

離岸堤の津波防災効果検討における CADMAS-SURF の適用について*

株式会社不動テトラブロック環境事業本部 半沢 稔
 株式会社不動テトラ総合技術研究所 松本 朗
 東北大学大学院工学研究科 田中 仁

1. はじめに

近年、東海、南海、東南海をはじめ、宮城沖においても地震による津波の発生リスクが高まっている。また、2004 年末に発生したインド洋大津波を契機に、津波災害軽減に向けた研究が精力的に進められている。例えば、海岸施設に作用する津波波力については従来より多くの研究例がある（例えば、水谷・今村（2000）¹⁾、朝倉ら（2000）²⁾、加藤ら（2005）³⁾）。これらは、海岸堤防を対象としたものであるが、多くの海岸で設置されている離岸堤の効果について研究された事例は少ない。著者らは、離岸堤の持つ津波防災効果に着目し、実験並びに、数値計算を交えた研究を行っている。今回は、数値計算による検討結果について報告するものである。

2. CADMAS-SURF

海域施設の設計は従来、水理模型実験かそれに基づく設計公式によっている。しかし、水理実験には多大な費用、時間を要する。CADMAS-SURF とは SUper Roller Flume for Computer Aided Design of Maritime Structure の略称であり、水槽内での現象を精度よく再現することができる数値計算手法のことである。近年の数値計算手法の進展並びに、計算機の能力向上を背景に、海域施設の設計を数値計算を利用して効率的にまた、精度良く行うことを目指しており、多くの研究者によってその活用範囲の拡大に向けた研究が進められている。（例えば、磯部ら（1999）⁴⁾）、しかし、津波防災の観点での取り組みは未だ端緒に付いたばかりである。本研究は、津波防災の観点から離岸堤の持つ機能を検討するに当たって、孤立波を対象として CADMAS-SURF の適用を試みたものである。

3. 計算条件

計算対象とした水槽内の条件を図-1に示す。地形他は後述の比較対象とした Hamzah ら（2000）⁵⁾を参考にしている。水槽内 $x=5\text{m}$ に造波機を設置しており、 $x=0\sim 5\text{m}$ の区間は消波材（計算上はスポンジ層）としている。 $x=14\text{m}$ から 34m までの 20m 区間を勾配 $35/1000$ の斜面とし、そこから岸側は水平床としている。 $x=35.55\text{m}$ の位置に海岸堤防を、また、その前面には図-2に示すように $x=28\text{m}$ を中央として離岸堤（テトラポッド相当消波ブロック）を配している。水槽内には沖側一様水深部から堤防前面（ $x=7.5\text{m}\sim 35.55\text{m}$ ）まで計 14 箇所には波高計を設置しそれらの位置での水位を計算している。なお、図-1は沖側造波機位置での水深 $h=0.8\text{m}$ （海岸堤防位置水深 $h_0=0.1\text{m}$ ）の状況であるが、後述の計算では $h=0.7\text{m}$ （海岸堤防位置水深 $h_0=0\text{m}$ ）も対象としている。また、計算において離岸堤は、空隙率 $\rho=0.5$ 、慣性係数 $CM=1.2$ 、抵抗係数 $CD=1.0$ とした。

*Applicability of CADMAS-SURF for estimation of detached breakwaters' effects on Tsunami disaster prevention by Minoru Hanzawa, Akira Matsumoto and Hitoshi Tanaka

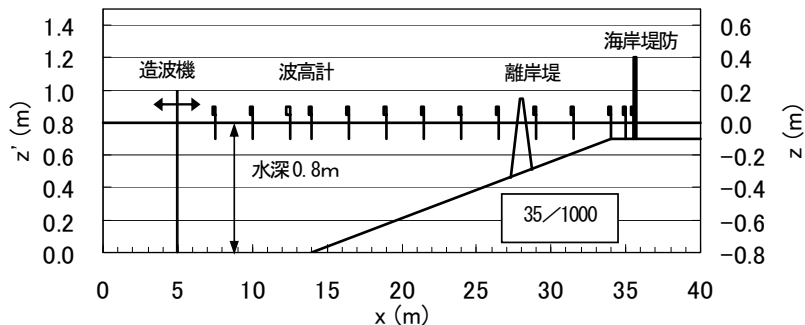


図-1 計算対象水槽内地形等条件

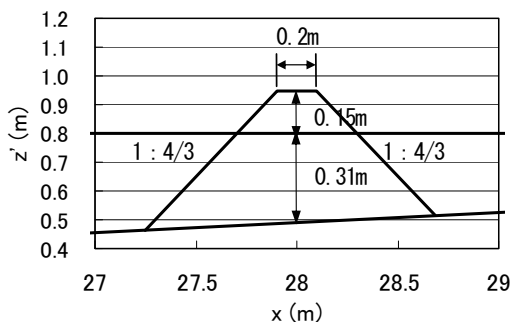


図-2 離岸堤形状図

表-1に計算ケースを示す。Case-0は海岸堤防および離岸堤ともに設置しないケースであり、沖の水深を0.8mおよび、0.7mとして計算の妥当性の確認を行ったものである。Case-1は海岸堤防を設置したケースであり、離岸堤のあり・なしによる波高の変化や、海岸堤防に作用する波力の変化から離岸堤の効果を検討したものである。沖水深は0.8m（海岸堤防位置水深は0.1m）である。Case-2はCase-1と同様の構造物条件で、沖水深（海岸堤防位置水深）を0.7m（0.0m）としたものである。

表-1 計算ケース表

ケース名	海岸堤防	離岸堤	沖水深 h(m)	海岸堤防位置水深 h_0 (m)
Case-0	なし	なし	0.8・0.7	0.1・0.0
Case-1	あり	なし・あり	0.8	0.1
Case-2	あり	なし・あり	0.7	0.0

4. 計算結果

(1) Case-0（海岸堤防および離岸堤なし）

図-3は沖水深0.8m（海岸堤防位置水深0.1m）の場合の各点での水位変化を時系列として示したものである。斜面沖端部 $x=14$ mから斜面を遡するに従い、浅水変形により波高が増大し $x=29$ m位置でピークとなり、その後は砕波により波高が減衰している状況が良く再現されている。図-4は沖水深0.7m（海岸堤防位置水深0.0m）の場合の結果である。このケースは水深が浅いため $x=29$ mで既に砕波が生じており、更に岸

側にかけて波高の減衰が大きい状況がよく表現できている。

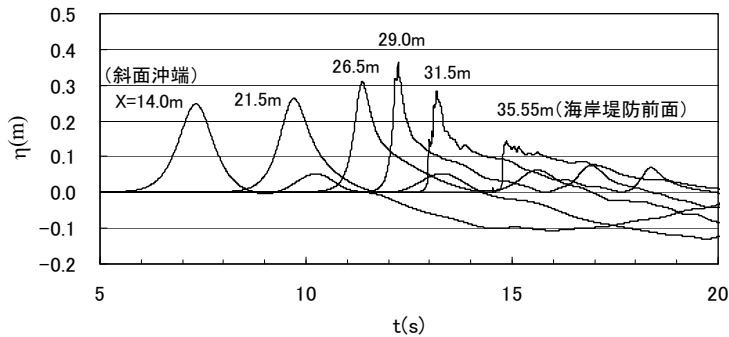


図-3 水位変化計算結果 (海岸堤防および離岸堤なし : $h=0.8\text{m}$, $h_0=0.1\text{m}$)

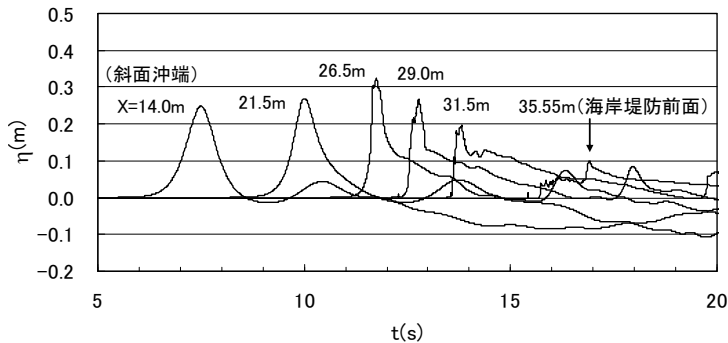


図-4 水位変化計算結果 (海岸堤防および離岸堤なし : $h=0.7\text{m}$, $h_0=0.0\text{m}$)

(2) Case-1 (沖水深 : 0.8m、海岸堤防位置水深 : 0.1m)

図-5に離岸堤がない場合の各波高計位置での水位の計算結果を示す。斜面法先位置 ($x=14.0\text{m}$)で孤立波の波高は 0.248m である。図-3で示したのと同様に斜面を遡上するに従い浅水変形により波高が増大し $x=29\text{m}$ 以降砕波により波高が減少していくが、堤防位置では反射のため水位が高まる状況が表現できていることがわかる。図-6は離岸堤を設置した場合の結果である。離岸堤に至るまでの地点では水位の変化に差は見られないが、離岸堤背後では波高が低減する状況がよく表現されている。例えば、 $x=31.5\text{m}$ 位置での離岸堤による波高低減率は 0.77 である (離岸堤なし $\eta=0.290$ 、あり $\eta=0.224\text{m}$)。

図-7は離岸堤がない場合の海岸堤防に作用する波力の計算結果を、最大波圧分布として示したものである。縦軸は波圧計算点位置の高さ z を沖水深 h で無次元化している。横軸は波圧計算値 p を構造物なしの場合の海岸堤防位置での波高 a_H (このケースでは図-3より $a_H=0.142\text{m}$) で無次元化している。図中にはHamzahらによる数値計算並びに、実験結果も併せて示している。実験結果の再現性はHamzahらの計算よりも本計算の方が良好であった。

図-8は離岸堤のある場合とない場合で堤防に作用する波圧分布を比較したものである。縦軸 (高さ)、横軸 (波圧) とともに計算における次元付きの値を用いている。離岸堤による波高低減の結果として波力の低減が表

現されている。特に、離岸堤がない場合に見られる $z=0.25\text{m}$ 付近に発生するピークが離岸堤設置により消滅していることがわかる。

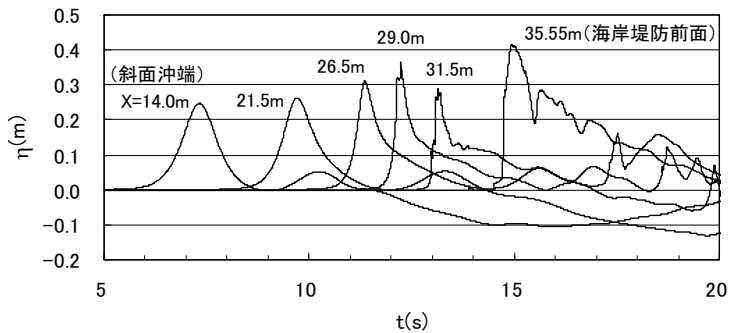


図-5 水位変化計算結果 (離岸堤なし : $h=0.8\text{m}$, $h_0=0.1\text{m}$)

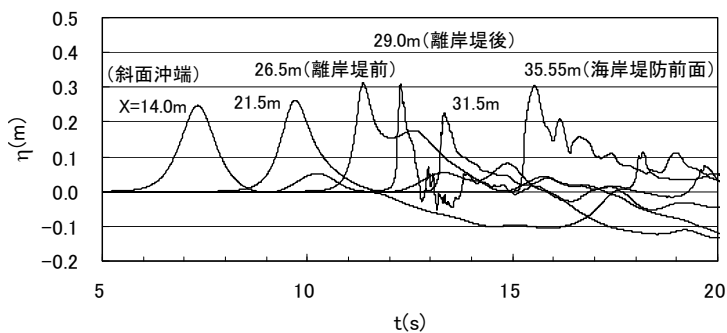


図-6 水位変化計算結果 (離岸堤あり : $h=0.8\text{m}$, $h_0=0.1\text{m}$)

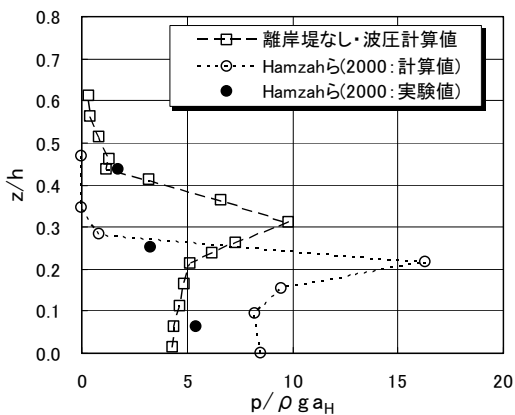


図-7 海岸堤防波圧分布 (離岸堤なし)

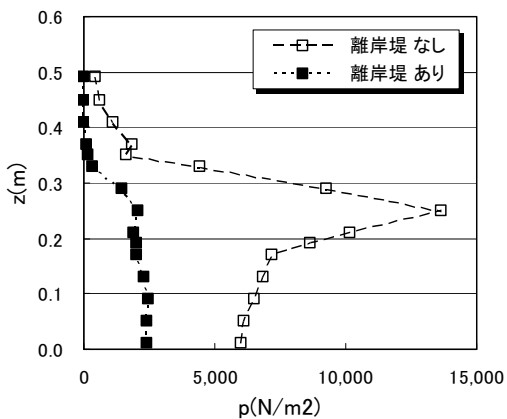


図-8 海岸堤防波圧分布 (離岸堤ありなし比較)

(3) Case-2 (沖水深: 0.7m、海岸堤防位置水深: 0.0m)

図-9に離岸堤がない場合の各波高計位置での水位の計算結果を示す。Case-1と同様に斜面法先位置($x=14.0\text{m}$)における孤立波の波高は 0.248m である。斜面を遡上するに従い浅水変形により波高が増大し $x=29\text{m}$ 以降砕波により波高が減少していく点や、堤防位置では反射のため水位が高まる状況がCase-1と同様に表現できていることがわかる。また、Case-1よりも水深が 0.1m 小さいため、砕波点付近から陸側、海岸堤防にかけての波高も小さいことがわかる。図-10は離岸堤を設置した場合の結果である。Case-1と同様に離岸堤に至るまでの地点では水位の変化に差は見られないが、離岸堤により波高が低減している状況がよく表現されている。 $x=31.5\text{m}$ 位置での波高低減率は 0.67 (離岸堤なし $\eta=0.195$ 、あり $\eta=0.130\text{m}$)でありCase-1に比べて離岸堤による波高低減効果が大いことがわかる。これは、Case-2は1よりも離岸堤のクリアランス(静水面上の天端高)が大いことにより波高低減効果がより大きくなる現象が計算においても再現された結果である。

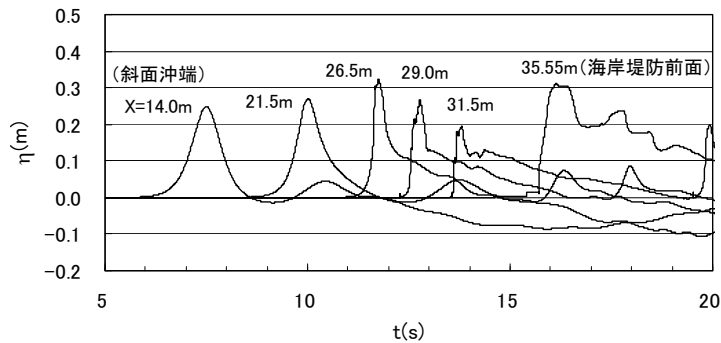
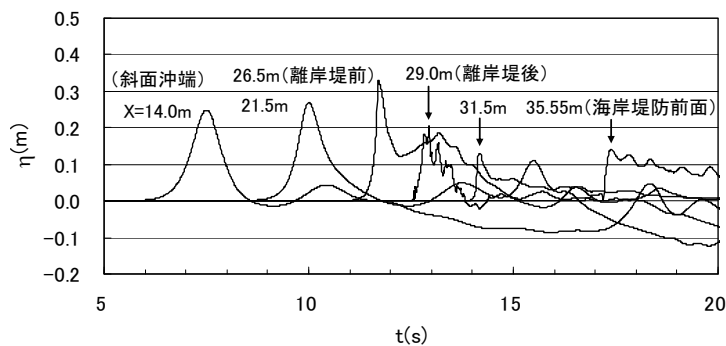
図-9 水位変化計算結果 (離岸堤なし: $h=0.7\text{m}$, $h_0=0.0\text{m}$)図-10 水位変化計算結果 (離岸堤あり: $h=0.7\text{m}$, $h_0=0.0\text{m}$)

図-11は離岸堤がない場合の海岸堤防に作用する波力の計算結果である。このケースでは離岸堤がない場合でもCase-1に見られたような波圧のピークは生じていない。海岸堤防への波の当たり方の違いによるものであり、Case-1では衝撃的な波圧が発生しているのに対し、Case-2ではそれが見られなかったためと考えられる。図中にはCase-1と同様にHamzahらによる数値計算並びに、実験結果も併せて示

している。本計算結果はHamzah らの実験結果の傾向を表現できていることがわかる。

図-1 2は離岸堤のある場合とない場合で堤防に作用する波力を比較したものである。Case-1と同様に離岸堤による波高低減の結果として波力の低減が表現されている。離岸堤を設置することで、離岸堤がない場合に比べて全体的に1/2に縮小された形状となっている。

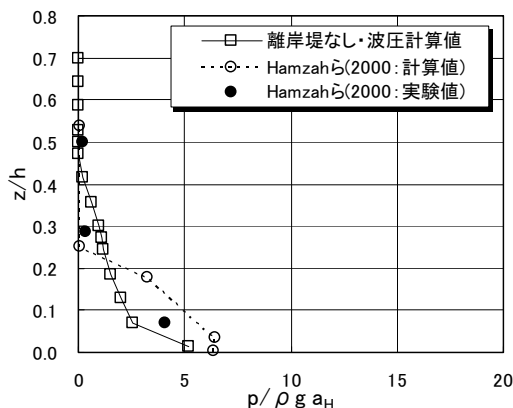


図-1 1 海岸堤防波圧分布 (離岸堤なし)

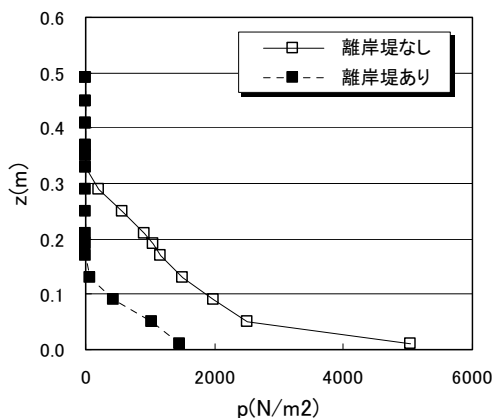


図-1 2 海岸堤防波圧分布 (離岸堤ありなし比較)

以上より、離岸堤の設置による波高減衰効果並びに、それに伴う海岸堤防に作用する波圧低減効果を確認できた。また、水位が最大となる時刻についてみると、離岸堤手前では離岸堤のあり・なしによる差はないが、離岸堤背後では離岸堤の影響で最大水位の発生時刻が遅れていることがわかる。例えば、Case-1では $x=31.5\text{m}$ 位置で 0.20 s 、海岸堤防位置では 0.59 s の時間差となっている(図-5, 6より)。同様にCase-2では $x=31.5\text{m}$ 位置で 0.37 s 、海岸堤防位置では 1.25 s の遅れが生じている(図-9, 10より)。この時間差は津波防災の点からは従来あまり議論がされていないが、避難を考えた場合には非常に重要と考えられる。すなわち、仮に、海岸堤防位置について考えると、実験縮尺を $1/50$ としフルード則に従い現地換算すればCase-1の 0.37 s は 2.6 s 、Case-2の 1.25 s は 8.8 s となり、避難において例えば、生死を分けるような場面では大きな意味をもつものと考えられる。

5. まとめ

離岸堤の津波防災効果検討におけるCADMAS-SURFの適用の可能性が確認できた。今後は、水理模型実験も行い計算手法の妥当性検証を行うとともに、設計手法の提案を目指して研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 水谷将、今村文彦(2000)：構造物に作用する段波波力の実験、海工論文集、第47巻、pp.946-950
- 2) 朝倉良介ら(2000)：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究、海工論文集、第47巻、pp.911-915
- 3) 加藤史訓ら(2005)：津波により海岸堤防に作用する波力に関する大型模型実験、海工論文集、第52巻、pp.756-750
- 4) 磯辺雅彦ら(1999)：数値波動水路の開発に関する研究、海工論文集、第46巻、pp.36-40
- 5) M. A. Hamzah ら(2000)：海岸堤防に作用する津波波力の実験と数値シミュレーション、海工論文集、第47巻、pp.371-375