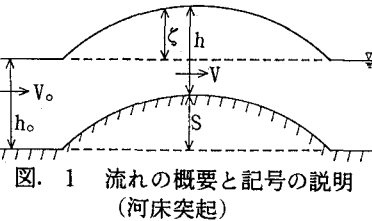


II-222 断面形状の変化に伴う水面形遷移に関する研究

北海道大学 土木工学科 学生員 水子 龍彦
同 上 学生員 竹本 典道
同 上 正 員 山田 正

1. はじめに：

本論文は、河床の凹凸及び、河幅の狭さくにと
もなつて起こる
跳水の発生限界



$$\begin{aligned} (1) & V_0 h_0 = V(h_0 + \zeta - s) \quad (2) \quad V_0^2/2g = V^2/2g + \zeta \\ (3) & \zeta = -sFr_0^2/(1-Fr_0^2) \quad (4) \quad (h_0 + \zeta - s)/h_0 = h/h_0 = y, \quad s/h_0 = \eta \\ (5) & f(y) = y^3 - (1+Fr_0\eta)y^2 + Fr_0 = 0 \quad (6) \quad \eta = 1 + Fr_0^2/2 - 3Fr_0^{2/3}/2 \\ (7) & \eta = 1 + Fr_0^2/2 - 3Fr_0^{2/3}/2 - (\sqrt{1+8Fr_0^2-3})^3/(16(\sqrt{1+8Fr_0^2-1})) \\ (8) & \epsilon = 1 - \sqrt{27Fr_0^2/8(1+Fr_0^2/2)^3} \\ (9) & \epsilon = 1 - \sqrt{27Fr_0^2/8[1+Fr_0^2/2 - (\sqrt{1+8Fr_0^2-3})^3/(16(\sqrt{1+8Fr_0^2-1}))]} \end{aligned}$$

(シュート&プール, C & P) に関して検討を行ったものである。

2. 河床突起がある場合の
水面形遷移に関する理論解
析及び実験：対象とする流
れの概要と記号は、図1（
断面図）に示されている。

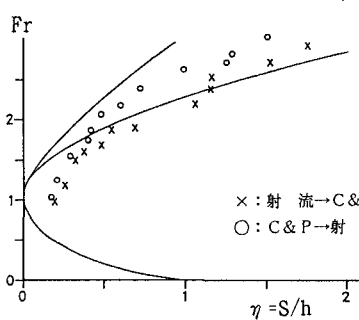


図. 2 Fr-η に関する実験と理論解の比較

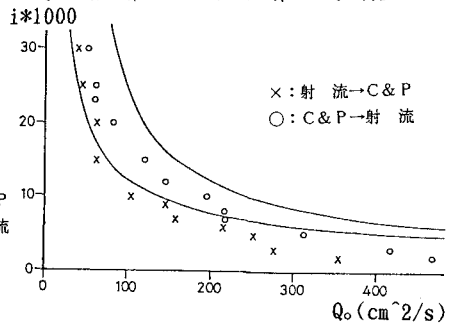


図. 3 流量一勾配関係で表示したC&Pの出現領域と実験値の比較

流れの基本式は、(1)式の連続式と(2)式の水面に対して適用したBernoulliの定理である。従来の理論では、河床を微小振幅波としてとらえることにより(3)式を得た。これによると、フルード数の大小に応じて常流と射流の2つの水面形のみが存在し、C & P現象は説明できない。これに対して、本研究では基本式を何ら省略することなく扱う。このとき、射流からC & Pに遷移するときは跳水によるエネルギー損失(Δh)を無視し、逆にC & Pから射流に遷移するときは考慮する。いま(4)式で示す無次元量を用いると、無次元水深yに関して三次式の(5)式を得、常流、射流の存在をこの3次方程式が3実根を持つ条件で導いた。これにより(6)式で示されるC & Pへの遷移限界を示す曲線を得る。C & Pの消滅する遷移限界

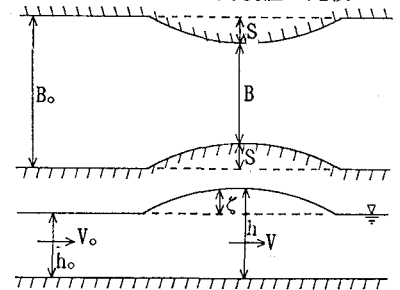


図. 4 流れの概要と記号の説明 (側壁突起, 上: 平面図, 下: 断面図)

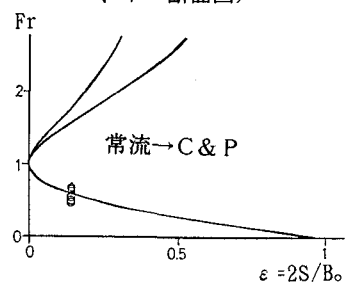
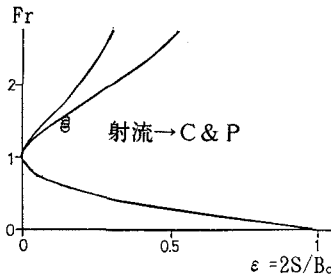
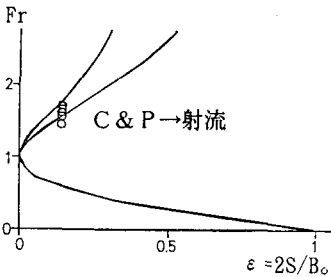


図. 5 Fr-ε に関する実験と理論解の比較

に関しても同様の解析をおこなって(7)式を得る。上記の理論解析の結果を確認するため、水路勾配を一定に保ち流量を変化させた実験と、流量を一定に保ち水路勾配を変化させた場合の2通りの実験を行った。

$\eta-Fr$ 表示：理論と実際の $\eta-Fr$ 関係を示したものが図2である。これは理論解析の結果とよく一致していると見なし得よう。

$i-q$ 表示：次に実測した単位幅流量 q_0 (cm^2/s) と勾配 i を用いた $q-i$ グラフを示す。図3はよく理論と一致していると見なし得る。この $q-i$ 表示において、ある一定の勾配について C & P の発生と消滅のそれぞれの遷移限界を与える流量は2倍程度の開きがあるのがわかる。

3. 側壁突起がある場合の水面形遷移に関する理論解析及び実験：図4に示される兩岸側壁突起（河床：平面）の場合に河床突起の場合と同様の解析を行うと(8)式および(9)式を得る。ここに ϵ は $2S/B$ 。（側壁突出幅／上流一様幅）である。(8)式は射流から C & P、(9)式は C & P から射流への遷移限界を与える式と見なせる。以上で求めた理論曲線と実験値を $\eta-Fr$ グラフで比較したのが図5である。側壁突起の場合にも理論値と実験値がよく一致しているのがよくわかる。

4. 水面形状の特性：図6は河床に、図7は側壁に2次元正弦波を持つ水路上で現れた水面形を、流量は一定に保ち勾配を急から緩にして示したものである。この図より、網目状の波が水面に現れていることがわかる。この現象は斜め衝撃波に関する固有値問題を形成しているものと予想される。一般に斜め衝撃波は水路側壁のなんらかの突起により誘起されて発生するが、本実験のように側壁になんらの突起を持たない場合においても斜め衝撃波が発生することは興味深い。なおどちらの場合にも、水理条件によって水路幅内に存在するひし形の数急変する点が存在した。

5. 結論：本研究で得られた結論は以下のようである。

- (1) 河床または側壁突起を設けたときの C & P の遷移限界（跳水の発生）を定める理論解析の結果は、どちらも実験とよく一致し、C & P から射流への遷移限界は、射流から C & P への遷移限界よりも、跳水によるエネルギー損失の分だけ、同一勾配ならば流量が、同一流量ならば勾配が、それぞれ大きくなる。
- (2) 2次元正弦波形の河床または側壁を持つ水路のどちらにも斜め衝撃波が発生した。この衝撃波によって形成されるひし形の横断方向の数が急に変わる勾配が存在するのが認められた。

謝辞：本研究の遂行にあたり、著者の一人（山田）は文部省科学研究費（吉川秀夫早大教授）の補助を受けている。ここに記して感謝の意を捧げる。

参考文献

- (1) 山田正, 池内正幸, 村上良宏：溪流を模擬した開水路流れの水面形遷移と抵抗則に関する研究, 第30回水理講演会論文集, pp. 73-78, 1986.
- (2) 山田正, 池内正幸, 堀江良徳：不規則底面を持つ開水路流れに関する研究, 第28回土木学会水理講演会論文集, pp. 149-155, 1984.
- (3) 山田正, 竹本典道, 水子龍彦：山地河道の水面形遷移に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集第4号, pp. 293-298, 1988.

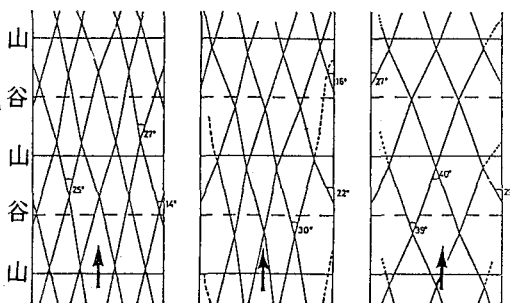


図. 6 水面に出現した網目模様の表示（河床突起, 単位幅流量: $338\text{cm}^2/\text{s}$, 左からそれぞれ、水路勾配: $3/100, 2/100, 1/100$, 等流水深: $2.0, 2.3, 2.9\text{cm}$, 上流側フルード数: $3.8, 3.1, 2.2$)

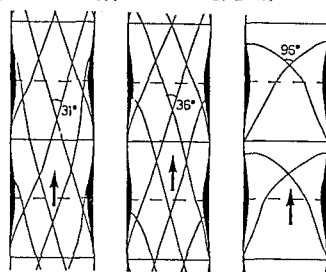


図. 7 水面に出現した網目模様の表示（側壁突起, 単位幅流量: $170\text{cm}^2/\text{s}$, 左からそれぞれ、水路勾配: $3/100, 2/100, 1/100$, 等流水深: $1.3, 1.5, 1.9\text{cm}$, 上流側フルード数: $3.5, 2.9, 2.0$)