

流路彎曲部における土石流の流動について

京都大学防災研究所 正員 芦田和男

京都大学防災研究所 正員 高橋 保

名城大学 理工学部 正員 新井宗之

京都大学 工学部 学員 ハ木秀樹

1. はじめに : 流路彎曲部における射流の水面形、特に彎曲部外岸の水深を推定することは流路工の防災設計上重要である。従来これにはKnapp¹⁾の式が用いられて来たが、計算値が測定値より大きな値を示す傾向がある。また、流れが土砂を多量に含んでいる場合についてはほとんど明らかにされていない。ここではC.W. Lenauの式をもとにして、外岸の平均水深、横断面水面形、転波列を考慮した外岸の最高水位について、流れが高濃度の場合についても考察した。

2. 実験条件・方法 : 長さ17mの直線水路と45°の曲りを持つ彎曲部の水路とからなる幅20cmの実験水路を用いた。彎曲部の河床は流下方向に10°半径方向には水平になるように設定した。実験材料は0.15mmの珪砂7号と3mmの粒状大理石とを1:1に混合した土砂を用いた。単位体積重量はいずれも2.65 g/cm³である。実験条件は容積濃度; 0, 0.2, 0.4, 流量; 1, 2, 3 l/s, 彎曲部水路の中心曲率半径; 40, 60, 100 cm である。水面の測定には16ミリシネカメラ, 35ミリカメラ, ポイントゲージを併用した。

表-1

実験条件		
容積濃度	流量 Q/l/s	曲率半径 cm
0	1	40
0.2	2	60
0.4	3	100

実験材料 ($\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$)

・粒状大理石 (3mm) } 1:1
・珪砂 7号 (0.15mm)

3. 考 察 :

3-1 Lenau式: C.W. Lenauは台形断面及び矩形断面の彎曲部における射流の水面形を解析した²⁾。円筒座標系で、エネルギー式、連続式及び自由渦の条件式を矩形断面について

$$\frac{V_r^2 + V_\theta^2}{2g} + h = \frac{U^2}{2g} + h_0 \quad \dots (1) \quad \frac{\partial(hV_r)}{\partial r} + \frac{\partial(hV_\theta)}{\partial \theta} = 0 \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial \theta} = \frac{\partial(rV_\theta)}{\partial r} \quad \dots (3)$$

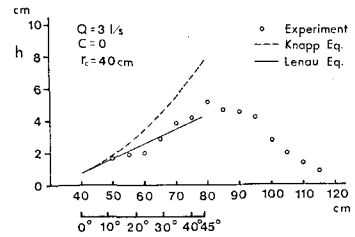
のように書き、 $\varepsilon = h_0/r_0$ に関するホー一次摂動解として次式を得た。

$$h = h_0 + E \quad \dots (4)$$

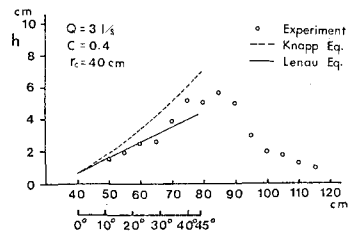
$$E = \frac{U h_0^2}{g h_0 r_0} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left\{ \delta \left[x - F_0 \left(k p + \frac{1}{2} p - y \right) \right] - \delta \left[x - F_0 \left(k p + \frac{1}{2} p + y \right) \right] \right\} \quad \dots (5)$$

ここで、 $x = r_0 \theta / h_0$, $y = (r - r_0) / h_0$, $p = b / h_0$, $F_0 = U / \sqrt{g h_0}$, U : $\theta = 0$ における流速, r_0 : 水路の中心曲率半径, h_0 : $\theta = 0$ における水深, b : 水路幅, g : 重力加速度, E : 水深の変化分, h : 水深である。また $\delta(t)$ は $\delta(t) = 0$ ($t \leq 0$), $\delta(t) = t$ ($t > 0$)を与える関数である。

3-2 外岸水深: 外岸水深は濃度が高くなると若干高くなる傾向があるが、顕著な差は認められず、砂と微細砂の合



(a)



(b)

図-1 外岸水深の変化

Kazuo ASHIDA, Tamotsu TAKAHASHI, Muneyuki ARAI, Hideki YAGI

計濃度が0.4まではほぼ清水と同じように取りあつかうことができると考えられる。曲率半径 $r_c=40\text{cm}$ 、流下流量 $Q=3\text{ l/s}$ で容積濃度 $C=0$ 及び0.4の実験値、計算値が図-1(a),(b)に示されている。ただし横軸の長さは外岸に沿って測ったものである。外岸水深は転波列により大きく変動する。図-1に示されている水深は転波列を除いた部分の平均値である。図中の実線はLenau式(3),(4)による計算値であり、破線がKnappによる計算値である。Knappによる計算値は実測値より大きな値になる傾向がある。Lenauの式による計算値は濃度 $C=0\sim 0.4$ で比較的良好に一致している。またフルード数が1に近くなるとKnappの式の適用範囲の彎曲角が非常に小さくなるのに対して、Lenauの式では制約を受けない。

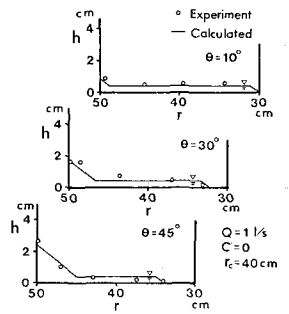


図-2 横断面水面形

3-3 横断面水面形: $Q=1\text{ l/s}$, $C=0$, $r_c=40\text{cm}$ でのLenau式による計算値と実測値の比較例が図-2に示されている。よく一致している。

3-4 Shock Waveとはく離: 図-2の水面形において河床と平行な水面が不連続に上昇をはじめめる点がある。この点をLenau式(3),(4)によって計算すると図-3の△である。外岸側の実線は実測のShock Waveの線である。これもよく一致している。ただし、濃度が0.4程度に高くなるとShock Waveが顕著に生じなくなる。また図-2において水面が河床と一致している位置も計算できる。この計算結果は図-3の□で示した。内岸側の実線が測定値であり、斜線の部分は河床が露出している部分である。

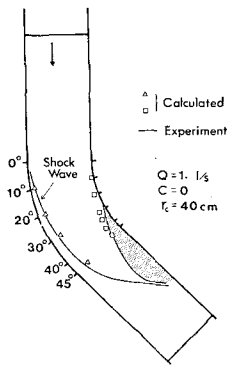
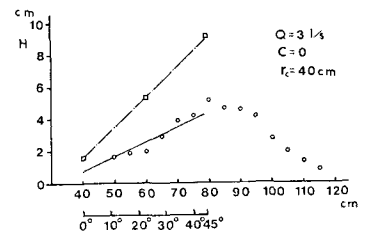
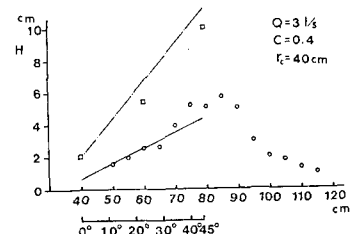


図-3 Shock Waveとはく離

3-5 転波列による水深変化: 流れには転波列が生じるため水深が大きく変化する。転波列を除いた水深を h とし、転波列による水深の変化量を h_w とすれば外岸の水深 H は $H=h+h_w$ …(6)である。 h_w もLenau式を用いて計算するがその際流速としては平均流に対するものを用いる。波高の大きい方から約1/3の平均を□で示し、それに対応する H の計算値を一点破線とすると図-4(a),(b)のようになり、計算値と実測値は比較的良好に一致している。



(a)



(b)

図-4 転波列による外岸水深変化

4. おわりに: 自由渦仮定を用いたLenau式がShock Wave概念によるKnappの式よりも適用性のよいこと、水面形の横断面分布等もうまく計算できることがわかった。流動特性に対する土砂濃度の影響については実験範囲では清水のそれと顕著な差はなかったが、もっと高濃度について確かめる必要がある。

参考文献 1) R.T. Knapp; Design of Channel Curves for Supercritical Flow, Transactions of ASCE, Vol.116, 1951, pp.296-325, 2) C.W. Lenau; Supercritical Flow in Bends of Trapezoidal Sediment, ASCE, EM 1, FEB., 1979, pp.43-54.