

既設もたれ擁壁下部掘削工事に伴う擁壁の安定と補強

○柚木 裕朗 (東急設計コンサルタント) 森田 仁史 (東急設計コンサルタント)

[土] 戸塚 信弥 (東急設計コンサルタント) 菅野 良一 (東急設計コンサルタント)

Stability and Reinforcement of a Retaining Wall

Involved in Excavation of the Lower Part of an Existing Leaning Wall

○Hiroaki Yunoki, (Tokyu Sekkei) Hitoshi Morita, (Tokyu Sekkei)

Shinya Totsuka, (Tokyu Sekkei) Ryouichi Kanno, (Tokyu Sekkei)

There is a leaning wall supporting the ground at the side of the railroad tracks as well as a plan to build a U-type retaining wall body under it involved in underground installation of the railroad.

Reinforcement to secure the stability of the retaining wall becomes needed for removing a part of its bottom slab accompanying the construction work.

Because the section in question has difficulty with the use of private land at the back of the retaining wall, the style of the reinforcement from its front side is adopted.

In this project we propose a method of construction to suppress the displacement of the retaining wall by installing displacement suppression piles in front of the wall and forming trusses between temporary earth-retaining piles and the head, and have inspected the effect of this method.

キーワード：都市鉄道、擁壁、軌道直下工事、仮土留め、偏土圧、軌道仮受、FEM 解析

Key Words : urban railway, retaining wall, construction works directly under the track, temporary earth-retaining, unsymmetrical pressure, temporary support frame structure of tracks, FEM analysis

1. はじめに

1. 1 工事概要

東京急行電鉄東横線と東京地下鉄副都心線との相互直通運転化計画に伴い、渋谷駅～代官山駅間を地下化する工事が行われている。構造形式として、施工方法の分類により、渋谷駅は幹線道路の開削工法によるボックスカルバート、渋谷駅端部～JR線交差点付近まではシールドトンネル、JR線交差点付近～代官山駅については、開削工法によるボックスカルバートおよびU型擁壁を構築する計画である。

当社の設計区間は、現在線直下の開削工法区間を担当し、区間すべて、現在線の軌道直下に軌道仮受桁・仮設架構を設置し、現在線直下の掘削及び構築を行う工法を採用している。

1. 2 現地状況

同区間は、下り線側線路脇の地盤が軌道面より 6.0m 程度高い地盤となっており、もたれ擁壁が構築されている。工事に伴いこの擁壁下部にU型擁壁躯体を構築する計画である。



写真 1 工事着工前全景

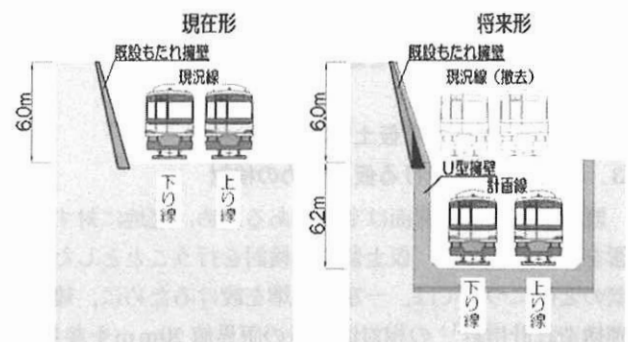


図 1 U型擁壁構築イメージ

2. 工事における問題点とその対応策

2. 1 問題点

既設もたれ擁壁下部を開削工法にて掘削工事するにあたり、仮土留め壁を構築する必要があるが、擁壁の底版に支障することから、底版の一部を切欠いて、仮土留め杭 (H-488x300x11x18, L=8.0~11.5m, ctc1.5m) を施工せざるを得ない状況にある。また、線路脇の片側地盤が高い形状となっているため、仮土留め工法において、偏土圧を考慮する必要がある。

この場合、既設もたれ擁壁の底版を一部撤去するため、擁壁に作用する土圧および擁壁自体を支えるための補強が必要となる。仮土留め壁の支持構造として、当該区間のような偏土圧形状を安定させるには、グラウンドアンカーにより背面側にアンカーを定着させ、擁壁を安定させる方法が多く用いられている。しかし、当該区間は、既設擁壁背面の民地使用が困難であることから、既設擁壁を前面から補強する形式とする必要があった。

また、当該区間は鉄道用地が狭く、列車の建築限界を確保するため、新設U型擁壁躯体を用地境界際に構築する必要がある、仮土留め壁 (杭) を新設擁壁躯体と分けて単独で施工することが出来なかった。

2. 2 対応策

既設擁壁の偏土圧に対する安全確保と変位抑制するための対応策として、既設擁壁前面に変位抑制杭を打設し、仮土留め杭と頂部にてトラスを形成することで既設擁壁の変位を抑制する工法を提案し、その効果について次項以降で検証した。

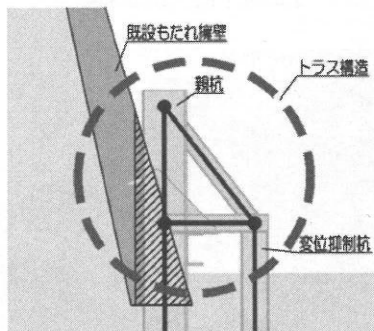


図 2 トラス形状イメージ

また、仮土留め壁 (杭) は用地の制約により単独で施工できないため、U型擁壁躯体に構造の一部として埋込むことのできる親杭横矢板を選択した。

3. 偏土圧を受ける仮土留め構造の検証

3. 1 偏土圧を受ける仮土留めの検討

既設もたれ擁壁背面は宅地であるため、宅地に対する影響を十分考慮して、仮土留めの検討を行うこととした。擁壁の変位については、一定の基準を設けるために、建築基礎構造設計指針¹⁾の相対沈下量の限界値 20mm を参考にこの値を限界変位量とした。

3. 2 解析手法・検討ケース

解析手法として、平面格点モデルを用いて、今回提案している仮土留め工法を含む、以下の4ケースについて検討を行いそれぞれの応力・変位から各ケースの有効性を検証した。検討において使用した仮土留め杭・支保工は表 1 の通りである。

case1: 親杭横矢板および切梁支保工を用いて、偏土圧およびもたれ擁壁自重に抵抗する。一般的に用いられる仮土留め工法にて偏土圧に抵抗させる案。

case2: case1に加え、軌道仮受構造にて抵抗させる。軌道直下工事に伴い現在線を支持する仮受構造にも土圧を分担させる案。

case3: case1に加え、擁壁前面に変位抑制杭を打設し抵抗させる。仮土留め杭と抑止杭の頭部にトラスを組み、構造全体の剛性を上げて抵抗させる。(提案工法)

case4: case2に加え、擁壁前面に変位抑制杭を打設し抵抗する。仮土留め杭と抑止杭の頭部にトラスを組み、構造全体の剛性を上げて抵抗させる。

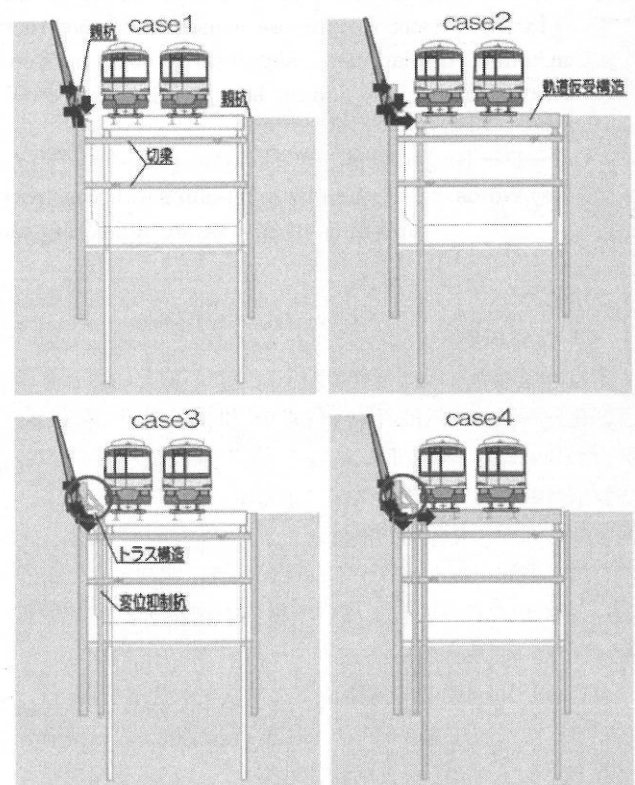


図 3 検討ケースイメージ

表 1 仮土留め部材

上り線側仮土留め杭	H-350x350x12x19 ctc1.5m
下り線側仮土留め杭	H-488x300x11x18 ctc1.5m
変位抑制杭	H-300x300x10x15 ctc3.0m
切梁 (1・2 段目)	H-350x350x12x19 (リース材) ctc3.0m

検討は、鉄道構造物の設計基準^{2), 3), 4)}に従い、安全側をとって、粘着力を考慮しない設計用土質定数を用いた。検討計算には、平面格点モデル計算ソフトを用いて行った。検討方法は、施工段階別に軸組図・土圧・水平方向反力係数を設定し、各部材の応力および変位を算出した。応力については、検討の過程において、最大応力を超過しないように部材を設定した。また、変位量については、最大杭頭変位と限界変位量の比較により検証を行った。

3. 3 検討結果

各検証ケースの最大変位量は、表 2 に示す通りである。case4 は限界変位量内に収まり、その他は限界変位量を超える結果となった。

表 2 平面格点モデル計算結果

case	1	2	3	4	限界変位量
最大水平変位 (mm)	38	34	22	20	20

検討結果より、トラス構造を有する case3,4 の変位がトラス構造を持たない case1,2 の変位より小さい傾向が確認できる。従って、トラス構造が有効であると考えられる。

最も変位が小さいのは case4 であるが、軌道仮受け桁に土圧による水平力が載荷されることになり、軌道仮受け桁の変位の検証が必要となる。

鉄道軌道に対する限界変位量の考え方は、事業者により諸説あるが、一般的に 10mm 以下の値が採用されていることが多い。さらに、今回のような偏土圧を受ける区間で土圧を軌道仮受け桁に分担させる構造形式は過去に実績がないこと、営業線を長期間受ける桁であることを考えると軌道仮受け桁を土留めの変位抑制に使用するのは危険が伴うと判断した。また、トラス構造を有する case3,4 で変位量に顕著な差がないことを考慮し、case3 でも同等の性能が確保できることから、case4 を採用しないこととした。

case3 の変位量は、限界変位量を超える結果である。但し、検討に用いた設計用土質定数は、本設設計に用いる値であり、粘着力を考慮していないが、当該区間の土質は、粘性土であり、地質調査結果から得られた土質定数を用いて擁壁の安定計算をすると、背面地盤が自立する結果となる。これを踏まえると、実際の土圧は検討に用いた土圧より軽減されることが考えられることから、より詳細な擁壁の挙

動を評価するために、次項において、背面地盤の粘着力を考慮し、FEM 解析を行うこととした。

4. FEM 解析による構造系の挙動

4. 1 FEM 解析による構造系の再現

本項では、case3 の構造系を 2 次元弾塑性 FEM モデルとして再現し、今回提案している仮土留め構造の有効性について評価をするものである。なお、本項に用いたモデルは、検討断面が異なり、上り線側の地盤バネが弱いため、前項に用いたモデルより若干変位量が大きく出る検討断面をモデル化したものである。解析に用いたモデルおよび使用した仮土留め杭・支保工を図 4、表 3 に示す。

表 3 仮土留め部材

上り線側土留め	鋼矢板 IV 型
下り線側仮土留め杭	H-488x300x11x18 ctc1.5m
変位抑制杭	H-300x300x10x15 ctc3.0m
切梁 (1 段目)	H-350x350x12x19 (リース材) ctc3.0m

地層は 4 層に区分し、地盤、擁壁はソリッド要素でモデル化した。仮土留材は梁要素で、擁壁前面の仮土留め壁と擁壁は梁材で剛結してモデル化する。切梁は鋼矢板 IV 型と親杭横矢板間に設置される。

なお、実際の施工では親杭横矢板の前面に変位抑制杭を打設しているが、FEM モデルでこの位置に梁要素を設置すると切梁と連結されて、変位抑制杭にも切梁反力が伝達され変形が小さく算出される可能性がある。このため、変位抑制杭設置に相当する梁要素の設置をせず、代わりに親杭横矢板の断面性能に変位抑制杭の剛性を合算することにより変位抑制杭による安定化向上、変形抑制効果を表現するものとした。

4. 2 解析ステップ

解析は以下のステップで行った。

- step1 : 自重計算により地中応力を発生させる。
- step2 : 親杭横矢板、連結部、鋼矢板 IV 型の鉛直部材を設置する。
- step3 : 軌道面に軌道部荷重 ($q_1=10\text{kN/m}^2$) と枕木幅で電車荷重 ($q_2=25\text{kN/m}^2$) を載荷する。また、もたれ擁壁背面の地盤には、建物荷重として 10kN/m^2 を載荷する。

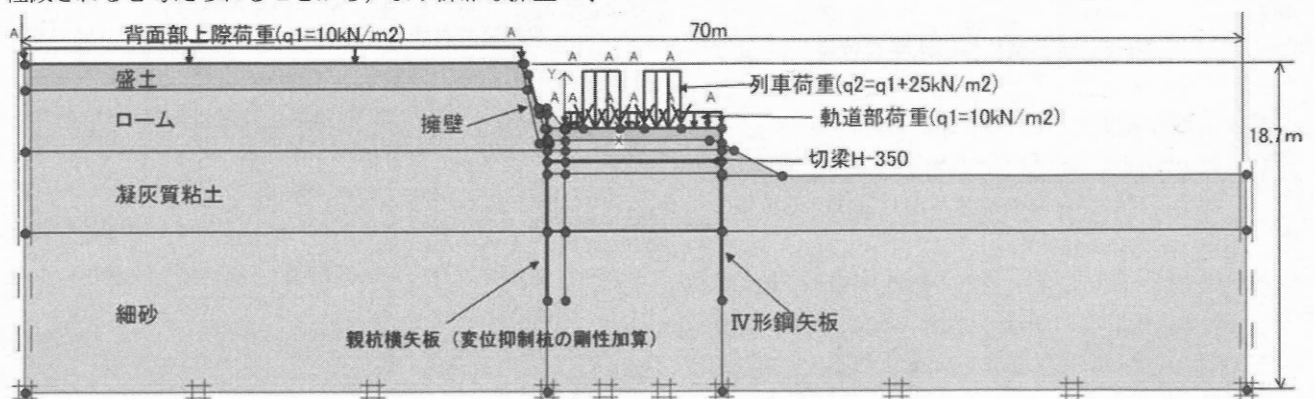


図 4 解析モデル

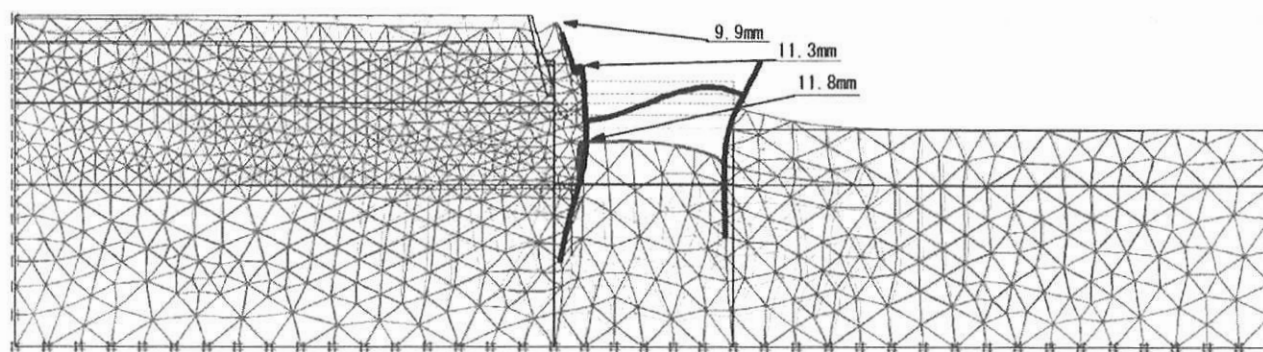


図 5 解析結果(変形倍率×150)

step4: 一次掘削面まで掘削する。その際、鋼矢板 IV 型の背面側の地盤も水平となるように掘削する。

step5: 切梁を設置し、最終床付け面まで掘削する。

周辺地盤の変形検討は、もたれ擁壁基礎の水平変位量に着目し、擁壁基礎と連結した仮土留め壁の水平変位量分布を把握する。

4. 3 FEM 解析の結果

最終床付け時の変形図及び水平変位量分布を図 5・図 6 に示す。

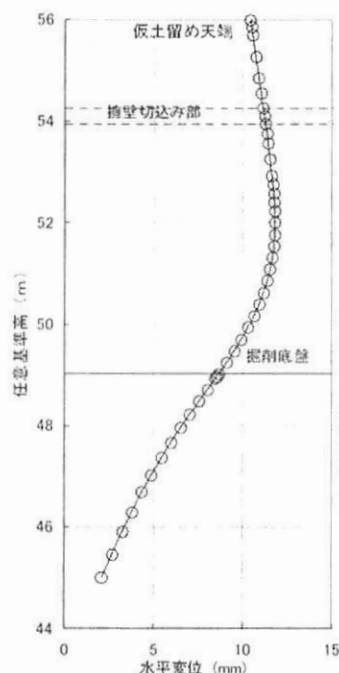


図 6 仮土留め壁の水平変位量

FEM 解析の結果、以下の点が確認された。

- (1) 仮土留掘削に伴い、もたれ擁壁は前面に押し出され、切梁を介して対岸の地盤が押し込まれる変形モードを示す。
- (2) 仮土留め壁の最大水平変位量で 11.8mm、擁壁基礎との接続部で 11.3mm となる。また、もたれ擁壁天端における水平変位は 9.9mm となる。いずれも限界変位量を大きく下回る結果である。

5. おわりに

今回の事案は、擁壁背面に宅地があることから、宅地に対して十分な安全を確保する必要がある。また、同様に軌道に対する安全も確保する必要があった。

FEM 解析にて、実際の地盤を想定して粘着力を考慮したところ、擁壁の変位が限界変位量を大きく下回る結果となり、十分な安全率の余裕を確保できることを確認できた。なお、検討に用いた粘着力は、近傍の複数の地質調査結果から最小値を採用することで、安全側の設計としている。

以上より、宅地への影響が小さく、かつ軌道の安全性を確保できる case3 を今回の提案工法として採用することとした。

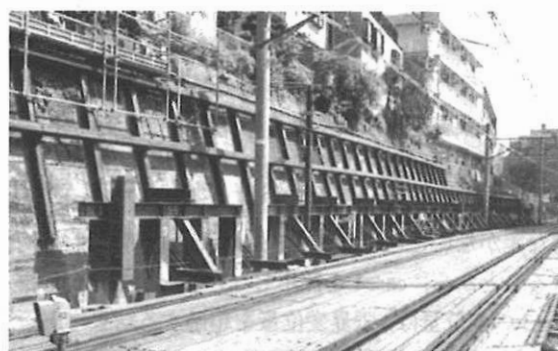


写真 2 擁壁補強工事完了後全景

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 丸善株式会社, 1988
- 2) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル 附属資料: 掘削土留め工の設計, 丸善株式会社, 2001
- 3) 運輸省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所: SI 単位版 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物, 丸善株式会社, 2000
- 4) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物, 丸善株式会社, 2007