

PCR ダブルエレメント工法における推進力に関する考察

近畿日本鉄道(株) 正会員 大野 隆 (株)大林組 正会員 堀ノ内 講一
(株)大林組 正会員 上月 健司 (株)大林組 正会員○和田 健次
日本ケーモー工事(株) 正会員 丸山 芳之

1. はじめに

奈良県農免農道整備事業に伴う、近畿日本鉄道(株)吉野線薬水～福神間の盛土部との立体交差(延長 L=14.1m、土被り厚 H=4.2m)において、非開削工法として PCR (Prestressed Concrete Roof Method) ダブルエレメント工法を採用した。本報文は、実施工時に計測した推進力を元に、その発生機構ならびに算定方法に対する考察を示すものである。

2. PCR ダブルエレメント工法の概要

本工法は、先行して2本並列に掘削・推進した角形鋼管(1,100×1,100mm)の後方より、プレテンション方式PC桁(ダブルエレメント桁、1,100×2,200mm)を置換推進した後、頂版、側壁、底版の部材毎、PC 鋼線による横締・緊張することにより一体化を図り、ボックスカルバートを構築する工法である(図-1)。

3. 従来の推進力算定方法

本工法は、従来のシングルエレメントによる PCR 工法に比べ、置換推進回数の減少により軌道に与える影響を低減でき、またエレメント数の減少により構造物の信頼性が向上し、さらには構造物の出来形精度の向上が図れるなどのメリットがある反面、置換推進時の推力が増大する可能性がある。従来工法であるシングルエレメント工法における必要推進力については、次式にて算定される。

$$F: (必要推進力) = P_1 + P_2 \cdots \text{式(1)}$$
$$P_1: (エレメントの先端抵抗力) = S \cdot Q_r \text{ (kN)}$$
$$P_2: (エレメントの摩擦抵抗力) = \mu_0 \cdot P_m \cdot S \cdot L \text{ (kN)}$$

S: エレメント外周長(m)、 Q_r : エレメント先端単位長さ当り抵抗力(kN/m)
 μ_0 : エレメント外周の摩擦係数、 P_m : エレメント外周平均土圧(kN/m²)、L: エレメント推進長(m)

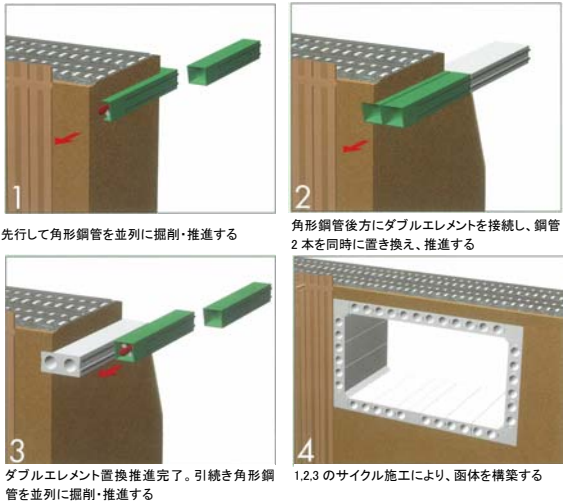


図-1 PCR 工法推進施工サイクル概要図

表-1 Q_r および μ_0 値

	シルト質粘土	砂質シルト	中細砂	砂礫	ローム
Q_r (kN/m)	40~90	50~100	50~150	100~150	50~100
μ_0	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4
$\mu_0 P_m$ (kN/m ²)	4.0~6.0	5.0~10.0	10.0~20.0	20.0~30.0	5.0~10.0

「箱形トンネル形式 計画・施工の手引き (URT 協会発行)」より

式(1)では、推進力を①先端抵抗力および②摩擦抵抗力としている。しかしながら実際は、頂版、側壁、底版の施工部位毎に作用土圧は異なり、並列管との継手ジョイント部の抵抗力も同時に発生している。そこで、推進力を決定する成分のうち、摩擦抵抗力にあたる成分をさらに詳細に分割し、実施工により得られた推進力に対する検証を実施することとした。なお、当該施工部の土質性状は「礫混じり中細砂」であった。

4. 実測結果に基づく推進力算定方法の検討

推進力の算定式として式(1)右辺第2項(P_2 : 摩擦抵抗力)を上面、側面、底面の周面摩擦抵抗力、ならびに継手ジョイント部の摩擦抵抗力の成分に分割し、さらにエレメント置換時において作用する施工時荷重を固定値と考え、下式による定式化を実施し、実測値に対する回帰分析によるパラメータの同定を実施した。

$$F: (必要推進力) = P_1 + P_{2-1} + P_{2-2} + P_{2-3} + P_{2-j} + P_{2-r} \text{ (kN)} \cdots \text{式(2)}$$
$$P_1: (エレメントの先端抵抗力) = S \cdot Q_r \text{ (kN)}$$
$$P_{2-1}: (上面摩擦抵抗力) = \mu_1 \cdot \gamma \cdot H_1 \cdot A_2 \text{ (kN)}$$
$$P_{2-2}: (側面摩擦抵抗力) = \mu_1 \cdot K_0 \cdot \gamma \cdot H_1 \cdot A_3 \text{ (kN)}$$
$$P_{2-3}: (底面摩擦抵抗力) = \mu_1 \cdot (\gamma \cdot H_1 + W) \cdot A_4 \text{ (kN)}$$
$$P_{2-j}: (ジョイント抵抗力) = f_j \cdot L \text{ (kN)}$$
$$P_{2-r}: (エレメント置換抵抗力) \text{ (kN)}$$

S: エレメント外周長(m)、 Q_r : エレメント先端単位長さ当り抵抗力(kN/m)、 μ_1 : エレメント外周の摩擦係数、 W : 単位長さ当り管重量(kN/m)
L: エレメント推進長(m)、 H_1 : 有効土被り高(m)、 A_2 : 接面積(m²)、 K_0 : 静止側圧係数、 f_j : 単位長さ当りジョイント抵抗力(kN/m)

キーワード PCR ダブルエレメント工法、推進力算定式、回帰分析

連絡先 〒540-8584 大阪市中央区北浜東4番33号(株)大林組 TEL 06-6946-4488

計測データの整理に当たっては、各要素の推進抵抗力の条件が異なるため、タイプ別（角形鋼管推進・エレメント置換推進の区別、および頂版・側壁・底版の施工部位、並列管とのジョイントの有無）に分類し（図-2）、式(2)に対する回帰分析を実施した。なお、式(2)については、推進長 L (m)を変数とした線形式となる。

表-2 に各パラメータの同定結果一覧を示す。また、図-3~4 に推進力実測値、ならびに式(1)、(2)を用いた算定結果の比較を示す。図に示す通り、式(2)を適用した場合、ほぼ実測値に対するフィッティングが可能であると判断できる。

表-2 パラメータ同定結果

	単位	角形鋼管推進時			エレメント置換推進時		
		頂版	側壁	底版	頂版	側壁	底版
Q_t	(kN/m)	96.1	95.2	55.7	—	—	—
μ_1	—	0.09					
f_j	(kN/m)	11.9					
H_t	(m)	4.2	3.3	5.4	4.2	3.3	3.8
P_r	(kN)	—	—	—	949	117	949
$H_0^{※1)}$	(m)	4.2	5.7~9.3	10.8	4.2	5.7~9.3	10.8
$H_t^{※2)}$	(m)	1.7	2.1	2.1	2.4	2.1	4.0

※1) H_0 : 角形鋼管、エレメントまでの土被り高さ(m)
※2) H_t : Terzaghi の緩み土圧式から算出される緩み高さ(m)

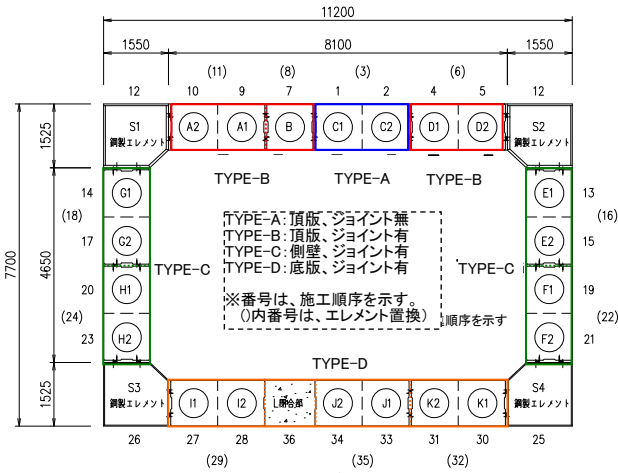


図-2 推進管グループ分類図(PCR 置換推進)

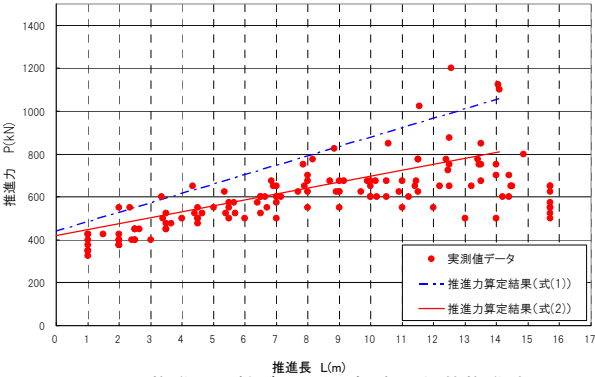


図-3 推進力比較グラフ(側壁 角形鋼管推進時)

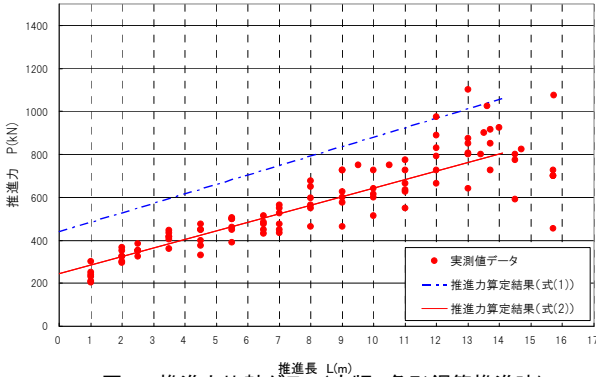


図-4 推進力比較グラフ(底版 角形鋼管推進時)

5. 結果総括

- ① 先端抵抗力 P_1 より求まるエレメント先端の単位長さ当り抵抗力 Q_t は、55.7~96.1(kN/m)となり、表-1 に示す中細砂に対する数値幅内 50~150(kN/m)となった。
- ② 摩擦係数は $\mu_1=0.09$ となり、表-1 の $\mu_0=0.4$ と比較すると 25%程度の数値となった。
- ③ 単位長さ当りジョイント抵抗力 f_j は 11.9 (kN/m) となり、エレメント置換時における総推力に対する比率は 10 ~ 27%程度と比較的小さい結果となった。
- ④ 頂版の有効土被り高 H_t は、全土被り高 H_0 とほぼ同値となり、また側壁、底版に関しては、上部エレメントの先受け効果により、全土被り高より小さい数値となった。
- ⑤ 有効土被り高 H_t は Terzaghi の緩み土圧式から算定される緩み高さ $H_t (= \sigma_v \text{ (緩み土圧)} / \gamma)$ に対して、側壁ならびに底版に関しては同等、もしくはそれ以上の数値となった。これは、連続した推進置換により、緩み範囲が増大したことに起因すると考えられる。
- ⑥ 施工時荷重となるエレメント置換抵抗力 P_r は、側壁と比較して頂版、底版において大きな値となった。これは側壁部においてはジョイントが上面に位置するのに対し、頂版、底版ではジョイントが横断面片側にあるため、角形鋼管推進時にローリングにより生じた施工誤差が大きく、エレメントと角形鋼管の外寸法・形状に差異が生じたことが要因であると考えられる。

6. おわりに

本工事は、PCR ダブルエレメント工法として国内 2 例目、関西地区初の施工であった。今後、同様の計測ならびに定量的評価の実施により、精度の高い推進力算定式の設定が可能となると考える。