

高耐久性カッタービットの開発（その3）
ー耐摩耗性に着目した「スタミナビット」の性能に関する検証ー

(株) 奥村組 ○正会員 川嶋 英介 (株) 奥村組 木村 隼平
(株) 奥村組 正会員 木下 茂樹 (株) 奥村組 正会員 根来 将司

1. はじめに

近年、シールド工事は大断面、長距離、大深度化が進んでおり、その切羽の掘削機構であるカッタービットは、十分な機能を発揮するために、耐久性の向上が求められている。これらを背景に筆者らは、高耐久性を有するシールド機カッタービットの研究に取り組んでいる。本稿では、新たに開発した高耐久性カッタービットについて、実現場に適用したうえで3Dスキャナーを用いた耐摩耗性の検証を行った結果について報告する。

2. 高耐久性カッタービット「スタミナビット」の概要

一連の研究過程¹⁾で、先行ビットの摩耗、損耗の進行は、ビットに埋め込んだ超鋼チップのみならず、それを支える母材部分の摩耗も影響すると分かっている(写真-1)。

高耐久性ビットの開発では、この母材部分の摩耗防止に着目している。過去のシールド掘進後の調査から、母材部分の摩耗は、大きく「超鋼チップ周辺の摩耗」と「ビット支柱部分の摩耗」の2種類に分類できる。

「超鋼チップ周辺」については、地盤硬さの程度で摩耗の進行が変わる。一方、「ビット支柱部分」に関しては、掘削対象土質の粒径や粒度によって摩耗の程度が異なり、砂質土や礫質土によるサンドブラスト現象の影響が大きいと考えられる。

これらのことから、新たに開発した高耐久性「スタミナビット」は、多様な地盤に対応させるために、超鋼ビット間に母材摩耗防止用の円形チップを狭在させる形状とした(図-1)。

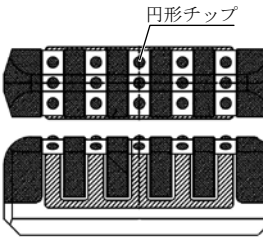


写真-1 母材部分の摩耗

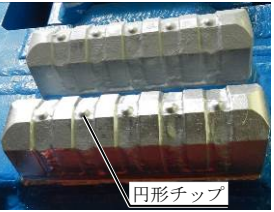


図-1 高耐久性カッタービット

超鋼ビットの素材に関しては、一般的にE3種とE5種の2種類から選択されている。E3種は金属の硬さ(HRA)が大きいため耐摩耗性に優れ、E5種は抗折力と破壊靱性(KIC)が高いことから耐衝撃性に優れている。事前に調査した地盤条件にこれらの特徴を照らし合わせ、シールドマシン製作時に超鋼ビットの材質を選定する(表-1)。

当該の高耐久性「スタミナビット」には、E3種とE5種の特性を両有する新合金素材であるSG30を採用した(表-1)。SG30は、超鋼チップの素材に用いられる炭化タングステン粒子の大きさ等を調節することで、硬度を落とすことなく靱性を高めたものである。

表-1 材料物性値

合金種別	JIS E5 種	JIS E3 種	SG30
硬さ HRA	86 以上	88 以上	88 以上
抗折力 N/mm ²	1,961 以上	1,569 以上	2,940
破壊靱性値 KIC	13.0~13.5		14.7

3. 実現場における検証

今回、このスタミナビットの耐摩耗性に関する検証を目的として、実現場のシールドマシンの先行ビットに試験的に取り付けた。また、同一形状で円形チップを入れず、超鋼ビットの素材に一般的なE5種を採用した比較用のビット(以下ダミービット)を同じ掘削パスに配置し、比較検討の対象としている。シールド掘進前と掘進終了時のビットについては、超鋼ビットおよび母材部分の摩耗に対して3次元的な定量評価を目的に、3Dスキャナーを用いたカッタービット形状の3次元計測を実施している²⁾。

4. 検証結果

対象現場は、掘削外径 3,080mm、掘進延長 2,320m の泥土圧シールドであり、掘削地盤が洪積砂礫層主体で
キーワード シールド工法、カッタービット、長距離掘進、3Dスキャナー

連絡先 〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株) 奥村組 東日本支社 土木技術部 TEL 03-5427-8356

最大礫径は 400mm と大きい。このことから、カッタービットの摩耗、損傷が著しくなることが予想された。

また、当該現場では、多段導通式摩耗検知ビットを外周部の先行ビットに 2 基導入したうえで、掘進中に常時計測を行い、地盤ごとの先行ビットの摩耗進行についても同時に調査を行っている。なお、掘進途中においてビット交換が予定されていたことから、ビット交換用の中間立坑までの延長 1,890m を調査対象とした。

4.1 ビット配置とシールド掘進条件

スタミナビット、ダミービットおよび多段導通式摩耗検知ビットのカッターフェイスにおける配置を図-2 に示す。また、シールド掘進条件を表-2 に示す。シールド掘進は発進から約 1,260m までは礫質地盤で、次に 1,590m 付近まで粘性土層となり、その後は矢田川累層の砂質土が主体となる、変化の大きい地盤条件であった。

表-2 掘進条件

マシン外径	mm	3,080
カッター回転数	rpm	平均 1.9
掘進速度	mm/min	平均 30
総掘進延長	m	2,320
調査延長	m	1,890
礫質土	m	1,260
粘性土	m	330
砂質土	m	300

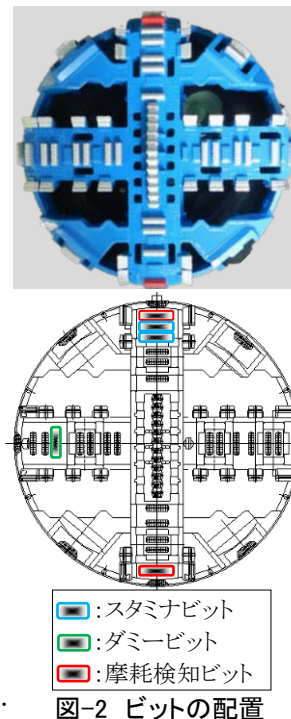


図-2 ビットの配置

4.2 ビット摩耗調査

ビットは取り付け位置によって、摺動距離が異なる。よって、シールドビット摩耗における予測式(式-1)³⁾を基に、摺動距離による摩耗量の定量的評価を実施した。

$$\delta = K \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot L / V \quad \dots \text{式-1}^{3)}$$

$$S = \pi \cdot D \cdot N \cdot L / V \quad \dots \text{式-2}$$

ここに、 δ : 摩耗量(mm) K : 摩耗係数(mm/km) D : ビット取り付け直径(m) N : カッター回転速度(rpm)
 L : 掘進距離(km) V : 掘進速度(m/min) S : 摺動距離(km)

ビット摩耗進行グラフを、ボーリング結果を基に作成された地質縦断図と合わせて図-3 に示す。グラフは縦軸に摩耗量、横軸に摺動距離と土質を表示している。また、切羽地盤可視化システムを用いて掘進中に計測した「地盤加速度コンター」も同時に表記した。図中のダミービットと摩耗検知ビットは同じ素材(E5種)で、摩耗量も 23mm 程度と同等の値になっているのに対し、スタミナビットは掘進終了時で、その約 34% の 7.9mm であった。式-1 から摩耗係数 K を算出すると、スタミナビットで $K=0.007$ 、ダミービットで $K=0.019$ となった。

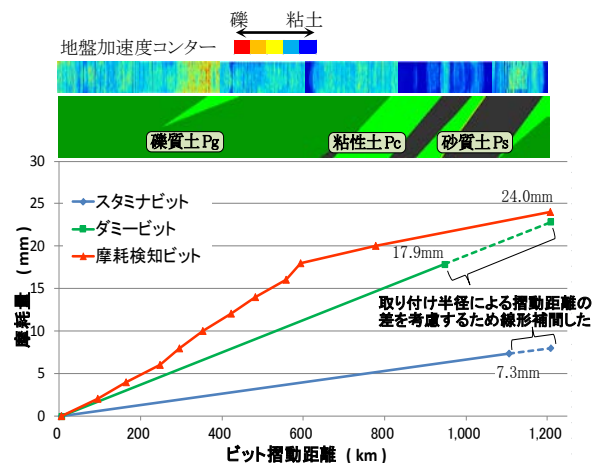


図-3 摺動距離によるビット摩耗量

次に、3D スキャンによる摩耗調査の結果を図-4 に示す。母材の摩耗を摩耗率 B_m (B_m = 摩耗量/当初寸法) で比較すると、スタミナビットが $B_m=0.078$ に対しダミービットは $B_m=0.204$ となった。ビット全体の摩耗量を 3D スキャンによる体積変化率(δv)で表すと、スタミナビットは $\delta v=16\%$ 、ダミービットは $\delta v=31\%$ であった。

6. まとめ

新たに開発した高耐久性ビット「スタミナビット」は、実現場における摩耗検証実験から、一般的な先行ビットに比べて、摩耗量を大幅に低減できることが分かった。このことは、他の現場でも同様に実験を進めているが、おおむね同じ傾向である。今後もより詳細な検証を続けていく所存である。

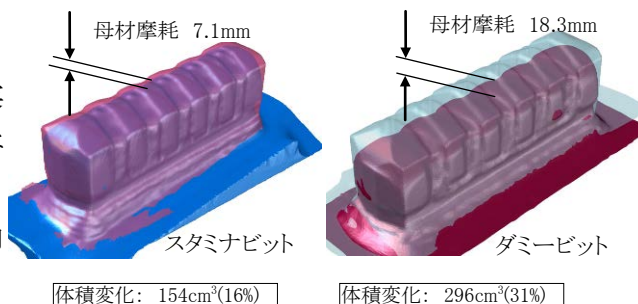


図-4 ビットの母材摩耗に関する 3D スキャン調査

参考文献

- 1) 川嶋他: 高耐久性カッタービットの開発(その1)(その2), 土木学会第 71 回年次学術講演会
- 2) 2016 年制定 トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説, 土木学会