

# 海浜縦断面形状のタイプ分けに関する研究

## Studies on Beach Profile Classification : A Review

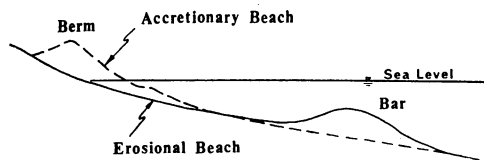
砂村 継夫\*

Tsuguo SUNAMURA

### I はじめに

砂浜海岸は、暴風時と静穏時の波の作用に呼応して侵蝕と堆積とを繰り返している。このような地形変化は beach cycle とよばれ (Shepard, 1963, pp. 177-182), 主要な変化は汀線付近から砕波帯にかけての浅海域で生ずる。暴波の作用で汀線付近の堆積物が沖方向へ運搬された結果、汀線は後退し、運搬された堆積物は砕波帯内にバーを作る (第1図実線)。静穏時になると、このバーは徐々に岸方向へ移動を開始し、前浜には砂が堆積しはじめる。最終的にはバーは岸に付着し welded bar とよばれる地形を作る。さらに条件を整えば、このバーは陸上へ乗上げてバームとよばれる小高いたかまりを作る (第1図破線) と同時に、汀線付近の海面下にはステップとよばれる階段状の地形がしばしば発達する。このステージに至ると、汀線位置は暴波作用前の状態にほぼ戻り、次の暴浪の襲来まで安定した地形が形成される。

このような対照的な地形 (海浜プロファイル) に対して種々の名称が与えられている。現在のところ、暴浪時に形成される地形をバー (bar) 型、静穏時の



第1図 砂浜海岸にみられる二つのタイプの地形 (Sunamura, 1980).

地形をバーム (berm) 型海浜とよぶことが多いが、既往の研究では前者・後者の地形をそれぞれ冬 (winter) 型・夏 (summer) 型海浜 (Shepard, 1963, p.174; Nayak, 1970); 暴風 (storm) 型・正常 (ordinary あるいは normal) 型海浜 (Waters, 1939; Johnson, 1949); バー型・ステップ (step) 型海浜 (Kemp, 1960); 暴風型・静穏 (post-storm) 型海浜 (Hayes and Boothroyd, 1969); 暴風型・うねり (swell) 型 (Komar, 1976, p.290); バーあり (barred) 型・バーなし (nonbarred) 型 (Greenwood and Davidson-Arnott, 1979); エネルギー逸散 (dissipative) 型・反射 (reflective) 型海浜 (Wright and Short, 1984) などと呼んでいるが、基本的にはすべて同じである。

どのような条件を整えば、どちらのタイプの地形が出現するのか—換言すれば、海浜が侵食されるのかそれとも堆積が起こるのかといった問題は1930年代の終りから現在に至るまで主に海岸工学の分野で多くの研究が行われてきている。ここでは、これらの研究を簡単に紹介し、残された問題点を述べる。

### II 従来の研究

室内実験の結果にもとづき、ビーチプロファイルが正常型海浜と暴風型海浜とに大別でき、両者の境界は沖波波型勾配,  $H_0/L_0$ , が

$$\frac{H_0}{L_0} = 0.025 \sim 0.03 \quad (1)$$

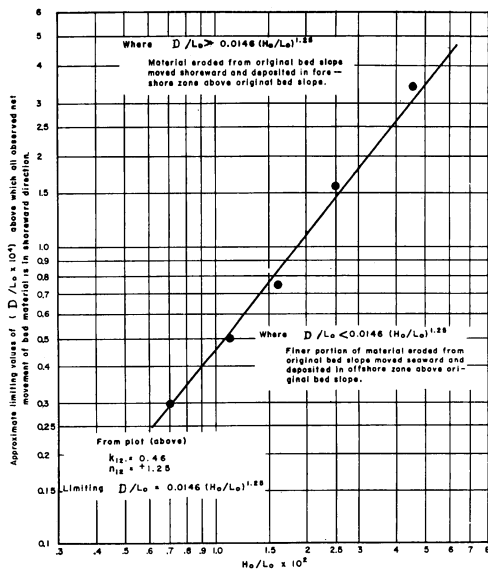
で与えられるとした California 大学の Johnson

\*筑波大学地球科学系

(1949)の研究が先駆的であると思われるが、実は、これより10年も前に Waters (1939) が同大学の修士論文の中で境界値として  $H_0/L_0=0.025$  という値を水路実験の結果から得ている。Johnson のあとに続き、Rector (1954) は、海浜変形の水路実験の結果、海浜形状のタイプ分けには波形勾配だけではなく相対底質粒径（波浪に対する）も重要な要因であることを見出した。これら二つのパラメータを用いて室内実験データを整理したところ二つの海浜型出現の境界は

$$\frac{D}{L_0} = 0.0146 \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{1.25} \quad (2)$$

で与えられるとしている（第2図）。ここにDは底質の粒径、 $L_0$ は沖波波長である。上式の左辺>右辺（図中の直線より上の領域）ならば堆積性海浜、左辺<右辺（下の領域）ならば侵食性海浜が発達すると報告されている。これまで行われてきた小規模な室内実験とは異なり、Saville (1957) は大型水路を用いたプロトタイプの実験を行って  $H_0/L_0=0.025$  よりもかなり小さい値 ( $H_0/L_0=0.0025\sim 0.007$ ) で侵

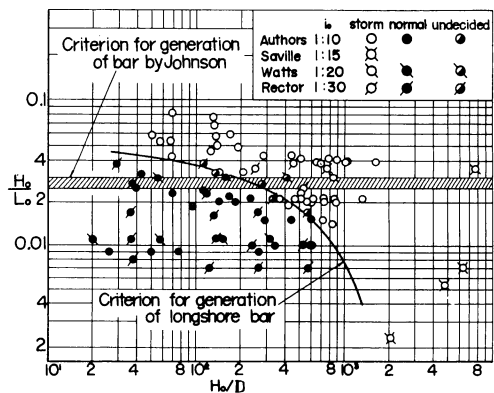


第2図 実験室における岸・沖漂砂の卓越方向 (Rector, 1954)。

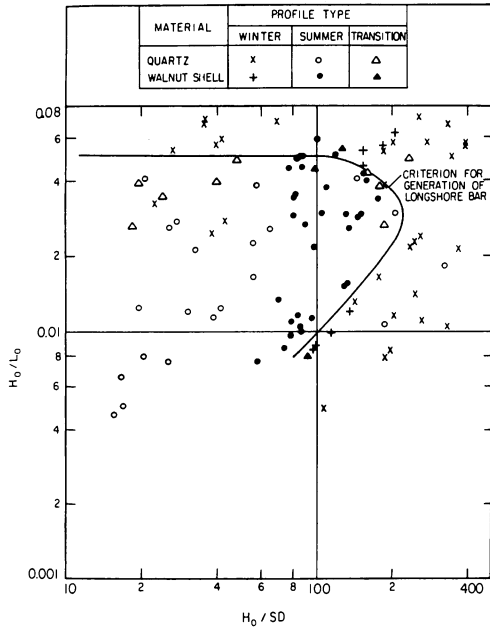
食性海浜が出現することを見出し、小規模な実験にはスケール効果が入ることを指摘した。Iwagaki and Noda (1962) は次元解析より相対粒径として  $H_0/D$  のパラメータを求め、これと  $H_0/L_0$  との組合わせで、彼ら自身の実験データとそれまでに利用可能なデータを整理した（第3図）。図中の曲線が暴風海浜と正常海浜との境界を示す。Johnson (1949) の結果（式(1)）とはかなり異なることがわかる。この図が多くの教科書に引用されている（例えば、佐藤・合田, 1972, p.147; Komar, 1976, p.292; Horikawa, 1978, p.234; 服部, 1987, p.126) ことからみても、Iwagaki and Noda の研究でこの問題は解決されたかのように思われたが、その後も異なるパラメータを用いた研究の成果が続々と公表されている。

第4図は Nayak (1970) の結果で、比重の異なる種々の底質材料を用いた実験を行い、比重Sの効果を導入したパラメータ  $H_0/SD$  を用いてバー地形の発生限界を与える曲線を提示している。第5図は、底質が砂の場合 ( $S=2.65$ ) の Nayak の限界値と前述の Johnson と Iwagaki and Noda の結果とを比較したもので、かなり大きな相異があることがわかる。このことは、これらのパラメータがこの問題を解くに必ずしも適当ではないことを物語っている。

Dean (1973) は、バーが形成されるかどうかは碎波点における底質の浮遊時間が重要であると考え、底質の沈降速度  $w$  を用いた無次元パラメータ  $\pi w/gT$



第3図 実験データによるバーの発生限界 (Iwagaki and Noda, 1962)。



第4図 実験室データによるバーの発生限界 (Nayak, 1970)。

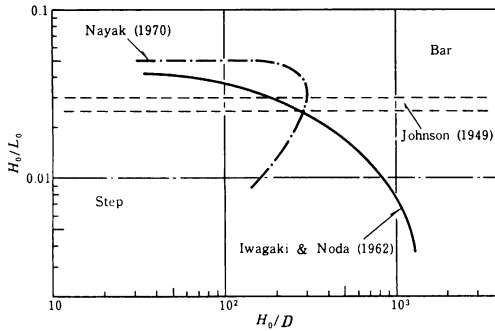
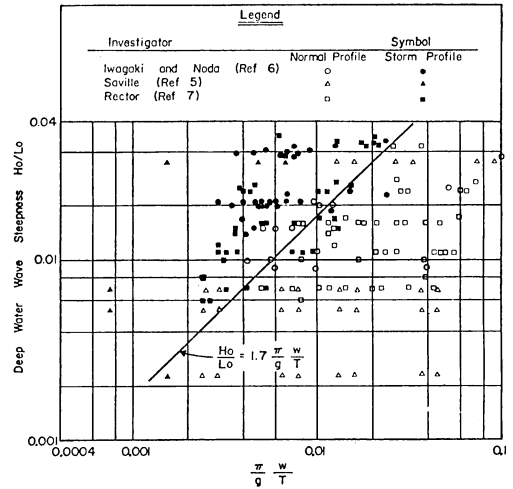


図5図 Johnson (1949), Iwasaki and Noda (1962), Nayak (1970) によるバー発生限界の比較 (Sunamura and Horikawa, 1974)。

を用い、これと  $H_0/L_0$  とを組合せて既往のデータを整理した (第6図)。この図より

$$\frac{H_0}{L_0} = 1.7 \frac{zw}{gT} \quad (3)$$

が暴風型と正常型海浜の境界を与えるとした。Sunamura and Horikawa (1974) は、砕波帯内の



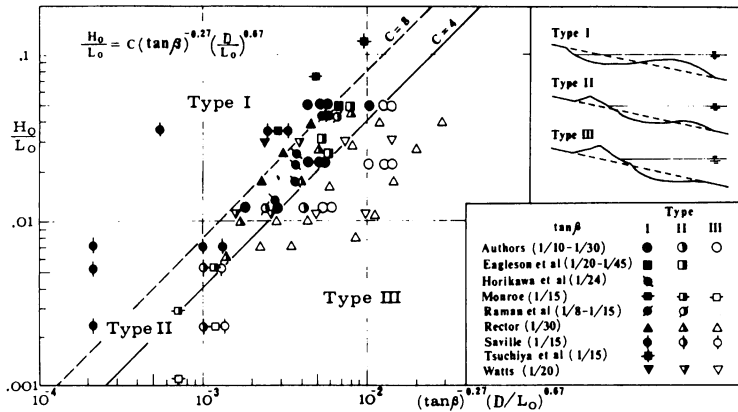
第6図 実験室データによる正常海浜と暴風海浜の区分 (Dean, 1973)。

波数に着目した Kemp (1960) の Phase difference の概念に基づき、初期地形の影響を考慮したパラメータを見出し、既往の実験データをプロットした結果が第7図である。図中の  $\tan\beta$  は初期地形の勾配である。Type I (すなわちバー型海浜) と Type III (バーム型) との境界は次式

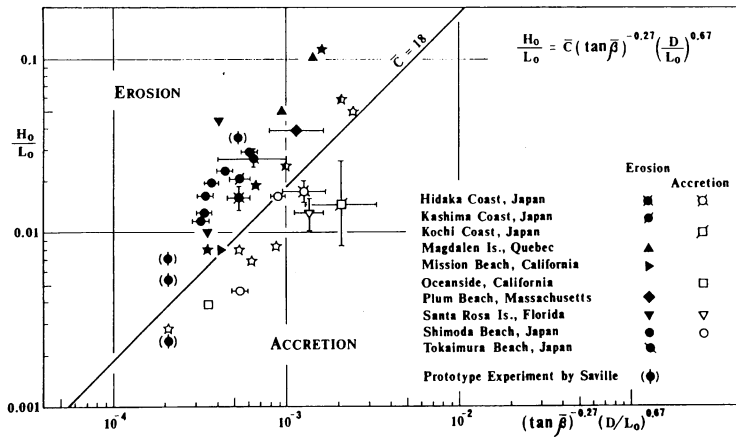
$$\frac{H_0}{L_0} = C(\tan\beta)^{-0.27} \left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67} \quad (4)$$

の中の  $C$  の値が 4 ~ 8 で与えられることを示した。また、この式を用いて現地データおよびプロトタイプの実験のデータを整理した結果 (第8図)、 $C=18$  で現地の侵食型と堆積型海浜とが区分できる (Sunamura and Horikawa, 1974; Sunamura, 1980, 1989)。この場合、現地における  $\tan\beta$  としては水深20m までの平均勾配を採用している。一方、Hattori and Kawamata (1980) は砕波帯内の平均勾配を  $\tan\beta$  とし、 $(H_0/L_0) \tan\beta$  というパラメータと Dean (1973) のパラメータと類似のものを用いて現地データの解析を試みており、侵食性と堆積性海浜の境界は

$$\left(\frac{H_0}{L_0}\right) \tan\beta = 0.5 \frac{w}{gT} \quad (5)$$



第7図 実験室データによる三つのタイプの海浜プロファイルの区分 (Sunamura and Horikawa, 1974).



第8図 現地データおよびプロトタイプ実験のデータによる侵食性海浜と堆積性海浜の区分 (Sunamura, 1989).

で与えられることを示した (第9図)。上式中の定数は、このままで実験室のデータにも適用できるとしている。

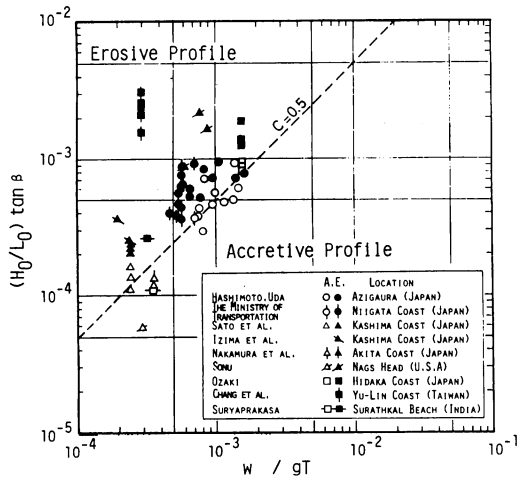
武田・砂村 (1982) は、沖波波高の代わりに碎波波高、 $H_b/gt^2$ と  $D/H_b$ という二つのパラメータで茨城県那珂海岸のデータを解析している。Welded barの状態を中立のステージと考え、この状態からバー地形あるいはバーム地形が発達する条件を求めている (第10図)。すなわち

$$\frac{H_b}{gT^2} = K \frac{D}{H_b} \quad (6)$$

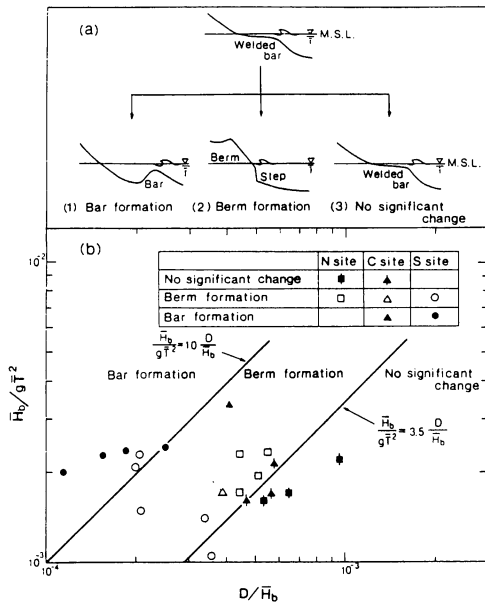
において、 $K > 10$ ならばバー地形の、 $3.5 < K < 10$ ならばバーム地形の発達がみられる。一方、オーストラリア各地の砂浜海岸における調査結果から、Wright and Short (1984) は  $H_b w/T$  という単一のパラメータで堆積性 (reflective) の海浜と侵食性 (dissipative) の海浜の出現を規定できることを示した (第11図)。すなわち

$$\begin{aligned} H_b w/T < 1 : \text{堆積性} \\ H_b w/T > 6 : \text{侵食性} \end{aligned} \quad (7)$$

Kriebel *et al.* (1986) は、Dean (1973) のパラメータを用いてプロトタイプ実験のデータを整理し

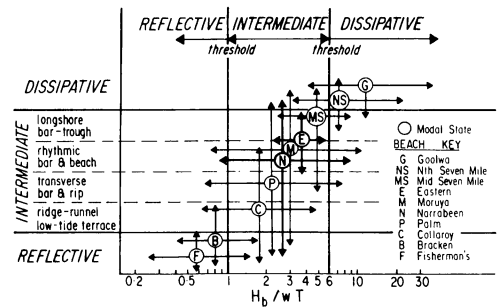


第9図 現地データによる侵食性海岸と堆積性海岸の区分 (Hattori and Kawamata, 1980).

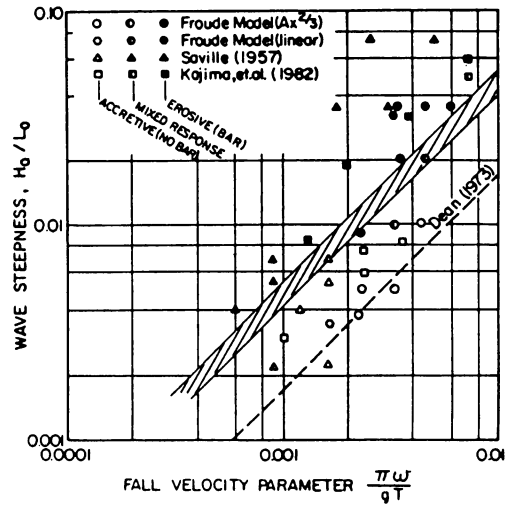


第10図 現地データによるバー型海岸とバーム型海岸の発生条件 (武田・砂村, 1980).

た結果、式(3)中の定数1.7を4~5に変えることにより、侵食性(バーが発達する)海岸と堆積性(バーが発達しない)海岸とを区分できると報告している(第12図)。Larson et al. (1988) はプロトタイプ実



第11図 オーストラリア各地における侵食性(dissipative)海岸と堆積性(reflective)海岸の区分 (Wright and Short, 1984).



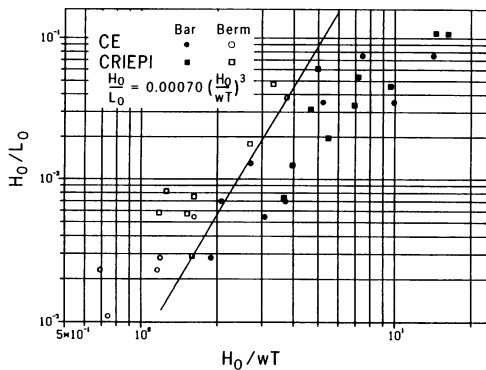
第12図 プロトタイプ実験データを用いた侵食性海岸と堆積性海岸の発生条件 (Kriebel et al., 1986).

験のデータのみを用いて、この問題に取り組んでいる。彼等は、 $H_0/L_0$ 以外に新しいパラメータとして  $H_0/wT$  を導入して(このパラメータは式(3)より求められる)。これら二つのパラメータでバー型海岸とバーム型海岸との出現条件を明らかにした(第13図)。両者の地形は

$$\frac{H_0}{L_0} = 0.0007 \left( \frac{H_0}{wT} \right)^3 \quad (8)$$

で明瞭に区分できる。

最近の10年間は、小規模実験データを用いた研究



第13図 プロトタイプ実験データを用いたバー型海浜とバーム型海浜の区分 (Larsonetal., 1988).

はほとんど影をひそめ、現地データや大型水路によるプロトタイプ実験のデータを用いた検討が行われていることがわかる。

### III 今後の問題点

いずれの既往の研究もかなり満足のできる結果を与えていると言えるが、共通のデータを用いた各パラメータ（あるいはそれらの組合せ）の妥当性についてはまだ行われていない。現地データの取得が困難な現状（特に、高波浪時の地形データ）では、大型水路実験で得られたデータ (Savill, 1957; Kajima et al., 1982; Kraus and Larson, 1988) を用いた妥当性の検討が望まれる。

バー型あるいはバーム型海浜という特徴的な地形は、砕波帯内の砂が移動した結果形成されるものである。すなわち前者の地形は沖向きの砂移動が、後者の地形に対しては岸向きの漂砂が関与していることは明かである。したがって、本来ならば、このような砂移動の卓越方向を規定できるようなパラメータを Sediment dynamics に基づいて求め、これを用いて地形のタイプ分けの問題が解決されなければならない。しかし、上述してきた既往の研究にみられるパラメータはこのようなアプローチから求められたものではなく、いずれもかなりその物理的意味が希薄である。砂村 (1984) は、砕波帯内にトレイ方式の漂砂量測定法 (砂村, 1982) を適用し、ここから得られた結果を変形して式(6)中の  $K (=H_0^2/g T^2$

D) を導き出しているが、このパラメータの妥当性についてはまだ十分な検討が行われていない (Sunamura, 1989)。

海浜形状のタイプ分けの研究が開始されてからすでに半世紀が経過した。もうそろそろ Sediment dynamics に基礎をもつパラメータを探索すべき時期に来ていると思われる。

### 文 献

- 佐藤昭二・合田良実 (1972) : 海岸・港湾. 彰国社, 東京, 372p.
- 砂村継夫 (1982) : 浅海域の岸沖漂砂量に関する実験的研究. 第29回海岸工学講演会論文集, 239-243.
- 砂村継夫 (1984) : Swash zone を含む砕波帯の岸沖漂砂量に関する研究. 第31回海岸工学講演会論文集, 316-320.
- 武田一郎・砂村継夫 (1982) : バームの形成条件と高さ, 地形, 3, 145-157.
- 服部昌太郎 (1987) : 海岸工学, コロナ社, 東京, 230p.
- Dean, R. G. (1973) : Heuristic models of sand transport in the surf zone. *Proc. Conf. on Engineering Dynamics in the Surf Zone*, Sydney, 208-214.
- Greenwood, B. and Davidson-Arnott, R. G. D. (1979) : Sedimentation and equilibrium inwave-formed bars : a review and case study. *Canadian Jour. Earth Sci.*, 16,312-332.
- Hattori, M. and Kawamata, R. (1980) : Onshore-offshore transport and beach profile change. *Proc. 17th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1175-1193.
- Hayes, M. O. and Boothroyd, J. C. (1969) : Storms as modifying agents in the coastal environment. Hayes, M.O. ed. : *Coastal Environment*. NE Massachusetts, Dept. Geol., Univ. Massachusetts, Amherst, 270-315 (cited in Komar, 1976, p. 290).
- Horikawa, K. (1978) : *Coastal Engineering*. Univ. Tokyo Press, Tokyo, 402p.
- Iwagaki, Y. and Noda, H. (1962) : Laboratory study of scale effects in two-dimensional beach processes. *Proc. 8th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 194-210.
- Johnson, J. W. (1949) : Scale effect in hydraulic models involving wave motion. *American Geophys. Union, Trans.*, 30, 517-525.

- Kajima, R., Shimizu, T., Maruyama, K. and Saito, S. (1982) : Experiment on beach profile change with a large wave flume. *Proc. 18th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1385–1404.
- Kemp, P. H. (1960) : The relationship between wave action and beach profile characteristics. *Proc. 7th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 262–277.
- Komar, P. D. (1976) : *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J., 429p.
- Kraus, N. C. and Larson, M. (1988) : Beach profile change measured in the tank for large waves, 1956–1957 and 1962. *Coastal Eng. Res. Center, Tech. Rept., CERC–88–6*.
- Kriebel, D. L., Dally, W. R. and Dean, R. G. (1986) : Undistorted Froude model for surf zone sediment transport. *Proc. 20th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1296–1310.
- Larson, M., Kraus, N. C. and Sunamura, T. (1988) : Beach profile change : morphology, transport rate, and numerical simulation. *Proc. 21st Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1295–1309.
- Nayak, I. V. (1970) : Equilibrium profiles of model beaches. *Proc. 12th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1321–1340.
- Rector, R. L. (1954) : Laboratory study of equilibrium profiles of beaches. *U.S. Army Beach Erosion Board, Tech. Memo*, No. 41.
- Saville, T. (1957) : Scale effects in two–dimensional beach studies. *Trans. 7th Meeting Int. Assoc. Hydraulic Research*, A3–1.
- Shepard, F. P. (1963) : *Submarine Geology*. Harper & Row, New York, 557p.
- Sunamura, T. (1980) : Parameters delimiting erosion and accretion of natural beaches. *Ann. Rept., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, No. 6, 51–54.
- Sunamura, T. (1989) : Sandy beach geomorphology elucidated by laboratory modeling. Lakhan, V. C. and Trenhaile, A. S. ed. : *Applications in Coastal Modeling*, Elsevier, Amsterdam, 159–213.
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974) : Two–dimensional beach transformation due to waves. *Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 920–938.
- Waters, C. H. (1939) : *Equilibrium slope of sea beaches*. Unpublished M. S. Thesis, Univ. California, Berkeley.
- Wright, L. D. and Short, A. D. (1984) : Morphodynamic variability of surf zones and beaches : a synthesis. *Marine Geol.*, **56**, 93–118.