

地震時での盛土の崩壊を防ぐ

小島 謙一

構造物技術研究部
(基礎・土構造 主任研究員)

松丸 貴樹

総務部
(人事)



こじま けんいち



まつまる たかし

はじめに

鉄道構造物は、地震や降雨などの自然災害により被害を受けることがあります。鉄道の輸送の安定性・安全性を守るためには、鉄道構造物に対して、自然災害に備えた対策を実施し、未然に被害を減らすことが重要となります。

日本は地震の多い国であり、古くは関東大震災のほか、近年では兵庫県南部地震、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震など大きな地震が続いています。これらの地震は鉄道や道路など多くの社会基盤構造物に被害を与えており、構造物の「耐震性」は、設計を考える上で非常に重要な要素となっています。

鉄道構造物といっても、コンクリートや鋼材料で作られた橋梁や地盤を掘削することにより作られるトンネル、土を主材料とした盛土や土留めなどに分けられ、それぞれ構造や形式、特徴などが大きく異なります。地震に備えた構造物の対策は順次進められており、橋梁等については様々な耐震対策工法が提案・実施され、耐震性の向上が図られてきました。

一方、土構造物に関しては、これまであまり耐震対策が行われてきませんでした。これは、鉄道構造物全体に占

める割合も約80%と対象構造物の数量が多いこと、また代表的な土構造物である盛土ではたとえ大きな崩壊が生じても比較的復旧が容易であり、経年的な劣化が発生せずかえって安定化していく構造物であるためです。しかし、近年の耐震性に対する要求の向上や鉄道における安全性や信頼性の確保が強くうたわれる様になり、それに伴い線状構造物である鉄道の連続的な耐震性が求められるようになってきています。したがって、土構造物に対しても所定の耐震性が必要とされてきています。

地震時における被害

土構造物と呼ばれる構造物としては大きく、盛土、切土、土留めに分けることができます。それぞれ、特徴が異なることからここでは代表的な土構造物である盛土を題材として説明したいと思います。盛土とは土を締め固めて作った台形状の構造物であり、基本的には土のみで作られるため非常にシンプルでかつ経済的です。一般的には台形の上底部分に軌道が敷設され、列車が走行することとなります。図1に盛土の概念図を示します。斜面の部分をのり面と呼び、その上端部をのり肩、下端部をのり尻と言います。土

で作られているため盛土は他の構造物と異なり、水が浸透すると崩れやすくなり、地震の他にも降雨に弱いという特徴があります。そのため、のり面に保護を行うためにコンクリートでの格子状の枠やシート、植生などの対策(のり面工)を講じています。

地震における盛土の被災状況としては、三陸はるか地震や兵庫県南部地震、新潟県中越地震などの地震において大きな被害が発生しており、軌道の下

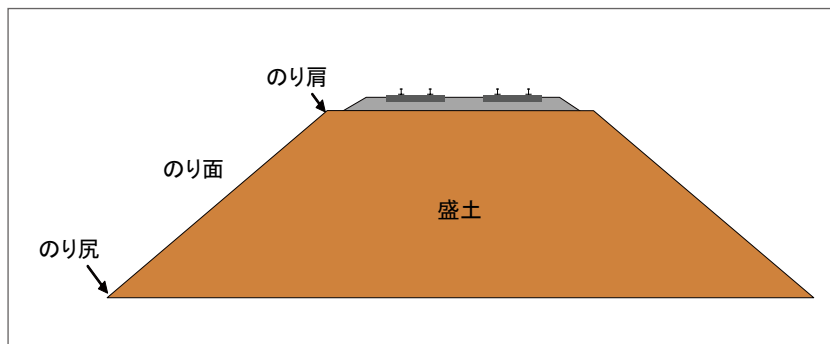


図1 盛土の概要



図2 兵庫県南部地震における鉄道盛土の被災



図4 新潟県中越地震における鉄道盛土の被災



図3 兵庫県南部地震における鉄道盛土の被災

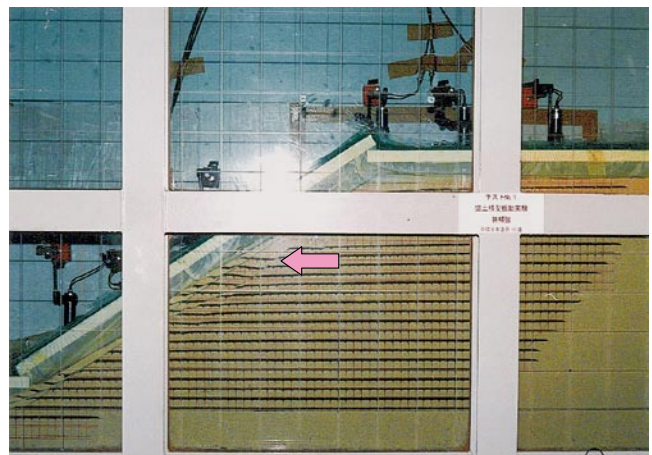


図5 盛土の模型振動実験

盛土がなくなり、軌道が梯子状になるほどの大きな被害もあります。図2は兵庫県南部地震での盛土の被災状況です。線路延長方向に連続的に亀裂(クラック)が生じ、盛土が非常に緩い(柔らかい)状態となりました。図3も兵庫県南部地震での盛土の被災状況です。この箇所では、のり面工として設置されていたコンクリート製のブロック(張りブロック)が滑落し、大きく崩壊してしまっています。図4は新潟県中越地震で発生した盛土の被害です。盛土は地震により大きく崩壊し、軌道もうねり、大きな変状が生じ列車の運行が不可能となっていることがわかります。この地震では発生直前まで盛土に対して悪影響を及ぼす降雨(台風)が続いており、前述した雨の影響を受け、盛土の被害がさらに拡大したと考えられています。

盛土の地震時挙動

盛土の耐震性を考えるにあたっては、地震時挙動を詳細に評価する必要があります。図5に盛土の振動実験の結果の一例を示します。実験は高さ:1.4m×幅:0.6m×長さ:2.6mの土槽に1/10モデルの模型盛土を構築して行いました(模型盛土:高さ0.67m, 幅1.21m, のり面勾配1:1.5)。図に示したのは600gal加振後の状況であり、図中に矢印で示したように円弧状のすべりが発生していることがわかります。図6は600gal加振時における盛土内での加速度のコンター(等値線)です。盛土内で加速度が増幅しており、盛土上部(のり肩部)では1.5倍程度(900gal)まで増加して大きく揺れていることがわかります。このように地震時において盛土内では加速度が増幅し、それに伴い円弧状のすべりが発生し、崩壊することとなります。

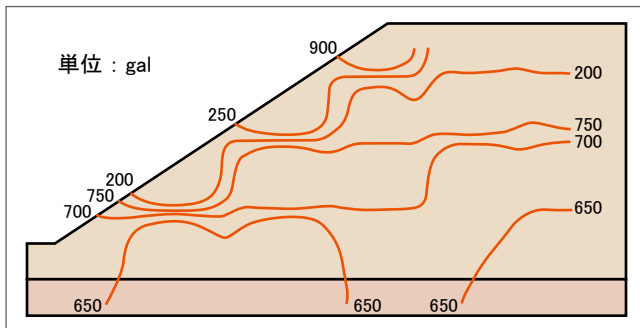


図6 盛土内の応答加速度

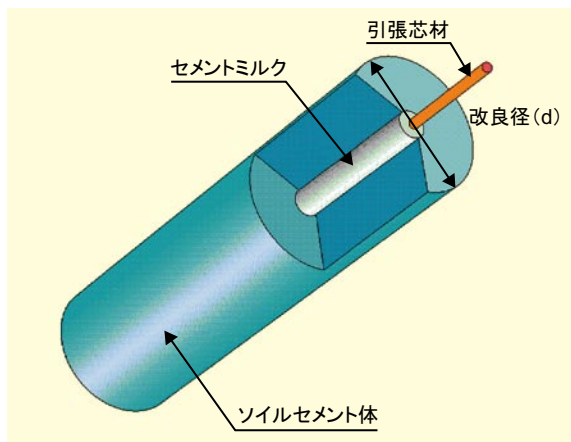


図7 補強材の概要



図8 施工機械

地震に備えた対策

既設の盛土の地震対策は、高架橋の鋼板巻きのように構造物の外側からの対策が比較的容易にできないため、既に構築された盛土の耐震性を向上させることは容易ではありません。これまでの被災状況(図3)にもあるように、のり面部分には重量物であるのり面工を載せないことも対策の1つですが、根本的な対策としては盛土そのものを強化す



図9 掘り起こした補強材



図10 バックホウ型施工機

ることが大切となります。

既設の盛土を強化する方法として地盤改良体による補強材を盛土内に構築し、補強材と土との摩擦力により盛土を強化する工法を開発しました。補強材の構造を図7に示します。FRP(繊維強化プラスチック)などの引張芯材とセメントミルク、およびソイルセメント体から構成されており、十分に摩擦が取れ効率的に補強ができるように大径($d = 0.4\text{m}$)の補強材を構築可能としています。これは攪拌翼を持った施工機(図8)によりセメントミルクと盛土の土を攪拌混合して構築するものであり、既設の盛土に対して供用したまま(列車の運行を止めることなく)、施工を行うことが可能です。図9は構築した改良体を掘り起こしたものです。土の中で良好な改良体ができていることがわかります。

図10はバックホウ型の施工機による施工状況です。本施工機を用いることにより、盛土の上部においても大掛かりな仮設工などを必要とせず容易に補強材を施工することが可能となります。また、都市部では場所が狭く、大きな施工機が入ることができない箇所もあります。このような場

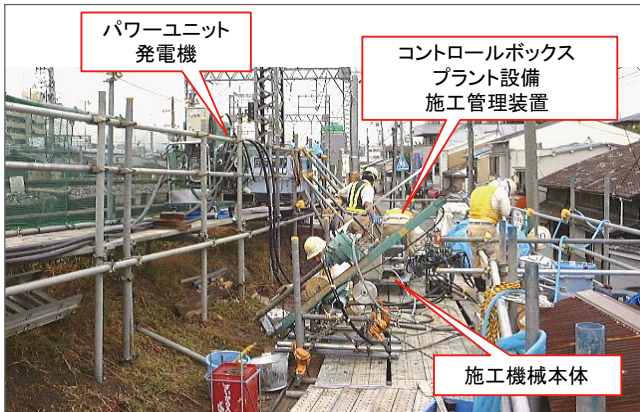


図 11 小型施工機

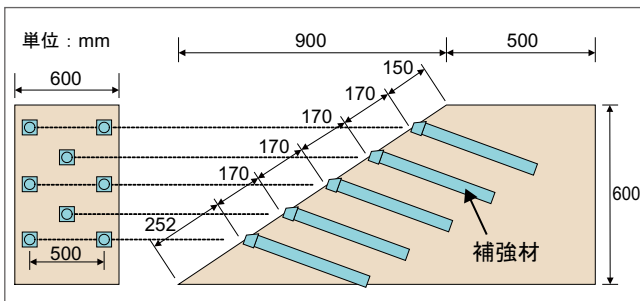


図 12 対策工を実施した模型盛土の概要

合の施工に対応した簡易な小型の施工機も開発しています(図11)。この機械では0.4mの大径の補強材の構築は不可能(0.2m程度まで可能)ですが、非常に簡易であり施工するためのスペースもわずかですみます。

本工法の耐震性を評価するために模型振動実験を実施しました。図12は実験を行った模型盛土の概要です。千鳥配置で奥行き方向に500mm、深さ方向に340mmのピッチで合計8本の補強材(実施工で約1本/10m²)を設置しています。図13、14に実験結果の状況を示します。図13は同一条件で対策工のないもの、図14は対策工を施したもの(図12に示す模型盛土)です。いずれの結果も兵庫県南部地震での地震動で最大加速度が550gal程度の時の結果です。対策ありの場合と比較して、対策なしの盛土では大きく変形が生じていることがわかります。これに対して本工法で対策を施した場合には、大きく変形が抑制されていることがわかります。図15は盛土のり肩部の変位(鉛直・水平)を比較したものです。加速度が400gal程度までは対策工の有無による大きな違いは見られませんが、550gal程度になると対策を行ったケースはほとんど変形が生じていないのに対して、対策をしないケースでは大きく変形が進行しており、対策効果が明確に示されています。

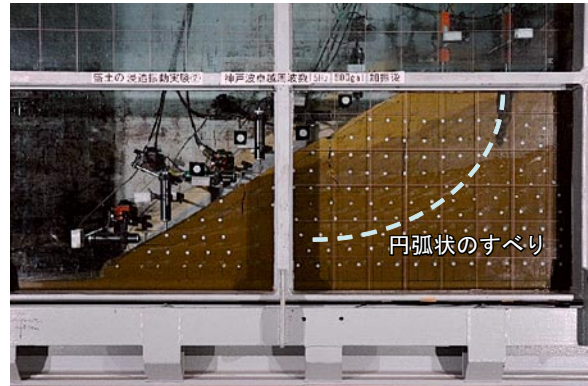


図 13 被災した盛土の状況(対策なし)



図 14 被災した盛土の状況(対策あり)

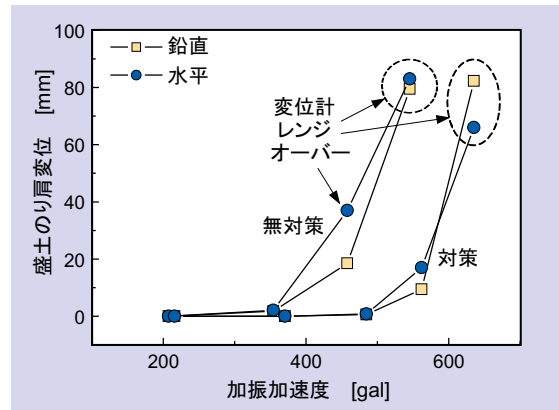


図 15 盛土のり肩の変位

おわりに

地震の多い日本において、鉄道の輸送の安定性・安全性を護るためには、盛土も所定の耐震性を有する必要があります。ここでは、既設盛土に対する経済性や施工性を考慮した新しい耐震対策について示しました。今後はさらに既往のり面工を考慮した効果などについても検討し、本工法の普及を図っていく予定です。[RRR]