

蛇行水路における段波の伝播特性

広島大学 学生会員 ○小林 大祐
 広島大学 正会員 内田 龍彦
 広島大学 正会員 河原 能久

1. 序論

地震によって発生した津波が河川を遡上し越水することで、海岸堤防を越えた津波による被害があまり大きくない地域でも流体力や大きな津波被害をもたらす。津波伝播の主要な経路は蛇行部の多い河川であるため、蛇行部における段波の伝播特性を理解することは、津波被害を軽減するために重要である。

本研究では、蛇行水路における段波の伝播特性を明らかにすることを目的として、大型蛇行水路においてゲートの急開によって段波を発生させる実験を行い、水位変動を測定し理論値と実験値との比較を行った。

2. 実験方法

図-1に示す勾配 1/600 の蛇行水路の上流にゲートを設け、ゲート急開によって段波を発生させる。この水路はゲートを閉めた後、蛇行水路の深さ以上に上流水位が上昇すると、両排水路に水が流れ上流水位が一定に保たれる仕組みとなっている。下流端の可動堰によって下流水深を一定にし、ゲートより上流にある時刻調整点において各計測のゲート開放時刻のずれを調整する。実験条件は表-1に示す。測定は図-1に示した①～⑫の断面で1つの断面につき5つの測定点で行う。サーボ式波高計を用いて水位変動を測定点ごとに3回ずつ計測し、それらの平均値を測定結果として用いることで実験値の精度を確保する。

3. 実験結果と考察

蛇行水路における段波特性を理解するために、1次元浅水流方程式を用いた理想段波の解析解と実験結果を比較する。基礎方程式は以下の運動方程式(1)と連続式(2)で表わされる。

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} - g(i_0 - i_f) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + v \frac{\partial H}{\partial x} + H \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

表-1 実験条件

	完全碎波	不安定波状
上流水深 h_0 (cm)	28.50	28.50
下流水深 h_1 (cm)	10.70	14.69
h_1/h_0	0.38	0.52

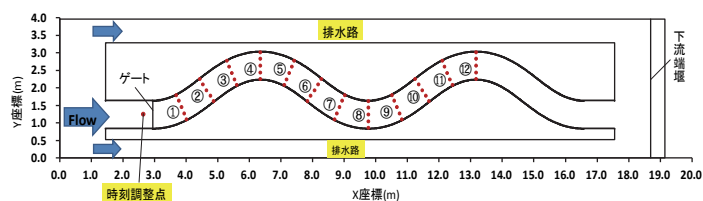


図-1 蛇行水路平面図

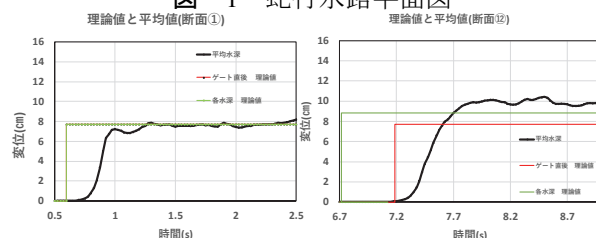


図-2 碎波段波の縦断理論値と実験値の比較

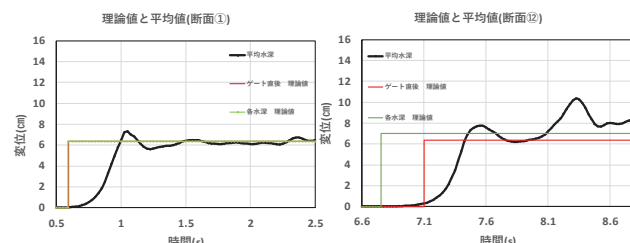


図-3 不安定波状段波の縦断理論値と実験値の比較

ここに、 H :水深、 i_0 :水路勾配、 v :断面平均流速、 i_f :摩擦損失勾配である。式(1)において

$$(i_0 - i_f) = 0 \quad (3)$$

とし、特性曲線法を用いて解析解を導出した¹⁾。碎波段波、不安定な波状段波における断面①、⑫の実験値と解析値の比較をそれぞれ図-2、図-3に示す。ここで、実験水路の勾配により各断面で水深 h_1 が異なるため、解析解は断面①、⑫の各水深とゲート直後の水深の両方を用いて導いた。到達時刻は、いずれの段波の場合も理論値と実験値ではほぼ一致しており、断面平均化された段波の波速には水路蛇行の影響は小さい。断面①の

キーワード 段波, 蛇行水路, 摩擦損失, ソリトン分裂, 浅水流方程式

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科

TEL 080-4339-5924

波高についても、いずれの段波においても解析解と概ね一致している。しかし、砕波段波の波高は下流水深が大きくなるほど大きくなり、断面⑫では、断面⑫の水深を用いた解析値よりも実験値はさらに 1cm 程度高い。このことから、砕波段波では底面の摩擦損失によって流下とともに波高が増大したと考えられる。一方、不安定な波状段波では、断面⑫においても波頭部付近では解析解と一致している。これは水深が大きく流速が小さいために摩擦損失が小さかったためと考えられる。次に横断面の水位変動の解析解を導出する。定常流で湾曲による遠心力と静水圧のみが働く微小水塊のつり合いから、水位 z の横断分布は以下の式で表される。

$$z = \frac{u^2}{g} \log(r) + C \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{r_2 - r_1} \left[Bh_2 - \frac{u^2}{g} \{ r_2 \log(r_2) - r_1 \log(r_1) - (r_1 \log(r_1) - r_1) \} \right] \quad (5)$$

ここに、 C ：積分定数、 r_1 、 r_2 ：内岸、外岸の曲率半径、 u ：理想段波流速の解析解、 B ：水路幅、 h_2 ：理想段波水位の解析解である。断面①、⑫における砕波段波と不安定な波状段波において、理論値と実験値の時間平均水位の断面平均水位からの偏差の比較し、図-4、図-5に示す。実験値の水位は段波が到達し安定してから各測定点での水位を 2 秒間時間平均している。両段波ともに横断方向水位の解析解と実験値の時間平均水位の偏差が 1cm 以下となり、横断変位の時間平均実験値は解析解と良好に一致する結果となった。しかし、不安定な波状段波では外岸付近で他の測定点とは偏差が大きく、両段波では外岸付近において偏差の傾向が異なる。これらの要因として、波状段波特有のソリトン分裂が外岸で発生していることが考えられる。

図-6、図-7 に砕波段波と不安定な波状段波における各計測点の実測水位波形と、式(1)~(3)より導出した理想段波の水位と式(4),(5)の横断方向水面勾配を重ね合わせた解析解の比較を示す。また、実験値は時間平均した範囲での実験値とする。砕波段波の断面①では各点で見ても実験値と解析値の差は大きくない。しかし、不安定な波状段波では断面①においても外岸に大きなソリトン分裂が見られ、実測水位は解析水位よりかなり高い。断面⑫では、砕波段波と不安定な波状段波ともに図-2,3 の断面平均水位が解析解より高いことに加えて、砕波段波においても外岸側でソリトン分裂が生じ、実験値と解析系は一致しない。特に、不安定な波状段波では外岸付近で大きなソリトン分裂を伴っており

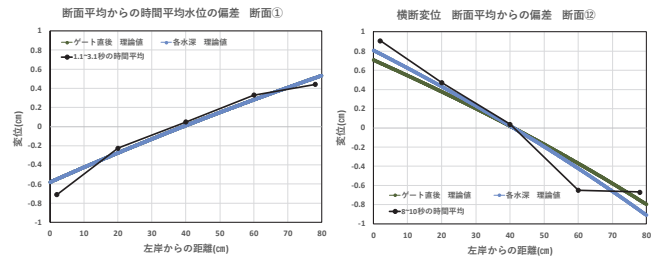


図-4 砕波段波の横断方向水位の偏差

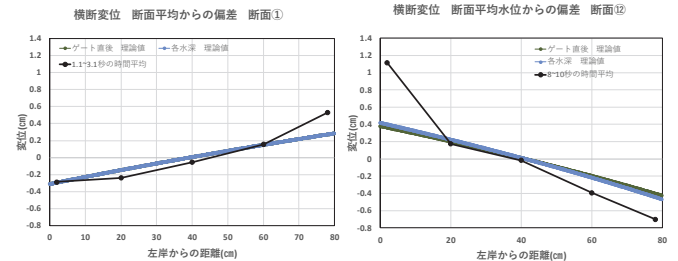


図-5 不安定な波状段波の横断方向水位の偏差

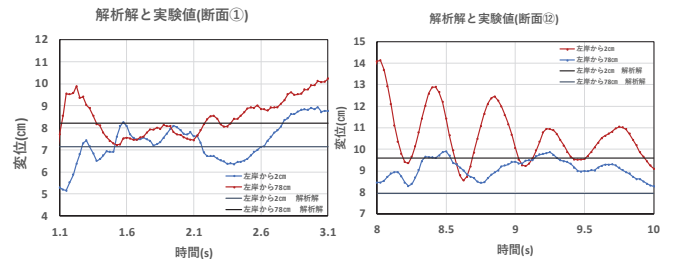


図-6 砕波段波の解析解と実験値

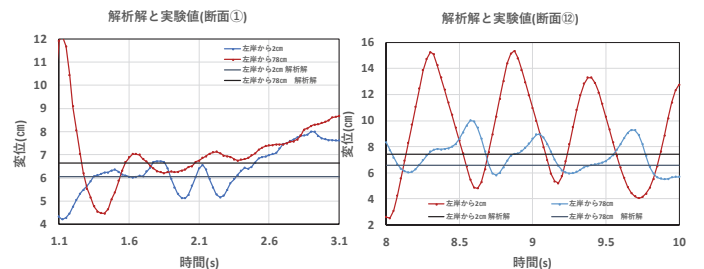


図-7 不安定な波状段波の解析解と実験値

各瞬間における実験値と解析解は大きく異なることが示された。

4. 結論

理想段波水位の理論計算値と断面平均実験値はある距離までは概ね一致し、砕波段波と不安定な波状段波で摩擦損失勾配の依存性が異なることを示した。横断方向の断面平均水位からの偏差に関しては、定常流の仮定で導出した解析解と時間平均した実験値の偏差は概ね一致した。

一次元計算で時間平均した段波の時間・空間的波形は概ね示す事ができたが、各測定点・各瞬間における水位変動までは示すことが出来ない結果となった。