

神向寺海岸における礫養浜の追跡調査

FIELD TEST OF GRAVEL NOURISHMENT ON JINKOJI COAST

宇多高明¹・石井秀雄²・阿部 良³・長山英樹⁴・大木康弘⁵

Takaaki UDA, Hideo ISHI, Ryo ABE, Hideki NAGAYAMA and Yasuhiro OKI

¹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)

²茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備第二課長(〒311-2424 茨城県潮来市潮来1086-1)

³茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備第二課技師(〒311-2424 茨城県潮来市潮来1086-1)

⁴(財)土木研究センター(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

⁵(株)水圏科学コンサルタント(〒145-0064 東京都大田区上池台1-14-1 明伸ビル)

Field test of gravel nourishment was carried out on the Jinkoji coast surrounded by artificial headlands No. 6 and No. 7. After the preliminary nourishment using gravel of 7,000 m³ in 2005, 13,000 m³ of gravel was additionally nourished. After the beach nourishment, extraordinary high waves attacked the coast in October in 2006. Despite these high waves, nourished gravel was stable to deposit in front of the seawall in a zone shallower than 2 m below MSL, resulting in foot protection effect of the seawall without damaging the shellfish ground off the coast, where seabed materials are composed of fine sand.

Key Words : Gravel nourishment, Jinkoji coast, artificial headland, foot protection

1. はじめに

茨城県の鹿島灘沿岸のうち鹿島港以北の海岸では、それぞれ北端と南端における大洗港と鹿島港の防波堤建設に伴って海浜中央部から波の遮蔽域へと向かう沿岸漂砂が生じ、海浜中央部では侵食が進んできた。とくに防波堤による波の遮蔽域には細粒分が選択的に堆積したため、中央部海浜では海浜底質の粗粒化と前浜の急勾配化が同時に起こりつつある^{1) 2)}。鹿島灘に面した一連の地先海岸の一つであり、鹿島港の北端から約 3km 付近に位置する神向寺海岸にあっても侵食が著しい。このため、侵食対策としてヘッドランド(HL)の建設が進められてきたが、HL建設中にも海浜の細砂が運び去られた結果近年でも侵食が著しく、護岸前面の水深が増大したことから、冬季のNE方向からの入射波条件下で護岸からの越波が著しい。このため地元住民から越波軽減に対する強い要望が出されている。過去に鹿島港の浚渫土砂を用いた養浜も行われたが、粒径が小さいため直ちに流出し、越波防止効果は見られなかった。このことから、主に護岸前面に堆積して護岸前面の地盤高を高め、勾配を緩めることによって越波を防止する手法として、石井ら^{3) 4)}は、粒径 2.5mm~13mm の礫を用いた養浜の現地試験を行い、この海岸では投入礫が汀線付近に留まり、海岸護岸の根固めとなることを明らかにした。この場合、この海域で漁獲されるチョウセンハマグリ⁵⁾の生育には、0.15mm~0.2mm 程度の粒径からなる細砂で覆われた海底面が必要で

あり、そこに投入礫が流出すれば大きな問題となる。このような観点から見たとき、石井ら^{3) 4)}の現地実験は観測中の有義波高が最大でも 2.92m(周期 9.6s)であって、異常波浪時において投入礫が沖合に移動しないかどうかの確認が必要であった。このことから、本研究では予備試験時の土砂投入量 7,000m³をさらに増やし、1.3 万 m³の粗粒材を 2006 年 9 月~11 月に投入した。そしてこの現地実験の効果を確認するために、深淺・汀線測量、底質調査、および波浪観測を行った。ここではこれらの観測データをもとに投入礫の移動状況について取りまとめる。

2. 観測方法

前報^{3) 4)}と同様、図-1 に配置を示すように神向寺海岸の 7 号ヘッドランド(HL)を基準とし、6 号 HL との間において 7 号 HL から南に 33 本の測線を定めて深淺・汀線測量を実施した。測線間隔は 7 号 HL から南 520m までは 20m 間隔、それ以南では 40m または 60m 間隔である。測量時期は施工前の 2006 年 7 月と施工中の 11 月である。また測線 No. 6 と No. 11 に沿って岸沖方向に陸上部の T.P. +2m から水深 6m まで 1m 間隔で底質サンプルを採取し、乾燥後フルイ分け分析を行うとともに、底質の写真撮影を行った。さらに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。また適時海岸状況の写真撮影を行った。

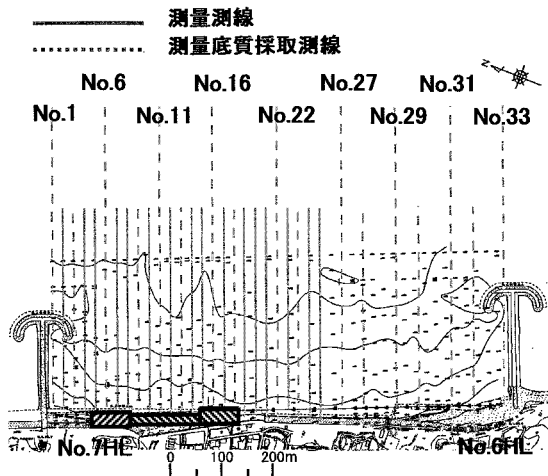


図-1 神向寺海岸の試験区域と測線配置

3. 観測期間中の波浪条件

2006年9月1日～12月11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。約3カ月の観測期間中、有義波高2m以上の時化が13回発生しており、それらのうち5回は4mを超える高波浪であった。

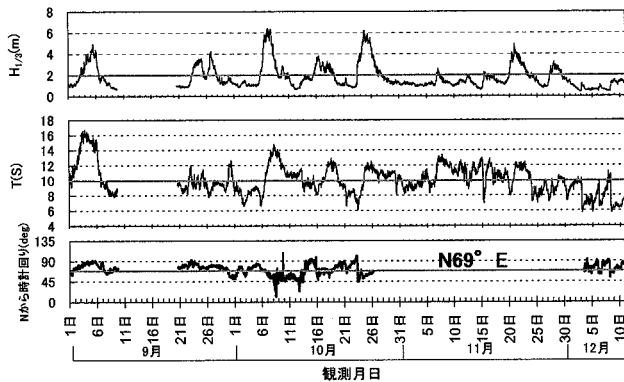


図-2 2006年9月1日～12月11日における有義波高 $H_{1/3}$ 、周期 T 、波向の観測結果

表-1 観測区間中の高波浪の発生時と波高・周期・波向

諸元	$H_{1/3}$ (m)	T (s)	主波向 (deg)	16方位	諸元	$H_{1/3}$ (m)	T (s)	主波向 (deg)	16方位
日時					日時				
9月5日23時	4.40	15.5	83	E	10月18日11時	3.11	12.4	66	ENE
9月25日4時	3.57	11.3	80	E	10月24日17時	6.23	11.2	57	ENE
9月26日21時	4.26	9.2	80	E	11月7日2時	2.60	13.2	欠測	欠測
10月7日6時	6.43	12.8	55	NE	11月15日11時	2.26	8.4	欠測	欠測
10月9日21時	2.89	11.9	51	NE	11月20日23時	4.94	12.0	欠測	欠測
10月16日11時	3.79	9.6	57	ENE	11月28日2時	3.23	8.9	欠測	欠測
10月17日5時	3.27	10.5	70	ENE					

表-1にはこれらの高波浪の発生時と波高・周期・波向をまとめて示すが、とくに10月7日6時には海岸保全施設の設計波高(50年確率 $H_{1/3}=6.3\text{m}$)を越える波高6.43m(周期12.8s)の波浪が襲来し、またその17日後の10月24日17時には再び波高6.23m(周期11.2s)の高波浪が来襲した。また、本州東岸で異常に発達を遂げつつ通過した低気圧によって設計波高を超える異常波浪が襲来した10月7日を挟む期間の潮位として、図-3には大洗港の潮位を示す。実測潮位は10月6日の0時頃から予報潮位より上回り、最高潮位は10月7日3:10にT.P.+1.60mを記録した。

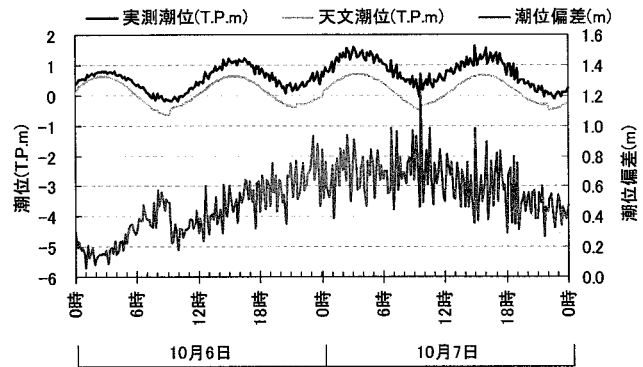


図-3 異常波浪が襲来した10月7日を挟む期間の大洗港の潮位

このときの天文潮位からの偏差は0.91mに達しており、その後も平均的に0.6m以上の潮位偏差の期間が10月7日17時頃まで継続した。この低気圧による異常潮位・異常波浪により茨城県内の各地の海岸で護岸の倒壊や著しい侵食被害が生じた。

一方波向観測結果によれば、図-2と表-1に示すように、入射波は海岸線直角方向(N69°E)に対し、 $H_{1/3}$ が6.43mと6.23mの波高が出現した10月7日6時と10月24日17時の主波向はそれぞれ55°と57°で、海岸線直角方向に対し14°と12°反時計(左)回りの方向からの入射であって、いずれも南向きの沿岸漂砂を生じる方向から高波浪が入射したことが分かる。

4. 測量データに基づく礫養浜の効果検証

まず石井ら^{3) 4)}と同様に試験施工前後の海浜形状の比較を行う。図-4(a), (b)は、2005年11月26日と2006年11月10日の深浅図の比較である。

予備実験と本実験両者とも粗粒材が投入されたのは測線No.6付近であるが、この付近を境に、2005年11月26日には標高+1mの区域が7号HL側のみ三角形に分布していたが、2006年11月10日ではこの区域が南側へ広がり、測線No.18にまで達している。これは投入礫が汀線に沿って南側へ広がりつつ堆積したことを示す。海浜地盤高は護岸前面の細長い帯状区域で上昇し、2006年11月10日ではT.P.±0m以上の区域が測線No.18を越えて南側に大きく伸びた。礫が南向きに大きく広がった原因は、図-2に示したように北東方向からの入射が卓越したことによると考えられる。このように礫が護岸に沿って細長く帯状に分布するという特徴は、石井ら³⁾の等深線変化モデルによる予測結果とよく一致する。

図-5は図-4に示した2005年11月26日と2006年11月10日の測量結果から算出した地形変化量の平面分布である。7号HLの南側側面では-2mに達する洗掘が生じ、また海浜中央部にもリップチャネルの発達に伴うと見られる深みが発達しており、沖合部での地形

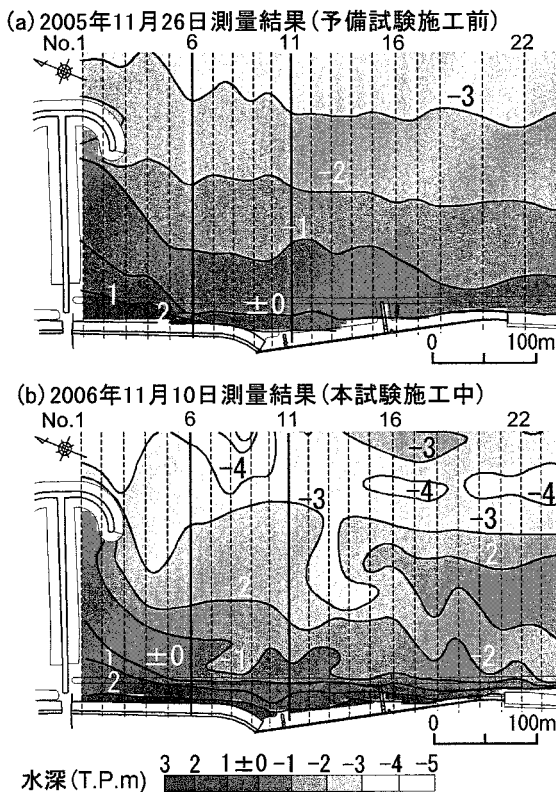


図-4 2005年11月26日と2006年11月10日の深浅図の比較

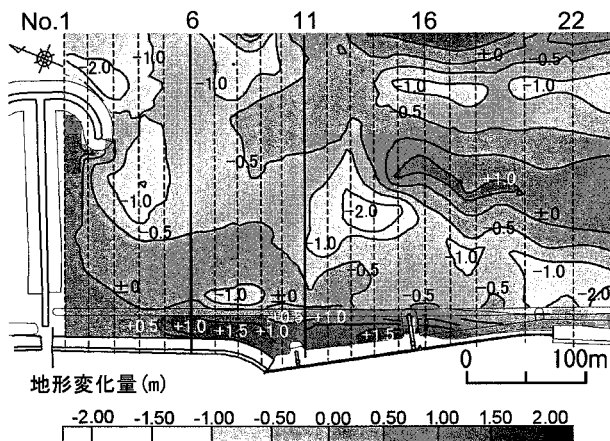


図-5 地形変化量の平面分布
(2005年11月26日 vs. 2006年11月10日)

変動量はかなり大きい。これに対し海岸護岸の前面では細長い帯状の堆積区域が見られる。これは礫が堆積したことによる。

図-6 は測線 No. 6 と No. 11 に沿う海浜縦断形の変化を示す。測線 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ている。また詳細に観察すると、Y=0m 付近に 1.6m の高さを持つバームの形成が認められ、バーム頂と前浜基部とを結ぶ斜面の勾配は 1/7 と急である。同様に、測線 No. 11 では No. 6 付近に投入された礫が波の作用で移動堆積し、測線 No. 6 と同様な堆積状況が見られる。投入礫は Y=6m 付近に遷急点を持ち、そこから 1/12 の勾配をもって護岸にまで達している。護岸との接点の標高は 3.5m で、この値は測線 No. 6

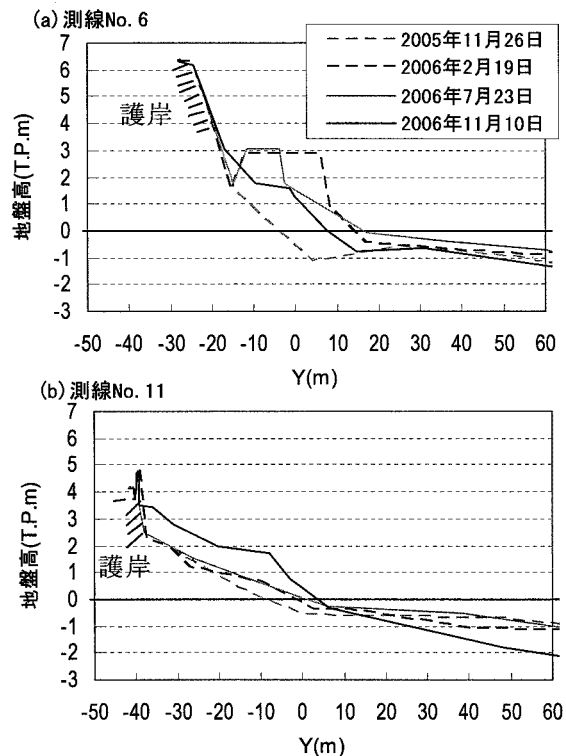


図-6 測線No. 6とNo. 11に沿う海浜縦断形の変化

における 3m より大きい。この理由として、測線 No. 6 は 7 号 HL による遮蔽を受けるのに対し、測線 No. 11 は HL 間の中央部で、かつ沖合の水深が大きかったことから作用波高が高かったためと考えられる。一方、図-6(b)では前浜上にバーム高が 1.7m のバームの発達が見られ、このバームは測線 No. 6 の標高 1.6m より 0.1m 高い。これもまた護岸と前浜の接点の標高差が起きたのと同じ理由により説明できる。このバームの前浜勾配を測定すると 1/7 となり、これは測線 No. 6 で得られた値と一致する。

5. 写真撮影による海岸状況の変化の確認

神向寺海岸にあっては礫養浜の効果を写真撮影によって調べてきている。図-7は2002年9月8日17時の潮位がT.P.+0.7mの時に測線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いた。このような状況のため背後地では越波やしぶきの飛散が問題となっていた。

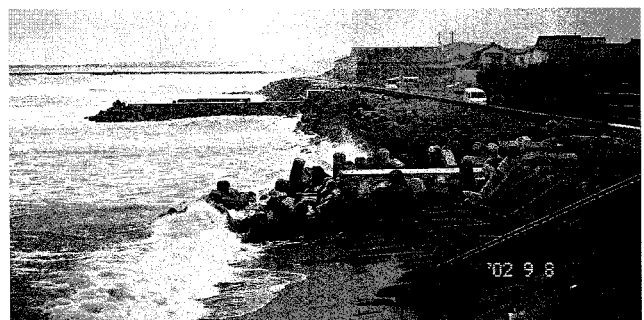


図-7 測線No. 6から南向きに撮影した海岸状況
(2002年9月8日17時、潮位T.P.+0.7m)

図-8は、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である。図-7では中央に見える排水口に波が直接作用していたのに対し、図-8では広い前浜が形成されている。また写真で見ると異形ブロックの前面付近は黒い色彩を有する投入礫が集中しているのに対し、バーム付近には白い砂が堆積している。これは礫床では遡上波が容易に浸透し、その際細砂の堆積が助長され、礫の上にとまり易いという特性があったためである。

図-9には、堆積状況の確認のため測線No.6と測線No.8のT.P.+1.0m地点を掘削した状況を示す。養浜礫は一様に堆積するのではなく、写真に示すように



図-8 図-7と同じ場所の海岸状況
(2006年7月10日15時, 潮位T.P.+0.1m)

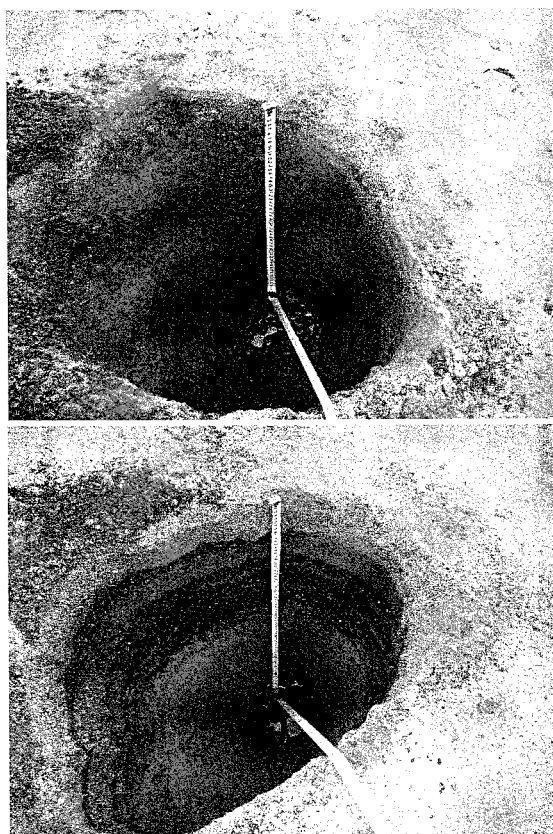


図-9 測線No.6と測線No.8のT.P.+1.0m地点の掘削状況

礫と細砂のサンドイッチ構造になっていることが確認できる。これは、高波浪時に礫がある厚さで広がった上に、静穏波による細砂の堆積が起きたことによると推定される。

図-10は、2006年11月23日16時(潮位T.P.+0.6m)撮影の、10月の異常波浪の作用を受けた後の海岸状況である。図-8では潮位がT.P.+0.1m、図-10ではT.P.+0.6mと図-10の場合のほうが0.5mも潮位が高いにもかかわらず矢印Aで示す排水口付近で汀線が前進している。また図-8の矢印Bで示す付近では、設置後十分時間が経過して安定していた異形ブロックが露出していたのに対し、図-10では異形ブロックは砂礫に埋もれている。このように礫の投入によって護岸前面の地盤高が増加したことは写真撮影からも確認できた。



図-10 10月の異常波浪の作用を受けた後の海岸状況
(2006年11月23日16時, 潮位T.P.+0.6m)

図-11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。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明らかである。護岸との接点での礫浜の標高は図-6(b)に示したようにほぼT.P.+3.5mである。

以上のように2006年秋に発生した高潮位・高波浪条件のもとでは、礫は護岸前面に異形ブロックを埋めて堆積したことが確認された。このように高い標高まで堆積した礫はその後の波の作用で流出することができず、前浜に標高2m弱の別のバームを形成して安定したことが分かった。



図-11 測線No.12-15付近の護岸前面の状況
(2006年10月7日)

6. 底質調査の結果

図-12 は予備試験および本試験における粗粒材投入地点(No. 6)において採取した表層堆積物の粒径含有率の水深方向分布である。含有率は標高 2m から水深 6m までの範囲において、1m 間隔で示されているが、礫分は水深 2m より陸側、とくに汀線より陸側に集中的に堆積している。また予備試験と本試験にかかわらず時間が経過してもこの特徴にはほとんど変化が見られない。また、投入点から 100m 南に位置する測線 No. 11 においては図-13 のように、礫分は水深 1m より陸側、とくに汀線より陸側に集中的に堆積している。ただし、2006 年 11 月 26 日採取の測線 No. 6 の試料では、水深 2m 以深において礫分が 1% を越えて出現している。これらの礫分が投入した粗粒材が流出したものかどうかを調べるために、図-14 では測線 No. 6 の底質試料のうち 2.8mm のフルイ目に残留した礫分について水深ごとに並べ拡大写真撮影により調べた。

これによれば、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、また材質から見て投入礫とは異なる。同様に水深 6m でも礫は見出されたものの、貝殻片を主体としてよく磨耗された円礫のみが見出され、汀線付近の角礫とは特徴を異にする。波浪による磨耗作用は礫の移動が激しい汀線付近で最大となるはずであり、水深が増加すれば急速に小さくなると考えられる。図-14 の汀線付近にある礫と水深 6m で見出された礫の円磨度を比較すれば水深 6m の礫の円磨度が大きい。これら 2 点より、水深 6m に見出された礫は投入礫が磨耗したものではなく、その起源が地質的に古い時代に求められる礫が、近年の侵食によって細砂で覆われた海底が侵食され下層にあった礫が露出したものと考えられる。

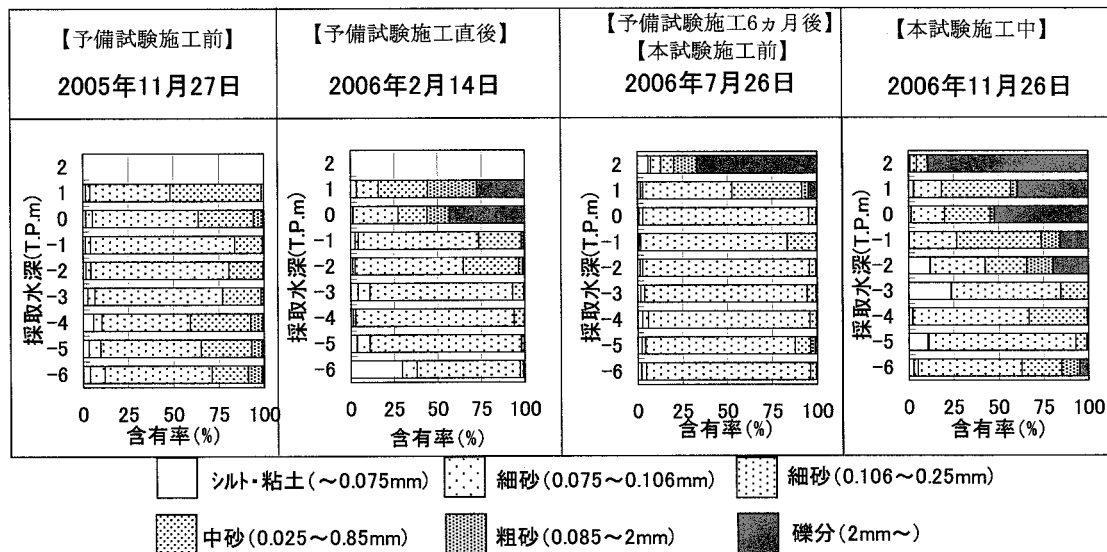


図-12 予備試験および本試験時の粗粒材投入地点(No. 6)における粒径含有率の水深方向分布

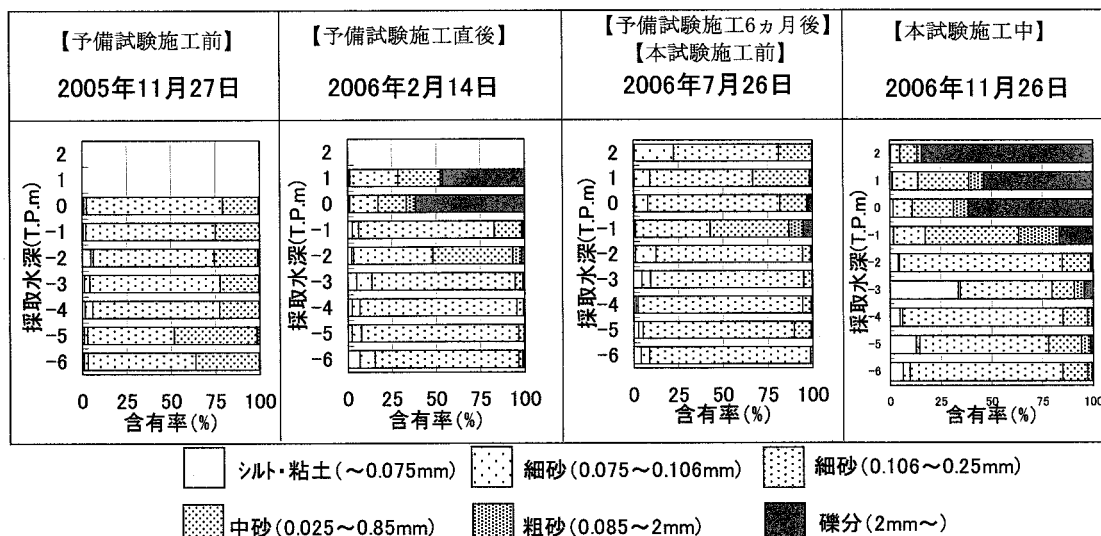


図-13 投入点の100m南に位置する測線No. 11における粒径含有率の水深方向分布

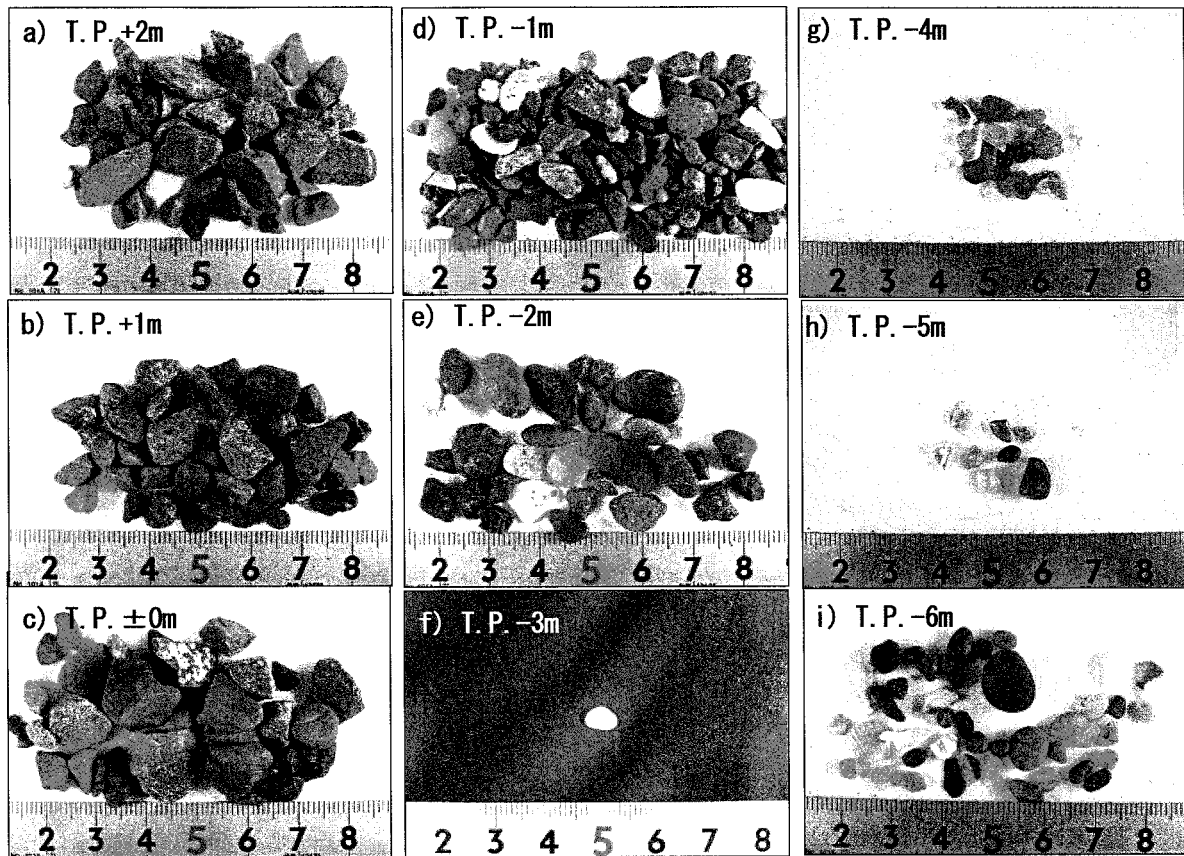


図-14 測線No. 6の底質試料のうち2.8mmのフルイ目に残留した礫分の拡大写真

7. 結論

2005年の予備試験では年数回波の作用を受け、投入礫は汀線に沿って運ばれ、汀線付近から護岸前面の間で帯状に堆積し、水深2m以深の沖合への流出はほとんど見られなかった。しかし異常波浪を受けた場合の投入礫の安定性は確認されていなかった。

そこで新たに1.3万 m^3 の礫を用いた本試験を行ったが、施工中の2006年10月には有義波高が50年確率を超える6.4mに達し、かつ潮位偏差が0.91mと設計条件を越える潮位・波浪の作用を受けた。

このような厳しい状況を経た後も、粗粒材の大部分は汀線より陸側に留まることが確認された。このことから護岸前面に堆積して地盤高を確実に上げ、越波や飛沫の発生防止の上で礫養浜が有効なことが確認できた。

参考文献

- 1) 住谷勉夫・松浦健郎・宇多高明・高橋 功・大木康弘・熊田貴之・芹沢真澄：粒度組成の平面変化を考慮した等深線変化モデルの鹿島灘海岸への適用，海岸工学論文集，第52巻，pp. 546-550，2005。
- 2) 木村 泉・佐田明義・宇多高明・高橋 功・熊田貴之・大木康弘：地形・粒径変化予測モデルによるヘッドランドの漂砂制御効果の定量評価，海岸工学論文集，第53巻，pp. 676-680，2006。
- 3) 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。
- 4) 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。