

支圧板付きロックボルト補強斜面の地震時安定性を与える補強材挿入角度の影響に関する実験的検討

鹿島建設 正会員 ○中本 詩瑠, 東京工業大学 正会員 関 栄, 竹村 次朗
日鐵住金建材 正会員 岩佐 直人

1. はじめに 支圧板付きロックボルトはのり面工に独立支圧板を用いる地山補強土工法の一つであり、樹木を伐採することなく施工でき、また、施工時に支圧板より斜面に対してある程度の締付け力を作用させることで、比較的緩い斜面にも適用可能だと考えられる。地山補強土の補強効果に関わる項目の一つとして補強材の挿入角度があり、静的な条件下における補強材挿入角度が補強効果に与える影響については多くの研究がなされてきた^{例え 1)}。一方、地震動による斜面崩壊に与える補強材角度の影響を確認した研究はほとんど見られない。そこで本研究では、支圧板付きロックボルト補強斜面を用いた遠心模型振動実験を行い、補強材挿入角度が補強斜面の地震時安定性に与える影響について検討した。

2. 実験概要 本研究に用いた模型補強斜面を図 1²⁾に示す。模型斜面は、傾斜角 45°のアルミ製不動層の上に含水比 14.5%に調整した江戸崎砂を単位体積重量 $\gamma=17.6\text{kN/m}^3$ (排水三軸圧縮試験より得られた強度は $\phi'=37^\circ$, $c=3.3\text{kN/m}^2$) となるように締固めて作成した。模型斜面整形後、ロックボルト模型 (直径 3mm の真鍮ねじ棒) を斜面内に挿入し、頭部に支圧板 (厚さ 2mm のアルミ板) を設置し、下端とともにナットで固定した。模型斜面作成後はプレロードとして、斜面に対して 40G の遠心加速度をあらかじめ付与した後に、遠心加速度 25G の下で 50Hz [実物換算: 2Hz] のテーパ付き正弦波を、5g [実物換算: 200gal] から明確な破壊が見られるまで、その振幅を約 2.5g ずつ増加させながら、斜面に対して段階的に与えた。実験中は法肩の鉛直変位 DV1 と水平変位 DH1 および斜面中腹の水平変位 DH2 を変位計、斜面の各位置における応答加速度を加速度計、支圧板および補強材による抵抗力を小型ロードセルで計測した。さらに、斜面側面にうどんを挿入し、これをマーカーとして実験全過程において、地盤側面のビデオ撮影を行った。表 1 に実験ケースの一覧と各ケースにて入力した最大地震動の振幅を示す。

3. 実験結果および考察 図 2 に Case3 における斜面表層破壊時の表層応答加速度、第 4 段支圧板抵抗力および斜面中腹水平変位の時刻歴を入力地震動と共に示す。図より、斜面の谷側方向に慣性力が働く時、支圧板から斜面に対して明確な抵抗力が作用され、斜面表層破壊の発生とともに支圧抵抗力は減少することがわかる。また、支圧抵抗力の減少は斜面内の潜在的なすべりを誘発し、明確な斜面変位の増加が見られた。図 3 に斜面の側面に設置したマーカーより観測される、振動実験後の斜面変形を示す。無補強の Case1 では比較的小さな入力地震動に対して大きな斜面変形と明確なすべり線が生じた。一方、補強付きの Case3&6 では大きな入力地震動により、不動層と移動層の境界付近において潜在的なすべりが見られたが、斜面変形は大きく抑えられ、補強材による斜面一体化効果を確認することができた。また、補強材を斜面に対して垂直に設置する Case3 よりも、斜面に対して 70°に設置した Case6 の方が斜面表層の変形が抑えられていた。実験後の補強斜面表層の破壊状況を図 4 に示す。Case3 では斜面下方において明確な表層破壊と、斜面上方において支圧板の貫入・回転および支圧板に沿った亀裂が見られた。一方、Case6 では支圧板の貫入および回転が Case3 よりも大きく抑えられ、明確な表層破壊を確認することができなかった。斜面表層の安定性は地震力

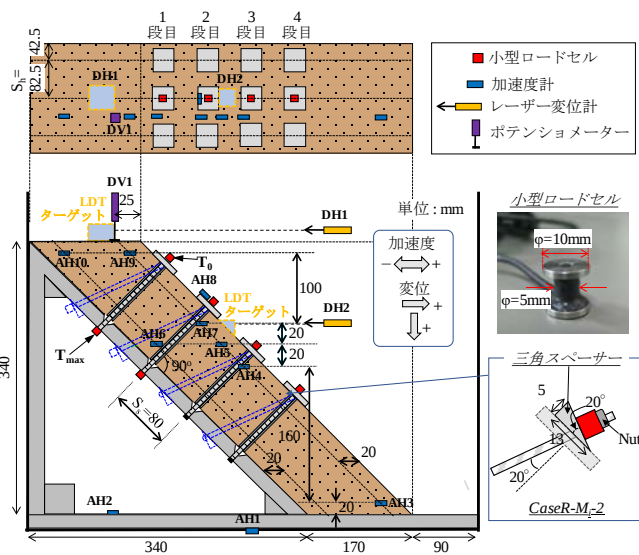


図 1 補強斜面概要

表 1 実験ケース一覧 (実物換算値)

	支圧板幅 B	補強間隔 S	補強材 設置角度 β	最大入力地震動
Case1	—	—	—	9.3g (370 gal)
Case3	30mm (0.75m)	80mm (2m)	90°	19.0g (760 gal)
Case6	30mm (0.75m)	80mm (2m)	70°	18.5g (740 gal)

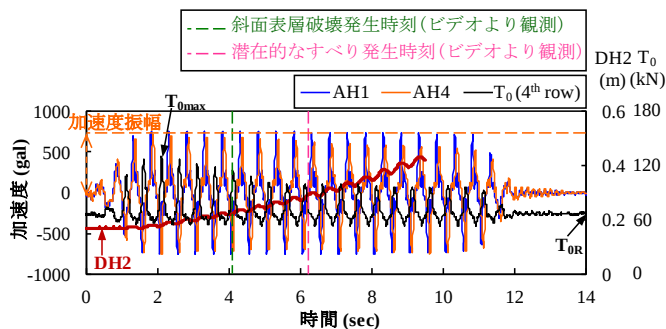


図 2 斜面加速度、支圧抵抗力および斜面水平変位の時刻歴

キーワード：斜面補強, 地山補強土, 遠心模型実験

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-18 TEL 03-5734-2592

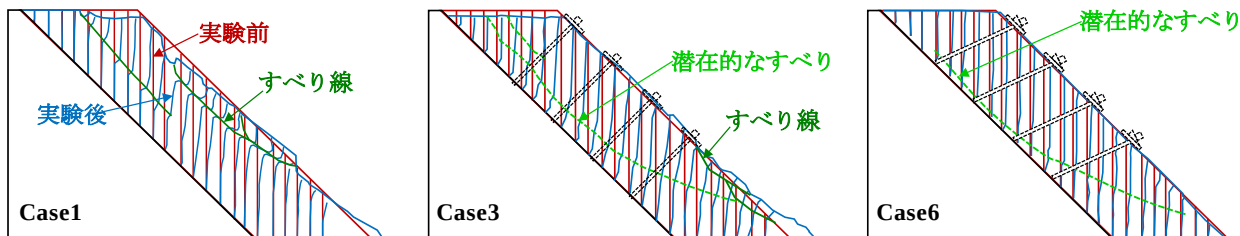


図3 実験後に観測された斜面変形

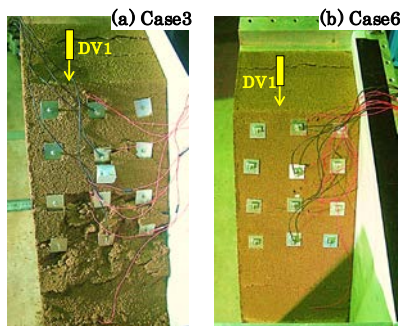


図4 補強斜面表層の破壊状況

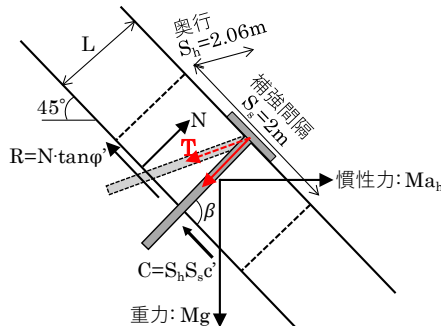


図5 半無限斜面に作用する力

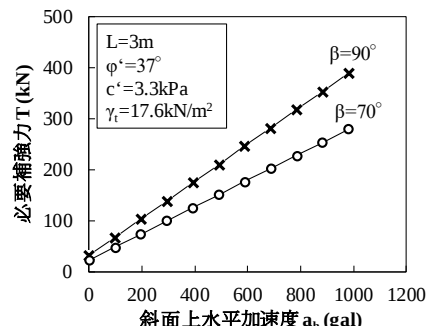


図6 斜面上加速度と必要補強力の関係

に対して発揮される補強材抵抗力に強く依存すると考えられ、挿入角度が補強材の抵抗力発現に与える影響は図5に示すような半無限補強斜面を対象としたつり合い法で確認することができる。傾斜角 45° の補強斜面に対して水平加速度 a_h が作用するとき、移動土塊に働く滑動力(F_s)およびそれに対する抵抗力(F_r)は式1&2より算出でき、移動土塊の安定性を保つために必要な補強力(T)は F_s と F_r のつり合いより求めることができる。図6に斜面上水平加速度と必要補強力(T)の関係、図7に水平加速度が $0.8g$ (785gal) の時の必要補強力と補強材挿入角度の関係を示す。図より、補強材を斜面に対して垂直に設置するよりも 70° に設置した方が必要補強力は小さく、斜面勾配が 45° の場合、補強材を斜面に対して 30° に設置した方が必要補強力は最も小さいことがわかる。

$$F_s = Mg \sin 45^\circ + Ma_h \cos 45^\circ \quad \text{式1}$$

$$F_r = S_h \cdot S_s c' + N \tan \phi' + T \cos \beta \quad \text{式2}$$

図8に振動実験中に計測された斜面表層応答加速度振幅と支圧板抵抗力の最大値 T_{0max} (図2)を示す(本実験に用いられたような緩い斜面に対して発揮される補強力はほぼ支圧板抵抗力であり、補強材摩擦抵抗力の発現は非常に小さいと考えられる³⁾)。図に示す通り、Case6にて発揮された支圧抵抗力はCase3よりも小さく、図6に示す安定計算の結果と同じ傾向が実験でも見られたことがわかる。支圧抵抗力が小さいことで、斜面に対する支圧板の貫入量も小さいため、これがCase6において斜面表層破壊が生じなかった主な原因の一つだと考えられる。さらに、振動後の斜面中腹水平変位(DH2)と支圧抵抗力の残留値を図9に示す。図より、同じ変位に対して発揮される支圧抵抗力はCase6の方が大きく、垂直よりも補強材を斜面に対して 70° に設置した方が補強効果は大きいことがここからも確認することができる。

4. まとめ 本研究では支圧板付きロックボルト補強斜面を用いた遠心模型振動実験を行い、補強材挿入角度が補強力発現および斜面表層の安定性に与える影響について確認し、本実験条件では斜面に対する補強材の挿入角度を垂直よりも小さくすることで補強斜面の安定性を高めることができることがわかった。

参考文献

- 1) 館山勝, 龍岡文夫, 岸田浩, 浦川智行, 田村幸彦: 棒状補強材の補強効果に関する考察, 第28回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 2787-2790, 1993.
- 2) 中本詩瑠, 関栄, 岩佐直人, 竹村次朗: 支圧板付きロックボルト補強斜面の遠心模型振動実験, 第51回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1883-1884, 2016.
- 3) 岡本航, 中本詩瑠, 関栄, 竹村次朗: 斜面補強における支圧板付きロックボルトの引張抵抗に関する実験的研究, 第51回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1583-1584, 2016.

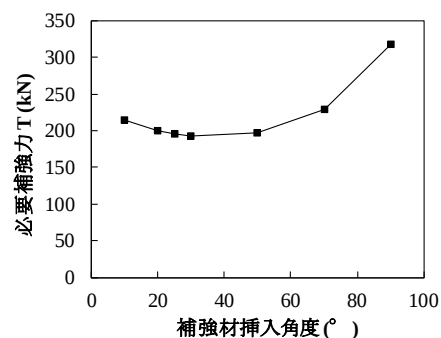
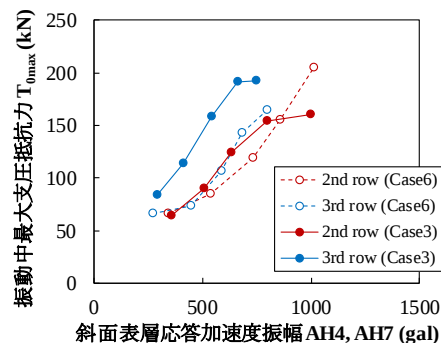
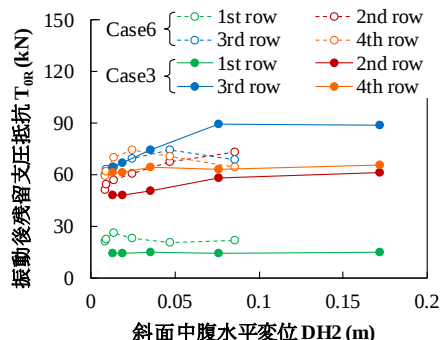


図7 補強材挿入角と必要補強力の関係

図8 斜面上応答加速度と T_0 の関係図9 DH2 と T_0 の振動後残留値