

扁平型断面シールド工法の開発 (その4：ビームカッターシールド機の掘削実験)

株式会社 奥村組 正会員 ○浅野 剛
株式会社 奥村組 正会員 田中 雅彦
株式会社 I H I 中根 隆

1. はじめに

扁平型断面シールド工法は、沖積平野部の土砂地盤から比較的硬質な地盤へと遷移する「シールド工法と山岳工法の境界領域にある地盤」を対象として開発したものである。施工速度が速く周辺環境への負荷が小さいというシールド工法の利点を生かしつつ、掘削断面を扁平形状として断面積を小さくすることによりコストダウンを目指した工法である¹⁾。本工法で用いるビームカッターシールド機は扁平断面を余掘りや未切削部を残すことなく効率的に掘削することが可能なカッター構造を持っている²⁾。今回、その掘削・制御性能を確認することを目的として実験機による掘削実験を実施したので結果を報告する。

2. 実験機

実験機用に1/4.5スケールで製作したカッターヘッドの構造を図-1に示す。本カッターヘッドでは2本のジャッキ（以後、支持ジャッキ）でビームカッターの位置決めを行い、その先端に設置したビットで円形の外側の扁平張り出し部をオーバーカットする機構となっている。カッター回転角度に対して支持ジャッキのストローク量を決めておくことで、ビームカッターによるオーバーカット量を制御する。支持ジャッキの制御性能が断面形状の掘削誤差を左右することから、これらのジャッキはサーボ弁によって精密なストローク制御が可能な設備としている。実験機は外径2140mmの既存の円形推進機を転用し、これに製作したカッターヘッドを装着した（写真-1参照）。

3. 実験条件と確認事項

掘削実験では実験機により模擬地盤を約1.6m掘削した。模擬地盤の一軸圧縮強度 q_u は $2.1\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $4.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $9.0\text{N}/\text{mm}^2$ の3ケースとし、掘進速度を $0\sim 50\text{mm}/\text{min}$ の範囲で変化させてトルク、推力および支持ジャッキのストローク等のデータを取得した。また、ビームカッターの制御手法として支持ジャッキのストロークをストロークフィードバック値から油量で制御する手法（位置制御）に加え、ジャッキ圧力をある程度一定とするためフィードバック値から油圧で制御する手法（力制御）も試み、その制御性能を比較した。本実験の確認事項は、① q_u と推力、トルク、掘進速度の関連性、②支持ジャッキの最適な制御手法、③掘削断面の出来形精度である。

4. 実験結果

(1) q_u と推力、トルク、掘進速度の関連性

カッターヘッドが1回転する間のトルクの推移を図-2に示す。回転角が 0° および 220° の地点においてビームカッターに取

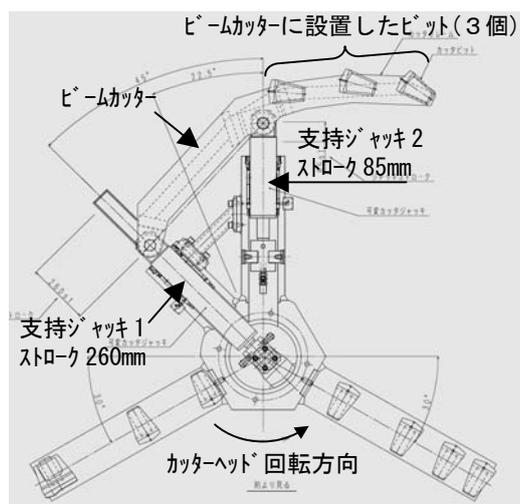


図-1 実験機のカッターヘッド



写真-1 実験機

キーワード シールド, 扁平断面, 境界領域, 掘削実験

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂387 (株)奥村組 技術研究所 TEL029-865-1785

付けられた3個のビットが回転中心から最も張り出した状態で地盤を掘削する状態になるため、両地点でトルクが相対的に大きくなっている。トルクの最小値に対する最大値の比率は1.6である。この比率はトルクが最大値および最小値となるときの地盤掘削に寄与しているビットの回転中心からの総アーム長の比率に対応していることから、円形部分と張り出し部における各ビットの切削性が同等となっている様子が伺える。推力については、カッターヘッドの回転により計測値が変化するような現象は見られなかった。回転角が 0° のときのトルクと掘進速度の関係を図-3に示す。いずれの q_u についても、トルクと掘進速度の間の相関傾向が明確になっていることがわかる。トルクは掘削する地盤の q_u および掘進速度のべき乗に比例すると仮定して重回帰分析を実施した³⁾。回帰式を以下に示す。

$$T_r = 0.46 q_u^{1.42} v^{0.67} \quad (1)$$

ここで、 T_r : トルク (kN・m)

v : 掘進速度 (mm/min)

回帰式による曲線を図-3に併記しているが、いずれのケースにも良い対応を示していることがわかる。なお、推力の場合にも式(1)において係数および指数を変更することにより、実験結果と良い対応を示す回帰式が得られた。

(2) 最適な支持ジャッキの制御手法

支持ジャッキ1を位置制御とし、支持ジャッキ2の制御方法を「位置制御」「力制御」「制御せず支持ジャッキ1に追随(制御なし)」としたときの支持ジャッキ2の指令値と机上計算におけるフィードバック値を、回転角 $250 \sim 360^\circ$ の範囲について図-4に示す。位置制御の場合には指令値に対する偏差はほとんど生じなかったが、力制御では制御がやや遅れる傾向が見られた。制御なしでは支持ジャッキ2が制御できない状態が部分的に発生した。この結果をふまえて掘削実験では位置制御と力制御を用いたが、掘削実験においても位置制御の場合に最も良好な結果が得られた。掘削実験終了後の模擬地盤の状況を写真-2に示す。

5. おわりに

掘削実験により、本工法で想定している地盤強度 ($q_u = 0.1 \sim 10.0 \text{ N/mm}^2$) であれば所定の扁平断面を問題なく掘削できることが確認され、ビームカッターシールド機の実機的设计に向けた技術的な裏付けとともに実用化の見通しを得ることができた。今後は扁平形状だけでなく様々な断面形状への適用可能性を検討してゆく予定である。

なお、本開発は首都大学東京 都市環境学部 西村和夫教授にご指導を賜った。ここに深く感謝の意を表す。

【参考文献】 1) 田中他：扁平型断面シールド工法の開発（その1：合理的な断面形状に関する検討），第61回土木学会年次学術講演会，6-092，2006.9. 2) 吉田他：扁平型断面シールド工法の開発（その3：扁平型シールド機の開発），第61回土木学会年次学術講演会，6-094，2006.9. 3) 会田他：採炭機械，技術書院，1990.

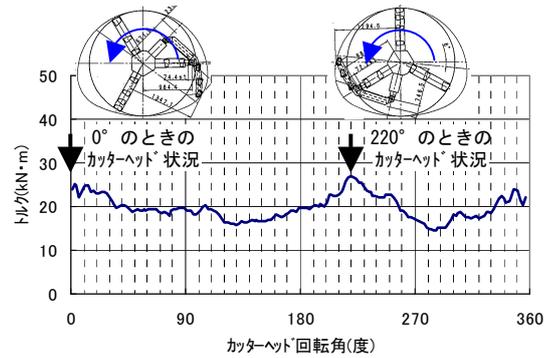


図-2 カッターヘッドの回転にともなうトルクの推移

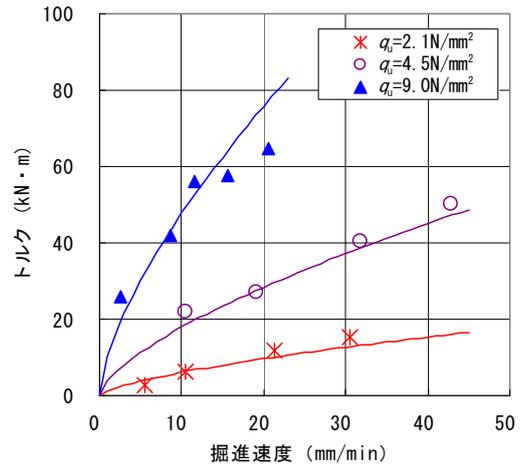


図-3 トルクと掘進速度の関係

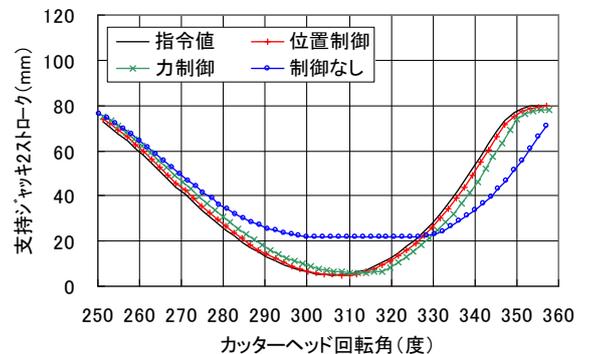


図-4 支持ジャッキ2の制御結果



写真-2 掘削実験終了後の模擬地盤