

超軟弱地盤における泥土圧シールドの掘進管理について

THE DRIVING CONTROL OF EARTH PRESSURE BALANCED SHIELD IN EXTREMELY SOFT GROUND

榎尾 恒治¹⁾・星野 高廣²⁾・加藤 勇³⁾・鈴木 教之⁴⁾

Kouzi KASIO, Takahiro HOSHINO, Isamu KATO, Noriyuki SUZUKI

Subway Line No.12 will consist of Tokyo's first loop line, a 29-km-long route which will circle Tokyo from the departure point at the Shinjuku subcity center, and of an efferent arm extending approximately 14-km to the northwest of the metropolis.

In this section, Kuramae and Ryogoku Stations will be excavated by the cut-and-cover method, and a tunneling shield will be used to traverse the Sumida River and contact the two stations with parallel single-track tunnels.

In this paper, the driving control in extremely soft ground, on Sumidagawa Shield Line is reported.

Key Words: Subway Tunnel, Shield Tunneling Work, Extremely soft ground

1. はじめに

地下鉄12号線は新宿副都心を起点として、東京を一巡する地下鉄として初めての環状部約29kmと、都の西北部へ延びる放射部約14kmからなる路線である。

現在建設中の環状部は、都内を放射状に走る他の鉄道ときめ細かく連絡し、新しい交通ネットワークの形成、交通不便地域の解消、沿線各地域の活性化などに寄与し、東京の多心型都市構造への再編成と、東京全体のバランスのとれた街づくりに欠くことのできない路線である。

地下鉄12号線環状部のうち当工区は蔵前駅と両国駅を開削工法で構築し、駅間は隅田川横断を含む単線並列シールドトンネル(隅田川シールド)を構築するものである。

本稿では、このうち隅田川シールドの両国方発進立坑から130m～260mの区間(横網公園区間)に存在する超軟弱地盤における掘進管理について報告する。

2. 工事概要

隅田川シールドは、外廻り1,054.6m、内廻り994.6mの単線並列トンネルをシールド外径 ϕ 5,440mmの泥土圧シールド工法により施工するものである。

隅田川シールドは図-1に示すように両国駅を発進立坑とし、清澄通りを北進する。

横網公園東側を通過した後、春日通りとの交差点を左折して西に進み、隅田川に架橋された既橋を凸レンズ状にはさむようにして隅田川下を横断する。

1) 東京都地下鉄建設(株)工事本部工事第二部長

3) 佐藤・東亜・富士工建設共同企業体 両国作業所所長

2) 東京都地下鉄建設(株)工事本部工事第二部工事第一課長

4) 佐藤・東亜・富士工建設共同企業体 両国作業所

その後、外廻りは都営浅草線を横断し蔵前駅に至るが、内廻りは国道6号線手前の到達立坑で掘進を終える。

隅田川シールドの主な工事概要を表-1に示す。

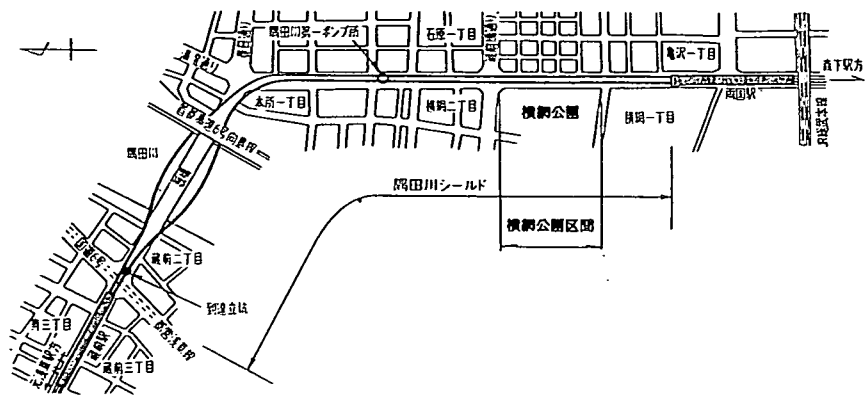


図-1 隅田川シールドルート図

表-1 工事概要

施工延長	外廻り：1,054.6m、内廻り：994.6m
シールド機	泥土圧シールド(中折れ付)、外形φ5.44m
線形	平面：曲線半径 R=102m、縦断：最大勾配 4.5% (上り、下り)
上被り	最大 26.5m 最小 10.5m
セグメント	ダクトイルセグメント：外形φ5.3m、桁高 250mm、幅 1,000mm RCセグメント：外形φ5.3m、桁高 250mm、幅 1,000mm
土砂搬出	ポンプ圧送方式
裏込め注入	シールド機からの同時注入方式
二次覆工	無筋(上部鉄筋)コンクリート 巻厚 250mm

3. 地質概要

隅田川シールドは図-2に示すように、工区中央付近までは軟弱な沖積世の上部有楽町層粘性土、下部有楽町層粘性土を通過し、以降は洪積層で東京層粘性土層、東京層砂層を通過する。

沖積層と洪積層との境界付近では土質の強度が急激な変化が想定された。

シールドが通過する各地質の特徴は次のとおりである。

・沖積層粘性土 (Yuc, Ylc)

N値は 0~4ときわめて小さく、自然含水比は液性限界を越えており、一度乱すと塑性流動を起こすため、地盤変状に大きな影響を与える。

乱さない土の一軸圧縮強度は0.2~0.8kgf/cm²程度であるが、乱した場合は泥土化し、ほとんど強度を有しなくなる。

・沖積層砂質土 (Yus, Yls)

N値は10程度と小さく、均等係数の小さい砂層が多い。

・東京層砂質土 (T0-s)

・東京層粘性土 (To-c)

地質時代	地 層 名		地質記号
沖積世	表土・盛土層		Ts
	沖積層	上部 粘性土層	Yuc
		砂質土層	Yus
		粘性土層	Ylc
		砂質土層	Yls
洪積世	段丘層	粘性土層	Mc
		砂質土層	Ms
		砂 礫 層	○ Mg _o
	東京層	砂質土層	To-s
		粘性土層	To-c
		東京礫層	○ To _g
	江戸川層(砂質土層)		E _{ds}

圖-2 地質概要圖

4. 施工実績

4-1. 掘進狀況

当工区においても、横綱公園東側約130mの区間(以後、横綱公園区間とする)における有楽町層粘性土を施工中、以下の現象が発生した。

- (1) 掘進作業終了時から次リング掘進開始までの掘進停止中に、シールド機先端が下がり、「おじぎ」をしてしまう傾向が顕著にみられ、停止中のシールド機の姿勢保持が困難となった。
- (2) 掘進中、シールド機の姿勢を変化させるために必要とするピッチングおよびヨーイング方向のモーメント量が、すでに掘進を完了した区間と比較して大きく、同等程度のモーメント量では掘進中の姿勢制御が困難であった。

4-2. 超軟弱地盤におけるシールド機の挙動

(1) シールド掘進停止時の姿勢変化

図-3に横網公園区間と横網公園区間以外の粘性土層におけるシールド機のピッチング方向の姿勢変化図を示す。

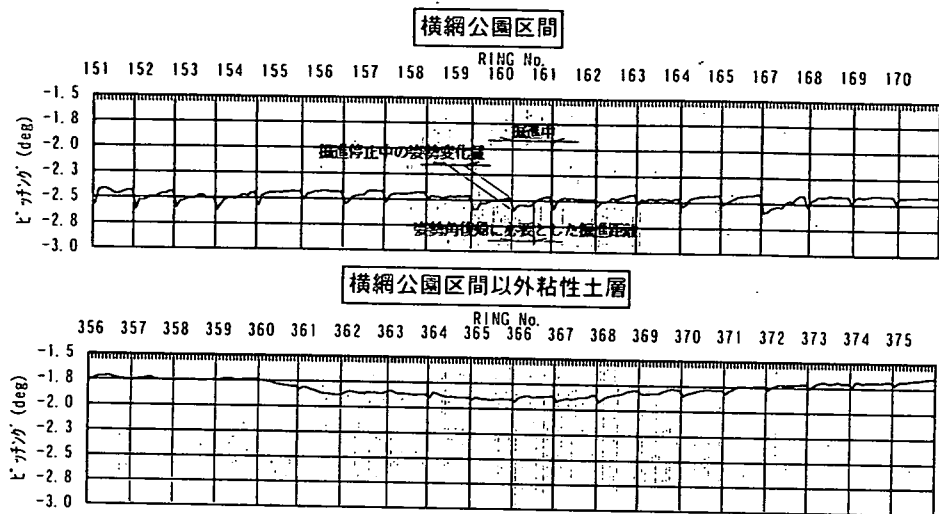
X軸は各リングの掘進距離を表し、補助線は各リングの掘進終了から次リング掘進開始までの掘進停止位置を表す。

Y軸はシールド機のピッチング方向の姿勢角度(deg)を表す。

横網公園区間においては、掘進終了時から次リングの掘進開始までの掘進停止中に、ピッチング方向の姿勢方向角が(-)に変化している。

これは掘進停止中にシールド機先端を下げて、「おじぎ」をしてしまう傾向を示す。

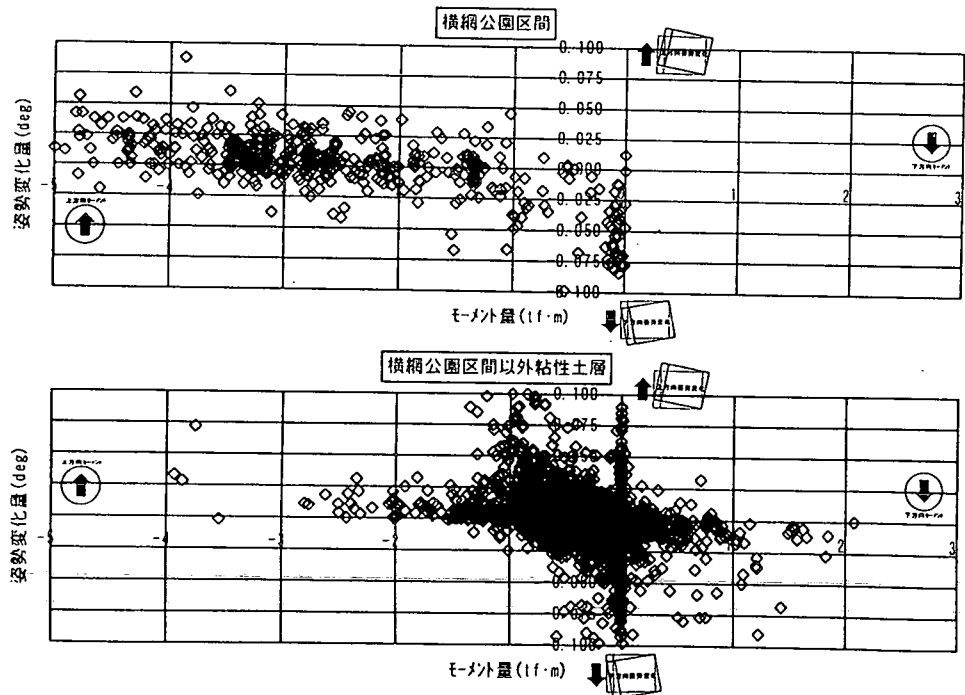
掘進停止中にシールド機の姿勢が変化してしまい、次リング掘進開始後、シールド機の姿勢方向角を前リング掘進停止前の姿勢方向角まで復帰修正させるために、30～40cmの区間を必要としている。



図－3 シールド機姿勢変化図

(2) シールド掘進時の姿勢制御

図－4 に掘進距離 10cm毎の位置で計測した作用モーメント量と姿勢変化量の相関図を示す。



図－4 作用モーメント・姿勢変化量相関図(ピッチング方向)

作用モーメント量とは、掘進中にシールド機の姿勢を変えるために、ジャッキパターンより作り出すモーメントをいう。

横網公園区間では、横網公園区間以外の粘性土層と比較して作用モーメント量が多い。

これは、横網公園区間以外の粘性土層と同等程度のモーメント量ではシールド機の姿勢変化が困難であったため、横網公園区間においては大きいモーメントを作用させていたことを示す。

さらに、横網公園区間においては、作用モーメント量が多いにもかかわらず、姿勢変化量が小さいことから、作用モーメントが十分に姿勢変化に反映できていないことを示す。

(3) シールド掘進中の挙動

横網公園区間代表的リングにおける掘進距離 1mm 毎の位置で計測した土圧、総推力、掘進速度、カッター圧力の変化を図-5 に示す。

横網公園区間では土圧は十分に保持できているが、瞬間的に総推力が低下し、掘進速度が増大する現象が 1 リング (1,000mm) 掘進する間に数箇所確認できる。

これは瞬間的に切羽前面の抵抗が減少したため、その反動でやむを得ず速度が増大したと想定できる。

以上の現象は、横網公園区間に限ってみられる極めて希な現象である。

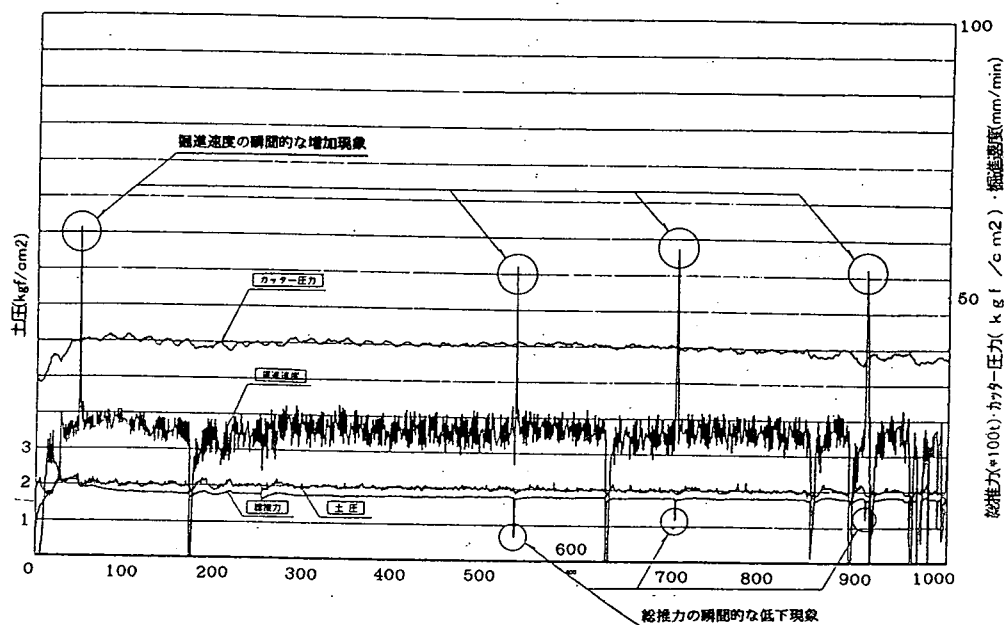


図-5 横網公園区間代表リングにおける掘進状況図

以上行ったデータ検討から総合的に判断して、当初の土質調査から想定していた土質条件よりも、横網公園区間における地盤は超軟弱であり、水溜りあるいは水に限りなく近い極めて軟弱な土層が点在していたと想定できる。

このような地盤反力が期待できない土質では、掘進停止中のシールド機の姿勢保持は極めて困難であった。

また、掘進中においても土質の影響により、作用モーメントを十分に姿勢変化に反映することが困難であった。

5. シールドの姿勢制御とその対策

5-1. 追加土質調査

横網公園区間で生じた現象の原因を把握するために追加のボーリング調査を実施した。

その結果から上部有楽町層粘性土(Yuc)が $N=0$ で、当初の土質調査において $N=2\sim7$ を示していた下部有楽町層粘性土(Ylc)については $N=0\sim1$ (腐食物、有機物混入)を示した。

含水比についても既存データにおける液性限界を上回り、特に超軟弱な地層を示した。

また、明治時代の古地図によると、この横網公園区間には明治12年頃には米倉があり、輸送用と思われる水路が付近の住宅の位置よりも低い位置に存在していた。

明治時代以降には、水路も完全に埋め立てられて現在の状態になっている。

5-2. 対 策

以上行ったデータ解析結果と追加調査ボーリング結果をもとに検討をおこない、以下に示す対策を実施した。

- (1) 横網公園区間の掘進においては、補足裏込注入を施工することによって路面の沈下を防止するとともに、早期のセグメント安定に努めた。
- (2) 掘進中、作用モーメントをシールド機の姿勢変化に十分反映させるため、セグメント組立中・組立後も裏込材の補足注入を行い、セグメントのバックアンカー効果低下の防止に努めた。
- (3) 掘進停止中に変化した姿勢方向を、次リング掘進開始後早い段階で、前リング掘進停止前の状態まで復帰修正させるために、掘進速度と作用モーメントを調整し掘進することで線形管理に努めた。

6. おわりに

シールド掘進においては、路面沈下および隆起等の現象が発生しないように、早い段階で土質に適合した土圧、裏込注入圧および裏込注入量等の掘進管理値を決定することが大切である。

当シールド工事では、当初想定していた土質とは異なる超軟弱粘性土地盤に遭遇し、シールド機の前倒れ現象、セグメントバックアンカー効果の低下による姿勢制御不能といった現象が発生した。

しかし、早い段階で掘進履歴データの解析および検討を行い、追加補足注入等、裏込注入を管理したことで、セグメントの安定が得られ、このような超軟弱粘性土においてもシールドの姿勢制御を行うことができた。

さらに、慎重な掘進管理の結果、地盤の変状を最小限に抑えることが可能となった。