

# 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

出口 一郎\* ・ 有 光 剛\*\* ・ 荒木 進歩\*\*\*  
池田 智大\*\*\*\* ・ 張 永 戦\*\*\*\*\* ・ 河野 大輔\*\*\*\*\*

2 つの混合砂礫海岸における, 2003 年台風 10 号前後の変化を抽出し, 漂砂移動特性および海浜変形特性について検討を行った。淡路島南東の成ヶ島海岸においては顕著な沿岸漂砂が発生した。南北に伸びる成ヶ島海岸の南側の範囲の沖側では侵食を受け, 表層は礫のみとなり粗粒化が生じた一方で, 北側の領域では全域にわたり堆積が生じた。煙樹ヶ浜海岸では海岸中央付近では大きな海浜変形は生じず, 岩礁部に隣接する海岸の端部でのみ顕著な侵食が見られた。台風時の代表波浪に対する波浪変形, 海浜流, 漂砂移動量の計算により, 高波浪に対する両海岸の応答を再現し, それぞれの海岸の地形的特徴との関係について検討を行った。

## 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, 海岸侵食を防ぐことである。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。現在までに行われてきた漂砂量の定式化は, 底質を代表粒径として適用し計算を行っている。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ている砂浜海岸も多い。このような海岸では, ある特定の波浪が入射した場合, すべての底質が同じモードで移動するため, 同じ特性を持つ波浪が長時間継続して入射した場合, 一方的な侵食または堆積が発生することになる。一方, いくつかの海岸では礫から細砂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。このような海岸では, 入射波浪に対する異なる粒径の底質の移動モードは必ずしも一致せず, 長時間継続する波浪に対しても一方的に侵食や堆積が生じにくい。したがって混合砂礫海岸は均一砂で構成される海岸に比べてタフであると考えられる。しかしながら混合砂礫海岸での漂砂移動の機構はまだ十分には解明されていない。

そこで本研究では著者らが海浜地形変化および底質の篩い分けなどの調査を行ってきた混合砂礫海岸における, 2003 年台風 10 号前後の変化を抽出し, 漂砂移動特性および海浜変形特性について検討をおこなった。

## 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と和歌山県美浜町の煙樹ヶ浜において行った。図には後述する台風 10 号の経路も載せている。

成ヶ島海岸では 2001 年 9 月から 2003 年 11 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淺測量と底質調査を行っている。成ヶ島海岸への入射波浪は国土交通省によって沖の島沖で観測されている結果を用いる。台風 10 号の影響は 2003 年 7 月と 2003 年 10 月の調査結果を比較することで抽出する。一方煙樹ヶ浜では, 和歌山県および関西電力(株)により, 年 1 回の深淺測量と高波浪後の極浅海域の深淺測量, 水深 25 m までの範囲において 5 年間隔で, 汀

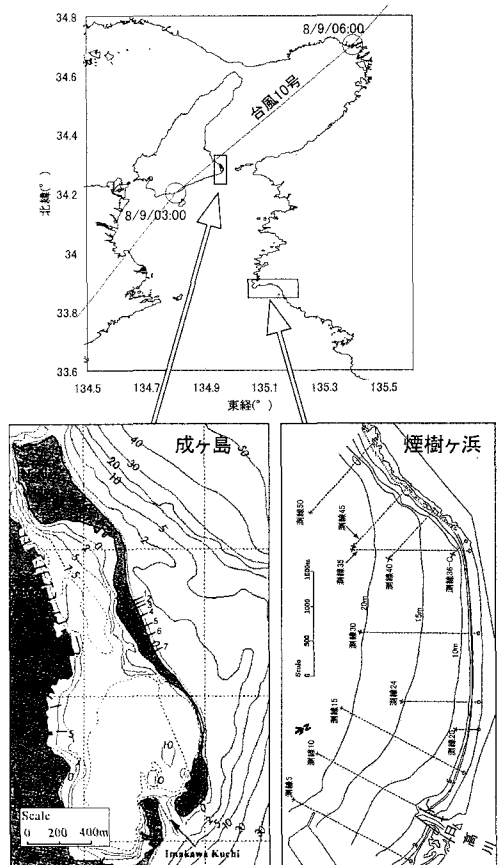


図-1 現地実測対象海岸と台風 10 号の経路

\* 正会員 工 博 大阪大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻  
\*\* 正会員 工 修 関西電力株式会社 電力技術研究所  
\*\*\* 正会員 博(工) 大阪大学講師 大学院工学研究科土木工学専攻  
\*\*\*\* 正会員 工 修 中央コンサルタンツ株式会社  
\*\*\*\*\* 理 博 大阪大学 大学院博士研究員  
\*\*\*\*\* 大阪大学 大学院工学研究科土木工学専攻

線付近では年1回の底質調査が行われている。著者らも2003年9月から汀線方向100~200m間隔で設置した17本の測線での深淺測量と底質調査を開始した。台風10号の影響は、2002年2月に和歌山県によって行われた深淺測量結果と、2003年9月に著者らが行った調査を比較することで抽出する。なお測線36以西の範囲については2003年6月と8月に関西電力(株)によって行われた深淺測量結果の比較から抽出する。煙樹ヶ浜への入射波浪については、関西電力(株)によって御坊沖で観測されている記録を用いる。

### 3. 対象海岸の海浜変形特性

#### (1) 成ヶ島海岸の特性

成ヶ島海岸は砂と礫から構成され、代表的な礫としては $d=25.4\text{ mm}$ 以上の中礫や $d=9.52\text{ mm}$ 程度の細礫が存在している。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、平たくなっているものが多い。砂は $d=0.42\text{ mm}$ の細砂が大部分であり、小礫や粗砂はあまりみられない。これまでの調査(三ツ石ら, 2003; 吉田ら, 2002; Arakiら, 2003)の結果、成ヶ島海岸での沿岸漂砂は北から南、または南から北への移動を繰り返していることが分かっている。すなわち一方的に侵食や堆積が起こっているのではなく、長期的に安定した海岸であると考えられる。また侵食過程において離岸方向へ移動するのは細砂のみで、礫は向岸方向へ移動、もしくは移動せず、その結果汀線付近で相対的に粗粒化が起こることが分かっている。

#### (2) 煙樹ヶ浜の特性

煙樹ヶ浜は全長約4.5 km、幅0.7 km~1 kmの海岸で、汀線付近は礫が打ち上げられ、バームが海岸に平行に発達している。底質は水深5 m以浅では $d=10\text{ mm}$ 以上、水深10 m以深は $d=0.2\text{ mm}$ 程度と岸沖方向に分級が進んだ海岸であり、汀線付近の底質は $d=10\sim 30\text{ mm}$ 程度である。

図-2に煙樹ヶ浜で最も変動が大きいと言われている西端部における汀線位置の変化を示す。20 m程度の変動はあるが一方的な前進や後退は見られない。1995年の2月、7月、9月、12月に、8本の測線において水深5 m間隔で25 mまでの6地点の底質の粒度分析を行った。日高川に近い測線の汀線付近では、2月以降7月までは河川からの砂の供給により細粒化が生じ、その後9月、12月にかけて粗粒化が進み、底質の構成に季節変化が見られた。同じ測線でも水深5 m以深では常に砂とシルトのみが存在し、季節変化は見られなかった。一方日高川から最も遠い測線では、1年を通して汀線付近では礫、水深5 mでは粗砂と細・中礫の混合、水深10 m以深では砂であり、どの水深においても季節変化は見られなかった。

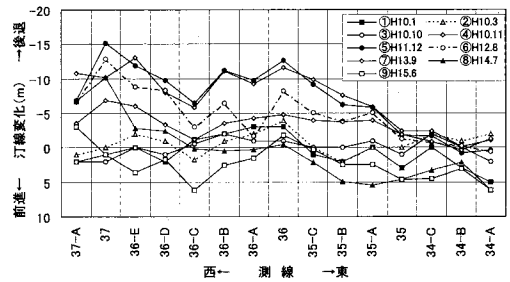


図-2 煙樹ヶ浜西端部の汀線変化

### 4. 台風来襲時の海浜変形

#### (1) 来襲波浪特性

太平洋沖合で発生した台風10号は、強い勢力を保ったまま8月8日22時に室戸岬付近に上陸した。翌日未明に徳島県を通過した台風10号は、いったん海上に出て淡路島を通過し、その後本州を縦断した。この台風は中心最低気圧945 hPa、最大瞬間風速40 m/sを記録している。この台風の影響で、対象とした2つの海岸は8月7日から9日にかけて高波浪の来襲を受けた。図-3に沖の島の波浪観測および洲本港での潮位観測と、御坊沖での波浪・潮位観測のデータを示す。横軸の原点は8月7日の0時である。沖の島および御坊沖で観測された最大有義波高は、それぞれ $H_{1/3}=5.8\text{ m}$ と $H_{1/3}=8.2\text{ m}$ であった。

#### (2) 高波浪に対する成ヶ島海岸の応答

図-4は2003年7月28日と2003年10月8日に観測した測線1~7の海浜断面を各断面における最高、最低潮位とともに示したものである。台風10号の影響により、10月の測線1~3では著しい堆積が見られる。これらの測線においては、全体的に40 cmから100 cmほどの堆積しており、顕著なところでは地盤高さが123 cm

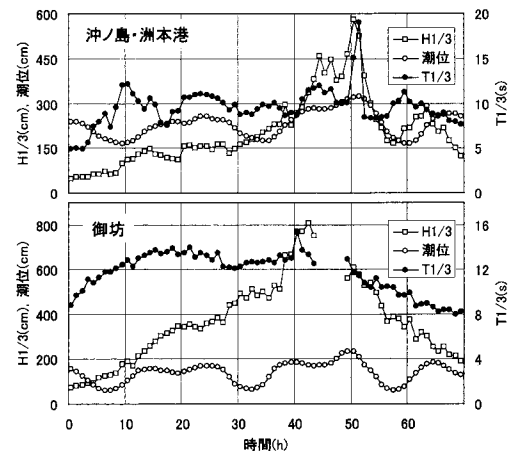


図-3 台風10号の海象条件

も変化していた。一方測線4~7では汀線より沖側で大きな侵食が見られ、特に測線6の沖では90cmも地盤高が下がっている。測線1~3の堆積と測線4~7の侵食より、2回の測量の間に南から北への沿岸方向の砂の移動が起こったと考えられる。全体的に岸側に設けた基準点近くまで地形変化が見られることから、台風10号の影響は観測地点全域に及んでいると考えられる。

図-5では上段に表層の粒度分布の割合を下段に海浜断面変化を載せ、測線2の7月と10月の比較を行っている。20m地点では7月には小さな礫の割合が多かったが、10月には大きな礫が存在していた。22.5m~25mの範囲でも、7月には砂の割合が多かったが10月には20m地点と同様に大きな礫が分布しており、粗粒化がみられる。それより沖側では、10月には7月に比べて砂や粒径の小さな礫の割合が増加しており、細粒化していた。

図-6は測線2における各地点の10月の鉛直方向粒度構成を示したものである。5m地点では表層に細砂が存在しており、その下は10m地点と同様で細砂と粗礫の存在する広い粒度分布となっていた。15mから22.5m地点では表層は礫に覆われていたが、その下はいずれも広い粒度分布を示していた。

このように通常時には波浪の影響が小さいと考えられる汀線より岸側約10mの範囲では、表層には礫の分布が目立つがその下には広い粒度構成の底質が存在しており、台風10号による高波浪によって砂が巻き上げられると同時に、外力が大きいため礫も移動してこの地点に堆積したと考えられる。それより沖側の範囲では、台風が通過した後の通常の波の作用により汀線付近と沖側で分級作用が起きたと考えられる。

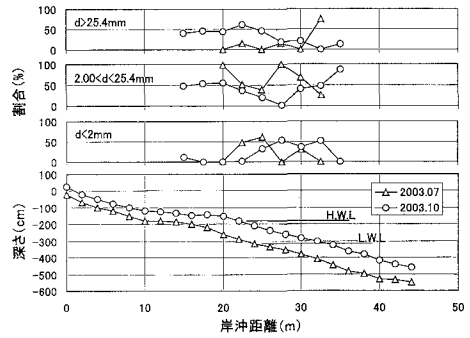


図-5 断面地形と表層粒度分布変化 (測線2)

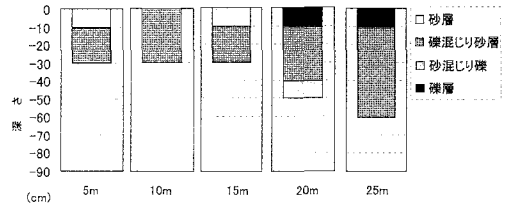


図-6 鉛直粒度分布 (測線2)

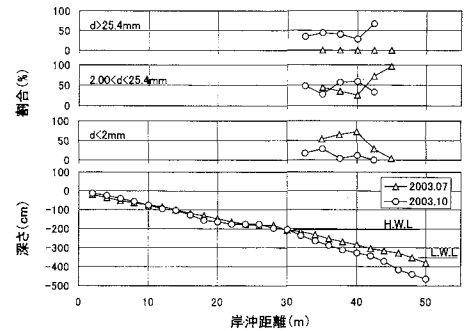


図-7 断面地形変化と表層粒度分布変化 (測線6)

図-7は、測線6について図-5と同様の図を示し、7月と10月との比較を行ったものである。32.5m~40mの範囲では7月には細砂の割合も多かったが10月には粗礫の割合が増加し、粗粒化した。このことから、この範囲では7月に表層に存在していた砂が流失したために大きな侵食が起こったと考えられる。

以上のことから成ヶ島海岸においては、台風前に南側に位置する測線5~7に存在していた砂が、台風の影響で生じた沿岸方向の漂砂移動により北側の測線1~3に移動し、その結果海岸の北側で著しい堆積が生じたと推測することができる。

(3) 高波浪に対する煙樹ヶ浜の応答

対象海岸中央部の測線のうち代表的な測線24の断面を図-8に示す。海岸の中央部より東側では、高波浪来襲にもかかわらずほとんど地形変化が生じていない。中央部付近では2002年2月と比較して最大2mもの堆積が

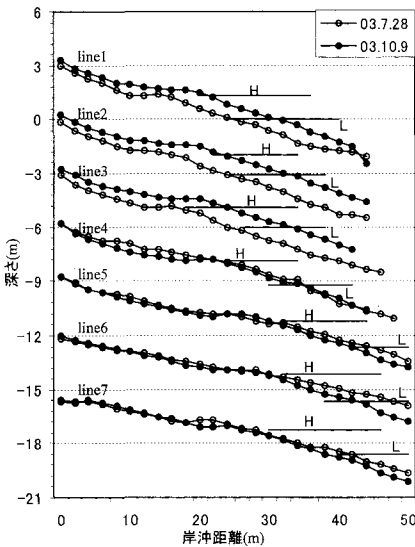


図-4 断面地形変化7月~10月

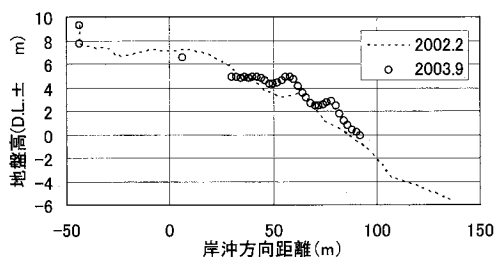


図-8 断面地形変化 (測線 24)

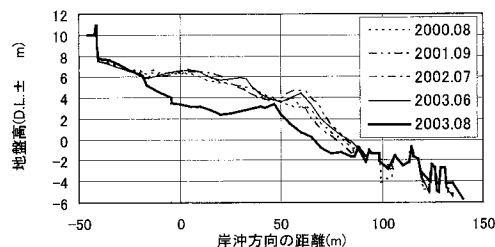


図-9 断面地形変化 (測線 36-C)

生じている。またこの区間のすべての断面ではバームが2つ存在し汀線では急勾配になっている。これらのバームを含めた汀線付近の底質は全て礫で構成されている。礫の量からこの領域における汀線付近の地形変化は全て礫によって起こると考えられる。

図-9に西端部の代表的な断面として測線36-Cの地形変化を示す。図には台風前後の断面とともに、2000年8月から2002年7月の間に測量された3断面も示している。台風前までは侵食や堆積を繰り返しており、平衡断面であったと考えられる。ところが台風通過後の2003年8月では大きく侵食されている。測線36より西側では全ての測線で同様の傾向が見られる。このように煙樹ヶ浜では、台風10号の高波浪により海岸の西端部がこれまでの変動幅を大きく超えて侵食され、その土砂が東隣の領域へ移動し、堆積した可能性が高い。

## 5. 漂砂移動量に関する数値計算

### (1) 数値計算の概要

両海岸における高波浪時の応答を再現するために、漂砂移動に関する数値計算を行った。計算領域は成ヶ島海岸については沿岸方向2490m、岸沖方向3900mの範囲、煙樹ヶ浜については沿岸方向5500m、岸沖方向2270mの範囲とした。沖側境界で波浪条件を与え、波浪場の推定には非定常緩勾配方程式を、海浜流の計算には波平均流保存則、地形変化は個別に算出した掃流砂濃度と浮遊砂濃度を用いて算定した。

### (2) 成ヶ島海岸の再現計算

図-10に、成ヶ島を対象に沖側の境界から波高4m、

周期6sの波を、境界に直角な方向より時計回りに45°の方向から入射した場合の、海浜流ベクトルと1分あたりの水深変化量を示す。高波浪が来襲した場合には沖合に南側から伸びている水深2m以下の砂州上で碎波し、南から北へ向かう強い海浜流が生じ、砂州の大規模な変形が生じる。この時、汀線付近での入射波、海浜流は微弱である。また台風による潮位上昇を考慮し水深を1m上昇させて計算を行うと、沖合では南から北へ向かう強い流れが生じ、汀線付近では図-11に示すように、水深-1mまでの領域で微少ではあるが水深変化が生じた。

以上のことから台風10号来襲時の潮位上昇により南から北へ向かう強い流れが生じた結果、砂州付近にあった砂が北へ運ばれた可能性がある。しかしながら汀線付近における変形は沖合の砂州における砂の移動より後に生じるため、砂州での変形後の地形を正確に把握した上で汀線付近の漂砂移動を再現することが今後の課題である。

### (3) 煙樹ヶ浜の再現計算

図-12は煙樹ヶ浜を対象として、沖側の境界から波高6m、周期13sの波を境界に直角な方向から反時計回りに15°の方向から入射させた時の海浜流と、底質粒径を5mmとした時の1分間の水深変化量の計算結果である。図は海岸の西端部の沿岸方向3300m、岸沖方向1560mの範囲を抽出している。この波向は台風通過時の高波浪の波向と一致している。海岸の中央部付近では海浜流はほとんど発生しないのに対して、沿岸方向に4000m～5000mの範囲の汀線付近においては、図中右上から左下へ向かう流れが大きい。これは波向から予想される流れの向きとは異なる方向である。

沖側境界に対して直角な方向や、直角な方向から時計回りに15°の方向から入射させた場合にも4000m～5000

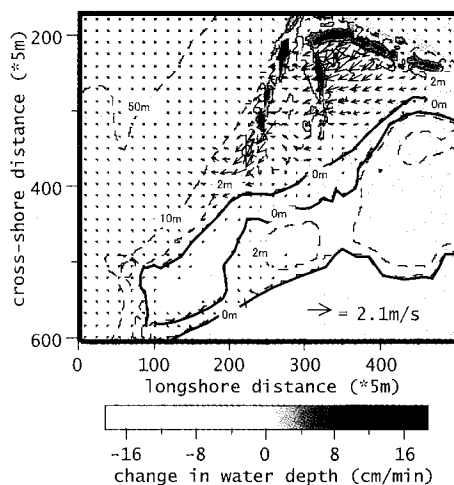


図-10 海浜流と水深変化量

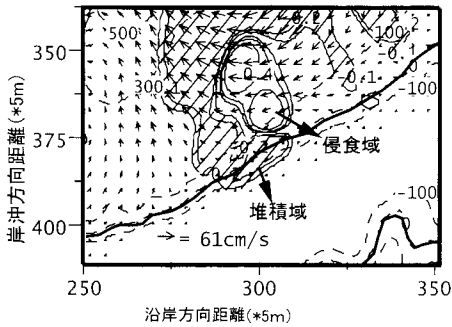


図-11 汀線付近での海浜流と水深変化量

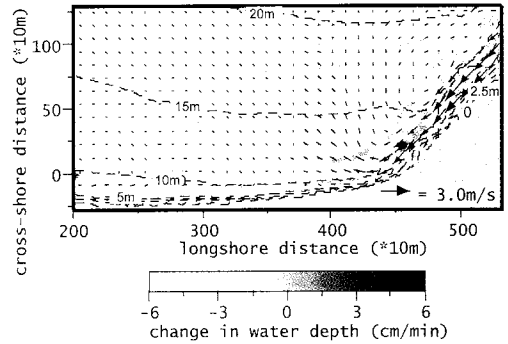


図-12 海浜流と水深変化量 (反時計回りに 15°)

mの汀線付近では、図中右上から左下への強い流れが生じている。このように波向に関わらず、地形の影響により海岸内側へ向かう流れが発生することは、対象海岸が外洋に面し高波浪の来襲を受けながらも長期的に安定している原因のひとつと考えられる。

水深変化の計算結果では、対象海岸の中央付近では大きな水深変化が生じていないのに対して、4500 m付近では地形変化が大きい。これは現地での地形測量でも、海岸中央付近では大きな地形変化がなかったのに対して、測線37付近で著しい侵食があったことと一致している。

## 6. 結 論

本研究では、2003年台風10号の来襲前後の現地調査と、その時の変化の再現を試みた数値計算から、二つの安定した混合砂礫海岸における台風の影響について検討を行った。主な結論を以下に示す。

(1) 成ヶ島海岸では、南側に位置する領域の沖側で侵食を受け、表層は礫のみとなり粗粒化が生じた。一方北側の領域では全域にわたり堆積が生じた。両領域の間では全く断面形状は変化せず、粒度分布も顕著な変化がなかった。

(2) 煙樹ヶ浜では、東端から約3 kmの範囲では大部分の海浜断面がほとんど変化していなかった。しかし西端部の岩礁に隣接する範囲では最大2 m程度の侵食を

受け、大量の土砂が消失していた。侵食の起こった範囲の東側では陸上部において0.5 mほどの礫の堆積が生じた。

(3) 両海岸の台風時の代表波浪に対する波浪変形、海浜流、漂砂移動量の計算を行った。成ヶ島では通常時の水位で計算を行うと、汀線付近での流れや漂砂移動は微弱であった。台風による1 mの水位上昇を考慮すると、南から北に向かう強い流れが計算され、汀線付近での漂砂移動が生じた。一方煙樹ヶ浜では沖側の緩勾配部での屈折などにより、汀線沿いの大部分でほとんど海浜流が発生しないのに対して、西端部では東向きの強い沿岸流が形成され、これにより大量の土砂が東に輸送されることが分かった。

## 参 考 文 献

三ツ石勉・池田智大・出口一郎・荒木進歩 (2003): 混合砂礫海岸における底質の分級と海浜変形, 平成15年度関西支部年次学術講演会講演概要, pp. II-104-1-2.  
 吉田英治・荒木進歩・出口一郎・池田智大 (2002): 混合砂礫海岸における底質の分級と断面変形, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 461-465.  
 Susumu Araki, Ichiro Deguchi, Tomohiro Ikeda and Tsutomu Mitsuishi (2003): Field Measurement on Sorting of Bed Material and Topography Change on Mixed Grain Size Beach, Proc. of the 2nd International Conference of APAC (CD-ROM).