

泥土圧シールドにおける掘削土のポンプ圧送

(株)大林組 四日市シールド工事事務所 山田 修 川村健二
(株)大林組 技術研究所 正会員 山下幸夫 正会員○高野金幸

1. まえがき 近年、坑内の作業性および安全性確保や長距離掘進化への対応などから、泥土圧シールドにおける掘削土を、ズリ鋼車に代えてポンプ圧送することの要請が高まっている。また、メタンガスのような可燃性ガスが発生する地盤においては、安全対策の面からもポンプ圧送が有利とされている。従来のポンプ圧送では、添加材料としてたとえばベントナイトなどの鉱物系材料を使用して掘削土を流動化させ、土砂圧送する方法が採用されている。ただしこの方法は、掘削土の粒径や粒度分布によっては圧送距離が延びないという問題があった。特に掘削対象地盤が砂礫地盤の場合、ポンプ圧送を行うことは困難であった。

そこで泥土圧シールドにおいて、砂礫地盤のポンプ圧送を可能とする新しい輸送技術を開発した。高分子系の添加材料を切羽に注入して掘削土の流動性を改善し、併せて掘削土の坑内ポンプ圧送を行う技術である。ポリマス工法 (POLYMAS: Polymer Added Shield) と名付けたこの新しい輸送方法によると、シールド掘削土を 1,000m の長距離にわたってポンプ圧送することができる^{1), 2)}。

今回は、上記ポリマス工法を四日市シールド工事に採用し、全線 (707.5m; 水平距離換算で約 900m) にわたって、一次ポンプのみでシールド掘削土をポンプ圧送した事例について述べる。

2. ポンプ圧送の検討 四日市シールド工事は、四日市工業地帯へ工業用水を供給するための導水路を建設するものである。図-1 に路線概要図を示す。当該工事の概要は以下のとおりである。

シールド外径: 2,580mm 路線延長: 707.5m
土被り: 4.3~10.4m 土質: 砂質土
曲線: 15R~300R, 7 箇所 勾配: 3.0%

また当該工事の特徴として、以下の点が挙げられる。

- 1) シールド径が比較的小口径である
- 2) 路線の途中に急曲線がある
- 3) 掘進する地盤中にメタンガスを含有する

これより当現場では坑内作業の安全性の確保を最優先に、シールド掘削土をポンプ圧送する方法を採用した。ただ、シールド径が小さいこともあり、セグメント台車の運転等を考慮すると、防爆型二次ポンプの設置場所の確保が困難であった。そこで一次ポンプのみで坑内圧送することを考え、長距離圧送が可能なポリマス工法の適用を検討した。

掘削土のポンプ圧送による圧力損失は、これまでの室内実験結果より、スランプ値に基づくコンクリートのポンプ圧送実験式³⁾が適用できることを確認している²⁾。以下にポンプ圧送実験式を示す。

$$\Delta P = (2/r) \cdot \{K1 + K2(1 + t2/t1) \cdot V\} \cdot \alpha$$

ここに、 ΔP : 単位長さ当たりの管内圧力損失

(kgf/cm²/m → 100kPa/m),

r : 管半径(m), K1 : 粘着係数(kgf/cm²),

K2 : 速度係数(kgf/cm²/m/s),

t2/t1 : 管内流動停止時間/流動時間,

V : 平均流速(m/s), α : 圧力比

図-1 適用現場シールド工事路線

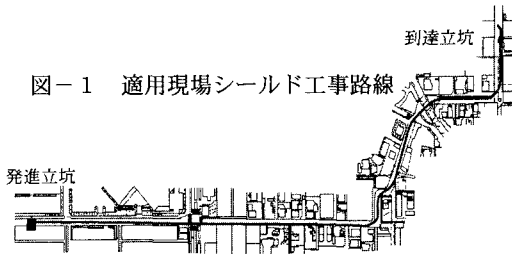


表-1 ポンプ圧送時圧力損失の検討

項目	記号・単位	計算式	計算結果
シールド外径	D (mm)		2,580
セグメント長	L (mm)		1,000
掘進速度	v (mm/min)		50
掘進時間	t (min)	$L/(v/1000)$	20
添加材注入率	λ (%)		30
圧送土量	Q (m ³ /sec)	$\{(\pi/4) \cdot D^2 \cdot L \cdot (1 + \lambda/100)\} / (60t)$	0.00566
スランプ値	SL (cm)	注入率より決定	23.0
粘着係数	K1 (kgf/cm ²)	$(3.00 - 0.10SL) \times 10^{-3}$	0.0007
速度係数	K2 (kgf/cm ² /m/sec)	$(4.00 - 0.10SL) \times 10^{-3}$	0.0017
流動停止/流動	t2/t1		0.3
圧力比	α		1.0
管径	ϕ (inch)		6 8
管半径	r (m)		0.0762 0.1016
管断面積	A (m ²)	$\pi \cdot r^2$	0.0182 0.0324
管内平均流速	V (m/sec)	Q/A	0.3105 0.1746
単位長さ当たり管内圧力損失	ΔP (kgf/cm ² /m)	$(2/r) \cdot \{K1 + K2(1 + t2/t1) \cdot V\} \cdot \alpha$	0.0364 0.0214
圧送距離	L (m)		270.5 629.5
管内圧力損失	P (kgf/cm ²)	$\Delta P \cdot L$	9.8 13.5
圧力損失合計	ΣP (kgf/cm ²)		23.3
	ΣP (MPa)	0.0980665 ΣP	2.3

表-1は、ポリマス工法を全線に適用した場合の管内圧力損失を、前述の式から算出したものである。切羽から後方台車の最後尾までの配管には6インチ管を、その後の地上までの配管には8インチ管を使用した。圧送距離は、おのおの曲がり等を考慮して水平距離換算を行った。計算の結果、全線のポンプ圧送を行うためには圧送ポンプの吐出圧力として2.3MPa以上の能力があればよいことがわかった。なお、表-2は当現場で用いた一次圧送ポンプの仕様を示したものである。実際には7割程度の実効吐出圧力とすると2.5MPaの能力があり、全線のポンプ圧送に必要な吐出圧力を満足している。よってポリマス工法を採用することで、二次ポンプを省略してもトンネル全線のポンプ圧送が可能であると判断された。

表-2 一次圧送ポンプ仕様

形 式	MSP704型
用 途	切羽用
コンクリートシリンダー径	φ180mm
ストローク量(2シリンダー)	35.6 l
油圧シリンダー径/ピストンロッド径	φ80/40mm
吐出圧力: 油圧	1: 6.7
最大油圧	24.5 MPa
理論吐出圧力	3.6 MPa
実効吐出圧力(理論吐出圧力×0.7)	2.5 MPa
電動機容量	30 kW
最大吐出量	36 m ³ /Hr
オイルタンク容量	200 l
重 量	ポンプユニット 約1,400 kg パワーユニット 約1,000 kg

3. 適用結果と考察 ポリマス工法の採用により、当初の予定どおり全線:707.5m、水平距離換算で約900mにわたって、一次ポンプのみで順調にシールド掘削土をポンプ圧送することができた。図-2に現場でポンプ圧送した掘削土の粒径分布を示す。これよりポリマス工法は、30mm程度の礫を含んだ地山から、砂質土および粘性土地盤にいたる広範囲の地盤に適用できることが判明した。

また図-3に計測した圧力損失の全データを示す。ここでは、圧力損失の実測値を前述の式と対比して示している。これらの結果より、ほぼ当初想定したとおりの圧力損失となり、コンクリート分野で用いられているポンプ圧送推定式が、土砂圧送の場合にも適用できることが再確認できた。

4. むすび シールド工事の将来を展望したとき、今後の長距離掘進および急速施工技術の実用化と相まって、ポンプ圧送の必要性がますます高まり、ポリマス工法に代表されるポンプ圧送技術が必要不可欠になるものと考えられる。それらの要請に応えるよう、これからもより信頼性の高い技術とするため細かな問題点を解決していくこととしたい。

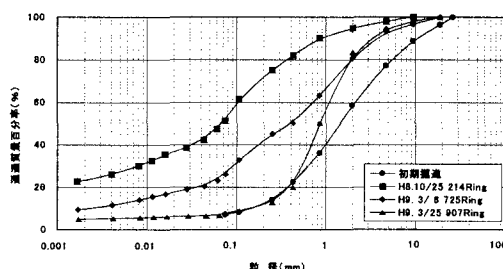


図-2 粒度分布

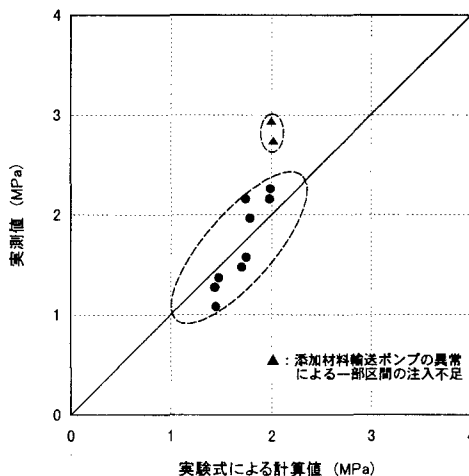


図-3 配管全長における圧力損失

- 参考文献**
- 1) 山下幸夫, 高野金幸: シールド掘削土のポンプ圧送技術に関する研究, 第32回地盤工学会発表講演集, p. 2, 091~2, 092, (1997. 7)
 - 2) 山下幸夫, 高野金幸: 土圧式シールドにおけるポリマス工法の開発-添加材料の性状と掘削土砂の流動性・圧送性等の検証-, 大林組技術研究所報, No. 55, p. 51~54, (1997. 7)
 - 3) 森永 繁: コンクリートポンプの管内圧送圧に関する研究, コンクリートジャーナル, Vol. 9, No. 7, (1971. 6)