

III-61 大断面シールド急曲線施工の挙動測定について

帝都高速度交通営団 正員○横田 三則
 岡田 岳彰
 メトロ開発部 正員 中村 信義

1. はじめに

鉄道用シールドトンネルにおける最小曲線は、従来施工上の制約から複線型シールド(φ10.0m)でR=300m、単線型シールド(φ6.5m)でR=250m程度の実績であったが、土地価格の上昇、民有地下通過の制約等から、鉄道の規定で許されるR=160mでの施工が行われるようになりつつある。急曲線施工の問題には、シールド機械を含めた工法の開発、余掘りおよび片押しに伴う周辺地盤の変状防止対策等、研究課題は多いが、ここではセグメントの設計を主体に大断面シールドでの挙動測定を行った結果を報告する。

2. 測定場所および設計施工条件

測定場所は北区西ヶ原旧古河庭園付近、営団地下鉄7号線駒込～西ヶ原間のシールドトンネル(外径10.0m)建設場所で、曲線半径は228mと244mである。地質は東京山手の洪積層で、東京砂層(N値20)または砂混じり粘土(N値15)の地盤となっており、土被は9.5m～17.5mである。セグメントはRC中子型で、桁高550mm、桁幅1,000mmのものを使用している。またシールド工法は泥水加圧式であり、機械は胴型機長7,800mmを使用した。

3. 予測解析

予測解析に使用したモデルは、村上・小泉提案¹⁾のモデルで、図-1に示す。このモデルでは、セグメントをEA(軸剛性)、EI(曲げ剛性)を持つ棒部材とし、セグメント間の継手はKu(軸バネ定数)、Ks(せん断バネ定数)、Kθ(回転バネ定数)を持ち、また地山とはKgu(接線方向定数)、Kgr(法線方向バネ定数)により支持されるとしている。R、N、θは曲線半径、

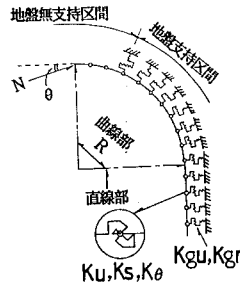


図-1 解析モデル

表-1 解析条件

条 件	
曲率半径 R (m)	227.8
ジャッキ推力 N (t)	5300
圆心量(トンネル中心線とジャッキ推力作用位置との距離) e (m)	1.418
推力方向 θ	0° 49' 08"
地山N値 N (回) (地盤バネ算出条件)	12
地盤バネ発生(作用)位置 (m)	推力作用位置より後方5m
シールド EI (cm/kg)	3.14×10 ¹¹
シールド EA (kg)	1.39×10 ⁹
リング間継手回転バネ定数	理論値Kθ 5.035717×10 ¹³ 実験値Kθ 2.534748×10 ¹³

度である。解析の条件は当該地の地質、施工条件および過去の実績をもとに表-1の値とした。なおリング間継手回転バネ定数は、当該セグメントの実物試験を行った測定値を採用した。解析結果のうち、セグメントに発生する軸力、曲げモーメント、せん断力を図-2 ①、②、③に示す。なお、同図における曲線部のリング数は15リング、直線部は20リングとした。軸力は、ジャッキを受けるセグメントが5,300tfで、以後直線的に低減している。また曲げモーメントは8リング目で最大の8,260tfmを示し、せん断力は直線部に入り4リング目で最大385tfを示した。軸力、曲げモーメントによるセグメント断面の応力は、曲線内側に引張りが生じず全断面圧縮となり、セグメントの最大圧縮応力度は118kg/cm²の結果を得た。

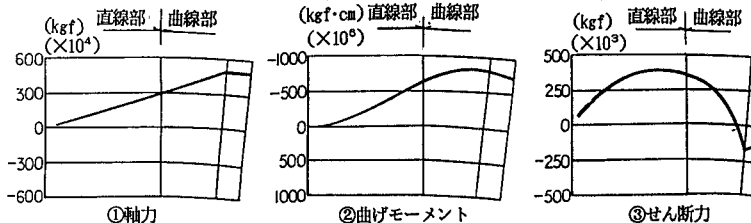


図-2 予測解析結果

4. 現地での挙動測定方法

測定はR=244m内で1箇所、R=227m内で2箇所の計3箇所で行った。測定項目は、シールド掘進に関する測定とセグメントに関する測定に分け、それぞれ関連付けて行った。シールド掘進に関する測定は表-2の通りで、掘進管理用に設置されている圧力計、速度計、ストローク計等を使用した。セグメントに関しては、継手の挙動を測定するため、

表-2 測定項目

- ①切羽泥水圧力
- ②掘削速度
- ③シールドジャッキ推力
- ④シールドジャッキ使用位置、本数
- ⑤カッタートルク
- ⑥コピーカッターストローク
- ⑦シールドの方向位置
- ⑧裏込注入位置・注入圧力
- ⑨テールクリアランス

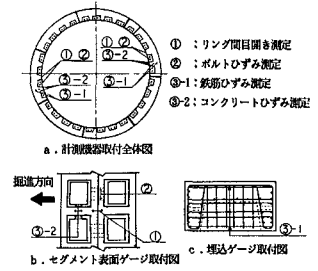


図-3 計器取り付け位置

リング継手部目開きを亀裂変位計、リング継手ボルト応力をひずみゲージにより、左右4点で自動計測を行った。またセグメント主桁部の応力を測定するため、セグメントの鉄筋およびコンクリートの応力をひずみゲージで測定した。計器の取付け位置を図-3に示す。

5. 測定結果

測定は3断面で行ったが、R=244mの結果を示す。掘進に関する結果は表-3の通りであるが、このうち掘進速度は通常値25~30mm/minを15~21mm/minとし、またジャッキ推力は、5,300tfの予定を2,100~3,100tfに落としている。このことは、入念な施工により余裕をもってセグメントを組立てたため、またコピーカッターの使用で周辺摩擦が低減したためと思われる。セグメント計測のうち、ボルトゲージとセグメントの鉄筋ゲージの測定結果を図-4、図-5に示す。ボルトゲージの測定値は、機械内では応力変化が大きいが、地山に入ると安定している。応力の方向はすべて圧縮であるが、曲線内側が大きいの値となっている。なお実施した条件で村上・小泉理論での再計算を行ったが(図中○内側、●外側)、おおむね一致した値となっている。一方鉄筋ゲージの測定結果は、曲線外側の方が応力は大きいが、曲線外側、内側ともセグメント外面側は圧縮、内面側は引張という結果が出た。これは、ジャッキ推力中心とセグメント中心の偏心により、セグメント断面内に生ずる局所的モーメントの影響と思われる。

表-3 計測結果一覧

区間		5k537m000付近(30リング)
線形	掘削半径	244m166
	掘削勾配(%)	-2.8(推進方向)
	土盛り(m)	8.0~8.5
地質	トンネル付近の地質	本郷層(砂層、礫層) 東京層(砂層、粘性土層) (互層)
	トンネル中心よりの水位(m)	5.5~7.0
計測	切羽泥水圧(kg/cm ²)	1.47~1.50
	掘削速度(mm)	15~21
	シールドジャッキ推力(t)	2100~3100
	ジャッキ使用本数(本)	18~24
	カッタートルク(t・m)	100~200
	コピーカッターストローク(mm)	50~60
	ジャッキストローク量(mm)	37~110
	裏込注入	
	裏込注入圧(最大値)(kg/cm ²)	2.5~3.5
	裏込注入量(直線部)(m ³)	5.1~5.7 (計算値=9.11)
目録	裏込注入率(直線比較)(%)	16.4~18.3
	裏込注入強度(kg/cm ²)	140=15.3 150=17.4 240=19.3
	テールクリアランス(mm)	上:23~35 下:40~51 左:35~49 右:39~52

6. まとめ

急曲線施工におけるセグメントの設計手法は未だ確立されていないが、今回村上・小泉理論による応力解析と現地計測を行った結果を比較したところ、両者は一致する値を示し、予測手法は適するものと思われる。しかしセグメントの設計においては、ジャッキ推力の偏心等、局所的な問題があることも判明したため、今後継続して検討する所存である。

<参考文献>

1) 村上・小泉・井戸:

「鋼製セグメントを用いたシールドトンネル急曲線部の挙動に関する研究」

土木学会第43回年次学術講演会

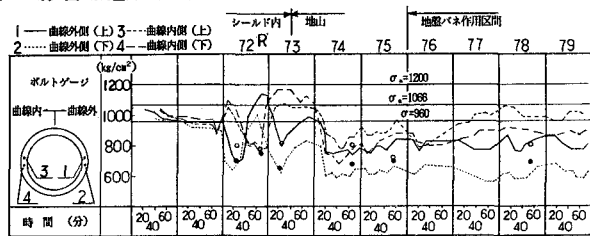


図-4 ボルトゲージ測定結果

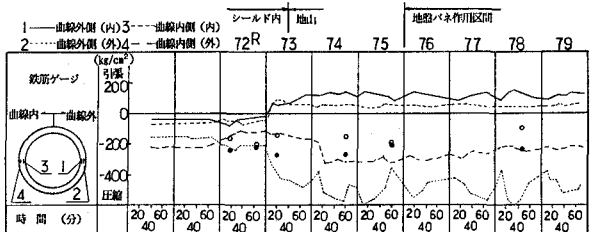


図-5 鉄筋ゲージ測定結果