

# 神向寺海岸における礫養浜の歩留まり検討

## Field Investigation on Effect of Gravel Nourishment 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>・長山英樹<sup>5</sup>・大木康弘<sup>6</sup>

Yasutoshi NOGAWA, Takaaki UDA, Takeo MATSU-URA, Ryo ABE, Hideki NAGAYAMA  
and Yasuhiro OKI

Field investigation on the effect and stability of gravel nourishment was carried out on the Jinkoji coast facing the Pacific Ocean. 33,000 m<sup>3</sup> of gravel was nourished on the shoreline, and subsequent beach changes were monitored by topographic surveys. Gravel layer was very stable while depositing along the shoreline. Fine sand layer on the shoreline was replaced by the nourishment gravel, leaving gravel layer below the fine sand layer as a foot protection in front of the seawall. A steep slope of 1/7 formed was effective to dissipate rough waves and to prevent wave run-up.

### 1. はじめに

鹿島灘に面した神向寺海岸では、主に護岸前面に堆積して前浜を創出し、護岸前面の地盤高を高めることによって越波を防止する手法として、礫を含む粗粒材養浜の試験が行われている(石井ら, 2006a, 2006b; 宇多ら, 2007)。これらの報告では、まず粒径変化を考慮可能なモデルを用いて粗粒材養浜の可能性を検討し、その上で粗粒材養浜に関する現地実験(予備・本試験施工)を行い、縦断測量、底質調査およびカラーサンドによる追跡調査によりその広がり・堆積状況を調べた。この結果、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にもかかわらず、投入した粗粒材は汀線付近から護岸前面に集中的に堆積したことが判明した。そして水深2m以深の沖合への流出はほとんど見られず、予測結果と同様、岸側にとどまることが明らかとなった。その後も養浜は継続され、2007年6月13日までは延べ33,000m<sup>3</sup>の礫投入が行われた。このような手法は、著しく侵食されて前浜が消失した海岸における新しい侵食対策手法として、また改正海岸法で砂浜を保全施設の一部と見做す上で必要とされる汀線付近への歩留まりを高める手法の一つになると考えられる。また、礫材を用いた養浜(cobble beach)の有効性についてはKomar(2007)も注目し、米国でも試験が行われている。これらを受けて本研究では本施工後ま

での効果について追跡調査の結果をまとめる。

### 2. 礫養浜の施工と追跡調査

神向寺海岸では、図-1に示す区域で養浜が行われ、養浜後の海浜変形が図示する測線に沿う海浜縦断形測量によって調べられた(石井ら, 2006)。図-2に示すように、2005年12月15日から2月10日実施の予備試験では、粒径3-13mmの粗粒材7,000m<sup>3</sup>、2006年8月25日から11月15日の本試験では13,000m<sup>3</sup>、さらに2007年5月7日から6月13日の本施工では13,000m<sup>3</sup>の粗粒材が投入された。粗粒材は、図-1に示すように当初は7号HL側から、2006年10月18日以降は海岸中央部から投入された。図-3は、観測期間中における鹿島港における波浪観測結果(ナウファス)によ

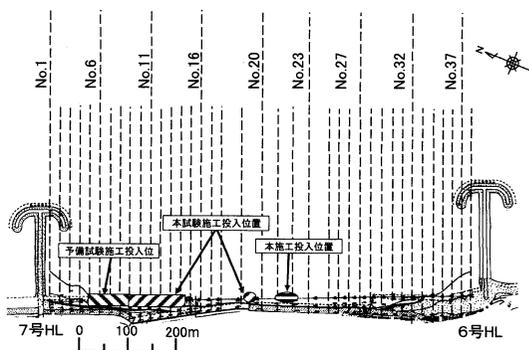


図-1 土砂投入範囲と測線配置



図-2 測量時と養浜との関係

- 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  
茨城県土木部河川課 主任
- 3 茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備二課
- 4 茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備二課
- 5 修(工)土木研究センター河川・海岸研究部
- 6 (株)水圏科学コンサルタント

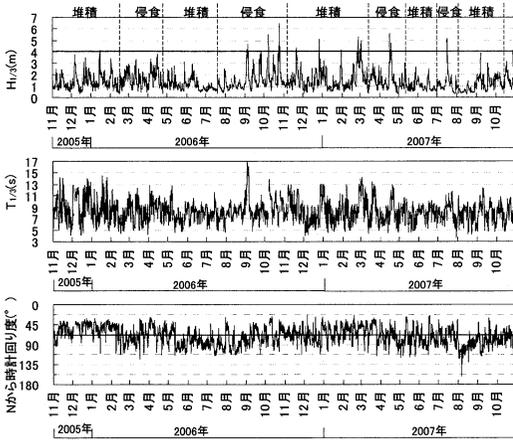


図-3 観測期間中における鹿島港における波浪観測結果（ナウファス）

る $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、波向の変化を示す。

### 3. 平面海浜形状の変化と波浪条件との対応

図-1に示す測線に沿う深淺測量は、2005年11月26日から2007年10月12日まで延べ14回行った。測量時と養浜との関係は図-2に示すようである。これらのうち、本研究では、とくに最近の状況に注目し、礫養浜開始時と、本施工による13,000m<sup>3</sup>の礫投入前後の海底形状の比較を通じ、最近における礫養浜の効果確認を行う。

図-4は2005年11月26日の深淺図である。礫養浜前、前浜は6,7号HLの両側の付け根に一部あるのみで、海岸中央部は直接波に曝される条件にあった。同様に、図-5は2007年5月9日の深淺図を示す。5月7日の本施工開始前に礫20,000m<sup>3</sup>が投入された結果、7号HLの南側に隣接する420m区間で前浜が広がり、砂浜の標高も高まった。一方、6号HLの北側隣接区域の前浜には極少量しか礫が到達していないため図-4の場合と大差がない。

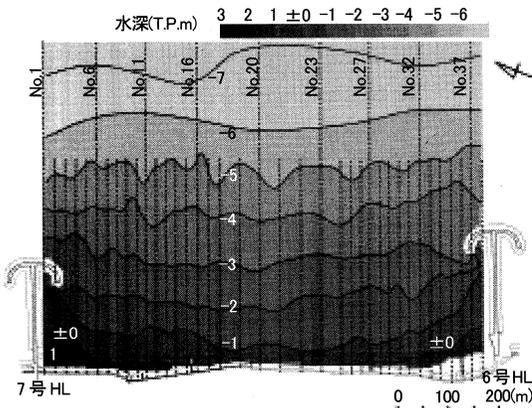


図-4 2005年11月26日の深淺図

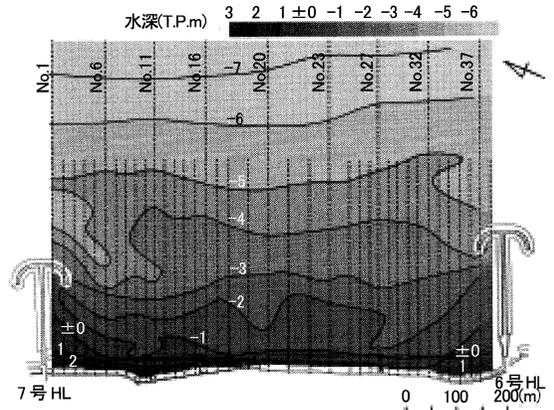


図-5 2007年5月9日の深淺図

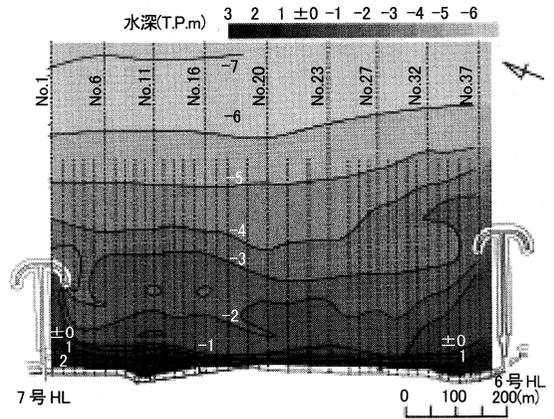


図-6 2007年10月12日の深淺図

さらに本施工後の2007年10月12日の深淺図を図-6に示す。本施工による13,000m<sup>3</sup>の礫投入により、図-5の場合前浜が全く存在しなかった中央部においても狭いながら前浜が広がった。このように深淺図の比較から、礫養浜に伴って護岸前面の前浜が広がったことが分かる。

次に、2005年11月26日を初期として、それからの地形変化量を算出した。図-7は本施工直前の2007年5月9日までの地形変化量である。図-3に示す鹿島港での波向観測結果によれば、2007年5月9日以前には平均海岸線に対して右回り(南寄り)の方向からの入射波が卓越している。これを考慮すると、6号HLの北側隣接部は侵食傾向、逆に7号HLの南側隣接部では堆積傾向と、波向と地形変化には対応が見られる。7号HLの南側側面での深掘れも、そこで斜め沖向き離岸流が起きた結果局所洗掘が生じたと考えれば理解できる。一方、2007年10月12日までの地形変化量を示すのが図-8であるが、この時期の直前には北寄り(左回り)の入射波条件となっている。このため7号HLの南側近傍が削られ、6号HL周辺では堆積と、図-7の場合と逆モードの地形変化が起きた。しかし護岸前面

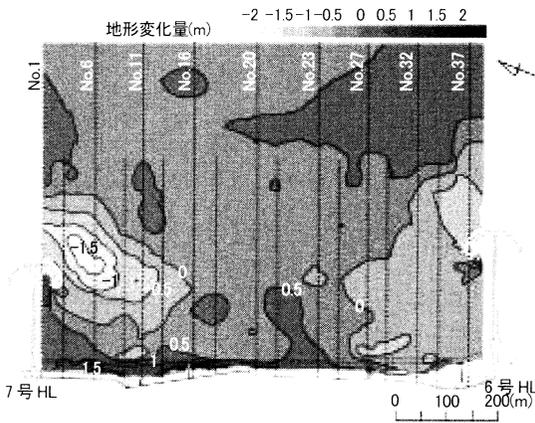


図-7 2007年5月9日までの地形変化量

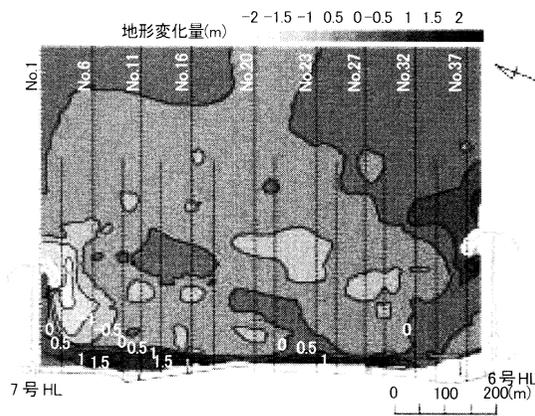


図-8 2007年10月12日までの地形変化量

の前浜は、HL沖での著しい地形変化とは独立に単調増加している。このことは、沖合は移動しやすい細砂で構成されるため海底地形変動が著しいが、護岸前面には礫が集中的に堆積しているため変動が少ないことを意味すると思われる。

#### 4. 海浜縦断形の変化

礫養浜後の海浜縦断形の変化として、代表的に6測線(No.6, 11, 16, 23, 27, 32)を選んで縦断形変化を調べた。6測線のうちNo.6, 11, 16はHL間の中央より北側の7号HLに近い位置にあり、No.23, 27, 32は6号HLに近い。いずれの縦断図においても、礫養浜前の2005年11月26日、2007年の本施工での13,000 $m^3$ の投入開始直前の2007年5月9日、施工完了後4ヶ月が経過した2007年10月12日の縦断形を示す。

##### (1) 7号HL近傍測線における縦断形変化

図-9は測線No.6の縦断形変化を示す。この測線は図-1に示したように北寄りの入射波条件では7号HLによる波の遮蔽域に入る。礫投入によって汀線は初期値から17m

(5月9日)、27m(10月12日)と着実に前進し、護岸前面の前浜が広がった。また時間経過とともに、T.P.1.7mで二つに折れた縦断形が形成された。No.6の南200mに位置するNo.11でも図-10に示すように、汀線は16m(5月9日)、33m(10月12日)と前進し、護岸前面が礫浜で覆われた。この断面はHL間の中央部に近づいたことからHLによる波の遮蔽効果が弱まったため波の作用が増し、明瞭な形で高さ1.5mのバームが形成された。

HLによる遮蔽域外の測線No.16では、当初前浜はほとんど存在しなかった。上記2測線と比較すると図-11と同様に汀線は前進したが、5月9日までにいったん汀線が23m前進した後、10月12日までは7m後退した。縦断形の変化を調べると、5月9日には前浜勾配が1/32と緩かったが、10月12日では勾配が1/7と急になり、同時にT.P.2.8mのバームが発達したことから、汀線付近が削られて礫が岸向きに打ち上げられ安定化したものと考えられる。

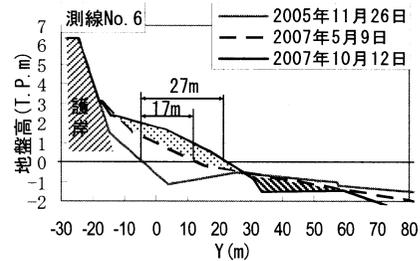


図-9 測線 No.6 の縦断形変化

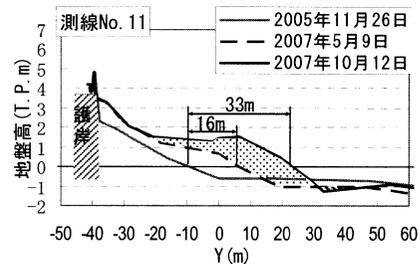


図-10 測線 No.11 の縦断形変化

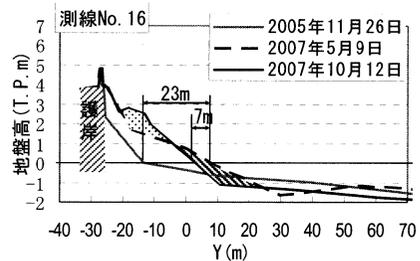


図-11 遮蔽域外の測線 No.16 の縦断形変化

(2) 6号HL近傍測線における縦断形変化

図-12は、HL間の中央線を境として、測線No.16と対照的な位置にあるNo.23の縦断形変化である。この付近では2007年の本施工で新たに投入された礫が堆積した。2007年5月9日までは前浜は存在しなかったが、礫投入により前浜が形成され、初期と比較して汀線が19m前進した。また礫投入により高さT.P.2.3mのバームが形成された。図-13に示す測線No.27でも当初は前浜がなかったが、礫投入によって汀線は13m前進し、高さT.P.2.1mのバームが形成された。一方、6号HLによる波の遮蔽域に入る測線No.32では(図-14)、他の測線と異なりHLの消波効果によって元々前浜が存在したが、新たな礫投入によって前浜勾配1/9と急勾配で礫が堆積し、汀線が前進した。

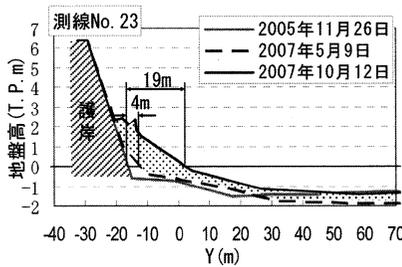


図-12 測線 No.23 の縦断形変化

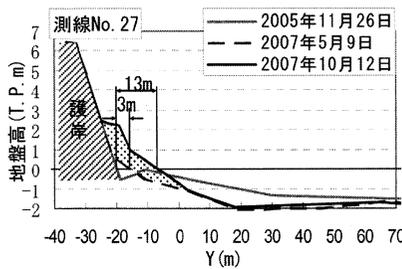


図-13 測線 No.27 の縦断形変化

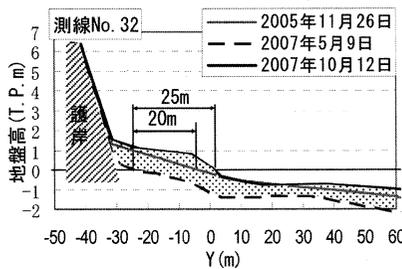


図-14 測線 No.32 の縦断形変化

5. 前浜面積および海浜土砂量の変化

追跡測量によって得られたT.P.0m基準の前浜面積の経時変化と、試験施工開始直前の2005年11月26日基準の前浜面積増加量の経時変化を併せて図-15に示す。図には予備試験の7,000m<sup>3</sup>、本試験の13,000m<sup>3</sup>さらには本施工時の13,000m<sup>3</sup>の礫投入期間も示す。図-15によれば、前浜面積は図に破線で区切られた期間において、増加一減少一増加一減少を繰り返している。また、予備試験期間では土砂投入と同時に前浜面積が増加しているが、本試験では前浜面積が減少している。さらに本施工では土砂投入と同時に再び前浜面積が急に増加している。

同様にして、T.P.0m基準での前浜土砂量と、試験施工開始直前の2005年11月26日基準での前浜土砂増加量の経

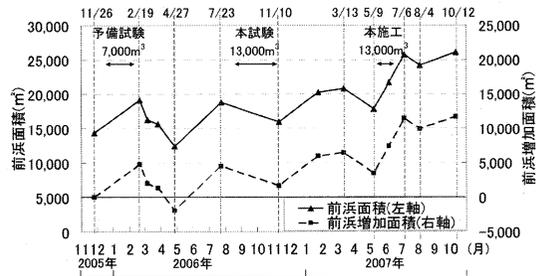


図-15 T.P.0m基準の前浜面積と2005年11月基準の前浜面積増加量の経時変化

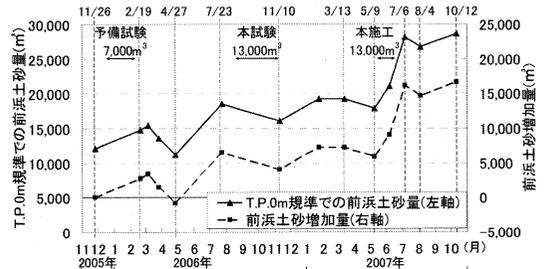


図-16 T.P.0m基準での前浜土砂量と試験施工開始直前の2005年11月基準での前浜土砂量の経時変化

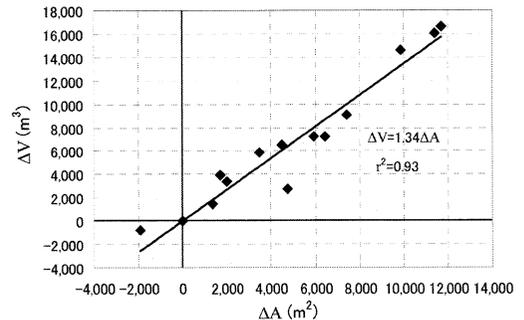


図-17 前浜面積と土砂増加量の相関

時変化を図-16に示す。前浜土砂量と初期からの土砂増加量は、図-15に示した前浜面積および前浜面積増加量の変化と相似形である。そこで前浜面積増加量を $\Delta A$ 、前浜土砂量の増加量を $\Delta V$ とすれば、図-17に示すように決定係数 $r^2=0.93$ で次式が成立する。

$$\Delta V = 1.34\Delta A \quad (1)$$

すなわち、前浜面積の増加は前浜土砂増加量と比例関係にあり、比例係数は1.34であることが分かる。また図-16によれば、土砂投入を開始してからのネットでの総堆積土砂量は $16,596\text{m}^3$ である。これは投入土砂総量の $33,000\text{m}^3$ と比べると50%の土砂量であり、大量の礫投入が行われたにもかかわらず土砂の歩留まりが悪いように見える。この点について考察するには前浜の変動に注意する必要がある。

図-15, 16において前浜面積(前浜土砂量)の変化を調べると、全体的には右上がりの変化ではあるが、それに劣らず前浜面積(前浜土砂量)の変動が大きく、またその変動量も土砂投入を開始した当初に大きく、追加の土砂投入が行われるに従い変動量自体が減少する傾向がある。前浜面積や前浜土砂量の変動要因には従来から知られているように、波浪の強弱に伴う海浜の季節変動がある。図-3に示した観測期間中における鹿島港における波浪観測結果(ナウファス)のうち、 $H_{1/3}$ の変化を図-15, 16の前浜面積の変動と比較すると、前浜が堆積した期間では有義波高がほぼ2m以下の静穏な条件が長く続いているが、侵食時には2m以上の高波高が多く出現している。すなわち、波浪の強弱に伴う沖向き岸向きの漂砂が起き、それに伴って前浜土砂量の変動が起きたことが明らかである。また図-15より前浜面積の急減が起こる期間の波高を比較すると、2006年2月19日から2006年4月27日(期間①)、2006年7月23日から11月10日(期間②)、2007年3月13日から5月9日(期間③)において、例えば4m以上の波高の出現回数は0回(期間①)、4回(期間②)、2回(期間③)と波浪のエネルギーレベルは後期ほど高いにもかかわらず前浜面積(前浜土砂量)の減少は少ない。同時にネットで見れば前浜面積(前浜土砂量)は増加しているため、当初は岸沖漂砂に伴い海浜変動量が大きかったが、礫の投入が進むに従い海浜の変動量が小さくなったと考えられる。

礫の投入が行われる以前、T.P.0m以浅の区域には細砂が堆積していたが、その砂は波浪の強弱に伴って沖向き岸向きに移動する。細砂が沖向きに移動するとそこは礫によって占められる。その後静穏になると細砂は再び岸方向へと移動するが、礫層があるので細砂は層状にわずかに堆積するのみである。少なくとも既に堆積した礫層を置換する形で細砂が堆積することはできない。このことから礫の歩留まりが次第に向上したと考えられる。

## 6. 考察

いま護岸によって陸側を区切られた区域でT.P.0m以浅に三角形の細砂からなる砂浜があったとし、その上に礫が投入される条件を考える。礫投入前の細砂の量は図-16から $12,033\text{m}^3$ である。その上に $33,000\text{m}^3$ の礫が投入される。礫は瞬間的に投入されたのではなく、かなり長い時間をかけて少しずつ投入されたから、この間の波浪作用下において細砂は岸沖方向に移動することができる。高波浪が作用すると細砂分が抜け出て沖へ流出し、そこは礫に置き換わる。この作用が続くと、最終的に大部分の細砂層は礫層に入れ替わる。2007年10月12日の段階にあっては図-16より $28,629\text{m}^3$ の砂が堆積していた。よって礫投入後の土砂量から初期の細砂の土砂量( $12,033\text{m}^3$ )を差し引くと、ネットでは $16,596\text{m}^3$ の増加量となる。礫の総投入量( $33,000\text{m}^3$ )と比較すると見かけ上の分留まりは50%であるが、実際には細砂が礫に入れ替わることを考えれば分留まりは $28,629/33,000=0.87$ となる。これより投入礫は消失せず、高い安定性を持って護岸前面に堆積することが確認できる。

## 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.
- Komar, P. D. (2007) : The design of stable and aesthetic beach fills: Learning from Nature, Coastal Sediments 07, pp.420-433.