

茅ヶ崎海岸における粒径を考慮した養浜工の効果予測

Evaluation of Effect of Beach Nourishment Considering Grain Size on Chigasaki Coast

宇多高明¹・青島元次²・山野 巧³・吉岡 敦⁴・古池 鋼⁵・石川仁憲⁶

Takaaki UDA, Genji AOSHIMA, Takumi YAMANO, Atsushi YOSHIOKA
Kou FURUIKE and Toshinori ISHIKAWA

The contour-line-change model considering change in grain size proposed by Kumada et al. (2005) was applied to the Chigasaki coast, where beach erosion has taken place due to the effect of decrease in longshore sand supply. Bottom sampling was carried out. Depth distribution in median diameter and longitudinal profiles were measured. The grain size was divided into three dominant grain size populations such as fine sand, medium sand and gravel. The effect of beach nourishment using materials with different grain sizes was predicted. Optimum beach nourishment was the nourishment using materials composed of mixed grain sizes in terms of protection, environment and use of the coast.

1. はじめに

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り護岸が被災し、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養浜工が計画されているが、漁業やサーフィンのほか散策など日常的な海岸利用者が多く、その実施には細心の注意を払う必要がある。宇多ら(2006)によると、侵食が進んだ海岸中央部の前浜は粗粒化、急勾配化が進んでおり、また近年当海岸からヘッドランド(HL)を越えて漂砂下手側へ流出する漂砂は約 $4,600 \text{ m}^3/\text{yr}$ で、その粒径は 0.2 mm と推定されている。このことから、養浜においては粒径の考慮が必須となっている。本研究は、当海岸における養浜材の適正条件を明らかにするとともに、保全施設としての定量的な評価を行うことを目的とする。このため底質調査、粒径の異なるトレーサを用いた漂砂調査、試験養浜などを行った上で、熊田ら(2005)の粒径を考慮した海浜変形モデルを用いて養浜砂の移動予測を行い、海岸保全施設としての養浜工の効果を定量的に検討した。

2. 粒径を考慮した漂砂調査と試験養浜

高波浪が来襲する夏季2ヶ月間に3粒径($d_{50}=0.2, 2, 10 \text{ mm}$)のトレーサを汀線と沖合(T.P.-4 m)に投入して移動状況を調査した結果、粒径 0.2 mm の砂は汀線

および沖合投入いずれの場合も広く沖に拡散するとともに、一部はHL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、汀線に投入した 2 mm 以上のトレーサは何れも汀線付近に留まった(図-1)。調査期間中は年数回波程度の波浪が数回来襲したにもかかわらず安定していたことから 2 mm 以上の粒径による養浜は海岸保全上効果的と判断された(宇多ら, 2007)。

海岸中央付近で実施した粗い粒径を多く含む試験養浜($d_{50}=2.6 \text{ mm}$, $9,856 \text{ m}^3$)のモニタリングデータを解析した結果、年数回波程度の高波浪後、前浜から -1 m 以浅の汀線付近はほとんど変化せず安定を保ち、養浜箇所近傍の浜幅が狭い区間では、前浜から -4 m にかけて堆積傾向であった。この辺りは主に礫で構成されてお

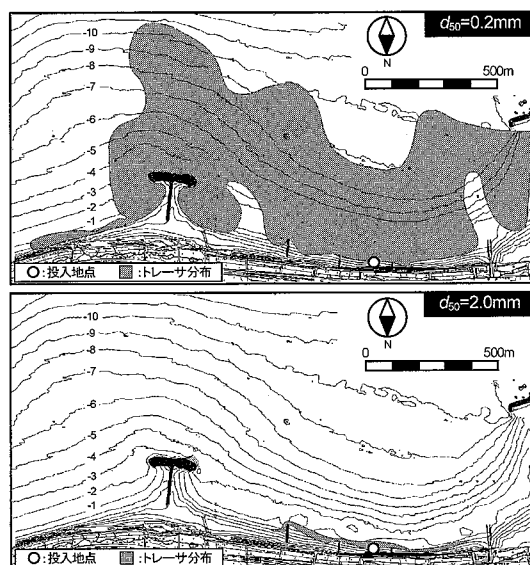


図-1 汀線に投入したトレーサの移動状況 (投入62日後)

- 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建築工学科
2 神奈川県藤沢土木事務所なごさ港湾部部長
3 (財) 神奈川県公園協会県立相模原公園園長
4 神奈川県藤沢土木事務所なごさ港湾課
5 海岸研究室(有)
6 正会員 工修 (財) 土木研究センターなごさ総合研究室主任研究員

り、養浜前に比べ汀線付近を多くの礫が占めていたことから、投入砂礫が汀線付近に集中的に堆積したためと考えられた。以上より、粒径を大きくすれば前浜の拡幅を効果的に行うことが可能であるが、環境や利用への影響が大きいので、これらに対する十分な検討が必要となる。

3. 粒径を考慮した養浜による海浜変形予測

(1) 計算条件の設定

計算には粒径を考慮した等深線変化モデル(熊田ら, 2005)を用いた。計算条件を表-1に示す。座標系は実

表-1 計算条件

計算モデル	混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデル（熊田ら，2005）			
座標系	実座標，烏帽子岩，平島など実地形を考慮			
初期地形	直線平行等深線地形			
入射波条件	エネルギー平均波 $H_b=0.83\text{ m}$ ， $T=6.35\text{ s}$ 波向：再現計算により同定した $S6^\circ W$			
潮位条件	M.S.L.（T.P. ± 0.0 ）			
h_C と h_R	$h_C=9\text{ m}$ ， $h_R=3\text{ m}$			
計算等深線	$z=+3\text{ m} \sim -9\text{ m}$			
計算空間メッシュ	沿岸方向 $\Delta X=100\text{ m}$ ，鉛直方向 $\Delta Z=1\text{ m}$			
計算期間	再現期間：1991 年以降の平衡状態 予測期間：10 年			
計算時間間隔	$\Delta t=50\text{ hr}$ ，180 steps / yr			
漂砂量係数	沿岸漂砂量係数： $K_x=A/\sqrt{d_{50}}$ ， $A=0.387$			
	粒径 1 $K_x=0.1000$			
	粒径 2 $K_x=0.0866$			
	粒径 3 $K_x=0.0274$			
土砂落ち込み	岸沖漂砂量係数： $K_s=0.4 K_x$			
	小笹・ブランプトン項の係数： $K_2=1.62 K_x$			
	陸上 1/2，水中 1/3（限界勾配）			
粒径	粒径集団：3 成分			
	粒径 1 細砂以下 $\sim 0.25\text{ mm}$			
	粒径 2 中砂・粗砂 $0.25 \sim 2\text{ mm}$			
	粒径 3 細礫以上 $2\text{ mm} \sim$			
	粒径集団に対応する平衡勾配と交換層厚：			
	粒径 1 $\tan \beta=1/80$ ， 0.625 m			
	粒径 2 $\tan \beta=1/30$ ， 1.667 m			
	粒径 3 $\tan \beta=1/10$ ， 5 m			
	交換層厚： ΔZ あたり 50 m			
	含有率：交換層 A，B，養浜砂，左端流出分			
将来予測	再現計算 粒径 1 $\mu_1=0.48$			
	粒径 2 $\mu_2=0.39$			
	粒径 3 $\mu_3=0.13$			
	将来予測			
		現地底質	粗粒材	細粒材
境界条件	粒径 1	0.48	0.10	0.90
	粒径 2	0.39	0.23	0.05
	粒径 3	0.13	0.67	0.05
境界条件	右端，岸沖端： $Q=0\text{ m}^3/\text{yr}$ 左端（漂砂下手境界）： $Q=1.4\text{ 万 m}^3/\text{yr}$ （実態）			
養浜条件	再現計算：実績	中海岸	$0.5\text{ 万 m}^3/\text{yr}$	
	実績	菱沼海岸	$0.9\text{ 万 m}^3/\text{yr}$	
	将来予測：計画	中海岸	$3.0\text{ 万 m}^3/\text{yr}$	
	実績	菱沼海岸	$0.9\text{ 万 m}^3/\text{yr}$	
投入位置：実績	中海岸 $X=8400 \sim 8600\text{ m}$ ， $Z=+3 \sim \pm 0\text{ m}$			
	菱沼海岸 $X=7100 \sim 7300\text{ m}$ ， $Z=+3 \sim \pm 0\text{ m}$			
構造物条件	再現計算，将来予測：岩礁，漁港，HL の $K_r=0.0$ 将来予測：突堤 2 基 $L=50\text{ m}$ （既設延伸）			

座標とし、沖合にある岩礁帯による波浪減衰効果を考慮することで再現性を高めた。入射波は防災科学技術研究所平塚観測塔での観測データより算出したエネルギー平均波を採用し、 H_b を 0.83 m 、周期を 6.35 s 、波向は再現計算より同定した。地形変化の水深範囲は、実測の深浅図よりバーム高 ($h_R=3\text{ m}$) から波による地形変化の限界水深 ($h_c=9\text{ m}$) までとした。

粒径条件は実測データより設定した。図-2は茅ヶ崎中海岸の d_{50} の水深分布である。勾配が変化する汀線 $\sim -1\text{ m}$ 付近を境に、陸側の粗い粒径で構成される集団 A と、 -3 m 付近までの $0.15 \sim 0.4\text{ mm}$ の中砂集団 B、 -3 m 付近から h_c へと徐々に小さくなる 0.2 mm 以下の細砂集団 C にほぼ区分される。図-3は海岸中央の侵食域と HL 近傍の波の遮蔽域における縦断面と d_{50} の岸沖方向分布、粒径含有率の水深分布である。これより、底質は主に細砂 ($0.1 \sim 0.25\text{ mm}$) と中砂・粗砂 ($0.25 \sim 2\text{ mm}$) で構成され、汀線 (0 m) $\sim -1\text{ m}$ 付近に礫が多く出現する。以上を考慮し、計算では3つのレンジ(細砂以下: $\sim 0.25\text{ mm}$, 中砂・粗砂: $0.25 \sim 2\text{ mm}$, 細礫以上: $2\text{ mm} \sim$) を粒径集団とし、これら粒径集団に対応する平衡勾配は、図-3より、各粒径集団で代表される水深帯毎の海底勾配を参考に、それぞれ細砂: $1/80$, 中砂・粗砂: $1/30$, 細礫以上: $1/10$ とした。

再現計算では、まず d_{50} の水深方向分布を底面長で加重平均して各粒径の存在率を求め、さらにそれらを上記3レンジに再区分することによって得られた含有率を初期含有率とした。一方、将来予測計算では、中海岸の現地底質のほかに、入手予定の相模湖浚渫土砂の実測値より、粗粒材(含有率, 細砂以下: 中砂・粗砂: 細礫以上 $=0.10:0.23:0.67$), 細粒材 ($0.90:0.05:0.05$) の3種類の底質データより含有率を設定した。

(2) 再現計算

HL 建設後 1991 年以降から 2005 年までの茅ヶ崎中海岸および菱沼海岸の状況(汀線形, 地形, 海浜変形)を再現対象とした。期間中の養浜実績(中海岸, 菱沼海岸)を考慮し、漂砂量係数等を変えて試行計算を繰り返

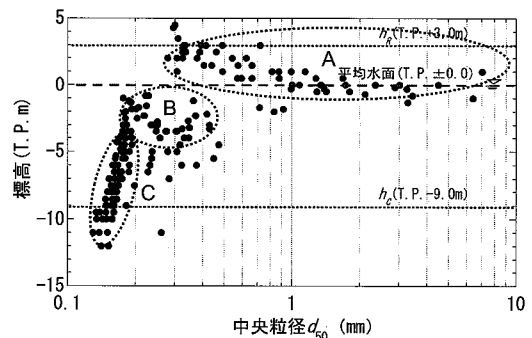
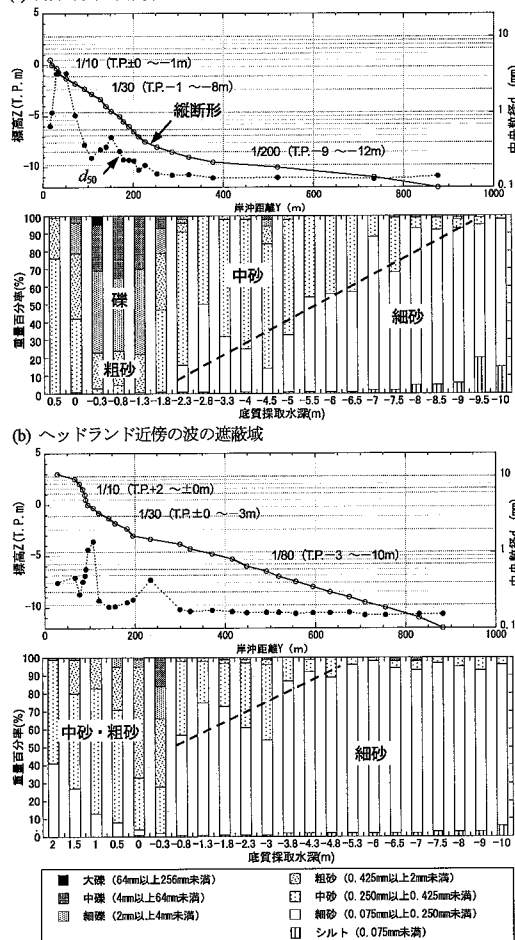


図-2 中央粒径 d_{50} の水深方向分布 (全データ)

(a) 海岸中央の侵食域

図-3 海浜縦断形と d_{50} の岸沖分布、粒径含有率の水深分布

した結果、以下に示すように優れた再現計算結果が得られた。計算結果を図-4, 5に示す。計算結果(図-5)の汀線位置($Y=570$ m)は、実測(図-3(a))の汀線位置($Y=20$ m)に相当する。

- ①対象海岸では、1991年のHL建設以降、ほぼ毎年維持養浜が行われているが、汀線および地形に大きな変化が見られない動的平衡状態に達している。再現計算においても同様に地形変化が生じない動的平衡状態が再現できた。
- ②この動的平衡状態は、 0.5 万 m^3/yr の土砂供給により再現されていることから、土砂収支も実態の 0.46 万 m^3/yr (宇多ら, 2006) と整合が取れている。
- ③2005年の汀線形状に高い精度で一致している。
- ④HL沖の -5 m以深における等深線の蛇行、および急勾配の汀線付近から沖に向かって緩い勾配へ変化する縦断形(等深線)の特徴が再現されている(図-1参照)。
- ⑤陸上部の $+1$ m以上では粒径 2 mmの礫が集中的に堆

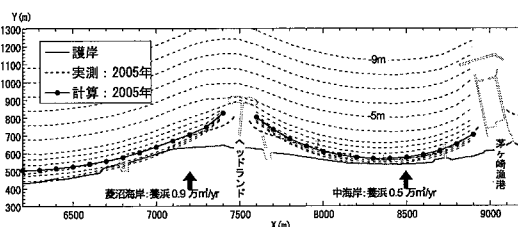


図-4 再現計算結果：地形変化

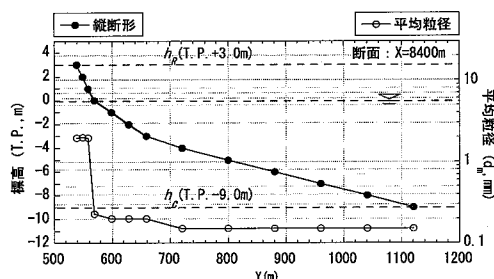


図-5 再現計算結果：海浜縦断形と平均粒径

積し、汀線から -3 mまではほとんどが 0.2 mmの砂で、さらにその沖は 0.15 mmの砂で覆われている。粗粒材が多くを占める汀線付近から沖に向かって細粒へ変化する縦断方向の底質分級の特徴が再現されている。

(3) 粒径を考慮した養浜の効果予測

計画浜幅 50 mを満足することを評価基準として、粒径の異なる数種類の養浜材を用いた場合の10年後の地形変化、底質変化を求めた。なお、投入位置は $X=8400 \sim 8600$ mの $\pm 0 \sim +3$ m、投入量、投入間隔は計画と同様に 3 万 m^3/yr とした。初期海浜形状からの水深変化量(増減)の平面分布を図-6に、汀線変化量を図-7に示す。また海岸中央部の海浜縦断形と平均粒径の変化を図-8に、平均粒径の平面分布を図-9に示す。

現在行っている養浜を中止し放置した場合、茅ヶ崎中海岸とHLの東側(菱沼海岸)において侵食が進み、汀線とともに前浜が全体的に後退する。とくに菱沼海岸では最大で -1.8 mの海浜地盤高の低下が起こる。

粗粒材養浜の場合、海浜縦断形が全体に沖向きにほぼ平行移動し、中海岸では著しく汀線が前進し、最大 35 mの前進となって1954年当時の汀線に近いレベルまでの汀線前進となる。また、汀線付近で最大 3.5 mの地盤高の上昇が見られ、さらに沖合の広い区域で地盤高の上昇が生じる。その際海浜断面が大きく広がった部分は主として 2 mmおよび 0.2 mmの砂礫で構成されている。このタイプの養浜は海岸保全効果から見てかなり有効である。底質変化は中海岸では大きくないが、HLの東側区域で粗粒化が進む。ただし粗粒化の範囲は養浜を中止し放置する条件と比べればそれなりの効果は認められる。また、この案では菱沼海岸でもHLの東側側面を中心として汀線の前進が期待でき

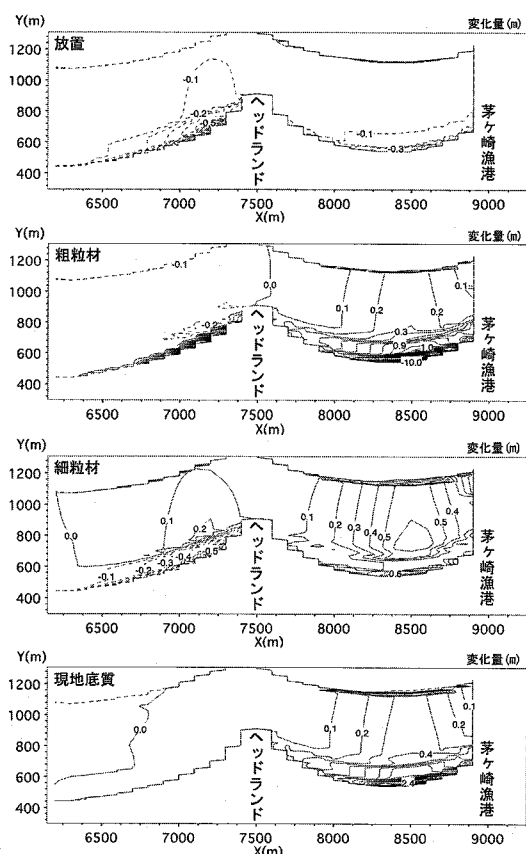


図-6 初期海浜形状からの水深変化量(増減)の平面分布

るが、沖合では緩やかな侵食傾向となる。

細粒材養浜の場合、粗粒材と異なり汀線付近では砂の堆積はあまり生じることがなく、投入土砂は主に沖合で堆積し、沖合の広い区域で地盤高の上昇が生じ、その上昇量は粗粒材よりも大きい。縦断形の変化からも汀線の前進量はわずかであって、投入した細砂は水深の大きい場所へと移動したことが分かる。またHLの東側の汀線付近や菱沼海岸にあっては養浜を行ったにもかかわらず侵食が進む結果となった。このことから沖合部での粗粒化は起こらないが、海岸保全上の効果は相対的に低い結果となった。一方、含有率を現状と同一とした現地底質の場合には粗粒材養浜の場合よりは効果が低いものの、中海岸ではかなりの養浜効果が見られる。一方、沖合の地盤高上昇量は粗粒材よりも大きい。

以上より、細粒材では投入土砂が沖合に広く拡散し目標浜幅を満足しないが、粗粒材、現地底質は10年後に目標とする計画浜幅を満足し、砂浜幅が狭い区域の保全に効果的である。また汀線近傍に粗粒材が集中的に堆積している結果は、現地実験や試験養浜で得られた結果と一致する。一方縦断形を比較すると、沖合を浅くするた

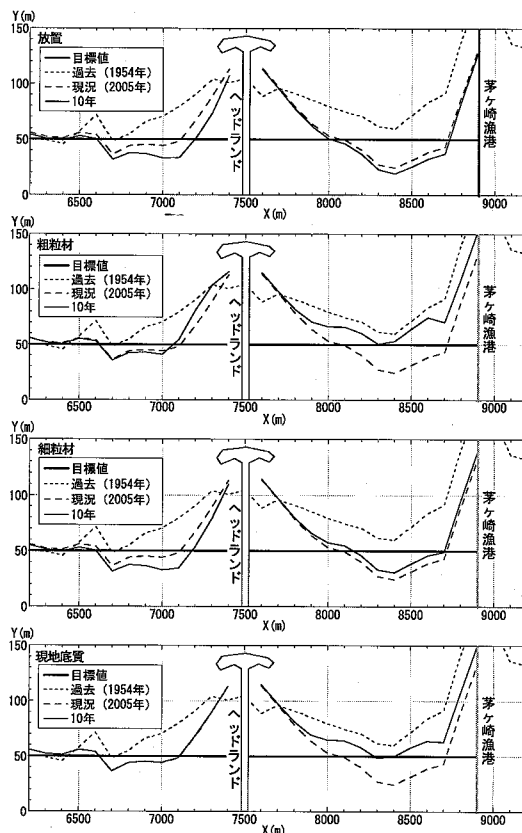


図-7 目標浜幅と汀線変化 (浜幅)

めには細粒分を多く含む細粒材、現地底質の方が望ましい結果となった。すなわち図-3に見られる-3m以深の緩勾配の海底面を構成している0.2mm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。なお、粗粒材であっても沖合地盤を上げる結果となったのは、現状がHLと茅ヶ崎漁港の影響による地形変化がほぼ収束し、そのうえで動的安定状態となっていることと、HLの東側へ抜ける漂砂量 $5,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ に比べて投入土砂量が十分多い結果である。放置の計算結果より、養浜を止めれば汀線だけでなく、沖合地盤高も低下することは事実であり、長期的には注意が必要である。

(4) 漂砂制御構造物の可能性

漂砂制御構造物として既設突堤と既設放水路をそれぞれ30m、20m延伸し、粗粒材、細粒材の養浜を行った場合について予測した。汀線変化量を図-10に示す。粗粒材では、突堤間での粗粒砂の堆積により汀線前進に著しい効果が発揮される。一方、細粒材では突堤の効果は相対的に小さい。このように突堤は粗粒分が多い養浜を行う場合、投入砂を汀線付近にとどめる上で効果があることが分かる。

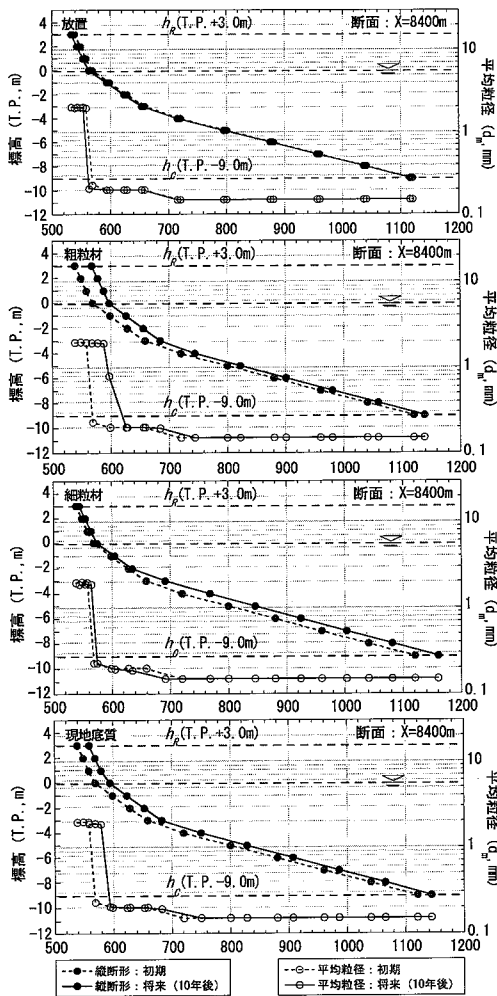


図-8 海浜中央部の海浜縦断形と平均粒径の変化

4. まとめ

数値計算および漂砂調査、試験養浜の結果より、礫を多く含んだ養浜を行った場合、投入土砂は汀線付近に留まり、海浜安定に効果的であると評価できる。よって、粗粒砂養浜は、海岸保全対策として有効な方法である。しかし、沖合の海底地盤を上げるためには0.15mmの細粒分を多く含む養浜材の方が望ましい結果となった。沖合の細粒土砂の減少は、防護面だけでなく、漁業や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。したがって、汀線付近を防護する礫は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養浜では、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

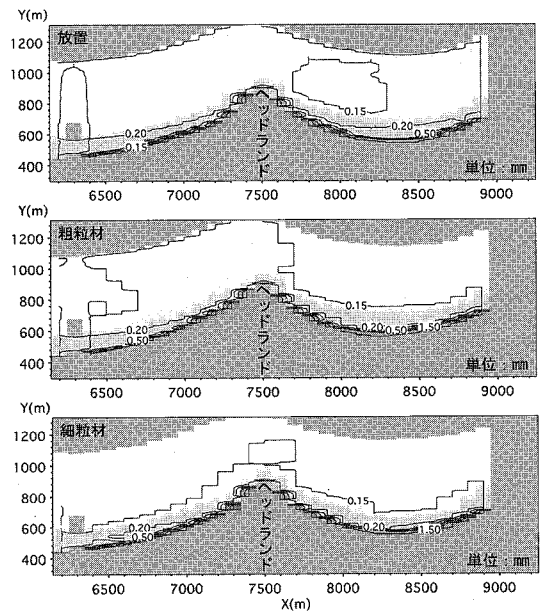


図-9 10年後の平均粒径の平面分布

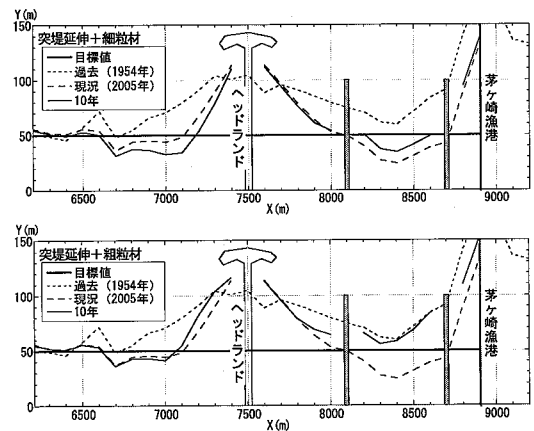


図-10 目標浜幅と汀線変化(浜幅)

することが最適と結論される。これは既に神奈川県が過去に実施してきた方法でもあり、その妥当性が今回の検討により理論的にも裏付けられた。

参考文献

- 宇多高明・木下幸夫・山野 巧・吉岡 敦・三波俊郎・宍岐信二・石川仁憲(2006): 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.
- 宇多高明・青島元次・山野 巧・吉岡 敦・三波俊郎・石川仁憲(2007): 神奈川県茅ヶ崎中海岸の事例にみる養浜の考え方, 海洋開発論文集, 第23巻, pp. 1057-1062.
- 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄・三浦正寛(2005): 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.