

# 養浜材料の質の評価に向けた養浜と海浜の変形に関する模型実験

## Physical Model Test of the Deformation of Beach Fill and Natural Beach for the Evaluation of Fill Material Quality

野口賢二<sup>1</sup>・福濱方哉<sup>2</sup>

Kenji NOGUCHI and Masaya FUKUHAMA

Use of beach fill materials, which have higher stability than the original natural beach sands, is increasing in Japanese beach fill projects. We therefore need more sophisticated methodology to design the beach fill projects. We performed hydraulic physical model tests to examine yield of the beach fill and erosion of the natural beach by the difference of the physical properties of the fill material. It was understood that erosiveness of the natural beach could be lowered when the material with smaller grain size was used. There is relation between erosion of natural beach under fill material and permeability of fill material.

### 1. はじめに

我が国においても、必要となる海浜幅を復元するため養浜が用いられることが多くなってきている。我が国では海岸保全の歴史において養浜が侵食対策として用いられることが少なかった。その原因の一つとして、我が国の多くの海岸で海底勾配が急であることや侵食が極めて進行していることに依る。このため元々の海浜砂よりも安定性が高い材料（粒径や単位体積重量を大きくする）を用いた養浜が行われている。

従来の養浜に関連した研究は、海浜の地形変化を追うもので海浜地形の平衡断面に関する研究は多く存在する。その中で、単位体積重量が重い特殊な材料について、本田ら(2004)がカンラン岩の砂とシリカ砂を用いて養浜材料の物性による海浜断面の変形の違いについて研究している。

1999年の海岸法の改正では、砂浜について「消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けたもの」を海岸保全施設として「指定」することが可能となり、この対象は養浜となる。構造物である他の工法のように洗練させるためには、効果や影響についても明らかにする必要がある。本研究は、遡上域に養浜を投入した場合を想定し、養浜盛土と元の海浜が養浜材料の違いにより受ける変形の差異を明らかにすることを目的として水理模型実験により検討した。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験条件の想定

実験は3つの場面を設定した。1点目は、静的な養浜で投入材料に重いものを用いて材料の歩留りを重視した時である。これは静岡県富士市富士海岸吉原工区で富士砂防大沢沈砂地の発生土砂や購入材料を用いた割栗サイ

ズ（質量約10kg以上の石材で概ね粒径100mmを越える）の養浜（佐藤ら, 1999）を想定している。この場合、野口ら（2000）が緩傾斜ブロック堤の被災について解明した礫層と堤体砂面上に生じた流れにより内部侵食が進むのと同様な現象が危惧される。2点目として、砂利程度の材料を用いた場合で、利用と歩留りのバランスから決定される時である。例としては、静岡県富士市富士海岸沼津工区や茨城県鹿嶋市神向寺海岸がある。3点目は、発生土等で比較的粒度の分布が広い材料の場合である。これは、養浜しようとする海岸の近くで河道掘削やトンネルの開削等の発生材料を用いた場合に相当する。

また、表のり勾配も3種類を設定した。陸上での投入の場合に工事検査等の都合で通常時は波が当たらない場所で盛土を形成しようとする時と1/2程度の勾配で整形することが多い。1/2とした場合には盛土した時点で既に急であるが汀線際に投入しても波により浜崖が形成され危険であるし、波に対しても対峙する形状となる。そこで、これを緩和するために緩傾斜堤に合わせた1/5のものも想定した。

本研究では基盤となる当初の海浜を元（モト）海浜とし、これに対して養浜後のある時点の砂面を主とする海浜面を時点海浜と呼ぶことにした。元海浜が侵食を受けている場合には、元海浜の砂面と時点海浜の砂面は同一となる。しかし、養浜材間に埋め戻しが生じたり、元海浜の上に堆砂が生じたりした場合に、その時の最上位の砂面（時点海浜の表面）が生じる。これは、養浜材の損失量と元海浜の侵食量を算出する際に明瞭となるようにするための定義である。

#### (2) 実験模型と造波条件

元海浜として、東北硅砂6号（ $d_{50}=0.36\text{ mm}$ ）を用い、図-1に示すように初期形状は汀線付近を1/10と陸側1/40の勾配の平坦面にした。養浜材料は、JISで定められた単粒度碎石1号、4号、6号を単独と、それらと単粒度碎石7号、いわき硅砂3号（商品名）をそれぞれ等分で配合した材料を用いた。それぞれ図-2に粒度分布を示す。いわき硅砂と東北硅砂は色が異なり元海浜

1 正会員 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 主任  
研究官  
2 正会員 工修 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 室長

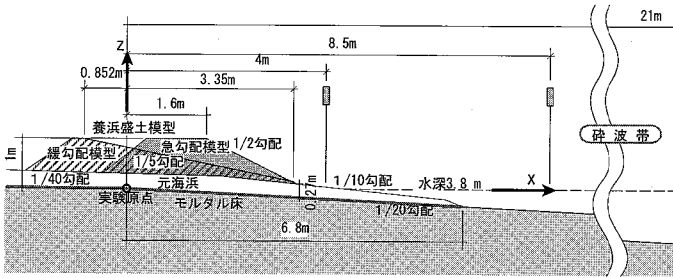


図-1 実験模型

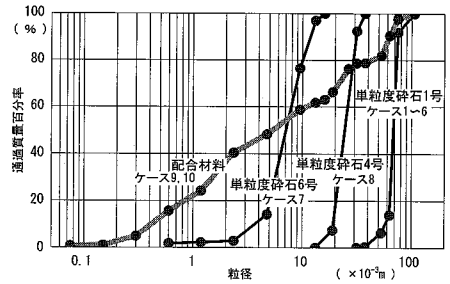


図-2 養浜材料の粒度分布

表-1 実験ケース一覧

ケース	養浜材料	養浜形状	波の種類	波高 (m)	周期 (s)	作用時間 (分)	波の種類	波高 (m)	周期 (s)	作用時間 (分)	合計作用時間 (分)	
1-1	単粒度砕石 1号	急勾配	規則波 1	0.24	4.5	560					560	
1-2	単粒度砕石 1号	急勾配	規則波 2	0.43	3.0	170					170	
1-3	単粒度砕石 1号	急勾配	不規則波	0.44	2.9	305					305	
2-1	単粒度砕石 1号	緩勾配	規則波 1	0.28	4.5	450					450	
2-2	単粒度砕石 1号	緩勾配	規則波 2	0.45	3.0	315					315	
2-3	単粒度砕石 1号	緩勾配	不規則波	0.44	3.0	390					390	
3	単粒度砕石 6号	緩勾配	規則波 2	0.44	3.0	55	⇒	不規則波	0.43	2.9	215	270
4	単粒度砕石 4号	緩勾配	規則波 2	0.44	3.0	65	⇒	不規則波	0.43	2.9	295	360
5	配合材料	急勾配	規則波 2	0.44	3.0	60	⇒	不規則波	0.46	3.0	210	270
6	配合材料	緩勾配	規則波 2	0.44	3.0	60	⇒	不規則波	0.47	3.0	300	360

不規則波は有義波高

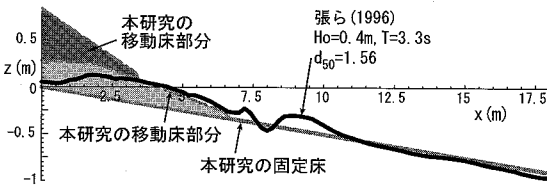


図-3 類似条件の実験との海浜地形の比較

と養浜材料の区別ができる。入射波は、元海浜の砂に対して堀川ら (1975) の  $C_s$  値で中間波と暴浪波の2種類の規則波と、同じ暴浪波で不規則波1種類とした。波高を、沖側2点、砕波前1点、砕波後1点、初期の汀線1点で容量式波高計で計測した。造波中に観測ガラス面よりデジタルカメラで撮影して形状変化の経時データを取得した。ケース終了時に水路中央測線の地形を計測した。

各ケースの実験条件を表-1に示す。ケース1とケース2は、3種類の波条件をそれぞれ長時間作用させたため、これらをサブケースとして枝番号を付けた。サブケースの間で元海浜砂と養浜材の整形による初期化は行っていない。ケース1及び2の結果より本研究の条件において推奨できるケースとして1/5勾配の方となったので、単粒度砕石6号(ケース3)及び単粒度砕石4号(ケース4)は1/5勾配の表のり勾配のみ実験した。

ケース3~6では暴浪条件の規則波を1時間程度作用させた後に有義波高が同等となる波を作用させた。一つの週上波における元海浜の侵食量は、養浜材が形成する層内に残留する水位の変化によって異なる。残留水位が

規則的に変化する規則波と変動のバリエーションが多い不規則波では進行状況が異なる。そこで、両方の現象を確認するために現象が一定に進む規則波を行った後に不規則波を十分な平衡状態までの長時間で造波することとした。不規則波のスペクトル形状は、造波機前面の測定点において Bretschneider・光易型となるようにした。

本研究は、養浜材料の質に注目していることから粒度分布 (JIS A 1102)、均等係数、透水係数 (JIS A 1218 準用)、単位体積重量を調べた。さらに沈降速度として水中落下速度を測定した。水中落下速度は粒径の大きさに応じて、一粒ずつ落下させ測定した。

(3) モルタル海底床上に設置した海浜と養浜模型

実験は、長さ135m、幅2m、深さ5.3mの造波装置付き水路を用いた。この水路を用いて張ら (1996) は混合砂海浜の移動機構について研究している。その中で汀線付近において、ほとんどの粒径集団で岸側への動きを示している。ここで、張らのケース1 ( $H_o=0.4m$ ,  $T=3.3s$ ) の最終地形と本研究の初期地形の比較を図-3示す。張らの1/20勾配初期地形と本研究の固定床を揃えて示した。この図からも汀線付近の堆砂傾向がわかる。そこでこの条件で汀線付近の海浜は養浜が無ければ安定的となるはずである。従ってこの条件ならば、汀線付近の海浜を安定させて実験が可能である。

1/20モルタル固定床上に汀線付近より岸側の海浜を作成しその上に碎石や混合材料による養浜を設置した。図-3の張らの結果は8時間造波後のバーと汀線位置が

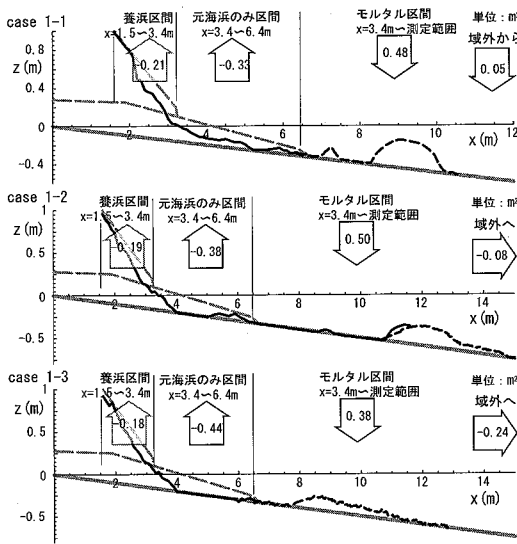


図-4 ケース1の最終地形と土砂収支

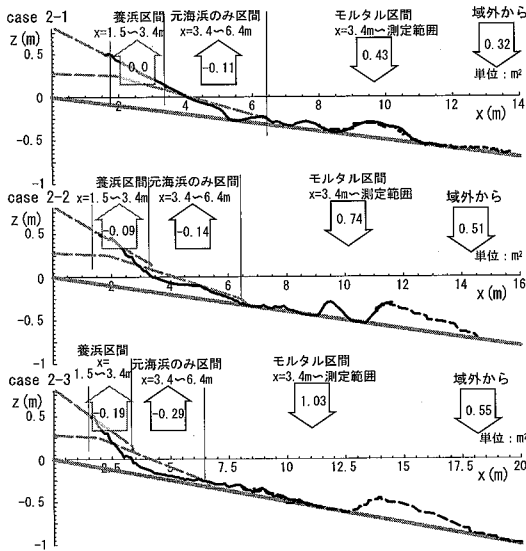


図-5 ケース2の最終地形と土砂収支

変化しなくなった状態であることから、バーの不足分を補填する動きがあるものの形成した後は安定となることから沖側を固定床とした。また、トラフ、バーやさらに沖側の地形が大規模に変形することは、海浜に襲撃する外力がケースにより変化することになり、構造物のような観点で性能を調べるために外力条件を限定して材料の質の種類を揃えることにした。ただし、外力条件については今後バリエーションを増やす必要がある。

### 3. 各ケースの最終海浜形状と土砂収支

各ケースの終了後に測定した海浜地形を図-4～7に示す。実線はミリ単位までの目盛をつけた標尺を当て

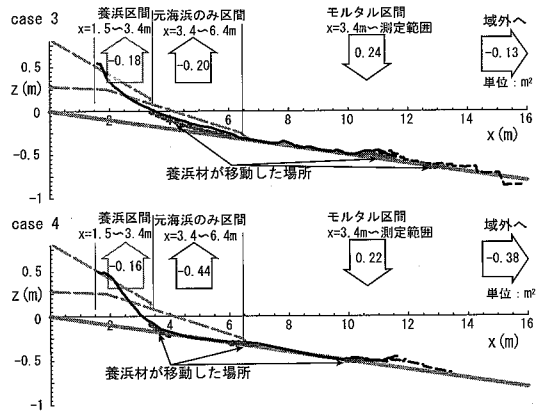


図-6 ケース3及び4の最終地形と土砂収支

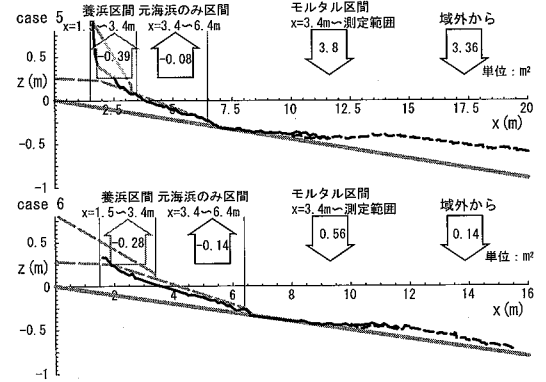


図-7 ケース5及び6の最終地形と土砂収支

ベルで計測した。点線部分は2方向からのデジタルカメラ画像より面的な標高分布を計測し1測線の値へ平均化した結果である。直接の測定が不足した部分の追加として用いた。この最終地形から初期に露出していた養浜表面、元海浜面、モルタル面を基準として土砂収支を各露出の種類で区分けして算出した。それらの合計から正となれば計測域外から供給、負となった場合には計測域外への損失として整理した。

収支の合計において域外からの供給があるものが多い。2番目に大きいケース2-3でも0.55m<sup>2</sup>であり、これは計測範囲の長さで割っても0.03m厚となり誤差の範囲と言える。しかし、ケース5は3.36m<sup>2</sup>となっていて、モルタル面区間に堆砂している。急勾配で配合材料のケースであることから盛土の侵食から多量の土砂が供給可能であるが、相当する損失は無い。デジタル画像の計測で岸側から撮影していることや沖側の一部に水面が有ることで、精度が著しく低下した可能性がある。

図-4のケース1のサブケース毎と図-5のケース2のサブケース毎のバーの位置を比較すると沖のバーが移動していないことから、各サブケース間で整形しない影響は沖側での不可逆なバーの形成の点では無い。しかし、

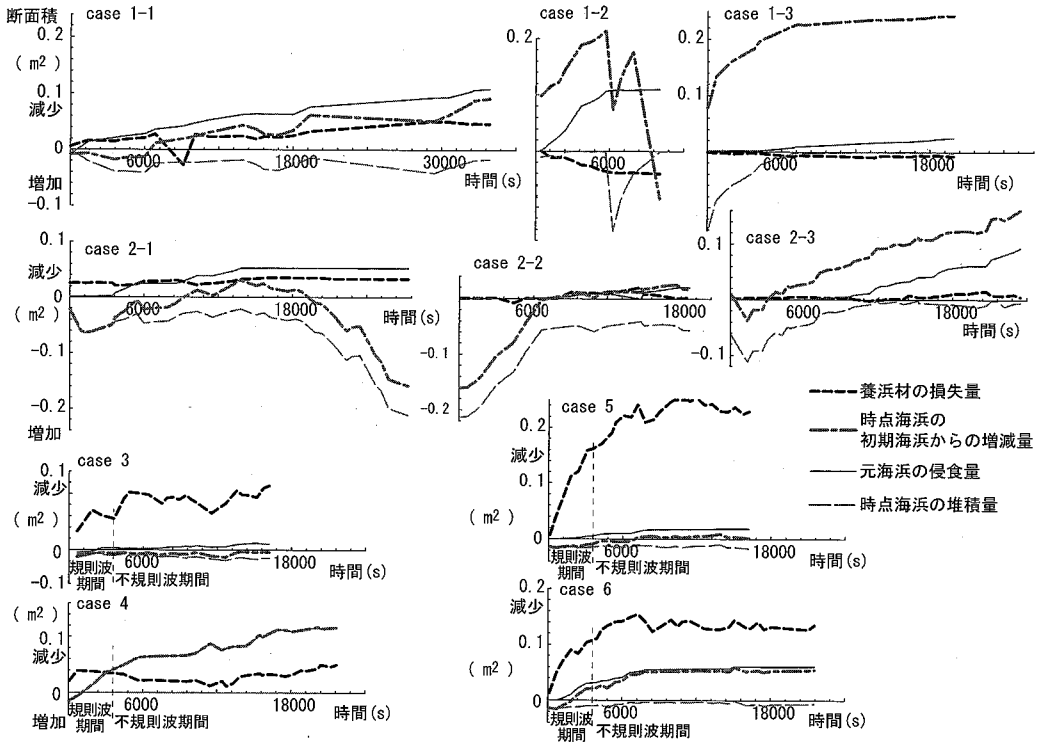


図-8 各層の断面積の経時変化

養浜と元海浜の変化については、現象の進行の速さに影響を与えたと考えられる。

また、ケース 3 及び 4 には流出した養浜材の行き先を示した。養浜材はこの範囲から外へはほとんど流出していない。以上より、概ねこの測定範囲の中での議論が可能である。

#### 4. 各層の断面積の経時変化

観測ガラス面をデジタルカメラで撮影し、撮影した画像から概ね 10 分から 20 分間隔で養浜材の表面及び時点海浜の砂面を読み取った。また、その時点までの元海浜の侵食の最大値をトレースし侵食面とした。読み取った養浜材表面と元海浜の侵食面、時点海浜表面から観測区間で 0.05 m 毎で分割し基準線から表面までの面積を求めそれらを総和し各時刻の断面積を算出した。これを経時変化として図-8 に示した。

養浜材の残存量の変化は、養浜材表面から元海浜の侵食面の面積を引きその時点で養浜材が存在する面積である。さらに観測区間の初期の養浜材量から減じてその範囲内の養浜材の占有面積の差分として表した。元海浜の侵食過程は、初期の元海浜から元海浜侵食面を減じた。海浜砂の堆積過程は、時点海浜表面から元海浜侵食面を減じた。海浜砂の変化量は、初期の元海浜面から時点海浜表面を減じた。

図においてケース 1 とケース 2 のサブケースのそれぞれの間では、地形整形および養浜材の形成していないことから連続している。

ケース 1-2 および 1-3 において侵食が収束するのは侵食がモルタル床に達したために下方への洗掘ができず陸側侵食端へ到達した浸透流のみで侵食を進めることになるためである。ケース 1-2, 1-3 では、侵食がモルタルに達したため、損失した海浜砂を約  $1 \text{ m}^3$  補充した。

ケース 2-2 は、ケース 2-1 で大量の堆砂で終了したため、初めに養浜材内を埋め尽くされた状態から始めた。前段ではこの礫層内の砂の侵食が進むが、時刻 6000 秒 (100 分) 以降は礫層内の砂面の崖形状が顕著となり侵食速度が低下した。この後、ケース 2-3 へ継続するがケース 2-3 が不規則波であることから遡上高の範囲が広がり、養浜材内で崖形状となっている部分を越えて広い範囲で侵食作用が及び侵食が進展した。

ケース 1-1 とケース 2-1 は養浜の表のり勾配のみが異なり波条件はともに中間型であるが、ケース 1-1 では元海浜の侵食面と海浜砂の変化量ともに減少が止まらないが、勾配を緩くしたケース 2-1 では初期に侵食は進むがその後に時点海浜は堆積へ転換した。

表のり勾配が等しいケース 2-3, 3, 4, 6 を比較すると、一点鎖線で示した時点海浜面の初期海浜からの増減量ではケース 2-3 とケース 4 のみで単調に増加している。

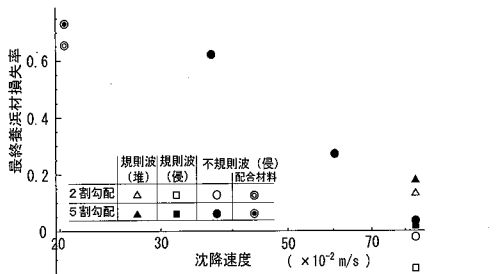


図-9 沈降速度と最終養浜材料損失率の関係

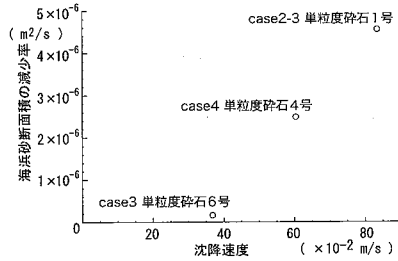


図-10 沈降速度と海浜砂断面積の減少率の関係

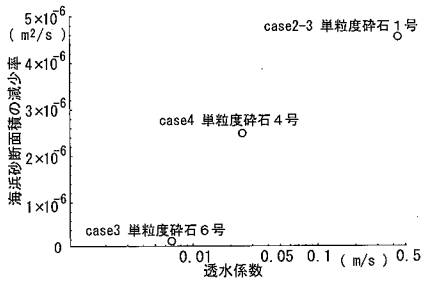


図-11 透水係数と海浜砂断面積の減少率の関係

さらに短破線の養浜材の損失量でもケース4は後半で単調増加となっている。したがって、単粒度砕石1号と単粒度砕石4号は、本実験の条件では侵食が止まない可能性がある。また、これら2つの量の和は養浜を含めた海浜の全体量となるから、これらが小さくかつ安定していることが望ましい。

### 5. 養浜材料の安定性

養浜盛土としての安定性を養浜材料の指標から評価するために、養浜材料の動き難さとして材質試験で得られた沈降速度を用い最終養浜材損失率との関係を調べ図-9に示した。各ケースの終了段階の養浜材料の残存量をケース初期の養浜材料の領域内の量で除したものを最終養浜材損失率とした。沈降速度が大きいほど養浜材料の損失は少ない。

### 6. 元海浜の保存性

養浜を実施すると元海浜が養浜材の下に隠れてしまうが、元海浜が損失し内部の侵食が進行しては本質的な意

義を逸してしまう。そこで、元海浜の保存性と養浜材料の質の関係について単粒度砕石の緩勾配のり面の3ケースで検討した。

元海浜の侵食性として、断面積の変化量を時間で割り、海浜砂の断面積の減少率を求めた。これを養浜材料の各諸元と比較した。養浜材料の安定性と元海浜の関係として沈降速度と海浜砂断面積の減少率の関係を図-10に示す。安定性が高いことが元海浜の保存性に直接繋がらないことを示している。

直接に元海浜の侵食を引き起こす浸透流の発生性として、透水係数と海浜砂断面積の減少率の関係を図-11に示す。透水係数が大きいほど断面積の減少率も大きくなっている。特にケース3については、養浜材層内に堆砂が生じており透水性の関係が認められる。

ここで透水係数、沈降速度ともに粒度が大きいほど大きくなる。従って、粒度が大きいほど海浜砂断面積の減少率は大きくなり、沈降速度との関係で示した養浜材の安定化(図-9)と元海浜の保存性が背反の関係となる。養浜材料の粒径を小さくし単粒度砕石4号とすると養浜材料の移動が活発になるものの元海浜砂の舞い上がりが生じ難くなる。さらに細かく単粒度砕石6号にすると養浜材の上層では材料が活発に移動するが元海浜との境界付近では層内に堆砂する。これによりさらに透水係数が下がるためにこの混合層が元海浜を保護する。よって養浜材料の残存性は低くなるが元海浜を保護される。

### 7. まとめ

養浜材料の質が養浜材の残留性と元海浜の安定性に及ぼす影響について実験により調べた。その結果、養浜材料の沈降速度が大きいほど養浜材の損失率が小さいことが確認できた。また、本研究の条件では養浜材料の透水係数が小さい方が元海浜の侵食がし難い傾向がある。元海浜の侵食は養浜材の層を流れる浸透流との関係が認められた。

### 参考文献

佐藤慎司・山本幸次・桜井 亘・村野幸宏・高木利光・厚坂祐次(1999)：富士海岸における侵食対策としての動的養浜の効果，海工論文集，第46巻，pp. 676-680。  
 張 達平・佐藤慎司・戸崎正明・田中茂信(1996)：混合砂海浜の断面変形と粒径別漂砂量に関する実験的研究，海工論文集，第43巻，pp. 461-465。  
 野口賢二・田中茂信・鳥居謙一・佐藤慎司(2000)：大型模型実験による緩傾斜ブロック堤の被災機構に関する研究，海工論文集，第47巻，pp. 756-760。  
 堀川清司・砂村継夫・近藤浩石・岡田 滋(1975)：波による二次元汀線変化に関する実験的研究，第22回海講論文集，pp. 329-334。  
 本田隆英，本多弘明，佐藤慎司，渡辺 晃，磯部雅彦(2004)：底質比重による海浜断面変形の差異に関する研究，海工論文集，第51巻，pp. 501-505。