

駿河海岸全域の土砂収支と漂砂特性

国枝重一*・飯野光則*・大石康正*
佐々木元*・桜庭雅明**・倉田貴文***

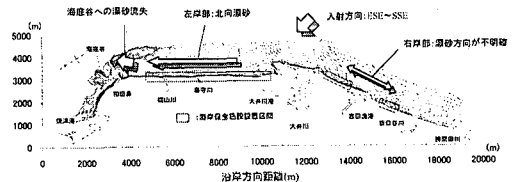
駿河海岸（大井川左右岸：沿岸距離約 18.0 km）は、大井川からの供給土砂量の減少と各種の港湾施設の築造により侵食が進んでいる。本研究では、既往の検討資料と調査結果を用いて駿河海岸全域の漂砂特性を把握したものである。また、漂砂特性の検討成果に基づき、対象区間をブロック分割し、駿河海岸全域にわたる土砂動態図を作成した。土砂動態図から各ブロックの土量変動の収支を計算し、駿河海岸全域の土砂収支図を作成し、土砂収支の各ブロックにおける侵食堆積・状況を把握、侵食箇所における土砂供給必要量を具体化した。

1. はじめに

駿河海岸は、駿河湾に面した沿岸距離 18 km の海岸であり、海岸中央部には大井川が流入して、ここからの流出土砂が海岸の漂砂源となっている。この海岸では、昭和 30 年代後半から河道内での砂利採取に伴う供給土砂量の減少により相対的に必要な沿岸漂砂量が減少傾向となり、その後大井川港の防波堤の築堤及び延伸の影響により大井川左岸側での侵食が顕著になってきている。また、左岸の和田鼻地先付近では砂嘴地形であることに併せて海底谷が面した地形となっており、この影響により沿岸漂砂の供給が北側で減少することが言われている（例えば、宇多ら 1986）。近年では、駿河海岸における大井川左岸側の侵食特性については、音波探査、トレンチ調査等により検討（佐藤ら, 1999）が行われているが、この検討は左岸側海岸の局所的な侵食機構について検討されたものであり、駿河海岸における土砂供給源～沿岸に対する漂砂メカニズムについては未だ不明であることが多い。

今後、駿河海岸においては漂砂特性を踏まえた土砂管理を行い、海浜の安定化を図ることが望まれるが、既往の検討成果では駿河海岸全域の漂砂特性や土砂変動の量的な把握が行われていないのが現状である。なお、当該地域周辺の広域土砂収支として、栗山（2001）が遠州灘海岸の土砂収支作成例としてまとめているが、これは広域の土砂収支研究の端緒とした検討であり、駿河海岸の具体的な土砂管理を実施するにあたっては、より詳細かつ定量的な検討を実施し、土砂収支を把握する必要がある。

本研究は、既往の研究成果と現地観測データを用いて、駿河海岸全域の漂砂特性に関する検討を実施したものである。また、この検討成果に基づき、駿河海岸における土砂移動ブロックを決定して、沿岸・岸沖方向に関する土砂収支図を作成し、今後必要と考えられる対策につい



図一 駿河海岸における推定漂砂特性

ての考察を行ったものである。

2. 駿河海岸における漂砂特性

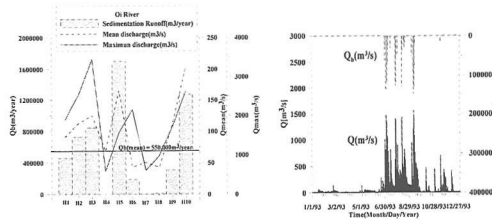
2.1 駿河海岸の漂砂特性の推定

駿河海岸は図一に示すように、入射波浪の主な波向は現地観測データ及び既往資料によると ESE～SSE 方向であり、最頻波向は SE 方向となっている。波向に対応して、大井川左岸側では北向の沿岸漂砂が卓越するのに対し、大井川右岸側においては卓越漂砂方向が明確でないため、波浪状況により漂砂方向が変化する状態となっているものと考えられる。また、その漂砂特性に関連して、左岸側では、1962 年の大井川港防波堤の建設による沿岸漂砂の遮断を契機として、漂砂下手側の海岸侵食が進行したため、1992 年までに大井川港～和田鼻地先に至る約 6 km の区間に海岸保全施設（消波堤）が施工された。一方、右岸側においては、川尻工区及び吉田漁港防波堤南側の住吉工区の侵食が顕在化し、1980 年までに消波堤による侵食対策が実施された。なお、近年では、左右岸とも、恒久消波堤や、有脚式離岸堤等の離岸堤整備を主体とした保全事業を実施している状況である。

2.2 流出土砂量の検討

大井川の年間平均流出土砂量の算定は文献等（例えば、河田ら 1994）に実例が示されているが、本検討では、近年の平均的な流出土砂量を把握することを目的として流出土砂量を算定した。なお、実測流量は流量年表に示されている神座基準点（大井川河口より 24 km 上流）のデータを使用して、①流域面積比により河口部での流量に換算し、②等流計算により、摩擦速度と流量の関係を

* 正会員 工修 国土交通省静岡河川工事事務所
** 正会員 工修 日本工営株式会社統合情報技術部
*** 正会員 工修 日本工営株式会社河川・水工部



図—2 年間流出土砂量の算定結果 (左図: 各年土砂量, 右図: 1993 年の流出量)

算定し, 流砂量公式 (Meyer-Peter・Muller 式) により河口での流出土砂量を求め, ③流出土砂量の時系列を求め, 数年間の平均的な年間流出土砂量を推定した。

1989～1998 年の流出土砂量変化と, 1993 年の流出土砂量の時系列変化 (流量と土砂量の関係) を図—2 に示す。過去 10 年の平均的な年間流出土砂量を算定すると, 当時の流量規模により結果にばらつきがあるが, 平均して約 50 万 m^3 /年程度であることが推定された。なお, この結果は後述する土砂収支の算定の基本諸量として用いるものとした。

2.3 波浪場特性の検討

駿河海岸の漂砂特性は, 外力である波浪, 流れと密接な関わりがあり, 全域の外力分布を把握することは漂砂特性と土砂収支の検討に必要な情報となる。特に, 沿岸漂砂の方向と量的な把握は土砂収支を求める際の重要な資料となる。このため本検討では, 沿岸漂砂量分布を推定し, 基本データをとすることを目的として波浪場解析を実施して, 波高分布より漂砂方向, 沿岸漂砂量に関して検討した。

波高分布の算定は, 広域の波浪変形の過程をできるだけ精度良く検討することを目的として, 非定常緩勾配方

程式 (渡辺ら, 1984) によることとし, 計算は当該海岸におけるエネルギー平均波 (波高 0.88 m, 周期 6.5 s, 波向 SE) として計算格子幅 10 m で駿河海岸全域の計算を実施した。波高分布の計算結果及び波向の計算結果を図—3 に示す。現地で確認されている越波箇所 (佐藤ら, 1999) 付近での波浪の集中が目立ち, また, 和田鼻試験突堤下手の波の発散による波高の低下は, 現地踏査を行った結果においても同様に結果が得られたことから, 計算結果はある程度妥当であると考えられる。

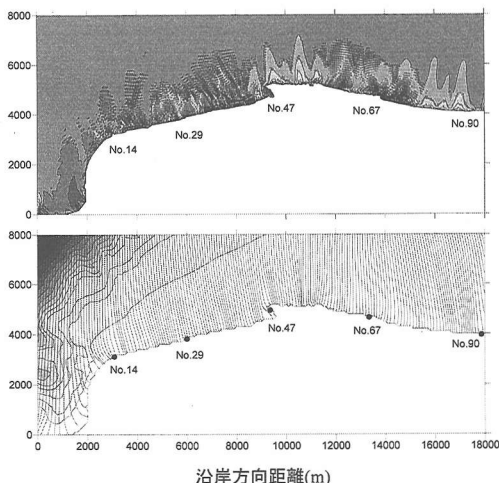
2.4 海浜変動状況

海浜変動状況を把握するために, 左岸側の保全施設がほぼ整備され, 海浜変動が一定になったと推定される, 1992～2000 年の深浅測量データより, 各海域の土量変化について整理した。右岸域, 左岸域及び河口部に分割し, 各海域における当海岸の移動限界水深を $h_c=10$ m と仮定し, それ以浅の土量変化を, 1992 年を基準として整理した。図—4 に土量変化の時系列を示す。大井川左岸側の海岸では 1992～96 年で侵食傾向を示しており, その侵食量は 20 万 m^3 /年程度であった。その後, 1996～98 年では土量は増加したが, 1998 年以降においては再び減少に転じた。対象期間中の平均年間侵食量は, 6～7 万 m^3 の侵食となっている。一方, 右岸側の海岸では, 比較的安定した堆積傾向にあり, 平均年間堆積量は, 5～6 万 m^3 である。また, 河口右岸側から大井川港防波堤までの河口周辺域における土砂変動状況は侵食傾向を示しており, 平均年間侵食量は 6～7 万 m^3 の侵食となる。変化傾向から見ると, 右岸域の堆積と河口域の侵食は, 波形から負の相関が認められるが, 左岸域と河口域に侵食は同時期に進行しており, 明確な相関が認められないことから, 河口周辺の漂砂供給源としての寄与率は, 右岸域が大きいものと考えられる。

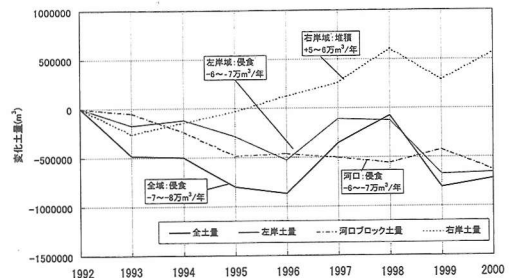
3. 海浜変化の特性

3.1 トレンド解析による検討

海浜変形の平面的な変化傾向を推定するため, トレンド解析法による地形変化解析を行った。対象範囲は沿岸



図—3 波高・波向分布図 (上段: 波高, 下段: 波向)



図—4 駿河海岸の土量変化状況 (1992 年～2000 年)

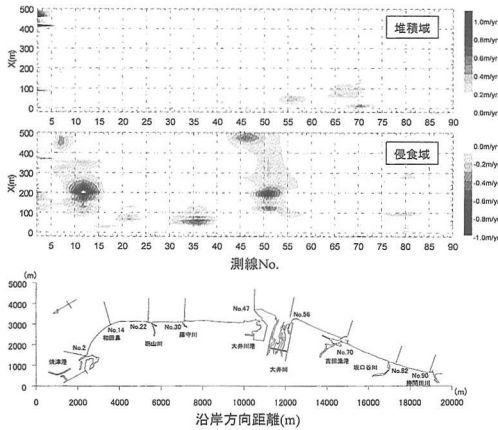


図-5 トレンド解析結果 (1992 年～1999 年)

方向として駿河海岸全域、岸沖方向として汀線岸側 20 m～沖合 500 m (水深-8～-10 m) を仮定し、各地点の地形変化速度を最小二乗法により求めた。1992～99 年の地形変化を対象とした場合の計算結果を図-5 に示す。上図が堆積域の分布、中央の図が侵食域の分布を示す。近年においては、左右岸で変動傾向が明らかに異なることから、左右岸において異なる土砂移動機構を示すものと判断できる。

左岸域では全域的に侵食を受けており、平均的に-0.1 m/年程度の海床の低下が進行している。特に No.10～15 付近の海底谷周辺及び No.35 (大井川工区) における侵食が著しく、海底谷周辺では-0.5 m/年、大井川工区では-0.2～-0.3 m/s 程度の侵食が認められる。一方、堆積傾向を示す地点は殆ど確認できない。

右岸域では、河口右岸側及び吉田漁港防波堤上手側に続く堆積域が確認でき、漁港南側の汀線付近においては、緩やかな侵食傾向となっている。

大井川港防波堤から河口域においては、河口左岸沖側から右岸汀線側に続く侵食域が確認できる。また河口沖は大きな侵食域となっており、左岸域同様、沖までの広い範囲での侵食が確認できる。

3.2 土砂移動ブロックの分割

具体的な土砂移動方向及び移動量を推定するための沿岸方向のブロック分割を行った。ブロック分割は検討成果の考察を踏まえ、以下のように仮定した。

(a) 大井川河口の流出特性

大井川からの流出土砂は平均で 50 万 m^3 /年程度であることが確認された。この土砂は左右岸に広がるが、左岸側では大井川港の防波堤により阻止される率が高い。なお右岸側は土砂の移動が定量的に推定するのが困難である。

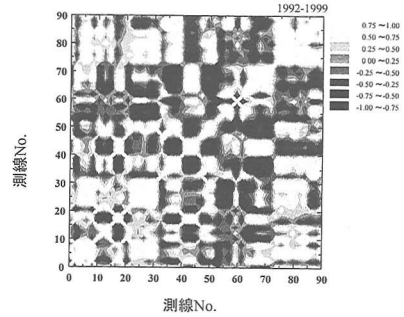


図-6 各測線間の相関係数

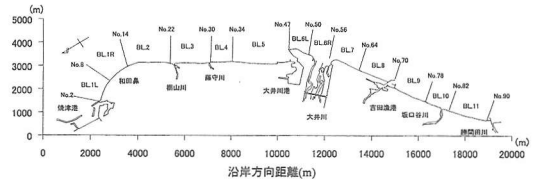


図-7 ブロック分割図

(b) 波高分布による平面的特性

波高分布の計算結果より、藤守川～栃山川では波浪が集中していることが確認されており、この箇所は侵食が顕著であることも認められている。このため、この箇所から南北にわたり土砂移動は顕著に変化することが考えられ、1つのブロックとして仮定することが望ましいと考えられる。なお、海底谷北側では波高分布が低いことが計算結果より分かるが、これは土砂移動のための外力が低いことが予想され、これを1つのブロックとして分割することが望ましいと考えられる。

(c) 海浜変化による平面的特性

トレンド解析結果より、大井川港～藤守川では侵食性が高いことが把握できる。これは更に北側の海岸での土砂移動とは違うメカニズムが高いと考えられるため、1つのブロックとして分割することができる。また、右岸側の吉田漁港北側では堆積性が高い。堆積性の高い箇所については1つのブロックとして独立することができると考えられる。なお、既往の検討成果 (佐藤ら, 1999) では左岸海底谷付近 (測線 No.14) で試験突堤が設置されており、ここを境界として南側で堆積傾向であることが確認されている。この北側についても1つのブロックとして独立できることが確認できる。

(d) 土量変動の相関性

更に、土砂収支図を作成する際の領域の分割を詳細化するために、各地点の土量経年変化に対する相関解析を行った。図-6 にその結果を示すが、これは上述の考察に近い値を示しておりブロック分割に対する有効な資料として利用できることが確認できる。これらの成果を踏ま

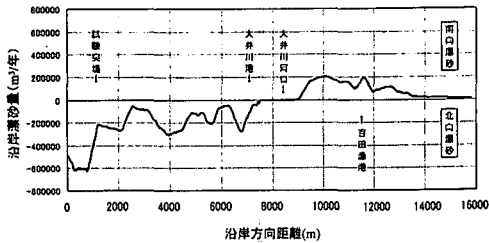


図-8 沿岸漂砂量分布図

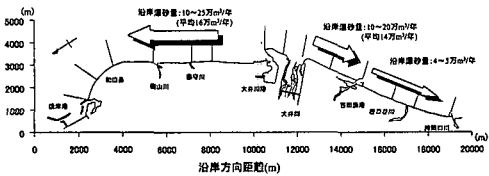


図-9 沿岸漂砂量及び移動方向模式図

え最終的に、同様の傾向を示す区間を同一ブロックと判断し、図-7に示す13の小領域に分割した。

3.3 土砂移動方向の推定

土砂動態ブロック間の移動方向を推定するために、波浪場の計算結果から沿岸漂砂量を算定して移動方向を決定した。沿岸漂砂量公式としては次式に示すCERC公式を用い、各ブロックの境界での漂砂量を求めた。

$$Q_1 = \frac{K_1}{(\rho_s - \rho_w)g(1 - \lambda_v)} (ECg) \cos \alpha_b \sin \alpha_b \cdots (1)$$

ここに、 Q_1 : 沿岸漂砂量、 ρ_w : 海水の密度、 λ_v : 空隙率(=0.4)、 K_1 : 定数、 E : 波のエネルギー、 Cg : 群速度、 α : 波向、 b : 碎波位置を示す。結果は図-8に示すようになり、左岸側は北側に10~20万 m^3 /年、右岸側は南側に0~30万 m^3 /年の沿岸漂砂が生じる結果となった。また、海床変動特性の検討結果においては、吉田漁港周辺に堆積が生じることから、沿岸漂砂方向は南向が推定されており、また、栗山(2001)の検討結果においても同様に右岸側における漂砂方向は南向きと推定されている。

以上、海床変動状況結果、並びに外力検討結果より、当海岸における漂砂方向は図-9に示すように仮定する事とする。

4. 土砂収支図の作成

4.1 土砂収支図作成の基本条件

漂砂特性及び土砂変動特性結果を用いて、分割ブロックに対する土砂の収支を算定し、土砂収支図の作成を行った。土砂収支の算定にあたり、基本条件は以下の通りとした。

(a) ブロック分割及び漂砂移動方向の設定

ブロックの土量変動は深浅測量結果を基に算定した。

沿岸方向のブロック分割は図-7に示すような13ブロックを採用するが、岸沖方向のブロックは、①水深0m地点を境界として陸上部と浅海域の移動特性を考慮する、②海底の勾配変化点の代表的な値として水深-5mを境界とするものとして、3ブロックの分割を行った。これにより、最終的なブロックは沿岸方向13ブロック×岸沖方向3ブロックの合計39ブロックとした。漂砂移動は河口より南北方向に向かうことを仮定して、防波堤等の構造物は、先端水深を考慮し沖に回りこむこととした。また、各ブロックの岸沖方向漂砂は、構造物周辺のみで生じることとした。

(b) 土砂収支の境界条件

土砂収支の算定を行う出発点(境界条件)として、河川流出土砂量は、前述の検討成果より50万 m^3 /年とした。

左岸側の境界条件として、トレンド解析結果より、海浜に有意な堆積が認められなかったことから、大井川港防波堤沖からの回りこみ漂砂を0として設定した。また、終端である小川漁港(焼津工区)からの土砂流出量を0とした。さらに、対象期間中に実施されていたサンドパイパスに伴う大井川港防波堤上手側の土砂掘削(約12万 m^3 /年)、大井川工区への土砂投入(約6万 m^3 /年)、及び大井川港浚渫土砂の内、養浜適材となる分の海中養浜(約8,000 m^3 /年)を考慮した。また、大井川から流出される土砂が沖合へ流出することを考慮した。

右岸域の境界条件として、右岸城南端(勝間田川南側)は開境界であるため、別途の施設効果検討により明らかとなった、吉田漁港南側の恒久消波堤(No. 72)付近への施設設置直後の平均年堆積量(5万 m^3 /年)を境界条件とした。その際、当区域への漂砂は、吉田漁港防波堤を回り込むものとした。

沖への土砂流出は、明らかにされていないことが多いが、①河口沖、②左岸側海底谷、及び③右岸側勝間田川沖へ流出することを仮定した。上記条件の③に関しては、勝間田川南側への流出も考えられるが、これより南側において漂砂方向が北向に変わること、わずかではあるが、沖への堆積傾向が認められる事及び栗山(2001)の計算結果を参考に、沖へ流出するものとした。

以上の計算条件に基づき、境界条件を出発点として土砂収支計算を行った。算定した土砂収支図を図-10に示す。

堆積ブロックは右岸側に多く確認できることから、河口流出土砂は主に右岸側に移動していると推定できる。一方、左岸側の浅海部以浅には安定ブロックが多く、近年の海岸保全施設設置による効果であると推定される。しかし、沖側のブロックは侵食傾向を示しており、何らかの対策が必要であると判断できる。

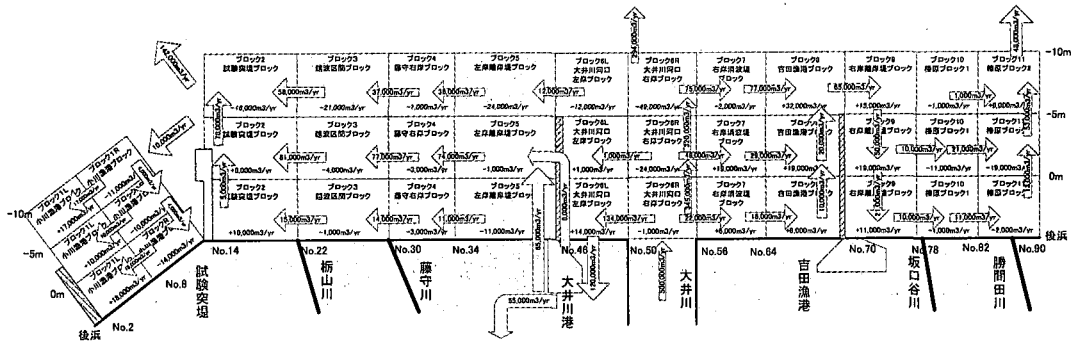


図-10 駿河海岸における土砂収支 (1992~2000 年)

左岸域において算定した沿岸漂砂量を栗山 (2001) の計算値と比較すると、本論文における算定結果は約半分程度となっている。これは、栗山の算定した土砂移動量は、海岸保全施設の設置される以前の地形変化量も含む、1977~1997 年の間の年平均土砂変動量より算定されているため、本論文より大きな値を示したものと考えられる。本論文においては、全域的な海岸保全施設の設置が終了した 1992~2000 年の地形変化より算定しているため、より現状に近い値となっているものと考えられる。

4.2 土砂収支より考えられる対策検討

土砂収支モデルの結果を踏まえ、現在の状態を維持する (侵食を抑制する) ための対策を行うための考察を行った。侵食対策は、駿河海岸における災害からの防護を目的として、現在侵食が著しくかつ災害が懸念される箇所について重点的に行う。図-10 の結果より、大井川港防波堤下手及び試験突堤下手において侵食が顕著となっていることから、越波災害や遡上浸水を軽減することを目的として、以下のような考察が得られる。

- 1) 大井川港南防波堤上手側に堆積した土砂及び既往サンドバイパスによる浜部堆積分等を利用して、藤守川下手側へのサンドバイパスを実施する。サンドバイパス土量は、既往の実績に基づき $65,000 \text{ m}^3/\text{年}$ を継続することが考えられる。
- 2) 和田鼻地先試験突堤下手の局所侵食の対策として突堤上手より、 $10,000 \text{ m}^3/\text{年}$ 程度のサンドバイパスを行うことが考えられる。

5. ま と め

本研究において、駿河海岸全域の漂砂特性について検討し、その漂砂機構の成果に基づき、土砂移動のブロック分割を行った。この結果を用いて、測量成果を利用した具体的な土砂収支図を作成して、侵食の危険性が高い箇所についての具体的な対策について検討を行った。本研究により得られた成果を列挙すると以下のようなになる。

(1) 大井川から供給される土砂量は年間約 50 万 m^3 程度であると推定される。この供給は大井川の左右岸に十分に供給されることが望ましいが、現状は大井川港防波堤による阻止・河口沖への損失の可能性が高いことが判明した。

(2) 左岸側は侵食性が高いことが把握できたが、特に水深 -5 m 以深の侵食が著しく、今後北側への供給を考慮した漂砂供給を高める検討が必要となる。

(3) 右岸側の吉田漁港南側では、若干の侵食傾向を示していることが把握された。

今後は、この成果を踏まえて、全域における土砂移動を随時モニタリングして、モデルに関する検証を行い、必要に応じて土砂収支を更新することが必要と考えられる。

参 考 文 献

- 宇多高明・小俣 篤・堤 博志・酒井佳治 (1986): 深海への土砂損失実態の現地調査, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 277-281.
- 加藤一正・栗山義昭・入江 功 (1987): 深浅図の保存・管理及び深浅図を用いた海浜変形の把握, 港湾技術資料, No. 603.
- 加藤一正・吉松 晃 (1984): 三次元の経験的固有関数による深浅図解析法, 港湾技術研究所報告, 第 23 巻 第 2 号, pp. 27-47.
- 河田恵昭・井上雅夫・鹿室 宏・珠久和孝 (1994): 大井川・駿河湾における海岸土砂収支について, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 516-520.
- 栗山義昭 (2001): 広域土砂収支図作成の試み, 2001 年度 (第 37 回) 水工学に関する夏季研修会講義集 B コース, pp. B-5-1-13.
- 佐藤慎司・笠井雅広・河野竜男・諸田 勇・加藤俊夫・桜庭雅明 (1999): 駿河海岸岸和田鼻地先における砂礫の粒径別移動特性, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 526-530.
- 佐藤慎司・河野竜男・諸田 勇・加藤俊夫・桜庭雅明 (1999): 駿河海岸における台風来襲時の波浪特性と越波実態, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 766-770.
- 渡辺 晃・丸山康樹・平口博丸 (1984): 屈折・回折・碎波変形を含む波浪場の数値計算法, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.