

II—17 開水路弯曲部における水理学的特性に関する研究

京都大学工学部 正員 工博 石原 藤次郎

京都大学大学院 正員 ○村本 嘉雄

1. 概説 開水路弯曲部における水流の諸現象は蛇行河川の発達また各種水工構造物の安定性など実用的問題に関連して、固定床および移動床水路において古くから観察されてきた。直線流に比して弯曲部水流の特有な現象として、従来特に研究対象となっていたのは(1)横断方向の水深変化、(2)エネルギー損失過程、(3)副流の挙動、(4)最大流速あるいは最大せん断応力の偏り、(5)剥離域の発生などである。以上の諸現象はむろん相関連したものであるが、現象の多様さから現状階では総括的に把握するに至っていない。

本研究では弯曲部水流の水理学的特性を把握する一方向として、「剥離域の存在する場合と存在しない場合において弯曲部水流の外的、内的現象がいかに関与するか」というテーマのもとに現象観察をうけに解析を進める。本報告ではその第一段階として(1)、(3)の現象に因っての実験結果を述べる。

2. 実験装置および実験内容 実験水路は巾 25cm 、深さ 37cm の長方形断面水路で、内壁全面が塩化ビニール滑面よりなっている。水路の配置は流入直線部 $10\text{m} \rightarrow 90^\circ$ 弯曲部 $\rightarrow$ 流出直線部 4m とし、直線部のこう配 $1/500$ 、弯曲部の中心曲率半径(R_c)は 25cm 、 75cm の二種を用いた。水理条件は $R_c = 25\text{cm}$ 、 75cm の両ケースともに流量 0.52 l/s 、最大水深はそれぞれ 0.58 、 0.56 で全流路常流状態にある。計測内容は水深、流速分布計測。他に、副流の流速分布を測定するために水平方向に二孔をもつ円柱ピトー管を使用し、また粒子軌跡のストロボグラフィも併せて行った。

3. 実験結果およびその考察 本研究で行った実験では $R_c = 25\text{cm}$ のケースで弯曲部の内壁 $\theta \approx 45^\circ$ の長さより剥離域が発達し、一方 $R_c = 75\text{cm}$ のケースでは剥離域が存在しない。つぎに両ケースで観察される副流現象および横方向の最大水位差について考察する。

3-1. 副流現象 流向計測より得られた流向偏角 δ と主流の流速 u から副流の流速 $v (= u \tan \delta)$ を求めた結果、両ケースともに弯曲部始点($\theta = 0^\circ$)より顕著な副流の発達が見られる。直線水路において類似の水理条件の下に測定された二次流と対比して、その一例を図1に示す。図1より観察される副流の主要特性を列举するとつぎようになる。

(i) 両ケースで分布形状に著しい差違がなく、剥離域の存在のもとでも安定な副流が発達する。

(ii) 底層部の流速は内方へ壁面近くまで増大するが、底層厚の増大および内岸での滞留現象は顕著でない。

(iii) 上層部の分布形状は水路中心線の内方と外方で著しく異なり、外方において副流は減衰し、直線水路二次流に類似した分布形に近づく。

以上三点は副流の横方向の流速分布から得られた一定実験結果で一般性と欠くが、(ii)、(iii)の点は従来考えられていた副流のモデルにうかがえる特性である。

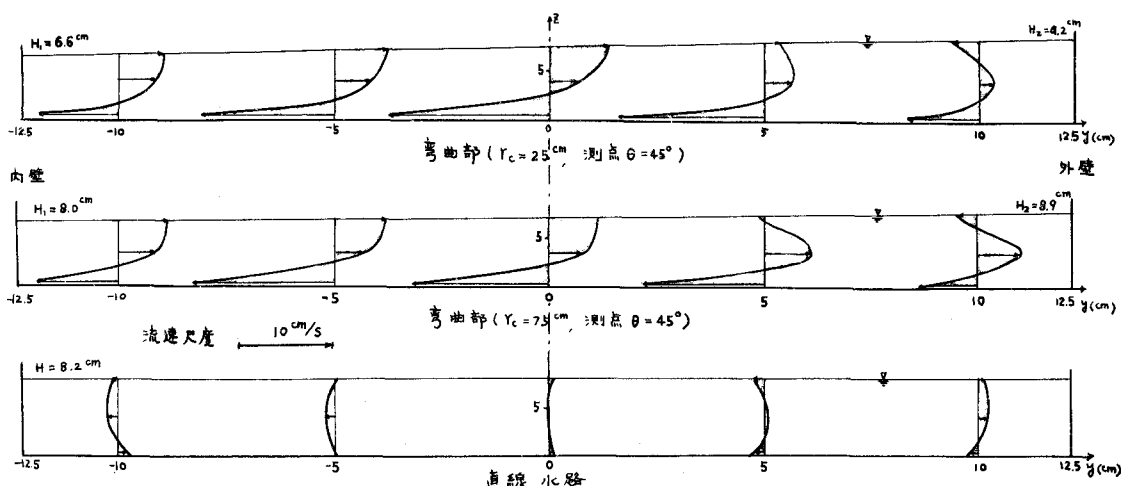


図1 弯曲部副流および直線水路二次流の流速分布

つぎに、主流、副流のエネルギー比 (U^2/u^2) の流れ方向の変化を $y = -10, 0, 10$ の代表長で描くと図.2 のようになる。図.2 で両ケースの共通傾向は副流エネルギーが弯曲部後半で外方より内方に移行し、流出直線部においては内壁近傍に収斂する。また、全流路常流状態においても弯曲部の内部現象は上流より下流への影響が著しい。一方、相違する傾向は $r_c = 25 \text{ cm}$ の副流のエネルギーの減衰が $r_c = 75 \text{ cm}$ に比べて極めて著しい。すなわち、剥離域の存在は流出直線部における副流の流速を軽減するものと考えられる。

3-2 横方向の最大水位差 弯曲部の最凹部における横断面形状を求める際、自由端理論に基づく関係式が用いられるが、この式には自由端の分布形 $U^2 = C_{nat}$ を満足し、副流のエネルギーが無視できることを前提としている。両ケースにおいて実験結果を吟味すると、 $r_c = 75 \text{ cm}$ では内壁のせん断応力が支配的で分布の条件を満たす。一方、 $r_c = 25 \text{ cm}$ では剥離直前において $U^2 \neq C_{nat}$ となるが、図.2 にみられるように副流のエネルギーの絶対値は主流に対して 8% を示し無視できる。したがって、内外壁へ相対値は数% であり、2、水位差の値は自由端の関係式が適合すると考えられる。自由端理論による水位差は $\Delta H = \frac{C^2}{2g} \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_c^2} \right)$ と与えられる。また、半径方向の比エネルギーが断面平均のエネルギーに等しいと仮定すると、積分定数 $C_1 = U_m \sqrt{r_c^2 - B^2/4}$ となり、したがって $\Delta H = \frac{B U_m^2}{8 r_c (1 - \frac{B^2}{4 r_c^2})}$ と表わされる。 $r_c = 25 \text{ cm}$ のケースで、この式より得られる値は $\Delta H = 2.51 \text{ cm}$ の実験値は $\Delta H = 2.57 \text{ cm}$ となり、よい一致を示す。

以上、実験結果の一部を考察したが詳細は諸論時に報告する。

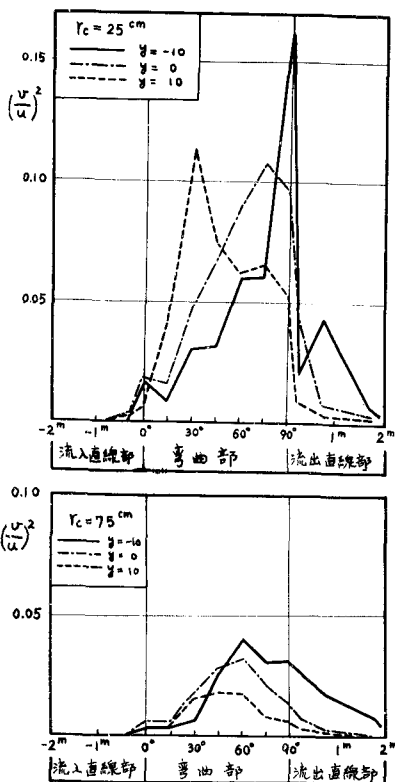


図2 主流、副流のエネルギー変化