

基礎の振動を防止するためのグラウチング

Symposium on Grouting: "Grouting to Prevent Vibration of Machinery Foundations", *Gnaedinger, J.P.* Proc. A.S.C.E. vol. 87, No. SM2 April (1961)

機械の基礎を設計するにあたって、その土の支持力が十分でなければならないことは当然であるが、同時に土の固有振動数が機械の振動数と一致して共振を起こすことのないよう注意を払わねばならない。この論文はコンプレッサの基礎に化学薬品をグラウトして土の弾性的な性質と固有振動数を変化させ振巾を非常に減少させることに成功した実験について述べたものである。

最初の例は機械の振動数が約 280 vpm であるのに基礎の固有振動数が約 300 vpm であって、その下約 3.7 m の深さまで密な砂層の場合である。現場密度は、修正 AA SHO 密度の 100% の値を持っていた。グラウチングを行なう前に、化学薬品のグラウトが砂の弾性的な性質におよぼす影響について室内試験を行なった。グラウトに用いたのは AM-9 とケイ酸ナトリウムである。

三軸試験の結果によると、グラウトしたものは粘着力がかなり増加し、側圧 0.35 kg/cm<sup>2</sup> に対する応力-ひずみ曲線の勾配も普通の場合の約 3.8 倍になっている。動弾性係数が三軸試験で得られた静弾性係数と同じ割合で増加すると仮定すれば、基礎の固有振動数は 1.86 倍すなわち 300 cycles/min から 558 cycles/min に増加することが期待できる。これは振巾を大きく減少させることになる。

コンクリート基礎に穴をあけ、基礎底部から約 2.4 m の深さまでケーシングを入れ、内部の砂を洗いだした後、穴のあいた径 5 cm のパイプにゴム スリーブをかぶせたマンチェット チューブといわれるものをさしてんでセメント ベントナイトを注入する。それからケーシングを除去してグラウトを行なうと、圧力でゴム スリーブが膨張し、やがてこれが破れてパイプの周囲の砂に AM-9 がグラウチングされることになる。使用された AM-9 は 1 本のパイプについて濃度 10% のものが、約 550 lb であって、これによってパイプの周囲の直径約 1.2 m、高さ 2.4 m の円柱部分の砂が強化されたことになる。グラウチングした後での測定によると振巾は最初の値の約 1/3 になり固有振動数は 300 vpm から 402 vpm に変わっていた。砂は振動により密度増加が起きるが、グラウチングを行なうとこれを防止することができる。

二番目の例は 2 台のコンプレッサの基礎を改良したもので、振動計の記録(図-1, 2)によると機械の振動数 1028 cycles/min に対して基礎の固有振動数は 948

図-1 水平方向の変位と振動数

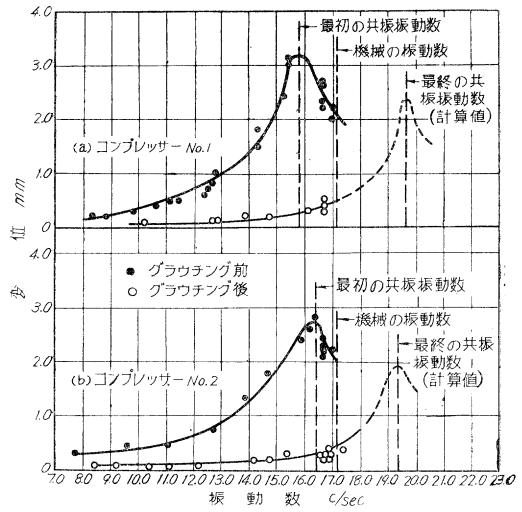
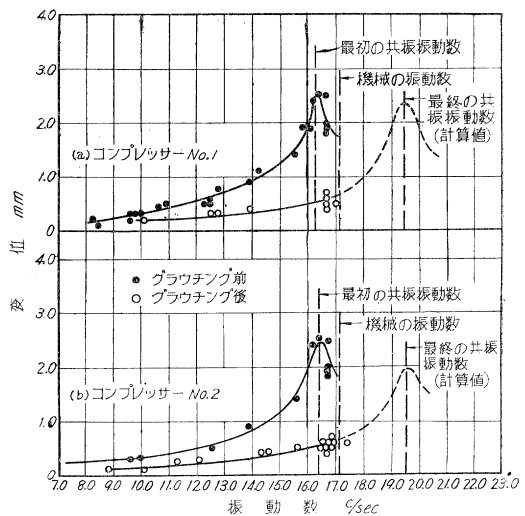


図-2 鉛直方向の変位と振動数



cycles/min であつた。グラウチングは床版上の 4 か所で深さ 2.3 m まで行なわれた。土質状態は中程度に締まった。粘土をわずかにふくむ砂質シルトでこれに 10.1 cm の穴を掘って前記のマンチェット チューブを入れセメント グラウトを注入し、その養生の終わった後に安定化を行なった。薬品のグラウトを行なう前に床版と土の間の接触をよくするためこの間にセメントと粘土を注入した。図-1, 2 よりわかるとうり、この方法で安定化すると固有振動数は共振振動数に近い 948 vpm から共振しない 1176 cycles/min に変化し、振巾は処理前の 40% 以下となった。

この例によると固有振動数が機械の振動数よりわずかに小さい値から、それよりもかなり大きい値に変化した

ことは注意すべきである。グラウチングによる質量増加は固有振動数を下げる傾向にあり、前の例によるとグラウチングのため弾性係数が確かに増加しているの、固有振動数の増加はグラウチングによる安定化によって砂質シルトの弾性変形係数が大きくなった結果であることは明らかである。グラウチングによる土の単位重量の増加はたいした効果はなく、むしろ弾性係数の増加の影響を減ずるようである。(矢部 正宏)

## 海水中のコンクリートの耐久性

“Durability of Concrete in Sea Water”, *Lyse, I. Journal of A.C.I.*, June (1961)

寒冷地における海水中のコンクリート構造物の凍害に対する抵抗性を明らかにするため行なった試験結果の報告である。

試験に用いたコンクリートの配合は、水セメント比が 0.67, 0.50, 0.40 の 3 種類で、これに対応するセメント、細骨材、粗骨材の重量比はそれぞれ 1:3.5:3.5, 1:2.4:2.4, 1:16.5:1.65 であり、スランプは 7.5~10 cm 程度であった。使用した骨材は天然砂および砕石であった。コンクリート供試体の形状、寸法は一辺が 10 cm の立方体で、試験方法は所定の養生を終えた供試体を凍結せしめるため冷凍室の供試体棚に置き、融解せしめるため海水中に放置することをくり返し行なって、凍結融解サイクル数と供試体の損失重量百分率との関係からコンクリートの耐久性を判断した。試験変果から次の結論が得られる。

(1) 海水中のコンクリートにおよぼす凍結融解作用の影響は淡水中のコンクリートにおよぼすそれよりもはるかに大きい(図-1 参照)。

(2) 粗骨材の最大寸法および骨材中の 0.075 mm 以下の微粒子の量は、海水中のコンクリートの凍害抵抗についての重要な要素ではない。ただし、この試験に用いた粗骨材は 40 mm 以下である。

(3) 凍結融解作用を受ける前の湿潤養生期間の長短は、海水中で凍結作用を受けるコンクリートの耐久性に対しあまり大きい影響をもたない。

(4) 海水中で凍結融解作用を受ける前にコンクリートを乾燥状態にしておけば、耐久性はいちじるしく増大する(図-2,3 参照)。

(5) 海水中のコンクリートの耐久性についての最も重要な要素は水セメント比である。ただし、海水中のコンクリートの耐久性に対する水セメント比の影響は AE 剤を使用しない場合小さいが、これを使用し空気量が増加した場合非常に大きい(図-2 参照)。

(6) 淡水中のコンクリートが凍結融解作用を受ける

図-1 海水中および淡水中のコンクリートの耐久性

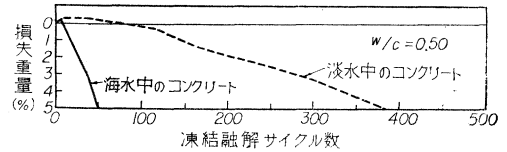


図-2 海水中のコンクリートの耐久性 (28 日間湿潤養生, 円内の数値はコンクリート中の理論空気量 (%))

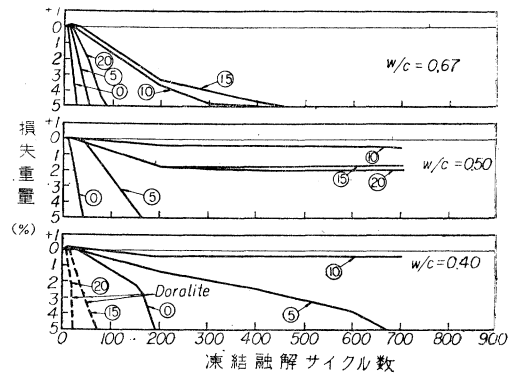


図-3 海水中のコンクリートの耐久性 (7 日間湿潤養生しその後 21 日間大気中に放置, 円内の数値はコンクリート中の理論空気量 (%))

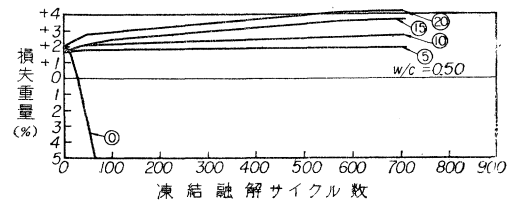
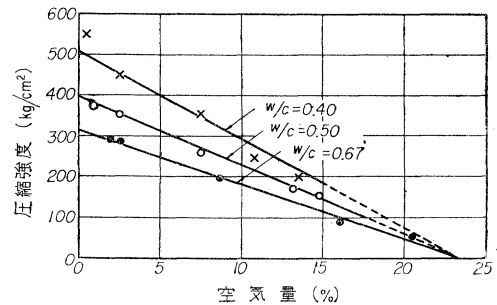


図-4 コンクリートの空気量と圧縮強度との関係 (28 日間湿潤養生, 空気量は脱型時の理論空気量)



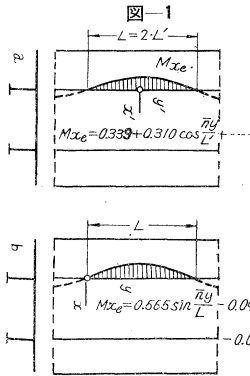
場合、最も良好な結果を与える空気量は 3~6% であるが、海水中では 10~12% のとき最も大きい耐久性を示す。しかし、この場合コンクリートの圧縮強度は AE 剤を使用しないコンクリートの圧縮強度の約 1/2 に減少する(図-2,4 参照)。(徳田 弘)

# 輪荷重の作用を受ける床板縁の 固定度の問題について

“Zur Frage des Einspanngrades der Fahrbahnplattenränder unter des Wirkung von Fahrzeugeinzellasten”, Rose, E.A. Der Bauingenieur, H.4. (1961)

鉄筋コンクリート T形ばりの床板縁の固定度の解析を計算例を加えて示し、DIN 1075 による計算値とを比較している。同一問題について先年発表された Dehmkamp と Crosse の方法 (“Biegemomente in auskragenden Platten”. Der Bauingenieur H. 2 1957) と対比しながら論が進められているが、その基本的な考え方は次のようなものである。

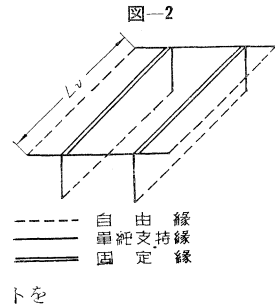
(1) 無限に長い板の縁に働く曲げモーメントは、その縁が弾性的に固定されていれば減少して有限巾に分布することになり Dehmkamp と Crosse が導いた。定数項をもったフーリエ級数に対応する、モーメントの消失しないものとはならない。



(2) 図-1 a, b に示すような座標系を用いることにし、この場合その級数には定数項をもたないものを用いる。

3) この座標系を用いると計算労力が倍加する

けれども実用上は表を利用することによりおぎなわれる。このように表わした荷重は、図-2 に示すような表象した構造に加わると考えることができ、さらにいろいろな場合を、表象した構造について解くことができる。



さて、この論文に示された計算の基本的方針は次のようである。まず、座標系を図-1 b のようにとり、曲げモーメントを

$$\lambda(x) = \sum_{v=1}^{\infty} b_v \sin v\pi \frac{y}{L} = \sum_{v=1}^{\infty} b_v \sin \pi \frac{y}{L_v}, \quad L_v = \frac{L}{v}$$

と展開する。次に剛比

$$K_i' = \rho \frac{d_i^3}{L_v}, \quad \rho = f(l, L_v)$$

を Bittner の数表を用いて計算する。

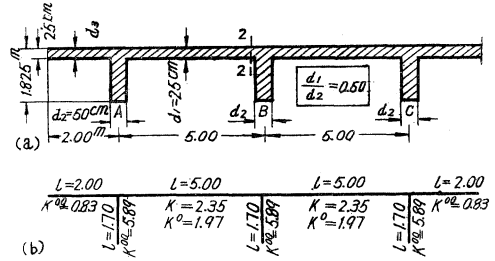
さらに、分配係数

$$V_a = \frac{K_a'}{\sum K_i'}$$

により曲げモーメントを分配する。

計算例として 図-3 に示すような T形ばりの床版を取扱っている。また、鋼プレート ガーダーの床版の支点モーメントの問題にもふれ、さらに、種々のタイプの板について、板理論から得られた結果と比較している。

図-3



$K^0$ : 片持板の剛比  
 $K^0$ : 一端固定, 他端単純支持板の剛比  
 $K$ : 両端固定板の剛比

(高尾 孝二)

## ナイアガラ発電計画

“The Niagara Power Project”, Chapin, W.S., Civil Engineering, April (1961)

ナイアガラ滝にある Robert Moses ナイアガラ発電所(給出力 2 190 000 kW) の 13 台の発電機のうち 2 台が 2 月 10 日より発電を開始した。ほかの発電機は 5 週間ごとに 1 台ずつ設置され揚水発電所は 1 年後に運転される予定である。

西半球で最大のこの水力発電所はニューヨーク州の電力局 (Power Authority of the State of New York) の手によって建設されている。ナイアガラ発電所は 2.5 mile 上流から取水し、2 本の導水路によって、長さ、4 000 ft、巾 500 ft、高さ 110 ft のフオアベイに導かれ 305 ft の有効落差を得て出力 150 000kW の発電機 13 台によって合計 1 950 000 kW の発電を行なうとともに夜間および観光期外の余水を揚水して、最大出力時に放流して発電する Tuscarora 揚水式発電所を設ける計画である。この揚水発電所は有効落差 85 ft で 3 400 ft<sup>3</sup>/sec を揚水し、20 000 kW 発電する可逆タービン 12 台によって 240 000 kW の発電を行なう。したがって 2 発電所の総設備能力は 2 190 000 kW となり、年間出力は 130 億 kWh となる。

ナイアガラ地点では、カナダとの条約によって滝の美観を保持するために観光期の昼間は滝より 100 000 ft<sup>3</sup>/sec を夜間および観光期外には 50 000 ft<sup>3</sup>/sec を放流することになっており、したがって発電に使用される流量は平均流量 202 500 ft<sup>3</sup>/sec のうちの残量をカナダと米国で等分に分けて使用することになっている。特に

図-1 発電計画一般平面図

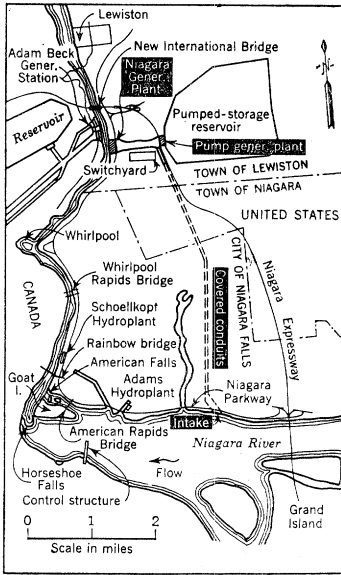


図-2 ナイアガラ、セント・ローレンス両発電所能力を増加するために両発電所に結ばれる高圧線

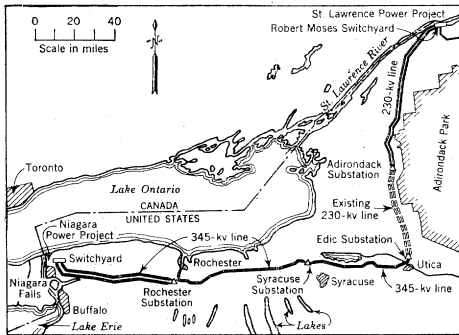
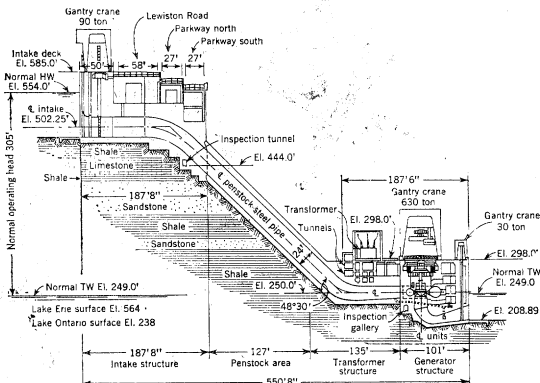
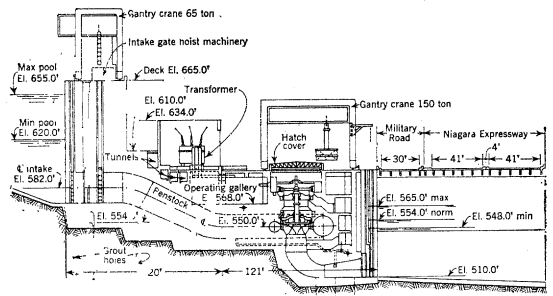


図-3 ナイアガラ発電所縦断面図



ナイアガラ、セント・ローレンス河は、グレート湖の 300 000 mile<sup>2</sup> の流域から流出し非常に美しい貯水池を形成しており、最大流量が最小流量の約 2 倍という非常に均一な流れである。夜間の使用量は 50 000 ft<sup>3</sup>/sec 増加するのでピークに備えて Tuscarora 揚水式発電所が計

図-4 Tuscarora 揚水式発電所



画されたものである。もう一つの重要な計画はセント・ローレンス発電所の使用量が夏期には最高となり、その季節中は米国、カナダ間の条約によってナイアガラの発電の使用量が減少するので、高圧線でナイアガラ発電所とセント・ローレンス発電所とを結ぶことによって両発電所の発電能力を増加し安定せしめたことである。

送電線は電力局によって新発電所から Rochester まで 345 000 V の高圧線、Rochester から Utica まで 345 000 V の高圧線が建設されている。Utica からセント・ローレンスまでは 230 000 V の既設の送電線で結ばれている。

ナイアガラ発電所の建設は急速に進められており、橋、道路、鉄道などの付随する工事も同時に行なわれ、1962 年 5 月 30 日にはニュー インターナショナル ブリッジが開通し、高速度道路の開通も間近い、ナイアガラ パーク ウェイの一部は昨夏より開通し、他はでき次第開通する。1963 年にはナイアガラの総合開発はほぼ完成される予定である。

(石橋 毅)

### 乱流内の流体粒子に働く加速度とその平均の軌跡 —河床砂の運動に関する一つの説明—

“Accelerations and Mean Trajectories in Turbulent Channel Flow,” *Irmay, S.*, Trans ASME, Jour. of Basic Engineering, Dec. (1960)

この論文では、等流状態にある乱流においても、流体粒子には、加速度が働くことを明らかにし、その大きさを Lauffer J. の実験値から求めている。この加速度の大きさは、底面近くのエネルギー逸散層では大きく、特に流れの方向の加速度は、15g にもなることが示された。これにより、掃流土砂の運動や砂漣を解釈することができる。

Navier-Stokes の方程式から、 $x$  (流れの方向)、 $y$ 、 $z$  (底面と垂直方向) 方向の加速度  $a_1, a_2, a_3$  は、それぞれ次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= du/dt = u_t + (u^2)_x + (uv)_y + (uw)_z \\ &= -P_x + \nu \nabla^2 u \\ a_2 &= dv/dt = v_t + (v^2)_x + (v^2)_y + (vw)_z \\ &= -P_y + \nu \nabla^2 v \end{aligned} \right\} (1)$$

$$a_3 = dw/dt = w_t + (uw)_x + (vw)_y + (w^2)_z \Bigg| \\ = -P_z + \nu \rho^2 w$$

これらの時間平均を取れば、

$$\bar{a}_1 = \overline{(u'w')} = gI + \nu \bar{n}_{zz} \dots\dots\dots (2a)$$

$$\bar{a}_2 = \overline{(v'w')} = -\bar{P}_y \dots\dots\dots (2b)$$

$$\bar{a}_3 = \overline{(w'^2)} = -P_z \dots\dots\dots (2c)$$

となる。ここに  $u', v', w'$  などは、平均値からの変動値を表わし、また  $\bar{a}$  は  $u$  のその点での平均値、 $I$  は水路勾配である。

底面での滑りなしの条件を考慮すれば、 $\bar{a}_2 = 0$  である。

$\bar{a}_1, \bar{a}_2$  は Laufer の実験 (NACA Report 1053 (1951)) を用いて、(2) 式により計算することができる。図-1、

図-1 流れの方向の加速度分布 (a)

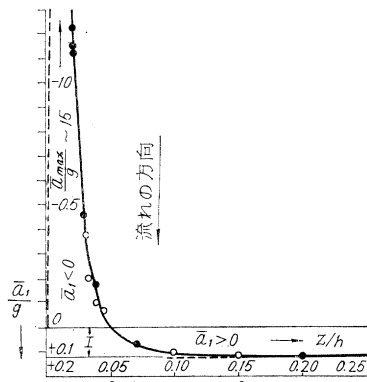


図-2 流れの方向の加速度分布 (b)

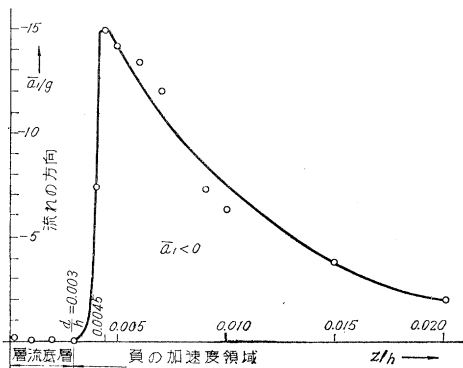
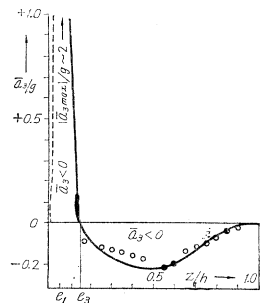


図-3 垂直方向の加速度分布 2,3 は  $Re = 30800$  の実験から求められたものである。



流れの方向の加速度  $\bar{a}_1$  は、流れの底面近くを除く大部分では、大体  $\bar{a}_1 \sim I$  で一定であるが、底面に近づき、壁面の影響で層流粘性がいちじるしくなると、  

$$\bar{a} / u_* = A \ln z U_* / \nu + B \dots\dots\dots (3)$$

から

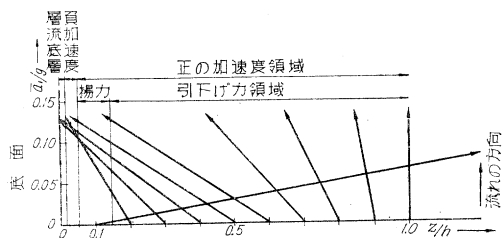
$$\bar{a}_1 \sim gI - A \nu u_* / z^2 \dots\dots\dots (4)$$

となり、流れと逆向きに加速度が働き、 $z/h \sim 0.0045$  では最大加速度  $-15g$  にも達するが、さらに底面近くになると急に減少し、層流底層 ( $zu_* / \nu = 3$  すなわち  $z/h = 0.003$ ) では 0 となる (図-1, 2)。

レイノルズ数が大きければ、負の加速度の働く範囲は狭くなり、逆にその最大値は大きくなる。

同じようなことが、底面に対する垂直方向の加速度  $\bar{a}_3$  についてもいえるが、これらの合成された加速度は、図-4 のようになる。

図-4 合成された加速度



この加速度の働きは 3 つの範囲にわけられる。

⑧層流底層 ( $\delta = du_* / \nu = 3 \sim 3.5$ ): この範囲内では加速度は作用しない。

⑨負の加速度の範囲 ( $e_1 \sim (dh)^{1/2}$ ,  $d$ ; 層流底層の厚さ): この範囲の粒子は流れ方向反対の力、揚力、流れ方向への回転偶力をうける。これは、ちょうど、底土砂が激しく回転で運ばれる範囲とそのオーダーが一致しており、また大気乱流を例にとれば、 $e_1 \sim 25$  cm (たぐし  $h = 300$  m,  $\bar{a} = 10$  m/sec,  $u_* = 0.2$  m/sec,  $\nu \sim 0.15$  cm<sup>2</sup>/sec として) であり、砂丘での砂の移動の飛上り範囲と一致する。また、もし、層流底層よりごくわずかに大きい粒子が存在すれば、この粒子は、流れと逆方向に回転させる偶力をうけるといふ奇妙な現象が生ずるはずである。⑩正の加速度の範囲: これはさらに上向きの加速度範囲と下向きの範囲にわけられる。

粒子の最初の位置と初速度とを与えれば、(2) 式を積分して、粒子の平均的の軌跡を求めることができる。

(日野 幹雄)

粒子の最初の位置と初速度とを与えれば、(2) 式を積分して、粒子の平均的の軌跡を求めることができる。

(日野 幹雄)

## 完全乱流領域での管径の直接的解法

“Une Solution Directe pour Déterminer le Diamètre d'un Tuyau rugueux en Régime d'Écoulement Turbulent,”  
*RaJaratnam, N, La Houille Blanche Nov. (1960)*

管路の計算で普通問題になるのは次の3つの場合である。

- (1)  $D, L, \rho, \mu, K, Q$  (あるいは  $V$ ) を与えて,  $h_f$  を求めること。
- (2)  $h_f, D, L, \rho, \mu, K$  を与えて,  $Q$  (または  $V$ ) を求めること。
- (3)  $h_f, Q, L, \rho, \mu, K$  を与えて,  $D$  を求めること。

ここに,  $D$ : 管径,  $L$ : 管長,  $\rho$ : 流体の密度,  $\mu$ : 流体の粘性係数,  $K$ : 管壁の粗さ (absolute roughness),  $Q$ : 流量,  $V$ : 平均流速,  $h_f$ : 摩擦損失水頭

(1) の場合, すなわち, 摩擦損失水頭を求めるには, レイノルズ数  $R$  を計算し, この値と  $D/K$  の値を使って Moody の図表 (例えば, *Trans, A.S.M.E., Nov. (1944)*) から

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{2gD} \dots\dots\dots (1)$$

を直接に求めることができる。

(2) の流量を求める場合には, まず, 次式を用いて  $R\sqrt{f}$  を計算する。

$$R\sqrt{f} = (D^{3/2})/\nu \cdot (2gh_f/L)^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

この  $R\sqrt{f}$  と  $D/K$  がわかれば,  $f$  は Rouse の図表から求められる。 $f$  がわかれば流量は (1) 式を用いて計算できる。

(3) の管径を求める場合には, 管の粗度が大きいときには試算法により計算しなくてはならない。すなわち

$$\frac{D^5}{f} = 8LQ^2/h_f \pi^2 g \dots\dots\dots (3)$$

$$R = 4Q/\pi \nu D \dots\dots\dots (4)$$

の2式を用い, まず  $f$  を仮定して (3) 式より  $D$  を求める。また, (4) 式より  $R$  を計算する。 $D/K, R$  がわかれば Moody の図表より  $f$  が求まる。最初に仮定した  $f$  と, 最後に求まる  $f$  の値が一致するまで試算をくりかえすわけである。

しかし, 著者は, 粗度の大きな管内を流れる乱流に関し, もっと手軽な直接的な解法を本論文で提案している。

すなわち,

$$\left. \begin{aligned} h_f &= f(LV^2/2gD) \dots\dots\dots (5) \\ &= f(16L/2g\pi^2)(Q^2/D^5) \dots\dots\dots (6) \end{aligned} \right\} \text{Darcy-Weisbach の式}$$

において, 粗い円管内で完全に発達した乱流に対しては

$$1/\sqrt{f} = 2 \log_{10}(D/2K) + 1.74 \dots\dots\dots (7)$$

<7>式を(6)式に代入すると,

$$h_f = \frac{1}{[2 \log_{10}(D/2K) + 1.74]^2} \cdot \frac{16L}{2g\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \dots\dots\dots (8)$$

すなわち

$$S_f = \frac{1}{[2 \log_{10}(D/2K) + 1.74]^2} \cdot \frac{16}{2g\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \dots\dots\dots (9)$$

あるいは

$$S_f = \phi Q^2 \dots\dots\dots (10)$$

ここに  $S_f = h_f/L \dots\dots\dots (11)$

$$\phi = \frac{1}{[2 \log_{10}(D/2K) + 1.74]^2} \cdot \frac{16}{2g\pi^2} \cdot \frac{1}{D^5} \dots\dots\dots (12)$$

$$\begin{aligned} \phi g K^5 &= \frac{1}{[2 \log_{10}(D/2K) + 1.74]^2} \cdot \frac{16}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{(D/K)^5} \\ &= \varphi \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

図-1  $\varphi$  と  $D/K$  の関係

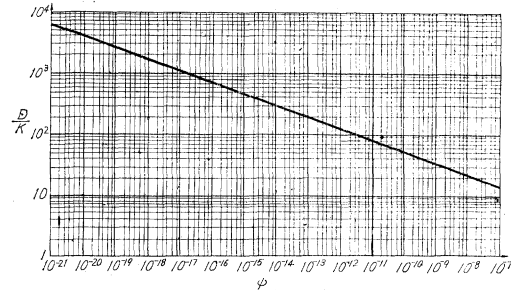


表-1

$D/K$	$\varphi$	$D/K$	$\varphi$
20.0	$181.0 \times 10^{-10}$	250.0	$23.56 \times 10^{-15}$
25.0	$53.62 \times 10^{-10}$	500.0	$0.61 \times 10^{-15}$
33.4	$11.13 \times 10^{-10}$	1000.0	$1590 \times 10^{-20}$
50.0	$1.26 \times 10^{-10}$	1250.0	$493.5 \times 10^{-20}$
66.7	$0.271 \times 10^{-10}$	1670.0	$108.4 \times 10^{-20}$
100.0	$3023.0 \times 10^{-15}$	2500.0	$13.18 \times 10^{-20}$
125.0	$933.3 \times 10^{-15}$	5000.0	$0.36 \times 10^{-20}$
167.0	$158.9 \times 10^{-15}$		

ここに

$$\phi = \phi g K^5 \dots\dots\dots (13a)$$

$\phi$  は無次元量である。 $\phi$  を種々の値に対し計算した結果で表-1, 図-1 である。これにより

$$\phi = 0.1178(K/D)^{5.297} \dots\dots\dots (14)$$

がえられた。

$h_f, Q, L, \rho, \mu, K$  を与えて  $D$  を求めるのには, 次のようにすればよい。

$$S_f = \frac{\phi}{gK^5} Q^2$$

より  $\phi$  を求め, この  $\phi$  から,  $K/D$  を (13) 式または, 図より求める。そして  $D$  は, こうしてえられた  $1/(K/D)$  と,  $K$  を乗じることにより計算できる\*。

(大西 外明)

\* 以上の論文は, 完全乱流領域での直接的解法を与えたものであるが, 流れが層流領域から完全乱流領域に移行する遷移領域では, 摩擦損失が  $R$  と  $D/K$  の両方に関係するので一層複雑となる。この領域についての直接的解法は, すでに学会誌 45 巻 12 号(35年12月)抄録欄(石橋訳)で紹介している。(編集部注)