

低レイノルズ数における弯曲水路流れの水理特性

豊橋技術科学大学 学生員・正保 隆夫

同 上 正 員 四尾 信弘

同 上 正 員 中村 俊六

1 緒言 自然河川の弯曲部における主流速分布は、断面が流れによる河床の浸食により平滑化されているので多くの場合弯曲の外側の流速が速いことが観測されている。レカレ玉井, Rozovskiiなどの矩形水路による実験では、最大流速は多くの領域で内側にありその外側への遷移は極めて遅いことが確かめられている。一方村本, 今本らによって外側の流速が速い完全発達域への遷移過程はレイノルズ数に依存していることが示唆されている。本研究ではレイノルズ数が遷移過程を支配するとの仮定より、弯曲流れの極端な場合として低レイノルズ数での実験を行ない、矩形水路においても自然河川弯曲部に似た流速分布が存在する可能性を確かめ、与えてフルード数と完全発達域の関係を検討するものである。

2 実験装置 実験装置を図1に示す。水路はすべてアクリル製とし、水路底面にはイボ状入工粗度を貼付した。水深は下流部のせきで調整した。

3 実験方法および実験条件 実験は主流速分布を水素気泡法によって測定した。水素気泡の撮影には焦点距離50mmのカメラとASA 3200のフィルムを用いた。測定は底面より0.5cmごとに行ない、水深平均の主流速分布を計算した。

実験条件を表1に示す。Case 1-1, 2-1, 2-2のレイノルズ数はほぼ一定とし、各Caseのフルード数を変えた。なお、表中の玉井の実験は90°弯曲水路で行なわれている。

4 結果 図2に水深平均の主流速分布の代表例を示す。図より均等に分布して進入した流速は弯曲部入口付近で内側流速最大となり、徐々に外側に最大流速が遷移して完全発達域を形成する流れの概要がわかる。

Case 1-2と2-2を比較すれば、30°地点において前者の最大流速が水路中心部にあるのに対して後者のそれは内側にある。180°地点の主流速分布の外側と内側の相対差はCase 1-2の方が大きい。

玉井は主流の水深平均流速 $\bar{u}_s$ の横断方向分布を以下の式で示し、べき数 m の流下方向の変化によって流れの遷移過程を表わしている。

$$\bar{u}_s = \alpha (r/r_c)^m$$

----- (1)

ここで、 r は各測定位置における曲率半径、 r_c は水路中心軸の曲率半径、 α は水路中心軸の流速である。

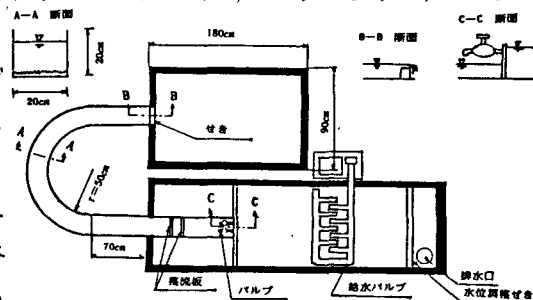


図-1 わん曲水路実験装置 (メートル)

表-1 実験条件

Case	平均水深 H_0 (cm)	平均流速 U_0 (cm/s)	レイノルズ 数 Re	フルード 数 Fr
1-1	3.1	4.80	1030	0.087
1-2	3.1	2.52	540	0.046
2-1	2.2	7.06	1160	0.152
2-2	1.1	12.75	1150	0.388
Rozovskii exp. 1	6.0	26.00	12330	0.340
玉井	2.93	22.30	5000	0.416

最小自乗法により各点において求められたベキ数 m の流下方向への変化を図3に示す。図中にはRozovskiおよび玉井の結果を並記してある。図よりCase 1-1, 2-1, 2-2では, m は30と60の間で正に転じているがCase 1-2では0と30の間で正に転じている。Rozovskiと玉井の実験ではほとんどの領域で負である。本実験結果では, m は60から90の地点より下流において大きな変化がなく完全発達域を形成しているように思われる。完全発達域の m は各Caseによって異なる。

本研究では完全発達域の流速分布が何によって支配されるのかを検討するため、完全発達域の m を180°地点で代表してフルード数との関係を図4に示した。図よりフルード数が大きくなるほど m は小さくなることがわかる。

5 考察 以上の結果より次の三点が考察される。

- i) レイノルズ数が低いほど、流れの遷移はより早く完全発達域に到達する。すなわち粘性抵抗が遷移に大きな影響を与えていると想像される。
- ii) レイノルズ数が1000前後においては水路の90°の領域で外側が速い流速分布となり、自然河川の流速分布に近似される。
- iii) 完全発達域の流速分布は至としてフルード数によって支配され、従来の強制渦分布の範囲を逸脱しているように思われる。

6 結論 矩形水路においてもレイノルズ数を極小にすれば自然河川彎曲部のような流速分布を実現できることがわかった。実験のレイノルズ数は小さく一般河川におけるそれと対応するものではないが、自然河川彎曲部の流速分布が断面の平滑化により外側流速が速くなることに比較して、矩形水路では粘性の効果に対応して外側流速が速くなることは今後河川モデル作製の上で参考となる。また完全発達域の流速分布がフルード数に支配されることは彎曲流に一つの基準を与える上で重要と考えられる。今後は二次流の効果も含めさらに検討を続けるつもりである。

参考文献 (1)玉井、池内、山崎：連続わん曲水路における流れの実験的研究，土木学会論文報告集，第31号，pp 83~94，1983 (2)村本：開水路彎曲流に関する研究，1966 (3)今本，石垣，藤沢：複断面彎曲水路流れの水理特性について，京大防災研年報，第25号B-2，pp 529~523，1982

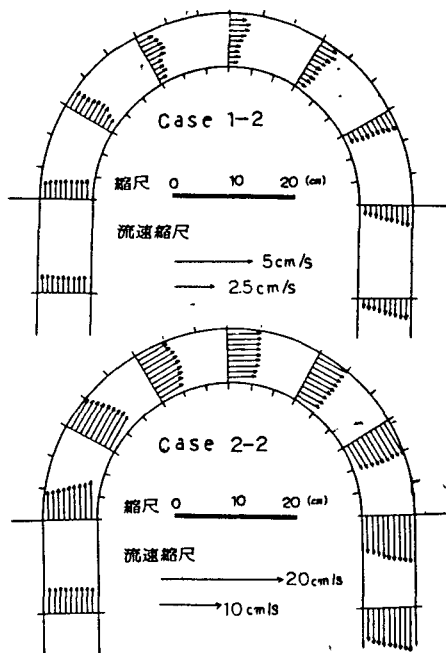


図-2 水深平均化主流速分布

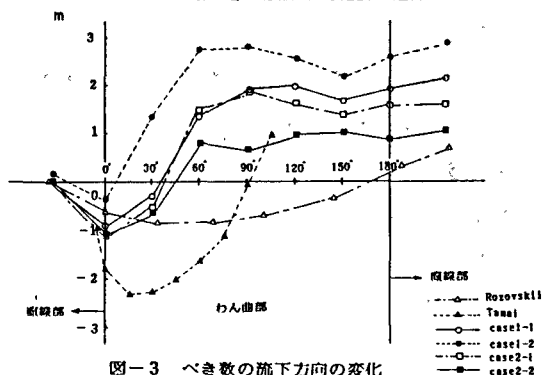


図-3 ベキ数の流下方向の変化

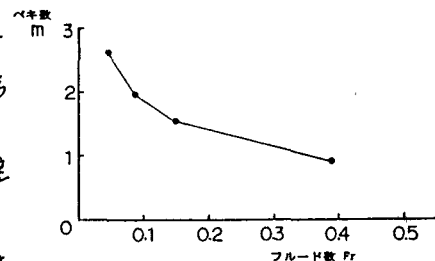


図-4 完全発達域におけるベキ数とフルード数の関係