

砂浜の海岸保全施設指定に向けた粗粒材養浜の有効性の検討

EFFECT OF BEACH NOURISHMENT USING GRAVEL IN TERMS OF ASSIGNMENT OF SANDY BEACH TO SHORE PROTECTION FACILITY

松浦健郎¹・宇多高明²・諏訪義雄³・山田浩次⁴・福本崇嗣⁵
 Takeo MATSU-URA, Takaaki UDA, Yoshio SUWA, Koji YAMADA and
 Takashi FUKUMOTO

¹茨城県土木部河川課 (〒310-8555 茨城県水戸市笠原町978-6)

²正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部
 海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

⁴正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室 (同上)

⁵ (財) 土木研究センター河川海岸研究部 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

On the basis of the monitoring survey after the beach nourishment using gravel conducted at the Jinkoji coast facing the Pacific Ocean, the effectiveness of the beach nourishment using gravel was summarized. On this coast, coarse material composed of gravel with the median diameter ranging 3mm and 15 mm was used. It was found that the stability of the nourishment beach was sufficiently high and therefore, it can be used as one of the measures for protecting coast instead of the shore protection facility.

Key Words : Beach nourishment, gravel, Jinkoji coast

1. まえがき

2000年に施行された改正海岸法においては、海岸管理者が「消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けた砂浜」を「海岸保全施設」に指定することができることとされた。このように法律上、砂浜を海岸保全施設としてみなすことができるとされた結果、砂浜中心の保全が行いやすくなるとの期待があったが、養浜実施後の砂浜の回復や安定性について定量的評価が行えなかったことから養浜中心の保全は広がっておらず、砂浜の海岸保全施設指定も進んでいない。この理由として、養浜の価値は認められるとしても、現在のように危機的状態にある財政のもとで、養浜は投入土砂が流出しうることから、無駄な投資、あるいは維持的行為とみなされたことにあるように思われる。確かに細砂養浜では投入後養浜砂が直ちに流出し、その効果が長続きしないという問題点があったことも事実である。しかし神向寺海岸での粗粒材養浜では、投入土砂は護岸前面に安定的に堆積し、護岸の根固め効果を発揮して護岸の安定性向上に役立ったことを考えると、砂浜の回復や安定性評価を行うにあたっては、養浜砂の粒径に依存してその期待する効果が全く異なるという事実が十分理解されていなかったことが問題と考え

られる。もちろんシルトなど、粒径が0.1mm以下の土砂は外海・外洋に面した海岸では波の作用で広く拡散するから、海浜形成には役立たない。しかし少なくとも細砂以上の粒径成分は沖合海浜に堆積するので、一定の効果があると考えられるが、侵食からの陸域防護という観点からは十分な機能を有するとはいえない。これに対し、粗粒材養浜では陸域防護上目に見えた効果が発揮される。これらの点より、本論文では神向寺海岸での粗粒材養浜の経験をもとに、粗粒材養浜を海岸法でいう「指定された砂浜」として扱うことが可能であるとの視点に立って整理を行う。

2. 粗粒材養浜の特徴

(1) 前浜拡幅機能

神向寺海岸の粗粒材養浜は、南側を6号HLにより、北側を7号HLに挟まれた延長約1km区間で行われたが、粗粒材養浜は高い前浜拡幅機能を有していることが明らかになった¹⁾。図-1は2002年9月8日(潮位:T.P.+0.7m)に測線No.6から南向きに撮影した海岸状況である。当時前浜は全く存在せず、護岸と平行に敷並べられた消波工に波が強く打ち当たっており、

背後地では越波やしぶきの飛散が問題となっていた。しかし図-2に示すように、2005年における7,000m³の礫投入が行われてから約5ヶ月が経過した、2006年7月10日15時（潮位T.P.+0.1m）の同じ場所の海岸状況を見れば、広い前浜が形成されたことが明らかである。さらに異常波浪襲来後の2006年11月23日も図-3のように投入礫は前浜に安定的に堆積しており、護岸前面の地盤高が増加したことが分かる¹⁾。

(2) 細砂と粗粒材の置換による根固め機能

神向寺海岸における粗粒材養浜では、細砂からなる狭い前浜上に粗粒材が投入された。投入後、粗粒材は下層にあった細砂と入れ替わり、護岸前面に急勾配をなして堆積し、護岸の根固め機能を発揮した

¹⁾ 例えば、図-4は7号HLから南にそれぞれ100m、200m離れた測線No.6とNo.11に沿う海浜縦断形の変化を示す。No.6では台形状に盛土された礫が岸側に寄せられ、水深ほぼ1mから標高3mまでの間で1/8の勾配で堆積し、護岸ののり先を埋めた。No.11でもNo.6と同様な堆積状況が見られる。

粗粒材が岸側に集中的に堆積する状況は底質調査からも明らかにされた¹⁾。測線No.6で行った底質サンプリングデータをもとに、2.8mmのフルイ目に残留した礫分について水深ごとに並べ拡大して撮影したのが図-5である。投入した角礫のうち、粒径が1cm程度のものが標高2.1,0mに集中的に堆積している。-1mと-2mでは粒径がやや小さくなり、かつ円磨度が高い礫が見られる。これは予備試験時

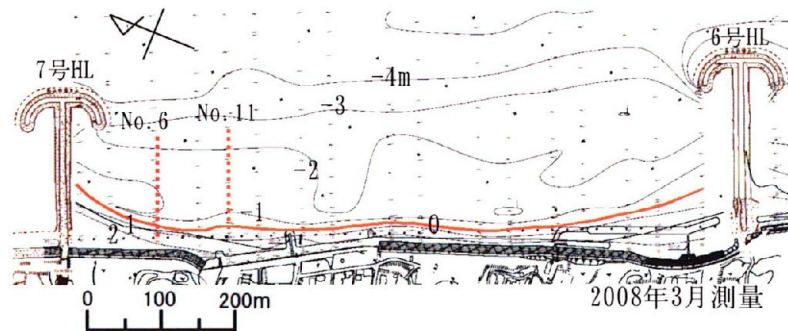


図-1 測線No.6から南向きに撮影した海岸状況
(2002年9月8日17時、潮位T.P.+0.7m)



図-2 測線No.6から南向きに撮影した海岸状況
(2006年7月10日15時、潮位T.P.+0.1m)



図-3 測線No.6から南向きに撮影した海岸状況
(2006年11月23日16時、潮位T.P.+0.6m)

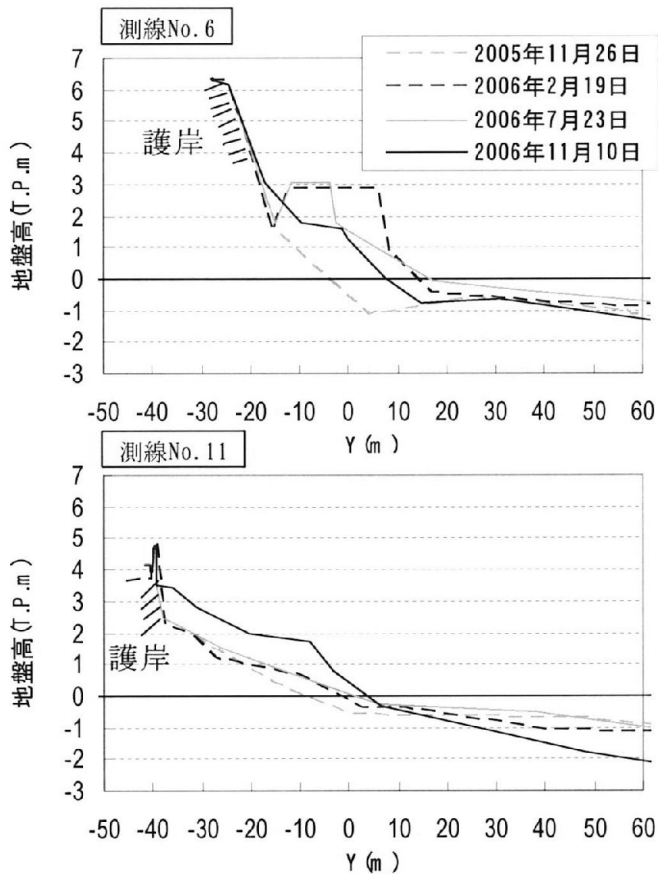


図-4 測線No. 6とNo. 11に沿う海浜縦断形の変化

の投入礫が波により磨耗作用を受けたと推定できる。一方、水深 3m では貝殻を除き礫は発見されず、また水深 4, 5m では礫径が 3mm 程度となり、材質から見て投入礫とは異なる。このことから投入礫は水深 ほぼ 2m 以浅に集中的に堆積することが分かった。

以上のように、養浜後、投入砂礫は沿岸・岸沖方向に移動したものの、両端を HL で区切られており、また粗粒材は水深 2m 以浅に集中的に堆積する一方、HL の先端水深はほぼ 3m と深いため、粗粒材は HL の先端を回り込んで南北両方向に流出することはなかった。このことから、投入砂礫は HL 間に留まって根固め効果を発揮すると同時に、広がった前浜は護岸からの越波や飛沫の発生を防止する上でも役立つことが分かる。また粗粒材は水深 2m 以浅に集中的に堆積し、沖へは移動せず、汀線付近より陸側に集中的に堆積することが分かる。このことは、細砂養浜において投入細砂が広く沖合まで拡散するのとはよい対照を示し、ある一定量の土砂を投入した場合、護岸前面での堆積が促進される意味で非常に経済的なことを意味する。同時に、汀線付近より沖合に広がらないことから、沖合の細砂からなる海底面に生息する生物、例えばチョウセンハマグリなどへの影響も少ないと考えられる²⁾。

(3) 細砂と粗粒材の置換による根固め機能

神向寺海岸では、異常波浪作用時の礫の挙動が調べられた¹⁾。2006年10月7日、海岸保全施設の設計波高(50年確率 $H_{1/3}=6.3m$)を越える波高 6.43m (周期 12.8s) の波浪が襲来し、潮位も T.P.+1.60m

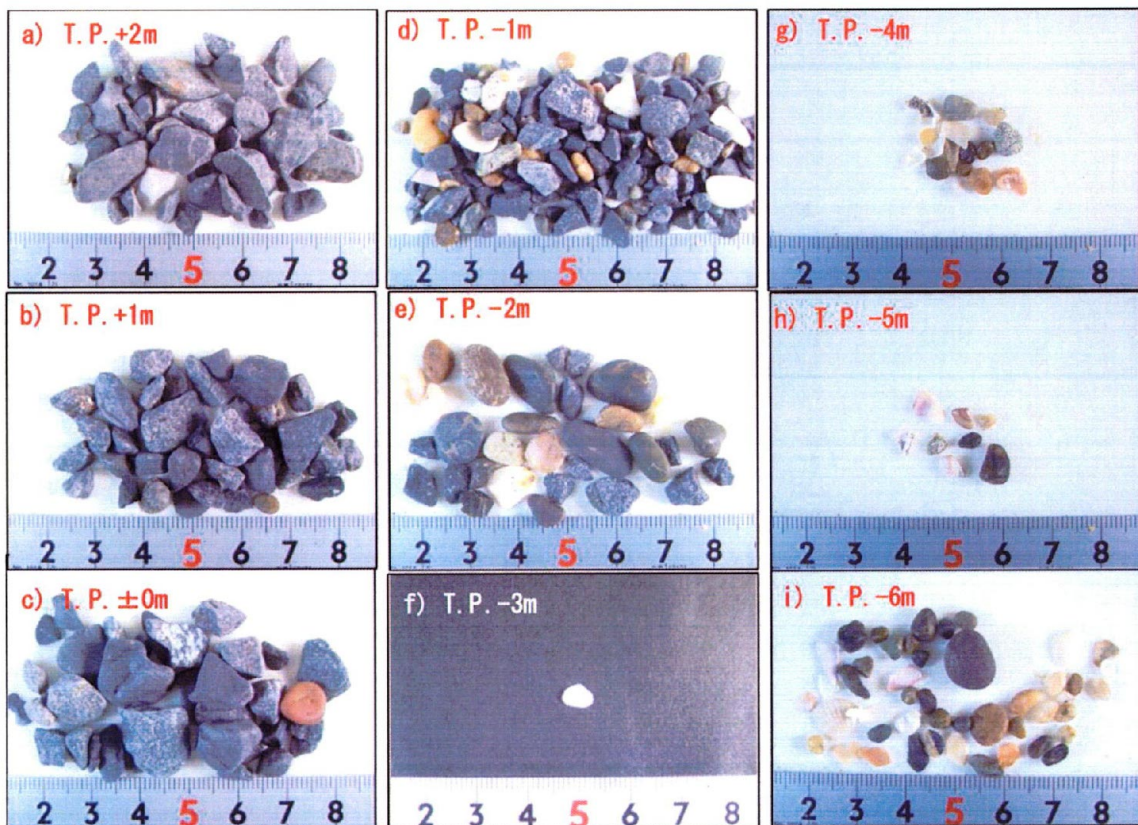


図-5 測線No. 6の底質試料のうち2.8mmのフルイ目に残留した礫分の拡大写真

(天文潮位からの偏差 0.91m) に達した。図-6 は 2006 年 10 月 7 日に測線 No.12-15 付近で撮影した護岸前面の状況であるが、根固めブロックの間に投入礫が波の打ち上げで入り込んでいることが分かる。このように高波浪・高潮位条件下では礫は岸向きに移動し、護岸前面に異形ブロックを埋めて堆積する



図-6 測線No. 12-15付近の護岸前面の状況
(2006年10月7日)



図-7 神向寺海岸 (2008年5月27日)

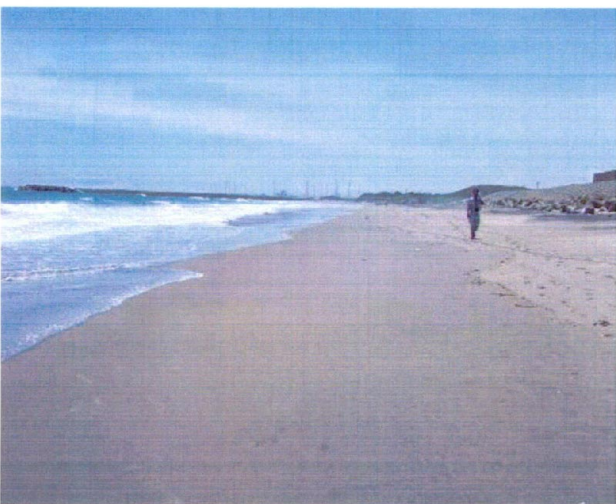


図-8 神向寺海岸 (2008年7月30日)

ことが確認され、高い根固め機能を有することが明らかになった。

(4) 静穏時の細砂の堆積による利用上の有効性

一般に夏季に静穏波が作用すると、岸向き漂砂が生じ汀線付近に小高い砂の丘(バーム)を形成して砂が堆積する。このようにして細砂が堆積した海浜は、夏季の海岸利用上あるいは景観上望ましい姿となる。粗粒材養浜を行った場合にも、夏季の静穏波が作用すると前浜に細砂が堆積することが観測された。例えば、図-7,8 は 2008 年 5 月 27 日と 7 月 30 日に、神向寺海岸のほぼ同じ場所において南向きに撮影した現地状況写真であるが、冬季の高波浪の作用の跡が著しく残されていた 5 月 27 日の写真では前浜は礫で覆われ、細砂は部分的に見られるのみであったが、7 月 30 日には前浜は細砂で覆われた。

3. 「砂浜の指定」から見た粗粒材養浜の位置付け

神向寺海岸における粗粒材養浜は、外洋に面した海岸で行われたが、投入された粗粒材は高波浪の作用を受けても安定していることが確認された。同様な粗粒材養浜は神奈川県秋谷海岸でも行われ、養浜礫の安定性が高いことが確認されている。粗粒材の代わりに細砂を用いた養浜でも、東播海岸では作用波の波高が相対的に低いことから海浜は安定であった³⁾。これらの海岸での養浜実績を考慮すれば、ある範囲の指定された砂浜は海岸保全施設と同等な機能を有していることが可能と考えられる。一方、太平洋や日本海に直接面した海岸において行われた細砂養浜では、その多くで全ての投入土砂の流出が起きている。このように考えると、両者間に線引きを行う必要があり、現段階では粗粒材養浜を行なった砂浜等、消波機能や堤防等の根固め機能等の防護性能と安定性を確認できる砂浜に限り海岸保全施設としての「砂浜」の指定を行い、総合的な土砂管理による養浜や漂砂制御等により砂浜の安定性を確保して「砂浜」の指定を拡大していくことが有効と考えられる。

神向寺海岸での実例によれば、粗粒材養浜の施工直後には投入砂礫と、養浜前から存在した細砂の混合・入れ替えが起こり、前浜堆積土砂量が一定しなかった。しかし、時間経過とともに投入土砂量は安定的に増加した⁴⁾。このような初期における投入土砂量の変動は、波浪の強弱および波向の季節変化に起因するものであるために、施工後1年程度の監視期間を経た後に「砂浜」の指定を行うことが安全であろう。海浜が十分安定状態にないまま指定を行えば、前浜堆積土砂量にかなりの変動が生じ、「保全施設」としての機能が一定しないからである。

海岸保全施設としての「砂浜」は、消波機能や堤防等の根固め機能等期待される機能が発揮されるようにするため、砂浜の幅や高さ、長さ等の「管理基準」を定め、巡視や簡易な測量等により適切な点検、維持管理を行う必要がある。巡視や簡易な測量等により点検を行う砂浜幅は、護岸のり先から砕波水深までの断面を測量すべきであるが、神向寺海岸での実測によれば汀線から陸側の幅により確認することが可能である。汀線より陸側に堆積している砂礫量と海面下の土砂量は比例関係にあり、ほぼ勾配約1/8で水深2mまで斜面が続くと考えれば、両者の関係を求めることができる^{5) 6)}。管理基準に定める砂浜幅は汀線より陸側とするが、投入する土砂量については、養浜初期の細砂との混合・入れ替え、平面的な汀線形状等の割り増し分を考慮して対処するとよい。

4. 砂浜の指定の条件

神向寺海岸での粗粒材養浜の経験、および計画に行われた検討によれば、神向寺海岸のように両端をヘッドランドで仕切られたポケットビーチ状の海岸において造成した砂浜が不安定となり、その維持が難しいのは、一般に以下の4通りに区分される。

- ① 砂の持つ平衡勾配より急な初期勾配で縦断形が作られた場合、投入砂は平衡勾配となるまで冲向きに流出する。
- ② 初期勾配は砂の持つ平衡勾配より緩く設定されたとしても、砂浜の両端を区切る突堤の先端水深が、その海岸の波による地形変化の限界水深より小さい場合、突堤やヘッドランドの先端を通過して両側へと砂が流出し、最終的に影響が中央部まで及んで砂が流出する。自然のポケットビーチを除けば突堤やヘッドランドがなければ安定な海浜を造ることができない。
- ③ 養浜砂の中に、その海岸の h_c で浅に存在する粒径成分より細かな粒径成分を含んでいる場合、波による淘汰が進むに従い混合粒径砂に含まれた細粒分は沖に流出する。一般に h_c で浅は通常0.15mm以上の粒径成分からなる³⁾が、これより粒径の小さな0.1mmの砂が大量に含まれておれば、その成分は最終的に沖へと流出する。
- ④ 平衡勾配は砂の粒径に応じて定めることができ、礫では上限値として1/3勾配となる。また粒径が小さいほど平衡勾配は小さくなる⁷⁾。
- ⑤ 離岸堤のような波の遮蔽構造物の背後にあっては、その構造物に見合った安定した海浜が定められている。よってそれ以上に広い前浜を初期状態として造れば過剰分は沿岸・岸沖方向に流出する。

砂浜の整備および指定にあたってはこれらの点を十分考慮する必要があると考えられる。ここで注意が必要なのは、高波浪時には h_c が一時的に大きな値となると考えられるが、その場合突堤やヘッドランドなどの施設の先端水深は相対的に見て小さくなり、砂が流出しやすくなることである。したがって施設計画においてはこれらの変動の影響を十分考慮しておかなければならない。

5. 考察

神向寺海岸における粗粒材養浜は、両端をヘッドランドによって区切られたポケットビーチで行われた。このため投入土砂は指定された区域にとどまり、その機能を十分発揮可能であった。しかし一方の沿岸漂砂が卓越する細砂からなる海岸において粗粒材養浜を行うと、粗粒材は細砂と比べて動きにくいいため、投入区域の下手側では侵食が起こる。また粗粒材は粒径が大きいために、平衡勾配が急であり、勾配変化を通じて海岸環境に大きな影響を及ぼす可能性が高い。このことから、一方の沿岸漂砂が卓越する海岸における粗粒材養浜は、究極的に細砂海浜を礫浜に変えることにつながることから、ポケットビーチまたはポケットビーチと同様に沿岸方向の砂の移動のない場所に限り行う必要があると考えられる。

粗粒材養浜においても適切な維持・管理が必要とされる。投入材が予定区域に留まっているかを定量的意味から調べるには深浅測量を行う必要がある。これによってのみ指定区域の土砂総量の変化を調べることができる。また空中写真が撮影されれば、それによって汀線変化を調べることができるが、汀線変化と海浜断面積の変化には一般に線形関係が成立するので、この関係と汀線変化をもとに海浜土砂量の変化を調べることができる。とくに粗粒材養浜では前浜への集中的堆積が起こることから汀線変化と海浜断面積の変化との間には良好な関係が成立し易い。しかしながら深浅測量や空中写真撮影には多額の経費がかかることから、それらを単純化した手法が取れば砂浜状況の変化を合理的に調べることも可能となる。これには、例えば、海岸の定点から一定の焦点を持った定点写真を撮影し、それによって海浜の変動を調べる方法が有効である。神向寺海岸では図-1, 2, 3に実例を示したように、いくつかの定点写真を撮影したが、それらが粗粒材養浜の有効性を具体的に確認する上で役立った。

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」には、砂浜が消波機能と堤防等の洗掘防止機能を有していることを短期的・長期的に確認するため、「信頼性のある適切な手法を用いる」とある。神向寺海岸における粗粒材養浜においては、熊田ら⁸⁾⁹⁾の粒径を考慮した等深線変化モデルを応用し、養浜材の粒径

に応じた海浜変形予測を可能にした^{5) 6)}。この結果、0.1mm程度の細粒砂による養浜の場合養浜砂はヘッドランド間にとどまることはできず沖へ流出して前浜の拡幅ができないこと、これに対して礫養浜の場合養浜土砂はヘッドランド間にとどまり前浜の拡幅に役立つことを定量的に予測可能とし、事前に養浜の効果予測を行うことが可能となった。

6. まとめ

海岸法に謳われた、「消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けた砂浜」を「海岸保全施設」に指定するとの記述に忠実であるためには、消波機能と堤防等の洗掘防止機能を具体的に示す必要がある。本研究によって粗粒材養浜の持つ堤防等の洗掘防止機能については明らかになった。消波機能については、改良仮想勾配法により照査しているが、粗粒材養浜による浸透性の効果については実測は行なわれておらず評価できていない。緩傾斜護岸の越波量¹⁰⁾を参考にすると、浸透性の高い礫斜面では波のうちあげ高(越波量)が不透過斜面と比べて約10%低下すると考えられる。この点をより詳細に、定量的に明らかにすることが今後の課題である。

参考文献

1) 宇多高明・石井秀雄・阿部 良・長山英樹・大木康弘：神向寺海岸における礫養浜の追跡調査，海洋開発

論文集，第23巻，pp.1093-1098，2007。

- 2) 宇多高明・土子浩之・阿部 良・松浦健郎・大木康弘・豊田圭太：粗粒材養浜がチョウセンハマグリの生息へ及ぼす影響調査，海洋開発論文集，第25巻，2009。(投稿中)
- 3) 宇多高明：「日本の海岸侵食」，山海堂，p. 442，1997。
- 4) 野川康利・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・長山英樹・大木康弘：神向寺海岸における礫養浜の歩留まり検討，海岸工学論文集，第55巻，pp.766-770，2008。
- 5) 石井秀雄・中村友和・宇多高明・大木康弘・熊田貴之・芹沢真澄：茨城県神向寺海岸での粗粒材養浜による砂浜の安定化，海洋開発論文集，第22巻，pp.887-892，2006。
- 6) 石井秀雄・中村友和・宇多高明・高橋 功・大木康弘・熊田貴之：粗粒材養浜による砂浜の安定化に関する現地実験，第53巻，海岸工学論文集，pp.681-685，2006。
- 7) 宇多高明・石川仁憲：「実務者のための養浜マニュアル」，(財)土木研究センター，p. 170，2005。
- 8) 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁：粒度組成の3次元変化を考慮した等深線変化，海岸工学論文集，第51巻，pp.441-445，2004。
- 9) Kumada, T., T. Uda, M. Serizawa, H. Ishii, T. Nakamura and Y. Oki: Numerical simulation and field experiment on beach nourishment using coarse materials, Asian and Pacific Coasts 2007, Proc. 4th International Conf., pp. 1094-1105, 2007。
- 10) 国土交通省河川局海岸室，国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室：緩傾斜堤の設計の手引き(改訂版)，社団法人全国海岸協会，21p，2006。