

高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver2.00 技術資料

1. はじめに	1-1
1.1. 本資料の位置づけ	1-1
1.2. 令和元年房総半島台風（台風第 15 号）による被災実績を踏まえた点検	1-1
1.3. 家屋倒壊等氾濫想定区域の設定	1-2
1.4. 気候変動の影響	1-3
2. 想定台風の移動速度・最大旋衡風速半径についての感度分析の例	2-1
2.1. 対象海域の設定	2-1
2.2. 計算手法・計算条件	2-3
2.2.1. 台風コースの設定	2-4
2.2.2. 感度分析の対象とする移動速度の設定	2-5
2.2.3. 感度分析の対象とする最大旋衡風速半径の設定	2-7
2.3. 想定台風の移動速度・最大旋衡風速半径についての感度分析の結果	2-8
2.3.1. 潮位偏差・波浪・越波流量の移動速度に対する感度分析の結果	2-8
2.3.2. 潮位偏差・波浪・越波流量の最大旋衡風速半径に対する感度分析の結果	2-16
2.4. 検討事例	2-25
2.4.1. 神奈川県相模灘沿岸の事例	2-25
2.4.2. 静岡県の事例	2-35
3. 海岸護岸周辺の地形条件についての感度分析の例	3-1
3.1. 対象地区の設定	3-1
3.2. 計算手法・計算条件	3-2
3.3. 検討ケース	3-3
3.4. 波浪・高潮の再現性確認	3-4
3.5. 浸水範囲の再現性確認	3-5
3.6. 浸水範囲の感度分析結果	3-7
4. 家屋倒壊等氾濫想定区域の検討	4-1
4.1. 氾濫水の流れによる家屋倒壊条件	4-1
4.2. 越波による家屋倒壊条件	4-3
5. 気候変動を踏まえた台風・低気圧による想定最大規模の高潮・波浪の検討例	5-1
5.1. 対象地区の設定	5-1
5.2. 計算手法・計算条件	5-2
5.2.1. 気候変動の影響を考慮した想定最大台風の設定事例	5-5

5.2.2.	気候変動の影響を考慮した想定最大低気圧の設定事例	5-6
5.3.	計算結果	5-8
5.3.1.	想定最大台風による波浪・高潮の変化	5-8
5.3.2.	想定最大低気圧による波浪・高潮の変化.....	5-14

1. はじめに

1.1. 本資料の位置づけ

農林水産省及び国土交通省は、平成 27 年 2 月に「高潮水防の強化に関する技術検討委員会」（委員長：磯部雅彦 高知工科大学学長）を設置し、最大規模の高潮に関する浸水想定作成に当たって必要となる想定し得る最大規模の高潮の設定方法、堤防等の決壊・越流条件等の技術的な事項について関係有識者の意見を聴き、平成 27 年 7 月に「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver.1.00」を作成した。その後、平成 29 年 7 月に高潮浸水想定区域図作成における海面抵抗係数の設定に関する通知を発出して「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver.1.00」の内容を補強するとともに、令和元年 6 月には浸水継続時間の表示色を変更した「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver.1.10」を公表した。

都道府県においては高潮浸水想定区域図の作成が進められているが、検討実績が蓄積されてきたこと、高波の影響を考慮した高潮浸水シミュレーションの検討を加速する必要があること、令和元年房総半島台風（台風第 15 号）に伴う高波によって高潮浸水想定区域を越えて浸水が発生した事例があったこと及び調査・研究等による知見を踏まえて見直しを行う必要があることなどから、令和 2 年 2 月に「高潮浸水想定区域図に関する検討会」（座長：磯部雅彦 高知工科大学学長）を設置し、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」を点検し、改定に向けた検討を行い、令和 2 年 6 月に、「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver.2.00」（以下、「手引き」と呼ぶ）を公表した。

本資料は、手引きを実務で活用する際の参考資料として、手引きの改定に向けた点検の中で実施した技術検討内容を整理すると共に、改定後の手引きを用いた各自治体の検討事例を示すものである。手引きの改定に向けた点検の中で特に論点となった事項は以下の通りである。

1.2. 令和元年房総半島台風（台風第 15 号）による被災実績を踏まえた点検

令和元年台風第 15 号は、令和元年 9 月 5 日に発生し、観測史上最強クラスの勢力で 9 月 9 日に関東地方に上陸、首都圏に被害を及ぼした。

この台風の高波により甚大な被害を受けた神奈川県横浜市金沢区福浦地区では、高波による浸水が、神奈川県が平成 31 年 4 月に指定・公表した高潮浸水想定区域を越えて発生した。台風の上陸時の中心気圧は 960hPa、移動速度は 25 km/h、最大旋衡風速半径は約 25km であったと推定される。これは、高潮浸水シミュレーションの際に設定した想定台風（中心気圧：910hPa、移動速度：73 km/h、最大旋衡風速半径：75km）よりも勢力が弱い。想定最大規模と想定して設定したよりも規模の小さい台風により、高潮浸水想定区域を越える浸水が生じたことになる。

この浸水想定区域外で浸水が発生した原因は、高潮浸水想定検討段階で、以下の 3 点について留意していなかったためと考えられた。

- ① 高潮浸水シミュレーションでは、観測史上最大クラスの台風である伊勢湾台風の移動速度・最大旋衡風速半径を想定台風の諸元として採用したが、移動速度が小さい、または最大旋衡風速半径の小さな台風の方が危険となる場合があること。
- ② 高潮浸水シミュレーションでは、危険側の想定として、横浜市金沢区福浦地区の護岸のパラペットを考慮していなかったが、当該地区のように背後が緩やかな上り傾斜となっている地

域では、護岸のパラペットが残置される場合の方が、排水阻害により浸水が広がる場合があること。

- ③ 高潮浸水シミュレーションでは、横浜市金沢区福浦地区の民有護岸の形状を正確に把握できなかったため、越波流量の算定方法によっては、護岸の天端高のみでなく堤脚水深等も可能な限り正確に設定しないと、越波流量を過小評価する可能性があること。

手引きでは、①を踏まえ、波浪の影響が大きい海岸では、波高が最大となるような台風のコースも採用すると共に、その地域で考えられる範囲で、対象海岸にとって最も危険な移動速度を設定することを新たに示した(手引き p.15、p.20)。また、②、③を踏まえ、民有護岸や、海岸護岸周辺の地形条件の精査の重要性を新たに指摘している(手引き p.31、p.38)。さらに、護岸が残置されることで排水が阻害され浸水が広がる場合があることから、護岸が破壊されない場合の浸水計算を行うことを新たに推奨している(手引き p.34)。

本資料では、これらの設定・考え方に関する参考事例として、「2 想定台風の移動速度・最大旋衡風速半径についての感度分析の例」において、移動速度や最大旋衡風速半径による高潮・高波の変化について示した。

また、「3 海岸護岸周辺の地形条件についての感度分析の例」では、海岸護岸周辺の地形条件の精査により高波浸水の再現性を確保できた事例や、護岸の破壊条件によって浸水範囲が著しく変化した事例を示した。

なお、本資料に記載する「台風のコース」という表現は、手引き p.19 の「台風の経路」と同義である。

1.3. 家屋倒壊等氾濫想定区域の設定

洪水浸水想定では、最大浸水深・浸水継続時間に加え、氾濫流及び河岸侵食による家屋の流失・倒壊の可能性がある範囲を、家屋倒壊等氾濫想定区域として示している。改定前の手引きでは、家屋倒壊等氾濫想定区域の設定について記載していなかったが、近年の高潮により家屋が被災した事例もあり、家屋倒壊等氾濫想定区域を設定することに対する自治体のニーズが高まっている。

高潮について家屋倒壊等氾濫想定区域を設定する際には、洪水氾濫や津波氾濫の考え方に加え、高潮の特性を踏まえた設定方法も検討する必要がある。例えば、平成16年10月の台風第23号により、高知県室戸市の菜生^{なほえ}海岸で、海岸堤防が約30mにわたり倒壊すると共に、越波により背後の家屋13戸が被災し3名が亡くなる被害が生じた。この災害では、越波により5棟が全壊、7棟が半壊・一部損壊に至った一方、床上浸水は6棟のみであり、越波による被害が卓越していた。高潮浸水想定において家屋倒壊等氾濫想定区域を設定する際には、氾濫流による家屋倒壊のみでなく、越波が直接作用することによる家屋倒壊も考慮する必要があると言える。

以上を踏まえ、本資料ではまず、高潮浸水想定において家屋倒壊等氾濫想定区域を設定するための参考として、洪水、津波、高潮による家屋倒壊に関する既往の研究事例を整理した。さらに、平成16年の菜生海岸の被災事例のように、越波が直接作用することで家屋が倒壊に至る場合があることを踏まえ、越波による家屋倒壊等氾濫想定区域の設定方法についても整理を行った。

1.4. 気候変動の影響

海岸行政では、「沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性」(平成 27 年 7 月)において、「海象のモニタリングを行いながら気候変動による影響の兆候を的確に捉え、背後地の社会経済活動及び土地利用の中長期的な動向を勘案して、ハード・ソフトの施策を最適な組み合わせ(ベストミックス)で戦略的かつ順応的に進めることで、『高潮等の災害リスク増大の抑制』及び『海岸における国土の保全』を図ることが適当である」としている。

また、国土交通省は農林水産省と共同で「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」(座長:佐藤慎司高知工科大学教授)を令和元年 10 月から 7 回にわたり開催し、海岸における気候変動適応策を具体化すべく、気候変動に伴う平均海面水位の上昇や台風の強大化等による沿岸地域への影響及び今後の海岸保全のあり方や海岸保全の前提となる潮位や波浪の考え方、気候変動を踏まえた整備手法等について検討を行った。

これらの検討を踏まえ、手引き(p.58)においても、「最新の状況に留意し、気候変動が沿岸に及ぼす影響に関する研究成果や海岸保全施設の整備等の適応策に関する情報を十分に活用できる場合には、必要に応じて、気候変動に伴う海面上昇や台風の将来変化を見込んだ高潮浸水想定を行う」こととしている。

そこで本資料では、想定最大規模の高潮・高波を生じる台風・低気圧に気候変動の影響を考慮する際の参考事例として、「5 気候変動を踏まえた台風・低気圧による想定最大規模の高潮・波浪の検討例」に、高潮・高波の増加量を簡便な方法で評価した事例を整理した。

2. 想定台風の移動速度・最大旋衡風速半径についての感度分析の例

【本章の目的】

手引き (p. 15、p. 20) では、波浪の影響が大きい海岸では、波高が最大となるような台風のコースも採用すると共に、その地域で考えられる範囲で、対象海岸にとって最も危険な移動速度を設定することを新たに示した。また、基本以外の台風条件 (移動速度、最大旋衡風速半径) についての感度分析を新たに推奨している (手引き p. 17 参照)。

参考として、横浜市金沢区福浦地区と鎌倉海岸の2海岸での、台風の移動速度・最大旋衡風速半径についての感度分析の試算例を示す。また、神奈川県、静岡県で危険な台風コース・移動速度を設定した事例を示す。

なお、本章に示すような、台風の移動速度・最大旋衡風速半径と高潮・高波の関係に関する知見は、表 2.1 に示すような海岸固有の特徴のものである。したがって、本検討の事例で得られた知見が、そのまま他の海岸に適用できるとは限らない。手引きを用いて実務を行う際は、本資料に示す検討方法や、2.4 節の事例を参考にしつつ、対象海域ごとに感度分析を行い、台風の移動速度・最大旋衡風速半径の影響について個別に調べる必要がある。

2.1. 対象海域の設定

対象海域は、表 2.1 の2海域とした。対象海域の位置図を図 2.1 に示す。

表 2.1 対象海域の設定

番号	海域名	選定理由	海岸の特徴
1	神奈川県横浜港海岸 金沢地区福浦周辺 (以下、「福浦地区」と呼ぶ)	移動速度が比較的遅く、最大風速半径の小さな台風であった令和元年台風第15号により高波被害を生じた海岸であること。	東京湾の湾口の浦賀水道に位置するため、外洋からの進入波と湾内発生波、湾特有の顕著な高潮の影響を受ける。また、埋め立て地であるため、前面水深が来襲波浪に対して深く、砕波前の波浪が直接沿岸部に作用する。
2	神奈川県鎌倉海岸 (以下、「鎌倉海岸」と呼ぶ)	相模灘に面している上に、護岸高が比較的低いため、高波被害のリスクが高いと想定される海岸であること。	相模灘に面しており、吹き寄せの影響は比較的小さいが、高波浪にさらされる上に前面に岩礁が分布しており、砕波によるウェーブセットアップの影響が大きい。海岸には、砕波後の波浪が作用する。



図 2.1 対象海域の位置図

2.2. 計算手法・計算条件

計算手法・計算条件の概要は、表 2.2 に示すとおりである。

表 2.2 計算条件一覧

項目		設定	出典
計算手法	気圧推算	Myers 式	手引き ¹ p. 42
	風推算	台風モデル	手引き p. 42
	波浪	第 3 世代波浪推算モデル : SWAN ver41.31A	手引き p. 43
	高潮(海域)	非線形長波方程式(風、気圧、波浪の影響を考慮)	手引き p. 45
	越波流量	由比ら(2019)により改良された、打上げ・越波統合算定モデル(IFORM)を用いた	由比ら(2019) ²
台風条件		① 福浦地区 : 13 コース×3 速度×3 最大旋衡風速半径 ② 鎌倉海岸 : 25 コース×3 速度×3 最大旋衡風速半径	
潮位条件		① 東京湾沿岸高潮浸水想定の高潮条件 : T. P. +1.04m (期望平均満潮位 T. P. +0.90m+異常潮位 0.14m) ② 相模灘沿岸高潮浸水想定の高潮条件 : T. P. +0.99m (期望平均満潮位 T. P. +0.85m+異常潮位 0.14m)	
風推算条件	風の変換係数	C1=C2=0.75	手引き p. 42
	吹き込み角	30 度	手引き p. 42
波浪推算条件	地形モデル	神奈川県津波浸水想定で用いられた地形データを使用	
	計算格子間隔	21870m⇒7290m⇒2430m⇒810m⇒270m⇒90m	
	計算時間間隔	300s (陰解法による差分のため C. F. L. 条件の制約を受けない)	SWAN マニュアル ³
	周波数・方向分割数	方向分割数 : 24 ($\delta\theta=15^\circ$) 周波数分割数 : 25 ($f=0.05\sim 0.5$, $\delta f\cong 0.1f$)	SWAN マニュアル
	波浪発達・減衰白波砕波モデル	KOMEN(1984)のモデル	SWAN マニュアル
高潮推算条件	地形モデル	航空レーザ測量等に基づく地形データを採用	
	格子間隔	2430m⇒810m⇒270m⇒90m	
	計算時間間隔	C. F. L. 条件を満足するように設定した	
	海面抵抗係数	本多・光易(1980)の方法を基本とし、風速 45m/s 以上については定数を一定とした	手引き p. 46
	構造物条件	結果の評価を明快にするため、港の防波堤等の沖合施設は考慮しなかった	
	粗度条件	海域のみを対象とするため、粗度条件はマンシングの粗度係数=0.025 ($m^{-1/3}s$) で一定とした	

¹: 高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver2.00

²: 由比政年, 大谷直也, 間瀬肇, 金洙列, 榎田真也. (2019). 打上げ・越波統合算定モデルの越波量推定精度向上に関する研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 75(2), 1_739-1_744.

³: SWAN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOKUMENTATION, SWAN CycleIII version 41.31A (The SWAN team, Delft University of Technology)

2.2.1. 台風コースの設定

表 2.1 の対象海岸にとって危険となる台風のコースを、高潮・波浪の感度分析の対象に選定した。危険となる台風のコースは、神奈川県による「東京湾高潮浸水想定検討会」及び「相模灘高潮浸水検討会」での検討結果を参考に、図 2.2 に示すとおりに設定した。

コース数は、福浦地区で 13 コース、鎌倉海岸で 25 コースである。

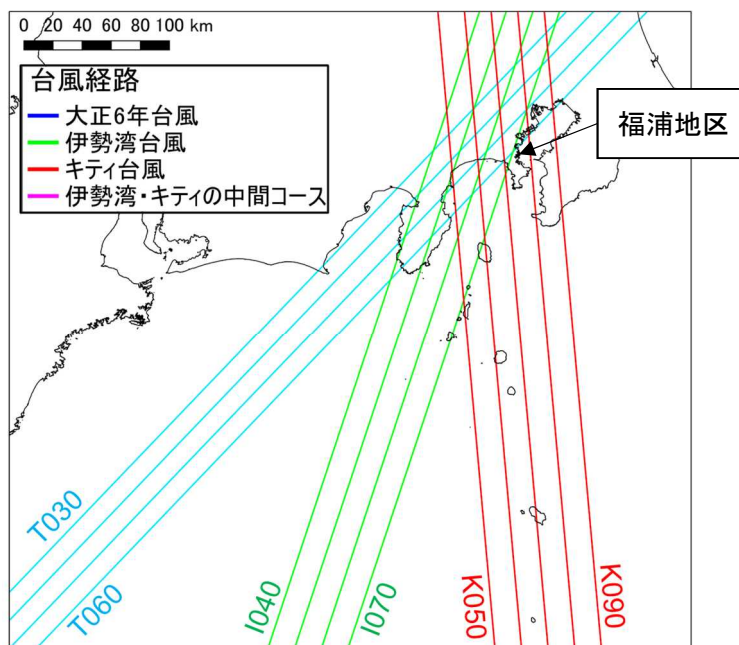


図 2.2(1) 福浦地区についての検討の対象とする台風コース

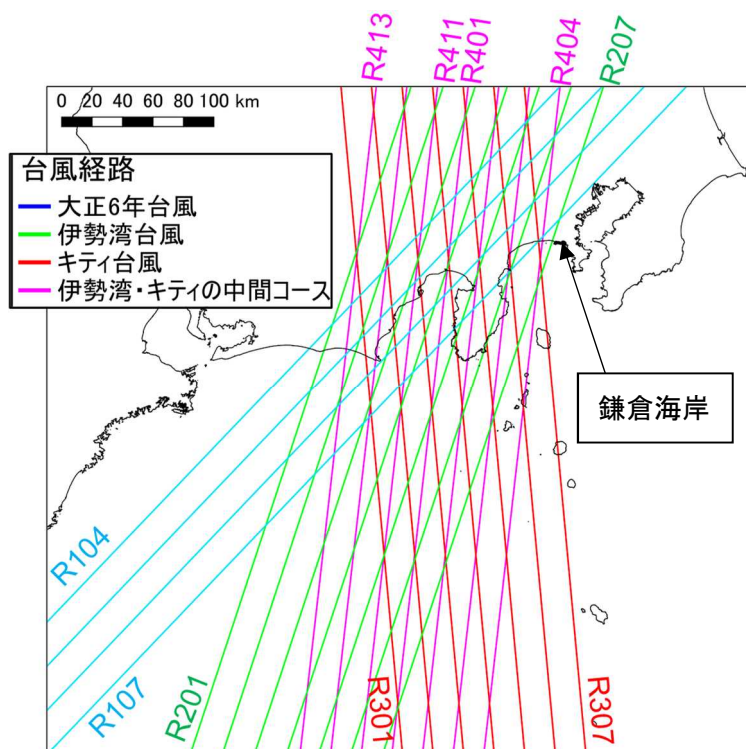


図 2.2(2) 鎌倉海岸についての検討の対象とする台風コース

2.2.2. 感度分析の対象とする移動速度の設定

東京湾・相模灘の周辺を通過した既往台風を、気象庁ベストトラックデータより抽出し、この特性を整理した。整理の結果から、台風の移動速度の感度分析の対象とする、代表的な移動速度を3通り設定した。

(1) 既往台風の特性の整理

代表的な台風の移動速度の設定にあたり、東京湾・相模灘周辺を通過する台風の特性を把握するための整理を行った。具体的には、まず、図 2.3 の赤枠内を通過した台風のうち、発生から消滅までの全期間の最低中心気圧が 980hPa 以下の台風を、気象庁ベストトラックデータより抽出した。次に、抽出した台風の緯度と移動速度の関係を図 2.4 のとおりに整理した。図 2.4 では、ひとつなぎの折れ線が、それぞれの台風の発生から消滅までの緯度－移動速度の時間変化を表している。

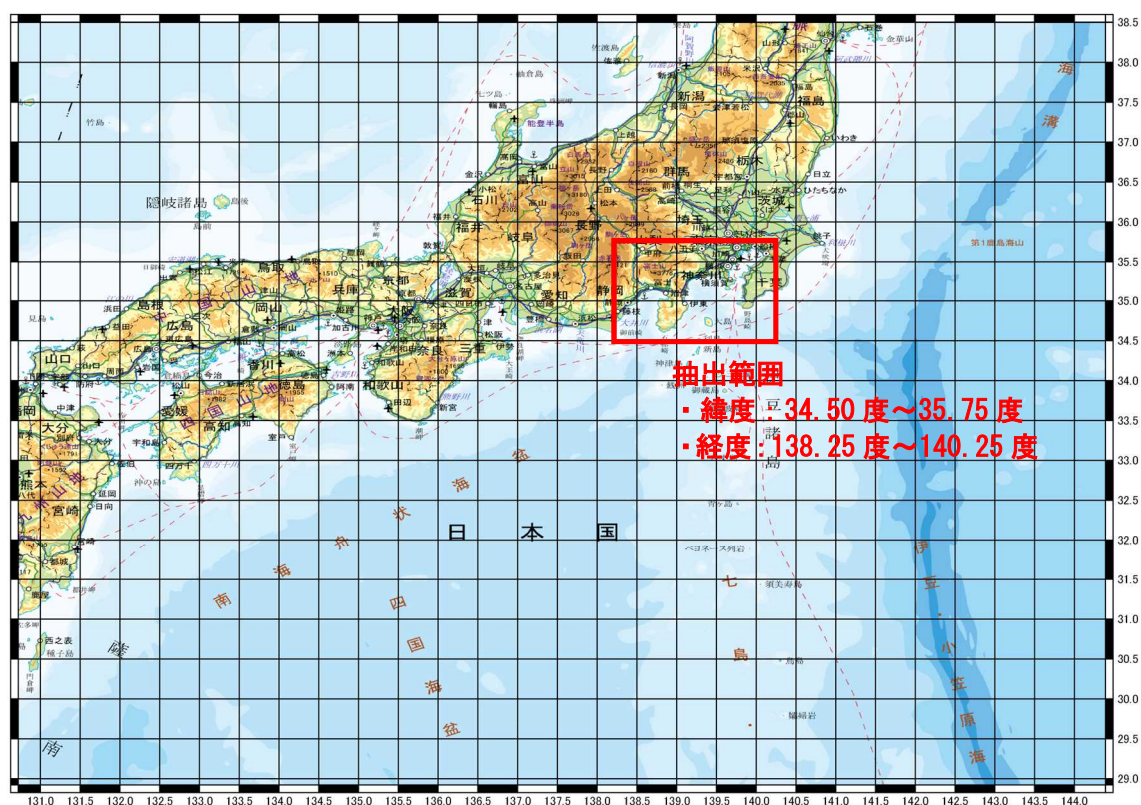


図 2.3 既往台風の抽出範囲

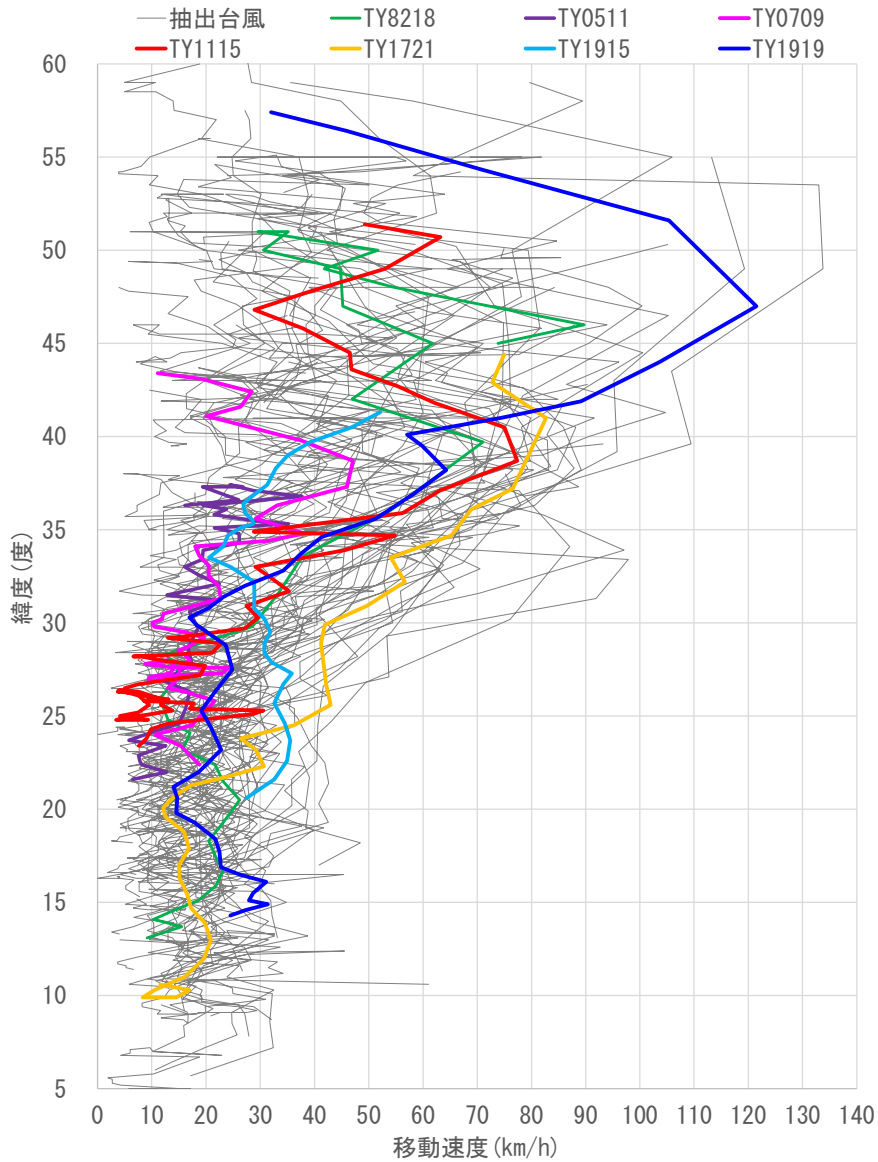


図 2.4 台風毎の移動速度－緯度の関係の重ね合わせ図

図 2.4 より、以下のことが読み取れた。

- ① 東京湾・相模灘周辺を通過した台風の移動速度は、15km/h～100km/h の間で幅広に分布していた。
- ② 近年、東京湾・相模灘で被害を生じた 7 つの台風(1982 年台風第 18 号、2005 年台風第 11 号、2007 年台風第 9 号、2011 年台風第 15 号、2017 年台風第 21 号、2019 年台風第 15 号、2019 年台風第 19 号)に限った場合でも、緯度 35 度周辺を通過した際の移動速度は 25km/h～70km/h と幅があり、台風によって、移動速度が大きく異なっていることが分かった。

(2) 代表的な台風の移動速度の設定

「(1)既往台風」の整理を踏まえ、代表的な移動速度として 3 通りを設定した。設定の考え方は、表 2.3 のとおりである。

表 2.3 台風の移動速度の設定

設定値	設定の考え方
73 km/h	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定最大規模の高潮を生じる台風の移動速度 ・ 東京湾・相模灘で過去に被害を生じた台風の移動速度の上限と同等以上より、台風の移動速度の感度分析の上限値に設定
20 km/h	<ul style="list-style-type: none"> ・ 東京湾・相模灘周辺を通過した既往台風の移動速度の下限值以上より、台風の移動速度の感度分析の下限值に設定
30 km/h	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近年、東京湾・相模灘で被害を生じた主な台風(7 台風)うち 4 台風は、緯度 35 度周辺を通過時の移動速度が 30km/h であった。 以上より、台風の移動速度の感度分析の中間値に設定

2.2.3. 感度分析の対象とする最大旋衡風速半径の設定

本多・鮫島(2018)は、既往台風の最大風速半径(=最大旋衡風速半径)に対する分析から、台風を中心気圧毎の風速半径の確率分布を導いた。この確率分布によれば、台風を中心気圧が本検討の設定値である 910hPa である場合の風速半径の確率分布は、図 2.5 のとおりである。風速半径が 20km 以下、または 75km 以上となるのは全体の数パーセントと推定できたため、これらの値を風速半径の上限・下限として採用した。さらに、中間の値として、確率分布における最頻値である 30km も採用した。

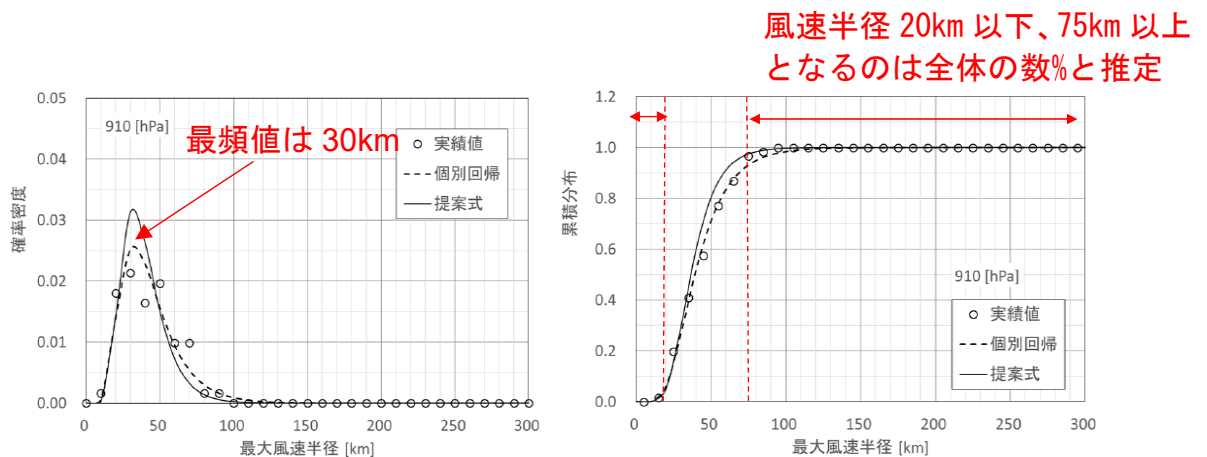


図 2.5 中心気圧が 910hPa の台風の最大風速半径の確率分布

2.3. 想定台風の移動速度・最大旋衡風速半径についての感度分析の結果

2.3.1. 潮位偏差・波浪・越波流量の移動速度に対する感度分析の結果

各海岸にとって最も危険な台風の移動速度の分析を行った。高潮浸水想定区域図が様々な条件の計算結果の最大包絡であることを踏まえると、ここでは、移動速度ごとに潮位偏差・波高が最大となるもののみ着目すればよい。そこで、各地点・移動速度における最大潮位偏差、最大有義波高の全コース中の最大値を、図 2.6～図 2.9 の 1 段目に整理した。なお、最大旋衡風速半径については、手引きに準じた値である 75km のもののみを整理した。

また、台風の移動速度によって、各海岸の危険コースがどのように変化するかを確認した。1 段目の図より、最大潮位偏差や最大有義波高の沿岸分布の傾向が移動速度によって大きく変わらないことが確認できたため、各コース・移動速度における最大潮位偏差、最大有義波高の全地点中の最大値のみを図 2.6～図 2.9 の 2 段目に整理した。

さらに、台風の移動速度やコースが越波量に与える影響を把握するため、移動速度別・コース別の累積越波量を図 2.10、図 2.11 に整理した。

- ・ 図 2.6 より、福浦地区の最大潮位偏差が最も大きくなる移動速度は 73km/h で、次いで 20km/h、30km/h であった。この傾向は、特にキティ台風で顕著であった。移動速度と共に最大潮位偏差が大きくなるような、線形な関係にはないことが分かる。

移動速度が遅くなると最大風速が小さくなるため、これに伴って吹き寄せ効果が小さくなることで潮位偏差が減少すると想定される。一方、移動速度が変化することで、旋衡風の風向(キティ台風では移動速度が小さくなると西に傾く)等の変化も生じるため、移動速度を小さくしても、必ずしもすべての地点で潮位偏差が小さくなるわけではないと考える。

- ・ 図 2.7 より、鎌倉海岸では、移動速度 73km/h と 30km/h の最大潮位偏差が同等で、移動速度 20km/h の潮位偏差がこれらよりもやや低くなった。

鎌倉海岸は外洋に面しているため吹き寄せの影響は小さく、潮位偏差は吸い上げ効果とウェーブセットアップで概ね決まる。ここで、図 2.9 によれば、移動速度 73km/h、30km/h、20km/h の順に最大波高が大きくなっているため、73km/h の方が 30km/h よりもウェーブセットアップが大きかったと推測できる。一方、移動速度が小さくなると、潮位偏差と有義波高のピークの時間差が短くなり、最高潮位が高くなりやすい。ウェーブセットアップによる水位上昇量は移動速度 73km/h の方が大きかったが、移動速度 30km/h の方が吸い上げとウェーブセットアップのピークの時間差が短かったため、これらの相乗効果により、30km/h と 73km/h の潮位偏差が同等となったと考える。

- ・ 図 2.8 より、福浦地区では、移動速度 20km/h、30km/h、73km/h の順で有義波高が大きくなっていた。一方、鎌倉海岸では、73km/h、30km/h、20km/h の順であった。

台風の移動速度が小さくなると最大風速は減少する。一方、風の吹送時間は増加する。このため、移動速度の変化に伴う波高の変化は、海域の波浪の発生・発達の特性によって異なる。移動速度と有義波高は必ずしも線形な関係にあるとは限らず、後述の図 2.27 のように、ある特定の移動速度の場合に有義波高が最大となる場合もある。

- ・ 図 2.10 より、福浦地区では移動速度 20km/h の場合に累積越波量が最大となった。福浦地区では、移動速度 20km/h の場合の潮位偏差・有義波高が共に最も大きかったことに加え、移動速度 20km/h の場合の越波継続時間が最も長いためである。
- ・ 図 2.11 より、鎌倉海岸では移動速度 30km/h の場合に累積越波量が最大となった。鎌倉海岸では、移動速度 73km/h の潮位偏差・有義波高が最も大きかったものの、越波継続時間は移動速度 30km/h の方が長いため、逆転が生じたものとする。

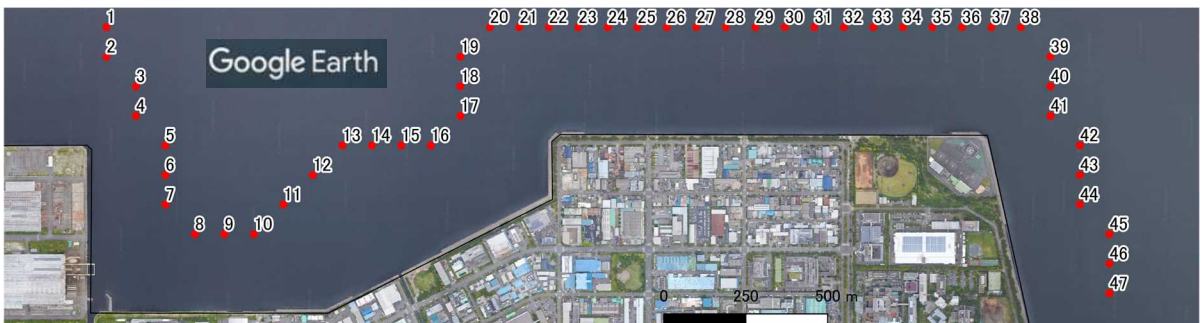
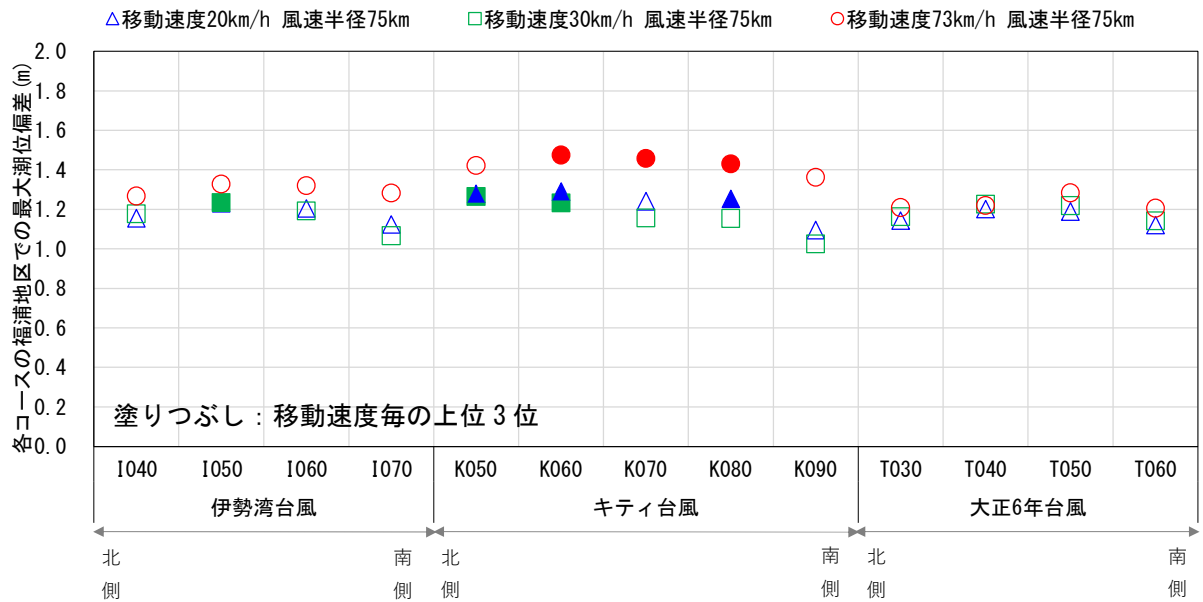
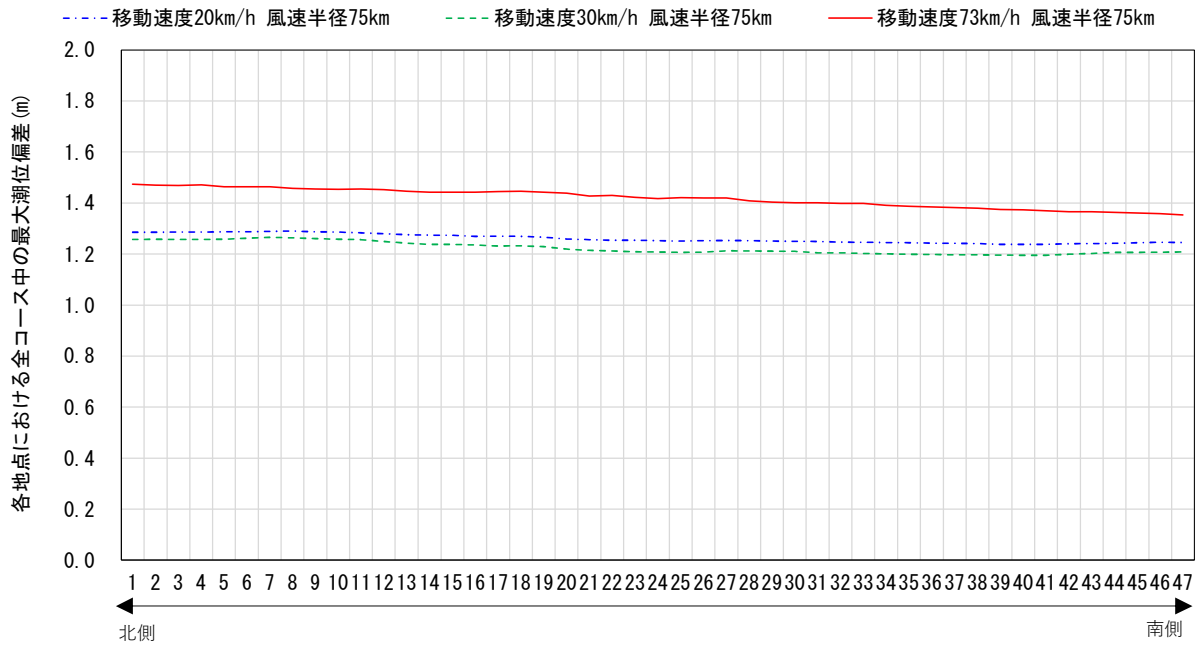


図 2.6 福浦地区における移動速度別・抽出地点別の最大潮位偏差(1 段目)、コース別・移動速度別の最大潮位偏差 (2 段目)、抽出地点位置図(3 段目)

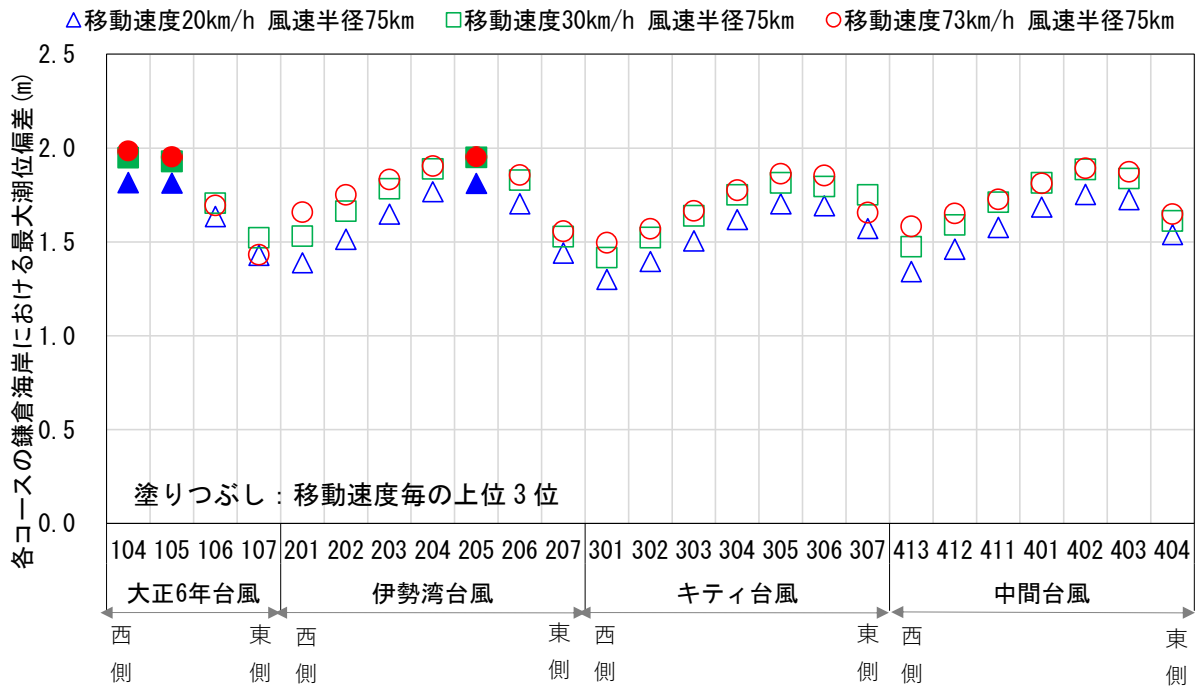
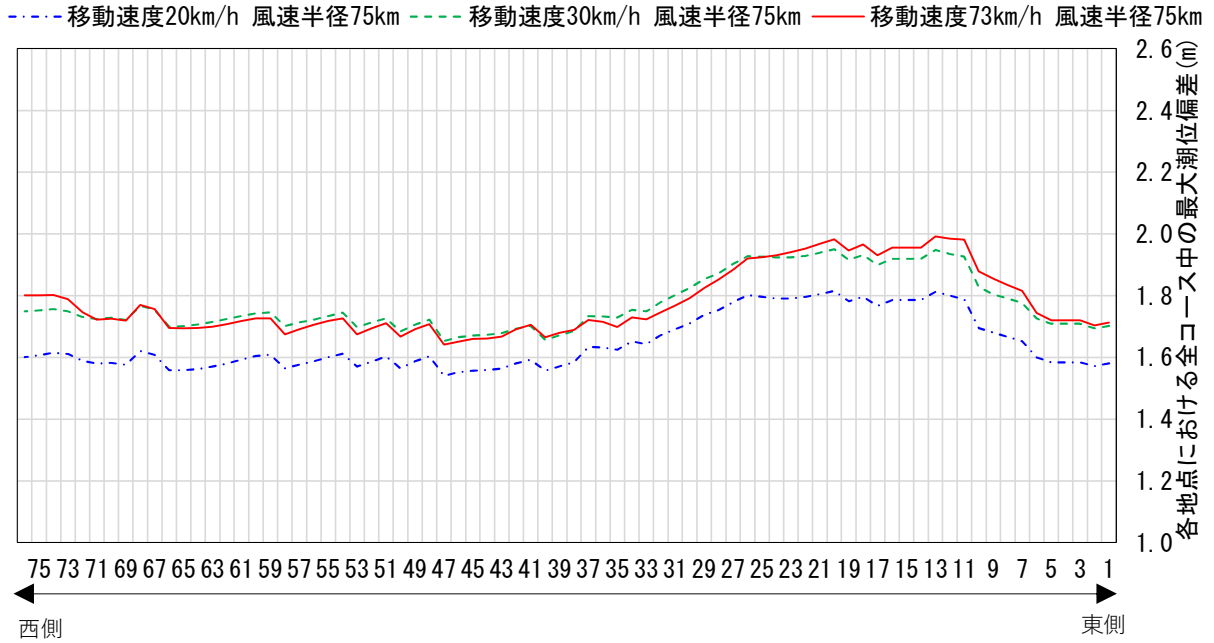


図 2.7 鎌倉海岸における移動速度別・抽出地点別の最大潮位偏差(1 段目)、コース別・移動速度別の最大潮位偏差(2 段目)、抽出地点位置図(3 段目)

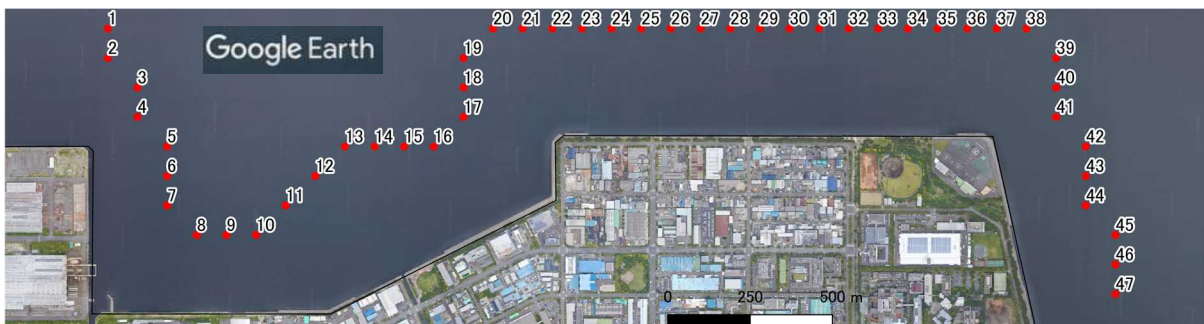
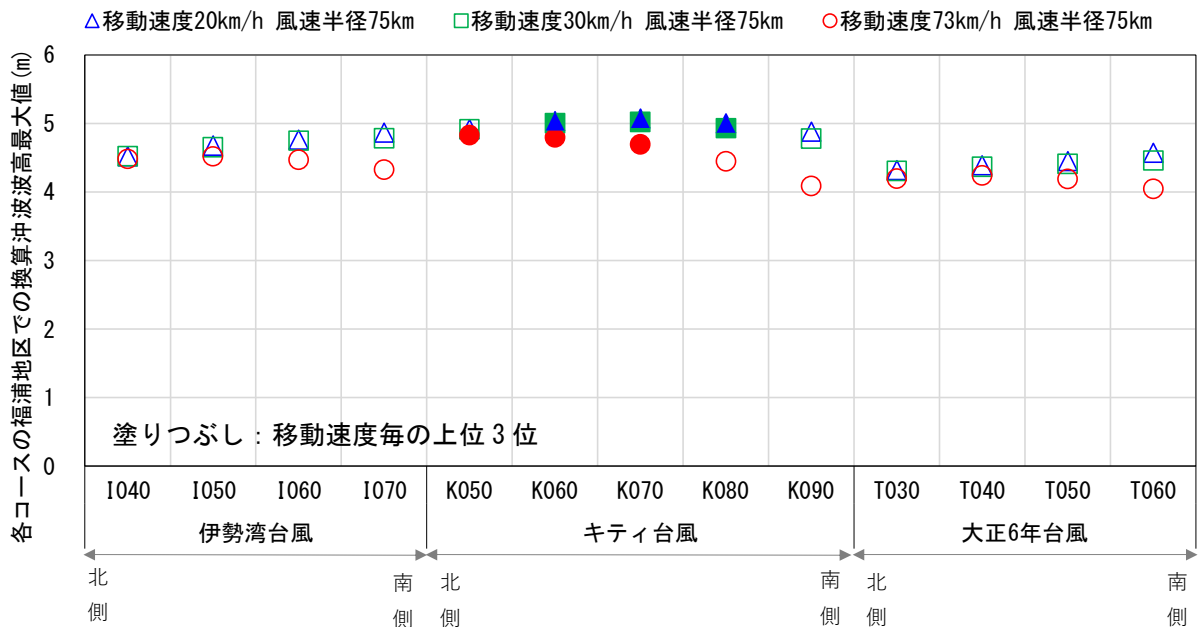
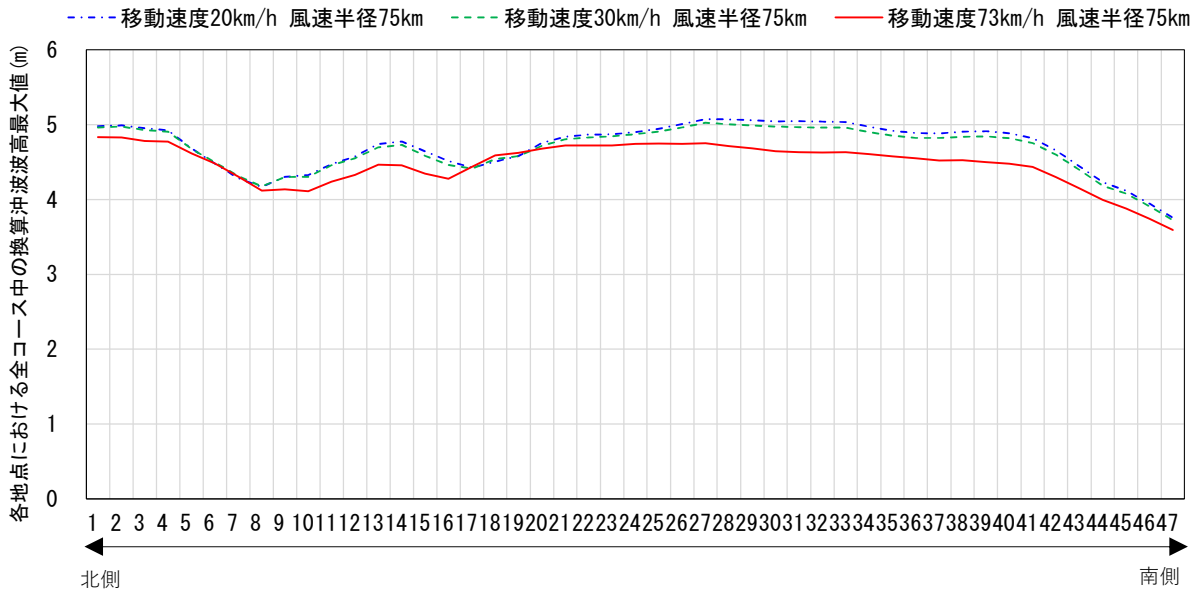


図 2.8 福浦地区における移動速度別・抽出地点別の最大波高(1 段階)、コース別・移動速度別の最大波高(2 段階)、抽出地点位置図(3 段階)

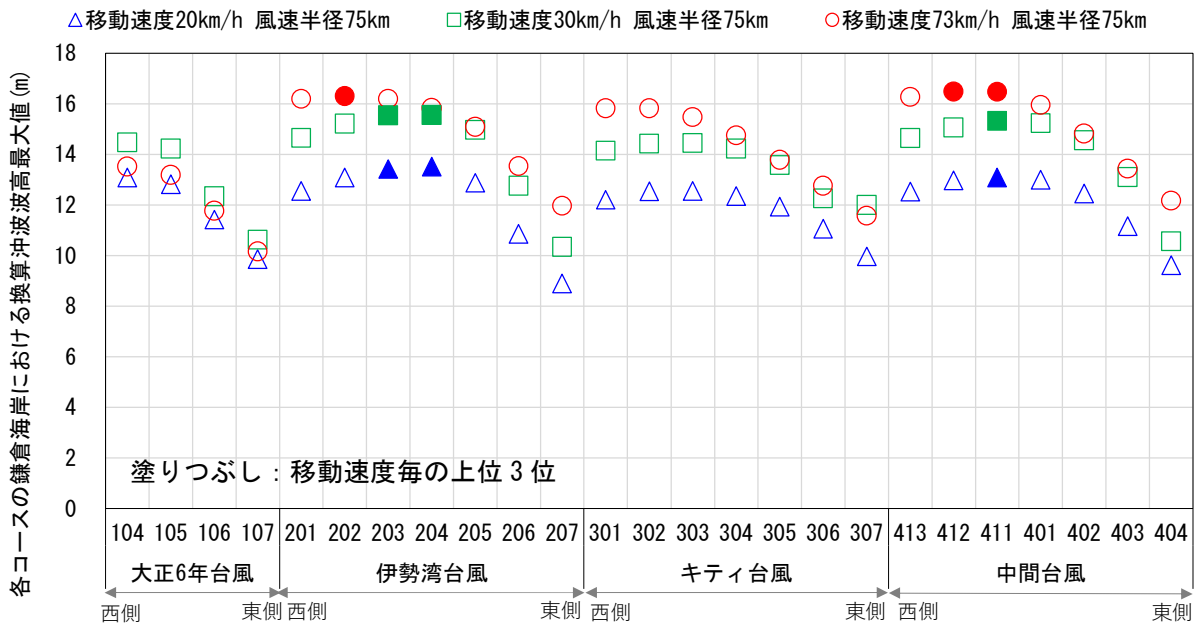
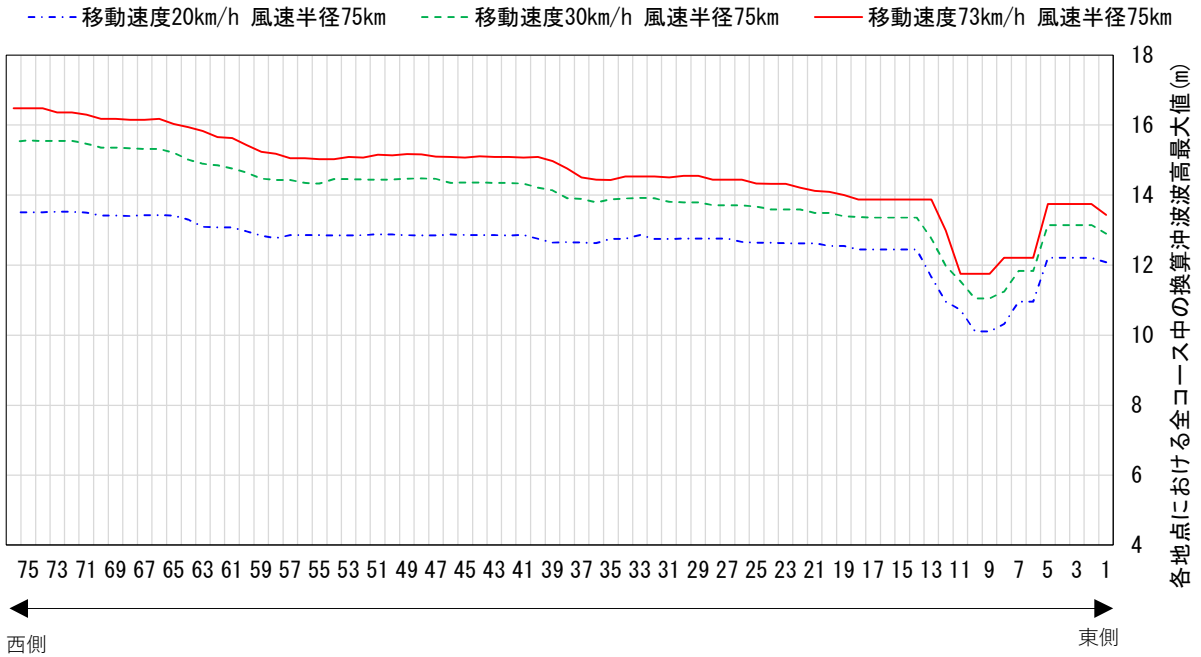


図 2.9 鎌倉海岸における移動速度別・抽出地点別の最大潮位偏差(1 段階目)、コース別・移動速度別の最大潮位偏差 (2 段階目)、抽出地点位置図(3 段階目)

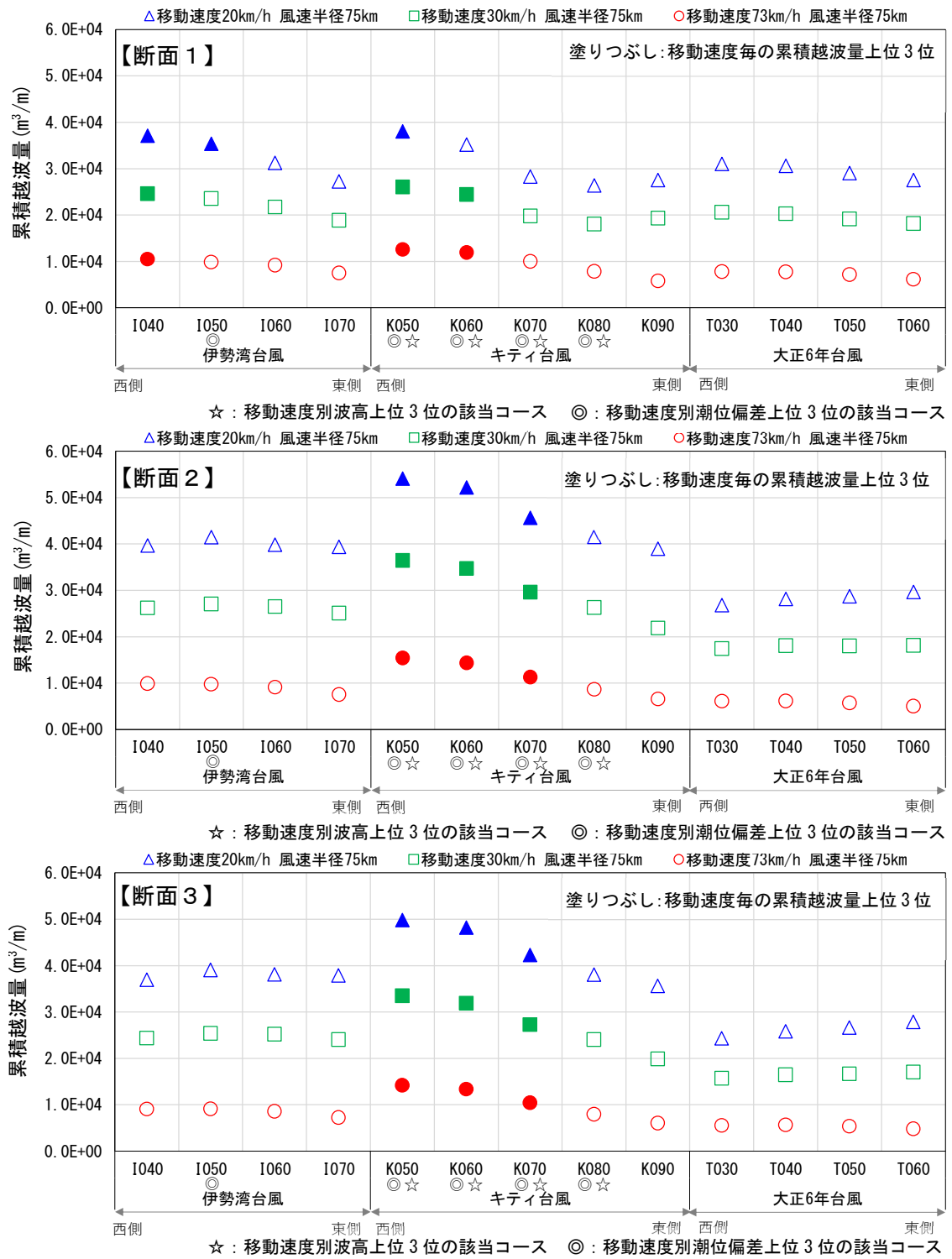
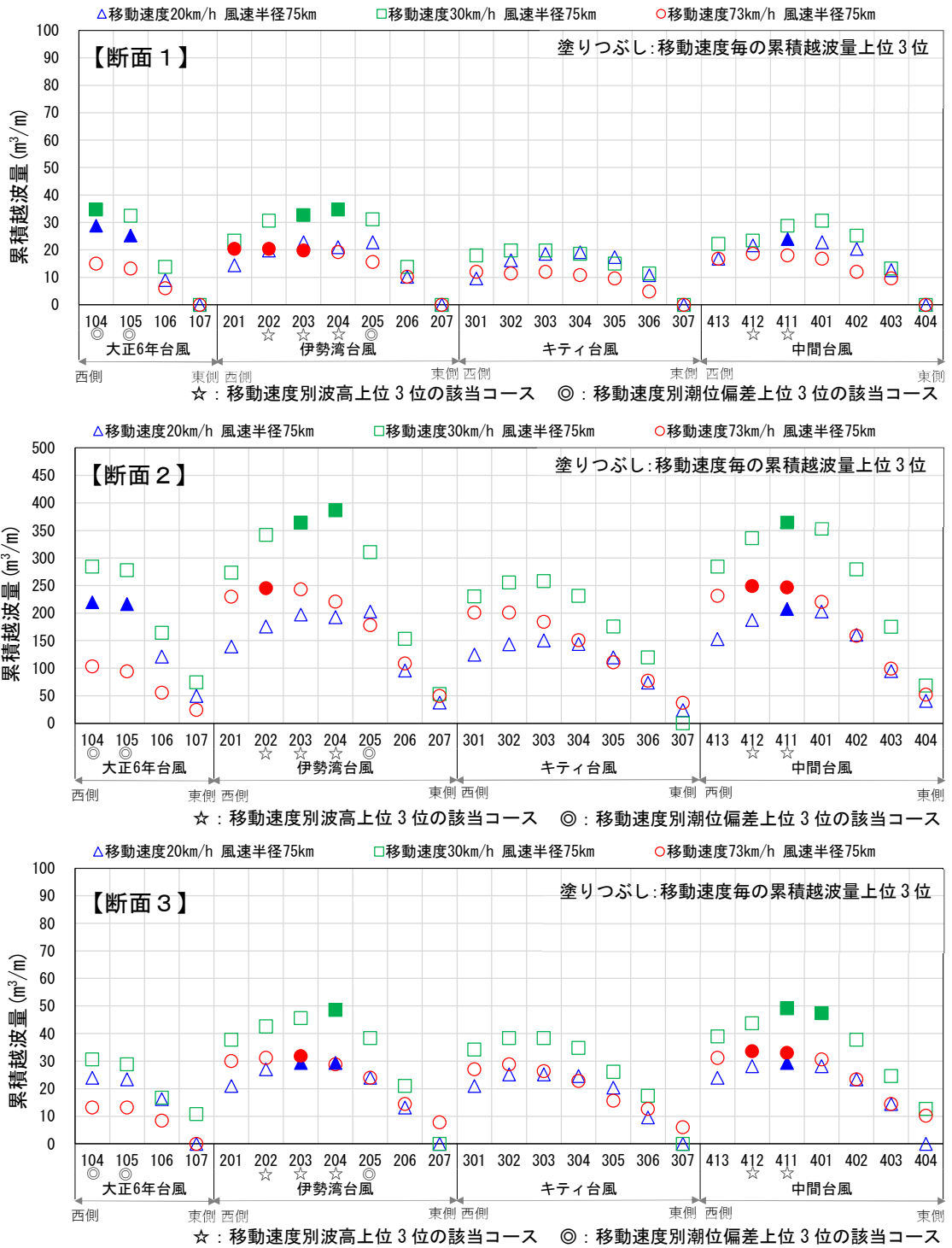


図 2.10 福浦地区の代表断面における累積越波量



Google Earth
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2020 TerraMetrics

図 2.11 鎌倉海岸の代表断面における累積越波量

2.3.2. 潮位偏差・波浪・越波流量の最大旋衡風速半径に対する感度分析の結果

各海岸にとって最も危険な台風の最大旋衡風速半径の分析を行った。ここでは、潮位偏差・波高が最大となる最大旋衡風速半径に着目するために、各地点・移動速度における最大潮位偏差、最大有義波高の全コース中の最大値のみを図 2.12～図 2.15 の 1 段目に整理した。移動速度については、2.3.1 の分析の結果、最も危険と判断された移動速度についてのみ整理した。

また、台風の最大旋衡風速半径によって、各海岸の危険コースがどのように変化するかを確認した。1 段目の図より、最大潮位偏差や最大有義波高の沿岸分布の傾向が最大旋衡風速半径によって大きく変わらないことが確認できたため、各コース・最大旋衡風速半径における最大潮位偏差、最大有義波高の全地点中の最大値のみを図 2.12～図 2.15 の 2 段目に整理した。

さらに、台風の移動速度やコースが越波量に与える影響を把握するため、最大旋衡風速半径別・コース別の累積越波量を図 2.16、図 2.17 に整理した。移動速度については、2.3.1 の分析の結果、最も累積越波量が大きくなると判断された移動速度のみを整理した。

- ・ 図 2.12 から、福浦地区では、最大旋衡風速半径が 75km で最大とならないケースも多いことが確認できた。
図 2.18～図 2.19 によれば、最大旋衡風速半径が小さくなり、台風中心から最大旋衡風速半径までの範囲が福浦地区前面の浦賀水道の幅と同程度となることで、当該水域で吸い上げと吹き寄せが同時に発生する様子が確認できた。このような現象により、最大旋衡風速半径が小さいほど潮位偏差が大きくなる傾向が生じると推定できた。ただし、東京湾の湾奥では最大旋衡風速半径が大きいほど潮位偏差も大きくなる。
- ・ 図 2.13 より、鎌倉海岸では、最大旋衡風速半径が大きいほど、最大潮位偏差も大きくなることが分かった。
鎌倉海岸は外洋に面しており、潮位偏差は吸い上げとウェーブセットアップで概ね決定される。そして、最大旋衡風速半径が大きいほど、風域も広がり、有義波高およびウェーブセットアップが大きくなる傾向となった。したがって、最大旋衡風速半径が大きいほど、最大潮位偏差も大きくなったと考える。
- ・ 図 2.14～図 2.15 によれば、いずれの海岸でも、最大旋衡風速半径が大きいほど最大有義波高が大きくなる傾向となった。これは、前述のとおり、最大旋衡風速半径が大きいほど、風域が広がるためであると考え。
- ・ 図 2.16～図 2.17 によれば、いずれの海岸でも、最大旋衡風速半径が大きいほど累積越波量が大きくなった。福浦地区では、最大旋衡風速半径が小さい程潮位偏差が大きくなったものの、最大旋衡風速半径が大きいほど波高は大きく、さらに最大旋衡風速半径が大きい程越波の継続時間も長くなるためと考える。

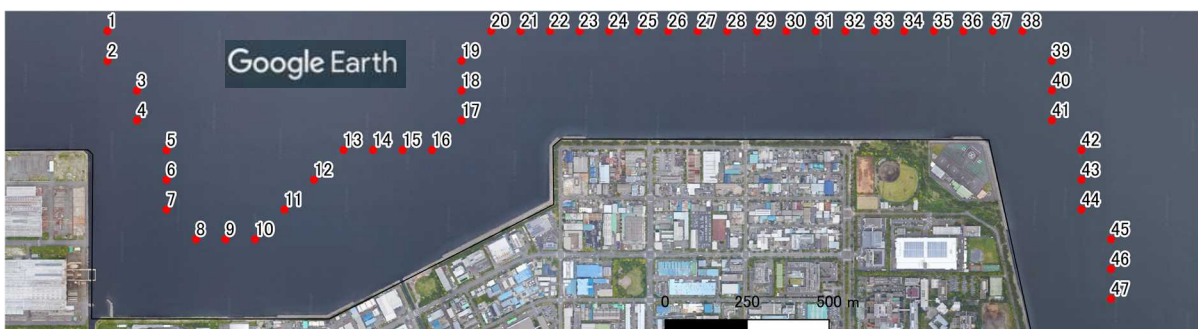
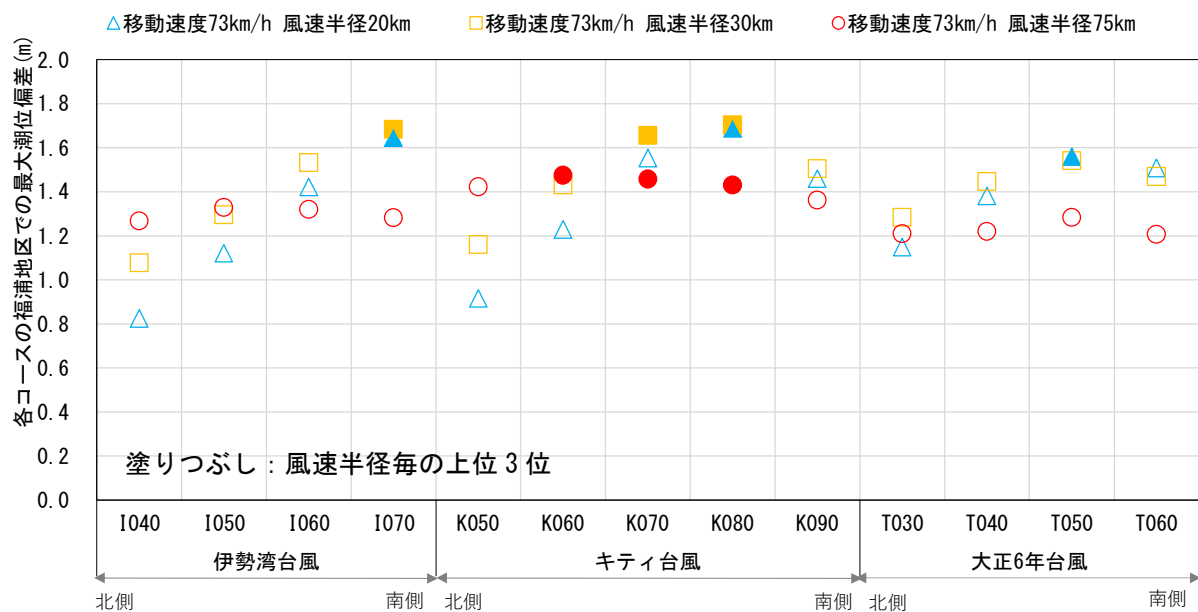
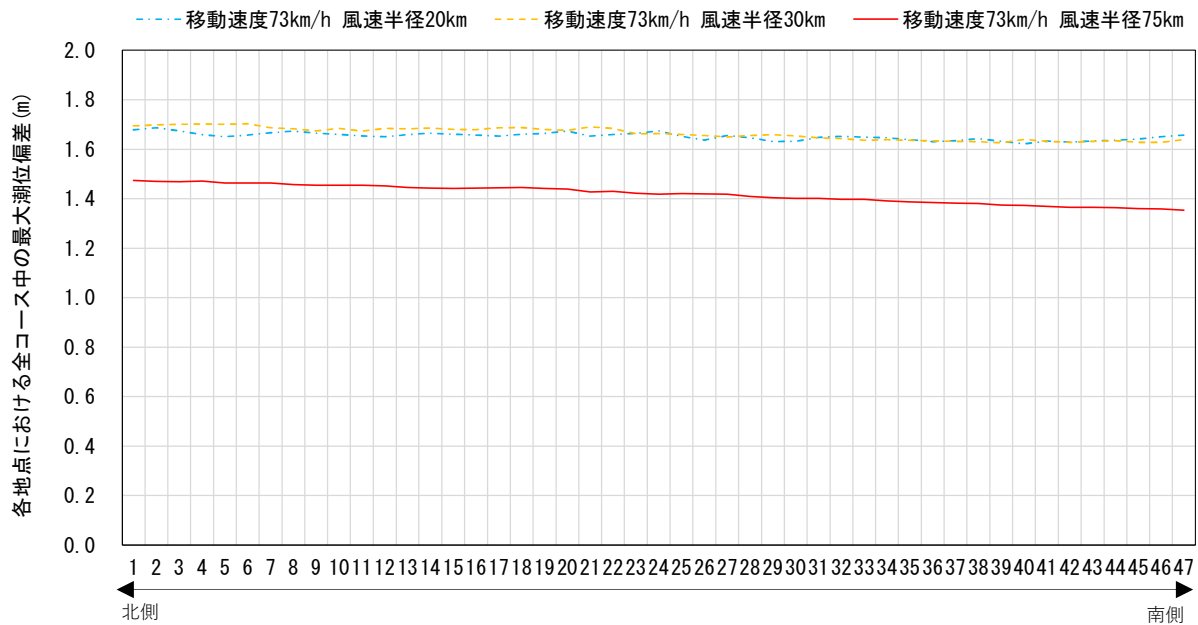


図 2.12 福浦地区におけるコース別・台風半径別の最大潮位偏差(1 段目)、移動速度別・台風半径別の最大潮位偏差(2 段目)、抽出地点位置図(3 段目)

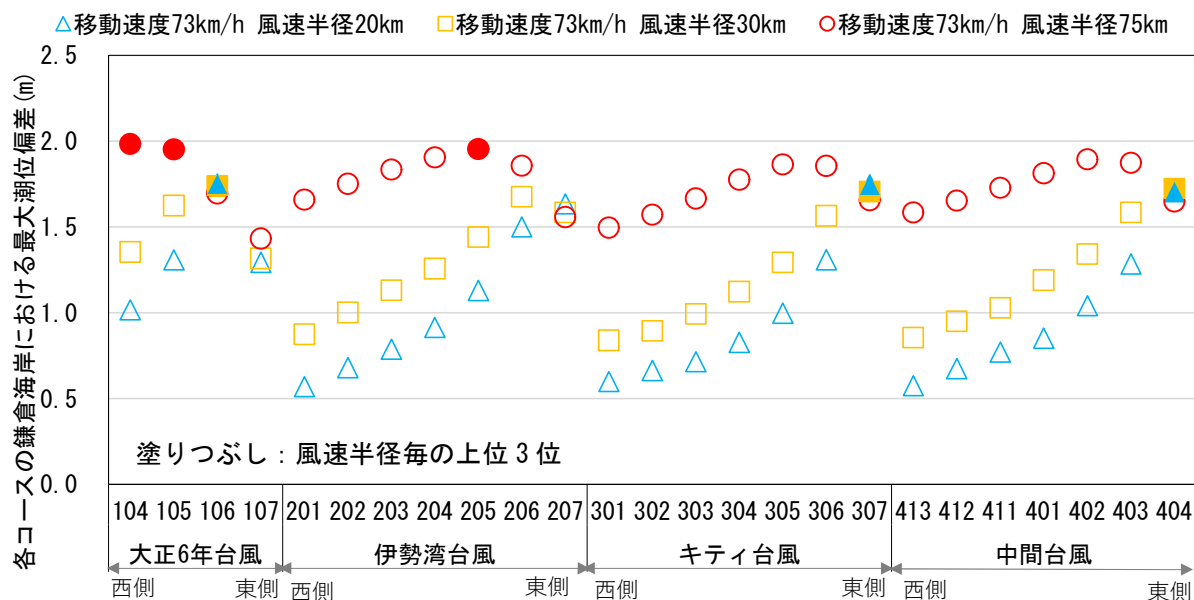
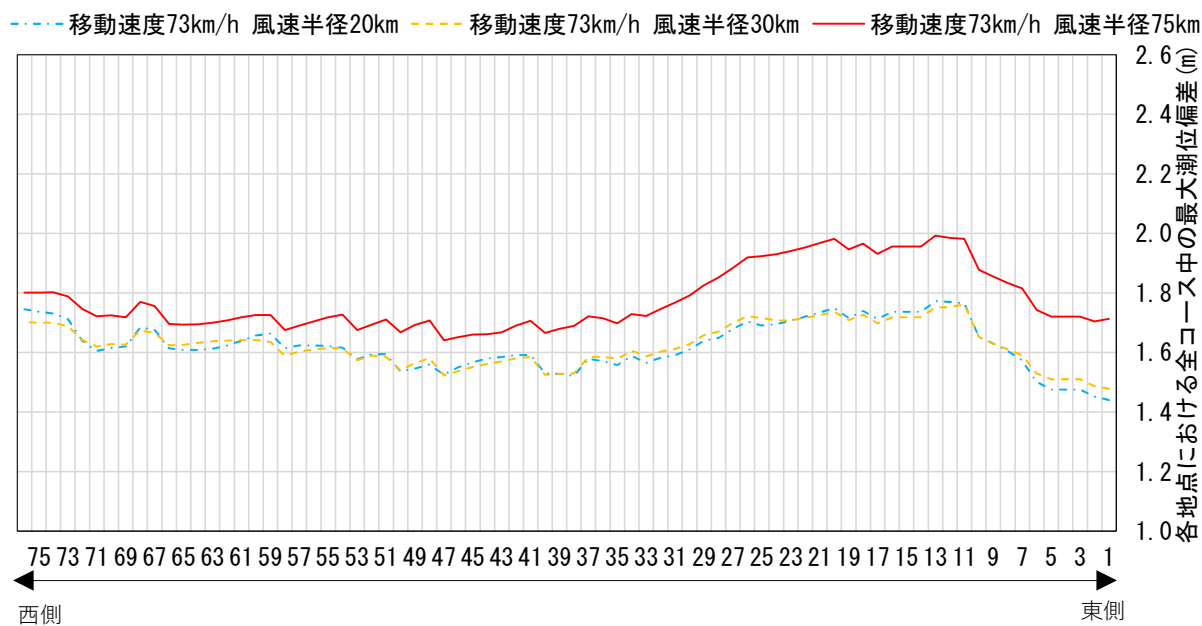


図 2.13 鎌倉海岸におけるコース別・台風半径別の最大潮位偏差(1 段目)、移動速度別・台風半径別の最大潮位偏差(2 段目)、抽出地点位置図(3 段目)

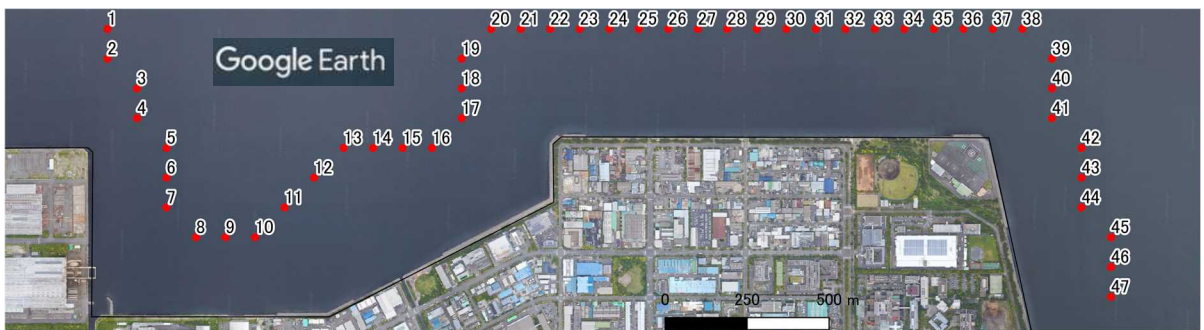
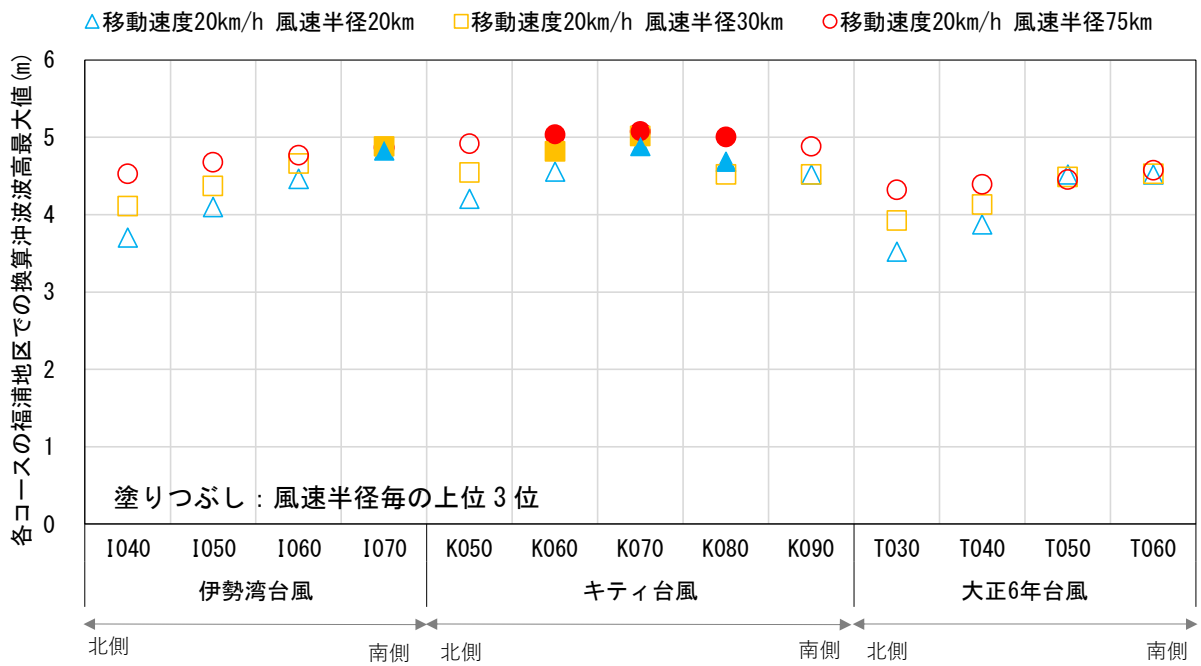
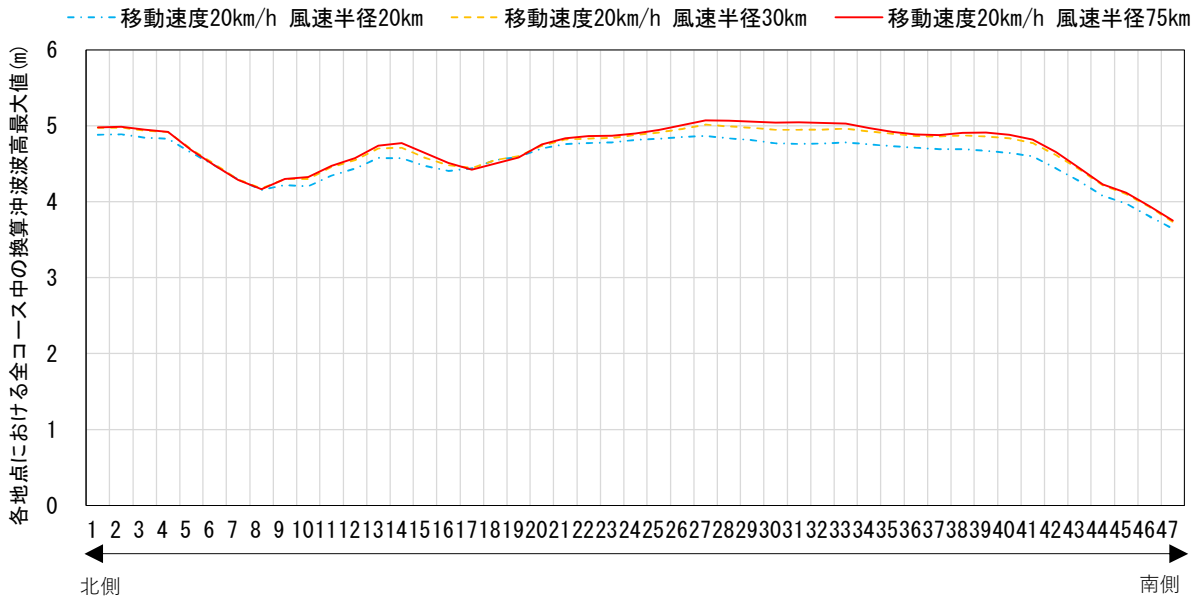


図 2.14 福浦地区におけるコース別・台風半径別の最大有義波高(1 段目)、移動速度別・台風半径別の最大有義波高(2 段目)、抽出地点位置図(3 段目)

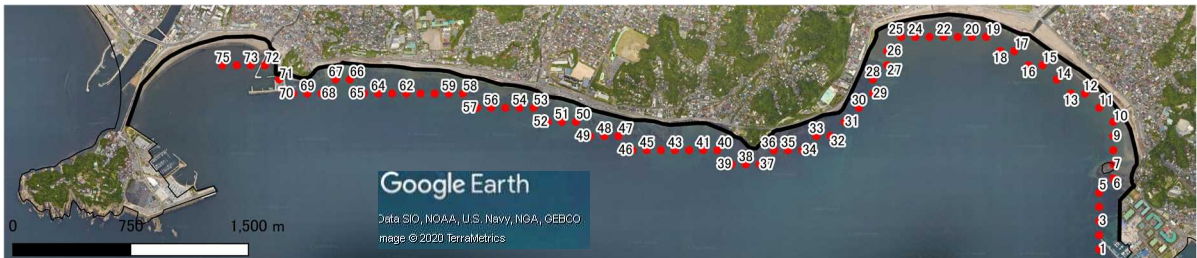
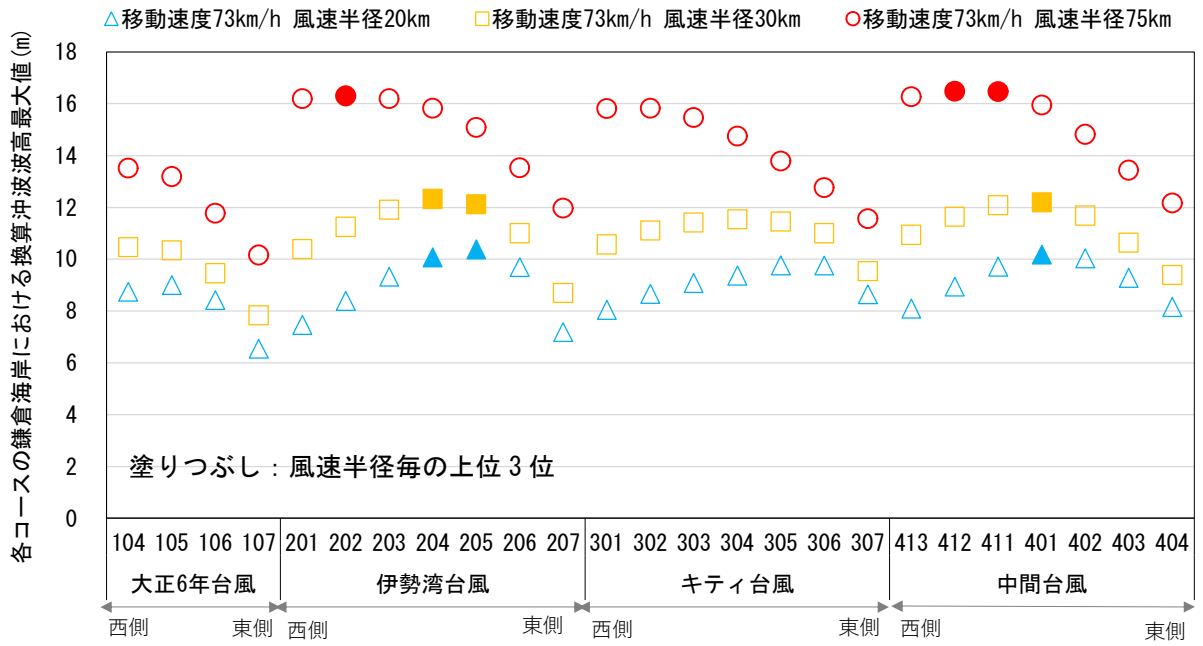
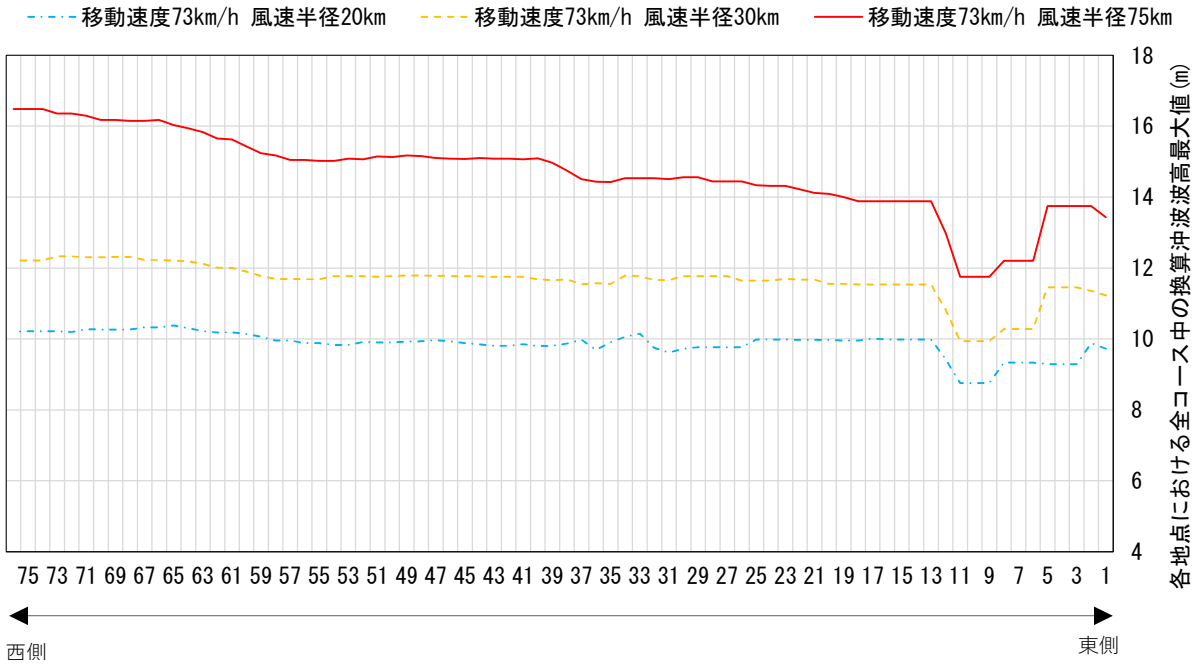


図 2.15 鎌倉海岸におけるコース別・台風半径別の最大有義波高(1 段階)、移動速度別・台風半径別の最大有義波高(2 段階)、抽出地点位置図(3 段階)

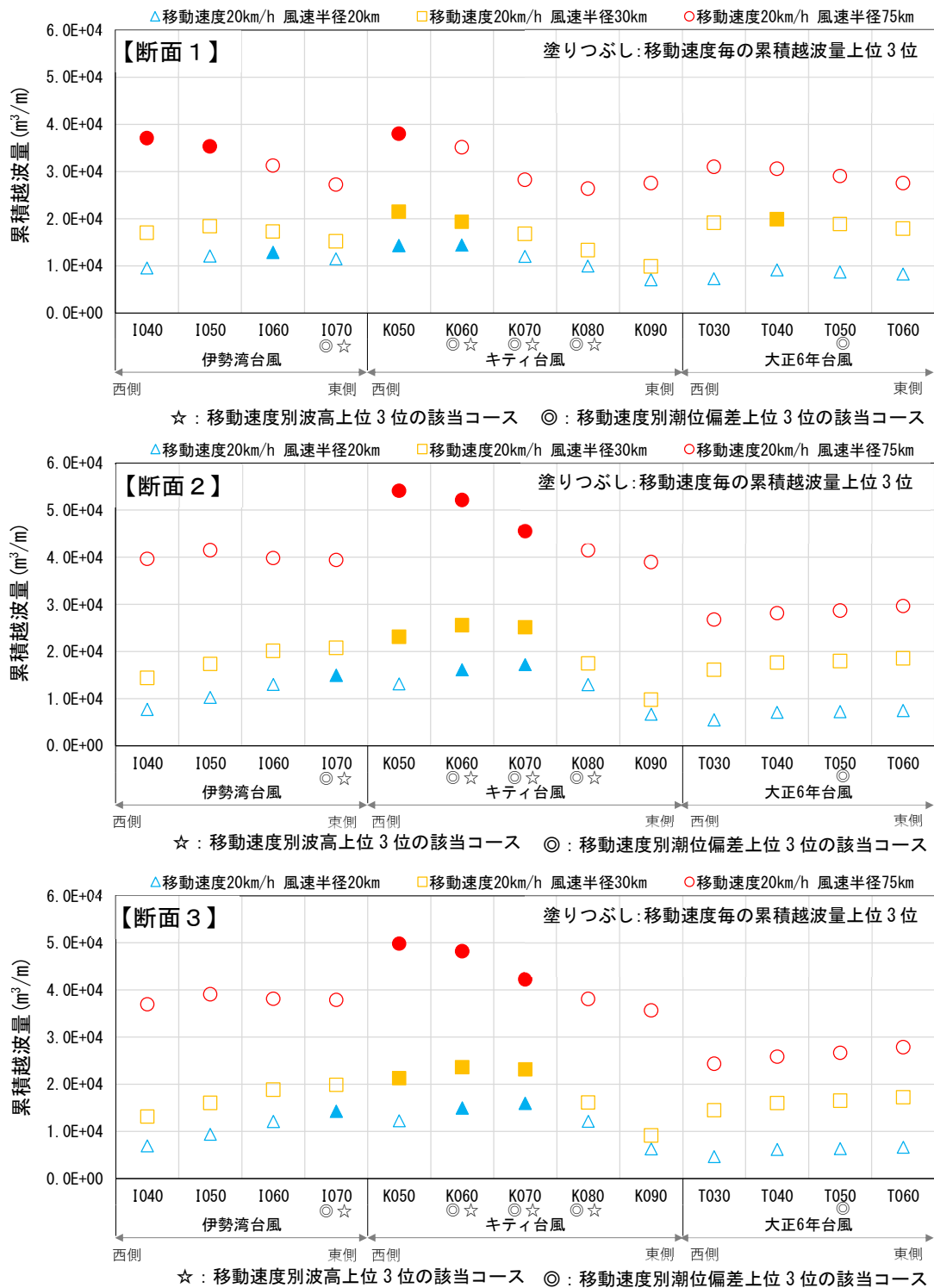


図 2.16 福浦地区の代表断面における累積越波量

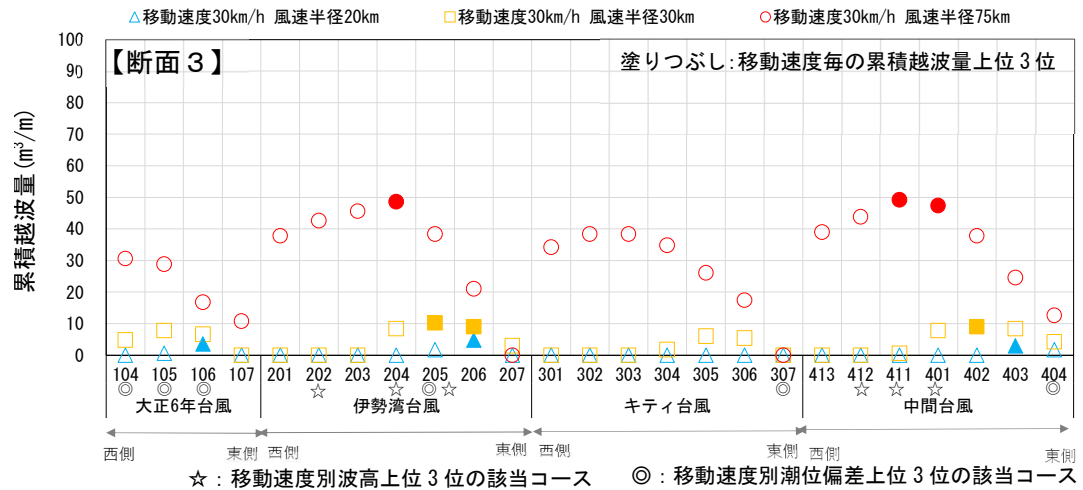
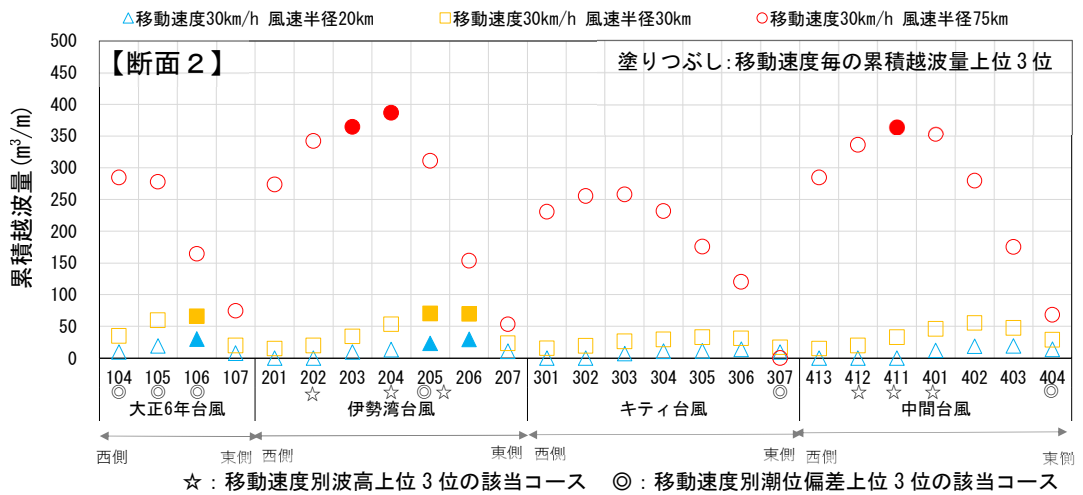
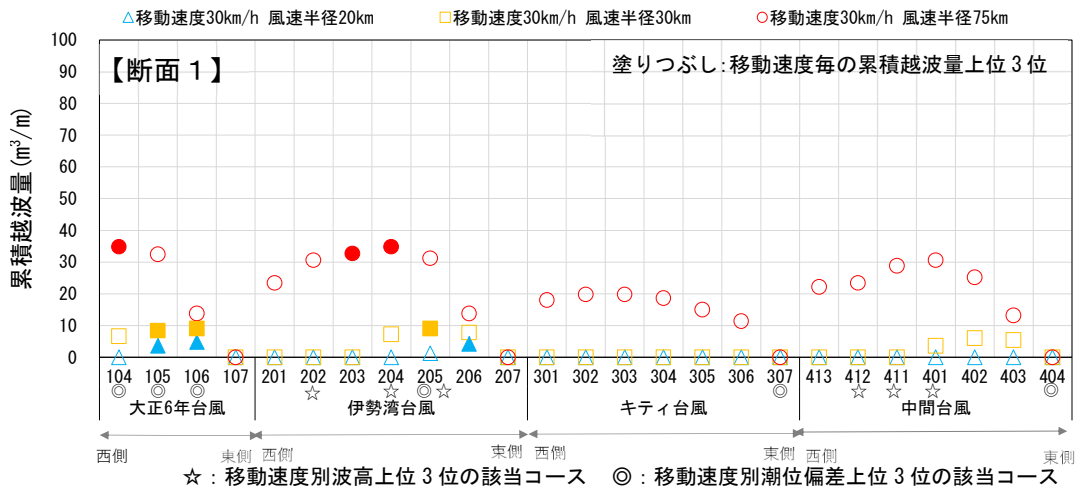


図 2.17 鎌倉海岸の代表断面における累積越波量

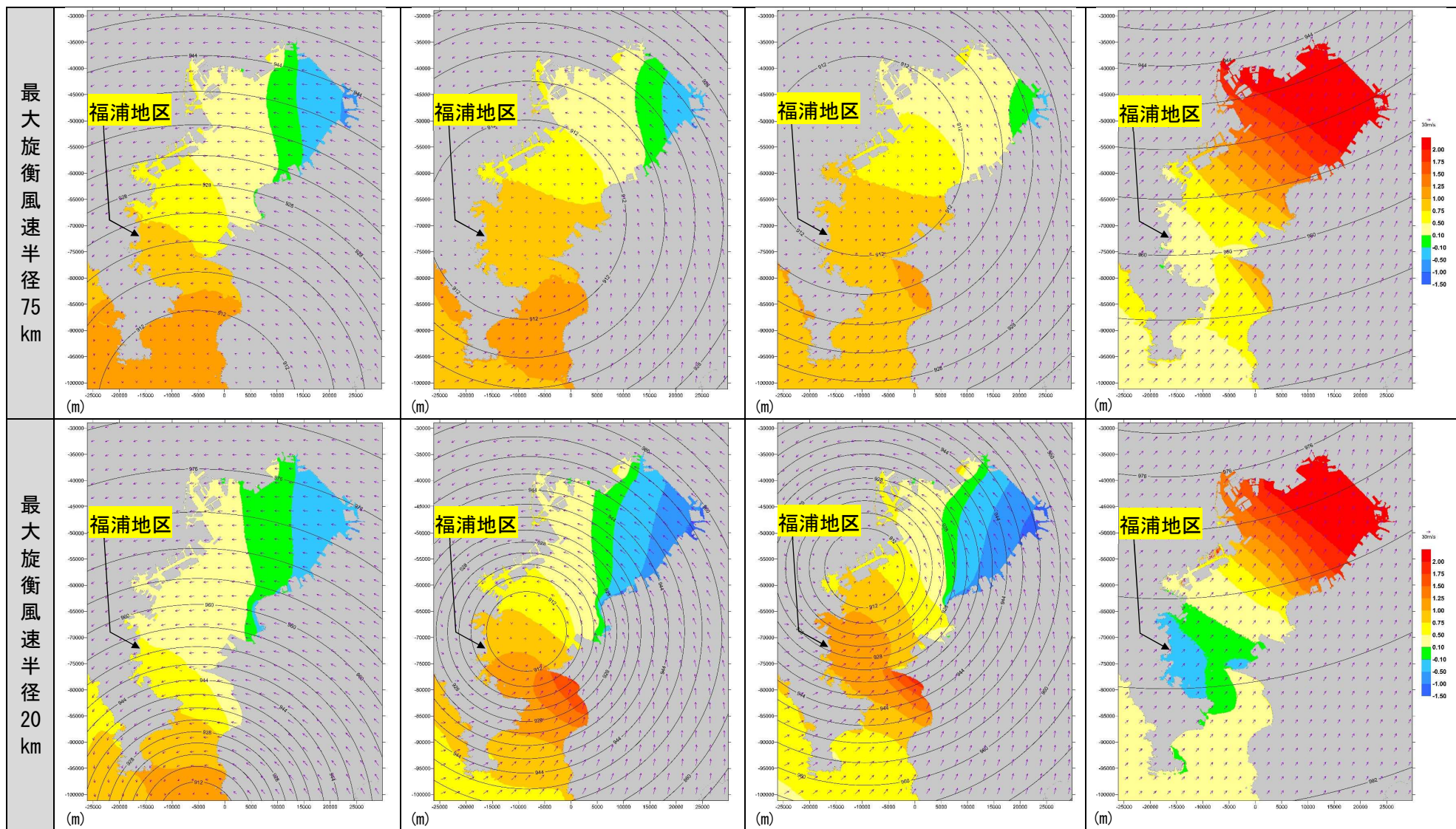


図 2.18 キティ台風(K080)における、最大旋衡風速半径が75kmと20kmの場合の気圧場・風ベクトル場・潮位偏差分布の経時変化

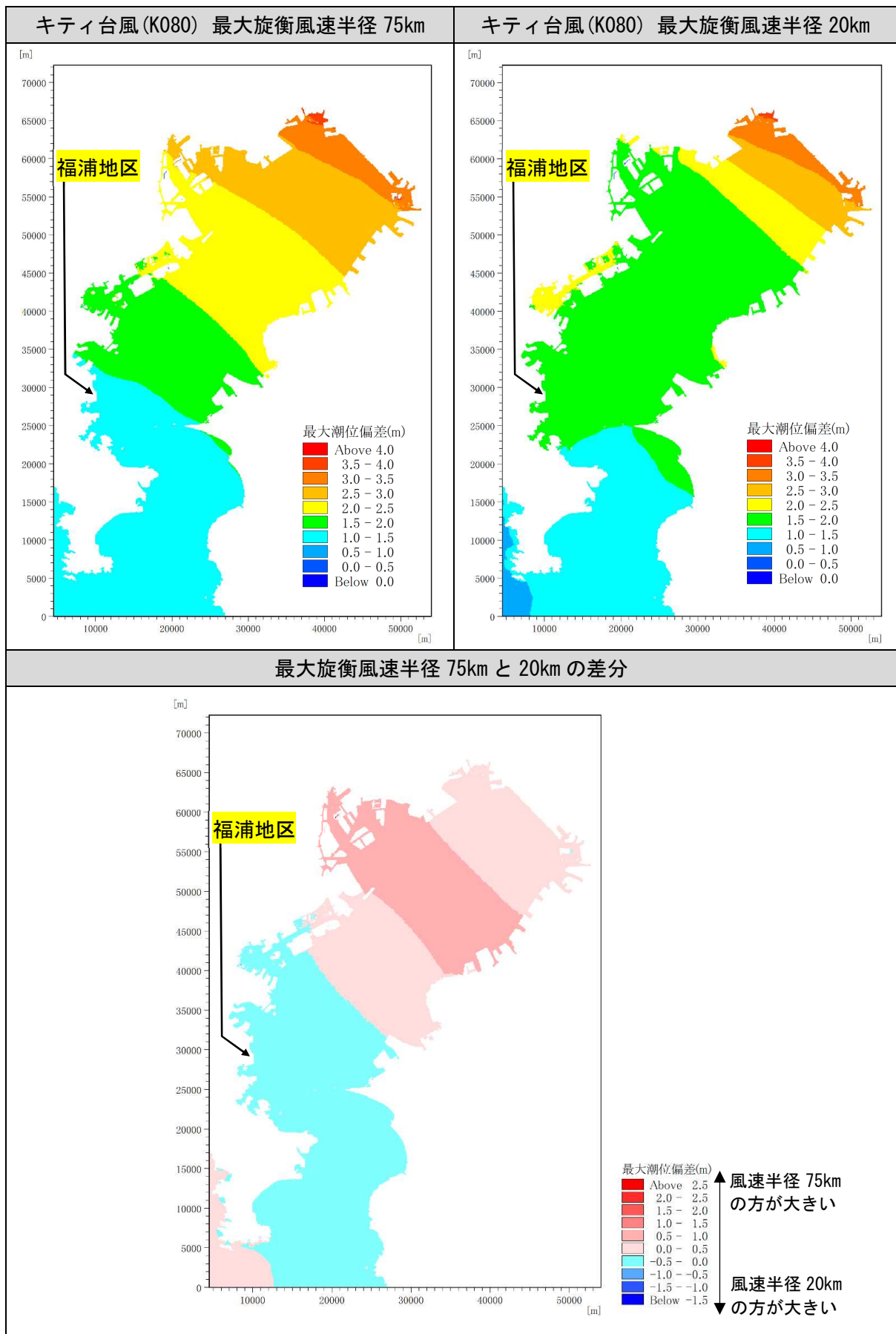


図 2.19 キティ台風 (K080) における、最大旋衡風速半径が 75km と 20km の場合の最大潮位偏差の比較と差分図

2.4. 検討事例

2.4.1. 神奈川県相模灘沿岸の事例

神奈川県では、相模灘沿岸の高潮浸水想定区域の検討において、危険な台風コースに加え、危険な移動速度も設定した。「第2回 相模灘沿岸高潮浸水想定検討会 資料-6」(令和2年11月27日開催、検討会資料は非公表)の内容を基に、その概要を紹介する。検討対象区域は、図2.21のとおりである。

(1) 想定台風の経路・移動速度の設定フロー

神奈川県では、高波の影響が最も大きくなる台風の経路・移動速度の設定を、図2.20のフローに従って実施した。

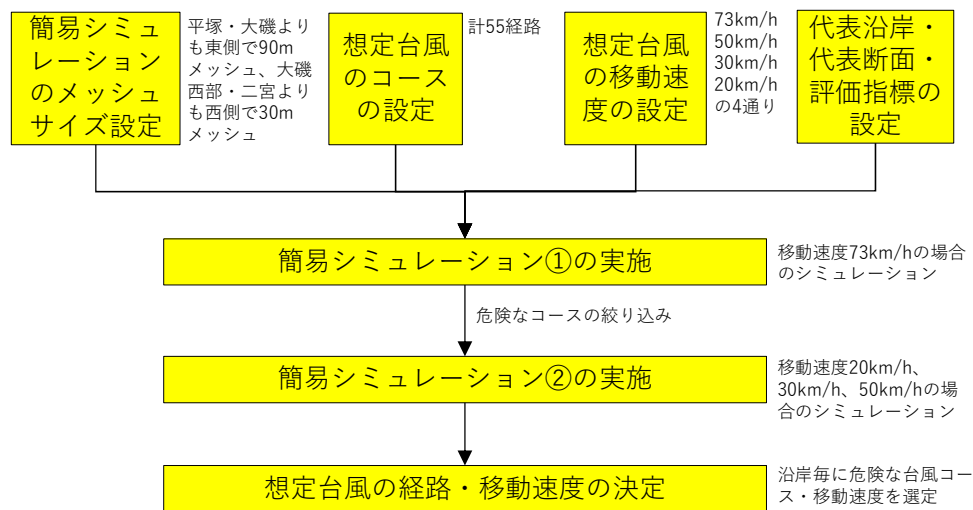


図 2.20 神奈川県相模灘沿岸での台風の経路・移動速度の設定フロー

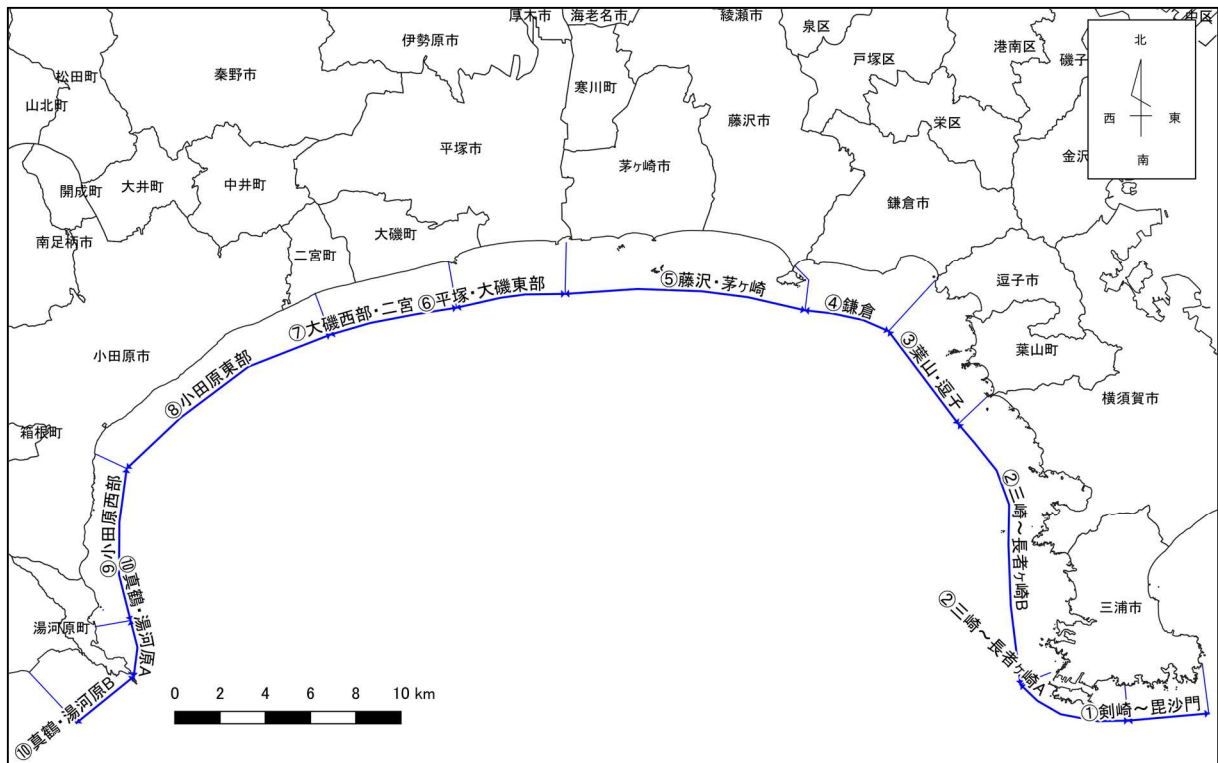


図 2.21 検討対象区域

(2) 簡易シミュレーションのメッシュサイズ

危険な台風コースや移動速度の設定にあたっては、計算負荷の節約のため、最小格子間隔を10m以上とした簡易なモデルにより波浪・高潮シミュレーションを行うこととした(以下、「簡易シミュレーション」と呼ぶ)。

簡易シミュレーションのメッシュサイズは、各沿岸でのウェーブセットアップを十分考慮できるメッシュサイズとした。具体的には、最小格子間隔270m、90m、30m、10mの4ケースについて、既往の4台風を対象とした再現計算を実施し、沿岸の潮位偏差・有義波高の沿岸分布を比較した。沿岸部の潮位偏差の比較例を図2.22に示す。

10mメッシュの結果と他のメッシュサイズの結果の比較から、平塚・大磯よりも東では90mメッシュ、西では30mメッシュを採用することとした。

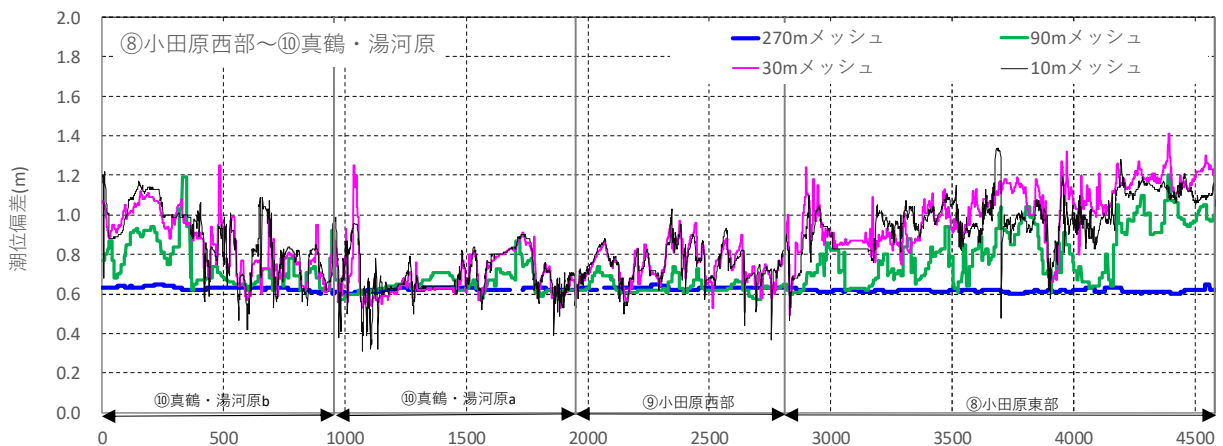


図 2.22 簡易シミュレーションのメッシュサイズの確認(小田原～真鶴・湯河原のみ)

(3) 想定台風のコースの設定

対象コースは、相模灘で過去に被害を生じた主要な台風を網羅する 5 コースを設定した。5 コースの想定台風を平行移動させ、10~15 の平行移動経路を設定した。平行移動の間隔は 20km とした。範囲は、各沿岸にとって最も危険な経路が全て網羅されるようにした。結果、想定台風コースは図 2.23 に示す 55 コースとなった。

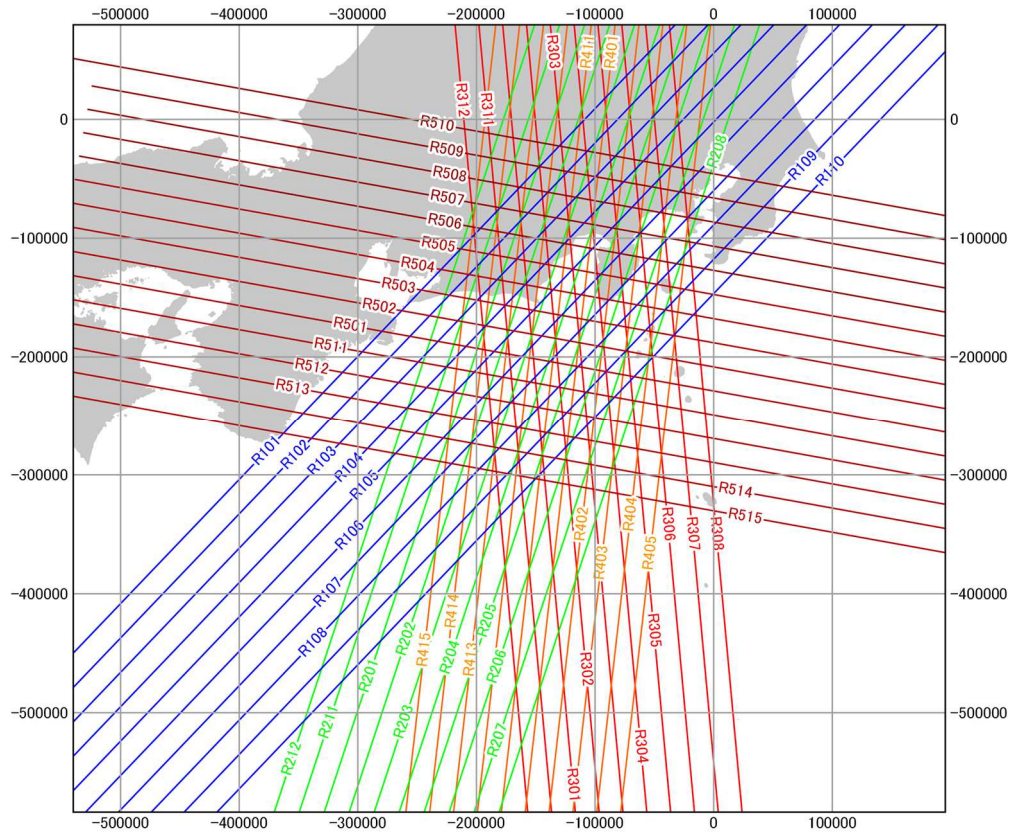


図 2.23 想定台風コース

(4) 想定台風の移動速度の設定

台風による高潮、高波の影響が顕著となるのは、中心気圧が最も低く吸い上げが最大となる台風中心から、風速が最も大きく吹き寄せが最大となる最大旋衡風速半径までの範囲内にあると考えられる。手引きに準拠した想定最大台風の中心気圧は 910hPa であり、この場合の最大旋衡風速半径は、本多・鮫島(2018)による最大旋衡風速半径の確率分布から、100km 未満であると考えることができる。

そこで、相模灘から東西南北方向に 100km 程度の矩形領域を設定し、この領域を通過した既往台風を気象庁のベストトラックデータより抽出した(抽出範囲：図 2.24 参照)。そして、これらの台風の移動速度の特性を分析した。

図 2.25 より、抽出範囲内を通過し、かつ通過時に中心気圧が 970hPa 以下であるような台風の場合、移動速度の下限は 20km/h、上限は 80km/h 程度であることが分かる。過去に相模灘で被害を生じた台風に着目すると、移動速度が 30km/h 前後のものが 3 つ(TY0511、TY0709、TY1915)、40km/h～50km/h 程度のものが 3 つ(TY8218、TY1115、TY1919)、約 65km/h と比較的速度の大きいものが 1 つ(TY1721)確認できた。また、図 2.26 より、もっとも発生頻度が大きいのは移動速度 45km/h～55km/h のレンジであった。

さらに、キティ台風コース(R302)について、移動速度を 10km/h 間隔で変化させた場合の各地点における有義波高・有義波周期の感度分析によれば(図 2.27 参照)、相模灘で最も波高が大きくなった台風の移動速度は 50km/h であった。

以上を踏まえ、移動速度は 20km/h、30km/h、50km/h、73km/h の 4 通りを設定することとした。選定の考え方を以下に整理する。ただし、西進コースについては、2018 年台風第 12 号の実績を踏まえて移動速度の最大値を 53km/h に設定するため、20km/h、30km/h、53km/h の 3 通りを設定することとした。

- ① 20km/h : 中心気圧 970hPa 以下で相模灘周辺を通過した台風の移動速度の下限値を採用した。
- ② 73km/h : 中心気圧 970hPa 以下で相模灘周辺を通過した台風の移動速度の上限値が 80km/h である。これは手引きで定められている想定最大台風の移動速度 73km/h と同等である。これを踏まえ、手引きの設定値である 73km/h を移動速度の上限値として採用した。
- ③ 30km/h : 過去に被害を生じた台風のうち、比較的速度の小さい台風(TY0511、TY0709、TY1915)の平均値を採用した。
- ④ 50km/h : 過去に被害を生じた台風のうち比較的速度の大きい台風の平均値(TY8218、TY1115、TY1721、TY1919)は約 50km/h であり、これは抽出範囲内を通過する台風の移動速度の最頻値と一致する。また、相模灘で最も波高が大きくなりやすい移動速度でもある。

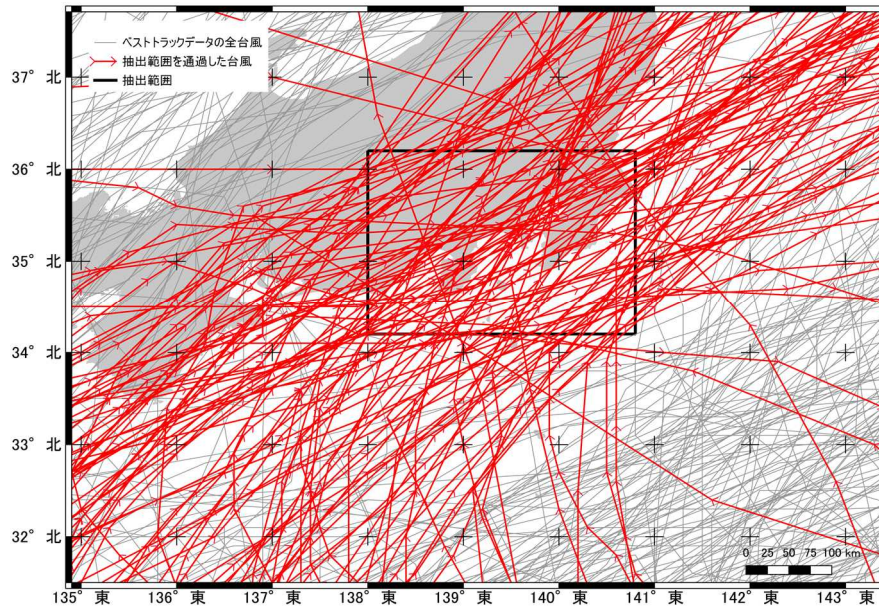


図 2.24 台風の抽出範囲

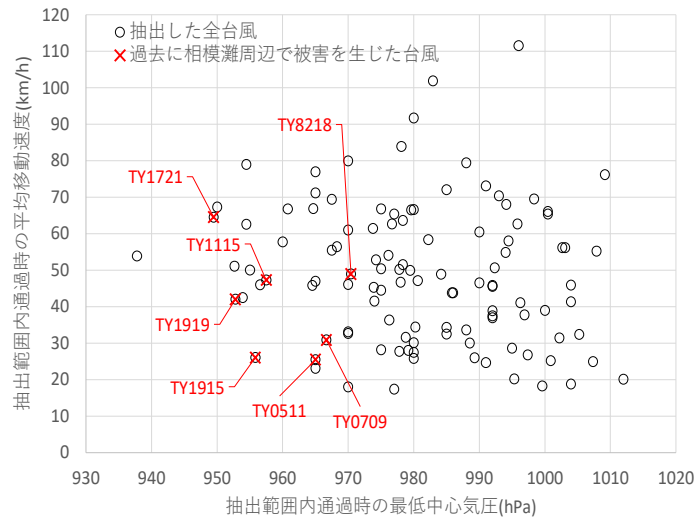


図 2.25 抽出した台風の最低中心気圧と平均移動速度の関係

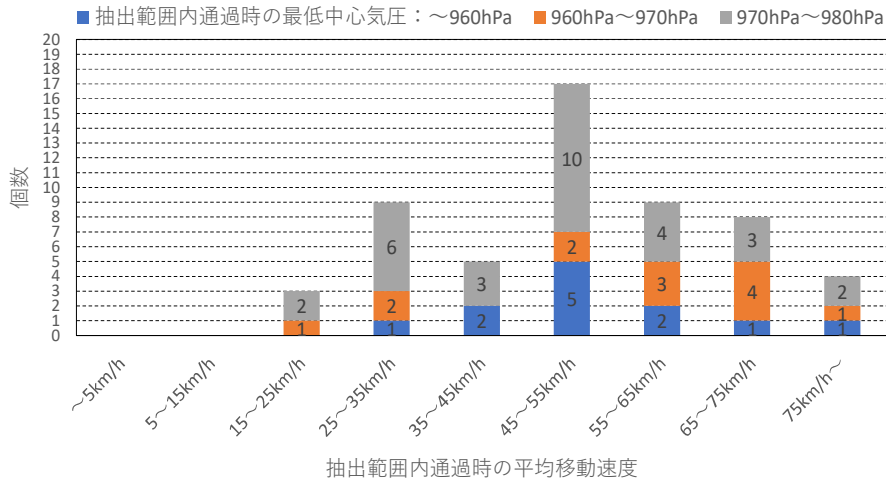
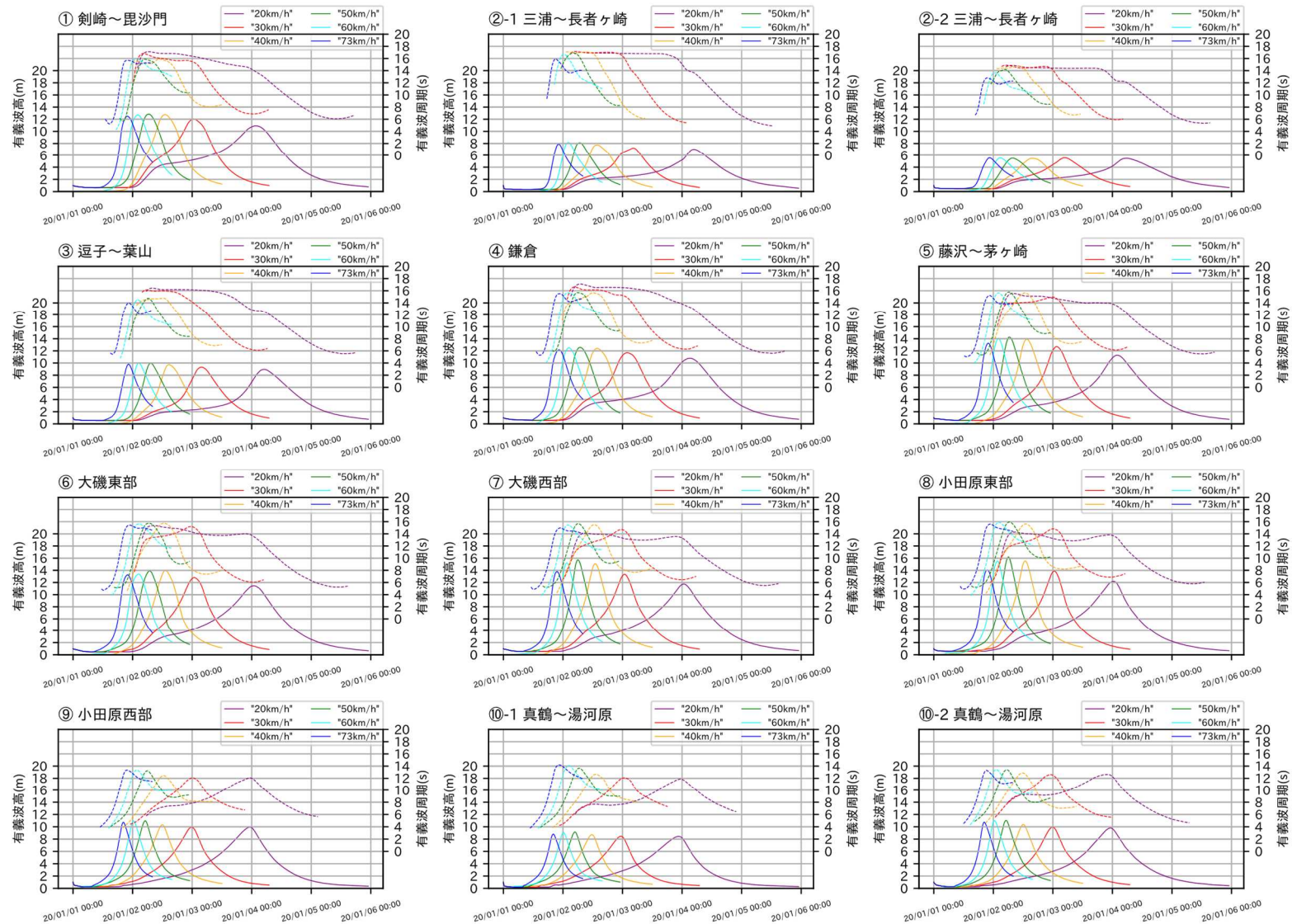


図 2.26 抽出した台風の平均移動速度の発生頻度



【抽出地点位置図】

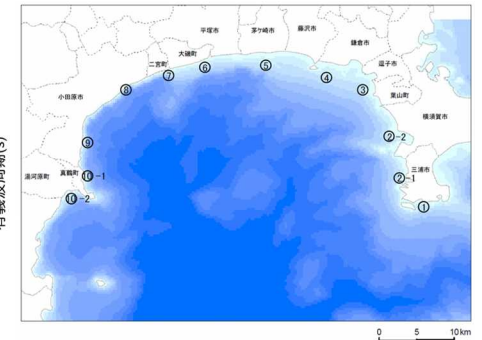


図 2.27 キティ台風コース (R302) の移動速度を変化させた場合の各抽出地点の有義波高・有義波周期の時系列

(5) 代表沿岸・代表断面・評価指標の設定

模灘沿岸海岸保全基本計画では、相模灘を10のゾーンに区分している。各ゾーンは、地形特性・地域特性が類似する一連の区間となっている。また、ゾーンの境界には岬や河口が位置する場合が多く、一連の浸水が生じる区間とみなせると考え、当検討では、基本計画の10ゾーンを代表沿岸に選定した。ただし、三崎～長者ヶ崎ゾーン、真鶴・湯河原ゾーンについては、それぞれ三崎漁港、真鶴半島で海岸の特性が変化すると考え、2分割して設定した。

また、最も危険な台風の移動速度は、手引きに則り、代表断面における累積越波量により評価した。一方、西湘バイパスなどでは、高波により越波が道路まで到達することで被害が生じた事例があることも踏まえ、小田原よりも西側の区間では、最大越波流量による評価も合わせて行うこととした。

これに先立ち、代表断面を設定した。代表断面は、地区海岸内で海岸保全施設の状況・背後地の状況・外力特性は類似していると考えられることを踏まえ、各地区海岸で、背後地の地盤高が低い・資産が集中している等、浸水被害のリスクが高いと考えられる箇所を設定した。また、定期的に深淺測量が実施されている海岸については、測量の測線に沿って断面を設定した。設定例を、図 2.28 に示す。



背景図出典：国土地理院タイル

図 2.28 藤沢・茅ヶ崎海岸における代表断面の設定例

(6) 簡易シミュレーション①の実施

まずは、移動速度を 73km/h で固定し、全 55 コースについて、計算負荷の節約のため、最小格子間隔を 30m~90m とした簡易なモデルにより波浪・高潮シミュレーションを実施した。

波浪・高潮シミュレーション結果より、最大潮位偏差・換算沖波波高の沿岸分布を作成し、いずれかの沿岸メッシュで最大潮位偏差・換算沖波波高が最大となる台風コースを 1 次選定した。結果、55 コース⇒30 コースに絞り込みを行った。

(7) 簡易シミュレーション②の実施

簡易シミュレーション①で絞り込んだ計 30 コースについて、移動速度を 3~4 通りに変化させた波浪・高潮シミュレーションを実施した。そして、各地区海岸に 1~2 程度設定した代表断面(相模灘沿岸で計 65 断面設定)において、越波流量の時系列を計算し、累積越波量を計算した。代表断面の設定例を図 2.28 に、累積越波量の計算結果例を図 2.29 に示す。

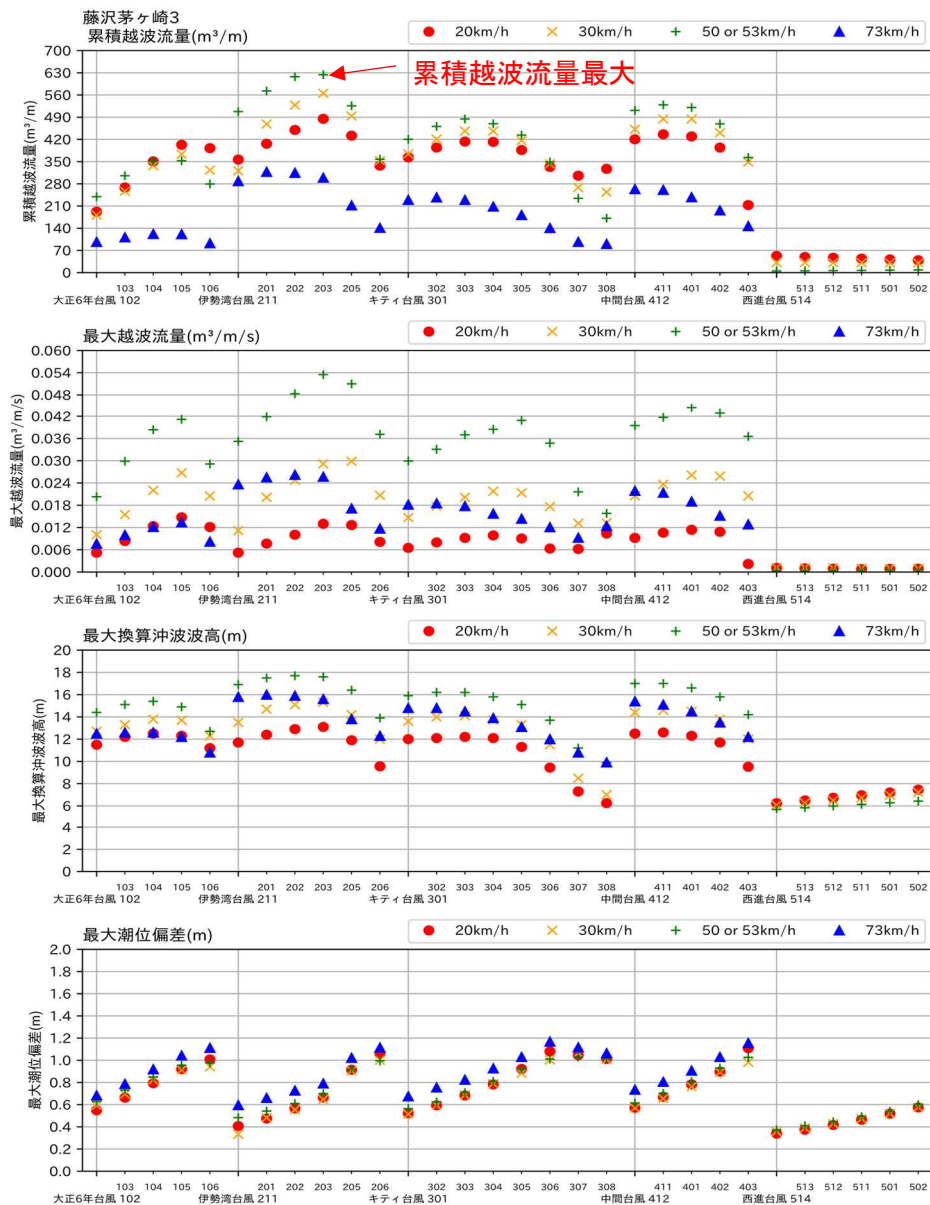


図 2.29 藤沢・茅ヶ崎 3 断面における累積越波量の設定例

(8) 想定台風の経路・移動速度の設定

危険な高波を生じるコースとして、代表 65 断面のいずれかで累積越波量が最大となった経路・移動速度をすべて採用した。また、近年最大越波流量が大きいことで被害が生じている小田原より西のエリアについては、いずれかの断面で最大越波流量が最も大きい経路・移動速度をすべて採用した。

さらに、潮位偏差の観点からは、①相模灘沿岸の 1 級・2 級河川の河口部で潮位偏差が最大となるコース、②相模灘沿岸の潮位 > 堤防高・地盤高となる地点で、潮位偏差が最大となる経路・移動速度をすべて採用した。選定結果を表 2.4 に示す。

表 2.4 想定台風経路・移動速度の選定結果

ゾーン名	対象台風		選定基準	
	台風コース	移動速度		
① 剣崎・毘沙門	大正 6 年台風 106	50km/h	潮位偏差最大(毘沙門漁港海岸等)	
	キティ台風 306	20km/h	累積越波量最大	
	中間的台風 403	50km/h	累積越波量最大	
②三崎～長者ヶ崎 A	大正 6 年台風 105	30km/h	累積越波量最大	
	大正 6 年台風 106	20km/h	累積越波量最大	
	大正 6 年台風 106	50km/h	潮位偏差最大(三崎漁港海岸等)	
	キティ台風 301	20km/h	累積越波量最大	
	キティ台風 306	50km/h	潮位偏差最大(三崎漁港海岸等)	
②三崎～長者ヶ崎 B	中間台風 403	50km/h	潮位偏差最大(三崎漁港海岸等)	
	大正 6 年台風 103	50km/h	累積越波量最大	
	大正 6 年台風 104	20km/h	累積越波量最大	
	大正 6 年台風 105	50km/h	累積越波量最大	
		20km/h	累積越波量最大	
大正 6 年台風 106	20km/h	累積越波量最大、潮位偏差最大(長井漁港海岸等)		
③葉山・逗子	大正 6 年台風 106	50km/h	累積越波量最大	
		20km/h	累積越波量最大	
	大正 6 年台風 105	50km/h	累積越波量最大、潮位偏差最大(長井漁港海岸等)	
	大正 6 年台風 106	20km/h	累積越波量最大	
		50km/h	松越川河口で潮位偏差最大、潮位偏差最大(長井漁港海岸等)	
	④鎌倉	大正 6 年台風 105	20km/h	累積越波量最大
		大正 6 年台風 106	50km/h	3 河川の河口で潮位偏差最大
20km/h			累積越波量最大	
伊勢湾台風 203		50km/h	累積越波量最大	
キティ台風 306		20km/h	累積越波量最大	
キティ台風 307		20km/h	累積越波量最大	
中間的台風 403	30km/h	累積越波量最大		
⑤藤沢・茅ヶ崎	伊勢湾台風 205	50km/h	累積越波量最大、3 河川河口で潮位偏差最大	
	中間台風 401	50km/h	累積越波量最大	
	中間台風 402	50km/h	累積越波量最大	
	伊勢湾台風 203	50km/h	累積越波量最大	
⑤藤沢・茅ヶ崎	伊勢湾台風 205	50km/h	相模川河口で潮位偏差最大、潮位偏差最大(江の島)	
	キティ台風 305	50km/h	引地川河口で潮位偏差最大	
	キティ台風 307	20km/h	累積越波量最大	
	キティ台風 308	20km/h	累積越波量最大	
	中間台風 411	20km/h	累積越波量最大	
	中間台風 401	50km/h	累積越波量最大	
	⑥平塚・大磯東部	キティ台風 307	20km/h	累積越波量最大
キティ台風 304		50km/h	累積越波量最大	
キティ台風 305		50km/h	累積越波量最大、金目川河口で潮位偏差最大	
⑦大磯西部・二宮	キティ台風 304	50km/h	累積越波量最大、葛川河口で潮位偏差最大	
	キティ台風 307	20km/h	累積越波量最大	
	キティ台風 308	20km/h	累積越波量最大	
⑧小田原東部	キティ台風 303	50km/h	早川で潮位偏差最大	
	キティ台風 304	50km/h	累積越波量最大、最大越波流量、中村川河口で潮位偏差最大	
	キティ台風 305	20km/h	累積越波量最大	
		50km/h	累積越波量最大、最大越波流量、3 河川で潮位偏差最大	
	キティ台風 306	20km/h	累積越波量最大	
		50km/h	累積越波量最大、最大越波流量	
⑨小田原西部	キティ台風 307	50km/h	最大越波流量	
	キティ台風 305	20km/h	累積越波量最大	
⑩真鶴・湯河原 A	キティ台風 305	50km/h	最大越波流量	
		20km/h	累積越波量最大	
	キティ台風 306	50km/h	累積越波量最大、最大越波流量、潮位偏差最大(真鶴港)	
⑩真鶴・湯河原 B	キティ台風 304	50km/h	新崎川・千歳川で潮位偏差最大	
	キティ台風 306	20km/h	累積越波量最大	
		50km/h	最大越波流量	

2.4.2. 静岡県の事例

静岡県では、伊豆（東）のエリアにおける高潮浸水想定区域の検討において、想定台風の経路・移動速度を感度分析の結果に基づき設定した。「第2回 静岡県高潮浸水想定等検討委員会資料-1」（令和3年2月15日開催）*の内容を基に、その概要を紹介する。

(1) 想定台風の経路の設定

伊豆(東)のエリアでは海岸線の形状が複雑なため、うちあげ高が最大となるコースが場所によって異なる。したがって、図 2.30 のように、E~N~WNW の 8 つのコースを 10km 間隔で平行移動させた複数のコースを検討した。

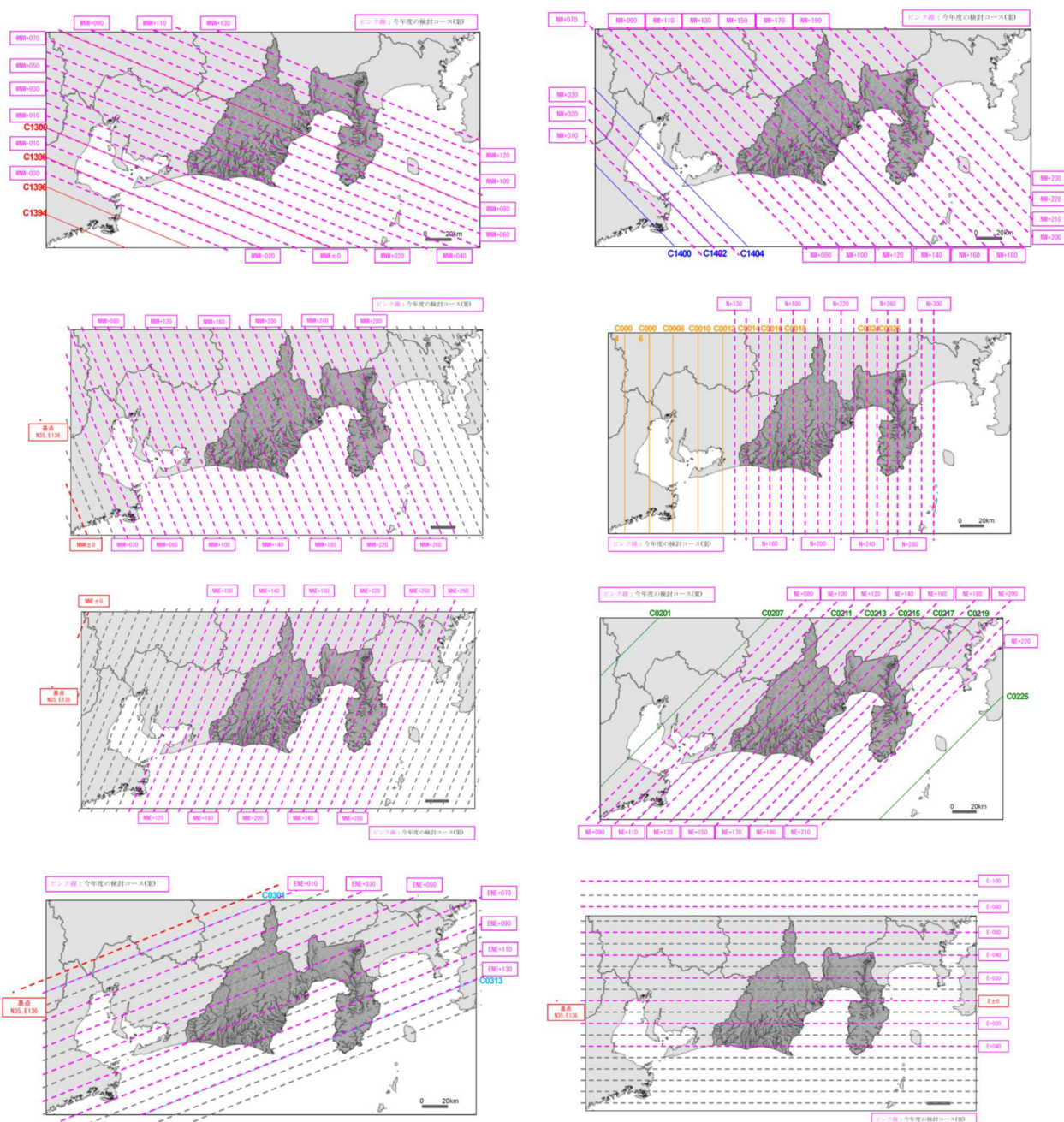


図 2.30 台風コースの設定

* URL : <https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-320/measures/takashio2.html> (2021年3月31日時点)

図 2.31 の複数のコースについて、波浪・高潮シミュレーションを実施し、うちあげ高、潮位の沿岸分布を整理した。

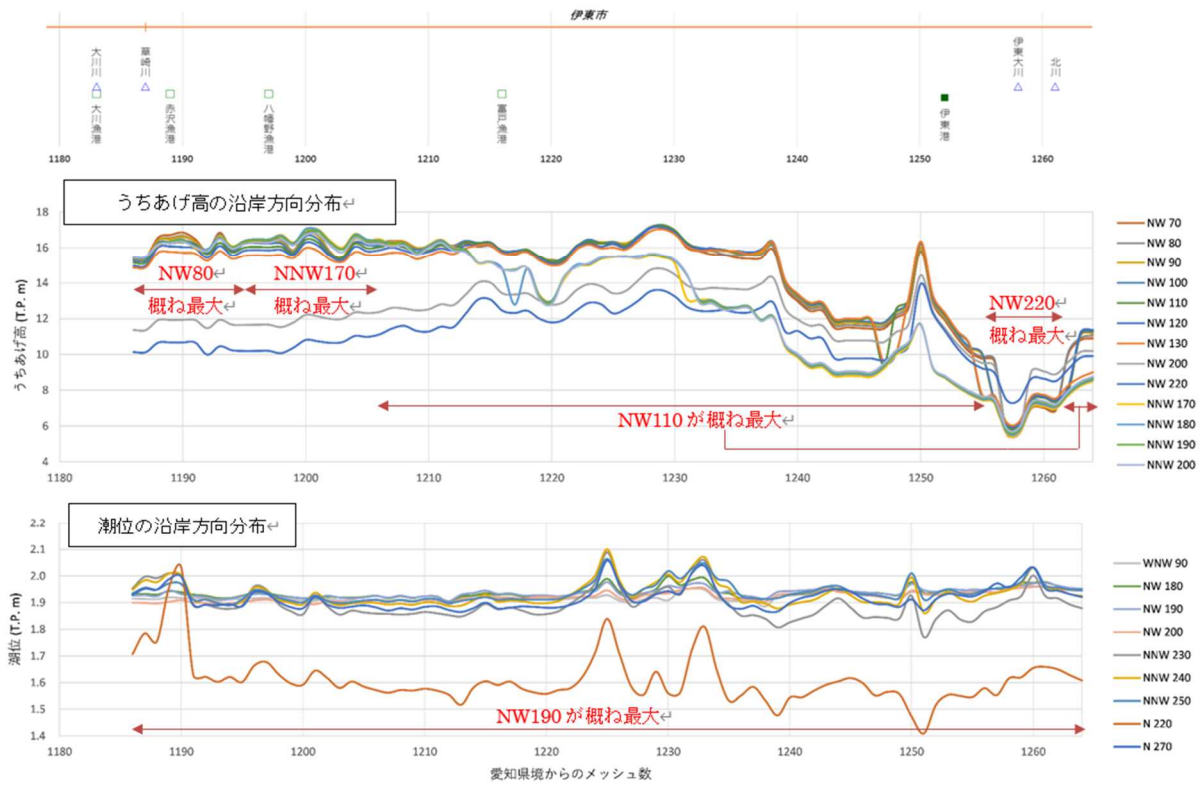


図 2.31 (1) うちあげ高、最高潮位の沿岸方向分布

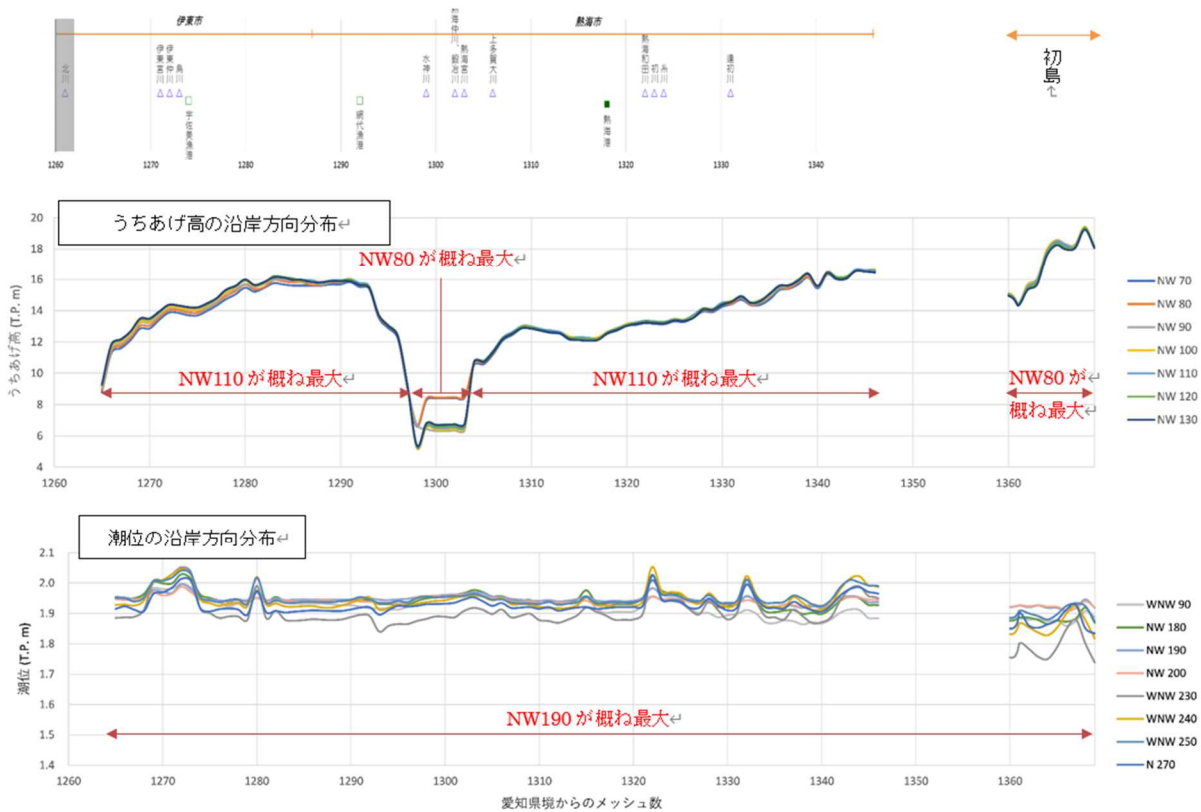


図 2.31 (2) うちあげ高、最高潮位の沿岸方向分布

上記の整理結果を踏まえ、危険コースを表 2.5 のとおりに設定した。領域 No.は、静岡県沿岸に設定された 10m メッシュの計算領域の通し番号である(図 2.32 参照)。

表 2.5 危険コースの設定結果

領域No	区分	進行方向	基点からの距離 (km)
0010-18	うちあげ高最大	NW (北西)	80
		NW (北西)	110
		NW (北西)	220
		NNW (北北西)	170
	潮位最大	NW (北西)	190
0010-19 0010-20	うちあげ高最大	NW (北西)	80
		NW (北西)	110
	潮位最大	NW (北西)	190

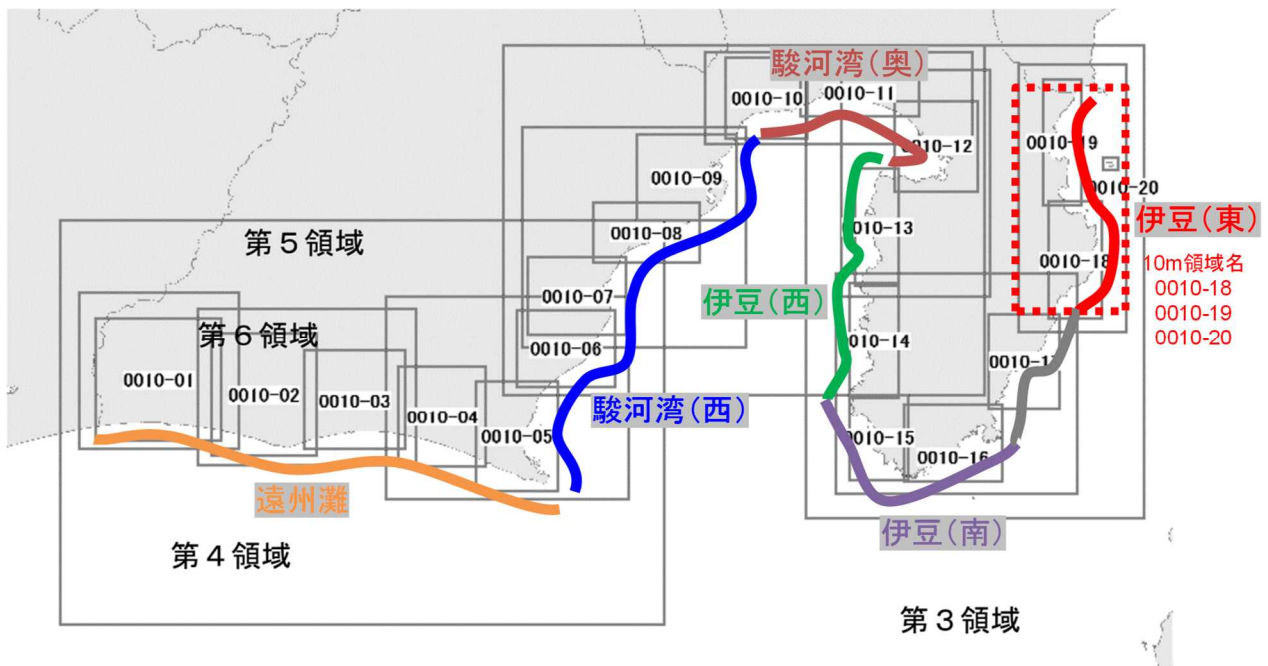


図 2.32 静岡県沿岸の計算領域の設定位置図

(2) 想定台風の移動速度の設定

静岡県沿岸から東西南北方向に 100km 程度の矩形領域を設定し、この領域を通過した既往台風を気象庁のベストトラックデータから抽出した（本多・鮫島(2018)による最大旋衡風速半径の確率分布から、100km 未満と設定、図 2.33 参照）。静岡県沿岸の緯度は北緯 34 度から 36 度の間であり、その範囲を通過する際の台風の移動速度は概ね 20km/h から 100km/h の間の速度である(図 2.34 参照)。

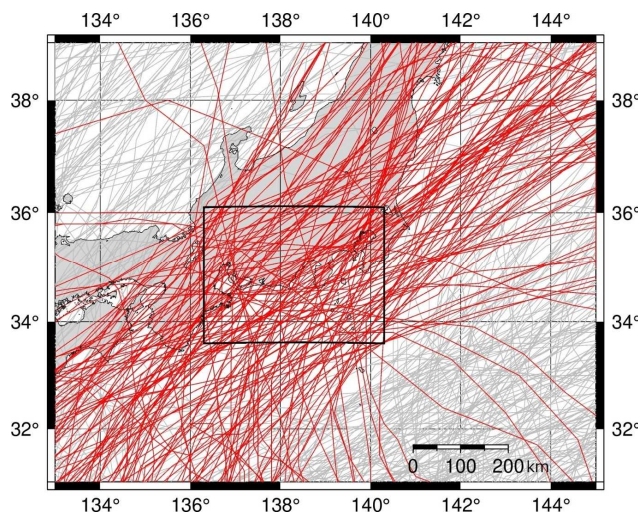


図 2.33 台風トラックデータ抽出範囲

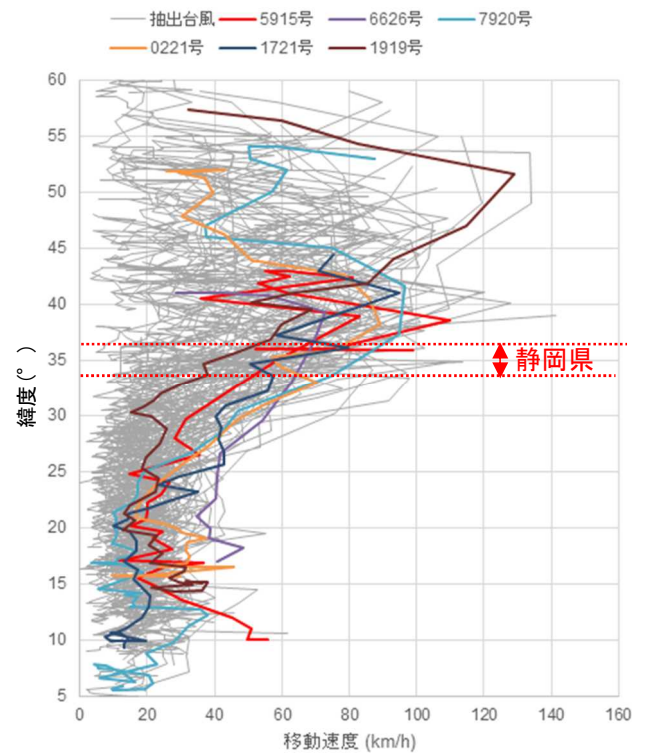


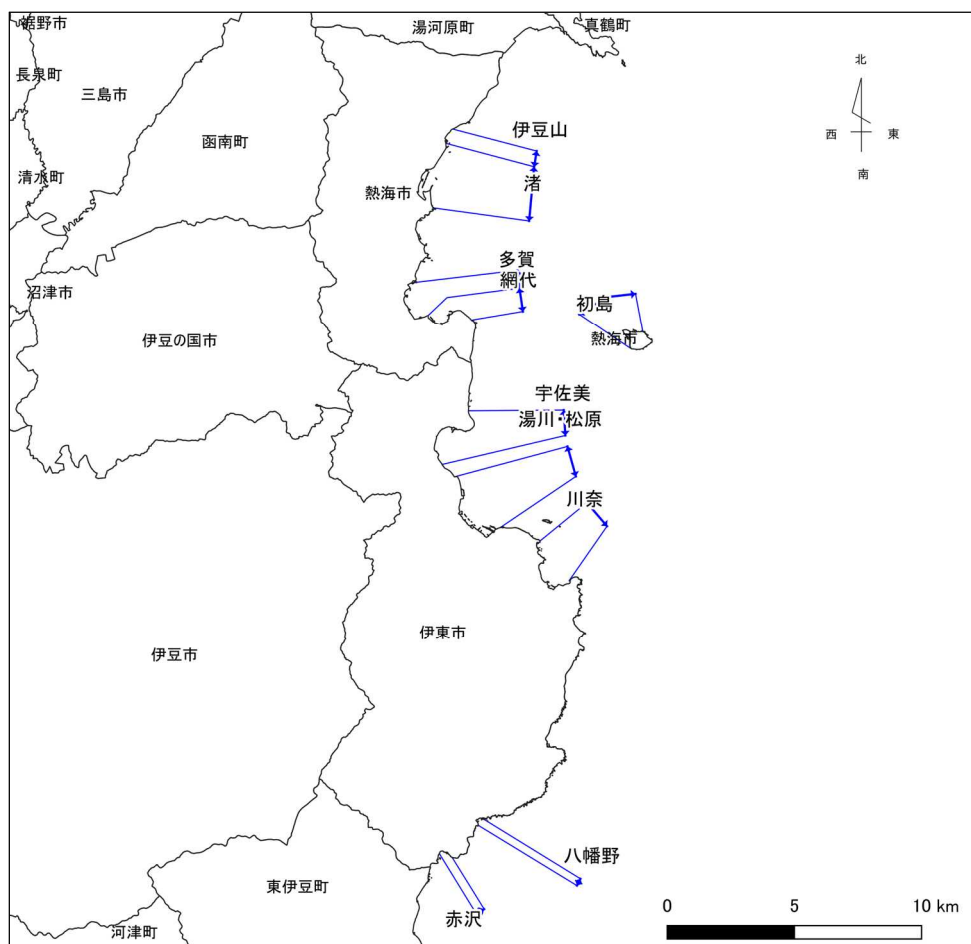
図 2.34 抽出台風の緯度と移動速度の関係

対象範囲の地形は高低差が大きく、浸水エリアが点在している。地区海岸を基本として代表断面を設定し、移動速度を変えた場合の累積越波量を算出した。10km/h 毎となるように、20km/h、30km/h、40km/h、50km/h、60km/h、73km/h の 6 通りの移動速度について、それぞれのコースで累積越波量を求め、台風の移動速度の影響を算出した。移動速度は 20km/h、40km/h、73km/h の 3 ケースで実施した(73km/h は手引きに準じた値として採用)。

選定結果は、表 2.6 のとおりである。

表 2.6 危険コース・移動速度の設定結果

地区	コース	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	73km/h
伊豆山	NW80	5位	4位	2位	1位	3位	6位
	NW110	5位	3位	1位	2位	4位	6位
渚	NW80	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW110	1位	2位	3位	4位	5位	6位
多賀	NW80	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW110	1位	2位	3位	4位	5位	6位
網代	NW80	6位	4位	1位	2位	3位	5位
	NW110	5位	3位	1位	2位	4位	6位
初島	NW80	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW110	1位	2位	3位	4位	5位	6位
宇佐美	NW80	2位	3位	1位	4位	5位	6位
	NW110	1位	2位	3位	4位	5位	6位
湯川・松原	NW80	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW110	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW220	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NNW170	1位	2位	3位	4位	5位	6位
川奈	NW80	3位	5位	1位	2位	4位	6位
	NW110	2位	4位	1位	3位	5位	6位
	NW220	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NNW170	1位	2位	3位	4位	5位	6位
八幡野	NW80	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW170	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW220	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NNW170	1位	2位	3位	4位	5位	6位
赤沢	NW80	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW110	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	NW220	4位	2位	1位	3位	5位	6位
	NNW170	1位	2位	3位	4位	5位	6位



3. 海岸護岸周辺の地形条件についての感度分析の例

【本章の目的】

手引き (p. 31、p. 38) では、民有護岸や、海岸護岸周辺の地形条件の精査の重要性を新たに指摘している。また、護岸が残置されることで排水が阻害され浸水が広がる場合があることから、護岸が破壊されない場合の浸水計算を新たに推奨している。

この参考事例として、神奈川県横浜市金沢区福浦地区を対象とした、海岸護岸周辺の地形条件に対する感度分析結果を整理した。

本章に示す検討結果は、神奈川県横浜市金沢区福浦地区の場合のものである。高潮の浸水範囲と護岸の条件の関係は、背後の地形条件等に大きく左右されるため、他の海岸においても同様の結果が得られるわけではないことに留意が必要である。

3.1. 対象地区の設定

対象地区には、神奈川県横浜市金沢区福浦地区を選定した。当地区は、令和元年台風第 15 号による越波で背後が浸水した地区である。横浜市の報告¹によれば、被害事業者数は 483 事業所 540 件(内訳：非住家の浸水被害 309 件、車両・機械水没等のその他被害 231 件)であった。対象地区の位置図及び被害状況を図 3.1 に示す。



図 3.1 福浦地区の位置図と令和元年台風第 15 号による被害の状況

¹ 横浜市記者発表資料「令和元年台風第 15 号の被害状況等について【最終報】」(令和元年 9 月 24 日)

3.2. 計算手法・計算条件

計算手法及び計算条件を表 3.1 に示す。対象台風は、令和元年台風第 15 号と、「東京湾高潮浸水想定」で検討された台風のうち、福浦地区での越波流量が最も大きくなる伊勢湾台風コースの 2 台風を採用した。台風経路図を図 3.2 に示す。

表 3.1 計算手法・計算条件・計算モデルの概要

項目		設定	出典
計算手法	風・気圧推算	台風モデル(Myers 式)	手引き ¹ p.42
	波浪	スペクトル法 (SWAN [ver41.31A])	手引き p.42
	高潮(海域)	非線形長波方程式(風、気圧、波浪の影響を考慮)	手引き p.43
	浸水(陸域)	平面二次元不定流計算	手引き p.45
台風条件		① 2019 年台風第 15 号(TY1915) : 気象庁ベストトラックデータや気圧観測データを基に各種諸元を設定 ② 伊勢湾台風コース I050	
潮位条件		①福浦地区での越波発生時 9/9 2 時~3 時の天文潮位 T.P.+0.2m ②高潮浸水想定での潮位条件 : T.P.+1.04m	横浜地方気象台現地調査報告 ² 手引き p.17
風推算条件	風の変換係数	C1=C2=0.75 (手引きの推奨値は 0.60~0.70)	平成 31 年 4 月公表の高潮浸水想定に準拠
	吹き込み角	30 度	手引き p.42
波浪推算条件	計算モデル	神奈川県「東京湾高潮浸水想定」で用いられた計算モデルを活用	
	計算格子間隔	21870m⇒7290m⇒2430m⇒810m⇒270m⇒90m⇒30m	
	計算時間間隔	300s (陰解法による差分のため C.F.L. 条件の制約を受けない)	SWAN マニュアル ³
	周波数・方向分割数	方向分割数 : 24 ($\delta\theta=15^\circ$) 周波数分割数 : 25 ($f=0.05\sim 0.5$, $\delta f\approx 0.1f$)	SWAN マニュアル
	波浪発達・減衰白波砕波モデル	KOMEN(1984)のモデル	SWAN マニュアル
高潮推算条件	計算モデル	神奈川県「東京湾高潮浸水想定」で用いられた計算モデルを活用	
	格子間隔	2430m⇒810m⇒270m⇒90m⇒30m⇒10m (1:3 接続)	
	計算時間間隔	C.F.L. 条件を満足するように設定	
	海面抵抗係数	本多・光易(1980)の方法を基本とし、風速 45m/s 以上については定数を一定とする	手引き p.46
浸水計算条件	計算モデル	福浦地区の護岸のパラペット高、堤脚水深については、横浜市の現地調査報告を基に更新した。その他については、平成 31 年 4 月公表の高潮浸水想定に用いられた計算モデルを準用した。	横浜地方気象台現地調査報告 ² H29 業務成果 ⁴ 検討委員会資料 ⁵
	海域からの流入流出	越流量 : 堰の正面越流公式で算定 越波流量 : 波浪推算結果及び高潮推算結果から、越波境界前面の波高・潮位を抽出した上で、合田の越波流量算定図を用いて越波流量を算定 流出量 : 堰の正面越流公式により段落ち流れとして評価	手引き p.54
	遡上先端条件	先端条件の処理 : 岩崎・真野(1979)の設定方法 遡上先端水深 : 1cm 程度	手引き p.47

¹ : 高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver2.00

² : 令和元年台風第 15 号による 9 月 9 日の神奈川県横浜市における高波に関する現地調査報告(横浜地方気象台、東京管区気象台)

³ : SWAN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOKUMENTATION, SWAN CycleIII version 41.31A (The SWAN team, Delft University of Technology)

⁴ : 平成 29 年度東京湾沿岸高潮浸水想定調査業務委託報告書、平成 30 年 3 月

⁵ : 東京湾における高波対策検討委員会第一回 資料-5、令和元年 10 月

伊勢湾台風コース(050)

(移動速度：73km/h)

令和元年台風第15号

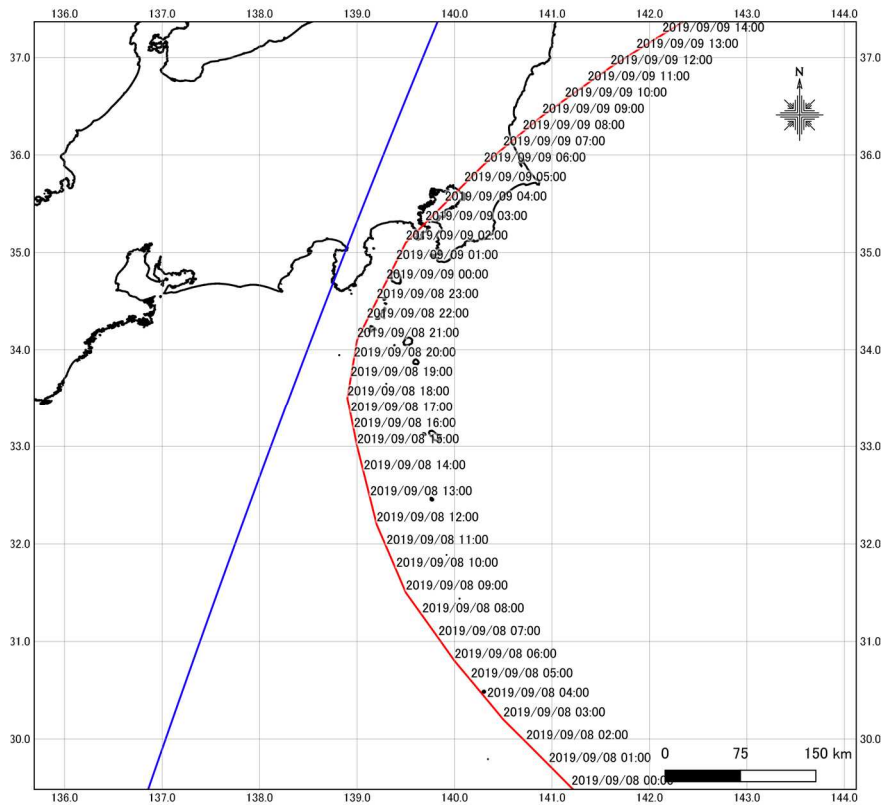


図 3.2 対象台風の経路図

3.3. 検討ケース

検討ケースは、令和元年台風第15号を対象とした再現性検証計算を2ケース設定した。さらに、護岸の破壊条件の浸水範囲に対する影響を確認するため、護岸の破壊条件を変えた3ケースを設定した。計算ケースは、表3.2のとおりである。

表 3.2 計算ケースの設定

番号	対象台風	地形条件	構造物条件・破壊条件	目的
ケース1	令和元年 台風第15号	東京湾沿岸高潮浸水想定 (神奈川県)に準拠	・護岸パラペットを考慮 ・上部工被災区間(L=600m)は パラペットの天端高を低減	護岸の破壊 条件の浸水 範囲に対す る感度分析
ケース2		護岸の標準断面図を基に 堤脚水深を精査 (T. P. -1m⇒-9mに変更)	・護岸パラペットを考慮 ・上部工被災区間(L=600m)は パラペットの天端高を低減	
ケース3	伊勢湾台風 コース	護岸の標準断面図を基に 堤脚水深を精査 (T. P. -1m⇒-9mに変更)	・破壊なし	
ケース4			・破壊あり	
ケース5			・破壊なし ・パラペットの全延長の1/2 で堤防なし(無堤区間を100m 間隔で設定)	

3.4. 波浪・高潮の再現性確認

令和元年台風第15号の場合について、波浪・高潮シミュレーション結果を実測データと確認し、波浪・高潮シミュレーションの妥当性を確認した。比較の結果を、図3.3、図3.4に示す。

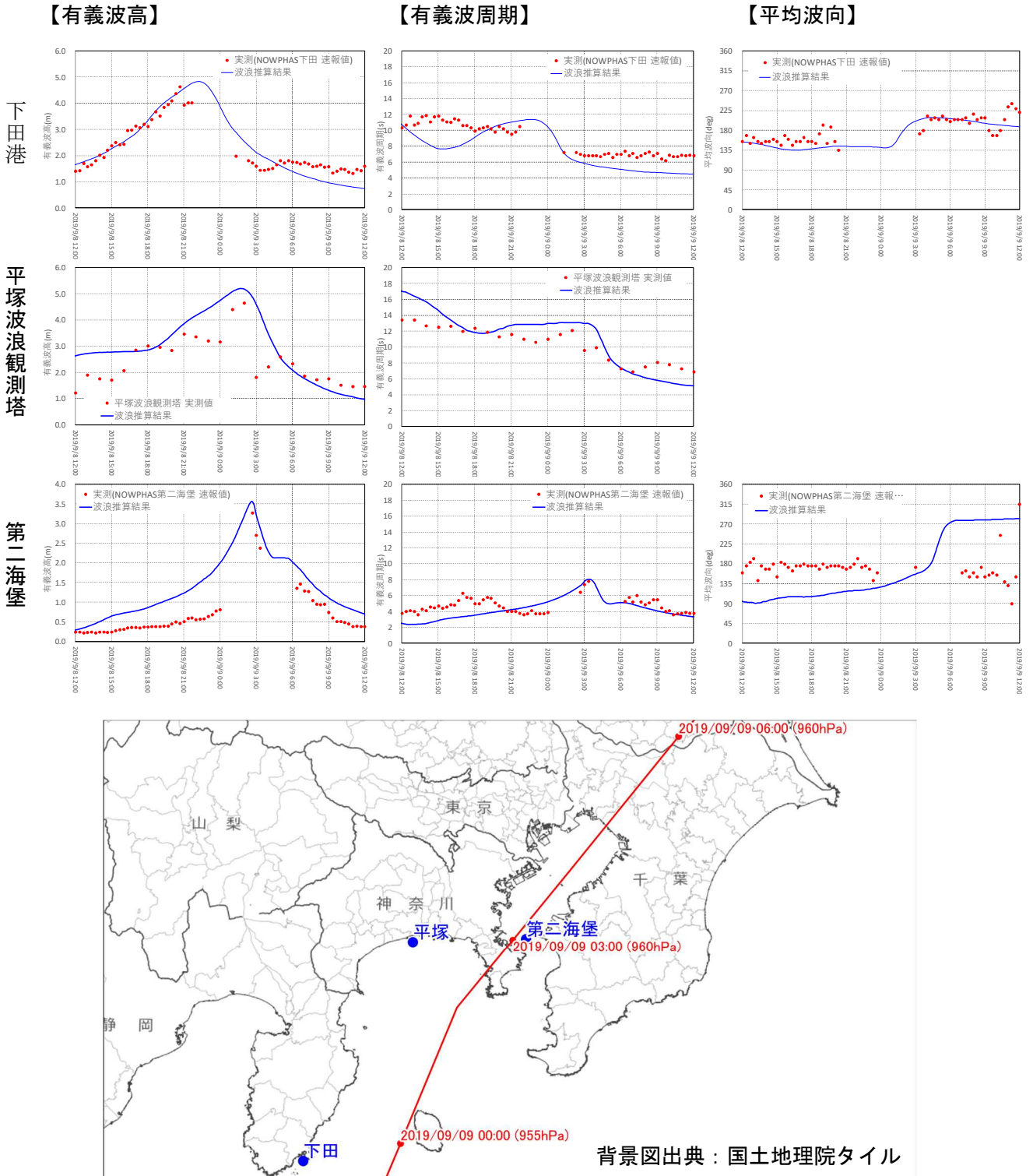


図 3.3 波浪推算結果の再現性検証

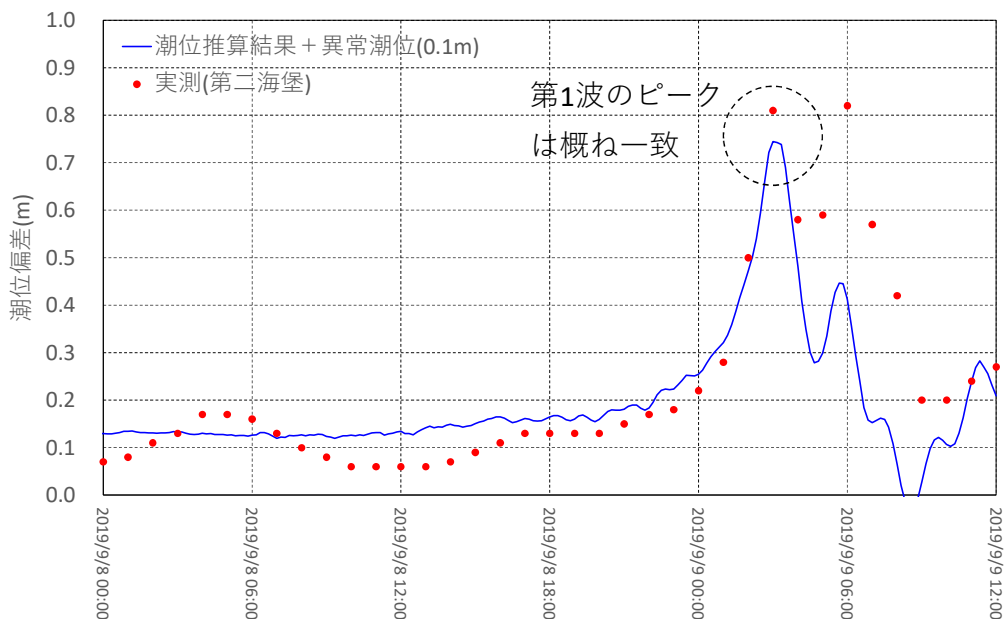


図 3.4 高潮推算結果の再現性検証

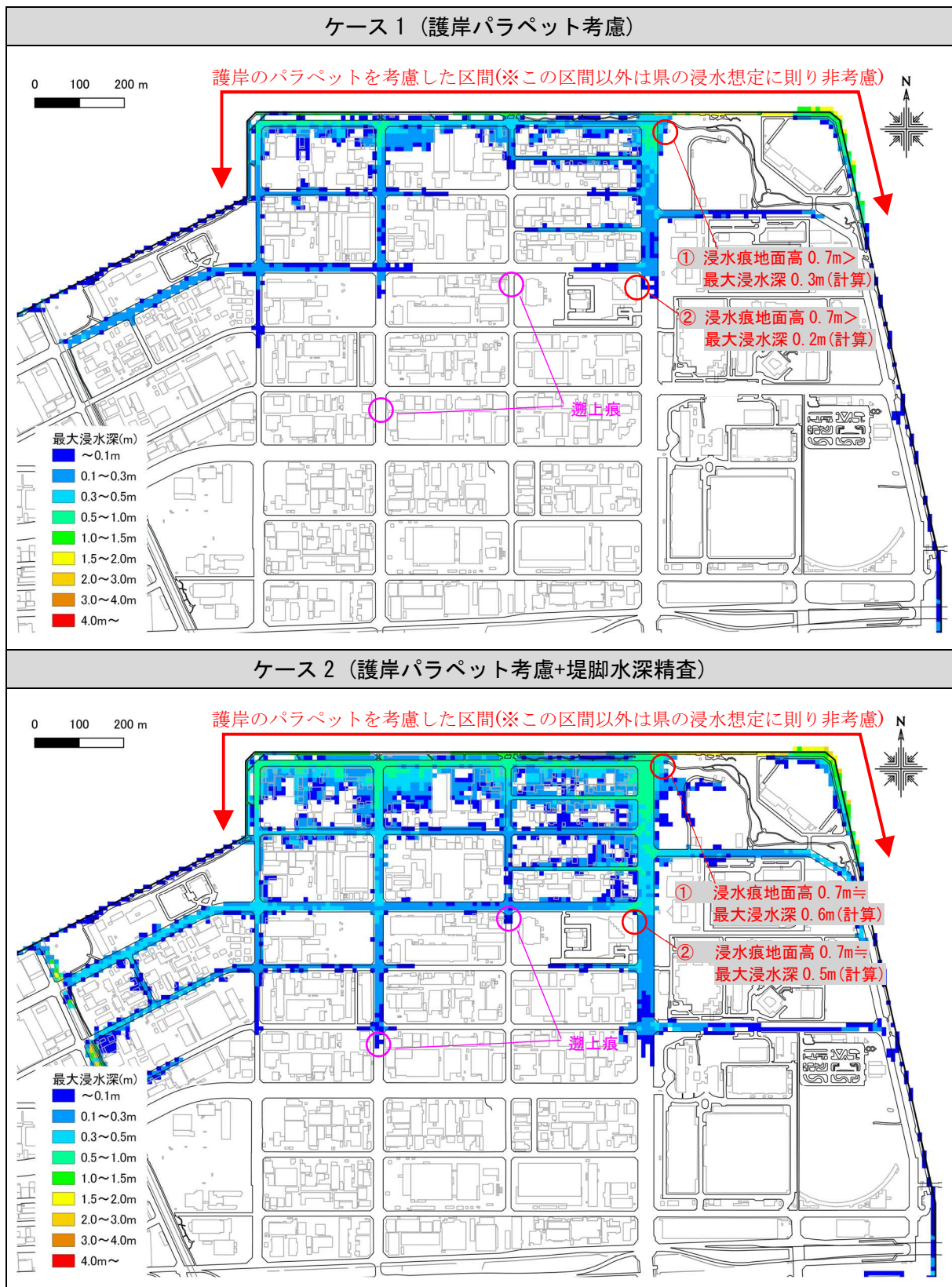
3.5. 浸水範囲の再現性確認

高潮浸水計算の再現性検証結果を図 3.5 に示す。検証材料として、横浜市¹および港湾空港技術研究所の資料²を用いた。この結果から、以下のことが分かる。

- ・ ケース 2 は実際の浸水範囲・浸水深を概ね再現できたが、ケース 1 は過小であった。したがって、堤脚水深の精査によって、浸水範囲の再現性が向上したと考える。精査前の堤脚水深の設定値は T.P.-1m であり、設定上は護岸が砕波帯内に位置することになっていた。しかし、実際は T.P.-9m 程度であり、未砕波の波が襲来していたと考えられる。護岸の形状を精査し、実態と合わせることで、より実態に近い越波の状況を表現できたと考える。

¹ 令和元年台風第 15 号による 9 月 9 日の神奈川県横浜市における高波に関する現地調査報告、横浜市

² 港湾空港技術研究所資料、No. 1379、台風 1915 号の気象・高潮・波浪の特徴と横浜港の浸水被害



- : 令和元年台風第 15 号による 9 月 9 日の神奈川県横浜市における高波に関する現地調査報告(横浜市)
- : 港湾空港技術研究所資料、No.1379、台風 1915 号の気象・高潮・波浪の特徴と横浜港の浸水被害

図 3.5 高潮浸水計算の再現性検証結果

3.6. 浸水範囲の感度分析結果

高潮浸水シミュレーションの感度分析結果を図 3.7 に示す。

- ・ 福浦地区では、堤防なしの区間が増えるほど、海側への排水量が増えることで、浸水範囲が減少することが分かった。この要因の 1 つに、当海岸では図 3.6 に示すとおり陸から海に向かって緩やかな下り勾配がついていることが考えられる。堤防がなければ、越波水塊は海側へ随時自然に排水される一方、堤防が残置される場合は堤防天端満杯まで浸水位が上昇しない限り排水されないため、浸水範囲が広がりやすいと考える。
- ・ 福浦地区のように、背後地の条件によっては、堤防・護岸等が決壊しない場合の方が浸水が広がる場合がある。この場合、決壊区間が少ない程、浸水範囲は広くなると考えられる。

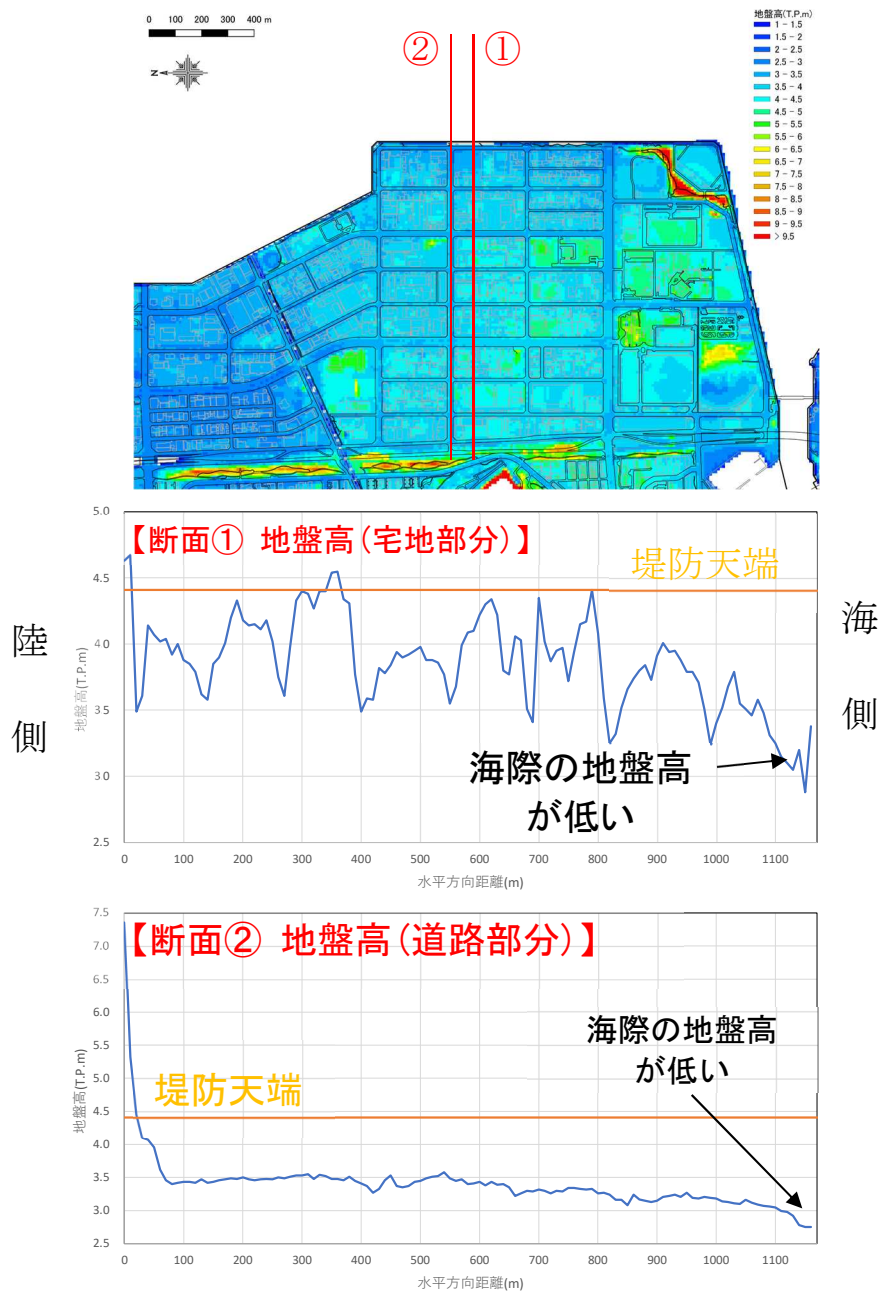


図 3.6 福浦地区周辺の地形の状況

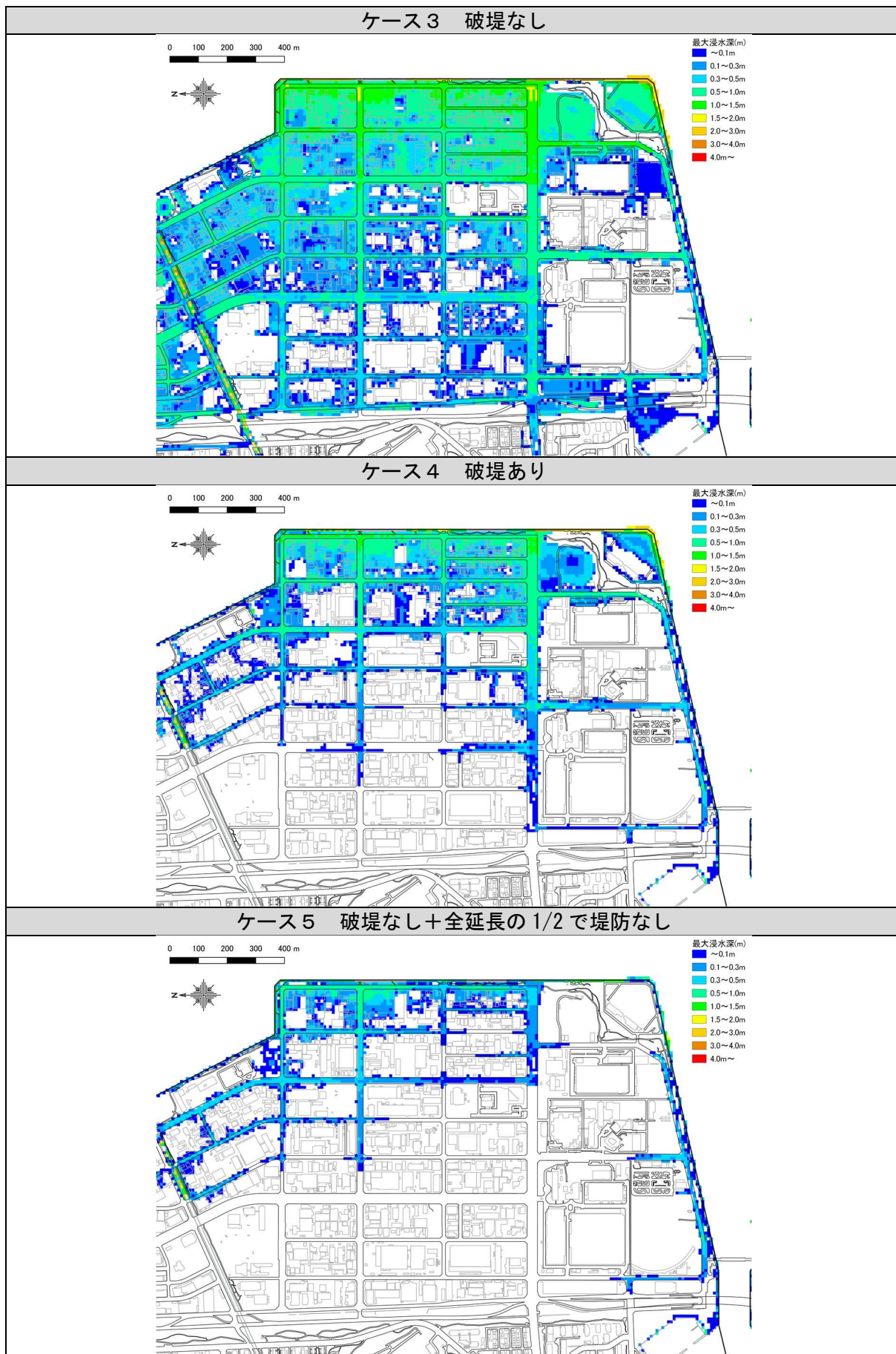


図 3.7 高潮浸水シミュレーションの感度分析結果

4. 家屋倒壊等氾濫想定区域の検討

【本章の目的】

手引き(p.72~76)では、必要に応じ、家屋倒壊等氾濫想定区域も設定できることを新たに示した。

高潮の浸水想定においては、家屋の倒壊の形態として下記の2種類が存在すると考える。

- ①河川の洪水の場合と同様に、堤内地での氾濫流によって家屋が倒壊する
 - ②平成16年10月の菜生海岸での被災のように、越波水塊の直撃によって家屋が倒壊する
- ここでは、上記①、②について、既往の研究事例等の整理を行った。

4.1. 氾濫水の流れによる家屋倒壊条件

氾濫流による家屋倒壊等氾濫想定区域の設定のためには、適切な家屋倒壊条件が必要となる。一方、手引きでは、p.73~p.76に氾濫流による家屋倒壊条件を複数示している。そして、図4.1に示すとおり、採用する条件によって家屋倒壊の判定が大きく異なる。したがって、家屋倒壊条件を設定する際には、氾濫域の代表地点での水位・流速を整理する等により氾濫流の特性を明確にした上で、適切な条件を選定することが望ましい。

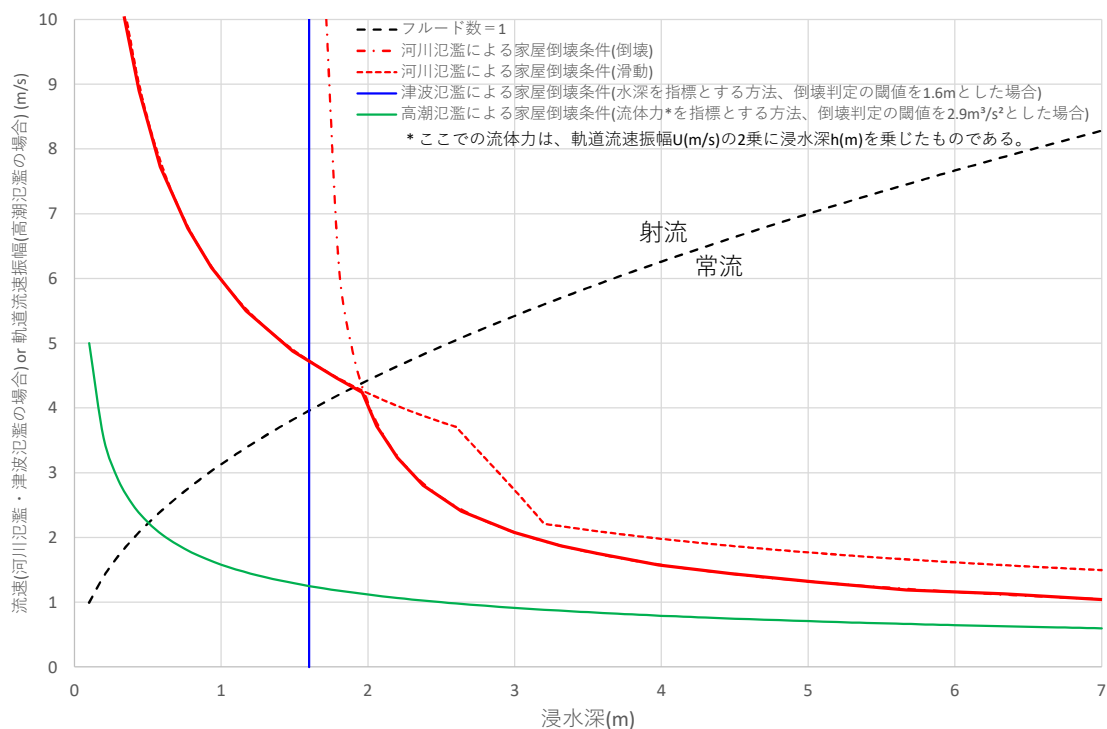


図 4.1 手引きに示される3通りの家屋倒壊条件の比較

適切に家屋倒壊条件を選定するための参考として、既往の研究成果を整理した。家屋倒壊条件に関する既往研究の多くは津波や河川の氾濫を想定したものであり、高潮の氾濫を想定したものは少ない。したがって、津波や河川の氾濫による家屋倒壊条件を、その適用範囲を確認した上で準用することも可能である。

a) 河川の洪水氾濫に対する家屋倒壊条件に関する知見

河川の氾濫に対する家屋倒壊条件として、洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)¹では、モデル的な木造2階建て家屋を想定した安定計算の結果から、任意の浸水深・流速に対する家屋の滑動・倒壊の危険性を評価するグラフを作成した。この図は、河川の洪水浸水想定において、家屋倒壊等氾濫想定区域を設定する際に標準的に用いられている(手引き p.72)。

水害後の被害調査等に基づく河川の氾濫に関する家屋の耐性についても、知見が蓄積されている^{2,3,4,5}。このうち、鈴木ら(2004)⁴や久松ら(2017)⁵は、それぞれ平成16年7月新潟豪雨災害及び平成27年9月関東・東北豪雨による家屋の被害状況と、洪水氾濫の数値解析の結果から、浸水深のみを関数とした家屋被害関数を導出している。

一方、河田・中川(1984)²によれば、「河川の洪水氾濫では、堤内地への侵入水は一般に上流から下流に流れるので、最大水深と最大流速の発生がほぼ同時」であるが、「津波の場合には、高潮の場合と同じく、氾濫水は逆勾配の背後地を遡上するので、最大水深時はむしろ流速が零に近い場合であると推定」されている。したがって、河川の洪水氾濫に基づく、浸水深のみを指標とした家屋倒壊条件を高潮に適用する場合、浸水域の代表地点の水位・流速の時系列を確認する等して、河川の洪水氾濫に類似する浸水形態であることを確認しておくことが望ましい。

b) 津波に対する家屋倒壊条件に関する知見

津波による家屋被害を評価する方法として、浸水深のみを用いる方法と、津波外力(浸水深、流速、流体力)を用いる方法がある。しかし、田中ら(2015)⁶では、「浸水深だけでは家屋の密集度、海岸林幅、堤防高さ等やその破壊状態によって差が生じる流速影響が評価できない」とされており、浸水深、流速、流体力を用いる方法は、より汎用性の高い方法であると言える。

浸水深のみを用いた例としては、南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ⁷がある。ここでは、人口集中地区とそれ以外の地区で浸水深別・建物構造別に被害率を分析し、浸水深毎に被害率を設定して算出している。また、越村ら(2012)⁸は東日本大震災の被災状況と測定された浸水深を基に、地域毎の津波被害関数を導出し、津波被害関数が地域特性に応じて4パターンに分類できることを示した。

浸水深、流速、流体力を用いる方法として、例えば林ら(2013)⁹は、東日本大震災の被災地の現地調査データと津波数値解析を統合し、浸水深、流速、流体力のそれぞれを指標とした津波被害関数を構築した。田中ら(2015)⁶は、東日本大震災の津波による家屋被害調査結果を再現する数値解析手法を用いて、流速影響も含む流体力を指標として家屋倒壊を評価することで、他地点でも利用可能な被害関数の定義を試みた。結果、海岸線でのフルード数に応じて使い分ける2種類の被害関数を提案した。

これらの知見を高潮に適用する場合も、津波と高潮の氾濫特性の違いに留意する必要がある。

c) 高潮に対する家屋倒壊条件に関する知見

高潮の場合の家屋倒壊条件を調査した例として、田島ら(2006)¹⁰がある。田島ら(2006)¹⁰は、Hurricane Katrina による Biliox 周辺の被害状況の調査結果と、数値シミュレーションの結果から、浸水深 h 、軌道流速振幅 U 及び U^2h の 3 通りの指標と家屋流失率の関係を調べた(手引き p.74 参照)。この知見を高潮に適用する際には、 U が波の軌道流速振幅であり、他の文献で用いられている指標である断面平均流速(以下、 u と記載)とは異なることに留意が必要である。

図 4.1 では、田島ら(2006)¹⁰の実態分析の結果から、家屋流出率が 90%以上となる地域がはじめて出現する $U^2h=2.9 \text{ m}^3/\text{s}^2$ を閾値に設定した場合を例として示した。一方、家屋倒壊を生じる流体力の指標については、様々な値が提案されている。例えば、河田・中川(1984)²は、昭和 58 年 7 月山陰豪雨による三隅川の洪水氾濫の被害を受けた範囲のうち、人口・家屋の集中地区で市街地を形成している三隅・郷地区の洪水氾濫の実態と家屋被害の関係を調べた。この研究では、流体力と家屋被害の間に相関を確認しており、 u^2h が $20\text{m}^3/\text{s}^2$ 以上の分布域と家屋流出の発生域に明確な対応を認めている。佐藤ら(1989)³は、1986 年 8 月の吉田川の氾濫計算結果と堤内地の家屋被害調査結果から、家屋の被害と数値計算による水理量との関係を調べた。結果、家屋被害と流体力 u^2h の間に密接な関係があることを示した。この論文によれば、最大流体力 u^2h が $1.5 \text{ m}^3/\text{s}^2$ 以上となると被害が出始め、 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}^2$ 以上となると住居不可能な家屋が出現するとしている。

4.2. 越波による家屋倒壊条件

菜生海岸災害調査検討委員会報告書(2005)¹¹によれば、平成 16 年の台風第 23 号では、高知県室戸市の菜生海岸において、海岸堤防が約 30m にわたり倒壊した。また、越波等により背後の家屋 5 棟が全壊し、7 棟が半壊・一部損壊に至ると共に、3 名が死亡した。家屋の被害は、海岸堤防が倒壊しなかった区間においても生じていた。一方、当台風による浸水被害は、床上浸水が 6 棟、床下浸水が 3 棟であり、浸水被害は限定的であった。被害の主な要因は、計画波高・計画潮位を超過する高波浪・高潮位が発生したことで、顕著な越波が生じると共に、設計外力を超える波圧が堤防に作用し、堤防が倒壊に至ったことと考えられている。この事例から、計画外力を超過するような外力が作用する場合、顕著な浸水が生じなかったとしても、施設の倒壊や越波によって背後の家屋に重大な被害を生じる場合があることが分かった。このため、越波の視点から家屋倒壊等氾濫想定区域を検討することは重要であると言える。

越波により家屋の倒壊等が生じ得る範囲を評価するための簡便な方法として、手引き p.76 に示されている高田(1972)¹²の式等により越波の最大飛散距離を計算し、護岸等の天端から最大飛散距離の範囲内までを家屋倒壊条件を満たす範囲とみなす方法がある。

より詳細な検討を行う場合は、越波直後の水塊による波力を評価する必要がある。これに関する既往研究に、坂井ら(2006)¹³、竹下ら(2017)¹⁴がある。

坂井ら(2006)¹³は、法勾配 1:0.5 の直立護岸と、この前面に消波ブロックを設置した消波護岸を対象とした越波の水理模型実験を行い、越波流量・護岸からの距離と家屋に作用する波圧の関係を整理した(図 4.2 参照)。さらに、この結果を基に、家屋半壊限界越波流量を護岸からの距離

の関数として整理した(図 4.3 参照)。この成果を用いることで、越波流量と護岸からの距離から、家屋壁面に作用する波圧を推定することが可能である。

また、竹下ら(2017)¹⁴は、水理模型実験及び数値波動水路の結果を組み合わせ、越波により海岸堤防背後の家屋に作用する波圧の計算を行った。そして、波圧と静水圧の比である水深係数を、護岸から家屋壁面までの距離の関数として整理した。この成果を用いることで、背後地の浸水深と護岸からの距離から、家屋壁面に作用する水深係数を推定できる。

一方、いずれの成果も、特定の条件の下で実施された水理模型実験・数値シミュレーションに基づいており、適用の際は留意が必要である。

【参考文献】

- ¹ : 洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）、平成27年7月、国土交通省、国土技術政策総合研究所
- ² : 河田恵昭, 中川一. (1984). 三隅川の洪水災害-洪水氾濫と家屋の被害. 京都大学防災研究所年報. B= Disaster Prevention Research Institute Annuals. B, 27(B-2), 179-196.
- ³ : 佐藤智, 今村文彦, 首藤伸夫. (1989). 洪水氾濫の数値計算および家屋被害について. 水理講演会論文集, 33, 331-336.
- ⁴ : 鈴木進吾, 越村俊一, 原田賢治, 岡本学, 福留邦洋, 菅磨志保, 河田恵昭. (2005). 2004年7月新潟豪雨水害の災害調査による家屋被害関数の構築. 水工学論文集, 49, 439-444.
- ⁵ : 久松力人, 河辺賢, 水野佑亮, 篠塚義庸, 堀江啓. (2017). 平成27年9月関東・東北豪雨の保険損失に基づく洪水被害関数の構築. 土木学会論文集 B1 (水工学), 73(4), I_1279-I_1284.
- ⁶ : 田中規夫, 小内堯, 近藤康太. (2015). 津波流体力とそのモーメントによる破壊規模ごとの家屋被害関数. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 71(1), 1-11.
- ⁷ : 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ : 南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, 南海トラフ巨大地震の被害想定について (第一次報告), p. 8, 2012.
- ⁸ : 越村俊一, 郷右近英臣. (2012). 2011年東北地方太平洋沖地震津波災害における建物脆弱性と津波被害関数. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 68(2), I_336-I_340.
- ⁹ : 林里美, 成田裕也, 越村俊一. (2013). 東日本大震災における建物被害データと数値解析の統合による津波被害関数. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 69(2), I_386-I_390.
- ¹⁰ : 田島芳満, 佐藤慎司, 藤原弘和. (2006). Hurricane Katrina による Biloxi 周辺の高潮被害分布とその外力特性の検証. 海岸工学論文集, 53, 406-410.
- ¹¹ : 菜生海岸災害調査検討委員会 : 菜生海岸災害調査検討委員会報告書, 2005.
- ¹² : 高田彰 : 越波の飛散分布について, 第19回海岸工学講演会論文集, pp. 285-295, 1972.
- ¹³ : 坂井洋平, 山本泰司, 木村克俊, 名越隆雄. (2006). 護岸背後に位置する家屋の越波被害について. 寒地土木研究所月報, (639), 22-29.
- ¹⁴ : 竹下哲也, 加藤史訓, 森谷拓実, 峯村浩治. (2017). 越波により海岸堤防背後の家屋に作用する波圧の数値計算. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 73(2), I_931-I_936.

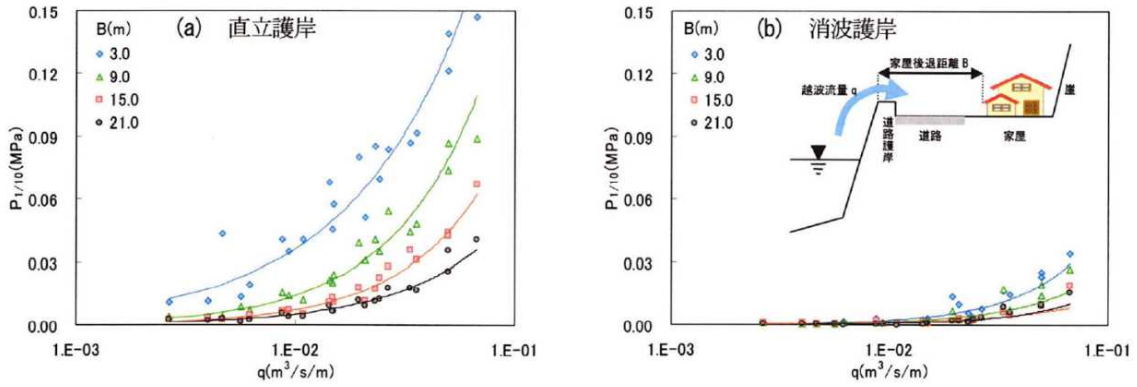


図 4.2 越波流量・護岸からの距離と家屋に作用する波圧の関係

(a : 法勾配 1:0.5 の直立護岸の結果、b : a の前面に消波ブロックを設置した場合の結果)

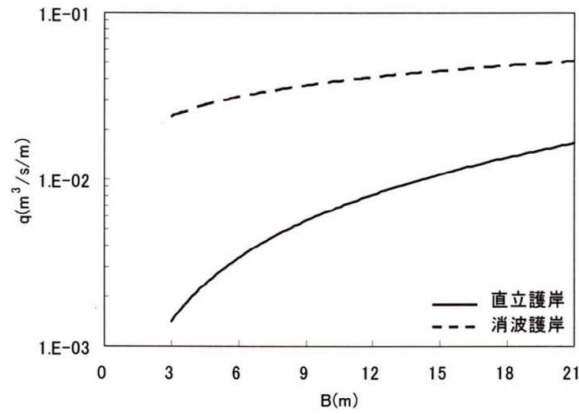


図 4.3 家屋半壊限界越波流量

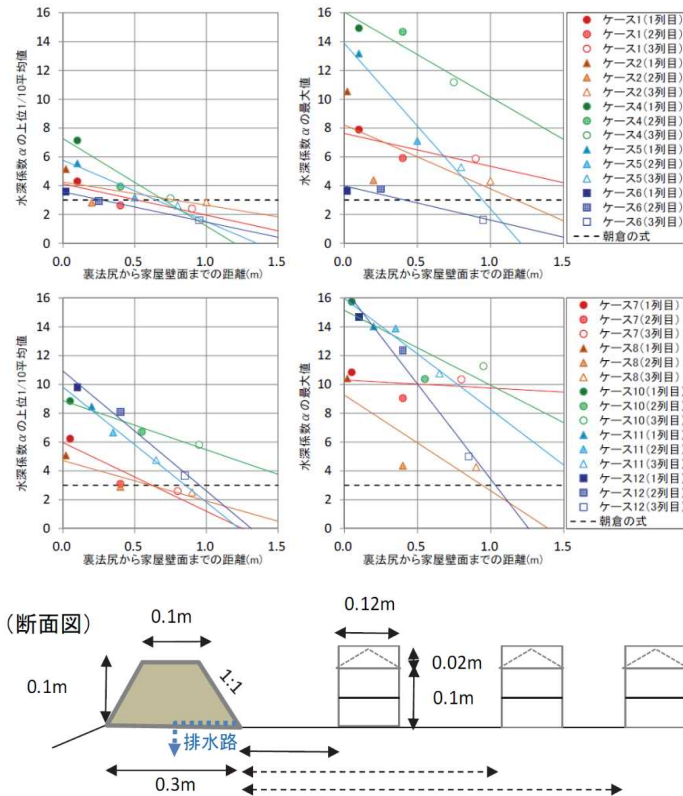


図 4.4 護岸からの距離と水深係数の関係

5. 気候変動を踏まえた台風・低気圧による想定最大規模の高潮・波浪の検討例

【本章の目的】

手引き(p. 59)では、必要に応じ、気候変動に伴う海面上昇や台風の将来変化を見込んだ高潮浸水想定を実施できることを新たに追記した。

そこで、気候変動を考慮した高潮・波浪の評価の事例として、東京湾、大阪湾、下新川海岸、根室湾について、気候変動の影響を考慮した想定最大台風・想定最大低気圧を設定し、波浪・高潮シミュレーションを行った試算例を示す。

本章の内容は、既存の知見に基づく簡便な手法により、台風・低気圧の中心気圧についてのみ、気候変動の影響を簡易的に試算したものである。実際は、気候変動は、台風・低気圧の移動経路や移動速度等に複雑に影響する。気候変動の影響を実務で考慮する際は、本章の検討例に加え、その他の事例も参考にし、その海域・海岸に適した手法を用いる必要がある。

5.1. 対象地区の設定

想定最大規模の高潮についての評価を行う対象海域として、台風による高潮の影響が顕著である東京湾、大阪湾の2海域を選定した。また、想定最大規模の低気圧についての評価を行う対象海域には、平成20(2008)年2月の寄り周り波(以下、「2008年2月低気圧」と呼ぶ)により高波被害を受けた富山県下新川海岸、平成26(2014)年の根室低気圧(以下、「2004年根室低気圧」と呼ぶ)により高潮被害を受けた北海道根室湾周辺の2海域を対象海域に選定した。対象海域の位置図を図5.1に示す。



図 5.1 対象海域の位置図

5.2. 計算手法・計算条件

計算条件の概要は、表 5.1 に示すとおりである。

表 5.1 計算条件一覧

項目		設定	出典
計算手法	気圧推算	【台風】Myers 式 【低気圧】気象庁数値予報モデルを内挿	手引き ¹ p. 42
	風推算	【台風】台風モデル 【低気圧】傾度風モデル	手引き p. 42
	波浪	第3世代波浪推算モデル：SWAN ver41.31A	手引き p. 43
	高潮(海域)	非線形長波方程式(風、気圧、波浪の影響を考慮)	手引き p. 45
対象海域		【台風】東京湾、大阪湾 【低気圧】北海道根室湾、富山県下新川海岸周辺	
台風条件	中心気圧	【現在気候】22度以南:880hPa、22~34度:880~910hPa、34度以北:910hPa 【気候変動後の気候】「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会(第5回)」の結果を踏まえ、緯度毎に現在気候の気圧を低下	手引き p. 16
	移動速度	73km/h	手引き p. 17
	最大旋衡風速半径	75km	手引き p. 17
	台風経路	千葉県、大阪府の公表資料を参考に、各湾の湾奥に最も危険と想定される経路をそれぞれ3経路設定(図 5.2 参照)	千葉県公表資料 ³ 大阪府公表資料 ⁴
低気圧条件	中心気圧	【現在気候】実測値に基づき設定 【気候変動後の気候】「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会(第5回)」の検討結果を踏まえて、緯度毎に現在気候の場合の気圧を低下	手引き p. 16
	台風経路	実際の低気圧経路+両側に20kmずつ平行移動した経路を設定	
潮位条件		平均的な潮位として、T.P. +0.0mを設定	
風推算条件	【台風】風の変換係数	C1=C2=0.75	手引き p. 42
	【台風】吹き込み角	30度	
	【低気圧】風の変換係数	手引き p. 50 の表 6 に則り緯度別に設定	手引き p. 50
	【低気圧】吹き込み角	手引き p. 50 の表 6 に則り緯度別に設定	
波浪推算条件	地形モデル	「G空間情報センター」の「津波断層モデル(5)地形データ」や、「東京湾沿岸高潮浸水想定検討会(神奈川県)」(神奈川県より提供)の検討モデルを活用した。	
	計算格子間隔	【東京湾】21870m⇒7290m⇒2430m⇒810m⇒270m⇒90m 【大阪湾】2430m⇒810m⇒270m⇒90m 【根室湾】1350m⇒450m⇒150m⇒50m 【下新川海岸】2430m⇒810m⇒270m⇒30m ※急勾配の海岸であるため、格子間隔30m程度が必要と判断	
	計算時間間隔	300s(陰解法による差分のためC.F.L.条件の制約を受けない)	SWAN マニュアル ²
	周波数・方向分割数	方向分割数:24($\delta\theta=15^\circ$) 周波数分割数:25($f=0.05\sim 0.5$, $\delta f\approx 0.1f$)	SWAN マニュアル
	波浪発達・減衰 白波碎波モデル	KOMEN(1984)のモデル	SWAN マニュアル
	高潮推算条件	地形モデル	G空間情報センターの「日本海溝_津波_(4)地形データ」、GEBCO、海底地形デジタルデータMシリーズ(日本水路協会)を活用
格子間隔		【東京湾】21870m⇒7290m⇒2430m⇒810m⇒270m⇒90m 【大阪湾】2430m⇒810m⇒270m⇒90m 【根室湾】1350m⇒450m⇒150m⇒50m ※下新川海岸では潮位偏差の計算は行っていない	
計算時間間隔		C.F.L.条件を満足するように設定した	
海面抵抗係数		本多・光易(1980)の方法を基本とし、風速45m/s以上については定数を一定とした	手引き p. 45
構造物条件		港の防波堤等の沖合施設は考慮しなかった	
粗度条件		海域のみを対象とするため、粗度条件は、マニングの粗度係数=0.025で一定とした	

¹: 高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver2.00

²: SWAN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOKUMENTATION, SWAN CycleIII version 41.31A (The SWAN team, Delft University of Technology)

³: 高潮浸水想定区域図について(東京湾沿岸[千葉県区間]) 説明資料、平成30年11月、千葉県

⁴: 大阪府河川整備審議会 平成30年度 第2回高潮専門部会、平成31年1月9日、大阪府 都市整備部 事業管理室

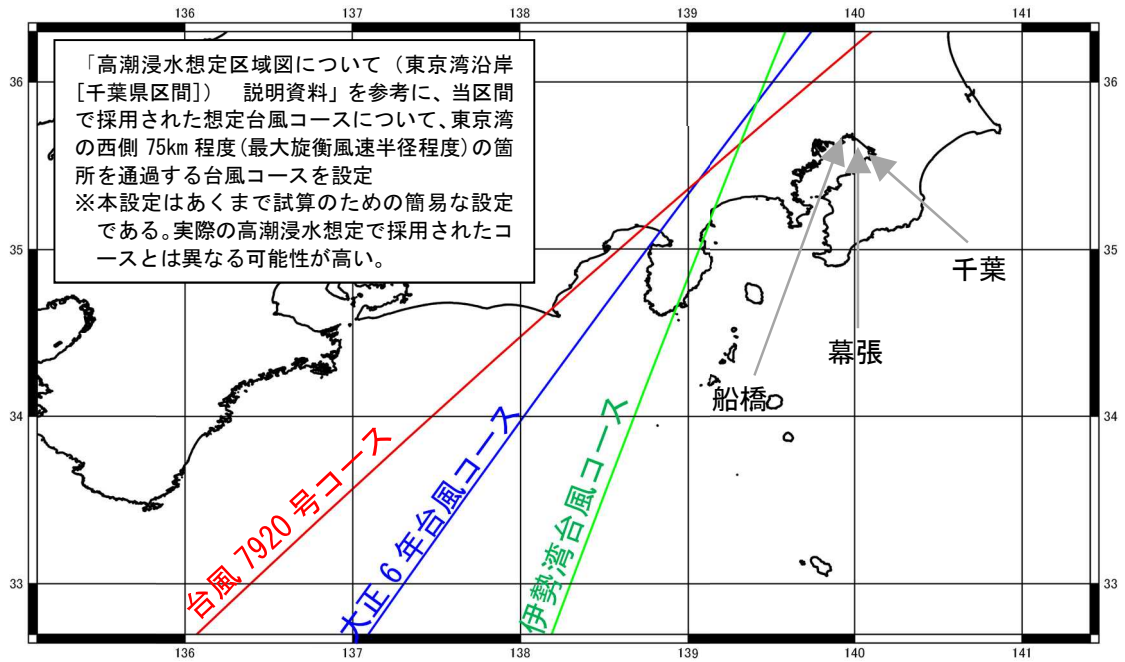


図 5.2(1) 本検討で検討対象とした台風経路

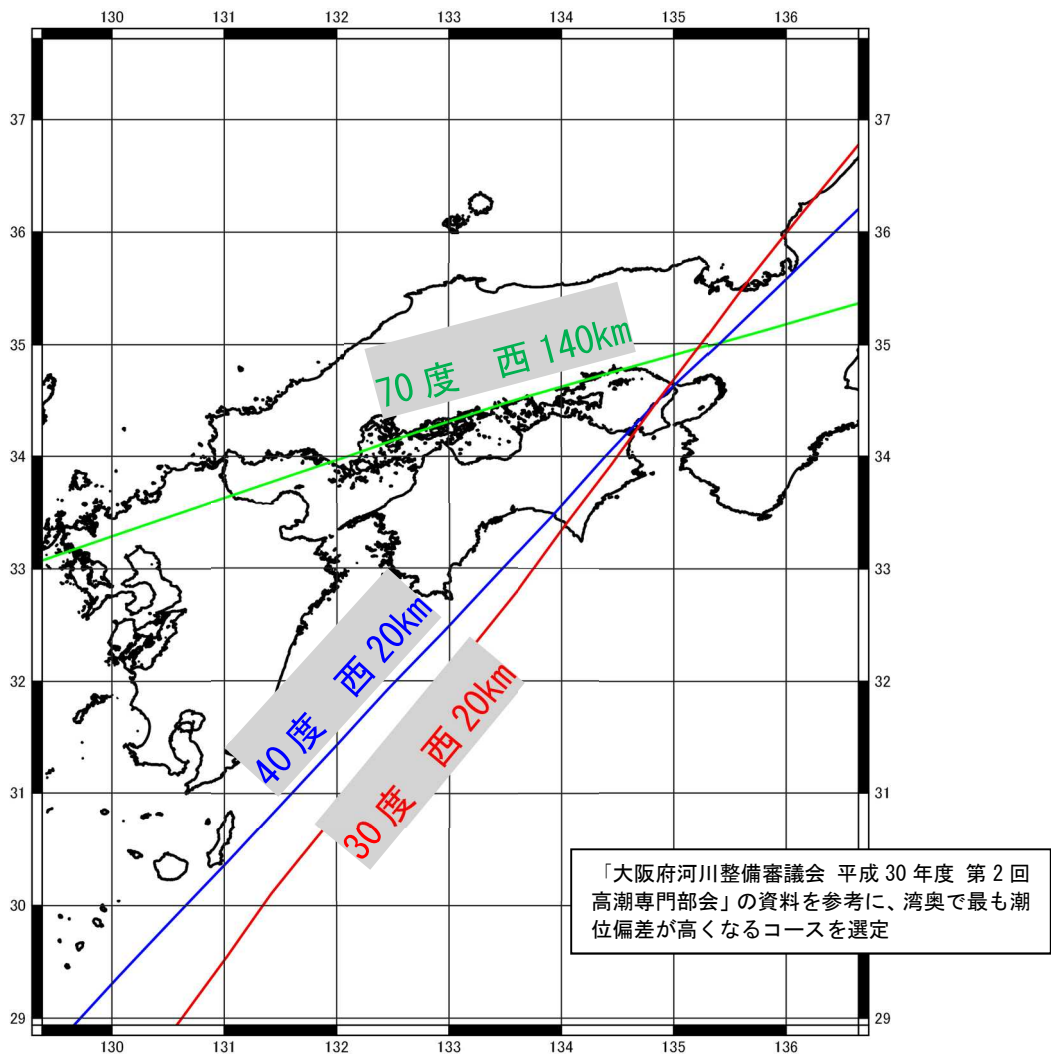


図 5.2(2) 本検討で検討対象とした台風経路

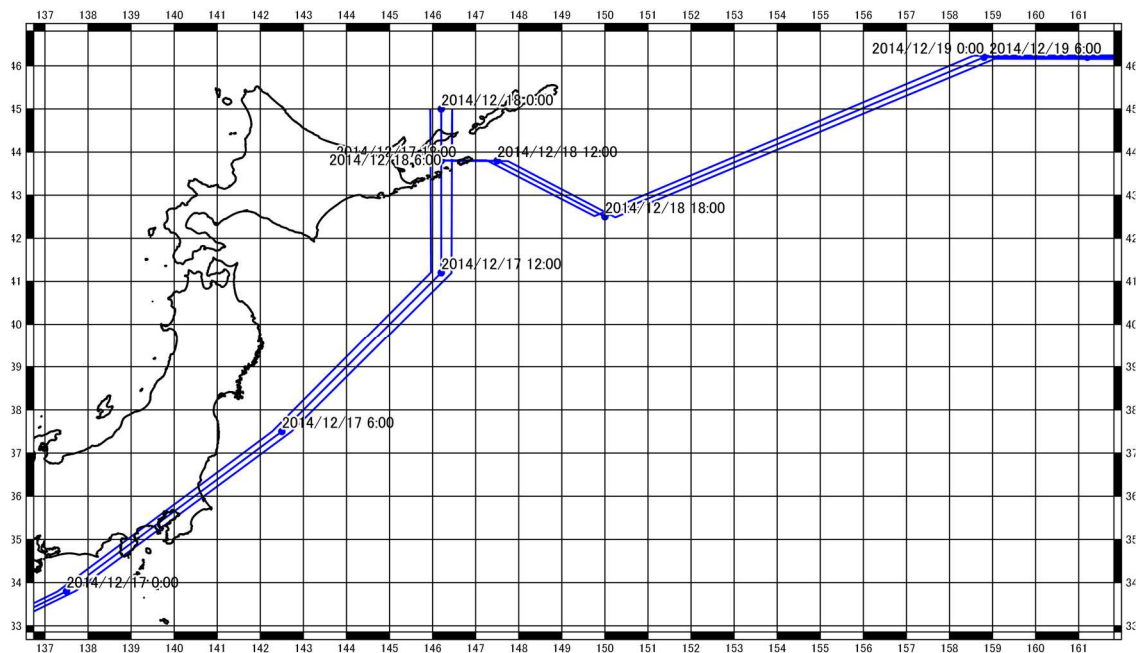


図 5.2(3) 検討対象とした 2014 年根室低気圧の経路

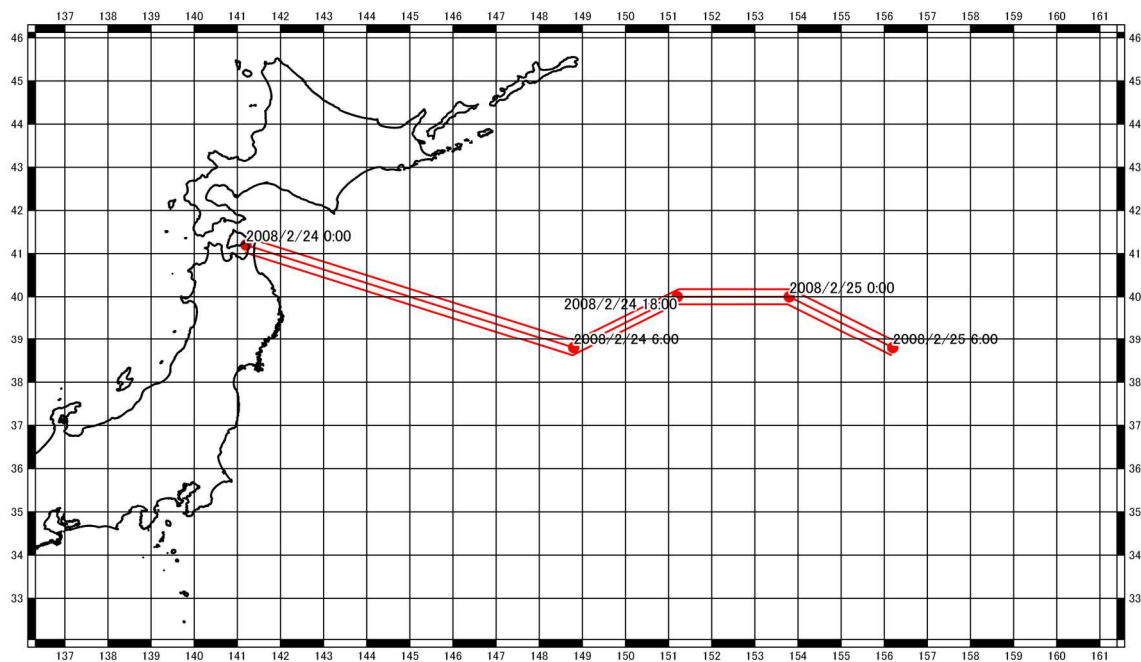
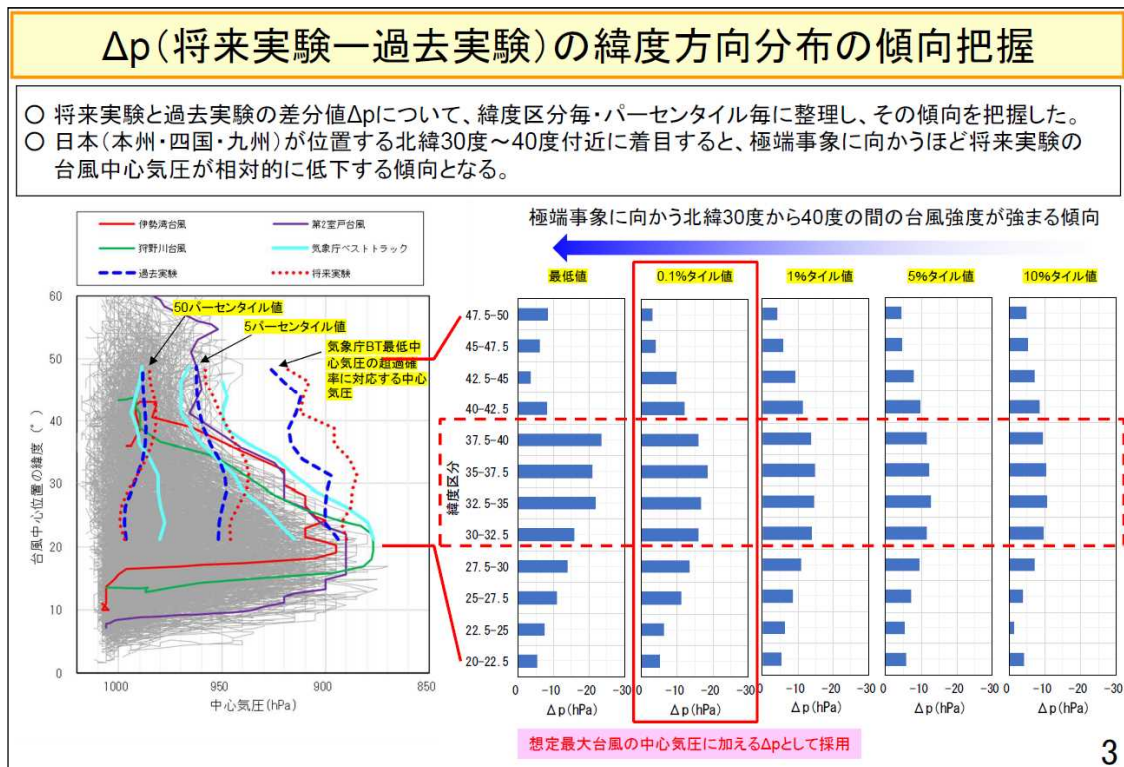


図 5.2(4) 検討対象とした 2008 年 2 月低気圧の経路

5.2.1. 気候変動の影響を考慮した想定最大台風の設定事例

「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会(第5回)、令和2年5月15日」の「資料4 d4PDF の活用による気候変動の影響評価」では、アンサンブル気候予測データベース(d4PDF)(以下、「d4PDF」と呼ぶ)のうち、水平解像度60kmの気象研究所全球大気モデルMRI-AGCM3.2を用いた全球実験から、Shimura et al.(2016)¹の方法により抽出された台風トラックデータを分析し、現在の気象条件に対応する過去実験と4℃上昇時の気象条件に対応する将来実験の台風中心気圧の差分を、緯度別・超過確率別を整理した。当該箇所の抜粋を、図5.3に示す。図より、超過確率0.1%の極めて発生頻度の低い台風の場合、緯度30度～40度の範囲では、4℃上昇によって台風中心気圧が10～20hPa程度低下する傾向にあると推測できる。ただし、発生頻度が低い台風についてはバイアス補正に課題があること、一定の不確実性を持つ結果であることに留意が必要である。



出典：気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会(第5回)、令和2年5月15日、気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会

図 5.3 d4PDF の過去実験と将来実験(4℃上昇)の台風中心気圧の緯度別・超過確率別の差分

本検討では、図 5.3 を参考に、4℃上昇時の気象条件下における想定最大台風を設定することとした。具体的にはまず、手引きの p.17 に基づき、現在気候における想定最大規模の台風の中心気圧を設定した。そして、図の設定に基づき、現在気候における台風の中心気圧を、台風中心の緯度に応じて低下させることで、4℃上昇時の気象条件下における想定最大規模の台風の中心気圧を設定した。

¹ Shimura, T., N. Mori and M. A. Hemer (2016) Projection of tropical cyclone-generated extreme wave climate based on CMIP5 multi-model ensemble in the Western North Pacific, Climate Dynamics, Vol.49(4), pp.1449-1462.

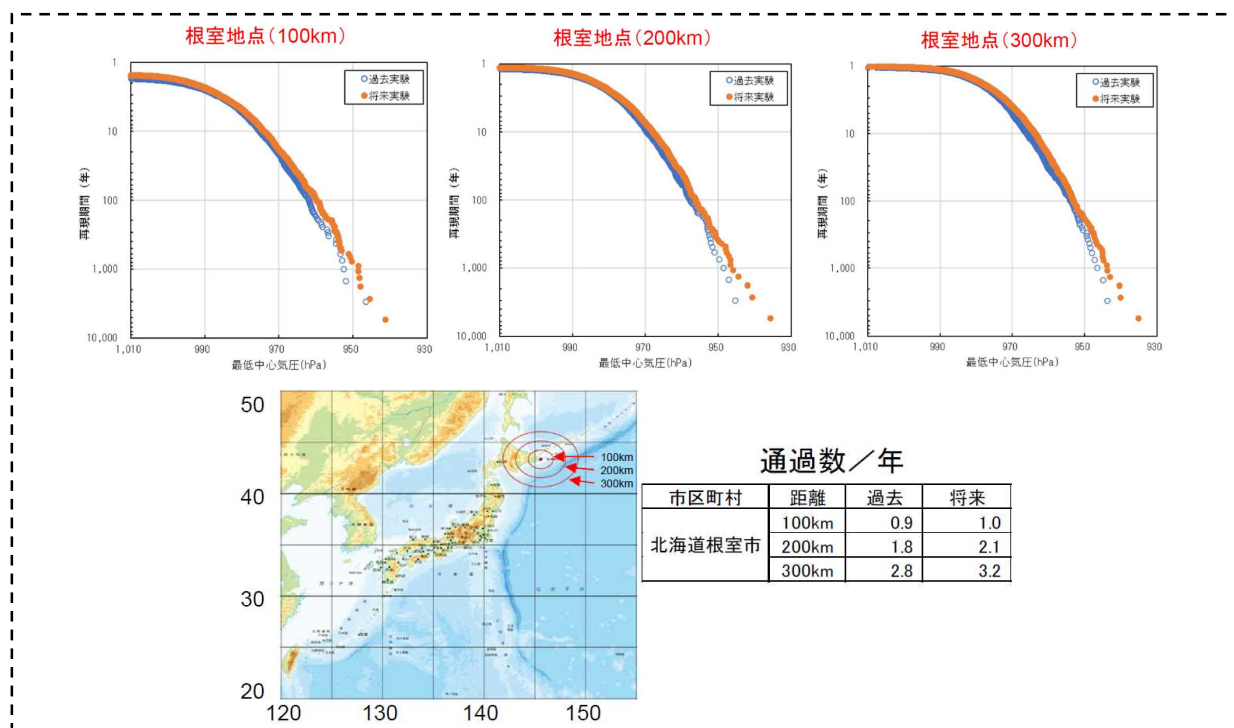
5.2.2. 気候変動の影響を考慮した想定最大低気圧の設定事例

「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会(第5回)、令和2年5月15日」の「資料4 d4PDFの活用による気候変動の影響評価」では、想定最大台風の場合と同様に、d4PDFの気象研究所領域気候モデルNHRCMによる領域実験(水平解像度20km)から、高ら(2018,2019)^{1,2}、千綿ら(2019)³の方法により抽出された爆弾低気圧のトラックデータを分析し、過去実験及び将来実験における、代表地点周辺を通過する爆弾低気圧の中心気圧の再現期間を整理している(図5.4参照)。この整理によれば、根室地点の周辺では、将来実験(4℃上昇)において、1,000年確率規模の爆弾低気圧の中心気圧が、過去実験の場合から5hPa程度低下する傾向にあると推測できる。ただし、気圧についてのバイアス補正に課題があること、一定の不確実性を持つ結果であることに留意が必要である。

気候変動後の気圧場については、実際の低気圧の中心気圧を一律で5hPa低下させたものを設定することとした。低気圧中心の周辺の気圧場については、無限遠での気圧1,013hPaからの気圧低下量に比例した量で引き伸ばして設定することとした。具体的な計算式は、以下のとおりである。

$$P_{将来} = P_{過去} - 5 \times (1,013 - P_{過去}) / (1,013 - P_c)$$

ここで、 $P_{過去}$ ：気象庁数値予報モデル(MSM)から設定した現在気候における任意地点の気圧場、 $P_{将来}$ ：気候変動後における任意地点の気圧場、 P_c ：低気圧の中心気圧、である。



出典：気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会(第5回)、令和2年5月15日、気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会

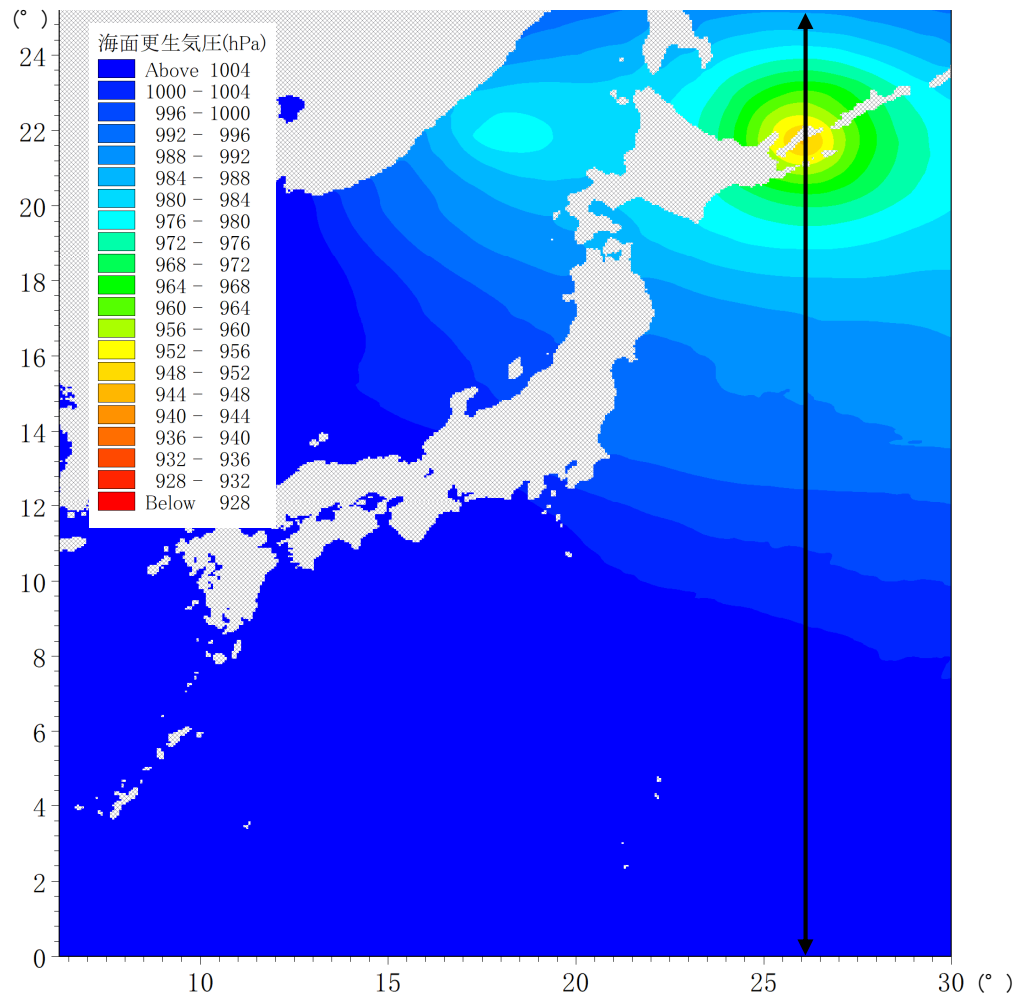
図 5.4 過去実験と将来実験(4℃上昇)の、確率年毎の爆弾低気圧中心気圧の比較

¹ 高裕也, 二宮順一, 森信人 (2018) d4PDFを用いた北海道周辺域で停滞する爆弾低気圧による高波の将来変化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 74(2), I_1327-I_1332.

² 高裕也, 二宮順一, 森信人, 金洙列 (2019) d4PDFを用いた根室における爆弾低気圧に起因する高潮の将来変化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 75(2), I_1225-I_1230.

³ 千綿蒔, 志村智也, 二宮順一, 森信人 (2019) 日本周辺の極端波浪の統計的特性と気象・地形要因の関係, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 75(2), I_97-I_102.

【2014 根室高潮時の気圧分布 (2014/12/17 12:00)】



【低気圧による気圧分布の引き伸ばしのイメージ】

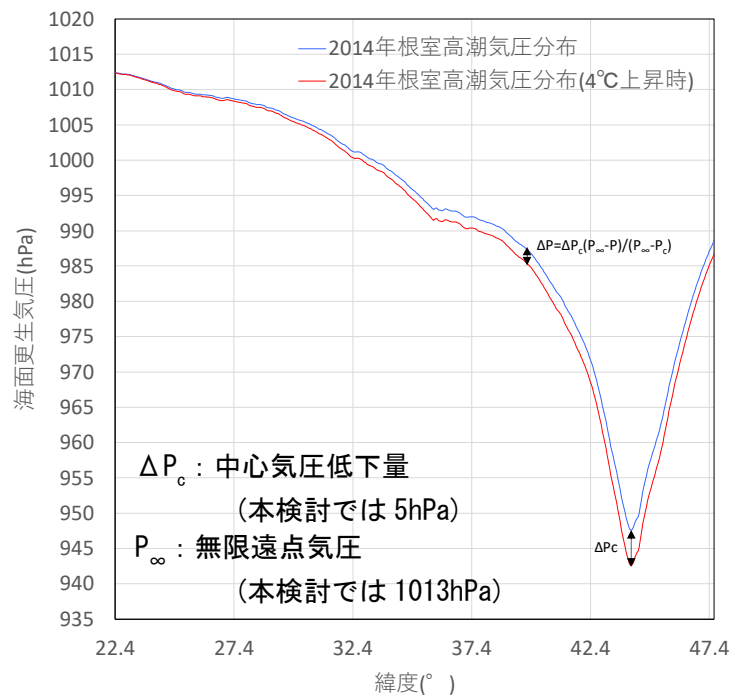


図 5.5 気候変動を考慮した低気圧による気圧分布の引き伸ばしの模式図

5.3. 計算結果

以下の評価は、既存の知見に基づく簡便な手法で、台風・低気圧の中心気圧についてのみ、気候変動の影響を簡易的に考慮した結果に基づくものである。計算条件の設定に用いるデータセットや、気候変動の考慮の方法によって、異なる結果を得る可能性が高いことに留意が必要である。

5.3.1. 想定最大台風による波浪・高潮の変化

(1) 東京湾

計算結果として、図 5.6 に東京湾内の最大潮位偏差分布、図 5.7 に最大潮位偏差の沿岸分布を示す。また、図 5.8 に東京湾内の最大有義波高分布、図 5.9 に最大有義波高の沿岸分布を示す。図より以下のことが分かった。

- ・ 想定最大規模の高潮を生じる台風に気候変動の影響を考慮することで、東京湾内の最大潮位偏差が全体的に増加した。
- ・ 増加量は湾口では 0.2m 程度、湾奥で 0.5m 程度と試算された。吹き寄せの効果が湾奥に向かって増大していたことが分かる。
- ・ 緯度 35 度における、気候変動に伴う中心気圧の低下量は約 15hPa である。したがって、増加量 0.5m のうち、0.15m は吸い上げ効果の増大分、0.4m は吹き寄せ効果の増大分と考える。
- ・ 想定最大規模の高波を生じる台風に気候変動の影響を考慮することで、東京湾湾奥の最大有義波高が増加した。しかし、湾口では最大有義波高の増加は見られず、湾奥での増加量も 0.1m 程度と試算された。このことから、外洋からの襲来波にほとんど変化はなく、湾内で生じる波高の違いは、湾内での風の吹送の差によるもののみであると考える。

(2) 大阪湾

計算結果として、図 5.10 に大阪湾内の最大潮位偏差分布、図 5.12 に最大潮位偏差の沿岸分布を示す。また、図 5.11 に大阪湾内の最大有義波高分布、図 5.13 に沿岸分布を示す。図より以下のことが分かった。

- ・ 想定最大規模の高潮を生じる台風に気候変動の影響を考慮することで、大阪湾内の最大潮位偏差が全体的に増加した。
- ・ 増加量は湾口では 0.2m 程度、湾奥で 0.8m 程度と試算された。吹き寄せの効果が湾奥に向かって増大していたことが分かる。
- ・ 緯度 35 度における、気候変動に伴う中心気圧の低下量は約 15hPa である。したがって、増加量 0.8m のうち、0.15m は吸い上げ効果の増大分、0.7m は吹き寄せ効果の増大分と考える。
- ・ 想定最大規模の高波を生じる台風に気候変動の影響を考慮することで、大阪湾湾奥の最大有義波高が増加した。しかし、湾口では最大有義波高の増加は見られず、湾奥での増加量も 0.15m 程度と試算された。このことから、外洋からの襲来波にほとんど変化はなく、湾内で生じる波高の違いが、湾内での風の吹送の差によるもののみであると考える。

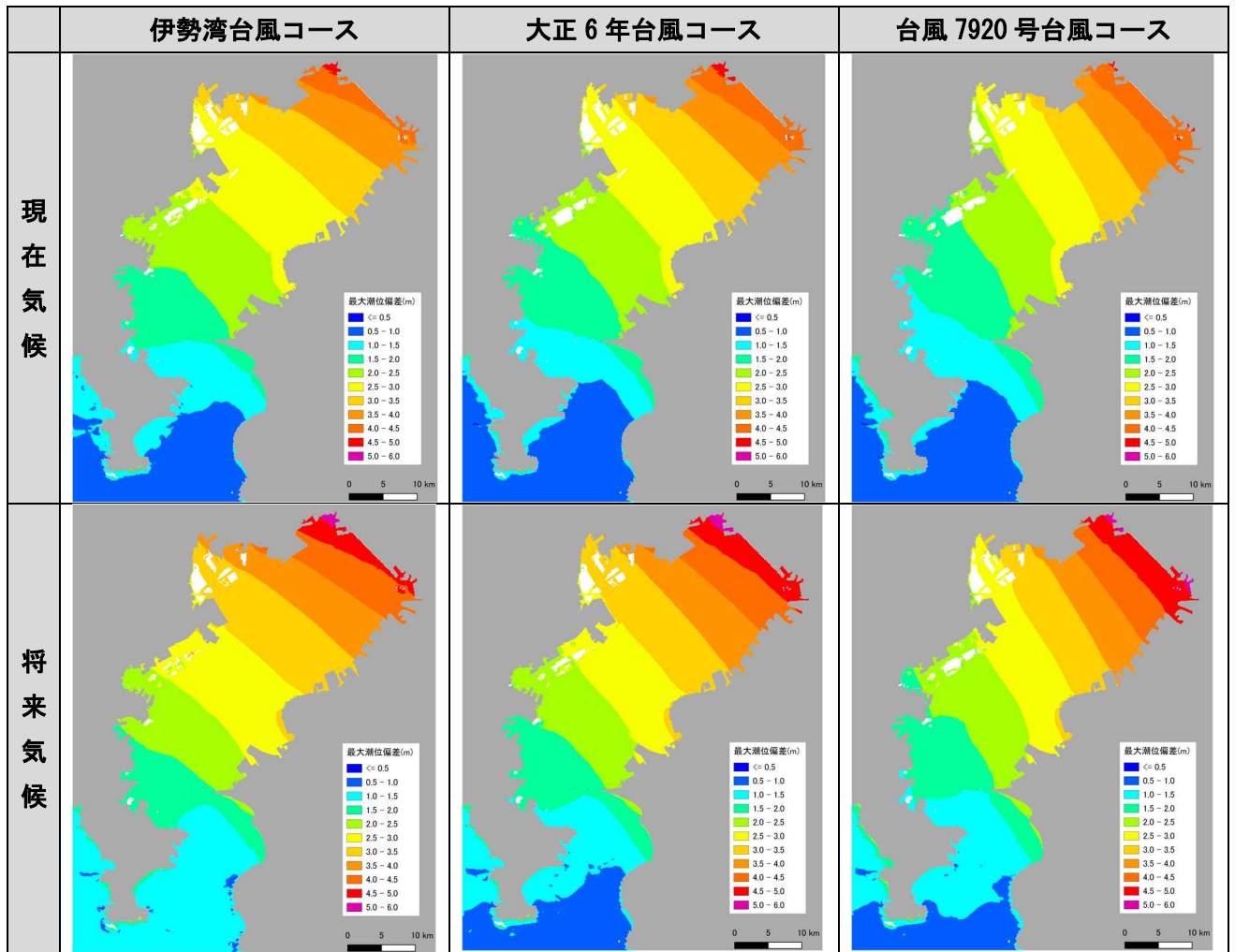


図 5.6 東京湾における最大潮位偏差分布の比較

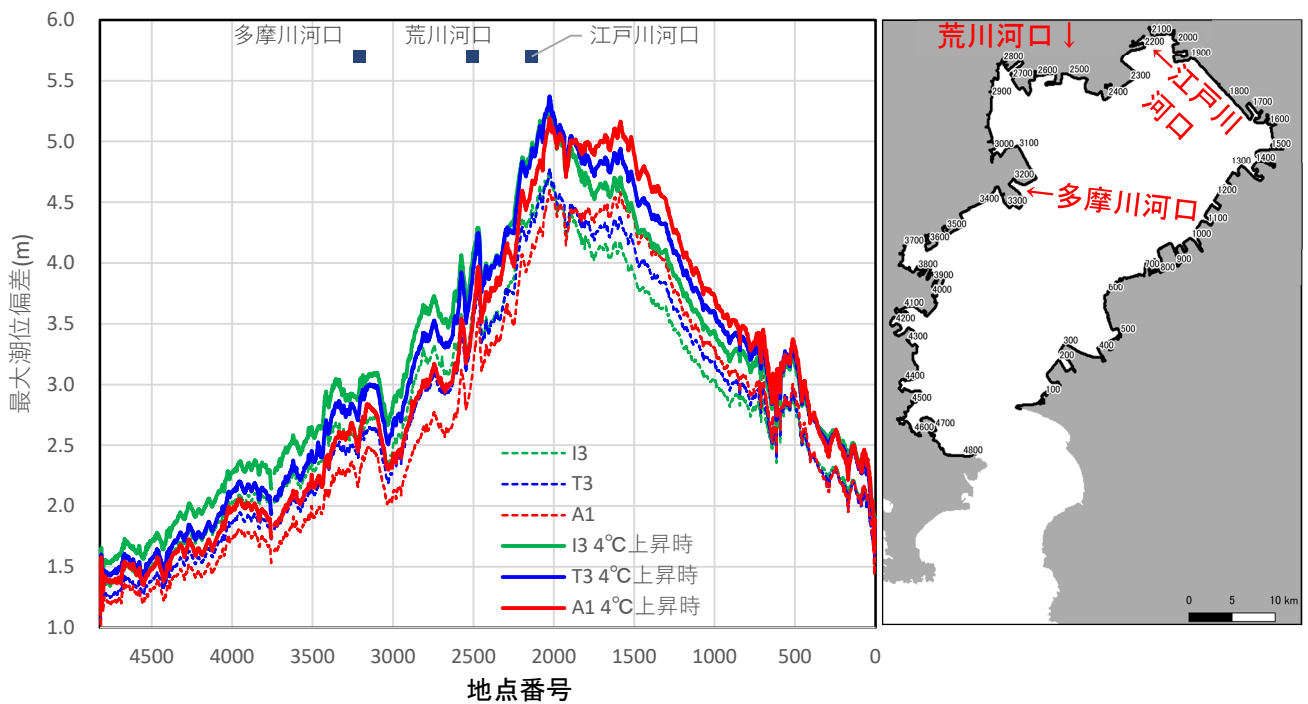


図 5.7 東京湾における最大潮位偏差の沿岸分布

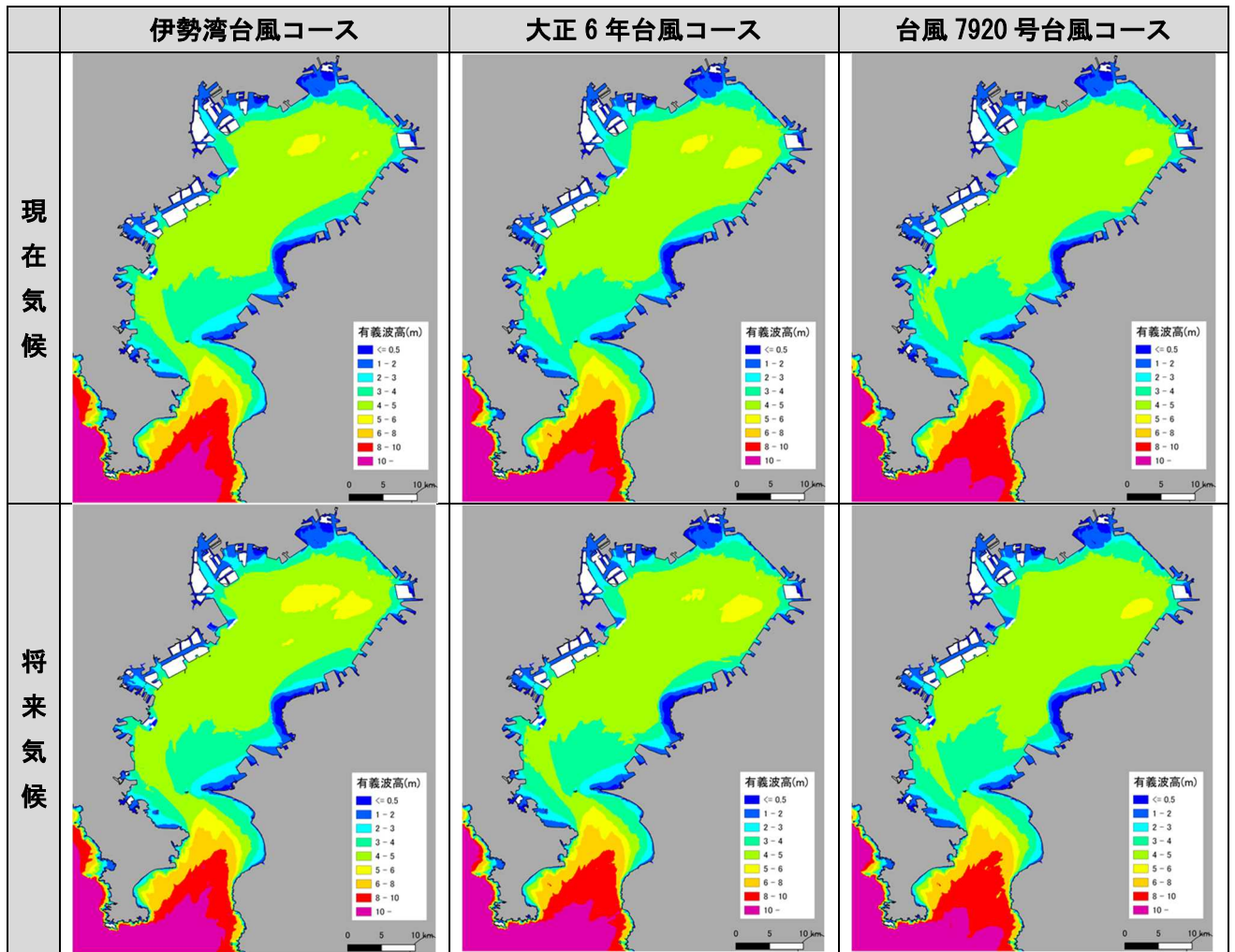


図 5.8 東京湾における最大有義波高分布の比較

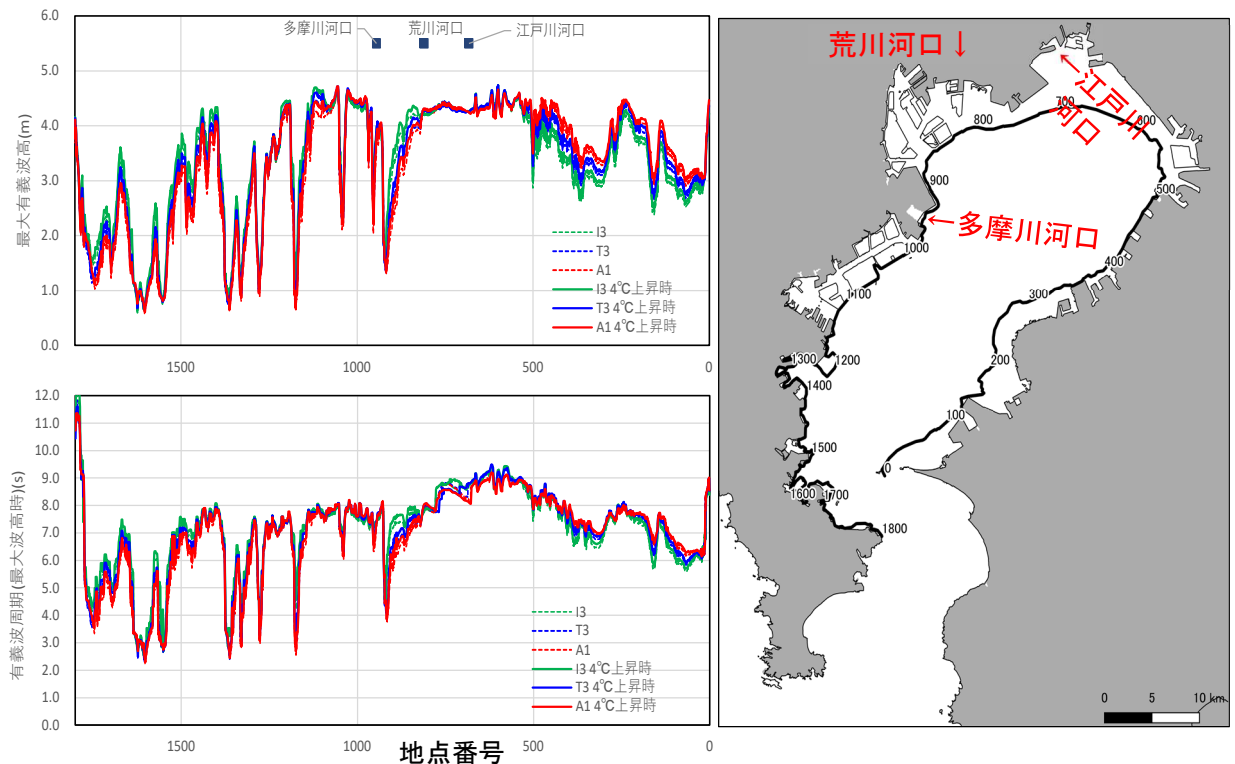


図 5.9 東京湾における最大有義波高の沿岸分布

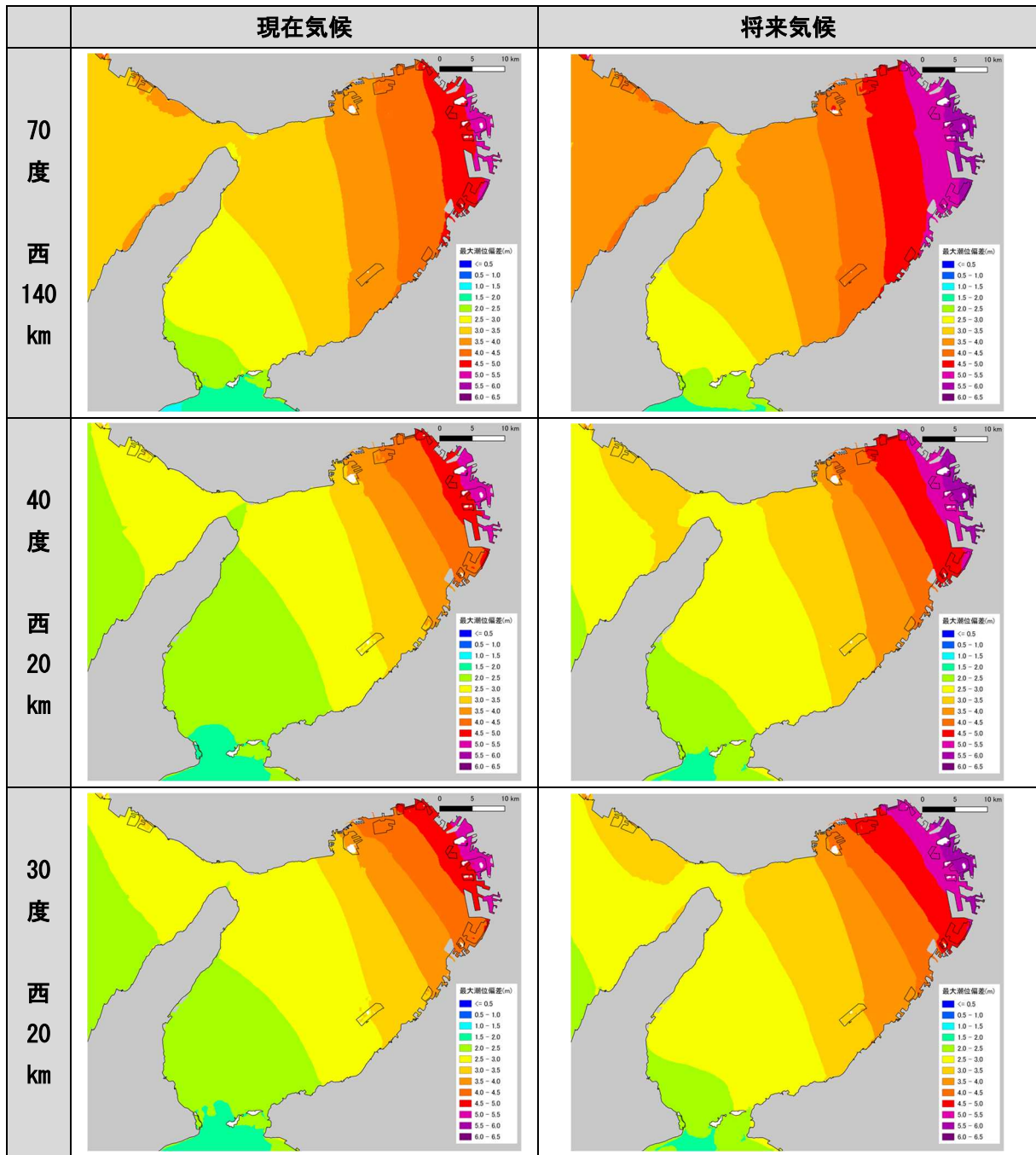


図 5.10 大阪湾における最大潮位偏差分布の比較

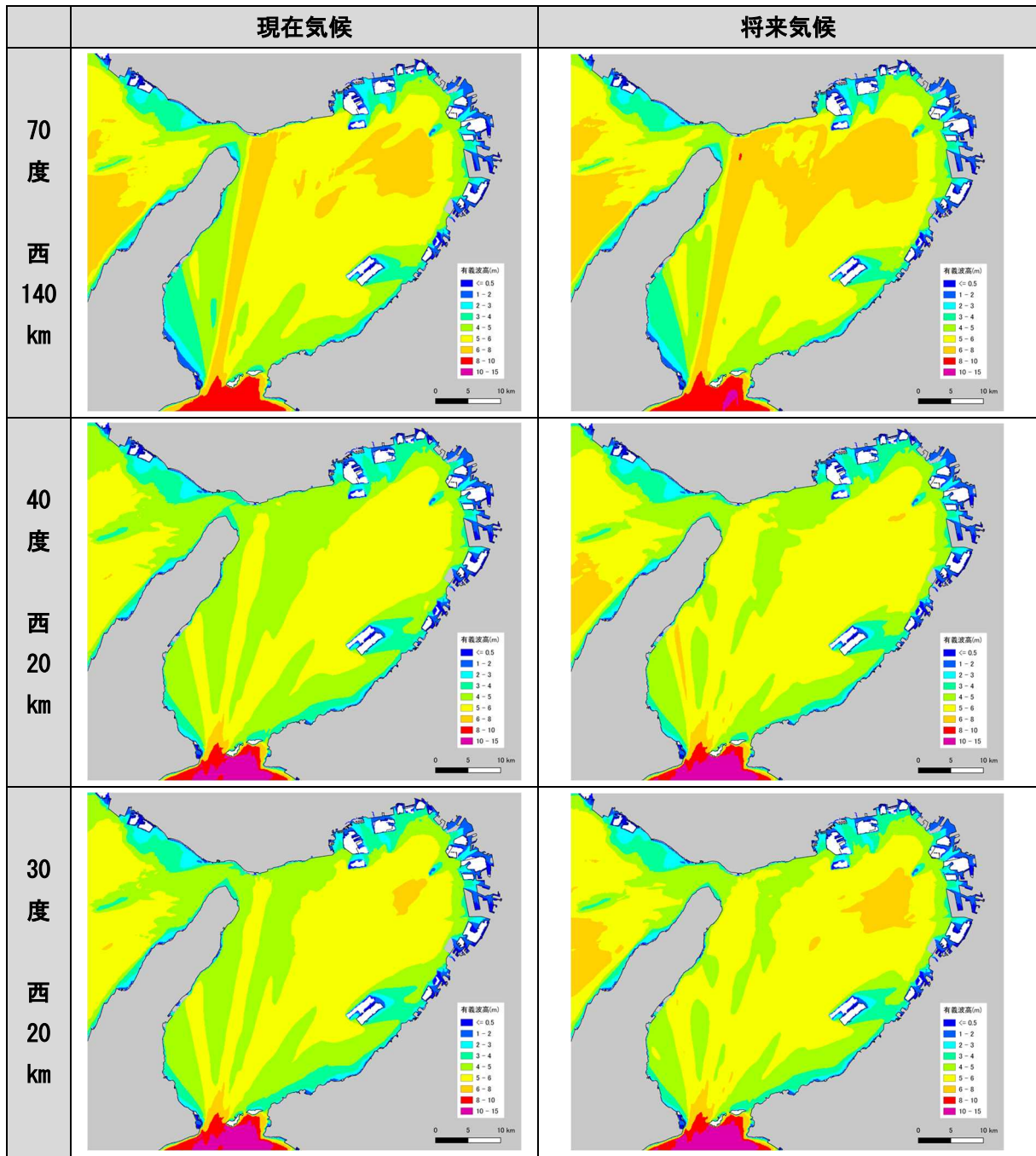


図 5.11 大阪湾における最大有義波高分布の比較

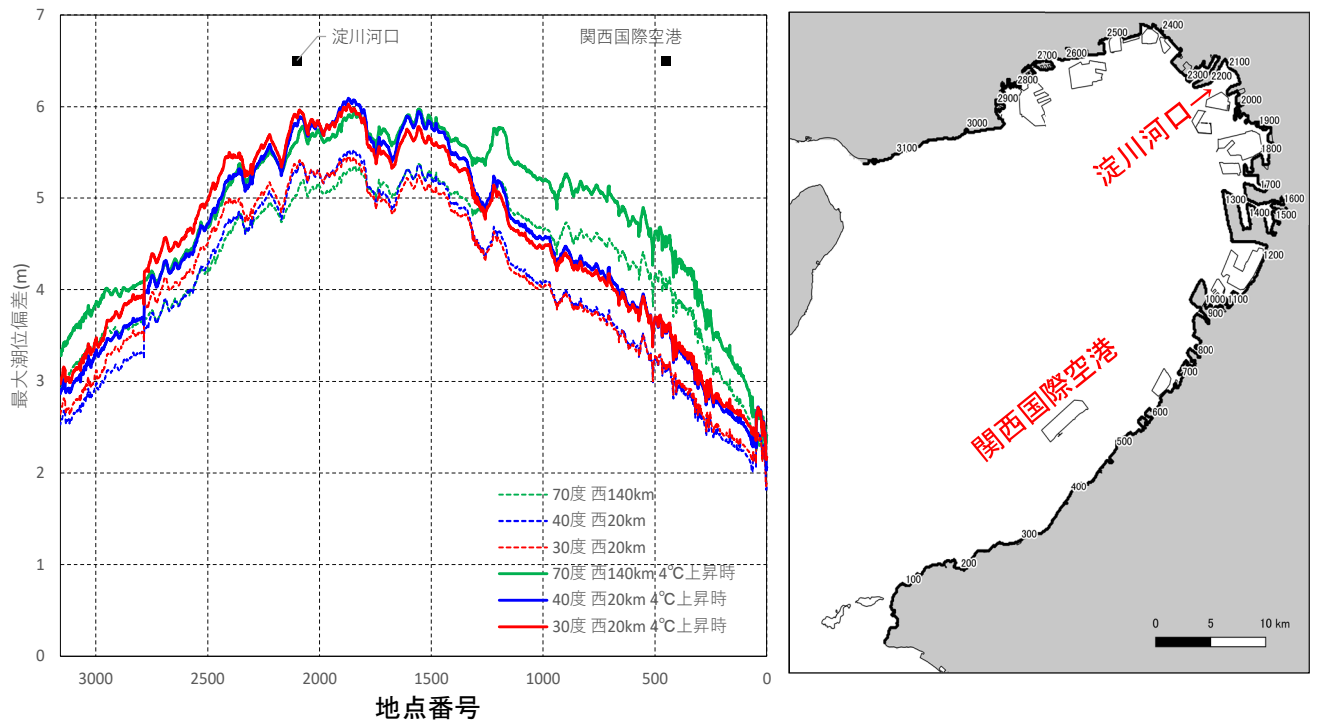


図 5.12 大阪湾における最大潮位偏差の沿岸分布

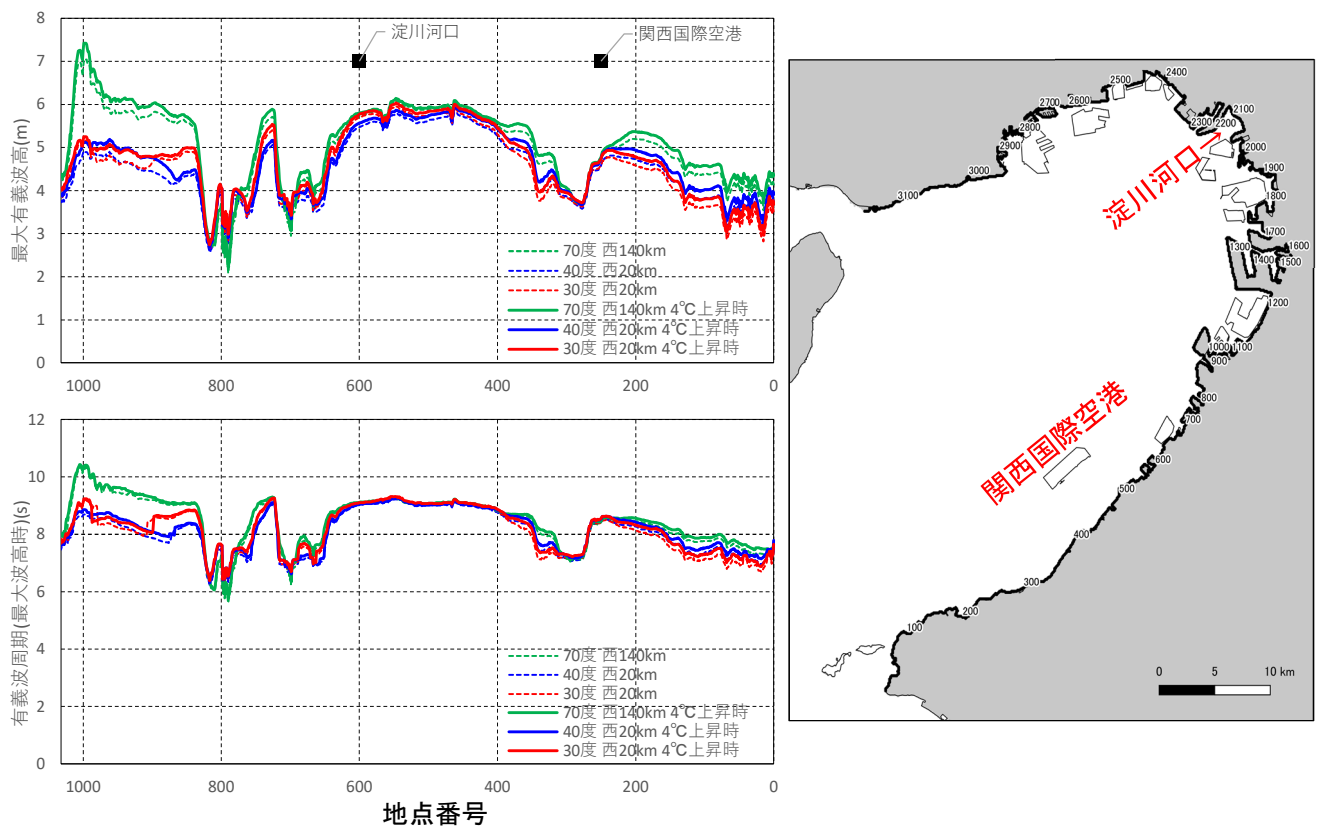


図 5.13 大阪湾における最大有義波高の沿岸分布

5.3.2. 想定最大低気圧による波浪・高潮の変化

(1) 再現性検証

2014年根室低気圧、2008年2月低気圧は過去に実際に発生した低気圧であるため、計算結果と観測データを比較し、計算モデルの再現性の確認を行った。

1) 2014年根室低気圧

2014年根室低気圧は、高潮による被害が卓越した低気圧である。そこで、各地点での最大潮位偏差と、シミュレーション結果から抽出した最大潮位偏差の比較を行った。結果は、図 5.14 のとおりである。

根室港での最大潮位偏差の再現性は良好であった。

一方、それ以外の地点では全体的に実測値に比べて潮位偏差を過小評価していた。根室港は、根室湾や国後島の遮蔽域内に位置するため、波浪の影響が小さいが、それ以外の地点は外洋に面しており、波浪の影響が大きい。したがって、根室港以外ではウェーブセットアップが生じていたと考えられる。そして、本検討では、ウェーブセットアップを考慮していないため、根室港以外で最大潮位偏差を過小評価したと考える。

2) 2008年2月低気圧

2008年2月低気圧は、高波による被害が卓越した低気圧である。そこで、各地点における波浪観測の時系列データと、シミュレーション結果の比較を行った。比較対象としたのは、田中観測所、NOWPHAS 輪島、NOWPHAS 直江津の3地点である。結果は、図 5.15 のとおりとなった。

NOWPHAS 輪島での有義波周期の計算値が実測よりもやや過大となっていたことを除き、有義波高・有義波周期の計算波形は実測と概ね一致していた。

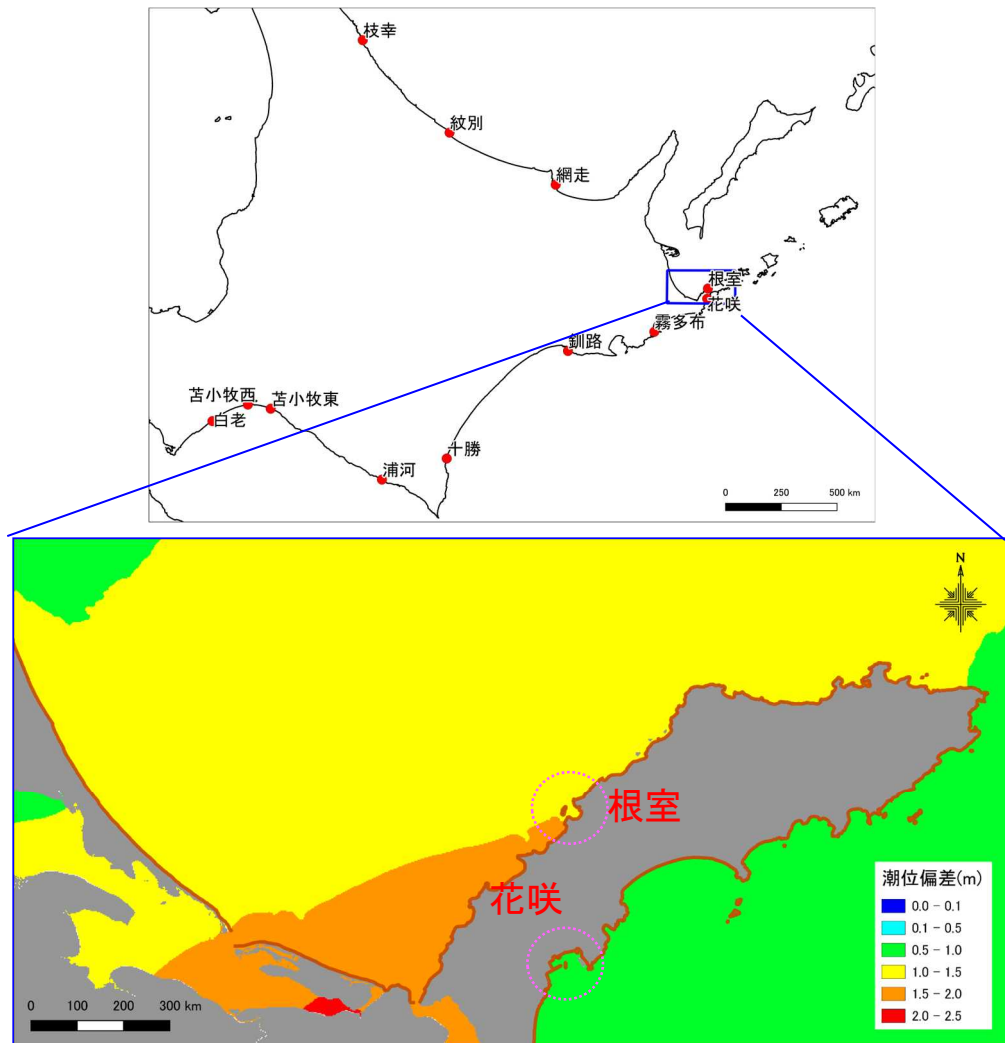
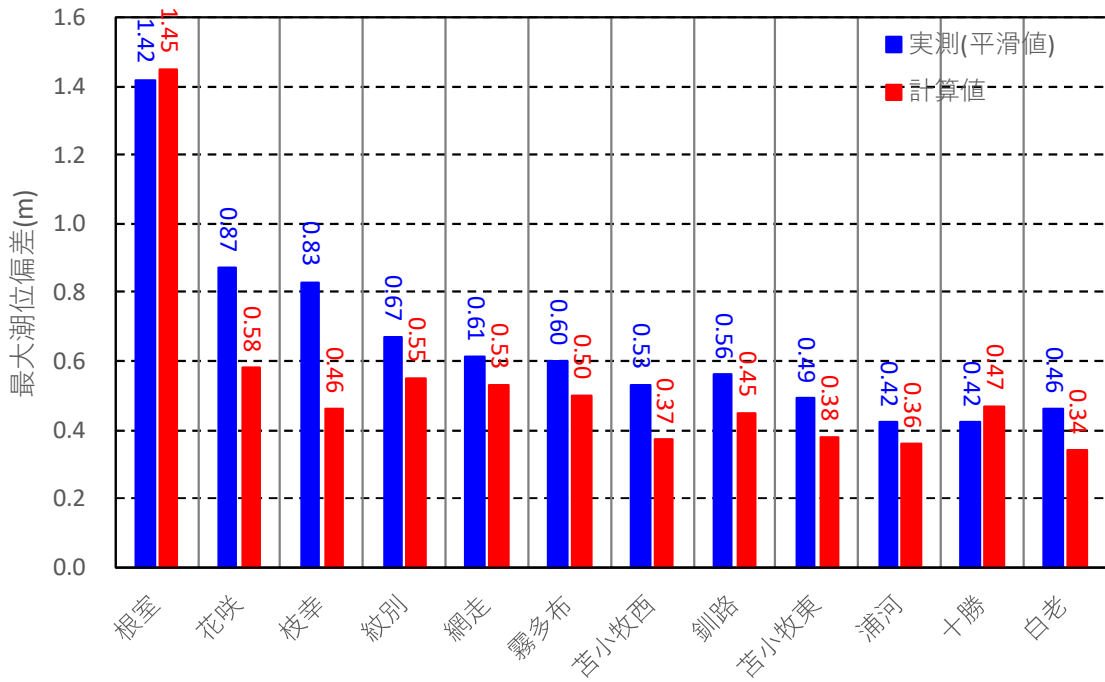


図 5.14 2014 年根室低気圧による潮位偏差の再現性の検証

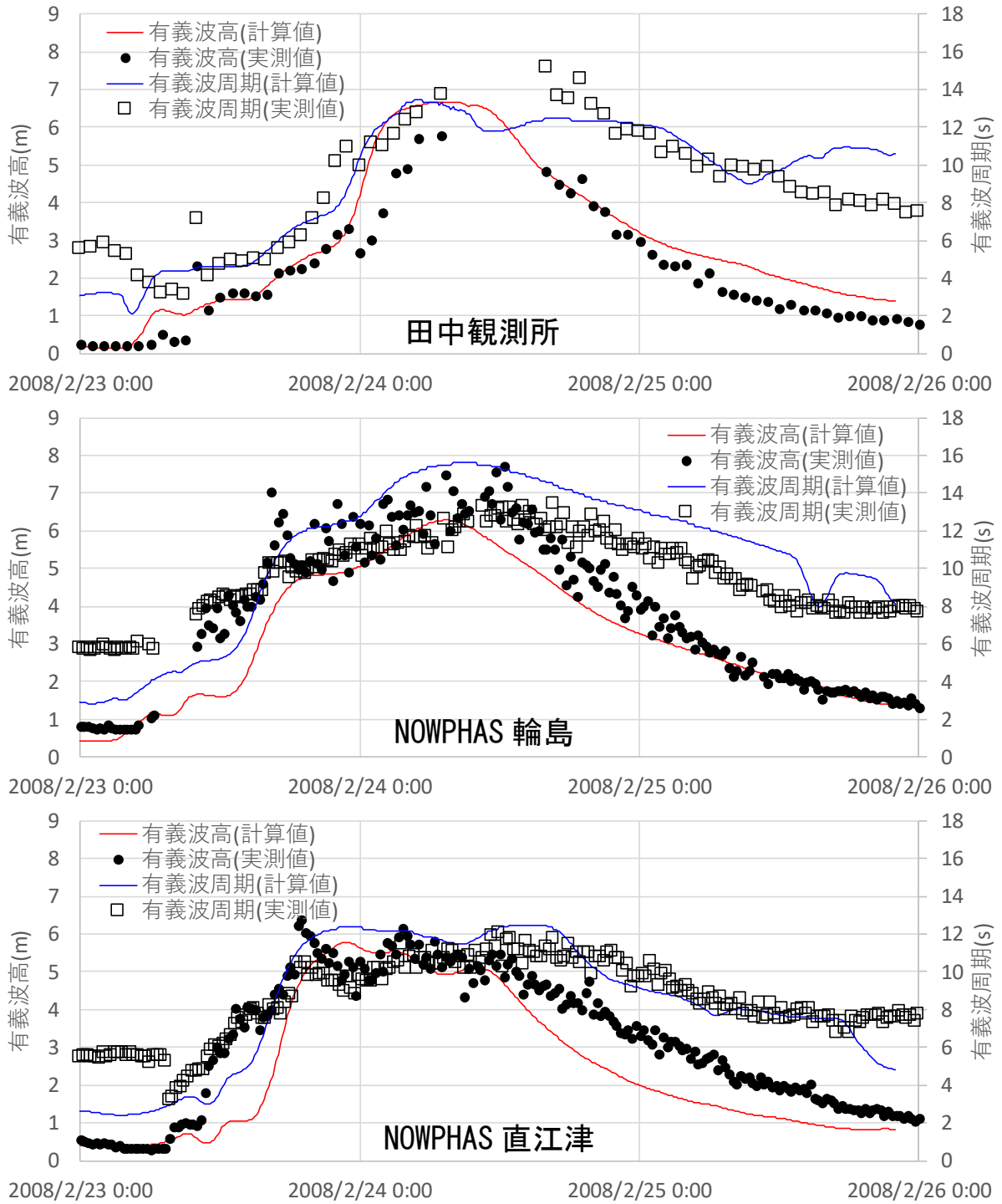


図 5.15 2008年2月低気圧による有義波高・有義波周期の再現性の検証

(2) 想定最大規模の低気圧についての高潮・波浪の計算結果

以下の評価は、既存の知見に基づく簡便な手法で、台風・低気圧の中心気圧についてのみ、気候変動の影響を簡易的に考慮した結果に基づくものである。計算条件の設定に用いるデータセットや、気候変動の考慮の方法によって、異なる結果を得る可能性が高いことに留意が必要である。

1) 2014年根室低気圧

計算結果として、図 5.16 に根室湾周辺の最大潮位偏差分布、図 5.17 に最大潮位偏差の沿岸分布を示す。また、図 5.18 に根室湾周辺の最大有義波高分布、図 5.19 に沿岸分布を示す。図より以下のことが分かった。

- ・ 想定最大規模の高潮を生じる低気圧に気候変動の影響を考慮することで、根室湾内の最大潮位偏差が全体的に増加した。増加量は約 0.3m と試算された。
- ・ 気候変動に伴う気圧低下量は最大でも 5hPa であるため、増加量 0.3m のうち 0.05m が吸い上げによるもので、残りの 0.25m は吹き寄せによるものとする。
- ・ 想定最大規模の高波を生じる台風に気候変動の影響を考慮することで、根室湾の最大有義波高が増加した。しかし、有義波高の増加量は 0.2m 程度、有義波周期の増加量も 0.2s 程度と試算された。

2) 2008年2月低気圧

計算結果として、図 5.20～図 5.21 に下新川海岸周辺の最大有義波高分布、図 5.22 に最大有義波高および最大有義波高時の有義波周期の沿岸分布を示す。図より以下のことが分かった。

- ・ 想定最大規模の高潮を生じる低気圧に気候変動の影響を考慮することで、下新川海岸周辺の最大有義波高が全体的に 2m 程度増加すると試算された。
- ・ 根室湾の場合と比較して有義波高の増加量が大きくなった理由として、以下が考えられる。
 - 根室湾の高波は、吹送距離の短い根室湾内(直径 50km)で、比較的強い風が生じたことによるものである。一方、下新川海岸の場合は、吹送距離は 500km 程度であった。さらに、低気圧中心が津軽海峡付近に停滞することで、十分に発達した波浪が襲来した。このような波浪の発達過程の違いが、波高の変化の違いに影響したと考える。
 - 5hPa の気圧低下 Δp_c に対応する気圧傾度力の増加率を $(1,013 - p_c + \Delta p_c)/(1,013 - p_c)$ で見積もると、中心気圧 p_c が 970hPa の 2008年2月低気圧の場合は 12%であるのに対し、 p_c が 946hPa の根室低気圧の場合は 7%である。このため、2008年2月低気圧の方が、中心気圧低下に伴う風速の増加率がやや大きかったものとする。

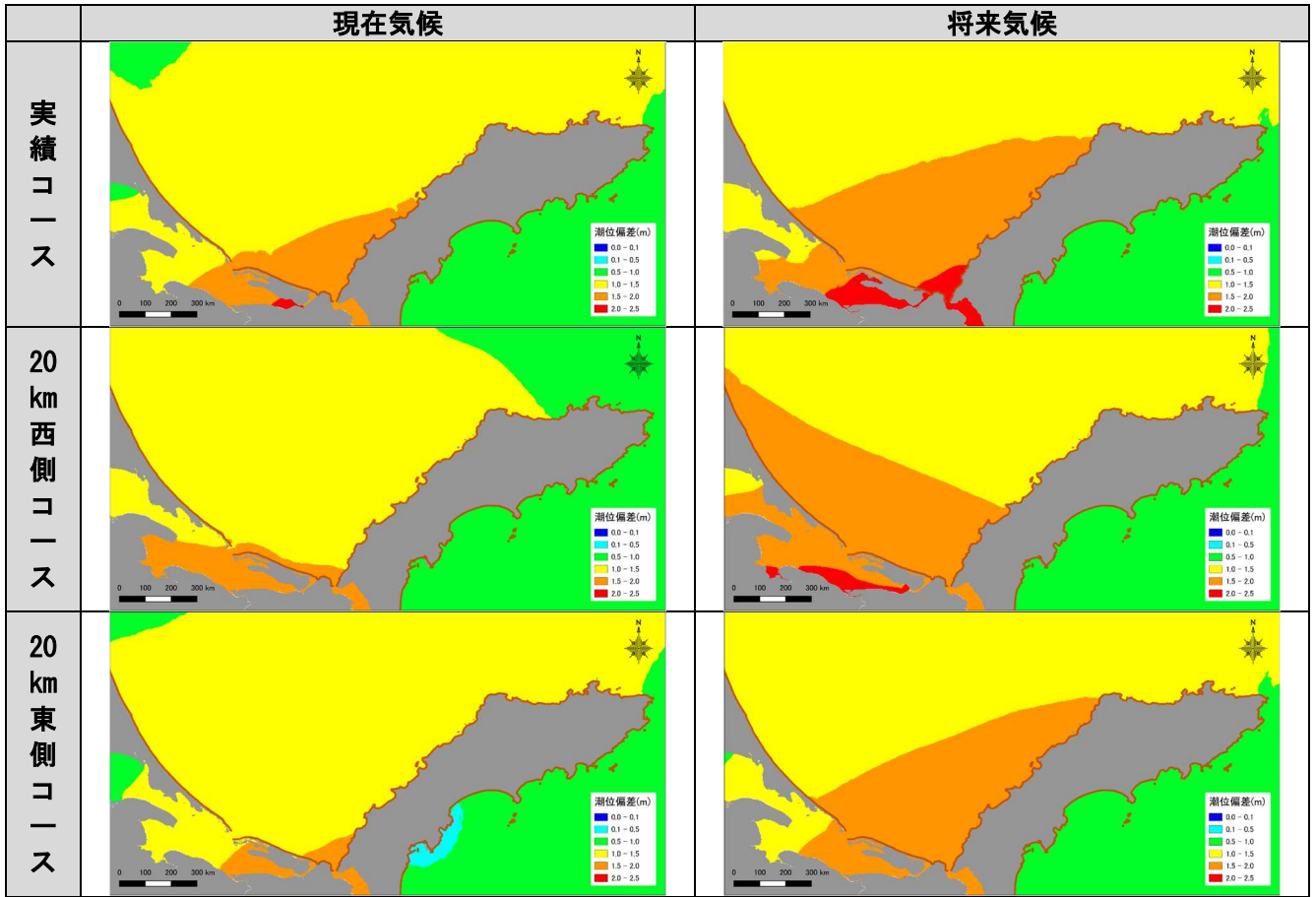


図 5.16 根室湾における最大潮位偏差分布の比較

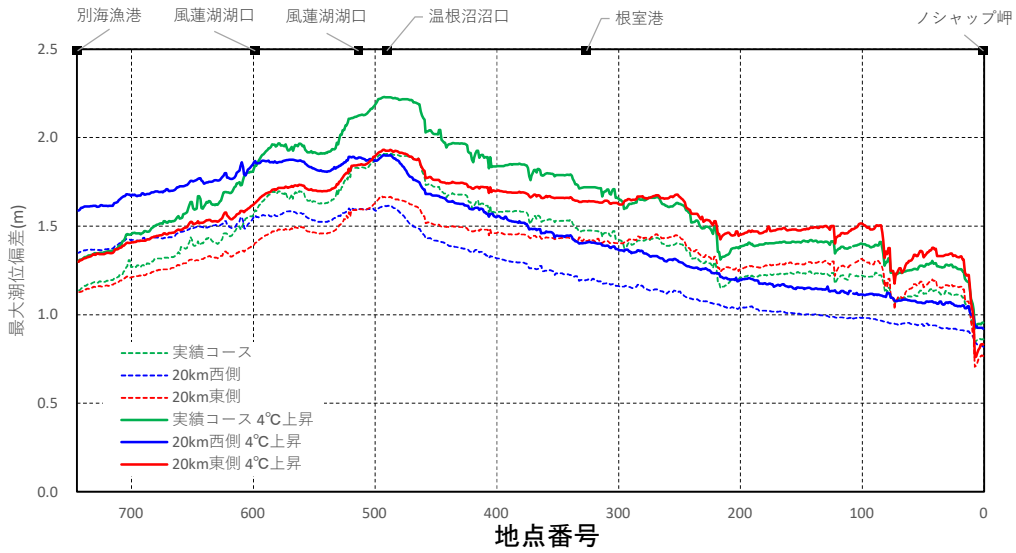


図 5.17 根室湾における最大潮位偏差の沿岸分布

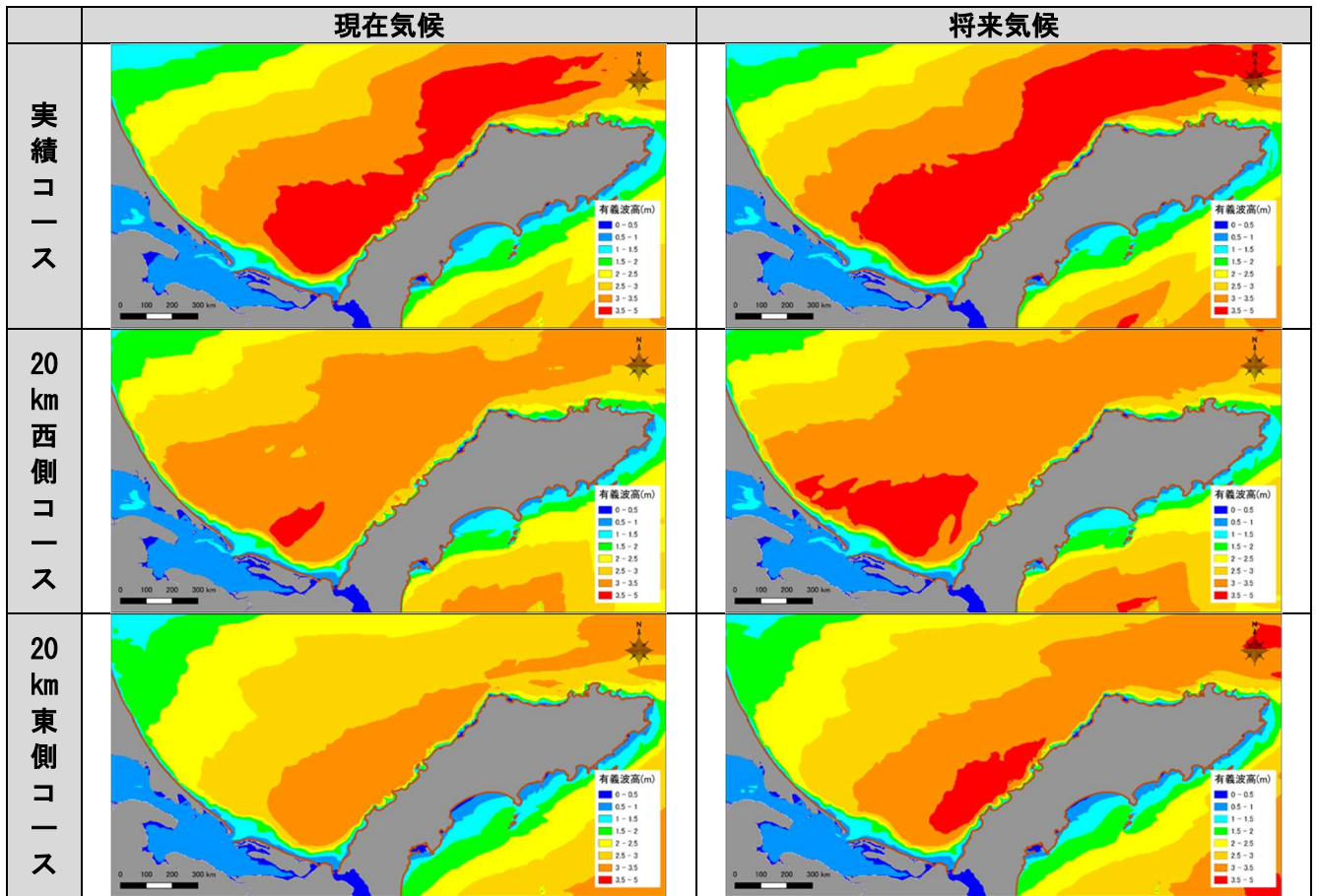


図 5.18 根室湾における最大有義波高分布の比較

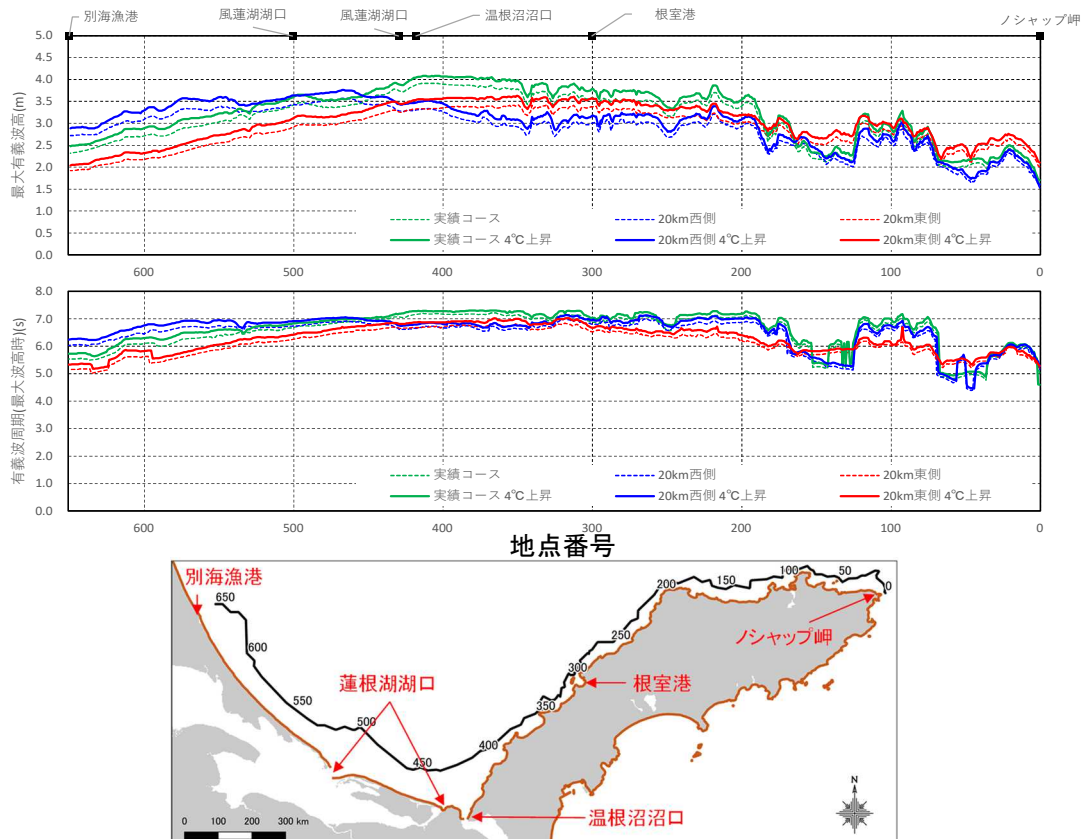


図 5.19 根室湾における最大有義波高の沿岸分布

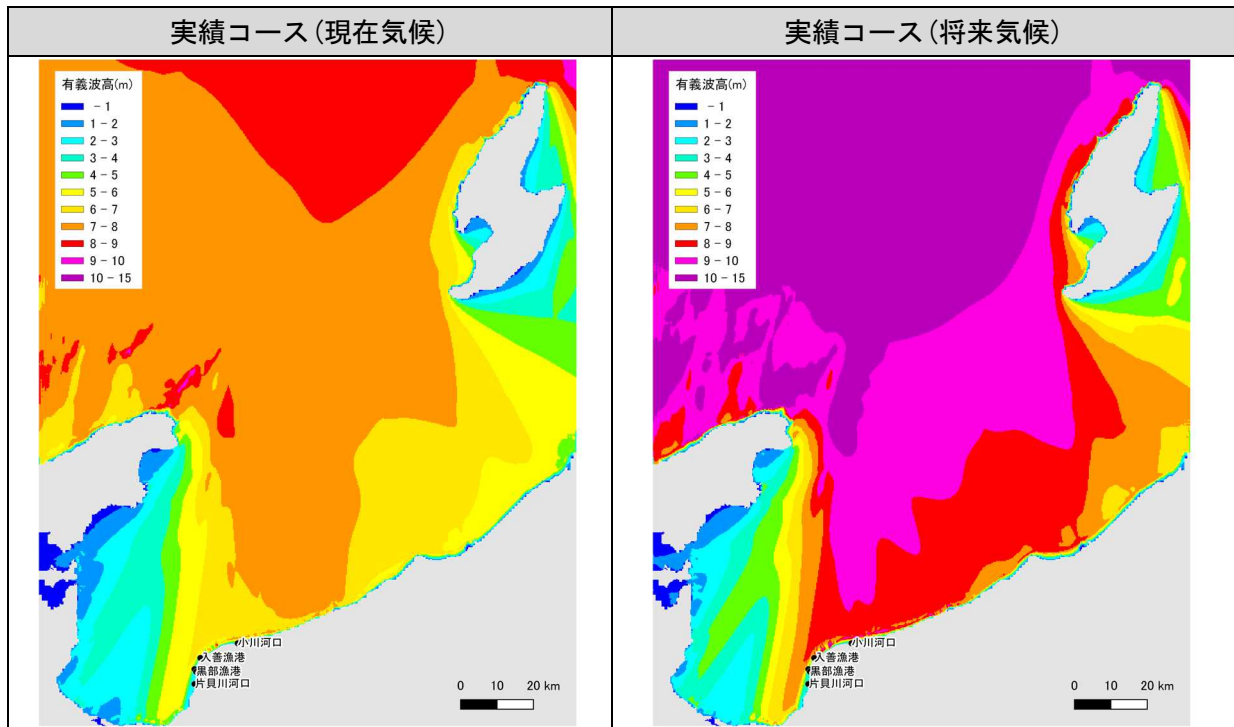


図 5.20 実績コースによる最大有義波高分布の比較(広域)

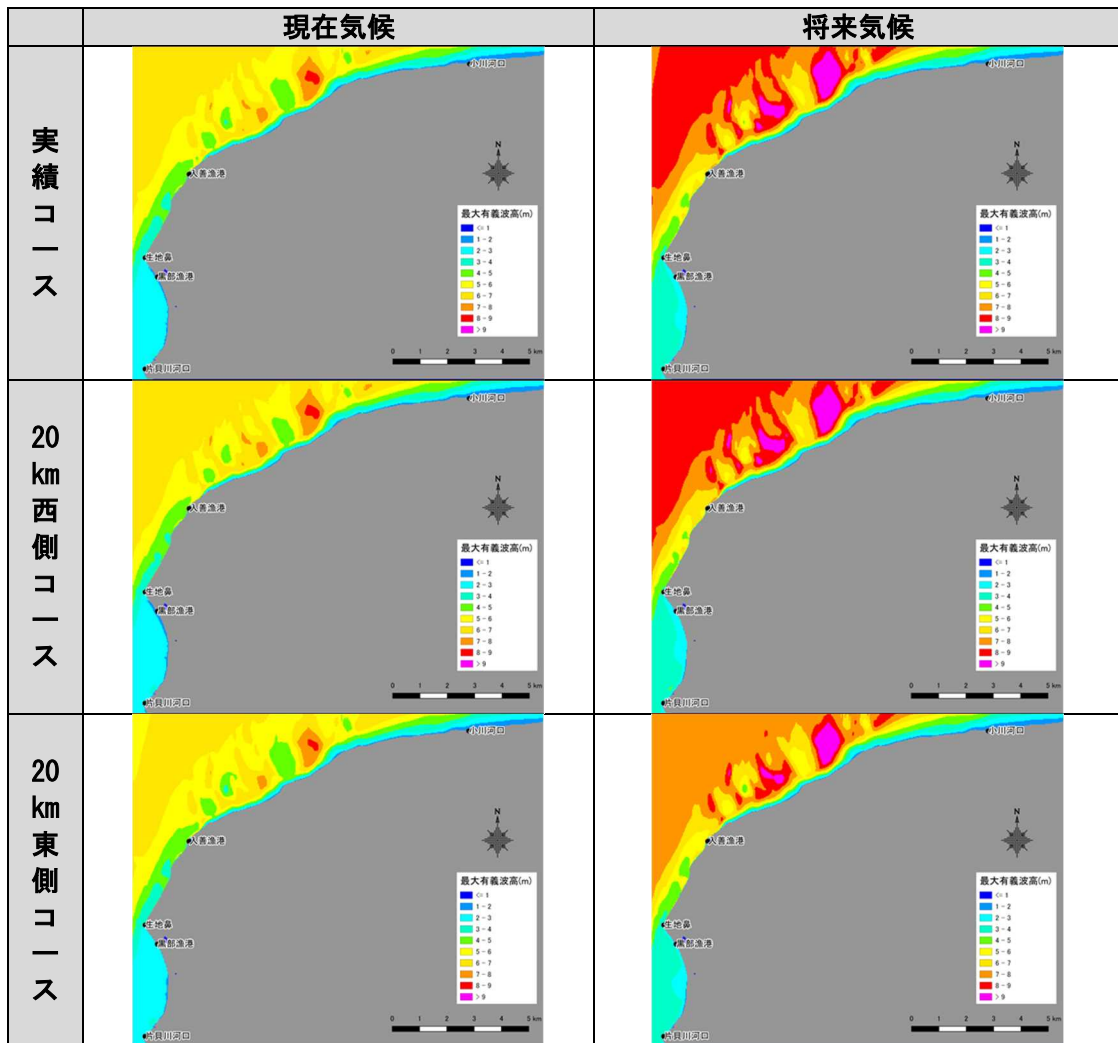


図 5.21 下新川海岸周辺における最大有義波高分布の比較(広域)

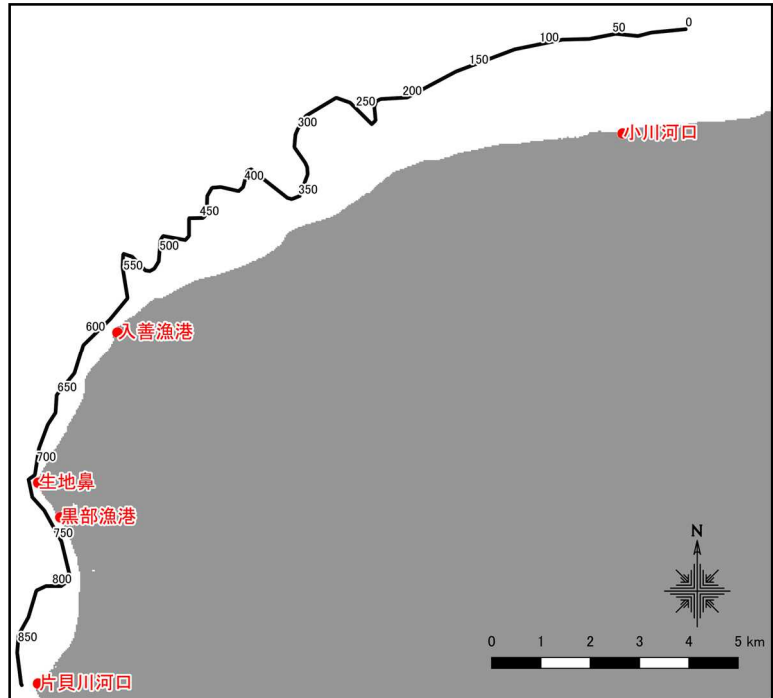
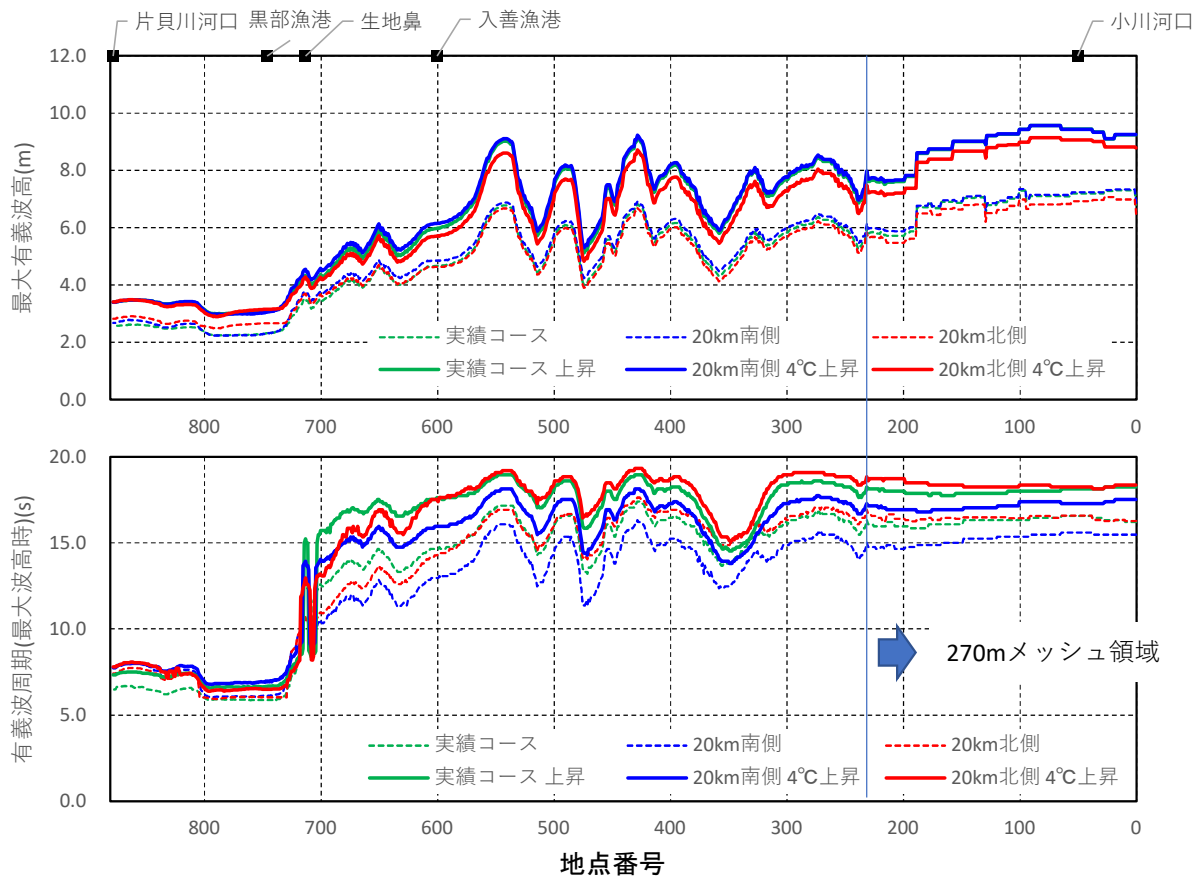


図 5.22 富山県下新川海岸周辺における最大有義波高・最大有義波周期の沿岸分布