

東京大学土木工学科 正員 玉井信行
東京大学土木工学科 正員 ○廣沢佑晴

1. はじめに

開水路の流れにおいて、その水流中に設置された梁は浸水の程度によって流量係数に影響を及ぼす。洪水時には橋梁が没水する場合も見られ、流水に対する抵抗を見積る必要に迫られる。Chowは浸水抵抗を障害物の有無による流量係数の比で定義しその結果を発表している¹⁾が、得られている浸水率の範囲は狭い。ここでは、幅、高さの異なる3種の梁について更に範囲を広げた実験を行った。またそのうち2種については越流の起こる状態についても実験を行った。

2. 浸水抵抗の評価法

流れの場の概念図及び記号を図-1に示す。点線は越流を起こしたときの状態を表わしている。

エネルギー保存則は

$$Z_1 + h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f + \Delta H \quad (1)$$

ここに、 α はエネルギー補正係数、 h_f は摩擦による損失水頭、 ΔH は梁の浸水抵抗による損失水頭、添字1、2は上下流の検査面における水理量を表わす。平均河床面からの高さの差 $\Delta Y = Y_1 - Y_2$ 、水路床勾配 i 、検査面間距離を ΔX とすると、次式が成立する。

$$\Delta H = \beta \frac{V_2^2}{2g} = \Delta Y + \alpha \frac{g^2}{2g} \frac{h_2^2 - h_1^2}{h_1^2 \cdot h_2^2} - i \cdot \Delta X \quad (2)$$

この形式を用いると下流側から不等流計算を進めてくる場合に、反復計算なしに ΔH を算出できる利点がある。ここに β は抵抗係数である。

ここでChowに倣い流量係数を算定できる形式に変更する。

式(1)より

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{\alpha_2 + \beta}} \sqrt{2g(\Delta Y + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - h_f)} \quad (3) \quad \text{を得る。}$$

したがって、障害物のある場合の総合的な流量係数 C は次式で与えられる。 $C = 1 / \sqrt{\alpha_2 + \beta}$ (4)

従来の結果は浸水抵抗を、障害物が無い場合に対する障害物が存在する場合の流量係数の比 K_t で定義しており、その内容は次式で与えられることになる。

$$K_t = \frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \beta}} \bigg/ \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_2 + \beta}} \quad (5)$$

3. 実験装置及び方法

長さ20m、幅0.4m、高さ0.5mの可変勾配水路に①流れ方向の幅2cm、高さ0.6cm、②流れ方向の幅5cm、高さ1.03cm、③流れ方向の幅12cm、高さ20cmの3種の梁を設置して実験を行った。水路床の勾配は1/1000とし、①及び②については流量を一定とし梁の位置を上下に調節することにより種々の流況を出現させた。更に梁の位置を下げて越流する状態についても併せて実測した。③については梁の位置を一定とし、流量を変化させたが越流を起こさない状態についてののみ実験を行った。一般に梁の上流側には滞流域が生じ下流側には剥離域がみられるので、検査面は滞流域より上流側と剥離域より下流側にとった。また越流が生ずる場合には梁の直下流に弱跳水が現われるので、跳水によるエネルギー損失も含んだ下流への影響を見積るために、跳水が終了する断面付近に下流側の検査面を設定した。梁と水路床との距離は①については0.20~1.57

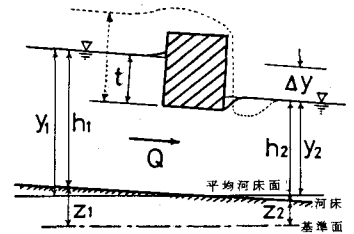


図-1 概念図及び記号

cm迄、②については0.46～1.89 cm迄変化させた。③については固定で4.5 cmである。

4. 実験結果と考察

図-2に非越流状態で得られた流量係数の比の値を示す。今回の実験によれば図-2に示すように梁の流れ方向の幅、高さ、流量の変化、梁と水路床との距離に依らず、 K_t は t/y_1 の値により一義的に定められるように考えられる。すなわち、

$$K_t = 1 - 0.54 \frac{t}{y_1} \quad (\text{非越流, } \frac{t}{y_1} < 0.6) \quad (6)$$

である。Chowにより与えられた結果は図中の実線であり、これによる K_t と t/y_1 との間の傾きは急に過ぎるように思われる。

図-3に①及び②の梁に対して越流状態で得られた流量係数の比の値を示す。図中の破線は式(6)を示し、参考のために記入されている。幅2 cmの梁①については、 t/y_1 が0.3付近より、幅5 cmの梁②については、 t/y_1 が0.5付近より越流が起こり、幅2 cmでは略一定の K_t 値を、幅5 cmでは K_t 値の減少が緩やかである。しかし K_t 絶対値そのものは梁毎に異なっている。梁の浸水時においては、梁の上端部から剥離した流れが梁の後部において急激に流水断面積を拡大させるためにおきる損失が支配的と考えられるので、縮流部の流水断面積や圧力分布などを測定して梁の大きさによる影響差異を検討する必要がある。

梁③は高さが十分に大きく、流量が増大しても越流が生じないので、①、②と異なる流況が現出した。この状況を図-4に示す。徐々に流量を増大していくと

約19 ℓ/s ($h_1 = 11.7$ cm, $h_2 = 7.73$ cm)までは(a)の如くの流況であり、15 ℓ/s以上となると上流側では断続的に渦が発生し、19 ℓ/sとなると渦が前後に移動して下流側へ流下する。この限界を過ぎ約20 ℓ/s付近になると(b)に示す流況に変化する。この状態から徐々に流量を減少させると、下流側水深は回復しつつ跳水の位置が梁部へ近づく。約13 ℓ/sまでは(b)の流況を示し、下流側は弱跳水から波状跳水となり(a)の流況となる。即ちこの実験の場合、 $h_1 = 8$ cm ($Q = 13$ ℓ/s)から12 cm ($Q = 19$ ℓ/s)位の間では(a)、(b)2種の流況が観察された。河川においては、一般的に河道では射流は生じないと考えられるので、ここでは(a)の場合の測定値のみを掲げた。

5. 結論

1) 梁の浸水抵抗に関する従来の計測の範囲を大きく拡大した。 2) 非越流型については、梁の浸水による流量係数の減少は種々の水理条件に対しても、浸水率と一義的な関係を有することが分かった。そして、この関係を表わす経験式を得た。 3) 梁が完全に水没し、越流が生ずる場合には、没水比に対する流量係数の減少率は小さくなるように思われる。しかし、絶対値は梁毎に異なり、統一化のためには流れの精査が必要である。

(参考文献)

1) Chow, V.-T. : Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill, pp.476-490, 1959.

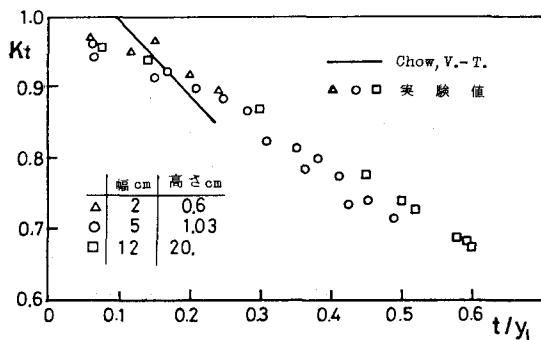


図-2 浸水抵抗による流量係数の減少 (非越流)

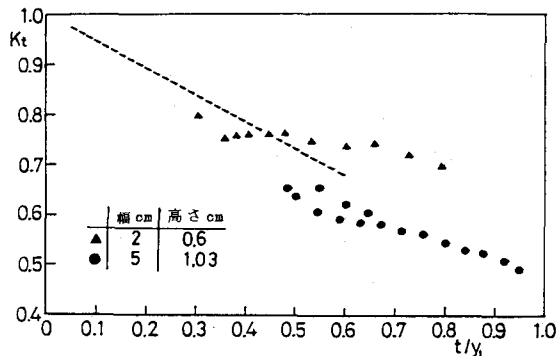


図-3 浸水抵抗による流量係数の減少 (越流)

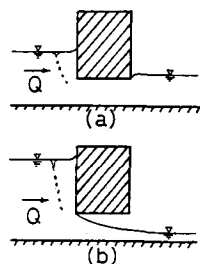


図-4 流況の変化