

建物の津波・高潮に対する減災効果に関する水理実験による検討

Experiment on Mitigation Effects of On-Land Buildings Caused by Tsunami and Storm Surges

岡本 修¹・小田勝也²・杉浦 淳³・宮崎和行⁴・田中 聡⁵

Osamu OKAMOTO, Katsuya ODA, Sunao SUGIURA, Kazuyuki MIYAZAKI and Satoshi TANAKA

The reduction effect of buildings for tsunami and storm surge in coastal area was verified with a hydraulic model test in a flat water basin. Water forces among the buildings and water levels and velocities at their backside were measured modifying their allocation of buildings in order to identify the causes of reduction of water level and velocity of wave run-up in the test. It was confirmed that the reduction effect by the allocation of building is varied according to the effect of energy loss by eddies generated around the buildings and the most effective one was a plover allocation pattern. Comparing the maximum run-up distance with the numbers of a regular allocation pattern, the reduction effect was confirmed at two lines in solitary wave and one line in long period wave.

1. はじめに

沿岸域に來襲する津波・高潮被害の想定は一定のシナリオに基づき検討される。しかしながら、想定地震の不確実性や地球温暖化による海面水位上昇および台風規模等への影響により、防護レベルを上回る外力による被害も想定される。計画外力を上回る災害に対してはハード対策に頼るのでは莫大な投資が必要となるため、平常時には港湾施設として利用され、巨大災害発生時には減災機能を発揮することが港湾機能の有効活用方策として行政的にも注目されつつある。すなわち、津波防波堤や防潮堤等の施設のほか、岸壁や上屋・倉庫等さらに臨海部の緑地や植生等により津波・高潮エネルギーの減災効果や到着時間の遅延効果等を考慮した減災対策およびこれらを考慮した配置計画を導入することが有効である。

構造物等による減災効果を検討した研究としては、シマモラら(2007)の水理実験から建物模型に作用する津波波力を計測し、その近傍の水位や流速を検討した研究等がある。また、著者の一人である小田ら(2008)による港湾の陸域部の第一線に整備されている建物・倉庫等の構造物による津波や高潮に対する減災性能を検討した背後域の浸水状況に着目した3次元の水理実験がある。本研究では、小田ら(2008)の研究結果として得られた密集配置の効果、構造物列数の効果等について、さらに詳しく把握するために、遡上波の水位・流速・遡上距離等を測定するとともに、構造物の受ける荷重を測定して

流体力との関係を明らかにし、港湾施設配置の計画・設計に減災機能を考慮できるよう検討した。

2. 水理模型実験の方法および条件

(1) 実験装置および実験方法

実験は、小田ら(2008)の研究と同じ50m×40mの平面水槽を用い水路幅は5.4mとした。模型縮尺は1/100を想定しているが、本論文の表記は原則として模型量とした。図-1に模型の配置状況を示す。陸上構造物を設置する部分は幅1.8mの水路に仕切り、表面粗度(マンニングの粗度係数で現地0.025相当)を現地縮尺にできるだけ合うよう水性塗料で仕上げた。また、遡上波が排水し易いように、1/100勾配のよう斜路とした。水深は30cmのよう、岸壁の地盤高は1cmとした。構造物模型は、岸壁から

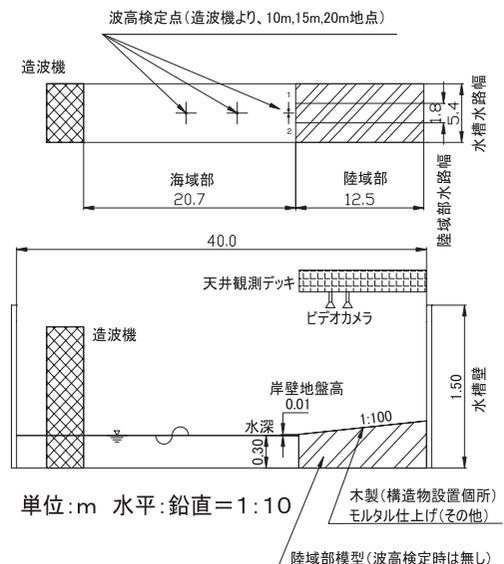


図-1 造波機および模型の配置状況

1	正会員	工修	国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部主任研究官
2	正会員	工修	前 国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部長
3			(株) エコー
4		工修	(株) エコー
5	正会員	工修	(株) エコー

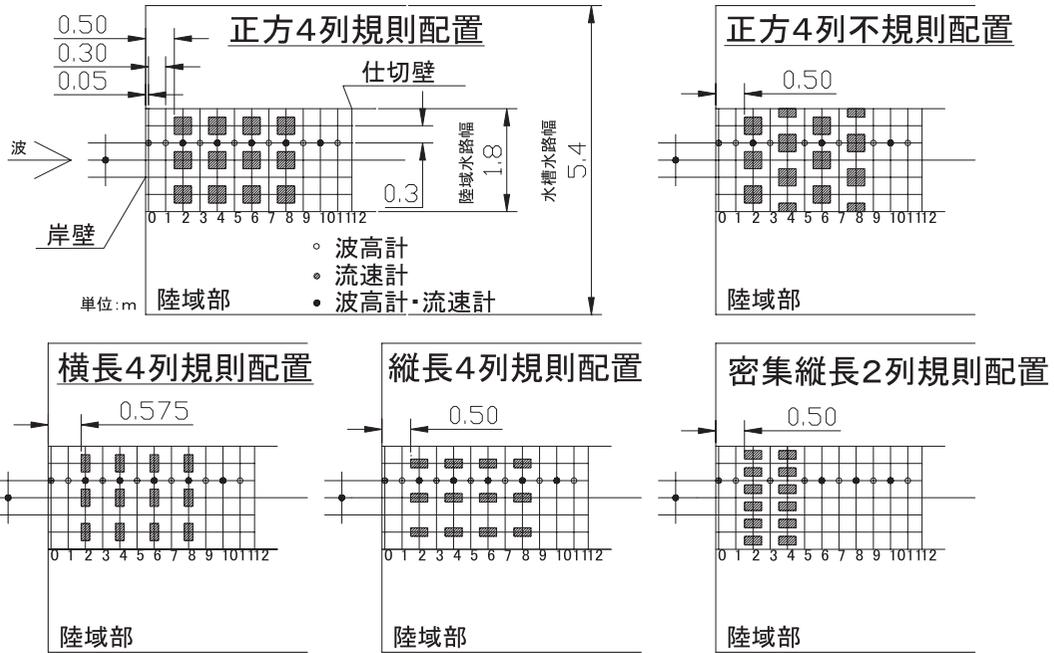


図-2 構造物模型の配置パターン

65cm離れたところに、幅30cm (または15cm)、奥行30cm (または15cm) の木製模型の中心がくるよう設置した。

(2) 構造物配置

図-2に構造物模型の配置を示す。構造物の中心点間隔は、密集縦長2列規則配置の沿岸方向のみ30cm間隔とし、その他は沿岸方向および岸沖方向とも60cm間隔とした。正方形は幅30cm・奥行30cm、横長は幅30cm・奥行15cm、縦長は幅15cm・奥行30cmの構造物の平面形状を示す。なお、正方形規則配置は列数を1~4列に変更して検討し、不規則配置は、規則配置の2列目 (以下、岸壁から1列目とする。) を30cm沿岸方向にずらし千鳥配置とした。

(3) 測定方法

水位測定は、容量式波高計を用いてサンプリング間隔40msで行い、図-2に示す1列目に構造物のない測線において30cm間隔 (○●印の箇所) で測定した。波高計は、地盤面に孔を開けて設置し、地盤高に水位を合わせて実験を行い、水位ゼロを地盤高とした。

流速測定は、可逆プロベラ式流速計を用いてサンプリング間隔40msで行った。用いた流速計は一方成分しか測定できないため、岸沖成分が比較的確な構造物間 (●印の箇所) のみ測定し、測定高は地盤から約4mmとした。

(4) 実験波

実験水槽内で実現象に近い津波や高潮を発生すること

は難しい。そこで、小田ら (2008) の研究と同じ式 (1) に示す孤立波造波理論による発生波を用い、振幅は5cm, 7cm, 10cm (現地5~10m) とした。

$$S = \sqrt{(16H \cdot h)/3} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 S は造波機の全振幅、 H は造波板前面振幅、 h は造波機の設置水深を示す。

また、安定している長い周期として20s (現地200s) の規則波を引き波初動で作用させた (以下、長周期波という)。両振幅 (波高) は3cm, 4cm, 5cm (現地3~5m) とし、周期が長いので再反射の影響を受け易く、有効波として2波目を解析した。

3. 水位の経時変化でみた低減効果

図-3 (a) (b) (c) に、長周期波5cmにおける1~5列目構造物間相当位置の水位の経時変化を示す。(a)は構造物列数、(b)は構造物形状、(c)は密集状況の比較を示す。

構造物列数を比較すると、4列目以降になると構造物有無による差異が明らかとなる。ただし、構造物列数の有意な差はみられず、構造物は1列でも十分低減効果が得られる。2列目構造物間では1列並び、3列目構造物間では2列並びで最大水位が最も小さくなるように、構造物通過直後で低減することがわかる。構造物形状を比較すると、4列目以降で差がみられ、4列不規則 (正方形4列

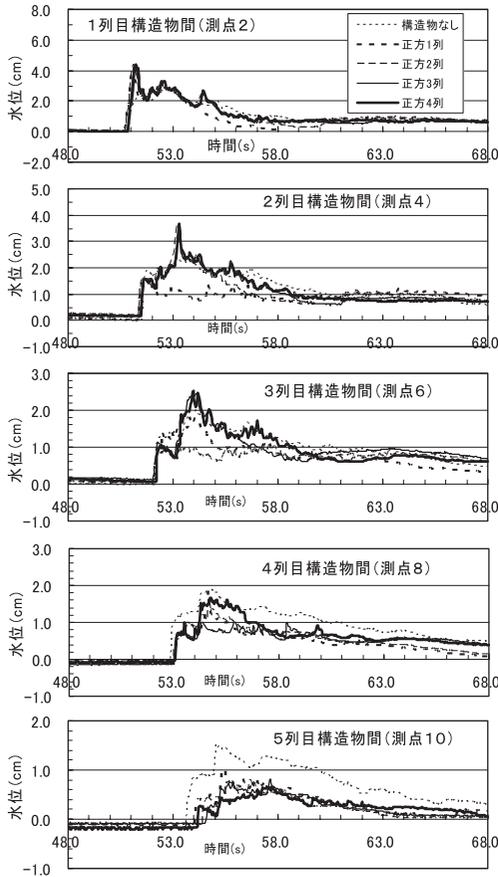


図-3 (a) 長周期波5cmの水位の経時変化 (行数の比較)

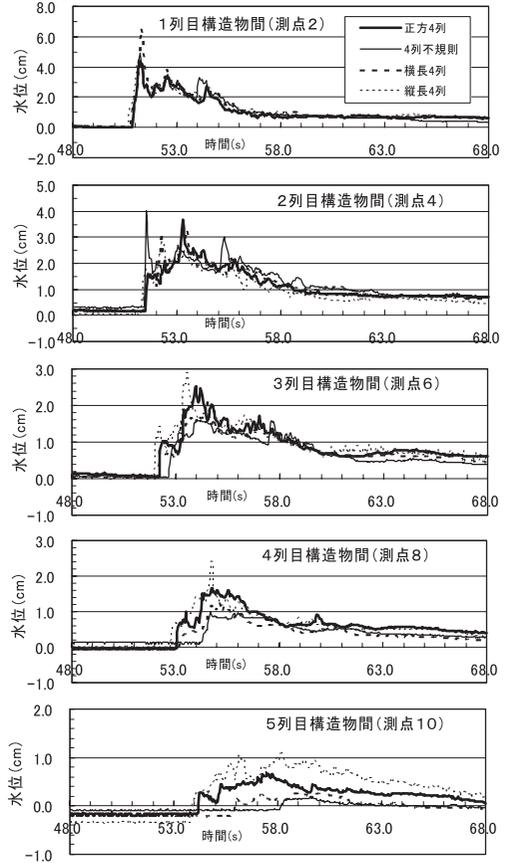


図-3 (b) 長周期波5cmの水位の経時変化 (形状の比較)

不規則配置), 横長4列(横長4列規則配置)の順で低減効果が高い。4列不規則は小田ら(2008)の研究でも低減効果は明かであったが, 横長4列がほぼ等しい減災効果が得られているのは, 前後の構造物間が広いため, その間で渦が発生し易く, 遡上波のエネルギーが損失しているためと考える。密集状況を比較すると, 正方2列(正方2列規則配置)よりも密集縦長2列(密集縦長2列規則配置)で位相が遅れ低減している。両者は構造物の占める面積は同じであるが, 後者の方で構造物間が狭くなっており, 遡上波が進入しにくいと考える。前出の4列不規則や横長4列にもみられるように, 低減効果の高い構造物は位相も遅れ, 減災の観点でみれば効果は大きい。

4. 流速の経時変化でみた低減効果

図-4 (a) (b) に, 孤立波5cmの1・4・5列目構造物間相当位置の流速の経時変化を示す。(a)は構造物列数,(b)は構造物形状の比較を示す。

構造物列数を比較すると, 4列目以降で列数が少ないほど低減効果は高く, 正方配置は遡上波を下手側に導き

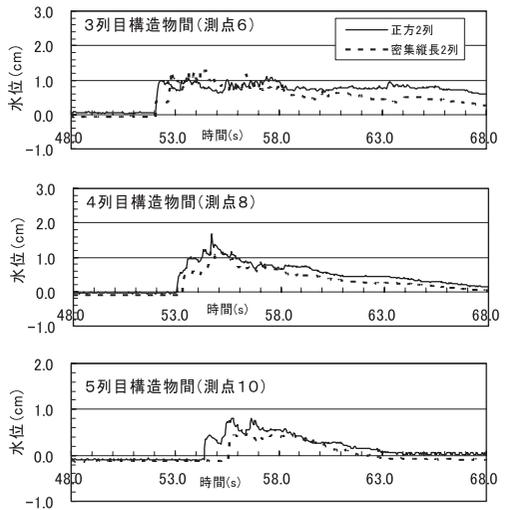


図-3 (c) 長周期波5cmの水位の経時変化 (密集状況の比較)

易く, 列数が多いと減災には逆効果となる場合がある。構造物形状を比較すると, 水位変化と同様に4列不規則, 横長4列で低減効果が明らかであり, 位相も遅れる。

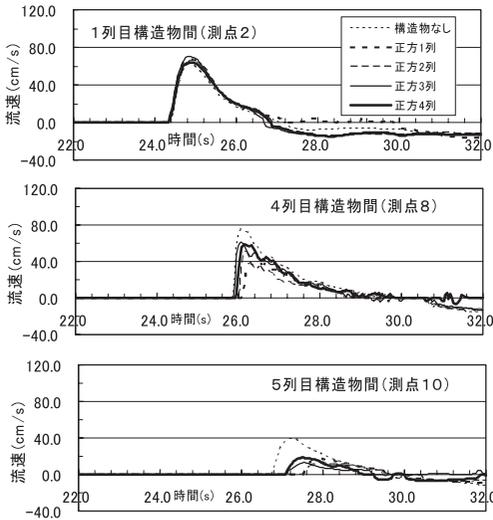


図-4(a) 孤立波5cmの流速の経時変化 (列数の比較)

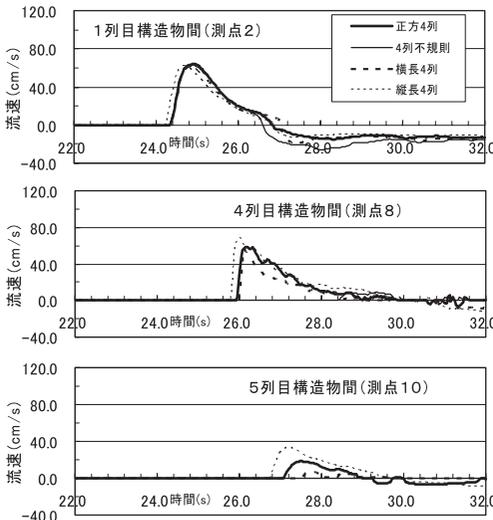


図-4(b) 孤立波5cmの流速の経時変化 (形状の比較)

5. 無次元水位・流速でみた低減効果

図-5 (a) (b) に、長周期波5cmの構造物のない状態に対する各構造物配置の最大水位比 (以下、無次元水位という。) および最大流速比 (以下、無次元流速という。) を示す。

各図の上段にある列数の比較をみると、水位は最後列の構造物を通過したところで無次元数が小さくなるものの、最下手側では列数による大差はない。流速も同じ傾向となるが、水位に比べて位相が遅れるため最下手側では3列並びの無次元数が小さい。下段にある形状の比較をみると、4列不規則、横長4列の無次元数が明らかに小さい。流速をみると、縦長4列は1.0以下に低減せず、横

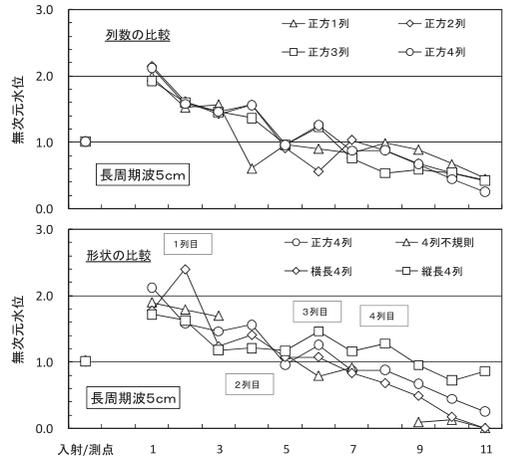


図-5(a) 長周期波5cmの無次元水位

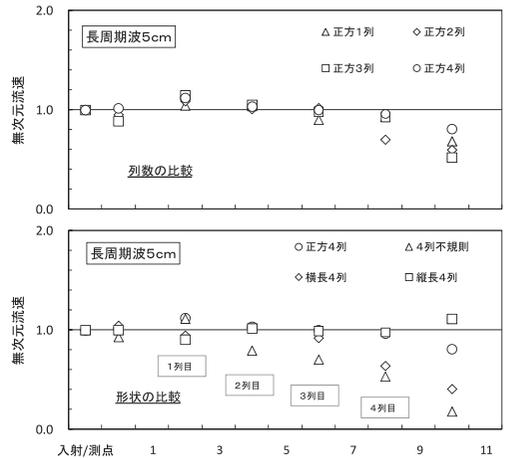


図-5(b) 長周期波5cmの無次元流速

長4列とは対照的に構造物の配置で減災効果が異なる。

6. 最大遡上距離でみた低減効果

図-6に、孤立波および長周期波の遡上波の最大遡上距離を示す。孤立波および長周期波とも (両) 振幅の増加とともに最大遡上距離もほぼ線形に増加している。同じ5cmで比べると、孤立波の方が遡上距離は短くなる。これは孤立水塊のため砕波し易いものと考えられる。

構造物の配置状況でみると、水位や流速と同様に、低減効果は4列不規則>横長4列>密集縦長2列>正方4列~1列>縦長4列の順となり、減災効果は、構造物の不規則配置、前後距離の適度の確保、岸壁沿いの密集度合で向上する。また、列数は水位や流速別でみると大きな差異はなかったが、遡上距離は列数が多いほど抑えられる。

7. 構造物が受ける荷重の検討

構造物が受ける荷重は、構造物前面壁 (30cm × 30cm)

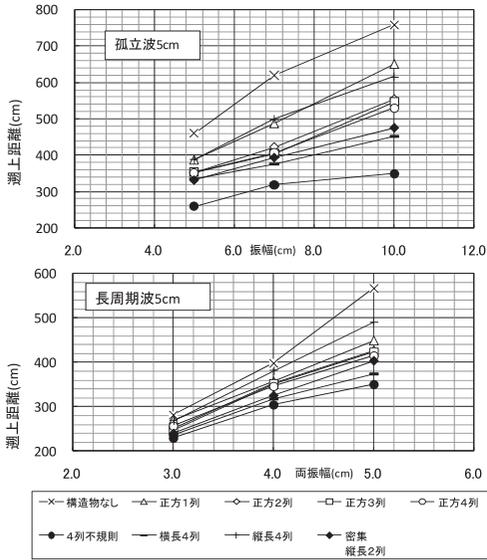


図-6 遡上波の最大遡上距離

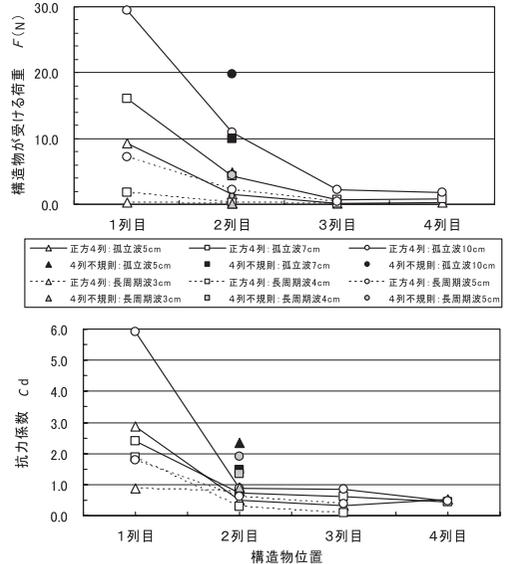


図-7 構造物を受ける荷重および抗力係数

に作用する波力をロードセル（5kgf計）によって測定した。

図-7に、正方4列の1～4列目、4列不規則の2列目の構造物を受ける荷重および抗力係数を示す。

抗力係数 C_d は、式（2）の飯塚ら（2000）が示す家屋に作用する津波氾濫流による水平抗力 F の式から逆算される値である。

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot u^2 \cdot h \cdot B \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ρ は流体の密度、 u は最大流速、 h は最大水位、 B は構造物の幅である。

（両）振幅5cmの条件をみると、正方4列の1列目で孤立波8.9N、長周期波7.4N、4列不規則の2列目で孤立波4.9N、長周期波4.4Nとなり、やや孤立波の方が大きい。

また、 C_d は一般に1.1～2.0と言われており、正方4列の1列目、4列不規則の2列目の値はこれにほぼ近い値となっているが、2列目以降になると C_d は1.0以下となる。

7. おわりに

本研究は、計画外力を超える津波・高潮等による沿岸域災害に対して、港湾施設に期待される減災効果等を把握するために、背後域の浸水状況に着目して水理実験を行った。本研究で得られた知見を以下にまとめた。

① 水位・流速の低減効果は構造物1列並びでも十分みられる。横長4列規則配置は不規則配置に近い低減効

果がみられ、構造物前後の間隔が広いと渦が発生し易く、遡上波のエネルギーが損失し易いためと考える。

② 構造物の密集状況を比較すると、占める面積の同じ正方2列規則配置と密集縦長2列規則配置では、後者の方で位相が遅れ低減している。構造物間が狭くなり、遡上波が進入しにくくなるためと考える。

③ 流速の低減効果は、構造物4列目以降の位置では列数が少ないほど流速の低減効果は高く、正方配置は遡上波を下手側に導き易く、列数が多いと減災には逆効果となる場合がある。

④ 最大遡上距離の低減には、構造物の不規則配置、前後距離の適度の確保、岸壁沿いの密集度が効果的である。

⑤ 構造物を受ける荷重を測定し、抗力係数 C_d を算出したところ、正方4列規則配置の1列目、4列不規則配置の2列目で、一般的な値1.1～2.0に近い値となる。

参考文献

飯塚秀則・松富英夫（2000）：津波氾濫流の被害想定，海岸工学論文集，第47巻，pp. 381-385。
 小田勝也・岡本 修・宮崎和行・杉浦 淳（2008）：水理模型実験による沿岸域の減災に関する検討，海岸工学論文集，第55巻，pp. 1361-1365。
 チャルレス シマモラ・嶋原良典・藤間功司（2007）：建物群に作用する津波波力に関する水理実験，海岸工学論文集，第54巻，pp. 831-835。