

岩盤を対象とした大深度泥水シールド掘進時における 地山性状の評価手法に関する検討

西松建設 正会員○山下 雅之
正会員 坪井 広美

1. はじめに

一般に、泥水シールドの掘削対象は固結度の低い地山が多く、その掘進管理（例えば泥水圧・比重や乾砂量等）では『泥水圧で切羽をいかに安定させるか』ということに主眼が置かれている。一方、硬質岩盤を対象とした場合には、岩盤の強度や崩落性、亀裂の影響といった岩盤特有の挙動を念頭においた掘進管理が重要となる。例えば、TBM では掘進時の推力、トルク、カッタ貫入量等から求めた指標により岩盤強度や崩落性を評価する管理手法が広く認知されている。

今回、TBM で実績のあるリアルタイムに岩盤強度を把握するシステムを泥水シールド掘進工事に導入し、掘削岩盤の性状評価を試みた。本報では岩盤強度の評価結果とともに、その指標を用いたディスクカッタ摩耗量評価についても報告する。

2. 適用トンネルの概要

対象とした工事は、河川を横断するケーブル洞道をφ3.55mの泥水シールド（岩盤対応型）で築造するものである。

図1に示すように、トンネルルート周辺には付加体を構成する堆積岩層が広く分布している。とくに河川横断部に分布している珪質泥岩は石英成分が多く、部分的にチャート様の岩相を呈する。

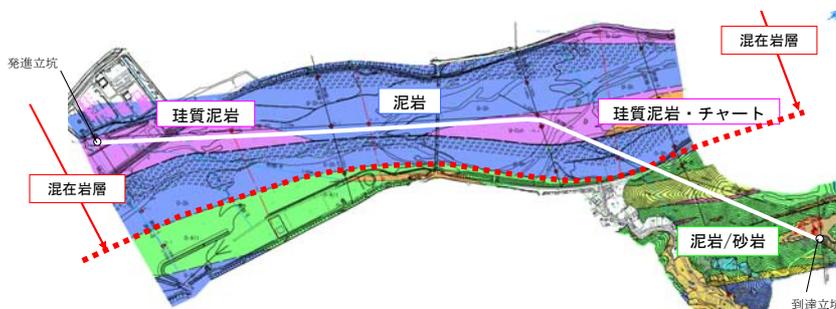


図1 トンネルルート周辺の地質

この種の岩石は亀裂の発達の程度によって岩盤特性（例えば岩盤強度）が大きく変わる可能性があるため、切羽の安定性やカッタ摩耗状況を想定する際には岩盤性状の把握が重要と考えられていた。

3. 岩盤評価手法

本検討では、シールド掘進時の岩盤強度算出に福井ら¹⁾が提案した下式を用いた。

$$\sigma_c (F_n, Tr) = F / (C_1 \times p) = Tr / (C_2 \times p^{1.5}) \quad (1)$$

$\sigma_c (F_n, Tr)$: 機械データ（推力またはトルク）からの推定岩盤強度(MPa),
 F : カッタから岩盤に作用する荷重 (MN), Tr : カッタトルク (MN-m),
 p : カッタ貫入量 (m), C_1, C_2 : TBMの諸元より求めた定数

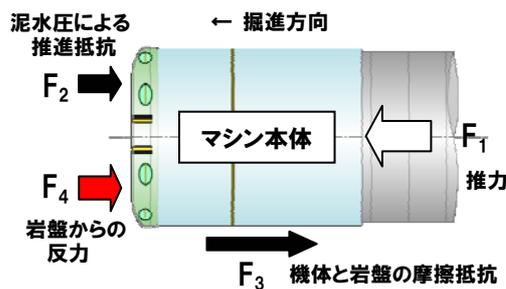


図2 掘進時の推力と抵抗力の関係

ここで、上式のカッタから岩盤に作用する荷重 (F) は図2に示す“岩盤からの反力”に相当し、その見積もりの正確さが強度算出の精度に大きく影響する。一般に、泥水シールド機はTBMに比べて機体が長くなるため、 F の算定にあたり機体と岩盤の摩擦抵抗 (F_3) の影響は無視できない。また、泥水圧による推進抵抗 (F_2) も考慮に入れる必要がある。そこで本検討では、推力 (F_1) から上述の抵抗力を差引いた値を F とし、 F_2 および F_3 の算出については掘削断面積と掘進時の泥水圧、機体重量と岩盤と機体の摩擦係数からそれぞれ求めた。

キーワード 泥水シールド, 岩盤掘削, 岩盤強度, カッタ摩耗, 付加体

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 TEL. 03-3502-0273 FAX. 03-3502-0228

4. 適用結果

(1) 岩盤強度

(1)式の推力からの算出式を用いて、掘進時にリアルタイムで求めた岩盤強度および事前調査の想定地質と出現地質の実績を比較したものを図3にまとめる。このように、掘削データから得られた岩盤強度は、事前調査により想定された値(図中の赤線)を全体的に上回る傾向が認められ、とくにTD1300~TD1650m付近の珪質泥岩区間では想定を大きく上回る強度となった。

ここで、掘削データから求めた岩盤強度の妥当性を確認するため、TD1300m付近およびTD1600m付近において原位置強度試験(ポイントロード試験, ロックシュミットハンマー試験)を実施した。図に示すように、試験データとその周辺の掘削データによる岩盤強度分布とは概ね一致しており、泥水シールドにおける今回の岩盤強度算出手法の妥当性を確認することができた。

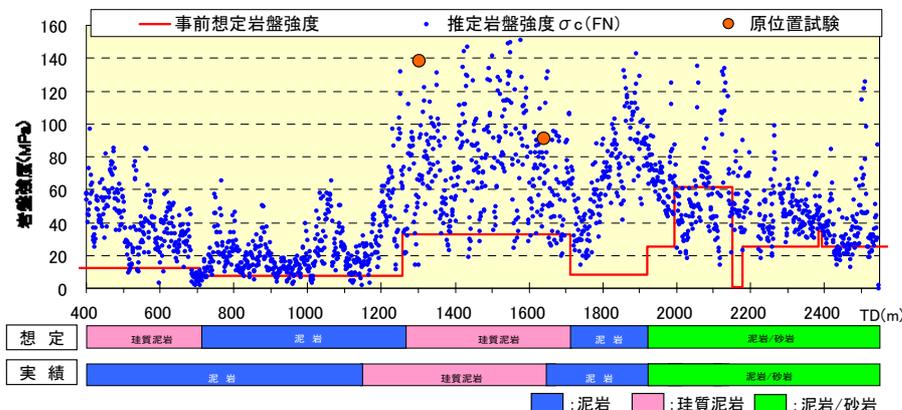


図3 掘削データから求めた岩盤強度分布

(2) カッタ摩耗の評価

ここでは、河床下の泥岩および珪質泥岩区間(TD400-TD1645m区間)において、とくに摩耗の多い外周カッタ(No. 25)を用いて摩耗量を評価した。実績および検討結果を表1および図4にまとめる。図4に示した摩耗量のうち、「当初想定」および「計算値」とした摩耗量は、表1に示した実績の地質区間長において岩盤強度のみの条件を変えて算出したものである。ここで、「当初想定」および「計算値」の摩耗量算出に用いた岩盤強度については、事前調査ボーリングに基づく想定値、掘削データから得られた岩盤強度の区間平均値をそれぞれ用いた。

表1 摩耗ライフ(当初想定・実績・計算値)

岩種(実績)	泥岩	珪質泥岩	珪質泥岩(硬)
TD(m)	400-1150	1150-1303	1303-1645
区間長(m)	750	153	342
石英含有量(%)	当初想定	---	30
	実績	---	32
岩盤強度(MPa)	当初想定	7.8	32.5
	掘削データ	27.9	48.6
カッタ掘進距離ライフ(m) (摩耗限界15mmまでの掘進長)	当初想定	10,420	931
	実績値	1,705	177
	計算値	2,050	598

右図のように、当該区間における当初想定(No. 25)の摩耗量は摩耗限界の15mmを大きく下回る約9mmとなるが、当該区間の掘削実績では合計2回のカッタ交換を要している。

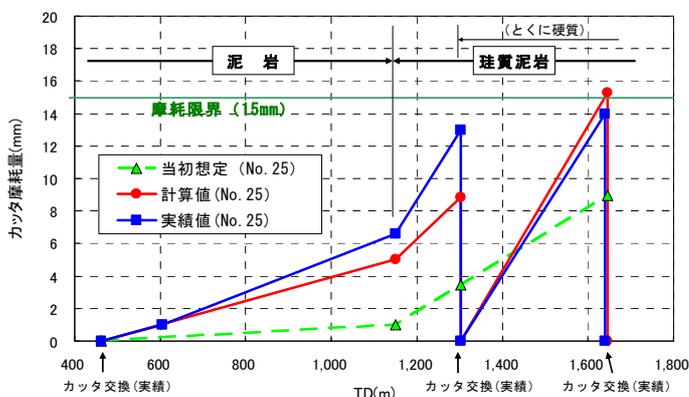


図4 外周カッタの摩耗量(当初想定・実績・計算値)

それに対し、実績と同一地点のカッタ交換条件で求めた計算値は、実績の摩耗量と比較的調和的な傾向を示しており、とくにTD1303m以降のより硬質な珪質泥岩区間では実績と計算値がほぼ一致する結果が得られた。

5. まとめ

今回、オープンタイプのTBM等で導入実績が多い掘進時に岩盤強度をリアルタイムに評価する手法を泥水シールドに導入し、その適用性(岩盤強度評価の妥当性)を確認することができた。さらに、得られた強度データからカッタ摩耗量を推定可能であることも示すこともできた。密閉型の泥水シールドを導入する岩盤地山では、一般に大量・高圧地下水や有害ガス等の存在が懸念される場合が多く、そのような地山では切羽状況やカッタ磨耗の程度を頻繁に目視観察することができない。したがって、岩盤を対象とした泥水シールド掘削において、今回導入したような岩盤強度をリアルタイムに評価する手法の有用性は高いと考える。

【参考文献】1) 福井・大久保: 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, vol.29, pp.123-131, 1997