

液状化地盤上の既設盛土におけるネイリング工法による耐震補強の効果確認試験

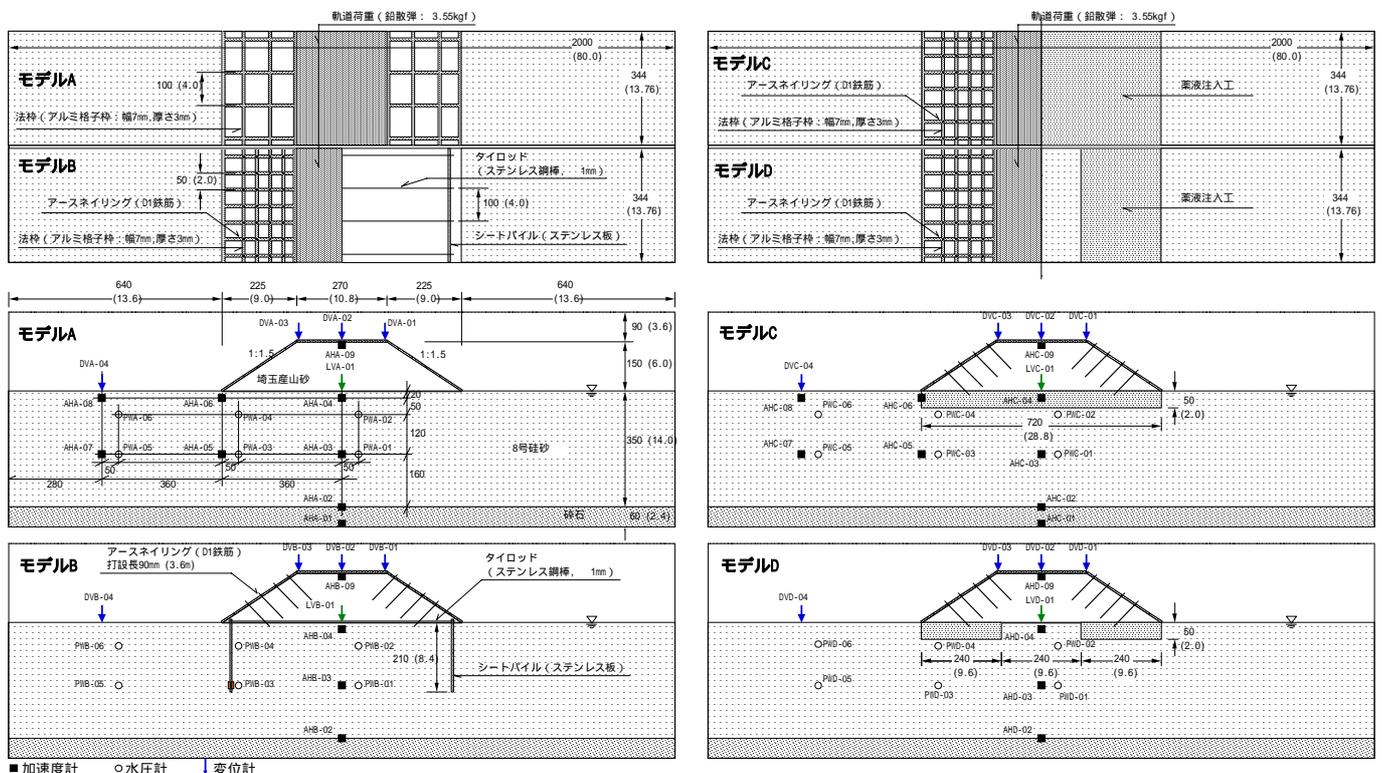
東海旅客鉄道（株） 正会員 永尾拓洋
 （株）大林組 正会員 佐藤 清
 東海旅客鉄道（株） FID-会員 関 雅樹
 " 正会員 長縄卓夫

1. 目的 液状化地盤上の盛土構造物の地震時被害として、天端の縦断クラックやのり面の円弧すべり破壊などを挙げる事ができる¹⁾²⁾。これらの地震被害を防ぐためには、下部地盤の沈下・流動対策に加え、盛土本体への変状防止対策の実施が効果的である。本研究では既設盛土に対する効果的な耐震補強工の検討を目的として、アースネイリング工法により盛土本体を補強し、これに下部地盤への対策として異なる3種類の工法を組み合わせた時の耐震補強効果の違いを、40g 場での遠心模型振動実験により調査した。

2. 実験方法 表-1 に実験ケースおよび実験モデルを示す。実験は未対策モデルおよび3種類の対策モデルについて実施した。下部地盤への対策はシートパイル工（モデルB）、盛土直下全域への薬液注入工（モデルC）、盛土直下への部分的な薬液注入工（モデルD）とした。盛土本体への対策はアースネイリング工である。図-1 に模型断面図および平面図を示す。模型は長さ200cm×奥行き70cm×高さ65cmのアルミ製剛土層を奥行き方向に2分割し、2つのモデルを同時に作製した。盛土は高さ6m、天端幅10.8mをプロトタイプとし、下部地盤は液状化層厚14mをプロトタイプとして1/40スケールで模型を作製した。下部地盤は液状化層と支持層によって構成し、液状化層は8号硅砂（相対密度 $D_r=40\sim50\%$ ）とした。盛土は細粒分含有率 $f_c=25.6\%$ の山砂を使用し、含水比 $W=16\%$ 、湿潤密度 $\rho_t=1.45g/cm^3$ に作製した。盛土上には軌道荷重として、実物換算 $15kN/m^2$ となるよう鉛散弾を設置した。盛土の完成後、下部地盤の間隙を二酸化炭素置換し、脱気水により飽和した。アースネイリング工は法面にアルミ製法枠を設置した後、盛土に3mmの孔を

表-1 実験ケース

実験ケース	モデル	盛土への対策	下部地盤への対策
1	A	なし	なし
	B	アースネイリング工	シートパイル工(中間層止め)
2	C	アースネイリング工	薬液注入工(全面改良)
	D	アースネイリング工	薬液注入工(部分改良)



キーワード 盛土、液状化、遠心模型実験、アースネイリング工法、耐震補強
 連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組 技術研究所 土木構造研究室 0424-95-1090

開け、モルタルを注入して D1 異形鉄筋を深さ 9cm（実物換算 3.6m）まで打設した。鉄筋頭部はエポキシ樹脂により法枠に固定した。シートパイル工は打設深さを液状化層厚の 60%（実物換算 8.4m）とし、SP-型をプロトタイプとしてステンレス板によりモデル化した。シートパイルの頭部はタイロッドで緊結しており、SWPR19（21.8mm）をプロトタイプとして、ステンレス棒鋼によってモデル化した。薬液注入工は超微粒子シリカ系薬液によってブロック状の改良体を作製し、実験模型作製時に土層内に設置した。改良体の一軸圧縮強度は、 $q_u=80$ (kPa)であった。入力地震波は、鉄道構造物等設計標準³⁾の L2 基盤地震動波形（スペクトル適合波、最大 749cm/s^2 ）を使用した。

3. 実験結果 図-2 に実験ケース 1 の入力加速度を示す。最大加速度は実験ケース 1 では $543(\text{cm/s}^2)$ 、実験ケース 2 では $514(\text{cm/s}^2)$ であった。どちらのケースでも下部地盤の液状化が確認された。図-3 に遠心載荷時および加振時の天端の沈下量、図-4 に加振後の変形状況を示す。図中 DV-01 および 03 は法肩、DV-02 は天端中央の沈下量である（図-1 参照）。モデル A（未対策）では天端の縦断クラックやのり面の円弧すべり破壊が発生し、法尻は外側へ大きく広がった²⁾。盛土沈下量を見ると、モデル A に対してモデル B、C に低減効果が見られ（図-3）、下部地盤への対策工により盛土法尻の開きが抑制されたためと考えられる。加振後の変形状況を見ると、モデル B はのり面形状が保持され、天端の縦断クラックも微細であったが、モデル C はモデル A と同程度の縦断クラックが発生し、実物換算で 40cm 程度の段差が生じた。モデル C では遠心載荷過程で既に天端に段差が生じており（図-3）、盛土自重によって改良体に縦断方向のクラックが発生し、盛土のクラックを誘発した可能性が考えられる。一方、モデル D ではモデル A と同等以上の沈下が生じている。加振後の変形状況（図-4）を見ると、モデル D は薬液注入が部分的であるため、法尻の開きを抑制できていないことがわかる。また、薬液注入されていない盛土中央部での沈下が激しい。

4. まとめ 実験の結果を以下にまとめる。アースネイリング工法によるのり面補強は盛土のり面の崩壊を防止し、のり面全体の形状保持に高い効果がある。シートパイル工法は頭部をタイロッドによって連結することにより、支持層への根入れが無くとも盛土の沈下抑制に効果が得られる。薬液注入工を盛土直下全面に適用した場合、盛土全体の沈下抑制に効果がある。部分的な薬液注入工は、沈下および天端クラックを抑制する効果が低い。沈下抑制、盛土形状保持を総合的に考慮すると、アースネイリング工法+シートパイル工法が最も効果的であった。

参考文献 1) 北海道開発局帯広開発建設部：平成 15 年十勝沖地震による帯広開発建設部管内被災概要, 2003.10. 2) 永尾他：遠心模型振動実験による液状化地盤上の盛土の挙動評価, 第 39 回地盤工学研究発表会（投稿中）。 3) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）, 1999.10.

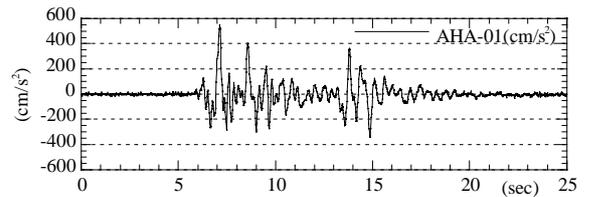


図-2 入力加速度（実験ケース 1：実物換算）

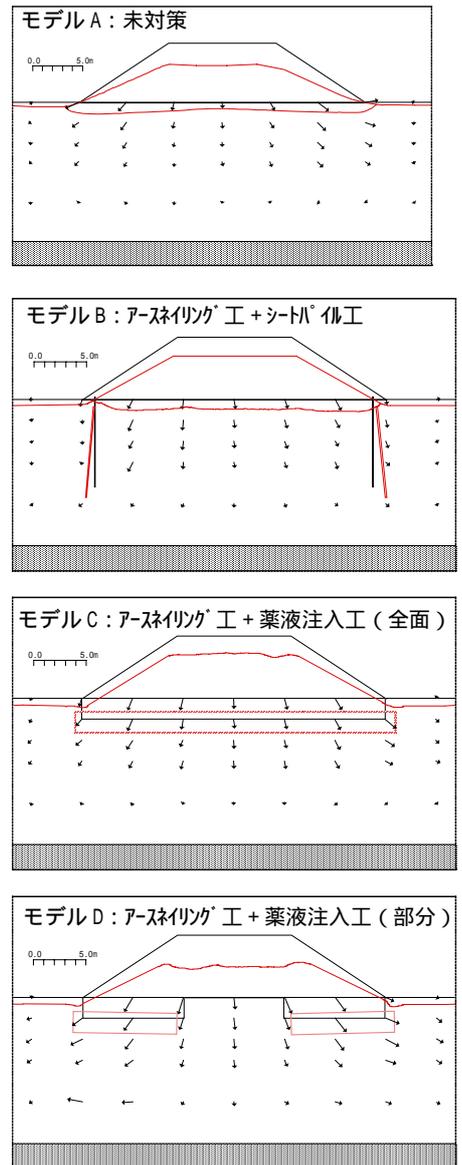


図-4 加振後の変形状況

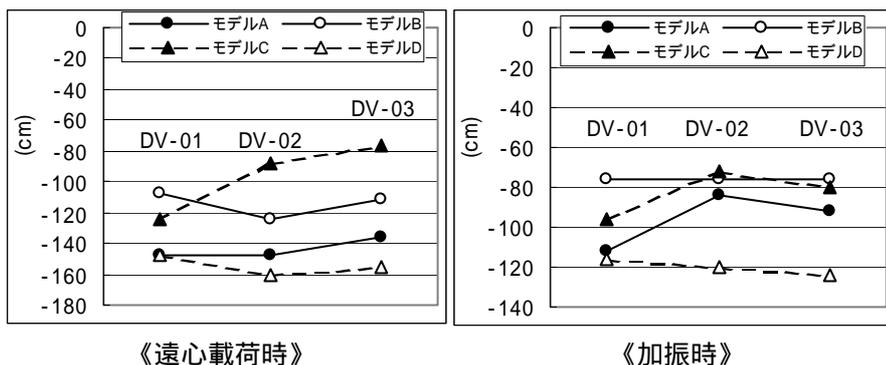


図-3 遠心載荷時および加振時の盛土天端沈下量（実物換算値）