

台風の停滞時間を考慮した異常波浪の推算

土 屋 義 人*・駒 口 友 章**

1. 緒 言

北西太平洋沿岸を襲う台風による異常波浪は、わが国の海岸災害の主要な要因の一つであり、長期の再現期間に対してその発生の可能性を検討することは、波浪災害の防止や港湾計画における安全性を検討する上で重要な課題である。1983年、カルフォルニア海岸で発生した侵食災害は、長期間にわたり継続した異常波浪と、これにより生じた異常な水位上昇とが重疊したことによるものであることが認識されている。わが国においても、沿岸部を中心とする都市化が著しく、高度情報化社会を迎えようとしているが、そこでは低頻度の発生確率をもつ巨大災害に対する施策が求められてきている。

台風による異常波浪に対する研究は、従来、主に次のような方法による検討が行われてきた。第一の方法は、山口・土屋・芝野¹⁾が琵琶湖で、また、山口ら²⁾が太平洋を対象として詳細な波浪推算を行ったように、過去の異常気象によって発生した波浪を追算し、その極値統計を調べるか、あるいは直接に異常波浪を検討するものである。第二の方法は、例えば標準計画台風³⁾のように、台風そのものについてその発生に対する統計的な検討を行い、それに基づいて合成したモデル台風を用いて異常波浪の推算を行う方法である。前者の方法では、既往の台風により発生した波浪が統計量とされ、伊勢湾台風などの既往最大クラスの規模の台風による波浪を推算する場合には十分であるが、対象とした統計データの期間に大きく依存する。これに対して、後者の方法では、任意の地域に上陸する台風について、その気圧場および経路を確率的に再現させ、これらについて非常に低頻度の発生確率をもつモデル台風を設定することにより、十分な気象観測データの得られていない地点においても統計的な根拠をもった異常波浪を推算することができるであろう。しかし、この方法では主に上陸時の台風を対象としているので、これによる高潮の発生の検討には十分であるが、異常波浪の推算においては、台風がどのような経

路でどれだけ長時間の停滞時間を経て上陸するかという吹送時間が問題になるので、さらにこれを考慮することにより、非常に長期の再現期間をもつ異常波浪が発生する可能性がある。

本研究では、この後者の立場から、北西太平洋沿岸を対象として、台風の経路上、いわゆる転向点付近での停滞時間を考慮した数値シミュレーションを実施し、その場合に発生すると考えられる異常波浪について調べる。また、台風の停滞時間の統計的な特性を調べ、標準計画台風の概念を拡張して、さらにこれを考慮した場合に、非常に長期の再現期間をもつ異常波浪の発生の可能性があることを示す。

2. 標準計画台風と異常波浪の関係

台風による異常波浪を検討する場合には、一般に山口らが実施しているように、過去の台風によって発生した波浪を対象とする期間内についてすべて追算し、得られた結果を極値統計解析する方法が用いられる。この方法では、既往最大クラスの台風による異常波浪を推算する場合には、非常に優れた方法であると言えるが、過去の十分長期の気象観測データを必要とする。さらに、追算に用いる台風の経路が、推算対象地点に最大規模の波浪をもたらすものであるとは限らず、もし、より危険な経路をとったとして得られる波浪の追算結果は、実際の経路によるものよりも大きくなることが知られているが、この場合の追算結果に統計的な意味をもたせることは困難である。一方、藤井・光田⁴⁾が標準計画台風の概念に基づいて実施した気圧場のシミュレーションでは、台風そのものに対して発生頻度を考慮した中心気圧や経路を設定することができる。ただし、この標準計画台風は主に上陸時の台風を対象としたものであり、前述したように、波浪は吹送距離および吹送時間の増大によって発達するが、北西太平洋沿岸において台風による異常波浪を検討する場合は、一般に前者よりも後者の増大による場合が、より異常波浪を伴うであろう。したがって、標準計画台風の概念を用いて台風による異常波浪を推算する場合には、従来の方法に加えて、さらに台風が上陸するまでに迷走・停滞する時間を考慮する必要がある。

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 日本テトラポッド(株) 応用水理研究所

3. 台風の停滞時間を考慮した異常波浪の推算例

ここでは、台風の停滞時間を考慮したモデル台風を合成し、種々の停滞時間を仮定した場合について、異常波浪の発生の可能性を検討する。モデル台風は伊勢湾台風規模のものを想定し、台風域内の気圧分布を Myers の式で表し、傾度風から求めた風域場を与える。また、波浪推算モデルは山口・土屋モデル⁵⁾を適用し、方向分割は $40=18^\circ$ 、周波数 $0.05\sim 0.80$ Hz の区間を 17 分割して計算した。

(1) 台風の進行速度と停滞時間

台風経路から進行速度を求め、時間軸を引き伸ばすことによりこれを変化させる方法で、停滞時間を考慮したモデル台風を作成した。この場合、進行速度の時間変化は台風の中心位置の時間変化から平均の進行速度として得られるが、台風が停滞する場合は、緯度 25°N から緯度 29°N の範囲で停滞すると仮定して、この範囲の時間軸を引き伸ばした。さらに、このようにして得られる進行速度は、その時間変化が滑らかになるように、3 次のスプライン関数を与えて平滑化した値を用いた。

(2) 初期条件および開境界条件

初期条件および各計算ステップの開境界条件は、北西太平洋沿岸を対象とした場合、外洋からの流入エネルギーが不明であることから、その設定がかなり困難であるが、その値は波浪の推算結果に大きな影響を与える。ここでは、台風域内で観測された波浪のエネルギースペクトルの実測値との対応が比較的に良いと考えられる Ross の台風モデル⁶⁾を採用し、 $\text{COS}^2\theta$ 型の方角分布関数により計算される方向スペクトルを与えることにした。

Ross の台風モデルでは、台風領域の波浪のエネルギースペクトルは、台風中心からの距離 r 、地上 10 m での風速 U 、および重力加速度 g によって表されるパラメータ

$$\xi_r = g \cdot r / U^2, \quad \zeta = 0.97 \xi_r^{-0.21} \dots \dots \dots (1)$$

を用いて JONSWAP 型スペクトルを表す形状パラメータ、phillips constant, α , peak frequency, f_m および peak enhancement parameter, γ を (2)~(4) 式から計算して求めることができる。

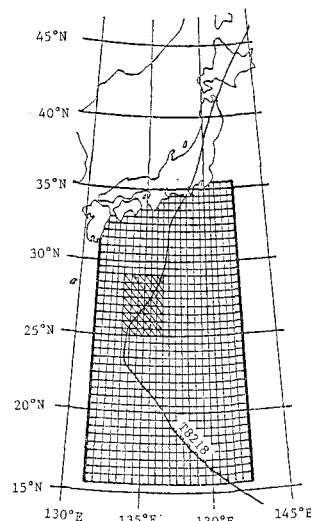
$$\alpha = 0.035 \cdot \zeta^{0.82} \dots \dots \dots (2)$$

$$f_m = \zeta \cdot g / U \dots \dots \dots (3)$$

$$\gamma = 4.7 \cdot \zeta \cdot r^{0.13} \dots \dots \dots (4)$$

(3) 推算結果および考察

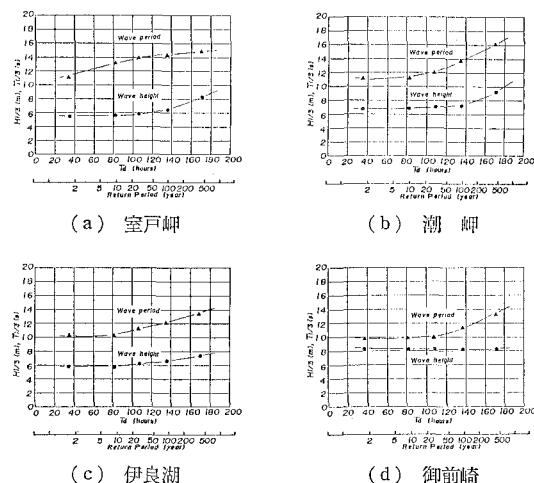
図一は、計算格子網と波浪推算に用いた台風 8218 号の経路および台風を停滞させる範囲を示す。この台風は南方海上で発生してからゆっくりと北上し、御前崎付近に上陸した台風であり、緯度 25°N から緯度 29°N の範囲を台風の中心が通過した時間は約 36 時間である。計



図一 波浪推算の計算格子網
(斜線部分は台風を停滞させる範囲)

算は格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 50$ km として、計算時間 $\Delta t = 30$ min. で実施した。

図二は、台風 8218 号の経路に種々の停滞時間を与えた場合の室戸岬、潮岬、伊良湖および御前崎における最盛期の波浪の推算結果である。台風の停滞を考慮しない場合、波高は室戸岬および伊良湖で 6.0 m 程度、潮岬および御前崎でそれぞれ 6.7 m および 8.1 m であり、周期は室戸岬および潮岬で 11.0 s 程度、伊良湖および御前崎で 10.0 s 程度である。この場合、台風の上陸地点に近いほど波高は大きくなると思われるが、伊良湖の波高が潮岬の波高に比べて小さいのは、紀伊半島の遮蔽による影響と考えられる。これに対して各地点の波浪は停滞時間が長くなるに従って、転向点からの伝播距離が短い地点を中心にするやかな発達を示す。例えば停滞時間を約



図二 停滞時間と波浪推算の結果の一例

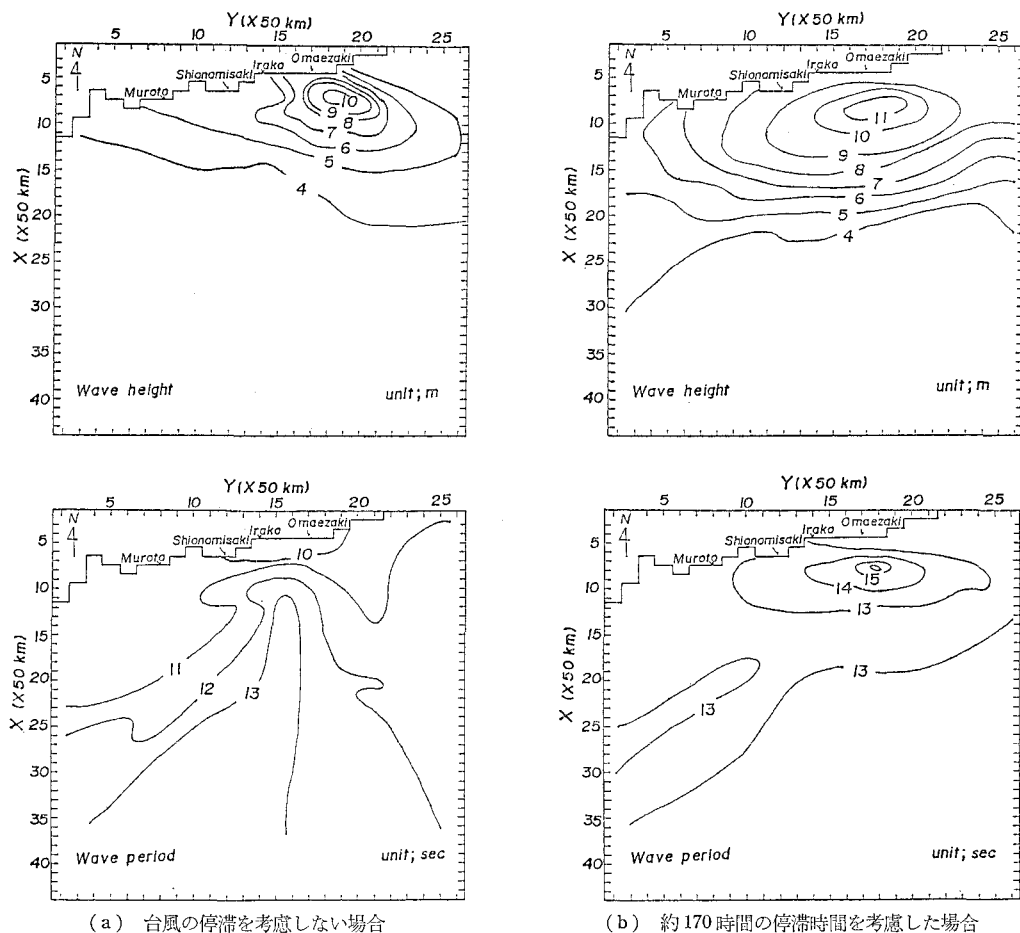


図-3 停滞を考慮した場合としない場合における波浪特性の平面分布の比較

80 時間とした場合、室戸岬では波高はほとんど変わらないが、周期は 12.8 s まで発達することがわかる。しかし、その他の地点の波浪はほとんど発達しなかった。

図-3 は、停滞を考慮しない場合および停滞時間を約 170 時間とした場合の台風が上陸する直前の波高と周期の平面分布を示す。波高は御前崎ではほとんど変わらないが、室戸岬および潮岬でそれぞれ 8.2 m および 8.9 m、伊良湖で 7.4 m に達することがわかる。一方、周期はいずれの地点も顕著な発達がみられ、約 14~16 s 程度まで発達する。これらの結果から台風の停滞を考慮した場合には、潮岬や室戸岬の波浪の発達が著しく、台風の上陸地点に近い御前崎の波浪よりも大きな波浪となる可能性があることがわかる。

以上の結果から、台風の経路が同一であっても、非常に長い停滞時間を考慮した場合に、停滞位置から近い地点の波浪が発達して、周期 16.0 s 以上の異常波浪となる可能性があることがわかる。ただし、この場合の波浪の推算結果は、台風の停滞する位置や経路によってかなり異なることは当然である。

4. 台風 の 停 滞 時 間 の 統 計 的 特 性

一般に台風の経路は、低緯度で西方に進行し、大陸方面に去っていくものと、転向して日本列島に向かうものに大きく分類される。台風の停滞はこの転向点付近で生じる場合が多い。ここでは、日本列島に向かう台風について、転向点を含む一定の範囲を台風が通過する時間を停滞時間 T_a として求め、その統計的特性を検討する。

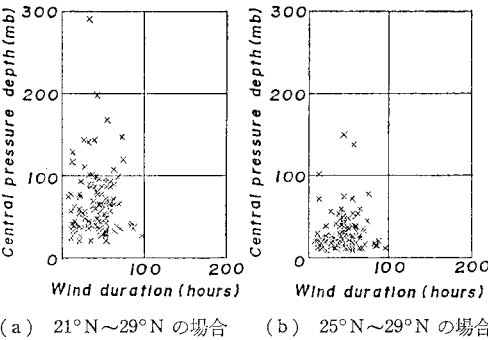
表-1 は、1940 年から 1985 年までの過去 46 年間の台風資料から、日本列島に上陸した 123 個の台風について、それらの転向位置を調べたものである。ただし、緯度 20°N よりも高緯度で発生した台風は除外している。これらのうちから、転向点が比較的是っきりと現れている台風を 20 個選び出して、それぞれについて中心の進行速度とその東西方向成分および南北方向成分を計算した結果、各台風は緯度 23°N 、緯度 25°N および緯度 28°N 付近で停滞気味となり、緯度 30°N 付近から急に速度を増す傾向が認められる。

図-4 は、緯度 21°N から緯度 29°N および緯度

表—1 台風の転向位置と上陸時の中心示度

台風番号	中心示度** p_0 (mb)	緯 度*** °N	台風番号	中心示度** p_0 (mb)	緯 度*** °N	台風番号	中心示度** p_0 (mb)	緯 度*** °N
4021	975.2	27	5313*	930.0	26	6624	988.0	20
4027	960.0	—	5405	952.0	28	6626	969.0	31
4102	987.0	—	5412	945.0	28	6707*	1 002.0	27
4108	977.4	—	5414	976.0	32	6715	1 001.0	—
4114	960.0	25	5415	965.0	22	6718	980.0	29
4125	960.0	23	5522	938.5	28	6734*	968.0	23
4216	951.0	28	5523	985.0	—	6804	975.0	—
4221	988.6	—	5526	985.0	23	6810	986.0	—
4222	959.1	—	5603	998.0	19	6816	955.0	24
4312	992.0	—	5615	972.0	25	6807*	985.0	27
4314	1 002.2	23	5710	958.0	29	6909*	960.0	28
4315	970.0	—	5811	970.0	25	7002	955.0	23
4326	968.8	23	5817	970.0	—	7009	975.6	—
4327	966.7	25	5821	955.0	23	7010	960.0	—
4328	990.0	25	5822	950.0	23	7119	940.0	30
4411	984.8	30	5906	965.0	30	7129*	990.0	23
4412	973.0	—	5907	959.5	—	7206*	985.0	25
4416	960.0	28	5915*	929.0	27	7209	976.0	—
4420	947.0	22	5916	991.2	—	7220*	960.0	25
4506	999.0	21	6011	980.2	—	7416	975.0	31
4511	978.0	32	6012	990.0	28	7517	1 000.0	—
4512	980.0	26	6016	973.4	—	7505	960.0	—
4516	916.6	27	6111	971.8	—	7506	970.0	—
4520	963.7	27	6115	1 003.0	—	7514	1 002.0	20
4609	973.1	28	6117	1 000.0	33	7611	1 002.0	—
4703	1 002.5	23	6118*	925.0	27	7612	992.0	—
4704	997.0	28	6207	970.0	—	7617	965.0	28
4707	1 000.0	—	6213	980.0	29	7707*	985.0	23
4821*	943.0	31	6214	955.0	27	7808	980.0	30
4834	970.0	28	6303	961.4	—	7916	950.0	23
4902	960.0	19	6309	970.6	—	8720	965.0	24
4906	998.0	—	6420	944.2	—	8013	962.0	25
4909	960.0	20	6509	1 002.0	23	8105	992.0	26
4910	956.8	—	6510	998.0	23	8115	965.0	—
5012	998.4	—	6515*	950.0	25	8210*	970.0	24
5028	955.0	28	6517	970.0	32	8218*	968.0	23
5029	959.1	28	6523	950.0	28	8219	978.0	21
5106	980.8	21	6524*	955.0	23	8305*	972.0	22
5115	927.0	25	6614	998.0	—	8310	975.0	30
5202	968.0	20	6619	992.0	30	8506*	968.3	22
5302	982.0	20	6621	1 005.0	—	8514*	992.0	24

* 進行速度を調べた台風
** 上陸時の中心示度
*** 転向点の緯度



図—4 上陸時の中心示度と停滞時間との関係

25°N から緯度 29°N の範囲を台風の中心が通過する時間を T_a として、全台風の T_a と上陸時の中心示度 p_0 と

の相関関係を示したものである。ただし、前者の場合は緯度 21°N 以上の地域から発生した台風については除外してある。これらの相関は、前者の場合に 0.054、後者の場合には 0.089 であり、いずれの場合も各台風の上陸時の中心示度 p_0 と停滞時間 T_a とは実用上、互いに独立な統計量として取り扱うべきことが指摘される。しかし、台風は緯度 21°N 以上の地域からも発生することから、前者の T_a はその範囲が少し広いと判断し、以下では後者の T_a を用いて検討する。

図—5 は、 T_a の年最大値について、その極値統計解析を行った結果を示す。なお、図中の実線は Gumbel 分布を仮定した場合の回帰推定値を表している。この場合の両者の相関は 0.969 であり、Gumbel 分布に対する停滞時間 T_a の極値分布の適合度はかなり良好であること

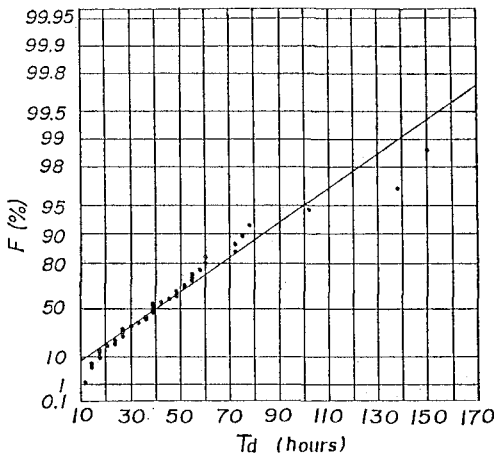


図-5 停滞時間の極値統計
(特に Gumbel 分布との比較)

がわかる。極値統計解析の結果から求められる T_a の再現期間とそれに対する期待値をみると、50 年再現期間の台風の停滞時間は T_a = 約 120 時間であり、500 年再現期間のそれは約 173 時間にも及んでいるが、伊勢湾台風、第二室戸台風の停滞時間はそれぞれ約 15 時間および約 21 時間であり、もし、より長期の停滞時間を伴う場合があるとすれば、さらに大きな異常波浪が発生する可能性があることになろう。

5. 結 語

標準計画台風の概念をさらに拡張して、台風の停滞時間を考慮した場合について、北西太平洋沿岸を対象とした波浪推算を行った結果、台風の経路が同一であっても非常に長い停滞時間を考慮した場合には、当然より大き

な異常波浪が発生することを示した。また、台風の転向点付近の停滞時間を統計量として取り扱い、これと上陸時の中心示度との相関を調べた結果、これらは互いに独立な統計量として取り扱うべきことを見出した。さらに、停滞時間について極値統計を行った結果、その年最大値の極値分布は Gumbel 分布に良く適合することが分かった。一方、伊勢湾台風や第二室戸台風の停滞時間の再現期間は意外に短く、これらの経路でもしより長い停滞時間を要する台風が発生した場合には、さらに大きな異常波浪が発生する可能性があることを示唆した。

今後、台風が任意の経路を通過する場合について、停滞時間を確率変数として取り扱う方法を検討し、一般的な異常波浪の推算手法とするようにさらに改良したい。

最後に本研究の実施において、標準計画台風および台風の転向について御教示して頂いた京都大学防災研究所光田寧教授の御協力に謝意を表明する。

参 考 文 献

- 1) 山口正隆・土屋義人・芝野照夫：波浪の極値統計に関する一考察，第 25 回海岸工学講演会論文集，pp. 70~74, 1978.
- 2) 山口正隆・畑田佳男・小淵恵一郎・日野幹雄：波浪推算に基づくわが国太平洋岸での台風発生最大波高の地域分布の推定，土木学会論文集，第 381 号/II-7, pp. 131~140, 1987.
- 3) 光田 寧：標準計画台風について (1)，京都大学防災研究所年報，第 8 号，pp. 605~612, 1965.
- 4) 藤井 健・光田 寧：台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレーション，京都大学防災研究所年報，第 29 号 B-1, pp. 229~239, 1986.
- 5) 山口正隆・土屋義人・小矢田 宏・渡辺 健：有限風域場における波浪の数値予知法，第 26 回海岸工学講演会論文集，pp. 96~100, 1978.
- 6) Ross, D. B.: A simplified model for forecasting hurricane generated waves (abstract)., Presented at Conference on Atmospheric and Oceanic Waves, Seattle, Bull. A.M.S., 113., 1976.