

確率的台風モデルを用いた潮位と越波量の確率評価

加藤 史訓*・鳥居 謙一**・柴木 秀之***・鈴山 勝之****

高潮ハザードマップ作成に必要な高潮氾濫の危険度評価において、氾濫解析における潮位と越波量の設定法の確立が求められている。そこで、既往台風の属性を解析して確率的台風モデルを構築し、それを用いて2,000年間の台風シミュレーションを行い、4海岸を対象として各台風時の潮位、波浪、越波量を計算し、その結果を用いた極値統計解析により対象海岸での潮位等の再現期間を評価した。その結果、高潮ハザードマップで対象とする長い再現期間についても、潮位と越波量の確率評価が可能になった。

1. はじめに

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。

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、海岸堤防での潮位および越波量の設定法が課題として残されている。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、越波量については、その発生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。

以上のことを踏まえ、潮位および越波量の確率評価手法を検討した。

2. 評価手法の概要

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ので、その評価手法の一例として、図-1のように既往台風の特性から確率的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、その結果から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。

3. 確率的台風モデルの構築

端野・桑田(1987)、山口ら(1994a, 1994b, 1995a, 1995b)、橋本ら(2001)は、自己回帰モデルを用いた確率的台風モデルを構築している。これらと同様の考え方に基づいて、確率的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980 hPa以下に発達したものについて、一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。

各年の台風発生個数は、実績の平均発生個数(17.91)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、図-2, 3のように、実績の累積

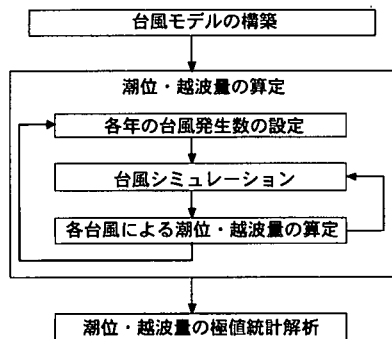


図-1 潮位・越波量の設定

* 正会員 工修 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

** 正会員 工修 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 室長

*** 正会員 工修 (株)エコ環境水工部

**** 工修 (株)エコ環境水工部

度数分布に従う乱数で決定した。中心気圧の初期値は、その位置における中心気圧の正規分布に従う乱数により決定した。台風半径の初期値は、既往台風の解析から得られた台風発生時の気圧と台風半径の相関式で設定した。

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、各々の時間的変化量(平均値+偏差)の和で決定した。時刻 n の台風半径は、中心気圧の増減に応じて異なる相関式を用いて時刻 n の中心気圧から算定した。台風位置および台風半径以外の台風属性については、時刻 $(n-1)$ における台風属性とその時間的変化量(平均値+偏差)の和を時刻 n の値とした。なお、偏差は、その場所において設定されている平均値と分散値による正規分布に従う乱数により決定した。また、台風属性が平均値から大幅にずれないように、移動場所の台風属性の平均値により重み付けした量により補正した。対象領域外に台風が移動する、もしくは中心気圧が 1,010 hPa 以上になるまで、各台風のシミュレーションを行った。

図-4 は、台風の通過頻度について、1 回 47 年の台風シミュレーションを 50 回行った結果(図中の上)と実測値(図中の下)を比較したものである。計算された台風の通過頻度は実績と概ね一致している。図-5, 6 は、台風の中心気圧および速度の平均値を、図-4 と同様に示したものである。中心気圧、速度とも、計算値と実測値は概ね一致している。同様の整理を移動方向について行ったところ、これについても同様の結果が得られた。以上のことから、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。

4. 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い、各台風について図-7 に示された 4 海岸(東京湾: 検見川海岸, 伊勢湾: 長島海岸, 大阪湾: 淀川河口, 土佐湾: 高知海岸仁淀川河口)での時系列の潮位偏差, 潮位, 波浪, 越波量を計算し, その結果を用いた極値統計解析により対象海岸での潮位偏差, 潮位, 有義波高, 越波量の再現期間を評価した。

海上風の分布は、柴木・後藤(1992)にならい境界層モデルを用いて推定した。また、気圧の分布は Myers モデルで近似した。

予測された台風の数が著しく多いので、潮位偏差は気象庁(1999)の予測式で、有義波高および有義波周期は SMB 法で算出した。外洋に面した土佐湾については、wave setup を考慮するため、潮位偏差に有義波高の 1 割を加えた。以上のような簡易的な予測式で算出された潮位偏差, 有義波高, 有義波周期を、1949~2000 年の既往

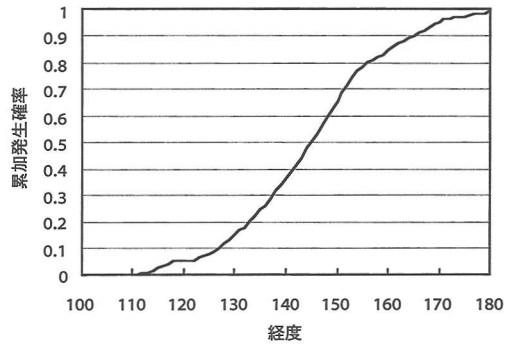


図-2 台風発生位置の経度分布

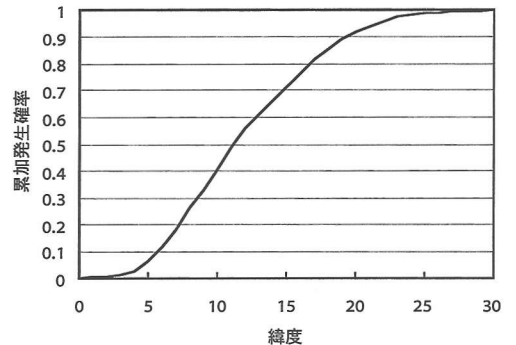


図-3 台風発生位置の緯度分布

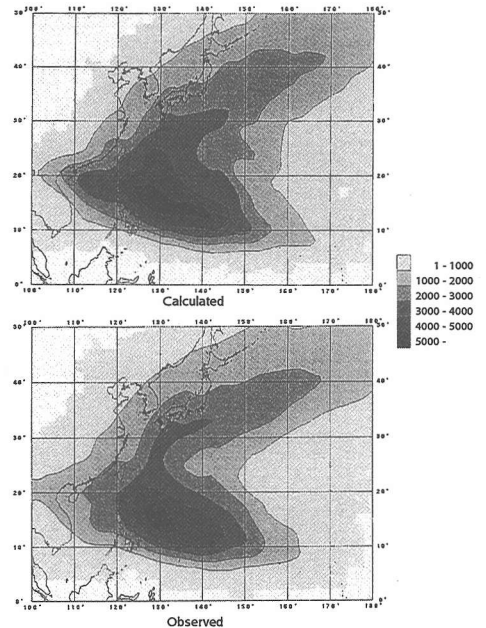


図-4 台風の通過頻度

台風について各地点の推算値と実測値を比較して得た両者の相関式を用いて補正した。

潮位は、予測した潮位偏差に、乱数で決定した台風発

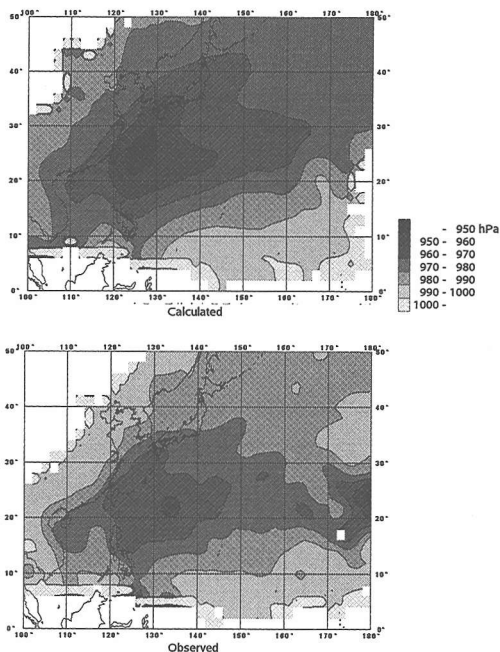


図-5 台風を中心気圧の平均値

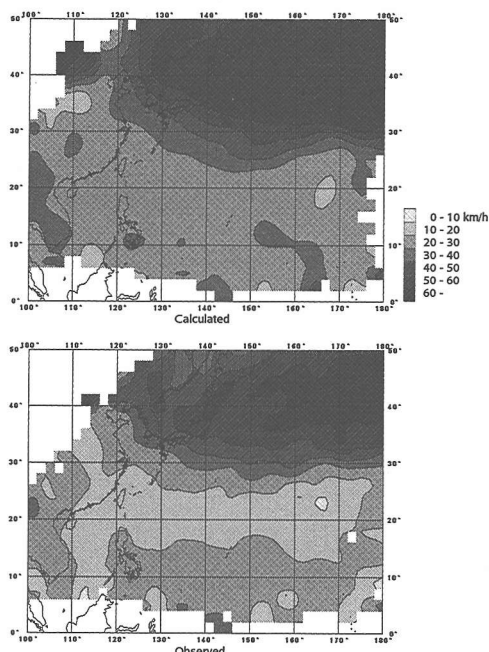


図-6 台風の速度の平均値

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（1970）に、緩傾斜堤については玉田ら（2002）に従った。極値統計解析では、合田（1997）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。

図-8～11 は、対象海岸において潮位偏差が最大となる台風時の気圧、風速、風向、潮位偏差、潮位、波高、越波量を示したものである。東京湾では、潮位偏差は 2.7 m に達したが、干潮と重なったため潮位は 2.0 m に留まり、越波量は非常に少なかった。伊勢湾では、潮位偏差は 4.7 m、潮位は 5.5 m に達し、越波量も 0.025 m³/m/s と大きかった。大阪湾でも潮位偏差は 3.5 m、潮位は 4.2 m と大きく、越波量も 0.01 m³/m/s を上回った。土佐湾では、潮位偏差は最大でも 1.6 m だが、波高が大きいため越波量は 0.21 m³/m/s と他海岸に比べ著しく多かった。

表-1～4 は、対象海岸における各再現期間に対応する潮位偏差、潮位、波高、越波量の計算結果である。

潮位偏差は伊勢湾がもっとも大きかった。山口ら（1994b）は、確率的台風モデルと潮位偏差に関する重回帰式を組み合わせたシミュレーションにより、再現期間 100 年の潮位偏差（東京約 1.6 m、名古屋 2.5 m、大阪 2.7 m、高知約 1.9 m）、同 1000 年の潮位偏差（東京約 1.9 m、名古屋 3.3 m、大阪 3.1 m、高知約 2.2 m）を評価しているが、ほぼ同一箇所と考えられる大阪については今回の



図-7 対象海岸の位置

評価結果の方が若干小さい。また、山口ら（1995b）は、確率的台風モデルと高潮の数値モデルを組み合わせたシミュレーションにより伊勢湾における再現期間 1000 年の潮位偏差の分布を求め、長島では 3.5～4.0 m と評価しているが、今回の評価結果と概ね一致している。なお、外洋に面した土佐湾でも再現期間 1000 年の潮位偏差が 1.6 m に達しているが、台風 7010 号による気象庁高知検潮所（桂浜）の台風 7010 号による既往最大潮位偏差（2.35 m）と比べると小さいものの、浦戸湾から離れた手結の最大潮位偏差より大きかった。

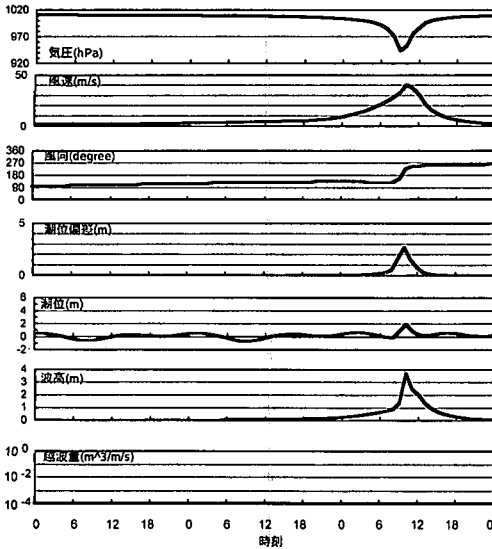


図-8 潮位偏差が最大となる台風時の海象 (東京湾)

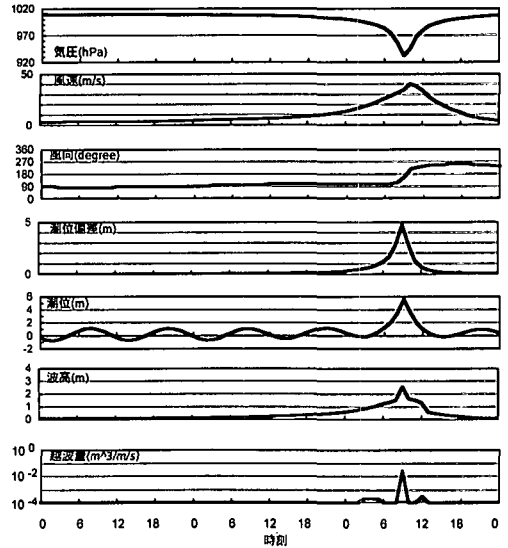


図-9 潮位偏差が最大となる台風時の海象 (伊勢湾)

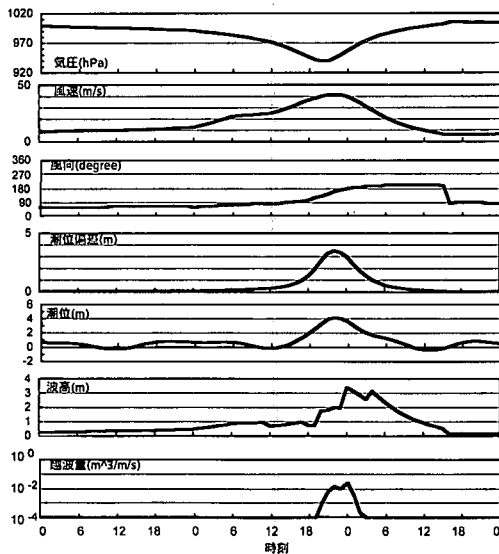


図-10 潮位偏差が最大となる台風時の海象 (大阪湾)

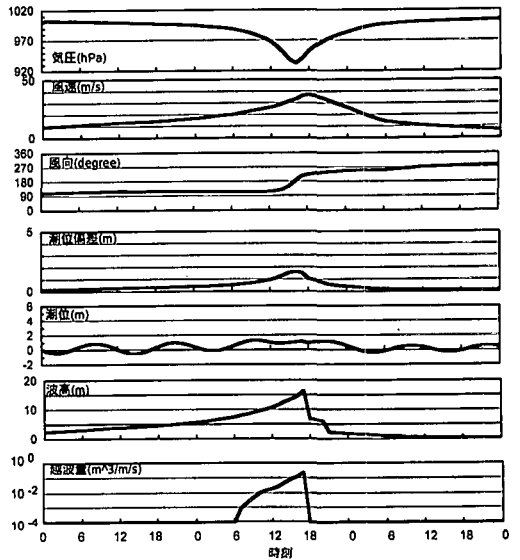


図-11 潮位偏差が最大となる台風時の海象 (土佐湾)

潮位も伊勢湾がもっとも大きく、次いで大阪湾、東京湾の順であった。鳥居ら (2001) は、高知検潮所の実測値をもとに天文潮位と潮位偏差の結合確率を求め、 $T.P.+2.85\text{ m}$ (朔望平均満潮位+既往最大潮位偏差) の再現期間を450年と評価している。これと比べて今回の評価結果は小さい確率となっているが、潮位偏差と同様に場所が若干異なることが影響していると考えられる。

波高については、土佐湾で再現期間100年で17.0 m、同1000年で20.0 mと大きく、内湾の中では大阪湾が大きかった。山口ら (1994a) が、高知沖の100年確率波高を12.8 m (観測資料に基づく推定)、13.3 m (50年100回

のシミュレーション資料に基づく推定)、1000年確率波高を同様に15.8 m、16.6 mと評価しているが、今回の評価結果の方が大きかった。

越波量は、土佐湾が著しく大きく、再現期間50年でも0.1 $\text{m}^3/\text{m/s}$ を超えている。伊勢湾では再現期間1000年で0.05 $\text{m}^3/\text{m/s}$ を上回るが、東京湾や大阪湾では再現期間1000年でも0.01 $\text{m}^3/\text{m/s}$ 程度であった。伊勢湾は東京湾や大阪湾と比べて天端高が2 m程度高いものの、潮位が高いため越波量が大きくなった。

表一1 潮位偏差の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	1.62	1.82	2.01	2.25	2.43
Ise	2.63	2.94	3.25	3.63	3.90
Osaka	1.88	2.12	2.34	2.62	2.82
Tosa	1.27	1.36	1.45	1.56	1.63

(m)

表一2 潮位の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	1.91	2.09	2.28	2.52	2.71
Ise	3.11	3.45	3.79	4.23	4.57
Osaka	2.32	2.57	2.83	3.17	3.42
Tosa	1.62	1.70	1.78	1.88	1.94

(m)

表一3 波高の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	3.1	3.2	3.4	3.7	3.8
Ise	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8
Osaka	4.5	4.8	5.0	5.2	5.4
Tosa	15.9	17.0	17.9	19.2	20.0

(m)

表一4 越波量の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	0.0017	0.0024	0.0033	0.0049	0.0067
Ise	0.0130	0.0193	0.0277	0.0429	0.0587
Osaka	0.0001	0.0019	0.0039	0.0073	0.0108
Tosa	0.1500	0.1997	0.2605	0.3623	0.4600

(m³/m/s)

5. おわりに

これまで述べてきた手法により、越波量の確率評価が可能になった。高潮の氾濫解析には、ハザードマップで対象とする期間に相当する潮位および越波量を最大値とした時系列の潮位および越波量を外力として設定する。

越波量の確率評価は、氾濫危険度の評価だけでなく、海岸堤防等の安全度評価にも活用することができる。海岸保全施設の性能設計に向けて、本評価手法の活用が期待される。

なお、沿岸域は、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、端野・桑田(1987)により一部試みられているが、未だ確立されていない。沿岸域の浸水危険度の総合的評価に向けて、今後の検討が必要である。

参考文献

気象庁(1999): 潮位表(平成12年版), p. 283.
 合田良実(1970): 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.
 合田良実(1997): 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.
 柴木秀之・加藤史訓・山田浩次(2001): 密度成層とWave Setupを考慮した土佐湾異常高潮の推算, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 286-290.
 柴木秀之・後藤智明(1992): 内湾海上風の地形依存性について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 141-145.
 高潮情報等のあり方研究会(2001): 地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル, 96 p.
 玉田崇・井上雅夫・手塚崇雄(2002): 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.
 鳥居謙一・人見寿・福島雅紀(2001): 高知海岸における潮位の確率的評価に関する研究, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 296-300.
 端野道夫・桑田康雄(1987): 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.
 橋本典明・佐藤裕司・松浦邦明・市川雅史(2001): 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.
 山口正隆・畑田佳男・中村雄二・大木泰憲(1994a): わが国太平洋岸における超長期の台風発生波高の極値の推定, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 206-210.
 山口正隆・畑田佳男・花山格章(1994b): わが国太平洋岸における高潮の極値の推定, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 281-285.
 山口正隆・畑田佳男・大木泰憲・西村教博・中村雄二(1995a): 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42巻, pp. 246-250.
 山口正隆・畑田佳男・花山格章(1995b): 伊勢湾における高潮の極値の推定, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 321-325.