

明石海岸における礫養浜後の海浜状況変化

BEACH CHANGES AFTER BEACH NOURISHMENT USING GRAVEL AT AKASHI COAST

古谷真広¹・小林昭男²・宇多高明³・野志保仁⁴
Masahiro KOYA, Akio KOBAYASHI, Takaaki UDA and Yasuhito NOSHI

¹学生会員 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

²正会員 工博 日本大学教授 理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³正会員 工博 (財) 土木研究センター常務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 台東区台東1-6-4タカラビル)

⁴正会員 博(工) (有) アイコムネット 環境コンサルタント部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

On the Jinkoji coast facing the Pacific Ocean, beach nourishment using 87,000m³ of gravel with the grain size ranging between 3 and 15 mm had been completed by April 2008. On the Akashi coast located north of the Jinkoji coast, beach nourishment using gravel with the same grain size as that of Jinkoji coast began in November 2008. The beach changes were monitored using the photographs from several fixed points. It was found that fine sand was deposited over the gravel beach under the calm wave conditions, whereas the nourished gravel was transported onshore and deposited in front of the seawall under the storm wave conditions.

Key Words : Beach nourishment, gravel, Akashi coast, seasonal changes

1. まえがき

鹿島灘に面した神向寺海岸では、2005年11月から2008年4月までに粒径3~15mmの礫87,000m³を用いた粗粒材養浜が行われ前浜が復元された¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。この成功を受けて、神向寺海岸の北側を区切る7号ヘッドランド(以下HL)の北側に位置する明石海岸においても2008年11月11日より粗粒材養浜が開始された。明石海岸は図-1のように7号HLの北側に隣接する長さ1kmの海岸であり、現況ではほぼ全線にわたって消波堤が設置されており、前浜はほとんど存在しない。わずかにある砂浜はほぼ粒径が0.2mmの細砂で構成されている。

明石海岸における投入砂礫の粒径は神向寺海岸とほぼ同様の2.5~13mmの粗粒材である。2008年11月の投入開始より2009年11月14日までに総計で48,400m³の粗粒材が7号HLの北側隣接部と明石海岸中央部の2箇所から投入された。7号HLの北側隣接部では、2008年11月17日~12月8日に7,300m³、2009年7月22日~8月6日に7,300m³、引き続いて10月13日~10月28日に7,000m³の礫が投入された。この間の投入量は21,600m³であった。一方、海岸中央部では2008年11月17日~12月6日に6,600m³、11月11日~11月28日に

6,600m³、2009年7月6日~7月21日に7,100m³、10月26日~11月14日に7,600m³、合計26,800m³が投入された。本研究では、7号HLの北側隣接部での粗粒材養浜によって広がった海浜を対象とし、粗粒材養浜の波に対する応答性を調べることにした。

2. 調査方法

土砂投入後2009年1月28日より、粗粒材養浜に伴う海浜状況の変化を写真撮影により追跡した。砂礫の投入は7号HLの北側隅角部から始まったことから、写真撮影箇所は7号HL上と、養浜箇所を斜めに見下ろすことができる7号HLの北130mの護岸上の2箇所からとした。養浜に用いた粗粒材は黒いのに対し、明石海岸に元々ある砂は白いため、粗粒材と海浜砂とは顕著なコントラストをなす。このため粗粒材の移動状況や粗粒材上への砂の堆積状況は写真により明瞭に判別できる。観測ではこの特徴を最大限利用した。また波浪条件については鹿島港の波浪観測が中断されておりデータの取得ができないため、明石海岸の北45kmに位置する常陸那珂港のNOWPAHSデータを参照した。

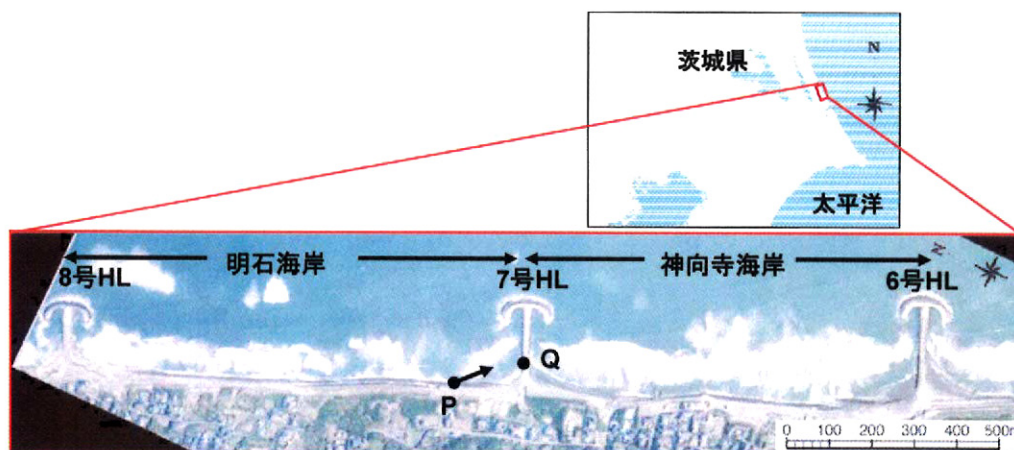


図-1 明石海岸および神向寺海岸の位置

3. 静穏波による粗粒材上への細砂の打ち上げ

粗粒材養浜後、静穏波が作用すると粗粒材の表面に細砂が堆積することが既に明らかにされている⁵⁾。この機構をより詳細に調べるために、定点写真による海浜状況の変化を調べたところ、2 時期において粗粒材上への砂の堆積が観察された。第 1 回は 2009 年 2 月 10 日から 3 月 26 日の観測であり、第 2 回は 2009 年 9 月 17 日から 10 月 2 日の観測である。

図-2(a)は、第 1 回観測開始日の 2009 年 2 月 10 日撮影の海岸状況である。既にこの時まで粗粒材養浜が行われ、緩傾斜護岸ののり先と平行に設置されていた消波堤の半ばを埋めて礫が堆積している。消波堤の海側では白く見えるように礫層の上に砂が堆積している。これに対して消波堤より陸側はほとんどの区域が礫で覆われていた。この状態から 46 日が経過した 2009 年 3 月 26 日の同じ場所の状況を図-2(b)に示す。図-2(a)(b)において、消波堤に突き刺さった流木を A、その下部の異形ブロックを B として比較すると、2 月 10 日には B の頭が砂礫上に突き出ていたが、3 月 26 日には頭の部分を残してほぼ砂に埋まっていることから、砂礫の上に岸向きに運ばれた砂が堆積し、約 0.4m 海浜地盤高が上昇したことが分かる。また消波堤の異形ブロックではブロック間から陸向きに何本もの模様が見えるように、ほぼ海岸線と直角方向に砂が運び込まれたことが見てとれる。同時に消波堤の沖側では大量の砂が堆積し前浜が広がっている。

図-3 はこの間の波浪・潮位条件の変化を示す。 $H_{1/3}$ の変化によれば、2 月 10 日から 3 月 3 日まで (21 日間) は平均波高 1.31m、平均波形勾配 0.016 の静穏な状態が続き、最も波高が低かったのは 2 月 22 日の 0.84m であった。その後 3 月 4 日から 3 月 7 日には低気圧の通過に伴い 3 月 6 日には最大有義波高 3.01m (周期 10.2s) の高波浪が来襲した。しかし 3 月 8 日から 3 月 26 日まで (18 日間) は再び静穏な状態となり、この間の平均波高は 1.24m、平均波形勾配は 0.013 であった。最も波高が低かったの

(a) 2009年2月10日10時 (潮位 T.P. -0.2m)



(b) 2009年3月26日10時 (潮位 T.P. -0.6m)

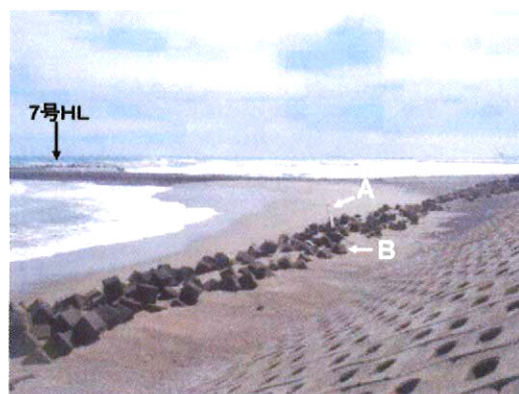


図-2 2009年2月10日と2009年3月26日の海岸状況の変化 (細砂堆積期)

は 3 月 19 日で 0.71m であった。

以上のように 2 月 10 日～3 月 3 日に静穏な状態が続いたことから前浜に砂が堆積したが、3 月 4 日～3 月 7 日に高波浪が来襲したため、前浜に堆積した砂は沖向きに運ばれたと推定される。しかし、その後 3 月 25 日の $H_{1/3}=2.21\text{m}$ の波を除けば、3 月 26 日まで相対的に静穏な波が作用したため図-2 のように異形ブロックがほぼ砂に埋まるまで細砂の堆積

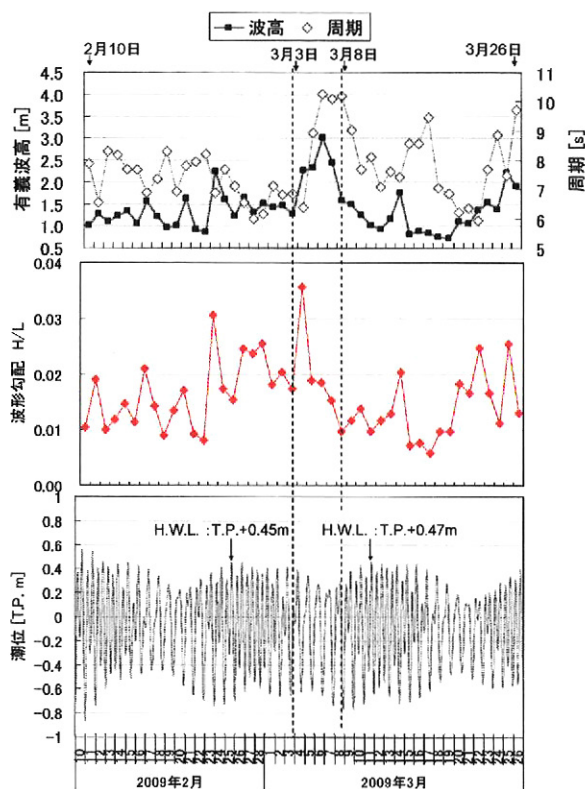


図-3 2009年2月10日から2009年3月26日の波浪条件
(細砂堆積期)

が進んだと考えられる。

図-4(a)は第2回観測開始日の2009年9月17日の海岸状況である。この段階においては流木Aから手前側の消波堤と緩傾斜護岸ののり先の間の海浜は礫で覆われていた。しかし2009年10月2日には図-4(b)のように流木Aより手前側の海浜の礫の上に砂が堆積して色調が一変した。また異形ブロックの頭の露出部分の相対的な高さを比較すると、9月17日から10月2日までに明らかに砂が堆積したことが分かる。

図-5にはこの間の波浪条件の変化を示す。9月20, 21日には有義波高3.08mの高波浪が作用したが、その後9月22日から10月2日まで(11日間)平均有義波高1.41m(周期8.2s)、平均波形状比0.014の静穏波が作用している。このことから岸向き漂砂が起こり粗粒材上への細砂の堆積が進んだと推定される。

4. 高波浪時の粗粒材の陸向き移動

粗粒材養浜におけるもう一つの特徴は、高波浪の作用に伴う遡上高の高まりに応じて、汀線付近に養浜された礫が陸側に打ち込まれたことである。この現象も2回観察された。第1回は2009年8月8日から9月1日までに観察されたもので、観測期間中

(a) 2009年9月17日9時 (潮位 T.P. -0.6m)



(b) 2009年10月2日10時 (潮位 T.P. -0.3m)



図-4 2009年9月17日から2009年10月2日の
海岸状況の変化 (細砂堆積期)

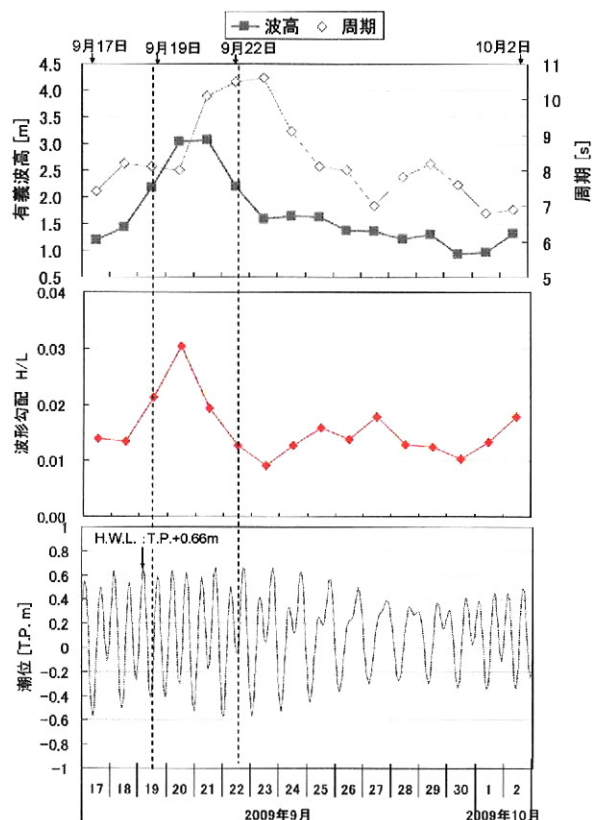


図-5 2009年9月17日から2009年10月2日の波浪条件
(細砂堆積期)

(a) 2009年8月8日12時 (潮位 T.P. -0.6m)



(b) 2009年9月1日10時 (潮位 T.P. -0.3m)

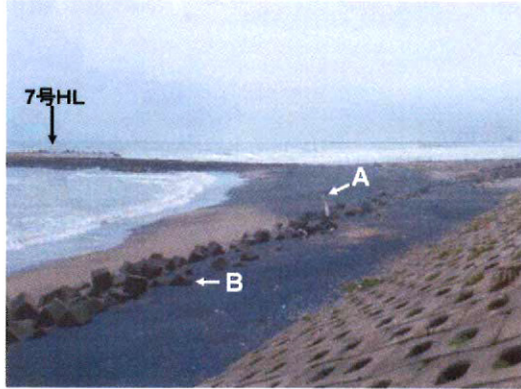


図-6 2009年8月8日から2009年9月1日の
海岸状況の変化 (礫堆積期)

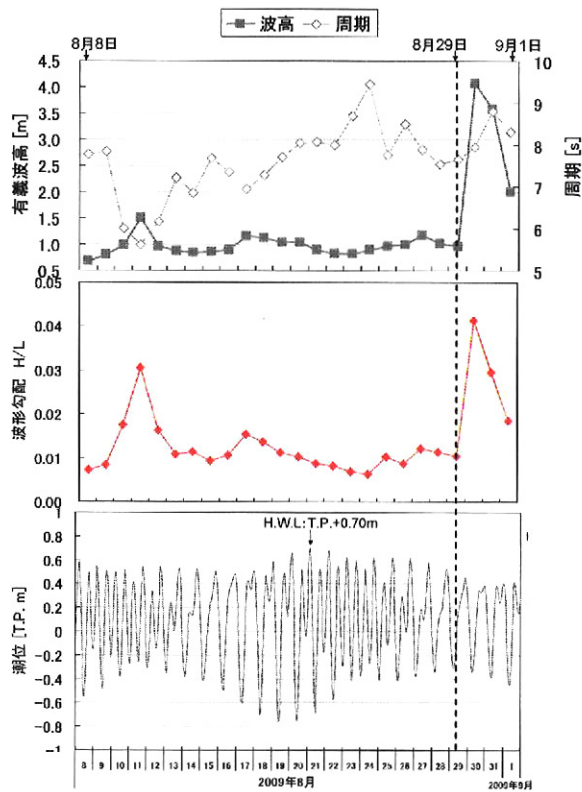
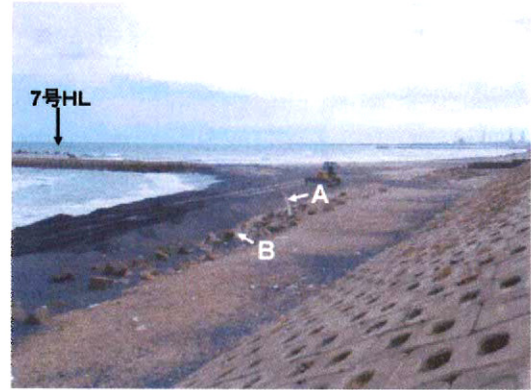


図-7 2009年8月8日から2009年9月1日の波浪条件
(礫堆積期)

(a) 2009年10月23日10時 (潮位 T.P. +0.3m)



(b) 2009年10月29日10時 (潮位 T.P. +0.1m)

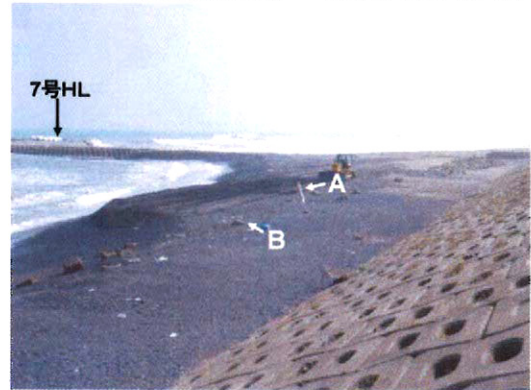


図-8 2009年10月23日から2009年10月29日の
海岸状況の変化 (礫堆積期)

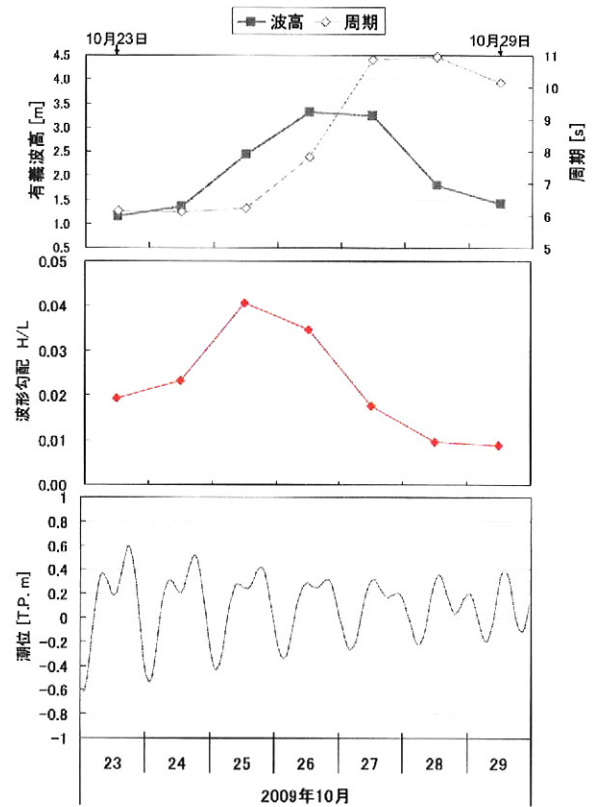


図-9 2009年10月23日から2009年10月29日の波浪条件
(礫堆積期)

に台風 11 号に伴う最大有義波高 5.12m (周期 8.6s) の波の作用があった。第 2 回は、2009 年 10 月 23 日から 10 月 29 日の間に観察され、この間台風 20 号に伴う最大有義波高 5.67m (周期 10.3s) と、第 1 回よりも高い波が作用した。

図-6(a)は 2009 年 8 月 8 日の海浜状況を示す。この時期は粗粒材の投入が行われていた時期であり、消波堤の海側には礫が敷き並べつつあったが、消波堤と緩傾斜護岸の間は砂礫が堆積し、砂の色が白かった。しかし 2009 年 9 月 1 日には図-6(b)のように消波堤より陸側に大量の粗粒材が打ち込まれ、海浜全体が黒くなった。異形ブロック B 付近での地盤高の上昇量は約 0.7m であった。この間の波浪条件を図-7 に示すが、観測開始 21 日目の 8 月 29 日までは平均有義波高 0.97m の相対的に静穏な状態が続いた。しかし 8 月 30 日には台風 11 号に伴う最大有義波高 5.12m (周期 8.6s) の波が作用した。前節までの結果を考慮すれば、8 月 29 日までは静穏波が作用し、粗粒材の上に細砂が堆積したが、台風 11 号による高波浪の作用により、短時間のうちに粗粒材が岸向きに打ち上げられたと考えられる。

同様な現象は 2009 年 10 月 23 日から 10 月 29 日の間にも観察された。図-8(a)は 10 月 23 日の状況である。この時期にもまた消波堤の海側では大量の粗粒材が投入されつつあり、消波堤天端より盛土天端のほうが明らかに高かった。この状況から 6 日目の 10 月 29 日の状況を図-8(b)に示す。10 月 23 日には消波堤の陸側の砂浜は白かったが、一挙に礫が広がり黒くなった。また異形ブロック B の天端の露出状況から岸向きに運ばれた粗粒材が堆積して約 0.6m 海浜地盤高が高まった。さらに緩傾斜護岸ののり先ではブロックの埋まり状況から 0.2m 粗粒材が堆積したことが分かる。

図-9 には 10 月 23 日から 29 日までの波浪条件を示す。10 月 25 日から 10 月 27 日にかけて台風 20 号が来襲したため、10 月 24 日から 27 日まで単調に波高が高まった。したがってこの高波浪により打ち上げ高が増大し、粗粒材の堆積域が陸側に広がったことが分かる。図-9 より、有義波高 $H_{1/3}=3.3\text{m}$ 、波形勾配 $H/L=0.035$ 、宇多ら³⁾より礫浜の勾配 $\tan \beta=1/7$ を与えて Hunt の式⁷⁾より打ち上げ高を算出すると遡上高は 2.52m となる。図-8 に示す流木 A 地点における海浜地盤高は T.P.+2.25m であったことから、これらのいずれも台風の通過に伴った 2 時期の高波浪作用時には、遡上波が緩傾斜護岸ののり先まで達したことは間違いない。

5. まとめ

神向寺海岸の北側に隣接する明石海岸で行われている粗粒材養浜の追跡調査を行った。その際、養浜に用いた粗粒材は黒いのに対し、明石海岸に元々ある砂は白いため、粗粒材と海浜砂とが顕著なコントラストをなすことから粗粒材の移動状況や礫浜への砂の堆積状況を写真により明瞭に判別できた。この特徴を最大限利用した観測によれば、夏季に典型的に見られるように静穏波が継続的に作用する条件では礫浜の上に砂が堆積すること、一方高波浪時には礫浜に堆積した砂は短時間で沖向きに移動すると同時に礫が岸向きに打ち上げられることが分かった。静穏波条件での砂の堆積は、自然海浜における波浪の強弱に伴う岸沖漂砂と同じ経過をたどり、砂が岸向きに運ばれるが、礫浜は勾配が急なため通常の条件では礫浜上に細砂は堆積できないが、古谷ら⁶⁾が実験的に示したように礫層では浸透効果が著しいため砂の堆積が促進されたと考えられる。一方高波浪時には、砂は急速に沖向きに移動する一方、礫は平衡勾配が大きいため勾配があまり変わらずに打ち上げ高が高まった分標高の高い場所まで運ばれ堆積したと推定される。

参考文献

- 1) 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. 887-892，2006a.
- 2) 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，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 681-685，2006b.
- 3) 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.
- 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) 松浦健郎・宇多高明・諏訪義雄・山田浩次・福本崇嗣：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，海洋開発論文集，第 25 巻，pp. 1119-1124，2009.
- 6) 古谷真広・小林昭男・宇多高明・野志保仁・清水達也・遠藤将利：礫浜における細砂中砂の挙動に関する実験的研究，海洋開発論文集，第 25 巻，pp. 1113-1118，2009.
- 7) 土木学会：水理公式集，社団法人土木学会，p. 472，1999.