

神奈川県茅ヶ崎中海岸の事例にみる 養浜の考え方

SOME NOTES ON BEACH NOURISHMENT BASED ON TRACR TEST USING
COLOR SAND ON CHIGASAKI-NAKA COAST

宇多高明¹・青島元次²・山野 巧³・吉岡 敦⁴・三波俊郎⁵・石川仁憲⁶

Takaaki UDA, Genji AOSHIMA, Takumi YAMANO, Atsushi YOSHIOKA,
Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

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)

²神奈川県藤沢土木事務所なごさ港湾部部長(〒253-0033 神奈川県茅ヶ崎市汐見台 1-7)

³(財)神奈川県公園協会県立相模原公園園長(〒229-0015 相模原市下溝 3277 番地)

⁴神奈川県藤沢土木事務所なごさ港湾課(〒253-0033 神奈川県茅ヶ崎市汐見台 1-7)

⁵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)

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

Field experiment of beach nourishment using coarse sand and gravel was carried out on the Chigasaki-naka coast. Color sand with median diameters of 0.2, 2 and 10 mm was placed on the shoreline and at a depth of 4 m to investigate movement of sand due to waves. It was found that fine sand with the grain size of 0.2 mm was extensively diffused in a wide area shallower than the depth of the closure $h_c = 9$ m. In contrast, coarse material deposited on the shore face was slowly transported by the longshore sand transport. Coarse material is effective for maintaining the shoreline, but it is inappropriate to maintain offshore gentle slope. To keep a sound environment of a coast, the selection of fine and medium sand as a nourishment material is also important.

Key Words: Beach nourishment, color sand, field experiment, grain size, Chigasaki-naka coast

1. はじめに

近年, わが国でも養浜がしばしば行われるようになったが, 従来の養浜の考え方では, 主として利用面から選択された中央粒径 d_{50} の砂を必要量調達すればよいとされてきた。しかし実際の養浜にあつては養浜材の選択に大きな制約があることがほとんどで, 望ましい粒径の材料を入手するという従来の方法の選択が難しくなりつつある。一方で港湾や漁港での堆砂の有効利用を図ろうとすると, 大部分の土砂は細粒であるから, 土砂の投入後直ちに拡散し, 保全効果が得られないことがほとんどである。このように考えると, 投入土砂の質的側面を検討することが非常に重要となる。

神奈川県茅ヶ崎中海岸では, 沿岸漂砂の不均衡と度重なる高波浪により侵食が進んだことによつて護岸が被災し, 背後の遊歩道の崩壊も危惧されている。そのため対策としてヘッドランド(以下 HL と略記)の建設後の 1991 年以降, 毎年約 5,000 m^3 の養浜が行われてきている。宇多ら¹⁾によれば, HL 建設後に中海岸から HL を越えて東側へ流出する漂砂量は 4,600

m^3/yr とされているので, この期間では中海岸の土砂収支はバランスがとれていたと考えられる。しかしこの海岸では, 過去にあつた豊かな海浜を戻してほしいとの要望が高く, 後退した汀線をもとに戻す必要に迫られている。このため今後数年間にわたつて数万 m^3/yr の養浜が計画されているが, 中海岸は漁業やサーフィン利用のほか, 散策など日常的な海岸利用者が多いため, その実施には細心の注意を払う必要がある。そこで本研究では, 当海岸における養浜材の適正条件を明らかにすることを主眼として研究を進める。対象とする中海岸の中央部は侵食が進んだ結果, 急勾配となり粗粒化が進んでいるが, 昔の中海岸は細砂中砂からなる遠浅の海浜であつた。このため養浜材の検討では現在の粗粒化した材料のみを対象とせず, 細砂成分も含んで, 高波浪が来襲する夏季 2 ヶ月間に 3 粒径($d_{50}=0.2, 2, 10mm$)のトレーサを汀線と沖合の水深 4m(以下, -4m と表記)に投入し移動状況を調べた。また 2006 年 1 月には海岸中央付近で粗粒分を多く含む試験養浜($d_{50}=2.6mm, 9,856 m^3$)を行い, その効果を調べた。

2. 粒径を考慮した漂砂調査

(1) 調査方法

一般に粒径を考慮した等深線変化モデル¹⁾では、粗粒砂は平衡勾配が大きく、細粒砂は平衡勾配が小さいと仮定される。この結果、汀線付近に投入した粗粒砂は汀線付近にとどまり、細粒砂は勾配の緩い沖へと流出するという結果となる。この点は養浜時に極めて重要な要素となる。投入土砂の過剰な沖合への流出が起これば、養浜の効果自体を疑われる恐れがあるからである。また、実際は混合粒径砂を投入することになるので、粒径ごとの歩留まりを検討する必要もある。中海岸にあっては、中央部の浜幅が最も狭い侵食域では汀線付近に一部粒径が10mm程度の中礫が存在する。また汀線から-2mでは、 $d_{50}=1.5\sim3.5\text{ mm}$ と大きい、水深の増加とともに粒径は急激に小さくなり、-4mで0.3mm、-8mで0.2mmとなる。また、粒径は沿岸方向にも分級し、HLや茅ヶ崎漁港の防波堤による波の遮蔽域では0.2mm程度の細砂が浅い場所にも分布している。一方、底質調査および縦断変化解析等によれば、茅ヶ崎中海岸における波による地形変化の限界水深 h_c はほぼ9mにあり、それより深い場所では砂移動がないことが分かっている²⁾。さらに高波浪来襲後の現地踏査では汀線付近に礫が確認されている。このような実態もとで漂砂調査は次の考え方によって進めた。

① 汀線付近と h_c 付近での d_{50} の比は12.5であるのに対し、-4mと h_c 付近の粒径比は1.5と小さい。このことは-4m付近と-8m付近の底質の移動比較を行っても顕著な差が見られないことを意味する。一方汀線付近と h_c 付近の砂では粒径が大きく異なるので明確な差異が出ると考えられる。

② 汀線付近に養浜砂を投入した場合、細粒分が勾配の緩やかな沖浜へと移動するという可能性は高いのに対し、維持養浜手法の一つとして海上養浜を考えた場合、沖合(1/2 h_c 付近)に養浜砂を投入した時粗粒分が汀線付近に到達できるかどうか、またその場合の時間応答性はどうか？

③ 細粒分は波の遮蔽域内にも堆積している。したがって汀線への投入土砂のうち粗粒分は汀線に沿って移動するが、細粒分もまた汀線に沿って急速に移動し、徐々に沖合へと拡散すると思われる。

④ HL沖では細粒分が緩やかに堆積してきたことは既に分かっている。深浅測量データの分析によれば、その堆積土砂は緩やかに菱沼海岸方向へ動いているようである。しかし確証がない。地形変化の原理から考えれば、HL沖に堆積した砂は緩やかに東側へと流出しなければならない。その際、汀線付近へと戻るのか？あるいは沖合を海岸線と平行に移動するのみか？

⑤ このことから、漂砂調査においては d_{50} が10mm(高波浪後汀線付近で確認された中礫)、2mm(汀線付近の d_{50})と0.2mm(h_c 付近の d_{50})の粒径集団を考え、

それぞれを汀線と-4mに1 m³ずつ投入し移動状況を調べる。

サンプリングは汀線に沿って実施するとともに、HL東側を含めて沿岸方向に測線を配置し、潜水士または採泥器により水深方向に底質を採取した。調査期間は2006年7月7日～9月8日で、この間5回のサンプリングを実施した。調査期間中は沖合の-15m地点に波高計を設置し外力条件を調べた。

(2) 調査結果

調査期間中には台湾の西側で発生した台風6号を除くと合計9個の台風が発生し日本列島に接近した。

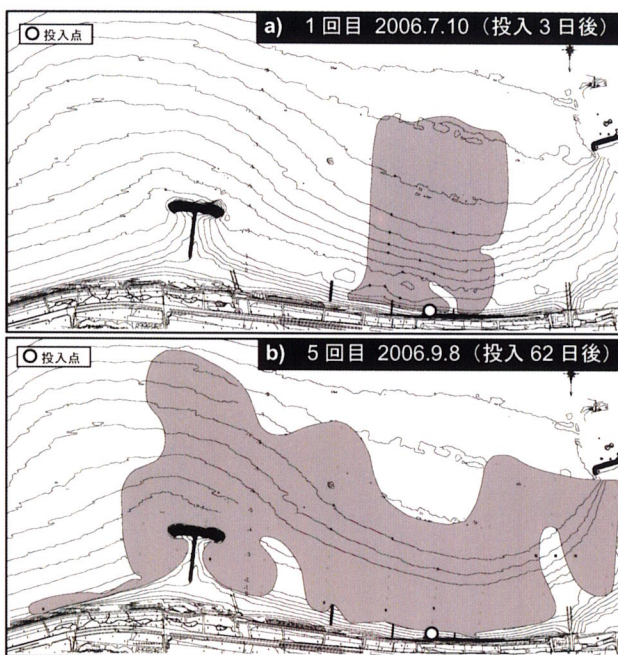


図-1 汀線に投入した $d_{50}=0.2\text{mm}$ の砂の移動状況

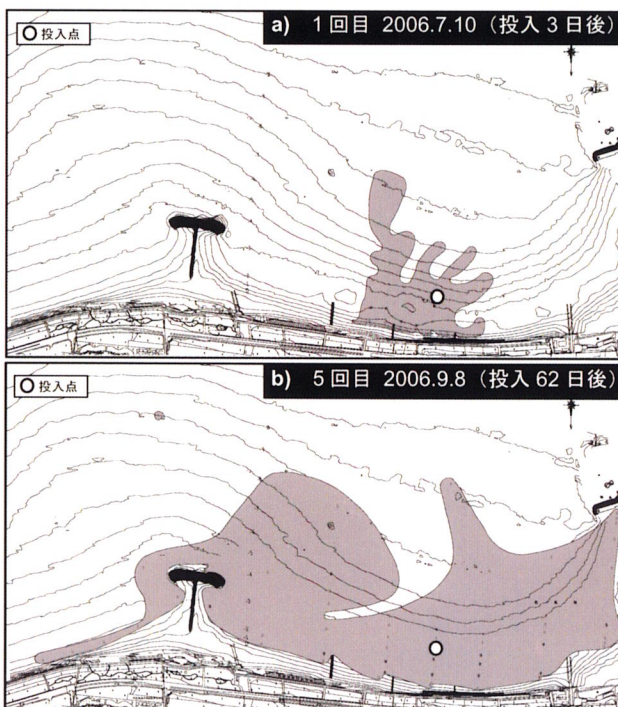


図-2 -4mに投入した $d_{50}=0.2\text{mm}$ の砂の移動状況

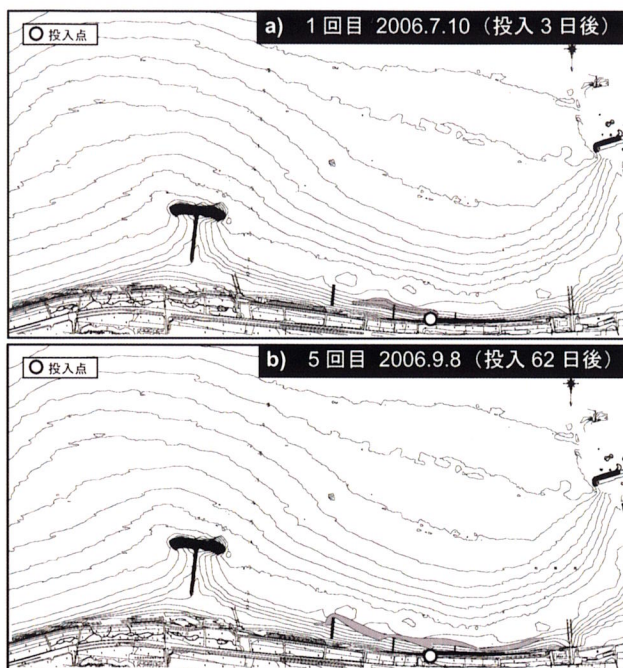


図-3 汀線に投入した $d_{50}=2\text{mm}$ の砂の移動状況

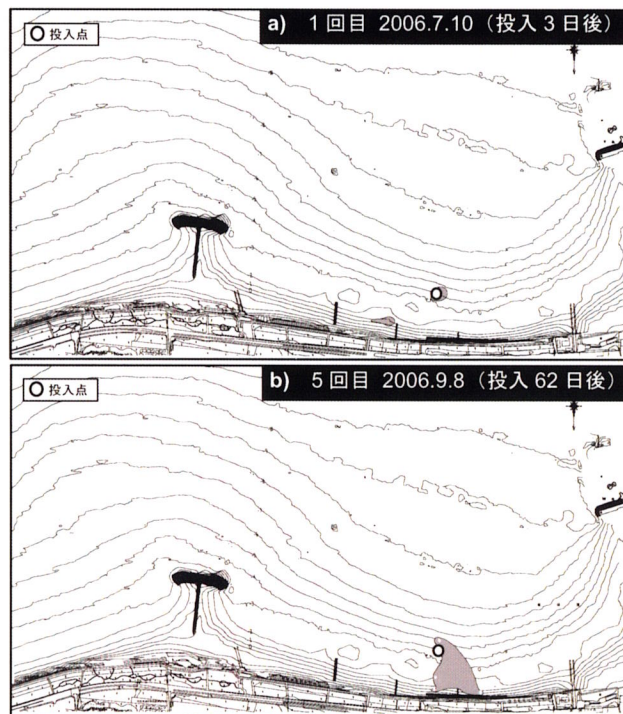


図-4 -4m に投入した $d_{50}=2\text{mm}$ の砂の移動状況

茅ヶ崎海岸では、このうちT4, 7, 8, 10, 12号による波浪の影響を強く受けた。波浪観測結果によれば調査期間中は年数回波程度の波浪が4回来襲した。

図-1, 2は $d_{50}=0.2\text{mm}$ を汀線および-4mに投入した結果、トレーサが検出された範囲（網掛け部分）を示す。投入砂はいずれも時間経過とともに沖合に広く拡散し、一部はH1の沖を越えて下手側海岸へ、一部は茅ヶ崎漁港の港口付近に堆積した。一方、汀線に $d_{50}=2\text{mm}$ の砂を投入した場合（図-3 参照）、投入砂は汀線付近に歩留まった。 $d_{50}=10\text{mm}$ の場合は 2mm

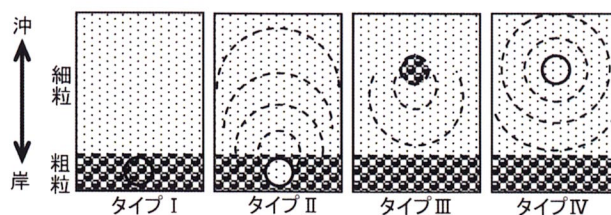


図-5 土砂移動パターン

と同様に汀線付近に留まり、さらに移動範囲が狭まった。-4mに投入した $d_{50}=2\text{mm}$ の砂は、図-4のように時間経過とともに次第に汀線へと近づいたが、-4mに投入した 10mm の砂は移動状況の把握が困難であった。現状の土砂と粒径が大きく異なるため、移動できず投入位置にほとんど留まり細砂と混じったと考えられる。

前述のように調査期間中は年数回波程度の波浪が数回来襲していたことから、粒径が 2mm 以上の砂を汀線に投入することは海岸保全に効果的と判断できる。また、粒径 2mm と 10mm の砂では沿岸方向の移動範囲が異なり、粒径が大きいほど移動範囲が狭いことが確認された。

(3) 考察

調査結果より土砂移動パターンは図-5に示す4パターンに分類できる。なお条件として汀線付近は粗粒砂、沖合は細粒砂で構成されているとする。

タイプⅠ（汀線付近に粗砂を投入）では、投入砂の粒径が元々汀線付近にある粒径と同じであるから、投入砂はそこにあった砂と同じ動きを示し汀線付近に留まる。沖合への移動が起こるのであれば、元々汀線付近に粗砂が集積していた事実と矛盾するからである。

タイプⅡ（汀線付近に細砂を投入）では、汀線付近は粗砂で構成されており、そこでは細砂は安定性が悪いので波の作用により急速な拡散作用を受ける。このため投入土砂はほとんど汀線付近に留まることはできず沖合へ拡散する。汀線付近に残存するとすれば、汀線砂の中に含まれる細砂の含有率程度までとなるはずである。波の攪乱を常時受ける汀線にあって、混合状態で残り得る細砂の量は現存量を超えることはできないはずである。沖合へ移動すると、沖合の海底面は細砂が広く覆っているの、そこに到達した細砂はそこに元々存在した細砂と全く同様に移動することが可能である。かくしてタイプⅡの場合投入砂は広く拡散する。

タイプⅢ（沖合に粗砂を投入）では、投入した粗砂の粒径が、現状の土砂より1オーダー程度大きい粒径の場合、時間経過とともに次第に汀線へと近づく傾向を示す。

タイプⅣ（沖合に細砂を投入）では、元々細砂で覆われていた海底面にそこに存在したと同様な細砂が置かれることから、その移動状況は元々海底面を覆っていた細砂と同じとなる。

3. 試験養浜による海岸保全機能の評価

(1) 試験養浜の方法

茅ヶ崎中海岸では粗粒径を多く含む養浜砂の効果把握するため、試験養浜として2006年1月10日から2月5日に図-6に示す6号水路脇において既設護岸を覆うよう盛土状に9,856 m³の養浜を行った。試験養浜に使用した土砂の組成比を図-7に示す。相模ダム(4,963 m³)と小出川の浚渫土砂(1,890 m³)はともに d_{50} が2.6mm以上と粗い。また茅ヶ崎漁港西側の堆積土砂(3,003 m³)も柳島方面から波による淘汰作用を受けつつ沿岸漂砂によって運ばれてきたものであるために、茅ヶ崎中海岸を広く覆う $d_{50}=0.2\text{mm}$ 程度の細砂と比較すると大きな粒径が含まれる。投入場所は、粒径が大きい順に、波浪の影響を強く受ける中海岸中心部に使用するものとし、図-6に示すように小出川の土砂を中海岸中心部の①に、相模湖の砂を②に、漁港西側の砂を③に投入した。

(2) モニタリング調査の結果

養浜盛土の変形状況調査には定点写真を活用した。例えば、図-8に示す測線 No. 19 の変化では、養浜以前の2005年8月29日には図-8aのように階段の基部が波に洗われていたが、養浜によって基部が砂で覆われた。図-8c, dに矢印で示すように階段の3段目を指標にすると、地盤高が60cm程度上昇している。2006年9月4日には台風12号により年数回波程度の波浪が来襲したが、そのような状況でも図-8dのようであり、図-8aに示した2005年8月29日のような階段基部の露出は全く生じなかった。以上より、定点写真による海浜状況の追跡によっても、試験養浜は海浜の保全にかなりうまく機能していると考えられる。

茅ヶ崎中海岸の長期的な地形変化は図-9aのよう

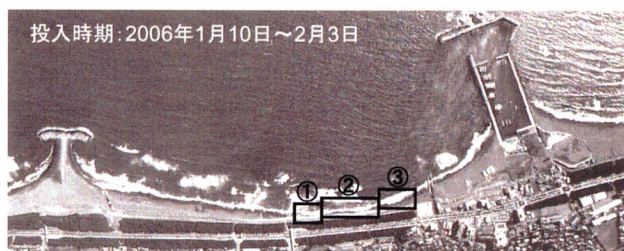


図-6 養浜箇所

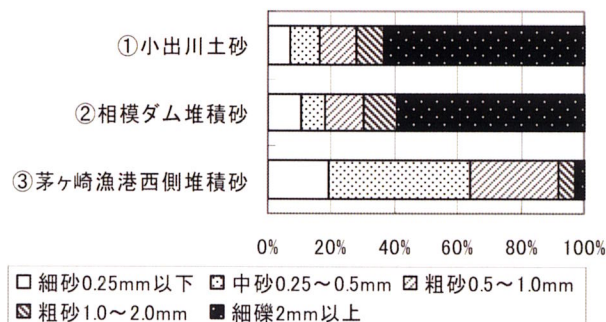


図-7 試験養浜に使用した土砂の組成比

にまとめられている²⁾。HL建設後の1991年から2005年の間では、 $X=1.4\sim 2.2\text{km}$ 区間の-4m以浅での集中的な侵食と、-4~-8m区間で相対的に緩やかな侵食が起き、対照的にHL沖の-8mまでの広い区域では堆積が生じた。また茅ヶ崎漁港防波堤による波の遮蔽域でも集中的な堆積が生じた。このような長期的な地形変化に対し、今回の粗粒材による試験養浜後の2006年2月と7月の地形変化は、図-9bのように侵食の著しかった $X=1.5\sim 2.15\text{km}$ 区間の前浜から-4mまでの区域が堆積傾向となっている。これに対して-4mより沖合ではとくに大きな変化は見られない。このことから投入土砂は-4m以浅の浅海域に留まり、沿岸方向に緩やかに拡散したと考えられる。主要要因は投入土砂の粒径が大きかったためと推定される。なお、図-9bには縦断測量の測線配置も示す。

試験養浜後の海浜の変動と波浪応答性を調べるために、試験養浜直後の2月と高波浪来襲後(年数回

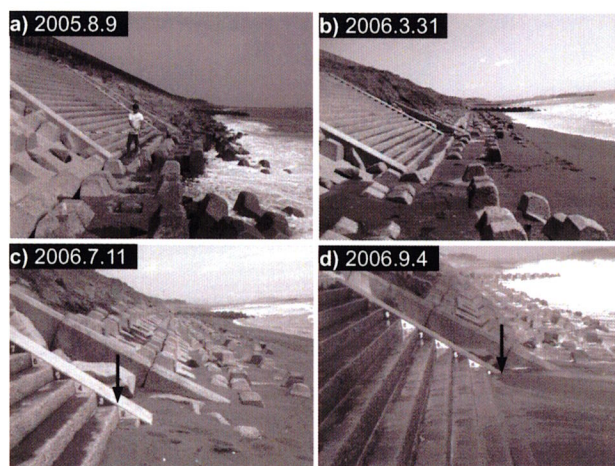
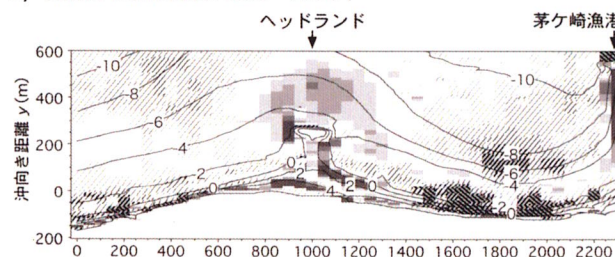


図-8 測線 No.19 付近の海浜状況の変化

a) 長期的な地形変化: 1991~2005年



b) 試験養浜後の地形変化: 2006年2月~2006年7月

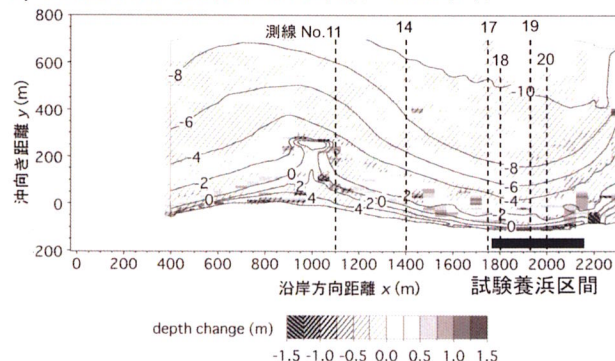


図-9 茅ヶ崎中海岸の地形変化

波程度)に、HL～茅ヶ崎漁港間で3回(7, 8, 9月)の地形測量を実施した。いずれの断面でも浜幅の大きな変化は見られず、ほぼ-1m以浅では安定であって変動は-1m以深でのみ生じた。この-1m以深の変化はバーの変動によるもので、断面内でほぼ土砂収支が取れていた。例として試験養浜区間近傍の実測縦断地形変化を図-10に示す。このように縦断測量の結果は前浜がかなり安定していることを強く示唆する。

図-11は水深方向の粒度組成比である。図-11aは、海岸中央付近のNo. 18の試験養浜前の粒度組成比、図-11bは試験養浜6ヶ月後の2006年8月31日実施の、No. 18近傍のNo. 20とHL近傍のNo. 14の粒度組成比である。両者を比較すると、汀線付近では試験養浜後礫が多く分布していることから、縦断形変化比較で安定傾向であった-1m以浅は礫で覆われていたことが分かる。

図-12は、養浜前後の d_{50} の水深方向分布を示す。図-12aはHL近傍の測線No. 11における d_{50} の比較、図-12bは侵食が進んだ海岸中央付近の測線No. 18の d_{50} の比較である。測線No. 11の-2m以深では $d_{50}=0.18\text{mm}$ 以下の淘汰のよい細砂で構成されており、汀線付近にのみ粗粒材が集中していたが、粗粒材養浜後も同様に汀線付近で粗粒材の集中的な堆積が見られる。一方、測線No. 18ではHL近傍と比較して海浜縦断形が急勾配で落ち込んでいるのに対応し、元々 d_{50} が 0.2mm 以上の砂礫が-8mまでの水深域を覆っていた。また養浜以前において d_{50} が約 1mm の砂は-1m付近まで分布していたが、養浜後粗粒材の分布範囲が-2mまで深くなった。すなわち、HL近傍と海岸中央付近ともに粗粒材は汀線付近に留まり、沖方向への移動拡散は少なかったことが分かった。これは写真撮影結果および縦断形測量結果と調和的な結果

である。

(3) 粗粒材養浜による海岸保全機能の評価

養浜後のモニタリング結果によれば、7, 8月における年数回波の作用後、-1～-7mにおいて多少の地

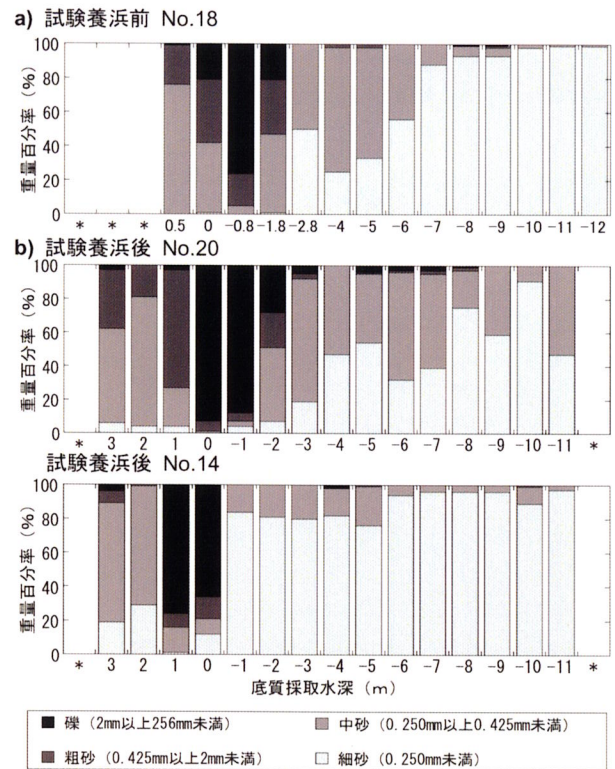


図-11 水深方向の粒度組成比

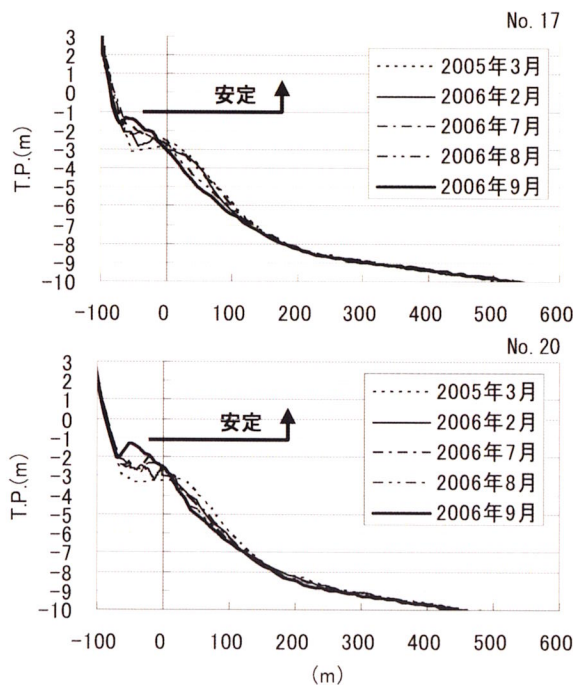


図-10 試験養浜後の海浜縦断形の短期変動

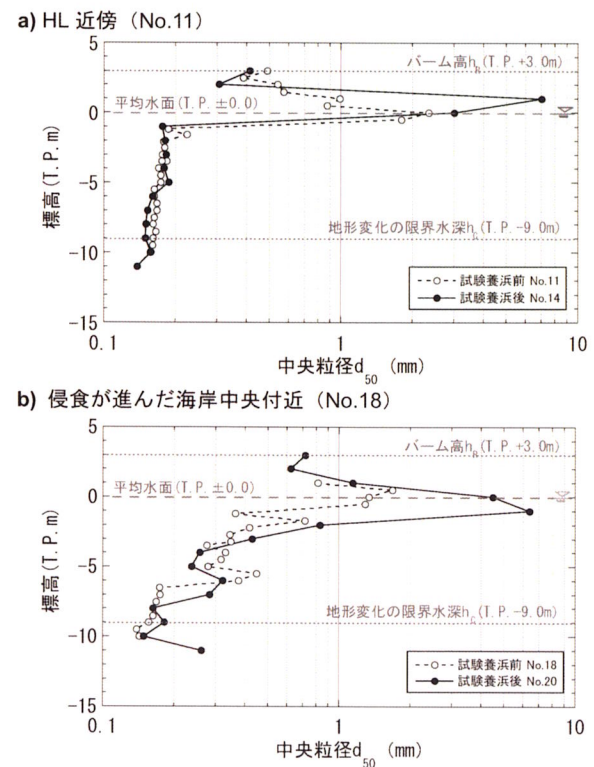


図-12 養浜前後の d_{50} の水深方向分布

形変動はあったものの、前浜から-4m 間では堆積傾向であり、-4m より沖合では大きな変動はなく投入砂礫は汀線付近に集中的に堆積したことが分かった。また HL 近傍の No. 14 においても汀線付近に礫が集積した。このことから礫を多く含む投入土砂は-4m 以浅に留まり、沿岸方向に緩やかに拡散したと考えられる。したがって投入土砂の粒径を大きくすれば前浜の拡幅は可能と考えられる。

4. 養浜材の適正条件

漂砂調査によれば、目標浜幅の確保や護岸の根固め機能としては、汀線付近に歩留まる粒径 2 mm 以上の礫が効果的と判断された。これはモニタリング調査より年数回波程度の波浪が数回来襲したにもかかわらず礫分が多く含まれる-1m 以浅の海浜が安定していたことから明らかである。しかし粗粒材のみで養浜を行った場合、底質粒径と海浜勾配の関係より、海岸中央の汀線付近に見られる 1/5 の急勾配の前浜が形成されるのみで、沖合の海底勾配を緩くする効果はなく、しかも沖合の緩斜面を構成する細砂は次第に漂砂下手側に運び去られるため、時間経過とともに海浜縦断形の急勾配化が免れ得ない。すなわち図-13に見られる HL による波の遮蔽域側（測線 No. 11）の-3m 以深の緩勾配の海底面を構成している $d_{50}=0.2\text{mm}$ 以下の細砂が大量に補給されて初めて緩勾配の縦断形となると考えられる。沖合の細粒土砂の減少は、防護面だけでなく漁業（しらす漁や地引網）や、バーの消失を招くのでサーフィンなどの利用面・環境面にも影響を与えるとともに、HL を越えて菱沼海岸へ供給される土砂はこの細粒分であるため、菱沼海岸以東の海岸保全上も重要である。

以上のことから、茅ヶ崎中海岸における養浜は、汀線付近を防護する $d_{50}=2\text{mm}$ 以上の礫は目標浜幅の確保や護岸の根固め機能として中海岸の保全を考える上で直接的に重要であるが、防護・環境・利用の全てにおいて理想的な湘南海岸本来の遠浅な海岸を復元させるには、もともと海岸中央付近の沖に大量にあったと推定される 0.2mm 以下の細粒分も必要であり、粗粒分と細粒分が混合された養浜材で実施することが最適と考えられる。なお、これらの組成比は、現在の海浜を構成する土砂の組成比と同程度が望ましいと考えられるが、防護上は目標浜幅の早期達成も考慮しなければならないため、投入土砂の量と質両面から考慮した養浜とそれによる保全効果（汀線前進等）についての検討が必ず必要となる。筆者らはこれについて熊田らの¹⁾ 粒径を考慮した等

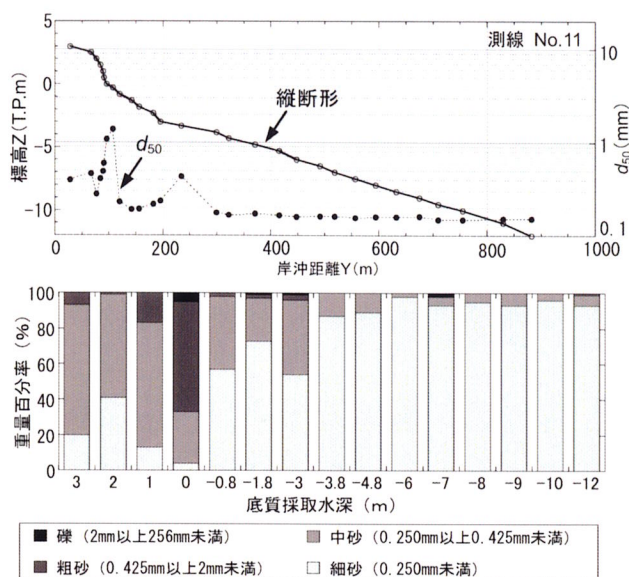


図-13 海浜縦断形と d_{50} の分布および粒度組成

深線変化モデルを用いて現在検討を進めている。

5. おわりに

本研究では、茅ヶ崎中海岸を対象として養浜における粒径選択の考え方を整理した。既往の多くの海浜変形モデルは、底質粒径を中央粒径でのみ代表させ、その砂の分布状況の変化を予測するものである。しかし多くの現地海岸では、例えば図-12に示したように、中央粒径は水深方向に大きく変化しており、それに合わせて海浜の縦断勾配にも変化が見られる。そして前浜での養浜を考えた場合、投入砂の安定性はこれらの特性に大きく依存する。これらを考慮すると、一様粒径砂の移動を予測するという方法は、波や流れの場の予測がいかに正確であったとしても、現象再現において課題を残すことになる。各地での養浜計画にあってはこのような点をよく考慮して検討を進めることが肝要である。

参考文献

- 1) 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄・三浦正寛：波の遮蔽域形成に伴う 3 次元地形・粒径変化の予測法，海洋開発論文集，第 21 巻，pp. 1029-1034, 2005.
- 2) 宇多高明・木下幸夫・山野 巧・吉岡 敦・三波俊郎・壺岐信二・石川仁憲：長期深浅測量データに基づく湘南海岸の海浜変形の実態分析，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 651-655, 2006.