

現地混合砂礫海岸の平衡断面形状と粒度分布

Equilibrium Beach Profile and Grain Size Distribution of the Mixed Sand and Gravel Beach

有光 剛¹・神本祐一²・有田 守³・出口一郎⁴

Tsuyoshi ARIMITSUH, Yuichi KANMOTO, Mamoru ARITA and Ichiro DEGUCHI

Field measurements were carried out on two beaches composed of mixed sand and gravel to investigate the spatial distributions of bed material and topography change. Numerical simulation was also done to reproduce the measured responses of beach profile. A so-called SBEACH model was extended to simulate sorting process of the bed materials in the cross-shore direction due to difference in transport direction between fine and coarse materials and topography change. In the beach, equilibrium profile was divided by the bottom slope. Each part was composed of bed materials with different grain size. The measured and simulated profiles were in good agreement. Sorting processes and topography change measured in both beaches can be roughly reproduced by the proposed extended SBEACH model.

1. はじめに

漂砂問題に対する最終的な目標は、将来起こる可能性のある海浜変形を予測し、海岸の侵食や土砂の堆積のような社会的不利益を伴う変化を防ぐことである。地形変化の予測は、局所的な水理特性から何らかの漂砂量算定式を用いて計算することになる。実際の海岸における底質は波による淘汰作用を受け粒径が揃う傾向にあり、ほぼ均一な底質で構成されることも多いため、これまで実務的には代表粒径を用いて漂砂量が求められてきた。これに対して、河口付近や養浜後の海岸に見られるように、いくつかの海岸では礫から砂までの広い範囲に分布する底質、いわゆる混合砂礫で構成されている。混合砂礫海岸の海浜変形を精度良く予測するためには粒度分布の影響を考慮する必要がある。

混合粒径を考慮した沿岸漂砂量を用いた海浜変形予測には等深線モデルを用いた手法が提案されており(熊田ら, 2004)、実海岸への適用も試みられている(住谷ら, 2005)。これに対して岸沖漂砂量を用いた断面形状予測に関しては、水理実験に基づく検討事例(佐藤ら, 2000; 田中ら, 2000)はあるものの現地適用事例が無く、現地混合砂礫海岸の漂砂移動機構でさえ十分に解明されていない。海浜断面形状の議論に際して有用な概念である平衡断面についても、混合粒径を対象とした検討は十分になされていないのが現状である。

そこで本研究では、現地混合砂礫海岸における岸沖方

向の漂砂移動特性の解明を目的として、地形変化と底質粒度分布に関する現地調査を行い、平衡断面形状および粒度分布特性を把握した。さらに混合粒径を考慮できるように拡張した平衡断面予測モデル(有光ら, 2006)を用いた数値計算を行い、断面形状・粒度分布に関して現地観測との比較を行った。

2. 対象海岸の概要

現地実測は図-1に示す淡路島南東部の成ヶ島で行った。成ヶ島は、北端と南端に存在する幅約 100 m の水道によって淡路島とは完全に切り離された島である。調査の対象とした海岸は、大阪湾に面するこの島の東側中央部に位置し、南北に約 700 m にわたって混合砂礫海岸がのびている。図からも分かるように、成ヶ島の北端と南端からは水深 2m 以下の浅瀬が沖合に向かって伸びておりポケットビーチのような地形となっている。この海岸において 2001 年 9 月から 2006 年 8 月の間に 20 ~ 100 m 間隔で設置した 7 本の測線においてほぼ 2ヶ月間隔で極浅海域の深浅測量と底質調査を行っている。成ヶ島海岸を構成する底質は、細砂、粗砂と礫であり、幅広

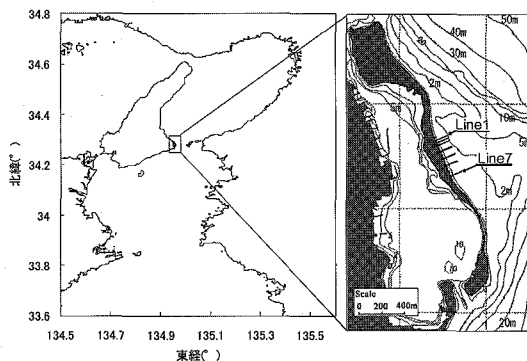


図-1 対象海岸の概要

- | | | |
|-------|------|------------------------------|
| 1 正会員 | 博(工) | 関西電力(株)電力技術研究所 |
| 2 正会員 | 工修 | (株)大林組 |
| 3 正会員 | 博(工) | 大阪大学大学院助教 工学研究科 地球総合
工学専攻 |
| 4 正会員 | 工博 | 大阪大学大学院教授 工学研究科 地球総合
工学専攻 |

い粒度分布を示している。特に前浜部の表層は礫が分布し、この礫は波の作用を十分に受け、扁平なものが多い。

対象海岸へ入射する波浪の波向は、冬は北西からの季節風の影響を受けてNW方向が、夏には太平洋からの波の入射の影響を受けてS方向が卓越している。夏季の台風時でも沖合の浅瀬で生じる碎波のために、汀線付近まで高波浪は到達しない（出口ら，2004）。

3. 対象海岸の海浜変形特性

(1) 汀線位置の変化

図-2に、測線1～7におけるTP.±0mの等深線位置の時間変化を示す。図の縦軸は、2003年12月に実施した調査における各測線のTP.±0mの等深線位置を原点として、そこからの変動を表している。各測量結果を結んだ直線は、堆積が生じて等深線が沖側へ移動した場合には正の傾きを示し、逆に侵食が生じた場合には負の傾きとなる。この図には台風が日本に上陸した時期（◇）を示している。いずれの測線においても一方的な変化は見られず、約1年の周期を持つ変動が確認できる。変動の傾向は海岸の北側（測線1～3）と南側（測線5～7）で異なっており、北側では台風に代表されるような南からの高波浪が来襲する夏季に前進し、北西の季節風が卓越する冬季に後退する。これとは逆に、南側では夏季に後退、冬季に前進が生じている。このように変動は全域にわたって一様に生じるのではなく、中央付近の測線4を境界として海岸の北側と南側で逆向きの季節変動が繰り返り生じている。測線4が南北の海岸の変動の境界であることと、そこでの変動が他の測線と比べて最も小さいことから、対象海岸では季節毎に異なる方向へ向かう沿岸漂砂が発生し、漂砂量が最大となる海岸中央付近を軸として変動していると考えられる。

(2) 海浜断面形状の変化

図-3(a)に測線1の海浜断面地形を示す。図には、2001年9月から2006年8月の5年間で20回行った測量の結果を重ね合わせている。汀線変化でも見られたとおり、海岸中央の測線4から北へ100m離れている測線1では、沿岸漂砂により汀線が岸沖方向に大きく変動

している。特に顕著な地形変化が見られるのは、バームが形成されるTP.+0.5m～+2.0mより深い領域であり、岸側の地形変化は比較的小さい。海浜断面の位置の変動が見られる沖側でも各測量データは平行であり、勾配が全期間を通して概ね一定であることが分かる。

図-3(b)に測線4の海浜断面地形を示す。図には、2002年12月から2006年8月の4年間で15回実施した測量の結果を重ね合わせている。前述のとおり、海岸の中央付近に位置し沿岸漂砂量が最大となる測線4では、測線1に比べて海浜断面形状の変化が小さい。TP.+0.7m～+1.8mの範囲でバームが移動し地形の変化が見られるが、それ以外の範囲の勾配はほぼ一定である。

図-3(c)に測線5の海浜断面形状を示す。図には2002年12月から2006年8月の約4年間で15回実施した測量の結果を重ね合わせている。測線5は、測線4から南へ60m離れた測線である。地形の変動は測線1よ

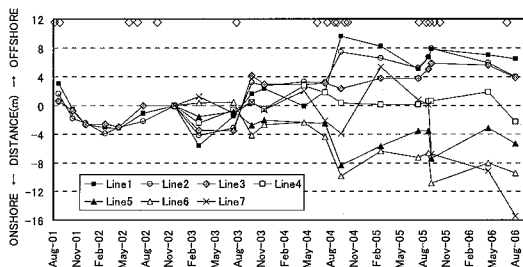
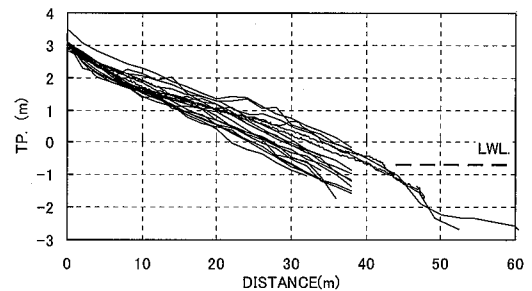
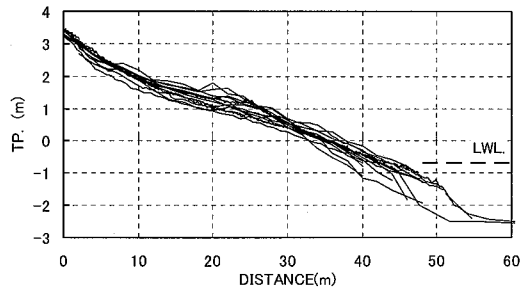


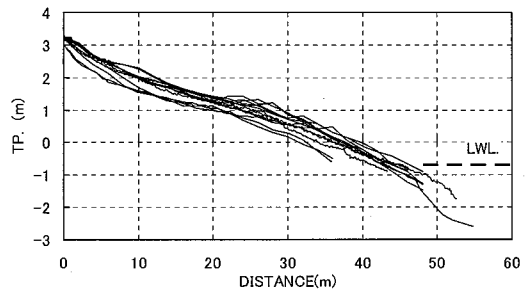
図-2 TP.0mの位置の長期変動



(a)測線1



(b)測線4



(c)測線5

図-3 全測量データ

り小さく、測線4よりは大きい。断面形状は他の測線と同様に TP.+1m 付近にバームが形成され、バームより沖側は約 1/10 の一定勾配となっている。

以上のように、汀線位置だけではなく海浜断面の変化も測線4における変動が最も小さく、測線4から離れるほどその変化量が大きくなっている。海浜勾配は季節や測線位置によらずほぼ一定であり海浜断面の位置のみが変動することから、来襲波浪特性に応じた海浜断面が形成され、沿岸漂砂による各測線の土砂量の変化によってその位置が岸沖方向に移動していると考えられる。

(3) 平衡断面形状の推定

対象海岸のいずれの測線においても汀線の位置は変動するものの、年間を通して海浜勾配に大きな変化はない。台風時にも高波浪が汀線付近まで到達しないことから、海浜断面形状は比較的穏やかな波浪条件によって形成され、大きく変化することなく保たれていると考えられる。図-4には、図-3(b)に示した測線4の海浜断面の中からバームが形成されている海浜断面形状を選択し、それぞれのバーム位置を合わせて示す。図の横軸はバーム頂部の位置を原点として、バームからの距離を表している。縦軸はバームの頂部から 10m 沖側の地点の高さを原点としている。バームの沖側の勾配はほぼ 1/10 で一定である。バームの岸側でみられる大きな変動は、前述の土量変化による海浜断面の岸沖方向の移動を表している。図には示していないが、他の測線でもバームの沖側の勾配はほぼ 1/10 となっている。

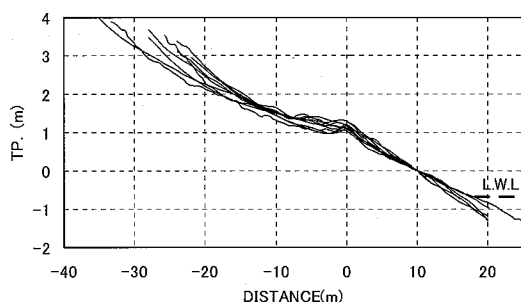


図-4 海浜断面形状の比較 (測線4)

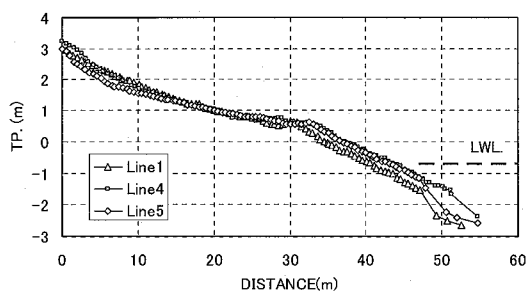


図-5 2006年4月の海浜断面形状

2006年4月の調査では、測線1, 4, 5の3本で、比較的深い範囲までの測量に成功している。図-5にこの時の海浜断面形状を示す。いずれの測線でもバームが形成されており、その高さは TP.+0.7m で測線間の差異は認められない。バームの沖側には前述の通り勾配 1/10 の斜面が形成されている。この斜面の沖側の TP.-2m 付近は、非常に急勾配で水深が急激に増加している。より深い領域までのデータが得られた測線1と5では、TP.-2.5m 付近に緩勾配斜面が見られ、急勾配斜面が局所的なものであることが分かる。2006年8月に行った測量では、測線1~6の6本で比較的深い領域までの地形データが取得できた。図-6にこの時の海浜断面形状を示す。この時も、全ての測線において TP.-2m 付近に急勾配のステップ状の地形が形成されており、図の横軸はこの地形の岸側の肩の部分の原点としている。いずれの測線においても、この斜面の勾配は 1/3 程度で高低差は 1m 前後である。2006年4月の測線1と5と同様に、ステップ状地形の沖側の勾配は緩くなっている。

海浜断面位置は岸沖方向に変動はするものの、図-5, 6に示したように季節や測線によらず、バームから沖側に向かって 1/10 勾配斜面、ステップ状地形、緩勾配斜面と続く地形が形成されることから、これが対象海岸の平衡断面であると推定される。

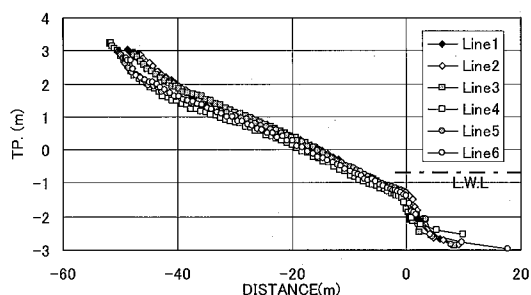


図-6 2006年8月の海浜断面形状

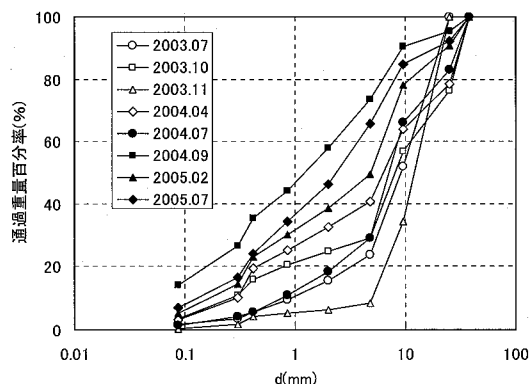


図-7 対象海岸北側の粒度分布

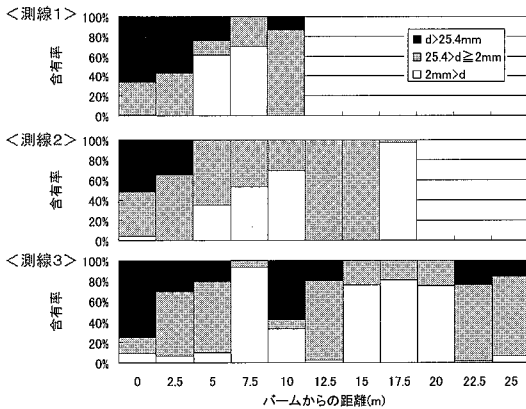


図-8 2005年9月の粒度分布

(4) 粒度分布

対象海岸の北側に位置する測線1～3において岸沖距離5～45mの広範囲で採取したすべての底質の粒度分布を図-7に示す。北側の領域では台風後に細粒化が、冬季に粗粒化が生じている。対象海岸では、夏季には北向きの沿岸漂砂によって砂が北側へ輸送されて堆積し、逆に北からの波浪が卓越する冬季には砂が南側へ戻されることで、粗粒化と細粒化を繰り返しながらも礫と砂の混合状態を保っていることが分かる。

図-8には、2005年9月に実施した調査時の測線1～3におけるバームより沖側の底質粒度分布を示している。3測線ともバーム付近は粗粒分が多いのに対して、その沖側には細粒分が多い範囲が見られ岸沖方向に分級が進んでいる。さらに沖側では再び粗粒分が多くなり、前述の勾配が1/3の地点には大きな礫も存在する。なお目視ではあるが、ステップ地形の沖側には細粒分が多いことが確認されている。粒度分布は前述の海滨断面形状と対応しており、ステップ状の急勾配斜面では粗粒分が多く存在し、その沖側の緩勾配部では細粒分の含有率が増加する。このように、各地点において粒度分布に応じた勾配が形成されることに加えて、同様の分級が年間を通じて見られることから、現地海岸で見られる岸沖方向の分級が前述の平衡断面を形成する要因となっていると考えられる。

4. 平衡断面形状の再現計算

(1) 数値計算の概要

計算には、SBEACH (Larson and Kraus, 1989) を混合粒径の考慮ができるように拡張したモデル (有光ら, 2006) を用いた。本手法は、各粒径の底質を粒径に応じた平衡勾配へ帰着するように移動させるモデルで、地形変化は粒径別漂砂量を各粒径の含有率を考慮して重ね合わせた総漂砂量から求める。計算では、現地の海滨断面

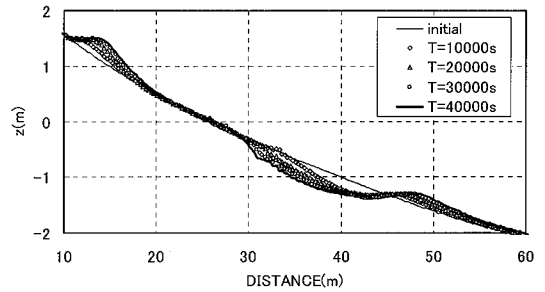


図-9 数値計算結果 (断面形状)

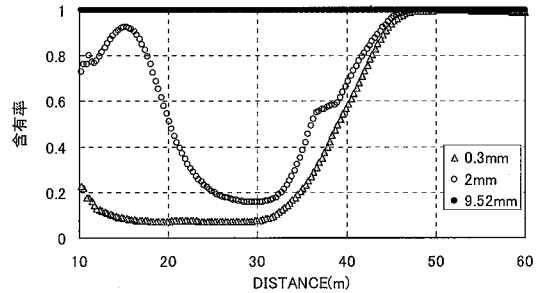


図-10 数値計算結果 (粒度分布)

形状から起伏を除いた単純な形状を初期断面とした。対象海岸では、前述の通り沖合の浅瀬上で碎波が生じるために高波浪は汀線付近まで到達しない。ここでは現地の波浪特性を考慮した波浪 ($H=1.2$ m, $T=7$ s) を入射させた。底質は $d=0.3$ mm, 2.0 mm, 9.52 mm の3成分で構成されるものとした。

(2) 計算結果

図-9に海滨断面の計算結果を示す。 $z=1.0$ m付近にバームが、その沖側に一樣勾配の斜面が形成されている。 $x=30$ m付近では侵食が生じ勾配が急になっており、さらに沖側では堆積が生じることで緩勾配が形成されている。計算では急勾配部分の水深が現地と比べると小さいが、前述の平衡断面形状を概ね表現できている。急勾配部の水深に差異が生じた原因としては、地形や粒度分布の初期条件に現地との差異があることや潮位の変動を考慮していないことなどが考えられる。

図-10に40000秒後の粒度分布の計算結果を示す。ステップ地形より岸側の範囲における粗粒化と、沖側の緩勾配部分の細粒化が表現できている。計算において、バームを含む岸側の地形は粗粒分が岸側へ移動し堆積して形成され、沖側の緩勾配部分は沖向きに移動した細粒分が堆積した結果生じている。このように粒径に応じて岸沖の両方向へ底質が移動するために、その境界付近に粗粒分で構成される急勾配斜面が生じるものと考えられる。

5. ま と め

混合砂礫海岸の平衡断面形状を把握するために、現地調査を行うとともに混合粒径を考慮できるように拡張した平衡断面予測モデルを用いて数値計算を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 対象海岸の断面形状は年間を通してほぼ一定で、形状を保ったまま岸沖方向に移動する。いずれの測線も、①汀線付近の勾配 1/10 の斜面、②その沖の 1/3 程度の急勾配のステップ状地形、③さらに沖側の 1/20 程度の緩勾配斜面から構成される。底質は勾配に応じて岸沖方向に分級しており、平衡断面を形成する要因となっていると考えられる。
- (2) 計算では、粒径毎の移動方向の差異により岸側にバームが、沖側に一様勾配斜面とステップ地形が形成され、現地と同様の特性が見られた。また、計算ではステップ地形より岸側の粗粒化と、沖側の緩勾配部の細粒化も再現された。したがって、対象海岸の平衡断面形状と粒度分布は、粒径毎の移動方向の相違によって形成されたと考えられる。

参 考 文 献

- 有光 剛・河野大輔・出口一郎(2006): 混合粒径を考慮した平衡断面予測モデルによる 2 粒径混合砂の岸沖方向分級と断面変形の計算, 海洋開発論文集, Vol. 22, pp. 439-444.
- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁(2004): 粒度組成の 3 次元変化を考慮した等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 441-445
- 佐藤慎司・田中正博・樋川直樹・渡辺 晃・磯部雅彦(2000): 混合砂の移動機構に基づくシートフロー漂砂量算定式の提案, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 486-490
- 住谷勉夫・松浦健郎・宇田高明・高橋 功・大木康弘・熊田貴之・芹沢真澄(2005): 粒度組成の平面変化を考慮した等深線変化モデルの鹿島灘海岸への適用, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 546-550
- 田中正博・井上 亮・佐藤慎司・磯部雅彦・渡辺 晃・池野正明・清水隆夫(2000): 2 粒径混合砂を用いた大型海浜断面実験と粒径別漂砂量の算出, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 551-555
- 出口一郎・有光 剛・荒木進歩・池田智大・張 永戦・河野大輔(2004): 2003 年台風 10 号の高波浪に対する 2 つの混合砂礫海岸の応答, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 496-500
- Larson, M. and Kraus N. C. (1989): SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-induced Beach Change Report 1: Theory and Model Foundation, TECHNICAL REPORT CERC-89-9