

都心部における地下鉄大規模水中掘削工事の施工

CONSTRUCTIOIN OF A SUBWAY STATION BY WET EXCAVATION

松田輝雄*・永島 茂*・後藤征治**

Teruo MATUDA, Shigeru NAGASHIMA, Seiji GOTOH

The Higashi-roppongi station is a new station of the Namboku-line which is under construction by the Teito Rapid Transit Authority. And this new station is situated in proximity to the metropolitan expressway structures and worked in the ground with high groundwater levels. Therefore it has been planed to carry out the pre-excavation timbering by transverse diaphragm and the wet excavation for safety works. This report will examine these special methods and analyze influences on the adjacent expressway structures.

Keywords: wet excavation, pre-excavation timbering, Cut and Cover method, influence analysis on the adjacent structure, subway

1. まえがき

帝都高速度交通営団は、昭和61年、地下鉄南北線（7号線）目黒・赤羽岩淵間21.4kmの建設工事を終点側より着手し、このうち四ッ谷・赤羽岩淵間13.9kmは既に営業中である。現在残る始点側の目黒・四ッ谷間7.5kmの工事を鋭意進めているが、重要都市構造物との交差近接が多く、工事の難易度が非常に高い区間となっており、最新の都市土木技術を数多く駆使して施工を進めている。今回このなかのひとつで、この工事区間のほぼ中央部に位置する東六本木駅（仮称）の建設工事で採用した水中掘削工法について、報告する。

2. 工事概要

2・1 東六本木駅（仮称）の概要（図-1、写真-1）

東六本木駅（仮称）は港区六本木一丁目付近の都道に計画され、幅20m、深さ27m、延長232mの、島式ホーム形式の大断面箱形トンネル駅である。近隣には赤坂アーケヒルズがあり、隣接地では再開発事業が予定されている。当駅を設置する都道は幅員50mを有しているが、この中央部には高架構造の首都高速道路があり、都道の車線は上下2方向に分断されている。この下り線部分と隣接する区道及び一部再開発計画

* 正会員 帝都高速度交通営団 建設本部工事部白金工事事務所

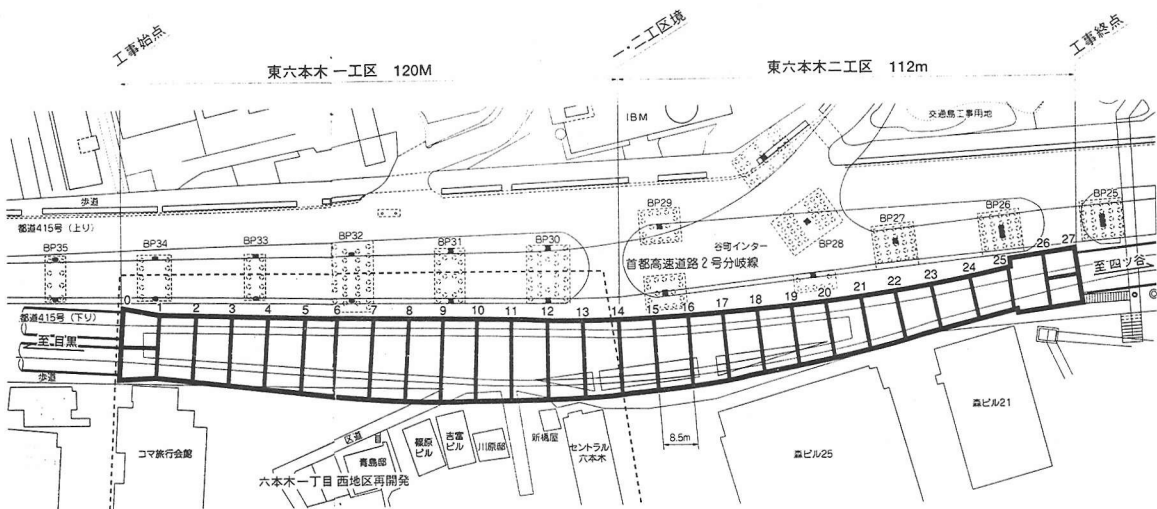
** 帝都高速度交通営団 建設本部工事部白金工事事務所

用地を利用して駅を設置するため、全区間に亘って都道中央部の首都高速道路と近接併行し、さらに民地側では高層ビルとの近接が生じる。

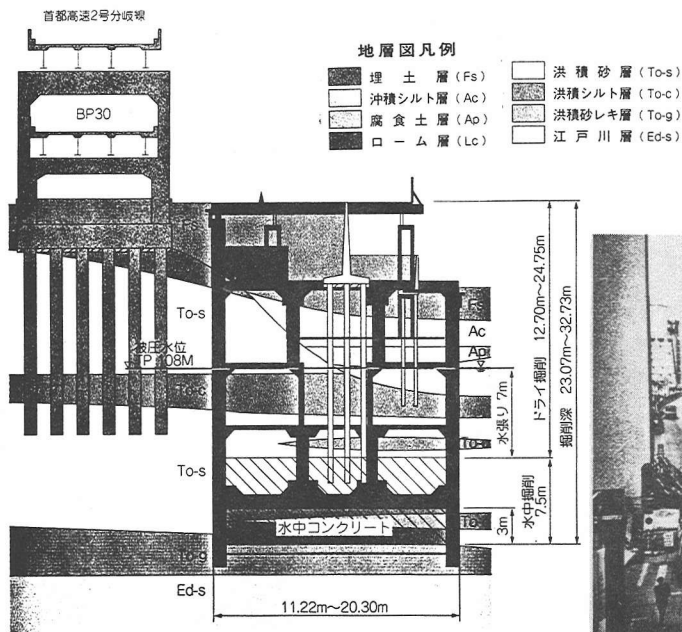
2・2 地形、地質の概要（図－2）

都道は約6％の縦断勾配があるため、掘削深度も33mから23mと変化する。このため、駅の階層は地形に合わせて、地下4階から2階構造で計画した。また台地と谷地との地形境であるため、横断方向にも約10mの標高差があり、都道と民地部との間には2段の擁壁が設置されており、非常に複雑な地形となっている。

当工事区域の地質は上部は埋め土と軟弱な沖積層で、下部には洪積層の東京層砂礫層と粘性土層及び江戸川層となっており、これらの砂礫層には被圧地下水が存在する。



図－1 東六本木駅平面図及び横断連壁配置図



図－2 横断面図



写真－1 連続地中壁施工状況

3. 施工法の選定

3. 1 施工上の課題

(a) 首都高速道路橋脚及び高層ビルとの近接 (図-2)

高層ビルは3棟が近接する。一方、近接する首都高速道路の橋脚は10基で、この基礎と地下鉄構築との水平離隔は約1～3mと非常に小さく、さらに、地下鉄構築底面は首都高基礎杭の支持面から約9m下に計画され、基礎杭の脇を掘り下げることになる。したがって、掘削工事による首都高構造物の沈下や傾斜等の影響発生が予測され、この抑止対策が必要となる。

(b) 高被圧地下水対策 (図-2)

掘削底面下には高被圧地下水を持つ東京砂礫層と江戸川層が存在し、床付け時にはボーリングやパイピング等の発生が予測される。また粘性土層が介在する場所では盤ぶくれの危険性がある。このため、掘削にあたっては地下水低下等の補助工法が必要となるが、首都高基礎杭の支持層が東京砂層で、さらに上部には腐植土層があることから、地下水を低下させた場合、橋脚の沈下や軟弱層の圧密沈下による基礎杭へのネガティブフリクション発生等が危惧される。したがって、現在の地下水位高をそのまま維持して施工する必要がある。

(c) 偏土圧対策 (図-2)

当該地の地形は横断方向に段差があり、首都高側は最大10m程度高くなっている。このため、掘削段階ではこの偏土圧を支える土留め支保工が必要となるほか、本体構造物の設計においても、この点を考慮する必要がある。

3. 2 施工法の比較選定 (表-1)

前記の施工課題について、在来の工法を含め各種比較検討を行った。

表-1 対策工の比較検討結果

土留め壁変位抑制対策				被圧地下水対策			
工 法	想定変位	経済性	評 価	工 法	信頼性	経済性	評 価
1.標準切梁工法 (補助工法無し)	大	○	×	1.底盤改良 (薬液注入)	△	×	×
2.坑内地盤改良 (生石灰杭)	中	○	×	2.底盤改良 (高圧噴射置換)	○	×	×
3.先行地中梁 (高圧噴射置換)	中	×	×	3.底盤凍結工法	○	△	×
4.先行地中梁 (横断連壁)	極小	△	○	4.地下水位低下工法	○	○	×
				5.水中掘削工法	◎	△	○

以上の結果、地下連続壁による先行地中梁工法と、水中掘削工法の採用を決定した。この水中掘削工法は既に立坑や橋梁・建築の工事等で一部施工されているが、地下鉄建設工事で大々的に採用するのは国内では初めての試みとなる。

4. 施工法の概要

4. 1 横断連壁の施工 (図-1、4)

本体利用の土留め壁として厚さ1.2mの地下連続壁(側連壁)を施工するとともに、掘削時の先行支保工となる先行地中梁として、土留め壁に直角に、横断方向の地下連続壁(横断連壁 $t=0.8, 0.6m$)を、26列(ピッチ $=8.5m$)施工する。このことにより、掘削区間は全て升状に27ブロックに仕切られ、この27個の連続した立坑掘削により開削工事を進める。

掘削完了後は、この横断連壁が構築築造に支障するため、下床から順巻きで施工する構築工に合わせて、下部より支障部分を順次撤去して行く。

4・2 剛結継ぎ手 (図-3)

通常の地下連続壁工法は水平面に支保工を設置するため、エレメント継手部には特段の剛性は必要としないが、今回の先行地中梁は鉛直面に配置され、構造的に縦断方向の梁部材となり、エレメント継手部にも断面力が生じるため、剛結継ぎ手構造とした。

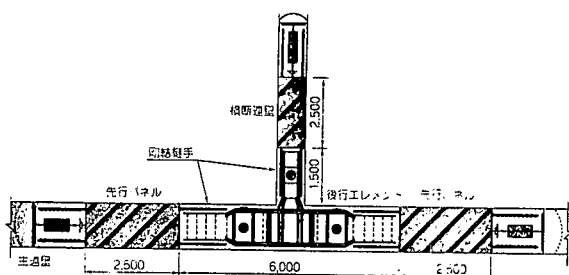


図-3 剛結継ぎ手設計図

- | | |
|----------------|--------------|
| ①地下連続壁(側・横断連壁) | ⑨排水(ドライアップ) |
| ②路面覆工 | ⑩横断連壁撤去(下床部) |
| ③上部掘削(擁壁段差部掘削) | ⑪構築(下床) |
| ④ドライ掘削 | ⑫横断連壁撤去 |
| ⑤坑内注水 | (中層部or上層部) |
| ⑥水中掘削 | ⑬横断連壁撤去部構築 |
| ⑦床付け面の整正等 | ⑭埋戻し、復旧 |
| ⑧水中コンクリート | |

図-4 施工順序

4・3 水中掘削 (図-4、5、6)

ボーリングや盤ぶくれ等の危険がない限界掘削深度までは通常の掘削工法(ドライ掘削)で施工するが、これ以降はブロック内に被圧地下水頭高まで注水し、水中下で掘削する。水中掘削完了後は、水密性を確保するため、床付け面の整正及び地下連続壁面の清掃を施し、厚さ3mの水中コンクリートを打設する。ドライアップ時の被圧地下水の揚力は、このコンクリートの重量等で対抗させる。

なお、横断連壁に生じる荷重を抑制するため、隣接ブロック間の掘削段差及び水位差は2m以下に制限した。

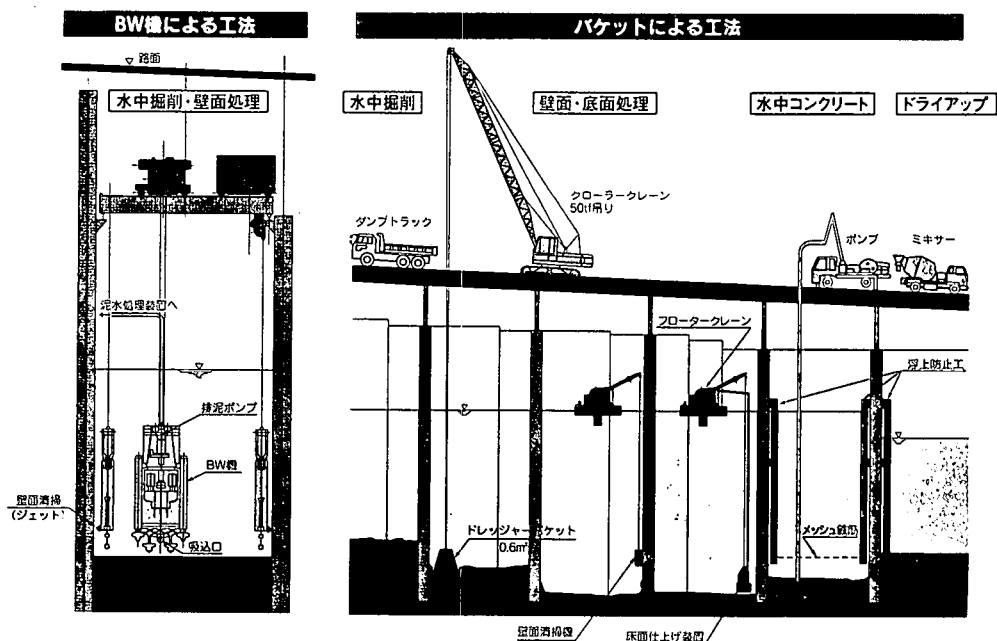


図-5 水中掘削工法図

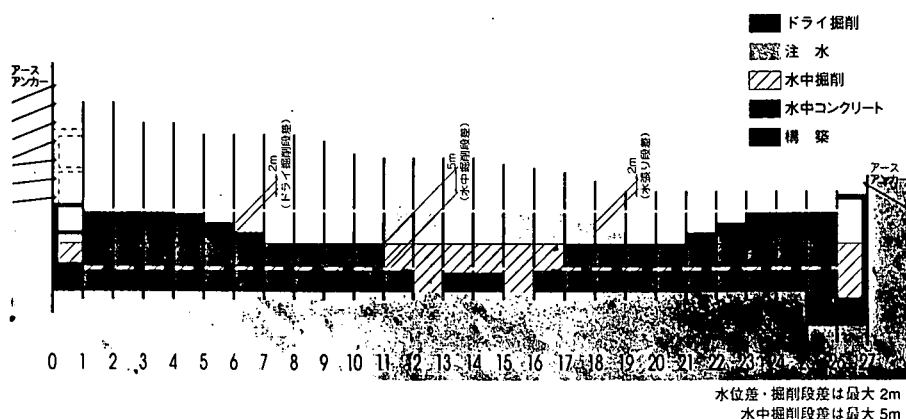


図-6 縦断方向掘削順序図

4・4 控え壁掘削

段差部上部の掘削では通常の支保工の架設が困難なため、建築工事等で採用されている、掘山内の横断連壁を土留壁の控え壁（リブ）として利用する工法（通称スーパーリブ工法）を採用した。

5 首都高への影響解析

5・1 解析方法と予測結果（表-2、3）

今回の施工に伴い生じる首都高速道路路構造物への影響予測として、以下の解析を行った。

表-2 影響解析方法

対 象	計算方法	仮定・条件	解析目的
1.地下連続壁施工時 a トレンチ掘削時溝壁変位量 b 溝壁安定計算	二次元FEM計算 三次元円筒すべり計算	首都高構造物を考慮 首都高7・4kg/荷重を考慮	首都高への影響度 施工時の溝壁安定
2.上部掘削時土留壁変位量	土留弾塑性計算	自立式山留め壁	首都高への影響度 土留壁の設計
3.水中掘削完了時土留壁 変位量	骨組構造計算	対象構造物として	首都高への影響度 土留壁の設計
4.横断連壁撤去時本体利用 土留変位量（構築完成時）	骨組構造計算 （偏土圧は二次元FEM）	本構築の剛性を考慮	首都高への影響度 本体構築の設計
5.首都高基礎杭 変位量・増加応力度	骨組構造計算 （基礎杭は弾性床土上の梁）	土留壁の発生変位量から杭の 側圧を算定	首都高への影響度

表-3 地下連続壁変位量予測（基礎杭頭部位置）

（単位：mm）

橋 脚 番 号	BP33	BP32	BP30	BP28	BP27
1.地下連続壁掘削時	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2.上 部 掘 削 時 （擁壁段差部掘削）	9.8	7.7	14.8 (26.8)	14.3	5.0
3.本 体 掘 削 時	1.2	1.0	0.8	0.3	0.2
4.横断地下連続壁撤去時	9.0	7.8	6.2	1.6	1.4
合 計	22.0	18.5	23.8 (35.8)	18.2	8.6

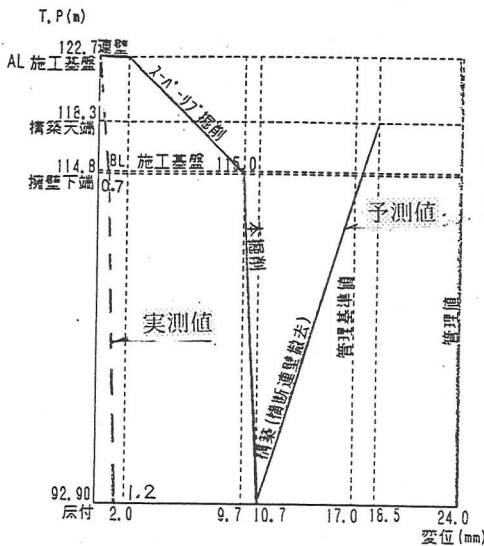
※（）内は、アースアンカー未施工の場合の変位

なお、橋脚2基については土留め壁の変位量が許容値（30mm）を越えるため、変位抑制のためにアースアンカー等を施工することにした。

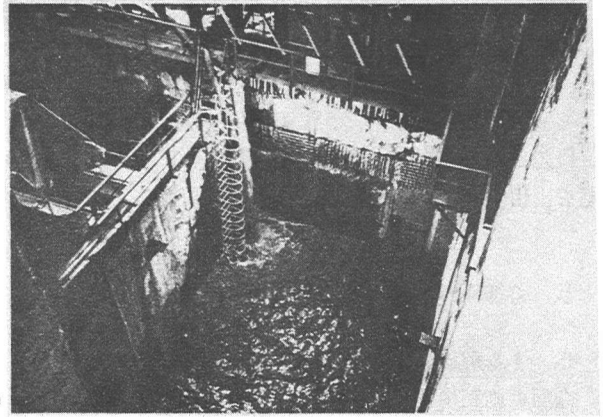
5・2工事状況と計測結果（図－7、写真－2）

現在各ブロックの水中掘削がほぼ終了し、ドライアップを開始しており、今後は工事の最終段階である構築工に移行して、来年夏以降に構築の完成を迎える予定である。

現在までの土留め壁の発生変位量は、計測誤差程度の値で予測値を大幅に下回っている。



図－7 土留め壁変位量実測値（BP32）



写真－2 水中掘削状況

6. まとめ

今回の工事により、以下のことが明らかになった。

- ①重要構造物への近接工法として、横断連壁による先行地中梁工法の有効性が確認された。
- ②水中掘削工法採用による周辺地盤への影響抑止効果が確認された。
- ③影響予測解析においては複雑な施工条件を簡略化し、安全サイドに予測したこともあり、実測値は予測値を大幅に下回るという大きな乖離が生じた。今後は逆解析を実施して土質常数等を照査するとともに、基礎杭等による側圧への影響等について研究する必要性が確認された。

以上のとおり、本施工法により工事の安全性、信頼性が飛躍的に向上し、補助工法も大幅に削減された。また、本工法は環境保全にも極めて優れており、今後の都市トンネル技術として非常に有望で、汎用性の高い施工法であると考えられる。

なお、今回の報告は施工法の概要と影響解析及び掘削終了段階までの計測結果としたが、今後実施する構築工に伴う横断連壁撤去の詳細とこの計測結果等については、別途報告したい。

おわりに、本報告取りまとめにあたり多大なご協力を頂いた多くの工事関係者の方々に謝辞を申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 今井京平：特殊工法を駆使する南北線の施工計画，トンネルと地下，pp.15～21，1993.4
- 2) 斉藤繁喜：高速道路基礎に近接併行して施工する地下鉄駅大断面掘削，基礎工，pp.64～73，1993.10