

大型造波水路による岸沖漂砂の実験的研究 (2)

——粗砂海浜 ($D_{50}=0.47$ mm) の岸沖漂砂のモデル化——

鹿島 遼一*・清水 隆夫*・丸山 康樹*・斉藤 昭三**

1. はじめに

現在実施中の大型造波水路 (幅 3.4m, 深さ 6m, 長さ 205m) による現地海岸に近い規模での岸沖漂砂実験のうち, 急勾配粗砂海浜 (海浜勾配 $\tan \beta=5/100$, 砂の中央粒径 $D_{50}=0.47$ mm) の実験結果は既に報告した¹⁾. その後, 緩勾配粗砂海浜 ($\tan \beta=3/100$, $D_{50}=0.47$ mm) および急勾配細砂海浜 ($\tan \beta=5/100$, $D_{50}=0.27$ mm) の実験を行った. 本論文ではこれらの実験結果を報告するとともに, 粗砂海浜の岸沖地形変化の簡単なモデル化について述べる. なお, 前回報告した実験ケース 1~8 を整理の都合上 1-1~1-8 と呼びかえることにした.

2. 実験条件

CASE 1-1~1-8 には実験の都合上初期斜面を一樣勾配に整地しなかったケースが含まれていたが, 今回はこれらを除外し, 追加して行ったケースとともに実験条件を表-1に示した. 解析はこれら9ケースについて行った. なお, 一樣水深部の水深は, CASE 2-1~2-3 が 3.5 m, その他が 4.5 m である.

表-1 実験条件

CASE	粒 径 D_{50} (mm)	初期斜面勾配 $\tan \beta$	周 期 T (s)	沖波波高* H_0 (m)	波作用時間 t (hr)
1-1	0.47	5/100	6.0	0.46	20.0
1-3			9.0	0.95	69.5
1-8			3.0	0.85	21.0
2-1		3/100	6.0	1.76	35.0
2-2			9.0	0.73	39.0
2-3			3.1	0.71	29.4
3-1	0.27	5/100	9.1	1.07	71.0
3-2			6.0	1.05	98.1
3-3			12.0	0.65	80.0

* 一樣水深部の実測波高から首藤 (1974) の式で換算した.

3. 岸沖方向断面形

図-1, 2 に追加して行ったケースの岸沖地形変化を示

* 正会員 工修 (財)電力中央研究所 土木技術研究所 環境水利部
海岸水理研究室

** (財)電力中央研究所 土木技術研究所 環境水利部
海岸水理研究室

した. 図中に砕波点を ∇ (波作用開始時) と $\blacktriangledown$ (波作用終了時) で示した. 砕波形式は全ケースで plunging であり, CASE 1-3 でわずかに collapsing の傾向が見られた. Battjes (1974)²⁾ は surf similarity parameter ξ_0 が 0.5 以下で spilling となることを示しているが, 初期勾配を用いて計算した ξ_0 が 0.14 である CASE 2-3 でも明瞭な plunging 型であった. 緩勾配の CASE 2-1~2-3 では 2 次砕波が発生し, 特に CASE 2-1 で顕著であった.

全ケースに bar が形成され, 2 次砕波の著しい CASE 2-1 では第 2 砕波点付近にも bar が形成された. また, CASE 1-8 を除く全ケースで berm の形成が見られた. bar と berm の大小関係を砕波点および汀線の移動方向

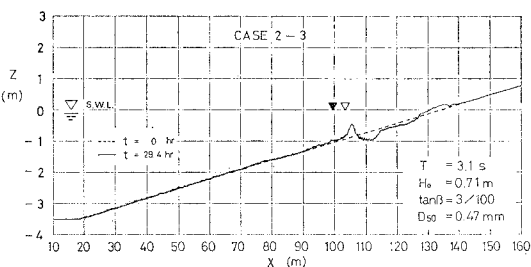
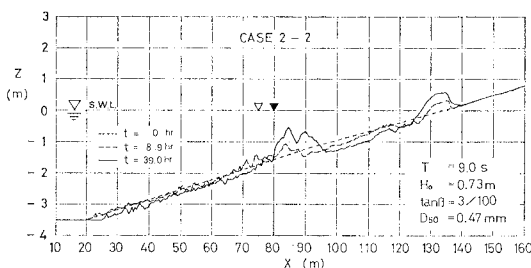
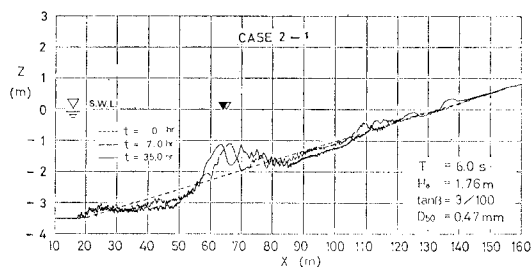


図-1 地形変化 ($D_{50}=0.47$ mm, $\tan \beta=3/100$) (∇ , $\blacktriangledown$ は波作用開始時, 終了時の砕波点)

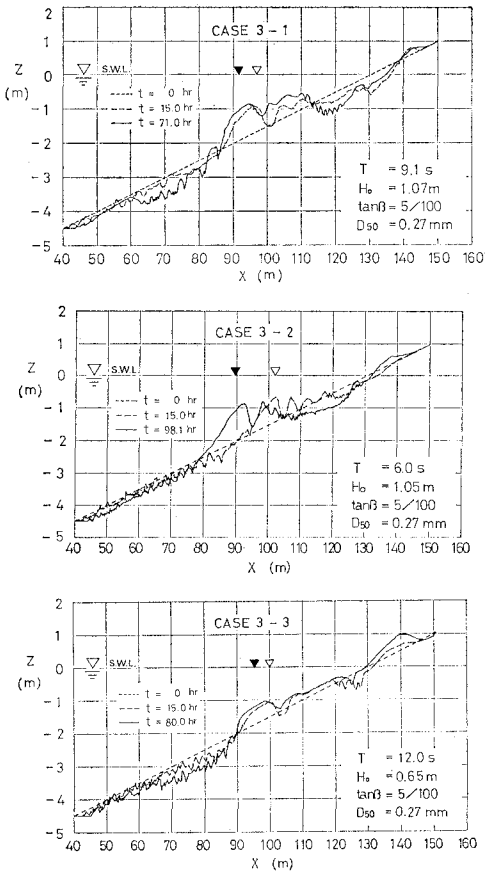


図-2 地形変化 ($D_{50}=0.27\text{ mm}$, $\tan\beta=5/100$)

表-2 bar と berm の大小関係と砕波点・汀線の移動方向

CASE	bar と berm の大小関係	砕波点移動方向*	汀線移動方向*
1-1	同 規 模	→	←
1-3	berm が 卓 越	→	←
1-8	bar が 卓 越	←	停 滞
2-1	bar が 卓 越	停 滞	停 滞
2-2	同 規 模	→	←
2-3	bar が 卓 越	←	←
3-1	bar が 卓 越	←	→
3-2	bar が 卓 越	←	→
3-3	同 規 模	←	←

* 移動方向は → が岸向, ← が沖向

とともに表-2にまとめた。なお、CASE 3-3では波作用開始から約 20 時間後まで汀線が一度後退し、その後波作用 80 時間後までほぼ様な速度で前進したことから、前進と判断した。また、CASE 1-3 と 3-1 は粒径以外の条件がほとんど同一であるが、bar と berm の発達、砕波点・汀線の移動方向が全て逆になった。

従来の室内実験では Sunamura and Horikawa (1974)³⁾に見られるように、細粒・急勾配条件下で砕波点岸側が大

きく侵食されて、砕波帯外に砂が堆積する地形変化が観察されているが、本実験では CASE 3-1~3-3 の全てにおいて砕波点沖側が侵食され、砂は岸側に移動した。

地形変化

が斜面法先

まで及んだ

CASE 2-2

と 3-2 を

除く 7 ケー

スについ

て、顕著な

地形変化が

生じた下限

の水深を従

来の砂の移

動 限 界 水

深⁴⁾と比較

して 図-3

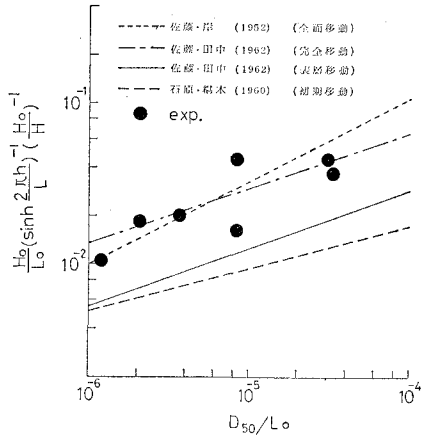


図-3 地形変形限界と砂の移動限界の比較

に示した。変形限界が佐藤・岸 (1952) の全面移動限界あるいは佐藤・田中 (1962) の完全移動限界とほぼ一致していることがわかる。Mizuguchi and Mori (1981)⁵⁾も佐藤・田中 (1962) の式が室内実験に対して最も適用性が高いことを指摘している。

4. 汀線の前進・後退

汀線の前進・後退を Sunamura and Horikawa (1974)³⁾

の指標 C によ

って整理した

結果を 図-4

に示した。勾

配および粒径

の異なるケー

スに対しても

汀線の前進・

後退の境界が

ほぼ $C=18$ で

あり、これは

現地データを

対象とした限

界値に符号する。

CASE 1-8 と 2-1 は後退傾向と推定

されるにもかかわらず汀線の移動が生じなかった。汀線

の前進・後退は沖波よりも汀線付近の波浪特性に大きく

影響される場合があり、CASE 2-1 の場合は顕著な 2 次

砕波が汀線移動に影響したものと思われる。

5. 岸沖漂砂量

連続した 2 時刻の岸沖断面形から砂の連続式によっ

て、岸向きを正と定義した net の岸沖漂砂量 (みかけの

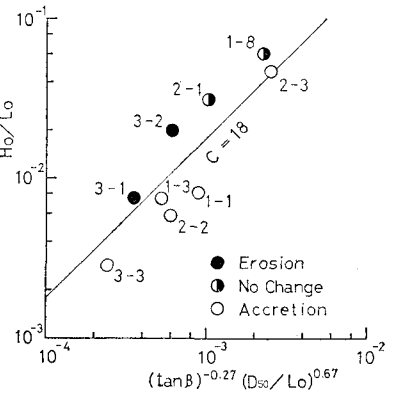


図-4 汀線の前進・後退

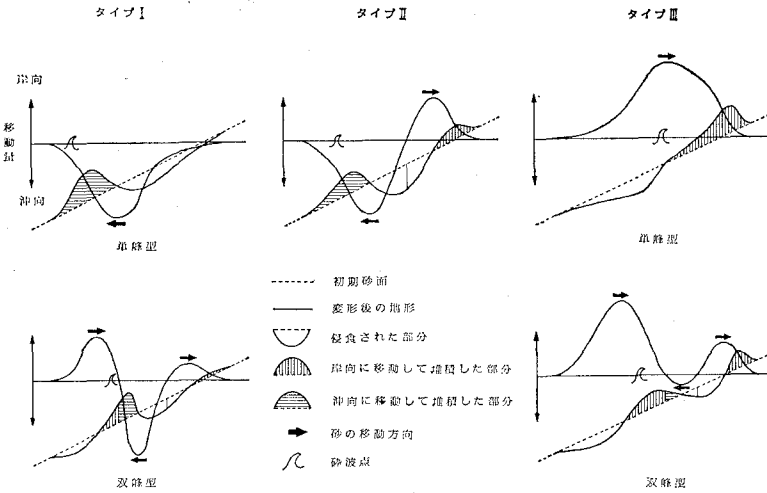


図-5 岸沖漂砂量分布形の分類

体積)を計算した。その結果、漂砂量の岸沖分布形が図-5のように分類された。タイプI(堆積型)とタイプIII(侵食型)の双峰型は時間の経過とともに、それぞれ単峰型に移行する傾向が見られた。なお、タイプI, II, IIIは Sunamura and Horikawa (1974) の地形分類に対応している。また、樫木ら(1979)⁶⁾も実内実験結果を整理して、岸沖漂砂分布形を4種類に分類している。同論文中の Type II-2 が図-5に示したタイプI, IIIの双峰型に相当するものと思われる。しかし、樫木が整理した約60ケースの中で、Type II-2に分類されるケースはわずかに数例である。

各ケースの波作用初期の漂砂量分布形のタイプを汀線の前・後退と同様にCによって整理して、結果を図-6に示した。単峰型・双峰型を問わず、タイプIとタイプIIIの境界はC=18で分類される。図-6を図-4と比較すると、汀線の前・後退傾向よりもむしろ、海浜全体の漂砂特性を指標Cでよく推定し得ることがわかる。

また、単峰型と双峰型を指標Cの一部を構成する因

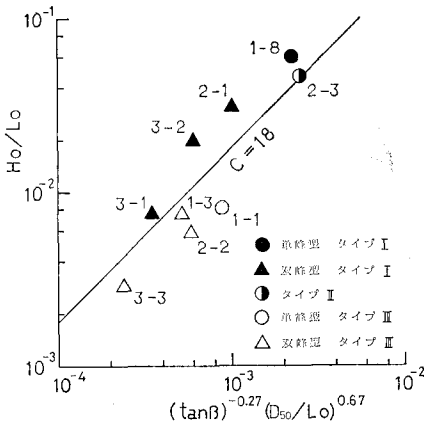


図-6 Cで整理した漂砂量分布形のタイプ

子を用いて判別することができるといわれる。

単峰型: $P > 10^{-3}$

双峰型: $P < 10^{-3}$

ただし,

$$P = (\tan \beta)^{-0.27} (D_{50}/L_0)^{0.67}$$

.....(1)

室内実験では、例えば Sunamura and Horikawa (1974) の例で見るとほとんどのケースが $P > 10^{-3}$ である。室内実験において、双峰型の分布形が現われ難いのは、Pの違いが1つの原因と考えられる。

次に、漂砂量の絶対値を検討

するために、CASE 2-1 と CASE 2-2 について、岸向きを正と定義した無次元漂砂量 Φ と最大シールズ数 Ψ との関係⁹⁾を調べた。ただし、底面最大軌道流速と摩擦係数 f_w (Jonsson and Carlsen (1976)⁷⁾)に含まれる底面最大軌道半径は実測波高から微小振幅波理論により計算した。図-7はCASE 2-2の実測漂砂量分布(みかけの体積)で、沖

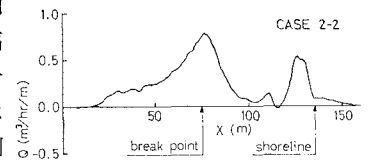


図-7 CASE 2-2の漂砂量分布形(双峰型タイプI)

側の山型分布から Φ を求め Ψ と比較した結果を図-8に示した。 Φ と Ψ の相関は比較的良く、 Ψ に対する Φ の値は渡辺ら(1979)⁹⁾の実内実験結果とオーダー的に近い値となる。なお、図中には渡辺(1981)⁹⁾が示した関係式を表示した。この相関関係はswashによる漂砂と考えられる岸側の山型分布については成立しない。一方、侵食型のCASE 2-1では漂砂量は碎波点前後で正負になり、 Φ の絶対値をとっても Ψ との相関はほとんど見ら

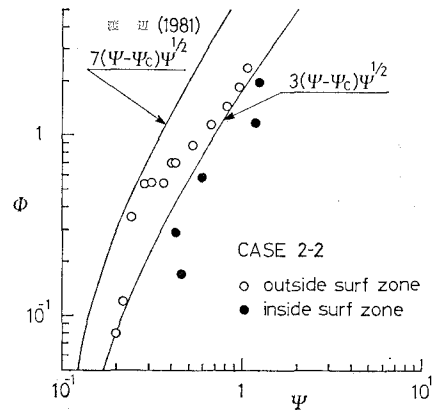


図-8 無次元漂砂量 Φ と最大シールズ数 Ψ の関係

れなかった。ただし、 $\Psi_e=0.11$ とした。

6. 平均流速

平均流速の水平成分は図-9に示したように、砕波帯内では CASE 2-1, CASE 2-2 ともに沖向きであった。その絶対値は侵食型である CASE 2-1 で最大 0.5 m/sec に達するのに対して、堆積型の CASE 2-2 ではかなり小さな値であった。このような平均流速の相違が漂砂量即ち地形変化に強く影響するものと思われる

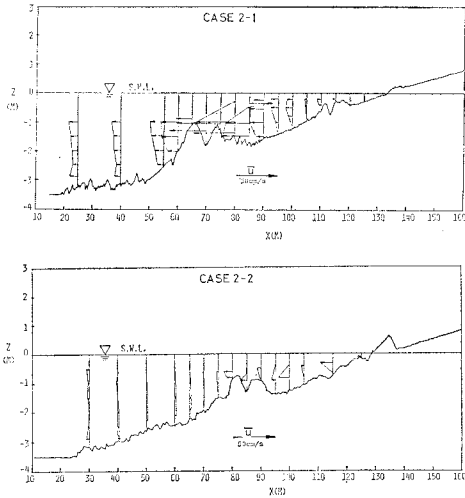


図-9 平均流速の水平成分

7. 簡単な二次元地形変化モデル

流体運動から漂砂量を計算するモデルを開発するためには、流体運動自体の解明が現段階では不十分であることから、波浪条件・海浜条件と漂砂量を直接結びつける簡単なモデルを考えることにした。このようなモデルの一つとして Swart (1974)¹⁰⁾ の D-profile モデルがあり、各実験ケースに適用を試みたが、ほとんど一致しなかった。

ここで提案するモデルは粗砂海浜の実験データに基づくものである。まず、砕波点と静水時汀線を境界として3つの領域、即ち offshore zone, surf zone および swash zone を考える。これら各領域の流体運動は著しく異なり、以下に挙げるような3つの相互に比較的独立な net の漂砂が生じるものと考えられる。

- 1) 主に波の軌道運動の平均型性によって生ずる offshore zone の岸向き漂砂 Q_1
- 2) 主に沖向の平均流速によって生ずる surf zone の沖向き漂砂 $-Q_2$
- 3) 主に波の打上げによって生ずる swash zone の岸向き漂砂 Q_3

これら3つの漂砂量の相対的な強さの違いにより、図-5に示した岸沖漂砂量分布形の各タイプが表現できるように次式を仮定した。

$$Q = Q_1 - Q_2 + Q_3 = A_1 e^{-(x-x_1/B_1)^2} - A_2 e^{-(x-x_2/B_2)^2} + A_3 e^{-(x-x_3/B_3)^2} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 x は汀線から沖向きに定義した距離である。式(2)の右辺の各項は砕波点付近 ($x=x_1$)、surf zone の中央付近 ($x=x_2$)、静水時汀線付近 ($x=x_3$) にそれぞれピーク値 $A_1 \sim A_3$ をもつ。また、それぞれの漂砂量の分布範囲は $B_1 \sim B_3$ により表現される。例えば、 $B_1 \sim B_3$ が $0.2x_B$ (x_B : 砕波帯幅) をとるとき、 $Q_1 \sim Q_3$ の分布形の幅はほぼ砕波帯幅に一致する。

ピーク値 $A_1 \sim A_3$ は次式のように、初期値 $A_{10} \sim A_{30}$ から減衰率 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ で時間的に減衰するものとする。

$$A_1 = A_{10} e^{-\alpha_1 t}, \quad A_2 = A_{20} e^{-\alpha_2 t}, \quad A_3 = A_{30} e^{-\alpha_3 t} \dots \dots \dots (3)$$

減衰率 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ の相違により、5節で述べた漂砂量分布形の双峰型から単峰型への移行を表現することができる。任意時刻の地形は、式(2)を x 方向に微分して得られる水深変化量を初期水深に加えることにより計算することができる。

波作用開始から1時間後の地形も測定しているが、地形変化量が少なく測深精度が相対的に悪くなることから、初期地形と波作用3時間後の測深図から漂砂量を計算し、 $A_{10} \sim A_{30}$ を

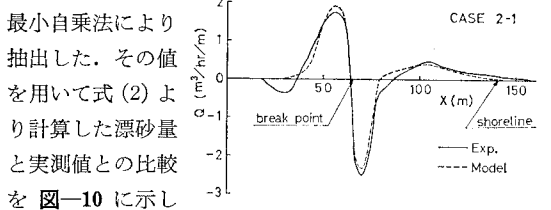


図-10 モデルと実測漂砂量の比較

を 図-10 に示した。他のケースの漂砂量分布形も式(2)で良く表現できることが確認された。

$A_{10} \sim A_{30}$ と実験条件との関係を調べたところ、図-11に示したように、漂砂量分布形を全体として支配する堆

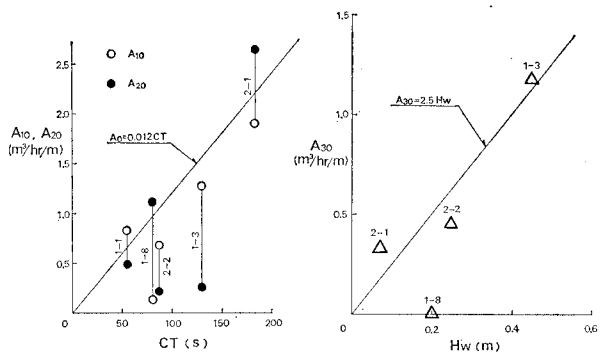


図-11 パラメータ A_{10} , A_{20} , A_{30} の特性

積タイプの A_{10} および侵食タイプの A_{20} については, Sunamura and Horikawa (1974) の指標 C と周期 T の積とに相関が認められた. 一方, swash zone の漂砂量を代表する A_{30} については, 図に示すように静水時汀線における波高 H_w との相関が認められた.

また, 実測した測深図から漂砂量の減衰率を求め, 上記の $A_{10} \sim A_{30}$ の値を用いて計算した. CASE 2-1 の 20 時間後の地形変化と実測地形との比較を 図-12 に示し

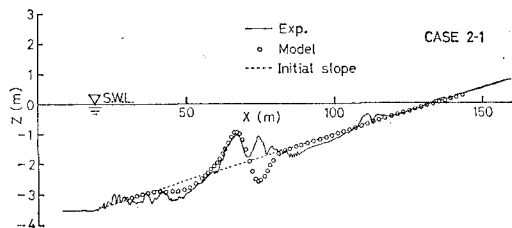


図-12 モデルによる地形変化の計算例

た. このモデルによる結果は bar およびその沖側の地形変化を比較的良く再現するのに対して, 砕波点近くの局所的な地形変化の表現が不十分であり, 今後更に検討する予定である.

8. 結 論

- 1) Sunamura and Horikawa (1974) の指標 C により, 勾配および粒径の異なる海浜の汀線変化を分類できた. 前進・後退の境界値は $C=18$ であった.
- 2) 岸沖漂砂量の分布形が 5 つのタイプに分類された. そのうち, 双峰型として分類される 2 つのタイプは室内実験では観測例が少ない. これらのタイプは 1) と同様に指標 C で分類され, 限界値はやはり $C=18$ であった.
- 3) 地形の変形限界水深が佐藤・岸 (1952) あるいは佐藤・田中 (1962) の現地観測による移動限界水深とほ

ぼ一致した.

- 4) 粗砂海浜の地形変化データに基づき, 岸沖漂砂量の簡単なモデルを提案し, 漂砂量と波浪・海浜条件とをある程度まで結びつけることができた.

現在も細砂 (中央粒径 0.27 mm) の実験を継続中であり, 今後さらに検討を進め, 地形変化予測モデルの完成を目ざしたい.

最後に, 実験およびデータ整理にあたって協力を得た電力技術整備株式会社の吉岡武男・田中良弘両氏に感謝の意を表します.

参 考 文 献

- 1) 鹿島遼一・清水隆夫・丸山康樹・斉藤昭三: 大型造波水路による岸沖漂砂の実験的研究, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 197~201, 1981.
- 2) Battjes, J. A.: Surf similarity, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., pp. 466~480, 1974.
- 3) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two dimensional shore transformation due to waves, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 920~938, 1974.
- 4) 例えば, 堀川清司: 海岸工学, p. 207, 東京大学出版会, 1973.
- 5) Mizuguchi, M. and M. Mori: Modeling of two-dimensional beach transformation due to waves, Coastal Eng. in Japan, J.S.C.E, pp. 155~170, 1981.
- 6) 榎木 亨・出口一郎・岡田 学: 二次元海浜の砕波帯における漂砂移動について, 第 26 回海岸工学講演会論文集, pp. 167~171, 1979.
- 7) Jonsson, I. G. and N. A. Carlsen: Experimental and theoretical investigations in an oscillatory turbulent boundary layer, Jour. of Hydraulic Research, Vol. 14, No. 1, pp. 45~60, 1976.
- 8) 渡辺 晃・利穂吉彦・堀川清司: 二次元海浜変形と岸沖漂砂量分布, 第 26 回海岸工学講演会論文集, pp. 172~176, 1979.
- 9) 渡辺 晃: 海浜流と海浜変形の数値シミュレーション, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 285~289, 1981.
- 10) Swart, D. H.: A schematization of onshore-offshore transport, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 884~900, 1974.