

のり面補強における抑止工の耐震設計について

JR 東日本コンサルタンツ (株) 正会員 ○ 田中 祐二 栗山道夫
 東日本旅客鉄道 (株) 正会員 山内 真也 正会員 中村 宏
 (株) 複合技術研究所 三平 伸吾

1. 背景

JR 東日本では首都直下地震対策における土構造物の耐震補強を推進しており、棒状補強材による補強を主要な対策工としている(図1)。一方で、建物が近接するなどの理由で棒状補強材での設計が困難となる場合は抑止工を用いる方法がある。本稿では、これまでの鉄道における抑止工による耐震設計事例を回顧するとともに、新たに残留変形量を性能指標として、耐震設計に応用した事例を紹介する。

2. 抑止工の既往の設計例

(1) 事例 I

盛土前面の土留め壁の変位に伴い軌道の沈下が発生した箇所に対して、鋼矢板+グラウンドアンカーによる抑止工が実施された(図2)。主な設計条件等を以下に示す。

- ① $K_h=0.2$ とした震度法で設計
- ② 円弧すべり解析に用いた地盤物性値は、対策工実施前の安全率 F_s を 0.98 として逆算した物性値を使用。
- ③ 対策前にすべりが生じていたことから、鋼矢板施工後の円弧すべり安全率 F_s を 1.1 とするための必要抑止力 P_R (91kN) および土圧を作用させて検討を実施。
- ④ 鋼矢板は支持層である Tog 層まで根入れ。
- ⑤ 鋼矢板の応力度照査およびグラウンドアンカーの引抜きに対する照査を実施。

(2) 事例 II

地震により大規模に崩壊した切土のり面における本復旧工法として、H 鋼による抑止杭が施工された(図3)。対策仕様の概要を図4に示す。また、主な設計条件を以下に示す。

- ① $K_h=0.25$ とした震度法で設計。
- ② 円弧すべり解析に用いた地盤物性値は、崩壊後に整形し仮復旧した状態で、 $F_s=1.02$ となる c' 、 ϕ' とした(図4)。
- ③ 抑止杭は支持層の基岩層 ($N=30$ 評価) に 1.0m 以上根入れ。
- ④ 対策後の円弧すべり所要安全率 ($F_s=1.1$) とする必要抑止力 (129.8kN) を H 鋼に作用させ、応力度の照査を実施。
- ⑤ 文献3を参考に杭間の中抜けに対する検討を実施。必要抑止力 129.8 (kN/m) に対して、中抜け抵抗力 1024.5 (kN/m) となることから安全性を確認。

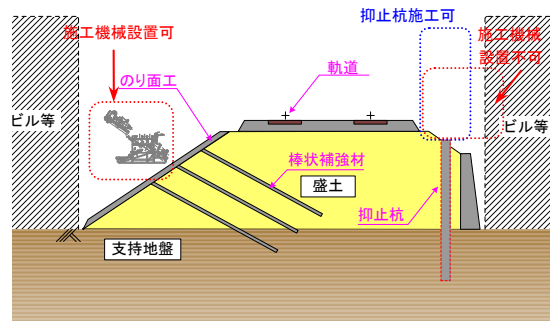


図1 抑止杭による補強のイメージ

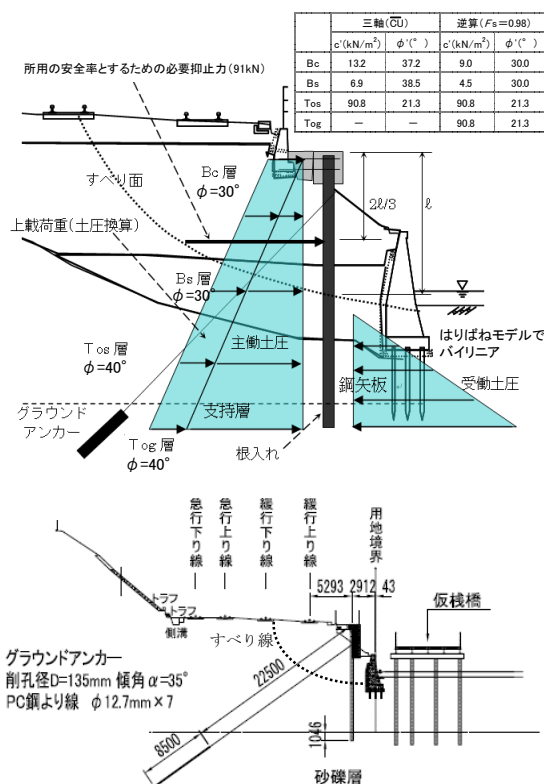


図2 事例 I (鋼矢板) 1) に加筆

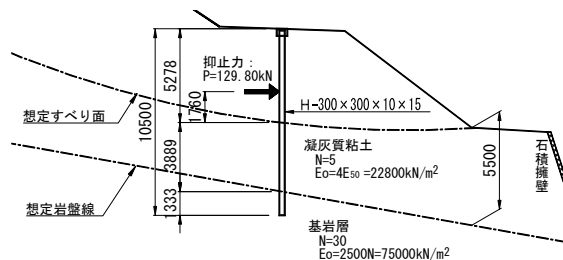


図3 事例 II (抑止杭) 2)

キーワード 抑止杭, 盛土, 耐震補強

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

3. 盛土の補強における抑止杭の適用

(1) 適用箇所概要

対象となる盛土は、首都圏の重要線区における盛土（ $H \approx 8.0\text{m}$ ）であり、対策工法はH鋼による抑止杭とした。当該箇所の平面図および横断図を図5に示す。

(2) 必要抑止力 P_R の算定

前述した 2 件の事例は、震度法による設計であったが、今回設計では、変形量照査となる。そこで、安全率を仮定する手法に準じて、変形量照査に合わせた形で必要抑止力を算出した。具体的な手法は、円弧すべり解析ソフト (Design-SoilStructure) を用いて、地震後の残留変形量 $\delta \leq 100\text{mm}$ となる降伏震度を設定し、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 を求めた (図 6)。本ケースでは、降伏震度 $K_v=0.430$ 、必要抑止力 $P_R=191.5\text{kN}$ となった。

(3) 抑止杭の設計

- ①抑止杭は **H-300** とし、可能な限りのり尻付近に打設した。
- ②線路方向の杭間隔（打設ピッチ）は **1.4m** とした。
- ③杭長については、すべり面以深に $3/\beta$ （ β ：杭の特性値）以上根入れさせることとしたが、 P_R の鉛直成分に対する杭の支持力で長さが決定し、 $L=12.5\text{m}$ となった。
- ④はりばねモデルにて、杭を線形、地盤を非線形（有効抵抗土圧を上限としたバイリニア）として応答値を算定した。
- ⑤必要抑止力 P_R の載荷点は円弧すべり計算から求まるすべり線位置とし、すべり線と抑止杭が交差する角度（ $\theta=27.9^\circ$ ）に応じて鉛直分力と水平分力を杭に作用させた。
- ⑥照査は、H 鋼に必要抑止力 P_R を作用させた際に杭（H 鋼）が降伏しないことを確認するとともに、はりばねモデルにおけるすべり線位置での杭の変形量が円弧すべり解析における土塊の変形量よりも小さいことを確認した。なお、杭間の中抜けに対しても文献 3 を参考に検討を実施し、必要抑止力 191.5 (kN/m) に対して、中抜け抵抗力 1073.3 (kN/m) となることから安全性を確認した。

4. まとめ

震度法設計および今回実施した残留変形量を性能指標とした設計において、抑止杭の耐震設計が可能であることが分かった。ただし、設計基準、マニュアル類は整備されていないのが現状であり、設計手法の標準化が今後の課題である。

参考文献 1) 関田竜典, 広岡勉, 猿谷賢三, 友利方彦, 西島和男, 中村宏: 中央本線飯田

橋・市ヶ谷間における盛土のすべり変状と対策について, SED No.35, 2010.11. 2) 渡邊蒼夫, 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, SED No. 43, 2014. 5. 3) 土木施設防災工法研究会: のり面及び斜面災害復旧工法, 山海堂, 1983. 9.

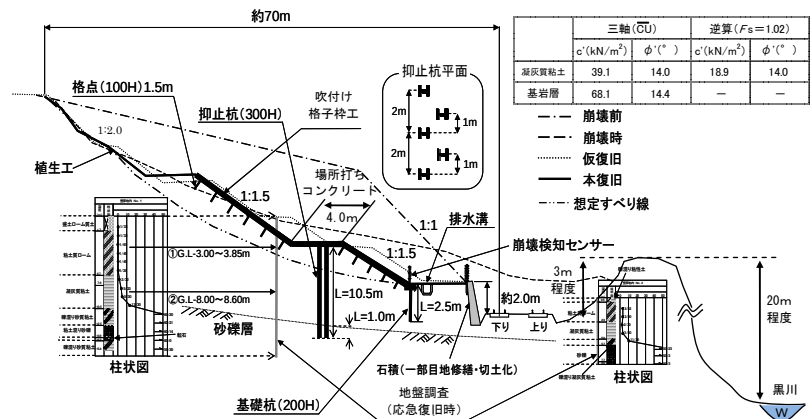
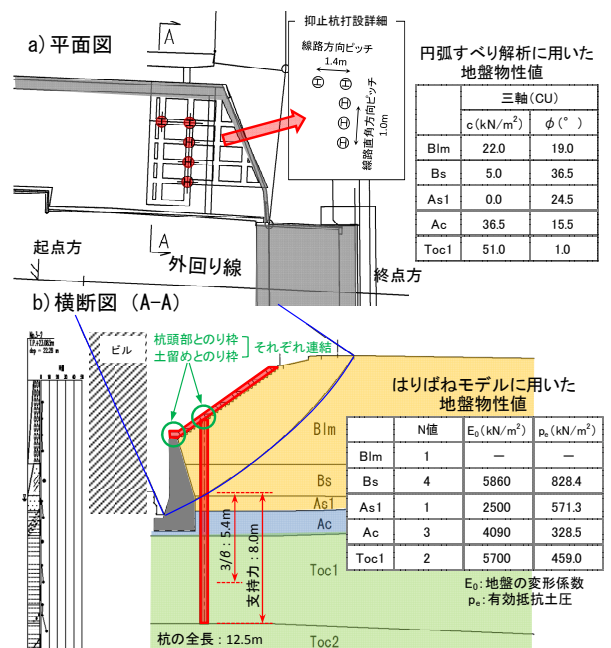
図 4 事例Ⅱの概要²⁾に加筆

图5 对象箇所

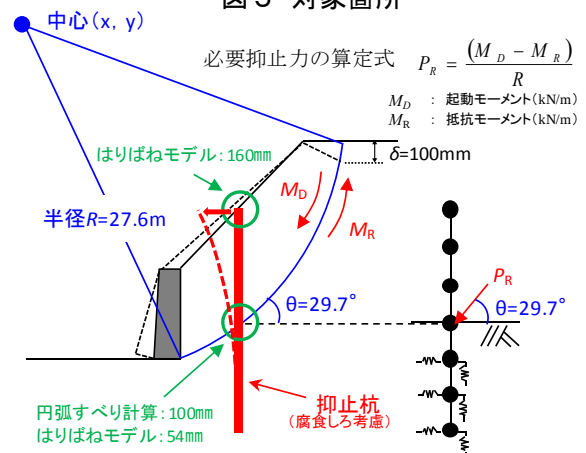


図6 P_R の算定および解析のモデル

中抜けに対する検討式³⁾

$$P \leq 2 \cdot h^2 \cdot \cos\delta \cdot \sin\alpha \cdot \frac{\pi\alpha}{180} \left(\frac{1}{3} \cdot N_\phi \cdot \gamma_r \cdot h + \sqrt{N_\phi} \cdot c \right) + D \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot N_\phi \cdot \gamma_r \cdot h + 2 \cdot \sqrt{N_\phi} \cdot c \right)$$

P	: $P_R \cdot \cos\theta/(t/m)$	δ, α	: セン断角 $\approx \phi$
P_R	: 必要抑止力 (t/m)	D	: 杭径 (m)
γ_r	: 土の単位体積重量 (t/m ³)	ϕ	: 土の内部摩擦角 (°)
h	: くいの有効長 (m)	N_ϕ	: $(1 + \sin\phi)/(1 - \sin\phi)$
c	: 土の粘着力 (t/m ²)		