

ちょうちん型表面取水装置に働く力

Operating load on an intake gate system of the shape as bellows

東洋大学工学部 荻原国宏
鋼管ドラム 田中紘一

〔1〕 はじめに

ちょうちん型表面取水ゲート（特許）は図-1および写真-1に示したような、じゃばら機構によって伸び縮みできる機構になっている。通常のこのタイプのゲートは（例へばシリンダーゲート）多段型式になっており、中間にいくつかの可動すり合せをもつ構造になっている。その点このちょうちん型はすり合せ部分がないのが特長である。

現地に作られるものはゴムによって、このじゃばら部分を構成する。

この場合に全部をゴムで作成すると、内外の圧力差によってつぶされてしまうので、それを防止するために鋼鉄で作ったリングを使い、これを防止することになっている。

なお模型ではゴムシートの代りにポリエチレンシート（ $0.0 / \text{mm}$ ）を使用し、リングはアクリル樹脂によるリングを作成して使用した。

また、これを長く結合してセットすると、自重によって上部には引張り力、下部には圧縮力が生ずる。したがって

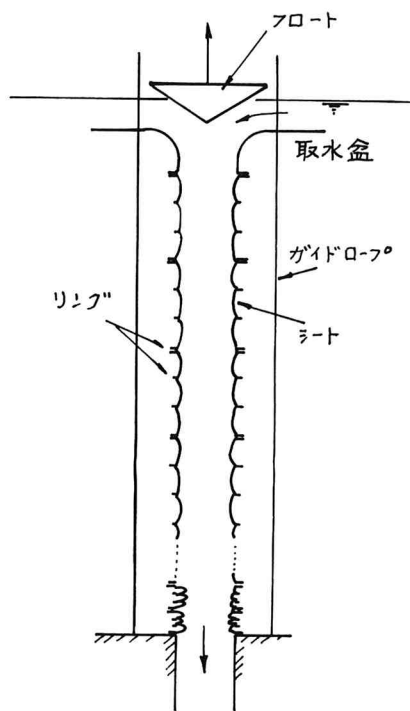
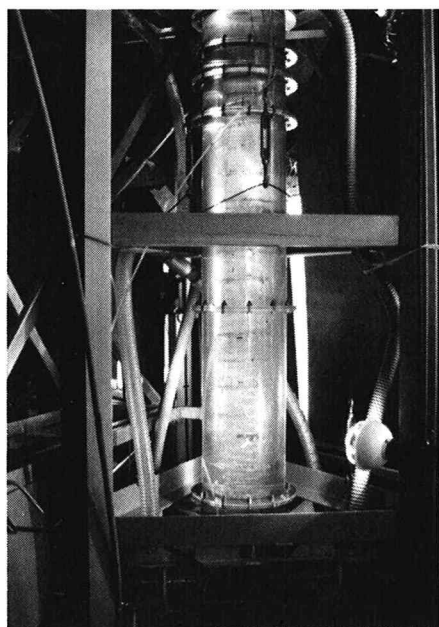


写真-1

図-1



上部においてはシートが引張られ、下部においてはシートがた、まれることが起る。これをそれぞれ防止するために、テンション用ストッパー（ワイヤーロープ）、および折りた、み防止のストッパーを入れている。テンションストッパーは設計時の筒長で止まるようになっており、折りた、み防止の方は設計長の4分の1の長さで止まるように作られている。今回の実験では3ブロック毎に折りた、み防止ストッパーを入れ、6ブロック毎にテンションストッパーを入れている。この様子は写真-2で良くわかる。

このようにして開発されたちょうちん型の取水塔の性能を決める水理学的要因について解明しておくことが必用となり、こゝに模型実験をし、この結果をとりまとめたわけである。

〔 2 〕 静的な力について

ちょうちん型の一部をとって考えるときに内外の圧力差によって、図のような形状となる。本来は3次元の形状であるが、シートは内側に変形するため、内側の円周の方が短いためにたるみができてくる。

このことより張力は水平方向には作用しないで、鉛直方向に主として作用することが判る。そこで2次元的な解析をすることにする。

内外の圧力差を $p_o - p_i = \Delta p$ 、としシートの張力を T とすると曲率半径との関係は

$$\Delta p = \frac{T}{R} \quad (1)$$

となる。

Δp 、 T は一定と考えて良いので、 R も一定となり、円弧となることが判る。

いまこのシート/ブロックに働く重さを W とすると

$$W = T \cos \theta \quad (2)$$

となり、さらに図-3の関係より

$$h_i = 2R \sin \theta, \quad h = 2R\theta \quad (3)$$

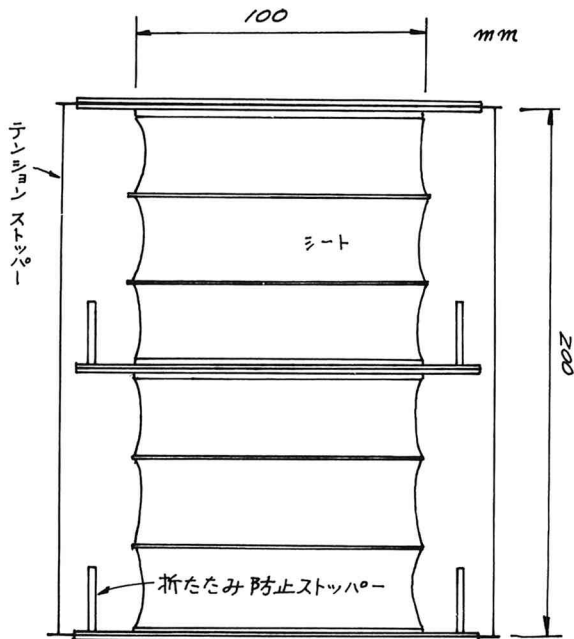
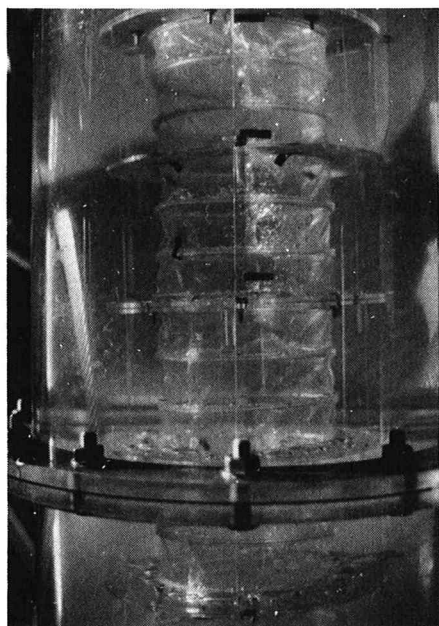


図-2

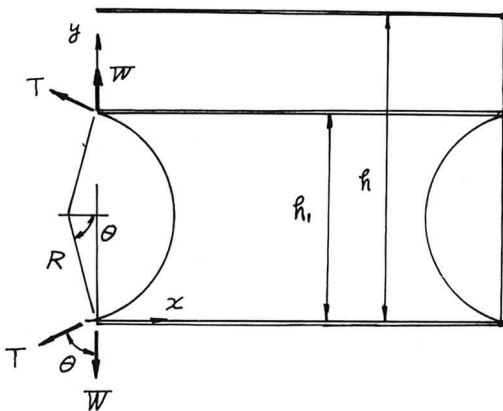


図-3

の関係が得られる。こゝで未知数は R 、 θ 、 h_i 、 T であるので、これらの4つの式を使って、それぞれの値を決めることは可能である。すなわち(1)、(2)、(3)式より T と R を消去することにより

$$\frac{W}{h \Delta p} = \frac{\cos \theta}{2\theta} \quad (4)$$

$$\frac{h_i}{h} = \frac{\sin \theta}{\theta} \quad (5)$$

が得られ、 θ が0
 $\sim \pi/2$ までは(4)

式で θ を求めて、これを(5)式に入れることによって h_1/h 、すなわち縮ちみ比 $(1-h_1/h)$ が求められる。また θ が $\pi/2$ より大きくなる場合、すなわち W が図-3と逆向きに作用する場合、隣りのブロックも同じようになっている可能性があり、相互に接し合う形となるので、 $\theta = \pi/2$ のまゝで R の値が変化する必要が生じてくる。

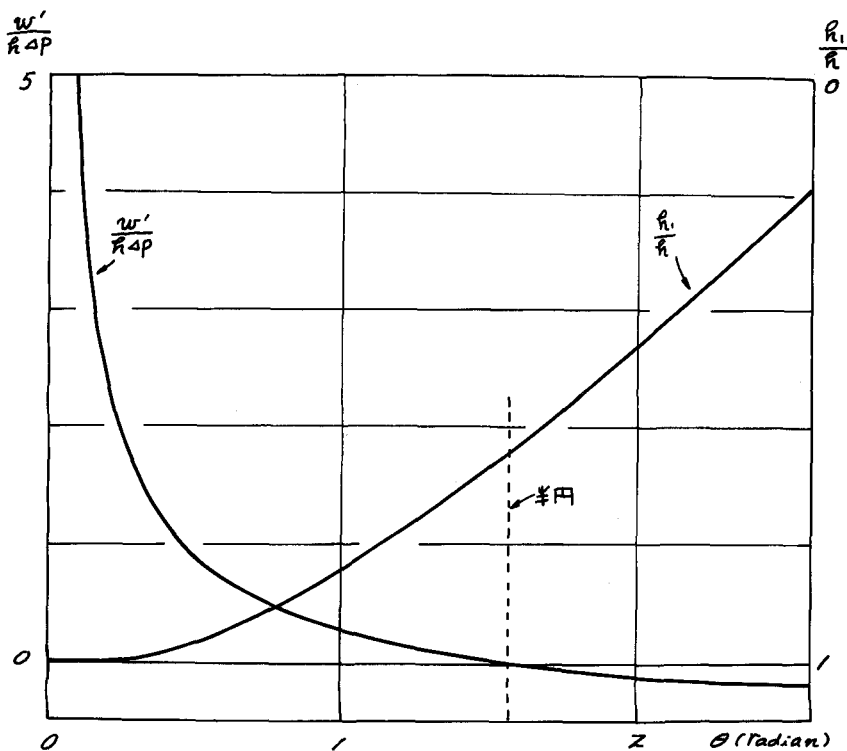


図-4

したがって、この場合にはつぶれて、圧縮ストッパーの効く $h_1 = h/4$ まで圧縮されてつり合うことになる。

(4)、(5)式の関係グラフにしたのが図-4である。次にこれらのブロックが合体した取水塔全体のつり合いについて考えてみる。

いま設計取水塔長を l としたとき、この間に n ブロック長 h のものを n ブロック入れたとすると

$$l = n h \quad (6)$$

である。利用水深が H だけ変化するとすれば、 l が $l/4$ に縮ちまる範囲内でこれを満す必要がある。したがって

$$(7) \quad H = 3 l / 4 = 3 n h / 4$$

となる。また内外の圧力差が大きくなったときには h_1 の長さで l を保つ必要がある

$$\text{。このとき } h_1 = 2 h / \pi \text{ であるので } l = n h_1 = 2 n h / \pi \quad (8)$$

となるように h または n を決める必要がある。さてこのようにして決められたブロック数およびブロック長で、内外の圧力差 Δp の力を受けた時にどのようになるかを考えてみる。いま一つのブロックの重量を

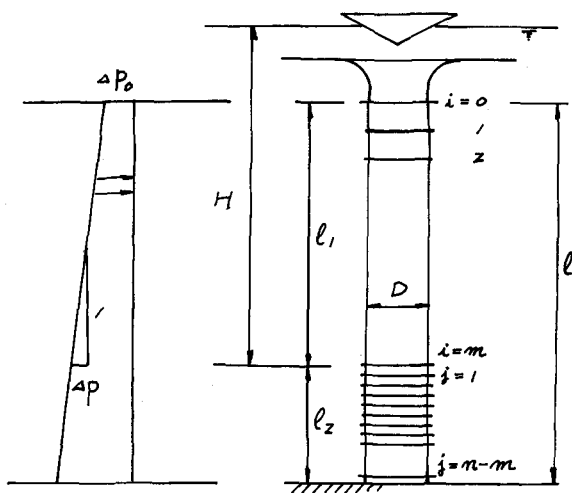


図-5

W。とすると、ブロック周長をDとすれば

$$w = W_0 / \pi D \quad (9)$$

である。いま上からmブロックまでが宙づりになっており、それより下は圧縮ストッパーで縮ちまっているとする。このときi番目のブロックに働くwの値は

$$W = (m - i) w \quad (10)$$

である。したがってこのブロック長は(4)，(5)式より求められる。したがって宙づりになっている長さは

$$\sum_{i=1}^m h_i = l_1 \quad (11)$$

で求まる。次にそれより下の部分では圧縮に作用するので

$$W = -j w \quad (12)$$

として(4)，(5)式により求めれば良い。

ただし $\theta > \pi/2$ の場合にはつぶれてしまうので $h_i / h = 1/4$ とする必要がある。したがって

$$\sum_{i=1}^m h_i = l_2 \quad (13)$$

$$l_1 + l_2 = l \quad (14)$$

となる。

こゝでmと h_i が未知数であり、これらが陰の形で式に入っているので簡単には解けないので試算法で解く必要がある。これが解けると操作荷重Fは

$$F = m W_0 \quad (15)$$

で求まる。

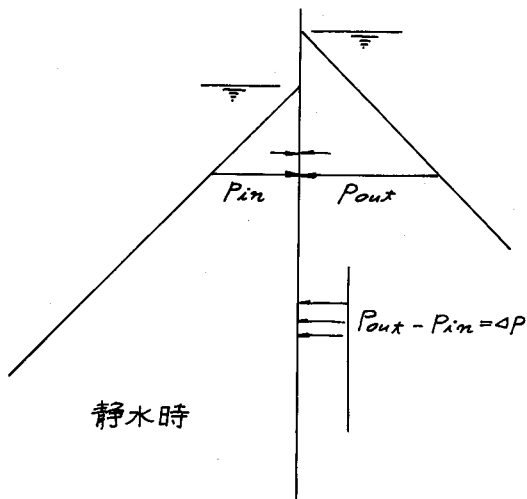
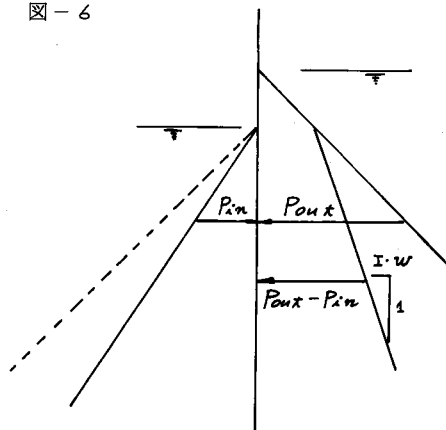


図-6



[3] 動的な力について

流水時

次に水が流れている場合について考えてみよう。この場合に水を流そうとする項の内位置のポテンシャルに相当する項は、さきと同じく内外の圧力差によって一定に保たれていると考え、さらに水が流れるためには摩擦損失に相当する分だけの圧力こう配をもつ必要がでてくる。したがって塔上端での差圧を Δp_0 とし動水こう配をIとするとi点の圧力は

$$\Delta p = \Delta p_0 + w I \cdot \sum_{i=1}^m h_i \quad (16)$$

となり、塔の下部ほど圧力差が大きくなることが判る。

以下さきと同じようにして(4)，(5)式で計算をすれば良い。

この場合に下部の圧力差が大きいため、静的な場合に折りた、まれているブロックが $\theta = \pi/2$ を満して立ち上ることも考えられる。

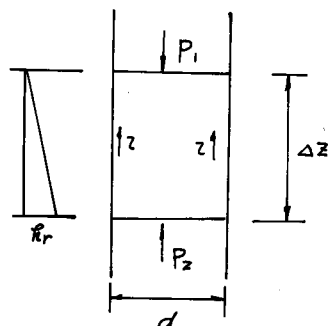


図-7

[4] 模型についての計算

今回の模型について計算をしてみる。模型の6ブロックが20 cm長に作られており、この6ブロック

の空中，水中重量はそれぞれ 167g ， 143g であつた。筒の直径は $D=10\text{cm}$ であるので計算の諸ファクターは右のごとく

$$\begin{aligned} W_0 &= 23.8\text{g} \\ W'_0 &= 27.8\text{g} \\ w_0 &= 8.35\text{g/cm} \\ w'_0 &= 7.15\text{g/cm} \\ h &= 3.33\text{cm} \\ n &= 60 \end{aligned}$$

いま水が流れていないとし全長 180cm のものを 177cm にセットしたら、縮んだ部分の長さは

$$(1 - l_1 + x) / 4 = x$$

の関係より $x = (1 - l_1) / 3$

となり、この場合には $x = 2 / \text{cm}$ となる。したがって操作荷重は $177 - 2 = 175\text{cm}$ に相当する重量で水中 185.5g 空中 80.7g となる。

水が流れているときで下部ほど圧力差の大きい場合について計算する。このためにはどこまでがつるさがつており、どこから下が折れた、まれているかを求めないといけない。先にのべたように試算法による必要があるので、まづつり下っているブロック数を m と仮定する。以下さきの式を使って $l_1 + l_2 = 1$ となるまで m を修正して決めれば良い。

$l = 180\text{cm}$ ， $l_1 = 150\text{cm}$ としたときの操作荷重の値が表-1に示してある。この場合60ブロックの内、宙づりになっているのは40～42ブロックである。また $l = 100\text{cm}$ で $l_1 = 80\text{cm}$ の時には表-2のようにになっている。

これを見ると内外の圧力差による操作力は余り問題にならないと考えて良い。 $dp/dx = 0.4\text{g/cm}$ のときにはかなりの損失（ 1m で 40cm のロスの有る流れ）が有る場合に相当し、現実の取水塔では有り得ない場合である。したがって形状の変化による操作荷重の変化は無視して良いと考えられる。

[5] 水の流れるによる荷重

次に水が流れることによって生ずる摩擦力による操作荷重の増加について考えてみる。図-7のごとく筒の一部を考えてみる。この部分に作用する平均的な摩擦力を τ とすると次の関係が成立する。

1	l_1	f	l_2
200	187	0.57	4.33
180	117	0.60	21.0
140	43	1.20	32.3
180	177	0.22	1.0

Tab. 3

P_0	dp				
	0	0.4	0.8	1.2	1.6
4	964.8	988.7	1037.7	1061.5	1085.3
8	"	"	"	"	1109.2
12	"	"	"	"	"
16	"	1013.8	"	"	"
20	"	"	"	1085.3	"

Tab. 1

P_0	dp				
	0	0.4	0.8	1.2	1.6
4	545.5	545.5	569.3	593.2	593.2
8	"	"	"	"	"
12	"	"	"	"	"
16	"	"	"	"	"
20	"	569.3	"	"	616.9

Tab. 2 in g

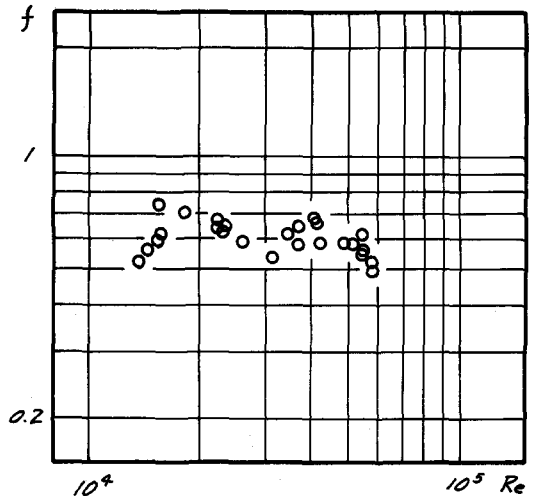


図-8

$$\frac{\pi D^2}{4} (P_1 - P_2) + \frac{\pi D^2}{4} w \Delta z = \pi D \Delta z \cdot z \quad (17)$$

これより操作荷重は

$$F = \pi D \Delta z \cdot z = \frac{\pi D^2}{4} w \left\{ \Delta z + \frac{P_1}{w} - \frac{P_2}{w} \right\} \quad (18)$$

となり { } の中は Δz 間での損失水頭である。したがって操作荷重 F は次のごとくなる。

$$F = \frac{\pi D^2}{4} w h_r = \frac{\pi D^2}{4} \cdot f \cdot \frac{\ell}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (19)$$

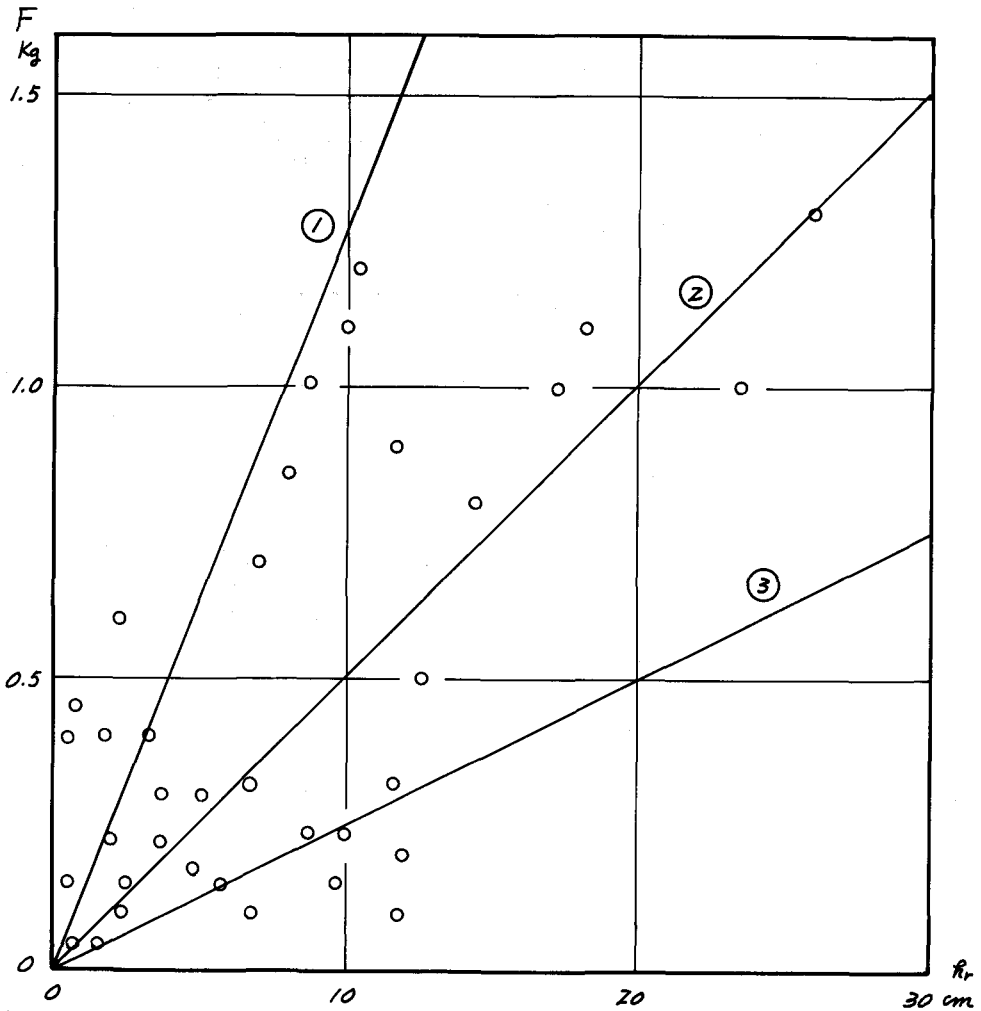
模型実験について f の値とともに検討してみる。

[6] 模型実験結果

a) 摩擦損失係数 f について

シートが伸びている場合と縮んでいる場合とでは当然異ってくることが予想される。そこでセット長

図-9



$l_1 = 1.87, 1.7, 4.7 \text{ cm}$ の3ケースについて、流入部のフロート形状、流量、開度等を変化させて、全部で72ケース、さらに補足実験で $l_1 = 1.77 \text{ cm}$ で10ケースの実験を行った。この結果より $Re \sim f$ の関係をプロットした一例が図-8である。これを見ると判るごとく f は Re 数に関係なく一定の値をとっていると考えて良い。このようにして f の平均値と l_1, l の関係を示したのが表-3である。

この f の中には伸びている部分も縮んでいる部分も含まれているので、伸びている部分の摩擦損失係数 f_1 、たるんでいる部分の係数 f_2 として

$$f \cdot l_1 = f_1 \cdot l_2 + f_2 \cdot l_3, \quad l_1 = l_2 + l_3 \quad (20)$$

の形で表わすことにする。 l_2, l_3 はそれぞれ、伸びている部分とたるんでいる部分の長さである。

表-3の値を使って(20)式の f_1, f_2 を最小自乗法によって決めると

$$f_1 = 0.365, \quad f_2 = 1.489 \quad (21)$$

が得られた。

したがってたるむことによって、かなりのロスが生じてくることが判る。 f の値を求める式としてたるみ部分の全体にしめる割合 l_3 / l_1 の関係で書きなおすと

$$f = 0.365 + 1.124 (l_3 / l_1) \quad (22)$$

となる。

b) 操作荷重について

模型実験の h_F と荷重 F の関係をプロットしたのが図-9である。非常に点が散らばっているが、これはエネルギーロスの測定はかなり正確にできたのであるが、操作荷重の測定をバネばかり(15 kg)で行なったために、かなりの測定誤差が含まれていると考えられる。さらにフロート部分に作用する流体力も含まれてしまうので(この値はかなり小さいと考えられるが)より点が散らばったものと考えられる。

さてこのような事を考えると傾向として(19)式が成立することを確かめれば良い。図-9の中に引いた3本の直線について d の値がいくらに相当しているか(19)式によって求めると

$$1 \text{ 式} \quad d = 1.27 \text{ cm}$$

$$2 \text{ 式} \quad d = 8.01$$

$$3 \text{ 式} \quad d = 5.63$$

となり、模型の $d = 1.0 \text{ cm}$ を考えると、2式はかなり良い相関を示していることが判る。したがって水の流れているときの荷重の増加は(19)式で見積りして良いことが判る。

[7] おわりに

ちょうちん型の取水塔で水を取水したときの操作荷重がかなり大きくなることを想定して研究を始めたが、結果的には、そんなに大きくはならないことが判った。今回の研究で、水の流れによる力の関係、ロスの関係は明確になったと考えているが、残された地震時の研究を引続き行なっておく必要があると考えている。