

われる。

(3) 円周接手溶接の場合の残留応力分布は縦溶接の場合と大分そのおもむきを異にしている。これは溶接部の変形によるため、溶接線から数 10 mm はなれた位置に溶接線と直角方向の引張応力が相当程度残留し、溶接線方向の応力は比較的少ない。この傾向は手溶接の場合よりフェーズアーク溶接の場合に特に多く現われる。

(4) 円周接手溶接部を 600°C の局部焼鈍及びピーニングを実施して応力緩和を行った結果、いずれも応力除去は満足すべきものでなかつた。焼鈍方法及びピーニングに関してはなお研究の余地がある。

本実験は東京都水道局が新三菱重工KKと契約して行つた実験であり、実験に当りいろいろ御教示を賜わつた東京大学工学部教授仲 威雄博士、また御忠告をいただいた東京都水道局建設部計画課長扇田彦一氏に厚く御礼申し上げる次第である。また実験中御世話になつた新三菱重工神戸造船所研究部技師山口富夫氏に感謝する。

#### 参考文献

- 1) L.J. Privoznik: Residual Stresses in Welded Mild-Steel Pipe. W.J., Sept. 1951., p. 423 (昭.30.3.1)

## ダム放水管に付属する導水樋の機能について

正員 荒木正夫\*

### ON HYDRAULIC FUNCTIONS OF OUTLET CONDUIT TROUGH

(JSCE Oct. 1955)

Masao Araki, C.E. Member

**Synopsis** The object of this paper is to explain hydraulic functions of outlet conduit trough and to give a guide for the design of conduit. For this purpose, the author introduces the basic equations of conduit flow and pressure distribution in it from the equation of fluid motion.

And then, the discharge and pressure in conduit are shown to be controlled by the mean pressure of exit section of it, which is determined by the bottom curvature of trough.

**要旨** ダム放水管より放流される水を、堤体下流面に沿わせる導水樋の機能を明らかにし、放水管設計の一指針を与える目的を有するものである。

このために流体の運動方程式より、管水路流れの基本方程式及び管内圧力分布式を誘導し、これより出口断面圧力が管内圧力及び流量を支配することを証明する。ついでこの出口断面圧力を定めるのは、導水樋の底面曲率であることを明らかにする。

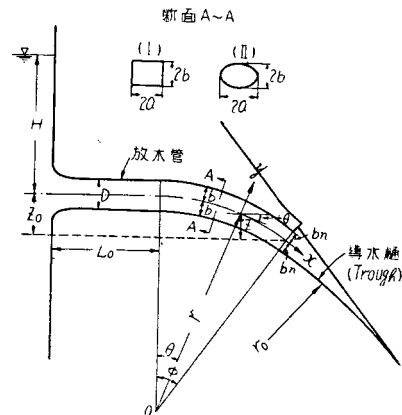
#### I. 総論

さきに筆者は本誌第 40 巻 2 号に、ダム放水管の一般的设计法について記述したが<sup>1)</sup>、その報告においては、放水管を堤体下流面にとりつけるための導水樋 (trough, 図-1参照) の機能について、きわめて簡単にしかふれることができなかつた。すなわち前報文の目的は、放水管設計法の一基準を提示するにあつたため、放水管より放流される水が重力の作用のもとに自由落下すると考えたとき、その運動軌跡が堤体外に出ないように設計すれば、放流水を導水樋によつて堤体

に沿わせることが可能であることを指摘するとともに、導水樋の機能及び設計理論については論及しなかつた。

ところで、導水樋は通常考えられているごとく、単に放流水を堤体に沿わせる働きのみならず、放水管

図-1 ダム放水管



\* 建設省土木研究所, 河川構造物研究室

の流量及び管内圧力にかなり大きな影響を及ぼすものであるから、導水樋の形状を考慮することなく放水管を設計することは許されないとと思われる。すなわち流量および管内圧力をコントロールするものに、放水管出口の絞り度とともに、導水樋の底面曲率があることを指摘したいのである。このことはすでに筆者の実験によつても明らかにされたし<sup>2)</sup>、また例えばデトロイトダム(米国、オレゴン州)の模型実験によれば<sup>3)</sup>、導水樋底面の曲率度を変えることにより、管出口付近下面における -10.0 ft 程度の負圧を +10.0 ft 程度に上昇させている。すなわち導水樋によつて、20 ft 程度までも圧力を変えることの可能であることが、ここでも証明されている。

しかるに従来導水樋の機能について、記述した文献は見当らず、従つて現在のところ実験的に設計の良否を確かめるよりほかに方法がない状態にある。筆者はこのような事態にかんがみ、ここに導水樋の底面曲率決定に必要な近似理論を展開し、この理論にもとづく計算値と実験値と比較して、導水樋の機能を解明するつもりである。かくして前論文と相まつて、放水管設計法の一体型を形づくる目的をもつものである。

なお、放水管の断面形状としては、矩形(正方形を含む)、楕円形(円形を含む)の2種類について順次論ずるつもりである。また放水管は同一鉛直面内であり、水平方向には彎曲しないものとする。

II. 矩形放水管

(1) 圧力分布式 図-1のごとき放水管について、中心線に沿つてx軸をとり、これに垂直に曲線の凸側を正の向きとするy軸をとつたものとする。一般直交曲線座標(x, y)を用いての流体の運動方程式は、渦動粘性係数εを一定とするとき次式にて表わされる。

$$\frac{r}{r+y}u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{r+y}uv = g \sin \theta - \frac{1}{\rho} \frac{r}{r+y} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\epsilon}{\rho} \left[ \frac{r^2}{(r+y)^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1}{r+y} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{u}{(r+y)^2} + \frac{2r}{(r+y)^2} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{ry}{(r+y)^3} \frac{\partial r \partial u}{\partial x \partial x} - \frac{r}{(r+y)^3} \frac{\partial r}{\partial x} v \right] \dots (1)$$

$$\frac{r}{r+y}u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{r+y}u^2 = -g \cos \theta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\epsilon}{\rho} \left[ \frac{r^2}{(r+y)^2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{1}{r+y} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{(r+y)^2} v - \frac{2r}{(r+y)^2} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{ry}{(r+y)^3} \frac{\partial r \partial v}{\partial x \partial x} + \frac{r}{(r+y)^3} \frac{\partial r}{\partial x} u \right] \dots (2)$$

ただし上式において、uはx方向、vはy方向の速度成分である。rは管中心線の曲率半径であり、θは

管中心線の切線が水平線となす角であつて、流れの進行方向に向つて中心線の切線が水平線の下側にくるときを正とする。pは流体圧力、ρは流体密度、gは重力加速度、wは水の単位体積の重量(w=ρg)である。

管内の速度分布は境界層、二次流等の影響により、非回転分布よりずれるはずであるが、放水管のごとくrが管径に比して大きく、かつ曲りの中心角が比較的小さい場合には、このずれはわれわれが問題としている圧力分布にほとんど影響を及ぼさないとされているから<sup>4)</sup>、次のように非回転速度分布の仮定をおき、これを補正係数により修正することにする。

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{r+y}u - \frac{r}{r+y} \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \dots (3)$$

ところで曲管部の断面形がx方向に変化している場合には、厳密には  $\frac{\partial v}{\partial x} \neq 0$  であるが、この断面変化率は一般にはなほだ小さく、かつvはきわめて小さいはずであるから、 $\frac{\partial v}{\partial x} \doteq 0$  とすると(3)式より

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{r+y}u = 0 \dots (4)$$

(1)、(2)両式において渦動粘性係数はきわめて小さいはずであるから、粘性項の中では壁面付近において無限大に近い値を有する  $\frac{\partial u}{\partial y}$ 、 $\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$  の項のみを残し、かつ両辺の微小項をことごとく省略し、さらに(4)式を(1)式に代入すると、結局次の2式が得られる。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = \left(1 + \frac{y}{r}\right) g \sin \theta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\epsilon}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left(1 + \frac{y}{r}\right) \frac{\partial u}{\partial y} \right] \dots (5)$$

$$\frac{1}{r+y}u^2 = g \cos \theta + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \dots (6)$$

(4)式よりCをyに無関係な積分常数とすると

$$u = \frac{C}{r+y} \dots (7)$$

ここで管断面の横幅を2a、縦幅を2b、流量をQとすると次式が成立する。

$$Q = 2aC \int_{-b}^b \frac{dy}{r+y} = 2aC \log \left( \frac{r+b}{r-b} \right)$$

$$\therefore u = \frac{\epsilon Q}{2a(r+y) \log \left( \frac{r+b}{r-b} \right)} \dots (8)$$

ここにεは実際の速度分布に対する補正係数である。(8)式を(6)式に代入してyについて積分すれば、C<sub>0</sub>を積分常数とすると

$$\frac{p}{w} = C_0 - y \cos \theta - \frac{7Q^2}{8ga^2(r+y)^2 \log^2 \left( \frac{r+b}{r-b} \right)} \dots (9)$$

ここに  $\eta$  は実際の圧力分布に対する補正係数である。 $C_0$  を定めるのに開水路の場合と異なり、自由水面が存在せず従つて一定圧力の場所はないから、断面平均圧力  $p_0$  を用いる。

$$p_0 = \frac{1}{2b} \int_{-b}^b p dy \dots\dots\dots (10)$$

(9) 式を (10) 式に代入して  $C_0$  を定めれば、圧力  $p$  は結局次式にて表わされる。

$$\frac{p}{w} = \frac{p_0}{w} - y \cos \theta + \frac{\eta Q^2}{8ga^2 \log^2 \left( \frac{r+b}{r-b} \right)} \left\{ \frac{1}{r^2 - b^2} - \frac{1}{(r+y)^2} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

特に直管部では (11) 式において  $r \rightarrow \infty$  とすれば

$$\frac{p}{w} = \frac{p_0}{w} - y \cos \theta \dots\dots\dots (12)$$

すなわち (11), (12) 式より、 $p_0$  がわかれば断面圧力分布を知ることができる。通常の放水管では  $b/r < 1/5$  と考えられるから、(11) 式より次の近似式をうる。

$$\frac{p}{w} = \frac{p_0}{w} - y \cos \theta + \frac{2ry + b^2 - 3y^2}{r^2} \frac{\eta V^2}{2g} \dots\dots\dots (13)$$

ここに  $V$  は断面平均速度 ( $Q/4ab$ ) である。

特に管下面に作用する圧力を  $p_1$ 、管上面に作用する圧力を  $p_2$ 、管中心線の圧力を  $p_c$  とすると、(13) 式より

$$\frac{p_1}{w} = \frac{p_0}{w} + b \cos \theta - \frac{b(r+b)}{r^2} \frac{\eta V^2}{g} \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{p_2}{w} = \frac{p_0}{w} - b \cos \theta + \frac{b(r-b)}{r^2} \frac{\eta V^2}{g} \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{p_c}{w} = \frac{p_0}{w} + \frac{b^2}{r^2} \frac{\eta V^2}{2g} \dots\dots\dots (16)$$

(16) 式において、理論上  $p_c \neq p_0$  なることに注意を要する。以上の各式において、補正係数  $\eta$  は実験的に定めるべきものであるが、筆者の実験によれば、直管から曲管に移る場合等における短かい遷移区間を除き、通常 1 とつてきしつかえないことがわかつた。

(2) 管水路流れの基本方程式 次に、 $p_0$  を与える式を求めなければならない。(5) 式を  $y$  について  $-b$  から  $+b$  まで積分すれば

$$\frac{d}{dx} \left[ \int_{-b}^b \frac{u^2}{2g} dy \right] - \int_{-b}^b \left( 1 + \frac{y}{r} \right) \sin \theta dy + \frac{d}{dx} \left[ \int_{-b}^b \frac{p}{w} dy \right] = \left[ \frac{\epsilon}{w} \left( 1 + \frac{y}{r} \right) \frac{\partial u}{\partial y} \right]_{-b}^b \dots\dots\dots (17)$$

ここで

$$\alpha = \frac{1}{2b} \int_{-b}^b \left( \frac{u}{V} \right)^2 dy \dots\dots\dots (18)$$

とおき、かつ上、下壁面における速度勾配が近似的に

等しいと考えると (17) 式より

$$\frac{d}{dx} \left[ \alpha \frac{V^2}{2g} + z + \frac{p_0}{w} \right] = - \frac{1}{b} \left[ \frac{\epsilon}{w} \frac{\partial u}{\partial y} \right]_{y=-b} \dots\dots\dots (19)$$

ただし  $z$  は管中心線と出口中心との高低差とする。

(19) 式の右辺は水頭損失をあらわすから、

$$\frac{1}{b} \left[ \frac{\epsilon}{w} \frac{\partial u}{\partial y} \right]_{y=-b} = \frac{f}{4R} \frac{V^2}{2g} + \frac{f_b}{L} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (20)$$

と書くことができる。ここに  $f$  : 摩擦抵抗係数、 $f_b$  : 管の彎曲、変形による水頭損失係数、 $R$  : 動水水深、 $L$  : 曲管部全長である。従つて (19) 式に (20) 式を代入して  $x$  について積分し、入口中心より貯水池面までの高さを  $H$ 、入口中心と出口中心との高低差を  $z_0$ 、任意断面の断面積を  $A$ 、潤湿を  $P$ 、直管始端における平均流速を  $V_0$ 、入口損失係数を  $f_e$  とすると

$$\alpha \frac{V^2}{2g} + z + \frac{p_0}{w} + \frac{fQ^2}{8g} \int_0^x \frac{P}{A^3} dx + \frac{Q^2}{2gL} \int_0^x \frac{f_b}{A^2} dx = H + z_0 - f_e \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots (21)$$

(21) 式が管水路流れの基本方程式であつて、通常の Bernoulli の方程式と酷似した形式のものであるが、 $P_0$  が断面平均圧力であつて、管中心線の圧力でないところが通常の Bernoulli の式と異なるところである。

次に  $\alpha$  について考察する。 $\alpha$  は速度分布状態に関する補正係数であつて、非回転分布からのずれを考えなければならぬことは言うまでもないが、ここでは一応の値を推測するために、非回転速度分布と仮定して  $\alpha$  の大きさを調べてみる。

$$\alpha = \frac{1}{2b} \int_{-b}^b \left( \frac{u}{V} \right)^2 dy = \frac{4b^2}{(r^2 - b^2) \log^2 \left( \frac{r+b}{r-b} \right)} = 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{b}{r} \right)^2 + \frac{4}{15} \left( \frac{b}{r} \right)^4 + \frac{44}{189} \left( \frac{b}{r} \right)^6 + \dots\dots\dots (22)$$

従つて  $r \rightarrow \infty$  のとき  $\alpha = 1$  で、 $\frac{b}{r}$  が大きくなるほど  $\alpha$  は増大はするが、その増大率はきわめておづかであつて、 $\frac{b}{r} = \frac{1}{5}$  においてさえも  $\alpha = 1.0138$  にすぎない。従つて管彎曲による  $\alpha$  の変化は考慮する必要なく、不変常数として取扱ひうるものと考えられる。

(21) 式より次のようにして、水位・流量関係及び管内圧力分布を求めることができる。すなわち出口断面平均圧を  $p_n$  とすると、例えば 図-1 に示すごとき放水管については

$$\alpha \frac{V_n^2}{2g} + \frac{p_n}{w} + f_e \frac{V_0^2}{2g} + f \frac{L_0}{4R_0} \frac{V_0^2}{2g} + \frac{fQ^2}{8g} \int_0^L \frac{P}{A^3} dx + f_b \frac{V_0^2}{2g} = H + z_0 \dots\dots\dots (23)$$

ただし上式において、 $n$ なる添字は放水管出口断面、 $0$ なる添字は水平直管部をあらわすものとする。また $L_0$ は直管全長を意味する。なお彎曲・変形水頭損失は、目下のところ正確に評価することが困難な量であるから、上式においては簡単に表現することにした。

$$Q = A_0 V_0 = A_n V_n \dots\dots\dots (24)$$

(23), (24) 両式より

$$Q = A_n \sqrt{\frac{2g(H + Z_0 - p_n/w)}{\alpha + (f_e + f_b) \left(\frac{A_n}{A_0}\right)^2 + \int \left[\frac{L_0}{4R_0} \left(\frac{A_n}{A_0}\right)^2 + \frac{A_n^2}{4} \int_0^L \frac{P}{A^3} dx\right]} \dots\dots\dots (25)$$

従つて  $p_n$  が与えられれば、(25) 式より流量(流速)がわかり、これより(21)式より任意断面の平均圧が計算され、この平均圧より(14), (15)式を用いて、上下壁面に作用する圧力を計算することができる。この出口断面平均圧  $p_n$  については、普通  $0$  と考えられがちであるが、これは出口断面が直戴断面であつて導水樋が存在しないときには、後で述べるごとく正しいけれども、導水樋がついているときには一般には  $0$  とすることはできない。すなわち  $p_n$  は導水樋の底面曲率によつて定められるのであつて、次節において論ずることにする。なお、(25) 式の分母にある積分項については、直接積分不能の場合には管を輪切りにしたと考へ、近似計算によればよいが、この近似計算法については拙論 2) を参照せられたい。

**(3) 出口断面平均圧力**

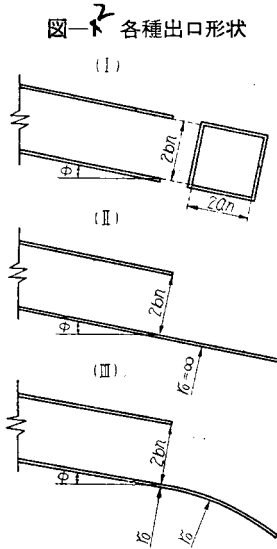
1. 直戴出口断面(導水樋を有せず): 図-2の(I)のごとき場合には、 $p_n$  は実験の結果によれば、一般に  $0$  よりもやや大き目であるように思われるが、実際上  $0$  として計算してさしつかえないと思ふ(図-5参照)。

2. 導水樋底面が平面の場合( $r_0 = \infty$ ): 図-2の(II)のごとき場合には、出口断面平均圧力は次式によつて表わされることは明らかである。

$$p_n/w = b_n \cos \phi \dots\dots\dots (26)$$

ここに  $\phi$  は導水樋始端底面が水平線となす角である。

3. 導水樋底面が



曲率半径  $r_0$  で上に凸に彎曲している場合: 図-2の(III)のごとき場合であつて、この場合の出口断面における圧力分布は水表面で  $0$  であるから、拙論<sup>5)</sup>の(12)式より

$$\frac{p}{w} = (2b_n - y) \cos \phi - \frac{\eta Q^2}{8ga^2 n \log^2 \left(1 + \frac{2b_n}{r_0}\right)} \left\{ \frac{1}{(r_0 + y)^2} - \frac{1}{(r_0 + 2b_n)^2} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

ただし(27)式の  $y$  は導水樋底面より測る。(27)式を次式に代入して、出口断面平均圧を求めれば

$$p_n = \frac{1}{2b_n} \int_0^{2b_n} p dy \dots\dots\dots (28)$$

$$\frac{p_n}{w} = b_n \cos \phi - \frac{\eta b_n Q^2}{4gr_0(r_0 + 2b_n)^2 a^2 n \log^2 \left(1 + \frac{2b_n}{r_0}\right)} \dots\dots\dots (29)$$

一般に  $b_n/r_0 \ll 1$  であるから、(29)式より実用近似式を求めると

$$\frac{p_n}{w} = b_n \cos \phi - \frac{b_n(r_0 - 2b_n) \eta V_n^2}{r_0^2 g} \dots\dots\dots (30)$$

(30)式より  $p_n$  を計算することができるが、補正係数  $\eta$  はとくに、管底面の曲率半径と導水樋底面の曲率半径とが不連続に変化する場合に、 $1$  以上のずれがはなはだしいと推測される。この  $\eta$  については後章の実験のところで改めて論ずる。(30)式より導水樋の底面曲率が、出口断面平均圧を通じて、放水管流量及び管内圧力に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

**III. 楕円形放水管**

(1) 圧力分布式  
楕円放水管の場合にも、同一断面内の水平方向には、速度の大きさに変化がないと仮定し、(5), (6) (7)式が近似的に成立するものとする。

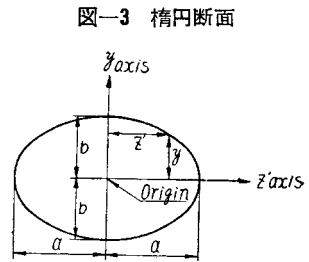


図-3において

$$z' = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} \dots\dots\dots (31)$$

であるから、(7)式より

$$Q = C \int_{-br+y}^b \frac{2Z'}{r+y} dy = C \frac{2ab\pi}{r + \sqrt{r^2 - b^2}}$$

$$\therefore u = \frac{\xi(r + \sqrt{r^2 - b^2})Q}{2ab\pi(r+y)} \dots\dots\dots (32)$$

(32) 式を (6) 式に代入して  $y$  について積分し,  $p_0$  を断面平均圧力とすれば

$$\frac{p}{w} = \frac{p_0}{w} - y \cos \theta + \left\{ \frac{2(r + \sqrt{r^2 - b^2})}{\sqrt{r^2 - b^2}} - \frac{(r + \sqrt{r^2 - b^2})^2}{(r + y)^2} \right\} \frac{\eta V^2}{8g} \dots\dots\dots(33)$$

ここに

$$p_0 = \frac{2}{\pi b^2} \int_{-b}^b p \sqrt{b^2 - y^2} dy \dots\dots\dots(34)$$

$b/r_0 \leq 1/5$  として (33) 式より近似式を求めれば

$$\frac{p}{w} = \frac{p_0}{w} - y \cos \theta + \frac{8yr + 3b^2 - 12y^2}{r^2} \frac{\eta V^2}{8g} \dots\dots\dots(35)$$

特に,  $p_1, p_2, p_c$  はそれぞれ次式にて表わされる。

$$\frac{p_1}{w} = \frac{p_0}{w} + b \cos \theta - \frac{b(8r + 9b)}{r^2} \frac{\eta V^2}{8g} \dots\dots\dots(36)$$

$$\frac{p_2}{w} = \frac{p_0}{w} - b \cos \theta + \frac{b(8r - 9b)}{r^2} \frac{\eta V^2}{8g} \dots\dots\dots(37)$$

$$\frac{p_c}{w} = \frac{p_0}{w} + \frac{3b^2}{8r^2} \frac{\eta V^2}{g} \dots\dots\dots(38)$$

(2) 管水路流れの基本方程式 (5) 式を全断面にわたって積分すれば, 前章と全く同様にして (21) 式と同一形の次式をうる事ができる。

$$\alpha \frac{V^2}{2g} + z + \frac{p_0}{w} + \frac{fQ^2}{8g} \int_0^x \frac{P}{A^3} dx + \frac{Q^2}{2gL} \int_0^x \frac{f_b}{A^2} dx = H + z_0 - f_c \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots(39)$$

ただし  $\alpha$  は速度分布を非回転の分布と仮定して, その大きさを求めれば

$$\alpha = \frac{2}{\pi ab} \int_{-b}^b \left( \frac{u}{V} \right)^2 z' dy = \frac{r + \sqrt{r^2 - b^2}}{2\sqrt{r^2 - b^2}} = 1 + \frac{1}{4} \left( \frac{b}{r} \right)^2 + \frac{3}{16} \left( \frac{b}{r} \right)^4 + \frac{5}{32} \left( \frac{b}{r} \right)^6 + \dots\dots(40)$$

この  $\alpha$  は, (22) 式で与えられるよりもさらに 1 に近いことは明らかで, 例えば  $b/r_0 = 1/5$  においても 1.0103 に過ぎない。

(3) 出口断面平均圧力 直載出口断面の場合および導水樋底面が直線の場合には, 前章と全く同様である。従つて次に, 導水樋底面が曲率半径  $r_0$  で上に凸に彎曲している場合を考える。この場合の出口断面における圧力分布は, (27) 式の誘導と同様にして計算すれば

$$\frac{p}{w} = (2b_n - y) \cos \phi - \frac{\eta \{r_0 + b_n + \sqrt{r_0(r_0 + 2b_n)}\}^2 Q^2}{8\pi^2 a_n^2 b_n^2 g} \times \left\{ \frac{1}{(r_0 + y)^2} - \frac{1}{(r_0 + 2b_n)^2} \right\} \dots\dots\dots(41)$$

(41) 式より前章と同様にして, 出口断面平均圧を求めれば

$$\frac{p_n}{w} = b_n \cos \phi + \left[ \frac{\{r_0 + b_n + \sqrt{r_0(r_0 + 2b_n)}\}^2}{2(r_0 + 2b_n)^2} \right]$$

$$- \frac{r_0 + b_n + \sqrt{r_0(r_0 + 2b_n)}}{\sqrt{r_0(r_0 + 2b_n)}} \frac{\eta V_n^2}{4g} \dots\dots\dots(42)$$

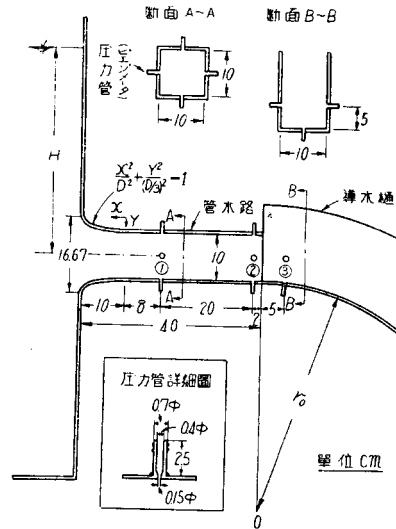
$$\therefore \frac{p_n}{w} = b_n \cos \phi - \frac{b_n(8r_0 - 17b_n)}{8r_0^2} \frac{\eta V^2}{g} \dots\dots\dots(43)$$

IV. 実験的考察

(1) 概説 以上の理論的誘導が妥当であるか, さらにまた係数  $\eta$  はいかなる値をとるべきかを, 実験値と比較して検討してみることにする。実験は 図-4 に示すごとき装置によつて行つた。管の形状は一辺 10 cm, 長さ 40 cm の正方形管であつて, これに各種の底面曲率半径を有する導水樋を取りつけ, 図-4 に示す断面の壁面圧力を測定した。次に実験の種別を一括して示す。

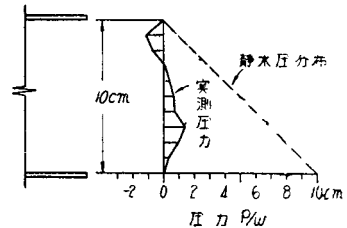
- 実験-1 直載出口断面 (導水樋を有せず)
- 実験-2  $r_0 = \infty$  の導水樋
- 実験-3  $r_0 = 60$  cm の導水樋
- 実験-4  $r_0 = 300$  cm の導水樋

図-4 実験用管水路



(2) 直載出口断面の圧力分布 実験-1 については, 直接ピトー管の静圧管を用いて出口断面の圧力分布を測定した。流量 20.5 l/sec の場合の測定結果の一例を図-5 に示す。実測によれば, 断面平均圧力は一般に多少+

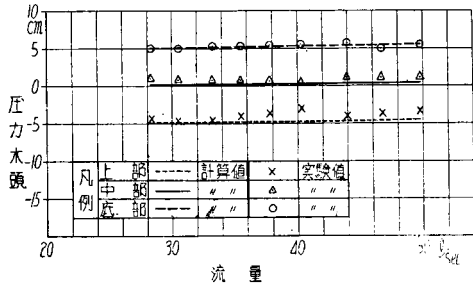
図-5 直載出口の圧力分布 (実験-1)



ほどの値ではないと思われる。

次に図-6に、実験-1の場合について、流量と圧力管②(入口より38cmの断面)の実測圧力との関係を示す。また同図に記入した実線、破線、点線は、いずれも出口断面圧力を0と仮定し、管の摩擦抵抗( $f=0.02$ )を考慮して、計算した計算値である。計算値と実験値とは大体において一致しており、従つて出口断面を0とする仮定はほぼ認めてさしつかえないと思われる。

図-6 流量・断面圧力関係図(実験-1, 圧力管②)

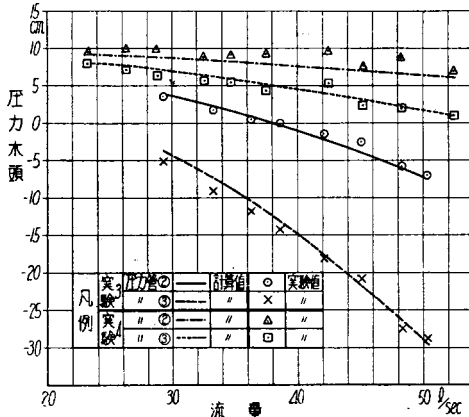


ここで次の興味ある事実を指摘することができる。すなわち等断面水平直管においては、管上面には半径程度の負圧水頭が常に生ずるものであることが、理論的にも実験的にも明らかにされた(図-6, (12)式)。従つて、もし直径20m以上の水平直管の放水管を設ければ(実際にはもちろんあり得ないことであるが)、管上面に空洞現象を発生することになるのである。

(3) 導水樋底面曲率半径と底面圧力 断面圧力分布を直接測定することはかなり誤差多く、所期の成果を得られないことがわかつたので、導水樋を有する実験-2, 3, 4においては直接測定を行わず、圧力管②及び③(導水樋始端より5cm)の測定底面圧力と計算値との比較をこころみることにした。

実験-2( $r_0 = \infty$ )については、計算値と実験値の一致は当然であるから図示を省略し、実験-3( $r_0 = 60$

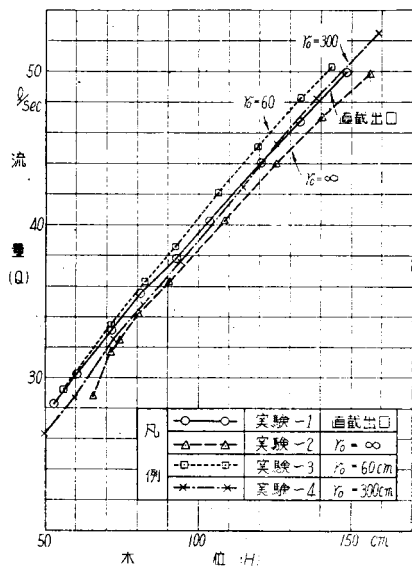
図-7 流量・底面圧力関係図(実験-3, 4)



cm)、実験-4( $r_0 = 300$  cm)の流量と実測底面圧力との関係を図-7にプロットした。また $\eta=1$ として(12), (30)式等を用いて計算した圧力管②の底面圧力、および抽論5)の(14)式による圧力管③の底面圧力計算値をも図-7に記入した。図-7から明らかなごとく、実験値と計算値の一致は大体において良好であり、従つて放水管と導水樋の底面曲率が、多少不連続的に変化する場合でも、前述の理論を $\eta=1$ として適用してさしつかえないように思われる。

(4) 水位・流量関係 実験によつて得た水位・流量関係を図-8に示すが、同図より導水樋底面曲率の影響を明らかに認めることができる。

図-8 実験による水位・流量関係



V. 結 語

以上のごとき理論および実験的考察により、放水管ならびに導水樋の機能を解明し、次の事実を明らかにすることができた。

(1) 導水樋は放水管よりの放流水を堤体下流面に沿わせる機能のほか、重要な機能として、放水管の流量および圧力分布にかなり大きな影響を及ぼすものである。従つて導水樋により、ある程度まで、放水管流量および管内の危険な負圧をコントロールすることが可能である。

(2) この導水樋の機能を利用し、出口に適当な導水樋を設けることにより、種々なる目的のための既設管水路の流量を多少加減することができる。

(3) 係数 $\eta$ については一応検討したが、今後さらに高精度の実験により研究する必要があると思つている。

## 参考文献

- 1) 村 幸雄・荒木正夫：ダム放水管の設計法に関する一考察，土木学会誌，第40巻2号，昭30—2
- 2) 村 幸雄・荒木正夫：堰堤放水管に関する研究(1)，建設省土木研究所報告，第88号，昭29—9
- 3) Corps of Engineers, U.S. Army: Flood-Control Conduits for Detroit Dam, Waterways Experiment Station, Technical Memorandum No. 2-302, 1949.
- 4) Nippert, H.: Über den Strömungsverlust in gekrümmten Kanälen, Forsch. Arb. a. d. Geb. d. Ingenieurwesens, 320, 1929.
- 5) 荒木正夫：彎曲底面開水路を流れる不等速定流の一般法，土木学会誌，第39巻9号，昭29—9.

(昭.30.3.1)

## 開水路の垂直流速曲線に及ぼす 諸因子間の相関性について

正員 春日屋伸昌\*

### THE CORRELATIONS AMONG SEVERAL FACTORS HAVING INFLUENCES UPON THE TYPE OF THE VERTICAL VELOCITY CURVE IN OPEN CHANNELS.

(JSCE Oct. 1955)

Nobumasa Kasugaya, C.E. Member

**Synopsis** The author studies on the correlations among the thread of mean velocity or the thread of maximum velocity, on the vertical velocity curve in open channels, and several factors having influences upon them, which are the roughness of bed, the water depth, the water surface gradient and the ratio of surface velocity to mean velocity ( $k$ ), and concludes that the value of  $k$  has no relation to the roughness of bed, the water depth and the water surface gradient, and consequently it varies chiefly with the direction and speed of wind. He describes the descending of the threads of mean and maximum velocity by the increasing of the water depth is very slight, they are depressed by the decreasing of the roughness of bed and the strong adverse wind.

**要旨** 開水路の垂直流速曲線における平均流速の位置の割合 $\beta$ あるいは最大流速の位置の割合 $\alpha$ と、それらに影響を及ぼす河底粗度、水深、水面勾配、平均流速と表面流速との比 $k$ などの諸因子間の相関性について論じ、 $k$ の値は、粗度、水面勾配、水深には無関係で風向及び風速によつて定まる因子であり、水深の増大による $\alpha$ 、 $\beta$ の値の増大は非常に微弱であり、 $\alpha$ 、 $\beta$ は粗度の減少及び強い逆風などによつて増大することを述べた。

## 1. ま え が き

前に発表した論文<sup>1)</sup>で、筆者は U.S. Geological Survey の 679 個の資料から、水面幅が水深に比してきわめて大きい普通の水路において、流れの中央部における垂直流速曲線はほぼ 2 次放物線を呈し、平均流速の位置の深さの割合 $\beta$ の分布は、Charlier の A 型函数で表わされ、そのモードは 0.60 であり、最大流速の位置の深さの割合 $\alpha$ は約 81% の確率をもつて

0.30~0.35 の範囲内において生じ、 $\alpha$  の最も起りやすい値は 0.20 であることを述べた。そして $\beta$  が 0.70 以上となるような場合を除いては、 $\beta$  は正規分布をし、その母平均は 0.60、母標準偏差は 0.04 であつて、 $\alpha$  についての上の結論はこの場合にも同一となることを述べた。そして、 $\alpha$  や  $\beta$  の値を支配するおもな因子は、河底粗度、水深、水面勾配、風向や風速などで、これらのうち、あるものは平均流速や最大流速の位置を上昇させ、あるものはこれらを下降させて、けつきよく、最も起りやすい流れの状況は、上述の諸因子が $\alpha$ 及び $\beta$ をしてそれぞれ 0.20 及び 0.60 付近の値をとらしめるような場合である。

さて、ここでは、 $\alpha$  と河底粗度、水深、水面勾配、風向及び風速などの諸因子間の相関性を求めるのであるが、 $\alpha$  と  $\beta$  との間には、 $\alpha < 1/3$  ならば  $\beta = \alpha + \sqrt{\alpha^2 - \alpha + (1/3)}$  の関係があるから、 $\alpha$  のかわりに  $\beta$  について考察し、 $\beta$  と上述の諸因子との相関性を求めればよいのであるが、前の論文でもふれたように、

\* 中央大学助教授，工学部土木工学教室