

数値波動水路を利用した越波量評価に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 嶋田宏, 正会員 柴多哲郎, 正会員 板橋直樹

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 川崎浩司, 学生会員 菊雅美

1. はじめに

従来、越波対策は合田の図表等を用いて越波量を求め、背後地の社会的条件を考慮して対策が講じられてきた。しかし、合田の図表は一樣勾配を対象としており、リーフ地形のような複雑な地形では、護岸周辺の越波特性の評価が困難である。また、越波量が波浪条件と水位、護岸の天端高のみで決まるため、波返しの大い護岸や直立消波ブロックのような護岸では越波量を正しく評価できない。一方、最近では数値波動水路 CADMAS-SURF¹⁾を用いた複雑な地形での越波シミュレーションが試みられている。しかし、数値波動水路を現地で適用するにはまだ多くの課題（不規則波の再現性、越波量の評価方法、計算時間など）がある。特に不規則波を用いた数値波動水路の計算には高性能な計算機であっても多大な計算時間を要するだけでなく、現時点での適用範囲および計算結果の評価に課題がある²⁾。そこで、本研究では簡易的に規則波の代表波を用いて越波流量の評価を行う手法を検討した。

2. 検討方法

まず、合田の図表から得られた結果と比較するため、海底勾配を図-1に示すように一樣勾配にして数値波動水路による越波計算を実施した。計算は波高を変えた規則波を数ケース作用させて、波高の頻度を考慮して求めた越波量を算出した。ついで、リーフ地形において、一樣勾配の場合と同様な計算を行い、越波量を求めた。さらに、この越波量と同程度のオーダーとなるような代表波を求めることで、簡易的に越波量の評価する方法を試みた。検討に用いた計算条件は表-1に示すとおりである。護岸周辺の越波現象とリーフ上の波浪変形を精度よく解析するために、計算格子間隔は護岸周辺と自由表面付近で最も細くなるよう、不等間隔格子を採用した。また、数値波動水路の計算では護岸天端位置より背後の領域に入った水塊を越波量とみなして計算しており、越波量は護岸背後領域の VOF 関数 F 値の積分値の最終値と初期値の差から算出した。

合田は不規則波が作用した際の平均越波量を式(1)のように示している。

$$q = \int_0^{\infty} q_0(H/T_{1/3}) \cdot p(H) dH \quad (1)$$

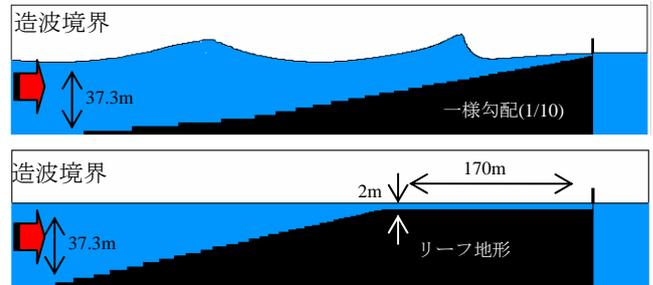


図-1 計算領域（上：一樣勾配，下：リーフ地形）

表-1 検討条件

設定項目	一樣勾配	リーフ地形
地形条件	海底勾配：1/10 護岸天端高：6.7m	リーフ前面海底勾配：1/10 リーフ長：170m リーフ水深：-2m 護岸天端高：6.7m
水位・波浪条件	H=3.5~9.5m(0.5m刻み) (造波境界 流れ関数 B) T：16sec(規則波) 沖水深：37.3m	H=3.5~9.5m (0.5m刻み) (造波境界 流れ関数 B) T：16sec(規則波) 沖水深：37.3m
計算条件	Δt ：0.001sec Δx ：0.2~2m Δy ：0.2~1m ドナーパラメータ：0.5	Δt ：0.001sec Δx ：0.2~2m Δy ：0.2~1m ドナーパラメータ：0.5

ここで、 q は平均越波流量、 $p(H)$ は波高の確率密度関数、 $q_0(H/T_{1/3})$ は波高 H 、周期 $T_{1/3}$ での越波量である。

これを基に、数値波動水路においても規則波で最高波高 H_{max} に近い値から越波が生ずるより小さい波高までの各波高に対して計算を行い、それぞれの越波量 Q_N を算出した。

3. 発生頻度を考慮した規則波の越波流量評価

まず、一樣勾配地形において規則波を用いた越波量を算出する。各波高の出現確率を求め、不規則波での波高の確率密度関数をレーリー分布で近似すると、超過確率 $P(H)$ は式(2)のようになる。

$$P(H) = \int_H^{\infty} P(H') dH' = \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

ここで \bar{H} は平均波高である。

キーワード 数値波動水路, 越波流量, 規則波, 不規則波

連絡先 東京都多摩市関戸 1-7-5 TEL:042-372-6040 FAX:042-372-6398

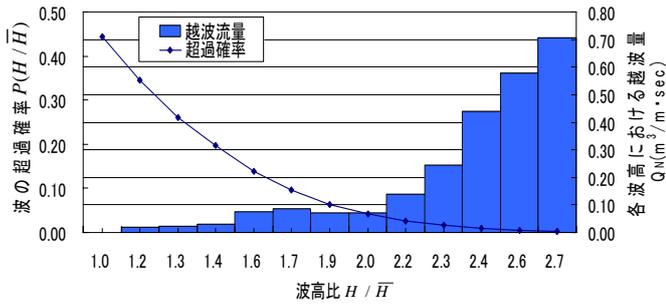


図-2 波高ごとの超過確率と越波量

式(2)および計算結果より、各波高の超過確率とその時の越波流量は図-2のとおりとなった。

次に、各波高の出現確率と越波量を掛け合わせ、発生頻度を考慮した越波量を算出し、それらを合計することで、以下に示す数値波動水路による越波量を算定した。なお、合田の図表から算出した越波量と区別するため、数値波動水路で求めた越波量に添字 cms を付与する。

$$q_{cms} = \sum_{j=0}^N \left\{ Q_N \left(H_{|\max j} T_{1/3} \right) \cdot \bar{P} \left(H_{\max j} \right) \right\} = 0.060 \text{ m}^3/\text{m/s}$$

一方、合田の図表により求めた越波量 q は $0.046 \text{ m}^3/\text{m/s}$ であった。越波量に若干差が認められるものの、数値波動水路で求めた越波量と合田の図表による越波量はほぼ同じオーダーであり、数値波動水路は実スケールの一様勾配地形において概ね再現できるといえる。

4. 越波量を求めるための代表波高の選定

前述のように最大波高程度の大きな波から越波が発生しない小さな波まで計算を行うと、護岸の形状比較など多くのケース数で越波量を検討しなければならない場合、規則波であっても膨大な時間が必要である。特にリーフ地形や護岸形状が特殊なケースを検討する場合など、合田の図表が適用できない際には、数値波動水路を用いて効率的に越波量を評価する指標が必要である。

そこで、不規則波を作用させて得られる越波量と同等の越波量となるような規則波の代表波高を設定し、得られた値を越波量の指標として評価することを試みた。まず、前節と同様、モデル化したリーフ地形に波高を変えた規則波を作用させ越波量を求めた。波高ごとの越波量および波の発生頻度を考慮した越波量は次式に示すとおりである。

$$q_{cms} = \sum_{j=0}^N \left\{ Q_N \left(H_{|\max j} T_{1/3} \right) \cdot \bar{P} \left(H_{\max j} \right) \right\} = 0.007 \text{ m}^3/\text{m/s}$$

次に、数値波動水路で与える代表波を $H_{1/n}$ とし、その時の越波流量 $q_{1/n}$ とその波高までの波数が全波数に占める割合 $1/n$ との積が前述の方法で求めた越波流量

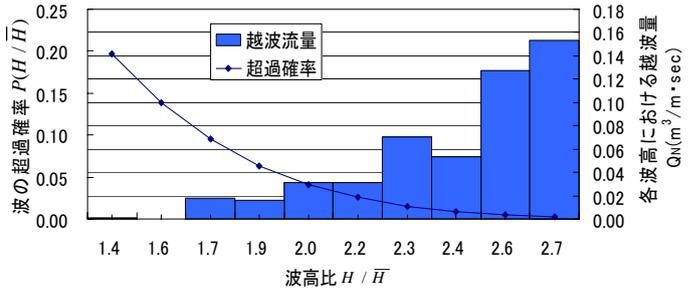


図-3 リーフ地形における波高ごとの超過確率と越波量

程度になるまで波高を変えて計算を繰り返した。

$$q_{cms}' = \frac{1}{n} \times q_{1/n} = \frac{1}{n} \times \frac{Q_{1/n}}{N \cdot T} \quad (3)$$

ここで、 q_{cms}' は $H_{1/n}$ で求めた越波量指数 ($\text{m}^3/\text{m/s}$)、 $q_{1/n}$ は $H_{1/n}$ での単位時間あたりの越波流量 ($\text{m}^3/\text{m/s}$)、 $Q_{1/n}$ は $H_{1/n}$ の N 波分の越波量 (m^3)、 N は越波した波数、 T は波の周期 (s) である。

計算の結果、以下に示すように、 H_{10} に対する越波量 q_{10} とその波高以上の波数が全体に占める割合 $1/10$ の積が、別途求めた越波量 q_{cms} ($0.007 \text{ m}^3/\text{m/s}$) と同程度のオーダーとなった。

$$q_{cms}' = \frac{1}{10} \times q_{1/10} = \frac{1}{10} \times \frac{Q_{1/10}}{N \cdot T} = 0.003 \text{ m}^3/\text{m/s}$$

よって、当該リーフ地形における越波流量の指標として H_{10} を作用させたときに求まる越波量を用いることができる。

5. まとめ

本研究の結果、不規則波を考慮した越波量に対して規則波の代表波から求めた越波量でもある程度越波量の評価が可能であることが示された。したがって、護岸形状の違いによる越波量の検討や最適な天端高の検討などの基本設計レベルでの相対的な比較には十分に活用できると考えられる。しかし、実現象を正確に再現するためには、不規則波での計算精度の向上や越波量の適正な評価方法の確立が望まれる。また、実際の現場で数値波動水路を用いる場合、現地の越波実績や越波映像を基に再現性を確認する必要があるなど、今後も現場での課題抽出と対応策の検討が必要である。

参考文献：

- 1)数値波動水路(CADMAS-SURF)の研究・開発, 財団法人沿岸開発技術研究センター, 457p.
- 2)数値波動水路内で線形理論を用いて発生させた不規則波の特性および適用限界に関する一考察 海岸工学論文集, 第52巻, pp.41-45. (2005)