

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	しぶや さとる 澁谷 啓	神戸大学大学院 工学研究科		教授
②研究 テーマ	名称	沢埋め道路盛土の経済的な耐震診断と耐震補強の開発		
	政策 領域	[主領域4] コスト構造改革 [副領域7] 防災・災害復旧工事	公募 タイプ	タイプII ハード分野
③研究経費 (単位:万円) ※端数切り捨て。	平成27年度	平成28年度	平成29年度	総合計
	998	2,537	3,407	6,942
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職 (※平成30年3月31日現在)			
谷 和夫	東京海洋大学・教授			
田口 定一	(一社)近畿建設協会・理事・技師長			
中西 典明	復建調査設計(株)・大阪支社技術部 部長			
小田 高幸	復建調査設計(株)・大阪支社技術部 調査技術課 課長			
片岡 沙都紀	神戸大学・助教			
丁 経凡	神戸大学・学術研究員			
石田 正利	太陽工業(株)・技術センター長			
戎 剛史	国土防災技術(株)・技術課長			
眞弓 孝之	国土防災技術(株)・技術本部 国際部 部長			
歳藤 修一	ライト工業(株)・副部長			
九田 敬行	ライト工業(株)・課長			
加藤 卓彦	(株)日建設計シビル・部長			
片山 政和	(株)日建設計シビル・副部長			
野並 賢	神戸市立工業高等専門学校・准教授			
千野 克浩	応用地質(株)・グループリーダー			
木場 綾乃	応用地質(株)・技術職			
中澤 博志	国立研究開発法人 防災科学技術研究所・主幹研究員			
伊藤 修二	前田工織(株)・補強土排水推進部長			
山田 節也	鉄鋼スラグ協会西日本支部近畿地区部会・鉄鋼スラグ協会西日本支部近畿地区部会員			
⑤研究の目的・目標	(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>沢埋めの古い道路盛土における災害が依然として多く、また、それらが被災した場合の影響は非常に大きく復旧にも多大な時間を要することになる。本委託研究は、このような被災事例が多い沢埋めの道路盛土を対象に、物理探査と簡易なサウンディングの組合せによる合理的な耐震診断法と、土のう構造体を用いたのり先補強による経済的な耐震補強工を開発するものである。</p>				

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等(外注を実施している場合は、その役割等も含めて)について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

【研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割】

表-1 目標の達成状況

各テーマ	目 標	責任者	主査	達成状況
【テーマ1】 ：耐震診断	a)道路盛土の一次調査に関する検討	野並 賢	戎 剛史	100%達成
	b)道路盛土の二次調査に関する検討		千野 克浩	100%達成
【テーマ2】 ：耐震補強	a)耐震補強に係る土のう積層体の設計手法の開発	澁谷 啓	中西 典明	100%達成
	b)小型振動台を用いた土のう積層体の補強効果に関する検討		片岡沙都紀	100%達成
	c)大型振動台試験による盛土対策工の検証		谷 和夫	100%達成

1. テーマ1：耐震診断

a) 道路盛土の一次調査方法に関する検討：

オリジナルの安全度調査票を用いて実施した一次調査の結果、安定度が低いC・Dランクと評価された盛土について再点検を行い、点検項目および評価基準の妥当性について検討を実施する。災害形態の推測を容易に行えるように、とりわけ変状箇所発生箇所に着目し継続的に観測する。

b) 道路盛土の二次調査方法に関する検討：

一次調査の結果、耐震性に劣ると判断された盛土に対して、提案している調査フローに基づいた二次調査を実施し、簡易安定解析を行う。また、複数の個別盛土の調査結果に基づき、調査手法および評価基準の妥当性について検討する。

2. テーマ2：耐震補強

a) 耐震補強に係る土のう積層体の設計手法の開発：

土のう積層体の設計に必要なせん断強度、クリープ特性、基礎地盤との相互作用、土のう構造体設置による耐震補強効果のそれぞれを明らかにし、実用化に向け、耐震補強に適した経済的な土のう構造体の積層手法の確立を目指す。併せて、現存する沢埋め道路盛土を対象に、補強体を考慮した数値解析シミュレーションを実施する。

b) 小型振動台を用いた土のう積層体の補強効果に関する検討：

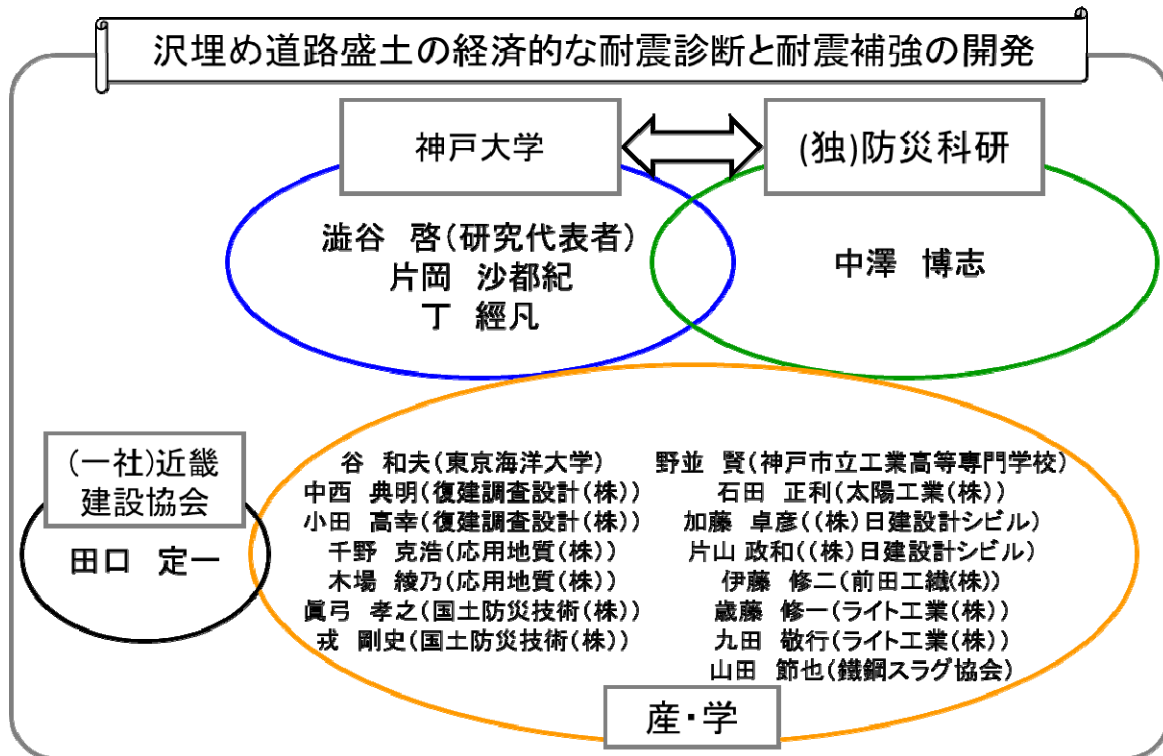
小型振動台装置を使用し、土のう積層体にかかる側方土圧の影響を考慮した実験を行い、土のう積層体を加振させた場合の加速度応答、クリープ変形等を評価する。その際、土のう内部の中詰材料に、通常の土と自硬性を有する鉄鋼スラグ混合土を用いた場合との挙動の違いを検討する。

c) 大型振動台試験による盛土対策工の検証：

防災科研で実大規模の盛土を用いた加振試験を行う。なお、事前解析を実施し、実験結果との整合性を検討する。

【研究体制】

本研究の研究体制は下図の通りである。中心組織は神戸大学の地盤工学分野の研究グループで、研究代表者は澁谷啓（教授）である。協力する組織は、（独）防災科学技術研究所・兵庫耐震工学研究センター及び（一社）近畿建設協会・鉄鋼スラグ協会と民間企業7社である。総勢19名で2つの研究テーマを分担する。



なお、外注先とその役割は以下の通りである。

平成27年度

- ・(株)セップ：小型振動台用土槽の組立業務

平成28年度

- ・(株)セップ：実物大振動台試験における土のう積層体裁荷板作製業務
- ・(株)テクノラボ：実物大振動台試験（無対策ケース）業務
- ・(株)テクノラボ：実物大振動台試験（補強対策ケース）業務

平成29年度

- ・(株)オーゼットユ－：実物大振動台試験盛土製作業務
- ・計測テクノ(株)：実物大振動台試験計測器設置撤去業務

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間・FS評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

1. のり先構造体のアンカーの位置付けや使用するスラグの仕様等を明らかにするとともに、排水に関する更なる検討を行うこと。

【対応状況】：土のう構造体設計に必要な構造体のせん断強度、クリープ特性、基礎地盤との相互作用、土のう構造体設置による耐震補強効果等を実験的に確認することで土のう構造体（形状、材料、アンカー体）の安定照査方法、変形照査方法を検討した。

一方、平成27年度に実施した鉄鋼スラグ混合土を用いた中詰材の配合の考え方を踏襲し、平成28年度では中詰め材に鉄鋼スラグ混合土を用いた土のう構造体の力学挙動に関する研究を実施した。具体的には、振動台試験および実物大盛土での施工性の試験結果を適宜フィードバックしながら、耐震補強工の中詰材料の配合設計を検討した。なお、ジオシンセティックス排水材を用いた盛土防水工を設置することにより、盛土全体の安全性が高まるとともに、土のう構造体への雨水の浸透を抑制でき、スラグ混合土からのアルカリ浸出水の懸念がなくなることが分かった。

2. 実務上必要な目標やそれを達成するための計画となっているが、研究の効率化に向けて予算の精査が必要である。

【対応状況】：申請時より予算が減額されているが、以下の項目を掲げて研究費節約のための自己努力を反映させて、当該研究の達成に努めた。

- 1) 個別の研究検討項目における実験数等を最小化し、研究の質の低下を回避した。
- 2) 共同研究者である研究機関、民間企業、等は、それぞれ実験、調査に係る装置および労務の一部を無償提供した。
- 3) 本受託研究における本年度の目玉である実大盛土の振動台実験については、防災科研と神戸大学とが共同研究を締結することにより、防災科研が所有する振動台実験施設の使用料800万円程度の免除を図った。なお、事前に実験担当者レベルで施設使用許可申込みを済ませ、所定の使用期間を確保した。
- 4) 研究代表者が所属する神戸大学では、委託研究の際の間接費・一般管理費は受託費の30%とされているが、上記1)~3)の内容を学長および担当理に掛け合い、間接費・一般管理費を10%に減額し、余剰分を研究費用として充填した。

3. 補強構造の地山を含めた全体挙動の理解・論理的説明と、その実験による確認が必要である。

【対応状況】：本補強は構造体自体をアンカーで止める構造ではあるが、アンカー先端は地山までは到達させないような構造となっているために、補強構造自体が地山に及ぼす力学的影響は小さいと考えている。

4. 実用化に向けては、側方土圧の影響の評価についても検討が必要である。

【対応状況】：土のう構造体にかかる側方土圧の影響を考慮した実験を学内で所有する小型振動台装置を用いて実施し、土のう構造体を加振させた場合の加速度応答やクリープを評価して、大型振動台実験による盛土対策工の効果について検証した。

5. 経済的な耐震診断と耐震補強の開発が目的であることから、コスト面の評価を実施していただきたい。

【対応状況】：

最終報告書において、従来工法と提案工法のコスト比較（試算）を行い、おおよそ10%程度の施工費の削減が見込まれることを示した。

6. 耐震性能診断については、例えば管理する道路の全盛土からどのように対象を抽出し、詳細調査まで絞り込むのかをより明確にする必要がある。

【対応状況】：これまで実施してきた一次調査（数多くある盛土の中から、机上調査および現地踏査に基づき安全性が低い盛土を抽出する広域調査）結果をもとに、二次調査（一次調査で抽出された安全性が低い盛土の中から、耐震補強が必要かどうかを評価するための原位置調査）を既設盛土にて実施した。また、これまでの調査結果をもとに、耐震診断を行う上での調査手法や評価基準の妥当性について検討を行った。

③研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

第1章 研究目的, 内容

沢埋めの古い道路盛土の中には、土材料や締固めが不適切で、排水性能が不良なために高含水状態で耐震性能が著しく低く、抜本的な対策が必要なもの（以後、ランクDの道路盛土と称す）がある。例えば、駿河湾地震（2009年，M6.5）による東名高速道路（静岡県牧之原）の盛土崩壊（幅約40m）は典型的な事例である。本研究では、これらランクDの道路盛土を対象に、経済的で有効な耐震診断と耐震補強を開発する。耐震診断に係る新技術は、「事前情報に基づいた物理探査と簡易なサウンディングの組合せ調査」である。

一方、耐震補強に係る新技術は、「土のう構造体による法先補強工法」である（図-1）。これらの新技術の開発では、材料試験及び模型振動台実験等による基礎的な検討だけでなく、国立研究開発法人防災科学技術研究所にある大型振動台を利用して地盤調査と地盤施工を忠実に再現した‘実大規模実験’を行って、その診断性能と補強効果を検証した。

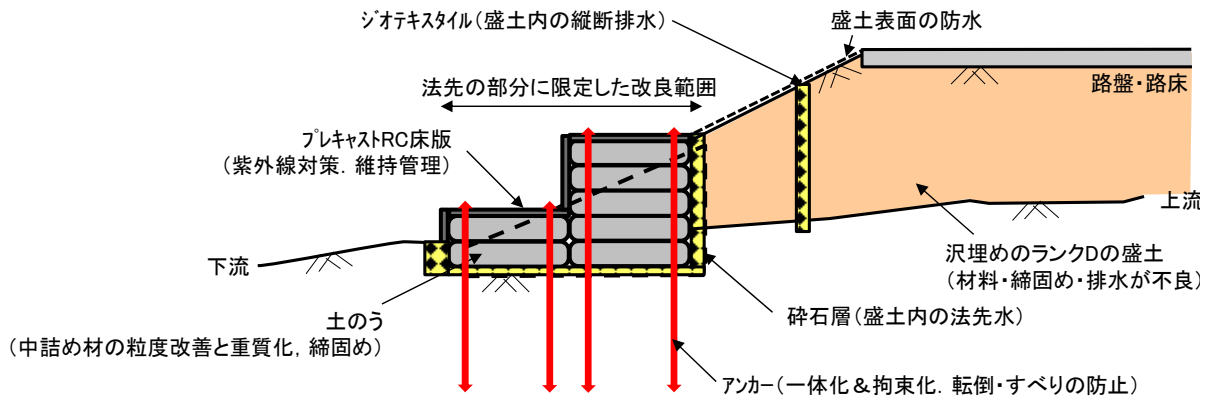


図-1 土のう構造体を用いた新たな法先補強工法

3年間の研究期間の内、前半（1，2年目）には、模型実験や各種の材料試験による基礎的な検討を行い、耐震診断と耐震補強に係る新技術を具体的に提案した。後半（2，3年目）には、提案した新技術の診断性能と補強効果を‘実大規模実験’を行って検証すると共に、極限平衡解析と数値解析を行って安定及び変形の照査方法を確立した。

第2章 耐震診断

沢埋め道路盛土の経済的な耐震診断手法の確立に向けて、盛土の経済的な耐震診断手法を確立するためにはスクリーニングの精度向上が必須であるとの認識に基づき、3つのステップ（一次調査，二次調査，詳細調査）によって安全性の評価精度を向上させていくための具体的な手法の検討を行った（図-2）。

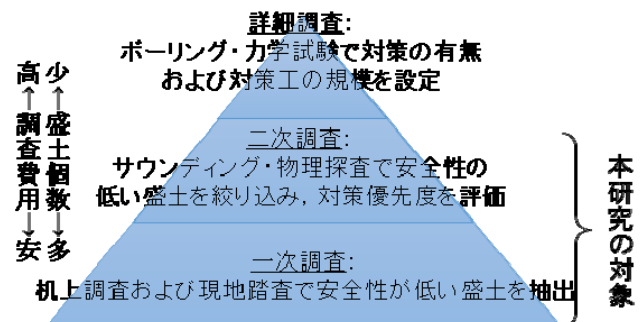


図-2 盛土耐震診断の進め方イメージ図

⑨研究成果（つづき）

膨大な既設盛土から、机上調査および現場踏査によって安全性が低い盛土を抽出する調査を一次調査と位置づけ、既往点検手法の課題を抽出・分析し、点検盛土から確認できる『素因』・『変状』から将来起こり得る『災害形態』を予測した上で安定度評価を行う新たな点検手法を提案した。また、改善した点検表を用いて実盛土を点検し、既往点検表による点検結果との比較を行うことで、提案した広域点検手法の適用性が示された。

一方、二次調査では安全性の定量的な評価を行うことを目的とするため、円弧すべり法による安定計算を行うこととした。そのために必要な情報である、①地下水、②盛土材料、③締固め度、を経済的で簡易に把握できる調査として、1)表面波探査、2)動的コーン貫入試験（ミニラムサウンディング）、3)簡易動的コーン貫入試験（土研式簡易貫入試験）、4)簡易サンプリング、を採用し、安定性評価を5)簡易安定計算によって行うフローを作成した。

提案フローに従った調査を自治体管理盛土と国交省管理盛土の2箇所でも適用した。両盛土とも、表面波探査と動的コーン貫入試験で得られる N_d 値の増加具合より切盛り境界を評価したが、より精度の高いボーリングや旧地形図との比較で確認した切盛り境界とほぼ同じ深度であった。地下水位の評価は動的コーン貫入試験時のロッドの濡れ具合から行ったが、水位観測によって確認したものとほぼ一致した。以上より、提案フローに沿った調査内容で安定計算に必要な情報を得られることを確認した。

盛土の強度定数は平均 N_d 値と道路橋示方書の式($\phi=4.8\log N_{d1}+21$)を用いて求め、それらの値を用いて円弧すべり法による安定計算を実施した結果、両盛土とも、二次調査で得られた安全率は盛土材料の強度定数を室内試験で求めた安全率を下回る結果となった。一方、経済性の評価においても、詳細調査と比べて6割程度の費用で実施可能である。以上より、提案した二次調査手法はスクリーニング手法として適切であることを確認した。

本章の結果の主要内容については、国内学会で報告を行い、査読付き論文として学術雑誌「地盤工学ジャーナル」へ投稿中である。

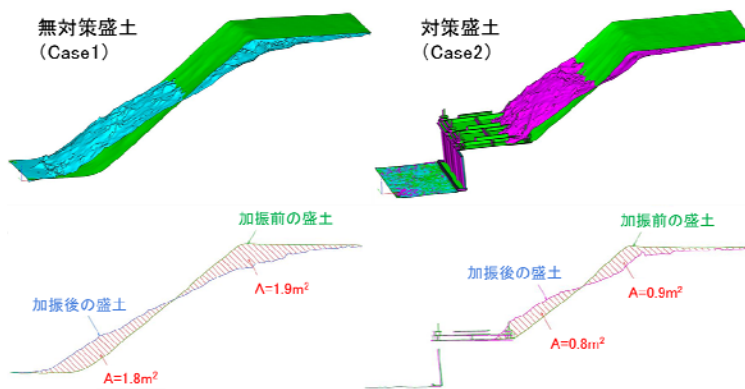


図-3 3D測量結果（加振前：緑色部，加振後：青色部(無対策盛土)，赤色部(対策盛土)）

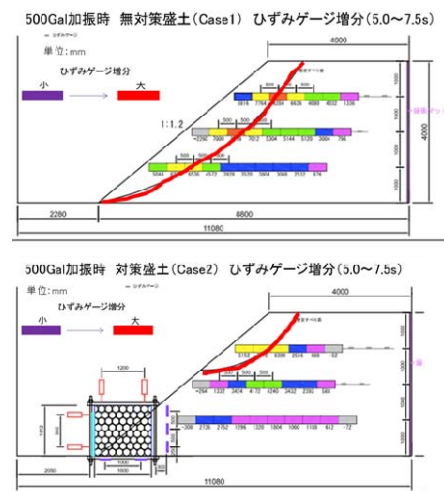


図-4 無対策盛土およびのり先補強盛土の想定すべり面

第3章 耐震補強に係る土のう構造体と設計法の開発

本研究では、土のう構造体設計に必要な構造体のせん断強度、クリープ特性、基礎地盤との相互作用、土のう構造体設置による耐震補強効果、土のう内部の中詰材の検証などを考慮した各種試験を実施し、得られた効果をもとに大型模型振動台装置を用いた盛土ののり先耐震補強効果を検証した。

実大盛土を想定した大型振動台加振試験では、土のう構造体の加振試験での実験結果を受けて、土のう構造体に75kN/m²のプレストレスを与えた土のう構造体をのり先に設置した盛土（真砂土を使用、盛土高さ4m、法面勾配1:1.2、D_c=90%、w=9~10%）の加振試験を実施し、対策工がない場合との盛土の崩壊形状について確認した。加振条件は2Hz、40波のsin波形であり、入力加速度は100Gal、250Gal、750Galである。また、土のう構造体の高さは、事前解析の結果を参考にして盛土高さの1/3とした。今回の試験では対策の有無に関係なく、750Gal加振時に盛土が崩壊した。

加振前後に実施した3D測量の結果を図-3に示す。加振前と加振後の移動土量の差分を計算すると、無対策盛土の流亡土砂量は約3.7m³に対して対策盛土は約1.7m³となり、加振による流亡土砂量が半分以下になることが分かった。

試験盛土内部に設置したひずみゲージつきの計測シートの計測値ならびに3D測量結果から想定された盛土内部のすべり面を図-4に示す。これらの図の比較により、対策盛土のすべり面の方が浅くなっており、のり先補強によるすべり抑制効果が確認できた。

入力加速度に対する盛土各層の加速度の増幅率を図-5に示す。対策盛土は無対策盛土と比較して盛土内部の各高さの応答加速度が1~2割も抑制され、盛土天端においてもその効果は顕著である。つまり、盛土法先に「土のう構造体」を設けることで、対策工の高さまで盛土本体の応答の増幅が抑制され、法肩までの応答の増幅も抑制できたと考えられる。

一方、75kN/m²のプレストレス状態とした土のう構造体では、レベル2地震動に相当する加振に対し、せん断変形はほとんど生じなかった。加振後もハニカム構造が維持された。また、化粧板の変形や土のう構造体底面の滑動も生じなかった。この結果は、50kN/m²のプレストレス状態で加振した場合（2016年度に実施）と明らかに異なっており、アンカーは損傷していない。よって、プレストレスが低下した場合に再度荷重を載荷することが可能となる。

以上の大型振動台加振試験により得られた成果をもとに、土のう構造体をのり先補強工として利用する上での優位性や、実用化に向けたより耐震補強に適した経済的な土のう構造体の設計、施工手法を検討するまでに至ることができた。さらに、現存する沢埋め道路盛土を考慮した上で、土のう構造体の設計に必要な解析シミュレーションを実施し、当該工法を行う上での盛土高や勾配等を考慮した安全性の照査を行うことができた。

本章の結果の主要内容については、国内学会で報告を行い、査読付き学術誌「地盤工学ジャーナル」への掲載が決定している。

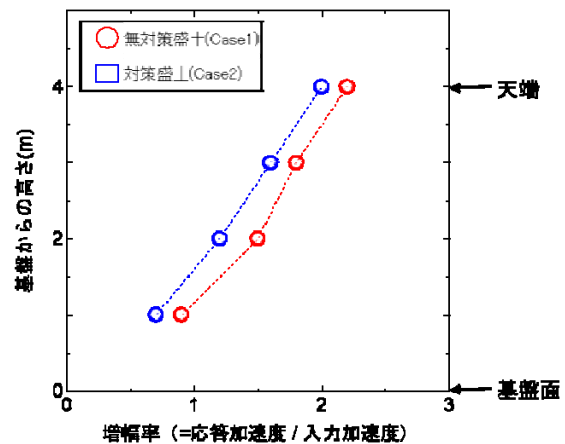


図-5 盛土の各層における加速度増幅率の深度分布

⑨研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

【特許】(出願中)

対象：当該研究の耐震補強に基本的なアイデア

発明名称(仮)：「傾斜角の補修構造および補修方法」

発明者(順不同)：神戸大学、東京海洋大学(元、防災科学技術研究所)および共同研究者の所属会社7者

【論文】

- 1) 片岡沙都紀, 澁谷啓, 植松尚大, 河井克之, 戎剛史: 耐震性に優れ環境に優しい鉄鋼スラグ混合盛土の開発に向けた室内および現場施工試験, 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, 公益社団法人地盤工学会関西支部, pp.25-30, 2015.11.
- 2) 戎剛史, 眞弓孝之, 鍋島康之, 野並賢, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 既設道路盛土の一次点検手法の改善ならびに実盛土への適用性の検証, 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, 公益社団法人地盤工学会関西支部, pp.167-172, 2016.11.
- 3) 九田敬行, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 田嶋亮佑, 森吉勇氣, 森口裕矢, 中澤博志: 土のう構造体を用いたのり先補強による既設道路盛土の耐震化, ジオシンセティックス論文集, 32巻, pp.175-182, 2017.
- 4) Satsuki Kataoka, Takayuki Kuda, Satoru Shibuya1, Hiroshi Nakazawa, Ryosuke Tajima1 and Tara Nidhi Lohani: Study on the development of a new aseismic reinforced construction method by using soil-bag stacks at the toe section of the embankment, ARIC16, Chinese Taipei Geotechnical Society (投稿中).
- 5) 戎剛史, 澁谷啓, 野並賢, 鍋島康之, 片岡沙都紀, 眞弓孝之, 千野克浩: 既設道路盛土の広域点検手法の改善ならびに実盛土への適用性の検証, 土木学会論文集F4(建設マネジメント)(投稿中)
- 6) 野並賢, 戎剛史, 片岡沙都紀, 澁谷啓, 谷和夫, 千野克浩: 既設盛土を対象とした簡易で経済的な安定性評価手法の提案とその検証事例, 地盤工学ジャーナル(投稿中)
- 7) 九田敬行, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 中澤博志: 土のう構造体を用いたのり先補強による既設土構造物の耐震補強工法に関する研究, 地盤工学ジャーナル(投稿中)
- 8) 澁谷啓, 谷和夫, 片岡沙都紀, 中澤博志: 「土のう構造体」を用いた既設盛土の耐震補強, 地盤工学会誌2018年6月号, Vol.66, No.6, Ser.No.725, 2018, pp.28-31

【口頭発表】

- 1) 澁谷啓, 谷和夫, 丁経凡, 白濟民: 土のう構造体を用いた新たなのり先補強工による既設盛土の耐震化 その1 基本概念, 第51回地盤工学研究発表会論文集, pp.1129-1130, 2016.
- 2) 田嶋亮佑, 九田敬行, 片岡沙都紀, 丁経凡, 白濟民, 澁谷啓: 土のう構造体を用いた新たなのり先補強工による 既設盛土の耐震化 その2 小型振動台模型実験, 第51回地盤工学研究発表会論文集, pp.1131-1132, 2016.
- 3) 中西典明, 九田敬行, 歳藤修一, 片山政和, 伊藤修二, 石田正利, 澁谷啓: 土のう構造体を用いた新たなのり先補強工による既設盛土の耐震化 その3 土のう積層体の静的載荷, 第51回地盤工

学研究発表会論文集, pp.1133-1134, 2016.

- 4) 加藤卓彦, 澁谷啓, 中西正典, 片山政和, 由井洋和, 歳藤修一, 伊藤修二, 石田正利: 土のう構造体を用いた新たなのり先補強工による既設盛土の耐震化 その4 被災した道路盛土をモデルケースとした試設計, 第51回地盤工学研究発表会論文集, pp.1135-1136, 2016.
- 5) 戎剛史, 眞弓孝之, 鍋島康之, 野並賢, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 既設道路盛土の広域点検管理手法に関する研究□その1 新たな点検管理手法の提案, 第51回地盤工学研究発表会論文集, pp.329-330, 2016.
- 6) 大谷公貴, 戎剛史, 眞弓孝之, 鍋島康之, 野並賢, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 既設道路盛土の広域点検管理手法に関する研究-その2 点検管理手法実用例の報告, 第51回地盤工学研究発表会論文集, pp.331-332, 2016.
- 7) 中西典明, 九田敬行, 歳藤修一, 加藤卓彦, 伊藤修二, 石田正利, 澁谷啓: 土のう構造体を用いた新たなのり先補強工による既設盛土の耐震化 その3.土のう積層体の静的載荷試験, 第51回地盤工学研究発表会論文集, pp.1133-1134, 2016.
- 8) 森吉勇氣, 田嶋亮佑, 森口裕矢, 九田敬行, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 土のう構造体を用いたのり先補強工による既設道路盛土の耐震化 その4.土のう積層体の静的載荷試験, 第52回地盤工学研究発表会論文集, pp.1047-1048, 2017.
- 9) 九田敬行, 歳藤修一, 田嶋亮佑, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 土のう構造体を用いた新たなのり先補強工による既設盛土の耐震化技術における小型振動台実験, 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, 公益社団法人地盤工学会関西支部, pp.119-124, 2016.
- 10) 九田敬行, 森口裕矢, 田嶋亮佑, 森吉勇氣, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 土のう構造体を用いたのり先補強工による既設道路盛土の耐震化.その2, 土のう構造体加振実験, 第52回地盤工学研究発表会論文集, pp.1043-1044, 2017.
- 11) 九田敬行, 田嶋亮佑, 森吉勇氣, 森口裕矢, 片岡沙都紀, 澁谷啓, 中澤博志: 土のう構造体を用いた既設道路盛土におけるのり先耐震補強 - その2 加振実験-, 第53回地盤工学研究発表会論文集, pp.1169-1170, 2018.
- 12) 中西典明, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 歳藤修一, 九田敬行, 石田正利, 伊藤修二, 加藤卓彦, 片山正和: 土嚢構造体を用いた道路盛土の耐震補強の優位性について, 第53回地盤工学研究発表会論文集, pp.1155-1156, 2018.
- 13) 戎剛史, 眞弓孝之, 澁谷啓, 鍋島康之, 野並賢, 片岡沙都紀: 既設道路盛土の点検管理手法に関する研究, 第31回日本道路会議論文集, 公益社団法人日本道路協会, 論文番号2023 (DVD-ROM), 2015.10.
- 14) 片岡沙都紀, 澁谷啓, 肥後陽介, 甲斐誠士, 加藤亮輔, 野並賢: 既設道路盛土の性能評価のための地盤調査・試験方法の研究開発, 第31回日本道路会議, 公益社団法人日本道路協会, 2015.10.
- 15) 戎剛史, 野並賢, 千野克浩, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 既設道路盛土の維持管理手法に関する研究, 第32回日本道路会議論文集, 公益社団法人日本道路協会, 論文番号4040 (DVD-ROM), 2017.11.
- 16) 九田敬行, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 森吉勇氣, 石田正利: 土のう構造体の耐震性能に関する室内実験, 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, 公益社団法人地盤工学会関西支部 (投稿中)

⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- 1) KABくまパワNEWS【検証熊本地震⑥：高速道路の地震対策「盛土」の強化】，2016年7月21日放送，<http://www.kab.co.jp/kumapawa/>

⑪研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

■ 経済的な耐震診断法の確立に向けた課題

以下に列挙する課題を検討することにより、耐震診断の更なる精度向上および効率化が期待できると考えられる。

- ・ 一次調査に関する課題：
 - 1) 対策工効果を適切に反映すること
 - 2) 時系列データの取得ならびに整理方法の検討
 - 3) 防災カルテとの関連付け
 - 4) 継続的な改善
- ・ 二次調査に関する課題：
 - 1) 盛土材料および基礎地盤表層の強度定数の精度向上
 - 2) 盛土内水位の評価精度の向上

■ 経済的な耐震補強工法の確立に向けた課題

- 1) ニューマーク法による検討や、遠心載荷実験等を用いた追加検討による検証を行い、レベル2地震動に対して求められる性能を満足するかどうかを検討
- 2) 商業化を見据えて、土のう袋の形状、使用材料、製造工程、製造方法の見直し等によるコストの大幅な削減が必要

⑫研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

東日本大震災以降、古い盛土の耐震診断や耐震補強に係る研究開発は、国内で精力的に行われている。しかし、高いコストや低い信頼性がネックとなって社会実装は進まず、既設の道路盛土の耐震化が十分に進んだとは言えない。さらなるコストダウンが課題である。

本研究により期待される具体的な成果は、(公社)地盤工学会の提言¹⁾に対する回答そのものである。すなわち、「膨大なストックである道路盛土の危険箇所を素早く低廉で確度高く判定できる技術と、効率的・経済的に実施可能な補強工法開発」である。なお、本研究によって開発された耐震補強の新技术は、新たな土地を取得する必要がなく、高度な施工技術、特殊な材料や重機を用いないとしても経済的な工法であるため、道路、造成宅地、河川堤防、ため池堰堤、等の耐震化促進にも大いに貢献すると考えられ、実証された技術として、社会実装が迅速かつスムーズに展開することが期待される。

1) 地盤工学会：地震時における地盤災害の課題と対策 - 2011年東日本大震災の教訓と提言 -, 2012.

⑬自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今度の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

【研究目的の達成度】

■ 耐震診断

本研究では、道路の維持管理において、これまで技術者の主観的判断に委ねられていた道路盛土の安定度評価に関して、地盤工学における最新の理論・技術を導入することにより、客観的で定量的な評価方法を新たに提案した。道路盛土の安定度評価に関しては、既存の定性的な点検様式の課題を克服した改善案を提案ならびに各種原位置試験結果を活用した簡易安定性照査法を提案し、その有用性を検証した。

本研究の成果は、道路盛土の安定度評価手法の定量化を成し遂げ、道路の維持管理の実務の高精度化・効率化・コストダウン化に繋がる重要な知見を得た評価する。

■ 耐震補強

本研究では、盛土に代表される既設土構造物の耐震補強において、現状では経済的で合理的な対策法が確立されているとは言い難い状況の中で、地盤工学における最新の理論・技術を導入することにより、経済的かつ効率的な新技術として「土のう構造体によるのり先補強工法」を提案した。「土のう構造体によるのり先補強工法」の性能評価に必要な構造体のせん断強度、クリープ特性、土のう構造体設置による耐震補強効果、土のう内部の中詰材の力学特性の影響を求めるための各種室内実験を実施し、さらに、土のう構造体の構成や仕様、施工方法等についても議論した。また、大型加振試験装置を用いて実物大スケールの盛土を用いた加振実験を行い、本工法の耐震補強効果を実物大スケールで実証した。

本研究の成果は、経済的かつ効率的な既設土構造物の耐震補強工法として「土のう構造体によるのり先補強工法」に関して実用化が可能なレベルまでの開発を成し遂げ、既設土構造物の維持管理および耐震補強の実務の高精度化・効率化に資するものであると考えられる。

以上の耐震診断および耐震補強の研究成果から、当初の研究目的を十分に達成できたと考えている。

【今度の展望】

経済的な耐震診断法の確立に向けた課題として、一次調査では、①対策工の適切な反映、②時系列データの取得と整理方法の検討、③防災カルテとの関連付け、④継続的な改善などが挙げられる。また、二次調査の場合は、二次調査で実施する安定性評価の精度を向上させれば詳細調査対象盛土をより絞り込むことができる。そのためには、①盛土材料および基礎地盤表層の強度定数の精度向上と、②盛土内水位の評価精度の向上が重要である。

一方、「土のう構造体による法先補強工法」を社会実装するに当っては、適用範囲の検討を極限平衡法によって検討しただけであり、レベル2地震動に対して求められる性能を満足するかどうかの検討には、ニューマーク法等による検討や、遠心載荷実験等を用いた追加検討による検証が今後の課題と言える。また、商業化を見据えて土のう袋の形状、使用材料、製造工程、製造方法の見直し等によるコストの大幅な削減が求められる。

【道路政策の質の向上への寄与，研究費の投資価値】

本研究により期待される具体的な成果は，東日本大震災後に作成された（公社）地盤工学会の提言「膨大なストックである道路盛土の危険箇所を素早く低廉で確度高く判定できる技術と，効率的・経済的に実施可能な補強工法開発」に対する回答そのものである．この成果による道路政策への貢献は，コスト縮減（政策領域4）と防災性の向上（政策領域7）であり，‘旧基準で設計・施工された道路施設の耐震診断・耐震補強’の推進に大いに寄与する．

なお，本研究によって開発される耐震診断や耐震補強の新技術は，道路盛土のみに適用が限定されるものではなく，同種の盛土構造物にも適用が可能である．例えば，河川堤防やため池施設，造成宅地の沢埋め盛土等の耐震化へ貢献できるものと考えている．