

地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の開発

小泉 秀之¹・森山 智明¹・有光 武²・長尾 達児³・中井 寛³

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木二丁目2番2号)

E-mail:koizumi@jreast.co.jp

²正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 (〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号)

³正会員 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町二丁目5番3号)

非開削による線路等のアンダーパス工事では、エレメント推進(けん引)工法が採用されることがある。特に土被りが小さい個所でのエレメント推進(けん引)は、地盤内の玉石、コンクリートガラといった支障物が起因して、地表面変位を発生させる恐れがあった。このため、万一地表面変位が発生しても影響が少ない列車運行終了後の夜間短時間での作業量が増加し、工期ならびに工事費が増大する課題があった。

今回、地盤を切削しながらエレメント掘進することで、地表面変位を極力抑え、土被りが比較的小さい個所でも列車運行時間帯に作業可能な工法を開発した。本開発では、地盤ならびに支障物の切削状況の確認試験を実施し、地盤切削に適したワイヤを選定するとともに、本工法を採用した場合の列車運行時間帯でも作業可能な地盤条件の判断方法を明確にした。

Key Words : underground structure, cutting the ground, steel element, displacement suppression of ground level

1. はじめに

線路等のアンダーパス工事においては、非開削工法が採用されるケースが増加している。非開削工法の1つに、HEP&JES工法が挙げられる¹⁾。これは、特殊継手を有する小口径鋼製エレメントを使用し、隣接するエレメントに継手を勘合させながら地盤に複数本挿入し、継手の間隙部のグラウト充填ならびに鋼製エレメント内へコンクリート充填することで、そのまま本体構造物として利用

する工法である。線路下の掘進作業は、エレメント挿入のみであるため、軌道等の地表面への影響が少ない工法である。しかしながら、従来のエレメント掘進では、掘進刃口を地山に圧入させながら、刃口のカッターにより土砂を掘削するのが一般的であるため、対象地盤が礫層や玉石混じり層である場合、比較的径の大きな玉石が機械掘進に支障することがある。また鉄道盛土等の内部には、通常の埋戻し土だけでなく、複線化など過去の工事の際に存置された当時の構造物等(コンクリートガラ、

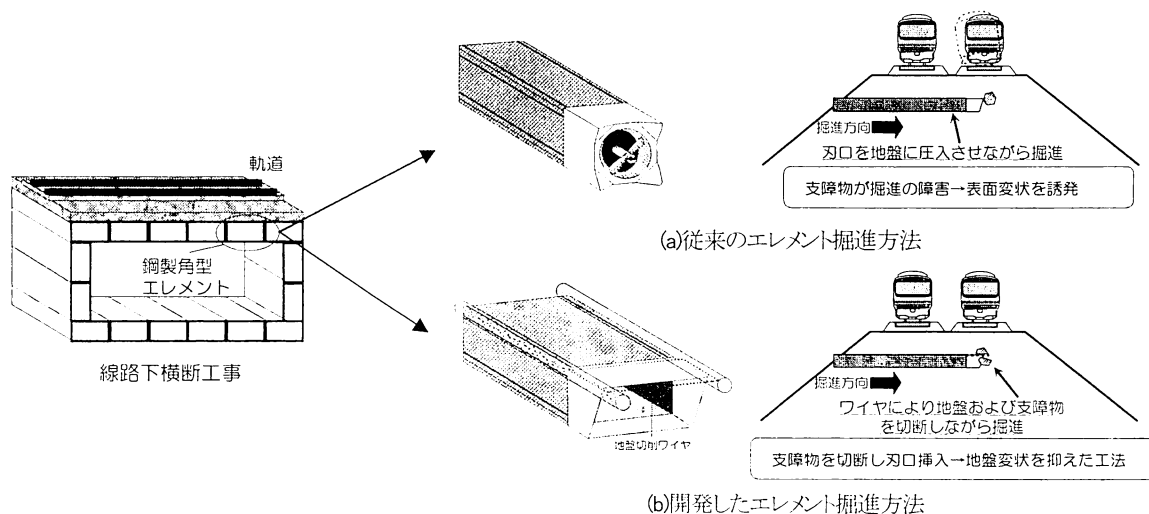


図-1 エレメント掘進方法

玉石等)が含まれていることも少なくない。このため、特に土被りが小さい箇所では、エレメント掘進の際、地盤内の支障物が起因して、地表面変状を発生させる恐れがあった(図-1(a))。具体的には、刃口で支障物を押し込み、地表面隆起を発生させるケースや、玉石等を刃口部で撤去した後、空隙部の充填不良により、地表面沈下を発生させるケースが懸念される。これらの理由から、万一地表面変位が発生しても、その影響が少ない列車運行時間外の夜間短時間での作業量が増加し、工期ならびに工事費が増大する課題があった。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(図-1(b))を開発したが、その際の確認試験結果と検討事項について報告する。

2. 工法の概要

開発工法は、刃口前方上面に設置した地盤切削ワイヤにより、支障物が混在する地盤を切削しながら刃口を貫入する(図-2)。ワイヤ機構は、刃口前方の地盤切削部分(写真-1)と、エレメント掘進に先行して設置したガイドパイプ(φ300mm程度)内を通るプーリー群な

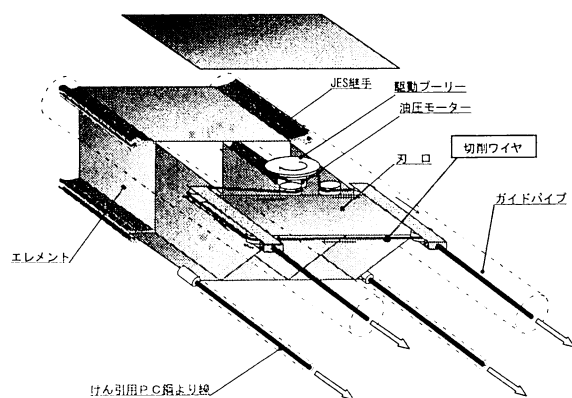


図-2 刃口概要図

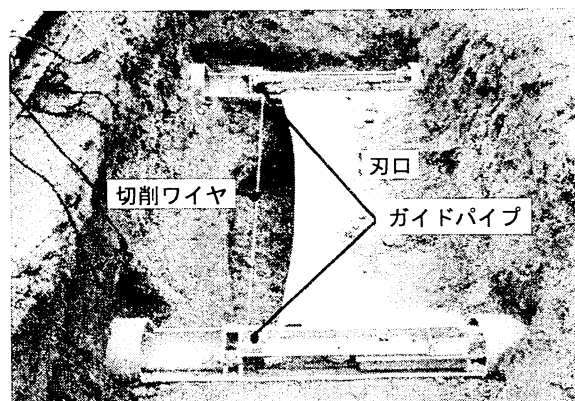


写真-1 刃口先端部構造

らびに刃口内部に設置した油圧モーター式の駆動プーリー一部から構成される。また、刃口上面のルーフ部分を先行して地盤に貫入させることで、地盤の沈下を抑制しながら、エレメント掘進する。エレメント幅は、従来工法では1 000mm程度を採用するケースが多かった。これは機械掘進を基本としており、オーガー式掘削マシン寸法を考慮したためである。開発工法では2 000mmを超えるエレメント幅とした。これは開発工法では人力掘進を基本とし、エレメント幅の寸法変更が容易なことから、刃口内部での作業性向上を図り、かつ機械掘進と比較して施工スピードが劣る人力掘進の施工速度向上を図るため、エレメント挿入本数減による工期ならびに工事費縮減を目的にしたものである(図-3)。

本工法を開発するにあたり、以下の項目について、検討を実施した。

- ① 地盤を切削するのに適したワイヤ選定
- ② エレメント幅に伴う地表面等への影響

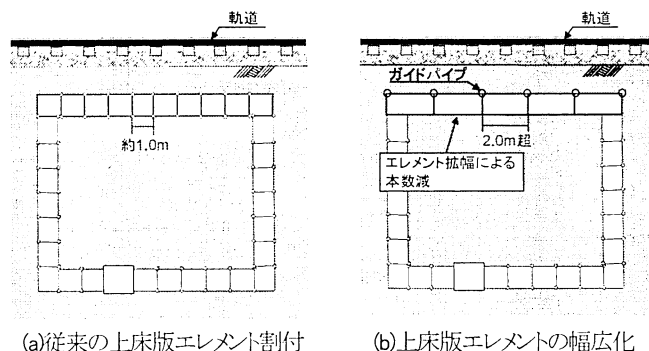


図-3 上床版エレメント挿入本数

3. 地盤切削ワイヤ性能確認試験

ワイヤを用いてコンクリート構造物等を切断する場合、一般的には、ワイヤの冷却と付着物の洗浄を目的に、水を使用するケースが多い。しかしながら、今回のように地盤を切削する場合、ワイヤ冷却と洗浄を目的に水を使用すると、地盤切削部の水分が増加し、エレメント掘進中に地山の緩みを発生させてしまうことが懸念された。そこで、地盤切削に無水切削ワイヤソー²⁾の採用を検討した。ワイヤ性能を確認するため、支障物を含んだ模擬地盤を作成し、切削確認試験を実施した。模擬地盤を図-4に示す。模擬地盤は流動化処理土(一軸圧縮強度0.87N/mm²)中に、支障物を模したコンクリートブロック、マクラギあるいは玉石を配置した。試験概要を図-5に示す。試験は、ガイドパイプとなる塩ビ管(VP300)の切削状況を確認するため、模擬地盤の外側に塩ビ管を配置し、地盤と同時に切削した。試験結果を

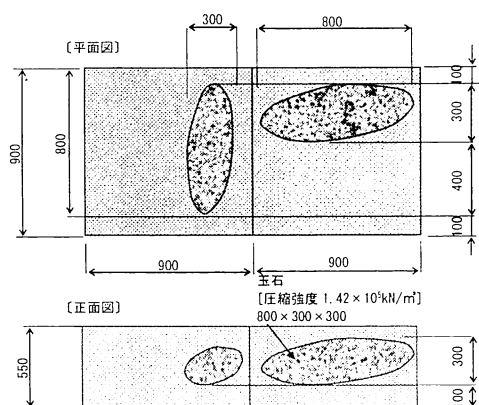
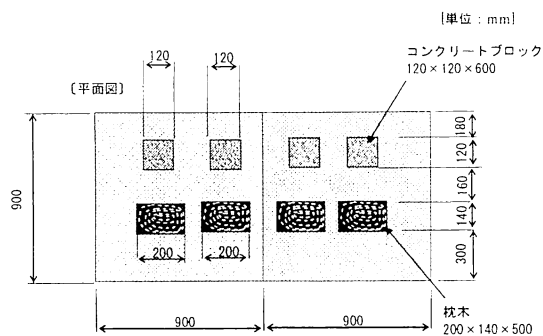


図-4 模擬地盤概要図

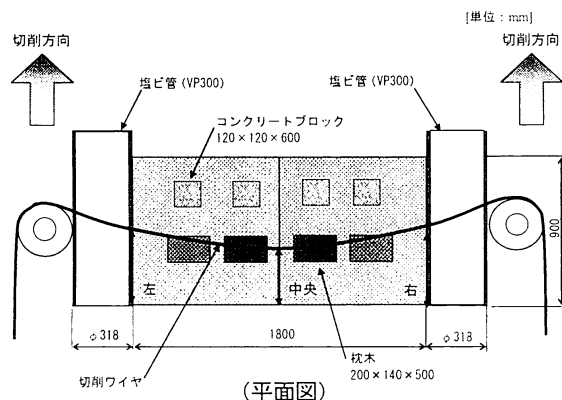


図-5 ワイヤ性能確認試験概要図
(コンクリートブロック、マクラギ配置ケース)

表-1 ならびに写真-2 に示す。切削時間は、切削前後の空運転およびプリー盛替え等による停止時間を除いた時間である。試験結果は、切削対象により切削速度にばらつきはあるものの、切削能力は十分であり、切削中にワイヤの急激な温度上昇は見られなかった。またガイドパイプとなる塩ビ管の切削は、切削再開時などに局所的な衝撃が加わることによる破断等が懸念されたが、スムーズに切削できた。

表-1 ワイヤ性能確認試験結果

切削対象	切削距離 (mm)	切削時間 (分)	平均速度 (mm/分)	切削効率 (%)
支障物なし	840	62	13.5	100 として
枕 木	140	25	5.6	41
コンクリート	120	9	13.3	99
玉 石 × 1	400	42	9.5	70
玉 石 × 2	300	41	7.3	54

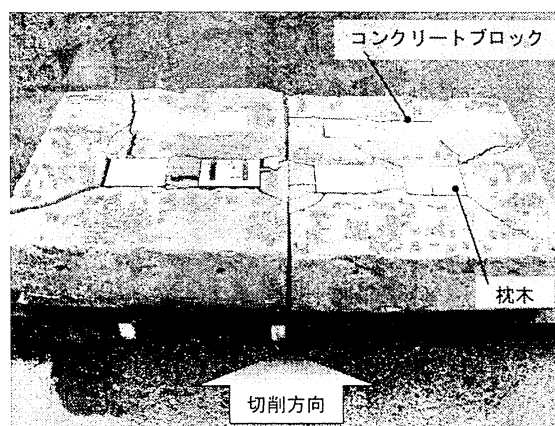


写真-2 切削面の状況

4. 地表面等への影響検討と対策

(1) 地盤沈下に対する検討

人力でエレメント掘進する場合、土被りが小さい個所では、エレメント幅の拡幅に伴い、列車荷重等の変動荷重による刃口部での土砂崩壊、路盤陥没の発生が懸念された。そこで、3次元の円筒すべり方法を用いて適切なエレメント幅の検討を行った。モデル化は、崩壊形状を横型円筒状と仮定し³⁾ (図-6)、すべり土塊と抵抗力のモーメントのつり合いから安全率を算定する手法を採

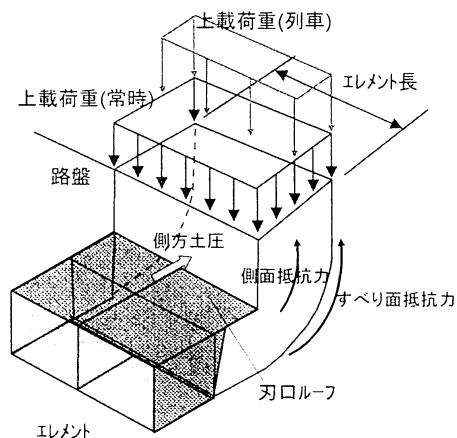


図-6 円弧すべり検討モデル

用した。この際、刃口ローフを伸ばすことで、滑動に対する抵抗力向上を図ることとした。検討地盤ケースを表-2に示す。なお必要安全率は、既往の研究を参考に1.2とした³⁾。地盤側面抵抗力 M_{sr} ならびに安全率 F_s の算定式を式(1a)ならびに式(1b)に示す。

表-2 円弧すべり検討地盤ケース

土質区分	γt (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (度)
土質① (粒度良好な砂, 砂礫等)	18	6	45
土質② (一般の砂, 砂礫)	17	6	40
土質③ (粒度配合の悪い砂)	16	6	35
土質④ (粘性土)	14	18	0

$$M_{sr} = 2 \times \tau_c \times A_s \times L_c \quad (1a)$$

M_{sr} : 地盤側面抵抗モーメント (kN・m)

τ_c : 側面抵抗領域のせん断抵抗 (kN/m²)

A_s : 側面抵抗領域 (m²)

L_c : すべり円弧中心点からの距離 (m)

$$F_s = \frac{R \sum (cL + W \cos \alpha \tan \phi) + M_{sr}}{R \sum (W \sin \alpha)} \quad (1b)$$

F_s : 安全率

R : すべり円弧の半径 (m)

c : 粘着力 (kN/m²)

L : スライス底面の長さ (m)

W : スライスの全重量 (kN/m)

α : スライス底面が水平面となす角度 (度)

ϕ : 内部摩擦角 (度)

安全率の計算結果を図-7に示す。エレメント幅を2400mmとした場合、刃口上面が下面より前方に850mm (1.0h, h: エレメント高) 突出した形状とすることで、比較的良質な地盤において、土被り1.0m程度以上確保さ

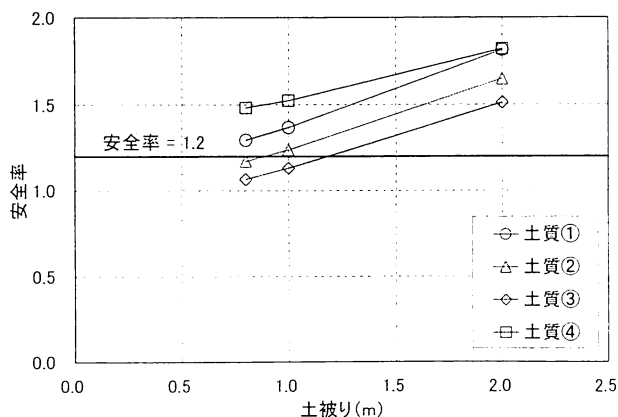


図-7 円弧すべり検討結果

れていれば、概ね必要安全率を満たすことが確認された。また、エレメントの運搬制約も考慮し、開発工法では、エレメント幅を2400mmとした。

(2) エレメント上載土塊移動抵抗の検討と対策

エレメント幅の拡幅に伴い、エレメント上面と地盤との摩擦力が増加し、エレメント掘進に伴い、上部土塊移動による地表面変状が懸念された。そこで、エレメント上部土塊の水平抵抗力の検討を実施した。一様な路盤直下をエレメントが通過した際に、エレメント上載土が周囲から切り離され、エレメントとともに前方移動しようとした際に発生する水平力(滑動力)に対し、路盤のせん断力(内部摩擦角および粘着力から得られるせん断抵抗を用いた1面せん断抵抗)で抵抗するものとした。検討モデルを図-8に示す。エレメント幅は2400mmとし、奥行(エレメントけん引方向)1.0mあたりの滑動力と水平抵抗力を比較することとした。検討地盤ケースは表-2と同様とした。なお、路盤とエレメントとの周面摩擦抵抗値は、過去の実績をもとに $\mu \times P_m = 9.8 \text{ kN/m}^2$ (μ : 土とエレメントとの摩擦係数, P_m : 周辺平均土圧)と一定とし⁴⁾、必要安全率を1.2とした。滑動力 P_s と水平抵抗力 P_R の算定式を式(2a)ならびに式(2b)に示す。

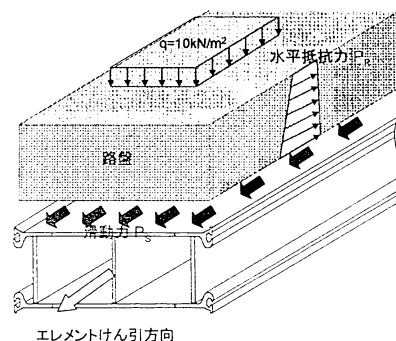


図-8 路盤滑動検討モデル

$$P_s = P \times L \times B \quad (2a)$$

P_s : エレメント延長1mあたりの滑動力 (kN)

$P = \mu \times P_m$: 周面摩擦抵抗値 (=9.8 kN/m²)

L : エレメント延長 (=1m)

B : エレメント幅 (m)

$$P_R = 2 \times \sum (\tau \times L) \quad (2b)$$

P_R : 路盤の水平抵抗力 (kN)

τ : せん断抵抗 (kN/m²)

L : エレメント延長 (=1m)

検討結果を図-9に示す。土質によっては、土被り1.0h前後で必要安全率を満たさないことから、必要によりエレメント上面に滑材塗布や摩擦低減（フリクションカット）シートを設置することで、摩擦力の低減を図ることとした。摩擦低減シートは、シート先端を発進立坑部に取り付け、エレメント掘進に伴い、刃口上面からロール式に巻き出す方法を採用した（図-10）。シートとエレメントの摩擦力は、土とエレメントとの摩擦力より小さく、エレメント上部に発生する摩擦力を低減するとともに、シートにより、エレメント移動に伴う上部土塊の変位を抑えることが可能である。

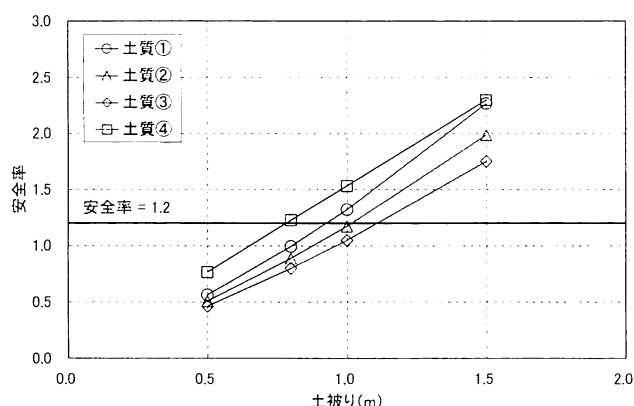


図-9 路盤滑动検討結果

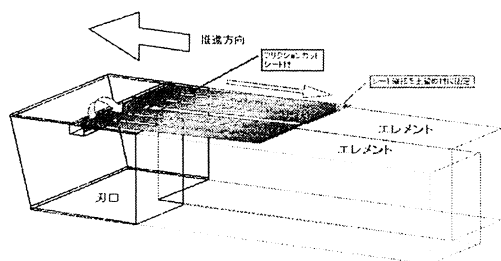


図-10 摩擦低減シートの例

5. おわりに

線路等のアンダーパス工事では、線路等既設構造物の安全性を保ちつつ、今後も更なる工期ならびに工事費縮減が求められる。今回報告した開発工法に関する設計上の検討事項および材料確認試験と合わせて、実物大エレメントを用いた確認試験を実施したが、地表面への影響も小さく良好な結果が得られた。これまでの検討結果を踏まえ、本工法は、土被りが比較的小さいものの、地盤条件が比較的良好な条件下で適用可能であることを確認できた。地表面変位を抑え、列車運行時間帯での施工も可能となることで、工期、工費に与えるメリットも大きい。今後も本工法適用に向けて取組みを進めていきたい。

参考文献

- 1) 千々岩三夫，斎藤雅春：地下空間での交通機関の新しい立体交差工法，地下空間シンポジウム論文報告集，Vol.8, pp. 273-279, 2003.
- 2) (財)原子力発電技術機構 廃止措置技術総合調査委員会：廃止措置技術ハンドブック 除染・解体・再利用編，p.3-2, 2007.
- 3) 片桐雅明，石井武司，斎藤邦夫，増田達，相沢文也，鶴飼恵三：砂地盤中の泥水掘削溝壁の破壊メカニズムとその解釈，土木学会論文集，No.666, III-53, pp. 127-143, 2000.
- 4) 非開削工法設計施工マニュアル，JR東日本，p 8-29, 2009.

STEEL ELEMENT EXCAVATION METHOD OF SUPPRESSING GROUND LEVEL DISPLACEMENT

Hideyuki KOIZUMI, Tomoaki MORIYAMA, Takeshi ARIMITHU, Tathuji NAGAO,
and Hiroshi NAKAI

When new establishment of the road is constructed under the railway track, element jacking (tracking) method is often adopted. Displacement of ground level that cannot be allowed might happen in the part where the overburden is small because of the cobblestone and concrete splinter.

The industrial method proceeded to excavate while cutting the ground was developed. It is possible to work at the train operation time even in the part where the overburden is small because the ground level displacement is small.