

SiO₂ -- PbO

	(41) 800°C	(42) 400°C	(43) 400°C	(44) 600°C
n	11.28 (a=4)	11.57 (a=4)	23.58 (a=3)	23.67 (a=5)
P	72.91 (a=5)	14.82 (a=6)	65.86 (a=6)	64.46 (a=6)
l	25.74 (a=4)	18.42 (a=5)	12.29 (a=4)	48.80 (a=5)

上の表に示した様に正規 Poisson 対数正規分布について χ^2 を計算した結果少しの例外を除いて多くの場合

$$l < n \quad l < P$$

が成立する即ち三つの想定した母集団中对数正規分布が最も良く SiO₂ 粒子の直径の度数分布を現わす事がわかる又 \$5 の(1)の値より対数正規分布に SiO₂ 粒子の直径の度数分布が従うと

殆ど断定出来る度合が非常に多い、故に大体 SiO₂ 粒子の直径の分布は対数正規分布と考えられる。

7. 結 言

44の実験より粒子の度数分布を得た χ^2 検定を用いてその度数分布を現わすと思われる、母集団分布として対数正規分布を得た。

管による砂輸送における管径の影響について

小 川 元

1. 要 旨

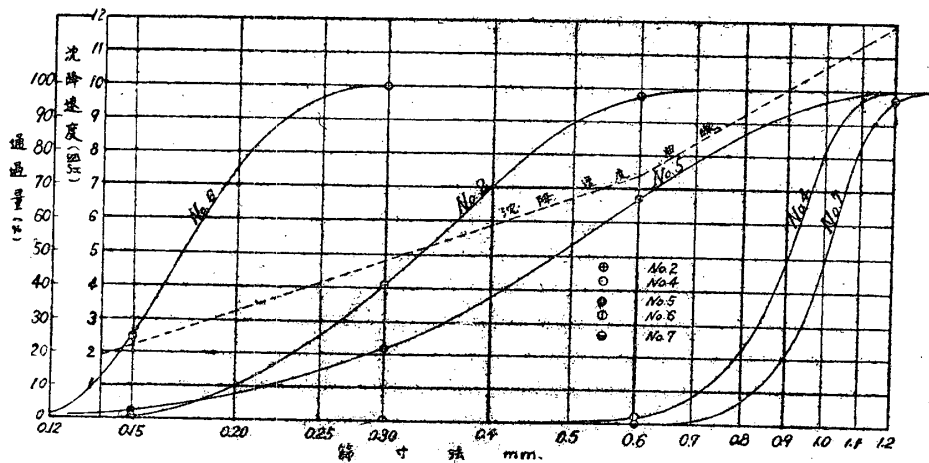
1 1/2" 管及び 2" 管による種々の砂の流送を比較し、その管径による差異を、定性的に求めたものである。

2. 實 験

2" 管によるものは既に発表した1) 及び2)とし、1 1/2" 管によるものを次に示す。

実験方法その他は、2" 管の場合と同様である。管は内面亜鉛渡した、内径 41.3mm の鑄鉄管で、助走区間 2.8m (68D 但し D=内径) 測定区間 2.5m (60D)、であつた。使用した砂の粒度曲線は図一1の如くで、図中の点線は、その粒度の砂粒の、一粒ずつの平均的沈降速度を実測によつて求めて示してある。

第 1 図 砂 の 粒 度 曲 線



また各砂の種類及び物理的性質は表一1の如くである。

第1表 砂の性質

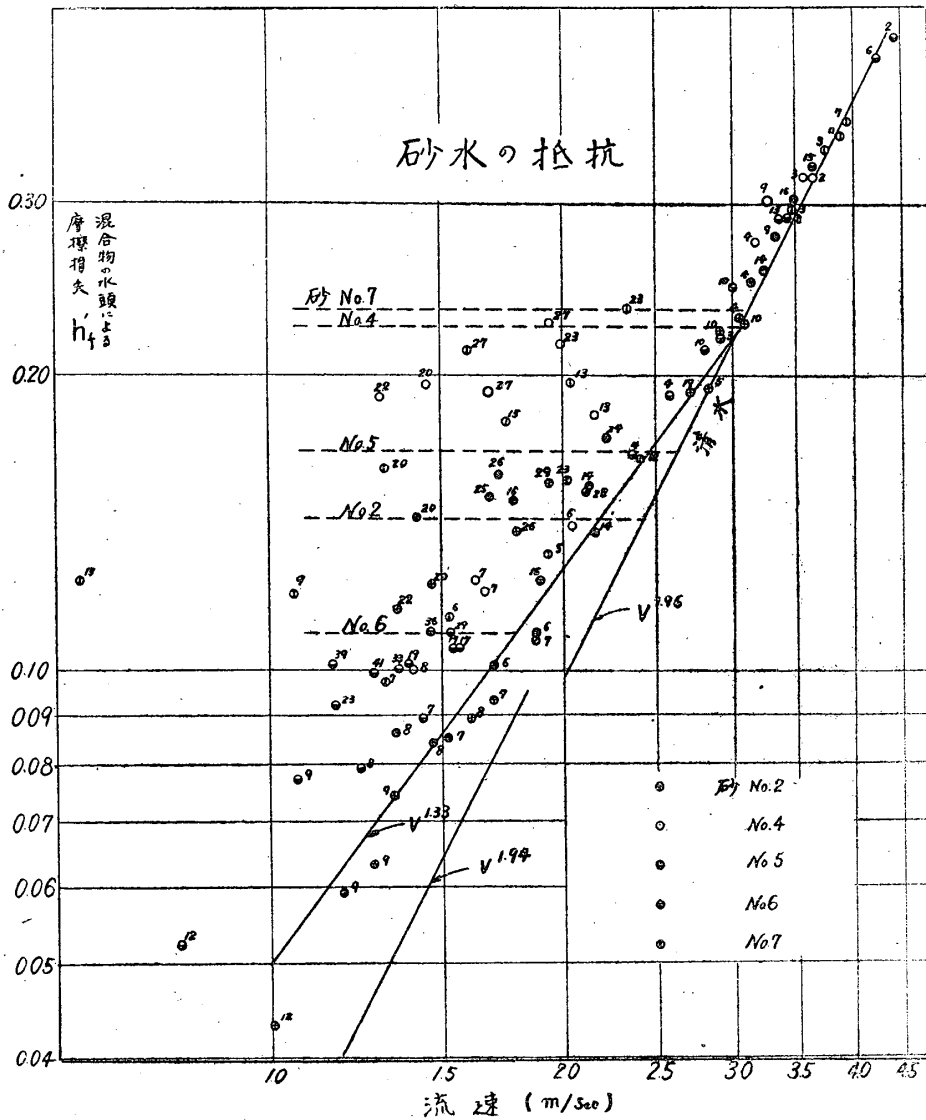
砂番号	種類	比重	水中における単位重量 (水をふくむ)	
			Kg/l	空隙率 %
No. 2	海岸砂	2.57	1.93	41
No. 4	相馬標準砂	2.58	1.98	38
No. 5	海岸砂	2.58	1.96	39
No. 6	豊浦標準砂	2.57	1.97	38
No. 7	海岸砂	2.56	1.94	40

以上によつて実験を行つた結果は図-2の如くである。図において、摩擦損失は各混合物の水頭で表わし、濃度は見かけ容積によるものをとつてある。

図中の実線は清水の抵抗を示したもので、途中でずれ、かつ下部は実験の前半と後半で傾向を異にし2本となつたが、砂水の抵抗と比較するためにそのまま記してある。各直線の勾配は

$$h_f \propto V^{1.6} \quad h_f \propto V^{1.33}$$

第2図 砂水の抵抗損失



(但し h_f = 摩擦損失水頭 V = 平均流速
m/sec)

で、これから $h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ によつて、摩擦係数 f を求めると、

$$f \propto V^{-0.04} \quad f \propto V^{-0.67}$$

となる。この場合に対して、Nikuradse の平均流速公式によつて f の値を求めてみると、

$$f \propto V^{-0.237}$$

である。

次に砂を流した場合につき、図-2において描点を砂ごとに分類して、別々に、点が水平に分布する部分の最高の位置を求めてみると、図中の点線の如くなる。この点線が清水の直線と交わる点は、すなわち点が分散を始める流速を示すのであつて、その値は後に図-4に示してある。

図-2中の点線の位置は、砂の粒度によつて違つているのであるが、これを図-1の粒度曲線の位置と見較べてみると、その移動がよく相対応して、これから、砂輸送の場合の砂の代表的粒径としては、その平均(50%)粒径をとつて差支えないもののように思われる。

砂の流れる状態に対する限界流速を求めたものは表-2である。表-2中「沈澱」は沈澱を生じ始める流速、「転動」は転動の場合の最低の流速、「浮游」「完全分布」も各々最低の流速を示している。ただし「完全分布」は必ずしも完全に一様ではない場合もあつた。

なお細字は濃度を示している。

第2表 1 1/2" 管限界流速 cm/sec

砂量	砂種	沈 澱		転 動		浮 游		完全分布	
		cm/sec	%						
I	No. 2	95	13	130	10	165	8	300	4
	〃 4	125	9	145	8	170	7	350	3
	〃 5	130	9	140	8	175	7	300	4
	〃 6	90	11	130	8	135	7	350	3
	〃 7	100	10	110	9	190	6	360	3
II	No. 2	130	23	155	19	200	15	320	9
	〃 4	125	23	145	20	190	15	360	8
	〃 5	130	22	140	21	200	14	330	9
	〃 6	100	27	135	20	140	19	350	8
	〃 7	100	27	110	24	200	13	390	7
III	No. 2	165	29	185	26	200	24	320	15
	〃 4	150	30	175	26	200	23	380	12
	〃 5	160	29	175	36	200	33	330	14
	〃 6	115	40	135	24	140	32	350	13
	〃 7	140	31	180	24	200	22	400	11

III	No. 2								
	〃 4			200	26				
	〃 5	170	32	180	30	200	27	350	15
	〃 6	125	43	135	40	140	33	380	14
	〃 7								

細字は濃度%

なお上表における砂量は下表の如くである。

砂 種	I	II	III	III
No 2	250	610	970	1140
〃 4	250	610	970	1140
〃 5	240	610	970	1140
〃 6	210	575	970	1140
〃 7	195	550	900	1065

なおこれらの場合、砂投入前の清水の流速と砂投入後の砂水速ととの差は、2"管の場合と全く同様、砂の流れる状態及び始めの流速には関係なく、砂投入量によつて変るのみで、その値は表-3の如くであつた。表-3中のI, II, III, IIIは各々、表-2の末項に示した砂投入量であることを示している。

第3表 流 速 差 cm/sec

砂 種	砂量 I	II	III	III
No 2	11.8	22.8	29.3	
〃 4	11.0	29.1	42.0	47.0
〃 5	11.6	24.7	34.0	41.3
〃 6	10.7	16.9	24.0	20.7
〃 7	10.3	25.0	42.0	

2"管の場合には、流れる状態及び始めの流速だけでなく、砂種による差異もほとんど認められなかつたが、1 1/2"管の場合には、表-3の如く、小粒の砂(No. 2及びNo. 6)は小さい値を与えている。

なお、さらにピトー管によつて流速分布の測定を試みたが、砂がつまつて測定不能であつた。

3. 吟 味

1 1/2" 管の場合について流れの性質を検討する。

大体において定性的には2"管の場合とほとんど同様である。すなわち限界流速表より次のことがいえる。

i. 粗粒は限界流速が高く、細粒はそれが低い、粒径0.3mmを境として、その差が比較的著しい。

ii. 粒径による変化は、浮游の段階においては明瞭であつたが、沈澱、転動の場合には、低濃度において、粒径最大の砂 No.7. (平均径1.0mm) になるとかえつて低流速を示した。すなわち No.7の方が、それより小粒の砂より転動し易かつたことになる。

iii. 濃度の影響は、2"管における如く、細粗の差異が明らかでない。沈澱限界においては細粒 (No.2, No.6) の方が、濃度による影響が大きい、浮游限界においては、何れの砂も影響が少い。各濃度とも同じ位の流速で浮游している。

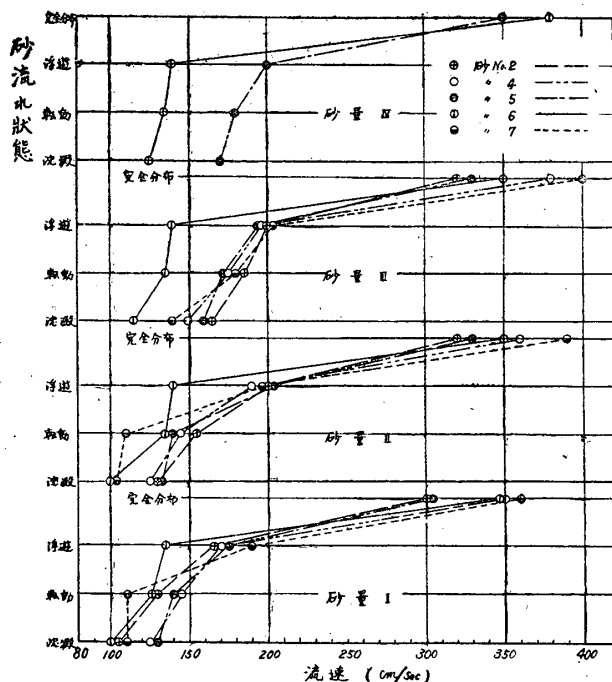
iv. 細粗混合の影響は、2"管の場合と同様で、よく混合された砂の限界流速は、その中の最大粒径の砂の限界流速と等しいかまたはそれより僅か大である。

v. 沈澱から浮游までの流速域は、大体どの砂も同じ位で、低濃度では約80cm/secである。これは比較的小さい。しかして沈澱と転動との間は、沈澱したまま滑動する状態であるが、これは2"管より範囲が広く、かつ細粒の方が更に広いことは2"管の場合と反対である。

vi. 濃度が大になると、沈澱、転動の限界流速はしだいに浮游限界流速に接近してきて高濃度では、浮游からただちに沈澱し易いことを示している。これはすなわち、限界濃度の存在することを示すものである。

限界濃度附近になると、粒径0.3mm以下の砂は、特に限界流速が低いことが、明らかにわかる。他の数種の砂では、限界濃度における限界流速は大体相等しい。また一般に粗粒は限界濃度が低い。これらの事柄は、図一3の示性図によつて比較的明瞭にわかる。

第3図 限界流速図



次に砂水の摩擦抵抗については次の如くである。

i. 点が分散を始める流速は、細粒では浮游限界流速に近く(限界濃度附近で)、粗粒になるほどこれから離れる。故に摩擦抵抗は粗粒になるほど急に上昇する。その分散を始める流速は表一4の如くである。低濃度の場合には、粗粒でも浮游限界流速と一致する。

第4表 点が分散を始める流速

砂種	No. 2	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
分散を始める流速	240	300	255	180	310
浮游限界流速	200	200	200	140	200

ii. 点が水平に分布する際の下限の位置は明かでないが、濃度約8%から限界濃度附近までの点分散の流速域は、粗粒になるほど広くその値は表一5の如くである。このことは、粗粒になるほど濃度による抵抗増加が大きいことを示している。

第5表 濃度による点分散の流速域

砂種	No. 2	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
分散領域	80	100	85	60	106

4. 2" 管との比較

以上の結果を2" 管の場合(2)と数量的に比較すると次の如くである。ここに、2" 管の砂 No. 6 (豊浦標準原砂)による実験のみは上記2)に示してないので表一6に示しておく。

第6表 砂 No.6 限界流速 (2"管)

砂量	沈 澱		転 動		浮 游		完全分布	
	cm/sec	%						
I	110	6	120	5	130	5	220	3
II	130	13	140	12	145	11	220	8
III	140	20	150	19	160	17	220	13
IV	150	22	160	21	180	18	220	15

細字は濃度 %

i. 一般に同運搬量の砂に対して、1 1/2" 管の方が限界流速が低い。すなわち小管の方が同量の砂を低速で送れる。この場合濃度は小管の方が遙かに高くなる。ただし砂量が多くなり何れの管もその限界流速に近づいてくると、同絶対量の砂に対してはほとんど同速を必要とするようになる。ただしこの場合にも0.3mm以下の砂に対してはやはり1 1/2" 管の方が低速で送ることができる。このことは、小粒の方が管による影響が大きいことを示している。

ii. 完全分布の場合の流速は1 1/2" 管の方が大きい。すなわち1 1/2" 管は完全分布しにくい。殊に0.3mm以下の砂において著しい。このことは小管の方が同量の砂に対して高濃度になること、また小粒は粗粒よりも粒数が大なることと関連するのではないかと思われる。

iii. 分散を始める流速と、限界流速との関係は両者同様である。砂 No. 6 のみは多少異り、1 1/2" 管は浮游より少し大なる流速で分散し、2" 管は小であつた。

iv. 限界濃度は、2" 管が約20%、1 1/2" 管は細粒約40%、粗粒約30%であつた。

v. 1 1/2" 管は沈澱したままで滑動する状態が起り易く、その領域が長い。

5. 結 語

1 1/2" 管と2" 管との比較に関する限り、砂流れにおける管径の影響について次のことがいえる。

i. 同量の砂を送るには、小管の方が低速で送れる。細粒は特に然りである。

ii. 摩擦抵抗は小管の方が大きいから、砂の単位量に対する出力を最小ならしめるような管径は、砂を送るに要する流速が小管なるために低下する量と、反対に摩擦抵抗が小管なるために増大する量とを見合わせた上で決定される。

iii. 管には固有の限界濃度があり、小管の方が限界濃度は高い。これは小管の方が限界流速が低いことと本質的には同義であると思われる。

以上の性質を用いて、砂の粒径に対して最も経済的かつ稼働上安全な管径を決定することができる。安全性の上からは、流速が限界流速より大なる程、また濃度が限界濃度より小なる程、砂吸込量の急増に対しても、管がつまることはなくなる。

定量的にさらに検討を進める考えである。

この研究は昭和28年度文部省科学研究助成金を得て行つたものであり、測定については木村、河口、高瀬、原田、安田の各学生諸君の助力を得た。ここに感謝を表したい。

文 献

- 1) 2インチ管による砂輸送の抵抗に関する実験 (筆者) 土木学会誌38—4 昭28—4
- 2) 管内の砂水流れにおける各種限界流速について (筆者) 土木学界誌38—8 昭28—8