

航空写真による駿河湾沿岸の漂砂系解析

小 椋 進*・宇野健司*・杉山直子*
菊池純一**・片野明良***・服部昌太郎****

大井川と安倍川が流入する静岡・清水海岸と富士川を主たる漂砂供給源とする富士海岸とからなる駿河湾沿岸全域に対し、航空写真による漂砂系解析を行った。また、土砂収支算定結果の妥当性を確認するため、波浪観測データを基に駿河湾内の波浪変形計算を行い、波エネルギーフラックスを算定した。航空写真解析による沿岸漂砂量と方向は、波エネルギーフラックス計算とほぼ一致し、土砂収支は既往研究成果と整合していることから、本解析法の妥当性が確認できた。

1. はじめに

海岸保全基本計画を策定するためには、河川からの供給土砂量を考慮した沿岸域全体の漂砂系を解明し、その実態を把握することが重要である。

本研究では、大井川と安倍川が流入する静岡・清水海岸と富士川を主たる漂砂供給源とする富士海岸とからなる駿河湾沿岸全域に対する海岸保全基本計画を作成することを目的として行ったものである。土砂収支解析には、汀線位置を精度良く判断できる航空写真解析法を採用した(服部ら, 2001)。また、土砂収支算定結果の妥当性を確認するため、御前崎港の波浪観測データを基に駿河湾内の波浪変形計算を行い、沿岸代表 16 地点における沿岸漂砂量を算定した。

2. 漂砂系コンパートメントの設定

漂砂系コンパートメントは、地形図、海図、地質図をもとに陸域と海域の沿岸地形形状による自然境界と人為的境界とを考慮して設定した。海谷が沿岸域に迫る三保半島とその背後の清水港とにより漂砂移動の連続性が遮断されていると考えられることから、静岡・清水海岸と富士海岸の境界が設定できる。静岡・清水海岸の駿河湾口側の沿岸漂砂系境界として、田尻周辺に迫る海谷地形と焼津港湾施設が、また富士海岸湾奥側境界は狩野川河口左岸とする。

さらに、土砂収支の算定精度を高めるため、沿岸海浜地形、海底谷、底質特性、河口位置、港湾・漁港などを考慮して、コンパートメントを図-1 に示すように、清水・静岡海岸は S-1~6、また富士海岸は F-1~9 の細分区域を設定する。

3. 輸送土砂量の算定条件

土砂収支算定には、(1)沿岸海域の土砂量変化に加えて、(2)主要河川からの供給土砂量、(3)飛砂量、および(4)サンドバイパスなどの漂砂系への人工的なじょう乱を考慮する。本研究では入手しうる既往資料を利用し、前記の土砂量を以下の方法で算定する。

- ①沿岸領域での土砂量変化を算定するために 1961 年から 1999 年の 6 回分の航空写真より判読した汀線位置を潮位補正する。収集した航空写真は撮影間隔が異なるため、各地点での平均汀線変化速度を算出し、これに沿岸漂砂の移動高を乗じて土砂量変化を算定する。
- ②安倍川、興津川、富士川、狩野川での生産土砂量は芦田・奥村 (1974) の式をもとに、ダム建設による捕砂効果を考慮して算定する。
- ③飛砂量は河村 (1951) の式と清水アメダスの風観測データとにより算定する。
- ④サンドバイパスなどの人工的土砂供給量は、既往資料に記載されるものを使用する。

4. 汀線変化

図-2 (a) と (b) は、静岡・清水海岸と富士海岸の 1961 年の汀線位置を基準とした '71, '88, および '99 年での汀線変化量を示したものである。横軸は、沼津地区を起点とした実沿岸距離 (km)、縦軸は汀線位置変化量 (m) で + 符号は沖向き、- 符号は岸向きを示す。また、上図に駿河湾外沖波の波向 S に対する湾内波浪変形計算より水深 15 m 付近の波向と湾口部波高との波高比の沿岸分布が示されている。

4.1 静岡・清水海岸

1961 年から '99 年の 39 年間に、静岡・清水海岸の汀線後退は三保松原周辺域以外で進行している。特に、安部

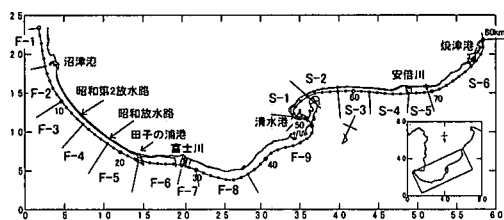


図-1 漂砂系コンパートメント

* 正会員 国土交通省中部地方整備局
** 正会員 (社)日本マリーナ・ビーチ協会
*** 正会員 株式会社エコー沿岸デザイン本部
**** 正会員 工博 株式会社エコー沿岸デザイン本部

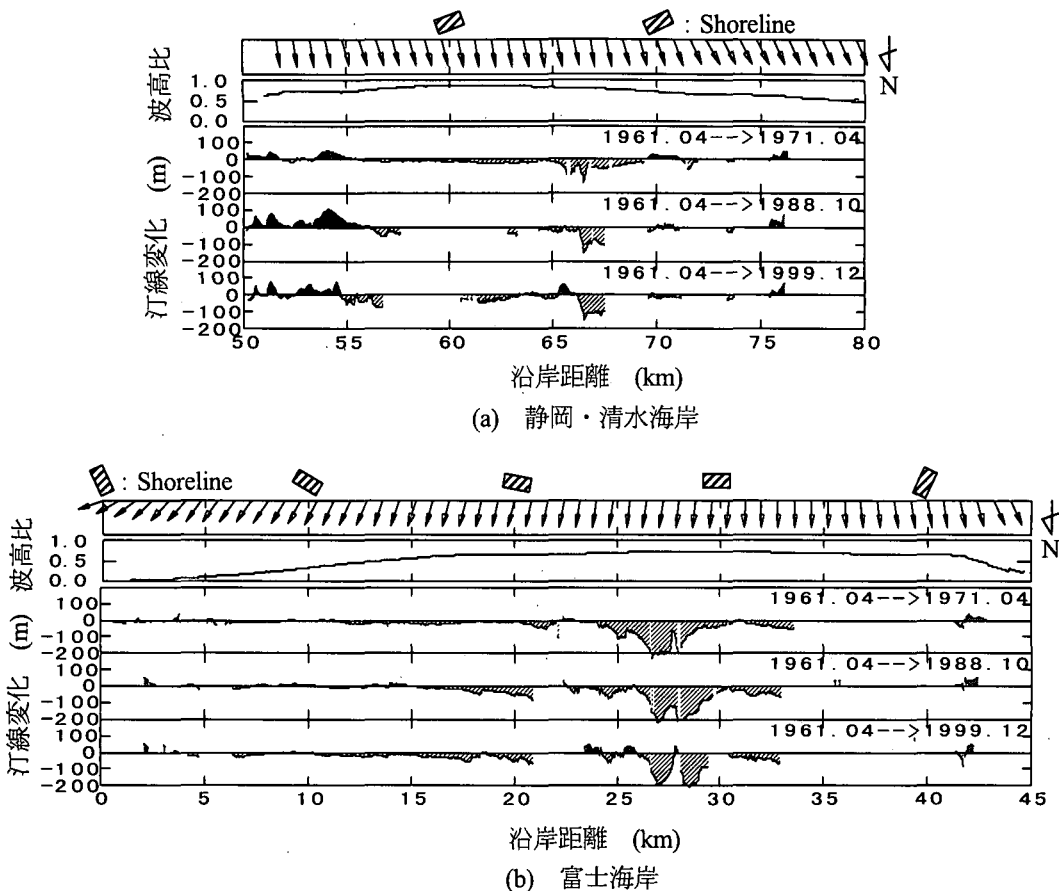


図-2 汀線位置変化量と入射波波高と波向

川河口左岸側では100 mにおよぶ汀線後退が見られ、'71年以降は安倍川の洪水に対応して汀線の前進・後退を繰り返す。'77年まで砂浜が存在していた安部川河口左岸2~3 km地点から清水側6 kmの区間では、'88年には汀線が護岸前面にまで後退して海浜は消失し、三保松原に至る海岸の汀線後退域が清水方向へと拡大する傾向が持続している。宇多(1997)は海浜縦断形状の変化から、'85年から'90年での侵食域の平均拡大速度が271 m/yr程度と推定しているが、航空写真解析から推定される侵食域拡大速度は120 m/yrであった。

1961年から'86年にかけて安部川方向からの沿岸漂砂により前進していた三保松原前面域の汀線が、'94年以降汀線後退傾向に転じている。海浜勾配は安部川河口前面で緩く、三保半島先端に向かって急速に増大している。静岡・清水海岸の侵食対策工の効果と河川からの供給土砂量の減少により、三保半島先端から海谷への底質流出による汀線後退がより顕在化したと考えられる。

海岸法線方向と海岸への入射波波高の沿岸分布から静岡・清水海岸の沿岸漂砂卓越方向は三保半島向きである

と推定される。

4.2 富士海岸

砂利採取による富士川からの流出土砂の減少により、1961年から'77年にかけて河口周辺の汀線が急速に後退している。しかし、田子の浦港防波堤建設によって、富士川河口から沼津海岸方向への沿岸漂砂が田子の浦港防波堤で遮断された結果、この区間の汀線は前進している。この影響により、田子の浦港から狩野川にかけて、沼津海岸の汀線後退域が徐々に拡大している。田子の浦港周辺区域の海浜勾配は1/5と非常に急であり、また海岸線が駿河湾口部に直面しているため、高エネルギーの波が入射し富士川から流送され堆積した大粒径の岩石が海浜面に露出している。しかし、駿河湾の最奥部にあたる沼津港と狩野川河口付近では'88年以降汀線が前進する傾向が認められる。

一方、富士川河口右岸側の蒲原・由比海岸では'77年以降汀線後退速度はきわめて小さい。富士川河口の沿岸砂州形状から、この海浜域での漂砂の卓越移動方向は田子の浦方向であることが分かる。

富士海岸への入射卓越波向は、海岸法線に対して若干時計方向に傾く。また、入射波高は沼津方向に減少示する(図-2(b)参照)。特に、昭和第二放水路付近より東側では、伊豆半島による遮蔽効果を受けて波高の減少が顕著となる。汀線変化の傾向、波浪特性の沿岸変化から、富士海岸での沿岸漂砂の卓越方向が東向きであると考えられる。

以上の解析結果から、航空写真から推定された駿河湾内海岸の全体的な変形傾向は、既往の調査結果とほぼ一致することから、その妥当性が確認される。

5. 主要河川での生産土砂量

河川生産土砂量からダム堆砂阻止量を差引くことにより、海域への流出土砂量を芦田・奥村(1974)が提案した河川流域面積と年平均比流出土砂量との関係を用いて算定する。主要ダムの建設年次とダムの流域面積はダム年鑑(2000)により調べた。土砂生産性の高い山岳部にダム建設地点が集中していることを考慮し、全流域面積からダム上流の流域面積を差引き流出土砂量を算定する方法が妥当と考えた。

土砂収支の評価には表-1に示す主要流入河川からの土砂量を採用した。

表-1 主要河川からの供給土砂量

河川名	供給土砂量 ($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$)	
	'61~'88	'77~'99
安倍川	2520	2507
富士川	774	739
興津川	304	304
狩野川	494	494

6. 飛砂量

清水アメダスの風観データと河村の式(1974)により、海岸砂の最小粒径は0.3~0.5 mmであることを考慮して飛砂量を算定した。算定飛砂量は比較的小さく、富士海岸で $1.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、静岡・清水海岸では $0.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ であり、飛砂の土砂収支への影響は無視し得るものと考えられる。

7. 人工的な漂砂系へのじょう乱

養浜やサンドバイパスなどの漂砂系への人工的なじょう乱を考慮するため、土砂収支の算定には佐藤ら(1999a, 1999b)の研究調査資料記載の養浜量を考慮した。田子の浦港の東側海岸では1996年から1999年に礫養浜を約 $300 \times 10^3 \text{ m}^3$ 程度実施している。清水海岸では1993年より本格的に養浜を実施し、1997年まで4年間の年平均養浜砂量は $30 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ である。

8. 土砂収支

8.1 静岡・清水海岸

静岡・清水海岸では1982年と1983年に安倍川大出水が発生しており、出水後に安倍川河口右岸側に砂浜の復が認められる。また、静岡海岸では離岸堤群を'80年代急速に施工している。以上のことから、土砂収支解析対象期間を'61年~'88年と'77年~'99年の2期間に分割し、図-3に静岡・清水海岸の沿岸漂砂量と方向ならびに土砂収支を示す。図中には波浪変形計算結果より判定した沿岸漂砂の移動方向を矢印で示す。漂砂系解析には以下の事項を考慮した。

- ①焼津港と清水港防波堤の先端水深が底質の全面移動限界水深以上であることから、沿岸漂砂移動が阻止される。
- ②沿岸漂砂に対する安部川からの流出量土砂の寄与率を5%と設定する。
- ③三保松原境界での海谷への土砂流出を、1993年以前では $90 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、それ以降では $30 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ とする(佐藤ら, 1999a)。
- ④上記各条件に矛盾が生じないように沖流出を海岸延長に比例するように考慮した。なお、安倍川河口右岸の海浜延長が短いことから沖流出量を無視する。

'61年~'88年では安倍川河口左岸側の領域S-4で $60 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、その東側の領域S-3で $30 \times 10^3 \text{ m}^3$ 侵食し、領域S-2で $10 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、三保松原先端の領域S-1で $30 \times 10^3 \text{ m}^3$ 堆積している。しかし'77年~'99年では、離岸堤が設置された領域S-4で $30 \times 10^3 \text{ m}^3$ 堆積、領域S-3で変化なし、沿岸漂砂の下手側になる領域S-2と領域S-1でそれぞれ $60 \times 10^3 \text{ m}^3$ と $6 \times 10^3 \text{ m}^3$ 侵食している。この結果は宇多(1997)の報告と整合する。

8.2 富士海岸

富士海岸では1982年の富士川大出水により富士川河口から田子の浦港方向の海浜に砂浜の回復が認められる。またこの海岸には、1977年から離岸堤が建設されている。

解析対象期間を'61年~'88年と'77年~'99年に分割した。図-4は、各期間の沿岸漂砂量と方向ならびに土砂収支を示したものである。図中には波浪変形計算による沿岸漂砂方向が矢印で示される。

漂砂系解析には以下の事項を考慮した。

- ①富士川流出土砂量の、沿岸漂砂に対する寄与率を20%とする。
- ②田子の浦港と沼津港の防波堤先端水深が底質の全面移動限界水深以上であることから、沿岸漂砂は阻止される。
- ③田子の浦港で阻止された沿岸漂砂は、前面の海谷に流

出する。

④駿河湾湾奥部の領域 F-4 から F-2 にかけて、入射波高が減少することから、波高低減効果を考慮する。

'61 年～'88 年では富士川河口左岸側の領域 F-6 で $88 \times 10^3 \text{ m}^3$ で、 $103 \times 10^3 \text{ m}^3$ と多量の土砂損失が認められ、領域 F-5 に隣接する領域-4 と 3 では損失土砂量は急減する。領域 F-6 での侵食は、富士川からの流送土砂の減少と、田子の浦港から漂砂が沖へ流出したことが主要因として挙げられる。領域 F-5 での侵食は田子の浦港による沿岸漂砂の遮断により侵食が発生したものと考えられる。しかし、領域 F-4 以東で堆積域が認められないことは、領域 F-4 と F-5 の境界付近に海底谷が沿岸に迫っており、海

底谷への漂砂流出が大きく寄与していると考えられる。

'77 年～'99 年の期間では、領域 F-6 で $30 \times 10^3 \text{ m}^3$ の土砂堆積がある。また、僅かな堆積が沼津港近傍の領域 F-2 と 3 で認められる。'80 年代以降の領域 F-6 における堆積は、離岸堤の建設によると考えられる。一方、この期間における領域 F-5 での侵食量が $17 \times 10^3 \text{ m}^3$ と '61 年～'88 年比べて侵食量が小さいことは、この領域で建設された侵食抑制効果と考えられる。消波堤の影響により領域 F-4 では $37 \times 10^3 \text{ m}^3$ 侵食しており、'61 年～'88 年に比べて侵食量が $26 \times 10^3 \text{ m}^3$ 増大している。

静岡・清水海岸土砂収支図 (1961-1988)

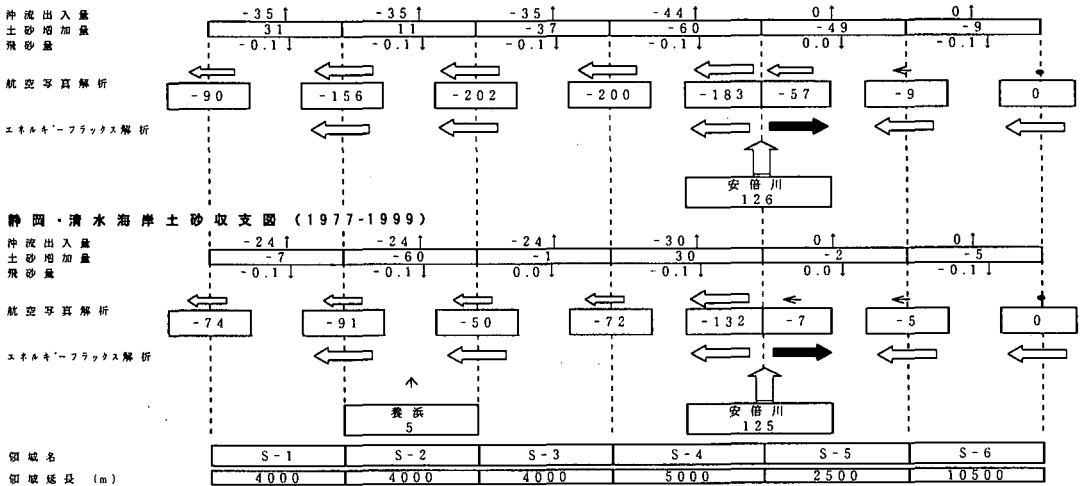


図-3 静岡・清水海岸の土砂収支

富士海岸土砂収支図 (1961-1988)

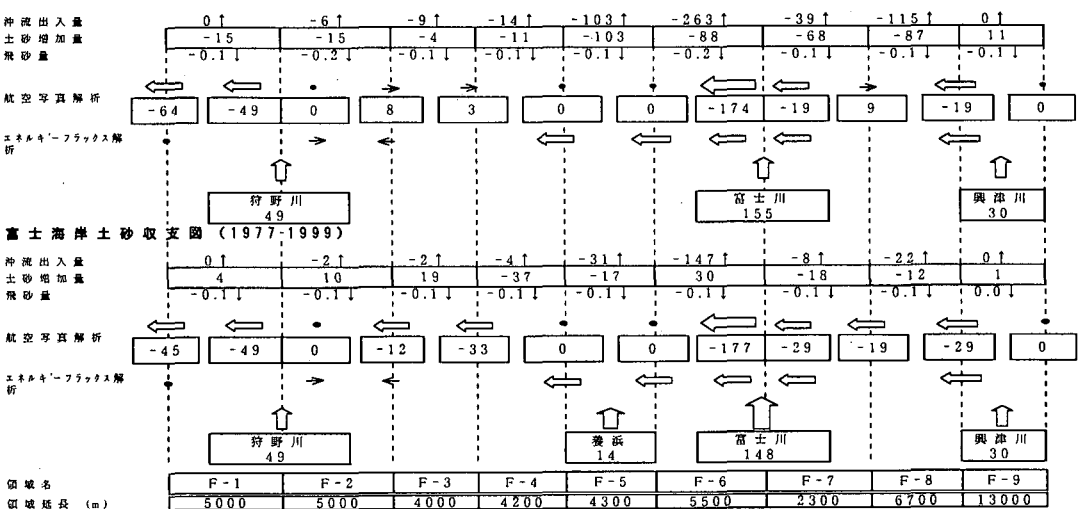


図-4 富士海岸の土砂収支

9. 沿岸漂砂量係数の検討

航空写真解析に基づく土砂収支検討結果の図-3と4に見られるように、沿岸漂砂の卓越方向と波エネルギーフラックスから推定される沿岸漂砂の卓越方向は良好な一致を示している。

そこで航空写真解析より推定される沿岸漂砂量の信頼性を検討するため、CERC 公式の沿岸漂砂量係数 K を逆推定し、その結果を表-2に示す。

表-2 沿岸漂砂量係数の逆推定値

	期 間	K
静岡・清水海岸 (全域)	1961~1988	0.25
	1977~1999	0.16
富士海岸 (領域 F-6)	1961~1988	0.24
	1977~1999	0.24
富士海岸 (領域 F 3~5)	1961~1988	0.08
	1977~1999	0.08

通常、計算に採用されている K -値 $K=0.40\sim0.77$ に比べて逆算した K -値は小さい。海浜砂が比較的豊富な期間と地点での K -値は 0.25 程度で、阿字ヶ浦などの K -値 (Kraus et. al. 1982) とほぼ同じである。静岡・清水海岸の '77~'99 の K -値 0.16 は離岸堤による沿岸漂砂の阻止効果の反映、また富士海岸領域 F-4~5 での $K=0.08$ は海浜侵食により礫と岩が海浜面に露出する海浜砂の少ないことによると考えられる。なお、富士海岸の K -値として、佐藤ら (1999) は $K=0.06$ を報告している。Coastal Engineering Manual (CEM, CERC 2002) には、砕波波高の標準偏差値を使用する場合の K -値がベースとして記載されている。これによると、SPM (1984) に示された $K=0.39$ が、 $K=0.92$ となる。また、沿岸漂砂量係数は海浜底質粒径、海底勾配、Surf similarity parameter などに関係することが指摘されている。

航空写真解析による漂砂量算定は、1-Line モデルの手法を適用して汀線変化量から算定するが、 K -値は従来の現地観測結果による算定値とほぼ同じであることは、本研究に採用した航空写真解析とその結果の妥当性を保証するものと認められる。

10. 結 論

本研究で得られた主要な結論を以下に述べる。

- ①航空写真解析から駿河湾沿岸の静岡・清水海岸と富士海岸の漂砂系の挙動と土砂収支を明らかにし、既往の研究・調査結果との整合性から解析法の妥当性が確認できた。
- ②静岡・清水海岸の沿岸漂砂量は、 $150\times10^3\text{m}^3/\text{yr}$ 程度と推定され、宇多ら (1994) の報告と一致する。
- ③富士海岸での土砂損失は深海部への流出が支配的であり、田子の浦港と昭和放水路の区間 (F-5) では侵食対策工の実施以前は $100\times10^3\text{m}^3/\text{yr}$ 、以降では $30\times10^3\text{m}^3/\text{yr}$ の土砂が沖へ流出している。沿岸漂砂量は $1\sim2\times10^4\text{m}^3/\text{yr}$ 程度に過ぎない。
- ④漂砂量係数は、海浜砂が十分ある静岡・清水海岸と富士海岸海浜域では $K=0.25$ で、離岸堤が設置されている海岸での K -値には、その効果 (影響) が反映される。田子の浦港周辺の海岸侵食が激しい砂浜領域では $K=0.08$ 程度と推定される。

参 考 文 献

- 芦田和男・奥村武信 (1974): ダム堆砂に関する研究, 京大防災研年報, 17号B, pp. 555-570.
- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, 442 p.
- 宇多高明・鈴木忠信・大石守伸・山本吉道・板橋直樹 (1994): 静岡海岸の沿岸漂砂量およびその分布形の評価, 海岸工学論文集, Vol. 41, pp. 536-540.
- 河村竜馬 (1951): 飛砂の研究: 東京大学理工学研究所報告, 第5巻, 第3-4号, pp. 95-112.
- 佐藤慎司・鈴木忠彦・瀬戸尾勝・松浦吉洋・山本吉道・花田昌幸 (1999a): 清水海岸海底谷周辺の波・流れと漂砂機構, 海岸工学論文集, Vol. 46, pp. 671-675.
- 佐藤慎司・山本幸次・桜井 亘・村野幸宏・高木利光△厚坂祐次 (1999b): 富士海岸における侵食対策としての動的養浜の効果, 海岸工学論文集, Vol. 46, pp. 676-680.
- 財団法人日本ダム協会 (2000): ダム年鑑 2000, 1526 p.
- 服部千佳志・板生考司・寺田利博・片野明良・黒木敬司 (2001): 遠州・駿河海岸の広域土砂収支, 海岸工学論文集, Vol. 48, pp. 611-615.
- Kraus, N. C., M. Isobe, H. Igarashi, T. O. Sasaki and K. Horikawa (1982): Field experiments on longshore sand transport in the surf zone, Proc. 18th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 969-988.
- Coastal Engineering Research Center (1984): Shore Protection Manual, U. S. Army Corps of Engineers., U. S. Govt. Printing Office, Vol. 1.
- Coastal Engineering Research Center (2002): Coastal Engineering Manual, U. S. Army Corps of Engineers., EM 1110-2-1100, Part III.