

我が国沿岸の想定高潮偏差と湾形状による増幅特性

河合弘泰* ・ 竹村慎治** ・ 山城 賢***
柴木秀之**** ・ 平石哲也*****

1. はじめに

平成 11 年 9 月 24 日に来襲した台風 9918 号により、特に周防灘、八代海においては、これまでの想定規模を上回る高潮が発生し、多くの港湾・海岸施設が破壊されるとともに、背後地にも浸水などによる大きな被害が生じた(河合ら, 2000; 滝川ら, 2000)。台風 9918 号は、規模的には台風 9119 号や周防灘台風(台風 4216 号)と同程度であり、これまでの想定をくつがえすような巨大な台風ではなかった。それにもかかわらず各地で甚大な被害が生じた理由は、進行経路および天文潮位にあり、これは、超巨大な台風でなくても、その経路とその時の天文潮位により、高潮災害が発生する可能性があることを意味している。

ところで、東京湾、伊勢湾、大阪湾の三大湾では、高潮の危険性に対する認識が比較的高く、高潮災害に対する数多くの検討が行われてきた。しかし、他の沿岸域は過去数十年間に顕著な高潮災害に見舞われなかったこともあり、高潮の危険性について必ずしも十分に検討されてはいない。したがって、全国の沿岸について高潮の危険性の検討を速やかに進める必要がある。

そこで、本研究では、高潮の危険性の高い沿岸域を明らかにするために、我が国沿岸の全域を対象として高潮の数値シミュレーションを行った。また、高潮の計算結果をもとに、湾の平面的な形状や海底勾配などの海底地形の特徴による高潮の特性についても検討した。

2. 高潮シミュレーション

2.1 想定台風

高潮シミュレーションの外力として想定する台風(以降、想定台風と呼ぶ)の設定には、モンテカルロ法によって確率的に発生させる方法と、既往の代表的な台風をモデル化する方法がある。本研究では後者を用い、モデ

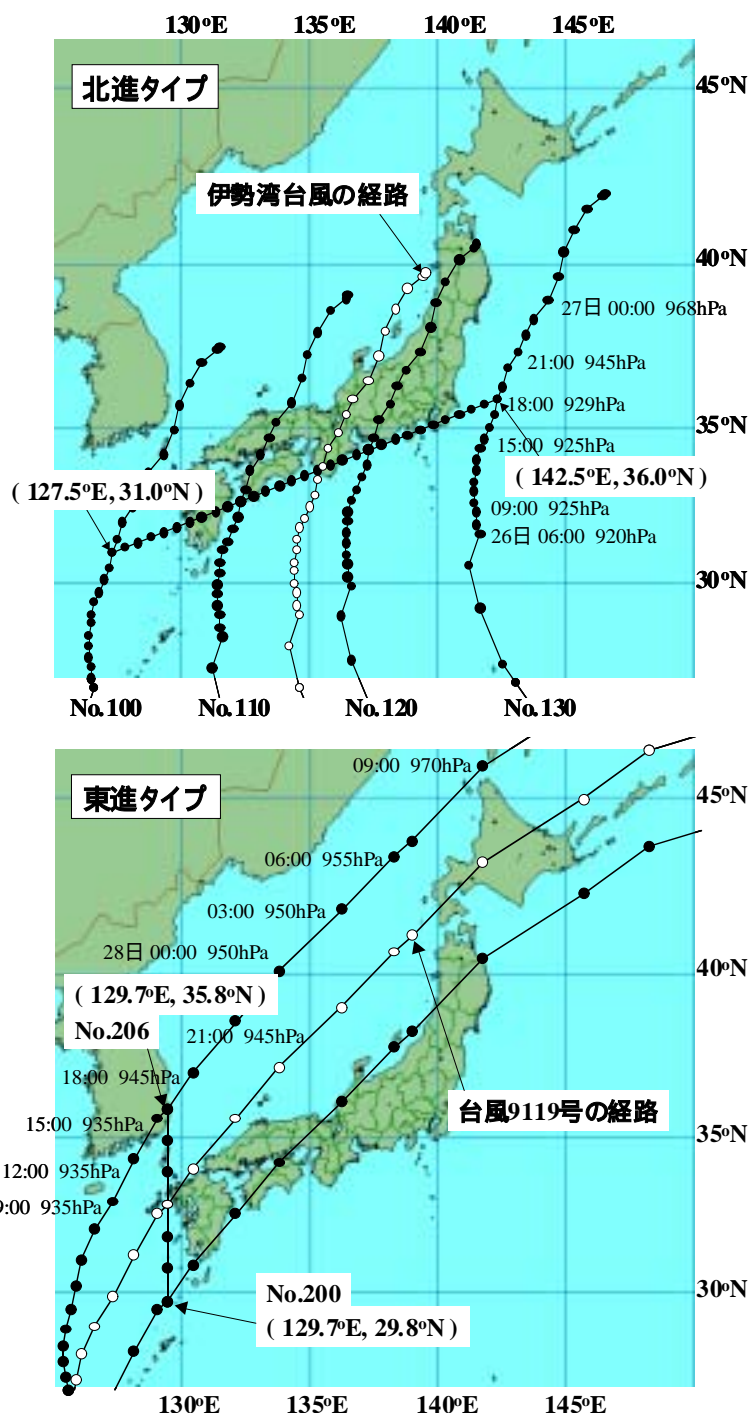


図 - 1 想定台風の経路

ルとする台風を伊勢湾台風(台風 5915 号)及び台風 9119 号とした。

伊勢湾台風及び台風 9119 号の実際の経路を図 - 1 に示す。伊勢湾台風は日本を南から北に進行し、台風 9119 号は西から東に進行した。これらはそれぞれ、太平洋沿岸から日本に上陸した台風、九州の周辺から日本海に抜けて東北や北海道に達した代表的な台風と位置づけることができる。本研究では、伊勢湾台風をモデルとする台風を北進タイプ、台風 9119 号をモデルとする台風を東進

* 正会員 工修 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 主任研究官
** 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部 地盤改良研究室
*** 正会員 工博 九州大学大学院助手 工学研究院環境都市部門
**** 正会員 工修 株式会社エコー 環境水理部
***** 正会員 工博 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 波浪研究室長

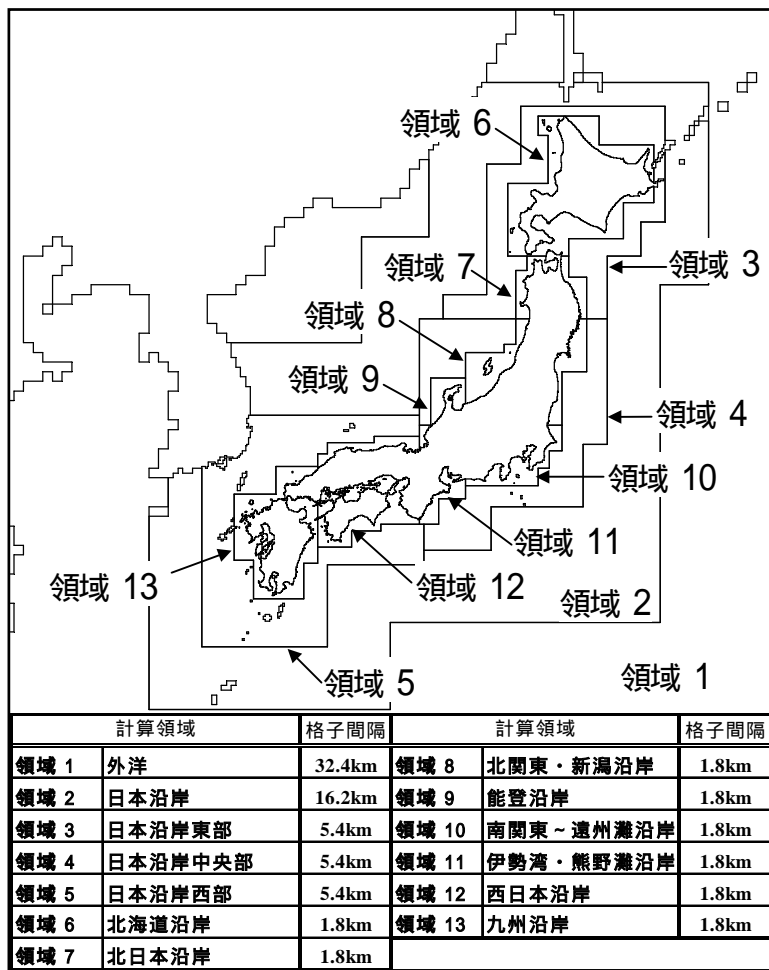


図-2 高潮シミュレーションの計算対象領域

タイプと名付けることにした。北進タイプについては、想定台風の上陸時刻位置（伊勢湾台風の上陸時刻位置は(135.5°E, 33.4°N)）を、(127.5°E, 31.0°N)～(142.5°E, 36.0°N)の範囲について等間隔（東西に0.5°間隔）に31地点設定し、その上陸位置に合わせて伊勢湾台風の経路を平行移動し台風経路を想定した。東進タイプについては、想定台風の上陸時刻位置（台風9119号の上陸時刻位置は(129.7°E, 32.8°N)）を、(129.7°E, 29.8°N)～(129.7°E, 35.8°N)の範囲について等間隔（南北に1.0°間隔）に7地点設定し、その上陸位置に合わせて台風9119号の経路を平行移動し台風経路を想定した。

以上の全38ケース（北進タイプ：31ケース，東進タイプ：7ケース）の想定台風について高潮シミュレーションを行い、日本全国の沿岸における最大規模の発生高潮を予測した。図-1にこれら北進タイプ及び東進タイプの台風経路を示す。

2.2 計算領域

高潮シミュレーションの対象範囲は、図-2に示す日本全体を含む太平洋及び日本海の広域とした。計算格子の間隔は、外洋から日本沿岸の計算領域を、格子間隔が異なる13の領域に分割し、日本沿岸に近い領域ほど小さい格子を段階的に用いた。なお、各計算領域の格子間隔は図-2に示す通りであり、沿岸域における最小格子間隔は1,800mである。

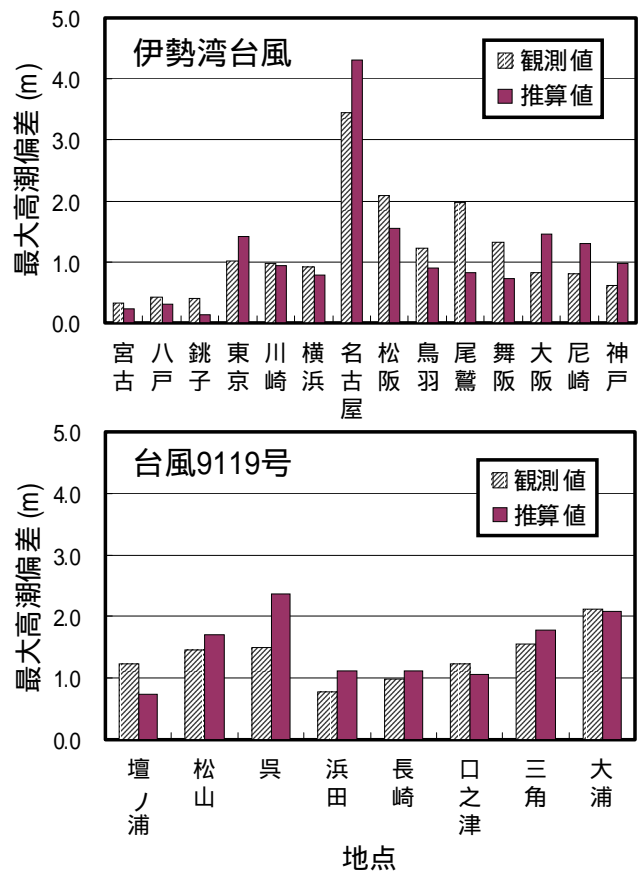


図-3 最大高潮偏差の観測値と推算値との比較
(上図：伊勢湾台風 下図：台風9119号)

2.3 高潮推算法

高潮シミュレーションに用いた推算手法は、気圧低下による吸上げと風の吹き寄せを考慮した非線形長波理論に基づく単層モデルで、従来から多く用いられてきた手法である（例えば、運輸省港湾技術研究所波浪研究室, 1996）。

高潮推算に用いる海上風、すなわち海面上10m高度の風は、Myersの気圧分布を仮定した台風モデルにより推算した自由大気（傾度風及び場の風）に海面摩擦を考慮したものをを用いた。一般に、自由大気の風から海上風への変換は、傾度風と場の風に0.60～0.70程度の風速の低減率を乗じ、傾度風を約30°の角度で低圧部に風向を偏向させることにより行われる。本研究では、伊勢湾台風による海上風の試行計算を行い、伊勢湾周辺の観測風と比較した結果、推算風と観測風との一致の程度が比較的良い設定値として、風速の低減率を0.75、風向の偏向角を30°と設定した。

2.4 高潮推算の妥当性

想定台風による高潮シミュレーションを行うにあたり、伊勢湾台風および台風9119号による高潮追算を行い、本研究で設定した計算条件及び高潮推算手法の妥当性について検討した。

図-3に、伊勢湾台風及び台風9119号による最大高潮偏差の観測値と推算値との比較を示す。

図より観測値と推算値を比較すると、湾奥（名古屋、

大阪，尼崎，呉等）については，推算値が大きめの値となり，湾口部付近（鳥羽）や外洋沿岸（尾鷲，舞阪等）については，逆に推算値が小さめの値となる傾向がある．しかし，全体的な最大高潮偏差の分布傾向は良く表していることから，高潮の危険性が高い沿岸域を知る目的に対しては，十分な精度をもっていると考えられる．

3．高潮推算結果の考察

3.1 最大高潮偏差分布

図 - 4 は，北進タイプの全 31 ケース及び東進タイプの全 7 ケースにおける予測最大偏差から，各計算点の最大値を抽出したコンター図である．以下に北進タイプ及び東進タイプによる予測高潮偏差の特徴をまとめる．

a) 北進タイプの高潮偏差

顕著な高潮偏差の発生地域は，東京湾，伊勢湾，大阪湾の三大湾に加え，播磨灘から周防灘までの瀬戸内海沿岸及び八代海，有明海等の西九州沿岸といった西日本に広く見られる．関東以北では，太平洋沿岸の鹿島灘や仙台湾で 1m 以上の高潮偏差が生じている．

一方，仙台湾以北の太平洋沿岸と九州・山口を除く日本海沿岸全域では，伊勢湾台風モデルの勢力が北上するにつれ減衰するように与えていること，台風の危険半円側で吹き寄せによる高潮が発達するような水深の浅い大きな内湾がないことから 顕著な高潮偏差が見られない．

b) 東進タイプの高潮偏差

顕著な高潮偏差の発生地域は，西九州沿岸，周防灘から安芸灘一帯，大阪湾及び伊勢湾奥など西日本に広く見られる．また，台風 9119 号は上陸後も勢力を保っていることから，高潮の発生は日本海沿岸全域で見られ，北海道の稚内港，天塩港，苫小牧港周辺でも 1m 以上の高潮偏差が発生する．

3.2 既往最大高潮偏差との比較

図 - 5 に，北進タイプ及び東進タイプそれぞれの予測最大偏差と既往最大偏差の比較を示す．既往最大偏差の値は，気象庁(2000)，平石(2000)他による．

図 - 5 より，内湾については，想定台風による予測最大偏差が既往最大偏差より全体的に大きいものの，予測最大偏差と既往最大偏差の定性的な分布傾向は良く一致している．三大湾，瀬戸内海，西九州沿岸の偏差は全国的に見ても突出している．

外洋沿岸については，予測最大偏差と既往最大偏差の分布傾向は全体的に一致するが，概ね既往最大偏差のほうが大きく，特に土佐湾，紀伊水道，遠州灘では予測結果を大きく上回る高潮偏差が実際に発生している．

土佐湾，紀伊水道，遠州灘における既往最大偏差の要因には，気圧低下による吸上げ及び海上風による吹き寄

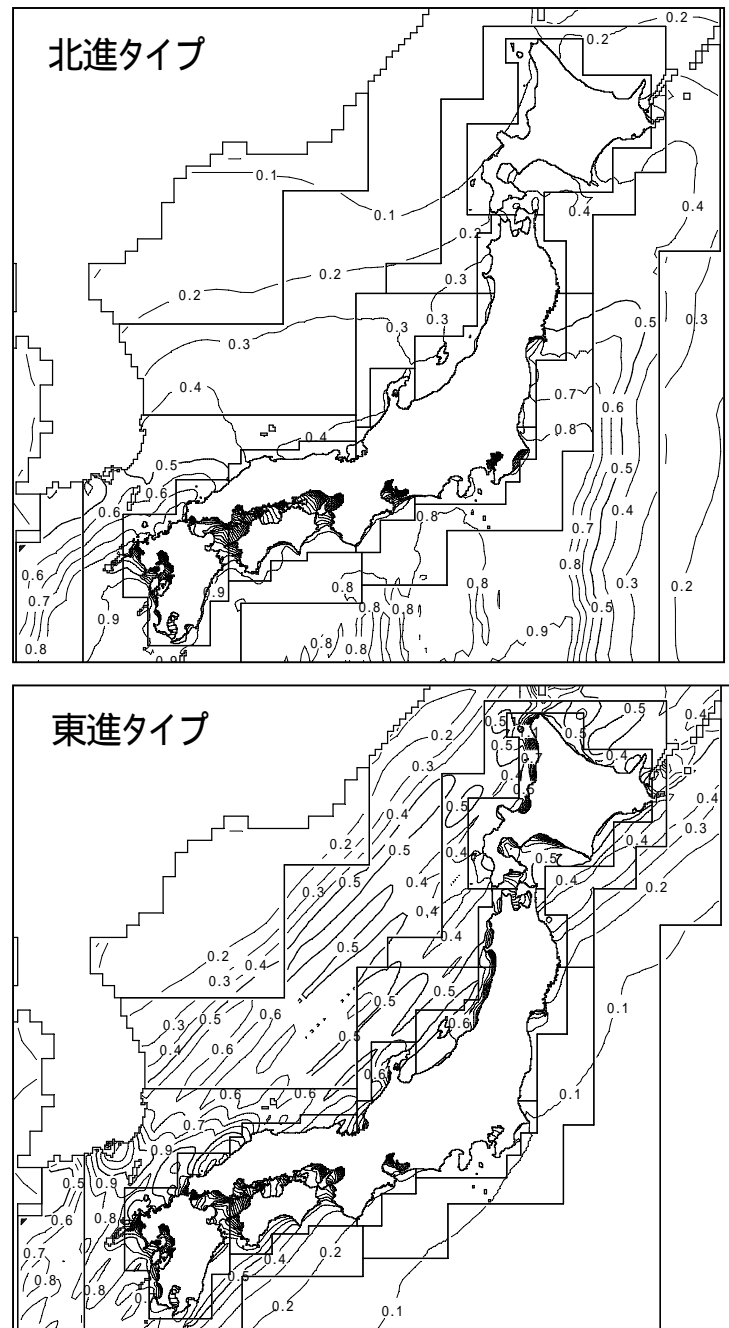


図 - 4 予測最大高潮偏差分布

せの効果に加え，波浪による水位上昇の効果（wave setup）が含まれており，そのため，吸上げと吹き寄せ効果のみを考慮した予測値を大きく上回っているものと思われる．

3.3 高潮の地域特性

図 - 5 に見られるように，一般的に高潮偏差は外洋に面した沿岸よりも湾の奥で顕著に発生することが知られており，その原因は，湾形状や湾内の水深が浅いことによるとされている．一方，外洋沿岸での高潮は，内湾のそれに比べて小さいものの，高波浪が同時に発生し，高波浪の影響により大きな高潮が発生する場合がある．

そこで，高潮シミュレーションの結果をもとに，内湾の高潮に対する湾形状の影響と外洋沿岸の高潮に対する高波浪の影響について検討する．

a) 内湾の高潮に対する湾形状の影響

図 - 6 上図は内湾における海底勾配と高潮偏差の関係を示したものである．ここで示す海底勾配とは，代表点から予測最大偏差の等値線に垂直な向きに断面を取り，

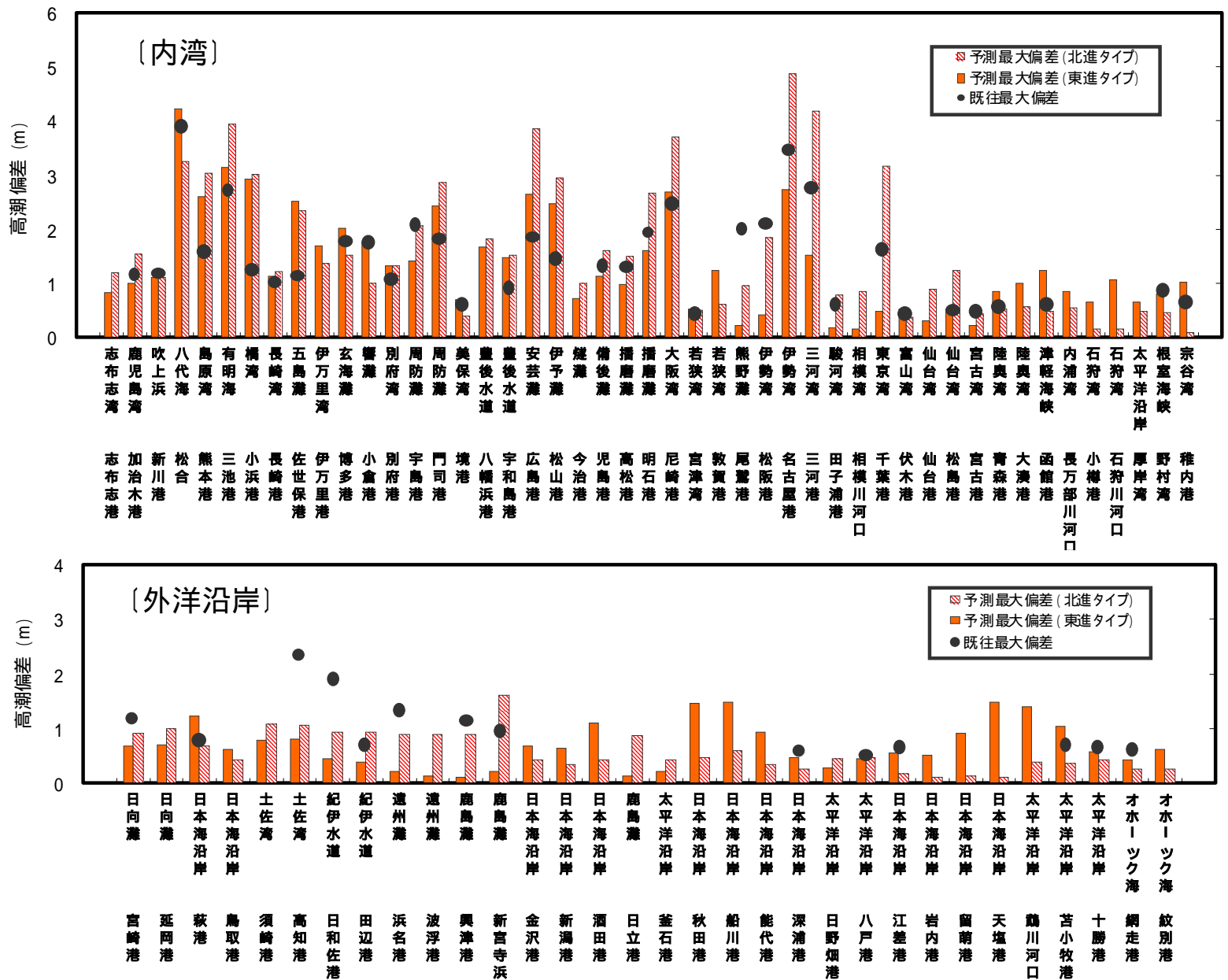


図 - 5 予測最大高潮偏差と既往最大高潮偏差との比較

海底勾配がほぼ一定である範囲について求めた平均勾配である。また、予測最大偏差は、湾口から湾奥までの距離が 20km 以上とそれ未満、及び湾長が明確でない瀬戸内海・周防灘（広島湾は除く）の 3 通りに分けている。

一般的に、海底勾配が小さく水深の浅いところが長く続いている湾であるほど、吹き寄せの効果は強く高潮偏差は大きくなると考えられている。

図 - 6 上図より、顕著な高潮は海底勾配が緩い沿岸域で発生しており、とりわけ 3m 以上の高潮は、全て湾長が 20km 以上の長い湾で発生している。したがって、海底勾配が小さく湾長が長い湾であるほど大きな高潮偏差が発生しやすいといえる。

なお、外洋沿岸についても同様の検討を行ったが、海底勾配と高潮偏差との明確な関係は認められなかった。

図 - 6 下図は、各湾形状における上位 3 位の高潮偏差を比較したものである。なお、湾形状の分類は、おおよそその形状で分類したものであり、たこ足形は湾奥が枝分れた形状を意味する。また、図中には各湾形状における高潮偏差の平均値を実線で示している。この図より、

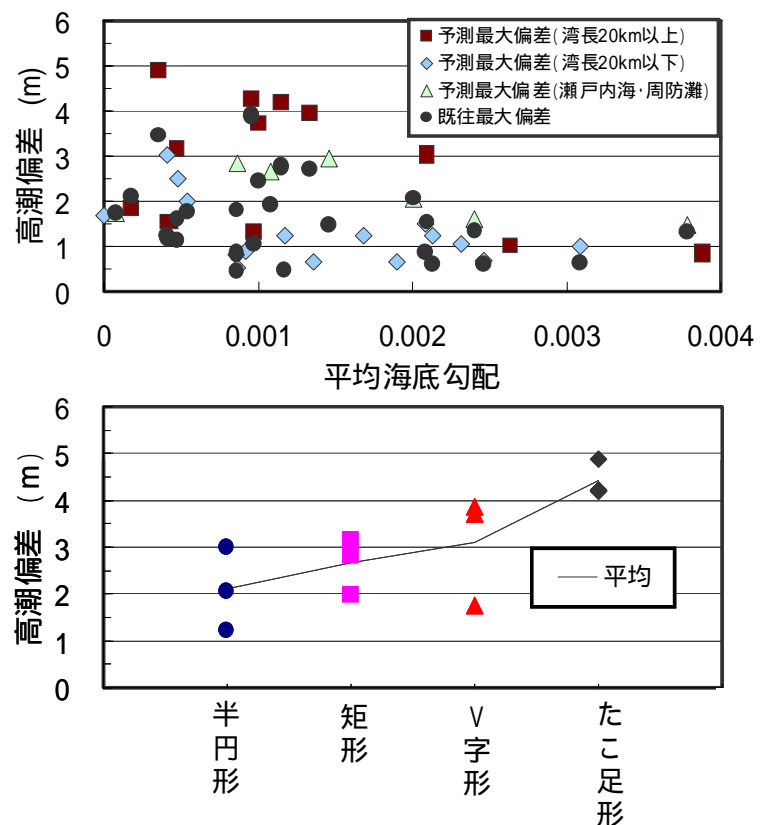


図 - 6 海底勾配、湾形状による高潮偏差の比較（内湾）

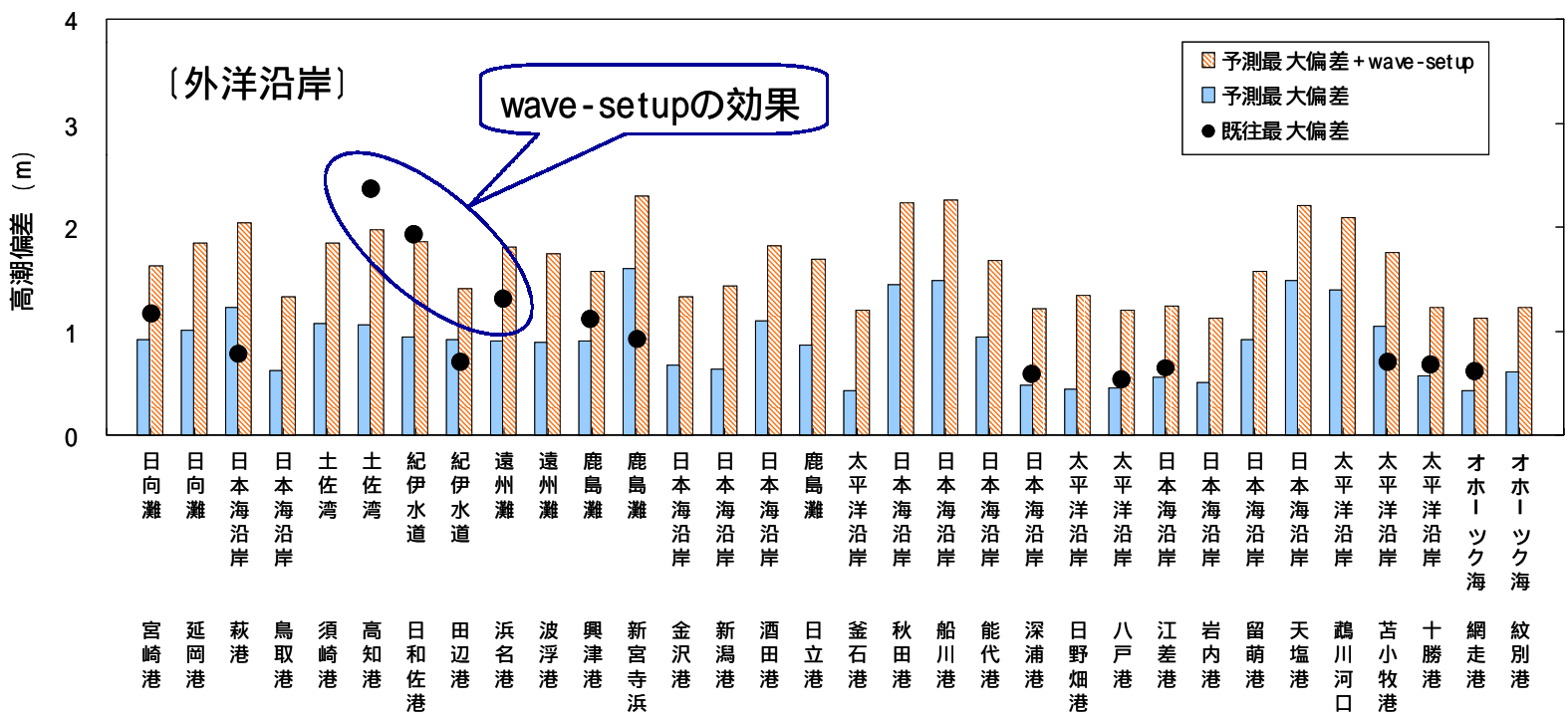


図 - 7 wave-setup を考慮した場合の予測最大高潮偏差と既往最大高潮偏差との比較 (外洋沿岸)

概ね半円形や矩形に比べV字形やたこ足形といった湾奥が狭くなる形状の湾で、湾奥の高潮偏差が大きいという傾向がみられる。

b) 外洋沿岸の高潮に対する高波浪の影響

湾内では、通常、外洋に比べ波高が小さいため、汀線付近で若干の水位上昇が生じる程度であり、また、防波堤等で遮蔽された港内においては、砕波が生じないため、wave-setup も生じない。一方、外洋沿岸では、来襲する波が高波浪であり、wave-setup も湾内に比べ大きく、合田(1975)によれば、波高の10%~10数%程度の水位上昇が生じる。

図-7は、外洋沿岸において、各沿岸の50年確率波高をもとに10%の水位上昇が生じると仮定し、図-5に示した予測最大偏差に加え、既往最大偏差と比較したものである。図-7より、土佐湾、紀伊水道においては、最大で1m近くの波浪による水位上昇が生じると推測される。

この波浪による水位上昇量を考慮すると、予測最大偏差と既往最大偏差との間に大きな差が見られた土佐湾高知港や紀伊水道日和佐港においても、予測最大偏差と既往最大偏差はほぼ一致する。一方で、外洋沿岸の全ての代表点について水位上昇量を加えているため、逆に予測値と既往最大偏差の差が開いた地点もある。これらの地点については2つの可能性が考えられる。その1つは、潮位観測が始まってから現在までに顕著な高潮に見舞われていないこと。もう1つは、観測値が港内の遮蔽域(防波堤等の内側)で得られており、観測値は砕波にとまらぬ水位上昇を含まないことである。

4. おわりに

本研究における主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 全国の沿岸を対象に最大規模の高潮偏差を予測した結果、三大湾、瀬戸内海及び西九州沿岸で大きな高潮が発生する傾向があることを明らかにした。
- (2) 内湾では、湾形状、海底勾配等の地形の特徴が、湾奥における高潮増大の一因となることを明らかにした。
- (3) 外洋性の波浪が直接来襲する沿岸では、高潮に wave-setup の効果を考慮する必要があることを示した。

参考文献

運輸省港湾技術研究所(1996)：津波・高潮数値計算システム取扱説明書(プログラムマニュアル)。
 河合弘泰・平石哲也・丸山晴広・田中良男・古屋正之・石井伸治(2000)：八代海と周防灘における台風9918号の高潮・波浪災害の現地調査, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.311-315。
 気象庁(2000)：平成13年潮位表。
 合田良実(1975)：浅海域における波浪の砕波変形, 港湾技術研究所報告 第14巻第3号, pp.59-106。
 滝川清・田淵幹修・山田文彦・井手俊範(2000)：台風9918号による不知火海海岸の被災特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.296-300。
 平石哲也(2000)：八代海における台風18号による高潮災害, 波となぎさ No.144, pp.16-19。