

粗粒材養浜時の海浜の質的变化と 礫の移動特性

CHANGES IN QUALITY OF BEACH CAUSED BY BEACH NOURISHMENT
USING MIXTURE OF SAND AND GRAVEL AND MOVEMENT OF GRAVEL

石川仁憲¹, 宇多高明², 三波俊郎³

Toshinori ISHIKAWA, Takaaki UDA and Toshiro SAN-NAMI

¹正会員 工修(財)土木研究センターなぎさ総合研究室(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

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(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

³海岸研究室(有)(〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)

On the Hamamatsu-shinohara coast facing the Pacific Ocean, beach has been severely eroded, resulting in the shoreline recession of 210 m between 1962 and 2004. As a measure against beach erosion, beach nourishment using the mixture of sand and gravel was begun in 2005. Since then, $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ of sediment was supplied to the coast. After the beach nourishment, not only sand, but also gravel was transported downcoast. In this study, the changes in quality of the beach in terms of the grain sizes and the transporting process of gravel were investigated through the field observation.

Key Words : Hamamatsu-shinohara coast, beach nourishment, gravel

1. はじめに

遠州灘海岸では、天竜川からの流出土砂量の激減に伴い河口両翼の海岸で侵食が進み、河口の西4kmに位置する浜松篠原海岸では1962年から2004年までに汀線が最大210m後退した¹⁾。この対策として、離岸堤3基と $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の維持養浜による保全対策が提案され²⁾、実施に移されてきた。本来細砂中砂で構成されている遠州灘海岸においては、海浜の質的变化を防止する上では細砂中砂による養浜が必要であるが、一方で養浜により効果的な海岸保全を図るには粗粒材の投入も有効と考えられる³⁾。現実には両者のバランスを取ることが求められるが、実際に現地海岸では2009年までに計 $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ の礫を多く含む粗粒材養浜が行われた。この結果養浜による海岸保全効果が現れつつあるが、同時に海浜の質的变化が生じている。前述したように、海浜の質的变化を防止する観点からは、その海岸にあるのと同様な粒径特性を持つ土砂により養浜を行うことが望ましい。しかし材料の調達上礫材が混じる場合もあり、また浜松篠原海岸のように防護機能の早期発現を図るために汀線付近に歩留る相対的に粗な粒径の土砂を用いなければならない場合もある。このような場合、そもそも粒径が大きい礫が砂に混合するといかなる変化が生じるかについての知見が必要となる。そこで本研究では浜松篠原海岸で行われた粗粒材養

浜による海浜変形と海浜の質的变化、さらに礫の移動特性について現地調査により分析した。

2. 粗粒材養浜による海浜の変形と質的变化

粗粒材養浜前後の2005年と2009年の空中写真を図-1に示す。養浜は馬込川河口西側の長さ400m区間で比高7mの盛土形状で行われ、2005年1月～2009年6月に計 $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ の養浜材が投入された⁴⁾。養浜は



図-1 粗粒材養浜前後の空中写真(静岡県撮影)



図-2 盛土形状の粗粒材養浜 (2009. 9. 16)



図-5 盛土養浜前面の海浜の状況 (2009. 9. 15)

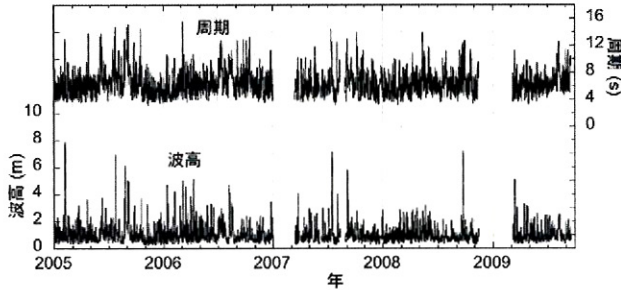


図-3 養浜後の波浪観測結果 (竜洋波浪観測所)

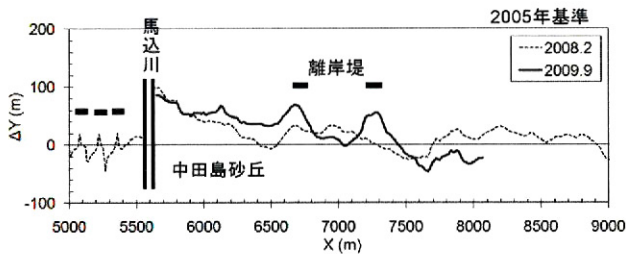


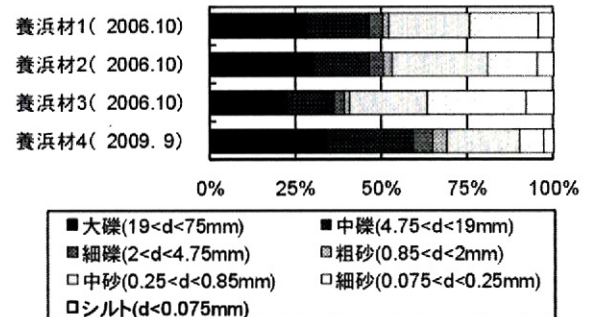
図-4 2009年9月までの汀線変化 (2005年基準)

図-2に示すように天端高T.P.+7.5mの盛土状に行われたため、全量が海へ供給されたわけではないが、図-1に示したように養浜後の2009年1月では馬込川河口から砂丘前面にかけて海浜が大きく広がった。図-3には養浜開始時の2005年1月から現地調査時の2009年9月16日までの竜洋波浪観測所における有義波高と周期の観測結果を示す。期間中は高波浪が度々来襲しており、高波浪の作用により盛土部から養浜材が海浜に供給されたと考えられる。また期間中のエネルギー平均波は $H=1.2\text{m}$ 、 $T=6.2\text{s}$ 、 $\theta=S10^\circ E$ であり、浜松篠原海岸では、海岸線に立てた法線方向 $S16^\circ W$ に対し 26° 東寄りからの入射となり、西向きに沿岸漂砂が卓越する条件であった。

図-4には2005年を基準とした2009年9月までの汀線変化を、この間に整備された2基の離岸堤の位置とともに示す。養浜と離岸堤の建設により、養浜箇所前面や離岸堤背後では30m程度汀線が前進したことが分かる。このように汀線は大きく前進したが同時に海浜の質的变化が生じている。図-5は2009年9月15日に盛土上から西向きに1,2号離岸堤方面を遠望した海浜状況である。盛土域前面では礫がカスプ状に堆積している。盛土区間の西端から西側を望んだのが図-6である。砂丘前面の漂着物の状況 (図の

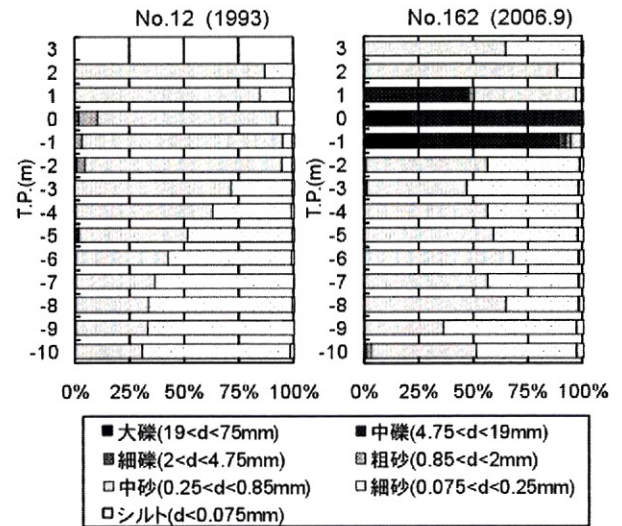


図-6 盛土養浜西側の海浜状況 (2009. 9. 15)



養浜材1,2,3のデータ: 静岡県

図-7 養浜材の粒径



データ: 静岡県

図-8 養浜前後の底質組成の水深分布

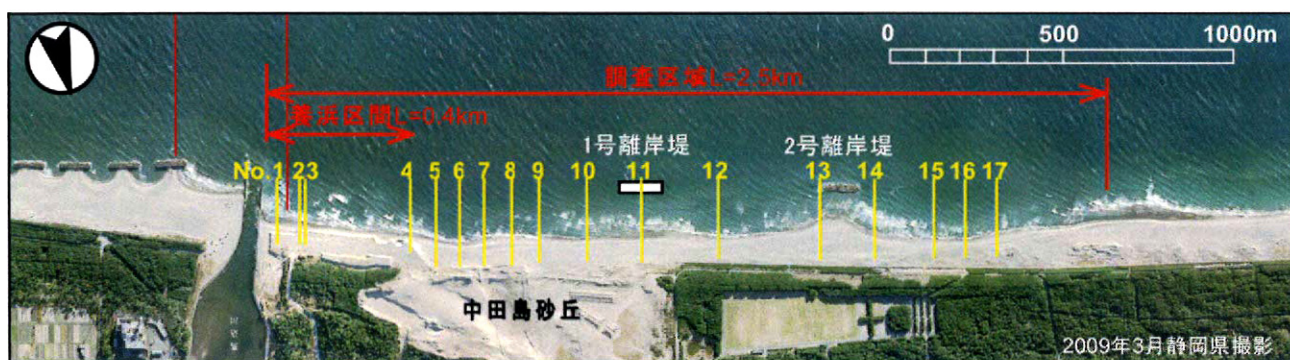


図-9 調査区域と測線配置



図-10 現地調査の状況 (No. 1)



図-13 No. 4の前浜での掘削状況



図-11 No. 4の海岸状況



図-14 No. 4の汀線付近での掘削状況



図-12 No. 4の盛土養浜前面での掘削状況

矢印) から高波浪時は陸側深くまで波が遡上したことが分かるが、これと比較して礫はバーム付近に集中的にカスプを形成して堆積している。このような海浜の質的変化は、本来細砂中砂で構成されていた

海岸に図-7に示すように粒径19mm以上の大礫を多く含む養浜材を大量に投入したことによる。図-8は図-1に示した測線No. 12とNo. 162における養浜前後の底質の水深方向分布を示すが、大きく前進した汀線付近で礫の含有率が著しく高まったことがわかる。以上より、浜松篠原海岸では離岸堤の建設と同時に、大量に投入された礫により汀線が大きく前進したが、礫が沿岸方向に広く分布し、海浜の質的変化が起きたことが明らかである。

3. 礫の移動特性に関する現地調査

海浜材料が細砂中砂から構成される海浜に礫が投入された場合における礫の分級も含む移動特性を調べるために、2009年9月15、16日に現地調査を行った。調査区域は図-9に示すように延長400mの養浜区



図-15 No. 7の海岸状況



図-16 No. 7の前浜での掘削状況



図-17 No. 7のバーム付近での掘削状況

間を含む馬込川河口西側の2.5km区域とし、この区域の前浜～砂丘の海浜地形を測量するとともに、海浜表面に堆積した礫の分布状況を調べた。また区域内に17測線を設け、図-10に示すように干潮時に重機により測線ごとに3～6箇所を掘削し、海浜表面の特徴と表層から1mの深さまでの礫の分布状況を調べた。なお測線No. 1～No. 14は、図-4に示したように養浜と離岸堤の建設に伴って汀線が前進した区域に位置することから、この区間の前浜の底質は養浜によって供給されたものと見なすことができる。以下に主要測線における礫分布の状況について述べる。

(1) 養浜区間西端の礫の分布状況

図-11は養浜区間の西端に位置する測線No. 4付近の海岸状況を東向きに撮影した写真を示す。海浜背後の盛土から土砂が崩落すると同時に、この地点より東側区域において崩落した砂礫も西向きに運ばれ

(a) バーム頂部



(b) バーム海側

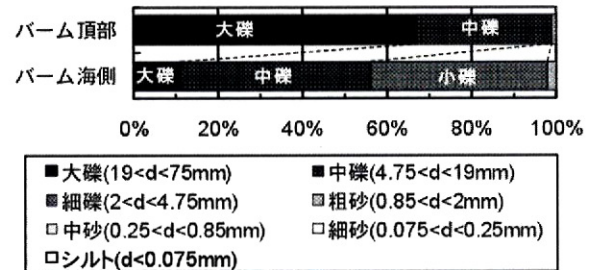


図-18 バームの頂部と海側に集積する礫の底質比



図-19 No. 11の海岸状況

堆積する条件にあるため、結果的に前浜には大量の礫が堆積している。この測線では、盛土ののり先前面で盛土時の土砂が乱されずに、したがって細粒分が淘汰されることもなく表面近くまで堆積していた(図-12)。これと対照的に、波の強い攪乱を受ける前浜では海浜表面によく淘汰された礫が集積し、礫層厚は汀線と盛土の中間に位置する地点において45cmと最も厚くなる(図-13)。しかしこの地点より海側では礫層厚が減少し、汀線付近では図-14のように分級された礫の堆積は見られなかった。

(2) 養浜区間西端から1号離岸堤間の礫の堆積状況

養浜区間西端より西側の海浜では、養浜土砂が波による淘汰作用を受けつつ西向きの沿岸漂砂によって運ばれ堆積していた。図-15は養浜西端から西側200mを横切る測線No. 7の海岸状況を示す。汀線付近には砂面が見えるが表面を砂で覆われた区域の陸側には大量の礫が堆積し、カスプが形成されているのが分かる。掘削調査によると、波により強い攪乱を受ける前浜では表面に礫が集積しているものの、海浜表面直下には砂礫の混合層が形成されていた(図-16)。この位置では表面に集中した礫は厚さ約20cmで堆積していることが見てとれる。このよう



図-20 No. 11の前浜での掘削状況

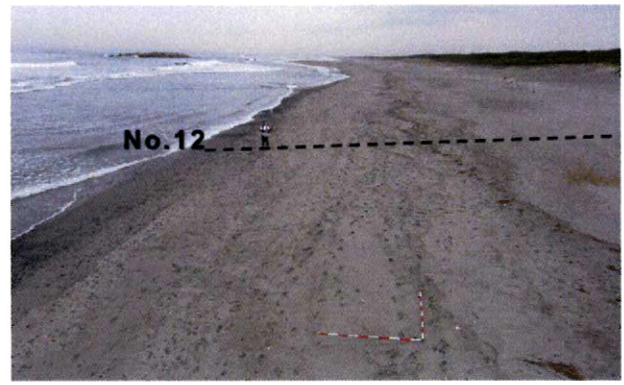


図-22 No. 12の海岸状況



図-21 No. 11の汀線付近での掘削状況



図-23 No. 12の汀線付近での掘削状況

な礫の集積はバーム付近で最も顕著であり、礫層が最も厚くなる（図-17）。またバーム付近ではその海側とバーム頂部に堆積した礫の大きさに明確な違いがあり、図-18に示すように、海側は主に細礫・中礫で構成されるのに対し、バーム頂部では大礫・中礫で構成され、両地点とも中礫が含まれる点は共通であるが、大礫と細礫の含有率是对照的な値を有している。このように礫は波の作用によって明確に分級されている。また後浜には波によって打ち上げられた礫が散乱していたが、その径はバーム付近より陸向きに大きくなる傾向が見られた。このような状況は測線No. 9 付近まで続くが、西側に向かうにしたがい前浜の礫層厚は薄くなった。

(3) 1号離岸堤背後の状況

図-19は1号離岸堤背後の舌状砂州を横切る測線No. 11の海岸状況を示す。この測線では前浜は砂で構成されており、粒径の大きな礫が堆積してできたカスブは存在せず、前浜上には点々と礫が散乱している。しかし前浜の掘削調査によれば、礫は表面に堆積するのみではなく、図-20に示すように地下にも15cm厚の礫混じりの地層が形成されている。海側へ移動して汀線付近で掘削を行うと、砂層が地表面から0.4m下まで形成されており、その下部には礫混じりの地層があった（図-21）。このことは、礫混じりの層が形成される場合、砂層と比べて急勾配をなして堆積することを示唆する。また汀線付近の地表面下でのみ砂礫層が観察されたことから、砂礫の混合物は汀線付近での移動が急速と考えられる。



図-24 No. 15の汀線付近での掘削状況

(4) 1号離岸堤の西側の状況

図-22は1, 2号離岸堤間を横切る測線No. 12の海岸状況を示す。前浜には点々と礫が散乱するのみでバーム付近は全て砂で覆われており、実質的には礫が運ばれて来ていないように見える。しかし図-23に示すように汀線付近の地表面から20cm厚の砂層の下には20cm厚の礫混じりの地層が見られた。このような状況は2号離岸堤の西側の測線No. 16まで続くが、西側に向かうにつれて礫混じりの地層は薄くなる。例えば、図-24に示すように測線No. 15では、地表面から50cm厚の砂層の下に数cm程度の礫混じりの地層が見られる程度であった。そして最終的に2号離岸堤の西側400mの測線No. 17で礫混じり層が見られなくなった。No. 16付近は堆積域ではないが、No. 12から連続的に汀線付近に礫混じり層が存在したことか

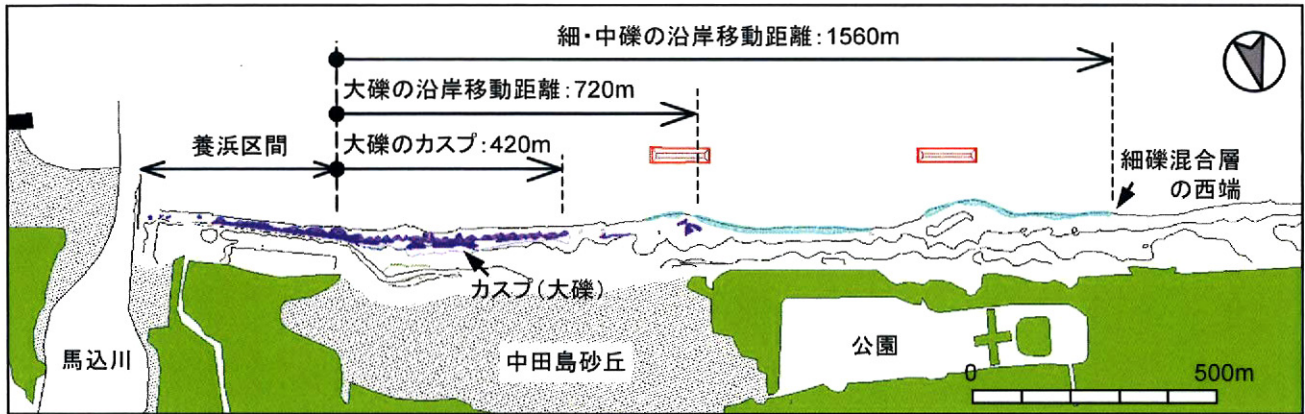


図-25 礫の分布状況と粒径別の移動距離

ら、実質的に砂礫の混合物がNo. 16付近まで運ばれていると考えられる。

5. まとめ

礫を多く含む養浜が行われた浜松篠原海岸では、西向きの沿岸漂砂によって養浜材が運ばれつつも、礫が前浜に選択的に堆積し、養浜前に比べて前浜が広がった。このように細砂中砂で構成された海岸における粗粒材養浜は高い海岸保全機能を有しているといえる。この場合の礫の移動特性は以下のようである。

- ① 礫は波による強い攪乱を受ける汀線や前浜で集中的に移動する。
- ② 礫の移動形態は粒径に依存して異なる。大礫（5～10cm程度）は波による分級過程において砂中には潜らずに砂浜上を移動し、前浜やバーム付近に集積して厚さ20～50cm程度堆積しカスプを形成する。
- ③ 粒径5cm以下の細礫中礫は、地表面を移動するとともに、汀線付近の地中に砂礫混合層として沿岸方向に連続的に確認されたことから、砂と混合しながら移動すると考えられる。
- ④ 前浜やバーム付近にカスプを形成して集積した礫は、前浜からバーム頂部にかけてその堆積厚が大きくなる傾向がある。これは波の遡上とともに砂礫が陸側へ運ばれ、引き波時に砂礫が置き去られるというバームの形成過程で説明することができる。
- ⑤ 一方、前浜は主に小礫中礫、バーム頂部は主に大礫中礫で構成されており、両者に粒径の違いがみられた。これは大きい礫ほど波によって陸側へ打ち込まれ、また引き波時により陸側で選択的に置き去られるという波による分級作用の結果と考えられる。

⑥ バーム付近より陸側には波により打ち上げられた礫が散在していたが、その礫径はバーム付近から陸向きに大きくなる傾向がみられた。これより、径の大きな礫は波の遡上時に単体で移動すると考えられる。

⑦ 礫の移動距離は、大礫が養浜区間西端から西へ0.7kmであるのに対し、細礫中礫は約2倍の1.6kmであった（図-25）。細礫中礫は砂と混合することで漂砂下手の広い範囲まで移動すると考えられる。このように現地調査では、一般的に粒径が大きいほど動きにくいという土砂動態が実際に確認された。

謝辞：本研究においては、静岡県浜松土木事務所より資料を提供していただいた。ここに謝意を表します。また、本研究は文部科学省科学技術・学術政策局の科学技術振興調整費による重要課題解決型研究等の推進「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」の研究成果であることを付記し、研究の推進に預かった方々に感謝します。

参考文献

- 1) 長島郁夫, 岩崎伸昭, 宇多高明, 有村盾一: 遠州灘海岸の天竜川河口以西の侵食実態, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 596-600, 2005.
- 2) 宇多高明, 石井 隆, 内田光一, 甲賀 肇, 影山安秀, 古池 鋼, 石川仁憲: 遠州灘海岸における長期的海浜変形予測と養浜の効果検討, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 666-670, 2006.
- 3) 宇多高明, 吉添高光, 町井 靖, 山本剛史, 古池 鋼, 芹沢真澄, 石川仁憲: 粒径を考慮した等深線変化モデルによる細砂・粗砂養浜の効果検討, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 641-645, 2007.
- 4) 静岡県: 第12回 遠州灘沿岸侵食対策検討委員会資料, 2009.