

戦 7 大規模な盛土災害に対応した新しい災害復旧技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：技術推進本部（施工）

研究担当者：小橋秀俊、藪雅行、堤祥一、

【要旨】

近年、豪雨や大地震による盛土等の土構造物の災害復旧が長期化し、社会的影響が拡大するケースが目立っている。このため、大規模な土砂災害に対する対応能力の強化が不可欠となっている。大規模災害の復旧では、仮設土構造物が長期間にわたって残置され、豪雨や出水、余震、重機等の荷重など遭遇する頻度や可能性が高まるのに対して、安全性の程度が十分検証されずに、適用範囲や規模が拡大している傾向がみられる。また、復旧期間の短縮には仮設土工構造物をなるべく本体利用し、撤去等の手戻りを回避する必要がある。その場合、仮設土構造物の安定性がどの程度で、さらにどのような対策を付加すれば、本設の土構造物としての安定性に達するかを明らかにする必要がある。そこで、施工技術チームでは土木研究所次期中期五カ年計画のプロジェクト研究のなかで取り組むことを視野に入れた戦略研究として、以下の3項目について検討を行った。

- ①盛土等の土砂崩壊の災害復旧事例の分析
- ②地震、水、荷重に対する応急復旧工法の安定性の確認
- ③本復旧の妨げとならない施工方法の開発

今年度は、文献・災害復旧工事記録の分析による実態調査、大型土のうの遠心模型実験による地震動に対する安定性の確認、マグネシウム系固化材の基礎的配合試験に取り組み、次期プロジェクト研究での実施の見通しが得られた。

キーワード：盛土災害、実態調査、災害復旧、大型土のう

1. 研究の背景と方針

近年、豪雨や大地震による盛土等の土構造物の災害復旧が長期化し、社会的影響が拡大するケースが目立っている。その要因として①災害現場特有の制約条件（時間が制限、資材調達や作業スペース確保が困難等）があること、②異常気象に伴う二次災害が深刻化していること、③土構造物が大型化し、復旧高さや土量等のスケールが大きく、既往の応急復旧技術では太刀打ちできなくなっていることなどが挙げられる。このため、大規模な土砂災害に対する対応能力の強化が不可欠となっている。大規模災害の復旧では、仮設土構造物が長期間にわたって残置され、豪雨や出水、余震、重機等の荷重など遭遇する頻度や可能性が高まるのに対して、安全性の程度が十分検証されずに、適用範囲や規模が拡大している傾向がみられる。また、復旧期間の短縮には仮設土工構造物をなるべく本体利用し、撤去等の手戻りを回避する必要がある。その場合、仮設土構造物の安定性がどの程度で、さらにどのような対策を付加すれば、本設の土構造物としての安定性に達するかを明らかにする必要がある。そ

こで、施工技術チームでは土木研究所次期中期五カ年計画のプロジェクト研究のなかで取り組むことを視野に入れた戦略研究として、以下の3項目について検討を行った。

- ①盛土等の土砂崩壊の災害復旧事例の分析
- ②地震、水、荷重に対する応急復旧工法の安定性の確認
- ③本復旧の妨げとならない施工方法の開発

今年度は上記3項目に対して、表1-1に示す内容を実施した。

表1-1 各調査・実験の位置付け

主な研究テーマ	実施した調査・実験	実施目的
①盛土崩壊の災害復旧事例の蓄積と分析	文献・災害復旧工事記録の分析による実態調査	応急復旧工法の問題点、技術開発の方向性の把握
②応急復旧工法の適用範囲の把握	大型土のうの遠心模型実験	応急復旧工法の地震時・豪雨時の適用範囲の把握
③本復旧の妨げとならない施工方法の開発	マグネシウム系固化材の基礎的配合試験	高含水の土砂や有機質土の利用による早期復旧

2. 文献・災害復旧工事記録の分析による実態調査

(1) 実態調査の目的と概要

大規模な盛土等の災害における、災害復旧及び仮設構造土工構造物の問題点、今後開発すべき技術の方向性を明らかにすることを目的として、災害事例に関する調査分析を行うこととしている。今年度(平成22年度)は、表2-1の観点から道路盛土崩壊を対象に採用された工法の状況、被災規模と復旧期間の実態、復旧土砂の入手方法の整理分析を行った。整理分析にあたっては、既存の災害復旧事例に関する文献^{1), 2), 3)}から92例を収集し、うち16例について工事事務所等から災害復旧工事記録を入手し、図2-1に示す調査シートに整理して行った。

(2) 実態調査の結果

i) 応急復旧工法の実態について

調査シートのなかで情報が判明しているものを対象にして、道路盛土の全断面が崩壊し全面通行止めに至った「完全崩壊」の場合と、全断面の崩壊までは至らず片側通行可能な状態にとどまった「部分崩壊」の場合に分類し、各場合における応急復旧工法の採用状況を図2-2のように整理した。その結果、「完全崩壊」「部分崩壊」を問わず、大型土のうや土工(盛土の再構築、切土による拡幅など)による復旧が、全体の半数近くを占めていることがわかった。構造物の使用に至ったものをみると、「完全崩壊」では仮橋による復旧が13%、「部分崩壊」では鋼矢板・H鋼の打設による応急復旧が17%ほど見られることが分かった。

次に、図2-2の事例を対象として、災害現場が「河川沿い」か「山地」かで、応急復旧工法の採用状況に違いがないかを図2-3に整理した。平地の盛土崩壊事例は調査事例のなかにはなかった。その結果、大型土のうの利用は主に河川沿いに多く、山沿いでは土工(主に切土による道路の拡幅)のみによる応急復旧が多い傾向がみられることが分かった。

ii) 本復旧工法の実態について

「完全崩壊」に至った事例を対象に本復旧工法の採用状況を、図2-4に示すように災害現場が「河川沿い」「山地」「沢横断」で分類整理した。その結果、河川沿いの被災現場では擁壁や補強土工による本復旧が、山地では土工(盛土の再構築)と補強土工による本復旧が多く、さらに、盛土や補強土工の基礎として鋼製枠・フトン管等

が併用されるケースがある。補強土工については、曲線部などの不規則な形状でも迅速に嵩上げできること、土とジオテキスタイルと汎用重機だけで施工できること、細部の調整がききやすい等の点が高く評価されている。また、もともと盛土部だったところが、本復旧の際に橋梁等の構造物工に変わった事例は、沢横断部の盛土崩壊において確認された。

iii) 応急復旧及び本復旧に要した日数の実態について

道路盛土の被災規模と災害復旧に数との関係を把握するために、災害復旧日数(仮復旧、本復旧)と被災幅(被災した道路延長)との関係を図2-5に、同じく全土工量(撤去土量、盛土量の合計)との関係を図2-6に整理した。その結果、今回対象となった被災幅(被災した道路延長)が約100m以内、応急復旧に要する日数が約50日以内のケースにおいては、被災幅が増えると応急復旧日数が増える傾向がみられた(図2-5参照)。これに対して、全土工量と本復旧日数との関係については、今回対象となった10万m³までの範囲、約300日までの範囲においては、応急復旧ほど明確な相関性はみられなかった。本復旧日数については、被災規模や土工量以外の要因の影響が生じやすくなっているものと推察される。ちなみに、今回の調査対象のなかで、全土工量が1万m³程度と他に比べると少ないにもかかわらず、本復旧日数が長期にわたるものがみられる。沢横断部が被災し、本復旧において景観上の観点から使用できる工法が制約された事例などが含まれている。

iv) 復旧土砂の入手方法や施工計画について

大規模災害で想定される深刻な問題点の一つとして、応急復旧に必要な土砂が決定的に足りないとか、確保できないという事態が考えられる。そのため、土砂の入手方法や施工計画の詳細、例えば、崩落物の撤去や新たな復旧土砂の搬入、崩落物を用いた再造成などの有無や方法に着目した分析を試みた。しかしながら、災害報告書や発注機関へのヒアリングだけでは情報が得られず、今後、復旧作業に直接かかわった施工者にヒアリングをかけていくこととした。

表 2-1 文献・工事記録収集における主な調査項目

分類	調査分類	調査項目	具体的な調査事項
現場の概要	災害工事規模	工事対象範囲、崩壊盛土高など	
	地盤特性	崩落土の土質、ボーリングデータなど	火山灰質粘性土、N値と地層構成など
	道路の規格	道路の幅、常時の交通量など	高規格道、国道、地方道、生活道路など
現場の条件	迂回路の設置	迂回路を設置の有無	スペースがない、回り道可、地主が不同意など
	排水処理	応急復旧、本復旧時の排水対策	暗渠、排水シート、碎石など
	応急復旧	方法、仕様、手順、工事期間など	土のう、矢板など、
	本復旧	復旧条件、工法選定理由、工事期間など	〇日までに復旧、通行規制不可など
マネジメント	土砂の搬出入	撤去土量、搬入土量、撤去場所など	
	資材調達	使用重機・資材	

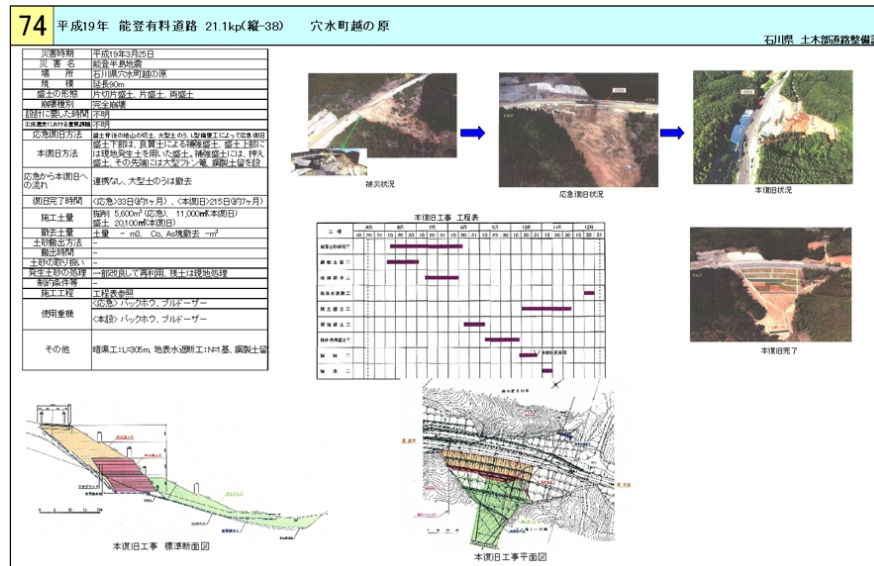


図 2-1 各現場の特徴をまとめた評価シートの様子

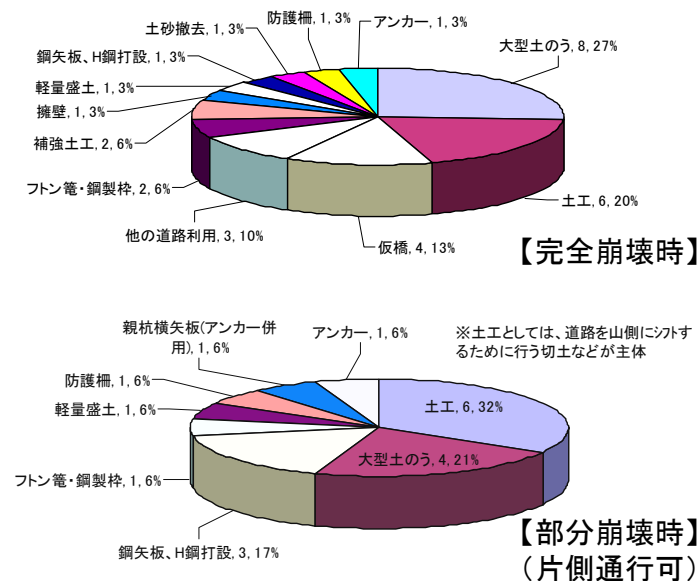


図 2-1 応急復旧工法の採用状況

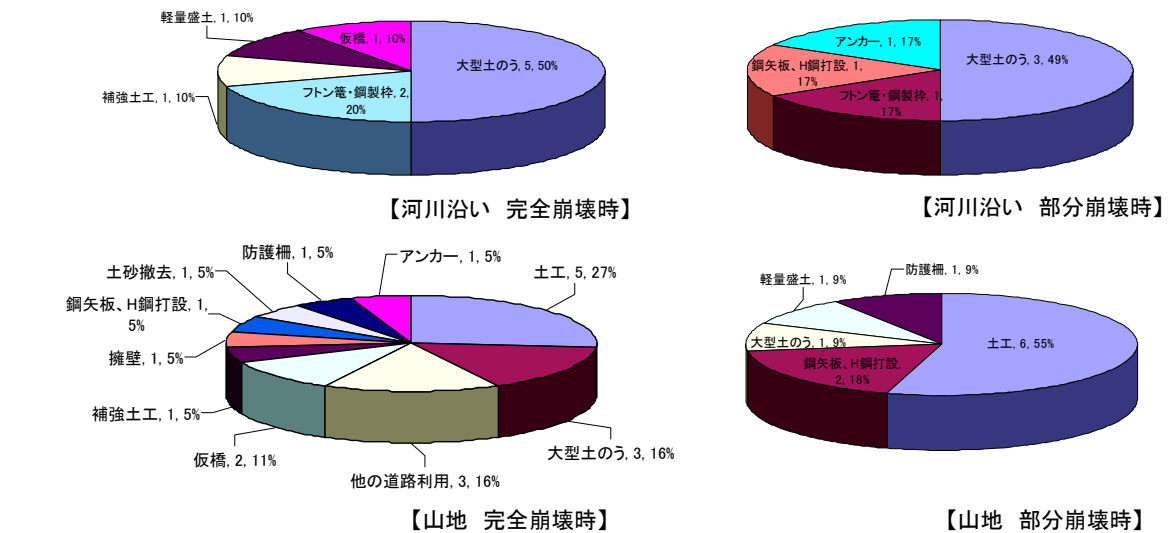


図 2-3 河川沿い、山地における応急復旧の採用状況

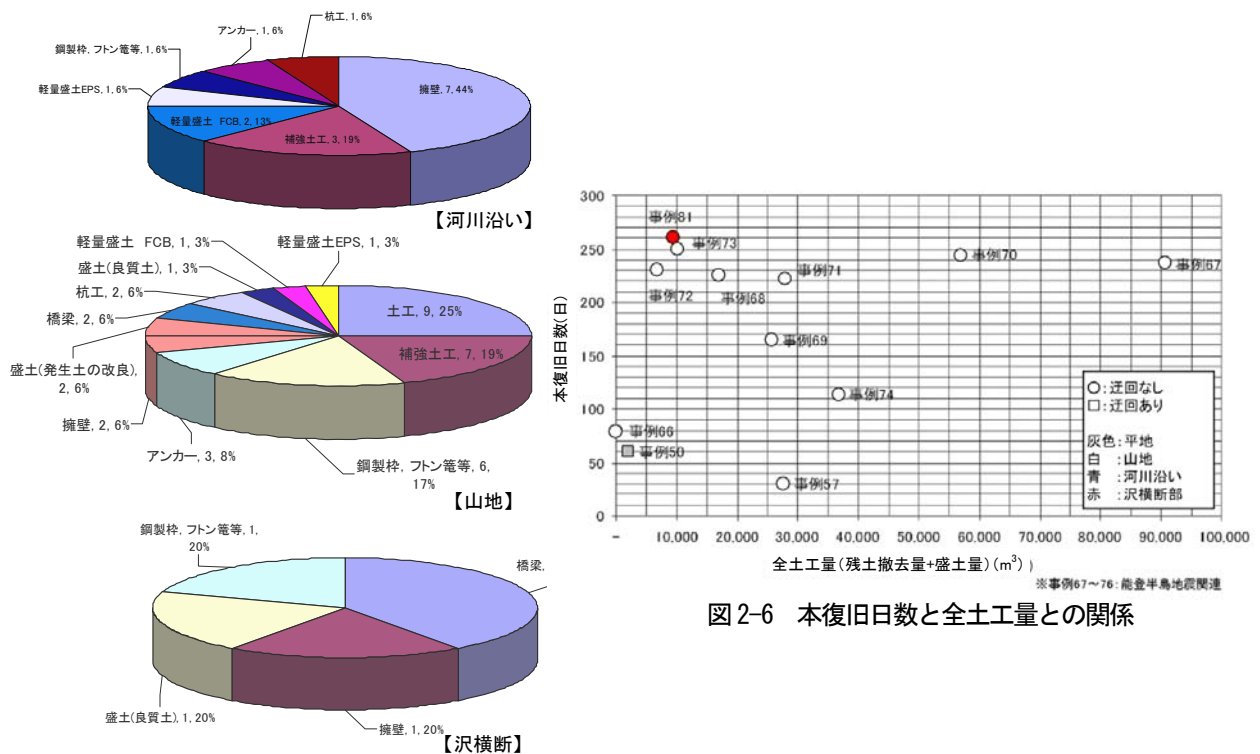


図 2-4 本復旧工法の採用状況 (完全崩壊時)

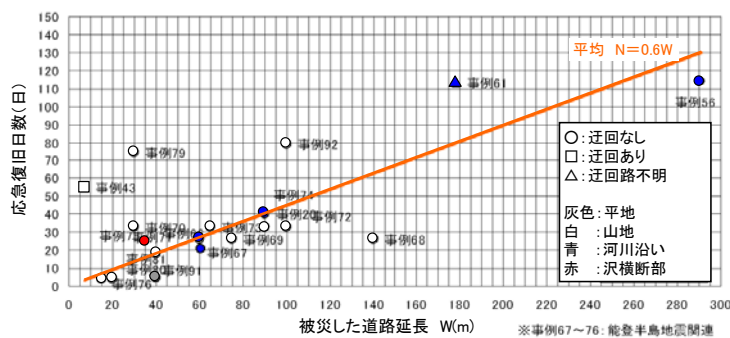


図 2-5 応急復旧日数と被災幅の関係

3. 大型土のうの遠心模型実験

(1) 実験の目的

災害復旧の応急復旧対策として、施工や運搬の効率性や経済性、現場への適用性の広さなどから、仮設構造物として、大型土のうが頻繁に用いられている。従来のポリプロピレン製大型土のうは、日射等による経年劣化が激しく、長期放置後の撤去や、再利用が不可能などの弱点があることから、最近、耐候性大型土のう⁴⁾が開発され、仮設用・災害対策用として活用されている。しかしながら、安全性の検証が十分になされずに、規模の大きな造成用に用いられる傾向がある。そのため、復旧期間中の水や地震等の作用に対して、どの程度の高さまでであれば積むことが可能か、安定性の高い積み方はどのような方法であるかの把握に取り組むこととした。今年度はまず、大型土のうの地震時の安定性と変形モード、安定性が向上する積み方を確認するための遠心模型実験を行った。

(2) 遠心模型実験の概要

遠心実験の概要図を図3-1に、実験ケースを表3-1に示す。盛土高さ、土のう敷幅等を実験パラメータとし、加震波の振幅を4段階に増幅させたsin波(2Hz-20波 最大振幅:150gal, 250gal (レベル1相当), 350gal, 500gal (レベル2相当))を段階的に加える形で評価を行った。また、盛土勾配は1:0.5としている。実験ケースは崩壊する高さを把握するためのケース(Case1, 2, 4)と安定性の高い有効な積み方を把握するためのケース(Case3, 5, 6)とを実施した。

(3) 遠心模型実験の結果

i) 大型土のうの安定性と変形モードについて

Case1, 2, 4において、レベル2地震動相当までを与えた場合に確認された大型土のうの変形モードの確認を行った。その結果、図3-2に示すように、土のう積み背後の盛土内にすべりが生じ、土のう積み中盤高さ付近がはらんだ弓なり形状を呈した。そして、はらみが大きくなった場合に土のうの抜け出しが起こって、崩壊に至ることが確認された。Case4(土のう敷幅1つで盛土5m), Case1(土のう幅数2つで盛土10m)は崩壊に至らなかったが、図3-3に示すとおりCase2(土のう幅2つで盛土高20m)ではレベル1地震動相当で崩壊に至った。Case4では加振につれて、沈下量の増加が顕著であった。

ii) 安定性が向上する積み方について

Case3(大型土のう敷幅を増やす方法), Case5(大型土のう間の摩擦を増やす方法), Case6(背面側から大型土のうを定着する方法)を実施し、安定性向上に有効な積み方の把握を試みた。いずれも崩壊には至らないケース設定であることから、図3-4に示すように大型土のう中心に示したターゲットの移動量(水平, 沈下)を、画像解析により計測して、挙動の比較を行った。移動量(水平, 沈下)は各加振ごとの累積値とし、前後列の土のう間に大きな挙動差がみられなかったことから、両者を平均化して図3-5(水平移動量)と図3-6(沈下量)のグラフに整理した。その結果、いずれのケースとも中盤高さより少し上の位置を(下から6~7段目、Case4では3段)ピークとして弓形に変形するモードを示した。そのなかで、Case3(大型土のう敷幅を増やす方法)とCase6(背面側から大型土のうを定着する方法)については、水平移動量を抑制する効果を確認することができた。これに対して、Case5(大型土のう間の摩擦を増やす方法)については、各段の大型土のうが一体化して挙動することから、段間の摩擦力が水平移動量の抑制に有効に作用するレベルにないことが確認された。

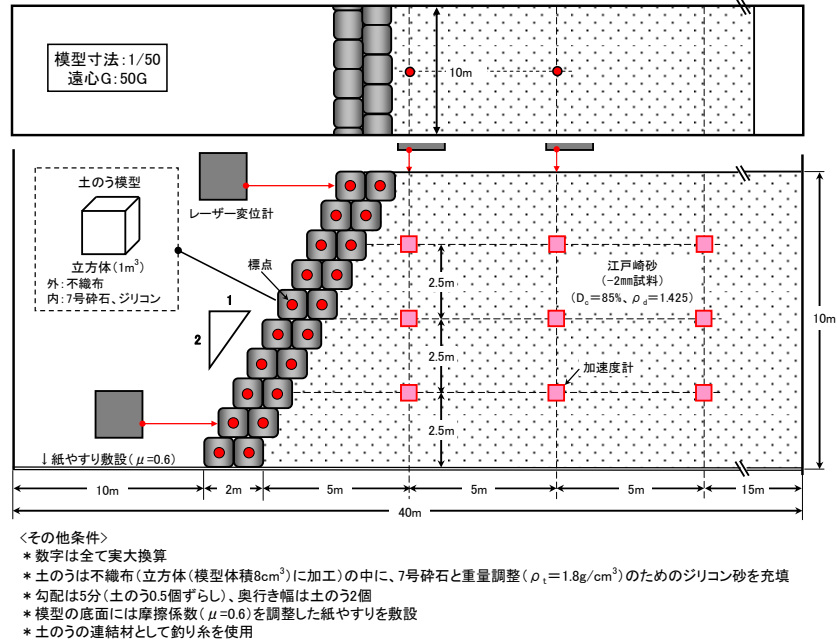


図 3-1 遠心模型実験の概要 (Case1 の例)

表 3-1 試験ケース

Case	実験パラメータ				位置づけ
	地震動	盛土高*	幅数	勾配	
Case1	段階载荷	10	2	5分	適用範囲の把握① 【盛土10m確認】
Case2		20	2		適用範囲の把握② 【盛土20m確認】
Case3		10	3		対策方法① 【土のう幅数増加】
Case4		5	1		適用範囲の把握③ 【盛土5m確認】
Case5		10	2		対策方法② (ゴム敷設)【摩擦力増加】
Case6			2		対策方法③ (杭式補強)【水平反力確保】

* 盛土高は実大換算

* Case2は盛土の崩壊が発生

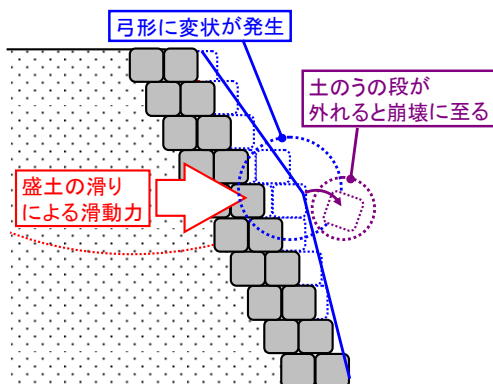


図 3-2 大型土のうの想定される変形モード

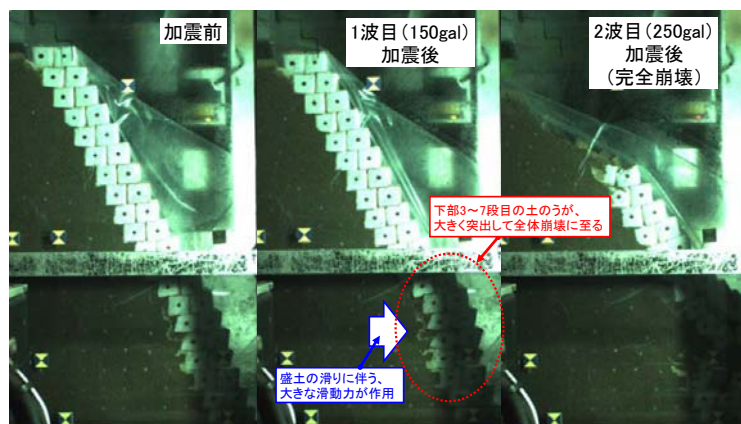


図 3-3 大型土のうの崩壊の様子 (Case2)

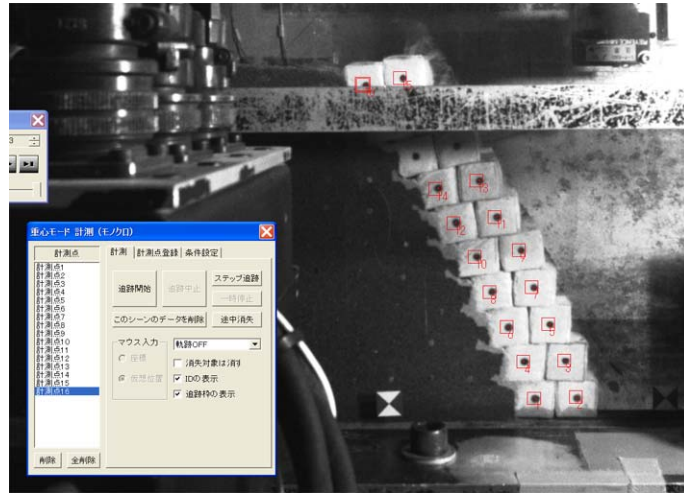


図 3-4 画像解析の様子 (Case1)

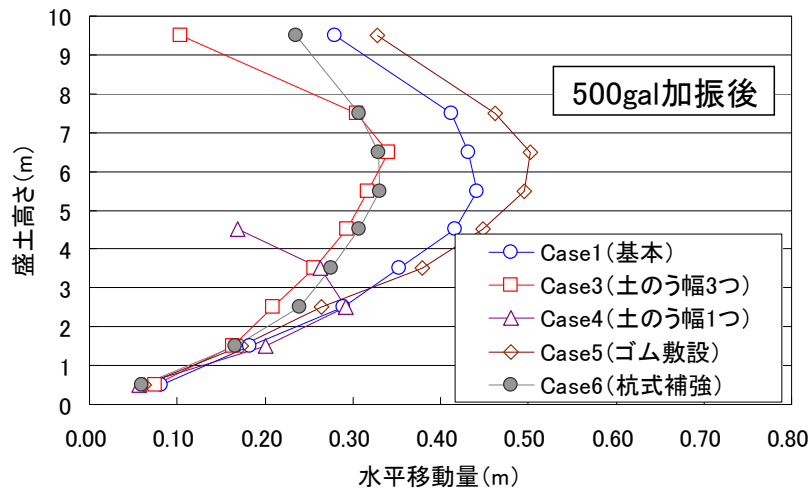


図 3-5 第 4 波 (500gal) 加振後の土のうの水平移動量

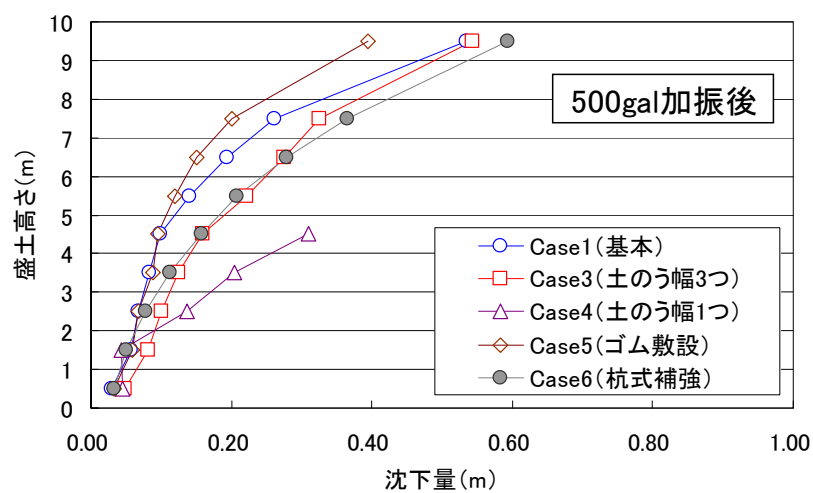


図 3-6 第 4 波 (500gal) 加振後の土のうの沈下量

4. マグネシウム系固化材の基礎的配合試験

(1) 試験の目的

大規模な災害現場においては、災害復旧土砂を入手できないことも想定される。そのため、湧水等で泥状化した崩壊土を改良することによって、図 4-1 に示すように、運搬・撤去等の現場作業性の改善、仮設道路等の建設、本復旧の土構造物への活用を図る必要がある。一般の土木工事においてはセメント系固化材を使用するケースが圧倒的に多い。しかしながら、災害現場においてはアルカリ水処理、事前の六価クロム溶出試験（国土交通省通達）の実施などが、施工上の支障となることが予想される。そこで、これらを回避できる方法の一つとして、最近、土木工事の分野でも用いられるケースがふえてきた^{6),7)}、マグネシウム系固化材の適用性について基礎試験を行った。マグネシウム系固化材の水和反応のメカニズムは図 4-2 のとおりである。

(2) 試験方法

マグネシウム系固化材のなかから、災害復旧の用途に適していると考えられる 2 種類（Ⅲs：早強型）（Ⅰ：超早強型）を選定し、普通・早強セメントと比較する形で早期強度（針貫入試験^{8),9)}）、短期の材令強度（一軸圧縮試験）の確認を行った。試験ケースを表 4-1 に示す。

(3) 試験結果

針貫入試験と一軸圧縮試験の結果を図 4-3, 4-4 に示す。マグネシウム系固化材は、材令 1 日以内での早期強度の範囲では、早強セメントと同程度の固化を期待できること、泥状を呈する試料に対して、24 時強度で概ね 100～200 kN/m²の強度を確保しており、実用上の強度は十分に満たすことが分かった。そのなかで、カオリンクレイは関東ロームのケースと比べて、いずれの固化材とも 1 日以内の強度発現が鈍い傾向にあること、関東ロームに対しては、マグネシウム系固化材（Ⅲs 種、Ⅰ種）と早強セメントの、材令 1 日以内の強度発現が大きいことを確認できた。

他方、材令 1 日以降の短期強度をみると、Case4（マグネシウム系Ⅰ種-関東ローム）において、一軸圧縮強度の急激な上昇が確認されたが、そのほかのケースでは緩やかな上昇に留まった。マグネシウム系固化材は関東ロームなどに代表されるアロフェン質火山灰土との相性が良いとの知見があるが⁷⁾、それを裏付ける結果を確認できた。

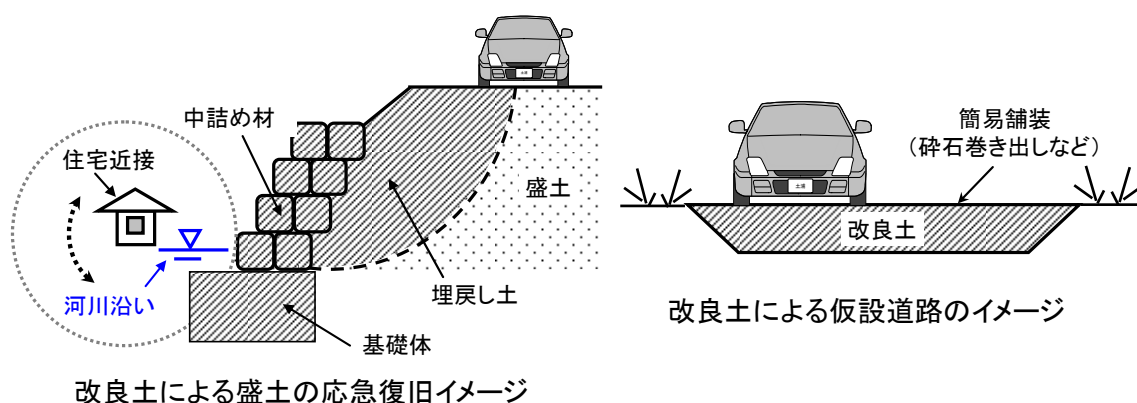


図 4-1 固化材の添加による現場の土の利用のイメージ

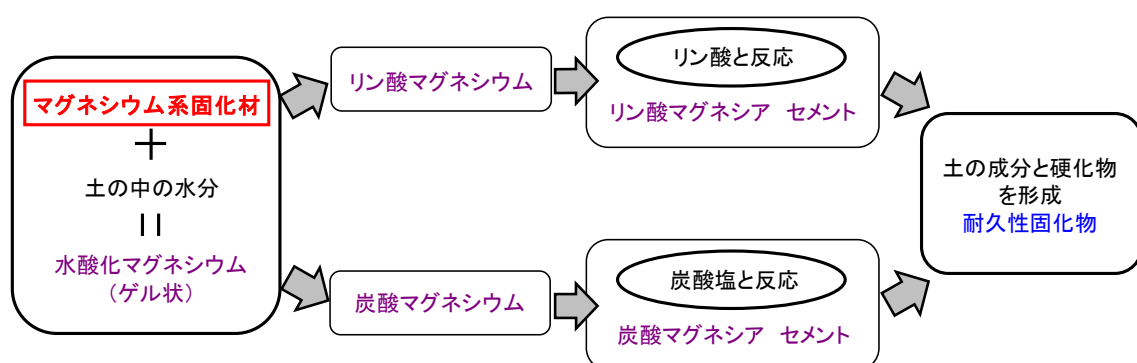


図 4-2 マグネシウム系固化材の水和反応のメカニズム

表 4-1 基礎的配合試験の実験ケース

Case	固化材	試料	試料含水	添加量
Case1	マグネシウム系固化材 (Ⅲs種)	カオリンクレイ	100%	20% (乾燥重量比)
Case2		関東ローム	70%	
Case3	マグネシウム系固化材 (D種)	カオリンクレイ	100%	
Case4		関東ローム	70%	
Case5	早強セメント	カオリンクレイ	100%	
Case6		関東ローム	70%	
Case7	普通ポルトランド	カオリンクレイ	100%	
Case8		関東ローム	70%	

* 湿潤養生 養生温度 18～20°

* 実施試験: 針貫入試験: 1h、2h、4h、6h、8h、12h、24h

一軸試験: 材令1日、3日、7日

* 一軸試験の供試体数: 3個/Caseとする。

* 改良土用の針貫入試験機⁸⁾⁹⁾を使用

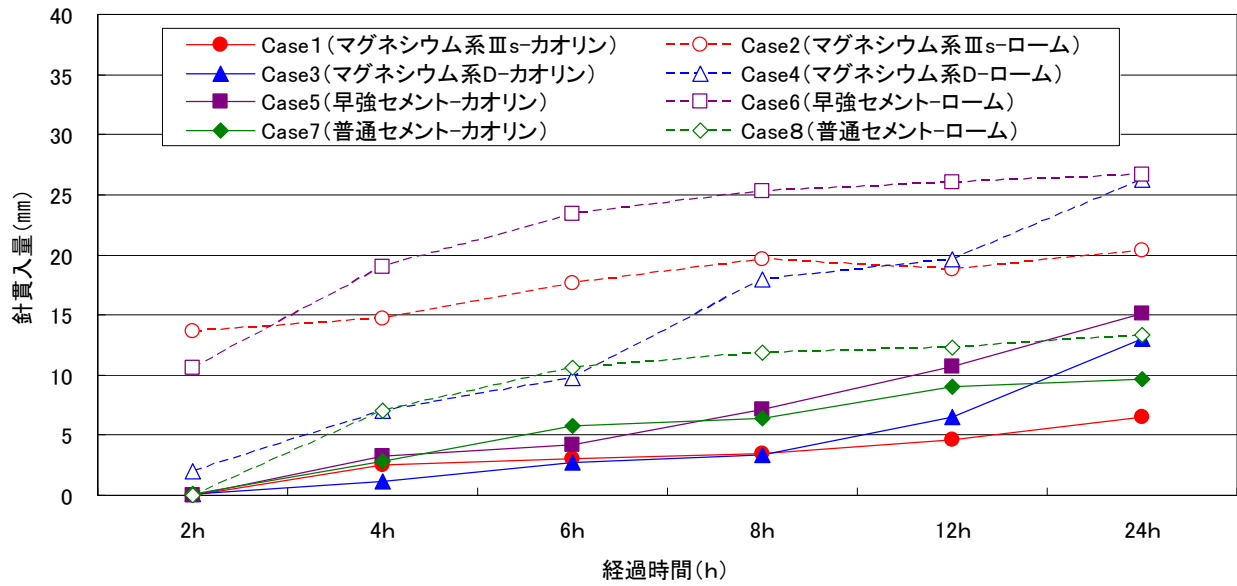


図 4-3 針貫入試験の結果

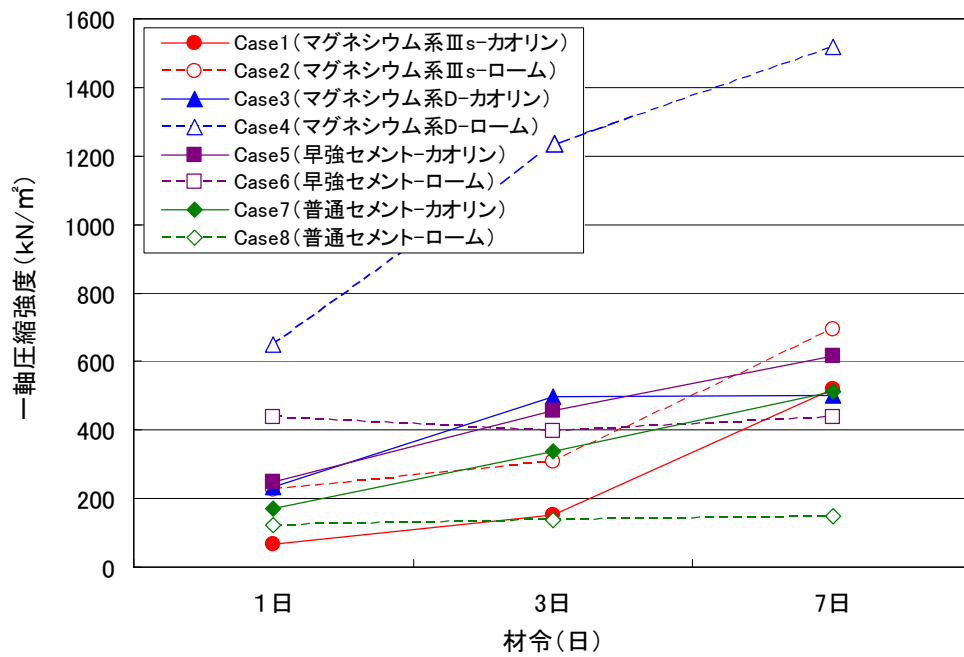


図 4-4 一軸圧縮試験の結果

5. 全体のまとめ

今年度（H22 年度）に得られた研究結果を総括すると以下のとおりである。

1) 文献・災害復旧工事記録の分析による実態調査

- 応急復旧においては「完全崩壊（全車線通行止め）」「部分崩壊（一部車線通行止め）」を問わず、大型土のうや土工（盛土の再構築、切土による拡幅など）による復旧が、全体の半数近くを占めていることがわかった。
- 大型土のうの利用は主に河川沿いの応急復旧に多く、山沿いの応急復旧では土工（主に切土による道路の拡幅）のみによるものが多い傾向がみられた。
- 本復旧においては、河川沿いの被災現場では擁壁や補強土工が、山地では土工（盛土の再構築）と補強土工が多かった。補強土工は曲線部などの不規則な形状でも迅速に嵩上げできること、土とジオテキスタイルと汎用重機だけで施工できること、細部の調整がききやすい等の点が高く評価されている。
- もともと盛土部だったところが、本復旧の際に橋梁等の構造物工に変わった事例は、沢横断部の盛土崩壊において確認された。
- 被災幅（被災した道路延長）が増えると応急復旧日数が増える傾向がみられた。これに対して、本復旧日数については、被災ないし復旧規模が少ない事例の方が、長期間を要しているものがみられた。本復旧時には被災規模以外の制約条件の影響を大きく受ける場合があることを示していると考えられる。
- 崩落物の撤去や新たな復旧土砂の搬入、崩落物を用いた再造成などの有無や方法等の具体的な施工計画については、今後、復旧作業にかかわった施工者にヒアリングして情報収集する必要があることが確認できた。

2) 大型土のうの遠心模型実験

- 地震動に対する大型土のうの安定性については、土のう積み背後の盛土内にすべりが生じ、中盤高さ付近がはらんだのち、土のうが抜け出して崩壊に至る現象が確認された。土のう敷幅が2列で土のう積み高20mのケースでは、レベル1地震動相当で崩壊に至った。
- 大型土のう積みの安定性向上策として、大型土のう敷幅を増やす方法、背面側から大型土のうを定着する方法により、水平移動量の抑制効果が確認できた。大型土のう相互の摩擦を増やす方法については、段間の摩擦力が水平移動量の抑制に有効に作用するレベルになることが確認された。

3) マグネシウム系固化材の基礎的配合試験

- マグネシウム系固化材は、材令1日以内での早期強度の範囲では、早強セメントと同程度の固化を期待できることが確認できた。
- 泥状を呈する試料に対し、24時間にて、概ね100～200 kN/m²の強度を確保していることから、災害復旧時に要求される仕様は満足できることが分かった

参考文献

- 1) (社) 全国防災協会：平成7～21年発生災害採択事例集、1995～2009年
- 2) 国総研資料 第248号：H16 新潟県中越沖地震被害に係わる現地調査報告、2004年
- 3) 土木研究所：平成19年能登半島地震被害調査報告、2007年
- 4) 耐候性大型土のう研究会：災害復旧事業における「耐候性大型土のう」設置ガイドライン（社）全国防災協会、2006年
- 5) 小島謙一、坂本寛章：土のうと棒状補強材による盛土の強化復旧対策に関する模型振動実験 第45回地盤工学研究発表会 H-04 503 2010年8月
- 6) 川崎浩司、馬場秀明、大山将：酸化マグネシウム系材料によるシアン化汚染土壌の固化・不溶化処理事例と長期安定性 第44回地盤工学研究発表会 C-10 943 2009年8月
- 7) 西形達明、山田哲司、西田和彦、松田豊：酸化マグネシウムの地盤改良への適用について 地盤工学会誌「土と基礎」Vol156. No7 p19-21 2006年7月
- 8) 野田昌道：改良型山中式土壌硬度計と一軸圧縮強さの相関による改良土の強度確認方法 第44回地盤工学研究発表会、C-07 394 2009年8月
- 9) 野田昌道：改良型山中式土壌硬度計と一軸圧縮強さの相関による改良土の強度確認方法その2 第45回地盤工学研究発表会 C-07 289 2010年8月

NEW RESTORATION TECHNOLOGY AFTER LARGE SCALE EMBANKMENT DISASTER

Abstract : The collapse of load embankment by earth quake and heavy rain gives influence of economy and society because it takes time a lot to restore recently in Japan. As reason, they are considered the growing in earth structure size and situation in time and material, yard are limited. There is no standard about temporary structure for prevention of second disaster too. We conducted three survey and experiments to solve these problems. First is actual condition survey about load embankment disaster to know the technological needs. Second is centrifuge experiment to know performance of temporary structure used large scale sand bag for second disaster. Last is basic test of Mg based material to propose use of disaster field soil. As conclusion, we know that the trend of disaster recovery method and actual condition in emergency and the basic performance of large size sand bag as temporary structure and the applicability of Mg based material for disaster recovery in short term.

Key words : embankment disaster, actual condition survey, restoration after disaster, large size sand bag