

◆ 特集：防護・環境・利用の調和した海岸を目指して ◆

高潮ハザードマップ作成のための氾濫危険度評価

加藤史訓* 鳥居謙一**

1. はじめに

高潮とは、台風などの低気圧の接近に伴い、主として風による海水の吹き寄せと気圧低下により、潮位が高くなる現象である。わが国の歴史において、台風は高潮氾濫による壊滅的な被害をたびたび引き起こしてきた。たとえば、1959年の伊勢湾台風では、主に高潮氾濫により死者・行方不明者は約5,000人に上った。気象予報システムの改良と海岸堤防等の整備により、近年では高潮による大規模な氾濫災害は稀な現象になったが、熊本県の八代海沿岸（写真-1参照）や山口県の周防灘沿岸などで広域的な浸水被害をもたらした1999年の台風18号による高潮など、依然としてわが国の沿岸域では高潮氾濫が生じている。伊勢湾台風の頃とは異なり、現代の都市域では地上空間と地下空間が複雑に結合しており、海岸防護の計画レベルを上回る高潮が生じた場合には従来とは異なる過程で甚大な氾濫災害が生じる可能性がある。



写真-1 1999年の熊本県松橋町での高潮氾濫
(熊本県河川課提供)

高潮災害に対する効果的な対策の一つとして、氾濫危険度の周知による被害軽減を目的とした、想定される浸水深などの氾濫危険度を地図上に示したハザードマップの作成と公表がある。2001年3月に関係省庁により作成された「地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル」では、高潮対策の強化策の一つとしてハザードマップの作成が挙げられており、市町村長が国、都道府県等の

関係機関の支援や協力を得ながらハザードマップを作成するものとされている。しかし、ハザードマップに表示する氾濫危険度の評価手法が確立されておらず、高潮ハザードマップは全国規模では整備されていないのが現状である。

このような中で、内閣府、国土交通省、農林水産省、水産庁は、2002年11月に学識経験者から成る「高潮・津波ハザードマップ研究会」を立ち上げ、地方自治体による高潮・津波ハザードマップの作成を支援するための技術的検討や高潮・津波ハザードマップ作成要領の策定を進めている。また、海岸研究室では、高潮氾濫の危険度評価における課題を整理し、高潮氾濫の危険度の評価手法を検討している。

本稿では、高潮氾濫の危険度評価の課題と全体的な流れとともに、その評価の第一段階である潮位および越波量の設定を中心に成果を紹介する。

2. 高潮ハザードマップとは

「地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル¹⁾」では、高潮ハザードマップの作成目的を、地域住民に対し被災時の適切な避難行動を促し、高潮災害を軽減するために、高潮発生時に想定される浸水等の被害の情報、避難方法・避難場所等の具体的対応行動に関する情報等を住民に分かりやすく提供・普及することと定義している。また、表-1のように、高潮ハザードマップの記載事項として、高潮発生時における住民の安全かつ確かな避難行動に役立つ「避難活用情報」と、平常時において防災意識を高めるのに役立つ「災害学習情報」を挙げている。

「高潮・津波ハザードマップ研究会」では、高潮ハザードマップの果たすべき役割は以下のように整理されている。

- ・居住地における適切な避難の実施のための、高潮に対する危険度、避難場所・避難路、避難の判断に資する情報を住民にわかりやすく提供すること
- ・住民自らが災害時に適切な判断を行い的確な対応行動がとれるように、事前に災害に関する情報をわかりやすく提供すること
- ・行政担当者が、それぞれの業務計画における災害時の避難計画、施設整備計画、施設運用計画、救援計画等の立案に活用できること

表-1 高潮ハザードマップの標準的な記載事項¹⁾

避難活用情報	災害学習情報
＜浸水情報＞ ・ 浸水予想（浸水予想区域、予想浸水深ランク、予想到達時間など） ・ 浸水実績（最大浸水区域、最大浸水深） ・ 保全施設整備状況（堤防・護岸の現況天端高／計画天端高・老朽化度など） ＜避難情報＞ ・ 避難が必要な地域（危険度ランク、要救護者施設地下鉄・地下街の位置） ・ 避難場所（高潮発生時に適した避難場所、公共施設、学校、病院等） ・ 避難経路および危険箇所（避難経路、土砂災害の恐れがある等危険箇所） ＜その他＞ ・ 避難基準（避難命令等の発令基準、自主避難の重要性など） ・ 情報の伝達手段（住民への情報の伝達経路と手段、情報入手方法） ・ 作成主体（作成主体の名称、作成年月など） ・ その他（避難時の心得、我が家の防災メモなど）	＜学術情報＞ ・ 高潮のメカニズム（気象要因、地形的特徴） ・ 高潮の危険性（氾濫形態、被害の内容、複合氾濫、複合災害） ・ 気象に関する基礎知識（気象用語、雨の降り方など） ＜地域情報＞ ・ 既往高潮の情報（気象・水文、浸水、被害、避難状況） ・ 地域の歴史（地形形成史、市街地形成史、災害史） ＜解説＞ ・ 高潮ハザードマップの見方 ・ 高潮ハザードマップの使い方 ・ 防災情報の伝達経路 ＜その他＞ ・ 常時、高潮時の心得 ・ 避難場所での過ごし方 ・ 付加情報

- ・行政と住民とのリスクコミュニケーションに必要な災害リスクの程度、対策に関する情報をわかりやすく提供すること

3. 高潮氾濫の危険度評価における課題

図-1のように、高潮による評価対象地域への海水流入を予測し、それによる被害の指標となる浸水深などを見積もることにより、高潮氾濫の危険度は評価される。高潮による海水流入の予測においては、以下の2つの課題が残されている。

一つ目の課題は、海水流入の予測に用いる、海岸堤防での潮位および越波量をどのようにして設

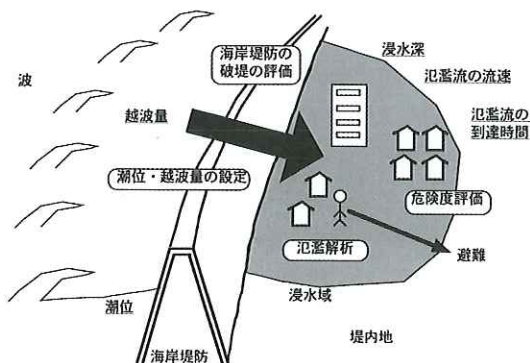


図-1 高潮氾濫の危険度評価の概要

定するかである。わが国では潮位の観測期間が限られているため、ハザードマップで対象とする数十年から数百年に1回程度の頻度で生じる潮位が正確に評価されていない。また、越波量についても、その頻度の評価法が確立していない。その一因として、越波量の算定に用いられる潮位と波高はいずれも台風接近時には高くなることが多く、さらに潮位は浅海域では波高に影響することから、越波量の頻度を算定する際にこの両者を独立した事象として取り扱うことができないことがある。

二つ目の課題は、海水流入量を著しく増大させる海岸堤防の破堤をどのように想定するかである。わが国の沿岸域のほとんどは、海岸堤防により計画レベルの高潮や高波から守られている。また、伊勢湾台風や1953年の台風13号による高潮で破堤した海岸堤防の多くはコンクリートやアスファルトで表面が被覆されていなかったが、今日ではほとんどの海岸堤防はコンクリート等で被覆されている。コンクリートで被覆された海岸堤防の破堤事例は少ないため、どの程度の潮位や波浪により海岸堤防が破堤するか評価する手法は確立していないのが現状である。

4. 高潮氾濫の危険度評価の流れ

前述の課題を踏まえ、人的被害軽減の観点から高潮氾濫の危険度評価の手順を以下のように整理した。

(1) 潮位・越波量の設定

対象海岸における潮位および越波量の生起確率を評価し、ハザードマップで対象とする期間に発生しうる最大規模となる潮位および越波量の時系列データを設定する。

(2) 海岸堤防の破堤の評価

(1) で設定された時系列の越波量を用いて海岸堤防の被覆工の破壊判定を行い、その時系列における破堤のタイミングを設定する。

(3) 氾濫解析

(1) で設定された潮位および越波量、(2) で設定された破堤のタイミングをもとに、堤内地に流入した海水の挙動を数値シミュレーションで推定し、堤内地の浸水深、氾濫流の流速や到達時間等を予測する。

(4) 危険度評価

(3) で得られた浸水深等の予測に基づいて、人的被害の危険度を評価し、その結果を地図上に表示する。

5. 潮位・越波量の設定

ハザードマップで対象とする高潮の規模については、評価された危険度が住民にとって現実性があるように、かつ危険度を過小に評価しないように設定するとともに、住民にとってわかりやすい説明が求められる。たとえば、その対象規模を海岸堤防の設計高潮位と同じとすることが考えられるが、そのような高潮がどの程度の頻度で起こりうるものなのかという問いに対する答えが必要である。

潮位および越波量の生起確率の評価は、前述のように実測値を用いて行うことは難しい。そこで、その評価手法の一例として、図-2のように既往台風の特性から台風モデルを構築し、極値統計解析に十分な期間について台風のシミュレーションを行い、各台風時の最大の潮位および越波量を算定し、その結果を用いて極値統計解析により潮位お

よび越波量の生起確率を評価した。その概要を以下で述べる。

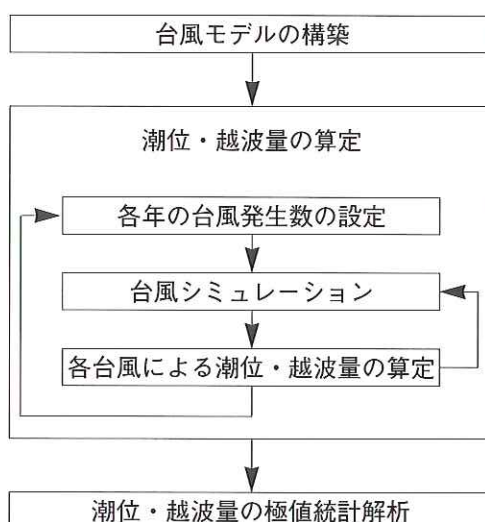


図-2 潮位・越波量の設定

5.1 台風モデルの構築

台風属性の自己回帰性を考慮して台風のシミュレーションを行うことができる確率的台風モデルが提案されている^{2), 3), 4)}。これと同様の考え方に基づいて台風モデルを構築した。

1951～1997年の47年間に発生した台風のうち中心気圧が980hPa以下に発達したものについて、1年間の平均発生個数を算出するとともに、台風属性（台風の中心位置、中心気圧、移動速度、移動方向、半径）の統計的特性を解析した。解析では、北緯0～50°、東経100～180°を対象領域として、台風属性およびその時間的変化量について、2°格子毎に平均値と標準偏差を求めた。

図-3は、台風属性を解析した47年間における台風の中心気圧の平均値について、実測値から算

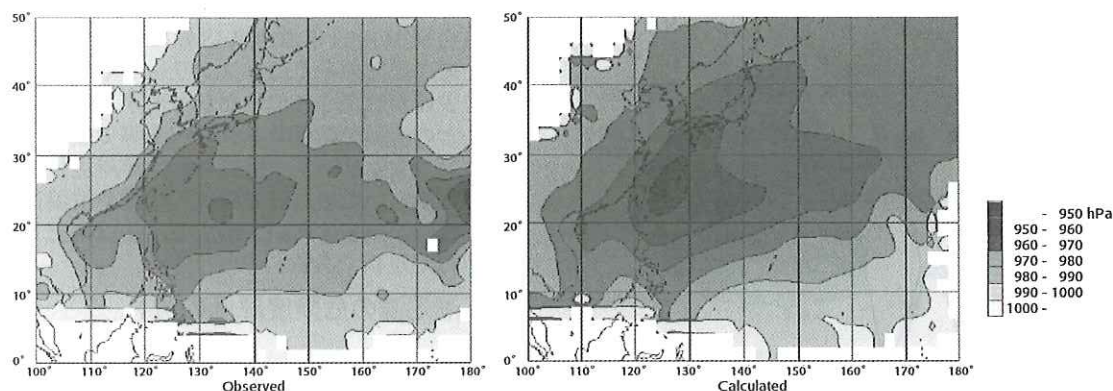


図-3 台風の中心気圧の平均値 (左：実測値、右：計算値)

定したもの（図中の左）と計算値から算定したもの（図中の右）である。この両者は概ね一致している。同様の整理を台風の経路、速さ、移動方向について行ったところ、これらについても実測値と計算値は概ね一致した。これらのことから、この手法により十分な精度で台風シミュレーションを行うことができると判断される。

5.2 潮位および越波量の再現期間の評価

構築した確率的台風モデルにより、2,000年間の台風シミュレーションを行った。各年の台風発生個数は、実績の年平均発生個数に従うポアソン乱数により決定した。各台風の初期位置は、実績の累積度数分布に従う乱数で決定した。台風属性の初期値は、初期位置における各属性の正規分布に従う乱数で決定した。任意時刻 n の台風位置は、時刻 $(n-1)$ における移動速度および移動方向と、各々の変化量（平均値+乱数で与えられる偏差）の和で決定した。任意時刻 n の台風属性は、時刻 $(n-1)$ における台風属性とその変化量（平均値+乱数で与えられる偏差）の和で決定した。対象領域外に台風が移動する、もしくは中心気圧が1,010hPa以上になるまで、各台風のシミュレーションを行った。

予測された2,000年間の各台風について対象海岸での潮位偏差（台風起因の潮位上昇量）、潮位、越波量の再現期間を評価した。予測する台風の数が著しく多いので、潮位偏差は気象庁⁵⁾の予測式で、波高および周期はSMB法で算出し、実測値との相関式で補正した。潮位は、予測した潮位偏差に、乱数で決定した台風発生時刻からの予報天文潮を加えて算出した。越波量の算定は、直立堤については合田⁶⁾に、緩傾斜堤については玉田⁷⁾に従った。極値統計解析では、合田⁸⁾に従い、各台風時の最大越波量などにGumbel、Weibull、

極値II型の各分布を当てはめ、最も適合する分布を採用した。

表-2は、伊勢湾と土佐湾に面した各1海岸における各再現期間に対応する越波量の計算例である。伊勢湾に面した海岸の方が同一再現期間の越波量が小さいのは、海岸堤防の設計において、伊勢湾に面した海岸ではわが国最大級の伊勢湾台風による高潮が想定されているのに対し、土佐湾に面した海岸では伊勢湾台風より勢力が劣る既往台風による高潮を踏まえて設計高潮位が設定されているためと考えられる。

表-2 越波量の計算例

湾名	再現期間 (年)				
	50	100	200	500	1000
伊勢湾	0.013	0.019	0.028	0.043	0.059
土佐湾	0.150	0.200	0.261	0.362	0.460

($\text{m}^3/\text{m/s}$)

5.3 時系列の潮位・越波量の設定

ハザードマップで対象とする期間に相当する潮位偏差および越波量を最大値として、時系列の潮位および越波量を設定する。各台風時の潮位および越波量の最大値と継続時間との関係を整理し、その関係に基づいて潮位および越波量の継続時間を設定する。

図-4は、前述のシミュレーションで得られた、土佐湾に面した1海岸における越波量の計算値を用いて、各台風による越波の総量（総越波量）と越波量の最大値（最大越波量）の関係を示したものである。また、図-5は、越波の継続時間と最大越波量の関係を同様に示している。両図から、総越波量は最大越波量に概ね比例するが、越波の継続時間は最大越波量とは無関係であることがわか

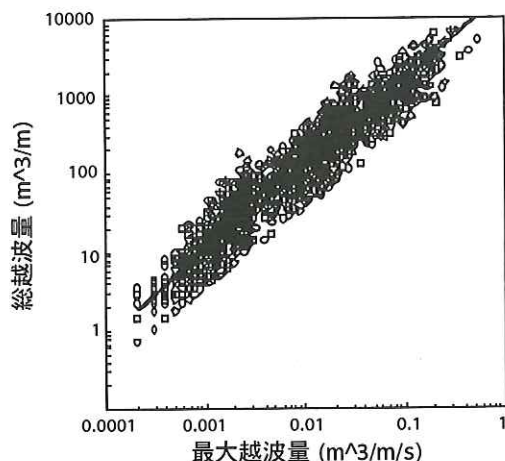


図-4 最大越波量と総越波量との関係

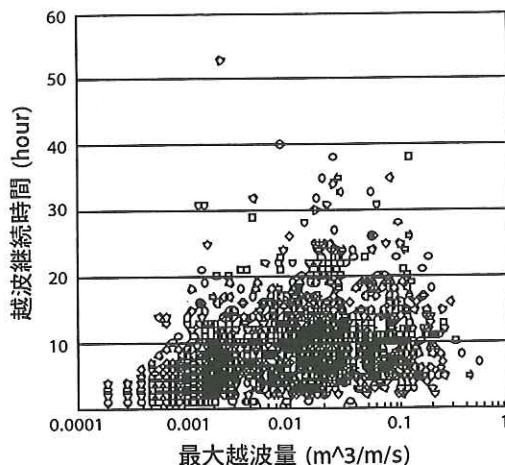


図-5 最大越波量と越波継続時間との関係

る。外洋に面した土佐湾では、台風が離れていてもうねりが来襲するため、越波の継続時間は内湾と比べて長く、台風の数値に大きく左右される。一方、内湾では、一定周期を持つ潮汐が越波に及ぼす影響が比較的大きい。以上のことから、図-4に示された関係からある再現期間の越波量に対応する総越波量が得られ、越波の継続時間を平均値などの一定値で仮定すれば、得られた総越波量と等しくなるように時系列の越波量を設定することができる。

6. 海岸堤防の破堤の評価

海岸堤防の破堤は、海岸堤防の海側の洗掘や、のり面や天端の被覆工の破壊等により、盛土材料が流出して生じることが多い。高潮が特に問題となる内湾では、波浪が比較的小さいので、海岸堤防の海側の洗掘の恐れは比較的小さい。そこで、コンクリート被覆式の傾斜型堤防については、図-6のように、コンクリートの被覆工の破壊をもって海岸堤防の破堤と評価することとし、被覆工の破壊が生じる越波量について検討している。また、図-7のように、重力式や扶壁式の堤防については、表のり被覆工の滑動や転倒をもって破堤と評価することとする。

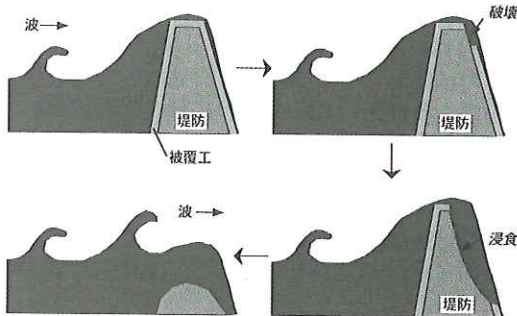


図-6 被覆工の破壊による破堤の過程

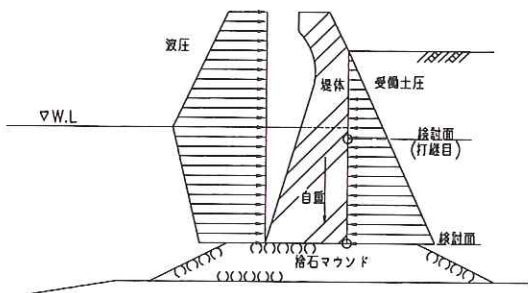


図-7 重力式堤防に作用する力

高潮時に被覆工に加わる主な外力は、海側ののり面と天端については波力であり、陸側ののり面

については越波や越流により生じる流体力である。被覆工の滑動や転倒の照査においては、波力とともに浮力や土圧が加わる。これらの外力に対する各面の被覆工の強度、滑動や転倒に対する安全率を越波量と関連づけて評価することにより、被覆工の破壊が生じると考えられる越波量が設定される。

高潮氾濫の危険度評価においては、前章で設定された時系列の越波量を被覆工の被災限界の越波量と比較することにより、破堤のタイミングを設定する。

7. 氾濫解析を通じた危険度評価

氾濫解析にあたっては、設定された時系列の潮位および越波量を入力条件として、破堤を評価しながら堤防の高さを境界条件として堤内地への時々刻々の海水流入量を算定し、堤内地に流入した海水の挙動を数値シミュレーションで推定する。その結果として、堤内地の浸水深、氾濫流の流速や到達時間等の平面分布を得る。

高潮氾濫による浸水は、2次元不定流モデルなどを用いた氾濫解析により予測される。氾濫解析に必要な堤内地の地盤高や構造物に関するデータは、河川の洪水ハザードマップと同程度以上（計算格子：数m～数十m）の細かさが求められる。

氾濫解析で得られた浸水深等の予測に基づいて、人的被害の危険度を、避難の必要性および安全性、家屋の安全性などの観点で評価する。危険度の指標として、最大浸水深や氾濫流の到達時間のほか、それらを用いた避難の必要性および安全性の相対評価が表-3のように提案されている⁹⁾。ハザードマップには、安全な避難場所や避難路とともに、各市町村の各地区の危険度が地図上に表示される。

8. おわりに

これまで述べてきた手法により、高潮氾濫の危険度をより適切に評価することが可能になった。この評価における技術的事項の詳細については、ケーススタディを通じてさらに検討していく予定である。

また、沿岸域では、台風時に、高潮に加えて河川の洪水氾濫や内水氾濫などにより浸水する可能性がある。高潮、河川の増水、堤内地の排水能力を上回る大雨が同時に生起する確率を評価する手法は確立されていないが、沿岸域の浸水危険度を総合的に評価する上で重要である。このほか、地下街などの都市構造の変化に伴う被災過程の変化などについても今後の検討が必要である。

表-3 高潮氾濫の危険度の評価基準の例⁹⁾

危険度	最大 浸水深	住 宅	洪水到達時間	各世帯で浸水に気づいた時点で避難を開始した場合	対 応	望ましい 避難形態
A	床上浸水 以上		避難所や歩行可能な避難路までの移動時間より短い	安全に避難できない	堤防から海水が溢れ始める前に避難を始めないと安全に避難できない。	事前避難
B	床上浸水 以上		避難所までの移動時間より短い、歩行可能な避難路までの移動時間より長い	安全に避難できない	堤防から海水が溢れ始めた時点で避難を始めれば、氾濫流に追いつかれるものの、何とか避難できる。	
C ⁺	床上浸水 以上		避難所や歩行可能な避難路までの移動時間より長い	安全に避難できない	堤防から海水が溢れ始めた時点で避難を始めれば、氾濫流に追いつかれることはない。しかし、各世帯で浸水に気づく前に避難を始めないと、安全に避難できない。	
C ⁻	床上浸水 以上	高層化または耐 水化されている	避難所や歩行可能な避難路までの移動時間より長い	安全に避難できる	堤防から海水が溢れ始めた時点で避難を始めれば、氾濫流に追いつかれることはない。各世帯で浸水に気づいた時点で避難を始めても、安全に避難できる。	自主避難
D	床上浸水 以上				住宅内で待機していれば大丈夫。	自宅待機
E	床下浸水				避難する必要なし。	
(なし)	浸水なし				避難する必要なし。	

参 考 文 献

- 1) 高潮情報等のあり方研究会：地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル, 2001.3
- 2) 端野道夫・桑田康雄：確率的台風モデルによる降雨・高潮の同時生起性評価, 土木学会論文集, 第387号, II-8, pp.237-246, 1987.11
- 3) 山口正隆・畑田佳男・大木泰憲・西村教博・中村雄二：確率的台風モデルに基づく台風時浅海波浪の極値推算システムの適用性, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.281-285, 1995.11
- 4) 橋本典明・佐藤祐司・松浦邦明・市川雅史：確率台風モデルの構築とその統計的特性, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.456-460, 2001.11
- 5) 気象庁：潮位表（平成12年版）, p.283, 1999.10
- 6) 合田良実：防波護岸の越波流量に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol.9, No.4, pp.3-42, 1970.12
- 7) 玉田崇・井上雅夫・手塚崇雄：緩傾斜護岸の越波流量算定図とその越波低減効果に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.641-645, 2002.10
- 8) 合田良実：設計波高および設計潮位の決め方, 第33回水工学に関する夏期研修会講義集, B-4, pp.1-18, 1997.7
- 9) 鳥居謙一・加藤史訓：高潮災害に関する研究, 土木研究所資料, 第3803号, 97p., 2001.3

加藤史訓*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室主任研究官
Fuminori KATO

鳥居謙一**



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室長
Kenichi TORII