

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，井上玄己

【要旨】

近年、豪雨や地震による道路盛土等の道路土工構造物の災害が大規模化し、交通機能が遮断され、復旧までに時間を要することで物流に支障を来すことや集落の孤立等の社会的影響が拡大する場合がある。被災によって遮断された交通機能は早期に回復することが求められ、復旧には被災現場の状況に応じて交通機能を効率よく且つ迅速に回復できる工法の選定が必要とされる。本研究では、既往の災害復旧事例を分析し、本復旧の妨げとならない新しい災害復旧技術の確立に向け、大型土のうを用いた本復旧技術への適用性について遠心力载荷模型実験及び実大実証実験により検証した。また、これらの研究成果を基に、「大型土のうを用いた災害復旧対策工法施工の手引き（案）」を作成した。

キーワード：土砂災害，災害復旧，大型土のう，遠心力载荷模型実験，実大実験

1. はじめに

近年、豪雨や地震による道路盛土等の道路土工構造物の災害が大規模化し、交通機能が遮断され、復旧までに時間を要することで物流に支障を来すことや集落の孤立等の社会的影響が拡大する場合がある。被災によって遮断された交通機能は早期に回復することが求められ、復旧には被災現場の状況に応じて交通機能を効率よく且つ迅速に回復できる工法の選定が必要とされる。

既往の文献調査等¹⁾より、道路盛土の崩壊等の災害現場における応急復旧方法として、施工性や資材調達の迅速性の観点から大型土のうを用いた応急復旧が用いられていることが確認されている。大型土のうはバックホウ等の掘削機があれば狭隘な箇所でも一連の復旧作業が可能で施工性に優れること、特殊な技能や機械を必要としないことなどの特徴を有している。しかし、長期的な耐久性や安定性等については十分に検証されていないため、本復旧の際には撤去しなければならない。そのため、本復旧の際

には再度盛土を構築するなどの手戻りが発生し時間を要している。そこで、大型土のうを用いた応急復旧を、そのまま本復旧へ活用することができれば、工期の短縮等に有効であると考えられる。

本研究の年次計画を表-1.1に示す。まず過去の道路盛土等の土砂崩壊現場における災害復旧事例を収集・分析し、復旧技術に求められる要求性能や現場特性を踏まえた災害復旧技術を検討した。次に遠心力载荷模型実験により本復旧の妨げとならない災害復旧工法の基礎実験を実施し安定性の検証を行うとともに、現場で災害復旧を経験された道路管理者及び復旧作業者等を対象にヒアリングを実施し、実現場の施工条件等を考慮した復旧モデルの比較検証を遠心力载荷模型実験により行った。最終的には、実大モデルによる災害復旧盛土を構築し、施工性や交通荷重による影響等を検証した。

表-1.1 研究年次計画

研究項目	研究細目	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	1)文献調査 2)現地被災調査	●	●			
②地震、水、荷重に対する復旧土工構造物の性能評価	1)模型実験 2)現場ヒアリング 3)実大実証実験	●	●	●	●	●
③本復旧の妨げとならない施工方法の開発				●	●	●

2. 土砂災害の災害復旧事例分析

大規模な盛土等の災害における、災害復旧及び仮設構造物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った。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93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。平成22年度には、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。

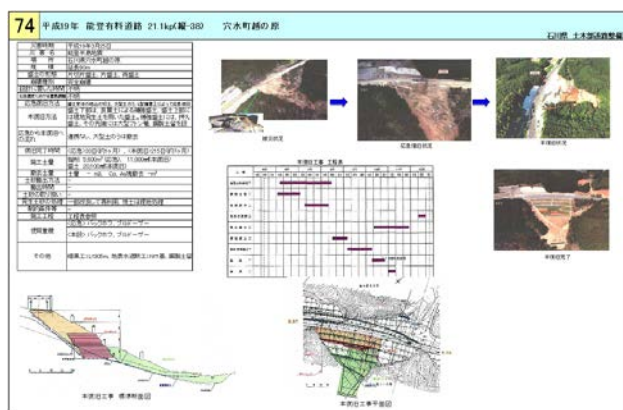


図-2.1 評価シート (例)

(1) 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-2.2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。

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、砕石など
	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	

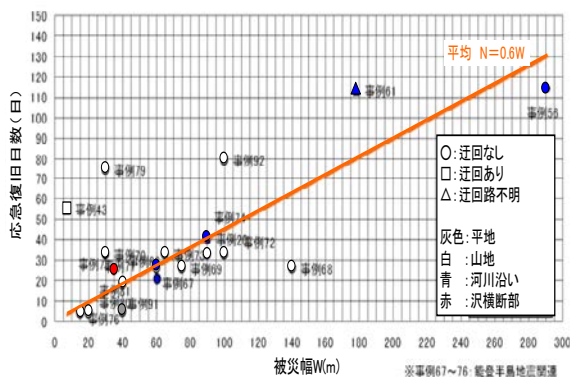


図-2.2 復旧日数と被害幅の関係

(2) 応急復旧工法の割合

図-2.3 に過去の被災現場における応急復旧工法の採用割合を示す。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現場では、道路盛土の崩壊等の災害現場における応急復旧方法として、施工性や資材調達の迅速性の観点から大型土のうを用いた応急復旧が用いられていることが確認できた。

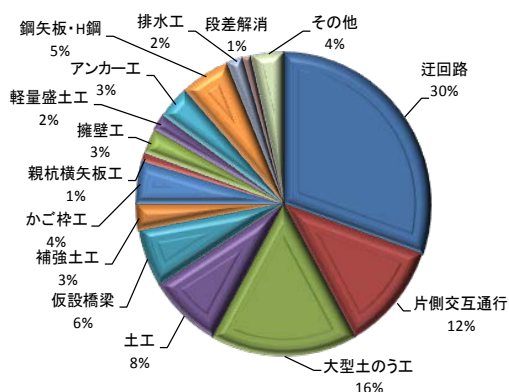


図-2.3 応急復旧工法の採用割合

以上の分析結果から、道路盛土の崩壊等の災害現場における応急復旧方法として、施工性や資材調達の迅速性の観点から大型土のうを用いた応急復旧が用いられていることが確認できた。しかし、長期的な耐久性や安定性等については十分に検証されていないため、本復旧の際には撤去しなければならない。そのため、本復旧の際には再度盛土を構築するなどの手戻りが発生し時間を要している。大型土のうを用いた応急復旧を、そのまま本復旧へ活用することができれば、工期の短縮等に有効であることが見いだせた。

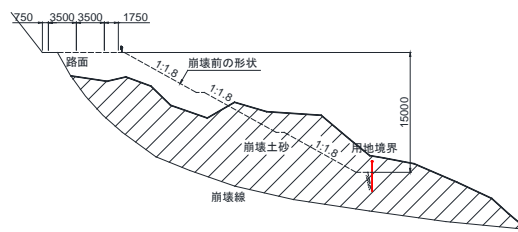
3. 復旧形状の検討

本検討では、既往の調査結果を参考に、大規模災害の被災現場で想定される代表的な事例として図-3.1(a)の崩壊形状を抽出し、応急復旧及び本復旧の形状を検討した。

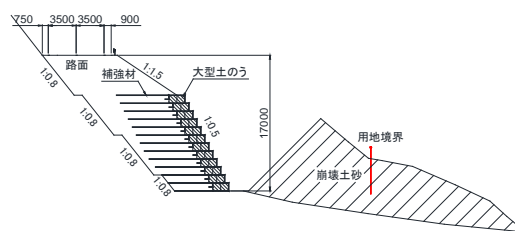
応急復旧の断面形状を図-3.1(b)に示す。応急復旧は早期復旧を基本とするため、崩壊土砂の撤去や切土等の土工量をなるべく低減させること、崩壊土砂を一時的に仮置きするためのヤードを設けるなどの理由から壁面勾配は急勾配 (1:0.5) とした。また、復旧する土工構造物は高盛土となるため、盛土の安定性を確保するために、補強材 (ジオテキスタイル)

を敷設することとした。

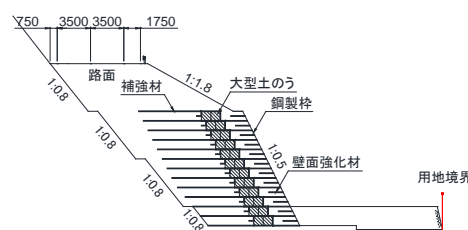
本復旧の断面形状を図-3.1(c)及び(d)に示す。地山が近接し施工スペースの確保が困難な現場に対しては、前面に急勾配で腹付盛土を設置する構造 (図-3.1(c) : 補強土タイプ)、比較的用地や施工条件等の制約がない現場に対しては、前面を安定勾配で盛土する構造 (図-3.1(d) : 安定勾配タイプ) の2種類を考案した。



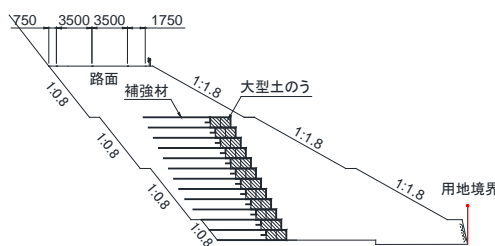
(a)大規模災害で想定される崩壊形状



(b)応急復旧の断面形状



(c)本復旧の断面形状 (補強土タイプ)



(d)本復旧の断面形状 (安定勾配タイプ)

図-3.1 考案した復旧断面形状

4. 動的遠心力載荷模型実験

大型土のうはバックホウ等の掘削機があれば狭隘な箇所でも一連の復旧作業が可能で施工性に優れること、特殊な技能や機械を必要としないことなどの特徴を有している。大型土のうを用いた応急復旧を本復旧へ活用するためには、本復旧の際に支障を来たさない構造（本復旧）の検討、大規模（高盛土）復旧時の変形挙動や安定性の確認、使用部材の耐久

性についての検証が必要である。そこで、表-4.1に示すように、大型土のうを活用した災害復旧技術について、基本的な構造安定性の検証や実現場の施工条件等を考慮した動的遠心力載荷模型実験を実施した。

以降に平成 26 年度に実施した災害復旧関係者へのヒアリングとその結果を踏まえた遠心力載荷模型実験の結果を示す。

4.1 災害復旧関係者へのヒアリング

復旧形状の安定性を検証するための動的遠心力載荷模型実験を実施するにあたり、実際に現場で災害復旧を経験された直轄国道の道路管理者及び復旧作業（施工業者）を対象に、図-3.1の復旧形状等についてヒアリングを実施した。ヒアリングの項目は、①施工上や構造上の問題が生じると思われる事項、②現場で活用するために必要と思われる改良点、③実験において計測等により確認しなければいけないと思われる事項、その他、被災現場における土工工事（復旧工事）の実情等に関して、道路管理者及び復旧業者ともに同様な内容とした。

表-4.1 遠心力載荷模型実験の着眼点

年度	遠心力載荷模型実験における着眼点
23年度	・土のうの積み方による地震時の安定性と変形(H22) ・盛土内水位を有する場合の排水確保の有無による影響(H23)
24年度	・盛土材及び土の中詰め材の密度の違いによる影響 ・排水材設置の有無による影響 ・補強材敷設の有無による影響
25年度	・背面地山の違いによる影響 ・上載盛土の有無による影響 ・盛土の密度の違いによる影響
26年度	・災害復旧現場経験者へのヒアリング結果を反映 ・土のうの配列の違いによる影響 ・本復旧形状の違いによる影響 ・盛土内排水手法の影響

表-4.2 ヒアリング結果

道路管理者（発注者（地方整備局・河川国道事務所））	
①	大型土のう間に隙間が生じ、 <u>水みちや盛土材の流出</u> が懸念。
②	大型土のう設置箇所の <u>締固め不足</u> による沈下が懸念。
③	大型土のうを残置することで <u>本設構造物としての品質確保</u> が懸念。
④	大型土のうの設置位置は、 <u>交通荷重の影響を直接受けない範囲</u> にすべき。
⑤	盛土高さが高い場合、 <u>下層部を3列配置</u> にした方が施工性や安定性が向上。
⑥	のり面勾配を1:0.5にした場合、施工時の安全対策が必要。
⑦	大型土のうの品質管理が必要。施工及び品質はオペレータの技量に左右される。
⑧	本復旧であれば、大型土のうの長期的耐久性の検証が必要。
⑨	大型土のうを擁壁（補強土）として考える場合、設計法および維持管理の手法が必要。
⑩	上記の懸念事項等が解決できれば有効な復旧方法。
復旧作業（施工業者）	
①	大型土のうの間に隙間が生じ、 <u>水みちや盛土材の流出</u> が懸念。
②	大型土のう設置箇所の <u>締固め不足</u> 等による沈下が懸念。
③	大型土のう自体に排水機能を付加することは、しっかり施工できていれば問題ない。
④	<u>腹付盛土</u> ののり面勾配は、施工性等も勘案すると <u>1:0.8</u> 程度が限界。
⑤	崩壊した土砂を崩壊面から完全に除去することが、その後の作業性や安全性に大きく影響。
⑥	大型土のう間の隙間対策として、現場では流動化処理土を充填。
⑦	鋼製壁面材の使用は <u>施工性</u> や復旧の <u>迅速性</u> を勘案すると現実的でない。
⑧	復旧するのり面表面は、 <u>植生シート</u> を用いて保護すると効果的。
⑨	実現場では大量の大型土のうや矢板等を確保する必要があり、 <u>材料調達・手配が困難</u> 。
⑩	補強材を敷設する作業はあまり手間だとは思わない。
⑪	現地発生土を利用する際は、 <u>土質により安定処理</u> が必要な場合もある。
⑫	基本的に大型土のうを用いて本復旧することは可能。

ヒアリングの主な意見を表-4.2に示す。道路管理者・復旧作業者ともに、①大型土のう間に隙間が生じ、水みちや盛土材流出、②大型土のう設置箇所の締固め不足による沈下、等を懸念する意見があった。また、道路管理者からは、①大型土のう残置による盛土の品質確保が懸念、②大型土のう設置位置は交通荷重の影響範囲外とすべき、との意見があり、復旧作業者からは、①腹付盛土（補強材無し）ののり面勾配は1:0.8程度が限界、②大型土のう自体の排水機能の付加はしっかり施工出来ていれば問題ない、等の意見があった。これらの意見を踏まえ、実験ケースを設定した。

4.2 実験概要

実験は最大遠心加速度が100Gまで対応可能なビーム型の動的遠心力载荷実験装置を用いた（写真-4.1）。模型は遠心力の相似則から、実スケールの1/50とした。模型地盤は、写真-4.2に示す長さ1m×高さ0.5m×幅0.2mの土槽内に、高さ240mm（実スケールで12m相当）となるように大型土のう（12段積み）、盛土及び補強材を敷設し、更にもうその上に高さ100mm（実スケールで5m相当）の嵩上げ盛土を構築した（写真-4.3）。



写真-4.1 実験装置



写真-4.2 土槽



写真-4.3 模型地盤（補強土タイプ）

実験ケースは、本設構造物（本復旧）としての安定性に着目し、大型土のうを残置させた状態において、地震動に対する地盤の変状や地下水位を与えた場合の排水機能を明らかにするために、腹付盛土の形状、大型土のうの配列、盛土内の排水条件（盛土下層部の基盤排水層及び土のうの中詰め材の排水機能の有無）等をパラメーターとして設定した。各ケースの仕様を表

-4.3に、補強土タイプと安定勾配タイプの代表的な断面形状を図-4.1に示す。CASE-1は、土のうは配列せず一般的に本設構造物として採用されている補強土を模擬したケースとし、CASE-2、CASE-6は、排水性能を有する大型土のうを適用したケースとした。CASE-3、CASE-7は、大型土のうの背面にベントナイト層を設けることで大型土のうの排水性能を低下（不透水）させ、CASE-4、CASE-8は、大型土のうの配列を上部（2列）と下部（3列）で変化させた。配列の変化点は、既往の実験結果等を考慮して大型土のうの設置高さの1/2とした。CASE-5は一般的な安定勾配で復旧した盛土（無補強）を模擬したケースとした。

表-4.3 実験ケース

ケース	腹付盛土形状	土のう配列	基盤排水層	土のう中詰め材
CASE-1	補強土タイプ	無し	全面	—
CASE-2	タイプ（勾配1:0.5）	2列	部分	透水
CASE-3	タイプ（勾配1:0.5）	2列	部分	不透水
CASE-4	タイプ（勾配1:0.5）	2、3列	部分	透水
CASE-5	安定勾配タイプ	無し	全面	—
CASE-6	タイプ（勾配1:1.0）	2列	部分	透水
CASE-7	タイプ（勾配1:1.0）	2列	部分	不透水
CASE-8	タイプ（勾配1:1.0）	2、3列	部分	透水

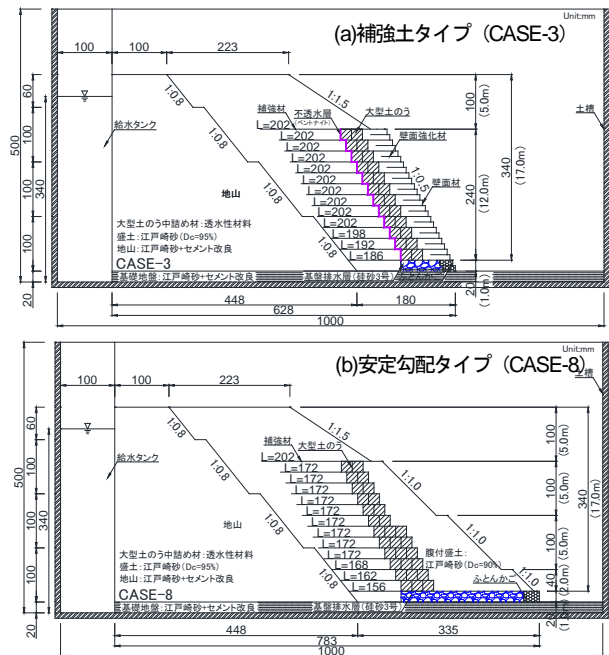


図-4.1 実験ケースの断面形状例

模型を製作するに当たり、大型土のうは不織布（透水係数： 2.7×10^{-2} cm/s）を用い、縦20×横20×高20mm（実スケールで1.0×1.0×1.0m相当）の立方体に作成した（写真-4.4）。大型土のうの中詰め材には7号砕石とジリコンサンドを混合した材料（ $\rho_t = 1.80\text{g/cm}^3$ ）を用いた。補強材は実スケールで必要と

なる引張剛性 $E \cdot t$ (E : 弾性係数, t : 厚さ) が本実験の相似則に合うようにポリエチレン製のジオテキスタイル ($E \cdot t = 36.0 \text{ kN/m}$) を使用した. 補強材の敷設長及び引張剛性は, ジオテキスタイルを用いた設計・施工マニュアル⁴⁾により算出した. 補強土タイプの腹付盛土の壁面材には, 高さ10mmのステンレス製のL型アングルを使用した. 補強材とL型アングルとは接着剤を用いて接続した (写真-4.5). 盛土材は表-4.4に示す江戸崎砂を用いた. 盛土の締固め条件は, 実際の現場条件を想定し, 補強土領域は締固め度 $D_c = 95\%$, CASE-5及び腹付盛土の領域は締固め度 $D_c = 90\%$ とした. 基礎地盤及び盛土背面の地山は, 江戸崎砂とセメントを混合した改良土を用いて堅固な地山条件を再現した.



写真-4.4 大型土のう



写真-4.5 壁面材と補強材

表-4.4 盛土材 (江戸崎砂) の物性

項目	$D_c = 90\%$	$D_c = 95\%$
土粒子の密度	2.746	
粒度分布	礫分 (%)	—
	砂分 (%)	91.7
	シルト分 (%)	3.7
	粘土分 (%)	4.6
均等係数 U	3.09	
透水係数 (cm/s)	1.10×10^{-4}	1.02×10^{-3}
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.761	1.578
最適含水比 (%)	18.0	
湿潤密度 (kN/m^3)	17.27	18.27
粘着力 c (kN/m^2)	5.15	14.21
せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	33.72	35.76

4.3 実験手順

実験は, 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盛土背面の地山から水を盛土内に供給した. その後, 盛土内の間隙水圧が安定した後に入力加速度150, 250gal (レベル1相当), 350, 500gal (レベル2相当) の正弦波 (2.0Hz) を20波ずつ段階的に加振した. 計測器の配置を図-4.2に示す. 計測項目

は, 標点による盛土及び大型土のうの変位, 盛土内の土圧, 応答加速度, 間隙水圧, 及び補強材のひずみ等とした.

4.4 実験結果

4.4.1 盛土全体の挙動

写真-4.6に加震後の実験断面の例を示す (CASE-6). 安定勾配タイプでは, 前面の腹付盛土の領域ですべり崩壊が生じているが, 地山と大型土のうに挟まれた領域では, 地山境界部で僅かなクラックが発生したものの大規模な変状は生じていないことが確認できた. 補強土タイプは, 腹付盛土も含めて大規模な変状は生じなかった.

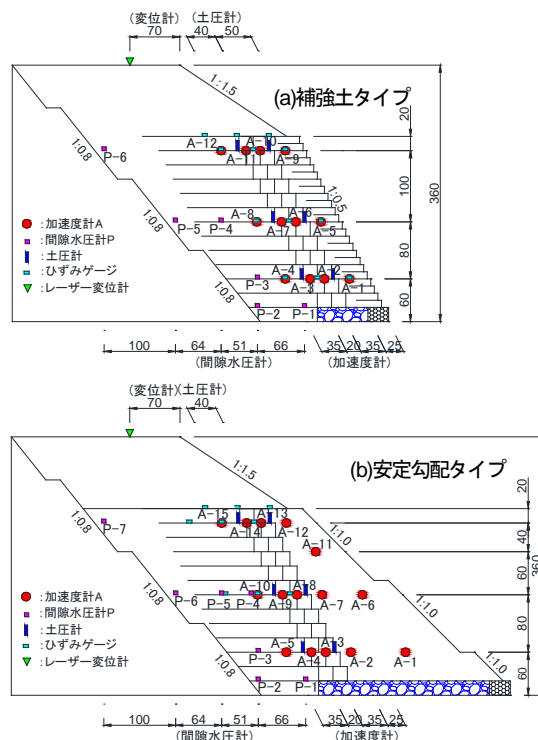


図-4.2 計測器の配置

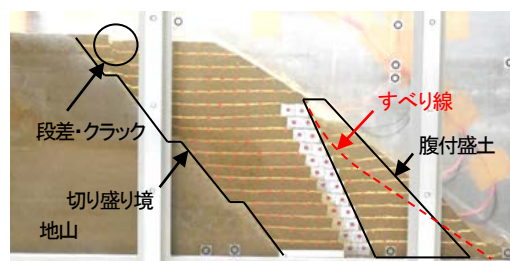


写真-4.6 加震後の状態 (CASE-6)

図-4.3に各ケースの入力加速度250gal加振後と350gal加振後における盛土の相対変位分布を示す. 何れのケースにおいても, 土粒子の変位量は盛土下部では微小であり, 盛土上部で多く生じる傾向を示した. また, 排水条件だけが違うCASE-2とCASE-3, 及び

CASE6とCASE7を比較することにより、盛土の変形は盛土の含水状態が影響し、排水性を有する大型土のうの適用は、盛土の変形を抑制することが確認できた。

図-4.4、図-4.3と同条件におけるせん断ひずみ分布例（CASE-2、CASE-6）を示す。せん断ひずみは補強材が敷設されていない地山付近の盛土箇所や、安定勾配タイプにおいては腹付盛土で顕著に見受けられ、無補強領域で生じていることが確認できた。

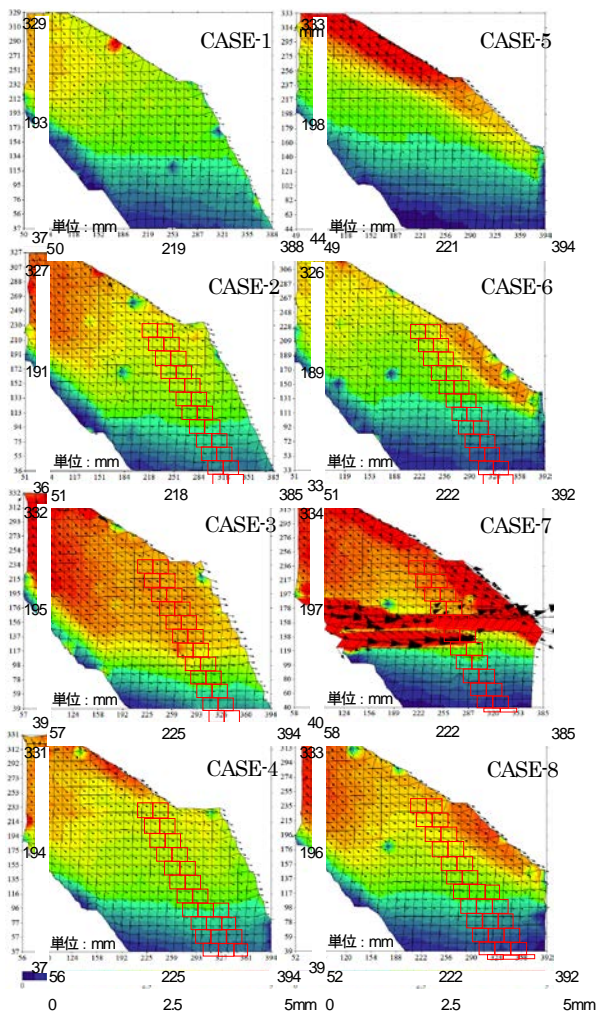


図-4.3 相対変位分布

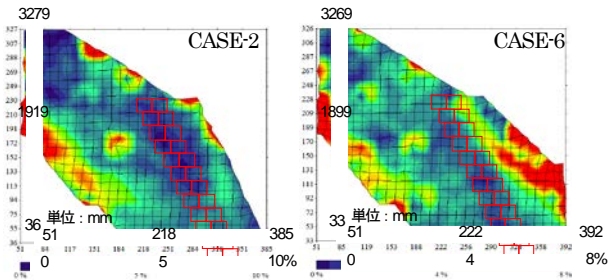


図-4.4 せん断ひずみ分布

4.4.2 大型土のうの挙動

図-4.5は加振後における後列（地山側）の大型土のうと大型土のうの背面に位置する盛土に設けた標点の水平変位の相関を示す。大型土のうと盛土の水平変位は同程度の変位を示しており、0.9程度の強い相関性が認められ、大型土のうと盛土は一体的に挙動していることが確認できた。

図-4.6は、入力加速度500gal 加振後における後列（地山側）の大型土のうの水平変位を示す。大型土のうの変形は、補強土タイプと安定勾配タイプで異なる挙動を示した。補強土タイプでは盛土下部からはらみ出す変形を、安定勾配タイプでは盛土下部の水平変位は抑制され、中間付近から水平変位が増加する変形を示した。これは、大型土のう前面に腹付けた盛土の影響によるものと考えられる。

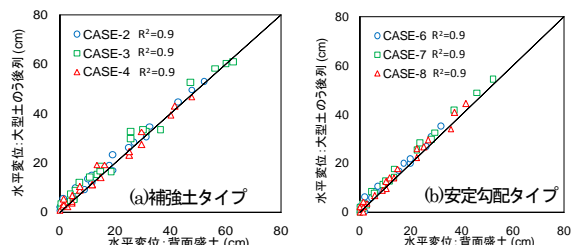


図-4.5 大型土のうと盛土の挙動（水平変位）

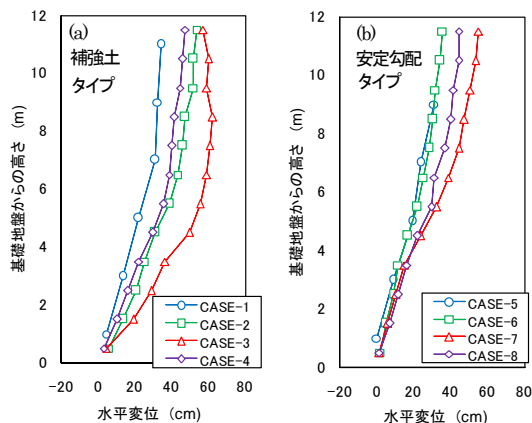


図-4.6 大型土のうの水平変位（後列）

4.4.3 応答変位

図-4.7は、入力加速度500gal 加振時における補強土タイプ（CASE-2）及び安定勾配タイプ（CASE-6）の隣接した大型土のうの応答変位を示す。前列と後列の大型土のうの応答変位は、振幅の大きさが異なるものの、概ね同位相の傾向を示した。この結果から、地震動等の作用による土のう間における隙間や水みち等の発生の可能性は低いことが確認できた。

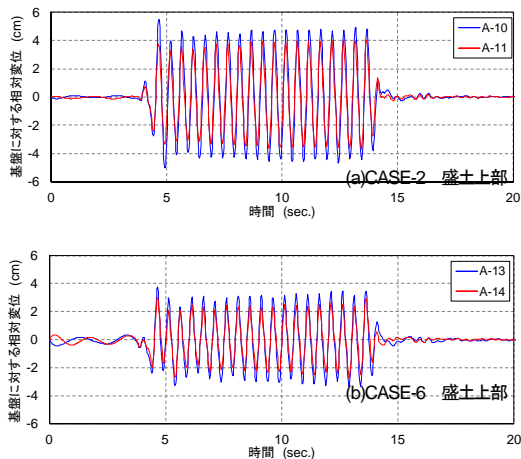


図-4.7 隣接した大型土のうの応答変位例

4.4.4 間隙水圧

図-4.8は、盛土底盤における地山との境界付近に設置した間隙水圧計P-2（実線）及び盛土の中間に位置する間隙水圧計P-4（破線）の加振時における過剰間隙水圧（最大値）の変化を示す。大型土のうの中詰め材の違いによる盛土底部（実線）の間隙水圧を比較すると、補強土タイプ及び安定勾配タイプともに、不透水状態にあるCASE-3やCASE-7の方が、透水状態であるCASE-2やCASE-6よりも高い値を示した。この結果から、排水機能を有する大型土のうの適用が過剰間隙水圧の抑制に有効であることが確認できた。

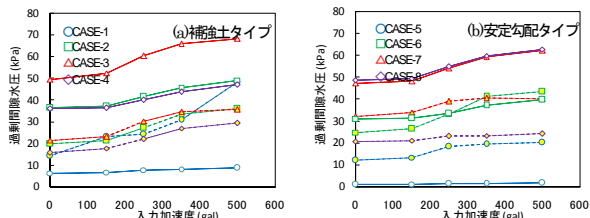


図-4.8 過剰間隙水圧（最大値）

4.5 遠心力载荷模型実験のまとめ

大型土のうを用いた本復旧盛土の適用性について、動的遠心力模型実験を実施し、以下の知見が得られた。

- ①排水性能を有する大型土のうの適用は、盛土の変形及び過剰間隙水圧の抑制に有効である。
- ②隣接する土のうは一体的な挙動を示しており、隙間や水みち等の発生は確認されなかった。
- ③下層部を3列配置にした場合でも、2列配置と同様な挙動であり局部での変形等は見られなかった。

5. 実大実験

遠心力载荷模型実験で検証してきた復旧盛土（大

型土のうと補強土を組み合わせた構造）を実大規模で構築し、走行実験による交通荷重载荷を実施し、復旧盛土の施工性及び交通荷重の影響を確認し、実現場への適用性を検証した。

5.1 復旧盛土の構造

復旧盛土構築は、A及びB区間の2パターンの復旧盛土とした（図-5.1、図-5.2参照）。図-5.2に示すとおり、A区間の復旧盛土は、各段とも奥行き方向に大型土のう2列配置とし、B区間は、大型土のう1段目及び2段目を奥行き方向3列配置とし、両パターンとも大型土のう4段計4mに上載盛土1mを併せて盛土高5mとした。

復旧盛土の構築は、実現場で求められる早期復旧を基本とした応急復旧と応急復旧で構築した大型土のうを残置させた状態のまま前面に腹付盛土を設置する本復旧の2段階に分けて施工を行った。後述する走行実験は、応急復旧盛土完成後及び本復旧盛土完成後の各段階で実施した。なお、大型土のうを恒久的に残置することから、耐候性大型土のうを用い、盛土の安定性を確保するために、補強材（ジオテキスタイル）を敷設することとした。

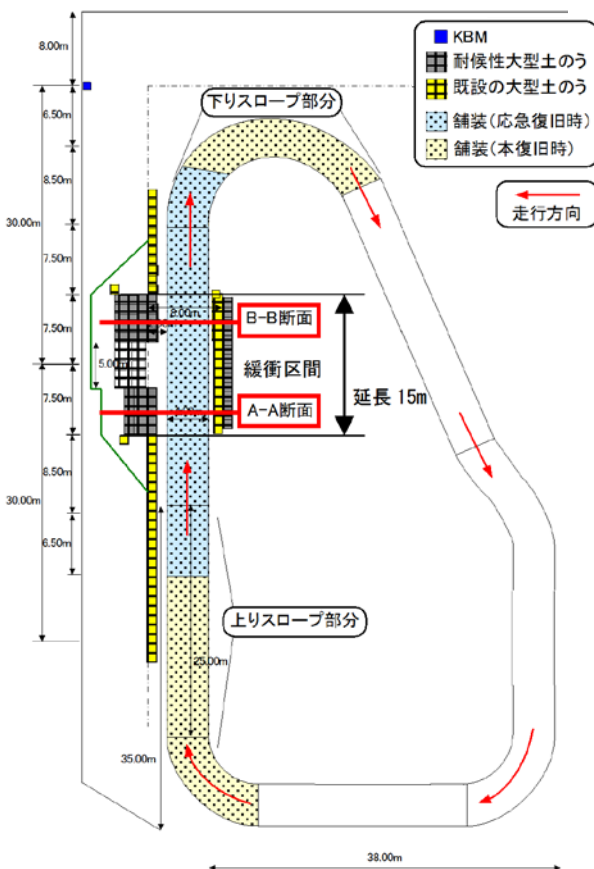
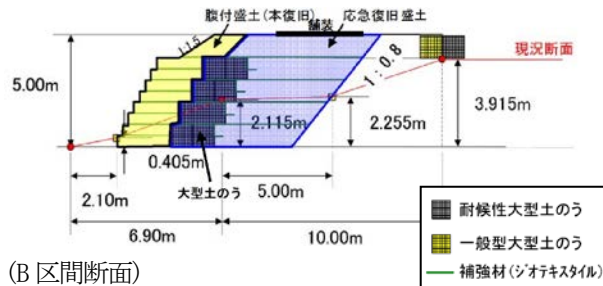


図-5.1 実大実験平面図

(A 区間断面)



(B 区間断面)

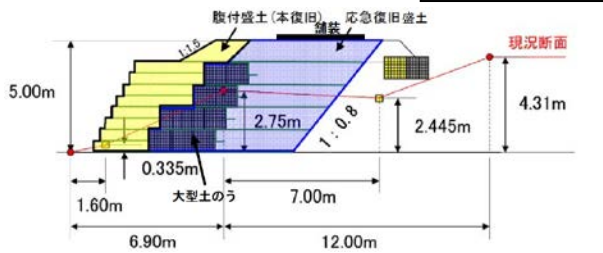
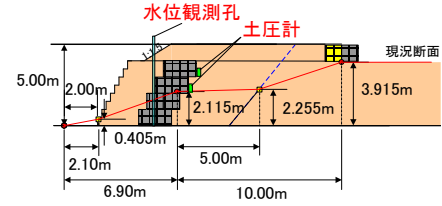


図-5.2 復旧盛土断面図

(A-A断面側)



(B-B断面側)

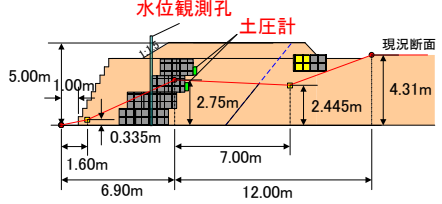


図-5.2 計測機器設置断面図

5.2 使用材料・計測機器

復旧盛土の構築で使用した材料・計測機器等を表-5.1に示す。計測機器は、復旧盛土施工中の変位や復旧盛土施工後に行う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。なお、計測機器の設置断面図を図-5.2に示す。また、使用材料・計測機器の代表写真を写真-5.1に示す。

表-5.1 使用材料・計測機器一覧

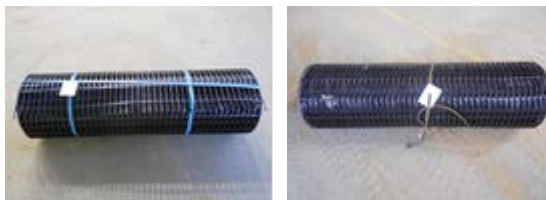
材料名	規格
耐候性大型土のう	φ1100mm×H1100
壁面材	H=0.5m
層厚管理材	SP-70E*BS 1*50
補強拘束ネット付植生シート	SG-SP17MTG*GR25
補強材 (ジオテキスタイル)	HG-50 (T=30kN/m) HG-80 (T=49kN/m)
壁面補強材	UC-20
基盤排水層	RC-40
大型土のう充填材	RC-40
土圧計	EEP-5301D, EM-M01T
水位観測計	水位観測孔, SKT-2C-50A(水位計)
地表面変位杭	変位計測ターゲット



(a) 耐候性大型土のう及び壁面材



(b) 層厚管理材及び補強拘束ネット付植生シート



(c) 補強材及び壁面補強材



(d) 土圧計及び水位計

写真-5.1 使用材料・計測機器写真

5.3 造成方法

復旧盛土の造成手順は以下のとおりである。また、作業の代表写真を写真-5.2に示す。

- 1: 大型土のう設置面に補強材敷設(a)。
- 2: 大型土のう設置(b)。

- 3: 裏込め材の撒き出し, 敷均し, 転圧(c).
- 4: 1~3の作業を大型土のう4段まで繰返し.
- 5: 上載盛土部を構築(d). 応急復旧盛土完成.
- 6: 壁面材及び植生シートの設置(e).
- 7: 裏込め材の撒き出し, 敷均し, 転圧(f).
- 8: 6及び7を大型土のう設置高まで繰り返す.
- 9: 腹付部上載盛土を構築(g). 本復旧盛土完成.



(a) 補強材敷設



(b) 大型土のう設置



(c) 裏込め材敷均し



(d) 上載盛土構築・応急復旧盛土完成



(e) 壁面材及び植生シート設置



(f) 裏込め材敷均し



(g) 腹付部上載盛土構築・本復旧盛土完成



写真-5.2 復旧盛土施工状況

準(D=95%)で行っており, 表-5.2 に示すと通りの締固め度が得られた.

表-5.2 現場密度試験結果及び締固め度一覧表

試験箇所	湿潤密度 $\rho_t(\text{g}/\text{cm}^3)$	含水比 w (%)	乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	締固め度 Dc (%)	
仮復旧	1段目	1.773	16.9	1.516	96.1
	2段目	1.817	16.7	1.558	98.8
	3段目	1.741	14.3	1.524	96.6
	4段目	1.814	18.2	1.535	97.3
	上載盛土	1.762	17.5	1.500	95.1
本復旧	3段目	1.790	19.1	1.502	95.2
	4段目	1.774	17.3	1.512	95.9
	3段目	1.787	19.2	1.500	95.1
	4段目	1.777	17.9	1.508	95.6

大型土のう設置作業時間は, 5m 区間1段当たり作業員3名で1時間程度であった. B区間は, 大型土のうを3列配置するため, 大型土のう設置時の安定性に優れていることが観察できたが, 裏込め工が完了した時点では, A区間及びB区間の安定性に差異は見られなかった.

応急復旧盛土をそのまま利用する本復旧盛土の施工においても問題はなく, 大型土のうの撤去を必要としないため, これまでの復旧工事より時間短縮が可能であり, 現場適用性は十分にあると判断できる.

5.5 走行実験

(1) 実験概要

走行実験は, 応急復旧完了時及び本復旧完了時の各段階で10t級ダンプトラック(総重量20t)を走行させ, 表層部の沈下量や事前に設置した計測機器等による復旧盛土内部の変状等を調査した. なお, 走行実験回数は, 応急復旧盛土完了時200回, 本復旧盛土完了時200回の合計400回とした. 写真-5.3に走行実験状況を示す.



写真-5.3 走行実験状況

(2) 実験結果

走行実験結果を目視観察記録, 舗装面沈下量, 復旧盛土変位, 復旧盛土内土圧の各項目毎に述べる.

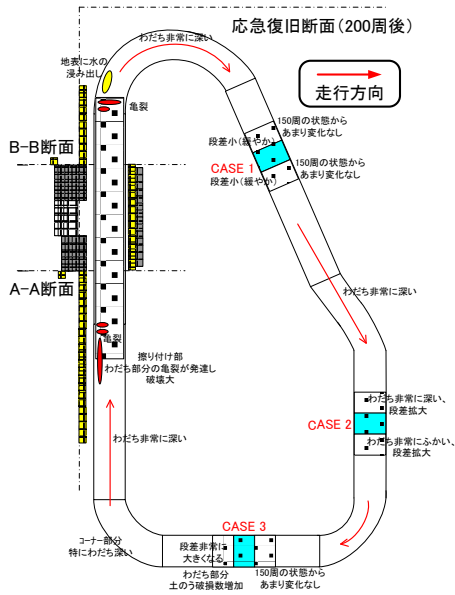
5.4 施工結果

施工を通して, 一般的なバックホウ等の機械および作業員数名で狭隘な箇所でも一連の復旧作業が可能であった. なお, 復旧盛土の締固め度は, 施工基

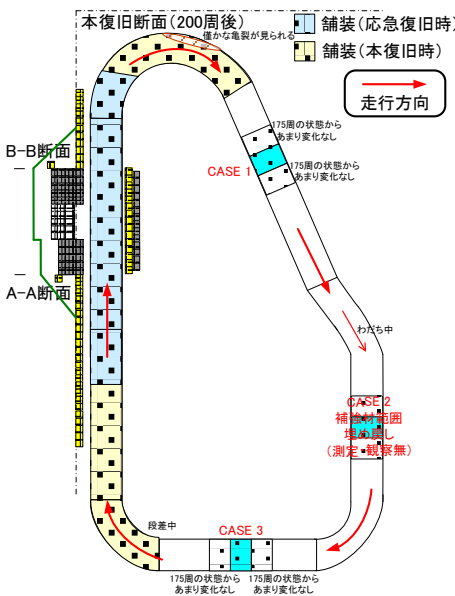
【目視観察記録】

応急復旧盛土完成後：復旧盛土天端及び法面の変状は見られない。また、周回道路の舗装摩り付け部や舗装していない箇所においては、亀裂やわだちが走行実験初期に発生し、走行回数を重ねるごとに変状が進行した（図-5.3(a)参照）。

本復旧盛土完成後：応急復旧盛土完成後の走行実験同様に、復旧盛土自体の変状は見られない。なお、周回道路の変状を起こしていた箇所は、修復を行っており、本復旧盛土完成後の走行実験では特に大きな変状は見られなかった（図-5.3(b)参照）。



(a) 応急復旧盛土完成時の走行実験後



(b) 本復旧盛土完成時の走行実験後

図-5.3 周回道路目視確認結果図

【復旧盛土舗装道路の沈下】

舗装面沈下量は、図-5.4に示す計測位置をレベル測量により測定した。測定結果の一覧を表-5.3及び図-5.5に示す。

応急復旧盛土完成後：舗装面の沈下量は、走行実験終了(200回走行)でA断面が40mm、B断面が28mmと僅かではあるが、A断面の沈下量がやや大きい結果となった。これは、B断面が大型土のう設置数が多く、盛土土量がA断面より少ないためだと考えられる。また、走行開始から30回走行までに35mmの沈下が見られ、その後の沈下は僅かである。

本復旧盛土完成後：A及びB断面ともに本復旧盛土完成後の走行実験では沈下はほとんど見られなかった。

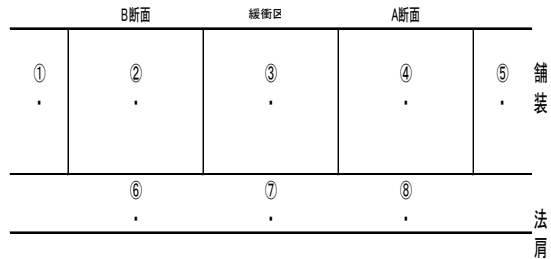


図-5.4 舗装面沈下量測定位置図

表-5.3 舗装面沈下量一覧表
(a) 応急復旧盛土完成後の走行実験

計測日	周回数	距離 (m)					法肩近傍		
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
2015/12/3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015/12/4	2	0.1	0.5	0.3	1.1	0.5	0.3	0.8	0.0
"	5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.5	0.0
"	10	0.0	0.3	0.2	1.0	0.5	0.0	0.5	0.0
"	15	0.1	0.3	0.3	1.0	0.5	0.0	0.5	0.0
"	20	0.2	0.3	0.4	1.1	0.5	0.0	0.5	0.0
2015/12/7	30	2.5	2.7	2.5	3.3	3.0	2.5	3.0	2.5
"	50	2.5	2.7	2.6	3.5	3.0	2.5	3.0	2.5
"	100	2.5	2.8	2.8	3.5	3.0	2.5	3.3	2.5
2015/12/8	150	2.7	2.7	3.0	4.0	3.2	2.5	3.5	2.7
"	200	2.7	2.8	3.0	4.0	3.2	2.8	3.5	2.7

※走行回数0回を初期値とした。沈下量単位 (cm)

(b) 本復旧盛土完成後の走行実験

計測日	周回数	距離 (m)					法肩近傍		
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
2016/1/6	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016/1/7	10	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0.5	0.5
"	50	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0.5	0.5
"	100	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0.5	0.5
2016/1/8	150	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0.5	0.5
"	200	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0.5	0.5

※走行回数0回を初期値とした。沈下量単位 (cm)

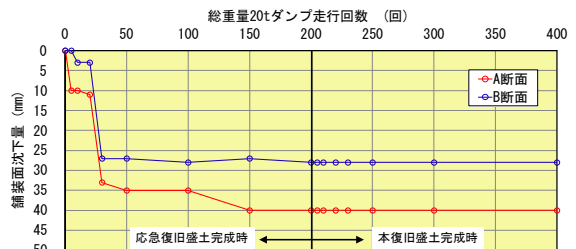


図-5.5 舗装面沈下図(A断面及びB断面)

【復旧盛土法面の変位】

法面変位測定は、光波測量により大型土のう表面及び復旧盛土法面を計測した。図-5.6に測定結果を示す。なお、復旧盛土法面を正面に見て、法面左右方向を水平、法面横断方向を奥行きとした。

応急復旧盛土完成後及び本復旧盛土完成後の走行実験においても、A断面、B断面の法面変位は、水平・奥行き方向とともに数mm程度と小さく、交通荷重による影響はほとんど見られない。また、A断面及びB断面の復旧盛土構造の違いによる差は明瞭ではない。

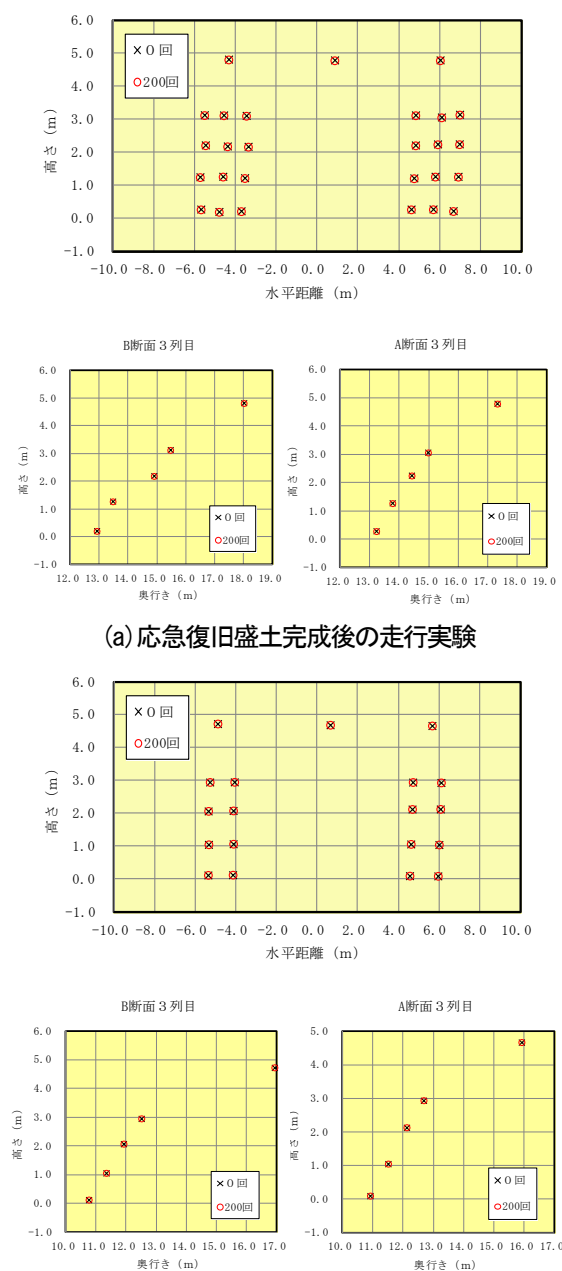


図-5.6 法面変位測定結果図

【復旧盛土内の土圧変化】

復旧盛土内の大型土のう背面に設置した土圧計測は、施工段階から本復旧盛土完成及び走行実験終了後も計測を行った。施工盛土の進捗及び大型土のう背面の土圧計測結果及び土被り圧比(発生土圧/土被り圧)を図-5.7に示す。

図-5.7よりA断面、B断面の違いによる土圧の発生状況の違いは見られない。また、土被り圧比に示すに着目すると、土圧計に対する土被り圧が小さい施工段階では、各計器ともに土被り圧の40~50%程度の土圧が発生したが、施工完了後においては、概ね10~20%の土被り圧比で安定した状態となった。また、応急復旧盛土完成後及び本復旧盛土完成後の走行実験による土圧の変化は特に見られなかった。

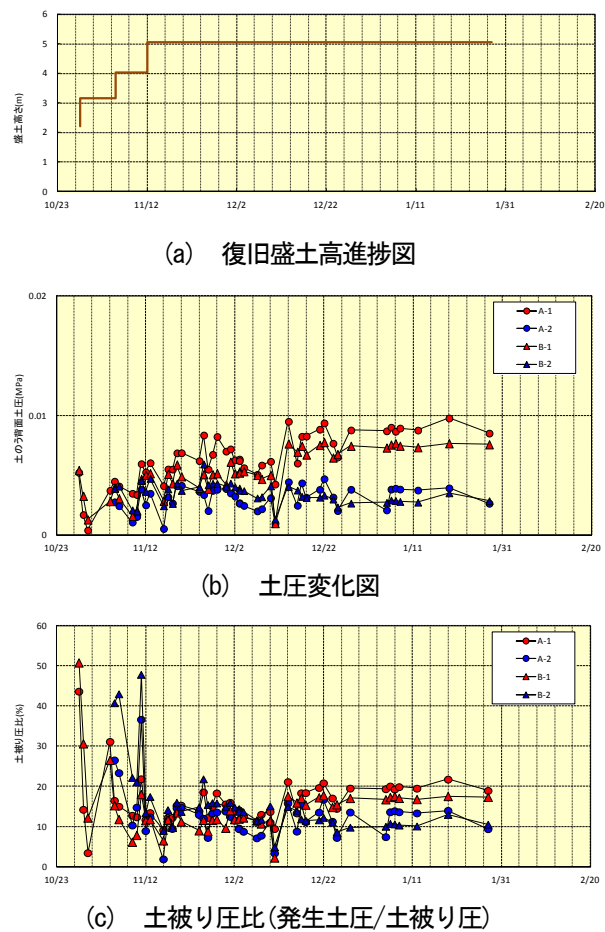


図-5.7 盛土高さとなり変位測定結果図

5.6 実大実験のまとめ

実大実験により得られた結果を表-5.4に示す。その他、実大実験から以下について確認出来た。

(1) 大型土のう作製

- 作業時間は、2袋作製で7~9分程度であり、作業人員は3名要する。
- 必要な作業スペースは、10m×10m程度である。
- 中詰め作業時に、充填補助として円筒パイプ等の器材を用いることで作業効率が図れる。

(2) 復旧盛土の施工性・安定性

- 復旧盛土タイプ(A断面・B断面)の違いによる施工性に大きな差異はない。ただし、設置土のう数の違いによる施工時間の差はある。
- 大型土のう構築時は、3列配置のB断面タイプの方が安定性があるが、裏込め施工後は両タイプの安定性の差異はない。なお、実施工において、土のう設置及び裏込め工完了までを日作業のステップとすることが望ましい。
- 舗装面は、応急復旧盛土後の走行実験において、40mm程度沈下したが、舗装面全体の沈下であり、段差や陥没等の局所的なものではないため、走行性に支障はなく、且つ、本復旧盛土施工時に補修可能である。

- 復旧盛土は、常時及び走行実験時ともに安定しており、法面の変状等も見られない。

以上より、大型土のうを用いた復旧盛土の構築は、安定性及び施工性からも現場への適用性が十分あることが確認できた。また、本復旧工法は、王普及復旧の土のうを撤去しないため、工期短縮の可能性も確認できた。なお、今後は復旧盛土の経年観測を行い、長期的な安定性等を検証する必要がある。

参考文献

- (社) 全国防災協会：平成7~21年発生災害採択事例集、1995~2009年
- 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
- 土木研究所：平成19年能登半島地震被害調査報告、2007年

表-5.4 大型土のうを用いた復旧盛土構築のとりまとめ

項目	大型土のうを用いた復旧盛土ケース	
	A断面	B断面
施工性	<p>① 施工時間</p> <ul style="list-style-type: none"> 土のう使用総数の違いから、A断面はB断面に比べ総施工時間はやや短い。 <p>② 必要人員</p> <ul style="list-style-type: none"> A断面、B断面の復旧盛土構築に必要な人員は同程度。 <p>③ 施工条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 復旧盛土構築に必要な施工機械、資材は、A断面、B断面の施工条件に違いはない。 土のう2列(A断面)、土のう3列(B断面)の違いによる土のう設置段階の安定性(観察)は、A断面に比べB断面の方がやや高い。ただし、裏込め工完了時点では、復旧盛土タイプの違いによる安定性に差はみられない。 <p>施工性について、応急復旧盛土、本復旧盛土ともに、A断面、B断面の復旧盛土に大きな問題はない。</p>	
交通荷重による影響等	<p>応急復旧時及び本復旧時共に、観察、計器による観測から、A・B断面ともに交通荷重による応急復旧盛土への影響はみられない。</p>	
現場適用性	<p>応急復旧盛土、本復旧盛土ともに、施工中、施工完成後、交通荷重による影響等から総合的に判断して、A・B断面ともに安定した復旧盛土であり、復旧盛土タイプの違いに関係なく現場適用性はあると判断できる。ただし、経済性から判断すると、B断面の復旧盛土は、A断面の復旧盛土に比べ、やや劣る。</p>	

STUDY ON NEW RESTORATION TECHNOLOGY FOR LARGE SCALE SEDIMENT DISASTER

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

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

Author : MIYATAKE Hiroaki

MORI Yoshinori

INOUE Genki

Abstract : In recent years, heavy rain and earthquakes have been causing increasingly greater damage to road earth structures such as road embankment. Such damage sometimes disrupts transportation systems, which may lead to more serious social impacts such as interrupted distribution of goods and isolated communities, if restoration cannot be done soon enough. Since disrupted transportation systems are expected to be restored as soon as possible after a disaster, it is important to select a construction method that ensures efficient, quick restoration of damaged transportation systems in consideration of needs and condition of affected areas.

Previous research has confirmed that large sandbags are often selected to restore collapsed road embankment and other damage in emergency restoration at affected sites because they are highly workable and materials for them are easily available.

In this research, we confirm the deformation behavior of large sandbags by geotechnical centrifuge test and real scale experimental test. And get the possibility to utilize them as a permanent structure. Furthermore, we made draft guideline of construction method for restoration technology using large sand-bags.

Key words : embankment disaster, disaster restoration, large sand bag