

(株) 銭高組 ○正員 松本 計三

(株) 銭高組 田口 武雄

三井造船(株) 小川 憲二

1. まえがき

砂、レキを含む掘削土砂をポンプ圧送する場合、その圧送解析にコンクリートで提案されているレオロジー解析法を適用し、圧送土砂の流量解析することで土砂の圧送性が判断できる事を、前回年次学術講演会で発表した。その後更に、対象土質の種類を増やして実験を行なった。また、実施工において現場計測を行ない、同解析法が土砂のポンプ圧送に適用出来ることを確認したので、以下に報告する。

2. 実験概要

実験は、図-1、表-1に示す材料を圧送対象土砂とし、前回の材料に新に4種類増やして計6種類とした。実験条件は、図-2に示すように配管は5B管(D=12.5cm)で水平換算距離L=107mである。使用したポンプは前回同様、西独製のトランクチューブ型スラジポンプ(KOR-1052HD)である。改良材は、ベントナイト(群馬産250#)、粉末粘土(SCP-B)を使用した。改良土砂の作成は、圧送材料にベントナイト、粘土を粉末添加し、空練り後水を投入して混練した。混練には、ミキサー車を用いて行なった。測定項目は、実験時にスランプ、テーブルフロー、土性値、吐出圧と管内圧力、加圧ブリーディング試験、吐出流量、実験後に改良土砂のレオロジー特性を測定した。表-2に配合と測定結果を示す。

なお配合は、水/細粒分比を170%とした。

3. 実験結果及び検討

土砂の圧送形態は、ビンガム体の管内流動と考えられる事から、その解析には、BACKINGHAMの流量式が適用できる。

$$Q = \pi R^4 \times \Delta P \times 980 / 8L \eta p l \times (1 - 4/3(\eta/R) + 1/3(\eta/R)^4) + \pi R^2 VR \quad \text{--- (1)}$$

ここに、Q: 流量 (cm³/sec), R: 管半径 (cm), ΔP: 圧力差 (gf/cm²) L: 管長 (cm), ηpl: 粘性係数 (g/cm·sec), rf: 栓流半径 (cm), VR: すべり速度 (cm/sec)

(1)式より、各モデルを砂質土、レキ質土に分け、各流量を算出し、その実測値と計算値について比較検討した。

3-1. 砂質土 (モデルA, D, E)

砂質土の場合、レオロジー定数の降伏値から求められる栓流半径が、rf < R/2 と小さく、すべりによる流量 $\pi R^2 VR \approx Q$ として流量を求められる事から、実測値との対応を見ると、図-3のような対応となる。砂質土の場合、ほとんどがすべり

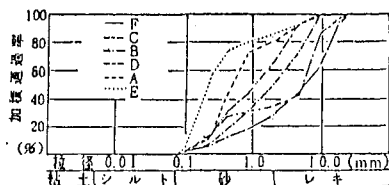


図-1 モデル粒径加積曲線

表-1 材料特性

	A	B	C	D	E	F
最大粒径mm	—	10.0	30.5	50	9.5	30.5
60μ粒径mm	0.63	3.0	6.3	1.7	0.26	8.8
30μ粒径mm	0.33	0.75	0.65	0.4	0.15	2.1
10μ粒径mm	0.2	0.25	0.19	0.18	0.105	0.37
均 等 係 数	3.15	12.0	33.16	9.44	2.48	23.7
曲 率 係 数	0.86	0.75	0.35	0.52	0.82	1.4
F	M	2.57	3.93	4.48	3.17	1.64
比 重	2.691	2.702	2.612	2.697	2.685	2.621

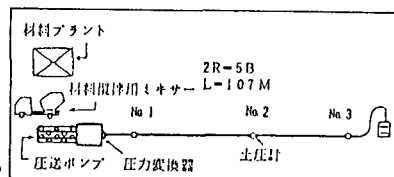


図-2 実験概略

表-2 配合と測定結果

記号	降伏値 (gf/cm ²)	水/細粒分 (%)	粗粒分/土砂 (%)	スランプ (cm)	赤土比 (%)	降伏値 (gf/cm ²)	粘性係数 (g/cm·sec)
D	0.50	170	18	27.0	28.3	0.29	21.0
D	0.55	170	15	25.1	24.9	0.55	22.4
D	0.60	170	12	22.2	20.1	0.96	43.9
F	0.60	170	8	21.7	18.6	3.41	377.6
F	0.55	170	15	25.3	21.2	2.54	566.6
F	0.61	170	13	24.0	20.6	2.65	213.1
C	0.63	170	11	24.6	15.5	3.47	422.8
C	0.65	170	10	25.6	17.4	2.2	144.8
C	0.67	170	9	24.6	15.7	3.06	606.8
E	0.50	170	18	26.8	31.8	0.72	62.2
E	0.52	170	16	25.2	31.0	0.74	61.1
E	0.51	170	14	20.3	27.7	2.09	262.7
A	0.53	170	11	15.5	20.4	3.45	79.7

による流量ではなく、層流的流動と考えてよいものと思われる。即ち降伏値の比較的小さい物の場合、すべりの影響を無視来る。

3-2. レキ質土 (モデルB, C, F)

栓流半径 $r_f > R$ となり、実験条件から $r_f = R$ 即ち全て栓流となる。故に(1)式の第一項が零となり、 $Q = \pi R^2 \cdot VR$ とすべりによる流量で求まる。コンクリートにおける村田、鈴木等の提案している管壁面でのラビング力の概念に準じて、管壁におけるせん断力 τR と、実測流量から求めたすべり速度 VR との関係、及び降伏値の関係から、すべり速度 VR を求める実験式(2)を得た。

$$VR = 1/0.02 (R \cdot \Delta P / 2 \cdot L - 0.63 \tau_f + 0.63) \text{ ----- (2)}$$

図-4に(1), (2)式より求めた計算流量と実測流量の対応を示したが、図より比較的善く対応していると考えられる。この様に2回に渡る実験により、土砂のポンプ圧送が、レオロジー解析法を適用する事で論じられるとの結論を得た。この結論より、実工事のポンプ圧送において計測を行ない、実用に向けての確認を行なった。

4. 現場計測例

4-1. 工事及び計測概要

工事は、図-5に示す土質条件での土圧系シールド工事(φ=2.882m, L=1000m)で、測定位置は砂質シルトであった。

この位置では、土砂の改良は注水のみで行ない、測定項目は吐出圧、管内圧、流量、スランプ、土性値である。砂質土部では、泥しょう注入(ρ=1.3)による改良である。流量の測定は、電磁流量計で、レオロジー定数の推定は簡易粘度計である。

4-2. 測定結果及び検討

表-3に測定値を、図-7に流量の対応を示す。圧送土砂の含水比は42-47%, スランプは18-24cmであった。図より、実測値と計算値との対応を実験結果(砂質土)に比してみると、実験同様ほぼ満足のいく結果を得た。即ちシルトの場合、砂質土同様降伏値が比較的小さく、層流的な流動による圧送であると考えられる。この様に同解析法が、実工事においても十分適用可能である事が確認された。

5. おわりに

当研究及び現場計測に際し、多大な御指導及び御協力を頂いた、都立大の村田教授、同研究室、作業所の皆様に感謝の意を表します。参考文献：松本、吉田、和泉「土砂ポンプ圧送に関するレオロジーの適用」土木学会第39回概要集

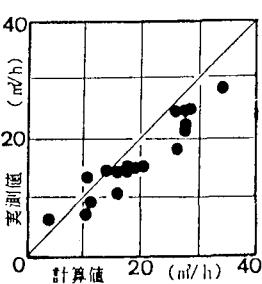


図-3 実測値と計算値の対応

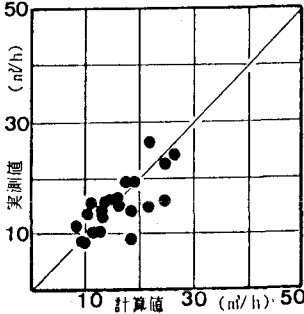


図-4 実測値と計算値の対応

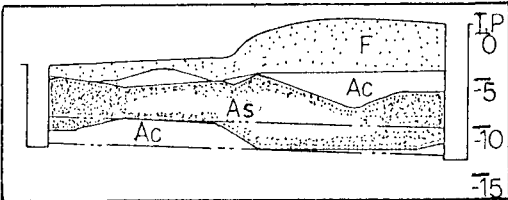


図-5 地盤概略

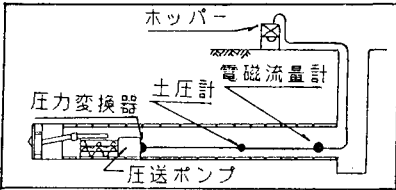


図-6 施工概略

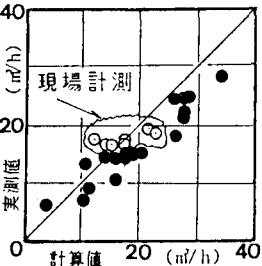


図-7 流量の対応