

令和2年度追加分・令和3年度 調査研究助成事業「成果報告書」の発刊にあたって

近年、地球温暖化問題や洪水被害の激甚化・広域化などと共に、新型コロナウイルス対策が不可欠となっており、更なる安全・安心に配慮した質の高い社会資本整備の効率的かつ効果的な推進が求められています。

このような中、一般社団法人九州地域づくり協会では、平成15年度より「調査研究支援制度」を創設し、九州地方の地域特性を踏まえた建設技術の課題等について、大学及び国立工業高等専門学校を対象にした土木技術等の調査研究者に対して、若手研究者育成にも考慮した公募を行い、その調査研究の一部を助成しています。

本成果報告書は、助成対象となる令和2年度追加分とした「近年の九州豪雨関連」の4件、令和3年度の5件、計9件の成果報告（概要版）を収録したものです。是非ご一読頂き、皆様の知識と技術の幅を広げるための参考としてご活用いただければ幸いです。

今後とも、当協会の調査研究制度に対し、格別のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

令和4年8月

一般社団法人 九州地域づくり協会

令和2年度追加分・令和3年度 調査研究助成事業 成果報告書

目次

1. 調査研究助成事業について

○ 令和2年度 追加分

(近年の九州豪雨災害関連 ～令和2年7月豪雨を契機として～)

1 - 1 助成事業の概要	3
---------------	---

○ 令和3年度

1 - 1 助成事業の概要	4
---------------	---

2. 審議委員会及び調査研究報告会の経緯	7
----------------------	---

3. 調査研究報告会での発表課題と評価の概要及び講評	11
----------------------------	----

4. 成果報告（概要版）

令和2年度 追加分 調査研究助成者

- 1). 大規模豪雨災害におけるダムの事前放流の減災効果と異常洪水時防災操作の影響, ならびに流域治水におけるダムの活用に関する検討 19
九州大学大学院工学研究院 環境社会部門 矢野 真一郎 氏
- 2). 令和2年7月豪雨までに生じた北九州市圏域における斜面崩壊跡地での現場調査と警戒避難システムに関する研究 25
大分大学 減災・復興デザイン教育研究センター 山本 健太郎 氏
- 3). 数値モデルを用いた高潮・高波・浸水の高精度予測システムの構築 31
熊本大学
くまもと水循環・減災研究教育センター土木建築学科 金 洙列 氏
- 4). しらす盛土法面に対する草本類種子散布工による法面保護効果の定量的検証 35
鹿児島大学大学院 理工学研究科
総合理工学専攻 博士後期課程 昌本 拓也 氏

令和3年度 調査研究助成者

- 5). 研削材を用いた超高压水混相流体による鋼素地表面処理の新技术開発と
従来技術の課題ブレイクスルー・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
九州大学大学院工学研究院 社会基盤部門 キム アラン 氏
(代理：貝沼 重信 氏)

- 6). 九州地方における将来気候下での流域管理手法提案に向けた洪水・渇水リスク
評価に基づく災害頻度および水資源量予測・・・・・・・・ 47
九州大学大学院工学研究院 環境社会部門 丸谷 靖幸 氏

- 7). 地域の素材を活用した汎用型断面修復材の開発に関する基礎的研究・・・・ 51
九州大学大学院工学研究院 社会基盤部門 福永 隆之 氏

- 8). 竹廃材を有効利用した防災・災害復旧への地盤改良工法の開発・・・・・・・・ 55
福岡大学 工学部社会デザイン工学科 古賀 千佳嗣 氏

- 9). 位相差による波源方向推定を用いた構造物内部欠陥可視化システム・・・・ 61
宮崎大学 工学部環境ロボティクス学科 李 根浩 氏

1. 調査研究助成事業について

【 近年の九州豪雨災害関連 調査研究助成事業 募集要項 】

(～令和2年7月豪雨を契機として～)

令和2年度追加分 九州地域づくり協会 調査研究等助成事業

◆ 調査研究

1、[趣 旨]

平成29年九州北部豪雨、令和元年8月前線に伴う大雨、更には今回の令和2年7月豪雨など、近年、毎年のように九州地区において豪雨による激甚災害が発生しており、浸水被害や土砂災害等の発生メカニズムとともに、被災した河川・道路・砂防等の土木施設等において復旧・復興に向けた取り組みが進められています。

このため、当協会では、今回、このような状況を踏まえ、今後の復旧・復興を視野に入れた防災・減災につながる調査研究に取り組む九州地区の大学・工業高等専門学校に対して題材を募集し、それに要する費用を助成するものです。

2、[募集テーマ]

近年の九州豪雨災害に関連する防災・減災対策 (～令和2年7月豪雨を契機として～)

近年の『気象危機』を踏まえ、九州における強靱な基幹インフラ整備、命を守る情報伝達及び避難システムの検証など、今後の復旧・復興を視野に入れた防災・減災につながる幅広い分野からの題材を求めます。

3、[応募方法]

応募する研究の目的、内容、特色、予想される効果等について、以下様式により提出して下さい。

※申請件数は、1人(共同研究の場合は、1研究グループ)当たり1件とし、申請書の様式等は、当協会ホームページ<http://www.qscpua.or.jp/>からダウンロードできます。

4、[応募対象者]

九州地区の国・公・私立の各大学・工業高等専門学校の研究者(ポストドクター及び博士後期課程在籍の学生を含む)。

5、[助成内容]

一件あたりの助成額は、**100万円以内**とし、助成件数は**数件程度**とします。

なお、助成件数及び金額については、応募状況に応じて、多少の変更を行う場合があります。

また、文部科学省科学研究助成金の内定者及びその他の助成金受領者については、できるだけ多くの研究者に助成したいとする趣旨から、採択の可否、助成金額について検討します。

【 令和3年度 調査研究助成事業 募集要項 】

令和3年度 九州地域づくり協会 調査研究等助成事業 募集・応募状況

◆調査研究

1、[趣 旨]

国際化、情報化等の進展に伴い、国民のニーズが多様化する中で、適切な国土管理及び円滑な社会資本整備の進め方などに寄与するために、土木技術全般に関わるハード及びソフト両面についての調査研究とし、若手研究者の育成も兼ねて、九州地区の大学・工業高等専門学校に対して募集し、それに要する費用を助成するものです。

2、[募集テーマ]

1)一般テーマ

土木技術全般に関わる新分野の取り組み等のハード及びソフト両面についての調査研究とします。

2)特定テーマ

①地域の活性化・再生

コロナ禍において、AI、5G等の新技術を活かしながら誰もが多様なカタチで社会参加できる新たな価値観に基づく社会が求められています。

そこで(1)社会的課題解決に向けた住民、NPO、大学、行政が連携して取り組むまちづくり

(2)地域資源活用の地域活性化や高齢社会及び訪日外国人を支援する社会資本づくりとそのあり方

(3)地方創生、過疎地域の活性化対策

などの幅広い分野におけるハード及びソフト両面からの調査研究とします。

②インフラの老朽化対策及び生産性向上方策

政府は2013年を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけ、これまでにインフラ長寿命化基本計画に基づき行動計画や具体的な点検・修繕計画を展開中です。

さらに国土交通省では、2016年を「※生産性革命元年」と位置付け、社会全体の生産性向上につながるストック効果の高いインフラ整備・活用や、関連産業の生産性向上、新市場の開拓を支える取組を加速化しています。

これらを踏まえたインフラの老朽化対策における堅実な取組み及び生産性向上方策の取組みに対するハード及びソフト両面からの調査研究とします。

(※国土交通省HP http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000021.html 参照、

「国土交通省生産性革命プロジェクト」にてパンフがダウンロード出来ます)

③九州地域等における防災・減災対策

今後の大規模・広域・複合災害への備えとして、安全・安心の持続性の高い国土再構成が急務となっています。

このため、九州地域等におけるハード対策及びソフト対策として、社会インフラを預かる関係機関の備え方や市民への働きかけ、さらには災害ボランティアのあり方など、多くの切り口からの調査研究とします。

3、[応募方法]

応募する研究の目的、研究の内容、研究の特色、予想される効果等についての様式に準じて作成し、下記の応募先まで提出して下さい。

4、[応募対象者]

九州地区の国・公・私立の各大学・工業高等専門学校 of 研究者 (ポストドクター及び博士後期課程在籍の学生を含む)。

5、[助成内容]

一件あたりの助成額は、**100万円以内**とし、助成件数は**5件程度**とします。

なお、助成件数及び金額については、応募状況に応じて、多少の変更を行う場合があります。

また、文部科学省科学研究助成金の内定者及びその他の助成金受領者については、できるだけ多くの研究者に助成したいとする趣旨から、採択の可否、助成金額について検討します。

2. 審議委員会及び調査研究報告会の経緯

◆研究等助成の募集要領決定、選考検討等



①九州地域づくり協会 研究等助成審議委員会
(令和2年8月27日(木))

審議内容

- ①令和2年度追加分・令和3年度の研究等助成に関する募集要領及び募集テーマなどの決定
- ②令和2年度追加分 研究助成事業の選考決定
- ③令和3年度 研究等助成事業の選考決定



②令和2年度(第2回)研究等助成審議委員会
(令和2年11月13日(金))



③令和2年度(第3回)研究等助成審議委員会
(令和3年3月4日(金))

◆令和2年度追加分・令和3年度 調査研究助成報告会



理事長あいさつ



令和2年度追加分・令和3年度 調査研究助成報告会
(令和4年8月31日(水))

3. 調査研究報告会での発表課題と評価の概要及び講評

調査研究報告会での発表課題と評価の概要

発表課題と発表者	成果のポイントと評価	備考
<p>◆令和2年度追加分 調査研究助成者</p>		
<p>大規模豪雨災害におけるダムの事前放流の減災効果と異常洪水時防災操作の影響、ならびに流域治水におけるダムの活用に関する検討</p> <p style="text-align: center;">九州大学大学院 矢野 真一郎 氏</p>	<p>本研究は、気候変動の影響を受けた将来気候下において、異常洪水時防災操作の発生確率がどのように影響を受けるのか、また、それを回避する事前放流の発生頻度への影響や、その空振りがどの程度発生し、どのような影響を受けるのか有効性への影響評価を検証している。</p> <p>【評価】 昨今頻発する豪雨災害の減災につながる研究であり、今後、気候変動下でのダム運用方法について、更なるデータを積み重ね、運用の判断材料となる成果を期待する。</p>	
<p>令和2年7月豪雨までに生じた北九州市圏域における斜面崩壊跡地での現場調査と警戒避難システムに関する研究</p> <p style="text-align: center;">大分大学 山本 健太郎 氏</p>	<p>本研究では、平成30年7月豪雨で崩壊した北九州市圏域の斜面について分布地質、地形、地盤の物理的、力学的性状および透水性等の情報を現地調査及び室内試験で求めている。</p> <p>北九州市の研究成果をさらに深めることにより、分布地質ごとの雨の降り方と危険度の関係および崩壊土砂の到達範囲等を予測する手法を開発し、北九州市圏域をケーススタディーとして全国公表を考えている。</p> <p>【評価】 この様な研究が活発に行われ、地域の土壌特性や土壌崩壊のメカニズム等が解明されれば、避難指示のタイミングや建築物規制など、今後、防災・減災につながる研究として期待される。</p>	
<p>数値モデルを用いた高潮・高波・浸水の高精度予測システムの構築</p> <p style="text-align: center;">熊本大学 金 洙列 氏</p>	<p>本研究では、九州沿岸および有明海・八代海沿岸を対象として、気象庁の台風予報データと数値モデルによる高精度の高潮・高波による浸水予測の早期予報システムを構築している。</p> <p>本システムの数値モデルは、複合災害が評価できる独自開発の力学メカニズムに基づく高潮・波浪・潮位・越波・河川・氾濫結合モデルを用いており、予報モデルを改良して共に、予報精度の向上を図っている。</p> <p>【評価】 台風による高潮発生を予測することを目的とした研究であり、防災上、避難や被害状況の予測への活用などが期待される。</p> <p>今後、複合的な状況に関する予測モデルの組み込み方など課題があるが、研究を進めて頂きたい。</p>	

<p>しらす盛土法面に対する草本類種子散布工による法面保護効果の定量的検証</p> <p>鹿児島大学大学院 昌本 拓也 氏</p>	<p>本研究では、画像解析を用いて客観的に植被率を計測し、しらすを対象とした侵食実験を通して本工種による法面保護効果の定量化を試みている。</p> <p>【評価】 本研究により、法面保護効果の定量化が可能となれば、維持管理が容易になり、減災にもつながる研究であり、今後の課題をクリアし、実用化が可能になるよう期待したい。</p>	
<p>◆令和3年度 調査研究助成者</p>		
<p>研削材を用いた超高压水混相流体による鋼素地表面処理の新技术開発と従来技術の課題ブレイクスルー</p> <p>九州大学工学研究院 キム アラン 氏 (代理：貝沼 重信 氏)</p>	<p>拡散ノズルを用いた AWT の処理効果を検討するために、処理した鋼素地の表面性状と研削材の残留に及ぼす影響をレーザー顕微鏡、SEM-EDX により分析した。</p> <p>また、重度に腐食した実鋼構造物に AWT 処理した鋼材の表面と内部に残留した塩分、腐食生成物および研削材の残留状況について、表面塩分測定計、イオンクロマトグラフィー法と SEM-EDX により分析した。</p> <p>【評価】 重度腐食した鋼構造物の孔食底部の腐食生成物や塩類の十分な除去効果だけでなく、処理効率の向上が期待できる研究である。また、総合的に安価で有り、産業廃棄物の削減なども期待出来る。</p> <p>今後の課題としては、スポット的にも適用できる工法への展開方法を考える必要がある、引き続き研究を進めて頂きたい。</p>	
<p>九州地方における将来気候下での流域管理手法提案に向けた洪水・渇水リスク評価に基づく災害頻度および水資源量予測</p> <p>九州大学大学院 丸谷 靖幸 氏</p>	<p>本研究では、九州地方における河川流域を対象に洪水・渇水リスク評価を同時に行い、過去から将来に亘る災害頻度および水資源量の長期変化を把握することで、適切な流域管理手法提案を最終目標としている。</p> <p>【評価】 下笠ダム、立野ダム、鶴田ダムの各流域を対象とした研究結果により、洪水だけでなく渇水の頻度増加の可能性などの自然災害に対する流域管理法を模索し、減災につながる重要な研究である。</p>	
<p>地域の素材を活用した汎用型断面修復材の開発に関する基礎的研究</p> <p>九州大学大学院 福永 隆 氏</p>	<p>本研究では、シラスを断面修復材へ適用することを目的として、各種試験を実施し、強度や耐久性を明らかにした。</p> <p>【評価】 本研究によって、シラスのもつ特性を明らかにすることにより、使用用途が限られシラスの特性を活かし、今後、断面修復材という新たな活用方法が期待できる。</p>	

<p>竹廃材を有効利用した防災・災害復旧への地盤改良工法の開発</p> <p>福岡大学 古賀 千佳嗣 氏</p>	<p>本研究では、竹廃材を有効利用して、環境に優しく安価な地盤改良開発を目的としている。特に竹の品種、採取時期における吸水効果と竹チップを用いた搬出における改良効果について検討結果を報告している。</p> <p>【評価】 竹廃材の比較的容易に手に入り安い反面、あまり活用されない資源に注目し、その性質を研究し環境に優しく安価な地盤改良に利用するというSDGsに即した研究である。 なお、チップの乾燥に係る時間等、いくつか課題もあるが、非常にエコであり、災害復旧の労力軽減等につながる研究である。</p>	
<p>位相差による波源方向推定を用いた構造物内部欠陥可視化システム</p> <p>宮崎大学 李 根浩 氏</p>	<p>本研究では打撃によって生じた音波の位相特性に着目し、内部欠陥による打撃波の位相特性の検討を行うために、打撃、及び欠陥位置をパラメータとして伝播速度について比較検討を行なった。</p> <p>さらに、打音検査の省力化・効率化を目的に、打撃機能と集音機能を備えた打音検査機構を開発し、打音検査機構の実現性についても検証を行った。</p> <p>【評価】 打撃により生じた音波の位相特性を活かし新たな検査により構造物内部の欠陥を調べ、検査を機械化するための研究であり、更に研究が進めば、最近の検査技術者不足問題の解決に期待できる。</p>	

講評（角 知憲 研究等助成審議委員長）



今日、皆様にご報告いただきました研究成果は、今にも実現しそうなもの、これから先が非常に楽しみなものなど大変興味深く拝聴させていただきました。

皆様の研究報告は、当該研究を選定した私どもが自画自賛できる大変聴きごたえのある発表でした。

4. 成果報告（概要版）

4 - 1

大規模豪雨災害におけるダムの
事前放流の減災効果と異常洪水時防災操作の影響、
ならびに流域治水におけるダムの活用に関する検討

九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門
矢野 真一郎

近年の九州豪雨災害関連 調査研究助成事業「大規模豪雨災害におけるダムの事前放流の減災効果と異常洪水時防災操作の影響，ならびに流域治水におけるダムの活用に関する検討」報告書概要 令和2年度

九州大学大学院工学研究院 矢野真一郎

①まえがき

洪水調節機能の中でも重要なものとしてダムによる洪水調整がある。近年，令和元年東日本台風や令和2年7月豪雨のようなダムの調整能力を上回る洪水が起こり，いわゆる「異常洪水時防災操作」に移行するケースが散見されている。例えば，平成30年西日本豪雨では全国で8つ，令和元年東日本台風では全国で6つ，令和2年7月豪雨では九州で1つのダムが，異常洪水時防災操作を実施した。

ダム操作における最も危険で可能なかぎり避けたい異常洪水時防災操作を回避する手段としては，降雨予測に基づく**事前放流**がある。令和2年度より事前放流ガイドブックに基づく利水ダムや発電ダムでの事前放流が始まった。しかし，降雨予測は完全なものではないことから，空振りが発生する可能性がある。ゆえに，それらのコストも含んだ事前放流の位置づけを明確化することは，治水へのコストを過度にダム受益者に負担させないためにも必要と考えられる。加えて，気候変動の顕在化が進む状況で，それらのコストがどの程度影響を受けて増加するのかを試算しておくことにも意味が有るだろう。

そこで本研究では，現在気候や気候変動の影響を受けた将来気候の下で，異常洪水時防災操作の発生確率がどのように影響を受けるのか，また，それを回避する事前放流の発生頻度への影響や，その有効性への影響（これは即ち空振りがどの程度発生し，どのような影響を受けるのかを意味する）などを評価することを計画した。

②研究概要

本研究では，まず異常洪水時防災操作への気候変動の影響評価を行うことに注力した。ここでは，令和2年7月豪雨において昭和47年の完成後初めて異常洪水時防災操作を行った筑後川水系の下笠ダム，およびその直下に存在する松原ダム，加えて平成18年豪雨により放流口を現状より下に付け直すことで洪水調節容量を増量するダム再開発を実施した川

内川水系の鶴田ダムの3つのダムを対象として、異常洪水時防災操作の発生確率に与える気候変動の影響を評価することを試みた。

研究方法としては、まず各ダムの流入量を評価するための流出モデル（3段タンクモデルを採用）の構築を行い、モデルパラメータの最適化（最大規模豪雨でチューニング）、モデルのバリデーションを行うことで集水域の降水量からダム流入量を評価可能にした。次に、現在気候と将来気候（平均気温 4°C上昇の条件）での降水量・気温のアンサンブルデータとして d4PDF を採用した。現在気候はバイアス補正に必要な気象観測値が揃っていた 1981～2010 年の期間分である 1,500 年分のアンサンブルを、将来気候は使用可能な 5,400 年分を用いた。アンサンブルデータはバイアス処理（Dual-Window 補正）を行い、ダム流入量評価を行った。次に、各ダムの操作規則をベースにダムモデル（H-V 関係式のモデル化）を作成した。なお、鶴田ダムについては規則とは異なる操作実績があったため、それら操作実績に近似できるようにモデルを改良した。d4PDF データからダム流入量を求め、ダムモデルで水位変化をシミュレートし、異常洪水時防災操作開始水位をトリガーとして、発生確率を評価した。なお、鶴田ダムについては、ダム再開発前後の操作規則やダム構造に基づき、再開発前後の条件でそれぞれ評価を試みた。また、鶴田ダム下流域を対象に現在気候と将来気候のアンサンブルから得られた最大規模洪水に対して、はん濫解析を実施することで激特事業の効果を検証した。

③まとめ

本検討で得られた各ダムの確率年の平均値について表-1 に結果を示す。

松原・下笠ダムについては、将来気候（+4°C上昇）で現在気候の約 4 倍に確率（=1/確率年）が上昇した。これは「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」に示された

表-1 異常洪水時防災操作の実施確率年の評価結果（[]内は現在気候に対する確率の倍率）

水系	ダム	現在気候	将来気候（+4°C）
筑後川	下笠ダム	62.5	17.4 [3.6 倍]
	松原ダム	375.0	87.0 [4.3 倍]
川内川	鶴田ダム（再開発前）	78.9	19.7 [4.0 倍]
	鶴田ダム（再開発後）	166.6	33.3 [5.0 倍]

4℃上昇時の河川の洪水発生頻度の上昇倍率である約 4 倍と一致していた。下釜ダムについては、比較的高い確率で発生すると見積もられたが、松原ダムでは下釜ダムの 1/5～1/6 倍となり総合的に見ると両ダムで高い安全率を保つことが示された。

一方、鶴田ダムについては、将来気候は現在気候の 4～5 倍となった。ダム再開発の効果は、安全率を 1.7～2 倍程度引き上げることが示された。国の予測では 2℃上昇で洪水発生確率は約 2 倍になることから、再開発後では約 80 年の確率年となり、現在気候の再開発前の確率年（78.9 年）と概ね一致した。このことは再開発が 2℃上昇レベルの気候変動に対する適応策を実施したことに相当することを意味している。つまり、気候変動の緩和策が機能し、パリ協定で目標に設定された 2℃以下に気温上昇を抑えられれば、現在の安全度は確保できるレベルにあると解釈できる。加えて、ダム下流域での激特事業が気候変動後に対してもある程度有効であることが認められた。

本研究で用いた手法は、シンプルなタンクモデルで構築した流出モデルおよび実放流ルールおよび観測貯水位を基に作成したダムモデルにより異常洪水時防災操作に与える気候変動影響を実施している。本手法の構築は簡便であるため、容易に他ダムに適用することが可能となる点に有用性がある。そのため今後は、2℃ 上昇下における異常洪水時防災操作実施確率を評価することに加え、本手法を他の多くのダムへ適用することにより、気候変動下でのダム運用についての議論に資する検討を進めていく予定である。

加えて、本モデルを活用することで、事前放流の発生確率やその空振り率の評価が可能になると見込まれる。また、気候変動が与えるそれらへの影響評価も可能となることから、事前放流の真の費用対効果（空振りにおける損失をコストに加えること）の評価が可能になる。今後、これらの部分に対する検討を進めたい。

4 - 2

令和2年7月豪雨までに生じた
北九州市圏域における斜面崩壊跡地での
現場調査と警戒避難システムに関する研究

大分大学 減災・復興デザイン教育研究センター
山本 健太郎

令和2年7月豪雨までに生じた北九州市圏域における斜面崩壊跡地での現場調査と警戒避難システムに関する研究

① まえがき

我が国では、豪雨により表層2~3mの層が崩壊する急傾斜地の崩壊や土石流が毎年のように発生して、多くの犠牲者が出ている。特に九州地域では、この種の斜面災害が生じやすい地形、地質、降雨条件を有しており、その発生件数は全国の約4割を占めている。また、近年は集中豪雨が多発する傾向にあり、斜面災害発生危険度が高まっている状況である。斜面災害から市民の命を守るための最善の方法は、早期避難であり、そのためには、降雨量と崩壊の危険度、崩壊規模の関係を明らかにする必要がある。北九州市では、平成18年以降、有効先行降雨量という指標を導入し、現地調査を重ねて雨の降り方と斜面崩壊の危険度の関係について研究されている。

本研究では、平成30年7月豪雨で崩壊した北九州市圏域の斜面について分布地質、地形、地盤の物理的、力学的性状および透水性等の情報を現地調査及び室内試験で求めた。そして、北九州市の研究結果をさらに深めることにより分布地質ごとの雨の降り方と危険度の関係および崩壊土砂の到達範囲等を予測する手法を開発し、それらを北九州市圏域でのケーススタディーとして全国に公表していくことを考えている。

② 研究概要

1) 地形地質概要

北九州市地域には、上部古生界、下部白亜系、古第三系、第四系および白亜紀深成岩類、鮮新世—更新世の玄武岩類などの幅広い年代の多様な岩石・地層が複雑な地質構造をなして分布している。北九州市周辺の地質概要図¹⁾を図-1に示す。なお、赤丸は調査した斜面崩壊跡地を示す。

2) 現地調査結果

平成30(2018)年7月豪雨による北九州市圏域における斜面崩壊跡地(6箇所)において、現地調査を実施し、崩壊要因の整理や崩壊メカニズムの特徴をまと

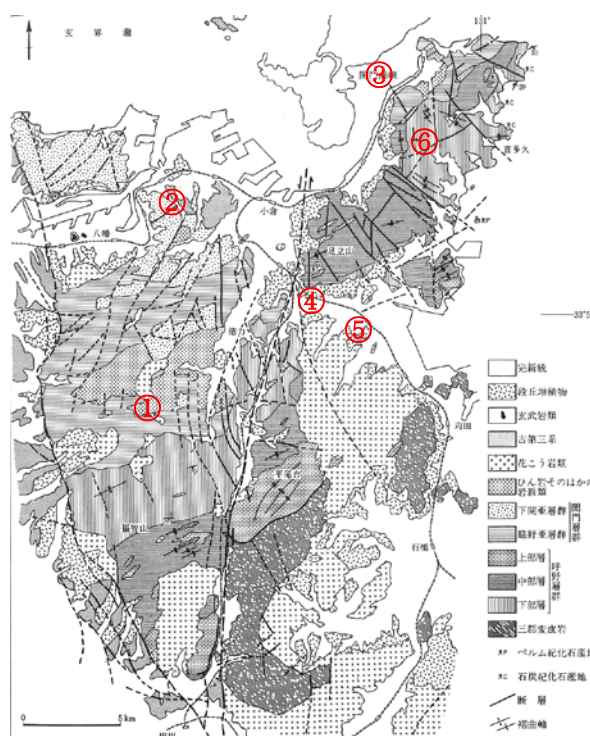


図-1 北九州市周辺の地質概要図

めた。斜面崩壊跡地（6箇所）において、崩壊した地質がそれぞれ、① 八幡東区田代町（盛土、崖錘）、② 八幡東区祝町（強風化凝灰質砂岩）、③ 門司区大里東（強風化凝灰質砂岩頁岩）、④ 小倉南区長野（強風化花崗岩類（まさ土））、⑤ 小倉南区平尾台（強風化花崗岩類（まさ土））、⑥ 門司区畑（強風化凝灰質砂頁岩）から構成されていることがわかった。さらに、斜面崩壊跡地（6箇所）の崩壊メカニズムは、表-1のようにまとめられる。

表-1 崩壊メカニズムの特徴（斜面崩壊跡地（6箇所）は図-1の番号と対応）

地区名	崩壊メカニズム
①八幡東区 田代町	① 微小な集水地形を埋め立てた盛土に降雨浸透が集中し、飽和することで周囲の崖錘堆積物も巻き込んで崩壊。 ② その時、路肩側溝が破断することで漏水が発生し、崩壊左側の崖錘堆積物、風化ひん岩の浸食崩壊が発生。
②八幡東区 祝町	① 豪雨による地表水の急激な供給。 ② 地表水が表層部の強風化帯に流入、浸透し単位重量が増加。
③門司区 大里東	① 豪雨による地表水（排水路からの流入含む）の急激な供給。 ② 縦クラックやパイピング孔から表層部の強風化帯に地表水が流入、浸透し単位重量が増加。 ③ 風化岩の亀裂面をすべり面として崩壊。
④小倉南区 長野	① 強風化した粘土質まさ土と緩い砂質まさ土が分布し、1:1.0よりも急勾配かつ僅かに集水地形を呈する斜面であった。 ② そこに、豪雨による地表水が強風化した粘土質まさ土に形成された乾燥クラックを伝って急激に供給されたため、これらの層が飽和し弱面が形成され崩壊が発生した。
⑤小倉南区 平尾台	① 強風化した緩い砂質まさ土（Nd5以下）が地表部に分布し、傾斜50°程度と安定を確保できていない斜面勾配であり、さらに背後に典型的な集水地形が分布する。 ② 豪雨によって地表水が急激に供給されたため、緩い砂質まさ土が飽和し、弱面が形成され崩壊が発生した。
⑥門司区畑	① 豪雨による地表水の急激な供給。 ② 縦クラックやパイピング孔から表層部の強風化帯に地表水が流入、浸透し単位重量が増加。 ③ 風化岩の亀裂面をすべり面として崩壊。

3) 斜面崩壊解析

斜面崩壊は、崩壊対象層が飽和することによって、「重量増加」と「粘着力の低下」が起こることにより発生する。玉田らによる北九州市における雨の降り方と斜面崩壊の関係についての研究²⁾によると、有効先行降雨量によって斜面崩壊の発生確率を予測できるとしている。有効先行降雨量 (mm)とは、崩壊対象内に有効に貯留される降雨量（地表流下、地中排水を考慮した貯留量）となる。本研究では、有効先行降雨量によるアプローチを採用した。また、北九州市内には土砂災害警戒等区域が非常に多く存在し、先に述べた通り、地質の分布も多種にわたっている。住民の負担を減らしつつ、必要な避難に対する情報を発令するには、地質状況を考慮して、その精度を高める事が求められている。なお、何より「わかりやすく」と言う条件においては、現時点で参考とされている有効先行降雨量による管理は、その要求を十分に満足していると考えられる。

③ まとめ

平成30年7月豪雨によって北九州市圏域で発生した斜面崩壊について、現地の地形地質状況および崩壊状況を確認し、原位置・室内試験結果等も踏まえ崩壊のメカニズムについて検討した。

今後、さらに他地域の崩壊箇所において現地調査・室内土質試験等を行い、分布地質ごとの力学特性や透水性、崩壊規模の差異等を明らかにしていきたい。また、斜面崩壊解析では、まさ土斜面において玉田らの手法を用い崩壊機構を検討した結果、降雨による地山の飽和に至る前の崩壊が再現された。この事例から、玉田らの手法は現地の降雨と崩壊機構の関係を見出だすことが可能と考えられる。今後、玉田らの手法を改良し、汎用性を高めたいと考えている。しかし、地形や地質別の特徴を把握するためにはサンプル数が少ないため、今後も同様のフィールドで調査を行う必要がある。なお、理論やパラメータ設定等においても不備な点も見受けられ、更なるブラッシュアップも考えている。その結果、分布地質の違い（地域性）を踏まえ、降雨の降り方（斜面崩壊の危険度）と崩壊層の飽和度との関係に基づく斜面崩壊箇所の予測や警戒避難体制の構築（地質・地域毎の有効先行雨量の設定）につなげたい。

参考文献

- 1) 日本の地質「九州地方」編集委員会：日本の地質9 九州地方, 共立出版, 1992.
- 2) 玉田文吾, 横矢直道, 森与志信, 北九州市：斜面崩壊と雨の降り方との関係 -福岡県北九州市・長崎県などにおける考察-, 2018.3.

4 - 3

数値モデルを用いた高潮・高波・浸水の
高精度予測システムの構築

熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター
土木建築学科
金 洙列

数値モデルを用いた高潮・高波・浸水の高精度予測システムの構築

1. まえかき

気候変動の影響による台風の巨大化、海水面の上昇が懸念される中、大阪湾の 21 号 (2018 年)、東京湾の 15 号と 19 号 (2019 年)、九州の 10 号 (2020 年) のように想定しうる最大規模に近い台風の来襲が現実化している。このような台風は豪雨と共に高潮や高波を発生させて、沿岸域および河川域の氾濫を及ぼし甚大な被害を齎す。高潮と高波を早期予報することで最大規模の高潮・高波に対する危機管理・避難警戒体制の充実を図ることが可能になる。本研究では、九州沿岸および有明海・八代海沿岸を対象に気象庁の台風予報データと数値モデルの手法を用いて高精度の高潮、高波、そしてそれらによる浸水を推定する早期予報システムを構築する。本システムの数値モデルは、複合災害が評価できる申請者が独自で開発してきた力学メカニズムに基づく高潮・波浪・潮位・越波・河川・氾濫結合モデルを用いて予報モデルとして改良すると共に、予報精度の向上を図る。

2. 研究概要

まず、九州沿岸部におけるリアルタイム高潮予測モデルの精度向上を図った。本研究では、2020 年台風 10 号が九州に接近した際に発生した高潮の実際の観測値と、最接近する前に気象庁が公表した台風経路の予測データをもとに高潮を予測したものを比較して精度を確かめる。観測値は、気象庁の潮汐観測資料を用いる。予測値は、既存の台風モデルである Fujita モデル、Myers モデル、SGW モデルの 3 つモデルと高潮モデル(SuWAT, Kim et al., 2008)を用いる。まず SuWAT を用いて高潮予測実験を行った。気象庁が公表した 23 通りの台風予報データに異なる台風半径と 3 つの台風モデルを組合わせて、合計 93 ケースの実験を実施した。その後、気象庁の潮汐観測資料から、対象期間の毎時潮位偏差を収集し、各地点で高潮最大値と最大値が発生した時刻をまとめた。SuWAT で得られた最大値と最大値が発生した時刻と、観測値の最大値と最大値が発生した時刻を比較して、既存の台風モデルの精度を検証し、課題を確認する。観測値と予測値の最大値と最大値発生時刻を比較した結果、比較的高精度な結果が得られたが観測地点によっては大きな誤差が発生した。このことから、本研究では、地域ごとの地形や地域特性を考慮できていなかったと言える。今後は、地域特性を考慮できるような台風モデルの改善を行うことで、さらに精度の良い結果が得られるだろう。また、高潮、高波、越波・打上げ、降雨、マンホールの逆流の結合モデルを構築して、単純地形と仮想台風を用いてその適用性を検討した。SuWAT をベー

スに本研究代業者が開発に関与した越波・打上げ量を算定するため越波・越流遷移モデル (IFORM) を組込んだ。さらに、降雨量や地表流量を推定するため、アメリカ環境保護庁 (EPA)が開発した降雨・地表水流出モデル (SWMM)を用いた。その適用性を検討するために、計 25 ケースの数値実験を行った。例えば、最大降雨と最大高潮偏差の同時生起する場合と 1 時間差が生じる場合、降雨によるマンホールからの逆流、高潮水位上昇による海水の流入による下水道の逆流、堤防天端を超える高波による越波および打上げ、高潮水位上昇による越流の複雑な物理現象により氾濫実験を行った。その結果、個別の要因による氾濫ならびに複合要因による氾濫現象が問題なく再現できた。さらに、全ての物理現象を含んだ浸水深がもっとも高いことが示された。

3. まとめ

本研究は、台風が接近した際の高潮の発生について予報の段階から、リアルタイム的に予測することを目的とした。台風モデルは既存のモデルを用いて精度の検証を行った結果、今回の実験では比較的高精度な予測結果が得られたと言えるだろう。台風モデルを用いたリアルタイム高潮推算実験では、高精度の高潮偏差の予測ができた。また、高潮、高波、越波・越流、降雨、下水道の逆流の複合要因による氾濫推算モデルを構築して、単純地形と仮想台風を用いて、その適用性を検討した。数値実験より下水道の逆流、高波による越波、高潮による越流、降雨による地表水による複合氾濫を再現することができた。降雨ボタンが浸水に及ぼす影響も検討してその再現性を確認した。

4 - 4

しらす盛土法面に対する草本類種子散布工による
法面保護効果の定量的検証

鹿児島大学大学院 理工学研究科
総合理工学専攻 博士後期課程
昌本 拓也

しらす盛土法面に対する草本類種子散布工による法面保護効果の定量的検証

鹿児島大学大学院 昌本 拓也

鹿児島大学学術研究院 酒匂 一成

1 まえがき

近年、降雨量の増大に伴い、道路盛土のような土工構造物では、排水溝から溢れた水による地表流が法面を侵食し、やがて崩壊に至る事例が報告されている。特に、南九州地方には侵食に対して脆弱な土であるしらすが多く分布しており、このような崩壊形態に対する防災対策は重要であると考えられる。そのため手段の1つとして、法面保護工が挙げられる。法面保護工は盛土や切土法面の侵食や風化を防ぐための工法であり、中でも、法面に草本植生の種子を播種する草本類種子散布工(以下、本工種)は、一般に低価格で施工性が良く、自然環境の保全や修景も期待できるため、様々な現場で適用される。一方で、本工種の成績判定は主観的で曖昧な手法で実施されている。道路土工指針によれば、成績判定を実施する際の定量的指標として植被率が用いられる。しかし、一般に植被率の計測は目視で行われることから、観測者によって異なる結果となる可能性がある。また、植被率と法面の侵食や土砂流出を抑制する効果(以下、法面保護効果)との関係について定量的に示されていない。本工種の施工品質を高め、より高度な管理を実現するためには、客観的な手法によって植被率を計測し、法面保護効果を定量的に把握する必要があると考えられる。そこで本研究では、画像解析を用いて客観的に植被率を計測した上で、しらすを対象とした侵食実験を通して本工種による法面保護効果の定量化を試みた。

2 研究概要

2.1 可視光画像解析による植被率の計測手法

本研究では、可視光画像解析技術を利用して植被率を計測する手法に着目した。可視光画像とは、赤、緑、青の各バンドから得られる輝度値の組み合わせにより各画素の色が定まる画像であり、デジタルカメラやスマートフォン付属カメラ等、比較的安価で一般に普及している機器により取得可能である。可視光画像を用いた植被率の計測には、植生指数(Vegetation Index)と呼ばれる指標が用いられる。植生指数とは各バンドの輝度値の演算値であり、植生画素は非植生画素に比べて大きくなるように設計されているため、任意の閾値を用いて二値化することで植被率の計測が可能である。植生指数は様々な種類が提案されているが、本研究ではExG(Excess Green Index)を用いた。ExGは画像の各画素において式(1)の様に定義される。

$$ExG = \frac{2G - R - B}{R + G + B} \quad (1)$$

ここに、 R, G, B はそれぞれ、各画素の赤、緑、青の輝度値。

植被率は、ある面積に対する植生の投影面積であることを踏まえ、式(2)により算出した。

$$CR = \frac{Pix_{plant}}{Pix_{All}} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 CR : 植被率[%], Pix_{plant} : 植生と判定された画素数, Pix_{All} : 解析対象域となる画像の全画素数。

ExGを用いた植被率の計測結果の例を図1に示す。

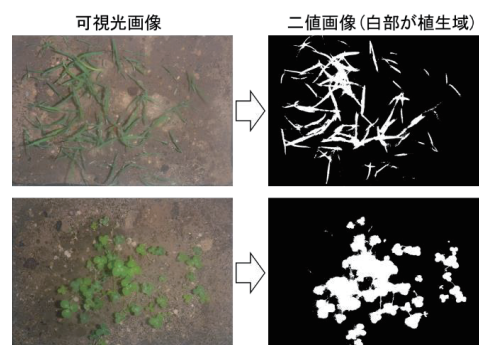


図1 画像解析による植生域の抽出結果の例 (上)ティフブレア, (下)ホワイトクローバー

このとき、植生は技術指針類を参考に、イネ科のセンチピードグラス(*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack.)のティフブレア種(以下、TB)と、マメ科のホワイトクローバー(*Trifolium repens* L., 以下 WC)とした。図1の植被率はそれぞれTBで11%、WCで16%である。なお、画像解析による植生域の抽出精度や植被率の計測値のバラつき、室内/屋外などの光源条件の変化の影響等の詳細は、報告書を参照されたい。

2.2 侵食実験による草本類種子散布工の法面保護効果に関する定量的検証

侵食実験は、排水溝からの越流水が法面上を流下する現象を想定し、図2、図3に示すような模型法面を用いて行った。侵食を発生させるための流水は、水路上流の水槽部にホースで給水し、水槽の水位を一定に保ちながら越水させることにより発生させた。このとき、水路から流出する水の流量は、約247ml/sであった。また、模型法面に設置する供試体は、プラスチック製の育苗箱(アップルウェア、6型、外寸:縦×横18.3cm×高さ7.7cm、容積2,200cm³)に串良川の堤体で採取された、しらす混じりの土を締め固めることにより作製した。ここに、TBとWCの種子を播種し、育成期間を設けた後に実験に供した。また、植生の法面保護効果を定量的に議論するために、播種を行わない裸地供試体の作製も行った。各供試体の育成期間と個数は表1に示す通りである。その他、模型法面や供試体の作製方法、植生育成時の条件等の詳細については報告書を参照されたい。

侵食実験は、以下の手順により実施した。まず、模型法面の斜面部に供試体を設置した後、整流のために水を5秒間流下させる。その後、流水を1分間継続して流下させ、流出した土砂を75μmふるいにより回収した。ふるいを通過した土砂はプラスチック容器に流入させ、24時間経過した後に沈殿分を回収した。回収した土砂はそれぞれの実験毎に乾燥炉によって110℃で24時間乾燥させた後、乾燥重量を測定し、ふるい、プラスチック容器の両方から得られた乾燥重量を、その供試体の侵食量と定めた。また、植被率は実験の直前に撮影した画像から計測した。そして、式(3)で定義するような侵食量比を算出し、植被率との関係を考察することで、本工程による法面保護効果を定量的に検証した。

$$Er_{t,CR} = \frac{V_{t,CR}}{B_t} \quad (3)$$

ここに、 t : 植生の育成期間[日]、 CR : 植被率[%]、 $Er_{t,CR}$: 育成期間 t 、植被率 CR における各植生有供試体の

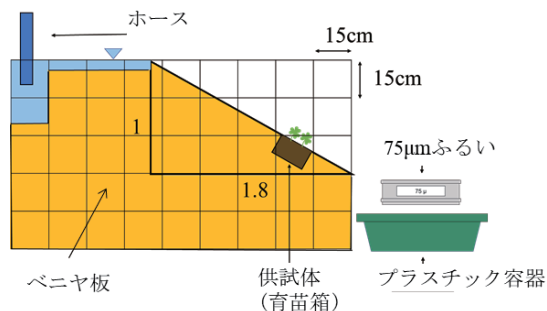


図2 模型法面の側面図

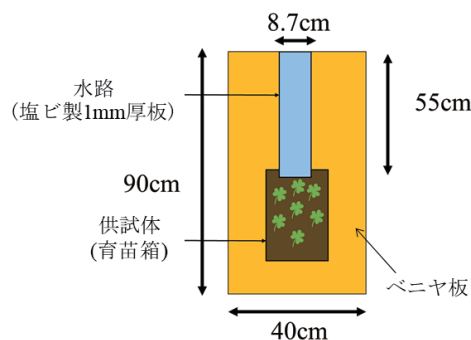


図3 模型法面の斜面部平面図

表1 侵食実験に用いた供試体の種類と個数

供試体数[個]	供試体の育成期間[日]				
	8	14	21	28	56
ティフブレア	2	3	2	3	5
ホワイトクローバー	3	2	1	4	3
裸地	2	4	4	4	4

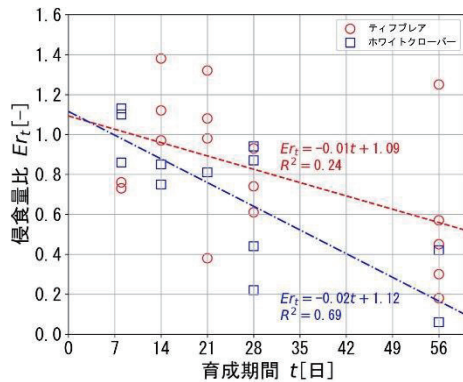


図4 育成期間と侵食量比の関係

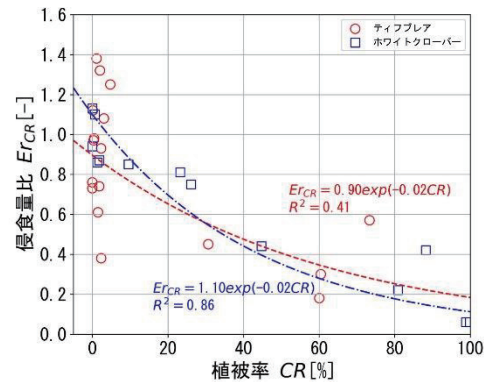


図5 植被率と侵食量比の関係

侵食量比[-], $V_{t,CR}$: 育成期間 t , 植被率 CR における植生有供試体の侵食量[g], \bar{B}_t : 育成期間 t における裸地供試体の侵食量の平均値[g].

$Er_{t,CR}$ を育成期間で整理した結果を図4に、植被率で整理した結果を図5に示す。なお、それぞれの図に示された近似式は、最小二乗法により求めた。まず、育成期間と侵食量比の関係について述べる。両植生種とも、育成期間が長くなるほど侵食量比は小さくなる傾向が見られたことから、植生の成長に伴い根や葉による法面保護効果が発揮されたと考えられる。しかし、一部の期間、特に育成期間が8、14日の植生有供試体では侵食量比が1以上となった結果がしばしば見られ、裸地供試体に比べて侵食量が大きくなる可能性が示された。これは植生の種子が発芽する過程で、土が緩んだ為と推察する。

次に、植被率と侵食量比の関係について述べる。植被率が大きくなるにつれ、侵食量比が指数関数的に減少するような関係が見られた。また、育成期間から考察した侵食量よりも、当てはまりの良い結果となった。ここで、現行の成績判定基準において、成績が「可」となる植被率70%以上の供試体の結果を見ると、侵食量比は0.1~0.6付近となり、植生によって最大で侵食量を90%程度抑えるような法面保護効果が確認された。また、成績が「判定保留」となる植被率50~70%の供試体においても侵食量比が0.2~0.3となるような結果が得られ、侵食量を70~80%程度抑えるような植生の法面保護効果が確認された。一方で、TBにおいて植被率の小さい供試体では侵食量比がバラつくような傾向が見られた。これは、本研究で設定した育成期間においては、TBの地上部が水平方向に比べ鉛直方向に成長するため、仮に地下部の根系が成長していても、見た目の植被率に寄与しないためではないかと推察する。

3 まとめ

本研究では、しらす盛土法面に対する草本類種子散布工の法面保護効果を定量的に明らかにすることを目的に、画像解析による植被率の計測と侵食実験を行った。本研究で得られた成果を以下に示す。

- i) デジタルカメラのような一般に普及している安価な機器を利用し、様々な天気、時刻においても一定の精度で植被率の計測を客観的に実施できる可能性を示した。
- ii) 侵食実験の結果、植被率が70%以上となる場合、裸地法面に比べて侵食量を40~90%程度抑制するような、植生の法面保護効果が発揮される可能性を示した。
- iii) 画像解析技術は、計測される植被率と侵食量比の間に良好な関係(WCで $R^2=0.86$)が見られることから、本工種のより高度な管理手法として期待できると考えられる。

今後は、実験データの更なる蓄積や、実法面での植被率と侵食量の関係について調査したいと考えている。

4 - 5

研削材を用いた超高压水混相流体による鋼素地表面処理の
新技術開発と従来技術の課題ブレイクスルー

九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門
キム アラン
(代理：貝沼 重信)

研削材を用いた超高压水混相流体による鋼素地表面処理の新技术開発と 従来技術の課題ブレイクスルー

1. まえがき

近年、橋梁などの鋼構造物において、飛来海塩や凍結防止剤が付着し、雨洗作用がほとんど無い部位に重度腐食が多数生じている。一旦、重度腐食が生じると、塗装塗替え時の鋼素地調整による腐食孔底部の塩類や腐食生成物を除去することは困難になる。その結果、これらが鋼素地に残置されることで、早期に塗膜下腐食が局部的に発生・進行し、部材貫通に至る可能性がある。

本研究では、除去難度が極めて高い耐候性鋼の孔食底部の腐食生成物に対しても適用可能な研削材を混入した超高压水混相流体技術（以下、AWT）を開発するとともに、その拡散ノズルも開発した。このノズルを用いて国内外初の新技术を確立することで、ブラストなどの従来技術の課題をブレイクスルーし、重度腐食した部材の蘇生と防食皮膜の高耐久性化を実現することを目的とした。本研究に用いた AWT 処理の概要図とそれにより処理された鋼材の表面状況を Fig.1 に示す。

AWT のノズルおよび投射距離などの施工条件が鋼素地の表面性状および研削材の残留に及ぼす影響をレーザー顕微鏡, SEM-EDX, および XRD により分析して定量評価した。また、重度腐食した実鋼構造物の主部材に本技術を用いて、素地調整品質や施工効率を検討するために、AWT 処理前後の部位からコアサンプルを採取して、鋼素地表面と鋼材内部に残置された塩類、腐食生成物および研削材の残留状況を SEM-EDX により分析した。なお、拡散ノズルの処理効果を明らかにするために、AWT 処理後の表面塩分量は Bresle salt meter（Bresle 法）により測定し、AWT 処理の直後に表面抽出水を利用してイオンクロマトグラフィー法による処理面の Cl 量を定量評価した。

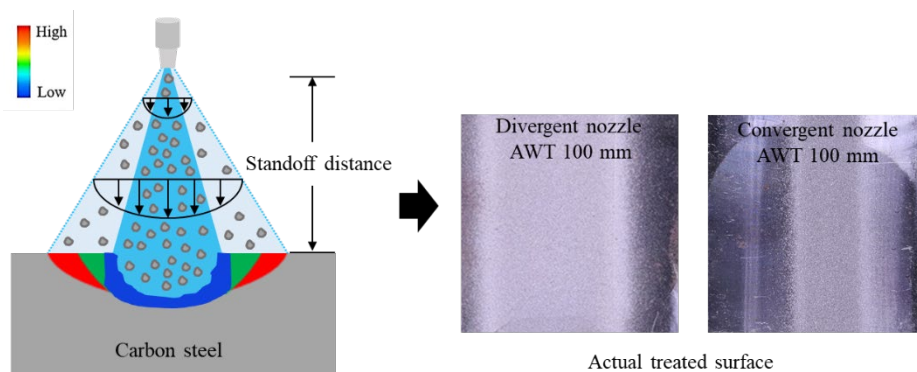


Fig.1 Schematic diagram of AWT polishing effects.

2. 研究概要

2.1 施工条件が鋼材の表面性状と研削材の残留に及ぼす影響

試験体には寸法 70×70×6 mm の普通鋼板 (JIS G3106 SM490A) を用いた。AWT 処理については、収束ノズルと拡散ノズルを用いて、投射圧力、研削材の供給量および投射距離をそれぞれ 230 MPa, 600 g/min および 300 mm とした。ブラスト処理は投射圧力、角度、距離および時間をそれぞれ 0.7 MPa, 90°, 300 mm および 5 秒とした。また、研削材は施工条件によらずガーネット (粒度: 30-60) を採用した。

AWT とブラスト処理後の全体処理領域である影響エリア (W_a) については、同じ投射距離でブラストと拡散ノズルは同様に 70 mm であり、収束ノズルの 50 mm に比して大きくなっている。これは収束ノズルに比して拡散ノズルは投射半径が大きいためであると考えられる。一方、侵食エリア (W_e) については、拡散ノズルとブラスト処理は全面的に処理するため、 W_a と W_e を区別することも定量的に比較することも困難である。最大侵食深さはブラスト処理 (100 μm)、拡散ノズル (150 μm)、収束ノズル (200 μm) の順に大きくなり、拡散ノズルの最大侵食深さはブラストに比して大きくなっている。この結果から、拡散型ノズルの処理幅は収束型ノズルに比して大きく、処理深さはブラストに比して大きいと言える。また、拡散ノズルは収束ノズルに比して処理幅が小さくなり、処理した鋼素地面の顕著な減肉が予防できる。ブラスト、拡散ノズルと収束ノズルの線粗さ Rz_{jis} は、それぞれ 40 μm , 70 μm と 90 μm になっており、拡散ノズルと収束ノズルともにブラストに比して値が大きい。なお、すべての処理条件における Rz_{jis} は、鋼道路橋防食便覧の道路橋建設基準 ($25 \leq x \leq 80 \mu\text{m}$) を満たしている。研削材の残留量については、Al と Si の面積比の合計を用いた。その結果、ノズルの種類によらず、研削材の残留量は AWT 処理された試験体 (約 10%) がブラスト処理された試験体 (約 20%) の半分程度になっている。また、ノズルの種類による研削材残留の差異はほとんどなかった。AWT には超高压水を用いるため、鋼素地に研削材がほぼ残留しないため、鋼素地表面の研削材の残留度はブラスト処理に比して著しく低くなる。

2.2 施工条件が腐食生成物や塩類の除去に及ぼす影響

試験体には 20 年間供用された飯牟礼橋から採取した下弦材のハンドホール密閉板 (SMA400AW) を用いた。この板は、重度腐食しており、約 0.3 mm 減肉していた。飯牟礼橋は鹿児島島の沿岸地域から 5 km に位置するため、飛来海塩の影響により、腐食した部材に多くの孔食部が確認された。AWT とブラスト処理とも投射距離を 300 mm とした。その他の処理条件は 2.1 節と同様とする。また、研削材は施工条件によらずガーネット (粒度: 80) を使用した。

AWT とブラスト処理後の SEM-EDX 測定結果を Fig.2 に示す。いずれの処理条件においても腐食生成物は十分除去されたが、Fig.2(a)のようにブラスト処理後、Cl の残留が観察された。一方、Fig.2(b-c)に示す AWT 処理した試験体表面の SEM-EDX 結果から、Cl の残留はほぼ観察されなかった。また、Cl 元素の EDX 半定量分析の結果から、拡散ノズル、収束ノズル、ブラスト処理はそれぞれ 0.2 at%, 0.04 at% および 0.87 at% になっており、AWT 処理がブラスト処理に比べて残留塩分が少なかった。なお、拡散ノズルで処理した鋼素地表面の塩分

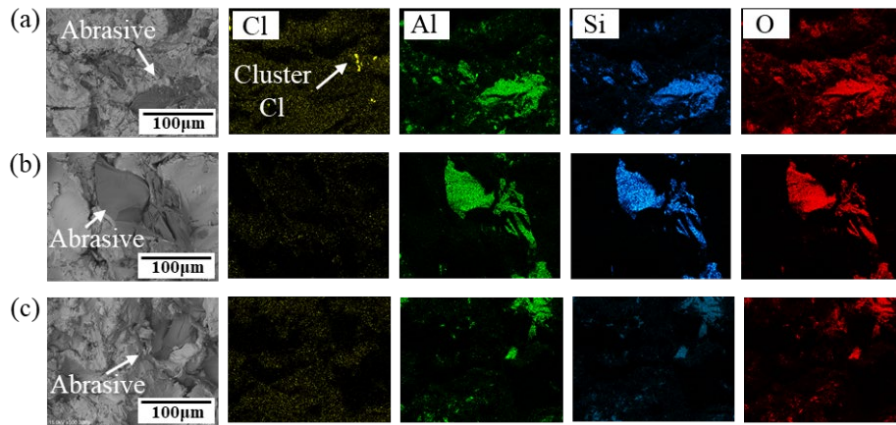


Fig.2 SEM-EDX for the residual chloride of the treated surface of specimens:
 (a) Blast treatment, (b) Divergent nozzle, and (c) Convergent nozzle.

量は 4 mg/m^2 以下であり，鋼道路橋防食便覧基準に規定される 50 mg/m^2 以下を満たしている．これは一度の表面処理で表面塩分量が数 mg/m^2 に達している．また，Cl のイオンクロマトグラフィーの結果も 2 mg/L 以下の値である．したがって，拡散ノズルを用いた AWT 処理は優れた塩分除去性能を有していると言える．拡散ノズル処理前後のコア試験体のマイクロ写真から，深さ $500 \text{ }\mu\text{m}$ の孔食部の腐食生成物が十分に除去されたことが外観から確認できた．また，SEM-EDX 分析の結果により，拡散ノズル処理後の腐食生成物と Cl が十分に除去され，Cl の量も処理前の 0.7 at\% から 0.2 at\% に減少した．したがって，拡散ノズルが孔食領域の残留塩と腐食生成物を十分に除去できると言える．

3. まとめ

本研究では拡散ノズルを用いて AWT の処理効果を検討した．そのために，処理した鋼素地の表面性状と研削材の残留に及ぼす影響をレーザー顕微鏡，SEM-EDX により分析した．また，重度に腐食した実鋼構造物に AWT 処理した鋼材の表面と内部に残留した塩分，腐食生成物および研削材の残留状況を表面塩分測定計，イオンクロマトグラフィー法と SEM-EDX により分析した．

- 1) 拡散ノズルの処理範囲が，ブラストと同程度であり，収束ノズルに比して大きいなることから処理効率が向上する．
- 2) 拡散ノズルの鋼素地の最大侵食深さと粗さは，ブラストに比して大きく，収束ノズルに比べて小さくなる．したがって，AWT 処理に拡散ノズルを用いることで，鋼素地の著しい減肉を予防できる．
- 3) 拡散ノズルを用いて AWT 処理することで，重度腐食した鋼構造物の孔食底部の腐食生成物や塩類を十分に除去できる．

4 - 6

九州地方における将来気候下での
流域管理手法提案に向けた洪水・渇水リスク評価に
基づく災害頻度および水資源量予測

九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門
丸谷 靖幸

九州地方における将来気候下での流域管理手法提案に向けた洪水・渇水リスク評価に基づく災害頻度および水資源量予測

九州大学大学院工学研究院 環境社会部門 助教 丸谷靖幸

1. はじめに

IPCC AR6 WGI (2021) で指摘されているように、気候変動の影響に伴い降水パターンの変化が世界中で顕在化している。平成29年7月級北部豪雨および平成30年7月豪雨は温暖化の影響を受けて、工業化以降よりも豪雨の頻度が増加していた可能性が示唆されている。以上のことから、近年の降水パターンの変化には気候変動の影響が既に表れており、流域環境保全や流域管理を進める上では、気候変動の影響を考慮した検討が必要不可欠である。

既往の多くの研究では、マルチモデルアンサンブルあるいはシングルモデルによる多アンサンブル実験の気候予測値（気候値）を入力データとした気候変動影響評価により、気候データの不確実性を考慮した検討が行われている。一方、例えば洪水予測に用いられる流出モデルでは、予測洪水によって取り得るパラメータにばらつきが存在すると考えられる。しかし、多くの研究では較正期間で決定されたパラメータが検証期間や将来予測に適用されており、流出モデルのパラメータが持つ不確実性についての検討が不十分である。気候変動により前述したような降雨形態が変化している中、既往の多く研究では極端な降水量の増加に伴い、水災害を引き起こす洪水に着目した検討が多く行われている。ただし、IPCC AR5 (2013) では弱い雨の頻度も減少する可能性も指摘されている。降雨形態の変化に着目すると、例えば近年では2018年に全国の国管理河川の5水系6河川（内、九州では2河川）で取水制限を行った渇水は発生したものの、大渇水は発生していない。しかし、気候変動の影響と思われる気候変化が顕著に現れている現状を考えると、今後の流域管理を検討する上では、洪水だけではなく、渇水頻度も考慮した検討が必要不可欠である。ただし、気候変動の影響を踏まえた流域管理として、流域全体で水害対策を行う「流域治水」への転換（社会資本整備審議会、2020）、気候変動も踏まえたダム操作の検討などが進められているが、そのほとんどが洪水に着目したものであり、渇水リスクも含めた議論が不足しているのが現状である。そこで本研究では、九州地方における河川流域を対象に洪水・渇水リスク評価を同時に行い、過去から将来に亘る災害頻度および水資源量の長期変化を把握することで、適切な流域管理手法を提案することを最終的な目標とする。なお、本研究では九州地方にある下笠ダム流域、立野ダム流域および鶴田ダム流域の3流域を対象とした。

2. 研究概要

較正期間の最適パラメータ時の評価値（例えばNSEやCoD）を基準とし、ある評価値の範囲までを流出モデルのパラメータが取り得る幅であると仮定し、流出モデルと気候データの不確実性を考慮した気候変動影響評価を行い、過去から将来に亘る洪水および渇水頻度の評価を行うことを目的とする。流出モデルとしては3段タンクモデルを用い、SCE-UA法を利用することで最適モデルのNSE値-1の範囲を流出モデルのパラメータが取り得る幅であると仮定し、既往最大洪水流量が生じた洪水イベントを対象に不確実性を考慮した流出モデル（可能流出モデル）を構築した。なお本研究では、可能流出モデルは最適モデルにおけるNSE-0.1の範囲を取るパラメータを用いた流出モデルとした。構築した可能流出モデルを用い、既往2位の洪水イベントを対象に検証を行った結果、可能流出モデルのNSEの最低値は0.8以上の値を示したため、同定したパラメータにより流出傾向を再現できることが確認された（図-1）。ただし、利用するパラメータによりピーク流量や低減流量においてばらつきが大きいことが分かる。つまり、気候変動影響評価のように不確実性を踏まえた議論を行う際には気候データだけではなく、流出モデルの不確実性も含めた評価が重要であることが確認された。

続いて、気候データとして地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース(database for Policy Decision making for Future climate change: d4PDF)の降水量と気温を可能流出モデルへの入力値として用いることで、気候データおよび流出モデルの不確実性を考慮した洪水・渇水頻度に与える気候変動影響評価を行った。d4PDFには観測値との間にバイアスが存在するため、本研究ではWatanabe et al. (2020)により補正を行った。なお本研究では、現在気候30年(1981-2010年)×50アンサンブル(=1,500年分)、将来気候(4°C上昇条件)60年(2051-2110年)×6SST×15アンサンブル(=5,400年分)を用いた。

気候変動が河川流況全体に与える影響を評価するため、河川流況曲線を確認した（図-2）。その結果、将来気候では現在気候に比べて洪水流量が増加傾向を示しており、最適モデルにおいて下笠ダム流域で1.15-1.23倍、立野ダム流域で1.31-1.47倍、鶴田ダム

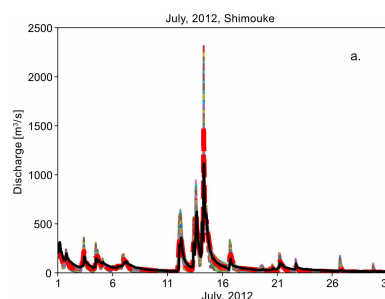


図-1 検証期間における流出解析結果。黒線：観測値、赤太破線：最適パラメータによる計算値、他色破線：計算値。例として下笠ダム流域の結果を示す。

流域で1.36-1.53倍になる可能性が確認された。洪水頻度に関しては、最適モデルでは変化が小さいものの、可能流出モデル全体で見た場合、増加する可能性が確認された。そこで、より詳細な洪水頻度の変化を確認するため、各流域の洪水流量の発生回数を図-3に示す。その結果、河川流況曲線と同様に最適モデルでは洪水流量の発生頻度がほぼゼロあるいは非常に小さいことが確認された。一方、可能流出モデル全体で見た場合、洪水流量以上の発生頻度が大きいモデルも存在する。

そこで洪水流量、頻度に影響すると考えられる年最大24時間流域平均降水量を確認した結果、低頻度に発生する強降水量が将来気候では現在気候と比べて、下笠ダム流域では1.11-1.23倍、立野ダム流域では1.17-1.22倍、鶴田ダム流域では1.13-1.24倍であることが確認された(図-4)。また、強降水量の発生頻度も将来気候において増加傾向を示しており、可能流出モデルでは最適モデルよりも降雨に鋭敏に反応するパラメータを持つモデルが存在するため、洪水頻度の変化が明確に示されたと推測される。

さらに高頻度で発生する平水および低水流量の変化も最適モデルでは小さいものの、可能流出モデル全体では非常に大きく示されている。そこで、渇水頻度の変化をより詳細に確認するため、各流域の渇水流量の発生回数を図-5に示す。その結果、将来気候では渇水頻度が増加していることが分かる。可能流出モデル全体で見た場合、渇水頻度は非常に大きく示されている。これは、将来気候の各月の無降雨日数が現在気候よりも増加あしたためであると考えられる。前述した通り、可能流出モデルでは最適モデルよりも降雨に鋭敏に反応し、立ち上がりおよび急激な流量の低減を生じるパラメータを持つモデルが存在するため、無降雨日数が増加することで、モデル上の流域内貯水量が減少したことが要因であると考えられる。

以上の結果より、気候データの不確実性をのみを考慮し、最適モデルにより河川流況の気候変動影響評価を行った場合、例えば洪水や渇水頻度の変化傾向を見逃してしまう可能性があることが推測される。本研究では可能流出モデルの範囲をNSE-0.1となるパラメータとして設定している点は、より詳細に引き続き検討を行う必要があるものの、今後の流域管理を行う上では、気候データの不確実性のみではなく、流出モデルの不確実性も考慮した検討が重要であることが示唆された。また、本研究の結果により、九州地方では洪水だけではなく渇水の頻度が増加する可能性も大きいことが示唆された。現在はダム上流域における検討のみであるが、今後は本解析結果とダム運用に関するモデル(ダムモデル)を組み合わせることで、将来における適切な水資源管理を方策に関する検討を行っていきたいと考えている。

3. まとめ

本研究では九州の3つのダム上流域を対象に、流出モデルと気候データの不確実性を考慮した気候変動影響評価を行い、特に流出モデルの不確実性が気候変動影響評価における重要性の評価を目的として検討を行った。

本研究では既往の研究では実施されていない、流出モデルの不確実性も考慮した気候変動影響評価を本研究で新たに取り組み、可能流出モデル(取り得ると想定されるパラメータを用いる流出モデル)を用いたことにより、最適モデルのみでは確認することが出来ない、洪水や渇水頻度の変化傾向を予測できる可能性が確認された。実現象においても流出モデルのパラメータは流域内の状況により変化するため、気候データの不確実性のみではなく、流出モデルの不確実性も考慮した検討も重要となると考えられる。また、九州地方では洪水頻度の増加や総降水量の増加が多くの研究で示唆されているが、洪水だけではなく渇水の頻度が増加する可能性も大きく、適切な水資源管理が重要となる可能性が高いことが本研究により示唆された。

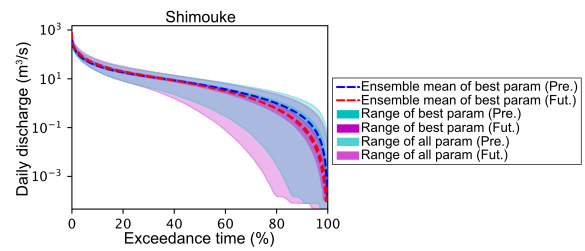


図-2 現在気候と将来気候における河川流況曲線。例として下笠ダム流域の結果を示す。

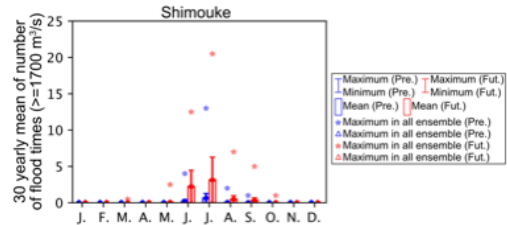


図-3 現在気候と将来気候における洪水流量の発生回数。例として下笠ダム流域の結果を示す。

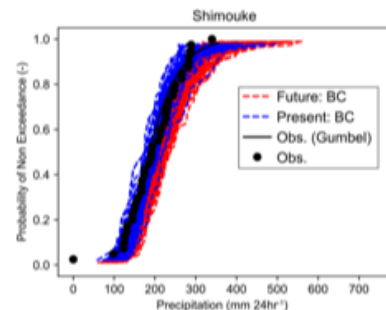


図-4 現在気候と将来気候における年最大24時間降水量。例として下笠ダム流域の結果を示す。

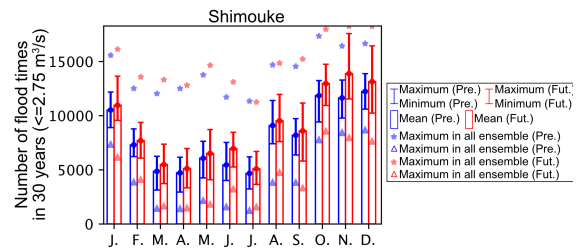


図-5 現在気候と将来気候における渇水流量の発生回数。例として下笠ダム流域の結果を示す。

4 - 7

地域の素材を活用した汎用型断面修復材の
開発に関する基礎的研究

九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門
福永 隆之

1. はじめに

既存コンクリートの構造物を適切に維持管理し、社会資本の長寿命化が求められている時代となっている。そのような社会情勢の中で、劣化したコンクリート構造物を補修する方法として、断面修復工法が多く用いられている。補修に使用する断面修復材には、施工性能、硬化性能、耐久性ならびに付着性能が求められる。断面修復材には、様々な種類があるが、要求される環境、施工および耐久性条件を踏まえて適切な材料選定の実施が重要である。そのため、各条件に左右されずに広く適用可能な断面修復材が求められている。

火山性堆積物であるシラスは、南九州に広く分布し、その堆積量は鹿児島県だけでも 750 億 m^3 と多い。シラスの鉱物組成は、シリカとアルミナの非晶質粉体で構成されているため、工業製品の材料として最適である。しかし、現在シラスの使用用途や使用量は少なく、シラスの新たな活用方法が望まれている。これまでの研究で、シラスを用いることにより、供試体の硬化性能や塩害や酸劣化に対する耐久性が大幅に向上する点や、同じ混和材である高炉スラグ微粉末やフライアッシュを利用した供試体よりも優れていることを報告している。しかし、シラスは主に細骨材でしか利用されておらず、活用方法が限定的であるため、新たな活用方法が望まれている。前述したようにシラスは酸性環境や海洋環境で耐久性が優れているため、断面修復材として利用できる可能性が高い。そこで本研究では、シラスを断面修復材へ適用することを目的として、各種試験を実施し、強度や耐久性を明らかにした。

2. 実験概要

2.1 供試体作製方法

本研究で使用した材料を表-1 に示す。セメントは早強ポルトランドセメントを、細骨材はシラスと比較対象として海砂を用いた。シラスは代表的な火砕流である入戸火砕流由来の横川シラスを用いた。横川シラスは粒径 $75\mu m$ 以下の微粒分が約 22% を含む。図-1 にシラスの粒径ごとの XRD パターンを示す。図より、微粒分は、結晶質を含まないため、非晶質で構成されていることが確認できる。このことから、微粒分中の非晶質がポズラン反応を起こすと推察される。これより、本研究ではシラス中の微粒分を結合材として取り扱った。また、図-2 にふるい分け試験結果を示す。シラスは、微粒分を含んでいるため、細骨材の基準を満たさないが、微粒分が結合材としてみなし、除去すると細骨材の基準範囲に入ることが確認できる。配合は水結合材比 W/B を 0.45 から 0.62 の範囲とし、砂結合材比 S/C を 1.6 から 2.0 の範囲とした。練混ぜは JIS R 5201 に準拠して行った。圧縮強度試験と耐硫酸性試験は、 $\phi 50 \times 100mm$ の円柱供試体を用いた。供試体は所定の材齢まで水中養生した。

2.2 供試体作製方法

断面修復材としての流動性を評価するため、流下試験とフロー試験を実施した。流下試験は JSCE-F 541 に準拠した。フロー試験は JIS R 5201 に準拠した。各試験の目標値はそれぞれ、8 秒 \pm 2 秒、170mm とした。流下試験に適した配合は充てん工法に、フロー試験に適した配合は左官工法への活用を検討した。各試験で目標値に近い値を得た配合を用いて、供試体を作製し圧縮強度試験と耐硫酸性試験を行った。圧縮強度試験は所定の材齢で行った。耐硫酸性試験では、供試体の上下面にエポキシ樹脂を塗布し、材齢 28 日で濃度 10% の硫酸に浸漬を開始した。硫酸は 1 週間ごとに全量取り換えを実施し、その際、重量減少、浸食深さ、中性化深さの 3 項目を測定した。浸食深さは、浸漬前後の各供試体の直径の差とした。中性化深さは、浸漬後の供試体を割裂し、割裂面にフェノールフタレ

表-1 実験で使用した材料

材料	物性値
早強ポルトランドセメント	密度：3.14 g/cm^3 比表面積：4380 cm^2/g
横川シラス	表乾密度：2.23 g/cm^3 吸水率：5.15 % 微粒分量：21.8
海砂	表乾密度：2.54 g/cm^3 吸水率：1.09 %
水道水	

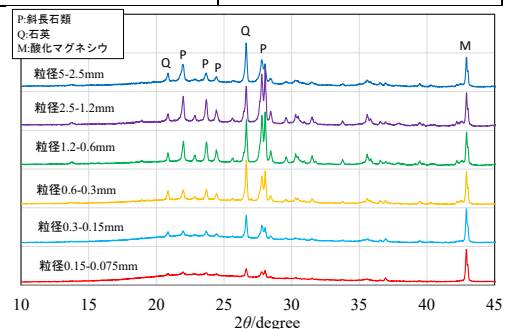


図-1 シラスの各粒径ごとの XRD パターン

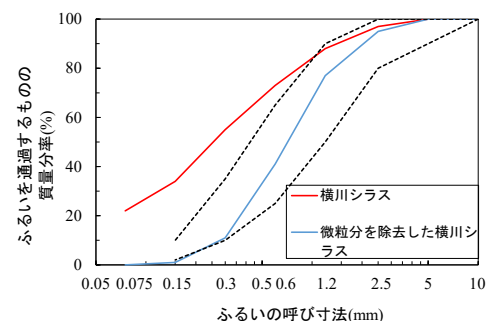


図-2 シラス細骨材のふるい分け試験結果

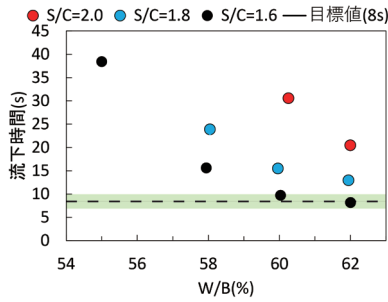


図-3 Jロート試験結果

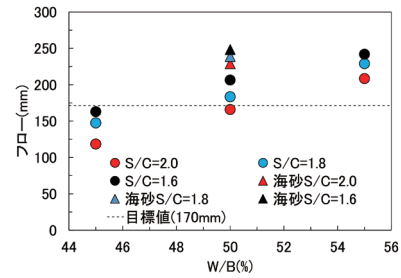


図-3 モルタルフロー試験結果

イン 1%溶液を噴霧した。浸漬前の供試体の直径から赤く呈色した部分の長さを差し引いて中性化深さを求めた。

3 試験結果および考察

図-3 に流下試験の結果を示す。緑色の領域は、目標値を示している。同じ S/C での流下時間は W/B の増加に伴い、減少する結果を得た。どの S/C も W/B が高くなれば流下時間が一定の値に収束すると推測した。S/C=1.6, W/B=62, 60%の2配合が目標値に収まった。図-4 にフロー試験の結果を示す。図中の黒色の点線は、目標値を示している。図より、同じ S/C のフロー値は W/B の増加に伴い直線的に増加した。一方、海砂を用いた3配合はいずれも、同じ W/B の横川シラスを用いた配合よりもフロー値が大きくなった。W/B=50%の横川シラスの3配合と、W/B=48%で S/C=1.8 と W/B=52%で S/C=2.0 の2配合が目標値に近く、比較対象として W/B=50%の海砂の3配合を加えた合計8配合に対して強度と耐久性を評価した。

図-5 に圧縮強度試験の結果を示す。配合名の B は水結合材比を、S は砂セメント比を示す。横川シラスを用いた配合の圧縮強度は、未使用の配合よりも小さい。これは、結合材中のセメントの量が少ないことや、微粒分の反応が遅いことが考えられる。一般的にポズラン反応は材齢 91 日以降に起こるといわれているので、長期的にみると横川シラスを用いた配合の圧縮強度は未使用の配合よりも上回ると推察される。

浸漬日数と重量変化率の関係を図-6 に、浸漬日数と浸食深さの関係を図-7 に、浸漬日数と中性化深さの関係を図-8 に示す。一例として、S/C=1.8 の配合の結果を示す。図-6 より、海砂を用いた配合は重量が減少している。一方、シラスを用いた配合はほとんど変化がない。図-7 より、海砂を用いた配合が最も浸食されていた。図-8 より、3 配合とも中性化が進行していたが、シラスを用いた配合の中性化深さは、海砂を用いた配合よりも小さい。これは、シラスを用いた配合のセメント量が海砂の配合よりも少なく、硫酸に浸食されにくいためである。したがって、シラスを用いた配合は硫酸に対する耐久性が優れていると推測した。

4 まとめ

シラスを断面修復材として適用するために充てん工法と左官工法に適した配合を検討した。シラスを用いた配合は初期強度が小さいが、長期的にみれば海砂を用いた配合よりも圧縮強度が大きくなる可能性がある。シラスは海砂よりも硫酸に対する耐久性が優れていた。以上より、シラスは断面修復材として利用できる可能性がある。

参考文献

- 1) 福永隆之ら：シラスを混和材として利用したモルタル供試体の遮塩性能について、コンクリート工学年次論文集, Vol.40, pp.717-722, 2018.

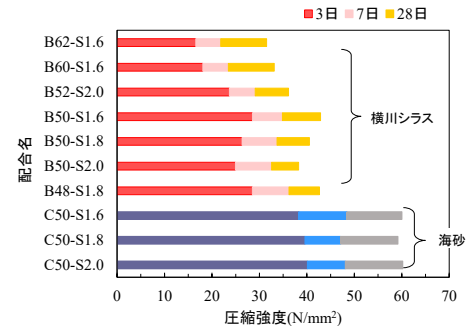


図-5 各供試体の圧縮強度

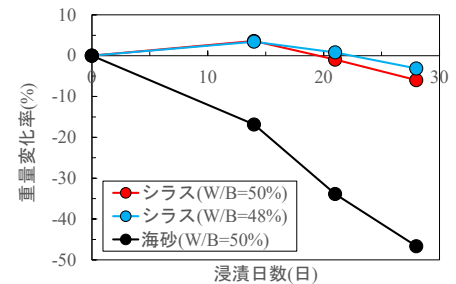


図-6 硫酸浸漬日数と重量変化率の関係

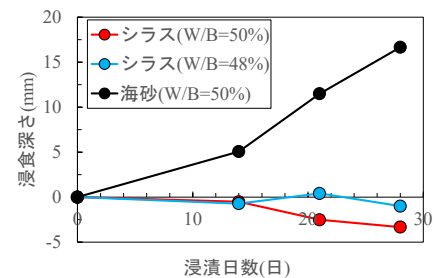


図-7 硫酸浸漬日数と浸食深さの関係

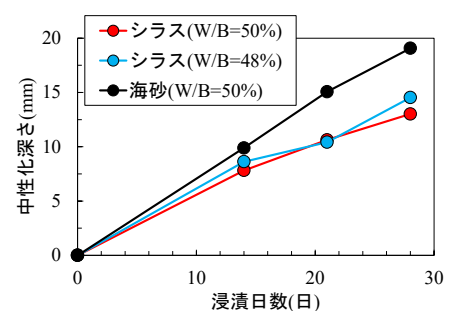


図-8 硫酸浸漬日数と中性化深さの関係

4 - 8

竹廃材を有効利用した防災・災害復旧への
地盤改良工法の開発

福岡大学 工学部社会デザイン工学科
古賀 千佳嗣

竹廃材を有効利用した防災・災害復旧への地盤改良工法の開発

福岡大学 工学部 古賀 千佳嗣

1. まえがき

近年、異常気象に伴う豪雨が多発しており、時間雨量 50mm を上回る短時間強雨や総雨量が数 100mm から 1,000mm を超えるような大雨が様々な災害をもたらしている (図-1)。また、全国に約 20 万箇所存在するため池は、多くが小規模なものである上に、築造年代が古いものが大半を占めており、豪雨により決壊が多発し被害を被っている。このように、豪雨による災害の防止対策として、ため池の浚渫土砂事前整備、災害復旧作業においては、流入土砂の搬出が早急に求められる。水害の現場において、水深が低下した後の流入した土砂は、水分が多く含み、スコップ等で掬い上げることが難しく、復旧にあたって困難である。そのため、環境を配慮し安価で、その地域で有効利用できる新しい改良技術が急務となっている。一方、竹は非常に繁殖力が強く、近年の輸入製品や他の素材の製品に押され需要が低迷し、竹林が放置されている。その結果、特に西日本において竹林の放置が目立ち 30 年間で竹林面積が 10%以上増加し、全国で約 16 万 1 千 ha に至る。近年では小型の粉碎機が開発され、山間部でチップ化できることにより、安価に大量の竹の搬出が可能となっている。このチップ化された竹を、有効利用することは今後必要な技術であると考えられ、脱炭素や SDGs の観点からも着目されている。そこで本研究では、竹廃材を有効利用して環境に優しく安価な地盤改良の開発を目的としている。特に竹の品種、採取時期における吸水効果と竹チップを用いた搬出における改良効果について検討した結果を報告する。

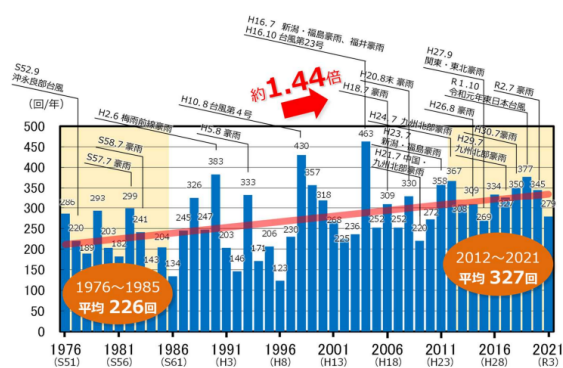


図-1 1時間降雨量 50mm 以上の年間発生回数

2. 研究概要

2.1 竹の品種、採取時期における吸水効果

2.1.1 用いた竹チップ 本研究では小型の粉碎機を用いてカッティングフィルターの円形 20mm 目を通りさせ 2~35mm 長にチップ化した。竹チップの諸特性を表-1 に示す。竹の種類は、同時期、同生長の孟宗竹と真竹の 2 種類を用いた。また、孟宗竹を用いて、季節の影響を踏まえ、3, 7, 11 月に採取したものと、生長 1 年未満, 3 年以上, 枯竹の 3 種類をチップ化した。チップ後は、6 時間の天日干しを実施し乾燥させている。いずれの竹も晴天時に伐採しているため、比較的初期含水比が低く、特に枯竹は低い値を示している。また、天日干し後は $w_B=8\sim 11\%$ の値を示し、大きな差が生じていないことがわかる。

2.1.2 吸水試験方法 水中における吸水試験は、水を入れた容器の中に竹チップを入れ、攪拌混合を行い、湿潤状態と絶乾状態の質量を測定することで吸水比を算出し、吸水力を把握することを目的としている。ここで、吸水比とは絶乾状態の竹チップに対して吸水した水の量とする。式-1 に吸水比の算出式を示す。

$$\text{吸水比 } S_u = \frac{\text{竹チップの吸水した量}}{\text{絶乾状態の竹チップの質量}} \quad \dots \text{式-1}$$

使用する竹チップは数量の水分を保有しているため、これら以外が吸水された水分量として算出した。試験は、容量 1L 容器に 100g の蒸留水と蒸留水の 10%分竹チップを入れ攪拌混合する方法で行った (写真-1)。一条件につき検体数 $N=5$ とした。測定時間の 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0,

表-1 竹チップの諸特性

外観			
竹の種類	孟宗竹	真竹	孟宗竹
竹の生長	3年以上		
採取月	3月	3月	7月
チップ加工時の含水比 w_B (%)	58.1	61.4	106.5
チップ後乾燥時の含水比 w_B (%)	8.58	11.08	9.07
チップ長	2-35mm		
外観			
竹の種類	孟宗竹	孟宗竹	孟宗竹
竹の生長	1年未満	3年以上	枯竹
採取月	11月	11月	11月
チップ加工時の含水比 w_B (%)	81.2	74.5	16.7
チップ後乾燥時の含水比 w_B (%)	9.51	8.89	8.01
チップ長	2-35mm		



写真-1 試験中の様子

6.0, 9.0, 12.0, 18.0, 24.0 時間後に試料をピンセットで約 2g 採取し、試料表面の水分は容器内で十分に落とした後に湿った布でもう一度水分を落とし、含水比カップに入れ質量測定した。竹チップは炭化しないように、60°Cの炉乾燥器内で 2 日間乾燥し絶乾状態にした。

2.1.3 各竹チップの吸水効果 図-2

に竹チップの含水比の平均値より算出した吸水比と経過時間の関係（竹の種類の影響）を示す。孟宗竹と真竹を比較すると、竹の吸水比 S_u に若干の差が生じているものの、大きな差はみられない。これにより、竹はチップ化することで、竹の種類に関係なく同様の吸水効果が得られていることがわかる。図-3 に竹チップの吸水比と経過時間の関係（竹の採取時期の影響）を示す。いずれの時期においても、竹チップ水浸直後でも、吸水比 $S_u=110\%$ 以上の値を示していることがわかる。竹の採取時期を比較すると、水浸 2 時間後の吸水比が 7 月採取のみ若干高い値を示している。これは、梅雨時期に多くの水分を吸収して生長する竹の生育特徴が要因と考えられる。実際、表-1 の竹の諸特性におけるチップ化直後の竹チップの含水比をみると、 $w_{Bn}=106.5\%$ と他の竹チップよりも高い値を示している。水分量の多い竹は、水分量が多い分、乾燥時に大きな間隙を生み、吸収できる水分量が増加したと考えられる。現場では吸水比がより高い竹チップが望ましいが、その差は 30% 以内であり、竹の採取時期に関係なく十分な吸水効果が得られると推測される。次に、図-4 に竹チップの吸水比と経過時間の関係（竹の生長時期の影響）を示す。竹の生長時期を比較すると、生長が早い竹ほど 2 時間後の吸水比が高い値を示している。これは、竹の含水比が生長の早いものほど高い値を示し、採取時期同様の要因と考えられる。さらに、生長の早い竹は天日干ししても柔軟性があり、急激な水分の吸収を可能にしたと考えられる。また、枯竹は自然乾燥時に収縮し、他の竹に比べ吸水比が低く、初期では $S_u=40\%$ を示している。以上を踏まえると、生長時期に関しては、枯れた竹以外吸水材として使用することが望ましいと考えられる。

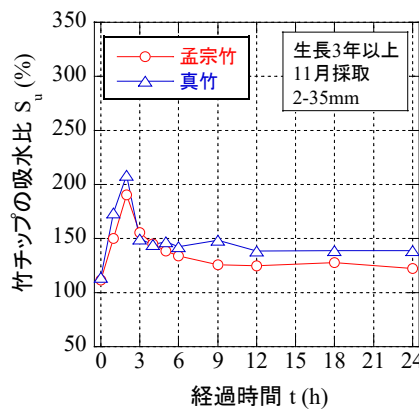


図-2 水浸経過時間と竹チップの吸水比の関係（竹の種類の影響）

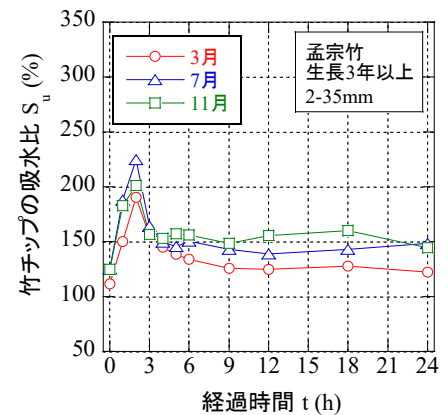


図-3 水浸経過時間と竹チップの吸水比の関係（竹の採取時期の影響）

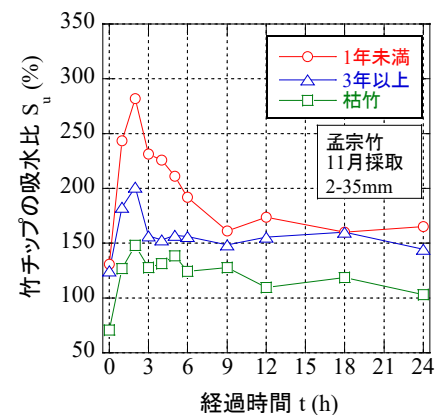


図-4 水浸経過時間と竹チップの吸水比の関係（竹の生長時期の影響）

2.2 竹チップを用いた搬出における改良効果

2.2.1 用いた土試料 土試料には液塑性体の性質は異なるカオリン粘土と木節粘土の 2 種類を用いた。表-2 に土試料の物理特性を示す。土試料を 2 種類用いて、初期含水比 $w_0=1.5w_L$, $2.0w_L$ とした。添加する竹チップの原料の竹は、孟宗竹の生長 3 年以上で 11 月に採取し、天日干しで乾燥させた 2-35mm 形状のチップを用いた。

2.2.2 搬出試験の内容と試験方法 表-3 に試験条件を示す。今回の竹チップの添加率は、土試料の乾燥質量に対する外割し、搬出する上で搬出量の増加は復旧作業にも作業性を低下させてしまうため、竹チップ添加率 $B=0\sim 50\%$ とした。

1) **スコップ試験** 災害現場を想定しスコップで掬える量 M_s を測定した。対象となる土試料を含水比調整後、トロ舟に 30kg 投入し、所定の竹チップを添加した。検体数は $N=5$ で行い、スコップは剣形を用いた。

表-2 土試料の物理特性

	カオリン粘土	木節粘土
土粒子の密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.731	2.690
強熱減量 I_g - loss (%)	3.1	8.5
細粒分含有率 F_c (%)	100.0	96.4
液性限界 w_L (%)	51.7	44.0
塑性限界 w_P (%)	34.3	16.1
塑性指数 I_P	17.4	27.9

表-3 試験条件

土試料		竹チップ		
種類	初期含水比 w_0 (%)	竹の特性	チップの状態	竹チップ添加率 B (%)
カオリン粘土	1.50 w_L	孟宗竹 生長3年以上	自然乾燥竹 $w_B=8.89\%$	0
				10
木節粘土	2.00 w_L	11月採取	2-35mm	20
				30
				40
				50

2) コーン指数試験 (JIS A 1228) 一般的にトラックで運搬できる強度はコーン指数 $q_c=200\text{kN/m}^2$ として判定されるが、本研究ではスコップで掬うことのできる強度をコーン指数にて検討し、実際の復旧作業時の指標を見出すことを目標とし検討した。供試体は、直径 10cm、高さ 12.5cm のモールドを用いて、タッピング法にて (各層 8 回)、3 層に分けて底面を床に打設し作製した。

2.2.3 竹チップ添加による改良効果

スコップで掬える量 M_s は、竹チップを含んだ質量であり、実際に搬出できた量ではない。そこで、スコップで掬える量 M_s から竹チップの質量を差し引き、実際に搬出できた量 M_s' を算出した。図-5 に竹チップ添加率と搬出できた土量の関係を示す。カオリン粘土の初期含水比 $w_0=2.0w_L$ 以外は、いずれの試料においても、竹チップ添加率 $B=20\sim40\%$ 時に最も多く搬出することができている。従来の搬出量に比

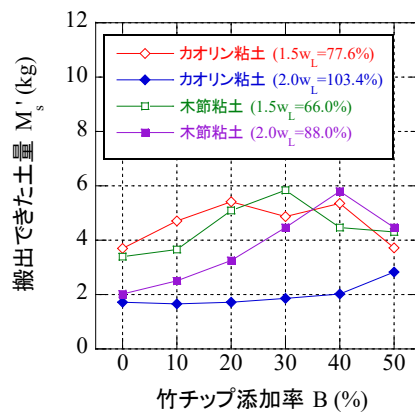


図-5 竹チップ添加率と搬出できた土量の関係

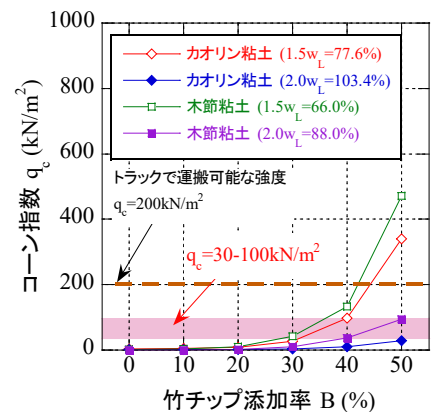


図-6 竹チップ添加率とコーン指数の関係

べ、初期含水比 $w_0=1.5w_L$ では約 1.5 倍、初期含水比 $w_0=2.0w_L$ では約 3 倍もの搬出が可能となっている。カオリン粘土と木節粘土を比較すると、液性限界が低く、時間経過に伴う水捌けのよい試料により効果的であることがわかる。また、液性限界より初期の含水比が大きく影響し、図-5 中に示す含水比が高い土試料ほど、搬出可能な竹チップ添加量が増加していることがわかる。しかしながら、高含水比のカオリン粘土の初期含水比 $w_0=2.0w_L$ においても、竹チップ添加率 $B=50\%$ 時に約 1.5 倍の搬出量を得ることができている。また、一般的に粘性土の初期含水比 $w_0=2.0w_L$ の場合、時間経過とともに液性限界の 1.5 倍の含水比に低下すること推測されるため、搬出のある程度の含水比低下を見越して改良すると現場の作業効率を向上することができると考えられる。さらに、今回のスコップの掬い上げは、現場の早期復旧を見込み、竹チップと混合時直後の掬い上げとしたため、2 時間程度の養生を設けることで搬出量の増加が予想される。

次に、コーン指数との関係について検討した。一般的にトラックで運搬できる強度はコーン指数 $q_c=200\text{kN/m}^2$ として判定される。本研究ではスコップで掬うことのできる強度をコーン指数として、スコップ試験同様に土試料にてコーン指数試験を実施した。図-6 に竹チップ添加率とコーン指数の関係を示す。いずれの土試料も竹チップ添加率の増加にともない、コーン指数が増加している。特に両試料土の初期含水比 $w_0=1.5w_L$ では明確な増加がみられる。トラックで運搬できる強度のコーン指数 $q_c=200\text{kN/m}^2$ で比較した場合、その殆どが今回のスコップ試験の効果には反映していない。そこで、図-5 より、搬出できた量 M_s' を土試料のみの時よりも 1.5 倍以上増加できた範囲は、 $q_c=30\sim100\text{kN/m}^2$ であることが示された。このように、災害復旧の現場管理の上では、コーン指数 $q_c=30\sim100\text{kN/m}^2$ が指標の 1 つとなる可能性が示唆された。

3. まとめ

3.1 本研究成果 今回、九州地区に多い竹の山林被害から、竹の有効利用を考慮して、新しい地盤改良技術の開発に向けて検討した。特に災害復旧の現場を想定し、改良に使用する竹チップの形状、竹の種類、採取時期、生長時期の条件を踏まえ、改良材の条件に合う吸水材の条件について検討した。また、さらに、実際にスコップで掬うことのできる改良効果を検証し、新しい指標を見出すことを目標とし検討した。本研究で得られた結果を以下に示す。

1) 吸収材に使用する竹は、枯竹を除き、いずれの条件の竹でも、 $2\sim35\text{mm}$ 程度にチップ化することで安価で吸水材として使用できることが明らかとなった。

2) 土試料の含水比と液性限界から、最適な竹チップ添加率時に初期含水比 $w_0=1.5w_L$ では約 1.5 倍、初期含水比 $w_0=2.0w_L$ では約 3 倍もの搬出が可能で改良効果があることが示され、コーン指数 $q_c=30\sim100\text{kN/m}^2$ が指標の 1 つとしての可能性が示された。

3.2 今後の課題 今回、竹チップの天日干しで十分な乾燥処理を得られたが、乾燥に十分なヤードと時間を要した。竹チップの吸水効果の向上、腐敗対策及び長期保存には、乾燥処理は必要不可欠のため、更なる簡易的な乾燥処理方法を検討する必要があると考えられる。また、竹チップのスコップ搬出作業において、改良効果は明らかであるが、土試料の含水比やコーン指数の算出は、土試料を試験室に持ち込んでの作業となる。実現場を想定した時にもっと簡易的に適度な竹チップ添加量が算出できる方法が必要となると考える。

4 - 9

位相差による波源方向推定を用いた
構造物内部欠陥可視化システム

宮崎大学 工学部環境ロボティクス学科
李 根浩

位相差による波源方向推定を用いた構造物内部欠陥可視化システム

宮崎大学 李根浩

1 まえがき

近年建設事業従事者の減少が目立っており¹⁾、点検作業に対する人手不足が問題になっている。打音検査に関する研究は多く行われている²⁾が、周波数などの信号取得、解析・学習による検査手法では検査点における欠陥の有無という一次元的な情報の取得に留まっている。位相差に着目することでコンクリート内部にある欠陥位置方向を三次元的に推定することができる³⁾。本研究では打撃によって生じた音波の位相特性に着目し、内部欠陥による打撃波の位相特性の検討を行うために、打撃、及び欠陥位置をパラメータとして伝播速度について比較検討を行う。さらに、打音検査の省力化・効率化を目的に、打撃機能と集音機能を備えた打音検査機構を開発し、打音検査機構の実現性について検証する。

2 研究概要

2.1 内部欠陥が打撃波の伝播速度に及ぼす影響

2.1.1 実験概要・結果

打撃、及び欠陥位置が打撃波の伝播速度に及ぼす影響について検討する。供試体は人工欠陥の有無をパラメータとして、2種類のものを作製する。例として欠陥有りの供試体形状寸法を図-1(a)に示す。欠陥は発泡スチレン板を用いて人為的に再現する。実験装置の設置位置は欠陥がある供試体を具体例として図-1(b)に示す。無筋コンクリート供試体の欠陥があるものと無いものを用いて実施する。図-2に示す打撃装置による連続5回打撃を1セットとして合計3セット行い、その平均を実験結果とする。

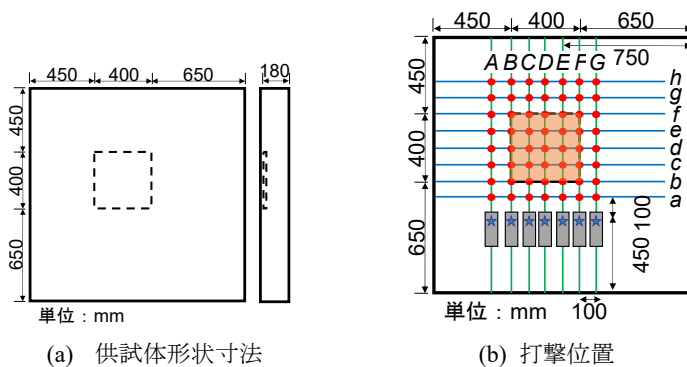


図-1 実験概要

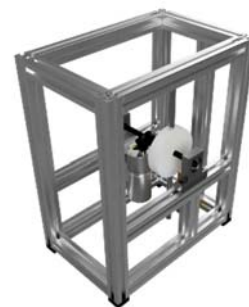


図-2 打撃装置

欠陥中心からの距離による伝播速度を図-3に示す。欠陥が無い場合、a点-b点間の伝播速度はa点-b点間以外の位置の伝播速度と比較すると400m/s程度低下した。a点-b点間以外の伝播速度は場所に関係なく約1800m/sになった。

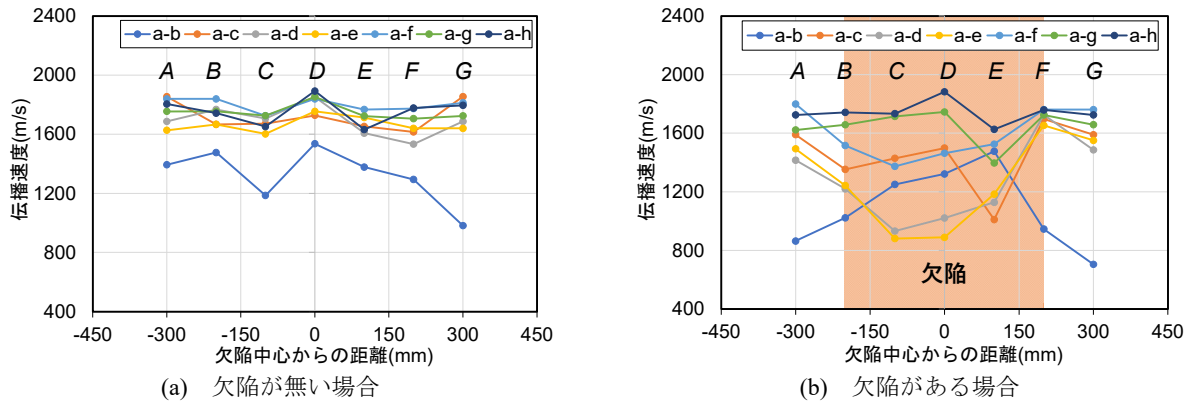


図-3 欠陥中心からの距離による伝播速度の比較

欠陥がある場合、a点-b点間の伝播速度はA列とG列で大きく低下した。欠陥部分(a点-c点間、a点-d点間、a点-e点間、a点-f点間)の伝播速度は欠陥の中心を基準に下に凸の二次関数のように低下し、欠陥後(a点-g点間、a点-h点間)の伝播速度は欠陥の場所に関わらず1800m/sになった。これらの結果から欠陥前の伝播速度は欠陥の有無に関係なく、打撃位置からの距離の影響を受けると推察する。欠陥部分の伝播速度は欠陥があると、伝播物質の変化を受けていると推察する。また、欠陥の有無に関わらず1800m/s程度になったため、欠陥後の伝播速度は欠陥の影響を受けないと推察する。

2.2 打音検査機構

2.2.1 機構概要

打音検査機構は、打音検査に必要な打撃機能と集音機能を搭載する必要がある。本機構において打撃機能にはソレノイド、集音機能には2.1.1項の実験と同じ圧電素子マイクを用いる。さらに機構を壁面に押し付けたときに壁面と垂直になるように、上下左右に可動するジョイントを搭載する。

2.2.2 動作実験・結果

打音検査機構を路面移動型打音検査ロボットに搭載し、実際のトンネル内で打音検査実験を行う。実験は約1.5kmのトンネル内部で20mごとに検査を行う。図-4は取得した打音波形である。実験では約1.5kmを走破し、75個に及ぶ打音データの取得に成功した。また、

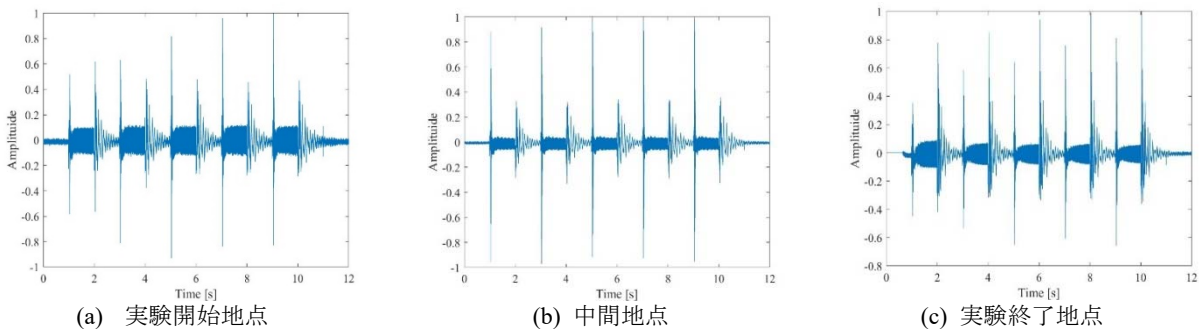


図-4 トンネルでの打音検査実験で取得した打音波形

トンネル内で打音検査実験において同様の傾向の波形を確認できることから、開発した機構が実環境下において連続した検査に耐えられることを示した。

3 まとめ

打撃、及び欠陥位置の変化による伝播速度について考察を行った結果、伝搬速度は欠陥があると、伝播物質の変化を受けて、欠陥の後半部分で減少する傾向にあることを確認できた。この結果は伝播速度により欠陥位置を推定できる可能性を示唆している。また、打音検査機構の開発及びロボットに搭載した動作実験を行い、現場環境下でも十分に動作することを確認した。今後は伝搬速度などの指標を用いた欠陥位置推定手法及び、自動打音検査ロボットの開発に取り組む。

参考文献

- 1) 国土交通省:令和2年度版国土交通白書, <https://www.mlit.go.jp/statistics/file000004.html>, (閲覧日 R4.2.4)
- 2) 魚本健人, 伊東良浩: 打音法によるコンクリートの非破壊試験, コンクリート工学論文集, 第7巻, 第1号, pp.143-152, 1996.
- 3) 多田羅一昂, 李根浩, 丁洛榮: 移動ロボットの目標追従タスクに適した電波到来方向探知手法, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.829, pp.1-12, 2015.