II-149　堰上げ背水曲線に関する実験的研究

関東学院大学　工学部　正会員　野　田　文　彦

(1)序論　ダムなどの築造により水路の等流水深h_oより不等流水深hが大きくなる場合、水深は流れ方向に増加して堰上げ背水曲線（Backwater curve）を表わす。これは実際上の見地からいって、すべての水面形のうちで最も重要である。一般に幅の広い長方形水路の堰上げ背水曲線に対しては、次の式で計算される。

(i)　Manning公式を用いると

$$\frac{dh}{dx}=i\frac{1-(h_o/h)^{10/3}}{1-(h_c/h)^3}$$

(ii)　Chézy公式を用いると

$$\frac{dh}{dx}=i\frac{1-(h_o/h)^3}{1-(h_c/h)^3}$$

放物線形断面、長方形または台形断面の水路では、流量の小さい間は常流であったものが、流量の増加にともない射流になる現象がある。流れが常流から射流に遷移するとき、水面形はM_1型式からS_1型式に変り、両水面型の間に $i=i_c$ および $h_o=h_c$ なるC_1型式の水面形が生じ、水平線に漸近的であることは、上の(i)式より明白である。またChézy 公式を用いると(ii)式からC_1型式の水面形は水平となる。

本研究は矩形断面の一様水路に刃形堰を設置し、流量を漸次増加させて、その都度水面形を測定し、常流から射流に遷移する限界水深近傍の堰上げ背水曲線について検討したものである。

(2)実験装置および方法　実験は長さ8 m（水路有効長6 m）のアクリル製可変勾配水路（幅15cm）を用いた。不等流水深hおよび背水距離ℓの測定間隔は20 cmないし40 cmとした。堰上背水による不等流は、水深、流速の変化が緩慢なため、背水区域が著しく長くなる。それゆえ背水区域の全長を同時に測定することは勿論不可能であるが、理論上$h/h_o=7.59/0.47$の場合の背水は、$h/h_o=7.59/h_o$より$h/h_o=6.08/h_o$まで、$h/h_o=6.08/h_o$より$h/h_o=4.37/h_o$まで、および$h/h_o=4.37/h_o$より以下も同様に繰返し測定したものを継ぎ足したものに等しいので、この継ぎ足し方法により実験目的に必要な精度を得た。

(3)実験結果と考察　実験例として水路勾配 $i=1/364$ に関する測定値を示して考察する。表－1は $i=1/364$ の水路に堰（高さ7 cm）を設置し、堰点上流316 cmを基準水深hとして水深を約1 cmの間隔で0.55 cm～4.05 cmまで増加させた結果である。

表－1

h	Q	hb	ha	ho	hc	ic	流れ	水面形
0.55	112	7.59	7.04	0.47	0.40	1/224	常　流	M_1型式
0.99	301	8.02	7.03	0.85	0.77	1/268	常　流	M_1型式
2.04	1053	9.08	7.04	1.81	1.77	1/328	常　流	M_1型式
2.98	1857	10.48	7.50	2.54	2.58	1/364	限界流	C_1型式
4.05	2986	11.85	7.80	3.38	3.54	1/387	射　流	S_1型式

ここに　水路勾配；$i=1/364$　粗度係数；$n=0.002$　限界勾配；$i_c=g/\alpha C^2$

最大水深；$h_b=h_a+h'$　背 水 高；$h_a=h_b-h'$　等流水深；$h_o=\sqrt[3]{nQ/i^{\frac{1}{2}}b}$

限界水深；$h_c=\sqrt[3]{\alpha Q^2/gb^2}$

①表－1より明らかな如く流量Qの増加にともない常流から射流に遷移する。本実験のように水路勾配iが限界勾配i_cにほぼ等しい時には、水面形はM_1～C_1～S_1に変化する。

②表－2は実測による背水終点距離ℓとBresse関数を用いて計算した理論値ℓ'の比較である。この表より常流状態（M_1型式）においては、基準水深を少し上昇させただけでは背水距離はほとんど伸びを見なかったが、射流（S_1型式）に遷移したと同時に急激な伸びを見た。

③常流状態では背水高 ha は流量 Q に関係なくほぼ 7 cm で一定であるのに対し、射流状態になると同時に ha は 7.5 cm 7.8 cm と急激な上昇をみせている。これは水路を射流が流れるとき堰によって生じる負の衝撃波による影響と思われ、この上昇が背水距離に影響を及ぼしていると思われる。

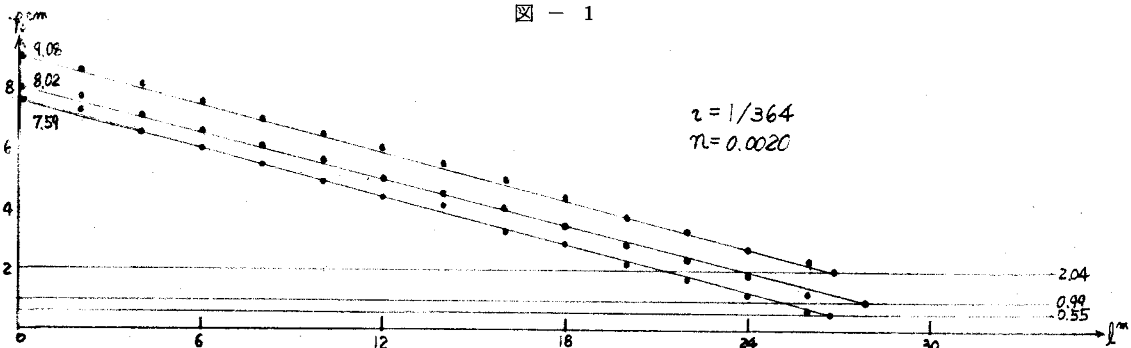
表－2

h'	実測値 ℓ	理論値 ℓ'
0.55	2680	
0.99	2800	2635.8
2.04	2660	2609.6
2.98	3114	2677.7
4.05	3163	2729.1

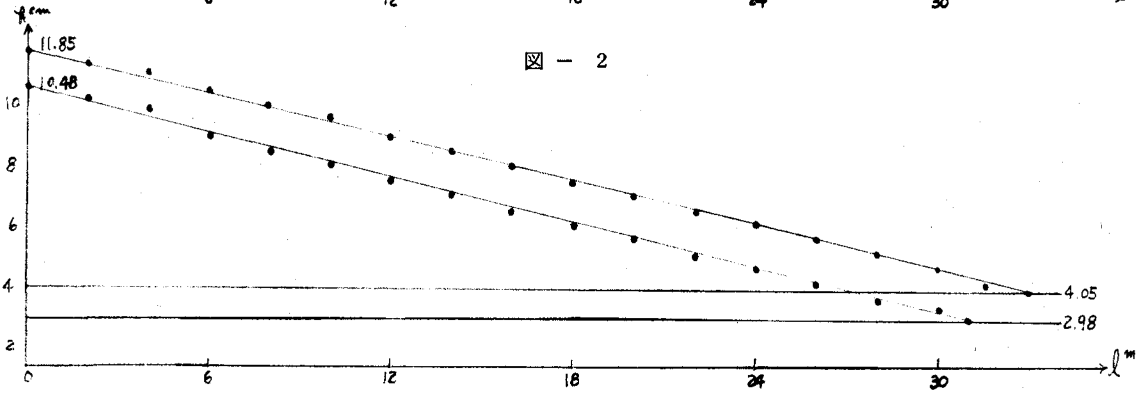
④図－1よりBresse関数で計算したℓとℓ'の値を見るとM_1型式ではほぼ一致した値を示している。特に終点に近いほど両値の一致が認められる。Bresse関数では$m=\frac{C_0}{C}=1$と仮定しているのでhがh_0に近い所では比較的正しいが、hがh_0から離れると誤差を増す傾向がある。しかし本実験のようにhがRではない水路の場合ではB/h_0が少さくなるにつれて$m \doteqdot 1$になる。

⑤限界水深近傍の$h_0=h_c$において、Bresse関数は$dh/dx=i$となるために水面形を正確に説明することができない。したがって流れが遷移する点の水面形であるC_1型式をBresse関数で計算すると実測とかけ離れた値となる。また、背水高 ha を多きくするとBresse関数を適用できないので適用範囲の検討が必要である。

図－1



図－2



(4)結　論

①水路が限界勾配i_cで$h_0=h_c$の近傍ではBresse関数による不等流理論では正確に水面形は計算できない。

②同一緩勾配水路で堰上げた場合、常流状態よりも射流状態のほうが背水区域が著しく大きくなる。

③流れが常流のときの堰上げ背水区域は流量の変化にかかわらずほぼ一定となる。

おわりに　水路勾配を等流水深と仮定して限界勾配i_cに設定し、流量の増加にともなう堰上げ背水の遷移現象を詳細に実験する必要がある。また、水深を著しく堰上げて不等流理論の適用限界を明らかにする必要があるので、実験を継続して現象把握を行う積りである。本研究は昭和51年度卒論生、木下光志、岡田文男、田中潤治の諸君の実験の成果に負うところ大であった。また、本学工学部土木工学科臨時実験助手堀口昌利君の尽力に負うところ大であった。ここに深く感謝の意を表する次第である。