

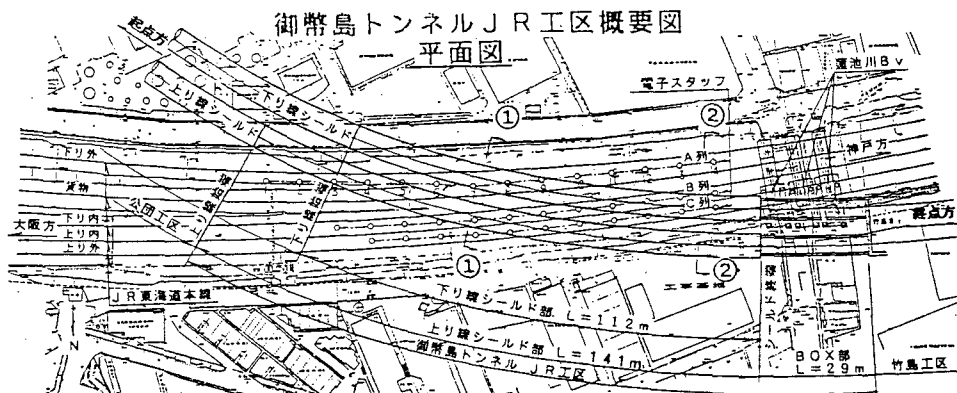
西日本旅客鉄道(株)	神戸工事所	正会員	長門	範高
西日本旅客鉄道(株)	神戸工事所	○正会員	山下	茂樹
鉄建建設(株)	片福線JR作業所	正会員	元木	義隆
鉄建建設(株)	片福線JR作業所		仁尾	雅人

1. はじめに

片福連絡線御幣島トンネルは外径 $\phi 7000\text{mm}$ の単線並列型のシールドトンネルであり、このうちJR工区はトンネルの終端部付近、JR東海道本線の直下を斜め横断する区間で、施工延長は下り線が112m、上り線が141mである。この区間は線形が最も厳しい箇所であり、曲線半径は最小 $R=250\text{m}$ 、縦断勾配は最大32‰の上り勾配である。トンネルの土被りは極めて薄く、特に東海道線直下では施工基面までの土被りが最小6.62mと1Dを割っており、非常に厳しい施工条件である。さらに地盤条件としては、シールド掘削断面に出現する土質は起点方の約68mでは全断面沖積粘性土、終点方の残り73mは掘削断面の上部に沖積砂質土が出現する区間である。この砂質土は非常に緩く、地下水が豊富であり、均等係数も小さく、細粒分含有率も小さいので、シールド掘進に伴う泥水圧の変動や列車荷重による間隙水圧の変動の可能性を考えると流砂現象が懸念される。また掘削断面の大部分を占める粘性土層は非常に軟弱であり、鋭敏比も高く僅かな攪乱により大きな変形を引き起こすことが考えられる。

本工事ではこのように厳しい条件下において泥水式シールドトンネルを施工したものであり、施工に際しては「JR東海道本線の列車走行の安全確保」を最重要課題として取り上げシールド掘進に先立ち東海道本線の防護工として大規模な薬液注入を行うと共に、地盤変状計測を中心とした各種計測管理に基づいた情報化施工により営業線に何らの影響を与えることなくシールド掘進を終えることが出来た。

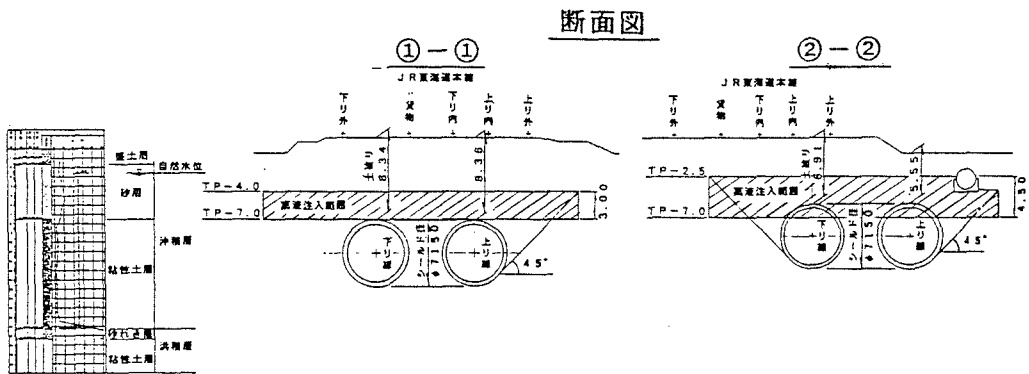
本報告はシールド掘進時に得られた計測データをもとにシールド通過時の周辺地盤の挙動特性を明らかにし、営業線直下における泥水式シールドトンネルの施工管理方法を近接工事管理手法の面から実績を踏まえて評価しようとするものである。



2. 施工概要

(1) 東海道本線防護工（薬液注入工）

改良の対象とする緩い砂質土への薬液注入工法として二重管ダブルパッカー工法を採用した。施工はＪＲ東海道本線を挟んで両側に設置した立坑内より水平施工にて注入を行った。改良厚の設定計算結果から改良地盤の厚さは3.0m、幅はシールド底部から45°を仮定したすべり線と改良体上端の交点までとした。なおこの厚さについては掘削断面上部に砂層が出現する終点側の約70 m間については安全性向上のため改良厚を4.5mとした。（下図参照）



(2) シールド掘進

軌道直下でのシールド掘進のポイントとしては下記の項目を重視した。

① 急激な地盤変状を生じないこと

今回掘進区間上部の軌道は大部分がバラスト道床軌道であり、地盤の沈下隆起に対しては軌道整備で対応可能である。しかし昼間の軌道整備はほぼ不可能であるため軌道整備の可能な最小間隔（１日）当りに発生する変位量は列車の安全走行を脅かさない量、すなわち数mm程度で収める必要がある。

② 隆起量を小さく抑えること

軌道整備の施工性からみると、軌道が隆起した場合はその前後から長区間の取付整備を要するが、沈下した場合は当該箇所のごう上だけで対応できる。このことから軌道面地盤の変位はどちらかといえば沈下傾向の方が好ましいと言えるが、しかし初期の沈下量が大きければそれだけ後続沈下も大きくなることが考えられるので大きく沈下させないことも重要なポイントである。

(3) 計測管理

シールド掘進時の計測管理は次に示す①～④で構成しており、シールド掘進総合管理所においてリアルタイムに情報が得られるシステムとした。

① 軌道地盤計測

軌道面地盤にレールに沿って 10mピッチに 3列配置した計37台の電子スタッフによって軌道面地盤の変位を 0.1mm単位でリアルタイム（４分毎）に計測する方法でデータをパソコンに取り込み分布図、時系列変位図等で処理する。

② 蓮池川B橋台橋脚計測

橋台橋脚及び工事桁受台部に設置した水盛り式沈下計及び傾斜計によって構造物の変位を計測する方法であり、下り線シールドが工事桁受台直下を通過することから特に施工管理計測の一環に取り込んだ。

③ 地中地盤計測

J R区間の初期の断面である 10k110mにおいて、地中に層別沈下計、傾斜計、間隙水圧計を設置したもので、地中地盤の挙動を初期に把握して掘進の施工管理に反映させることを目的とした。

④ シールド掘進データ計測

シールドマシン中央管理室で操作する掘進管理項目のうち、泥水圧、裏込注入圧、注入量、逸泥量、掘削乾砂量、掘削速度及びストロークをリアルタイム（20秒）に把握することで、上記の計測データと合わせて施工管理を行うことを目的とした。

3. シールド掘進施工結果及び考察

先行する上り線シールドの掘進は平成 6年10月28日に完了し、下り線もそれより約1ヶ月後の11月21日に完了した。いずれの施工においても軌道の変状は僅かであり、列車運行に支障することや緊急に軌道整備を要することは全く生じなかった。

(1) 掘進速度

上り線は当初掘進速度30mm/minを標準に施工を開始したが、切羽位置 41m付近から掘進に伴う地盤の隆起が著しいため、切羽位置 51mまで掘進した段階から上限値を25mm/minとしたところ隆起傾向はかなり改善された。ただし同時にコピーカッターの切削範囲を拡げる措置も講じているので、一概に掘進速度だけが関係していたと断言出来ないところもある。下り線については最初から25mm/minで施工した。

(2) 切羽水圧

切羽水圧の設定は、土水圧分離で計算したうえ、変動圧+0.2kgf/cm²を加えて設定したが、実施工でもほぼこの設定値を管理値として施工した。ただし逸泥の傾向が見られた箇所及び到達付近では変動圧を 0～0.1kgf/cm²に低減させたが全く問題はなかった。このことより泥水圧は最低限計算から得られる設定値を保持すればよいものと考えられる。

(3) 裏込注入率

上り線では 130%を標準に施工を開始したところ地盤の隆起傾向が続いたため、73 Ring以降は管理値を 125%前後の範囲に低減した。また下り線については最初から125%前後の範囲を管理値として施工を行った。

(4) 裏込注入圧

裏込注入圧については、注入材料に応じて基準となる管理値を設定し、その値を大幅にかつ長時間越えるようであれば掘進を一時停止する等の措置をとる限定的な圧力管理による施工を行った。

① 上り線（非エア系注入材）の注入圧力

管理幅を 3.0～3.5kgf/cm²としたが実施工では、ジャッキストローク800～900mm以下ではほとんど3.0kgf/cm²以下で管理が可能であった。

② 下り線（エアー系注入材）の注入圧力

エアー系注入材は非エアー系の圧力より平均して 0.5～1.0kgf/cm²ほど高い傾向であるので、管理幅を 3.5～4.0kgf/cm²としたが、実際の注入圧は 3.0～4.5kgf/cm² と幅が広く、また圧力は上下動を繰り返す傾向が見られた。

(5) 曲線施工

曲線施工における余掘量は、計算値の約82～85%のR=260mで40mm、R=250mで45mmとした。これは切羽への泥水の回り込みを防ぐこと、またマシンの姿勢制御が可能な限りはテールボイドは少ない方が良いと言う見地から低減させたものである。

4. 地盤の変状計測について

(1) 先行シールド掘進時

先行シールド（上り線）では、当初掘進速度を30mm/minとしたところ、掘進により大きく地盤が隆起する現象が見られた。隆起はマシン推進時に著しく最大10mm～12mmで、また隆起の影響は切羽前方約 10m以上の広範囲におよんだ。またテール通過後の沈下の発生も早く、30hr程度で土ゼロに転じ、引き続き緩やかに後続沈下が続いた。

その後掘進速度を20～25mm/minにしたところ、最大隆起量はさほど変わらないものの、切羽前方の隆起の範囲はかなり縮小され、かつテール通過後の沈下速度は大幅に緩くなった。この地盤の隆起現象は推進が終わると直ぐに下がる傾向が見られることから、シールドマシンが上り勾配で前方に進むときに生じた押し上げ力による影響と考えられる。

(2) 後行シールド掘進時

後行シールド（下り線）では始めから掘進速度を20～25mm/minとしたが、掘進時の軌道地盤変状の様子は、上り線掘進時とは少々異なりマシン通過時にその直上付近が、最大10～12mm隆起する傾向が見られた。また隆起の現象が現れる時期も切羽接近の数メートル手前であった。マシン通過後の沈下の発生は上り線に比べ、小さくかつ沈下のスピードも緩やかで、1～2mm/day程度であった。

(3) 曲線施工による地盤変状について

地盤変状の分布を見ると、上り線、下り線共に曲線の外側より内側のほうが地盤隆起の影響範囲が広いことがわかったが、これは曲線施工に伴うシールドマシンの姿勢制御により、マシンが曲線内側の地盤を側方に押して、変形させたためと考えられる。

この傾向は、地中地盤計測結果にも明らかに見られた。即ち、側方変位を見るとマシンスプリング付近の地盤の変状は曲線の内側が、曲線の外側に較べて大きく側方に押された状態であった。

5. おわりに

この工事における計測管理の持つ意味は重要で、シールド掘進は勿論のこと、防護注入を中心とした各種防護工の施工時にも列車運転の安全を確保すると共に施工管理の面でも大いに役立ったと考えております。

また、今回得られた各種のデータは今後ますます増大するであろう大都市における重要路線の横断や薄い土被りの近接施工のような、いわゆる難しいシールドトンネルの設計施工に関わる基礎資料になるものと思います。