

日本大学 理工学部 正員 栗津 清蔵
 日本大学 理工学部 正員 大津 岩夫
 日本大学 理工学部 正員 安田 陽一
 日本大学 大学院 学生員○松本 正浩

まえがき 傾斜水路における跳水特性を知ることは傾斜水叩型減勢工や水路の設計上必要である。著者らは先に内部の流速減衰状況に基づき傾斜水路における射流から常流へ遷移する流れの流況を分類^{1),2)}、跳水の長さについて明らかにした³⁾。水路傾斜角 θ が $22^\circ \sim 23^\circ$ より大きく、跳水が傾斜面と水平面とにまたがって形成される場合(B型跳水と呼ばれている)については、従来ほとんど検討がなされていない。ここでは、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ の場合のB型跳水において、主流の流線が水路接合部近くで大きく曲げられ、水路床に作用する圧力は静水圧より大きくなる領域が存在することを示した。また、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ の場合のB型跳水上・下流端の水深間の関係について、跳水部における水面形および水路接合部直下の水路床に作用する圧力を考慮に入れ、運動量方程式に基づき明らかにした。

1. 運動量方程式の適用 図1に示す跳水部を検査面に選び、水路傾斜方向に運動量方程式を適用すると式(1)が得られる。ただし、壁面摩擦力を無視し、I, II断面での運動量係数を1とする。

$$P_1 - P_d \cos\theta + W_s \sin\theta + (W_H - F_H) \sin\theta = \frac{W}{g}(v_d \cos\theta - v_1) \quad (1)$$

ここに、 v_1, v_d は跳水始端および終端断面での平均流速である。

跳水部の水の重量 $W=(W_s+W_H)$ については跳水部の水面形を直線と仮定し、実際の重量との相違を係数 k' で補正すると式(2)で示される。

$$W = \left[W_d + \left\{ W_H \left[\frac{1}{2} d_1^2 \tan\theta + k' \frac{W}{2} \ell \left(\frac{d_1}{\cos\theta} + h_j \right) \right] + \left\{ k' \frac{W}{2} (h_d + h_j) (L_j - \ell) \right\} \right. \right] \quad (2)$$

ここに d_1 は水路床に垂直方向の跳水始端水深、 ℓ は跳水部における傾斜面上の水平長さ、 L_j は跳水の水平長さ、 h_j は水路接合部での水深である。 h_j について無次元表示すると次のように示される。

$$\frac{h_j}{d_1} = \left(\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\ell}{d_1} \tan\theta \right) + \frac{h_d}{d_1} - \frac{\ell}{d_1} \tan\theta - \frac{1}{\cos\theta} \frac{\ell}{d_1} \quad (3)$$

ここに ℓ は水路床に沿った跳水の長さである。

跳水始端断面に作用する圧力 P_1 および終端断面に作用する圧力 P_d については静水圧分布するものと考えられ式(4)で示される。

$$P_1 = \frac{W}{2} d_1^2 \cos\theta, \quad P_d = \frac{W}{2} h_d^2 \quad (4)$$

跳水部における水路水平部の表面力 F_H については水路接合部での流線の曲がりによる静水圧からの増加を考慮に入れ、式(5)のようにおく。

$$F_H = r W_H \quad (5)$$

ここに r は跳水部の水路水平部に作用する実際の圧力と静水圧との比である。

以上のことから、式(1)に式(2),(4),(5)を代入し、無次元表示すると式(6)が得られる。

$$\left(\frac{h_d}{d_1} \right)^3 - \left[k' \left(\frac{\ell}{d_1} \right) \left(\frac{1}{\cos\theta} + \frac{h_j}{d_1} \right) \tan\theta + 2F_1^2 + 1 + \tan^2\theta + k' (1-r) \left(\frac{h_j}{d_1} + \frac{h_d}{d_1} \right) \left(\frac{\ell}{d_1} - \frac{\ell}{d_1} \frac{1}{\cos\theta} - \tan\theta \right) \tan\theta \right] \left(\frac{h_d}{d_1} \right) + 2F_1^2 \cos\theta = 0 \quad (6)$$

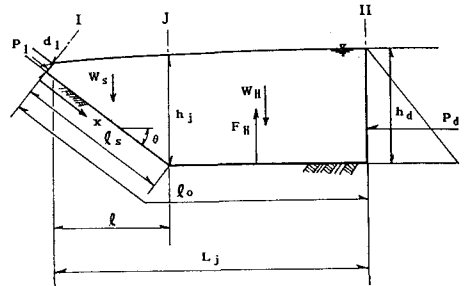


図1

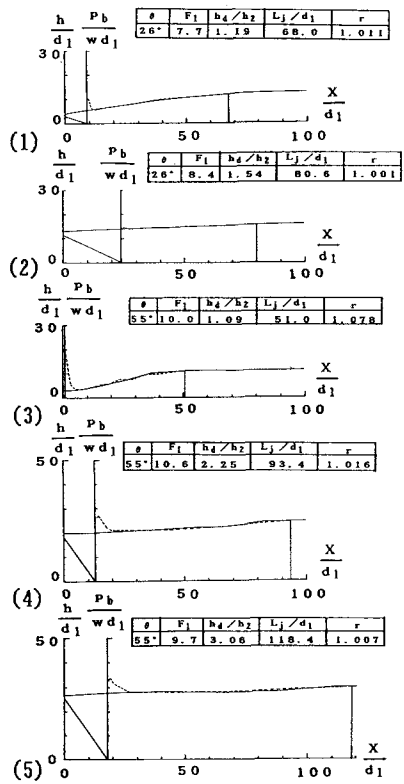


図2

ただし、 h_j/d_1 については式(3)で示される。また、 F_1 は跳水始端のフルード数($F_1 = v_1 / \sqrt{gd_1 \cos \theta}$)である。

a) k' についての検討 k' について次元解析的考察から、次式が得られる。

$$k' = f(F_1, \theta, h_d/d_1) \quad (7)$$

式(7)に基づき実験値を整理すると k' について式(8)が得られる。

$$k' = 1 + 10^{-(2.8 \tan \theta + 0.74)} \quad (0^\circ \leq \theta \leq 55^\circ) \quad (8)$$

b) r についての検討 B型跳水における水路水平部の水路床に作用する圧力 p_b は図2(破線)に示されるように θ が大きくなるにつれて、また下流水深 h_d/h_2 ($h_2 = d_1(\sqrt{8F_1^2 \cos \theta + 1} - 1)/2$) が1に近づくにつれて、水路接合部直下流で静水圧よりかなり大きくなる。このことは θ が大きくなるにつれ、また h_d/h_2 が1に近づくにつれて水路接合部での流線の曲がりが大きくなるためである。

底面の圧力を実測することによって r が求められる。 r について次元解析的考察から式(9)が得られる。

$$r = f(F_1, \theta, h_d/h_2) \quad (9)$$

式(9)に基づき実験値を整理すると F_1 にかかわらず、図3に示されるように明瞭な相関が得られ、 r は式(10)で示される。

$$r = 1 + 10^{-(0.64 + \frac{0.49}{\tan \theta}) \frac{h_d}{h_2} + 0.1} \quad (0^\circ \leq \theta \leq 55^\circ, F_1 \geq 4) \quad (10)$$

2. B型跳水上・下流端の水深間の関係 式(6)に式(3), (8), (10)を代入することによって式(11)の関係が式化される。

$$f_1(l_0/d_1, l/d_1, h_d/d_1, F_1, \theta) = 0 \quad (11)$$

$\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ のB型跳水の場合、跳水の長さについては式(12)で示されている³⁾。

$$\log(l_0/H_L) = -1.71(H_L/H_1) + 1.58 \quad (H_L/H_1 > 0.2, 22^\circ \sim 23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ) \quad (12)$$

式(12)から次の関係が得られる。

$$f_2(l_0/d_1, l/d_1, h_d/d_1, F_1, \theta) = 0 \quad (13)$$

ただし、式(12)において $l_0/H_L, H_L/H_1$ (H_L は跳水による損失水頭、 H_1 は跳水始端の全水頭 ($H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{d_1}{\cos \theta} + l \tan \theta$) は式(14), (15)で示される。

$$\frac{l_0}{H_L} = \frac{F_1^2 \cos \theta (1 - 1/(h_d/d_1)^2) / 2 + 1 / \cos \theta - h_d/d_1 + l/d_1 \tan \theta}{F_1^2 \cos \theta} \quad (14)$$

$$\frac{H_L}{H_1} = 1 - \frac{F_1^2 / (h_d/d_1)^2 + 2(h_d/d_1) \sec \theta}{F_1^2 + 2 + 2(l/d_1) \sec \theta \tan \theta + 2 \tan \theta} \quad (15)$$

式(11), (13) から l_0/d_1 を消去すると、水深間の関係(16)が式化される。

$$f(l/d, h_d/d_1, F_1, \theta) = 0 \quad (16)$$

この関係を図示すると図4(実線)のように表示され、実験値を満足していることが示される。なお、 $l/d_1 \rightarrow 0$ のときの下流水深 h_{2*}/d_1 は h_2/d_1 より大きいことが示される。このことは水路接合部で流線の曲がりが大きく、圧力が静水圧よりも大きくなるためである。

まとめ $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ のB型跳水の場合、 θ が大きくなるにつれ、また h_d が h_{2*} に近づくにつれて、主流の流線が接合部で大きく曲げられ、水路接合部直下流での水路床に作用する圧力は静水圧よりもかなり大きくなることを示した。また、この場合のB型跳水上・下流端の水深間の関係については、跳水部の水面形および水路接合部直下の水路床に作用する圧力を考慮に入れて、運動量方程式に基づき明らかにした。

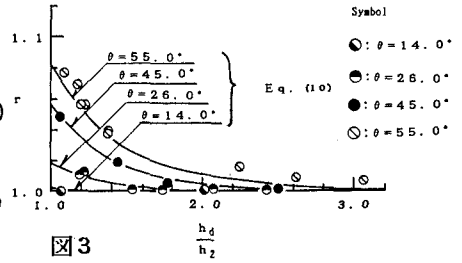
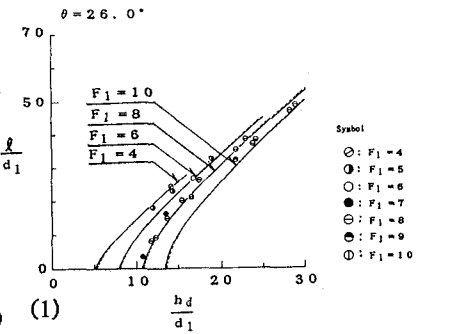
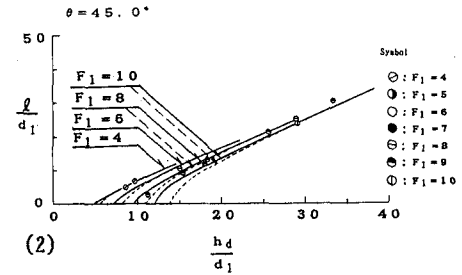


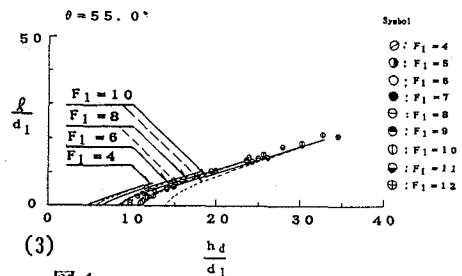
図3



(1)



(2)



(3) 図4

参考文献) 1) 大津, 安田, 水平水路に接続する傾斜水路からの流れ, 第31回日大理工学術講演会, 1987, H-22
2) 粟津, 大津, 安田, 水平水路に接続する傾斜水路からの流れ, 第44回土木学会年講(II), 1989
3) 粟津, 大津, 武中, 安田, 傾斜水路の跳水について, 第41回土木学会年講, 1986, II-240