

◆ 生態環境特集 ◆

海岸植生と砂浜の地形変化

加藤史訓* 佐藤慎司**

1. まえがき

砂浜海岸では、ハマニンニクなどの海岸植生の最前部に境に海浜勾配が変化したり、植生のあるところが周辺より高くなっていたりするなど、植生が地形に何らかの影響を及ぼしている。それは、海浜上の海岸植生が週上波による砂移動に影響するとともに、飛砂量が最も多い表面付近の風を低減し、砂の一部を捕捉する機構と考えられる。

飛砂が捕捉されて形成される砂丘は、高波浪時に堤防として機能するとともに、背後地への砂の流失を防ぐことから、防災上その保全が必要である。砂丘の安定に植生が不可欠であることや植生の捕砂・留砂機能により海浜形状に違いが生じることから指摘されており^{1),2)}、海岸植生の適切な管理が重要である。しかし、海岸植生の地形変化に及ぼす影響についてはまだよくわかっていない。

そこで、砂浜海岸に生える草本の地形変化に及ぼす影響を調べるため、植生、風・飛砂、地形に関して現地調査を行った。

2. 調査地概要

海浜上に草本が広く存在する砂浜海岸という条件で調査地を選定した結果、図-1のように九十九里浜の小松海岸(片貝漁港の北東約4km)で調査を行った。砂浜幅は約100mで、砂浜と保安林の間に標高6m前後の砂丘がある。保安林の高さは砂丘

と同程度である。海浜部には小さな砂丘や窪地が多数あり、砂浜によく見られる草本が繁茂している。調査範囲は、沿岸方向約500m、汀線から保安林前面までである。調査範囲の一部に天端高T.P.4mの堤防が設置されているが、天端付近の幅約2m以外は砂に埋もれている。なお、汀線付近から保安林前の砂丘(以下「後背砂丘」という)までの間の4点で表層の砂を採取し粒度試験を行ったところ、いずれの地点でも中央粒径は約0.15mmであった。

3. 植生

調査地の踏査を行ったところ、1996年9月は36種、12月は18種、1997年3月は16種の植物が確認された。群落として確認されたのは、ハマニンニク群落、ハマヒルガオ群落、チガヤ群落、コマツヨイグサ群落、オニシバ群落、コウボウシバ群落、ギョウギシバ群落、コウボウムギ群落の8群落であった。調査地全体における各群落の分布の特徴をまとめると、表-1のようになる。最も海寄りの砂丘(以下「前面砂丘」という)にハマニンニク群落が広く分布し、ハマヒルガオ群落やコウボウムギ群落、コマツヨイグサ群落等がその背後に見られ、後背砂丘はチガヤ群落で占められていた。また、堤防の周辺では群落分布の状況が他と若干異なり、堤防の海側にハマニンニク群落が広がっているのは同じであるが、堤防の背後にコウボウシバ群落とコウボウムギ群落が広い範囲に見

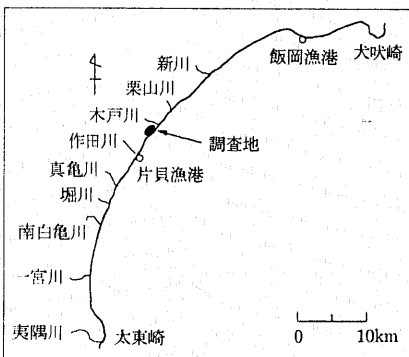


図 1 調査地の位置

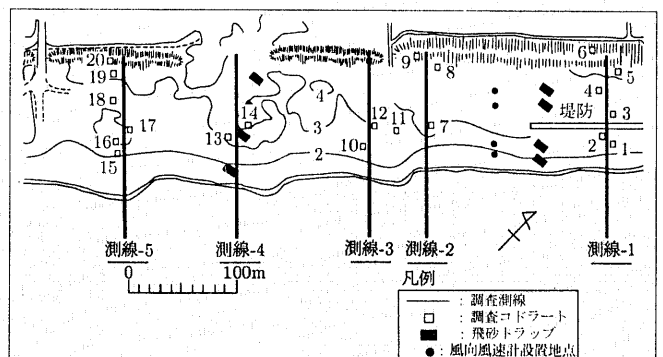


図 2 測線とコードラットの配置

Field Observation of the Impact of Coastal Vegetation on Beach Topography Change

表-1 各群落の分布の特徴

群落名	標高 (m)	地形
ハマニンニク	2.25 ～ 6.25	植生帯最前線、堤防前面
ハマヒルガオ	2.45 ～ 4.75	植生帯最前線のハマニンニクの背後
コウボウシバ	2.75 ～ 4.03	堤防背後、植生帯最前線
ギョウギシバ	2.25 ～ 3.41	植生帯中央部
コマツヨイグサ	2.50 ～ 3.83	植生帯最前線のハマニンニクの背後、植生帯中央部、堤防背後
オニシバ	2.35 ～ 4.34	後背砂丘の前面、堤防背後のコウボウシバの背後
コウボウムギ	2.25 ～ 4.33	植生帯中央部、堤防背後
チガヤ	2.13 ～ 7.66	後背砂丘、植生帯中央部

られ、さらにその背後にオニシバ群落 が分布していた。なお、植生帯最前部の標高は2.1～3mであった。

植生の季節変化を調べるため、調査地内に1m四方のコドラートを図-2のように20点設置し、1996年9月下旬から1年間にわたり1か月間隔で植高と植被率(コドラート内のすべての植物の葉や茎が地表を覆っている割合)を測定した。また、砂浜上の枯れた草木も地形変化に影響があると考えられるので、表覆度として枯れた植物も含めて草本の地表部がコドラートを占める割合を1996年10月下旬から1か月間隔で測定した。

図-3は群落毎に各月の植高、植被率、表覆度から群落毎の平均値を求めたものである。

植高は、全体的に秋から小さくなっていき、9月の半分程度になった2月以降増加している。中でもハマニンニク群落の変動が大きく、秋には40cm程度だったのが1月には16cmになり、その後増加して5月には67cmになっている。

植被率についてみると、全群落平均で50%を超えていた9月から1月まで減少して全群落とも10%以下となり、その後増加して6月には全群落平均で50%程度まで回復している。冬季を除くと、チガヤ群落、ギョウギシバ群落およびオニシバ群落の植被率が比較的高い。冬季においては、ハマヒルガオ群落、ギョウギシバ群落、コウボウムギ群落およびオニシバ群落の植被率はほぼ0であった。

表覆度についてみると、全群落平均で約50%であった10月以降減少して30%を割り込み、春以降増加して6月には全群落平均で50%程度まで回復している。ほとんどの群落では冬季において20%を割り込んでいるのに対し、チガヤ群落では60%を維持していた。また、ハマヒルガオ群落お

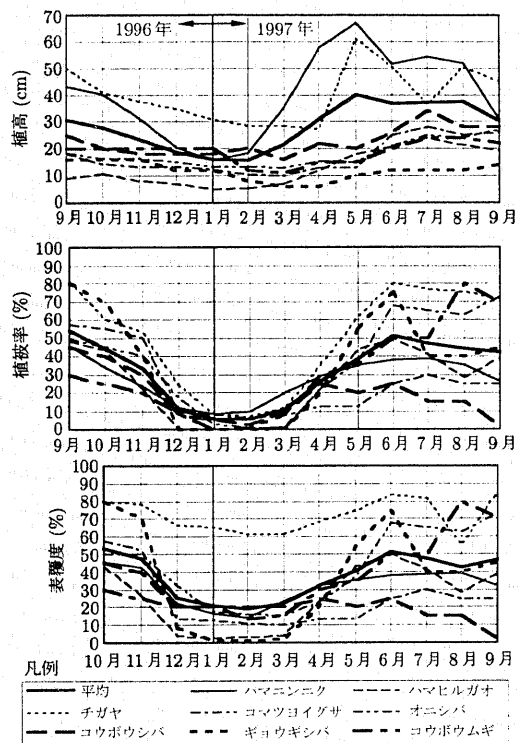


図 3 植高・植被率・表覆度の変化

よびギョウギシバ群落を除く群落では、冬季でも10%を切らず、枯れつつも表面をある程度覆っていた。その中でも、堤防の背後に分布しているコウボウシバ群落やコウボウムギ群落、オニシバ群落は比較的高かった。

4. 風・飛砂

調査地の風況を把握するため、調査地の北東約2.5kmにある千葉県蓮沼海浜公園展望塔に風向風速計を設置して観測を行った。風向風速計の設置

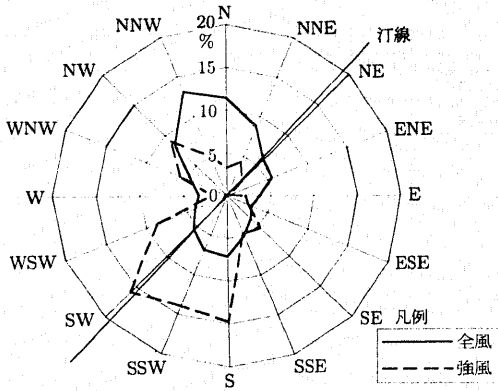


図-4 風配図

点は標高 T.P.38.2m で、展望塔と海岸との間にあるクロマツ林よりはるかに高かった。

図-4 は、1996 年 10 月から 1 年間に得られた毎正時の瞬間風速・風向データから作成した風配図である。全風の卓越風向は北北西であるのに対し、強風(風速 10m/s 以上)は南西～南から吹くことが多かった。ただし、もっとも強風回数の多かった 2 月は北西方向の強風が卓越していた。

調査地は粒径が細かいので、飛砂による地形変動が大きいものと考えられる。しかし、飛砂を引き起こす地上付近の風は、微地形の影響を受けるため一様なものではないことが予想される。そこで、1997 年 2 月 21 日に海浜上で風および飛砂量を測定した。風は、岸沖方向の 4 点(汀線～植生帯最前部、植生帯最前部、植生帯中央部、後背砂丘前面)の地上 1m において 1 時間毎に 10 分間測定した。飛砂量は、岸沖方向に設定した 2 測線(測線 1: 堤防の南西端付近、測線 2: 断面測量の測線 4)上の 4 点(汀線～植生帯最前部、植生帯最前部、植生帯中央部、後背砂丘前面)で風観測と同時刻に行った。観測に用いた捕砂器は、幅 20cm、奥行き 50cm の箱ユニットを組み合わせて幅 60cm、奥行き 200cm とした水平型捕砂器である。捕砂器は、設置時の主風向を考慮して東西方向が長辺になるように砂浜に埋め込んで設置した。午後 3 時頃に砂の含水比を測定したところ、捕砂器で捕捉された飛砂は 0.3～0.4%、捕砂器周辺の表面で 2.7～4.2% であった。なお、観測を始めた直後は晴天であったが、正午前に数分間の降雨があった。

図-5 は蓮沼海浜公園展望塔に設置した風向風速計が 2 月 21 日にとらえた 15 分間隔の瞬間風速・風

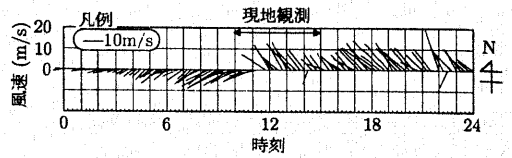


図-5 展望塔での風(1997.2.21)

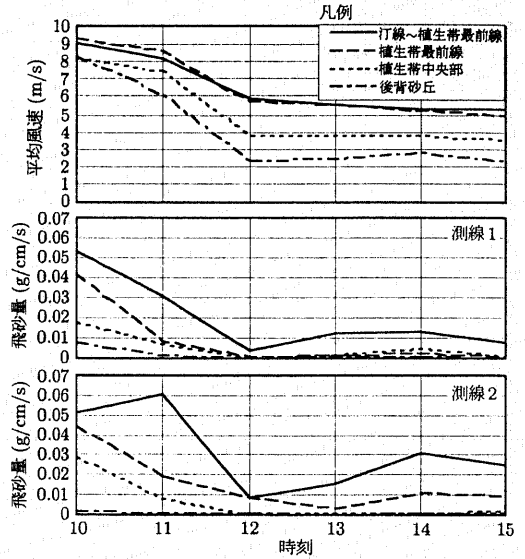


図-6 海浜での風速および飛砂量

向(吹いてくる方向)をプロットしたものである。飛砂観測を行った 10～15 時の間を見ると、11 時 30 分頃に風向が西南西から北西に変化していること、風速が減少傾向にあったことがわかる。

図-6 は各時刻における砂浜上の各地点での 10 分間平均風速および単位時間飛砂量を示している。飛砂量は、毎正時からの 10 分間に捕砂器に捕捉された砂の重量を捕砂器の平均風向方向の投影長さで除したものである。風速は植生帯最前部より海側の 2 点で比較的強く、植生帯中央部、後背砂丘の順に小さかった。一方、飛砂量は、測線 1、2 ともに植生帯最前部より海側で多く、植生帯中央部や後背砂丘前面では少なかった。また、植生帯最前部より海側での飛砂量は降雨直後の 12 時に激減し、風が若干弱まったにもかかわらず 13 時以降は増加に転じていた。一方、測線 2 の方が測線 1 より飛砂量が多いが、これは測線 2 のすぐ西側の海岸へのアクセス通路に植生がなく、しかもそこを風が吹け抜けるためと考えられる。

飛砂が発生しているときの摩擦速度 u_* と地上高

z における風速 u の間には、式(1)のような関係がある。

$$u = 5.75u_* \log \frac{z}{z'} + u' \quad (1)$$

$$u' = 894d$$

$$z' = 10d$$

ここに d は砂の粒径 (mm) であり、 $(u' \text{ (cm/s)}, z' \text{ (mm)})$ は通常 focal point と呼ばれる点で、風速の鉛直分布を表す曲線群が集中する点である³⁾。摩擦速度が同一となるときの展望塔での風速 u_t と地上 1m での風速 u_1 との関係は、式 (1) から導出される式 (2) で表される。

$$u_1 = u_t \left\{ 1 - \frac{\log(z_t/z_1)}{\log(z_t/z')} \right\} + u' \frac{\log(z_t/z_1)}{\log(z_t/z_1)} \quad (2)$$

ここに、 z_t は展望塔の地上高、 $z_1 = 100\text{cm}$ である。式 (2) を用いて、展望塔での瞬間風速を地上 1m での風速に換算した。図-7 は、11 時と 12 時の海浜上の 4 点での平均風速と地上 1m での風速に換算した展望塔での瞬間風速の比を表している。風向が西南西であった 11 時では、植生帯より海側での風速は地上 1m での風速に換算した展望塔での瞬間風速とほぼ等しく、後背砂丘前面でも 7 割程度の風速が観測された。風向が北北西に変わった 12 時には、植生帯での風速は換算した展望塔での瞬間風速の半分以下となり、植生帯より海側でもその 6 割程度であった。13 時以降もほぼ同様の傾向にあることから、防風林や後背砂丘の風下側になる場合、海浜での風速は他の風向に比べ低減率が大きいことがわかる。また、海岸上空での風速が同じでも地表付近の風速は風向により大きく異なるので、飛砂を引き起こす限界の風速も風向により異なることが考えられる。

図-8は、砂浜上で得られた風速から式(1)を用いて摩擦速度を算出し、それに対応する飛砂量との関係を捕砂器周辺の植生の有無別にプロットしたものである。図中の実線は河村公式⁴⁾から得られたもので、その実験係数は0.1としている。飛砂が発生する限界摩擦速度(18.1cm/s)より摩擦速度が大きい領域では、周囲に植生がある方が飛砂量が小さくなる傾向にある。

5. 地形変化と植生との関係

調査地の地形変化を把握するため、調査地内に

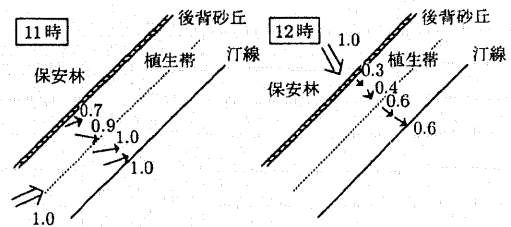


図-7 海浜での風の低減

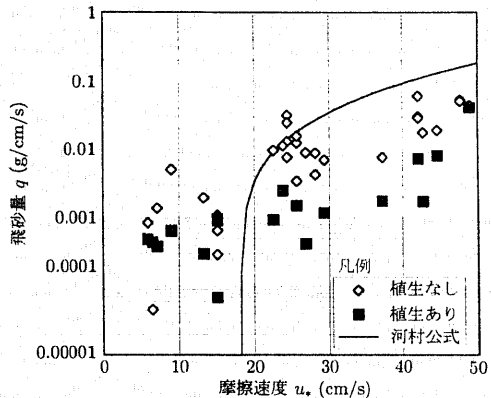


図-8 摩擦速度と飛砂量の関係

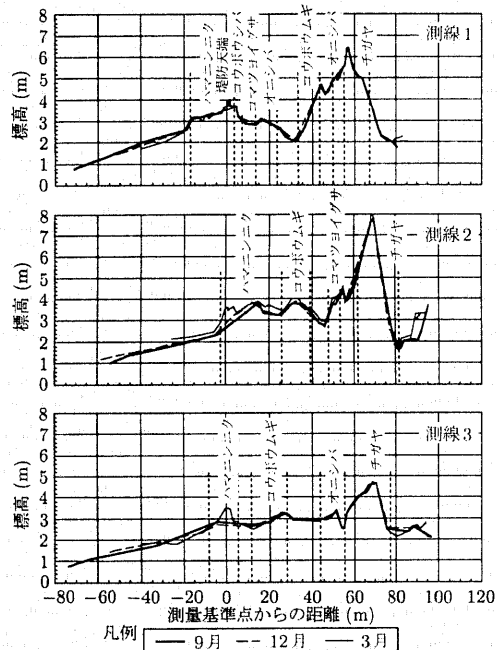


图 9 断面变化

5本の測線を岸沖方向に設定し、1996年9月と12月、および1997年3月に断面測量を行った。図-9は測線1~3の測量結果である。この図から、海岸堤防のある測線1では植生帯より海側でのみ顕著な地形変化が見られるのに対し、測線2と3では12月から3月の間に前面砂丘で顕著な堆積が生じていることがわかる。Huntの式⁵⁾により算出した打ち上げ高から判断すると、植生帯より海側の地形変動は主として波によるものと考えられる。また、植生の表覆度が比較的高かった測線1以外では、この期間に卓越していた北西の強風により、植生帯最前部に砂が移動したためと考えられる。なお、測線4~5も測線2~3とほぼ同様であった。

植生帯内の地形変化を詳細に調べるため、1996年10月下旬から1997年1月下旬まで1か月間隔で、各コドラートの周辺の50m²(沿岸方向10m×岸沖方向5m)で細密な平面測量を行った。その結果を用いて、測量範囲の平均地盤高の変化量を群落別に算出した。ただし、ハマニンニク群落については、植生帯最前部と植生帯背後とに分けて集計した。図-10のように、最前部のハマニンニク群落のコドラート周辺で堆積が顕著で、その背後のハマヒルガオ群落やコウボウムギ群落、コマツヨイグサ群落、後背砂丘のチガヤ群落のコドラート周辺では地形は安定的であった。

1996年11月から1997年2月の間、植生帯最前部のハマニンニク群落では毎月約3.5cm地盤高が上昇しているが、ハマニンニク群落の植高は43cmから16cmに激減している。一方、11月にオニシバ群落で3cm、12月にコウボウムギ群落で5cm、1月にオニシバ群落とギョウギシバ群落でそれぞれ3cm、6cm堆積しているが、堆積期間の前後の植高にほとんど変化は見られなかった。また、ハマヒルガオ群落等の安定的な群落の植高の変化もハマニンニク群落より小さくなく、植高もオニシバ群落より大きい群落もあれば小さい群落もあった。このように、地形変化と群落の植高との関係は認められなかった。

同期間の植被率については、12月のコウボウムギ群落や1月のオニシバ群落のように堆積量も植被率の減少とも大きい場合と、11月のオニシバ群落や1月のギョウギシバ群落のように堆積が大きいものの植被率が変化していない場合が見られた。逆に、12月のハマヒルガオ群落やコマツヨイグサ

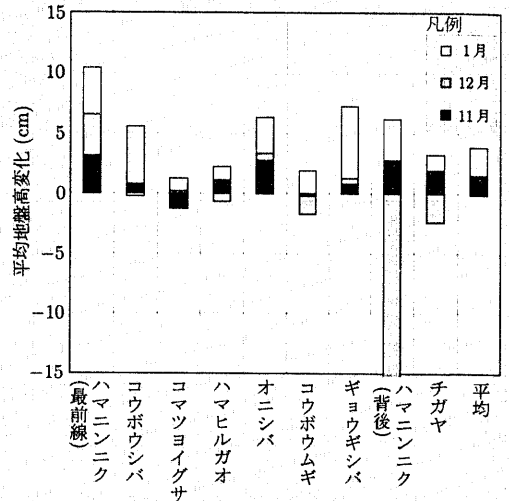


図-10 平均地盤高変化(優占群落別)

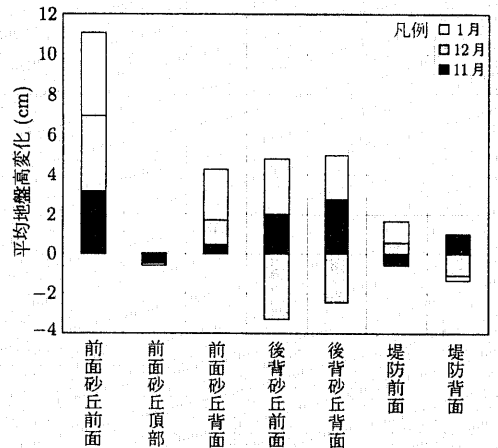


図-11 平均地盤高変化(位置別)

群落、コウボウムギ群落、1月のチガヤ群落では、植被率の減少が大きいのに地形変化がほとんどなかった。このように、地形変化と植被率との関係も認められなかった。

一方、同期間の地形変化と表覆度との関係を見ると、1月末でも表覆度が18%であるハマニンニク群落は期間を通して堆積傾向にあるが、同様の表覆度の変化を示すコウボウムギ群落では、12月は堆積傾向にあるものの1月の地形変化量はほぼ0である。また、1月のギョウギシバ群落は表覆度が10%以下であるにも関わらず約6cm堆積している。以上のように、地形変化と表覆度の間にも有意な関係は認められなかった。

図-11はコドラート周辺の測量結果を前浜における位置別に集計したものである。前面砂丘では、ハマニンニク群落のある前面で毎月約3.5cmの堆積があるのに対し、頂部ではほとんど変化がなく、背面では12月と1月に堆積量が増加していた。一方、後背砂丘では、11月と1月は堆積傾向にあったのに対し、12月は侵食傾向にあった。また、堤防周辺の地形変化は比較的小さく、堤防前面で11月が侵食傾向、12月と1月が堆積傾向であり、堤防背面ではその逆であった。

堤防のない区間の前面砂丘付近では、強風時には砂丘の形状が短時間で変化する程大量の土砂が移動しており、草本が砂丘の中に埋もれてしまう現象が観察された。砂に埋もれた草本の一部は再び地上に伸びてくるが、地中に埋もれている間は飛砂に何ら影響しない。草本の植高や植被率、表覆度は飛砂の堆積等により短期間に变化しており、草本の地形変化に及ぼす影響も同様に变化していると考えられる。1か月間の地形変化の傾向は群落種により異なることが確認されたことも踏まえると、植高や植被率などの植物の諸元より群落種が長期的な地形変化に関わるものと考えられる。

一方、堤防周辺では明瞭な砂丘が見られず、地形変化が小さかった。また、冬季においても草本の地上部が比較的多く見られ、とくに堤防前面のハマニンニク群落で顕著であった。これらのことから、草本の地上部の存在により飛砂が抑えられてデューンの成長などの顕著な地形変化が生じない、逆に飛砂による地形変化が少ないため冬季においても草本が地上部に見られるという、植生と地形変化との間の相互関係が堤防周辺では成立していたと考えられる。

6. おわりに

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 調査地の植生配分を調べたところ、最も海寄りにハマニンニク群落、その背後にハマヒルガオ群落やコウボウムギ群落、コマツヨイグサ群落等があり、それらの背後の砂丘にはチガヤ群落があることがわかった。また、堤防の有無により植生配分が異なることがわかった。

- (2) 海浜が防風林や後背砂丘の風下になる場合、他の風向に比べ地表付近の風速は低減されていた。
- (3) 飛砂は汀線～植生帯最前部の方がその背後の植生帯中央部より激しかった。
- (4) 海浜は植生帯最前部のハマニンニク群落で堆積傾向だったが、その背後のハマヒルガオ群落、コウボウムギ群落、コマツヨイグサ群落、チガヤ群落ではあまり変化がなかった。
- (5) 地形変化と海岸植生の植高や植被率、表覆度との相関は認められなかった。しかし、堤防周辺では、植生の存在が地形変化を小さくしていることがわかった。

今後、海岸域の砂の総量を保全する観点から海浜の草本をどのように保全していけばいいのか検討する必要がある。

参考文献

- 1) 福本紘：日本の海浜地形の地理的特性とその形成環境。地理学評論, No.62, pp.108-128, 1989.
- 2) 仲座栄三、津嘉山正光、砂川勇二、大山幸徳：捕砂・留砂機能を有する植生による砂浜の維持システムに関する研究。海岸工学論文集, 第38巻, pp.336-340, 1991.
- 3) 堀川清司、堀田新太郎、久保田進：飛砂が存在する状態での風速鉛直分布の現地観測。海岸工学論文集, 第32巻, pp.350-354, 1985.
- 4) 河村竜馬：飛砂の研究。東京大学工学研究所報告, 第5巻, pp.95-112, 1951.
- 5) Hunt, I.A.: Design of seawalls and breakwaters, Proc. ASCE, Vol.85, No.WW3, pp.123-152, 1959.

加藤史訓*



建設省土木研究所河川部
海岸研究室研究員
Fuminori KATO

佐藤慎司**



同 海岸研究室長、工博
Dr. Shinji SATO