

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 2 日現在

機関番号：54501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560529

研究課題名（和文） 走行性能に着目した道路盛土の地震時変形制御対策に関する研究

研究課題名（英文） Seismic Countermeasures on deformation of road embankments focusing on the traffic cursoriality

研究代表者

鍋島 康之 (NABESHIMA YASUYUKI)

明石工業高等専門学校・都市システム工学科・教授

研究者番号：40263214

研究成果の概要（和文）：新潟県中越地震において道路盛土が多数崩壊し、耐震補強が必要とされている。そこで、盛土の法尻部を部分的に補強した耐震補強について検討した。その結果、法尻補強を施した盛土は補強を施さない盛土と比較して、すべり面の発生が抑制され、発生位置も浅くなるとともに法尻の水平変位量が抑制された。また、すべり面の形状や法尻部の水平変位量は表面工の剛性と関連することがわかった。

研究成果の概要（英文）：Many road embankments were collapsed in the Mid-Niigata Earthquake, thus necessity of seismic resistance on road embankments is recognized. In this research, a partial seismic countermeasure at toe of road embankment is proposed. Consequently, a partial reinforcement at toe of embankment was effective to control a shape and position of failure surface and reduce horizontal deformation of embankment. Also, the stiffness of facing material in the partial reinforcement at toe has relationship with the effectiveness of seismic countermeasure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：道路盛土，耐震補強，走行性，性能規定，変形抑制

1. 研究開始当初の背景

従来、道路盛土は復旧が容易なため、耐震設計が行われてこなかったが、2004年に起こった新潟県中越地震を契機として、道路盛土の耐震補強が重要視されてきている。新潟県中越地震では、マグニチュード 6.8、最大震度 7 が観測され 1)、死者 59 人、重軽傷者 4,805 人、住家被害 121,622 棟の被害が報告されている。また、山間部では道路盛土が崩壊し、緊急車両の通行ができなくなる事態 2) が発生した。このように道路が寸断されると、物資の流通や施設の復旧に遅れが生じ、

水・食料・電気の不足や被災者の健康悪化等、初動救援活動の遅滞につながる恐れがあり、道路盛土の耐震補強の必要性は高いといえる。しかし、わが国における道路盛土の数は非常に多く、盛土全体に補強を施すのはコスト面から現実的でない。そのため、より経済的な耐震補強技術の開発が望まれている。

2. 研究の目的

本研究ではコスト面への配慮からすべり破壊制御の考えを導入し、盛土ののり尻部を部分的に補強した場合の耐震補強効果について

て、また特に表面工の材質・形状が補強効果に及ぼす影響について検討する。具体的には、表面工の材質・形状の異なる複数の補強対策を用意し、小型土層を用いた盛土模型の衝撃載荷実験を実施することにより、表面工の材質・形状がすべり面形状や盛土模型の変位に及ぼす影響について検討する。また、切土模型を用いた斜面崩壊実験を実施することにより、表面工が移動土塊の変位を抑制する効果を確認する。

3. 研究の方法

(1) 実験方法

衝撃載荷実験の概要図を図1に示す。耐震性を評価する模型実験としては、振動台実験が一般的なものとして挙げられるが、設備を整えるためには高いコスト等が必要となる。そこで、本研究ではより低コストで簡易な実験として、衝撃載荷実験を実施した。本実験では、盛土模型をローラー付きスロープの上に乗せて図1のように滑らせ、コンクリート壁に衝突させることで地震動に見立てた衝撃を与え、盛土模型に生じる破壊形態について検討するものである。

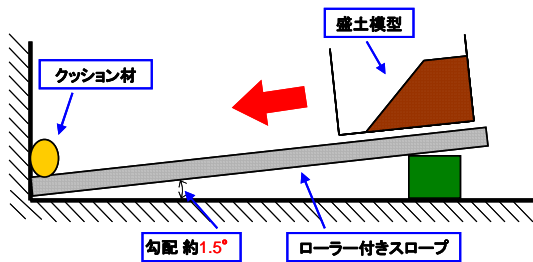


図1 衝撃載荷実験概要

なお、盛土模型を衝突させるコンクリート壁には、土層の破損や反射波を防止するために、衝撃吸収用クッション材を貼り付けておく。そして、本実験では盛土模型破壊時の挙動を調べるため、1秒間に60コマの高速連写が可能なハイスピードカメラを用い、盛土模型が壁に取り付けたクッション材に衝突して破壊する瞬間の連続写真を側面から撮影し、盛土模型に生じるすべり面の発生状況を記録する。また、実験前後の盛土模型の寸法を鋼尺によって測定、記録する。この測定値から衝撃載荷前後の盛土模型の変位量を算出する。

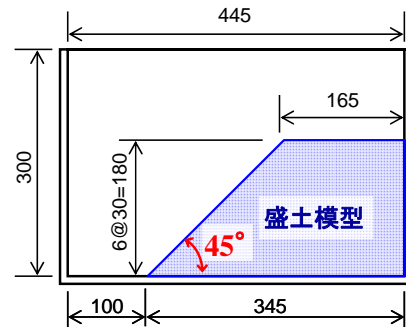
(2) 模型盛土

盛土模型の寸法を図2(a)に示す。また、試料土である豊浦標準砂の物理特性を表1に示す。盛土模型は片盛土を想定し、長さ445mm、奥行き290mm、高さ300mm(いずれも内寸)の市販の亚克力製水槽の中に作製する。試料土としては豊浦標準砂を用い、含水比を5%に調整し、湿潤密度が 1.20g/cm^3 になるよ

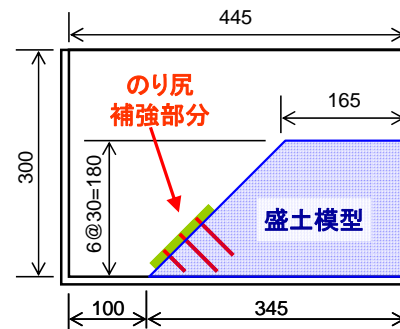
うに模型盛土を作製した。盛土模型は1層を30mmとして所定の密度になるように質量を管理し、6層に分けて試料土を締固めた後、図6に示す寸法になるよう整形して作製する。また、土槽底面には、滑り止めのためにサンドペーパーを設置する。

表1 模型盛土の密度及び間隙比

土粒子密度 (g/cm^3)	乾燥密度(g/cm^3)		間隙比	
	最大	最小	最大	最小
2.67	1.65	1.35	0.97	0.62



(a) 無補強盛土



(b) 部分補強盛土
図2 模型盛土寸法

(3) 法尻補強の種類

本実験では、のり尻補強の有無による補強効果および表面工の材質・形状による補強効果の差異を検討するため、補強を施さないCase Aと、鉄筋を模擬した棒状補強材と材質・形状の異なる表面工を組み合わせる補強したCase B~Eの5つのパターンについて実験を行った。Case B~Eは棒状補強材と表面工の組み合わせによる補強を想定し、補強材を盛土模型ののり尻部に挿入し、表面工ののり面に接触させることで補強する。図2(b)にのり尻補強した盛土模型の寸法を示す。この実験ケースでは、のり面長の約4割の高さまで表面工で補強している。棒状補強材は3行5列の計15本設置しているため、行数を取ってそれぞれCase B3, C3, D3, E3と呼ぶこととする。

また、Case B, D, Eについては表面工の補強範囲を変化させた場合の補強効果の差異

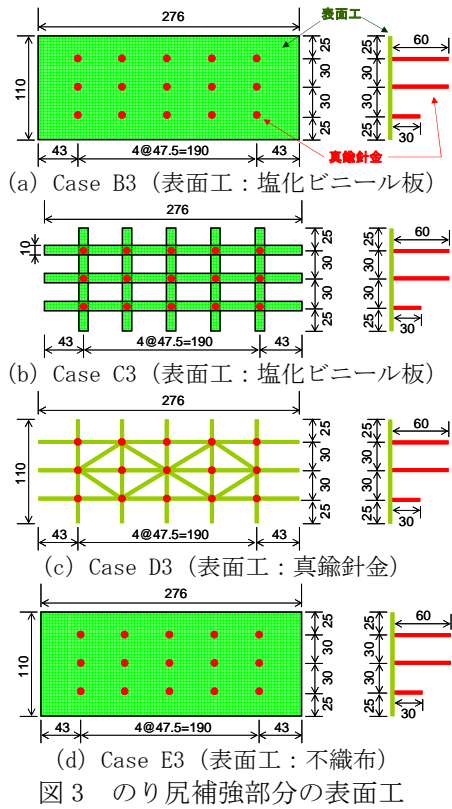


図3 のり尻補強部分の表面工

を検討するために、補強材本数の行数を1行から6行まで変化させ表面工の寸法を縦に30mmずつ変化させた6つのパターンについて実験を行った。Case B3~E3における補強模様の寸法を図3に、Case B, Eにおける補強範囲の寸法を図4に示す。補強材挿入部分はいずれのケースも同様で、直径2mmの真鍮針金をのり面に垂直になるよう5列挿入し、表面工を取り付ける。針金は挿入長60mmとするが、最下部の5本については30mmで土層底面に接触するため、挿入長30mmの針金を用いる。表面工部分の材料としては、Case B, Cは厚さ1mmの塩化ビニール板、Case Dは棒状補強材と同じ直径2mmの真鍮針金、Case Eは厚さ1mmの不織布をそれぞれ用いた。

4. 研究成果

(1) のり尻補強によるすべり面形状の変化

Case AとCase B3, C3, D3, E3の4つの補強ケースを比較するため、各ケースのすべり面形状を図5、盛土模型の変位量を図6に示す。まず、図5(a)に示しているCase Aの無補強盛土のすべり面が最も大きく、またのり面から深い位置に現れている。これに対し、耐震補強を施したケースではCase Aよりもすべり面が小さいため、のり尻補強による補強効果が確認できる。これは、補強材と表面工によりすべり土塊が拘束され、すべり破壊に対して抵抗していることが考えられる。次に、Case B3~E3の各補強ケースでは、Case Aのように円弧状のすべり面ではなく、途中で

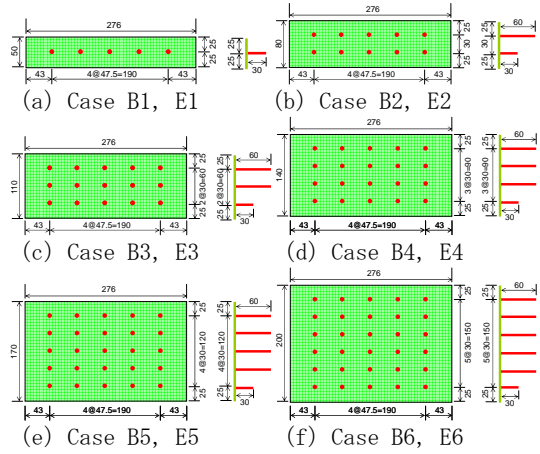


図4 Case B, Eにおける補強範囲の寸法

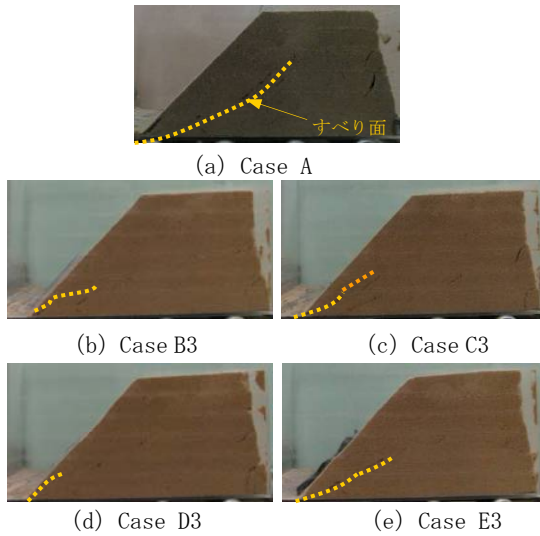


図5 すべり面形状の比較

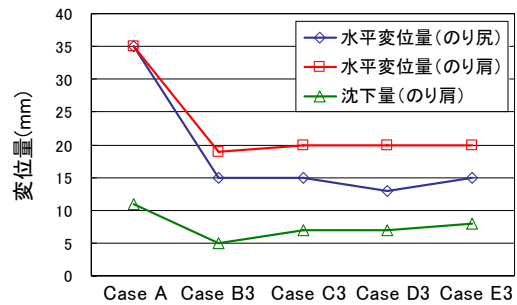


図6 盛土模型変形量

折れ曲がるようなすべり面が観察できる。また、Case E3, C3, B3, D3の順にすべり面はのり面から深い位置に表れ、すべり面の規模が大きくなっている。このことから、同じ真鍮針金を挿入してのり尻補強をした場合でも、表面工によってすべり面の大きさや形状が変わることがわかる。また、表面工の剛性はCase D3, B3, C3, E3の順に減少すると考えられ、これはすべり面の規模と一致してい

る。したがって、表面工の剛性がすべり面の形状や規模に影響していることが考えられる。

次に、図6は模型盛土ののり尻・のり肩部の水平変位量ならびにのり肩部沈下量を比較した図である。Case Aは他のケースと比べて変位量が大きいため、のり尻補強により変位が抑制されることが確認できた。また、のり尻補強したケースにおいてはのり肩部の水平変位量の方がのり尻部の水平変位量よりも大きくなっている。このことから、のり尻補強によりのり尻部の変位を抑制できていることがわかる。

(2)のり尻補強範囲による耐震性の変化

図7~9はCase B, D, Eの衝撃载荷実験におけるすべり面形状を示した図である。図7のすべり面形状から、Case B1~B6においては補強範囲が大きくなるほどすべり面が小さく、また浅い位置に現れていることがわかる。ただし、Case B1~B3では補強範囲の増加とともにすべり面が明らかに小さくなっているのに対し、Case B4~B6ではほとんど変化が見られない。これは補強範囲が拡大するほど補強材と表面工によりすべり土塊が拘束され、すべり破壊への抵抗が増大するが、ある程度以上になると補強範囲を拡大させても補強効果には大幅な変化がないため、すべり面はほとんど変化しないものと考えられる。このことから、補強範囲を拡大させても補強効果には上限があることがわかり、Case Bでは表面工がのり面長の5割以上であれば補強効果に大幅な増加は見られない。

次に、図8からすべり面の形状や発生位置はCase D1~D4ではほとんど差が見られず、Case D5とD6ではほとんどすべり面が生じないことがわかる。これは、図8(a)のCase D1のすべり面が表面工の補強範囲を越えていないため、これ以上補強範囲を拡大しても補強効果が増大しなかったことが考えられる。また、図7と図8の比較から、補強材本数は同じであるため、表面工の剛性の違いにより補強効果が増大しなくなる補強範囲の上限が異なり、表面工の剛性が高いほど補強範囲が小さくても十分な補強効果が発揮されると考えられる。

そして、図9のすべり面形状からも、補強範囲が大きくなるほどすべり面が小さく、また浅い位置に現れる傾向が確認できる。ただし、Case Eのすべり面はCase B, Dと比較して深い位置に生じていることがわかる。これは、図9を見てわかるように表面工がのり面から剥離していることから、Case B, Dと比べて表面工の剛性が小さいためにすべり土塊の移動によって表面工が容易に変形するため、すべり土塊の拘束効果が不十分であり、すべり面が深い位置に発生したものと考え

られる。

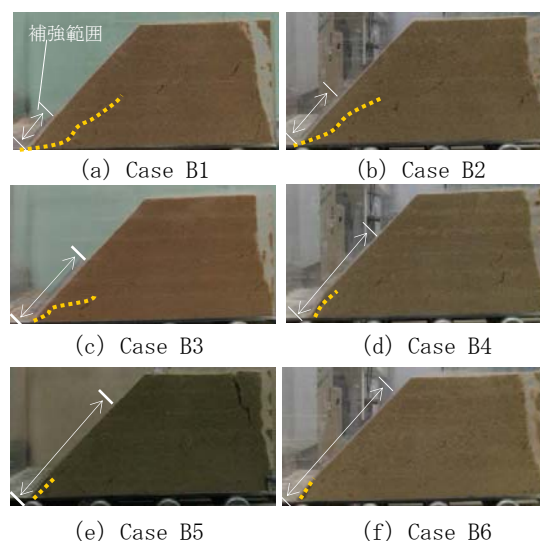


図7 Case B1~B6のすべり面形状

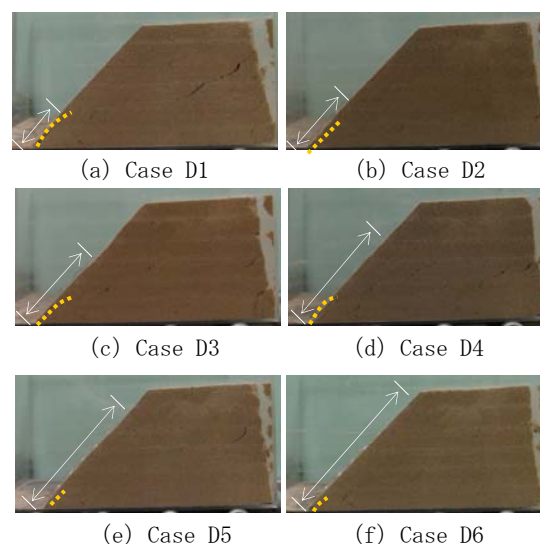


図8 Case D1~D6のすべり面形状

表面工の剛性の違いによる補強効果を検討するため、補強範囲が同じである試験ケースを比較した結果として、Case B4, D4, E4の変異量を図10に示す。補強範囲が等しい場合、のり尻とりのり肩の水平変位の差が大きいほど、のり尻の拘束効果が高いことを示している。Case B4とCase D4ではのり尻とりのり肩の水平変位量の差が比較的大きく、特にCase D4では水平変位量の差が明瞭にあらわれている。一方、Case E4ではのり尻とりのり肩の水平変位量の差がCase B4, D4と比べて小さく、表面工の拘束効果が低いと考えられる。

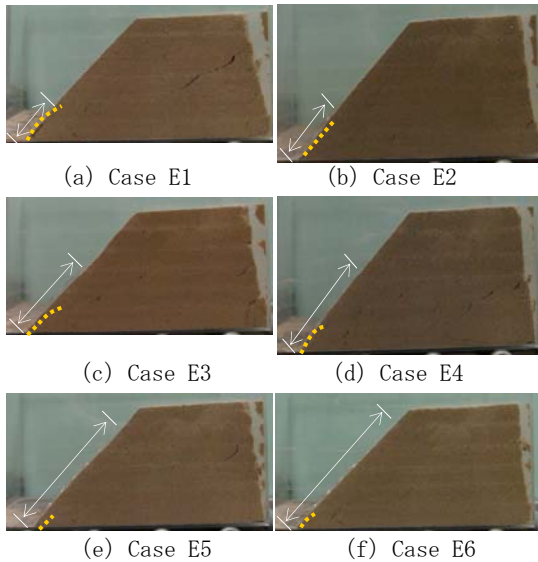


図9 Case E1～E6 のすべり面形状

(3)まとめ

本研究において得られた主な知見を以下に示す。

- ① 衝撃載荷実験結果から、無補強盛土におけるすべり面が最も大きく、のり面から深い位置にあらわれた。のり面補強された盛土は表面工の種類によらず、すべり面が小さく、浅くなることから、のり面補強による補強効果が確認できた。
- ② のり面補強された盛土では表面工の材質・形状によってすべり面の大きさや形状に差異が生じた。表面工の剛性が增大するほどすべり面が小さくなるため、表面工の剛性がすべりの規模に影響する。
- ③ 衝撃載荷実験前後の盛土模型の比較から、無補強盛土の変形がのり面補強盛土よりも大きいことから、のり面補強による変位抑制効果が確認できた。また、いずれの補強ケースにおいても、のり面部の水平変位量よりも肩部の水平変位量の方が大きいため、のり面補強によるのり面部の変位抑制効果が確認できた。
- ④ 表面工と補強材による補強範囲が拡大するほどすべり土塊が拘束され、すべり破壊への抵抗が増大するが、補強範囲がある程度以上になるとすべり面の規模はほとんど変化しない。
- ⑤ 表面工の剛性によって補強効果が増大しなくなる補強範囲の上限値が異なり、剛性が大きいほど小さな補強範囲で十分な補強効果が発揮できる。

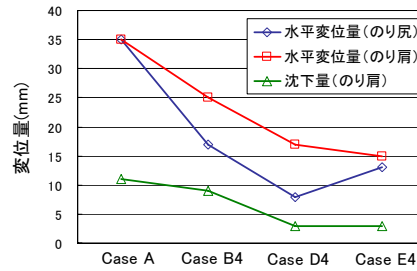


図10 Case A, B4, D4, E4 の変位量

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Y.Nabeshima and K.Nakata, Visualization of dynamic slope failure line in the model embankment by high-speed digital camera, Proceedings of the 11th Asian Symposium on Visualization, 査読有, CD-ROM, ASV11-99-47, 2011.
- ② Y.Nabeshima, S.Tomohisa, K.Nakata, Seismic failure surface control in the partially reinforced embankments in small-scale model tests, Proceedings of 7th Ground Improvement Techniques, 査読有, pp. 245~249, 2010.
- ③ 鍋島康之・才津陽平・青島光伸, 補強材の敷設間隔をあけた補強土壁の変形挙動に関する実験的検討, ジオシンセティックス論文集, 査読有, 第25巻, pp. 33~38, 2010.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 中田圭祐・鍋島康之, のり面補強盛土のすべり面形状に及ぼす表面工の影響, 第17回高専シンポジウム, 2012年1月28日, 熊本市.
- ② 鍋島康之, 最近の地震・豪雨による斜面災害とその対策, ロープネット・ロックボルト併用工法研究会, 2011年11月22日, 姫路市.
- ③ 鍋島康之, 表層拘束力を高めた地山補強土工法, 建設技術展 2011 近畿, 2011年11月2日, 大阪市.
- ④ 中田圭祐・鍋島康之, 模型切土斜面を用いた鋼製のり枠工に対するのり面工低減係数の測定, 第46回地盤工学研究発表会, 2011年7月5日, 神戸市.
- ⑤ 中田圭祐・鍋島康之, 法尻補強盛土のすべり面形状についての研究, 第4回ひょうご神戸産学学官アライアンス, 2010年9月9日, 神戸市.
- ⑥ 中田圭祐・鍋島康之・友久誠司, 衝撃載荷時に発生する法尻補強盛土のすべり面形状に及ぼす表面工の影響, 平成22年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2010年5月22日, 京都市.
- ⑦ Y.Nabeshima, S.Tomohisa and Y.Saito, Deformation behavior of reinforced earth wall with interval-layout of reinforcements, Proceedings of International Symposium on Geotechnical Engineering, Ground Improvement, and

Geosynthetics for Sustainable Mitigation and
Adaptation to Climate Change in Global Warming,
2009年11月2日, Bangkok.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍋島 康之 (NABESHIMA YASUYUKI)
明石工業高等専門学校・
都市システム工学科・教授
研究者番号：40263214

(2) 研究分担者

()
研究者番号：

(3) 連携研究者

()
研究者番号：