

砂礫地盤におけるシールドカッタービットの摩耗予測に関する研究

(株)大林組 正会員 ○大前 慶恵 正会員 山元 寛哲 野口 宏治
九州大学 正会員 島田 英樹 笹岡 孝司

1. はじめに

下水道や道路、鉄道など様々なインフラ整備で多用されるシールド工法では、掘進に伴いカッタービットの摩耗が生じるが（図-1）、近年では施工条件の多様化も相まって想定外のビット摩耗に起因する施工トラブルが散見される。ビットの摩耗に関してはこれまで種々の研究が行われているものの、事前の摩耗予測に関する定量的評価指標は未だ確立されておらず、大まかな土質区分による過去の実績に基づいて予測しているのが実情である。本研究では、砂礫地盤でのシールド施工現場を対象に、採取土砂に対する室内試験や現場での実摩耗量調査によるビット摩耗評価の検討を行っており、これまでに「ビット摩耗は地盤中の礫が有する摩耗能に依存する」という知見を得た¹⁾。本稿では、さらに複数の現場で実施した試験・調査結果をもとに、ビット摩耗量の定量的評価を試みた結果を報告する。

2. 研究概要

砂礫地盤を泥土圧シールド工法で掘進する3つの現場を対象に、掘進時の排出土砂から試料を採取して各種室内試験を行うとともに、掘進途中のビット交換時あるいは到達時に先行ビット（チップ種類：E5）の実際の摩耗量を計測した（表-2）。これらの試験・計測結果や掘進管理データをもとに、地盤特性や掘進管理値とビット摩耗量との関連について検討を行った。

3. 礫のビット摩耗特性について

（1）室内試験による礫の物理的特性の把握

現場から採取した試料のうち、礫について一軸圧縮試験および圧裂引張試験を行って強度を測定するとともに、X線粉末回析（XRD）により石英含有率を測定した。また、採取試料の粒度試験を行い、礫（φ>2mm）の含有率を測定した。

（2）礫のビット摩耗特性

地盤によるカッタービットの摩耗特性を表す指標としては、地盤が有する摩耗能（接触する相手を摩耗させる程度）があげられる。岩石の摩耗能やビット摩耗性評価において従来から用いられる定量的指標には、Cerchar 摩耗能指数 CAI、Schimazek 摩耗能指数 F、修正摩耗能指数 F_{mod} がある。

■Cerchar 摩耗能指数

$$CAI = d \times 10 \quad \text{(式 1)}$$

d : Cerchar 摩耗試験で試験用ビットが摩耗した平面幅 (mm)

■Schimazek 摩耗能指数

$$F = Q \cdot D \cdot S_t \quad \text{(式 2)}$$

Q : 岩石中の石英体積含有率 (0 ≤ Q ≤ 1)
D : 岩石中の石英粒子の平均粒径 (mm)
S_t : 岩石の引張強さ (MPa)

■修正摩耗能指数

$$F_{mod} = Q \cdot \sqrt{D} \cdot I_{s50} \quad \text{(式 3)}$$

Q : 岩石中の石英体積含有率 (0 ≤ Q ≤ 1)
D : 岩石中の石英粒子の平均粒径 (mm)
I_{s50} : 岩石の点載荷強さ (MPa)



図-1 シールドカッタービットの摩耗

表-2 対象現場の概要

現場	シールド 外径	施工延長	主な礫の 岩種	ビット 種類	摩耗量 計測回数
A	φ 3,080mm	2,884m	濃飛流紋岩	先行 (E5)	3 回
B	φ 2,280mm	1,249m	流紋岩	先行 (E5)	2 回
C	φ 4,190mm	2,110m	チャート	先行 (E5)	4 回

これらのうち、同種・同等強度の岩石での評価が難しい Cerchar 摩耗能指数¹⁾を除いた2つの指数について、礫の室内試験結果より算出した値を「礫の摩耗能」を表す指標と捉え、ビット摩耗量との検証を行った。なお、修正摩耗能指数 F_{mod} の算出(式3)にあたっては、本研究では点載荷強さではなく圧裂引張強さを用いた。

4. その他ビット摩耗への影響要因について

ビット摩耗に影響を与える要因として、前述した礫の摩耗能以外に、対象地盤の礫の含有率 G および掘進中にビットに作用する地山への押付け力 p に着目し、関連性の検証において考慮することとした。ここで、押付け力 p は、掘進管理データとして得られるシールド総推力と、カッターへのビット装備数から想定した。

5. ビット摩耗との関連性の検証

前述の各パラメータと現場でのビット摩耗量(ビット摩耗係数 k_m ※1)との関係を検証した結果、以下のことがわかった。 ※1 現場で計測した摩耗高さから摩耗質量を換算し、各ビットの摺動距離で除した値

- ①礫の摩耗能を表す Schimazek 摩耗能指数 F や修正摩耗能指数 F_{mod} のみでの評価では、ビット摩耗とは負の相関となり、相関性は見られない(図-2, 3)。
- ②上記①に対し、パラメータとして石英平均粒径 D を控除した指標 $Q \cdot S_t$ にて評価した場合、相関性は高くなる(図-4)。つまり、礫に含まれる石英の粒径がビット摩耗に影響を及ぼす程度は小さいと考えられる。
- ③礫の摩耗能を F_{mod} あるいは $Q \cdot S_t$ で評価し、礫の含有率 G およびビット押付け力 p を合わせて考慮した場合、相関の度合いが良くなる傾向にある(図-5, 6)。
- ④さらに、礫の含有率 G やビット押付け力 p に比べて、礫の摩耗能(F_{mod} あるいは $Q \cdot S_t$)の影響度合いを小さく評価した場合、さらに高い相関が得られる(図-7, 8)。

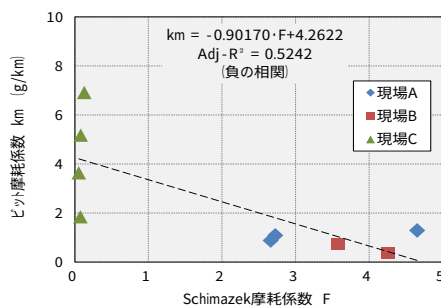


図-2 Schimazek 摩耗能指数 F とビット摩耗係数 k_m との関係

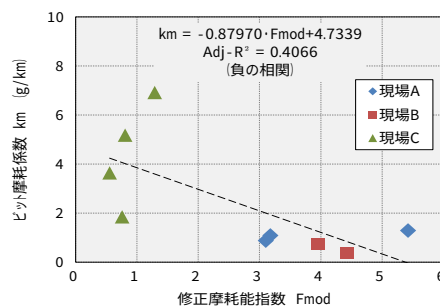


図-3 修正摩耗能指数 F_{mod} とビット摩耗係数 k_m との関係

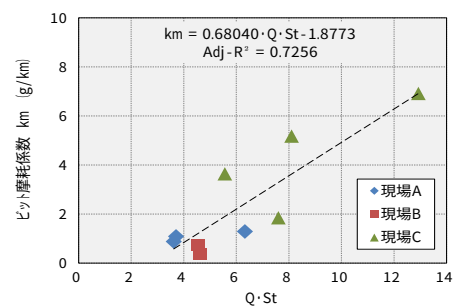


図-4 $Q \cdot S_t$ とビット摩耗係数 k_m との関係

6. まとめ

砂礫地盤におけるシールドカッタービットの摩耗は、礫の摩耗能、礫の含有率、ビット押付け力をパラメータとして定量的に評価でき、これらのパラメータ値を事前の土質調査や施工計画によって把握・設定することにより、ビット摩耗量を精度よく事前予測できることが分かった。

参考文献

- 1) 山元ほか：シールドマシンカッタービットの摩耗の定量的評価に関する研究，土木学会第44回岩盤力学に関するシンポジウム，2016

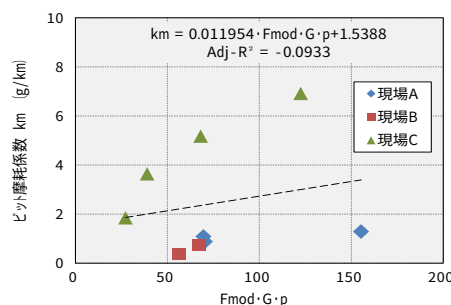


図-5 F_{mod} と合わせて 礫含有率 G 、ビット押付け力 p を考慮した場合

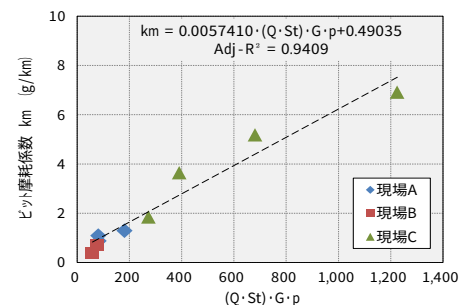


図-6 $Q \cdot S_t$ と合わせて 礫含有率 G 、ビット押付け力 p を考慮した場合

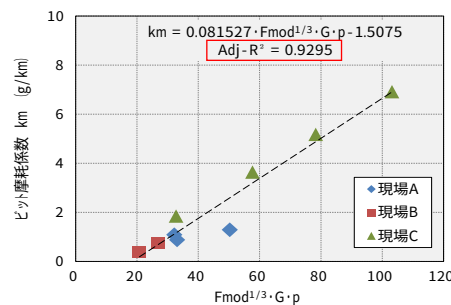


図-7 F_{mod} の影響度合いを小さく評価(1/3乗)した場合

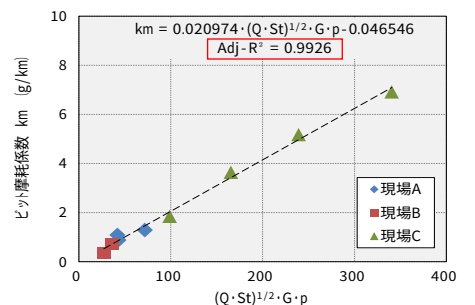


図-8 $Q \cdot S_t$ の影響度合いを小さく評価(1/2乗)した場合