

論文の内容の要旨

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

海洋空間の構成要素の一つである海浜は、人々の利用空間であるとともに、波エネルギーから陸地を守る防護機能や生物生育のための環境機能を有している。しかし、わが国の多くの沿岸域では、ダム建設による河川からの土砂供給の減少や、海岸部での土砂収支の不均衡を生じさせる人為的要因による海岸侵食が生じており、海浜の有する利用・防護・環境に対する健全な機能が保てなくなっている。例えば、港湾・漁港の防波堤建設により波の遮蔽が形成されると、遮蔽域外での海岸侵食と遮蔽域内での土砂堆積により、砂浜喪失と航路埋没という機能低下が生じる。このような海浜変形の未然の防止や既に変形が進行した海岸に対して有効な対策を講じるためには、海浜変形を定量的に予測することが必要であり、近年では数値モデルシミュレーションによる海浜変形予測が急速に進んできた。

この海浜変形予測の計算モデルには長期間かつ広範囲に対する短い演算時間での地形変化の予測という実務上の要求に対して、等深線変化モデルやBGモデル（Bagnold概念に基づく海浜変形モデル）が開発されており、その実用性の高さが示されている。しかし、BGモデルにおいても、砂がその平衡勾配よりも急勾配な礫の斜面を乗り越えてバームの陸側に堆積するという現地海岸の現象を再現できない。これは、BGモデルが波作用時の漂砂を寄せ波時の岸向き成分と引き波時の沖向き成分の和から求めたネットの漂砂量を用いた式を基礎式として用いており、平衡勾配よりも急勾配な斜面では寄せ波時よりも引き波時の移動量が多いためにネットでは沖向きの砂移動のみとなること、および隣接する計算格子間の砂移動のみを取り扱っているために急斜面上にとどまることなくバームを乗り越えて移動する砂は計算されないことによる。

そこで本研究では、上述の課題を解決するために実現象と同様の寄せ波時と引き波時の砂移動の違いに加え、急斜面を乗り越えるような離れた位置への砂移動を考慮した計算モデルの構築を目的とし、その計算手法としてセルオートマトン法に着目した。セルオートマトン法は、例えば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をルール設定し、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。従来から、流体・紛体の流れの計算、渋滞学の計算、生命現象のモデル化など多岐な分野で利用されており、砂移動の関連では、砂丘におけるバルハン砂丘の発達の計算に用いられている。本研究ではこのセルオートマトン法を用いて、海浜地形を格子状に分割し、各セルに前述の実現象に相応する砂移動のルールを設定した海浜変形予測モデルの構築を実施した。

本研究は次の順に研究を行った。まず、前述の実現象が観察された海岸に関する既往論文調査と現地調査により砂移動の機構を考察した。次に、この結果に基づいて、セルオートマトン法を用いるための各セルに設定する砂移動のルールを導き、実現象を再現可能な海浜変形予測モデルを構築した。最後に、構築したモデルの妥当性をBGモデルとの比較計算と実海岸における現象再現により確認した。

本論文は序論から結論までの5章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では序論として海浜変形予測モデルの課題、セルオートマトン法に関する既往研究、研究目的と本研究の特徴、本研究の概要について述べた。

第2章では、BGモデルで再現できない現象について、千葉県勝山海水浴場、神奈川県西湘海岸、インドネシアバリ島サヌール海岸、千葉県大佐和海岸の4事例を挙げ、既存の知見と、自ら実施した現地調査の結果について述べた。また、これらの事例の地形変化に対してBGモデルによる再現計算を行い、その再現性を考察した。

第3章では第2章で示した現象を再現するためのセルオートマトン法を用いた海浜変形予測モデルを詳述し、既往研究においてBGモデルで再現されている海浜変形に対して本モデルを同条件で適用した結果を考察した。

第4章では第3章で構築したモデルを用いて、第2章で示した実海岸の現象の再現計算を実施し、従来

の計算モデルでは再現できない急勾配斜面を乗り越えた砂の堆積が計算可能なことを示した。

第5章では結論として各章の総括を述べた。以下に本研究の結論を要約する。

(1) 砂がその平衡勾配よりも急勾配な斜面を乗り越える現象

勝山海水浴場で観察された階段型傾斜護岸の隅角部に砂が堆積する現象、西湘海岸で観察された中砂が礫浜の急勾配な前浜を乗り越えてバームの背後に堆積する現象について、それぞれ波浪解析結果と地形測量結果の関係から、高波浪時の寄せ波作用によって平衡勾配よりも急勾配な斜面を這い上がり岸側の緩勾配な斜面に堆積した現象であることを示した。また、コーラルマイニングされた場合の掘削穴において、上述の現象のことを考慮して、掘削穴にトラップされた砂は掘削穴内の壁面が平衡勾配より急勾配であっても、再び移動することを示した。さらに、大佐和海岸で観察された突堤基部を通過して沿岸漂砂が発生する現象について、現地調査からバーム頂部よりも突堤基部の天端高が低いいため、バームを乗り越えた砂が陸側へ移動し突堤基部を通過していることを確認した。このように、以上のいずれの現象も砂の平衡勾配よりも急な斜面あるいは壁面を砂が這い上がり、陸上側の緩勾配の部分に砂が堆積するために起こる現象であることを示した。

(2) セルオートマトン法を用いた海浜変形予測モデルの開発

寄せ波と引き波による砂移動を別々に扱う方式を採用するとともに、新たにセルオートマトン法を導入し、隣接するセルを越えた離れた位置への砂移動が再現可能な海浜変形予測モデルを開発した。漂砂式には Bailard and Inman 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。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、さらに本モデルが BG モデルの漂砂フラックス式と等価な式であることを明示し、 V_0 、 L_0 を波浪エネルギーなどの物理パラメータおよび時間との関係式を導いた。この結果、物理的意味が明確になった 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により 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が可能となった。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 の分配法を工夫し、面積比による分配法を提示し、構造物を含む一般的な条件も扱える手法を考案した。

(3) 仮想海岸および現地海岸へのモデルの適用

本モデルの妥当性を確認するために、BG モデルと同様の計算条件でケース計算を行い、計算結果を比較した。岸沖漂砂のみによる海浜変形を対象として平衡勾配よりも緩勾配/急勾配で養浜された海岸に波が直角入射する計算では初期地形から平衡勾配に近づき静的安定に至る過程が計算できた。また急勾配斜面から緩勾配な斜面に地形変化する計算では岸側に浜崖の形成が確認された。岸沖・沿岸漂砂による海浜変形を対象として、突堤が設置された海岸に波が斜め入射する計算では、突堤の漂砂上手側で堆積が起こるとともに下手側で侵食が起こる地形変化が計算できた。離岸堤が設置された海岸に波が直角入射する計算では、波の遮蔽外から遮蔽内に向かって沿岸漂砂が起こり、舌状砂州が形成されることを確認した。また、検見川浜の湾突堤の回折波による海浜変形を対象とした計算、富津岬の砂州地形が波の作用によって消失する海浜変形を対象とした計算も行った結果、いずれも BG モデルと同様に現地の地形変化がうまく再現された。すなわち、本研究によるセルオートマトン法を用いた手法は BG モデルと同等の精度で計算が行えることが示された。

さらに、BG モデルでは再現できない現象として、勝山海水浴場で観察された階段型傾斜護岸上への堆砂現象や、西湘海岸で観察されたバーム裏側への堆砂現象を対象として再現計算を行い、本モデルを用いた計算の再現性を確認した。次にリーフ掘削による岸向き漂砂のトラップ現象を対象とした計算では、掘削穴にトラップされた砂が平衡勾配よりも急勾配な斜面を乗り越えて移動することを示した。また、大佐和海岸で観察された突堤基部を乗り越えて沿岸漂砂が発生する現象を対象として再現計算を行った。以上のことから、本モデルによれば BG モデルの計算結果と比較して現地の海浜変形をより正確に再現できることが確認された。