

新しい地山補強土工法の開発

東海旅客鉄道 正会員 ○大木 基裕 正会員 庄司 朋宏
フェロー 関 雅樹

1. 目的

東海道新幹線の盛土はこれまでに、基底円弧すべりや液状化など変形レベル4の盛土の耐震補強工事を実施し、概ね完了する段階となっている¹⁾。

しかし、平成16年の新潟県中越地震では、構造物に大きな損傷はないものの、新幹線が脱線するという事象が発生した。これを受け、地震時の脱線・逸脱防止に有効で保守面でも支障のない脱線防止ガードを敷設し、その機能を地震時、地震後にも発揮できるように構造物も併せて強化を図ることとした²⁾。

本報告では、盛土区間の脱線・逸脱防止対策として、盛土の耐震性能を示し、盛土の地震時変形レベル3に応じた対策工の目的と工法について報告する

2. 鉄道盛土の耐震性能

新設鉄道盛土の耐震性能は表1のように地震時の盛土の沈下量を指標として分類されている。また、地震時の盛土の沈下量は図1のように地盤の沈下量と盛土の変形量に大別できる。円弧すべり(図1左)の場合は3つの成分(S_s :盛土の滑動沈下, S_e :盛土本体の揺すり込み沈下, S_g :地盤の揺すり込み沈下)、液状化(図1右)の場合も3つの成分(盛土のストレッチング S_1 , 液状化地盤の側方流動 S_2 , 液状化地盤の体積圧縮 S_3)で表すことができる。

従って、盛土の耐震補強を行う場合は、地震時に最も沈下・変形する場所(地盤、盛土)を強化する適切な工法を選択することが重要である。

3. 盛土区間の耐震補強の目的²⁾

地震時における列車の脱線の要因として、地震時の左右動および構造物や軌道の不等沈下が挙げられる。ここで、図2に模型実験における盛土底部と盛土天端の応答加速度比と地盤の強度(N値)関係を示す。概ね1前後を推移し、盛土は高架橋ほど増幅しないことが分かる。一方で、実台車を搭載した振動台実験により、レベル2地震動規模の左右動に対しても脱線防止ガードにより脱線を防止できることを検証している。

従って、盛土区間の脱線・逸脱防止対策の目的は軌道狂いを生じさせないことが主となる。

具体的には、図3に示すように、盛土の不等沈下を抑制する盛土の補強、および軌道変位を抑制するバラスト肩部の補強、橋台裏等の構造物境界の段差を解消する橋台裏注入3点が挙げられる。

ここでは、開発した盛土の補強工法について述べる。

キーワード 盛土, 地山補強土工法, 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(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³⁾

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以上～50cm未満
4	復旧に長時間を有する被害	沈下量50cm以上

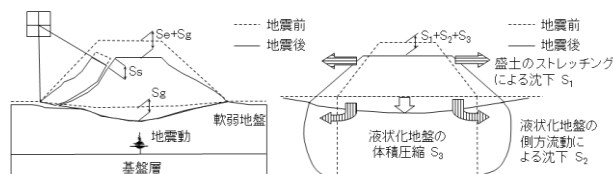


図1 盛土の沈下成分(左:円弧滑り, 右:液状化)

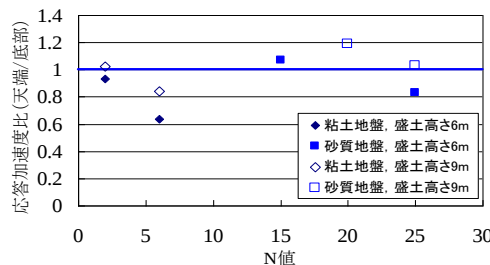


図2 応答加速度比～地盤N値関係

不等沈下防止対策(盛土区間)				脱線・逸脱防止
変形レベル	レベル4	レベル3	レベル2	
対策対象	主に地盤	盛土	軌道橋台裏	レール
地震時破壊形態(イメージ)				
対策工法	従来の盛土補強(シートパイル締切り工) (橋台ストラッド工)	今回の盛土補強(地山補強土工)	構造物境界の補強 ・バラスト肩部の補強	脱線防止ガード

図3 盛土区間の脱線・逸脱防止対策

4. 地震時の盛土の形状と有効な対策工法

無補強時の盛土の変形レベルと破壊形態を検証するために、支持地盤の強度、盛土の高さ、地震動をパラメータとした動的遠心模型実験（40G 場、1/40 スケール）を実施した。図4に、脱線・逸脱防止対策の対象となる変形レベル3の盛土の地震後の残留状況を示す。模型のメッシュの変位より、地盤の沈下は軽微で、主に盛土が変形していることがわかる。これより盛土そのものを補強する工法が有効なことから、地山補強土工法に着目し工法の開発を進めた。

5. 開発した地山補強土工法の概要

地山補強土工法は杭の太さに応じ多様な工法が存在するが、図5に示す共通する4項目に着目した。

- ①大規模な設備とグラウトの大量使用・大量産廃
- ②芯材を挿入する際の不確実性
- ③足場工などの付帯工事
- ④頭部防錆処理

開発した地山補強工法は、従来の排水パイプ工を参考に有孔鋼管（径 60.5mm）をのり面に打設し、鋼管口元よりグラウトを注入する工法である。また、のり面と打設鋼管頭部を固定する頭部処理はのり面張りコンクリート工の技術が基本となっており、これらの簡便な既往の工法を融合させたものと言える。上記の着目点は次のように改善された。

①注入方法を改善し使用するグラウト量を減少させ、発生活泥はない。プラント設備が縮小した。

②③芯材の鋼管を打撃挿入させるため、孔壁の崩壊はない。コンクリートブレーカを改良した打設機械を考案し、人力施工が可能となり操作性が向上した。これにより、足場工も簡素化した。

④のり面工と一体化する頭部処理工法を考案し、簡易な頭部養生となった。

6. 引き抜き強度の検証

試験施工では開発した地山補強土工の引抜試験を行った。図7に試験結果を示す。周面付着面積より想定される設計強度を超える結果となった。砂礫盛土、粘土質盛土ともに、グラウトは加圧注入した方が発現強度は高い。

7. まとめ

堤体補強に有効な地山補強土工法に着目し、従来の補強原理を踏襲しながらより廉価な対策工法について、施工性、補強効果などを検証した。戦場に構造物が連続する鉄道においては、耐震補強を推進する上でコストダウンは重要な課題である。本工法は費用対効果の面においても実用的な工法であると考えられる。

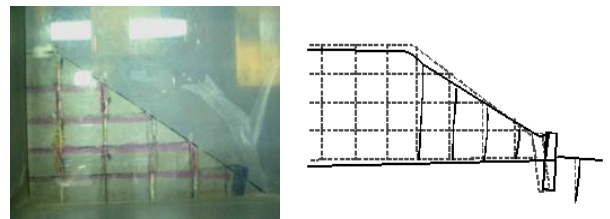


図4 地震後の盛土の残留状



図5 従来の地山補強土工法の着目項目

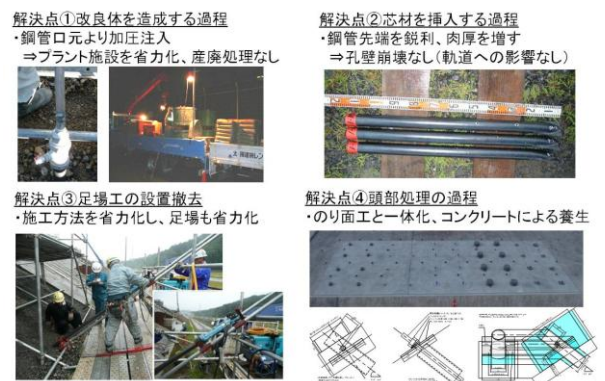


図6 開発した新しい地山補強土工法の特徴

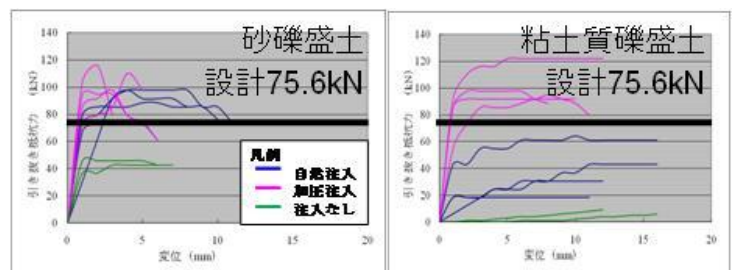


図7 引抜試験結果(左:砂礫盛土、右粘土質礫盛土)

参考文献 1) 関ら：地震時における盛土の破壊と対策の有効性に関する実験的検証，第21回中部地盤工学シンポジウム,2009.8, 2) 荒鹿ら：軌道強化と土木構造物変位抑制工法による東海道新幹線の脱線・逸脱防止対策，第16回鉄道技術連合シンポジウム 2009,12, 3) 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，1999.10