

弯曲部における急変不定流に関する実験

東北大学工学部 学生員 遠藤典之
 東北大学工学部 正会員 直藤伸夫
 東北大学大学院 学生員 後藤智明

1. はじめに

直線水路での流れにくらべ、曲線水路の流れはらせん流や交叉波が発生し複雑である。さらに、遠心力の作用も加わり、水面傾斜という特異な様相を呈する。また、流れの状態、すなわち常流の場合では水面は滑らかであり、水面傾斜も水路の幅にくらべてわずかなのである。一方、射流の場合には水面上に特殊な交叉波の擾乱模様を呈して水面傾斜が大きくなるという性質がある。

本研究は、ダム決壊時の洪水流や津波の河川越上のような急変不定流が河川の弯曲部に発現した場合、どのような水面傾斜を生ずるかを実験的に調べたものである。まずはじめに、本実験で用いたゲート急開による急変不定流の発生について述べ、さらに、この急変不定流による水路の弯曲部での水面傾斜について検討している。

2. 実験方法

図-1に見られるように、直線部が組み合わされた長方形断面(0.3m×1.5)両面カウス張りの水路に、ゲート式殺波発生装置として(0.3m×0.7m×1.6m)の貯水槽を上流端に設けた。この貯水槽は上下二槽に分かれており、下槽からは定常流を流せるように工夫している。殺波の発生は上槽のゲートの急開による。

殺波の波速及び波高の測定には、サーボ式および抵抗線式波高計を用いた。波速は2点の波高計の読みから2点間の平均速度として求めた。また、曲線水路内での水面傾斜の測定には抵抗線式波高計と、流水の痕跡高(水路壁面に白粉を貼付)を併用した。

実験は、水路内の水深を5cmおよび10cmの2通り、貯水槽の水位を15通り変化させて行っている。また、貯水槽の水量による違いも実施している。

3. 実験結果と考察

(1) ゲート急開による殺波の発生

この問題はStoker¹⁾によると、図2の記号を用いて、ダム決壊時の殺波の波速 w 、流速 V_2 および波高 H_1 は、それぞれ

$$\frac{w}{\sqrt{gH_0}} - \frac{\sqrt{gH_0}}{4w} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 8 \left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} \right\} + \sqrt{2} \left\{ \sqrt{1 + 8 \left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} - 1 \right\}^{\frac{1}{2}} = 2 \sqrt{\frac{H_1}{H_0}} \quad (1)$$

$$\frac{V_2}{\sqrt{gH_0}} = \frac{w}{\sqrt{gH_0}} - \frac{\sqrt{gH_0}}{4w} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 8 \left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{H_1}{H_0} = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8 \left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} - 1 \right\} \quad (3)$$

で計算できることがわかっていてる。

図-3は、式(1)で表わされる殺波の波速について実験結果と比較したものである。図-4は殺波の波高についての比較である。両図とも実験線が

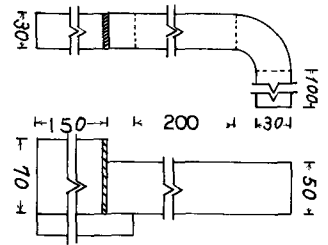


図-1 実験装置

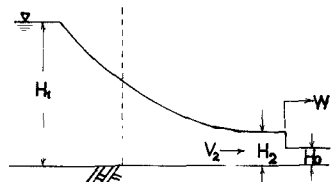


図-2 諸元

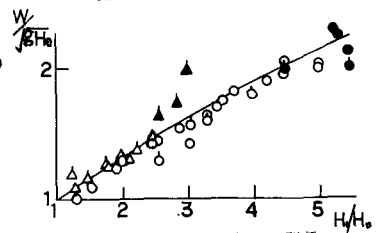


図-3 波速と貯水位との関係

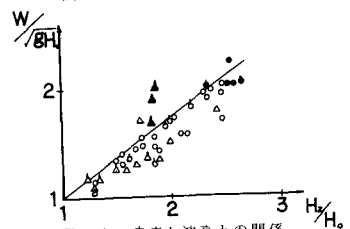


図-4 波速と波高との関係

理論曲線を表わし、丸印は水路水深5cm、三角印は10cmの実験結果である。丸印および三角印に棒(○, △)の結果は、貯水槽の容積を1/2にしたときのものである。黒抜き印のものは、貯水槽の水位を大きくした場合、投波の先端が盛り上がり孤立波風の波形となり、ついにはplunging型の砕波を生ずるものである。図-5に、砕波寸前の波形(実線)の一例を示している。なお、破線は波高が小さいものの一例である。

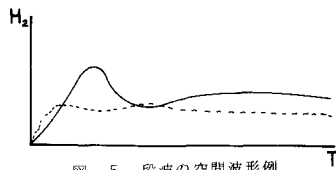


図-5 段波の空間波形例

理論値と実験値とをくらべると、流速に関しては一般的に砕波するものを除き非常に良い一致が見られる。波高についても、傾向としては一致しているが、実験値の方が波高が大きくなるのがわかる。また、貯水槽の容積が1/2のものについても、理論値とよく一致していることから、本実験で用いたゲート急開による投波の発生については、ほぼ貯水槽の水位により発生する投波が定まると考えてよいであろう。

(2) 水路曲線部の水面傾斜

水路弯曲部における水面傾斜の原因としては、いろいろの要因が考えられるが、ここでは遠心力についてのみ検討する。定常流の場合遠心力による水面傾斜は、水路の断面中心での流速が断面平均流速と等しいと仮定すると、

$$\frac{dz}{dr} = \frac{V^2}{grc} \quad \text{--- (4)}$$

という関係が得られる。ここで、水面から鉛直方向にZ軸、水路弯曲部の曲率半径方向にr軸をとっている。この(4)式を水路断面方向に積分すると、水面勾配 ΔH は

$$\Delta H = \int_0^b dz = \int_0^b \frac{V^2}{grc} \cdot dr = \frac{bV^2}{grc} \quad \text{--- (5)}$$

となり、(1)~(3)式を用いて整理すると、

$$\frac{\Delta H}{H_2} = \frac{2b}{rc} \left[\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 8 \left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} \right\}^2 \right] / \left\{ \left(1 + 8 \left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}} \right)^2 \right) - 1 \right\} \quad \text{--- (6)}$$

となる。ただし、bは水路幅、rcは弯曲部の中心曲率半径である。

図-6は式(6)と実験結果とを比較したものである。図-6から判断すると、遠心力による水面傾斜の理論値よりも、実験結果の水面勾配の方が相当大きくなるのがわかる。このことは、遠心力以外にも水面傾斜をおこす大きな要因があることを示唆しているものと考えられる。

4. 結 言

本実験は弯曲部における急変不定流の水面傾斜についての第一段階となるものである。まずオ1に、ゲート急開による投波の発生について検討したが、ダム決壊時の問題としての理論と良く一致することが判明した。ただここで問題となるものは、貯水槽の水位が高いときplunging型の砕波をおこすものがあることである。これについては今後の検討を必要とする。

弯曲部における水面傾斜については、ここでは遠心力についてのみ検討をおこなったが、理論値と実験結果は相当異なるものとなり、急変不定流の弯曲部での水面傾斜は遠心力以外にもっと重要な要素があると考えられる。今後、実験を重ね検討の必要がある。

最後に、本実験を行なうにあたり東北大学工学部山路弘人技官には多大なる御助力をいただきましたのでここに感謝する。

参考文献

- 1) Stoker: Water Waves (Interscience Publisher), P333 (1957)