

《平成19年度 東海地域沖波推算調査について》

Prediction of ocean waves in Tokai Area offing wave

業務名	東海地域沿岸沖波推算業務委託（19-5430, 5440, 5450, 5460）
委託者	静岡県, 神奈川県, 愛知県, 三重県
担当者	三原 正裕, 済藤 生真, (田島 憲一), 佐藤 一正

Spectral method-based wave forecasting and hindcasting and calculation of the probability wave specification by means of statistic analysis of extremes were conducted on the basis of meteorological disturbances that caused high ocean waves in the four Tokai Regional Prefectures (Shizuoka, Kanagawa, Aichi and Mie Prefs.) during the 52 years between 1955 and 2006. In the forecasting and hindcasting calculations, the surface wind is estimated with the wide-area atmospheric boundary model and localized typhoon model separately, and they are linked with the hybrid model. For prediction, the “third-generation model (Asami model),” which directly expresses the energy transportation by the nonlinear interactive effect is used, thereby recreating more accurate waves field in greater detail.

In addition, design waves data found from offing wave specification obtained above and the existing design waves were compared in order to examine the validity of the new offing wave specification.

Key words: wave forecasting and hindcasting, extremal statistics, spectral method, hybrid model, third-generation model, design wave

1. 調査の目的

東海地域4県（静岡県、神奈川県、愛知県、三重県）の水産基盤施設の計画・設計等に用いる波浪諸元は、昭和60年度に検討・設定されたものであった。その後、現在に至るまでの間、平成5年（1993年）の台風13号、平成8年（1996年）の台風12号、平成11年（1999年）の台風18号、平成15年（2003年）の台風10号、平成16年（2004年）の台風16号、18号および23号、平成17年（2005年）の台

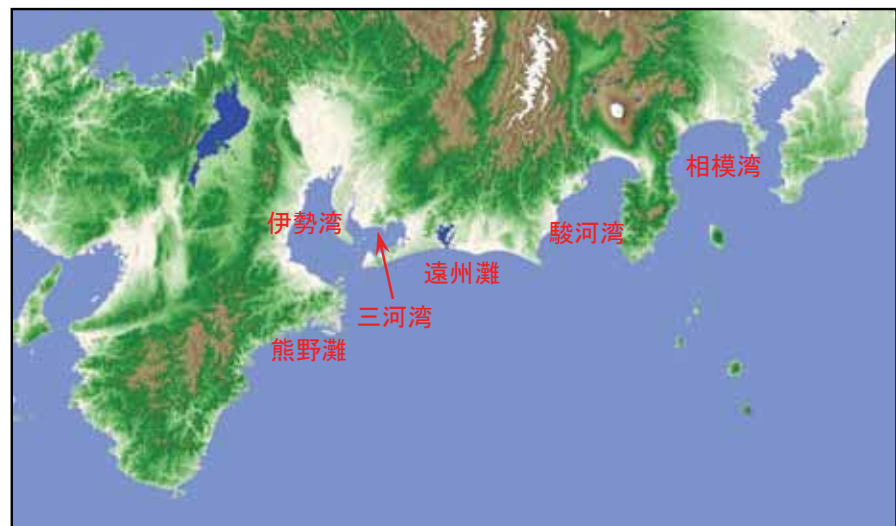


図-1 調査対象海域

風11号などの来襲によって東海地域のみならず全国的な被害が報告された。また、全国港湾海洋波浪観測網（ナウファス）によると、平成16年には全50観測地点のうち18観測地点で既往最大波高が更新され、東海地域沿岸に位置する観測値点でも、過去8年間で既往最大波高が更新されるなど、異常波浪の出現が増加していることが

確認されている。

本調査は、異常波浪の出現が増加およびこれら現象に伴い、漁港施設の被害も増加していることに鑑み、東海地域沿岸においても、近年の気象・海象特性を踏まえた設計沖波の見直しを検討する必要性が高まったことから、同地域の4県共同による水産基盤施設の計画・設計等に用いる波浪諸元の推算（設計沖波の算定）を実施することを目的としたものである。

2. 調査の内容と方法

本調査の内容は、①漁港・漁場等に関する施設の計画・設計および事業推進に適用するための沖波推算、②旧設計波との比較検証である。ここでは主に、沖波推算の内容と推算手法について解説する。

2.1 基礎データの収集整理

基礎データとしては、昭和30年（1955年）から平成18年（2006年）までの52年間で東海沿岸における以下のデータを対象とした。

- ・漁港等の高波災害資料
- ・地上天気図
- ・風観測資料（気象庁）
- ・波浪観測資料（NOWPHAS）
- ・その他（既往の波浪推算関係資料）

2.2 波浪推算ケースの選定

波浪推算の対象とする気象擾乱の選定は、収集整理した上記の基礎データより対象海域の海象特性、ならびに災害時の気象パターンを踏まえて、以下の手順で行った。

- 1) 漁港・海岸保全施設等に災害をもたらした気象擾乱は全て推算ケースとして選定する。
- 2) 同様に前回調査の推算ケース（50ケース）についても、全て推算ケースとして選定する。
- 3) さらに、波浪観測データ（ナウファス）を収集した期間（1971年から2006年）については、概ね年間の上位5位程度までの高波が観測された期間を推算ケースの候補として選択する。なお、年最大波高を観測した気象擾乱については、全て推算ケースとして選定する。
- 4) ただし、1961年から1990年までは、ナウファスとしての波浪観測データが存在しないこと（1961～1969年）、あるいは観測所数が少ない上に、欠測が比較的多いこと（1970～1989年）から、年最大クラスの気象擾乱を見落とす危険性がある。このため、風観測データならびに前回調査の資料（1985年以前）から、年最大相当の高波が発生すると推察される擾乱を推算ケースの候補として選択する。
- 5) 1955年から1960年については、ナウファスとしての波浪観測データが存在しないこと、また、気象庁監修（再統計値）の風観測データの対象期間から外れることから、前回調査の資料を基本として、海象特性および災害時の気象パターンを踏まえて天気図を精査し、年最大相当の高波が発生すると推察される擾乱を推算ケースの候補として選択する。

以上の手法で推算ケース候補を選択すると、おおよそ年間15ケースの候補が抽出された。これらの推算ケース候補から、年上位5波高程度の高波が発生すると推察される気象擾乱を1年間で5ケースを目安として最終的に対象期間1955年～2006年（52年間）で合計313ケースを選定した。

表-1 波浪推算ケースの例 (2004年)

No.	前回調査 ケース	検証用 ケース	災害状況				期 間	擾乱タイプ
			神奈川	静岡	愛知	三重		
293						2004/04/26 ~ 2004/04/28	Ln	
294						2004/06/19 ~ 2004/06/22	T6 四	
295		○			○	2004/07/28 ~ 2004/07/31	T10 四	
296		○		○	○	2004/08/27 ~ 2004/08/31	T16 九	
297						2004/09/06 ~ 2004/09/08	T18 九	
298						2004/09/27 ~ 2004/09/30	T21 九	
299				○		2004/10/06 ~ 2004/10/10	T22 東	
300		○		○	○	2004/10/18 ~ 2004/10/21	T23 四	
301						2004/12/03 ~ 2004/12/07	Ls	

注) Ln: 日本海低気圧、Ls: 南岸低気圧、Lsn: 二つ玉低気圧、L→冬: 低気圧通過後冬型、冬: 冬型
 T関: 関東に上陸した台風、T東: 東海、T紀: 紀伊、T四: 四国、T九: 九州、TS: 日本南海上を通過

2.3 推算手法および条件設定

(1) 推算手法

海上風の推算は、低気圧および高気圧が共存する広域的な風に関しては『境界層モデル』、台風域内の局所的な風に関しては『台風モデル』を用いて個別に計算し、さらに『ハイブリッドモデル』を使用して、台風を中心からの距離に応じて両者の推算結果を滑らかに接続させた。

また、波浪推算には、波浪スペクトルの時・空間変動を数値的に解くスペクトル法に基づく波浪推算手法を採用することとし、非線形相互作用によるエネルギー輸送項が直接的に表現されている『第3世代の波浪推算モデル (浅海モデル)』を使用した。

(2) 計算条件

波浪推算条件を表-2、計算領域 (狭領域) を図-3に示す。

気象外力データは、日本、米国、欧州の気象関係各機関から入手できる客観解析データ (気象モデルを用いて過去の気象を再現した格子点データ) を使用した。

客観解析データのデータセットには、海面気圧以外に海上風などのデータも含まれている。客観解析データの海上風は、空間解像度が低く陸上地形の影響が考慮されているため、沿岸部の海上風が過小評価の傾向にあり、波浪推算に用いる外力データとしては適さない面がある。そこで、本検討では客観解析データの海面気圧データを用い気圧傾度から海上風を推算することとした。また、客観解析データは6時間毎のデータセットであり、空間解像度も入手先によって異なり必ずしも解像度が高いとは言えない。このため、海面気圧データから海上風を推算するにあたっては、平面スプライン補間によって空間解像度を高め6時間毎の海上風を推算した後に、時間軸に対してもスプライン補間を施し1時間毎の海上風データを作成した。

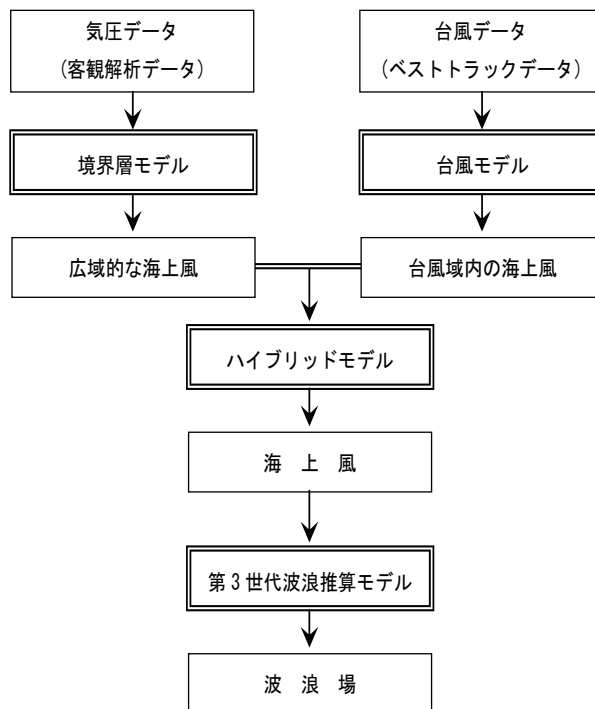


図-2 波浪推算フロー

表-2 波浪推算条件

	広領域	中領域	狭領域	内湾域
計算範囲	N 15.0° ~40.0° E 115.0° ~160.0°	N 32.0° ~36.0° E 134.0° ~142.0°	N 33.0° ~35.5° E 135.5° ~140.5°	N 34.38° ~35.26° E 136.25° ~137.5°
格子数	90×50	64×32	160×80	80×56
格子間隔	1/2° (約50km)	1/8° (約12km)	1/32° (約3km)	1/64° (約1.5km)
計算時間間隔	1/60時間			
周波数分割数	35成分 (0.042Hz~1.067Hz , 約24s~0.9s)			
方向分割数	16成分			

また、地形および水深データは、海上保安庁水路部から入手できる海底地形図（沿岸海の基本図）をもとに作成し、計算領域については、外洋からのうねりを再現でき、かつ内湾（伊勢湾・三河湾）での波浪の発達や伝播も表現できるように、広領域、中領域、狭領域および内湾域から構成される4つの領域を設定した。

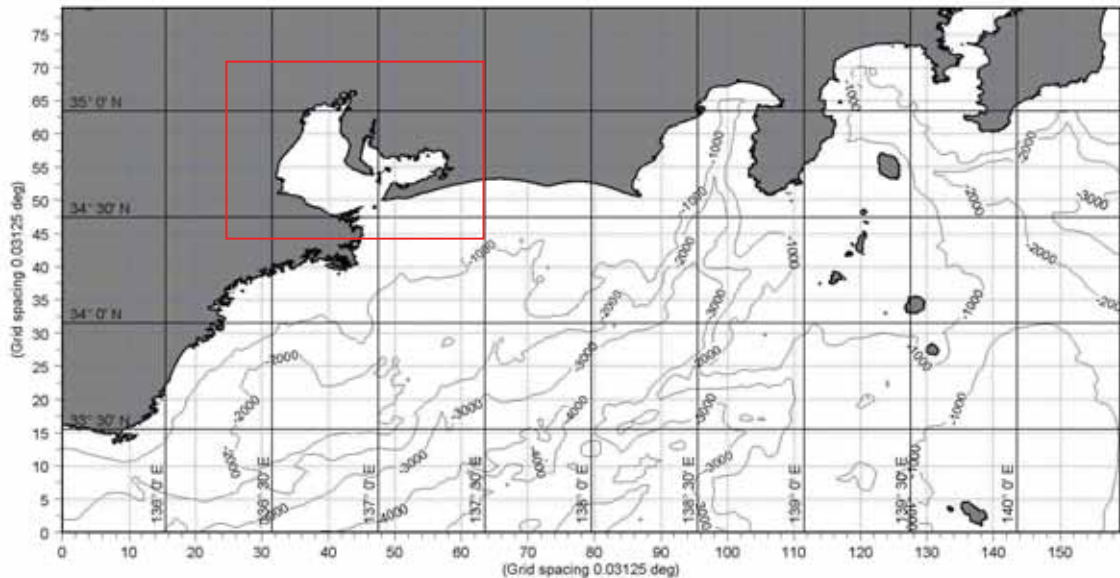


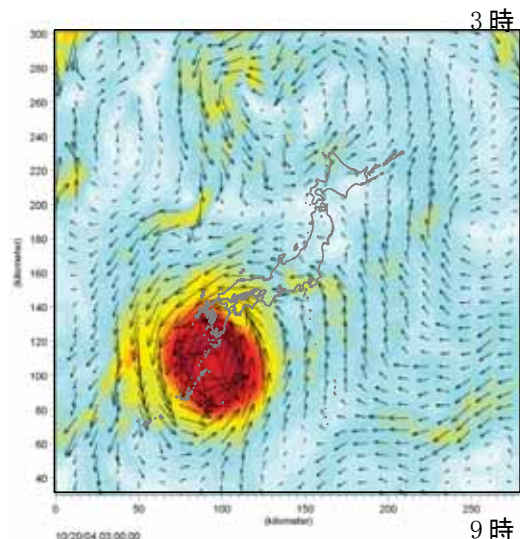
図-3 波浪推算の計算領域（狭領域；格子間隔 1/32° 約 3km）

※図中の□は、内湾域の計算範囲を示す。

(3) 波浪推算地点

波浪推算地点は、前回の波浪推算地点と同等の位置に加え、各管理者との協議により、今後の推算基盤整備に有効と判断される複数の補助点について算出した。

また、推算地点の中には浅海域（沖波波長の 1/2 以下）に設定された地点も含まれるため、各地点には狭領域、内湾域の区分のほか、確率波高の位置づけとして「深海波」「浅海波」および「風速のみ」が設定されている地点に分けられており、「浅海域」の推算地点には当該地点の水深情報が与えられている。



2.4 設計波の検証

これらの推算により求められた沖波諸元と旧沖波諸元の比較および任意の漁港施設を抽出した上で、構造物に対する新旧設計波の差異を検証した。なお、設計波の算出は「漁港・漁場の施設の設計の手引き」（2007年版）に準拠した手法によっている。

3. 主な調査結果

3.1 沖波推算

(1) 海上風の推算結果

全国の複数の波浪観測所で既往最大波高を更新し、東海地域においても多数の災害をもたらした2004年の台風23号について、海上風の推算例を図-4に示す。

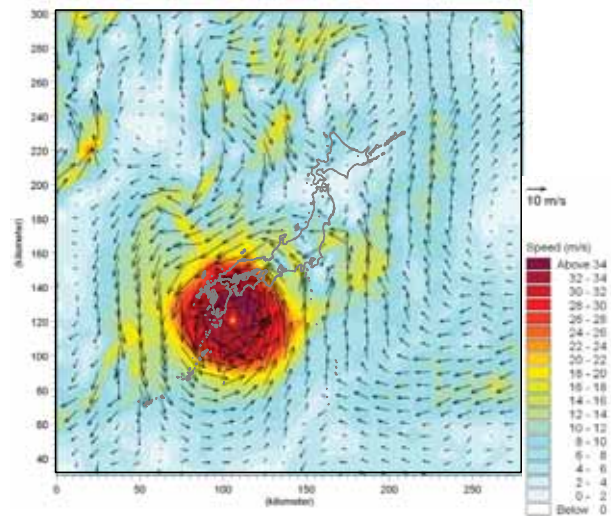


図-4 海上風の推算結果例（2004年10月20日）

(2) 波浪推算の結果

戦後最大の台風と言われる伊勢湾台風（1959年の台風15号）を取りあげ、その時の最大有義波高の分布図を図-5に示す。

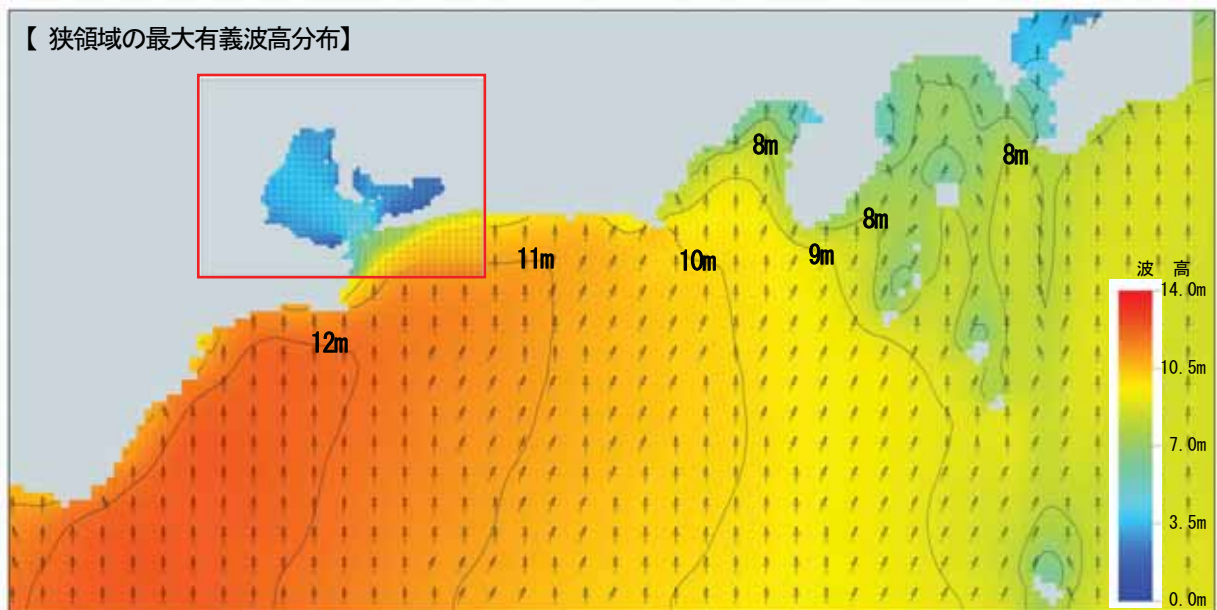


図-5 伊勢湾台風時（1959年9月24日～27日）の最大有義波高分布図

※図中の□は、内湾域の計算範囲を示す。

(3) 推算結果の検証

全ケースの波浪推算に先立ち、浅海域、内湾域も含めて波浪観測記録が整っている1991年～2006年の期間の20ケースについて波浪推算の精度を検証した結果、図-6に示すように実測値と推算値の極値比較は波高、周期ともに相関が極めて高く、使用する波浪推算モデルの精度は良好であると判断された。

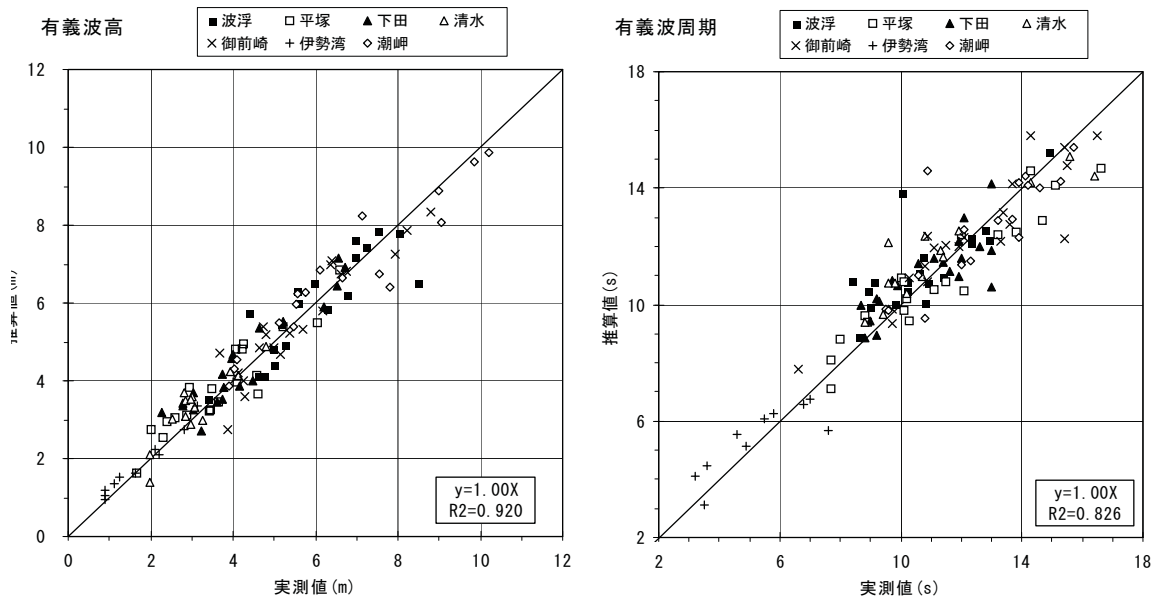


図-6 実測値と推算値の比較図（極値）

(4) 波浪推算の実施および確率波諸元の算定

推算精度が検証された波浪推算モデルを用いて 52 年間全 313 ケースの波浪推算を実施し、その波浪推算結果に基づき極値統計解析を行い、16 方位別の確率波諸元を算定した。極値統計解析には合田の方法を用いた。

3.2 旧設計波との比較検証

(1) 沖波諸元の比較

前回調査の算出点における確率波諸元の比較より、近年の高波の増大の影響により、主な来襲方向については本調査の波高が高くなる傾向にあること、逆に、主な方向から外れる波向において、推算に使用した地形の精度が向上したため本調査の値が小さくなる地点が見られる等の傾向が確認された。

(2) 設計波の比較

本調査で算定した確率波を用いて、各県の代表的な漁港施設数例について対象施設の設計波を算定し、比較検証を行った結果、現行の設計波に比べ波高が小さく算定される場合もあるが、漁港施設は比較的設置水深が浅い場合が多いことから、周期が長くなっている分、設計外力としては大きくなる傾向が確認された。

波高値は、本調査の特長である「浅海モデルを用いて漁港前面の比較的水深の浅い地点で確率波高（沖波諸元）を算定していること」が影響していると考えられるが、より現実的な値となっているものと判断される。

4. まとめ

本調査の特長として、①推算の対象期間が長く擾乱数も多いことから、得られた確率波諸元は、統計的に信頼性が高いこと、②浅海モデルの採用と詳細な地形再現により、漁港の数 km 前面の浅海域において設計沖波を算定したこと、③従来、確率風速から SMB 法等により風波のみの沖波を推算していた内湾域において、湾外から侵入する波浪も考慮した方向別の沖波諸元を算定したこと等があげられる。

推算された沖波諸元は、近年の高波浪発生を反映して、施設設計等に大きく影響する主方向において、前回の沖波諸元よりも大きくなる傾向を示しており、実測値との比較により再現性も確認された。

したがって、今回推算された沖波諸元は、今後、東海地域の水産基盤施設の計画・設計等に適用する沖波諸元として適切であると判断された。

5. 成果の活用

本調査で設定された新しい沖波諸元は、今後の東海地域の水産基盤整備関連業務等に広く適用されることとなるが、計画・設計等の実務においても、推算手法の向上により高精度であることに加え、代表推算地点以外に多くの補助推算地点や漁港に近い沿岸部の推算地点を設けたことから、①広範囲な波向きが検討可能となる、②波浪変形計算の広領域（第1段階）が省略可能となる、③内湾域で風からの湾内発生波の推算が基本的に必要なくなる、④湾内発生波と外洋波の合成が必要なくなるなど、作業の効率化・最適化が期待される。

また、当調査により実施した推算手法は、高精度と広い適用性が立証され、同種調査への採用、今後の技術的發展に大きく寄与するものと期待される。

参考文献

- 1) (財) 漁港漁村建設技術研究所：東海地域沖波推算調査報告書，S61. 2.
- 2) (社) 全国漁港漁場協会：漁港・漁場の施設の手引き 2003年版，資料2.13 風の推算方法の概要と適用法，2003.
- 3) (社) 土木学会：新しい波浪算定法とこれからの海域施設の設計法，土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会，256p.
- 4) 合田 良實：耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計，Ⅲ極値統計解析，鹿島出版会，2008.