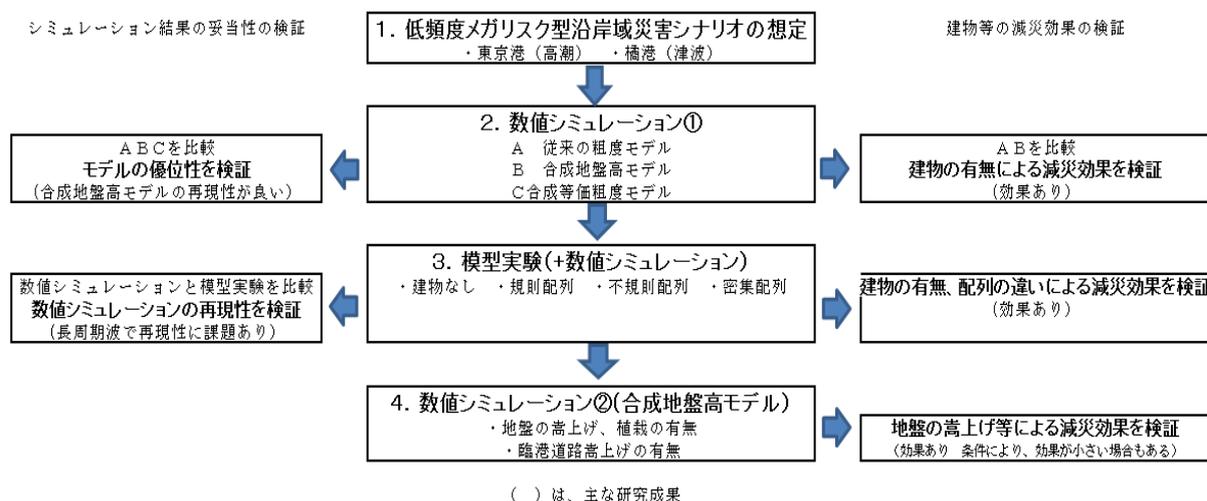


第3章 沿岸域における各種施設の減災効果評価手法の開発

本章は、沿岸域に整備・立地している港湾施設（防波堤、岸壁等、上屋・倉庫）やその他の第一線に立地する建物、森林・植林・植栽・砂浜・干潟などによる津波・高潮の浸水域、浸水深、流速、到達時間などへの影響を数値シミュレーション等により解析し、減災効果評価手法を取りまとめたものである。検討フローは以下のとおりである。



減災性能施設とは、現在防災施設として整備されている堤防や護岸の機能が維持できない状況において、越波や越流による影響を代替的または2次的に低減させる施設のことである。

地震及び地震に伴う津波の発生は、台風や低気圧に伴う高潮災害のように発生時期を予測することは困難であり、津波の発生後に防護や避難等に対応できる時間は極めて短い。このように高潮災害と津波災害の特徴は異なるため、高い効果を得るためにそれぞれの被害特性を考慮した防護施設の整備を行う必要がある。例えば、河川スーパー堤防（図3-1）は、計画を超える大洪水による壊滅的な被害から人口、資産が集中する大都市を未然に守るための事業である。同事業では、越水があっても「越水に強い」、「どんな洪水が発生しても壊れることのない」堤防の構造に着目されている。

他方、既往研究成果によれば、防波堤や防潮堤などの構造物以外に樹林帯などの植生による低減効果が期待されている。また、港湾地区には上屋や倉庫、事務所などの建物がある。本研究では、これらの防御施設以外の建物等の減災性能（表3-1）に期待した対策について検討を行う。



出典：国土交通省河川局荒川下流事務所資料

図3-1 河川スーパー堤防の概要

表 3-1 減災性能施設の分類

減災性能	防護施設	非防護施設
大	防波堤, 防潮堤, 護岸	鉄筋コンクリート建築物
中	人工地盤, 地盤嵩上げ	倉庫, 上屋, 木造家屋, 緑地帯 (植栽の密な配置)
小	砂浜, 干潟	鉄道や道路などの高架 ※盛土等によるものは防護効果が高い 緑地帯 (植栽の粗な配置)

1 低頻度メガリスク型沿岸域災害シナリオの想定

1-1 高潮災害のシナリオ想定

(1) モデル地区

東京港の防潮施設は、伊勢湾台風級の台風による高潮偏差を想定した防護水準により整備されている¹⁾。伊勢湾台風級よりも強大な台風の来襲に伴う高潮偏差の発生確率は非常に低いものと考えられるが、背後のゼロメートル地帯には、都市機能が集積しており、万が一、高潮偏差が防護水準を上回った場合には広範囲で甚大な被害が発生する可能性がある。このため、高潮のモデル地区としては、東京湾臨海部を対象にモデル地形を作成し、減災機能の検討を行った。

(2) 想定外力

IPCC では、2100年までに温暖化が最も進むシナリオとして海面水位が最大で約0.6m上昇する可能性がある²⁾と予想している。IPCCの排出シナリオは表3-2~3に示すとおりである。

本研究では、表中に示す IPCC 報告の中から、海面水位上昇の予測幅がほぼ同様である A1T~A2シナリオを選定し、この中の最大値である約0.5mの水位上昇量を地球温暖化による海面水位上昇分を潮位として考慮することとした。

表 3-2 21世紀末における世界平均地上気温の昇温予測及び海面水位上昇予測結果²⁾

シナリオ	気温変化 (1980-1999を基準とした2090-2099の差(°C)) ^a		海面水位上昇 (1980-1999と2090-2099の差(m)) モデルによる予測幅 (急速な氷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 ^b	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

選定シナリオ

表 3-3 IPCC の排出シナリオに関する特別報告 (SRES) の排出シナリオ²⁾

分類記号	シナリオ
A1	A1 の筋書きとシナリオファミリーは、高度経済成長が続き、世界人口が 21 世紀半ばにピークに達した後に減少し、新技術や高効率化技術が急速に導入される未来社会を描いている。主要な基本テーマは、地域間格差の縮小、能力強化（キャパシティービルディング）及び文化・社会交流の進展で、1 人当たり所得の地域格差は大幅に減少するというものである。A1 シナリオファミリーは、エネルギーシステムにおける技術革新の選択肢の異なる三つのグループに分かれる。この三つの A1 グループは技術的な重点の置き方によって以下のものに区分される。すなわち、化石エネルギー源重視 (A1FI)、非化石エネルギー源重視 (A1T)、そして全エネルギーのエネルギー源のバランス重視 (A1B) である。（ここで、バランス重視は、いずれのエネルギー源にも過度に依存しないことと定義され、全てのエネルギー供給・利用技術の改善策が同じと仮定している）
A2	A2 の筋書きとシナリオファミリーは、非常に多面的な世界を描いている。基本テーマは独立独行と地域の独自性の保持である。出生率の低下が非常に緩やかなため、世界の人口は増加を続ける。地域的経済発展が中心で、1 人当たりの経済成長や技術変化は他の筋書きに比べバラバラで緩やかである。
B1	B1 の筋書きとシナリオファミリーは、地域間格差が縮小した世界を描いている。A1 筋書きと同様に 21 世紀半ばに世界人口がピークに達した後に減少するが、経済構造はサービス及び情報経済に向かって急速に変化し、物質志向は減少し、クリーンで省資源の技術が導入されるというものである。経済、社会及び環境の持続可能性のための世界的な対策に重点が置かれる。この対策には公平性の促進が含まれるが、新たな気候変動は実施されない。
B2	B2 の筋書きとシナリオファミリーは、経済、社会及び環境の持続可能性を確保するための地域的対策に重点が置かれる世界を描いている。世界の人口は A2 よりも緩やかな速度で増加を続け、経済発展は中間的なレベルに止まり、B1 と A1 の筋書きよりも緩慢だが、より広範囲な技術変化が起こるというものである。このシナリオも環境保護や社会的公正に向かうものであるが、地域的対策が中心となる。

また、IPCC においては、近年の温暖化に伴う海面温度の上昇によって、熱帯低気圧の強度が大きくなることが予測されている²⁾。このため、台風規模は、今後台風強度が強大化することを想定し、現在の東京港の防護レベルである伊勢湾台風級よりもさらに強い勢力の室戸台風級の台風（表 3-4）が来襲することを想定することとした。なお、想定シナリオでは、地球温暖化による海面水位の上昇分を潮位として考慮し、港湾構造物や防潮堤等の施設は現況とした。表に想定シナリオの条件を示す。また、潮位は、図 3-2 に示す東京港における潮位関係図から潮位が高い状態となる朔望平均満潮位 (H. W. L.) を設定した。

表 3-4 想定シナリオの詳細

	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.+0.5=T.P.+1.47m

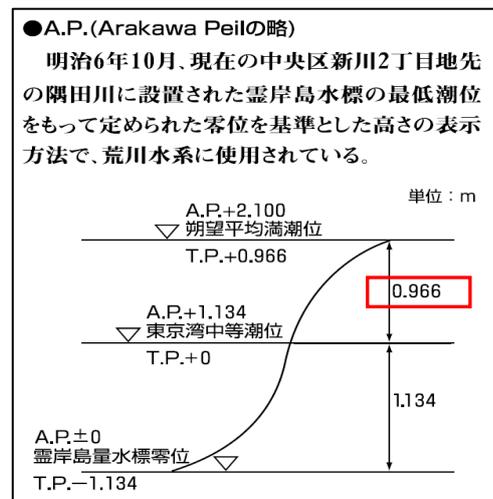


図 3-2 東京港の潮位関係図³⁾

1-2 津波災害のシナリオ想定

徳島県は東南海・南海地震による影響が懸念されている地域であり、中央防災会議で検討されている東南海・南海地震の発生によって大規模な被害が発生することが考えられる。このため、徳島県の橘港をモデル地区とし、津波想定規模は東南海・南海地震同時発生(M8.5 前後/表 3-5)による津波規模とした。なお、高潮災害の想定シナリオでは地球温暖化に伴う海面水位の上昇を考慮したが、「東南海・南海地震津波」は今後 30 年の発生確率が高く(図 3-3)、地球温暖化の予測期間よりも早く発生することが考えられることから、津波災害の想定シナリオでは地球温暖化に伴う海面水位の上昇を考慮しないものとした。

表 3-5 海溝型地震の長期評価の概要(抜粋)⁴⁾
 (算定基準年 平成 22 年(2010年1月1日))

領海または地震名	長期評価で想定した地震規模(マグニチュード)	地震発生確率			平均発生間隔 最新発生期間(下段、ポアソン過程を適用したものを除く)	
		10年以内	30年以内	50年以内		
南・トラフの地震	南海地震	8.4前後	10~20%	60%程度	80~90%	114年(次回までの標準的な時間90.1年)
						63.0年前
	東南海地震	8.1前後	20%程度	60~70%	90%程度以上	111.6年(次回までの標準的な時間86.4年)
						65.1年前

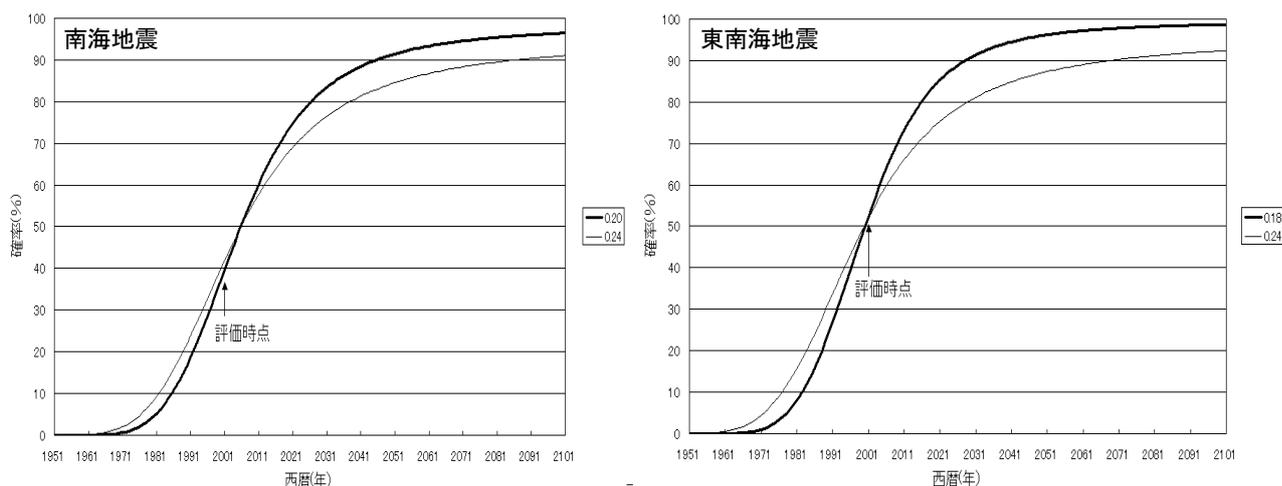


図3-3 30年後までに東南海・南海地震が発生する確率の時間推移^{4) 5)}

注) 四角内の数値はBPT (Brownian Passage Time) 分布の相対的なばらつき (標準偏差/平均時間間隔)

2 数値シミュレーションモデルの概要と検討条件

2-1 減災効果評価モデルの整理

津波・高潮の被害予測においては、2次元平面の長波モデルによるシミュレーションやレベル湛水法による浸水域の予測結果をもとに評価が行われている。前者は、構造物や森林など津波や高潮の流体運動の抵抗としてマニングの粗度係数を与えて流体のエネルギー減衰を考慮しているが、建物等の影響を十分評価しているとは言えず、局所的な水位や流速の変化を評価することはできない。後者においては、地盤高さと越流（越波）量から浸水範囲を求める手法であり、水際線から浸水域までの浸水過程を評価することはできない。ここでは、減殺効果の評価に関する検討が可能なモデルとして、長波理論による津波伝播計算と陸域の遡上計算が可能なものを対象に、既往研究成果を以下に整理する。

(1) 安田らの研究事例⁶⁾

安田らは、航空測量データとCADデータを加工して解析モデルに取り込む方法を提案し、建物周りの流れの予測精度を向上させている。この論文で述べられているように、都市臨海部は高度に開発されており、構造物等による影響を粗度として取り扱うだけでは不十分であり、3次元的な浸水リスクの解析が必要であると考えられる。特に、防波堤や防潮堤などの外郭施設に加えて港湾施設を含めた減災効果を検討する場合には、外郭施設に加えて倉庫や上屋、事務所及び植生など複合的な減災効果を精度良く評価する必要があるため、建物を考慮した3次元シミュレーションの実施による検討か3次元の効果を2次元シミュレーションに取り入れて同等レベルの予測精度を確保する必要がある。

(2) 油屋・今村の研究事例⁷⁾

油屋・今村は、家屋による抵抗や植生による抵抗を評価する方法として、「合成等価粗度モデル」を提案している。これは、建物の幅や1メッシュあたりの建物占有率、抵抗係数などから粗度を求め、地盤の底面粗度と合成して計算上の粗度を与える方法である。研究成果としては、格子幅が50m（家屋スケールの5倍）より小さい場合に最大浸水深と最大遡上距離の予測精度が従来モデル（粗度モデル）より向上することなどである。特に、居住区規模が大きい（居住区域が広い）場合に予測精度が従来の粗度モデルに比べて向上する。

(3) 柿沼・富田らの研究事例⁸⁾

柿沼・富田らは、3次元の連続式と Navier-Stokes 方程式を基礎方程式とする多層レベルモデルである高潮・津波シミュレータ (STOC: Storm surge and Tsunami simulator in Ocean and Coastal areas) を開発し、津波防波堤の開口部における津波の3次元流動や開口部潜堤に作用する津波波圧を計算できることを確認してきた。さらに浸水計算が可能なようにモデルを拡張し、津波防波堤の堤幹部の安定性に及ぼす3次元流動の影響や、津波防波堤背後の陸上遡上について検討を行っている。富田らのモデルでは、津波や高潮の流動を3次的に再現することが可能であり、特に構造物周りの解析や臨海都市部における構造物の影響を考慮でき、従来モデルの2次元平面モデルよりも精度が向上するが、3次元の計算をすることから、相対的に多くの計算時間を要する。

本研究では、行政目的に利用することに配慮し、比較的計算時間が抑えられる従来モデルの2次元平面モデルに、港湾構造物や建物等の3次的な影響を取り込むことを目的としている。そこで、平面2次元の高潮計算モデルを用いて

- ① 従来モデルである粗度モデル,
- ② 地盤高に建物の形状や高さを加えるモデル (合成地盤高モデル),
- ③ 油屋・今村による合成等価粗度モデル⁷⁾

の三手法で検討を行った。なお、合成地盤高モデルについては、これも扱いを容易にするため、航空写真がなくても作成できるよう、住宅地図データを用いる方法を用いた(「2-4 地形データ」参照)。

なお、③の合成等価粗度モデルに関して、本研究で扱った油屋・今村の研究を紹介する。

図3-4に示す地盤高と建物の高さを考慮する地形モデルの効果を従来モデルである抵抗モデル(粗度モデル)に反映させるためのモデルの開発を行っている。建物の3次元性の2次元平面モデルへ反映は図3-5に示すように流水の作用力を底面摩擦力 R_1 と家屋の抵抗力 R_2 の合力として求められた合成粗度を数値計算に用いる方法によって考慮されている⁷⁾。

$$R_1 = \rho g D \frac{n_0^2 u^2}{D^{4/3}} dx dy \left(1 - \frac{\theta}{100}\right) \quad (3.1)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 (kD) \frac{\theta}{100} dx dy / k^2 \quad (3.2)$$

$$n = \sqrt{n_0^2 + \frac{C_D}{2gk} \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times D^{4/3}} \quad (3.3)$$

ここで、 n は合成等価粗度、 n_0 は底面粗度、 D は水深、 k は家屋の幅、 u は流速、 θ は家屋占有率、 C_D は抵抗係数、 dx, dy はそれぞれ方向の格子幅である。

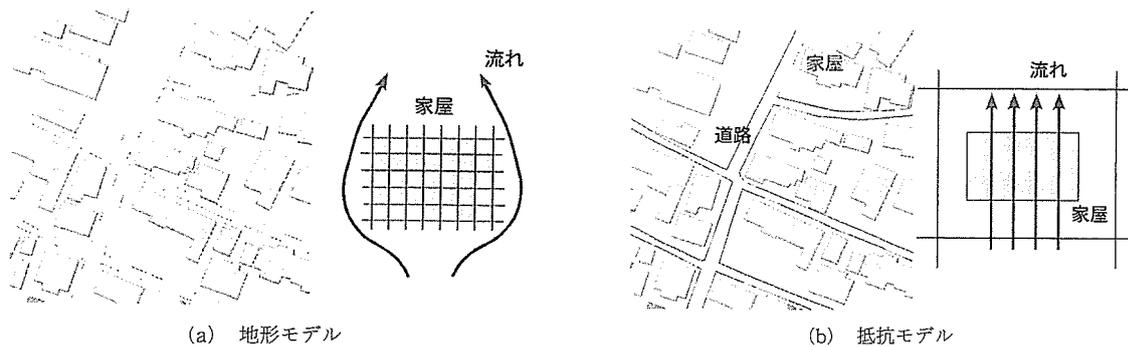


図 3-4 合成等価粗度数値モデルの概念図

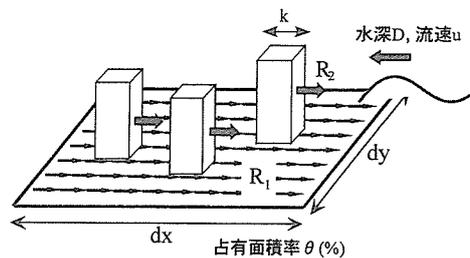


図 3-5 合成等価粗度の概念図

油屋・今村の研究による合成等価粗度 n は、抵抗係数 C_D 、家屋の占有面積率 θ 、水深 D 、家屋幅 k をもとに合理的に算出できる。なお、合成等価粗度を求める際の抵抗係数 C_D は、定常流における C_D を用いると抵抗力を過小評価する可能性があるため、水理模型実験結果による整理が行われている。実験結果によれば、 C_D は 3.3~5.1 の範囲であり、津波の規模には依存しないことが明らかにされている⁶⁾。本モデルの適用範囲については、50m 格子幅までは予測精度が確保されると評価されているため、本研究において想定する格子幅 (2.5m) への適用は可能と判断される。

2-2 数値シミュレーションモデル

(1) 高潮シミュレーションモデル

高潮シミュレーションモデルは、非線形長波理論による平面 2 次元の高潮計算モデルとし、高潮による越流と波浪による越波を考慮することが可能なモデルとした。

高潮シミュレーションの流れを図 3-6 に示す。

なお、本調査における高潮シミュレーションモデルは、減災性能の検討を目的とするため、比較的簡易な単層モデルを用いた。以下に計算モデルの条件一覧を示す。

- ・単層計算 (密度成層を考慮しない)
- ・海上風場は台風モデルとする
- ・水位上昇 (wave setup) を考慮しない

(2) 津波シミュレーションモデル

津波シミュレーションモデルは、非線形長波理論による平面 2 次元の津波計算が可能なモデルとした。基本方程式は(3.4)~(3.6)に示す連続の式と運動方程式から構成される。

• 連続の式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{----- (3.4)}$$

• 運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad \text{----- (3.5)}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad \text{----- (3.6)}$$

ここに,

η	:	水位 (m)
M, N	:	x および y 方向の流量フラックス (または線流量, $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)
h	:	静水深 (m)
D	:	全水深 (m)
g	:	重力加速度 (=9.8 m/s^2)
n	:	マンニングの粗度係数 ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)
ν	:	渦動粘性係数

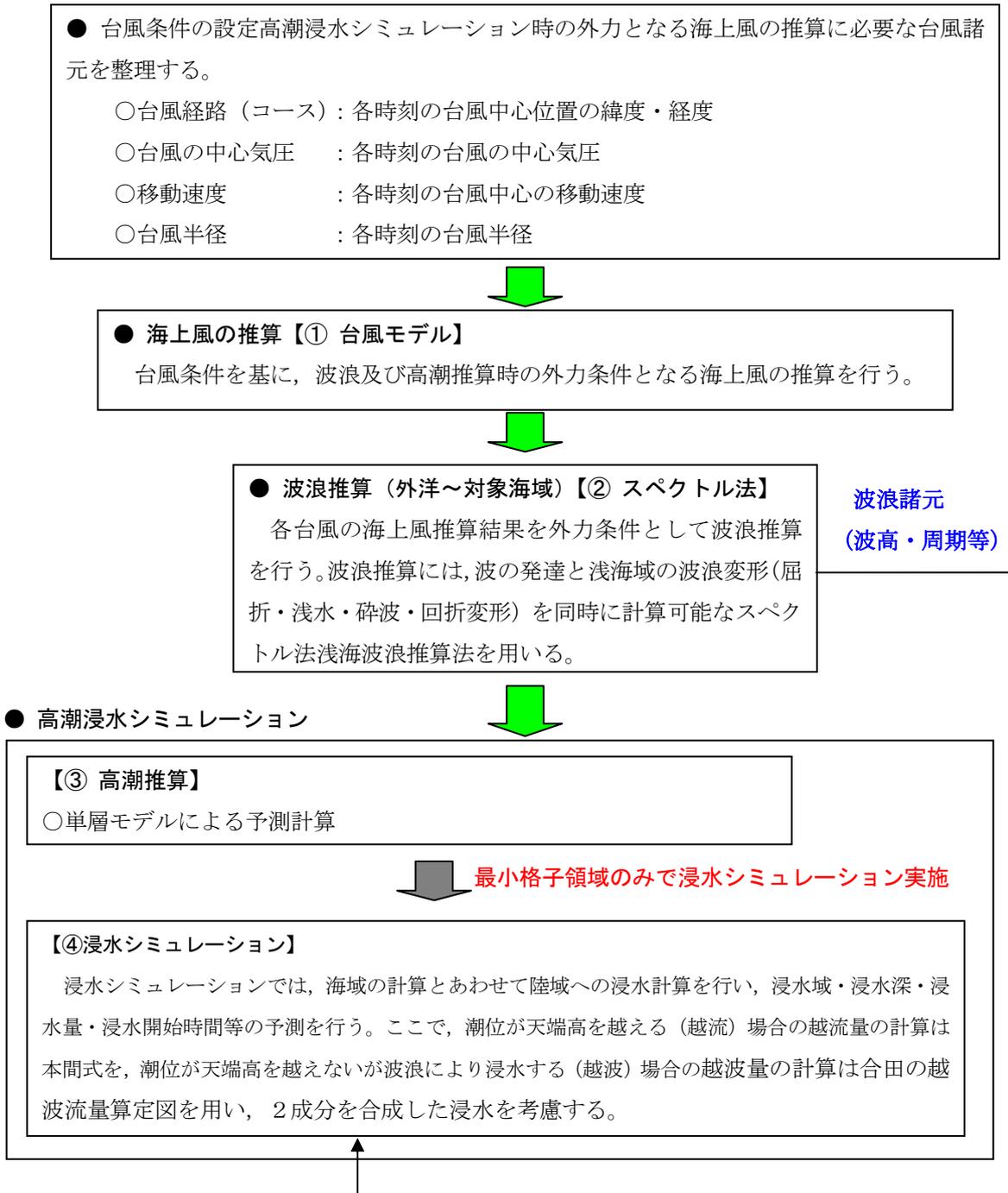


図 3-6 高潮浸水シミュレーションの流れ

2-3 計算範囲

(1) 東京港における計算範囲

計算範囲は、図3-7示すように外洋域を32,400m格子とし、対象海域までを1:2~1:5の比率による格子接続を行った。東京港における最小格子領域の格子幅は2.5mとした。

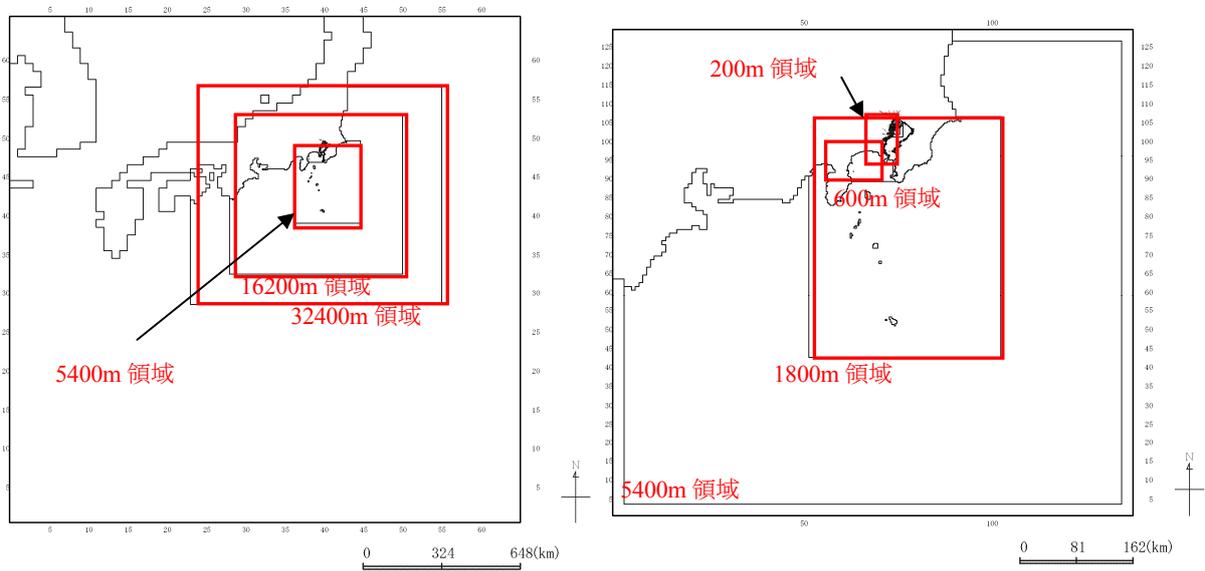


図3-7① 東京港における計算領域（大領域）

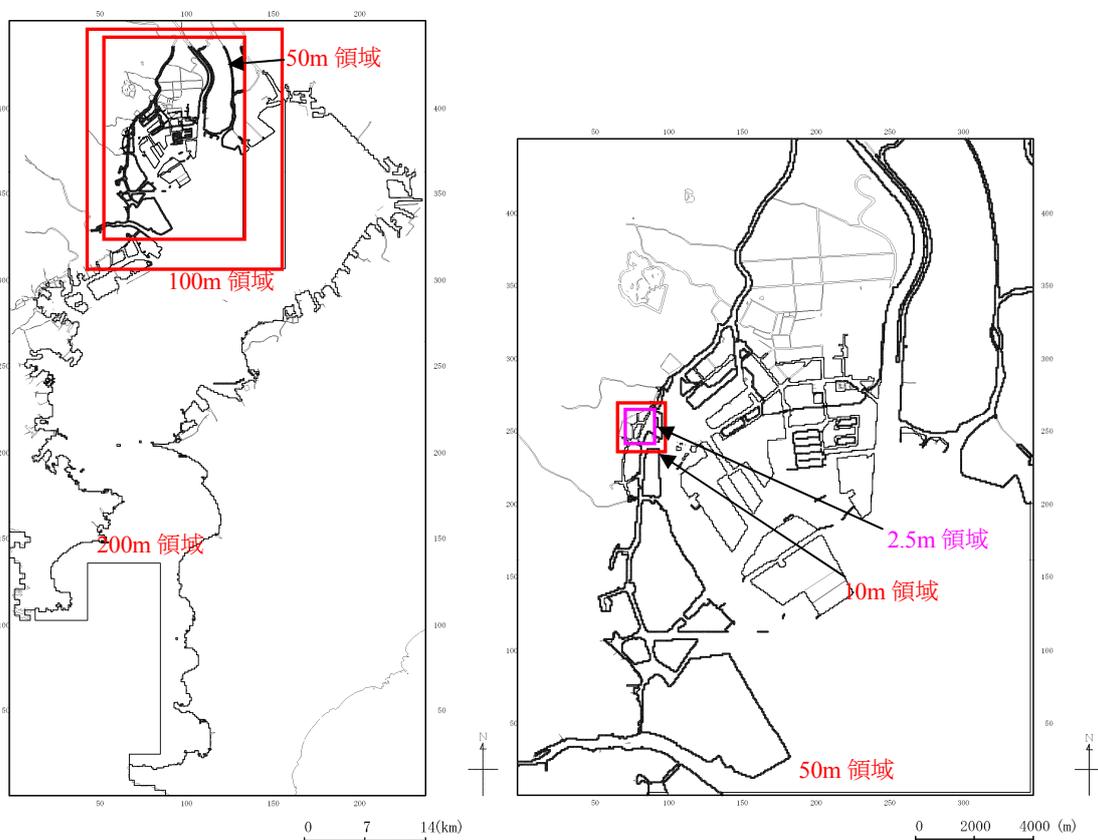


図3-7② 東京港における計算領域（小領域）

(2) 橘港における計算範囲

計算範囲は、図3-8に示すように外洋域を1,350m格子とし、対象海域までを1:2~1:5の比率による格子接続を行った。橘港における最小格子領域の格子幅は2.5mとした。

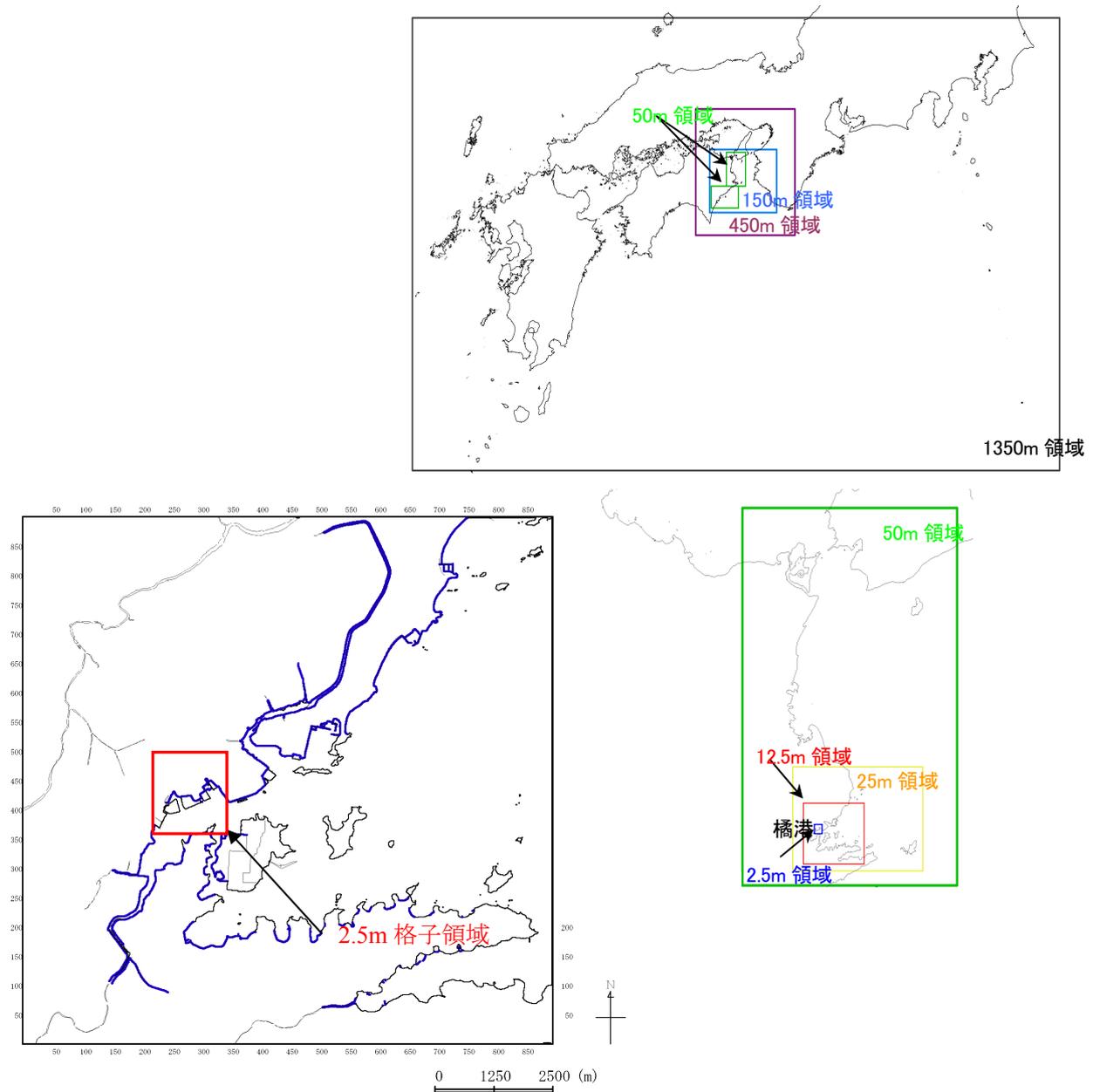


図3-8 橘港における計算領域

2-4 地形データ

(1) 地形モデルの種類

数値シミュレーションにおいて用いるモデル地形は、次の2つのモデルを基本とした。

1) 粗度モデル・合成地盤高モデルにおける地盤高モデル

粗度モデル，合成等価粗度モデルにおける地盤高モデルは，シミュレーションで使用する地形を各格子中央位置の地盤高をもとに再現する地盤高データを基本とし，航空測量データや数値地図データ（国土地理院），都市計画図（1/2,500）等をもとに作成した。

2) 合成地盤高モデル（地盤高+建造物高モデル）

合成地盤高モデルは，シミュレーションで使用する地形を各格子中央位置の地盤高をもとに再現する地盤高データに格子単位で再現する家屋やビル等の建物の高さを加えたデータを基本とした。データ作成に際しては，航空測量写真から3次元化するのではなく，比較的簡単に扱うことのできる住宅地図データ（デジタルデータ）から作成した。なお，住宅地図データにおいては，全ての建物の階層情報が含まれない場合があるため，階層情報があるものは，階層情報をもとに建物高を設定し，その他については木造及び低層階非木造構造として2階建ての建物高を設定した。

(2) 地形データの作成方法

モデル地形の作成は，図3-9に示すように最初に地盤高の作成を行う。次に，住宅地図データから家屋やビル等の建物境界線から閉境界を抽出して，建物高を格子点ごとに設定される建物高データを作成し，地盤高データと合成した（図3-10～12）。

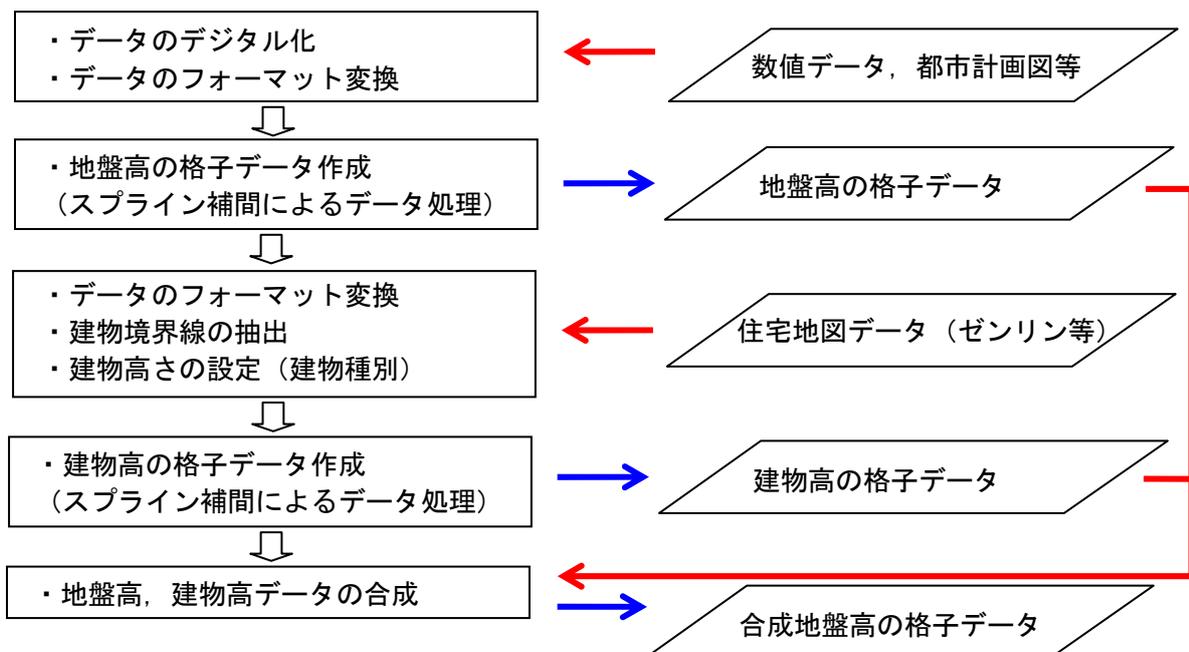


図 3-9 地盤高データ作成フロー

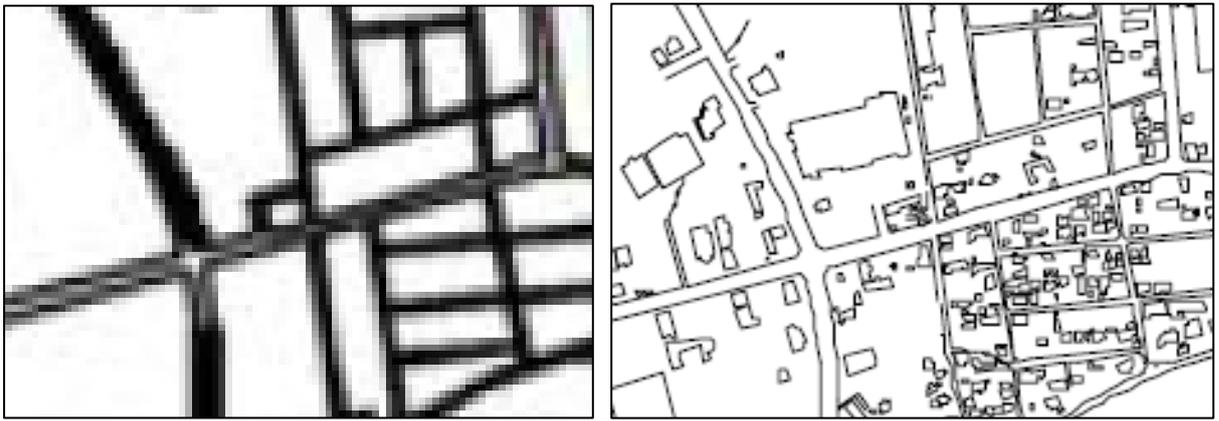
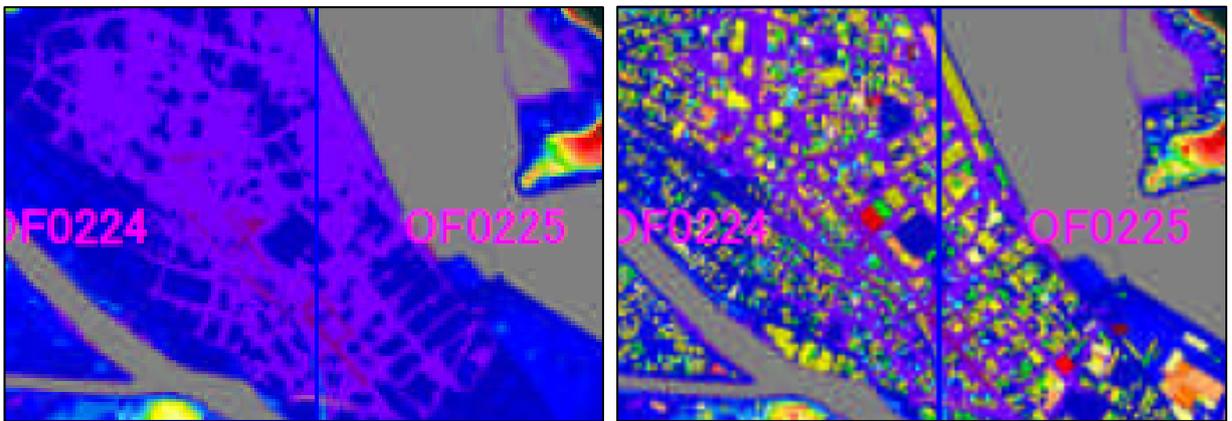


図 3 - 1 0 地図上の道路境界線（左）と住宅地図における建物境界線（右）



※暖色系ほど地盤高（建物高）が高い

図 3 - 1 1 地盤高データ（左）と合成地盤高（地盤高+建物高）データ（右）

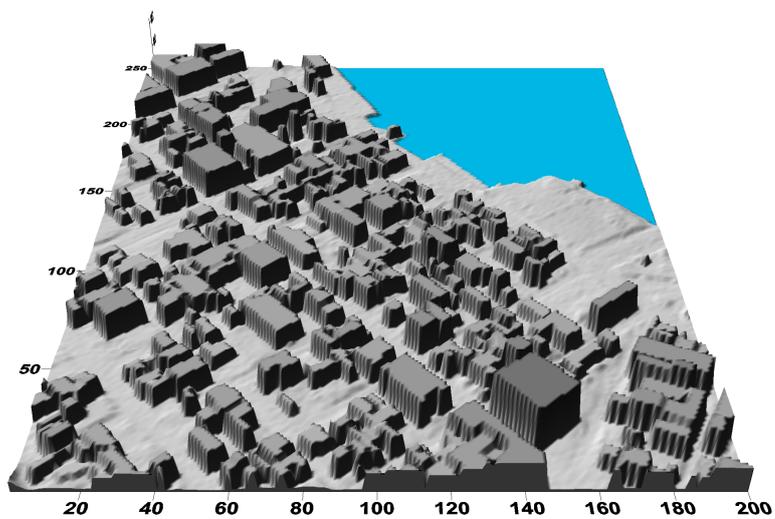


図 3 - 1 2 合成地盤高データの 3 次元表示例

(3) 東京港における地形データ

東京港（芝浦）の2.5m格子領域の地盤高分布を図3-13に示す。また、陸上構造物（建物）を地盤高としてデータ化した合成地盤高モデルの地盤高分布を図3-14に示す。地盤高は、都市計画図（1/2,500）から地盤高をデジタイザで読み取り、デジタル化したデータをもとにスプライン補間により格子点の地盤高データを作成した。

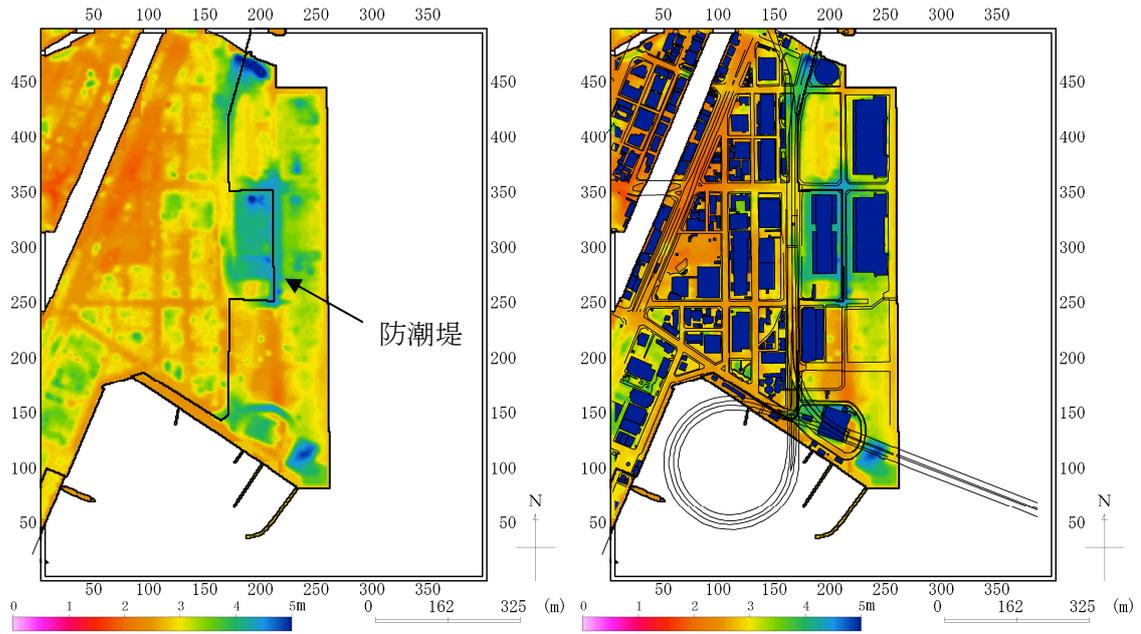


図3-13（左：建物無し，右：建物あり）

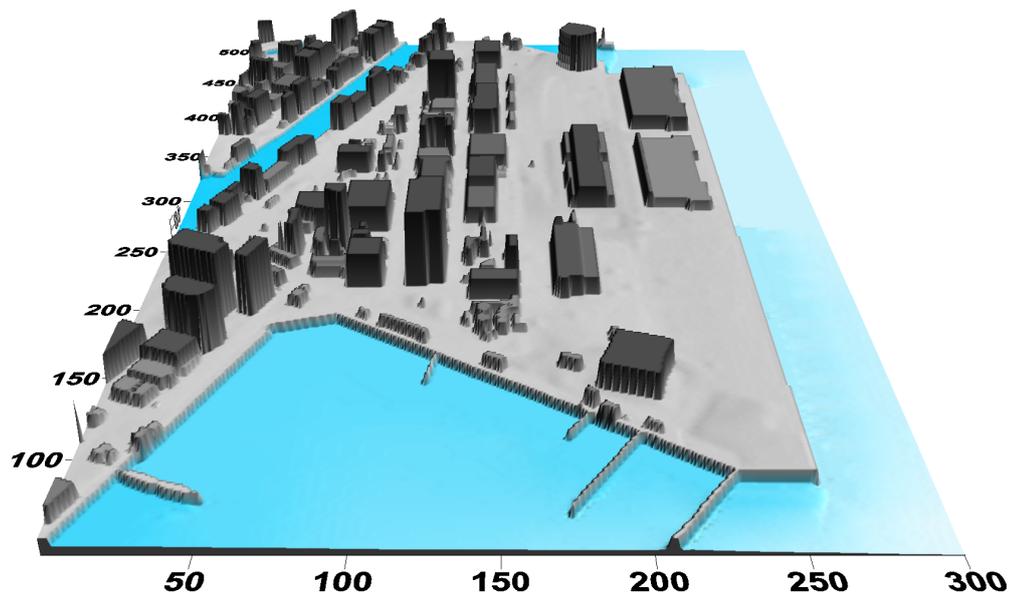


図3-14 建物形状及び高さを考慮した地盤高の3次元表示

(4) 橘港における地形データ

橘港の 2.5m 格子領域の地盤高分布を図 3-15 に示す。また、陸上構造物（建物）を地盤高としてデータ化した合成地盤高モデルの地盤高分布を図 3-16 に示す。地盤高は、都市計画図（1/2,500）から地盤高をデジタイザで読み取り、デジタル化したデータをもとにスプライン補間により格子点の地盤高データを作成した。

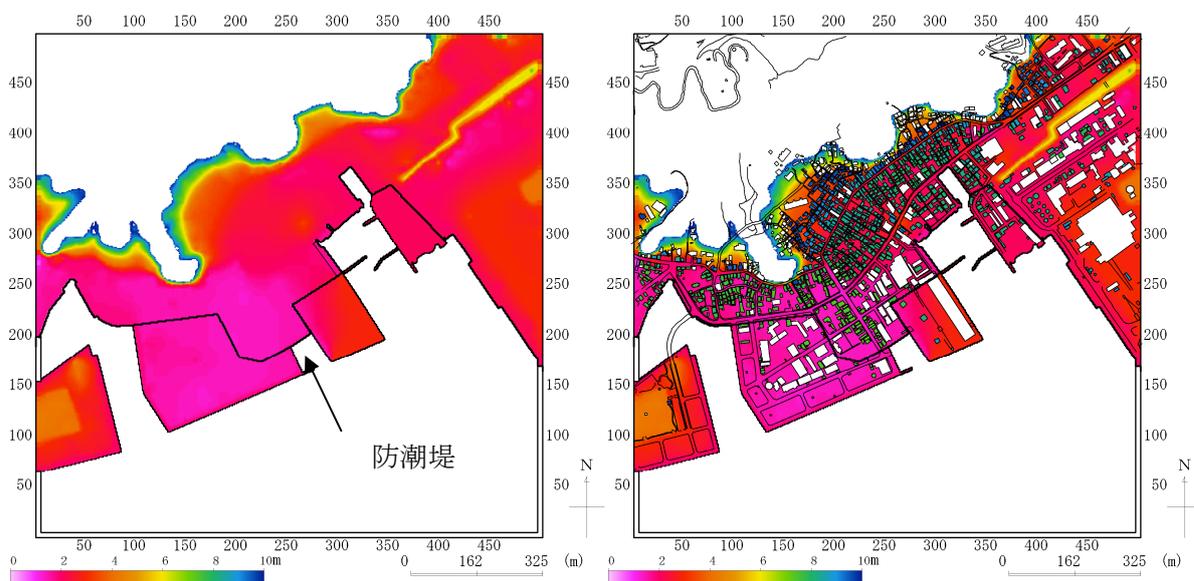


図 3-15 地盤高（左：地盤高のみ，右：地盤高+建物高）

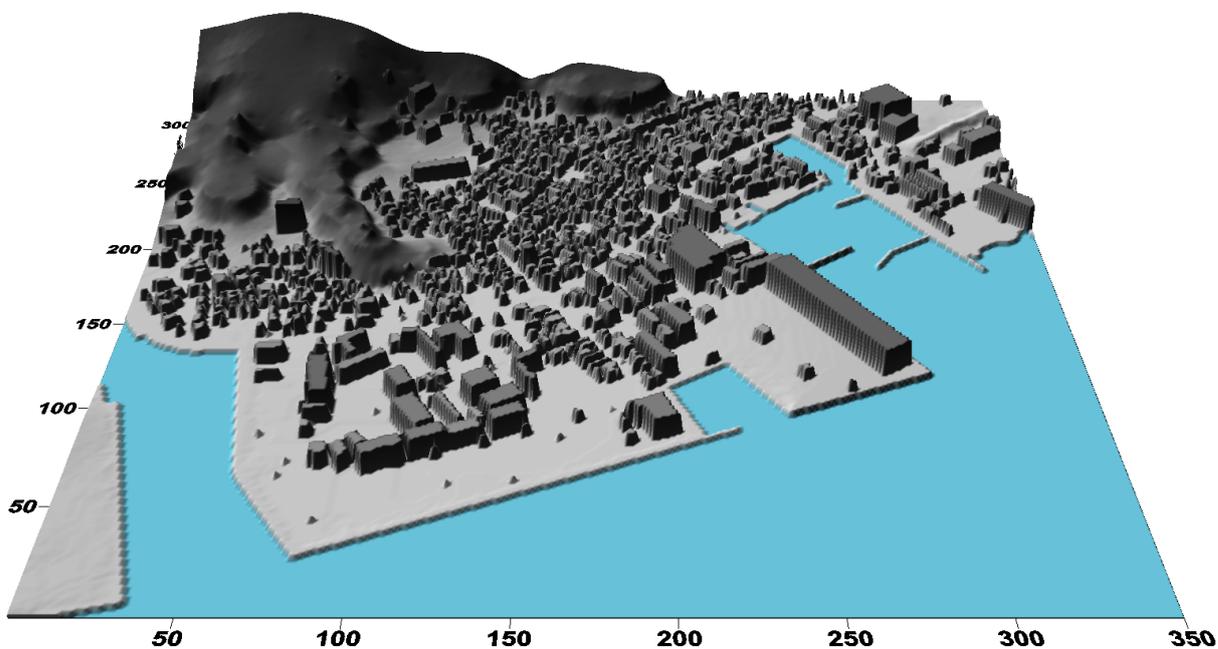


図 3-16 建物形状及び高さを考慮した地盤高の 3 次元表示

2-5 シミュレーション条件の概要

津波災害の検討対象のモデル港である徳島県橘港と高潮災害の検討対象である東京港におけるシミュレーション条件の概要を表 3-6 に示す。また、東京港における計算条件を表 3-7 に、橘港における計算条件を表 3-8 に示す。

表 3-6 シミュレーション条件の概要

	津波災害の検討条件	高潮災害の検討条件
モデル地区	徳島県橘港	東京港
地形モデル	最小格子幅 2.5m による ・粗度モデル ・合成地盤高モデル ・合成等価粗度モデル	最小格子幅 2.5m による ・粗度モデル ・合成地盤高モデル ・合成等価粗度モデル
想定外力	・東南海・南海地震津波（中央防災会議モデル）1 ケース	・室戸台風規模で高潮の偏差が最大となるコース 1 ケース
潮位	・朔望平均満潮位（H. W. L.）	・朔望平均満潮位（H. W. L.）に温暖化による水位上昇 50cm を考慮

表 3-7 東京港の高潮予測シミュレーションの計算条件

領域	A	B	C~D	E	F~G
範囲	外洋領域	東京湾口～相模湾領域	東京湾領域	接続補助領域	芝浦周辺領域
計算格子間隔	32,400~1,800m	450m	200m	100~50m	10.0~2.5m
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 （2.5m 格子以下）	
海底摩擦	考慮（ $n=0.025$ ）			・合成地盤高モデルは $n=0.025$ ・粗度モデルは土地利用に合わせて設定	
潮位条件	H. W. L. =T. P. +1.47m (=A. P. +2.60m)				
計算時間	約 2 日				

表 3-8 橋港の津波予測シミュレーションの計算条件

領域	A	B	C~D	E	F~G
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)			<ul style="list-style-type: none"> 合成地盤高モデルは n=0.025 粗度モデルは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)				

(1) 東京港における条件

1) 台風条件

想定外力は、室戸台風級の中心深度、台風半径 (表 3-10) とし、移動速度と台風コースは最も危険側となる Case005 (図 3-17) とした。¹⁾

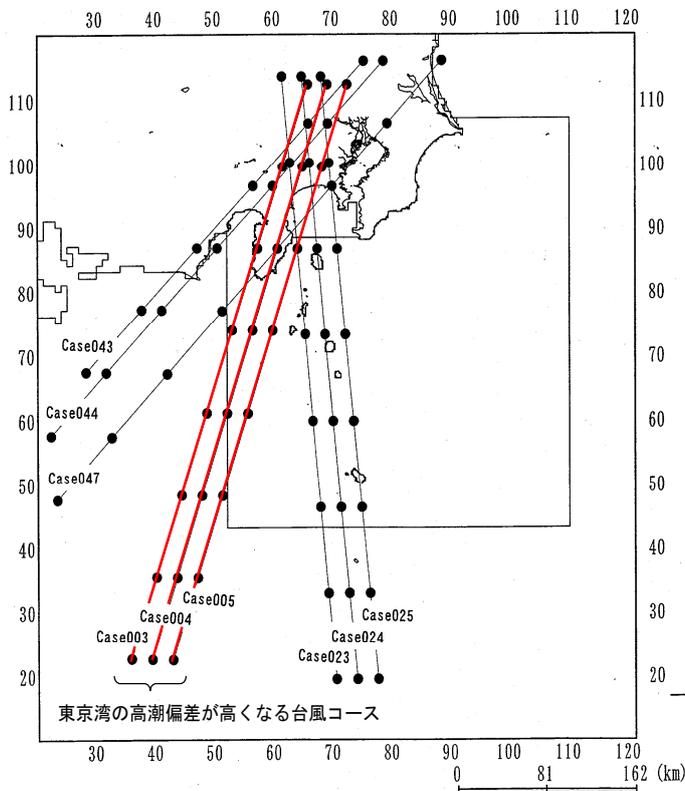
室戸台風の概要 ⁹⁾
<p>室戸台風は、1934 年 9 月 13 日頃、カロリン諸島の南東海上で発生し、北西に進みながら次第に発達した。19 日の夜半には沖縄の南東約 150km の海上に達し、進路を北から北北東に変えた。この頃の中心気圧は 960 ヘクトパスカルである。</p> <p>台風はその後、南西諸島の東側に沿って進み、20 日夜半には九州、宮崎の南東、約 100km の海上に達した。その後進路を北東に変え、21 日 5 時少し前に高知県奈曾利町に上陸した。当時の中心気圧は 893 ヘクトパスカルで、上陸地点に近い室戸測候所では 5 時 10 分、911.9 ヘクトパスカルの最低気圧を観測している。同時刻の最大風速は W45.0m/s であった。</p>

表 3-9 高潮予測計算に用いる台風規模の条件

	室戸台風規模	伊勢湾台風規模
中心深度	76~141hPa (上陸時 117hPa)	70hPa
台風半径	70~205km (上陸時 95km)	75km 一定
移動速度	73km/h 一定	73km/h 一定

表 3-10 時間毎の台風規模（既往の設定条件¹⁾と本調査の条件の比較

時間				経度	緯度	伊勢湾台風規模			室戸台風規模		
年	月	日	時			中心深度 (hPa)	台風半径 (km)	移動速度 (km/h)	中心深度 (hPa)	台風半径 (km)	移動速度 (km/h)
59	9	26	6	136.457	27.295	70.0	75.0	73.0	126.0	70.0	73.0
59	9	26	7	136.671	27.924	70.0	75.0	73.0	121.0	70.0	73.0
59	9	26	8	136.888	28.554	70.0	75.0	73.0	121.0	70.0	73.0
59	9	26	9	137.106	29.183	70.0	75.0	73.0	121.0	70.0	73.0
59	9	26	10	137.328	29.813	70.0	75.0	73.0	121.0	75.0	73.0
59	9	26	11	137.551	30.441	70.0	75.0	73.0	121.0	80.0	73.0
59	9	26	12	137.778	31.070	70.0	75.0	73.0	121.0	90.0	73.0
59	9	26	13	138.007	31.698	70.0	75.0	73.0	121.0	95.0	73.0
59	9	26	14	138.239	32.326	70.0	75.0	73.0	121.0	95.0	73.0
59	9	26	15	138.474	32.953	70.0	75.0	73.0	121.0	95.0	73.0
59	9	26	16	138.713	33.580	70.0	75.0	73.0	121.0	95.0	73.0
59	9	26	17	138.955	34.207	70.0	75.0	73.0	121.0	95.0	73.0
59	9	26	18	139.200	34.833	70.0	75.0	73.0	117.0	95.0	73.0
59	9	26	19	139.449	35.459	70.0	75.0	73.0	111.0	95.0	73.0
59	9	26	20	139.702	36.083	70.0	75.0	73.0	106.0	95.0	73.0
59	9	26	21	139.959	36.708	70.0	75.0	73.0	101.0	95.0	73.0
59	9	26	22	140.220	37.331	70.0	75.0	73.0	96.0	120.0	73.0
59	9	26	23	140.486	37.954	70.0	75.0	73.0	86.0	150.0	73.0
59	9	27	0	140.756	38.577	70.0	75.0	73.0	78.0	165.0	73.0
59	9	27	1	141.031	39.198	70.0	75.0	73.0	76.0	205.0	73.0
59	9	27	2	141.311	39.819	70.0	75.0	73.0	76.0	195.0	73.0
59	9	27	3	141.596	40.439	70.0	75.0	73.0	80.0	175.0	73.0



Case 005 (剣崎・馬堀・横須賀・磯子・芝浦・君津)

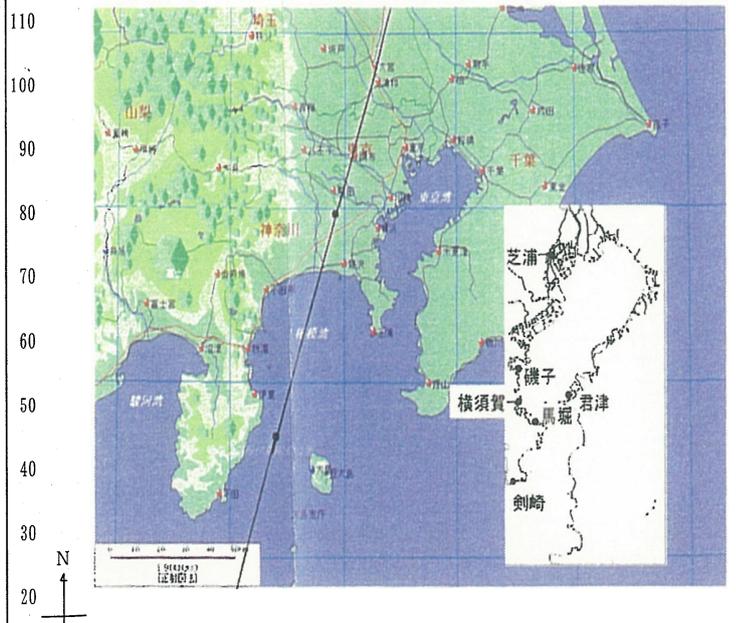


図 3-17 高潮予測計算に用いる台風コース（台風コース Case005）¹⁾

2) 初期水位条件

シミュレーションにおける初期の水位条件は、海面水位上昇量を考慮したケースとして朔望平均満潮位より 50cm 高い潮位 (T.P.+1.47m) とした (図 3-18)。

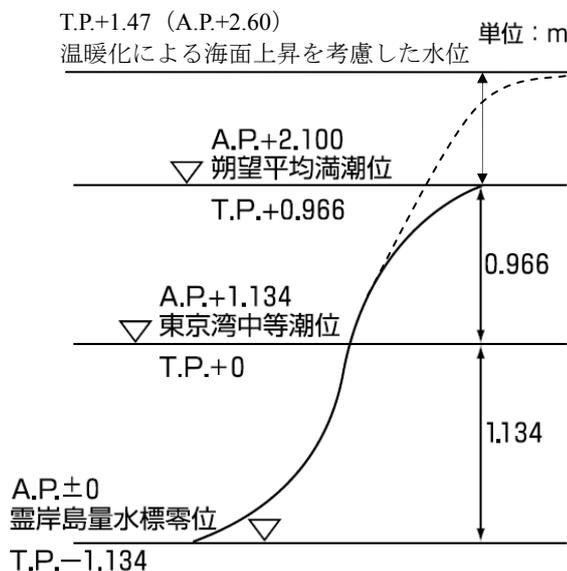


図 3-18 シミュレーションにおける初期の水位条件

3) 流体力の評価方法

本検討における流体力の評価は、次式をもとに各格子における最大水位（最大浸水深）と最大流速値を用いて算定を行った。

$$\text{流体力} = \frac{1}{2} \rho C_D (Du^2)_{\max} = \frac{1}{2} \times 1.03 \times 2.0 \times (Du^2)_{\max} \quad (\text{kN/m})$$

ここで、 ρ は流体密度、 C_D は抵抗係数で 2.0、 D は全水深で海域では全水位、陸上では浸水深、 u は断面平均流速である。

(2) 橘港における条件

1) 津波波源

本研究で使用する津波波源は、内閣府中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」における想定東南海・南海地震（同時発生モデル）とした。図 3-19 に内閣府中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」で設定されている震源域を示し¹⁰⁾、図 3-20 に内閣府中央防災会議より提供された地盤変動量分布データをもとに作成した初期水位分布を示す。

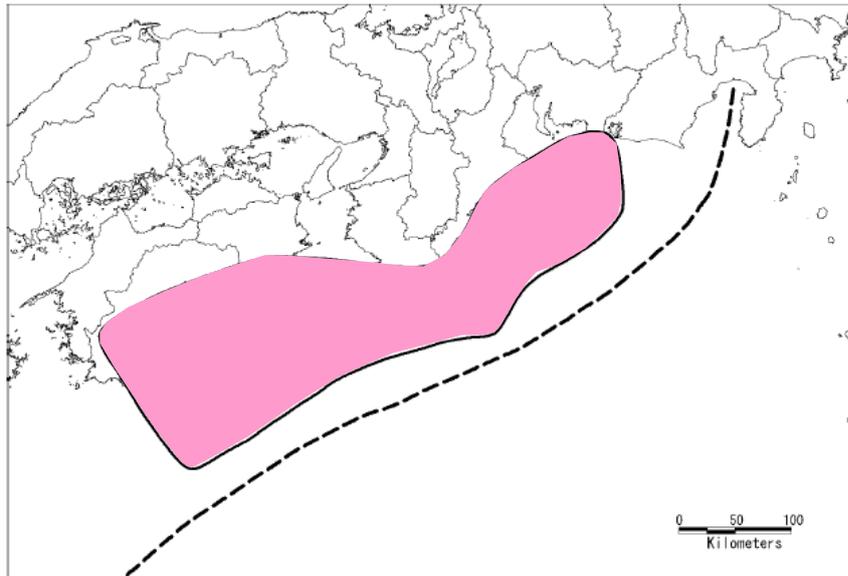


図 3-19 中央防災会議における想定東南海・南海地震の震源域¹⁰⁾

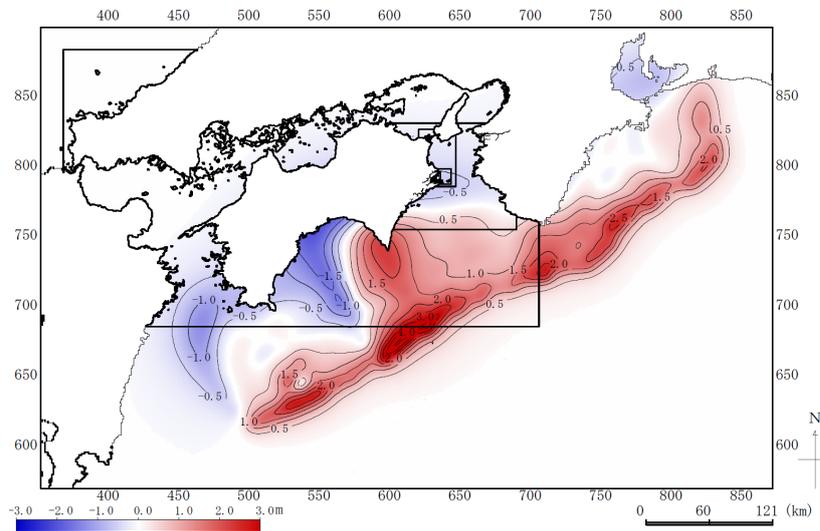


図 3-20 想定東南海・南海地震の初期水位分布

2) 初期水位条件

シミュレーションにおける初期の水位条件は、陸上における浸水の影響が大きい朔望平均満潮位 (H. W. L.) とした。

$$\text{H. W. L.} = \text{T. P.} + 1.130\text{m} \quad (= \text{D. L.} + 2.074\text{m})$$

2-6 検討目的毎のシミュレーションケース

シミュレーションは目的に応じて2回にわけて実施した。シミュレーション①は、モデルの優位性の検証と建物による減災効果を検証するために、シミュレーション②は、地盤の嵩上げ+植栽及び臨港道路の高床化による減災効果を検証するために実施した。

前者のシミュレーション①については、次項にて議論するが、後者のシミュレーション②については、模型実験によるシミュレーション精度の検証を行った後で議論する。

1) シミュレーション①

モデルの優位性の検証と建物による減災効果を検証するための検討ケースは、表3-11①～②に示すとおりである。

シミュレーション条件の詳細は以下のとおりである。

地形モデルについては、既述（「2-4 地形データ」）のとおりである。防潮堤についてはその有無でケースを分けている。

表3-11a 減災効果の評価に関する検討ケース（東京港）

No.	モデルの種類	防潮堤	土地利用の表現	備考
Case1	粗度モデル	○	粗度係数	
Case2	合成地盤高モデル	○	地形モデル	
Case3	粗度モデル	×	粗度係数	
Case4	合成地盤高モデル	×	地形モデル	
Case13	合成等価粗度モデル	×	合成等価粗度	Cd=3.3
Case14	合成等価粗度モデル	×	合成等価粗度	Cd=5.1

注) ○は防潮堤有り ×はなし（以下、表3-11～12において同じ意味）

表3-11b 減災効果の評価に関する検討ケース（橘港）

No.	モデルの種類	防潮堤	土地利用の表現	備考
Case1	粗度モデル	○	粗度係数	
Case2	合成地盤高モデル	○	地形モデル	
Case3	粗度モデル	×	粗度係数	
Case4	合成地盤高モデル	×	地形モデル	
Case13	合成等価粗度モデル	×	合成等価粗度	Cd=3.3
Case14	合成等価粗度モデル	×	合成等価粗度	Cd=5.1

2) シミュレーション②

地盤の嵩上げ+植栽及び臨港道路の高床化による減災効果を検証するための検討ケースは、表3-12に示すとおりである。

表3-12a 減災効果の評価に関する検討ケース（東京港）

No.	モデルの種類	防潮堤	減災施設
Case1	合成地盤高モデル	○ラインの簡素化	—
Case2	合成地盤高モデル	○ラインの簡素化	地盤嵩上げ+植栽
Case3	合成地盤高モデル	○ラインの簡素化	臨港道路高床化

表 3-12b 減災効果の評価に関する検討ケース（橘港）

No.	モデルの種類	防潮堤	減災施設
Case1	合成地盤高モデル	○ラインの簡素化	—
Case2	合成地盤高モデル	○ラインの簡素化	地盤嵩上げ+植栽
Case3	合成地盤高モデル	○ラインの簡素化	臨港道路高床化

シミュレーション条件の詳細は以下のとおりである。

シミュレーション②では、橘港及び東京港ともにいずれのケースでも、図 3-21 に示すように現況の入り組んだ防潮ラインの影響をなくすために便宜的に直線化（簡素化）した (Case1～3 共通)。

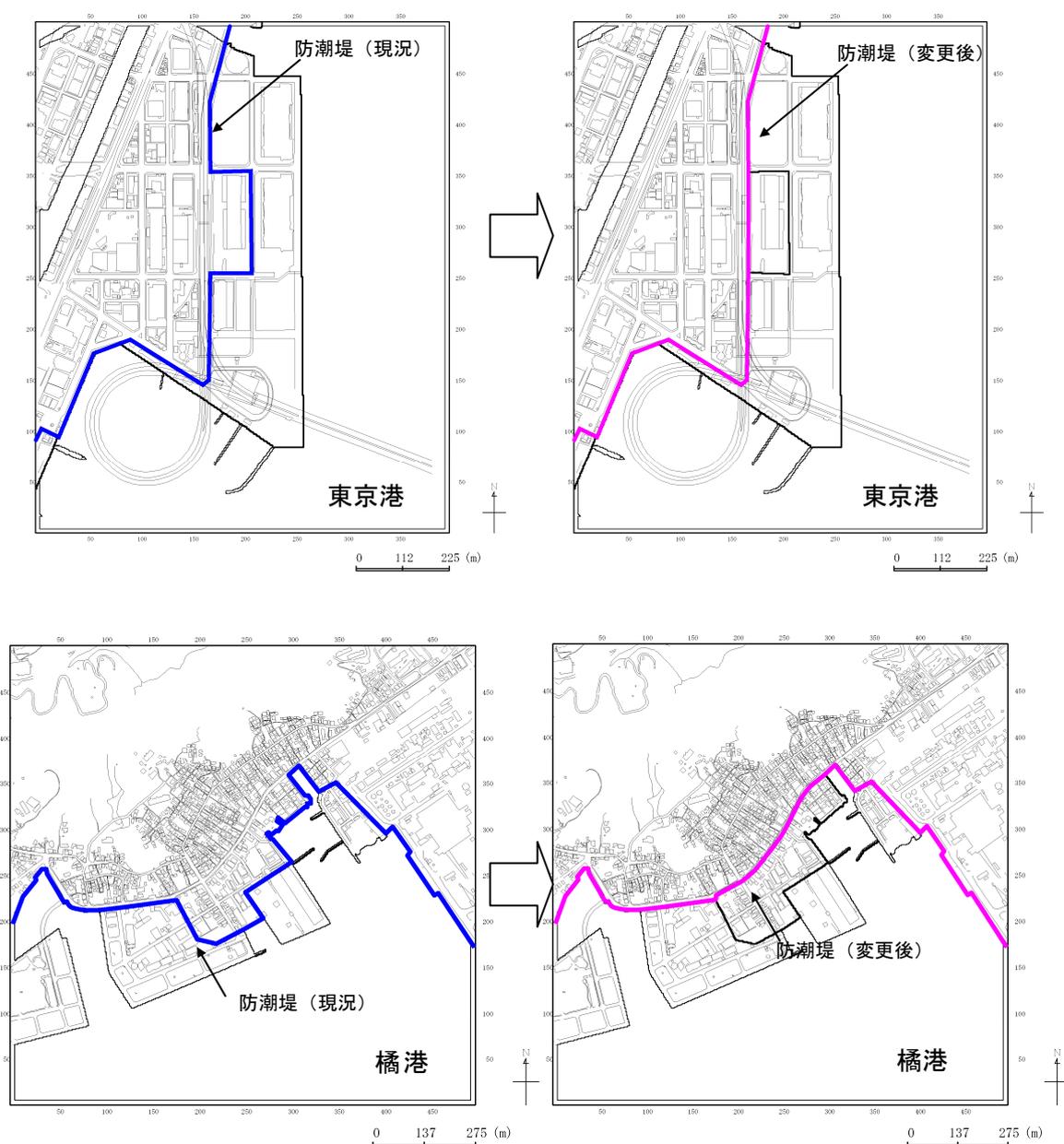


図 3-21 防潮ラインの簡素化

Case2における地盤高の嵩上げは、図 3-22、図 3-23 に示すように地盤高の嵩上げによる減災効果の確認のために基本となる現況地盤の凹凸を考慮して平均的に地盤高が 50cm 高くなるように地盤高を調整した。その結果、東京港においては、防潮堤の高さが TP+4.0m に対して、地盤高約+3.0m、橋港においては、防潮堤の高さが TP+4.0m に対して、地盤高約+2.0m となった。

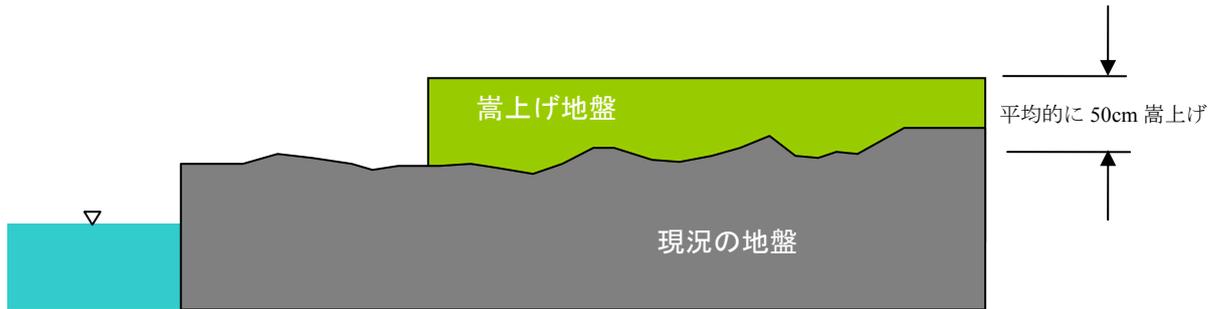


図 3-22 地盤高の嵩上げ

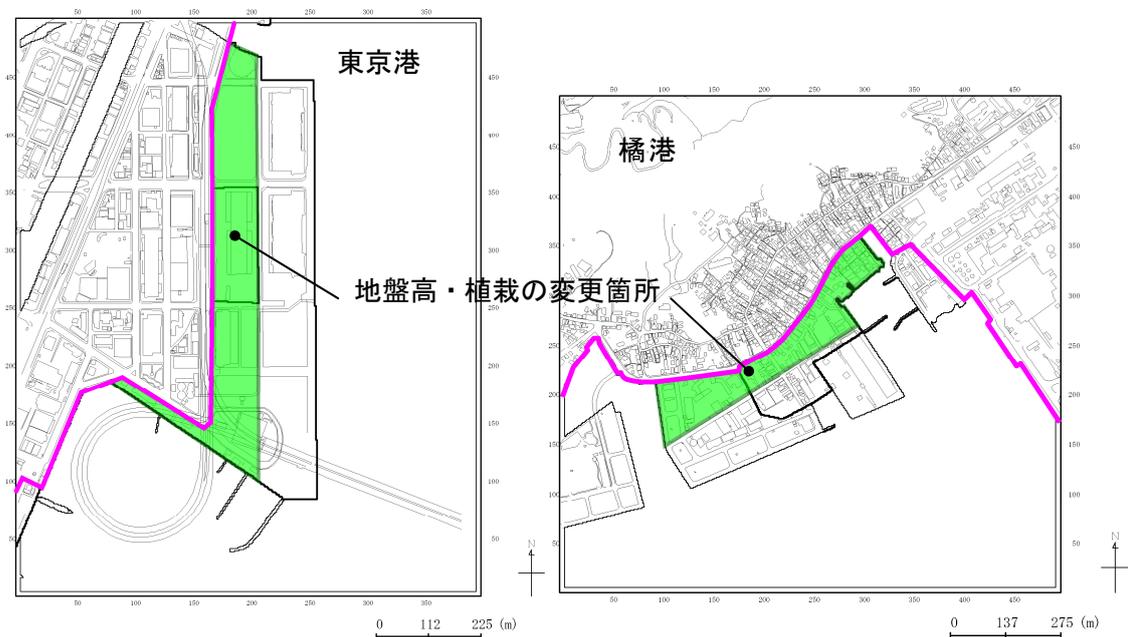


図 3-23 地盤高・植栽の変更箇所（緑色の色塗り部分）

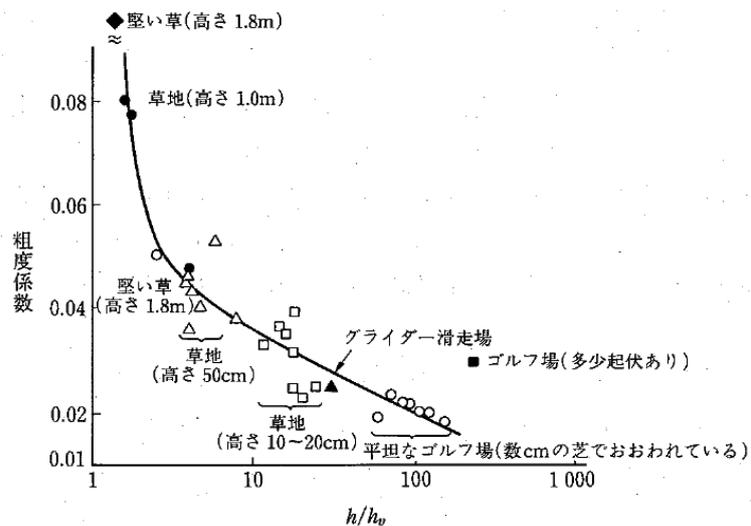


図 3-24 マニングの粗度係数 n と水深 h / 植生高 h_v との関係¹¹⁾

また、植栽については、河川洪水流の計算に用いられる粗度係数を参考に高水敷粗度係数を用いた検討を行った。粗度係数は図3-24を活用して、草地（高さ1.0m）の粗度係数0.08を用いた。

Case3における道路の高上げについては、東京港においては、対象とする道路の天端高は+3.5mとし、埠頭内道路等は現況の地盤高とした。橘港においては、対象とする道路の交差点部分を地盤から3.5m嵩上げし、埠頭内道路とすりつけを行った（図3-25）。

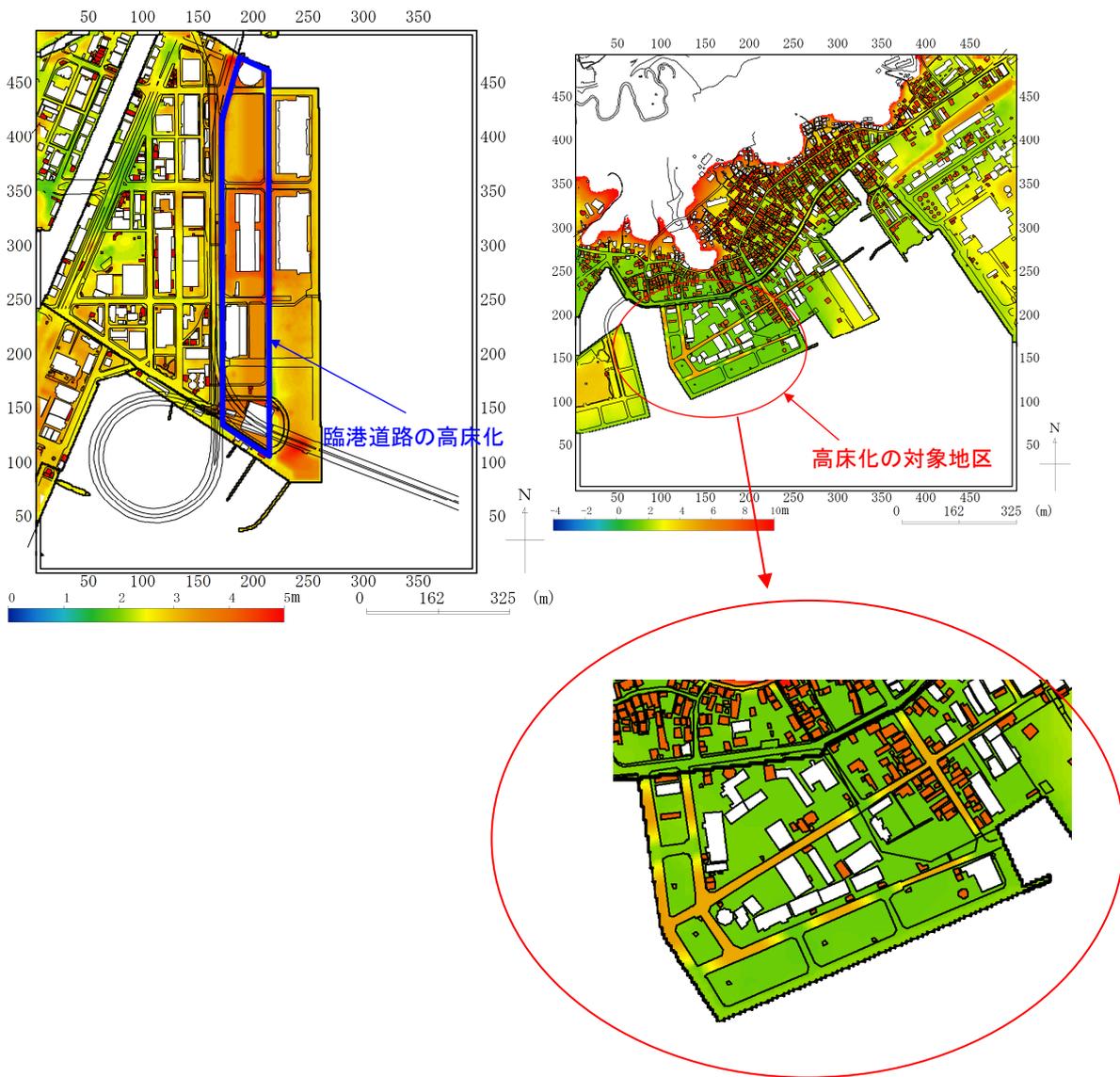


図3-25 臨港道路高床化箇所

3 モデルの優位性に関する検討結果(シミュレーション①に基づく)

減災効果が適切に評価できるモデルの検討のため、粗度モデル、合成地盤高モデル、合成粗度モデルの比較を行った。ここでは、モデル間の相違がより明確だった橋港における結果を詳細に示すこととする。

なお、シミュレーション結果を比較したところ、合成等価粗度モデルにおける抵抗係数 C_d の違いや防潮堤の有無によってモデル間の比較結果に大きな差がなかった。そこで、理論的にはモデルの違いによる効果が相対的に大きくでると考えられる Case 3, 4, 14 を取り上げ、それぞれのケースを比較した。概要を次に記す。

表 3-13 減災効果の評価に関する検討ケース (東京港)

No.	モデルの種類	土地利用の表現	備考
Case3	粗度モデル	粗度係数	防潮堤なし
Case4	合成地盤高モデル	地形モデル	防潮堤なし
Case14	合成等価粗度モデル	合成等価粗度係数	防潮堤なし $C_d=5.1$

(1) 最大水位の比較 (表 3-15 a ~ d)

- ・粗度モデルでは再現できない建物による背後域の水位の低減効果が、合成地盤高モデルでは確認された。
- ・合成等価粗度モデルは、粗度モデルよりも背後域の水位低減を表現するが、合成地盤高モデルほど明確ではない。
- ・個別エリアにおける水位の時間変化を示す表 3-15 b ~ d において、粗度モデル及び合成等価粗度モデルの方が、合成地盤高モデルよりも遡上が早い傾向に出ている。両モデルの中では、粗度モデルよりも合成等価粗度モデルの方が、合成地盤高モデルに近い結果 (遡上範囲) をもたらず場面が多いことが分かるが、合成等価モデルでも、ある建物の存在により海水が回り込む様子は表現できていない。他方で、浸水範囲に入ったエリアでは、建物と建物の間の浸水深について、合成地盤高モデルの方が合成等価粗度モデルよりも高く出ており、合成等価粗度モデルでは、建物の減災性能とは裏腹にむしろ浸水深が深くなる部分があることが表現できていない。

(2) 流速及び流体力の比較 (表 3-16 a ~ d)

- ・合成等価粗度モデルでは、等価粗度を与えた建物形状に最大流速が低い範囲が浮かび上がっている。
- ・建物に作用する流体力について議論するためには、粗度モデルも合成等価粗度モデルも利用困難である。
- ・合成地盤高モデルの結果は粗度モデルや合成等価粗度モデルよりも、建物周囲において流速値が小さくなっており、最大流速の低減効果の評価も可能と推測される。ただし、建物間で流路が狭まっている箇所での縮流効果が出ているか否かが、表 3-18 b ~ d 中の図面では読取り困難である。

(3) 各モデルの比較検討結果による評価手法の評価結果

各モデルを用いたシミュレーションの比較検討結果をもとに水位、流速、到達時間、流体力による

評価指標に関する評価結果を表3-14に示す。

水位の時間変化の再現については、面的にはある程度の評価は可能であるが、個々の建物の効果については難しいものと判断される。本研究で検討した3つのシミュレーションモデルにおいては、合成地盤高モデルを用いた場合が減災効果の再現性が最も高くなると判断される。ただし、建物周りの水位や流速及び遡上域における減衰率については、実際の現象と比較する必要があるなどの課題が残る。

表3-14 各モデルによる減災効果評価手法の評価

	最大水位	流速	流体力	到達時間
①粗度モデル	×	×	×	×
②合成地盤高モデル	○	○	○	○
③合成等価粗度モデル	△	△	△	△

○：建物等の低減効果が顕著に現れる

△：建物等の低減効果を面的に再現できるが、個々の建物の低減効果を再現できない

×：建物等の低減効果を再現できない

表3-15a 橘港における各モデルの比較結果総括表

比較ケース	シミュレーション結果の評価
<p>粗度モデルと合成地盤高モデルとの比較</p> <p>(Case 3と4の比較)</p>	<p>【最大水位】(表3-15 図3-26 表3-22~24)</p> <p>粗度モデルでは再現できない建物による背後域の水位の低減効果が、合成地盤高モデルとの比較により確認された。この差は合成地盤高モデルにより、建物を地盤高さで再現したことによる効果であり、検討対象範囲に建物を配置することによる水位の低減効果を評価することが可能となることがわかる。また、図3-22に示す水位の経年変化及び表3-21~23に示す個別エリアにおける水位変化においても、粗度モデルと合成地盤高モデルに水位差がみられた。この結果から、合成地盤高モデルでは、最大水位のみならず、到達時間または最大水位発生時間等の指標の評価も可能であると判断される。</p>
<p>粗度モデルと合成等価粗度モデルとの比較</p> <p>(Case 3と14の比較)</p>	<p>【最大水位】(表3-16 表3-22~24)</p> <p>合成等価粗度モデルは従来の粗度モデルよりも背後域の水位低減がみられるが、その差は、合成地盤高モデルほど明確ではない。この結果から合成等価粗度モデルにおいてもある程度は減災効果の評価は可能であると判断できる。また、個別エリアにおける水位の時間変化を示す表3-21~23において、両モデルにおける到達時間の違いがみられる箇所もあるが、合成地盤高モデルほどの違いはみられない。また、個々の建物による効果は評価できていない。</p> <p>この結果から合成等価粗度モデルでも面的には、到達時間または最大水位発生時間等の指標の評価も可能と判断されるが、個々の建物による効果までは評価できない。</p>
<p>合成地盤高モデルと合成等価粗度モデルとの比較</p> <p>(Case 4と14の比較)</p>	<p>【最大水位】(表3-17 表3-22~24)</p> <p>合成等価粗度モデルは合成地盤高モデルよりも建物が密集する地域における津波エネルギーの低減効果が小さい結果となった。また、比較結果は表3-23に示す粗度モデルと合成地盤高モデルの比較結果と同様な傾向となっており、個別エリアにおける水位の時間変化を示す表3-21~23において、両モデルによる違いが明確にみられることから、建物の影響による水位の時間変化の再現については、面的にはある程度の評価は可能であるが、個々の建物の効果については難しいものと判断される。</p>

なお、東京港においても、同様の比較結果となった。

表 3-15b 最大水位分布の比較 (合成地盤高モデルと粗度モデルの比較, T.P. 基準)

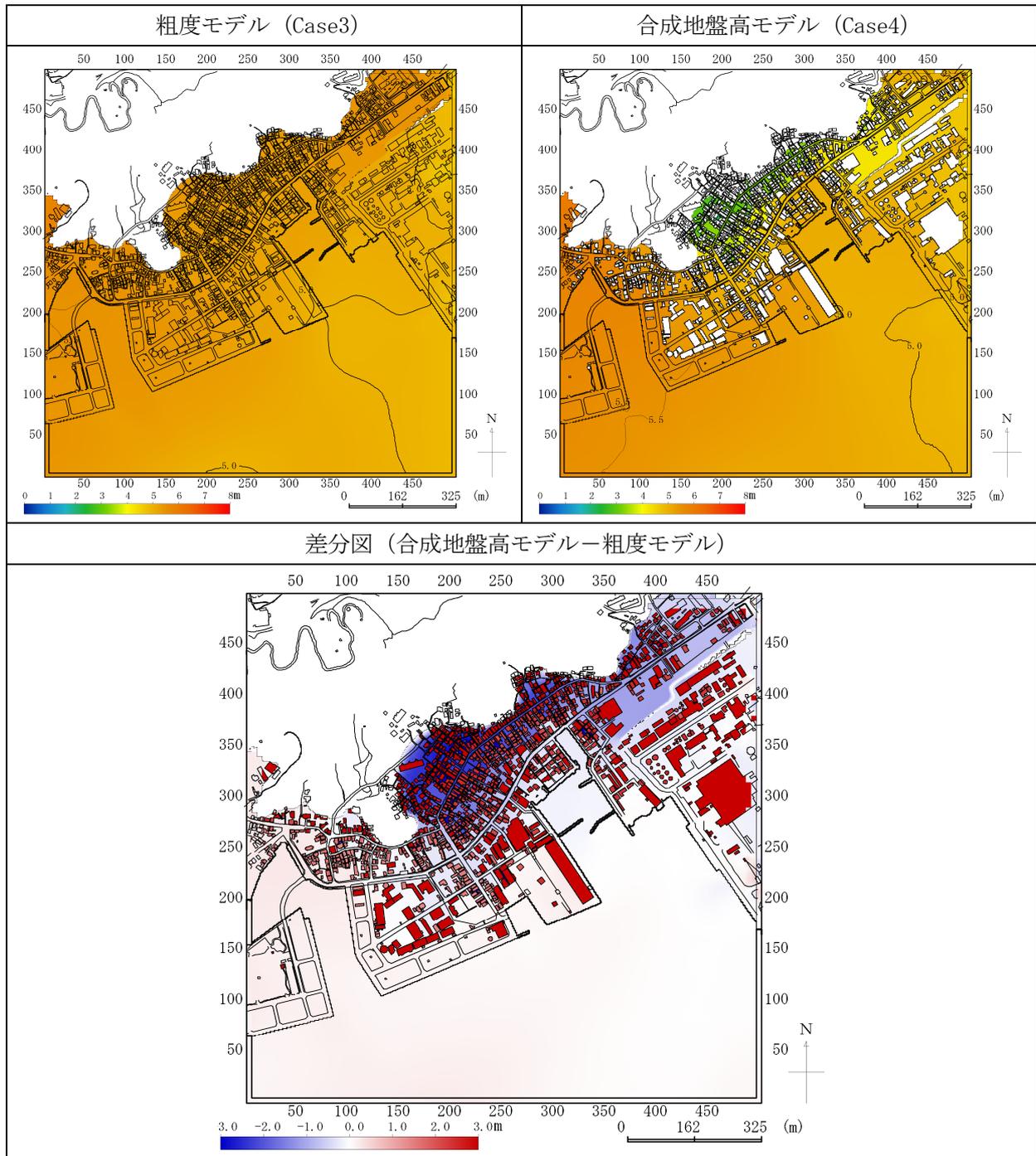


表 3-15c 最大水位分布の比較 (粗度モデルと合成等価粗度モデルの比較, T.P. 基準)

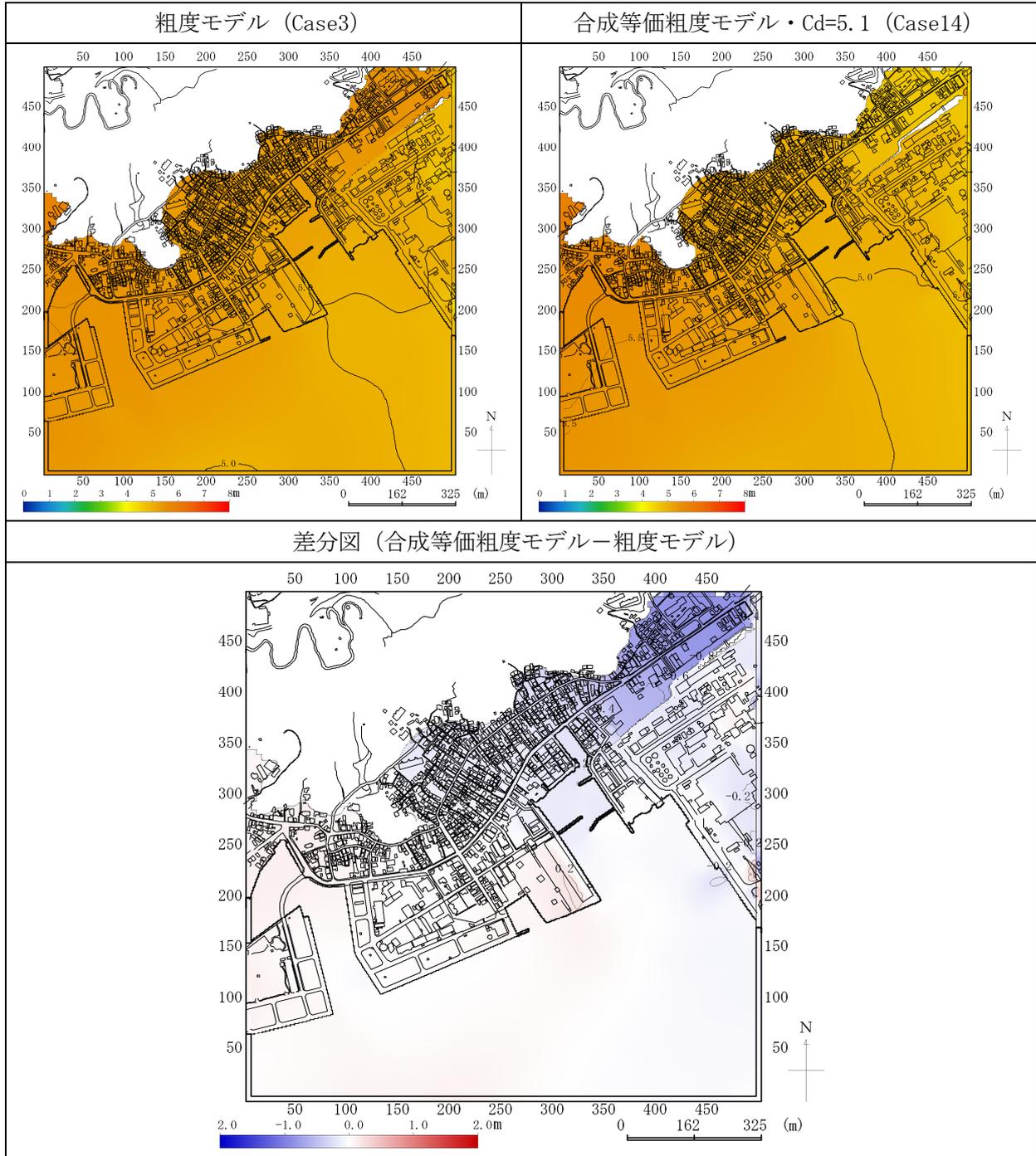


表 3-15 d 最大水位分布の比較 (合成地盤高モデルと合成等価粗度モデルの比較, T.P. 基準)

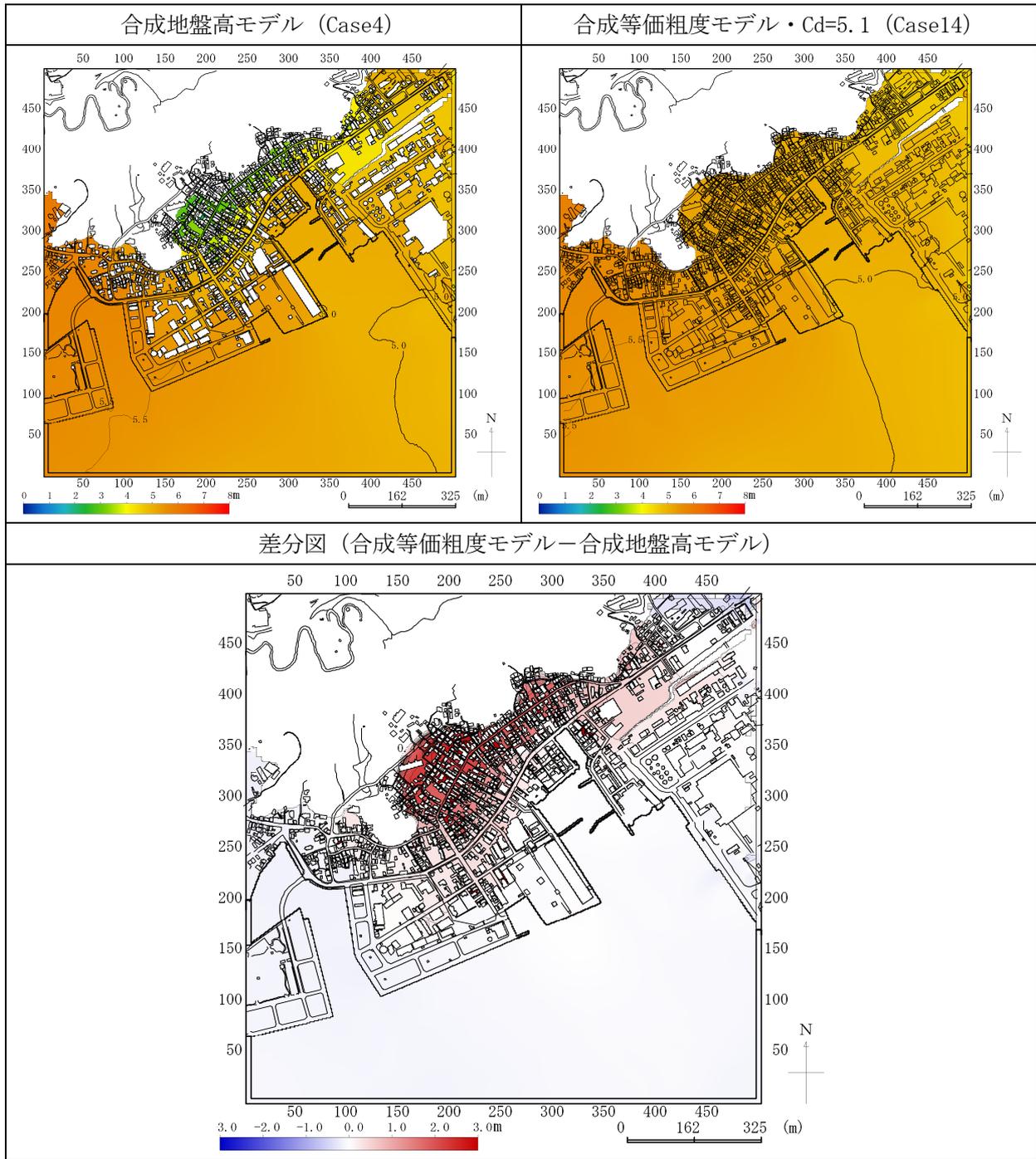


表3-16a 橋港における各モデルの比較結果総括表

比較ケース	シミュレーション結果の評価
<p>粗度モデルと合成地盤高モデルとの比較</p> <p>(Case 3と4の比較)</p>	<p>【最大流速】(表3-17)</p> <p>合成地盤高モデルの結果は粗度モデルの結果に比べ、建物周囲において流速値が小さくなっており、最大流速の低減効果の評価も可能であることがわかる。ただし、建物間の流れは急縮効果によって早くなることが考えられるが、合成地盤高モデルでは建物周囲において流速が遅くなっていることから、格子配置や建物形状の効果により流速が過小評価されている可能性がある。</p>
<p>粗度モデルと合成等価粗度モデルとの比較</p> <p>(Case 3と14の比較)</p>	<p>【最大流速】(表3-18)</p> <p>合成等価粗度モデル結果は粗度モデルに比べ、建物群の背後において流速値が小さくなっている。このため、合成等価粗度モデルでは、建物による流速の低減効果の評価が可能と判断される。ただし建物の形状を考慮していないため建物間の流れの再現はできない。</p>
<p>合成地盤高モデルと合成等価粗度モデルとの比較</p> <p>(Case 4と14の比較)</p>	<p>【最大水位】(表3-17 表3-22~24)</p> <p>【最大流速】(表3-19)</p> <p>合成等価粗度モデル結果は合成地盤高モデルに比べ、建物背後において流速の減衰効果が若干小さい結果となった。合成等価粗度モデルでは、建物による流速低減効果の評価が可能と判断されるが、建物の形状を考慮していないため建物間の流れの再現はできない。</p>

1) なお、東京港においても、同様の比較結果となった。

表 3-16b 最大流速分布の比較 (粗度モデルと合成地盤高モデルの比較, T.P.基準)

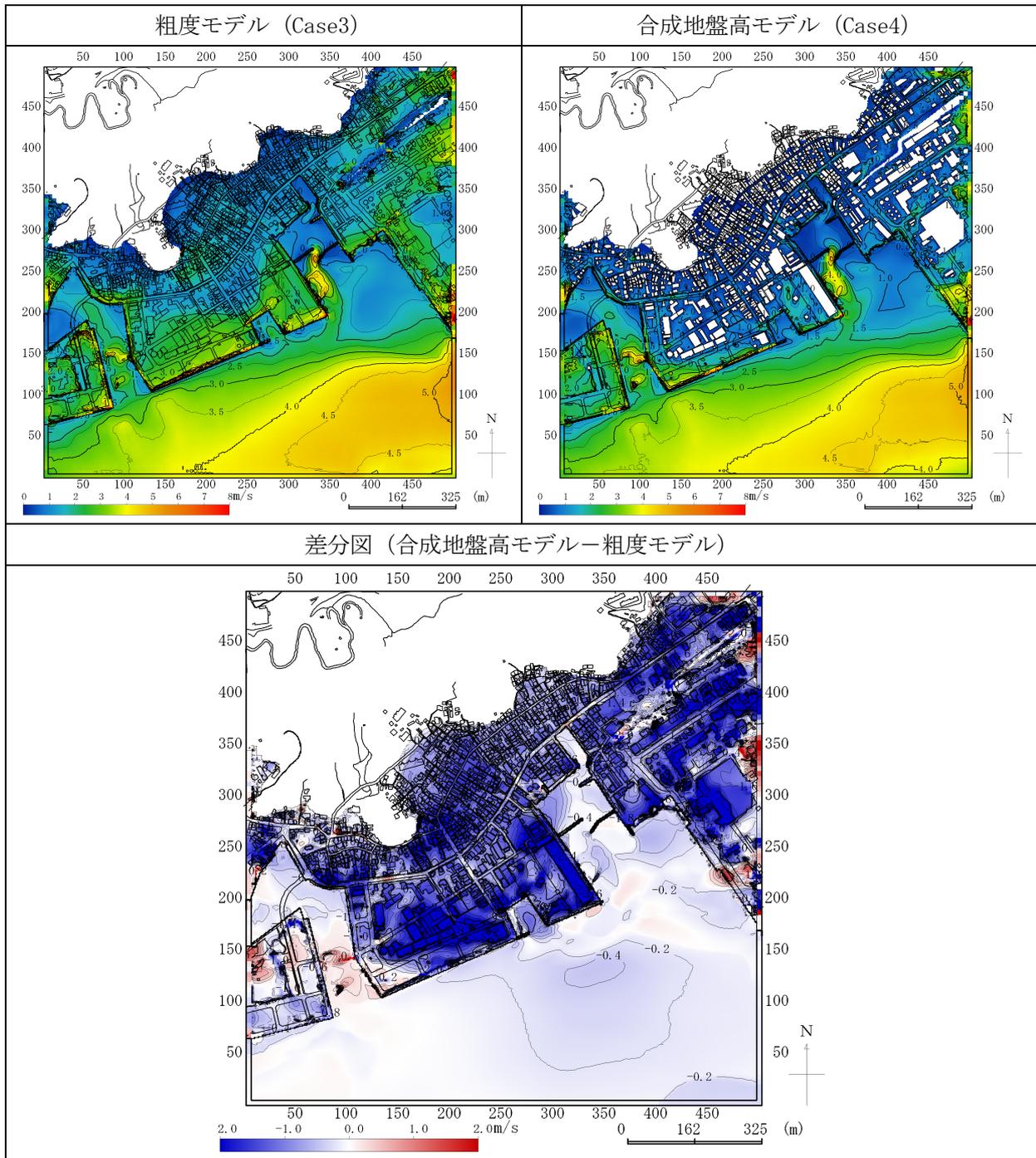


表 3-16c 最大流速の比較 (建物なしと合成等価粗度モデルの比較)

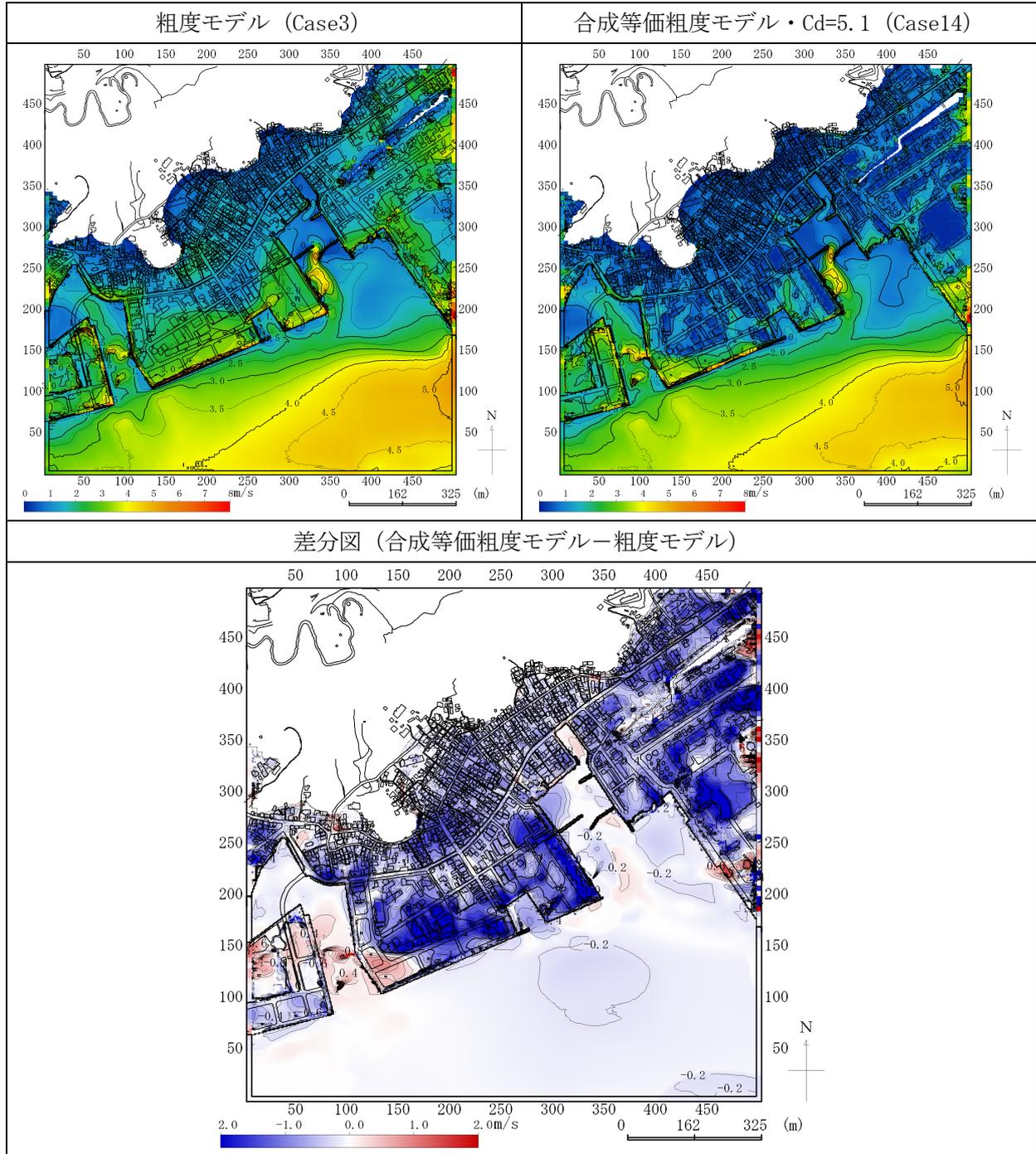


表 3-16d 最大流速の比較 (合成地盤高モデルと合成等価粗度モデルの比較)

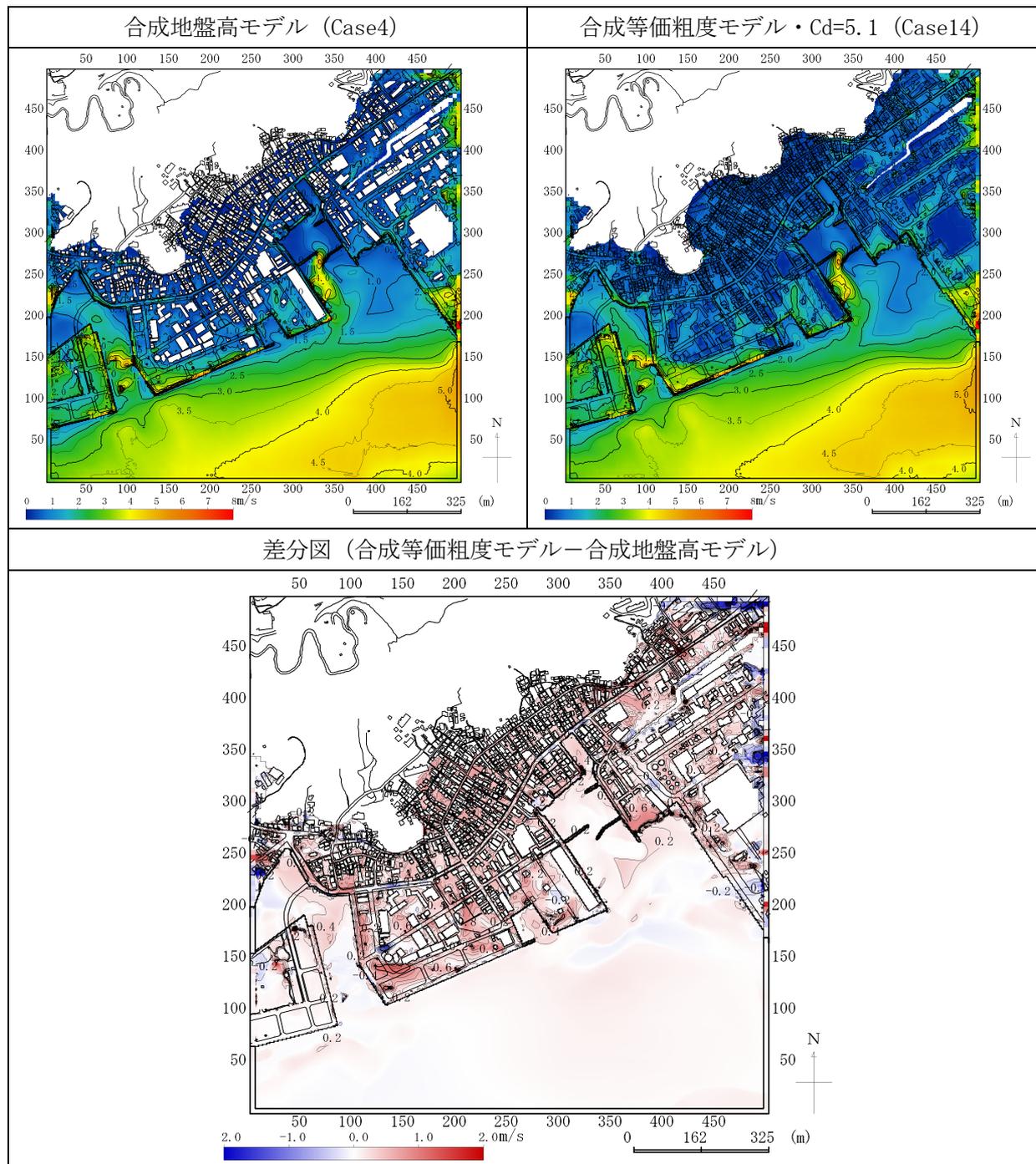
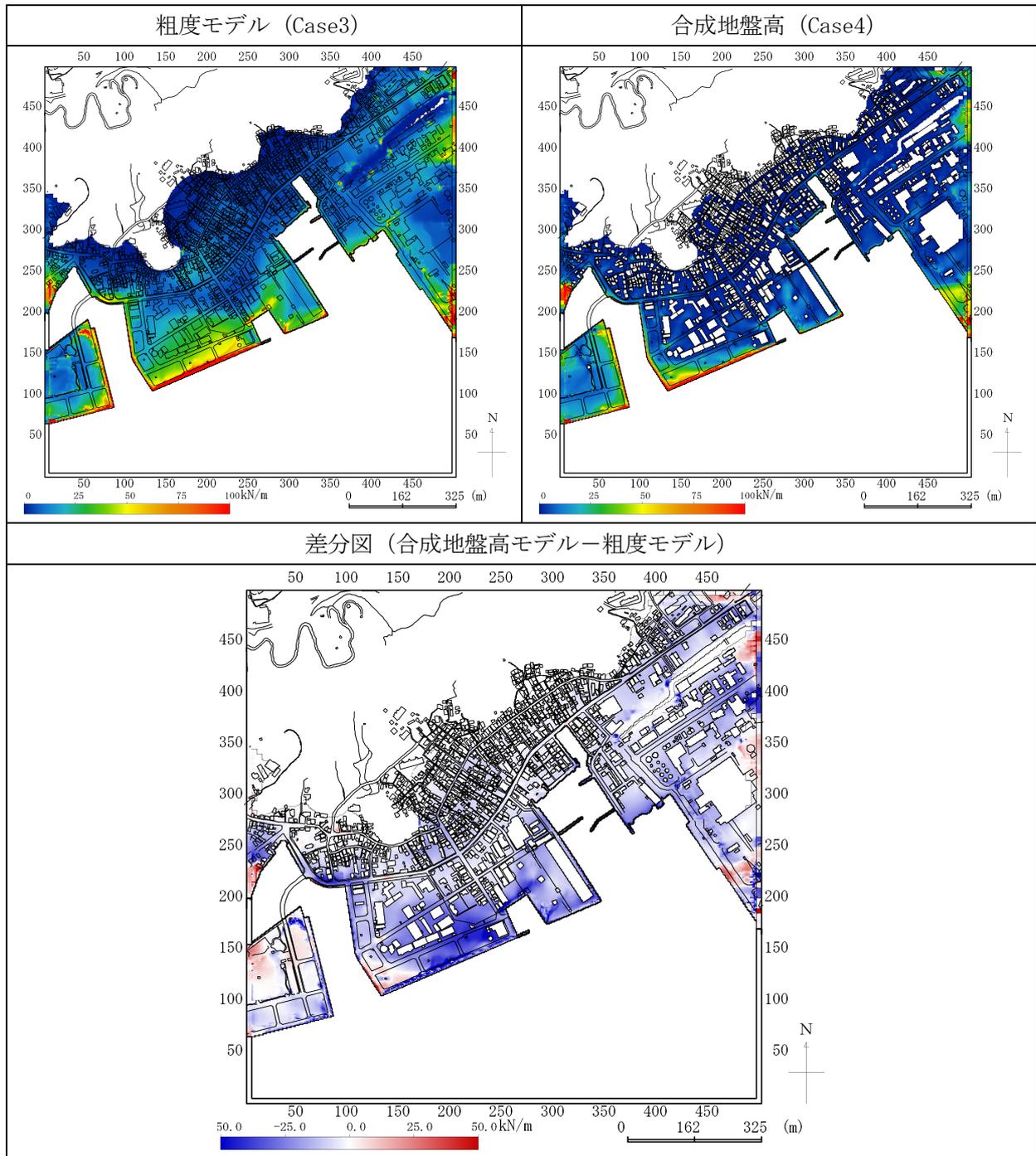


表3-17a 橋港における各モデルの比較結果総括表

比較ケース	シミュレーション結果の評価
粗度モデルと 合成地盤高モデルとの比較 (Case 3と 4の比較)	【流体力】 (表3-20) 合成地盤高モデルの結果は粗度モデルの結果に比べ、建物周辺において流体力値が小さくなっており、その分布は流速分布に近くなっている。この結果から、合成地盤型モデルでは、流体力を評価指標として活用できるものと判断される。

なお、東京港においても、同様の比較結果となった。

表 3-17b 流体力の比較（粗度モデルと合成地盤高モデルの比較）



注) 流体力（最大浸水深と最大流速から評価）

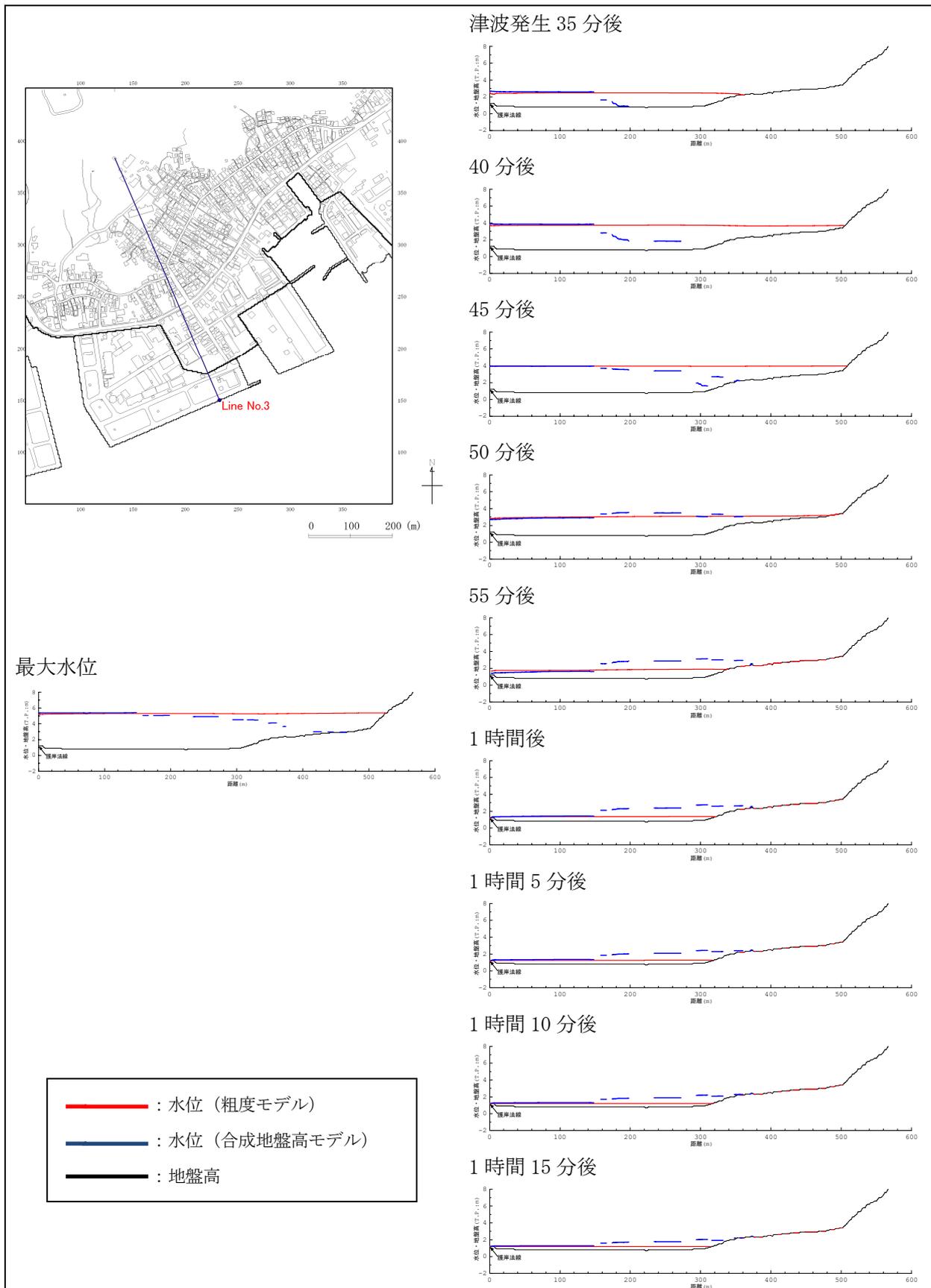


図3-26 津波水位の断面分布の経時変化 (粗度モデルと合成地盤高モデルの比較)

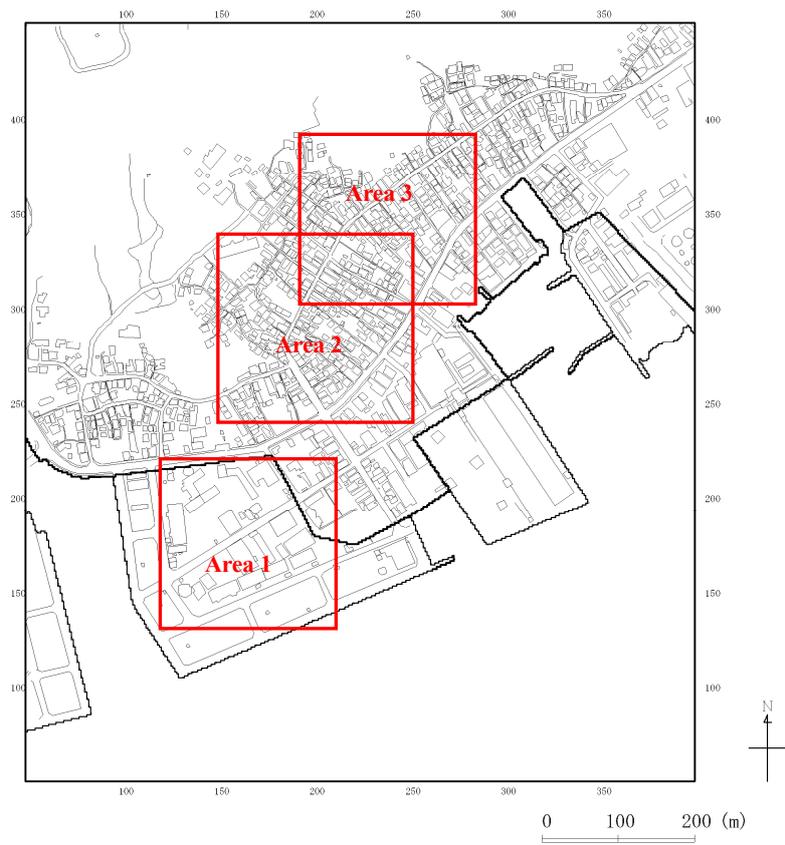
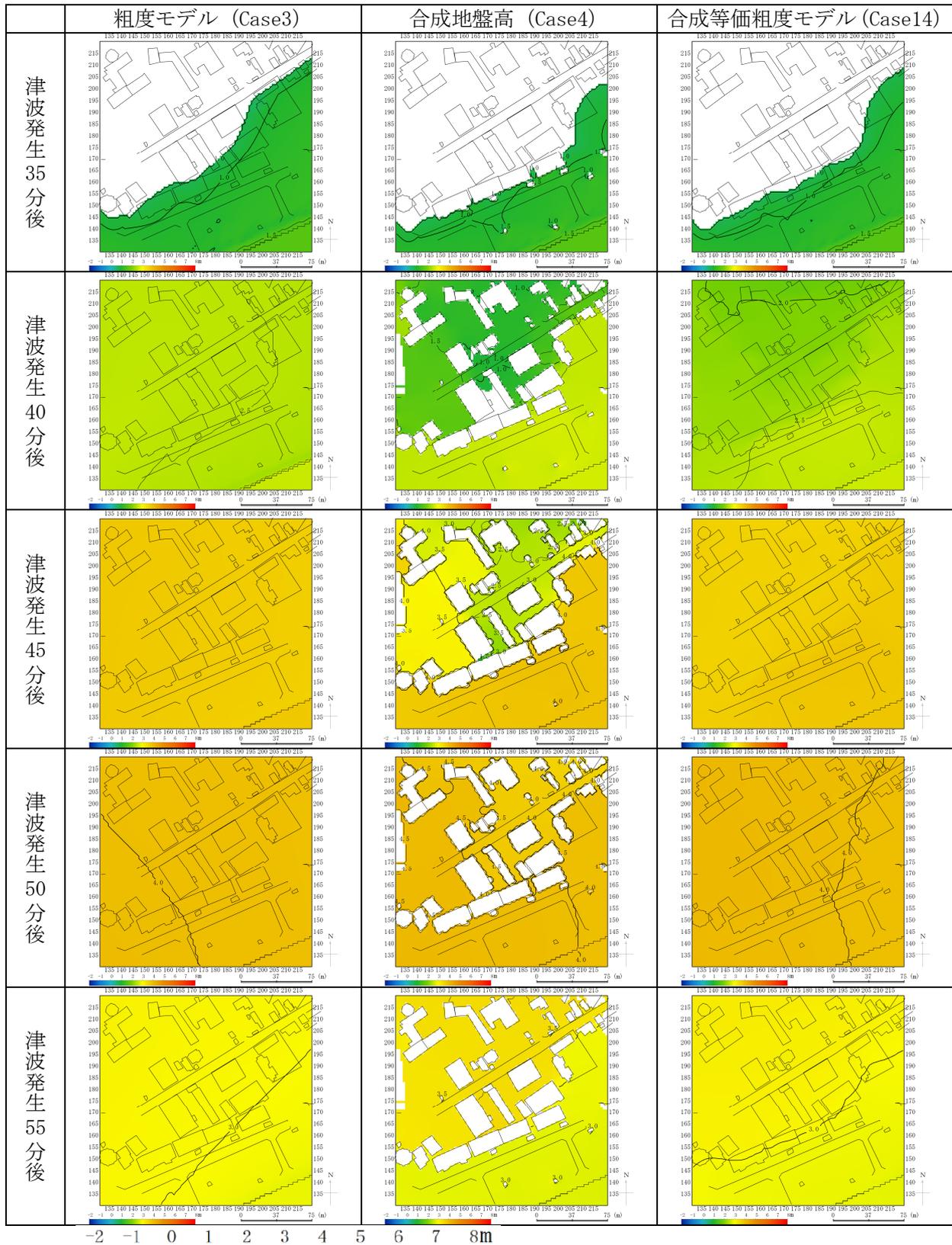


図3-27 水位の経時変化を示したエリア（橘港）

注) 水位の時間変化を表3-18 b～d に示したエリア。

表 3-18 a 水位の時間変化 (Area1: 防潮堤なし, T.P. 基準)



凡例:



表 3-18b 水位の時間変化 (Area2: 防潮堤なし, T.P. 基準)

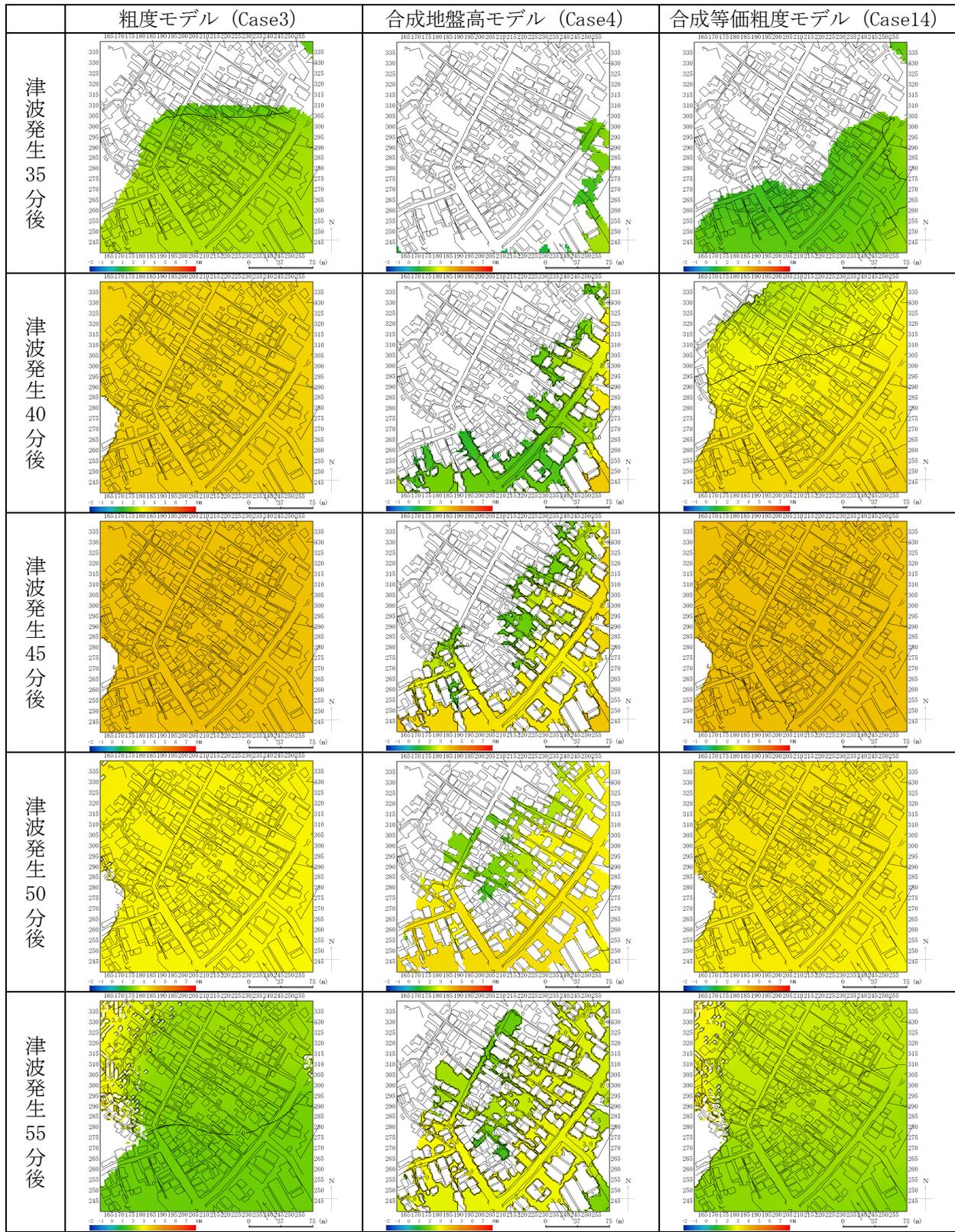
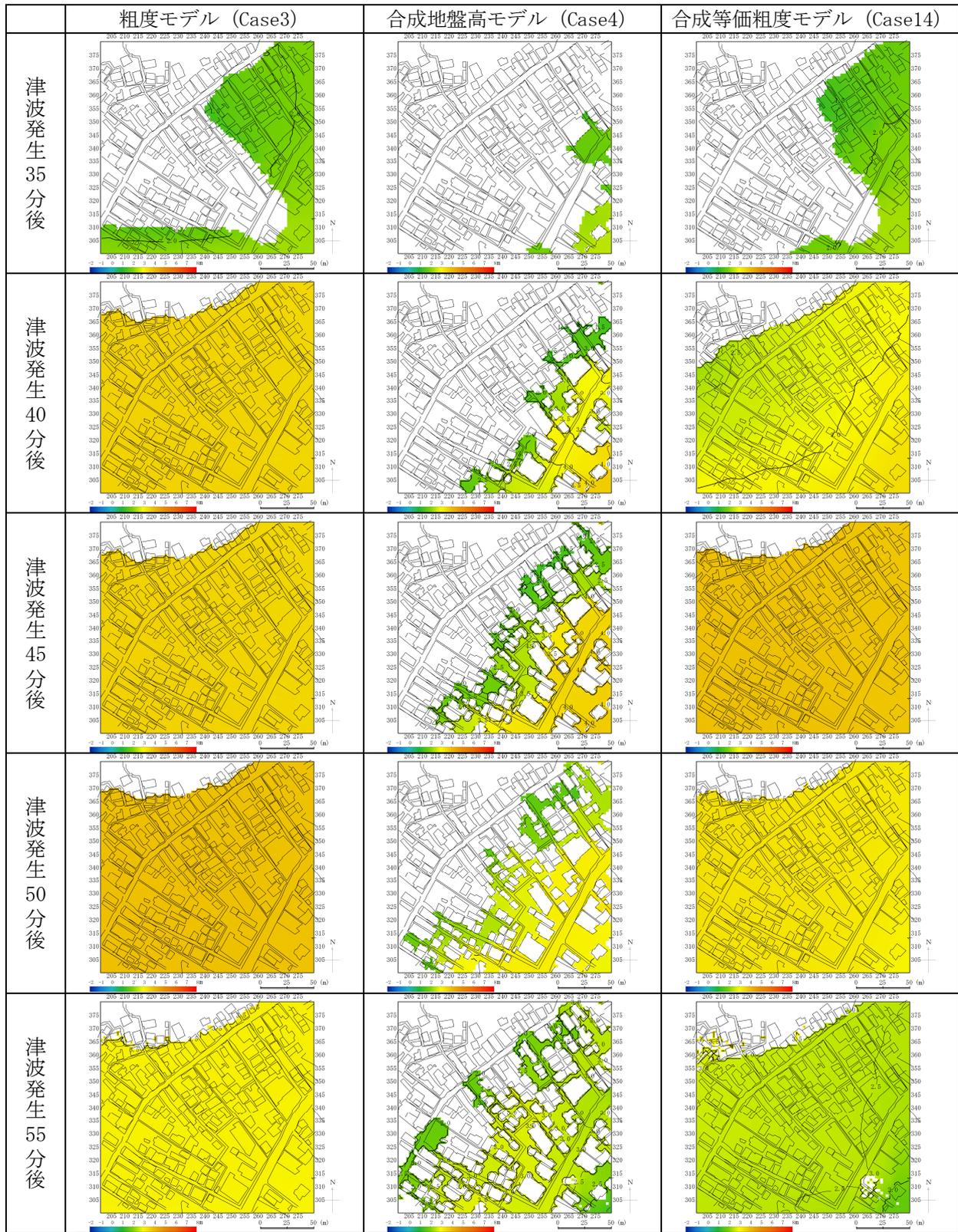


表3-18c 水位の時間変化 (Area3: 防潮堤なし, T.P. 基準)



凡例:

4 水理模型実験によるシミュレーション手法の検証

3. で検討した合成地盤高モデルを用いたシミュレーション手法の適応性と第一線に立地する建物の減災効果について検討するため、水理模型実験を実施した。

4-1 実験条件

4-1-1 実験施設

実験では、幅 50m×長さ 40.0m×深さ 1.5m の水槽を使用し、そのうち、造波板 1 ユニット 5.4 m 分を使用した。

4-1-2 模型縮尺

模型縮尺は、造波機による発生可能な波諸元と実験水槽の大きさとの関係等を考慮し、1/100 とした。模型縮尺と各物理量との関係を表 3-19 に示す。なお、本節における表示は、すべて模型量で示すこととする。

表 3-19 模型縮尺

項目	式	縮尺
平面寸法および波長(m)	L_r	1/100
水深(m)	$h_r = L_r$	1/100
振幅・水位(m)	$H_r = L_r$	1/100
周期および時間(s)	$T_r = L_r^{1/2}$	1/10
流速(m/s)	$U_r = L_r/L_r^{1/2}$	1/10
波圧(gf)	$P_r = L_r^3$	1/1,000,000

4-1-3 模型の配置

大型平面水槽内における模型の配置は、図 3-28～29 に示す通りである。建物の配列については、規則配置は、隣接する構造物間隔を 30cm の 3×3 の正方格子とした。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、2 列目は、直接、遡上波を受け止める。密集配置は、規則配置の間隔を 30cm から 20cm に縮め、4（沿岸）×3（岸沖）の配列とした。なお、構造物のない状態でも実験を行った。

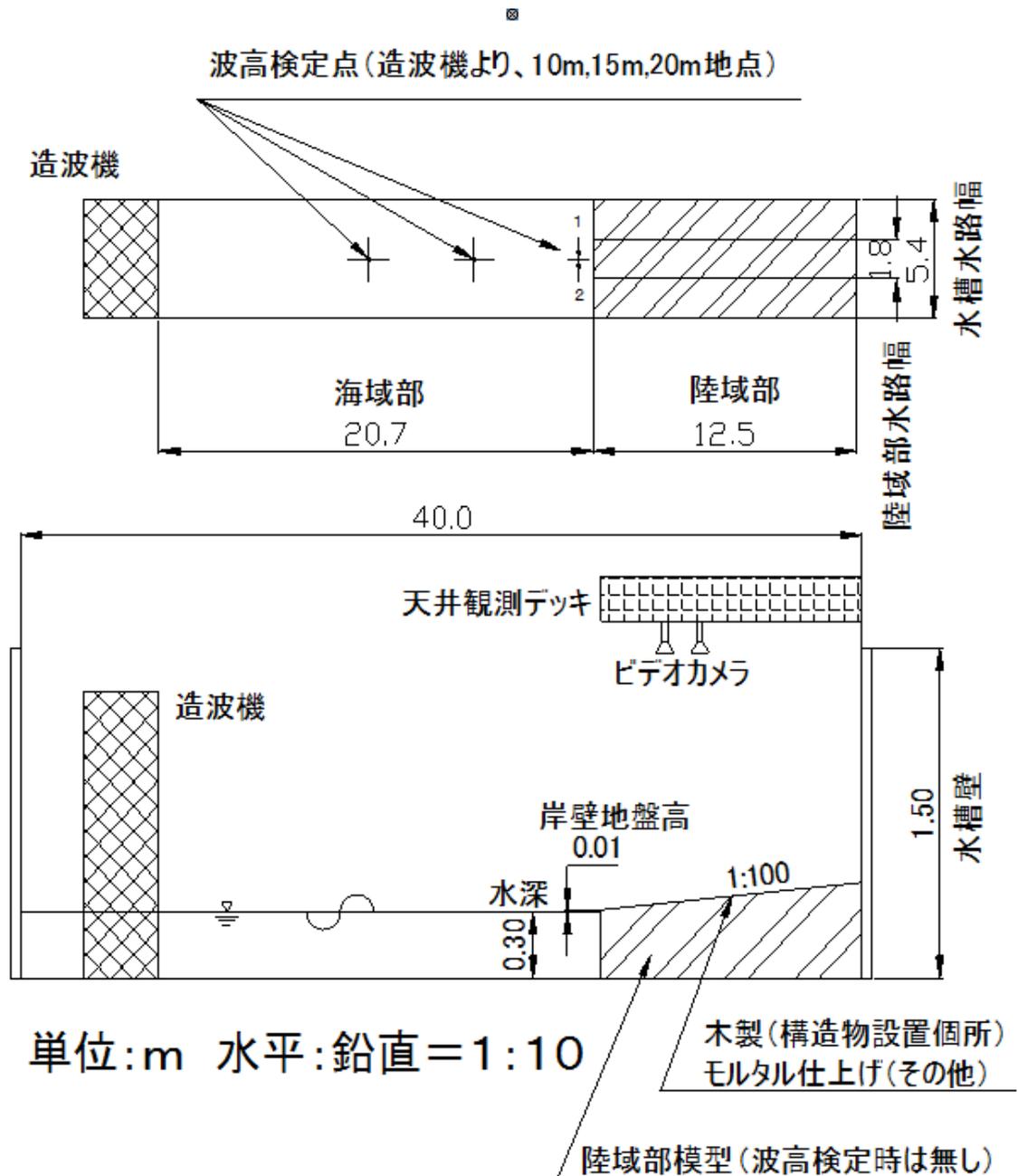
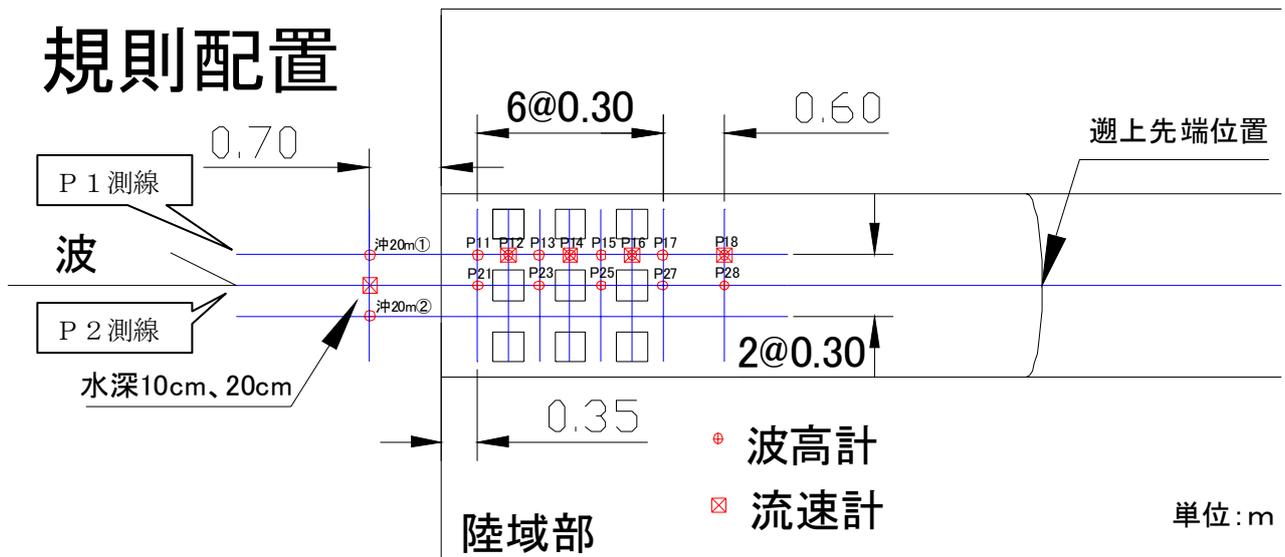
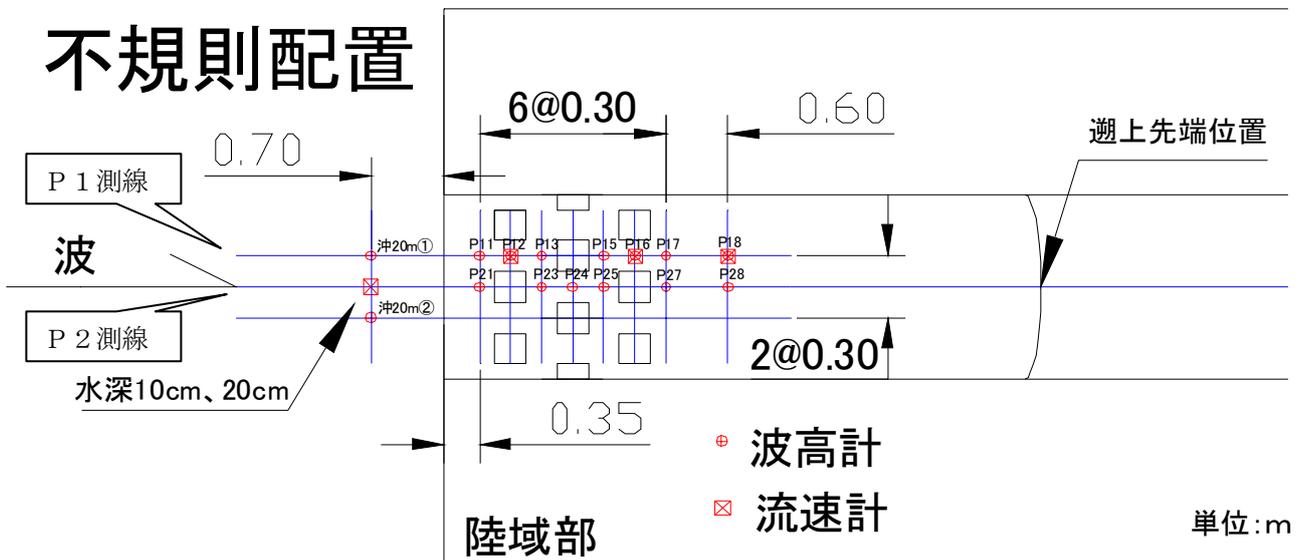


図3-28 造波機及び模型の配置状況

規則配置



不規則配置



密集配置

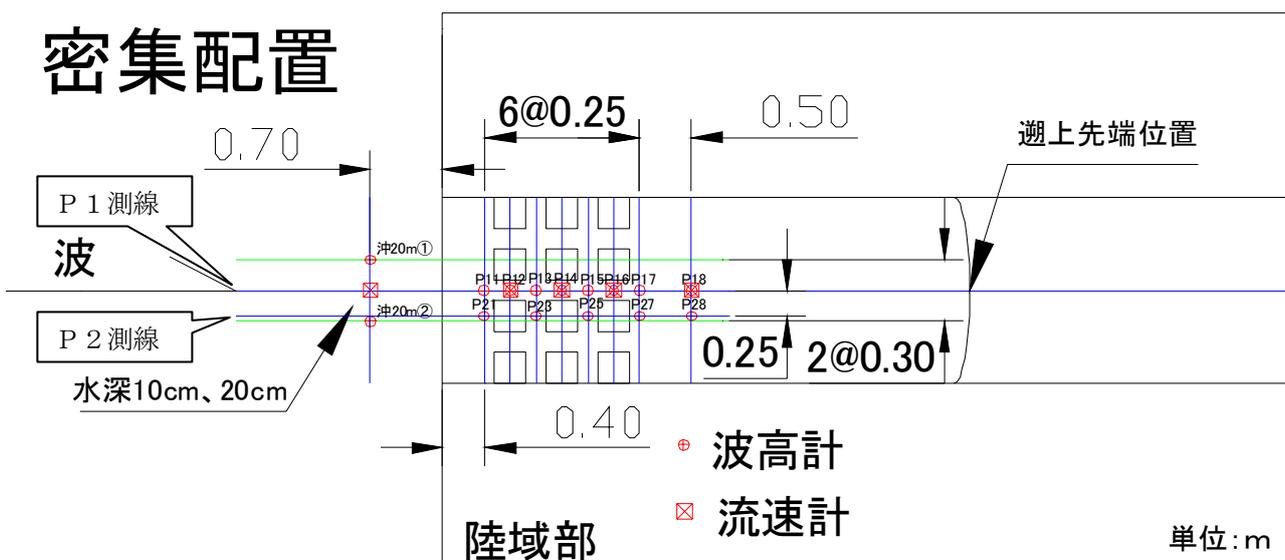


図3-29 構造物(建物)模型と配置

4-1-4 岸壁（護岸）の地盤高

東京港および橘港における岸壁地盤高と H.W.L. との関係を示す。なお、「3. 数値シミュレーション」では東京港は温暖化の影響を考慮し、H.W.L. +0.5m を水位としている。岸壁地盤高と想定水位との差は、東京港で 1.33m、橘港で 0.67m となることから、実験では 1.0m の差を仮定し、図 3-28 に示すように、模型では 0.01m (1.0m×1/100) のクリアランスとなる地盤高とした。

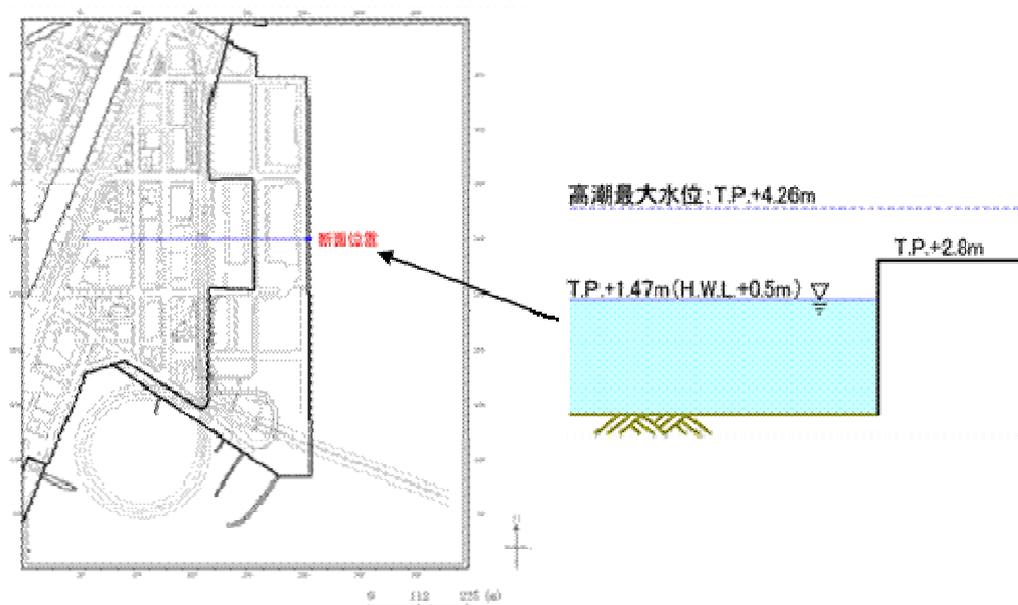


図 3-30 東京港における岸壁地盤高と水位の関係

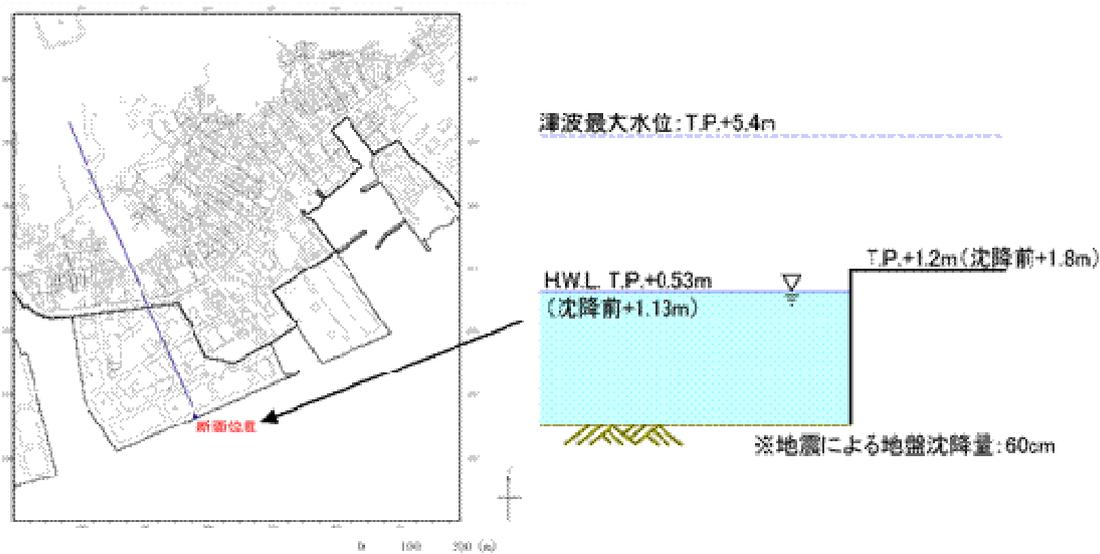


図 3-31 橘港における岸壁地盤高と水位の関係

4-1-4 水深

実験水深は H. W. L. (高潮時は H. H. W. L. 相当) を含む水深は 30cm の一様水深とした。岸壁を考えれば、30cm (現地 30m) の水深は深いと考えられるが、岸壁への入射波を単純化するためには、碎波しない作用波が好ましいと考えられるため、このように設定した。

4-1-5 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、1 列目に建物のない測線 (P1 測線) と建物のある測線 (P2 測線) において、30cm (密集配置は 25cm) 間隔および構造物背後となる 3 列目 (最後列) 直背後の測点 7 から 60cm (密集配置は 50cm) 離れた位置で測定した。波高計は、地盤面に孔を開けて設置し、あらかじめ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、可逆プロペラ式流速計を用いてサンプリング間隔 40ms で行った。流速計は一方向成分しか測定できないため、岸沖成分が比較的明確な構造物間のみ測定し、測定高は地盤から約 4mm とした。

遡上距離の測定はビデオカメラ等を用いて行った。

4-1-6 実験波

実験波は、①孤立波、②長周期波、③規則波 (連続波) の 3 種類とした。

① 孤立波

岸壁への入射波としては静水面からの高さ 5cm を基準として、7cm, 10cm の 3 種類について各 1 波作用させた。

② 長周期波

岸壁へ入射波として 4cm を基準として、3cm, 4cm, 5cm を引き波初動で作用させた。周期については、津波による陸域部の流れを再現することを目的としているので、正弦波としての周期は本来ないものとする。そこで、造波水路内で安定的に発生可能なもので、できるだけ長い周期とし、周期 20s とした。周期が長いと再反射の影響を受け易く、有効波としては最初の 1~2 波程度とした。

③ 連続波

連続波は、「羽田空港再拡張事業工法評定選定会議」要求水準書(案)を参考に、 $H_{1/3}=4.0\text{m}$, $T_{1/3}=8.0\text{s}$ とし、実験水路内においては、波高(両振幅)4.0cm を基準として 4.0cm と 6.0cm, 周期 0, 8s の規則波を作用させた。

4-1-6 実験ケース

本実験のケースは表 3-20 に示す通りである。波位相は正弦波の位相角度を示す。



波高: O3(3cm)、O4(4cm)、O5(5cm)、O6(6cm)、O7(7cm)、1O(10cm)
 構造物: O(なし)、1(規則配置)、2(不規則配置)、3(密集配置)
 波種類: T(孤立波)、L(長周期波)、R(規則波)

表 3-20 実験ケース

諸元	模型量		現地量		波位相 (°)	構造物条件				
	(両)振幅 (cm)	周期 (s)	(両)振幅 (m)	周期 (s)		なし	規則配置	不規則配置	密集配置	
波条件	孤立波	5.0	—	5.0	—	—	T005	T105	T205	T305
		7.0	—	7.0	—	—	T007	T107	T207	T307
		10.0	—	10.0	—	—	T010	T110	T210	T310
	長周期波 (引き波)	3.0	20.0	3.0	200.0	90.0	L003	L103	L203	L303
		4.0	20.0	4.0	200.0	90.0	L004	L104	L204	L304
		5.0	20.0	5.0	200.0	90.0	L005	L105	L205	L305
	規則波	4.0	0.8	4.0	8.0	0.0	R004	R104	R204	R304
		6.0	0.8	6.0	8.0	0.0	R006	R106	R206	R306

* 長周期波・規則波の振幅は両振幅を示す。

4-2 実験結果

4-2-1 陸上部の水位・流速・波圧の経時変化

(1) 水位変化

1) 孤立波

図 3-3 2 は、一例として 5cm の孤立波による構造物なし・規則配置・不規則配置の水位変化を示したものである。建物の 1 列目の前面をみると、構造物に入射波が衝撃的にあたり海側に反射するため鋭いピークをもち、構造物がない時よりも水位が高くなっていることがわかる。しかしながら、建物の 2 列目後方より上流側においてはピークが次第になくなり、規則配置および不規則配置とも構造物なしと同等またはそれ以下の水位となっている。

規則配置と不規則配置を比較すると、構造物 1 列目付近におけるピークは大差ないが、不規則配置の方が水位の低下が速く、ピークが遅れる傾向がみられる。

2) 長周期波

図 3-3 3 は、一例として 4cm の長周期波による構造物なし・規則配置・不規則配置の水位変化を示したものである。孤立波ほどではないが、2 波目において、構造物に入射波が衝撃的にあたり海側に反射するため鋭いピークをもち、構造物がない時よりも水位が高くなっていることがわかる。しかしながら、それよりも上流側においてピークはほとんどなくなり、規則配置および不規則配置とも構造物なしと同等またはそれ以下の水位となっている。

規則配置と不規則配置を比較すると、構造物の 3 列目より上流側において不規則配置の方で水位の低下が速くなっている。

3) 規則波

図3-34は、一例として4cmの規則波による構造物なし・規則配置・不規則配置の水位変化を示したものである。孤立波、長周期波にみられたような衝撃的なピークはみられず、規則波の周期0.8sの水位変化を繰り返す結果となった。構造物なしと不規則配置が比較的似た経時変化となったが、これは構造物なしは遡上する水塊量が多く、不規則配置は一度遡上した水塊が戻りにくいことから、結果として平均的な水位は同程度となっているものと思われる。これに対して、規則配置は遡上する水塊量は少なく、戻り流れもある程度みられることから、全体的に水位が低くなったものとする。

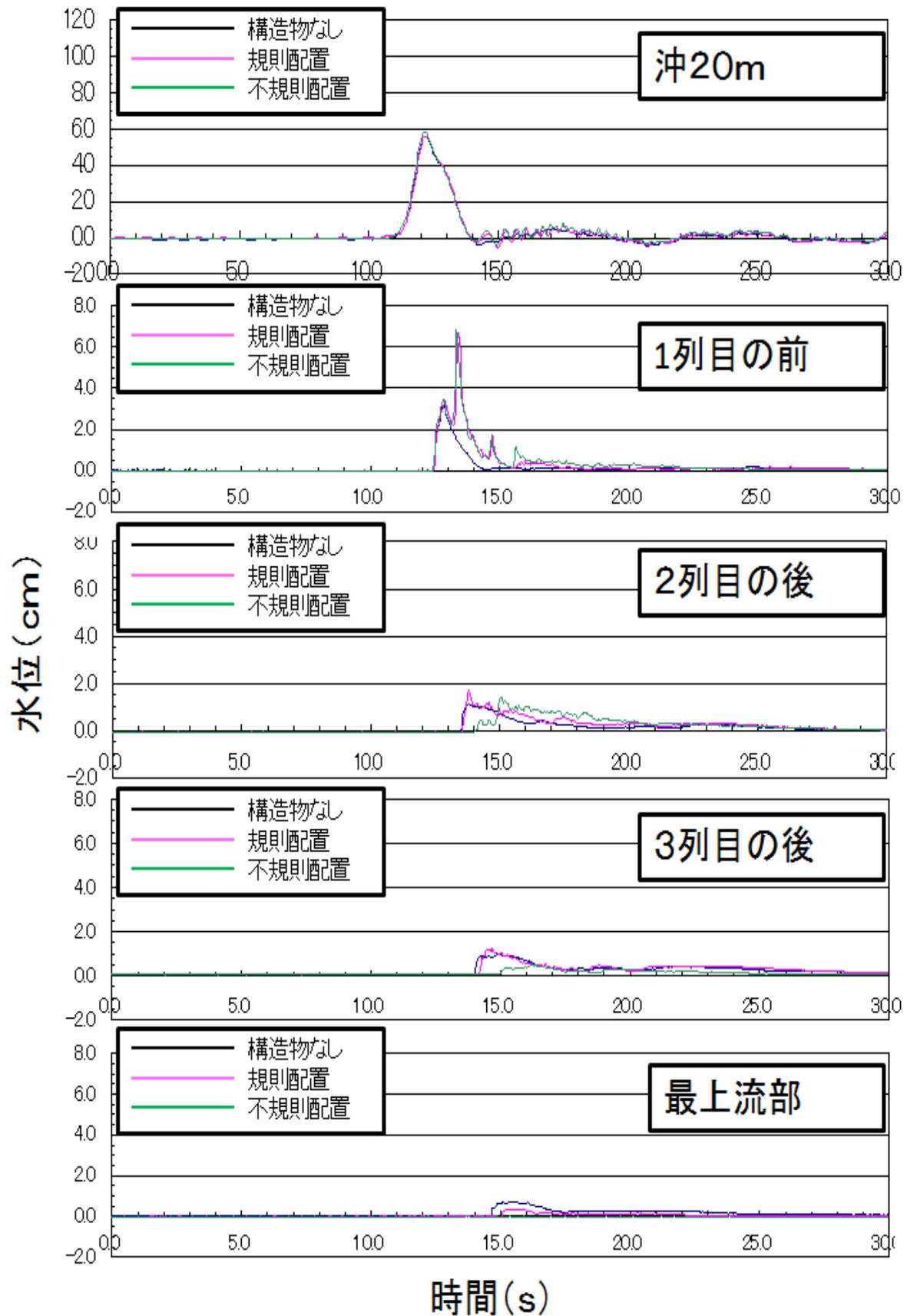


図 3-3-2 水位変化 (孤立波 振幅 5 cm 構造物なし、規則配置、不規則配置 P-1 測線)

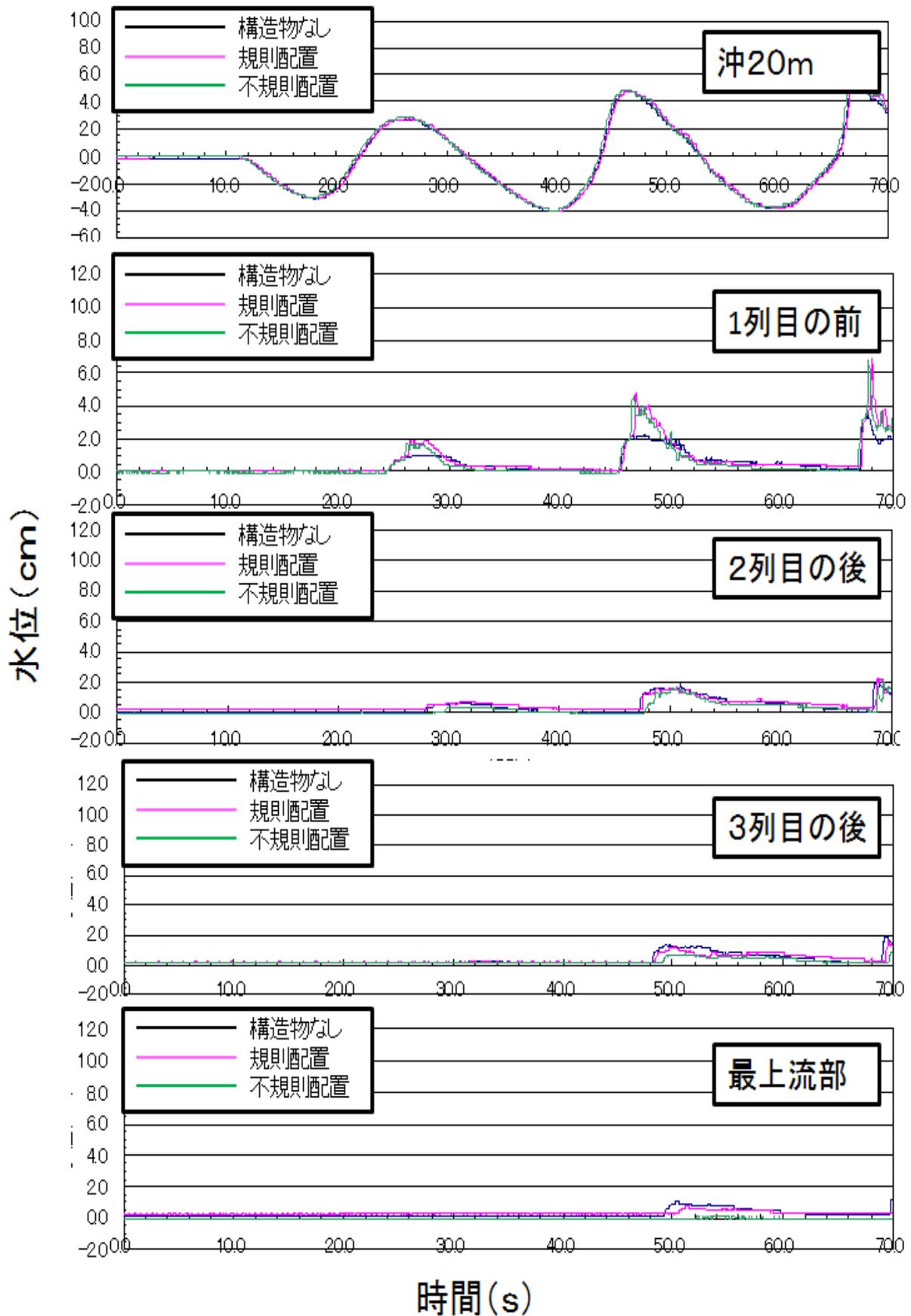
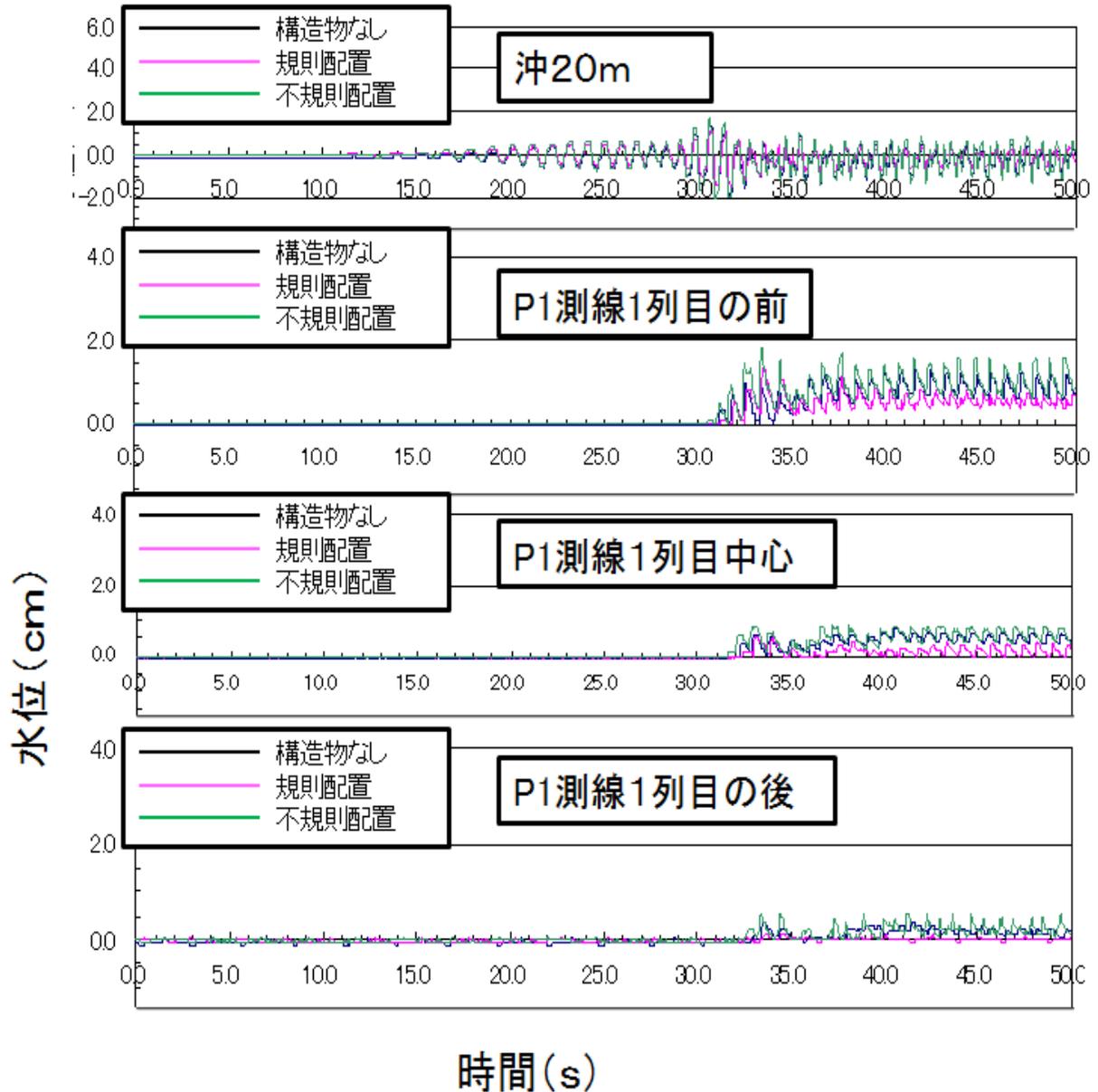


図3-33 水位変化 (長周期波 振幅4cm P-1測線)



注) これより上流部の水位はほとんどなし

図3-34 水位変化 (規則波 振幅4cm P1測線)

(2) 流速変化

1) 孤立波

図3-35は、一例として5cmの孤立波による構造物なし・規則配置・不規則配置の陸上部の流速変化を示したものである。1列目構造物間の、2列目構造物間(不規則配置は測点なし)をみると、構造物なしに比べて規則配置・不規則配置ともやや流速が小さい程度であるが、3列目構造物間、最上流部では、構造物なし、規則配置、不規則配置の順で流速は遅くなるという結果となった。密集配列でも、規則配置とほぼ同様の傾向を示したが、規則配置と比べてやや流速は遅くなる傾向がみられた。

2) 長周期波

図3-36は、一例として5cmの長周期波による構造物なし・規則配置・不規則配置の陸上部の流速変化を示したものである。1列目構造物間、2列目構造物間（不規則配置は測点なし）をみると、構造物なし、規則配置、不規則配置ともほぼ同様の傾向となっているが、3列目構造物間では不規則配置で流速は遅くなり、最上流部では、規則配置でも流速は遅くなった。

密集配置でも、規則配置と比べほぼ同様の傾向を示したが、流速はやや遅く全体に乱れた変化となった。

3) 規則波

図3-37は、一例として4cmの規則波による構造物なし・規則配置・不規則配置の陸上部の流速変化を示したものである。1列目構造物間をみると、構造物なし、規則配置、不規則配置ともほぼ同様の傾向となっている。2列目構造物間（不規則配置は測点なし）をみると傾向は似ているが、全体に乱れていた。

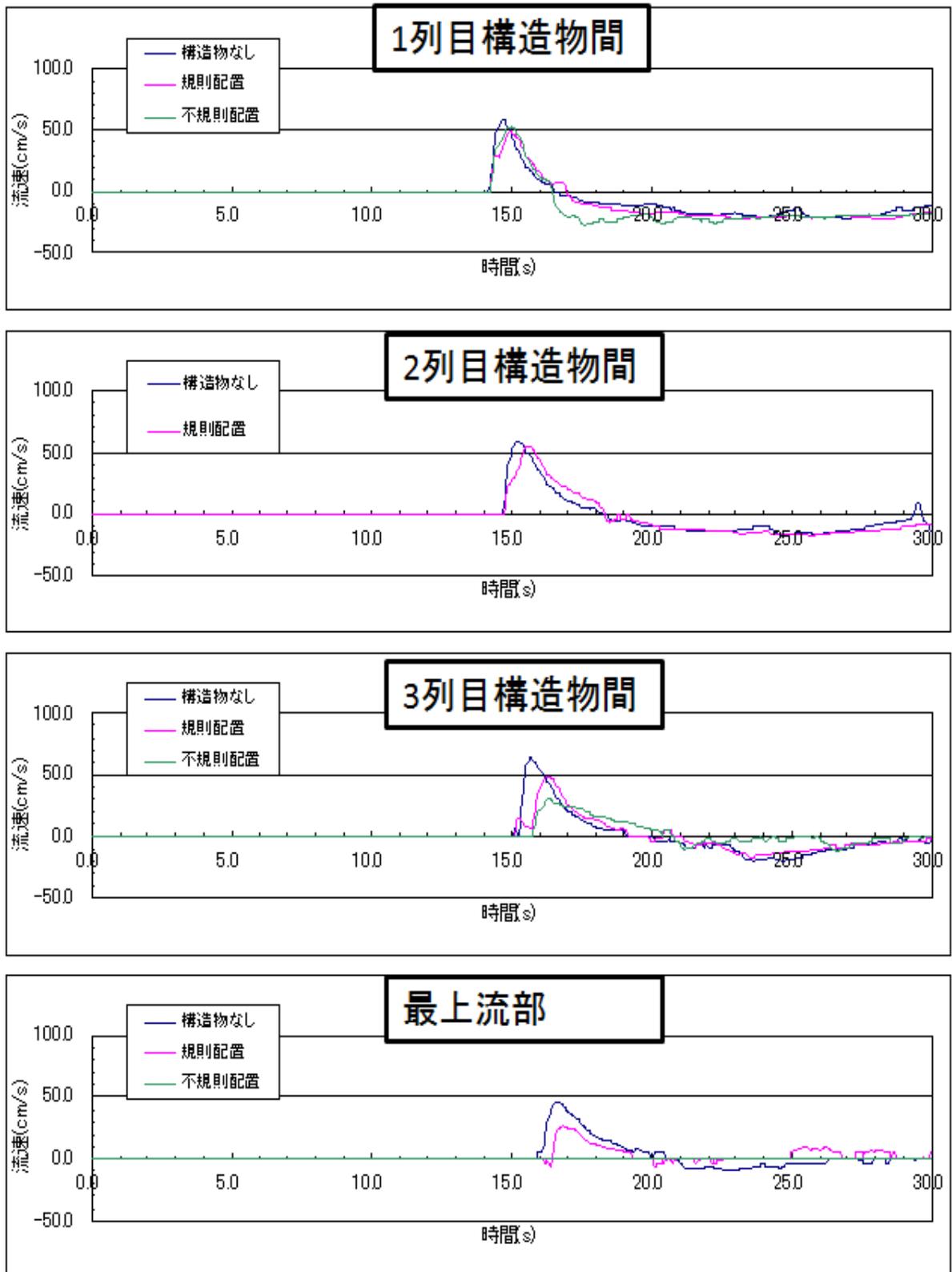


図 3 - 3 5 流速変化 (孤立波 振幅 5 c m)

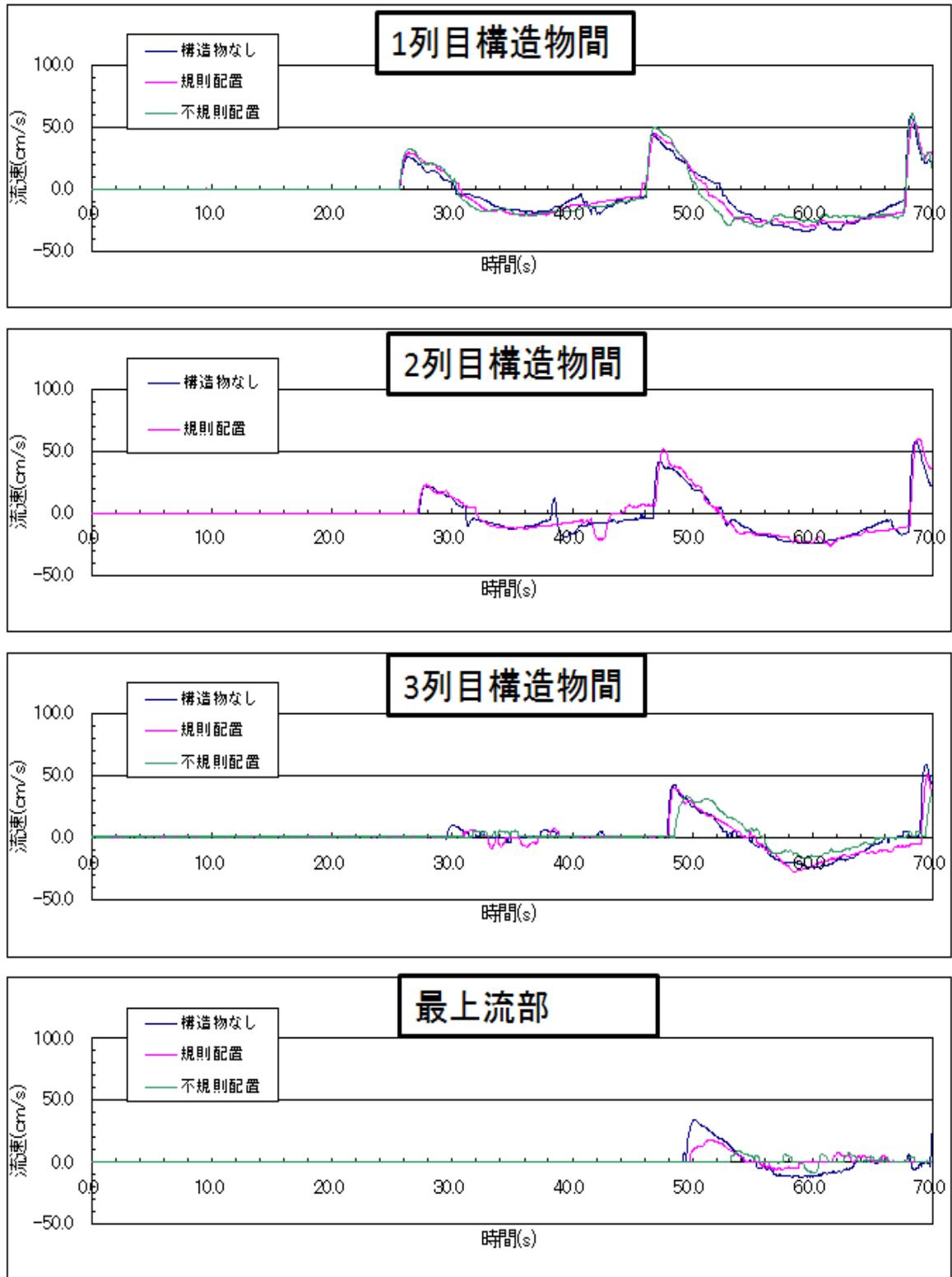
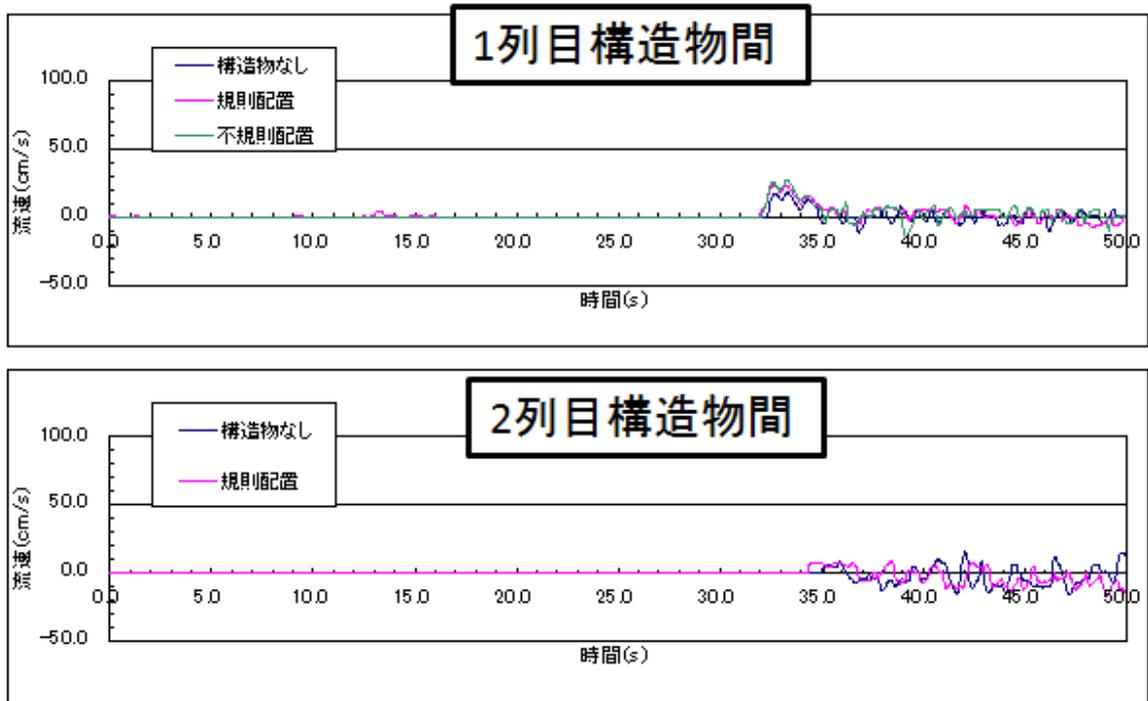


図 3 - 3 6 流速変化 (長周期波 振幅 4 c m)



注) これより上流部の流速はほとんどなし

図3-37 流速変化(規則波 振幅4cm)

3-2-2 水位・流速の分布

(1) 最高水位の分布

1) 孤立波

図3-38は、上段に振幅5cmの孤立波による構造物なし・規則配置・不規則配置の最高水位の分布、下段に同様に構造物なし、密集配置の最高水位の分布を示したものである。両者は測点間隔(規則配列等は30cm間隔、密集配列は25cm間隔)が異なるため、図を分けている。(以下、同じ)

規則配置・不規則配置・密集配置は、構造物の反射により、最下流側の測点1では構造物なしよりも最高水位は高いが、上流側に行くにつれて急速に低下する。測点5~6(2~3列目)から、構造物なしとその他で逆転している。上流側での水位低下は、不規則配列が最も顕著であり、最前列の配置が大きく影響を及ぼすことがわかった。

1) 長周期波

図3-39は、上段に両振幅4cmの長周期波1波目による構造物なし・規則配置・不規則配置の最高水位の分布、下段に同様に構造物なし・密集配置の最高水位の分布を示したものである。

図3-40は、同様に、両振幅4cmの長周期波2波目によるものである。

孤立波と同様の傾向がみられた。

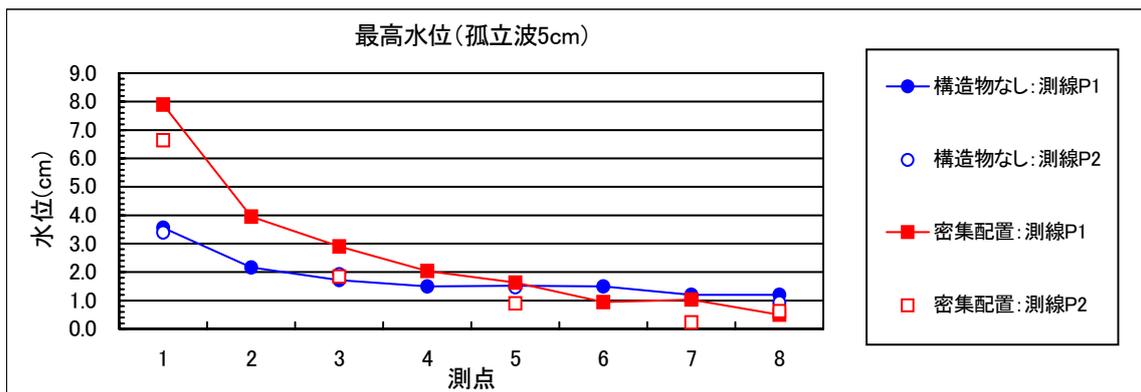
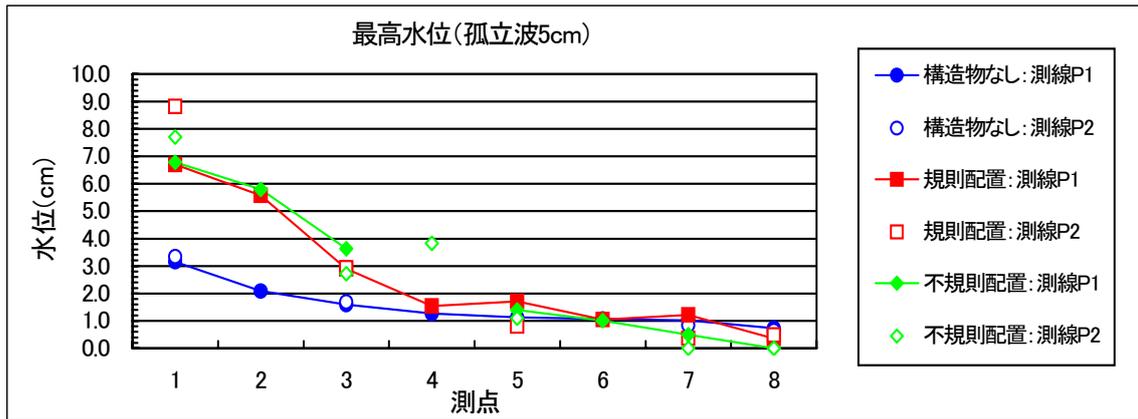


図3-38 最高水位の分布(孤立波 振幅5cm)

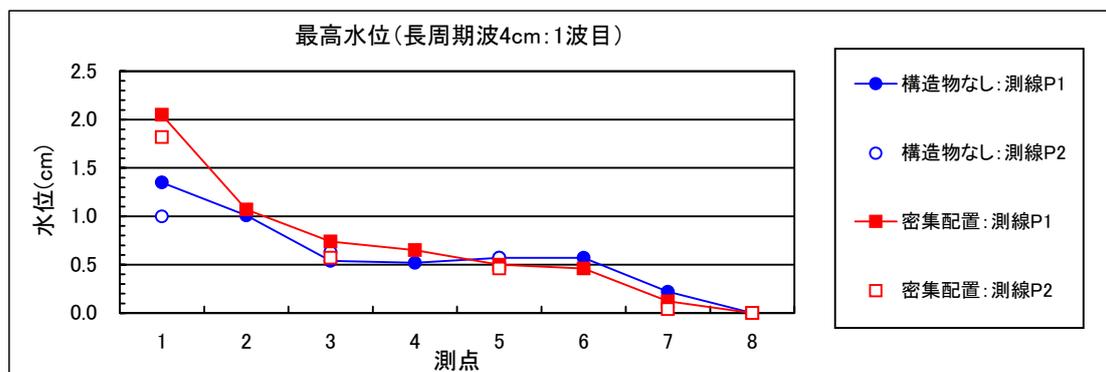
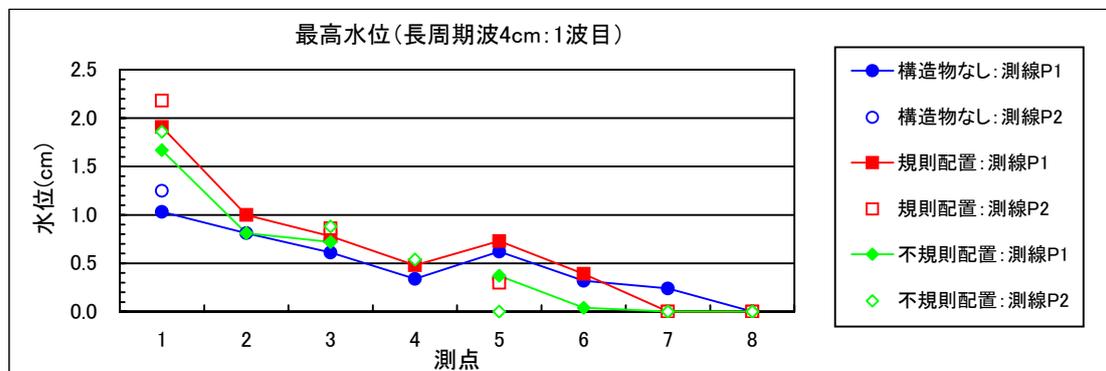


図3-39 最高水位の分布(長周期波 振幅4cm 1波目)

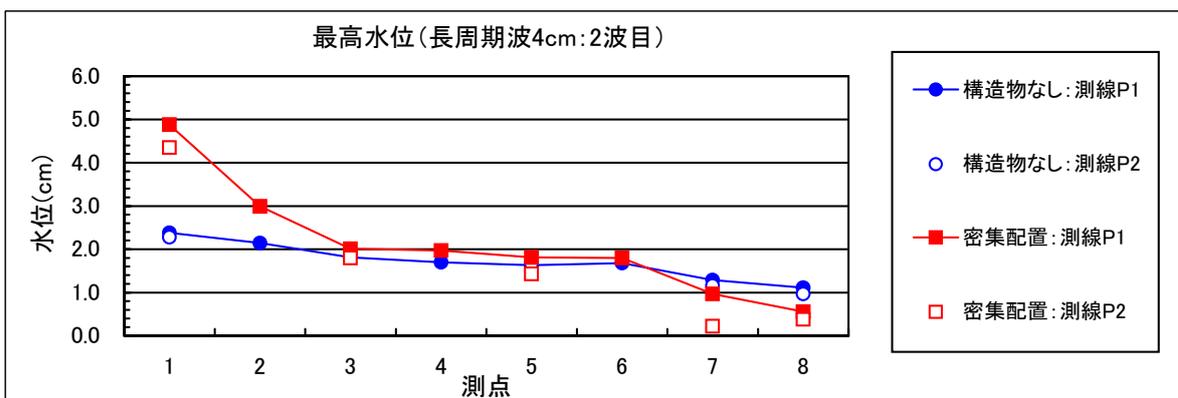
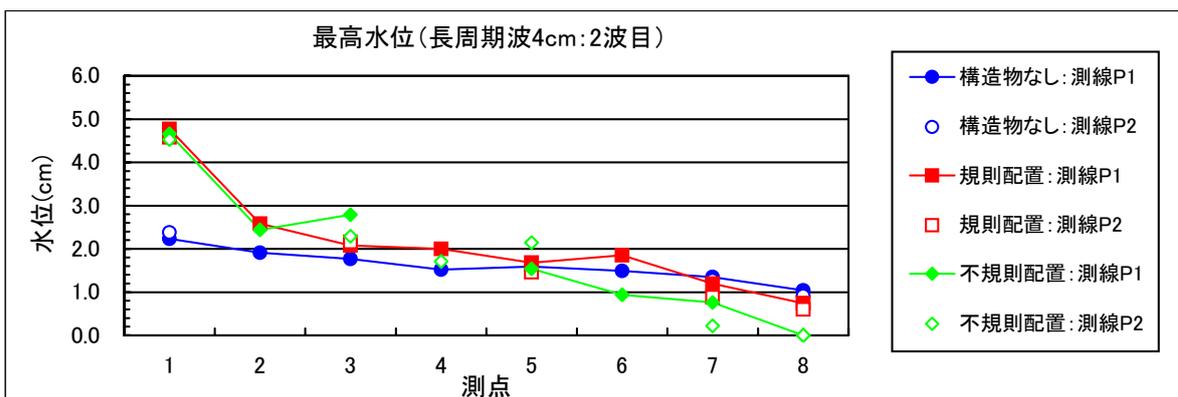


図3-40 最高水位の分布(長周期波 振幅4cm 2波目)

(2) 最大流速の分布

1) 孤立波

図3-41は、上段に振幅5cmの孤立波による構造物なし・規則配置・不規則配置の最大流速の分布、下段に同様に構造物なし・密集配置の最大流速の分布を示したものである。

2列目構造物付近の測点P4から3列目構造物付近の測点P6の間で最大流速のピークがみられ、ピークを過ぎると、最大流速は小さくなる傾向がみられた。その効果は、不規則配置が特に顕著だった。

2) 長周期波1波目

図3-42は、上段に振幅4cmの長周期波1波目による構造物なし・規則配置・不規則配置の最大流速の分布、下段に同様に構造物なし・密集配置の最大流速の分布を示したものである。

図4-43は、同様に振幅4cmの長周期波2波目によるものである。

1列目構造物付近の測点P2から2列目構造物付近の測点P4の間で最大流速のピークがみられ、それを過ぎると、最大流速は小さくなる傾向がみられた。

その効果の差は1波目では、みられなかったが、2波目では、構造物なしとその他の差がみられ、特に不規則配列で特に顕著だった。

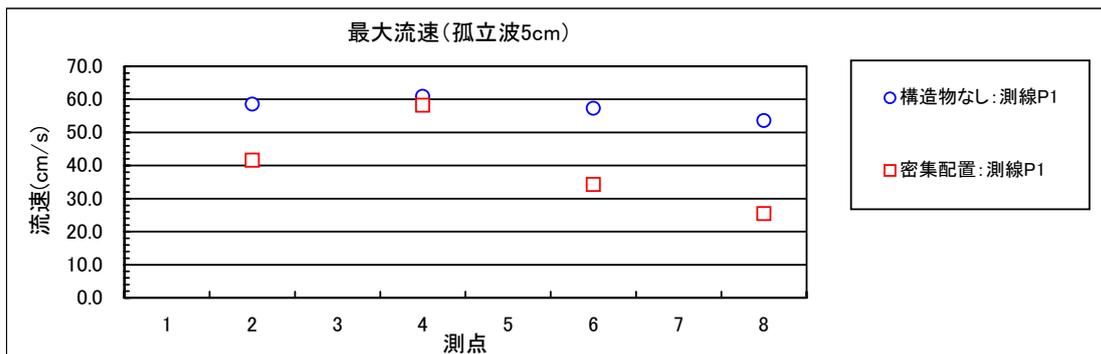
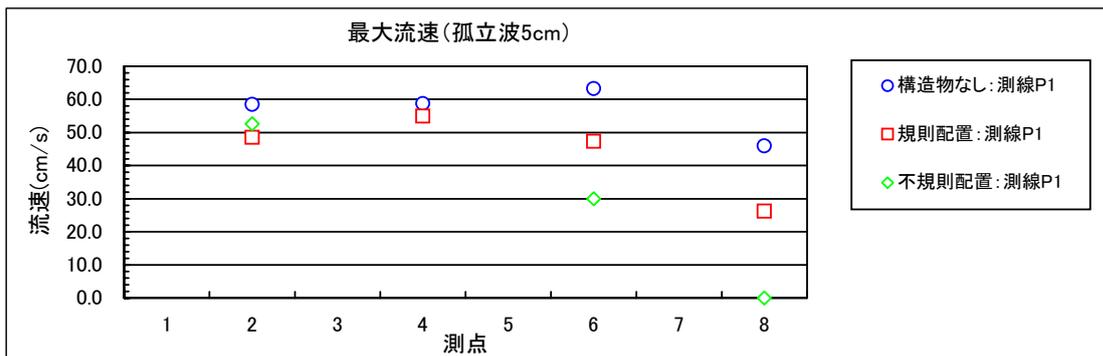


図 3 - 4 1 最大流速の分布 (孤立波 振幅 5 c m)

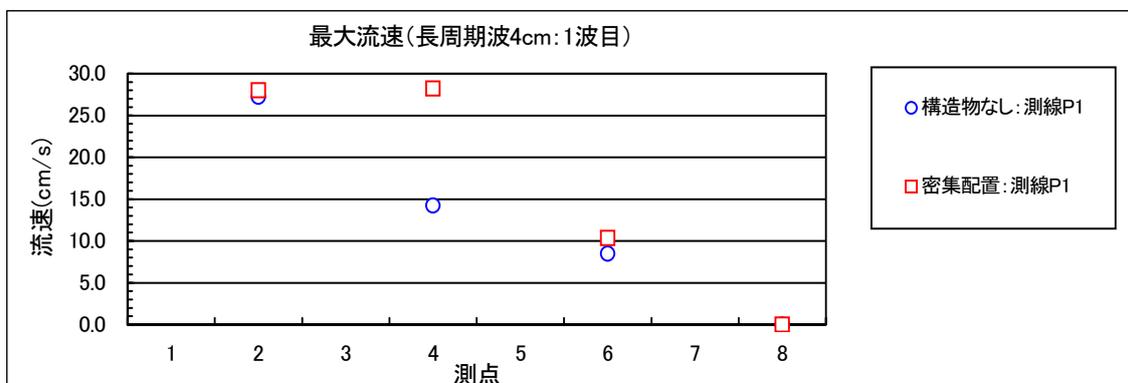
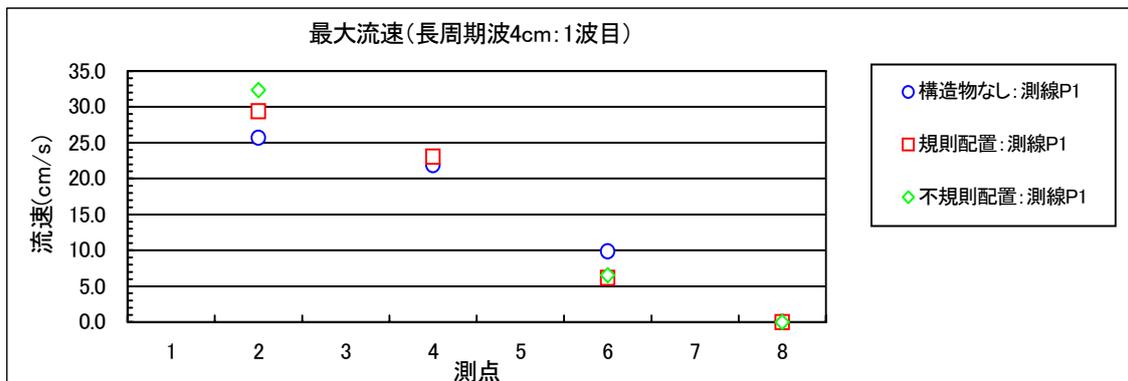


図 3 - 4 2 最大流速の分布 (長周期波 振幅 4 c m 1 波目)

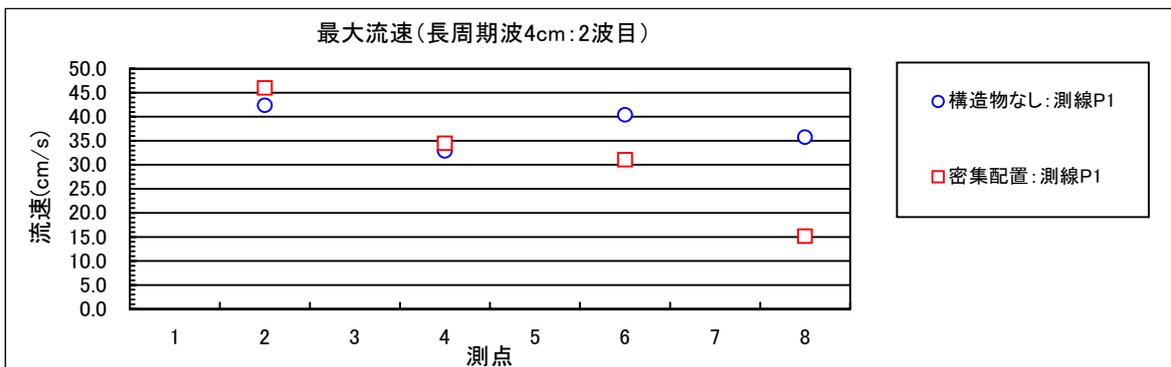
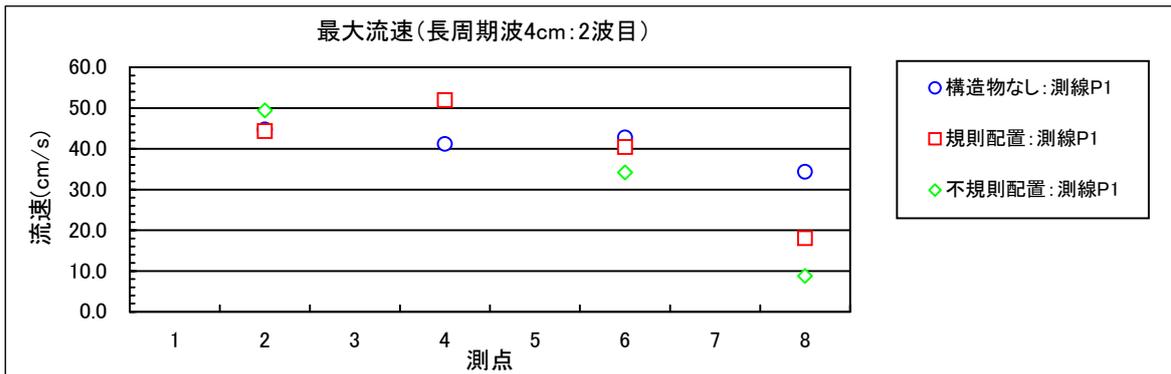


図3-43 最大流速の分布(長周期波 振幅4cm 2波目)

(3) 岸壁からの遡上距離

図3-44~47は、孤立波、長周期波1波目、長周期波2波目、規則波について、遡上波先端の最大遡上距離を示してのものである。

孤立波をみると、構造物がない状態に比べてある場合の遡上距離抑制効果は明らかであり、波高が高くなるにつれて、その効果が顕著になる傾向がみられた。また、規則配列に比べ、不規則配置でその効果がみられた。

長周期波1波目をみると、両振幅の大きい5cmで差がみられた。また、規則配列に比べ、不規則配置、密集配置において、短くなる傾向がみられた。長周期波2波目も同様の傾向となるが、1波目より入射する両振幅が大きいため、すべての振幅3~5cmで構造物設置の効果がみられ、その短縮効果は、振幅が大きくなるにつれて、高くなる傾向がみられた。規則配列に比べて、不規則配列、密集配列による遡上高の短縮効果が高くなった。

規則波をみると振幅の大きい5cmで差がみられ、その傾向は長周期波と同様だった。

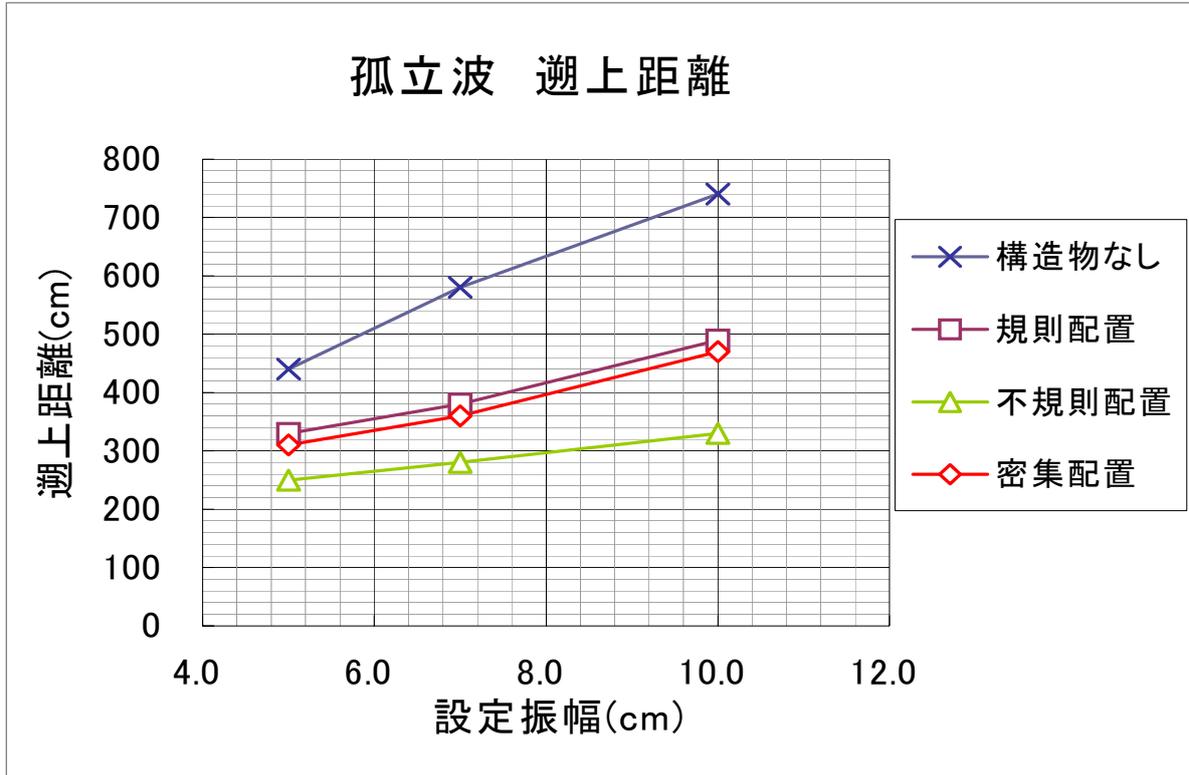


図 3 - 4 4 孤立波による遡上波先端の最上流遡上距離

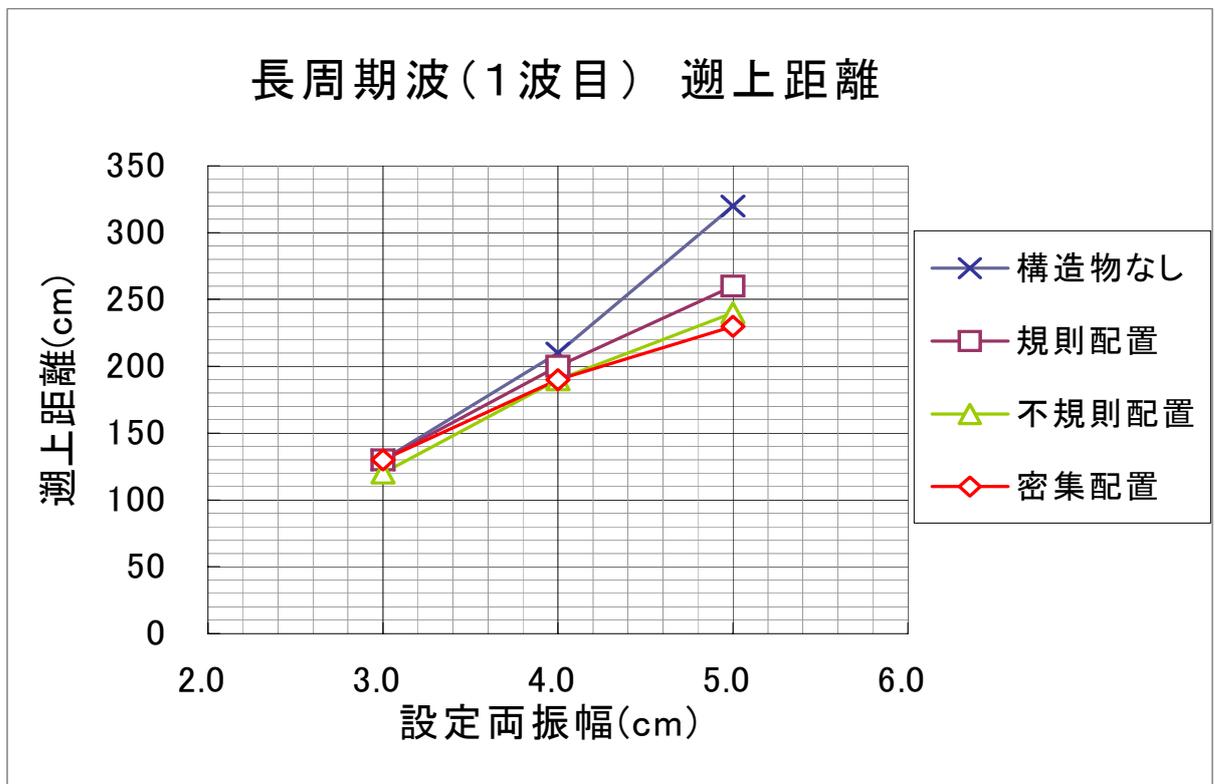


図 3 - 4 5 長周期波 1 波目による遡上波先端の最上流遡上距離

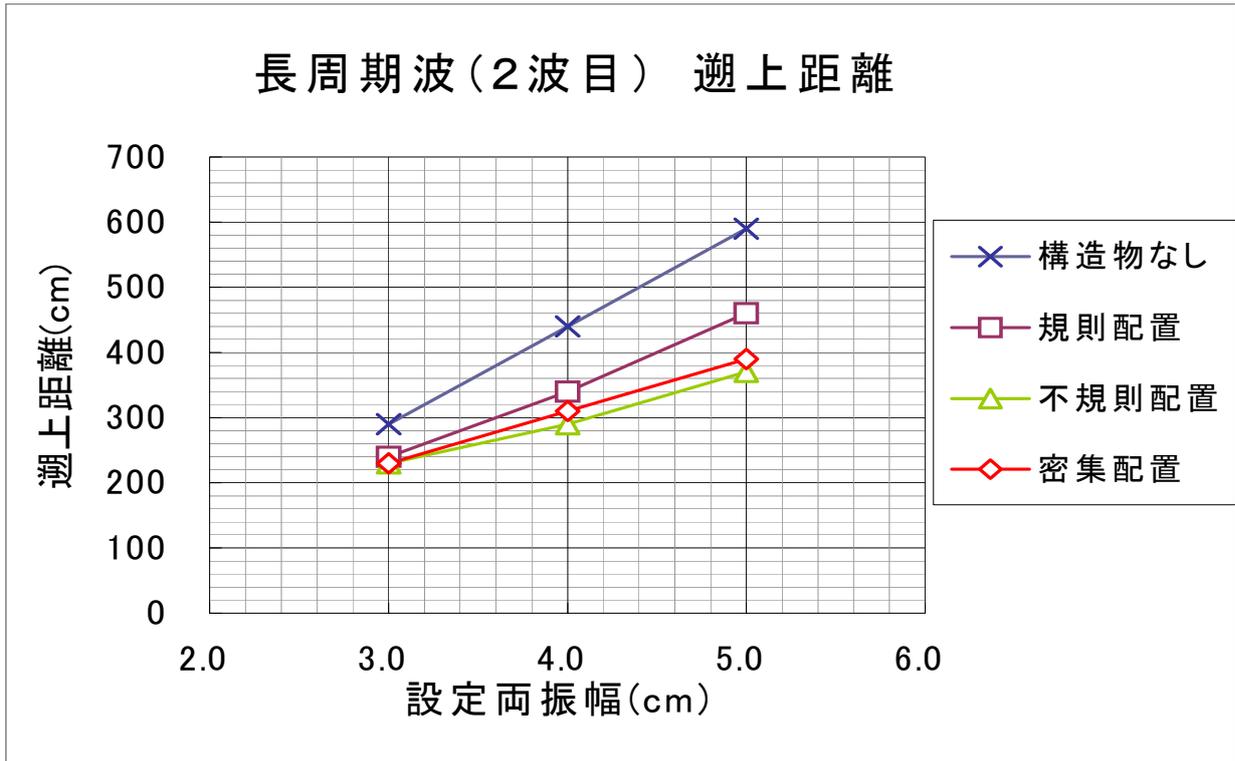


図3-46 長周期波2波目による遡上波先端の最上流遡上距離

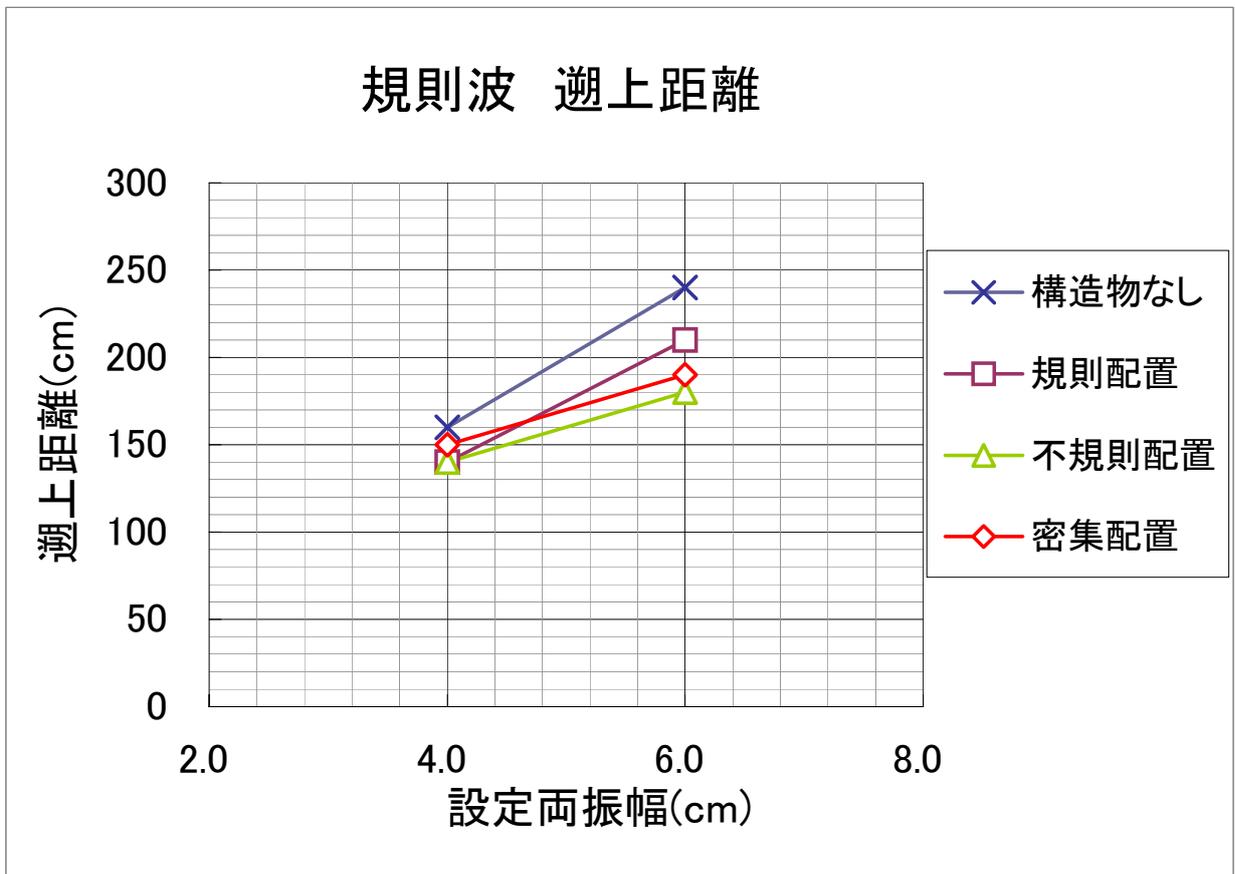
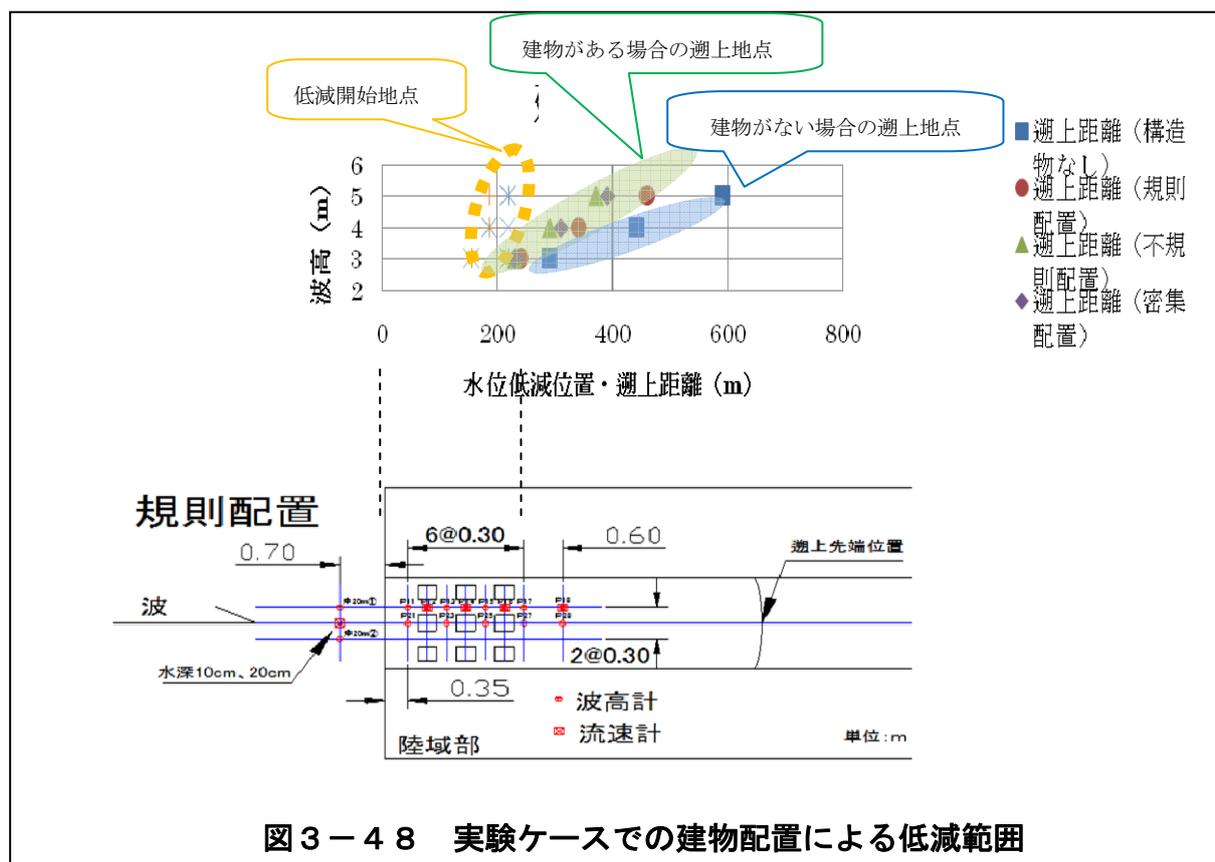


図3-47 規則波による遡上波先端の最上流遡上距離

(4) 建物配置による低減範囲 (本項のみ実スケールで表記)

今回の実験では, 建物(立方体)が全くないケースと比べて, 建物(立方体)を配置したケースでは, 護岸法線から150~200m辺りで浸水深が下回り始め, 遡上範囲は入射波高により変わるが, 建物がないケースで300~600m程度の地点まで遡上するのに対して, 建物があるケースでは200~400mにとどまっている. したがって, 今回実験を行ったケースについては, 150~600m辺りの範囲で建物があることによる浸水影響の低減が顕れていることがわかる. ただし, 0~200m辺りでは, 建物があることにより逆に浸水深が深くなっていることには留意が必要である.



(4) 最大流量の推定と最大遡上距離との相関

3列目の構造物間通過後の最高水位 η_{max} と最大流速 V_{max} を用い、以下の式により最大流量 Q_{max} を計算した。ここで、 B は沿岸方向で構造物のない延長距離を示す。

$$Q_{max} = \eta_{max} \times B \times V_{max}$$

図3-48は、上式で求めた Q_{max} と測定した最大遡上距離 L_{max} との関係を示したものである。これによると、孤立波の相関係数 R^2 は 0.78, 長周期波の相関係数 R^2 は 0.92 と高い値を示している。すなわち、構造物を設置することで、3列目構造物間を通過する遡上波の最高水位および最大流速は抑えられ、それに加えて遡上幅が狭くなる（構造物が設置されている）ことから、その積として最大遡上距離が抑えられているものと考えられる。

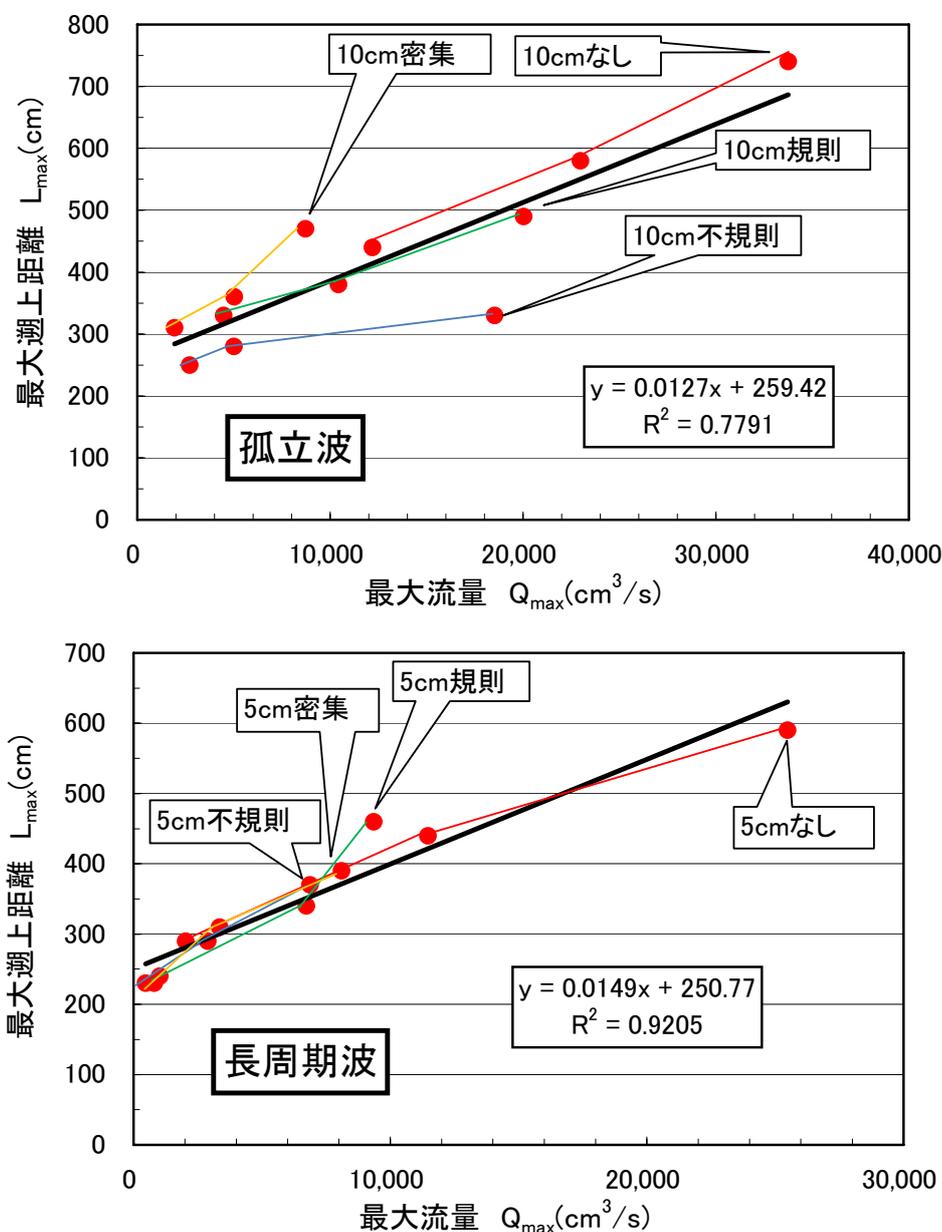


図3-49 最大遡上流量の推定値と最大遡上距離との相関

4-3 模型実験における建物の減災効果の総括

実験結果から得られた、構造物による減災効果は以下のとおりである。

- ① 反射により1列目構造物の前面の水位は構造物なしに比べて高くなるが、上流側に向かうにつれて急速に低減し、最上流側では構造物設置の低減効果がみられる。水位低減には、1列目構造物の配置が大きな影響を及ぼす。
- ② 最高水位は、入射波の(両)振幅の条件で多少異なるが、規則配置に比べ、密集配置と不規則配置で低下する。
- ③ 最大流速のピークがみられる測点は、入射波の(両)振幅が大きくなるにつれて上流側に移動するものの、今回測定した上流側の測点で構造物設置の低減効果はみられる。とくに、不規則配置で効果が顕著である。
- ④ 最大遡上距離は、入射波の(両)振幅が大きくなるにつれて、構造物設置による低減効果がみられ、その効果は、最高水位や最大流速より明らかである。
- ⑤ 今回の実験に限れば、150～600m辺りの範囲で建物があることによる浸水影響の低減が顕れていることがわかった。これにより、建物等による減災効果を期待する場合に、考慮すべきエリアの規模について、ある程度のイメージを持つことができた。ただし、0～200m辺りでは、建物があることにより逆に浸水深が深くなっていることには留意が必要であり、避難対策等この範囲における特段の対策検討も必要とされる。
- ⑥ 最大遡上流量の計算値 Q_{max} と測定した最大遡上距離 L_{max} との関係を見ると、孤立波の相関係数 R^2 は 0.78、長周期波の相関係数 R^2 は 0.92 と高い値を示す。すなわち、構造物を設置することで、3列目構造物間を通過する遡上波の最高水位と最大流速は抑えられ、それに加えて遡上幅が狭くなることから、その積として最大遡上距離は抑えられる。

4-4 模型実験とシミュレーションの比較

4-4-1 シミュレーションの条件

減災性能評価手法を検討するため、実験結果とシミュレーション結果との比較を行った。

比較検討ケースは、入射波としては、孤立波と長周期波の2種類とし、規則波については検討していない。波高は、実験と同様に孤立波は5.0m、7.0m、10.0mの3波高、長周期波は3.0m、4.0m、5.0mの3波高とした。また、長周期波については、実験条件と整合をとるため、引き波から始まる波形を入力した。地形条件は、実験と同様に、建物なし、規則配置、不規則配置、密集配置とした。

4-4-2 比較結果

シミュレーション結果及び水理模型実験結果から得られた最高水位と最高流速の比較により、シミュレーションモデルによる減災性能評価手法について考察した。

最高水位分布の比較を図3-50に示す。(上の2つがシミュレーション結果, 下の2つが実験結果) また、最高流速の分布を図3-51に示す。(上の1つがシミュレーション結果, 下の2つが実験結果)

最高水位に関しては、建物の1列目にあたるP11、P12では、実験結果の方が高いという結果となった。この位置の水流は、岸壁ラインで越流した後建物の1列目に衝突する状態であるため、

非線形性が強くなったものと考えられる。シミュレーションモデルでは、建物への衝突に伴う打ち上げ等の再現が十分得られていないため、このような結果が生じているものと考えられる。

減災性能を期待している建物背後（P13 より上流部）については、孤立波については同程度となっている。

流速についても同様に、孤立波については、同程度の値が得られている。

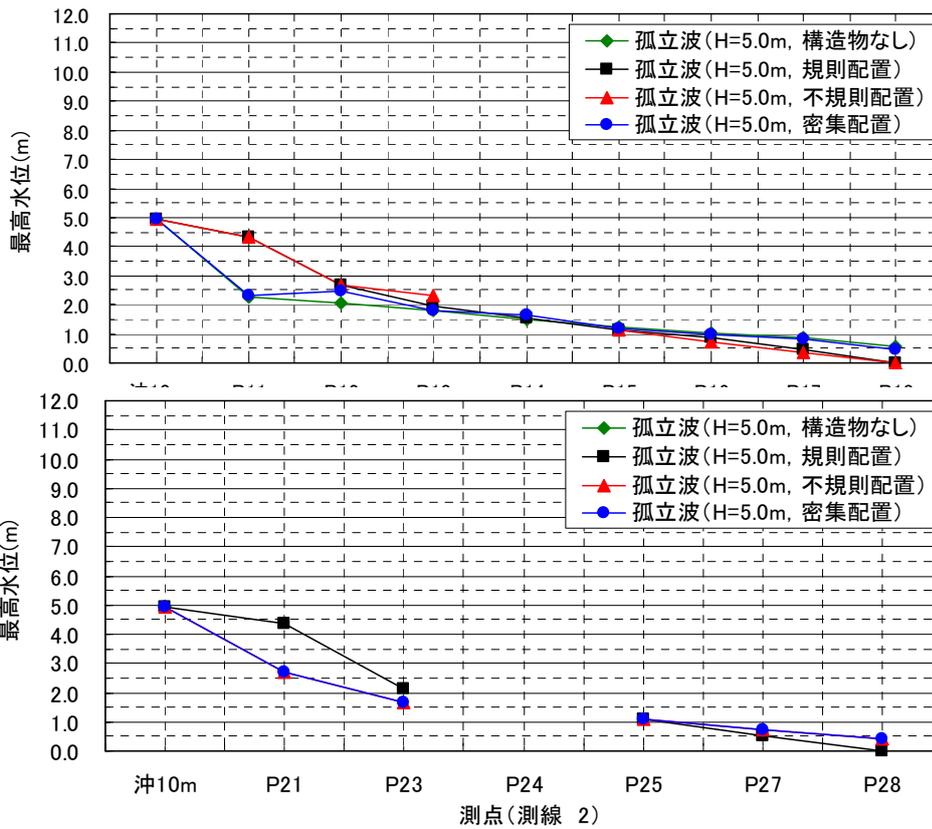
シミュレーションモデルでは、底面のマニングの粗度係数を一般的に使用されている水域の値（ $n=0.025$ ）を用いており、底面粗度による影響は小さいものと考えられるが、実験の底面粗度とシミュレーションの底面粗度については比較していないため、十分な考察はできなかった。

今回の検討結果から、孤立波のような水位、流速値が大きな条件に対しては、実験結果とシミュレーション結果は同程度の減衰傾向を示しており、シミュレーションの再現性は高い。

一部、建物（立方体）の存在により、「構造物あり（規則配置，不規則配置，密集配置）」が「構造物なし」より水位が高く出る範囲（測点1～5付近）で、実験結果の方が若干高く出ている点は、乱れが影響している可能性もあり、さらに詳細な検討が必要である。

以上より、今回提案したシミュレーションモデルでは、孤立波のケースで、「構造物なし」より「構造物あり」が下回り始める概ねの位置が示されたとも見える。しかしながら、長周期波等その他のケースも含めて、さらなる検証が必要である。

<シミュレーション>



<実験>

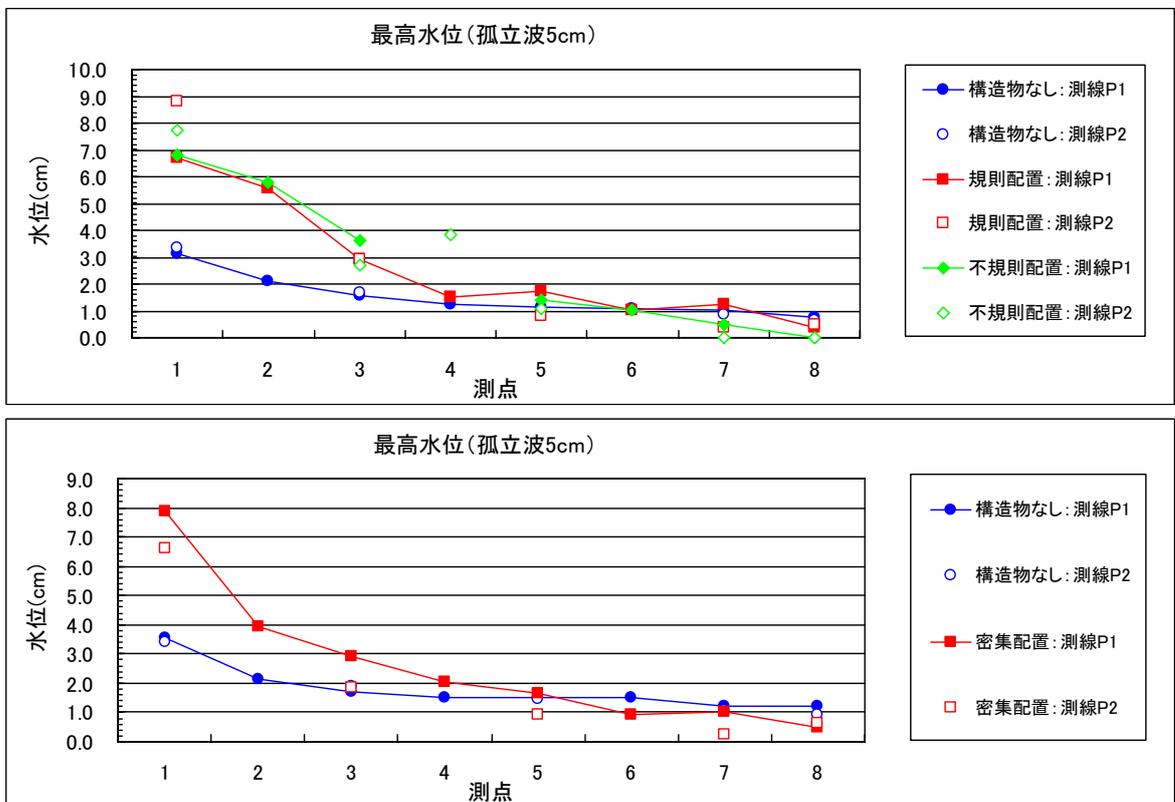
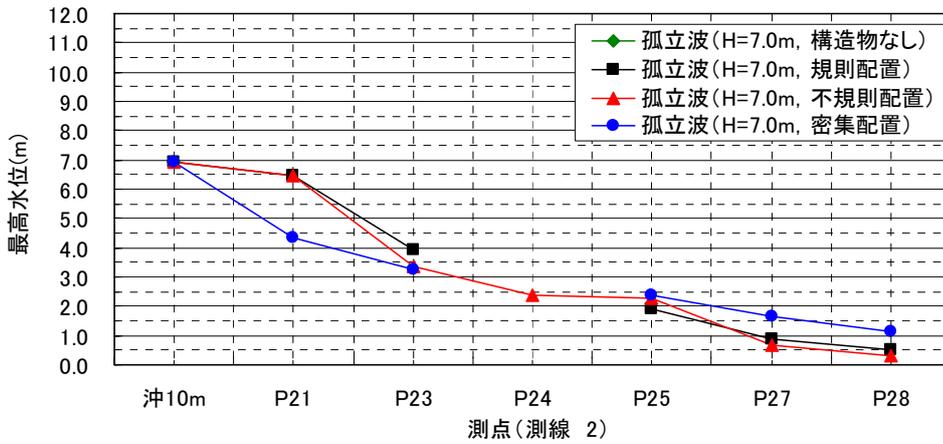
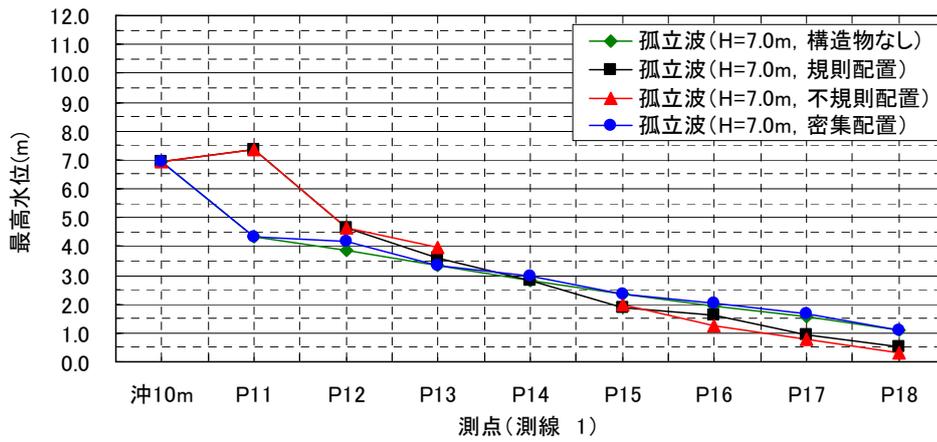


図3-50a 最高水位分布 (孤立波, $\eta=5.0\text{m}$)

<シミュレーション>



<実験>

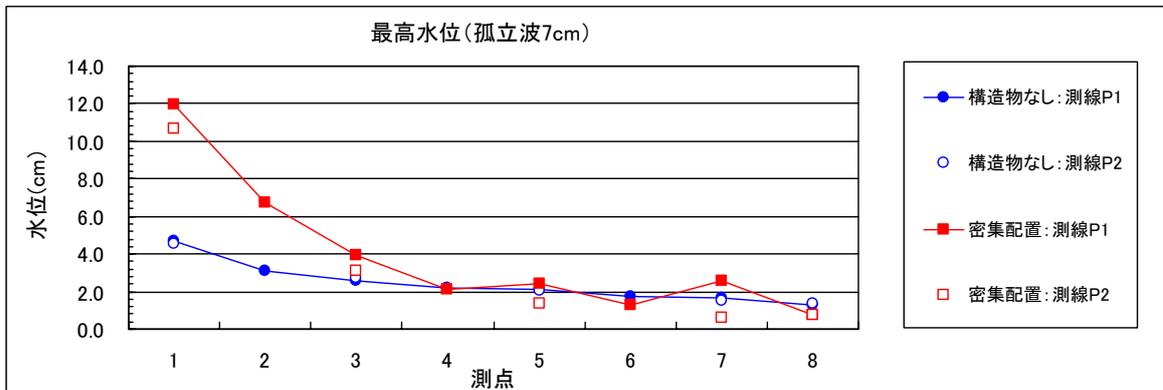
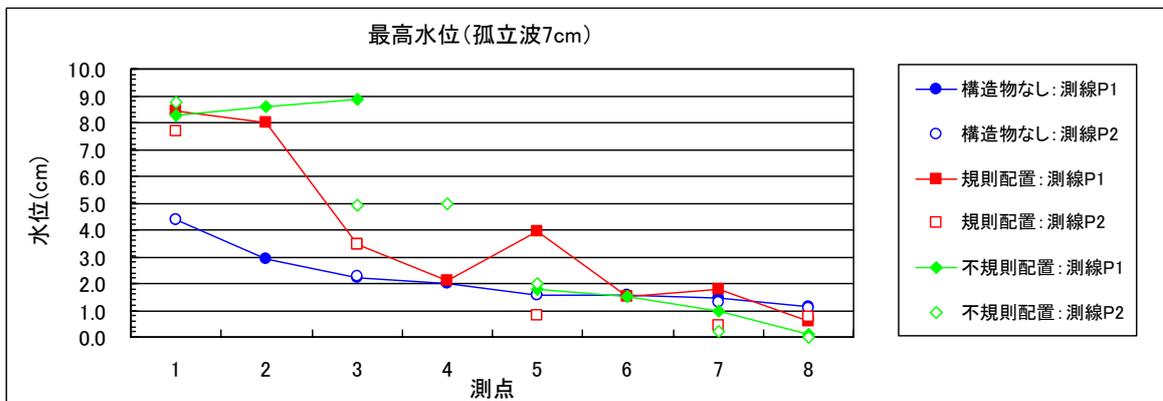
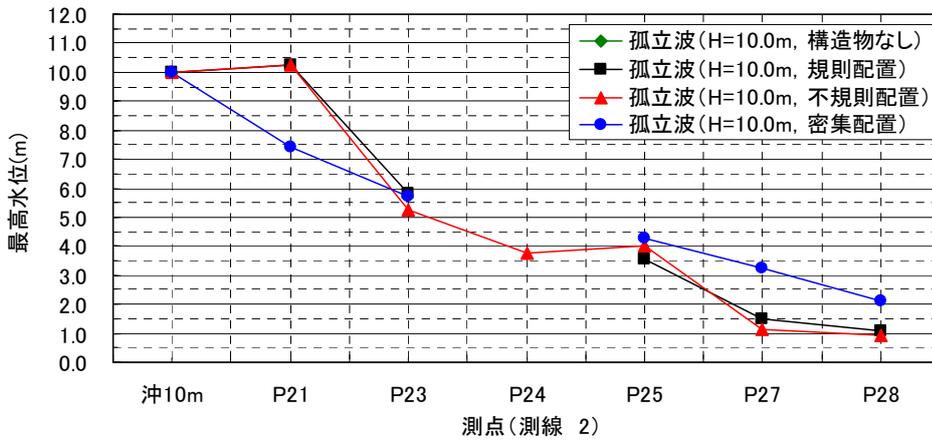
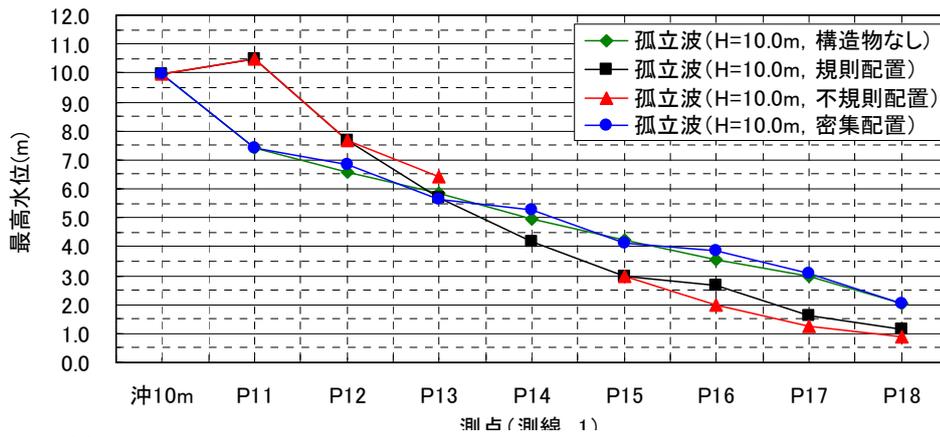


図3-50b 最高水位分布 (孤立波, $\eta = 7.0\text{m}$)

<シミュレーション>



<実験>

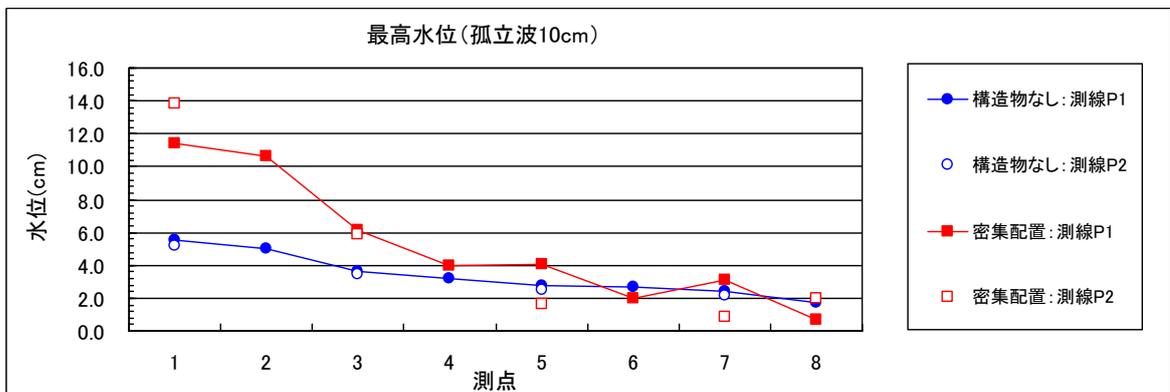
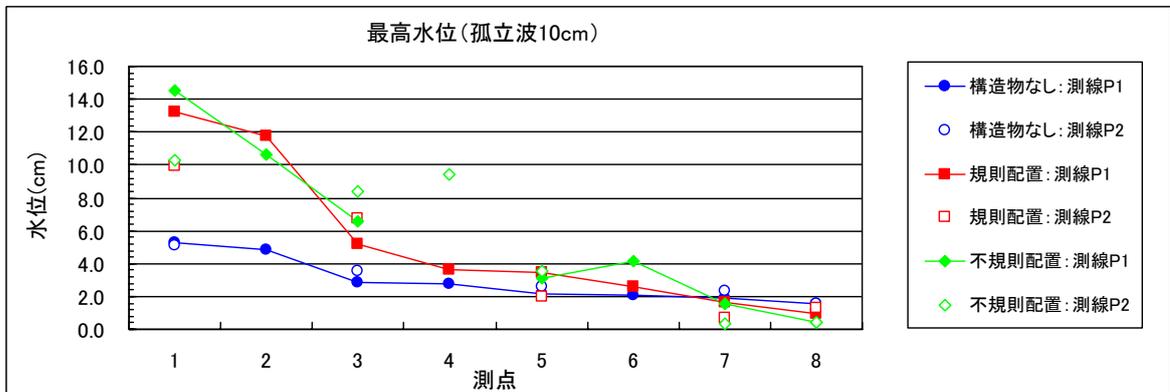
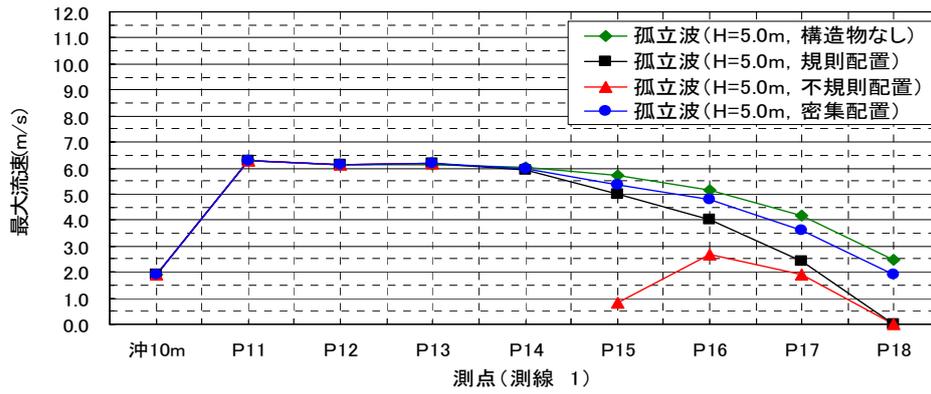


図 3-50c 最高水位分布 (孤立波, $\eta = 10.0\text{m}$)

<シミュレーション>



<実験>

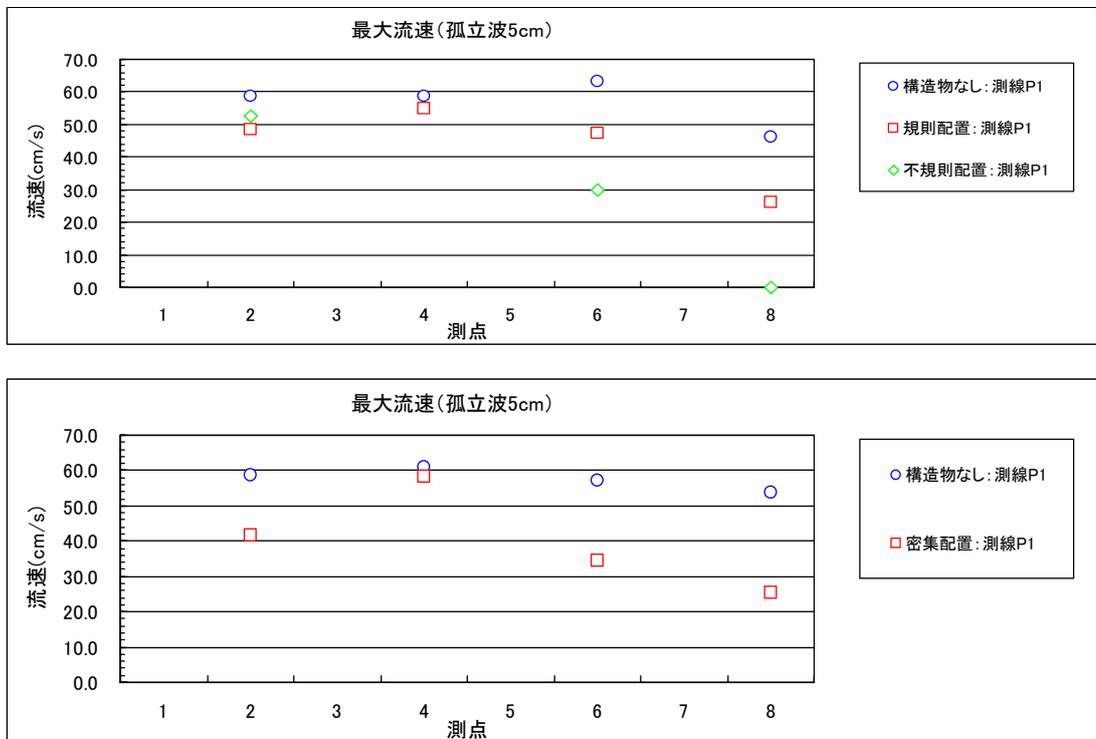
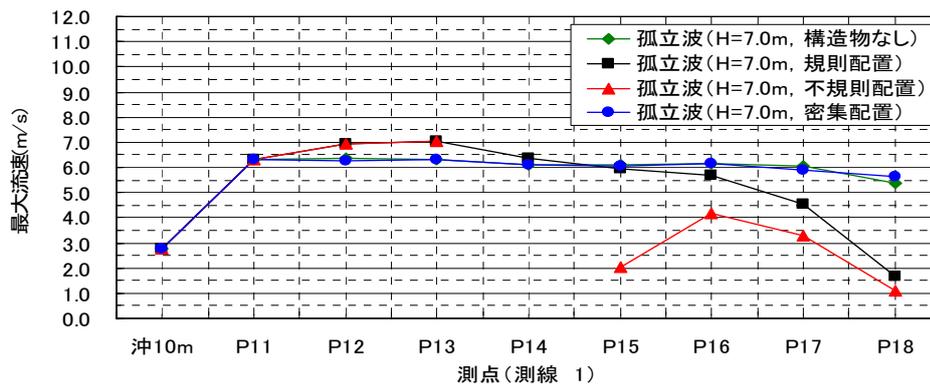


図 3-51 a 最大流速分布 (孤立波, $\eta = 5.0\text{m}$)

<シミュレーション>



<実験>

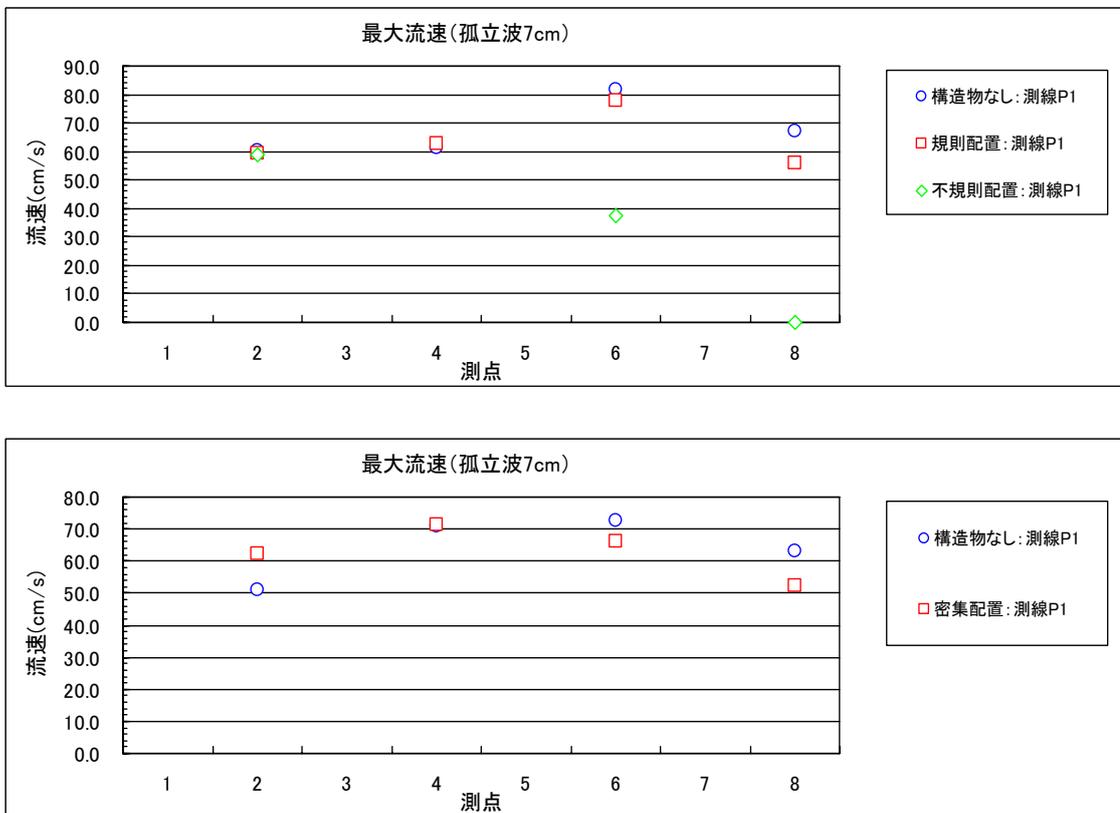
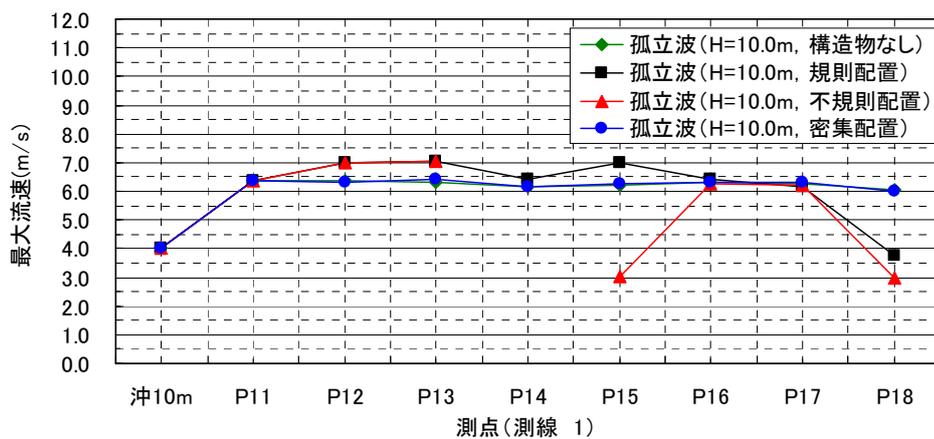


図 3-51b 実験結果の最大流速分布 (孤立波, $\eta=7.0\text{m}$)

<シミュレーション>



<実験>

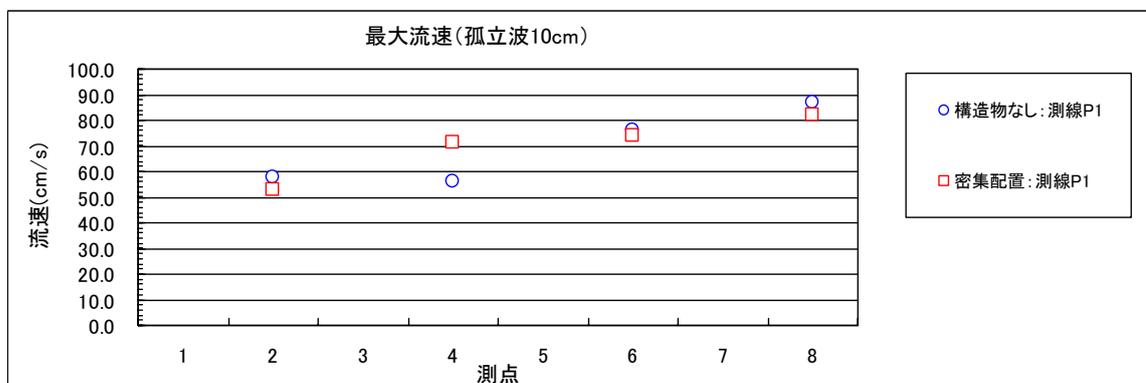
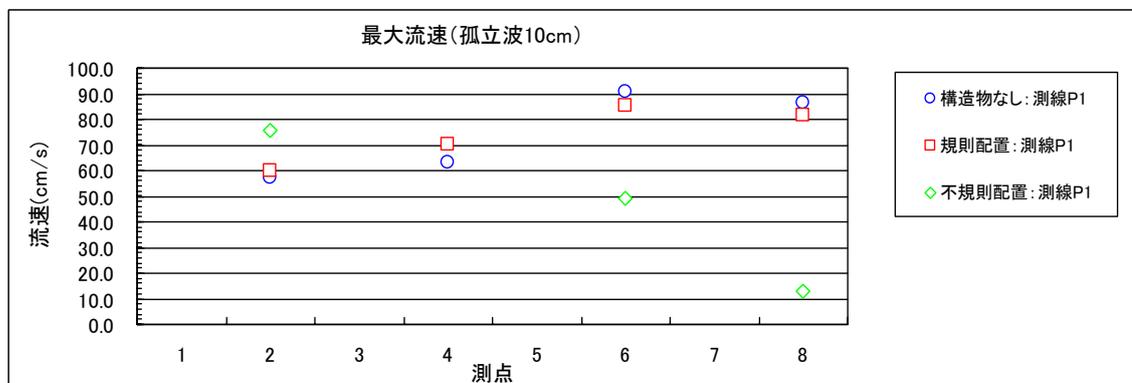


図 3-51c 最大流速分布 (孤立波, $\eta = 10.0\text{m}$)

5 施設の減災性能に関する検討

5-1 建物による減災性能(シミュレーション①に基づく)

模型実験における建物の減災性能については、「4-3. 模型実験における建物の減災効果の総括」でまとめたとおりであり、建物があることにより、その上流部において、水位、流速、遡上高の減少が確認されている。以下では、シミュレーションによる減災性能について記載する。

建物による減災性能については、シミュレーション①における粗度モデルと合成地盤高モデルとの比較結果がそのまま、建物の有無による効果とすることができる。

5-1-1 東京港(高潮)

表3-21 a~b, 表3-22 a~b, 表3-23 a~bに比較結果を示す。

最大潮位偏差については、表3-21 aに示すとおり、建物があることによって、海岸線(岸壁・護岸)直配後ではなく、陸上の少し奥において減少がみられた。参考までに、表3-21 bに示すとおり、防潮堤があることによる効果は、防潮堤直配後においてがみられた。

最大流速については、表3-22 aに示すとおり、建物があることによって、陸域全体に減少傾向がみられ、表3-22 bに示すとおり、防潮堤があることによって、逆に流速の増加がみられた。

最大潮位偏差(正確には、地盤高を引いた最大浸水深)と最大流速から得られる流体力については、建物による効果、防潮堤による効果、いずれもわずかな減少にとどまった(表3-23 a~b)。

5-1-2 橘港(津波)

表3-24 a~b, 表3-25 a~b, 表3-26 a~bに比較結果を示す。

最大水位については、建物があることによる効果は、高潮と同様に、海岸線直配後ではなく、上流部において、減少がみられた。なお、防潮堤による効果はほとんどみられなかった。(表3-24 a~24 b)

最大流速については、建物があることによって、陸域全体に減少傾向がみられ、防潮堤があることによっては、流速の増加する箇所と減少する箇所がみられた。(表3-25 a~b)

最大水位(正確には、地盤高を引いた最大浸水深)と最大流速から得られる流体力については、建物により、減少がみられる結果となったが、防潮堤による効果はほとんどみられなかった。(表3-26 a~b)

表 3-21 a 最大潮位偏差の比較 (建物ありと建物なしの比較・防潮堤なし)

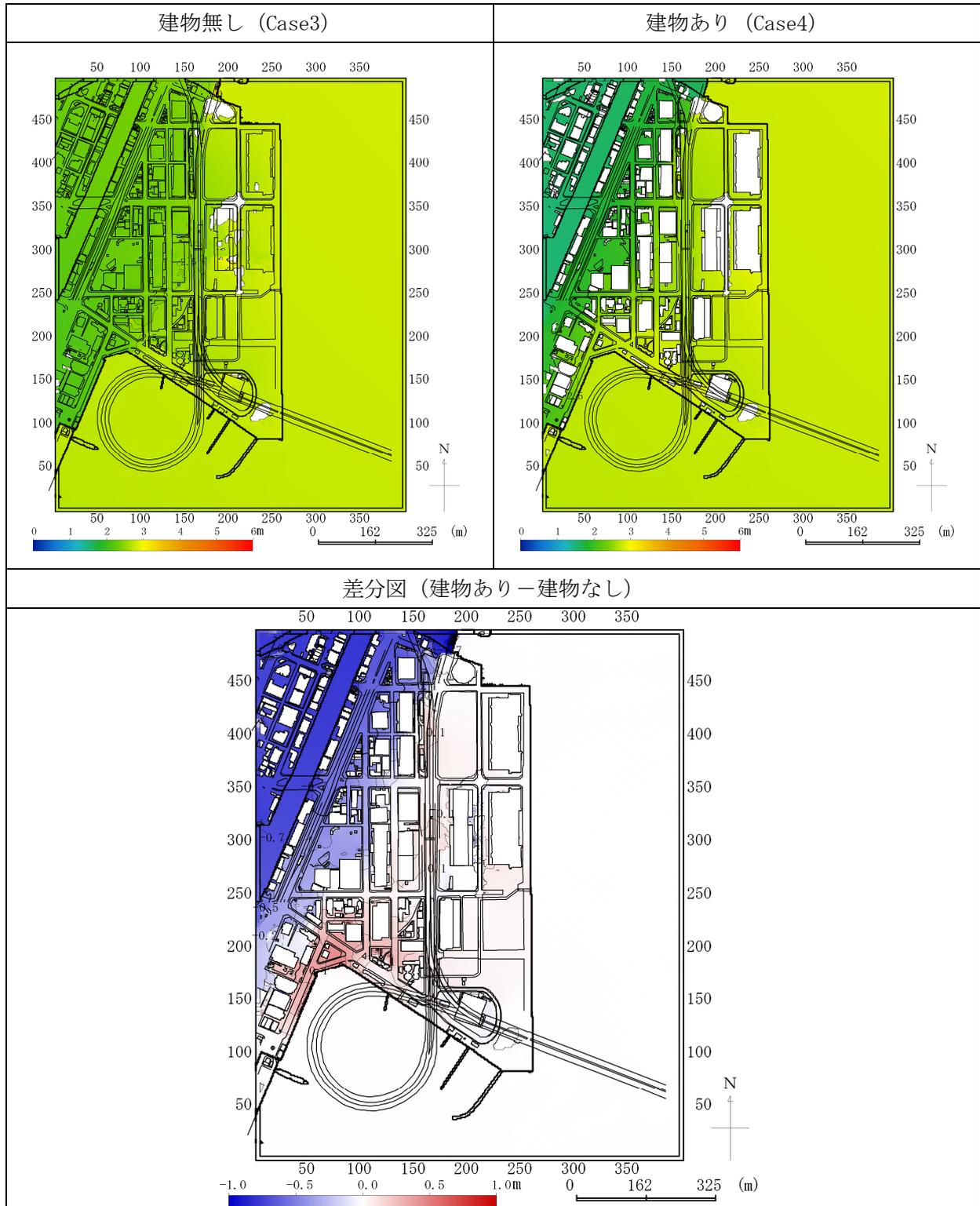


表 3-21b 最大潮位偏差の比較 (防潮堤の有無の比較・建物あり)

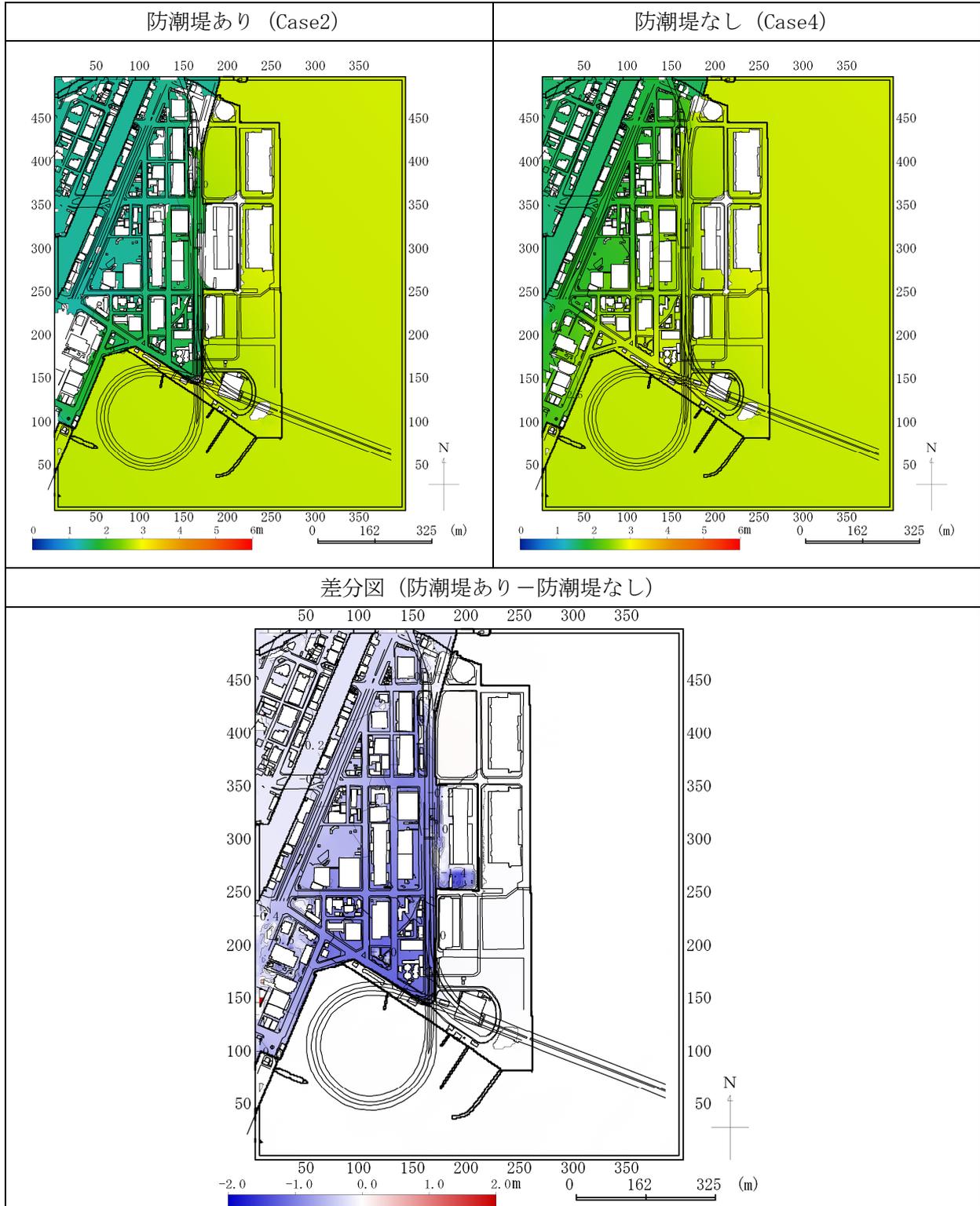


表 3-2-2 a 最大流速の比較 (建物ありと建物なしの比較・防潮堤なし)

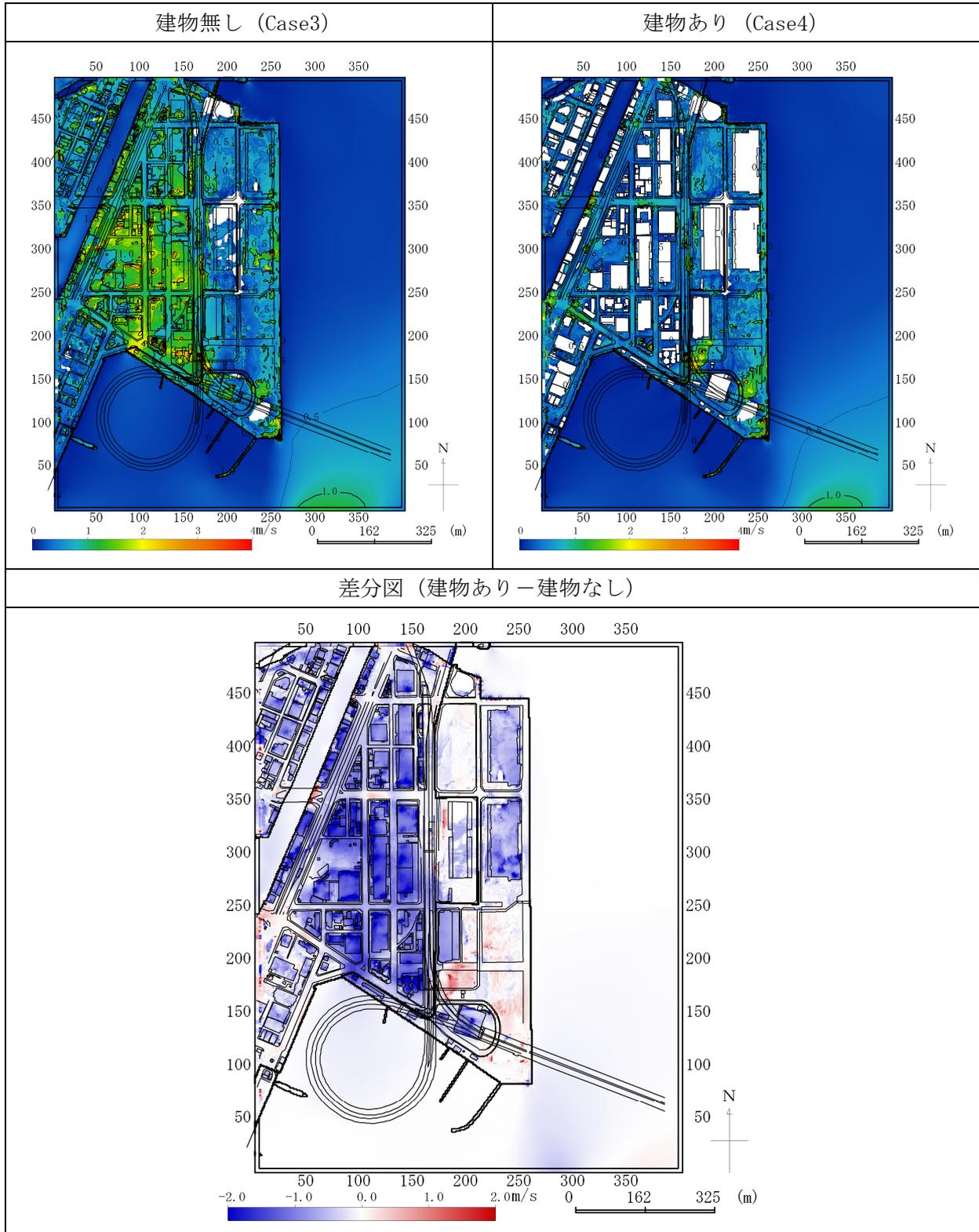


表 3-2-2 b 最大流速の比較 (防潮堤の有無の比較・建物あり)

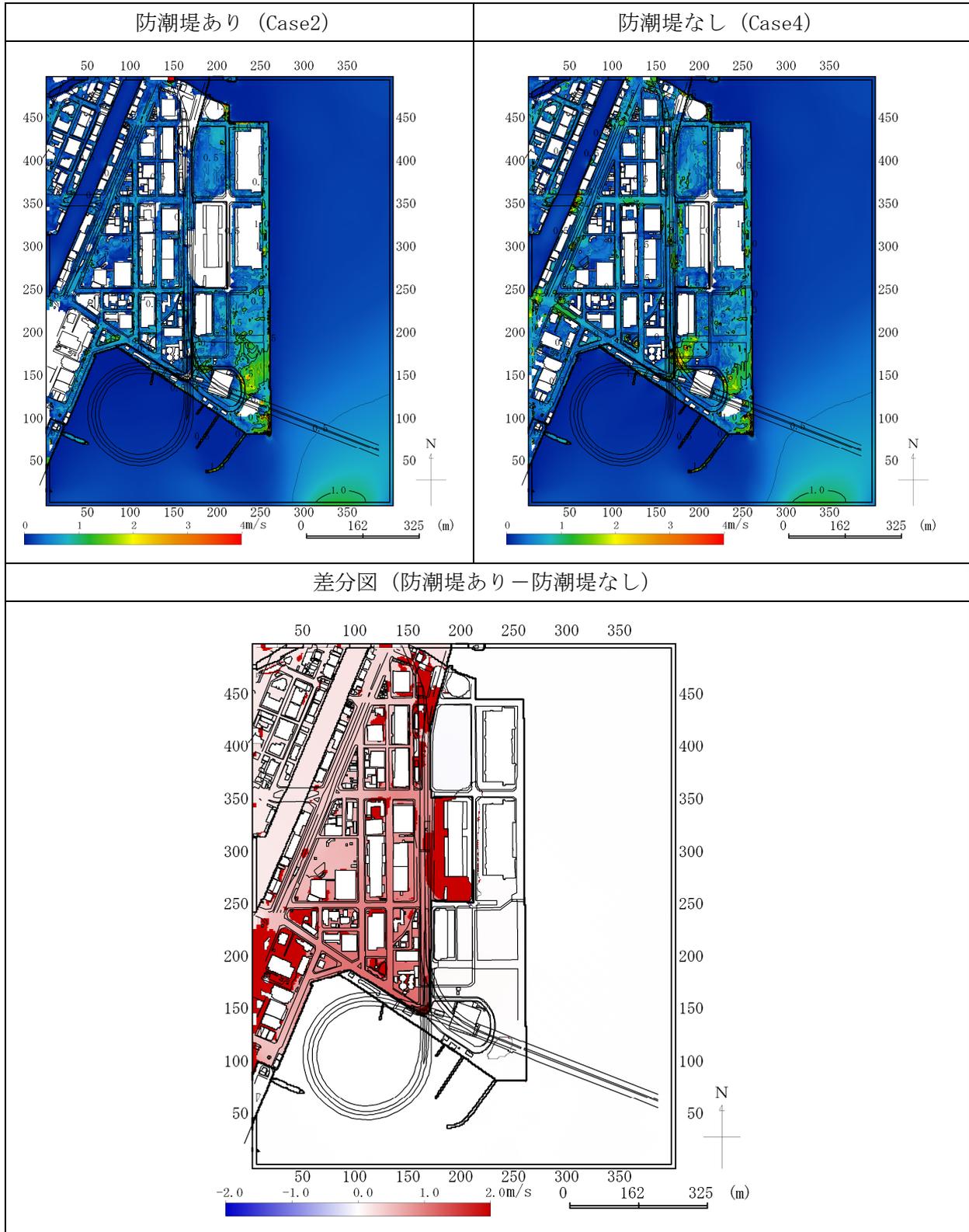


表 3-23 a 流体力の比較 (建物ありと建物なしの比較・防潮堤なし)

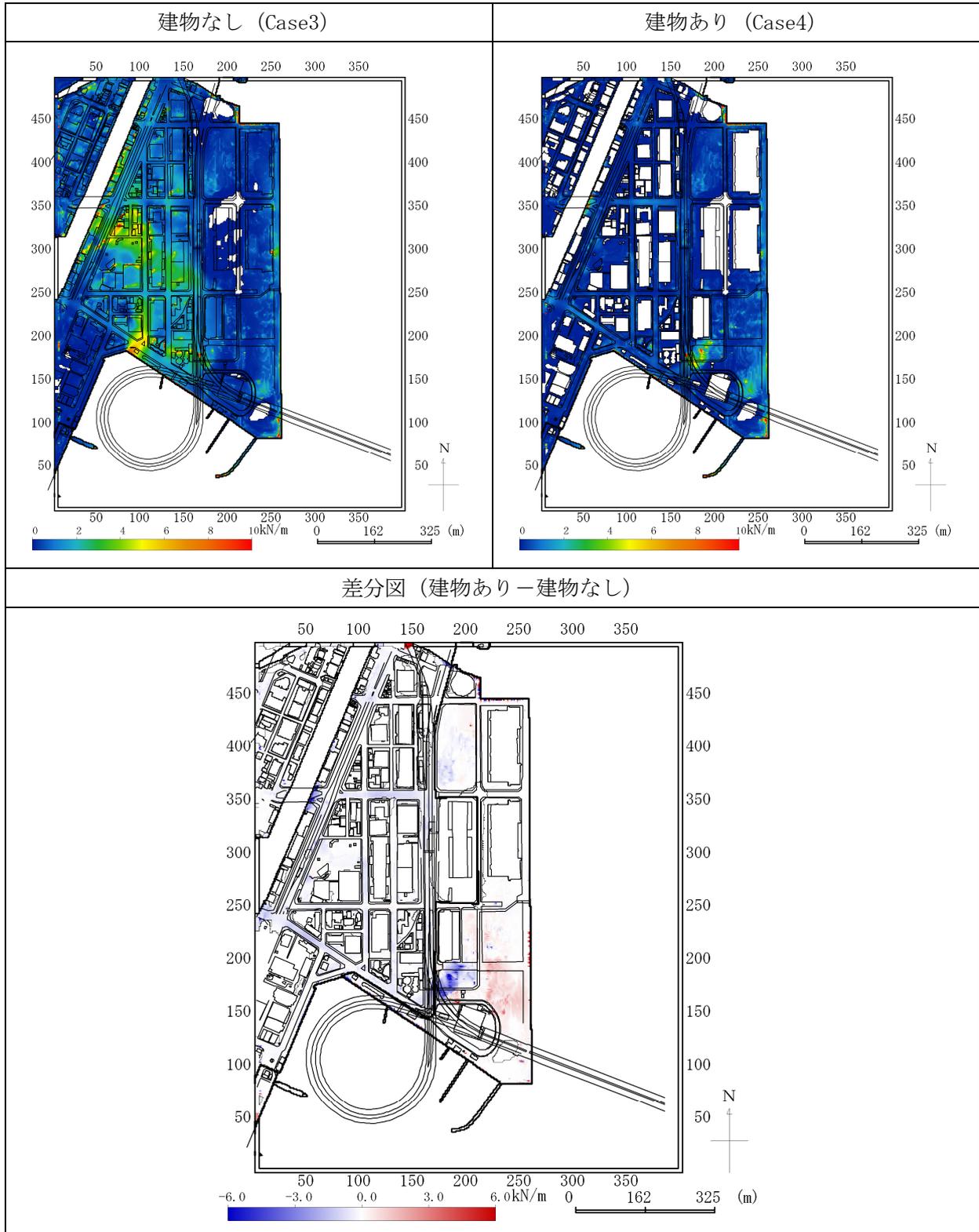


表 3-23b 流体力の比較 (防潮堤の有無の比較・建物あり)

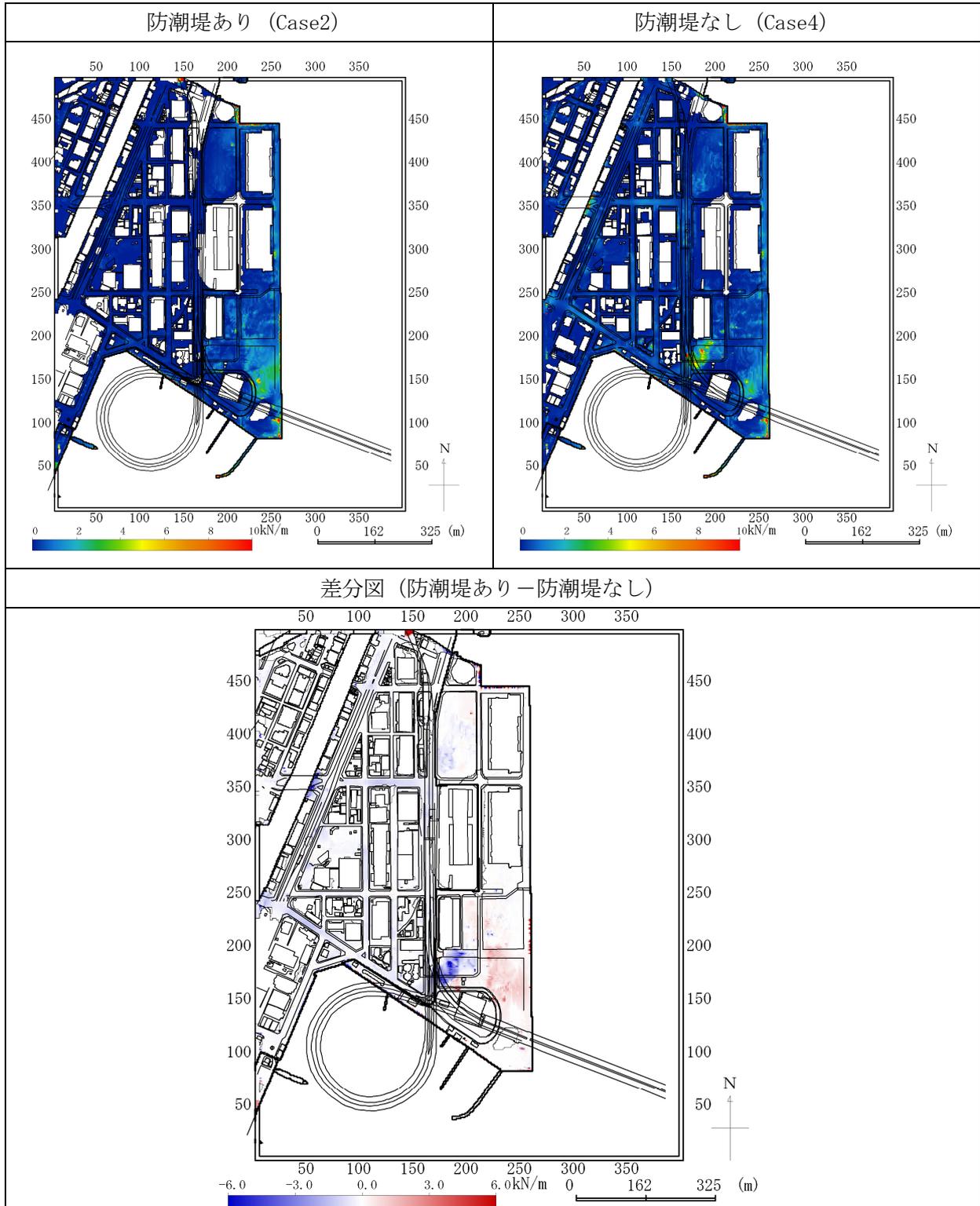


表 3-24 a 最大水位分布の比較 (建物ありと建物なしの比較・防潮堤なし, T.P. 基準)

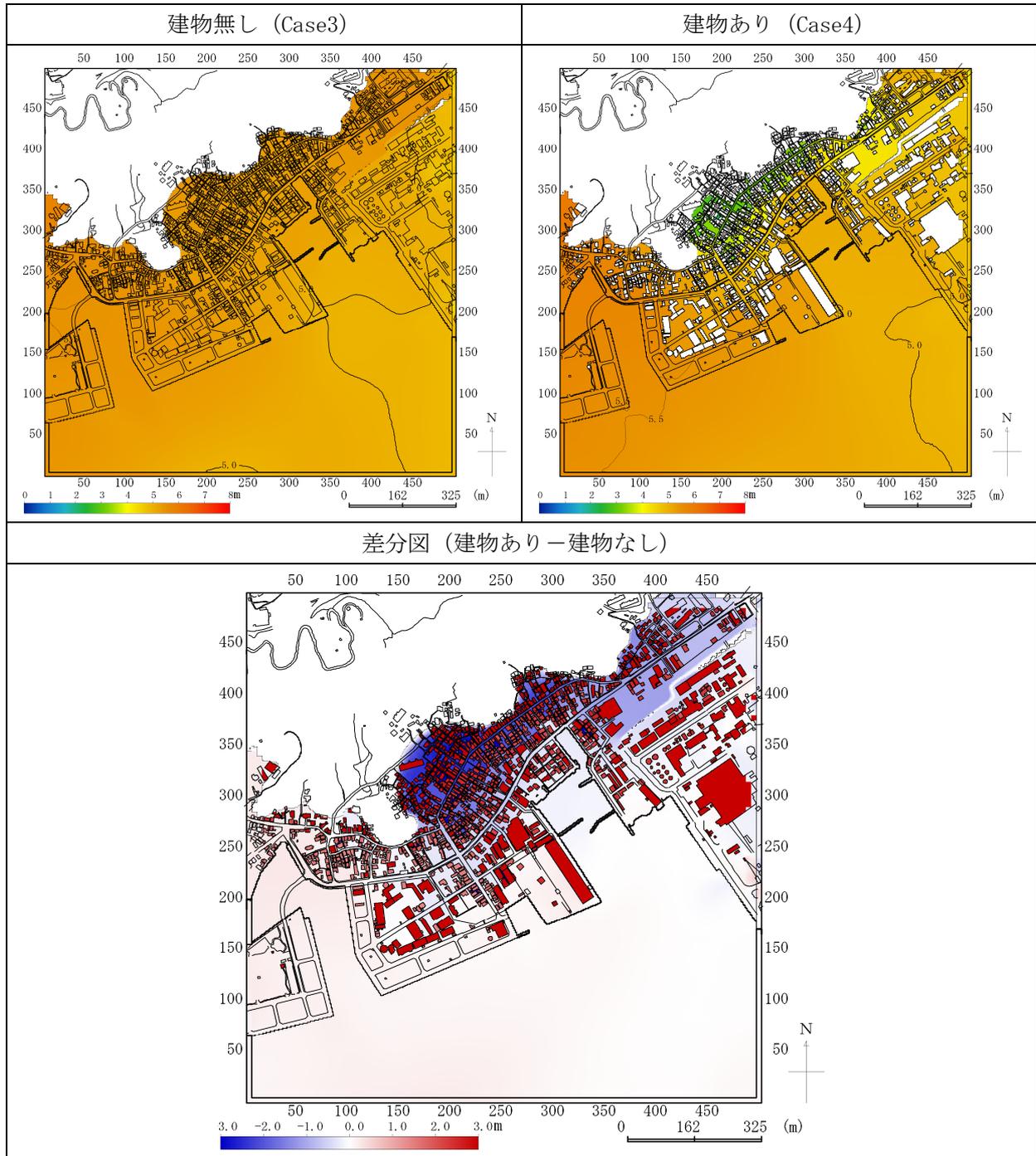


表 3-24b 最大水位分布の比較 (防潮堤の有無の比較・建物あり, T.P. 基準)

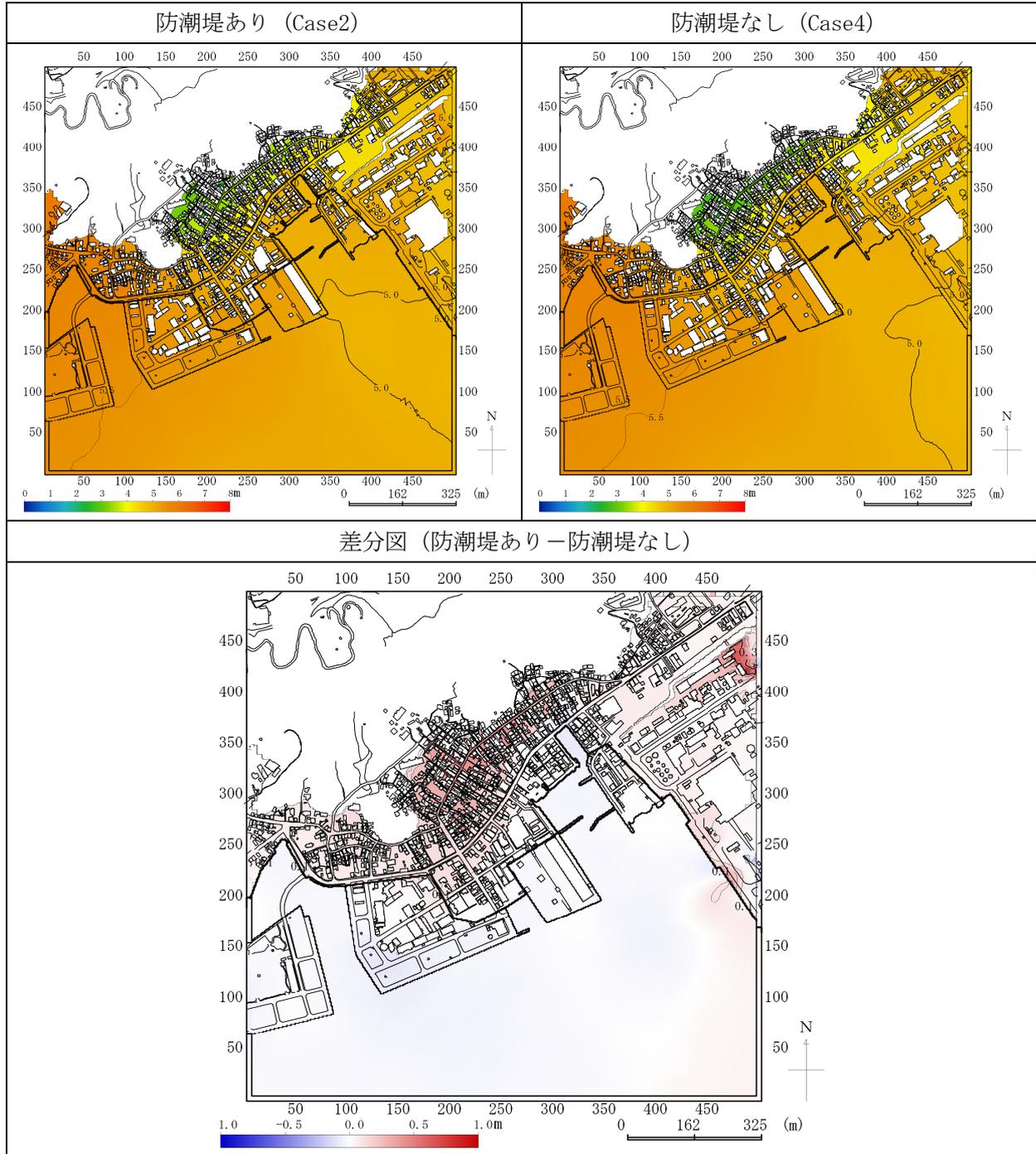


表 3-25 a 最大流速分布の比較 (建物ありと建物なしの比較・防潮堤なし, T.P. 基準)

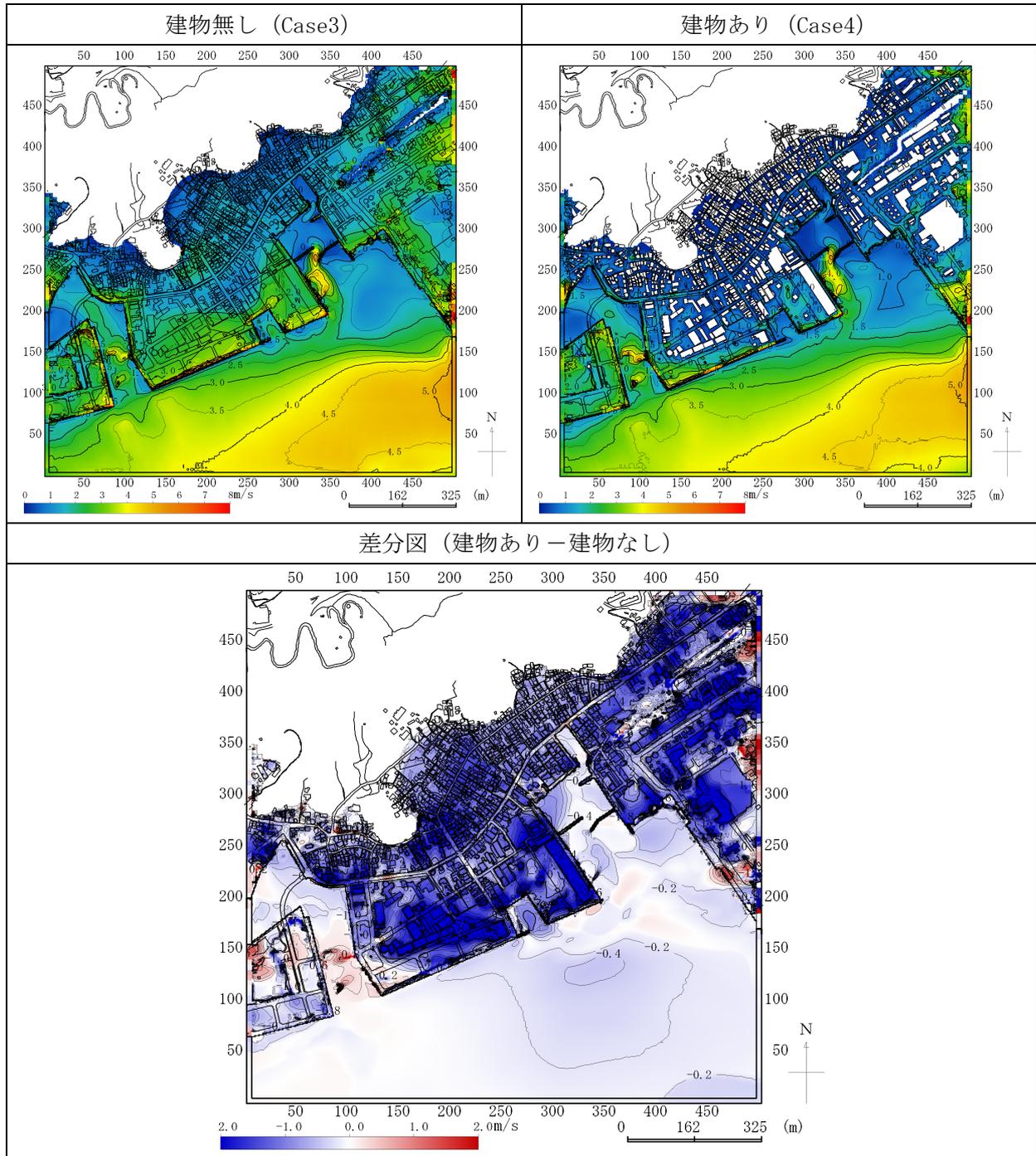


表 3-25b 最大流速分布の比較 (防潮堤の有無の比較・建物あり, T.P. 基準)

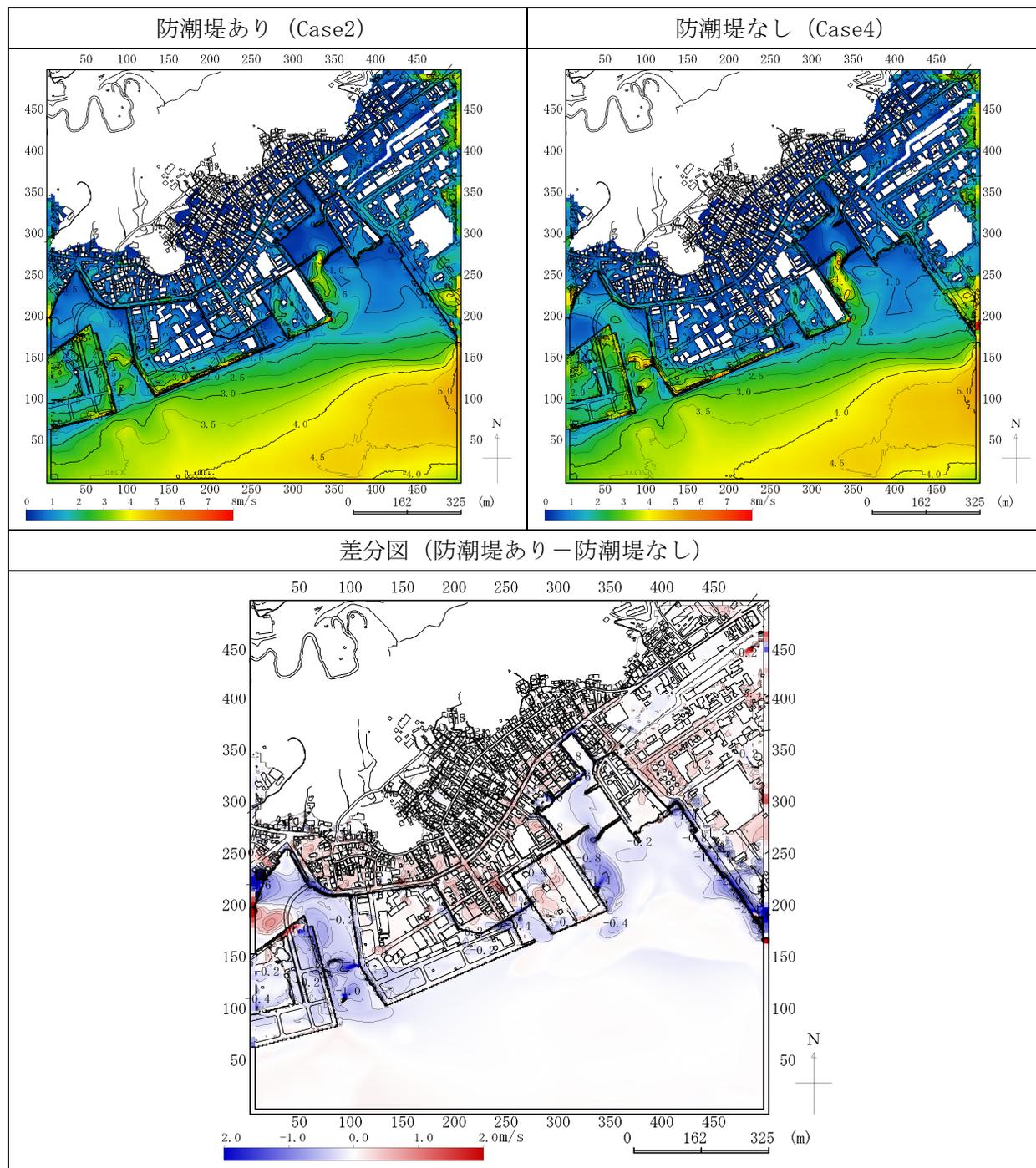


表 3-26 a 流体力の比較 (建物ありと建物なしの比較・防潮堤なし)

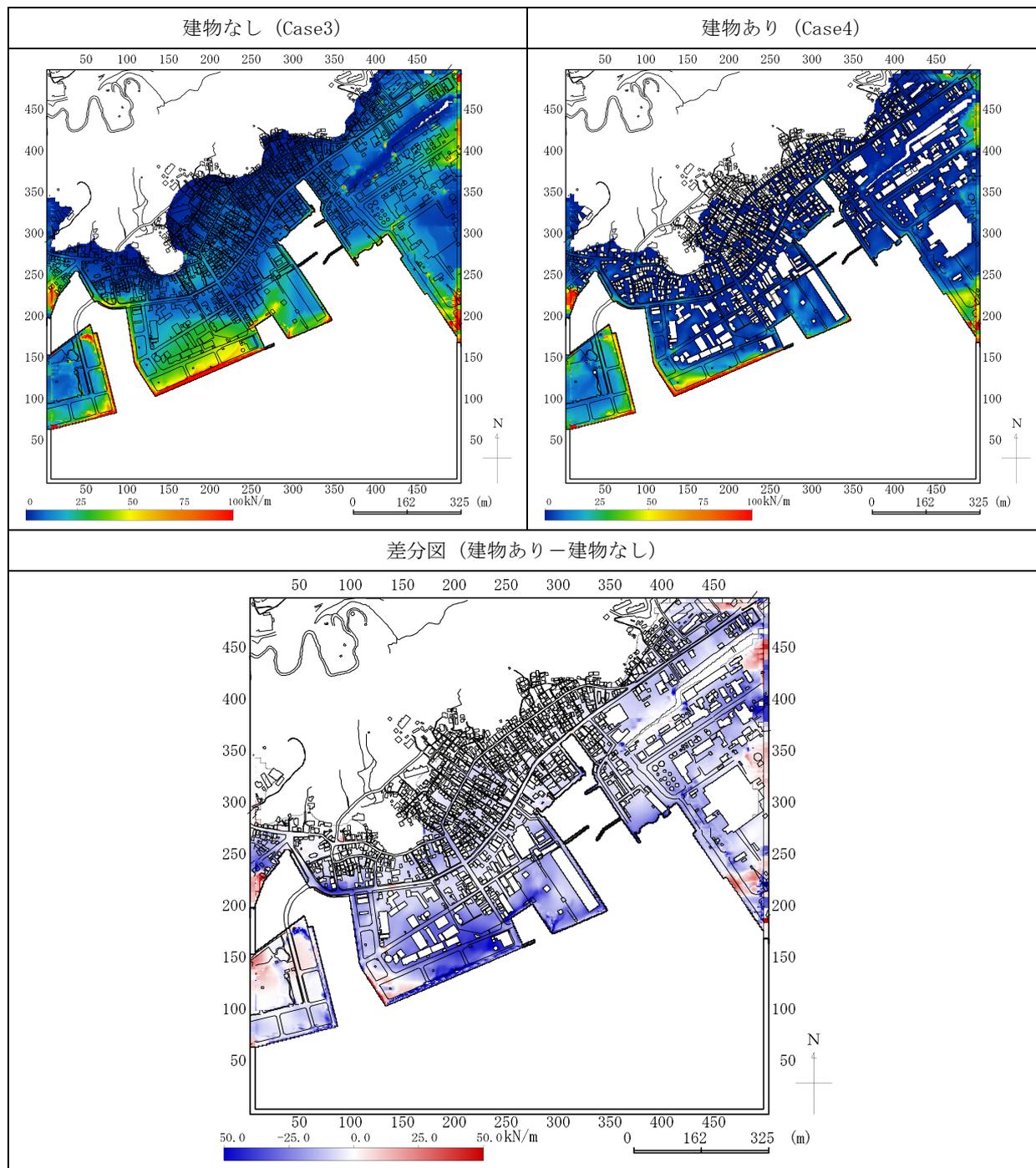
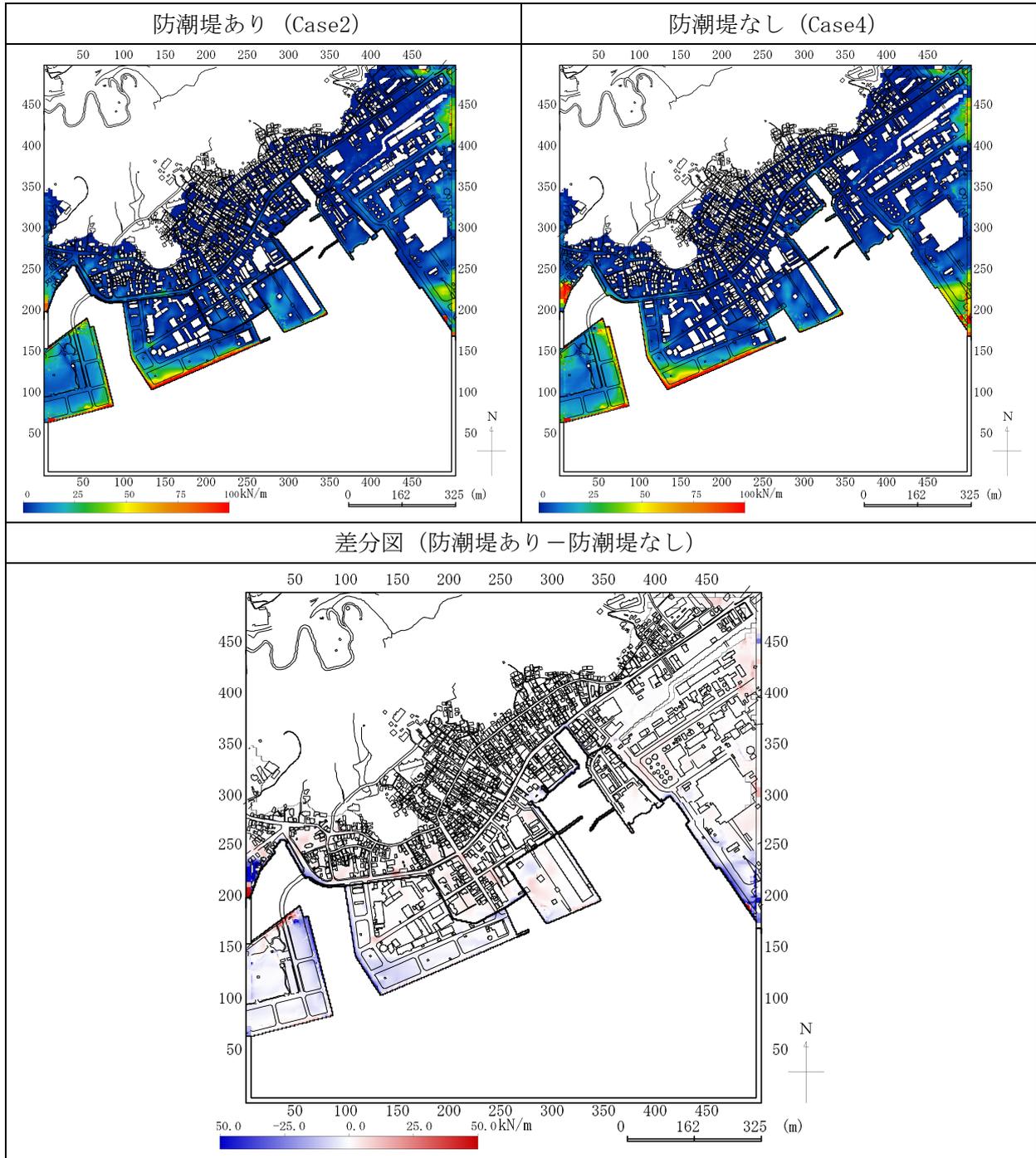


表 3-26b 流体力の比較 (防潮堤の有無の比較・建物あり)



5-2 地盤の嵩上げと植栽の効果（シミュレーション②による）

比較検討ケースは、「2-6 検討目的毎のシミュレーションケース（P-34～37）」に示したとおりであるが、図のみを再掲すると以下のとおりである。現況（防潮ラインは単純化している）と地盤高の嵩上げ+植栽を設置した場合の比較である。

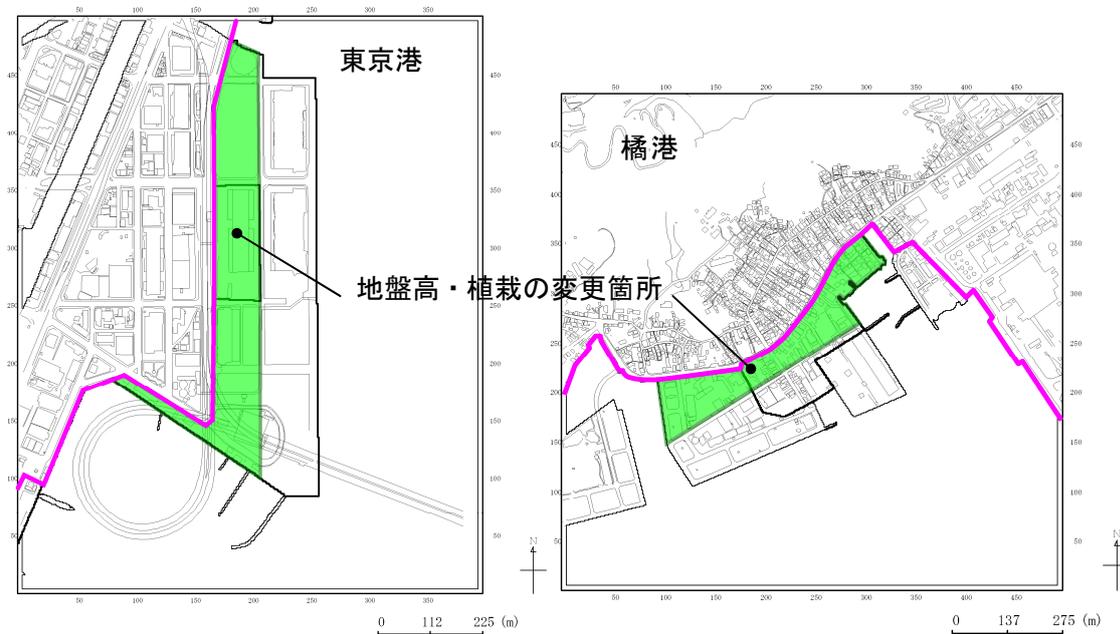


図3-52 地盤高・植栽の変更箇所（緑色の色塗り部分）（再掲）

表3-27～28に比較結果の一部を示す。

東京港においては、地盤を嵩上げし植栽を配置した場所において、最大流速の減少がみられたのみであり、最大潮位偏差等においては、その効果がみられなかった。

また、橘港においては、最大水位と津波到達時間にわずかな効果がみられた。

マンニングの粗度係数を増加させてみても、結果が大きくかわらなかつたため、地盤高の嵩上げ高が外力に比べて小さかつたものと推測される。

表 3-27 最大流速分布の比較（東京港 防潮堤前面の地盤高嵩上げ+植栽を設定）

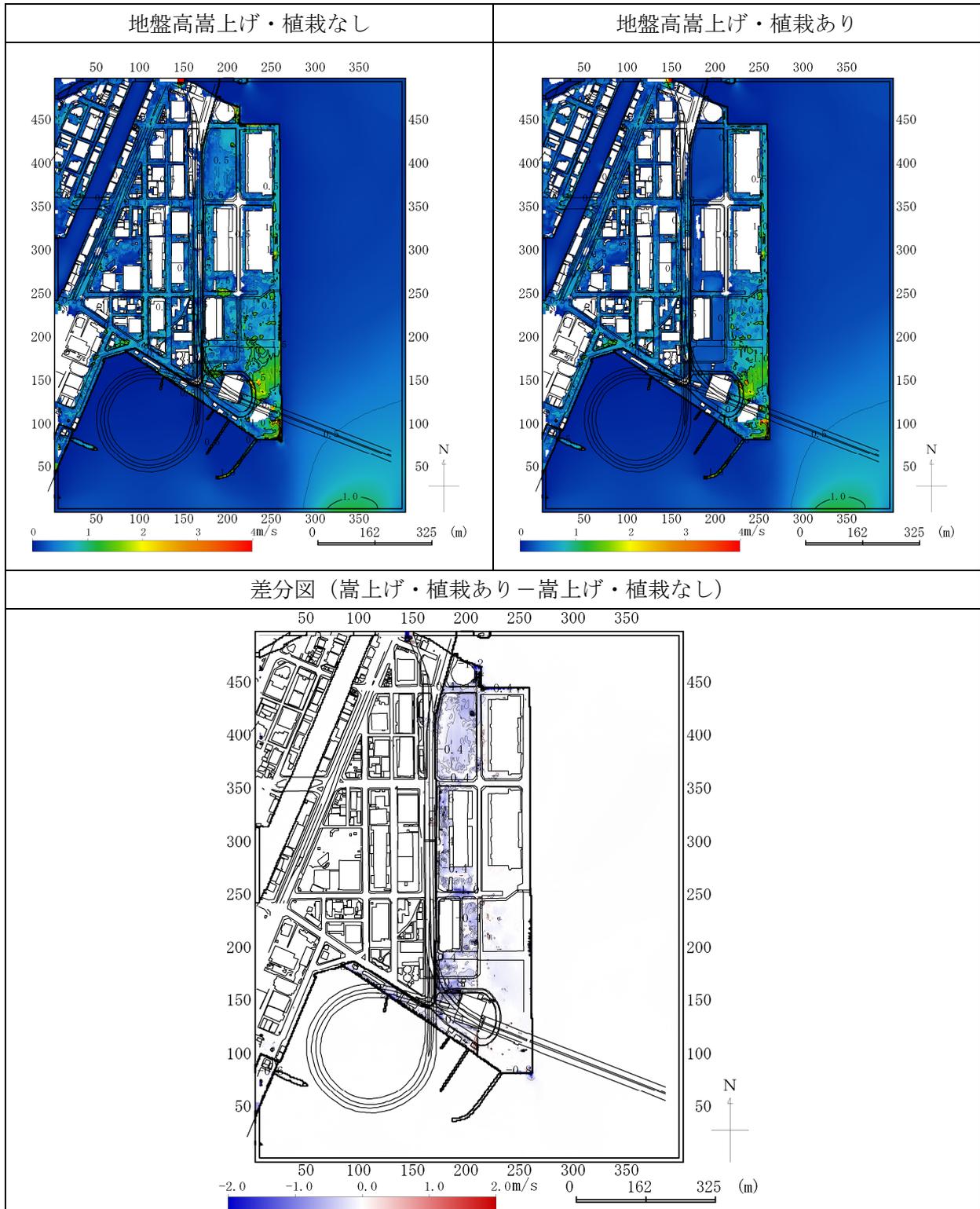


表 3-28 最大水位分布の比較 (橋港 防潮堤前面の地盤高嵩上げ+植栽を設定 T.P.基準)

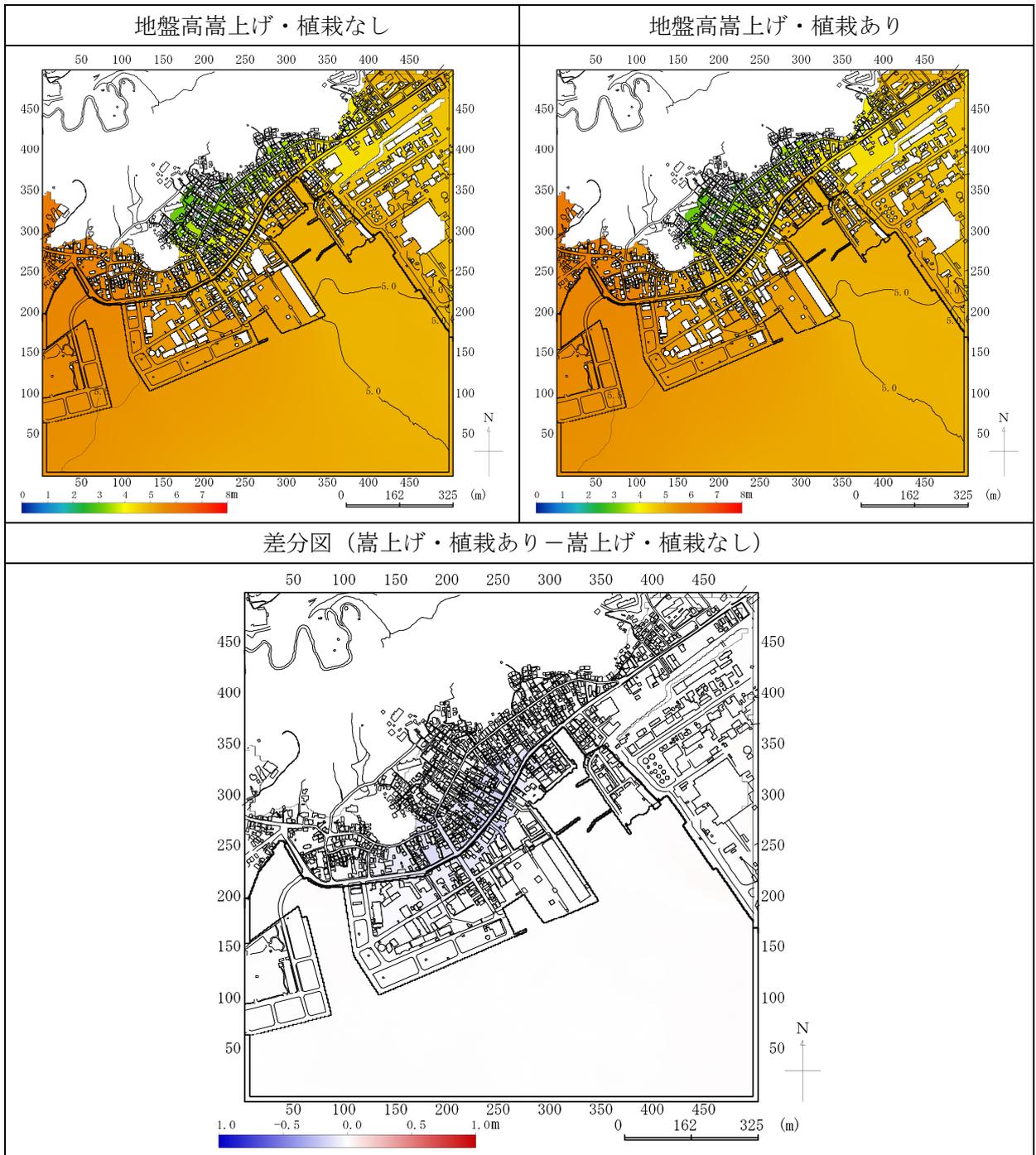
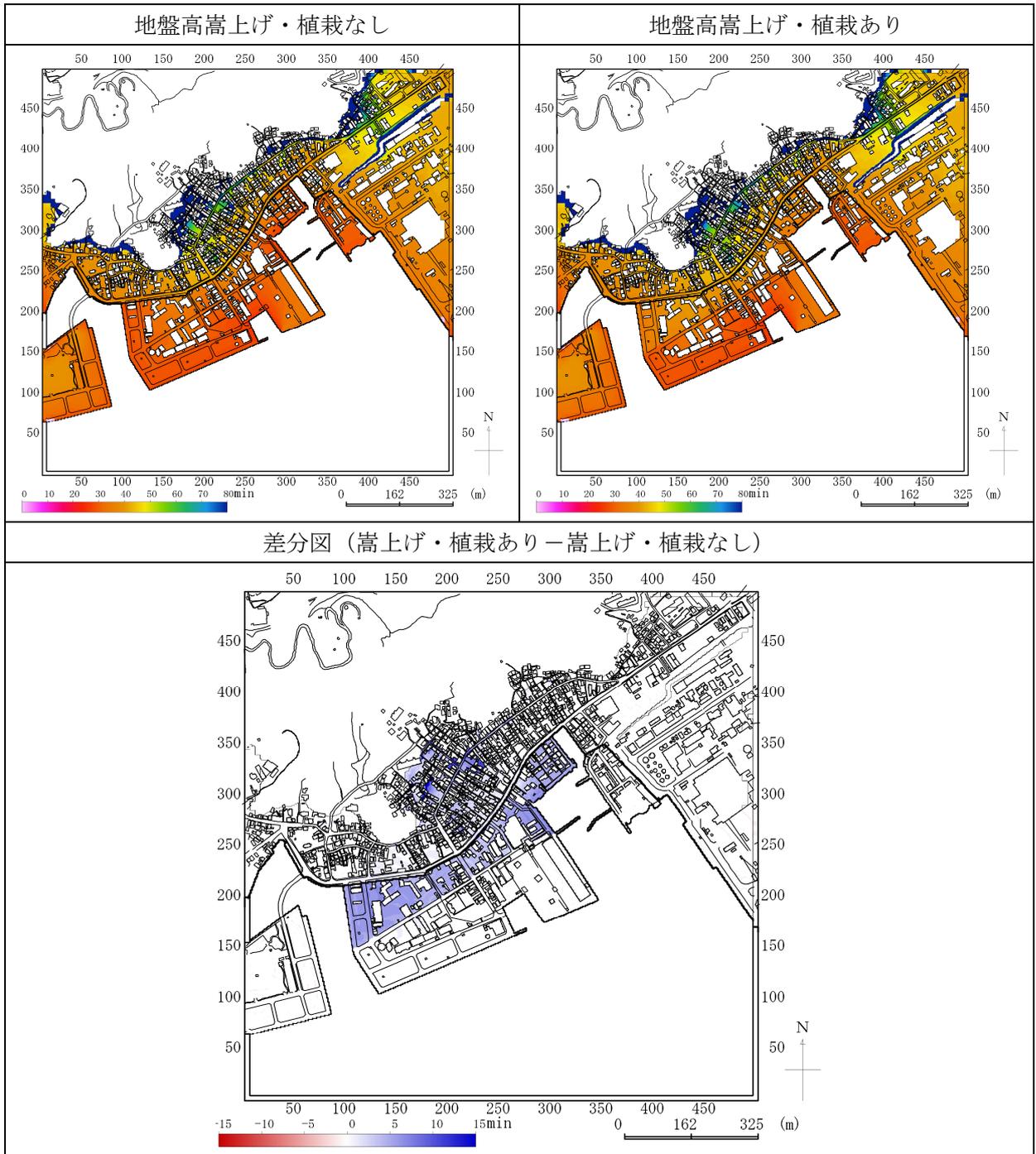


表 3-29 津波到達時刻の比較 (橘港 防潮堤前面の地盤高嵩上げ+植栽を設定, T.P.基準)



5-3 臨港道路の嵩上げの効果（シミュレーション②による）

比較検討ケースは、「2-6 検討目的毎のシミュレーションケース（P-34～37）」に示したとおりであるが、図のみを再掲すると以下のとおりである。なお、地盤の嵩上げ+植栽の効果がわずかだったことを考慮し、東京港では天端高を+3.5mとし、橘港においては、対象とする道路の交差点部分を地盤から3.5m嵩上げた。

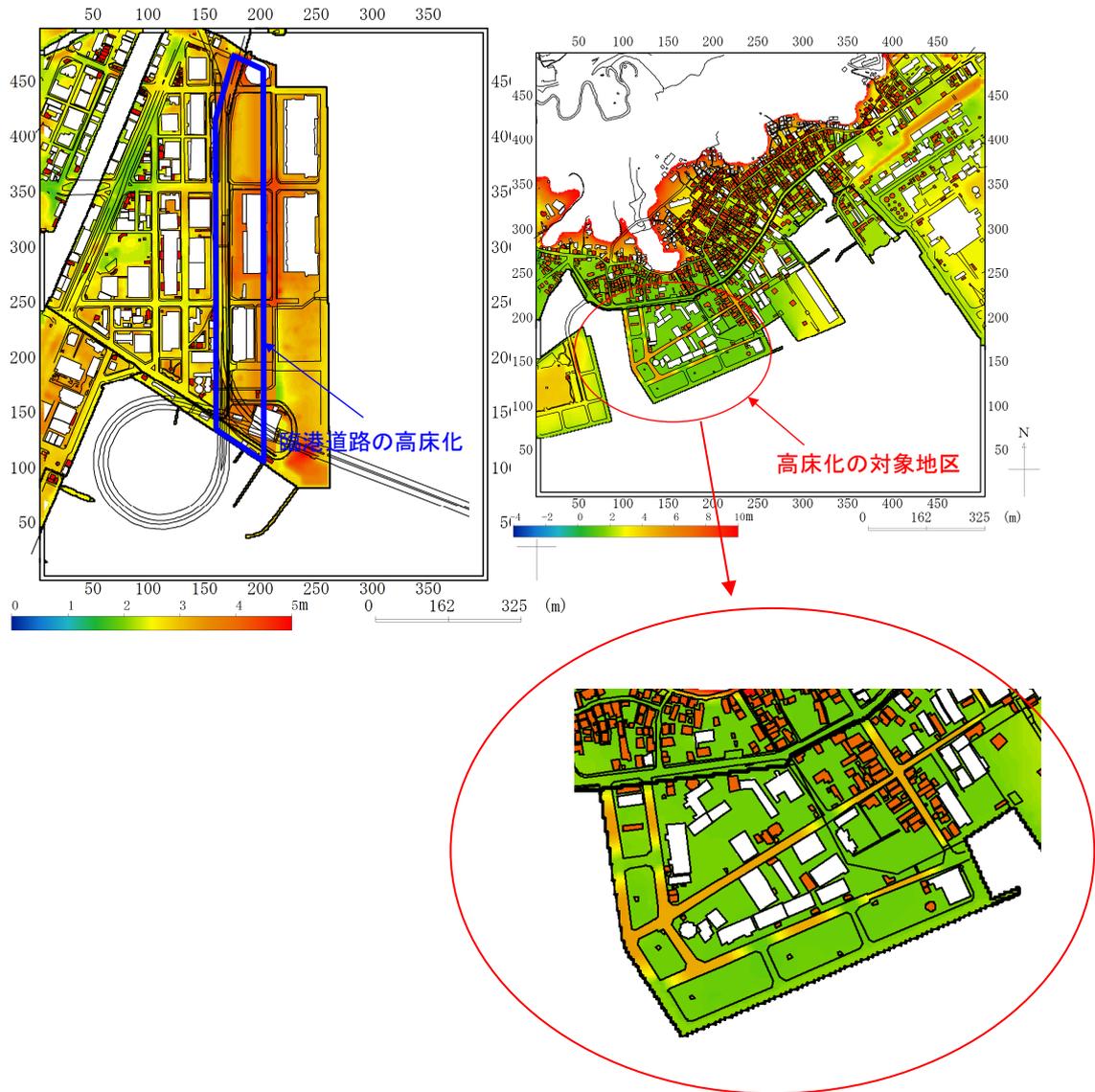


図3-53 臨港道路高床化箇所（再掲）

表3-30～34に比較結果の一部を示す。

東京港においては、臨港道路の嵩上げに伴い、その直背後において、最大潮位偏差、最大流速の減少がみられた。橘港においても、最大水位、最大流速の減少のほか、津波到達時間の遅延効果がみられた。

表 3-30 最大潮位偏差分布（東京港）

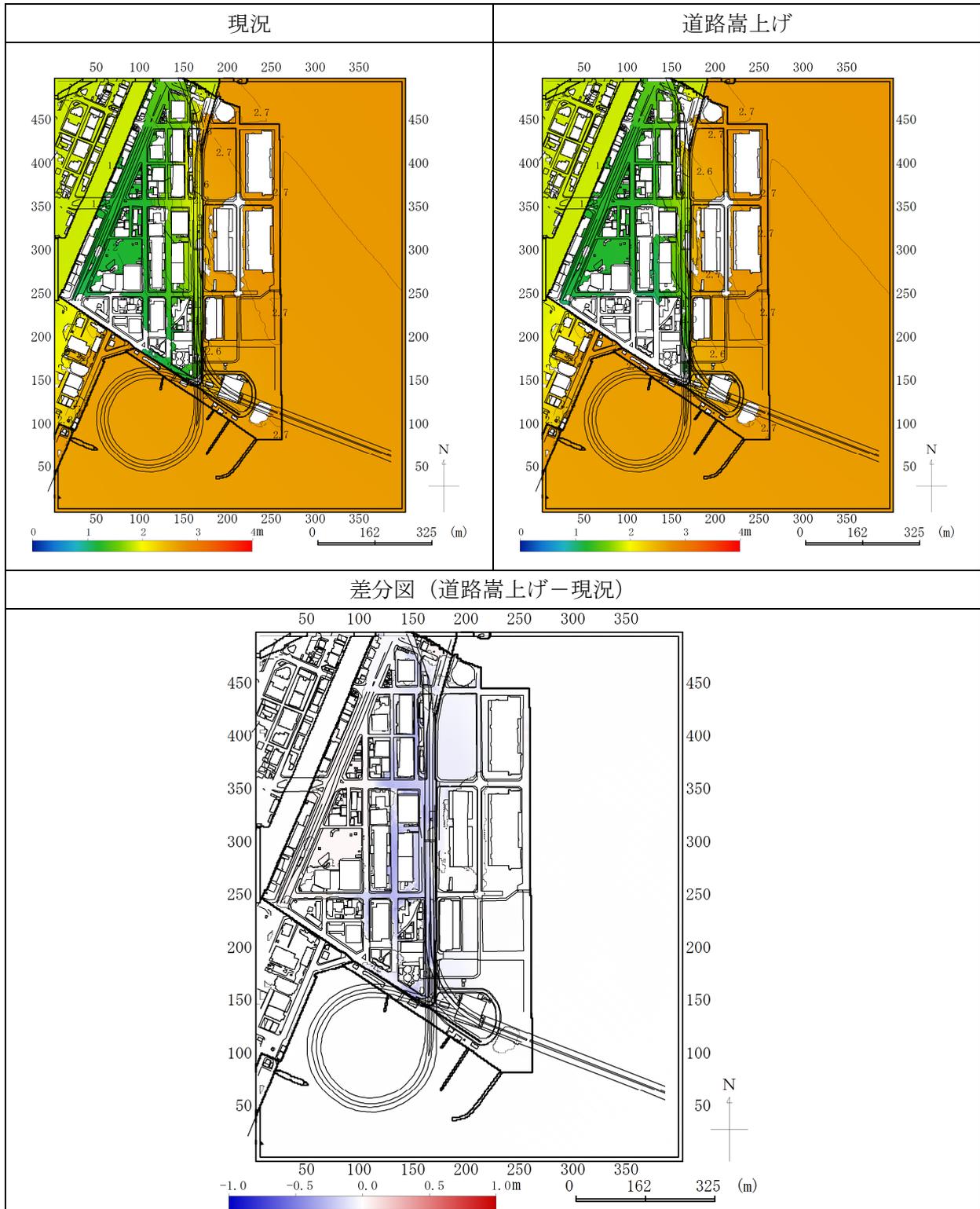
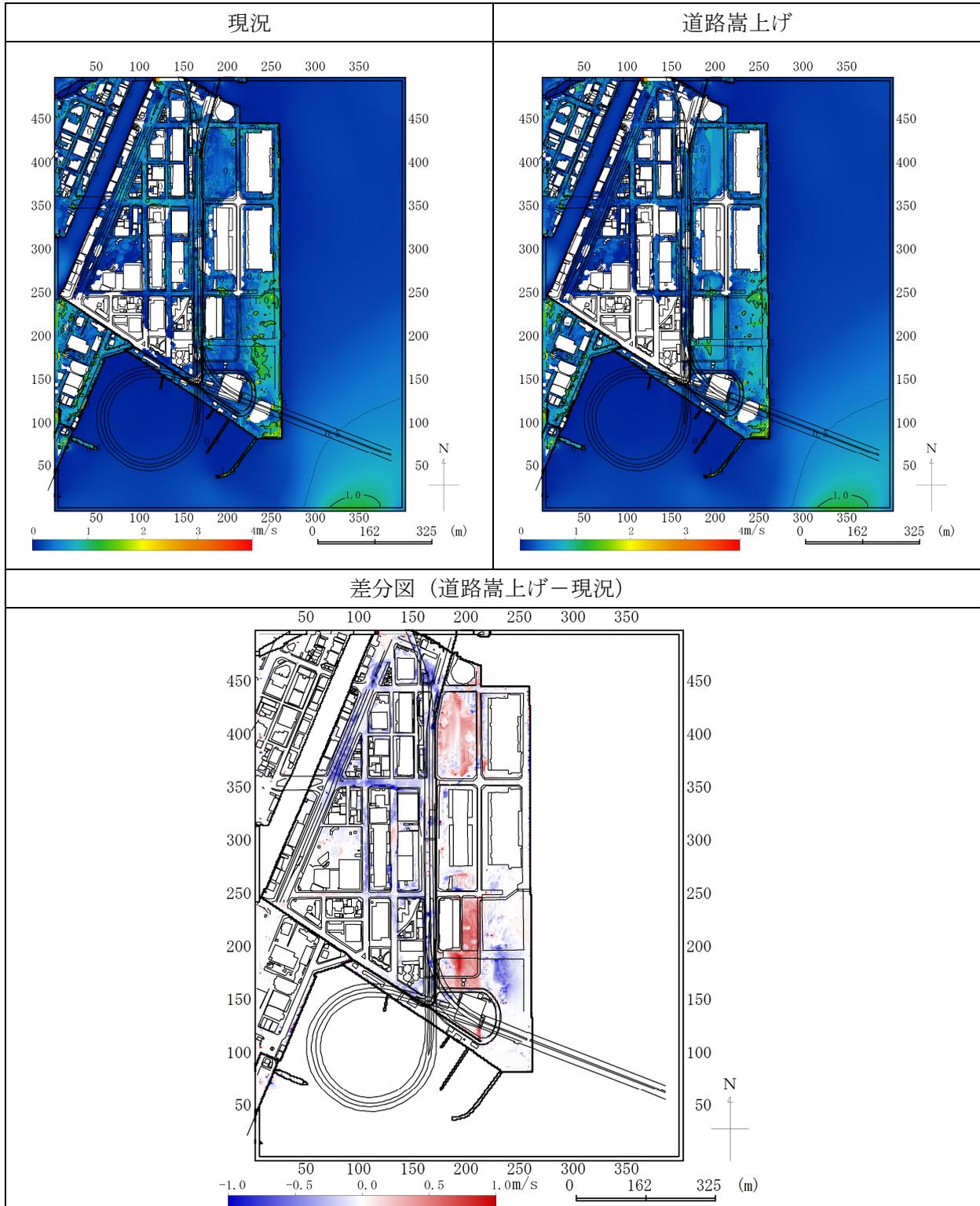


表 3-31 最大流速分布 (東京港)



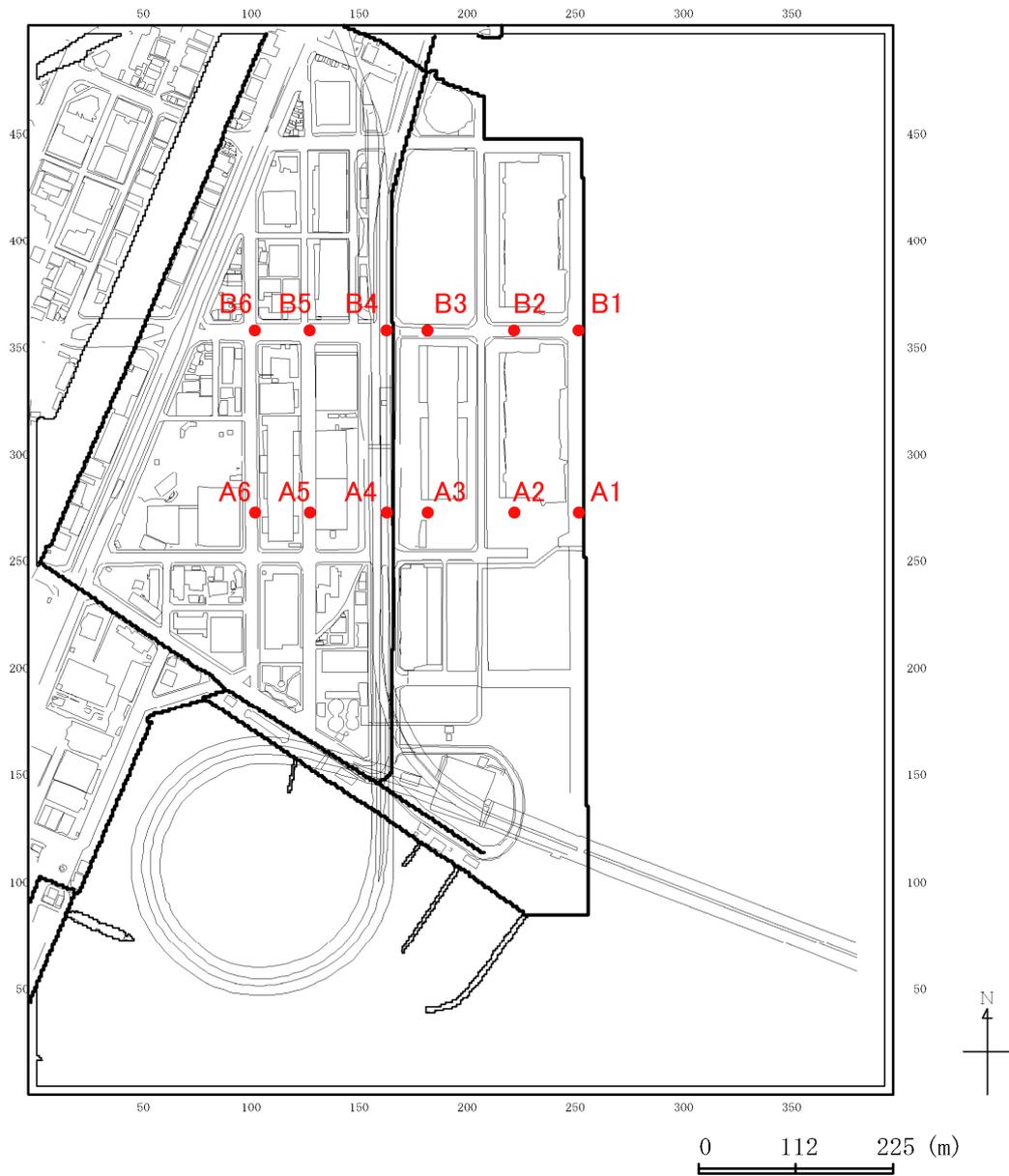


図 3-54 計算結果の抽出位置 (東京港)

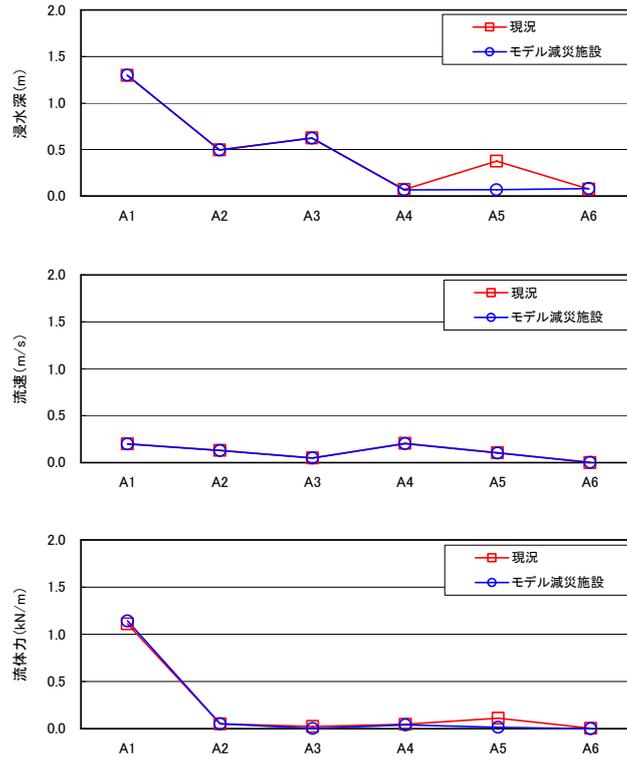


図 3-55 a 浸水深・流速・流体力・津波到達時刻の比較（東京港 測点 A1～A6）

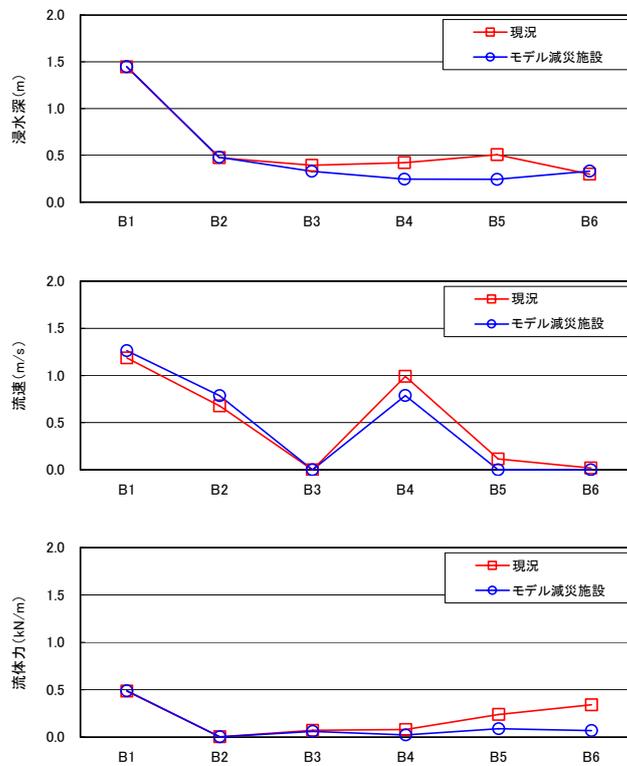


図 3-55 b 浸水深・流速・流体力・津波到達時刻の比較（東京港 測点 B1～B6）

表 3-3-2 最大水位分布 (橘港)

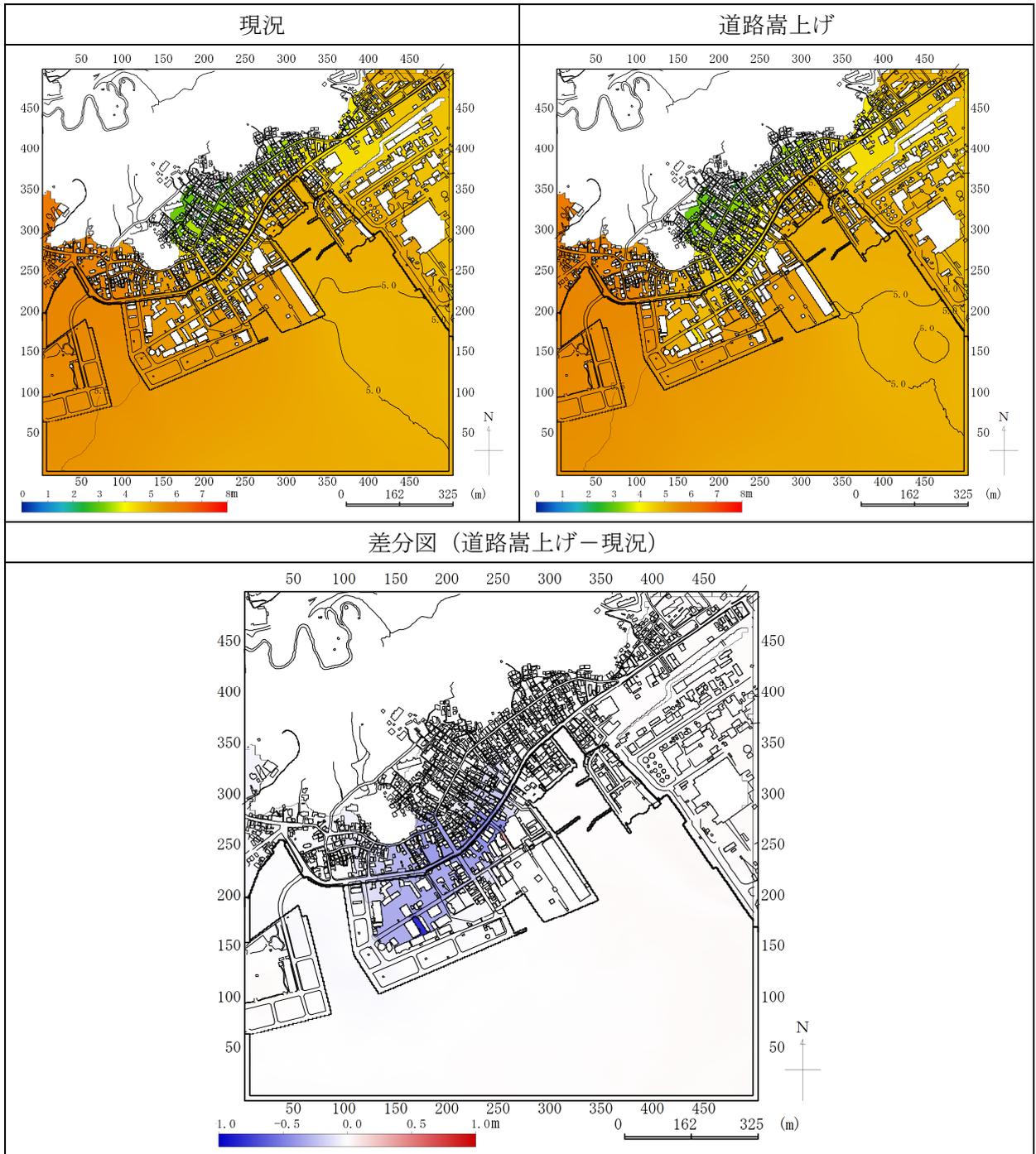


表 3-3-3 最大流速分布の比較 (橋港)

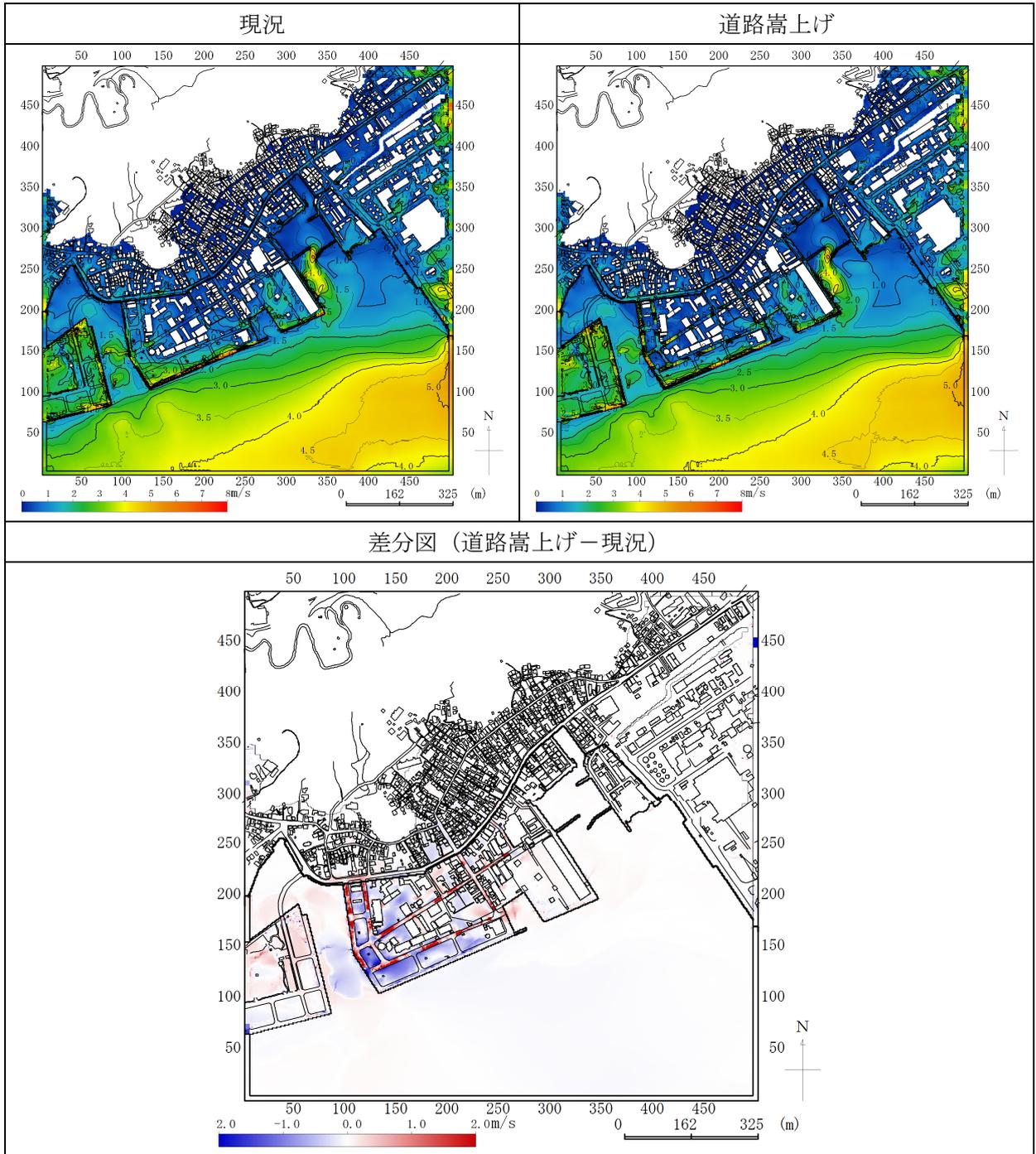
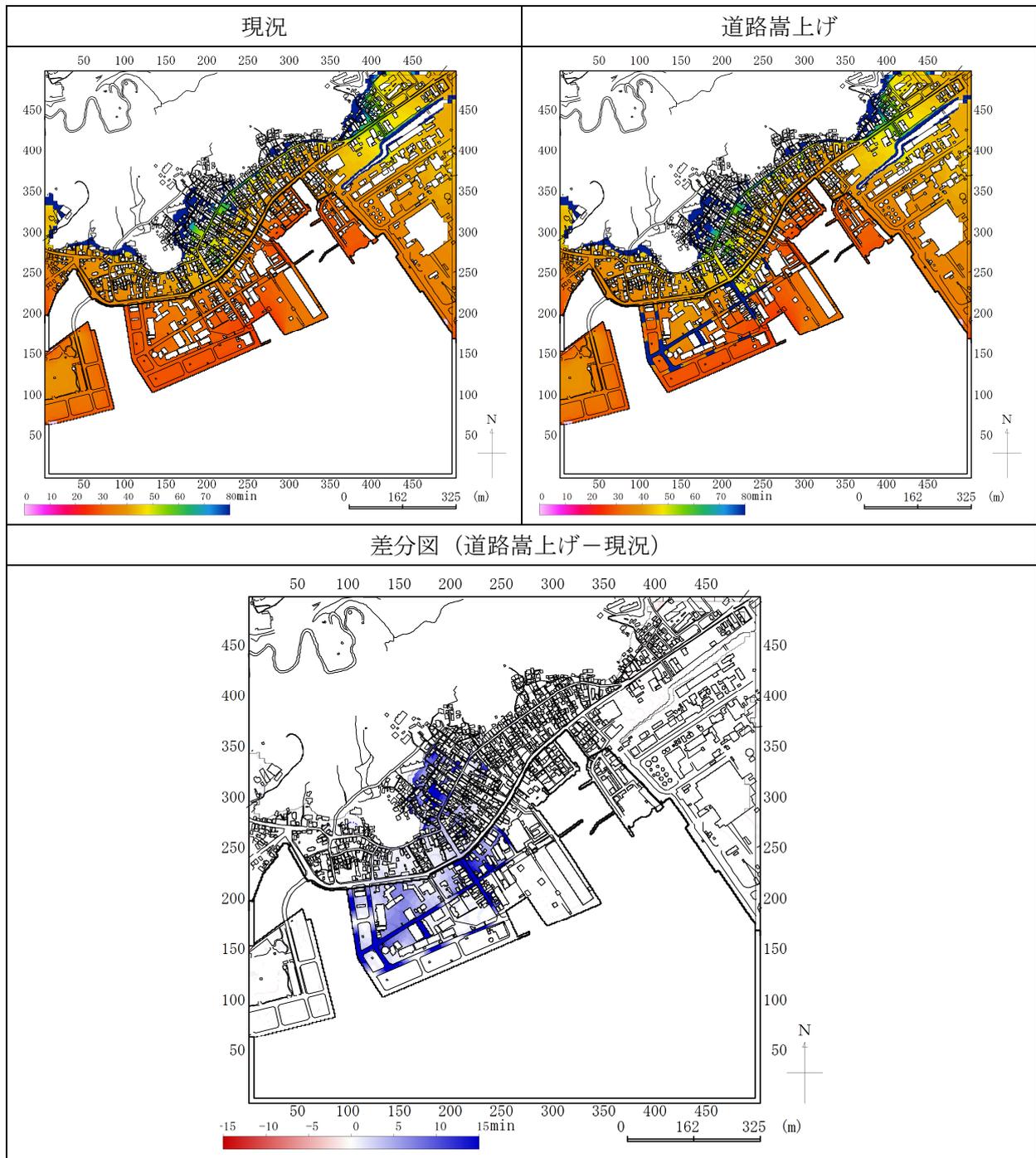


表 3-34 津波到達時刻の比較 (橘港)



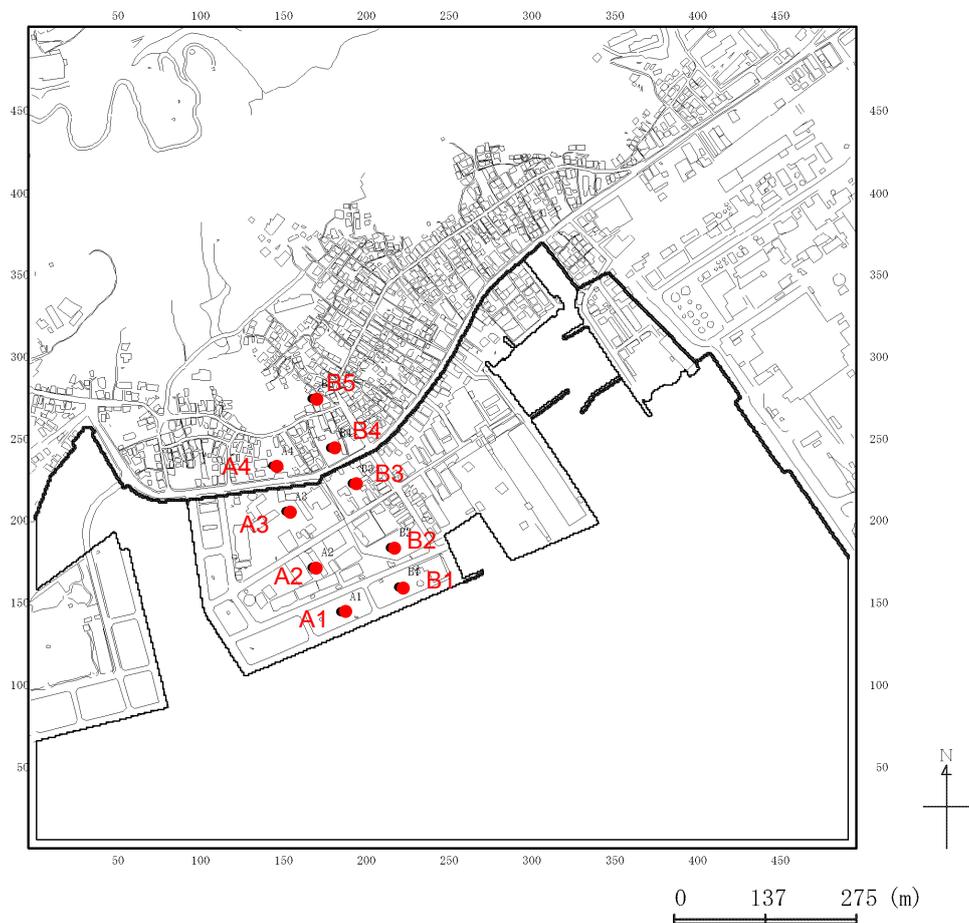


図 3 - 5 6 計算結果の抽出位置 (橘港)

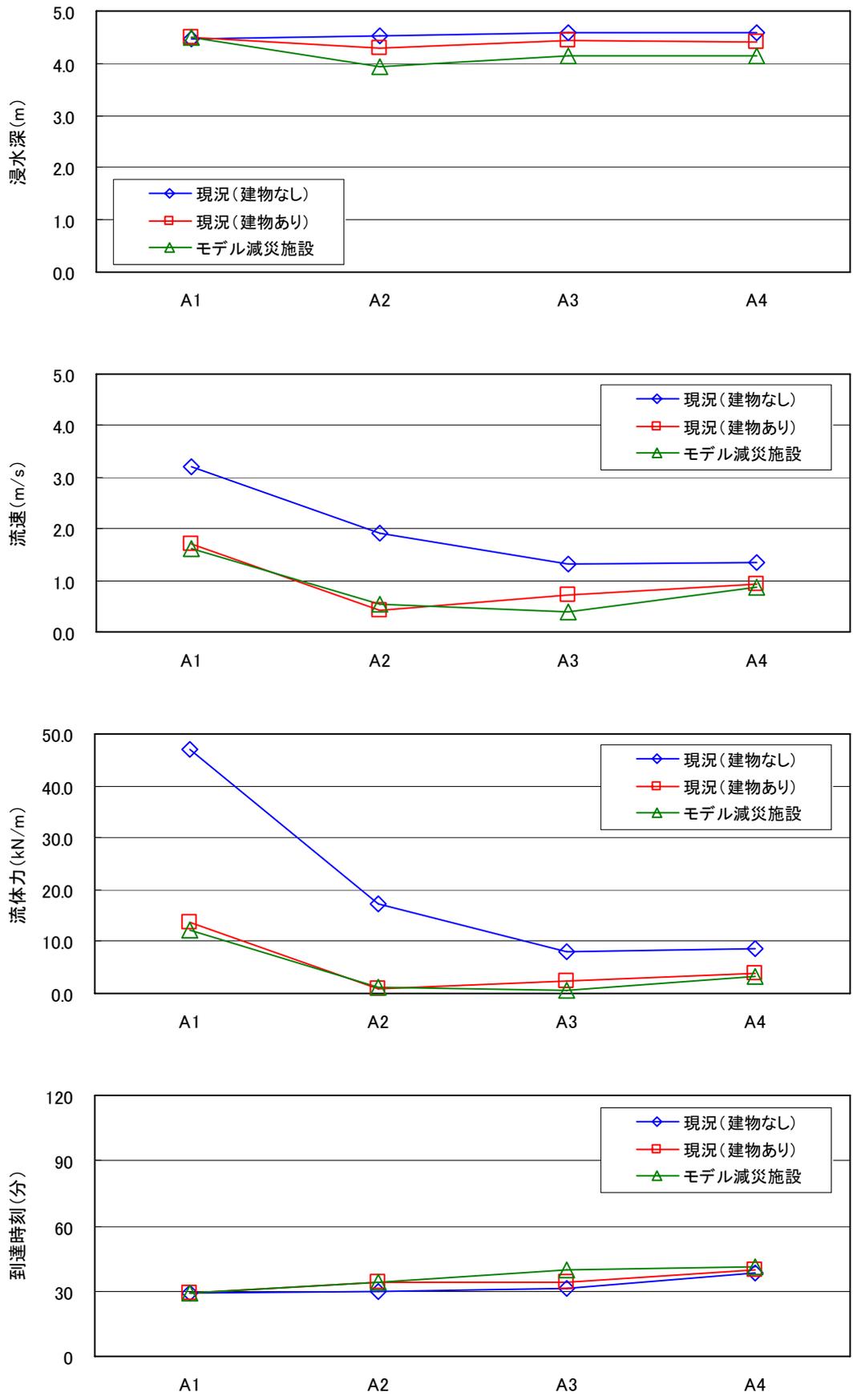


図3-57a 浸水深・流速・流体力・津波到達時刻の比較（橋港 測点 A1~A4）

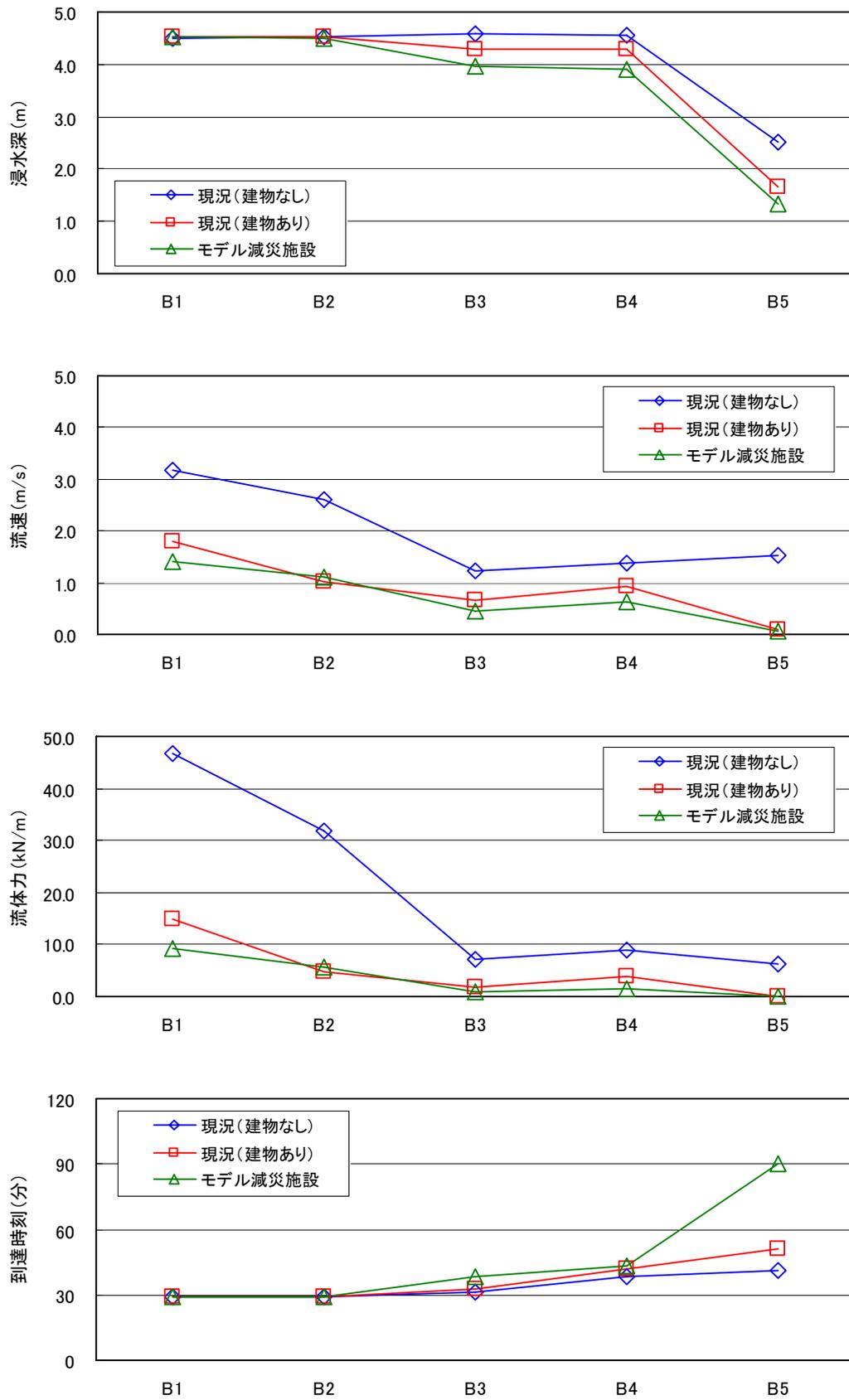


図 3-57b 浸水深・流速・流体力・津波到達時刻の比較（橋港 測点 B1~B5）

5-4 第3章における結論 施設の減災効果

以上のように、シミュレーション結果から、津波や高潮を完全に防護できない施設であっても、ある程度の高さ、広さを有する地盤の嵩上げやその上に建物を立地することにより、浸水深、流速、流体力、を減少させる効果があることが認められた。また、津波に関しては、到達時刻を遅らせる効果があることがわかった。

シミュレーションから得られる水位については、家屋浸水被害数、避難行動計画・避難地の検討に、流速については、流出・漂流物及び避難行動計画の検討に、到達時間については、避難時間の検討に、流体力については、構造物、特に避難場所の耐力の検討に使用することができる。

ただし、合成地盤高を用いたシミュレーション結果と模型実験結果との比較において、かならずしも十分な再現性が確認されたわけではないので、現地への適用に当たって、シミュレーションによる効果をどの程度見込むかについては、十分慎重に対応する必要がある。

参考文献

- 1) 運輸省第二港湾建設局：平成11年度東京湾高潮対策検討調査 平成12年3月
- 2) IPCC：第1作業部会第4次評価報告書政策決定者向け要約 (SPM) 2007年2月 (気象庁による翻訳資料)
- 3) 東京都港湾局：ホームページ「高潮からまもる2006」
- 4) 地震調査研究推進本部：海溝型地震の長期評価 (ホームページ) 2010年1月 (基準年)
- 5) 地震調査研究推進本部：南海トラフの地震の長期評価について (ホームページ) 2001年9月
- 6) 安田・平石・永瀬・島田：流体直接解析法による臨海部の浸水リスク解析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 301-305 2003年
- 7) 油屋・今村：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年
- 8) 柿沼・富田・秋山：海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波の数値計算, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 286-290 2003年
- 9) 宮崎正衛：高潮の研究 成山堂書店
- 10) 内閣府中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会 (第4回) 資料 2002年3月
- 11) 建設省：河川砂防技術基準 (案) 同解説 調査編 p. 137
- 12) 石川健二・小谷野喜二・小田勝也・岡本修：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 沿岸技術研究センター研究論文集 No. 7 2007. 11
- 13) 岡本修・小田勝也・石川健二・田中聡：港湾施設の減災効果に関する地盤高モデルによる数値シミュレーション 土木学会海洋開発委員会 第33回海洋開発シンポジウム 2008. 07
- 14) 小田勝也・岡本修・杉浦淳・宮崎和行：水理模型実験による沿岸域の減災に関する検討 土木学会 第55回海岸工学講演会 2008. 11