

気候変動影響の考慮方法の違いが 長期海浜変形予測に与える影響

渡邊 国広¹・加藤 史訓¹・高木 利光²・保坂 幸一³・座波 健仁⁴

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail:watanabe-k92tc@mlit.go.jp (Corresponding Author)

²フェロー 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー14F)

³正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー14F)

⁴八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー14F)

気候変動の影響による外力変化を考慮して将来の海浜地形変化を予測する手法として、平衡海浜断面の考え方を導入した等深線変化モデルを活用することを提案し、Bruun則を活用した既存の簡便手法との計算結果の違いをモデル地形を対象とした試行計算によって明らかにした。また、海面上昇及び波浪変化の与え方による計算結果の違いについても検証をおこない、漂砂制御施設が設置された海岸では、将来の外力変化を一度に与えると、汀線変化を過大に見積もってしまうことを明らかにした。さらに海面上昇量と波高・波向の変化量を変えた感度分析によって、波高及び波向の変化も海面上昇と同程度の影響を汀線変化に及ぼすことを明らかにした。これらの結果を踏まえて、気候変動の影響を考慮した海岸保全計画を検討する際の海浜変形計算についての留意点を考察した。

Key Words : *climate change, beach, shoreline change, Bruun rule, sediment transport*

1. 研究の背景と目的

2020年に海岸保全基本方針が変更され、海岸保全においても将来の気候変動の影響を考慮することになった。将来の平均海面水位の上昇による砂浜消失については、Bruun則¹⁾に基づく全国規模での試算がいくつか報告されており、最も厳しいRCP8.5シナリオでは2081年～2100年には83%の砂浜が消失すると指摘されている²⁾。

Bruun則は、岸沖方向の海浜断面形状に着目し、海面上昇に応じて平衡断面形状を保つように沖方向の土砂移動が起こるとしたものであり、沿岸漂砂等の収支によって生じる地形変化に対しては別途工夫が必要である。

沿岸漂砂の影響も含めた海面上昇の影響検討方法として、等深線変化モデルによる計算結果に、Bruun則に基づいて求めた地形変化量を加算する方法が提案されているが³⁾、その精度は不明である。また、実際には連続的に変化する外力を一度に与えることの影響や、気候変動に伴う波浪の変化の影響についても不明である。

そこで本研究では、気候変動の影響を考慮した海浜変形計算手法として、平衡海浜断面の考え方を導入した等

深線変化モデルの活用を提案し、モデル地形を対象とした試算によって既往手法³⁾との違いを明らかにする。そのうえで、将来外力の設定方法が海浜変形計算の結果に及ぼす影響を明らかにし、実務において将来の海浜地形を予測する際の留意点を整理することを目的とした。

2. 研究方法

(1) 海浜変形の計算手法

本研究では単純なモデル地形を対象とすることから、浅海域での波浪変形は、沖境界から入射させた波浪に対してスネルの法則による波の屈折計算により求めた。構造物による回折等の影響がある範囲については不規則波を対象とした方向分散法による回折係数で評価して碎波位置を決めるとともに、その位置での波高及び波向を求めた。海浜変形は以下に示す3通りのモデルで計算した。

a) 等深線変化モデル (モデル1)

等深線変化モデルを基本とし、海面上昇量の分だけ各等深線の水深が変化するとした。例えば1 mの海面上昇

が生じれば、水深1 mの等深線が水深2 mの等深線になる。

沿岸漂砂量は、小笹・Bramptonの沿岸漂砂量式を基本とし、熊田ら(2002)⁹⁾にならい、次式より粒径毎の沿岸漂砂量 $Q_{(z,k)}$ を求めた。これにより求めた粒径毎の等深線変化量を合計することで、最終的な等深線変化量とした。

$$Q_{(z,k)} = \varepsilon_z \cdot \mu_{(z,k)} \cdot K_{1k} \cdot F_x \quad (1)$$

$$F_x = \frac{1}{(\rho_s - \rho)(1 - \gamma)} (E \cdot C_g)_b \left(\sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b - K'_2 \cdot \frac{\partial H_b}{\partial x} \cdot \cot \beta \cdot \cos \alpha_b \right) \quad (2)$$

$$K_{1k} = A(D_k)^{-1/2} \quad (3)$$

ここに、 ε_z ：各水深(z)の漂砂量を与える係数、 D_k ：k番目の代表粒径、 $\mu_{(z,k)}$ ：各水深(z)での底質交換層内の粒径(k)毎の含有率、 K_{1k} ：粒径(k)毎の沿岸漂砂量係数、 K'_2 ：波高勾配に比例する沿岸漂砂量に対する係数、 ρ_s 、 ρ ：それぞれ底質と海水の密度、 γ ：底質の空隙率(0.4)、 E ：波のエネルギー密度、 C_g ：砕波点での群速度、 α_b ：砕波点での汀線に対する波の入射角、 H_b ：砕波波高、 x ：沿岸方向の座標値、 $\tan \beta$ ：海底勾配、 A ：Kamphuis(1986)⁹⁾が提案した沿岸漂砂量係数と粒径の比例定数である。本研究では ε_z は、宇多・河野(1996)⁹⁾にならって与え、単一粒径のケースでは K_1 を0.1とした。なお、 K'_2 は0.2、 A は1.0とした。

粒径毎の含有率変化は、式(4)とした。

$$\frac{\partial \mu_{(z,k)}}{\partial t} = \frac{1}{B} \left(\frac{\partial y_{(z,k)}}{\partial t} - \frac{\partial y_z}{\partial t} \cdot \mu_{(z,k)} \right) \quad (4)$$

$$B = \Delta D_s \cot \beta \quad (5)$$

ここに、 $\Delta y_{(z,k)}$ 、 Δy_z はそれぞれ、各水深(z)における粒径(k)毎及び全体の等深線変化量、 ΔD_s は交換層の厚さであり⁹⁾、Kraus(1985)⁷⁾を参考に与えた。

b) Bruun則を考慮した等深線変化モデル (モデル2)

モデル1による計算結果に、澁谷らの方法³⁾にならってBruun則で得られた断面地形変化を加えることで、海面上昇の影響を考慮した。すなわち、等深線*i*の沖方向距離 y_i^n が式(6)に示す平衡海浜断面の近似式によって決

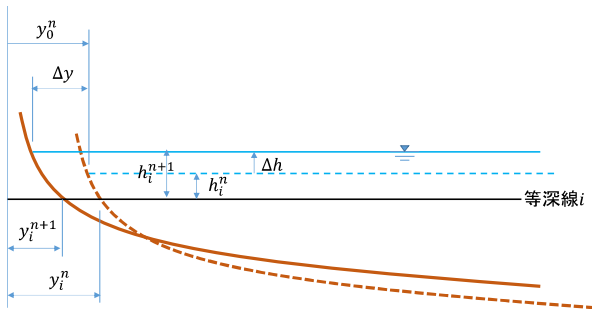


図-1 Bruun則を適用した等深線の変化

まるとき、海面上昇量 Δh が生じた後の沖方向距離 y_i^{n+1} は式(7)によって求まるので、式(6)と式(7)の差分をモデル1による計算結果に加算した。

$$y_i^n = A_b^{-3/2} (h_i^n)^{3/2} + y_0^n \quad (6)$$

$$y_i^{n+1} = A_b^{-3/2} (h_i^n + \Delta h)^{3/2} - \Delta h \left(\frac{W_*}{h_c + B_b} \right) + y_0^n \quad (7)$$

ここに、 i ：等深線の識別番号、 n ：計算ステップ、 h_i^n ：海面上昇前の等深線*i*の水深、 A_b ：底質粒径によって決まる断面係数、 B_b はバーム高、 W_* は現汀線位置から移動限界水深までの沖方向距離である(図-1)。 A_b はDean(2002)⁹⁾に従って決めた。

c) 平衡海浜断面の考え方を導入したモデル (モデル3)

芹沢らが提案した海浜縦断面の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル⁹⁾によって岸沖漂砂を考慮した。等深線変化量は式(8)の沿岸漂砂量の連続式によって求め、岸沖漂砂量 q_z は式(9)及び式(10)で求める。

$$h_k \frac{\partial y_k}{\partial t} + \left[\frac{\partial Q_k}{\partial x} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] = 0 \quad (8)$$

$$q_z = \varepsilon_z(z) \cdot K_z \cdot (E C_g)_b \cdot \sin \beta_c \cdot \left(\frac{\cot \beta}{\cot \beta_c} - 1 \right) \quad (9)$$

$$\int_{-h_c}^{h_R} \varepsilon_z(z) dz = 1 \quad (10)$$

ここに、 h_k は各等深線間の高さ、 y_k は等深線の沖方向距離、 Q_k は各等深線における沿岸漂砂量、 $\varepsilon_z(z)$ は岸沖漂砂の強度分布関数、 K_z は岸沖方向の漂砂量係数、 $\tan \beta_c$ は海浜の平衡勾配、 h_R は土砂移動の陸側限界標高、 h_c は土砂移動の海側限界標高である。 $\varepsilon_z(z)$ は宇多・河野(1996)⁹⁾が示した沿岸漂砂量の水深方向の分布関数と同じとし、 K_z は後述の構造物なし条件での計算結果から、Bruun則による算定結果に最も近い値を示す1.0とした。

(2) 各海浜変形モデルの比較における計算条件

構造物の設置状況3通り（構造物なし、離岸堤、突堤）と粒径2通り（単一粒径、混合粒径）を組み合わせた6通りのモデル地形を作成し、80年間で1 mの海面上昇が生じた場合の海浜変形を前述の3通りの海浜変形モデルによって計算した。モデル地形、各構造物の条件、波浪条件は以下の通りとした。

モデル地形はDeanの平衡海浜断面地形⁹⁾で海浜断面係数 A_b を0.1とした場合を基本とした。水深10 mまでの平均海底勾配が概ね約1/100となる。この断面地形を有する標高+3 m ~ -8 m、沿岸距離2,000 mの平行等深線地形を作成した。漂砂の移動範囲は、陸上部分の限界（バーム高）は+3 m、沖合（移動限界標高）は-8 mとした。

構造物なしのケースでは、 K_z を決めるため、 K_z を1.0, 0.1, 0.01に変えた計算も実施した。離岸堤は堤長200mで波に対して透過構造（伝達率0.4）とし、離岸距離200mで海浜中央に1基を設置した。突堤は堤長200mの不透過構造とし、2基を間隔500mで海浜中央に配置した。

波浪条件は外洋に面した海岸として、千葉県南九十九里海岸におけるエネルギー平均波（波高1.4m, 周期7.6s）を参考に、入射波高1.4m, 周期8sとした。波向は沿岸漂砂が発生する状況を想定し、斜め入射角度3度とした。

底質粒径は、単一粒径の場合は1.0mmとし、混合粒径の場合は代表粒径0.20mm, 1.00mm, 2.00mmの3種類をそれぞれ33%, 40%, 27%の割合で混合した。この混合割合は、平均粒径がほぼ1.0mmとなるように設定したもので、水深によらず海底面全てで同じ構成とした。

(3) 外力変化の与え方の比較における計算条件

潮位及び波浪（波高、周期、波向）の将来変化を初期から50年後の予測値を与える方法を外力A、初期に10年後の予測値を与え、その後は10年間隔で外力を変化させる方法を外力Bとした2通りの外力設定で海浜変形計算をおこなった。海浜変形計算にはモデル3を採用し、モデル地形は施設なしと突堤、離岸堤、人工リーフの場合の計4通りとした。底質粒径は1.0mmの単一粒径とした。

現在と将来の計算条件を表-1に示す。海面上昇量は、IPCC海洋・雪氷圏特別報告書¹⁰⁾において、RCP8.5のシナ

表-1 現在と将来の外力等の設定

外力条件		現在	将来
波浪	H ₀ (m)	2.27	2.17
	T(s)	8.00	7.90
	波向(deg)	3.00	5.35
海面上昇量(m)		0.000	0.375
透過率	離岸堤	0.245	0.284
	人工リーフ	0.454	0.522

表-2 感度分析における外力の設定

	潮位(m)	波高(m)	波向(deg)
変化なし	0	0.91	3
変化小	0.41	0.81	7
変化大	0.75	0.71	11

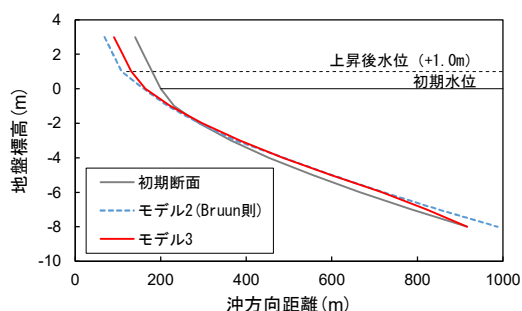


図-2 海面上昇による海浜断面地形の変化の計算結果

リオでは2081年～2100年には1986年～2005年に比べて全球平均で0.71mとされていることを根拠に、50年で0.375mとした。波浪は、志村・森(2019)¹¹⁾が求めたRCP8.5シナリオにおける各地点の平均有義波高、平均周期、平均波向から算出した波浪エネルギーフラックスの沿岸方向成分の変化が顕著な房総半島沖における値を選択し、それらを沖波（平均波相当）として与えた。離岸堤及び人工リーフの透過率は、上記の海面上昇量と波浪のもと、離岸堤については久保・井田¹²⁾、人工リーフについては「人工リーフの設計の手引き」¹³⁾の方法により、現在と将来における値を設定した。

(4) 外力変化が汀線変化に及ぼす影響の感度分析

潮位、波高及び波向の変化量をそれぞれ、変化なし、変化小、変化大の3段階設定し、これらを組み合わせた27通りの外力条件を作成した。これを前節と同じ4通りのモデル地形に対して適用した計108ケースについてモデル3を用いて海浜変形計算を100年分実施した。波浪条件は、志村・森(2019)¹¹⁾の結果のうち、スペクトル分布が最も単純な一山集中型を示す駿河湾中央部の平均波を現況とした。各外力の変化量は、潮位についてはRCP8.5シナリオ相当を変化大、RCP2.6シナリオ相当を変化小とし、波浪については将来予測¹¹⁾の全国最大値を変化大とし、変化なしとの中間値を変化小とした(表-2)。

3. 計算結果

(1) 等深線変化モデルによるBruun則の再現

1.0mの海面上昇による海浜断面地形の変化をモデル3によって計算した結果（漂砂量係数 K_z を1.0）とBruun則による計算結果（モデル2）を比較すると、標高0m～3mの部分の海浜断面が後退する結果が得られ、Bruun則の特徴である断面形状を保ったままの平行移動を表現できた(図-2)。海面上昇時の汀線位置は初期地形から69m後退と、Bruun則の91mよりも小さかったが、Bruun則では移動限界水深8m付近においても地形が変化し、沖合地形と不連続になるのに対し、モデル3による計算では、移動限界水深8mで地形変化が収束した結果が得られた。漂砂量係数 K_z を0.1, 0.01とした場合の汀線後退量は各々64m, 46mであった。なお、通常の等深線変化モデルを用いたモデル1は、構造物が無ければ沿岸漂砂が沿岸方向に一樣、かつ岸沖方向には漂砂が生じないため、断面地形変化は生じなかった。

(2) 海浜変形モデルを変えた海浜変形計算

構造物が無い場合で単一粒径の場合の計算結果は上記のとおりであり、混合粒径の場合の結果はモデル2、モ

デル3ともに混合粒径の方がやや汀線後退量が小さいものの、単一粒径とほとんど変わらなかった。構造物が設置された場合の結果は以下のとおりであった。

a) 突堤

モデル1では侵食域 (x=800 m) における汀線後退量と堆積域 (x=1,200 m) における汀線前進量がほぼ同じなのに対し、モデル2、モデル3では堆積域においても海面上昇の影響により汀線が後退した(図-3)。

モデル1では、単一粒径の方が混合粒径よりも汀線前進量及び後退量がやや大きかった(図-4)。一方で、モデル2及びモデル3では、侵食域では単一粒径の方が、堆積域では混合粒径の方が汀線変化が大きかった。

いずれのモデルでも突堤群の漂砂上手 (x=700 m) では、粒径0.2 mmの占める割合が汀線から突堤先端 (-2 m ~ -3 m) 付近の間で増えた(図-5)。突堤群の中間地点 (x=1,000 m) では、モデル2では粒度組成に変化は生じなかったが、モデル3では粒径0.2 mmの占める割合が汀線から等深線-3 mにかけて減少した。

b) 離岸堤

離岸堤背後中央 (x=1,000m) で比較すると、単一粒径と混合粒径のいずれも汀線前進量は、モデル3のほうがモデル2よりも大きかった(図-6)。モデル2では単一粒径と混合粒径でほとんど違いがなかったが、モデル1とモデル3では混合粒径の方が汀線変化量がやや小さかった(図-7)。なお、モデル3では、突堤の場合と同様、移動限界水深付近まで、等深線の変化が生じた。

離岸堤背後中央ではいずれのモデルでも、粒径0.2 mmの砂の割合が増え、モデル3で最も明瞭であった(図-8)。

(3) 外力変化の与え方を変えた海浜変形計算 (モデル3)

構造物が無いケースでは、沿岸漂砂の均衡により沿岸方向の地形は生じず、海面上昇の影響で生じた岸沖漂砂によって海浜断面地形が変化した。外力変化の与え方によって地形変化の経過は異なるものの、断面内の土砂量が不変のため、最終的な地形に違いは生じなかった。構造物が設置された場合については以下のとおりであった。

a) 突堤

突堤群の漂砂上手側 (x=500 m周辺) における汀線前進と突堤群の漂砂下手側における汀線後退 (x=1,500 m周辺)、突堤間の汀線変化のいずれも外力Aの方が外力Bよりも大きくなった(図-9中1)。

b) 離岸堤

漂砂上手側 (x=750 m周辺) の汀線前進、漂砂下手側 (x=1,250 m周辺) の汀線後退ともに外力Aの方が外力Bよりも大きくなった(図-9中2)。

c) 人工リーフ

漂砂上手側 (x=750 m周辺) の汀線前進、漂砂下手側 (x=1,250 m周辺) の汀線後退ともに外力Aの方が外力B

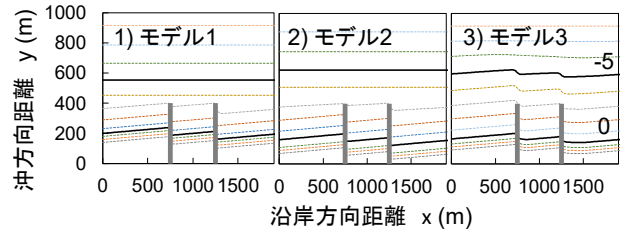


図-3 海面上昇後の突堤周辺の地形変化 (混合粒径)

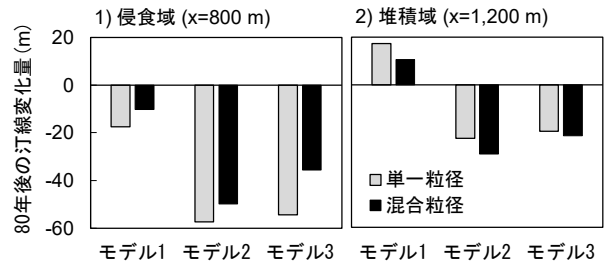


図-4 海浜変形モデルによる突堤周辺の汀線変化の違い

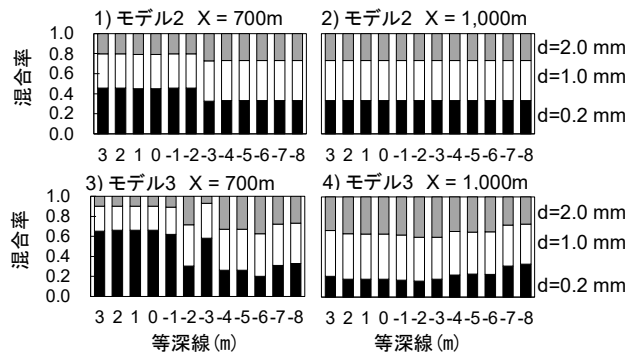


図-5 突堤周辺における底質粒度組成の変化

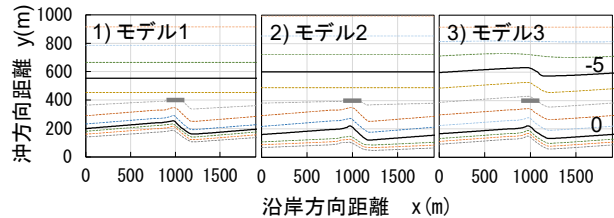


図-6 海面上昇後の離岸堤周辺の地形変化 (混合粒径)

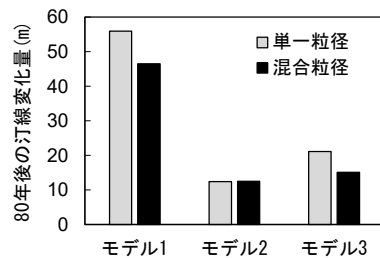


図-7 モデルによる離岸堤背後中央 (x=1,000m) における汀線変化の違い

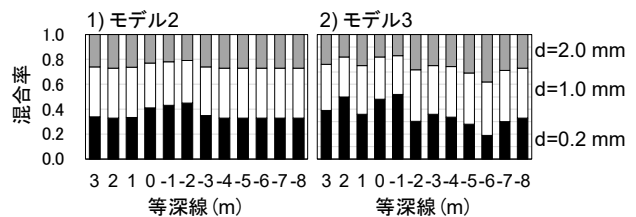


図-8 離岸堤背後中央 (x=1,000m) における底質粒度組成の変化

よりも大きくなった(図-9中3)。離岸堤とほぼ同じ傾向であるが、漂砂上手側における汀線前進量の違いは離岸堤に比べてやや大きかった。

(4) 外力変化が汀線変化に及ぼす影響の感度分析

いずれの地形においても、汀線後退量が海面上昇量にほぼ比例していた。波高及び波向の変化量が汀線変化に及ぼす影響は、構造物が無い場合にはほとんど見られなかったが、構造物が設置されたモデル地形では、以下のとおり構造物によって傾向に違いがみられた。

a) 突堤

波向が3度(変化なし)の場合は、堆積域、突堤間、侵食域ともに波高の違いによる汀線変化量の違いは見られなかった。一方で波向に変化が生じた場合には、堆積域において波高による汀線変化の違いが生じた(図-10)。

b) 離岸堤

波向の変化が大きくなるほど、波高の変化量の違いが汀線後退量に強く表れた(図-11)。離岸堤背後における汀線変化に対する海面上昇の影響は最大28.8 mであるのに対して、波高変化の影響は最大19.4 m、波向変化の影響は最大44.8 mであった(図-12)。

c) 人工リーフ

波向が3度の場合は波高の違いによる汀線変化量の違いは見られなかった(図-11)。波向が7度、11度の場合、海面上昇量が大きい条件で、波高が高いほど汀線後退量が増加する傾向が見られたが、海面上昇量が小の場合にはほとんど違いが見られなかった。

4. 考察

(1) 等深線変化モデルによる計算結果の違い

モデル3による汀線後退量はモデル2に比べてやや小さかった。構造物なしの条件で K_z を1.0, 0.1, 0.01とした計算では、汀線後退量は69 m, 64 m, 46 mと収束傾向にあったことから、モデル3で得られる平衡地形は $K_z=1.0$ で評価して良いと考えられる。モデル2よりも汀線後退量が小さくなったのは、モデル2では移動限界水深付近でも大きな地形変化が生じるのに対し、モデル3は移動限界水深に近づくにつれて地形変化が小さくなる機構が働くために、陸上部分からの土砂移動が低減されたためと考えられる。モデル2によって算定される汀線後退は過大となる傾向があることを示唆する。

モデル3では、突堤と離岸堤のいずれの場合も、構造物の設置水深よりも沖側まで等深線変化が及んでいた。汀線の前進・後退に合わせて、岸沖断面の平衡をとろうとして岸沖漂砂が発生することで、移動限界水深付近まで、その影響が及んだためと考えられるが、現実には高

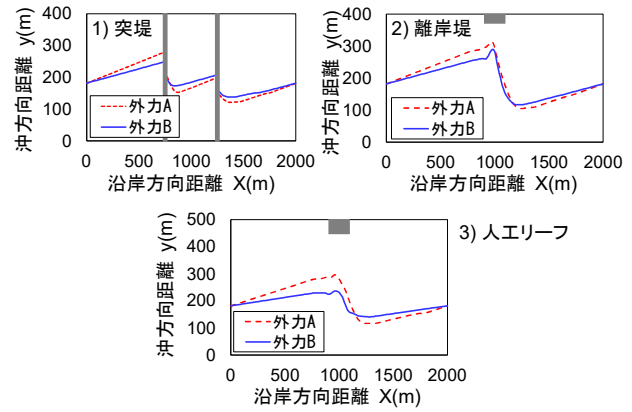


図-9 外力の与え方による汀線変化の違い

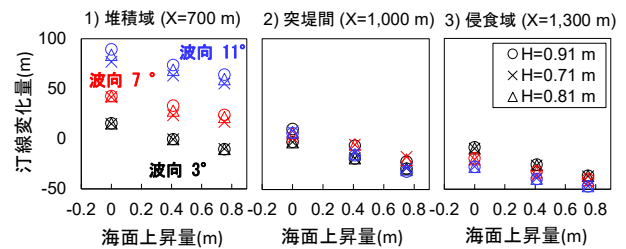


図-10 外力設定による汀線変化の違い(突堤)

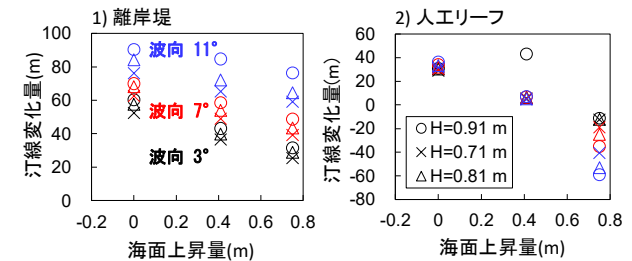


図-11 外力設定による汀線変化の違い (X=950, 1000, 1050の平均値)

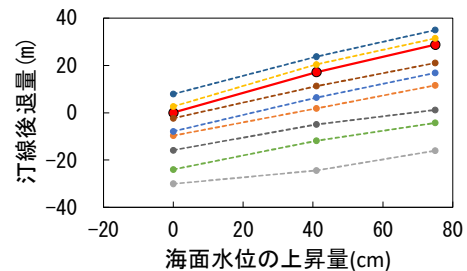


図-12 海面水位の上昇量と離岸堤背後の汀線位置の関係
実線：海面上昇のみ変化、破線：波高と波向も変化
(全ての外力が変化しない場合の汀線位置が基準)

波浪時において均されるものと推定される。

(2) 外力変化の与え方による結果の違い

突堤、離岸堤、人工リーフのいずれの場合も外力Aと外力Bで汀線の前進及び後退の発生箇所の傾向に大きな違いはなかったが、汀線の変化量は外力Aの方が大きかった。実際の外力変化は徐々に生じると想定されることから、外力を変化させる時間間隔をなるべく短くした方

が、現実に近い予測結果が得られると推察される。

堤防法線の検討など、汀線後退量の最大値の把握が重要であれば、外力Aの方法でも十分であるが、将来の養浜計画を検討する場合には、漂砂制御施設の効果を過大に見積もってしまうことになるので、注意が必要である。

(3) 各外力の変化が汀線変化に及ぼす影響

離岸堤背後における汀線変化に対する海面上昇の影響が最大28.8 mであるのに対して、波高変化の影響は最大19.4m、波向変化の影響は最大44.8mであったという結果は、波高・波向の変化も海面上昇と比べて無視できない影響を及ぼすことを示唆する。波高や波向の将来変化については海面上昇に比べて不確実性が高いため、海面上昇のみを想定する機会が多いが、波高や波向の変化についても考慮できるようにしていくことが重要である。

5. まとめ

本研究では、モデル地形を対象に海浜変形モデル及び外力変化の与え方を変えた海浜変形計算を実施することで、以下の結果を得た。

- ・等深線変化モデルに平衡海浜断面の考え方を導入することで、Bruun則では不自然となる移動限界水深付近の断面形状の変化を収束させることができるようになった。
- ・海面水位及び波浪の将来変化を一度に与えた場合には、汀線変化が実際よりも大きくなる傾向にある。
- ・海面水位及び波高、波向の変化量を変えた感度分析により、気候変動の影響による波高及び波向の変化は、海面上昇と同等の影響を汀線変化に与える場合がある。

今後、各海岸において将来の気候変動の影響を考慮した保全計画を策定する際には、これらの結果を踏まえて外力の設定方法を選択することが重要となる。

謝辞：本研究の実施にあたり、京都大学防災研究所の志村智也准教授から日本沿岸の平均的な波浪の将来変化の

予測結果を提供いただいた、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Bruun, P.: Sea-level rise as a cause of shore erosion, *J. Waterways Harbors Div.*, 88, 117-130, 1962.
- 2) Udo, K. and Takeda, Y.: Projections of Future Beach Loss in Japan Due to Sea-Level Rise and Uncertainties in Projected Beach Loss, *Coastal Engineering Journal*, 59:2, 1740006-16, DOI: 10.1142/S051856341740006X, 2017.
- 3) 渋谷容子, 黒岩正光, 林健太郎, 池田健太, 森信人, 松原雄平, 間瀬肇: 等深線変化モデルによる気候変動に伴う長期海浜変形予測と影響評価, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.I_684-I_689, 2014.
- 4) 熊田貴之, 小林昭男, 宇多高明, 芹沢真澄, 星上幸良, 増田光一: 混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルの開発, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.476-480, 2002.
- 5) Kamphuis, J. W., Davis, M. H., Narim, R. B. and Sayao, O. J.: Calculation of littoral sand transport rate, *Coastal Engineering*, Vol.10, pp.1-12, 1986.
- 6) 宇多高明・河野茂樹: 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, No.539, II -35, pp.121-129, 1996.
- 7) Kraus, N. C.: Field experiment on vertical mixing of sand in the surf zone, *J. Sedimentary Petrology*, Vol.55, pp.3-14, 1985.
- 8) Dean, R. G.: *Beach Nourishment: Theory and Practice*, World Scientific, 399p., 2002.
- 9) 芹沢真澄, 宇多高明, 三波俊郎, 古池鋼, 熊田貴之: 海浜縦断面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, 2002.
- 10) IPCC: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, 2019.
- 11) 志村智也, 森信人: 気候変動による日本周辺の波候スペクトルの将来変化予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_1177-I_1182, 2019.
- 12) 久保弘一, 井田康男: 捨石堤背後の伝達波高について, 第 20 回海岸工学講演会論文集, pp.49-54, 1973.
- 13) 社団法人全国海岸協会: 人工リーフの設計の手引き (改訂版), 95p, 2004.

(Received March 17, 2022)

(Accepted July 21, 2022)

PARAMETER STUDY FOR SHORELINE CHANGE PROJECTION UNDER FUTURE CLIMATE CHANGE

Kunihiro WATANABE, Fuminori KATO, Toshimistu TAKAGI, Koichi HOSAKA
and Takehito ZAHA

A parameter study was conducted to project the future change in beach topography considering the sea-level rise and wave conditions induced by climate change. Three simulation models and two types of setting methods for future sea-level and wave conditions were investigated by calculating the future beach topography. Sensitivity analyses were also conducted, and the effect of future change in sea-level, wave height, and direction on shoreline change was evaluated. Based on these results, some practical notice for long-term coastal planning was discussed.