

堤体伸張に着目した盛土補強工法の検討

東海旅客鉄道 正会員 大木 基裕 正会員 庄司 朋宏  
 東海旅客鉄道 正会員 荒鹿 忠義 フェロー 関 雅樹  
 大林組 正会員 佐藤 清

1. 目的

鉄道盛土の耐震性能は表-1のような地震時の変形レベル(沈下量)が照査指標となった<sup>1)</sup>。長期不通防止は変形レベル4-2を、走行安全性対策は変形レベル3-2を目標に、耐震性能の均一化に取り組んでいる。これまで長期不通防止として軟弱地盤上の盛土に対し表-2のように東海地震対策、及び追加対策を実施している。

本稿では、粘性土地盤上の盛土を想定した1/40スケールの遠心振動実験により破壊形態を把握し、より経済的な対策工を提案することを目的としている。

2. 実験概要

地盤は粘土でスラリー(液性限界の1.5倍)を投入し、盛土自重分の応力となるよう砕石で調整し、一次元圧密を行った。従って高い盛土の場合、地盤整形時の圧密応力は高く、N値も高い。地盤の厚さは6m(以下換算値)、強度は一軸試験よりN値換算で2~3であった。盛土材は三軸試験より耐震設計標準<sup>1)</sup>の土質2に該当した。盛土高さは6m及び7.5mのり勾配は1:1.5、締め固め度は90%とした。天端はバラスト荷重相当の鋼球を敷設した。

模型作成後、バケットを遠心載荷装置に設置し、回転速度を上げ40Gまで載荷した後、L2スペクトル<sup>1)</sup>、又は長周期で長時間の地震動であるL3地震動(仮称)<sup>2)</sup>を振幅調整した地震波で加振し(図-1)、破壊形態を確認した。詳細は佐藤ら<sup>3)</sup>に詳しい。

表-3に実験ケースを示す。枝番-1は無対策、-2は対策(シートパイル以下SP+タイロッド)を設置したSPは次の3種である。  
 SP(A): 基盤層まで根入れする工法(東海地震対策の仕様)  
 SP(B): 地下-3mで打留める工法(追加対策の液状化の仕様)  
 SP(C): 地下-1mで打留める工法(SP(B)を省力化した仕様)

3. 実験結果

図-2に加振後の、天端(平均)沈下量、地盤(盛土底部中央)沈下量、堤体圧縮量(=天端沈下量-地盤沈下量)を示す。

(1) Case1-1, Case2-1及びCase3-1の比較(無対策の破壊形態)

Case1-1は、のり尻を盛りこぼしているのに対し、他のケースは土留め壁を設置している。また、Case3-1は盛土が7.5mと高い。いずれの場合も地盤の沈下は7~8cmで堤体圧縮量が主であった。

キーワード 盛土, 破壊形態, 遠心模型実験, シートパイル

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33 東海旅客鉄道(株)総合技術本部 技術開発部 TEL0568-47-5375

表-1 被害程度と沈下量の目安

変形レベル	被害程度	沈下量の目安
1	無被害	無被害
2	軽微な被害	沈下量20cm未満
3	応急処置で復旧が可能な被害	沈下量20cm~50cm未満
4	復旧に長時間を有する被害	沈下量50cm以上

表-2 地震対策の経緯

地震対策	東海地震対策	追加対策
年代	1979年~1992年	2006年~
地盤条件(砂質土)	N 15	N 20
地盤条件(粘性土)	N 4	N 6
延長	17.9km	6.5km
対策	シートパイル(支持層)	シートパイル(支持層またはGL-3m)

GL-3mは正層で液状化地盤の場合に適用

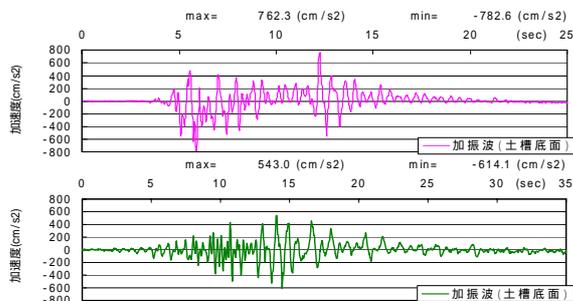


図-1 振幅調整入力波形(上:L2,下:L3)

表-3 実験ケース

Case	地盤N値	盛土高さ	腰土留	地震	対策工
Case1-1	2	6.0m	無	L 2	無
Case1-2	2	6.0m	無	L 2	SP(B)
Case2-1	2	6.0m	有	L 3	無
Case2-2	2	6.0m	無	L 3	SP(A)
Case3-1	3	7.5m	有	L 3	無
Case3-2	3	7.5m	有	L 3	SP(C)

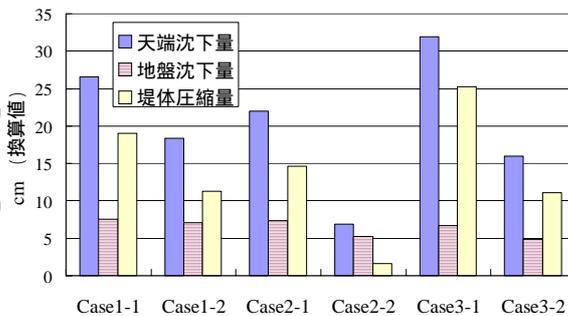


図-2 天端・地盤沈下量、堤体圧縮量

Case1-1 と Case2-1 の比較では、腰土留を設置した Case2-1 の方が地震動は L3 と大きいですが、堤体圧縮量は小さい。Case2-1 と Case3-1 の比較では、盛土が高い Case3-1 の方が堤体圧縮量は大きい。

#### (2) Case1-1 と Case1-2 の比較 (SP(B)の対策効果)

SP(B)は盛土天端の沈下成分のうち、堤体伸張による沈下の抑制に主眼をおく対策である<sup>4)</sup>。対策により地盤の沈下に差はないが堤体の圧縮が抑制され天端沈下量は 20cm 未満となった。

#### (3) Case2-1 と Case2-2 の比較 (SP(A)の対策効果)

SP(A)は東海地震対策で提案されたシートパイル締め切り工<sup>5)</sup>の原型であり、追加対策でも液状化以外、或いは液状化でも不整形地盤の場合で実施している。対策により地盤の沈下、堤体の圧縮共に抑制され、沈下抑制効果は今回実験した中で最も高い。

#### (4) Case3-1 と Case3-2 の比較 (SP(C)の対策効果)

腰土留にも一定の沈下抑制効果があること((1)より)、盛土天端の沈下は堤体圧縮が主要因であること((2)より)が分かった。

以上を踏まえ、SP(C)は SP を更に短くし堤体の圧縮抑制により特化した仕様である。対策により天端沈下量を 20cm 未満となった。

### 4. 考察

図-3に加振後におけるのり肩残留水平変位の差分値、つまり天端拡幅量を示す。各 Case とも対策により拡幅量は減少し、堤体伸張を抑制している。これは、粘土地盤上の盛土における堤体圧縮の主要因は堤体伸張であり、タイロッドによる伸張抑制が盛土天端の沈下抑制に有効であることを示している。

図-4に Case3 の残留状況を示す。Case3-1 より、垂直メッシュが全体的に横に広がり、堤体が伸張している。加えて、局部的にメッシュはゆがみ、緩やかな円弧すべりも有する。これは、のり肩とのり尻に亀裂が集中していることから推察される。

以上の破壊形態は、土留め壁が滑動ではなく転倒のモードであり、腰土留根入れ部前面の受動土圧により堤体の伸張にある程度抵抗した一方、腰土留の挙動に伴う堤体の円弧すべりを誘発したと考えられる。つまり、腰土留の挙動が堤体の破壊形態や沈下量に影響しているといえる。

Case3-2 では、垂直メッシュに乱れは少なく、水平メッシュが一様に沈下している。これは、堤体伸張をタイロッドにより抑制し、腰土留の挙動と堤体の挙動を SP により独立させたことによる。

### 5. 結論

堤体の伸張と土留めの影響を抑制する SP(C)は十分な耐震補強効果を有することがわかった。SP が短く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、腰土留の拘束が盛土天端沈下量の抑制に有効であることを踏まえ、更に省力化する工法について検討する。

### 参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 鉄道総合技術研究所, 1999.
- 2) 永尾: 鉄道盛土の軌道変形対策を目的とした耐震補強工法の検討, 第18回中部地震工学シンポジウム, 2006.
- 3) 佐藤ら: 粘性土地盤上の盛土の地震時挙動に関する遠心模型試験, 第42回地盤工学研究会 pp1135~pp1136.
- 4) 永尾: 鉄道盛土におけるシートパイル締め切り工法による液状化対策, 基礎工, Vol.34, No.4, pp77~79, 2006.
- 5) 盛土補強工法の手引き(案), 日本国有鉄道, 1980.

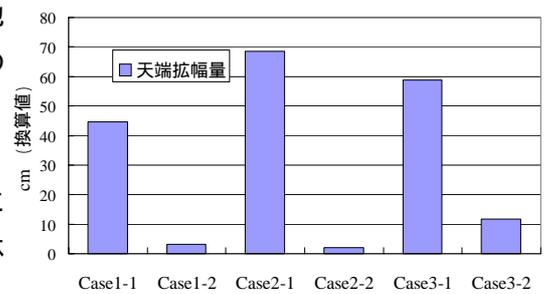


図-3 天端拡幅量

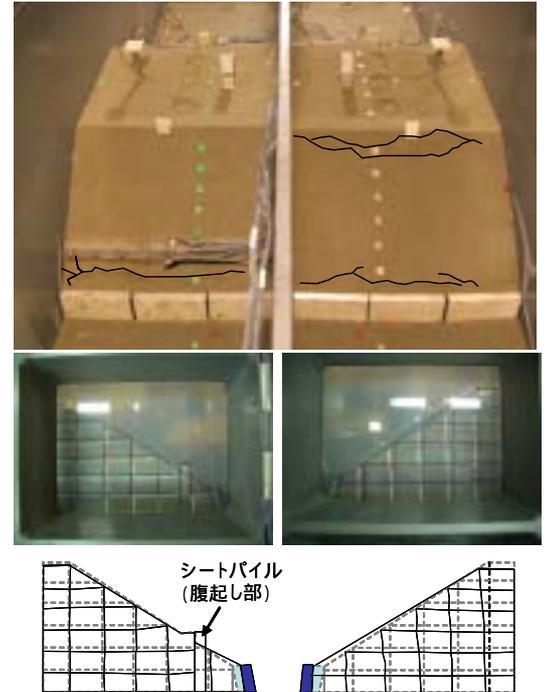


図-4 Case3 の残留状況

左: Case3-2 SP(C) 右: Case3-1 無対策  
 上段: のり面状況 中段: 側面図  
 下段: 側面メッシュの状況