

粗粒径材料を用いた養浜の効果に関する実験的研究

Experimental Study on Effect and Advantage of Beach Nourishment using Coarse Sand

浅野泰史¹・佐藤慎司²・劉海江³・高川智博⁴

Taishi ASANO, Shinji SATO, Haijiang LIU and Tomohiro TAKAGAWA

A series of laboratory experiments were conducted on the performance of coarse sand nourishment on a fine sand beach. Beach profiles were measured for two cycles of high waves and moderate waves. The movement of coarse sand nourished on the shore was found to be classified in terms of the C parameter proposed by Sunamura and Horikawa (1974). Coarse sand nourishment was found to be effective, even in the case coarse sand was moved offshore, since coarse sand contributed to the decrease in offshore-ward sand transport rates through the stabilization of the sand bar at the breaker point.

1. はじめに

養浜工は、環境・景観に配慮した砂浜海岸の侵食対策として、導入事例が増えつつあるが、養浜材に細粒分が多い場合には、波浪の影響により沖に流出し、侵食対策として安定した効果を発揮しないとされている。そこで、従来の養浜材よりも粒径の大きい粗粒材を用いて養浜工を行う侵食対策も現地で行われている。石井ら(2006)は、粒径2.5mmから13mmの礫を用いた養浜の現地試験を行い、元々の海浜砂が細砂である神向寺海岸では、投入礫が汀線付近に留まり、海岸護岸の根固めとして機能し続けることを報告している。

しかし、現地の海岸は、複雑な波・流れのもとで岸沖方向、沿岸方向の漂砂が、複雑に重合しあい、投入した養浜砂の挙動を正しく記述することは非常に困難である。一方で、養浜工をさらに効果的・効率的に実施するには、粒径の異なる養浜材料の挙動を正しく把握することが必要である。そこで本研究では、粗砂養浜に着目し、変動する波浪条件のもとで、海浜縦断地形変化に与える影響を実験により解明することを目的とした。具体的には、一定勾配の初期模型海浜に対し、波高、周期、作用時間の波浪条件を変化させ、「養浜なし」、「細砂養浜」、「粗砂養浜」の3つの養浜条件を設定し、それらを組み合わせた条件のもとで海浜縦断面変形実験を行う。そして、粗砂養浜が地形変化特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、波浪条件による粗砂養浜の汀線防護効果や沖向き漂砂低減効果に関する分析を行い、粗砂養浜の効果を

明らかにすることを目的とした。

2. 実験の概要

実験には、図-1に示した長さ30m、深さ0.8m、幅0.6mの二次元造波水路を用いた。造波板の位置の底面を原点とし、岸沖方向をX軸、鉛直方向をY軸とし、それぞれ岸方向を正、上方向を正とした。水槽に中央粒径 $d=0.24\text{mm}$ の細砂を勾配 $\tan\beta=1/10$ になるように敷き詰めた。水槽の側面は、 $X=12\text{m}$ より岸側が、ガラス張りになっており、波動、砂の挙動、海浜縦断形状を、デジタルカメラを用いて一定時間間隔で記録した。また水路は、ガラス面より15cmの幅で、ステンレス板で仕切っており、本実験はこの幅15cmの部分を用いた。また、一樣水深部の水深は30cmで一定とした。粗砂には粒径1.0mmの赤色着色砂を用い、養浜条件は、養浜なし、細砂養浜、粗砂養浜の三つを基本とした。養浜の投入位置は、静水汀線である $X=15.6\text{m}$ を挟む40cmの区間とした。

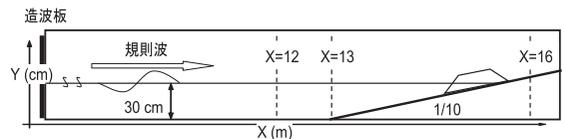


図-1 二次元造波装置

波浪条件は、図-2に示した様に、規則波の波高・周期を変化させて高波浪と低波浪を繰り返す条件とし、1ケースにつき高波浪を100分、低波浪8時間のサイクルを2サイクル作用させた。行った5ケースの波高、周期は、Sunamura・Horikawa(1974)による海浜地形の分類に応じて選び、海浜形状のタイプを粒径0.24mmの細砂に対するC値と並べて表-1に掲げた。以下では、初期時点A、各波浪作用後の時点B、C、D、Eと表記し、養浜はAで行い、また粗砂養浜を行った場合では、Eで直径2cm

1	修(工)	株式会社 日本政策投資銀行
2	フェロー 工博	東京大学工学系研究科教授 社会基盤学専攻
3	正会員 Ph. D.	東京大学工学系研究科准教授 社会基盤学専攻
4	正会員 博(理)	東京大学工学系研究科助教 社会基盤学専攻

のアクリルパイプを砂層に貫入して、地形変化区間を岸沖方向に10cmおきにサンプリングし、これを乾燥させた後、ふるい分けて粗砂の分布率(含有率)を測定した。また、最終地形においては、水槽から水を抜き、砂層表面を撮影することにより、粗砂の被覆率を算定した。

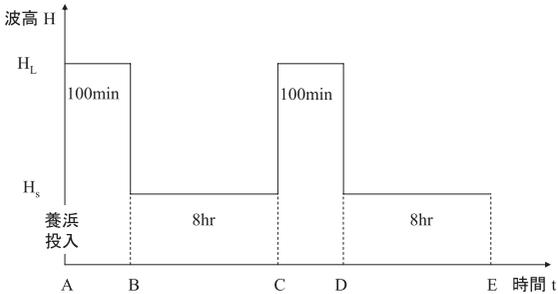


図-2 波高と時間

表-1 各ケースにおける波浪条件

case	高波浪			低波浪		
	T(s)	H _L (cm)	C値	T(s)	H _S (cm)	C値
1	1.0	10.9	13.4	1.0	2.1	2.6
2	1.0	11.2	13.9	1.5	2.0	1.9
3	1.5	11.1	10.5	1.5	2.0	1.9
4	1.5	11.2	10.5	1.5	4.3	4.1
5	1.5	7.2	6.8	1.5	4.3	4.1

C値は粒径0.24mmの細砂に対する値

3. 実験結果と考察

(1) 岸沖漂砂量と粗砂の移動特性

図-3は、碎波点に形成されるバー付近に堆積した粗砂を示したものである。赤く着色した粗砂が3cm程度の層を形成して細砂に覆われるように堆積していることがわかる。このようにガラス側壁を通して着色砂の移動状況を観察することにより、すべてのケースで移動履歴を記録した。岸沖漂砂量(岸向き漂砂を正)は、岸側の地形変化限界点であるX=16.8mから地形変化を積分することにより求めた。粗砂の挙動を大別すると、a)一回目の高波浪で大きく沖へ移動するとともにバー付近に堆積し、その後の波浪では顕著な移動がみられない場合(case1, case2, case3), b)粗砂の岸沖移動が激しい場合(case4), c)粗砂の岸沖移動がほとんどない場合(case5)に分類できた。以後ではそれぞれの場合について、岸沖漂砂量の時空間変化とともに、粗砂サンプリングのデータなどを比較し、波浪条件と粗砂の挙動との関係を考察する。

a) 粗砂がバー付近に堆積する場合

図-4は、case1の粗砂養浜の挙動の観察結果、「養浜なし」、「細砂養浜」、「粗砂養浜」のそれぞれに対する岸沖

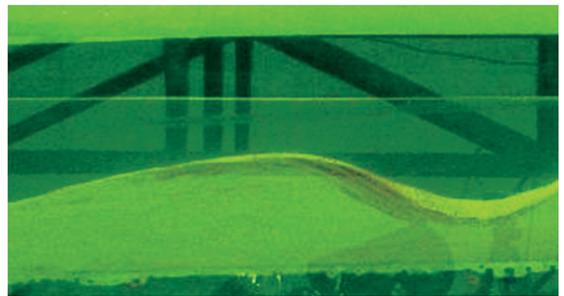


図-3 粗砂がバーに堆積する様子 (X=14.5m)

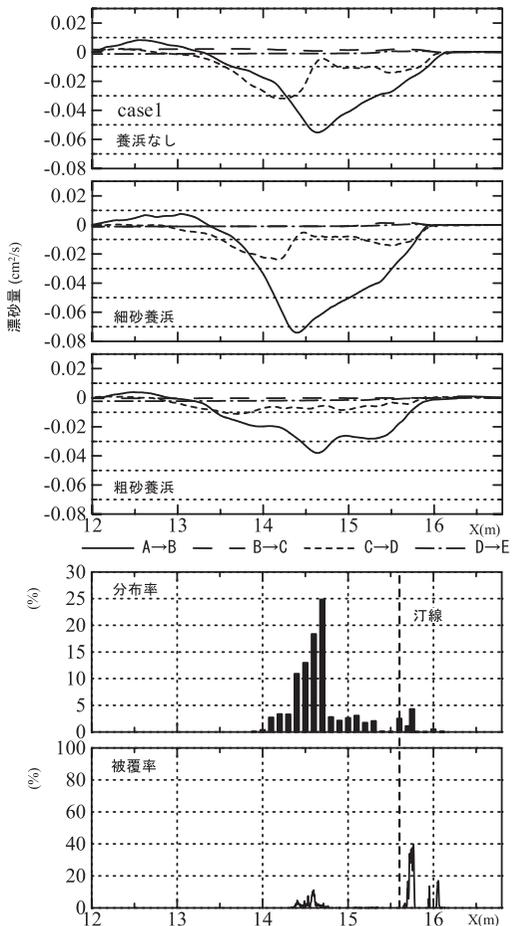
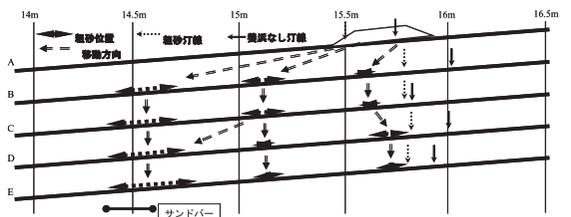


図-4 粗砂移動特性と漂砂量 (case1)

漂砂量, サンプリングから推定された粗砂の分布率, 底面表面の粗砂被覆率を示したものである. 粗砂の挙動の観察結果を見ると, 一回目の高波浪作用後すぐに粗砂は前浜付近からバー付近に移動し, その後の波浪の作用ではほとんど移動しなかったことがわかる. また, 岸沖漂砂量を見ると, 養浜なし, 細砂養浜の場合と比べ, 粗砂養浜を行った場合, 一回目の高波浪作用時 (A→B) の沖向きの漂砂量が特に小さくなっている. 沖向き漂砂量の値は, 粗砂養浜を行った条件では細砂養浜を行った条件に比べてほぼ半減しており, 粗砂養浜が, 海浜全体の沖向き漂砂量を低減させる効果があったと言える. 二回目の高波浪 (C→D) においても, 粗砂養浜の条件では, 養浜なしおよび細砂養浜の場合に比べ, 50%以上沖向き漂砂量が減少していた. すなわち, case1では養浜された粗砂は一回目の高波浪の作用により早い段階で沖に流出したが, 継続的にバー付近に堆積し, 波浪の碎波を促すとともに浮遊砂の発生を抑制することにより海浜全体の侵食を防ぐ効果があったと言える. また, 細砂養浜の条件における岸沖漂砂量分布は養浜なしの条件におけるものとほとんど差がないことがわかる. これより以後の実験ケースにおいては, 粗砂が岸沖方向に大きく移動したcase4を除いて細砂養浜の実験は実施しないこととした.

静穏波の周期をcase1より0.5秒長くしてC値を小さくするとともに底面流速を増大したcase2においても, 粗砂の挙動と岸沖漂砂量は, 図-5に示したように, case1と同様であった. 二回目の高波浪で, バー付近 (X=14.5m) の粗砂はほとんど移動しなかったが, X=15.5m付近に堆積していた粗砂は, 若干の移動が観察された. 粗砂養浜を行った場合での一回目の高波浪による沖向き最大漂砂量は養浜なしと比較し, 約20%減少している. これらからcase2における粗砂養浜の効果は, case1と同様で, 粗砂は高波浪時にバー付近に卓越的に堆積し, 養浜なしの場合と比較して沖向き漂砂を低減する効果があったといえる.

高波浪の周期も1.5sとしたcase3においても粗砂養浜の挙動と効果は, 図-6に示したように, case1, case2と同様であることが確認された. 以上より, case1~case3では, 粗砂はバー付近やバーと汀線の間付近に堆積し, 高波浪の作用時には, 海浜地形の基盤となって碎波を促すとともに浮遊砂を抑制することにより沖向き漂砂量を低減し, 侵食を緩和する効果があったと考えられる. 粗砂は投入地点からすぐに流出してしまうので, 養浜の効果としては直接的な効果を確認しづらいケースであるが, 沖合に流出した粗砂が侵食を緩和する間接的な機能を有していることが確認された. また, これらの条件における沖合での粗砂の分布率と被覆率を見ると, 沖合では特に, 分布率に比べて被覆率が小さいことがわかる.

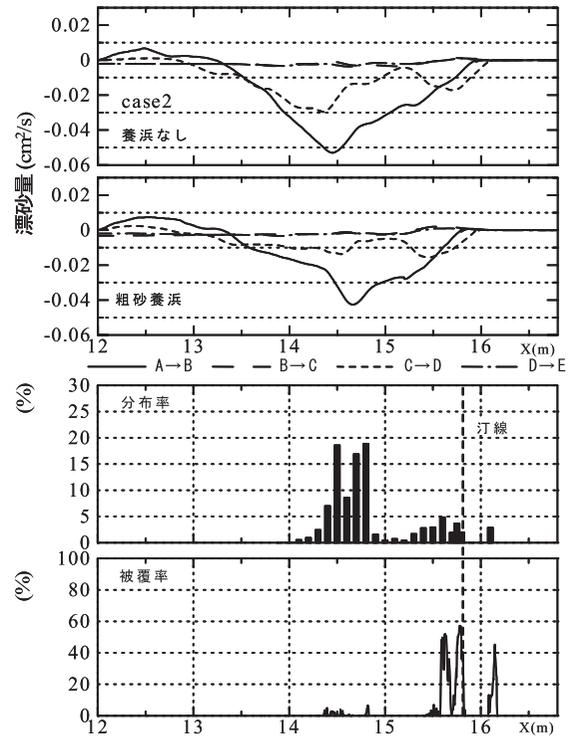


図-5 粗砂移動特性と漂砂量 (case2)

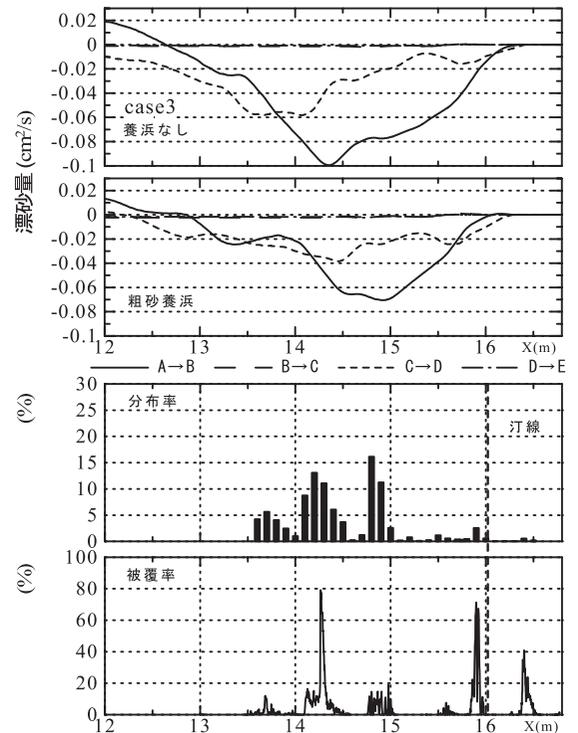


図-6 粗砂移動特性と漂砂量 (case3)

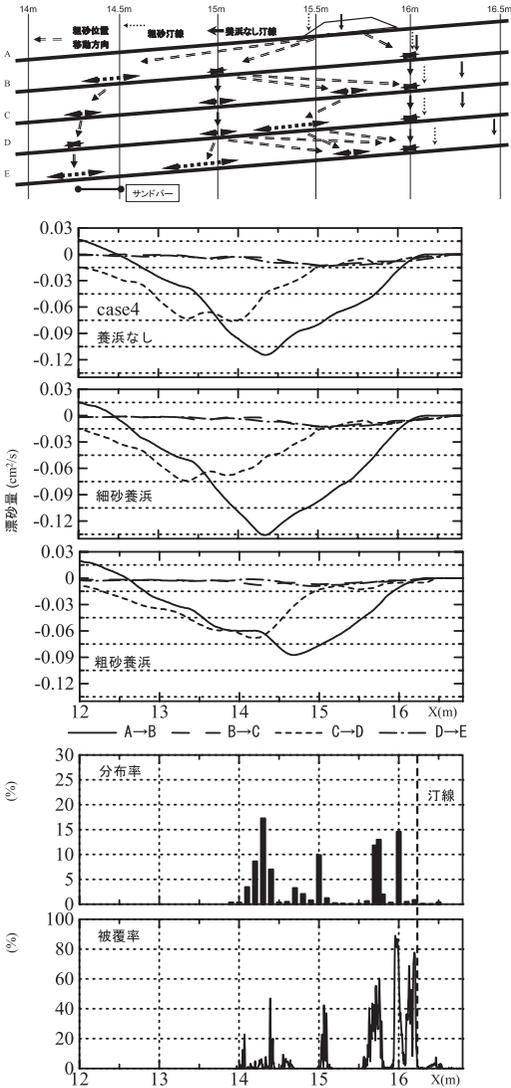


図-7 粗砂移動特性と漂砂量 (case4)

すなわち, a) の条件でバー付近に堆積する粗砂は, 静穏波の作用後には特に, 表面に露出するのではなく, 地中部に隠れている傾向にあることがわかる. 粗砂養浜の生態系への影響を考えるうえで, 表層底質の粒径が重要であり, 粗砂が沖合に移動した条件においても, 表面は細砂で覆われる事例が多いことは注目すべきである.

b) 粗砂が岸沖方向に活発に移動する場合

case4での粗砂養浜は, 1回目の高波浪で沖側に流出し, 低波浪で, バー付近の粗砂がやや沖側の範囲へ, 15m付近の粗砂の一部は岸向きに運ばれ, 前浜付近と, 16m付近に移動していった. 2回目の高波浪では, 前浜付近の粗砂はやや沖側に移動し, バー付近にあった粗砂も同様, やや沖側へと動いた. 2回目の低波浪では, 15.2mから

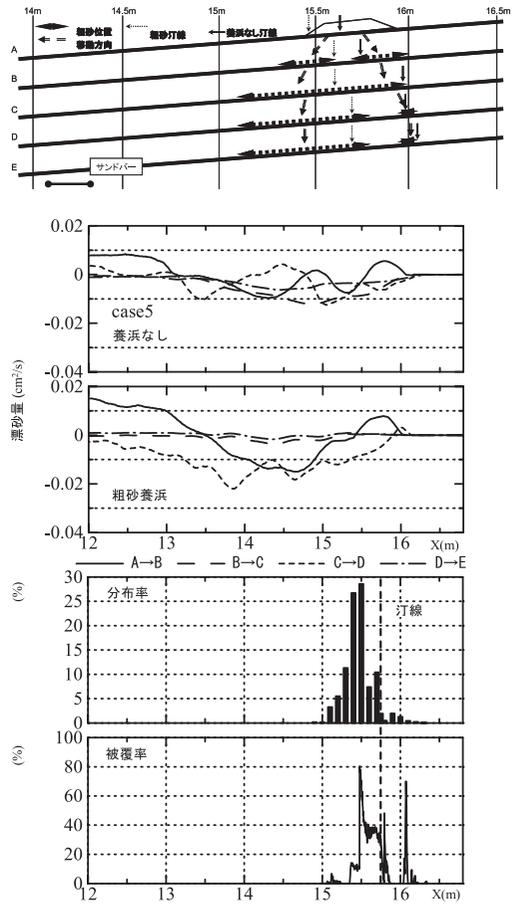


図-8 粗砂移動特性と漂砂量 (case5)

15.6mにあった粗砂と, 15m付近の粗砂の一部が, 岸側に運ばれ, 前浜付近, および16m付近に堆積した.

図-7の岸沖漂砂量を参照すると, 高波浪時の沖向き漂砂量は, 粗砂養浜では, 養浜なしや細砂養浜を行った場合と比較し, やや減少しており, 侵食防止効果があったことがわかる. 一方, 低波浪の作用時に粗砂が岸側に戻ってきたことにより, 養浜なし, 粗砂養浜の場合と比べ, 汀線の後退が著しく小さくなり, 養浜なし, 細砂養浜の場合には, それぞれ22cm, 21cm後退したが, 粗砂養浜では10cmであり, 汀線のさらなる後退を防ぐ効果があった.

以上より, case4では, 高波浪で粗砂がX=15m付近に流出したが, 粗砂の一部が低波浪により岸方向に戻され, これが汀線付近での侵食を抑制したため, 養浜をしない場合や細砂養浜を行った場合に比べ, 海浜防護効果があったと考えられる. これは, 粗砂養浜の直接的な効果と言える. したがって, case4では, 前述の粗砂養浜の間接的な効果に加えて, 低波浪により岸側に戻ってきた粗砂の直接的な侵食緩和機能も確認されたことになる.

c) 粗砂の移動がほとんど見られない場合

case5での粗砂養浜は、図-8に示した様に波浪の作用中、ほぼ汀線付近や前浜付近に留まっていた。このような波浪条件下での粗砂養浜は、高波浪と低波浪のどちらにおいても、汀線後退を緩和する直接的な機能を有していることになる。また最終地形における粗砂は、遡上帯の海側に集中する傾向があり、遡上帯の岸側では分布率も被覆率も小さかった。メカニズムの詳細は不明であるが、遡上帯における細粗混合底質の選択的な移動を表すものとして興味深い。

(2) 粗砂の移動条件

これまでの分析から粗砂養浜は、主として高波浪時における粗砂の挙動に応じて、直接的または間接的に侵食を緩和する効果を有していることが確認された。図-9は、各ケースでの波浪条件における、粗砂に対するC値をプロットしたものである。case1からcase4の高波浪は、海浜地形の分類で中間型になっており、case5のみが堆積型になっている。case1からcase5で、1回目の高波浪を作用させた結果、case1からcase4は、沖側のバー付近まで流出したが、case5では前浜付近に留まったままであった。この差は、粗砂に対するC値が、波浪条件によって異なっていたためと考えられる。

また、1回目の高波浪で粗砂が沖に流出したcase1からcase4のうち、case1からcase3の低波浪では、粗砂は岸側にほとんど戻らなかったが、case4では粗砂が前浜付近まで戻ってきた。case4では、case1からcase3と比較し、低波浪のC値が1.57とやや大きいためと考えられる。以上、高波浪と低波浪それぞれにおける粗砂に対するC値と粗砂の移動状況を総合すると、本実験の条件では、粗砂に対するC値が、2から3程度であれば、沖に移動した粗砂が、前浜付近まで戻ってくると判断される。

4. おわりに

本研究の主要な結論は、以下の通りである。

- (1) 粗砂養浜は、汀線付近の侵食を緩和させる直接的な機能を有している。
- (2) 粗砂養浜は沖方向に流出する場合があるが、その場合でも主としてバー付近に分布し、沖向き漂砂を低減

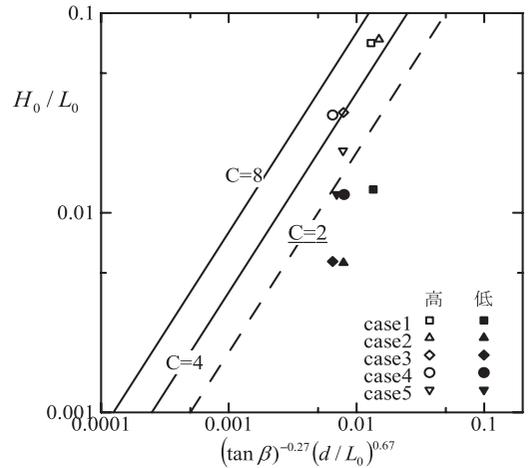


図-9 粗砂（粒径1mm）に対するC値

することで海浜の侵食を緩和する間接的な機能も有している。これらから、粗粒径材料による養浜は砂礫互層の創出を通じて、動的な土砂移動を許容しながら安定な海浜を形成し、海浜の防災力を向上させることが明らかとなった。

- (3) 以上二つの効果が発揮されるような波浪条件は粗砂に対するC値を用いて分類できる。

実験ケースを増やすことと縮尺効果の小さい大規模水槽で現象を確認することが今後の課題である。本研究は、科学技術振興調整費重点課題解決型研究による研究成果の一部であることを付記する。

参考文献

- 石井秀雄・中村友和・宇多高明・大木康裕・熊田貴之・芹沢真澄（2006）：茨城県神向寺海岸での粗粒材養浜による砂浜の安定化に関する現地実験，海洋開発論文集，第22巻，pp.887-892
- Sunamura, T. and K. Horikawa (1974): Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.920-938.
- 砂村継夫・倉田雄司（1981）：時間的に変化する波浪を用いた海浜変形に関する二次元実験，第28回海岸工学講演会論文集，pp.222-226.