

河川を遡上する津波の碎波機構に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○笠原 健治

防衛大学校 正会員 藤間 功司

防衛大学校 正会員 嶋原 良典

1. はじめに

津波は沿岸域に被害を及ぼすだけではなく、河川に侵入・遡上し河口から数 km 上流の地点においても被害を及ぼす可能性がある。特に、河川を遡上する津波が碎波し、碎波段波となって遡上する場合、構造物には大きな衝撃波力が作用すると考えられる。

従って、遡上する津波の挙動とともに、碎波波高及び碎波位置を精度良く予測することは構造物の設計及びハザードマップの作成において極めて重要であるといえる。しかし、碎波現象を考慮した津波の河川遡上に関する研究はあまり行われておらず、本現象の解析手法に関する知見の蓄積が求められている。

本研究では松山ら¹⁾に倣い、碎波指標に水表面流速波速比 u_s/c を採用し、流れ場を遡上する津波もしくは水面波の碎波限界を水理実験より明らかにした。また、実験値との比較を通じ、本研究で提案する理論式の適用性について検討を行った。

2. 水理実験

(1) 実験装置の概要

本研究で使用した実験装置を図-1に示す。全長 19m、幅 0.4m、高さ 0.3m の矩形断面水路である。勾配 3/5 の斜面の後、水平から 1/60 まで無段階に変化可能な 14m の可変勾配区間へ接続されている。造波はフラップ型造波装置で行う。水路の上流端に給水機構、下流端に排水機構が設けられており、ポンプを作動させることにより水路内の水を循環させ、水深 10cm 程度の場合、最大で 60(cm/s)の流れを作ることができる。

水位の測定には容量式波高計（ケネック製）を用いた。計測時間間隔は 0.02(s)に設定した。碎波の確認については入射波の発生と同時に時間計測を開始するとともに、入射波を目視により追跡し、碎波位置及び時間を測定した。

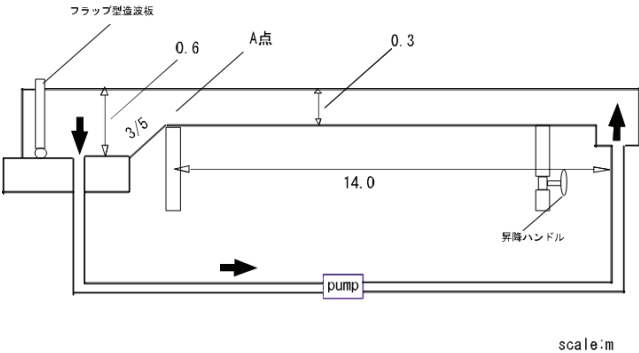


図-1 実験装置の概要

表-1 碎波を起こす実験条件

case	I	$Q(l/s)$	$h_o(cm)$	$H_o(cm)$	$H_b(cm)$
1	1/100	2.5	17.0	1.5	4.3
2		2.5	17.0	1.5	3.1
3		2.5	17.0	2.5	4.6
4		2.5	17.0	2.7	5.0
5		2.5	17.0	2.1	4.1
6		2.5	16.0	2.2	4.5
7		2.5	16.0	2.6	4.9
8	1/150	0.0	16.0	2.0	4.4
9		7.5	16.0	3.0	3.2
10		5.0	16.0	2.5	3.5
11		2.5	16.0	2.7	3.8
12		2.5	16.0	3.1	3.5
13		5.0	16.0	2.5	4.6
14		7.5	16.0	2.8	4.9
15	1/200	7.5	14.0	3.3	3.5
16		10.0	14.0	3.3	3.2
17		12.5	14.0	3.0	2.8
18		2.5	14.0	2.8	3.4
19		5.0	14.0	3.1	3.1
20		7.5	14.0	3.1	2.9
21		10.0	14.0	3.0	2.7

(2) 実験条件

水理実験は入射波周期、勾配、水深及び流量を変化させ 21 ケース実施した。なお、全ケースで可変勾配区間において碎波が発生した。実験条件とその

観測諸量を表-1に示す。

I は勾配, Q は流量, h_0 及び H_0 はそれぞれ可変勾配区間入口(図-1 A点)での水深と波高, H_b は砕波点の波高である。

本実験装置の水路底面は鋼板である。Manningの粗度係数は $0.01 \sim 0.012(\text{s/m}^{1/3})$ であった。この値はプロペラ流速計により、水路を流下する流れの流速を測定し、Manningの式から算定した。

(3) 水表面流速波速比

砕波時の水表面流速波速比を実験から求めるには、砕波直前の波峰の水平方向流速 u_s と波速 C を測定する必要がある。 u_s については波峰の高さにプロペラ流速計を設置し、測定した。 C については1m間隔で設置した2本の波高計間を波峰が通過する時間をもとに算出した。

3. 実験結果及び解析

(1) 流れの影響を考慮した u_s/C 算定式

水位時系列データをもとに u_s/C を算出する式を導く。

既往²⁾の研究によれば、流れ場を伝播する波の諸量(波速 C 、流量 M)は同様の波が静水中を伝播する際の諸量(波速 C_0 、流量 M_0)に流れの影響(流速 V)を線形的に付加したものに近似できる。

$$c = c_0 + V, \quad M = (c_0 + V)\eta + Vh \quad \dots\dots (1)$$

砕波する条件下、つまり波高水深比 $\varepsilon \sim 1$ 、相対水深 $\sigma \ll 1$ では藤間ら³⁾によると水表面流速 u_s は以下のように表される。

$$u_s = \bar{u} - \frac{D^2}{3} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} \quad (D = \eta + h) \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 $\bar{u}$: 断面平均流速、 η : 水位、 h : 水深である。水位 η が波速 $(c_0 + V)$ で進行するとすれば以下の関係が成り立つ。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -(c_0 + V) \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \dots\dots (3)$$

式(2)に、式(1)と式(3)を代入して変形すると水位時系列データをもとにした以下の式を得る。

$$\frac{u_s}{c_0 + V} = \frac{\eta}{D} - \frac{h}{3D(c_0 + V)^2} \frac{c_0}{c_0 + V} \left\{ D \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - 2 \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 \right\} + \frac{Vh}{D(c_0 + V)} \quad (4)$$

これにより、砕波直前の水位時系列を測定することで砕波時の u_s/C を得ることができる。

(2) 実験値との比較

表-1の各実験ケースにおいて、式(4)から算出した u_s/C を実験値と比較した結果を図-2に示す。なお、横軸は砕波点におけるフルード数とする。図-2から、実験値と式(4)による値はよく一致しており、式(4)により、流れがある場合の水表面流速波速比を評価できるといえる。

また、水理実験から、流量が多くなるほど、より小さい u_s/C で砕波する傾向が明らかとなった。

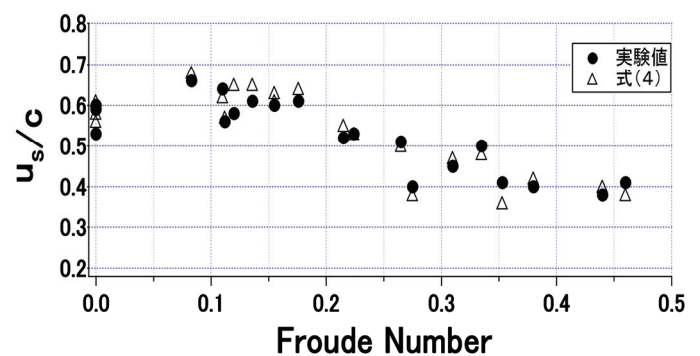


図-2 実験値との比較

4. おわりに

水理実験により、逆流場を伝播する波の砕波限界 u_s/C について、流れの強さとの関係を明らかにした。

本稿で提案した式(4)により波と流れの共存場における砕波限界 u_s/C を評価することができた。

今後は、本稿の内容を踏まえ、河川を遡上する津波について砕波現象を考慮した数値計算を行う予定である。

参考文献

- 1) 松山昌史ら 大陸棚上におけるソリトン分裂した津波の砕波に関する無ひずみ模型実験、海岸工学論文集、第52巻(2005)
- 2) 土屋義人ら 一様流を伴う有限振幅波の理論、海岸工学論文集、第22巻(1975)
- 3) 藤間功司ら 非線形分散波式の精度の検討、土木学会論文集、第369号(1986)