

論文の内容の要旨

氏名：横 田 拓 也

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：漂砂と飛砂の連続性を考慮した海浜変形予測モデルの構築

我が国の砂浜海岸（以下、海岸と称す）では、現在までに漁港や港湾などの建設を要因とする海岸侵食が全国的に進み、海浜幅が減少し狭小となった海岸においては、侵食対策あるいは高潮・高波対策として海岸保全施設の建設が実施されてきた。そして、この海岸環境整備の実施過程における多くの研究成果により、主として海岸侵食の現象解明や数値シミュレーションによる海浜変形予測などの対策立案技術が高度化した。現在では、これらの技術により、波による地形変化の限界水深から波の遡上限界であるバームの間で生じる漂砂に起因する海岸変形は、かなり高い精度で予測が可能となった。

一方、波の作用による湿潤が稀なバーム頂より陸側の海浜や砂丘地では、風による砂輸送（飛砂）も無視できない。飛砂は自然海浜において堤防の機能を有する海岸砂丘を形成するが、海浜の背後地に住宅や道路あるいは、飛砂防備（保安林）区域がある場合には、飛砂の陸側への輸送はそこへの被害を発生させることもある。このため飛砂の予測も重要なテーマの一つであり、砂の粒径や風速、飛砂の濃度の高さ方向分布など、飛砂に関する多くの研究がなされてきた。しかしながら現地海岸の状況を調べると、海浜幅の拡大による飛砂の堆積量の増大は明確な現象であることから、飛砂による海浜砂の移動による地形変化は、漂砂による海浜地形による海浜幅の変化にも依存している。現地海岸の整備においては、飛砂量自体の検討のみならず、海浜～砂丘地全体での飛砂に伴う地形変化の予測を可能とすることが求められているが、そのような視点に立った研究はほとんど行われて来なかった。

これらのことから、海岸環境整備においては、従来の波による海浜変形（漂砂）のみならず、飛砂による地形変化、およびそれらの相互作用をも合理的に予測する手法が必要とされている。すなわち、漂砂と飛砂による一連の海浜変形、侵食対策、並びに飛砂対策を、予測、立案、および評価するためには、漂砂と飛砂を同時に考慮することが必要不可欠である。しかし、現在までこれらは個別のこととして研究開発が行われてきた。

そこで本研究では、波による漂砂と風による飛砂の双方による地形変化を、飛砂と漂砂による砂移動を連続させて、双方による地形変化を同時に考慮した計算が可能な海浜変形予測モデルを研究開発した。

本研究内容を述べた本論文は全5章で構成され、各章の内容の要約は以下のとおりである。

「第1章 序論」では、本研究の背景と目的を述べ、既往研究における課題の抽出と本研究の特徴を示した。

「第2章 現地海岸における課題の確認」では、現地海岸において生じている海浜変形と飛砂現象についての現地調査結果を述べた。本論文では、次に示す3海岸での事例を挙げた。

第一の海岸は、海浜からの飛砂が防波堤を乗り越えて港湾内へと侵入・堆積している千葉県富津市富津新港の事例である。富津新港の防波堤の隅角部西側隣接部では、防波堤の建設以降沿岸漂砂により小規模な砂浜が形成されていたが、砂浜の形成が進むにつれて防波堤を挟んだ東側の港湾内でも砂の侵入と堆積が進んだ。この現象に着目して現地調査を行うとともに、既往空中写真を用いた解析を行った結果、防波堤東側（港湾内）に堆積している砂は防波堤の西側隣接部に形成された海浜の砂が飛砂として防波堤を乗り越えたものであることが明らかになった。

第二の海岸は、海岸広域を対象とした海浜変形と背後に砂丘が形成されている静岡県浜松市遠州灘海岸の事例である。遠州灘海岸（西部）は天竜川からの供給土砂が西向きの沿岸漂砂によって運ばれて形成された海岸である。一方で、当地では冬季に西風が卓越しており、沿岸漂砂と逆向きの東向きの飛砂が発生する。この海岸において現地調査および空中写真解析を行い、対象区域の風上の海岸（舞阪海岸）、中央付近（浜松篠原海岸）、風下の中田島砂丘周辺に分けて考察した。この結果、舞阪海岸では海岸背後にランダムに砂丘が形成される状況、浜松篠原海岸では背後に砂嘴状の砂丘がリズムクに形成される状況、中田島砂丘付近では大量の飛砂が堆積することで大規模な砂丘が形成されるこ

とを明らかにできた。

第三の海岸は、細砂と礫から構成される海浜での飛砂現象が起きている千葉市の稲毛海岸の事例である。一般に、飛砂は粒径の細かい砂が風により移動し、粒径の大きい粗砂・礫は移動しないことから、それらが混合した海岸では単一粒径からなる海岸とは異なる現象が生じると考えられる。そこで細砂と礫から構成される稲毛海岸を対象として現地調査を行った。現地調査では、粒径の細かい砂は飛砂により海浜背後へと運ばれ、海浜背後に堆積していることが明らかになった。それに伴い、前浜付近には粒径の粗い礫が取り残されて表面を覆うとともに、海浜背後の地盤高が海浜南部（堆積域）において北側（侵食域）よりも増加することが明らかになった。これらの海岸の現地調査結果は、本研究で開発した計算モデルの妥当性の検証データとして用いた。

「第3章 計算モデルの構築」では、本研究において構築した計算モデルについて説明した。本計算モデルでは、波による地形変化の限界水深からバーム高までの計算には Bagnold 概念に基づく海浜変形モデル（以下、BG モデル）を用い、バーム背後の飛砂による地形変化が生じる区域ではセルオートマトン法を用いた。BG モデルは、波向に応じた汀線の安定化機構と平衡勾配概念に基づく縦断形の安定化機構を考慮したモデルであり、3次元海浜変形が予測可能なモデルである。一方、飛砂による地形変化予測に用いるセルオートマトン法については、砂丘形状が推算可能な計算モデルを参照して用いた。このモデルは、地盤面の標高から砂の飛ぶ距離 LS を算出し、一定質量の砂 q を毎ステップ LS 分だけ移動させることにより砂丘の形成予測を行う。2つの異なる計算を同時に行うためには、BG モデルは計算にあたり計算メッシュの幅 (m) を設定するのに対し、セルオートマトン法は正方形のセルを用いる計算であり、計算メッシュに距離次元を持たないため、双方のモデルの距離次元の扱いの違いが課題となった。そこで本研究では、セルオートマトン法による LS を求める式を、距離次元を持つ式へと改良した。これにより、BG モデルと組み合わせることが可能となった。さらに、飛砂は粒径の細かい砂が風により移動し、粒径の大きい粗砂・礫は風により移動しないことから、数値モデルを粒径を考慮したモデルへと拡張した。粒径の考慮にあたり、海浜部の計算には粒径を考慮した BG モデルを用いるとともに、陸上部の飛砂計算についても粒径ごとに砂の動きやすさの係数を与えることで、粒径が異なる砂の移動の推算を可能とした。次に、構築した計算モデルについて砂移動の連続性を検証するためにテスト計算を実施した。テスト計算では仮想的な海浜断面を設定して、波と風を同時に作用させた。この結果、陸側では飛砂が堆積、海浜部では海浜の砂が飛砂により持ち去られたことで汀線の後退が生じる結果が得られた。一連の計算では計算領域内の土砂量は保たれており、砂移動の連続性が検証できた。

「第4章 本モデルによる現地海岸の再現性」では、第2章で述べた現地海岸の事例を対象として本研究で構築したモデルを適用した。計算では、それぞれの対象地での観測結果の再現を目的として計算を行った。第一の富津新港の事例の再現計算では、防波堤西側隣接部での砂浜の形成とともに、砂浜からの飛砂が防波堤を乗り越えて東側の港湾内へ侵入する現象について、現地の解析で得られた状況を定量的に予測することが可能になった。第二の遠州灘海岸の事例の再現計算では、風上側海岸では砂丘がランダムに形成され、中央付近ではリズムミクな砂丘が形成、風下の海岸では大量の飛砂が堆積するという現地状況の再現が可能となった。また、海岸中央付近の浜松篠原海岸に着目して、砂嘴状のリズムミクな砂丘の再現を図ったところ、砂丘の標高や間隔など現地調査より得られた結果と概ね一致した。第三の稲毛海岸の事例の再現計算では、混合粒径海浜を対象とした計算を実施し、現地の観測結果同様、細砂が海浜背後に堆積し、その前面に礫が露出するという状況が再現できた。また、海浜の堆積域では波により運ばれた細砂が風により背後へと移動し、飛砂の堆積高が侵食域に比べて増加する状況も再現でき、背後の堆積高も現地観測結果と一致した。以上の本計算モデルの現地海岸への適用結果から、本計算モデルによって現地海岸で生じている漂砂と飛砂の一連の地形変化の再現が可能であることを示した。

「第5章 結論」では、本研究の成果を総括した。本研究では漂砂と飛砂の連続性を考慮した海浜変形予測モデルを構築し、現地海岸における観測結果との比較により計算結果の妥当性を検証した。これらのことから、海洋建築工学の重要な環境要素である海岸の整備を検討する際に本モデルが有効に活用できることが確認された。