

21. 京葉線台場トンネルにおける泥水加圧式シールド工法

日本鉄道建設公団東京支社 矢吹俊一

1 まえがき

都市における鉄道網の発達とともに、施工条件の厳しい超軟弱地盤地帯におけるトンネルの建設が避けられなくなり、技術的にも種々の問題が生じている。たとえば、地盤泥下中の地盤や、将来、地盤泥下を生じる可能性のある地盤、あるいは、河川や運河等の水底下の軟弱地盤中にトンネルを建設する場合には、設計、施工における諸問題を解決していかなければならない。

このような一例として、現在、建設中の京葉線台場トンネルにおける泥水加圧式シールドトンネルについて紹介したい。日本鉄道建設公団では、すでに昭和45年、京葉線羽田トンネルの水底下軟弱地盤においてトンネル外径 7.10 、掘削延長 950 の大口径泥水シールドの施工実績をもっているがここに紹介する台場トンネル工事は、外径 7.50 、延長 $1,430$ 、しかも着しい地盤泥下中の軟弱地盤に建設されるシールドトンネルの施工例である。

2 工事概要

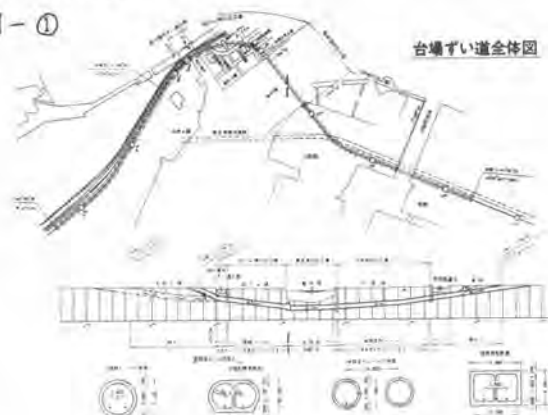
京葉線は、東京湾岸の川崎市から羽田空港、大井ふ頭などを経て東京港および千葉港を通り千葉県木更津市に至る延長約 100 kmの鉄道新線であり、武蔵野線および小糸線とともに東京外環状線を形成する重要な路線である。

このうち、台場トンネルは、図-①に示すように大井ふ頭に新設された東京貨物ターミナルから地下に入り、品川ふ頭を通過して東京港を直角に横断、13号地付道で東京湾岸環状道路路下を斜めに交差し有明面運河底を越えて有明駅付道や地上に達する延長約 2.3 kmのトンネルであり、塩浜へ大井ふ頭間の羽田トンネルとともに、水底部分を主体とする特異なトンネルである。

トンネルの計画にあたっては、各区間ごとの地形、地質、支障物件、船舶航行等の施工条件と合せシールド、掘削、ケーソンおよび開削等の様々なトンネル工法を採用し、現在その大部分の区間で工事施工中である。ここに紹介する13号地付道工事は、単線並列シールドトンネルとし、地質条件その他から泥水加圧式シールド工法を採用し、昭和50年4月、着工以来、順調に進捗し、本年9月末には、下り線 $1,430$ mの掘削が完了する見込みである。

3 設計上の特徴

図-①

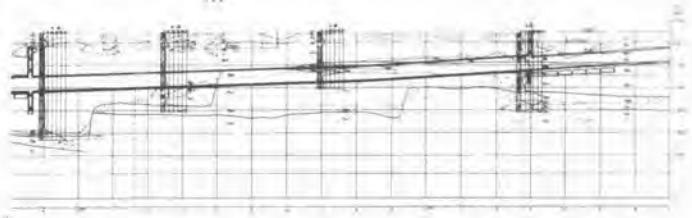


(1) 工法の決定

この付近の地質は、全般的にきわめて軟弱な沖積粘性土層であり、地下水の吸上げによる間隙水圧の低下および埋立による荷重増加の影響により、沿線各地で地盤沈下が進行中である。特に13号地面

部付近は、隅田川河口に形成された三角州上に新しく造成された埋立地であるが、現在着しい地盤沈下が進行中であり、地上部では年々、トンネル下端部で7mmに及び、トンネル完成後60年間の推定沈下量は、トンネル下端で最大1m（全沈下量2.2m）に達する。又中央部より東部付近に至つては、洪積粘土、砂および砂礫の互層と極端

図-② 地質縦断面図



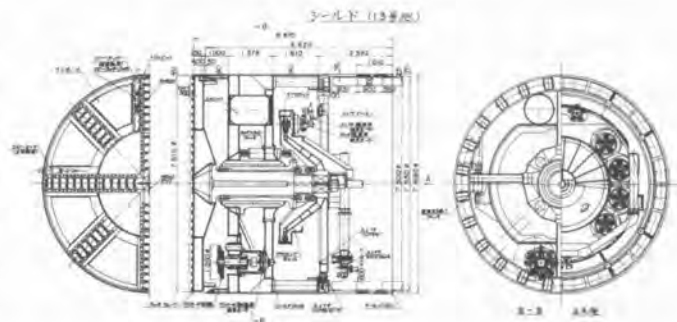
な違いをみせている。このため、硬軟両地層の境界付近においては、地盤の不等沈下により、トンネルに大きな縦断変形を生じ、その曲率半径は、約560mになるものと推定される。

このような厳しい設計条件に対応する工法として、種々比較設計の結果、シールドトンネルとし、セグメントリング間に伸縮継ぎ手を用いてトンネル縦断方向の剛性低減を図り、軌道および電車線の保守上、内空断面を40cm拡大し、トンネルの沈下に対応させた。又、シールドについては、硬軟両極端の地質に対処でき、工費の点でも他の案よりも低廉であるため、泥水加圧式シールドと決定した。

(2) シールド機械

図-③ シールド機械図

前述のごとく、本トンネルは、地盤沈下中の沖積粘性土およびシルト質土、洪積砂礫層という硬軟2種の両極端な地質を掘進する必要があり、このため、カッターラスを摺動可能とし、カッタースリットに開閉装置を取付るとともにカッターラスレスキングプレートとの隙間をできるかぎり



せぬこと。その他、羽田トンネルでの経験からカッターラスの形状、チールシール等種々の改良を加えた。

(3) セグメント

硬軟両地層の境界付近を占める不等沈下の曲率半径に出来るだけ近づけるため、曲げ剛性の最も低いこと、内空断面を出来るだけ大きく確保するため、桁高の少ないこと、圧密沈下によるネガティブフリクションにも耐えられること、伸縮継ぎ手の取付に支障がないこと、以上のようなことからフラットタイプのコンポジットセグメントを採用した。

(7) 伸縮継手

地盤の不均沈下によるトンネル
縦断方向の曲率半径は、560mに
達し、模型実験の結果から合成セ
グメントにおいても600mであり、
特別な対策を講じないが、
トンネルの破壊は避けられない。

柔結合継手は、地盤沈下による
曲率半径と、地震時の曲率、
せん断力および軸力（押し引き）
に十分対応しており、水密性および
耐久性に優れた機能を有するもの
を求めねばならない。また、当然
のことながら、施工性と無視する
ことは出来ない。これらの基本条
件を考慮のうえ、継手の開発方針
としてシールドジャッキ推力を利用
して、セグメントリング間に挿
入してゴムガスケットに所定の圧
縮歪を与え、この圧縮歪によつて

図-④ セグメントリング間伸縮継手工配置図

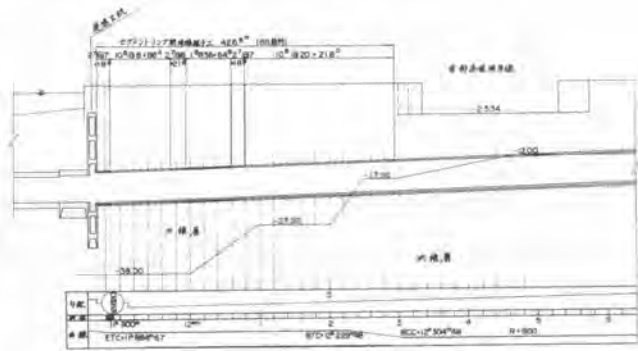
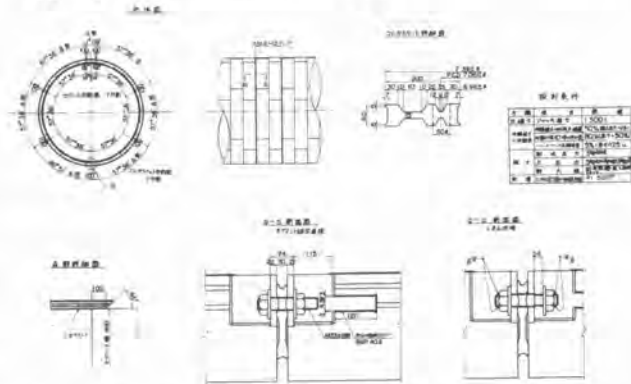


図-⑤ セグメントリング間伸縮継手工構造図



トンネルの縦断変形により生ずる継手部の伸縮を完全に吸収することとして、地盤沈下解析、地震応
答解析ならびに模型実験から図-④、⑤に示す形状、挿入位置を決定した。

施工法については、ゴムガスケット/リング分をセグメントと同様、7分割とし、接合位置をセグ
メント継手位置と若干ずらせて取付けることとし、ガスケットは、シールド同様あらかじめセグメント
側面に接着剤で貼り付け、セグメント組立と同時に組み込み、シールドジャッキにより所定の厚さに
圧縮する。この際、ジャッキの推力は、1500t以上とし、ゴムガスケット30mm以上圧縮した後、
締付ボルトナット間を正確に圧縮量30mmに合わせて荷重を解放する。その後、セグメントの移動が完
全に落ち着き、締付ボルトの荷重状況をみながらボルトナットの間隔を2mm拡大する。

4. 施工状況

工事は、薬液注入(LW)による地盤改良と立坑圧気を併用しての発進であったが、立坑周辺地山の
極端な軟弱性の上、立坑そのものの不斉沈下のため、充分な薬液注入が出来ず、非常に困難をきた
したが、関係者の努力により無事発進することが出来た。その後、作業員の熟練度の向上とともに、
工事の順調に進み、現在、およそ100R程度であるが、この間の稼働日当りの平均進行は、
5.1R(5.5m)となっている。

この間、沖積層においては、泥水圧による浮力ならびに、裏込注入による地山の流動変形等により
セグメントが浮上し、機械の操作、施工基面の保持に問題があった。裏込注入は、当初、周辺地山の

地盤強化をも含せて考慮していたため) 注入機を硫酸ソーダ3号を主体として、目標硬化時間を1分前後に設定した。このため 注入機が、硬化するまでにセグメント下端へ廻りこみ、地山を押しつけるから硬化するため、セグメントは、必然的に押し上げられる。その後、注入圧をさらに落とす(スリッパ)とともに、硬化時間を45秒と定め、気温、液温による硬化時間の変化に対しても硫酸ソーダの品質を変えらるることによって対処した。

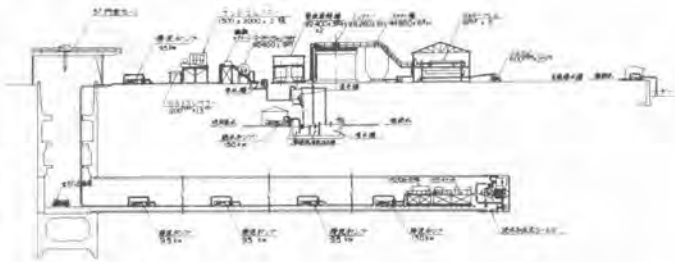
泥水処理設備は、大別して一次処理、二次処理の二つに大別されるが、一次処理は、砂分により、二次処理は、シルト分の量によりその能力が決定される。そして、クラッシュファイア、サンドコレクター等の一次処理設備は、連続的に運転されるため、その能力は比較的余力があるが、二次処理設備は、シールドにおける薬品による微粒子のフロック形成さらには、フィルタープレス等の断続的な脱水処理など、その処理能力は、時間的な拘束を受ける。本工事の場合、泥水処理能力は、泥水流量約370%から、50分と計算される。(この場合、シルト分の脱水率は、40%前後を目標とした。) したがって、シールドの掘進サイクルタイムは、この泥水処理設備の能力によって決められた。

図-⑧ 泥水処理設備全体図



一方、洪積層の掘削にあたっては、当初予想を上回る大きさの礫(φ300mm)の出現による排泥口の閉塞、送水ポンプの機能障害、泥水室内の土砂泥濁によるカッター施回りの起動困難が生じた。この閉塞に起因して送排泥流量のバランスがくずれ、水圧が一時的に急上昇し、切羽を不安定させた。

そのため、除礫装置の取付時を処理した。さらに、掘進延長1000mを越えるところから、送水ポンプの能力不足、シールド機械や泥水輸送設備の負荷状態が一斉になると共に、各所に障害がおきるようになった。泥水加圧式シールドについては、かなり長大トンネルであり、設計上は、十分な能力をもちながら、実際には、種々の問題点を引きおこしている。しかしながら、このような地盤条件の中で、大口径、大延長の工事としては、充分満足の結果であると同業者一同自負してよいと思う。



坑内状況写真



5. あとがき

以上、京葉線与場トンネルに於ける泥水加圧式シールドトンネルの設計並びに施工について、ごく簡単に報告させていただいたが、工事の詳細については、工事終了後、各種データの整理、解析が終了した時点で機会があれば紹介したい。