

韓国南西岸沖合地点における台風 0012 号時の波浪の推定

山口正隆*・畑田佳男**・大福学***
野中浩一****・李義允*****

1. 緒言

東シナ海を N~NNE 方向に進行し、朝鮮半島北部を通過した台風 0012 号 (Prapiroon) は韓国西岸一帯に沿岸災害をもたらしており、とくに韓国南西岸沖合約 70 km に位置する紅島 (Hongdo) 東側の紅島港防波堤にも大規模な損傷を与えた。こうした事例は台風 0012 号時の最大波高が当該地点で想定される確率波高と比べてどの程度の規模に達するかという問題を提起する。

そこで本研究では、韓国南西岸紅島周辺 4 地点における確率波高を、高地形解像度計算に有効に対応できる 1 点浅海・深海モデル (山口ら, 1987) を用いた波浪推算資料の極値統計解析に基づいて推定するとともに、台風 0012 号時の最大波高やその再現期間を紅島周辺 4 地点のみならず韓国沿岸 6 地点において求める。対象とする気象擾乱は 1948~1998 年の過去 51 年間に北西太平洋で生じた 450 ケースの台風や台風 0012 号、および 51 年間連続した全気象擾乱、あるいは確率的台風モデル (畑田ら, 1996) で発生した 1000 年間約 7800 ケースのシミュレーション台風である。ついで、格子点浅海モデル (山口ら, 1984) を用いた台風 0012 号時の波浪推算資料に基づいて、東シナ海における台風 0012 号時の最大波高やその再現期間を推定するとともに、過去 51 年間に韓国西部海域に最大級の波高をもたらした台風 4806 号時の最大波高との比較検討を行う。

2. 海上風条件

海上風計算は、まず既往台風ケースに対して、台風内気圧分布を Myers 式で仮定する台風モデル法 (佐藤・合田, 1972) に基づく。1 点モデルによる波浪推算では、6 時間ごとに与えた台風の中心位置、中心気圧、台風半径、緯度によって決まる吹込み角を 1 時間ごとに線形補間して、北西太平洋に設けた格子間隔 80 km の格子網、波浪推算地点を囲む一辺 400 km の小領域に設けた格子

間隔 10 km の格子網および波浪推算地点で、1 時間ごとの海上風計算を行う。一方、格子点浅海モデル (山口ら, 1984) による波浪推算では、東シナ海に設けた格子間隔 40 km の格子網で 30 分ごとに計算する。

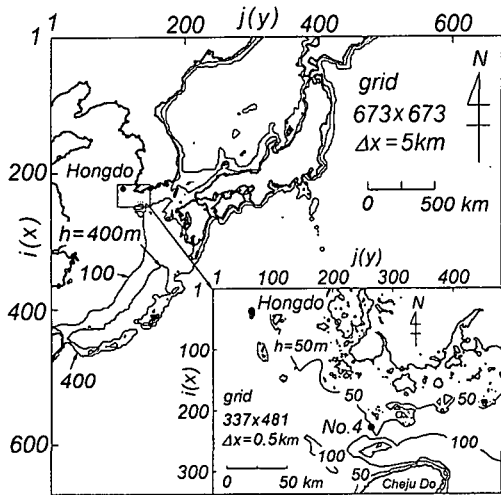
全気象擾乱ケースに対して、海上風は NCEP/NCAR 表面風再解析値資料 (1948~1978 年の 31 年間) および ECMWF 表面風解析値資料 (1979~1998 年の 20 年間) による。表面風解析値資料の時間間隔はいずれも 6 時間、NCEP/NCAR 風資料の空間解像度は約 1.9°, ECMWF 風資料の空間解像度は 1.125° (1991 年 9 月 16 日以前) および 0.5625° (1991 年 9 月 17 日以降) であり、2 次元 1 次補間式の適用により格子間隔 80 km の北西太平洋格子網上で風速成分を与える。波浪推算では風速成分を 1 時間間隔で線形補間する。

ついで、シミュレーション台風ケースに対して、年代季節別確率的台風モデルを使用する。すなわち、年平均数約 7.8 個として 1000 年間に発生した約 7800 個の台風について、6 時間間隔の台風属性資料を 1 時間ごとに線形補間した値を入力条件に与えて台風モデル法により海上風を計算する。なお、1 点モデルにおける各成分波の波向線上の風はいずれのケースについても周囲 4 格子点の風速成分に対する 2 次元 1 次補間式の適用により求める。

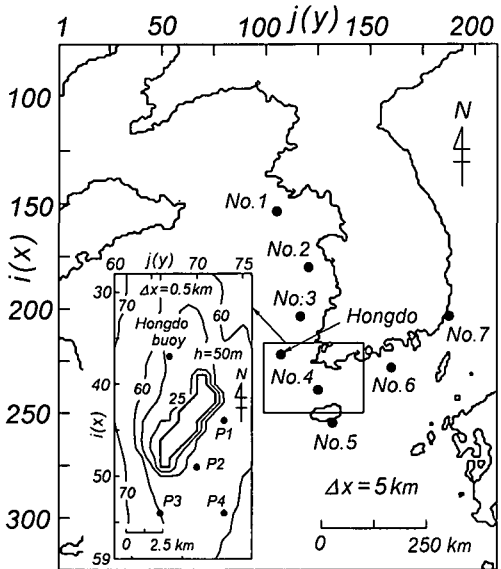
3. 波浪推算と極値解析

図-1 は格子間隔 $\Delta x=5$ km の北西太平洋大領域格子網に格子間隔 0.5 km の波浪推算地点周辺小領域格子網を組み込んだ、高地形解像度 2 段階格子網の 1 例および Hongdo ブイ地点の位置を示す。波浪推算地点は図-2 の韓国沿岸域図および紅島周辺小海域図に示すように、紅島周辺 4 地点のほか、台風 0012 号時における Hongdo ブイ地点や韓国沿岸で任意に選択した No. 1~No. 6 の水深 50 m 地点である。なお、確率波高の推定にあたり、長時間の計算を要する全気象擾乱ケースおよびシミュレーション台風ケースに対する波浪推算は紅島南側沖合の P3 地点 (水深, 58 m) と紅島港沖合の P2 地点 (52 m) の 2 地点に限定し、P1 地点 (52 m) と P4 地点 (58 m) では既往台風ケースに対する波浪推算のみを行う。

* 正 会 員 工 博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科
** 正 会 員 工 修 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科
*** 愛媛大学技官 工学部環境建設工学科
**** 学生会員 工 修 愛媛大学大学院理工学研究科
***** 韓国 (株)唯一綜合技術園



図一 波浪推算で使用する2段階格子網



図二 韓国西岸と紅島周辺海域における波浪推算地点の位置

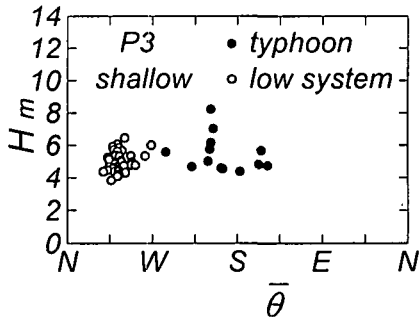
波浪推算は1時間間隔で実施し、台風あるいは気象擾乱ごとの全方向および16方位別極大波高資料を抽出したのち、それぞれの年最大波高資料を作成する。そして、両者の年最大波高資料を年ごとに比較して大きい方の波高資料を採用することにより、51年間の全気象擾乱時年最大波高資料を全方向および16方位別に得る。これは台風に対する表面風解析値資料の精度不足や台風中心より離れた場所における台風モデル風の精度不足を補うためである。シミュレーション台風に対しても同様に1000年間の年最大波高資料を求める。

極値解析では、各種年最大波高資料に母数推定を線形最小2乗法による拡張型モデル (Yamaguchi et al., 1997) を適用し、確率波高とその標準偏差を推定する。そして極値統計解析結果を利用して、紅島周辺4地点や韓国沿岸6地点における台風0012号時最大波高の再現期間を求める。このほか、台風モデル風を入力条件として格子間隔40kmの東シナ海格子網で30分ごとに行った台風0012号時の波浪推算資料より、格子点別最大波高とその再現期間を推定する。

4. 紅島周辺4地点における波高の極値

図一3は紅島南側沖合P3地点における全気象擾乱時年最大波高とその平均波向 $\bar{\theta}$ (Nを0°として反時計回りに定義) の関係を浅海波の場合について示す。年最大波高資料は波向SSW (152°) をとる第1位波高や波向SW~SSEをもつ、より低い波高値の台風時波浪と、波向NW~Wでかなり高い波高値までとりうる低気圧時波浪に明瞭に二分される。このことから、紅島南側沖合に位置するP3地点では、最大級の高波は台風に起因するけれども、それ以下の上位に順位づけられる異常波浪は台風以外の気象擾乱によっても生起するといえる。一方、紅島の遮蔽効果を強く受ける紅島港沖合P2地点では年最大波高はほぼ台風時に生起し、第1位波高はP3地点と同様波向SSW (162°) をとる。

因みに51年間の第1位波高は浅海波(深海波)の場合、P3地点で8.21m (9.01m), P2地点で7.03m (9.01m), P4地点で8.30m (8.99m), P1地点で6.80m (8.26m)であり、いずれも後出の図一4に経路を示す台風4806号時に生起している。波高は浅海波の場合外洋からの波浪を直接受けるP3, P4地点に比べて、紅島の遮蔽効果を強く受けるP2, P1地点で1m以上小さいが、深海波の場合P3, P2, P4地点でほぼ同程度、P1地点で0.7m低い。また、深海波と浅海波の場合の波高差はP3, P4地点で0.7~0.8m, P2, P1地点で1.5~2.0mとなり、水深変化の影響が非常に大きい。一方1000年間のシミュレ-



図三 全気象擾乱時年最大波高と平均波向の関係 (P3地点)

ジョン台風では浅海波(深海波)の場合, 第 1 位波高は P3 地点で 9.29 m (10.74 m), P2 地点で 8.12 m (10.68 m) と評価されるから, 既往台風に伴う第 1 位波高よりそれぞれ 1.1 m (1.7 m) 大きい。

図-4 は紅島周辺 4 地点に第 1 位波高をもたらした台風 4806 号, P3 地点に第 1 位波高を生起したシミュレーション台風, および台風 0012 号に対する 6 時間ごとの経路を示す。いずれの台風も韓国西岸沖合の東シナ海北部では紅島の西側を NNE~NE 方向に進行し, 朝鮮半島を横断する経路をとっており, 相互に類似した経路を与えるが, 台風 0012 号は台風 4806 号よりやや東側の経路を与える。

図-5 は P3 地点における全気象擾乱時年最大波高 (AM) 資料に対する Q-Q プロット図を浅海波および深海波の場合に示す。最適分布の適合度は高く, 資料値と計算値の関係は, 突出した値をとる第 1 位資料を含めてほぼ直線で表される。浅海波(深海波)の場合 100 年確率波高 H_{100} とその標準偏差 σ_{100} は, P3 地点で 7.99 ± 0.62

m (8.95 ± 0.57 m), P2 地点で 7.14 ± 0.57 m (9.10 ± 0.82 m) である。一方, 台風時年最大波高資料を用いた解析結果によれば, 浅海波(深海波)の場合, P3 地点で 8.27 ± 0.75 m (9.28 ± 0.79 m), P2 地点で 7.43 ± 0.62 m (9.13 ± 0.79 m), P4 地点で 8.52 ± 0.81 m (9.16 ± 0.81 m), P1 地点で 7.24 ± 0.57 m (8.52 ± 0.68 m) と評価される。いずれの地点の上位波高も台風時に生起するので, 両資料に基づく確率波高の間に有意な差は生じないが, 標準偏差はおおむね全気象擾乱時年最大波高資料に基づく結果においてより小さい値をとることから, この場合の統計的信頼性が高いと云える。各地点の確率波高は浅海波の場合により小さい値をとり, 外洋に面する P3, P4 地点の確率波高が紅島の遮蔽効果や水深変化の影響を強く受ける P2, P1 地点の確率波高に比べて大きいことや, 深海波では P4, P3, P2 地点における確率波高間の差が少なく, P1 地点でより小さい値をとることが確認される。このように, 東西 3.5 km, 南北 5 km の小海域においても, 各地点の波浪が受ける地形効果や水深変化の影響の度合いが異なるため, 確率波高に相違が現れる。

シミュレーション台風ケースに対して, 100 年確率波高とその標準偏差は浅海波(深海波)の場合, P3 地点で 8.29 ± 0.17 m (9.56 ± 0.20 m), P2 地点で 7.25 ± 0.14 m (9.39 ± 0.20 m) と評価されることから, 既往台風ケースに対する結果とほぼ符合する。また 1000 年確率波高 H_{1000} とその標準偏差 σ_{1000} の推定値は, P3 地点で 10.34 ± 0.23 m (12.08 ± 0.27 m), P2 地点で 8.64 ± 0.17 m (11.87 ± 0.27 m) であるが, データ数が多いことから, いずれの場合も確率波高の標準偏差は最大 0.3 m 以下と非常に小さい。

図-6 は 16 方位別全気象擾乱時年最大波高資料(浅海波)の解析結果に基づく方向別 100 年確率波高 H_{100} とその標準偏差 σ_{100} を P3 地点および P2 地点(左側にずらしてプロット)について示したものである。全方向資料の場合の結果を図中の右端に, また台風 0012 号時の方向別

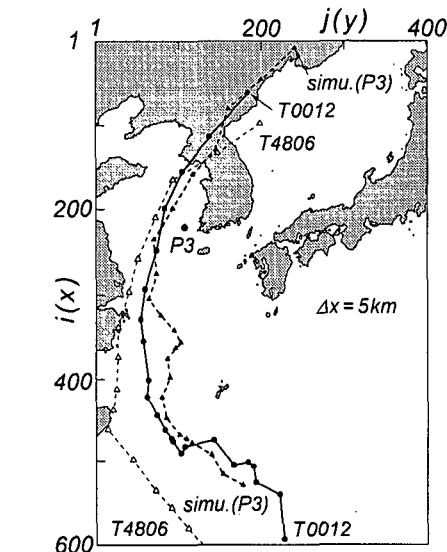


図-4 紅島周辺 P3 地点に異常波高を生起した台風の経路

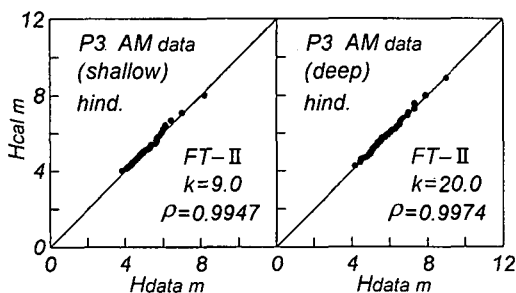


図-5 全気象擾乱時年最大波高資料に対する Q-Q プロット図

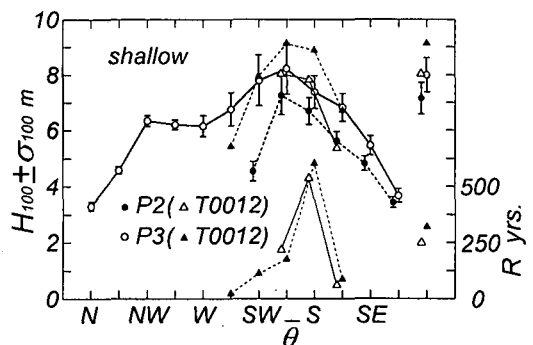


図-6 方向別確率波高と標準偏差および台風 0012 号時方向別最大波高と再現期間

最大波高とその再現期間を図中に与えている。P3 地点では第1位の方角別確率波高は標準偏差を含めて 8.21 ± 0.93 m (SSW), 第2位の値は 7.79 ± 0.92 m (SW) をとり, 全方向資料に基づく 7.99 ± 0.62 m よりやや大きい, 標準偏差を考慮すればほぼ符合する。ただし, その標準偏差は標本の方角別分類に伴う統計的変動の増加により, 50% も大きい。また P2 地点では, 第1位の値は 7.24 ± 0.70 m (SSW), 第2位の値は 6.68 ± 0.49 m (S) をとり, 第1位値は全方向資料に基づく 7.14 ± 0.57 m になりに近いが, 標準偏差は P3 地点と同様増加する。

5. 台風 0012 号時の最大波高と再現期間の推定

(1) 台風 0012 号の特性

台風 0012 号は, 図-4 に示すように, 2000 年 8 月 30 日 3 時に北緯 26° , 東経 124° 付近で進路を N あるいは NNE 方向に変えて東シナ海をほぼ直線上に進行後, 8 月 31 日 21 時から 9 月 1 日 3 時にかけて朝鮮半島北部を NNE 方向に通過した。台風 0012 号が韓国西部海域を通過中の中心気圧は 965 hPa とかなり低く, 移動速度も約 35 km/h である。このように, 中心気圧の低い台風が東シナ海上をほぼ直進して朝鮮半島北部を NNE 方向に横断するケースは過去 50 年の台風記録からみてもほとんど見当たらない異例のケースである。

(2) 波浪観測資料との比較

図-7 は Hongdo ブイ地点における推算波高時系列と観測波高時系列の比較を浅海波および深海波の場合に示す。深海波の場合, 推算波高は観測波高より全般的に過大な値を与える。一方, 浅海波の場合, 推算波高は減衰期で大きめの値をとるが, 発達期では観測波高とよく符合する。これは水深の浅い東シナ海に面した韓国西岸における波浪推算には浅海モデルを用いる必要があることを示唆する。

(3) 紅島周辺 4 地点における波高

台風 0012 号時に伴う紅島周辺 4 地点の最大波および

最大波高の再現期間は, 浅海波 (深海波) の場合 P3 地点で波高 9.12 m, 周期 12.5 s, 平均波向 156° ; SSW, $R=319$ 年 (10.45 m, 13.4 s, 170° ; S, 496 年), P2 地点で 8.03 m, 12.0 s, 165° ; SSW, 249 年 (10.39 m, 13.4 s, 170° ; S, 253 年), P4 地点で 9.22 m, 12.5 s, 157° ; SSW, 181 年 (10.36 m, 13.4 s, 169° ; S, 291 年), P1 地点で 7.87 m, 12.0 s, 181° ; S, 210 年 (9.90 m, 13.3 s, 172° ; S, 421 年) と評価される。ただし, P4, P1 地点における再現期間の算定は台風時年最大波高資料を用いた極値統計解析結果に基づく。各地点の最大波高にはこれまでの記述と同様の特徴が見出される。また各地点における最大波高の再現期間はほぼ 200 年を超える。

過去 51 年間の既往台風による最大波高は P3, P2 地点では浅海波の場合, 台風 4806 号時の 8.21 m, 7.03 m, 深海波の場合も同じ台風 4806 号時の 9.01 m であるから, 台風 0012 号時最大波高は既往最大波高を浅海波の場合で 0.9~1.0 m, 深海波の場合で 1.4 m 上まわる。他の 2 地点でも同程度の差を生じる。また, 1000 年間のシミュレーション台風時年最大波高資料と比べても, 台風 0012 号時の最大波高は浅海波の場合で 0.1~0.2 m, 深海波の場合で 0.3 m 低いにすぎず, 台風 0012 号がいかに巨大な波浪をもたらしたかがわかる。

P3, P2 地点における台風 0012 号時の方向別最大波高とその再現期間を前出の図-6 に示す。P3 地点では, 波向 SW~S のうちとくに SSW, S 方向の最大波高が 100 年確率波高をはるかに上まわり, 再現期間は SSW に対し 176 年, S に対し 602 年と非常に長い。これは台風 0012 号時の最大級の波高の波向が従来のケースに比べてやや S 寄りをとったことにもよる。P2 地点でも SSW, S 方向で 100 年確率波高を大きく上まわり, 再現期間は SSW 方向で 218 年, S 方向で 536 年と評価される。

(4) 韓国沿岸および東シナ海における波高

図-8 は図-2 に与えた韓国沿岸 No. 1~No. 6 地点および紅島 P3 地点における台風 0012 号時の最大波高と

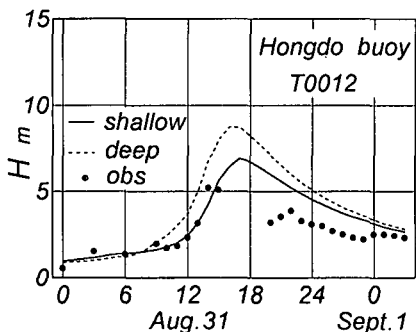


図-7 波高時系列に対する推算資料と観測資料の比較

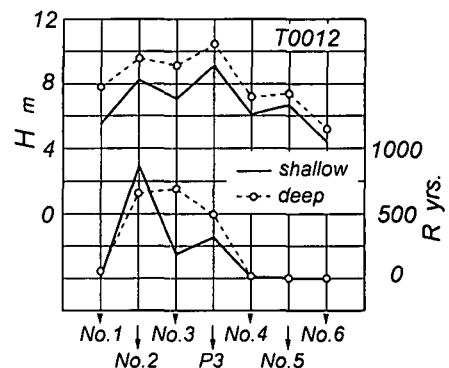


図-8 韓国沿岸 7 地点の台風 0012 号時最大波高と再現期間

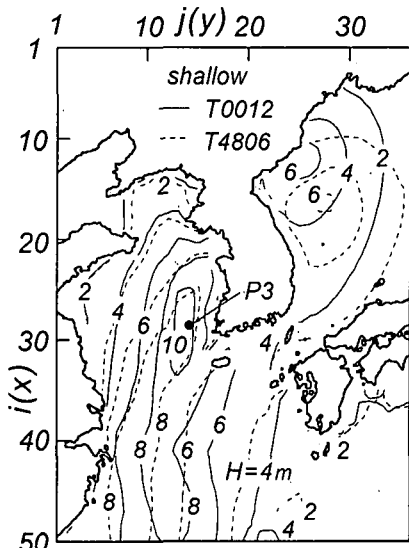


図-9 台風 0012 号と台風 4806 号に伴う東シナ海の最大波高

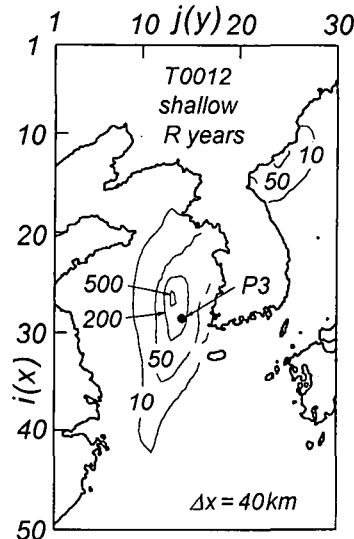


図-10 東シナ海における台風 0012 号時最大波高の再現期間

その再現期間を浅海波および深海波の場合に示したものであり、再現期間の推定は別途行った韓国沿岸代表地点での全気象擾乱時年最大波高資料に対する極値統計解析結果（畑田ら，2001）に基づく。最大波高は浅海波（深海波）の場合，No. 2 地点で 8.25 m (9.57 m)，No. 3 地点で 7.07 m (9.14 m) であり，再現期間は No. 2 地点で 871 年 (659 年)，No. 3 地点で 189 年 (694 年) と評価される。すなわち，台風 0012 号は韓国西岸の一部にも過去に例をみない異常波高をもたらしている。

図-9 は格子点浅海モデルに基づく台風 0012 号時の東シナ海における最大波高を示したものであり，図は紅島周辺海域に既往最大波高をもたらした台風 4806 号時の最大波高も同時に与える。台風 0012 号は紅島周辺海域に 10 m を越える異常波高を生起しており，台風 4806 号に伴う 8 m クラスの最大波高を大きく上まわる。また韓国西岸では，台風 0012 号時に 8 m 程度の高波高が出現したと推測される。図-10 は東シナ海における 51 年間の台風時年最大波高資料を用いた極値統計解析結果（野中ら，2001）に基づいて推定した台風 0012 号時最大波高の再現期間を示す。紅島周辺海域では再現期間は 200 年を越えるし，再現期間 50 年以上の海域が韓国沿岸を含めて広範に出現することから，台風 0012 号は紅島周辺海域を中心として韓国西岸一帯に過去に例をみない異常波浪をもたらしたと推測される。

6. 結 語

台風 0012 号は極端に強い勢力をもつとは云えないけれども，低い中心気圧を維持しながら，たまたま既往の

勢力の強い台風より西側の経路をとって東シナ海上を N～NNE 方向にほぼ直進したため，異常波高域を従来より西側の海域に出現させ，この中に紅島周辺海域を含んだ。このことが韓国西岸一帯に既往最大波高を大きく上まわる異常波高をもたらした原因である。したがって，波高の極値の推定にあたっては，台風経路や台風勢力の偶然性を統計的な意味で考慮できる確率的台風モデルを用いた浅海波浪シミュレーションに基づく検討も必要である。

参 考 文 献

- 佐藤昭二・合田良實 (1972): 海岸・港湾，わかり易い土木講座 17, 彰国社, pp. 104-106.
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一・李 敏杰 (2001): 韓国沿岸における波浪の極値の推定 (投稿準備中)。
- 畑田佳男・山口正隆・平田敬之 (1996): 北西太平洋および東シナ海における台風発生波高の極値の推定, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 236-240.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・大福 学 (2001): 東シナ海における台風時波浪の極値の推定, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 191-195.
- 山口正隆・畑田佳男・細野浩二・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・宇都宮好博 (1987): 一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第 381 号/II-7, pp. 151-160.
- 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. WAVES97, Vol. 2, pp. 932-946.