

1. 土砂のための高効率管路圧送法の開発

建設省土木研究所：高津 知司・橋本 信仁

1 はじめに

地下掘削では掘削した土砂をいかにスムーズに搬出するかが施工性を向上させる課題となっている。管路輸送方式による土砂の搬出は、限られた狭い空間で連続的に搬出でき、省力化、ロボット化が計り易い反面、水を加えてスラリー化しなければ圧送性は著しく劣る。しかもこの泥水輸送は搬出後に泥水処理作業が必要となり経済的でないとともに処理用地の確保等の問題を抱えている。そこで開発された高効率管路圧送法はH-T管 (High effect-Transport Pipe) を用いて、土砂の管壁面部分のみをスラリー状にすることにより、土砂全体の含水量をほとんど上げずに圧送抵抗を低減させるもので、関東ロームを代表する粘土質の高い土砂においても圧送能力を向上させ、長距離圧送できるのが特長である。今回その有用性を実験で検証したものである。

2 H-T管の特徴と構造

管路を圧送される含水量の少ない土砂は締め固められた柱流の状態で流動する。土砂全体の含水量を上げずに圧送抵抗を低減させる方法として、圧送配管の曲がり部や絞り部にあたる特に圧送抵抗の大きい部分に、摩擦抵抗の少ないセラミックスタイルなどを管内面に付設したり塗装した管材を用いる方法があるが、これらの特殊な管材は、その実用に経済性等の課題の解決を待たなければならない。そこで管路を圧送される半固体流れの土砂を管壁面部分のみをスラリー状にし、すべりを伴うピンガム流れとすることによって、摩擦抵抗を減らし大幅な圧送抵抗の低減につながることに着目した。

今回開発したH-T管は、管路を圧送される土砂の特性を利用したもので、構造が簡単で管路途中に設置するためポンプ形式の制約を受けずに設置できるものである。

図-1にH-T管の構造を示す。両端に接続フランジを有した短尺管の内周面に絞り部を形成するリングが設けられ、矢印Aで示す土砂の圧送方向下流側の短尺管壁に水等の潤滑材供給口を取り付けた構造となっている。

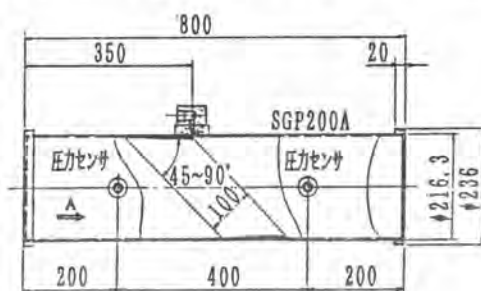


図-1 H-T管の構造

これまで管路圧送方式においては管路の断面形状の変化は圧送抵抗が増加するため極力さける方が良いとされていた。しかし、本H-T管はあえて絞りリングを設けたことを特長としている。

図-2に示すとおり、圧送ポンプより送り出された土砂は、絞りリングによって徐々に絞られ、リングを通過すると短尺管の管壁との間に間隙を生ずる。この間隙に供給口より水を一定の圧力で注入すると、水が土砂の周囲を覆い、管壁との間に潤滑層を形成する。このとき、土砂はすべりのあるピンガム流体に

なっている。土砂は圧送ポンプにより、押し出された時点で締め固められた状態にあるので、水は土砂に容易に浸透することなく潤滑層を形成し続け、摩擦抵抗が低減され、ポンプ圧送能力が高められる。また絞りリングの内周面に傾斜面が形成されているので、土砂はリングによって徐々に絞られることとなり、リングによる抵抗を最小限に抑えることができる。

3 土砂圧送実験

(1) 実験の概要

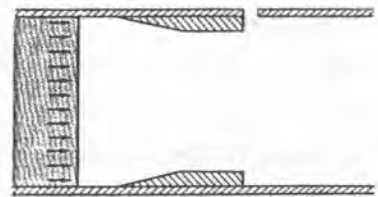
実験は、H-T管の土砂における有用性を検証すべく、絞りリングの傾斜角度（図-1参照）を 90° と 45° の2種類とH-T管を用いない場合について実験を行った。

(2) 実験方法

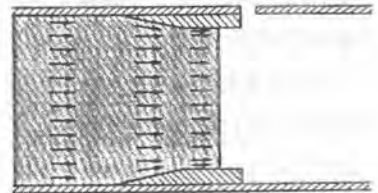
図-3に配管状況及びセンサ位置図を示す。土砂を垂直に圧送するための輸送配管、ポンプ、ホップ、給水装置および計測機器から構成される。輸送管は200A鋼管で全長32m（内水平部約27m、垂直部約5m）である。また管には、5地点8ヶ所に圧力センサを取り付けた。

圧送ポンプはシールド工事などに用いられる油圧式単胴シリンダポンプを用いた。また、潤滑材に水を使用し、高圧洗浄機より給水した。表-1に圧送ポンプの仕様を、表-2に土砂圧送実験条件を示す。供試土は、自然状態のロームと砂を用いて表-2の配合による6条件について実験を行った。

- ① ポンプから押し出された土砂は、すでに締め固められた状態にある。



- ② 土砂は、絞りリングにより徐々に絞られる。



- ③ リングを通過した土砂は、間隙との間に間隙を生ずる。この間隙に潤滑材を注入すると潤滑層を形成し続け、摩擦抵抗を低減させる。

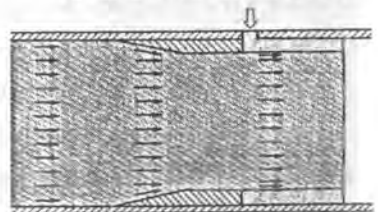


図-2 H-T管の機構

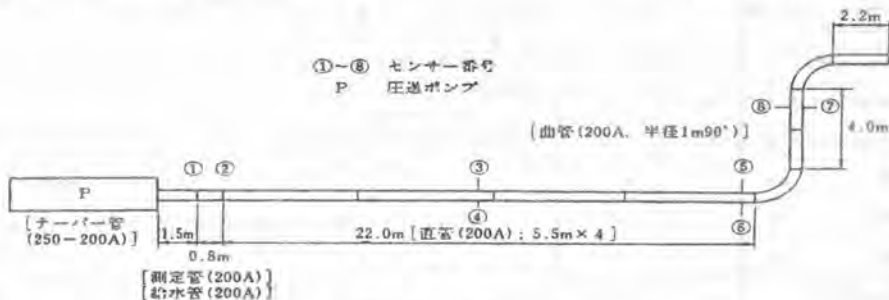


図-3 配管状況およびセンサ位置

測定項目については、原材料である関東ロームおよび砂に関して、比重試験、含水量試験および粒度試験の土質試験を実施した。圧送実験については、管内圧力、圧送距離、ピストン圧力を測定した。

(3) 実験結果

表-3に土質試験結果を、表-4にH-T管と圧送距離の関係を示す。表-4に示すとおりH-T管を

用いたものはすべて土砂は通管している。これに対してH-T管を用いなかった場合は、関東ローム：砂=1：1において圧送距離13.2m (No1センサ40kgf/時) 関東ローム：砂=2：1では圧送距離15.5m (No1センサ40kgf/時)にとどまり、H-T管を用いた場合には圧送能力が飛躍的に改善されていることがわかる。

図-4に管内圧力と圧送距離の関係を示す。リングの傾斜角度が90°と45°では、45°の方が圧力損失が少ない。これは土砂がリングを通過するさい角度90°の場合は同一断面が同時に変形されるのに対して、45°の場合は、徐々に絞られるため絞り込み途中における断面変形面積が小さく、絞りリングによる圧送抵抗が少なかったことと、さらに潤滑材の水が供給口から絞りリングによってできた間隙を通して土砂表面をまんべんなく覆い易かったことが考えられるが定量的に把握することはできなかった。

表-5に給水管の時間当たり給水量を、表-6に圧送実験試料含水比一覧を示す。表-7に示すとおり、圧送前における土砂の含水比と、圧送後の管の中心における含水比はほとんど変わらず、外層においてもスラリー状態は外層から2～3mm程度であり、十分に満足の結果となった。これは、土砂が管路中を柱状で移動し、水が

表-1 ポンプの仕様

項目	仕様
最大吐出量	35 m ³ /h
油圧シリンダ形式	特殊二重シリンダ式
最大吐出力	62 kgf/cm ²
シリンダ内径	228.6 mmφ
ストローク長	800 mm
ストローク容量	0.033 m ³
シリンダ往復数	15～18回
全長×全幅×全高	4,500×750×1,420 mm
全重量	3500 kgf

表-2 土砂圧送実験条件

実験番号	実験条件
No. 1	関東ローム：砂=1：1
No. 2	関東ローム：砂=1：1 リング角度90°
No. 3	関東ローム：砂=1：1 リング角度45°
No. 4	関東ローム：砂=2：1
No. 5	関東ローム：砂=2：1 リング角度90°
No. 6	関東ローム：砂=2：1 リング角度45°

表-3 土質試験結果

土質試験料		関東ローム	砂
粒 度	篩分 (2000μ以上) %	6	2.0
	篩分 (74~2000μ) %	1.8	7.7
	シルト分 (5~74μ) %	4.5	3
	粘土分 (5μ以下) %	3.1	-
性 質	最大粒径 mm	9.32	9.52
	均等係数 U _c	-	5.0
	曲率係数 U _s	-	0.9
	分 類	日本統一土質分類	F (SPu)
土 質	細粒度 均等粒度の砂		
	土粒子の比重 G _s	2.747	2.778
	含水比 w _n %	83.0	7.0
	水/(砂+土) %	387.5	7.2
	水/砂 %	518.1	9.1

表-4 H-T管と圧送距離の関係

実験番号	1	2	3	4	5	6
1番センサの指示圧力が20 kgf/cm ² の時の圧送距離 (m)	6.3	10.7	13.9	10.0	6.4	8.9
1番センサの指示圧力が40 kgf/cm ² の時の圧送距離 (m)	13.2	-	-	15.5	-	-
通管時の1番センサの指示圧力 (kgf/cm ²)	-	9.8	5.0	-	21.1	6.6
最大ピストン圧力 (kgf/cm ²)	180	150	120	110	210	140
リング角度	-	90°	45°	-	90°	45°

表-5 H-T管の時間当たり給水量

注) 無負荷時

リング角度	開度	測定結果 (cc/0.5min)				給水量 (cc/min)
		1回目	2回目	3回目	平均	
90°	1/6	3,545	3,335	3,600	3,493	6,987
	全開	6,780	6,740	6,790	6,770	13,540
45°	1/6	2,940	2,840	2,840	2,873	5,747
	全開	6,840	6,860	6,890	6,863	13,727

表-6 圧送実験試料含水比一覧

実験番号	1	2	3	4	5	6
圧送前	30.98	32.74	44.32	49.42	62.97	52.80
圧送後中心部	30.85	33.01	45.41	46.39	62.25	52.66
圧送後管壁部	-	40.93	49.12	-	66.81	55.69
圧送後の平均	-	40.52	48.93	-	66.58	55.54
圧送前後の差	-	7.78	4.61	-	3.61	2.74
リング角度	-	90°	45°	-	90°	45°

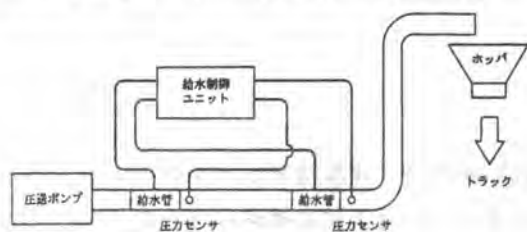
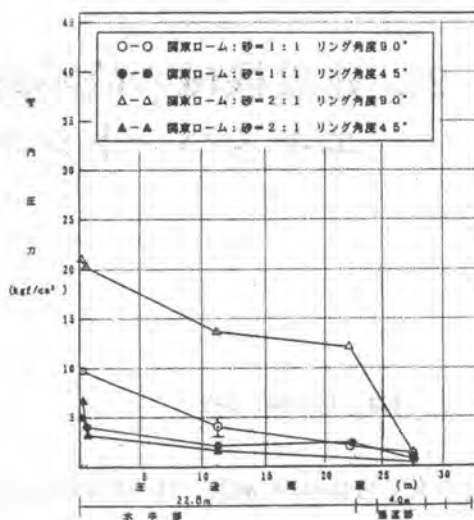


図-5 自動給水システム



注) 両距離のセンサーについては、平均値を使用した。

図-4 管内圧力と圧送距離の関係

潤滑層を形成し続けていることを実証している。また、水の供給を断続的に行ったにもかかわらず、全管路の土砂に潤滑層が形成された。

4 実用化の方法

H-T管の実用化にあたっては、移送物の性状と経済性をかんがみ絞りリングの形状を決定する必要がある。つまり、リングによる圧送抵抗を少なくするにはリングを傾斜させたり、テーパを付けるなどの機械加工が必要となるが、同じ容量のポンプを使用するのであれば、絞りリングの形状は機械加工を必要としないシンプルなものが経済的である。

今回の実験から、給水を断続的に行っても、十分に圧送性を向上できることがわかった。そこで、管内圧力をパラメータとして給水量を制御する方法が考えられる。

図-5にそのモデルを示す。H-T管を曲管部などの管内圧力が上昇する箇所に設置し、管内圧力が一定値を越えた場合のみ給水を行うもので経済的であるとともに圧送における信頼性も向上される。



写真-1 土砂搬出状況

5 おわりに

土砂に限らず管路圧送においては、常に閉塞の危険性をはらんでいる。一旦閉塞すると、機能復帰するまでに多大な時間と労力を必要とし、圧送距離が長くなればなるほど負担は大きくなる。今回行ったH-T管を用いる方法は、土砂の圧送性を向上させなおかつ排土処理が容易に出来るなどの効果があり、十分利用できることが確認された。

今後は、土砂の掘削から搬出、排土処理にいたるまでの全体を統合するシステムの構築も可能と考える。本研究の成果が実際の現場で活用され、施工性、経済性、安全性の向上に資することができれば幸いである。