

## 2.10 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 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：小橋秀俊、藪雅行、宮川智史、  
久保哲也

### 【要旨】

近年、豪雨や大規模地震による盛土等の土工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おり、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、仮設土工構造物が長期間にわたって残置され、豪雨、出水、余震および重機等の荷重に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、仮設土工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、本設の土工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。さらに、今年度が発生した東日本大震災や紀伊半島豪雨災害等により、上記事項の重要性が再確認されたものと考えられる。当チームではこれらの事項や実態を踏まえ研究を行っている。

今年度については、前年度に引き続き、①盛土被害の復旧実態調査、②豪雨や余震などの二次災害を想定した大型土のうの安定性の評価を行った。（本研究は H22 年度より戦略研究としていたものを、H23 年度からプロジェクト研究として立ちあげたものである。）

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工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（時間の制限、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土工構造物が大型化し、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、大規模な土砂災害への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、仮設土工構造物が長期間にわたって残置され、豪雨、出水、余震および重機等の荷重に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、仮設土工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、本設の土工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<sup>1)</sup>。そこで、当チームではこれらの事項や実態を踏まえ、以下の2つについて研究を行っている。

①土砂災害の土砂崩壊の災害復旧事例の蓄積と分析

②地震、水、荷重に対する応急復旧工法の性能評価

今年度は上記2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	実施する調査・実験	H22年度	H23年度	実施目的
①土砂災害の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
	東日本大震災の被害調査		○	
②地震、水、荷重に対する応急復旧工法の性能評価	大型土のうの遠心模型実験	○ (盛土内に水無し)	○ (盛土内に水有り)	応急復旧工法の地震時・豪雨時の適用範囲の把握

### 2. 道路土工における災害復旧事例の調査・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について調査した。実態の把握は、過去の被災事例（地震、降雨などによる土砂災害）による文献や、東日本大震災の被災調査などから被災形態、被災状況、被災要因および復旧工法などについて整

理した。

### (1) 道路盛土災害の特徴

#### 1) 文献調査

文献調査では、1990年以降の降雨および地震による道路盛土災害の事例を92件収集し、崩壊から災害復旧工事に至るまでのプロセスについて調査した。文献調査より、道路盛土災害は、以下に示す特徴が確認できた<sup>1)</sup>。

- ① 傾斜地部に腹付けされた盛土、沢横断の盛土（谷埋め盛土）、片切り片盛りで大被害（盛土のすべり崩壊）に至るケースが多い。
- ② 地震災害および降雨災害のいずれにおいても、大規模な盛土崩壊は、盛土内への浸入水が大きく影響している。
- ③ 地震災害については、盛土高が高くなるほど被災率が増加する。特に、盛土高が30mを超えると大被害（盛土のすべり崩壊）に至る比率が高い。
- ④ 護岸兼用擁壁の盛土では、河川水の影響（洗掘、浸食など）により崩壊に至るケースが多い。
- ⑤ 橋梁やカルバート等の構造物取り付け部の盛土では、地震時に段差が生じる箇所数が多い。但し、大半が小被害であり、短期間で復旧できる場合が多い。

#### 2) 東日本大震災の被災調査

東日本大震災による道路盛土災害においても、その特徴は過去に発生した地震被害と同様な崩壊形態が土工構造物で確認された。国土交通省の直轄国道における災害査定申請対象とされた道路土工災害のなかで、地震動が主因かつ道路車線の走行性に支障をきたしたものは9事例みられた。そのうち8事例は盛土の崩壊であり、1事例が自然斜面の崩壊であった。地震動による被害は盛土に集中しており、盛土の被災形態は以下のように分類することができた。

- ① 水が集まりやすい地形条件で盛土内の水位が高かったことが要因と考えられるタイプ（5事例）
- ② 水が集まりやすい地形条件で排水対策を実施したものの基礎地盤が液状化したと考えられるタイプ（1事例）
- ③ 平地部の軟弱地盤上の盛土で盛土材自体が液状化したと考えられるタイプ（1事例）
- ④ 不安定な傾斜地盤上に構築したことが要因と考えられるタイプ（1事例）

上記の事例以外での被災形態については、①橋台背面やカルバート背面での段差、②盛土部ブロック積み擁壁の躯体損傷、③カルバートと盛土部との段差および内空目地開きなどであり、被災規模は交通への影響が少ない

軽微な損傷であった。補修に要した時間は、「橋台背面やカルバート背面での段差」で概ね2～3日以内であり、短期間で補修されていた<sup>2)</sup>。

### (2) 応急復旧工

#### 1) 制約条件

被災した土工構造物は、当面の速やかな機能回復を図るために応急復旧対策が実施される。応急復旧対策は、道路震災対策便覧に示される留意すべき事項などを考慮して施される<sup>3)</sup>。しかし、被災現場では道路震災対策便覧に記載されている留意すべき事項のほかにも、応急復旧を実施する上で制約される条件や問題などが生じる場合がある。文献調査より確認できた、主な制約条件は以下の点である。

- ① 資材の搬入および施工ヤードの確保
- ② 早期の復旧
- ③ 材料の確保
- ④ 残土および破壊された構造物の処分

#### 2) 応急対策工

被災した多くの道路盛土では、復旧に要求される主な制約条件が、「早期の復旧」であった。道路盛土災害が、全面通行止めを余儀なくされた「完全崩壊」の場合と、片側通行可能な状態に留まった「部分崩壊」の場合のいずれにおいても、応急対策工の大半は、比較的早期の復旧が可能な大型土のうや土工（盛土の再構築、切土による拡幅など）による復旧対策が施工されていた。その他の復旧対策については、「完全崩壊」で仮橋が、「部分崩壊」では鋼矢板・H鋼が施工されていた。応急復旧工の割合を表2-1に示す。

表2-1 応急復旧工の割合

盛土の崩壊形態	対策工法	大型土のう	トンネル・鋼製枠	補強土工	擁壁	軽重盛土	鋼矢板・H鋼打設	土工	防護柵	仮橋	親杭橋矢板	段差の解消	他車の道路利用
完全崩壊		27%	6%	6%	3%	3%	3%	22%	3%	13%	3%		10%
部分崩壊		21%	6%			6%	17%	32%	6%		12%		
部分変状		25%										50%	25%

#### 3) 応急復旧に要した時間

過去の地震により被災した盛土崩壊現場における応急復旧に要した時間と被災規模（幅）の関係を図2-1に示す。応急復旧に要する時間と被災規模は、ほぼ相関関係にあることが確認できた<sup>4)</sup>。相関関係から逸脱する事例については、地形条件および施工条件などが影響してお

り、何らかの要因によるものであることを確認した。以下では、相関関係から逸脱した要因について事例毎に示す。ここで、事例68の要因については、文献から確認することができなかった。

#### ① 事例43

事例43は、河沿いに構築された片盛土形状の道路盛土である。梅雨前線と台風がもたらした豪雨による盛土への浸入水が、盛土の強度を低下させてすべり崩壊（部分崩壊）を発生させた。応急復旧は、早期の復旧（片側車線の交通解放）を優先事項とし、経済的かつ合理的な工法の選定が必要とされた。当該箇所は現地調査より脆弱な崩積土地盤であることが確認された。復旧対策工では、早期の復旧が可能な大型フトンかご工および土留め鋼矢板工が検討された。しかし、前者は脆弱な支持地盤上に構築することから新たなすべり崩壊を誘発するおそれがあること、後者は経済的に過大となることが判明した。そこで、復旧工は本復旧工も勘案し、崩壊を免れた山側車線の掘削を伴わないこと、早期に片側車線の交通を開放することおよび経済性に優れることなどの制約条件を考慮して再検討が実施された。検討の結果、復旧工はアンカー併用土留杭工が選定された。当該箇所は、制約条件を満足するために協議等が長期化し、復旧工が決定するまでに28日を要した。

#### ② 事例56

事例56は、川沿いに構築された片盛土形状の緊急輸送道路に指定されている主要幹線道路盛土である。台風がもたらした豪雨による河川の増水は、擁壁基礎部の浸食・洗掘を発生させ盛土を完全崩壊（1箇所）または部分崩壊（2箇所）へと至らしめた。片側車線のみ決壊した部分崩壊では、大型土のう工などにより早急の復旧が図られた。一方、完全崩壊した箇所においては、本復旧工も勘案し、経済性および早期の復旧が可能である大型鋼製枠+鋼管杭併用工が採用された。当該箇所は、片側交通確保を最優先事項とし、早急な現地測量・調査、設計および協議を円滑に実施できたことにより早期の対応が可能とした。

#### ③ 事例61

事例61は、河沿いに構築された片盛土形状の兼用護岸擁壁である。梅雨前線がもたらした豪雨による河川の増水は、擁壁基礎部の浸食・洗掘等を発生させ盛土を完全崩壊へと至らしめた。当該箇所は、崩壊に伴い大型土のうによる応急対策工が施工されていたが、台風の到来により大型土のうが流され、再施工を余儀なくされた、応急対策工の最中に繰り返し被災した現場である。その影

響により、盛土崩壊から応急復旧へと至るまでに時間を要した。

#### ④ 事例79

事例79は、山地に構築された片盛土形状の道路盛土である。台風がもたらした豪雨により、盛土内への浸入水が盛土の強度を低下させてすべり・崩壊（完全崩壊）を発生させた。当該箇所は、迂回路として林道の使用が検討されていたが、冬期は通行不可となるため早期の復旧が必要とされた。応急復旧は、仮橋と山切り仮道が検討された。前者による復旧対策工は支持層が深いため、大規模な杭工が必要となり施工が困難であった。一方、後者においては、山側ののり枠で固められた土留壁は健全であったこと、特殊機械や資材の調達なども不要であったことなどから、復旧対策工として適用可能であると判断された。しかし、急峻な地形であったこと、多量の切土が発生したことなどにより、崩壊から応急復旧工が構築されるまでに時間を要した。

#### ⑤ 事例92

事例92は、沢（谷）地形に構築された片盛土形状の道路盛土である。台風がもたらした豪雨による浸透水は、地質構造や岩盤中の割れ目を流化して被圧地下水として供給された。その結果、流れ盤方向と調和的なすべり面に沿って大規模な地すべりを発生させた。復旧対策工は、地すべり地盤への荷重軽減が必要とされたため盛土構造物での復旧は不適であった。したがって、当該箇所では、橋梁構造による復旧対策工が採用された。また、二次災害の防止を目的として抑止杭が設置された。復旧対策工では、抑止杭工、橋梁の基礎工、下部工、上部工および舗装工の工程で施工されたことから、崩壊から応急復旧工が構築されるまでに時間を要した。

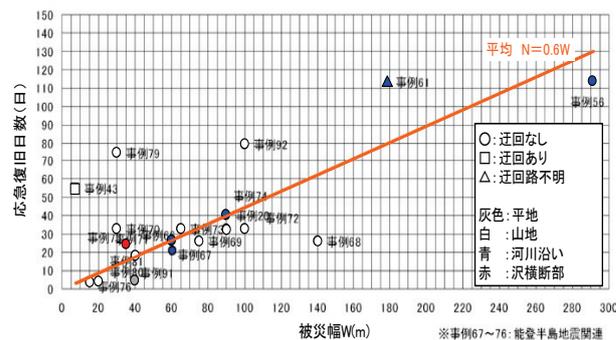


図2-1 復旧日数と被害幅の関係

### (3) 本復旧

#### 1) 本復旧工

本復旧工では、完全崩壊、部分崩壊および擁壁等の一

部が変状した部分変状の何れにおいても擁壁工、補強土工および土工で復旧されるケースが多い。地形別に分類した場合、河川沿いでの復旧は擁壁工および補強土工が多く、山地においては土工および補強土工で復旧されるケースが多い。また、崩壊の要因に水が影響する場合が多々あることから、鋼製枠やフトン籠等が併用されている。本復旧工の割合（崩壊形態別）を表2-2に、地形別に整理したものを表2-3に示す。

本復旧として補強土工が多く採用されている理由としては、①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、②汎用重機だけで施工できること、③細部の調整が容易であることなどが挙げられる。しかし一方で、老朽化などの洗礼を受けていない構造形式であるため、補強土の限界状態（崩壊に至る過程）や補修方法の明確化も、今後の重要課題として挙げられる。

表2-2 本復旧工の割合（崩壊形態別）

現場の特徴	対策工法											
	擁壁	補強土工	土工	軽量盛土	鋼製枠・フトン籠等	橋梁	土留壁（親杭式）	アンカー	杭工	道路線形変更	地盤改良等	吹付枠・鉄筋挿入工等
完全崩壊	19%	19%	21%	8%	14%	7%		7%	5%			
部分崩壊	15%	19%	30%	9%	11%		2%	2%	4%	2%	2%	4%
部分変状	17%	13%	12%	7%	7%		3%	13%	13%		3%	10%

表2-3 本復旧工の割合（完全崩壊時）

現場の特徴	対策工法											
	擁壁	補強土工	土工	軽量盛土	鋼製枠・フトン籠等	橋梁	土留壁（親杭式）	アンカー	杭工	道路線形変更	地盤改良等	吹付枠・鉄筋挿入工等
平地	46%	15%						8%	15%		8%	8%
河川沿い	46%	15%	4%	16%	4%			4%	8%			4%
山地	5%	19%	31%	8%	14%	2%	2%	7%	5%	1%	1%	3%
沢横断	20%		20%		20%	40%						

2) 本復旧に要した時間

本復旧における被災規模（幅）と本復旧日数については応急復旧時のような相関関係がみられなかった。本復旧では、被災規模や土工量以外の要因が影響しているものと推察する。

3. 二次災害を考慮した大型土のうの安定性評価

(1) 実験の目的

災害復旧の応急復旧対策として、施工性や経済性、適用性の広さから、仮設として大型土のうが頻繁に用いられており、近年では長期間の設置や再利用を考慮した耐

候性大型土のうが開発され活用されている。しかしながら、その安全性は十分に検証されずに、大規模な造成等に用いられる傾向がある。そのため、復旧期間中の豪雨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。

昨年度は大型土のうの余震を想定した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ことを目的として実験を実施した<sup>5)</sup>。今年度では、主として沢地形での応急復旧を考慮して、盛土内に水位がある状態で排水が確保されている場合、されていない場合に分けて、余震を想定した地震動を与える形で遠心模型実験を実施した。

(2) 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、盛土排水の有無、排水条件を実験パラメータとし、また加震波の振幅を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。盛土勾配は1:0.5としている。実験ケースは予備実験や試加振を合せて12ケース行い、大きく分類して段階的に加速度を上げていくケース（段階載荷①）、始めに大きな地震波を与え、段階的に加速度を下げていくケース（段階載荷②）の2種類である。

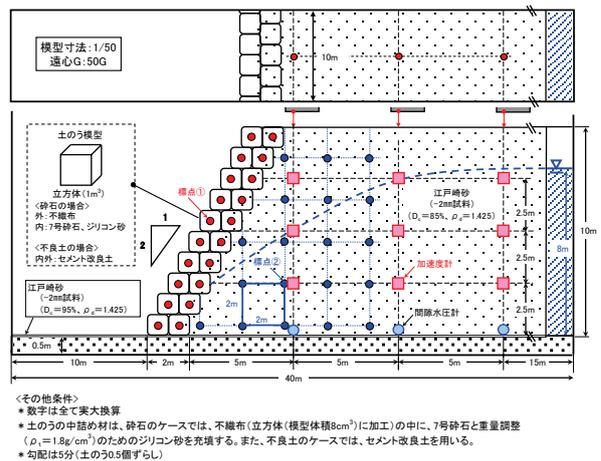


図3-1 遠心実験の概要図(Case1)

(3) 実験の結果

○図3-2、3-3は、盛土高さの違い実験ケース（盛土高さ5m、10m、15m）の500gal加振後の水位がない場合の盛土変位、沈下量を比較したものである。盛土高さが高

くなるにつれて、加振後の変位、沈下量が大きくなる結果となった。

また盛土高さ20mの場合は、250gal加振後に崩壊し、レベル2地震動には耐えられない結果となった。

○図3-4、3-5は、5mおよび10mの盛土高さについて、水位がある場合、水位がない場合の土のうの500gal加振後の変位、沈下量を比較したものである。水位がある場合は、水位が無い場合に比べて、水平変位、沈下量ともに非常に大きくなる結果となった。

○盛土高さ15、20mのケースでは、背面盛土よりすべりが発生し、土のうが大きな変形を生じた(写真3-1)。それに対して、盛土高さ5mと10mのケースでは、変位が小さく、崩壊しない結果となった(写真3-2)。

○土の中詰め材(不良土と砕石、盛土内水位あり)の影響については、今回、盛土高さ10mのケースで比較を行ったが、2ケースについて変位・沈下量ともに大きな差異はないことが確認された。またCase②について、Case①と比べ盛土内水位が高い状態で行ったが、はらみだしが大きくなる盛土高さも近いことから、土の中詰め材の影響は少ないことが考えられる。

表3-1 実験ケース

Case	実験パラメータ					
	地震動*1	盛土内水位*2	排水条件*3	盛土高*4	幅数	勾配
①	段階載荷	無し	良好	10	2	5分
②		有り	良好			
③		無し	不良			
④		無し	良好	5	1	
⑤		有り	良好	5	1	
⑥		無し	良好	15	2	
⑦		無し	良好	20	2	

\*1【段階載荷】150gal⇒250gal⇒350gal⇒500gal

\*2 盛土内水位:盛土最奥端部の水位を盛土高の80%で固定

\*3【良好】7号砕石で排水し、盛土内は良好な排水状態

【不良】ベントナイトで止水し、排水不良により盛土内滞水状態

盛土内滞水位は、盛土高の半分で維持

\*4 盛土高は実大換算

\*5 大型土のうなしで、盛土のすべり範囲を確認するケース

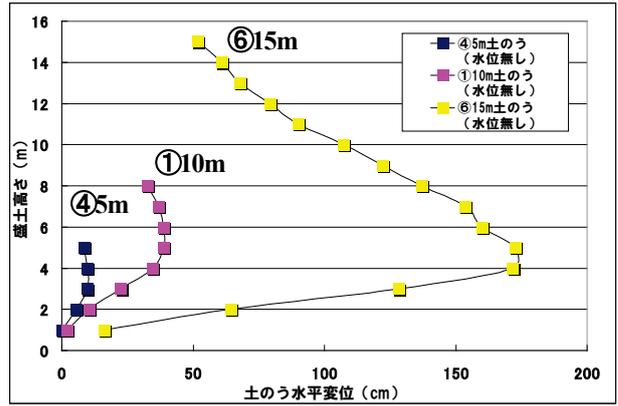


図3-2 盛土高さと水平変位との関係(500gal加振後)

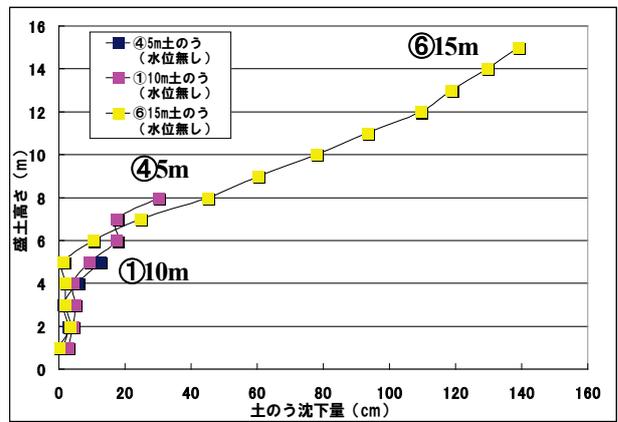


図3-3 盛土高さと鉛直変位との関係(500gal加振後)

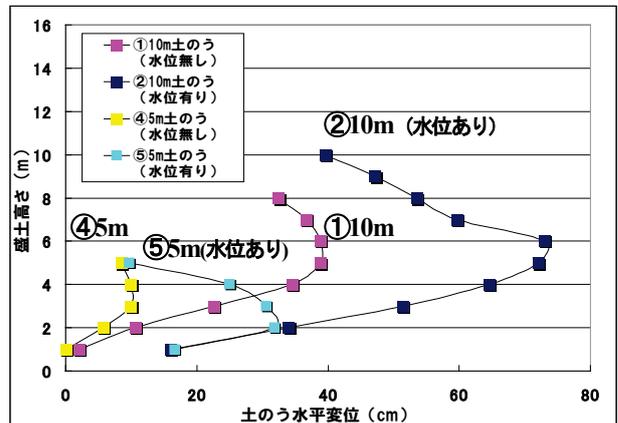


図3-4 盛土高さと沈下量との関係(500gal加振後)  
(水位がある場合、水位がない場合)

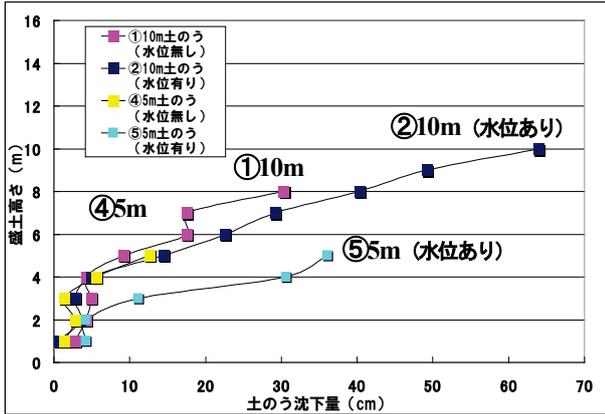


図3-5 盛土高さと水平変位との関係 (500gal 加振後)  
(水位がある場合、水位がない場合)

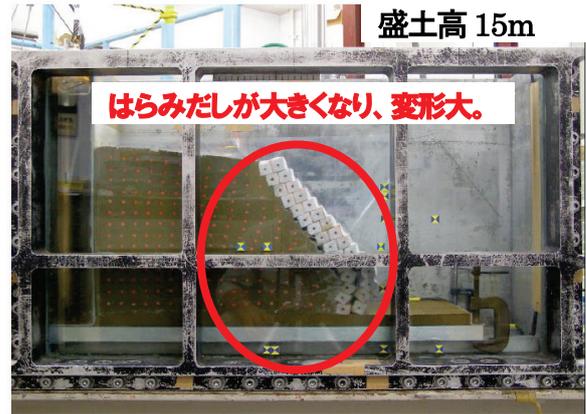


写真3-1: 実験後の盛土崩壊の状況  
(盛土高 15m の場合)

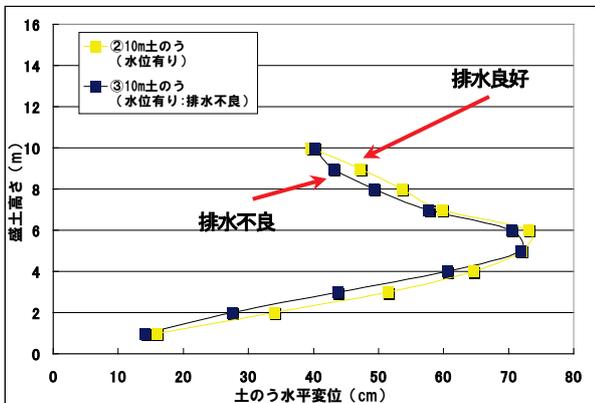


図3-6 盛土高さと水平変位との関係 (500gal 加振後)  
(排水不良がある場合、ない場合)



写真3-2: 実験後の盛土崩壊の状況  
(盛土高 10m の場合)

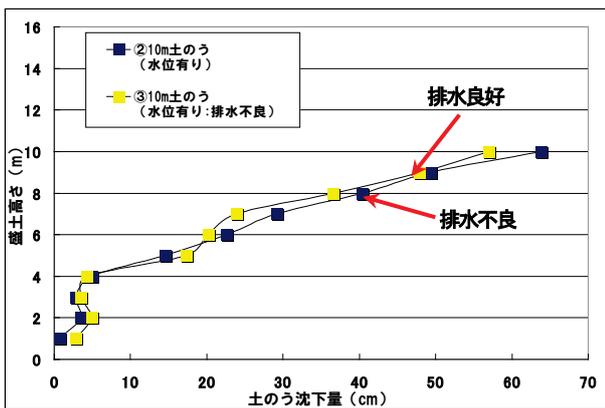


図3-7 盛土高さと沈下量との関係 (500gal 加振後)  
(排水不良がある場合、ない場合)

#### 4. 全体のまとめ

今年度 (H23 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) 道路土工における災害復旧事例の調査・分析

- 災害査定の対象となる道路盛土の多くは、応急復旧に 20 日～50 日間程度を要しており、概ね土工量と復旧日数には比例関係が見られた。
- 応急復旧が長期化する事例では、対策工選定、応急復旧の再施工、迂回路の地形条件の影響(急峻地形、切盛土量の増大) 等である。

特に長期した事例は迂回路確保であり、その条件としては、沢埋めや沢横断盛土で、被災後に山側に切土ができないタイプ、河川沿い道路の災害で、対岸への迂回路が必要となるタイプなどであった。

- 適用されている災害復旧工法については、応急復旧では切土 (迂回路の確保等) と大型土のう積み、

本復旧では擁壁工、補強土工、土工が多用されていることが分かった。

## 2) 二次災害を考慮した大型土のうの遠心模型実験

○大型土のう積みの遠心模型実験（1:0.5の積み勾配、高さ5、10、15、20mの盛土の前面に設置）においては、背面側の盛土からすべりが生じる崩壊形態をとることが、また特に10mを超える規模では、常時及び地震時の安定性の程度に大きく影響することが確認された。

○盛土内に水位がある場合は、変位・沈下量がともに大きくなる傾向が見られた。今回の実験では、土のうの中詰め材の違いによる排水性の影響は見られなかったが、安全な応急復旧、本復旧土構造物の強化復旧を図るうえでは、排水対策の充実が重要事項であることを把握した。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 小橋秀俊：道路土工—各指針の改訂等について 第29回日本道路会議 2011年11月
- 3) 日本道路協会：道路震災対策便覧，2007年3月
- 4) 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
- 5) 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

## STUDY ON NEW RESTORATION TECHNOLOGY FOR LARGE SCALE EMBANKMENT DISASTER

**Budget** : Grants for operating expenses  
General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Geology and Geotechnical  
Engineering Research  
Group (Construction  
Technology)

**Authors** : KOHASHI Hidetoshi  
YABU Masayuki  
MIYAGAWA Satoshi  
KUBO Tetsuya

**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 sand bag