合理的な盛土の液状化対策工法に関する研究

― 遠心力模型実験による検討 ―

東海旅客鉄道㈱　正会員　○永尾拓洋，フェロー会員　関　雅樹
㈱大林組　正会員　佐藤　清

１．はじめに

既往の研究[1)]によれば，地震による鉄道盛土の液状化破壊は，盛土堤体に基礎地盤まで到達するようなテンションクラックが生じるⅢ型，盛土が全体的に沈下するⅣ型，地盤の液状化に伴い盛土堤体も液状化し，盛土が全面的に崩壊するⅤ型に分類される（**図 1**）．この内，液状化による盛土対策はⅢ型破壊を中心とした検討が重要[2),3)]であることから，筆者らは盛土のⅢ型破壊の再現を試み，その効果的な対策工法について報じてきた[4),5)]．本稿ではこれまで得られた知見から，新たに合理的な盛土の液状化対策工法を提案するため，その効果を遠心力模型実験により検証したので報告する．

２．遠心力模型実験

（１）実験概要

筆者らは既に液状化層の中間で打止めとするシートパイル工法が，Ⅲ型破壊に対する盛土形状の保持に優れた効果を発揮することを実験により確認している．この効果がタイロッドによる盛土のストレッチング防止に起因していることから，大幅なコストダウンが可能である2タイプの工法を新たに提案し，その効果を遠心力模型実験により確認することとした．試験ケースを**表1**に示す．シートパイル工法（L=4m）はシートパイルが1枚のみの使用となるため継手が不要であり，鉄道の営業線近接工事においても施工効率が格段に向上する．また，腰土留＋タイロッド工法は既存の腰土留を活用することからシートパイル自体が不要となり，更なるコストダウンが期待できる．実験における液状化の強弱については，液状化指数であるPL値をパラメータとすることとし，液状化層の相対密度Drと入力地震波であるL2基盤地震動波形（スペクトルⅡ適合波）[6)]を振幅調整することで管理することとした．模型断面図を**図2**に示す．模型は観察用アクリル窓を有する剛土槽（内寸法：長さ200cm×奥行き70cm×高さ65cm）を奥行き方向に2分割することで，2つのケースを同時に作製している．基礎地盤は液状化層と支持層によって構成し，液状化層には8号硅砂（相対密度Dr=50，80％）を使用した．盛土試料にはⅢ型破壊の再現が可能である埼玉産山砂を使用した．模型は実物換算すると盛土高6m，盛土天端幅10.7m，基礎地盤の液状化層厚14mであり，盛土上面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．

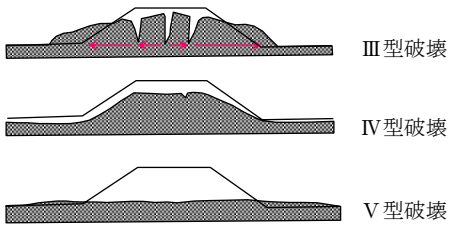
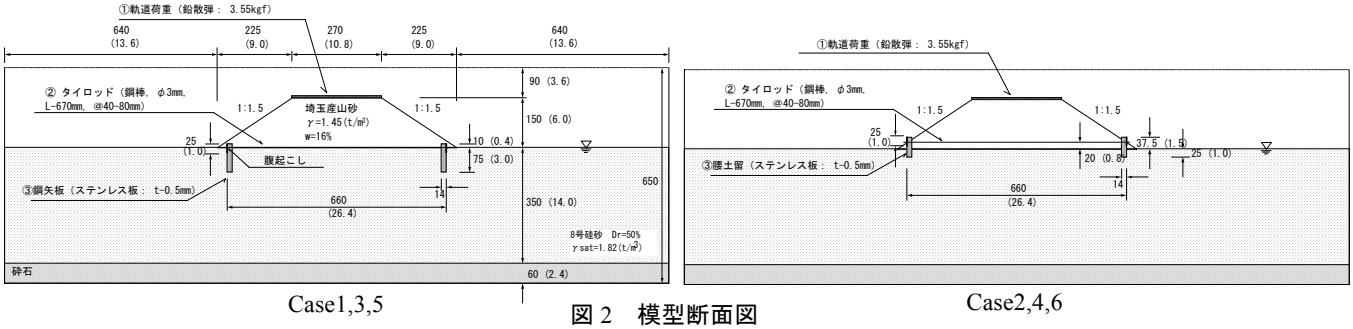


図 1 盛土の破壊形態[1)]

表1　試験ケース

試験ｹｰｽ	対策工法	計算上のPL値
Case1	ｼｰﾄﾊﾟｲﾙ工法（L=4m）	78（Dr=50%,
Case2	腰土留＋ﾀｲﾛｯﾄﾞ工法	L2ｽﾍﾟｸﾄﾙⅡ）
Case3	ｼｰﾄﾊﾟｲﾙ工法（L=4m）	27（Dr=50%,
Case4	腰土留＋ﾀｲﾛｯﾄﾞ工法	200gal調整波）
Case5	ｼｰﾄﾊﾟｲﾙ工法（L=4m）	4（Dr=80%,
Case6	腰土留＋ﾀｲﾛｯﾄﾞ工法	200gal調整波）



Case1,3,5　　Case2,4,6

図 2　模型断面図

key words：盛土，液状化，テンションクラック，シートパイル工法，タイロッド，遠心力模型実験
連絡先：〒485-0801　愛知県小牧市大山 1545-33　東海旅客鉄道㈱総合技術本部技術開発部

（２）盛土形状と盛土沈下量

今回提案した 2 タイプの工法を施した盛土は，液状化の強弱に関係無く，盛土の安全性と復旧性の確保に必要な盛土形状保持に優れた効果を発揮することが分かった（**写真** 1）．また，**図** 2 に加振時の盛土沈下量を示すが，2 タイプの工法はある程度の PL 値までであれば盛土形状保持に加えて，盛土沈下量の抑制についても十分効果があることが確認できた．一般的に鉄道沿線の液状化地盤において，模型実験で計算されるような PL 値が 80 近い値になる場所はほとんど無く，また実際の地盤では液状化層は連続しておらず非液状化層が介在していること等も考慮すれば，2 タイプの工法は盛土の沈下抑制の観点からも十分に実用可能であるものと思われる．なお，図中に示した式(1)は，既往の遠心力模型実験事例における液状化地盤上の未対策盛土の PL 値と盛土沈下率（盛土沈下量／盛土高）の関係について整理した相関式 [7]である．ここで，PL 値算出における影響関数は 1-FL ではなく，盛土沈下率と相関が良かった $\cosh(FL)^{-10}$ で整理している．この式との比較からも，2 タイプの工法の対策効果を確認することが可能である．

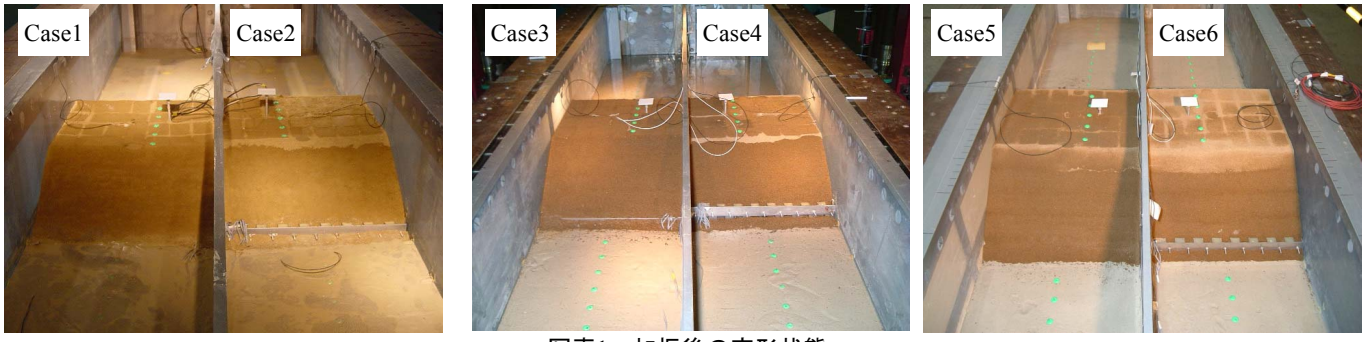


写真1　加振後の変形状態

（３）タイロッドに作用する軸力

シートパイルを液状化層の中間で打止めすることで，シートパイルやタイロッドに発生する応力が抑えられることをこれまでの実験により既に確認している．理由はシートパイルが股開きすることで，液状化による側方流動力をまともに受けないためであり，これにより鋼材のランクを下げるコストダウンも可能である．**図** 3 に加振時のタイロッドに作用する最大軸力を示すが，PL 値が大きくなるほど作用軸力が大きくなる．これは上述した側方流動力の大きさ起因しているものと推測されるが，いずれにしても作用する軸力は液状化の強弱に関係なく，想定している鋼材の強度に対して十分余裕があることから，形状保持に大きな役割を果たすタイロッドの安全性の向上にも貢献するものと思われる．

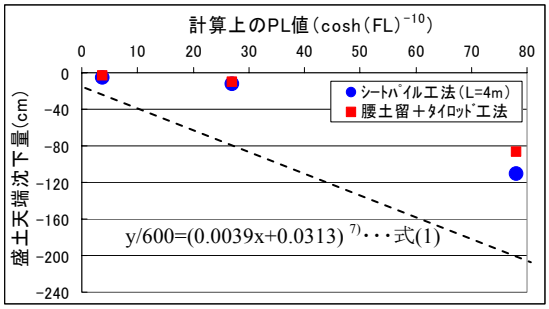


図2　加振時の盛土天端沈下量（実物換算値）

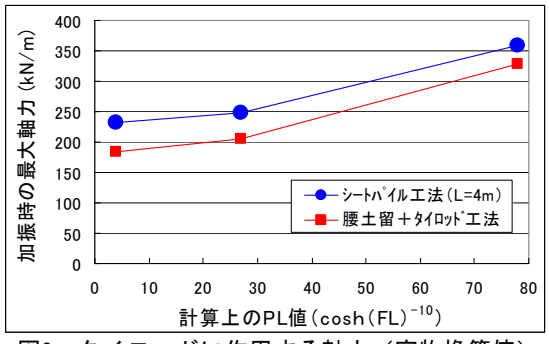


図3　タイロッドに作用する軸力（実物換算値）

４．おわりに

鉄道のような線状構造物の耐震性を検討する場合，輸送機関として要求される機能を確保するためには，線区全体として構造物の安全性や復旧性を向上させる必要がある．すなわち，連続的な地震対策が可能となる耐震補強工法のコストダウンは非常に重要な課題であり，本研究で提案した盛土の液状化対策工法は，費用対効果の面からみても優れた盛土の液状化対策工法に成り得るものと期待される．

〈参考文献〉 1) 野沢，新幹線盛土構造物の耐震強化に関する研究，鉄道技術研究報告 No.1304，1986. 2)永尾他，地震時の盛土における復旧性能の新たな指標の提案，第 59 回年次学術講演会，2004. 3)永尾他，液状化による盛土の堤体破壊に関する検討，第 40 回地盤工学研究発表会（投稿中），2005. 4)永尾他，基礎地盤の側方流動現象に着目した鉄道盛土の耐震補強工法に関する一考察，第 39 回地盤工学研究発表会，2004. 5)佐藤他，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，第 59 回年次学術講演会，2004. 6)鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，1999. 7)永尾他，液状化指数を用いた盛土の耐震補強に関する一考察，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.