

東洋大学 工学部 正会員 本間 仁
正会員 萩原 国宏
学生員 ○茶畑 洋介

1. はじめに 従来、単弯曲水路の研究は盛んになされ、その水理特性等においても、かなり定性的なものも報告されている。また、自然では、単弯曲よりも複弯曲となっている場合が多いので弯曲の一般特性は複弯曲の研究によるべきものと思われる。そこで、本実験は複弯曲水路について実験を行った。S字型に曲る水路における射流では、水面形が衝撃波で決まる部分と、常流になる部分がある。これについて実験した結果の報告である。

2. 実験方法

図-1に示すような、水路中心曲率半径 $R=80\text{ cm}$ 、水路幅 $B=40\text{ cm}$ 、中心角 $\theta=45^\circ$ の矩形の複弯曲水路において、流量 $Q=30\text{ l/s}$ とし、水路勾配 $i=1/50, 1/100, 1/150, 1/200$ の各々の勾配について、水深、流速を測定した。なお、流速測定にはプロヤ式小型流速計を用いた。測定としては横断面方向を9点に分割し、中心角を 15° ずつ変化させ、水深方向には底面より 3 cm 間隔で流速を測定した。又、中心角 $\theta=60^\circ$ 、流量 $Q=40\text{ l/s}$ についても、同様な実験を行った。

3. 結果及び考察

図-1、図-2、図-3は、それぞれ、 $\theta=45^\circ, Q=30\text{ l/s}, i=1/50$ の場合の図である。図-1は、上流直線部分にて水深 $h=5.4$ 、フルード数 $Fr=2.0$ の射流での水面等高線である。図-2より、射流が側壁の曲りの影響によって $\theta=20^\circ \sim 25^\circ$ 付近で常流になっている事がわかる。又、 $\theta=40^\circ$ 付近からは、中央部から右岸側において、再び射流となる。第2弯曲での凹岸では、第1弯曲での衝撃波等により生じる横断面方向での水位勾配等の影響で、流速が非常に遅くなり、水位

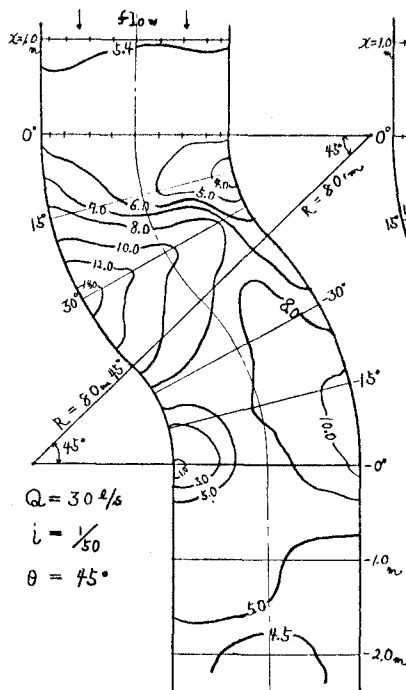


Fig. 1 水面等高線

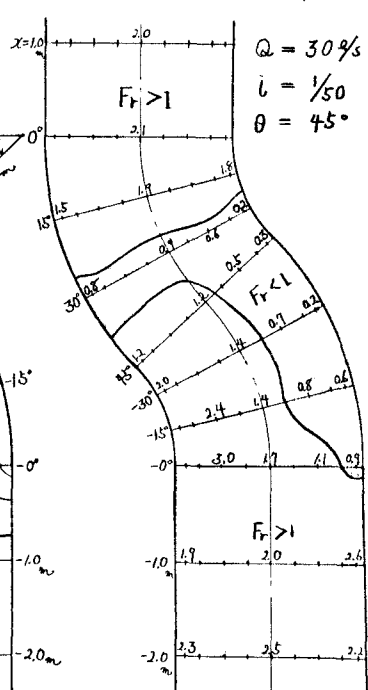


Fig. 2 Fr による領域区分

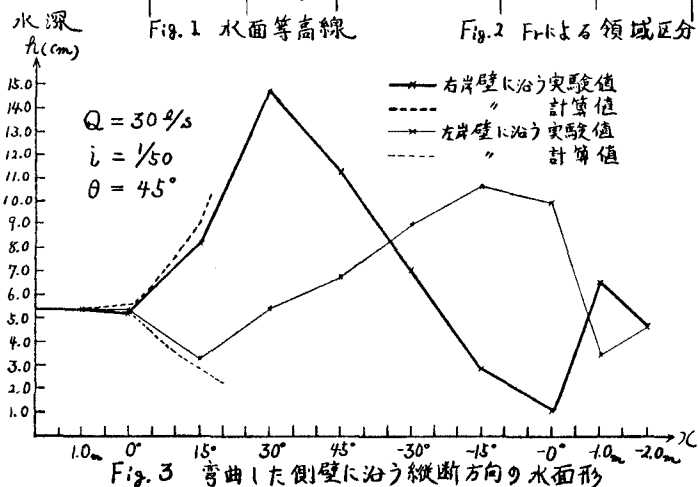
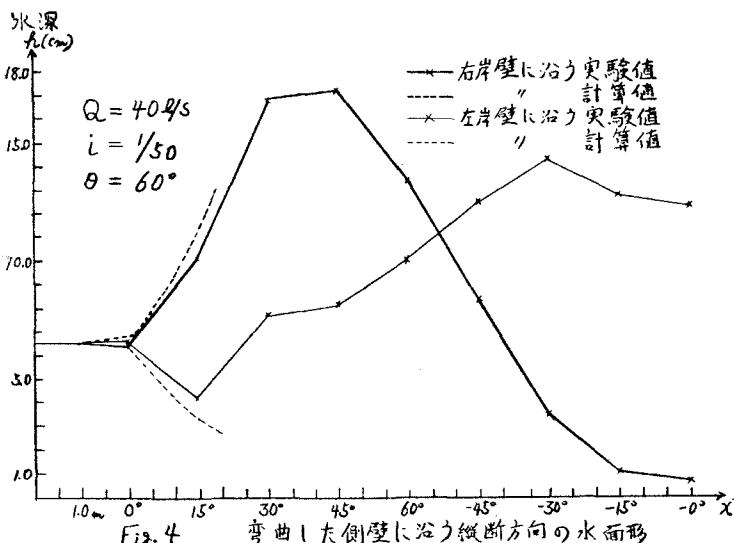


Fig. 3 弯曲した側壁に沿う縦断方向の水面形

も上昇し常流状態になる。この勾配では、水位は $\theta=30^\circ$ 付近の左岸で最大値を、 $\theta=-0^\circ$ 付近で最小を示すが、他の勾配の場合でも同様な結果であった。図-3は弯曲した側壁に沿う縦断方向の水面形の実験値と計算値との比較を示した図である。図-3は、 $i=1/50$ であるが、 $\theta=-3.5^\circ$ 付近で、左右の側壁に沿う水位が逆転していることがわかる。他の勾配についても、同様に $\theta=-3.5^\circ$ 付近で横断水位勾配が逆転しており、又、図-4の様な $\theta=60^\circ$ の各勾配においても $\theta=-55^\circ \sim 50^\circ$ 付近で同様な結果が得



られた。以上のことより、複弯曲水路の場合、変曲点より若干下流付近で横断方向の水位勾配が逆転する様である。次に、図-3において、水位の計算値と実験値との比較を検討してみる。射流では壁面の曲りによって衝撃波が生じる。今、計算値として、水路の壁が小さい角 $d\theta=1^\circ$ づつ曲るとして、以下に述べる様にして壁の近くの水面高を求める。射流において側壁の曲りにより水面に衝撃波が生じた場合、

v, h : 最初の流速, 水深 v', h' : 曲りの影響を受けか後の流速, 水深
 とすると、衝撃波における条件として $v \cos \beta = v' \cos(\beta - d\theta)$ (1) が成り立つ。
 又、連続方程式、運動量方程式として次の式が得られる。

$$h v \sin \beta = h' v' \sin(\beta - d\theta) \quad (2) \quad \frac{h^2}{2} + \frac{h v^2 \sin^2 \beta}{g} = \frac{h'^2}{2} + \frac{h' v'^2 \sin^2(\beta - d\theta)}{g} \quad (3)$$

これから $v', \beta - d\theta$ を消去し、フルード数を $Fr = v/\sqrt{gh}$ で表わせば、Mach角は次の様になる。

$$\sin \beta = \frac{1}{Fr} \sqrt{\frac{h'}{2h} \left(\frac{h'}{h} + 1 \right)} \quad \text{ここで } h \text{ と } h' \text{ の差が極めて小さいことより、} \beta \approx \sin^{-1} \frac{1}{Fr} \text{ となる。}$$

又、壁面が連続的に曲っている場合には、 $h' = h + dh$ として (1), (2), (3)より

$$\frac{1}{2} \left[(h + dh)^2 - h^2 \right] + \frac{h v \sin \beta}{g} \left[\frac{v \cos \beta}{\cos(\beta - d\theta)} \sin(\beta - d\theta) - v \sin \beta \right] = 0 \quad \therefore dh = \frac{v^2}{g} \tan \beta \cdot d\theta$$

したがって、この dh が、側壁の微小な曲りによる水面高として得られる。以下、同様な計算によって求めた水深をプロットしたのが図-3の破線である。なお、この計算による水深は、図-2における射流の部分にのみ適用されるものとする。図-4には、同様に求めた $\theta=60^\circ, Q=40 \text{ l/s}, i=1/50$ の場合の壁に沿った水面形を示した。

4. おわりに 壁に沿う水深のみではなく、射流においては外壁および内壁の弯曲による正、負の衝撃波の歩を、又、常流部分では、遠心力、その他の諸因を考慮して、全断面について、水面形の比較および水理特性について検討中である。また、複弯曲の中間に80cmの直線水路を設けた弯曲水路についても実験を行っている。それについても、本報告と同様に解析を進めていきたいと考えている。

なお、本実験では、建設技術研究所の作製による水路を借用して、本大学にて実験したものである。

参考文献: 1) 水間 仁・石原藤次郎 編: 応用水理学 上

2) 須賀・高橋: “複弯曲水理の流泥と河床変動” 第29回 年講 S. 49