

III-34

シールド掘削土のポンプ圧送性評価のための一研究

大林組技術研究所 ○正員 羽生田 吉 也
大林組技術研究所 正員 藤 原 紀 夫

1. ま え が き

近年、シールド工事における掘削土の坑内搬出では、経路が長距離かつ複雑化する傾向にあり、従来のズリトロ方式に代って、ピストンポンプによる圧送方式が多く用いられるようになってきている。この圧送では、泥ショウ材、気泡あるいは吸水性樹脂などの添加材を掘削土に混合して流動性など土質の改善が図られている^{1), 2), 3)}。これら添加材を含む輸送土の流動性を示す指標として、スランプ値が良く用いられてきたが、実際の輸送距離の検討には、不十分である。

この研究では、掘削土の流動性をベーンせん断強さで、圧縮性を弾性波速度で、また、ブリージング性を土の相構成で、それぞれ評価する手法を用いる。これらの室内試験と実際のポンプ圧送データを比較・検討して、シールド掘削土のポンプ圧送性を室内試験だけから評価していく方法について述べる。

2. ポンプ圧送

2-1 管路内圧力 ポンプ圧送時に得られる管路長に沿った最大圧力は図-1のように得られ、この管路内圧力は、一般に、次式を用いて良く回帰できる³⁾。

$$p(x) = S1 \cdot \exp(-S2 \cdot x) - S3 \cdot x + S4 \dots (A)$$

・ $P(x)$; ポンプから管路上任意の距離 x (m) での圧力
・ $S1 \sim S4$; 同一条件の測定結果から回帰される定数で、次のディメンションをもつ。 $S1$; kgf/cm^2 , $S2$; $1/\text{m}$ $S3$; $\text{kgf/cm}^2/\text{m}$, $S4$; kgf/cm^2

回帰式右辺の第1項は流体の圧縮性を含む項で、上流の圧力分布状態を支配する。第2、第3項による直線は下流での圧力状態を表わす。係数 $S3$ は、単位長さ当りの圧力損失で、流体の流動性に関わる。 $S1+S4$ はポンプのピストンヘッド圧で吐出圧に相当し、この圧力のうち、 $S4$ は下流部へ有効に伝達される圧力である。

3. 室内試験による輸送土性状

3-1 輸送土の相構成 土質試験から、土粒子の密度、単位体積重量、含水比を求め、輸送土の相構成〔土粒子分/空気分/水分〕を算出する。相構成は管路内で安定しているのが望ましい。図-2に、吸水性樹脂を混合した砂の相構成と圧送状態の難易関係を示す。ブリージングを発生すると、管底に土砂が堆積・圧密して閉塞しやすく、相構成は同図の右下部に移動する傾向がある。

3-2 弾性波速度による圧縮性 超音波受発信装置を用いて、薄ゴムスリーブ (50mmD×100mmL) に試料土を入れ弾性波速度 V_p を測定する。図-3は、現場発生粘土と豊浦標準砂の気泡混合土についての結果を示す。気泡混合率30~40% 条件で、標準砂の圧送距離は約50m、粘土では約1000m (12^B) であった。

3-3 ベーン剪断試験による流動性 試験は、モールド内に試料土を入れて据えつけ、一對のロードセル (50gf~100gf) を介して、電動機により2cmD×4cmHの羽根を10度/minの速度で回転するものである。発生する最大回転モーメントを羽根形状の諸数量で除してせん断強さ τ を求める。この値から流動性が求められ、また、経日変化からは添加材の劣化やブリージングを検討でき、輸送土の管内放置可能な限界日数を推定できる。

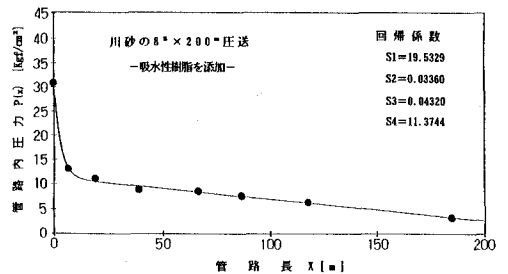


図-1 管路内圧力分布曲線

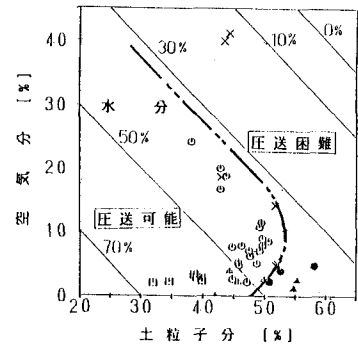


図-2 樹脂混合土の相構成と圧送難易

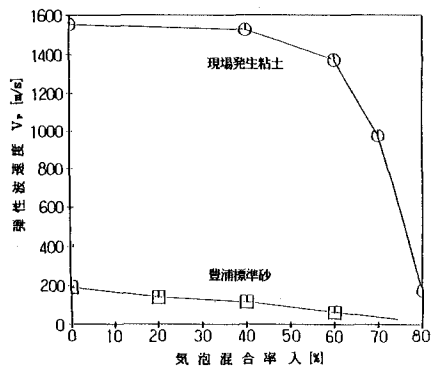


図-3 気泡混合土の弾性波速度

4. ポンプ圧送性の推定

4-1 セン断強さ τ_s と圧送性との関係

ベーン試験によるセン断強さ τ_s は、土砂のポンプ圧送で得た回帰係数 $S3$ を用いて式 (B) から求めた換算セン断強さ $\langle \tau_s \rangle$ との関係で示すと、図-4 のようになる。従って、 $\langle \tau_s \rangle$ となり、(C) 式が成立するため、 τ_s をポンプ圧送性の推定に組み込むことができる。

$$\langle \tau_s \rangle = D \cdot S3 / 4 \quad \dots\dots (B)$$

$$S3 \div 4 \cdot \tau_s / D \quad \dots\dots (C)$$

4-2 圧送距離 ベーン試験のセン断強さ τ_s から、ポンプ圧送可能距離は次式を用いて試算できる。

$$L_o \leq P_{max} \cdot \eta_p / S3 = P_{max} \cdot \eta_p \cdot D / (4 \tau_s) \quad \dots\dots (D)$$

・ L_o ; ポンプ圧送距離 (m)

・ P_{max} ; ピストンヘッド圧力 (kgf/cm²)

・ η_p ; 圧力係数 = $S4 / (S1 + S4) \approx 0.3 \sim 1.0$

・ D ; 管路内径 (m)

また、式 (D) で、ポンプ圧送距離 L_o とセン断強さ τ_s の関係は双曲線形で表わせ、図-5 の例のように、作図解法も可能である。

4-3 吐出量 ポンプの吐出量は、吐出圧と基本的に双曲線関係にあり、ポンプの形式ごとに決まる性能曲線で吐出圧を使って求められる。

5. 高吸水シールドにおける現場適用例

高吸水シールド工法適用の4件目として⁴⁾、掘削外径4.93m、掘削延長682mの土圧シールドの現場で砂層区間に用いた。掘削土の粒度分布を図-6に示す。配管条件は1次ポンプが $8^{\circ} \times 16m$ 、2次が 10° である。ベーン試験によるセン断強さ τ_s の経日変化は、添加材である吸水性樹脂S-100Pの混合条件との関係で、図-7のようであった。これから、次のような施工方法を提案した。

- (1) 添加材の適用形態は、ゲル状でも良いこと
- (2) 添加剤濃度を0.5 ~ 0.6%で混合割合を35%で添加
- (3) プリージングが大の場合、濃度上限0.8%で濃くする
- (4) 掘削土の管路内放置は最大4日以内に管理する。

この結果、輸送土の性状は $\gamma_s = 1.75 \sim 1.95 \text{ gf/cm}^3$, $W = 28 \sim 48\%$ で、管路閉塞は無く順調な施工ができた。

6. ま と め

この研究からポンプ圧送性について次の知見を得た。

- (1) 掘削土の流動性をベーン試験によるセン断強さ τ_s をもちいて評価が可能である。
- (2) セン断強さ τ_s とポンプ仕様、配管条件などとの関係を表示可能である。
- (3) 土砂のセン断強さ τ_s の上限目標値と添加材配合条件を明確化できる。

一方、気泡混合土の圧縮性については弾性波速度 V_p を用いる手法を提案したが、実際のポンプ圧送性との数量的な対応に乏しく、今後、圧力係数 η_p との関係を研究していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 羽生田, 藤原: 気泡シールド工法におけるレキ混り掘削土のポンプ圧送実験, 土木学会第41回年次学術講演会概要集III, p. 819 ~, (1986)
- 2) 羽生田, 藤原: 土圧系シールドへの高吸水性樹脂適用方法についての実験的研究, 土木学会第43回年次学術講演会概要集III, p. 910 ~, (1988)
- 3) 羽生田, 藤原: 掘削土のポンプ圧送と輸送可能距離の推定方法に関する実験的研究, 土木学会第44回年次学術講演会概要集III, p. 819 ~, (1989)
- 4) 羽生田, 藤原: 高吸水シールドの開発とその適用例, 土木学会第46回年次学術講演会概要集III, p. 74 ~, (1991)

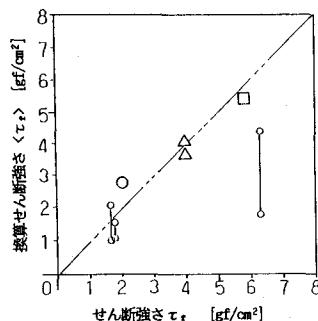


図-4 ベーンセン断強さと換算セン断強さの関係

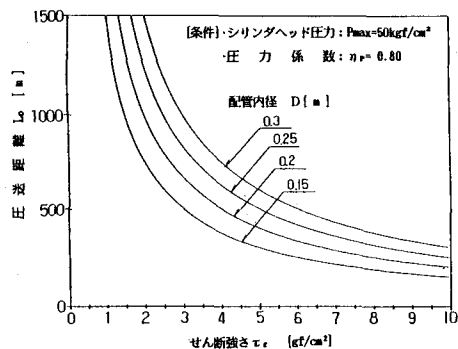


図-5 ポンプ圧送条件とセン断強さの関係

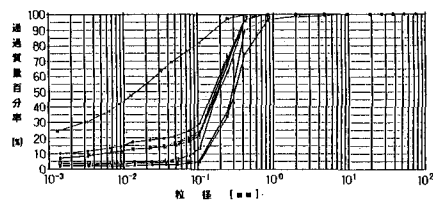


図-6 掘削土の粒度分布

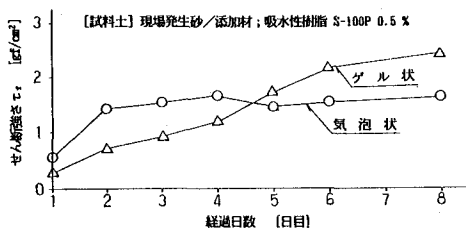


図-7 セン断強さの経日変化