大規模抗土圧構造物の耐震補強設計について

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株)　○(正)山本忠，(正)桐生郷史
東日本旅客鉄道(株)　(正)中村宏，(正)山内真也

1. はじめに

JR東日本の首都直下地震対策では，首都圏の主要路線について，高架橋や橋りょうだけでなく土構造物等も含めたライン全体として耐震性能を高める線区耐震補強対策を実施している．

本稿では，対策区間にある河川沿いの大規模な抗土圧構造物(**写真-1**)に対する耐震補強設計の概要について報告する．

写真-1 大規模な抗土圧構造物(補強前)

2. 設計条件

主な適用基準は，鉄道構造物等設計標準[1),2)]およびJR東日本の設計マニュアル[3)]である．対象区間は首都圏輸送の重要箇所であることから，要求性能は耐震性能Ⅱ[3)]とし，L2地震時は残留変位量が20cm未満(一般盛土部)を満足することとした．

対象構造物の断面図を**図-1**に示す．対象箇所は当初複線で開業し，その後複々線化するために河川側の石積み擁壁の前面に腹付けする形で盛土とRC擁壁を構築している．擁壁の基礎は天端を拡幅したもたれ式，上部は控え壁(4m間隔)を有する中埋め構造のU型擁壁である．全体の高さは17.7mであり，抗土圧構造物としては非常に規模が大きく特殊な形状である．

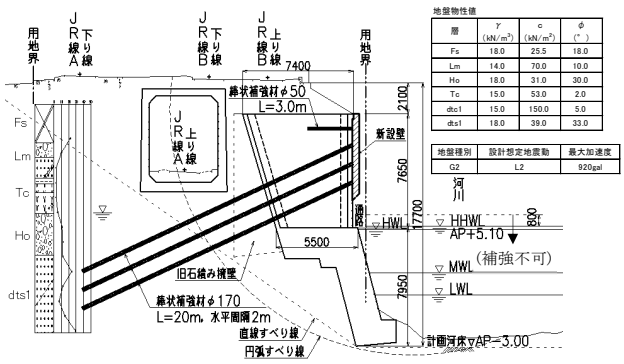

図-1 断面図

地盤は，上から埋土(Fs)，ローム層(Lm)，東京粘土層(Tc)，本郷砂層(Ho)，洪積砂層(dts1)で構成されている．地盤種別はG2地盤であり，L2地震動の地表面最大加速度は920galである．

補強にあたっての制約条件は，擁壁背面にボックスカルバートが存在すること，河川側は河積を阻害しないようHHWL＋800mmよりも下方は補強できないこと，既存のメンテナンス通路の機能確保等がある．

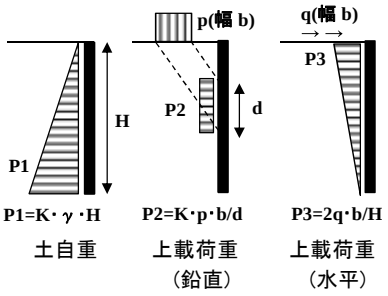

図-3 土圧分布(イメージ図)

3. 耐震補強設計

耐震補強設計フローを**図-2**に示す．検討内容は，円弧すべりのニューマーク法による残留変位照査(外的安定)および抗土圧構造物としての照査(内的安定，壁体の安全性)等を実施している．以降は，主として抗土圧構造物としての設計について記述する．

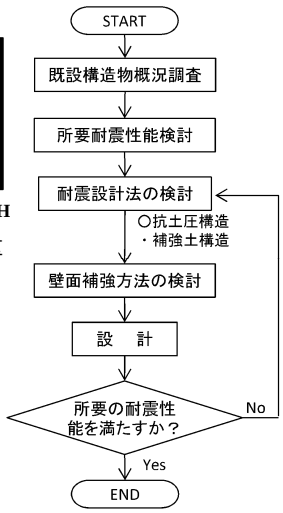

図-2 耐震補強設計ﾌﾛｰ

1) 補強構造

擁壁の安定性(転倒・滑動)を高めるため，**図-1**に示すように中径棒状補強材(φ170-3段，L=20m，水平間隔2m)を背面地山に挿入する構造を採用した．芯材は異形PC鋼棒φ32(エポキシ塗装)を用い，全長に渡ってグラウトと付着させている．緊張力は導入していない．

上部の控え壁を有するU型擁壁の前壁は，棒状補強材の引張力が作用した際に，壁体の耐力が不足しているため前面に新設RC壁を設けた．また，自重増加を極力避けるため新旧壁を一体化して新設壁を薄くしている（後述）．

キーワード　抗土圧構造物，耐震補強
連絡先　住所；東京都豊島区西池袋 1-11-1 ﾒﾄﾛﾎﾟﾘﾀﾝﾌﾟﾗｻﾞ 19F　TEL；03-5396-7249　FAX；03-5949-2795

2) 地震時主働土圧

擁壁背面地盤は洪積層が主体であり，砂質土と粘性土が混在している．地震時主働土圧は鉄道標準の補強土設計用土圧[1]を参照し，図-3に示す土圧を設定した．ここで，トンネル部は地盤が存在すると仮定した．

3) 内的安定の検討

内的安定は，図-4に示すようにRC部材を骨組でモデル化し，支持地盤と補強材位置にバネを設けて，自重と上載荷重は固定荷重，慣性力と地震時土圧は水平震度に応じて増加させる静的非線形計算にて検討した．

棒状補強材のバネは，杭周面のせん断バネ定数の考え方を準用した．また，引抜き抵抗力は，①芯材の引張強度，②芯材とグラウトの付着力(エポキシ塗装のため設計強度の80%)，③補強材周面の摩擦抵抗力のうちの最小値を採用し，これを上限としたバイリニア型のバネ特性とした(図-4)．なお，補強材周面の摩擦抵抗は，L2地震の最大応答震度に相当する土圧のすべり線よりも奥の地盤との摩擦抵抗だけを期待することとした．

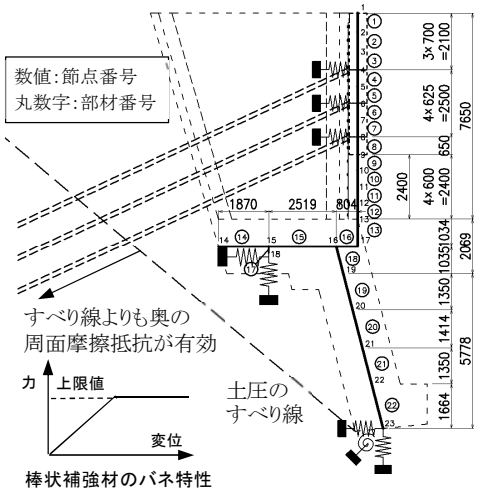

図-4 骨組モデル

擁壁天端における荷重～変位曲線を図-5に示す．構造系全体の降伏震度は0.35，エネルギー一定側を用いて求めたL2地震の応答変位は約130mm，最大応答震度は0.36となった．この結果を用いて，応答変位までの部材の損傷レベルや基礎の応答塑性率が制限値を満足することを確認した．また，軌道付近の沈下量は応答変位時の全体系の水平変位から等体積法を用いて算出(図-6)し，円弧すべりのニューマーク法による残留変位と共に制限値を満足していることを確認した(表-1)．

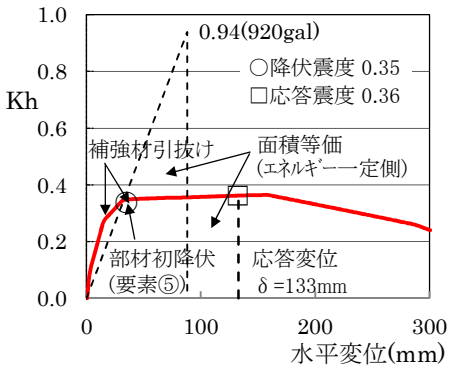

図-5 荷重～変位曲線

4) 新旧RC壁一体化の検討（ジベル筋の設計）

上部構造の水平断面を図-7に示す．同図には，棒状補強材が土圧に抵抗して壁に力が作用した際の水平面内の設計断面力を併記しているが，補強材と控え壁の間にせん断力(V_{hd})が発生する．また，鉛直断面の検討(図-4)においても鉛直面内のせん断力(V_{vd})が生じていることから，新旧壁一体化のためのジベル筋は壁面内の任意方向のずれせん断応力度を考慮して配置した[4]．なお，せん断力分布が一様でないことから，領域毎に必要量を求めている．

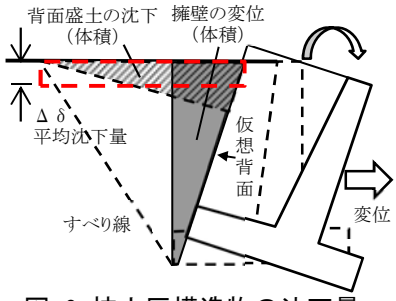

図-6 抗土圧構造物の沈下量（等体積法）

表-1 沈下量照査結果

検討項目		変位量(mm)	要求性能
円弧すべり	対策前	367	耐震性能Ⅱ 制限値200mm (一般部)
	対策後	113	
抗土圧	対策後	11	

新旧RC壁を一体化して曲げ・せん断耐力を評価することにより，新設壁厚を最小限に抑える合理的な構造とすることができた．

4. まとめ

大規模な既設抗土圧構造物について棒状補強材を用いた耐震補強事例を紹介した．本件のように，既設RC壁に新設壁を設置して補強する場合は，既設部材が保有する耐力を活用することが有効であると考える．

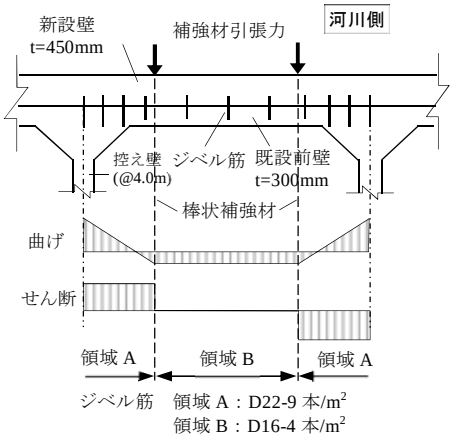

図-7 水平断面と断面力

【参考文献】

1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準･同解説 土構造物,2007.
2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準･同解説 耐震設計,1999,2012.
3) 東日本旅客鉄道(株)編：土構造物耐震補強設計マニュアル,2013.
4) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準･同解説 開削トンネル,1999,2012.
5) 地盤工学会編：地山補強土工法設計・施工マニュアル,2011.
6) 山内真也ほか：盛土耐震補強における斜面崩壊対策および液状化対策の設計施工事例，SED No.45，東日本旅客鉄道(株)，2015.