

直轄工事予算に計上しないものとして関連費がある。職員住宅、出張所、倉庫の保守、現場までの物品運送費、廳中用品、借地借家料、職員の俸給等を含む。一般労務者としての傭人、人夫は盛時総数500名に及び斧指、削岩工、大工、製材工、コンクリート工、石工、鍛冶工、機械工、坑夫、電工、鳶、左官、土工、坑内夫、雑役夫、人夫と多様な職名に分れた。在籍者に対する稼働率は77%である。工所用資材はその種類の多きとともに数量もまた大にしてセメント、コンクリート用砂、砂利、木材、石炭、鋼材、錐鋼、爆薬、鉄釘、電線カーバイト、削岩機用油その他の油類電力等は主要なものである。動力たる電力は工事着手に当り最大使用量正田方450万KWH、沓掛方250万を予定し削岩機はドリフター43台、ジャックハンマー20台、運搬トロは鉄製及木製合せて200台を常備した。その他電動渦巻ポンプ3台、セメント注入機5台がある。

結語 米原、福井間の電化計画のもとに木ノ本敦賀間の新線を建設して完成と同時に電

気運転をやり以て米原敦賀間の輸送隘路を打開しようとして敦賀線の直轄とんねるが着工されたのは昭和14年7月である。爾来国運の消長につれて工事の盛衰があり今日に至つた。深坂とんねるの掘削数量154000m<sup>3</sup>とんねる壘築コンクリート25000m<sup>3</sup>之に関連した土工量120万m<sup>3</sup>今やそのうち約80%を竣功しており隣接の請負工区もおおむねこれに倣つてでき上りつつある。新線路は上り線27km、下り線25kmこの完成による牽引定数と線路容量兩者の増加のため輸送量は現在の2倍になり列車回数減少と所要機関車の減数及び石炭の節約によつて運転費は軽減され勾配と曲線は改良され防雪除雪のための費用が減るので線路の保守費は節約される。現在運行中の木本塩津間国鉄自動車運転は廃止できる。琵琶湖の西岸に沿うて今津から大津に至る江若鉄道はこの地方開発並びに観光路線としての使命を有しているが新線の開通によつて初めてその面目を発揮することができる。敦賀線完成の意義は重く利益は大きくしてその開通の日が切望される所以である。

## 管路における砂輸送の抵抗に関する考察

### (第一報)\*

小 川 元

#### 1. 目 約

管路によつて砂水の混合物を輸送することはポンプ式しゅんせつ船、或はサンドポンプにおける排砂管を始め、近來益々盛に用いられる傾向にある。しかしその流体抵抗については他の実績から見込を立てる程度であつて、未だ数字的に解決せられていない。それで摩擦抵抗を一般的に與える形を、実験結果から推定しようとしたものである。

#### 2. 實 験

既設の設備によつて実験を行つたのであるが、設備が不充分であつたため、次のような数値しか得ることができなかつた。管は2インチ

鑄鉄管、砂は0.3mm以下。 $hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$

$hf$  = 摩擦損失、 $V$  = 平均流速、 $f$  = 摩擦係数とし、水の場合を  $f$ 、混合物の場合を  $f'$  とすると、水の場合は表1の如くなり、

表 1

流速	3.80m/sec	3.54	2.83	1.94	1.04
$hf$	0.228	0.244	0.168	0.076	0.024
$f$	0.016	0.020	0.021	0.021	0.023

混合物の場合とはり得る値として濃度3%、流速2.41m/secで  $hf=0.13f'=0.023$  を得ただけであつた。この流速に対応する水の  $f$  を計算して  $f'$  との比をとると  $k = \frac{f'}{f} = \frac{0.0231}{0.0208} = 1.11$

最も難点は一定濃度の砂水混合物を作ること、タンクに入れて攪拌しただけでは沈澱によ

\*昭和25年10月21日 土木学会中国四国地方学術講演会において講演

つて上記の濃度のものしか得られなかつた。設備は簡単に改造できないので実験は延期して他の諸種の実験からその性質の概要を抽出することにした。

3. 他の資料

数種の資料があつたが試みに先ず最も詳細な Howard<sup>(1)</sup>氏の Data をとつた。この実験の諸元は 4 インチ c.i.pipe. 管長 86D. Test section は下部 43D. 水流は head Tank により、Sump からポンプで head Tank に入る。管の途中にガラス管を入れて流れの状態を視察し、流速は Volumetric Tank によつて計算する。砂は Pearl River Sand で中間径 (median diameter) 0.39mm 圧力は開端の水柱マンメーターによつた。之によつて得た Data が図 1 である。

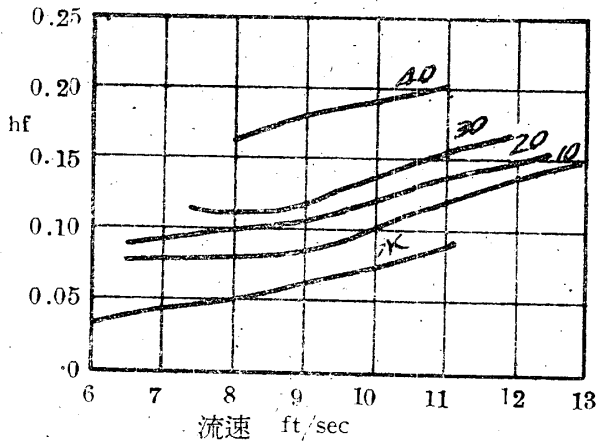


図 1 摩擦損失  
清水の head による。数字は砂の%

4. 諸 量

測定した諸量に数種のとり方があるので、これを規定する必要がある。

a. 濃度

混合物 1 重量中にふくまれる砂の眞重量、混合物 1 容積中にふくまれる砂の眞容積、混合物 1 容積中にふくまれる砂の見かけ容積の三種の表わし方がある、理論的には前二者がよいが、実際的には最後の方法が便利である。それはしゅんせつ 1 容積に要する送水量(砂もふくめた)を求めるに便であるからである。しかしこの方法によれば Void によつて実質的濃度は異つてくる。Howard 氏の Data はこの濃度によつてい

b. 損失水頭

水頭は一般に混合物の水頭によつて表はされる。即ち水又は水銀によつて測定したものを混

合物の比重によつて換算する。従つて各濃度によつて換算係数は各々違い、濃度が違えば計算された水頭が等しくても実際の圧力は異なる。

c. 砂粒

砂粒の分析曲線が示されている場合は明瞭であるが、そうでない場合は最大径か中間径かに疑問が残る。一般に中間径(分析曲線の通過量 50% に当る計算的篩目の大きさ)を用いるが、粗粒の影響が大きく現われるとすればこの表わし方は適当でないことになる。

5. Howard 氏の取扱い

抵抗と流速との関係に対数プロットし、各々を直線として濃度別に指数式を作る。即ち  $hf = mV^x$  とし、各々の式の  $m, x$  を表 2 の如く求めた。

表 2

濃度	10%	15	20	25	30
$m$	0.0024	0.0043	0.0089	0.0118	0.0160
$x$	1.590	1.360	1.050	0.950	0.830

この  $m, x$  の値と濃度との関係をもたりに対数紙にプロットして、 $m, x$  を濃度の函数として次の如く表わした。

$$m = 0.0044P_s^{1.740} \quad x = \frac{6.4}{P_s^{0.595}} \quad (1)$$

$P_s$  : % age

(この式の  $m$  の値は  $m = 0.000044P_s^{1.740}$  の誤りと思はれる。)

然しながらその結論として、これらの関係には相似法則が成立たないため、他のパイプには適用できず、単に定性に止まるとしている。又摩擦係数  $f$  は速度とともに減少し、濃度とともに増加することを述べている。

6. 曲線の一般的性質

砂水の流れる状態に 3 種あり、1 は管底に沈澱した層ができてその上を他の砂が rolling する。2 は沈澱層が薄くなつて時々その層が全体として移動する。3 は全部が浮游する。全部が浮游した時の摩擦損失は、これを混合物の水頭で表わせば水のそれに等しいと言われている。

(O'Brien and Folson<sup>(2)</sup> (1937) M.P. Durepaire<sup>(1)</sup> (1935) 三雲<sup>(3)</sup> (昭 8) これに対して Howard<sup>(1)</sup> (1939) Fred C. Scobey<sup>(1)</sup> (1930) はいづれもこれと異つた結果を示している。これは流速がある程度以上になると前者の方が正しいように思わ

れる。しかしながら実際に使われている流速はこの限界速度以下の場合が多く、よつて先ず Howard の Data について考察した。流速が限界速以下になると次第に抵抗は水のそれとは異つたものとなり、沈澱によつて断面が狭くなつて終には塞る。

7. 考 察

砂水の抵抗を清水の抵抗との比によつて表わそうとしたものであつて、かくすると管路自身にふくまれる特性は消去されて、混入された砂のみによる性質が現われまいかと考えたものである。  $hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$  とし混合物の  $f$  (これを  $f'$  とし) と清水の  $f$  とを測定せられた  $hf$  から計算する。これは流速と濃度とによつて異なるが本質的には濃度によるものと思われるからまず速度一定の場合をとつて両者の比  $k$  を求めてみる。表 3 の如くである。

表 3

濃度	10%	15	20	25	30	35	40
k	1.12	1.35	1.41	1.47	1.47	1.71	1.94

但し 流速=9ft/sec 水の  $f=0.017$   $k = \frac{f'}{f}$

この関係を対数プロットして直線を求めるのであるが、この場合濃度 0 の時には  $k=1$  となるべきであると考えて式型を  $k=(1+N)^x$  として濃度  $N$  を小数で表わす。

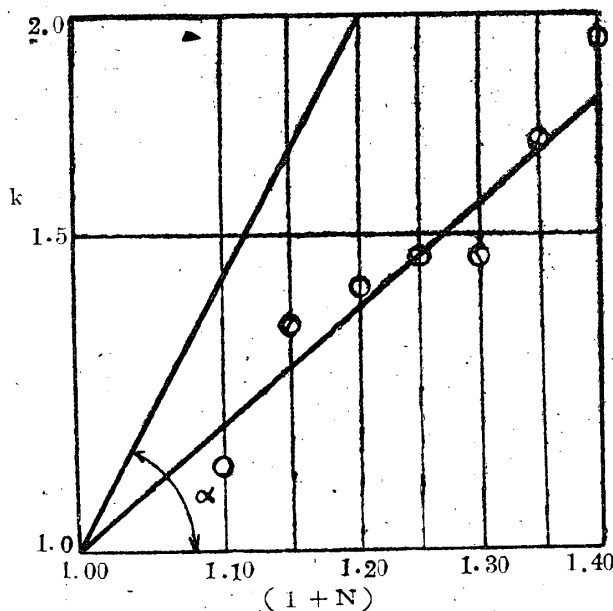


図 2  $k-(1+N)$ プロット  
縦軸は横軸の 1/2 故に実際の傾きは  $\alpha$

これによつて求めた式が次式である。

$$k = (1+N)^{1.73} \quad (2)$$

清水の抵抗については研究が進んでいるから、それに対する比率を興えておけば豫め推定する際の誤差は少い。

8. 比 較

(1)式と(2)式とによつて逆算して実測値と比較してみると図 3 の如くである。流速は 9ft/sec (2)式によるものは図 1 の水の  $hf \times k$  によつて求める。

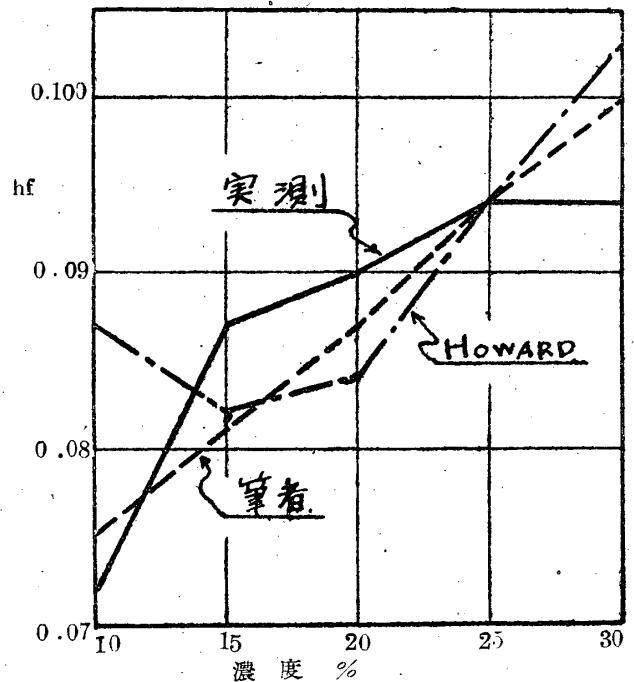


図 3 hf 値の比較

次に他の場合にこれを適用してみる。

a. 筆者の実験の Data は適当でわれないが試みに比較してみると表 4a の如くなる。この場合濃度 3%、流速 2.41m/sec. 管径 52mm

表 4 a

式 種	k
実 測 値	1.11
(1)式 Howard	2.44
(2)式 筆者	1.05

表 4 b

式 種	k
落 合 値	1.27
(1) 式	3.70
(2) 式	1.22

b. 落合林吉氏埋立工学 111 頁に示された係数表から Howard 氏の実験の場合 (中間径 0.39 mm) に適当した係数を 1.27 混入率 12% と推定して計算値と比較すると表 4 b の如くである。この場合 Howard 式に於ては  $V=3.00m/sec$   $D=0.4m$  とし水の抵抗は Darcy, Lang, Flamant

の平均とした。

9. 結 語

以上の結果によつて(2)式の形に普遍性があるように思われる。混合物が水と異つた特殊の性質を持つものとする、水の抵抗との比で表はすことは不適當となり、(1)式の如く抵抗そのものを独立に與えるべきか、又(2)式の如く  $k$  を與えるべきかは考える余地があるが高速の場合は水の場合と一致するということから  $k$  をとることにしてさらに進めたい。水抵抗の  $f$  が変化するほかに、さらに  $k$  は独自で濃度、管径、流速及び粒子の沈降速度によつて変化する。これらの関係を考えたい。(科学研究費による)

文 献

- (1) G. W. Howard Transportation of Sand and gravel in a Four-Inch Pipe. Transaction of A.S. CE., Vol 104(1939) P1334
- (2) Morrourgh P. O'Brien and Richard G. Folsom. The Transportation of Sand in Pipe Lines. Univer-sity of California Publications in Engineering, Vol. 3., No. 7, p 343
- (3) 三雲英之助外 2 名  
微粒鉍石の水力輸送について  
日本機械学会誌 昭 8.12
- (4) 堀田正雄 サンドポンプの研究  
日立評論22巻7号(昭14.7)
- (5) 河野正吉 ポンプ浚渫船における流速の選定と摩擦損失の算定及び土砂含有量の測定法  
土木学会誌 29 巻 6 号 (昭 18.6)

管路における砂輸送の抵抗について(第二報)\*

小 川 元

1. 緒 言

理論的に取扱いができるのは砂粒が全部浮游した臨界速度以上の範囲においてであるがしゅんせつの実情は現在の所この臨界速度以下が多いので、この範囲の資料を集めてその間の関係を求めてみる。O'Brienは乱流における  $K'/arm-lan$  の速度分布

$$\frac{U-\bar{u}}{(\tau_0/\rho)^{1/2}} = -\frac{1}{k} \left[ \log_e \left[ 1 - \left( 1 - \frac{y}{r} \right)^{1/2} \right] + \left( 1 - \frac{y}{r} \right)^{1/2} \right]$$

U: 管中心の流速  $\bar{u}$ : 壁から y の距離の平均流速  $r$ : 管の半径  $(\tau_0/\rho)^{1/2}$ : 摩擦速度即ち壁の近くの速度  $k$ : 常数

から臨界速度は管径に殆んど無関係であるとしているけれど、今考える範囲においては抵抗の相等しくなるような流速は管径によつて異なるものとする。

十数種の資料があつたが、臨界速度以下で、しかも清水の資料もともに與えられているものは次の3種であつた。Blatch (1906) 1 インチブラスパイプ 20mesh-40mesh の砂、しゅんせつ船 "Alpha" (ミシシッピ河) 30 インチパイ

プ、Howard 4 インチパイプ 中間径0.39mmの砂、これらの実験値を綜合すると図1の如くである。

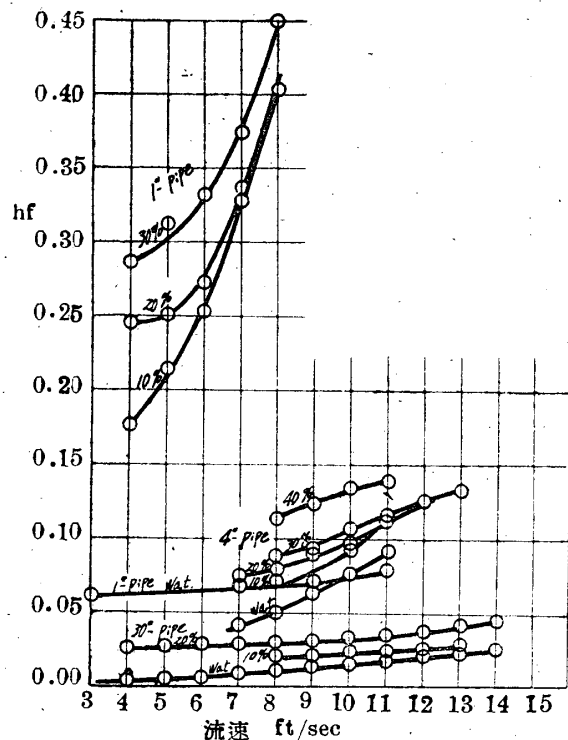


図1 摩擦損失 (1. 4. 30 インチ管) 混合物の head による

\*昭和26年5月27日 土木学会年次大会において講演