

のり面補強における抑止工の耐震設計について（その2）

JR 東日本コンサルタンツ（株） 正会員 ○田中 祐二 正会員 石川 剛
東日本旅客鉄道（株） 正会員 山内真也 正会員 中村 宏

1. 背景

JR 東日本では土構造物耐震補強設計マニュアル¹⁾に抑止杭の設計法を追加し、土構造物の変形量を照査する設計手法をまとめている。本稿では、過去に震度法を適用し L1 地震動相当で設計された切取りり面の災害復旧事例に、本マニュアルを適用して再検討した事例と、現在進めている低強度地盤改良体と鉄筋挿入による抑止杭工の設計検討事例を紹介する。

2. 抑止杭の設計方法

検討概要を図1に示す。まず、円弧すべり解析ソフトを用いて、地震後の許容変形量 δ_a となる降伏震度 k_y を求め、その後起動モーメント M_D ・抵抗モーメント M_R ・半径 R から必要抑止力 P_R を求める。次に、別途はりバネモデルにて杭部材の照査（曲げ、せん断）を行う。また、杭の根入れ長 $\ell \geq 3/\beta$ (β : 杭の特性値) および支持力から決定する。

約70m

※抑止杭設計上は、300Hを1

3. 切取斜面の復旧事例

地震により大規模崩壊した切取のり面における本復旧工法として H 鋼抑止杭が採用された。図 2 に当該箇所を概要を、図 3 に検討モデルを示す。検討概要を以下に述べる。

①L 1 設計では水平震度 ($k_h=0.25$) における必要抑止力 P_R が 129.8kN/m となり, 300H を線路方向に 1.0m ピッチで配置すると仮定して検討を実施している²⁾.

②上記を基に、土構造物耐震補強設計マニュアル¹⁾に準じて L2 地震動に対する検討を追加した。検討用の地震波は耐震標準³⁾の土構造物照査波 (G2 地盤) とし、許容変形量 δ_a は変形レベル 3 の 500mm としている。その結果、降伏震度 $k_y=0.245$ 、発生変形量 $\delta=480\text{mm}$ となり、仮に抑止杭がないとしても許容変形量 $\delta_a=500\text{mm}$ を満足することとなった。

③抑止杭の根入れ長は 5.2m で $\beta l \div 3.2$ となる。なお、杭に作用する鉛直方向成分がほとんどないこと、および N 値 30 の支持層に 1m 程度根入れしていることから支持力の検討は省略した。

4. 地盤改良体を用いた盛土の耐震補強の例

(1) 検討概要

図4のように、高架下のにり面を有する高さ 6.5m 程度の盛土があり、高圧噴射攪拌による改良体内に鉄筋を配

キーワード 抑止杭，災害復旧，耐震補強，地盤改良杭

連絡先 〒171-0021 東京都豊島区西池袋 1-11-1 メトロポリタンプラザ 19F ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) TEL 03-5396-7249

必要抑止力の算定式 $P_R = \frac{(M_D - M_R)}{R}$

P_R : 必要抑止力(kN)
 M_D : 起動モーメント(kN・m)
 M_R : 抵抗モーメント(kN・m)
 R : 半径(m)

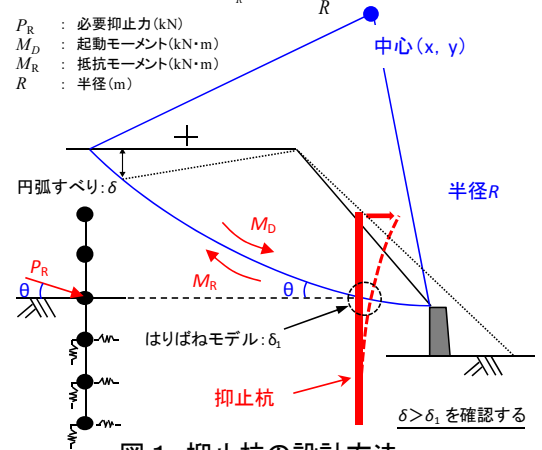


図 1 抑止杭の設計方法

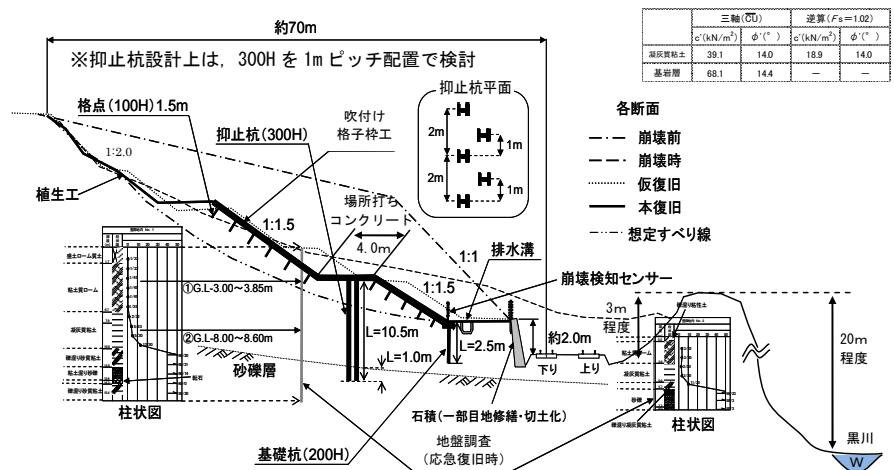


図 2 概要 ²⁾ に加筆

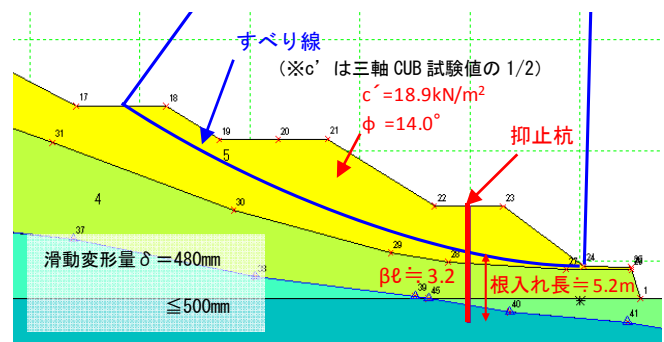


図3 検討モデル

置した抑止杭 ($\phi=2.0\text{m}$, @6.0m) を採用したので, その設計事例を紹介する.

(2) 抑止杭の設計

本事例は, 低強度地盤改良体による抑止杭における初めての設計検討である. L2地震動に対して変形レベル3 ($\delta_a=500\text{mm}$) を満足させるには, 必要抑止力 P_R は 72.5kN/m であり, 水平分力と鉛直分力をそれぞれすべり面上の杭に載荷して設計した. 以下, 設計条件および照査結果を示す.

①土構造物耐震補強設計マニュアル¹⁾ に準じた設計検討

必要抑止力を載荷した杭の設計断面力に対して, 曲げ・せん断耐力を照査する場合は, 引張側にD19-3本を配置すればよい.

②静的非線形解析による設計検討 (本方法はマニュアル¹⁾ 記載なし)

地盤改良体の一軸圧縮強度 q_u と終局ひずみ ε_f の関係を図5に示す. ε_f の平均値は0.38%である. また, 図6はコンクリートの応力～ひずみ曲線⁴⁾ であり, 降伏ひずみは0.2%, 終局ひずみは0.35%である. 以上より, コンクリートの終局ひずみレベルは, 改良体の終局ひずみレベルと概ね等しく, 文献5の知見も参考に, 改良体の応力～ひずみ関係はコンクリートに準じて良いと考えた.

杭部材の設計は, 杭を梁要素, 地盤を非線形バネでモデル化し静的非線形解析を実施した. 地盤改良体の q_u は平均値 $3,200\text{kN/m}^2$ (3.2N/mm^2) であることから, 静的非線形解析では, $2,000\text{kN/m}^2$ (2.0N/mm^2) のコンクリートとして設計した. 主鉄筋をD25-3本とすると, 変形性能を確保し, なおかつ応答値を杭体の損傷レベル2に収める設計とすることができた (図7).

なお, 抑止杭の根入れ長 l は, $3/\beta=6.99\text{m}$ となり, $l \approx 7.22\text{m}$ とした (支持力OK). また, のり枠工を新設し, のり尻土留擁壁天端と抑止杭の杭頭部を連結することとした.

5. まとめ

(1) 切取斜面の復旧事例

L1 設計された切取斜面に, L2 地震に対する検討を実施した結果, 無補強で変形量の制限値 ($\delta_a=500\text{mm}$: 変形レベル3) を満たした.

(2) 盛土の耐震補強

盛土耐震補強において, 高圧噴射攪拌で造成する抑止杭工を採用し, $\phi=2.0\text{m}$, @6.0m, D25-3本を配置する設計とした.

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社: 土構造物耐震補強設計マニュアル, 2013.5
- 2) 渡邊誉夫, 中村宏, 山内真也, 舟木源尚, 古島秀紀: 東北地方太平洋沖地震で崩壊した東北本線切土斜面における震災復旧工事の設計および施工, SEDNo.43, 2014.5
- 3) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計, 2012.9
- 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物, 2004.4
- 5) 高山真揮, 池本宏文, 高崎秀明: 盛土耐震補強工法に使用する改良体の要素試験, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.7

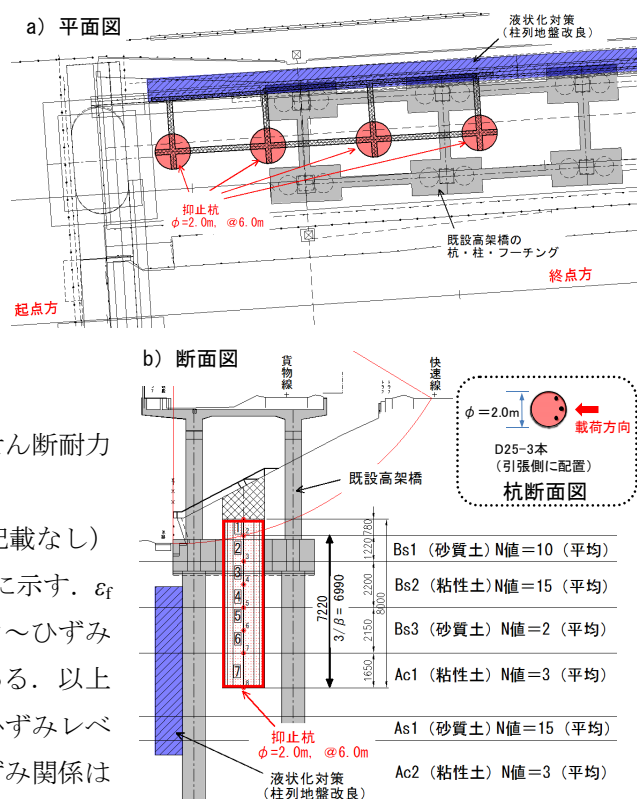


図4 適用箇所の概要

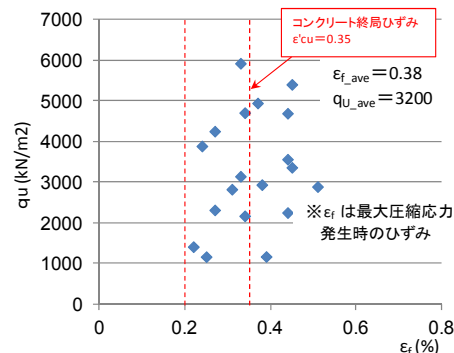


図5 改良体の $q_u \sim \varepsilon_f$ の関係

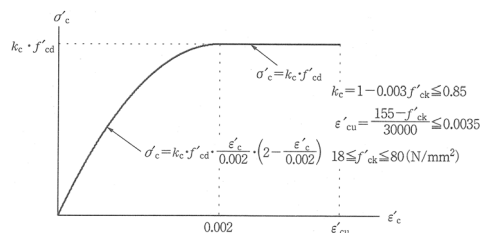


図6 コンクリートの応力～ひずみ関係⁴⁾

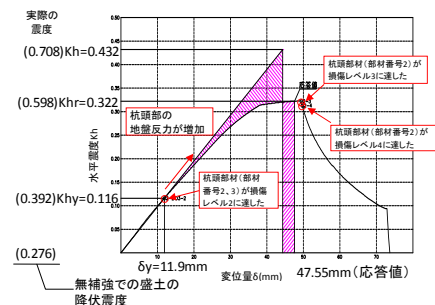


図7 $Kh \sim \delta$ 関係 (D25-3本)