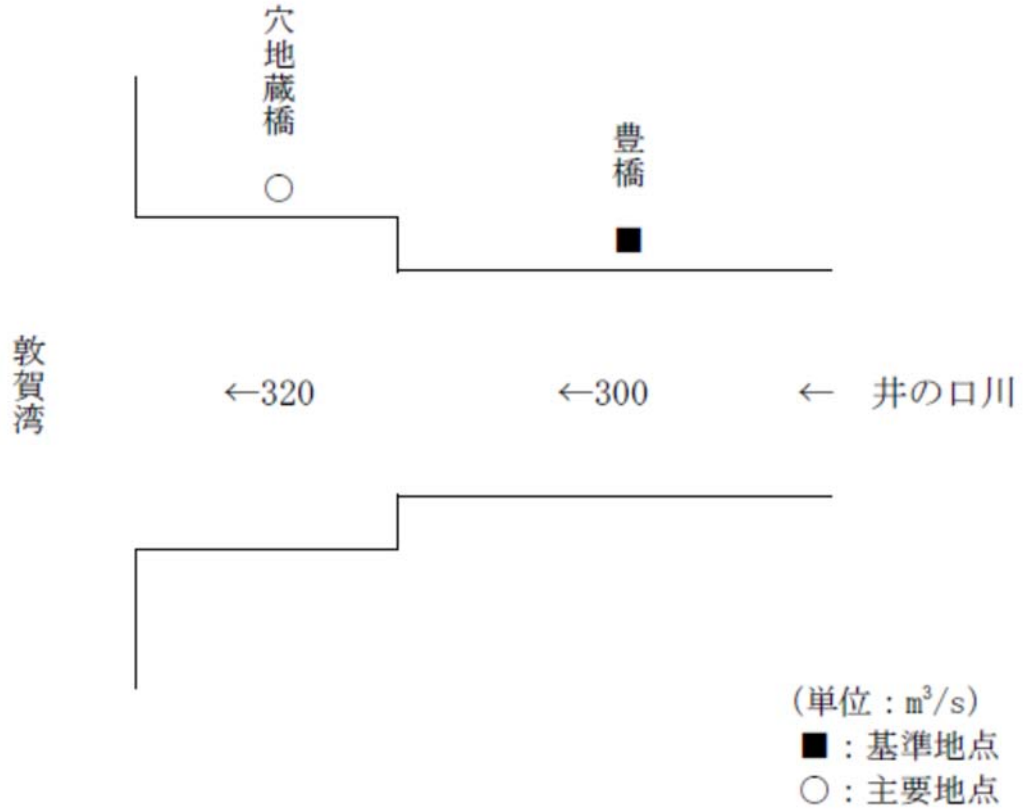


図 1-14　井の口川計画流量配分図

1.3.3 佐分利川水系

a) 佐分利川の概要

佐分利（さぶり）川は、京都府との境の若丹山地に源を発し、大飯町の中央部を東流して、途中、福谷（ふくたに）川、父子（ちちし）川、大津呂（おおつろ）川等の支川を併せ、日本海に注ぐ、流域面積 45.5km^2、流路延長 15.2km の嶺南地方西部の主要な二級河川である。**図 1-15** に佐分利川水系図を示す。

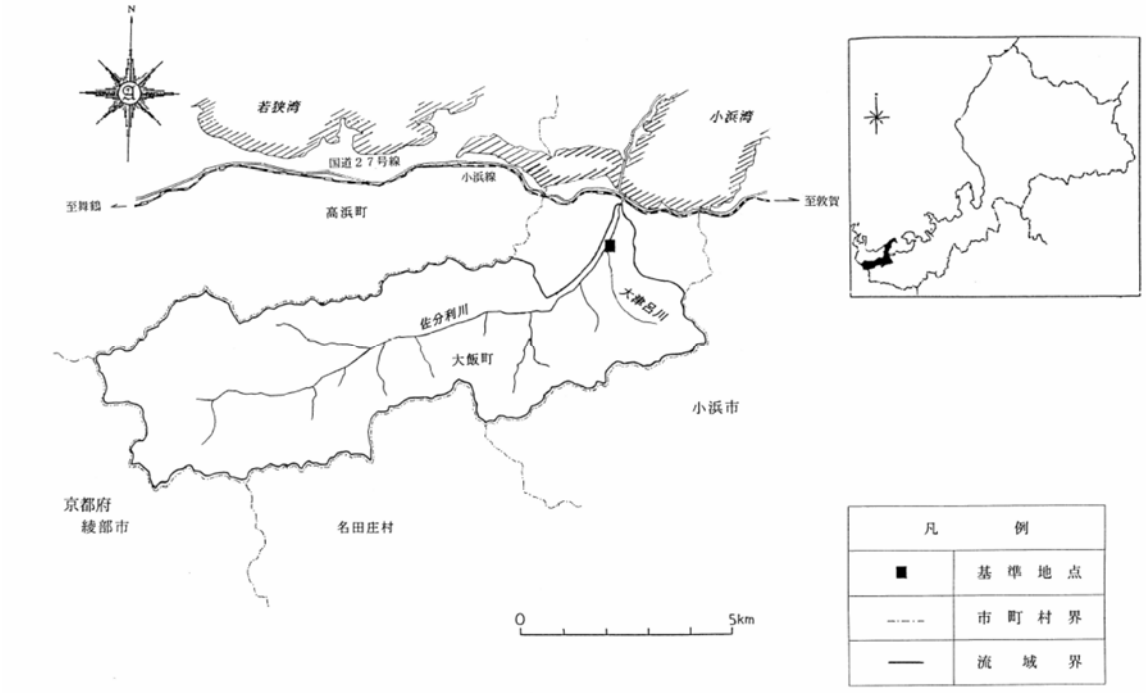


図 1-15 佐分利川水系図

流域は大飯町に属し、町全面積の約 7 割を占める。流域の約 8 割が山地で構成されており、川沿いに形成された平地には水田が広がる。下流部は市街化された町の中心部を貫流している。

佐分利川の法河川区間は佐分利川と支川大津呂川となっている。

佐分利川の主要な区間は単断面の築堤河道であり、川幅は約 30～60m、河床勾配は 1/100～1/300 程度となっている。河口から約 1km 区間は、潮汐の影響を受ける感潮区間であり、土砂の堆積によって河床勾配は約 1/650 程度と緩くなっている。

支川大津呂川は、過去の災害における復旧事業等により護岸が整備され比較的単調な河川形態となっており、川幅は約 4～8m、河床勾配は 1/100～1/75 程度となっている。河道は天井川を呈しており、局部改良工事により、一部区間は河道の掘り下げを行っている。

b)　佐分利川の治水計画

災害復旧に伴う大規模な河川改修や局部改良工事で水系内の河川の改修を進めてきたことにより、近年では、大規模な洪水被害は減少している。

現在、佐分利川では、ほぼ全川にわたり、概ね 30 年に一回程度の降雨に予想される洪水を安全に流下できる治水安全度が確保されている。

一方で、土砂の堆積が進む佐分利川河口部や抜本的な改修が実施されていない支川大津呂川などでは、依然として十分な治水安全度が確保されておらず、近年においても、洪水被害や堤防からの越流等が懸念される事態が発生している状況にある。**図 1-16** に佐分利川計画流量配分図を示す。

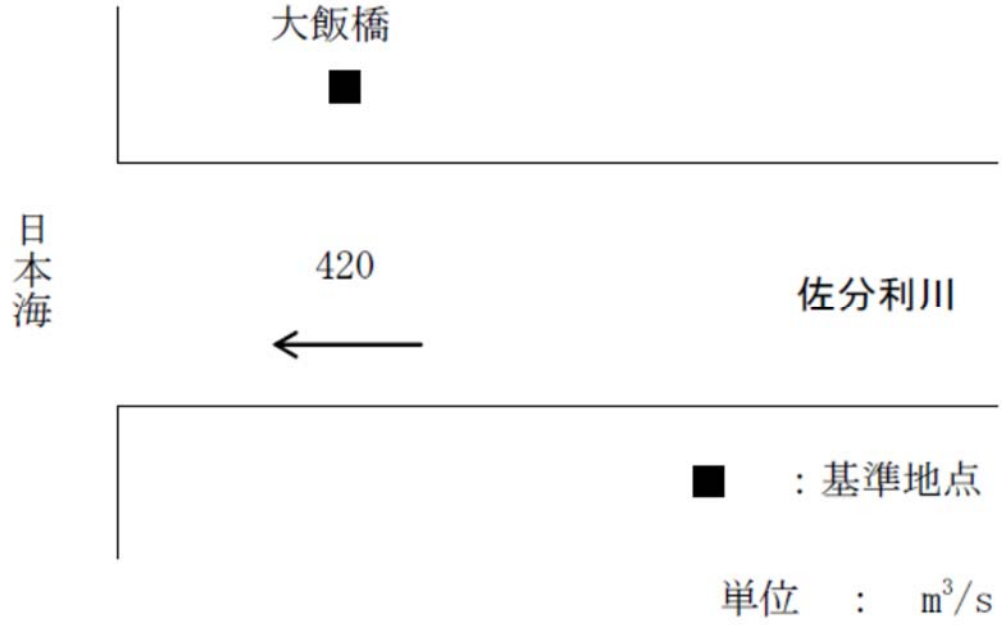


図 1-16　佐分利川計画流量配分図

1.3.4　笙の川水系

a)　笙の川の概要

笙の川は、福井県嶺南地域の日本海側に位置し、その源を福井県敦賀市池河内付近に発し、五位川、黒河川、助高川及び木の芽川等の支川群を合わせ、敦賀市街地を貫通して敦賀湾に注ぐ二級河川である。**図 1-17** に笙の川水系図を示す。

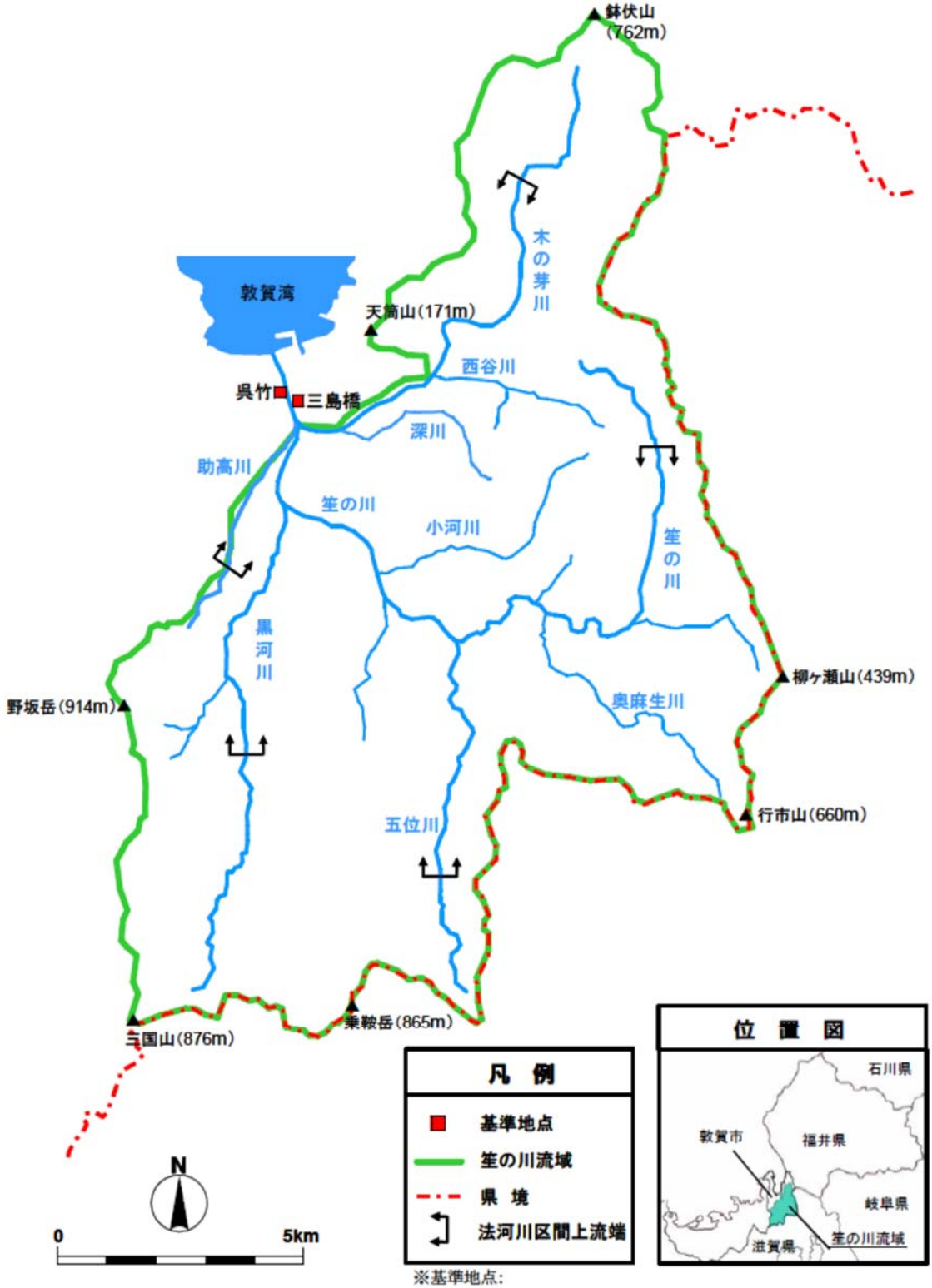


図 1-17　笙の川水系図

流域面積は 163.1km^2、法定河川延長は笙の川 18.3km、木の芽川 9.8km、助高川 4.1km、黒河川 6.4km 及び五位川 6.0km であり、流域の約 2%が市街地、約 6%が農地、約 88%が山地で構成されている。

流域は、福井県内の主要都市である敦賀市に位置し、北陸地方の社会・経済・文化の基盤をなすとともに、敦賀湾は、古くから国際交流機能を有した流通港湾として栄え、現在においても重要な役割を担っている。

また、笙の川は、敦賀市街地における貴重かつ重要な水辺空間を有していることから、本水系の治水・利水・環境についての意義は極めて大きいものとなっている。

笙の川水系は、本川下流域の敦賀市街地周辺で木の芽川、助高川及び黒河川が合流する放射状の河道配置を呈しており、合流後は人口・資産の集積地域を貫流する。

本川及び支川の河床勾配は急で、最も緩い本川下流域においても 1/400 程度である。

また、本川下流域や木の芽川では、洪水位が周辺の地盤高より高くなることから、万一破堤が生じた場合に甚大な被害が予想されている。

b)　笙の川の治水計画

笙の川では、戦後の 20～40 年代にかけて、山間部を中心に浸水被害に見舞われたが、その後の災害復旧などの河川工事の効果により、近年、氾濫被害の報告はない。

また、昭和 4 年の笙の川付け替え工事以降、笙の川下流部での氾濫被害はないが、平成 10 年 9 月洪水において、呉竹水位観測所で観測史上最高水位を記録し、下流部が非常に危険な状態になった。

なお、敦賀市街地の低平地部では、笙の川やその支川の水位上昇により、二次支川（木の芽川支川の深川等）からの雨水排水ができず、内水被害が頻発している。**図 1-18**　笙の川計画流量配分図を示す。

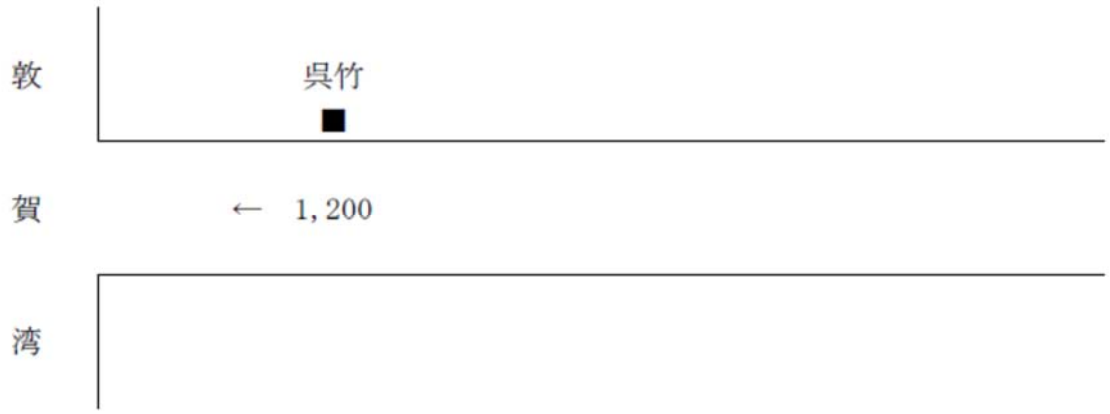


図 1-18　笙の川計画流量配分図

第２章　護岸の被災原因と被災事例、災害復旧事例

2.1　護岸の作用現象

護岸の作用現象は、「(社) 日本河川協会：解説・河川管理施設等構造令、山海堂、1977」により図 2-1 のようにまとめられている。

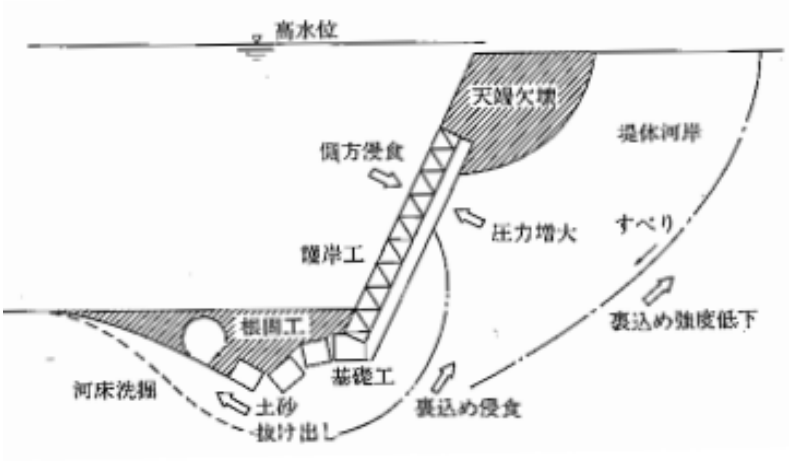


図 2-1　護岸の作用現象

2.2　護岸被災のフローチャート

護岸被災のフローチャートは「(社) 日本河川協会：解説・河川管理施設等構造令、山海堂、1977」により図 2-2 のようにまとめられている。

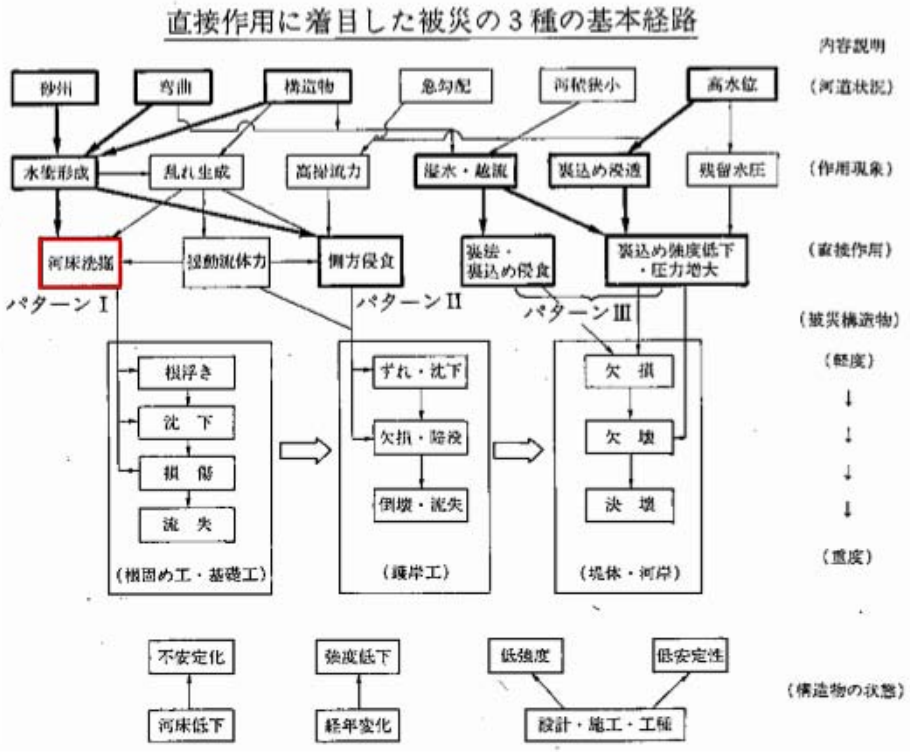


図 2-2　護岸被災のフローチャート

2.3　各パターンによる護岸被災の模式図

護岸被災の模式図は「(社) 日本河川協会：解説・河川管理施設等構造令、山海堂、1977」により**図 2-3** のようにまとめられている。

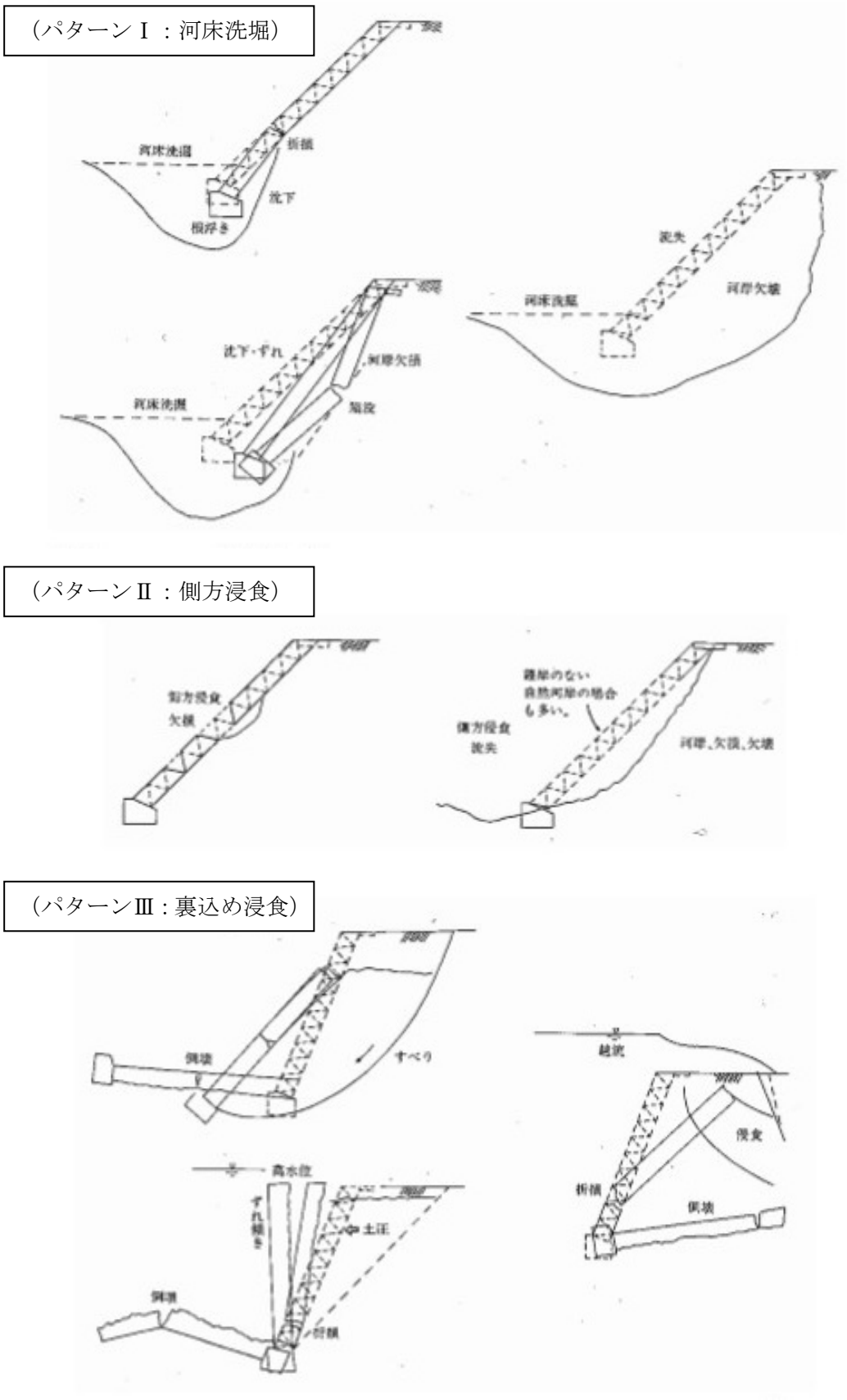


図 2-3　各パターンによる護岸被災の模式図

「(公社) 日本防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針、2014」では、護岸被災の模式図が**図 2-4** のようにまとめられている。

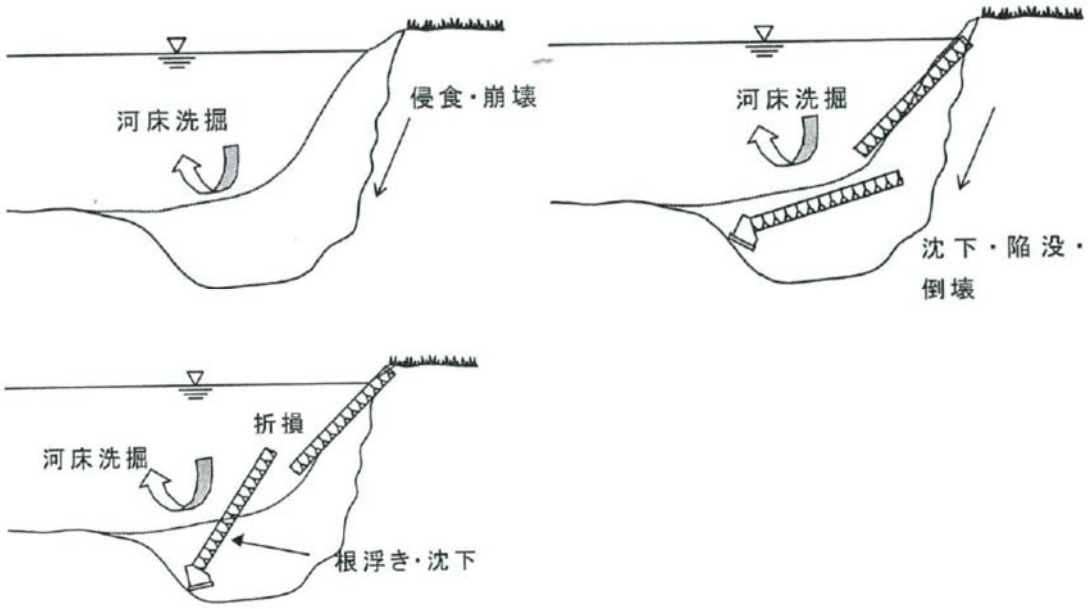


図 2-4(a) 河床洗掘

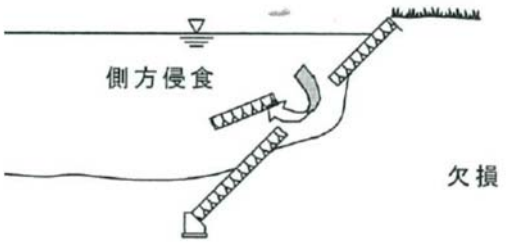


図 2-4(b)　側方侵食による被災

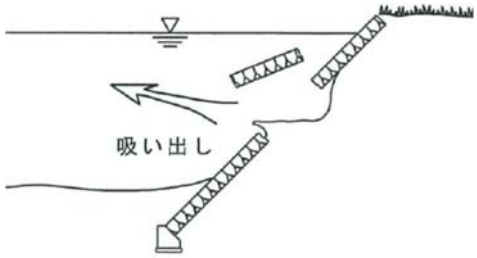


図 2-4(c)　吸出しによる被災

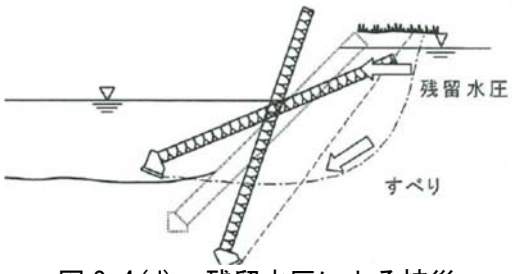


図 2-4(d)　残留水圧による被災

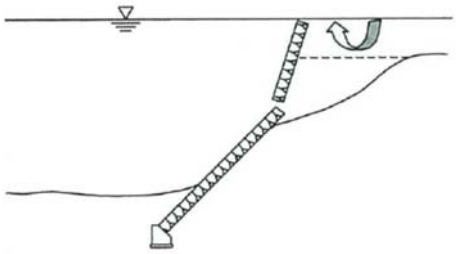
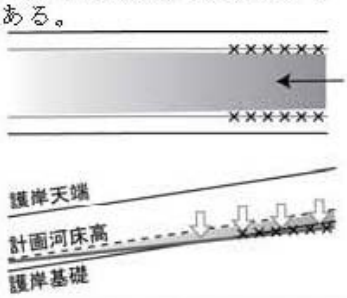
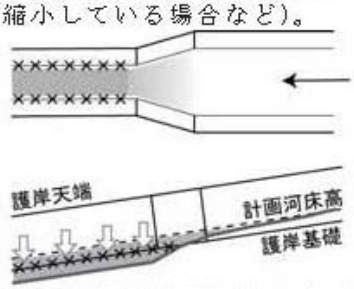
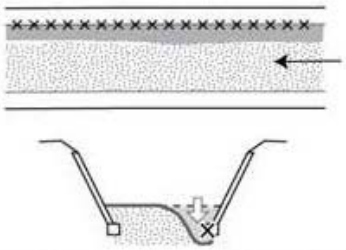
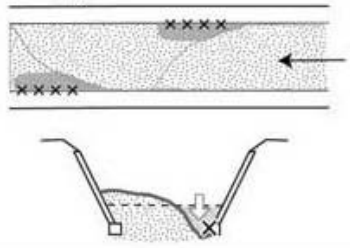
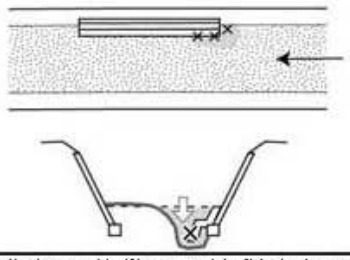
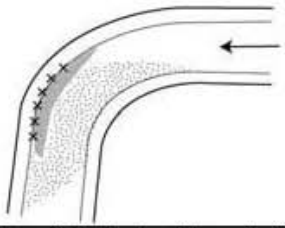
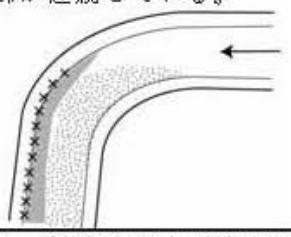
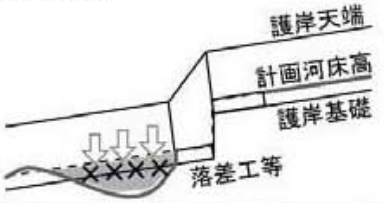
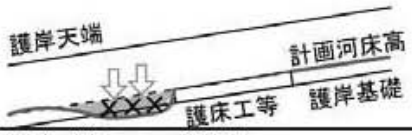


図 2-4(e)　天端からの侵食による被災

「(公社) 日本防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針、2014」では、河床低下・局所洗掘の発生箇所と推定される原因の例が**表 2-1** のようにまとめられている。

表 2-1　河床低下・局所洗掘の発生箇所と推定される原因の例

発生箇所	河床低下の状況	現地の状況	推定される河床低下の原因
直線部	河床が全体的に低下	上下流の断面形に変化はなく一定である。 	土砂の流出が進み、河床勾配が緩くなる過程での河床低下
		上流側と断面形が不連続（河床幅が縮小している場合など）。 	断面形の変化に起因する掃流力の縦断的な不均衡による河床低下
	河岸（低水護岸）の前面のみ低下	片岸が縦断的に洗掘されているが対岸には砂州が連続的にみられる。 	低水護岸に沿って高流速が生じたために生じた縦断的な洗掘 護岸に沿った縞筋に流水が集中して生じた縦断的な洗掘
		砂州により水衝部が形成されており、水衝部付近から下流が洗掘されている。 	砂州の水衝部における局所洗掘

発生箇所	河床低下の状況	現地の状況	推定される河床低下の原因
直線部（つづき）	河岸（低水護岸）の前面のみ低下（つづき）	根継ぎ工等の上流端付近が洗掘されている。 	突出した構造物に起因する局所洗掘
湾曲部	湾曲部の外岸が深掘れ	湾曲部の外岸のみ洗掘されており、湾曲部下流の河床は低下していない。 	湾曲部外岸にみられる洗掘
		湾曲部の外岸から下流にかけて深掘れ部が連続している。 	下流区間の河床低下と湾曲部外岸の洗掘が複合したもの
床止め工等の下流	構造物下流の局所洗掘	落差工、斜路工の直下流における局所洗掘。 	加速した流れの減勢が不十分であるため生じた局所洗掘
		護床工、帯工等の直下流における局所洗掘。 	縦断的な粗度急変に起因する土砂流出、構造物の粗度が低く流れの減勢が不十分等
橋脚周辺	橋脚付近での局所洗掘	橋脚付近のみの洗掘	橋脚周りの局所洗掘
		橋脚と低水護岸が近接する箇所での洗掘	流れの集中による局所洗掘

2.4　各パターンの被災事例

下記の資料から被災事例を引用して示す。
資料①（財）国土開発技術研究センター：護岸・根固め工の設計ガイドライン、1994
資料②（公社）日本防災協会：平成 27 年発生災害採択事例集、2016
資料③（公社）日本防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針、2014
資料④ 土木研究センター資料
資料⑤ 地盤工学会：

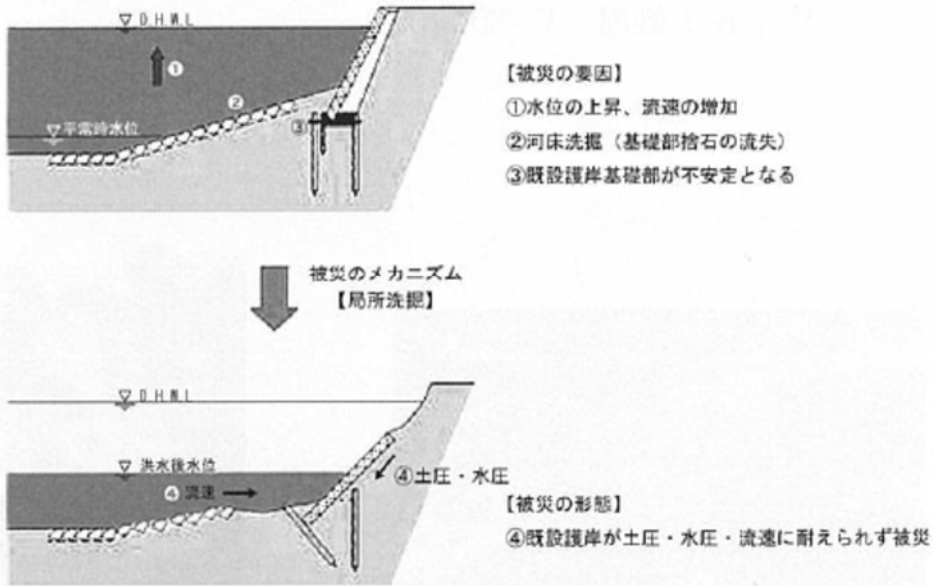
2.4.1　河床洗掘

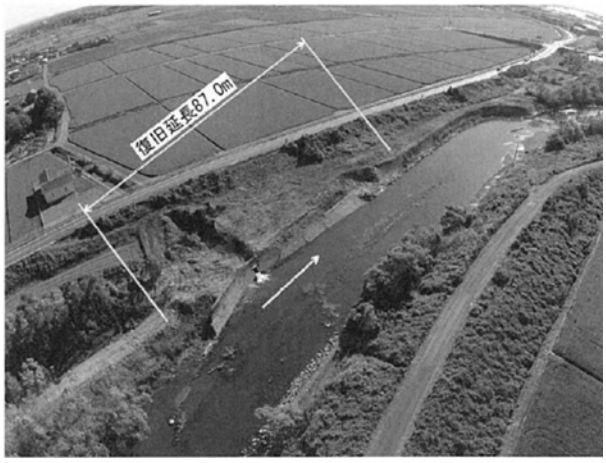
護岸直下流部の河岸侵食事例
近畿地方建設局、資料①

河床洗掘による護岸被災事例
北海道開発局、資料①

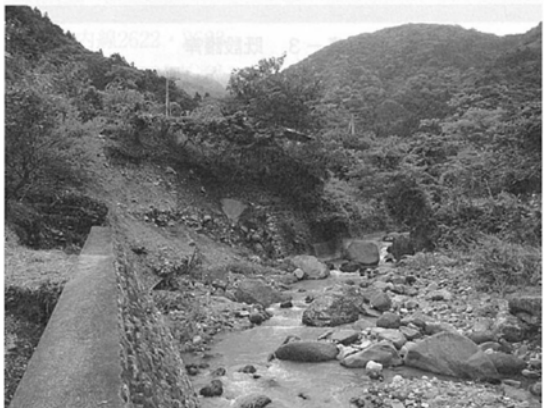
河床洗掘による護岸被災事例
九州地方建設局、資料①

筑後川水系広川、2015 年 8 月、河床洗掘、資料②



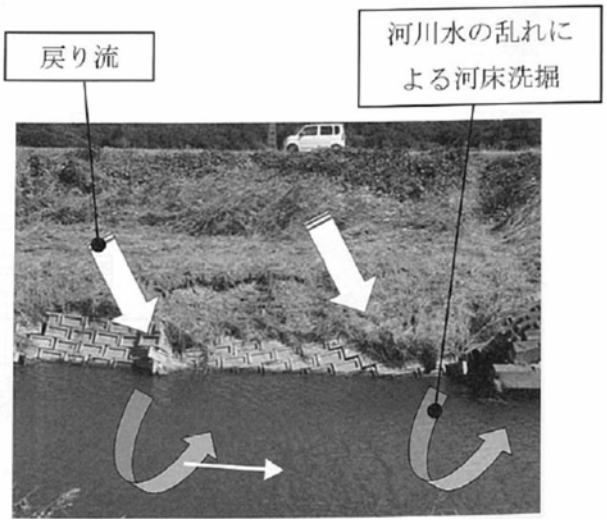


富士川水系椿川、2015 年 9 月、河床洗掘、資料②



河岸の倒壊状況

善川、2015 年 9 月、河床洗掘、資料②



低水護岸の被災状況（倒壊）

市木川水系市木川、2015 年 4 月、河床洗掘、資料②

河床洗掘による護岸の被災

資料③

護岸下流端での河床洗掘、資料④

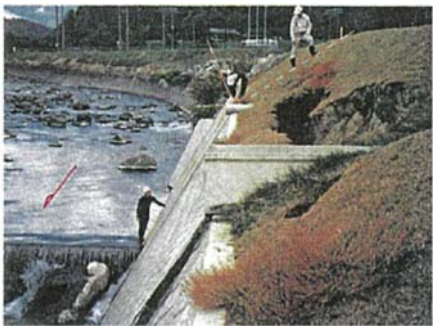
河床洗掘、資料④

2.4.2　側方侵食

市木川水系市木川、2015 年 4 月、側方侵食、資料②

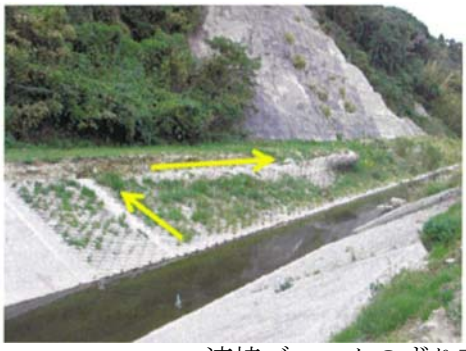
流体力によるブロックの移動・流出、資料③

流体力によるブロックのめくれ、資料③



吸出しによる被災、資料③

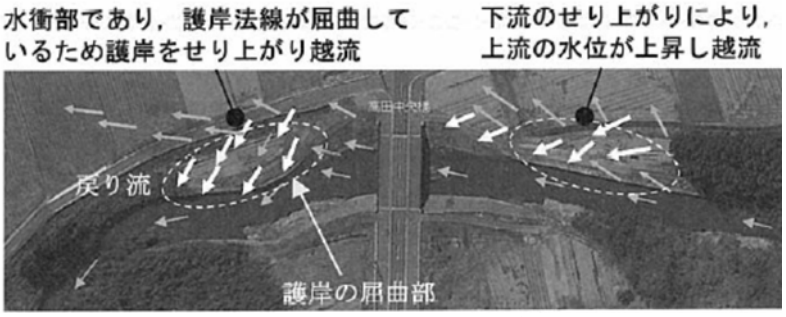
残留水圧による被災、資料③



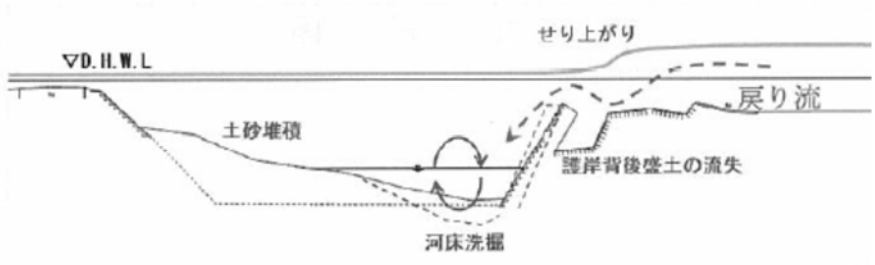
連接ブロックのずり落ちと巻き上げ、資料④

2.4.3　裏込め侵食

鳴瀬川水系吉田川、2015 年 9 月、越流戻り流　盛土流失、河床洗掘



被災のメカニズム（平面)、資料②



被災のメカニズム（断面)、資料②

利根川水系八軒堀川、2015 年 9 月、越水後の水位急低下による崩壊

資料②

足羽川　H16 年 7 月福井豪雨、資料⑤

天端から背面土砂が流出

資料⑤

天端からの侵食による被災、資料③

2.5　災害復旧事例

2.5.1　災害復旧事例（1）

災害復旧工事の設計要領（全国防災協会）より、河川護岸工法検討例を**下図**に示す。

例１　（標準型かごマット護岸）

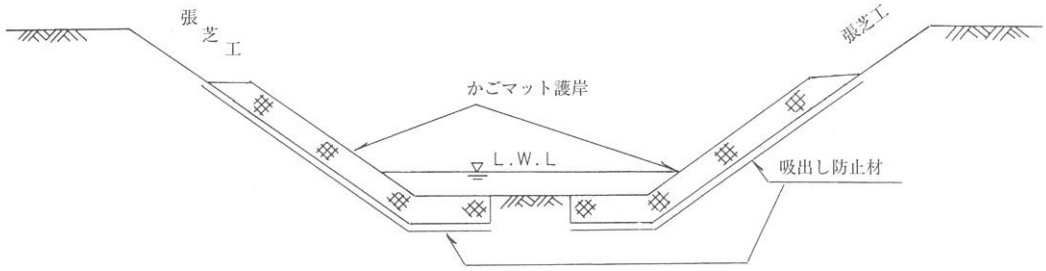


図１－１

例２　（多段式かごマット護岸，ブロック積護岸）

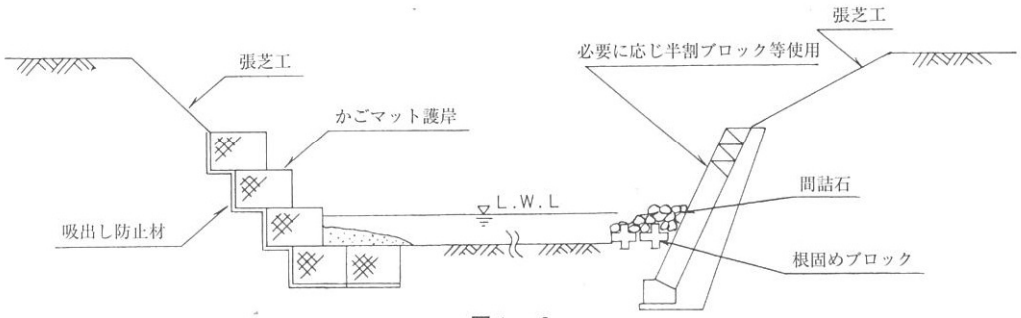


図１－２

例３　（連節ブロック）

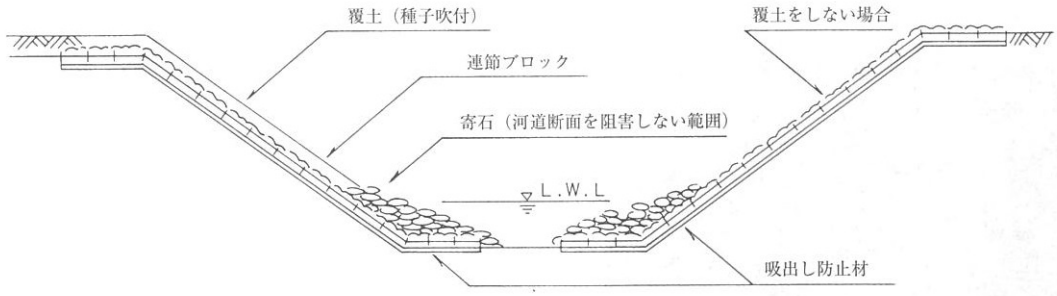


図１－３

災害復旧工事の設計要領 P.1169

例４　（法枠）

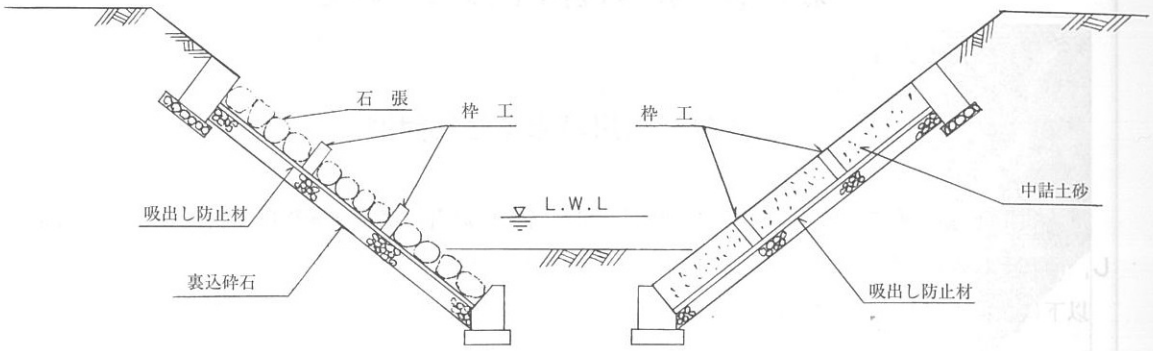


図１－４

例５　（根固）

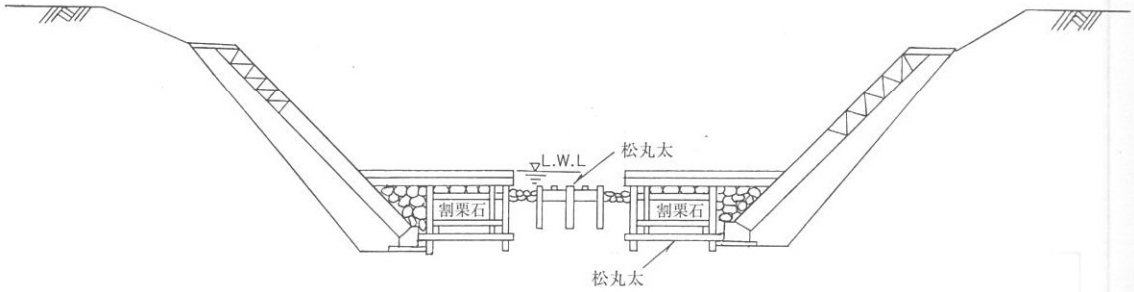


図１－５

例６　（根固）

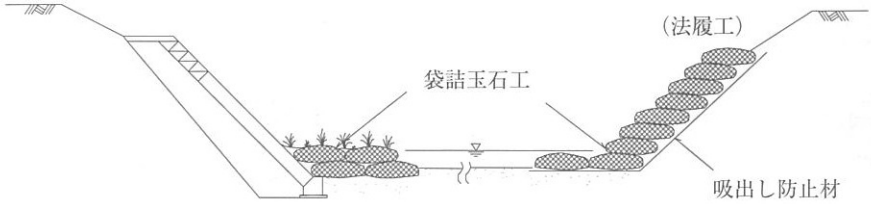


図１－６

図 2-6　災害復旧工事の設計要領 P.1170

2.5.2　災害復旧事例（2）

仮設護岸

工事用道路の構築

被災護岸の仮復旧

被災状況

被災護岸の仮復旧

復旧状況

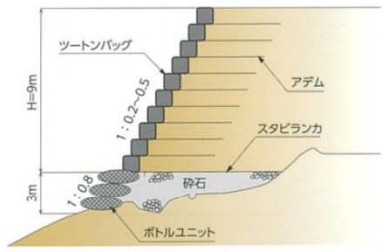
平成 16 年に発生した福井豪雨により川沿いの生活道路が崩壊。
一時的に通行止めとなったが、「袋詰め根固め工」により道路機能を回復させた。

平成 16 年に発生した福井豪雨により道路被災：美山折立地区
「袋詰め根固め工」多段積み河川護岸の構築

国道３０５号線：海岸の迂回仮設道路で使用した事例（袋詰め根固め工・耐候性大型土のう）
長期間使用する施工ヤードの土留めとして使用

長期間設置が必要な仮設道路に使用

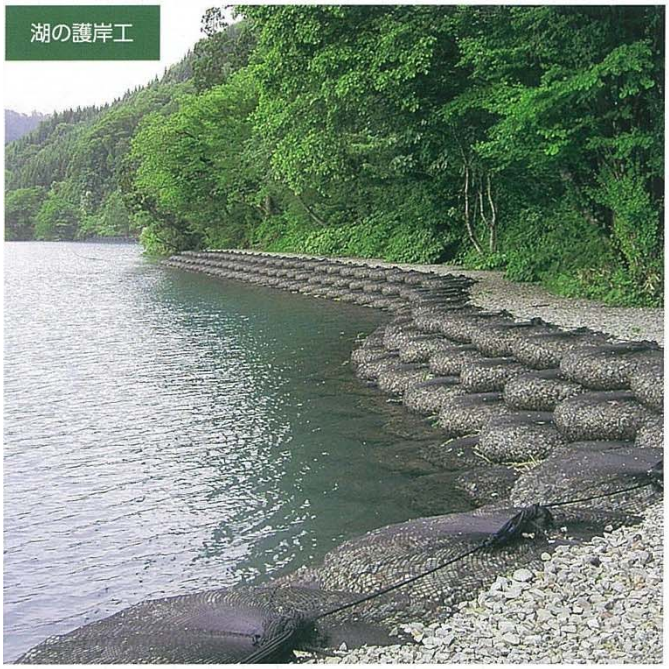
「耐候性大型土のう」と「袋詰め根固め工法用袋材」による複合提案
平成 23 年 7 月の新潟・福島豪雨復旧において、落橋した現場の復旧工事で 200t クレーンの仮設台構築に複合提案した事例



仮設道路の構築
不陸調整として下部に「袋詰め根固め工法用袋材」、上部に「耐候性大型土のう」を使用

田沢湖災害復旧工事

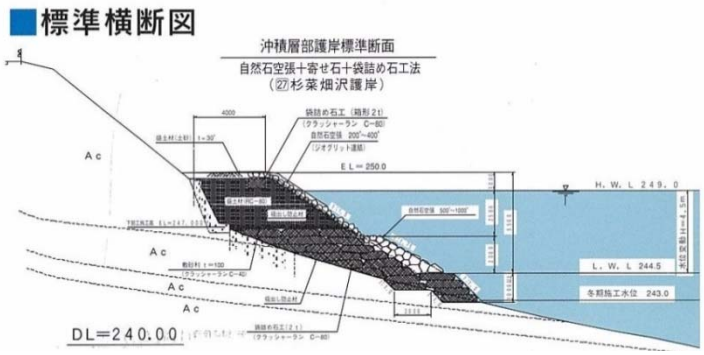
田沢湖は酸性湖であるため、コンクリート構造物の鉄筋が腐食し、湖周回道路の崩壊に至っていた。周回道路の押えに遊歩道を「袋詰め根固め工法用袋材」で構築



施工後

施工前

施工中



田沢湖周回道路の崩壊箇所の内側に遊歩道を設置。遊歩道を「袋詰め根固め工法用袋材」で構築

田沢湖護岸完成
イメージ CG パース

「袋詰め根固め工法用袋材」の表面を「石付きネット」を敷設し、自然石護岸を形成した。

「袋詰め根固め工法用袋材」を用いて遊歩道を構築

「袋詰め根固め工法用袋材」の法面に「石付きネット」を敷設

岐阜県　新境川（河川環境楽園の沿川）

平成 12 年 9 月に発生した東海豪雨の影響で、カルバートボックス下流護床ブロックの下流側の河床土砂が流失した。その流失は、延長方向１０ｍ、深さ方向８ｍに渡って発生した。

河床に土砂を埋め戻した上で、下流側の土砂の侵食と流失を防ぐために「石付きネット」を敷設した。石材間に稚魚が生息するなど多自然護岸が形成されていた。

第３章　福井県の災害事例と被災要因

3.1　災害復旧箇所河川特性整理表（A 表）

福井県における河川の災害の状況を把握するため、各土木事務所より提供していただいた災害査定書に添付されている「災害復旧箇所河川環境特性整理表」（以下、A 表）を集計した。また、参考に**表 3-1** に各土木事務所別の管轄区域を示す。

表 3-1　各土木事務所の管轄区域

名称	管轄区域
三国土木事務所	あわら市・坂井市
福井土木事務所	福井市・永平寺町
奥越土木事務所	大野市・勝山市
丹南土木事務所	鯖江市・越前市・池田町・南越前町・越前町
敦賀土木事務所	敦賀市・美浜町・若狭町（旧三方町）
小浜土木事務所	小浜市・高浜町・おおい町・若狭町（旧上中町）

河川の災害の復旧は、美しい山河を守る災害復旧基本方針（平成 26 年 3 月）「以下、災害復旧方針」に基づいて行う（**図 3-1**）。復旧においては、現地調査を行い、被災原因の特定や河道特性の分析を経て、復旧工法の検討を行う。ここで A 表、B 表、C 表を記入し、整理した情報を元に災害復旧を進めることとしている。

具体的には、A 表の左側「①河川状況及び物理的条件」、「②セグメント（流程区分）」、「③既設護岸」、「④被災原因」の記入結果、および、B 表における設計流速の結果に基づき、C 表からの法覆工の工法を選定する。『災害復旧方針 P. 11』

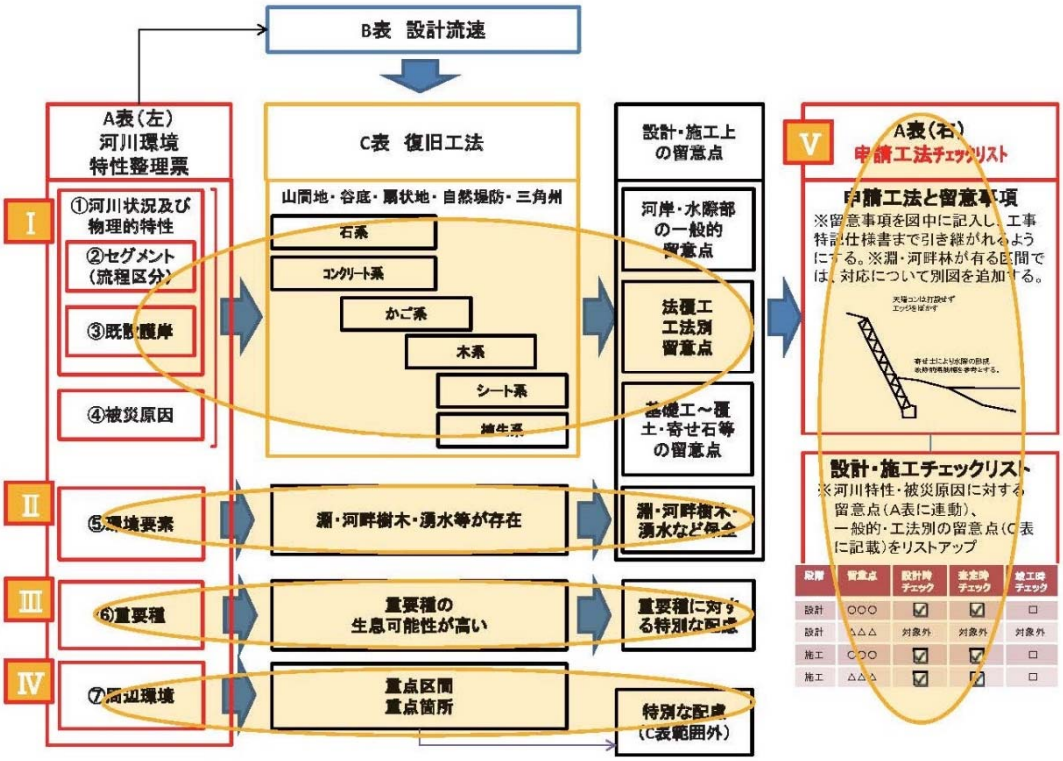


図 3-1　A 表・B 表・C 表の関連性と災害復旧の流れ『災害復旧方針 P. 12』

表 3-2～表 3-5 に A 表・B 表・C 表の様式を示す。

表 3-2　災害復旧箇所河川特性整理表（A 表）『災害復旧方針 P.37』

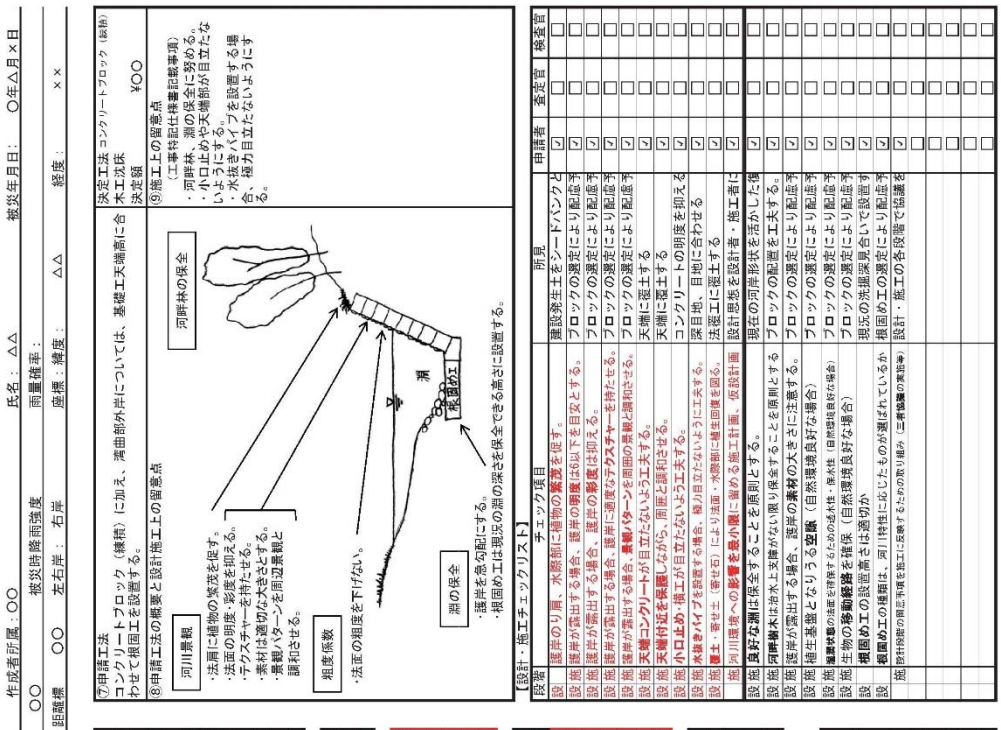


表 3-3　設計流速算定表（B 表）『災害復旧方針 P.66』

《設計流速算定表》B表

河川名	

				計算対象区間		測線[No.]				備　考
河道諸元	位置								（被災前）	
	設計水位での川幅	[B(m)]								
	低水路幅	[b(m)]								
	曲率半径(河道中心)	[R(m)]								
	河道湾曲半径(内岸側)	[r(m)]								
	エネルギー勾配	[Ie]								
	河床の代表粒径	[d_R(m)]								
	左岸法勾配	1:								
	右岸法勾配	1:								
径　深	径　深	[Rd(m)]								
設計水深[Hd]	設計水位	[h(m)]								
	現況平均河床高	[Z(m)]								
	設計水深	[Hd(m)]								
粗度係数 各部粗度	高水敷部	[n_1]								
	河床部	[n_2]								
	左岸護岸部	[n_3]								
	右岸護岸部	[n_4]								
粗度係数 潤辺	高水敷部	[S_1]								
	河床部	[S_2]								
	左岸護岸部	[S_3]								
	右岸護岸部	[S_4]								
	合計	[S]								
合成粗度係数	[$n_1^{3/2}\times S_1$]									
	[$n_2^{3/2}\times S_2$]									
	[$n_3^{3/2}\times S_3$]									
	[$n_4^{3/2}\times S_4$]									
	計									
	合成粗度係数	N								
平均流速[Vm]	$Vm=1/N\cdot Rd^{2/3}\cdot Ie^{1/2}$									
限界流速[Vc]	$Vc=(g*Rd)^{1/2}$									
最大洗掘深 直線部	現況最大洗掘深(実測値)	[ΔZg]								
	低水路幅・設計水深比	[b/Hd]								
	設計水深・代表粒径比	[Hd/dR]								
	砂州波高・設計水深比	[Hs/Hd]								
	洗掘部の水深	[Hmax・s]								
	推定最大洗掘深(計算値)	[ΔZs]								
	最大洗掘深	[ΔZ]								
最大洗掘深 湾曲部	現況最大洗掘深(実測値)	[ΔZg]								
	低水路幅・河道湾曲半径	[b/r]								
	洗掘部水深・設計水深比	[Hmax/Hd]								
	洗掘部の水深	[Hmax]								
	推定最大洗掘深(計算値)	[ΔZs]								
	最大洗掘深	[ΔZ]								
補正係数 直線部 固定床	$\alpha_1=1$									
直線部 移動床	{ΔZ／2Hd}									
	$\alpha_1=1+\{\Delta Z/2Hd\}$									
湾曲部 固定床	{b／2R}									
	$\alpha_1=1+\{b/2R\}$									
湾曲部 移動床 外岸部	{ΔZ／2Hd}									
	{b／2R}									
	$\alpha_1=1+\{b/2R\}+\{\Delta Z/2Hd\}$									
湾曲部 移動床 内岸影響部	{b／2R}									
	$\alpha_1=1+\{b/2R\}$									
	{ΔZ／2Hd}									
	{b／2R}									
	$\alpha_1=1+\{b/2R\}+\{\Delta Z/2Hd\}$									
根固め工	Bw／H_1＞ → $\alpha 2=0.9$ Bw／H_1≦ → $\alpha 2=1.0$									
α	採用補正係数 {α1＊α2}									
代表流速[Vo]	$V_0=\alpha\cdot Vm$									
※設計流速 $V_D=_{mean}V_0$										

表 3-4　護岸工法設計流速関係表（C 表）『災害復旧方針 P.68』

護岸工法設計流速関係表（C表）

護岸の法勾配が1：1.5より急な場合に適用する工法例
（他工法等の施工実績を踏まえ、今後見直していくものとする。）

セグメント			復旧工法例				設計流速 (m/s)
山間地河道	谷底平野扇状地河道	自然堤防帯三角州	素材	構造		工法	2 3 4 5 6 7 8 ~
■	■		石系	自然石(練)	1	巨石積(練)	4～8
					2	野面石積(練)	4～8
					3	間知石積(練)	4～8
				自然石(空)	4	巨石積(空)	5
					5	野面石積(空)	5
					6	間知石積(空)	5
					7	連結自然石(空積)	8
					8	アンカー式空石積	8
			コンクリート系	コンクリートブロック(練積)	9	コンクリートブロック練積	4～8
					10	ポーラスコンクリートブロック練積	4～8
				コンクリートブロック(空積)	11	コンクリートブロック空積	5
					12	ポーラスコンクリートブロック空積	5
			かご系	かご(多段)	13	鉄製籠型多段積工	6.5
					14	パネル枠工(ダクタイルパネル)	4.5
			木系	丸太格子	15	丸太格子(片法枠工含)	4
				木製ブロック	16	木製ブロック	4
				杭柵	17	杭柵	4
					18	板柵	4

※上表の適用範囲は目安であるため、設計流速に適用できる合理的な工法は積極的に採用して良い。
※復旧工法の留意事項を十分考慮し、工法を選定する。

表 3-5　護岸工法設計流速関係表（C 表）『災害復旧方針 P.69』

護岸工法設計流速関係表（C表）

護岸の法勾配が1：1.5より緩い場合に適用する工法例
（他工法等の施工実績を踏まえ、今後見直していくものとする。）

セグメント			復旧工法例				設計流速 (m/s)
山間地河道	谷底平野 扇状地河道	自然堤防帯 三角州	素材	構造		工法	2 3 4 5 6 7 8 ~
			石系	自然石(練)	1	巨石張(練)	4～8
					2	野面石張(練)	4～8
					3	間知石張(練)	4～8
				自然石(空)	4	巨石張(空)	5
					5	野面石張(空)	5
					6	間知石張(空)	5
					7	連結自然石(空張)	4～8
			コンクリート系	コンクリートブロック張	8	コンクリートブロック張	4～8
					9	ポーラスコンクリートブロック張	4～8
					10	法枠工	4～8
				連節ブロック	11	連節ブロック	5
					12	大型連節ブロック	5
					13	ポーラス連節ブロック	5
			かご系	蛇篭	14	植生蛇篭	5
				かご(平張)	15	鉄線籠型平張り工	5
				袋体	16	連結袋体張(礫)	5
			木系	丸太格子	17	丸太格子(片法枠工含)	4
				粗朶法枠	18	粗朶法枠	4
					19	粗朶柵工	4
					20	木製格子工	4
				杭柵	21	杭柵	4
					22	板柵	4
			シート系	ジオテキスタイル	23	ジオテキスタイル	3
					24	植生マット	3
				ブロックマット	25	ブロックマット	4
					26	植石ネット	4
			植生系	張芝	27	張芝	2

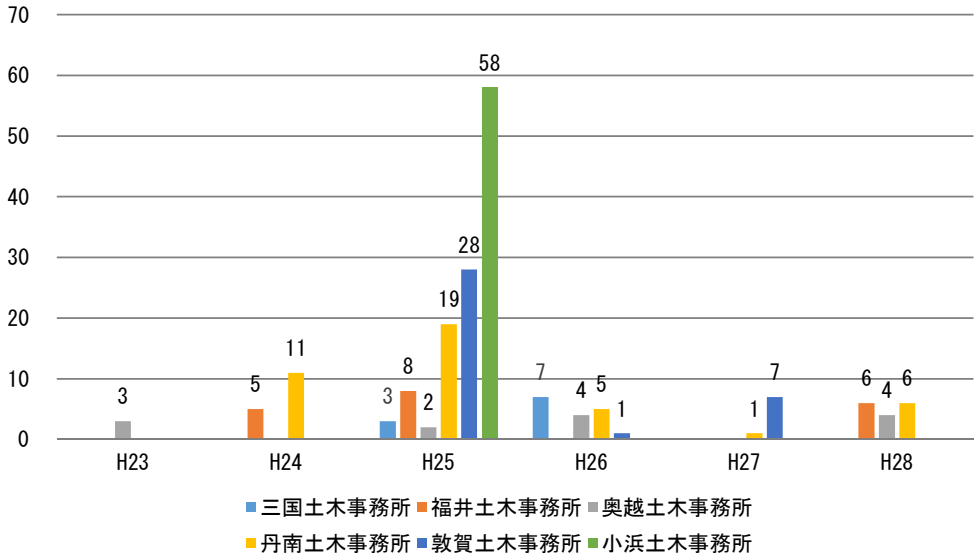
※上表の適用範囲は目安であるため、設計流速に適用できる合理的な工法は積極的に採用して良い。
※復旧工法の留意事項を十分考慮し、工法を選定する。
※法枠工　：　中張材によって、設計流速が変わる工法である。
（例　中張材がコンクリートの場合は8m/s、自然石(空)の場合は5m/s等。）

3.2　災害事例の整理結果

3.2.1　年度別の災害数

土木事務所別にみた年度別の災害数を**表 3-6** に示す。年度別の災害数は、台風第 18 号による影響（主に平成 25 年 9 月 15 日～9 月 17 日）で平成 25 年度に集中しており、小浜土木事務所の数が 58 件（平成 25 年の合計件数 118 件）と多くなっている。

表 3-6　土木事務所別にみた年度別の災害数



（件数）

	H23	H24	H25	H26	H27	H28	合計
三国土木事務所			3	7			10
福井土木事務所		5	8			6	19
奥越土木事務所	3		2	4		4	13
丹南土木事務所		11	19	5	1	6	42
敦賀土木事務所			28	1	7		36
小浜土木事務所			58				58
合計	3	16	118	17	8	16	178

H25 年は各土木事務所とも被災件数が多いが、これは台風 18 号の接近により、福井で 9 月 15 日に日雨量 43 ㎜、16 日に 81 ㎜、丹南で 15 日に 48 ㎜、16 日に 99 ㎜、小浜で 15 日に 160 ㎜、16 日に 254 ㎜、と福井県全域で相当量の降雨があったためである。

これに対し、H24 年は 7 月に、福井で 20 日に日雨量 0 ㎜、21 日に 92 ㎜、丹南で 20 日に 8 ㎜、21 日に 44 ㎜、小浜で 20 日に 24 ㎜、21 日に 12 ㎜と降雨量の地域によるばらつきが大きい。

H25 年の降雨原因が台風であったため、降雨が県全域に渡ったが、H24 年はいわゆる集中豪雨であったため、降雨域が限られていたと見なすことができ、災害の件数と降雨傾向は密接な関連があることが分かる。

被災年月日と件数は以下のとおりである。

	被災年月日	件数	
①	平成23年9月21日	2	
	平成24年7月20日	13	
	平成24年7月21日	2	
	平成24年9月5日	1	
②	平成25年7月29日	10	
	平成25年7月30日	1	
	平成25年8月1日	2	
	平成25年8月23日	1	
	平成25年8月24日	1	
	平成25年9月3日	1	
③	平成25年9月15日	82	台風18号
	平成25年9月16日	19	
	平成25年9月17日	1	
	平成26年7月20日	5	
④	平成26年8月8日	6	台風11号
	平成26年8月10日	4	
	平成26年10月13日	1	
	平成26年12月17日	1	
⑤	平成27年7月17日	2	台風11号
	平成27年7月18日	5	
	平成27年9月9日	1	
⑥	平成28年9月17日	6	台風16号
	平成28年9月20日	10	
	平成29年8月25日	1	
	合計	178	

降雨等の気象の状況について概説する。
参考に気象データを観測した観測地点を図 3-2 に示す。

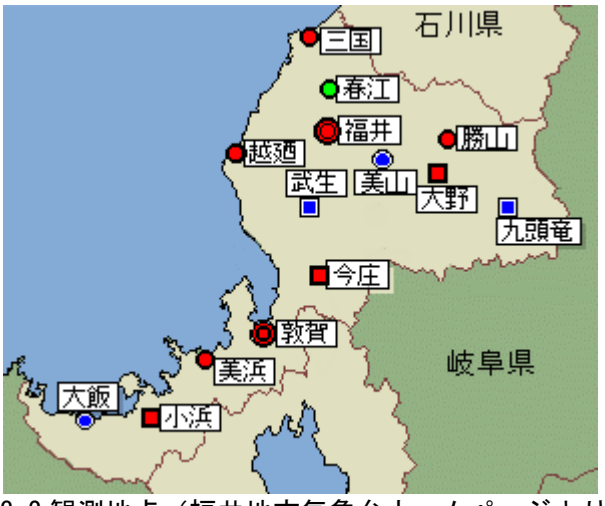


図 3-2 観測地点（福井地方気象台ホームページより）

① 平成 24 年 7 月 20 日～21 日

7 月 20 日から 21 日にかけて嶺北を中心に大雨となった。

福井観測所では 7 月 21 日の降水量の日合計は 91.5mm であり、1 時間降水量で 30.5mm を観測した。

美山観測所では 7 月 21 日の降水量の日合計は 122.5mm であり、1 時間降水量で 46.5mm を観測した。

武生観測所では 7 月 21 日の降水量の日合計は 44.0mm であり、1 時間降水量で 30.0mm を観測した。

② 平成 25 年 7 月 29 日～8 月 1 日

福井観測所では 7 月 29 日の降水量の日合計は 137.5mm であり、1 時間降水量で 10.5mm を観測した。

③ 平成 25 年 9 月 15 日～9 月 17 日（**表 3-7**）

台風 18 号の影響により、15 日未明から雨となり、北陸地方に最も接近した。通過した 16 日未明から明け方にかけては、嶺南を中心に激しい雨が降った。敦賀市と小浜市では 48 時間降水量が観測史上 1 位を記録した。北川、笙の川水系笙の川、南川水系南川、九頭竜川水系日野川中流においてはん濫警戒情報が出された。若狭町下野木の野木川右岸の堤防の一部が破堤した。

表 3-7　アメダスの期間降水量表(1)

観測所名	9月15日 (mm)	9月16日 (mm)	合計 (mm)	最大1時間降水量 (mm)
三国	47.0	136.5	183.5	30.0
春江	44.5	67.5	112.0	14.5
越廼	61.5	88.0	149.5	14.0
福井	43.0	81.0	124.0	16.0
美山	40.5	95.5	136.0	15.5
勝山	27.5	70.0	97.5	16.5
武生	47.5	98.5	146.0	16.5
大野	43.0	115.5	158.5	23.5
九頭竜	31.0	151.5	182.5	28.5
今庄	61.5	133.5	195.0	25.0
敦賀	81.0	150.5	231.5	25.0
美浜	98.0	210.0	308.0	37.0
小浜	160.0	253.5	413.5	38.5
大飯	167.0	172.0	339.0	29.5

④ 平成 26 年 8 月 8 日～8 月 10 日（**表 3-8**）

台風 11 号の影響により、大野市九頭竜で 8 月の平均値を上回る降水を観測するなど福井県内の広い範囲で大雨となった。8 月 9 日 0 時の降り始めから 8 月 11 日 9 時までの総雨量が、大野市九頭竜で 223.5 ミリ、美浜町美浜で 188.5 ミリとなった。越廼、九頭竜、敦賀、美浜の 4 地点では、8 月の月降水量平均値を超える大雨となった。

表 3-8　アメダスの期間降水量表(2)

観測所名	8月9日 (mm)	8月10日 (mm)	8月11日 (mm)	合計 (mm)	最大1時間降水量 (mm)
三国	70.5	40.5	0.5	111.5	20.5
春江	62.5	26.0	0.5	89.0	15.0
越廼	62.0	65.5	0.0	127.5	27.0
福井	61.5	32.0	7.5	101.0	14.0
美山	×	28.5]	16.0	44.5]	15.0]
勝山	42.0	39.5	19.5	101.0	18.0
武生	57.5	41.0	9.5	108.0	14.5
大野	44.5	68.5	14.5	127.5	25.5
九頭竜	39.0	179.0	5.5	223.5	37.0
今庄	57.5	83.5	22.0	163.0	17.5
敦賀	62.0	97.5	4.0	163.5	29.0
美浜	71.5	115.0	2.0	188.5	23.5
小浜	6.0)	72.5	0.0	78.5)	15.0
大飯	102.0	46.0	0.0	148.0	18.0

⑤　平成 27 年 7 月 17 日～7 月 18 日

台風 11 号は 16 日 23 時頃、高知県に上陸し、17 日 6 時過ぎ岡山県に上陸した。その後北に進み日本海に達した後、18 日 3 時に熱帯低気圧に変わった。

台風 11 号の影響により、16 日の朝から 17 日の昼にかけて雨が降った。敦賀観測所では 7 月 18 日の降水量の日合計は 79.5mm であり、1 時間降水量で 16.5mm（4 時）を観測した。

⑥　平成 28 年 9 月 17 日～9 月 20 日（**表 3-9**）

台風 16 号は 19 日 20 時過ぎに大隅半島に上陸し、九州地方を横断した。20 日 11 時頃に高知県を通過し、20 日 13 時頃和歌山県に上陸した。その後東海地方を東北東に進み、20 日 21 時頃東海沖で温帯低気圧に変わった。

台風 16 号の影響により、美山観測所では 9 月 20 日の降水量の日合計は 80.5mm であり、1 時間降水量で 23.5mm（14 時）を観測した。

大野観測所では 9 月 20 日の降水量の日合計は 91.0mm であり、1 時間降水量で 20mm（15 時）を観測した。

九頭竜観測所では 9 月 20 日の降水量の日合計は 117.0mm であり、1 時間降水量で 27.5mm（16 時）を観測した。

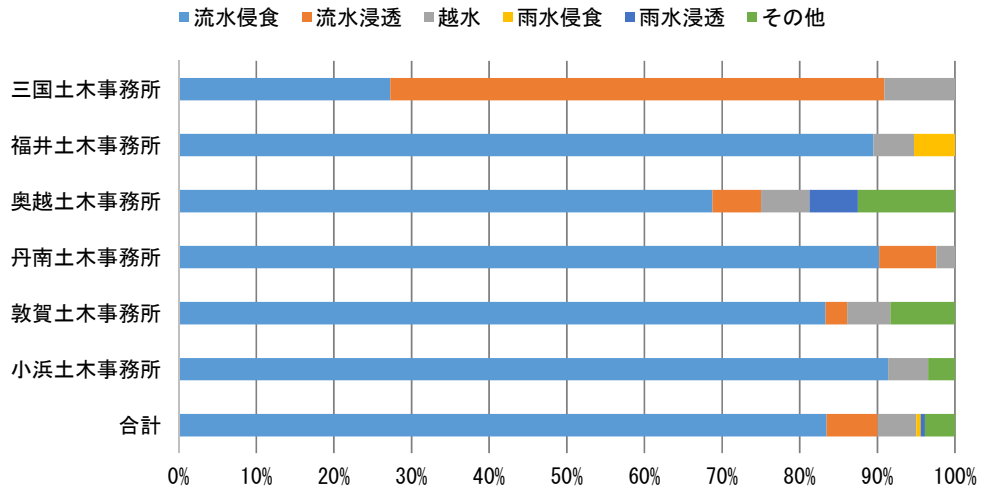
表 3-9　アメダスの期間降水量表(3)

観測所名	9月17日 (mm)	9月18日 (mm)	9月19日 (mm)	9月20日 (mm)	合計 (mm)
三国	11.5	63.5	30.5	35.5	141.0
春江	16.0	32.5	29.0	48.0	125.5
越廼	7.5	57.0	27.0	50.0	141.5
福井	14.5	40.5	25.5	66.0	146.5
美山	5.0	59.5	21.0	80.5	166.0
勝山	23.5	53.0	22.0	88.5	187.0
武生	7.5	46.5	23.5	81.5	159.0
大野	12.5	45.5	14.0	91.0	163.0
九頭竜	0.5	57.5	19.5	117.0	194.5
今庄	3.5	14.0	14.0	89.0	120.5
敦賀	12.0	18.5	14.0	99.0	143.5
美浜	20.5	21.0	17.0	96.0	154.5
小浜	0.0	28.0	14.5	97.0	139.5
大飯	1.0	31.0	36.0	109.5	177.5

3.2.2　土木事務所別にみた被災原因

土木事務所別にみた被災原因を**表 3-10** に示す。被災原因は、流水浸食が全体の 83.4%を占める。次いで流水浸透が 6.6%、越水が 5.0%となっている。三国土木事務所では流水浸透による被災が多く見られた。

表 3-10　土木事務所別にみた被災原因



（件数）

	流水侵食	流水浸透	越水	雨水侵食	雨水浸透	その他	合計
三国土木事務所	3	7	1				11
福井土木事務所	17		1	1			19
奥越土木事務所	11	1	1		1	2	16
丹南土木事務所	37	3	1				41
敦賀土木事務所	30	1	2			3	36
小浜土木事務所	53		3			2	58
合計	151	12	9	1	1	7	181

（%）

	流水侵食	流水浸透	越水	雨水侵食	雨水浸透	その他	合計
三国土木事務所	27.3	63.6	9.1	0.0	0.0	0.0	100.0
福井土木事務所	89.5	0.0	5.3	5.3	0.0	0.0	100.0
奥越土木事務所	68.8	6.3	6.3	0.0	6.3	12.5	100.0
丹南土木事務所	90.2	7.3	2.4	0.0	0.0	0.0	100.0
敦賀土木事務所	83.3	2.8	5.6	0.0	0.0	8.3	100.0
小浜土木事務所	91.4	0.0	5.2	0.0	0.0	3.4	100.0
合計	83.4	6.6	5.0	0.6	0.6	3.9	100.0

被災原因が流水浸透の箇所を**表 3-11** に示す。**図 3-3**、**図 3-4** に法勾配に応じた標準断面を示す。浸透破壊を起こす要因として、堤防において河川水位が上昇している時間が長いこと等があげられるが、三国土木事務所で有堤区間での被災件数が多くなっている。一方で、堀込区間においても流水浸透による被災が見られた。理由としては、河川の後背地（宅地や耕作地）からの流水等の影響によるものであると考えられる。

表 3-11　被災原因が流水浸透の箇所一覧

被災施設	管轄	河道形状	断面形状	護岸の種類	法勾配 (1:n)
堤防護岸	三国	有堤	単断面	法枠	2.0
堤防護岸	三国	有堤	単断面	法枠	2.0
堤防護岸	三国	掘込	単断面	法枠	2.0
堤防護岸	三国	掘込	単断面	法枠	2.0
低水護岸	三国	有堤	複断面	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張	1.0
低水護岸	三国	掘込	単断面	連節ﾌﾞﾛｯｸ	2.0
堤防護岸	三国	有堤	複断面	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積	2.0
低水護岸	奥越	掘込	単断面	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積	0.5
堤防護岸	丹南	掘込	単断面	野面石積(練)	0.5
低水護岸	丹南	掘込	単断面	間知石積(練)	0.5
堤防護岸	丹南	掘込	単断面	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積	0.5
低水護岸	敦賀	掘込	単断面	間知石積(練)	0.5

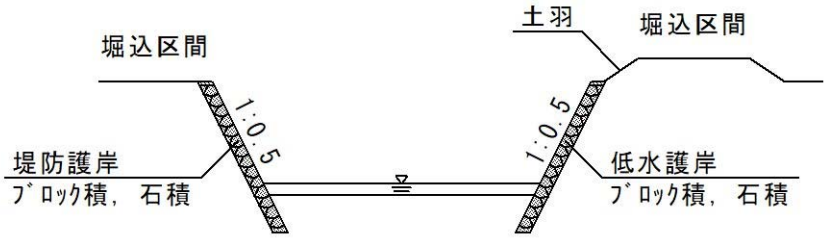


図 3-3　法勾配が急勾配な場合の標準断面

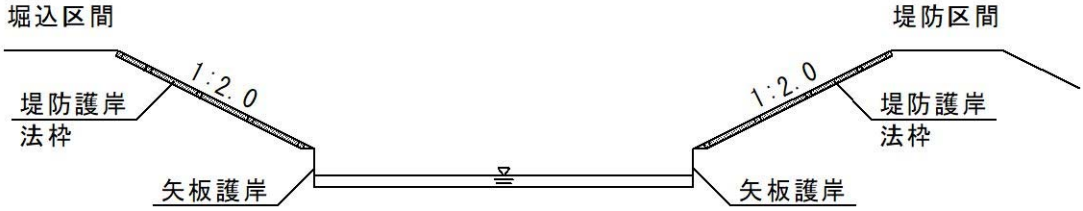


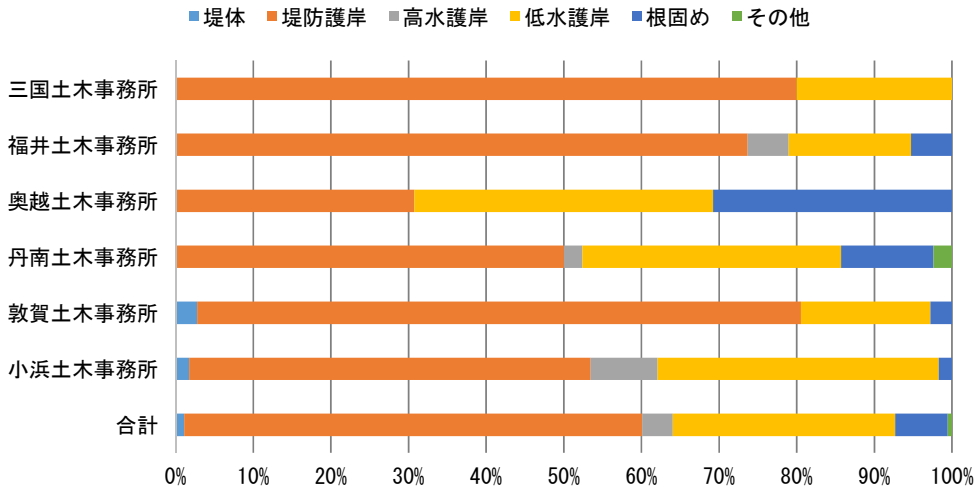
図 3-4　法勾配が緩勾配な場合の標準断面

第 2 章の 2.3 において、浸食による護岸被災事例を示す。

3.2.3　土木事務所別にみた被災施設

土木事務所別にみた被災施設を表 3-12 に示す。被災施設は、堤防護岸が全体の 59.0%を占める。次いで低水護岸が 28.7%、根固めが 6.7%となっている。

表 3-12　土木事務所別にみた被災施設



（件数）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
三国土木事務所		8		2			10
福井土木事務所		14	1	3	1		19
奥越土木事務所		4		5	4		13
丹南土木事務所		21	1	14	5	1	42
敦賀土木事務所	1	28		6	1		36
小浜土木事務所	1	30	5	21	1		58
合計	2	105	7	51	12	1	178

（%）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
三国土木事務所	0.0	80.0	0.0	20.0	0.0	0.0	100.0
福井土木事務所	0.0	73.7	5.3	15.8	5.3	0.0	100.0
奥越土木事務所	0.0	30.8	0.0	38.5	30.8	0.0	100.0
丹南土木事務所	0.0	50.0	2.4	33.3	11.9	2.4	100.0
敦賀土木事務所	2.8	77.8	0.0	16.7	2.8	0.0	100.0
小浜土木事務所	1.7	51.7	8.6	36.2	1.7	0.0	100.0
合計	1.1	59.0	3.9	28.7	6.7	0.6	100.0

図 3-5 に示すように、護岸には高水護岸と低水護岸、それらが一体となった堤防護岸がある。

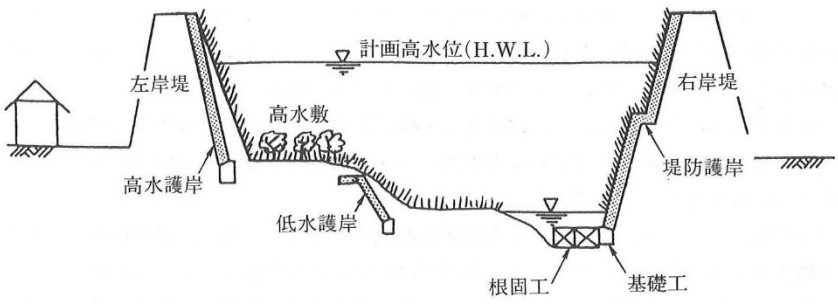


図 1-9　高水護岸低水護岸

図 3-5　護岸の構成

河川砂防技術基準(案)同解説設計編[Ⅰ]、P.31

3.2.4 被災施設と河道状況

被災施設と河道状況を**表 3-13** に示す。被災施設を平面形状で直線部と蛇行部に分けて集計した。護岸の被災施設数は堤防護岸・高水護岸・低水護岸いずれも直線部が蛇行部を上回っている。

一方、根固めは蛇行部における被災が 66.7%と直線部よりも高くなっている。

高水護岸および低水護岸の被災は、合わせても堤防護岸の半分程度であるが、これは高水護岸を持つような比較的大きな河川では、河川整備がそれなりに進んでいるためと考えられる。一方、堤防護岸＝単断面河道＝小河川とみなせることから、これらの小河川では河川改良後であっても治水安全度が低く、多少の降雨でも河川水位が上がる頻度が高いこと、また、母数となる整備延長が長いこと等が考えられる。

直線部の方が蛇行部よりも被災件数が多いが、単純に直線部の方が延長が長いと考えれば妥当な結果と言える。この辺りはデータが不足しており、今後の検討課題と言えよう。蛇行部そのものでは、やはり水衝部の方が被災件数が多く、水衝部側で流速が早くなることを考慮すれば当然の結果と考えられる。また、直線区間といっても、河床に土砂が堆積するなどして澪筋が形成される場合は、蛇行部同様の状況となり、河床侵食が発生しやすいと考えられる。

根固めについては、急峻な山地河川では河床維持のため根固め工を採用することも多い。山間地河川の多い奥越土木事務所で、根固め工の被災が多いことと合致している。

表 3-13　被災施設と河道状況

（件数）

	直線部				蛇行部			合計
	水衝部	水裏部	不明		水衝部	水裏部		
堤体	1			1	1		1	2
堤防護岸	17	1	52	70	28	7	35	105
高水護岸	1		5	6	1		1	7
低水護岸	6		34	40	7	4	11	51
根固め	1		3	4	7	1	8	12
その他			1	1				1
合計	26	1	95	122	44	12	56	178

（%）

	直線部				蛇行部			合計
	水衝部	水裏部	不明		水衝部	水裏部		
堤体	100.0			50.0	100.0		50.0	100.0
堤防護岸	24.3	1.4	74.3	66.7	80.0	20.0	33.3	100.0
高水護岸	16.7		83.3	85.7	100.0		14.3	100.0
低水護岸	15.0		85.0	78.4	63.6	36.4	21.6	100.0
根固め	25.0		75.0	33.3	87.5	12.5	66.7	100.0
その他			100.0	100.0				100.0
合計	21.3	0.8	77.9	68.5	78.6	21.4	31.5	100.0

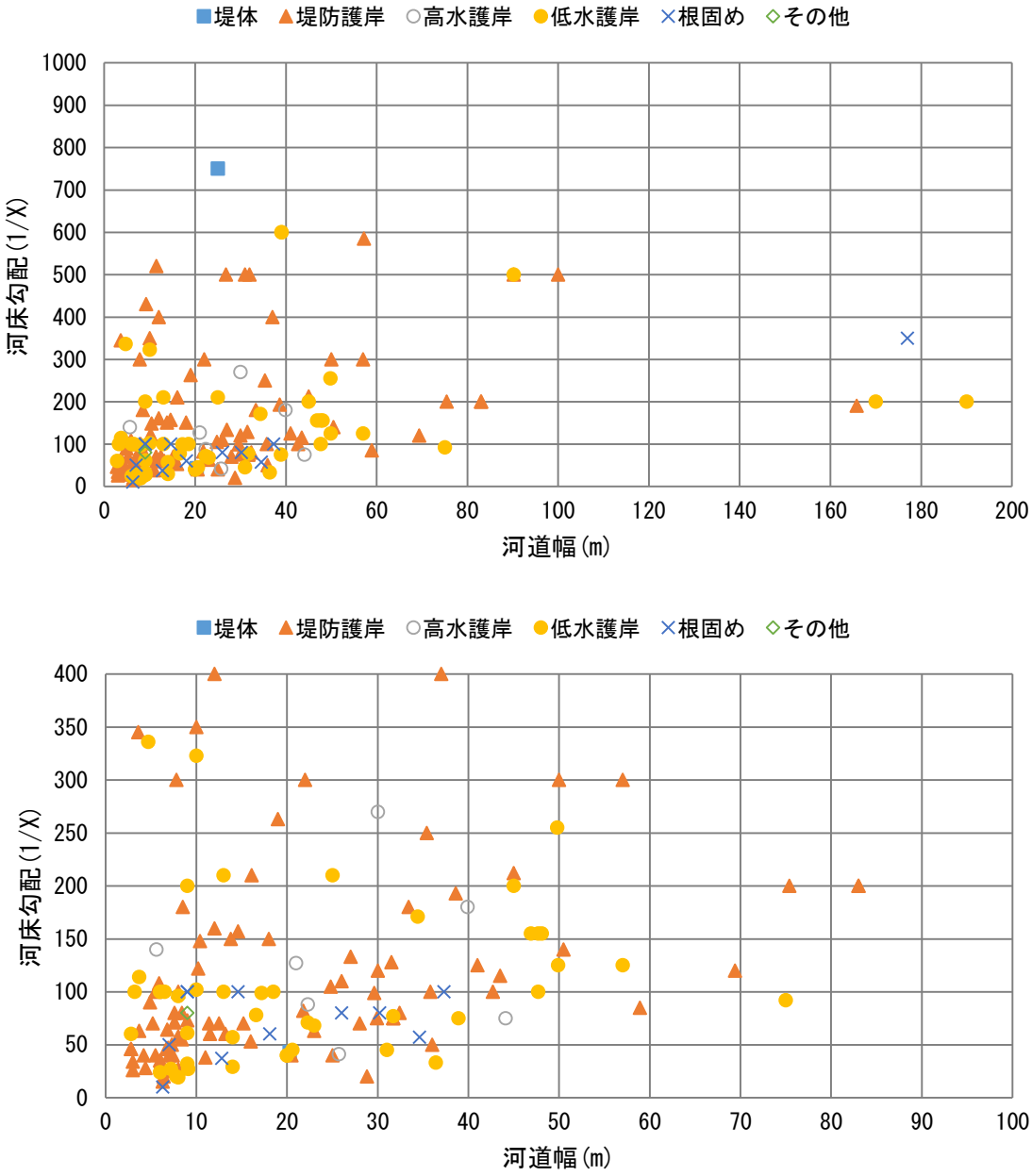
（%）

	直線部				蛇行部			合計
	水衝部	水裏部	不明		水衝部	水裏部		
堤体	0.6			0.6	0.6		0.6	1.1
堤防護岸	9.6	0.6	29.2	39.3	15.7	3.9	19.7	59.0
高水護岸	0.6		2.8	3.4	0.6		0.6	3.9
低水護岸	3.4		19.1	22.5	3.9	2.2	6.2	28.7
根固め	0.6		1.7	2.2	3.9	0.6	4.5	6.7
その他			0.6	0.6				0.6
合計	14.6	0.6	53.4	68.5	24.7	6.7	31.5	100.0

※水衝部と水裏部の比率は直線部と蛇行部ごとの比率を示す。

被災施設と河床勾配の関係を図 3-6 に示す。図 3-5 をみると、堤防護岸の被災は河道幅が 15m 程度で河床勾配が 1/100 より急勾配な部分に集中している。根固めの被災も 1/100 より急勾配な部分にみられる。山間地河川は河床勾配が急で洪水時等の外力が大きく、河床変動を招きやすい。蛇行部における河岸の洗掘や落差がある箇所における根固めの洗掘といった局所洗掘に関係する 1 つの要素であると考えられる。

図 3-6　被災施設と河床勾配（下図：拡大図）



被災施設と河道形状の関係を**表 3-14** に示す。被災施設を河道形状でみると堀込区間での被災が全体の約 7 割と多くなっており、堤防護岸の被災の 68.6%が堀込区間となっている。**図 3-3、3-4** で示した①堀込区間の堤防護岸、②平面形状が直線部においても被災が多いこと、③河川勾配が 1/100 より急勾配な区間に集中していることが特徴的である。

表 3-14　被災施設と河道形状

（件数）

	掘込			山付			有堤			合計
	単断面	複断面		単断面	複断面		単断面	複断面		
堤体	1		1				1		1	2
堤防護岸	68	4	72	2	1	3	23	7	30	105
高水護岸	4		4				2	1	3	7
低水護岸	34	3	37	1		1		13	13	51
根固め	10		10				2		2	12
その他	1		1							1
合計	118	7	125	3	1	4	28	21	49	178

（%）

	掘込			山付			有堤			合計
	単断面	複断面		単断面	複断面		単断面	複断面		
堤体	100.0		50.0				100.0		50.0	100.0
堤防護岸	94.4	5.6	68.6	66.7	33.3	2.9	76.7	23.3	28.6	100.0
高水護岸	100.0		57.1				66.7	33.3	42.9	100.0
低水護岸	91.9	8.1	72.5	100.0		2.0		100.0	25.5	100.0
根固め	100.0		83.3				100.0		16.7	100.0
その他	100.0		100.0							100.0
合計	94.4	5.6	70.2	75.0	25.0	2.2	57.1	42.9	27.5	100.0

（%）

	掘込			山付			有堤			合計
	単断面	複断面		単断面	複断面		単断面	複断面		
堤体	0.6		0.6				0.6		0.6	1.1
堤防護岸	38.2	2.2	40.4	1.1	0.6	1.7	12.9	3.9	16.9	59.0
高水護岸	2.2		2.2				1.1	0.6	1.7	3.9
低水護岸	19.1	1.7	20.8	0.6		0.6		7.3	7.3	28.7
根固め	5.6		5.6				1.1		1.1	6.7
その他	0.6		0.6							0.6
合計	66.3	3.9	70.2	1.7	0.6	2.2	15.7	11.8	27.5	100.0

3.2.5 セグメントと河道形状

セグメントと河道形状の関係を**表 3-15** に示す（セグメントについては**図 3-7** に示す）。セグメントと河道形状をみると、堀込区間の割合が全体の 70.2%となっており、中でも山間地河道（M）と扇状地（1）の割合が 27.5＋39.9＝67.4%と 7 割弱となっている。

堀込区間においては山間地河道（M）とセグメント 1 の扇状地（1）の割合が 34.4【43/125】＋37.6【47/125】＝72.0%なっており、急峻な区間における災害が多くなっている。つまり、全体の約半分が急峻な堀込区間で発生している。

セグメント 2 の自然堤防帯（2-1）及び自然堤防帯（2-2）になると有堤区間での被災の割合が 7 割以上となる。

表 3-15　セグメントと河道形状

（件数）

	掘込			山付			有堤			合計
	単断面	複断面		単断面	複断面		単断面	複断面		
山間地河道(M)	42	1	43	1	1	2	4		4	49
扇状地(1)	45	2	47	2		2	10	12	22	71
谷底平野	14	1	15				2		2	17
自然堤防帯(2-1)	1	1	2				3	3	6	8
自然堤防帯(2-2)	1	2	3				5	3	8	11
三角州(3)							1		1	1
その他	1		1							1
不明	14		14				3	3	6	20
合計	118	7	125	3	1	4	28	21	49	178

（%）

	掘込			山付			有堤			合計
	単断面	複断面		単断面	複断面		単断面	複断面		
山間地河道(M)	97.7	2.3	87.8	50.0	50.0	4.1	100.0		8.2	100.0
扇状地(1)	95.7	4.3	66.2	100.0		2.8	45.5	54.5	31.0	100.0
谷底平野	93.3	6.7	88.2				100.0		11.8	100.0
自然堤防帯(2-1)	50.0	50.0	25.0				50.0	50.0	75.0	100.0
自然堤防帯(2-2)	33.3	66.7	27.3				62.5	37.5	72.7	100.0
三角州(3)							100.0		100.0	100.0
その他	100.0		100.0							100.0
不明	100.0		70.0				50.0	50.0	30.0	100.0
合計	94.4	5.6	70.2	75.0	25.0	2.2	57.1	42.9	27.5	100.0

（%）

	掘込			山付			有堤			合計
	単断面	複断面		単断面	複断面		単断面	複断面		
山間地河道(M)	23.6	0.6	24.2	0.6	0.6	1.1	2.2		2.2	27.5
扇状地(1)	25.3	1.1	26.4	1.1		1.1	5.6	6.7	12.4	39.9
谷底平野	7.9	0.6	8.4				1.1		1.1	9.6
自然堤防帯(2-1)	0.6	0.6	1.1				1.7	1.7	3.4	4.5
自然堤防帯(2-2)	0.6	1.1	1.7				2.8	1.7	4.5	6.2
三角州(3)							0.6		0.6	0.6
その他	0.6		0.6							0.6
不明	7.9		7.9				1.7	1.7	3.4	11.2
合計	66.3	3.9	70.2	1.7	0.6	2.2	15.7	11.8	27.5	100.0

※その他は「湖」である。
※セグメント 1-1 は扇状地(1)とし、セグメント 1-2 は谷底平野とした。

＜セグメント＞

同一の河床勾配を持つ区間をセグメントと呼ぶ。同一勾配を持つそれぞれの河道区間は、ほぼ同じ大きさの河床材料を持っており、さらに洪水時に河床に働く掃流力や低水路幅・深さも同じような値を持っていることが多い。この特徴を持つ区間ごとに河道を区分する方法がセグメント分類法である。『護岸の力学設計法、PP. 11-13』

図 3-7　各セグメントとその特徴

	セグメントM	セグメント1	セグメント2		セグメント3
			2-1	2-2	
地形区分					
河床材料の代表粒径 d_R	さまざま	2 cm 以上	3 cm～1 cm	1 cm～0.3 mm	0.3 mm 以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が出ていることが多い.	表層に砂，シルトが乗ることがあるが薄く，河床材料と同一物質が占める.	下層は河床材料と同一，細砂，シルト，粘土の混合物		シルト・粘土
勾配の目安	さまざま	1/60～1/400	1/400～1/5 000		1/5 000～水平
蛇行程度	さまざま	曲りが少ない	蛇行が激しいが，川幅水深比が大きいところでは8字蛇行または島の発生		蛇行が大きいものもあるが小さいものもある.
河岸侵食程度	非常に激しい	非常に激しい	中，河床材料が大きいほうが水路はよく動く		弱，ほとんど水路の位置は動かない
低水路の平均深さ	さまざま	0.5～3 m	2～8 m		3～8 m

セグメントと被災施設の関係を**表 3-16** に示す。セグメントと被災施設をみると、どのセグメントにおいても堤防護岸の被災が多くを占める。自然堤防帯になると高水護岸での被災が見られる。

表 3-16　セグメントと被災施設

（件数）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
山間地河道(M)		34	3	6	6		49
扇状地(1)	1	44		22	3	1	71
谷底平野		10		7			17
自然堤防帯(2-1)		5	2	1			8
自然堤防帯(2-2)	1	7	1	2			11
三角州(3)		1					1
その他				1			1
不明		4	1	12	3		20
合計	2	105	7	51	12	1	178

（%）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
山間地河道(M)		69.4	6.1	12.2	12.2		100.0
扇状地(1)	1.4	62.0		31.0	4.2	1.4	100.0
谷底平野		58.8		41.2			100.0
自然堤防帯(2-1)		62.5	25.0	12.5			100.0
自然堤防帯(2-2)	9.1	63.6	9.1	18.2			100.0
三角州(3)		100.0					100.0
その他				100.0			100.0
不明		20.0	5.0	60.0	15.0		100.0
合計	1.1	59.0	3.9	28.7	6.7	0.6	100.0

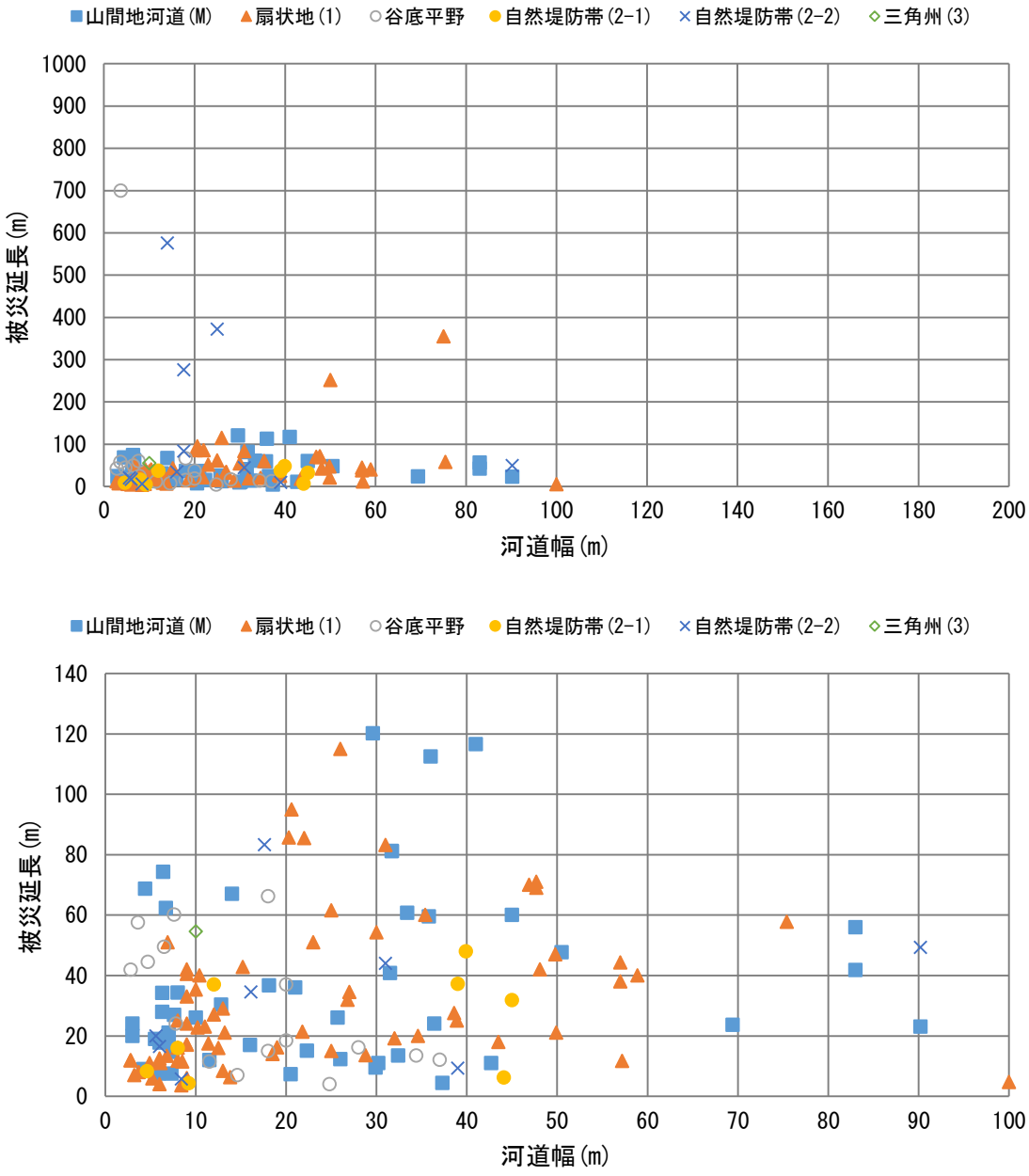
（%）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
山間地河道(M)		19.1	1.7	3.4	3.4		27.5
扇状地(1)	0.6	24.7		12.4	1.7	0.6	39.9
谷底平野		5.6		3.9			9.6
自然堤防帯(2-1)		2.8	1.1	0.6			4.5
自然堤防帯(2-2)	0.6	3.9	0.6	1.1			6.2
三角州(3)		0.6					0.6
その他				0.6			0.6
不明		2.2	0.6	6.7	1.7		11.2
合計	1.1	59.0	3.9	28.7	6.7	0.6	100.0

3.2.6　河道幅と被災延長

地形に応じた河道幅と被災延長の関係を**図 3-8** に示す。谷底平野と自然堤防帯の河道幅が比較的小さい。被災延長は 60m までが多い。河道幅が広いほど被災延長が短くなる傾向が見られる。大きい河川ほど整備が進んでおり、弱点となる箇所が少ないためであるとも考えられるが、明確な理由は不明であり、今後の検討課題である。

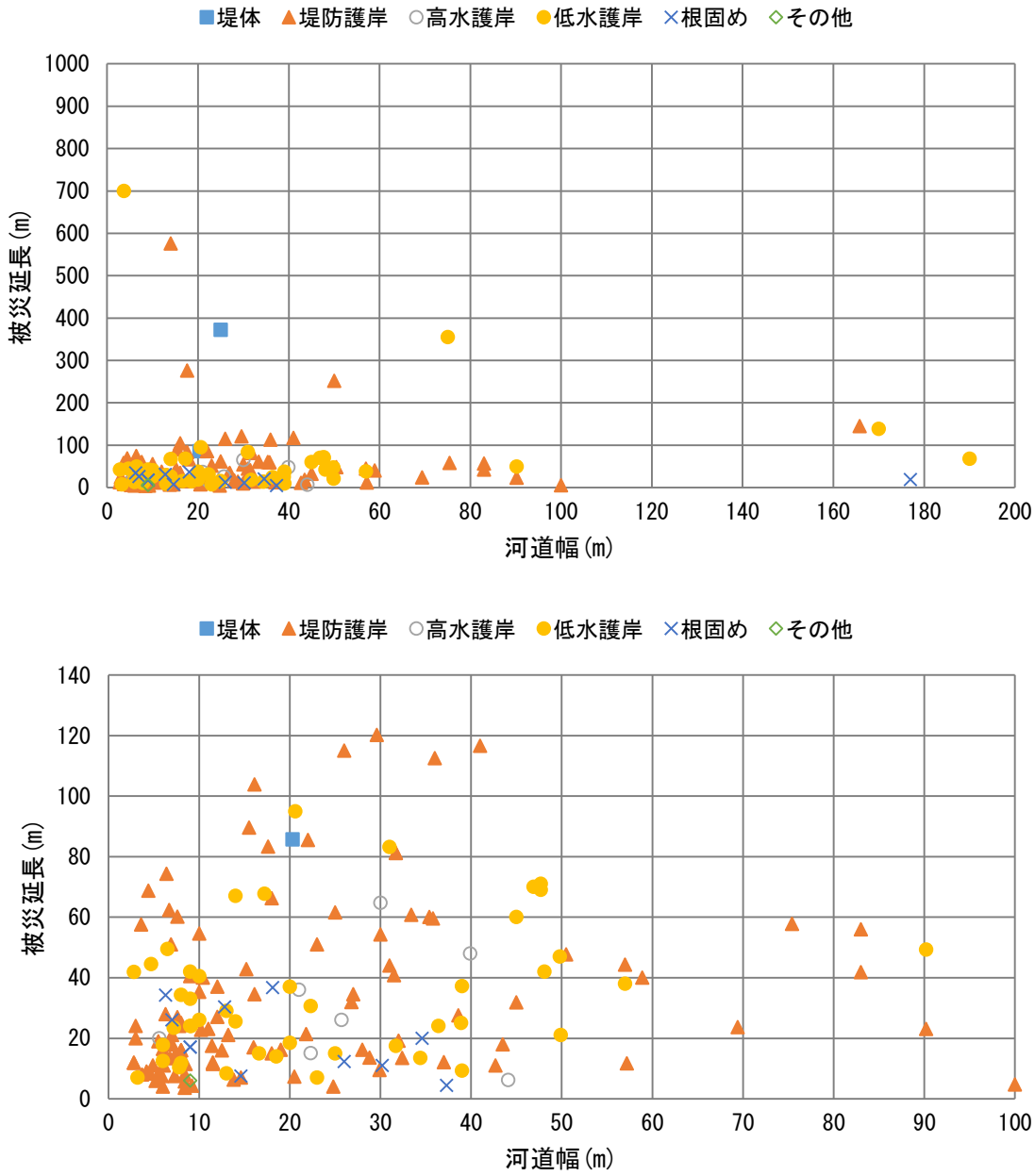
図 3-8　河道幅と被災延長の分布(1)（下図：拡大図）



※セグメント、河道幅および被災延長が不明のものは除外している。

施設に応じた河道幅と河床勾配の関係を**図 3-9** に示す。堤防護岸と比べ低水護岸は河道幅および被災延長にバラツキがみられる。

図 3-9　河道幅と河床勾配の分布(2)（下図：拡大図）

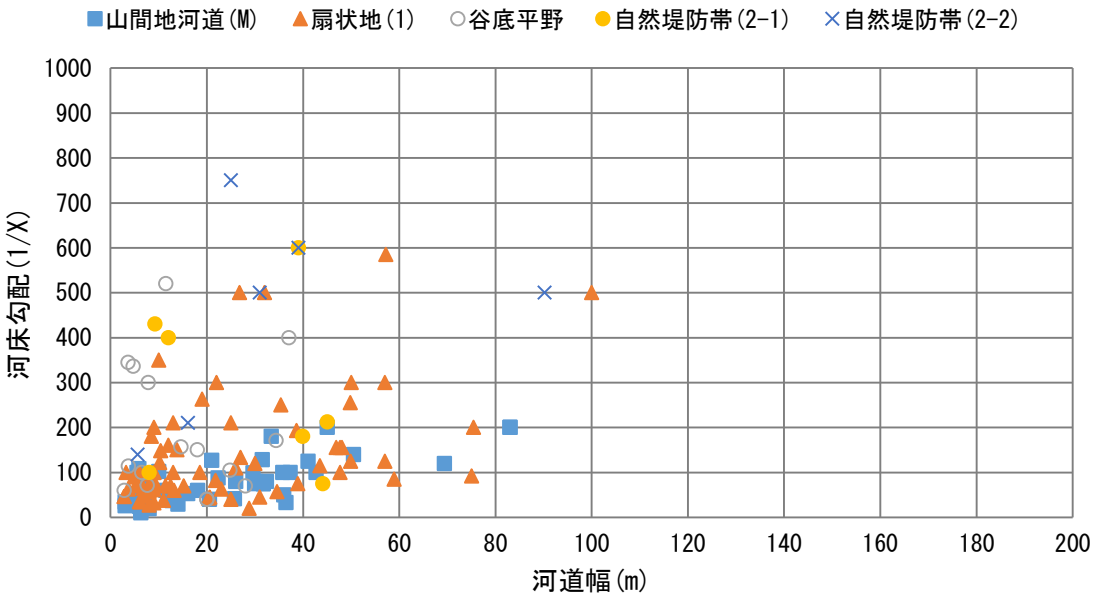


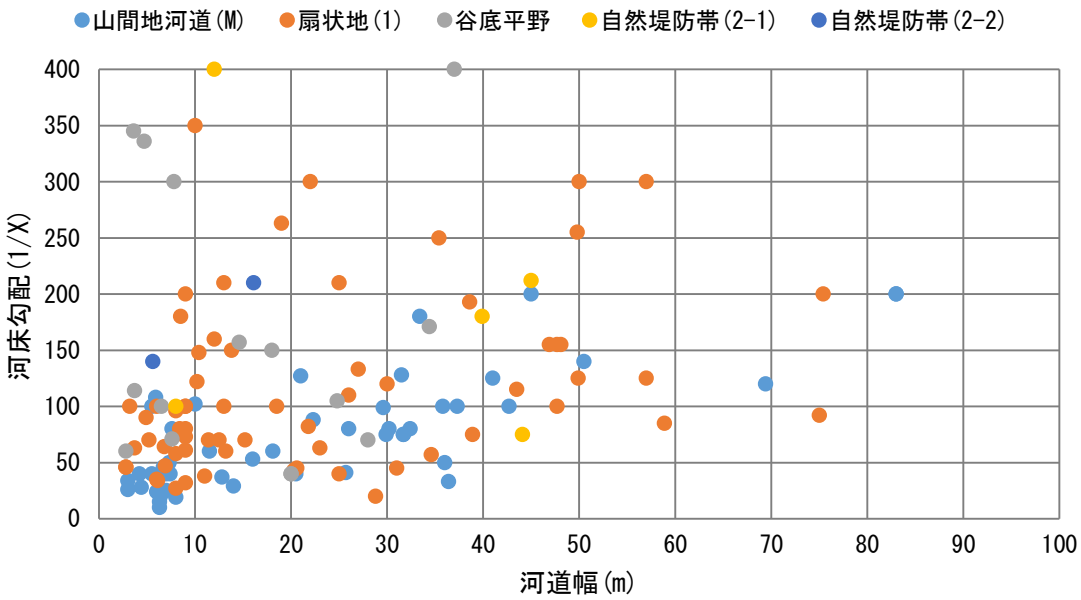
3.2.7　河道幅と河床勾配

地形に応じた河道幅と河床勾配の関係を**図 3-10** に示す。セグメント 2 の自然堤防帯においても 1/400 未満の急峻な箇所での被災となっている。

また、河床勾配 1/100 以下に大半の被災が集中していることから、流速が被災と密接に関係していると考えられる（河床勾配が大きくなると流速が大きくなる）。これに関しては、河道幅はあまり影響しないようである。

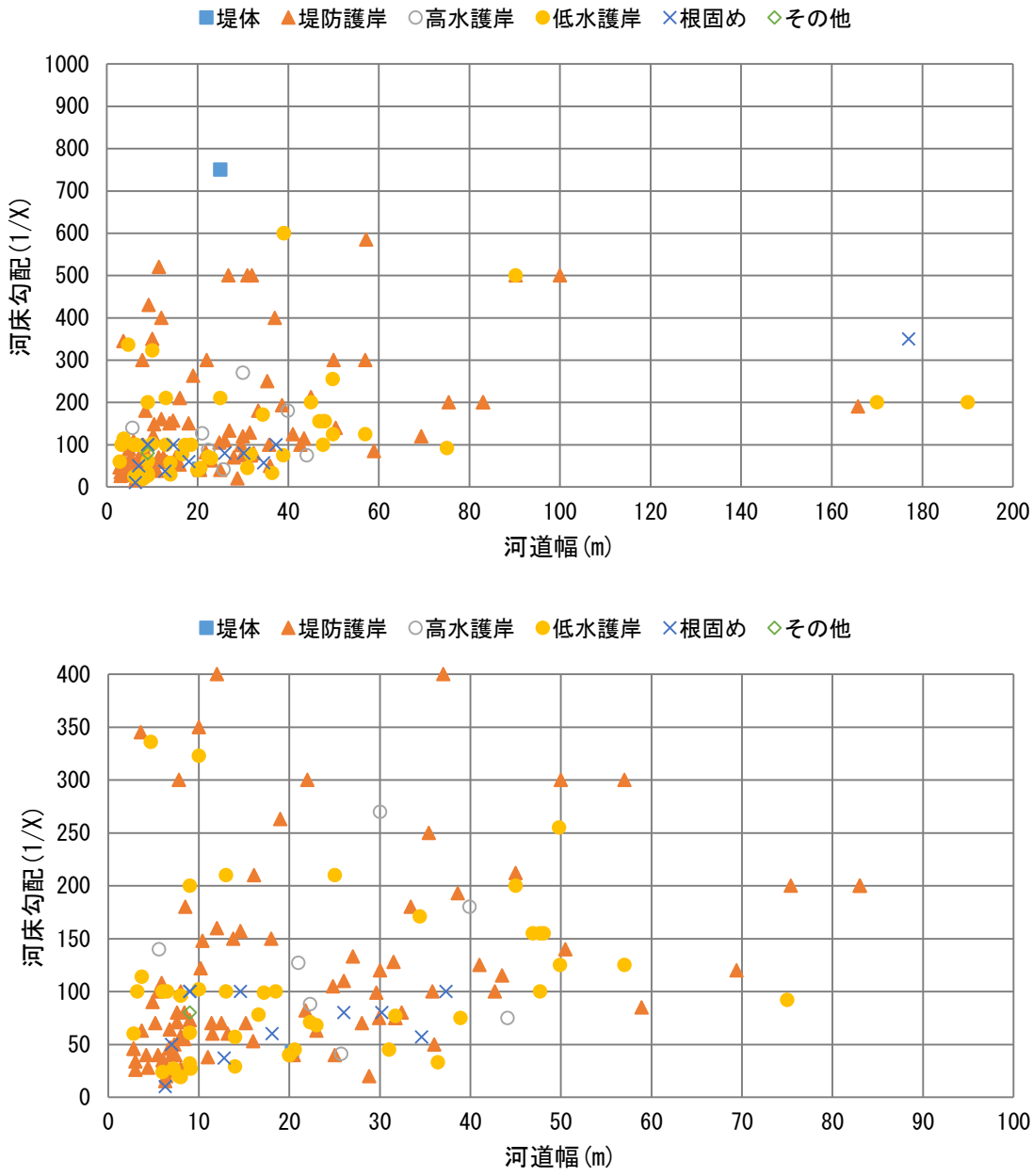
図 3-10　河道幅と河床勾配の分布(1)（下図：拡大図）





施設に応じた河道幅と河床勾配の関係を**図 3-11** に示す。河床勾配が 1/100 より急勾配な区間に堤防護岸が集中している。しかも河道幅は 10m 未満と非常に狭い。被災延長と同様に低水護岸にバラツキがみられる。

図 3-11　河道幅と河床勾配の分布(2)（下図：拡大図）【再掲】



3.2.8 被災原因と被災形態

被災原因と被災形態の関係を**表 3-17** に示す。**表 3-17** をみると、全体の 83.0%は流水侵食である。局所洗掘が 33.7%、次いでブロック流出が 20.0%となっている。特殊な事例として、流水浸透によって護岸に水圧がかかり被災したケースが 8 件（3.5%）みられた。越水による被災では流水が護岸の天端を超えて背面等が侵食されて被災したケースが 6 件（2.6%）みられた。

表 3-17 被災原因（横軸）と被災形態（縦軸）

（件数）

	流水浸食	流水浸透	越水	雨水浸食	雨水浸透	その他	合計
破堤							0
局所洗堀	64		1			1	66
背面吸出し	28	9	2				39
ﾌﾞﾛｯｸ流出	38		2			2	42
法面浸食	32	1					33
側方浸食	14	1		1			16
残留水圧	6	8	1		1	1	17
天端からの浸食	4		6			1	11
滑り破壊	3					1	4
漏水(堤体)	1						1
漏水(基盤)							0
合計	190	19	12	1	1	6	229

（%）

	流水浸食	流水浸透	越水	雨水浸食	雨水浸透	その他	合計
破堤							
局所洗堀	33.7		8.3			16.7	28.8
背面吸出し	14.7	47.4	16.7				17.0
ﾌﾞﾛｯｸ流出	20.0		16.7			33.3	18.3
法面浸食	16.8	5.3					14.4
側方浸食	7.4	5.3		100.0			7.0
残留水圧	3.2	42.1	8.3		100.0	16.7	7.4
天端からの浸食	2.1		50.0			16.7	4.8
滑り破壊	1.6					16.7	1.7
漏水(堤体)	0.5						0.4
漏水(基盤)							
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

（%）

	流水浸食	流水浸透	越水	雨水浸食	雨水浸透	その他	合計
破堤							
局所洗堀	27.9		0.4			0.4	28.8
背面吸出し	12.2	3.9	0.9				17.0
ﾌﾞﾛｯｸ流出	16.6		0.9			0.9	18.3
法面浸食	14.0	0.4					14.4
側方浸食	6.1	0.4		0.4			7.0
残留水圧	2.6	3.5	0.4		0.4	0.4	7.4
天端からの浸食	1.7		2.6			0.4	4.8
滑り破壊	1.3					0.4	1.7
漏水(堤体)	0.4						0.4
漏水(基盤)							
合計	83.0	8.3	5.2	0.4	0.4	2.6	100.0

3.2.9 被災施設（護岸構造）

被災施設の護岸構造を**表 3-18** に示す。被災施設の構造を詳細にみると、コンクリートブロック練積が全体の 28.7%、コンクリートブロック張が 18.0%、間知石積（練）が 12.9%と多くなっている。全体の 59.0%を占める堤防護岸では、コンクリートブロック張（1：1.5 より緩やか）が 14.0%、次いで、コンクリートブロック練積が 11.8%となっている。

コンクリートブロック張は法勾配が 1：1.5 より緩い斜面で利用されるが、流水によって洗掘を受ける等で段差が生じると一体性が弱くなり出水時に流される場合がある。

表 3-18　被災施設と護岸構造

（件数）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
天然河岸		1					1
土羽護岸	1	2					3
野面石張(空)		3		1	1		5
間知石積(空)		5		2			7
野面石積(練)		7					7
間知石積(練)	1	12	1	9			23
鉄線籠型平張り工		1					1
ﾊﾟﾈﾙ枠工		1					1
連節ﾌﾞﾛｯｸ				8	1		9
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張		25	3	3	1		32
連結自然石(空張)		1					1
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積		4					4
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積		21	3	20	6	1	51
法枠		7		2			9
自然石(練張)		3					3
その他		10		5			15
不明		2		1	3		5
合計	2	105	7	51	12	1	178

（%）

	堤体	堤防護岸	高水護岸	低水護岸	根固め	その他	合計
天然河岸		0.6					0.6
土羽護岸	0.6	1.1					1.7
野面石張(空)		1.7		0.6	0.6		2.8
間知石積(空)		2.8		1.1			3.9
野面石積(練)		3.9					3.9
間知石積(練)	0.6	6.7	0.6	5.1			12.9
鉄線籠型平張り工		0.6					0.6
ﾊﾟﾈﾙ枠工		0.6					0.6
連節ﾌﾞﾛｯｸ				4.5	0.6		5.1
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張		14.0	1.7	1.7	0.6		18.0
連結自然石(空張)		0.6					0.6
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積		2.2					2.2
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積		11.8	1.7	11.2	3.4	0.6	28.7
法枠		3.9		1.1			5.1
自然石(練張)		1.7					1.7
その他		5.6		2.8			8.4
不明		1.1		0.6	1.7		2.8
合計	1.1	59.0	3.9	28.7	6.7	0.6	100.0

被災施設の構造と被災原因の関係を**表 3-19** に示す。**表 3-19** をみると、流水浸食によるものが全体の 83.4%で高くなっているが、中でもコンクリートブロック張は 32 件中 30 件と 9 割以上が流水浸食によって被災している。

表 3-19　被災施設（護岸）と被災原因

（件数）

	流水浸食	流水浸透	越水	雨水浸食	雨水浸透	その他	合計
天然河岸	1						1
土羽護岸	3						3
野面石張(空)	5						5
間知石積(空)	7						7
野面石積(練)	6	1					7
間知石積(練)	18	2	3				23
鉄線籠型平張り工	1						1
ﾊﾟﾈﾙ枠工			1				1
連節ﾌﾞﾛｯｸ	9	1					10
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張	30	1	1				32
連結自然石(空張)	1						1
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積	4						4
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積	38	3	4		1	6	52
法枠	5	4					9
自然石(練張)	3						3
その他	15			1			16
不明	5					1	6
総計	151	12	9	1	1	7	181

（%）

	流水浸食	流水浸透	越水	雨水浸食	雨水浸透	その他	合計
天然河岸	0.6						0.6
土羽護岸	1.7						1.7
野面石張(空)	2.8						2.8
間知石積(空)	3.9						3.9
野面石積(練)	3.3	0.6					3.9
間知石積(練)	9.9	1.1	1.7				12.7
鉄線籠型平張り工	0.6						0.6
ﾊﾟﾈﾙ枠工			0.6				0.6
連節ﾌﾞﾛｯｸ	5.0	0.6					5.5
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張	16.6	0.6	0.6				17.7
連結自然石(空張)	0.6						0.6
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積	2.2						2.2
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積	21.0	1.7	2.2		0.6	3.3	28.7
法枠	2.8	2.2					5.0
自然石(練張)	1.7						1.7
その他	8.3			0.6			8.8
不明	2.8					0.6	3.3
総計	83.4	6.6	5.0	0.6	0.6	3.9	100.0

被災施設(護岸)と被災形態の関係を**表 3-20** に示す。被災形態は全体では局所洗掘によるものが 29.5%と多くを占める。次いでブロック流出が 18.6%と多くなっている。コンクリートブロック練積の被災形態は被災施設別で局所洗掘が 43.3%と最も高く、コンクリートブロック張でも局所洗掘が 27.0%と高い。間知石積（練）ではブロック流出が 33.3%と高くなっている。

表 3-20　被災施設（護岸）と被災形態

（件数）

	破堤	局所洗堀	背面吸出し	ﾌﾞﾛｯｸ流出	法面浸食	側方浸食	残留水圧	天端からの浸食	滑り破壊	漏水(堤体)	漏水(基盤)	合計
天然河岸					1							1
土羽護岸					1	1				1		3
野面石張(空)		3	1		2				1			7
間知石積(空)		4	1	2		1			1			9
野面石積(練)		3	2	2	3		1					11
間知石積(練)		3	3	8	2	1	1	6				24
鉄線籠型平張り工		1										1
ﾊﾟﾈﾙ枠工			1				1					2
連節ﾌﾞﾛｯｸ			1	1	8		1					11
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張		10	4	7	9	4	2	1				37
連結自然石(空張)		1										1
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積		2	1	3		2						8
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積		26	14	12	1		3	3	1			60
法枠		3	4	1	1		4					13
自然石(練張)		1		2	1							4
その他		5	5	2	1	7	1		1			22
不明		3		1	2							6
合計		65	37	41	32	16	14	10	4	1		220

（%）

	破堤	局所洗堀	背面吸出し	ﾌﾞﾛｯｸ流出	法面浸食	側方浸食	残留水圧	天端からの浸食	滑り破壊	漏水(堤体)	漏水(基盤)	合計
天然河岸					100.0							100.0
土羽護岸					33.3	33.3				33.3		100.0
野面石張(空)		42.9	14.3		28.6				14.3			100.0
間知石積(空)		44.4	11.1	22.2		11.1			11.1			100.0
野面石積(練)		27.3	18.2	18.2	27.3		9.1					100.0
間知石積(練)		12.5	12.5	33.3	8.3	4.2	4.2	25.0				100.0
鉄線籠型平張り工		100.0										100.0
ﾊﾟﾈﾙ枠工			50.0				50.0					100.0
連節ﾌﾞﾛｯｸ			9.1	9.1	72.7		9.1					100.0
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張		27.0	10.8	18.9	24.3	10.8	5.4	2.7				100.0
連結自然石(空張)		100.0										100.0
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積		25.0	12.5	37.5		25.0						100.0
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積		43.3	23.3	20.0	1.7		5.0	5.0	1.7			100.0
法枠		23.1	30.8	7.7	7.7		30.8					100.0
自然石(練張)		25.0		50.0	25.0							100.0
その他		22.7	22.7	9.1	4.5	31.8	4.5		4.5			100.0
不明		50.0		16.7	33.3							100.0
合計		29.5	16.8	18.6	14.5	7.3	6.4	4.5	1.8	0.5		100.0

流水浸食が全体の 8 割以上を占める中で、局所洗掘、ブロック流出による被災形態が多くみられる。護岸の被災事例で顕著にみられるものと一致している。

河床洗掘の事例

護岸基礎工前面の河床洗掘が基礎工天端高以下の深さまで達すると、基礎工が河床より浮き上がり、支えを失った法覆工が破壊する。

ブロック流出の事例

ブロックの自重による摩擦抵抗よりも、作用力が卓越すると外力の方向へ滑動する。

3.2.10　被災施設（根固め）

被災施設が根固めである箇所（12 件）の特徴を**表 3-21** に示す。特徴としては、平面が蛇行している堀込区間で河床勾配が 1/100 より急な勾配である。セグメントでは山間地河道が多い。根固め重量は 1t のものが多いが、急峻な山地部の河川においても 6t も使用されている。

表 3-21　被災施設（根固め）の特徴

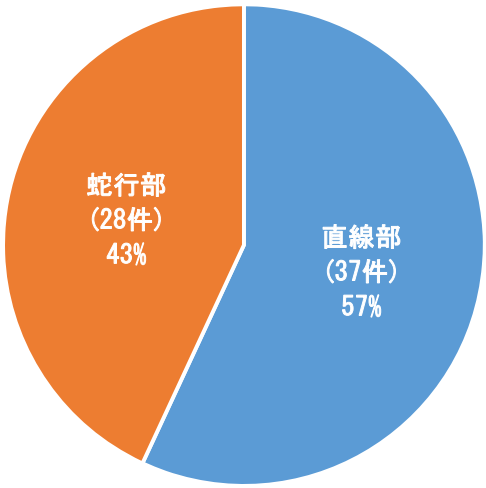
平面状況	河道形状	断面形状	河道幅 (m)	河床勾配 (1/X)	根固め重量 (t)	セグメント
蛇行部	掘込	単断面	12.8	37	1	山間地河道(M)
蛇行部	掘込	単断面	30.2	80	4	山間地河道(M)
蛇行部	掘込	単断面	18.1	60	6	山間地河道(M)
蛇行部	掘込	単断面	37.3	100	-	山間地河道(M)
蛇行部	掘込	単断面	26.0	80	-	山間地河道(M)
蛇行部	掘込	単断面	9.0	100	1	扇状地(1)
蛇行部	掘込	単断面	9.0	100	1	扇状地(1)
蛇行部	掘込	単断面	6.3	10	-	山間地河道(M)
直線部	掘込	単断面	34.6	57	4	扇状地(1)

※セグメントが不明なものは除外した。

3.2.11　局所洗掘

局所洗掘と平面形状の関係を**図 3-12** に示す。局所洗掘が確認された件数は全部で 65 件であり、総件数 178 件 36%にあたる。平面の状況は直線部が 37 件と 57%と半数以上となっている。

図 3-12　局所洗掘が確認された件数と割合



局所洗掘と施設の諸元の関係を**表 3-22** に示す。局所洗掘が確認された施設の諸元をみると、河床勾配の平均値は蛇行部の方が急となっている。

洗掘深は蛇行部の方が深く、最大で 3.7m であった。設計流速の平均値は同程度であるが、最大値はやはり蛇行部の方が 14.7m/s と速くなっている。

表 3-22　局所洗掘が確認された施設の諸元

		直線部	蛇行部
河床勾配(1/X)	平均値	124	164
	最大値	600	600
	最小値	19	10
局所洗掘深(m)	平均値	1.1	1.3
	最大値	2.7	3.7
	最小値	0.2	0.1
設計流速(m/s)	平均値	6.0	6.1
	最大値	9.6	14.7
	最小値	3.7	3.8

3.2.12 護岸復旧工法

採用された護岸復旧工法を**表 3-23** に示す。災害復旧の基本は現況復旧であるため、被災時の構造と護岸復旧工法が大きく異なることは少ない。

復旧工法としては、以下の理由から、「コンクリートブロック練積（護岸復旧工法 10)」が最も多いと考えられる。

・被災を受ける箇所は流速が早いことが多く、対応できる工法が限られること。
・現況が自然石であっても洪水により流出してしまい、材料が入手しづらいこと。
・被災を受ける場所が狭隘であったり、施工に制限があることが多く、施工が容易であるため採用されやすいこと。

表 3-23 護岸復旧工法

（件数）

		護岸復旧工法												
		1	2	3	5	10	14	16	17	18	20	23	37	合計
当該箇所	1					1								1
	2						1			1			1	3
	16		1			2	1							4
	17					5	1						1	7
	19					3							1	4
	20			2		16					3			21
	22											1		1
	24					1								1
	25								1		7			8
	29			1		3	15	4			1		4	28
	31					1								1
	32					4								4
	36					39	1				1		3	44
	39						2	7						9
	40					1	1						1	3
	43	1	5	1	1	3	1						4	16
	合計	1	6	4	1	79	23	11	1	1	12	1	15	155

（%）

		護岸復旧工法												
		1	2	3	5	10	14	16	17	18	20	23	37	合計
当該箇所	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6	1.9
	16	0.0	0.6	0.0	0.0	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
	17	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	4.5
	19	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.6
	20	0.0	0.0	1.3	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	13.5
	22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6
	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
	25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	4.5	0.0	0.0	5.2
	29	0.0	0.0	0.6	0.0	1.9	9.7	2.6	0.0	0.0	0.6	0.0	2.6	18.1
	31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
	32	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
	36	0.0	0.0	0.0	0.0	25.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.9	28.4
	39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8
	40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.9
	43	0.6	3.2	0.6	0.6	1.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	10.3
	合計	0.6	3.9	2.6	0.6	51.0	14.8	7.1	0.6	0.6	7.7	0.6	9.7	100.0

上表の当該箇所と護岸復旧工法の番号に対する工法名を示す。

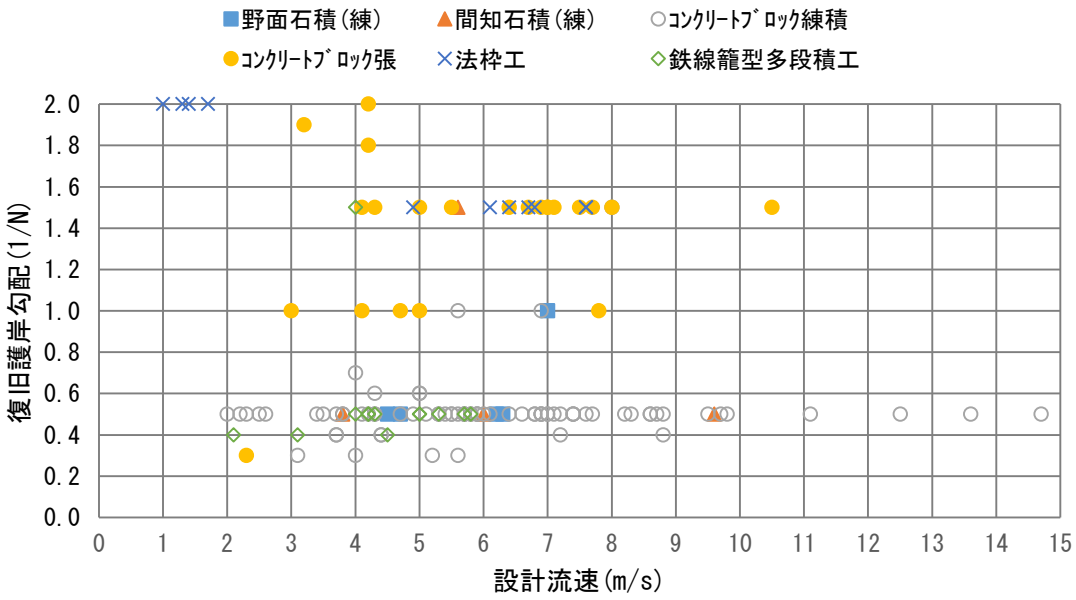
当該箇所	
1	天然河岸
2	土羽護岸
3	張芝
4	ｼﾞｵﾃｷｽﾀｲﾙ
5	植生ﾏｯﾄ
6	ﾌﾞﾛｯｸﾏｯﾄ
7	植石ﾈｯﾄ
8	粗朶法枠
9	粗朶柵工
10	木製格子工
11	丸太格子(片法枠工含)
12	木製ﾌﾞﾛｯｸ
13	杭柵
14	板柵
15	巨石張(空)
16	野面石張(空)
17	間知石積(空)
18	巨石積(練)
19	野面石積(練)
20	間知石積(練)
21	植生蛇籠
22	鉄線籠型平張り工
23	鉄線籠型多段積工
24	ﾊﾟﾈﾙ枠工(ﾀﾞｸﾀｲﾙﾊﾟﾈﾙ)
25	連節ﾌﾞﾛｯｸ
26	大型連節ﾌﾞﾛｯｸ
27	ﾎﾟｰﾗｽ連節ﾌﾞﾛｯｸ
28	連結袋体張(礫)
29	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張
30	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空張
31	連結自然石(空張)
32	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積
33	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積
34	連結自然石(空積)
35	ｱﾝｶｰ式空石積
36	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積
37	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積
38	不明
39	法枠
40	自然石(練張)
41	擁壁
42	根継工
43	その他

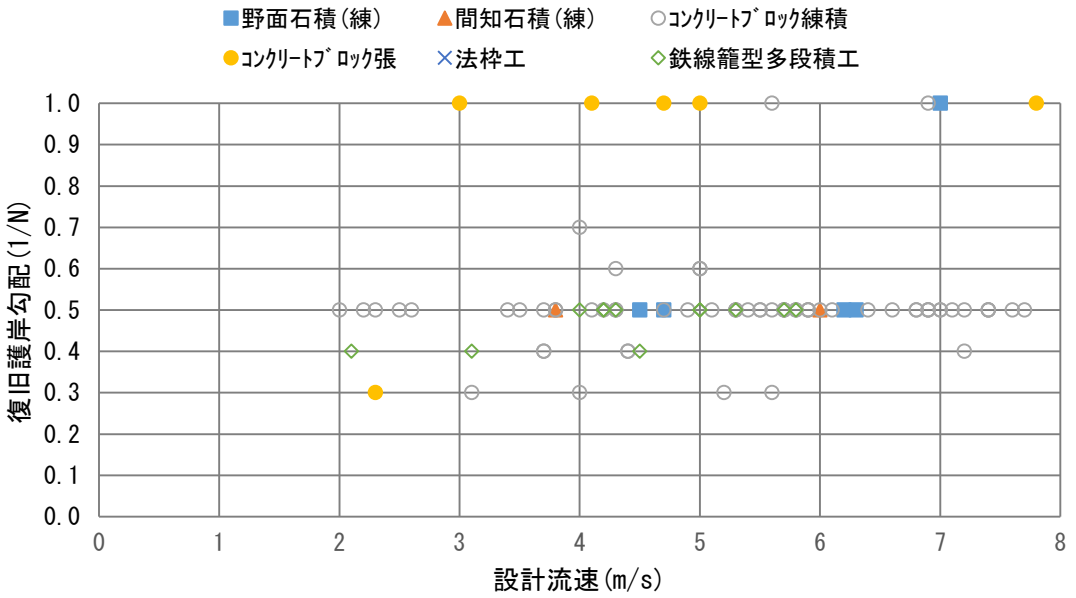
護岸復旧工法	
1	巨石積(練)
2	野面石積(練)
3	間知石積(練)
4	巨石張(空)
5	野面石張(空)
6	間知石張(空)
7	連結自然石(空積)
8	ｱﾝｶｰ式空石積
9	連結自然石(空張)
10	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積
11	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ練積
12	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積
13	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空積
14	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ張
15	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ空張
16	法枠工
17	連節ﾌﾞﾛｯｸ
18	大型連節ﾌﾞﾛｯｸ
19	ﾎﾟｰﾗｽ連節ﾌﾞﾛｯｸ
20	鉄線籠型多段積工
21	ﾊﾟﾈﾙ枠工(ﾀﾞｸﾀｲﾙﾊﾟﾈﾙ)
22	植生蛇籠
23	鉄線籠型平張り工
24	連結袋体張(礫)
25	丸太格子(片法枠工含)
26	木製ﾌﾞﾛｯｸ
27	杭柵
28	板柵
29	粗朶法枠
30	粗朶柵工
31	木製格子工
32	ｼﾞｵﾃｷｽﾀｲﾙ
33	植生ﾏｯﾄ
34	ﾌﾞﾛｯｸﾏｯﾄ
35	植石ﾈｯﾄ
36	張芝
37	その他

護岸復旧工法と設計流速と護岸勾配の関係を**図 3-13** に示す。集計は上位 6 工法とした。コンクリートブロック（練積）工法は概ね 1:0.5 よりも急勾配で採用されている。

護岸工法設計流速関係表（C 表）の適用範囲である設計速度 8m/s 以内で適用されており、コンクリートブロック張工法も同様に設計速度 8m/s 以内で適用されている。

図 3-13　護岸復旧工法の設計流速と護岸勾配（下図：拡大図）





3.3 被災要因と今後の方策

3.3.1 被災の傾向

① 年度別・土木事務所別の被災件数では、台風などによる出水を受けた年度・区域の被害件数が多い。
② 被災原因では、流水浸食が全体の 83.4%、流水浸透が 6.6%、越水が 5.0%となり、三国土木事務所では流水浸透による被災が多い。
③ 被災施設では、堤防護岸が全体の 59.0%、低水護岸が 28.7%、根固めが 6.7%となっている。
④ 平面形状では、低水護岸で直線部が 78.4%、蛇行部が 21.6%となっている。根固めは蛇行部における被災が 66.7%と高い。蛇行部では水衝部の被災件数が多い。
⑤ 河床勾配では、堤防護岸の被災は河道幅が 15m 程度で河床勾配が 1/100 より急勾配な部分に集中している。根固めの被災も 1/100 より急勾配な部分にみられる。
⑥ 河道形状では、堀込区間での被災が全体の約 7 割で、堤防護岸の被災の 68.6%が堀込区間となっている。
⑦ どのセグメントでも堤防護岸の被災が多く、自然堤防帯になると高水護岸の被災が見られる。
⑧ 谷底平野と自然堤防帯での被災箇所の河道幅が比較的小さい。被災延長は 60m までが多い。河道幅が広いほど被災延長が短くなる傾向が見られる。
⑨ 地形に応じた河道幅と河床勾配の関係では、河床勾配 1/100 以下に大半の被災が集中している。河道幅はあまり影響しないようである。
⑩ 施設に応じた河道幅と河床勾配の関係では、急勾配な区間に堤防護岸の被害が集中している。低水護岸では河道幅および被災延長にバラツキがみられる。
⑪ 被災原因と被災形態の関係では、全体の 83.0%が流水侵食、局所洗掘が 33.7%、ブロック流出が 20.0%となっている。
⑫ 被災施設の護岸構造では、コンクリートブロック練積が全体の 28.7%、コンクリートブロック張が 18.0%、間知石積（練）が 12.9%と多くなっている。全体の 59.0%を占める堤防護岸では、コンクリートブロック張が 14.0%、コンクリートブロック練積が 11.8%となっている。
⑬ 被災施設の構造と被災原因の関係では、流水浸食が全体の 83.4%と高く、コンクリートブロック張では 9 割以上が流水浸食で被災している。
⑭ 被災施設（護岸）と被災形態の関係では、全体では局所洗掘が 29.5%、ブロック流出が 18.6%と多い。コンクリートブロック練積の被災形態は局所洗掘が 43.3%、コンクリートブロック張でも局所洗掘が 27.0%と高い。間知石積（練）ではブロック流出が 33.3%と高い。
⑮ 被災施設が根固めである箇所の特徴は、平面が蛇行している堀込区間で河床勾配が 1/100 より急な勾配である。セグメントでは山間地河道が多い。
⑯ 局所洗掘と平面形状の関係では、直線部が 57%となっている。
⑰ 局所洗掘の施設では、河床勾配は直線部の方が急となっている。洗掘深は蛇行部の方が深く、設計流速の最大値は蛇行部の方が 14.7m/s と速くなっている。
⑱ 復旧工法としては、コンクリートブロック練積が最も多い。コンクリートブロック練積は概ね 1:0.5 よりも急勾配で採用されている。

3.3.2 被災原因

① 被災原因として流水侵食が圧倒的に多いことと、その他の被災状況を合わせて考えると、県内河川での最大の被災要因は、単断面河道＝掘込河道での河床部の侵食と考えられる。
② 被災に至るメカニズムとして、平時から弱点となっている箇所に侵食等が発生し、これが出水により一気に拡大し被災に至ったと考えられる。
③ 被災延長が比較的短いことから、通常の出水では、弱点となる箇所はピンポイント的に存在し、被災もピンポイントとなるのではないかと考えられる。
④ 大きな出水では、出水時間も長くなることから被災区間が拡大したり、越水など侵食以外の被災原因が発生することで、大きな災害となると考えられる。

3.3.3 被災を受けやすい箇所

3.4.2 の結果から、県内河川で被災を受けやすい、弱点となる箇所として次の傾向が見られる。

① 河床勾配 1/100 以下の急峻な河川
② 河道幅が狭い単断面河川（掘込河道）で蛇行部および、澪筋の水衝部
③ 根固め工を施工するなど、河床侵食対策を行っている箇所

3.3.4 今後の方策

① 大出水が発生した場合は、県内どこでも災害が発生しうるので、これに対しては、河川整備を進めるしか方策はないと思われる。
② 中小河川における出水では、ⅰ）気象情報による降水地域の絞り込み、ⅱ）弱点となる箇所の重点的な点検と整備により、災害の発生を未然に防ぐ、あるいは、早期発見による被害の拡大を防止することが可能と思われる。今回の検討では、被災事例を整理して、被災を受けやすい箇所の絞り込みを行ったが、今後、絞り込みの精度を上げ、重点的に点検等を行う事により、災害の発生を未然に防ぐことに役立てたいと考えている。
③ 被災を受けやすい箇所の特定後は、想定される外力に対して対策工を検討し整備することが望ましいが、災害が発生した場合に備えて、仮復旧工法についての知識を高める必要がある。さらに、出水期前において、災害の発生を未然に防止するために、護岸等を保護するような仮設工を設置すればより安全度が高まると思われる。

あとがき

私は昨年度に引き続き本研究会に参加させていただき、橋梁グループのリーダーとして、グループの取りまとめ等を担当させていただきました。橋梁グループでは「UAV を活用した点検方法に関する研究」と「橋梁維持管理技術向上に関する研究」という 2 つ研究対象とし、外部講師を招いての勉強会、グループ委員自身による UAV（ドローン）操作、現場見学等、大変貴重な経験をさせていただきました。この経験を今後の業務にも生かしていけるよう、努力してまいりたいと思います。

頼りないリーダーでしたが、何とか研究会を終え、報告書を完成させることができたのは一重に委員各位のおかげです。心から感謝申し上げます。ありがとうございました。

橋梁Ｇ　㈱キミコン　藤田 貴準

当初、橋梁の維持管理業務の経験がない私でしたが、道路インフラの老朽化時代が本格的に到来した昨今、私も道路インフラの維持管理に少しでも役に立ちたいとの思いで、産学官共同研究に参加させて頂きました。当グループは、今回の産学官共同研究グループにおいて、最も参加人数の多いグループです。参加メンバーも、この分野をリードしている大学の先生方、建設技術公社様、橋梁の補修工事を担っている施工者様、補修・補強材料を日々開発されているメーカー様、橋梁点検や補修設計に精通している建設コンサルタント様など、多岐にわたっています。この方々との交流で得た知見を糧に、今後の業務に励みたいと思います。

橋梁Ｇ　丸一調査設計㈱　古市 裕介

私は、今回初めてこのような共同研究事業に参加する機会に恵まれました。橋梁や、維持管理に関する知識はさほど持ち合わせておりませんでしたが、橋梁補修工事現場の見学やグループ各員との討議・意見交換を通して、自分自身の知見を広げることができました。

今後、インフラ構造物の維持管理・補修補強といったメンテナンス、ストックマネジメント分野の重要性は増していくでしょう。建設コンサルタントに従事する者として、更なるレベルアップが必要と感じます。

なお、この紙面をお借りして御礼申し上げるとともに、橋梁グループの関係各位に感謝を申し上げます。ありがとうございました。

橋梁Ｇ　㈱川上測量コンサルタント　宮崎 雄治

今回、産学官の橋梁グループにて、橋梁点検の研究方法として UAV を用いた点検の検証を行い問題点として、操作技術と狭い場所の点検のむずかしさが分かりました。今後、操作技術の向上や、他の工法と合わせて問題点を解決すれば UAV の実用化に進むと思います。

次に現場見学会では、点検から補修設計、施工までの流れで、どこに問題があるか意見交換が出来まして良かったです。設計したものを実際に施工するのを見てもらい、設計で分からない施工の問題点を共有する事により、今後の点検、設計に繋げればと思います。

今年で、橋梁点検が５年目になり、一応すべての県内の橋梁の点検が完了したことになります。来年以降の点検、補修設計、工事が効率良くいく方法を一緒に提案出来ればいいと思います。

今回は、参加させていただきまして、ありがとうございました。

橋梁Ｇ　日光産業㈱　古木 敬三

私が所属する前田工繊㈱では橋脚の補修・補強工法の材料を取扱っておりますので、いちメーカーとして本共同研究で何かお役に立てればという思いで橋梁グループに参加させて頂きました。

しかしながら橋梁グループ員の皆さんは業務経験も豊富ですし、技術士やコンクリート診断士等の資格も取得されていましたので、私は残念ながら微力でしかお役に立てなかったように思います。

一方で私にとっては、UAV を使用し橋梁点検への適用検証を行ったり、橋梁補修工事現場を見学し補修設計時の留意点について検討を行ったりと大変貴重な経験をさせて頂くことができ、とても感謝しております。また共同研究を通じ社外の方々との交流を持てたこともとても幸運でした。これを機に今後とも長いお付き合いをさせて頂ければ有難く思います。

橋梁Ｇ　前田工繊㈱　福田 育広

“人工物で永久的な物は造れない”とある記事に書かれていました。老朽化が急速に進む構造物が増加する中、反比例して建設に携わる生産年齢人口は減少する状況にあります。このような背景の中、いかにして管理手段を進展させるかが重要となります。今回参加させて頂いた橋梁グループは、ＵＡＶを活用した検証・診断そして維持管理技術の向上など橋梁の維持管理には必要不可欠な事柄がテーマでした。橋と称しても種々多様な部材・材料が使用される事に驚き、どこに弱点がありどのように検証するべきかを学ぶことが出来ました。普段何気なく通る橋でも“気に掛ける”“変化に気づく”の意識を持ち続けなければならないと改めて感じさせられました。

橋梁Ｇ　前田工繊㈱　清明 邦央

業務で橋梁点検に関する支援をしていますが、本研究会は新たな知識・経験を得る良い機会になりました。ご指導をいただいた先生ならびに本研究員の皆様と出会うことができたことが、私自身にとって貴重な経験となりました。研究員の皆様とコミュニケーションを深めていくことで、様々な視点や考え方に気づくことができました。今後はこの経験を生かして、日々の業務に携わり社会資本整備に貢献できればと思います。最後に、本研究会に参加させいただきまして、ありがとうございました。

橋梁Ｇ　（公財）福井県建設技術公社　臼井 裕喜

私は今回、橋梁グループに所属させていただき、橋梁点検や維持管理に関することを皆さんと一緒に勉強させていただきました。特に UAV を使用した橋梁点検技術については、近い将来、実用化されるであろう技術であり、県内においても即時対応できる技術力を蓄え、準備をしておく必要があると感じております。その準備の一つとして、この産学官共同研究で参考となる資料を作成できたらと思っています。

今回はその第一歩を踏み出せた気がしており、今後も県内における橋梁技術レベルの向上につながるような研究をしていきたいと思っております。

橋梁Ｇ　（公財）福井県建設技術公社　齋藤 高輝

橋梁維持管理業務の経験が浅い私にとって、本グループ研究は新たな知識・経験を得ると同時に、自分の知識不足を実感し、自己を啓発する良い機会となりました。

今後はこの経験を生かして、よりよい県土整備の一翼を担えるよう、日々の業務に携わりたいと思います。

業務の都合であまり参加が出来ず、メンバーの皆様にご迷惑をおかけしましたことをこの場をお借りしてお詫び申し上げます。

最後に本成果が今後、県内技術者にとって、役立つものとなるよう祈念するとともに、ご指導いただきました方々に心より感謝申し上げます。

橋梁Ｇ　（公財）福井県建設技術公社　山内 義康

UAV 等を用いた点検は，発展途上の段階であり，今後さらに技術開発が加速，発展するものと考えられます。そのため，その技術開発の動向や状況等を常に注視する必要があると感じています。

同様に，構造物の補修・補強技術も高度化してきており，これまで提案されている各種補修・補強工・構法の整理やその性能検証を行う必要があると感じています。

橋梁Ｇ　福井大学　磯 雅人

発足より約二年間、構造物の維持管理をテーマとした研究会の活動を通じて、地域特有の技術的課題やその解決策など、多くのことを学ばせて頂きました。これを足がかりに更なる研鑽を積み、今後の実務に生かしていきたいと思います。また、舗装グループのメンバーをはじめ、研究会の皆様には大変お世話になりました。心より感謝を申し上げます。

舗装Ｇ　丸一調査設計㈱　田中 健司

平成 29 年 4 月から約 1 年間、舗装グループで産学官共同研究会に参加させて頂き、とても貴重な経験が出来たと思います。自分としては、「舗装」についてまだまだ勉強不足な点もあり、舗装グループとしてやっていけるかとても不安でした。しかしグループの皆さんと、振動調査、調査した結果の分析等、研究の流れに沿って舗装構造の診断をしていく過程で、多少ではありますが知識を得ることが出来たと思います。今後は、この産学官共同研究会で得たことを、実務に生かしていきたいと考えています。

最後に、舗装グループで参加させてもらいましたが、時には欠席したりしてメンバーに迷惑を掛けてしまいました。しかしとても有意義な時間を得ることが出来ました。ありがとうございました。

舗装Ｇ　㈱サンワコン　福島 隆義

建設コンサルタントの一流の技術者と一緒に研究をさせていただいて、その行動の素早さと対応の速さと正確さに感心いたしました。土木事務所での協議についても、いつのまにか協議メモができており大いに助かりました。また、現場での測定についても一を聞けば十を知るといった感じで、拙い説明でも物わかりが早く、現場の対応も迅速で正確で多くの楽をさせていただきました。また、全体会議の資料作成も的確かつ迅速で大変、感心いたしました。今後もまた、いっしょに仕事ができる機会があったらよろしくお願いします。

舗装Ｇ　福井県工業技術センター　三田村 文寛

斜面グループに所属し、既存吹付モルタルの補修方法の一つである充填工法の施工実績の集計による考察に携わるとともに、現地調査では、UAV による空撮を間近で経験することができました。これまでモルタル吹付の補修業務の経験は少なく、役に立てるかどうか不明ではありましたが、グループの方々の様々なご意見等に基づき、貢献できたのではないかと考えております。
また、現地調査では、関係された方々のご協力により、無事故で終えることができたと感じております。さらに、全体会議では、他のグループの研究内容に関する興味深い意見を聞くことができ、貴重な経験をさせていただくことができました。

今後の業務等においてもこのような経験を活かし、地域に貢献していきたいと考えております。

斜面Ｇ　㈱サンワコン　竹内 孝朗

今回の産学官共同研究では、斜面グループに参加させていただきました。主に、老朽化吹付法面に関する調査・点検を研究対象とし、実際の施工現場において、吹付モルタル背面の空隙充填に対する設計と出来形の対比および、従来のひび割れ調査とＵＡＶを活用した調査との対比など、貴重な体験をさせていただくことが出来ました。

どちらの調査についても課題は残るようですが、吹付モルタル背面の空隙の判定や、ひび割れ調査における高所作業の軽減に対して、本研究の成果が一助となるよう期待するとともに、本研究に携わったグループメンバーの皆様に感謝いたします。ありがとうございました。

斜面Ｇ　㈱エイコー技術コンサルタント　岡田 元

私は、建コン協会の事務局（議長）という立場で参加させていただきました。運営面では、役割が不明瞭で進行のまずさが目立ち、改善の余地が多々あることを痛感しております。問題点は協会にお伝えし、今後の活動に役立てていただきたいと思います。研究面では、テーマ決めや活動の方向性を見出すのに苦労しました。しかし、グループの皆で考え意見を出し合う中で、徐々に方向性が定まり、結果として具体的な中身のある活動ができたと感じています。今回、活動を通して様々なことに関心を持ち、また多くの方と繋がりを持つことができました。産学官で研究を行う意味もこの辺にある気がしています。これからも自分の活動に広がりを持ち、仕事に役立てていきたいと思います。

斜面Ｇ　㈱構造設計研究所　西尾 忠

産学官共同研究（斜面グループ）に初めて参加させていただき、有り難うございました。当グループでは法面調査の実態や空洞調査による設計充填量と施工量の違い、ひび割れ調査の方法など、研究員の方々と様々な意見交換をさせていただきました。設計充填量と施行量の違いでは実際に現地調査を行い、ひび割れ調査においては現行事例とＵＡＶを用いた斜面撮影画像から抽出したデータとの対比を行いました。しかしながら、今回は、課題と今後の展望まで見いだすことが出来たものの、基準値の提言やマニュアル等の整備までは至りませんでした。

吹付モルタルについては、非常に実績の多い工法でありながら、維持点検から対策工法までの総合的なマニュアルや指針の整備が遅れているのが実状です。今後はマニュアル類の整備が重要になると思われます。本研究がそれらの参考となり継続されることを期待しています。

斜面Ｇ　京福コンサルタント㈱　松見 義信

今年度もまた斜面グループに参加させていただき、既存吹付モルタル背面の空隙充填量の推定方法に関する研究というテーマに基づき議論に参加させていただきました。

空隙充填の設計数量と出来形数量の差異について様々な事例を比較・調査を行ない、数量の精度を高めていこうとする議論は施工業者である私には非常に有意義ものでした。

また今回、ＵＡＶを用いての吹付け面のひび割れ調査という新たなことにグループとして挑んだことは、何十年と変化に乏しい法面工において新たな調査の方策として期待できるものではないかと実感しました。

無くなることのない斜面防災の維持修繕、今後もこのような機会があればぜひ参加させていただき、産学官の連携に微力ながら協力できればと思います。

斜面Ｇ　日光産業㈱　野尻 敏也

土木資材メーカーとして近年、維持管理・補修補強や省力化をキーワードに、優れた材料がて求められていることを感じております。今回斜面グループのテーマである既存吹付モルタルのり面の補修について、調査・管理についての難しさや測定の省力化の重要性を学ばせて頂きました。現場条件がそれぞれ異なる中、目視出来ないことを簡単に測定することは難しく、課題も多くあります。今後更に進むインフラの老朽化に向け、この産学官共同研究のような取り組みが大きな役割を果たしていくと強く感じております。

斜面Ｇ　前田工繊㈱　小林 洋文

平成 28 年度末をもって福井を離れることになり、以降、ほとんど何もお役に立てず、申し訳ございませんでした。短い期間ではありましたが、実際の現場が直面している問題や課題を知り、異なる立場からの見方や考え方に触れる大変貴重な経験になりました。現在、お隣の滋賀県にて研究・教育に携わっておりますが、この共同研究で勉強させていただいたことが大変役に立っております。研究成果が実務に役立てられることはもちろんですが、研究に携わった個々人のスキルアップという観点でも、産学官共同研究の意義深さを改めて感じる次第です。他県に身を置いて感じるのは、この共同研究の実現に見られるように、福井県は、組織や会社を超えて技術者や研究者間の風通しがとても良いということです。福井県の大きな財産だと思います。近い将来、またご一緒できる日を楽しみにしています。

斜面Ｇ　立命館大学（前・福井大学）　小林 泰三

平成 21 年度に県内のモルタル吹付法面に関する実態調査が行われており、その結果によると県内に施工されている 570 箇所余りの既存のモルタル吹付法面箇所の多くで老朽化が進んでおり、モニタリング調査や詳細な調査の必要性が指摘されています。

そのような背景のもとで、今回の既存吹付モルタル法面の補修に着目した調査手法の検討が行われましたが、日頃、実務に接する機会が少ないこともあり、殆んどお役に立てなかったことに対して遺憾に存じます。

ところで今回、この種の調査に UAV を用いた検討がなされ、表面状態の把握に焦点を置いた調査が行われましたが、今後、内部状態の把握に有効な手法の検討も必要になると考えられますので、進展を期待したいと存じます。

斜面Ｇ　福井工業大学　澤﨑 雅之

今回から研究会（斜面グループ）に参加させて頂きました．この取り組みの中で，近年，着目されている UAV（ドローン）を用いて，吹付法面の調査に関する可能性を検討しました．橋梁などの構造物に対しては技術者の近接目視が義務づけられている中，吹付法面を精度良く点検する場合には，ロープアクセス等が求められ，危険を伴います．

今回の活動の中で，UAV を用いた空撮画像から 3D モデルを生成し，オルソモザイク（正射投影）画像から法面のひび割れが把握できました．また，DSM（数値表面モデル）や等高線から，法面の形状が把握できることが判りました．UAV は，モルタル吹付法面の点検に有用であることが判ったため，今後は精度向上に向けた取り組みにつなげていきたいです．

斜面Ｇ　福井高専　辻野 和彦

工業技術センターへの異動に伴い、皆様とは約１年遅れになりましたが、平成２９年度から斜面グループに所属させていただきました。業務の都合上、全ての会議等に参加することができず、非常に残念ではございましたが、同じ目的を有する人達と意見を交わし、また議論できたことは貴重な経験となり、非常に有意義な時間を過ごすことができました。本研究報告書はひと区切りかと思います。引き続き皆様方とこのような産学官一体となって共同研究できる機会が得られれば幸いに存じます。本当にありがとうございました。

斜面Ｇ　福井県工業技術センター　林 泰正

2 年間にわたって河川の維持管理について調査研究をさせていただきました。平成 16 年 7 月の福井豪雨から 10 年以上経過していますが、河川災害が年々多くなっているように感じます。文献調査や災害事例を調査することで、維持管理の重要性や課題等について考えることができました。福井県においても、河川の総延長は長く、河川管理施設も相当数あると思われますので、関係者が協力して維持管理の実施に取り組む必要があると感じました。福井豪雨で得た教訓を忘れることなく、研究会の活動で得た知識を今後の業務に活かしていこうと考えています。最後に、ご協力いただきました委員の皆様に深く感謝申し上げます。

河川Ｇ　中央測量設計㈱　野坂 和典

今回、初めて参加したが、河川グループで扱う内容が広範なため、研究テーマをどこに絞るかという所から難しいところであった。

実際の研究にあたっては、人数不足を痛感した。

結果として、それなりの成果をまとめることが出来たと考えているが、少人数でやるには時間的制約が大きく、かといってマンパワーをかけることも出来ないという状態であり、もう２～３人メンバーが欲しかった所である。

また、今年度は異常に災害が多く発生し、その影響で会社の業務にも支障をきたすという状況の中、よくやれたな、というのが正直な感想である。

河川Ｇ　ジビル調査設計㈱　佐野 淳

今回、初めて産学官共同研究事業に参加させていただけることになり、河川グループの一員として、県内河川の治水計画や維持管理等の多くを学ぶことができた産学官共同研究でした。ただ、私自身が今回、産学官共同研究事業の会議に出席できず、河川グループの皆様方には多大なご迷惑をかけたにもかかわらず、本研究に携わらせてもらえましたことに心より感謝申し上げます。そして、この研究事業が、自身の技術向上に繋がる経験であり、大変幸せなことだったと思います。しかし、自分自身が一番残念であり悔やまれることは、せっかく河川グループの皆様方と直接議論や技術知識の交換等を行える場に出席できなかったことです。今後このような機会があった時には、様々な技術知識の交換等を行えるように、更なる技術向上を日々目指していきたいと考えております。

河川Ｇ　㈱エイコー技術コンサルタント　百田 昌弘

今回の研究を通じて、様々なことに気づかされたと思います。
平成 16 年発生した福井豪雨の災害復旧時、福井土木事務所に詰めさせて頂き、迅速且つ効果の有る復旧工法の提案とお手伝いをさせて頂いた覚えが有ります。当時は、メーカーとして当社製品の品揃えが、まだまだ不足しており、施工業者側の要望に沿える製品が出来ておりませんでした。福井豪雨の発生と当時の国交省防災課からの問題提起で、耐候性大型土のうの開発にこぎ着けることが出来、除染対策に大きく貢献出来たように、現場で発生していることを把握し、ニーズに適した解決策が必要であると考えています。
今回の調査研究で、河川護岸において発注者側の維持管理が予算の関係で現状十分な状態では無いこと、軽微な損傷を簡易的に補修可能な工法が必要だということが分かってきました。
現場要望に応じた製品と工法開発が必要であることが理解できたと思います。

河川Ｇ　前田工繊㈱　南本 政司

コンサルタント技術者が中心となる産学官共同研究のテーマも、斜面、耐震設計、環境地盤、道路構造物の維持補修と進んできました。今回の共同研究は、前回に引き続き維持補修がテーマとなりましたが、前回の共同研究の蓄積があったことと、前回の運営経験を踏まえて、始めからグループに分けてスタートしたので、比較的順調な運営が行われたようです。前回の共同研究では第一段階として、研究グループ分野ごとの基本的な維持管理マニュアルを作成することが目標となりました。今回の報告書を読むと、前回の成果を踏まえて、独自性の高い専門的な研究成果が得られたと感じています。これらを通じて、福井県のコンサルタントの全体的な底力の向上が図られたと思います。維持管理実施体制の問題点や、人材育成の必要性など、前回把握された種々の課題は残っていますが、これらの解決には官民共同の体制作りが求められるようです。研究会の運営に当たっては、西尾議長を始めとする幹事会メンバー、グループリーダーに多大の御尽力をいただき、報告書の発刊にまで至ることができました。委員の皆様の御貢献により、共同研究の大きな成果が得られたことに深く感謝しております。

河川Ｇ　NPO 福井地域地盤防災研究所　荒井 克彦

この度、河川 G の流君が行政に戻るにあたり後任として参加させていただくことになりました。これまでいくつか河川事業に携わったことがあるので、少しはお役に立てれるかもしれません。

今期は河川護岸の被災事例を収集し原因や傾向を分析しました。災害査定の AB 表などを本庁や土木事務所からお借りするにあたってはご担当の皆様に快くご協力いただき、この場をお借りしてお礼申し上げます。近年、行政も多忙であり、せっかくストックした貴重なデータを見直し考える時間があまりとれない中で、今回はその代りを務めさせていただいたのではないかと思います。

次期の研究にも参加させていただき、現在の公共施設が抱える技術的な課題の解決を目指すとともに、本研究会に少しでも貢献できればと思っております。

河川Ｇ　福井県工業技術センター　野村 吉範