

護岸を越流する津波の挙動と被害軽減に関する解析的研究

宮崎大学大学院 学生会員 ○村上 真章
宮崎大学工学部 正会員 村上 啓介

1. はじめに

東海, 東南海, および南海地震の発生が危惧され, これらの地震による津波災害が想定されるとともに, 対策のあり方の検討が進められている。津波防災に関しては, 過去に我が国沿岸の各所で被害が発生していることや, 上記の津波災害想定区域も関東から九州にいたる沿岸域が対象となっていることなどから, 防護の対象となる海岸線は非常に長い。さらに, 社会活動の大部分が沿岸部に集中している事情を考え合わせると, 沿岸域を津波災害から効率的に防護する方策が必要である。

著者らは, 既存の海岸護岸をかさ上げして津波被害の低減を図る場合, 来襲する津波高に対してどの程度護岸をかさ上げすれば被害が低減されるかについて検討してきた¹⁾。検討は主に水理模型実験より行ってきたが, 護岸の断面形状は様々であり, それらの津波遡上特性や津波力の低減効果を検討するには数値計算によることが効率的である。本報告では, 護岸を越流する津波の挙動に関して数値計算を実施し, その妥当性を検討するとともに, いくつかの異なる断面形状について津波の遡上特性を検討した結果を述べる。

2. 基礎方程式と計算条件

数値計算は, Navier-Stokes 方程式と連続式を数値的に解くことによって行った。また, 自由水表面は, VOF 法を用いて決定した。以下に基礎方程式を示す。

$$\frac{\partial(\gamma_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} = 0 \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \gamma_x u \frac{\partial u}{\partial x} + \gamma_z w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left\{ \frac{\partial^2(\gamma_x u)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\gamma_z u)}{\partial z^2} \right\} \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \gamma_x u \frac{\partial w}{\partial x} + \gamma_z w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left\{ \frac{\partial^2(\gamma_x w)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\gamma_z w)}{\partial z^2} \right\} - g \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial(uF)}{\partial x} + \frac{\partial(wF)}{\partial z} = 0 \quad \dots (4)$$

ここで, t : 時間, u, w : 流速の水平, 鉛直成分, ρ : 密度, p : 圧力, ν : 渦動粘性係数, g : 重力加速度, γ_x, γ_z : 水平, 鉛直方向の面積透過率である。また, F はVOF関数である。

計算では上記の Navier-Stokes 方程式と連続式を連立して数値的に解いて時々刻々の流速と圧力を求めた。そして, VOF 関数 F に関する移流方程式を解いて水面形状を決定した。

計算領域は, 図 - 1 に示す。高さ 0.55m, 長さ 9m の二次元数値波動水路を用いて行った。水路床を水路左端から 0.8m 地点から急勾配で立ち上げ, 強制的に段波波形をつくり伝播させた。また, 7m 地点に高さ 0.08m の護岸を設置し, 護岸前面水深は 4cm とした。入力値となる造波波高は, $H_D = 5 \sim 20$ cm を 5cm 刻みで変化させ, また, 段波の波高, 波速, 打ち上げ高さや護岸を越流した場合の浸水域での水深や流速は, 水路左端から 3.65m, 6.15m, 6.95m, 7.15m, 7.56m 地点で計測した。数値計算に用いた護岸高さや前面水深, および計測位置は, 水理模型実験¹⁾と同じにしてある。

3. 計算結果の考察

図 - 2 に計算波形の一例を示す。図中の P.1 と P.2 は護岸沖で計測した水面変位で, P.3 は護岸直前での変位を表している。段波が来襲すると水位は鋭く立ち上がり, その後は緩やかな変動を示している。この水面の

立ち上がり時刻と波高計間の距離から津波波速を求めた。

数値計算の妥当性を確認する目的で、計算によって得られた波速と、福井ら²⁾が提案したモデル式から計算した波速を比較した。また、水理模型実験結果との比較も行った。福井らは水路内を伝播する段波に対して連続条件と運動量法則を適用して関係式を導き、実験値と比較して良好な一致を確認している。

図 - 3 は、本計算で求めた波速と福井らのモデル式から求めた波速の相関を示したもので、図中には実験で求めた波速もプロットしている。数値計算で得られた波速はモデル式から求めた波速を若干下回る傾向があるが、その差は非常に小さい。また、実験結果と良好な一致を示している。このことから、数値計算は妥当な結果を与えていると考えられる。

図 - 4 は、数値計算により得られた打ち上げ高さを水理模型実験結果と比較したものである。数値計算で得られた打ち上げ高さは水理模型実験により得られた結果とよく一致しており、数値計算結果は現象をうまく再現しているといえる。

4. まとめ

水路内に伝播した津波が護岸を越流する現象を数値計算で再現し、水理模型実験と比較して数値計算の妥当性を確認した。本報告では、紙面の都合で計算の妥当性についてのみ述べたが、津波が護岸を越流した際の浸水深や浸水流速の水理特性については講演時に述べる。

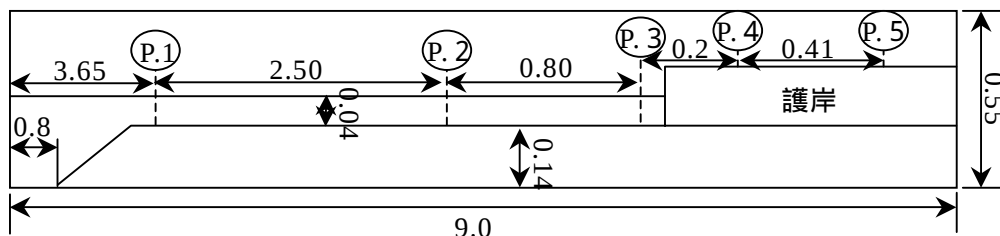


図 - 1 計算領域(単位: m)

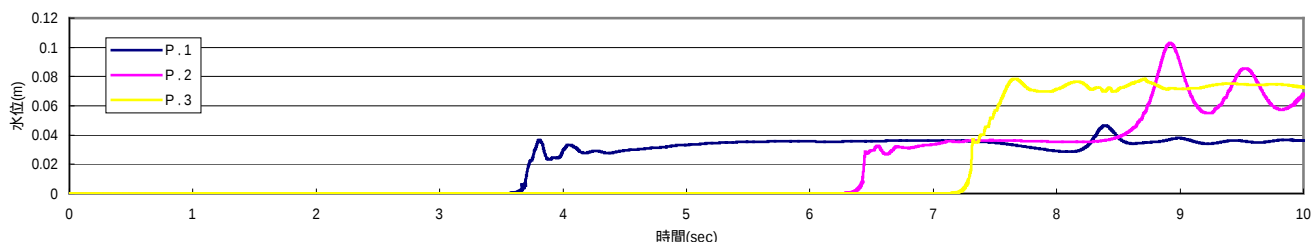


図 - 2 計測波形の一例

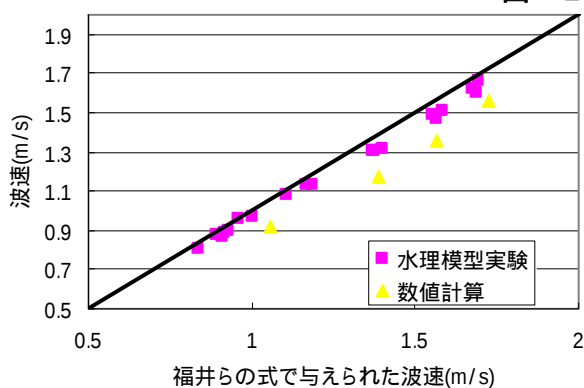


図 - 3 波速に関する理論値と計測値の比較

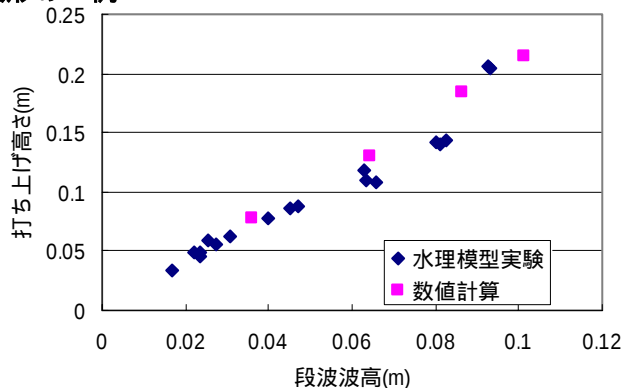


図 - 4 最大打ち上げ高さの比較

参考文献

- 1) 村上啓介, 村上真章, 山口俊郎: 直立護岸を遡上越流する段波津波の特性と浸水深および流速の制御について, 海洋開発論文集, 第 21 巻, pp.151-156, 2005
- 2) 福井芳郎, 白石英彦, 中村充, 佐々木泰雄: 津波の研究() - 段波津波の波速について -, 第 9 回海岸工学講演会講演集, pp.44-49, 1962.