

軟岩層における三次元曲線のシールド掘進実績

鹿島建設 正会員 ○筒井 紀行
 鹿島建設 正会員 杉本 誠

1. はじめに

仙台市地下鉄東西線は、(仮称)動物公園駅から(仮称)荒井駅までの約14km、全13駅及び荒井車庫基地などの施設を建設するものである。仙台市高速鉄道東西線一番町工区では(仮称)一番町駅から(仮称)仙台駅に至る東二番丁トンネルを泥土圧式気泡シールド工法(単線並列Uターン)にて施工した。

本工事においては、図-1に示すように、一番町駅を発進立坑として、西行線を掘進し、到達箇所の仙台駅でマシンをUターンした。再発進後、東行線を掘進し、一番町駅に再到達した。平面は最小半径 $R=105\text{m}$ のS字曲線、縦断は最大縦断勾配4%と前後の $R=4000\text{m}$ の縦断曲線を有している。本工事の特徴として一部区間で平面曲線と縦断曲線が共存する区間が存在することが挙げられる。この共存区間を三次元曲線と呼び、本稿では三次元曲線における掘進実績について報告する。

2. 施工概要

掘削地層はトンネル全体に渡って均質で、対象地層である竜の口層は新第三紀鮮新世の堆積岩でシルト岩、砂質シルト岩を主とする海成層である。N値は50以上で一軸圧縮強度は $667\sim 8,100\text{kN/m}^2$ (平均 $4,138\text{kN/m}^2$)。竜の口層の透水係数は $10^{-3}\sim 10^{-7}\text{cm/sec}$ のオーダーであり、ばらつきが大きく、亀裂の有無によって透水性が大きく異なると想定した。

シールド機は平面曲線 $R=105\text{m}$ 対応として中折(左右 2.5° 、上下 1.0°)を装備し、中硬岩、砂岩対策として先行ビットにはバックアップビットを装備した。また、外周部に摩擦検知ビットを装備させ摩耗管理を行った。その他、真円保持装置による真円確保を行った。

セグメントは3種類で6分割とした。直線及び緩和曲線部はRCセグメント、平面曲線半径 $R=105\text{m}$ 部は合成セグメントで商業ビル直下部(上載荷重 180kN/m^2)については重荷重用合成セグメントを使用した。各セグメントの諸元については、表-1に整理した。セグメントの割付として、最小曲線半径部の対応として、RCセグメント区間はテーパセグメントのみで構成し、合成セグメント(重荷重用含む)は、テーパセグメントと普通セグメントの使用割合は4:1で計画した。

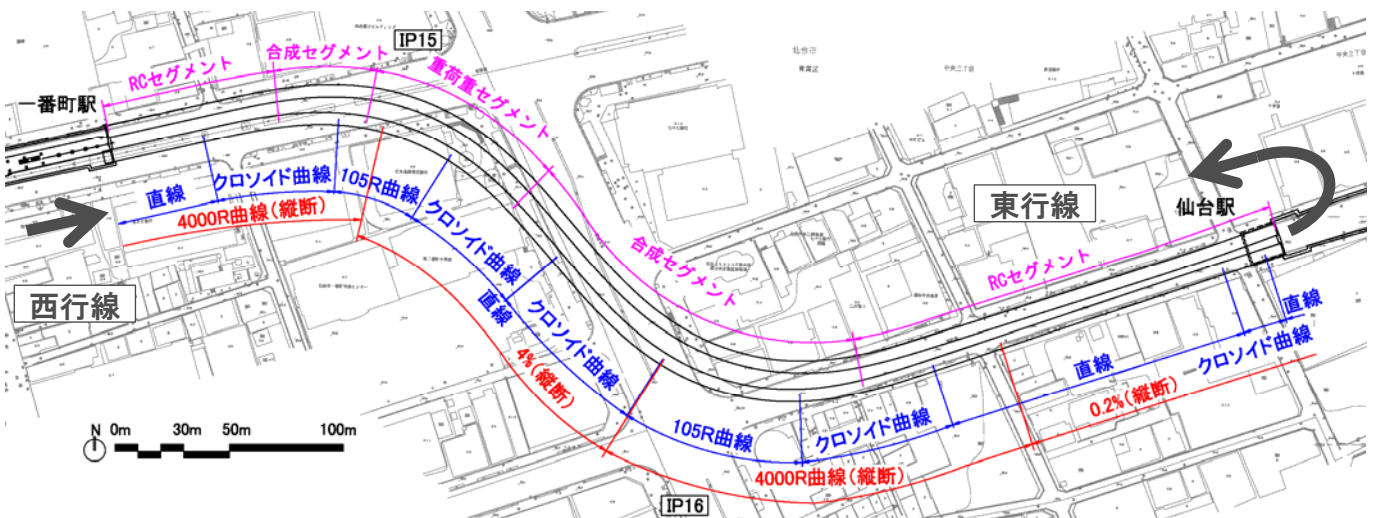


図-1 平面線形（西行線のみ表記）

キーワード シールドトンネル、三次元曲線、泥土圧式シールド、軟岩

連絡先 〒980-0804 宮城県仙台市青葉区大町2-4-6 三階 TEL022-217-1613

三次元曲線に対する対応として、RC セグメント区間は平面曲線、縦断曲線それぞれで使用するテーパセグメントを算出し、それらを足しあわせて割付を行った。一方、合成セグメント区間はセグメントのテーパ量を、平面曲線を曲がるために必要なテーパ量よりも大きめに設計した。その上で、図-2 に示すように、テーパセグメントの組み合わせの中で、平面方向の変化を小さく、その分縦断方向の変化を大きくする組み合わせを用いることで、平面方向、縦断方向両方に変化をつける計画とした。

3. 掘進実績

掘進実績として、西行線（U ターン前）の平均日進量は 7.9m、東行線（U ターン後）の平均日進量は 8.4m であった。土質は地質縦断図と大きな差異はなく、線形管理上の影響はなかった。しかし、岩の亀裂から流れてくる地下水により、含水状態は掘進位置によって様々であった。特に泥岩層と砂岩層の境を掘進中は含水が多く、シールド機後方から地下水がチャンバー内へ流入する傾向があった。対策としてセグメント全周にわたり裏込注入をすることで流入量を低減できた。

また、R=105m 部の掘進時におけるシールドジャッキの使用状況としては偏圧気味であったため、セグメントの面がシミュレーションに対して外を向く傾向があった。余裕分の中折れの使用と、ジャッキスピードを低速で掘進する工夫で対応できた。

掘進指示は方位角およびピッチングによる指示で行い、施工方毎に測量を実施してシールド機およびセグメントの位置を把握し、各測定機器の値に異常がないか確認しながら掘進を行った。平面 S 字曲線部施工時はシールド機を曲線内側に向けて掘進し、外側に膨れないよう管理した。また、縦断曲線については、シールド機が下方に向きやすい傾向が見られたため勾配が緩くなる部分は、早めにピッチングをあげて管理した。

近接主要構造物には商業ビル（離隔 5.3m）、共同溝、NTT 洞道（離隔 10.8m）、地下道があった。変動の測定は地上のレベル測量を実施し、共同溝については水盛式沈下計を設置して沈下計測を実施したが、掘進前後および掘進中に沈下、隆起は皆無であり、掘進による影響はなかった。

セグメントの割付実績として、IP16 での実績の一部を図-3 に示す。この区間は西行線の平面方向は R=105m の左カーブ、縦断方向は下に凸の R=4000m のカーブである。テーパセグメントと普通セグメントを 4:1 という配置の中で、図-2 で示した手法で縦断方向への変化をつけながら割付を行うことができた。

4. まとめ

掘進管理としては、施工方毎のこまめな測量と定期的な測定の点検を実施することで、線形管理上の大きな問題は生じなかった。また、セグメントの割付については、当初の意図通りの配置ができた。ただし、蛇行修正やテールクリアランスの減少等の状況によって予定通りの組み方ができなかったところもある。しかし、テーパ量に余裕を持たせていたことが、結果的にこれらの状況の改善にも役に立った。今回の施工実例が、今後同様の工事の参考になれば幸いである。

表-1 セグメント概要

	外径	内径	幅	テーパセグメント	
				片テーパ	両テーパ
RCセグメント	5,400	4,840	1,200	21	42
合成セグメント (重荷重用含む)	5,400	5,000	800	-	56

(単位はすべてmm)

■合成セグメントWTLの組み合わせ

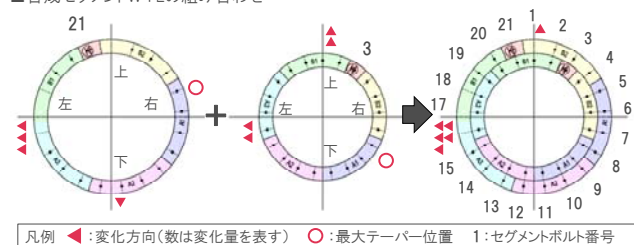


図-2 三次元曲線時のセグメントの組み合わせ

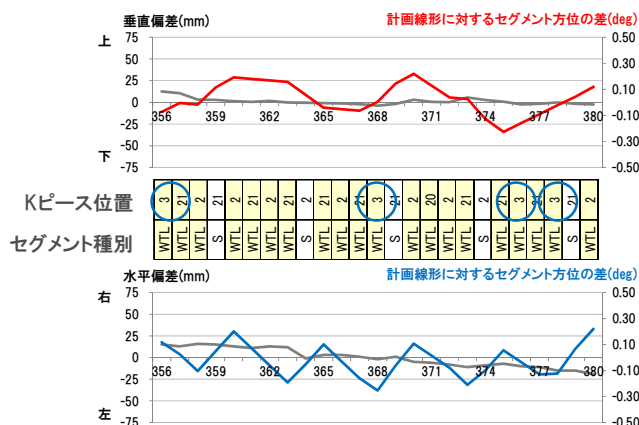


図-3 IP16 でのセグメント割付実績