

植生による飛砂の捕捉効果

中西 宏彰* 宇野 宏司**

Effect on Trapping the Blown Sand by Vegetation

Hiroaki NAKANISHI* Kohji UNO**

ABSTRACT

Some of the natural beaches in the Seto Inland Sea are expected to have a key role as shore protection facility. However, temporal - spatial variation of topography change and sediment property on the beach surface and trapping effect of blown sand by vegetation are still not well understood. In this study, laboratory the experiments and field observations in the Narugashima Island in the vicinity of AWAJI Island in Japan were carried out. In the laboratory experiments, it is clarified that the greater density of vegetation has a beneficial effect on trapping the blown sand. On the other hand, in the field observation, we confirmed the vegetation growing in the vicinity of back beach affects on the sediment transport and local topography change. This is a similar trend observed in laboratory experiment's results.

Keywords: vegetation, trapping effect, sediment transport, field observation, seasonal variation

1. はじめに

兵庫県・淡路島沿岸において「淡路沿岸海岸保全基本計画」が2002(平成14)年8月に策定され、「人と自然が創り出す21世紀のくにうみ神話」「生命を守り・育む 花と緑あふれる海辺の創造」をテーマに海岸整備が進められている⁽¹⁾。

本研究で対象とする成ヶ島は、淡路島南東部に位置する砂嘴状の島で、その形状から「淡路橋立」と言われ、瀬戸内海国立公園の一部に指定されている。本島はハマゴウ(*Vitex rotundifolia* L. fil.)、ハマウツボ(*Orobanche coerulescens* Steph.)、アイアシ(*Phacelurus latifolius* (Steud.) Ohwi)、オカヒジキ(*Salsola komarovii* Iljin)などの貴重な海浜植生の生育場となっているほか、アカウミガメの産卵地にもなっている。人工的な海岸線が多く存在している淡路島において、本島東岸は貴重な自然砂浜であり海岸保全施設としての役割が期待されている。しかしその時空間的な動態については十分に把握されていない。

このような背景を踏まえ、本研究では海浜植生群落が底質移動や局所的な地形変化に及ぼす影響を現地調査及び室内実験により定量的に把握することを試みた。

2. 調査方法

2.1 底質粒径の算出方法 砂浜における平均粒径や粒度分布等の底質特性の把握については、通常現地で採取したものを実験室に持ち帰り、ふるい試験を実施するという手順がとられる。しかしこうした従来の調査方法では多大な労力と時間を要するため、調査域を縮小したり、サンプリング間隔を粗にしたりする必要があり、海岸底質の詳細な時空間変動を把握することは困難であった。

しかし近年、光学技術の目覚ましい進歩により、市販のデジタルカメラでも高画質の写真画像が得られるようになり、これを利用した底質粒径の計測が提案されている⁽²⁾。

本研究では、Rubin⁽³⁾らが提案する、画像の空間的統計特性を考慮して平均粒径を算出する手法を用いて平均粒径を算出した。

本手法はまず、あらかじめ粒径のわかっている単一粒径からなる検定曲線用の底質サンプルを複数用意する。本研究では、底質(粒径0.075~53mm)を18階級にふるいわけ、底質サンプルとした。次に各サンプルを表-1に示す条件で、デジタルカメラ(COOLPIX P6000, Nikon社)を用いて撮影し、得られた各画像をもとに、基準となる矩形領域の輝度値と、その矩形領

* 専攻科 都市工学専攻

** 都市工学科 准教授

表-1 撮影条件

項目	設定条件
撮影距離(本体～底質表層)	33cm
画像サイズ	3264x2448pixels
撮影モード	フラッシュ撮影

表 2 実験ケース

実験CASE	擬似植生設置位置	擬似植生格子間隔
CASE1	上流側100cm	12mm
CASE2	下流側100cm	12mm
CASE3	上流側100cm	4mm
CASE4	下流側100cm	4mm

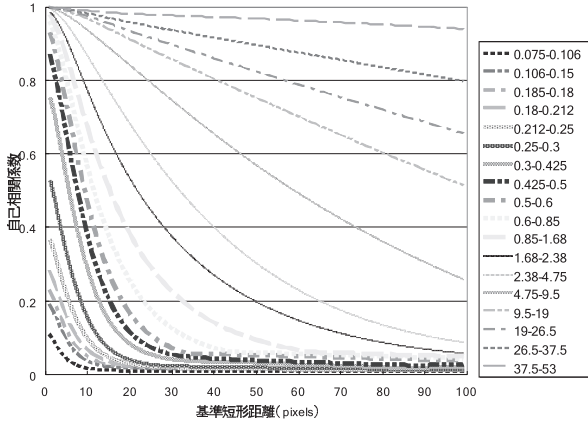


図-1 粒径別検定曲線

域から距離kだけ離れた同サイズの矩形領域の輝度値との空間的自己相関係数を式(1)で算出した後、粒径別の検定曲線を作成した。

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

ここに、 x_i, y_i : 矩形領域内の画素 i での輝度値、 \bar{x}, \bar{y} : 矩形領域内の平均輝度値である。

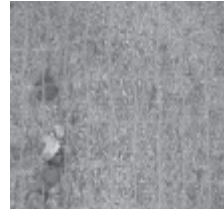
図-1 に得られた検定曲線を示す。これらの検定曲線は、サイズの異なる単一粒径から得られたものであるため、検定曲線どうしが交差することはない。

しかし現地で撮影した表層写真は混合粒径であるため、複数の検定曲線と交差することがある。このような混合粒径に対しては、複数の粒径が線形的に輝度分布に影響しているものとし、式(2)で示される線型方程式を解くことにより、平均粒径を算出した。

$$\begin{aligned} a_{(1,1)}x_1 + a_{(1,2)}x_2 + \dots + a_{(1,m)}x_m &= b_1 \\ a_{(2,1)}x_1 + a_{(2,2)}x_2 + \dots + a_{(2,m)}x_m &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{(n,1)}x_1 + a_{(n,2)}x_2 + \dots + a_{(n,m)}x_m &= b_n \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 $a(k, j)$: 画素間距離 k, j 番目の粒径の空間的自己相関係数 (検定曲線)、 x_j : j 番目の粒径が含まれる割合、 b_k : 画素間距離 k における自己相関係数 (サンプル画像) である。なお、式 (2) では、 x_j のみが未知数となり、非負条件を有する最小二乗法⁽⁴⁾により決定することができる。

格子間隔 12mm



格子間隔 4mm

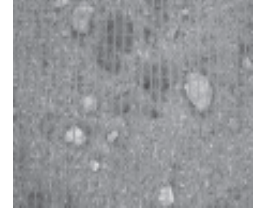


図-2 使用した擬似植生(園芸用ネット)

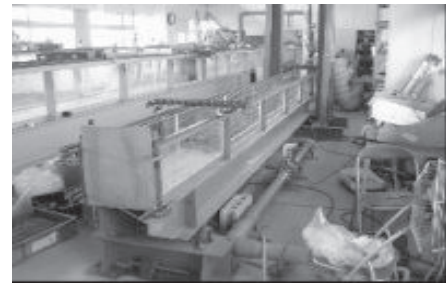


図-3 風洞実験装置

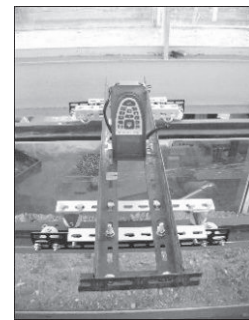


図-4 レーザー距離計 (DTST0A6, ライカ)

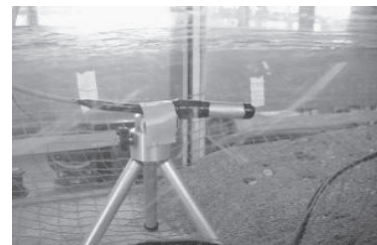


図-5 飛砂量測定機器 (UD101, (有)中央工測)

2.2 室内実験 飛砂による海浜地形変化とそれに対する植生の影響を検討するために、擬似植生(園芸用ネット)(図-2)を用いた室内実験を行った。風洞(縦

60cm, 横 60cm)(**図-3**)内の上流端に送風機を設置し, 区間 200cm の移動床を設け 30 分間の通風試験を行った. 通風前後で, 風洞天端からの距離をレーザー距離計(DTSTOA6,ライ P)(**図-4**)で測定し, 地形計測を実施した. 各実験では下流端に飛砂量測定機器(UD101, 中央工測)(**図-5**)を設置し, 植生の密度の違いによる飛砂量の変化を調べた. **表-2**に実験ケースを示す.

2.3 現地調査 2010年3月～2011年8月にかけて, 淡路島・成ヶ島東岸砂浜に広がる砂浜(岸沖方向 30m, 沿岸方向 750m)において以下の現地調査を実施した.

【沿岸方向 Line 調査】沿岸方向に4本の Line(Line-1: 汀線直上～Line-4: 海浜植生生育境界付近)を設置し, 各 Line 上 10m 間隔で表層底質の写真撮影を行った. **図-6**に調査 Line(沿岸方向)を示す. 取得した画像に対し, **2.1**に記述した方法によって各画像の平均粒径を算出した. 各撮影点には歩測により移動し, 携帯型 GPS(GPSmap60CSx, GARMIN 社)を用いて位置情報を記録した.

【岸沖方向 Line 調査】岸沖方向に3本の Line を設置した. **図-7**に調査 Line(岸沖方向)を示す. 各 Line 上では 2m 間隔で地盤高の測定と平均粒径算出のための表層底質の写真撮影を行った. これらの写真画像を用い, **2.1**に記述した方法によって各画像の平均粒径を算出した. また測定した地盤高により, 毎月の地盤高の変化をとらえた. なお, 各月に得られた観測値を比較するため, 観測点を用いて領域を三角形要素分割⁽⁵⁾, 空間的な重み付けにより定点での値を算出した.

3. 調査結果

3.1 室内実験 **図-8**に格子間隔 12mm の擬似植生を用いた室内実験の地盤高の空間分布図を示す. **図-9**に格子間隔 4mm の擬似植生を用いた室内実験の地盤高の空間分布図を示す. 移動床 200cm のうち, 上流側 100cm に擬似植生を設置した CASE1 と CASE3 を比較すると, 格子間隔の小さい擬似植生を用いた CASE3 の方が侵食範囲が小さく, 下流側に堆積する傾向が強く見られた. また移動床 200cm のうち, 下流側 100cm に擬似植生を設置した CASE2 と CASE4 を比べると擬似植生を設置した範囲全体で堆積傾向が強かった.

図-10に飛砂量測定機器で得た各 CASE の飛砂量の時間変化を示す. 飛砂量を比較すると, 格子間隔の小さい擬似植生を用いた CASE の方が飛砂量は低減されており, 植生による飛砂の捕捉効果が大きいことがわかった.



図-6 調査 Line(沿岸方向 Line)



図-7 調査 Line(岸沖方向 Line)

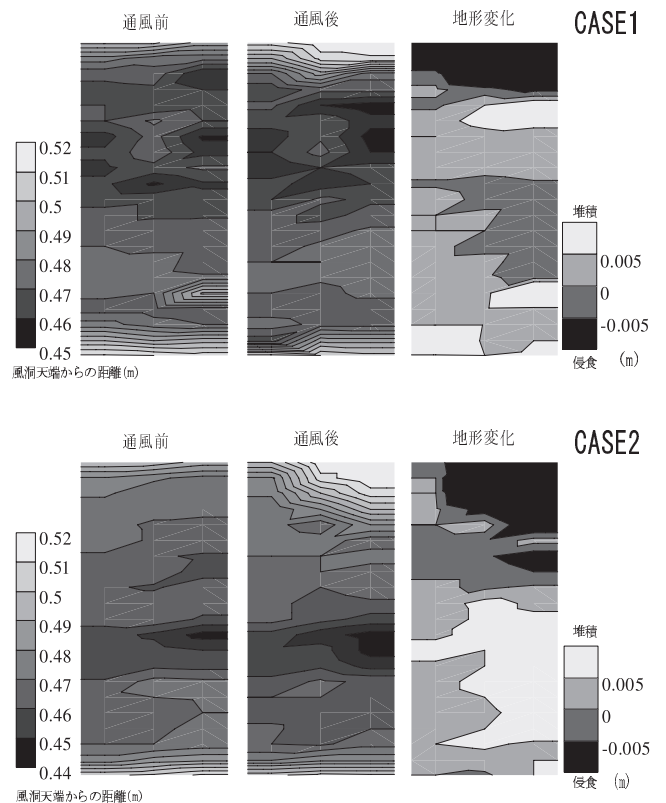


図-8 地盤高の空間分布図(擬似植生 12mm)

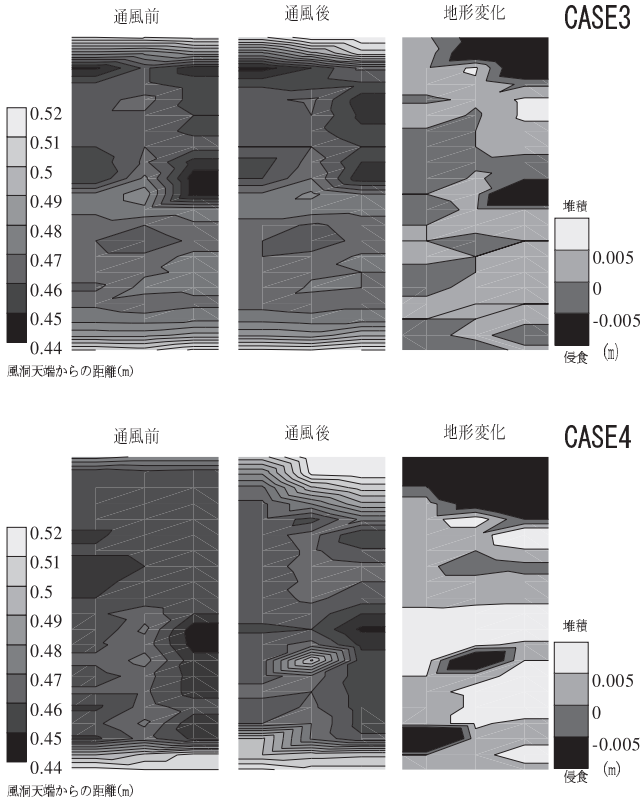


図-9 地盤高の空間分布図(擬似植生 4mm)

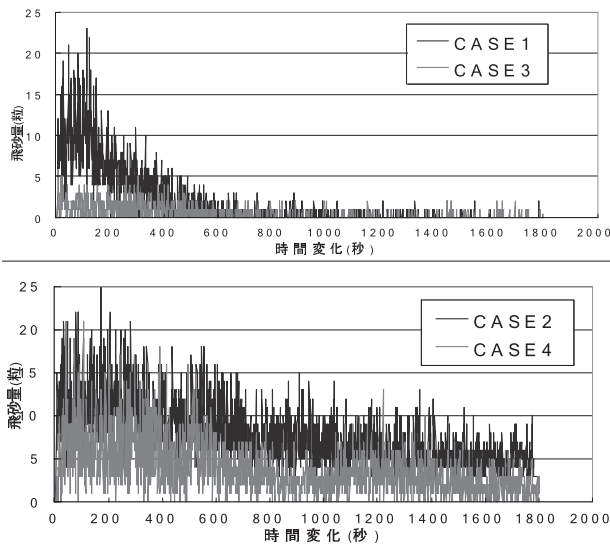


図-10 飛砂量測定機器で得た飛砂量の時間変化

3.2 沿岸方向 Line 調査 図-11 に定点での平均粒径の空間分布の推移を示す。夏季(7月, 9月)から秋季(11月)にかけて汀線付近で細粒化する傾向が見られた。特に海岸の北側では広い範囲で細粒化していることがわかる。

一方, 秋季(11月)から冬季(1月, 3月)にかけては, 冬季の強い波浪により汀線付近で粗粒化する傾向が見られただけでなく, 岸側でも粗粒化する傾向が見られ

た。これは夏季では植生により細砂が捕捉され, 表層に大きな変化は見られないが, 冬季になりこれらの植生が枯死するため, 捕捉効果が低減され粗粒化しやすくなるものと考えられる。冬季(1月, 3月)から春季(3月)にかけては, 全体的には細砂の堆積傾向が見られた。

2011年7月19日に接近した大型で強い勢力の台風1106号は四国各県や近畿南部に大きな被害を与えた。これらの地域は長時間にわたり大雨と暴風に見舞われた。図-12と図-13に淡路島・洲本での2011年5月~7月の風の出現頻度分布, 風速の時間変化を示す。台風が接近した7月19日に南方向からの強い風が発生していたことがわかる。この時に発達した風波により成ヶ島東岸砂浜の表層底質は前後の調査で大きく変化していることが確認された。局所的にみると, 海岸北側では粒径の粗い砂礫の堆積がみられ, 南側には細砂が広く堆積していることが認められた。植生が繁茂する岸側にも大きな影響があり, 広い範囲で粗粒化していることが認められた。

3.3 岸沖方向 Line 調査 図-14に各ラインにおける汀線, 海岸の中央地点, 植生が繁茂している付近の平均粒径の時間変化を示す。植生が繁茂している付近では1年間で平均粒径に大きな変化はみられないが, 海岸の中央地点や汀線付近の平均粒径には季節変化が見られる。

変動係数はデータの大きさや単位に関係なく各データ間の分布のばらつきなどを示すのに用いる統計値である。本研究ではラインごとに次式で算出した。

$$c.v. = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\bar{x}} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2) - \bar{x}^2 \quad (5)$$

ここに, c.v.:変動係数, σ^2 :標準偏差, $x_1 \cdot x_2 \dots$:各月の測定値, \bar{x} :各月の測定値の平均値である。

図-15に各地点の変動係数の時間変化を示す。植生の繁茂している地点では海岸の中央地点や汀線付近に比べ, 変動係数の変化は小さいことがわかる。また冬季においては各地点とも, 変動係数の変化が大きいことがわかり, 夏季から秋季や春季は変化が小さいことが認められた。

図-16に最北端ライン, 最南端ラインで測定した地盤高さの季節変化を示す。岸沖方向距離(横軸)0m地点は植生が繁茂している岸側を示しており, 汀線に向かっての断面変化を表している。砂浜北端部で夏季(9月, 11月)から冬季(1月, 3月)にかけて10m~15m地点で大きく侵食されており, 冬季の強い波浪の影響による

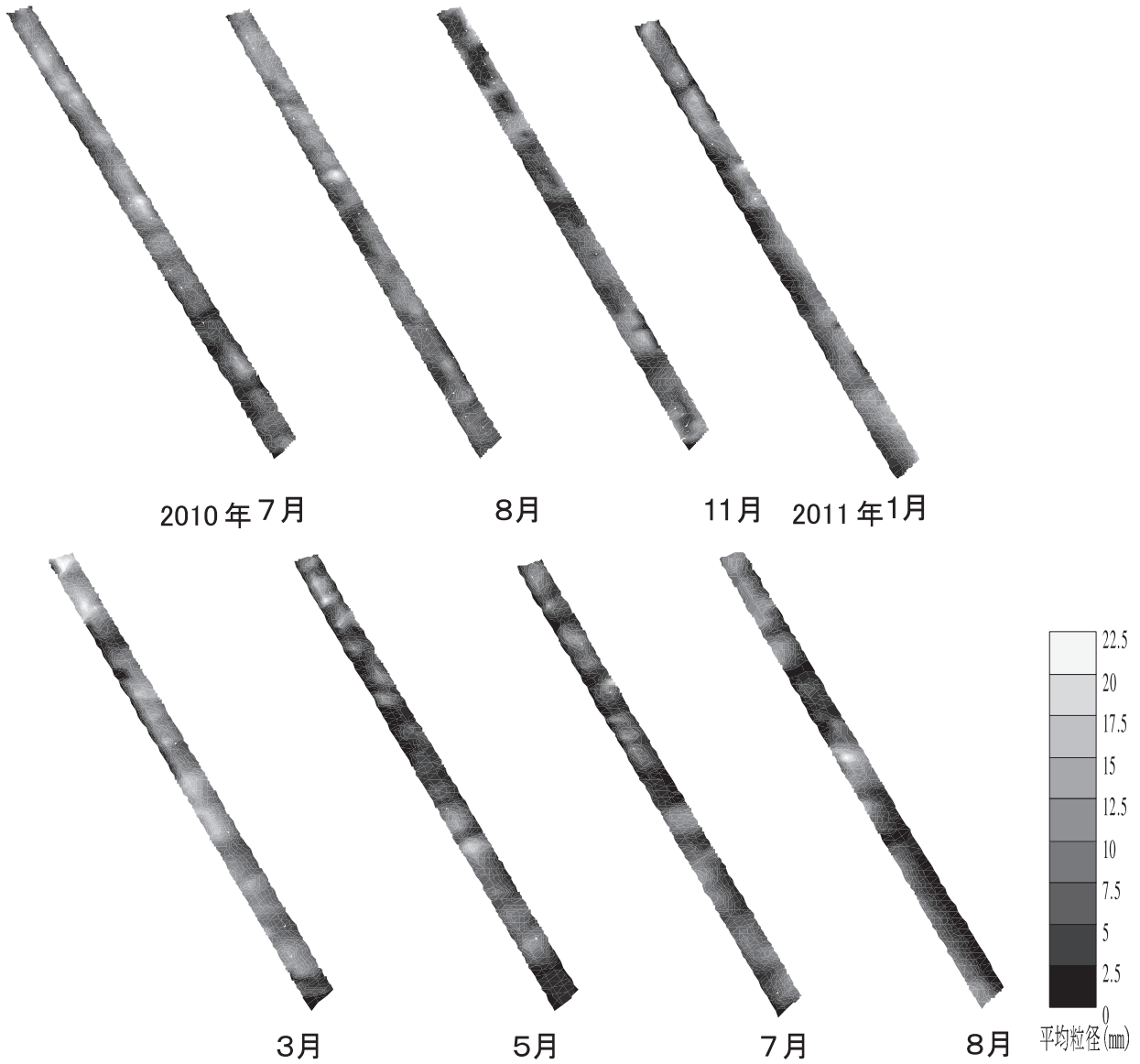


図-11 平均粒径の時空間変化

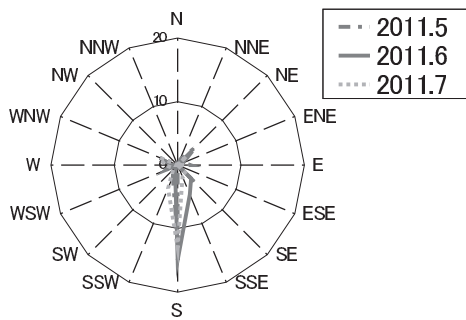


図-12 頻度分布図

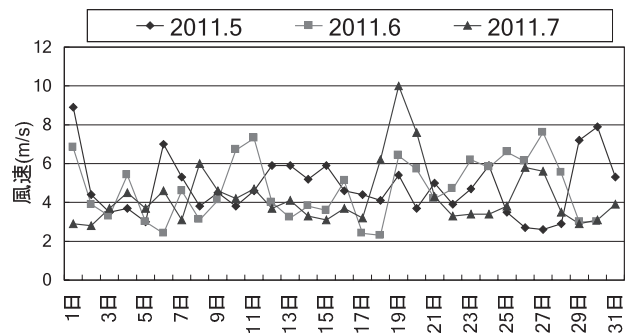


図-13 風速の時間変化図

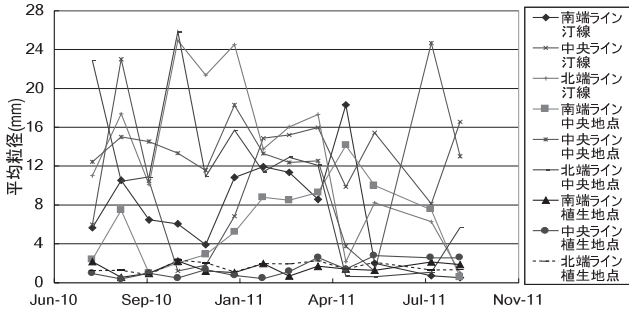


図-14 各地点の平均粒径の時間変化

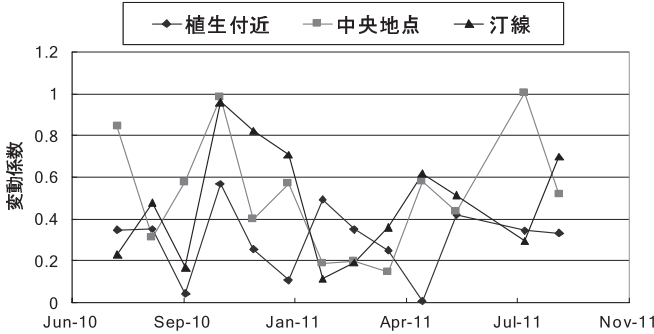


図-15 各地点の変動係数の時間変化

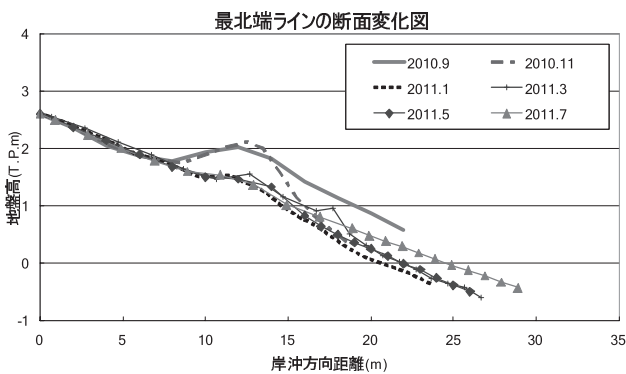
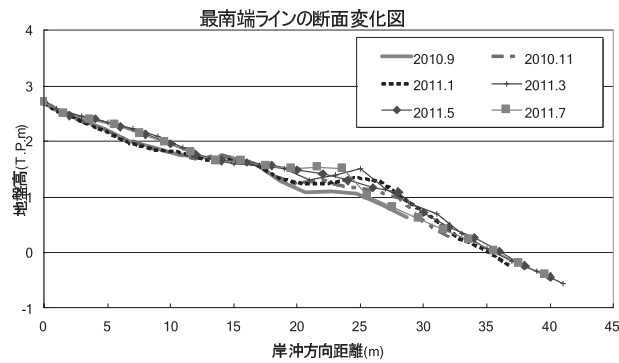


図-16 断面変化の季節変化

ものと推測される。一方、春季から翌年の夏季にかけては、大きな断面変化はみられず、波の影響は小さかったことがわかる。また夏季に植生が繁茂する岸側では汀線や砂浜中央部に比べ、断面変化が小さいということがわかった。本調査結果からも植生による細砂の捕捉効果が大きいということが示唆された。

4. まとめ

淡路島・成ヶ島東岸砂浜における現地調査により以下のことがわかった。

- 冬季から春季にかけての強い波浪により、全体的に細砂の堆積傾向が見られた。また表層底質は台風の影響により、大きく変化することが示唆された。
- 植生が繁茂している付近では平均粒径に大きな変化はみられず、海岸の中央地点や汀線付近と比べ変動係数の変化は小さいことが確認された。
- 冬季の強い波浪により、砂浜の断面は大きく変化し、侵食傾向がみられた。一方、夏季は、波浪が穏やかなので、大きな断面変化はみられなかった。現地での植生が繁茂している陸側は大きな地形変化がみられず、植生による細砂の捕捉効果が示唆された。
- 室内実験の結果でも植生による飛砂の捕捉効果が証明され、現地の結果と同様の傾向が確認された。

参考文献

- (1)兵庫県 <http://web.pref.hyogo.lg.jp/index.html>
- (2)宇野宏司・濱森彩・辻本剛三・柿木哲哉：デジタルカメラ画像を用いた淡路島・成ヶ島における底質環境モニタリング，土木学会論文集. B2, 海岸工学 66(1-1),pp 676-680, 2010.
- (3)David M. Rubin : A simple autocorrelation algorithm for determining grain size from digital images of sediment, Journal of Sedimentary Research, Vol.74, No.1, pp.160-165, 2004.
- (4)Lawson , C.L. ・Hawson , B.J.:Solving Least Squares Problems : Eglewood Cliffs , New Jersey , Prentice-Hall , 340p , 1874.
- (5)谷口健男：FEM のための要素自動分割—デローニ三角分割法の利用—，森北出版，198p，1992.