

東北大学工学部 正会員 ○松澤智明
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1 はじめに

本研究は、ダム決壊時の洪水流や津波の河川湖上のような急変不定流が河川の弯曲部に来襲した場合、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、本実験でおこなったゲート急閉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に示されるように、曲線水路は直線部が組み合はれた下長方形断面(0.3×1.5m)両面ガラス張り水路に、ゲート式段波発生装置として貯水槽(0.3×0.7×1.6m)を上流端に設け、この貯水槽は上下二槽にわかれており、下槽からは定常流を流せるように工夫している。段波の発生はゲート急閉による。

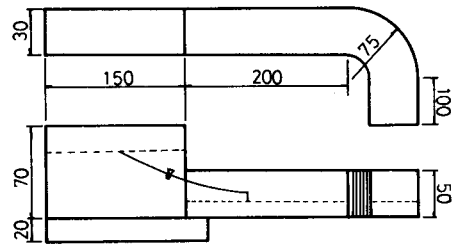


図-1 実験装置

段波の波速および波高の測定には、ソーボ式および抵抗線式波高計を用いた。波速は、段波が安定な状態を進行していると思われる2箇所の波高計の読みから2方向の平均速度として求めている。

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(曲線水路壁面に白粉を貼付)を併用した。実験は、水路内の静水深5cmおよび10cmの2通り、貯水槽の水位を15通り程度変化させておこなっている。また、貯水槽の水量の差についても実験している。

3 実験結果と考察

ゲート急閉による段波の発生の問題は、Stoker 等によると、ダム決壊時の段波の発生機構と同じように考えることができる。Stoker の式によると、貯水槽水位を H_1 、水路静水深を H_0 とすると、発生する段波の波高 H_2 、波速 w 、流速 u_2 の間、

$$\frac{w}{\sqrt{gH_0}} - \frac{\sqrt{3H_0}}{4w} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 8\left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}}\right)^2} \right\} + \sqrt{2} \left\{ \sqrt{1 + 8\left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}}\right)^2} - 1 \right\}^{\frac{1}{2}} = 2 \sqrt{\frac{H_1}{H_0}} \quad \dots\dots (1)$$

$$\frac{H_2}{H_0} = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8\left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}}\right)^2} - 1 \right\} \quad \dots\dots (2) \quad \frac{u_2}{\sqrt{gH_0}} = \frac{w}{\sqrt{gH_0}} - \frac{\sqrt{3H_0}}{w} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 8\left(\frac{w}{\sqrt{gH_0}}\right)^2} \right\} \quad \dots\dots (3)$$

という関係式が得られる。

図-2は、式(1)とあらわされる段波の波速について実験結果と比較したものである。図-3は、波高について式(2)と実験結果とを比較したものである。両図とも実験値と理論値をあらわし、丸印が水路静水深5cm、三角印が10cmの実験結果である。丸印および三角印は棒(○, △)は貯水槽の容積を1/2にしたときのものである。

実験結果と理論値を比較すると、波速に

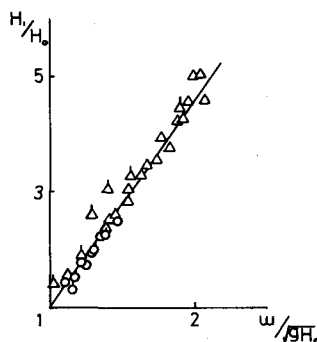


図-2 波速と貯水位との関係

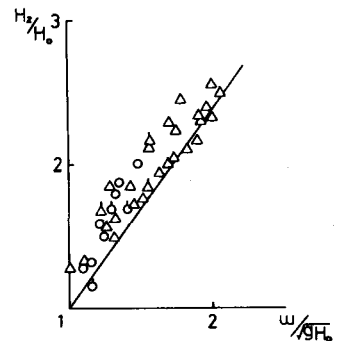


図-3 波速と波高との関係

南1では非常に良一致が見られる。波高については、傾向としては一致しているが、実験結果の方が波高やや大きくなることとわかる。また、貯水槽の容積が $\frac{1}{2}$ のものについて、理論値と実験結果がよく一致していることもわかる。以上のことから、本実験の貯水槽ゲート急南により発生した波は、近似的に式(1)～式(3)の関係を満足することとわかる。そして、貯水槽容積を変化させた結果も、本実験の範囲内では式(1)～式(3)と同様に、発生する波の諸元が貯水槽の水位によって定まると考えてよいこととわかった。

本路弯曲部での水面傾斜の主たる原因として、本研究では遠心力と衝撃波の影響について検討する。まず、遠心力の効果について考える。波の高水部に對して、定常流の取り廻りと同様に本路の断面中心での流速が近似的に断面平均流速に等しいと仮定すると、運動方程式より遠心力による水面上昇 ΔH は

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{ab}{r_c} \left[\frac{U}{\sqrt{gH_0}} - \frac{\sqrt{gH_0}}{4\omega} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 8 \left(\frac{U}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} \right\} \right] \left\{ \sqrt{1 + 8 \left(\frac{U}{\sqrt{gH_0}} \right)^2} - 1 \right\}^{-1} \quad \dots\dots (4)$$

とあらわされる。ここで、 r_c は曲線本路の中心曲率半径、 b は水路幅である。また、波高水部の流速としては近似的に式(3)を用いている。

図-4は、式(4)と実験結果を比較したものである。この図から判断すると、実験結果は理論値より大きな値となり、遠心力による水面傾斜はそれほど大きな値とはならず、他に大きな水面傾斜を生ずる要因があることを示唆していることとわかる。

次に、衝撃波の効果について考える。射流の流下では、本路の弯曲部で次に発生した衝撃波が干渉し合って水面に交差波という模様ができる。しかし、本実験の場合は波波であるため衝撃波が停滯波とはならない。したがって、射流の取り廻りのように衝撃波について一次元的な取り廻りが非常に困難である。そこで本研究では、波波の弯曲部での反射による水位上昇を、以下の極値として壁と垂直に衝突する場合の理論値と比較することにした。この理論値は、 $(H_2 - H_0)/H_0$ が小さいとき、

$$\frac{H_2 - H_0}{H_0} = 2 \frac{H_2 - H_0}{H_0} \quad \dots\dots (5)$$

と与えられる。ここで、 H_2 は波波の衝突後の水位である。

図-5は、式(5)と実験結果とを比較したものである。実験値は理論値よりやや小さな値となっているが、やはり理論値に近い傾向を示していることとわかる。したがって、急変不定流の曲線本路での水面傾斜は、急変不定流が屈曲面に衝突することによる水位上昇に主たる要因があると思われる。

4 結 論

本実験の主要な結論をあげると次のようになる。1) ゲート急南による波波の諸元については、式(1)～(3)とよく一致する。2) 弯曲部の水面傾斜の原因としては、遠心力の効果よりも、本路の屈曲面に衝突する際の水位上昇によるものが支配的である。

最後に、本実験をおこなうにあたり、東北大学工学部山根弘人技官、当時当師生であった藤田典之君の多大なる助力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献 Stoker, J.J., Water Waves (Interscience Publishers) 1957, pp 233

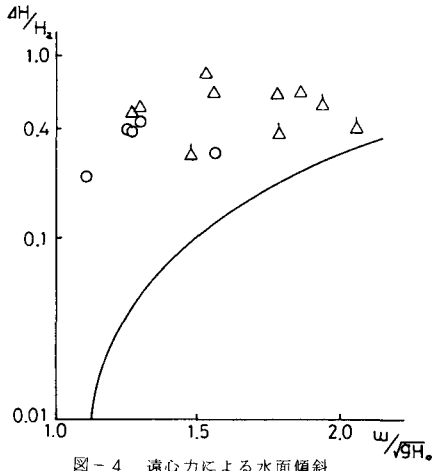


図-4 遠心力による水面傾斜

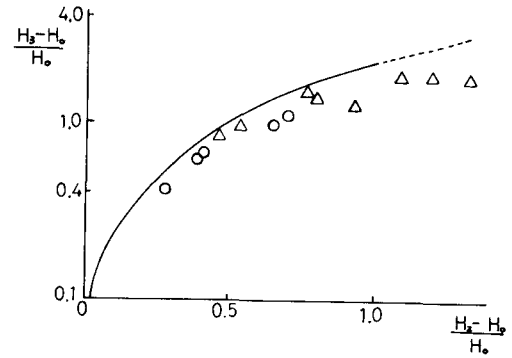


図-5 衝撃波による水面傾斜