

新素材コンクリート壁切削用先行カッタ装置の開発 -同時裏込注入管部先行カッタ装置 要素実験-

Development of Cutting Equipments Used for Cutting New Material Concrete

三浦一之¹⁾・山本武史¹⁾・阿部茂木²⁾・田中雄次³⁾・清水賀之⁴⁾

Kazuyuki MIURA, Takeshi YAMAMOTO, Shigeki ABE,

Yuji TANAKA, and Yoshiyuki SHIMIZU

Pre-overcutting outside shield machines is required to remove the NOMST wall at the extra cross-section in case of existing the extra outer part of shields such as outer pipes for inserting mortar into the excavated void. New methods were developed to cut the NOMST wall certainly by rotating type cutting equipments. Two equipments were made, one is the vertical type, the other is the horizontal type. Experiments were conducted to investigate the performance of these cutting equipments. By conducting the experiments, we verified that the two equipments could cut the NOMST wall at a short time and discharge the muck fairly well. Furthermore, we found out the optimum operating conditions and knew some informations as to operating the equipments in the real shield job.

Key Words: cutting equipmet, new material concrete, NOMST, shield, experiment

1. はじめに

埼玉高速鉄道戸塚T工事は、埼玉高速鉄道の川崎戸塚駅から東川口駅までの延長1948mを結ぶシールドトンネルと中間換気室を構築する工事である。シールドトンネル（外径9.7m 泥水式シールド）工事は、大断面で長距離、高速施工のうえに鉄道等の重要構造物の横断や3箇所の新素材コンクリート（以下NOMST）壁の切削がある。

NOMST壁の切削は、カッタ面板部と同時裏込注入管等のシールド外周（スキンプレート）突起部について実施する必要がある、その切削機構の信頼性と耐久性を十分に検討しておく必要がある。同時裏込注入管等のスキンプレート突起部の切削については、これまでの実績では、同時裏込注入管の高さを低くしてコピーカッタで対応するか、あるいは突起部切削用固定ビットをスキンプレートに装備する方法で対応していた。本工事では大断面、長距離施工でかつ重要構造物を横断するため、裏込注入を即座に確実に実施することが周辺への影響を最小にするために必要であり、同時裏込注入管の信頼性（閉塞防止等）およびメンテナンスの容易性を考慮して同時裏込注入管の高さを100mmとした。この100mmの突起部切削に対して、コピーカッタではその変形が、また突起部切削用固定ビットではその変形や脱落等が懸念される。

そこで、NOMST壁を確実に切削できかつ切削ずりの回収が可能な装置として回転式の先行カッタ装置（新素材コンクリート壁切削用先行カッタ装置）を開発した。さらに、この装置の性能確認およびその評価を行うとともに実機へ適用するための運転条件等の指針を得ることを目的に実装置を用いた実験を行った。その結果、強度が約900kgf/cm²の実施工と同じNOMST部材を切削することができた。本報告では、この開発した先行カッタ装置と要素実験の内容について述べる。

- | | | |
|----|--------|------------------------|
| 1) | 正会員 | 日本鉄道建設公団、関東支社、川口鉄道建設所 |
| 2) | 正会員 | ㈱熊谷組、北関東支店 |
| 3) | | 日立造船㈱ 建機・物流事業本部 建機設計部 |
| 4) | 正会員 工博 | 日立造船㈱ 技術研究所 機械技術研究センター |

2. 先行カット装置

図-1に、先行カット装置およびその配置図を示す。本装置は、シールド隔壁背面に配置され、NOMST切削時にはゲートが開きシールド外周部に突起し、NOMST壁を切削する。

図-2に切削方式の概念を示す。切削方式は、シールドを一旦停止させてビットを垂直方向に110mm押し上げる方式（垂直切削方式）と、あらかじめ同時裏込注入管の高さ分（直径400mm、高さ110mm）先行カットを出しておきシールドジャッキでの掘進により切削する方式（水平切削方式）の2方式を採用した。垂直切削方式の場合の水平に移動させるピッチは、本方式の切り残しとシールドの移動誤差を考慮して110mmとした。すなわち700mmの厚さのNOMST壁に対し、7回（7パス）で切削が完了する。

表-1に、実験で検討する2種類の切削方式の特徴、課題等を比較して示す。垂直切削方式は、シールドの掘進を停止させた状態で切削が行われるため、掘進にともなう機械の揺れ（ローリング、ピッチング）の影響を受け

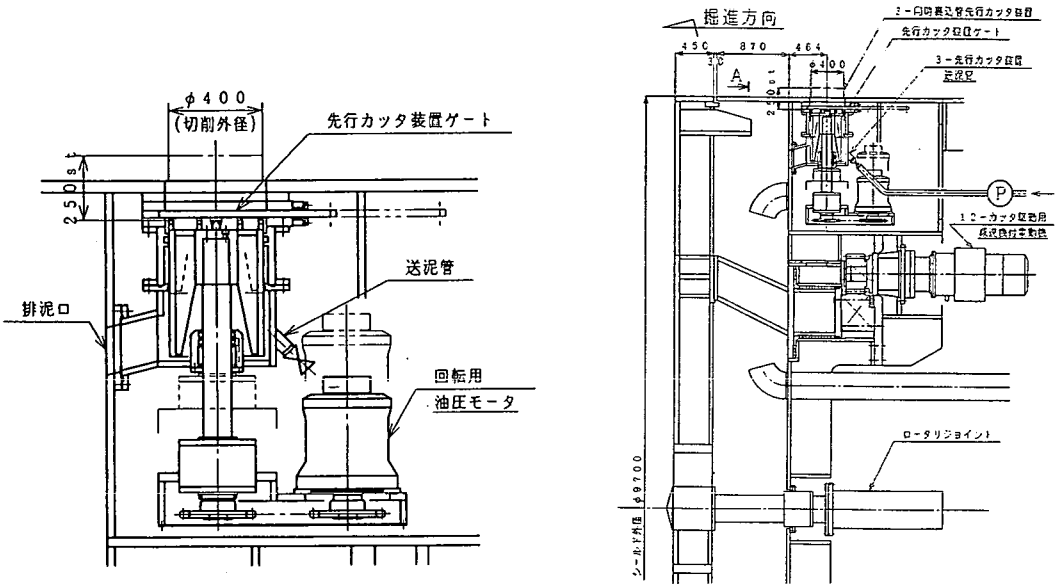


図-1 先行カット装置

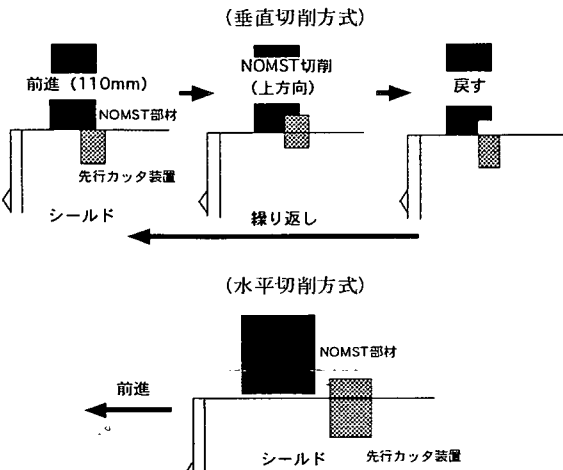


図-2 切削方式の概念

表-1 切削方式の比較

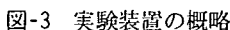
	垂直切削方式	水平切削方式
特徴	・機械の揺れの影響を受けず、安定した切削が可能	・シールドを掘進しながら切削、短時間で切削が可能
検討課題	・切削負荷（カッタールク、押付力） ・ビット摩耗、耐久性 ・切削ずり排出状況 ・掘進、停止、NOMST切削の繰り返し作業	・切削負荷（カッタールク、推進力） ・ビット摩耗、耐久性 ・切削ずり排出状況 ・シールド掘進時の影響（横方向荷重等）

3. 実験

図-3に、実験装置の概略を示す。実験装置は、垂直および水平の2切削方式でNOMST部材を切削でき、かつ実機と同じ泥水中で切削できる構造とした。実験装置は、先行カッタ装置、台車、泥水タンク、移動架台、固定架台、油圧ユニット、土砂タンク設備等で構成される。NOMST部材を泥水タンク上部に据え付け、先行カッタ装置が内部に納められた台車はそのタンク内を水平に移動する。垂直切削方式の場合は、台車をNOMST部材の下部に移動させ、上方向に先行カッタを上昇させることによりNOMST部材を切削していく。また、水平切削方式の場合には、先行カッタをあらかじめ出した状態で、台車を水平方向に移動させることによりNOMST部材を切削していく。先行カッタ装置は、種々の条件で、推進速度、押付速度、カッタ回転数でNOMST部材を切削することができる。また、先行カッタ装置には送排泥管を取り付け、切削されたNOMST部材の排出条件も実機と同条件とした。

NOMST部材の寸法は、幅700mm、長さ800mm、厚さ200mmである。なお施工現場の切削状態と同じように部材内のコンクリート補強材の配筋方向を合わせた。またNOMST部材の強度は、施工現場に合わせ90日強度($q_u=700\text{kgf/cm}^2$)とした。

表-2に実験条件を示す。実験では、運転条件（押付速度、推進速度、カッタ回転数、送泥流量）を変えながら負荷特性やビット摩耗状態、切削ずりの排出状況について検討した。垂直切削方式の場合は以下の手順で実験を行った。すなわち先行カッタ切削装置を所定の位置まで移動し、先行カッタを回転させながら上方向に110mmの



高さまで移動させNOMST部材を切削する。その後下方向に降ろし、所定の距離(110mm)だけ横方向に移動させ次の部分の切削を行う。この操作を7回繰り返した。一方水平切削方式の場合には、あらかじめ110mm先行カッタを上に出した状態で、先行カッタを回転させ横方向に移動させた。

実験中の先行カッタ装置の運転条件(カッタ回転数、押付位置、速度)、シールドの運転条件(推進位置、速度)および送泥条件(送泥流量)と、そのときの切削負荷(カッタトルク、押付力、推進力)を計測した。計測データを2秒ごとに計測、記録し、同時に運転状況をモニタリングした。とくに切削ビットの負荷特性に関するカッタトルク、押付力および推進力は、先行カッター回転中での変動をとらえることができるように0.1秒ごとに計測、記録した。

また、運転状態を見ながらビットの摩耗状況および送排泥状況を観察、記録した。ビットの摩耗状況については、実験の終了時に、あらかじめ決められた位置のビットの高さ変化を計測した。送排泥状態および切削ずりの排出状況については、送泥流量を一定にして切削を行ったときの全切削重量とチャンバ内部に堆積した切削ずりと先行カッタ装置を納めた箱の上に堆積した切削ずりの乾燥重量とから、切削ずりの排出状況を評価した。また、各条件での先行カッタチャンバ内の水圧と泥水タンク内の水圧差を計測することにより、先行カッタ内チャンバ圧についての検討も行った。

3.2 実験結果および考察

(1) 垂直切削方式

図-4および5に、実験後のNOMST供試体および装置排出口部で回収された切削ずりを示す。隣接破碎の効果によりコンクリート部の切り残しはほとんどないが、コンクリート補強材はビットが通過しない部分に切り残しがみられる。また切削ずりの平均粒径は約6mmで、粒度分布は広くばらついていた。

図-6に、カッタトルクと押付速度の関係をカッタ回転数毎に示す。なお図中の実線は各回転数毎のデータを最小二乗法により直線近似したものである。カッタ回転数が20および40rpmについてのデータは少ないものの、一定のカッタ回転数において、カッタトルクは押付速度の増加とともに直線的に増加する。また、回転数が大きいほどカッタトルクは小さい。なお押付速度が零の場合に

表-2 実験条件

	垂直切削方式	水平切削方式
カッタ回転数	20 - 60rpm	45 - 65rpm
押付速度	約 20mm/min まで	
推進速度		約 10mm/min まで
送泥流量	0 - 0.66m ³ /min	

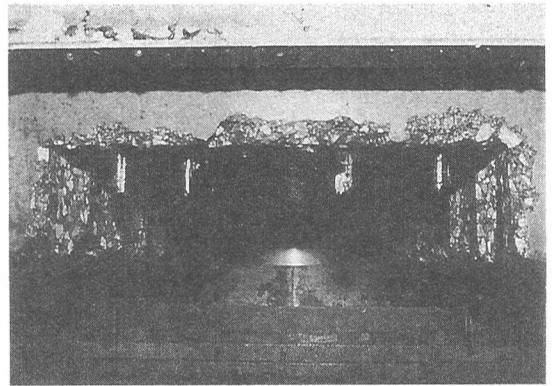


図-4 実験後のNOMST (垂直切削方式)



図-5 排泥口部切削ずり (垂直切削方式)

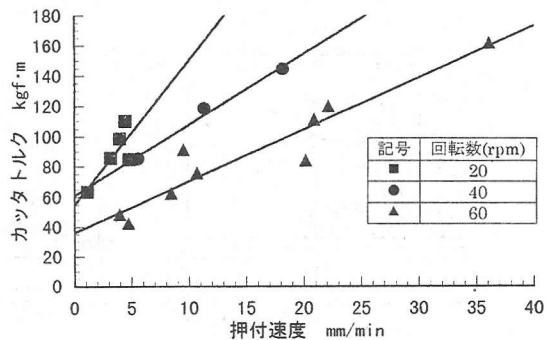


図-6 カッタトルクと押付速度の関係

カッタトルクが発生しているのは、ビットの背面や側面の摩擦により発生するトルクと考えられる。

図-7に、押付力と押付速度の関係をカッタ回転数毎に示す。カッタトルクと同様に、押付速度の増加とともに押付力は増加する傾向にある。またカッタ回転数が大きいほど押付力は小さくなる傾向にあるが、押付速度が小さい部分では回転数による差ははっきりみられない。

図-8に、ビット高さの変化を示す。初期高さに若干のばらつきがあり、1回目の実験終了時には初期高さの高いものがよく摩耗する。2から3回目の実験では、摺動距離の長いカッタ外周側のビットの摩耗が進む傾向にある。全実験が終了した時点で、初期の実験と比較して負荷特性に大きな変化はなく、ビットの摩耗は負荷特性に影響を及ぼすほど大きくなかったと考えられる。

図-9に、切削ずりを排出するのに十分な送泥流量($0.66\text{m}^3/\text{min}$)での先行カッタ装置内とチャンバ(泥水タンク)内の水圧差を示す。差圧は 100mmH ($0.01\text{kgf}/\text{cm}^2$)の範囲でばらついており、その圧力差はわずかである。したがって、この条件で実機のチャンバと先行カッタ装置内チャンバとの水圧差はほとんどなく、実機での泥水管理上とくに問題のないことがわかった。逆に、この流量条件で水圧差が大きくなった場合には、先行カッタ装置内に切削ずりが充満してきていることを示す。

また、切削重量と先行カッタ装置内、先行カッタ上部に堆積する切削ずりの残留量を計測した結果、送泥流量が大きくなるほど残留量は少なくなり、排出されるずりの量が多くなる。本装置の場合には、流量 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ あればずりの排出は十分に行われることがわかった。

(2) 水平切削方式

図-10および11に、実験後のNOMST供試体および装置排出口部で回収された切削ずりを示す。水平切削方式では、一定の間隔に取り付けられたシェルビットの貫入による破碎でNOMSTは切削される。切削断面は、シェルビットの軌跡のあとが残っているもののコンクリート補強材の切残し等がなく比較的きれいに切削される。切削ずりの平均粒径は約 6mm で、垂直切削方式と比べその粒度は均一である。

図-12に、推進速度が約 $5\text{mm}/\text{min}$ でカッタ回転数を約65, 50, 45rpmと変化させた場合の実験結果を示す。垂直切削方式での実験結果と同様に、回転数が小さくなる

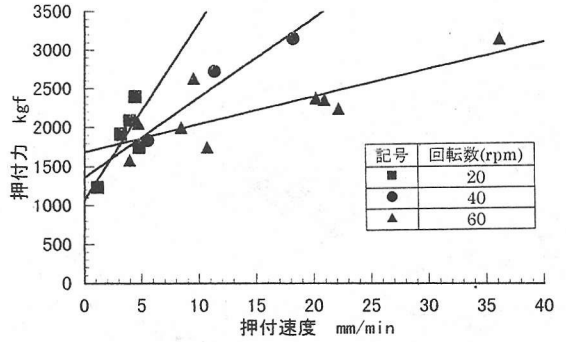


図-7 押付力と押付速度の関係

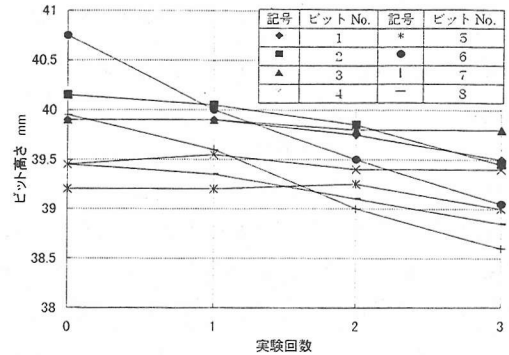


図-8 ビットの高さ変化

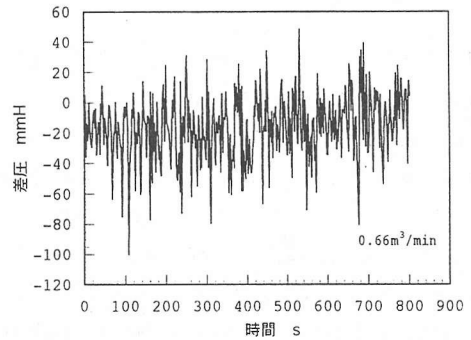


図-9 先行カッタ装置内とチャンバ(泥水タンク)内の水圧差

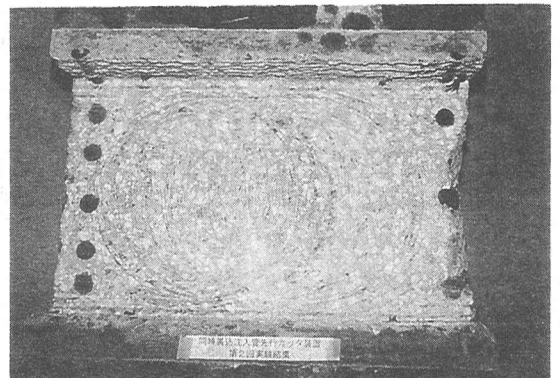


図-10 実験後のNOMST (水平切削方式)



図-11 装置排出口部切削ずり（水平切削方式）

ほどカッタトルクの変動が大きくなっており、回転数が65rpmの時に最も安定した切削が行われる。

なお実験では、カッタ上部の推進方向後方に切削ずりの堆積が多く見られた。切削ずりの一部が、先行カッタ装置排出口から排出されずにカッタ上部から排出されたと考えられる。実機では、切削部に切削ずりが溜まってしまうことになり、なんらかの工夫が必要である。

4. まとめ

同時裏込注入管のスキンプレート突起部の切削等に使用可能なNOMST切削用先行カッタ装置について、垂直切削方式と水平切削方式の2種類の装置を開発し、その機能確認と運転指針を得ることを目的で実験を行った。実験では、両方式とも切削機構に関して良好な結果が得られた。

垂直切削方式については、当初計画していた回転数（面板部での実績による）より大きい条件で、安定した切削が可能であることを確かめた。また、回転数を大きくしたことにより、装備能力の範囲内で押付速度を大きくすることができ切削時間の短縮につながった。また3回の実験でビットの摩耗による負荷特性の変化は見られず、実施工の3体のNOMST壁の切削に十分適用可能なことがわかった。一方、水平切削方式については、NOMST部材の切削は可能であったが、切削ずりの取り込みが不十分であること、NOMST壁端面においてコンクリートが大きく破断し排泥ラインの閉塞を招く恐れがある等の点について、何らかの改善、対策が必要である。なお送泥（水）流量が大きいほどチャンバ内の切削ずりの残留量は少なくなる傾向にあり、とくに本装置では、流量は0.5m³/minあれば十分である。さらに切削中の泥水圧の変動も小さく実機での泥水管理上とくに問題のないことがわかった。

シールド施工が、本工区のように大断面、長距離、さらには重要構造物を横断するような場合には、今回開発したNOMST切削用先行カッタ装置の適用が必要になってくると考えられる。本工区に適用し実施工でその機能を検証するとともに、今後NOMST切削用装置として、他のニーズにも応用できるよう検討していきたいと考えている。

謝 辞：

本装置の開発ならびに要素実験の実施にあたり多くのご助言、ご配慮をいただいた 埼玉高速鉄道戸塚T工事 東川口地下鉄作業所の方々に厚くお礼申し上げる。

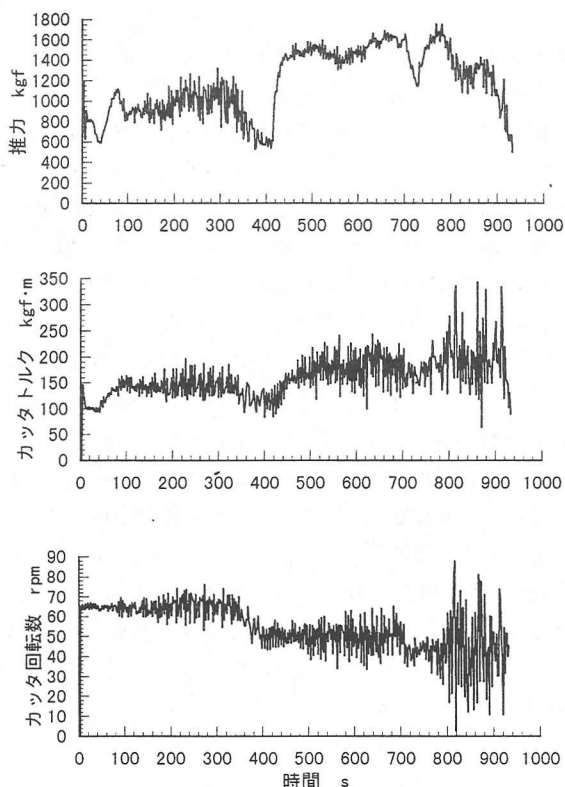


図-12 実験結果（水平切削方式）