

地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の実証試験

有光 武¹・桑原 清¹・小泉 秀之²・千々岩三夫³・山村 康夫⁴

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所工事管理室 (〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目二番6号)
E-mail:t-arimitsu@jreast.co.jp

²正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木二丁目二番2号)

³正会員 鉄建建設(株) エンジニアリング本部技術企画部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町二丁目五番3号)

⁴非会員 鉄建建設(株) エンジニアリング本部建設技術総合センター (〒286-0825 千葉県成田市新泉9-1)

非開削によるアンダーパス工法では、鉄道営業線の下で掘削作業を行なう関係上、地表面への影響をいかに抑えるかが課題となっていた。特に土被りが小さい地盤では、エレメント掘進中の地盤への支障物押し込み、また支障物撤去後の空洞によるゆるみ発生等により、地表面変状が懸念され、列車運行時間外での施工を余儀なくされていた。

今回、地盤を切削しながらエレメント掘進することで、地表面変状を極力抑え、土被りが比較的小さい箇所でも列車運行時間帯に作業可能な工法を開発した。本稿では、試作した実物大の地盤切削機構付き刃口を用いた実証試験について報告する。

Key Words : a structure crossing underneath a railway, cutting the ground, element, cutting edge, wire saw

1. はじめに

地表面変位を抑えたエレメント掘進工法は、図-1 に示すように、刃口ルーフ部分の先端に設置した地盤切削ワイヤーを用いて支障物の混在する地盤を切削しながら刃口を貫入する工法である¹⁾。土被りが小さく、かつ支障物があっても、軌道変状(地表面変状)をほとんど生じない安全な施工を可能とする。

今回、無水切削ワイヤーソーの技術を用いて、実物大の地盤切削機構付き刃口を製作、あわせて模擬地盤による実証試験(基準エレメント対応、一般部エレメント対応)を実施したので、その結果を報告する。

●軌道(地表面)隆起
地盤切削ワイヤーで支障物を切削

●軌道(地表面)沈下
先行ルーフで防護

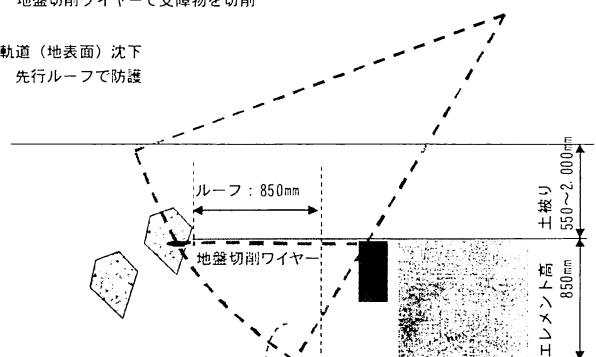


図-1 工法概念図

2. 試験用刃口製作

本工法は、地盤切削機構の簡素化と装置自体の小型化を図るために、刃口頂面の一面切削とし、地盤切削ワイヤーの駆動装置を刃口内に収納(写真-1 参照)、刃口幅は従来のエレメント幅の2倍程度としている。

刃口全景を写真-2、地盤切削ワイヤーを写真-3 に示す。

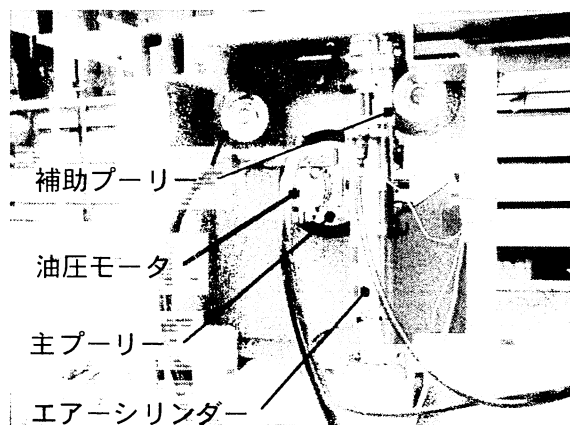


写真-1 ワイヤードライブ装置

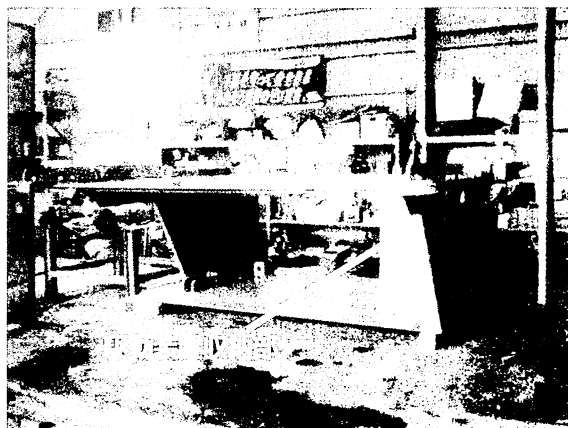


写真-2 刃口全景

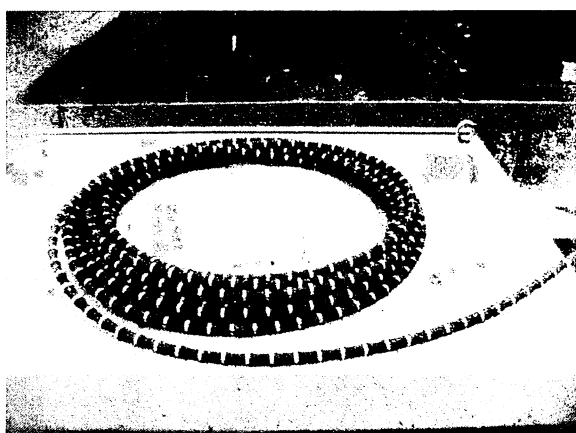


写真-3 地盤切削ワイヤー

3. 実証試験

(1) 試験概要

図-2 に試験概要図を示す。

実施工を想定し、試作した実物大刃口に模擬エレメントを連結して模擬地盤における掘進実証試験を実施した。

試験は、図-3 の試験フローにしたがって、基準エレメント対応（延長 20m）と一般部エレメント対応（延長 20m）の 2 回行なった。掘削と土砂搬出用ベルコン

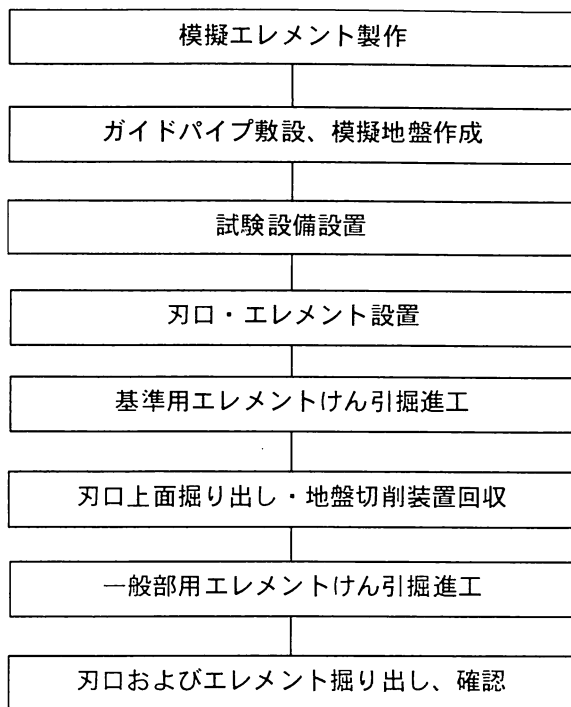


図-3 実証試験フロー

への積み込みは人力で行い、地盤切削性能・掘進性能・地表面変位を確認した。

掘進作業が完了した時点で、刃口およびエレメントを掘り出して敷設状況を確認した。

(2) 試験設備

a) エレメント

本試験では、外形寸法幅 2,400 mm×高さ 850 mm×長さ 4,000 mm（1 基分）の模擬エレメントを使用した。写真-4 に基準エレメント接続状況を示す。

b) ガイドパイプ

地盤切削ワイヤー、プーリー、刃口けん引用ワイヤー等を通すためのガイドパイプは VP 管（φ300）を使用した。実施工では立坑から水平ボーリング工を用いて設置する必要があるが、今回は模擬地盤を作成しながら事前に埋設することとした（図-2 参照）。

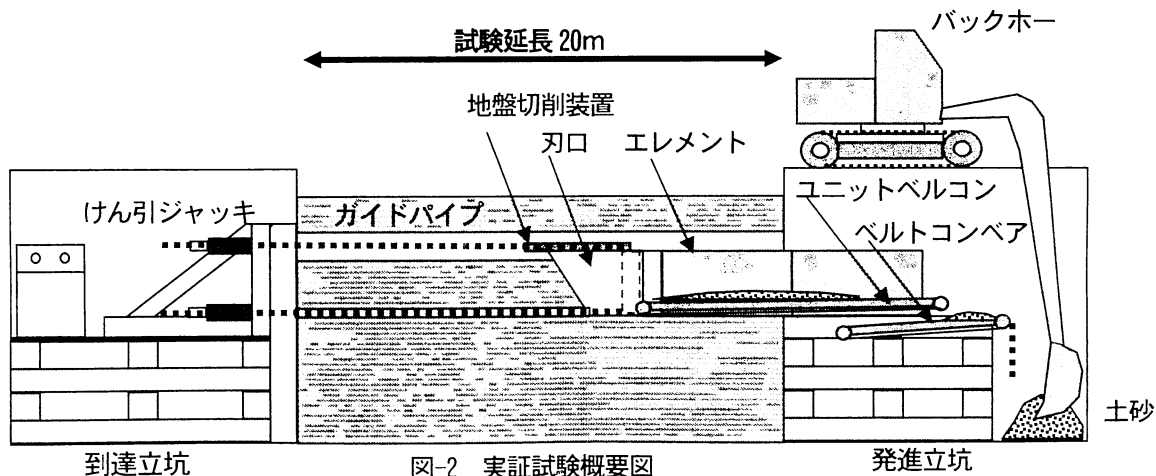


図-2 実証試験概要図

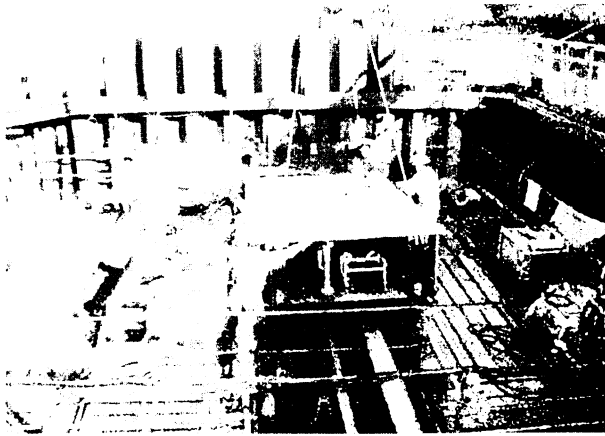


写真-4 模擬エレメント接続状況

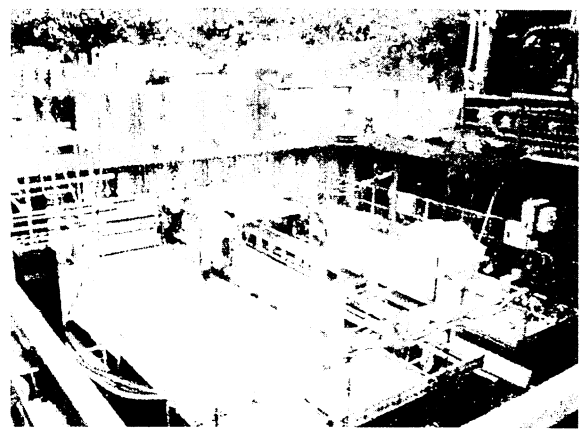


写真-5 実証試験状況（発進立坑）

c) 模擬地盤

本試験では、エレメント掘進状況、地質および混入物の相違による地盤切削への影響を確認する目的で、図-4 に示すように発進～到達立坑間にガラ、玉石等の支障物が混入した模擬地盤を作成した。

- ・土被り : 1.0m
- ・地盤条件: 砂質土(延長 8.0m)・ガラ(3.0m)・碎石(3.0m)・玉石(3.0m)・粘性土(3.0m)

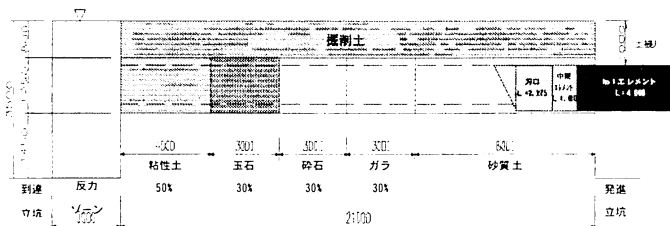


図-4 試験地盤条件

(3) 試験方法

発進側の鏡切りを行った後、図-2 に示すように、地盤切削装置で前方の地盤とガイドパイプを切削しながら、けん引ジャッキで刃口およびエレメントを土中に貫入・掘進した。

刃口内部に取り込んだ土砂は、エレメント内に設置したバルコンに人力で積み込み、発進立坑まで搬出した。

エレメント 1 基分 (4m) の掘進が完了した時点で、後続のエレメント接続、およびバルコン盛り替えを行った。

掘削方法は、基準エレメント掘進開始時点では、刃口ルーフ先端の張り出し部 (全長 350 mm) を地山に貫入しながらその下の土砂を掘削、掘進による地表面への影響を見ながら、地山貫入量を変えることとした。

写真-5.6 に試験状況、図-5 に計測概要図、図-6 に変位計測位置、表-1 に計測項目を示す

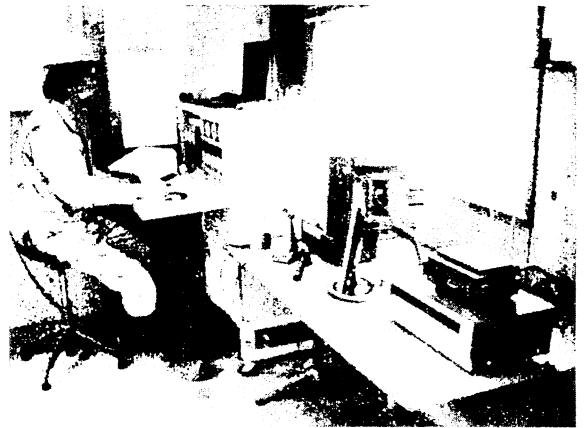


写真-6 実証試験状況（中央監視室）

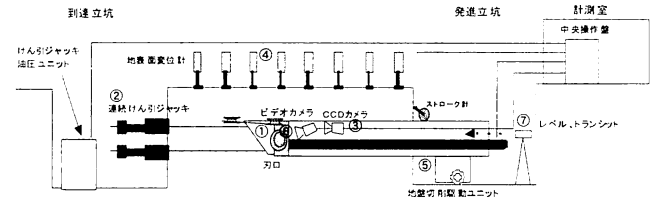


図-5 計測概要図

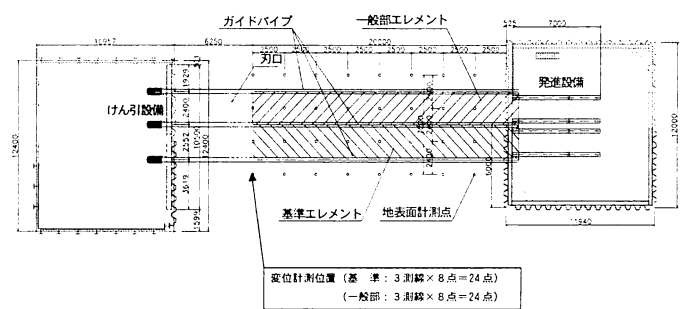


図-6 変位計測位置

表-1 計測項目

確認項目	計測項目	計測方法	時期
基本データ	①けん引力	中央操作盤	掘進中
	②移動距離・速度	ストローク計で計測	掘進中
	③作業状況	CCDカメラによる確認	常時
地表面変位	④地表面変位計測 (3測線×8点=24点)	変位計による計測	随時
切削抵抗	⑤主ブリー油圧	圧力センサーで計測	機能・動作確認時
	⑥テンション機構の上下位置	ビデオカメラによる確認	掘進中
施工精度	⑦エレメント位置測定	レベル・トランシット測量	掘進中・後
作業環境	⑧騒音	騒音計	発進時、到達時

(4) 試験結果

a) ワイヤの切削抵抗

ワイヤの切削抵抗は、駆動プーリー（主プーリー）の油圧から判断する。駆動プーリーの油圧の上限値（基準エレメント施工時で 15.7MPa、一般部で 11.8MPa）を設定し、上限値を超過する前に一旦けん引を停止し、油圧を下げるという調整を行いながらけん引掘進を行った。地盤・支障物の種別によって差は見られたが、切削に十分なトルクを有していることを確認した。

b) ワイヤソーの基本データ

ワイヤ速度は駆動プーリーの回転数を計測することで算出した。速度は、約 15m/sec であった。

駆動プーリーの油圧については、一般部エレメント施工時の場合を示す。地盤条件の違いによるプーリー油圧の変化については、図-7 に示すように特に相関は見られなかった。けん引距離 2.5m 付近から油圧が低下しているのは、ワイヤ駆動用油圧モーターの保護のため、圧力の設定値を 20.6MPa から 14.7MPa に下げたことによるものである。

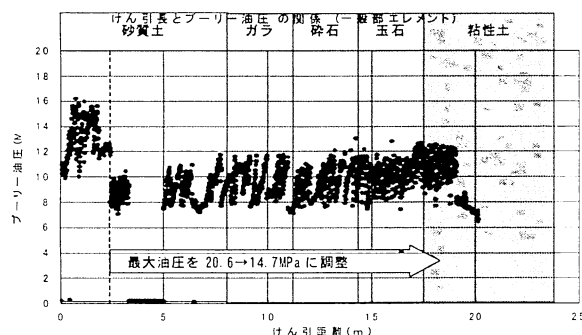


図-7 地盤条件とプーリー油圧

c) 掘進時の基本データ

〈けん引距離とけん引力〉

図-8 に一般部エレメントけん引距離とけん引力の関係を示す。けん引力のばらつきが小さく、直線的に変化している。地盤条件の違いによるけん引力への目立った

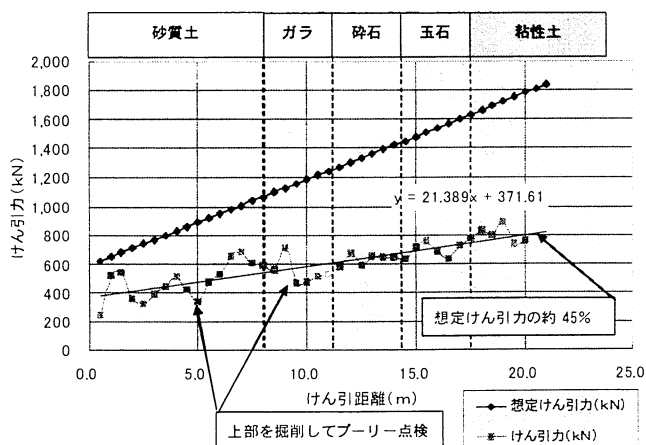


図-8 けん引距離とけん引力（一般部）

影響はなかった。

けん引距離 5.0m 付近と 9.0m 付近で刃口上部を開削して、切削装置、プーリー等の点検・交換を行ったため、その付近でけん引力が低下している。

実けん引力から算定した直線は、想定けん引力の約 45% であった。これは、後述する刃口・エレメント上部に設置したポリエチレンシートによる周面摩擦抵抗力の低減効果によるものと推定される。

〈けん引距離とけん引速度〉

図-9 に一般部エレメントのけん引距離とけん引速度の関係を示す。ここでいう「けん引速度」とは、掘削のみの時間や段取り替え等の刃口停止時間を含まない「純けん引速度」を表わしている。

けん引距離が長大化してもけん引速度に変化はなかった。地盤条件の違いによるけん引速度への影響については、ガラおよび玉石区間において支障物の切断・撤去のために時間を要し、速度が低下していた。

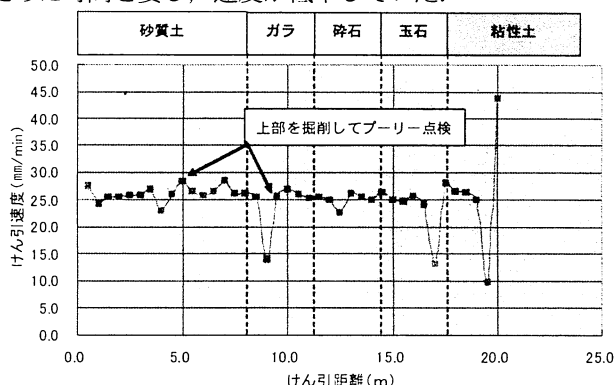


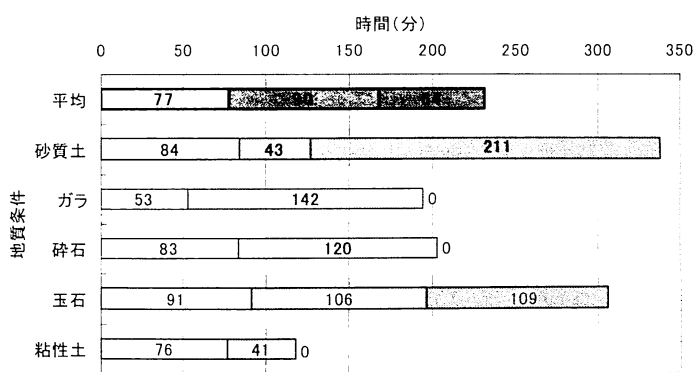
図-9 けん引距離とけん引速度（一般部）

〈サイクルタイム〉

図-10 に一般部エレメント掘進 1m あたりの平均作業時間を示す。

トラブルも含めた 1m 当たりの平均作業時間は 231 分/m（速度 4.33 mm/分），トラブルを除く平均作業時間は、167 分/m（速度 5.99 mm/分）であった。

地質条件別では、トラブルが少なければ、砂質土が最も施工速度が速く、ガラ、砕石、玉石（同程度）の順となった。



□ けん引掘進 □ 掘削のみ □ 切削装置関連のトラブル

図-10 掘進 1m あたりの平均作業時間（一般）

掘削のみ（けん引を停止して土砂の掘削・積込のみを行っている状態）を比較すると、砂質土に比べて、碎石、玉石区間では2.5～3.0倍程度時間を要した。

d) 切削状況

本工法は、刃口ルーフの先端部分を地盤に貫入させながら掘進を行うため、ガラや礫などの支障物を地盤切削ワイヤーで切断した場合、切断した支障物の下側は刃口内に回収し、上側はそのまま存置することにより、地盤の緩みを最小限に抑えることとする。

本試験では、玉石等の切断状況を確認した（写真-7）。



写真-7 切削物の状況

e) 地表面変位

図-11 に一般部エレメントけん引掘進時の地表面変位計測結果を示す。

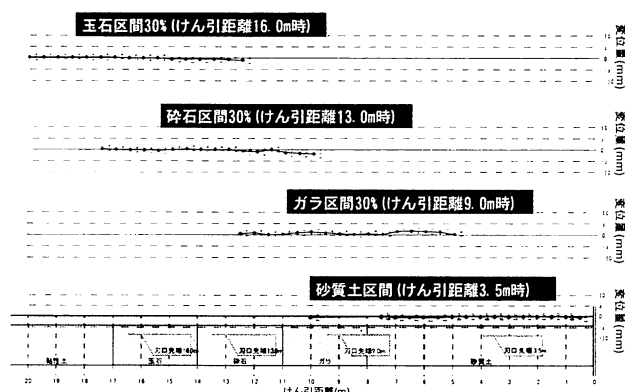


図-11 けん引掘進時の地表面変位（一般部）

基準エレメント掘進直後、地表面の先行隆起傾向が現れたため、刃口ルーフ先端までを掘削する方法で掘進したところ、刃口通過後の後方沈下の傾向が見られた。よって、一般部では掘削ラインを図-12 に示す位置（刃口ルーフ先端から200mmを貫入）に変更した。

また、刃口およびエレメントの周面摩擦の低減対策として、摩擦低減用ポリエチレンシートを設置して付着力を減少させた（写真-8）。

一般部けん引掘進時は、刃口先端部付近で最大 2.1 mm の隆起、玉石区間においても、刃口が通過した後方で最

大-2.7 mm程度の沈下、という結果であり、地表面変位は抑制できた。

ポリエチレンシートの摩擦低減効果により、地表面に与える影響を抑制できることが確認できた。

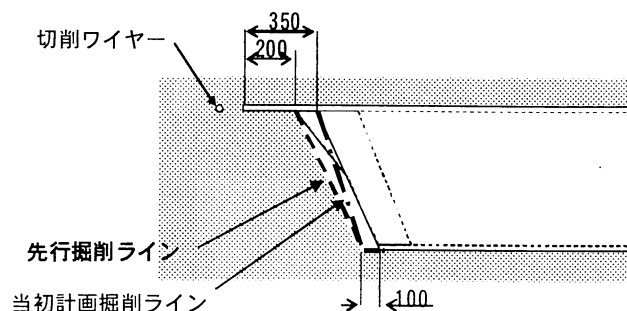


図-12 刃口前方掘削範囲（一般部）



写真-8 摩擦低減対策

4. 結論

本試験により、以下のことが確認できた。

(1) ワイヤーの切削抵抗

- ・刃口内部に設置した駆動プーリーを含むワイヤー駆動装置により、地盤・支障物切削に十分なトルクを確保できることを確認した。

- ・本切削機構により、支障物の混在する地盤およびガイドパイプ（硬質塩ビ管）を無水で切削可能であることが確認できた。

(2) ワイヤーソーの基本データ

- ・地盤条件、切削対象により切削抵抗は変化し、切削抵抗の指標である駆動プーリー油圧を確認しながら、けん引速度を調整することにより、ワイヤーの回転速度を一定に保持し、模擬地盤において平均掘進速度（けん引時の移動速度）約 25 mm/分でけん引した。

(3) 地表面変位

基準エレメントけん引掘進において、刃口先端部（350 mm）を地山に貫入させながら掘進を進めたところ、先行隆起傾向が現れたが、一般エレメントけん引掘進時は、先行掘削ラインを定め、刃口ルーフ先端から 200 mm まで地山に貫入掘削させる方法にしたところ、後方沈下を抑えることができた。

(4) けん引力

刃口およびエレメント上部に摩擦低減用ポリエチレンシートを設置して付着力を減少させた結果、沈下を抑制でき、想定けん引力の約 45% でけん引掘進できた。

5. おわりに

本試験により、無水切削ワイヤーソーの技術を地盤切削に応用することで、地盤（軌道）変状を抑制してエレメント掘進作業を行う基本的な仕組みを構築することができたと考える。実用化へ向けて、より競争力の高い工法とするための課題を整理すると、以下ようになる。

(1) 地盤切削機構における課題

a) 切削ワイヤーの耐久性

ワイヤージョイント部において、施工中の破断等が生じたことから、材質、構造等を検討し、耐久性の向上を図る。

プーリーの配置を見直し、ワイヤーに加わる負荷を低減できるように検討する。

b) メンテナンス性の向上

切削ワイヤーが切断した場合、より短時間で復旧できるようプーリーの配置、ワイヤーガイド等を検討する。

(2) ガイドパイプ施工精度

本工法におけるエレメント敷設精度は、切削ワイヤーのガイドとなるガイドパイプの敷設精度に左右される。また、ガイドパイプの精度が不十分であると、プーリーやワイヤーの破損の原因となる。

これまでの実績から、ガイドパイプの敷設精度を整理し、装置自体がどの程度まで許容できるかを検討する必要がある。

(3) 工法適用条件（土質別、施工延長別）の整理

刃口ルーフからどの程度の位置を掘削ラインとするかにより、地表面変位への影響が変わってくるため、想定される様々な土質条件における最適な掘削ラインを検討・整理する。

地盤切削管理について、駆動プーリー油圧とエアースリンダーの位置検出による管理手法を確立する。

(4) 掘削方法における課題

人力掘削作業の効率化・高速化を図るために、ワイヤー駆動装置や摩擦低減シートの配置を見直し、十分な作業空間を確保できるように検討する。

また、機械掘削の適用性を検討する。

以上のような課題を解決し、線路の安全を確保しながら工期・コスト縮減を可能とする本工法の確立に向けての取り組みを進めていきたい。

参考文献

1) 小泉秀之ほか：地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の開発、第 19 回トンネル工学研究発表会投稿中

EXCAVATION METHOD OF THE STEEL ELEMENT

SUPPRESSED THE GROUND DISPLACEMENT

Takeshi ARIMITSU, Kiyoshi KUWABARA, Hideyuki KOIZUMI,

Mitsuo CHIDIWA, Yasuo YAMAMURA

Especially in cases where a gravel layer or boulders exist, the ground outside the element is loosened after gravel and boulders have been entirely removed. The smaller the overburden, the higher the risk of subsidence of the rail track or road surface.

The development discussed in this paper is aimed at performing excavation without overbreak. The new technique uses a ground cutting wire to construct a crossing structure without affecting the railway track or the road above the structure.

This paper reports the cutting test using the edge equipped with a prototype cutting machine.