

堰越流部附近の水理現象について

草 間 孝 志*

信州大学工学部 土木工学教室

(昭和32年 9月20日受理)

要 旨

ダム上流側の堆砂にもとづく、流量係数、ダム表面に働く圧力の変化を調べるため、水内ダムの模型堰について、堰上流の水路底の高さを種々変化させて実験を行った。

1. 緒 論

ダムを発電に利用した例はかなり多いが、その他河川の管理、計画など河水統制上からも、河川流量を測定する好地点として大いに役立つている。しかし河川流出土砂量の多い我国においては、極めて短期間にダム上流部が堆砂で満たされる場合があり、そのためダム上流部の水理現象は、ダム建設当初のそれとはかなり異ってくるものと推察される。現に犀川水系の水内ダムでは、建設当時の流量係数を用いて推定されていた洪水流量が、実際の流量よりかなり過小の値を示す傾向があると言われているが、ここでも堆砂の影響が考えられるのである。

このようなダム越流部の水理現象は従来多くの人々によつて研究され、理論的にも流体粒子の運動を同心円を通る二次元ポテンシャル流と仮定することにより、流量係数、ダム表面に働く圧力が求められているが、この理論によつて得られた値は実験値といくぶん異なるようであり、またダム上流の堆砂の影響は考慮されていない。そこで筆者は、これらの点を明らかにするための基礎実験として、ダム上流側の堆砂形をかりに水平面と考え、上流水路底の標高を種々変化させて実験を試みた。

2. 実験装置及び方法

A 実験装置

ダム：水内ダム模型、縮尺 $1/100$ 、ただし堆砂の影響を調べるのが目的であるからダムの下半分の部分ほとりのぞいて考えることにした。檜材製、高さ 8.19cm。

水路：幅30cm、有効長 8 m、鉄製ペンキ塗装で、5馬力の揚水装置をもつ循環水路である。

圧力管：模型堰の表面から直角に、流心軸に沿うて 5個の孔をあけ、内径 1 mmの銅パ

* 信州大学助手

イブをダム内に取りつけ、ゴム管にてマンノメーターへ接続した(図-2)。
ダム上流側水路底上げ板：厚さ5mm、長さ180cm、幅30cmのガラス板2枚(図-1, 2)。

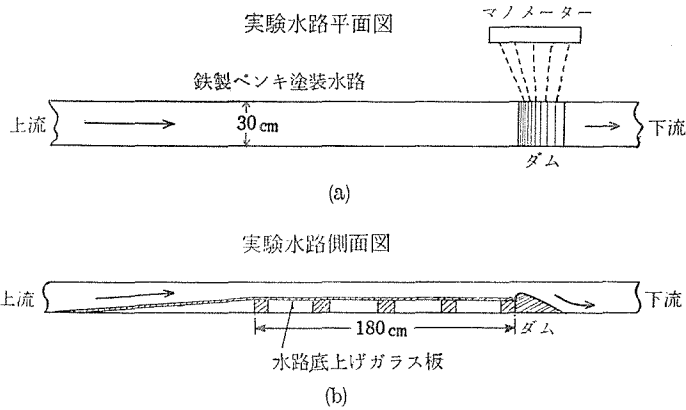


図-1

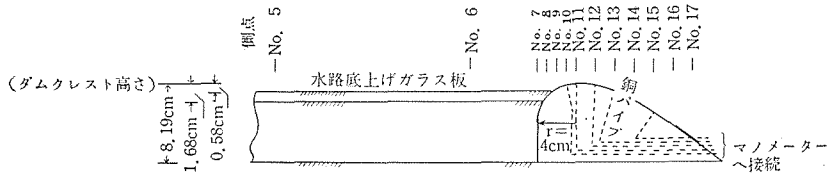


図-2

B 実験方法

ダム上流側に上記ガラス板を水平にとりつけ、ガラス表面と堰頂との標高差 W をそれぞれ8.19, 1.68, 0.58cmの3種類に変化させ、流量は0.7~14l/secの範囲で流量を一定に保ち実験を行つた。

堰頂より上流へ19l, 14l, 9l, 4l, 2l, 1l, 0 cmの11点、堰頂より下流側へ2, 4, 6, 8, 10, 12 cmの6点、計17個の測点を設け、上流側より順次測点No. 1, 2, 3, …, 14, と名づける(堰頂は測点No. 11に相当する)。各測点においてポイントゲージ($1/10$ mm読み)により水位測定を行い、1個の測線上では左、右並びに中央の3箇所の読みの平均を実測値とした。

流量は水路下流に設けた流量枓を用いて、秤により求めた。

ダムの表面に働く圧力の測定は、これらの測点のうちNo. 10, 11, 12, 13, 15の5箇所で行つた。またマンノメーター内部へ塵埃などが附着して測定誤差を生じないように、使用前に清水で充分清浄した。

なお、水内ダムは現在 $H_d/W \approx 7.8$ (H_d は設計水頭) 程度堆砂しているが、本実験では流量係数やダムの表面に働く圧力におおぼす H_d/W の影響を知るため特に $H_d/W \approx 20.17$ まで実験することにした。

C 相似律

重力を主作用力と考えると、Froude の法則に従い、模型と原型との単位長さ当りの流量 q の比は長さの比の $3/2$ 乗に等しい。本実験の場合、長さの比を $1/100$ としたから q の比は $1/1000$ となる。水内ダムが建設されてより以後の犀川の既往最大流量は $3405\text{m}^3/\text{sec}$ で、これをダムの純越流長 126m で割ると、原型の q は $q_p \approx 27\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ となる。これに対応する模型堰の流量は $q_m \approx 270\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ であるが、実験では、この約 1.6 倍の $450\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ まで行つた。

なお、長さ、流量、圧力など以下記載せる数値はすべて模型実験より得られた値である。

3. 実験結果並びに考察

A 水面

水路に水を流し、堰の上流側の底板を順次上げて水面の模様を観測すると、上流水面は反対に低下し、下流水面はさほど大きな変化のないことが認められた。図-3 は実験

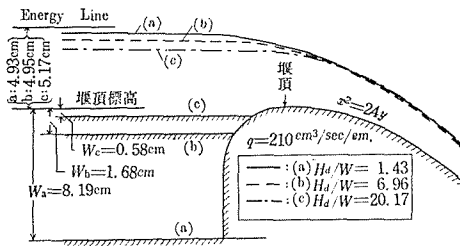


図-3

の一例である。図によると同じ流量でもダムの高さ W が低くなるに従い水面は低くなるが、これとは逆に全水頭はわずかではあるが増加している。これは水位の低下以上に速度水頭が大きくなることを意味し、このことからしてもダムの上流が堆砂すれば、流量係数が小さくなることがうかがわれる。

B 流量係数

越流頂から測つた全水頭を H_0 とするとき、単位幅当りの流量 q は、 m を流量係数とすれば

$$q = m\sqrt{2g}H_0^2 \dots\dots\dots(1)$$

で表わされる。実験による m と H_0 の関係を図-4 に示す。これによると、 m は H_0 の増すに従つて増加し、 H_d/W の大になるにつれ減少している。このことはすでに本間博士により示された図表と傾向が一致する。

最近、岩崎氏は m を与える式として

$$m = \frac{1.60}{\sqrt{2g}} \cdot \frac{1+A(H_0/H_d)}{1+0.5A(H_0/H_d)} \dots\dots\dots(2)$$

を提案し、多くの実験よりその合理性を確かめられた⁽⁴⁾。いまこの式を用いて筆者の実験値を整理すると、常数 A の値として図-5 を得た。ダムの形が刃形堰の下側ナップに一

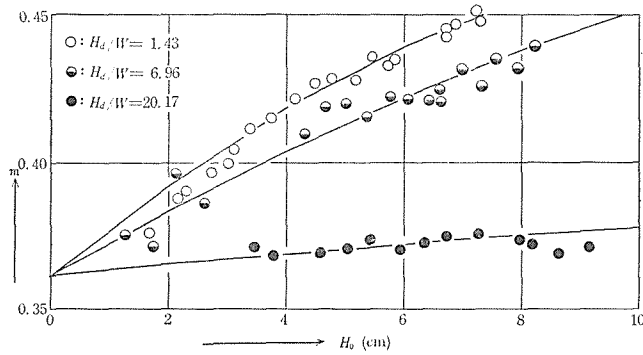


図-4

致したものと、本実験堰のような2次放物線形のダムとでは、当然Aの値が異なると思われるが、試みに米国 Waterways Experiment Station の実験資料から岩崎氏が求められた A の値を図に示した。やや描点が少いうらみはあるが、図より A と H_d/W とは $H_d/W = 0$ 附近を除いては、ほぼ直線的に変化しているように思われる。そこで本実験においては $20 > H_d/W > 1.5$ の範囲で

$$A = 1.11 - 0.050 \frac{H_d}{W} \dots\dots\dots(3)$$

を得た。

C ダムの表面に働く圧力

流量を横軸にとり、ダムの表面に働く圧力水頭 $P_0/\rho g$ を縦軸にとつて実験値をプロットしたのが図-6である。越流頂よりかなり下流に対しては $P_0/\rho g$ の理論値も実測と比較的よく合うと言われているが、図より明らかなように、ダム越流頂よりかなり下流の No.15においては $P_0/\rho g$ は H_d/W にあまり大きく支配されないが、越流頂の No.11 附近では H_d/W に甚だしく影響される。これは越流頂附近では H_d/W によつて速度分布が変つてくるが、下流側においては流れが射流となり、流体粒子は充分加速されて

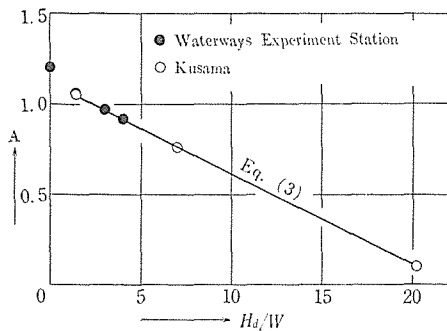


図-5

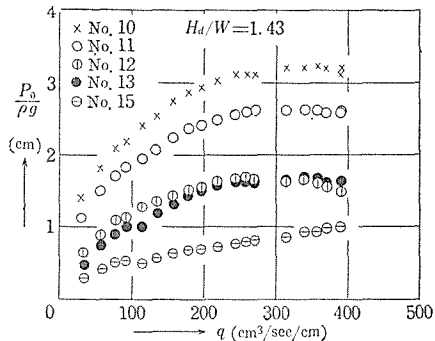


図-6 (a)

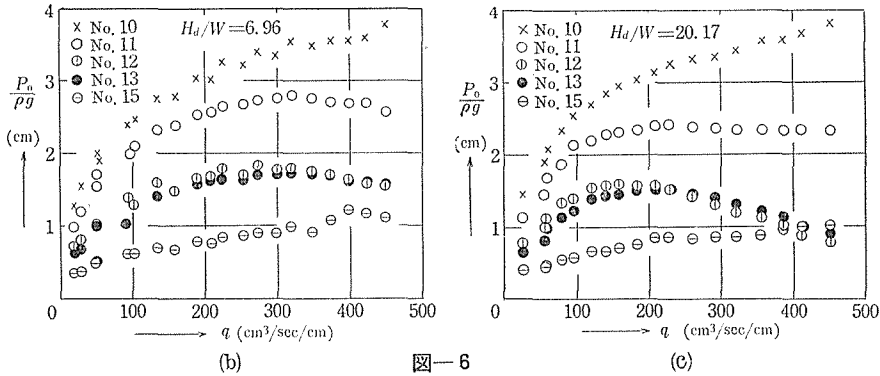


図-6

速度分布が理論式とよく一致するためと考えられる。

No. 12, 13 においては、流量の増大するに従い、 $P_0/\rho g$ は急激に減少するが、この点は負圧を生じ易いことを意味し、かつ H_d/W の増加するにつれてその傾向が顕著となることは見逃すことのできない現象である。

同心円を通る二次元ポテンシャル流の理論によれば、流れを非回転運動と仮定することにより、速度分布式は

$$u = \frac{r_0 + h}{r_0 + y} u_s \quad \dots\dots\dots(4)$$

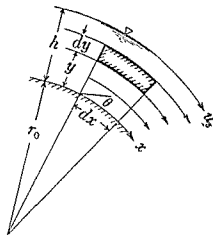


図-7

で与えられる。ここに r_0 はダム表面の曲率半径、 u_s は表面流速、 h はダム表面より直角方向に測つた水深とする。流体には遠心力が働き、それによる圧力減少 P' は、 ρ を密度とすると

$$P' = \int_A \rho \frac{u^2}{r_0 + y} dy \quad \dots\dots\dots(5)$$

である。(4)、(5)式より、ダム表面の単位長さ当りに働く圧力は

$$\frac{P_0}{\rho g} = h \cos \theta - \frac{u_s^2}{2g} \left[\left(1 + \frac{h}{r_0}\right)^2 - 1 \right] \quad \dots\dots\dots(6)$$

で与えられる。しかし越流頂附近における速度分布は H_d/W によつて異つてくるものと考えられるから、いま(6)式の積分を κ を適当に選ぶことにより

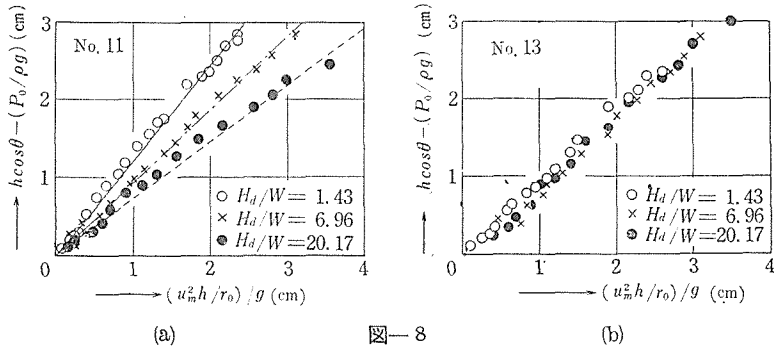
$$P' = \kappa \rho \frac{u_m^2}{r_0} h \quad \dots\dots\dots(7)$$

にて表わすことができるものと仮定しよう。ここに u_m は平均流速を示す。よつて圧力水頭は

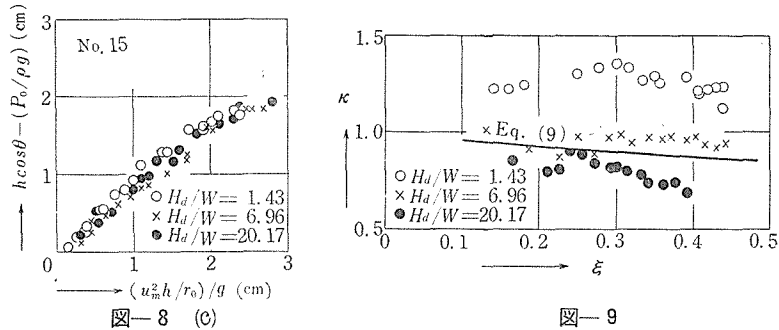
$$\frac{P_0}{\rho g} = h \cos \theta - \kappa \frac{1}{g} \frac{u_m^2}{r_0} h \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。

上式の $h \cos \theta - (p_0/\rho g)$ と $(u_m^2 h/r_0)/g$ との関係を実験より求めて表わしたのが図一8である。この図より、両者の関係はほぼ直線的に変化し、越流頂においては H_d/W の値により直線の傾きを異にするが、他の下流側測点においてはほとんど同じ傾きを示している。これは越流頂 (No. 11) においては κ の値が H_d/W に従属されるが、No. 13, 15の下流測点では、 H_d/W に無関係にほぼ一定値をとることを示している。



図一8



図一9

さて一方、速度分布が(4)式で表わされるものとして得られた(6)式の圧力と(8)式の圧力とを等しいとおけば

$$\kappa = \left\{ \xi / (1 + \xi) \right\}^2 \left\{ 1 + (\xi/2) \right\} / \log_e^2 (1 + \xi) \dots\dots\dots(9)$$

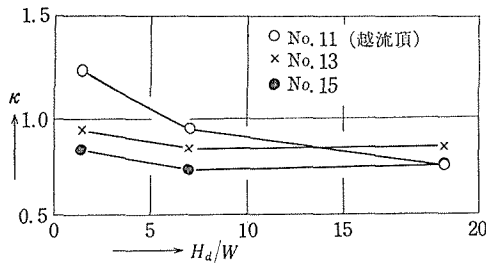
$$\xi = h/r_0$$

となり、 κ は ξ の函数となる。表一1はこの計算値を示す。

表 一 1

ξ	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
κ	0.955	0.919	0.865	0.828	0.800	0.781

表一1, および図一9の実験値より明らかなように、 κ は ξ の変化に対するよりも、むしろ H_d/W に大きく左右されることが分つた。そこで仮りに κ は ξ には無関係と



図—10

みなして最小自乗法により実験値を整理したのが図—10である。

4. 結 言

本実験は主として、 H_d/W の変化にともなう流量係数、ダム表面に働く圧力の変化を調べるために、水内ダムの模型堰について実験を行ったものであつて、流量係数については(3)式を得た。またダム表面に働く圧力については、堰頂附近におけるダム表面圧は H_d/W によりかなり変化することが認められるから、 H_d/W による補正を要するようになると思われる。この問題は H_d/W の変化による堰頂部附近の水面形、速度分布の変化にも関係するから H_d/W を一層広い範囲に変化させて、それらの影響を詳細に調べてみる必要がある。なおこの実験では堰上流の水路底上げはガラス板を水平にとりつけて行ったものであるから、今後、固定砂面および移動床についても実験を行い、現実の現象に近づけたいと考える。

本実験に当つて、終始御指導を賜つた本学部杉尾助教授に対し厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) H. Rouse : Engineering Hydraulics; 1949. p. p. 529~536.
 - (2) 我国においては、例えば井田至春：ダムを越流する流れの解析的研究；土木学会論文集32号 昭29.
 - (3) 本間仁：ダムの流量係数；土木学会誌39巻9号 昭29.
 - (4) 岩崎敏夫：越流頂余水吐きの流量係数について；土木学会論文集43号 昭32.
 - (5) 荒木正夫：彎曲底面開水路を流れる不等速定流の一解法；土木学会誌29巻9号 昭29.
- その他の参考とした文献を列举すると
- (6) C. V. Davis : Handbook of Applied Hydraulics; 1942.
 - (7) K. W. Kirkpatrick : Discharge Coefficients for Spillways at TVA Dams ; Proc. A. S. C. E., Vol. 81, No. 625, 1955.
 - (8) 岩崎敏夫：花山ダム水理模型実験報告書；1955.

Summary**On the Hydraulic Phenomena in the
Neighborhood of Dam Crest**

Takashi KUSAMA*

(Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering)

When a dam pool is almost filled with sediments, the depth and discharge of the flow seem to be considerably influenced by the amount of back sand piled. To clarify these phenomena, the writer has made experiments in his laboratory on the correlations found among them by using the scale model.

* Assistant of Shinshu University