

数値計算による越波流量の変動性に関する研究  
—大水深域非越波型護岸を対象として—

九州大学大学院 学生会員 ○白尾 國貴 清水 将貴  
正会員 山城 賢 吉田 明德

## 1. はじめに

著者らは、大水深域（20～30m）において図-1 に示すような曲面を有する断面により、波を冲向きに返し越波を防ぐ非越波型護岸の開発を行っている。この護岸は、波の不規則性による突発的な打上げに対しても有効に機能し、通常用いられる直立護岸に比べて高い越波防止効果を有しているため、天端高を低減することが期待できる。しかしながら、本護岸を現地に適用するためには、護岸の断面形状や天端高による越波防止機能についてより詳細な検討が必要である。ただし、不規則波により越波流量を検討する場合には、例えば作用させる波の数（造波時間）等による越波流量の変動性を事前に把握する必要がある。

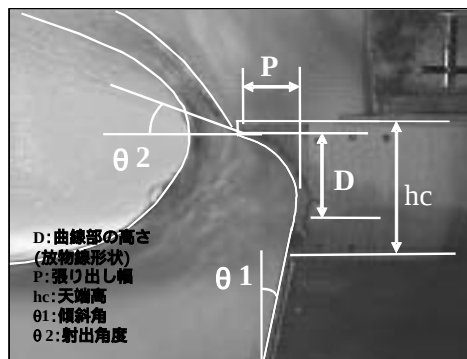


圖-1 大水深域非越波型護岸

る。そこで、本研究では、大水深域非越波型護岸の不規則波に対する越波防止効果を把握するための基礎的な知見を得ることを目的に、数値波動水路 (CADMAS-SURF)<sup>1)</sup>を用いて入射波の成分数や造波時間などの設定条件による越波流量の変動性について検討した。

## 2. 基本的な計算条件の設定

数値波動水路 (CADMAS-SURF) は VOF 法に基づく数値モデルである。基本的な計算条件は、過去に行った水理模型実験<sup>2)</sup>を参考に決定した。計算にあたっては全て現地スケールで実施しており、入射波は、 $H_{1/3}=4.5\text{m}$ 、 $T_{1/3}=8.7\text{s}$

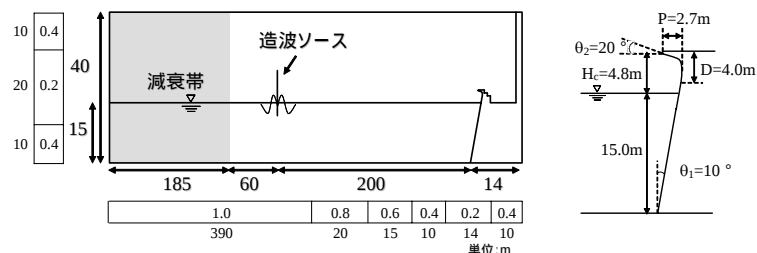


図-2 計算領域と断面形状

規則波とした、解析領域と護岸の断面形状を図

-2 に示す．領域のサイズは，造波ソースから護岸前面までの水平距離を 200m（有義波の波長で約 2 波長），鉛直方向の長さを 40m とし，水深は 15m で一定とした．天端高  $h_c$  は 4.8m である．越波量については，図-3 に示すように護岸背後に越波水を確保するための柵を設定し，越波柵内の VOF 関数  $F$ （ $F$  値）の面積積分を時

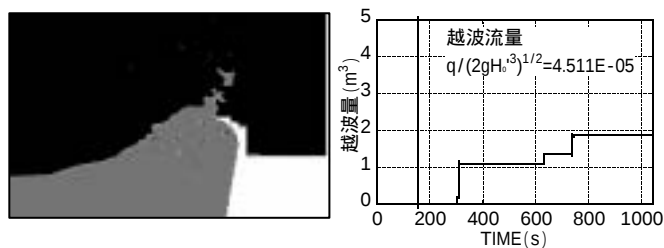


図-3 越波量の算定

系列データとして求めることで算定している．また，格子間隔は対象とする波浪の波高や波長を考慮しなければならず，表-1 に示されている推奨値<sup>1)</sup>を満足するよう設定する必要がある．ただし，護岸の断面形状を精度よく再現する必要があるため，本計算では事前に検討した結果から，可変格子を採用し，X 方向は造波ソースから護岸前面まで

1.0~0.2m と変化させ、Z 方向は水面から上下 10m 程度の範囲を 0.2m として、それ以外を 0.4m と設定した。造波時間は有義波周期で 120 波 (1044s) とし、最初の 20 波 (174s) を除いた 100 波 (870s) で越波量を求め、単位時間当たりの越波流量を算定した。

表-1 格子間隔の推奨値<sup>1)</sup>

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 格子間隔                         | 推奨する格子設定     |
| 格子比率 ( $\Delta x/\Delta z$ ) | 5:1以下        |
| $H/\Delta z$                 | 10以上         |
| $\Delta x$ の波長分割数            | L/80 ~ 100程度 |

### 3. 計算条件による越波流量の変動性

#### 3.1 入射波成分の位相差による越波流量の変動

数値計算に限らず水理模型実験においても、不規則波を作成する場合、一般的には線形波の重ね合わせにより造波信号を作成する。このとき、各成分波にはランダムに初期位相を与えるが、造波時間を十分に長く取ることが難しいため、初期位相の与え方によって越波流量は変動する。そこで、同一のスペクトルから成分波の初期位相が異なる 30 波群を作成し、造波時間を一定として越波流量を算定した。図-4 に各ケースにおける越波流量を示す。なお、越波流量は換算沖波波高を用いて無次元化しており、図中には、全 30 ケースの越波流量の平均値と、過去に行った護岸形状や天端高が同じ条件での実験結果を併せて示している。なお、実験の測定時間は有義波が約 370 波含まれている。図より、初期位相によって越波流量が大きく変動することがわかる。本計算条件では、無次元越波流量が  $10^{-5}$  のオーダーであり、1 ケースあたりの越波は数波程度で、1 回の越波による越波流量への影響が大きいため変動も大きい。一般的な消波護岸の越波流量の推定値に対する真値の想定範囲<sup>3)</sup>は、越波流量のオーダーが  $10^{-5}$  の場合 0.05~10 倍といわれているが、図-4 の結果では、平均値の 0.0 倍~4.4 倍の範囲でばらついている。したがって、特に越波流量が少ない場合に、単純に計算した結果で越波流量を議論すると、極端な評価となる危険がある。計算結果の平均値と実験値を比較してみると、若干計算結果の平均値が下回っているが、実験結果についても実施回数を増やすなどして全体の造波時間を十分に与えることができれば、2 つの値は近づくものと考えられる。図-5 に越波流量のヒストグラムを示す。図より、平均値を下回る計算ケースが多いが、数は少ないものの大きく上回るケースもあることがわかる。また、累乗の回帰曲線を当てはめると、よく一致しており、このことより、越波流量の発生分布は累乗の関数に従うと推測される。

#### 3.2 入射波の成分数による越波流量の変動

入射波の成分数が越波流量に及ぼす影響を検討するために、成分数を 50, 100, 200, 500, 1000 と変化させて波群を作成し、越波流量を算定した。その際、100 成分の波群は図-4 のケース 15 の結果を用いることとした。なお、各成分数のケースで成分波に初期位相を与えるための乱数列は同じとしているが、成分数が異なるため、入射波の時系列はそれぞれ異なる。図-6 に各ケースに対する越波流量を示す。図中には図-4 に示した 30 ケースの越波流量の平均値と実験結果も示している。図より、100 成分以外のケースでは、平均値に近い値を得ていることがわかる。基本的には、成分数を多くすることで波の不規則性が増し、越波流量の変動の幅も小さくなることが期待されるため、成分数が多い程、妥当な越波流量が得られるものと思われる。

#### 4. おわりに

不規則波による越波流量を検討する際に、造波時間や入射波の成分数が越波流量に大きく影響することを示した。今後はさらに検討を進め、妥当な越波流量を得るための知見を整理したうえで、大水深域非越波型護岸の越波防止効果について、詳細な検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 沿岸開発技術研究センター(2001): 数値波動水路の研究・開発, 296p.
- 2) 橋本ら(2006): 大水深域非越波型護岸の基本的越波特性について, 海洋開発論文集, vol.22, pp.283-288.
- 3) 合田良實ら(1975): 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.3-41.

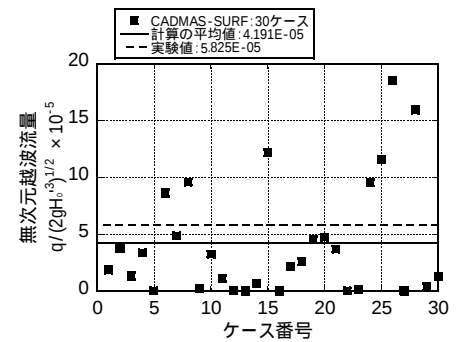


図-4 越波流量

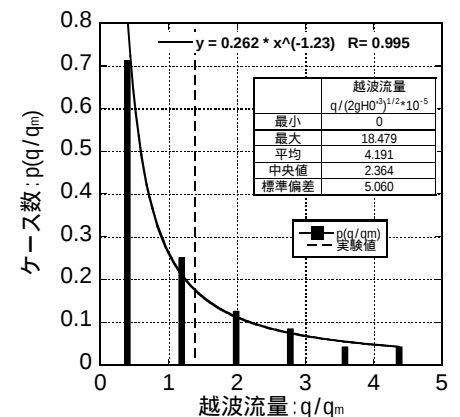


図-5 越波流量のヒストグラム

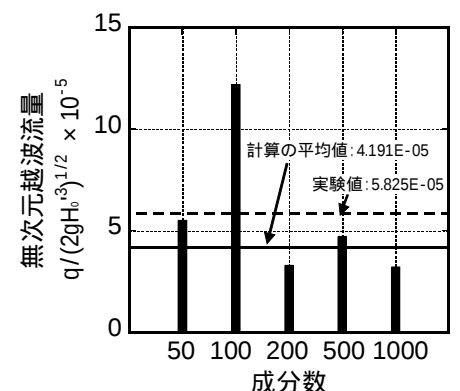


図-6 成分数による越波流量の変動