

# 鋼製エレメントを本体利用した地下構造物の施工特性

## Execution characteristic of the Underpass Structure used by steel elements

西島和男<sup>1)</sup>・清水満<sup>2)</sup>・渡邊明之<sup>3)</sup>・栗栖基彰<sup>1)</sup>

Kazuo NISHIJIMA, Mitsuru SHIMIZU and Akiyuki WATANABE and Motoaki KURISU

In recent years, many underpass structures of railroad such as urban transport and water pipes have been planned and constructed. In constructing an underpass structure of railroad, the method should be safety, low-priced and quickly. From these points, we developed the HEP & JES method. This time, we carried out the survey about the execution characteristic at the time of element hauling. We report about the traction of the element in this manuscript.

**Key Words:** Underpass Structure, Traction, Joint, Frictional Resistance, Steel Elements

### はじめに

近年、限られた用地の高度利用、都市基盤整備を目的として、営業する鉄道下を横断交差する都市交通や上下水道構造物が計画・施工されるケースが増えている。線路下を横断して構造物を構築する場合、列車走行の安全性を確保することが第一であり、さらには施工期間が短く経済性の高い構造・施工方法が必要である。

このような要求性能を充たすため、HEP & JES工法 (High Speed Element Pull & Jointed Element Structure) が開発された。今回、この工法におけるエレメントけん引時の施工特性について調査を実施した。本稿では、そのうちエレメント挿入時のけん引力の算定方法について報告する。

### 1. エレメントけん引力の算定方法と問題点

現在、HEP & JES工法で用いているけん引力は、開発段階に施工試験<sup>1)</sup>を実施し、既往の技術を参考にけん引力算定方法を確認し、計算している。図-1に、施工試験の概要を示す。

施工試験は、土被り1m、延長28mの区間で□850mm×850mmの基準エレメント1本、一般部エレメント(コの字形状)2本を17mまでは直線的けん引、それ以後は強制的に方向制御を行ってけん引掘進し、その時のけん引力を計測している。なお、基準エレメントおよび一般部エレメント①は滑材なしでけん引し、一般部エレメント②は滑材注入を行いながらけん引し、滑材注入の効果についても確認している。滑材の注入箇所は一般部エレメント②の先頭エレメント

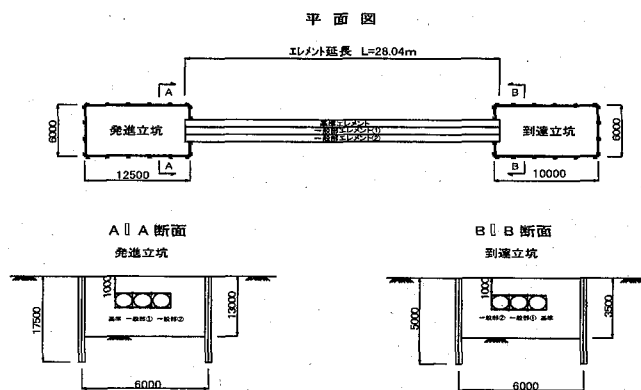


図-1 試験概要図

- 1) 正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務 構造技術センター 地下・トンネル構造グループ
- 2) 正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務 構造技術センター 地下・トンネル構造グループ 課長
- 3) 正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務 構造技術センター 地下・トンネル構造グループ 副課長

下部注入口を用いて、発進坑口より10m付近から注入を実施した。試験には表1に示す土質性状の試験土を使用している。

既往の技術や、施工試験結果から、けん引力は、掘削装置の先端抵抗とエレメントの周面摩擦抵抗、及びJES継手部の摩擦抵抗の和により算出されることが分かっている。

しかし、今まで施工した現場では、施工試験結果から求めたけん引力が示すほど大きな力は作用せず、計算値が大きくなりすぎる傾向が指摘されてきた。安全かつ経済的にけん引掘進を行うためには、設計けん引力を適切に算定する必要がある。そこで今回、新たにけん引試験を実施し、けん引力の検証を行った。

表-1 土質試験結果

| 試験項目 |                                      |       |
|------|--------------------------------------|-------|
| 一般   | 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.656 |
|      | 自然含水比 $W_n$ (%)                      | 26.7  |
| 数    | 液分 2~74mm (%)                        | 0.0   |
|      | 砂分 74 $\mu$ m~2mm (%)                | 48.1  |
|      | シルト分 5~74 $\mu$ m (%)                | 45.9  |
|      | 粘土分 5 $\mu$ m未満 (%)                  | 5.0   |
|      | 均等係数 $U_c$                           | 3.48  |
| 度    | 曲率係数 $U_c'$                          | 1.30  |
|      | 最大粒径 $d_{max}$                       | 0.85  |
|      | 分類                                   | シルト   |
| 分類   | 分類番号                                 | ML    |

## 2. エレメントけん引試験の概要

けん引試験を行った現場は、最大土被り約7m、線路直下で約4mの土被りがあり、施工延長49.2mをHEP工法によりけん引掘進している。けん引力の計測は、図-2に示す箱型ラーメンボックスのうち上床版の基準エレメント(ロの字形状)Aの1本と一般部エレメント(コの字形状)B, Cそれぞれ8本について計測を行った。施工区分としては、基準エレメントは人力掘進、一般部エレメントは機械掘進となっている。

上床エレメントが通過する地質は、緩い砂層となっていて、エレメント下面に徐々に粘土層が貫入してくる地層となっている。エレメント周面摩擦抵抗を低減する滑材は使用していない。

また、噛み合わせていない側の継手内部に土砂が流入するのを防止するため、鋼管による防護を全長に渡り行っている。鋼管による防護の詳細図を図-3に示す。

JES工法で使用するエレメントは、エレメント高さ850mmを標準としているが、当現場ではエレメント高さを1000mmとしている。図-4にJESエレメント詳細図を示す。

## 3. 試験結果

### (1) 計測結果

計測結果を図-5に示す。縦軸にはけん引力(kN)、横軸にはエレメントけん引長さ(m)を示している。初期けん引力は、600kN~1000kNと大きな抵抗を示し、けん引距離に比例してけん引力は増加している。各エレメントとも同じような増加傾向を示している。

従来のJES工法におけるけん引力の設計は、掘削装置の先端抵抗とエレメントの周面摩擦抵抗及び、JES継手部の摩擦抵抗の和により算出され、次頁に示す計算式で求められる。

図-5に示す、従来の設計けん引力計算(以後、従来式と言う。)では、継手部の摩擦抵抗は、実験により求められたエレメントの単位長さ当たりの摩擦抵抗力<sup>1)</sup>(20kN/m~30kN/m)の平均値25kN/mを用いている。また、噛み

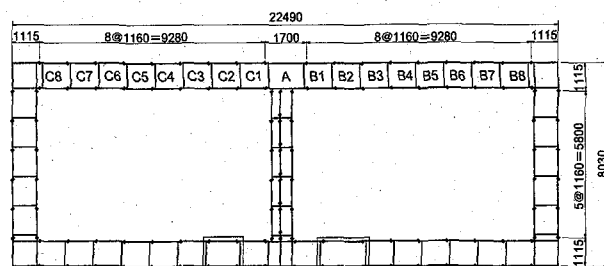


図-2 エレメント割付図

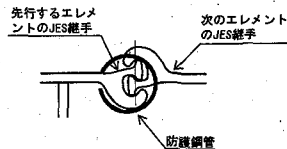


図-3 継手の防護鋼管詳細

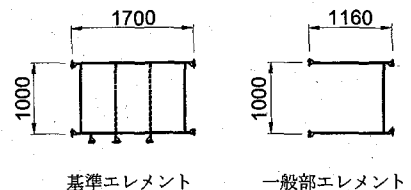


図-4 エレメント詳細図

合わせていない側の継手には、内部に土砂が流入するのを防止するため、鋼管による防護を全長に渡り設置している。防護鋼管の押し出し抵抗力は、先に実施した施工試験から 2kN/m のけん引抵抗力が有ることが分かっていて、従来式に、鋼管を押し出す抵抗力を別途加算しているの、初期けん引力が大きくなっている。

設計けん引力は、けん引力のばらつきを包括するため、計算値を 20%割増した値を示している。

図-5 に示すように、従来の設計けん引力は初期値で小さな値を示し、けん引長が長くなるにつれて、計測値と設計けん引力の開きが大きくなっていることが分かる。そこで、けん引抵抗力の係数の見直しを行った。

$$P = P1 (\text{先端抵抗}) + P2 (\text{エレメント全周摩擦による抵抗}) + P3 (\text{継手部の摩擦抵抗})$$

ここに、 $P1 = S \cdot Q_r$

$$P2 = \beta \cdot \mu \cdot P_m \cdot F \cdot L$$

$$P3 = \kappa \cdot L$$

$Pd$  : 設計けん引力 (kN)

$P$  : けん引力 (kN)

$S$  : 掘削装置外周長 (m)

$Q_r$  : 掘削装置の単位長さ当たりの抵抗力 (98 kN/m)

$\beta$  : 滑材注入による低減係数 (70%)

$\mu$  : 土とエレメントとの摩擦係数  $\mu \times P_m = 9.8$

$P_m$  : 周辺平均土圧 (kN/m)

$F$  : エレメントの単位長さ当たりの外周面積 (m<sup>2</sup>/m)  
(20~30 kN/m)

$\kappa$  : エレメントの単位長さ当たりの継手部の摩擦抵抗力

$L$  : 推進長 (m)

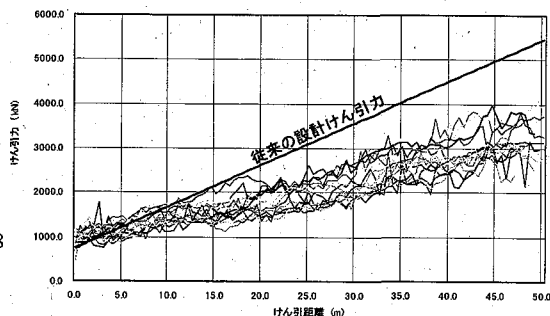


図-5 けん引力と従来式の関係

## (2) 従来式との比較

### ①先端抵抗 $P_1$ について

実際の実測データでは平均で 900kN 程度の初期貫入抵抗を示している。従来式から計算すると先端抵抗は、 $P_1 = S \cdot Q_r = 423\text{kN}$  となる。防護鋼管の押し出し抵抗力は、先に実施した施工試験から 2 kN/m のけん引抵抗力が有ることが分かっていて、防護管の押し出し抵抗力は、計算上で 197kN となる。実測データの 900kN と比較すると、従来式から求まる先端抵抗は  $P_1 = 423 + 197 = 620\text{kN}$  となり、小さな値を示していることが分かった。これより、従来式では、 $Q_r$  の掘削装置の単位長さ当たりの抵抗力を 98.0kN/m としているが、これを見直すこととした。実測データから防護鋼管の抵抗力を差し引いた先端抵抗力は、約 700kN となる。これから掘削装置の単位長さあたりの抵抗力を逆算すると  $Q_r = 160\text{kN/m}$  となる。以上より、掘削装置の単位長さ当たりの抵抗力  $Q_r$  を 160kN/m と見直すこととした。

### ②エレメント全周摩擦による抵抗 $P_2$ と継手部の摩擦抵抗 $P_3$ について

エレメント周面摩擦による抵抗力は、従来式で計算すると 1m 当たり 32.5kN/m となる。エレメントが通過している地盤は N 値 5 程度の砂質地盤からなり、打込み鋼管杭の式<sup>2)</sup> から計算される周面摩擦力は  $2N\text{kN/m}^2$  ( $N=N$  値) で表せる。打込み鋼管杭の摩擦力から計算すると 1m 当たりの周面摩擦力は 33.2kN/m となる。これより、従来式程度の周面摩擦力がエレメント周面に作用しているものと考えられる。実測データから求まる増加けん引力には、エレメント周面摩擦抵抗力と継手摩擦抵抗力及び防護鋼管の押し出し抵抗力が含まれている。ここで、継手摩擦抵抗値を 25kN/m として計算するとエレメント周面摩擦抵抗がマイナスとなり矛盾が生じる結果となった。以上より、継手部の摩擦抵抗値を見直すこととした。

エレメントの周面摩擦力を従来式通りとして、実測データから継手部の摩擦抵抗を逆算すると 15kN/m 程度とな

表-2 エレメント周面摩擦抵抗力一覧表

| 区 間     | エレメントの周面摩擦抵抗<br>(1m 当たり) |
|---------|--------------------------|
| 0m~10m  | 43.4 kN/m                |
| 10m~20m | 12.2 kN/m                |
| 20m~30m | 27.4 kN/m                |
| 30m~40m | 41.4 kN/m                |
| 40m~50m | 34.6 kN/m                |
| 平 均     | 31.8 kN/m                |

る。表-2は各施工区間のエレメント周面摩擦による抵抗力を1m当りに換算した値を示している。表中の値は、継手摩擦抵抗を15kN/m及び防護鋼管の押し出し抵抗力を2kN/mとして換算したものを表している。計測結果から、エレメント周面摩擦による抵抗力は、従来の式で評価できることが確認できた。

### ③提案式の評価

以下に提案式を示す。図-6は、各エレメントの実測データと提案式から求めたエレメントけん引力を示す。提案係数から求めたけん引力は、データの平均値と比較して傾きがほぼ一致しており、良い相関関係を示している。設計けん引力は、けん引データの最大値を包括していなければ安全なけん引作業はできない。そこで、計算値を20%割増したものを設計けん引力として実測データと比較すると、最大値を包括することが確認できた。

$$P = P_1 (\text{先端抵抗}) + P_2 (\text{エレメント全周摩擦による抵抗}) + P_3 (\text{継手部の摩擦抵抗})$$

$$\text{ここに、} P_1 = S \cdot Q_r$$

$$P_2 = \beta \cdot \mu \cdot P_m \cdot F \cdot L$$

$$P_3 = \kappa \cdot L$$

$P_d$  : 設計けん引力 (kN)

$P$  : けん引力 (kN)

$S$  : 掘削装置外周長 (m)

$Q_r$  : 掘削装置の単位長さ当たりの抵抗力 (160 kN/m)

$\beta$  : 滑材注入による低減係数

$\mu$  : 土とエレメントとの摩擦係数  $\mu \times P_m = 9.8$

$P_m$  : 周辺平均土圧 (kN/m)

$F$  : エレメントの単位長さ当たりの外周面積 (m<sup>2</sup>/m)

$\kappa$  : エレメントの単位長さ当たりの継手部の摩擦抵抗力

$L$  : 推進長 (m) (10~20 kN/m)

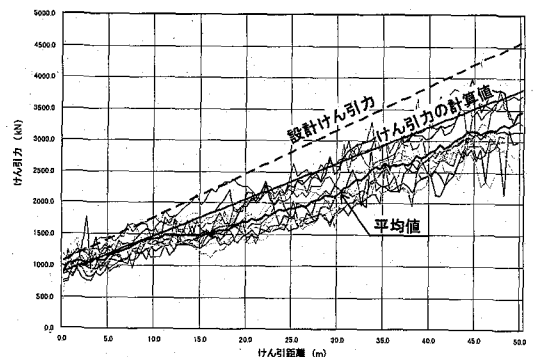


図-6 計測データと設計けん引力の関係

開発段階に行った施工試験では粘性土で、今回行った試験では砂質土となっているが、土質による違いはなくエレメント摩擦抵抗は概ね同じ値を示している。竹下氏らの研究<sup>3)</sup>によると、URT工法(中掘り式推進工法)によるエレメント推進時の先端抵抗と周辺抵抗は、N値が7以下であれば常数で、7を越えるとN値( $N \geq 15$ )が増えるにつれて大きくなるという研究成果が報告されている。今回行った試験の範囲内では、周辺抵抗について推進と同様に、けん引についても竹下氏らの研究成果と同様な結果を得ることとなった。

### 4. まとめ

N値5程度の地盤においてHEP&JES工法でエレメントをけん引した施工データから次のことがわかった。

- 1) 今回実施した地盤条件内では、先端抵抗力の計算で使用する掘削装置の単位長さ当たりの抵抗力 $Q_r$ は、160kN/mとして計算できる。
- 2) 今回実施した地盤条件内では、エレメント全周摩擦による抵抗は、従来式で計算できる。
- 3) 継手部の摩擦抵抗は、10kN/m~20kN/mとして計算できる。

終わりに、現在までHEP&JES工法で施工した実績は40件となり、益々増加する傾向にある。精度良くけん引力を算定するには、今後、各種条件による施工データの蓄積と解析が必要であると考えている。

### 5. 参考文献

- 1) 先端建設技術センター:先端建設技術・技術審査証明 報告書「HEP&JES工法」pp.17-19 平成12年11月
- 2) 鉄道構造物設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物 pp.224-226 平成12年11月
- 3) 竹下貞雄、行委孝一、美浦明彦:URT工法における推力の推定について 第9回非開削研究発表会論文集