

地山補強材を用いた盛土の耐震補強設計におけるのり面工低減係数に関する実験的検討

キーワード 補強土工法, 耐震設計, 円弧すべり

鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤武斗
鉄道総合技術研究所 国際会員 松丸貴樹
複合技術研究所 正会員 飯島正敏

1. はじめに 既設盛土の耐震補強で用いられる地山補強土工法の設計では、切土補強の設計を準用してのり面工低減係数を用いることが一般的である。この係数は、円弧すべり法や Newmark 法を用いた地山補強土工法の設計時に補強材が移動土塊から受ける引抜き抵抗力の算定に必要なパラメータである。のり面工低減係数の決定方法は、一般的に二つの方法^{1), 2)}があるが、これらの方法では、のり面工の曲げ剛性という概念は取り入れられていない。地山補強材を用いた補強に対するのり面工の効果に関する実験的研究は、これまで常時土圧が作用する急勾配の地山等を対象としたもの^{3), 4), 5)}がほとんどであり、安定勾配に近い盛土への補強に対するのり面工の効果を検討した事例は見られない。本研究ではのり面工の曲げ剛性に応じたのり面工低減係数の決定方法の提案に資することを目的として、地山補強材を用いた既設盛土の耐震補強を対象として静的な荷重試験を行い、のり面工の有無による盛土の変形モードや発揮される補強材張力の定量的な評価を行った。

2. 実験概要 模型実験では長さ 2000×幅 600×高さ 800mm の土槽を用いた。図-1 に模型盛土の例を示す。模型寸法は実物の 1/10 スケールを想定し、高さ 600mm、盛土勾配は一般的な盛土と比較するとやや急な 1:1.1 とした。実験は高さ方向に 3 段、奥行き方向に 2 列の地山補強材で補強した模型盛土を対象に、のり面工の有無に着目して 2 ケースについて検討を行った。各ケースの実験条件を表-1 に示す。Case1 ではのり面工が施工されない場合を想定し、各補強材頭部に 50×50×H6mm のアルミ製独立支圧板模型をボルト止めた。一方、Case2 ではのり面工として曲げ剛性を有する張りブロックを想定し、のり面全体にモルタル製の壁面を設置した。補強材模型には両ケースともに長さ 500mm の M10 全ねじ棒鋼を用いており、打設角度 20° で配置した。支持地盤、盛土体の構築にはともに 2mm ふるいでふるった稲城砂を用いており、細粒分含有率は 10.8%であった。両ケース共通して、層厚 50mm で撒きだしを行い、支持地盤は全体すべりが起きないよう乾燥密度 1.337g/cm³、盛土体は乾燥密度 1.108g/cm³ を目標に作製した。計測機器の配置は図-1、図-2 に示す通りである。計測項目はのり面の水平変位、荷重荷重、荷重版の沈下量、地表面の変位、補強材頭部の張力とした。さらに、Case2 ではのり面工に作用する土圧、のり肩の沈下量も測定した。補強材頭部の張力に関しては、各列でボルトゲージとロードセルにより測定した。荷重は荷重版を介して荷重制御により、Case1 では 0.5kPa/min、Case2 では 1.0kPa/min 程度の増加となるように実施した。意図的に浅い円弧すべりを生起させるため、模型のり肩部を水平より 20° の勾配で掘削し荷重を行った。荷重版と上段の補強材が接触しないように、荷重変位の上限を 65mm としている。

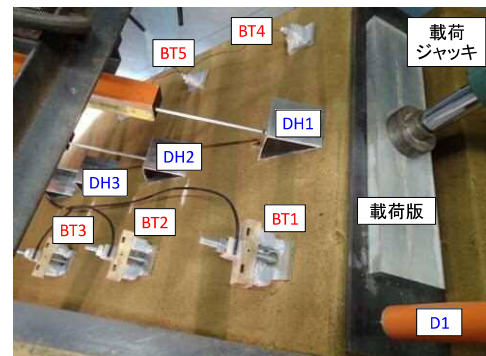


図-2 のり面の計測器配置 (Case1)

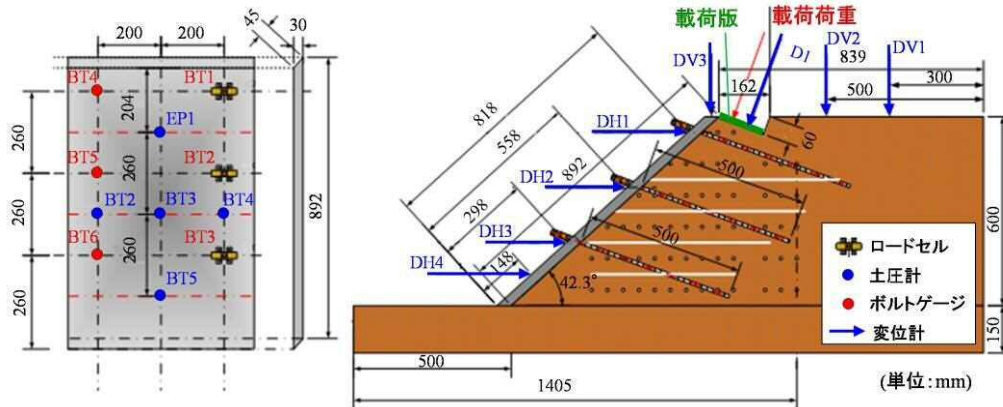


図-1 模型盛土の例 (Case2)

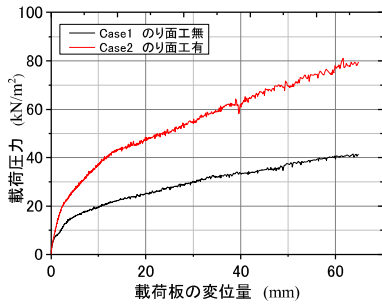


図-3 載荷版の変位量-載荷圧力関係

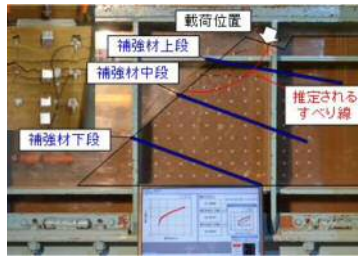


図-4 載荷版の変位量 65mm 時
模型盛土の変形状況 (Case1)

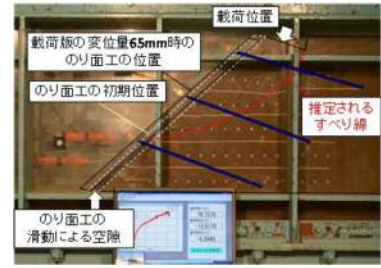


図-5 載荷版の変位量 65mm 時
模型盛土変形状況 (Case2)

3. 実験結果と考察

図-3 に載荷圧力-載荷版の変位関係を示す。図-4、図-5 に載荷版の変位が 65mm 時の各ケースの盛土模型の変形状況を示す。Case1 では、載荷版の変位量が 65mm 時の載荷圧力は 21kN/m²で、載荷位置から補強材の中段と上段の間に到達するすべりが生じている。一方、Case2 では約 65 mm まで達した時の載荷圧力は 80kN/m²であり、Case1 よりも大きな値となった。下段と中段の補強材間にまで到達するすべりにより、のり面工が滑動する変形モードとなり盛土とのり面工の間に空隙が生じている。図-6 に載荷圧力-各補強材間ののり面の水平変位関係を示す。Case1 では載荷圧力の増加に伴い、のり肩に近い部分から進行的に変位が増加しているのに対して、Case2 では載荷圧力が 42kN/m²を超えると全ての測点で水平変位が大きく増加し始めたことより、のり面工が大きく滑動し始めたものと考えられる。

次に、図-7 に載荷圧力-補強材頭部の張力関係を示す。Case1 では載荷圧力の増加に伴い、補強材張力を緩やかに増加させている。Case2 に注目してみると、上段の補強材は載荷圧力 15kN/m²付近で張力を急激に増加させている。このことは、補強材に作用する土圧の増加に起因するものと考えられる。中段、下段の補強材では載荷圧力 42kN/m²以降、のり面工の滑動により補強材が引き抜けることや壁面が滑動したことによる壁面土圧の低下、載荷による壁面土圧の増加などが起こり、中段、下段の補強材張力は複雑な挙動を示す。ここで、補強材間の土塊の抜け出しに着目し、横軸を各補強材間ののり面の水平変位で整理した補強材頭部の張力を図-8 に示す。Case1 では、上段と中段の補強材張力はほぼ同じ経路をたどっており、のり面工の補強効果がない場合、補強材頭部の張力と補強材間の水平変位は相関関係がある可能性を示唆している。また、補強材間の水平変位が 1mm を超えると補強材張力の増加量は減少する。このことは、移動土塊が補強材間をすりぬけ、補強材張力の増加に大きく寄与しなかったためと考えられる。一方、Case2 では各補強材で異なる経路をたどる。補強材がのり面工と固定された構造となっているため、載荷位置に近い上段の補強材では曲げ変形を受け大きな張力を発揮している。また、下段の補強材は周囲に変形が生じていないにも関わらず、中段の補強材よりも大きな張力を発揮している。下段の補強材頭部付近では、中段の補強材頭部よりも壁面に作用する土圧が大きいと考えられるため、のり面工の滑動に対して下段の補強材が大きく抵抗したと考えられる。

のり面工と地山補強材を併用することにより、補強材間の抜け出しが抑制され、のり面工が滑動し始めるのを補強材が一体となって抵抗することを確認した。また、各補強材が発揮する張力は壁面に土圧が大きく作用する位置に依存するものと考えられる。以上より、Case1 より Case2 の方がより大きな張力を発揮したと言える。ただし、実験では天端への載荷を行っているため、のり面工の有無により載荷位置を中心に、載荷に起因した地盤内の応力増加などの違いも含まれており、今後はこの定量化を行って影響を取り除く必要がある。

4.まとめと今後の展望

剛なのり面工と地山補強土工法を併用した際には、のり面工の効果により補強材の補強効果が大きくなることを実験により確認した。今後、3次元有限要素解析により実験の再現を行うとともに、のり面工の曲げ剛性や補強材配置間隔をパラメータにしたパラメータスタディを行うことで、のり面工の曲げ剛性に応じたのり面工低減係数の設定方法を構築していく予定である。

参考文献

- 1) 東日本高速道路、中日本高速道路、西日本高速道路：切土補強土工法設計・施工要領、pp. 50～pp. 51、高速道路総合技術研究所、2007。
- 2) 村松正重、成瀬隆弘、毛利俊二：鉄筋補強土工法におけるのり面保護工の設計法について（その2）、土木学会第 49 回年次学術講演会、1994。
- 3) 村松正重、末岡徹、籠岡文夫：地山補強土工法における補強機構とのり面保護工の効果、土木学会論文集 No.517/III-31、pp.93～104、1995。
- 4) 稲川雄宜、山本彰：地山補強土工法におけるのり面工の耐震性について、大林組技術研究所報 No.76、2012。
- 5) 石川芳治、高橋徳、大内公安、斎藤絵理：長繊維混入補強土工法ののり面補強効果に関する模型実験、土木学会第 62 回年次学術講演会、2007。

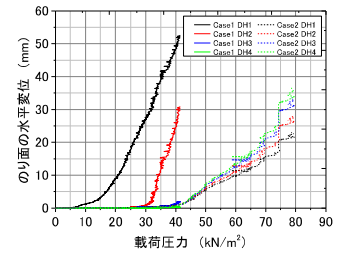


図-6 載荷圧力-のり面の水平変位関係

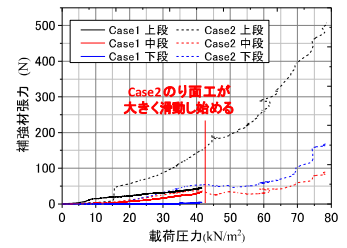


図-7 載荷圧力-補強材頭部の張力関係

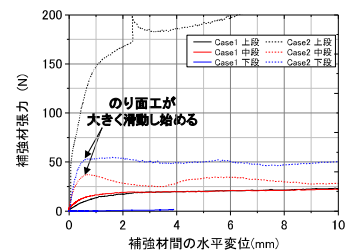


図-8 各補強材間の水平変位-
補強材頭部の張力関係