

直立浮上式防波堤による現地津波防護効果に関する検討

Protection Performance against Tsunamis due to Buoyancy-Driven Vertical Piling Breakwater

有川太郎¹・野村逸人²・富田孝史³・小林 真⁴・虎石龍彦⁵・荒井 清⁶・木原一禎⁷

Taro ARIKAWA, Hayato NOMURA, Takashi TOMITA, Makoto KOBAYASHI

Tatsuhiko TORAISHI, Kiyoshi ARAI, Kazuyoshi KIHARA

This research investigates the protection performance against tsunami with the buoyancy-driven vertical breakwater by using the numerical simulations. Macro-Micro scale interlocked tsunami simulator named STOC (Storm surge and Tsunami simulator in Oceans and Coastal areas) has been applied to the series of simulations. Results of comparison of tsunami height in the Wakayama-shimotsu port and Fukura port due to Tokai, Tonankai and Nankai earthquakes indicates that this new breakwater decreases tsunami height and inundation area. Although the dissipating rate is depending on the position of this breakwater, the breakwater with 10% opening brings a 33% decrease in the maximum tsunami height.

1. はじめに

直立浮上式防波堤が提案され(山根ら, 2005), その水理特性を大規模実験および3次元数値シミュレーションを用いて検討した(有川ら, 2007). その結果, 比較的周期の長い津波に対する透過率特性, 防波堤に作用する波力, 杭間流速などが明らかとなり, 直立浮上式防波堤の水理特性を示したが, 現地港湾における防護効果は明らかではない.

そこで, 本研究では, 高潮・津波シミュレータ(STOC, 富田ら 2005)を用いて, 現地港湾に適用した場合の津波効果を見ることを目標に, まず, 実験との比較検討により計算モデルの妥当性を検証し, 次に, 実験では取り扱うことのできない長周期の波に対する水理特性を検討する. 最後に, 2カ所の現地港湾への適用を図り, その防護効果を検討する.

2. 計算モデル

(1) 基礎方程式

高潮・津波シミュレータは, STOC-ML, IC, VF の3つの連成モデルで構成されるが, 本研究では現地適用を行う際の計算効率から, STOC-MLを用いることとした.

STOC-MLは, 鉛直方向の運動方程式を静水圧近似とし, 水表面を鉛直方向に積分した連続式から決定することで, 計算効率を良くし, 広範囲において津波の伝播

計算のできる多層シミュレータである.

(2) 浮上式防波堤の取り扱い

直立浮上式防波堤(図-1)は, 上部・下部鋼管からなり, 通常は海底面にあり, 必要に応じて空気を送り込むことによって, 鋼管が浮上する可動式の防波堤である. 図のように複数の杭管が並んでいる構造であり, 下部鋼管の厚みがあるため, 管と管の間には隙間が生じる構造となる. 現時点では管の直径は2~3m程度が実用的となる.

一方で, 現地計算等の津波を現状の計算機能力で解析するためには, 計算格子の大きさは10m程度となるため, 1つの格子に鋼管が複数本入ることとなる. そこで, 浮上

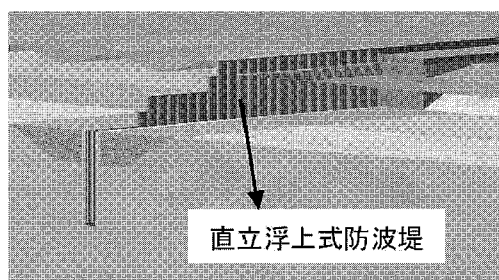


図-1 直立浮上式防波堤概念図

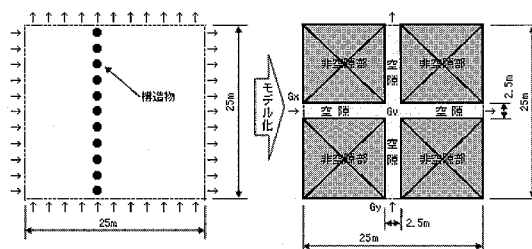


図-2 直立浮上式防波堤のモデル化

- | | | | |
|-------|------|-------------------|-------|
| 1 正会員 | 博(工) | (独法)港湾空港技術研究所 | 主任研究官 |
| 2 正会員 | | (独法)港湾空港技術研究所 | 耐波研究室 |
| 3 正会員 | 博(工) | (独法)港湾空港技術研究所 | 上席研究官 |
| 4 正会員 | 修(工) | (株)大林組 土木技術本部 | |
| 5 | | 新日鉄エンジニアリング(株) | |
| 6 正会員 | 博(工) | 東亜建設工業(株) | |
| 7 | | 三菱重工橋梁エンジニアリング(株) | |

式防波堤を図-2のように複数本まとめて空隙率として与え、管と管の間に生じる隙間の効果を表現することとした。乱流モデルは、SGSモデルを組み込んでいる。

3. 矩形水路における透過率の検討

(1) 実験との比較検討

モデルの妥当性を検討するために、有川ら(2007)の行った実験結果との比較を行う。実験は大規模波動水路を用いて、約40cmの鋼管を7本並べ、開口率5%、10%、15%で行った。ここでは、有川ら(2007)の検討と同じく、鋼管1本を対象として計算領域を図-3のように作成した。水深は2.0mとし、鉛直方向には、(-2.5m, -2.0m, -1.0m, +1.0m, +2.5m)と4層にし、水平方向の格子の大きさは、1.0mとし、STOC-MLを用いて検討した。

波浪条件は、半周期が20.0s, 25.0s, 26.8sの3種類、波高0.8mと0.4mを対象として、実験と比較を行った。図-4は、波高0.40m、半周期26.8s、開口率15%の時系列の結果である。実験と同じく入射波の津波高さ(η_{imax})、透過波の津波高さ(η_{tmax})を読み取り、透過率を計算し、それを比較したものを図-5に示す。

図-5は横軸に開口率を、縦軸に透過率を取ったものである。透過率10%のときは、ほぼ実験と整合した結果となっているが、透過率5%のときは実験より透過しやすく、透過率15%のときは実験より透過しにくい結果であることがわかる。

直立浮上式防波堤は、鋼管からの反射と隙間を通るときに生じる水平渦と縦渦により、エネルギーの伝達を抑える構造であることが有川ら(2007)よりわかっており、その考察から今回の結果をみると、5%の結果より、開

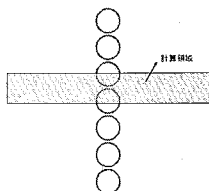


図-3 計算領域

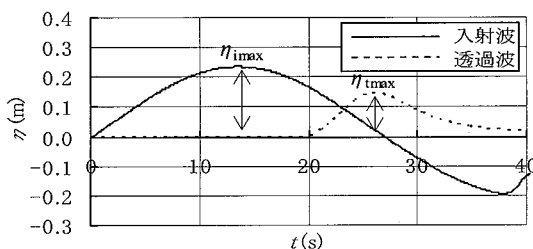


図-4 計算による時系列波形の例

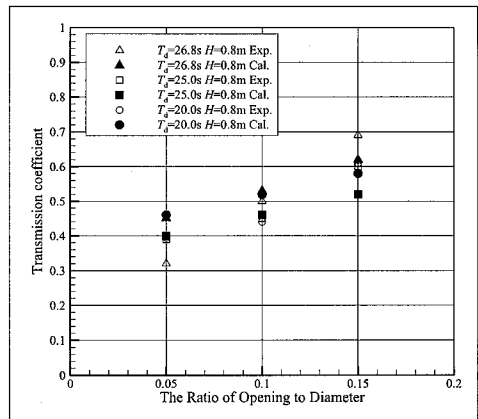


図-5 実験と計算との透過率の比較

口幅が小さくなってくると、本モデルでは渦や縮流効果について、過小評価していることがわかる。また、15%の結果より、開口幅が大きくなると、実際に円柱であるから角柱より反射効果が薄れるはずであるが、本モデルではその効果が入っていないため、その部分で過大評価していることがわかる。それらの効果を取り入れたモデル化は、今後の課題である。

(2) 長周期に対する検討

図-6のように、長さ10km、幅2.5km、高さ20mの水路を用いて検討する。図の左側から様々な周期の波を入射させ、その透過率を検討する。水平方向の計算格子の大きさは現地適用計算時に用いる25mとした。鉛直方向には、(-10.5, -5, -2.5, 0, 2.5, +5.0, +10.0m)のように分割した。側方境界を壁面、岸側境界は開境界とした。直立浮上式防波堤は透過型の防波堤であるため、岸側を閉めると水域面積と津波周期による流入・流出量とのバランスから背後地への影響は変わることが予想されるが、本研究は初期検討と位置付け、岸側を透過させることとした。

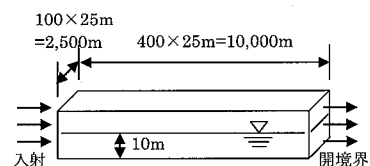


図-6 矩形水路形状図

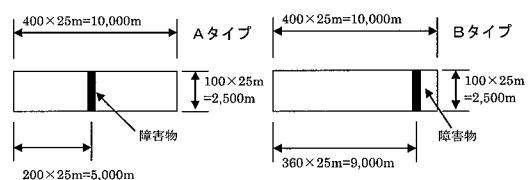


図-7 直立浮上式防波堤設置位置（平面図）

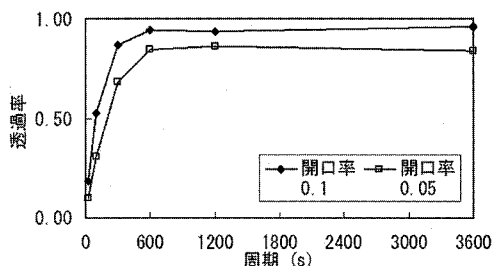


図-8 透過率の計算結果

水深は10 mとし、津波周期は、25, 100, 300, 600, 1200, 3600 秒、波高は、0.1 mとした。直立浮上式防波堤は、図-7のようにし、周期600 sまでは水路中央に設置し(Aタイプ)、 $T=1200$ sからは9 kmのところに設置した(Bタイプ)。開口率は10%, 5%を比較する。

図-8は、透過率の結果をまとめたものである。岸側を開境界としているため、周期が長くなるに従って透過率が大きくなっており、周期600 sを超えたあたりからほぼフラットな状態になっていることがわかる。周期が長くなると、全体的にゆっくりと水位上昇するようになるため、杭のようなものでは消波効果がないことが予想され、計算結果はそれを意味しており、妥当な結果である。

有限振幅性が強くなり、流速がより速くなれば、実験との比較でも考察したとおり、より詳細な縮流効果のモデル化が必要であり、また、堰における流れのようになるため、浮上式防波堤背後に縦渦が生じるが、それによりエネルギーが失われる機構のモデル化も必要であるものの、両者ともに、エネルギーが現モデルよりも失われるモデル化であり、それについては、今後、検討していくものとする。

4. 現地における効果の検討

前述したとおり、直立浮上式防波堤は透過型の防波堤であり、岸側の水域面積と津波周期による流入・流出量とのバランスにより、その湾内の防護効果が変化する。そこで、実際の現地に対して適用し、その防護効果を検討する。ここでは、福良港および和歌山下津港を対象とした。福良港は南海モデルを、和歌山下津港は、東海・東南海・南海同時モデルを想定地震として用いた。

(1) 福良港

a) 計算条件および設置条件

計算領域は5領域とし(図-9)、格子の大きさは、第1領域が1350 m、第2は450 m、第3は150 m、第4は50 m、第5は25 mとした。潮位は、+0.75 mとした。

直立浮上式防波堤の開口率は10%とし、図-10に示す2つのタイプによる比較を行った。AタイプはBタイプよりも沖側に設置し、Bタイプは島を防波堤のよう

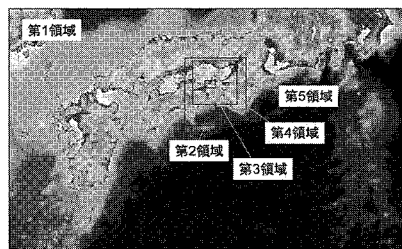


図-9 計算領域(福良港)

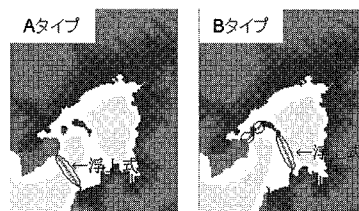


図-10 直立浮上式防波堤の設置場所(第5領域)

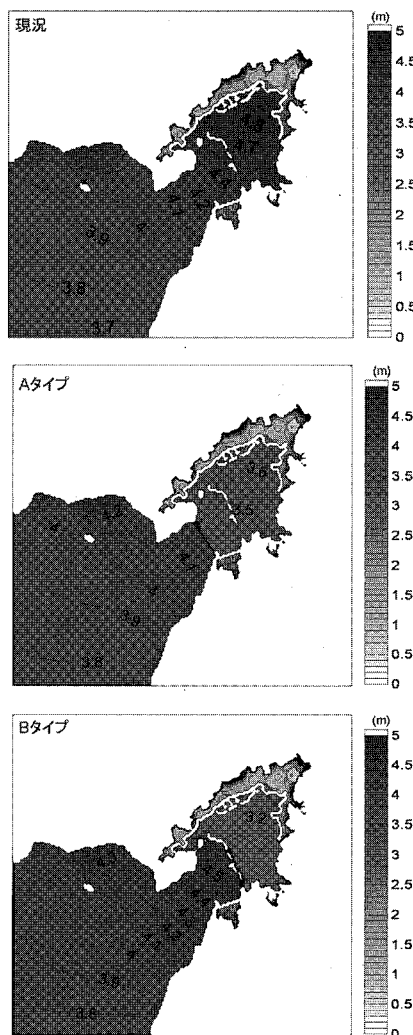


図-11 最大津波高の比較

に利用して設置することとした。

b) 計算結果

図-11は、現況、Aタイプ、Bタイプのそれぞれの津波高の比較を行ったものである。

湾奥に到達している最大津波高の比較を行うと、現況では4.8m、Aタイプでは3.6m、Bタイプでは3.2mとなっている。BタイプはAタイプよりも効果があり、最大津波高を33%減少させている。AタイプとBタイプに効果の差が生じたのは、直立浮上式防波堤の背後の水域面積の影響と考えられ、背後水域と津波周期が直立浮上式防波堤の効果に及ぼす影響を検討する必要がある。

(2) 和歌山下津港

a) 計算条件

計算領域は5領域(図-12)とし、各領域の格子サイズは福良港と同じとした。潮位は、+1.90mで行った。時間間隔は0.5秒、図-13のように港口に浮上式水門を設置した。

計算ケースは、表-1のように現況のケースに対して、開口率10%、5%の直立浮上式防波堤を設置したケース1およびケース2、そして、既存防波堤を200m延長した上で5%の開口率の直立浮上式防波堤を設置したケース3

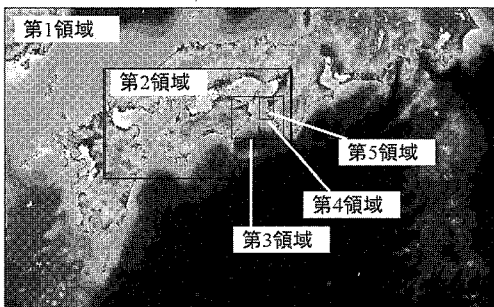


図-12 計算領域(和歌山県下津港)

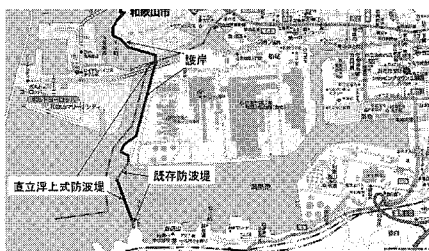


図-13 直立浮上式防波堤の設置条件

表-1 計算ケース

ケース名	護岸	既存防波堤	浮上式(開口率)
Case0(現況)	現況高さ	天端 現況	無し
Case 1	無限高さ	天端 無限	天端 無限(10%)
Case 2	無限高さ	天端 無限	天端 無限(5%)
Case 3	無限高さ	200m延長, 天端無限	天端 無限(5%)

とした。直立浮上式防波堤の防護効果を見るため、case1～case3は、既存防波堤からの越波しない条件とした。

b) 最大津波高の検討

最大津波高の比較を図-14に示す。現況からcase1, case2, case3になるに従って湾奥の最大津波高は小さくなっていることがわかる。しかし、同時に反射してい

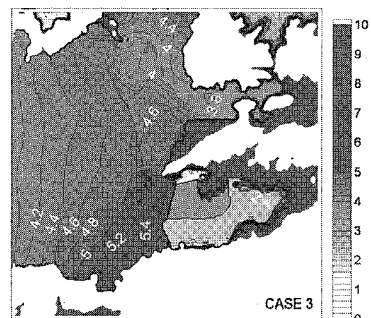
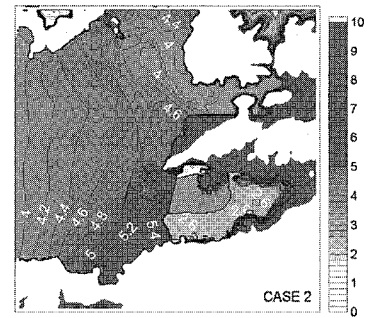
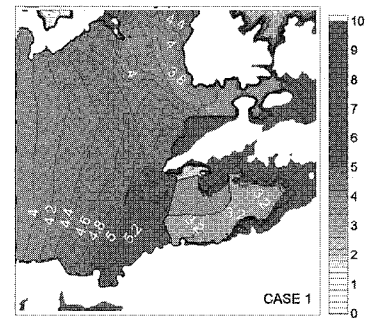
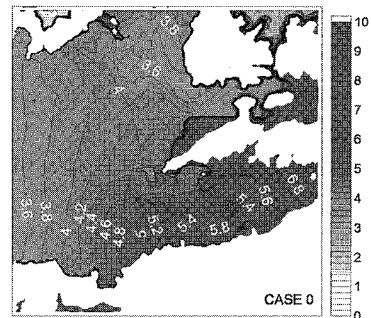


図-14 各ケースの最大津波高の比較

るため、周辺の津波高が40 cm 程度大きくなっており、影響が及んでいることがわかる。

次に、港内の護岸の高さを無限にし、港内平均水位の比較を行った。図-15 は、各ケースにおける水位の変化量を示すものである。つまり港全体水位の単位時間あたりの増減を示している。よって、この量を各時刻で足し合わせることで、港内での蓄積量を知ることができる(図-16)。これを見ると case1 ~ case3 になるに従い、港内から津波の流入は減少するものの、反対に港内からは流出しにくくなっていることがわかる。そのため、case3 では、港内水位が最大になる時刻は、105 分時に来襲する最大津波時ではなく、その後に続く津波の来襲時であり、若干の遅れが生じている。

図-17 に港全体水位の全来襲津波の中での最大値の比較を行ったものを示す。これを見ると、現況との比較から10%の防波堤を設置した効果は約33%であることがわかる。福良港のBタイプと同程度であった。ただし、護岸や既存防波堤の天端の影響も大きい。

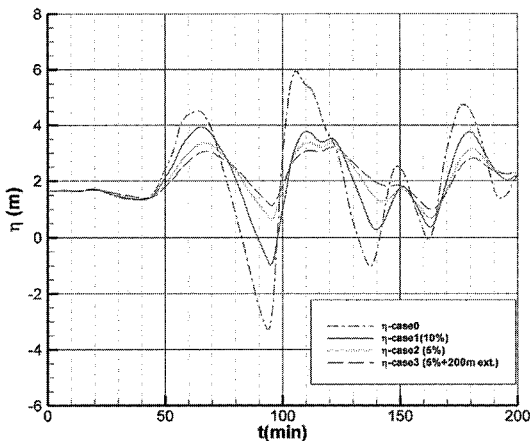


図-15 港全体水位の単位時間あたり増減

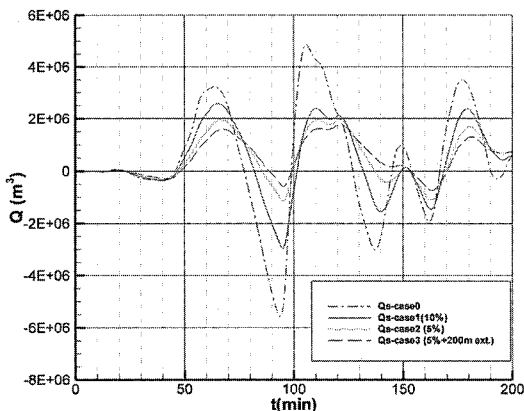


図-16 港内の蓄積量の変化

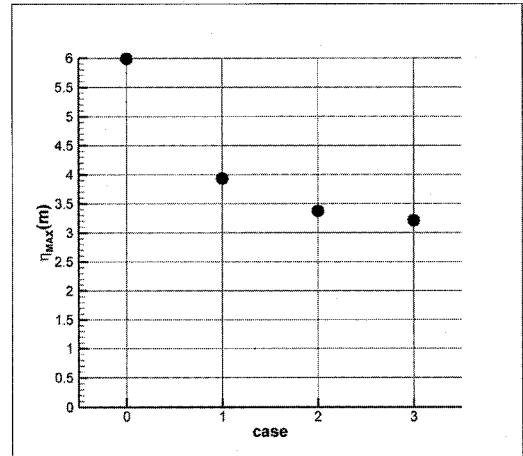


図-17 港全体平均水位の最大値

全体として計算結果より、設置場所によって多少の変化はあるものの、約30%程度の波高減衰が見込まれる。つまり、波のエネルギーとして考えると半分程度となるため、単に浸水範囲を軽減するだけでなく、構造物にもたらす破壊エネルギーの軽減にもなる。さらに、最大水位となる時間を遅らせることで避難時間を稼ぐことができる等、防災効果を持つ防波堤であることがわかる。

5. ま と め

直立浮上式防波堤の津波に対する防護効果の算定方法について数値シミュレーションを用いて検討した。実験結果と比較検討したところ、縮流効果の過小評価、円柱としてのモデル化に対してさらに詳細な検討が必要なものの、傾向や透過率の大きさは定量的にも妥当な結果を得た。さらに、長周期の波に対して検討したところ、定性的に妥当な結果が得られた。そこで、本モデルの現地への適用計算を試みたところ、直立浮上式防波堤による津波に対する防護効果を定量的に明らかにした。今後は、設置位置などによる効果の変化について検討する。

参 考 文 献

- 富田孝史・柿沼太郎(2005): 海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用, 港空研報告, 第44巻第2号
- 有川太郎・中野史丈・野村逸人・下迫健一郎・小林 真・虎石龍彦・荒井 清・木原一禎(2007): 直立浮上式防波堤の津波・風波に対する水理特性について, 港空研資料, No. 1156.
- 山根隆行・有川太郎・伊藤政人・増山琢也・亀井幸雄・宮坂政司(2005): 直立浮上式防波堤の開発, 海洋開発論文集, vol. 21, p. 115-120.