

東洋大学工学部土木 正員 本間 仁, 荻原国宏

日本自動ダム株式会社

立石 易, 古屋 久和

我々はラバーダムに関する技術資料を得るべく以下のような基礎実験及び理論的検討を加えてみたので、ここまとめて報告するしだいです。今回のものは主としてラバーダムの形状に関するものであって振動に関するもの及び堆砂に関するものは今後引づいて実験研究を行う予定にしている。

## [1] ラバーダム形状に関する理論的検討

座標系を図-1のごとくとり各長さのディメンションをダム高Hで除して無次元化した表示を使う。すなわち

$$\eta_1 = \frac{y_1}{H}, \quad \eta_2 = \frac{y_2}{H}, \quad \xi_1 = \frac{x_1}{H}, \quad \xi_2 = \frac{x_2}{H}, \quad H_s = \frac{E}{H}$$

とし、ダム内圧を $p_i$ 、外圧を $p_o$ としダムに働く張力を $T$ とすれば、ダム形状に関する基礎方程式は、

$$\frac{\frac{d^2 \eta}{d\xi^2}}{\left\{1 + \left(\frac{d\eta}{d\xi}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} = \frac{p_i - p_o}{T} \quad (1)$$

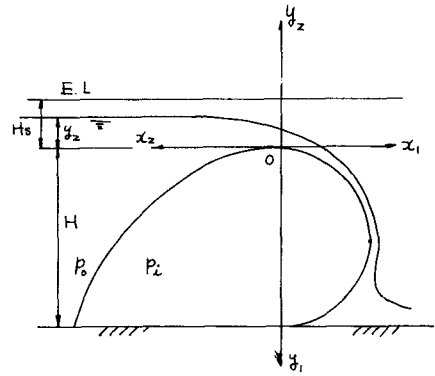


図 - 1

内圧は空気の場合  $p_i = \alpha W H$ 、水の場合は  $p_i = W H (\rho + \eta_1)$  とする。 $T$  は下流面の $\kappa$ のつり合いより決める。

## (a) 越流のないときの形状

このときは上流面については、外圧  $p_o = W H \eta_1$  とし、下流面については  $p_o = 0$  として(1)式をとくと、内部が水の場合には上流面は円、下流面は楕円曲線になる。又空気の場合には上流面が楕円、下流面は半円になる事がわかる。そのときの形状の一例は図-2のごとくなっている。図中の黒丸は実験値である。

## (b) 越流のあるときの形状

まず上流面について、流れの条件は比エネルギー一定の条件を満たすものとし、外圧は  $p_o = W H (\eta_1 + \eta_2)$  で与えられるものとする。流れの条件は単位巾流量を $q$ とすると

$$H_s - \eta_2 = \frac{q^2}{2gH^3} \frac{1}{(\eta_1 + \eta_2)^2} \quad (2)$$

ここで  $\eta_2 = H_0 + \eta_3$  とし、 $\eta_3$  は  $H_s, \eta_1, H_0$  に 比して微小と考え一部の  $\eta_3$  の項を省略することができるとすれば、

$$\eta_3 = (H_s - H_0) - \frac{q^2}{2gH^3} \frac{1}{(\eta_1 + H_0)^2} \quad (3)$$

(1)式に  $p_i, p_o$  の関係をも  $\eta_1, \eta_3$  の関係において代入し(3)式と連立にとくと次式となる。さらにここでダム頂点で限界水深になるとすれば  $H_0 = \frac{2}{3} H_s$  で  $\frac{q^2}{2gH^3} = \frac{4}{27} H_s^3$  となる。

$$\xi_2 = \int_0^{\xi_1} \frac{1 + A[(H_s - \beta)\xi_1 - \frac{2}{9}H_s^2 \frac{\xi_1}{\xi_1 + \frac{2}{3}H_s}]}{\sqrt{1 - \{1 + A[(H_s - \beta)\xi_1 - \frac{2}{9}H_s^2 \frac{\xi_1}{\xi_1 + \frac{2}{3}H_s}]\}^2}} d\xi_1 \quad \text{[水]} \quad (4)$$

但し  $A = \frac{WH^2}{T}$

なお空気の場合は  $\beta \rightarrow \alpha$  となり、[ ] の中に  $\frac{\xi_1^2}{2}$  が加わった形となる。

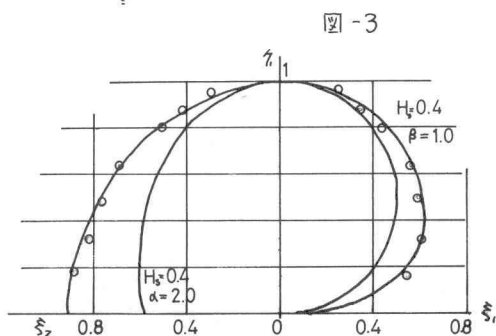
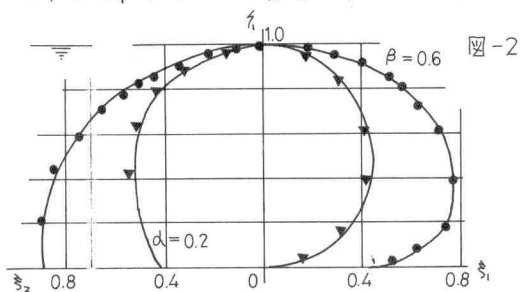
下流面について、ダム上を伝わって流れる水脈によって外圧は、その重量と遠心力の合力を受ける事になるのがかなり複雑な形になると考えられる。そこでオー一次近似としてかなり大まかな近似計算をする。すなわちダム上を流れる水脈は一様でんであるとすれば基礎方程式として次式を得る。

$$(1 - \frac{g z^2}{T} \frac{1}{R})(1 + P^2)^{-\frac{3}{2}} \frac{dP}{d\xi_1} = A[\beta + \xi_1 - \xi_R(1 + P^2)^{-\frac{1}{2}}] \quad \text{[水]} = A[\alpha - \xi_R(1 + P^2)^{-\frac{1}{2}}] \quad \text{[空気]} \quad (5)$$

但し(5)式の  $P = \frac{d\xi_1}{d\xi_2}$  である。この式を直接とく事はむずかしいので右辺の  $(1 + P^2)$  に越流のないときの曲線式を代入し左辺と合わせてとく。得られた  $P$  を又(5)式の右辺の  $P$  に入れ左辺と合わせて解く事を繰り返すと次のような解を得る。

$$P = \frac{\sqrt{1 - [(1 + \frac{\xi_1}{\xi_R}) - (e^{\xi_R A_0 \xi_1} - 1)(\beta \xi_R + \frac{1}{2} A_0 - 1)]^2}}{(1 + \frac{\xi_1}{\xi_R}) - (e^{\xi_R A_0 \xi_1} - 1)(\beta \xi_R + \frac{1}{2} A_0 - 1)} \quad \text{[水]} \quad P = \frac{\sqrt{1 - [1 - (\frac{\xi_1}{\xi_R} - 1)(e^{\xi_R A_0 \xi_1} - 1)]^2}}{1 - (\frac{\xi_1}{\xi_R} - 1)(e^{\xi_R A_0 \xi_1} - 1)} \quad \text{[空気]} \quad (6)$$

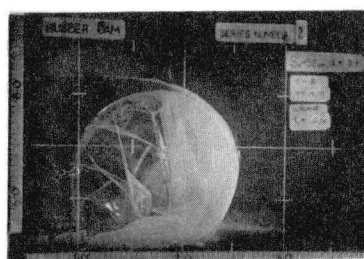
(4),(6)の中に  $\alpha, \beta$  の値を入れ数値計算をしてプロットしたのが図-3である。但し  $A_0 = A/(1 - \frac{g z^2}{T} R)$  である。



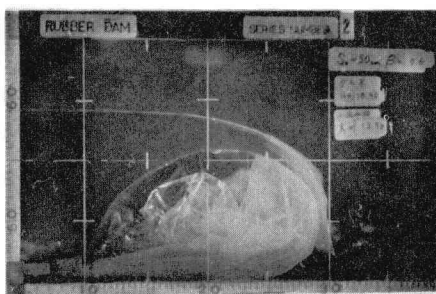
## [2] 実験

実験は乙重のビニール膜で作り、内側のものは0.03mm程度の厚さをもつポリエチレンの袋を使い、外側は0.2mmのビニール膜を使用した。水及び空気の出し入れはダム底部に作ったビニール管の穴より行ない、内圧の測定もそれを利用した。

実験の一例が下の3枚の写真によって判ると思います。下の2枚は越流のある場合である。



空気  
 $\alpha = 2.0$   
越流水深  
1.0 cm  
ダム高  
15.09 cm



水  $\beta = 0.6$   
非越流

水  $\beta = 0.6$   
越流水深  
3.0 cm  
ダム高  
10.90 cm