

フレア護岸の津波に対する水理特性シミュレーション

(株)神戸製鋼所 正 荻野 啓 (株)神戸製鋼所 正 安藤 圭
(株)神戸製鋼所 正 竹鼻 直人 (株)コベルコ科研 松岡 寛和

1. はじめに

フレア護岸は、高潮・高波被害の軽減を目的に開発された海岸構造物であり、2004 年度に高潮対策事業として初施工され(写真1)、これまでに約10件の採用事例がある。これらについては、事前に水理実験により越波流量低減効果について確認し、実際にも低減効果があることが確認されつつある。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波により、多くの護岸が被災したことを受け、フレア護岸の津波に対する水理特性についての評価が必要となった。そこで、本研究では、有限体積法に基づく数値解析を用いて、直立護岸、傾斜護岸と比較することで、フレア護岸の津波に対する水理特性を比較検証した。



写真1 広島県呉市倉橋町

2. 数値解析手法と計算条件

(1) 数値解析手法

本解析には、汎用流体解析ソフトである Fluent12 を用いた。解析では、2次元非定常の Navier-Stokes 方程式、波の形状を表すための空気-水2相流モデルの VOF 法、乱流モデルとして k-ε の2方程式モデルを使用した。フレア護岸モデルの計算領域の概略図を図1に示す。護岸高さを7m、水深を3m、フレア部の海側張り出し幅は5mとした。計算領域は計算時間を考慮して、護岸から海側300m地点を入力境界、護岸背後から500mを陸上部とし、その背後に護岸を越えた津波をためる貯水枡を設けた。フレア護岸は上部のみモデル化し、底面部のフーチングはモデル化しなかった。また、他の護岸形式として直立護岸と傾斜護岸(傾斜勾配1:1)をモデル化し、海底勾配は水平とした。図2にフレア護岸の要素分割図を示す。計算領域の要素分割数は、フレア護岸が約71000、最小要素幅は100mmである。非定常計算での時間刻み幅 Δt は0.001sと設定し、計算時間は300sとした。図2のように、当解析ソフトはフレア形状を滑らかにモデル化できることが特長である。



図1 フレア護岸解析領域図

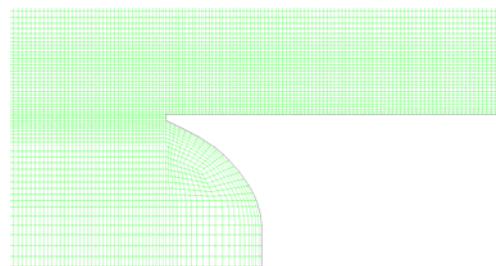


図2 フレア護岸要素分割図

(2) 計算条件

解析では、津波の入力条件を簡略化するため、図1に示した入力境界に、津波高さ全体に津波流速を一樣に与える方法を採用した。入力する津波は段波とし、入力速度は数値波動水槽の研究・開発¹⁾を参考に算出した。図3に示すように、段波の c は Bore 流速、 u は静水深部の流速、 U は津波流速、 h は静水深、 H は津波高さ、 ξ は Bore 高さ、 η は段波の全水深と静水深の比である。津波高さは、5m・7mの2種類とした。表1に算出した各津波高さにおける津波流速、Bore 流速を示す。

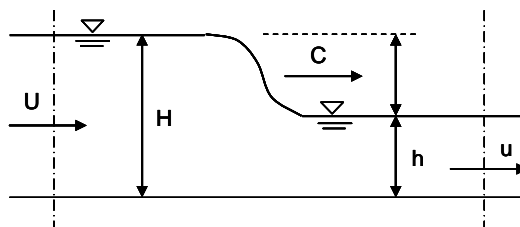


図3 段波の記号の説明

表1 津波速度、Bore 流速

津波高さH	津波流速U	Bore流速C
5m	4.72m/s	11.79m/s
7m	8.40m/s	14.70m/s

キーワード フレア護岸, 津波, 数値シミュレーション, 衝撃力

連絡先 〒657-0845 神戸市灘区岩屋中町4-2-7 (株)神戸製鋼所 TEL078-261-7815 FAX078-261-7807

3. 解析結果

(1) 津波の進行

津波進行の様子を図4に示す。津波高さ5mでは、直立護岸は衝突した津波が高く打ち上がり、フレア護岸は津波を海側に返している様子が分かる。傾斜護岸は傾斜のままに津波が遡上している。津波高さ7mの場合は、直立護岸とフレア護岸は津波が高く打ち上がり、その高さは約10mであり、この打ち上がった津波は陸側に飛び越えた後に、地面に打ち付けられている。傾斜護岸は、津波高さ5mと異なり、陸側に斜めに飛び上がる様子が見られるが、その高さは直立護岸、フレア護岸に比べると低いことが分かる。



図4 津波進行の様子

(2) 津波の衝撃力

津波の衝撃力と護岸からの距離の関係を図5、図6に示す。衝撃力は、護岸を越流した津波が、構造物に当たった時に発生する力と定義し、平石²⁾の提案式 $P = \frac{1}{2} \rho C_D (Du^2)_{max}$ を用いて算出した。ρは海水密度、 C_D は抵抗係数、Dは全水深、uは最高流速である。津波高さ5mでのフレア護岸背後の衝撃力は、傾斜護岸と同等で、直立護岸の約半分である。一方津波高さ7mでは、フレア護と直立護岸の衝撃力最大値が傾斜護岸の約3倍となった。これは、図4に示すように打ち上がった津波が落下する流速と、水平方向流速が重なり、流速が増加した影響と考えられる。また、図7に直立護岸とフレア護岸の流速ベクトル図を示す。フレア護岸の方が前面に大きな渦が発生している。この渦により、水面高さのピークが海側に移動し、背後の流速が抑えられ、かつ渦によってエネルギーの減衰が生じて、衝撃力を低減できたと考えられる。

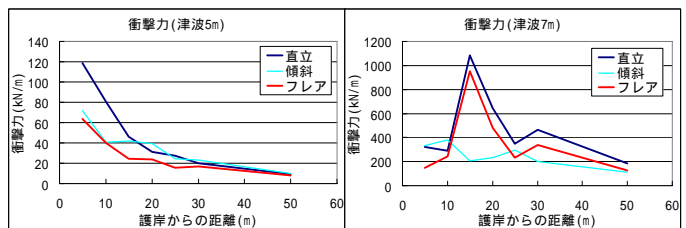


図5 衝撃力(津波高さ5m)

図6 衝撃力(津波高さ7m)

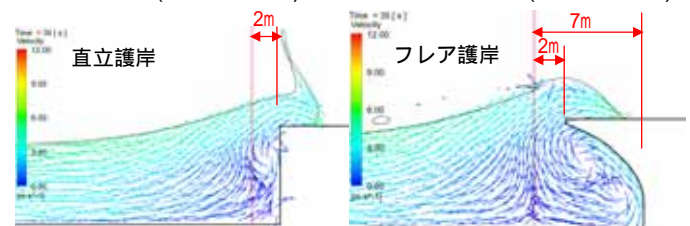


図7 護岸前面の流速ベクトル図(津波高さ5m)

(3) 津波力の比較

表2に、護岸に作用する津波力の解析値(衝撃波力・越流後静的波力)と、港湾基準³⁾の津波波力を示す。フレア護岸の波力は他構造より大きい値を示しており、設計時に留意が必要と思われる。また、衝撃波力は解析上のピーク値で時間刻みの影響を受けるため、設計への適用については今後の課題と考える。ただし、港湾基準による津波波力は約300~600(kN/m)となり、フレア護岸の押し波時の設計波力と同等であった。

表2 各護岸に作用する津波力

津波高さ	護岸形式	解析値		港湾基準 津波波力 (kN/m)
		衝撃波力 (kN/m)	静的波力 (kN/m)	
5m	直立護岸	650	9	260
	傾斜護岸	60	2	
	フレア護岸	1700	15	
7m	直立護岸	1030	40	570
	傾斜護岸	650	14	
	フレア護岸	5000	50	

4. まとめ

フレア護岸の津波に対する水理特性を、数値解析を用いて他の護岸形式と比較検討し、以下の事が分かった。津波高さ5mでは、背後構造物への衝撃力を、直立護岸・傾斜護岸より低減することができた。

津波高さ7mでは、背後構造物への衝撃力は直立護岸に比べて小さいものの、低減効果はそれほど無く、傾斜護岸の方が小さかった。

護岸に作用する津波力は、他形式に比べ大きくなる傾向にあり、構造検討の際には留意が必要である。

【参考文献】1)数値波動水槽の研究・開発,(財)沿岸開発技術センター,2010.

2)平石哲也:植栽による津波力減殺効果に関する検討,港湾空港技術研究所資料No.1171,pp.1-28,2008.

3)港湾の施設の技術上の基準・同解説,(社)日本港湾協会,平成19年