

掘削体積比エネルギーを用いたシールドカッタービットの摩耗評価に関する検討

西松建設株式会社 技術研究所 正会員 ○高原 裕介
 西松建設株式会社 西日本支社 正会員 外館 麻里佳
 西松建設株式会社 西日本支社 安村 秀樹
 西松建設株式会社 西日本支社 内山 明日香

1. はじめに

シールド工法では、掘進に伴いカッタービットの摩耗が生じる。カッタービットは摩耗限界に達する前に交換する必要がある、調査ボーリング等により得られた地山性状を元にカッタービットの摩耗係数を決定し、掘進距離等を用いて事前にカッタービットの交換位置を計画することが一般的である。しかし、実際の掘進では地山性状が計画段階と異なる場合があり、摩耗量もこれに伴い変化する。特に摩耗係数は地山性状の変化を受けやすいため、施工データ等から実際の地山性状を把握し、適した値を用いる必要があると考えられる。

本稿では、TBM 工法で一般的に用いられる掘削体積比エネルギーという地山性状と関係性がある指標をシールド工法の施工データに適用し、同じく地山性状と関係する摩耗係数について、実施工時のカッタービット摩耗量を元に推定した結果について報告する。

2. 検討対象現場

今回検討の対象としたのは、神戸市須磨区の全長約 3.7km を泥水式シールド工法（シールド機外径 $\phi 2,480\text{mm}$ 、掘削外径 $\phi 2,530\text{mm}$ ）にて掘進し、一次覆工を新設する工事である。当該工事の地質縦断面図を図 1 に示す。掘削対象の地質は神戸層群砂岩、神戸層群泥岩、神戸層群礫岩、花崗岩となる。一軸圧縮強度は $234 \sim 12,400\text{kN/m}^2$ と地質によって大きく変化する。

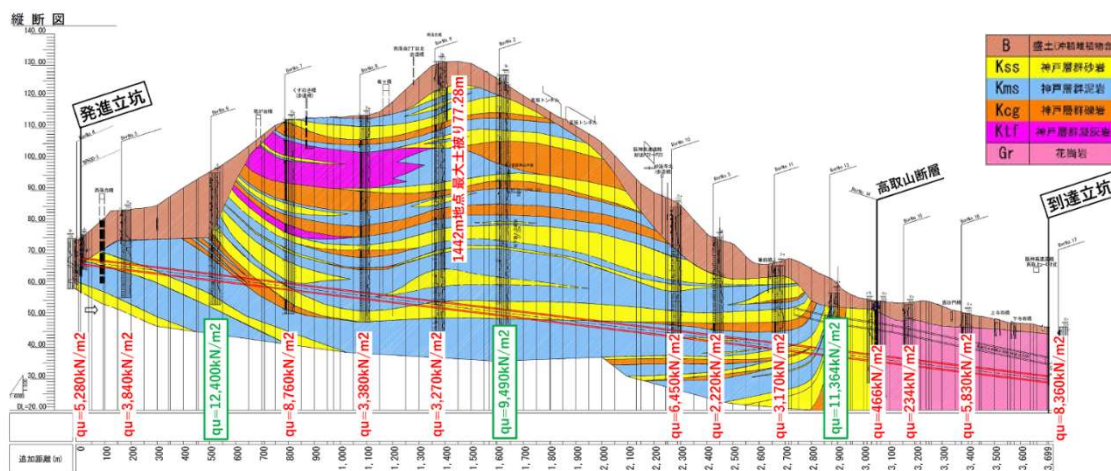


図 1 地質縦断面図と一軸圧縮強度

3. 掘削体積比エネルギーについて

掘削体積比エネルギー（以下 S_E と称す）とは、「単位体積の地山を掘削するために要したエネルギー量」を意味しており、TBM や削岩機等の効率や掘削地山の性状を評価する指標として広く用いられている。今回対象としたシールド機における S_E については、掘削時の回転エネルギー等を用いて式(1)で求めた。

$$S_E = \{8 \times (Tr - Tr_{initial}) / (p \times D^2)\} \times 10^{-3} \quad (1)$$

S_E ：回転トルクから求めた掘削体積比エネルギー（ MJ/m^3 ）， Tr ：計測されたカッタートルク（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）， $Tr_{initial}$ ：無負荷時カッタートルク（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）， p ：1回転当たりのカッター貫入量（m）， D ：シールド機直径（m）

キーワード：泥水式シールド、カッタービット、摩耗、掘削体積比エネルギー

連絡先：〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-1 西松建設株式会社 技術研究所 TEL:03-3502-0247

4. 掘削体積比エネルギーによる摩耗係数と摩耗量の推定

カッタービット摩耗量（以下摩耗量と称す）は、カッタービットの摩耗係数と転走距離の積で計算される。転送距離は複数の掘進パラメーターより構成されており、これらを反映すると摩耗量は以下の式で示される。

$$T=K \times 2\pi \times R \times L \times V/N \times 10^{-3} \tag{2}$$

T:摩耗量 (mm) , K : 摩耗係数 (mm/1000km) , R : カッタービット取り付け半径 (m) , L:掘進距離 (m) , V : シールド掘進速度 (mm/min) , N : カッターヘッド回転速度 (rpm)

ここで、(2) 式の摩耗係数は、過去の施工実績と調査ボーリングの結果などに基づいた値を設定するが、実際は地山性状と共に変化するため、計画段階で予測した摩耗量と実際の摩耗量に差が生じる要因の一つであると考えられる。そこで、摩耗係数の変化を推定するため、同様に地山性状の影響を受ける S_E と実際に現場で計測された摩耗量を元に、試験的に以下の関係式を構築した。

$$K=a \times e^{S_E \times b} \tag{3}$$

a, b : 実際の摩耗量を元に、試験的に求めた定数

5. 計測結果

掘進開始から 190m 付近で最初のカッタービット交換を図 2 に示すビット位置において実施しており、ここで計測された摩耗量の実測値を表 1 に示す。また、同区間における S_E の計測結果を図 3 に示す。掘進開始後の 30m 前後、100m 以降で掘削体積比エネルギーの上昇を確認した。これらの区間では総推力、トルクの上昇や掘進速度の低下が確認され、掘削効率が著しく低下した。掘削体積比エネルギーが上昇した要因として地山性状の変化が考えられ、30m 付近では想定外の玉石が確認された。また 100m 以降では泥岩が確認され掘削時に泥濘化し、カッターヘッド全面に固着してスリットの開口部が閉塞していたと考えられる。

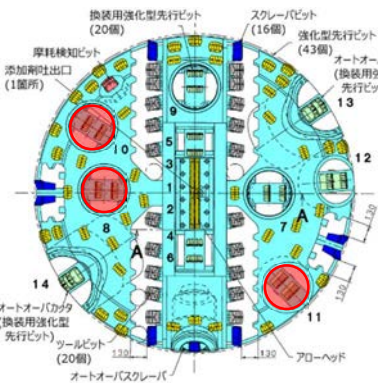


図 2 カッタービット交換位置

表 1 摩耗量計測値

ビットNo.	摩耗量 (mm)
8番	14.0
10番	18.0
11番	16.0

得られた摩耗量と S_E を元に、最も摩耗量の大きかったビット No.10 について、(3) 式の係数 a, b を決定し、他の 2 か所について摩耗量の推測を行った。各ビットにおける摩耗量の推測結果を図 4 に示す。ビット No.8 での摩耗量の推測値は 12mm, ビット No.11 では 20mm となり、実測値との間に 2～4mm 程度の差が確認された。

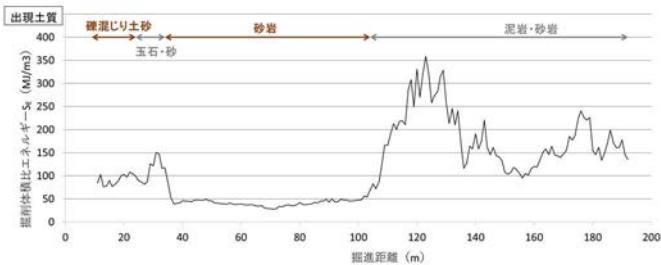


図 3 掘削体積比エネルギーの計測結果

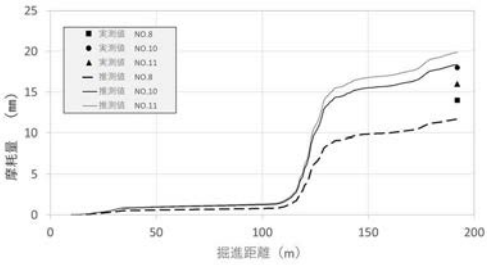


図 4 摩耗量の推定

6. まとめ

泥水式シールド工法において、掘進中に確認される地山性状を反映したカッタービットの摩耗量を推定するため、掘削体積比エネルギーに着目し、摩耗量が最も大きかったカッタービットについて、実際に計測された値を元に摩耗係数との関係式を試験的に構築し、他のカッタービットに適用し摩耗量の推定を実施した。結果は推定値と実測値に数 mm の差が確認された。差が生じた要因については玉石の影響が不均一であること、 S_E の変化は単に地山性状の変化のみを反映していないことが考えられるが、今回使用したデータ数が少ないため、詳細については今後の検討課題である。今後はデータを収集、蓄積し関係式による摩耗量の推定値と施工実績を比較することで、摩耗量の評価ならびに、関係式の見直しを進める所存である。