東京湾, 有明海, 八代海および鹿児島湾の高潮について

確率論手法の検証

ON STORM SURGES IN TOKYO, ARIAKE, YATSUSHIRO
AND KAGOSHIMA BAYS

Verification of a probabilistic procedure

牧野 稔*, 松村和雄**

Minoru MAKINO and Kazuo MATSUMURA

A probabilistic procedure to estimate the probability of annual maximum storm surges due to typhoons has been illustrated in the Journal of Struct. Constr. Engng., AIJ, No.425, July, 1991. The application of this procedure to Tokyo, Ariake, Yatsushiro and Kagoshima bays is satisfactorily carried out even though observed data are not enough.

Keywords : storm surge, typhoon, extreme value distribution, probabilistic procedure

高潮, 台風, 極値分布, 確率論手法

1. はじめに

大阪港と名古屋港の高潮について, 論文報告集第425号¹⁾で考察した。当然, 他の地域についても関心を持たれる方があられるかも知れない。

高潮は気圧低下に基づく海面の上昇と強風による海水の吹き寄せに強く支配されるので, わが国では南側に開口し, 吹送距離のある浅い湾内で大きな高潮が発生する。気象庁のまとめている潮位表²⁾の付録には既報¹⁾で述べたように, 高潮予報のための実験式の係数が44地点について与えられている。しかし, これらの多くは外海に面する港湾地点であり, 高潮の危険度の大きい, 南側に開口する浅い湾内の地点は, 大阪湾と伊勢湾を除くと極めて少ない。また, 気象庁が潮位の最大偏差を“潮汐観測”³⁾に記載するようになったのは1973年以降である。わが国は幸いなことに近年いわゆるA級の台風に襲われていない。このため, 逆に言えば高潮を検証するのに十分な観測資料が揃っていない。したがって確率論手法の有効性を検証するには不十分な面があると言えるであろう。ただ, 不十分ではあっても, どのような結果が得られるかについて報告しておく義務もあると感じていた。

その後, 東京湾, 有明海, 八代海および鹿児島湾での観測値の資料が得られたので, 前例に倣って解析したところ, 実験式の評価に役立つ知見を得ることができたの

で, これらの解析結果を報告する。

2. 東京湾の高潮記録

東京湾では気象庁を含めいくつかの官署がそれぞれに潮位観測を行っているようである。これらの観測結果を横断的にまとめたものとして, やや古いが, 東京湾計画のための一覧表を得た⁴⁾。この表より年最大値を抜きだし, 60 cm 以上をめどとして東京湾における高潮の最大偏差(気象潮)の年最大値の順序統計量を求めると, 表-1 のようになる。

表-1 東京湾の高潮記録 (1887-1959)

順位	偏差 (cm)	観測点	発生年月日	風向	風速 (m/s)	起 因
1	208	霊岸島	1911. 7. 26	SSE	31.4	台風
2	194	小松川	1939. 9. 1	S	25.7	台風
3	190	小松川	1917. 10. 1	SSE	39.6	台風
4	139	霊岸島	1949. 8. 31	SE	24.9	キティ台風
5	113	月島	1958. 7. 23	S	22.8	5811台風
6	104	霊岸島	1938. 4. 15	SSW	11.5	低気圧
7	103	月島	1959. 9. 26	S	27.0	伊勢湾台風
8	95	築地	1953. 9. 25	S	19.9	テス台風
9	86	小松川	1935. 8. 29	SSE	15.1	台風
10	85	霊岸島	1951. 10. 15	S	17.7	ルース台風
11	76	羽田	1934. 9. 21	S	22.3	室戸台風
12	73	月島	1957. 12. 13	SSW	15.8	低気圧
13	66	月島	1954. 9. 26	S	18.8	洞爺丸台風
14	60	霊岸島	1947. 9. 15	NW	15.0	カスリーン台風

* 東和大学建設工学科 教授・工博

** 九州大学工学部建築学科 助教授・工博

Prof., Construction Engineering, Tohwa Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kyusyu Univ., Dr. Eng.

ところで、この表を見て気付くことは、この72年間の記録を前半と後半に分けて頻度を求めると2個と12個になることで、一様な精度の記録とは思えないことである。前半の2個の記録は順位で1位と3位であるので事象としては重要と思われるが、ここではこれらを省き、やや恣意的であるが、風速の統計期間の始期に合わせて統計期間を1929-1959年の31年間とする。なお、表に見られるように観測点が適宜に選ばれているので、近年の気象庁の東京検潮所の観測値を追加して観測期間を広げる処置は採らないことにした。台風の統計量が1978年までの30年間の調査に基づくものであり、また近年の観測値に欠測期間が含まれていることも躊躇する理由である。

3. 有明海、八代海および鹿児島湾の高潮記録

九州沿岸の高潮について文献5)を得た。ここでは湾内の観測点として、大浦(有明海)、三角(八代海)、および鹿児島を対象にしよう。文献5)から、台風の統計期間の終期に期せずして一致した1978年までのこれらの観測点における高潮の最大偏差の年最大値の順序統計量は、表—2、表—3および表—4のようになる。いずれも観測期間が比較的短く、強い台風の襲来も近年は少ないので大きい偏差は記録されていない。

なお、表の風向と風速の記録は関連台風についての気象要覧の暴風雨観測表により補足したもので、暴風雨観測表のない台風の場合および表に値の記載の無い場合は空欄とした。最寄りの気象台としては、大浦については最も近い佐賀とした。大浦は佐賀の南方約30kmに位

表—2 大浦(有明海)の高潮記録(1970-1978)

順位	偏差 (cm)	発生年月日	風向	風速 (m/s)	起 因
1	161	1970. 8. 15	E	18.7	7009
2	142	1976. 9. 13	SSE	19.6	7617
3	65	1974. 7. 6			7408
4	62	1971. 8. 5			7119
5	54	1973. 8. 16	ESE	9.7	7310
6	53	1972. 7. 26	ESE	8.0	7207
7	47	1978. 9. 15	S	18.3	7818
8	41	1975. 10. 7			7514

注：風向、風速の空欄は、気象要覧で補足できなかった所

表—3 三角の高潮記録(1957-1978)

順位	偏差 (cm)	発生年月日	風向	風速 (m/s)	起 因
1	135	1970. 8. 15	SSE	18.2	7009
2	109	1976. 9. 13	S	16.6	7617
3	(67)	1959. 9. 17	SSW	15.3	5914
4	51	1966. 8. 23	E	19.3	6615
5	49	1974. 7. 6	SSE	11.5	7408
6	45	1968. 7. 30	SSE	8.3	6804
7	44	1978. 9. 15	S	8.7	7818

注：偏差の()内は、24時間補間法によって算出した値と報告されているもの

表—4 鹿児島の高潮記録(1957-1978)

順位	偏差 (cm)	発生年月日	風向	風速 (m/s)	起 因
1	107	1969. 8. 22	ESE	31.0	6909
2	85	1965. 8. 6	SSE	22.8	6515
3	78	1971. 8. 5	SE	24.5	7119
4	(74)	1959. 8. 8	ESE	19.6	5906
5	69	1964. 8. 23	ESE	26.7	6414
6	(67)	1957. 8. 19	SE	21.3	5707
7	58	1976. 9. 13	ESE	17.4	7617
8	53	1968. 9. 24	SE	24.5	6816
9	53	1970. 8. 14	SE	20.8	7009

注：偏差の()内は、満干潮時・潮位から毎時潮位を推算して算出した値と報告されているもの

置する長崎県境近くの小港である。宇土半島先端の三角については北東約30kmに位置している熊本とした。

4. 高潮算定のための諸係数

解析に用いる諸係数を表—5および表—6に示す。

高潮についてのa, b, cおよび風向の主方向 θ は、潮位表および文献5)に記載の値である。東京については、近年の潮位表(昭和64年潮位表以降)に記載の値と以前に記載されていた値を併記した。三角と鹿児島については、統計期間の与えられていないのが潮位表に記載のもので、与えられているものが文献5)によるものである。大浦は文献5)によるものである。

台風の統計値は既報⁷⁾の値を用い、解析手法は前報¹⁾と同じとした。

上空風から地上風への変換係数 ϕ は、年最大風速値の分布より求めた値である。地上風(地上10m)の年最大風速の観測値は、気象庁の技術資料⁶⁾に掲載の1929-1966年の観測期間の値とした。ただし、東京は観測地点が1965年に移動したため、1929-1964年である。

表—5 高潮実験式の係数

地点	区分	a	b	c	主方向 θ	統計期間	出典
東京湾	A	2.332	0.112	0	S29°W	1917-1987	注1
東京湾	B	1.059	0.138	0	S7.0°E	1944-1960	注2
大浦		2.459	0.095	0	SSE	1964-1977	文献5
三角	A	1.185	0.154	0	SSW		注1
三角	B	1.874	0.111	0	SSW	1957-1977	文献5
鹿児島	A	1.234	0.056	0	SSE		注1
鹿児島	B	1.556	0.036	0	SSE	1957-1977	文献5

注1：平成2年潮位表

注2：昭和63年潮位表

表—6 台風の統計量

地点	λ (/200km)	β	V_o (m/s)	σ_o (m/s)	P_o (mb)	P_o (mb)	変換係数 ϕ
東京	0.54	0.059	11.39	5.28	115	35	0.45
佐賀	0.78	0.051	同上	同上	同上	同上	0.45
熊本	0.78	0.051	同上	同上	同上	同上	0.4
鹿児島	0.94	0.041	同上	同上	同上	同上	0.5

注：記号の意味は文献1を参照

5. 算定結果

東京、佐賀、熊本および鹿児島県の年最大風速値の確率分布を図—1 a, b, c および d の二重指数確率紙に示す。○印は観測値で、点線は極値Ⅲ型分布に対する回帰曲線、実線は上空風の分布に変換係数 ϕ を掛けて求めた分布である。 ϕ の値が、前例の名古屋と異なり、東京と佐賀が 0.45、熊本が 0.4 となるのは、環境に関連したものである。

東京湾、大浦、三角および鹿児島県における高潮の最大偏差の年最大値の確率分布を図—2 a, b, 図—3, 図—4 a, b および図—5 a, b の二重指数確率紙にそれぞれ示

す。図中の○印は観測値で、点線は極値Ⅰ型分布に対する回帰曲線、実線は計算値である。

これらの地点での高潮（気象潮）の年最大値の観測分布はおおむね直線的に並び、極値Ⅰ型分布となること、計算分布はほぼそれを説明することを示している。

6. 考 察

1) 東京湾

東京湾では、新しい係数による結果が比較的良い対応を示し、以前の係数による結果は過小評価となる。大きい偏差の資料を補充して係数を求め直した効果が現れて

(a) 東京 ($\phi=0.45$)

(b) 佐賀 ($\phi=0.45$)

(c) 熊本 ($\phi=0.4$)

(d) 鹿児島 ($\phi=0.5$)

図—1 地上風の分布と回帰曲線ならびに上空風からの当てはめ

(a) 新しい係数の場合

(b) 古い係数の場合

図—2 東京湾における気象潮の観測値の年最大値の確率分布とその回帰分布ならびに解析分布

図—3 大浦(有明海)における気象潮の観測値の年最大値の確率分布とその回帰分布ならびに解析分布

(a) 潮位表の係数の場合

(b) 文献5)の係数の場合

図—4 三角(八代海)における気象潮の観測値の年最大値の確率分布とその回帰分布ならびに解析分布

いると考えてよさそうである。これより観測と解析の対応が悪い場合には、実験式の係数を疑ってみることも必要であろう。

2) 大浦(有明海)

観測分布と計算分布が一応対応するが、観測資料が少ないので詳細な検討は資料が集まるのを待つ必要がある。

3) 三角(八代海)

観測値と計算値で分布の勾配にやや違いがあるが、こ

の点の検討も資料が集まるのを待つ必要がある。潮位表と文献5)の係数では、前者はまれな現象に対して過小評価となる傾向があり、高潮の予測に用いるには後者の方が適していると言える。

4) 鹿児島

観測分布と計算分布はほぼ対応しているが計算値の方が大きめである。なお、表—5に無い記録として、鹿児島では枕崎台風(1945年9月)のとき、痕跡ではあるが、2.0mの最大偏差を経験している。このような値が加わ

(a) 潮位表の係数の場合

(b) 文献5)の係数の場合

図—5 鹿児島における気象潮の観測値の年最大値の確率分布とその回帰分布ならびに解析分布

れば、2番最大値以下の観測分布は計算分布により接近する可能性が考えられる。

潮位表と文献5)の係数の結果に及ぼす差は小さく、どちらの係数がより適切かをこの計算結果から判断することは難しい。近年強い台風の襲来がまれで有力な情報の追加が無いためである。

7. むすび

確率論手法による高潮の確率計算は、適切な係数が実験式に与えられていれば、おおむね成立するもののように見える。その例として、東京湾についての係数が改訂されたのは予報に関連してのことと推測するが、適切に修正されたと言える結果を得た。三角もややこれに近い。ただし、鹿児島の場合のように係数の差が小さいときには、どちらがより適切かを評価することは難しい。しかし、差が大きい場合にはその適切さを見るのに本手法が使える見通しが得られたと言えよう。

確率論手法によれば、高潮の年最大偏差の極値分布は極値 I 型分布に従うことが予期される。本報告の場合にも観測分布は極値 I 型分布に従う結果を示し、伊勢湾台風の名古屋港の記録のような計算分布から大きく離れた特異な例は見られなかった。ただし、枕崎台風の時の鹿児島の記録を分布に当てはめると、計算分布から大きくはずれ、まれな事象が生じたことを示すようである。

聞くとところによれば、高潮の実験式は、現在でも予報に欠かせないとのことである。その評価に、確率論手法による高潮の確率計算が役立てば、望外の幸せである。

謝 辞

資料の収集にあたり、気象庁海洋課、神戸海洋気象台、

長崎海洋気象台の方々に大変お世話になった。ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 牧野 稔, 松村和雄: 大阪港と名古屋港の高潮について—確率論手法による考察, 日本建築学会構造系論文報告集, 第425号, pp.83~89, 平成3年7月
- 2) 気象庁: 平成2年潮位表, 平成元年
- 3) 気象庁: 潮汐観測, 第5集, 第1号~第16号
- 4) 産業計画会議: 東京湾計画に対する高潮数値計算とこれが対策, 昭和36年7月
- 5) 谷岡克己: 九州沿岸の高潮, 技術通信, 第26巻, 福岡管区気象台, 1980年2月
- 6) 気象庁: 日本各地の年最大風速(1929-1969), 気象庁観測技術資料第34号, 昭和46年1月
- 7) 牧野 稔, 渡壁守正: ポアソン確率モデルに基づく最大風速の極値分布—(その1) 台風に起因する最大風速について, 日本建築学会論文報告集, 第323号, pp.32~41, 昭和58年1月

訂 正

前論文の日本建築学会構造系論文報告集, 第425号, 平成3年7月の「大阪港と名古屋港の高潮について」のなかに一部符号の誤りがありましたので訂正します。

84 ページ (5) 式の (d)

(誤)

(正)

$$+0.8\left(1-0.075\frac{|r|}{\tau_m}\right)\frac{|r|}{\tau_m}v_0 \quad -0.8\left(1-0.075\frac{|r|}{\tau_m}\right)\frac{|r|}{\tau_m}v_0$$

84 ページ (5) 式の (e)

(誤)

(正)

$$+\left(1-0.075\frac{|r|}{\tau_m}\right)v_0 \quad -\left(1-0.075\frac{|r|}{\tau_m}\right)v_0$$

(1991年9月27日原稿受理, 1991年12月3日採用決定)