

神奈川県秋谷海岸における海浜変形の実態と養浜工の効果予測

Beach Changes of Akiya Coast in Kanagawa Prefecture and Prediction of Effect of Beach Nourishment

宇多高明¹・高村光雄²・久保田隆司³・石川謙作⁴・熊田貴之⁵・三波俊郎⁶・石川仁憲⁷

Takaaki UDA, Mitsuo TAKAMURA, Takashi KUBOTA, Kensaku ISHIKAWA
Takayuki KUMADA, Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

Shoreline changes of the Akiya coast located in Sagami Bay were investigated on the basis of the comparison of aerial photographs. A breakwater of Kuruwa fishing port was extended forming a wave shelter zone. This induced longshore sand transport from outside to inside the wave shelter zone. Sand accumulated inside the wave shelter zone, whereas beach erosion occurred on the nearby coast. Tracer test using sand with various grain sizes was carried out. The contour-line-change model considering change in grain size given by Kumada *et al.* (2005) was applied to the coast to investigate the effect of beach nourishment using materials with different grain sizes. It is concluded that beach nourishment using sand composed of coarse materials is effective to recover the stable beach without damages to offshore sea grass field.

1. はじめに

秋谷海岸は三浦半島西岸に位置し、南東端の久留和漁港とその北西1.3 kmにある長者ヶ崎に挟まれたポケットビーチである(図-1)。近年、海岸線に沿って立ち並ぶ家屋が越波被害を受けるとともに、背後の国道134号線基部の地盤崩壊も危惧されるほど侵食が進んでいることから、養浜による対応が計画されている。効果的な対策の実施には侵食機構の十分な理解が必要である。宇多ら(2004)、澤田ら(2005)は空中写真分析より当海岸の侵食原因について考察したが、汀線読み取り時の座標系が汀線変化の方向とほぼ平行であったため、読み取り精度が低いとの問題点があった。そこで、本研究では、秋谷海岸で著しく侵食が進んだ1973年以降の海浜変形を詳細に調べて侵食の実態を明らかにし、また粒径を変化させた漂砂調査を行うとともに、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効果を検討した。

2. 実態解析

1973年撮影の空中写真の汀線上に曲線座標を定め、これと直角方向に浜幅を読み取り、1973年からの変化量を求めたのが図-2である。久留和漁港の防波堤遮蔽

域内では汀線が大きく前進する一方、 $X=300\text{ m}$ ～長者ヶ崎の汀線は経年的に後退傾向にある。しかし現況では防波堤遮蔽域の北西側への広がり逆L字突堤によって阻止されている。また長者ヶ崎北側の汀線はほぼ安定である。また、汀線変化量から推定した沿岸漂砂量は、防波堤延伸直後の1973～1980年では南東向きに $2,500\text{ m}^3/\text{yr}$ の漂砂であった。これより1973年以降の海浜変形は、岩盤上に薄く砂が載る海浜において、主に漁港防波堤の延伸に伴う波の遮蔽域形成によって生じた最大約 $2,500\text{ m}^3/\text{yr}$ の南向きの沿岸漂砂による影響と推定された。

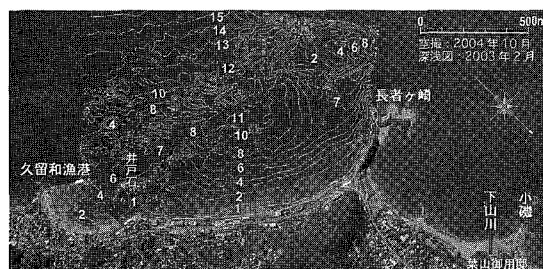


図-1 秋谷海岸周辺の空中写真と深浅図

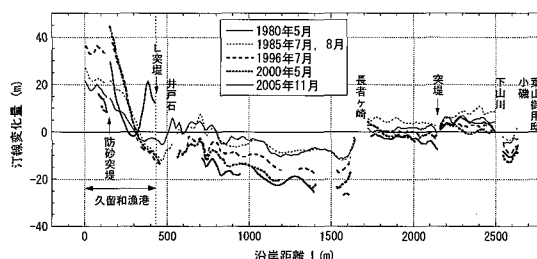


図-2 汀線変化 (1973年基準)

- | | | |
|-------|------|--|
| 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 |
| 2 | | 神奈川県横須賀土木事務所河川砂防部長 |
| 3 | | 神奈川県横須賀土木事務所河川砂防部河川砂防課長 |
| 4 | | 神奈川県横須賀土木事務所河川砂防部河川砂防課 |
| 5 正会員 | 博(工) | (株)水圏科学コンサルタント |
| 6 | | 海岸研究室(有) |
| 7 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 |

3. 粒径を考慮した漂砂調査

高波浪が来襲する夏季3ヶ月間に3粒径($d_{50}=0.5\text{ mm}$, 1.5 mm , 15 mm)のトレーサを汀線に投入して移動状況を調査した結果、図-3に示すように粒径 0.5 mm の砂は沖合に広く拡散したのに対し、 1.5 mm 以上の砂は汀線付近に留まり高い安定性が確認された(宇多ら, 2007)。

4. 粒径を考慮した養浜時海浜変形予測

養浜により、汀線位置(M.S.L.)を現状より20m前進させれば防護水準が満足される。過去、砂が岩盤上に薄く載っていたことは、養浜土砂量はそれほど大きくなくても済むことを意味する。また、実施にあたっては沖合の磯の水産資源への影響や久留和漁港の利用に配慮し、養浜材が沖へ広く拡散せず、汀線付近に留まるような粒径を選ばなければならない。粒径による土砂の動きの違いは漂砂調査で確認されたが、海浜変形予測では底質粒径を変えて計画量 $5\text{ km}^3/\text{yr}$ を投入した場合の15年後の保全効果を定量的に検討した。

(1) 計算条件の設定

海浜変形計算は、久留和漁港から長者ヶ崎までを対象とし、熊田ら(2005)のモデルを用いて行った。変形予測を行う前にはまず自然状態にあった1973年の地形の再現が必要となる。図-1に示す深淺図によれば、久留和漁港周辺は湾曲地形なので、初期平行等深線を仮定して漁港付近の岩礁による波の遮蔽効果を取り込み、十分波を作用させて安定状態に至った場合の等深線形状を求めた。得られた初期地形を図-4に示す。なお、水深帯ごとの平均的海底勾配は、ほぼ -1 m より陸側では $1/10$ 、 $-1\sim$

-2 m は $1/100$ なので、これらの勾配を初期値として設定した。入射波は1993～2004年の実測値より算出されたエネルギー平均波を採用し、 H_b を 1.0 m 、周期を 5 s 、波向をSSWとした。地形変化の水深範囲は、実測深淺図よりバーム高($h_R=1\text{ m}$)から波による地形変化の限界水深($h_c=2\text{ m}$)までとした。また潮位は平均海面とした。他の現地海岸と比較して h_c が小さい理由は、秋谷海岸にあっては沖合に露岩域があることによる。次に対象海岸の過去の粒径レンジを定めるために、漁港内の堆積域と海岸中央の侵食域の前浜(漂高ほぼ $+1\text{ m}$ 地点)と外浜(ほぼ -1 m 付近)で2006年10月に底質を採取した。粒度分析によれば、砂のピーク粒径は図-5のように 0.11 mm と 2 mm にあった。そこで計算では底質分布の近似度を高めるため、これら2粒径に加えて含有率の高い 0.25 mm を含めた3粒径を代表粒径として設定した。それぞれの粒径レンジは、JIS規格に従い 0.11 mm が $0.071\sim 0.16\text{ mm}$ の粒径レンジを、 0.25 mm が $0.16\sim 0.425\text{ mm}$ の、そして 2.0 mm が $0.425\sim 19\text{ mm}$ の粒径レンジを代表させるものとし、外浜と前浜におけるそれぞれの含有率は、実測データより上記粒径順に、前浜では40%、15%、45%、外浜では57%、38%、5%とした。さらにこれらの勾配は上記粒径集団に対応した平衡勾配としても用いた。以上のようにして設定した初期粒径分布を図-6に示す。そのほか漂砂量係数、漂砂量の水深分布、土砂落ち込みの限界勾配、計算範囲、計算メッシュ、計算時間間隔、計算ステップ数、境界条件などはまとめて表-1に示す。

(2) 再現計算

再現計算は全体で3ケースからなる。まず1973年の地

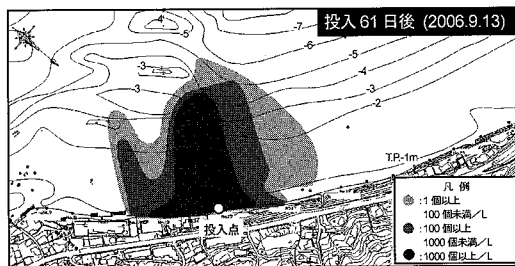


図-3 $d_{50}=0.5\text{ mm}$ のカラーサンドの拡散状況

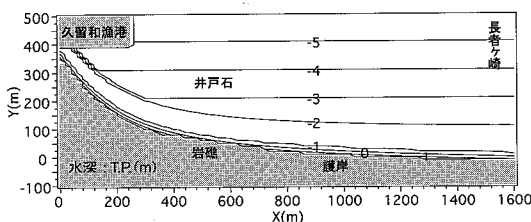


図-4 初期等深線 (1973年)

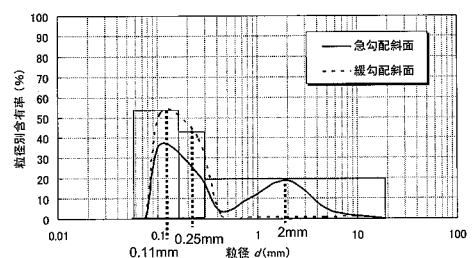


図-5 沿岸方向に平均化した粒径分布

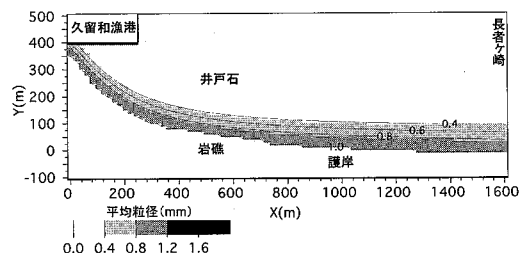


図-6 初期粒径 (1973年)

形を与えて防波堤建設後の1996年の地形・粒径分布を再現した。図-7は1996年の水深変化量分布、粒径分布、および汀線変化比較である。水深変化量分布によれば、久留和漁港の防波堤による波の遮蔽域内へと向かう沿岸漂砂により遮蔽域内では集中的な堆砂が起き、遮蔽域外では広い区域で侵食が進んだ。粒径分布を見ると細粒土砂が波の遮蔽域へと選択的に移動して堆積し、この結果侵食域では相対的に粗粒化したことが分かる。汀線変化で見ると長者ヶ崎側の広い区域での汀線後退はほぼ実測と計算で一致し、堆積域にあっては防砂突堤までの区域においても両者はほぼ一致している。一方、現況の防砂突堤より内側ではずれが大きい、この量は実測の土砂損失量の約2万 m^3 に対応している。次に1996年を初期地形として2000年の地形・粒径分布を再現した。この4年間では新たに漁港近傍に防砂突堤が建設され、また汀線変化解析によると対象海岸では2000年までの4年間で約4万 m^3 の土砂が損失した。そこで計算領域左端の漁港内に土砂の吸い込み境界(1万 m^3/yr)を設定した。計算結

果を図-8に示す。図-7(a)と図-8(a)を比較すると、浚渫によって防砂突堤と防波堤に挟まれた区域の土砂量は減少している。一方、防砂突堤の右側では防砂突堤が漂砂

表-1 計算条件一覧表

計算モデル	粒径を考慮した地形変化計算(熊田ら, 2005)
計算範囲	沿岸方向: 1,600 m, 鉛直方向: $z=5\text{ m} \sim -15\text{ m}$ 計算メッシュ: $\Delta x=20\text{ m}$, $\Delta z=1\text{ m}$
計算期間	予測計算: 10年, 1×10^6 steps, $\Delta t=0.01\text{ hr}$
計算ケース	再現計算: 1996, 2000, 2005年 将来予測: 15年後(2020年) ケース1 養浜(5千 m^3/yr), 単粒径0.1 mm ケース2 養浜(5千 m^3/yr), 単粒径2 mm ケース3 養浜(5千 m^3/yr), 単粒径5 mm ケース4 養浜(5千 m^3/yr), 混合粒径 (0.11 mm: 15%, 0.25 mm: 18%, 2 mm: 67%)
初期地形	1973年地形を再現した平行等深線 (2 $\sim$ -1 m: 1/10, -1 $\sim$ -10 m: 1/100)
初期粒径	細粒径集団($i=1$): -1 m以深 (0.11 mm: 57%, 0.25 mm: 38%, 2 mm: 5%) 粗粒径集団($i=2$): 標高-1 m $\sim$ -10 m (0.11 mm: 40%, 0.25 mm: 15%, 2 mm: 45%)
平衡勾配	細粒径集団($i=1$): $\tan \beta_c^{(1)}=1/100$ 粗粒径集団($i=2$): $\tan \beta_c^{(2)}=1/10$ 5 mm養浜粒径($i=3$): $\tan \beta_c^{(3)}=1/3$
交換層の幅	$B=0.27\text{ m}$
入射波条件	$H_b=1.0\text{ m}$, $a_b=0^\circ$, M.S.L.
h_c , h_R	$h_c=2\text{ m}$, $h_R=1\text{ m}$
境界条件	岸沖端, 右端: 通過漂砂量0 左端境界(1996 $\sim$ 2000年): 1万 m^3/yr の吸い込み境界(浚渫境界)。それ以外は0。 養浜境界(2005 $\sim$ 2015年): 5千 m^3/yr の湧き出し境界。 構造物境界: 防波堤, 護岸, 突堤
漂砂量	漂砂量係数内の $A=0.5$ 小笠ランプトン項の係数 $\zeta=2.5$ 岸沖漂砂量係数 $K_z/K_x=0.2$ 水深分布: 宇多・河野(1996)の3次式 安息勾配: 陸上1/2, 水中1/3
数値計算法	陽解法による差分法
その他	波浪場の計算法: 方向分散法

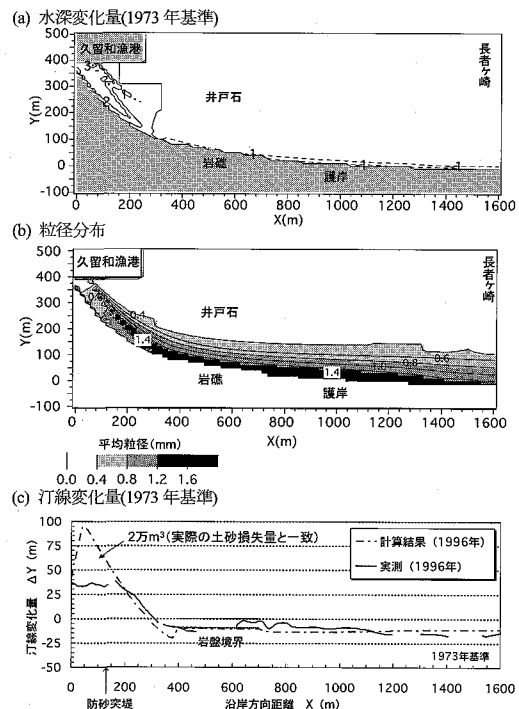


図-7 現況再現: 1996年

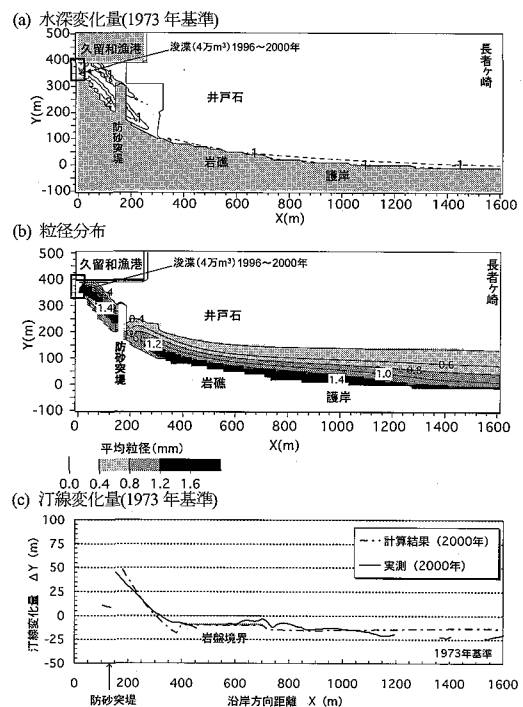


図-8 現況再現: 2000年

の連続性を断っているため、大きな地形変化は生じていない。図-7(b)と図-8(b)の比較によれば、防砂突堤の左側区域では細砂が選択的に吸い込まれるため粗粒化が進み、逆に防砂突堤の右側区域では本来防波堤背後へと運ばれるべき細砂分が堆積したため細粒化している。汀線変化では侵食域での更なる汀線後退と防砂突堤の右側直近での著しい汀線前進がよく再現できている。2000年を初期地形とした2005年(現況)の地形・粒径分布の再現計算期間では、井戸石背後に逆L字突堤が建設された。計算結果を図-9に示す。2000年頃には著しい侵食がほぼ収束状態にあり海底の岩盤が露出する状況となっていたことから、逆L字突堤の右側区域では大きな地形変化は見られない。しかし粒径分布を見るとこの突堤の上手側では細粒化が、下手側では粗粒化が進んでいる。汀線変化で見ると、逆L字突堤による波の遮蔽効果が現れた部分では実測とずれが大きいものの、長者ヶ崎側でのさらなる汀線後退がよく再現されている。

(3) 粒径を考慮した養浜工の効果予測

将来予測計算は2005～2015年の変化を対象とし、養浜材の底質を変えて4ケース行った。粒径0.1mmの砂を5千 m^3/yr 養浜した場合(ケース1)の結果を図-10に示す。粒径が0.1mmと小さいために、投入土砂は投入箇所付近に留まらず、逆L字突堤方向へと移動しつつ沖へ拡散したため、逆L字突堤の右側でわずかに汀線が前進するのみで、全域の汀線前進には寄与しない。細砂が

投入されたことで広い範囲で粒径が細くなる。粒径2mmの礫を5千 m^3/yr で養浜した場合(ケース2)の結果を図-11に示す。投入土砂の粒径が大きくなったため、養浜砂は投入箇所周辺の汀線近傍に緩く突出した形状で堆積した。粒径分布より汀線近傍の帯状区域に粗粒材が集中的に堆積したことが分かる。またケース1と比較して汀線前進の効果が著しい。5mmの礫を5千 m^3/yr で養浜した場合(ケース3)の結果が図-12である。なお、この場合の平衡勾配は野志ら(2005)より $\tan \beta_e^{(3)}=1/3$ とした。ケース2と同様、養浜砂は投入箇所周辺の汀線近傍に緩く突出した形状で堆積するが、粒径が大きいことで相対的に動きが遅い。その結果投入箇所付近の汀線前進量が最も大きい一方で、投入箇所から離れた地点の汀線はほとんど前進しない。次に実際の養浜を想定し、入手可能な養浜材(混合粒径)を5千 m^3/yr で養浜した場合(ケース4)の予測を行った。養浜材の底質条件は、分析結果から粒径分布を求め、これを再現計算で設定した3つのレンジに区分し、0.11mm、0.25mm、2.0mmの順に15%、18%、67%とした。結果を図-13に示す。ケース2、3と同様、養浜砂は投入箇所周辺の汀線近傍に緩く突出した形状で集中的に堆積した。ただし、0.5mm以下の成分の沖への流出分が約30%含まれることから、汀線付近に歩留まる量が少なく、投入箇所付近の汀線前進量はケース2に比べて小さい。一方、逆L字突堤上手側の汀線前進量は若干大きい。これは粒径による土砂の動き

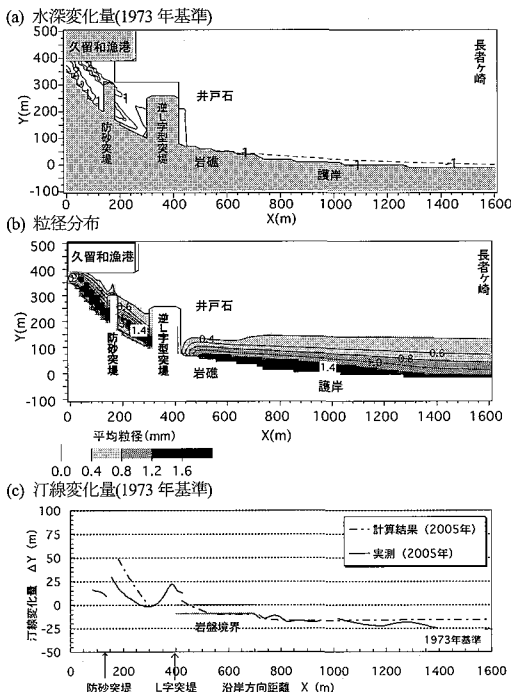


図-9 現況再現：2005年

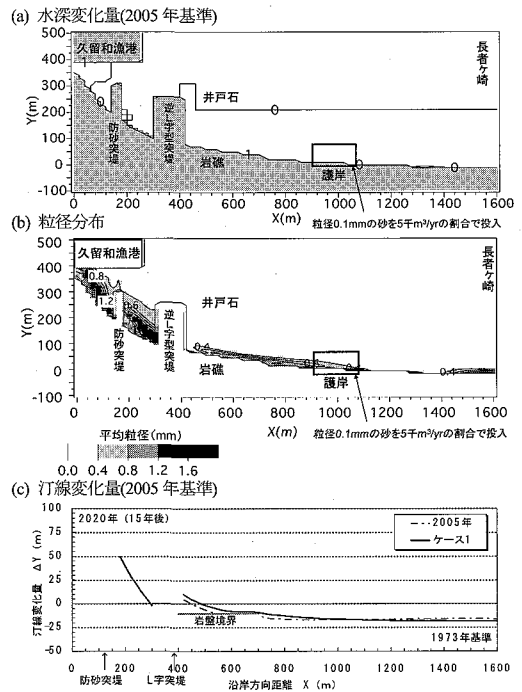


図-10 将来予測：ケース1

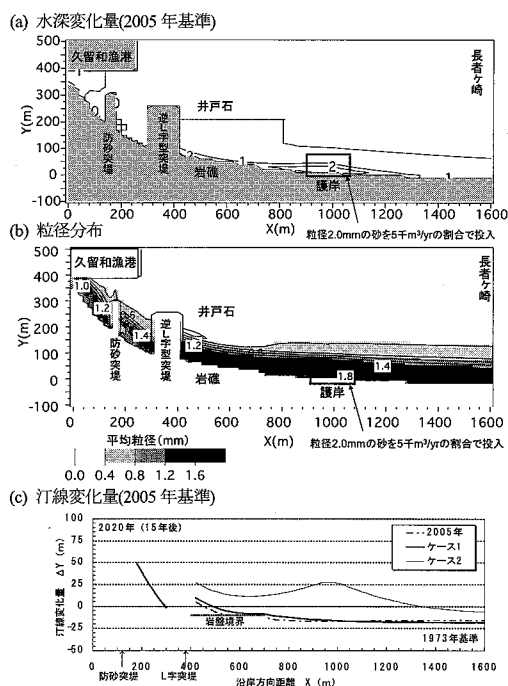


図-11 将来予測：ケース 2

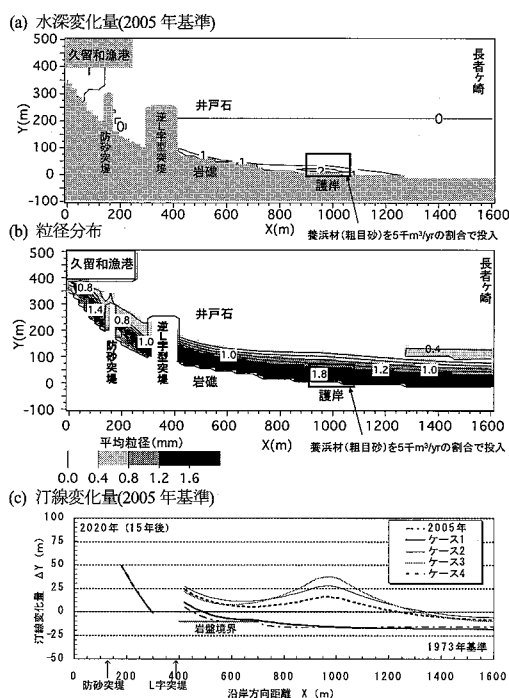


図-13 将来予測：ケース 4

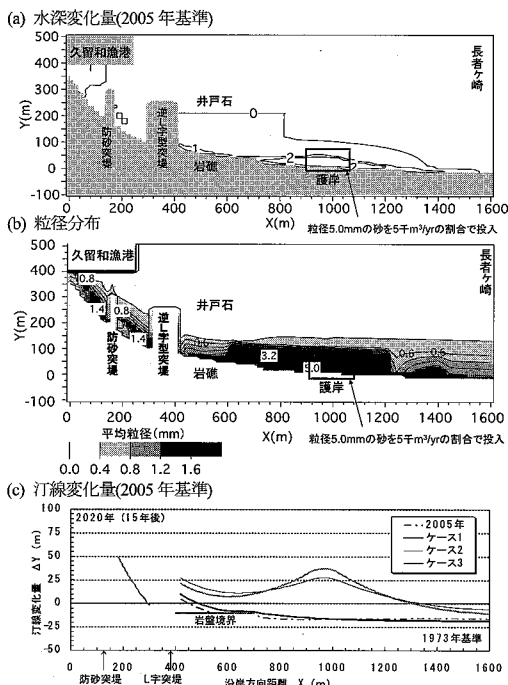


図-12 将来予測：ケース 3

易さの違いによるもので、粒径 2mm 未満の砂がより速く下手側に拡散したためである。

5. まとめ

漂砂調査と数値計算の結果によると、粗粒材を用いれば、浜幅が狭い箇所の汀線を効果的に前進させることができ、投入土砂が沖合の岩礁帯を覆い海藻類の生育を阻害することがない。しかし、実態解析によれば過去の秋谷海岸は細砂を含む混合粒径から構成されていたと推定でき、また粒径が大きすぎると養浜材が投入箇所に著しく留まり、沿岸方向への広がりが遅いという結果となった。また養浜工を低コストで行うには養浜材を一箇所から集中投入する局所養浜が望ましい。結局、短期間に広い範囲を効果的に防護するには、粗粒材を基本としつつ、養浜材の粒径下限値と上限値を適切に選択して養浜を行うことが望ましい。このようにある程度選択粒径の幅を広くすることは海浜利用上も重要と考えられる。

参考文献

- 宇多高明・三浦正寛・芹沢真澄・三波俊郎・熊田貴之(2004)：三浦半島西岸に位置する秋谷海岸の侵食機構，海洋開発論文集，第20巻，pp. 545-550。
- 宇多高明(2004)：「海岸侵食の実態と解決策」，山海堂，304p。
- 澤田麻美・小林昭男・宇多高明・三浦正寛(2005)：三浦半島西岸に位置する秋谷海岸の侵食実態，海洋開発論文集，第21巻，pp. 457-462。
- 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。