

神向寺海岸における粗粒材養浜後の礫層分布の現地実測

Field Investigation of Gravel Layers after Beach Nourishment using Gravel at Jinkoji Coast

土子浩之¹・宇多高明²・松浦健郎³・阿部 良⁴・熊田貴之⁵・大木康弘⁶

Hiroyuki TSUCHIKO, Takaaki UDA, Takeo MATSU-URA, Ryo ABE
Takayuki KUMADA and Yasuhiro OKI

After the completion of beach nourishment using 87,000 m³ of gravel with the grain size between 3 and 15 mm in April 2008 at the Jinkoji coast which faces the Pacific Ocean and is surrounded by artificial headlands, boring test and core sampling on the beach were carried out to investigate the formation of the gravel layers. It was found that gravel is deposited with a slope of 1/8 on foot of the seawall, exhibiting the foot protection effect to the seawall, and the nourishment gravel is stably deposited without offshore discharge.

1. まえがき

鹿島灘に面した神向寺海岸では、従来の細砂養浜に比べて安定性が高く、歩留まりのよい粗粒材（径3～15 mmの礫）を用いた養浜が行われてきたが、2008年4月末には87,000 m³の粗粒材の投入が完了した。この間、粗粒材は細砂と移動特性が大きく異なることから種々の現地調査が行われた。野川ら（2008a）は、トレンチを掘削し、トレンチ内を礫のみ、細砂のみ、および混合材に置換した上で同じ波浪・潮位条件での応答特性の違いを調べ、細砂と礫の混合材料では、細砂あるいは礫のみの場合と比較して動き易さが増加することを示した。また野川ら（2008b）は、養浜期間中の縦断形変化を調べ、養浜期間中も投入礫は護岸前面にほぼ1/8勾配の急斜面をなして堆積し、沖合の細砂からなる緩勾配の海底面から急に立ち上がる縦断形となることを明らかにした。本研究は、これらの研究を参照しつつ、粗粒材投入完了後にコアサンプリングやボーリング調査を実施することにより粗粒材の堆積状況を調べ、粗粒材養浜の護岸根固め機能や、粗粒材の沖合への流出の可能性が極めて低いことを現地実測により明らかにする。

2. 観測方法と波浪条件

2008年4月末における粗粒材養浜の完了（野川ら、2008b）を受けて、復元された前浜の地層構造を調べるために汀線測量を行うとともに、掘削、コアパイプによる試料採取、およびボーリング調査を行った。汀線測量、

掘削およびコアパイプによる地層調査は2008年7月30日と8月26日に、またボーリング調査は7月28日～8月1日に実施した。汀線測量の範囲はT. P. +2～-2mの間である。また図-1に示す10測線において標高1m毎に海底地盤調査を行った。その際、T. P. 1m以上はスコップにより0.5mまで掘削し、海面下ではコアパイプにより砂を抜き取った。コアパイプによる地層調査では、コアパイプ（ゴム栓付きアクリルパイプ）を底質表面から深さ方向に約10cm差し込んで試料を採取した。採取試料は、目視で泥、砂、礫、砂と礫が混じった層に区分し、層厚を計測した。ボーリング調査では、ロータリー式スピンドル型ボーリングを使用し、エンジンの機械力によりコアチューブを回転させ、コアチューブを圧入しながら掘削した。掘削孔径φ66mmでコア採取を行った。またボーリングは、5測線上の基本的に標高T. P. +1.0, +0.5, -1.0, -1.5, -2.0m地点で行った。ボーリング試料もコアパイプと同様層区分を行い、層厚を計測した。なお、層厚は採取試料より読み取った値をそのまま用いているため、実際の圧入深さとは異なる。

調査期間中の外力条件を調べるために、海岸沖の水深10mに水圧式波高計を設置して波浪の連続観測を行った。2008年7月29日～9月2日における有義波高 $H_{1/3}$ 、周期 T 、波向の観測結果を図-2に示す。全体的に観測期間は静穏な条件が続いたが、8月21日には $H_{1/3}=2.2$ mの高波浪が作用した。このときの波の入射方向は、ほぼ海岸線への法

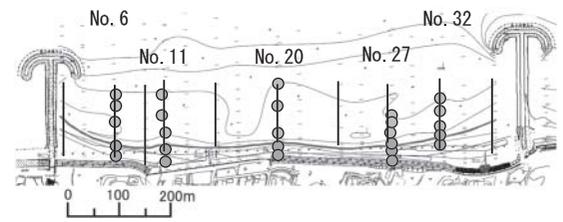


図-1 海底地盤調査の測線配置

1		茨城県潮来土木事務所河川整備課 課長
2	正会員 工博	(財)土木研究センター常務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		茨城県高萩工事事務所河川整備課 主任
4		茨城県土木部河川課 ダム砂防室
5	正会員 博(工)	(株)水圏科学コンサルタント 技術部
6		(株)水圏科学コンサルタント 技術部

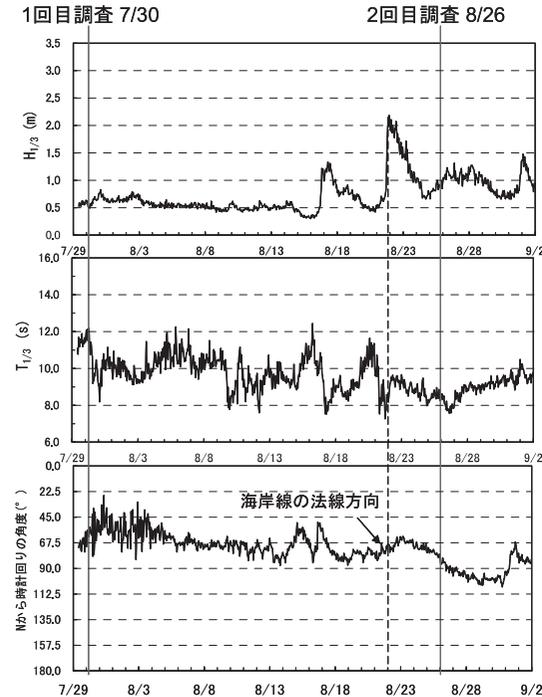


図-2 波高・周期・波向の経時変化 (2008年7月29～9月2日)

線方向 (N67.5°E) からであった。

3. 掘削およびコアパイプによる地層調査の結果

図-3 (a) は、測線No.6における7月30日と8月26日の前浜縦断面形と地層調査地点を示す。測点A, B, C, D, Eは7月30日における縦断面形上の標高T. P. +2, +1, 0, -1, -2m地点に位置し、これら各測点において鉛直サンプリングを行った。図-3 (b) は7月30日から8月26日の地盤高の変化量を示すが、調査期間中の8月21日の $H_{1/3}=2.2\text{m}$ の高波浪の作用に伴い前浜が侵食され、最大1m地盤高の低下が起きた。このとき各測点の標高はT. P. +1.4m (A), +0.1m (B), -1.0m (C), -0.9m (D), -2.0m (E) となった。図-3 (c), (d) に示す地質断面を見ると、いずれの時期もAでは礫の含有率が高いが、汀線に近いBの表層は細砂により覆われている。Bでは7月30日から8月26日の間に地盤高がT. P. +1mから+0.1mへと0.9m下がったものの、依然として細砂の含有率が高い。7月30日には汀線上にあったが8月26日には-1.0mまで地盤高が低下したCでは、いずれの時期も礫を多く含んでいる。地盤高が-1mで高波浪の作用に伴う沖向き漂砂により砂が薄く堆積したDでは、細砂の堆積が顕著である。

6, 7号HL間の中央の測線No.20について測線No.6と同様に整理した結果を図-4に示す。この測線はHL間の中央にあると同時に、背後の護岸線が海側に突き出ているため

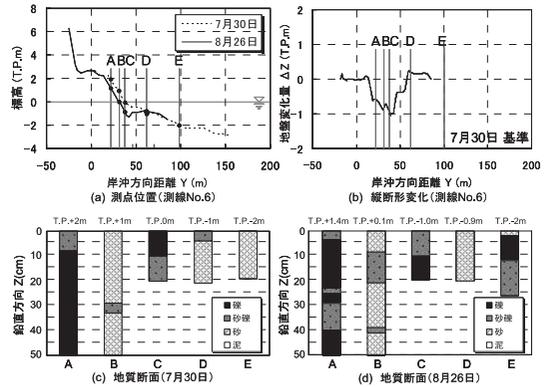


図-3 海浜縦断面形と地層断面 (測線No.6)

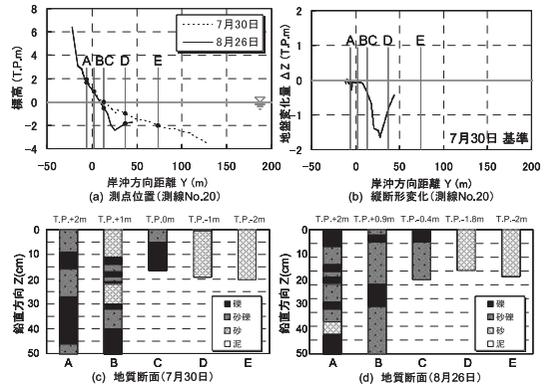


図-4 海浜縦断面形と地層断面 (測線No.20)

前浜幅が狭く、また汀線変動が著しい。観測期間中、各測点の地盤高は、標高T. P. +2, +1, 0, -1, -2mから+2m, +0.9m, -0.4m, -1.8m, -2mへと変化し、前浜から-2mまで1/7と急勾配で落ち込む断面形となった。侵食量は汀線に近づくに従い増大し、CD間では最大1.5mに及ぶ。この測線は測線No.6と異なり、海浜地盤高の低下とともに表層で粗粒化が進んでいる。これは侵食により前浜の基盤にあった礫が現われたためと考えられる。しかし沖合のDでは、地盤高が低下したにもかかわらず粗粒化は全く起こらず、海底表面は細砂で覆われたままである。Eも同様である。これらは、D, E付近には礫がほとんどないことを示しており、野川ら (2008b) が指摘したように礫の沖への流出の可能性が極めて低いことを示している。

HL間の中央より6号HLに近い測線No.27の観測結果を図-5に示す。観測期間中、測点A, Bの地盤高はほぼ一定であったが、C, DではそれぞれT. P. +0mから-0.2mに、-1mから-1.4mに低下した。侵食量はCD間で最大1.2mであった。海浜縦断面形の変化は図-4に示した測線No.20と非常によく似ており、汀線のすぐ沖が深掘れしている。この測線ではA, Bの地層構造は礫と砂礫の互層構造となったままで大きな変化は認められないが、汀

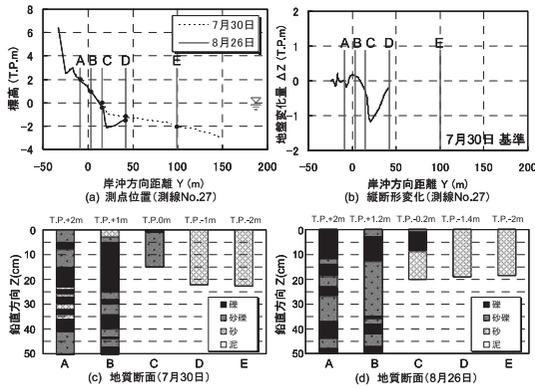


図-5 海浜縦断面と地層断面 (測線No.27)

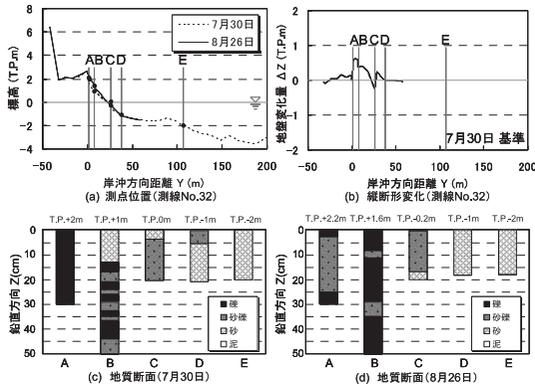


図-6 海浜縦断面と地層断面 (測線No.32)

線付近に位置するCでは、侵食後表層で粗粒化が起きた。しかし測線No.20と同様、沖合のD、Eの海底表面は細砂で覆われたままである。

図-6は、6号HL近傍の測線No.32における観測結果を示す。この測線では頂部が三角形状で、その頂点高が2.6mのきれいなバームが発達しており、他の測線と異なり高波の作用後海浜には砂礫が堆積して地盤高が上昇している。地盤高の上昇量はAB間での50cmである。同時に前浜上のA、B、Cでは表層で粗粒化した。この付近は最後に養浜された場所(2008年4月22日養浜完了)であって、波による海浜応答が収束していなかったことが上記地形変動の原因と推定される。一方沖合のD、Eでは他の測線と同様、海底表面は細砂で覆われており、礫は見られない。

4. ボーリングによる地層調査の結果

ボーリング調査より得られた7月30日の地層分布を、養浜前の2005年11月の縦断面とともに図-7~図-10に示す。ボーリング調査は、礫養浜前の原地盤まで掘り抜くことにより、粗粒材の堆積域を明確に区分できると考えて実施した。測線No.6では、礫養浜により地盤高は最大約3m上昇している。しかし前浜の地盤構成材料は、全

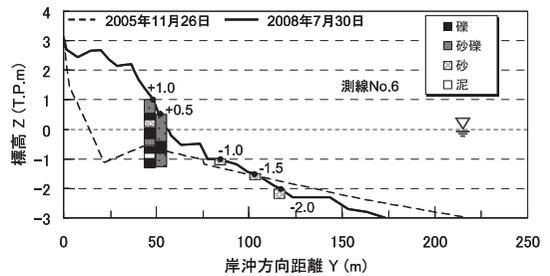


図-7 7月30日の地層分布 (測線No.6)

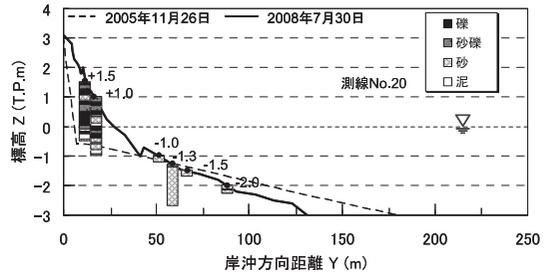


図-8 7月30日の地層分布 (測線No.20)

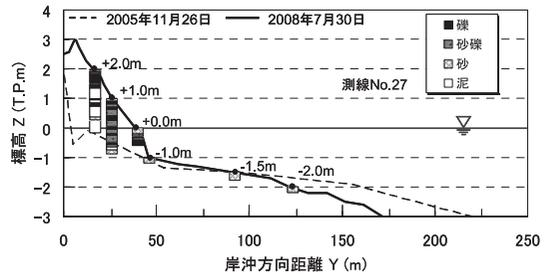


図-9 7月30日の地層分布 (測線No.27)

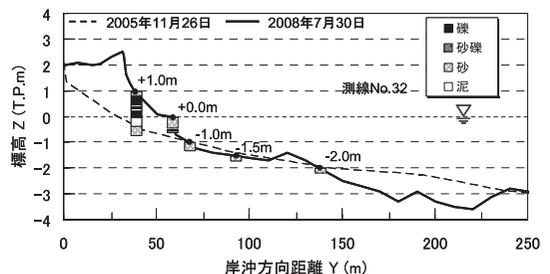


図-10 7月30日の地層分布 (測線No.32)

量が礫ではなく互層状態で堆積している。これと対照的に、海面下の3測点ではいずれも砂のみが堆積し、礫層は見られない。6、7号HLの中央に位置し、浜幅が狭く最も波浪条件の厳しい測線No.20では、狭い前浜に砂礫に互層構造が形成されており、この測線でも沖合の海底面には礫が存在しない(図-8)。沖合では養浜前の地盤高と比較して地盤高が低下しているが、この付近ではも

もと堆積していた細砂が掘られたのみと考えられる。6号HLに近いNo.27では、三角形の前浜が形成されたが、この測線の標高2mの下層には厚い泥層が形成されている(図-9)。これは背後から排水路の流入があり、そこから流入した泥が堆積したものと考えられる。この測線でも、沖合の海底面は侵食されたが、このときも元々堆積していた細砂が堆積している。HL近傍の測線No.32でも礫の堆積は-1m付近から高さ2.5mのバームまでの急勾配斜面より陸側に限られる(図-10)。

以上測線No.6, 20, 27, 32の縦断形変化と地層分布によれば、養浜前の2005年11月26日の縦断形において、護岸前面水深0の点を通して海底勾配1/45の緩勾配の原海底面を考えると、投入された粗粒材はこの緩勾配斜面の上で、前浜勾配1/8(4測線の平均値)となるよう堆積し、いずれの場合も護岸にへばり付くように堆積していること、したがって粗粒材の沖合への移動はほとんどないことが分かる。このことは粗粒材養浜の根固め効果が高いことを示している。

5. 柱状資料における礫層割合

礫層分布を明らかにするために、掘削、コアパイプ、ボーリングの調査より得られた柱状試料中における礫層割合を求め、その空間分布を調べた。試料内の礫層割合は、図-11に示すように、目視により互層構造の各礫層厚を求めた上でそれらの和を算出し、全長で割って割合を求めた。1例として、図-12には測線No.6における礫層割合の岸沖分布を示す。この測線では、前浜のほぼ1/8勾配斜面と、沖合の平均1/50の緩勾配斜面が水深0.5m付近で交差し、この勾配変化点を境に礫層割合が全く異なる。すなわち水深0.5m付近より陸側の急勾配部分では、地層内の礫層割合が高いのに対し、沖合では礫層割合は0である。これより礫は護岸前面に押し付けられるようにして堆積していることが分かる。

図-13は、7月30日と8月26日における掘削・コアパイプ調査の結果、およびボーリング調査の結果をまとめて示す。7月30日と8月26日と波浪の作用履歴は異なっても、礫層割合は平均海面以上でのみ高く、-0.5m以深では礫層割合は0であることが分かる。

6. 前浜構成材料の組成成分

前浜構成材料の粒度組成が岸沖方向に、かつ沿岸方向にどのように変化するかを調べるために、図-1に示したNo.1からNo.37までの10測線について、7月30日に地盤高がT. P. 2m, 1.0m, 0.0mであった地点で前浜材料を採取し、フルイ分けした結果を図-14, 15, 16に示す。なお8月21日に $H_{1/3}=2.2m$ の高波が作用した結果、前浜は侵食され、7月30日に地盤高がT. P. 2m, 1.0m, 0.0mであ

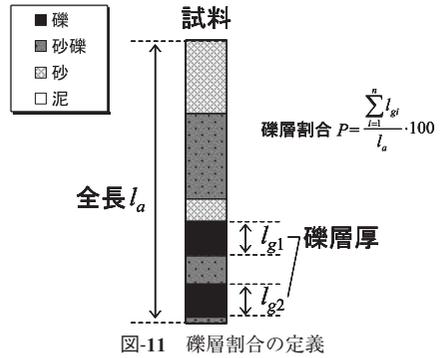


図-11 礫層割合の定義

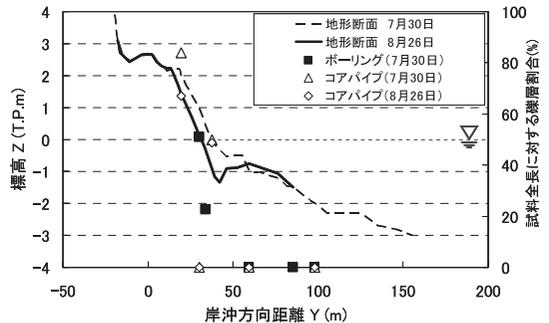


図-12 礫層割合の岸沖分布の例(測線No.6)

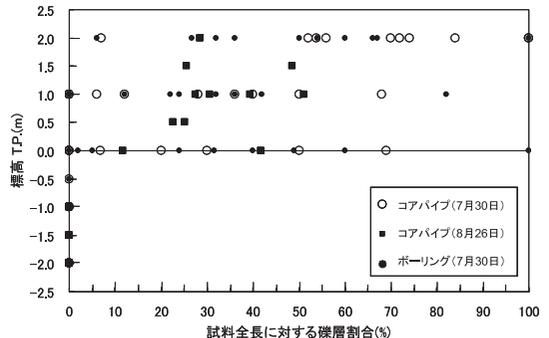


図-13 礫層割合の水深分布

った地点の標高は、8月26日にはそれぞれT. P. 1.9m, 0.8m, -0.4m(各測線の平均値)と低下している。7月30日に+2mであった場所ではポケットビーチの両端は礫のみが出現し、中央部では細砂および粗砂の含有率が高いという分布であった(図-14)。それが8月26日には海浜地盤高が侵食されて0.1m低下したことにより、いずれの場所でも礫の含有率が高まった。当初の標高が+1.0mであった場所での同様な分布を図-15に示すが、ここでは図-14の場合と異なり、7月30日には前浜に岸向き漂砂が運ばれ堆積した結果、細砂の含有率が平均40%程度まで高まった。しかし高波浪によって侵食された後の8月26日には細砂の含有率が大きく低下しほぼ20%未満とな

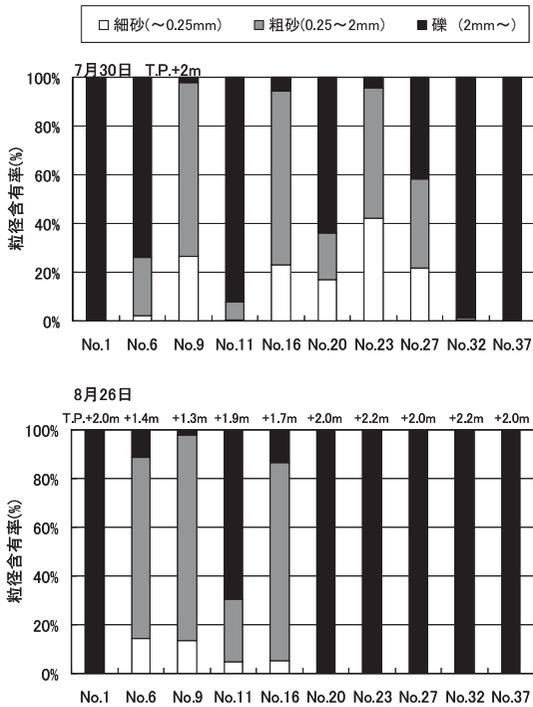


図-14 7月30日と8月26日における表層砂の粒度組成の比較 (T. P. + 2m)

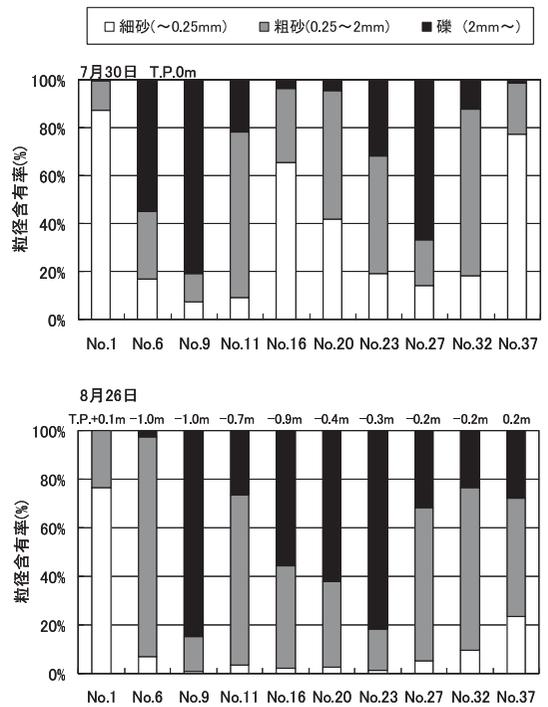


図-16 7月30日と8月26日における表層砂の粒度組成の比較 (T.P.0m)

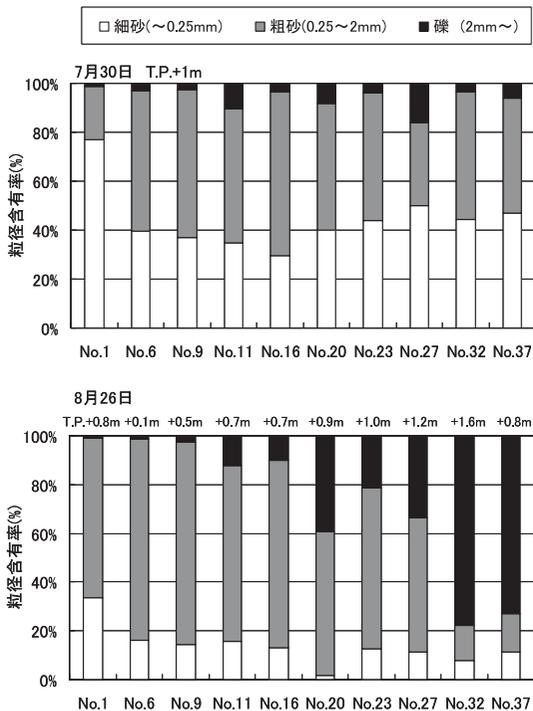


図-15 7月30日と8月26日における表層砂の粒度組成の比較 (T. P. + 1m)

高波浪の作用でこの細砂は一挙に侵食されることが分かる。7月30日に平均水面にあった場所の同様な分布を図-16に示す。ここでも7月30日には細砂の含有率が両端部と中央部で高かったが、侵食によって中央部と南端のNo.37では粗粒化が進んだ。このことはこれらの場所で高波の作用で侵食が進んだ結果と解釈できる。

7.まとめ

神向寺海岸での粗粒材養浜完了後の海浜に対して、掘削、コアパイプ、ボーリング調査を行った。この結果、養浜前の2005年11月26日の縦断形において、護岸前面水深0の点を通して海底勾配1/45の緩勾配の旧海底面を考えると、投入された粗粒材はこの緩勾配斜面の上で、前浜勾配がほぼ1/8で、いずれの場合も護岸にへばり付くように堆積していること、したがって粗粒材養浜は護岸の根固め機能を有することが分かった。また同時に粗粒材の沖合への移動はほとんどないことも明らかになった。

参考文献

野川康利・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・熊田貴之・長山英樹 (2008a)：神向寺海岸における混合砂層厚変化に関する現地実験，海岸工学論文集，第55巻，pp. 771-775。
 野川康利・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・長山英樹・大木康弘 (2008b)：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。

った。これより静穏波条件では前浜に細砂が堆積するが、