

瀬戸内海における過去 16 年間の台風時最大波高の推定

Estimation of Typhoon-Generated Maximum Wave Height in the Seto Inland Sea in Recent 16 Years

畑田佳男¹・山口正隆²・大福 学³・野中浩一⁴・山田耕大⁵

Yoshio HATADA, Masataka YAMAGUCHI, Manabu OHFUKU
Hirokazu NONAKA and Yasuhiro YAMADA

Wave hindcastings for 16 strong typhoons in the recent 16 years are conducted separately in the 3 sea areas of the Seto Inland Sea to estimate the maximum wave height in the Sea. A wave model is driven by one-hourly winds obtained with a spatial interpolation of measurement data at many coastal and sea stations and using inflow directional spectra calculated on the boundary that is open to the Pacific Ocean. The wave hindcasts are validated by a close agreement with the measurements at many stations. Brief conclusions are that the maximum wave heights of 4 to 7 m in the northern area of the Sea are caused by either Typhoon 9119 or 0418 and that the wave heights of 4 to 5 m in the southern area are generated by either Typhoon 0423 or 0310.

1. 緒 言

瀬戸内海では、1990 年代に入って台風時の異常波浪の生起頻度が高くなっており、沿岸各地の波浪観測資料によっても 1991 年以降に観測期間中の最大波高が生じていることが確認される。こうした背景から、甚大な沿岸災害をもたらした台風時の波浪推算に基づいて、そのときの波浪規模や被災との関連を検討した研究事例は多い（たとえば、岡田ら、1996；山口ら、2005；鈴山ら、2005）。しかし、複数の異常台風を対象として、地形の影響を適正に評価した海上風分布条件のもとに得られた波浪推算資料の妥当性を観測資料との比較に基づいて広域的に検討した事例はほとんどない。このため、畑田ら（2006）は瀬戸内海の沿岸部と海上部の多数地点で取得された風観測資料から作成した海上風分布を入力条件とする波浪推算を 2004 年の 6 台風時に実施し、沿岸各地の観測資料との比較から推算精度が高いことを明らかにした。しかし、この研究は波浪推算の精度の検証にとどまっており、波高、とくに最大波高の空間分布の状況を検討していないし、対象台風の期間も 2004 年に限られる。

そこで、本研究では異常台風の頻繁な来襲がみられる 1991～2006 年の 16 年間ににおける 16 ケースの異常台風を対象として、観測風資料から作成した海上風分布を入力条件とする波浪推算を瀬戸内海の 3 小海域（西部海域、中部海域、東部海域）で実施し、波浪時系列や最大波高について多地点の観測資料との比較からその精度を再確

認したのち、台風別最大波高や全台風時（期間）最大波高の空間分布の特徴を検討する。

2. 波浪推算の概要

（1）海上風分布資料の作成法

海上風分布資料は畑田ら（2006）と同様に、2 種類用意する。1 つは北西太平洋格子網（格子間隔 80 km）上に補間した ECMWF 表面風再解析・解析資料に楕円型気圧分布の仮定のもとでの台風モデル風を組込んで作成した 1 時間間隔の海上風分布資料（畑田ら、2005）である。もう 1 つは瀬戸内海の沿岸部と海上部の最大 57 地点における風観測資料に加重 1 次補間法（塩野ら、1985）を 2 段階で適用して得た格子間隔 2 km の瀬戸内海における 1 時間ごとの海上風分布資料である。

推算対象台風は台風 9119, 9313, 9612, 9719, 9810, 9918, 0111, 0310, 0406, 0410, 0416, 0418, 0421, 0423, 0514 および 0613 号の 16 ケースである。これらの台風は経路からみて、①瀬戸内海中部海域の燧灘より西側を NE 方向に進行した台風 9119, 9313, 9612, 9719, 9918, 0416, 0418, 0514, 0613 号、②燧灘より東側を NE 方向に進行した台風 9810, 0111, 0310, 0406, 0421, 0423 号、③それ以外の経路をとった台風 0410 号、に分類される。したがって、16 ケースの台風は台風 0410 号を除いて、進行方向を NE 方向とする点で共通するが、通過経路が瀬戸内海の各対象海域の西側と東側のいずれをとるかによって風・波浪特性は台風ごとに大きく異なる。図-1 は代表的な台風として、経路①の台風 9119, 0416, 0418 および 0514 号と、経路②の台風 0423 号のそれぞれを示す。

（2）波浪推算の方法

波浪推算は図-2 に示す瀬戸内海の西部海域（安芸灘・

1 正会員 博(工) 愛媛大学大学院理工学研究科講師
2 正会員 工博 愛媛大学大学院理工学研究科教授
3 愛媛大学工学部技術専門職員
4 正会員 博(工) 愛媛大学工学部契約職員
5 愛媛大学大学院理工学研究科

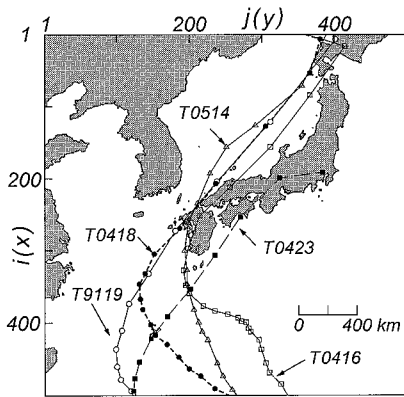


図-1 代表台風の経路

斎灘・周防灘・伊予灘・豊後水道), 中部海域 (燧灘, 水島灘), 東部海域 (播磨灘・大阪湾・紀伊水道) の 3 小海域 (格子間隔 1 km) で別々に, 観測風資料より得た 1 時間ごとの海上風分布を与えて格子点浅海モデル (山口ら, 1984) により時間間隔 1 分で行う. 海上風の入力時間間隔は 20 分であり, 1 時間ごとの海上風を時間に関して 20 分ごとに線形補間, 空間に関して 1 km 格子網に 4 点双 1 次補間したものを 20 分の間一定として計算を進める. 周波数は 0.047 ~ 1 Hz 間を不等分割した 20 個, 方向データは 0 ~ 360° を 20° で等分割した 19 個, あるいは 10 ~ 20° で不等分割した 24 個である. 24 個の方向データは, 台風 0418 号のように S 方向からの巨大波浪が生起する台風の場合に海峡部からの波浪の伝播を適正評価するために使用する. 図-2 には, 波浪観測地点の位置を●印で与える.

西部海域と東部海域における波浪推算では, 図-2 の○印でそれぞれ示した外洋境界上 4 地点に, ECMWF 風資料を入力条件として 1 点浅海モデル (山口ら, 1987) により 1 時間ごとに計算した方向スペクトルを与える. そして, 外洋境界上の 1 km 間隔の格子点では, 入力方向スペクトルを空間, ついで時間に関する線形補間を通じて 1 分間ごとの方向スペクトル値とする. 図-3 は格子間隔 5 km の北西太平洋領域と格子間隔 0.5 km の瀬戸内海領域からなる 2 段階高地形解像度格子網および外洋に面する沿岸観測地点の位置を表す. 一方, 中部海域における波浪推算では, 四方を陸で囲まれた閉鎖領域を仮定する.

3. 波浪推算精度の検証

(1) 波浪観測資料

波浪の推算精度を検証するために, 観測資料との比較を 2 通りの資料について行う. 1 つは境界条件として与える 1 点浅海モデルによる波浪推算資料であり, 入力境界条件の妥当性を調べる. 対象とする観測地点とその水

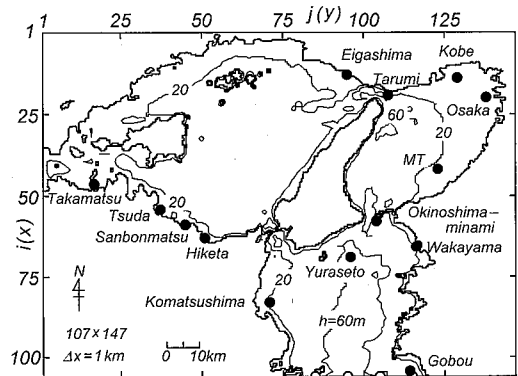
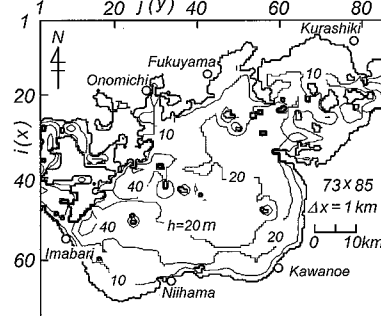
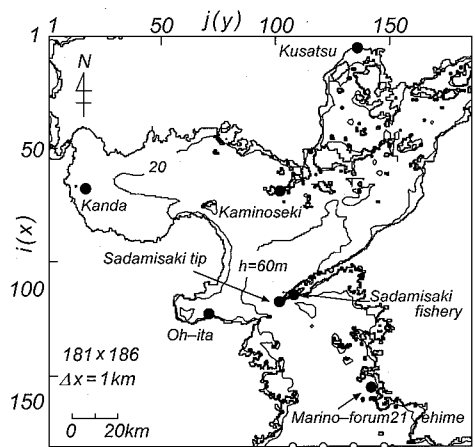


図-2 瀬戸内海の 3 小海域における波浪推算用格子網 (上から順に西部海域, 中部海域, 東部海域)

深は図-3 に示した細島 (48 m), 上川口 (28 m), 高知 (24 m), 室津 (27 m), 潮岬 (55 m), 佐喜浜 (48 m), 白浜 (10 m) である.

もう 1 つは格子点浅海モデルによる瀬戸内海 2 小海域での波浪推算資料である. 観測地点とその水深は, 豊後水道に位置するマリノフォーラム 21 えひめ (57 m), 佐田岬漁港 (14.5 m), 佐田岬先端 (20 m), 紀伊水道に位置する御坊 (36 m), 和歌山 (12 m), 由良瀬戸 (65 m), 沖ノ島南 (36 m), 小松島 (20.8 m) であり, 内海発生波が卓越する海域では西部海域の大分 (14 m),

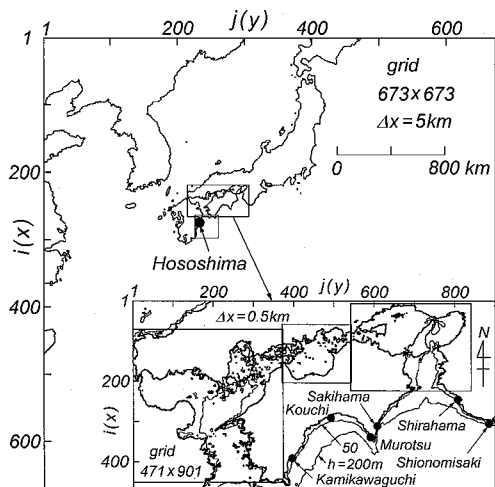


図-3 北西太平洋における波浪推算用格子網

上 関 (29m), 荇田 (9.6m), 草津 (10.5m), 出島 (16m), 東部海域播磨灘の高松 (7.5m), 津田 (7m), 三本松 (7m), 引田 (11.5m), 江井ヶ島 (10.5m), 大阪湾内のMT局 (20.8m), 大阪港外 (11.7m), 神戸 (17m), 垂水 (9.3m), である。中部海域では, 波浪観測資料は得られていない。

(2) 推算資料と観測資料の比較

図-4 は外洋に面した高知と周防灘の荇田における台風 0514 号時の波浪時系列 (H_s : 有義波高, T_s : 有義波周期) の比較例を示す。波浪推算資料は高知では 1 点浅海モデル, 荇田では格子点浅海モデルによる。台風 0514 号は九州中部から北部を NNE 方向に縦断した, 経路①に分類される異常台風である。高知では, 推算資料と観測資料は台風の接近・通過に伴う波高の緩やかな増加と減少および周期の緩やかな減少に関して比較的良好に符合する。荇田では, 波浪の最盛時付近で周期の観測資料を欠くけれども, ピーク時付近の波高を含めて推算資料と観測資料の対応はかなり良好である。図-5 は 16 台風時それぞれ

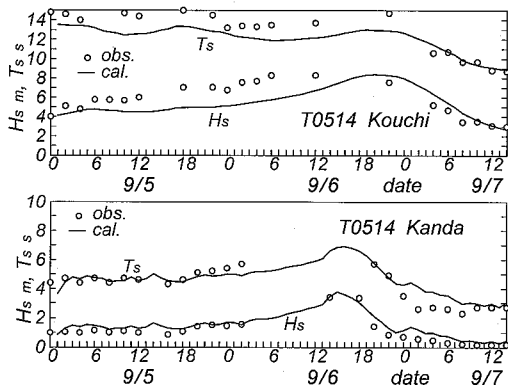


図-4 波浪時系列の比較例

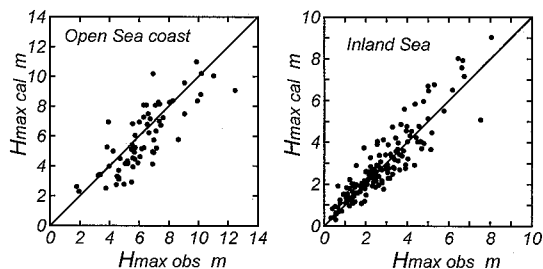


図-5 台風別最大波高の比較

の最大波高 H_{max} についての推算資料と観測資料の比較を外洋に面する沿岸地点 (左図) と瀬戸内海に位置する地点 (右図) に分けて示す。いずれの場合にも, 推算資料は観測資料と平均的によく符合する。以上の検討から, 入力境界条件として与える推算資料の精度は良好と推測しうることや瀬戸内海の少なくとも波浪観測地点近くにおける波浪推算精度はかなり高いと言える。

4. 台風時最大波高の空間分布

(1) 台風別最大波高

瀬戸内海全域に大きな影響を及ぼした台風 9119, 0418 および 0423 号時の最大波高について, とくに 16 年間の第 1 位波高を広い範囲にもたらした小海域でその空間分布の特徴を考察する。

図-6 は西部海域における台風 0418 号時の最大波高の等値線と波高・平均波向ベクトルを示す。豊後水道では広い範囲に 8m の波高域が広がり, 周防灘・伊予灘では 3~7m 域がみられる。このうち, 豊予海峡から山口県の徳山下松港方面にかけて, 7m の波高域が出現している。波向は S~SSE 方向であるが, 地形特性を反映して伊予灘では E 方向, 周防灘では W 方向に傾く。図-7 は 2004 年 9 月 7 日 9 時と 12 時における海上風分布を示す。いずれの時刻においても, 豊予海峡で収束を伴う風向 SSE~

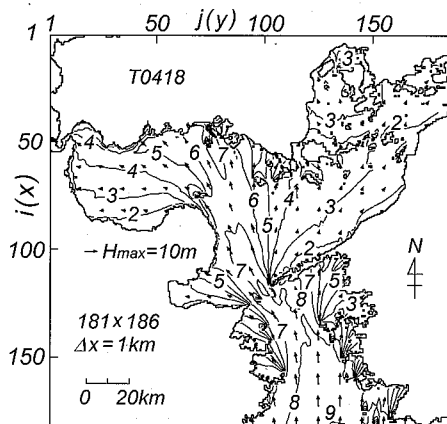


図-6 台風 0418 号時最大波高 (西部海域)

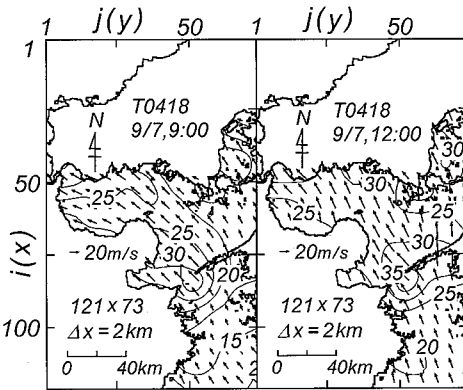


図-7 台風 0418 号時海上風分布の例 (西部海域)

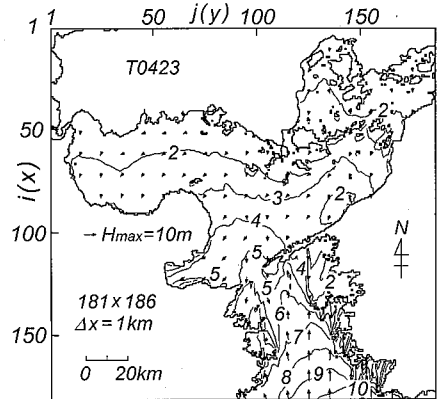


図-8 西部海域における台風 0423 号時最大波高

SE, 風速 30 m/s 以上の強風が吹送していることがわかる。ほぼ同一風向の強風パターンは 8～13 時まで 5 時間にわたり継続したことから、外洋から伝播した波浪がほとんど減衰せずに、むしろ再発達している。この結果、徳山下松港付近では局所的に 7 m を越える波高域が出現しており、内海においても外洋性波浪の再発達によって巨大波浪が生じうる点が注目される。

図-8 は西部海域における台風 0423 号時の最大波高を示す。豊後水道の境界付近で 10 m をとる波高は豊予海峡で 5 m に急減するし、周防灘や伊予灘の北側海域では 3 m 以下である。平均波向も豊後水道内で S 方向であるのに対して、内海側のみならず豊予海峡でも N 寄りをとっている。この台風期間中、西部海域では 15 m/s および 25 m/s を越える NNE～NE 方向の強風がそれぞれ 8 時間および 4 時間吹送していることから、伊予灘から別府湾にかけて波浪が発達し、大分付近で 5 m に達する高波が生じている。台風 0423 号時には、西部海域と同様に燧灘に面する愛媛県沿岸や播磨灘に面する香川県沿岸など瀬戸内海の南岸に最大級の高波が生じている。

図-9 は東部海域における台風 9119 号時の最大波高を示す。台風 9119 号時には SW 寄りの強風が吹送し、その結果瀬戸内海の中国・近畿側海域の広い範囲に高波高をもたらしている。東部海域の播磨灘では、波高は NW 方向に向けて 2～3 m から 5 m に放射状に増大し、4 m を越える波高域が播磨灘中央部より北側の海域で広範に分布する。なかでも、家島諸島の南側海域が 5 m 域に該当する。波向は SE をとり、東側海域では時計回りに傾く。紀伊水道では境界端における 8 m の波高が鳴門海峡や紀淡海峡で 6 m に減少する。波向は S 寄りである。鳴門海峡の北西側海域では、波高がかなり減少する。一方、大阪湾では友ヶ島水道から兵庫県垂水や明石方面に向けて 6 m 波高域が延びていることから、外洋波浪のエネルギーがかなりの部分友ヶ島水道を通過

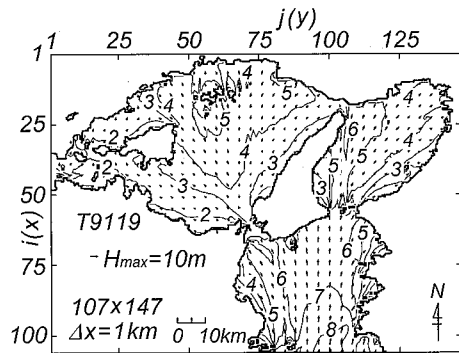


図-9 東部海域における台風 9119 号時最大波高

すると考えられる。大阪湾内の波高は外洋波浪の影響の減少とともに 6 m から時計まわりに 3～4 m に小さくなる。大阪湾全体としては、湾奥の大阪市に至るまで 4 m 以上の波高域が広範に分布し、関西国際空港付近も波高 3 m の境界域になっている。波向は湾奥部に向うほど S から SW 方向に傾く。

(2) 期間最大波高

図-10 は 16 台風時の最大波高を重ね合わせて推定した 1991 年から 2006 年の 16 年間における台風時最大波高 (期間最大波高) を西部海域、中部海域および東部海域について示す。西部海域では、豊後水道の境界付近に 11 m 域、周防灘・伊予灘に 4～7 m 域がみられる。上述したように、豊予海峡から山口県の徳山下松港にかけては台風 0418 号時に外洋波浪の伝播と SSE 方向の強風に伴う波浪の発達によって 7 m 域が出現し、また、別府湾では台風 0423 号時の NE 方向の強風の吹送によって 5 m 域がみられる。西部海域全体で期間最大波高に及ぼす台風 0418 号の影響は圧倒的に大きく、安芸灘でも 3 m を越える最大波高が生じている。台風 0418 号に次いで影響が大きいのは台風 9119 号であり、この台風時に周防灘西部におけ

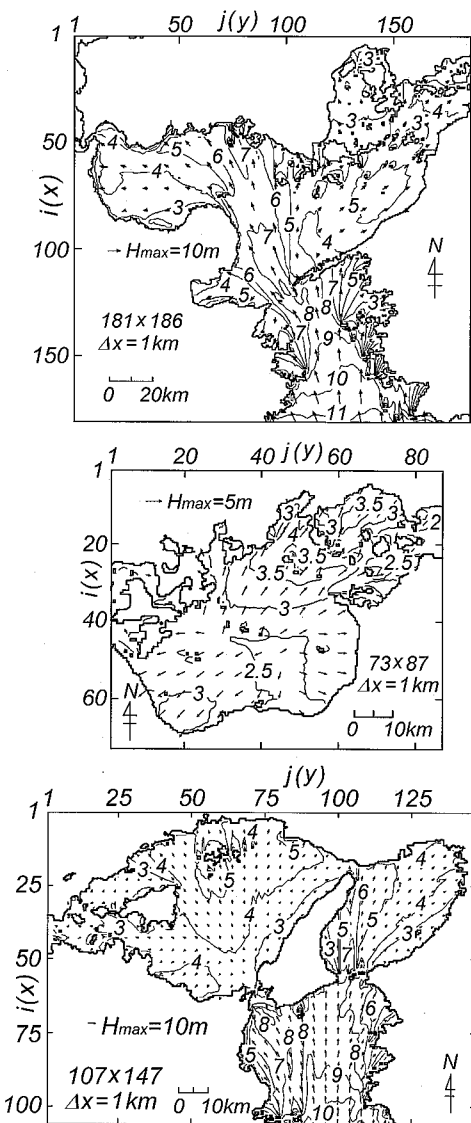


図-10 瀬戸内海の西部海域、中部海域および東部海域における期間最大波高

る3～4m、伊予灘東部における5m、斎灘北部の4mの波高が生起している。台風9918号は台風9119号と同様に、かなりの影響を及ぼし、周防灘西部の南側沿岸部や安芸灘の南部で期間最大波高を発生している。

中部海域では、北側の水島灘で台風0416号や9119号時に生じた3～3.5mの波高域が広範にみられ、局所的に4mに達する場所もある。しかし、小島の存在に伴う複雑な地形のため、空間変化は著しい。波向はSW方向である。南側の燧灘で愛媛県沿岸部の3m域は台風0423号時に、東側沿岸部の2.5m域は台風0310号時に生じて

いる。波向は前者でNE方向、後者でW方向をとる。

東部海域では、期間最大波高は紀伊水道の境界側で台風0310号時の10m、鳴門海峡付近や紀淡海峡付近で台風0416号時のそれぞれ8mと7mになっている。播磨灘では4～5m域が北側海域に、4m域が南側海域に分布する。これらはそれぞれ台風9119号および0423号時に生起しているが、期間最大波高に及ぼす台風9119号の影響範囲が圧倒的に大きい。波向はそれぞれS方向およびNE方向である。大阪湾内でも、紀淡海峡付近の波高7mが時計まわりに6～3mに小さくなる。これらの高波は台風0416号時に生じた紀淡海峡（友ヶ島水道）周辺海域を除いて、台風9119号時に生起していることから、台風9119号が圧倒的な影響をもつと言える。

5. 結 語

これまでにみてきたように、観測風資料より得た海上風分布を入力条件とした、瀬戸内海における最近16年間16台風時の波浪推算の精度は良好である。したがって、かなりの確度をもって、期間最大波高を生起した台風と波高の規模は、外洋波浪の直接的入射を受ける豊後水道や紀伊水道を除くと、北側沿岸（中国地方）で台風9119号、0416号と0418号（経路①）に伴う4～7m、南側沿岸（九州から四国地方）で台風0423号と0310号（経路②）に伴う4～5mと言える。

最後に、風および波浪観測資料を提供戴いた関係各機関に謝意を表するとともに、NOWPHASによる波浪観測資料を用いたことを付記する。

参 考 文 献

- 岡田弘三・磯崎一郎・川村 宏・鳥羽良明(1996): 台風9119号による瀬戸内海の高波と強風, 海の研究, Vol. 5, No. 5・6, pp. 301-310.
- 塩野清治・弘海原 清・升本真二(1985): パソコンで不規則に分布するデータを格子点データに変換してコンターマップを作成する方法(1) - 加重一次補間法, 情報地質(10), pp. 65-78.
- 鈴山勝之・橋本典明・永井紀彦・吉田秀樹(2005): 様々な地形条件下における波浪推算の精度向上のための幾つかの検討, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 171-175.
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典(2005): 表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 141-145.
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一(2006): 観測風を入力条件とした瀬戸内海における2004年台風時波浪の推定, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 151-155.
- 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・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.
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一(2005): 台風9119号および9918号時の瀬戸内海西部海域における異常波浪の推定, 水工学論文集, 第49巻, pp. 1321-1326.