

$$\begin{aligned}
 Q_{-1-2} &= (F_{q5} - f_{q3}w' - f_{q4}w'')W \\
 Q_{0-1} &= (F_{q4} - f_{q2}w' - f_{q3}w'')W \\
 Q_{01} &= (F_{q3} - f_{q1}w' - f_{q2}w'')W \\
 Q_{12} &= (F_{q2} + f_{q1}w' - f_{q1}w'')W \\
 Q_{23} &= (F_{q1} + f_{q2}w' - f_{q1}w'')W \\
 Q_{3w} &= (F_{q0} + f_{q3}w' + f_{q2}w'')W \\
 Q_{w4} &= (-F_{q0} + f_{q3}w' + f_{q2}w'')W \\
 Q_{45} &= (-F_{q1} + f_{q4}w' + f_{q3}w'')W \\
 Q_{56} &= (-F_{q2} + f_{q5}w' + f_{q4}w'')W
 \end{aligned}$$

この解法は枕木 I 及び II が異常枕木でその枕木沈下係数を D_1, D_2 とし荷重を III, IV の中間に加えた場合について取扱つたのであるが荷重が枕木上にある場合には $F_y F_m F_p F_q$ などは $f_y f_m f_p f_q$ となる。この他異常枕木の数、位置及び荷重の位置により上述の各

係数の指数が異なってくるから注意して計算しなければならない。

荷重が単一荷重でなく列車荷重のように多数の集中荷重または分布荷重の場合にはそれぞれの単一荷重にその強度をかけて代数的に加え合わせれば荷重群に対してもレール及び枕木に生ずる応力と撓みを求めることができる。

7. 結論

ここに述べた方法は一樣なる枕木沈下係数を有する軌道の影響線を利用して、複雑なる多元連立方程式または階差方程式を用いることなしに、一樣ならざる軌道の応力を簡単容易に求められるのが本解法の特徴である。

(昭.27.6.28)

UDC 628.163.067:532.55

急速砂濾過における濾過水頭に関する一実験考察

准員 徳 平 淳*

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE RESISTANCE (HEAD LOSS) OF FILTERS IN RAPID SAND FILTRATION

(JSCE Dec. 1952)

Atushi Tokuhira, C.E. Assoc. Member

Synopsis An experimental study concerning the resistance (head loss) of filters in rapid sand filtration is described in this paper. The author proposed one formula of the head loss of filters in rapid sand filtration under the clogging based on Fair-Hatch formula and Bouchr's Filtrability Index.

He compares it with the experimental data and obtains a few characteristics about this problem.

要旨 急速砂濾過の際、砂の抵抗による初期濾過水頭、及びその後の閉塞による濾過水頭の変化を予知することは浄水場の運営の上で重要なことである。これ等のことにつき実験を行い、すでに発表されている式の検討をなし、それに基づき新式を導入し、若干の考察をなし、二、三の特性を得た。その一部を報告する。

1. 緒言

砂濾過の際、砂の抵抗による損失水頭を表わす式はいろいろあるが、水道界で広く使用され得る式として Fair-Hatch¹⁾ 式がある。

$$\frac{h}{l} = \frac{k}{g} \frac{\mu v}{\rho} \frac{(1-f)^2}{f^3} \left(s \Sigma \frac{P}{100} \frac{1}{d} \right)^2 \dots\dots(1)$$

ただし (1) 式は砂を不均一に充填した場合の式であ

る。

- h : 損失水頭 [L], l : 砂層厚 [L]
- k : 常数 [無次元]
- g : 重力による加速度 [LT⁻²]
- μ : 水の静粘性係数 [ML⁻¹T⁻¹]
- ρ : 水の密度 [ML⁻³], v : 濾過速度 [LT⁻¹]
- f : 砂の有効空隙率 [無次元]
- s : 砂の形状比 [無次元]
- P : 任意の篩目 d_1, d_2 間に残留せる砂の重量百分率 [無次元]
- d : 砂の代表径 = $\sqrt{d_1 d_2}$ [L]

本式は、砂層内の損失水頭は管路内の損失水頭を表わす式と本質的には同様であり、砂の粒子表面積を考慮して求め、実験的に確かめている。

* 東京大学助教授, 工学部土木教室

また最近 Boucher²⁾³⁾⁴⁾氏は濾過性能指数 (Filtrability Index) なる概念を導入し、任意時刻における抵抗水頭を表わす式として

$$i = \frac{l}{V} \log_e \left(\frac{h_{0r}}{h_r} \right) \dots \dots \dots (2)$$

ただし

i : 濾過性能指数 [無次元], l : 砂層厚 [L]

V : 任意時刻までに濾過面積当りの濾過水量 [L²L⁻²]

h_{0r} : 初期抵抗水頭 [L]

h_r : 任意時刻の抵抗水頭 [L]

を提唱している。

これら (1), (2) 式に基づき実験結果を吟味し、若干の考察を行った。

2. 実験装置及び方法

使用した実験装置の概略は 図—1 のごときもので、濾過槽は、濾過面積 23.52 cm², 25.50 cm², 26.62 cm², 26.86 cm², 長さ約 100 cm の 4 本のガラス円筒を用い、下部に金網で砂を支え、濾水はガラス管、ゴム管で濾水量調節器に導き、濾水量を常に一定にしながら、濾過水頭をマノメーターで測定した。濾過水頭は装置の関係上 450 cm までしかとり得なかつた。原水は構内水槽貯留水 (約 6 年前に水道水を貯留したもの) に汚水を適当に加え、薬品としては硫酸バンドの水溶液を用い、攪拌機は水平回転式を使用し、攪拌時間は毎分 100 回転、沈澱時間は 20~80 分、濾過速度は 120~150 m/日 であつた。砂洗滌は水のみ逆流洗滌方法を使用した。

実験に使用した砂は、豊浦砂、東京都境浄水場砂、金町浄水場砂 (2 種) であり、表—1, 2 にその砂試験結果を示す。

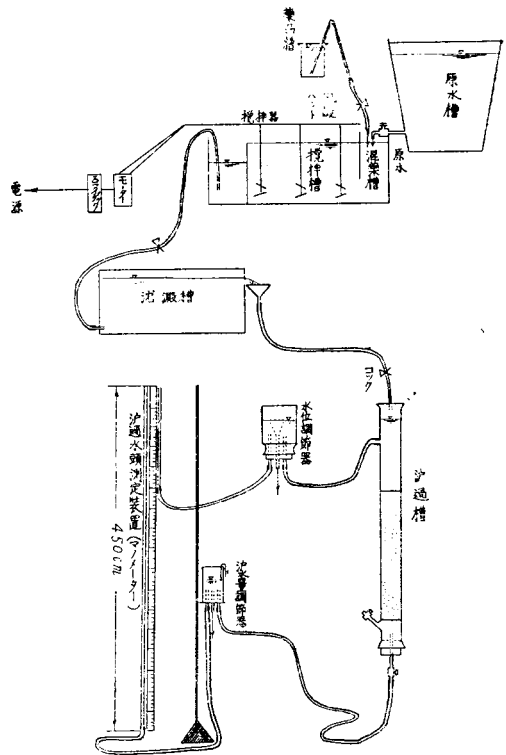
表—1 砂試験表

砂種	有効径	均等係数	空隙率	摩擦率	燐減量	硫酸可容率	比重
A	0.34 mm	1.412	0.387	0.6%	0.3%	0.296%	2.63
B	0.42	1.17	0.380	0.4	0.15	0.42	2.61
C	0.29	2.086	0.371	0.32	0.53	3.03	2.69
D	0.60	1.375	0.343	5.19	0.67	0.92	2.67

表—2 篩分試験表

篩目 (mm)	mm	1.68	1.41	0.84	0.63	0.42	0.318	0.210	0.149
残留重量 (%)	A 0	1.01	—	22.68	22.88	48.44	0.19	4.78	0
	B 0	0	—	0	67.5	32.5	0	0	0
	C 0.02	—	0.19	—	41.49	—	47.94	—	3.59
	D 0	—	4.72	—	85.60	—	8.98	—	0.05

図—1 実験装置概略図



3. 初期濾過水頭

初期濾過水頭を表わす式として (1) 式が妥当であると仮定し、次のごとく変形する。

$$h_{0r} = C \frac{\nu}{g} vl \dots \dots \dots (3)$$

ただし $C = k \frac{(1-f)^2}{f^3} \left(s \frac{P}{100} \frac{1}{d} \right)^2$ [L⁻²]

ν : 水の動粘性係数 [L²T⁻¹]

係数 C は濾砂の性質、つめ方により定まる常数である。また k の値については Hatch⁵⁾の実験によれば $k=360$ であり、 s の値については Martin-Bowes¹⁾によれば、表—3 のごときである。表—4 に実験に使用した各砂の C の値につき表—1, 2 より計算した結果を示す。

表—3 砂の形状比

砂の形状	形状比
完全球形 (Sphere)	1.00
円珠をおびたもの (Rounded)	1.02
摩滅されたもの (Worn)	1.07
角のあるもの (Sharp)	1.17
不規則な角のあるもの (Angular)	1.29

表—4 C の値

砂種	C (1/cm ²)
A	311 150
B	221 280
C	496 270
D	188 650

これ等の値を使用して実験値と計算値を比較したものの一部は表—5のごときである。

表—5 初期濾過水頭勾配 h/l の値

砂種	h/l						
A	実験値	0.562	0.592	0.627	0.668	0.686	0.687
	計算値	0.603	0.616	0.585	0.615	0.690	0.672
B	実験値	0.36	0.395	0.43	0.495		
	計算値	0.365	0.397	0.504	0.466		
C	実験値	0.984	1.006	1.010	1.040	1.060	1.074
	計算値	1.00	0.936	1.007	1.029	1.085	1.010
D	実験値	0.32	0.337	0.342	0.37	0.44	
	計算値	0.34	0.35	0.34	0.37	0.41	

表—5のごとく、この実験範囲内であれば(3)式の妥当性が証明し得るのである。しかし(3)式中でも砂の代表径 d の妥当性⁶⁾、 s の値の決定、 k の値についての疑問等はなお問題となつてくる。

4. 任意時刻の濾過水頭

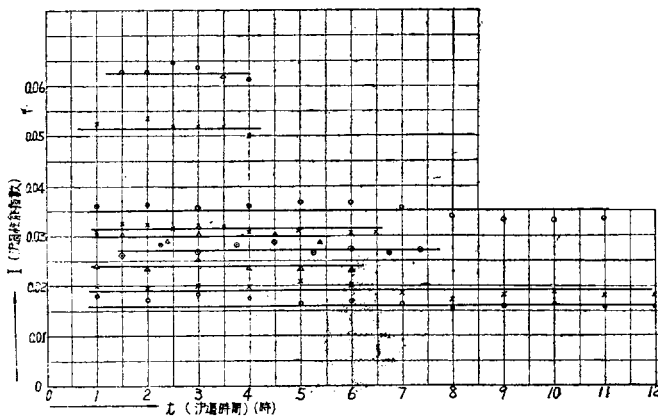
濾過の経過とともに砂層閉塞の現象が生じ、砂層の抵抗が増し濾過水頭も増大してくる。この関係を(2)式より求めてみると

$$h_r = h_0 e^{\frac{v}{l} I t} = h_0 e^{\frac{v t}{l} I} \dots\dots\dots (4)$$

ただし v : 濾過速度 [LT⁻¹]、 t : 濾過時間 [T]

(4)式を用いてこの現象を解析する際に問題となるのは濾過性能指数 I である。この I を(2)式により実験値より求めてみると、図—2のごとくなる。

図—2 濾過性能指数と濾過時間との関係実験値



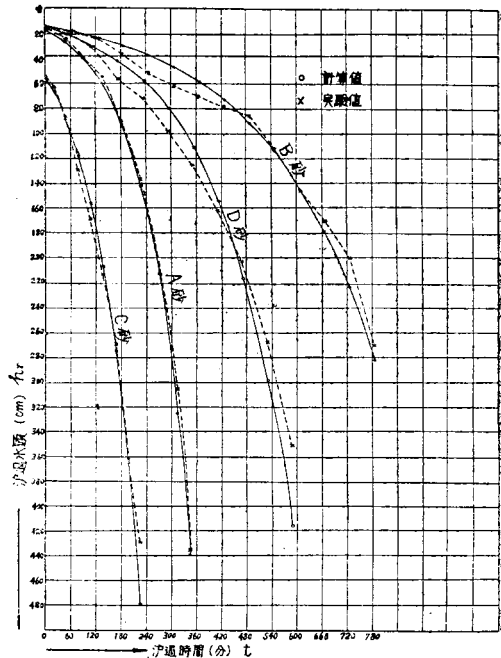
図—2 からわかるごとく、この実験範囲内では I の値は濾過条件が一定であれば、濾過時間に関せずほぼ一定値をとる。ただし I が何により変つた値をとるかは未だ確かめられなかつた。かくのごとく I の値が1

つの条件下で一定値をとるということは、(4)式が任意時刻の濾過水頭を表わし得ることを示すものである。

5. 新式の導入及び実験値との比較

3. 4. に述べたごとく(3)式及び(4)式がそれぞれ初期濾過水頭及び任意時刻の濾過水頭を表わし得るとすれば、それら2式を連立させ

図—3 濾過水頭の実験値と計算値の比較



$$h_r = C \frac{v}{g} e^{\frac{v t}{l} I} \dots\dots\dots (5)$$

なる式を得る。ただし記号は前記の通りである。

本式を用いて、実験値と比較すれば図—3のようになる。ただし I は実験より求めたものを用いている。

図—3より I が既知ならば、(5)式と実験値は割合によく一致し、任意時刻の濾過水頭を求め得る。すなわち濾砂の条件及び濾過条件が与えられ、 I が何等かの函数として与えられるならば、(5)式により所要時刻の濾過水頭が計算され得る。 I はおそらく C 、水温、水中の濁度等の函数と考えられるが、更に精密な実験を行わなければ判明しないと思う⁶⁾。

6. 新式による二、三の考察

(5)式が濾床閉塞をともなう濾過水頭の変化を表わ

し得るものとして若干の考察を行つてみると、

- (1) 濾砂の形状(s), 組成(d, P), 有効空隙率(f), すなわち C の影響 他の条件すなわち砂層厚(l), 濾速(v), 水温(ν), 濾過性能指数 (I) が一定であるとすれば, C の小なるほど, 濾過水頭の増加は小である。
- (2) 水温 (ν) の影響 l, v, C, I , 一定ならば水温の高いほど濾過水頭の増加は小である。
- (3) 濾速 (v) の影響 l, ν, I, C 一定ならば濾速の

図-4 濾過性能指数の変化による h_r-t 曲線

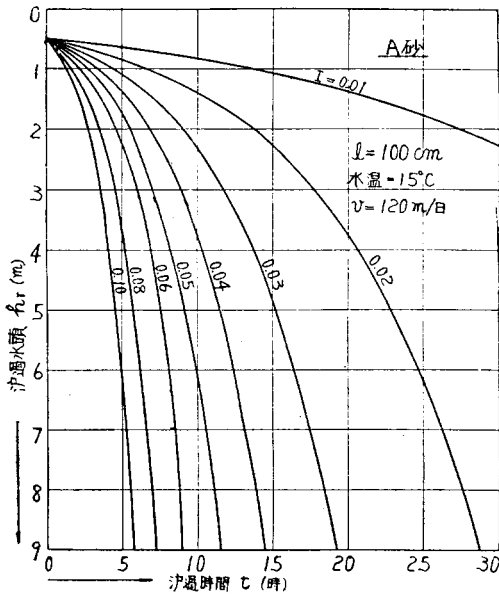
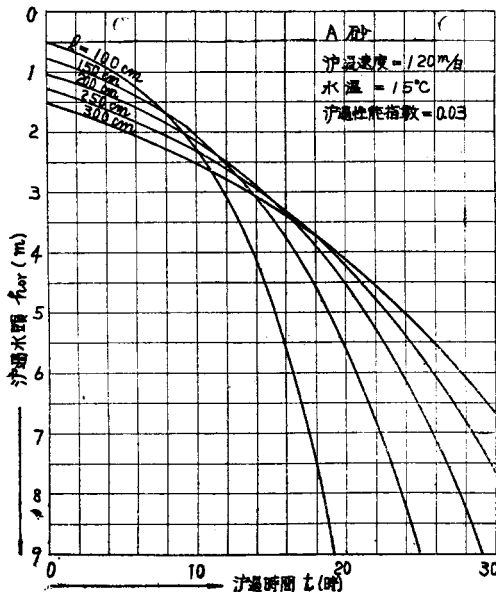


図-5 砂層厚の変化による h_r-t 曲線



小なるほど濾過水頭の増加は小である。

- (4) 濾過性能指数 (I) の影響 l, ν, v, C 一定ならば I の小なるほど濾過水頭の増加は小である。その1例を図-4に示す。
- (5) 砂層厚 (l) の影響 C, ν, v, I 一定なる時の l の変化による, 濾過水頭の変化を図-5に示す。図-5よりわかるように l の小さいものは、はじめのうちは濾過水頭は l の大きいものより小であるが、ある時間濾過を経ると、大となつてくる。これらの関係を(5)式より, l の変化に対する濾過水頭の一致する濾過時間 (t_a) として求めてみると

$$t_a = \frac{l_1}{vI} \frac{n_n}{n_n - 1} \log_e n_n \dots \dots \dots (6)$$

ただし $n_n \neq 1, n_n = \frac{l_{n+1}}{l_1} (n=1, 2, 3, \dots)$

これらの関係を図に示すと図-6のごとくなる。

図-6 砂層厚の変化と濾過水頭の一致する時間の関係曲線

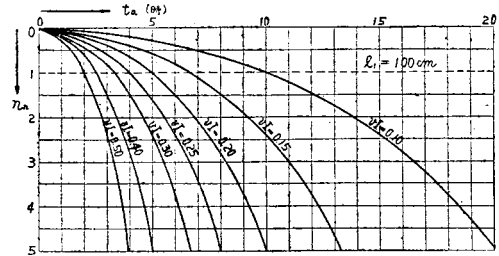


図-6は(6)式に基づき, vI を媒変数とし, $l_1=100\text{ cm}$ とした時の, 濾砂層厚の変化した時, 濾過水頭の一致する濾過時間を表わすものである。この図から, 例えば, $vI=0.15$ なる条件が与えられた時に砂層厚 (l) 1 m の場合と 3 m の場合を比較すれば, 濾過時間 11 時間までは, $l=1\text{ m}$ の方が濾過水頭は小なる値を示すが, 11 時間以後は $l=3\text{ m}$ の方が, 濾過水頭の値は小なることを示し, 濾過時間 11 時間目に両者の濾過水頭の一致することを示すものである。

すなわち, 一般的に, 本図から濾過水頭のみを考慮した場合の有効砂層厚が決定され得るのである。

7. 結語

以上は急速砂濾過における, 砂層閉塞にともなう濾過水頭の時間的变化に対して, 既知の関係式を利用して, 新式を導き, ある仮定の下に, 本実験範囲であれば, 計算値と実験値の割合によく一致することを確かめ, 若干の考察を述べたものである。今後, 更に実験的にも理論的にも次の諸点を確かめたいと考えている。

- (1) 濾過性能指数 (I) を支配する要素は何であるか。すなわちいかなるものの函数となるか。

- (2) 大規模な実験を行い、現場との相関性。
- (3) 濾床閉塞による濾過能率のみでなく、その他の細菌学的な濾過能率との関連性。

本実験研究を行うにあたって、終始、懇切な御指導を賜わった東大教授広瀬孝六郎先生に深謝致します。また実験計算を手伝って頂いた本教室助手染野貢一、大野良雄両君に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Gordon M. Fair & Loranus P. Hatch : "Fundamental Factors Governing the Streamline Flow of Water through Sand" J.A.W.W.A., Vol. 25, No. 11, p. 1551(1933)
- 2) Boucher, P. L. : "A New Measure of the Filtrability of Fluids with Applications

- to Water Engineering." Jour. Inst. Civ. Engrs. 27 : 415 (Feb. 1947)
- 3) Joseph M. Sanchis & John C. Merrell Jr. "Studies on Diatomaceous Earth Filtration." J.A.W.W.A., Vol. 43, No. 7 p. 475 (1951)
- 4) 合田 健 : "砂濾過における損失水頭および圧力水頭の計算について" 土木学会誌, 第37巻第3号
- 5) L.P. Hatch : "Flow through Granular Media" Jour. of Applied Mechanics, Vol. 7, No. 3, p. 109 (1940)
- 6) 合田 健・川島 普 : "砂濾過の実験的研究" 土木学会第8回年次学術講演会(昭.27)
- 7) 合田 健他2氏 : "浸透式の代表径と常致に関する実験的考察" 第3回上下水道研究発表会(昭.27) (昭.27.7.4)

UDC 624,31:534.13

平行弦トラス橋の基本振動数について¹⁾

正 員 工学博士 小 西 一 郎*
准 員 山 田 善 一**

ON THE FUNDAMENTAL FREQUENCY OF VIBRATION OF THE TRUSS BRIDGE WITH PARALLEL CHORDS

(JSCE Dec. 1952)

Dr. Eng., Ichiro Konishi, C.E. Member and Yoshikazu Yamada, C.E. Assoc. Member

Synopsis In this paper, one approximate method for the calculation of the fundamental frequency of vibration of the truss with parallel chords is derived, and then the rigidity of the truss bridge is studied, compared with the experimental results.

要旨 本文は、平行弦トラスの基本振動数を求める一近似解法につきのべ、実験結果と比較して、トラス橋の剛性につき考察を加えた。

1. 緒 言

活荷重の橋梁に対して与える動力的効果については古くから各種各方面の研究が発表せられ、衝撃係数設定の根拠となつている。しかし本文では、おもにトラス橋の剛性を振動性状から考察するという立場から、その基本振動周期の一近似計算を行つた。トラスの基本振動数を求める方法には、Pohlhausen²⁾、Federhofer³⁾ などが、それぞれ独自の研究がなされているが、いずれも数値計算上かなりの繁雑はまぬかれない。ここでは、トラスの振動形状を基本振動

の型に近似して仮定し、数値計算上自由度4の連成振動として、近似的にその基本振動数を求めた。

2. 基本振動数計算式

(1) トラスの自由振動 トラスにおいて部材の質量を各節点に集中した場合、すなわち質点系をもつて等価力学系と考えると⁴⁾、この振動系は $(2n-a)$ の自由度をもつ。ここに、 n は節点の数、 a は支点反力の数である。この振動系の自由振動数を求めることは、 $(2n-a)$ 次の代数方程式の根を求めることに帰着し、数値的にこれを解くことは困難である。よつて振動中の形状を適当な形に限定して、運動を拘束し、拘束された振動系についてその振動数方程式を求めた。この方法では基本振動のみに限られるが、トラスの剛性を振動性状より考察するには、多くの場合おもに基本振動のみを問題とするので、実用上かなり有効であろう。

* 京都大学教授，工学部土木工学教室

** 京都大学，大学院研究奨学生