

RRR工法協会だより

Reinforced Road with Rigid Facing Construction System

No.55 2025.2

「JR 東日本における土構造物の耐震補強について」

東日本旅客鉄道株式会社

井伊 悠、前田 剛志
安田 武道、植村 昌一



写真1 盛土沈下箇所例



写真2 切土崩壊箇所例

2.1 要求性能

土構造物の耐震補強を行うにあたって、有識者も交えた検討を行い、土構造物の耐震補強の設計に関する社内マニュアルである「土構造物耐震補強設計施工マニュアル」を制定した。本マニュアルでは、大規模地震に対して耐震性能Ⅲ（地震によって構造物全体系が崩壊しない）を満足することを基本とし、一般部と橋台背面部でそれぞれ許容される残留変形量を設定している（表1）。なお、橋台背面部に関しては、橋台との段差が生じやすいことからより厳しい値を設定している。また、特に線区の重要度が高い場合や、周辺に側道がない・施工スペースがないなど、被災した際の復旧工事の施工条件が著しく悪い場合等においては、耐震性能Ⅱ（地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる）を満足する設計としている。

表1 土構造物の要求性能

| | 一般部 | | 橋台背面部 | |
|-------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | L1地震動に対する円弧すべり安全率 | 残留変形量 | L1地震動に対する円弧すべり安全率 | 残留変形量 |
| 耐震性能Ⅲ | 1.0以上 | 20cm以上 50cm未満 | 1.0以上 | 10cm以上 20cm未満 |
| 耐震性能Ⅱ | 1.0以上 | 20cm未満 | 1.0以上 | 10cm未満 |

1.はじめに

JR東日本では、「究極の安全」に向けて災害によるリスクの低減を進めている。このうち大規模地震に対しては、過去の地震被害を教訓とし、「構造物が大きく壊れないようにする耐震補強対策」、「走行中の列車を早く止める列車緊急停止対策」、「脱線後の被害を最小限に抑える列車の線路からの逸脱防止対策」の3点を大きな柱として各種の対策に取り組んでいる。このうち、耐震補強対策に関しては、阪神淡路大震災を契機として、地震に対する強度やリスクの評価に基づき高架橋柱やトンネル、土構造等の構造物の対策を進めてきた。本稿では、特に土構造における耐震補強について、JR東日本の取組みについて報告する。

2.土構造耐震補強の概要

JR東日本における土構造物の耐震補強は、1997年以降、傾斜地盤や液状化地盤を有する高さ6m以上の一部の盛土から開始した。2011年の東日本大震災では、未補強の盛土の路盤沈下が多数発生し、一部の盛土・切土では崩壊も発生した（写真1、2）。この時の知見も踏まえ、2012年度からは首都直下地震に備えることを目的に、土構造物の耐震補強に本格的に着手した。対象は、首都直下地震による被害や影響が特に大きいと想定される首都圏の在来線のうち、過去の被害状況を勘案して高さ6m以上の盛土及び切土とした。

また、上記対策を進める中で、首都直下地震の想定震度が上昇したエリアや、新たな活断層の顕在化など、地震想定に係る調査・研究も進歩してきた。そこで、これらの最新の知見に基づき、2012年度から進めていた耐震補強の対策エリアの拡大と新たな対策として、2017年度から耐震補強対策全体で追加の補強を進めることとした。土構造耐震に関しては、盛土の対策エリアと対象となる盛土高さを4m以上まで拡大している。

4.おわりに

JR東日本では、阪神淡路大震災以降本格的に大規模地震対策に着手し、今日まで継続して補強工事等を進めてきた。これにより新潟県中越地震や東日本大震災では高架橋等の崩壊等の致命的な事象を防ぐことができ、鉄道輸送の安全を確保・維持してきた。しかし、首都直下地震の可能性が逼迫し、新たな活断層も明らかになっているほか、令和6年能登半島地震では多くの道路盛土が被害を受けたこともあり、地震対策の必要性は益々高まっている。今後も引き続き、手を緩めることなく、耐震補強工事を計画的かつ着実に進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 細井ら「脈状注入による液状化対策工法の自然地盤での効果確認」、SED No.46,2015年11月
- 2) 中島ら「崩落防止ネットと地山補強材による既設石積み壁の補強方法の開発」、土木学会論文集C(地圏工学),Vol.71,No.4,317-334,2015

3.6 崩落防止ネット

補強対象の中には、土留擁壁が含まれているケースがあるが、そのうち石積み壁となっている箇所が多数存在する。特に空積みの石積み壁は壁面に一体性がないことから、地震時に一部の積石が抜け出すと全体へ影響が伝播し、石積み壁全体の崩壊に至る恐れがある。また、背面地盤も不安定化する場合には、その安定化も併せて講じる必要があるが、棒状補強材を高密度に打設するか、鉄筋コンクリート壁体を増し打ちして一体性を確保する必要があり、補強工事が大規模になる課題があった。そこで、鉄道総合技術研究所と共同で石積み前面に崩落防止ネットを敷設し、棒状補強材と一体化する工法の開発を行った（図8）。本工法は、①積石の抜け出し防止、②一体性のない壁面の拘束、③棒状補強材による背面地盤の安定化の3つの効果を期待している。

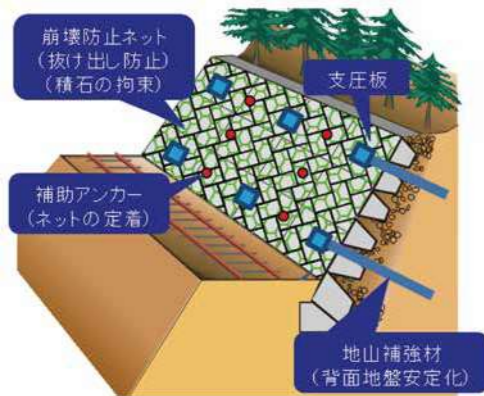


図8 崩落防止ネット工概要図

事務局だより

【マニュアルの改訂と設計計算例発行について】

以下の3種類のマニュアルを改訂いたしました。

RRR-B工法（剛壁面盛土補強土擁壁工法）設計・施工マニュアル（令和6年10月）

RRR-B工法（剛壁面盛土補強土擁壁工法）標準積算マニュアル（令和6年11月）

RRR工法による補強盛土工法材料マニュアル（令和6年11月）

主な改訂点は次の通りです。

◆ RRR-B設計・施工マニュアル・RRR-B積算マニュアル:

マニュアル内容の定期的な見直しに伴い、準拠すべき各種の基準、仕様書等を最新のものに修正しました。設計について修正変更はなく、施工については、最新の現場での施工法に沿って記述を修正してわかりやすい表記にしました。

また、残置型の型枠「小型プレキャスト型枠」の新規項目を追記しています。

◆ RRR工法材料マニュアル:

一部の製品の製造中止による登録抹消、「こぼれ出し防止シート」の製品一覧の追加、残置型枠「小型プレキャスト型枠」を新たに記載しました。

RRR-D工法（水際防災補強盛土工法）設計計算例を発刊しました。

西湘バイパスの強化復旧工法として採用された設計事例を参考にし、洪水・波浪・津波に対する水際防災補強盛土工法（RRR-D工法）の擁壁タイプの設計計算例を作成しています。

マニュアル等の価格（1冊）:

設計・施工マニュアル・設計計算例は3,000円（協会員:1,000円）、材料マニュアルは1,000円（協会員:500円）、積算マニュアルは500円（協会員のみ）、別途実費送料となります。

【編集委員会名簿】

委員長：佐藤靖彦（西松建設㈱） 委員：神田隆真（前田建設工業㈱）・田中翔太（㈱クラレ）・西村淳（三井化学産資㈱）・小阪拓哉（㈱複合技術研究所）

事務局：田村幸彦・川上美子（㈱複合技術研究所）

【協会事務局】

〒160-0004 東京都四谷1-23-6 協立四谷ビル5F ㈱複合技術研究所内

TEL:03-5368-4103 FAX:03-5368-4105 ホームページ <https://www.rrr-sys.gr.jp>

2.2 補強の考え方

一般的な盛土の被災形態としては、のり表面の流出や盛土自体のすべり沈下がある(図1)。補強にあたっては、地盤調査や測量をもとに大規模地震に対する解析を行い、軌道に大きな沈下が予想される場合は、これを制限する補強を行っている。橋台背面部に関しては、橋台や翼壁が変位・損傷することでも段差が生じることから、その対策も併せて行っている(図2)。なお、切土の場合には、のり面の崩壊または擁壁が傾斜して列車と衝突する恐れがある場合に、これを防止する補強を行っている。

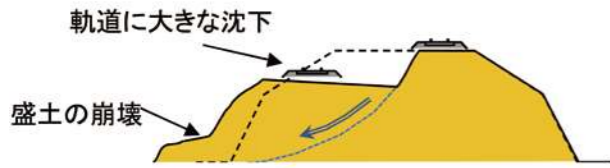


図1 盛土のすべり沈下イメージ

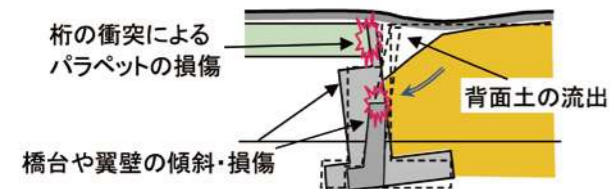


図2 橋台背面の沈下イメージ

3.補強工法の事例

3.1 棒状補強材工

土構造耐震の代表的な工法としては、土中への棒状補強材(地山補強材)の設置を最も多く用いている。具体的には、長さ約5~20m、φ90~170mmの補強材(芯材:鉄筋+定着材:セメントミルク)を、ロータリーパーカッション削孔機等を用いて盛土内に打設し、表面材としてののり面工、壁面工で補強する工法である(図3、写真3)。その他、現地の特状等に合わせた様々な補強工法や補助工法を用いているが、以下にいくつか紹介する。

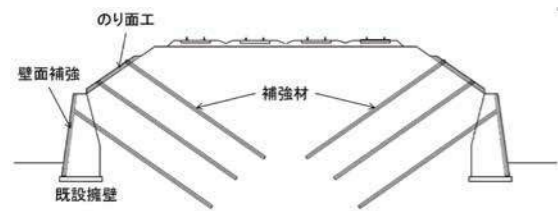


図3 棒状補強材補強概要図



写真3 棒状補強材設置状況

3.2 棒状補強材工の頭部定着方法の改良

従来の棒状補強材工の頭部定着方法では、図4(上)に示すとおり、棒状補強材が発揮する引抜き抵抗力を壁面に伝達させるために、削孔径より大きいサイズの支圧板を設置し、壁面の凹凸をなくすために台座モルタルの形成が必要であった。しかし、台座モルタルの形成には左官工を要し、施工時間が長く、施工性の向上が課題であった。

上記課題を解決するために図4(下)、写真4に示す通り、壁体表面部に深さ50mm程度の円形の切欠き(ザグリ)を設け、円形支圧板とフラットナットで鋼棒の定着を行うことで台座モルタルを無くす工法を提案した(以下、円形ザグリ工法)。この円形ザグリ工法により、作業員の技能差が少なく、品質の安定と生産性の向上が期待できる。10箇所の施工において、従来工法では平均3.1日を要するのに対し、円形ザグリ工法では平均1.2日で完了する(1.9日の短縮)。

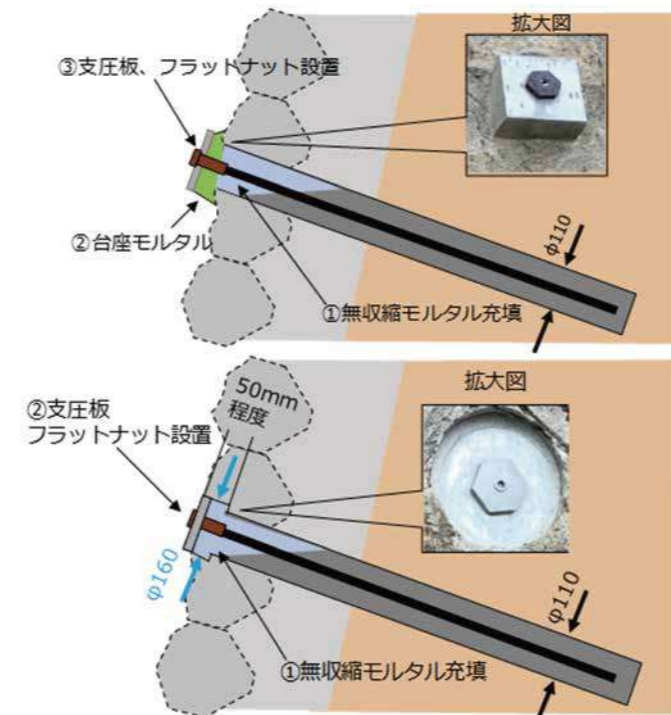


図4 頭部定着概要図
(上:従来工法、下:円形ザグリ工法)



写真4 円形ザグリ工法施工状況

3.3 液状化対策

一部の液状化地盤および軟弱地盤上の盛土においては、盛土の壊滅的崩壊を防ぐため、支持地盤を含めた盛土の変形抑制を目的とした対策を実施している。基本的な工法としては、盛土の両側に設置した鋼矢板をタイワイヤーで連結して締切りを行うことで、盛土の沈下および側方流動を抑制する工法を採用している(図5、写真5)。また、円弧すべり崩壊対策と兼ねるため、鋼矢板の打設位置は可能な限りのり面に近い位置としている。なお、鋼矢板とタイワイヤーによる締切りが施工不可となるような場合は、地盤改良を実施している。主として、杭基礎の高架橋や土留擁壁等があり、鋼矢板による締切りが困難な場合において、のり尻下部にて杭基礎近傍を締め切るように地盤改良を施工する。

また、地盤改良範囲が広範な場合等の条件に加え、完全な液状化の防止を必要としない場合においては、脈状地盤改良工法を導入している((公財)鉄道総合技術研究所、ライト工業(株)、JR東日本(株)の共同開発、図6)。本工法では、改良脈周辺地盤の密実化によって効率的に液状化抵抗を増加させることを目的とする。注入材料には、高炉スラグ+ケイ酸塩系の懸濁型注入材とし、耐久性が高くゲルタイムが6秒程度の瞬結型の注入材を用いる。また、小型機械(二重管ロッド単相式)で注入可能なため、狭隘地や軟弱地盤上での施工が可能である。

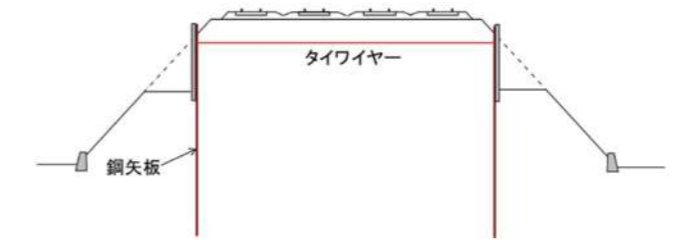


図5 鋼矢板締切り工概要図



写真5 鋼矢板締切り工施工状況
(左:シートパイル打設、右:タイワイヤー孔削孔)

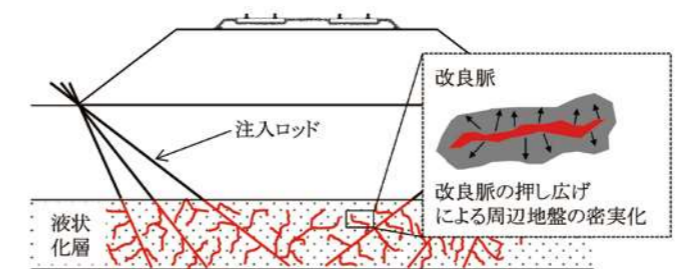


図6 脈状地盤改良工法概要図

3.4 抑止杭工

補強対象の盛土に建物が近接するなど、棒状補強材の施工が困難な箇所においては、抑止杭工を採用している。抑止杭工では、H鋼などの杭材をすべり面以深となるように打ち込むことで、盛土の円弧すべりに対する抑止力として施工している。なお、杭材として鋼材を用いる場合は腐食代として1mmを考慮することとしている。

3.5 柱列状改良体を用いた橋台背面補強

橋台背面部の沈下対策に関して、橋台背面の線路方向の対策が必要な場合は、棒状補強材による補強を主体とし、ブラケット・ストラット・アンカー等による補強なども行っている。また、橋台が無筋橋台であるなど、橋台自体の安定や部材安全性が所定の性能を満たさない場合で、施工条件から上記の工法が適用できない場合は、柱列状改良体を用いた補強を実施している(図7、写真6)。本工法は、橋台の背面側から盛土内にセメント系の材料を用いて、柱列状の改良体を造成し、橋台と改良体を連結して一体化させる。これにより、背面盛土の一部を改良しつつ、橋台と改良体を一体化することで、橋台の耐震性を向上させ、背面盛土の沈下抑制を図ることができる。改良体の造成は、架線に支障しない高さの低空頭型機械を用いた機械攪拌もしくは噴射攪拌により、軌道の両端付近に直径φ800mm程度のものを連続的に施工する。橋台との連結は、施工環境に応じて、橋台前面から橋台改良体をコア削孔してPC鋼棒などを挿入する場合や、改良体造成直後にH鋼などの芯材を挿入し、改良体天端に連結用部材を設置して、橋台背面からあと施工アンカーによって連結する場合などがある。

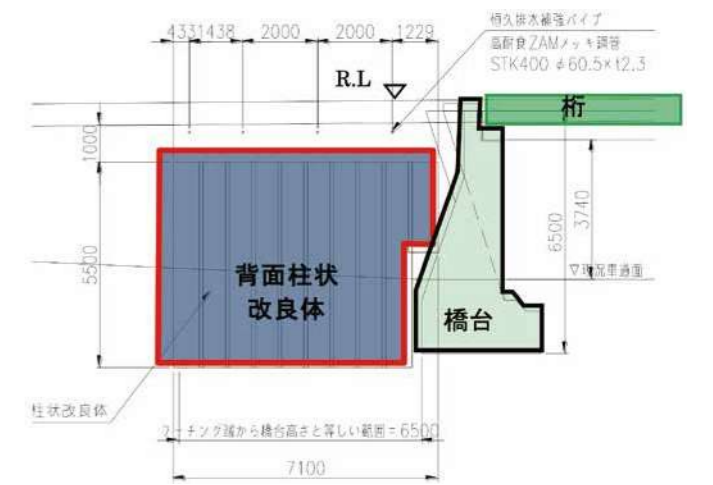


図7 柱状改良体を用いた橋台背面補強概要図



写真6 柱状改良体造成状況