

支障物切削への挑戦 —アルティミット工法—



はらだ てつや
原田 哲也

(株)東京久栄
技術本部エンジニアリング部



ふじた けいじ
藤田 啓司

機動建設工業(株)
九州支店



すどう ひろし
須藤 洋

機動建設工業(株)
土木本部

1 はじめに

1948年に兵庫県尼崎市において、初めての推進工事が施工されてから74年の月日が流れました。その間の推進工法の発展はめざましく、様々な難条件を克服してきた歴史があります。中でも管路部に存在する鋼製支障物への対応が難条件のひとつとして挙げられます。アルティミット工法では木杭等木製支障物の切削事例は多々ありますが、鋼製支障物については想定外の出現でやむなく対応した稀な事例はあるものの、検討段階では施工不可と判断していました。鋼製支障物対応ではミリングモール工法があり多くの実績がありますが、長距離曲線施工などを特徴とするアルティミット工法でも、客先より支障物切削の問い合わせをいただいています。泥濃式のミリングモール工法の適用範囲を拡大し、アルティミット工法の特徴も加味するために弊社でも、支障物切削に挑戦するための技術開発を開始し、この度泥水式での施工第1号工事を完了することができました。

本稿では、アルティミット工法における支障物切削の技術開発および第1号工事について報告させていただきます。

2 技術開発

アルティミット工法では過去に支障物に遭遇したことに

よる掘進停止等のトラブル事例があります。その中で、21年前に予期せぬ支障物に遭遇した結果、やむなく対応し支障物を切削した事例がありました。

その概要は次のとおりです。

工事場所：大阪府

工 法：泥水式推進工法（アルティミット工法）

呼 び 径：1200

推進延長：561.8m

土 被 り：4.46～15.36m

土 質：砂質シルト N値0～10

支 障 物：H-250×3本

支障物に遭遇した箇所は土被り13.0m、推進延長は430m地点でした。調査の結果、水道管の残置杭であることが判明し、上部埋設物の関係から支障となったH形鋼の引き抜きが行えないため、掘進機でH形鋼を直接切削することとなりました。

今回の技術開発では、この切削事例を基に課題等を抽出し、実験計画を立案しました。

2.1 実験目的

今回の支障物切削実験の目的は次のとおりです。

- ①鋼矢板、H形鋼等の鋼材を切削可能なカット形状および切削ビットの開発
- ②支障物切削を可能とする微速制御装置の開発
- ③支障物切削を可能とする切削速度の把握
- ④切削片の状態の確認

⑤支障物切削における切削ビットの摩耗量の確認

⑥支障物切削時の特性の把握

2.2 実験概要

実験方法は社内の整備工場内に小判型ライナープレート立坑を築造、支障物固定のためモルタル打設による切削壁内に供試体を建て込み、微速装置を使用して切削する計画としました。掘進機は呼び径1000を採用、機種として高トルク型の礫破碎型掘進機を基本としました。

実験は2019年6月に開始、2021年5月までに計5回実施しました。その内容を表-1に示します。

表-1 切削実験概要一覧

	面板形状	使用ビット	切削対象物
1回目	セミドーム型	ローラ型	H-300×3本×1列
2回目	フラット型	固定型	H-300×3本×1列
3回目	フラット型	固定型	鋼矢板Ⅲ型
4回目	セミドーム型	ローラ型	鋼矢板Ⅲ型
5回目	セミドーム型	ローラ型	鋼矢板Ⅲ型

2.3 実験結果

各実験の結果は次のとおりです。

【1回目実験】

ローラビットを採用し、掘削軌跡を全断面確保する配置としました。結果は、切削延長389mmでカッタロックにより切削中止、また切削音と振動ともに大きい状態でした。

【2回目実験】

固定ビットによる掘削軌跡を全断面確保する配置としました。結果は、H形鋼3本を切削し貫通することができました。ただし、問題点として次の項目が確認されました。

- ①切削片が大きい
- ②ビットの摩耗量が多い
- ③切削音と振動はともに大きい
- ④最外周ビットの形状

【3回目実験】

2回目の固定ビット配置に加えて、最外周ビットを変更して実施しました。結果は、切削延長280mmでカッタロックにより切削中止となりました。

【4回目実験】

ローラビットによる回転破碎に回帰しました。ただし、1回目でローラビットの問題点がみつかったことから、

特殊形状のローラビットを考案、製作し採用しました。結果は、鋼矢板を切削し貫通することができ、固定ビットと比較するとカットトルク、切削音と振動ともに低減されることを確認しました。しかし、カッタ回転方向変更時にカッタロックが発生、また掘進機引抜き後の確認で特殊ローラビットの一部に破損が確認されました。

【5回目実験】

特殊ローラビットの形状を改良し、5回目実験に臨みました。結果は、鋼矢板を切削し貫通することができましたが、4回目同様に特殊ローラビットの一部に破損が確認されました。

切削実験の結果一覧を表-2に示します。

表-2 切削実験結果一覧

	使用ビット	切削対象物	結果
1回目	ローラ型	H-300×3本×1列	切削中止
2回目	固定型	H-300×3本×1列	貫通
3回目	固定型	鋼矢板Ⅲ型	切削中止
4回目	ローラ型	鋼矢板Ⅲ型	貫通
5回目	ローラ型	鋼矢板Ⅲ型	貫通

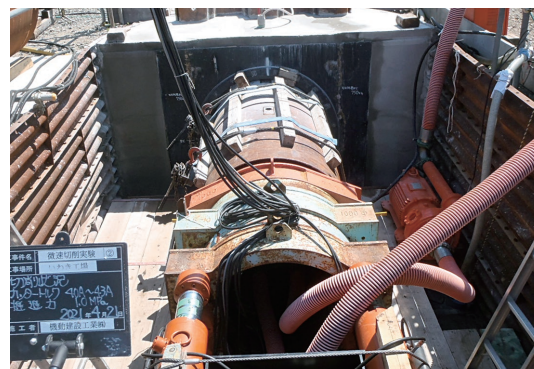


写真-1 切削実験状況（5回目）



写真-2 切削鉄粉（磁石による吸着）

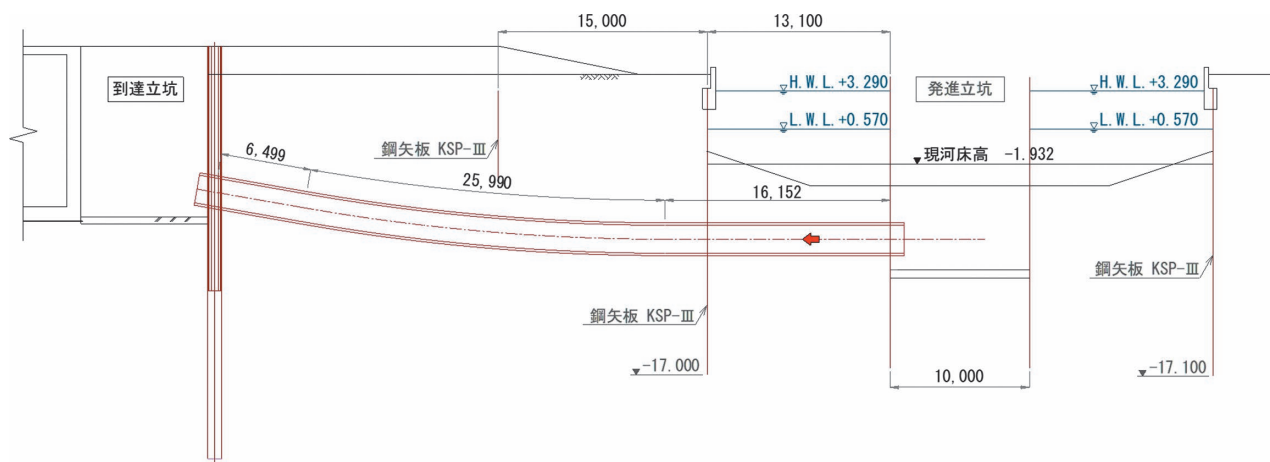


図-1 施工縦断面図

2.4 実験の考察

計5回の実験より、固定型ビットでは比較的多い摩耗が確認されているが、ローラ型では1箇所のみでの切削ではほとんど摩耗しないこと、比較的大きな切削片が確認できたことから、切削方法の妥当性が評価できたことや、カッターロックおよびローリングの対応方法についても確認できたことなどから、鋼製支障物を切削する場合の条件を見出しました。

- ① 切削ビットは特殊ローラビットを採用、掘削軌跡を全断面確保できるカッター形状とする
- ② 微速装置は吐出量制御による装置とする
- ③ 切削速度は0.1mm/minを基準とする
(実験の平均は0.10～0.12mm/min)

3 第1号工事

この工事は、推進延長L=272.6mと48.6mの2スパン施工です。48.6mスパンが支障物切削推進となります(図-1、写真-3)。

3.1 工事概要

工 事 名：JFEスチール西日本製鉄所内海水取水路
建設工事
工事場所：岡山県倉敷市
発 注 者：JFEスチール(株)
施 工 者：(株)東京久栄
工 法：泥水式推進工法(アルティミット工法)
呼 び 径：2000

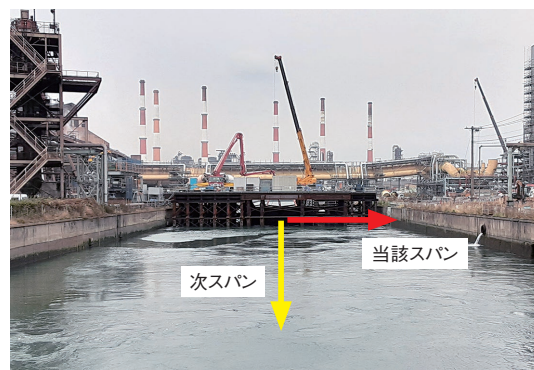


写真-3 施工箇所(両発進立坑)

管 種：推進工法用鉄筋コンクリート管
50N3種 L=2.43m

推進延長：L=48.641m

曲 線：VR=up150m、CL=25.990m

土 被 り：3.52～7.04m

土 質：シルト質砂(N値0～9)

砂混りシルト(N値0～2)

発進立坑：L：10.0m×B：10.0m×H：14.1m

到達立坑：L：9.58m×B：9.98m×H：10.7m

施工期間：2021年8月26日～10月2日
(発進～到達まで)

3.2 支障物切削条件および計画

当工事における切削条件は次のとおりです。

切削対象：鋼矢板KSP-III型

有効幅：400mm

有効高：130mm

厚 み：13mm

切削位置：BP+12.97m（想定）、直線区間

地盤改良：高圧噴射攪拌工法

切削角度：90度（図面上）

切削対象の鋼矢板は運河の護岸鋼矢板です。

本工事では第1号工事であることを考慮し、確実に切削貫通できる条件を検討した結果、切削対象物を固定するために切削対象物周囲を高圧噴射攪拌工法により地盤改良を行いました。改良延長は発進側と到達側ともに1.7mで計3.4mとなります（図-2、3）。切削対象物の鋼矢板については、天端が地上に見えていたことから発進前に測量にて位置を確認する計画としました。

基準掘進速度については、それぞれ次のように設定しました。

鋼矢板接触前：1.0mm/min

鋼矢板切削時：0.1mm/min

鋼矢板貫通後：1.0mm/min

鋼矢板切削開始位置は上述したように測量にて確認し、切削速度は、鋼矢板の100mm手前から1.0mm/minで掘進し、鋼矢板に当たっては0.1mm/minと設定しました。また、鋼矢板貫通後はカッタヘッドが鋼矢板に干渉しなくなる500mmの区間を、掘進速度1.0mm/

minと設定しました。

3.3 掘進機の選定

対象土質は普通土のため通常であれば普通土対応掘進機を選定することになりますが、本工事で使用する掘進機は、鋼矢板を切削するという特殊性から、次の内容を満たすことを条件としました。

- ①鋼矢板切削のための特殊ローラビットが装着可能
- ②高トルク型掘進機とし、カット回転数が高い
- ③鋼矢板切削時の万一の事態に備えて機内ビット交換が可能

④軟弱土での縦断曲線VR=up150mの造成が可能
以上より、特殊面板に特殊ローラビットを装着した機内ビット交換型および急曲線対応掘進機であるDTK機を選定しました。

今回は土質条件より鋼矢板切削時と掘進時において、ビット交換は実施しない計画としました。ただし、対象土質が普通土や礫質土ではなく硬質粘性土等でローラビットによる掘進が適していない場合は、支障物切削開始時と貫通後にビット交換を実施する必要があると考えます。

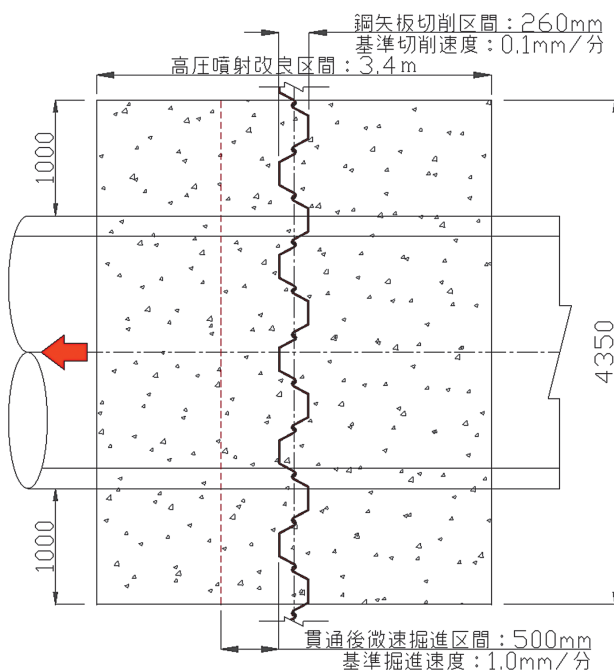


図-2 施工概要図（平面）

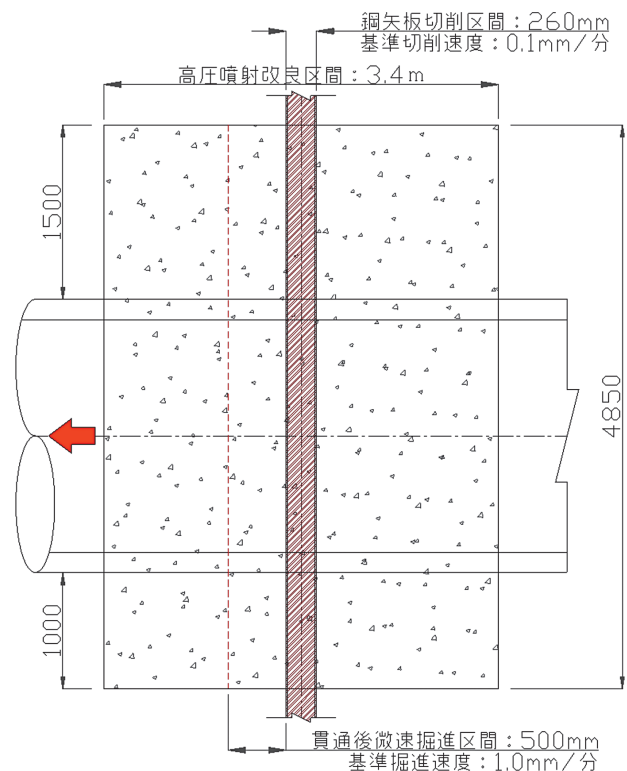


図-3 施工概要図（縦断）

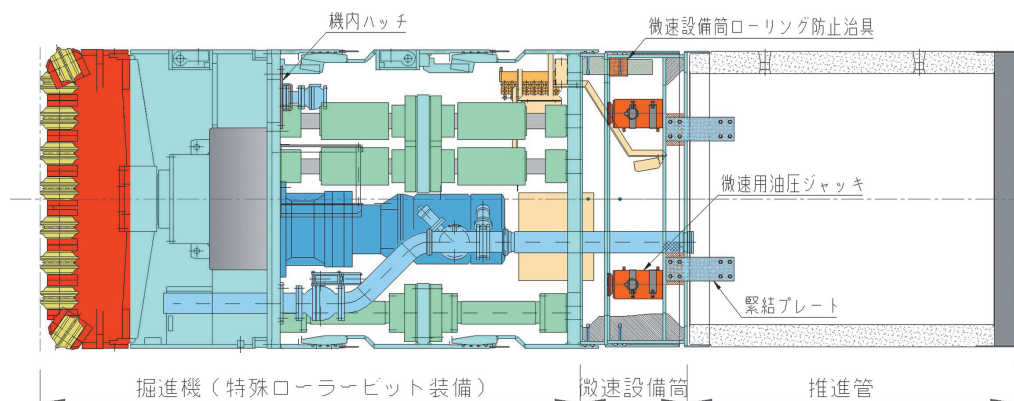


図-4 掘進機・微速設備筒配置図

3.4 微速設備

微速設備については、掘進機の後続に設備筒として配置する計画としました。微速設備筒の1サイクルの最大ストロークは200mmとなります。鋼矢板接触前100mm、鋼矢板切削260mm、鋼矢板貫通後の500mmの合計860mmなので最低でも5サイクルが必要となります。

切削速度0.1mm/minで極力カッタールクをかけない状態での切削となりますが、鋼矢板にカッターの一部が引っ掛かった場合や、カッター初動時にはローリングすることが懸念されました。そのため、掘進機と微速設備筒はボルト接続、微速設備筒にはローリング防止治具の取付け、微速設備筒と後続推進管はプレートによる緊結といった対策を施しました（図-4）。

切削ストローク管理については、微速設備筒内に0.1mm単位での計測が可能なストローク計を4方向に配置する計画としました。

4 施工報告

切削速度および切削日進量の管理グラフを図-5に、切削カッタールクの管理グラフを図-6に、切削推進力の管理グラフを図-7に示します。

4.1 切削速度および日進量

当初計画のとおり、想定接触位置の100mm手前より元押設備から微速設備筒による掘進に切り替え、掘進速度を1.0mm/minとして掘進、カッタールク等の変化より鋼矢板に接触したことを確認後、切削速度0.1mm/min

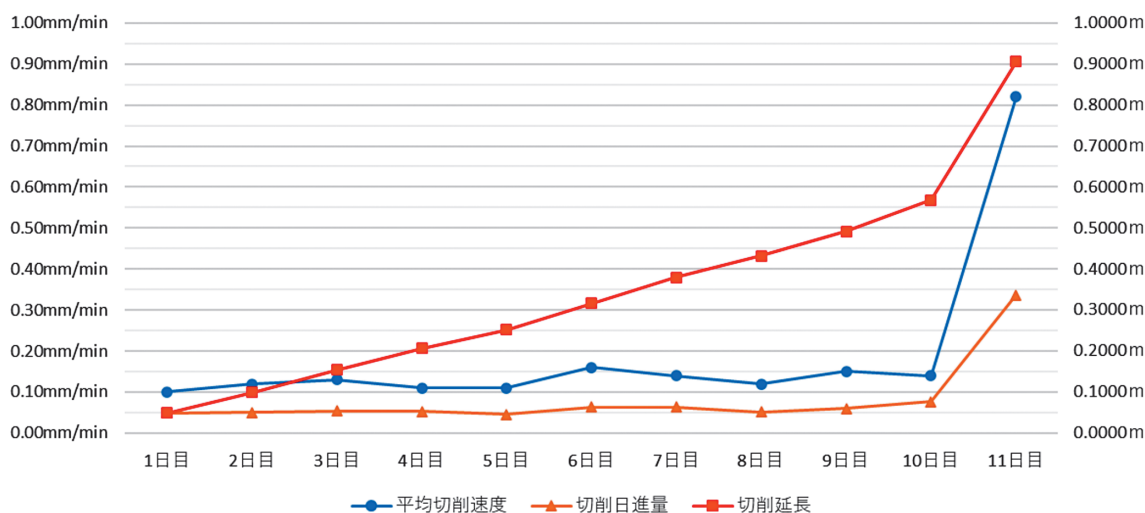


図-5 切削速度および切削日進量の管理グラフ

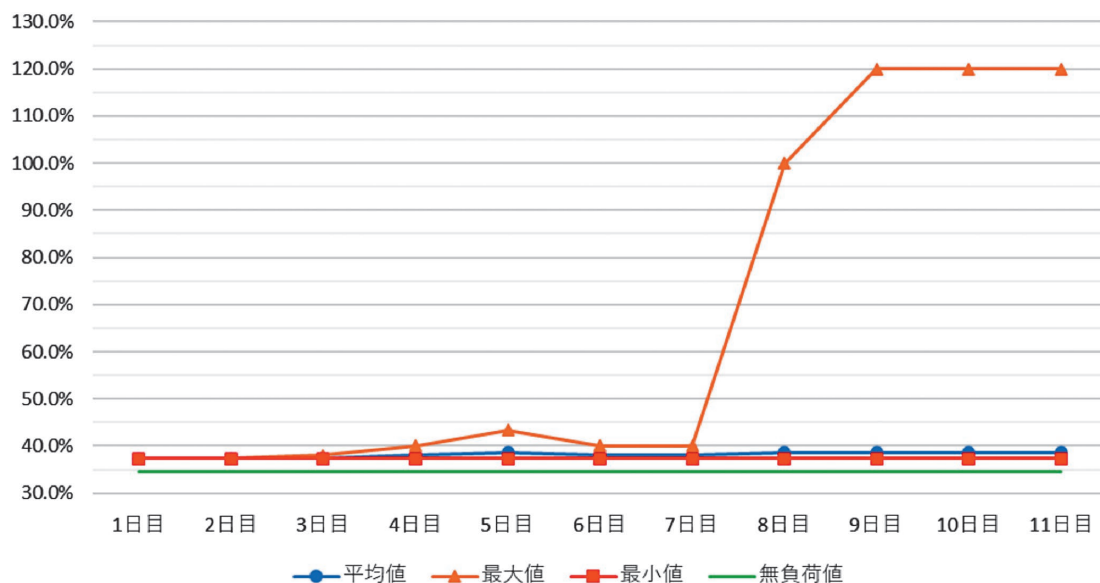


図-6 切削カッタトルクの管理グラフ

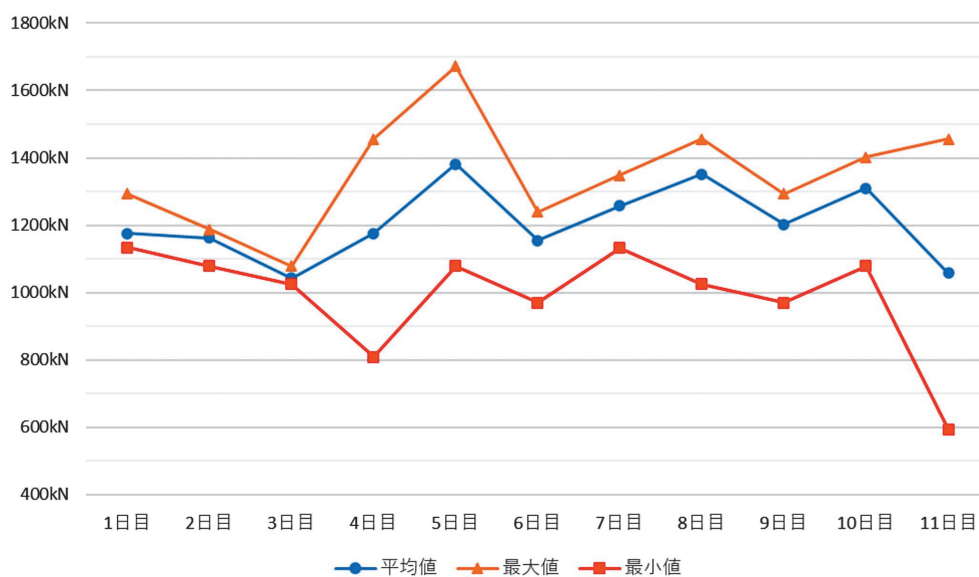


図-7 切削推進力の管理グラフ

を基準として鋼矢板切削を開始しました。

切削開始直後は推進力が安定しない状態が続きましたが、5mm程度切削すると安定しました。これはローラビットが鋼矢板に噛みつくまでは安定しないためだと推察され、実験結果とも合致しています。

鋼矢板切削延長は想定で260mmのため、切削延長から考えると6日目には鋼矢板を貫通していることになります。1日目から5日目の平均切削速度は0.11mm/min

のため、実験と同様の切削速度であり微速制御は概ねできていたと判断します。また、計画では鋼矢板貫通後の基準掘進速度は1.0mm/minとしていましたが、万全を期するため切削時同様に0.1mm/minを基準として掘進しました。

日進量については概ね計画どおりの日進量を確保することができ、微速設備から元押設備に切り替えて通常の掘進作業に移行しました（図-5）。

4.2 切削特性

1日目から7日目まではカットトルクの最大値にそれほど大きな差はありませんが、8日目以降は大きく上昇しています。これは瞬間的な数値ではありますが、一日の中で1回もしくは2回確認されました。原因としては、切削片をカット前面に抱えた状態で掘進し、スクレーパビットに引っ掛かったことが推察されます（図-6）。

鋼矢板固定のための地盤改良区間に進入する前の元押推進力は1200kN程度でしたが、進入後は1800kN程度まで上昇しました。切削中の推進力は、通常の掘進作業とは違い変動幅が大きく安定しませんでした（図-7）。この点は整備工場での切削実験とも異なるポイントでした。実験では最大推進力と最小推進力に大きな差はなくほぼ安定していましたが、これは立坑を築造し、立坑内の元押ジャッキにて微速切削を実施したこと、また掘進機を立坑内でローリング防止および浮止め設備を設けていたことから機体が安定して切削できていたと考えます。しかしながら、実施工では掘進は立坑ではなく地山の中での切削となるため機体が安定しない、また微速設備筒に接続されている推進管目地により、切削時に鋼矢板が多少押し返すことで軸方向にわずかながら脈動してしまうことが影響しているのではないかと推察します。

上述したように実験では機体が安定していましたが、実施工では機体が安定しないことから、懸念されたのがローリングとカットロックです。ローリング防止については微速設備でも記述したように後続の推進管まで緊結する対策をとりました。その結果、切削速度0.1mm/minの状態では回転方向の違いはありますが、1°未満の状態を保持できました。しかしながら、鋼矢板貫通後に掘進速度を1.0mm/min程度まであげるとローリングが顕著となり最大で5°程度のローリングが発生しました。カットロックについては、実験では掘進機を立坑側に戻して解除することができましたが実施工では難しいことから、微速設備筒と掘進機を引き戻すために油圧ジャッキのヘッドにボルト固定のためのタップを加工していましたが、カットロックが発生することはありませんでした。

初期掘進状況、切削鉄粉、微速ストローク表示計、掘進機到達、管路内状況を写真-4～8に示します。



写真-4 初期掘進状況



写真-5 鋼矢板切削鉄粉（磁石による吸着）



写真-6 微速設備ストローク表示計



写真-7 掘進機到達



写真-8 VR=up150m管路内（到達→発進）

4.3 今後の課題

特殊ローラビットについては、第1号工事に向けて再度形状の改良を行いました。到達後の面を確認すると4回目と5回目実験同様に、特殊ローラビットの一部に破損が確認されました。切削ビットにローラ型を使用することで、固定ビットに比べて摩耗量は大幅に低減され、その結果連続する支障物の切削に対してビット交換が必要ないことが想定できます。このことから、特殊ローラビット形状の改良とカッタ形状については今後の課題として残りました。

また、カッタトルクとローリング状況から、多少大きめの切削片をカッタ前面に抱えている状態であったと推察します。この点についても特殊ローラビットの形状およびカッタの形状が大きく影響し、実際には支障物切削の最終過程において残っている支障物を引きちぎるのではないかと推察されます。これらのことから、支障物切削にお

いて全ての切削片を鉄粉になるまで切削するのは、かなり難易度の高い技術なのではないかと考えています。

5 おわりに

アルティミット工法における支障物切削推進の第1号工事は、鋼矢板を切削貫通し無事に到達させることができました。アルティミット工法の特徴を生かしつつ、鋼製支障物の切削を可能にすることによって、適用範囲を拡大することができ、ミリングモール工法と合わせて支障物対応の可能性が広がるものと考えます。

このような機会を与えてくださったJFEスチール(株)様と(株)東京久栄様、また施工時にご協力いただいた関係者の皆様にこの場をお借りして心よりお礼申し上げます。

第1号工事が到達したとはいえ、まだ課題も残っています。今後もさらなる切削技術の研鑽を重ね、様々な条件の支障物切削推進を検討し施工していくことで、推進工法のさらなる発展に貢献できればと考えます。

○問い合わせ先

[機動建設工業(株)九州支店]

〒812-0892 福岡市博多区東那珂2丁目14-28

Tel : 092-472-0151 Fax : 092-481-2407

[機動建設工業(株)土木本部]

〒553-0003 大阪市福島区福島4丁目6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183 Fax : 06-6454-0274

