

28. 三大湾奥部における温暖化による高潮浸水領域の変化の予測

ESTIMATE OF STORM SURGE INUNDATION AREA ENLARGED BY GLOBAL WARMING IN INNER PARTS OF THREE MAJOR BAYS

鈴木 武*

Takeshi SUZUKI

ABSTRACT; Increase of damage caused by storm surge is one of the important effects of global warming. It is necessary to know quantitatively the relationship between sea level rise/ tropical cyclone strengthening and damage of storm surge. The research objective is to formulate a climate-change susceptible function on storm surge damage. For that purpose, the author built the numerical model that explains inundation state under storm surge. The information of topography and coastal facilities is given as spatial mesh data in the model. The fluid motion is described by linear long waves theory. Seawater is considered to flows into land as seawall overflow. Run up is calculated by Iwasaki and Mano's method. In the first step of making the nationwide model, the author built the model of inner parts of three major bays in Japan, which have large populations and properties. According to the calculation, the inundation areas had tendencies to increase in small rate in the early stage corresponding to increase of atmospheric pressure of typhoon eye, but had tendencies to increase rapidly from certain typhoon pressures and sea levels.

KEYWORDS; Sea Level Rise, Storm Surge, Inundation Model, Disaster Risk, Susceptible Function

1 はじめに

IPCC¹⁾では、地球の温暖化によって100年後に海面が18~59cm上昇するとともに、台風が強大化する可能性が高いことを予測している。地球温暖化によってもたらされる海面上昇と台風の強大化は、わが国沿岸に高潮による浸水被害の増大をもたらす。そうした温暖化による高潮による脅威の増大への備えを、はじめから終局の状況にあわせて行うとすると、当面の被害を軽減・防止する必要から巨大な投資を短期間に行わなければならない、社会として許容することが難しい状況になる。温暖化は何十年、何百年にわたって徐々に進行し、高潮による脅威も同様の速度で進行するため、温暖化の進行に合わせて対策を徐々に進めることが、社会の資金的負担を軽減し、実行可能性を高めることに繋がる。そうした対策の手順を考えていくために、温暖化の進行に伴って高潮リスクがどのように変化するかを見積もることが必要である。

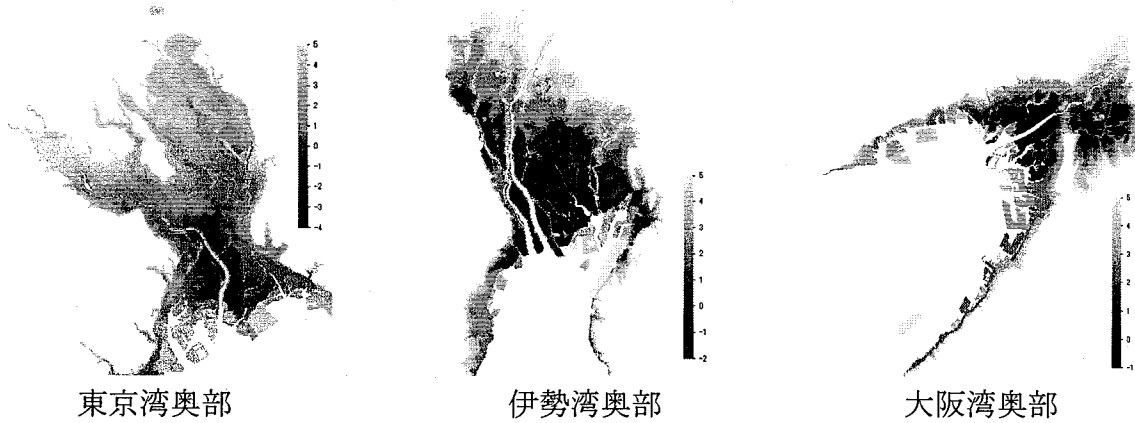
わが国の沿岸は、三大湾の奥部に大規模な低平地があり、そこに東京、大阪、名古屋の大都市圏の一部が広がり、多くの人口と資産が集積されている。そのため、温暖化による高潮浸水の被害は、三大湾奥部の低平地の状況が全国値に大きな影響を持つと考えられる。

そのため、三大湾奥部の低平地を対象に、温暖化の程度の違いによって浸水被害がどのように変化するかを調べるため、台風の規模とコースから高潮を予測し、得られた高潮から陸上の浸水を予測する数値モデルを作成する。そして、そのモデルを使い、海面上昇量と台風強大化の条件を様々に変化させて浸水予測を行

* 国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部

Coastal and Marine Research Department, National Institute for Land and Infrastructure Management

い、その結果を整理することによって、海面上昇量と台風強大化率が変化した場合に高潮による浸水面積と浸水人口がどの用に变化するかを予測する。



注) スケールは標高で、単位は m である。

図-1 三大湾奥部の低平地

2 高潮浸水モデルの構成

これまで、温暖化による沿岸域の浸水影響を把握する、海面下になる土地の面積、居住人口、資産の額を被害ポテンシャルとして求めることが行われてきた²⁾。しかし、その方法では、浸水のメカニズムが考慮されていないため、現実にかかる被害との乖離が大きく、どれだけの海面上昇量になったとき温暖化の影響が急速に増加するかを知ることができない。

そのため、海岸には防護施設が存在し、高潮が発生した場合に防護施設を超えて海水が陸域に侵入するという機構を組み込んだ浸水モデルを作成する。そのモデルを使って高潮によって浸水する陸域の面積、浸水する場所に居住する人口を見積もる。そうした見積もりを海面上昇と台風強大化の条件を様々に変えて行い、海面上昇量や台風強大化率を説明変数としたとき、それらの条件が生じた場合における高潮被害がどうなるかを整理する。

モデルは、地形と防護施設のデータをメッシュ情報として保有し、非線形長波理論で陸上の海水の流動を表現する。モデルでは、まず、台風のコースと中心気圧から次式の Myers の台風モデル³⁾を使い、高潮を計算する。

$$p = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (1)$$

ここで、 p は台風中心からの距離 r の点での気圧、 r は台風中心からの距離、 p_c は台風中心の気圧、 r_0 は台風中心からほぼ最大風速の点までの距離、 Δp は台風中心の気圧の深さである。

高潮は連続の式(2)、運動方程式(3)および海面せん断力式(4)から計算する。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dM}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sx} - \tau_{bx}) + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (3a)$$

$$\frac{dM}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sy} - \tau_{by}) + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (3b)$$

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4a)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4b)$$

$$\tau_{bx} = \rho_w g n^2 M \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} \quad (4c)$$

$$\tau_{by} = \rho_w g n^2 N \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} \quad (4d)$$

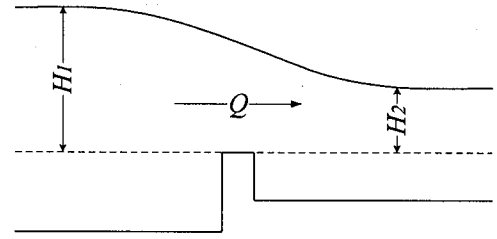


図-2 越流の模式図

ここで、 x, y は水平方向位置、 η は静水深から上向きの水面偏差、 D は全水深、 M, N は x, y 方向の流量、 f はコリオリ係数、 g は重力加速度、 P_0 は大気圧、 τ_{sx}, τ_{sy} は x, y 方向の海面せん断力、 τ_{bx}, τ_{by} は x, y 方向の海底面せん断力、 ρ_a は空気の密度、 ρ_w は海水の密度、 C_D は海面の抵抗係数、 n はマンニングの粗度係数、 W_x, W_y は海上 10m の x, y 方向の風速である。

計算された水面偏差をもとに、堤防等からの越流による海水の流入を、次の本間の越流公式^{4), 5)}で計算する。越流の模式図を図-2 に示す。

(完全越流)

$$Q = 0.35 H_1 \sqrt{2g H_1}, \quad H_2 \leq \frac{2}{3} H_1 \quad (5)$$

(潜り堰越流)

$$Q = 0.91 H_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}, \quad H_2 > \frac{2}{3} H_1 \quad (6)$$

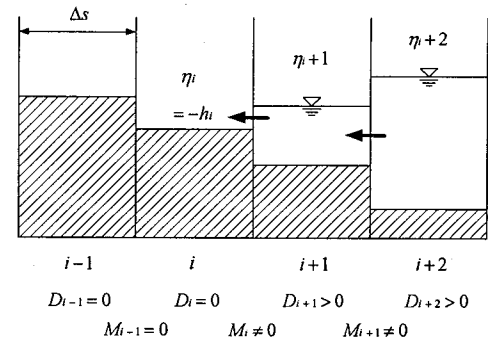


図-3 浸水境界条件の模式図

越波流量は合田の越波流量推定図⁶⁾で計算する。

海水の遡上は岩崎・真野⁷⁾の方法で計算する。これは、

図-3 に示すように、波先での地形を階段状に考え、陸側格子点の地盤高 h より海側格子点の水位 η が高い場合に、その差を実水深 D として流量計算を行う方法である。

それらにより三大湾奥部の低平地において高潮による浸水の状況を模擬する数値モデルを作成した。

3 高潮浸水被害の計算

計算では、IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定者向け要約¹⁾で予測されている海面上昇の範囲をカバーするために、海面上昇量が 0cm, 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm の場合を対象にする。

想定する台風は、中心気圧が伊勢湾台風、コースが大阪湾は室戸台風、伊勢湾は伊勢湾台風、東京湾はキティー台風を基準とする。基準の場合の中心気圧を 1 とし、0.1, 0.4, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6 の場合を計算対象にする。

それらの各条件の下で浸水被害を受ける面積と人口を推計する。浸水被害を受ける面積は、高潮浸水モデルによって浸水予測を行い、浸水が起こると計算されたメッシュの面積を合算することによって求める。また、浸水被害人口は、高潮浸水モデルで浸水すると計算されたメッシュに居住する人口を合算し、それを浸水被害人口とする。使用する人口データは 2000 年の国勢調査である。

4 計算結果

設定した各条件の下で三大湾奥部低平地における高潮による浸水被害を計算した。結果は図-4~7 のとお

りである。それによれば、高潮による浸水被害は、海面上昇量に対して浸水面積と浸水人口はともに比較的直線的に増加する。台風強度が増加する場合は、海面上昇がないとき、浸水面積は台風強度が 0.7 のあたりで、浸水人口は台風強度が 1.0 のあたりで急速に増大する。海面が上昇すると、急増する台風強度がそれぞれ 0.4, 0.7 に変化することが分かった。

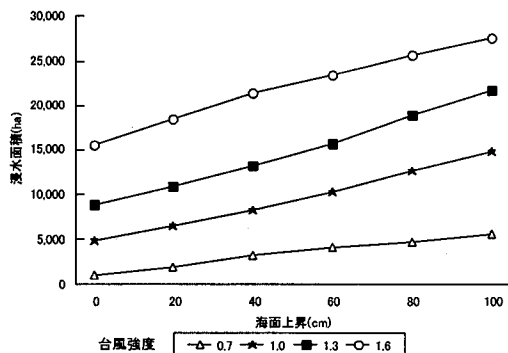


図-4 海面上昇に対する高潮浸水面積

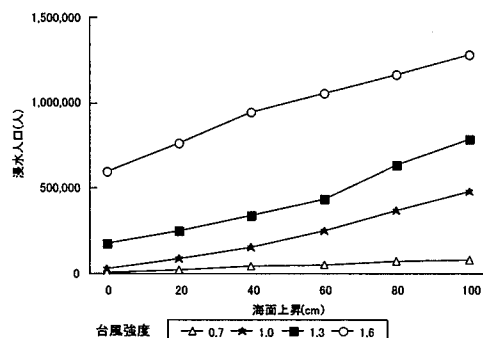


図-5 海面上昇に対する高潮浸水人口

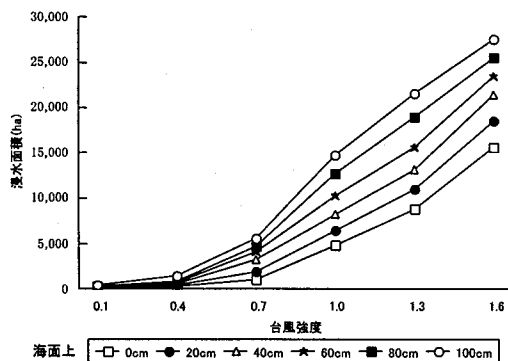


図-6 台風強度に対する高潮浸水面積

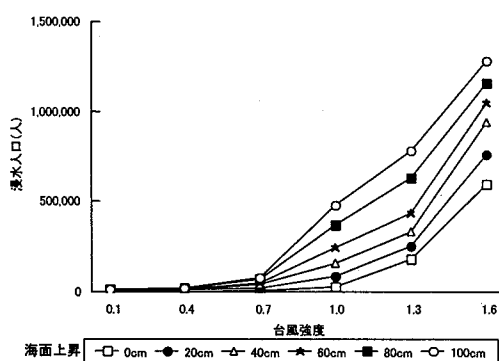


図-7 台風強度に対する高潮浸水人口

謝辞：本文は、環境省地球環境推進研究（S-4）（H18－H21）の一環として行われた研究の成果の一部をまとめたものである。本研究の遂行に際し協力をいただいた方々に深く感謝する。

参考文献

- 1) Richard B. Alley *et al*: “Summary for Policymakers: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, IPCC, 18p, (2007)
- 2) 松井貞二郎・立石英機・磯部雅彦・渡辺晃・三村信男・柴崎亮介：海面上昇に伴う日本の沿岸域の浸水影響予測，海岸工学論文集，39，1031-1035（1992）。
- 3) Myers, V.A.: “Characteristics of U.S. Hurricanes Pertinent to Levee Design for Lake Okeechobee, Florida”, Hydro-Meteorology Report, No. 32, Weather Bureau, U.S. Dept. Commerce, 106p, (1954).
- 4) 本間仁：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，26，6，635-645，（1940）。
- 5) 本間仁：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，26，9，849-862，（1940）。
- 6) 合田良実・岸良安治・神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，14，4，3-44，（1975）。
- 7) 岩崎敏夫・真野明：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，海岸工学講演会論文集，26，70-74（1979）。