

III-3

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

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

最近、都市部のシールド工事では、急曲線部の採用など路線断面形状が複雑化し、また、占有立坑の制限や狭隘化が進むなど、掘削土の輸送条件が厳しくなる傾向にある。このため、従来のズリトロでは、形状的に適合しなかったり、不安全で非能率的な方法になる場合が見られる。

また、捨土条件の制約から掘削土の処理が容易な添加材が求められ、泥水に代わって泥ショウ材、気泡あるいは高吸水性樹脂などが開発され、土圧系シールド工法と共に、普及しつつある。

この報文は、高吸水性樹脂あるいは気泡を添加した掘削土のポンプ圧送実験の回帰から、管路内圧力の分布状態を求め、現場に適用する際の輸送可能距離を推定する方法について述べる。

2. ポンプ圧送実験のデータ採取と処理

2-1 管路内圧力等の時系列データ

圧送実験では、油圧式ピストンポンプが多く用いられる。このピストン作動油圧と管路内の数点の圧力を流量とともに、データロガーを介して計測し、パソコンシステムに自動的に取り込み、演算、処理する。この際、ピストン作動油圧は、土砂の押圧に換算した値（以下、ピストンヘッド圧力 P_s とする）を用いる。この結果、輸送土の質的变化のない定常的な圧送では、図-1に示すように、ピストンの作動に追従して、管路内圧力は周期的で等振幅な波の繰り返しで表わされる。

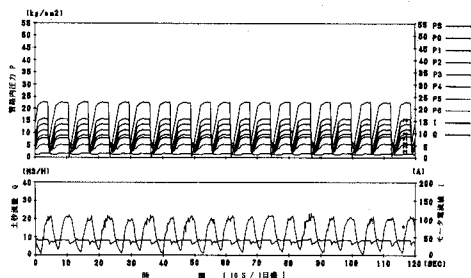


図-1 ポンプ圧送実験の時系列データ

2-2 各計測点の圧力変化とその最大値

管路長—管路内圧力の座標に時間をパラメータとして、各圧力を一周期分について描くと、図-2の曲線群が得られる。各計測点の最大値を継いだ線は、曲線群の包絡線であり、ポンプ圧送状態を代表している。この曲線の左端部の圧力 P_s が、ポンプ能力を越えない限り、閉塞無しに圧送は継続できる。

従って、ある条件で得られたデータ群のうち、各計測点の最大値を採って、次のように回帰する事により、輸送可能距離の判断の基準になる曲線が得られる。これを以下、管路内圧力分布曲線とする。

3. 管路内圧力分布曲線の求め方

3-1 適用する回帰式

いくつかの実験から、次式を用いると、管路内圧力分布の状態を良く回帰できることが分かった。

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

上式において、 $S1, S2, S3, S4$ ；回帰係数で未知数、 x ；ポンプを起点とした下流の任意位置までの距離（m） $p(x)$ ；任意の位置における圧力の最大値（kgf/cm²）

実験でサンプリングしたデータから、{計測点の座標 x_i 、圧力最大値 $(P_{i,max})$ }を選ぶ。これらを、式(a)から最小自乗法によって派生する連立方程式に代入する。この結果、誤差を最小にする最適値 $\{S1, S2, S3, S4\}$ が算出され、回帰式が求められる。例えば、図-2、-3に示したような管路内圧力分布曲線を得る。

3-2 回帰係数と意義 回帰式で得られた各係数の次元は、次のようになり、また以下の意義を持つ。

$S1$ ； kgf/cm²， $S2$ ； 1/m（>0）（図-4 参照）

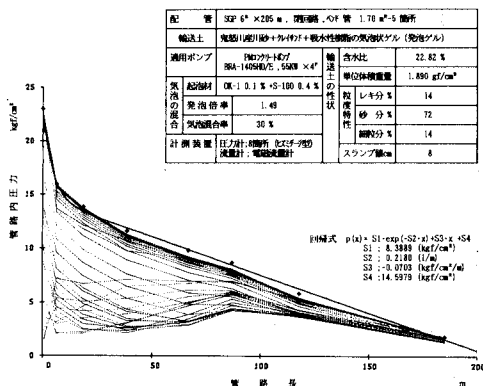


図-2 管路内圧力分布と経時変化

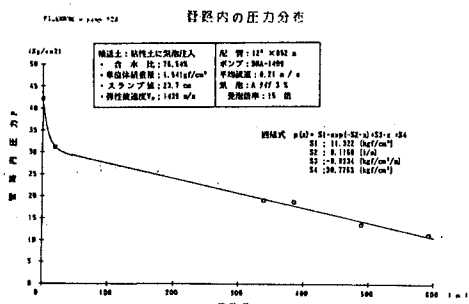


図-3 管路内圧力分布曲線

S3; kgf/cm²/m (<0), S4; kgf/cm²

(1) 管路下流の圧力と単位長当たりの圧力損失

管路の下流部においては、式(a)の第一項がほぼ零となり、 $p(x)$ は式(b)の直線式で近似される。

$$p(x) \approx S3 \cdot x + S4 \quad \dots (b)$$

ここで、

S3の絶対値；管路の単位長当たりの圧力損失

S4；ピストンヘッド圧力のうち、管路下流部へ

有効に伝達される圧力

になる。

(2) ピストンヘッド圧力 式(a)で、 $x \rightarrow 0$ において、回帰式によるピストンヘッド圧力を得る。

$$(\text{ピストンヘッド圧力 } P_s) \approx S1 + S4 \quad \dots (c)$$

(3) 圧力係数 η_P ピストンヘッド圧力が下流部にどのくらい有効に伝達されたかを表わすために、圧力係数 η_P を次式により定義した。

$$(\text{圧力係数 } \eta_P) = S4 / (S1 + S4) \quad \dots (d)$$

4. 輸送可能距離の推定方法

(1) 輸送可能距離の試算式 回帰した作図等から諸数値を導き、次式に代入して、実験条件に対する輸送可能距離を試算する。

$$(\text{輸送可能距離}) = (P_{Smax}) \cdot \eta_P / |S3| \quad \dots (e)$$

(2) 適用可能なピストンヘッド圧力最大値 P_{Smax}

適用ポンプおよび配管材の性能から、適用できるピストンヘッド圧力の最大値 P_{Smax} を決定する。例えば、過去の気泡土の長距離の圧送実験では、次の数値が求められた。

最大値；55kgf/cm² (公称最大圧力；60kgf/cm²)

常用値；45kgf/cm

(3) ピストンヘッド圧力と圧力係数 η_P ピストンヘッド圧力 P_{Smax} が大きくなれば、基本的に圧力係数 η_P は、大になる。実績によると、図-5のように、気泡土では $\eta_P=0.75$ が最大で、樹脂を1.5倍程度に発泡して用いた混合土では $\eta_P=0.8$ が最大ある。また、細粒分が多く水を加えたケースでは、 $\eta_P=1$ であった。

一方、最大レキ径50mmのレキ分27% 混じりの砂質土で、気泡混合率を9 ~ 22%にすると、0.5 ~ 0.3 と小さくなった。また、高吸水性樹脂のある種ものでは、細粒分5 ~ 10%の川砂を閉回路で循環して圧送した場合、機械的なせん断作用を受けた樹脂が水を掃き出して、 η_P が小さくなる場合も見られた。

(4) 単位長当たりの圧力損失 $|S3|$ 図-6のように、圧力損失は、配管径や管内の平均流速によって変わり、配管径の逆数にほぼ比例する。他方、添加材を含めた輸送土性状への依存性は、かなり大きいものと思われる。気泡を用いて砂質土を圧送した際、平均流速には関係せず、ほぼ一定になる場合が見られた。

5. あ と が き

ポンプ圧送実験から管路内の圧力分布状態を回帰式により求め、シールド現場における掘削土の輸送可能距離を推定する方法について述べた。回帰式では、管路内の圧力とポンプ油圧の換算値を合せて扱うことでポンプから管路への圧力伝達状態と下流部での圧力損失を的確に表わすことができ、この結果を用いて、輸送可能距離を推定できる。なお、輸送土で圧送中にひどく分離・沈澱を起すものは、回帰が不完全で、距離の推定も不可能であるが、これは添加材の材質等に原因する。

今後は添加材の研究を含め、ベーン試験や弾性波探査試験などの室内土質試験などにより、回帰式の係数とを関連づけて簡便に推定する方法を確立し、ポンプ圧送技術の向上を図っていきたい。

参 考 文 献

- 1) 斉藤、藤原、羽生田、山下：土圧系シールドにおける気泡混入により掘削土の流動性を高める推進実験、大林組技術研究所報、NO. 21, (1980), pp. 105 ~ 109
- 2) 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(1986), pp. 819
- 3) 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(1988) pp. 910

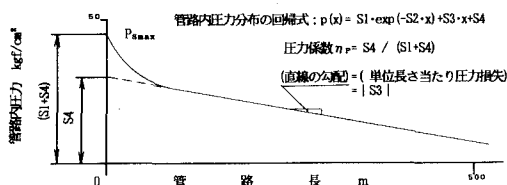


図-4 模式図

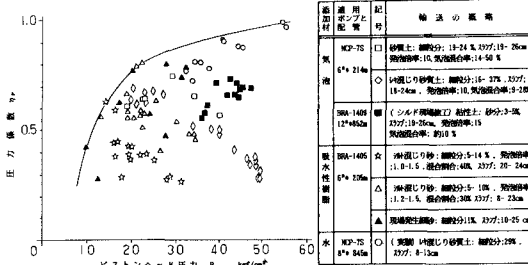


図-5 ピストンヘッド圧力-圧力効率の実績

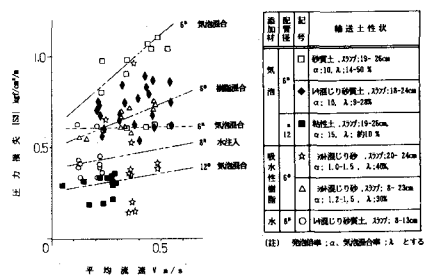


図-6 平均流速と圧力損失