

②-8 大規模な土砂災害に対応した新しい災害応急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 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ（施工）

研究担当者：宮武裕昭、森芳徳、宮川智史、
久保哲也

【要旨】

本研究では、大規模な土砂災害に対応した災害応急復旧技術の検討を行っている。災害時の応急復旧には、施工の効率性、経済性から大型土のうを用いた復旧が多く現場で採用されている。大型土のうを用いた復旧は、平地に比べ制約条件の厳しいと思われる河川沿いや山地で多く採用されていることが、過去の復旧事例より確認された。大型土のうは、仮設構造物であるため、本復旧時に撤去することが分かっているにもかかわらず有効であると考えられる。そのため大型土のうを存置したまま本復旧へ適用することができれば、復旧の効率化が図れると考えた。筆者らは、仮設構造物である大型土のうが本復旧へ適用できるよう、復旧構造の検討や大型土のうの耐久性や安定性を検証している^{1), 2), 3)}。

今年度は、大型土のうがどのような現場条件および制約条件の中で採用されているかを過去の復旧事例より整理・分析した。また大型土のうを存置した復旧工法は、本復旧への適用の可能性があるかを遠心模型実験で検証した。その結果、大型土のうを存置した復旧工法は、河川沿いや山地部の制約条件の厳しい場所でニーズが高いことが考えられた。またこの復旧工法は、補強材を設置することにより安定性能を高め、本復旧への適用の可能性が確認された。

キーワード：土砂災害、災害復旧、大型土のう、遠心模型実験

1. はじめに

近年、豪雨や地震による盛土等の土工構造物の災害が大規模化し、社会的影響が拡大するケースが増加している。被災した土工構造物は早期の復旧が望まれ、迅速な復旧工法の選定が必要とされる。早期の復旧には、締固めが容易で急速施工が可能である大型土のうが、応急復旧として数多く採用されている。しかし、大型土のうは長期の安定性が懸念される仮設構造物であること、また本復旧の際に撤去が生じ、早期の本復旧の妨げにもなる。このため、大型土のうを存置したまま本復旧へ活用することは、撤去の手戻りを回避し早期復旧に繋がると考えた。大型土のうを本復旧で使用するには、本設資材または工法としての耐久性や安定性についての検証および本復旧の際に支障を来さない構造の検討が必要である。筆者らは、過去の災害復旧の実態を踏まえ、大規模な土砂災害に対応した復旧技術の検討を行っている^{1), 2), 3)}。

当チームでは、復旧技術の検討に向け、年次計画を定めた（表 1）。本研究は H23 年度から H27 まで継続して行われ、今年度は、①土砂災害の災害復旧事例の蓄積と分析、③地震、水、荷重に対する仮設土工構造物の性能

評価を行った。

表 1 年次計画

項目	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
①土砂災害の災害復旧事例の蓄積と分析	○	○			
②本復旧の妨げとならない施工方法の開発			○	○	○
③地震、水、荷重に対する仮設土工構造物の性能評価	○	○	○	○	○

2. 土砂災害の災害復旧事例の蓄積と分析

道路土工における災害復旧の実態を把握するために、過去の災害により発生した土工構造物の崩壊から復旧工事に至るまでのプロセスを調査した。

調査は、発生災害採択事例集（全国防災協会）を主とした文献調査である。対象は、1990 年以降の降雨および地震による道路盛土災害であり、事例数は 93 件である。過年度の文献調査から、以下のことを確認している²⁾。

- ① 仮復旧の場合は、ほとんどの事例で被災規模と復旧日数に相関関係が見られた。代替路がない、作業空間等による現場条件が制約される場合は、工法選定に時間を費やしたり、施工効率が悪いことにより、復旧日数が増加する傾向があった。
- ② 本復旧の場合は、被災規模と復旧日数に相関関係が見られなかったが、補強土工の使用割合が高い傾向は見られた。使用割合が高い理由として補強土工は、曲線部等の不規則な形状でも迅速に嵩上げできること、狭い作業空間で施工可能であることからと考えられる。本復旧に費やす日数は、被災規模によらず、土工量以外の要因が影響していると推察される。

(1) 復旧工法の選定時に最も考慮した制約条件

図1は文献調査において、資料に記載されていた復旧工法の選定時の制約条件を集計したものである。調査では、複数回答を可としている。

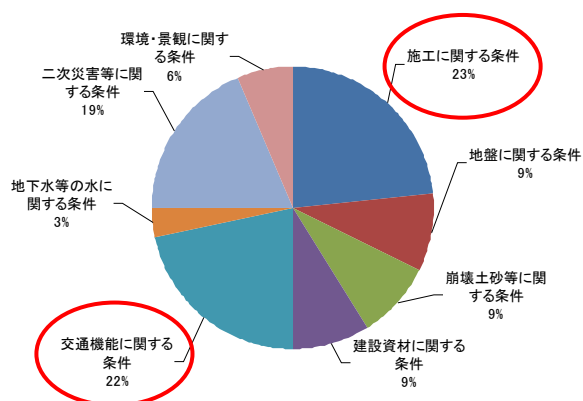


図1 工法選定時に最も考慮した条件

施工に関する条件：急峻な地形、狭隘な箇所、施工機械や材料の搬入が困難等

地盤に関する条件：支持地盤の強度不足、支持層が深い等

崩壊土砂等に関する条件：崩壊土砂や倒壊した構造物による閉塞、残土処分場がない等

建設資材に関する条件：現地発生土の再利用の可否、被災構造物の殻の再利用の可否等

交通機能に関する条件：迂回路の確保が困難、車線の確保が困難

地下水等の水に関する条件：侵入水による復旧箇所の強度低下

二次災害等に関する条件：復旧現場の強化復旧が発生、工事途中での復旧工法の見直し等が発生

環境・景観に関する条件：復旧にあたり、関係機関等の協議の発生

復旧工法の選定時に最も考慮した条件は、「施工に関する条件」と「交通機能に関する条件」である。迂回路の設定や作業区間の確保が厳しいことが、応旧復旧時の工法選定の決め手となったことが考えられる。

(2) 地形区分と復旧工種の関係

採用時に選定された応旧復旧工の種類と地形区分の関係を表2に整理した。

表2 地形区分と応旧復旧工種の関係

地形区分	応旧復旧工	割合
河川沿い	大型土のう工	50%
	ふとんかご工	19%
	補強土工	7%
	仮橋	7%
	その他	17%
	計	100%
山地	大型土のう工	35%
	土工	13%
	補強土工	3%
	仮橋	3%
	その他	46%
	計	100%
平地	大型土のう工	20%
	土工	20%
	その他	60%
	計	100%

「河川沿い」、「山地」では、「大型土のう工」の採用率が高く、平地では、「大型土のう工」の採用率が低いことが確認できる。「河川沿い」、「山地」では、迂回路の設定が困難であること、作業空間に制約があるような厳しい地形条件である場合が多い。このような制約条件では、本復旧時に撤去し手戻りが生じることがあらかじめ分かっているにもかかわらず、大型土のうを採用せざるをえないケースが多いことが考えられる。

大型土のうは、応旧復旧としては有効であり、現場で採用されている。多くの現場で採用されているということは、大型土のうを存置したまま本復旧へ適用することが、効率的な復旧方法であると考えられる。

3. 地震、水、荷重に対する仮設土工構造物の性能評価

(1) 実験目的

本研究では、大規模な土砂災害で被災した土工構造物を効率的に本復旧するために図2のような工法をイメージした⁴⁾。以下に工法の詳細を示す。

- ・大型土のうを用いた応急復旧（図2 赤線）により、応急の交通機能を速やかに確保する。その際に大型土のうの安定性の向上を図るために補強材（ジオテキスタイル）を盛土内に敷設する。
- ・本復旧時には、大型土のうを存置したまま前面に腹付け盛土を設置して、本復旧に必要な幅員を確保する（図2 青線）。その際に本復旧の安定性を向上させるために、腹付け盛土には補強材を敷設し、応急復旧で敷設した補強材と連結する。

本研究では、イメージした本復旧の適用を検討するために、大型土のうの安定性能、高盛土の安定性の向上を図ることを目的とする。以下の項目について、動的遠心模型実験で変形挙動や安定性能を確認する。

- ・土のうの中詰め材の密度の違いによる影響
- ・盛土材の締固め度の違いによる影響
- ・排水材の設置の有無による影響
- ・安定性向上のための補強材の敷設の有無の影響

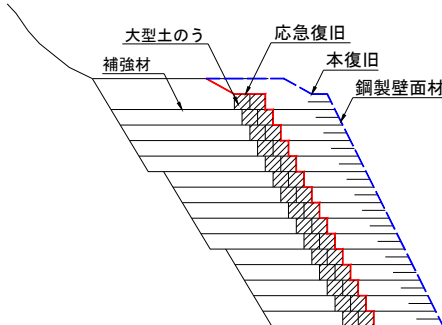


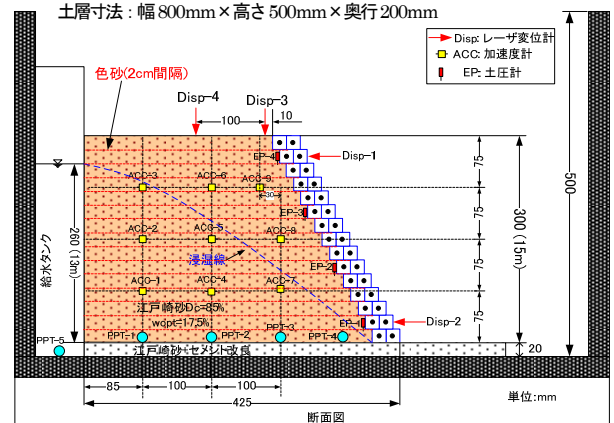
図2 大型土のうを用いた復旧イメージ

(2) 実験概要

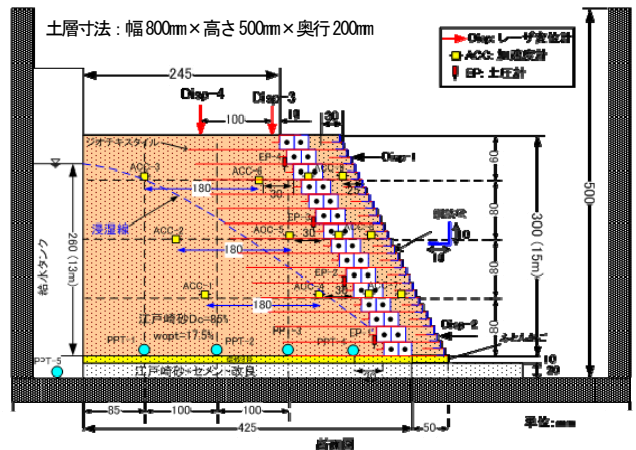
本実験では、最大遠心加速度が100Gまで対応可能な遠心力模型実験装置を用いた。模型は実スケールの1/50とし、高さ300mm（実際のスケールで15m相当）、幅200mm、壁面勾配1:0.5および1:0.3で作製した。模型寸法および計測器の配置を図3に示す。図示したように実験は、a) 盛土の前面に土留めとして大型土のうを設置する仮復旧をイメージしたタイプ、b) 図2のような本復旧をイメージしたタイプの2種類がある。

盛土材は江戸崎砂を使用しており、物性値を表2に示す。基礎地盤には、江戸崎砂にセメント改良したものを

用いて厚さ20mm作成する。大型土のうは不織布を用いて、縦20mm×横20mm×高さ20mm（実際のスケールで縦1m×横1m×高さ1m）の立方体で作製した。大型土のうは、高さ方向に10段及び15段、奥行き方向に2列で積み重ねた。



a) 仮復旧をイメージしたもの (Case1)



b) 本復旧をイメージしたもの (Case10)

図3 実験概要図

表2 盛土材の物性値

項目		江戸崎砂
土粒子の密度		2.707
粒度分布	礫分 (%)	—
	砂分 (%)	87.2
	シルト分 (%)	9.9
	粘土分 (%)	2.9
均等係数 U		4.05
平均粒径 D50		0.17
最大乾燥密度 (g/cm ³)		1.634
最適含水比 (%)		17.5
粘着力 c (kN/m ²)		13.8
せん断抵抗角 φ (°)		33.5

(3) 実験条件

実験は12 ケース行い、各実験ケースの一覧を表3に示した。Case1 は大型土のうを用いた応急復旧を、Case2 はCase1 と同様な構造で盛土内水位がないもの、さらにCase3 はCase1 と同様な構造で大型土のうの中詰め材の密度がゆるい状態を想定したものである。大型土のうの中詰め材には、7 号碎石とジリコンサンドを混合した材料（密な状態は $\rho=1.9\text{g/cm}^3$ ）、豊浦砂のみ（ゆるい状態は $\rho=1.65\text{g/cm}^3$ ）の2 種類を用いた。

Case 4 は、Case1 と同様な構造で盛土高を10m としたもの、Case 5～7 は、盛土材の締固め度を5%低減しており、排水条件、勾配を変えてその影響を確認するものである。盛土材は締固め度 85%を標準とし、Case 5～7 は80%で作製した。

Case8 は、大型土のうを用いた応急復旧に補強材を敷設したもの、Case9 は、Case8 と同様な構造で盛土勾配を3 分とするものである。補強材はジオテキスタイルを用い、実験の相似則に合うような引張剛性（ $E \cdot t=36\text{kN/m}$ 、 E ：弾性係数、 t ：厚さ）でポリエチレン製の材料を使用した。ジオテキスタイルは、敷設長170mm、高さ20mm 毎に14 段設置する。補強材の敷設長、敷設間隔及び引張剛性は、ジオテキスタイルを用いた設計・施工マニュアルに準じて算出した⁵⁾。

Case10～12 は、図3 に示した本復旧の構造体を模擬したものであり、Case10 は、大型土のうの中詰め材の密度が密な状態を、Case11 は、大型土のうの中詰め材の密度がゆるい状態を想定したものである。Case12 は、本設構造で適用されている補強土壁であり、本復旧の構造体と相対比較することにより本復旧の適用性を確認する。壁面材は、実スケールの重量と相似則に合うようにステンレス製のL 型アングル（10mm×10mm）を用い、30 段設置した。補強材は、接着剤により壁面材と接続する。基礎地盤と盛土の間には、珪砂三号を用いて厚さ10mm の排水層を設置し、排水層の前面にはふとんかご（幅 50mm ×奥行200mm）を設置した。

計測の項目は、壁面部（大型土のう）の変位、沈下、盛土の土圧および応答加速度である。本実験では、遠心加速度を50G まで上昇させ、模型の状態が安定した後に最大加速度150gal、250gal（レベル1 相当）、350gal、500gal（レベル2 相当）を段階的に载荷する。

表3 実験ケース

項目	壁面材	盛土高	土のうの配置	壁材の締固め度(%)	土のう中詰め材の状態	補強材の敷設	盛土内水位	排水材	勾配
Case 1	大型土のう	15	2列	85	密	無	有	無	5分
Case 2	大型土のう	15	2列	85	密	無	無	無	5分
Case 3	大型土のう	15	2列	85	ゆるい	無	有	無	5分
Case 4	大型土のう	10	2列	85	密	無	有	有	5分
Case 5	大型土のう	10	2列	80	密	無	有	無	5分
Case 6	大型土のう	10	2列	80	密	無	有	有	5分
Case 7	大型土のう	10	2列	80	密	無	有	有	3分
Case 8	大型土のう	15	2列	85	密	有	有	有	5分
Case 9	大型土のう	15	2列	85	密	有	有	有	3分
Case 10	鋼製壁面材	15	2列	85	密	有	有	有	5分
Case 11	鋼製壁面材	15	2列	85	ゆるい	有	有	有	5分
Case 12	鋼製壁面材	15	無	85	—	有	有	有	5分

(4) 実験結果

○ 土のうの中詰め材の密度の違いによる比較

図4～7 は、土のうの中詰め材の密度の違いによる影響を見るためにCase1～3 およびCase10～11 で水平変位、沈下量を比較したものである。水平変位および沈下量は、地震動の载荷時（500gal 加振時）における大型土のうに設置した標点から求めたものである。500gal 加振後で比較したのは、変形、変状の影響が最も顕著に出やすいと考えたためである。

Case1 は、500gal 加振後に崩壊に至った。Case3 は、盛土内水位があり、大型土のうの中詰め材の密度をゆるい設定としていたが崩壊しなかった。Case1 は、Case3 に比べ高い位置に浸潤線が生じていたため、水位による

影響が崩壊へ繋がったと推察される。図4.5より、Case1、3は盛土内の水位条件が異なっているものの、沈下量については変形形状が近く、大きな差は読みとれなかった。水平変位については、変形形状が異なっており、2ケースについて若干の差が読み取れる。

図6、7は、大型土のうを存置させた場合の土のうの中詰め材の密度の違いによる影響を見るためにCase10、11で水平変位、沈下量を比較したものである。両ケースは、変形形状も近く、水平および鉛直の変位差はほとんど読み取れなかった。補強材の敷設が変形抑制効果を与えるとともに土のうの中詰め材を密度の違いによる影響を与えなかったかもしれない。このため、今回の実験条件の設定では、大型土のうの中詰め材の密度の違いによる影響があるかは明確に判断できない結果となった。

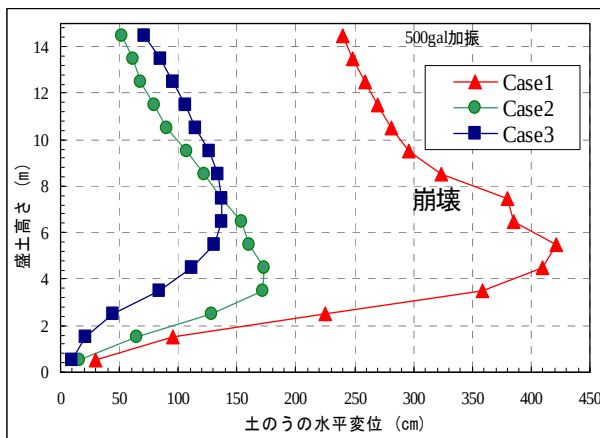


図4 土のうの中詰め材の密度の違いによる比較
(水平変位)

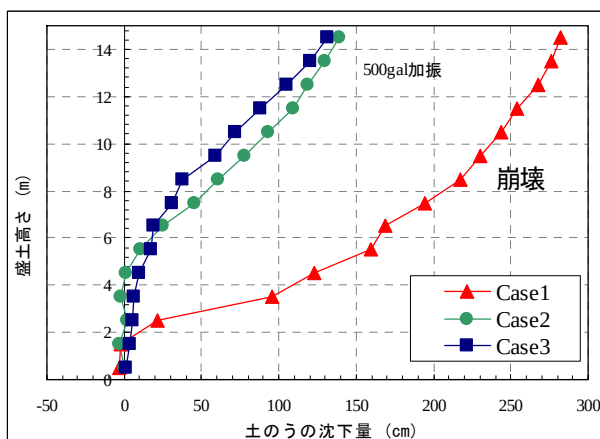


図5 土のうの中詰め材の密度の違いによる比較
(沈下量)

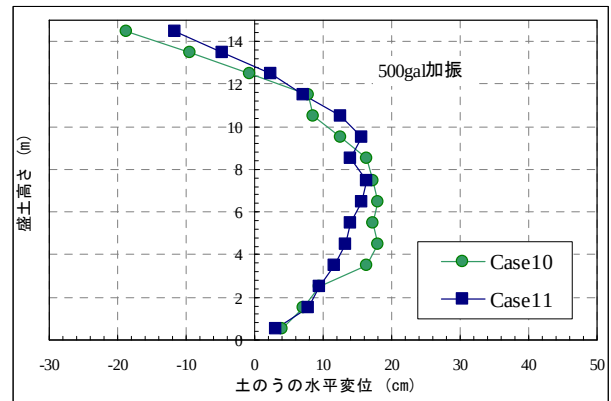


図6 補強材を敷設した場合の土のうの中詰め材の密度の違いによる比較 (水平変位)

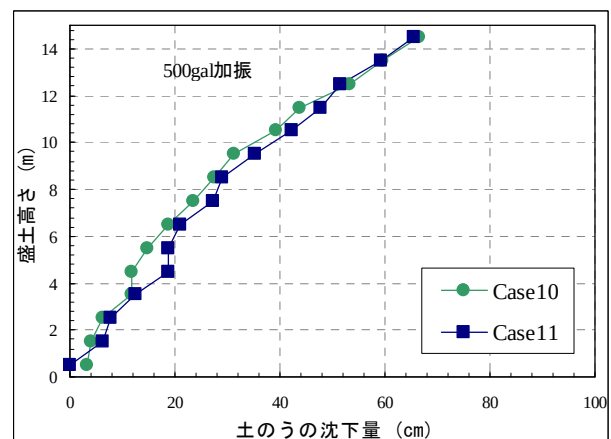


図7 補強材を敷設した場合の土のうの中詰め材の密度の違いによる比較 (沈下量)

○ 盛土材の締固め度の違いによる比較

図8、9は、盛土材の締固め度の違いによる影響を見るためにCase4～7で水平変位、沈下量を比較したものである。水平変位および沈下量は、地震動の载荷時(500gal加振時)における大型土のうに設置した標点から求めたものである。500gal加振後で比較したのは、変形、変状の影響が最も顕著に出やすいと考えたためである。

Case4～6は、変形形状も近く、沈下量には多少差が読み取れるものの、水平変位にはほとんど差は読み取れなかった。Case7については、500gal加振後に崩壊した。

盛土高10mの条件下では、盛土材の締固め度の違いによる影響は少ないことが確認された。しかしながら、盛土が3分勾配となることで崩壊に至った。この結果を踏まえるとさらに厳しい条件下では、締固め度の低下による影響は大きくなることが推察される。

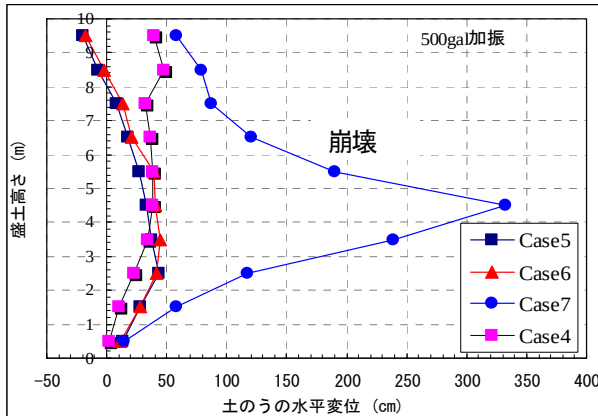


図8 盛土材の締固め度の違いによる比較（水平変位）

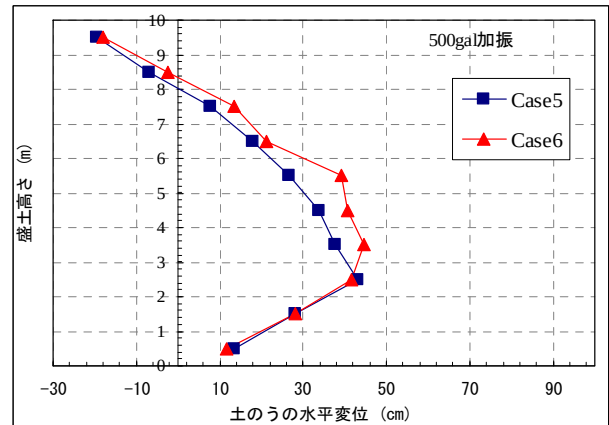


図10 排水材の設置の有無による比較（水平変位）

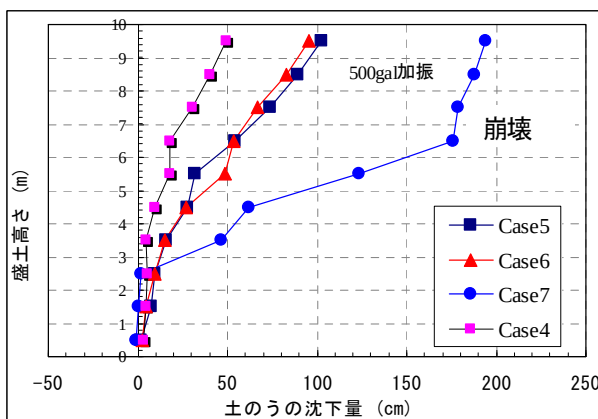


図9 盛土材の締固め度の違いによる比較（沈下量）

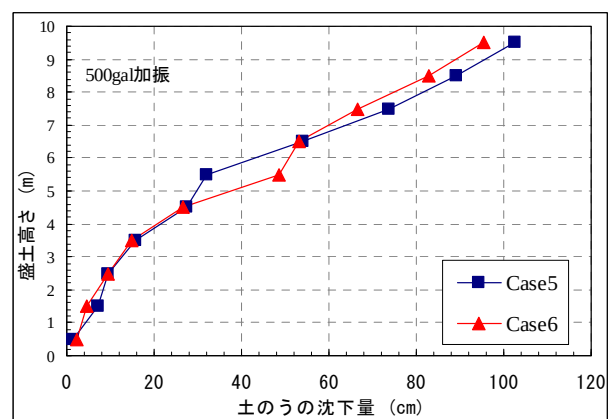


図11 排水材の設置の有無による比較（沈下量）

○ 排水材の設置の有無による比較

図10、11は、排水材の設置の有無による影響を見るためにCase5、6で水平変位、沈下量を比較したものである。水平変位および沈下量は、地震動の載荷時（500gal 加振時）における大型土のうに設置した標点から求めたものである。500gal 加振後で比較したのは、変形、変状の影響が最も顕著に出やすいと考えたためである。

Case5、6は、変形形状も近く、沈下量には多少差が読み取れるものの、水平変位にはほとんど差は読み取れなかった。

今回の実験条件（盛土高 10m）の設定では、排水材の設置の有無による影響を明確にすることはできなかった。しかし、Case1（盛土高 15m、排水材の設置無）およびCase7（盛土高 10m、3 分勾配、排水材無）は、500gal 加振後に崩壊したことを考えると実験条件を厳しく設定することで排水材を設置していない場合の影響は大きくなることが推察される。

○ 安定性向上のための補強材の敷設の有無による比較

図12、13は、補強材の敷設の有無による影響を確認するためCase1、8、9で水平変位、沈下量を比較したものである。水平変位および沈下量は、地震動の載荷時（500gal 加振時）における大型土のうに設置した標点から求めたものである。500gal 加振後で比較したのは、変形、変状の影響が最も顕著に出やすいと考えたためである。

補強材を敷設した Case8、9 は補強材を敷設しない Case1 と比較すると大きく変形を抑制していることが読み取れる。Case8、9は、変形形状も近く、水平変位および沈下量にはほとんど差は読み取れず、盛土の勾配の違いによる影響は確認されなかった。

図14、15は、各加振時の変状の影響を確認するため、加速度と最大水平変位、加速度と最大沈下量の関係を Case1、8、9で比較したものである。Case8、9は、250gal 以降、Case1 との最大水平変位、最大沈下量についての差が顕著になり、350gal 以降になるとその差が2倍以上

になることが確認された。また Case8、9 は、最大加速度が上昇しても水平変位が大きく増加する傾向が読み取れなかった。土工構造物の水平変位や沈下量は、主に補強材の敷設による影響が大きいものと考えられる。

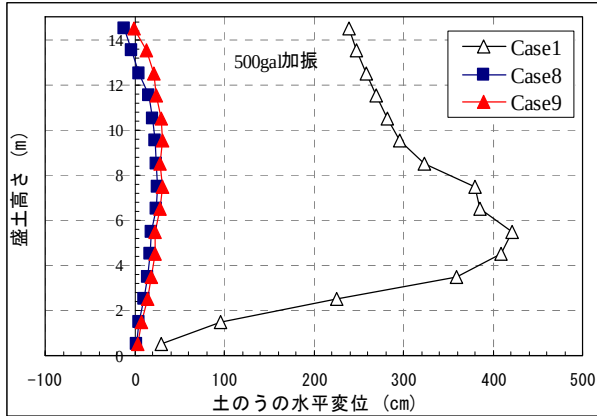


図 12 安定性向上のための補強材の敷設の有無による比較 (水平変位)

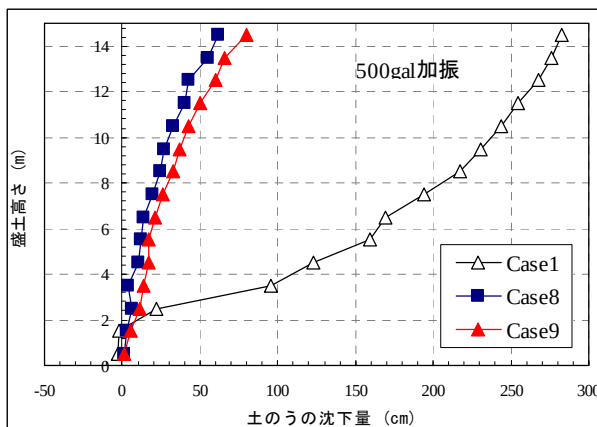


図 13 安定性向上のための補強材の敷設の有無による比較 (水平変位)

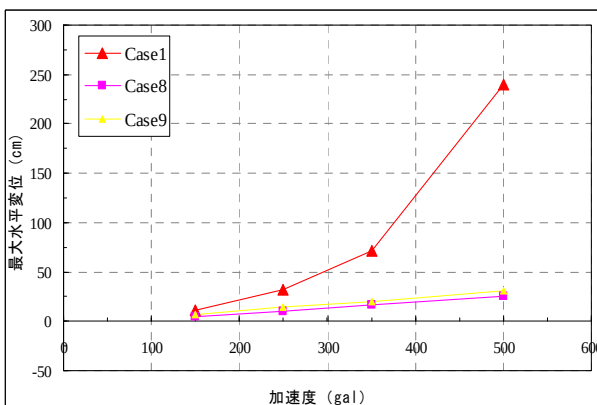


図 14 加速度と最大水平変位の関係

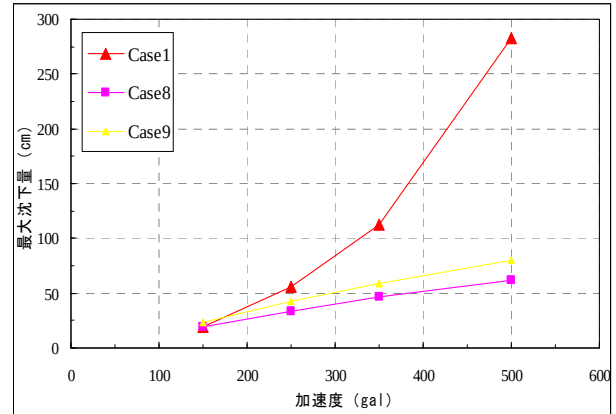


図 15 加速度と最大沈下量の関係

○ 本復旧でイメージした構造体の安定性の確認

図 16、17 は、500gal 加振後の水平変位及び沈下量を Case10～12 で比較したものである。水平変位及び沈下量は、地震動の載荷時 (500gal 加振時) における大型土のうに設置した標点から求めたものである。500gal 加振後で比較したのは、変形、変状の影響が最も顕著に出やすいと考えたためである。

Case10～12 の比較からは、水平変位や沈下に大きな差は読み取れなかった。Case8、9 と同様、土工構造物の水平変位や沈下は、主に補強材の敷設による影響が大きいものと考えられる。

本実験でイメージした本復旧の構造は、変形状態は本設構造物で適用されている補強土壁 (Case12) 近いことが確認された。補強土壁と変形状態が近いことにより、大型土のうを存置することは、土工構造物の安定性へ与える影響が少ないことが推察される。

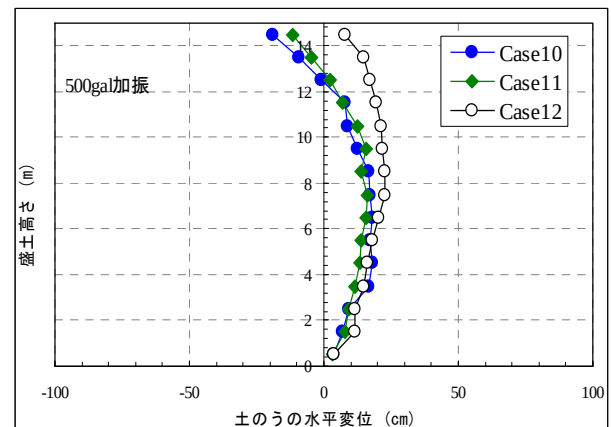


図 16 本復旧でイメージした構造体と補強土壁との水平変位の比較

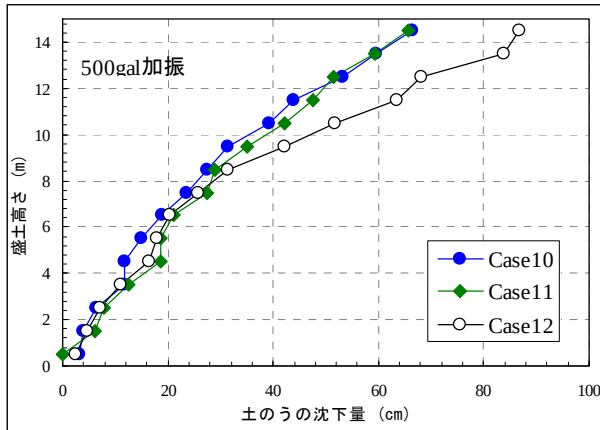


図17 本復旧でイメージした構造体と補強土壁との沈下量の比較

○ 本復旧でイメージした構造体の一体性の確認

加振時の入力加速度と盛土内の応答加速度の関係を図18に示す。図18は、Case11、12の補強盛土内の天端部のもの(図19の①上段)、盛土内の中段部のもの(図19の②中段)、盛土内の底盤部のもの(図19の③下段)のデータである。

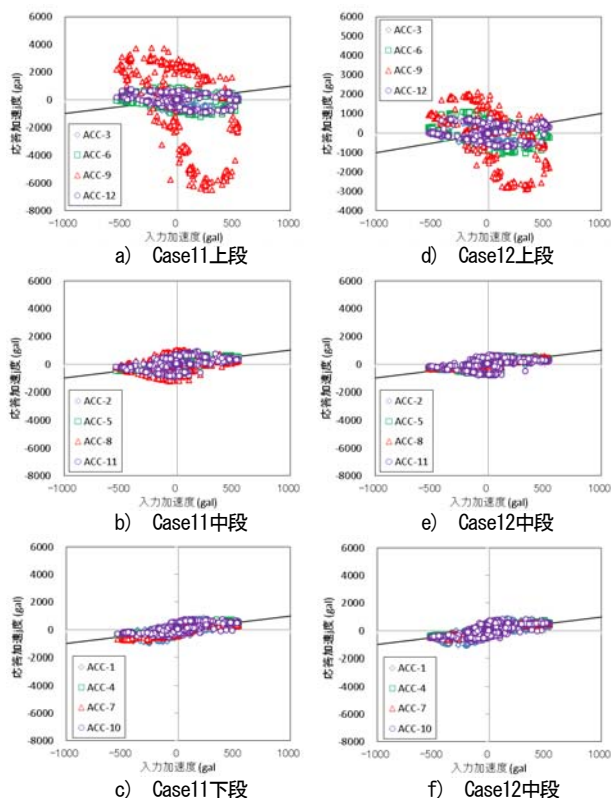


図18 入力加速度と応答加速度との関係

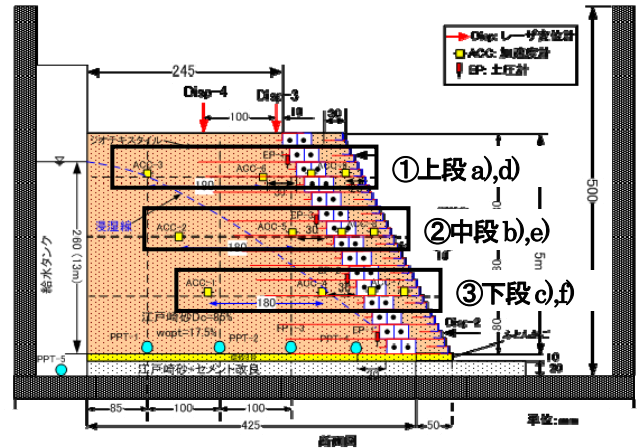


図19 加速度計の配置図

図18より、中・下段で計測された応答加速度は、2ケースとも入力加速度と同様な挙動の傾向を示している。その一方で上段は入力した加速度と計測した応答加速度は異なる挙動を示した。

Case11、12のばらつきの大小は異なるが、2ケースのばらつきの傾向は似ていた。実験後、目視において大型土のうの前後(天端面)でクラック等の発生はなく、入力加速度と応答加速度のばらつきの原因は観察されなかった。

中・下段は、2ケースとも構造体として一体的な挙動を示しており、大型土のうの存置による土工構造物への一体性能へ与える影響は確認されなかった。

4. 全体のまとめ

今年度(H24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) 土砂災害の災害復旧事例の蓄積と分析

○復旧選定時に考慮した条件としては、「施工に関する条件」、「交通機能に関する条件(迂回路設定可否)」が多く挙げられた。

○迂回路の設定が厳しいと思われる河川沿い、山地部では平地に比べ、「大型土のう工」の採用率が高いことが分かった。河川沿い、山地部では、本復旧時に撤去し手戻りが生じることがあらかじめ分かっているにもかかわらず、「大型土のう工」を採用せざるをえないケースが多いことが考えられる。

○大型土のうは、現場では応急復旧として多用されており、大型土のうを存置したまま本復旧へ活用することが、復旧の効率化が可能になると考える。

2) 地震、水、荷重に対する仮設土工構造物の性能評価

○無補強の大型土のうは、地震動を受けると水平変位お

よび沈下が大きく発生し、250gal 以上の加速度を与えると変状が急激に進展する。

○盛土材の締固め度による違いは、本実験の条件設定では確実ではないが仮設構造物の盛土勾配が急になることで、復旧した土工構造物の安定性に影響を与えることが考えられる。

○排水材の設置の有無による違いは、本実験の条件設定では明確にすることはできなかった。盛土高 15m 排水材の無い場合のケースが 500gal 加振後に崩壊した。盛土高 10m 以上の高盛土になると、排水材の設置の有無が少なからず土工構造物の安定性に影響を与えると推察する。

○土のうち詰め材の密度の違いは、本実験の条件設定では明確に確認することはできなかった。

○本研究でイメージした本復旧の構造は、補強材を敷設することで安定性の向上が図られ、本設構造物としての適用の可能性を得た。

○天端付近の大型土のうは、盛土と一体化した挙動を示さないことから不同沈下等による段差の発生が懸念される。段差の発生は、供用後の安定性に影響を及ぼす

ため、天端付近の大型土のうの補強材の敷設長や敷設間隔、大型土のうの設置方法等の復旧する構造体の更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 堤祥一, 小橋秀俊, 藪雅行: 盛土崩壊における文献・災害復旧工事記録の実態調査, 第 29 回日本道路協会, 2011 年 11 月
- 2) 堤祥一, 小橋秀俊, 藪雅行: 二次災害を考慮した大型土のうの遠心模型実験, 第 29 回日本道路会議, 2011 年 11 月
- 3) 小橋秀俊: 道路土工における災害復旧の今後の課題, 地盤工学会誌, Vol. 59 No11, 2011 年 11 月
- 4) 宮川智史, 久保哲也, 宮武裕昭: 大型土のうを用いた災害時の復旧工法に関する遠心模型実験, 第 68 回土木学会年次学術講演会, 2013 年 (投稿中)
- 5) (一財) 土木研究センター: ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル, 2000 年

STUDY ON NEW RESTORATION TECHNOLOGY FOR 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.

In this year, this research performe example analysis about embankment disaster and centrifuge model test since last year. As conclusion, we knew that burying of large scale sand bag is construction technique rational as this restoration. The good result appeared also from the centrifuge model test. Burying of large scale sand bag is method effective in this restoration.

Key words : embankment disaster, disaster restorationl, large sand bag, centrifuge model test