

# 大規模な土砂災害に対応した 新しい災害復旧技術の実大実験

宮武裕昭・澤松俊寿・井上玄己

## 1. はじめに

近年の日本では規模の大きな地震が発生し、1時間降水量50mm以上の年間発生回数もここ40年で1.5倍程度に増加している<sup>1)</sup>。

このような地震・豪雨により、盛土をはじめとした道路土工構造物に甚大な被害が発生する場面がある(写真-1)。崩壊による通行止めは、復旧支援の支障になり、さらに長期にわたると人流・物流等の社会経済活動に影響を及ぼすこととなる。

盛土をはじめとした道路土工構造物が崩壊した場合に、大型土のうを用いた応急復旧が多い。これは大型土のうが緊急時でも比較的容易に入手できること、施工性に優れることが理由である。一方で大型土のうは仮設としての位置づけのもと使用されているため、応急復旧で設置した大型土のうは、本復旧の段階で撤去され、手戻りが生じているのが現状である。

筆者らは、この手戻りをなくすために、応急復旧の際に設置した大型土のうの前面に腹付け盛土をして本復旧を行う工法について検討している。これまでに、系統的に実施した遠心模型実験によって各種の復旧の形状に対する地震時の安定性等を検証した。これにより、盛土内に存置された大型土のうの挙動が問題とならないことを確認している<sup>2)</sup>。本報では、実大規模での試験施工を行い、施工手順・施工上の留意点や大型車の繰返し走行に対する挙動を確認したほか、工事費や通行止めの削減等を試算した結果について述べる。

## 2. 本工法の概要

土木研究所では、過去に降雨および地震による道路盛土の崩壊の事例をもとに、崩壊後の復旧のプロセスについて調査・分析している<sup>3)</sup>。その結果、迂回路や片側交互通行等の対応が困難で復旧までに時間を要した被災事例では、全体の約3割で大型土のうを土留めに用いて応急復旧を行って

いた。その後、本復旧では大型土のうを含め応急復旧盛土を撤去し、盛土や擁壁等の別の工法で本復旧を行うため、撤去の手戻りや再度通行止めが必要となっている(図-1)。このような手戻り等を減らす新しい復旧工法を提案した(図-2)。すなわち、応急復旧では大型土のうに加えてジオテキスタイル補強材を用いる。本復旧では、応急復旧の際に設置した大型土のうを存置した状態でその前面に供用しながら腹付け盛土を構築し、最終的に補強土壁として復旧するものである。このようにして復旧を行うことから、応急復旧から本復旧の過程で通行止めができない箇所でも特に有効であり、また、撤去の手戻り(工期・コスト)を低減することができる。さらには、大型土のう工法とジオテキスタイル補強土壁工法をベースとしていることから、特殊な資機材を必要としない等の利点がある。ただし、応急復旧時にも補強材を敷設するため応急復旧の施工期間が増加することや、



写真-1 地震による道路盛土の崩壊

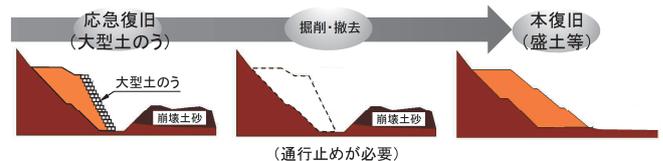


図-1 従来の復旧工法例

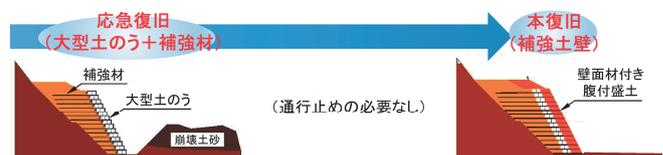


図-2 新しい復旧工法

大型土のうの中詰め材に砕石等の透水性の高い材料を用いる必要があるため資材調達も考慮する必要がある。また、応急復旧断面が本復旧断面の一部となることから、応急復旧段階においても品質管理を適切に行う必要がある。

### 3. 実大実験の方法

#### 3.1 実験概要

土木研究所の構内において、実際の材料を用い応急復旧・本復旧の実際の工程を想定した高さ5mの実験盛土を施工した。施工をとおして、本工法の施工手順や施工上の留意点を確認した。さらには実験盛土に対して大型車の繰返し走行により交通荷重を与えその挙動を確認した。

#### 3.2 実験盛土の構造

実験盛土は、図-3に示すとおり、大型土のう2列を4段配置し（高さ4m）、その上面に1mの嵩上げ盛土を加えて盛土高を5mとした。大型土のう及び補強材を用いて応急復旧盛土を施工した後、大型土のうの前面に腹付盛土をして、本復旧盛土とした。なお、大型土のうは本復旧が完了するまで紫外線にさらされるものであることから、耐候性大型土のうを用いた。後述する走行実験は、応急復旧盛土施工後及び本復旧盛土施工後の各段階で実施した。

#### 3.3 使用材料

実験盛土の構築に使用した材料及び計測機器を表-1に示す。計測機器は、復旧盛土施工中の変位や走行実験に伴う変位計測を行う目的で、復旧盛土内に土圧計、ひずみ測定が可能な光ファイバー

センサー付きジオテキスタイル（以下「OFG」という。）及び水位観測孔を設置し、復旧盛土前面・周辺に地表面変位杭を設置した。計測機器の設置断面図を図-4に示す。また、使用材料の代表写真を写真-2に示す。

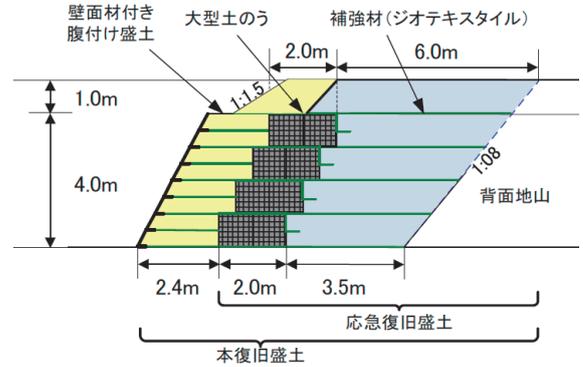


図-3 実験盛土断面図

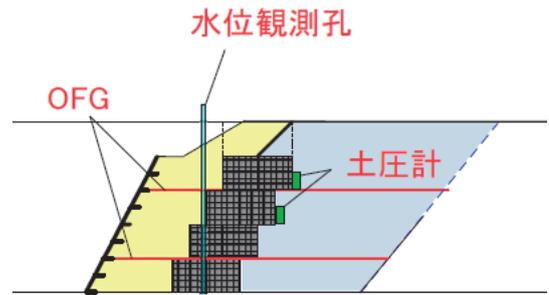
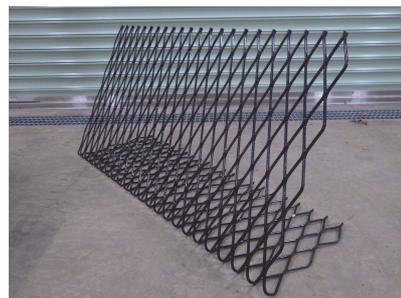


図-4 計測機器設置断面図



(a) 耐候性大型土のう



(b) 壁面材（鋼製枠）

写真-2 使用材料

表-1 復旧盛土に使用した材料・計測機器

	名称	規格
材料	耐候性大型土のう	φ 1100mm×H1100
	壁面材	鋼製枠H=0.5m
	補強拘束ネット付き 植生シート	
	補強材(ジオテキスタイル)	引張強度30,49kN/m
	基盤排水層	RC-40
	大型土のう充填材	RC-40
計測機器	土圧計	
	水位観測計	
	地表面変位杭	変位計測ターゲット
	光ファイバー付き ジオテキスタイル(OFG)	

### 3.4 実験盛土の施工方法

実験盛土を以下の手順で施工した。なお、本実験盛土の施工をとおして明らかとなった事項を含め各手順の留意点も併記する。土のうの製作や設置方法、及び補強材の敷設方法・施工管理基準等は、「耐候性大型土のう積層工法マニュアル」<sup>4)</sup>及び「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」<sup>5)</sup>に準拠して行った。施工状況を写真-3～写真-5に示す。

#### (1) 応急復旧盛土の施工手順

##### (1-1) 基盤排水層設置

基盤面を造成し、砕石による排水層を設けた(写真-3 (a))。

##### (1-2) 補強材敷設

基盤排水層の上に補強材を敷設した(写真-3 (b))。本復旧時の補強材との連結をするために、補強材はたるみがないように敷設した。

##### (1-3) 大型土のう作製・設置

耐候性大型土のうに砕石を中詰めし、大型土のうを製作した。中詰め材充填は筒等の治具を用いて作製効率の向上を図った(写真-3 (c))。本工法では、大型土のうの高さが補強材敷設間隔に影響するため、形状・寸法の管理が重要となる。このため、中詰め材には圧縮性の低い砕石を用い、さらに、最初に大型土のうの高さが1mとなる中詰め材の重量を設定し、以後は重量管理により土のう高さを確保した。その後、大型土のう同士の隙間がないように配置した(写真-3 (d))。

##### (1-4) 裏込め材の敷均し、転圧

大型土のう1段(H=1.0m)あたり4層(1層0.25m)に分けて敷均し、転圧を行った。この際、大型土のう間の隙間にも盛土材を充填し、突き棒で転圧した(写真-3 (e))。

##### (1-5) 大型土のうへ補強材を巻き込み

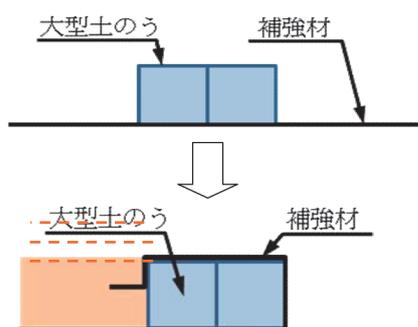


図-5 補強材による大型土のうの巻き込み概要図

大型土のうを補強材でたるみなく巻き込み、一体化を図った(図-5)。



(a) 基盤排水層



(b) 補強材敷設



(c) 大型土のう作製



(d) 大型土のう設置



(e) 盛土材撒き出し・敷均し・転圧

写真-3 応急復旧の状況(その1)

(1-6) (1-2) ~ (1-5) 工程を所定の大型土のう設置高さまで繰返し

(1-7) 嵩上げ盛土及び道路舗装の構築

沈下抑制のため、補強材を敷設して嵩上げ盛土を施工した(写真-4(a))。その後、嵩上げ盛土天端に舗装を行った(写真-4(b)及び(c))。

(2) 本復旧盛土の施工手順

(2-1) 壁面材及び植生シートの設置

腹付け盛土前面に壁面材及び植生シートを設置した。

(2-2) 壁面材と補強材の連結

図-6に示すとおり土のうを損傷しないように、巻き込んだ補強材を切断し本復旧側の補強材と連結させた。なお、補強材同士の連結は専用の接続材を用いた(写真-5(a))。

(2-3) 裏込め材の敷均し、転圧

応急復旧盛土と同様に敷均し、転圧を行った。なお、施工範囲が狭小であるため、転圧不足とな

らないよう入念に転圧を行った(写真-5(b))。

(2-4) (2-1) ~ (2-3) 工程を大型土のう設置高さまで繰返し

(2-5) 嵩上げ盛土の施工(写真-5(c))

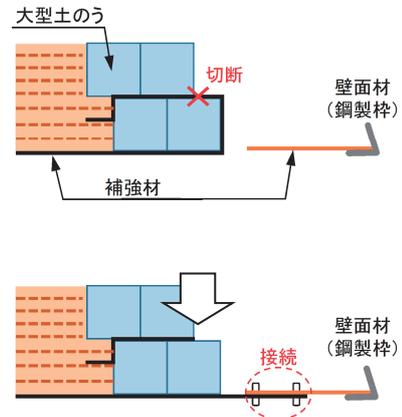


図-6 補強材の連結概要図



(a) 嵩上げ盛土底面の補強材敷設



(b) 復旧盛土舗装(周回道路)



(c) 応急復旧盛土完成

写真-4 応急復旧の状況(その2)



(a) 補強材の連結



(b) 盛土材敷均し・転圧



(c) 本復旧盛土完成

写真-5 本復旧の状況

### 3.5 走行実験の方法

交通荷重の影響による復旧盛土の挙動を確認するために周回道路にて走行実験を実施した（写真-6）。走行実験は鋼板で重量を200kNに調整したダンプトラックを走行させ、舗装表面の沈下量や事前に設置した計測機器等により盛土内部の挙動を調査した。なお、走行回数は応急復旧施工後に200回、本復旧施工後に200回の合計400回とした。



写真-6 走行実験状況（本復旧盛土）

## 4. 実大実験の結果

### 4.1 施工実験の結果

実験盛土の施工は、バックホウ等の土木工事で一般的な機械を使用し、作業員も3名と少数で一連の作業を行うことができた。また、3.4節に示した内容に留意して、良好に施工をすることができた。なお、腹付け盛土は、作業範囲が狭いためハンドガイドローラーやプレートなどの小型転圧機を用いたが、構築した復旧盛土の現場密度を土の締固め試験法（A-c法）及び砂置換法（JIS A 1214）により確認したところ、応急復旧盛土・本復旧盛土とも品質管理基準値（締固め度95%）以上の値が得られた。

### 4.2 走行実験の結果

応急復旧盛土及び本復旧盛土の壁面の水平変位を光波測距儀により測定した結果を図-7に示す。この図は、応急復旧盛土及び本復旧盛土施工後を初期値とし、走行後（200回及び400回）の変位を示したものであるが、応急復旧及び本復旧時ともに変位は-1～6mm程度、すなわち壁高（H=4.0m）の0.15%と非常に小さいことから、問題となるような挙動は示していないと考える。

舗装面沈下量と走行回数の関係図を図-8に示す。なお、沈下量は舗装横断面の中心で計測した。応急復旧盛土については、走行実験開始後30回走行までに27mm程度の沈下が発生し、その後は本復旧盛土を含めて400回まで同様の値で推移した。30回までの沈下は、盛土完成直後の即時沈下であると考えられる。補強土壁は、受動的に引張力が導入されるものであることから、この沈下は問題となる挙動ではないと考える。なお、実務上は施工直後は仮舗装として、沈下が収束した後に、本舗装を行うなどの対応も考えられる。

その他の計測として、実験盛土法肩の地表面変位、盛土内水位、盛土内土圧、補強材のひずみ分

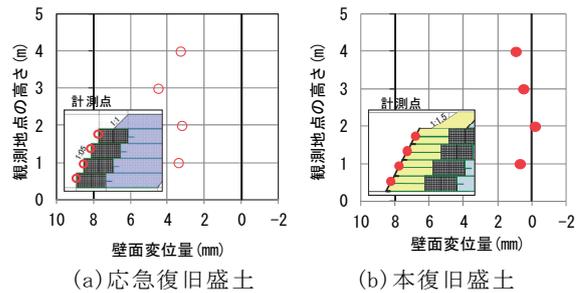


図-7 応急復旧及び本復旧盛土壁面の水平変位量

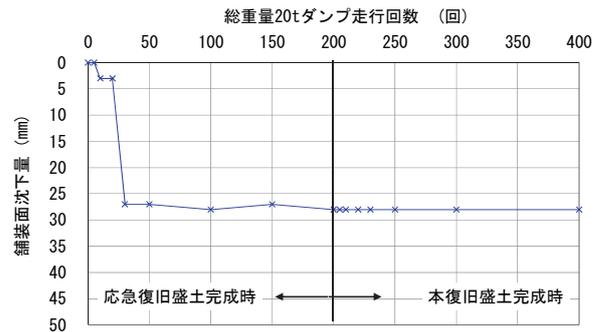


図-8 走行回数と舗装面沈下の関係図

布（OFG測定）を観測したが、施工時及び走行実験中においても変化はほとんど見られなかった。なお、実験終了後も長期的に計測を行い、梅雨時期や台風等の直後も地下水位がなく、盛土内に滞水していないことを確認した。

### 4.3 施工期間・通行止め期間・工事費の試算

実験盛土を対象として本工法にかかる施工期間・通行止め期間・工事費を試算し、従来工法との比較を行った。従来工法は大型土のうを用いて応急復旧し、その後、大型土のうを撤去して補強土壁で本復旧を行った場合である。試算の方法は土木工事積算基準書等によった。

結果は図-9のとおりである。施工期間については、応急復旧時にも補強材を配置するため、従来の大型土のう工法よりも応急復旧で約3割増加するが、本復旧を含めると大型土のうの撤去等の手

戻りをなくせることから約4割減となる。また、応急復旧から本復旧までの間に通行止めを必要としないことから、通行止め期間は約6割減少し、工事費（直接工事費）は約3割減となった。

本工法は山岳部などの迂回路の確保が困難、あるいは大幅な迂回を強いられる箇所では、特に有効であると言える。一方で応急復旧での早期の交通開放を最も重視する場合には適していない。なお、本試算は限られた条件での一事例を対象とした結果であることに留意されたい。

### 5. 施工の手引き（案）の作成

本実験結果を含めた研究成果を踏まえ、大型土のうを用いた災害復旧対策工法施工の手引き（案）<sup>6)</sup>を作成した。これは、耐候性大型土のう積層工法 設計・施工マニュアル<sup>4)</sup>及び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<sup>5)</sup>を基本としつつ、両マニュアルを取り持つ内容としてまとめたものである。

### 6. まとめ

本研究の範囲で得られた結論を以下に示す。

- (1) 実験盛土の施工により、本工法は、大型土のう工法およびジオテキスタイル補強土壁工法で通常用いる材料と一般的な重機及び少数の作業員で施工可能であることを確認した。
- (2) 走行実験において、初期に舗装表面の沈下が生じたが、その後は沈下量は増加せず安定して挙動した。
- (3) 実験盛土を対象とした試算によると、本工法は、従来一般的に行われていた復旧手順と比較して施工期間は約4割減、通行止め期間は約6割減、工事費は約3割減となった。ただし、応急復旧に限ると、施工期間が約3割増加することから、

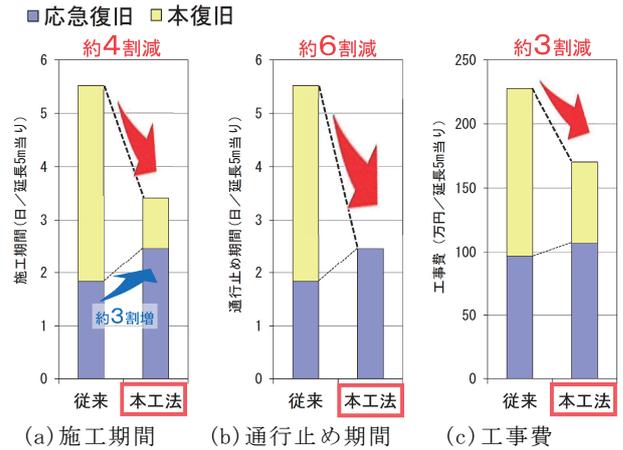


図-9 本工法と従来工法の施工期間・通行止め期間・工事費の比較（試算）

応急復旧での早期の交通開放を最も重視する場合には適していない。

(4) 本工法の基本事項、施工手順や施工上の留意点等を、大型土のうを用いた災害復旧対策工法施工の手引き（案）としてとりまとめた。

実験盛土に対して地震や降雨等に対する安定性を確認するために、今後も継続して観測を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 気象庁 HP (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 2) 森芳徳、宮武裕昭、久保哲也：現場条件を考慮した災害復旧技術に関する動的遠心実験（その1）、第70回土木学会年次学術講演会、2015
- 3) 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、No.4001、2011
- 4) (一財) 土木研究センター：「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル、2012
- 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（第二回改訂版）、2013
- 6) 土木研究所資料第4334号、pp.151～164、2016

宮武裕昭



土木研究所地質・地盤研究グループ  
施工技術チーム 上席研究員  
Hiroaki MIYATAKE

澤松俊寿



土木研究所地質・地盤研究グループ  
施工技術チーム 主任研究員  
Toshikazu SAWAMATSU

井上玄己



土木研究所地質・地盤研究グループ  
施工技術チーム 交流研究員  
Genki INOUE