

## 論文審査の結果の要旨

氏名：遠 藤 将 利

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：セルオートマトン法を用いた海浜変形予測モデルに関する研究

審査委員：（主査） 教授 小林 昭 男

（副査） 教授 増 田 光 一

客員教授 宇 多 高 明

本論文は、海浜砂がその平衡勾配より急な斜面を遡上した後に緩斜面、平坦面、逆勾配斜面へ堆積する現象を再現可能とするための数値計算方法を提案したものである。現地海岸においては粗粒の土砂（以下、粗粒材）で構成された前浜のバーム背後に、細粒の土砂（以下、細粒材）が堆積することがある。これは細粒材がそれ自体の平衡勾配よりも急な粗粒材で構成された前浜斜面を遡上した上、バームを乗り越えて堆積した結果である。また、傾斜型階段護岸の平坦なステップ上への堆砂はしばしば観察されるが、これは平衡勾配より急な斜面上でも砂が這い上げられることによる。さらに、海底の掘削溝内に堆積した砂が急勾配の溝斜面を越えて海岸に堆積する現象も観察される。これらの現象の再現は、海岸の漂砂環境の把握のために重要であり、既往の数値計算方法に工夫を加えて現象を模擬することは可能であるが、砂の動きに着目し基本的な条件のみで現象を妥当に再現する方法が必要である。これらのことを踏まえて、申請者は既往の数値計算方法の課題を整理し、その解決策として従来は海浜変形予測に用いられることのなかったセルオートマトン法に利点を見出し、これを用いた海浜変形予測モデルの構築を研究の目的に設定した。

本論文は、第1章 序論から、第2章 BG モデルでは再現できない物理特性を含んだ海岸の実現象、第3章 実海岸で観察された現象のモデル化、第4章 現地海岸へのモデルの適用、第5章 結論までの全5章で構成されている。

第1章 序論では、海浜変形予測モデルの必要性と課題を整理し、本研究の目的と特徴を示した。すなわち、現在最も高度化されたモデルは芹沢ら（2006）の Bagnold 概念に基づいた海浜変形モデル（以下、BG モデル）であるが、このモデルにおいても取扱うことができない物理現象として、前述した砂の平衡勾配より急勾配の斜面への砂の堆積や、バーム背後への堆積などがあり、これらを解決するための着想を示した。次に本論文ではこれを可能とする方法として採用したセルオートマトン法の既往研究と応用の可能性を示し、最後に本研究の特徴と論文構成を示した。

第2章では既往の BG モデルにおいても再現できない物理特性を含んだ海岸の実現象として、傾斜型階段護岸上への堆砂、バームの陸側への砂の堆積、海底の掘削溝に堆積後海岸へ打ち上がる砂、突堤の付け根を廻り込んで移動する砂について、現地調査の結果を示した。また、これらの現象について BG モデルによる再現計算を試み、BG モデルでは再現できない物理特性を含む現象であることを示した。

千葉県勝山海岸の例で示された傾斜型階段護岸上への堆砂現象については、階段の隅角部に堆積砂が残されるという実現象に対し、BG モデルの計算結果は階段の平坦面に砂が堆積して斜面が形成された後に上段へと堆積が進むことを明らかにした。神奈川県西湘海岸の例で示されたバーム陸側への砂の堆積現象については、細粒材はバームを飛び越えるように見える実現象に対し、BG モデルの計算結果は粗粒材で形成された前浜に細粒材が堆積して平衡勾配の斜面を形成した後に、バームに至り、その背後に連続して堆積する結果を示した。インドネシアバリ島のサヌール海岸の例で示されたコーラルマイニングの掘削穴を越えて砂が海岸に堆積する現象については、BG モデルでは掘削穴に砂が堆積しつつ平衡勾配で斜面を形成しその端部が穴の縁に至った後に外部へ移動して海岸に堆積する結果となったが、実現象ではそのようにならずとも砂は海岸に移動していると考えられる。千葉県上総湊海岸の例で示された現象は、突堤を挟んで堆積側の海浜砂がバームを乗り越えた上、突堤の付け根を回り込んで侵食側の海浜へと移動する現象であり、BG モデルではバームを乗り越える砂移動が計算できないためにこの現象は再現できなかった。

以上の現象は砂がその平衡勾配よりも急な斜面、あるいは壁面を越えて移動し、陸側の平坦面、緩勾配面へ堆積あるいは逆勾配面へ移動する現象であり、既往のモデルを代表する BG モデルにおいても再現を考慮していない物理現象である。これを解決する課題として、漂砂を寄せ波と引き波によるネットでの算出ではなく、それぞれ別の算出し、寄せ波による岸向き砂移動では急斜面を遡上し移動先に平衡勾配よりも緩斜面があれば堆積できるというモデルの構築が必要である。これらの第2章で示されていることは

海岸の漂砂環境を明らかにするための数値計算手法の高度化に対して新たな目標を示した。

第3章では第2章で示した現地海岸の現象を数値モデルで再現するための課題の解決策として計算手法にセルオートマトン法を採用し、新たなモデルの構築過程と妥当性の検証結果を示した。セルオートマトン法の特徴は、計算領域の空間を格子状のセルに分割し、各セルで生じる現象と、その近傍セルとの関係にルールを設定し、現象の変化を逐次計算して空間全体の変化を求める手法である。本論文では第2章の結果に基づき各セルに与える基本ルールとして(1)砂は寄せ波時には岸向き、引き波時には沖向きに移動する、(2)計算対象のセルの標高と移動先のセルの標高の差によって岸向きあるいは沖向きの砂の移動量が計算される、(3)近傍セルと標高差が大きい急斜面の場合では砂は崩れ、標高の高いセルから低いセルへの移動を設定している。

漂砂式には Bailard and Inman (1981) の漂砂式を採用して砂移動の量  $V_0$ 、移動距離  $L_0$  を変数とするモデルを構築した。さらに砂の移動量については Bagnold (1963) による一方向流れに対する掃流砂式を海底勾配に関して線型近似した Bowen (1980) の漂砂式を念頭に置き、寄せ波時と引き波時の移動量を分けて与えることとした。また物理的考察から漂砂量  $Q$  と  $V_0$ 、 $L_0$  との間に成立する関係式を導出し、本モデルと BG モデルの漂砂フラックス式が等価であることを示すことにより  $V_0$ 、 $L_0$  の物理的意味を明確にした。これらにより物理的意味が明確な  $V_0$ 、 $L_0$  を用いた砂移動のルールを各セルに設定することが可能になり BG モデルと同様に波浪外力などの物理パラメータを直接入力した計算を可能にした。また、セルオートマトン法を取り扱う上で砂の移動先が4セルにまたがる場合の各セルへの砂の移動量  $V_0$  を面積比による分配法とし、構造物を含む一般的な条件も扱える手法を考案した。

このモデルの検証として、直線平行等深線海岸における基本的な海浜変形問題および既往研究で示された検見川浜と富津岬の砂嘴の変形に対して本モデルを適用し BG モデルとの結果の比較からその妥当性を検証した。これら本章で示されたモデルの構築における理論展開の新規性と検証内容の信頼性はともに高いものと考えられる。

第4章では第2章で示した物理現象への本モデルの適用結果を示した。計算結果によれば、千葉県勝山海岸の例で示された傾斜型階段護岸での階段の隅角部に堆積砂が残る現象、神奈川県西湘海岸の例で示された細粒材がバームを飛び越えたように観察された現象、インドネシアのバリ島サヌール海岸の例で示されたコーラルマイニングの掘削穴を越えて砂が海岸に堆積する現象、千葉県上総湊海岸の例で示された突堤を挟んで堆積側の海浜砂がバームを乗り越え突堤の付け根を回り込んで侵食側の海浜側に移動する現象の全てにおいて再現が可能であることを示した。これらの結果は客観性と信頼性ともに高いものと考えられる。

最後に第5章では本研究の成果を総括し結論を導いた。

以上のように本論文の論旨の展開は、既往研究の課題の整理ならびに研究目的の設定から課題解決に至るまで明快であり、目的を達成するために実施した研究内容と実施結果に対する考察、および得られた結論は妥当であると考えられる。本論文で示した海浜変形モデルは既往のモデルでは取扱うことのなかった物理現象に対してセルオートマトン法の特徴を生かして構築した新たなモデルである。その大きな特徴は砂がそれ自体の平衡勾配より急な斜面等を越えて移動し堆積する現象の再現を可能にする条件を各セルに与えたことであり、これらの物理現象は海岸における漂砂環境の考察精度の向上に有用と考えられる。また、このモデルは既往のモデルと同様な計算も可能であり、海浜構成砂の粒度組成の考慮という機能拡張の余地はあるものの海浜変形モデルの高度化に寄与するものとして評価できる。したがって、海浜の防災・利用・環境機能の向上に対して貴重な貢献をなすものと考えられる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、またはその他の高度な専門業務に従事するに必要な能力およびその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士(工学)の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成26年2月13日