

改良杭で補強した模型盛土の補強効果に関する解析的検討

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 技術第二部 正会員 ○千葉 道孝
 東日本旅客鉄道(株) フロンティアサービス研究所 フェロ会員 渡邊 康夫
 東日本旅客鉄道(株) フロンティアサービス研究所 正会員 高山 真揮
 ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 技術第二部 山本 忠

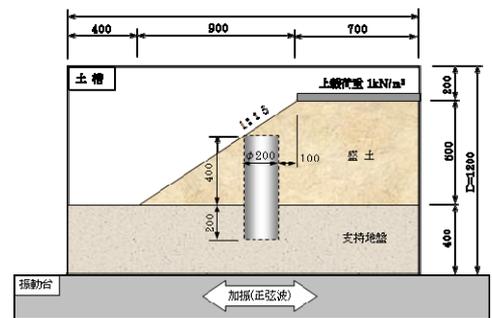
1. はじめに

一般に、盛土の耐震補強はのり面に棒状補強材やグラウンドアンカーを設置する工法が多く採用されるが、のり面からの施工スペースが十分に確保できないことがある。このような場合、軌道面から鉛直に高圧噴射攪拌工法等による柱状の地盤改良を施すことが考えられるが、この工法に関しては耐震性能の評価手法が確立されていない問題がある。本稿は、別途実施した模型盛土による振動台試験結果¹⁾をもとに、せん断強度低減法による3次元FEM（以下、SSR-FEM）を用いた検証解析について報告する。

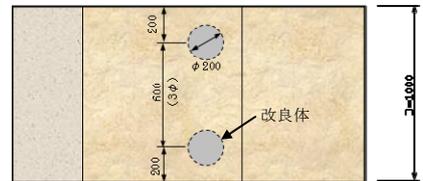
2. 模型盛土振動台試験の概要

図-1に模型盛土の形状寸法及び改良杭の配置状況を示し、概要を以下に示す。模型試験は改良体ありなしの2ケース実施した。

- ・盛土 ; 高さ 0.6m, 勾配 1:1.5 (実寸 6.0m, 1/10 スケール)
- ・材 料 ; 珪砂 6号 (盛土含水比 2%)
 $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3, c = 1 \text{ kN/m}^2, \phi = 34^\circ$
- ・上載荷重 ; 1 kN/m^2 (実寸 10 kN/m^2)
- ・加振力 ; 正弦波 5Hz, 10波, 100gal 間隔で増加
- ・改良体 ; モルタル杭 $\phi 200$, $L = 0.6\text{m}$, 改良体間隔 0.6m
- ・試験ケース ; 改良体有無の 2 ケース



側面図



平面図

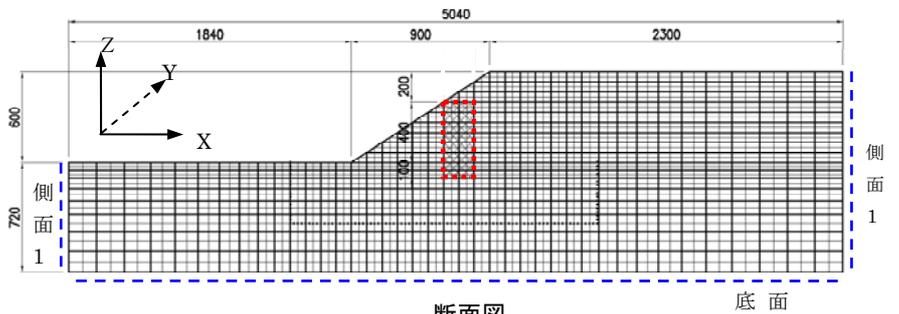
図-1 試験装置略図

3. 検証解析

(1) 解析手法

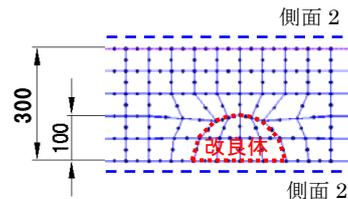
模型試験の検証解析は、SSR-FEM を用いて行った。SSR-FEM は、地盤の強度定数を徐々に低減させながら弾塑性計算を繰返して斜面等の土塊全体が崩壊する時点の全体安全率を求める手法であり、すべり線が自動的に得られる利点がある。また、改良体なしの場合は、「鉄道構造物等設計標準 土構造物 (H19年)」(以下、【土構造物標準】と略記)に示された円弧すべり法(修正フェレニウス法)による検討も行った。

SSR-FEM のモデル図を図-2 に示す。解析結果の検証は、全体安全率が 1.0 となる水平震度(降伏震度と定義)を求め、そのときのすべり形状を模型試験結果と比較することによって行った。



断面図

底面



改良体上部平面

- | | |
|--|--|
| <<盛土物性値>>
$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$
$c = 1 \text{ kN/m}^2$
$\phi = 34^\circ$
$E = 12.5 \text{ kN/m}^2$
$\nu = 0.3$ | <<境界条件>>
側面 1; 面外方向固定(X fix, YZ free)
側面 2; " (Y fix, XZ free)
底面; 固定(XYZ 固定) |
|--|--|

図-2 解析モデルと解析条件

(2) 解析結果

模型試験、SSR-FEM および円弧すべり法による降伏震度を表-1 に示す。模型試験の降伏震度は、変位が急増

キーワード 盛土補強, 地盤改良, 耐震性能評価

連絡先 住所; 東京都豊島区西池袋 1-11-1 メトロポリタンプラザ 19F TEL; 03-5396-7249 FAX; 03-5949-2795

する前の有意な残留変位が生じた時点とし、盛土体内に設置している加速度計の測定値から内部に位相差が現れた加振入力加速度から判定を行った。

模型試験と SSR-FEM の降伏震度は、改良なしのケースでは前者が 0.53、後者が 0.49 となった。また、改良ありのケースは前者が 0.61、後者が 0.60 であり、何れのケースも SSR-FEM の方が僅かに小さいが、比較的良く一致している。また、改良体を設置したことによる降伏震度の上昇は、前者が 0.08、後者が 0.11 であり、SSR-FEM は模型試験結果を概ね再現できていると思われる。

円弧すべり法による降伏震度は 0.43 であり、3つの方法のうち最も小さい値となった。【土構造物標準】は、起動モーメントと抵抗モーメントの極限釣合いから降伏震度を求めていることも相違の原因として考えられるが、耐震性能評価としては安全側の結果を示すと思われる。

模型試験および各解析により得られたすべり線を図-3 に示す。図の改良なしのすべり線は、円弧すべり法と SSR-FEM による水平震度 0.4 および 0.6 の結果を描いているが、計算によるすべり線は概ね一致しているものの、模型試験よりも深い領域ですべりが生じている。

図-4 は、改良ありの SSR-FEM の結果のうち改良体間の鉛直断面に着目してせん断ひずみ分布を描いたものである。図より改良体前面上部を通るすべりと改良体間をすり抜ける 2 つのすべりが想定されることから、図-3 の改良ありのケースは 2 本のすべり線を描いている。このケースについても計算によるすべりの方が模型試験よりも深い領域で生じている。

模型試験では法肩の小さな崩壊が先行し、その次の加速度載荷段階において法尻に至る大きなすべりが生じる挙動を示した。これらの結果も踏まえると、すべり深さの相違の原因として以下が考えられる。

- ①正弦波を与えた模型盛土の動的挙動は法肩の応答が増幅しやすい傾向にあるが、すべりが生じることによってエネルギー吸収し、すべり線が深い領域に達し難い。
- ②円弧すべり法や SSR-FEM は静的水平震度を載荷しており、極限釣合い状態においては比較的深い領域で釣り合う状態にある。

4. まとめ

盛土の耐震補強として柱状の改良体を配置した模型試験結果をもとに、SSR-FEM を用いた検証解析を行った。その結果、両者の降伏震度や改良による降伏震度の上昇の程度は比較的良く一致することが確認できた。なお、模型試験と計算によるすべりの深さについては相違があることが分かった。

【参考文献】

1) 高山真揮, 渡邊康夫, 三上和久: 改良杭で補強した模型盛土の振動試験, 第 48 回土木学会年次学術講演会 (投稿中) 2013 年 9 月

表-1 各ケースの降伏震度 K_y

改良有無	なし	あり
模型試験	0.53 (516gal)	0.61 (598gal)
SSR-FEM	0.49	0.60
円弧すべり法	0.43	—

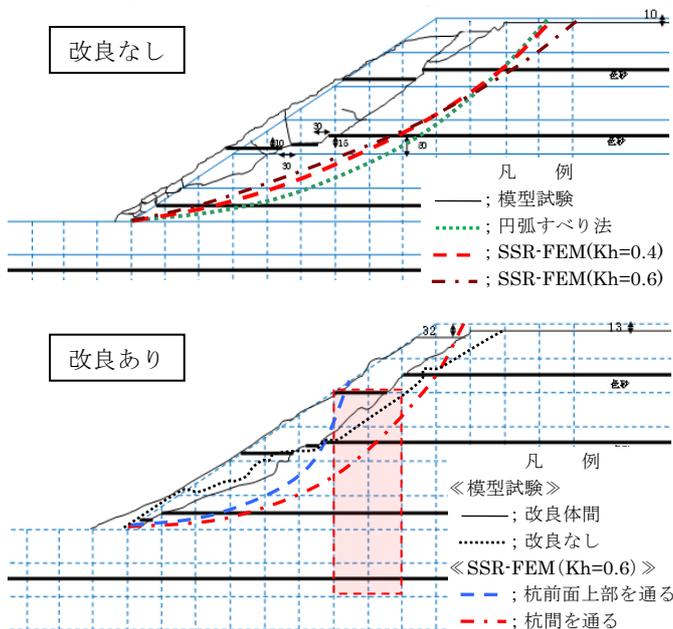


図-3 模型試験と解析によるすべり線の比較

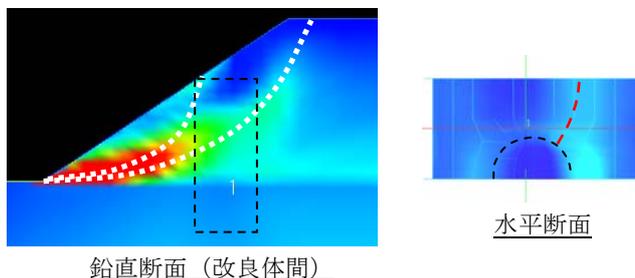


図-4 SSR-FEM によるせん断ひずみ分布と想定すべり