

VI-70

プラネタリー工法の開発(その3:実証実験結果)

戸田建設(株) 正会員 柴田 靖
 戸田建設(株) 北沢 隆一
 川崎重工業(株) 宗像 保

1. まえがき 筆者らは、矩形をはじめとする異形断面シールドトンネルの受注拡大を企図して、遊星カッターを用いた新しいタイプの泥土圧式ボックスシールド工法の開発を進めてきた。実証機として新たに□-2.85 × 2.85 m正方形断面用の掘進機を製作し、平成10年7月から11月にかけて、茨城県つくば市要の戸田建設技術研究所において実証実験を行った。本報ではその概要について報告する。

2. 掘進機概要 実験に用いた掘進機は実工事への転用を考慮し、土被厚さ10m、N値30、レキ最大長径200mmに対応可能なものとした。装備カッタートルクにおける α 値は、2基の遊星カッターへの負荷を考慮して2.85mの外形に対し、 $\alpha=3.0$ と一般的な掘進機に比してやや大きめの値を採用した。曲進性能としては半径60mまで対応できる。表-1に掘進機の諸元を示す。

表-1 掘進機諸元

外形および全長	□-2,850 × 2,850 mm, L=5,758 mm
シールドジャッキ	80t × 1,150st × 12本(偏向角度1.2°)
中折れ機構	150t × 80st × 4本, 左右1.5° 上下0.5°
カッター駆動	0 ~ 2.0 r.p.m, 常用トルク 69.0 t·m
コピーカッター	上下左右, 余掘量 50 または 100mm

3. 実験概要 実証実験では、研究所内屋外ヤードに全長約40mのトンネルを2本掘削し、掘進機の性能、地盤変状などのデータを収集、検討した。掘進長のうち約半分は、セメント系固化材によって固化改良した人工地盤とするとともに、最大長径約200mmの割栗石を体積比で約15

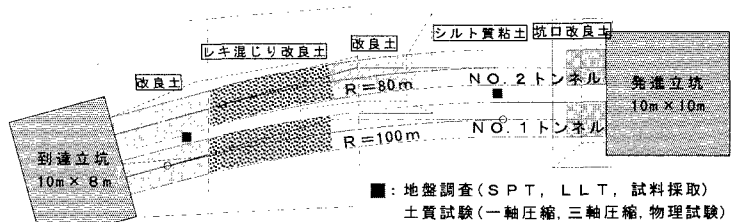


図-1 掘進平面図

%混入し、土質の硬軟、レキ地盤掘削などの諸条件への対応性を検証した。図-1に掘進平面図、表-2に実証実験の概要、表-3に事前に実施した地盤調査結果を示す。なお、全線にわたり厚さ50cmの表層改良を実施した。

表-2 実証実験概要

施工延長 (水平並列2本)	(No.1) L=38.973 m (No.2) L=40.096 m 合計 79.069 m
セグメント外形	□ 2,700 × 2,700 mm
セグメント内形	□ 2,393.6 × 2,393.6 mm
曲線半径	R=100 m (No.1), 80 m (No.2)
土被り	(発進側) 1.04 m ~ (到達側) 0.94 m
縦断勾配	上り 2.5 %
並列トンネル の離隔	(発進側) 1.5 m ~ (到達側) 0.85 m [セグメント外端間]
坑口防護工	セメント系固化材混合土埋戻し・転圧
裏込注入工	同時裏込注入 セメント系, 2液 1.5ショット
加 泥 材 注 入 工 (濃度 5 %)	(改良土 NO.1) ベントナイト#250 250L/m ³ (粘性土 NO.1) スーパー-30ト 50L/m ³ (NO.2) KD-2 200 ~ 300L/m ³

表-3 地盤調査結果

土 質 名	シルト質粘土	改良土
N値 (GL-1.5 ~ 3.5m)	平均 3	平均 23
地盤反力係数 Km (kgf/cm ²)	3.73	27.89
変形係数 Em (kgf/cm ²)	22.0	157.88
物 潤潤密度 ρ t (g/cm ³)	平均 1.444	平均 1.802
理 自然含水比 w n (%)	平均 87.7	平均 26.42
試 間隙比 e	平均 2.469	平均 0.913
験 塑性指数 Ip	平均 80.4	—
一 一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)	平均 0.710	—
軸 変形係数 E50 (kgf/cm ²)	平均 34.2	—
三 粘着力 Cu (kgf/cm ²)	0.199	1.619
軸 せん断抵抗角 φ u (°)	2.4	24.6

注 1) 改良土の固化材添加量: 50kg/m³

2) 孔内水平載荷試験の実施深度: GL-2.5m

3) 三軸圧縮試験条件: UU (非圧密, 非排水)

キーワード: シールド工法, ボックスシールド, 遊星カッター, 異形断面

〒104-0032 東京都中央区八丁堀 4-6-1 八丁堀センタービル7F TEL: 03(3206)7188 FAX: 03(3206)7190

4. 結果と考察 本実験では、シールド掘進機としては全く新規の機構にもかかわらず、機械の初期トラブルなどもなく順調に掘進することができ、信頼性の高さがあらためて証明された。また施工能率の面でも円形シールドと同等であった。ここでは、カッタートルク、総推力、ローリングの傾向、地表面沈下の概要について述べる。

切羽土質は図-1に示すように発達立坑側から順に変化する。

掘進リングごとの切羽土質を表-4に示す。掘進リングごとのカッタートルクおよび総推力平均値の変化(図-2, 図-3)を見ると、いずれも切羽土質の変化にしたがって変動しており、シルト質粘土で最も小さく、レキ混じり改良土区間で最も大きくなっている。カッタートルクと総推力の関係(図-4)は比例関係にあり、円形シールドと同様の傾向を示している。NO.1では隅角部下部にレキを主とする土砂が堆積し、25リング以降カッタートルクに比べて総推力が過大となる傾向が見られた。そこで一時的な対策としてNO.2では、メインカッターに加えて隅角部にも加泥材注入口を設置し、加泥材種類の変更と注入量の増加を実施した。その結果、NO.2掘進時には後半の総推力の低下と、シルト質粘土区間におけるカッタートルクの低下が見られた。

表-4 掘進リングごとの切羽土質

切羽土質(固化材添加量)		NO.1	NO.2
坑口改良土	90kg/m ³	仮4～仮6	仮4～仮6
シルト質粘土	原地盤	1～19	1～11
改良土	50kg/m ³	—	12～21
レキ混じり改良土	50kg/m ³	20～34	22～34
改良土	50kg/m ³	35～43	35～43

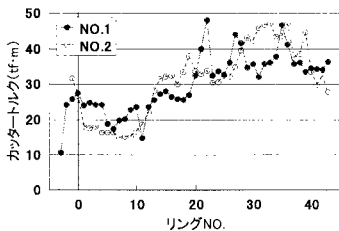


図-2 カッタートルク平均値の変化

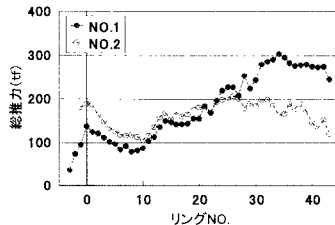


図-3 総推力平均値の変化

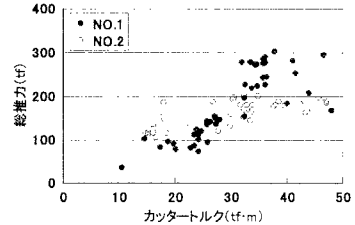


図-4 カッタートルクと総推力の関係

本機最大の特徴は、通常の回転運動を行うメインカッターと隅角部掘削を行う遊星カッターが互いに逆方向に回転するため、切削抵抗トルクに起因する回転モーメントが減少し、ローリングの発生が抑えられることである。実験の結果、同一方向回転時には、カッタートルクの大小に関わりなく、掘進1m当たりのローリング回転角は概ね0.1°以下であった。その反面逆方向に回転したときには、図-5に示すようにメインカッター回転方向の大きなローリング修正が得られた。なお実カッタートルクとは、計測されたカッタートルクから無負荷時のカッタートルク(13tf・m)を控除した値である。

地盤変状については、地表面変位(レベル)48点、地中水平変位(挿入式傾斜計)3箇所×2断面の測定を毎リング掘進後に実施したが、大きな変状は見られなかった。図-6は切羽位置と地表面変位の一例であるが、切羽前沈下および隆起は全くなく、フリクションカット分と思われる若干の直上沈下が見られたが、テール沈下ならびに後続沈下はほとんど現れなかった。

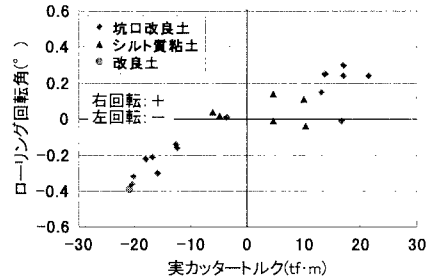


図-5 実カッタートルクとローリング回転角

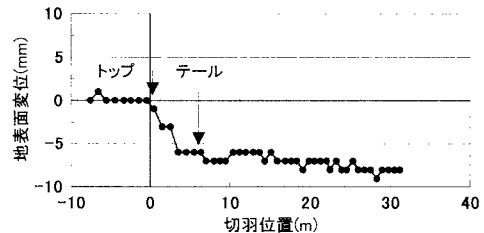


図-6 切羽位置と地表面変位 (NO.1, シルト質粘土)

5. まとめ プラネタリー工法の実証実験を実施した結果以下のことがわかった。①機械的に信頼性の高い工法である。②円形シールド機と同等の掘進性能を有している。③ローリング発生量は基本的には小さい。硬い地盤ではカッターの逆回転によるローリング修正が有効である。④切羽の安定性は良好である。

今後は実施工を通じて、さらなる掘進データの収集、分析に努めるとともに、異形化および多連化の検討を進めていきたい。なお本工法は、戸田建設(株)、川崎重工業(株)、(株)利根の三社共同で開発したものである。