

営業中の上下地下鉄2路線の間を横断する地下鉄駅の施工

THE CONSTRUCTION OF THE UNDERGROUND STATION ON CROSSING TWO SUBWAY LINES

横田三則*・永島 茂*

Mitunori YOKOTA, Shigeru NAGASHIMA

Tameike-station of the Namboku-line is a new subway station which is under construction by Teito Rapid Transit Authority. And this new station is situated in the very narrow space between where the Marunouchi-line and the Chiyoda-line meet with the Chiyoda-line running below and the Marunouchi-line running above. Therefore it has been planned to carry out the underpinning of the Marunouchi-line tunnel and to remove the crown segment of the Chiyoda-line's shield tunnel. This paper will examine the Cut and Cover Method construction, and analyze influences on the existing subway tunnels under construction.

Keywords: crossing, underpinning, Cut and Cover Method, influence on the existing tunnel, subway

1. まえがき

帝都高速度交通営団は、地下鉄南北線（7号線）目黒・赤羽岩淵間21.4kmの建設を進め、平成3年、駒込・赤羽岩淵間 6.8kmを開業した。現在残りの目黒・駒込間を工事中であるが、この区間は都心部に位置することから、重要都市施設との交差や近接施工が数多く発生し、非常に難易度が高い工事区間となっている。今回は、このひとつである溜池駅建設工事における既設地下鉄との交差工事の概要について、報告する。

2. 工事概要

2・1 溜池駅（仮称）の概要（図-1、図-2）

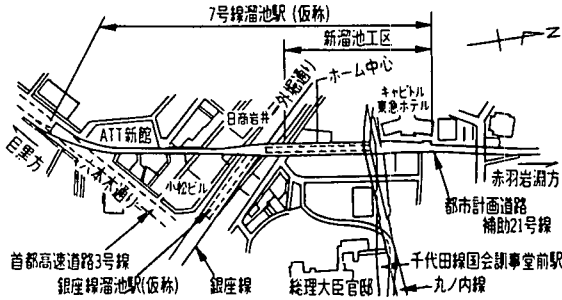
溜池駅（仮称）は地下鉄南北線（7号線）目黒・駒込間のほぼ中央部の、港区赤坂二丁目付近から千代田区永田町二丁目付近にかけて設置され、当駅の目黒方では地下鉄銀座線と、赤羽岩淵方では地下鉄丸ノ内線及び千代田線の2路線と立体交差するとともに、これら既設路線との連絡により、4路線が接続する新たな交通拠点として計画されている。

南北線は、銀座線との交差部ではこの下を通過するが、丸ノ内線・千代田線との交差部では、丸ノ内線と千代田線に挟まれた非常に狭い上下空間を横断することとなり、路線計画的にも施工的にも非常に制約の多い開削駅である。

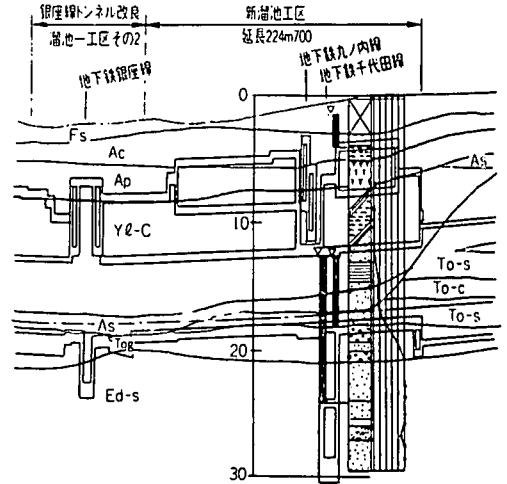
2・2 地形、地質の概要（図－2）

溜池駅付近は地名が示すとおり江戸時代までは池があり、明治以降に埋め立て造成された地域で、周囲が台地で囲まれたすりばち状の底部にあたる地形となっている。

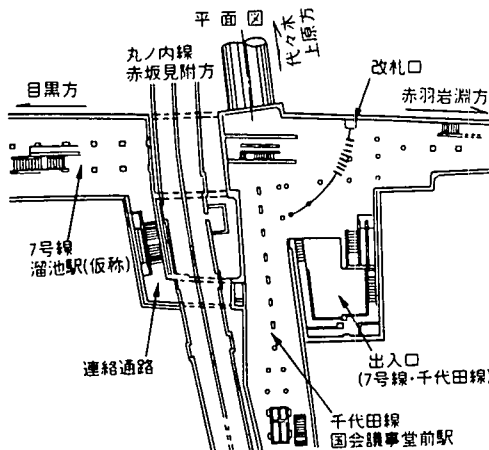
当駅の地質は主に軟弱な埋土と沖積地層で構成され、地下自然水位もGL－1.5mと極めて高い。



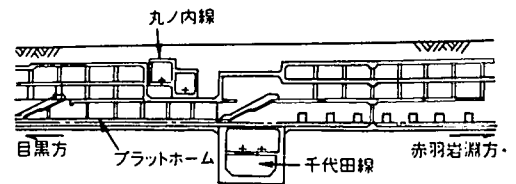
図－1 7号線溜池駅（仮称）付近平面図



図－2 地質断面図



図－3 7号線溜池駅の丸ノ内線・千代田線交差部概要図



2・3 交差部の構造（図－3）

当駅の駒込方で交差する丸ノ内線と千代田線との平面離隔は約5.5mと非常に近接している。この交差部の丸ノ内線は箱形2線部トンネル、一方の千代田線は駅終端立坑と複線シールドトンネルとなっており、南北線はこの両線に挟まれた上下空間を通過する。

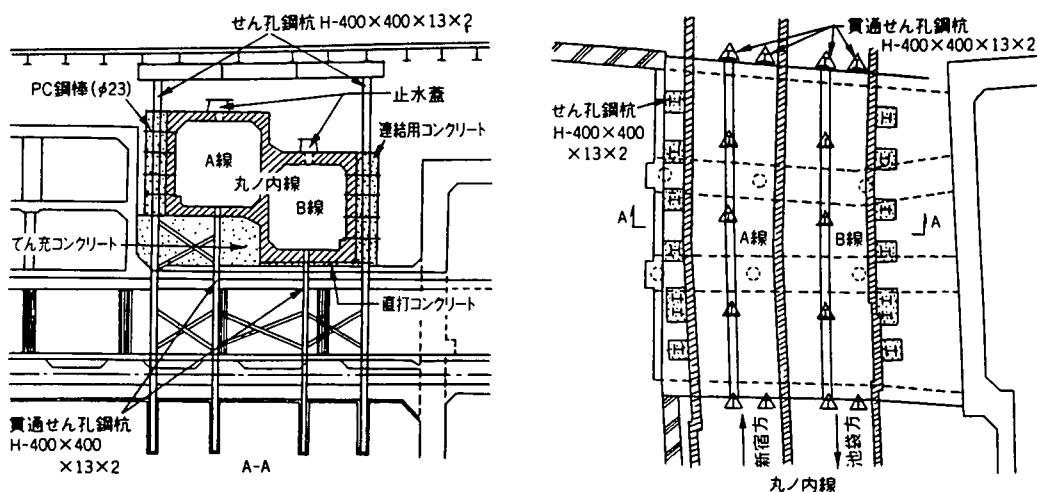
しかしながら、丸ノ内線のトンネル下端と千代田線のトンネル上端との鉛直離隔は5.7m程度しかなく、南北線軌道階の必要内空高さ5.35mはなんとか確保できるが、構築上下床版の厚さがとれないため、通常の施工法は不可能である。したがって、今回丸ノ内線箱形トンネル底面に合わせて南北線の構築上面を築造するとともに、千代田線シールドトンネルの天端部のセグメントを撤去して軌道階の下床を築造する。

3. 丸ノ内線との交差工事

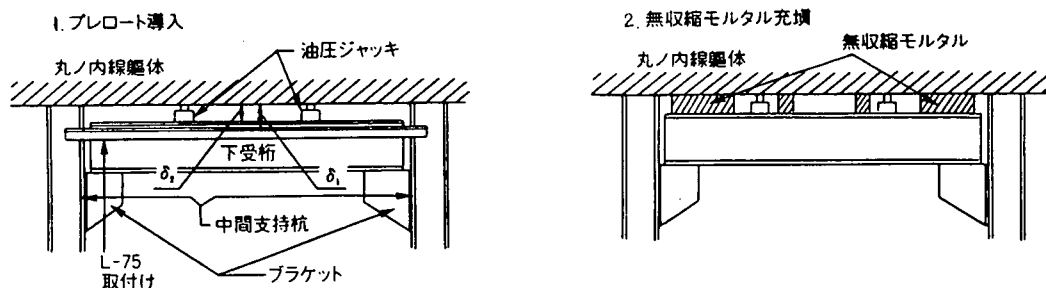
3・1 丸ノ内線トンネルの下受け工法（図－4、図－5）

新設する南北線は丸ノ内線トンネルの直下に築造することから、丸ノ内線を仮受けして南北線構築を築造し、工事完成後は丸ノ内線をこの南北線で直接支持する。

下受けする丸ノ内線は異高型2線部となっていることから、通常採用されているトンネル横断方向に下受け桁を設置する工法では、下受け掘削時に一時的な偏荷重が発生し、不安定な状態が生じる。また、丸ノ内線トンネル底面と南北線構築上面との鉛直離隔がほとんどとれず、下受け桁や桁受け材等を施工した場合、南北線の線路方向に受け桁が設置され、南北線上床の主筋施工が非常に困難になるとともに、桁受け材が上床桁に位置することになる。したがって、これらを回避するため、丸ノ内線を両側方からPC鋼材で締め付けて支持する横抱き懸垂工法を施工して、トンネル自重を下受け掘削前に支持するとともに、下受け桁を丸ノ内線のトンネル縦断方向に設置する方法を採用した。



図－4 丸ノ内線下受け工法図（本線部）



図－5 受替え時施工手順

3・2 設計概要

下受け工事の設計検討にあたっては、丸ノ内線躯体はトンネル縦断方向にほぼ連続して下受け桁で支持されることから、トンネル横断方向を主断面として検討することとし、躯体及び支持機構について2次元フレームで解析した。この解析モデルでは、躯体は梁部材とし、側壁を横抱きしている杭は支点、貫通杭は弾性支点とした。

この解析モデルは図－6に、解析結果は図－7に示す。

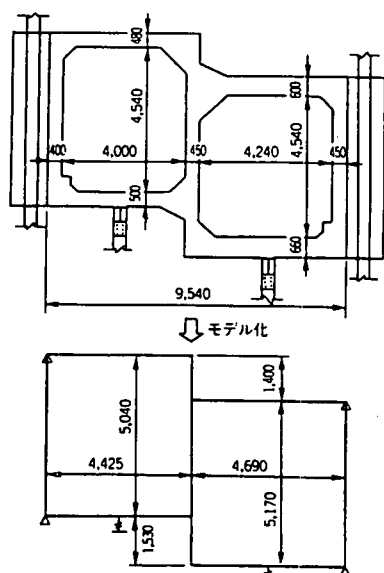
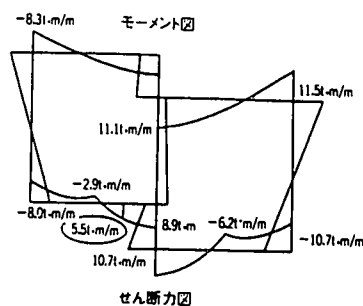


図-6 解析モデル



せん断力図

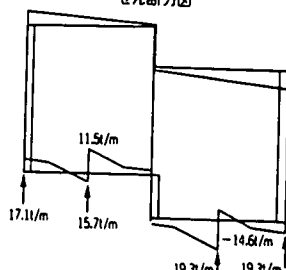


図-7 断面力図

3・3 下受け時の計測管理

丸ノ内線の下受け桁への受け替えに伴い発生する、下受け桁のたわみや杭の不同沈下等による構築への影響を抑えるため、下受け桁の上にジャッキを設置し、丸ノ内線の躯体を直接押し上げるプレロードを実施した。このプレロード量は、丸ノ内線を必要以上に押し上げないよう設計反力の70%に設定するとともに、載荷時の躯体鉛直変位を計測して施工管理した。

この時の下床版の鉛直変位の管理基準値としては、死荷重により生じるたわみ量の計算値0.4mmを設定した。計測結果は、下床の鉛直変位は最大0.28mm、桁のたわみ量は最大7.74mmとなり、非常に良好であった。

4. 千代田線との交差工事

4・1 千代田線シールドトンネルの改造工事（図-8、図-9）

交差部の千代田線シールドトンネルは土被り約17m、外径9.8mの複線断面で、幅800mm桁高400mmのダクタイル鋳鉄セグメントが使用され、150mmの二次覆工鉄筋コンクリートが施工されている。

今回の工事に支障するセグメントは延長5.4m、7リングで、天端から1.3mの高さまでのセグメントを撤去し、この部分に南北線の軌道階下床を設置する。

この施工手順は、まずシールドトンネル上部を順次掘り下げ、シールドトンネル天端下2.8mまで掘削してトンネル上半部を露出した後、セグメントの切断撤去作業を開始するが、セグメント撤去によりシールドトンネルが欠円状態となるため、掘削完了後、セグメントにジベル筋を取り付けて、欠円部の両端を先行して築造する南北線下床に固定した。

これら事前作業完了後、ワイヤーソー工法によるセグメントの切断撤去作業を開始するが、営業線トンネルであり、事前に列車防護工を施工するとともに、セグメント撤去時のシールドトンネルの変状を計測した。

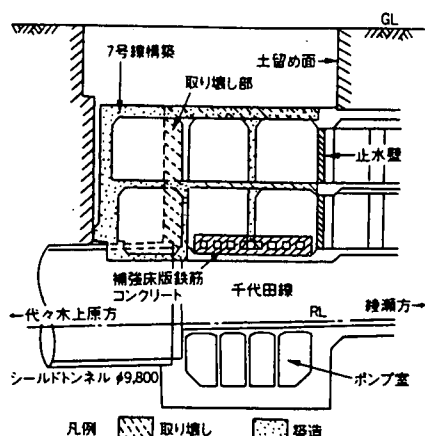


図-8 7号線・千代田線交差部断面図

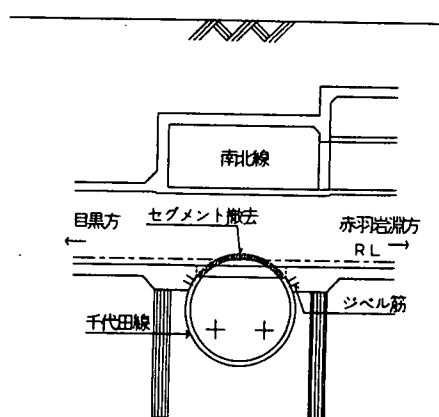


図-9 千代田線シールドトンネル部断面図

4・2設計概要

改造工事の設計検討においては、工事手順を踏まえ、①上部掘削に伴うシールドトンネル応力変化と②セグメント撤去時の欠円シールドトンネルの応力を確認することとし、慣用計算法により解析を行った。

(a) 掘削時のシールドトンネル応力 (図-10、表-1)

今回の交差工事により、GL-17mに敷設されているシールドトンネルの上部が全て掘削されることになる。このため、シールドトンネル上部の各掘削段階毎7ステップの基本計算に、地下水位の変化を組み合わせた合計18ケースの応力状態を解析し、シールドトンネルの安全を確認した。

さらに、シールドトンネル外側上半部が完全に露出した最終掘削段階でのシールドトンネルの浮き上がりについても検討した。

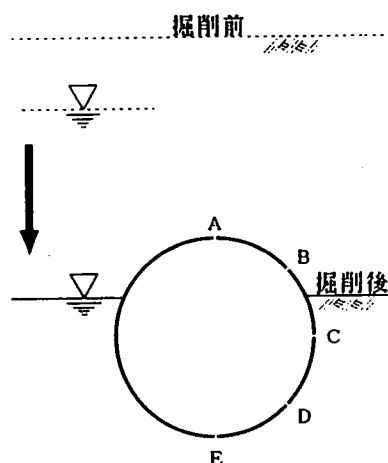


図-10 トンネル上部掘削時モデル図

表-1 掘削時断面力

位置	掘削前			掘削完了後		
	M	N	S	M	N	S
A	19.5	112.9	0	3.8	5.6	0
B	-1.3	127.0	8.9	-4.6	10.1	2.4
C	-11.3	139.9	-2.3	0	17.3	-3.0
D	-1.2	138.5	-4.4	5.4	14.7	3.5
E	11.8	133.6	0	-5.3	22.3	0

(b) 欠円シールドトンネルの応力 (図-11)

欠円シールドトンネルの応力解析においては、シールドトンネル切断部の両側を南北線下床梁にジベル筋で固定した後、クラウン部のセグメントを撤去することから、両端固定のモデルで解析した。

なお、シールドトンネル両側の固定部では、リング継ぎ目位置毎に、それぞれ上下2段に各2本ずつ計4本のD25のアンカー筋を施工した。

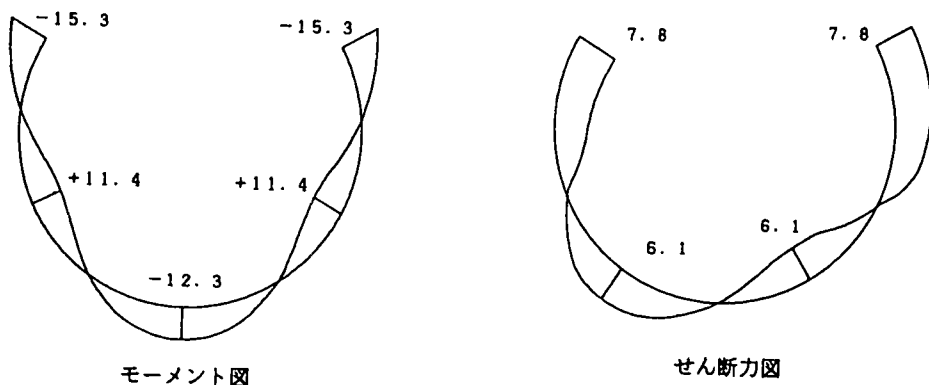


図-11 欠円シールドトンネル断面力図

5. 特殊浸水対策

千代田線シールドの発進基地であった立坑部も南北線の一部として使用されるため、この千代田線立坑部の改造工事も施工した。当駅は雨水が集中しやすい地形となっていることから、施工にあたっては、万が一工事中の立坑に浸水した場合を想定し、千代田線駅構内への流入を防ぐ止水壁を設置するとともに、立坑地下2階部の耐水能力についても検討した。この結果、中床スラブのスパンが11.5mと長いため、このフロアが完全に浸水した場合、スラブがこの荷重を支えきれないことが判明した。

このため、この中床スラブを補強することとしたが、階下が軌道階であるため、新たな支柱の施工は困難であることから、工事中の仮設補強として、補強床版鉄筋コンクリート（スラブ桁）を中床の上に施工し、地下2階床版を吊り上げることにより、浸水時の対応を図った。

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異高型トンネルにおける横抱き懸垂工法と縦断方向の下受け桁設置工法の採用により、直下で作業する南北線構築工の施工条件が飛躍的に改善された。
- ②下受け工施工時の計測管理結果から、上記工法での支持機構の有効性及び安全性が確認された。
- ③シールドトンネル上部掘削時と欠円シールドトンネルの応力解析結果及び現場計測管理結果から、本工事計画の安全性、妥当性が確認された。

おわりにあたり、本工事の施工検討及び本報告のとりまとめに数々のご協力をいただいた、鹿島建設・不動建設JV工事関係者並びに鹿島建設東京支店増田昌弘氏をはじめとする多くの方々に対し、改めてお礼を申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 横田三則：2路線と直交する地下鉄駅の建設（営団地下鉄7号線 溜池駅）、トンネルと地下、25-10、pp.39～44、1994.10