

# 低頻度メガリスク型沿岸域災害における港湾施設の減災性能評価手法に関する検討

石川健二\*・小谷野喜二\*\*・小田勝也\*\*\*・岡本修\*\*\*\*

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

\*\* 前 (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹

\*\*\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部沿岸防災研究室長

\*\*\*\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部沿岸防災研究室 主任研究官

本研究では、港湾施設や緑地・公園などの植生等を減災施設として位置付け、土地利用計画・施設配置計画を考慮した減災性能評価手法に関する基礎的な検討を行った。津波・高潮に対して抵抗となる建物等の3次元性を取り入れたシミュレーションモデルを採用し、従来の粗度モデルでは再現ができない建物等による津波・高潮の減災効果を確認した。さらに、地盤の嵩上げや植生と海岸保全施設との組み合わせによる減災効果について確認した。

キーワード：低頻度メガリスク沿岸域災害、港湾施設の減災性能、超過外力、津波・高潮予測シミュレーション

## 1. はじめに

沿岸域に襲来する津波・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、被害想定においては、津波の原因となる想定地震の不確実性や地球温暖化による海面水位上昇や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。従来から津波・高潮といった災害に対しては海岸保全施設による対策が行なわれているが、計画外力を上回る津波・高潮災害に対してハード対策に頼るのでは莫大な投資が必要となる。そこで、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可能な港湾施設やその配置を提案することが港湾機能の有効活用として注目されつつある。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・倉庫等さらには臨海部の緑地や植生等による津波・高潮エネルギーの減衰効果や到達時間の遅延効果等を考慮した減災対策、あるいは再開発や土地利用転換等の際に減災対策を考慮した土地利用・配置計画を導入する等の対策が有効と考えられる。

本報告では、低頻度メガリスク型沿岸域災害に対する港湾施設等、第一線に整備されている各種施設による減災性能を数値シミュレーションによって評価する手法について検討した結果について述べる。

## 2. 港湾施設の減災性能に関する検討

### 2.1 低頻度メガリスク型沿岸域災害シナリオ想定

#### (1) 高潮災害のシナリオ想定

モデル港は、臨海部に都市機能が集中し、災害の発生によって大規模な被害が発生する可能性が高い東京港及

びその背後地を対象とした。東京湾では、伊勢湾台風級を想定外力として高潮の防護水準を設定している。このため、本検討での想定外力は低頻度メガリスク災害の発生という観点と近年の地球温暖化に伴う台風の強大化を考慮し、伊勢湾台風級より強い勢力の室戸台風級とした。伊勢湾台風級による東京港の高潮の偏差は、東京湾の観測値による極値統計解析結果から、135年規模であることが既往調査で報告されている。本調査で対象とする室戸台風級は伊勢湾台風級よりも台風勢力が強く、再現期間は150年以上となることが考えられる。また、IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 報告<sup>1)</sup>によると、21世紀末には海面水位が最大38~59cm上昇すると予測されており、想定台風の来襲と海面水位上昇との同時発生を想定する。海面水位上昇のシナリオは、表-1に示すIPCC報告の中から、予測値が他と比較して大きく異なるBI及びA1FIシナリオを除き、A1T~A2シナリオのうち最大となる0.5m程度の海面水位上昇が起こると想定し、地球温暖化による海面水位上昇分を潮位として考慮した。

表-1 昇温予測及び海面水位上昇予測結果

シナリオ	気温変化 (1980-1999を基準とした2090-2099 の差(°C))		海面水位上昇 (1980-1999と 2090-2099との差(m)) モデルによる予測幅 (急速な水の流れの力学的な変化を除く)
	最良の見積り	可能性が高い 予測幅	
2000年の濃度 で一定	0.6	0.3-0.9	資料なし
B1シナリオ	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
A1Tシナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2シナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1Bシナリオ	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2シナリオ	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1FIシナリオ	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

出典：IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約(SPM)※オリジナル資料を気象庁が翻訳

#### (2) 津波災害のシナリオ想定

モデル港は、津波により大規模な被害発生の可能性が

高い徳島県の橋港を対象とした。現在の橋港の防護施設では、中央防災会議で検討されている「東南海・南海地震津波」によって大規模な被害が発生することが考えられるため、「東南海・南海地震津波規模」を想定津波とした。なお、地球温暖化に伴う海面水位上昇は考慮しないものとした。

## 2.2 数値シミュレーションモデル

現在の津波・高潮予測モデルは非線形長波理論に基づく平面2次元の計算モデルが主であり、マニングの粗度を土地の利用状況に合わせて設定し、津波や高潮のエネルギーを減衰させる方法が一般的に用いられている。また、建物の影響を考慮した合成等価粗度モデルの研究<sup>2)</sup>、STOCモデル等の研究<sup>3)</sup>がある。これらの研究では臨海部における港湾構造物や建物の影響を3次的に考慮することで、構造物周辺の水位や流速を予測することが可能なモデルが構築されている。

本研究では、1/2,500程度の地盤高情報や住宅地図データをもとに、図-1に示すように構造物を地盤高として考慮した地形モデルを構築し、建物周りの水位や流速を予測することが可能な合成地盤高モデルと従来モデルである粗度モデルの予測結果を比較することによって構造物の減災性能を評価した。

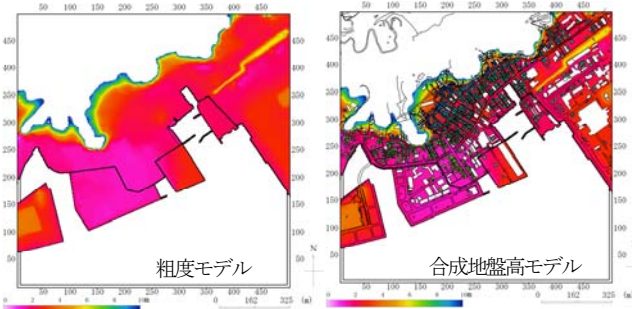


図-1 地盤高(上図)と3次元表示例(下図)

## 2.3 地形モデル

東京港においては、台風に伴う風や波浪を予測する領域を、広領域から狭領域までの10領域に分割し、最小格子領域(2.5m格子)で構造物の形状及び高さを格子単位で再現し地盤高として作成した。東京港の地盤高は、国土地理院による5mメッシュ数値地図を用いた。シミュレ

ーションの最小格子である2.5mメッシュデータは、国土地理院の5mメッシュデータをもとにスプライン補間によって作成した。橋港の計算領域は、波源域を含む広領域から最小格子領域(2.5m格子)までを7領域に分割し、最小格子領域のみ構造物の形状及び高さを格子単位で再現し地盤高とした。地盤高は1/2,500の都市計画図などをもとにデータ化を行った。東京湾の計算領域を図-2に、橋港の計算領域を図-3に示す。構造物の形状及び高さのモデル化は、住宅地図データから建物等の形状を表す線データを抽出し、線データで囲まれる格子について建物の種類を住宅地図によって特定し、1階建てや2階建てなどの高さを与えることによって行った。ここで得られた建物の高さ情報を地盤高と重ね合わせることで個々の建物の幅、奥行、高さなどの形状を地盤高として表現したものを合成地盤高とし、図-1に示す地形モデルを作成した。従来の粗度モデルが「津波の遡上抵抗が粗度のみ」と定義されるのに対して、合成地盤高モデルにおいては「津波の遡上抵抗が建物の形状・高さ及び粗度」と定義することができる。

表-2 計算領域と格子サイズ

計算領域	格子サイズ	
	東京湾臨海部	橋港
第1領域	32,400m格子	1,350m格子
第2領域	16,200m格子	450m格子
第3領域	5,400m格子	150m格子
第4領域	1,800m格子	50m格子
第5領域	600m格子	25m格子
第6領域	200m格子	12.5m格子
第7領域	100m格子	2.5m格子
第8領域	50m格子	-
第9領域	10m格子	-
第10領域	2.5m格子	-

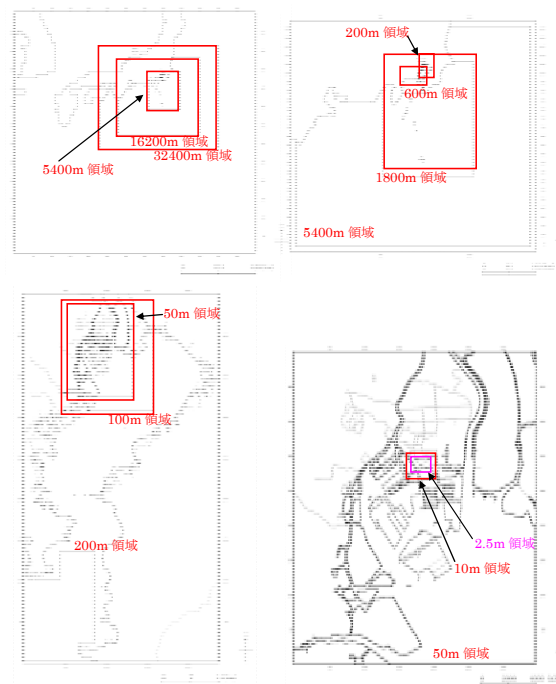


図-2 東京湾臨海部の計算領域



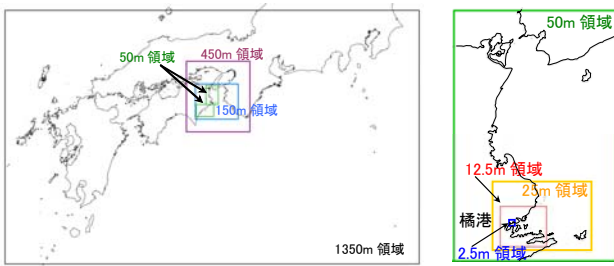


図-3 橋港の計算領域

## 2.4 高潮被害予測

### (1) 計算条件

高潮予測シミュレーションの計算条件を表-3に示す。表には現在の東京湾の防護水準の検討条件と想定シナリオを併記しており、想定シナリオでは防護水準に比べ設定潮位が0.50m高くなる。これはIPCCの報告による海面水位の上昇分である。

また、台風コースは伊勢湾台風やキティ台風等のコースを平行移動させ、モデル地区の偏差が最も高くなるコース(図-4)を設定した。

表-3 高潮予測シミュレーション計算条件

	東京港の防護水準	想定シナリオ
想定台風規模	伊勢湾台風級	室戸台風級
台風コース	偏差が最大となるコース	偏差が最大となるコース
静水面(潮位)	H.W.L.=T.P.+0.97m	H.W.L.+0.5m=T.P.+1.47m

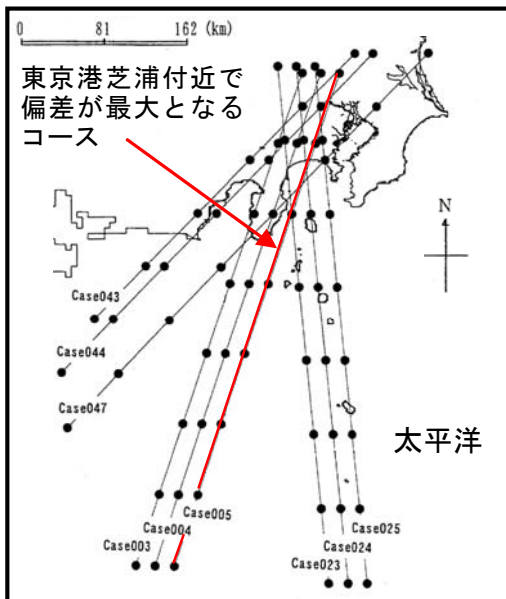


図-4 台風コース

### (2) 検討ケース

高潮被害予測の検討ケースは、津波被害の被害予測と同様に合成地盤高モデルと粗度モデルの2ケースとし、さらに港湾施設背後の防潮堤がある場合とない場合の合計4ケースとした。この4ケースによって建物と防潮堤の複合的な減災効果や建物のみの減災効果などを評価した。

### (3) 計算結果

シミュレーションの結果、室戸台風級の場合、伊勢湾台風級よりも芝浦付近の偏差が0.57m高くなる。最大浸水深分布及び最大流速分布を図-5、図-6に示す。それぞれ、左図はマンニングの粗度モデルによる予測結果、右図は合成地盤高モデルによる予測結果を示したものである。図-7には図-5及び図-6の差分図を示す。粗度モデルに比べて合成地盤高モデルでは浸水深が小さくなる結果となり、また、最大流速は低下する結果となった。また、図-8は測線No.6における粗度モデルと合成地盤高モデルの縦断方向に対する水位を示したものであり、合成地盤高モデルでは防潮ライン背後で水位が低下することがわかる。これは防潮ライン背後に位置する建物による減災機能効果であるといえる。

高潮は津波と比較すると緩やかな水位変化であり、陸上の建物などによる減災機能効果は小さいものと想定されたが、ある程度の減災機能があるものと判断される。

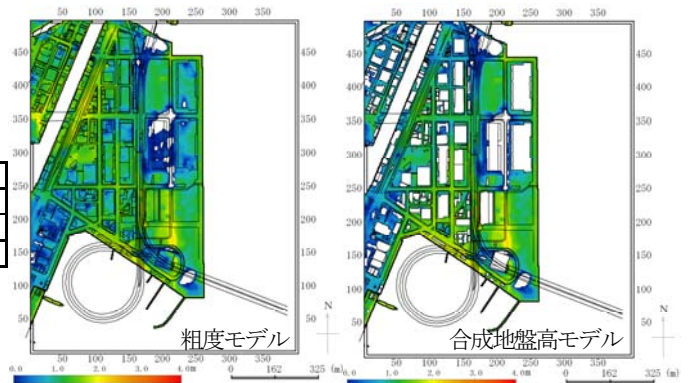


図-5 最大浸水深

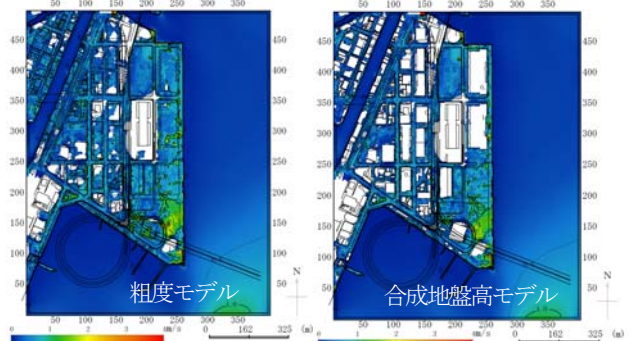


図-6 最大流速分布

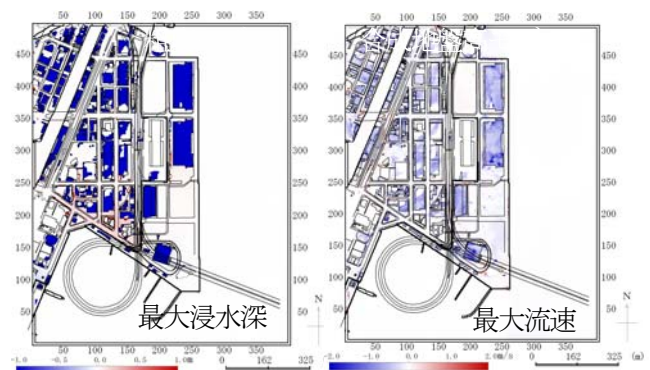


図-7 最大浸水深と最大流速の差分図

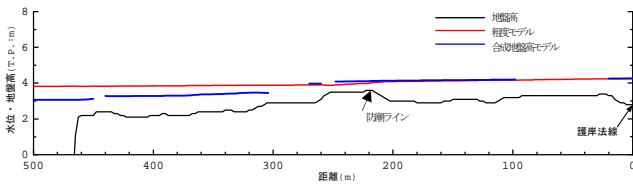
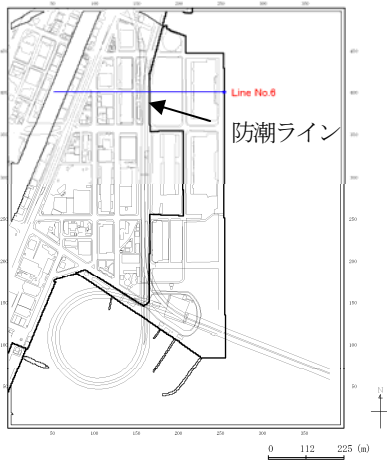


図-8 水位断面分布 (高潮)

## 2.5 津波被害予測

### (1) 計算条件

津波予測シミュレーションの計算条件を表-4 に、想定地震の震源域を図-9 に、初期水位分布を図-10 に示す。潮位条件は、橋港における朔望平均満潮位とした。

表-4 津波予測シミュレーション計算条件一覧

領域	1	2	3~4	5	6~7
範囲	外洋領域	波源領域	橋港 周辺領域	接続補助 領域	橋港
計算格子間隔	1350m	450m	150~50m	25m	12.5~2.5m
計算時間間隔	$\Delta t=0.10(s)$				
基礎方程式	非線形長波理論式				
沖側境界条件	外洋水位入射 自由透過	他領域と水位・流量を結合			
陸側境界条件	完全反射 (100m 格子以上)		浸水計算 (150m 格子以下)		
海底摩擦	考慮 ( $n=0.025$ )		土地利用に 合わせて設定		
潮位条件	$H.W.L. = T.P. + 1.130m (=D.L. + 2.074m)$				
初期条件	中央防災会議による東南海・南海地震同時発生モデルによる海底地盤変位				
計算時間	津波発生後 180分 (3時間)				

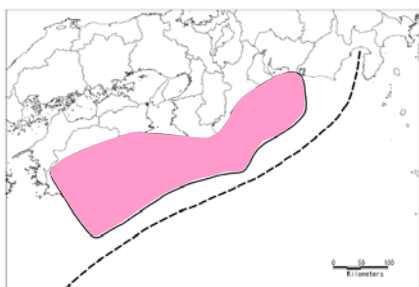


図-9 想定東南海・南海地震の震源域  
出典：内閣府中央防災会議HP

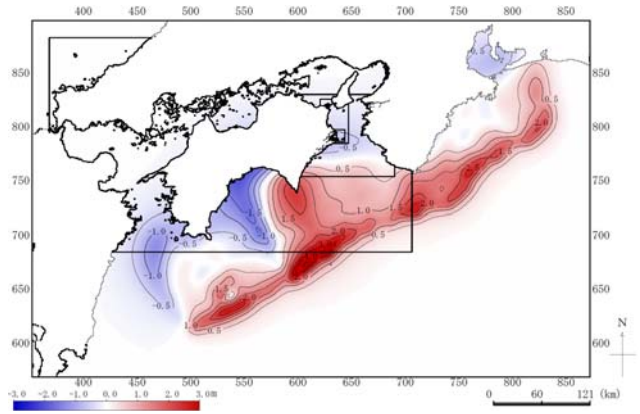


図-10 初期水位分布

### (2) 検討ケース

津波被害予測の検討ケースは、合成地盤高モデルと粗度モデルの2ケースとし、さらに港湾施設背後の防潮堤がある場合とない場合の合計4ケースとした。

### (3) 計算結果

最大浸水深分布及び最大流速分布を図-11、図-12に示す。左図はマニングの粗度モデルによる予測結果、右図は合成地盤高モデルによる予測結果を示したものである。図-11及び図-12の差分図を図-13に示す。差分図及び図-14に示す水位断面図より、粗度モデルに比べて合成地盤高モデルでは、浸水範囲および浸水深が小さくなり、最大流速も減衰する結果となった。

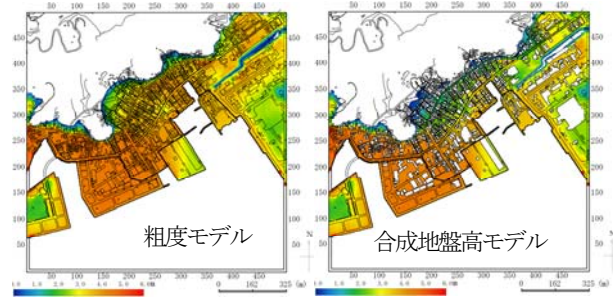


図-11 最大浸水深分布

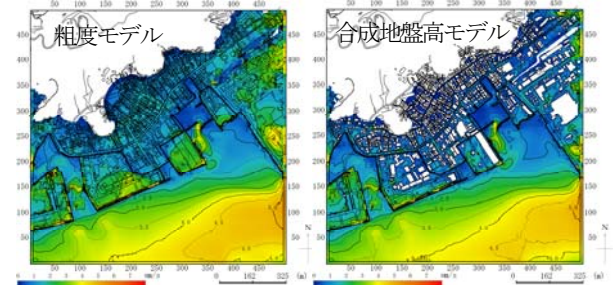


図-12 最大流速分布



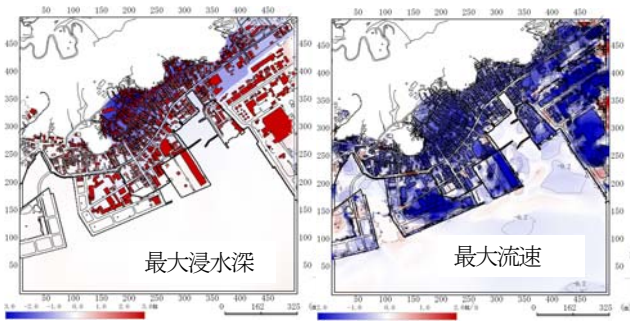


図-13 最大浸水深と最大流速の差分図

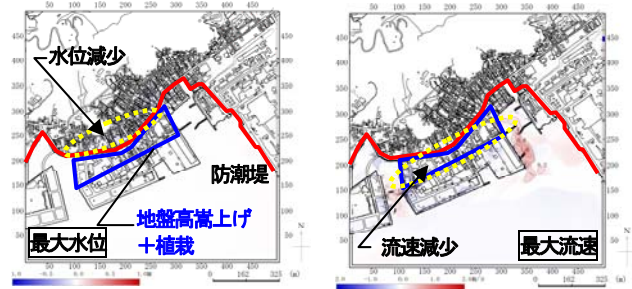


図-15 最大水位と最大流速の差分図

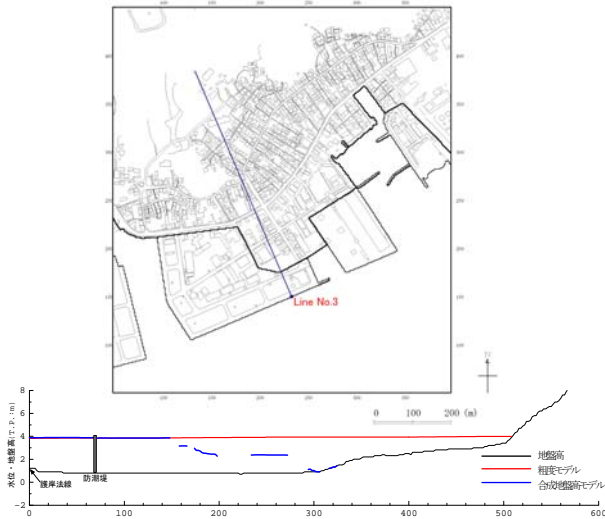


図-14 水位断面分布 (津波)

### 3. 地盤の嵩上げと植栽の効果

地盤の嵩上げや植栽の津波減災効果を検討した。その際、緑地や公園等の植栽の減災効果をマンシングの粗度係数で評価した。防波堤や防潮堤及び建物の減災機能の評価方法は各施設の高さや幅がそのまま抵抗として作用することとした。図-15は埠頭と背後の防潮堤との間の空間において地盤の嵩上げと建物の間に植栽を配置したケースと現況地形の場合のケースのシミュレーション結果の差を示すものである。なお、地盤の嵩上げ高は平均50cmとし、植栽の効果は、河川氾濫解析における高水敷の粗度を参考に、マンシングの粗度係数を0.08とした。

結果より、地盤の嵩上げ及び植栽を配置した港湾地区の背後で水位が低減するが、その低減量は非常に小さい。しかし、流速については、地盤高嵩上げ及び植栽配置箇所において流速が低減することが確認された。

### 4. おわりに

本研究では、従来から用いられているマンシングの粗度モデルによる予測結果と構造物を地盤高として考慮した合成地盤高モデルによる予測結果を比較することにより、構造物による津波・高潮のエネルギー減衰効果を確認した。しかし、建物や植栽による津波や高潮のエネルギー減衰効果の程度については実現象との整合をとる必要があるため、水理実験等による検証を行い、モデルの改善を図る必要がある。また、本検討では計算範囲が広く建物が多くなる場合には複雑な作業が多くなり実用的ではないことや、どの程度のエネルギー損失があるのかがシミュレーションだけでは確認できないことから建物間の縮流・拡流によるエネルギー損失は考慮しないものとしたが、実験結果とモデル地形によるシミュレーション結果を検証することによってより精度の高いシミュレーションを行うことが可能であると考えられる。

本研究で開発した手法は、今後、メガリスク型沿岸域対策の効果の体系化、減災効果の評価手法の開発等に活用することが期待される。

### 参考文献

- 1) IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約, 気象庁ホームページ  
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>
- 2) 油屋貴子・今村文彦: 合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.276-280, 2002.
- 3) 富田孝史・柿沼太郎・島田昭男: 3次元流動モデルによる津波防波堤の防護効果に関する数値計算, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.296-300, 2004.