シールド機の掘削抵抗を利用した岩盤評価システムの適用性

大成建設(株)　正会員　　○稲積　教彦
大成建設(株)　正会員　　安藤　秀幸
(独)水資源機構　正会員　　國居　史武

1．はじめに

小石原川ダム建設事業では，洪水調節、流水の正常な機能の維持，新規利水等の目的を達成するため，既設江川ダム上流の小石原川ダム及び導水路トンネルの建設を進めている．**表-1** に導水路トンネルの諸元を示す．

導水路トンネルは大土被り，高水圧下での長距離掘進，地下水位低下への影響を考慮し，岩盤泥水式シールド工法による両押施工を採用しているが[1)]，これに加えて施工時のリスクを回避するため，シールド機の掘削抵抗から岩盤の強度を計測し，切羽での破砕帯の有無や地山の変化等を把握する岩盤評価システム[2)]を採用している．

本稿では，導水路トンネル工事で採用しているシールド機の掘削抵抗を利用した岩盤評価システム（掘進岩盤評価システム・FG 試験システム）の適用性について，施工実績で検証した結果を報告する．

表-1 導水路トンネル施設諸元

トンネル形式	無圧トンネル
最大導水量	$3m^3/s$
仕上内径	φ2,400mm
掘削外径	φ3,060mm
延長	水密覆工区間　1,020m 通常覆工区間　4,020m 計　5,040m
縦断勾配	1/1,680
最小曲線半径	R=1,900m
最大土被り	水密覆工区間　154m 通常覆工区間　367m
最小土被り	約 46m（水密覆工区間）
最大地下水位（想定）	水密覆工区間　110m 通常覆工区間　296m
掘削方法	岩盤泥水式シールド工法による両押施工

2．岩盤評価システムの概要

2.1 掘進岩盤評価システム

シールド機のローラーカッターの掘削原理を**図-1** に示す．シールド機にセンサーを設置し，シールド掘進中に得られる機械データ（掘進推力，カッタートルク，カッター回転速度，掘進速度等）から求まる岩盤強度指標と掘進時のシールドマシン周辺の地山状態を示す状態指数を求める．計測データについては，測定される推力とカッタートルクをカッター回転速度と掘進速度で修正した修正推力と修正トルクを求める．修正推力と修正トルクは地山の一軸圧縮強度の指標となり，状態指数（＝修正トルク÷修正推力）は掘進状態を示す指標となる．

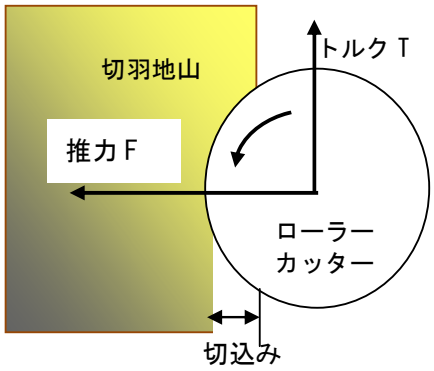

図-1 ローラーカッターの掘削原理

2.2　FG 試験システム

FG 試験システムは，シールド機の左右の側面にフロントグリッパを装備し，グリッパを坑壁に押し当てた時の圧力とジャッキシリンダの変位計測から FG 係数を求め，坑壁岩盤の変形性，弾性を評価するシステムである（**図-2**）．計測時は左右のフロントグリッパを張り出してシールド機を安定させる．左右どちらかのフロントグリッパを低速で設定圧まで上昇させると同時にグリッパストロークを計測し，圧力と変位の相関を求める．

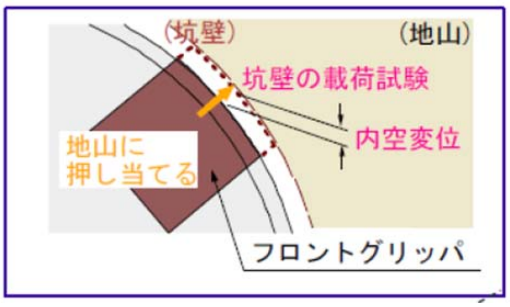

図-2 FG 試験システムの原理

キーワード　シールド機，掘進岩盤評価システム，推力，トルク，FG 係数
連絡先　〒838-0019　福岡県朝倉市上秋月 2068　大成建設㈱小石原川ダム導水施設建設工事作業所　TEL 0946-23-8001

３．施工実績におけるデータ検証

今回の検証では，シールド掘削時に得られる機械データをもとに岩盤強度指標に加え，FG 試験システムで得られる FG 係数の傾向を取り込んだ地山状態の判定を行い，これらの指標をもとに切羽近傍の地山の状態を推定することとした．**表-2** に岩盤評価システムで得られる岩盤強度指標の値の傾向から想定される地山状態の判定基準，**表-3** に状態指数の値の傾向から想定される地山状態の判定基準を示す．

表-2　岩盤強度指標から推定される地山の状態の判定

	パターンA	パターンB	パターンC
修正推力	大	大	小
修正トルク	大	大	小
FG 係数	大	小	小
想定される地山の状態	硬岩地山・安定	崩落気味	軟弱地山・安定

表-3　状態指数から推定される地山の状態の判定

	パターン a	パターン b	パターン c
状態指数	小	平均レベル	大
想定される地山の状態	崩落気味	安定	捕捉気味

放流工側からの掘進で得られた岩盤評価指標をもとに，**表-2** と**表-3** の判定基準から推定した切羽の地山状態の一例を**表-4** に示す．切羽の地山状態を判定結果から概ね以下のことが言える．

表-4　推定される切羽の地山状態

距離	修正推力	修正トルク	FG 係数	状態指数	パターン	地山
990～1,000	高	高	低	低	B-a	崩落気味
1,000～1,006	低	低	低	平均	C-b	軟弱・安定
1,007～1,014	高	高	低	低	B-a	崩落気味
1,015～1,072	低	低	低	平均	C-b	軟弱・安定
1,073～1,093	高	高	低	高	B-c	崩落･捕捉気味
1,094～1,130	低	低	低	平均	C-b	軟弱・安定
1,130～1,152	高	高	高	高	B-b	硬岩
1,152～1,180	低	低	低	平均	C-b	軟弱・安定

①990m から 1,014m までの区間

修正推力および修正トルクの値が突出して大きいが FG 係数は小さく，状態指数も小さい．したがって，**表-2** と**表-3** より切羽地山は崩落気味であると推定される．

②1,130m から 1,152m までの区間

状態指数が平均値を大きく超えていることから，推力とトルクのバランスが崩れており，シールド機が捕捉気味であることを示している．また，掘進距離 1,145m で状態指数が急激に上昇していることが確認されており，地山強度が低下していると推定される．このことは，他の地山強度指標（修正推力，修正トルク，FG 係数）からも言える．以上のことから，掘進距離 1,130～1,145m は硬岩であると推定される．

表-4 の地山評価結果と実際のシールドの掘進速度を比較すると，切羽地山の状態が崩落気味もしくは硬岩の時に掘進速度の低下が生じる傾向が見られる．また，掘進中に機械データから算出されるパラメータの値が大きく変化するときに掘進速度の低下が生じる傾向が見られる．以上のことから，シールド機前方の切羽崩落の傾向などをリアルタイムに把握でき，本手法の有効性が示されたと考えられる．

参考文献

1) 岡嶋和義ほか，高水圧下における泥水式岩盤シールドの掘進計画，第 71 回土木学会年次講演概要集，2016.9，CD-ROM

2) 福井勝則ほか,TBM の掘削抵抗を利用した岩盤物性の把握.トンネルと地下,1997.2 p35-43