

令和元年度 調査研究助成事業「成果報告書」の発刊にあたって

最近、国民の意識が多様化するなか、少子高齢化、人口減少に加え、地球環境問題や震災、更には、近年における洪水被害の激甚化、広域化とともに、昨年末からの新型コロナウイルスへの3密対策が不可欠となるなど、新たな社会資本の整備や安全・安心の確保に配慮した質の高い社会資本整備の効率的・効果的推進が求められています。

このような状況下、建設事業に関する調査研究が促進され、その成果が建設事業に反映されることが今後の豊かで安全・安心な社会・経済活動の実現に寄与するものと確信しております。

一般社団法人九州地域づくり協会では、平成15年度より「研究開発支援制度」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について、大学・工業高等専門学校を対象にした土木技術等の調査研究を行う研究者に対し、若手研究者の育成にも考慮した公募を行い、調査研究経費の一部を助成しています。

その間、本調査研究から新技術・新材料の開発や特許申請がなされるなど、その成果が確実に現れ、当協会の助成は土木技術に携わる研究者より期待されているところです。

本成果報告書は、令和元年度の調査研究助成の応募20件より、研究等助成審査委員会において採択された5件の助成対象課題について、その成果報告（概要版）を収録したものです。

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2年8月吉日

一般社団法人 九州地域づくり協会
企 画 部

令和元年度 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

令和元年度 九州地域づくり協会調査研究助成事業について

1 - 1 助成事業の概要	3
1 - 2 募集、応募状況	4
1 - 3 助成テーマの選定結果	5
1 - 4 研究等助成審議委員会名簿	5

(令和元年度 九州地域づくり協会調査研究助成事業)

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	11
4. 調査研究報告会講評	15
5. 成果報告 (概要版)	

令和元年度 調査研究助成者

5 - 1 河川計画と整合した流木対策のための計画流木量設定法の開発	21
九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門	矢野 真一郎
5 - 2 高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部のすべり後挙動の解明	27
九州工業大学大学院 工学研究院 建設社会工学研究系	高井 俊和
5 - 3 高力ボルト接合を活用した既設鋼橋の桁端部支点上構造の高機能化	31
熊本大学大学院 先端科学研究部 社会基盤環境部門	森山 仁志
5 - 4 鋼管杭と斜め鋼材を用いた地震時の斜面防災対策に関する研究	35
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
5 - 5 小径コアを用いた圧縮強度試験法の社会実装に向けた検証実験	41
九州大学 工学部 技術部 計測・分析技術室	山本 大介

1. 調査研究助成事業について

【令和元年度 調査研究助成事業募集要領】

◆ 調査研究開発

1-1 助成事業の概要

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
- ② インフラの老朽化対策及び生産性向上方策
- ③ 九州地域等における防災・減災対策

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、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。

6. [決定通知]

応募された案件については、実現性や調査研究による効果等の観点から学識経験者、有識者等で構成された審議委員会において審査を行い、助成対象者を選定します。

選定にあたっては、若手研究者の育成という観点をも考慮致します。

1-2 募集、応募状況

(1) 募集

公募((一社)九州地域づくり協会のホームページ)にて募集を実施した。

(2) 募集状況

表-1、表-2に示すとおり、特定テーマ15件、一般テーマ5件の合計20件の応募があった。

(3) 応募件数表 (調査研究助成)

表-1

応募者	特定テーマ	一般テーマ	計
九州各県の国・公・私立各大学の研究者	13	5	18
九州各県の工業高等専門学校の実験室の研究者	2	0	2
計	15	5	20

(4) テーマ別応募件数

表-2

一般/特定	テーマ	件数
一般	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	5件
特定	地域の活性化・再生	1件
	インフラの老朽化対策及び生産性向上方策	4件
	九州地域等における防災・減災対策	10件
計		20件

1-3 助成テーマの選定結果

選定は、申請者の要件、募集テーマとの整合性等について、研究等助成審議委員会を、令和元年5月15日に開催し、申請された特定テーマまたは一般テーマの内容、提案技術の地域・現場ニーズ、実現性及び期待される効果等について審査検討し、表-3に示す5課題を選定し、助成を行うことに決定した。

表-3

研究テーマ	調査研究課題名	大学名	申請者名
特定	河川計画と整合した流木対策のための計画流木量設定法の開発	九州大学大学院 工学研究院環境社会部門	矢野 真一郎
特定	高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部のすべり後挙動の解明	九州工業大学大学院 工学研究院 建設社会工学研究系	高井 俊和
特定	高力ボルト接合を活用した既設鋼橋の桁端部支点上構造の高機能化	熊本大学大学院 先端科学研究部 社会基盤 環境部門	森山 仁志
特定	鋼管杭と斜め鋼材を用いた地震時の斜面防災対策に関する研究	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
特定	小径コアを用いた圧縮強度試験法の社会実装に向けた検証実験	九州大学 工学部 技術部 計測・分析技術室	山本 大介

2. 審議委員会及び調査研究報告会の経緯



◆九州地域づくり協会 研究等助成審議委員会 （平成31年2月8日(金)）
調査研究等助成に関する募集要領及び募集テーマについて



◆九州地域づくり協会 研究等助成審議委員会 （令和元年5月15日(水)）
調査研究等助成の選考検討等



◆九州地域づくり協会 調査研究助成報告会
理事長あいさつ



◆九州地域づくり協会 調査研究助成報告会 (令和2年8月27日(木))
令和元年度 九州地域づくり協会 調査研究助成の報告

3. 調査研究報告会での発表課題と評価の概要

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
◆令和元年 調査研究助成者		
<p>(九州大学大学院 矢野氏)</p> <p>河川計画と整合した流木対策のための計画流木量設定法の開発</p>	<p>平成29年九州北部豪雨のデータを解析し、流木発生量の評価モデルを開発することにより、河川計画において統一的な確率概念を用いた流木の影響を加味する方法論の構築について発表。</p> <p>【評価】</p> <p>現在、一般的な水のみ解析手法となっている河川計画に対して、今回、土砂や流木の情報を組み込み、流木災害への多重防御となる防災・減災効果の評価が出来るようになれば、昨今、災害が多発するなかで更なる防災・減災が期待できる研究である。</p>	
<p>(九州工業大学大学院 高井氏)</p> <p>高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部のすべり後挙動の解明</p>	<p>高力ワンサイドボルトを用いた継手及び当て板補修部のすべり後挙動を明らかにすることを目的に載荷実験及びFEM解析によるパラメトリックな検討について発表。</p> <p>【評価】</p> <p>高力ワンサイドボルトを用いて、当て板補修部のすべり後の挙動を明らかにすることにより、当て板補修の設計法の高度化に貢献する研究であったが提案するまでには至っていない。今後の当て板補修の設計法への貢献を期待する。</p>	
<p>(熊本大学大学院 森山氏)</p> <p>高力ボルト接合を活用した既設鋼橋の桁端部支点上構造の高機能化</p>	<p>フィラーダンパー工法により補強した十字断面柱の圧縮載荷実験を行い、その補強効果を検証。今回、初期たわみを有した自由突出板を対象に、数値解析的にFD工法を再現するモデリング手法の開発について発表。</p> <p>【評価】</p> <p>鋼橋の桁端部支点上構造の補修と補強を目的とした研究であった。今般、インフラの老朽化が社会的な問題となっていることから、当研究がこの問題解決につながることを期待する。</p>	

<p>(九州大学大学院 ハザリカ氏)</p> <p>鋼管杭と斜め鋼材を用いた地震時の斜面防災対策に関する研究</p>	<p>被災地における社会インフラの早期復興に向け、コスト削減を念頭に置き、新技術として、鋼管杭と斜め鋼材を活用したハイブリット型斜面補強工法の開発について発表。</p> <p>【評価】</p> <p>盛土の地震時対策として、当工法の耐震性についての発表であり、既存の鋼管杭を用いた盛土の補強工法に比べて、当工法が優れているという結果になっている。杭等の詳細な最適条件の検討課題は残るものの今後の実用化に向けた研究に期待する。</p>	
<p>(九州大学 山本氏)</p> <p>小径コアを用いた圧縮強度試験法の社会実装に向けた検証実験</p>	<p>粗骨材最大寸法40mmのコンクリートで小径コア試験法を適用可能かどうか、また実環境下で経年したコンクリートから採取された小径コアを用いた場合でも、実験室で製作した小径コア圧縮強度試験と同様の傾向を示すかについての検証を発表。</p> <p>【評価】</p> <p>新たな小径コア試験法の検証試験であり、試験体を成型する際に慎重な調整が必要等の問題はあるが、現場への適用性として試験体のコンパクト化のメリットが期待出来る。</p>	

4. 調査研究報告会講評



講評（角 知憲 研究等助成審議委員長）

今回の5件の研究については、現在の社会ニーズに合った研究だったと思います。中には、もっと研究速度を上げたほうがよいと思う研究もありましたが、今回の研究テーマについては、比較的早く研究成果が出そうな研究だったと思います。

皆様の研究への更なるご尽力を期待致します。

ただし、今回の矢野先生の研究テーマについては、少し研究成果が出るまでには、時間が掛かる気がしました。この研究は、研究者の解析精度の設定のやり方が、その研究成果において重要になると思われました。実務的には、当初は、粗い精度設定で行い、その後の研究程度を踏まえ、精度向上を行う方がよいと思いました。

ありがとうございました。

5. 成果報告（概要版）

5 - 1

河川計画と整合した流木対策のための
計画流木量設定法の開発

九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門

矢野 真一郎

河川計画と整合した流木対策のための計画流木量設定法の開発

九州大学大学院工学研究院 教授 矢野真一郎

① まえがき

気象庁の日本国内で観測された気象災害のまとめでは、2000年以降は豪雨災害の頻度が高まっている。また、豪雨災害のスケールが大きくなり、人的被害・物的被害が大きいものが近年増加している。平成29年7月九州北部豪雨では降水量の大きかった筑後川右岸支川の流域で同時多発的な斜面崩壊や土石流により大量の土砂や流木が発生・流下した。福岡県・大分県では死者・行方不明者42名（平成31年3月現在）が確認され、流木による橋梁の閉塞に伴い洪水が河道から溢れる等の被害や橋梁の流出、多数の道路における流水による侵食・崩壊ならびに土砂・流木による埋没や斜面崩壊による寸断が生じ、復旧・復興の大きな障害となっている。

昨今の豪雨災害による被害や頻度が大きくなっている背景に地球温暖化の影響があるとみられている。世界の年平均気温は長期的に見て上昇傾向にあり、気象庁の解析では1891年の統計開始以来100年あたり0.69°Cの割合で上昇している。2013年に公表されたIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第1作業部会の第5次評価報告書では現在進行形で地球温暖化が進んでいることが報告されている。温暖化の進行による気温の上昇は降水量の増加とその規模を引き上げることにつながり、近年の豪雨災害の規模、あるいはそれ以上の規模の豪雨災害が高い頻度で起こる可能性が高まると考えられる。

将来へ向けて重要となることが予想される豪雨災害であるが、近年の大規模豪雨災害では流木の問題が同時に発生していることが多い。土石流、地滑り、山地崩壊から流出する流木は、河道を流下する際に流下能力が低い構造を持つ橋梁に集積し、ダム化してせき上げを起こすことで氾濫を助長したり、大量に集積して洪水時の大きな流体力を受けることで橋梁を破壊したりするなどの災害を引き起こす。これまでもいくつか豪雨災害での発生事例がある。

例えば、平成29年7月九州北部豪雨では約21万m³の流木が発生しており、国土交通省(2017)の解析によると、溪流単位での流木流出率（単位面積あたりの流木発生量）は、従来の記録で最大値であった1,000m³/km²を大きく上回り、最大で20,000m³/km²を記録した。このことは、温暖化の進行などに起因して降雨の形態が変化し、それに伴い斜面崩壊や流木流出がこれまでに無かった規模へ変化してきていることを端的に示している。新たなフェーズに入ってきた流木災害について、可能なハード・ソフト対策の研究が改めて必要な時期になったと考えられる。

本研究では、平成29年九州北部豪雨で発生した数多くの斜面崩壊と、それに伴う流木発生に着目し、それらの要因について統計的手法を用いた解析を実施する。得られた評価モデルにより、降雨や地形・地質などの情報を総合的に包含した流木発生量の評価モデルの開発を行う。これにより、河川計画において統一的な確率概念を用いて流木の影響を加味できる方法論を構築することを目指すものである。

② 流域一貫した流木災害リスク評価モデルについて

本研究では図-1に示す福岡県朝倉市と東峰村に流れる筑後川中流域右岸側支川河川流域を対象とする。すなわち、赤谷川（大山川、乙石川を含む）、寒水川、白木谷川、北川、奈良ヶ谷川、妙見川（桂川支川）、桂川上流（本川上流域）、黒川（佐田川支川）、疋目川（佐田川支川）大肥川上流（本川上流域のみ。宝珠山川を含む）を対象とした。小石原川と花月川、大肥川支流の鶴河内川に関しては、流木発生が少ないため除外した。また、佐田川本川については寺内ダムの流木捕捉により被害が小さいことや流域面積が大きいこと、流入支川が多いことを考慮し除外した。

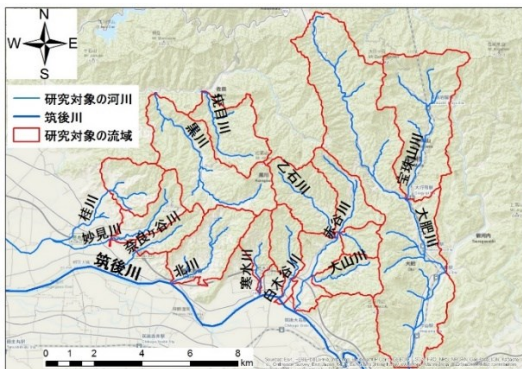


図-1 対象河川流域

表-1 素因・誘因の組み合わせの例

		case17	case18	case19	case20	case21	case22	case23	case24	
素因	傾斜角	enl	○	○	○	○	○	○	○	
	断面曲率	scuv	○	○	○	○	○	○	○	
	地質	火山性	geo2	○	○	○	○	○	○	○
		深成岩	geo3	○	○	○	○	○	○	○
		変成岩	geo4	○	○	○	○	○	○	○
		硬地	land	○	○	○	○	○	○	○
	累積流量	kasen	○	○	○	○	○	○	○	○
		kasen			○	○	○	○	○	○
		落葉広葉樹	dbf			○	○	○	○	○
		常緑広葉樹	ebf			○	○	○	○	○
常緑針葉樹		enif			○	○	○	○	○	
硬地		kasen2			○	○	○	○	○	
誘因	雨量	kasen2			○				○	
		rain1H	○	○	○				○	
		rain3H	○	○		○				
		rain6H	○	○			○			
		rain12H	○	○				○		
		rain24H	○	○					○	

本研究では斜面崩壊に寄与すると考えられる様々な要因から斜面崩壊発生面積を算出可能とするモデルの開発にロジスティック回帰分析を用いることとした。斜面崩壊に寄与する要因の組み合わせでは、斜面崩壊が発生する場所の条件となる「素因」、ならびに斜面崩壊が発生するきっかけとなる「誘因」に分離している。素因には、地形や地質、地質構造、傾斜などの情報として傾斜角、断面曲率、地質（火山性地層、変成岩、深成岩）、累積流量、土壌被覆（草地、落葉広葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、裸地、草地＋裸地）を設定した。一方、誘因には、斜面崩壊発生時の1時間雨量、3時間雨量、6時間雨量、12時間雨量、24時間雨量を設定した。素因・要因の組み合わせについて今回は38ケースを設定している。それらの一例を表-1に示す。各素因・誘因については以下のようなデータを使用した。傾斜角・断面曲率・累積流量は国土地理院発行の標高データ(10mメッシュ)から、使用したGIS (ArcGIS, ESRI社製)の機能を用いて計算した。地質は国土交通省国土政策局国土情報課で提供されている表層地質図のGISデータから作成した。土壌被覆は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センター (EORC)が提供するALOS/AVNIR-2高解像度土地利用土地被覆図(バージョン18.03)を用いた。雨量データは国土交通省が公表している250mメッシュのC-X合成雨量データを用いた。雨量データは2017/07/05/00:00~23:59までの24時間分で、1分刻みのデータが存在する。このデータから1時間、3時間、6時間、12時間、24時間の5種類で時間最大雨量を算出した。

流木の発生源となる斜面崩壊箇所については以下のように取り扱った。公開されている国土地理院の崩壊箇所データは崩壊箇所をすべて網羅できていないため、国土交通省公開の崩壊箇所データを補完的に使用した。ただし国土地理院の崩壊箇所データは崩壊地と堆積地が分離できていないため、国土交通省九州地方整備局より入手した今次水害における崩壊地と堆積地の分類図を参照して国土地理院の崩壊箇所データで使用する部分を選定した。選定方法は国土地理院の崩壊箇所データと今次水害の崩壊地のデータが重複する部分をGISで表示し、重複箇所のみを残した。得られたデータは山林・河畔林・溪畔林の区別がつかないものであったため、流木発生量の大部分が山林から発生したことを根拠としてこのデータを山林の崩壊データとして扱うことにした。そのため、このデータに対して国土交通省の崩壊箇所データから山林に関する崩壊箇所データと重複した部分についてすべて取り除いた。その後、国土交通省の山林・河畔林・溪畔林・その他林を作成した崩壊箇所データと連結させる。これにより完成した崩壊箇所データを本研究では流木発生源として用いることとした。

これらのデータを30mメッシュ上に配分し分析を行う。各メッシュに崩壊箇所が含まれる崩壊メッシュ数が3,659個、含まれない非崩壊メッシュ数が209,257個であった。解析する際は崩壊メッシュ数3,659個と同数の非崩壊メッシュ数をランダムサンプリングで抽出した。ランダムサンプリングによるバイアスを除去するために、20回のサンプリング計算を実施した。

最も再現性の高いデータとして判定したところ、case24と判定された。case24における溪流単位の予測崩壊地面積率を溪流面積に乗じて、溪流内の崩壊面積を求めた。これから流木発生量の算出を行った。同時に実績の流木発生量の算出を国のデータから行い、両者の結果を比較した。図-2と3に崩壊面積率の分布を実績値と本モデルによる評価値から求めたものをそれぞれ示す。両者の一致度が高いことが確認できる。さらに、河川毎に流木発生量を求めた。図-4に実績値との比較を示す。対象河川の大半が±20%範囲で説明できる傾向にあり、モデルの有効性が確認できた。

今回、平成29年九州北部豪雨被災地のデータを有効活用し、素因・誘因から斜面崩壊の傾向を表現できるモデルの開発をロジスティックモデルで構築できた。これより発生流木量も的確に表現できることが分かった。このようなモデルにより降雨規模に応じた流木発生量の評価が可能になったことから、気候変動の影響により降雨量が変化した場合や空間的な降雨パターンが変化した場合に対応した流木発生量への影響評価も可能になる。

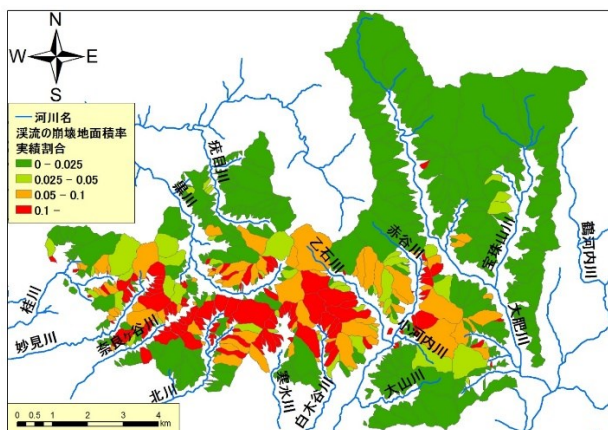


図-2 溪流毎の斜面崩壊面積割合の分布(実績)

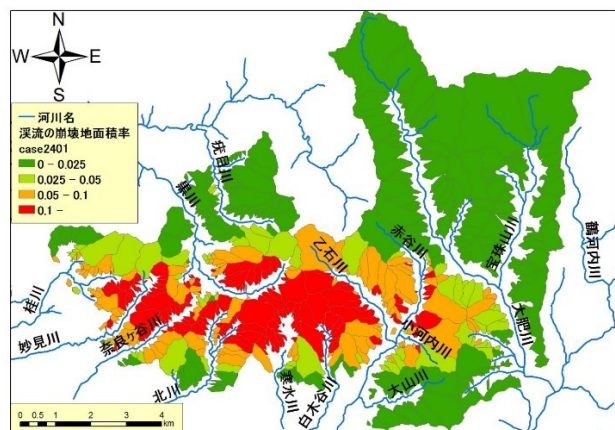


図-3 溪流毎の斜面崩壊面積割合の分布(モデル)

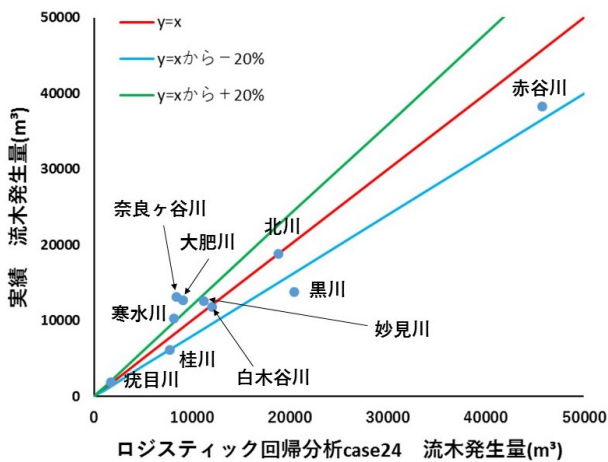


図-4 斜面崩壊地の分布

他流域（平成30年西日本豪雨被災地とR1年台風19号被災地(宮城県丸森町)を想定）で適用可能かを検証し、より汎用性のある評価モデルへと改良することが求められる。また、L1・L2流木災害を評価するための基準とそれに応じた災害リスク評価、ならびにそれらへの対応策の検討を行うことが求められる。

③まとめ

本研究では、GISベースでの流域一貫した流木総合管理を可能にするための流木災害リスク評価モデルを構築すること、さらに、得られたモデルにより河川整備計画においてL1流木災害リスクを考慮したハード整備とL2リスクに対するソフト対策を加味できるようなベースモデルとなることを目的として実行した。

ここでは、平成29年7月九州北部豪雨により過去にない規模の流木発生が生じたことから、被災河川流域全体で得られている斜面崩壊に関するデータ類をGIS上に統一し、斜面崩壊の発生に寄与すると考えられる要因をできるだけ多く抽出し、38パターンという数多くの組み合わせにより実際の斜面崩壊状況を再現するためにロジスティック回帰分析を行った。得られた38種のモデルからベストモデルを実際の斜面崩壊との比較から選択した。

これにより実際の斜面崩壊に近いモデルでの再現や、今次水害による斜面崩壊に影響を与えた主な要因が何であるのかを明らかにすることなどができた。さらに、再現性の高いケースをもとに流木発生量の算出を行い、実績の流木発生量との比較により本研究で作成したモデルの有効性を確認することができた。

一方で、斜面崩壊発生確率を斜面崩壊地面積率へ変換させる単回帰式を求める上でのデータの集計方法の問題、最も高い再現性を研究対象全体から選ぶべきか河川毎に細かく選んでいくべきかの選択基準の問題、ならびにベストモデル選定で用いた決定係数や相関係数の差が小さいため統計的に有意な選択ができているのか判断しにくい問題、などモデル化にあたり多くの問題点も見出された。本モデルは業務でよく利用されているGISソフト、フリーの統計ソフト、国土地理院やJAXAなどの公的機関から無料で公開された土地情報などを組み込むことで斜面崩壊発生確率や予測崩壊地面積率、流木発生量などの災害情報を算出でき、自治体などでの活用が期待できるものと考えられる。また、統計的に斜面崩壊や流木発生の条件を解析することでこれまで以上に正確な流木発生量の予測につながると考えられる。またさらに、将来の地球温暖化を踏まえた降水に対応しての予測もできると考えられる。将来性のあるこのモデルに対して、本研究で挙げられる多くの問題点を解決していくことが必要である。

以上より、当初の目的であったGISベースでの流域一貫した流木災害リスク評価モデルのベースモデルとなる第一段階のモデルを構築することは十分に達成された。さらに、河川計画においてハード整備やソフト対策を検討できるようなベースモデルとなるモデルをイメージして開発できたと考えられる。開発された流木リスク評価モデルを用いることで、流木災害への多重防御となる防災・減災効果を評価することができるようになることが期待される。さらに、流木流出量を河川の洪水頻度と同様の確率表示できるようなモデル構成になっていることから、河川と流木（と土砂）について統一した確率指標に基づく治水計画が可能になることが期待される。

なお、各説明変数に対する回帰係数についてベストケースであるCase24をみると、雨量について負値が得られているものがあつた。このことは物理的には理解しにくい点であり、今後さらにケースを増やした検討と、雨量データの使用方法に関する検討が必要であると考えられる。加えて、必ずしも雨量として各累積雨量が与えられない場合でも評価可能にすることも必要である。よって、例えば3時間雨量のみで評価できるようなモデルも、データに不足がある場合の副次的なモデルとして採用していくことも必要であろう。

また、河川計画における計画規模に応じた降雨規模を用いることで、計画流木発生量を対応させることが可能になったと言える。このことから、河川計画上のL1・L2規模に応じて流木発生量も議論することが可能になり、流木の影響を加味した河川計画の策定が可能になったと言える。今後は、本モデルが

5-2

高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部の
すべり後挙動の解明

九州工業大学大学院 工学研究院 建設社会工学研究系

高井 俊和

高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部のすべり後挙動の解明

九州工業大学 高井 俊和
熊本大学大学院 森山 仁志

1. 研究の背景及び目的

鋼道路橋の疲労亀裂損傷に対し、ボルトを用いた当て板補修が行われる場合がある。高力ワンサイドボルトは片側からの作業により締結できるため、補修補強工事で使用される事例が増えてきている。道路橋示方書は平成 29 年の改定により限界状態設計法が採用され、当て板補修部と構造がよく似た高力ボルト継手の設計ではすべり後を想定した限界状態 3 の設計が必要となった。高力ワンサイドボルトを用いた継手のすべり後挙動は不明な点が多く、限界状態 3 を満足する効果的な補強をするには、すべり後の挙動を明らかにしておく必要がある。本研究では、高力ワンサイドボルトを用いた継手および当て板補修部のすべり後挙動を明らかにすることを目的に載荷実験および FEM 解析によるパラメトリックな検討を行った。

2. 高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部の力学挙動に関する実験的検討

図 2.1 に示すような高力ワンサイドボルト継手・当て板補修部の載荷実験を行った。高力ワンサイドボルトの軸力は、コアピン頭部にひずみゲージを貼付け、引張試験で求めた軸力 N と頭部ひずみの関係を用いて管理した。

表 2.1 に実験結果を示す。試験前軸力で評価した場合の高力ワンサイドボルト継手のすべり係数 μ_1 は、H29 年度版道路橋示方書が定める無機ジンクリッチペイント面の設計すべり係数 $\mu_d = 0.45$ を上回った。また、当て板補修部の純断面降伏荷重 P_m は設計値よりも 5%程度大きく、補修効果が確認された。

厚板部材の t72-OJ の最大荷重 P_{max} は製品規格値で計算したボルトのせん断耐力 P_{bod} より 2 倍大きいことから、端部端抜け+ボルトのせん断の連成破断耐力 P_{mixd} より 40%程度大きく、ワンサイドボルト継手は終局耐力も十分にあるといえる。一方、通常の高力ボルト継手のせん断耐力の評価式ではワンサイドボルト継手の最大耐力を精度よく推定できない可能性があることが判明した。

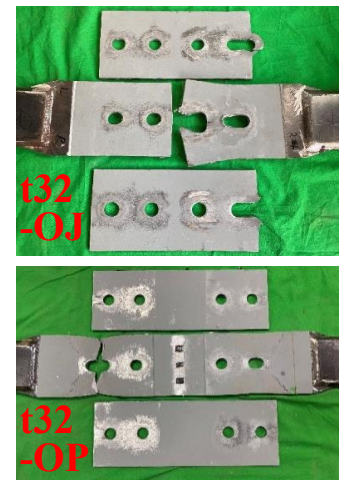


図 2.1 載荷後の様子

表 2.1 実験結果

(a) すべり荷重とすべり係数

試験ケース	A, B側 (破断側 :赤字)	ピーク値ですべり荷重を評価						母板と連結板の相対変位 δ_r ですべり荷重を評価				
		試験前 ボルト 軸力 N_1 kN	すべり時 ボルト 軸力 N_2 kN	すべり 荷重 (ピーク値) P_{slip} kN	すべり 係数 (N_d 評価) μ_0	すべり 係数 (N_j 評価) μ_1	すべり 係数 (N_2 評価) μ_2	すべり時 ボルト 軸力 N_2 kN	すべり 荷重 ($\delta_r=0.2$) $P_{\delta 0.2}$ kN	すべり 係数 (N_d 評価) μ_0	すべり 係数 (N_j 評価) μ_1	すべり 係数 (N_2 評価) μ_2
		t32-OJ	A	202	192	464	0.65	0.57	0.60	192	479	0.68
	B	172	165	479	0.68	0.70	0.73	165	464	0.65	0.67	0.70
t32-OP	A	179	146	787	1.11	1.10	1.35	150	771	1.09	1.07	1.28
	B	218	156	820	1.16	0.94	1.31	161	812	1.15	0.93	1.26
t72-OJ	A	227	223	559	0.79	0.61	0.63	223	553	0.78	0.61	0.62
	B	239	232	565	0.80	0.59	0.61	234	519	0.73	0.54	0.55

(b) 最大荷重および破壊モード

試験ケース	設計値					設計 破壊 モード	実験値		
	母板 純断面 破断 耐力 P_{ind-m} (kN)	欠損部 破断 耐力 P_{tcd-m} (kN)	端抜け 破断 耐力 P_{esd} (kN)	ボルトの せん断 耐力 P_{bod} (kN)	端部 端抜け +ボルト 破断 連成耐力 P_{mixd} (kN)		最大 荷重 P_{max} (kN)	実験 破壊 モード	P_{max}/P_u (破壊モード の違いを考慮 し、 P_u を変更 した値)
	t32-OJ	947	-	1716	632		614	端部端抜け+ボルト破断	697
t32-OP	947	573	1716	632	779	欠損部破断	1002	純断面破断	1.75 (1.06)
t72-OJ	1850	-	3515	632	913	ボルト破断	1295	端部端抜け+ボルト破断	2.05 (1.42)

3. FEM 解析による高力ワンサイドボルトを用いた当て板補修部のすべり後挙動の検討

当て板補修部に構造がよく似たボルト継手を対象に、MUTF24 の高力ワンサイドボルトと鋼橋で一般的な F10T M22 の高力 6 角ボルトの違いによるすべり後挙動への影響を比較するため、図 3.1 に示すボルトを 1 本配置した継手の解析を行った。解析プログラムは Abaqus standard 6.13 を用いた。鋼橋を想定し、母板、連結板の鋼種は SM490Y とした。ボルトの影響が顕著となると考えられるボルト軸部のせん断で終局となるように設計し、母板厚を 28 mm、連結板厚を 16 mm とした。締付け後グリップスリーブにボルト軸方向の隙があるため、ナット寄りとバルブスリーブ寄りの 2 ケースと高力 6 角ボルトの合計 3 ケースを設定した。

解析で得られた荷重-母板端変位の関係を図 3.2 に示す。降伏時の作用荷重は、バルブスリーブ寄りのケースで 454 kN、ナット寄りのケースで 379 kN と約 75 kN の差が生じた。高力 6 角ボルトのケースの降伏時の作用荷重は 469 kN であった。耐力を低く見積もり、安全側の評価となるよう、グリップスリーブがナット寄りのケースでパラメトリック解析を実施することとした。

次に、すべり試験を模擬した高力ワンサイドボルト継手のパラメトリック解析を行った。基本ケースは、高力ワンサイドボルトを 2 本配置し、母板、連結板が SM490Y、母板厚が 19 mm、連結板厚が 12 mm、板幅が 100 mm、縁端距離が 40 mm、ボルトピッチが 75 mm とした（ケース b）。解析モデルの例を図 3.3 に示す。このほか、板幅が 75 mm（同 a）、150 mm（同 c）、ボルト本数が 3 本（同 d）、縁端距離が 65 mm（同 e）、90 mm（同 f）、ボルトピッチが 100 mm（同 g）、125 mm（同 h）のケースを設定し比較した。

結果を図 3.4 に示す。ケース c で、ボルト軸部でせん断降伏が生じた以外は、母板純断面で引張降伏が生じた。また、今回設定したケースでは、縁端距離やボルトピッチを変化させてもすべり、降伏、最大荷重でケース間に違いは見られなかった。降伏、終局モードが母板純断面の引張で違いがなかったためと考えられる。実際の当て板ではボルトを密に配置するため、本検討での板幅が狭く母板純断面降伏荷重が相対的に低くなること、さらにボルト列数が増えることを考えると、特に厚板の場合を除けば終局モードは純断面破断となる場合が多いと考えられる。

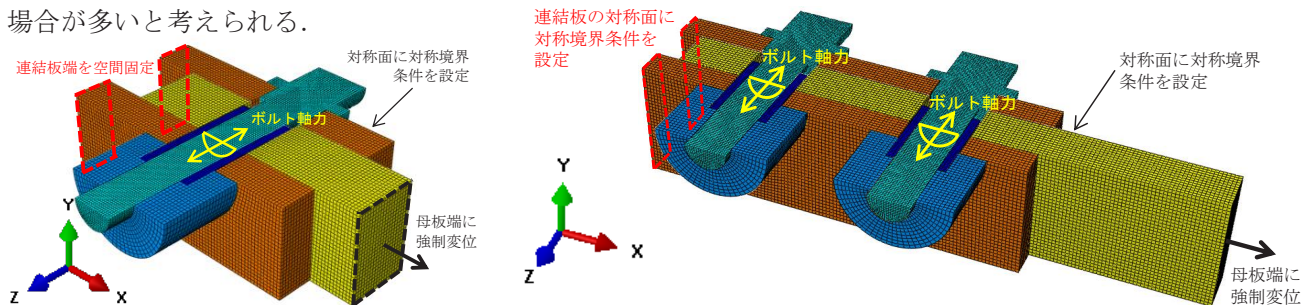


図 3.1 解析モデルの概要

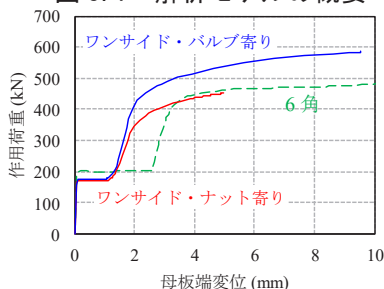


図 3.2 ボルトの違いの影響

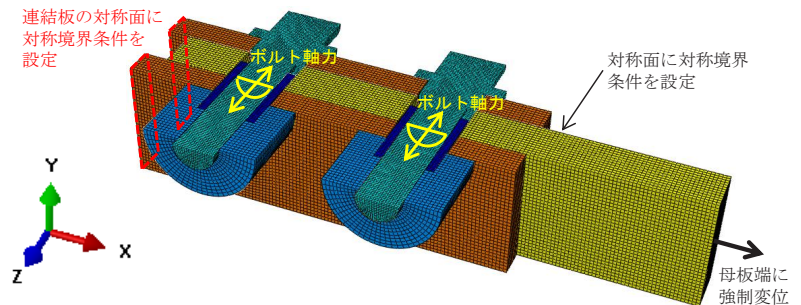


図 3.3 パラメトリック解析のモデルの概要

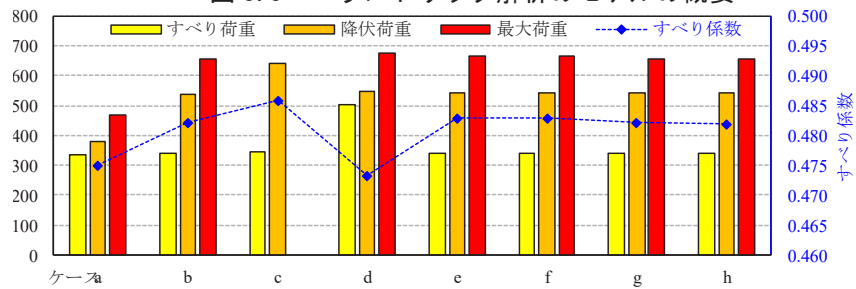


図 3.4 パラメトリック解析結果

4. おわりに

研究着手前には予測していなかった高力ワンサイドボルトの挙動や知見が、実験や FEM 解析を行うことで多く得られた。しかしながら、本研究ではケースが限られているため、今後も当て板補修の設計法の高度化に貢献できる成果が得られるよう研究を継続する予定である。

謝辞 本研究は、九州地域づくり協会の 2019 年度調査研究等助成事業における調査研究助成を受けて実施したものです。ここに記して感謝の意を表します。

5 - 3

高力ボルト接合を活用した
既設鋼橋の桁端部支点上構造の高機能化

熊本大学大学院 先端科学研究部 社会基盤環境部門

森山 仁志

高力ボルト接合を活用した既設鋼橋の桁端部支点上構造の高機能化

熊本大学大学院 森山 仁志 (代表者)

熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター 松村 政秀 (共同研究者)

1. 研究の背景及び目的

鋼橋の支点上補剛材とその近傍は、常時では腐食・疲労による損傷を受ける維持管理上の要注意な部位であり、施工上の制約も多い。一方、地震時では、常時荷重である軸方向圧縮力に加えて大きな横力が発生し、座屈・損傷が発生しやすい。特に、支点上補剛材の座屈は橋梁全体の機能を低下させるため、これを防止することが既設鋼橋の延命化に繋がる。代表者らは、**図1**に示すような、支点上補剛材のボルト接合による補強工法の開発に取り組んでいる。この工法は、支点上補剛材と補強部材の間に部分的にフィラーを挿入しボルト

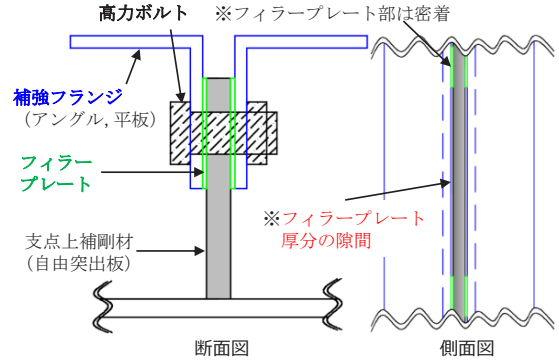


図1 フィラーダンパー工法のイメージ

孔周辺のみで両者を連結し、それ以外の隙間空間で補剛材を安定的に塑性変形させエネルギー吸収を図ることで、既設補剛材を容易にダンパー化することができる(以下、フィラーダンパー (FD) 工法)。本研究では、FD 工法により補強した十字断面柱の圧縮荷重実験を行い、その補強効果を検証した。また、多様な構造パラメータの影響を受ける FD 工法の性能を解明するためにはパラメトリックな検討が必要であるため、初期たわみを有した自由突出板を対象に、数値解析的に FD 工法を再現するモデリング手法の開発に取り組んだ。

2. 十字断面柱の圧縮荷重実験

支点上補剛材は、有効断面積を考慮した十字断面柱の全体座屈、自由突出板の局部座屈を照査することで安全性を確保していることから、十字断面柱の圧縮荷重実験を行った。実験パラメータは FD 工法の適用の有無とし、自由突出板の幅厚比パラメータ R は 2 ケース間で 0.6 と一定にした。実験より得た座屈荷重と有効座屈係数の関係を **表1** に、設計降伏耐力と降伏変位で無次元化した荷重-変位関係を **図2** に、荷重後の供試体の様子

表1 座屈荷重と有効座屈係数 (突出板4枚の平均値)

供試体名	自由突出板幅 b [mm]	自由突出板高さ h [mm]	突出板中心からの断面位置 y [mm] 上を正	座屈発生区間のパネル高さ L [mm]	座屈開始荷重 P_{cr} [kN]	P_{cr} / P_y	有効座屈長 (実験結果より) l_e [mm]	有効座屈係数 $\beta = l_e / L$ [mm]
R06_3b	67	3b	0	3b	541	1.16	141.7	0.70
2b			737	1.58	136.0	1.01		
6b		0	2b	633	1.36	変形が小さく目視では不明		
		-2b	656	1.41	136.7	1.02		

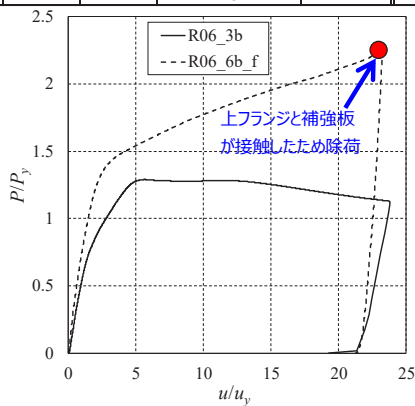
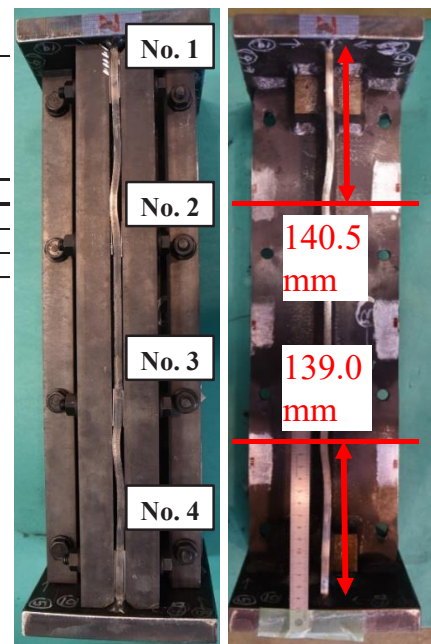


図2 無次元化した荷重 P/P_y - 変位 u/u_y の関係



(a) R06_3b

(b) R06_6b_f

図3 荷重後の供試体の様子

子を図3にそれぞれ示す。座屈開始荷重 P_{cr} は、各板パネルに貼付けた両面のひずみゲージの挙動を確認し、両者のひずみ差が降伏ひずみ ε_y となったときの荷重とした。

表1の有効座屈係数 β と図3の変形状況からわかるように、R06_3bは固定端-自由端の境界条件、R06_6b_fは、座屈が発生したNo.1ボルトとNo.2ボルト間、No.3とNo.4ボルト間がピン-ピンとなっている。また、図2と図3より、FD工法は支点上補剛材を安定的に塑性変形させている。本実験では途中で除荷をしているが、補強板と上フランジが接触しなければ、支点上補剛材の塑性変形は進み、座屈モードは更に高次化したと考えられる。また、図3の通りNo.1,4ボルト孔が大きく支圧変形する一方、No.2,3ボルト間では座屈が発生していないため、No.1,4ボルト孔をスロット孔にしてNo.2,3ボルトを早期に支圧状態に移行させ圧縮力を導入して座屈を誘引する、No.2,3ボルトのピッチを小さくして、それ以外の区間でのエネルギー吸収能を高めるなどの構造詳細の工夫を行えば、本工法の補強効果はさらに高まることがわかった。

3. FD工法を再現する数値解析モデリングの開発

まず初めに十字断面柱と自由突出板の座屈解析を行い、自由突出板だけをモデル化した解析が十字断面柱の要素解析となる境界条件を調査した。その結果、側面の板厚中心節点を単純支持条件で線拘束し、平板座屈のたわみ式・理論式の境界条件を与えることが望ましいことが明らかとなった。FD工法の解析では、この結果を考慮して、自由突出板だけを部分的にモデル化した。

FD工法を数値解析で再現するには、3次元の初期たわみを有する自由突出板と補強板に対してボルト軸力を導入し、接合面の接触・離間・固着問題を解くことができるかが課題となる。特に、自由突出板と補強板の初期接触時とボルト締付け時は、初期たわみに起因した局所的な接触により補強板が回転するため、数値解の収束性が悪くなる。そこで、図4に示すように、初期接触時とボルト締付け時には補強板側面の y 軸まわりの回転 θ_y を固定し、ボルト軸力を導入して自由突出板と補強板が十分に密着した後に上記の拘束を解除し、応力を再分配させることで収束できるようにした。図5に示すように、自由突出板と補強板が初期たわみ波形に応じて接触し、側面拘束を解除した後の接触範囲も再計算することができた。したがって、本手法を用いれば、数値解析によりフィラーダンパー工法の性能を評価することができると考えられる。

4. おわりに

今後は荷重実験の再現解析によりモデルの妥当性を検証し、幅厚比、接合面の摩擦係数（素地調整程度）、ボルト間隔が本工法の補強効果に及ぼす影響をパラメトリック解析で評価し、工法の確立を目指したい。

謝辞 本研究は、九州地域づくり協会の2019年度調査研究等助成事業における調査研究助成を受けて実施したものです。ここに記して感謝の意を表します。

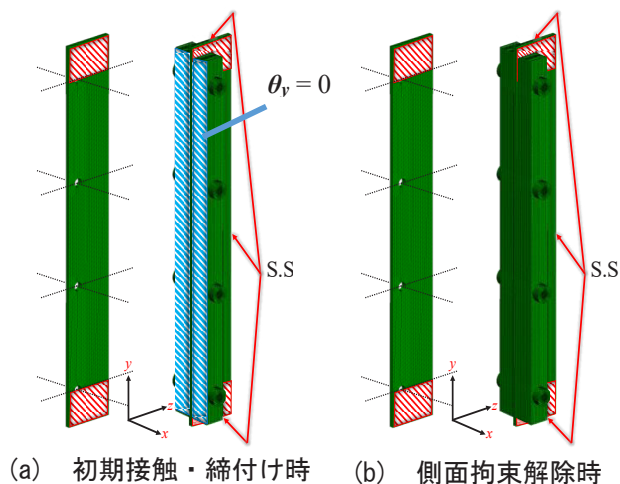


図4 FD工法モデルの収束性を高める境界条件

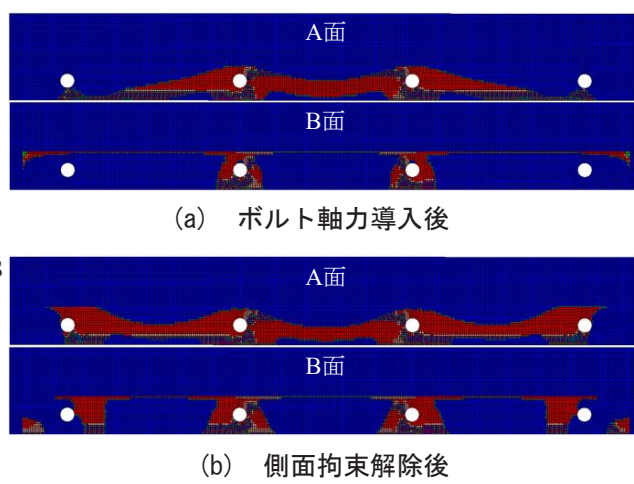


図5 接触状況カウンター図

5 - 4

鋼管杭と斜め鋼材を用いた地震時の
斜面防災対策に関する研究

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

研究成果報告 概要書

研究課題：鋼管杭と斜め鋼材を用いた地震時の斜面防災対策に関する研究

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：同上 学術研究員 Siavash Manafi Khajeh Pasha

1. まえがき

盛土斜面が、大規模地震動を受けた場合、広範囲にわたりすべり破壊・沈下・段差が発生し、特に道路を支持する機能や平坦性等の性能が著しく低下し、走行に必要な安全性、速達性、および定時性が損なわれる。こうした盛土斜面の災害は、設計時に想定した地震の加速度を超過した際に発生し、その現象はストレッチングによる大規模な沈下、円弧すべりによる変形・崩壊、および基礎部の液状化として現われる。特に、2018年北海道胆振東部地震及び2016年熊本地震以降、脆弱な切土・盛土斜面については、早急な耐震補強対策が求められている。

本研究は、地震災害により大きなダメージを受けた地域において、社会インフラの早期復興に向けて新しい技術を提案するものである。そのため、コスト縮減を念頭に置いて、鋼管杭と斜め鋼材（斜め打ちパイル）を利用したハイブリッド型斜面補強工法（図1）を開発した。具体的には、ハイブリッド型の補強工法に対して実験的な検討を行い、最終目標としては、自然斜面・法面の総合的な補強技術の確立を目指す。研究の主眼は地震の作用外力（熊本地震のような2度の繰返し荷重）による基礎地盤（特に九州や北海道で広域に分布する火山性地盤）の安定性と構造体（鋼管杭、斜め鋼材）の補強メカニズムを解明するとともに、その補強対策の有効性を明らかにすることにある。

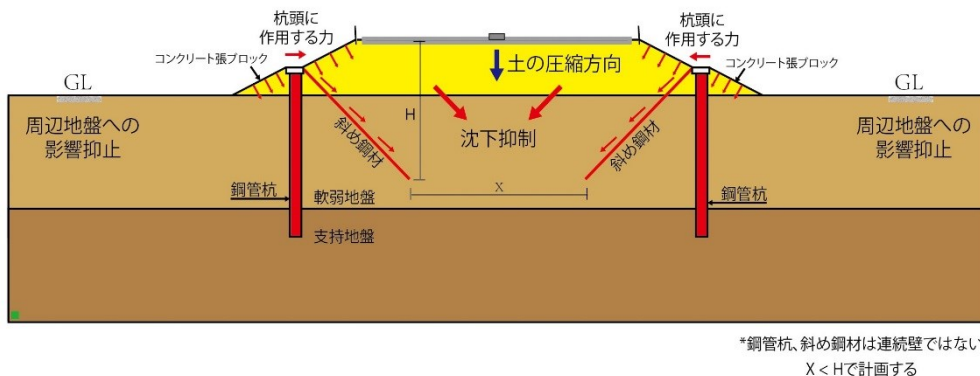
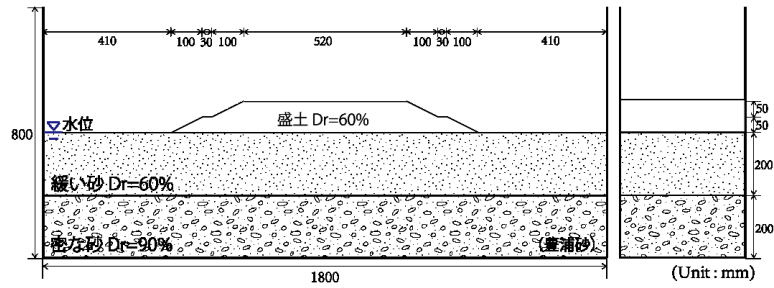


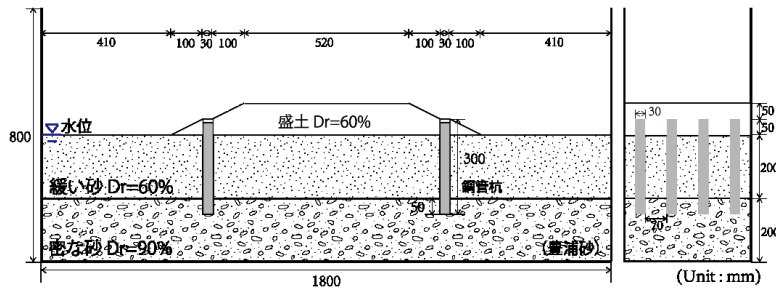
図1：鋼管杭と斜め鋼材を用いた斜面・のり面の耐震補強工法

2. 研究概要

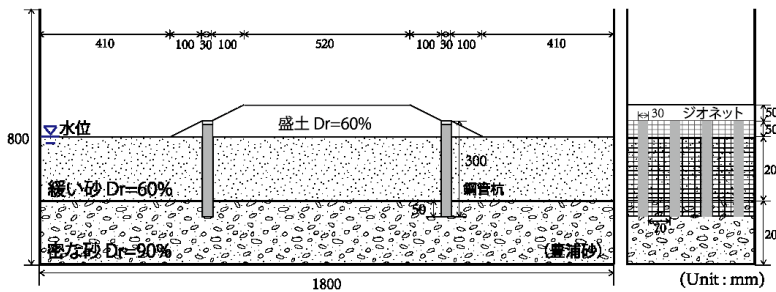
研究目標の達成に向けて本研究では、現地調査、要素試験、模型実験を順次実施した。開発した工法の有効性を比較検討するため、異なる地震動（前震と本震）による振動台模型実験を用いて確認し、盛土の耐震補強工の定性的な評価を行った。本報告では、振動台模型実験の結果のみに止める。図2に示す4つケースについて実験を行った；Case1：無補強、Case2：鋼管杭のみを用いた補強、Case3：鋼管杭とネットを用いた補強、Case4：鋼管杭と斜め鋼材を利用したハイブリッド型補強。



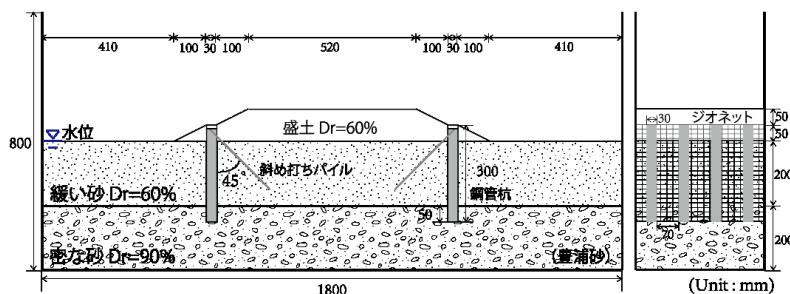
(a) Case 1: 無補強



(b) Case 2: 鋼管杭のみを用いた補強盛土



(c) Case 3: 鋼管杭とジオネットを用いた補強盛土

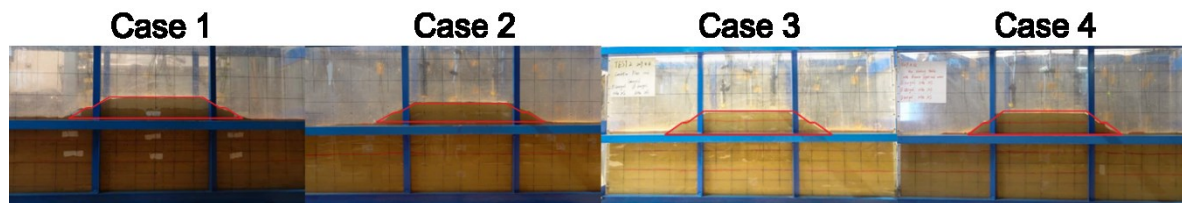


(d) Case 4: ハイブリッド型補強盛土

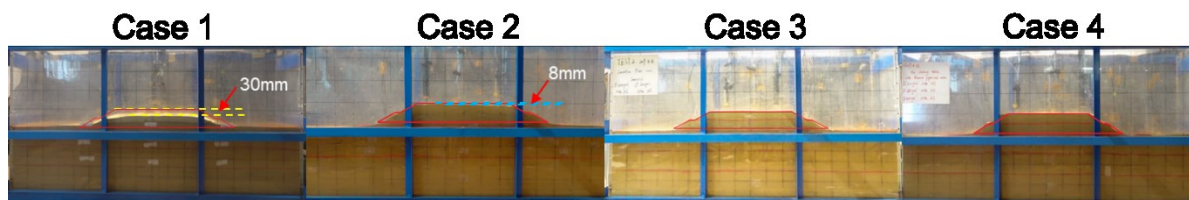
図 2 : 模型実験で用いたケース (左 : 断面図、右 : 側面図)

図 3 と図 4 に振動台実験で用いた各種地震動 (前震、本震) による盛土の耐震性を示す。図 3 から無補強 (Case 1) の場合、前震 (200 Gal) でも大きな沈下 (30 mm) が生じることが分かる (図 3 b)。図 4 から、本震の 300 Gal では、斜め杭のないケース (Case 3) では、無補強に比べて盛土の沈下が少ない (11.6 mm) が、鋼管杭と斜め鋼材両方を用いた (Case 4) では前震、本震ともにほとんど盛土の沈下が見られない。一方、それ以上の強い地震動 (400 Gal) でも沈下が少なく (12.4 mm 以内)、本震時に盛土としての性能が守られたことが

確認できた(図4b)。

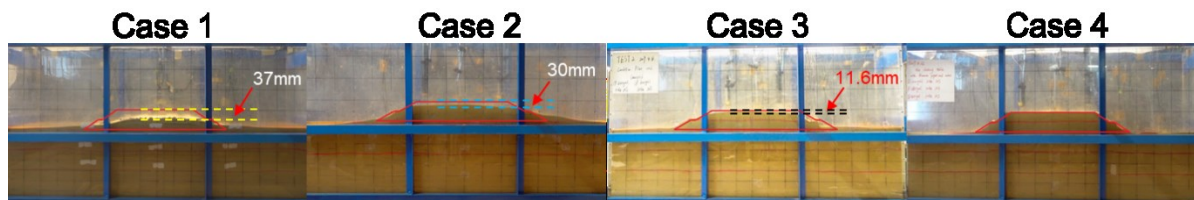


(a) 地震前の状況

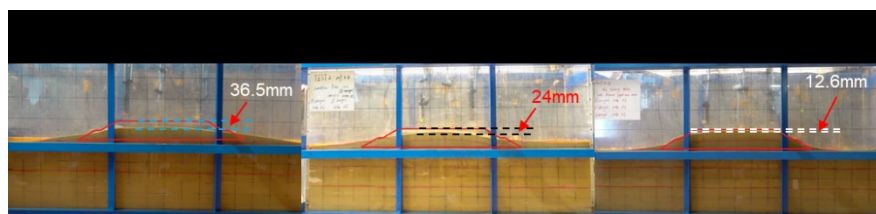


(b) 前震 (200 Gal) 終了時の4ケースの状況

図3：前震時の性能比較



(a) 本震 (300 Gal) 終了時の4ケースの状況



(b) 強い地震動 (400 Gal) 終了時のCase2, Case3 及び Case4 の状況

図4：本震および強い地震時の性能比較

3. まとめ・今後の課題

本報告では、盛土の地震時の対策として開発した「鋼管杭と斜め鋼材を利用したハイブリッド型斜面補強工法」の耐震性について述べた。対策工の有効性については、振動台模型実験により確認した。既存の鋼管杭を用いた盛土の補強工法に比べて提案した対策工の耐震性能が優れていることが確認できた。

今後は、数値解析を用いて補強メカニズムを解明し、また、遠心模型実験などを実施し、実用化に向けて定量的な検討を行う必要がある。

5 - 5

小径コアを用いた圧縮強度試験法の
社会実装に向けた検証実験

九州大学 工学部 技術部 計測・分析技術室

山本 大介

小径コアを用いた圧縮強度試験法の社会実装に向けた検証実験 報告書概要

1. はじめに

既往の研究において、実験室で製作された粗骨材最大寸法 20mm のコンクリートから採取した $\phi 33\text{mm}$ 小径コアの圧縮強度は $\phi 100\text{mm}$ のコア強度に対し 80~90%程度となると報告した¹⁾。本実験では粗骨材最大寸法 40mm のコンクリートで小径コア試験法を適用可能かどうか、また実環境下で経年したコンクリートから採取された小径コアを用いた場合でも、実験室で製作した小径コア圧縮強度試験と同様の傾向を示すかについて検証を行った。

2. コア供試体寸法および粗骨材最大寸法が圧縮強度試験値に及ぼす影響（実験 1）

2.1 実験方法

300×500×300mm のブロック試験体を製作し、この試験体よりコア供試体を採取した。コンクリート配合を表-1 に示す。材齢 3 ヶ月以降にコアドリルにより各寸法のコア供試体を採取した。また、コアの採取方向と打設方向は同一とした。採取するコアの直径は $\phi 150\text{mm}$ 、 $\phi 125\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 75\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 33\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ とした。採取したコアの直径と高さの比が 2.0 となるよう端面研磨機にて研磨を行った。また、研磨後の h/d が 1.96~2.04 の範囲であることを確認した。各寸法のコア供試体本数を $\phi 150\text{mm}$ から $\phi 75\text{mm}$ までは 3 本 1 組、これより小さいコア供試体については試験値のばらつきを考慮し、 $\phi 50\text{mm}$ は 5 本、 $\phi 33\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ は 25 本を 1 組となるようにコア供試体を準備した。

載荷試験では、減摩材（テフロンシートを 2 枚重ね、両端面と載荷板の間に挿入）が試験値に及ぼす影響を確認するため、摩擦あり（減摩材なし）、および摩擦なし（減摩材あり）の両条件で圧縮強度試験を行った。なお、 $\phi 33\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ 供試体は、小型球面座を用い載荷試験を実施した。

2.2 試験結果および考察

本実験により得られた試験値を、粗骨材最大寸法 20mm について図-1 に、40mm について図-2 に示す。全ての試験ケースで摩擦なしのものは摩擦ありの場合よりも小さな値となった。図-3 に粗骨材最大寸法 20mm、図-4 に粗骨材最大寸法 40mm の最大応力時のひずみと試験値の関係を示す。最大応力時のひずみとは、圧縮試験における最大応力時の縦ひずみとする。これらの図から、粗骨材最大寸法 20mm、40mm の双方において、粗骨材最大寸法の 3 倍を満たすコア供試体寸法では最大応力時のひずみ値と試験値の関係が安定しているが、それより小型の寸法では最大応力時ひずみの変動が増大し、それに伴い試験値の変動も増大することが確認される。さらに、粗骨材最大寸法 40mm の小径コア試験値について見てみると、 $\phi 25\text{mm}$ 小径コアの試験値は、摩擦あり、摩擦なしの場合ともに、 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 75\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ よりも試験値が大きい結果となった。ここで、粗骨材最大寸法 40mm の $\phi 25\text{mm}$ コアでは、ほぼ全断面が粗骨材で占められている状況が多く見られた。これより、圧縮試験時にはほぼ全断面を占める粗骨材が直接圧縮されるため試験値がその他と比べ大きくなったものと推察される。

表-1 コンクリート配合（実験 1）

配合名	W/C (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					スランブ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G	AE減水剤		
G20	42.0	20	44.0	166	395	753	1023	3.56	6.5	3.1
G40	42.0	40	39.3	157	374	689	1148	3.74	5.5	5.1

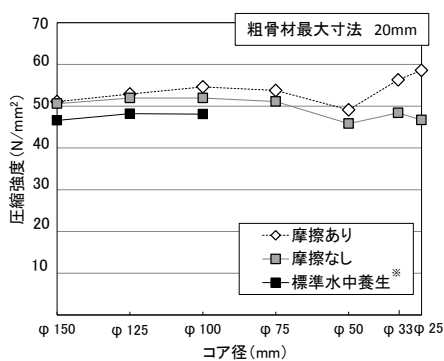


図-1 各寸法における圧縮強度試験値 (G20)
※標準水中養生：材齢 28 日，摩擦あり

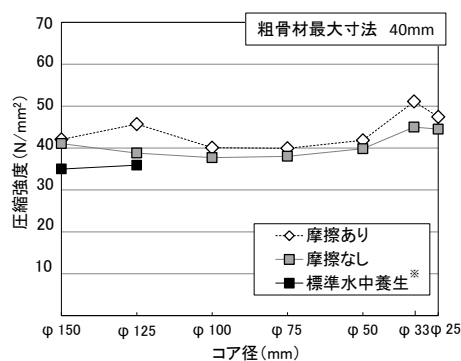


図-2 各寸法における圧縮強度試験値 (G40)
※標準水中養生：材齢 28 日，摩擦あり

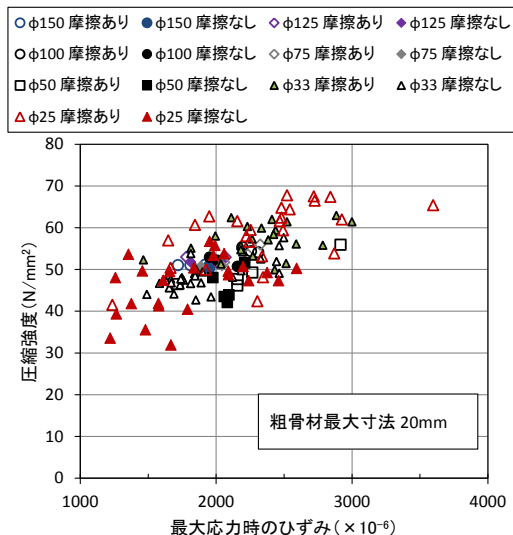


図-3 最大応力時のひずみと圧縮強度試験値 (G20)

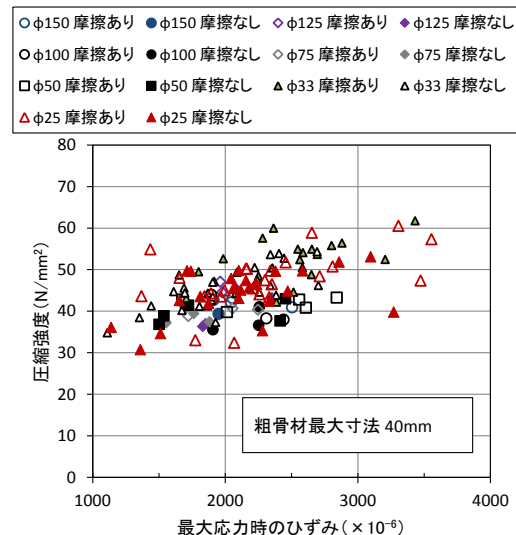


図-4 最大応力時のひずみと圧縮強度試験値 (G40)

本章による試験結果から、粗骨材最大寸法が 40mm のコンクリートは、小径コアを用いた圧縮強度試験には適さないと考えられる。また、粗骨材最大寸法を 40mm とする構造物は、一般的に鉄筋の配筋が疎であり構造物の断面が大きい場合が多いことから、φ33mm、φ25mm より大きなコア寸法を採取できる可能性は高く、小径コアを必要とするケースは多くないとも考えることができる。

3. 実環境下で経年したコンクリートから採取されたコンクリートへの小径コア試験法の適用性 (実験 2)

小径コアの圧縮強度試験では、直径は φ33mm が適し粗骨材最大寸法は 20mm 程度が適することが示された。そこで、本試験方法の実構造物への適用性を確認することを目的として、粗骨材最大寸法が 20mm 以下で φ33mm である実環境で経年したコンクリートから小径コアを採取、同時に φ100mm コアも採取し、本法による小径コアによる圧縮強度の推定の妥当性を検討した。試料採取の現場は、商業ビルの RC 梁部材 (試料 1) および RC 柱部材 (試料 2)、プレキャスト工場敷地内で長期保管された 2 種類の PC 部材 (試料 3, 試料 4)、RC 橋梁の梁部材 (試料 5)、集合住宅の RC 壁部材 (試料 6) である。

3.1 採取試料について

試料 1, 2 はコンクリート配合などの詳細情報は不明であり、建設後 50 年程度が経過した商業ビル内の梁から試料 1 として φ100mm を 3 本、φ33mm を 8 本、および柱から試料 2 として φ100mm を 3 本、φ33mm を 10 本採取した。なお、この粗骨材は火山岩からなる岩石とみられ、ポーラスな組成の粗骨材であった。試料 3 は L 型側溝二次製品から、試料 4 は縁石ブロック二次製品から採取されたコアである。これらは高流動コンクリートであり、同一配合であるが製造時期が異なる。外観調査では特に変状は見られなかった。試料 3 は φ100mm を 3 本、φ33mm を 9 本採取し、試料 4 は φ100mm を 3 本、φ33mm を 11 本採取した。なお、試料 3, 4 については、粗骨材最大寸法は 15mm であり、 s/a は 50% と細骨材量が少ない設計になっている。試料 5 は、90 年間供用された RC 橋梁の梁部材である。配合条件などの詳細な情報は不明である。外観調査では変状は確認されなかった。なお、粗骨材断面の観察から粗骨材最大寸法は 40mm であった。梁部材より φ100mm を 2 本、φ33mm を 8 本採取した。試料 6 は集合住宅の壁材として使用されたコンクリートであり、建設年度や配合条件などの詳細な情報は不明である。壁部材より φ100mm を 1 本、φ33mm を 8 本採取した。

3.2 圧縮強度試験結果

2 章と同様の方法で圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験結果を図-5 に、静弾性係数を図-6 に示す。図-5 の圧縮強度試験値より、試料 6 以外の φ33mm 圧縮強度試験値は φ100mm 圧縮強度試験値より約 5% 大きな値を示した。これまでの既往の成果では、φ33mm の圧縮強度試験値は、摩擦なしの条件の場合 φ100mm に比べ若干小さくなる傾向を示した (図-1 参照)。次に図-6 の静弾性係数に着目する。図より、φ100mm に対して φ33mm の静弾性係数は若干大きいもの、小さいものがあるが、その傾向性を確認することはできなかった。しかし、φ33mm の静弾性係数は φ100mm に対しおおむね $\pm 5\text{kN/mm}^2$ 程度以内の差異である。

なお今回の試験結果では、既往の実験結果の傾向と異なり、φ33mm の圧縮強度が φ100mm の圧縮強度を上回ることが確認された。この原因について考察するため、圧縮強度試験値と最大応力時ひずみの関係に着目する (図-

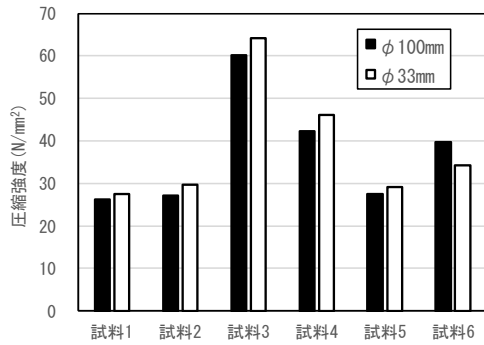


図-5 圧縮強度試験値

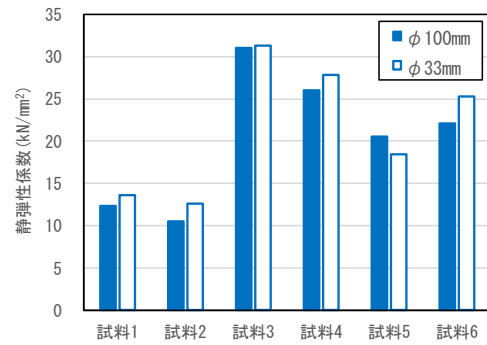


図-6 静弾性係数試験値

7)。なお、ここでは、粗骨材最大寸法が40mmであった試料4を除くこととする。

図-7の試料1~4の最大応力時ひずみに着目すると、いずれも最大応力時ひずみの平均は $3000(\times 10^{-6})$ 以上となっている。ここで2章、図-1を確認すると、G20のφ100mmの最大応力時ひずみは $2300(\times 10^{-6})$ であるのに対し、φ33mm小径コアの最大応力時ひずみは $1800(\times 10^{-6})$ であった。また、φ100mmに対し小さな圧縮強度試験結果となった試料6の結果とも一致する。すなわち、φ33mm小径コア圧縮強度試験値がφ100mm強度試験値を上回るケースでは、小径コアの最大応力時ひずみは $3000(\times 10^{-6})$ 以上となっている。

なお、試料1, 2の粗骨材はポーラスな火山岩から構成されていた。また、試料3, 4は $s/a=50\%$ 、最大粗骨材寸法15mmであり相対的に粗骨材量が少なかった。すなわち試料1~2, 試料3~4で共通していることは、試験体内部の粗骨材による拘束が小さいことである。そのため破壊時の変形が大きくなり、その結果小径コアの圧縮強度がφ100mm圧縮強度を上回ったと推察される。しかしながら、上記は推察の域を出ないため、今後さらなる検証が必要である。

以上より、φ33mm小径コアを両端面の摩擦なしで圧縮試験に供したとき、既往の研究成果より最大応力時ひずみが $1800(\times 10^{-6})$ 程度の場合、φ100mmコアに対し80~90%程度の圧縮強度試験値となり、最大応力時ひずみが $3000(\times 10^{-6})$ 以上となる場合、φ100mmコアに対し105%程度の圧縮強度試験値となることが示された。よって、既設コンクリートから採取された小径コアを圧縮強度試験に適用する場合、縦ひずみも併せて計測し最大応力時を求め、φ100mmコアの圧縮強度を推測する必要がある。なお、本研究では実環境下で経年したコンクリートについて6ケースの調査を行ったが、今後引き続き検討を重ね、小径コア圧縮強度試験の精度を向上させる必要がある。

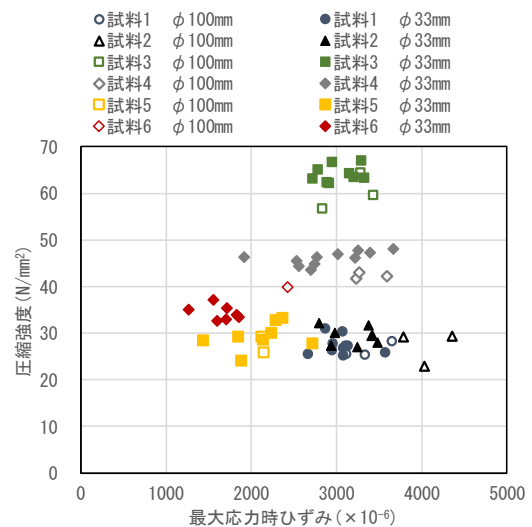


図-7 圧縮強度と最大応力時ひずみとの関係

4. まとめ

- 粗骨材最大寸法が40mmの場合、小径コア断面中に占める粗骨材の占有面積が過大であったため、粗骨材最大寸法40mmのコンクリートは圧縮強度試験用コア供試体として小径コアは適さないと判断された。
- 実験結果より、φ33mm小径コアの最大応力時ひずみが $1800(\times 10^{-6})$ 程度の場合、φ100mmコアに対し80~90%程度の圧縮強度試験値となり、最大応力時ひずみが $3000(\times 10^{-6})$ 以上となる場合、φ100mmコアに対し105%程度の圧縮強度試験値となる。
- 既設コンクリートから採取された小径コアを圧縮強度試験に適用する場合、縦ひずみも併せて計測し最大応力時を求め、φ100mmコアの圧縮強度を推測する必要がある。

参考文献

- 山本大介, 濱田秀則, 佐川康貴: φ25mmおよびφ33mmの小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度の変動に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.381-386, 2016