

伊勢湾の中核港湾における現状の高潮防護機能の検証と 長期的な高潮災害リスクの解析

Estimation of Protection Level and Risk Analysis of Long Term for Storm Surge Disaster of the Central Port in the ISE Bay

春日井康夫¹・伊藤正人²・西村大司³・日置幸司⁴・大塚 香⁵・柴木秀之⁶

Yasuo KASUGAI, Masato ITO, Daiji NISHINURA, Kouji HIOKI
Kaori OTSUKA and Hidenori SHIBAKI

A new scheme of numerical simulation of storm surge inundation has been developed. With this simulation model, abnormal high storm surges generated by typhoon5915 around the coasts of Ise Bay were well reproduced. Inundation simulation method induced by overflow, overtopping and dike breach is incorporated into this model. Furthermore, the storm surge level and inundation area is simulated under the several conditions about storm surge, which are based on the future disaster risks. The inundation map combined with the GIS can be designed. Using the results of this inundation simulation, estimation of protection level and risk analysis of storm surge disaster at the Nagoya Port are performed. The information of this paper is used for the planning of hard and soft countermeasures in the Port.

1. はじめに

伊勢湾台風による災害から50年が経過し、背後地の都市化と資産の集中が進行し、高潮防護の第一線となる海岸の環境が大きく変化している。このような状況のもと、中部圏の経済活動の基盤である名古屋港は、高潮災害後、高潮防波堤等の防護施設により高潮防護能力を向上させ、経済発展に多大な役割を担ってきた。一方、現状において伊勢湾台風が再来した場合、高潮防護機能が確保されているか、長期的な視点から見たときの高潮災害リスクがどの程度か等、高潮防護水準の十分な評価はなされていない。特に、地球温暖化の進行により、平均潮位の上昇及び台風の強大化の可能性が指摘されており、伊勢湾沿岸の高潮災害リスクは、伊勢湾台風災害当時よりも高まっていることが予想される。

本報告は、伊勢湾内の大規模港湾である名古屋港を事例に、高潮浸水シミュレーションにより、現状の高潮防護機能の検証と高潮防護上の課題の抽出を行う。また、将来想定される複数の高潮災害のシナリオを示し、その状況下で生じる高潮災害リスクの定量的な解析を行う。そして、近年の大規模港湾が有する高潮災害の危険性を明らかにすることにより、今後の高潮対策を行う場合の

基礎情報をまとめる。

2. 解析手法

高潮推算は、外洋から伊勢湾全域の範囲で海域計算を行い、名古屋港周辺は陸域への浸水計算を行う。

伊勢湾全域の海域の高潮推算は、柴木・渡辺（2002）にならって行い、伊勢湾奥の名古屋港の高潮浸水計算は、柴木ら（2008）により提案された方法を用いる。名古屋港とその背後は50m格子で近似し、図-1に表す複数領域を同時計算処理する。

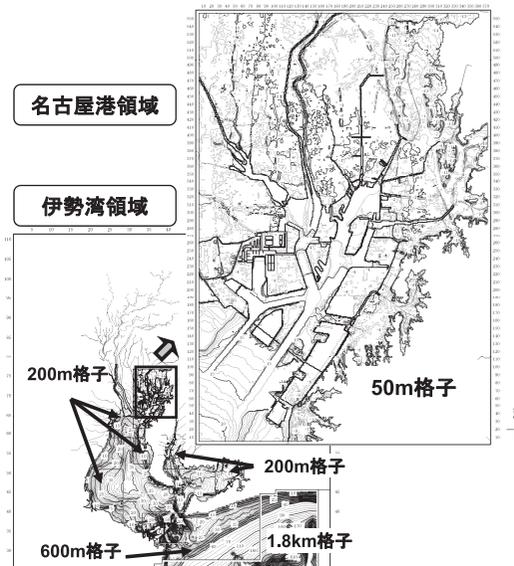


図-1 伊勢湾高潮推算に用いる領域構成及び地形近似

- | | | |
|-------|--------------|----------------|
| 1 正会員 | 中部地方整備局 | 名古屋港湾事務所 |
| 2 | 中部地方整備局 | 三河港湾事務所 |
| 3 正会員 | 埼玉県企画財政部 | |
| 4 正会員 | 中部地方整備局 | 清水港湾事務所 |
| 5 正会員 | 中部地方整備局 | 名古屋港湾空港技術調査事務所 |
| 6 正会員 | 博(工) 株式会社エコー | 防災・水工部 |

高潮浸水シミュレーションは、高潮による浸水要因として、高潮防護施設からの越流と越波現象を考慮する。そのため、図-2に表すような複数ステップの計算を行う。図-2に示すように、伊勢湾外から湾内全域を対象とする広域の高潮計算及び波浪推算を行い、名古屋港沖の境界位置における波浪時系列を推定する。波浪推算はエネルギー平衡方程式を基礎式とする浅海波浪推算である。この沖側境界条件による名古屋港内の波浪変形計算を並行して行う。港内の高潮防護施設（防潮堤）は、大規模港湾特有の配置である埋立地の背後に存在する。そこで、1次計算として埋立地護岸前面の波浪の推定と高潮による埋立地の浸水を計算し、越流と越波による埋立地の浸水状況を予測する。その後、2次計算として、波浪変形計算により、冠水した埋立地上の波の伝播も扱い、埋立地背後の防潮堤からの越流・越波を考慮した高潮浸水計算を行う。港内波浪変形計算の詳細は、柴木ら（2008）に記述した。

3. 伊勢湾高潮の再現

(1) 伊勢湾内の高潮時の最大偏差

図-3は、伊勢湾台風による高潮時の最大潮位偏差の観測値と計算値の比較図を表す。図中、1960年の計算値が気象庁（1960）の結果を、2002年の計算値が本報告の高潮推算モデルによる結果を表す。伊勢湾内の高潮の再現性は、伊勢湾台風後の1960年時に実施した計算値に比べると、湾口から湾奥にかけて格段に精度が向上し、伊勢湾全域の海岸において、当時観測された潮位偏差の最大

値を良く再現している

(2) 伊勢湾奥の高潮による浸水

図-4は伊勢湾奥の浸水範囲を高潮浸水シミュレーションにより追算した結果を表す。高潮浸水の追算で設定した天文潮位は、名古屋港で最大潮位偏差が記録された時刻の予報潮位T.P.+0.30mである。また、陸域の地盤高は、現状の標高値を引用しており、台風来襲当時の情報ではない。気象庁（1961）には、災害後の現地調査結果から確認された浸水範囲と浸水深及び海岸堤防の破堤箇所が示されており、図中の△地点が破堤箇所を表す。

図に表すように、伊勢湾台風の来襲時に湾奥で発生した高潮と高波による浸水域の再現結果は、湾奥一体に広がる0m地帯全体に広がり、気象庁（1961）によりまとめられた災害後の現地調査から明らかにされた浸水域の範囲と一致している。ただし、破堤箇所の状況や個々の破堤時刻については、高潮災害後の現地調査において、詳細な情報として整理されていない。また、昭和34年当時の地盤高の詳細についても正確性を欠く可能性がある。そのため、図の浸水シミュレーションから求めた浸水深の計算精度は十分とは言えない。

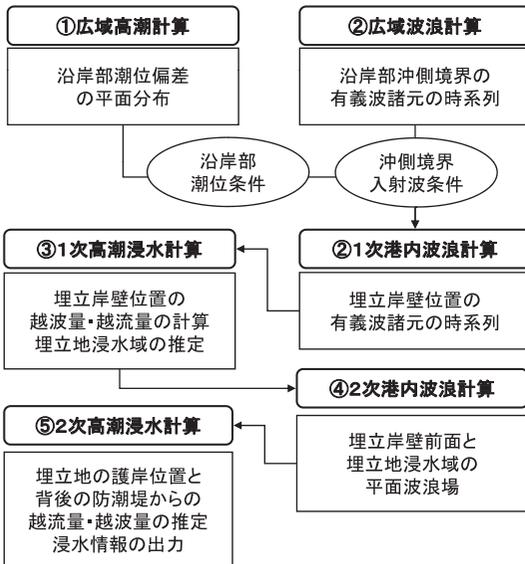


図-2 伊勢湾及び名古屋港の波浪及び高潮浸水の予測を構成する計算ステップとその流れ

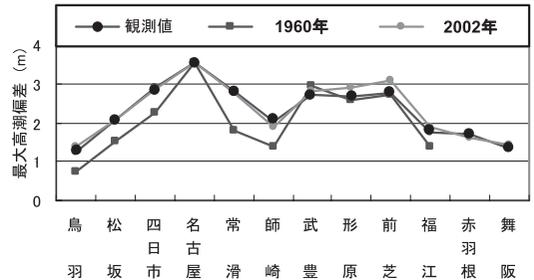


図-3 伊勢湾沿岸の代表点における最大潮位偏差の観測値と計算値の比較



図-4 高潮浸水シミュレーションによる伊勢湾台風来襲当時の伊勢湾奥部沿岸における浸水域の追算

4. 現状の高潮防護水準の評価

(1) 名古屋港高潮防波堤の高潮防護効果

図-5は、気象庁(1960)にならい、昭和34年当時の地形と、昭和34年地形に計画時の高潮防波堤(開口幅500m)を設置し、伊勢湾台風が来襲した場合に計算された最大潮位偏差の分布を表す。気象庁の計算格子は2.0kmであり、本報告の高潮計算は、名古屋港の海域のみについて、200m格子により地形近似を行っている。

高潮防波堤がない場合、港奥で計算される潮位偏差は3.57m(観測値は3.55m)であるのに対し、高潮防波堤が設置された場合、港奥の潮位偏差は3.10mとなり、港内の高潮のピークカット効果は約0.5mとなる。この値は、気象庁報告により高潮防波堤の計画時に示された数値と一致している。計算格子間隔の違いは相当量あるものの、計画時点における高潮防波堤による港内高潮の低減効果が立証されたことになる。

(2) 港内の高潮防護水準と高潮災害リスク

図-6は現状地形で、伊勢湾台風の来襲を想定した場合に予測される名古屋港の最大浸水深の分布と防潮堤

位置における越波量の時系列の例を表す。設定した天文潮位はH.W.L.(=T.P.+1.20m)で、設計天文潮位(T.P.+0.97m:台風期平均満潮位)よりも0.2m程度高い。図に示す防潮堤内への越波流量の最大値は、港湾施設の許容値以下(0.01~0.02m³/m/s)となり、わずかな防潮堤背後の浸水しか発生せず、堤内地の現状の排水機能により対応が可能と考えられる。現行の高潮防護施設は、防潮堤背後への浸水を阻止し、施設としての機能が維持されている。

一方、図に表すように、多くの埋立地区で最大浸水深1.0mを超過する冠水が発生する。これらの地区は、伊勢湾台風当時から既に埋め立てられた用地であり、高潮災害後に整備された埋立地よりも地盤高が低い。このような地区は、埋立地に蔵置貨物がある場合、それらの浸水・流出被害と、流出に伴う防潮堤内への被害の拡大が懸念される。現在の港湾が抱える高潮災害リスクとして注意すべき点であり、港湾の高潮防災上の課題である。

5. 長期的な高潮災害リスクの予測

時間スケールにして、100年後までの将来に発生する

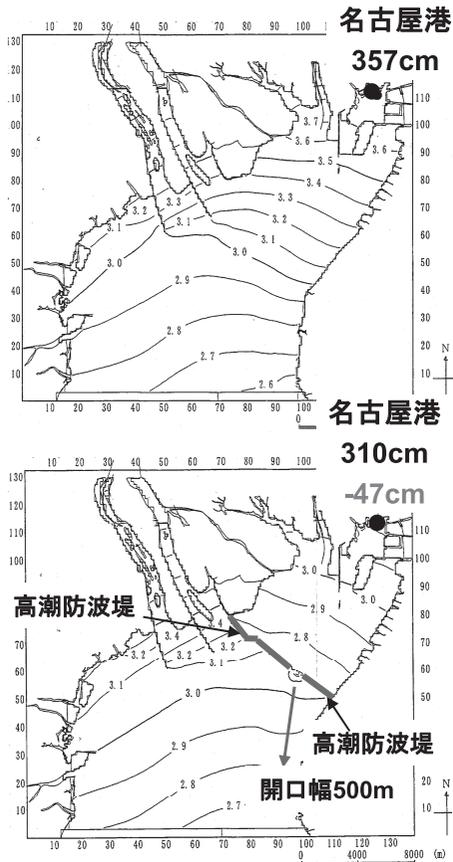


図-5 名古屋高潮防波堤計画時の高潮低減効果

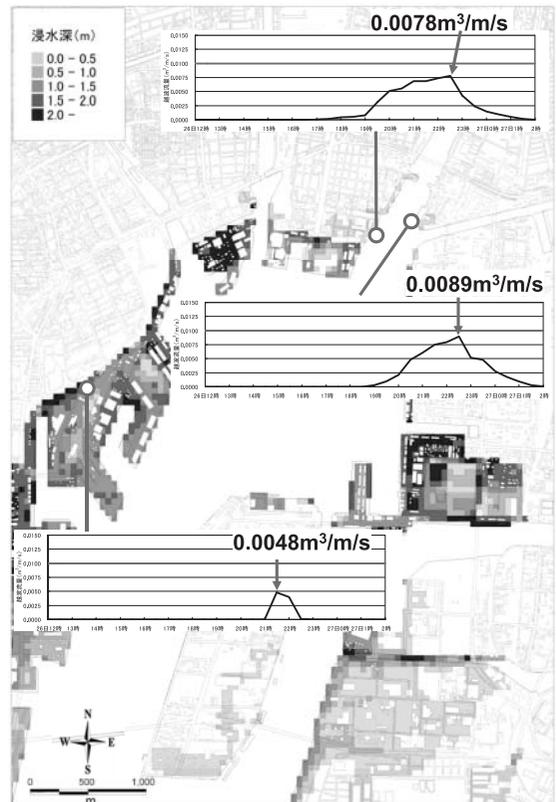


図-6 現状地形における伊勢湾台風再来時の名古屋港の浸水状況と防潮堤からの越波量の時系列

高潮災害は、複数のシナリオを想定した高潮推算により予測できる。ここでは、次の3種類のシナリオ想定を行う。CASE1は地球温暖化に伴い予測される台風の強大化を想定し、上陸時の台風規模（中心気圧）を室戸台風級とし、伊勢湾奥に高い潮位偏差を発生させる危険コースを設定する。図-7は伊勢湾台風及び想定台風が伊勢湾に接近した時間帯の毎時の台風中心気圧と経路を表す。想定台風の設定条件は柴木ら（2008）に詳しくまとめた。CASE2は、IPCC4次報告を参考とし、0.6mの海面上昇を仮定する。CASE3は、東海・東南海地震（レベル2地震動）による0.3mの基盤沈下と液状化による防潮堤外の港内埋立地と防潮堤基礎の地盤沈下0.4mを仮定する複合型災害を想定するものである。ここで、埋立地の地盤沈下

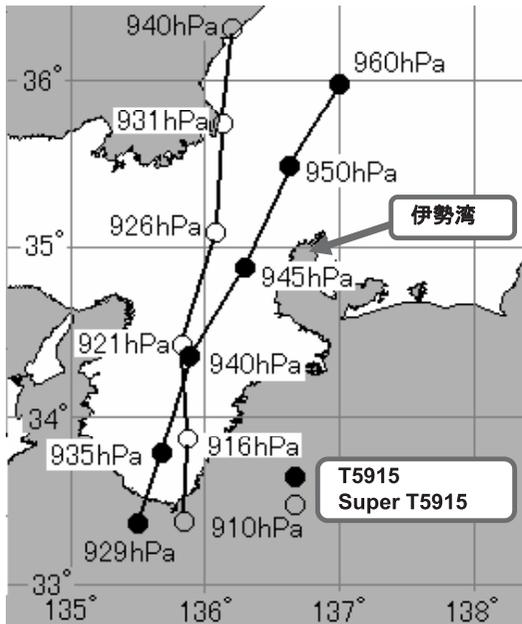


図-7 伊勢湾台風及び想定台風の伊勢湾接近時の中心気圧及び台風経路

量は、FLIPによる変形照査成果を引用した。他に蔵置貨物の流出等の不測の事態により防潮堤が破堤することも想定される。ただし、現段階で破堤箇所を判定する明確な根拠がないため、浸水予測は行わない。

図-8は、CASE1～CASE3のシナリオ別に高潮浸水シミュレーションを行い、名古屋港奥で予測された最大潮位の時系列の比較を表す。図中、最大潮位偏差の数値を一覧としてまとめた。設定した天文潮位は、現状の防護水準の評価で用いたH.W.L.である。潮位偏差は、台風の強大化を想定したCASE1が最も高い3.97mとなり、CASE2とCASE3が3.0m程度となる。想定台風時の潮位偏差は、伊勢湾台風（CASE2、CASE3）と比べて1.0m程度高くなる。図-9はCASE2、CASE3の高潮浸水シミュレーションにより予測された名古屋港内の最大浸水深の分布を表す。2種類のシナリオによる浸水範囲はほぼ同様である。ただし、CASE3は、防潮堤で囲まれた一部の埋立地区においても、浸水深が増加する。地震に伴う液状化により、防潮堤自体も沈下するためである。

台風の強大化を想定したCASE1の浸水深分布は、図-10のように予測される。他のケースに比べると、防潮堤の内外ともに浸水深は大きくなり、広範囲の浸水が発生すると予測される。図中に拡大して示した地区の最大浸水深は、2.5mを超過する箇所も見られ、埋立地の蔵置貨物ならびに家屋は、浸水・流出被害が生じる可能性が高い。図に表す浸水マップ情報（浸水深）から、堤外・堤内地の浸水・流出被害リスクの評価ができる。

6. おわりに

高潮浸水シミュレーションを利用して伊勢湾の大規模港湾である名古屋港の現状の高潮防護機能の確認及び将来想定される高潮災害リスクに関する解析を行った。主要な結果を以下にまとめる。

- (1) 名古屋港の現状の高潮防護機能を検証した。伊勢湾台風が再来しても、防潮堤内への浸水は防護され、所要の防護水準は確保できている。しかし、防潮堤外の

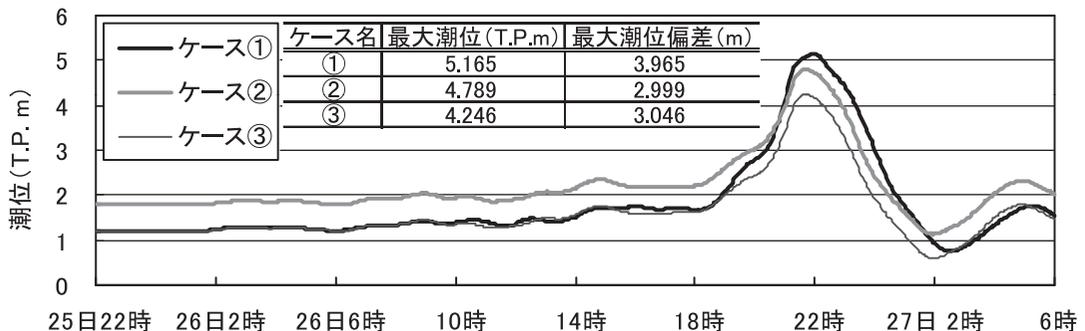


図-8 複数のシナリオにより予測される名古屋港奥の高潮時の潮位の時系列と最大潮位偏差の比較



図-9 複数のシナリオにより予測された名古屋港の高潮浸水図



図-10 最大の浸水被害を発生させるシナリオによる名古屋港の高潮浸水図 (CASE1: 台風強大化)

埋立地は冠水し、浸水・流出被害が予測される。現在の港湾用地は高度利用がなされ、背後の都市圏への影響は甚大である。今後、埋立地の高潮対策は、港湾防災上の緊急課題である。

(2) 100年スケールの長期的な高潮災害リスク評価のため、想定シナリオを複数提案し、このシナリオのもと高潮浸水状況を予測した。最大規模の浸水は、台風の強大化により発生し、名古屋港全域及び堤内地の高潮災害リスクは飛躍的に高まると予測された。

参考文献

柴木秀之・渡辺 晃 (2002) : 密度成層とWave Setupを考慮した多層高潮推算に関する研究, 土木学会論文集, No.719/II-61, pp.47-66.
 柴木秀之・鈴山勝之・江崎竜夫 (2008) : 越流と越波を考慮した高潮浸水の数値計算, 海洋開発論文集, 第22巻, pp.70-74.
 気象庁 (1960) : 伊勢湾高潮の総合調査報告書, 気象庁技術報告, 第4号, 286pp.
 気象庁 (1961) : 伊勢湾台風調査報告書, 気象庁技術報告, 第7号, 889pp.