広域地形・粒径変化予測モデルの湘南海岸への適用

Application of Model for Predicting both Bathymetric and Grain Size Changes to Shonan Coast

宇多高明¹・青島元次²・鮫島 強³・吉岡 敦⁴・古池 鋼⁵・石川仁憲⁶ Takaaki UDA, Genji AOSHIMA, Tsuyoshi SAMEJIMA, Atsushi YOSHIOKA, Kou FURUIKE and Toshinori ISHIKAWA

A model for predicting both topographic and grain size changes proposed by Kumada et al. was applied to the Shonan coast, facing Sagami Bay and with a stretch of 10 km. The model was applied to the entire littoral cell extending from the Sagami River mouth to Enoshima Island, and the wave diffraction effect of all the structures along and off the coastline, loss of windblown sand and various structures were taken into account. Predicted results of bathymetric and grain size changes were in good agreement with measured values. This model is effective for adaptive management of the beach restoration in terms of selecting appropriate grain size and the amount of beach nourishment.

1. まえがき

従来,粒径を考慮した等深線変化モデルによる計算で は,汀線が一定速度を保ちつつ前進する場における海浜 縦断形の沿岸方向変化や,粒径の沿岸分級を再現するこ とは困難であった.その理由は,粒径含有率に応じて海 浜縦断形が沿岸方向に変化すると波向の場所的変化が生 じ,それに応じた安定化機構が働いて新たな地形変化が 生じてしまうためでる.本研究では,計算領域の両端部 での流入,流出土砂量の差を全区間の汀線において一定 割合で差し引くという操作を行うことにより,数千年ス ケールのくり返し計算を実施することで,汀線が一定速 度を保ちつつ前進する場における海浜縦断形の沿岸方向 変化や粒径の沿岸分級の再現が可能なモデル構築する.

2. 作用波の方向角の設定法

図-1に示す相模川河口~江ノ島間の10km 区間を予測 対象として,飛砂と粒径変化を考慮しつつ海浜変形の時 空間的変化を予測可能な数値モデルを構築した.この場 合,入射波の方向を適切に設定することが重要である. 相模川河口付近における自然状態での波の入射角につい て考える.いま,相模川河口部の海岸線は,数千年間に

1正会員	工博	(財)土木研究センター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
2		神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾部 部長
3		神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾課 長
4		神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾課
5		海岸研究室(有)
6正会員	工修	(財)土木研究センターなぎさ総合研究 室主任研究員

及ぶ地形学的時間スケールにおいて互いにほぼ平行に前 進してきたと考えると、河口からの流出土砂量の左右岸 への配分率は海岸線延長に比例しなければならない.相 模川河口~大磯間の海岸線延長は5km,相模川河口~江 ノ島間は10km なので、土砂の配分割合は1:2となる (図-2).一方、1954年当時の河口デルタの頂角は171° であり、この配分割合が保たれるためには漂砂量式より 左右岸の海岸線への波の入射角の比はほぼ1:2となる. したがって右岸側の海岸線への入射角は3°,左岸側で は6°となる.一方、右岸側の汀線の方向角はSに直角 (図-1の補助線 A) である.このことから波の主方向を 逆算するとS3°Eとなる(図-2).この角は、相模川河 口の西2kmに位置する平塚観測塔におけるエネルギー 平均波向 S4.6°Eとほぼ一致する.

一方,江ノ島側では,海岸線の方向角が相模川河口付 近と比べて約20°時計回りに回転している(図-1の補助 線 C と補助線 B).これは房総半島,伊豆半島,大島, 三浦半島による回折や,沖合地形による屈折が影響して いるためと考えられる.そこで,これらの岬の影響を受 けていないと考えられる波浮港の1991~2005年のナウファ



図-1 計算対象区域





, X(km)

スデータよりエネルギー平均波向を求め、これを用いて 波浪変形計算を行った結果、波浮港のエネルギー平均波 向は S33.8°E と推算された. さらに波浮港のエネルギー 平均波向を主方向として磯部(1986)により広域波浪計 算を行い、相模川河口や江ノ島沖の水深30m 地点にお ける波向を求めた、波浮のエネルギー平均波向(S33.8° E)を与えた場合、房総半島および三浦半島の回折効果 により沖波の入射方向が約10°時計回りに回転し、相模 川河口付近では25°程度東側からの入射となる.したがっ て波浮のエネルギー平均波向では、河口デルタ角から逆 算した平均波向 S3°E を説明できない.次に平塚のエ ネルギー平均のE側のピーク(S17 E)を与えた計算 では、大島による遮蔽が起こり、河口付近では20°程度 東寄りから波が入射する. したがって, これについても 河口付近での S3°Eを説明できない. さらに, 平塚の エネルギー平均波向(S5°E)を与えた計算を行うと, 相模川河口において S3°E に近い値となる. しかし江 ノ島側で波の入射角は反時計回りに回転してしまう。し たがってこの波向では房総半島や三浦半島の遮蔽による 時計回りの海岸線の変化が説明できない.

以上から,相模川から江/島までの海岸線の方向角か ら推定される波浪場は,外洋からの入射波だけで説明す ることが困難なことがわかった.これは数十kmのスケー ルがある相模湾内で発達する波が海岸線に大きく影響し ているためと考えられる.また海浜変形には,江/島や 烏帽子岩や平島の遮蔽,茅ヶ崎漁港や引地川導流堤も影 響している.これら「外洋波」,「湾内波」,「微地形によ

表-1 計算条件

計算対象区域	相模川河口~江ノ島:延長10km	
計算ケース	 1 1945 年地形の再現計算(自然状態) 2 1954 年再現計算(相模川からの流出土砂 量激減≒0) 3 1954-1973 年(茅ヶ崎漁港建設開始) 4 1973-1996 年(茅ヶ崎漁港完成) 5 1996-2007 年(ヘッドランド,柳島消波堤 建設,養浜) 6 均層(預単の養近継続) 	
<u> </u>	三浦半自 汀ノ自 白桐子毕 亚自た老虐	
加期地形	西相, 古伯亚行举源伯 松本, 西相结用	
入射波条件	1793. 直線十つ寺床線、村木・1954雨木 沖波波高 H=0.83m,周期 T=6.35s (エネルギー 平均波) 油向・再現計算に上り同定 波向 S13°F	
油冶冬州	仮向,行死前,年により向定, 仮向313 E	
创业未行	M.S.L1.P.±0.000	
<u>計算寺</u> 徐楙	$z = +5m \sim -12m$, $h_c = 9m \wedge -\Delta \equiv n_R = 3m$	
計算空間メッシ <u>ユ</u>	沿岸方向 ΔX=500m, 鉛直方向 ΔZ=1m	
計算時間間隔	$\Delta t = 400 \text{hr}$	
計算ステップ数	22 ステップ/yr	
	粒径3成分	
	粒径2 中砂025~0425mm	
	₩4.2 和砂川上 0.425mm~	
***	11、衣枢住,平衡勾配,父换唐序	
私住	粒径 $1 d_{50}=0.15$ mm, $\tan \beta = 1/100$, 0.5m	
	粒径 2 d_{50} =0.20mm, tan β =1/40, 1.25m	
	粒径 3 d_{50} =1.00mm, tan β =1/10, 5m	
	交換層厚:ΔZ あたり 50m, 含有率:交換層 A,	
	B (主要8断面の平均値)	
	粒径 1 µ1=0.58,粒径 2 µ2=0.32,粒径 3 µ3=0.10	
	沿岸漂砂量係数:粒径1:K,=0.18,	
	粒径2:K=0.16.粒径3:K=0.07	
湮砂量	$ K = A/sart(d_{co}) 係数 4=0.070 $	
	小笹 Brampton 係数: $K_2=1.62K$ (tan $\beta=1/30$)	
WIN T	岸油酒砂量 经数 · $K = 0.15K$ 重力 经数 · 0.2	
	午日本の重い奴: Λ_z 0.15 Λ_x , 重万い奴:0.2 安自欠配(十砂波な込みの限累欠配)・	
	<u>佐</u> <u></u>	
	$y^{-1} = x^{-1} y^{-1} y^{-1} y^{-1}$	
	$ $ 粒径I (細粒): $7.3 \ D$ m/yr	
	$1 \times 1 \times 2$ ($1 \times 1 \times$	
	1 私住3 (租私): $0.9 \ \beta \text{ m}/\text{yr}$	
	$ = \pi (\mathbf{x} : - \mathbf{x} . / D \mathbf{m} / \mathbf{y} \mathbf{r} ($ 地	
	飛行 (+1~+3m): -2.3 方 m ^{-/} yr	
	(地点毎の粒度組成)	
	岸泙端: qz=0(漂砂の流人流出なし)	
	(ケース2,3)	
境界条件	石端 qx=0 (土砂供給なし)	
	飛砂 (+1~+3m) : −2.3 万 m³/yr	
	(地点毎の粒度組成)	
	岸沖端:qz=0(漂砂の流入出なし)	
	ケース4,5,6右端q _x =0(土砂供給なし)	
	飛砂(+1~+3m): −2.3 万 m³/yr	
	(地点毎の粒度組成)	
	飛砂(+4~+5m): +2.3 万 m³/yr	
	(地点毎の粒度組成)	
	岸沖端:qz=0(漂砂の流入出なし)	
	ケース 5,6 2.3 万 m^3 /yr (±0.0m~+3.0m)	
	片瀬・鵠沼 0.9 万 m ³ /yr (X=2.2~2.4km) 、菱	
養浜条件	沼 0.5 万 m ³ /yr (X=7.1~7.3km),中海岸 0.6 万	
	m ³ /vr (X=8.4~8.6km),柳島 0.3 万 m ³ /vr (X=10	
	~10.3km)	
	ケース3 茅ヶ崎漁港上手2万m ³ /vr	
废凓枀件	ケース3 茅ヶ崎漁港上手1万m ³ /vr	
構造物条件	平島 <i>K=</i> 0.6. 茅ヶ崎、漁港、HL の <i>K=</i> 0.3	
(1) A 10 - (1) A 10 (1) A 11		

る遮蔽」の波浪場および海浜変形へのそれぞれの影響を あらかじめ特定することは困難であることから,ここで は酒井(2003)の方向分散法により波向や遮蔽物の波高 伝達率を連続的に変化させ再現計算を実施することで外 力分布を同定した.この場合,沖合の回折点には三浦半



島のみ考慮した.この結果同定された波向は S13゜E で

あった.

3. 計算条件

地形・粒径変化予測モデルには、熊田(2003)の粒径 を考慮した等深線変化モデルを用いた.まず、実座標を 用いて沿岸方向にX軸、沖向きにY軸を定めたとき、 1945年当時の人工構造物のない条件下において、相模川 (右端境界)から11万 m³/yrの沿岸漂砂が流入し、この 沿岸漂砂が相模川河口から江ノ島間に堆積するという動 的平衡状態を再現した.また湘南海岸では飛砂による背 後地への砂移動が無視できない(字多ら,2008)ことか ら、自然状態で生じていた飛砂を海岸線の方向角で重み 付けて飛砂量の沿岸方向分布を図-3のように推算して与 えた.計算では汀線付近の+1m~+3m 区域から陸へと 運ばれる飛砂は、自然状態では背後地に飛散して欠損す るものとする.

入射波条件としては、湘南海岸における年間のエネル ギー平均波の沖波波高0.83m、周期6.4s とした. 波向は 再現計算より同定した沖波波向 S13^{*} Eを用いるが、こ の波向では房総半島などによる屈折・回折に伴って向き が変化し、相模川河口付近では S3^{*} W となる. 不規則 波計算における方向集中度係数S_{max} は10とし、三浦半島, 江ノ島、烏帽子岩、平島等による波の遮蔽(不透過)を 考慮した. 茅ヶ崎漁港やヘッドランドについても同様に 波の遮蔽を考慮した. 波の回折効果は酒井ら(2002)の 方向分散法を用いて求めた. 地形変化の生じる範囲はバー ム高3m から h_c =9m までとした. 粒径は3成分(0.15, 0.20, 1.0mm)の組み合わせとし、平衡勾配はそれぞれ



図-8 含有率の沿岸方向分布(ケース2)

1/100, 1/40, 1/10とした.計算ケースは再現計算も含め て全体で6ケースからなる(**表-1**参照).

ケース1は1945年地形の再現計算である.ケース2では 1945~1954年の地形変化の再現を行うもので、この間に は相模川からの流出土砂量が激減し、ほぼ0となった。 ケース3は1954~1973年の地形変化予測で茅ヶ崎漁港建 設の影響が含まれる.ケース4は1973~1996年の地形変 化予測で, 茅ヶ崎漁港が現況の規模まで拡大している. ケース5は1996~2007年の地形変化予測であり、ヘッド ランド,柳島消波堤が建設され,養浜も行われている. ケース6は現状の養浜を継続したものである.またケー ス5,6では2.3万 m³/yrの養浜を考慮しており、標高±0.0 m~+3.0m 区域で養浜を行った. その内訳として, 片 瀬・鵠沼(X=2.2~2.4km)では0.9万 m³/yr, 菱沼(X では 0.5 万 m³/vr, $=7.1 \sim 7.3 \text{km}$ 中海岸 (X $=8.4 \sim 8.6 \text{km}$ では 0.6 万 m³/yr, 柳島 (X=10.0~10.3km) では0.3万 m³/yr である. 養浜砂の粒度 組成は、底質調査が実施された8断面の平均値(細砂: $\mu_1 = 0.58$, 中砂: $\mu_2 = 0.32$, 粗砂以上: $\mu_3 = 0.10$) と した.また飛砂は全ケースで考慮し,汀線付近の1~3m から流出するものとする。1973年以降は、流出した飛砂 は管理道路や護岸などの壁体前面の4~5mに堆積する ものとした.これらの計算条件を表-1に示す.



4. 計算結果

ケース1は、自然状態にあった1945年の地形・粒径の 再現計算である。平行等深線形状から出発し、2000年間 の予測計算を行った。予測等深線を1954年の汀線形状と 合せて図-4に示す。また、各粒径成分の含有率の沿岸方 向分布を図-5に示す。相模川からの流入土砂が東向きに



運ばれ,江ノ島や烏帽子岩などによる回折効果を受けて 緩やかに湾曲した等深線形状となった.汀線の実測値は 1954年のものに対して,予測は1945年とわずかな時期の ずれはあるものの,実測・予測汀線はほぼ一致している. また各粒径成分の含有率については,初期の沿岸方向一 様な含有率が,相模川河口付近では粗粒分の含有率が高 まると同時に,江ノ島側では細粒分が多く到達して含有 率が高まるという沿岸分級が予測された.

ケース2は、相模川からの流出土砂量激減後9年(1954 年)の再現である.図-6に示すように相模川河口からの 流入土砂量が激減し、0となってから9年後の地形変化予 測の結果を図-7に示す.右端境界からの漂砂の流入が途 絶えたため相模川河口を中心として侵食が始まった.ま た対応する粒径の含有率分布も図-8のように河口付近か ら粗粒化が始まった.

ケース3は茅ヶ崎漁港建設開始以降の1954~1973年の 地形変化の再現計算である.相模川からの土砂流入はな く、茅ヶ崎漁港は半分完成として扱い、同時に漁港上手 側で2万 m³/yr の割合で浚渫を行っている. さらに引地 川では導流堤が伸ばされているのでこれも考慮した.図 -9には地形変化量を示す。河川からの土砂流入が途絶え た相模川河口部ではさらに侵食が進み、同時に茅ヶ崎漁 港の建設に伴いその上手側では堆砂が、下手側の中海岸 で侵食が始まった.地形変化を汀線変化から見たのが図 -10である. X=7-8km 区間では一致度が低いが, その ほかの区域では実測汀線変化がほぼ再現できている.図 -11は各粒径の含有率の沿岸分布であるが、図-8と比較 して新たに茅ヶ崎漁港の下手側での粗粒化が進んでいる. 図-12は、粒径成分ごとの含有率の平面分布を示す。細 粒分は粗粒分と比較して下手側へと急速に移動し、また 粗粒分は主に汀線付近を沿岸方向に移動するため、海岸



図-17 汀線変化量(ケース6, 1954~2017年)

線から沖向きに伸ばされた突堤状構造物が短くてもその 移動が阻止されやすいことが分かる.

ケース4は、茅ヶ崎漁港の完成以降の1973年から1996 年までの地形変化の再現計算である.この間、相模川か らの土砂流入は0のままであり、かつ茅ヶ崎漁港の上手 で1万 m³/yr の浚渫が行われた.さらに引地川の導流堤 を考慮するとともに、ヘッドランドの半分と柳島消波堤 が完成している.図-13には地形変化を示す.茅ヶ崎漁 港の完成に伴い、防波堤の上手で堆積、下手での侵食が 顕著となった.同様に、ヘッドランドの建設により上手 で堆積、下手側(菱沼海岸)で侵食が起きた.1973年基 準での1996年までの汀線変化では、図-14のように、茅 ヶ崎漁港とヘッドランド両側で実測汀線の傾向をほぼ再 現できている.

ケース5はヘッドランド完成後の1996年から2007年ま での地形変化計算である.この間相模川からの土砂流入 は0とし、茅ヶ崎漁港は完成形とした.また茅ヶ崎漁港 の上手側での浚渫は中止される一方、片瀬・鵠沼・菱沼・ 中海岸で行われた養浜は考慮されている.図-15は1954 年基準の汀線変化の実測と計算の比較である.相模川河 口部を除けば全体的な汀線変化傾向は実測と対応してい る.図-16には実測(2005年~2007年)と予測粒度組成 の沿岸方向分布を示すが,これも計算は実測値をうまく 再現できている.

最後に図-17は、現状の養浜を継続した場合(ケース6) の汀線変化予測の結果を示す.このケースでも相模川からの土砂流入は0としている.現在の養浜を継続し続けた場合,図に示すように現況汀線はほぼ維持できること が分かる.

5. まとめ

本研究では、漂砂系全体として相模川河口から江ノ島 まで10kmの海岸線全体を取り上げるとともに,相模川 からの土砂流入や飛砂による海岸線からの細砂の損失も 含めて,自然状態にあった1945年以降2007年までに至る 各段階の地形変化の再現を行うことが可能となった。従 来、粒径を考慮した等深線変化モデルの現地海岸への適 用では、多くの場合展開座標を用いていたが、本研究で は実座標を用い、烏帽子岩などによる波の遮蔽効果も全 て取り入れた予測が可能となった.また本研究により、 細・中・粗粒成分ごとの広がり分布予測が可能となった. このような検討は、各地先海岸において海岸保全上最も 有効な、あるいは必要とされる粒径成分を明らかできる ことを意味し、それらの一部が欠損した場合、あるいは 一部を追加的に養浜した場合の感度分析に本モデルが有 効利用できる. この意味から本モデルは今後海岸保全を 進める上で有効なツールとなりえると考えられる.

参考文献

- 磯部雅彦(1986):放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回 折・砕波変形の計算法,第33回海岸工学講演会論文集, pp.134-138.
- 宇多高明・河野茂樹(1996):海浜変形予測のための等深線変 化モデルの開発,土木学会論文集,No539,Ⅱ-35,pp.121-139.
- 宇多高明・青島元次・山野 巧・吉岡 敦・古池 鋼・石川仁 憲(2007a):茅ヶ崎海岸における粒径を考慮した養浜工の 効果予測,海岸工学論文集,第54巻, pp.631-635.
- 宇多高明・吉添高兆・町井 靖・山本剛史・古池 鋼・芹沢真 澄・石川仁憲(2007b):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.
- 宇多高明・青島元次・吉岡 敦・三波俊郎・石川仁憲(2008): 湘南海岸における飛砂量の検討,海洋開発論文集,第24巻. pp.1195-1200.
- 熊田貴之・小林昭男・字多高明・芹沢真澄 (2003):沿岸・岸沖 漂砂による粒径分級を考慮した等深線変化モデル,海岸工学 論文集,第50巻, pp.481 485.
- 酒井和也・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之(2003): 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.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之(2002): 海浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル, 海岸工学論文集,第49巻, pp.496-500.