

## 24. シールド掘削工のポンプ圧送管理システム

佐藤工業㈱：\*黒崎 孝一，和田 克己  
倉田 学

### 1. はじめに

近年、土圧式シールド工法における掘削土搬出設備として、排土作業効率が高いこと、坑内の安全性が向上すること等の理由からポンプ圧送方式が注目されている。しかしこの様な長距離圧送の場合、圧送土砂の性状把握が困難である事から、圧送管内部で砂礫等が沈降・堆積し、場合によっては圧送管が閉塞する等の事例も幾つか報告されている。これに対し、現状ではポンプ圧送管理の手法が確立されておらず、

圧送土砂の挙動を把握し、トラブルを回避することは非常に難しい。そこで本工事では、このような問題点を解決する対応策の一つとして独自の管理手法を考案し、実施工に適用した。

本稿では、この管理手法の概要、得られたデータの分析を含めた施工実績について報告する。

表-1. 工事概要

工事件名	利根中央農業水利事業 二郷半環導水路建設工事	発注者	関東農政局
工事場所	埼玉県北葛飾郡松伏町 大川戸～吉川市上内川	施工延長	2,238m
シールド機	泥土加圧式（中折装置付き） 外径φ2.69m、機長5.00m	残土搬出	ポンプ圧送方式 （ピストン式ポンプ）
路線線形	R21.275～R600 （計12カ所）	縦断勾配	i = -1/63～1/93
土質	沖積砂層～洪積粘性土層	土被り	4～13m
セグメント	鋼製セグメント（4タイプ） 外径2,550mm、幅1,000mm、300mm、桁高100mm、板厚3.0mm		

### 2. 工事概要

#### 2-1 工事概要

本工事は、関東農政局所轄の農業水利事業の一つであり、総延長 L=2,238m、掘削外径φ2,690mm、仕上がり内径φ1,650mmの導水路管を泥土加圧式シールド工法により築造するものである。

工事概要を表-1に示す。

#### 2-2 掘削路線概要

本工事の路線平面図を図-1、地質縦断図を図-2に示す。

まず路線線形であるが、計12カ所の曲線をもつ路線となっている。この内、排泥孔直後にある河川横断部は、前後に曲率半径21Rの急曲線施工箇所があり、直前で左カーブ、直後でS字カーブが控える本工事最大の難所である。また、路線勾配は図-2の下部に示す。

次に路線地質だが、事前に行った地質調査の結果によると、D<sub>C1</sub>の粘性土層では含水比・粘着力

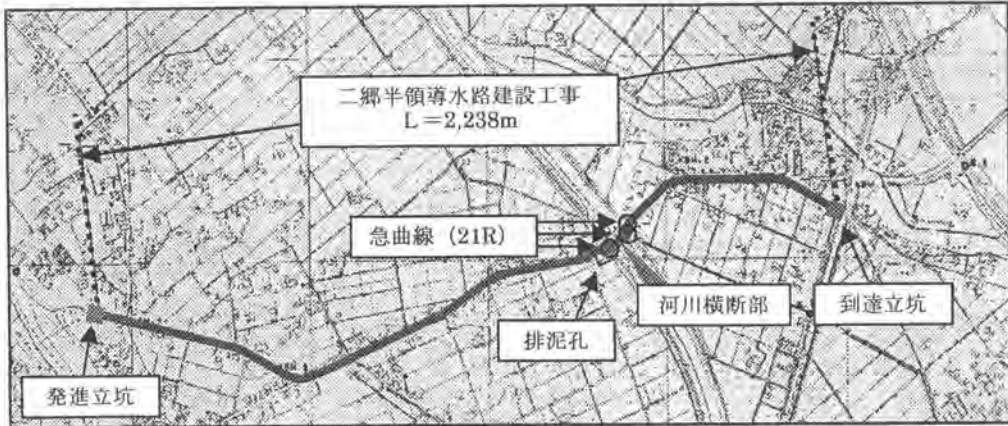


図-1. 路線平面図

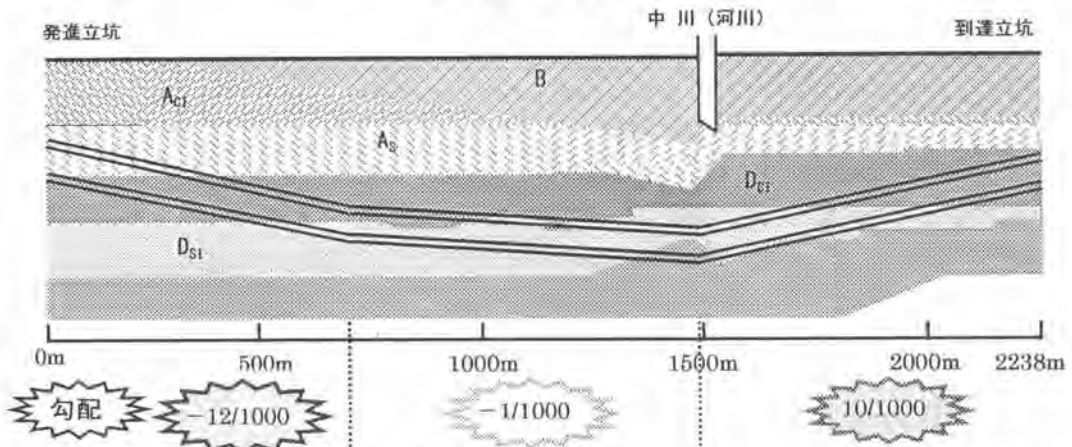


図-2. 地質縦断面

が共に低く、 $D_{S1}$ の砂層では貝殻・礫を多量に含んでいる。本シールド路線はこれらの地層を含む複合地盤を通過するため、ポンプ圧送が困難な条件であると予想された。従って、適正な添加材の種類、配合、添加量の設定及び、管内土砂の性状把握等が円滑なポンプ圧送に対する必須条件であった。

### 3. ポンプ圧送設備

本工事は、小口径断面かつ長距離である為、坑内環境保全も考慮し、密閉式連動運転システムを採用した。

切羽面から取り込まれた土砂は、一次スクリーに連結している二次スクリーを經由して、P1（一次圧送ポンプ）に入り、後続台車最後部の P2（二次圧送ポンプ）まで圧送される。その後は P3～PE まで計5台の中継ポンプにより連続的に立坑上まで圧送される。これらのポンプは全てホッパー内面に設けた内圧センサーにより土砂量を検知し、自動で連続的にポンピングを行うシステムになっている。

	B 盛土
	◆ 沖積層
	A <sub>c1</sub> 第1粘性土
	A <sub>S</sub> 第1砂質土
	◆ 洪積層
	D <sub>c1</sub> 第1粘性土
	D <sub>S1</sub> 第1砂質土
	D <sub>c2</sub> 第2粘性土

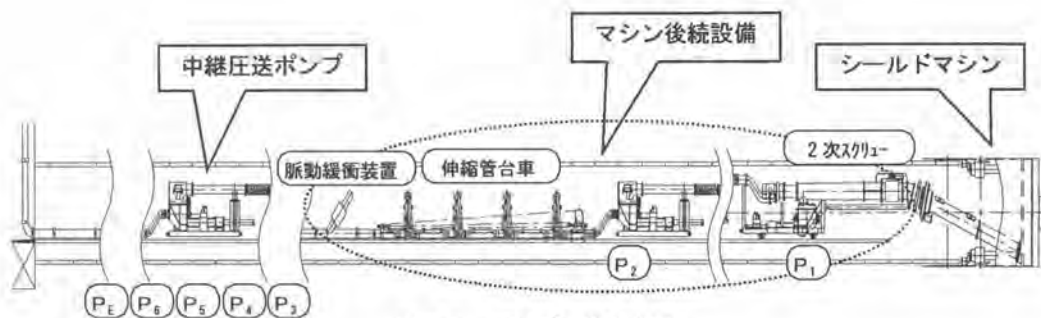


図-3. ポンプ圧送設備図

よって通常動作であればオペレーターの手動操作は、各圧送ポンプのポンピング速度制御のみとなる。また、異常運転時の対策としてポンプ油圧値、異常表示信号はオペ台車と地上の中央管理室に表示されるようにしており、非常時の停止回路も組み込んである。

設備概要を図-3に示す。

#### 4. ポンプ圧送管理システム 及び データ分析

##### 4-1 管理システム概要

ポンプ圧送方式による掘削土の搬出は、図-3の様にスクリーコンベアの後部より複数のピストン式圧送ポンプを経由させ、地上まで連続的に排出する方法が多い。この場合、土砂の分離・沈降による圧送管内の閉塞現象を生じさせることがあり、圧送過程における土砂は、粒度構成、含水比、粘度等の数値変動を伴い、多様な性状を出現させていると考えられる。従来の掘削土の管理手法は、単体の密度計・流量計を併用したシステムによるものが一般的であり、このシステムのみでは圧送中の土砂の性状を把握することは困難であった。

本システムでは、従来行われていたシステムに加え、立坑下に流量計を追加設置すると共に、管路中に適当な間隔で圧力発信器を設置する。これらの複数の流量値及び管内圧力値を連続的に計測・蓄積し、圧送管内の土砂の状態を蓄積した計測値データとの比較により推定するものとした。

本システムの概要図を図-4に示す。

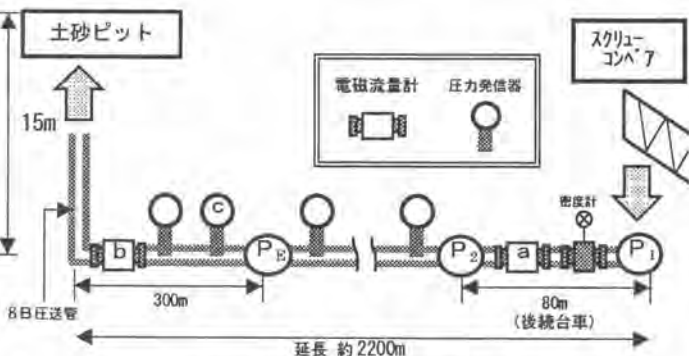


図-4. 管理システム概要図

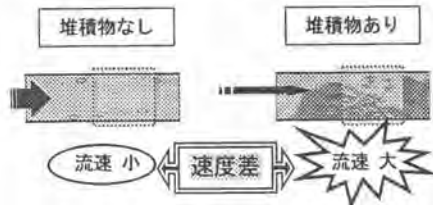
##### 4-2 圧送管理データ分析

計器配置は図-4に示す通りである。

ここで洪積砂層  $D_{S1}$  において2種の添加材を使用した計測値データと洪積粘性土層  $D_{C1}$  においての

計測値データを用い比較を行う。これを比較したものをグラフー1（左上に管理値記載）に示す。

まず上段のグラフは、洪積砂層 D<sub>51</sub> 掘削時における圧送管の閉塞直前 10m 区間のデータである。この区間では、添加材として高分子系ポリマーを主剤にしたものを使用していたが、切羽面へ注入すると地下水と混合して希釈や劣化現象を起こし、多量に砂礫・貝殻が混入する土砂に対応出来ず圧送管の閉塞兆候が見られた。この2つのグラフをみると、圧力値が高く、流量値の差が大きくなっている。

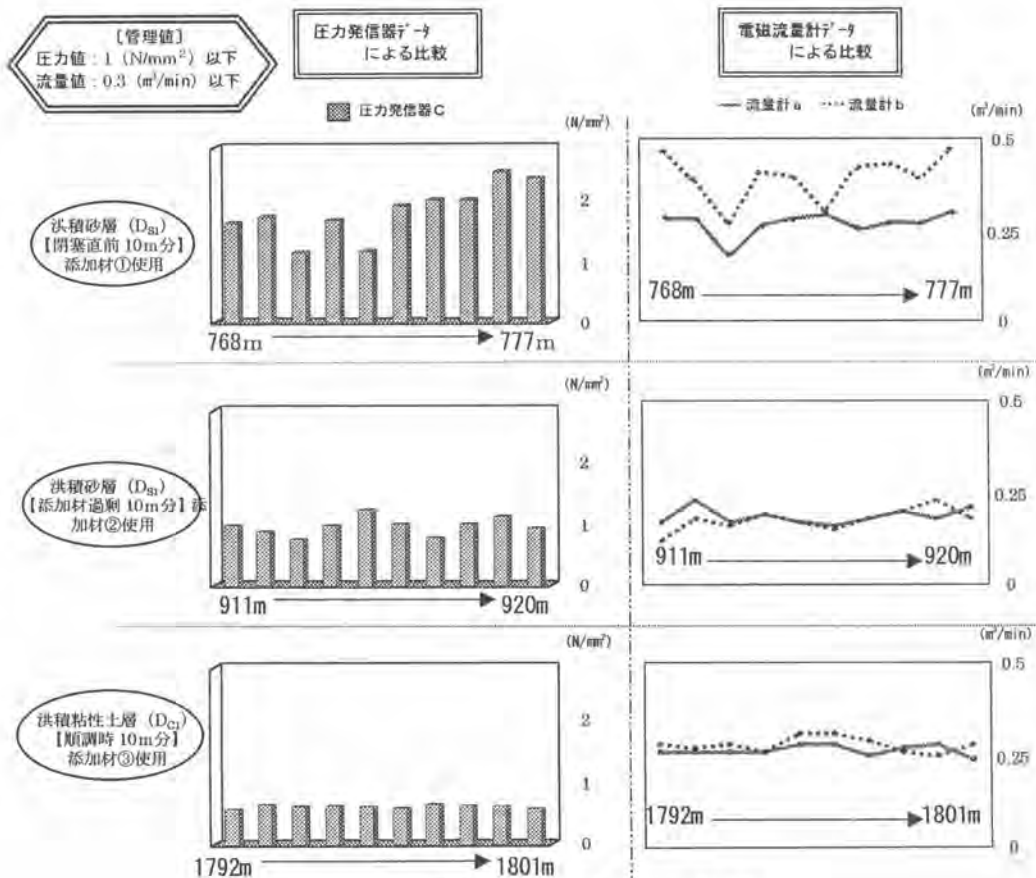


図ー5. 流量値計測差原理

ここで、簡単に電磁流量計による流量値の演算過程を説明しておく、流量値は、

$$\text{流量値} = K \times \text{配管断面積} \times \text{流速値} \quad (K: \text{定数})$$

で算出されており、上式の配管断面積は定数入力で



グラフー1. 計測データの比較

あるので、流速値のみに比例する。また、図-5に示すように、堆積物があれば管内の有効残存断面が狭小になり、堆積物が無い場合と比較すると、流速値が高くなることになる。従って、この原理をふまえると上段グラフのデータからは、圧送管中に堆積物があり円滑に切羽からの土砂が圧送出来ていなかったことが伺える。

次に中段のグラフであるが、これは上段と同様の地質でありながら、添加材が地質に適応し圧送時に土砂の分離徴候がみられなかったときのデータである。この区間では、添加材として前記の高分子系ポリマーよりも更に高粘性を有するものとベントナイトを併用していたが、管内土砂を調査したところこの添加材の特質である粘着性が異常発現していた。圧送時には、この発現した粘着性が逆に配管周囲への粘着抵抗となり、ポンピング圧を高めていた。このような状況をふまえると、グラフに表れているように分離徴候が無く配管抵抗が高ければ、流量値に変化が無くても、圧力値は高い値を示すことになる。

最後に下段のグラフであるが、これらは洪積粘性土層 D<sub>0</sub> 掘削時のデータである。この区間での圧送土砂には粘土・シルトが含まれていた為、添加材として高分子ポリマーを使用せず、ベントナイトのみを使用した。この添加材では前述したような粘着性の異常発現はみられなかった。また、土砂の分離徴候も見受けられず、ポンピング圧も低い値に収まっていた。この区間のデータからは圧力値及び流量値の変化はさほどみられず、円滑な圧送が行われていたことが伺える。

以上、圧送時の状況とデータ比較を基にまとめると、以下のようにいえる。

(I) 管路中に堆積物がある場合、配管断面が狭くなり、円滑な圧送が行えず、2台の流量計の値に差が表れる。

(II) 圧送時、土砂の分離徴候が無くとも、粘着性等の配管周囲抵抗が大きい場合は、圧力値が高くなる。

本システムによる管理は、その時点まで蓄積した管理データを日々整合し、その瞬時のデータをその整合したデータと比較することにより行った。この判断基準を図-6にまとめる。実施工においては状況により数値が上下するのでその都度、付帯条件を加味し判断したが、得られたデータより推測した管内状況と現状との差異はみられなかったことより、本システムによる管理は非常に有効であったといえる。

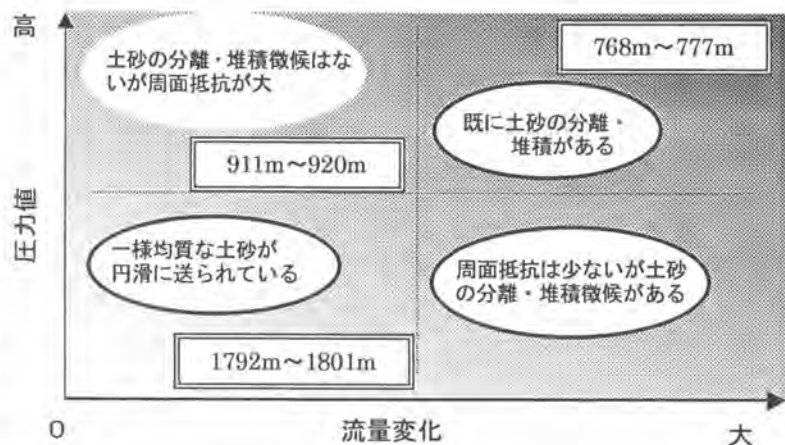


図-6. 本管理システムによる管内状況判断

## 6. おわりに

今回の、ポンプ圧送

方式は長距離であることや路線中に全断面砂層での閉塞トラブル等が懸念される中取り組んだものであ

ったが、結果として当初の計画を大幅に上回るサイクルタイムでの進捗を上げることが出来た。

最近、注目されているポンプ圧送方式ではあるが、トラブルによる進捗低下を懸念してか依然として鋼車を用いた軌道方式を採用するケースも多い。これは、現在までポンプ圧送方式のみを捉えた管理手法が確立されておらず、圧送時多様な性状を示す土砂による様々なトラブルを不安視しがちな為であると思われる。

このような現状において、本工事に適用した管理システムは、圧送管内の状況把握、特に圧送管の閉塞兆候を事前に予測するという面において、有効な成果を上げることが出来た。現段階では管理項目の不足やデータ取り込み時間の短縮等、処々に改善箇所が残っている本システムではあるが、ポンプ圧送管理の一端を担うシステムとして、我々としても今後の更なる成果を期待するところである。