神奈川県逗子海岸の海浜変形と養浜の効果検討

BEACH CHANGES OF ZUSHI COAST IN KANAGAWA PREFECTURE AND EFFECT OF BEACH NOURISHMENT

宇多高明¹・渡辺宗介²・細川順一²・塩入 同³・三波俊郎⁴・石川仁憲⁵
Takaaki UDA, Shusuke WATANABE, Jun-ichi HOSOKAWA,
Dou SHIOIRI, Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター常務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タカビル)

²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)

³神奈川県県土整備局河川下水道部流域海岸企画課 (〒231-8588 神奈川県横浜市中区日本大通1)

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

⁵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タカビル)

The effect of beach nourishment on the Zushi coast was predicted using the BG model proposed by Serizawa et al. Because southward longshore sand transport was induced by the wave sheltering effect of the breakwater of Hayama New Port, sand back pass at a rate of 500 m³/yr from the sand deposition zone immediately in front of the Tagoshi River mouth is required to maintain the beach. To widen the beach width in the central part of the coast, beach nourishment at a rate of over 500 m³/yr is required. To recover the shoreline before the construction of the port, 2000 m³/yr of sand nourishment is needed.

Key Words : Zushi coast, beach nourishment, wave sheltering effect, BG model

1. まえがき

三浦半島西岸は多くの岬と入江を有する複雑な形状の海岸線からなり、沿岸には数多くのポケットビーチが発達している(図-1)。これらのポケットビーチは長い間安定であったが、近年いくつかのポケットビーチでは侵食が進んでいる^{1) 2)}。三浦半島基部に位置する逗子海岸では、ポケットビーチ南端沖に葉山港の防波堤が伸ばされた後、南寄りの入射波が防波堤により遮蔽された結果、遮蔽域へ向かう沿岸漂砂が誘起され、これにより北部汀線は後退し、逆に南部では砂が堆積して汀線が前進するという変化が起きた。結果的に中央から北部の前浜は狭まり、満潮時には背後の道路護岸へ波が直接作用する状況となった。このため前浜が狭まった逗子海岸北部では、2004年から試験養浜が始められた。当初は現地砂(中央粒径 $d_{50}=0.28\text{mm}$ の細砂)と同じ粒径の砂が投入されたが、2009年には $d_{50}=1.05\text{mm}$ の粗砂500m³を用いた試験養浜も行われ、養浜前後の汀線測量データなどに基づいて投入土砂の挙動が調べられた。このように養浜は行われてはいるものの、長期的に見た養浜の効果の定量予測は行われていなかった。そこで本研究では、細砂や粗砂養浜を継続的行った

図-1 逗子海岸の位置

場合の効果についてBGモデル(Bagnold概念に基づく海浜変形モデル)³⁾を用いて検討した。

2. 逗子海岸の海浜変形の実態

逗子海岸は両側を岩盤に挟まれた奥深いポケットビーチであり、その長さは約1.1kmである。図-2は2009年撮影の逗子海岸の空中写真を示す。ポケットビーチの南端には田越川が岬の陰に隠れるようにして流入し、河口沖には下水処理場の埋立地と、さら

図-2 逗子海岸の空中写真

図-3 深浅図 (2009年1月)

にその沖には葉山港の防波堤が伸びている。また、ポケットビーチ北部から大崎にかけて沖には岩礁帯が広がっていることが黒い海底面状況から見て取れる。この岩礁帯の陸側では緩やかに突出した舌状砂州が見られることから、岩礁による波の遮蔽効果が発揮されていることが分かる。図-3は2009年の深浅図を示す。北部には陸から続く岩盤が沖合500m付近まで張り出しており、この岩礁にはカジメ・ガラモなどの海藻類が繁茂し、魚介類の産卵・生息場となっている。

逗子海岸の1954～2005年の汀線変化については、既に明らかにされている^{1) 2) 4)}ので省略し、1997年基準での2004、2009年までの汀線変化を図-4に示す。葉山港の防波堤建設に伴う波の遮蔽域形成により、長期的には $X=0.6\text{km}$ より北側では汀線が後退、南側では前進してきた。北側の侵食に対して2004年3月に $1,540\text{m}^3$ の養浜が行われ、その後毎年 $500\sim 700\text{m}^3$ の養浜を継続し、2009年3月までに計 $4,650\text{m}^3$ の砂が投入された。2008年3月までの養浜材は、現地砂と同じ粒径の細砂($d_{50}=0.28\text{mm}$)であったが、2009年3月

図-4 汀線変化 (1997年基準)

には $d_{50}=1.05\text{mm}$ の粗砂 500m^3 が投入された。図-4には養浜後の2009年までの汀線変化も示すが、北部では汀線の前進が認められる。これには養浜による効果も考えられるが、北部のみの局所的な汀線の前進ではなく、中央～南部では侵食傾向にあることから一時的な南寄りの波の入射による汀線変化も重なっていると考えられる。

逗子海岸では図-3に示すように沿岸方向に100m間隔の9測線に沿って1988年以降縦断測量が行われてきた。測量データのうち、測線No. 4～No. 9の縦断形変化を図-5に示す。これらによれば、バーム高 h_R は $2.5\sim 3\text{m}$ にあり、主な縦断形変化は、南部ではほぼ -4m 以浅で、また北部では -2m 以浅で起きている。これらより当海岸における波による地形変化の限界水深 h_c は -3m 付近にあると推定される。

3. BGモデルによる海浜変形予測

(1) 計算条件

逗子海岸では、葉山港(新港)建設以前(1997年)の海底地形データがないことから、まず2009年の海底地形条件のもとで葉山港(新港)の施設を取り除き、防波堤がない状態で安定な海浜が得られるまで十分長い時間(30年)波を作用させて1997年当時の海浜形状を再現した。波浪場の計算には不規則波の方向分散法⁵⁾を用い、逗子海岸におけるエネルギー平均波(波高 $H=0.7\text{m}$ 、周期 $T=7.0\text{s}$)を与えた。また波向については試行錯誤方式で検討したところ、海浜形状を最もうまく再現できる波向は -7° ($S67^\circ W$)であった。逗子海岸では北部に広い岩礁帯があるが、波浪場の計算では、試行計算によりこれらの岩礁帯の透過率は 0.4 とした。また地形変化の計算では、この岩礁帯は露岩として扱った。一連の試行錯誤方式での検討により、少なくとも実測の海底地形を実用上十分な精度で再現可能となった。

次に、1997年の再現地形を初期条件として1997～2009年の地形変化を計算し、さらに2009年地形を与えて10年後の予測を行った。予測計算では、養浜を行わずにそのまま放置する案を基礎として、細砂・粗砂による養浜を $500\text{m}^3/\text{yr}$ で行う案や、細砂養浜を $2000\text{m}^3/\text{yr}$ で海浜北端部や海浜中央部で行う案などの検討を行い、相互比較を行った。表-1には計算条件を示す。

図-5 縦断形変化

表-1 計算条件

計算モデル	粒径BGモデル ³⁾ 波浪場の計算：方向分散法 ⁵⁾
計算対象区域	波浪・地形変化計算：沿岸方向 1.3km×岸沖方向1.4km
初期地形	1997年再現：2009年の実測海底地形で葉山港の施設を除去 2009年再現：1997年再現計算で得られた安定形 将来予測：2009年再現計算
計算ケース	①1997年葉山港（新港）建設前の再現 ②1997～2009年再現 ③将来予測（2009年から10年後） ケース1 養浜なし（放置） ケース2 細砂養浜500m ³ /yr ケース3 粗砂養浜500m ³ /yr ケース4 細砂リサイクル 500m ³ /yr ケース5 細砂養浜1000m ³ /yr ケース6 細砂養浜2000m ³ /yr （北端部） ケース7 細砂養浜2000m ³ /yr （海浜中央部）
計算期間	①1997年再現：安定化するまで十分波浪を作用（30年） ②1997～2009年再現：12年 ③ケース1～7：10年
入射波条件	波高H=0.7m，周期T=7.0s（逗子海岸におけるエネルギー平均波） 波向-7°（S67°W）（再現の試行計算より決定） 方向分散性： $S_{max}=10$
潮位条件	M. S. L. ±0.0m
計算空間メッシュ	$\Delta X=10m$
計算時間間隔 Δt	$\Delta t=2hr/step$
計算ステップ数	4380step/yr
漂砂の水深方向分布	一様分布
波による地形変化の限界水深	$h_c=3m$
バーム高	$h_R=3m$

(2) 計算条件

図-6(a)は不規則波の方向分散法で求めたKrの分布を，図-6(b)は図-6(a)の波高分布を与えて求めた1997年当時の安定海浜形状を示す．当時葉山港（旧港）のみが存在したが，これによる波の遮蔽効果が現れ，田越川河口部は静穏な条件にあった．一方，北側にある水深3m程度の岩礁による遮蔽効果のため

図-6 1997年当時の地形条件で求めたKrの分布と再現された1997年地形

に、その背後に静穏域が広がっていた。この静穏域の背後では緩やかな舌状砂州が形成されていた。

次に、図-6(b)の海底地形を与えるとともに葉山港（新港）を設置し方向分散法で求めたKrの分布と、2009年の予測地形を図-7(a)(b)に示す。葉山港（新港）がポケットビーチの南端に突出したことにより、南端部で波の静穏度が上昇した。図-8には1997～2009年の地形変化量を示す。岩礁背後が侵食され、最大0.5m海浜地盤高の低下が起こる一方、砂が南向きに運ばれ、田越川河口導流堤の隣接域で堆積したことが分かる。これは葉山港（新港）が岬の南端に設置されたことにより、ポケットビーチの南側半分での波の遮蔽効果が高まったことによる地形変化である。

図-9には計算と実測の汀線変化の比較を示す。2004年の再現計算結果は、北側の汀線後退量、南側の汀線前進量、 $X=600\text{m}$ を節とした汀線変化をほぼ再現できている。また実測では南寄りの波による反時計回りの一時的な地形変化が生じていたが、2009年までの計算結果によれば北側でさらに侵食が進むことが分かる。したがって、将来予測計算では危険側

図-7 2009年の地形条件で求めたKrの分布と再現された2009年地形

図-8 1997年から2009年までの水深変化量

の検討として2009年の計算結果を初期地形として与えた。

(3) 将来予測計算の結果

将来予測計算は2009年を初期として10年後まで行い、養浜砂の粒径と養浜量を種々変えて計算を行った。図-10は、ケース1（放置）の水深変化量の分布を示す。1997～2005年の地形変化（図-8）と同様、ポケットビーチの岩礁背後での侵食が継続し、砂が南側へと運ばれる。これより現況のまま放置することはできないことが明らかである。そこで養浜の効果を調べた。図-11、12は、養浜量 $500\text{m}^3/\text{yr}$ で細砂・粗砂養浜を行うケース2、3の地形変化量分布を示す。ケース1の結果（図-10）と比較すると、いずれの場合も岩礁背後での侵食が軽減されることから養浜効果が認められるが、粗砂養浜の場合歩留まりが高いという結果となった。

図-9 計算と実測汀線変化量の比較

図-10 水深変化量（ケース1：放置）

図-11 水深変化量（ケース2： $500\text{m}^3/\text{yr}$ の細砂養浜）

養浜量を $500\text{m}^3/\text{yr}$ としたまま、養浜土砂を田越川の右岸側から調達するサンドリサイクルを行うケース4では、図-11に示したケース2の細砂養浜時における岩礁背後での侵食域の分布とはほぼ同様な結果となるが、新たに砂の採取を行う田越川河口右岸で凹の窪みができる（図-13）。図-14、15は、養浜量を $1000\text{m}^3/\text{yr}$ 、 $2000\text{m}^3/\text{yr}$ と増大させた場合の計算結果（ケース5、6）を示す。養浜量が増加したため海浜北端部の岩礁背後で著しい堆積が生じる結果となる。さらに養浜箇所をポケットビーチ中央部に変えて $2000\text{m}^3/\text{yr}$ の養浜を行った場合の計算結果（ケース7）を図-16に示す。この条件では、侵食が進んできた北端部の侵食は止められず、海浜中央部での堆積量が増すので採用しにくい。

各ケースの計算結果より、2009年より10年後の汀線変化を抽出し、相互比較を行ったのが図-17、18である。放置案では海浜の北端部で約5mの汀線後退が起り、侵食土砂が南向きの沿岸漂砂によって運ばれ、 $X=700\text{m}$ 以南の広い区域で堆積する。これに対して $500\text{m}^3/\text{yr}$ の養浜を行うケース2（細砂）、ケース3（粗砂）では侵食量が減少し、侵食域も大きく狭まることから $500\text{m}^3/\text{yr}$ の養浜でも有効なことが分かる。一方、田越川河口右岸で $500\text{m}^3/\text{yr}$ の割合で砂の採取を行うサンドリサイクルでは、海浜南部の汀線は前

図-12 水深変化量（ケース3： $500\text{m}^3/\text{yr}$ の粗砂養浜）

図-13 水深変化量
（ケース4： $500\text{m}^3/\text{yr}$ のサンドリサイクル）

図-14 水深変化量 (ケース5: 1000m³/yrの細砂養浜)

図-15 水深変化量

(ケース6: 2000m³/yrの細砂養浜: 北端部)

図-16 水深変化量

(ケース7: 2000m³/yrの細砂養浜: 中央部)

進せず、一定量の砂が南向きに流れるのみとなる。養浜量を1000m³/yrまたは2000m³/yrとしたケース5, 6では、著しい汀線前進効果が得られる。しかし2000m³/yrの養浜を海浜の中央で行うケース7では、中央部での浜幅の拡幅には有効であるが、北端部の従来から侵食されてきた場所では侵食が止まらない。このことから同じ2000m³/yrの養浜であっても海浜

図-17 汀線変化比較 (ケース1,2,3,4)

図-18 汀線変化比較 (ケース1,5,6,7)

中央部での養浜は北端部での養浜と比べて劣ると言える。

4. まとめ

逗子海岸を対象にBGモデルを用いて養浜の効果検討を行った。この結果、葉山新港による波の遮蔽効果に起因する南向きの沿岸漂砂が続くために、南端の田越川河口への堆砂の防止を図りつつ海浜を維持するには、南端部から北端部への500m³/yrのサンドリサイクルが必要である。また中央部の浜幅の狭い場所を広げるには北端部で500m³/yr以上の養浜を行えばよく、その場合投入砂の粒径が大きくなほど汀線への歩留まりが高まる。さらに葉山港(新港)の建設前の汀線の回復を目指すには2000m³/yrの養浜が必要ことが分かった。

参考文献

- 1) 宇多高明, 高村光雄, 藤元和雄, 中西史一, 壺岐信二, 石川仁憲: 三浦半島西岸の小規模なポケットビーチでの海浜変形の実態, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp. 711-715, 2008.
- 2) Uda, T., M. Takamura, K. Fujimoto, F. Nakanishi, S. Iki and T. Ishikawa: Shoreline rotation on pocket beaches caused by anthropogenic factors, *Proc. Coastal Dynamics 2009*, paper No. 70, pp. 1-11, 2009.
- 3) 芹沢真澄, 宇多高明, 熊田貴之, 三波俊郎, 古池 鋼, 石川仁憲, 野志保仁: Bagnold 概念に基づく混合粒径海浜の変化予測モデル, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 626-630, 2006.
- 4) 宇多高明, 小林正博, 村上義隆, 三澤 舞, 壺岐信二: 神奈川県逗子海岸における試験養浜の追跡調査, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp. 1059-1064, 2010.
- 5) 酒井和也, 小林昭男, 宇多高明, 芹沢真澄, 熊田貴之: 波の遮蔽構造物を有する海岸における 3 次元静的安定海浜形状の簡易予測モデル, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 496-500, 2003.