

泥水・泥土複合式シールドの切替管理項目における考察

大成建設株式会社 正会員 ○森 誠

大成建設株式会社 正会員 長光 憲一郎

東京電力パワーグリッド株式会社 正会員 出雲 力斗

1. はじめに

「千葉印西エリア洞道新設工事」では、崩壊性の高い砂層を高速施工するために、泥水圧の流体輸送と、泥土圧の切羽安定性を兼ね備え、掘進中に切り替えが可能な泥水・泥土複合式シールドを採用しトンネルを構築した¹⁾。

本稿では、泥水圧掘進から泥土圧掘進へ切り替えを実施した掘進実績データを整理し、切替指標について考察した。

2. シールド掘削対象土層

本工事のうち、シールド1号機の土層縦断図を図-1に示す。シールド発進後600mから2500mまで切羽全断面がDs6層に位置している。Ds6層は、細粒分含有率3.4%、均等係数1.7の崩壊性の高い砂質地盤である。

3. 泥水から泥土の切替前後の掘進結果

シールド1号機は、初期掘進を除いて高速施工が可能な泥水圧で掘進を行ったが、次節に示した掘進データが得られたため、822R（発進立坑から896m）にて、泥土圧へ切り替えを行った。次節に、泥水圧掘進から泥土圧掘進への切替前後における掘進データを示し、考察する。

(1) 掘進速度とカッタートルク

図-2(A)に掘進速度とカッタートルク値の推移を示す。掘進距離650mを越えると、掘削速度に変化が見られないにもかかわらずカッタートルク値が減少傾向を示した(図-2①)。この位置は、シールド全断面がDs6層に入った位置と一致しており(図-1参照)、Ds6層の崩

壊性が高く、カッタートルクが下がったものと推察される。

(2) 偏差流量と切羽水圧

図-2(B)(C)に、偏差流量および切羽水圧の推移を示す。偏差流量とは、「(排泥流量－送泥流量)－理論掘削量」の値であり、プラスは地下水取り込み状態、マイナスは地山への逸泥状態を示している。掘進距離500mを越えたところからマイナスの値が大きくなっており(図-2②)、シールド切羽の一部断面が均等係数の小さいDs6層へ入ったことで、逸泥量が増加したものと考えられる。表中には、当初計画の管理基準である「理論掘削土量×10%」の値も示している(表-1参照)。シールド切羽全断面がDs6層に入った位置と概ね一致する掘進距離550mを越えると逸泥量が理論掘削土量の10%を超過した(図-2③)。

また、掘進距離700mを越えたところで逸泥量が一時的に回復している(図-2③)。これは、切羽水圧を管理下限値まで下げたためであり、逸泥量と切羽水圧には正の相関性があることも確認できた。

(3) 乾砂量

図-2(D)に、乾砂量(掘削土砂内の土粒子の体積)の推移を示す。表中には、当初計画の管理指標としていた掘進前30R分の平均乾砂量±σ(標準偏差)を示している(表-1参照)。掘進距離700mを越えてから、乾砂量の偏差量が徐々に大きくなっており(図-2④)、土砂の取り込み量は徐々に増加しているが、カッタートルクや偏差流量と比較すると、その変化率は小さかった。

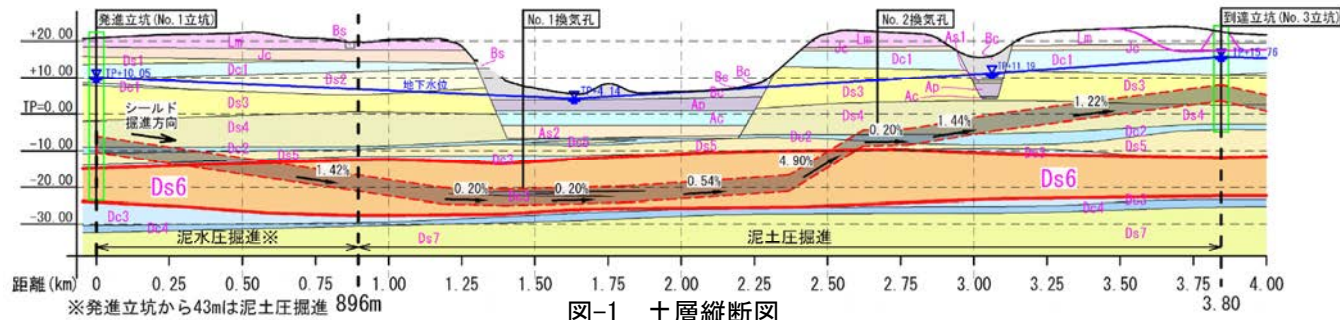


図-1 土層縦断図

キーワード 泥水・泥土複合式シールド, 切替指標, カッタートルク, 偏差流量, 裏込め注入率, 崩壊探査
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社土木本部土木設計部 TEL03-5381-5417

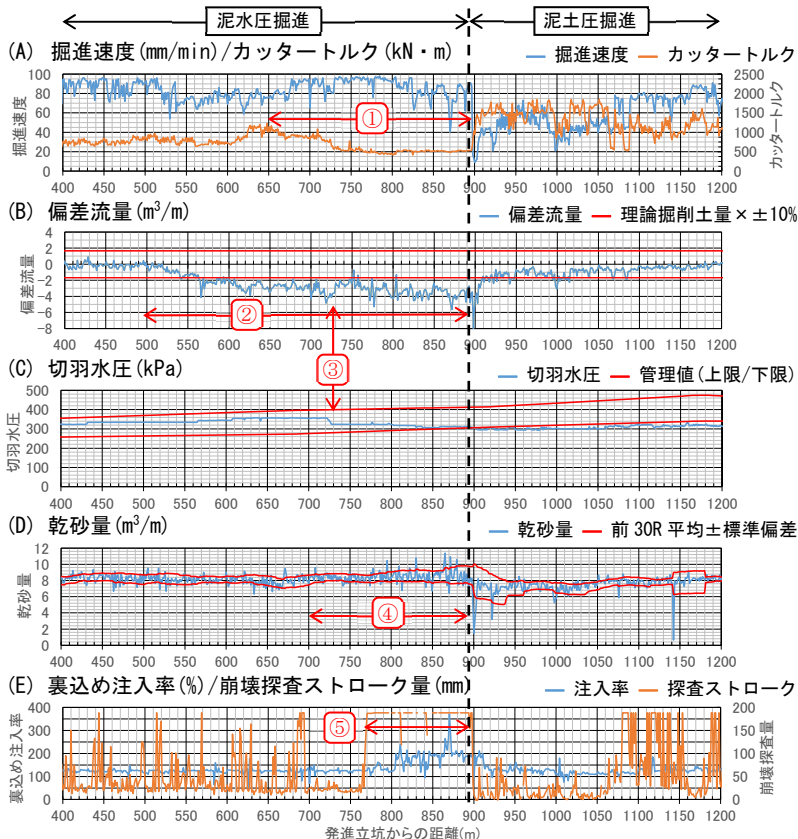


図-2 泥水圧から泥土圧へ切替前後での掘進データ

表-1 切替管理項目(計画時)

管理項目	切替指標
切羽水圧	切羽設定水圧±変動圧(20kPa)以内
偏差流量	「理論掘削土量」±10%
乾砂量	前 30R 平均値±1.0σ(標準偏差)

表-2 切替管理項目(データ整理後)

管理項目	有用性	得られた知見
カッター トルク	○	掘進速度に変化がなく値が下がった場合は、地山が緩んでいることを推定可能。
偏差流量	○	偏差流量の増加により、シールド切羽が崩壊性の高い砂層に入ったことを推定可能。
裏込め 注入率 崩壊探査 ストローク 量	◎	裏込め注入率と崩壊探査ストローク量の双方を確認することで、地山の緩みを捉えることが可能。
切羽水圧	△	偏差流量の低減を目的に、切羽水圧を下げることは有効であるが、切替指標としては不適。
乾砂量	△	地山の緩みによる土砂取り込み量の増分傾向を把握することは可能だが、切替指標としては不適。

(4) 裏込め注入率と崩壊探査ストローク量

図-2(E)に、裏込め注入率（テールボイド体積に対する裏込め注入量の比率）とシールドマシンに搭載した地山探査装置の崩壊探査ストローク量の結果を示す。

掘進距離 750m を越えてから、裏込め注入率、地山探査ストローク量ともに上昇しており（図-2⑤）、シールドマシン周辺の地山に緩みが発生していることが推定される。掘進距離 750m より以前も崩壊探査ストローク量が増加している箇所はあったが断続的であったこと、裏込め注入率は増加していなかったことから、地山に緩みが発生していないものと考えられる。

また、泥土圧掘進へ切り替え後には、裏込め注入率、崩壊探査ストローク量ともに減少し、地山の変状は安定したと考えられる。

4. 泥水圧から泥土圧への切替管理項目の提案

当初計画では、泥水圧掘進から泥土圧掘進への切替管理項目として表-1 に示す「切羽水圧」、「偏差流量」、「乾砂量」の 3 項目を採用していた。前節の考察により得られた知見から、泥水圧から泥土圧へ切り替えるための切替管理項目および有用性を表-2 に整理した。

「カッタートルク」は、シールド切羽全断面が崩壊性の高い Ds6 層となった時点で変状が生じている。また、「偏差流量」は、Ds6 層がシールド切羽断面に介在した

時点から値が減少し、切羽の緩みを捉えている。この 2 つの管理項目は、切替指標として有用である。

「崩壊探査ストローク量」は、「裏込め注入率」と双方を確認することで、地山の緩みを把握でき、有効である。泥土圧掘進に切り替え後、裏込め注入率、崩壊探査ストローク量ともに急激に減少したことから、泥土圧掘進は切羽安定性を有していることも確認できた。

「切羽水圧」は、崩壊性の高い地盤に対する偏差流量の抑制を目的として、管理値以内で切羽水圧を下げることも効果はあるが、切替指標としては不適である。

「乾砂量」は、地山の緩みによる土砂取り込み量の増分傾向を把握することはできるが、他項目よりも変化量は小さいため、切替指標としては不適である。

5. おわりに

本工事では崩壊性の高い砂層における泥水・泥土複合式シールドの泥水圧から泥土圧への切替前後での掘進データを整理し、切替管理項目について考察を行った。本計画が類似条件でのシールド施工計画ならびに管理項目の参考となれば幸いである。

参考文献

1) 長光憲一郎, 加藤秀一, 出雲力斗: 崩壊性の高い砂層における泥水・泥土複合式シールドの計画, 土木学会第 77 回年次学術講演会, VI-110, 2022.