

伸縮カッターを用いた大断面複合円形 シールドの掘進管理実績と評価

Results and Evaluation of the Control over Driving the Shield Machine with a Large
Flat Circle Section by Excavation Method of Adjustable Cutter

高橋聡¹・川島雅一²・瀧澤仁³・諸橋敏夫⁴・吉田健太郎⁵
Satoshi Takahashi, Masakazu Kawashima, Hitoshi Takizawa,
Toshio Morohashi and Kentaro Yoshida

¹正会員 工修 所長 東京地下鉄株式会社 建設部 渋谷工事事務所
(〒150-0002 東京都渋谷区渋谷二丁目18-4)

²技術課長 東京地下鉄株式会社 建設部 渋谷工事事務所
(〒150-0002 東京都渋谷区渋谷二丁目18-4)

³工修 所長 鹿島建設株式会社 東京土木支店 神宮前シールド工事事務所
(〒150-0001 東京都渋谷区神宮前六丁目18-11 明治ビル6階)

⁴課長 鹿島建設株式会社 東京土木支店 神宮前シールド工事事務所
(〒150-0001 東京都渋谷区神宮前六丁目18-11 明治ビル6階)

⁵正会員 課長代理 鹿島建設株式会社 東京土木支店 神宮前シールド工事事務所
(〒150-0001 東京都渋谷区神宮前六丁目18-11 明治ビル6階)

Jinguumae public work by Tokyo Metro Co., Ltd is construction of shield tunnel between Meijijinguu-mae and Shibuya with a large flat circle section by excavation method of adjustable cutter. It becomes possible to decrease an area of a tunnel section about 10% rather than a Circular shield. And invert material was reduced 40%. For this reason, environmental impact reduction and effective use of underground space was enabled.

This report shows the construction outline and result of this construction.

Key Words : shield tunnel, shield machine, adjustable cutter, EX-MAC method

1. はじめに

東京地下鉄13号線は、既に営業している志木～和光市間の東武東上線、和光市～池袋間の有楽町線の延伸工事として池袋～渋谷間の8.9kmを新たに建設するものであり、渋谷駅では東急東横線との相互直通運転を行う予定である。これにより、埼玉県南西部方面から都心を経由し横浜方面に至る広域的な鉄道軸が完成し、利用者の利便性の向上と慢性的な道路交通渋滞の混雑緩和が期待されている。

本報告では、このうちの神宮前工区土木工事において採用した写真-1に示す伸縮カッターを用いた大断面複合円形シールド工法の概要と施工実

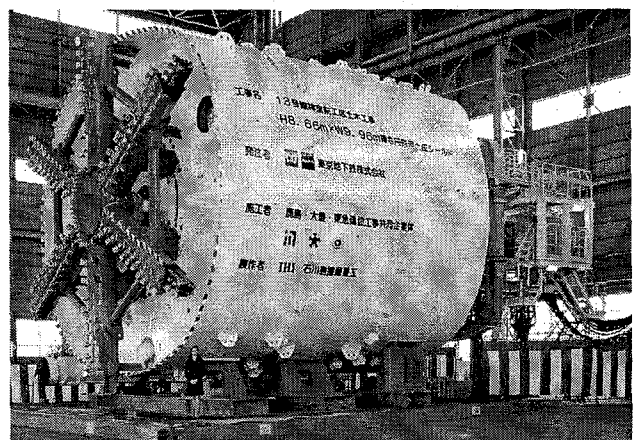


写真-1 シールドマシン

績・評価について紹介する。

2. 神宮前工区土木工事の概要

神宮前工区土木工事は、明治神宮前～渋谷間を結ぶ延長738.5m(458リング)にトンネル外径高さ8.4m、横幅9.7mの複合円形断面（非円形断面）のシールドトンネルを施工するものである。複線シールドトンネルとして断面最適化した複合円形断面により、トンネルの断面積を従来の円形断面に比べ約10%縮小し、不要空間に打設するインバート材料を円形断面に比べて約40%減少した。このため、シールド掘進による発生土量の抑制、シールド機製作・セグメント製作による建設資機材の減量が可能となり、環境負荷の低減に寄与するとともに、地下空間の有効利用が可能となる¹⁾。

(1) 線形概要

明治神宮前～渋谷間の延長738.5mについて、明治神宮前を発進側、渋谷を到達側として、明治通りの下を沿って建設するものである。平面線形図を図-1に示す。全線に渡って概ね曲線となっており、発進側から直線区間71.8mの後、曲線半径2003mの右曲線が83m、曲線半径503mの左曲線が254mと続き、到達側で再び直線となる。

縦断勾配は、発進側から3.0%の一定の下り勾配となっており、到達側約100mで10.0%の下り勾配に変化する。

また、東京電力渋谷神宮前洞道及び城南河川清流復活導水管路がほぼ全区間にわたり近接している。

(2) 地質概要

本工区における掘進部（土被り約18m）の土質は、全般にN値50以上の安定した上総層粘性土層であるが、発進側から到達部手前約100mまでは上総層砂層地盤も介在しており、非常に高い被圧地下水を有している。透水係数は $10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm/sec程度である。工事地点の地質縦断図を図-2に示す。

(3) 覆工構造

本セグメントは、複合円形トンネルであることから、図-3に示す3つの曲線半径を有する形状とし、K型セグメントを除いて各ピース2つの曲線半径を有するセグメントとなっている。セグメントは全てコンクリート製セグメントとしている。セグメント幅は、リング継手の削減の観点から、こ

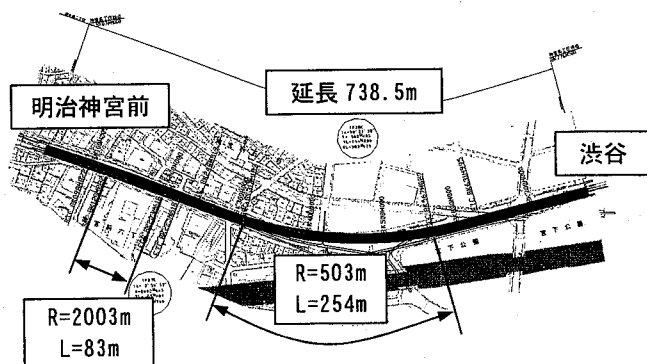


図-1 平面線形図

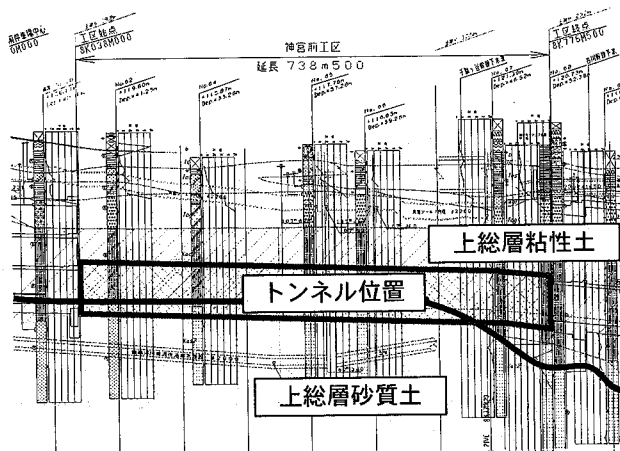


図-2 地質縦断図

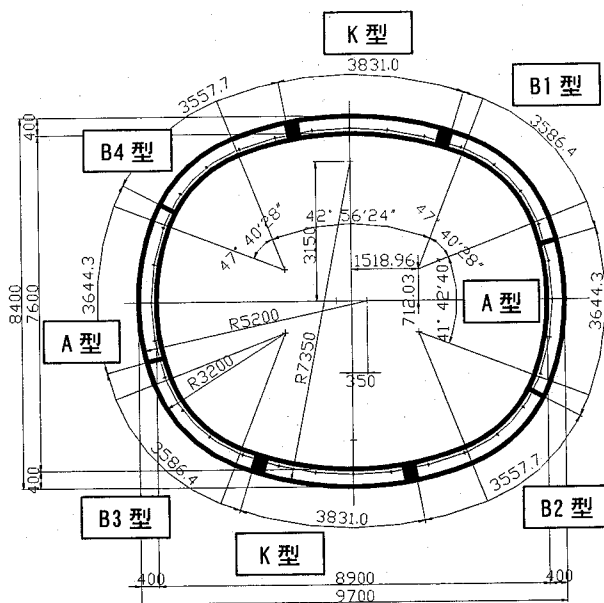


図-3 セグメント

れまでの実績では最大となる1,600mmとした。分割数は、テーパ・リングの転用や道路輸送・現場内の搬送の制約条件から8分割とした。セグメント1ピースの重量は約6tで、形状は最大で3,831mm

なお、継手にはいずれもインサートタイプの継手となる高剛性継手（セグメント間継手）とDUET継手（リング間継手）を採用した。

発進立坑がある明治神宮前停車場は、原宿の中心街に位置し、交通量が約3万台/日と非常に多い明治通りの下にある。このため、シールド設備は資材投入用の防音設備と土砂搬出用の防音設備を除いて全て新設駅構内に設置を行った。また、防音設備についても、車線幅及び車両限界を確保するため、下部の幅を狭めた形状としている。主要シールド設備配置を図-5に示す。また、主要シールド設備一覧を表-2に示す。

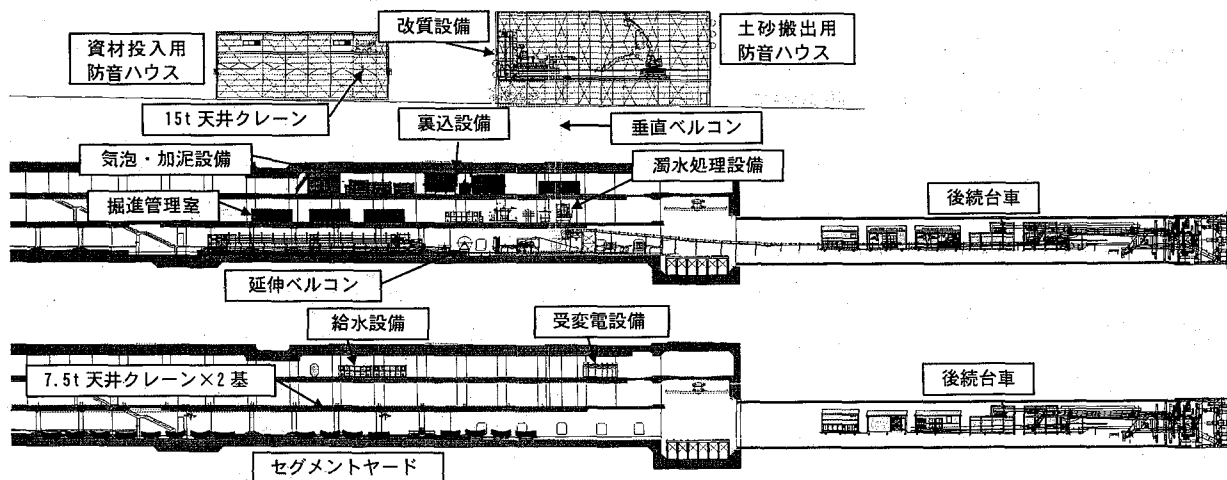


図 - 5 シールド設備配置図

(a) 残土搬出設備

マシンで掘削された土砂は、トンネル坑内を延伸ベルコンで運搬し、垂直ベルコンにより地下約30mから地上に揚土後、パドルミキサーで改良して地上の土砂搬出設備内の土砂ピットに堆積する。堆積した土砂は、路上から約5mに設置したトラバースー上のバックホウにより、ダンプトラックに積込まれて、場外に搬送を行う。

(b) 加泥材と設備

加泥材には、掘削土に流動性と止水性を持たせるとともに、面板やチャンバー内の掘削土の付着を防止するために、特殊気泡剤(OK-1)を使用した。特殊気泡剤と圧縮空気で作られたシェーピングクリーム状の気泡を、カッタースポーク外周、フィッシュテール付近、面板の3箇所から切羽に注入を行った。

(c) 裏込め注入材と設備

裏込め注入材は、充填性に優れ早期に強度を発現する二液性可塑状型注入材を用いた。セグメントが地山から受ける計算上の荷重が 0.297N/mm^2 であることから、材齢3時間における三軸圧縮強度が 0.3N/mm^2 以上となる配合とした。

裏込め注入は、同時注入方式とし、マシン上部左右に各2本配置された注入管の左右各1本を使用して注入を行った。土質が非常に硬質で密な上総層粘性土及び砂層部であることから、注入率の初期値は120%とした。

表-2 主要シールド設備一覧

使用場所	設備名	機名	仕様	台数
地上設備	揚重設備	天井クレーン	15.0 t	1台
	土砂貯留設備	土砂ビット	280m³	1基
	土砂搬出設備	垂直コンベアー	150m³/h	1台
		No1搬出ベルコン	224m³/h	1台
		No2搬出ベルコン	274m³/h	1台
	改質設備	パドルミキサー (連続処理型)	150m³/h	1基
		固化材#40	30 t	1基
		固化材#40	15 t	1基
		固化材#70-ダ		1基
	助剤	(高分子) タンク	1m³	1基
防音ハウス	薬剤添加装置 #47 C		1基 2棟	
構架内設備	揚重設備	天井クレーン	7.5 t	2台
	土砂搬出設備	垂直コンベア	150m³/h	1台
	濁水処理設備		40m³/h	1式
	排水処理設備	B'キュム設備		1式
	裏込設備	自動作液プラント		1式
	添加材設備 (分散材)	自動作液プラント		1式
	添加材設備 (起泡材)	自動作液プラント		1式
	変電設備			1式
	給水設備			1式
	土砂搬出設備	連続ベルトコンベアー	149m³/h	1台
	揚重設備	揚重クレーン	20.0 t	1台
	土砂搬出設備	ベルト延長設備	ディル ユニット	1式
	動転設備	サーボロコ	12 t	1台
換気・ 環境測定設備	構内換気設備	コントラファン	φ1100	1式
	ガス検知設備	定置及び 移動式検知器		1式

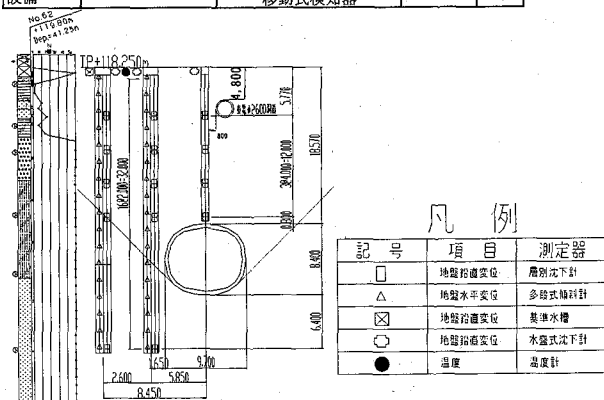


圖 - 6 地盤挙動計測位置図(42R)

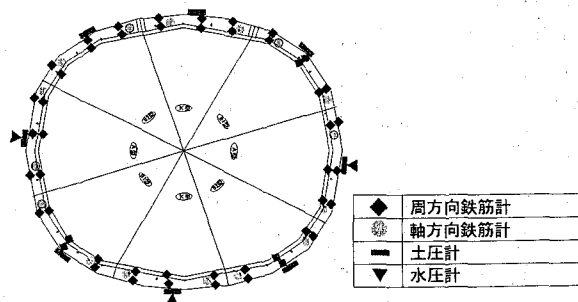


図-7 セグメント計測位置図

(3) 計測管理

シールド掘進に伴った周辺地盤の影響及び土水圧の載荷状況とトンネルの安全性を確認するために、地盤挙動計測及びセグメント挙動計測を行った。計測位置は、切羽から約65mに位置する直線部の41R、42Rとした。地盤挙動計測の計測位置図を図-6に、セグメント計測位置図を図-7に示す。

4. 施工実績

(1) 掘進実績

日進量は、初期掘進時で段取り替えなどを除いて4リング/日(6.4m)、本掘進時で8リング/日(12.8m)を達成した。これにより、月進量は最大で320m/月を確保した。

(2) 切羽土圧管理

計画時の管理土圧は、上総層粘性土層の自立性が高いことを考えて最小土圧を間隙水圧+予備圧(20kN/m²)とし、最大土圧を主働土圧+間隙水圧+予備圧として、この範囲で管理を実施するものとした。しかしながら、実際の土圧計によるマシン停止時の計測値は、図-8に示すようにボーリングデータから算出した間隙水圧よりも小さな値を示した。このため、切羽の自立性が高く、地下水の影響が小さい地盤と判断して、過圧密及び地盤変状抑制を考慮して、図-9に示すように管理土圧の最小土圧側で切羽土圧の管理を行った。

また、切羽土圧の管理は、掘進速度・カッタートルク・1次スクリーアの回転速度をバランス良く制御し、土質の性状に合わせて気泡注入率をリアルタイムに調整することにより、十分可能であった。

(3) 排土管理

チャンバー内土圧の管理のみでは、予期せぬ崩壊土層に対応できないことから、土量管理についてはレーザースキャナーによる容積計測、ベルトスケール及びダンプスケールによる重量計測の3つの方法を用いて入念な管理を行った。施工への迅速なフィードバックを行うためにレーザースキャナー及びベルトスケールを、正確な重量確認を行うためにダンプスケールを利用した。各リングの排土量計測結果を図-10に、ダンプスケールの初期掘進時の理論排土量との比較を表-3に示す。レーザースキャナーは理論排土量に対して若干のばらつきがあるものの、ベルトスケールはほぼ一致することが確認できた。また、理論排土量に対してダンプスケールは一致することも確認できることから、重量管理を主体として排土管理を行った。

(4) 加泥実績

計画時は、材料試験結果から標準気泡注入率を30%とした。実際の掘削では掘削土の状況に応じて気泡注入率の調整を行った。初期掘進時は標準

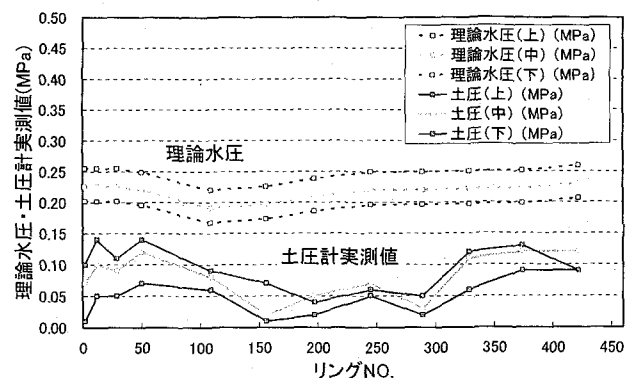


図-8 マシン停止時の土圧計実測値

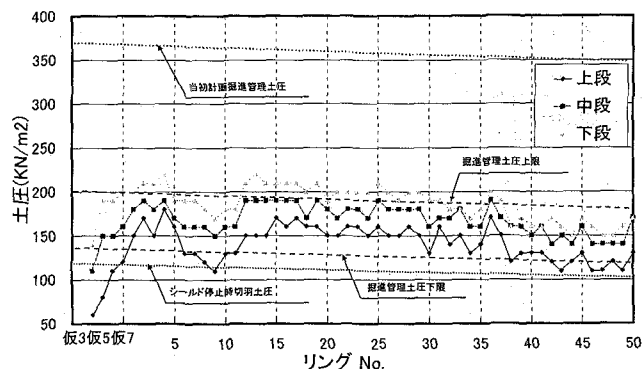


図-9 土圧管理結果

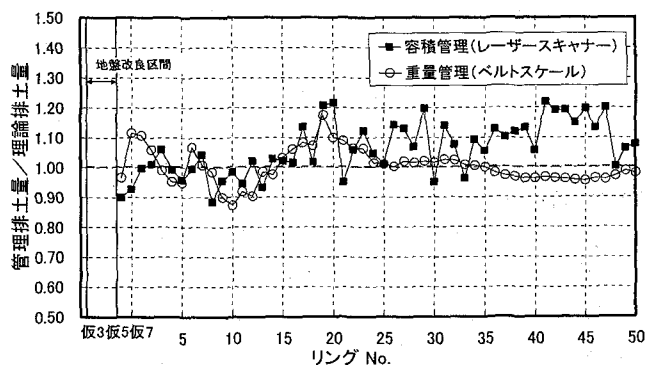


図-10 各リングの排土量

表-3 ダンプスケールと理論排土量の比較

	排土量 (t)	実測値/理論値	備考
理論排土量	10993.8	-	排土量×平均比重+ 改質材添加量
重量管理型 ダンプ スケール	10877.6	0.99	

気泡注入率を確保して掘削土の状態を確認し、本掘進時では最終的に標準気泡注入率より若干少ない20～30%の範囲で適切な塑性流動性を確保することができた。

(5) 裏込め注入実績

裏込め注入は、テールボイドの確実な注入を図るために注入率(=120%以上)を主体に管理し、上限圧力(=間隙水圧+100kN/m²)を設定して確実な裏込めの充填と過度な圧力による地盤の変状の防止を図った。裏込め注入率と注入圧力を図-11に示す。

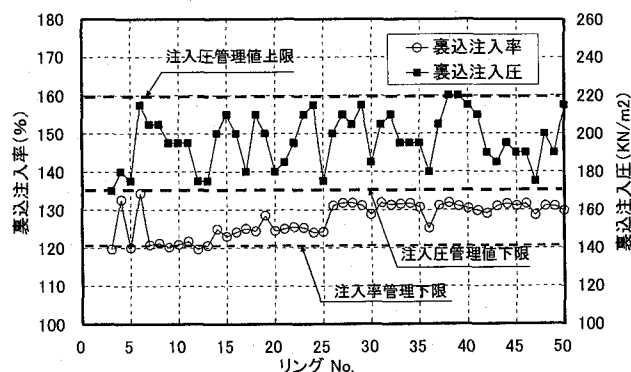


図-11 裏込め注入実績(初期掘進時)

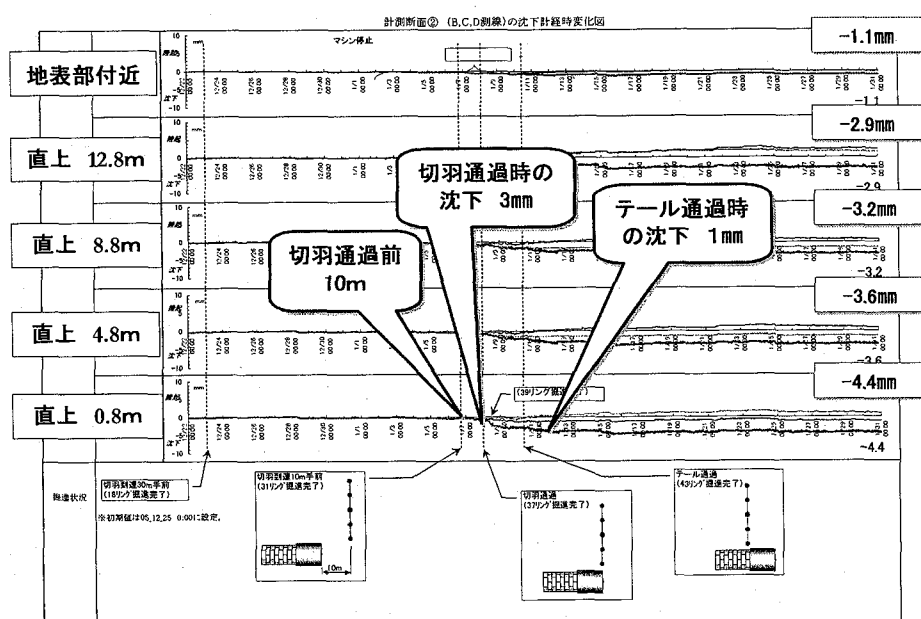


図-12 地盤沈下挙動計測

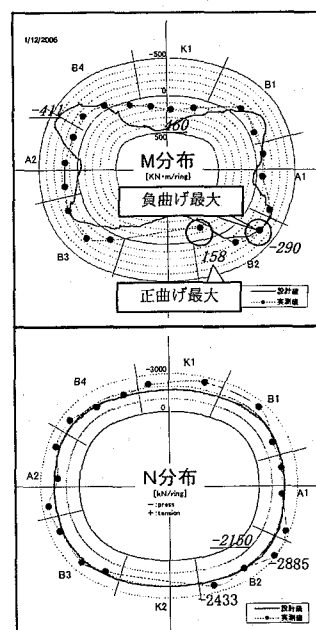


図-13 セグメント発生断面力

(6) 地盤変状結果

シールド通過に伴う地盤の沈下挙動を図-12に示す。沈下計により計測された沈下量は、路面部で1.1mm程度であり、地盤の変状を抑制することができた。また、シールド通過前の地盤の隆起は生じなかった。これは、硬質粘性土地盤であったこと、掘進時の管理土圧を適正に制御できたことによるものと考えられる。

(7) セグメントの発生応力度

マシンのテールを通過して地山内で安定状態になった時の鉄筋応力計から算出した発生断面力を図-13に示す。軸力は設計値と概ね同じ値となった。曲げモーメントについては、設計と同様のモーメント分布となったが、計測値と設計に差が生じた箇所もあった。これは、計測値が局所的な値であること、実際の土圧分布、裏込め注入圧等の複合的な影響によるものと考えられる。

5. まとめ

東京地下鉄13号線の神宮前工区土木工事における伸縮カッターを用いた大断面複合円形シールド工法の計画と掘進管理実績について述べた。今後、「シールド施工研究会」のご指導を頂きながら、さらに各種データのとりまとめを行い、順次報告を行うとともに、有効に活用をしていきたい。

参考文献

- 1) 矢萩秀一, 藤木育雄, 入江健二, 大塚努: 環境負荷低減を考慮した複合円形シールドトンネルの設計, 第59回年次学術講演会, pp.73-74, 平成16年9月。
- 2) 中村浩, 久保田敏和, 古川衛, 中尾努: 大断面矩形シールドで渡り線部と一般線路部を施工, トンネルと地下, 第33巻8号, pp.27-33, 2002。