

りんかい線東品川泥水シールドトンネル工事

Construction of RINKAI Line HIGASHI-SHINAGAWA Tunnel by Slurry Shield

高久寿夫¹⁾・松岡正幸¹⁾・細田道敏²⁾・千田正裕³⁾・野本雅昭⁴⁾

Hisao TAKAKU, Masayuki MATSUOKA, Michitoshi HOSODA, Masahiro CHIDA and Masaaki NOMOTO

RINKAI Line HIGASHI-SHINAGAWA Tunnel (L=983.m) has been constructed by slurry shield tunnelling method. The distance between the parallel two tunnels are very close (Average = 2.8m, Minimum = 0.5m) and some important structures exist on the ground surface. Therefore, careful operation and management of the tunnelling works including detailed in-situ monitoring was carried out. As a result, settlement on the ground surface was very small.

In this paper, shield excavation data and ground movements are discussed.

Key Words: adjacent tunnels, parallel shield tunnel, mutual influence, slurry, settlement

1. はじめに

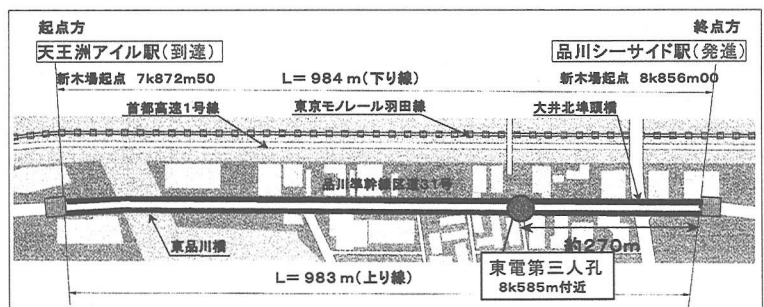
本工事は、単線併設トンネル（路線延長 983.5m）を泥水式シールド工法にて新設する工事である。特徴として全線が近接施工であり、上下線の離隔が平均約 2.8m、最小約 0.5m の超近接施工となる。

本報告では、シールドの掘削データおよびシールドトンネル施工にともなう地盤変状に焦点を当てた考察結果について報告する。

2. 工事概要

りんかい線は、JR 京葉線の新木場駅から臨海副都心を経由して JR 山手線大崎駅に連絡する延長約 12.2km の鉄道新線で、平成 8 年 3 月には一期区間の新木場から東京テレポート間が、二期工事区間のうち平成 13 年 3 月に東京テレポートから天王洲アイル間が開業し、現在、残る天王洲アイルから大崎間の工事が進められている。

本工事は、二期工事の内、天王洲アイル駅から品川シーサイド駅に至る延長約 983m の区間を泥水式シールド工法により上下線を施工する。トンネル路線図を図—1 に示す。



図—1 トンネル路線図

1) 正会員 日本鉄道建設公団 東京支社

2) 正会員 西松建設(株) 関東支店

3) 西松建設(株) 土木設計部

4) 正会員 西松建設(株) 技術研究所

3. 地質概要

シールド掘削の対象となる地質は沖積層と洪積層に大別され、発進後の約 300m は、旧目黒川が存在していたと考えられる箇所、シールド通過断面の地質は砂層、礫層から軟弱粘性土層に急変し、おぼれ谷の様相を呈している。地質縦断面図を図—2 に示す。トンネル通過区間の主な地層の一般的特徴は、次の通りである。

(1) 沖積粘土層 Ac1 (N 値：0～4)

低地部全域に分布する軟弱なシルトが主体である。粘性は中位～強い、少量の貝殻片や腐植物を混入する。

(2) 砂質土層 Ds2 (N 値：35～50)

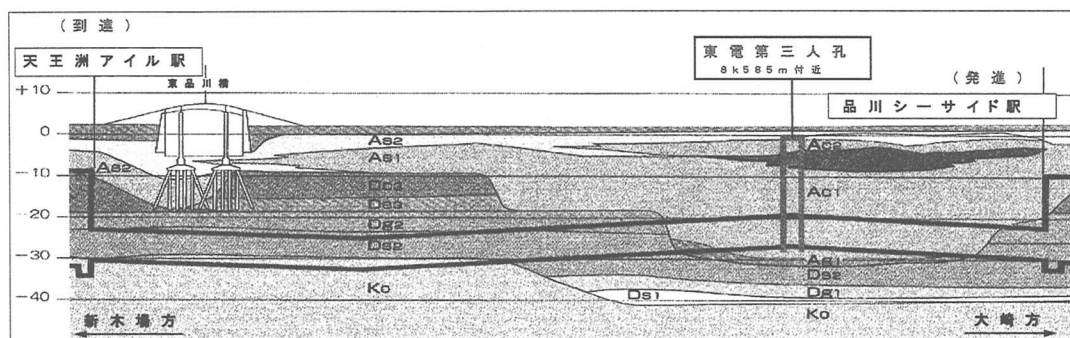
洪積層の細砂、礫混じり細砂を主体とし、所々に細砂や小礫及びシルトを不規則に混入している。

(3) 東京礫層 Dg2 (N 値：50)

砂礫が主体で、一部で細砂が卓越する。φ2～40mm 前後の亜円礫が主体で、非常に良く締まっている。

(4) 上総層 Ko (N 値：50)

全体に均質な泥岩であるが、やや亀裂の発達している部分が見られる。また、細砂を不規則に含み、互層状を呈している。



図—2 地質縦断面図

4. シールド掘進

4.1 シールドマシン(写真—1) およびセグメント

シールド外径：7,250 mm，シールド機長：8,360 mm

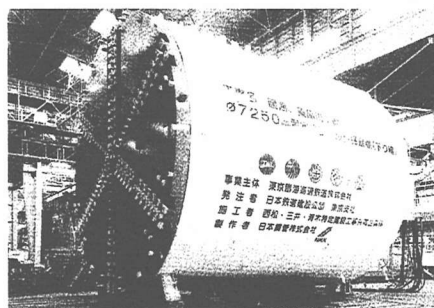
R Cセグメント(外径：7.10m，内径：6.50m，幅：1.50m)

D Cセグメント(外径：7.10m，内径：6.50m，幅：1.20m)

4.2 シールド掘進データ

上り線のトンネルを先行して掘削し、上り線が約 100Ring 掘削終了したところで、下り線のマシンを発進させた。

上り線および下り線の掘進実績を表—1 に示す。



写真—1 φ7,250mm 泥水式シールド機

表—1 掘進実績

		上り線	下り線	備考
初期掘進	暦日平均進行 (m/日)	5.6	7.1	
	最大日進量 (m/日)	9.0	13.5	
本掘進	暦日平均進行 (m/日)	11.0	10.6	
	最大日進量 (m/日)	19.5	19.2	
	最大月進量 (m/月)	294.0	268.5	336 (上り線) 30日最大

4.3 掘削データ

施工中はマシン、流体、処理設備等のデータを常に監視している。その中で、以下の3項目のデータについて考察を加える。

① 掘削乾砂量

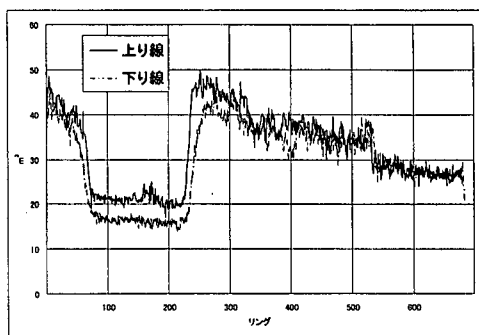
60～230Ring 付近で掘削乾砂量が他の区間よりも少なくなっている。この区間は、おぼれ谷部に相当する。おぼれ谷部の軟弱粘土層は他の区間の地層と比較して含水比が高いため掘削乾砂量は減少する。発進から 300Ring 付近において、上り線の掘削乾砂量は、下り線よりも多くなっている。これは、掘削による違いではなく、掘削断面に含まれる地層の違いであると考えられる。大井埠頭橋の杭の位置からも、地層が海側に落ち込んでいると予測される。530Ring 付近から乾砂量が減少しているのは、セグメント幅が 1.5m (RCセグメント) から 1.2m (ダクタイルセグメント) に変わっているためである。

② カットトルク

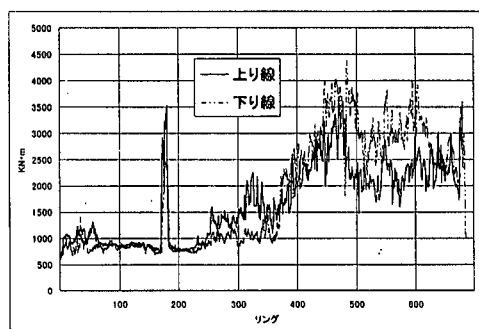
カットトルクが 180Ring 付近で急上昇しているのは、地盤改良部の掘削によるものである。400Ring 付近から徐々に上昇しているのは、掘削断面下部から上総層が徐々に現れてきたためである。

③ 総推力

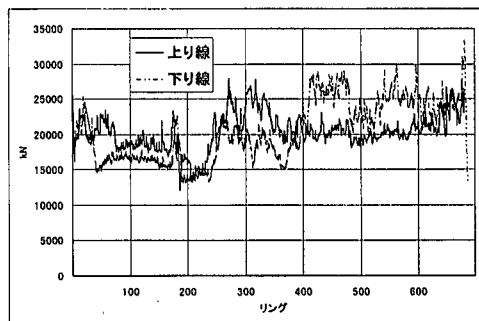
総推力は、400Ring 以降で下り線の方が上り線よりも大きくなっている。これは、下部上総層の出現と玉石の含有量が多かったことも要因の一つであるが、先行トンネル(上り線)の掘削により地山の緩み領域が広がり、作用土圧が大きくなりマシン周辺の抵抗が大きくなったためと考えられる。これは、近接施工が影響している可能性がある。



図—3 掘削乾砂量



図—4 カットトルク



図—5 総推力

4.4 泥水管理

掘削対象地盤別に設定した泥水品質管理基準値を表—2に示す。特にろ過水量の設定管理基準値は厳しいものであるが、全区間でこれらの管理基準値を守ることができた。

(1) NOMST 切削時の泥水発泡現象

NOMST 切削時に泥水処理設備内の泥水受槽において泡が発生した。重曹を添加することにより発泡現象は弱まったため、発泡の原因は NOMST のカルシウムイオンであると考えられる。高強度のため掘削速度が 1mm/min 以下になると発泡現象は、より激しくなった。

(2) 重曹の効果

コンクリート中から溶出するカルシウムイオンの混入により凝集を起した泥水に重曹を添加すると、混入するカルシウムイオンが不活性(安定)化し、泥水の粘性が下がる。

表—2 泥水品質管理基準値

管理項目	管理基準値	
	洪積層	沖積層
比重	1.15～1.25	1.20～1.30
ファンネル粘度	20～36 sec	
ろ過水量	35 ml 以下	
ブリーディング率	5%以下	
砂分率	10%以下	5%以下
ph	7.0～11.5	

5. 計測工

シールド掘進にあたり、重要構造物およびその周辺に計器を設置し、沈下や傾斜角を計測した。これらには、それぞれ管理基準（一次・二次管理値）が設定されている。東品川橋部の沈下および傾斜角の計測値を表—3に示す。

・一次管理値

一次管理値を超えた場合は、構造物、掘進データ等の点検を行う。施工は継続して行う。

・二次管理値

二次管理値を超えた場合は、掘進を一時停止し協議を行い、対策案、掘進管理値の見直しを行った後に再度掘進する。

表—3 東品川橋部計測工結果

計測位置		傾 斜 角		沈 下 (mm)	
		掘進直後	最終値	掘進直後	最終値
東品川橋		1/4000	1/3800	2.7	4.7
天王洲南運河防潮護岸	右岸	—	—	1.1	1.6
	左岸	—	—	1.1	1.5
水道橋		1/4100	1/4000	1.5	2.4
東品川火力第三洞道		1/5100	1/5000	1.7	2.9

* 掘進直後：マシンテール通過直後

これらの他にも、近接する東京電力の人孔や洞道部で計測を行った。計測の結果、沈下および傾斜角ともに全ての区間で一次管理値以内に収めることができた。

5.1 層別沈下計

(1) 計画

超近接施工（離隔0.5m）である東品川橋部通過にともなう掘削管理に対する対策を検討する目的で、東品川橋の約300m手前（距離程8k280m）に層別沈下計を図—6(a)のように3セット設置した。

(2) 計測結果

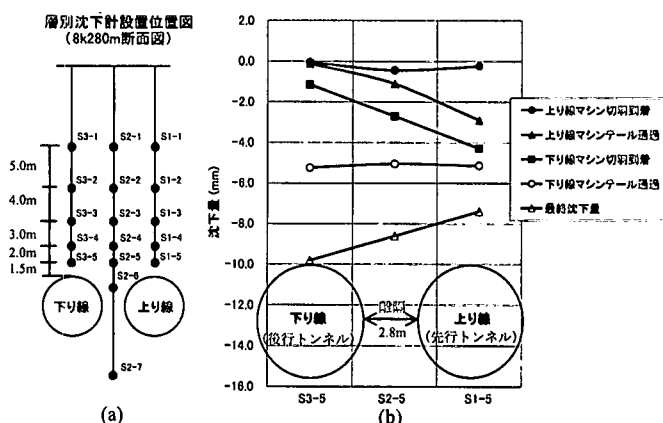
a) 横断方向沈下

各層別沈下計の最深部（S1-5、S2-5、S3-5）における横断方向沈下計測結果を図—6(b)に示す。

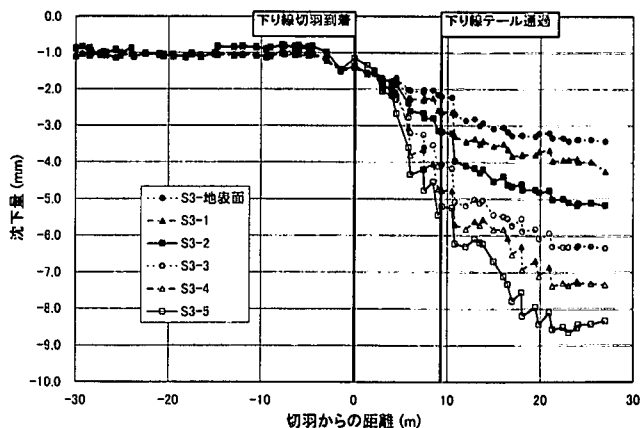
最終沈下量は、先行トンネル（上り線）よりも後行トンネル（下り線）側の方が大きくなった。これは、先行トンネルの掘削により地山が乱されたためと考えられる。

b) 縦断方向沈下

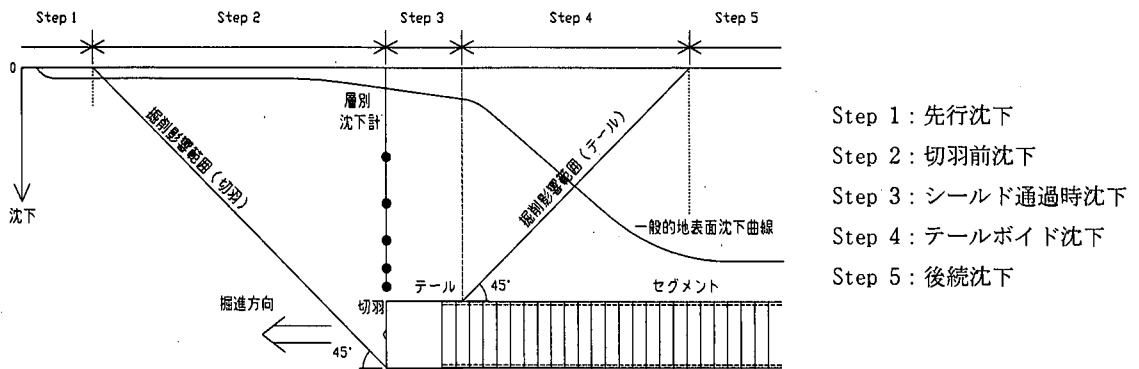
下り線マシン通過前後における層別沈下計（S3）の縦断方向沈下計測結果を図—7に示す。グラフの横軸はマシン切羽からの距離としている。マシン切羽が到着するまではほとんど変化がなく、切羽到着後に沈下が発生しているのが分かる。切羽通過約20m後に沈下がほぼ収束している。



図—6 横断方向沈下（層別沈下計）



図—7 縦断方向沈下（層別沈下計）



図—8 マシン掘削による地表面沈下発生区分

層別沈下計の計測結果を図—8のようにマシンとの位置関係で区分してまとめたものを表—4に示す。トンネル掘削の影響を最も受けやすい、各層別沈下計の最深部（S1-5、S2-5、S3-5）における計測結果をまとめる。各Stepの沈下の割合（％）は、上り線、下り線それぞれの最終沈下量を100％として計算したものである。

層別沈下計S1は、上り線トンネル直上に位置するため、上り線の掘削による影響を大きく受ける。層別沈下計S3は、下り線トンネル直上に位置するため、下り線の掘削による影響を大きく受ける。

表—4 層別沈下計による沈下計測結果

		S1-5		S2-5		S3-5	
		沈下量 (mm)	沈下の割 合 (%)	沈下量 (mm)	沈下の割 合 (%)	沈下量 (mm)	沈下の割 合 (%)
上り線	Step 1	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
	Step 2	0.31	7.6	0.46	21.4	0.12	12.6
	Step 3	2.66	65.4	0.67	31.5	0.06	6.0
	Step 4	1.02	25.2	0.52	24.4	0.11	11.7
	Step 5	0.08	1.9	0.49	22.7	0.65	69.7
	合 計	4.07		2.14		0.93	
下り線	Step 1	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
	Step 2	0.29	8.4	0.59	9.1	0.29	3.2
	Step 3	0.85	25.1	2.34	36.1	4.09	45.7
	Step 4	1.09	32.1	2.05	31.7	3.08	34.4
	Step 5	1.16	34.4	1.50	23.2	1.48	16.6
	合 計	3.39		6.48		8.95	

一般的には、シールド掘削により発生する沈下のうちテールボイド沈下（Step 4以降）が最も大きいとされている。上り線の掘削影響を最も受ける層別沈下計S1における上り線のデータと、下り線の掘削影響を最も受ける層別沈下計S3における下り線のデータより、本工事においては最終沈下量の45～65％がマシン通過時沈下（Step 3）であることが分かった。これは、沈下の絶対量が小さいことをふまえると、切羽における切羽圧および泥水品質管理、テールにおける裏込注入が確実に行われた結果であると考えられる。

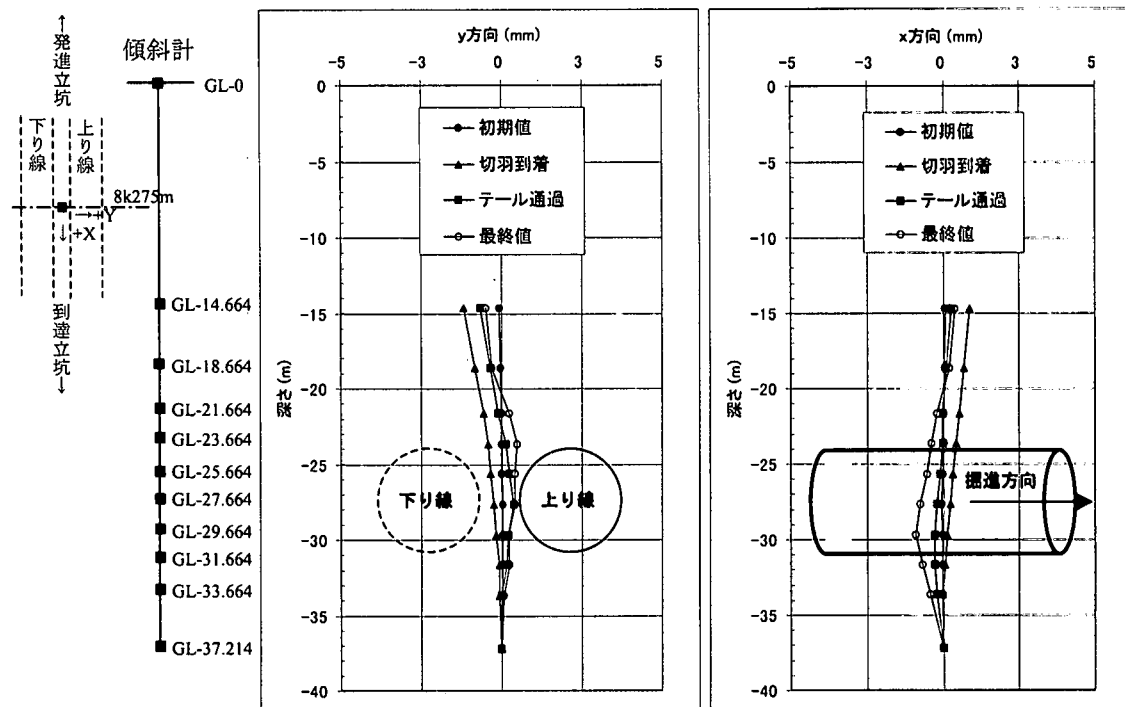
上り線と下り線の間設置された層別沈下計S2の結果より、先行トンネル（上り線）よりも後行トンネル（下り線）の掘削による沈下が大きいことが分かる。

5.2 傾斜計

層別沈下計の設置と同じ目的で、距離程 8k275m に多段式傾斜計を設置した。傾斜計の計測結果より水平方向の変位を得ることができる。

上り線マシン通過時の傾斜計計測結果（水平変位）について図—9に示す。この時点で、下り線はまだ施工されていない。x方向はトンネル縦断方向で、正方向はマシン掘進方向を示す。y方向は、トンネル横断方向で、正方向は下り線トンネル中心から上り線トンネル中心方向を示す。

マシン切羽が近づくにつれ、地山はマシンにより押し出される方向に変位し、切羽通過後はそれと逆の方向（トンネルに引き込まれる方向）に変位している。先行トンネル（上り線）の掘削により地山が緩んでいる様子がうかがえる。



図—9 傾斜計計測結果（水平変位）

6. おわりに

併設トンネルの掘削データ・沈下データを検討することにより、以下に示す知見が得られた。

- ① 先行トンネル（上り線）の掘削により地山が乱されるため、最終沈下量は先行トンネルよりも後行トンネル（下り線）の方が大きくなる。
- ② 砂礫層地盤において先行トンネル（上り線）の掘削により地山の緩み領域が広がり、作用土圧が大きくなることにより掘進に必要なシールド総推力が大きくなる傾向も見受けられる。
- ③ 切羽における切羽圧および泥水品質管理、テールにおける裏込注入を確実にを行った場合、最終沈下量に対する沈下の割合としてマシン通過時沈下が大きな割合を占めることになる。
- ④ マシン切羽が近づくにつれ、地山はマシンにより押し出される方向に変位し、切羽通過後はそれと逆の方向（トンネルに引き込まれる方向）に変位する。