

シールド機カッタビット交換工法の展開

—リレービット工法—

永森邦博・真鍋 智

シールド掘進の長距離化に伴い、掘進で摩耗するカッタビットの交換技術の開発が重要視されている。鹿島建設株式会社では、地盤改良を必要とせず、シールド機内からビットの交換ができる「リレービット工法」と「スポーク回転式カッタビット交換工法」を開発し、工事での適用実績を重ねている。前者の工法は、交換地点の地盤条件に関係なく、いつでも、どこでも、何回でも短期間に交換できることを特徴としている。本報文では、リレービット工法の概要と現場施工への適用実績を紹介する。

キーワード：トンネル、シールド、長距離掘削、大深度、地中障害物、カッタビット、ビット交換

1. はじめに

近年、建設工事のコスト縮減を目的とした事業期間短縮への取組みが進む中で、シールドトンネル工事への長距離高速施工技术の導入を必要とする案件が増えている。シールドの長距離高速施工の実現においては、掘進速度の向上や、セグメント組立ての自動化、資材搬送の自動化等の新技术が採用されている。そして同時に、長距離掘進によって摩耗が進むカッタビットの交換技術の開発も盛んに行われている。

カッタビット交換工法では、交換時の止水性能や作業性を考慮した交換装置がシールド機に搭載されており、長距離対応のビット交換をはじめ、地中障害物切削への対応等も果たしている。ビット交換装置のシールド機への搭載に際しては、泥水加圧式と泥土圧式の違いや、搭載可能なシールド機外径、掘削対象の地盤条件、そして長距離対応や地中障害物対策、NOMST（新素材コンクリート壁（NOMST 壁））切削対応といった利用目的によって交換方式が使い分けられている。

本報文では、（鹿島建設株式会社、以下当社）で開発したリレービット交換工法（本工法）の概要から施工現場での適用実績をもとに地中障害物対策の施工事例、長距離掘進対応のビット交換事例を紹介する。

2. リレービット工法の概要¹⁾

本工法は、既に実用化したスポーク回転式カッタビット交換工法（写真-1）が交換装置の構造上、スポーク背面に設置する交換用予備ビットの数量の範囲で2回から3回までの交換回数制限を受けることに対し、掘進距離の一層の長距離化に対応する目的で、交換回数に制限を受けない工法として開発したものである。

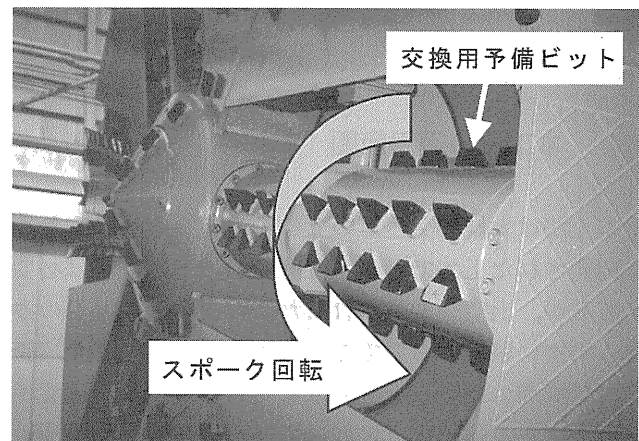


写真-1 スポーク回転式カッタビット交換工法

リレービット工法の特長は、補助工法なしで、しかも人が切羽に出ることなく、何回でもビットを交換でき、交換場所も限定することなく交換できることが挙げられる。交換方法は、図-1に示すようにカッタディスクのスポーク内に人が入れる程度のスペースを設け、そこにシールド機内から作業者が入りビットを1個ずつ交換するという簡素なものである。交換するビットは、止水性を考慮した、回転できる構造のケースに収

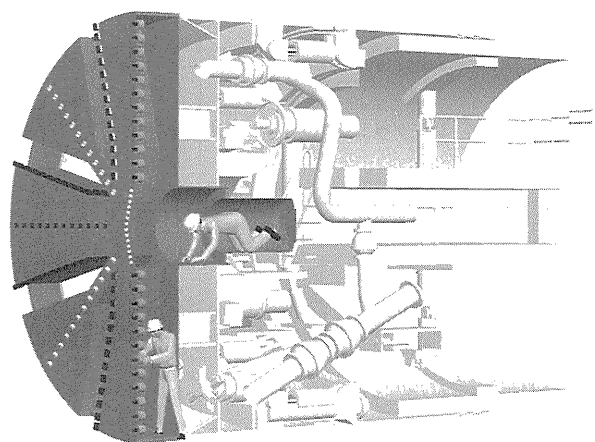


図-1 リレービット工法の概念図

納されており、ビットを取外し、目視でビットの摩耗、損傷状態が確認できるうえ、掘削対象地盤に適したビットへの交換や地中障害物対策としてのビット交換が可能である。

3. リレービット工法の適用実績

(1) 長距離掘進への適用実績

(a) 適用工事の概要

当該工事は、共同溝建設工事において、約3,400mを直径φ4,800mmの泥土圧シールド機で掘進するものである。掘進対象地盤は、礫径300mm程度の玉石混じりの砂礫層であり、特にカッタビットの摩耗や損傷が懸念される条件であった。そこで、掘進途中でのビット交換回数が増えることが見込まれたことから、リレービット工法が採用された。シールド工事の概要を表一に示す。

表一 シールド工事概要

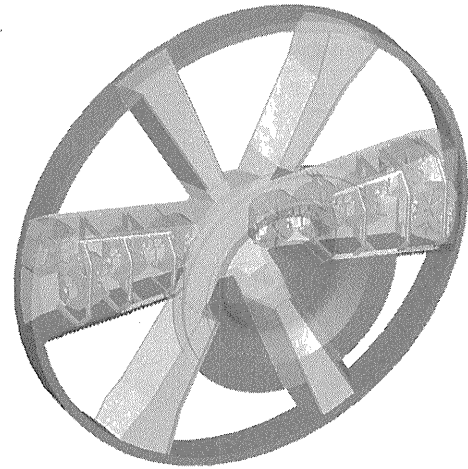
トンネル延長	約3,400m
掘削機外径	φ4,800mm(シールド機)
トンネル外径	φ4,650mm(セグメント)
仕上がり内径	φ4,200mm
掘削対象土層	玉石混じり砂礫層

(b) シールド機の構造

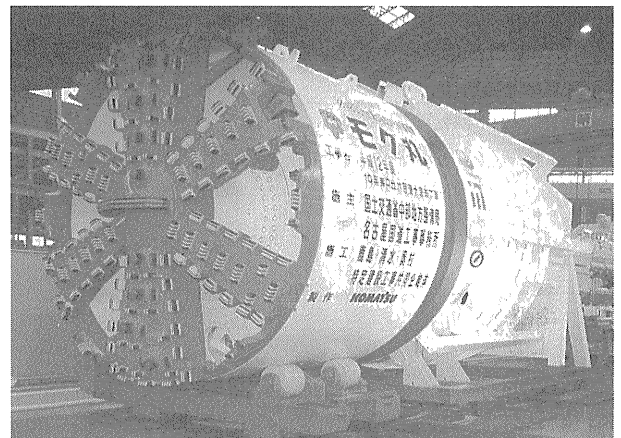
当該工事のシールド機は、図一2、ならびに写真一2に示すように6本のスポークのうち、2本のスポークに合計9個のリレービットを装備した。

(c) カッタビット交換実績

シールド機カッタビットは、リレービットによる交

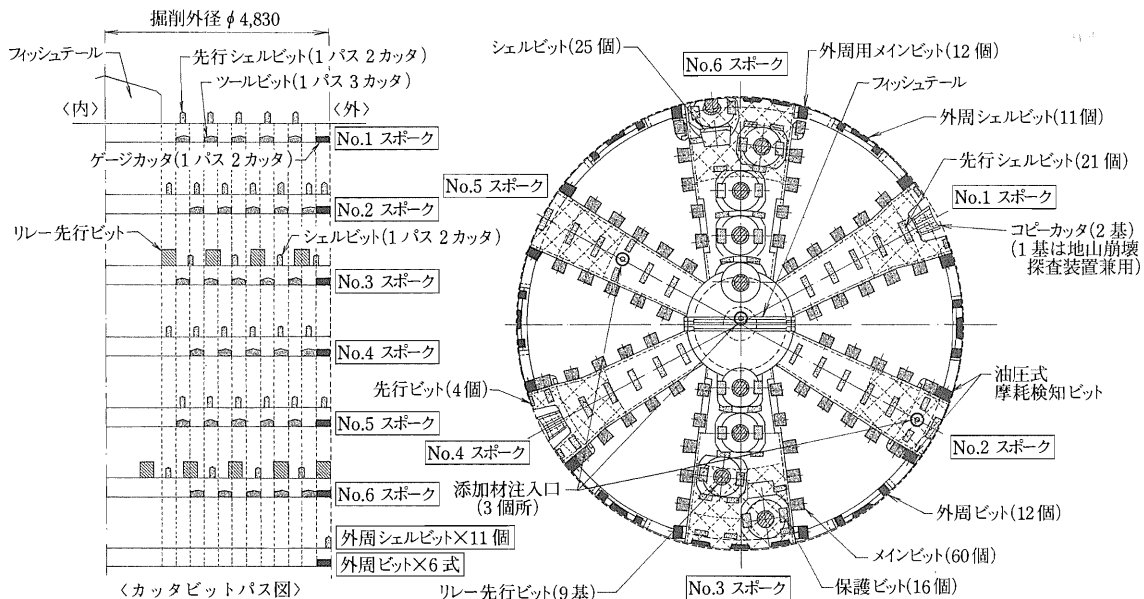


図一2 シールド機カッタへのリレービット搭載状況



写真一2 リレービットを搭載したシールド機

換に対応したリレー先行ビット、先行シェルビット、メインビットの3種類の構成である。カッタビット配置を図一3に示す。また、交換方法と事前に実施した



図一3 カッタビット配置図

表—2 カッタビット交換手順と交換作業状況（模擬スポーク内における作業性確認実験時）

No.	交換作業内容	模擬スポーク内実作業状況	No.	交換作業内容	模擬スポーク内実作業状況
1	底部カバー取りはずし リレー先行ビット		5	ビット回転、引抜き治具取付 パンタグラフ	
2	ビット引抜き用治具取付 ビット引抜き用ジャッキ		6	ビット引抜き治具 縮	
3	ビット引抜き 155 st		7	ビット取りはずし	
4	ビット回転用治具取付 ビット回転用ジャッキ		8	ボールコンベヤによるビット搬出 ボールコンベヤ	

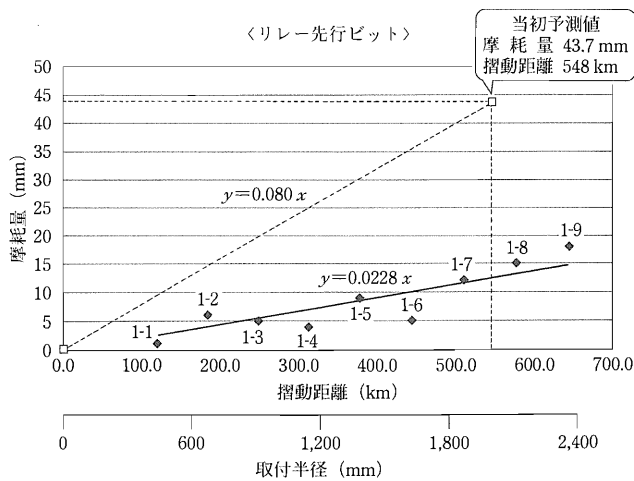
作業性確認実験時の交換作業状況を表—2 に示す。

初回のカッタビットの交換は、掘進開始後約 820 m 進んだ唯一ある中間立坑にてカッタディスク全体の状況を目視確認しながらビットの摩耗調査と合わせて実施した。中間立坑到達までのシールド機の稼働条件を

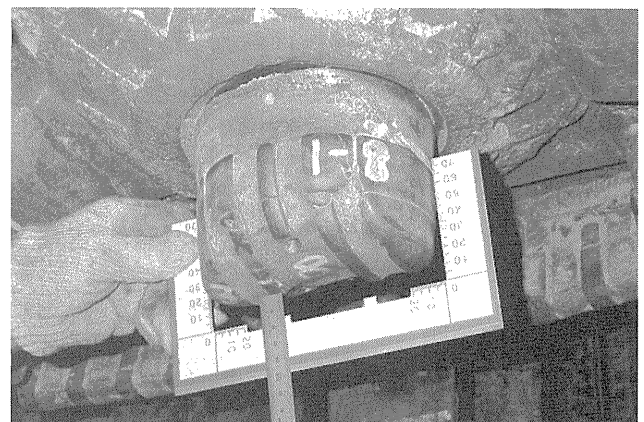
表—3 シールド機の稼働条件（発進立坑から中間立坑まで）

シールド機外径; D	$D=4.8\text{ m}$
カッタ回転速度; n	$n=1.1\text{ rpm}$
平均掘進速度; v	$v=2.5\text{ cm/min}$
ビット平均切込み深さ; P_c	$P_c=v/n=2.27\text{ cm/rev}$
区間掘進距離; L	$L=825\text{ m}$
ビット摺動距離; λ	$\lambda=\pi D(L/P_c)/10=548\text{ km}$

表—3 に、リレー先行ビットの当初予測摩耗量に対する実績値を図—4（9 個のリレー先行ビットに対し内周部から順に番号を記載）に示す。ビット交換時に確認したカッタビットの摩耗状態は、外周部付近のビットにおいて写真—3 に示す状態であり、交換したリレービット 9 個の平均摩耗係数 $22.8 \times 10^{-3}\text{ mm/km}$ で、当初予測 ($80 \times 10^{-3}\text{ mm/km}$) の 29% であることがわかった。当初予測値より摩耗進行が抑制された要因は、ビット先端部の体積に対してチップ体積を十分に確保したことと、加泥材選定に留意して掘削土砂の適度な流動性を確保したことによるものであると考えられる。初回のビット交換は中間立坑で実施したが、以後の交



図—4 ビット摩耗実績（リレー先行ビット）



写真—3 リレー先行ビット（1～8）摩耗確認状況

換は途中の地盤内で行う計画であり、現在順調に掘進を継続している。

(2) 地中障害物対策における適用実績²⁾

(a) 適用工事の概要

当該工事は地下鉄工事で、トンネル延長約1,200 mのうち、到達付近に存在する既設建物基礎杭(H型鋼)を切削する必要があった。このため、地中障害物切削後のカッタビットの損傷状況を確認して交換する目的で、リレービット工法が採用された。シールド工事の概要は表-4のとおりである。

表-4 シールド工事概要

トンネル延長	約1,260 m
掘削外径	φ9,900 mm (シールド機)
トンネル外径	φ9,700 mm (セグメント)
仕上がり内径	φ8,800 mm
掘削対象土層	沖積粘性土(発進・到達部) 洪積埋没段丘礫層(中央部)

(b) シールド機の構造

当該工事のシールド機には、8本のスポークのうち2本にリレービットを装備しており、合計22個の先行ビットが「いつでも、どこでも、何回でも」交換可能な構造とした。

外周部にボールバルブ型(ビット1個を交換)の交換装置、内周部にバルブプレート型(ビットを同時に2個交換)の交換装置を配置した。リレービットの配置図を図-5に、シールド機の全景を写真-4に示す。

外周部に設置したボールバルブ型のリレービットには、交換時に止水性を保つ必要があるため、回転によって穴を開閉する仕組みの特殊ボールバルブを配置した。構造や交換方法は、前述の適用実績にあげたリレービットとほぼ同様である。

内周部に設置したバルブプレート型のリレービットは、図-6に示すようにカッタビット2個をバルブプ

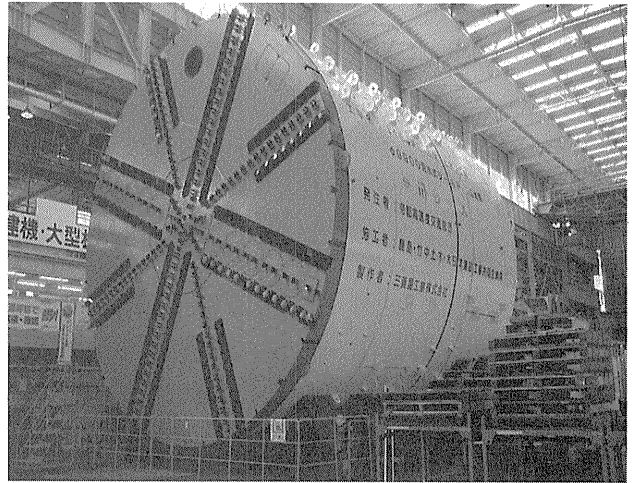


写真-4 リレービットを搭載したシールド機

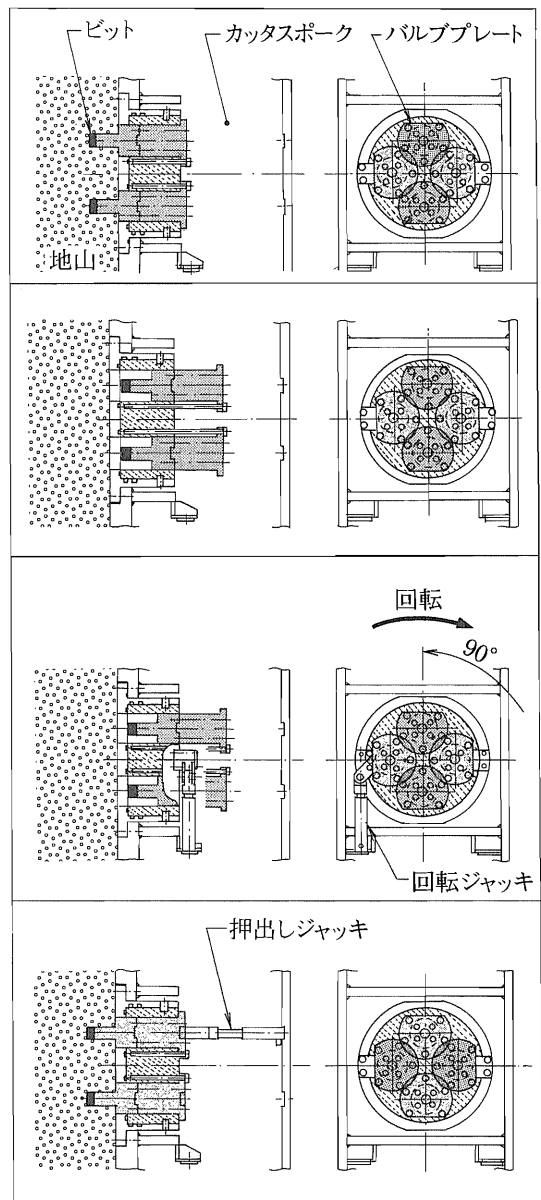


図-6 バルブプレート型リレービットの交換方法

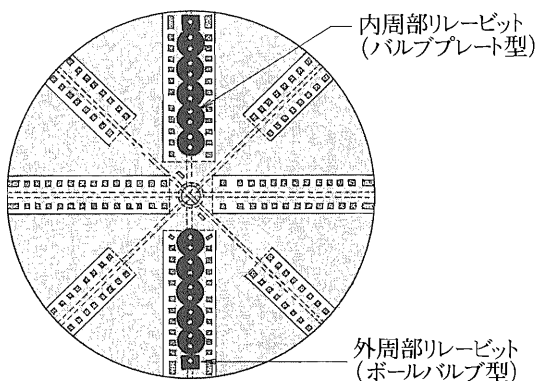


図-5 リレービット配置図

レートと称する円形プレート上に配置しており、バルブプレートを90°回転させることで切羽に対する止水性を保ちながら交換を行う方式を採用した。

(c) カッタビット交換実績

シールド発進時にNOMST壁（コンクリート強度80 N/mm²、壁厚800 mm）を切削した後、約150 m掘進した時点で既設建物基礎杭3本（PHC杭、φ450 mm、コンクリート強度80 N/mm²）に遭遇し、シールド機で直接切削した。さらに、洪積砂礫層を含む硬質地盤での長距離掘進が続くことから、ビットの損傷、摩耗状況を直接目視確認しながら、状況に応じてビット交換を実施することとした。

ビット交換は、障害物（基礎杭）を切削してから切削片による排泥管閉塞を繰返したこともあり、約10 m掘進した地点で実施した。この地点は軟弱粘性土が主体で、土水圧は0.24 MPa（シールド機中心）であった。交換作業は、6個のビットを交換し、1個のビット交換時間は、約100分であった。

シールド機外周部に設置したボールバルブ型リレービットの交換作業において、バルブ回転直後に現れたカッタビットの状態を写真—5に示す。障害物切削を経て、カッタビットのチップ端部が欠損していること

を確認し、新しいビットに交換して以後の掘削に対応した。

4. おわりに

リレービット工法は、交換回数の制約を受けずに、任意の地点での交換を可能にし、さらにビットを目視確認して交換時点までの掘進状態を把握できることから、長距離掘進や、地中障害物対策において効果を発揮している。今後は、シールド工事の長距離化や大深度化に伴い、掘進対象となる地盤も、粘性土や砂質土を中心とした地盤から、岩盤を含めた多様な複合地盤に1台のシールド機で対応することも求められており、全地盤に適応するシールド工法への応用等を進めながら、カッタビット交換工法を広く展開したいと考える。

JICMA

《参考文献》

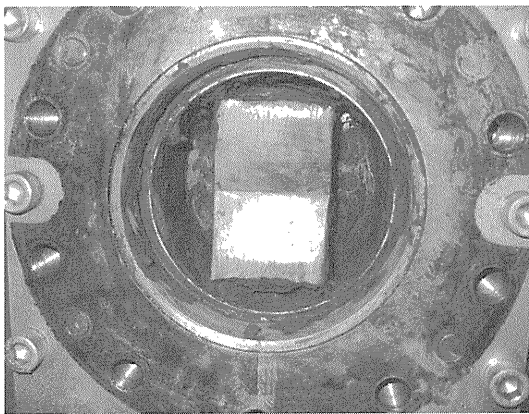
- 1) 真鍋 智, 五十嵐寛昌, 玉井達郎, 永森邦博, 石丸 裕: シールド機カッタビット交換技術の開発, 土木学会第55回年次学術講演会, VI-56, pp.112-113, 2000年9月
- 2) 中川雅由, 真鍋 智, 永森邦博, 石丸 裕, 小坂彰洋: 補助工法不要のカッタビット交換工法「リレービット工法」の施工実績報告, 土木学会第56回年次学術講演会, VI-68, pp.136-137, 2001年10月

【筆者紹介】

永森 邦博 (ながもり くひろ)
鹿島建設株式会社
機械部
技術グループ
次長



真鍋 智 (まなべ さとし)
鹿島建設株式会社
機械部
技術グループ
課長代理



写真—5 特殊ボールバルブ回転直後のカッタビット
(外周部リレービット)