

台風 0314 号時の韓国南東部沿岸における波浪の推定

野中 浩一*・山口 正隆**・大 福 学***・畑田 佳男****

韓国南東岸に大被害をもたらした台風 0314 号時の最大波高の特性を、過去 55 年間の台風時波高極値との関連で検討するために、当該期間に生起し、韓国周辺海域に高波をもたらした多数ケースの台風と台風 0314 号を対象として、東シナ海における浅海波浪推算を高地形解像度格子網のもとで行い、100 年確率波高や台風 0314 号を含む異常台風時の最大波高を求めた。台風 0314 号時最大波高は韓国南東岸から日本海西南部海域にかけて、過去 55 年間の台風時最大波高あるいは 100 年確率波高をかなり上まわるという結果や、韓国沿岸の台風時最大波高の規模は台風の勢力のみならず経路の偶然性に大きく依存するという結果が主な知見である。

1. 緒 言

韓国南東岸の釜山一帯は、2003 年 9 月 12 日夜半韓国南部に上陸後、日本海へ NE 方向に通り抜けた台風 0314 号 (Maemi) に伴う強風・高潮・高波により、大被害を蒙ったことがテレビ、新聞等に報道され、その後いくつかの被災報告 (後藤・李, 2004) が公表されている。韓国気象台によれば、当該台風は過去 100 年の間に韓国に來襲した最大級の勢力をもつ台風とされている。韓国では、N~NE 方向に韓国を横断する異常台風の勢力と経路によって、A, B, C 級のモデル台風が想定されており、C, B, A 級の順に台風の経路は東寄り (韓国南部側) をとるとともに、台風の勢力も強くなる。この分類に従えば、台風 0314 号は A 級あるいは超 A 級の台風に相当する。

さて韓国沿岸の高波に関して、山口ら (2001) は韓国南西岸における台風時波高の極値と台風 0012 号時の波高の特性を、畑田ら (2002) は、韓国沿岸の代表地点における波高極値の特性を検討している。本研究では引き続き、台風 0314 号時の最大波高が過去 55 年間の台風時異常波高と比べてどの程度に位置づけられるかを、波浪推算資料の解析に基づいて考察する。すなわち、1948~2002 年の間に生起し、韓国周辺海域に高波をもたらした 125 ケースの台風および台風 0314 号に対して、格子間隔 10 km という地形解像度の比較的高い格子網で、台風モデル風を入力条件とする浅海波浪推算、あるいは格子間隔 40 km の格子網で、より多数のケースの既往台風や 10,000 年間のシミュレーション台風に対する浅海波浪推算を行う。そして、台風時年最大波高資料に対する極値統計解析から得た 100 年確率波高の特性の検討や、韓国南部・南東部沿岸に異常波高をもたらした台風 0314 号、5914 号、8705 号時の最大波高の比較および台風 0314 号時最大波高の再現期間の推定を行う。

2. 台風 0314 号の特性と波高極値の推定方法

(1) 台風 0314 号の特性

図-1 は台風 0314 号および後出の台風 5914 号と台風 8705 号の 6 時間ごとの経路を、表-1 は台風 0314 号の 6 時間ごとの台風属性 (時刻, 中心位置の緯度・経度, 中心気圧 p_c , 台風半径 R , 移動速度 V , 移動方向 β) を示す。台風 0314 号は 9 月 6 日にマリアナ諸島近海で発生後、急速に発達しながら東シナ海南部を WNW 方向に進んだのち、11 日早朝宮古島付近で N~NNE 方向に進行方向を転じ、韓国南部に上陸後、日本海に通り抜けた。韓国南部上陸時点の中心気圧は 950 hPa, 台風半径は約 60 km, 移動速度は 45 km/h, 進行方向は NE, 中心付近の最大風速は 40 m/s である。

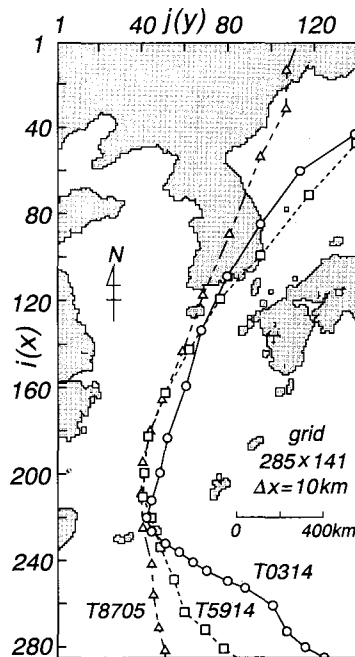


図-1 台風 0314 号、5914 号、8705 号の経路

* 正会員 博(工) 愛媛大学契約職員 工学部環境建設工学科
** 正会員 工 博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科
*** 愛媛大学技術専門職員 環境建設工学科
**** 正会員 博(工) 愛媛大学工学部助手 環境建設工学科

表-1 台風0314号の台風属性の一覧

m d h	N(°)	E(°)	p_c	R	V	β
9 11 3	24.7	125.4	910	28	10	WNW
9 11 9	25.2	125.1	910	34		NNW
9 11 15	25.9	125.3	915	36	10	N
9 11 21	27.0	125.6	930	42	20	N
9 12 3	28.4	125.8	940	39	25	N
9 12 9	30.5	126.5	945	46	35	NNE
9 12 15	32.7	127.1	945	44	40	N
9 12 21	34.9	128.3	950	58	45	NNE
9 13 3	37.0	129.8	970	84	45	NNE
9 13 9	39.1	131.8	975	100	50	NE
9 13 15	40.5	134.6	980	147	45	ENE

m: month, d: day, h: hour, p_c : hPa, R: km, V: km/h

(2) 波浪推算の方法

対象領域は北西太平洋の一部と日本海西南部を含む東シナ海領域であり、そこに格子間隔 40 km, 格子分割数 72×36 の格子網, および格子間隔 10 km, 格子分割数 285×141 の格子網を設ける. 図-2 は格子間隔 10 km の格子網と等深線分布を表す. 図中の枠は以下で波高の空間分布を与える領域を表す. 10 km 格子網は高地形解像度化によって, 浅い海域が広がる東シナ海の水深分布のみならず韓国沿岸の複雑な地形をある程度再現する. したがって, 40 km 格子網は韓国周辺海域において高波高を生起した台風を抽出するための波浪推算あるいは確率的台風モデルで生成した膨大な数のシミュレーション台風を対象とした波浪推算に, 10 km 格子網は抽出した高波高発生台風に対する波浪推算に使用する.

対象台風は 1948~2002 年の過去 55 年間に発生した勢力の強い台風のうち, 東シナ海の波浪に影響を及ぼした 343 ケース (40 km 格子網) あるいは韓国周辺海域に高波高を生起した台風として, これから抽出した 125 ケース (10 km 格子網) と台風 0314 号である. また, 野中ら (2000) の季節別拡張型確率的台風モデルで生成した 10,000 年間約 49,000 ケースのシミュレーション台風も波浪推算 (40 km 格子網) の対象とする.

海上風の推定は長短 2 軸が異なる楕円型気圧分布を仮定した拡張型台風モデル法 (野中ら, 2000) による. 算定にあたっては, 天気図から得た 6 時間間隔の台風属性資料 (中心位置, 中心気圧, 台風半径, 楕円長・短軸方向台風半径比, 楕円長軸傾斜角) を 30 分 (40 km 格子網) あるいは 7.5 分 (10 km 格子網) ごとに線形補間して入力条件とする. 海上風への変換係数には 0.6 を用いる.

波浪推算は第 2 世代の格子点浅海モデル (山口ら, 1984) によって行う. 周波数データの個数は 0.04~0.5 Hz 間を不等分割した 21 個, 方向データの個数は 0~360°を 20°で等分割した 19 個, 波浪推算の時間間隔は海上風の入力時間間隔と同じく, 40 km 格子網の場合 30

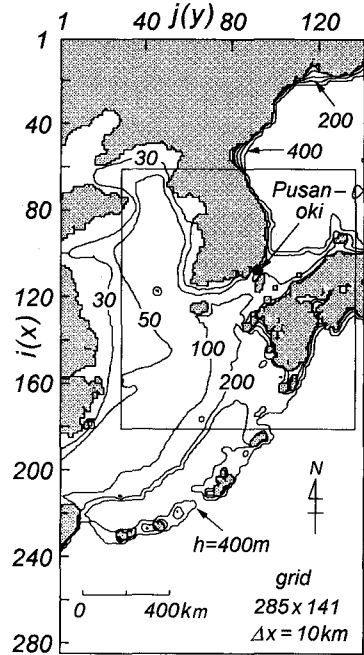


図-2 東シナ海における計算格子網と等深線分布

分, 10 km 格子網の場合 7.5 分である. 境界条件として, 陸地境界では方向スペクトルの値を 0 とし, 開境界ではパラメトリックな関係式から計算される方向スペクトルを与える. 波浪推算では, 台風別に台風時最大波高の格子点値を求めたのち, この計算を 1 年間の台風に対して繰り返し, 台風時年最大波高資料を得る.

(3) 極値統計解析の方法

確率分布における尺度母数と位置母数の推定に線形最小 2 乗法を用いる極値統計解析モデル (合田, 1990; Yamaguchi・Hatada, 1997) を適用する. 本モデルは, 候補分布を Gumbel 分布と 27 種類の形状母数 ($k=0.5 \sim 10$) をもつ形状母数固定型 Weibull 分布の 28 種類, 個々の波高資料に対する非超過確率値の割当てを合田 (1990) のプロットング公式, 最適分布の選択を最大相関係数基準, 確率波高の分散または標準偏差の推定を jackknife 法による.

3. 韓国周辺海域における台風時波高の極値

(1) 確率波高とその標準偏差

図-3 は 1948~2002 年の 125 ケースの台風を対象とした, 10 km 格子網での波浪推算から得た台風時年最大波高資料に対する極値統計解析結果のうち, 100 年確率波高 H_{100} とその標準偏差 $H_{\sigma 100}$ を韓国周辺海域において示す. 確率波高は東シナ海では九州南西海域の 14 m から NW 方向の黄海の 8 m に向けて減少する. また, 対馬

付近の海域から日本海にかけては、12 m 域が対馬海峡から NE 方向に細長く伸びており、8 m 域は日本海西南部海域全域に広がる。韓国沿岸における確率波高は西岸で 8~10 m、南岸で 10~12 m、東岸で 8~10 m をとる。標準偏差は 0.6~1.2 m の範囲にあり、確率波高が大きい四国沖海域や異常波高の生起が希な対馬海峡から日本海西南部海域で大きい。韓国沿岸での標準偏差は 0.6~1.2 m であり、とくに朝鮮海峡に面する南東部沿岸や黄海に面する西部沿岸で 1 m を越える。

図-4 は図-2 に示した釜山沖合地点の台風時年最大波高資料 (10 km 格子網) に対する Q-Q プロットを表す。相関係数は 0.9889 であり、適合度は必ずしも高くないけれども、個々の資料は 45° 直線のまわりに比較的集まってプロットされることから、最適分布は資料分布を比較的よく近似すると言えよう。最適分布は形状母数 1.7 の Weibull 分布、100 年確率波高と標準偏差は 11.12 ± 0.85 m である。

図-5 は 125 ケースの台風に対する波浪推算資料 (40 km 格子網) を用いて推定した 100 年確率波高の空間分布を図-3 と同じ海域について示す。両者を比べると、地

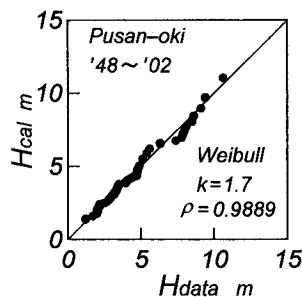


図-4 台風時年最大波高資料に対する Q-Q プロット

形が複雑な済州島から対馬に至る韓国南部・南東部海域や南西諸島の影響を受ける九州南西海域を除いて、確率波高の差は最大 0.5 m 程度であり、かなり小さい。しかし、今回の研究で主たる検討対象とする韓国南部・南東部海域のうち済州島北側や対馬北西側の韓国沿岸部では、10 km 格子網における値が 1 m 以上大きい地点も存在することから、当該海域では波高の極値に及ぼす地形解像度の影響が有意となっている。なお、40 km 格子網を用いた、それぞれ 343 ケースの台風と 125 ケースの台風に対する波浪推算資料を用いて推定した 100 年確率波高の差はほぼ 0.2 m 以下であるので、ケース数の差が確率波高に及ぼす影響は無視しうる。

図-6 は 10,000 年間のシミュレーション台風時年最大波高資料 (40 km 格子網) に対する極値統計解析から得た 100 年確率波高の空間分布を示す。図-5 と比較すると、シミュレーション台風資料による確率波高が既往台風資料による確率波高よりやや低い値をとるが、空間分布の形状は類似しており、韓国沿岸での確率波高の変化をよく再現する。

(2) 台風 0314 号時最大波高と再現期間

図-7 は台風 0314 号に加えて、台風 5914 号および台風 8705 号時の最大波高 H_{max} の空間分布を表す。図-1 に示すように、いずれの台風も韓国南部・南東部を NNE~NE 方向に進行している。このうち、台風 0314 号は韓国南部・南東部では台風 8705 号と台風 5914 号のほぼ中間の進路をとっている。台風 5914 号は台風 8705 号とともに、韓国南部周辺海域に過去 55 年間の最大波高をもたらした異常台風である。最大波高の分布状況をみると、台風 0314 号時には、12 m 波高域が細い帯状になって東シナ海中央部から朝鮮海峡に向けて伸び、朝鮮海峡から 10 m 域が日本海の NE 方向に再び広がっている。台風 5914 号時には、一部 14 m 域を含む、より幅の広い 12 m 域が台風 0314 号時と同様に伸び、再び対馬海峡から日本海に向けて 12 m 域が NE 方向に細長い形状をとっている。すなわち、台風 5914 号時の最大波高の規模は大きい

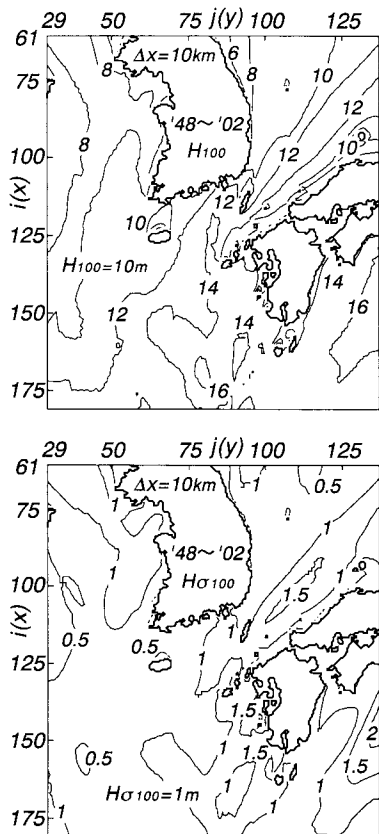


図-3 100 年確率波高とその標準偏差

いるために、韓国南部沿岸は8~10 m域に入り、ここの波高はやや西側の経路をとった台風0314号時より小さい。また、台風8705号も済州島と対馬の間に位置する韓国南部海域で12 m域を形成しているが、最大波高生

起時点における台風の進行方向がNNE方向であったため、日本海に伝播する波浪が遮蔽される結果、朝鮮海峡から日本海側の韓国東部沿岸にかけて8 m域が広がるにすぎない。このように、対馬の存在のために、地形が複雑な韓国南部・南東部沿岸海域では、台風の規模だけでなく経路および進行方向によって高波高域の局所的な特性が大きく異なることになる。つまり、韓国沿岸における台風時最大波高は台風特性の偶然性に大きく依存すると言える。

(1)に述べた確率波高との関係を見ると、韓国南部沿岸における台風0314号時最大波高の12 m域は100年確率波高の空間分布における12 m域に含まれるが、南東部沿岸から日本海にかけての10 m域は100年確率波高の空間分布における8~10 m域に出現している。以上要するに、今回大被害を受けた釜山周辺海域では、台風0314号時の最大波高は約11 mであって、過去55年間の最大波高10 mを1 m程度上まわると推測される。このように、特定地点あるいは特定小海域における台風時年最大波高は台風属性、とくに台風経路の偶然性に左右されることが多いので、台風に伴う波高極値の推定にあたっては、本研究のようにモンテカルロシミュレーション手法を用いた検討も必要と考えられる。

図-8は台風0314号時最大波高に付随する周期 T_{max} の等値線と平均波向ベクトルを表す。周期は12~13 sであるが、島の遮蔽を受ける済州島北側や対馬北西側の海域では周期は波高の減少に対応して短くなっており、平均波向もS方向からW寄りに変化している。

図-9は台風時年最大波高資料から得た最適分布に基づく台風0314号時最大波高の再現期間 R の空間変化を示す。再現期間は、東シナ海のうち九州南海側および済州島と九州西部の間の海域で50~100年をとるにすぎないが、韓国南東岸の釜山沖からNE方向の日本海における比較的広い海域で200年を越え、局所的には

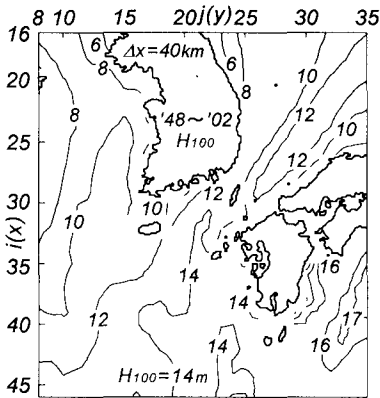


図-5 100年確率波高 (既往台風, 40 km 格子網)

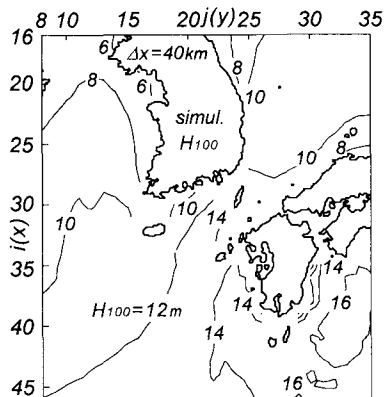


図-6 100年確率波高 (シミュレーション台風, 40 km 格子網)

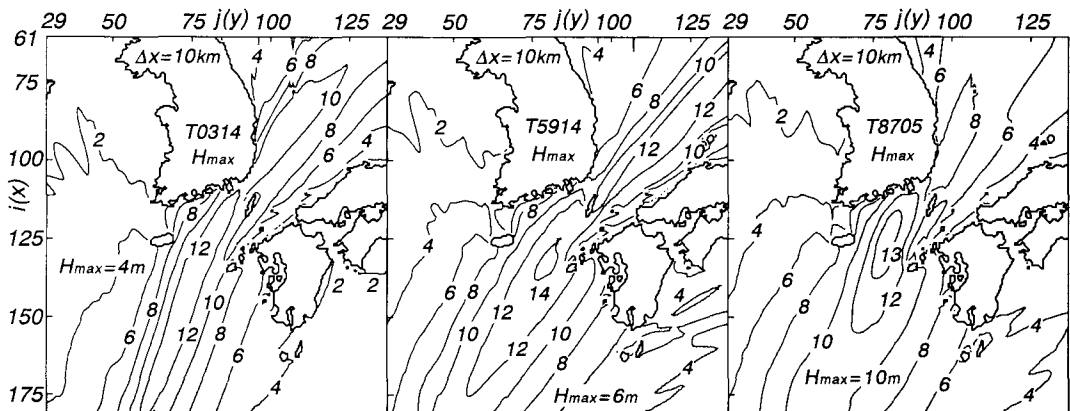


図-7 台風0314号, 5914号, 8705号時の最大波高

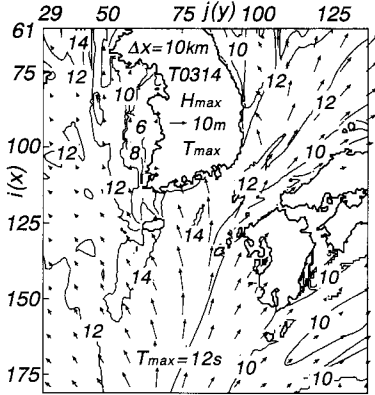


図-8 台風 0314 号時最大波高に対する周期と平均波向

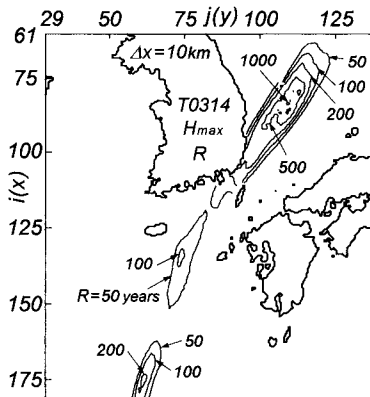


図-9 台風 0314 号時最大波高の再現期間

500～1000 年に達する。

図-10 は前述の釜山沖合地点における台風 0314 号時の波浪時系列を例示する。本台風は東シナ海を NNE 方向に進行して、当該地点西側を通過していることから、台風接近前のうねりの到着および台風通過に伴う急激な風波の発達と減衰がみられる。最大波の特性は波高 11.6 m, 周期 13.2 s, 波向 SSW である。最大波高 11.6 m に対する再現期間は 146 年と推測される。

4. 結 語

本研究で得られた知見の概要はつぎのようである。

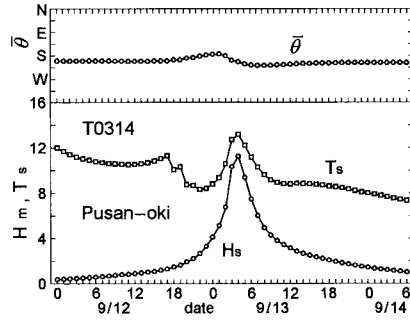


図-10 台風 0314 号時の波浪時系列の 1 例

① 台風 0314 号は韓国南東部沿岸から NE 方向の日本海の一部海域において、過去 55 年間の最大波高を上まわる巨大波高を生起している。この海域の台風 0314 号時最大波高に対する再現期間は 100 年を越え、韓国東岸からかなりの沖合の日本海の一部の海域では 500 年以上に達する。

② 韓国南部・南東部海域における台風時最大波高は台風の勢力のみならず進行方向を含めて経路など台風特性の偶然性に大きく左右されることが例示される。

参 考 文 献

- 合田良實(1990): 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—, 鹿島出版会, 333 p.
- 後藤恵之輔・李 成林 (2004): 2003 年 9 月台風 14 号による韓国南部被害, 土木学会誌, Vol. 89, No. 3, pp. 55-58.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝 (2000): 拡張型確率的台風モデルを用いた波高の極値推定システム, 海岸工学論文集, 第 47 巻(1), pp. 271-275.
- 畑田佳男・山口正隆・野中浩一・大福 学・李 敏杰 (2002): 韓国沿岸における波高の極値の推定, 自然災害科学 J. JSNDS, 21-1, pp. 35-50.
- 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄 (1984): エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 123-127.
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・李 義允 (2001): 韓国南西岸沖合地点における台風 0012 号時の波浪の推定, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 241-245.
- Yamaguchi, M. and Y. Hatada (1997): An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES 97, Vol. 2, pp. 932-946.