

Hele-Shaw 流れによる地下越流ダム頂附近の流れについて

山口大学大学院 学正員 ○高橋 修三
山口大学工学部 正員 斎藤 隆

数年来、着者はダム越流係数について検討し、その算定方法について報告してきたが、越流水頭 E が設計水頭 E_0 よりも大きくなると、実験値より計算値が大きな値となる。この原因は、種々検討した結果、越流水頭が大きくなると、ダム頂附近における流線が同心円上にあるものとする仮定によるものと考えられる。

本文は、ダム頂附近における流線がどのようなになっているかを大雑把に把握するため、相似則は成立しないが簡便に流線を観察できることより、Hele-Shaw流れによって流線を測定した結果について報告するものである。

実験装置は、鉛直に設置した 50×50 cm の平行板ガラス間に、設計水頭 $E_0 = 5$ cm, 10 cm, 標準型越流形状 (Harrold, Randolph) の模型を設置したものである。模型の厚みは 1, 2, 3.5 mm の 3 通りである。

流線の測定は、平行板上流のベルマウス側壁に設けた $\phi 1$ mm の穴から過マンガン酸カリを流下し、側面より写真撮影し、それを拡大して読み取った。

図-1 は、実測流線を最小二乗法でもって 2 次, 3 次曲線と仮定して求めた流線の曲率半径である。図中には壁面ならびに流線が同心円上にあるものとして計算した結果をも点線ならびに一点鎖線で記入してある。

図-2 は、図-1 と同様にして曲率半径が鉛直となす角を求めて描点したものである。図-1, 2 より明らかなようにダム頂越流流れの流線が同心円をなすとの仮定は大幅に異なっている。

図-3, 4 は曲率半径 R ならびに偏角 θ の一般的表示を求めるため、壁面 (R_w, θ_w) ならびに水表面 (R_s, θ_s) を用いて規格化したものを描点したものである。

図-3 の関係は、越流水頭が違っててもほぼ同じような結果で、 $x/E_0 < 0.5$ の範囲では、

$$\frac{\theta - \theta_w}{\theta_s - \theta_w} \approx \frac{y}{R} \quad (1)$$

なる関係がほぼ成立するとみなせる。

図-4 は流線の曲率半径の分布であるが、各断面では水深方向にほぼ 2 次曲線分布とみなせるが、壁面のごく近傍において流線の曲率半径が急激に変化している。

図-5 は曲率半径の規格化に用いた水表面の曲率半径を流下距離に対して描点したものである。同図には流木

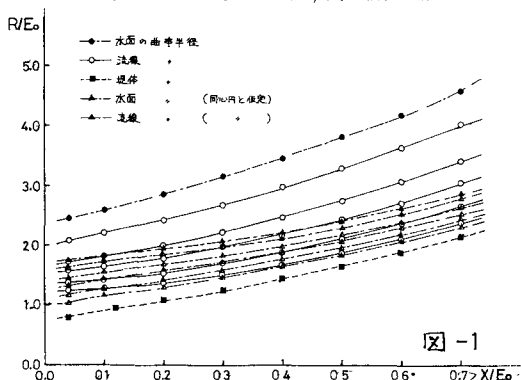


図-1

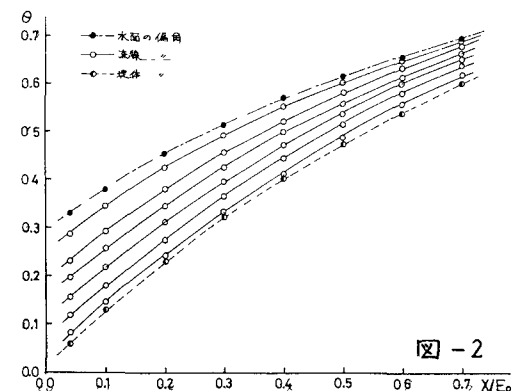


図-2

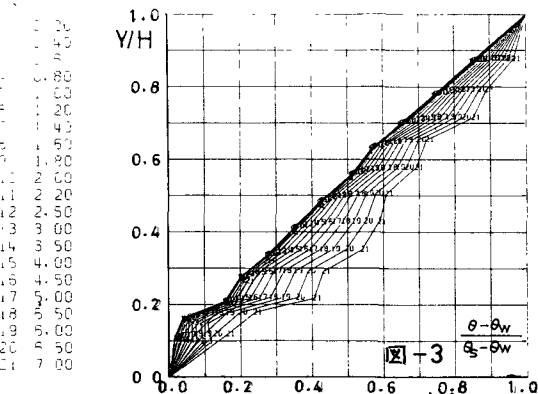


図-3

らが行った二次元実験の水面形から計算した結果をも描点している。両者とも堤頂のごく近傍において曲率半径が急激に増大している。これは堤体より上流のきわめて緩かな水面勾配から堤頂直下流の急な水面勾配に接続するためである。図は $x/E_0 < 0.003$ の範囲のものであるが、 x/E_0 の範囲を下流側に広げて計算した結果は、図の直線を延長したものとなっている。ダム越流流れにおける支配断面位置は越流水頭によって異なるがほぼ x/E_0 が $0.05 \sim 0.20$ の範囲であるので、越流係数の算定だけであれば、直線的に変化する範囲である。

壁面のきわめて薄い範囲(境界層内である)を除くと流線の曲率半径はほぼ水深に対する壁面からの距離の2次関数として与えることができるので、各断面における流線の曲率半径の水深方向の分布を2次曲線として、仮想の壁面曲率半径を求めて描点したものが図-6である。図-6より、 R_w^*/E_0 の E/E_0 による系統的な変化は認められないので、流線の読取りおよび外挿誤差とみなして、各断面の R_w^*/E_0 の平均値を x/E_0 の2次関数と近似すると、最小二乗法を用いて2次式が得られる。

$$\frac{R_w^*}{E_0} = 2.47 \left(\frac{x}{E_0} \right)^2 - 0.27 \frac{x}{E_0} + 1.07 \quad (2)$$

図-4において、規格化の規準量として用いた壁面の曲率半径 R_w の代りに、上式で与えられる仮想壁面曲率半径 R_w^* を用いた結果の1例が図-7である。

図-7をみると、図-6における描点の散乱に相当する描点の散らばりがあるが、ほぼ一曲線とみなすことができる。 $(R-R_w^*)/(R_s-R_w^*) \sim y/H$ は2次曲線となすものとして、図の描点から最小二乗法でもって関数形を定めると次式が得られた。

$$\frac{R-R_w^*}{R_s-R_w^*} = 0.71 \left(\frac{y}{H} \right)^2 + 0.29 \left(\frac{y}{H} \right) \quad (3)$$

本実験における越流水頭 E (上流側水槽水位を用いた) と実際の越流水頭との関係は明確でないのであるが、図-5に示した水表面曲率半径が二次元実験とかなりよく一致しており、また、紙面の都合上示したのであるが、同様に水面形状を比較したものもよく一致していて、本実験によって得られた流線の曲率半径ならびに偏角の分布は、実際のダム越流流れにおけるそれらとあまり大きな違いはないものと考えられる。

1) 荒木、村; ダム越流部形状に関する実験的研究

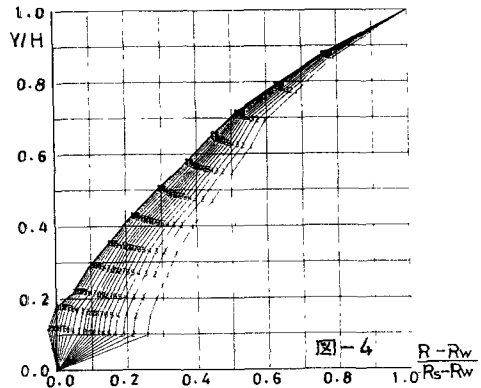


図-4

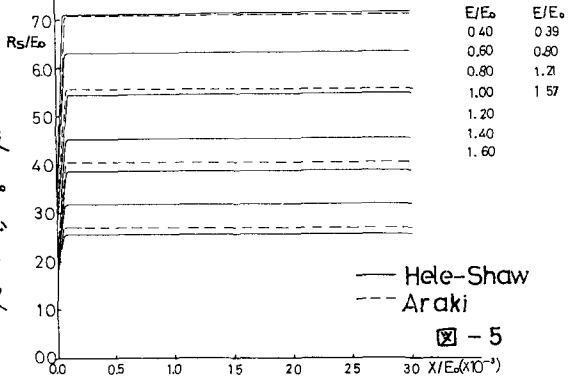


図-5

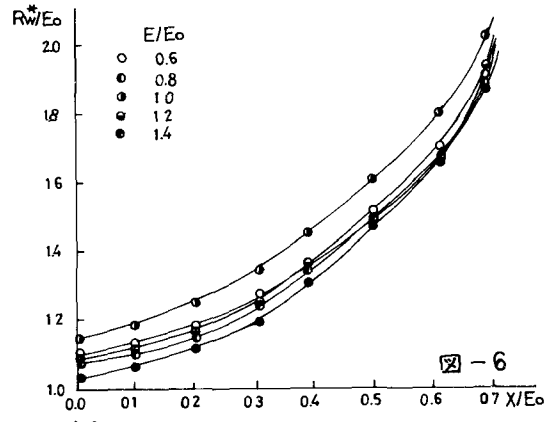


図-6

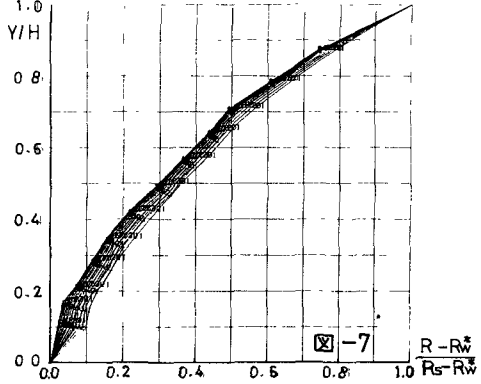


図-7