

III—32 ダムの越流水脈における摩擦の影響

尾崎 晃

工博 岸 力

○宮崎洋三

この問題は境界層が水面に達する前と達した後の二領域に分けて考えるのが便利であり、こゝでは前者をとり扱った。又、底面摩擦の解析結果を用いて、模型実験における縮尺の影響を調べた。尚、本実験に使用した模型は、ダム上流面が垂直で設計越流水頭 $H_d = 12\text{cm}$ の Harrold 型の縦断面を勾配 $\tan \theta = 1/0.7$ の直線部に接続させた形状のものであり、十分滑面と見做す事のできるものである。実験は、 $H_0/H_d = 0.3 \sim 1.1$ の範囲で行った。(H_0 : 越流水頭)。又、局所摩擦係数 C_f は、運動量方程式を用いて求めた。

使用記号 x : 水路底面に沿った流下方向にとった座標, u_0 : 境界外縁における主流速度, δ_* : 排除厚 $= \int (1 - \frac{u}{u_0}) dy$, H : shape factor $= \delta_*/\delta$ (δ : 運動量厚)

(1). タムの模型実験で生ずる境界内での流況について.

実際のガムの余水吐きに発達する境界層は大部分乱流境界層であるが、模型実験では Reynolds 数が小さい為 乱流にならないう事が多い。模型の相似性を考える上から臨界 Reynolds 数を明らかにしておく必要がある。

四-1 に示した実験結果から臨界 Reynolds 数を調べると

$$(R_{8*})_{cr. lower} = 500 \sim 1000$$

$$(R_{\text{gr}})_{\text{cr. upper}} = 2000$$

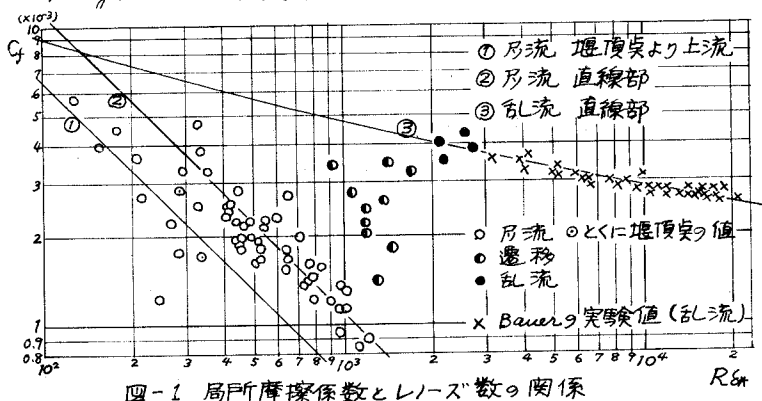
$$\text{但 } L \cdot R_{\delta^*} = u_0 \delta^* / \nu$$

か得られる。

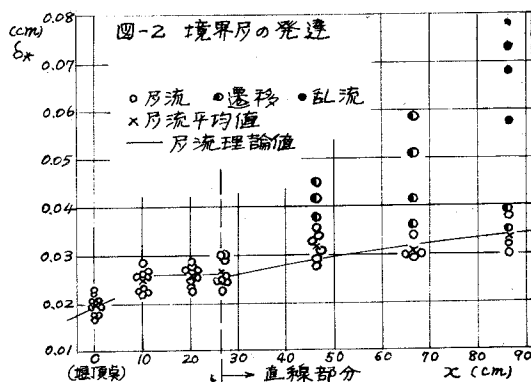
(2). 主流の速度勾配が境界
 層に与える影響について
 主流の速度勾配は、本実験
 のガムの場合、クレスト頂上
 附近までは $u_0 \cos \alpha$, クレスト
 曲線部では $u_0 \cos \alpha$, 直線部で
 は $u_0 \cos \alpha$, という3段階に分

(i). 片流境界片に対する主流速度勾配の影響

Falkner-Skan の方法を用いて解析を行ったところ、境界層内の流速分布は理論と実験とでだいたい一致した。境界層の発達過程と摩擦係数は、主流の速度勾配に従い、上述の3段階に分かれた。(図-1, 図-2)。この事は、尾流部分の流速分布、摩擦係数が、ダムの上流面



四-1 局所摩擦係数とレリーズ数の関係



四-2 境界層の発達

の勾配、クレストの形によって変化する事を意味している。

(ii). 乱流境界層に対する主流の速度勾配の影響

本実験で境界層が乱流になったのは、直線部、即ち U_0 の $\sqrt{x}$ の成り立つ領域である。乱流境界層内の流速分布は、外層で、円管内乱流の対数分布からはずれる事が知られているが、 U_0 の $\sqrt{x}$ の場合には、層流から乱流への変換を用いた計算によれば円管の場合の法則が境界層内全域にあてはまり、実験結果もこれに一致した。

(3) 粗面上の乱流境界層の発達、及び、模型規模の限界について

以上は滑面としての考察であるが、以下では粗面の場合を含めて述べる。

粗面では、相対粗度が一定ならば Reynolds 数の十分大きい乱流の摩擦係数は一定になる。ダムの場合には、摩擦が實際上重要な問題となるのは空気混入流に対してであるから、空気混入の始まる臨界点に近い領域に着目すればよい。このような下流部では、境界層の発達がゆるいため相対粗度の変化は小さく、従って摩擦係数もほぼ一定となる。この条件を運動量方程式に入れると

$$\delta_* = \frac{C_f}{2} \frac{H}{(2+H)S+1} \cdot x \quad (1)$$

但し、 $S: U_0$ の x^S とおいた時の S

が得られ、粗面上の境界層の発達は直線的になる。このように、乱流境界層の発達が直線的になる場合には、模型と実物を相似になし得る可能性が出てくる。

(i) 模型が粗面の場合

模型に粗面の性質を持たせようとするれば、ほとんどの場合その相対粗度は実物のそれより大きくなる。然し一旦、粗面の性質を持てば、粗度が変わっても臨界点の位置はあまり変化しないという事が、Bauer の実験で示されている。従って空気混入流を対象とした模型実験を行うには、かえって粗面で行う方が相似を得るのによりよいと思われる。

(ii) 模型が滑面の場合

この場合、もし実物も滑面であれば、臨界点に対しては次の方法で変換を行うべきである。即ち臨界点における x の値を x_c 、模型と実物の $1/N$ とし、 $C_f = 2\lambda R\delta_*^m$ とおけば

$$(x_c)_{\text{prot.}} = N^{1-m} (x_c)_{\text{model}} \quad (2)$$

で、実物の臨界点を与えられる。本実験では、 $m = -1/5$ ($1/9$ 乗法則) があてはまった。然し、實際上、ダム余水吐きのコンクリート面が滑面と扱える事は少いから、滑面と粗面における臨界点の位置の差異を定める事が必要となる。式の上からこの差異を一般的に定める事は困難である為、一例として本実験で用いた模型の 100 倍の実物 ($H_d = 12m$) と想定し、空気混入の始まる臨界点の位置を比較すると右表の如くなる。但し、コンクリートの粗度係数を $\eta = 0.0125$ と仮定した。

従って、滑面で模型実験を行った時は、(2) 式によって実物に換算して得られる x_c の値の約半分の位置で空気混入が始まり、流水の見かけの水深が増大し、且、全エネルギー損失が急増する事に注意せねばならない。

H_0/H_d	滑面 x_{cs}	粗面 x_{cr}	x_{cr}/x_{cs}
1.0	550 ^m	210 ^m	0.38
0.5	230	120	0.52