

令和4年度 研究等助成事業「成果報告書」の発刊にあたって

近年、地球温暖化や洪水被害の激甚化・広域化などと共に、インフラの老朽化対策等も含めた、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、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ながら公募による助成を行っています。更に、平成20年度より、河川、道路、道路、環境、防災、構造物維持管理、景観デザイン等をテーマとして実践的な人材育成等の取り組みについても公募による助成を行っています。

本成果報告書は、令和4年度の継続案件を除く調査研究9件、人材育成1件の計10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、当協会の研究等助成事業に対し、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5年8月

一般社団法人 九州地域づくり協会

令和4年度 研究等助成事業 成果報告書

目 次

1. 研究等助成事業について

令和4年度

・調査研究助成事業

募集要項	3
------	---

・人材育成助成事業

募集要項	5
------	---

2. 審議委員会及び研究等報告会の経緯と発表課題への講評	7
------------------------------	---

3. 今回支援を受けての感想等について	11
---------------------	----

4. 成果報告（概要版）	19
--------------	----

令和4年度 調査研究助成者

1). エネルギーハーベスティングを考慮した斜面防災に向けた早期警報システムの構築	21
九州大学大学院 工学研究院社会基盤部門 ハザリカ ヘマンタ 氏	

2). 塗膜劣化傷と鋼材の電気化学機構の連成解明に基づく腐食センサの開発	27
九州大学大学院 工学府土木工学専攻 楊 昊軒 氏 (発表 共同研究者 貝沼 重信 氏)	

3). 筑後川上流域のダム群による治水効率の最適化	33
佐賀大学 理工学部 都市工学部門 押川 英夫 氏	

4). 河岸ガタ土堆積抑制システムの開発とその効果に関する研究	39
佐賀大学 理工学部 都市工学部門 山西 博幸 氏	

5). かわまちづくりによる流域連携の促進に関する研究	45
熊本大学大学院 先端科学研究部 田中 尚人 氏	

6). 河川増水による横力・揚力を受ける鋼製支承部の損傷プロセスの検討	49
熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター 防災型社会システム部門 松村 政秀 氏	

7). 流れ中にある橋梁の流出挙動と流出対策工法に関する研究	55
熊本高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻 岩坪 要 氏	

8). ESGが示す建設産業の現状評価と産官金への意識調査を通じた新たな価値創出	61
熊本高等専門学校 生産システム工学系 AC-G r 松家 武樹 氏	

- 9). シラスを含む築堤材料の保水・透水特性の試験データ蓄積と数値力学モデルの改良・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 67
鹿児島大学大学院 理工学研究科 中島 亮輔 氏

令和4年度 人材育成助成者

- 10). インフラ老朽化を克服するためのデジタル技術利用の実践・・・・・・・・・・・・・・・・ 73
九州大学大学院 工学研究院 佐川 康貴 氏

1. 研究等助成事業について

【 令和4年度 調査研究助成事業 募集要項 】

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) 特定テーマ

①地域の活性化・再生

AI、5G等の新技術を活かしながら、ポストコロナ時代において誰もが多様なカタチで社会参加できる持続可能な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

令和3年6月18日策定された第2次「国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)」(実施期間: 令和3年から令和7年まで)に基づくインフラメンテナンスの取り組みを更に充実・深化していく予定です。

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り組み及び生産性向上方策の取り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。

※参照: 国土交通省HP https://www.mlit.go.jp/report/press/sogo21_hh_000159.html

③九州地域等における防災・減災対策

広域かつ激甚化・頻発化する、または切迫する風水災害・土砂災害・地震・津波・噴火等の自然災害に対し、強くてしなやかとする対策がなされ、国民が安心して生活を送ることができる社会が求められています。

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。

※参照: 国土交通省HP https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_tk_000034.html

2) 一般テーマ

上記特定テーマ以外の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。(※以下の参照はあくまで参考であり、それにこだわるものではありません。)

※参照: 国土交通省HP https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000003.html

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。

1. 「申請書」…………… 別紙(様式1)によります。
2. 「研究開発計画書」(概要版)…………… 別紙(様式2)によります。
3. 「研究開発計画書」…………… 別紙(様式3～4)によります。

- ・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件とします。(人材育成を含む)
- ・申請書の様式等は、当協会ホームページ<http://www.qscpuu.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(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**10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4年度 人材育成助成事業 募集要項 】

1、[趣 旨]

国際化、情報化等に伴い、国民のニーズが多様化する中で、適切な国土管理、円滑な社会資本の整備及び利活用を進めることが重要です。

これらに寄与するために、河川、道路、環境、防災、構造物維持管理、景観デザイン等をテーマとして、実践的な人材育成や教育の取り組みを九州地区の大学、工業高等専門学校、団体等を対象に募集し、それに要する費用を助成するものです。

2、[募集テーマ]

河川、道路、環境、防災、維持管理、景観デザイン等をテーマに、技術伝承を通して持続可能な社会づくりに資する若手人材の実践的育成、教育の取り組みとします。

3、[応募方法]

応募する人材育成の目的、内容、特色、予想される効果等について「人材育成計画書」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。

1. 「申請書」……………別紙(様式1)によります。
2. 「人材育成計画書」(概要版)……………別紙(様式2)によります。
3. 「人材育成計画書」……………別紙(様式3～4)によります。

- ・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件とします。(研究開発を含む)
- ・申請書の様式等は、当協会ホームページ <http://www.qscpua.or.jp/> より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、工業高等学校等の人材育成のグループ、その他、上記の趣旨にそって活動している団体とします。

また、複数校と連携して行う方法、または地域社会と接点を持って行う方法等によるものも応募可とします。

なお、複数年で継続して応募する場合は、3年間を限度とし、4年間以上の継続は認められません。

5、[助成内容]

一件あたりの助成額は、**30万円以内**とし、助成件数は**3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、多少の変更があり得ます。

2. 審議委員会及び研究等報告会の経緯と発表課題への講評

◆令和4年度 研究等助成事業の募集要領決定、選考検討等



① 令和3年度（第1回）研究等助成審議委員会
（令和3年8月27日（金））



② 令和3年度（第2回）研究等助成審議委員会
（令和4年3月3日（木））

審議内容

- ①令和4年度 研究等助成事業に関する募集要領及び募集テーマなどの決定
- ②令和4年度 研究等助成事業の選考決定

◆令和4年度 研究等助成報告会（オンライン形式）



あいさつ（理事長 田中 慎一郎）



令和4年度 研究等助成報告会
（令和5年8月29日（火））



講評（研究等助成審議会委員長 角 知憲 氏）

講評

令和4年度の研究等助成報告会は、研究者の方々の個性が非常に伝わる報告会でした。

今年の報告も興味深く大変おもしろかった。

来年の報告会も皆さんからの調査研究や人材育成の活動について伺うのが、今から非常に楽しみです。

皆様、本日は、ありがとうございました。

3. 今回支援を受けての感想等について

今回の研究等助成が、研究者が研究に取り組む際、どのような点に役立ったかなど、ご感想をいただきました。

【調査研究】

- ① エネルギーハーベスティングを考慮した斜面防災に向けた早期警報システムの構築
九州大学大学院 工学研究院社会基盤部門
ハザリカ ヘマンタ 氏

本研究で、斜面防災のソフト対策として早期警報システムを開発するために室内で斜面の模型作成、通信システムから得られるデータを解析、斜面の豪雨時の危険度評価を行う事が必要不可欠であったため御研究助成により円滑に研究を進める事ができました。

また、開発したシステムの検証を福岡県内フィールドにて実証実験を実施し研究成果としてまとめることができた事に大変感謝申し上げます。

今後も本研究をさらに発展させ低コストで持続可能なセンサプラットフォームを活用できる防災・災害対策に強い地域づくりに貢献できることを期待します。

- ② 塗膜劣化傷と鋼材の電気化学機構の連成解明に基づく腐食センサの開発
九州大学大学院 工学府土木工学専攻
楊 昊軒 氏（発表者 共同研究者 貝沼 重信 氏）

助成金を利用して必要な機器や材料を購入することができました。これにより、より高度な実験やデータ収集が可能となりました。

また、研究に必要な書籍や文献の調査にも助成金を活用し、情報の収集と分析の質を向上させました。そして、助成金を利用して国内外の学会や研究会に参加することができました。これにより、研究成果を広く共有し、他の研究者との意見交換やネットワーキングの機会を得ることができました。さらに、学術論文の発表や研究報告の場で自身の研究を紹介することで、研究の可視性と影響力を高めることができました。

これらの要素により、今回の調査研究助成は私たちの研究において重要な役割を果たしました。それによって、より高品質な研究成果を生み出し、学術コミュニティや社会に貢献することができました。

③ 筑後川上流域のダム群による治水効率の最適化

佐賀大学 理工学部 都市工学部門

押川 英夫 氏

公共事業の中でも、とりわけダムを取り巻く社会情勢が極めて厳しい近年の状況下において、本助成は九州地区の研究者を対象に推進が困難なダム研究を支援して頂き大変感謝しております。

助成金の使途としては、本研究で利用するソフトウェアの利用契約にかかる経費、消耗品の購入、報告書とあわせて送付させて頂いた学術論文の発表にかかる経費などとして利用させて頂いております。

機会があれば、また応募させて頂きたいと考えております。

今後とも宜しくお願い申し上げます。

④ 河岸ガタ土堆積抑制システムの開発とその効果に関する研究

佐賀大学 理工学部 都市工学部門

山西 博幸 氏

このたびは、調査研究助成に採択いただき、誠にありがとうございました。

近年の研究助成の多くは、経費支出への縛りや制限も多く、研究遂行時に生じる問題に対応できないこともある中、本研究助成はある程度の自由裁量もあり、機動性や融通性の点で大変助かりました。

また、地域社会に直接的に役立つ調査研究であっても、申請時点で十分な研究成果を有するものが優先される傾向にありますが、本助成は萌芽的あるいはまだ卓越した研究成果を挙げていない私のような研究にもサポートしていただけたと思っております。

今後とも、若手・中堅研究者を中心に助成しつつも、可能な範囲で年齢制限なく、研究助成をお願いできればと思います。

⑤ かわまちづくりによる流域連携の促進に関する研究

熊本大学大学院 先端科学研究部

田中 尚人 氏

流域治水を念頭においた、流域連携に資する研究を行うことができたと感じています。代表者らが長年取り組んでいる菊池川の流域連携に加え、土木遺産ツーリズムの観点から、北海道上士幌町糠平ダム・旧国鉄士幌線や広島県宮島紅葉谷川庭園砂防に対して、考察することができ、たいへん感謝しております。

⑥ 河川増水による横力・揚力を受ける鋼製支承部の損傷プロセスの検討

熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター 防災型社会システム部門

松村 政秀 氏

この度は助成いただきありがとうございました。

構造物関係の研究では、損傷・変形や破壊などに着目しますが、それらを観察できる研究手段として実験の実施が、また、数値シミュレーションを実施するにも解析結果の妥当性を評価するための実験データが必要となります。しかし、実験の実施には、治具の作製を含め、費用がかかることから、調査研究助成費を有効に活用させていただきました。部材が破壊に至る過程を観察することは、学生含め人材育成面でも有用と考えます。

引き続き、ご支援をお願いできますと幸甚です。

⑦ 流れ中にある橋梁の流出挙動と流出対策工法に関する研究

熊本高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻

岩坪 要 氏

貴協会の調査研究助成には、毎年申請することを目標にしている。

実験の研究では、治具や模型の製作が必要になり、準備やデータ整理に時間がかかり、費用も嵩むことが多い。その点、今回採択して頂いたおかげで、目標としていた実験の実施が可能となった。感謝申し上げます。

今後とも貴協会の調査研究助成には申請をしていく予定としている。

- ⑧ ESGが示す建設産業の現状評価と産官金への意識調査を通じた新たな価値創出
熊本高等専門学校 生産システム工学系 AC-G r
松家 武樹 氏

本研究は、時代のキーワードである経済指標の一つである「ESG」に着目した研究でした。建設産業の我々にとっては馴染みのない指標であることから、「ESG」を基礎から学習することや、第三者評価機関から ESG スコアを収集すること、アンケート調査等に伴う移動が必要でした。

この度の調査研究助成により、ESG を学習するための一般図書や専門図書の購入、有識者へのヒアリングすることができたことに加え、ESG の観点からの建設産業の現状評価を行うための必要な情報を収集することができました。ESG スコアは相当なデータ数がありましたが、これらのデータを整理するうえで学生を雇用できたことも本助成は大いに役立ちました。

本研究では、アンケート調査を実施しましたが、県内外への移動にも今回の調査研究助成が大いに役立ちました。

この度はありがとうございました。

- ⑨ シラスを含む築堤材料の保水・透水特性の試験データ蓄積と数値力学モデルの改良
鹿児島大学大学院 理工学研究科
中島 亮輔 氏

本調査研究助成を利用して土の保水性を測定するための加圧板法試験措置の改良を実施しました。試験装置に使用するセラミック板やポラスカップなどの材料を購入し、特に測定部の改善に取り組みました。この改良により、試験データの蓄積が迅速に行えるようになりました。

また、私にとって初めての研究助成金を受ける経験であり、研究費の効果的な活用方法を学ぶことができました。今後も、この経験を活かして研究活動に精励したいと考えています。

【人材育成】

- ① インフラ老朽化を克服するためのデジタル技術利用の実践
九州大学大学院 工学研究院
佐川 康貴 氏

令和4年8月に実施した「道路工学実践教室」において、九州大学7名および鹿児島大学3名の学生の旅費（鹿児島大学の学生には宿泊費の一部も加えて支給）を支給させていただきました。加えて、実践教室の最終日に実施した課題解決セミナーにおいて、最も優秀な成果については、10月18日にアクロス福岡で開催された技術シンポジウムにおいて発表する機会を設け、学生（鹿児島大学2名）の旅費を支給しました。これらのイベントに参加した学生からは、「旅費を支弁していただき、普段の大学の講義・演習では学ぶことのできない道路の知識や高速道路の重要性をより深く学ぶことができた」と好評でした。

今後とも、このような人材育成のための助成活動を継続していただくことをお願い致します。

4. 成果報告（概要版）

4 - 1

エネルギーハーベスティングを考慮した
斜面防災に向けた早期警報システムの構築

九州大学大学院 工学研究院社会基盤部門
ハザリカ ヘマンタ 氏

研究成果報告 概要書

研究課題：エネルギーハーベスティングを考慮した斜面防災に向けた早期警報システムの構築

研究代表者：九州大学大学院 工学研究院 教授 ハザリカ・ヘマンタ

共同研究者：九州大学大学院 システム情報科学研究院 教授 金谷 晴一

1. まえがき

近年、気候変動により降雨が激甚化し、想定を超える土砂流出が発生している。2017年7月の九州北部豪雨、2018年6月～7月の西日本豪雨および2020年7月の九州豪雨で斜面崩壊と河川氾濫が発生し、多くの生命と財産が失われた(ハザリカら、2020年；国土交通省、2020)。その現状を踏まえると、既存のハード対策では、完全な防災が困難であり、警戒避難によるソフト対策が今後、より重要になると考えられる。内閣府が策定した国土強靱化年次計画2020の中でも、土砂災害対策が最重要課題として位置付けられている。

本研究では、斜面防災のソフト対策として斜面崩壊の早期警戒避難情報システム(Early Warning System: EWS)の開発を試みた。国内では、産・学共同でEWSの研究開発を進めているが、それらは、ワイヤーセンサや地中及び地表面の変位・変形を感知し、斜面崩壊の発生を検知するもので、高額であり、持続可能な早期警戒監視システムとして普及させるのは難しいように思われる。多数の斜面や法面を有するわが国においては、多くの箇所を監視することや既存のハード対策を用いてそれらを補強することは、財政的に困難であり、低コストのEWSを用いたソフト対策の確立が喫緊の課題である。特に、災害対策においては「サステナビリティ」と「イノベーション」を組み合わせた「サステナビレーション(Sustainnovation)」が最も重要課題だと考え、本研究の提案に至った。

2. 研究概要

本研究の目的は、低コストで持続可能なセンサプラットフォーム(図1)を開発し、豪雨による斜面崩壊の前兆現象を早期に捉え、それらの有効な評価指標を提案するとともに、斜面崩壊の先行的で有用な情報を国・地方公共団体が保有するEWSに提供することである。それにより、異分野(情報科学と地盤工学)連携によるレジリエントな社会づくりの実現を目指すものである。

本研究で提案するセンサプラットフォームを適用することにより、斜面崩壊発生直前の前兆を検知する高精度な通信システムとなる。まず、室内で斜面の模型を作成し、通信システム(金谷, 2021年)から得られるデータを解析し、斜面の危険度評価を行った。図1に示すように、提案するIoTベースのEWSは、包括的なデータ保存と定量的な分析のための運用プラットフォームを提供することを意図している。この図に示す土壌水分センサーや間隙水圧センサーなどから収集したデータは、雨水の浸透度や地下水位の変化を判断するために活用した。そのため、数値計算モデルを開発し、それによる実験のシミュレー

ションを実施し、斜面崩壊の発現機構を解明した。また、実験中に、土粒子の移動を高速カメラにより記録し、それらのPIV(Particle Image Velocimetry:粒子画像流速測定法)解析を行い、破壊メカニズムを明らかにした。さらに、開発したEWSの実証実験を実施し、通信システムの検証を行った。なお、本概要版では、室内実験の結果のみ報告する。

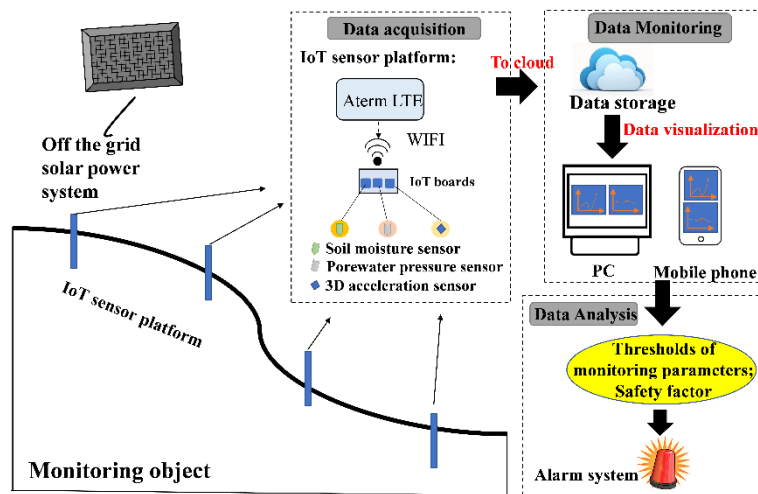


図1：室内実験用システムとセンサプラットフォームの例

EWSの性能を評価するため、降雨強度を変化させた条件下で、室内模型実験を実施した。透明なボックス内に高さ450mm、幅400mmと長さ800mmの模型斜面を作成した(図2)。降雨強度を制御するために、流量計とともにスプリンクラーノズルを備えたパイプを用いて人工降雨シミュレーターを適用した。斜面内の土壌水分、間隙水圧および地盤の変形を測るために6つの土壌水分センサー(S1-S6)、3つの間隙水圧センサー(P1-P3)、4つの加速度センサー(M1-M4)を設置した。また、模型の前面と側面に2台のカメラを配置し、粒子の移動を監視し、得られたデータのPIV解析により、斜面崩壊のメカニズムの解明を行った。3種類の降雨強度(40mm/h, 70mm/h, 100mm/h)で実験を行い、土壌水分、間隙水圧および斜面の変形状況を確認した。

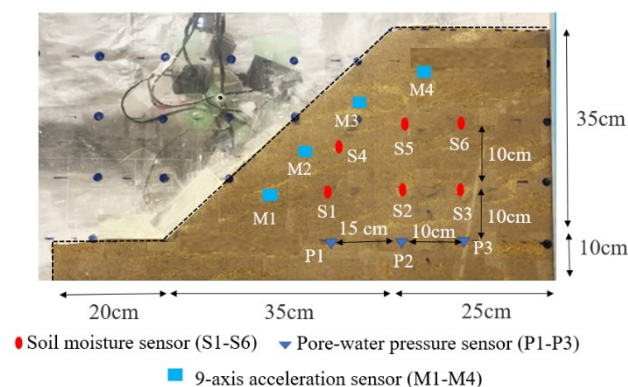


図2：室内模型でセンサーの配置

図3は、降雨強度70mm/hで行った模型実験の結果を示す。斜面内で連続降雨により、体積含水率が急激に上昇することが分かる。この図から、斜面上部のセンサー(S5~S6)と斜面表面のセンサー(S3~S4)は、斜面下部のセンサー(S1~S2)よりも早く含水率の上昇を検知していることが確認できる。しかし、ある限界値に達した後、一時的に一定の値を保つ

ている。これは、主に雨水が一様に浸透し、土壌内に広がるためである。したがって、地下水位が上昇する前に斜面が飽和状態になることはないと言える。雨水が斜面下部の不透水層まで浸透すると、連続降雨で蓄積された雨水が上方に移動し、地下水位が上昇することになる。そのため、モニタリング開始当初から間隙水圧の上昇に一定の遅れが見られる。これらの図から、間隙水圧の上昇に伴い、斜面内の局所安全率 (F_s) が低下することは明らかであり、特にモニタリングポイントが飽和状態に達した後、 F_s は急激に 1.00 以下に低下することが確認できる。 F_s が 1.00 以下になった領域では浅いすべりが発生し続けることが実験中に確認できた。したがって、降雨条件下では、斜面が以下の段階を経ていると考えられる。

ステージ I：雨水の浸透により、モニタリングポイントが限界体積含水率に達する。

ステージ II：間隙水圧の上昇と地下水位上昇

ステージ III：モニタリングポイントが飽和体積含水率に達する

ステージ IV：モニタリングポイントの F_s 値が 1.00 未満である

ステージ V：モニタリングポイント付近ですべりが発生する

模型実験によって確認できた上記の I~V の 5 つのステージは、斜面崩壊の警報システムの重要な参考資料として使用することができる。

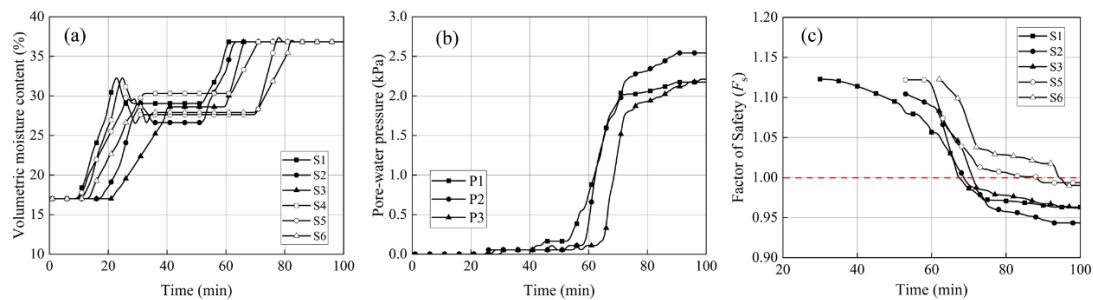


図3 降雨強度 70mm/hr 時の実験結果と解析結果

(a) 体積含水率 (b) 間隙水圧 (c) 局所安全率

3. まとめ

本研究で、斜面防災のソフト対策として早期警報システムを開発した。まず、室内で斜面の模型を作成し、通信システムから得られるデータを解析し、斜面の豪雨時の危険度評価を行った。また、実験中に、土粒子の移動を高速カメラにより記録し、それらの画像解析を行い、破壊メカニズムを明らかにした。さらに、降雨時の斜面内の局所安全率

(F_s) の計算式を提案し、それをを用いた解析結果より、斜面の崩壊に降雨強度および土の初期含水比の影響を明確にした。最後に、開発した EWS を検証するため、福岡県内で実証実験を実施し、本システムによる継続的なデータ通信が可能であることが確認できた。

参考文献

- [1] Hazarika, H., Yamamoto, S., Ishizawa, T., Danjo, T., Kochi, Y., Fujishiro, T., and Ishibashi, S. (2020). The 2017 July northern Kyushu torrential rainfall disaster – geotechnical and geological perspectives. *Geotechnics for natural disaster mitigation and management*, Springer, Singapore, pp 1–19.
- [2] 国土交通省(2020). 令和 2 年 7 月豪雨による被害と対応、第 5 回全体会議 参考資料、https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/hazard_risk/dai05kai/dai05kai_sankosiry02.pdf.
- [3] Kanaya, H. (2021). Battery-less infrastructure monitoring sensor platform. *Advances in sustainable construction and resource management*, Springer, Singapore, pp 907–915.

4 - 2

塗膜劣化傷と鋼材の電気化学機構の
連成解明に基づく腐食センサの開発

九州大学大学院 工学府土木工学専攻
楊 昊軒 氏

塗膜劣化傷と鋼材の電気化学機構の連成解明に基づく

腐食センサの開発

1. まえがき

近年、高度経済成長期に建設された多量の橋梁の老朽化が問題となっている。我が国における橋長15m以上の橋梁数は約15万橋である。これらの橋梁のうち、まもなく供用開始後50年をむかえる橋梁が約6万橋あり、次々と更新の時期を迎えている。これら膨大な社会資本ストックの維持管理には多量の費用がかかるために、近年の厳しい財政状況等を考慮し、新設投資を大きく制約するとの推測もなされている。また、技術的にも多くの問題を抱えている。上述したように、社会インフラのうち最も重要な位置を担う橋梁のうち、約40%の橋梁が鋼橋であるため、鋼橋を適切に維持管理することで、社会資本ストックの維持管理費用を大きく削減することができると考えられる。また、高度経済成長期に建設された橋梁の多くは一般塗装系が多く用いられているため、塗装鋼構造物を適切に維持管理することは極めて重要な事柄であると考えられる。鋼構造物における重防食塗装の防食下地には、多量の亜鉛末を含有するジンクリッチペイントが一般に用いられている。この塗料の防食機能には、腐食要因物質により鋼素地に腐食電池が形成された際に生じる犠牲防食作用や、亜鉛末由来の化合物が塗膜の表面や内部の空隙部に生成され、塗膜が緻密化することによる腐食要因物質に対する保護作用などがあると言われている。

本研究ではジンクリッチ塗膜の有機系と無機系の違いが塗膜傷間の防食特性に及ぼす影響を電気化学的検討で解明することを目的とした。そのために、近接した塗膜傷を模擬したジンクリッチ塗膜のモデル試験体を製作して、その傷部の鋼素地の交流インピーダンスと傷間のマクロセル腐食電流を経時測定した。

2. 研究概要

2.1 試験体

電極を低温硬化型エポキシ樹脂に埋め込み、絶縁することでモデル試験体を作製した。その後、塗装を施し、硬化後に機械加工により塗膜欠陥を導入することで塗膜傷部を模擬した。塗装は樹脂部のみプライマー $0.1\mu\text{m}$ を1層塗布した後、ジンクリッチペイント(有機ジンク、無機ジンク、目標値： $75\mu\text{m}$)を塗布し、その上に変性エポキシ樹脂塗料(目標値： $120\mu\text{m}$)を塗布した。膜厚はRc-1およびC-5塗装系の膜厚を目標値としている。硬化後、機械加工により塗膜傷を導入し、塗膜傷径の対は $\square 2-1\text{mm}$ とし、縁端距離を 14mm とした。試験体の概略図を図-1に示す。

2.2 試験方法

本研究では鋼構造物で乾湿繰り返し環境となる部位、すなわち降雨や結露などにより濡れた後、乾燥するような部位におけるマクロセル腐食電流を測定することを目的とした。はじめに、防食下地を施したことによる濡れ性への影響を排除するため、水膜厚を 2mm とし、 2° の勾配を与えることで、水

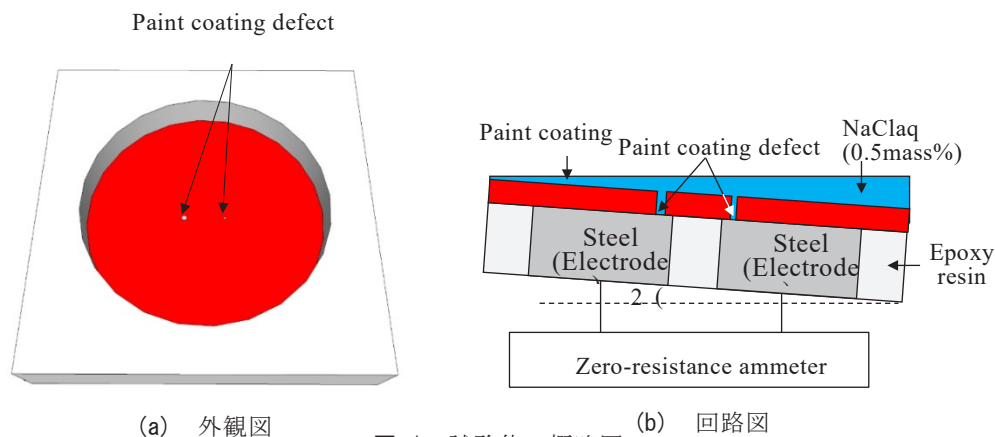


図-1 試験体の概略図

膜の乾燥方向を制御した。電極間のマクロセル腐食電流の測定は、試験体表面の乾湿を10回繰り返すことで行った。この測定は水膜の乾燥方向は $\phi 2\text{mm}$ から $\phi 1\text{mm}$ 方向に進行する場合とした。また、飛来海塩環境における鋼道路橋では、部位によっては付着塩分量が数1,000から数10,000 mg/m^2 を超えるとの報告がある。そこで、本試験では付着塩分量が10,000 mg/m^2 相当する塩分が試験体表面に付着したと仮定して、NaClの濃度は0.5mass%とした。試験体表面が乾燥した後には、再度同量のイオン交換水を給水することで、付着塩量10,000 mg/m^2 の部位における乾湿繰り返し環境を模擬した。また本研究では、マクロセル腐食を塗膜傷間の電子の移動による腐食と定義し、ミクロセル腐食を各塗膜

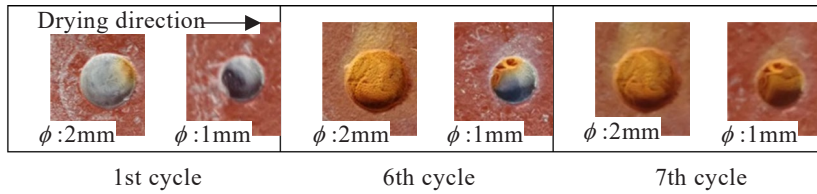


図-2 乾燥後における有機ジンク試験体の外観

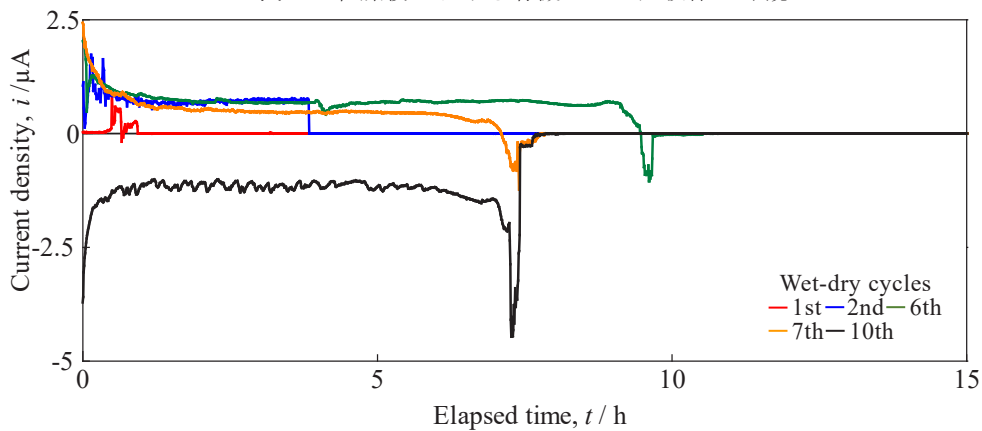


図-3 有機ジンクのマクロセル腐食電流の経時性

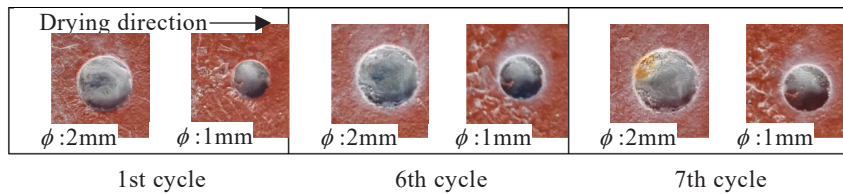


図-4 乾燥後における無機ジンク試験体の外観

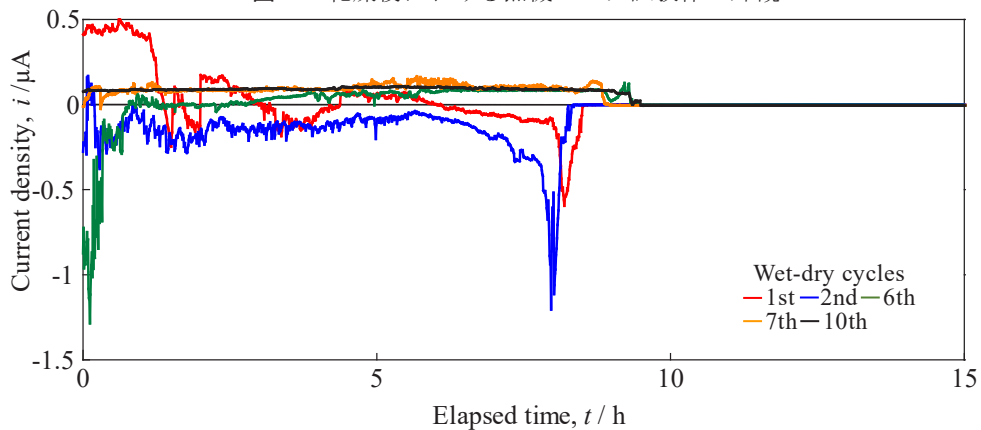


図-5 無機ジンクのマクロセル腐食電流の経時性

傷内で電子のやり取りが行われる全面的な腐食として定義した。試験終了後、各塗膜傷部で腐食生成物が形成された鋼素地表面の3箇所を対象として、SEM-EDXによる元素分析を行った。この分析結果に基づき、ジンクリッチ塗料に含有される亜鉛末による犠牲防食作用の有無について検討した。

2.3 試験結果

有機ジンク試験体の乾燥後の外観を図-2に示す。また、そのマクロセル腐食電流 I の経時性を図-3に示す。2~6cycleの乾湿繰り返し試験では、 $\phi 2\text{mm}$ の塗膜傷部の全領域に鋼由来の腐食生成物が生じている。また、7cycle以降では $\phi 1\text{mm}$ の塗膜傷にも同様の腐食生成物が確認される。1~8回目の乾湿繰り返し試験では、 I は正の値となっており、 $\phi 2\text{mm}$ の塗膜傷部に鋼由来の腐食生成物が確認されたため、これは面積の異なる塗膜傷が短絡すると、面積が大きい側の塗膜傷がアノードに固定されて、腐食が進行することを意味している。すなわちマクロセルによって腐食が進行したと言える。また、 $\phi 1\text{mm}$ の塗膜傷については I の値より、ミクロセルによって腐食が進行したと考えられる。一方、9cycle以降では I は負の値となっている。これは先行研究の結果と同様の傾向を示しており、乾湿繰り返し環境において、乾燥が複数回繰り返されると、アノードサイトとカソードサイトが入れ替わりながら、双方の塗膜傷部で腐食が進行しているためである。無機ジンク試験体の乾燥後の外観を図-4に示す。また、そのマクロセル腐食電流 I の経時性を図-5に示す。1~6cycleでは、 I は正負交番しているが、塗膜傷部に鉄由来の腐食生成物は確認されず、双方の塗膜傷部では白色系の腐食生成物が確認された。すなわち、測定された電流は鋼材の腐食電流ではなく、ジンク内に含まれる亜鉛末による酸化反応の電流値であると考えられ、白色系の腐食生成物については $\text{Zn}(\text{OH})_2$ であると推察される。7cycle以降では I は正の値となっていることから、マクロセルにより腐食が進行していると言える。これらの結果から、 $\phi 2\text{mm}$ の塗膜傷部から乾燥する無機ジンクは、1~6cycleでは $\text{Zn}(\text{OH})_2$ により塗膜傷部の鋼素地が保護されるため、塗膜傷間の電氣的短絡が抑制される。しかし、7cycle以降では、マクロセルによって腐食が進行する。

2.3 まとめ

本研究では近接した複数の塗膜傷が相互干渉しながら進行する腐食に対するジンクリッチペイントの防食作用の検討を目的に、塗膜欠陥を有する鋼材のモデル試験体と塗装試験体を製作し、滞水環境をはじめとする基礎試験および実環境を想定した乾湿繰り返し試験を実施した。

- 1) 乾湿繰り返し環境における有機ジンクリッチ塗膜の防食作用は機能せず、双方の塗膜傷がアノードサイトとカソードサイトが入れ替わりながら腐食が進行する。
- 2) 無機ジンクは亜鉛による酸化被膜を形成することでマクロセルによる腐食を抑制する。

4 - 3

筑後川上流域のダム群による治水効率の最適化

佐賀大学 理工学部 都市工学部門
押川 英夫 氏

筑後川上流域のダム群による治水効率の最適化

佐賀大学 理工学部 都市工学部門 押川英夫

1. まえがき

将来的な大規模洪水に対する治水適応策の一つとして、既存ダムなどを有効活用する流域治水の必要性が叫ばれている。本研究では、下笠ダムと松原ダムの2基のダムが直列配置されている筑後川上流域において、令和2年7月豪雨時の実績降雨をベースとした数値シミュレーションを行い、既存ダムのゲート操作（規則）の変更による治水効果について検討した。具体的には、直列配置されたダム群において上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容するカスケード方式（押川ら、2020）を考慮して、上流側の下笠ダムの計画最大放流量の変更に伴う治水能力の強化効果について調べた。

2. 研究概要

2-1. シミュレーションの概要と令和2年7月豪雨時の再現

図1に示すように、筑後川本川の88~100.5km（小五馬橋から杖立）、支川の津江川0~12km（合流地点から栃野）、支川の上野田川0~1.6km（合流地点から上野田）、支川の川原川0~1.5km（合流地点から川原）を解析区間とし、洪水の流入地点（各上流端）からの流入量以外に降雨等の流入はないと仮定した。上流端の境界条件に相当する流量については、行政機関から提供された観測所の実測値（雨量と水位、流量）と流出解析、および1次元不定流解析を併用して、令和2年7月豪雨時の流量（以後、実績洪水と呼ぶ）を適切に再現した。ただし、水路などを含めた流動解析区間への流入分については適宜横流入として考慮している。



図1 解析対象領域 (Google Map で作成)

2-2. 降雨分布に応じた下笠ダムの適切な計画最大放流量の検討

現行の下笠ダムの計画最大放流量 $Q_{S0}=350 \text{ m}^3/\text{s}$ を含め、任意に設定した下笠ダムの計画最大放流量 Q_S に対して、下流側の松原ダムで非常用洪水吐きからの越流が発生しない限界の上流端のピーク流量 Q_p を試行錯誤的に求めた (CaseA)。その際、下流側の松原ダムの計画最大放流量は現在と同じ $Q_M=1100 \text{ m}^3/\text{s}$ で、両ダムの治水容量も現在と同じ（下笠ダム 5130 万 m^3 、松原ダム 4580 万 m^3 ）とした。各ダムの放流操作については、流入量が Q_{SM} (Q_S もしくは Q_M) を超えた時点で放流量を Q_{SM} で一定にする簡略化を行うとともに、満水後の非常用洪水吐きからの放流量は越流公式により決定している。

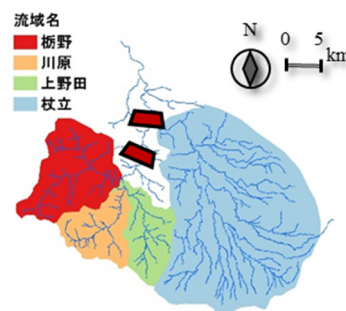


図2 流域平均降雨の算定に用いた上流側の流域分割

松原ダムより上流側の本・支川による流域分割を示した図2とCaseAの計算条件を示した表1から分かるように、CaseA0の令和2年7月の実績降雨時では西側ほど降雨が多かった。しかしながら、適切な下笠ダムの計画最大放流量を求めるためには異なる降雨分布に応じた検討も必要と考えられる。そこで対象流域全体の総雨量に対応する総流入

表1 各ケースの支川毎の流域平均の総雨量(単位: mm)

	栃野	川原	上野田	杖立
CaseA0	943	903	839	652
CaseA1	769	769	769	769
CaseA2	583	750	808	843

量を実績洪水時と一致させたままで、図2の栃野、川原、上野田、杖立の4つの流域平均降雨を CaseA0 から変更して対象流域内の降雨を一樣にした場合の CaseA1、栃野と杖立および川原と上野田の流域平均降雨を反転させた場合の CaseA2 を併せて検討した (表1 参照)。

横軸を Q_s 、縦軸を実績洪水のピーク流量 Q_{p0} で無次元化した Q_p/Q_{p0} とした CaseA の結果を図3に示す。その際、4箇所の上流端で同様に引き伸ばしを行うことから、厳密には各上流端の Q_{p0} および Q_p の値はそれぞれ異なるものの、引き伸ばし率に相当する Q_p/Q_{p0} は全て同じ値となる。結果的に上流側の下笠ダムで非常用洪水吐きからの越流が生じた場合は、全てカスケード方式となる。

図3より Q_p/Q_{p0} の最大値 (●) は、CaseA0 では $Q_s=594 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の $Q_p/Q_{p0}=1.240$ 、一樣な降雨分布とした CaseA1 では $Q_s=428 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の $Q_p/Q_{p0}=1.249$ 、東西方向で流域平均降雨を反転させた CaseA2 では $Q_s=307 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の $Q_p/Q_{p0}=1.256$ となり、下笠ダムの最適な計画最大放流量の値は降雨分布に応じて顕著に異なることが分かった。なお、各最大値では下笠ダムで非常用洪水吐きからの越流が生じるカスケード方式となっていた。一方、図3の各ケースの変曲点 (●) は、松原ダムだけでなく上流側の下笠ダムも非常用洪水吐きを使うことなく満水となっており、本条件が各ダムで非常用洪水吐きからの越流を許容しない従来型の洪水制御の限界となる。

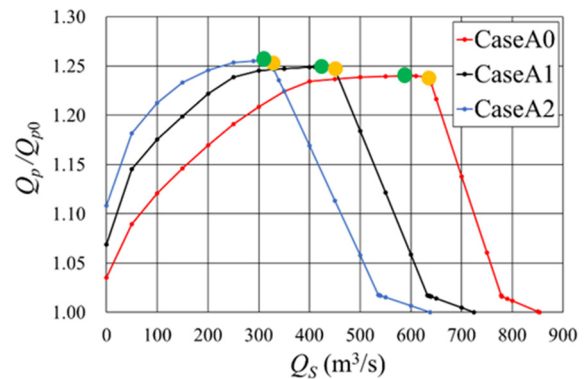


図3 Q_s と制御可能な限界の洪水 Q_p/Q_{p0} の関係

2-3. 筑後川上流域におけるカスケード方式の治水効果

前節の結果で松原ダムより上流側の降雨分布に応じて下笠ダムの最適な計画最大放流量の値が顕著に変化したことから、本・支川の流量に応じてカスケード方式の治水能力の強化効果に顕著な差異が生じるものと考えられる。そこで、下笠ダムが位置する津江川の上流端の流量 (図1の●) と本川側の杖立の上流端の流量 (図1の●) を独立に変化させ、任意に設定した下笠ダムの計画最大放流量 Q_s に対して、下流側の松原ダムで非常用洪水吐きからの越流が発生しない限界の上流端の流量の組み合わせを求めた (CaseB)。具体的には、杖立における令和2年7月洪水の流量に任意の一定倍率 r を掛けて本川側の上流端の流量ハイドログラフを固定した後に、松原ダムが越流せずに満水になる場合の津江川の流入量 (3箇所) のピーク流量 Q_{p^*} を求めた。本川側の上流端 (杖立) の流量を独立させたことを除けば、津江川の各上流端で行った検討内容は基本的に CaseA と同じである。CaseBの主要な計算条件と計算結果をまとめて表2に示す。なお、 $r=1$ の CaseB6 は杖立側が常に令和2年7月豪雨と同様な洪水の場合、 $r=0$ の CaseB1 は杖立側の降雨がなかった場合で支川合流のない流域にダムが直列配置された場合に相当する。表2中の Q_{Tp} は杖立のピーク流量、 Q_{Sc} は両ダムが非常用洪水吐きを使うことなく満水となる場合の Q_s 、 ΣQ_{p^*c} はその時の津江川の3箇所の流入量 Q_{p^*c} の積算値、 ΣQ_{p^*max} は3箇所の Q_{p^*} の最大値 Q_{p^*max} の積算値である。

表2 CaseBの主な計算条件と計算結果

	r	Q_{Tp} [m^3/s]	Q_{Sc} [m^3/s]	ΣQ_{p^*c} [m^3/s]	ΣQ_{p^*max} [m^3/s]
CaseB1	0	0	1340	3848	4119
CaseB2	0.2	307	1230	3611	3827
CaseB3	0.5	767	1073	3269	3389
CaseB4	0.6	921	1022	3159	3240
CaseB5	0.8	1228	912	2913	2951
CaseB6	1	1534	788	2642	2661
CaseB7	1.3	1995	596	2216	2224
CaseB8	1.5	2302	465	1926	1932

横軸を下笠ダムの計画最大放流量 Q_s 、縦軸を実績洪水のピーク流量 Q_{p0} で無次元化した Q_p/Q_{p0} とした結果を図4に示す。その際、3箇所の上流端で同様に引き伸ばしを行うことから、引き伸ばし率に相当する Q_p/Q_{p0}

は3箇所と同じ値となる。図4より、杖立側の流量(r)が小さい場合には比較的顕著なピークが見られ、ピーク後には Q_p^*/Q_{p0} が急減する変曲点(CaseB1では $Q_{Sc}=1341\text{ m}^3/\text{s}$)が認められる。これらの特徴は、押川ら(2020)が指摘している支川合流がない場合の結果と符合している。特に、CaseB1における Q_p^*/Q_{p0} が最大値をとる Q_S の値は下流側の松原ダムの計画最大放流量 Q_M の $1100\text{ m}^3/\text{s}$ と一致しており、“(支川合流がない場合の)カスケード方式では上流側から下流側まで直列配置された各ダムの計画最大放流量を最下流のダムに合わせて一定にすることが適切”との押川ら(2020)の知見と一致している。

次に、図4の横軸の Q_S を Q_{Sc} 、縦軸の Q_p^* を Q_{p^*c} で無次元化した結果を図5に示す。 $Q_S/Q_{Sc}=1$ が既述した従来型の限界であることから、 $Q_S/Q_{Sc}<1$ の範囲は全て上流側の下筈ダムで非常用洪水吐きからの越流が生じるカスケード方式となる。一方、各ケースのピーク値の Q_{p^*max} から Q_{p^*c} の範囲では、下流側の松原ダムで貯水容量を使用して流量の低減を図ることになる分を、上流側の下筈ダムでも貯水容量を使用して低減するために貴重な貯水容量の2度使用が生じており、非効率な洪水制御を行っている。CaseB6以降の $r\geq 1$ の場合については、カスケード方式に相当する $Q_S/Q_{Sc}<1$ の範囲において Q_p^*/Q_{p^*c} の曲線が重なっている。特に、 $0.2<Q_S/Q_{Sc}<0.6$ の範囲では全ての曲線が概ね一致している。一方、 $0.6<Q_S/Q_{Sc}<1$ の杖立側の流量(r)が小さい場合に引き伸ばし率が大きくなっている三角形(傘)の範囲が、カスケード方式で有意性が発揮される領域に相当する。なお、 $Q_S/Q_{Sc}>1$ の範囲については、下筈ダムの計画最大放流量をさらに増やそうとしても $Q_S/Q_{Sc}=1$ の条件で両ダムが満水になっていることから、下筈ダムで未使用の治水容量が生じるだけで洪水制御を行う余地がないために流入量を抑制することになり、引き伸ばし率が急減している。また、下筈ダムの水位が減少することから、制限水位を下回る Q_S の条件以降では傾きが緩やかになる。

3. まとめ

本研究により、筑後川流域上流に既設の下筈ダムの最適な計画最大放流量は、松原ダムより上流側の降雨分布に応じて顕著に異なることが分かった。また、筑後川上流域におけるカスケード方式の治水能力について検討した結果、2基のダムが直列配置された流域にダムがない支川(本研究では筑後川本川)からの流入がある場合について、カスケード方式が有意性を発揮する支川流入量の範囲とその効果が明らかとなった。

参考文献

押川英夫, 杉林高彰, 阪本こなん, 小松利光: 直列配置された流水型ダム群におけるカスケード型洪水制御方式の最適化の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp.I_475-I_480, 2020.

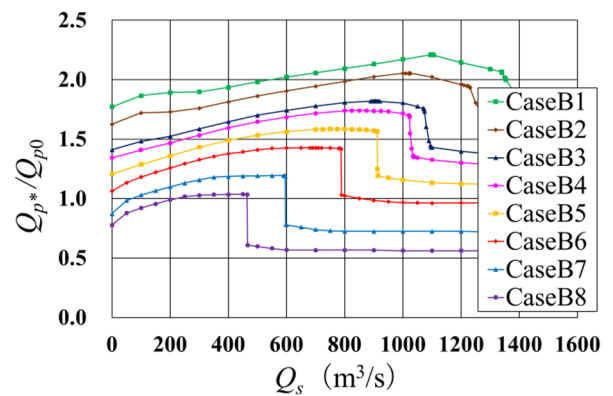


図4 杖立の流量に応じた Q_S と制御可能な限界の洪水の引き伸ばし率 Q_p^*/Q_{p0} の関係

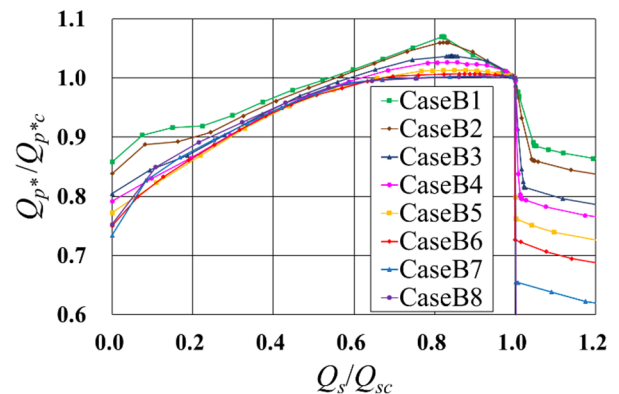


図5 規格化された下筈ダムの無次元計画最大放流量 Q_S/Q_{Sc} と制御可能な限界の洪水 Q_p^*/Q_{p^*c} の関係

4 - 4

河岸ガタ土堆積抑制システムの開発と
その効果に関する研究

佐賀大学 理工学部 都市工学部門
山西 博幸 氏

河岸ガタ土堆積抑制システムの開発とその効果に関する研究

佐賀大学 理工学部 都市工学部門 山西 博幸

①まえがき

本研究は、有明海沿岸部の河川感潮域の河道管理対策として、水際で生起させるわずかな水流で水際河岸斜面部のガタ土堆積を抑制するシステムを考案し、現地での実証実験とその効果の検証を行うものである。調査対象地は六角川水系牛津川の感潮区間とし、この一部の区間に設置されている植生管理のための貯水トレンチ（湛水池）の水と有明海が有する潮汐の干満差を利用して河岸ガタ土の堆積抑制を試みるものである。具体的には、①サイフォンを用いた断続的な導水によるガタ土堆積抑制システムの開発、②ガタ土侵食に関する現地実験とそのモニタリング、③ガタ土侵食量に関する予測式の提案とその検証、である。一連の成果は、牛津川同様にガタ土堆積や植生繁茂による河道管理問題を有する他河川にも有用な情報を提供し、現在運用中の植生管理用湛水池の多面的な利用の提案にもつながるものである。

②研究概要

本研究で構築したガタ土堆積抑制システムを図1に示す。これは、現在、国土交通省武雄河川事務所が高水敷に植生管理用として施工し、設置された湛水池（幅5m×長さ30m×深さ1m）の水を河岸水際までサイフォンによって導水し、河岸ガタ土面に

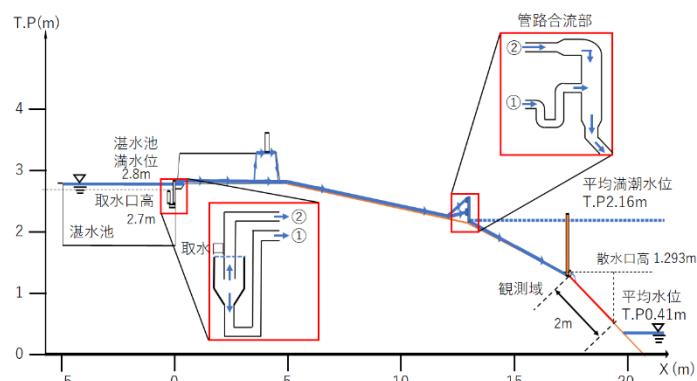


図1 ガタ土堆積抑制システムの設置概略図

散水する仕組みとなっている。また、取水口からの流入が途絶えても、断続的な散水が可能となるよう、導水管路内に水を一時的に貯留させるようにしている。なお、現地調査（2022年9月9日～11月10日）の結果、湛水池の水位変化に応じて、サイフォンの一時停止とその後の再稼働の繰り返しが確認できたものの、調査開始後47日目（10月26日）に散水管からの放水の停止が観測された。これは、散水システムに用いた塩ビ管およびビニール管内に粘性の高いノリ葉体のような海藻類が侵入し、これが管路内で成長したことが原因であった。よって、本システムのメンテナンスフリーでの運用には、これら異物混入を抑制する

対策が別途必要である。

図 2 は、調査開始後 35 日目（10 月 14 日）の非散水域と散水域のオルソ画像である。図より、非散水域も自然に流下してくる小流量の水によってわずかながら土砂輸送痕跡の滯筋が形成されていた。しかし、散水域では、非散水域では見られない流水による滯筋が多数形成され、ガタ土の侵食深も明瞭で流下方向に侵食範囲も広がっている様子が観察された。

図 3 は、両観測域の斜面方向に設定した側線上の DEM 画像から地盤高を求め、これらを観測日毎に示したものである。図より、散水域では、散水管から下流 0.2m 付近にガタ土の窪みが観察された。これは、散水による落水がガタ土に衝突して洗堀されたもので、この地点から下流方向にわたって侵食によるガタ土面の低下が一様に見られ、初期ガタ土面から最大で 20cm 程度の侵食低下が観測された。一方、非散水域での地盤高は、当初、散水域に比してガタ土堆積が観測区画内で促進されると予測していたが、非散水域での顕著な地盤高の増加は観測されなかった。また、13 日目（9 月 22 日）から 35 日目（10 月 14 日）までに



図 2 調査開始後 35 日目の非散水域と散水域におけるガタ土面の時系列変化（2022 年 10 月 14 日，左：非散水域，右：散水域）

ガタ土面の低下が確認できる。これは、上記観測期間内の 9 月 27 日に時間雨量 28 mm、日雨量 50 mm を超える比較的強い雨によって、河岸部のガタ土洗堀が全域にわたって促進されたためと考える。なお、散水システム

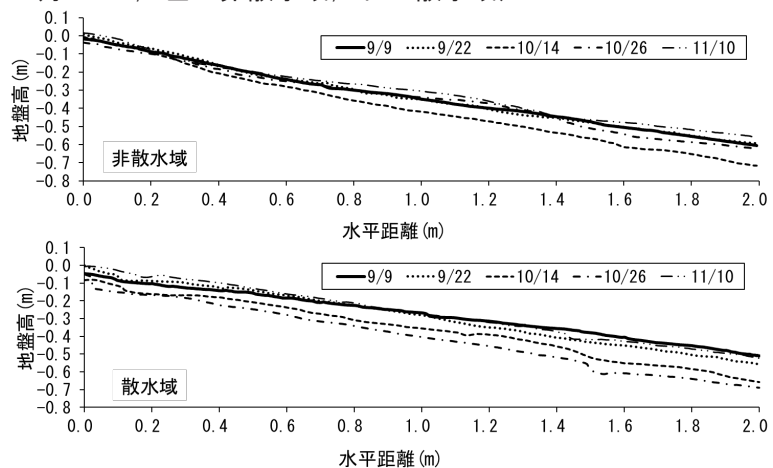


図 3 ガタ土面断面（上：非散水域，下：散水域）

の稼働が確認されなかった47日目(10月26日)から62日目(11月10日)までは、散水域・非散水域ともにガタ土堆積にともなう地盤高の促進が顕著となった。

図4は、画像解析で求めた観測区画(2m×2m)の平均地盤高から初期地盤高に対するガタ土体積(volume)量を算出したものである。加えて、両者の差をとることで散水による正味の侵食量を求めた。図より、両区画ともに初期値に対するガタ土変化量は10月14日まで減少している。これは、先にも述べた通り、9月27日の降水量の増大が影響している。ただし、非散水域と散水域の体積変化量の結果から、正味、散水域でガタ土の侵食が進んでいることがわかる。図5は、室内実験によって得られた散水量Q

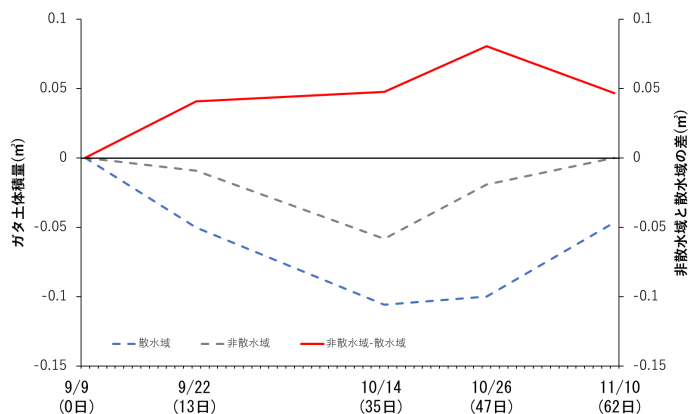


図4 観測区画のガタ土体積量

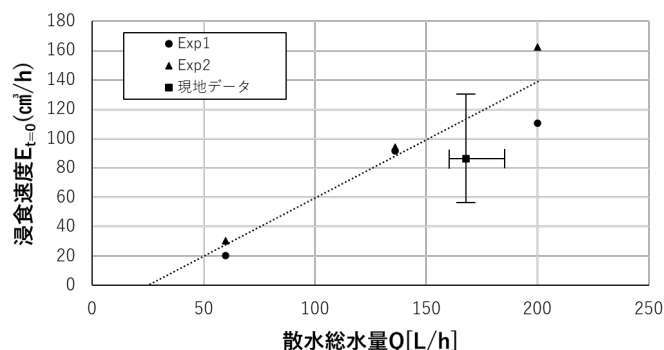


図5 散水流量と侵食速度の関係

とガタ土の侵食速度 E に関するデータと今回の現地実験から得られたデータを比較したものである。厳密には、室内実験と現地実験では、仮定される条件も異なるため、安易な比較は難しいが、散水によるガタ土侵食量の概算としてはおおむね一致していると考えられる。

③まとめ

本研究では、ガタ土堆積抑制システムを現地に設置し、得られた調査データをもとに、その効果について検証した。その結果、今回考案した河岸ガタ土堆積抑制システムの現場設置とその断続的な稼働を確認した。また、画像解析によるガタ土侵食の様子を観察するとともに、侵食特性を一部明らかにした。さらに、ガタ土侵食量を定量化のための評価として、散水流量による整理を行い、室内実験で得られた関係と同様の傾向にあることを見いだした。

以上から、散水システムの継続性については、未だ改善の余地があるものの、現地でのガタ土堆積抑制効果を確認することができた。なお、本研究で取り扱う粘着性堆積物の輸送解析は、未だ不確定な非線形的要素を含むとともに、十分なデータの蓄積もないため、継続的な研究が望まれる。

4 - 5

かわまちづくりによる流域連携の促進に関する研究

熊本大学大学院 先端科学研究部

田中 尚人 氏

かわまちづくりによる流域連携の促進に関する研究

1. はじめに

かわまちづくりは、近年、主に国交省や土木分野が担っていた「川づくり」と、基礎自治体や市民参加、民間主導で取り組むべき「まちづくり」を、イノベーティブに掛け算で実践していくプロジェクトである。本研究の目的は、河川を水系基盤とした流域を一つの文化圏と捉え、集落を地域づくりの単位として、参加型でかわまちづくりを進め、流域内外の連携を促進することである。まず、土木を主体とした川づくりと、基礎自治体や市民参加による実践されるべきまちづくりを掛け算で行う「かわまちづくり」活動を基盤として、集落の歴史、自然環境、生活・生業を自分たちで学習し、防災・減災を意識し、流域治水に資する環境共生型の持続可能な地域づくりを行う。さらに、基礎自治体を越えて、流域同士の学び合いの場をデザインすることが、本研究の特色である。

2. かわまちづくりにおける連携

菊池川流域では、平成 24 年度より玉名市高瀬地区にて、平成 30 年度より菊池市隈府・玉祥寺地区にて、国土交通省が推進するかわまちづくり事業に取り組んできた。さらに流域全体では「菊池川流域おむすびたい会議」の存在が特徴的であり、基礎自治体の枠組みを超えた、集落同士の交流、流域一貫でのかわまちづくりの研究・実践が行われてきた。

対象区間の南田橋上流においては、玉祥寺地区と隈府地区をつなぐ飛び石「つなぎ石」や広場が整備された。

菊池市かわまちづくり事業では、地域固有の文化財や文化的景観を拠り所として、市民参加型のさまざまなイベントにより地域資源を発見して資産化し、地元の高校生や若者を巻き込みながら、持続可能な地域づくりを担う人材育成を行う社会システムデザインが機能していることが分かった。そして、地域住民、国交省をはじめ基礎自治体や各種行政機関、第三者的に集落に関わることのできる各種専門家をネットワークし、集落固有の歴史、自然環境、生活・生業を、多様な交流の中で自ら学習し、防災・減災の重要性を意識し、環境共生型の持続可能な暮らしを支えるローカルルールが存在した。

防災・観光・景観まちづくりなどの入り口として水辺が機能するためには、水辺の持つ本来的な機能を強化するような学びが必要であり土木遺産ツーリズムを調査・分析した。

3. 土木遺産ツーリズムによる流域連携

近年、土木遺産を経巡るツーリズムが、様々な学びの場として注目を集めている。土木遺産は、地域の固有性を理解するために欠くべからざる地域資産であり、これらを物語によってつなぐルート設定は、流域連携に資する観光や防災、景観、地域学習などの様々な地域の風土に根差した資源の活用策と言える。本章では、北海道上士幌町の音更川沿いにある糠平ダムやタウシュベツ川橋梁に代表される糠平川の旧国鉄士幌線などの土木遺産群、および広島県宮島にある紅葉谷川庭園砂防施設群を事例に、防災・景観・まちづくりの観点から、流域連携への視座を抽出した。

土木遺産を風景の一部として大きく捉え、その環境の変化やかつての風景に思いを馳せ、土木遺産の過去と未来、そして両者を結ぶ「いま」について考える価値継承の技術として、以下の三つを考えた。

1. 場を読み解く技術
2. 場を設える技術
3. 場を活かす技術（遺産と共生した暮らし方）

この三つの技術を身に着けるために重要となる。土木遺産を経巡り、価値継承の三つの技術を身に着けるためには、インフラストラクチャーを「つくる」と「つかう」という二つの物語（Story）を辿る（Trail）ことが重要である。その手がかりとなるのが、歴史と風景である。

「つくる」をたどる旅

- ① 「なぜ？」をたどる
- ② 「どんな？」をたどる
- ③ 「どのように？」をたどる

「つかう」をたどる旅

- ④ 「土木構造物の原型（オリジナル）と変遷」をたどる
- ⑤ 「地域らしさ、暮らしの変化」をたどる

謝辞：この度、（一社）九州地域づくり協会調査研究等助成を受けることができ、流域治水を念頭においた流域連携に資する研究を行うことができました。ありがとうございます。また、菊池川流域の皆様、北海道上士幌町の皆様、広島県宮島の皆様にも、本研究にご協力頂き、誠にありがとうございました。記して感謝の意を表します。

4 - 6

河川増水による横力・揚力を受ける鋼製支承部の
損傷プロセスの検討

熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター
防災型社会システム部門
松村 政秀 氏

河川増水による横力・揚力を受ける鋼製支承部の損傷プロセスの検討

熊本大学 松村政秀

①まえがき

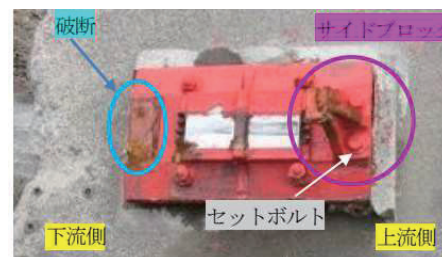
令和2年7月豪雨では、熊本県を中心に広い範囲で記録的な大雨となり、多くの橋梁が流失した。一級河川・球磨川流域においては16橋が流失または一部流失、鉄道橋においても3橋が流失した。道路橋の損傷の状況を鑑みると、上部構造が流出した原因は支承部の損傷が起点にあると考えられ、可動支承では、下流側のサイドブロックのセットボルトが破断している。破断したセットボルトの変形状態にはせん断変形が卓越している場合と曲げモーメントによる引抜け・伸び変形が卓越している場合があった。そこで、本研究では流失した橋梁支承サイドブロックのセットボルト接合部に着目し、破断に至る载荷実験を行い、セットボルトの破断プロセス・終局耐力を調査する。

②研究概要

流失した橋梁には鋼製支承が用いられ、可動支承にはサイドブロックが併設されている。サイドブロックはベースプレートに接合されており、図-1(a)に示すように、L字形の支承サイドブロックの底面に高力ボルトにより接合するセットボルト（短締め）、および図-1(b)に示すように、SS400製丸鋼を用いるアンカーボルト（長締め）の2サイドブロックが用いられていた。現地および図面等の調査から、セットボルトではボルト縁端距離が長い場合と短い場合、アンカーボルトではボルト位置とブロック縁とが近い場合と遠い場合が確認された。そこで、セットボルトおよびアンカーボルトの2つの形式を対象に、セットボルト接合部に着目した载荷実験を実施した。

セットボルトを例に、実験セットアップを図-2に示す。実験では、実際の設置から90度回転させた状態でサイドブロックを設置しているため、鉛直下向きの荷重が実構造における水平力である。実験ケースを表-1に示す。载荷実験では、いずれの形式でも流失した橋梁におけるローラー上面の高さは約

150 mmであったことから、サイドブロックへの水平荷重の作用高さは150 mmとした。また、図-3に示すように、実構造を参考にしてボルトの設置位置を異ならせ、セットボルトでは縁端距離 e を30, 75 mmの2種類、アンカーボルトではブロック縁までの距離を30, 75, 150 mmの3種類に設定した。セットボルトには、首下75 mmのM20・F10T高力ボルトを、アンカーボルトには両端にネジ化工を施したSS400丸鋼を用いた。



(a) セットボルト（短締め）



(b) アンカーボルト（長締め）

図-1 セットボルト接合部

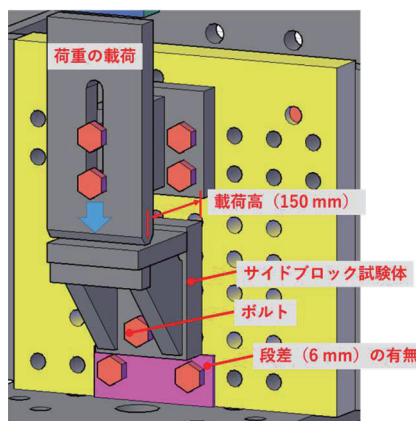
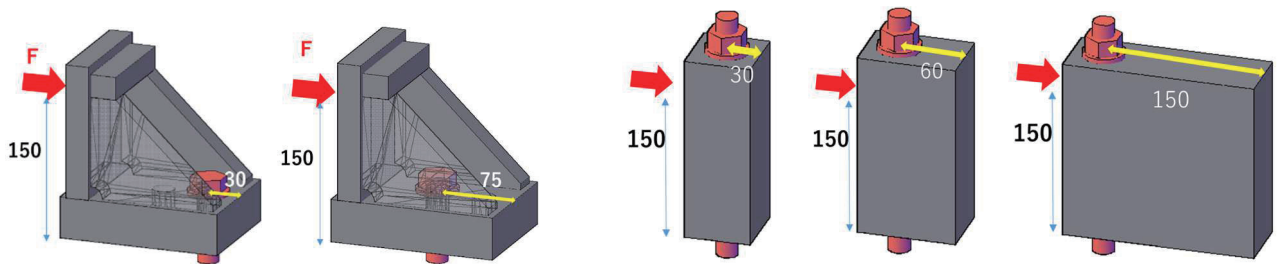


図-2 実験実施状況（セットボルト試験体）



(a) セットボルト試験体 ($e=30, 75$ mm) (b) アンカーボルト試験体 ($e=30, 60, 150$ mm)

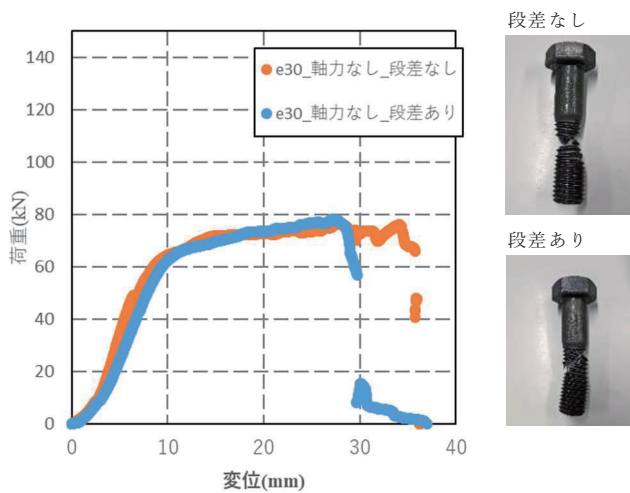
図-3 ボルト設置位置 (縁端距離の違い)

表-1 試験体の一覧および最大荷重とそのときの変位

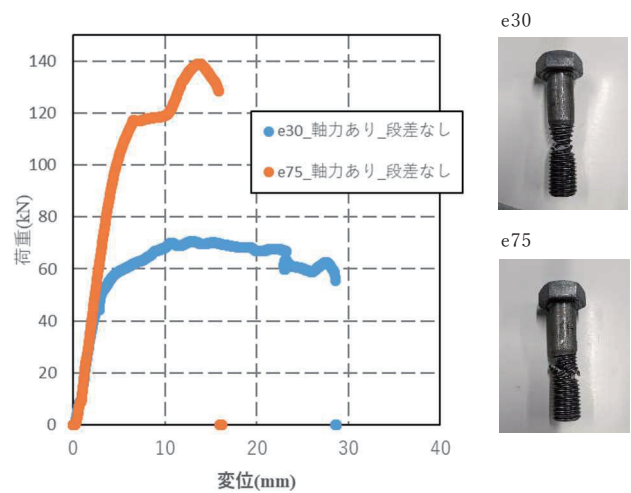
(a) セットボルト

(b) アンカーボルト

ケース番号	供試体名	最大荷重(kN)	変位(mm)
0	e30_軸力なし_段差なし	77.0	27.7
1	e30_軸力なし_段差あり	78.0	27.1
2	e30_軸力あり_段差なし	70.6	13.0
3	e30_軸力あり_段差あり	71.1	11.6
4	e75_軸力あり_段差なし	138.9	13.8
5	e150_軸力あり_段差なし	102.6	15.0



(a) 段差の影響 ($e=30$ mm, 軸力無し)



(b) e の影響 (軸力あり, 段差なし)

図-4 セットボルト試験体の実験結果 (一部)

縁端距離 e 以外に、手締め程度としたボルト軸力なし、トルク法によりボルト軸力を導入した軸力あり、さらに、サイドブロック底面の水平移動の拘束 (段差) の有無を異ならせたケースを設定した。表-1 には載荷実験により得られた最大荷重とそのときの変位もまとめている。

セットボルト試験体 (短締め) では、表-1 および図-4(a)に示すように、ボルトは引き抜きにより破断し、段差の有無が最大荷重に与える影響は顕著には認められなかったが、軸力あり・段差ありの場合には最大荷重時の変位が異なった。また、図-4(b)に示すように、 e の値が大きいほどボルトへのせん断力の作用が卓越し、大きな最大荷重を得た。ボルトは、せん断破壊により破断し、破断時の変位は小さかった。

アンカーボルト試験体 (長締め) では、表-1 および図-5(a)に示すように、 e の値が大きいとボルトへのせん断力の作用が大きく最大荷重が大きくなり、ボルトはせん断変形を伴い破断した。 e が小さいとボルトへ曲げ引張力が生じ最大荷重は小さく、せん断破壊の場合と比較して、破断時の変位は大き

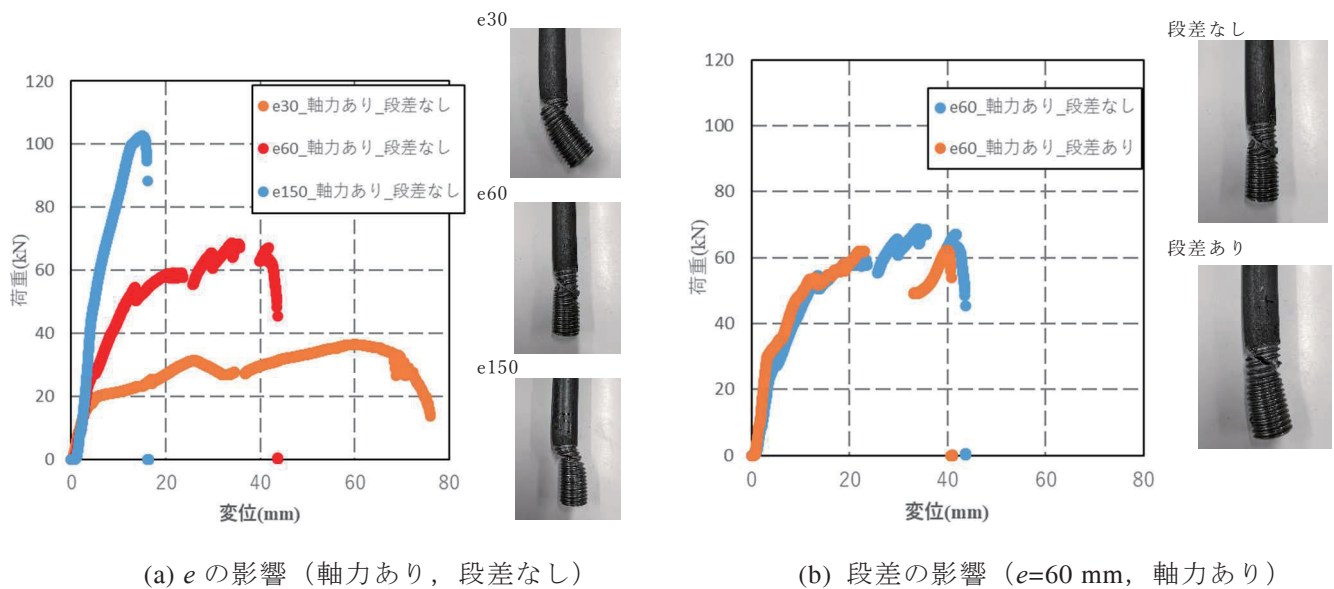


図-5 アンカーボルト試験体の実験結果 (一部)

なくなった。図-5(b)に示すように、 $e=60$ mm で比較すると段差の有無の影響はほとんど認められなかった。

③まとめ

令和 2 年 7 月豪雨による球磨川を渡河する橋梁のうち、主に流失した橋梁の被災メカニズムを調査した。その結果、流失した橋梁では、支承の損傷・損壊が挙げられ、既存の支承構造が大きな流体力による桁の移動に対し、十分な耐力を有していなかったことが挙げられる。そのなかでも、増水による桁への流体力作用により、可動支承側からの桁の水平移動が始まり、可動支承側では支承サイドブロックが損壊や脱落し、サイドブロックのセットボルトはせん断力や引張力の作用により破断しているように見受けられた。

そこで、可動沓支承上版からサイドブロックが橋軸直角方向に水平力を受ける場合の、ボルトへの作用力やボルト耐力、変形状況等をサイドブロックの形状を変化させて载荷実験を実施した。その結果、ボルトの設置位置 (縁端距離)、軸力や段差の有無により最大荷重やそのときの変位の値も異なること、破断時にはサイドブロック自体が大きく傾倒することが確認できた。また、ボルトが曲げ引張力を受ける場合に比べ、ボルトにせん断破断が生じる場合には、最大荷重が設計荷重の 1.8 倍程度となり、破断時の変位も小さいことがわかった。

謝辞

本研究は、九州地域づくり協会の 2022 年度調査研究等助成事業における調査研究の助成を受けて実施できました。今回の実験結果を踏まえ、実構造の破断時挙動の解明に繋げていきたいと考えます。ご助成いただきありがとうございました。

4 - 7

流れ中にある橋梁の流出挙動と
流出対策工法に関する研究

熊本高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻
岩坪 要 氏

流れ中にある橋梁の流出挙動と流出対策工法に関する研究

熊本高等専門学校 岩坪 要

1. まえがき

「令和2年7月豪雨」では球磨川に架かる多くの橋梁が流失する事態になった¹⁾。著者は災害発生後から現地調査や、国土交通省九州地方整備局の「球磨川橋梁復旧技術検討会」、KABSE 分科会「令和2年7月豪雨による橋梁被害を踏まえた災害に強い橋梁設計に関する研究分科会」などに参画し、橋梁の流失原因や対策技術について研究を行ってきた。

橋梁は余裕高以上を桁下空間で確保し、計画高水位よりも上に架けることになっているため、橋梁本体への影響はない、とも考えられるが、球磨川の橋梁群が流れたことも事実であるため、今後の対応は検討すべき事案である。そこで、開水路実験装置を用いて流水によって橋梁に作用する力学状態を明確にすることを本研究の目的としている。



図1 水路の様子

2. 研究概要

2.1 開水路と測定

熊本高専で所有している開水路実験装置を用いて実験を行った。水路の諸元を図2に示す。流水は流量を設定する方法であり、流量を調整をしながら実験をした。計測は動的でのサンプリング(100Hz)を基本とし、ノイズの関係でローパスフィルター10Hzとした。後処理では1Hz 間隔に間引いてまとめた。

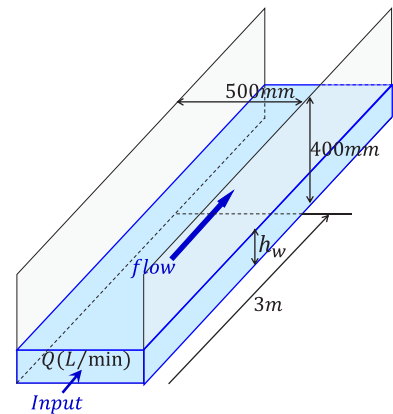


図2 水路の諸元

2.2 流水力の測定実験

幅20mm、厚さ1mmのステンレス板を図3のように設置して両端固定梁の状態にし、ステンレス板中央に貼付した防水ひずみゲージでステンレス板の変形状態を測定した。また、上流側の面には小型圧力計を付けて水量を変えてステンレス板に作用する力を計測した。図4と図5に流量が $Q=1000\text{L/min}$ の時の測定結果を示す。水路底からの高さに応じて結果が変わっていることが分かる。両端固定梁の最大曲げモーメントは次式で計算できる。この式を用いて

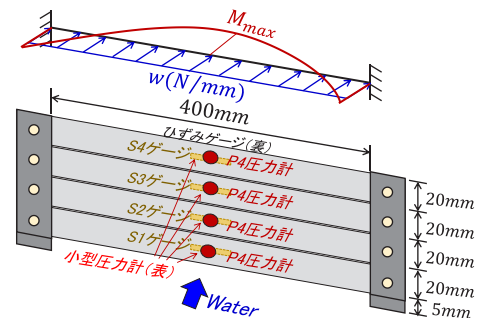


図3 測定装置

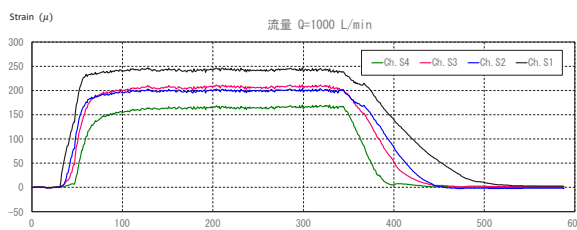


図4 ひずみゲージの時刻歴応答

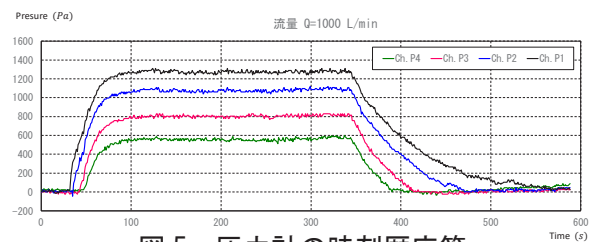


図5 圧力計の時刻歴応答

計測されたひずみ値から分布荷重を計算し、流量と水深から分布荷重を推定する式を求めた。同様に圧力値も推定する式も推定した。

$$M_{max} = \frac{w \cdot L^2}{24} \quad (3.1)$$

$$w = \frac{1}{1000} (A_F \cdot h_w + B_F) \quad (3.2)$$

ここに、 w ：分布荷重値(N/mm)、 A_F 、 B_F ：荷重係数(式は省略)、 h_w ：水深(mm)、 Q ：実験装置で流す流量(L/min)



図6 30度傾斜モデル

2.3 傾斜板に作用する流水力の測定実験

直立状態(0度)から30度、45度、90度に傾けた板に作用する流水力を測定する実験を行った。図6に30度傾斜させた供試体を示す。測定したひずみ値から(3.1)式で分布荷重を求め、水平方向と鉛直方向に分解し、傾斜角度毎に整理した結果を図7に示す。45度までは水平力は減少し上向きの力が増加していくが、60度まで傾斜させると、水流はステンレス板に沿って流れるので、水平力も鉛直上向きの力も減少する結果となった。

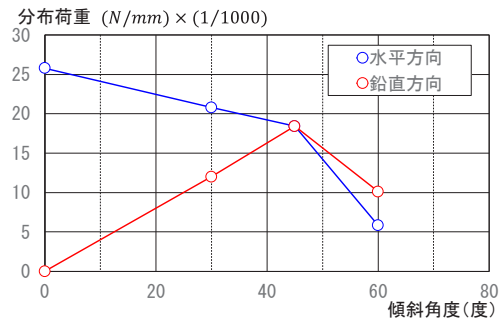


図7 傾斜角度と分布荷重の関係

2.4 橋梁模型の流れ実験

図8に示す3本主桁を有する単純桁橋の橋梁模型をアクリル材で製作した。幅Bと高さDを3種類設定し、組み合わせて9体の模型について実験を行った。

模型は高さ5mmの台座の上に置くだけとし、流れる方向に移動しないようにストッパーを設置した。図10に9体の結果を示すが、幅Bが150mmの模型は最後まで流れなかった。75mm幅と100mm幅の模型は上流側に浮き上がりが発生し、回転運動をして流失した。図11に圧力計の時刻歴応答の一例を示すが、流れ方向に押す作用力(P1圧力計)はいずれも早い段階から作用していることが分かる。床版の張出部に上向きに作用する力も計測出来ていた。実験の様子から考えられる模型に作用している力の状態

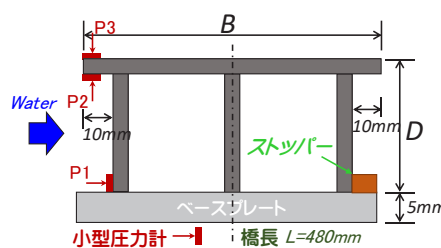


図8 模型断面

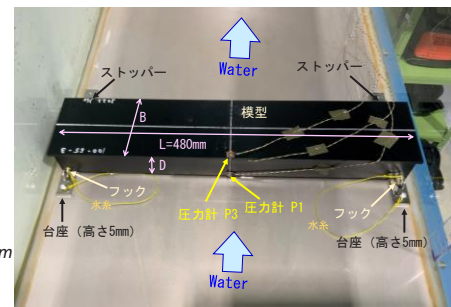


図9 水路への設置

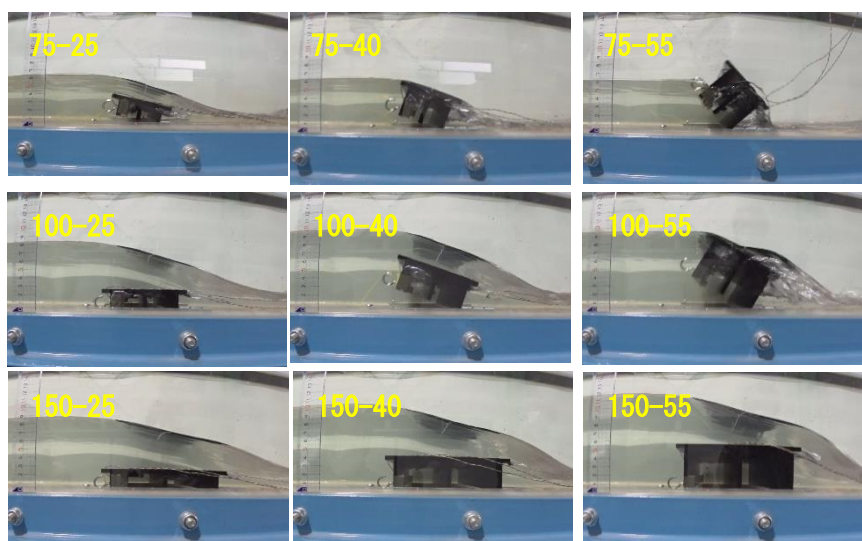


図10 流失の様子

を図 12 に示す. 流失するタイミングは各モデルによって違っており, パターンを見つけるには困難であった. 水位が上昇する速さなども含めて, 構造形式との関係性をさらに調べる必要がある.

2.5 対策工法の考察

本研究での実験結果を踏まえて, 対策工法について検討を行った. 津波対策の研究の中でも報告されているが, 次の3点で検討してみた²⁾.

① 橋梁の浮き上がり防止

上流側の浮き上がりを防止する最もシンプルな方法として, ケーブルを設置する方法がある. 浮き上がり時に支承部に作用する負荷を軽減する目的である.

② 回転, スライドの抑制

今回の実験では, 橋梁模型は固定せずにストッパーのみ設置したが, 4体は流失しなかった. 構造形式によっては下流側にストッパーを設置するだけでも対策となり得る可能性が示唆された.

③ フェアリング構造での対応

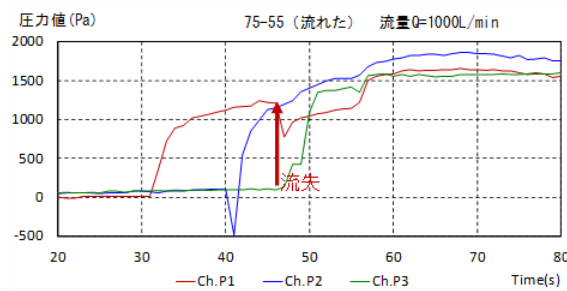
流水の流れを変えることで橋梁本体への作用力を低減できると考えるが, その角度に注意して設置すべきである.

3. まとめ

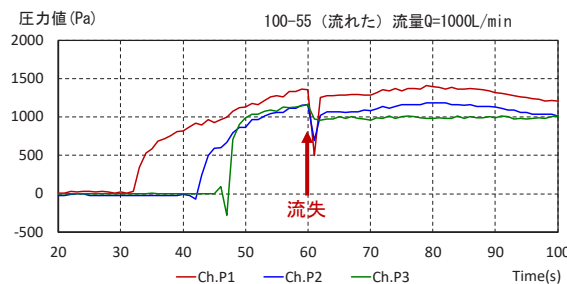
本研究では, 開水路実験装置を用いて流水が構造物に作用する状態や荷重値などを測定して調べた. 試行錯誤を繰り返しながらの実験となったが, それだけ流水を相手にすることは難しいことが分かった. しかしながら, 構造形式を通常の耐荷力設計で行い, その構造に対して部材などを付加することで対処することが可能であると考えられる. 今後は, 流出する原因について他の要素についても実験を行いつつ, 対策工法についても検討を行う予定としている.

【参考文献】

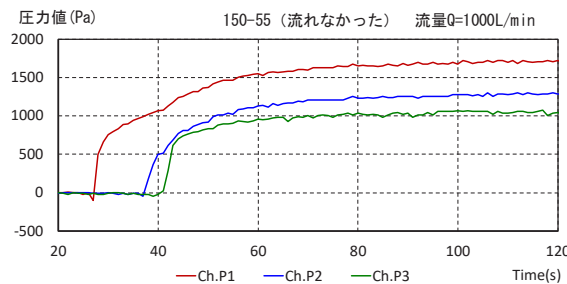
- 1) 熊本県:令和2年7月豪雨に係る災害対策本部会議 資料, 2020.
- 2) 土木学会:橋梁の対津波・対洪水設計に関する研究小委員会 報告書, 土木学会地震工学委員会, 橋梁の対津波・対洪水設計に関する研究小委員会, 2020/11.
- 3) 土木研究所:津波が作用したときの橋梁上部構造の挙動に関する研究, 土木研究所資料, 第 4318号, 2016/1.



(a) 75-55 モデル



(b) 100-55 モデル



(c) 150-55 モデル

図 11 圧力計の時刻歴応答図

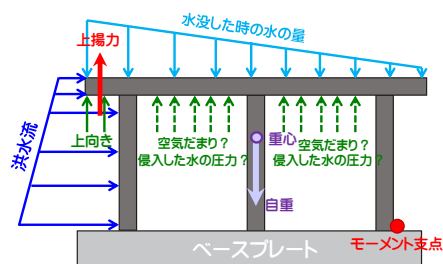


図 12 橋梁模型への作用状態

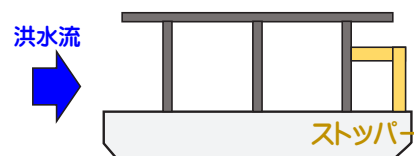


図 13 ストッパーの例

4 - 8

ESG が示す建設産業の現状評価と産官金への
意識調査を通じた新たな価値創出

熊本高等専門学校 生産システム工学系 AC - Gr
松家 武樹氏

ESG が示す建設産業の現状評価と産官金への意識調査を通じた新たな価値創出

1. まえがき

日本を含む世界のあらゆる産業はこれまで、あくなき経済成長を追求し成長を遂げてきた。九州地域の各産業も同様に経済成長を追求してきたといえる。特に、インフラ整備を担う建設産業は、人間の生産活動の基盤を構成する産業であり、経済成長に大きく貢献してきたといえる。日本では 1960 年代から半世紀以上に亘り総額 2,600 兆円以上の建設投資が行われてきた。土木への投資額は 1,000 兆円を超え、建築への投資額は 1,500 兆円を超える。結果的に日本の国内総生産（以下、GDP と略記）は成長を続け、現在では約 564 兆円の GDP となっている。しかしながら、現在、そのツケが顕在化し「CO₂」による地球温暖化・気候変動として表立ってきた。これらの問題に対し、近年ではサステナビリティ（持続可能性）の観点からのアプローチが重要となっている。サステナビリティは、社会・環境・経済の 3 つの側面を柱とした概念である。CO₂ が惹起した「環境」問題に対し、建設産業は防災・減災の強化（安全保証）により「社会」へ貢献し、その「経済」効果を試算してきたのが、これまでのアプローチである。

本研究では、CO₂ が惹起した「環境」問題に対し、その環境問題と直結する「経済」指標を分析することで、建設産業の「社会」的な立ち位置を明らかにする。経済指標は時代のキーワードである ESG 指標を用いる。ESG とは、環境 (Environment)・社会 (Social)・企業統治 (Governance) の英語の頭文字をあわせた言葉であり、そのスコアは“産(企業)”に関連するステークホルダーの投融資の判断指標の一つとして扱われている。ステークホルダーには行政(官)や金融(金)も含まれる。ESG スコアは、投資家や金融機関等が企業へ投融資先を選定する際の判断基準の一つとして定着されつつある状況である。世界で今後 3,000 兆円に上ると指摘されており、建設産業も ESG 投資は看過することができない指標である。

そこで本研究では ESG 指標のスコアを公表している第三者評価機関の抽出とその評価機関に基づく ESG 指標のスコアを分析し、建設産業の「社会」的な現在の立ち位置を明らかにすることとした。それに加え、本研究では建設産業の新たな価値を創出するために九州地域における産官金への ESG 意識調査も実施した。なお、高等教育機関の学生を対象に意識調査も実施した。

2. 研究概要

本研究では、2つの大きな枠組みで調査研究を実施している。一つは第三者評価機関が公表している ESG スコアを分析した建設産業の現状評価であり、他の一つは九州地方における建設産業（産）・官公庁（官）・銀行（金）・学生（学）への ESG に関する意識調査である。

建設産業の現状評価では、ESG スコアを公表している第三者評価機関の抽出と抽出した評価機関が公表している ESG スコアを分析することとした。選定した評価機関は3つであり、評価機関 A は 500 社、評価機関 B は 563 社、評価機関 C は 200 社の銘柄数に基づきそれぞれの ESG スコアを分析することで、全産業における建設産業の現在の立ち位置を明らかにすることとした。

ESG に関するアンケートによる意識調査では、九州地方における建設産業・官公庁・銀行・学生を対象に Microsoft teams を用いて実施した。アンケートの内容は下図に示す通りのフローに従い実施している。全 177 名からアンケートを回収し、ESG の認識度や建設産業の格付け予想、建設産業価値向上に必要な ESG 重要項目に関する情報を集計している。

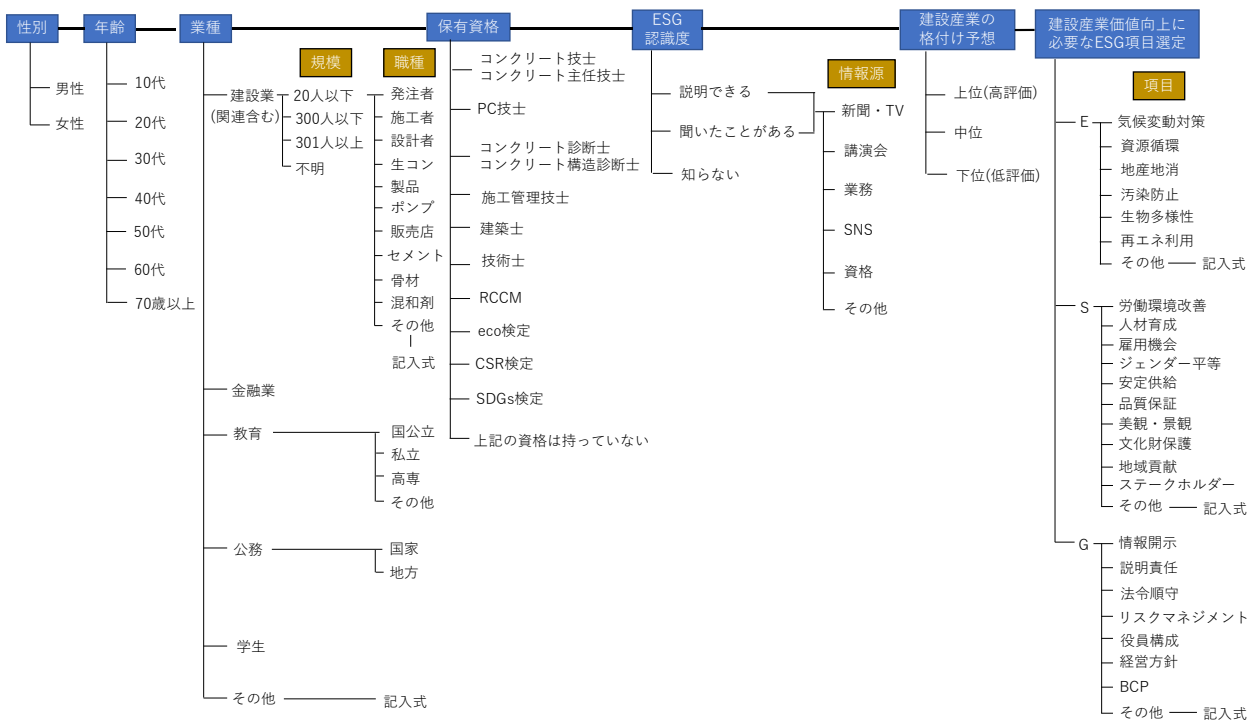


図-1 アンケート調査内容のフロー

3. まとめ

本研究の成果をまとめると以下の通りである。

- 1) ESG スコアを評価する第三者評価機関は複数あるが、定量的に評価している評価機関 3つを抽出した。
- 2) 各種評価機関によって ESG の評価項目および点数化の方法は異なっている。
- 3) 建設産業の ESG スコアは全産業の中位程度に位置しているが、各産業が有している最大スコアを比較すると建設産業は上位に位置付けられる項目があり、それだけのポテンシャルを有している産業である。
- 4) 建設産業において最も評価の低い項目は、評価機関によって異なるものの、S（社会）・H（人材育成）・G（企業統治）となっている。
- 5) 建設関連セクターであるセメント・鉄鋼は建設産業に比べてデータ数が極めて少ない。これに起因して鉄鋼の順位の変動が大きい。
- 6) 九州地方における建設産業、官公庁、銀行、学生への ESG に関するアンケートを実施し、177 名からの回答を得たが、ESG を説明できる割合は銀行を除き 3%未満の理解度である。なお、ESG を聞いたことがある回答は 50%未満である。
- 7) ESG スコアの建設産業の格付け予想は、上位と回答した割合は 20%程度である。
- 8) 今後の建設産業の価値向上に必要な項目は、E（環境）を選択した割合が最も多く 50%を超える。

ESG は評価の基準は乱立した状況下にある。近年、非財務情報開示における世界共通の物差しとなる国際サステナビリティ基準審査会（ISSB）が 2021 年に設置されている。国際基準作りを進めている状況であり、こうした国際機関の動向も注視していかなければならない。さらに、我々建設産業は気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）の提言も押さえておかなければならない。TCFD 提言内容は ESG に関連する項目もある。TCFD 提言と同等の情報開示は、東京証券取引所の最上位市場の「プライム市場」に上場する企業にも求められている。国際的イニシアチブとしても動きがあり、SBT（Science Based Targets：企業における温暖化削減目標）等の認定を取得する企業もある。2022 年 8 月時点で建設産業の企業は 16 社が認定済みであり、こうした認定は ESG スコアにも直結する。現在は様々な動きが国内外であり、建設産業の価値向上に向けて様々な情報をキャッチした上で未来を創造していくことが建設産業の価値を高めることになる。

4 - 9

シラスを含む築堤材料の保水・透水特性の
試験データ蓄積と数値力学モデルの改良

鹿児島大学大学院 理工学研究科
中島 亮輔 氏

シルスを含む築堤材料の保水・透水特性の試験データ蓄積と数値力学モデルの改良

鹿児島大学大学院 中島 亮輔

鹿児島大学学術研究院 酒匂 一成

1. まえがき

南九州地域の地盤はその大半がシルスに覆われていることから、河川堤防の築堤材料にはシルスが含まれている。シルスは土粒子密度が低く、細粒分が多いことから、流水によって侵食されやすい特徴を持っている。河川堤防の浸透に対する安全性照査には飽和不飽和浸透流解析が用いられ、土の保水・透水特性を表す水分特性曲線や不飽和透水係数が必要である。土の保水・透水特性を求めるための室内試験は複雑で時間がかかることから、「河川堤防の構造検討の手引き」では、代表的な数値が設定されている。しかし、シルスを含む築堤材料の保水・透水特性のデータが少ないことから、シルスを含む河川堤防の設計や安全性照査に用いる保水・透水特性の決定には技術と経験を必要とする課題がある。本研究では、シルスを含む土質の保水特性に着目し、精度の高い保水試験データを迅速に蓄積するための保水性試験の改良と、シルスを含む土質の試験データを基に、数値力学モデルのパラメータの検討を行いモデルの推定精度向上を試みた。

2. 研究概要

2.1 保水性試験装置の改良

本研究では、連続加圧型加圧板法を用いている。連続加圧型加圧板法は従来の段階加圧型加圧板法に比べて、試験時間が短く、効率的に試験を実施することが可能である。山本らは空気圧制御後に土中の間隙水圧の測定に時間遅れが生じることを確認し、その原因はペDESTALのセラミック板の排水性が関係していると指摘している。そこで、本研究では、ペDESTALにセラミック板を用いた加圧板法から、排水性の高い微細多孔質膜を用いた加圧膜法に改良することで、間隙水圧の時間遅れを改善し、保水性試験の測定精度向上を試みた。

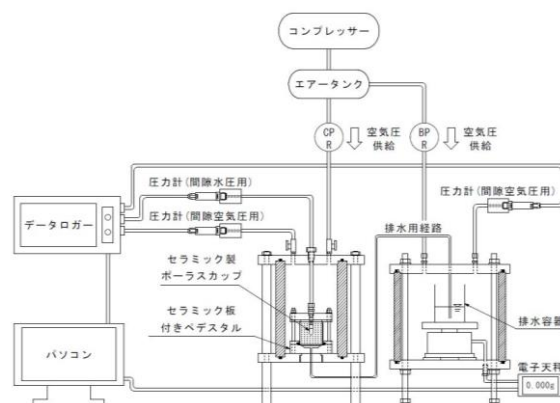


図-1 加圧板法試験装置

本試験で用いた加圧板法試験装置の概要を図-1 に示す。供試体（直径 50mm，高さ 51mm）が入った圧力セル内に間隙空気圧 $u_{a,CP}$ 間隙空気圧 $u_{a,BP}$ （セル圧，CP）を負荷させ、吸排水容器と電子天秤が入った圧力チャンバー内の水に間隙空気圧 $u_{a,BP}$ （背圧，BP）を負荷させることで、サクシオン制御を行う（軸移動法）。供試体中央部にはセラミック製ポーラスカップ（直径 8mm，長さ 15mm，空気侵入値 380kPa）を設置しており、供試体中央部で土中の間隙水圧 u_w を 1 分間隔で測定している。サクシオンはセル圧 $u_{a,CP}$ と間隙水圧 u_w の差で得られる。供試体底部のセラミック板（空気侵入値 440 kPa，透水係数 1.25×10^{-9} m/sec）付きペDESTALには、吸排水用の経路があり、吸排水用経路は、吸排水容器に接続されており、吸排水容器の電子天秤によって吸排水量が 1 分間隔で測定される。一方、セラミック板の低透水性が間隙水圧の時間遅れに起因していると考えられることから、セラミック板

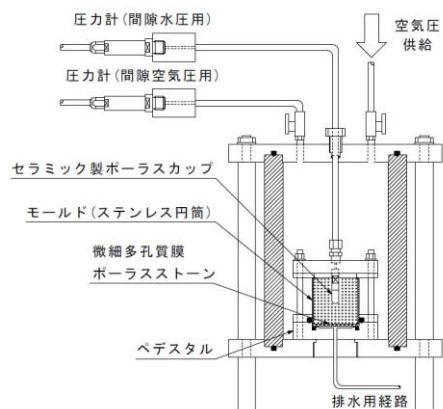


図-2 改良後の圧力セル

一方、セラミック板の低透水性が間隙水圧の時間遅れに起因していると考えられることから、セラミック板

付きペDESTALの部分を、排水性の高い微細多孔質膜 (MB) (空気侵入値 130 kPa, 透水係数 4.97×10^{-11} m/sec) に改良した。図-2 に改良後の圧力セルを示す。MB の透水係数は、セラミック板に比べて小さいが、膜厚が $0.45 \mu\text{m}$ と非常に薄いことから、セル圧 75kPa 負荷時の MB の毎分透水量は 74.6 g/min であり、セラミック板 (0.3 g/min) に比べて大きい。

図-3 に東俣シラス ($\rho_s = 2.37 \text{ Mg/m}^3$) のペDESTALにセラミック板を用いた加圧板法と MB を用いた加圧膜法の水分特性曲線を示し、試験条件を表-1 に示す。セル圧 0→40, 40→50kPa の各制御段階における時間遅れは、加圧板法では 19 分, 19 分, 加圧膜法では 2 分, 4 分であったことから、加圧膜法に改良することにより時間遅れを軽減することができた。また、各制御段階におけるサクシオンが平衡状態になるまでの時間は、加圧板法では 2,347 分, 1,613 分要しており、加圧膜法では 368 分, 1,160 分と短縮されたことから、加圧膜法では試験時間の短縮化が期待される。

2.2 数値力学モデルのパラメータの検討

保水・透水特性を推定するための数値力学モデル (以下、間隙モデル¹⁾) のパラメータを検討することで、推定精度向上を試みた。間隙モデルは粒径加積曲線と間隙比を基に間隙径分布を推定し、得られた間隙径分布から水分特性曲線および、不飽和透水係数を推定する方法である。本研究では、シラスを含む土質に対するモデルの保水性推定精度向上を目的として、粒度の異なる 4 種類の試料の保水試験を実施し、パラメータ ($I_{pt}[\%]$, 平行移動指数) と粒度特性値との関係性について検討した。

間隙モデルにおける間隙比 e , 体積含水率 W_v , サクシオン s_u は D_v , θ の確率密度関数 $P_d(D_v)$, $P_c(\theta)$ を用いて以下の式で表せる。

$$e = \int_0^\infty \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{V_p}{V_e - V_p} \cdot P_d(D_v) \cdot P_c(\theta) d\theta dD_v \quad (1)$$

$$W_v = \frac{e(d)}{1+e} = \frac{1}{1+e} \int_0^\infty \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{V_p}{V_e - V_p} \cdot P_d(D_v) \cdot P_c(\theta) d\theta dD_v \quad (2)$$

$$s_u = \gamma_w \cdot h_c = \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{d} \quad (3)$$

ここに、 V_e : 素体積の体積, V_p : 円管の体積, d : 管径の直径 (水分を保持する円管の最大管径), T_s : 水の表面張力, α : メニスカスの接触角, γ_w : 水の単位体積重量, h_c : 毛管上昇高さ。

図-4 に火山灰質砂質土の串良川堤体土 ($\rho_s = 2.48 \text{ (Mg/m}^3)$) の粒径加積曲線 (GSD) と間隙モデルで算出された間隙径分布 (PSD) を示す。図-5 に水分特性曲線の実験値と間隙径分布から得られた水分特性曲線の計算結果を示す。破線で示す間隙径分布は、確率密度関数 $P_d(D_v)$ の累積分布関数であり、その間隙径分布から得られた水分特性曲線の計算結果は、実験値よりも過小評価されていることがわかる。そこで、逆算された間隙径に対して、元の間隙径分布を平行移動させることでサクシオンに寄与する間隙径分布 (実線) を算出する。サクシオンに寄与する間隙径分布から得られた水分特性曲線の計算結果 (実線) は実験値と非常に近い値となった (図-5)。この際、サクシオンに寄与する間隙径分布の累積間隙体積百分率 50% の管径が、元の間隙径分布の

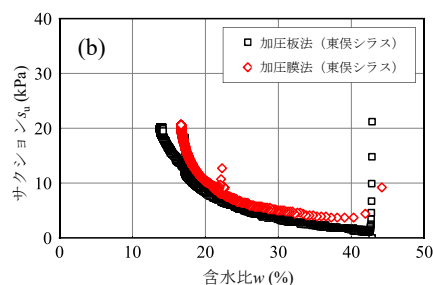


図-3 東俣シラスの試験結果

表-1 試験条件

	東俣シラス	
	加圧板法	加圧膜法
間隙比 e	-	1.02 / 1.06
含水比 w (%)	42.9	48.6
セル圧 $u_{a,CP}$ (kPa)	40 → 50	
背圧 $u_{w,BP}$ (kPa)	30	

累積間隙体積百分率の何%の管径に対応するかを算出し、それを平行移動指数 I_{pt} [%]¹⁾ と定義している。

土質ごとに平行移動指数を算出し、平行移動指数と粒度特性値との関係性について検討するために、加圧板法による保水性試験を実施した。試料には東俣シラス（自然状態）及び、東俣シラスを細粒分含有率 0%, 20%, 40% にそれぞれ粒度調整したものを用いた。初期含水比 $w_0=25\%$ に調整した試料を、1 層 30 回で 3 層締固めを行い、供試体を作製した後に、浸水脱気を行うことで飽和度を高めた。図-6 に保水性試験の結果及び、間隙モデルによる計算結果を示す。

保水性試験結果を基に、平行移動指数を算出し、粒度特性値（細粒分含有率 F_c [%], 均等係数 U_c ）との関係性について検討した。図-7 に粒度特性値と平行移動指数の関係を示す。粒度特性値と平行移動指数の関係に着目すると、細粒分含有率や均等係数が大きい試料ほど平行移動指数が大きくなる傾向にある。これは、細粒分が多い土質ほどより多くの間隙水がサクシオンに寄与していることを表している。これらの結果より、保水性試験結果が無しで粒度特性値から平行移動指数を決定し、サクシオンに寄与する間隙径分布を算出できる可能性が示唆された。また、サクシオンに寄与する間隙径分布が決定されることにより、間隙モデルの保水性推定精度向上が見込まれる。

3. まとめ

- 1) ペDESTAL にセラミック板を用いた加圧板法から、排水性の高い微細多孔質膜を用いた加圧膜法に改良することで間隙水圧の時間遅れを軽減することが可能となり、加えて試験時間の短縮化が期待される。
- 2) 東俣シラスを粒度調整した試料と自然状態の試料の保水性試験結果を基に間隙モデルのパラメータ (I_{pt} [%], 平行移動指数) と粒度特性値との関係について検討した結果、細粒分含有率や均等係数と I_{pt} [%] に関係があることが明らかとなった。これにより、間隙モデルの保水性推定精度向上が見込まれる。

参考文献

1) K. Sako and R. Kitamura: A practical numerical model for seepage behavior of unsaturated soil, Soils and Foundations, Vol.46, No.5, pp.595-604, 2006.

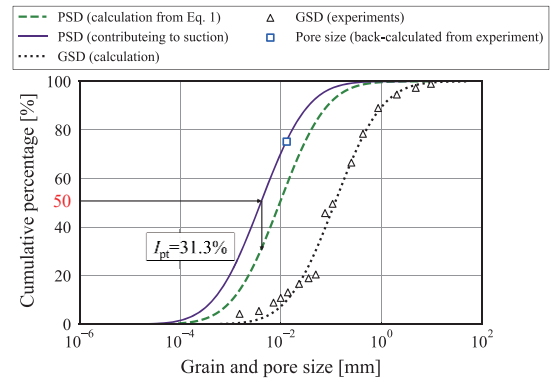


図-4 粒径加積曲線および間隙径分布

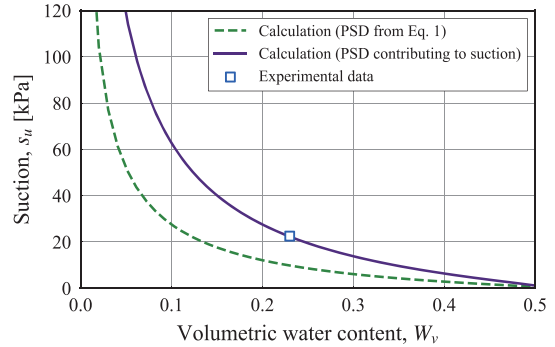


図-5 水分特性曲線（串良川堤体土）

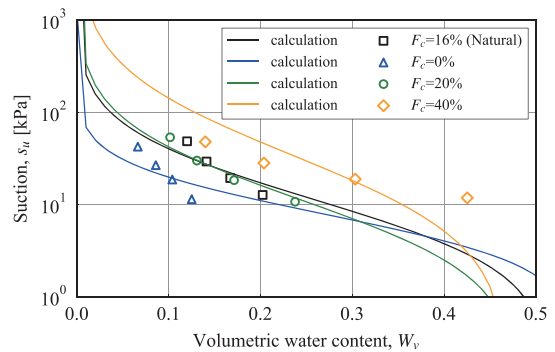


図-6 水分特性曲線（東俣シラス）

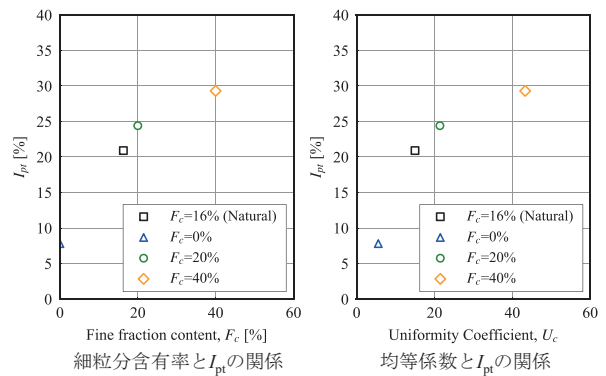


図-7 粒度特性値と平行移動指数の関係

4 -10

インフラ老朽化を克服するための
デジタル技術利用の実践

九州大学大学院 工学研究院
佐川 康貴 氏

① まえがき

代表的なインフラ構造物である高速道路構造物について、大学等教育の拡充に寄与することを目的として、九州大学等の学生を対象に講義および実習等（道路工学実践教室）を実施している。

実施にあたっては、NEXCO 西日本から NEXCO 西日本が保有する技術や、高速道路等を建設・管理していく上で生じる技術的な課題を“生きた教材”として大学に提供してもらった。

また、道路工学実践教室を通し、大学における NEXCO 西日本の業務の理解促進、並びになお一層の地域技術交流を図った。

② 活動内容

1) 実施方法

「道路工学実践教室」規約に基づき実施した。また、本教室の参加に要する費用（交通費・宿泊費）として、本事業の予算を使わせていただいた。

2) 講義・実習内容

今年度のテーマを橋梁とし、下記の工程で講義、実習等を実施した。

区分	テーマ名	実施日	実施場所
事前講義	NEXCO 西日本の事業概要説明 課題解決ワークショップの説明	4月22日(金)	九州支社2F(博多ジャパンビル) 学生は対面・オンライン参加
事前課題に関する準備等	課題解決ワークショップに向けた情報収集・資料作成等	4月から7月	各大学
講義	高速道路の建設事業、保全サービス事業、点検・検査手法他	8月2日(火)	九州支社2F(博多ジャパンビル)
実習	現場構造物点検及び非破壊試験実習及び点検結果を踏まえた対策方法立案、交通管制室・施設制御室の見学	8月3日(水)	九州支社2F(博多ジャパンビル), 九州自動車道 橋梁(現地), 太宰府社屋交通管制室・施設制御室
講義	現場構造物点検結果等の発表会、高速道路の橋梁工事、橋梁の維持管理	8月4日(木)	九州支社2F(博多ジャパンビル)
グループ討議・発表会	課題解決ワークショップ 「DXで高速道路を変革する」	8月5日(金)	九州支社2F(博多ジャパンビル)

3) 実践教室状況

道路工学実践教室の実施状況を以下に示す。



写真1 講義状況



写真2 橋梁点検実習状況



写真3 非破壊試験機による調査実習



写真4 補修計画立案実習



写真5 補修計画発表



写真6 課題解決ワークショップ



写真7 集合写真



写真8 シンポジウム発表

③ まとめ

今年度の道路工学実践教室は、まず、4月22日に事前講義として、新型コロナウイルス感染拡大を防ぐため、対面およびオンライン併用で、NEXCO 西日本の事業概要、高速道路会社におけるDXに関する最新の取り組みに関する講義を実施した。

次に、8月2日～8月5日の本講義では、新型コロナウイルス感染対策を行いながら対面での実施を基本とし、『高速道路の点検・検査手法について』、『コンクリート構造物の劣化過程及び非破壊試験』等の講義（座学）を行うとともに、実際の既設橋梁にて具体的な『点検及び非破壊試験実習』を行い、点検結果を基に『対策方法の立案実習』を行うとともに、近年増加している『床版取替工事』や機能向上のための『4車線化事業の施工』の講義（座学）まで、一連の高速道路整備事業における業務内容に沿った実習を行うことで、専門性の高い技術的な体験・経験ができるカリキュラムとした。参加した学生からは、「大学では学ばない道路の知識や高速道路の重要性を知ることができ、大変ためになりました。」「実際の橋梁の点検方法について学ぶ機会は今までなく、今後さらに知識を深めていくための良いきっかけになりました。」等の声が聞かれ、全体的に良い評価が得られた。

また、課題解決セミナーにおいては、『DXで高速道路を変革する！』という、総合的に土木工学を学ぶとともに、最新のデジタル技術に関する調査を必要とする課題を課すことで、単なる土木技術者の育成だけでなく、総合的に土木事業を見て、考えることをテーマに実施することで、将来の土木工学のあり方について考えさせることで幅広い検討を行う機会とした。学生が選定したテーマのキーワードには、「リアルタイム交通予測」、「避難判断ARシステム」、「ETCの高度化」、「スマートグラス」、「スマートフォンサービス」、「Maas」「EV」などがあり、デジタルによりもたらされる建設業界の未来について学生が主体的に学べる機会となった。

さらに、最も優秀な成果について、対外発表（技術シンポジウム、10月18日開催）する機会を与えたところ、実務を有する土木技術者からも高い評価を得た。