

# 都心部住宅地の根切り工事への地山補強土工法の適用

## Report of The Large Depth Excavation by Soilnailing in The Residential Areas of Tokyo

大西 等\*

Hitoshi Onishi

曾我 誠意\*\*

Seii Soga

緩鹿 秀明\*

Hideaki Yuruka

### 要 約

都心部住宅地の建築工事で、平面約 150 m×93 m 深さ最大 15 m の掘削工事を、鉄筋挿入補強土工法であるソイルネイリング工法によりオープン掘削で施工した。本工法による実績は多数あるが、今回のような都心部住宅密集地での大規模な実績は少なく、掘削に伴う影響の事前把握はもちろん、施工にあたっての計測を含めた管理、対策工が重要であった。本施工報告では、事前検討による影響程度の把握、施工における計測管理と発生した小規模な法面崩落への対策工について報告する。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. ソイルネイリング工法の計画
- § 4. 施工報告
- § 5. まとめ

### § 1. はじめに

現場は、東急東横線の代官山駅の北西 300 m の閑静な住宅地であり、幅 3 m の区道と集合住宅に囲まれた袋小路のような土地（写真一参照）に、最大 15 m の掘削工事を計画した。地盤はローム層が主体で自立性は良いが、起伏が大きく東西両面で最大 4.0 m 程の高低差があった。そのため、オープン掘削での施工を計画した。一般的なアンカー工法はアンカーの民地内占有が生じ、住民の承諾が得られない懸念があったため、建設用地内で支保材が収まる鉄筋挿入補強土工法に着目し、その中でも軽微な支保で施工可能なソイルネイリング工法を採用した。ソイルネイリング壁は実績上の最大法勾配である 1:0.1 で計画したが、その場合でも当工事の建築物と隣地境界との取り合いが厳しいため、約 5.0 m の親杭横矢板自立壁を併用してソイルネイリングの施工基盤を下げる計画とした。さらに北面と南面では盤下げのみでは建築物との取り合いを解消できないため、内側の躯体を構築後、躯体と親杭の間に支保工を設置しながらソイルネイリング壁を撤去し、取り合い部の躯体を構築するアイランド工



写真一 工事現場全景

法で施工する計画とした。本報文では、計画時に検討した項目として工法選定、ソイルネイリング工法の適用性、断面の設計、計測計画、影響検討の結果について述べる。施工報告では、ソイルネイリング壁の計測変位と小規模な法面崩落対策工について述べる。

### § 2 工事概要

#### 2-1 工事概要

工事名称：(仮称) 渋谷鶯谷町計画新築工事  
 工事場所：東京都渋谷区鶯谷町 13 番地  
 企業先：住友不動産株式会社  
 設計管理：株式会社日建設計  
 工期：平成 20 年 4 月 1 日～平成 22 年 7 月 31 日  
 (28 ヶ月)  
 建築物 用途：共同住宅（総戸数 139 戸）  
 敷地面積：15,723 m<sup>2</sup>  
 建築面積：7,065 m<sup>2</sup>（延床面積：49,988 m<sup>2</sup>）

\* 関東建築（支）住友不動産鶯谷（出）

\*\* 土木設計部設計課

構造・基礎：RC造，直接基礎  
 階数：地下2階，地上6階（軒高17.67m）  
 土工事 掘削土量：163,127 m<sup>3</sup>  
 ソイルネイリング工  
 壁高：8.2m～9.7m  
 鉄筋：D22（盛替部はFRP）l=3.0～6.0m 1,695本  
 モルタル吹付：5,632 m<sup>2</sup>（法面3,692 m<sup>2</sup>，小段1,940 m<sup>2</sup>）  
 土留杭工 H-300,H-400,l=8.0～18.0m，427本  
 構台工 構台架設：2,899 m<sup>2</sup>  
 構台杭：H-300，l=23.5～24.0m，128本

2-2 土質および地下水位

(1) 土質概要

土質条件は、敷地内の10箇所で行った調査ボーリングより設定した。調査位置図および土質縦断面図を、図-1に示す。地層は上部よりローム層(Lm)，凝灰質粘土層(Lc)，東京層(Tosc, Toc, Tos)，東京礫層(Tog)である。ソイルネイリング部の土質はローム系のLm層，Lc層が主体で，床付け付近にはTosc層が堆積している。

(2) 地下水位

当工事で検討すべき滞水層はTosc層とTog層であり，事前の地質調査では，これらの地層に対してBor.No.4とBor.No.6で現場透水試験を行っている。床付け（平均値TP+19.401）付近のTosc層の透水係数は7.1×10<sup>-4</sup> cm/sであり，透水試験翌日の回復水位は試験深度と同じくTP+18.271付近にあった。この結果から，Tosc層は被圧しておらず地下水位も床付け付近にあることが予想された。深部のTog層の回復水位は，Bor.No.4，No.6共にTP+9.171付近であったことから，地下水位は連続しているが掘削による盤ぶくれ発生の可能性は無いと判断した。

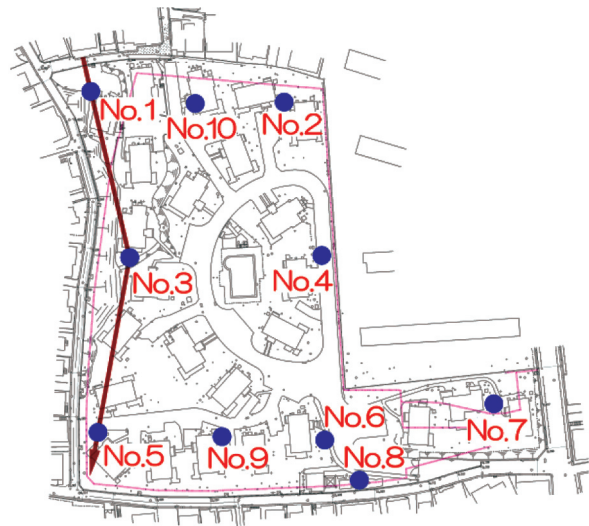
§3. ソイルネイリング工法の計画

3-1 工法選定

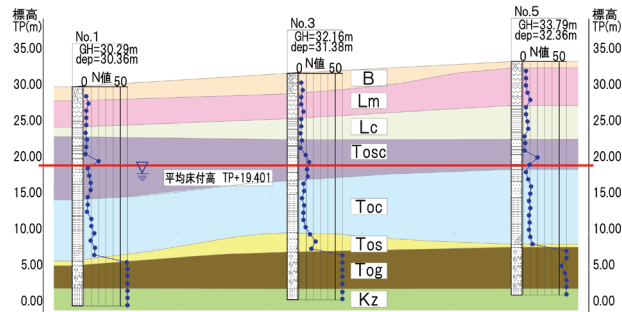
当現場の掘削工事で考慮すべき事項は以下の通りである。

- 掘削面積が広く，かつ掘削深度も深い。
- 地盤の起伏が大きく，山留めの東西両面で最大4.0mの高低差がある。
- 近隣住宅が密集しており，近隣には幼稚園や小中学校があり，環境に留意した施工が要求される。

比較対照となる親杭横矢板工法では，斜梁が必要であり確実な支保効果が得られないこと，切梁や中間杭の設置，撤去手間等により工期が長期化して本体の工程に支障をきたす等の理由で当工事には不相当と判断し，掘削はオープン掘削とした。なお，一般的なアンカー工法は，東西南北の全面でアンカーの民地内占有が生じ，除去式アンカーであっても住民の承諾を得るのが困難と考え，建設用地内に全ての支保工が収まる工法として鉄筋補強土工法を適用し，なかでも最も軽微な支保工で施工可能



調査位置



土質縦断面図

土質	記号	N値	備考
盛土	B	4	
ローム	Lm	5	
凝灰質粘土	Lc	5	c=70kN/m <sup>2</sup>
東京層	砂質粘土～粘土質細砂	Tosc	c=80kN/m <sup>2</sup>
	砂質シルト	Toc	c=80kN/m <sup>2</sup>
	シルト質細砂	Tos	22
東京礫層	砂礫	Tog	50

注)粘着力は，一軸圧縮強度試験より設定した。

図-1 調査位置および土質概要

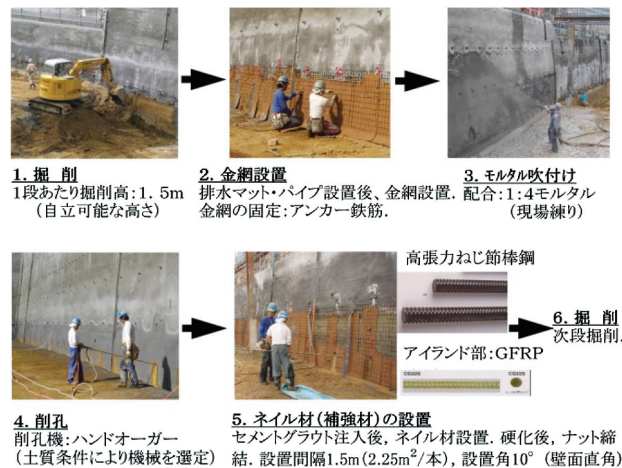


図-2 ソイルネイリング工法施工手順図

であるソイルネイリング工法を採用した。本工法により、切梁式山留め工法に対して、工期で約6ヶ月、工費で約3億円の縮減となった。

### 3-2 ソイルネイリング工法の概要

#### (1) 工法の特長

ソイルネイリング工法は、ドイツのパウアー社の開発技術で、日本には三信建設㈱が導入し、切土補強土としての実績が多い工法である。ソイルネイリング工法の特長は、以下の通りである。施工手順図を図-2に示す。

- ・ソイルネイリングの各工程は、小型機械で施工可能である(図-2参照)。
- ・オープン掘削のため、掘削土はダンプトラックで直接場外に搬出可能であり、施工性が良い。
- ・低騒音、低振動であり、都市部での施工に適する。

#### (2) 適用性の検討

当現場の地盤条件および掘削規模はソイルネイリング工法の施工実績の範囲内であり、当現場への適用は十分可能と判断した。根切り底付近のTosc層からの湧水が予想されるが、排水工(不織布+塩ビパイプ)で対処可能と判断した(表-1参照)。

表-1 ソイルネイリング工法の適用条件

検討項目	工法の適用条件	当現場への適用性
対象地盤	岩盤以外の地山 砂質土N $\geq$ 5、粘性土N $\geq$ 3	○ 当現場の土質は、適用条件を満たしている。
掘削面の自立	1.0~1.5m(1段分の高さ)は、自立可能であること。	○ 自立が期待できる地盤であり、1.5mの掘削は可能。
地下水位	地下水位以浅の地盤であること。	△ Tosc層は湧水が予想されるが、排水工で対応可能。
壁高	15m以下であること	○ 当現場では最大10m程度なので施工可能。
法面勾配	仮設構造 最大1分 永久構造 最大3分	○ 地盤が良好なため、1分で施工可能。
判定	—	○ Tosc層の湧水対策を行い、慎重に施工することで適用可能

### 3-3 補強土法面の設計

#### (1) 断面形状の決定

掘削高は1段あたり1.5mとし、地盤の変化に応じて適宜縮小する計画とした。法勾配およびソイルネイリング壁と建築物、隣地境界との取り合いを確保するための対策については、§1で述べた通りである。

#### (2) 支保部材の設計

支保部材は、ソイルネイリング工法の標準値や参考文献1)等から、以下のように設定した。

- ・吹付モルタルの配合は法面吹付け工で標準的な1:4モルタルとし、吹付け厚は法面で7cm、法肩で5cmとした。吹付モルタルには金網を併用した。
- ・鉄筋の径、長さ、設置間隔は、補強土を仮想擁壁に見立て、仮想擁壁の内的安定、外的安定の検討により設定した。

材質、径:SD345(アイランド部はFRP)

D22, l=3.0~6.0m

設置間隔 水平1.50m, 鉛直1.50m

ソイルネイリング工の断面図を、図-3に示す。

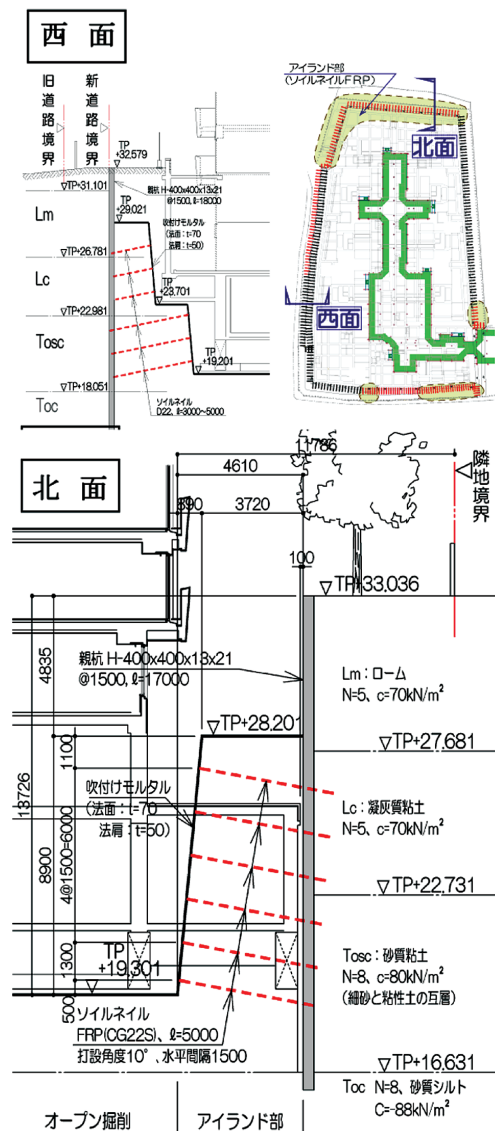


図-3 ソイルネイリング工断面図

### 3-4 事前解析

#### (1) 事前解析の概要

事前解析の主な目的は、次の2点である。

- ・計測管理値設定の目安にする。
- ・周辺家屋への影響度合いを把握する。

検討断面は、家屋の近接度が高い北面と西面の2断面とし、施工ステップ毎の変位を2次元弾性FEM解析で算定した。

#### (2) 解析結果

北面の最終ステップの変位計算結果を図-4に示す。

#### ① 家屋の沈下量

家屋の変形(総沈下量, 相対変位, 傾斜角)の限界値は、参考文献2), 3)に従って設定した。解析結果は、各

項目とも限界値の70%程度であり、周辺家屋への影響は小さいと判断した。

総沈下量  $15\text{ mm} < \delta_{a1} = 25\text{ mm}$

相対変位  $15 - 8 = 7\text{ mm} < \delta_{a2} = 10\text{ mm}$

傾斜角  $7/25000 = 2.74 \times 10^{-4}\text{ rad} < \theta_a$   
 $= 1.00 \times 10^{-3}\text{ rad}$

ここに、 $\delta_{a1}$ ,  $\delta_{a2}$ ,  $\theta_a$  は限界値を示す。

② 法面の変位量

参考文献1) では、NEXCO (旧日本道路公団) の鉄筋補強土の実績を基に、図-5 のように法肩水平変位と法高の比を土質別に整理し、安全度の目安として限界歪みを次式で設定している。

$$\gamma = (\delta n / H) \times 1000$$

ここに、 $\gamma$  : 限界歪み

(土砂地山 0.4%, 軟岩 0.5%, 硬岩 0.2%)

$\delta n$  : 法肩の水平変位 (mm)

H : 法面の高さ (m)

図-4 に示した解析断面に該当する北面の床付け時の限界変位を、法高 8.9 m, 限界歪み 0.4% として計算すると 35.6 mm となる。法肩水平変位の解析値は 41 mm であり、実績から設定した値 (35.6 mm) より大きめの値となった。これは、背面の自立壁の影響が付加されているためと考えられる。計測管理値は、実績値 (限界歪み) を基に設定することとした。

3-5 計測項目および管理基準値

(1) 計測項目および計測頻度

掘削工事中および工事完了後の法面の挙動を把握する目的で、法面と背面の地中変位を計測する。計測項目と計測頻度を表-2 に、計測工図を図-6 に示す。

- 法面変位は、光波による法面の座標測量で測定する。基準点は現場内に設置した不動点とし、法面の測点には写真-2 のようにターゲットシールを設置する。
- 地中変位は法肩に設置した挿入式傾斜計と、親杭に設置した多段式傾斜計で測定する。挿入式傾斜計は、不動点と考えられる Tog 層まで貫入させて、絶対変位を測定する。
- 法面背面の変位は、区道舗装面の水準測量による。

(2) 計測管理値の設定

限界値を基準として、1次管理値を限界値の60%、2次管理値を80%に設定する。例として、北面の最終ステップの管理値を以下に示す。

限界値  $0.04 \times 8.90 \times 1000 = 35.6\text{ mm}$

1次管理値  $0.6 \times 35.6 = 21.4\text{ mm}$

2次管理値  $0.8 \times 35.6 = 28.4\text{ mm}$

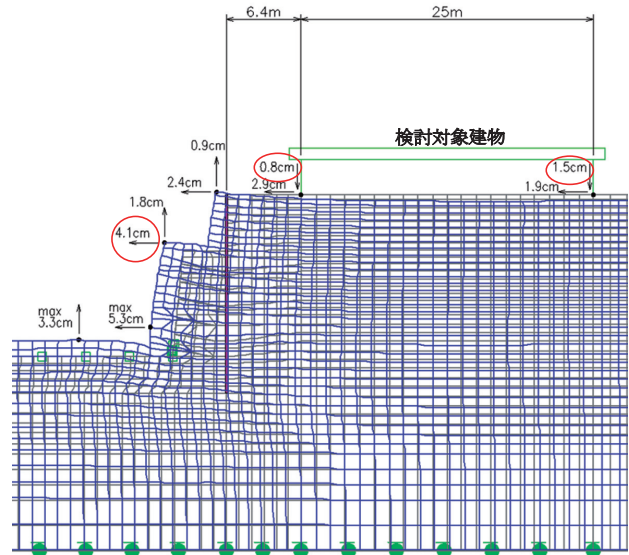


図-4 FEM 解析結果

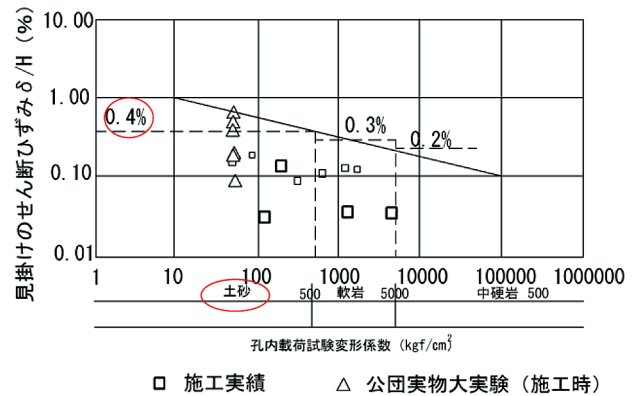


図-5 鉄筋補強土の実績より設定した限界歪み<sup>1)</sup>

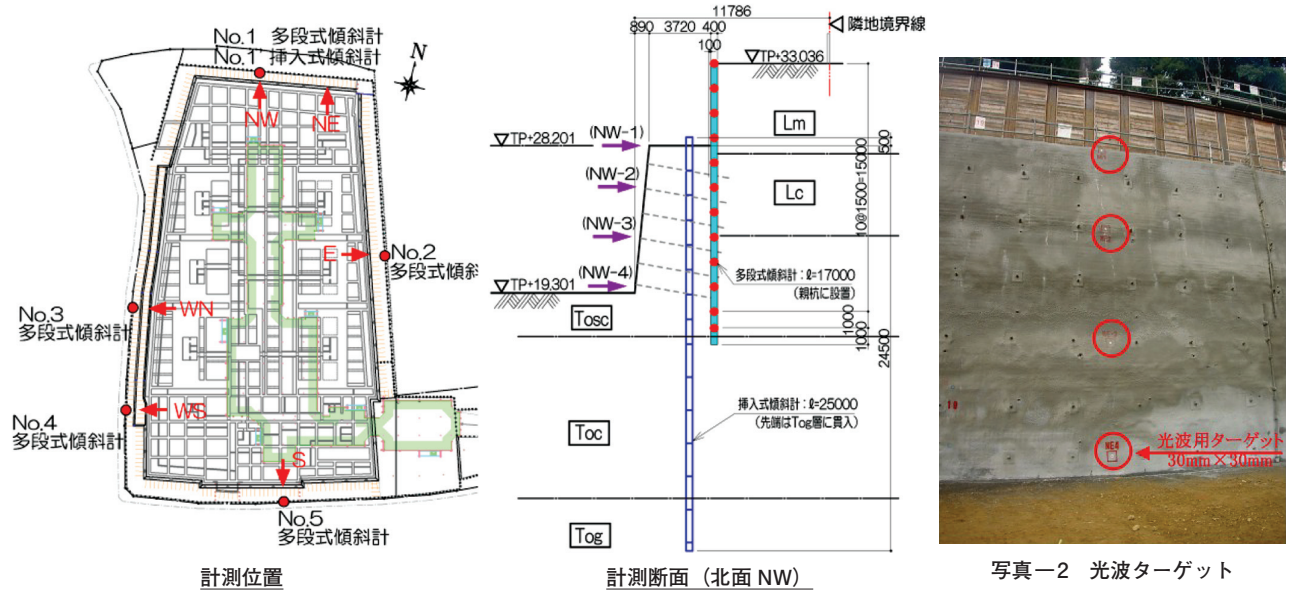
表-2 計測項目と計測頻度

計測項目	計測目的	計測方法	計測頻度	計測位置
観察調査	・法面の点検 ・湧水状況確認 ・背面地盤点検	目視	毎日	全計測断面
法面挙動の測定	法面変位測定 (X, Y, Z方向)	光波ターゲット	週1回 (施工位置近傍では適宜)	全計測断面
	親杭の変位測定	多段式傾斜計	常時計測 (1回/1時間)	NE 以外の全断面
	ソイルネイル壁の安定確認	挿入式傾斜計	同上	NW
法面背面変位測定	周辺地盤の沈下確認	区道舗装面の測量	週1回	現場隣接部の区道

§4 施工報告

4-1 掘削状況

法面の掘削精度の確保、湧水の排除、雨水に対する浸水防止等に注意を払い、計測管理を行いながら施工を行った。自立壁、ソイルネイリング壁の3段目まではローム層が主体で、湧水もなく良好な地山であったが、Tosc層に近づくにつれて砂層の割合が増加し、数度の大雨の後に北面、東面で小規模な崩落が発生した。



図一六 計測工図

4-2 法面の小崩落と対策工

(1) 崩落部の状況

北面4段目の法面整形が完了し、金網の設置作業中に約6m<sup>3</sup>の小規模な崩落が発生した(写真-3)。崩落箇所の状況は以下の通りである。

- ・崩落土塊は奥行き約0.5mであった。土塊撤去後の観察で、崩落の影響は深部には及んでいないことを確認した。
- ・崩落部からの湧水は、染み出す程度であった。
- ・崩落部上部の法面にはクラックは確認されなかったが、北面法肩の吹付けモルタルと親杭間に約10mmの隙間が生じていた。

(2) 計測変位

北面の変位図を図-7に示す。挿入式傾斜計の地中変位は、Tosc層とLc層の境界付近で変位が増加しており、多段式傾斜計の親杭の変位モードも同様であった。4段目掘削後、地中変位は増加傾向にあり、計測・観察を密に行っていた。その間、法面の異常や法尻からの湧水はなく経過観察を行っていたが、時間28mmの降雨の翌日、小崩落が発生した。小崩落発生前後の地中変位は経日変化グラフより約23mmである。掘削高(6.3m)に対する限界値は、限界歪みを0.4%とすると25.2mmであり、水平変位は限界値付近であった。

(3) 対策工の概要

今回の崩落は表層の剥離であり、法面深部には影響が及んでいないものと考えられるが、今後の法面の安定確保のために慎重な施工を行った。具体的には次のような対策を計画し、実行した。

① 法面の安定確保

- ・掘削面の自立確保の目的で、1段あたりの掘削高を、1.5mから0.75mに縮小した。
- ・法面が1:0.1と急勾配のため、オーバーハングを防止

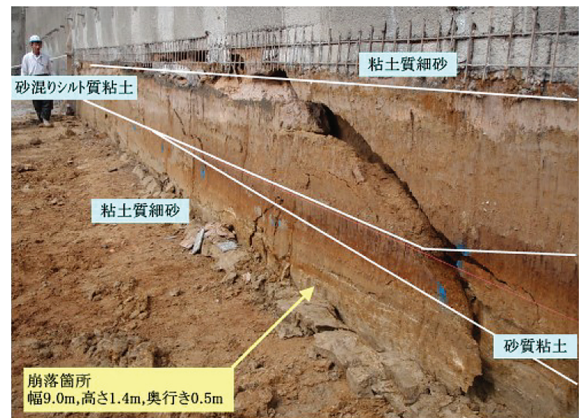


写真-3 崩落状況(北面)



写真-4 湧水対策状況(南面)

する目的で、掘削時には専属の監視員と重機オペレーターを配置して、丁張りに沿って施工した。

② 法面の保護

目視によりモルタル面にクラックや欠けなどを確認した場合にはモルタルの増し吹き、セメントペーストの重ね塗り等による補修を行った。

③ 法面内への浸水防止

- ・天候に気を配り、雨天を避けて施工完了となるように施工範囲を設定して掘削を行った。
- ・多量の湧水が発生した場合の対策として、不織布を密に設置したり、クロスシートにより強制的に集排

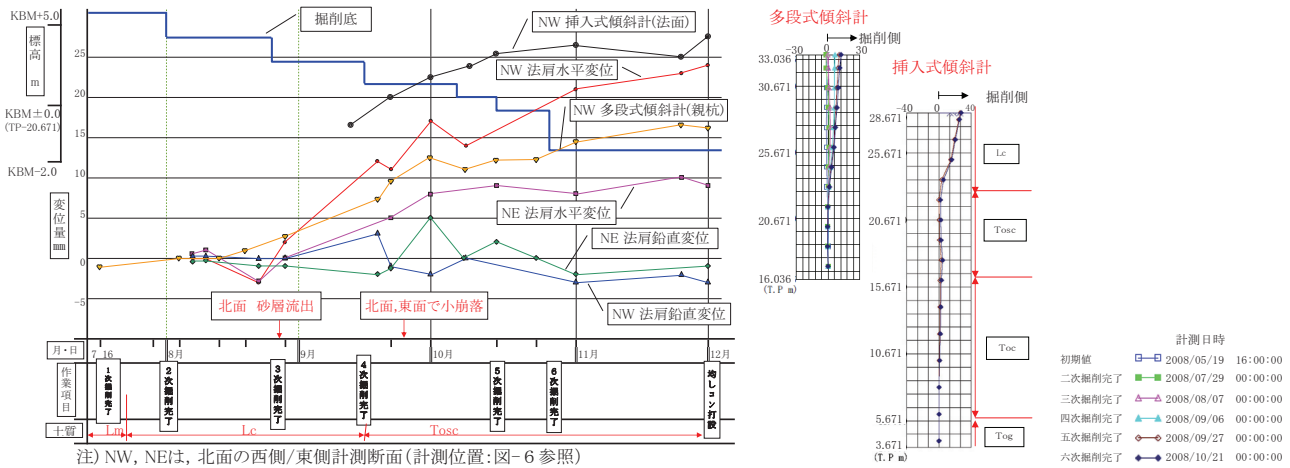


図-7 計測変位図 (北面)

水する措置をとった (事例: 写真-4 参照)。

- ・降雨時の掘削土の泥寧化を軽減する目的で、法実際に設定していた排水側溝を、法尻から離れた位置に設置し直した。
- ・法面内への浸水防止の目的で、吹付けモルタルと親杭間の隙間にセメントミルクを注入して水みちを遮断した。この隙間には再充填が可能なようにパイプを設置した。

(4) 崩落箇所の補修

剥離した土砂を除去した後、剥離面にモルタルを吹付けて補強し、空隙部を土嚢にて充填した。その後、排水工 (不織布+パイプ) を設置して、溶接金網で全体を押さえ、法面表面のモルタル吹付けおよびネイル設置を行った (写真-5)。

(5) 対策後の掘削状況

5段目以降は、上記の方針で慎重な施工を行い、無事に床付けまで掘削することができた。最終掘削時の地中変位は、均しコン打設時点では 27.8 mm で 2次管理値 (28.4 mm) 以下であったが、その後、徐々に増加した。この時点で関係各所と協議を行った結果、変位が約 30 mm 前後で安定していること、今後は躯体も立ち上がって来ることから、変位が進行する可能性は低いと考えられたため、経過観察となった。アイランド部を施工するために挿入式傾斜計の撤去が必要となった時点までの変位は 28 mm~32 mm で安定しており、アイランド部も含めて工事を無事に完了した。

§5 まとめ

ソイルネイリング工法による都心部での大規模掘削は前例が少なく、事前に土質調査、地下水調査および周辺家屋への影響検討等を十分に行った結果、適用可能と判断し、計測管理を行いながら慎重に施工を行った。途中で小崩落が発生したが、掘削高の縮小、法面内への浸水

1. 剥離土塊撤去



2. 剥離面モルタル吹付け



3. 空隙部土嚢積み



4. 排水シート・パイプ設置



5. 溶接金網設置



写真-5 崩壊箇所修復状況 (北面)

防止等を徹底し、無事に工事を完了した。周辺家屋からの不等沈下等の苦情もなく、法面の変位は実績範囲内であった。当工法は、工期短縮、コストダウン効果の大きな工法であるため、今後の大規模掘削工事でも有効な工法である。その際、本報告が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 東日本・中日本・西日本高速道路(株): 切土補強土工法設計施工要領, 2007
- 2) 日本建築学会: 小規模建築物基礎設計の手引き, 2001
- 3) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001