

霞ヶ浦導水事業は、霞ヶ浦と利根川下流部、霞ヶ浦と那珂川下流部をそれぞれ結ぶトンネル（利根導水路、那珂導水路）を建設し、霞ヶ浦、利根川および那珂川の水を相互に行き来させることにより、霞ヶ浦および桜川の水質浄化、利根川および那珂川下流部の既得用水の補給等による流水の正常な機能の維持と増進ならびに新規都市用水の確保を目的として行われている事業である（図－1，2）。

Figure 1-1: Water Network Structure Diagram. This map illustrates the water network in the Kamaoka area. It shows the Kamaoka River (利根川) flowing through the region, with several reservoirs (ダム) marked with 'P' symbols. Key locations include Kamaoka (小貝川), Sakuragawa (桜川), and various reservoirs like Kamaoka Reservoir (小貝川ダム), Sakuragawa Reservoir (桜川ダム), and Kamaoka Reservoir (小貝川ダム). The map also shows the planned routes for the Kamaoka River Water Transfer Project (利根導水路) and the Kamaoka River Water Transfer Project (利根導水路). The map includes labels for locations like Kamaoka (小貝川), Sakuragawa (桜川), and various reservoirs like Kamaoka Reservoir (小貝川ダム), Sakuragawa Reservoir (桜川ダム), and Kamaoka Reservoir (小貝川ダム). The map also shows the planned routes for the Kamaoka River Water Transfer Project (利根導水路) and the Kamaoka River Water Transfer Project (利根導水路).

図-1 水のネットワーク構成図

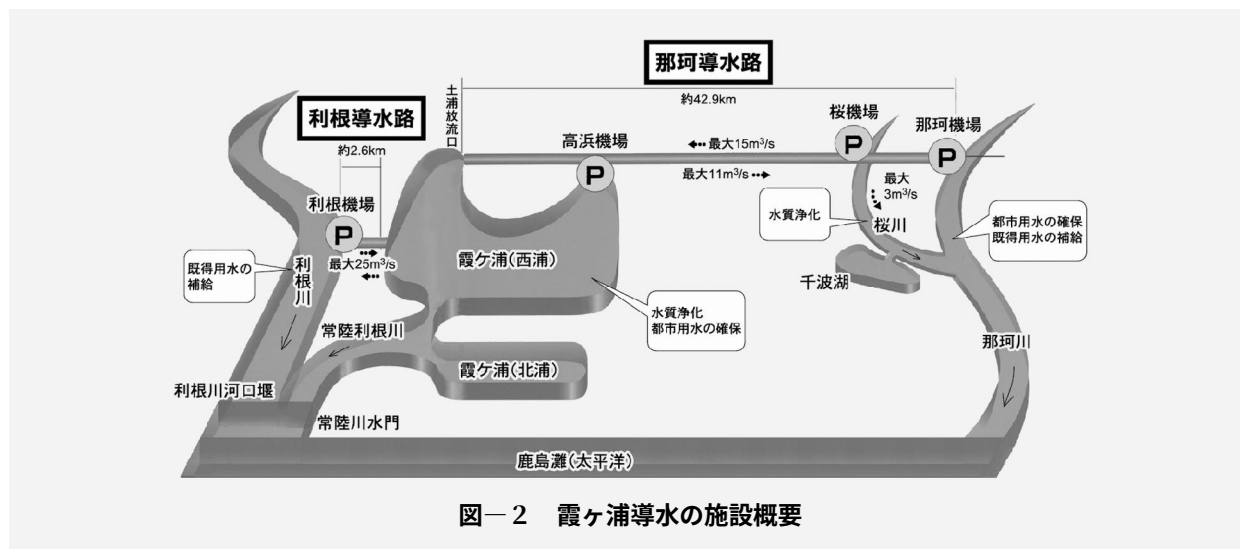
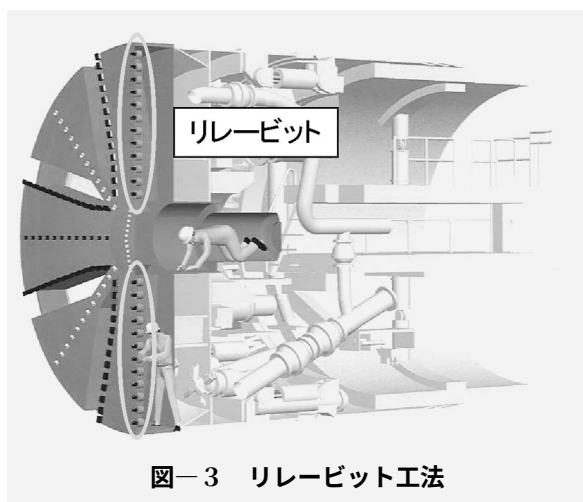


図-2 霞ヶ浦導水の施設概要



図ー3 リレービット工法

まな試みがなされている。その一つとして掘進に伴い摩耗するカッタービットの交換技術が挙げられる。従来のビット交換方法は、①中間立坑を設置してそこで交換する方法、②切羽前面を地盤改良して人がカッターディスク前面に出て交換する方法、等がとられていた。

本稿では長距離掘進対策として採用したリレービット工法の概要と特徴ならびに工事施工例として関東地方整備局霞ヶ浦導水工事事務所で発注した「石岡トンネル（第2工区）新設工事」について紹介する。

2 技術概要

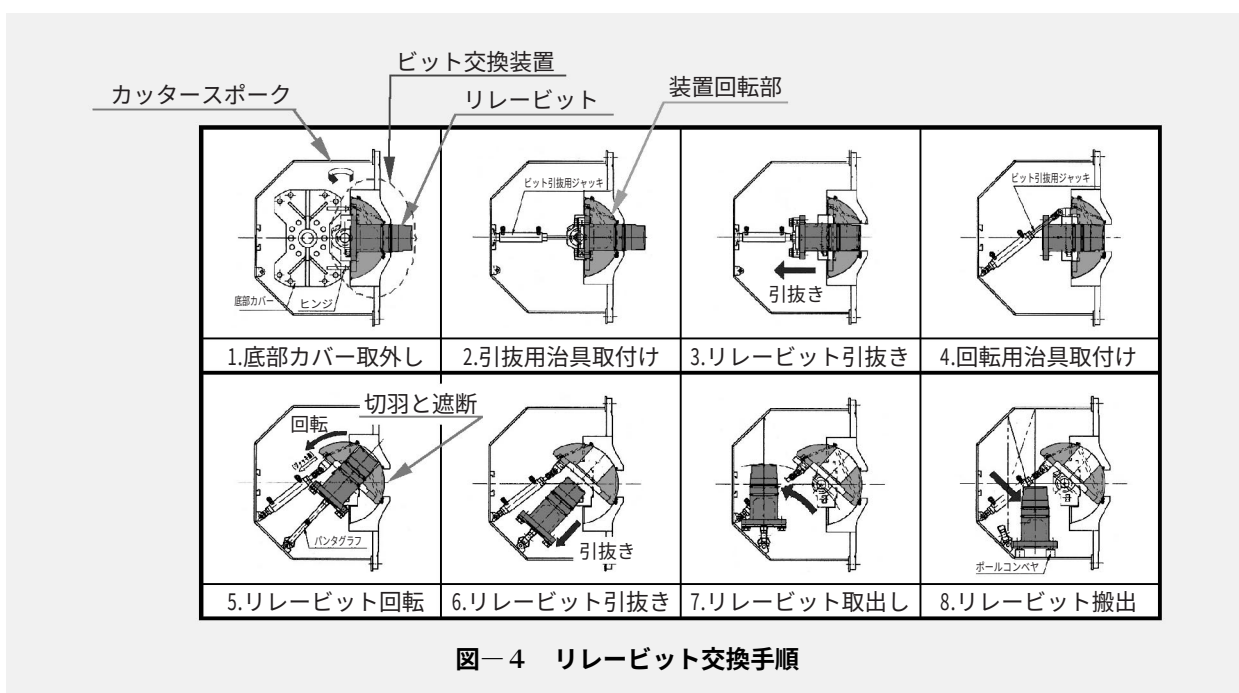
リレービット工法は、補助工法なしで、しかも人が切羽に出ることなく、何回でもビットを交換でき、交換場所も限定することなく交換できる工法である。図ー3にリレービット工法の模式図を示す。交換方法は、カッターディスクのスポーク内に人が入れる程度の作業スペースを設け、そこにシールド機内から作業が入りビットを1個ずつ交換するというものである。

図ー4にリレービット交換手順を示す。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納されており、ビットを取り外し、目視でビットの摩耗、損傷状態が確認できるとともに、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. 技術の特徴

本工法には、以下の特徴を有している。

- ① カッターディスク内に作業空間が設けてあるため、無圧気でシールド機内から交換できる。
- ② ビット交換用中間立坑の築造や地盤改良が不



要であることから、掘進延長の長距離化が可能となり、工事費縮減、工期短縮が図れる。

- ③ ビット交換は土質条件によらず、いつでも、どこでも、何回でも可能である。
- ④ ビットの摩耗状況を目視確認できるので、摩耗したビットのみの交換が可能である。
- ⑤ 掘進中に土質が変化する場合は、土質に適したビットに交換できる。

4. 適 用

- ① 対象地盤は、砂質土、粘性土、土丹層、砂礫層、軟岩などあらゆる地盤に、またシールド機

型式は、泥水式、泥土圧式のいずれにも適用可能である。

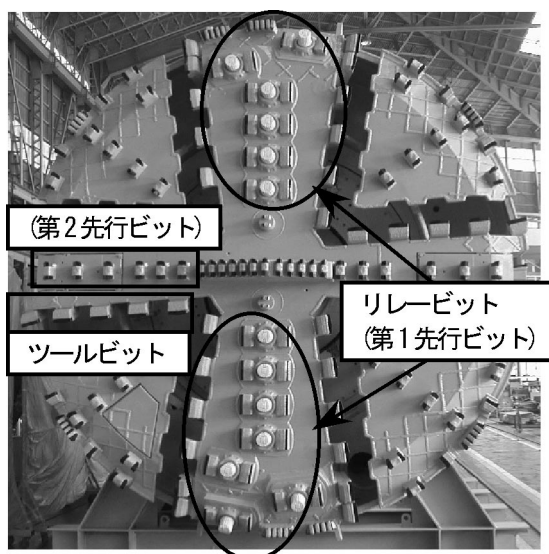
- ② 新素材コンクリートである NOMST 壁、地中障害物に対しては、専用ビットに交換することで切削可能となる。

5. 施工事例

那珂導水路の一区間である石岡トンネル（第 2 工区）新設工事は、すでに完成している第 6 工区に続き 2 番目に着工した工区であり、茨城県常井地先にある茨城立坑（既設）を発進立坑とし、茨城県上飯沼地先にある上飯沼立坑（既設）を到達

表－1

工事名	石岡トンネル（第 2 工区）新設工事
施工場所	茨城県東茨城郡茨城町常井地先～上飯沼地先
工期	平成15年 3 月15日～平成18年 3 月31日までの36カ月間
契約方式	技術提案型一般競争入札・設計施工一括発注方式（デザインビルド方式）
概要	仕上がり内径：φ3,500mm（二次覆工省略，内水压対応） 施工延長：4,982m（立坑間距離5,000m） 線形：平面線形直線，縦断勾配－0.06566% 土かぶり：11.3～38.5m 既設立坑： 自動化オープンケーソン工法により構築されている。坑口は新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達防護工法（NOMST）により施工されている。



写真－1 シールド機面盤



写真－2 リレービットの交換状況



写真-3 リレービットの摩耗状況

した（写真-2）。

写真-3に示すようにビットの摩耗量はいずれも摩耗量限界の40mmには達していなかったことから、交換していない内周側10基のリレービットについて摩耗量は少なく健全であると判断した。

なお、上飯沼立坑へ到達直前に13基のリレービット全数を NOMST 用ビットに交換した。上飯沼立坑へはジャ

立坑とする全長5,000m、最大土かぶり38.5mの長距離、大深度シールドトンネルを36カ月で施工するものである。

(1) 工事概要

本工事の概要は表-1のとおりである。

(2) ビットの摩耗量の推定

写真-1に示すシールド機面盤のリレービット13基のうち、摩耗量が大いと言想された外周から3基を、3,870m(2,867リング)掘進時点で交換を



写真-4 水中到達 (NOMST 壁貫通)

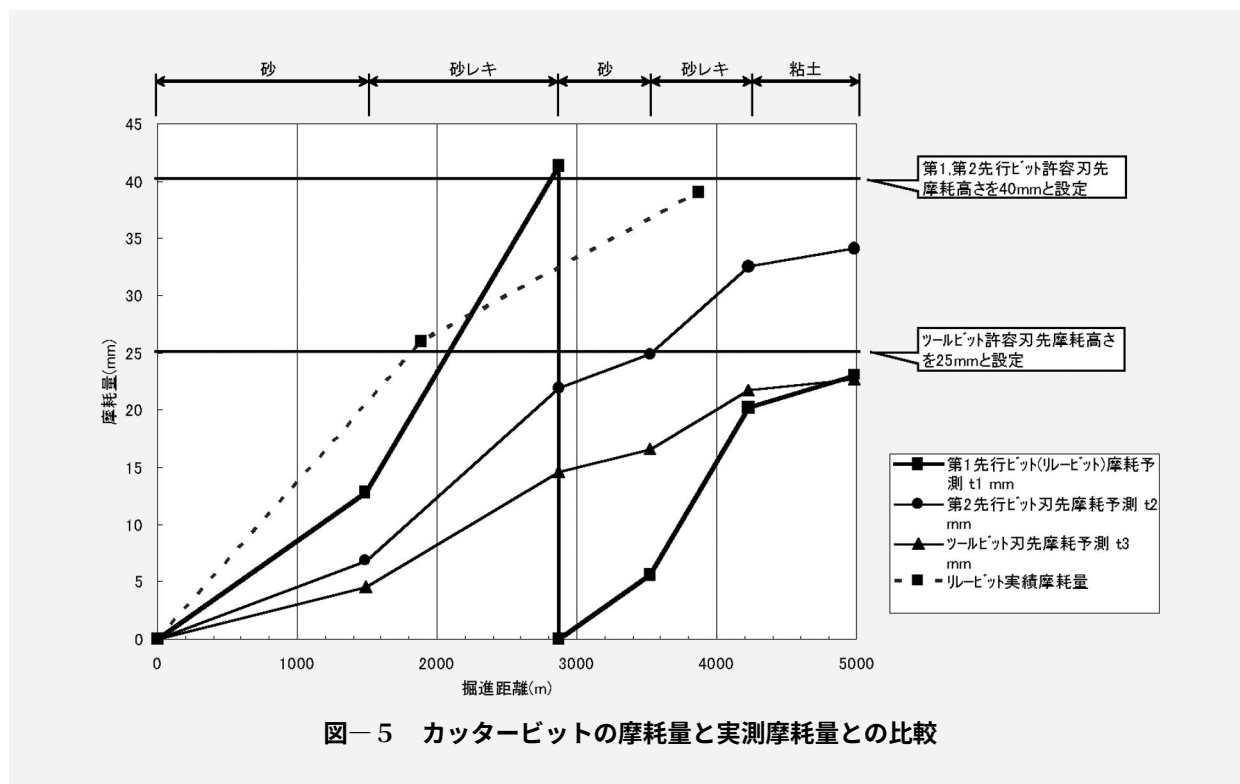


図-5 カッタービットの摩耗量と実測摩耗量との比較

イロコンパスを利用した基線測量により、右方向65mm、下方向3mmの誤差で水中到達させた(写真-4)。

カッタービットの摩耗量の推定と実測摩耗量との比較を図-5に示す。摩耗量の推定式 $t=K\lambda \cdot 10^{-3}$, $\lambda=2\pi RL/(10 \cdot Pe)$, $Pe=V/N$, ここに,
 t : ビットの刃先摩耗量(mm), K : ビットの超硬チップの摩耗係数, λ : ビットの転走距離(km), R : 最外周ビットの取付半径(m), L : 掘進距離(m), Pe : ビットの切込深さ(cm/rev), V : シールド推進速度(cm/min), N : カッターヘッド回転速度(rpm)である。

計画時点では摩耗係数(土砂によって変化)の最大値に対しての過酷度として1.5倍とし、第1先行ビット(リレービット)は約2,800m付近で許容摩耗量の4cmに達すると予想した。

摩耗量計測は約1,900m時点と約3,800m地点で計測を行った。約1,900m地点では予想曲線を上回っていたが、約3,800m地点では許容量に達しなかった。これはリレービットの残存高さがほかのカッター類(第2先行ビット、ツールビット)と同等の高さになってきたため、同じパス(周回路)上のほかのカッター類と摩耗を分担しあうことにより摩耗量が減少したのではないかと考えられる。

次に、カッターの累積回転数については当初想定値162,043回転、実施工では242,682回転となりおおむね1.5倍であり、同様にビットの転走距離も想定値に対して1.5倍であったことから、計画で与えた土質の摩耗係数について評価できた。

密閉式のシールド工法では、カッタービットの寿命を評価するため、カッタービットの摩耗量を予測することが重要である。今回の施工では、綿

密な地質調査結果をもとにカッタービット先端材質を一般的な硬さのE5種に決定し、摩耗予測を行った。実際に交換したビットの摩耗量は、おおむね予測通りであったことから、地山の地質調査とビットの材質選定が非常に重要であると考え

6. おわりに

リレービットの装置を装備したシールド機は、従来機に比べ約30%のコストアップとなるが、中間立坑や到達・発進工程の省略を勘案すると、トータルとして36%程度のコスト縮減が図れる。

本工事では内水圧に対応するため二次覆工省略型セグメントを採用し、セグメント幅1,350mm、断面5分割化とすることで品質、施工性、施工スピードを向上させ、砂主体の地盤もあり本掘進の目標320m/月を上回る337m/月の進捗を確保できた。

さらに、今回紹介したリレービット工法以外にも新技術を用いており、耐震対策として二次覆工省略に対応できる可撓セグメントの開発や、大型振動ふるい機から発生する超低周波音の対策として吸音レゾネータ(吸音共鳴器)を用いた低減も行った。

また、シールド掘削土は高圧フィルタープレスによりコーン指数800kN/m²を確保して、土地区画整理事業の盛土材として100%再利用している。

今後も厳しい予算状況の中、さらなるコスト縮減や工期短縮に努め、効率的に事業を進めていきたいと考えている。

発注者 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦導水工事事務所

工務課長 飛島幸則

機械課長 田中義光

建設監督官 持丸章治

施工者 鹿島・前田特定建設工事共同企業体石岡トンネル(第2工区)JV工事事務所長 川端僚二