

# 神向寺海岸における混合砂層厚変化に関する現地実験

## Field Experiment on Change in Thickness of Sand Mixing Layer on Jinkoji Coast

野川康利<sup>1</sup>・宇多高明<sup>2</sup>・松浦健郎<sup>3</sup>・阿部 良<sup>4</sup>・熊田貴之<sup>5</sup>・長山英樹<sup>6</sup>

Yasutoshi NOGAWA, Takaaki UDA, Takeo MATSU-URA, Ryo ABE, Takayuki KUMADA and Hideki NAGAYAMA

Field experiment on changes in thickness of the sand mixing layer was investigated on the Jinkoji coast, where beach nourishment using coarse material has been carried out. Four trenches were excavated on the shore face, and coarse material, fine sand and their mixture were filled in each trench, and subsequent mixing due to waves were investigated. Comparing the mobility of sandy beach composed of various materials, minimum mobility was obtained at gravel, and the mobility of the beach composed of the mixture of sand and gravel was the largest, implying that the effect of the beach nourishment using the mixture of sand and gravel is inferior to that using gravel only.

### 1. まえがき

近年, サンドリサイクルの一環として浚渫土(細砂)を用いた養浜が行われるようになったが, 養浜砂の粒径が小さいことから歩留まりが悪く, 海岸保全効果が低いという問題点があった。これを考慮し, 筆者らは茨城県神向寺海岸において粗粒材を用いた養浜の現地実験を行った(石井ら, 2006a, 2006b; 宇多ら, 2007)。この結果, 養浜材は沖へ流出せず汀線付近に留まって堆積することが明らかになった。同時に, 粗粒材養浜では細砂がサンドイッチ状に堆積することによる砂捕捉効果も確認された。この結果は, 養浜材に粗粒材と細砂を同時に使用することにより, 細砂の歩留まりを向上できる可能性を示唆している。しかし養浜材の粒径を変えるとともに, それが混合した場合の波に対する応答性の違いはよく分からない。このことから, 神向寺海岸においてトレンチを掘削し, その中にあらかじめ作成した粗粒材, 細粒材, およびそれらの混合砂を敷き均した上で, 波の作用によるそれらの層の混合状況の差異を現地実験により調べた。

### 2. 現地実験の方法と観測期間中の波浪条件

鹿島灘に面した神向寺海岸において, 前浜形状が沿岸方向にほぼ一様な区間(7号ヘッドランドから南に240m離れた位置から30m区間)の前浜上に, 図-1に示すように4列のトレンチを掘削し, その中に礫, 細砂, 礫と細砂の混合材を敷き詰め, 波による前浜縦断形の変化と混

合砂層厚などを測定した。混合比は2種類(細砂:礫=1:1, 3:7)とし, 全体で4条件を設定した。礫には, 6, 7号砕石を用いた。トレンチの掘削と充填材の敷設は, 2007年7月31日の大潮期の干潮時(11:09, 潮位T.P.-79cm)に行った。トレンチは作用波の条件が同一となるよう, 汀線からはほぼ同一距離に設置した。トレンチ設置区間の地盤高はT.P.+2.0m~+1.0m, 岸沖方向の長さは15m, 幅は重機の掘削可能幅として1.0m, 深さは0.5mとした。また,  $d_{50}=0.15\sim0.3\text{mm}$ の細砂によりカラーサンド柱を作り, 波による攪乱を受けてカラーサンドが消失する限界深さを測定した。カラーサンド柱は, 地盤高がT.P.+2.0m~+1.0mの範囲を5等分した位置に配置した。観測ケースは4ケースであり, 細砂のみ(ケース1), 細砂:礫=1:1の混合砂(ケース2), 細砂:礫=3:7の混合砂(ケース3), 礫のみ(ケース4)とした。各ケースのトレンチ位置は図-1のようである。

観測は, 銚子漁港の潮位(図-2)に示すように, トレンチ掘削翌日の8月1日の大潮期の干潮時(11:43, 潮位T.P.-73cm)と, 次の大潮期である8月27日の干潮時(10:23,

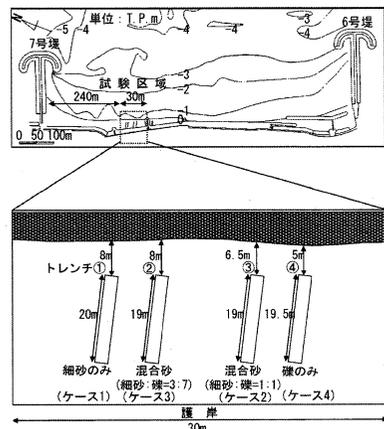


図-1 トレンチの配置

- 1 茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備二課 課長
- 2 正 会 員 工 博 (財)土木研究センター理事なぎさ総合研究室長 兼 日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科
- 3 茨城県土木部河川課 主任
- 4 茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備二課
- 5 正 会 員 博(工) (株)水圏科学コンサルタント
- 6 修(工) (財)土木研究センター河川・海岸研究部

潮位(T.P.-88cm)に行った。測定項目は、遡上高測定、縦断形状、波により攪乱を受けた混合砂層厚の測定などである。混合砂層厚は、重機によりトレンチの片側半分を掘削して断面の露頭面を出し、攪乱を受けた砂層の厚さを直接計測して求めた。また、図-2には鹿島港沖での波浪観測結果も示す。トレンチを掘削した7月31日と、8月18-19日には有義波高約1.5mの波浪が襲来したが、そのほかの時期の有義波高はほぼ0.5mから1mの間であり、実験時には静穏波による前浜への堆積が起り易い条件下にあった。

3. 混合砂層厚の観測結果

(1) 細砂のみ(ケース1)の混合砂層厚

図-3は、ケース1について、7月31日に細砂を敷設した翌日の8月1日と、8月27日測定の縦断形と遡上痕跡、および混合砂層厚を示す。ここに、混合砂層厚の定義は図-4のようである。砂面高は変動するために、土砂が堆積して海浜地盤高が増加した場合には初期断面(7月31日測定)を基準に、また侵食されて海浜地盤高が低下した場合には侵食後の断面を基準として、初期と異なる粒径の土砂が混入している砂層厚を測定した。図-3によれば8月1日測定の遡上痕跡はT.P.+1.9mにあり、大部分の試験区域が波の作用を受けている。8月1日の混合砂層厚は、最大で8.5cm、平均で3.2cmである。8月27日には、Y=13mより海側では初期と比較して地盤高が最大16.7cm上昇したが、地盤高の顕著な上昇が見られる範囲で混合砂層厚が厚くなり、Y=13.3mでは最大の24cmとなった。図-5には縦断形変化を示すが、8月1日の地盤変動量は平均値が-1.2cm、標準偏差が4.2cmである。一方、8月27日にはY=13mより海側での堆積が顕著である。図-6には堆積層厚とカラーサンド柱の変化、および侵食後新たに堆積した層の材料の区別とその層厚を示す。8月1日では表層はほとんど砂礫で覆われた。8月27日では当初砂礫層が堆積し、その上に細砂が厚く堆積している。また最も沖側のY=18mでの堆積層の変化によれば、7月31日基準の砂面から17.4cm削られたのち細砂が33cm厚堆積し、結果的に初期状態より砂面が高まったことが分かる。

(2) 混合比1:1の混合砂(ケース2)の混合砂層厚

細砂と礫を1:1で混合した場合の、縦断形、遡上痕跡および混合砂層厚を図-7に示す。8月1日の混合砂層厚は最大で17.8cm、平均で5.3cmである。ケース1(細砂のみ)の同種の結果(図-3)と比較すると、ケース2の平均混合砂層厚はケース1より65%増大している。このことは、混合砂のほうが細砂のみの場合より混合層厚が大きく、攪乱を受けやすいことを意味する。同様にして8月27日の混合砂層厚を図-7(b)に示す。ケース1の混合砂層厚は、図-3(b)に示したようにY=13mまで緩やかに増大し、Y=13.3mで最大値24cmとなったのに対し、ケース2ではY=9.6mより海側の混合砂層厚が明らかに増大している。

図-8は縦断形変化を示す。8月1日の地盤変動量は平均値が-1.7cm、標準偏差が3.8cmである。一方、8月27日にはY=8~13mでは侵食、Y=13mより海側では堆積傾向であり、地形変化パターンはケース1とよく似ている。図-9には堆積層厚とカラーサンド柱の変化を示す。8月1日では変化が小さいが、8月27日では一度深くまで侵食された後砂礫が堆積し、さらにその上で細砂の集中的な堆積が起きた。ケース1と同様、図-8に示した当初地盤

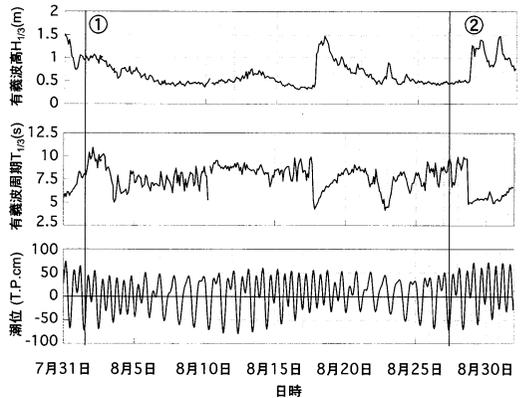


図-2 銚子漁港の潮位と鹿島港沖での波浪観測結果

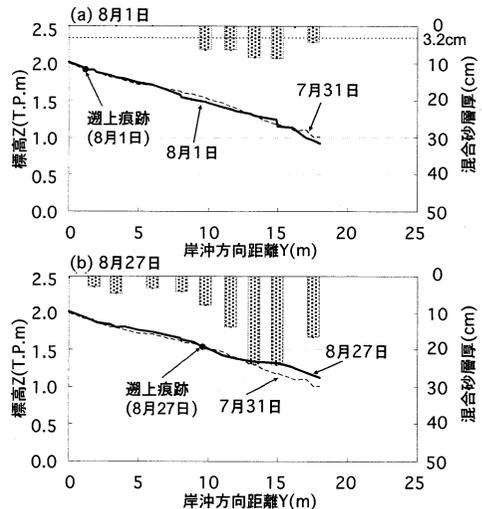


図-3 8月1日と、8月27日測定の縦断形と遡上痕跡、および混合砂層厚

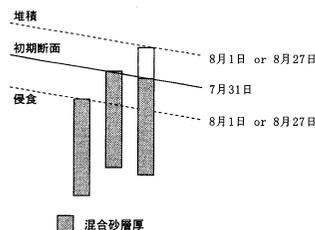


図-4 混合砂層厚の定義

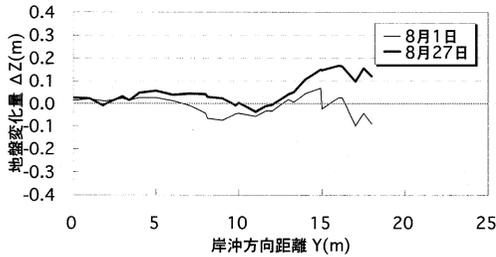


図-5 縦断地形の変化(ケース1)

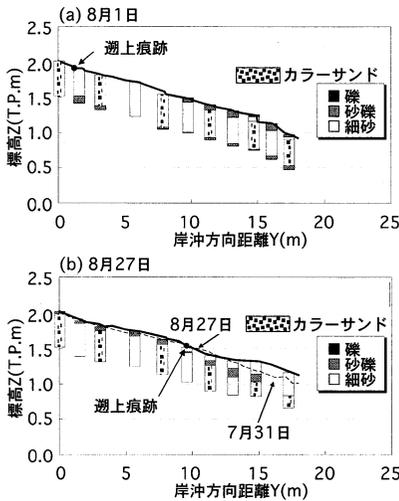


図-6 堆積層厚とカラーサンド柱の変化, および侵食後新たに堆積した層の層厚(ケース1)

面より上部の堆積は全て細砂によるものであることが分かる。最も沖側のY=16mでの堆積層の変化によれば、7月31日基準の砂面から27cm削られたのち、砂礫が22cm、礫が5cm、細砂が20cm厚堆積し、結果的に初期状態より砂面が高まったことが明らかであるが、この特徴はケース1と同様である。

(3) 細砂3:礫7の混合砂(ケース3)の混合砂層厚

細砂と礫の混合比を3:7と、ケース2より礫の含有率を増加させた場合の、縦断形、潮上痕跡および混合砂層厚を図-10に示す。8月1日の混合砂層厚は最大で10.6cm、平均で5.0cmである。ケース1(図-3)、ケース2(図-7)と比較すると、混合砂層厚は礫と細砂の混合比が1:1の場合(ケース2)に近い値となっており、またケース2と同様、細砂のみよりも混合砂では混合砂層厚が大きい。8月27日観測の混合砂層厚分布もケース2と似た分布ではあるが、絶対値は減少している。図-11には縦断形変化を示す。8月1日の地盤変動量は平均値が1.0cm、標準偏差が1.6cmである。8月27日の縦断形の変化状況はケース1、2と異なりY=9m付近で堆積量がピークを有する。また断面内ではいずれの場所でも前浜に砂が堆積して地盤高が上昇している。

(4) 礫のみの場合(ケース4)の混合砂層厚

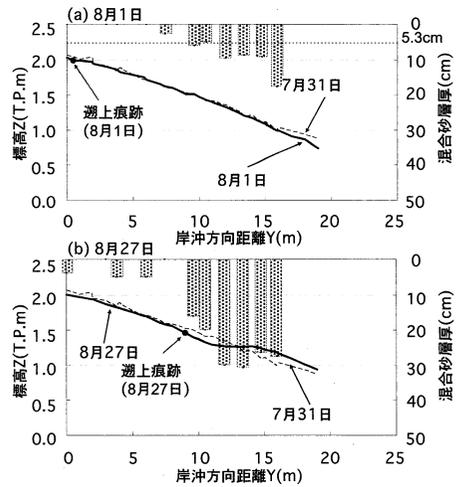


図-7 縦断形, 潮上痕跡および混合砂層厚(ケース2)

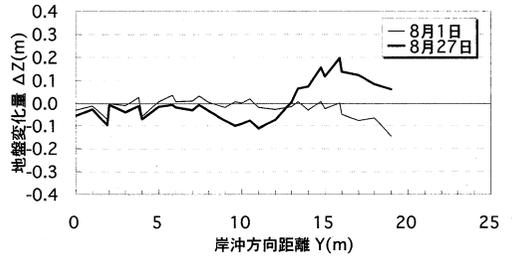


図-8 縦断形変化(ケース2)

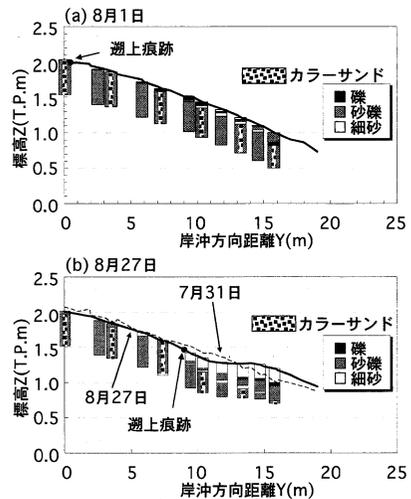


図-9 堆積層厚とカラーサンド柱の変化(ケース2)

図-12は縦断形、潮上痕跡および混合砂層厚である。1日間で、地盤高がT.P.+1.55mより海側の区域では平均で5.8cm地盤高が低下し、逆にこの地点より陸側では地盤高の上昇が見られる。8月1日の混合砂層厚は最大で4.9cm、平均で2.1cmである。8月27日までの変化では、観測期間が長くなったことから縦断形の変化量および混合砂

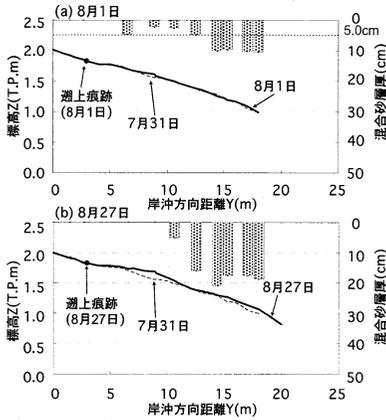


図-10 縦断形, 遡上痕跡および混合砂層厚(ケース3)

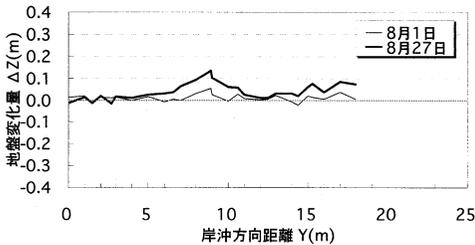


図-11 縦断形変化(ケース3)

層厚が増大している。8月1日での混合砂層厚は、T.P.+1.55mにあった侵食・堆積の変換点で最大値を示したが、8月27日では混合砂層厚は海側へと急激に増大し、T.P.+1.0mで最大の50cmとなった。8月1日の平均混合層厚2.1cmに経過日数28日に乗じると、8月27日での混合砂層厚は58cmとなって、両者はほぼ対応を示す。

図-13は、7月31日から8月1日、27日までの地盤高変化量を示す。7月31日にバームであった付近を中心として地盤高が低下し、最大の低下量は $Y=11\text{m}$ における26cmであった。またいずれの縦断変化においても、海側で地盤高が低下し、岸側で上昇するという変化が起きた。すなわち礫のみの場合、岸向き漂砂が卓越して礫が岸向きに運ばれ、その際汀線近傍の地盤高が低下したことが分かる。ケース4の混合砂層厚は、このように絶えず岸向きに礫が運び去られる条件下での混合の結果生じたものである。

図-14には堆積層厚の変化とカラーサンド柱の変化を示す。8月1日では変化量が少ないのでカラーサンド柱はほぼそのまま残されている。しかし8月27日では、 $Y=16\text{m}$ より海側では50cm厚の試験層全てが削り取られ、そこに細砂層、および砂と礫の混合した砂礫層がサンドイッチ状に堆積している。とくに $Y=18\text{m}$ では8月27日の地盤高の上昇量は0.1cm(8月1日には4.9cm低下)と小さく、初期の地盤高がほぼ保たれていたにもかかわらず、礫層が細砂層と砂・礫の混合層に入れ替わっている。この地点では、8月1日にはカラーサンド柱はそのまま残されてい

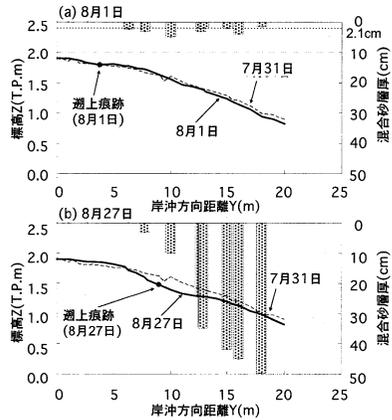


図-12 縦断形, 遡上痕跡および混合砂層厚(ケース4)

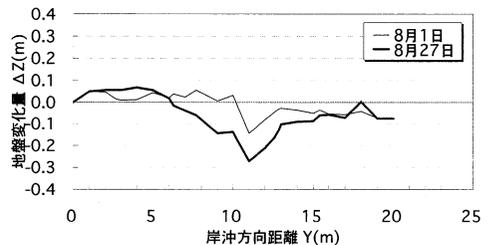


図-13 7月31日から8月1日、27日までの地盤高変化量(ケース4)

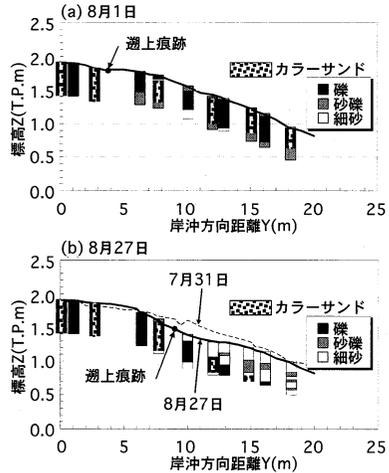


図-14 堆積層厚の変化とカラーサンド柱の変化

たことから、8月1日以降8月27日までの間に50cm厚のカラーサンド柱が侵食され、その後細砂が集中的に堆積してもとの地盤高となった。図-2の波浪条件によれば、この間での高波浪は8月18日～19日に襲来した $H_{1/10}=1.5\text{m}$ の波浪のみである。したがってこの高波浪によって侵食された後、静穏波の作用により前浜に細砂が再堆積したと推定される。トレンチ内の礫の収支は取れておらず欠損量が大きく、その分細砂の含有率が上昇していることから、礫は岸向きに移動しつつトレンチ両側の海岸に拡散

し、その後トレンチを細砂が埋めた結果このような変化が起きたと考えられる。

4. 考察

4ケースの観測結果のうち、7月31日から8月1日までの観測データから、海浜地盤高の変動量の平均値と標準偏差を求めると表-1となる。いずれの場合も地盤変動量は平均で1.7cm以下と小さい。このことはこの間、波による攪乱作用はあったものの、海浜縦断形はほぼ初期値を保っていたことを意味する。一方、8月27日の観測では既に述べたようにいずれの場合にも波浪の強弱に応じた地形変化の履歴が強く残されている。したがって8月1日観測の混合砂層厚は、熊田ら(2003)が定義した混合層厚を近似的に与えると考えられる。そこで、以下では混合砂層厚を混合層厚と読み替え、表-1に再度整理した。混合層厚は平均で3.9cmとなる。

実際には混合層厚は鉛直分布を有している。そこで混合層厚と標高の関係を整理したのが図-15である。なおKraus (1985) は、下北、阿字ヶ浦、大洗海岸などで混合層厚の観測を行い(観測時間1~3hr)、砕波帯内の波の作用により攪乱される混合層厚Zと砕波波高 $H_b$ の関係式として  $Z=0.027H_b$  を提案した。これを考慮し、横軸はKraus (1985)との比較を行うために、トレンチ完成後の7月31日16時から観測時の8月1日14時までの有義波高の最大値( $H_{b1}=1.05m$ ,  $T=8.3s$ : 8月1日2時観測)を用いて、合田の砕波指標より砕波波高を求め、これを用いて無次元化した。混合層厚は波の遡上点では0になるが、汀線方向へと増大傾向にある。全体の平均値はKraus(1985)の値とほぼ等しい。また材料面から比較すると、混合層厚が最も小さいのは礫の場合であり、それに細砂のみの場合が続く。これらに対して細砂と礫の混合材では混合層厚が増大している。

4ケースの地質断面図において、遡上点より沖側の測点では、初期に50cm厚で設定したカラーサンド柱がいずれの場合も侵食に伴いかなり深くまで消失しているが、その深さは一様ではなく、海浜材料ごとに変化している。そこで各ケースのカラーサンド柱の残存標高点を結んで侵食限界線を定め図-16に示す。また侵食限界線の平均勾配も図に示すが、礫分が増加するに従い勾配が急に、逆に細砂分が増加すると緩くなるという特性がある。既に述べたように、細砂と礫の混合材では混合層厚は増加傾向にあるが、侵食時の限界勾配は細砂の含有率が高まるほど緩やかになることが分かる。

5. 結論

神向寺海岸においてトレンチを掘削し、その中にあらかじめ作成した粗粒材、細粒材、およびそれらの混合砂を敷き均した上で、波の作用によるそれらの層の混合状況の差異を現地実験により調べた。この結果、実験時に

表-1 海浜地盤高の変動量の平均値と標準偏差

ケース	地盤変動量の平均値 $\Delta Z$ (cm)	標準偏差 $\sigma$ (cm)	平均混合層厚 $B_z$ (cm)
1	-1.2	4.2	3.2
2	-1.7	3.8	5.3
3	1.0	1.6	5.0
4	-1.6	1.8	2.1

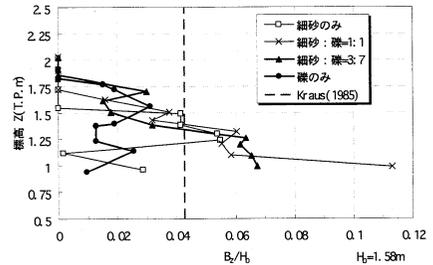


図-15 混合層厚と標高の関係

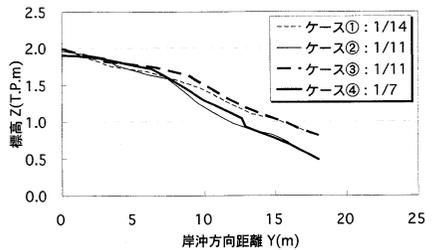


図-16 カラーサンド柱の残存標高点を結んで求めた侵食限界線

は静穏波による前浜への堆積が起こり易い条件下ではあるが、平均混合層厚は3.9cmであること、また材料面から比較すると、混合層厚が最も小さいのは礫の場合であり、それに細砂のみの場合が続く。これらに対して細砂と礫の混合材では混合層厚が増大していることが分かった。さらに、侵食限界線の平均勾配は、礫分の増加に伴い急勾配となることが分かった。

参考文献

石井秀雄・中村友和・宇多高明・大木康弘・熊田貴之・芹沢真澄(2006a):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.  
 石井秀雄・中村友和・宇多高明・高橋 功・大木康弘・熊田貴之(2006b):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.  
 宇多高明・石井秀雄・阿部 良・長山英樹・大木泰弘(2007):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.  
 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄(2003):沿岸・岸沖漂砂による粒径分級を考慮した等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.481-485  
 松浦健郎・宇多高明(2007):鹿嶋海岸の砂浜再生-粗粒材養浜の試み, 土木施工, 第48巻第11号, pp.40-45.  
 Kraus, N. C. (1985): Field experiments on vertical mixing of sand in the surf zone, J. Sedimentary Petrology, Vol.55, pp.3-14.