

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】

近年、豪雨や地震による土工構造物（盛土）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的流通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、応急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。

既往の文献調査より、大型土のうを用いた応急復旧は施工性に優れるため応急復旧から本復旧に至るまでの工期短縮の可能性が考えられた。そこで、本研究では大型土のうを用いた応急復旧に着目し、本復旧への適用について検討することとした。しかし、大型土のうを用いた応急復旧は、施工性に優れる一方で、大規模な応急復旧（高盛土）においては構造物の安定性について未解明である。そこで、昨年度までの研究では、主に大型土のうを用いた応急復旧の変形挙動や安定性等について動的遠心載荷模型実験より確認した。また、大型土のうを残置させてそのまま本復旧へ適用した本復旧（大型土のうと補強土を組み合わせた構造）を提案し、その適用の可能性について確認した。今年度では、実際の被災現場をイメージし、災害現場で多い地山の近接した条件や、上載盛土を有する条件を想定した本復旧の動的遠心載荷模型実験を行い、本復旧の変形挙動や安定性について確認した。結果、地山が近接した条件では変形量は多いものの、安定補助工法である補強土の機構に沿った樽型の変形モードが見られ、補助工法の有効性が確認された。一方、上載盛土があると、最上段の大型土のうが大きな変形を示し、補強土工法の効果が十分に発揮されず、対策が必要なることを確認した。

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、豪雨や地震による土工構造物（盛土）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的流通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、被災現場では大型土のうを用いた応急復旧の採用が多くみられた。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、また、施工時において、高さや幅への影響といった空間的な制限がないことなどの特徴を有することから多くの被災現場で採用されたと考えられる。しかし、大型土の

うは長期の耐久性等に対する安定性については十分に検証されていない仮設を前提とした構造物であるため、本復旧の際には撤去しなければならない。結果、本復旧の際には手戻りが発生し本復旧までに時間を要する。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、工期の短縮に有効であると考えられる。そこで、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さない構造（本復旧）の検討、大規模（高盛土）な応急復旧や本復旧の変形挙動や安定性の確認、また、大型土のう等の使用部材に対する耐久性について検証が必要である。筆者らは、文献調査等より過去の災害事例を収集し、被災現場の状況、応急復旧や本復旧の実態等を把握し、大規模な土砂災害に対応した復旧技術の検討を行ってきた^{2),3),4),5)}。

今年度では、過去の災害事例の実態を踏まえ、大

規模災害の被災現場を想定し、交通機能を効率よく且つ迅速に回復できる大型土のうを用いた復旧方法について検討した。想定した本復旧の有効性を確認するために、背面地山が大型土のうに近接する場合や上載盛土を有する場合において、地震動が想定した本復旧の変形挙動や安定性能に及ぼす影響について確認することを目的に動的遠心载荷模型実験（以下、本実験と称す）を実施した。

2. 動的遠心载荷模型実験

(1) 想定した本復旧

本実験では、能登半島地震により崩壊した能登有料道路等で確認した崩壊モード等を参考に 図-1 (a), (b) に示す大規模災害の被災現場を想定した。

応急復旧は早期復旧を基本とするため、応急復旧を構築する領域における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を急勾配 (1:0.5) とした。また、復旧する土工構造物は高さ 10m 以上の高盛土となるため、盛土の安定性を確保するために、補強材を敷設することとした。

本復旧は地山が接近した条件において、応急復旧で構築し大型土のうを残置させた状態で大型土のうの前面に腹付盛土を設置する 図-1 (e) のケース、上載盛土がない 図-1 (f) のケース、図-1 (g) に示す上載盛土を有するケースの 3 ケースを想定した。

応急復旧から本復旧までの施工ステップについては 図-1 に示すとおりである。

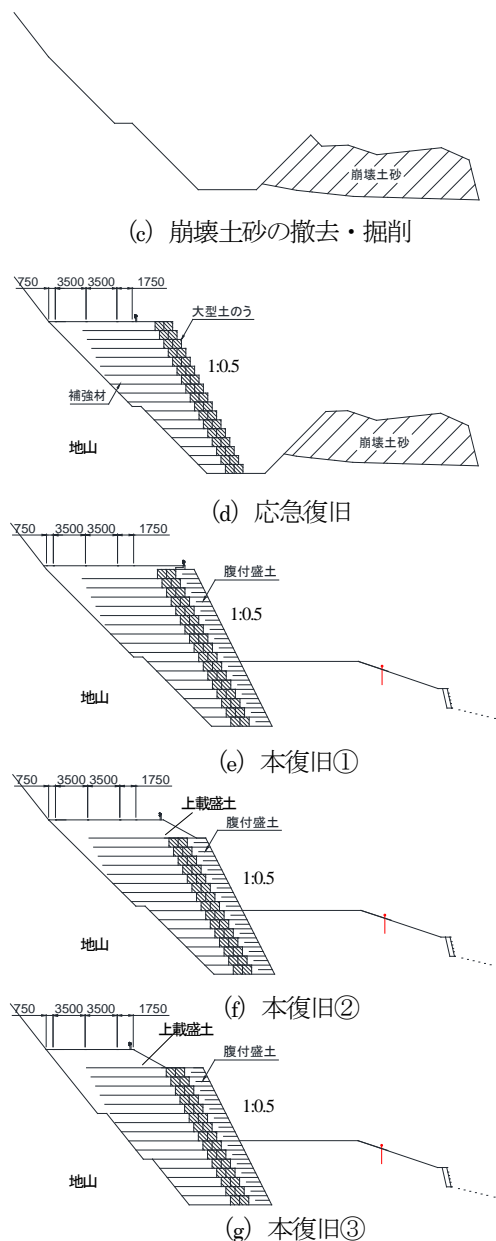
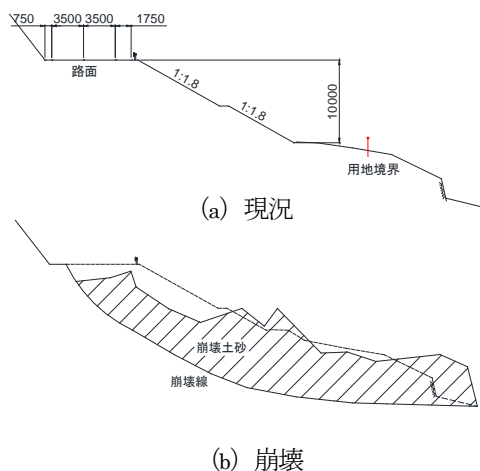


図-1 本復旧までの施工ステップ図



(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、以下に記載する寸法は模型寸法である。)、幅 200mm、壁面勾配 1:0.5 で作製した。模型寸法および計測器の配置を 図-2 に示す。

盛土材は江戸崎砂を使用した。江戸崎砂の物性値を表-1 に示す。基礎地盤および地山は、江戸崎砂にセメント改良したのを用い重量比で 9 (江戸崎砂) : 1 (セメント) の割合で配合した。基礎地盤は厚さ 20mm で製作する。大型土のうは不織布を用いて、縦 20mm × 横 20mm × 高さ 20mm の立方体で作製した。

大型土のうは、高さ方向に 15 段、奥行き方向に 2 列で積み重ねた。大型土のうの中詰材には、7 号砕石とジリコン砂を 3 : 1 の重量比で混合し、 19kN/m^3 の密度に調整したものを充填した。

盛土前面には腹付盛土を 50mm の厚さ(実際のスケールで 2.5m) で構築し、さらに前面には壁面材を設置した。壁面材は、実スケールの重量と相似則が合うように鋼製壁面材 (10mm×10mm) を用いて 30 段、1:0.5 の勾配で設置した。

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。補強材の敷設長、敷設間隔及び、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⁷⁾。各実験ケースの敷設長を図-3(a)~3(e)に記載する。敷設間隔は、各ケースとも 20mm として 15 段設置した。

また、腹付盛土内にも補強材を設置し、接着剤により壁面材と接続した。仮復旧時に構築する盛土(以下、復旧盛土と称す。)および腹付盛土は、85%の締固め度で締め固めた。計測項目は、盛土天端および壁面部の変位、大型土のう背面の土圧および盛土内の応答加速度とした。さらに大型土のうには標点を設置し加振後の標点の動きから変位量を算出した。

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) を段階的に載荷し、破壊モードを観察するため、500gal での加振を 10 回連続で加え続けた。

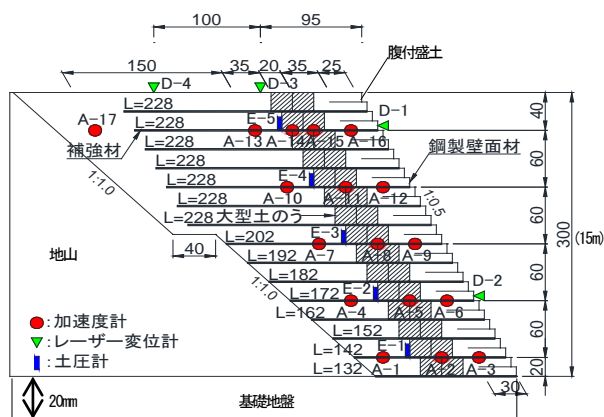


図-2 計器配置図

表-1 盛土材の物性値

項目	江戸崎砂	
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	1.10×10^{-4}	
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.660	
最適含水比 (%)	18.0	
粘着力 c (kN/m ²)	16.6	
せん断抵抗角 ϕ (°)	33.0	

(3) 実験条件

各実験ケースの仕様一覧を表-2 に示す。

Case1 は図-3(a)のように背面に地山がないケースであり、補強材を全て等長に設定した。Case2 は図-3(b)のように背面に地山を設置した。地山の形状は下から 150mm の高さで、幅 40mm の段切を設け、地山勾配は 1:1 とした。また、補強材は基礎地盤から 150mm の高さまでは必要敷設長に満たないので地山に到達するまでの長さとした。

Case3 は、図-3(c)のように大型土のうで復旧後さらに上載盛土を設置することを想定した。盛土の形状は腹付盛土の天端から 1:1.8 の勾配、厚さは 40mm で構築した。盛土材料は江戸崎砂を用いて締固め度 85%で締固めた。

Case4 は図-3(d)のように盛土内のすべりの抑制を期待し、背面地山の段切数を 2 段としたケースである。地山勾配は 1:0.8 とし、高さ 100mm 毎に幅 20mm の段切を設置した。上載盛土は、大型土のうの上に盛土法尻が被らないように大型土のう背面の天端から 1:1.5 の勾配で厚さ 40mm で構築した。補強材の敷設長は、基礎地盤の下から 120mm の高さまでは地山に到達するまでの長さで敷設した。また、復旧盛土および上載盛土の締固め度は 90%で締固めた。

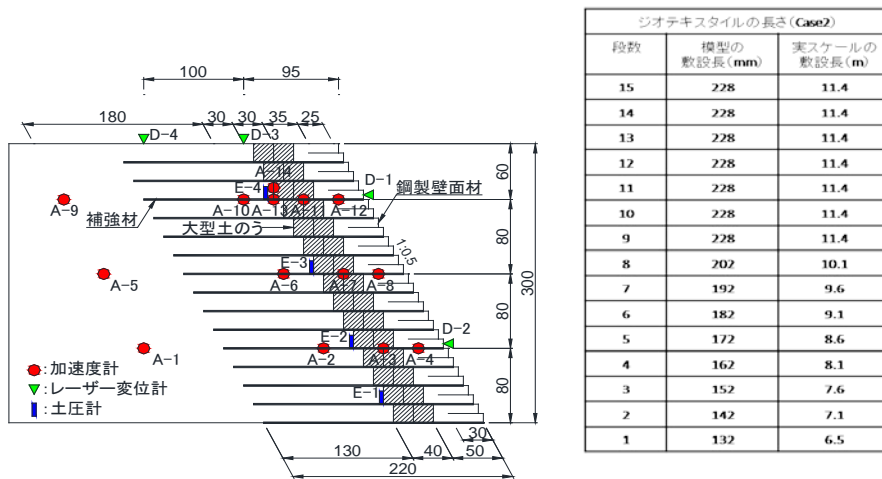
Case5 は図-3(e)のように地山の勾配を 1:0.5 の勾配とし、盛土の形状は Case4 と同様とした。補強材の敷設長は 268mm と全て等長とした。今回の実験は、以下の①~④に示す影響や効果を確認することを主眼とし、ケース設定を行った。

- ①Case1 と Case2 : 地山の有無による影響
- ②Case2 と Case3 : 上載盛土の有無による影響

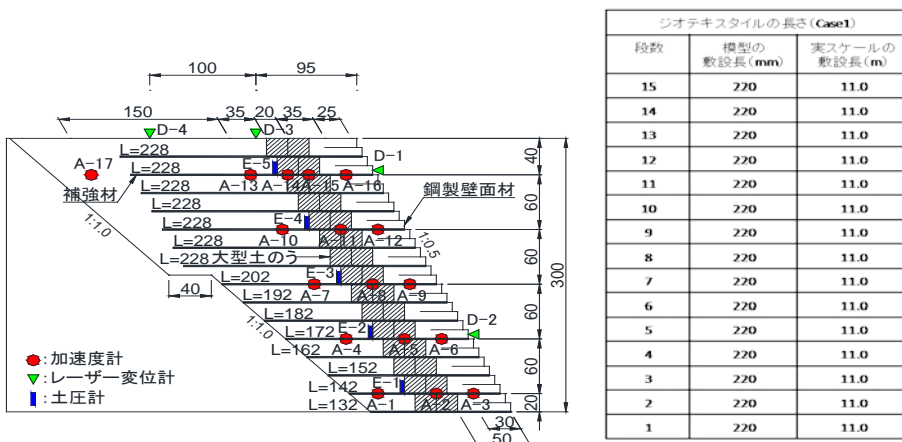
- ③Case3 と Case4：地山の段切数の違いによる影響
- ④Case4 と Case5：地山形状の違いによる影響

表-2 各実験ケースの仕様一覧

実験ケース	背面地山の設置	上載盛土の有無	上載盛土の形状	地山勾配	復旧盛土の締固め度 (%)	段切の有無	備考欄
Case1	無	無	—	—	85	無	各ケースのジオテキスタイルの敷設長は、図3(a)～図3(e)に記載
Case2	有	無	土の上に上載盛土が載る形状	1:1	85 (上載盛土の締固め度も同じ)	1段	
Case3		有	土の上に上載盛土が載らない形状	1:0.8	90 (上載盛土の締固め度も同じ)	2段	
Case4		有	土の上に上載盛土が載る形状	1:0.5	85 (上載盛土の締固め度も同じ)	無	
Case5		有	土の上に上載盛土が載らない形状	1:0.5	90 (上載盛土の締固め度も同じ)	無	

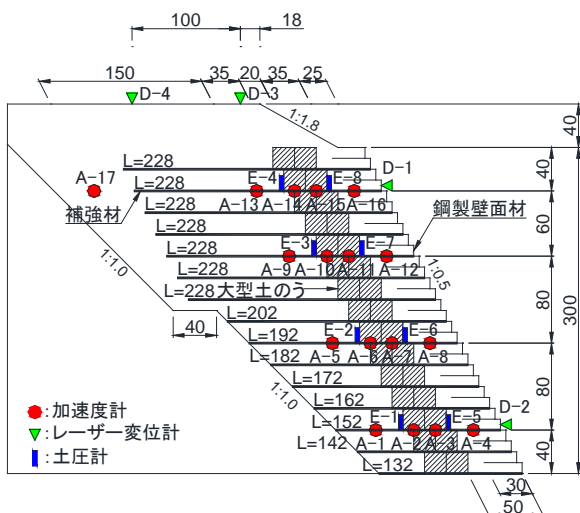


(a) Case1の模型実験概要



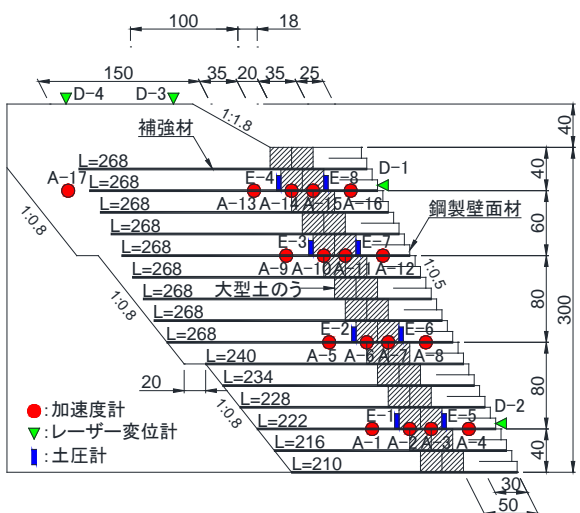
(b) Case2の模型実験概要

図-3 実験概要図 (Case1, 2)



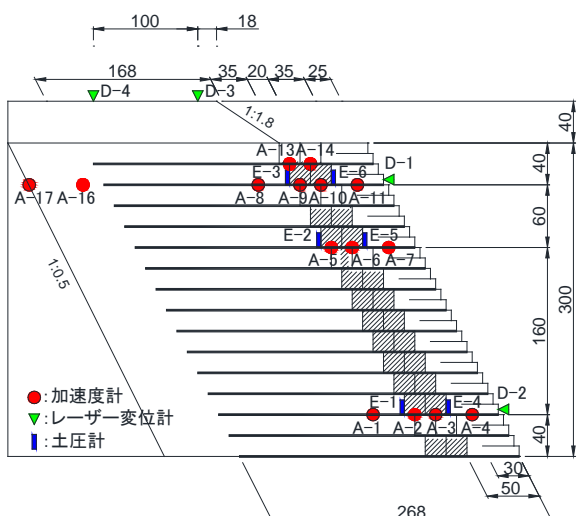
段数	模型の 敷設長 (mm)	実スケールの 敷設長 (m)
15	228	11.4
14	228	11.4
13	228	11.4
12	228	11.4
11	228	11.4
10	228	11.4
9	228	11.4
8	202	10.1
7	192	9.6
6	182	9.1
5	172	8.6
4	162	8.1
3	152	7.6
2	142	7.1
1	132	6.5

(c) Case3の模型実験概要



段数	模型の 敷設長 (mm)	実スケールの 敷設長 (m)
15	268	13.4
14	268	13.4
13	268	13.4
12	268	13.4
11	268	13.4
10	268	13.4
9	268	13.4
8	268	13.4
7	268	13.4
6	240	12.0
5	234	11.7
4	228	11.4
3	222	11.1
2	216	10.8
1	210	10.5

(d) Case4の模型実験概要



段数	模型の 敷設長 (mm)	実スケールの 敷設長 (m)
15	268	13.4
14	268	13.4
13	268	13.4
12	268	13.4
11	268	13.4
10	268	13.4
9	268	13.4
8	268	13.4
7	268	13.4
6	268	13.4
5	268	13.4
4	268	13.4
3	268	13.4
2	268	13.4
1	268	13.4

(e) Case5の模型実験概要

図-3 実験概要図 (Case3~5)

(4) 実験結果

①各ケースの変形・変状状態

500gal 加振後の各ケースの変形状態を写真-1 に示す。また 500gal 加振後の地盤変形状態を図-4 に示す。

Case1 は天端部分が沈下するものの水平方向に対して、ほとんど変形していないことを確認した(写真-1(a)), (図-4(a))。

背面に地山を設置した Case2~4 は地山の掘削面に沿ってすべりが発生していることを確認した(写真-1(b)~1(d)), (図-4(b)~図-4(d))。特に Case3, 4 については盛土の天端部分にまで段差が発生した(写真-1(c), 写真-1(d)), (図-4(c), 図-4(d))。このことから、加振時における盛土の挙動は地山の影響を受け、掘削面がすべりを発生させる要因となっていることを確認した。

Case5 については、大型土のうから離れた位置に地山があることで上載盛土の段差、盛土内のすべりの抑制を期待したが、大型土のうから離れた位置に地山があっても上載盛土の段差、盛土内のすべりの抑制にはつながらなかった。(写真-1(e), (図-4(e)))。

また、図-4 より Case3 のように上載盛土があることで、Case2 のように上載盛土がない場合と比較し、盛土上段部分の水平変位量が大きくなっていることが確認した。これは盛土の上段部分では上載盛土による荷重負担が大型土のう上段部分に影響したためと考えられる。

②各ケースの変位量

各ケースの残留水平変位量、残留沈下量の比較について図-5 に示す。また、各ケースの各加振段階における残留水平変位量の比較を図-6 に示す。

Case1 の残留水平変位量は、弓なり型の変形形状を示し、特に土のう中段部分がはらみだすことが確認した(図-5(a))。また、他の4ケースと比較すると大型土のうの上段部分の残留水平変位量は小さく、500gal 加振後に急激に変位が大きくなることも確認した(図-6(a))。

Case2 の残留水平変位量は、Case1 と同様に弓なり型の変形形状を示したが、大型土のう上段部分がはらみだし Case1 の約2倍程度生じていることが確認した(図-5(a))。

Case3 は Case2 と同様に大型土のうの上段部分の残留水平変位量が大きく生じたが、大型土のう最上段で最大変位が生じる変形形状を示した(図-5(a))。残留残留沈下量については Case2 と同程度であった

(図-5(b))。

Case4 は、大型土のう上段部分の残留水平変位量が Case3 よりも大きく生じた(図-5(a), 図-5(c))。Case3 よりも締固め度が大きいにも関わらず、大型土のうの上段部分の残留水平変位量は大きく生じた。これは上載盛土に土のうが被らないことが影響しているものと考えられる。

Case5 の変形形状は、Case4 と近い結果となった(図-5(c), 図-5(d))。また Case4, 5 では Case1~3 と比較して残留水平変位量、残留沈下量ともに小さくなっているが、これは上載盛土、復旧盛土、腹付盛土の締固め度を高めたことによる影響と考えられる(図-5(c), 図-5(d))。

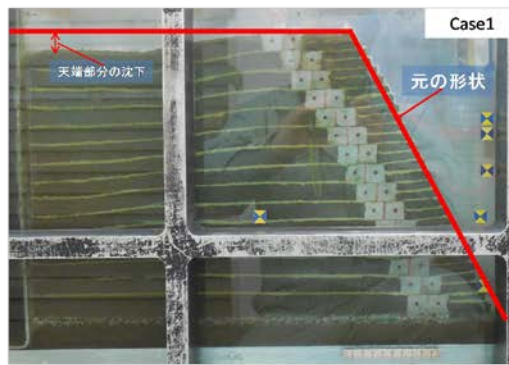
Case3~5 の残留水平変位量については、大型土のうの最上段部で最大変位が生じる形状を示すことが確認した。特に Case4, 5 の残留水平変位量は、Case3 と比較し、大型土のうの最上段部で急激に大きくなることが確認した(図-5(a), 図-5(c))。これは Case4, 5 の上載盛土の法尻が土のうに被らないことによる影響と考えられる。

残留沈下量については、全ケースとも大型土のうの最上段部で最も大きくなる傾向があった。ただし Case4, 5 の大型土のうの上段部分の残留沈下量については、Case1~3 の約1/2程度に収まることを確認した(図-5(b), 図-5(d))。

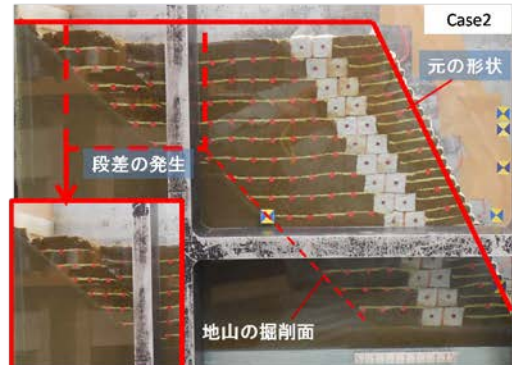
③盛土内の大型土のうの挙動

加速度計から算出した盛土内の応答変位を図-7 に示す。500gal 加振時における隣接する大型土のう(大型土のうと大型土のう, 大型土のうと背面盛土)についての応答変位を任意の1周期(7.15秒~7.65秒)で比較した。

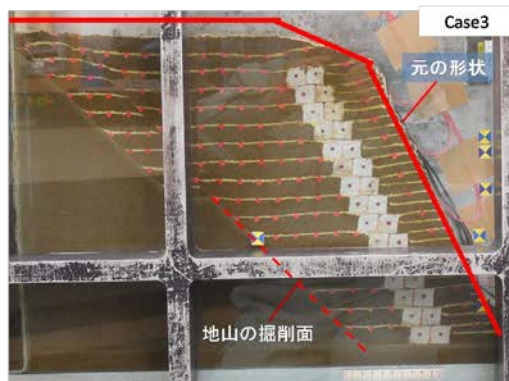
大型土のうと大型土のう, 大型土のうと背面盛土について、位相のずれなく応答し、大型土のうの残置による影響はないことを期待したが、同位相を示すケース(図-7の③)、逆位相を示すケース(図-7の④)、位相にずれが生じるケース(図-7の①, ②)と様々な挙動が確認された。大型土のうと大型土のうの応答変位でも設置箇所により、挙動が一様でないことが確認された。



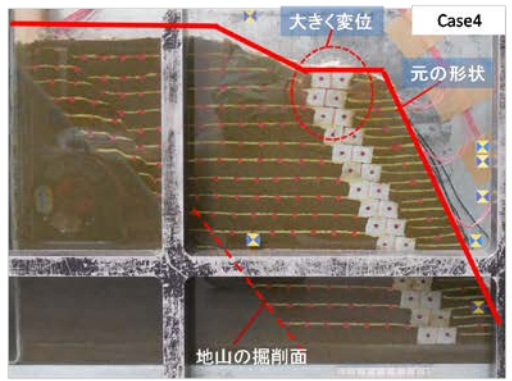
写真(a) Case1 (500gal 加振後)



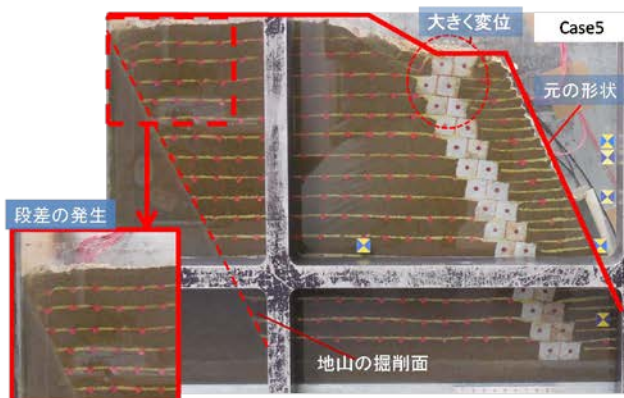
写真(b) Case1 (500gal 加振後)



写真(c) Case1 (500gal 加振後)



写真(d) Case1 (500gal 加振後)



写真(e) Case1 (500gal 加振後)

写真-1 各ケースの実験後の写真

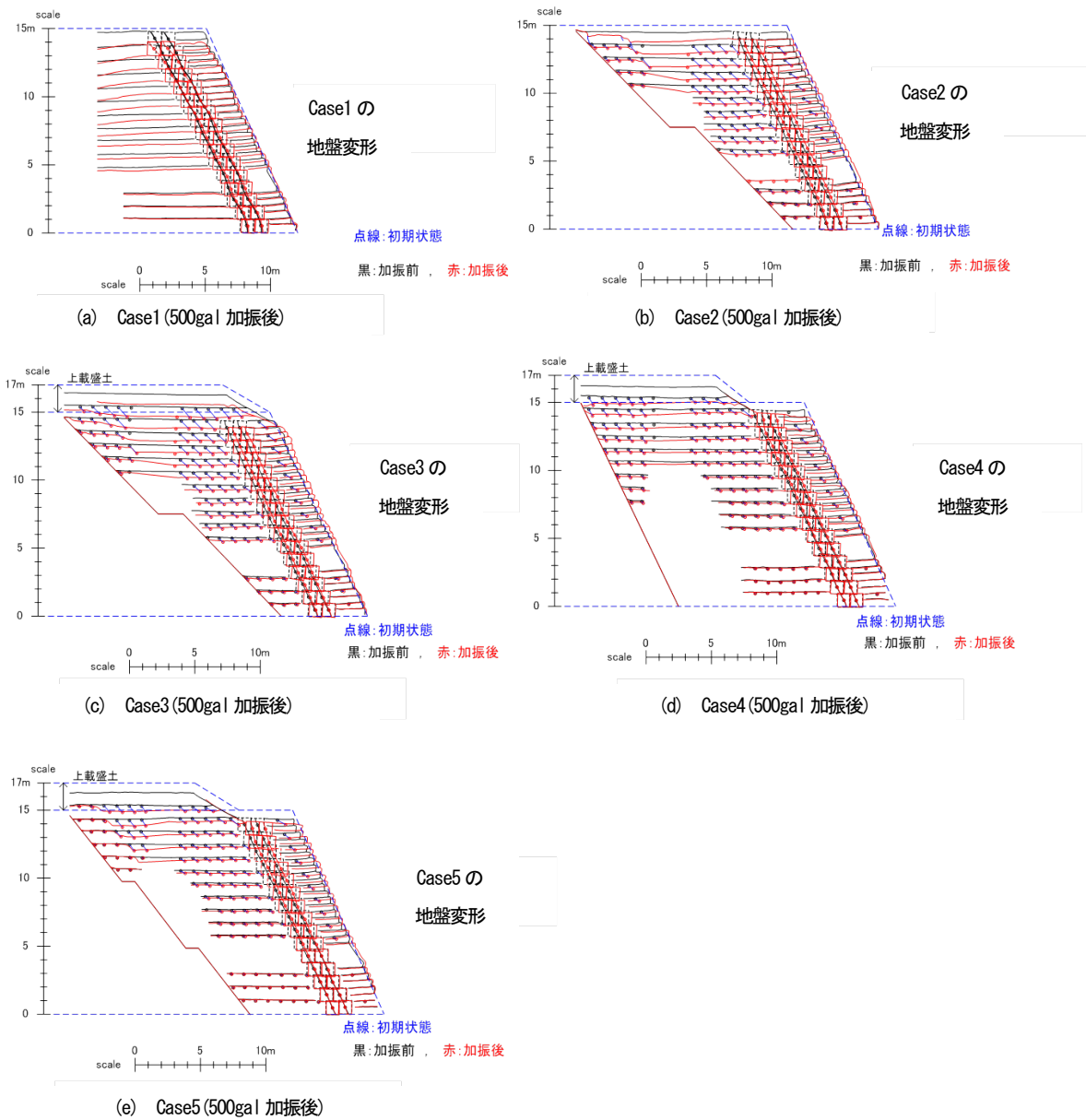


図-4 500gal 加振後の地盤の変形状態

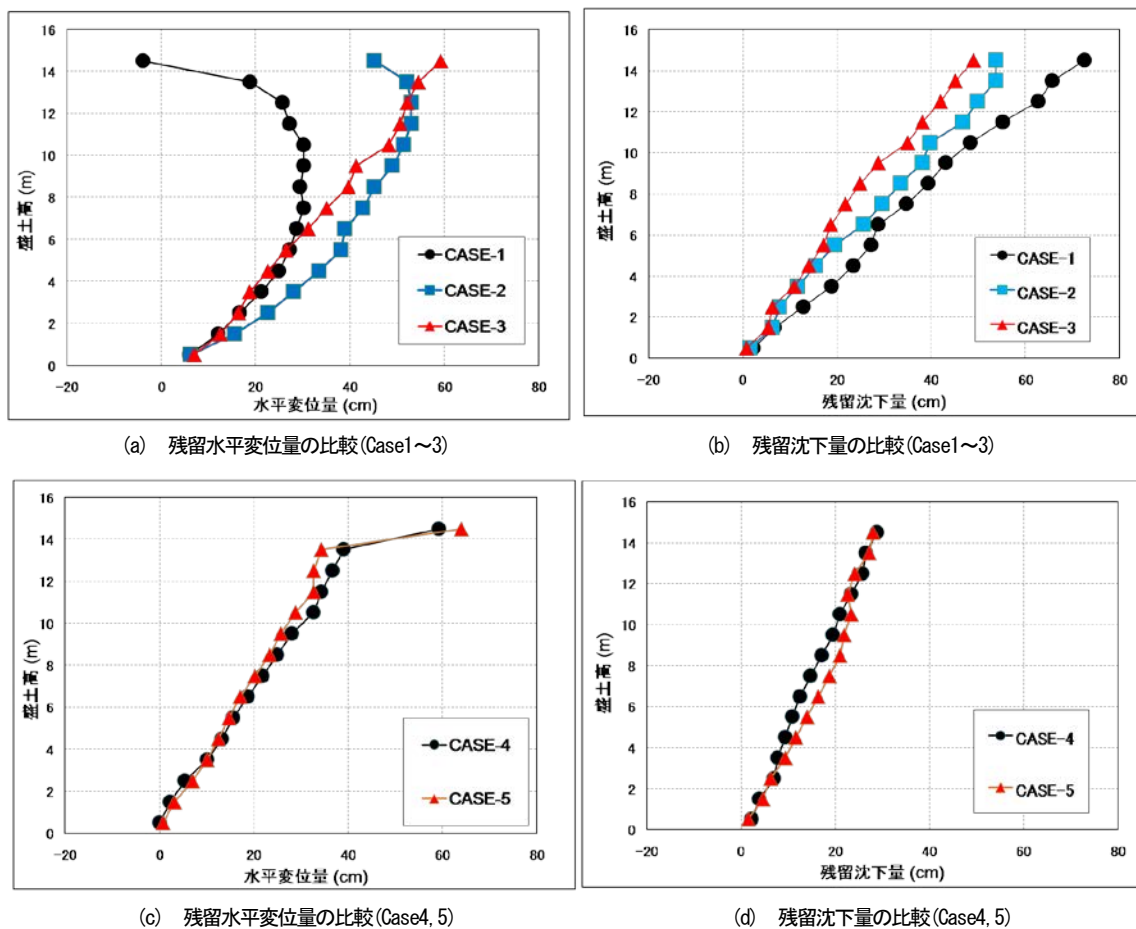


図-5 各ケースの残留水平変位量と残留沈下量 (500gal 加振後)

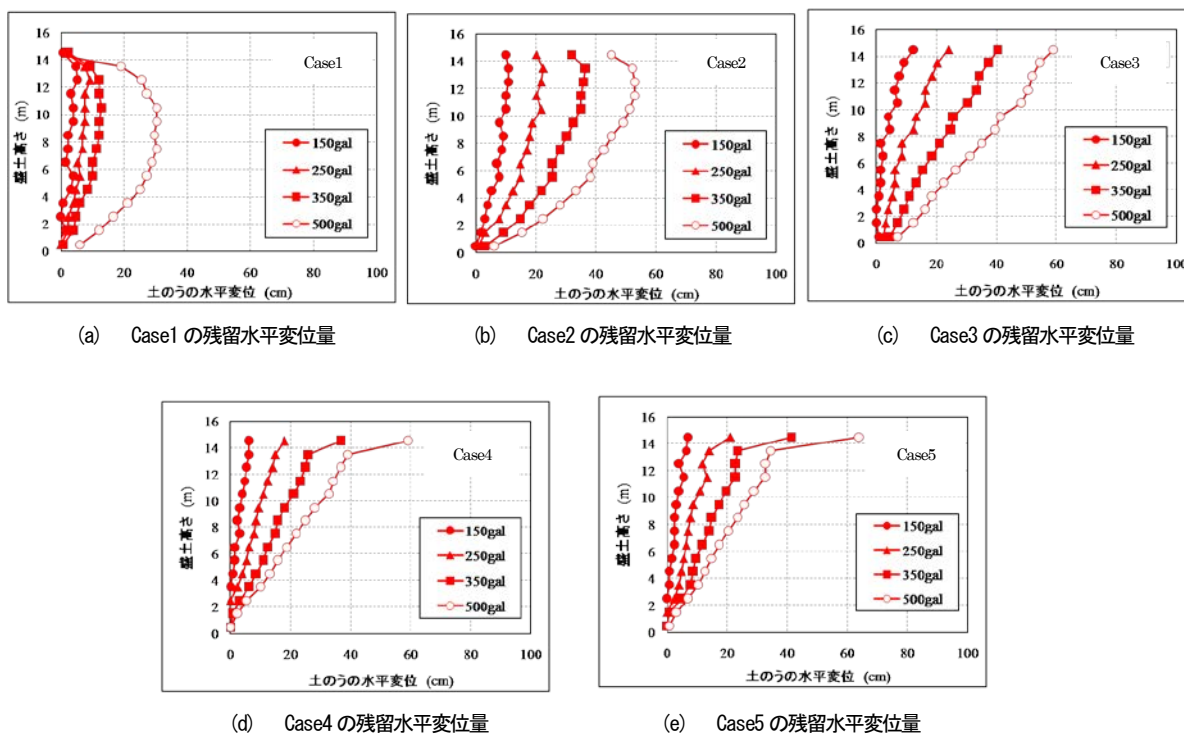


図-6 各ケースの加振毎の残留水平変位量

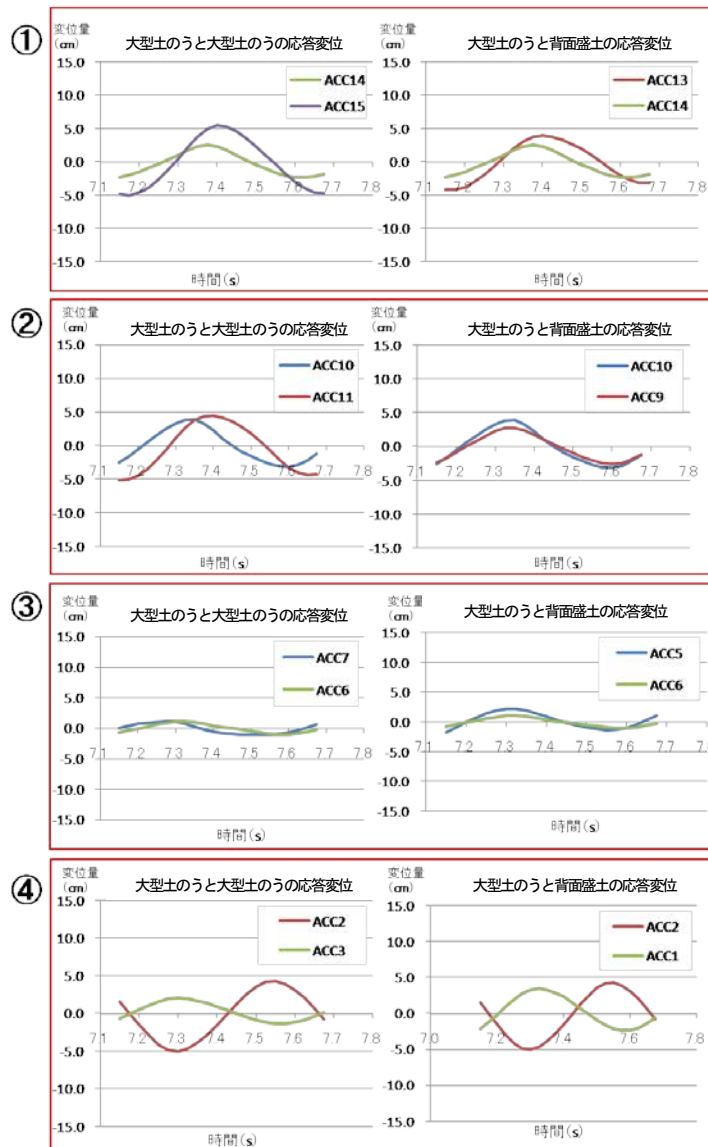
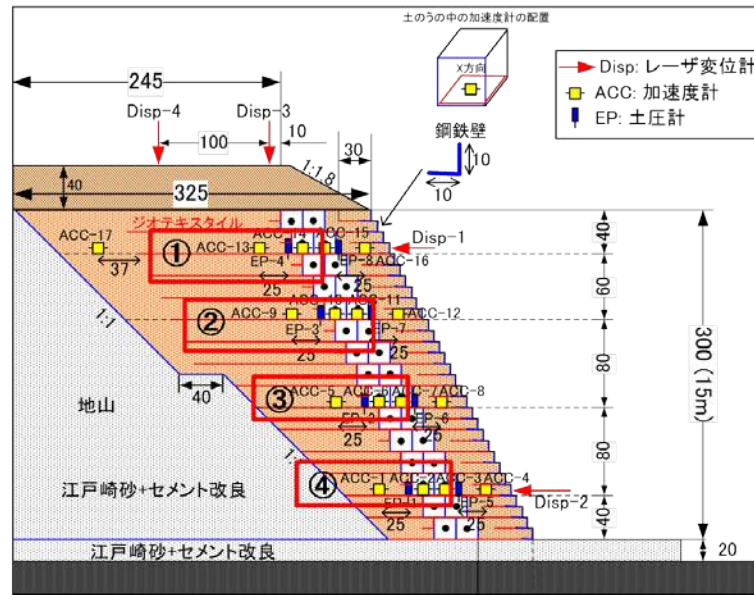


図-7 500gal 加振時の盛土内の応答変位 (Case3)

3. 全体のまとめ

今年度（H25 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。

○地山の有無による影響

地山を有する場合の変形モードは、地山が無い場合と同じ弓なり型の変形形状を示したが、地山の影響により残留水平変位量が大きくなった。

また、地山を有することで地山の掘削面上に沿って盛土内にすべりが発生した。

○上載盛土の有無による影響

上載盛土を有しない場合は、既存の補強土マニュアル等で想定されているバレル型（弓なり型）の変形モードを示した。上載盛土を有する場合は、既存の補強土マニュアル等で想定されていないオーバーターン型（土のう最上段で最大変位が生じる形）の変形モードを示した。このため、上載盛土を設置する復旧工法を実施に適用する際には注意を要するため、今後更に安定性能を高める検討が必要であると考えられる。

○地山の段切数の違いによる影響

段切数を増やすことで掘削面上のすべりを防止することを期待したが、段切数を増やすことによる効果はなく、盛土のすべり防止にはつながらなかった。

○背面地山の形状の違いによる影響

背面地山を大型土のうの設置位置から離れた箇所に地山を設置することで、上載盛土の段差、盛土内のすべり防止を期待したが、段差およびすべり防止にはつながらなかった。

○盛土内の応答変位について

大型土のうと大型土のうの比較でも設置箇所により、応答変位の示す挙動は様々である。その要因となる大型土のうの挙動に関するメカニズムの解明までには至らなかった。以上より、今年度の実験から地山や上載盛土の有無による影響を確認した。これらの結果を踏まえて、今後、以下のことを検討していく予定である。

①過去の実験ケースの確認のため、数値解析による実験結果の検証

②施工時の復旧方法についてのニーズの把握のためのヒアリング等によるケーススタディの収集・分析

③遠心模型実験による性能評価（大型土のうの積み方、排水、盛土材料等の現場ニーズに着目）

④土のう等の施工手順等を考慮した構造細目の検討（土のう材料、土被り等に着目）

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, 森芳徳, 宮武裕昭: 大規模な土砂災害に対応した効率的な復旧方法の検討, 第 28 回ジオンセティックスシンポジウム, 2013 年
- 5) 久保哲也, 宮川智史, 森芳徳, 宮武裕昭: 土砂災害により被災した高盛土の効率的な復旧方法に関する検討, 第 30 回日本道路会議, 2013 年
- 6) 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
- 7) (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 SEDIMENT DISASTER

Abstract : This research is examining new disaster restoration technology for large scale sediment disaster. In past investigation record, restoration method using large sandbag is adopted at many disaster sites. Restoration method using large sandbag is adopted mostly along river or mountainous region as compared with flat ground. Even if it turns out that large sandbag is removed, large sandbag is effective as emergency restoration. In the past experiment, we suggested restoration method with large sandbag buried for adopted restoration method. As a result, restoration method of buried large sandbag was checked application for main earthwork structure.

In this year, it experimented dynamic centrifugal model test with field condition of half-bank and half-cut embankment. As a result, it checked restoration embankment deformation value grows large when there is natural ground compared with no natural ground in restoration embankment, deformation mode changes when there is upper embankment.

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