

## 越波計算に対する数値計算モデル FS3M の妥当性に関する一検討

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○ 後藤 優奈  
 岐阜工業高等専門学校 正会員 菊 雅美  
 名古屋大学 正会員 中村 友昭

### 1. 研究の背景と目的

日本の沿岸部では、台風などの低気圧接近時に、越波が頻発している。護岸を設計する際には、許容越波流量を考慮して護岸高が決定される。許容越波流量とは、背後地の利用形態によってある程度の越波を許容する考え方である。実務では、合田ら<sup>1)</sup>の越波流量算定図（以下、合田の算定図）によって護岸高が決定されている。合田の算定図は、数多くの水理模型実験に基づいて作成されており、不規則波作用下における越波流量を容易に算定可能である。しかし、合田の算定図では、直立護岸と消波護岸の2種類のみを対象としており、波浪条件や海底勾配にも制約があるため、様々な設定条件に対応できない。そこで、近年、CADMAS-SURFをはじめとする数値計算モデルによる越波量算定が広く行われている。CADMAS-SURFは越波計算への適用実績が多い一方、移動床など、より実現象を考慮した複雑な条件下の越波計算は難しい。中村・水谷<sup>2)</sup>は、流体と地形変化の相互作用を解析可能な3次元流体・構造・地形変化・地盤連成モデルFS3Mを提案し、津波や移動床を対象とした波動場への適用性を明らかにしている<sup>3)</sup>。本数値モデルを適用すれば、地形変化と越波の相互作用を検討できるようになると考えられる。ただし、越波現象に対するFS3Mの適用例は少なく、妥当性は明らかになっていない。そこで、本検討では、合田の算定図との比較から、越波計算に対する数値計算モデルFS3Mの妥当性を検討する。

### 2. 数値計算モデル FS3M による越波計算

#### (1) 数値計算モデルの概要

数値計算モデル FS3M のメインソルバーは、地盤の間隙内部の流体を含む非圧縮粘性流体からなる全気液相における流体運動を可動構造物の運動と地形変化を考慮して解析する連続式と Navier-Stokes 方程式に基づく LES(Large-Eddy Simulation)である。そのメインソルバーに、気液界面を追跡する VOF モジュール(VFM)、可動構造物を取り扱う IB モジュール(IBM)、底質輸送に伴う地形変化の計算と浮遊砂の解析を行う底質輸送

モジュール(STM)、地盤の水・土連成解析を行うモジュール(FEM)が組み込まれている<sup>2)</sup>。

#### (2) 計算条件

図-1 に、本検討における計算領域の概略を示す。合田の算定図を基に直立護岸を取り上げ、護岸前面の海底勾配  $i$  を 1/10 および 1/30 とした。計算領域の格子は、護岸周辺が最も細くなるよう不等間隔とし、水平方向は 0.01~0.02 m、鉛直方向は 0.01~0.09 m の間で変化させた。護岸背後を越波升領域として、 $F$  値の空間積分から越波量を求めた。波浪条件を表-1 に示す。本検討では、有義波周期  $T_{1/3}$  を 3 種類に変化させ、波形勾配  $H_{1/3}/L$ 、相対水深  $h/H_{1/3}$ 、相対天端高  $h_c/H_{1/3}$  が合田の算定図と一致するように設定した。入射波は、修正ブレッグドシュナイダー・光易型に基づく不規則波とし、200 波以上が護岸に作用するように計算時間を 400 s とした。

### 3. 数値計算モデルの妥当性の検討

#### (1) 入力波と出力波の比較

全 115 ケースの計算を行い、WG1 の水位変動からゼロダウンクロス法により有義波高  $H_{1/3}$  と有義波周期  $T_{1/3}$  を求めた。図-2 に、入力波高と出力波高の比較を示す。同図から、計算領域では目標よりも大きな波高が発生しているとわかった。計算領域内で実際に発生した  $H_{1/3}$  と  $T_{1/3}$  を用いて  $H_{1/3}/L$ 、 $h/H_{1/3}$ 、 $h_c/H_{1/3}$  を求めた結果、合田の算定図と  $H_{1/3}/L$  が一致したのは、 $i = 1/30$ 、 $H_{1/3}/L = 0.036$  における 6 ケースだった。

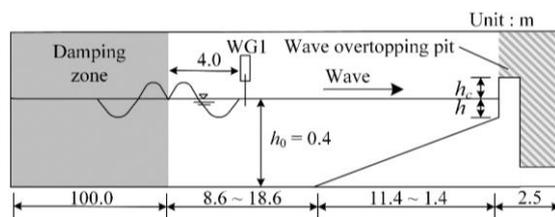


図-1 計算領域

表-1 波浪条件

Case	1	2	3
$T_{1/3}$ [s]	1.5	1.0	2.0
$H_{1/3}/L$	0.012, 0.017, 0.036		
$h/H_{1/3}$	1.0, 1.5		1.0, 1.5, 2.0
$h_c/H_{1/3}$	0.50, 1.00, 1.50, 2.00		

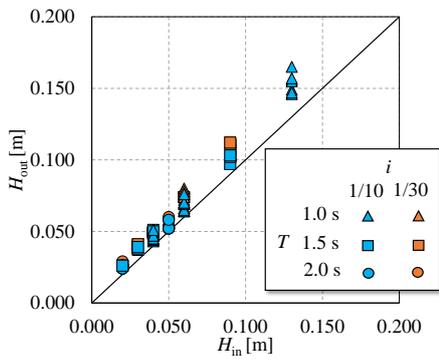


図-2 入力波高と出力波高の比較

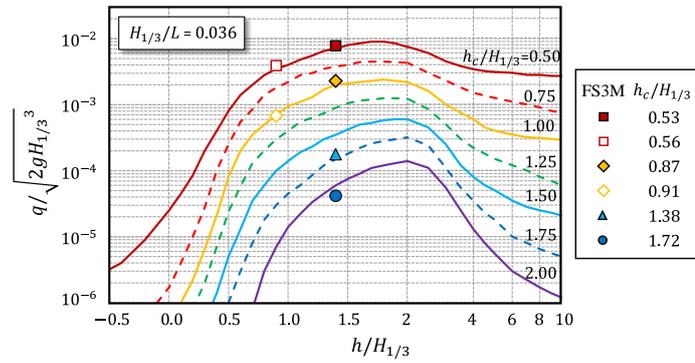
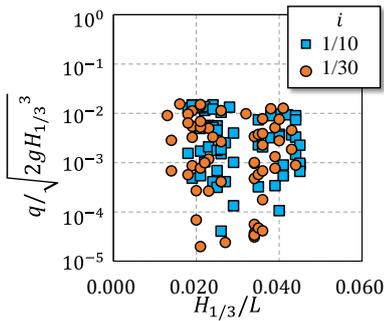
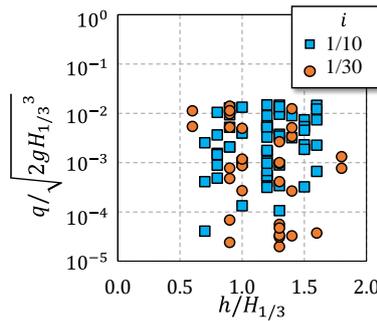


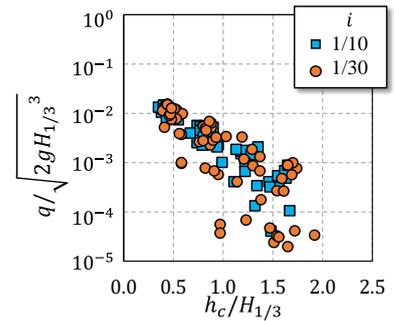
図-3 合田の算定図と計算結果の比較



(a) 波形勾配



(b) 相対水深



(c) 相対天端高

図-4 無次元越波流量と各パラメータの相関

## (2) 合田の算定図との比較

図-3 に、合田の算定図の条件に一致した 6 ケースの結果を示す。図中の実線および点線は、合田の算定図を示している。同図から、 $h_c/H_{1/3} = 1.38, 1.72$  の 2 ケースについては、数値計算結果は合田の算定図よりも無次元越波流量を過小評価している。一方、 $h_c/H_{1/3} = 0.53 \sim 0.91$  の 4 ケースについては、合田の算定図と概ね一致している。合田の越波流量算定図において無次元越波流量が  $5 \times 10^{-4}$  より大きい条件の場合、数値計算モデルの再現性が高い可能性が示唆されるものの、検討ケースが 6 つと少なく、計算結果の妥当性について検討するには不十分である。

## (3) 無次元越波流量に影響を及ぼすパラメータ

計算結果の妥当性について明らかになっていないものの、全 115 ケースの計算結果の特徴を得るため、無次元越波流量と各パラメータの相関を調べた。図-4 に、波形勾配  $H_{1/3}/L$ 、相対水深  $h/H_{1/3}$ 、相対天端高  $h_c/H_{1/3}$  と無次元越波流量の関係を示す。同図(a)および(b)から、 $H_{1/3}/L$  と  $h/H_{1/3}$  に関して、相関はみられない。一方、同図(c)から、海底勾配にかかわらず、 $h_c/H_{1/3}$  が大きくなるほど無次元越波流量は指数関数的に減少している。そのため、 $h_c/H_{1/3}$  は無次元越波流量に大きく

影響を及ぼすといえる。また、合田の算定図においても、 $h_c/H_{1/3}$  が大きくなるほど無次元越波流量は小さくなる。合田の算定図と条件が一致しなかったケースについて、合田の算定図との直接的な比較はできないものの、無次元越波流量と相対天端高の関係は、合田の算定図と同じ傾向を示しているといえる。ただし、同図(c)でも、無次元越波流量が  $5 \times 10^{-4}$  より小さい場合に、減少量が大きい。そのため、無次元越波流量が小さくなる条件における計算の再現性について検討する必要がある。

## 4. おわりに

直立護岸の越波流量に対する FS3M の妥当性を検討したものの、現段階では、比較できる結果が少なく妥当性を判断するには至らなかった。ただし、無次元越波流量が大きくなる条件では再現性が高くなる可能性が示唆された。今後、さらなる越波計算を行い、FS3M の妥当性を検討する。

参考文献：1) 合田良実, 岸良安治, 神山 豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第 14 巻, 第 4 号, pp. 3-44, 1975. 2) 中村友昭, 水谷法美：地形変化の影響を考慮した地盤解析手法の開発とその適用, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I\_1026-I\_1030, 2013. 3) 中村友昭, 中井裕斗, 趙 容桓, 水谷法美：陸上構造物に作用する津波力に与える浮遊砂の影響に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 74, No. 2, pp. I\_210-I\_215, 2018.