

植物が後浜地形変化におよぼす影響に関する現地調査

柳 嶋 慎 一*・上 岡 智 志**

後浜における地形変化を植生の有無に注目した現地調査をもとに検討した。その結果、植生の有無によって地形変化に違いのあることが分かった。つまり、植生がある後浜の地盤高は上昇するのに対し、広い範囲で植生が無くなった後浜の地盤高は低下した。これは、植物による飛砂の捕捉に原因があると推察された。次に、後浜を保全するための対策工を試験施工しその効果を比較検討した結果、マツバギクは、飛砂の捕捉効果が顕著で、植栽した範囲の地盤高は短期間で上昇した。これは、マツバギクが年間を通じ常緑で、垂直上方に生育する能力に優れることが原因と推察された。また、砂面への敷き藁は、後浜地形変化を少なくすることが明らかになった。

1. はじめに

後浜は、高潮から背後地を護るとともに背後地への飛砂を抑制するための重要な空間であり、保全する必要がある。後浜には、パッチ状に植物が存在しており、これらの植物と地形変化の関係が明らかになってきている。

栗山・望月 (1997)、栗山ら (2001) は、茨城県波崎海岸での 4 年間の調査から、海浜植物には、飛砂発生抑制、飛砂の捕捉効果のあることを明らかにした。加藤ら (1997)、加藤・佐藤 (1998) も、鹿島灘および九十九里海岸において短期間の現地調査を行い、砂草が、飛砂の捕捉や飛砂発生抑制に効果のあることを示した。有働・武若 (2001) は、茨城県角折海岸における 2 年間の調査から、後浜の植物被覆度が大きいほど後浜が堆積することを示した。しかし、植物がある範囲と無い範囲での飛砂による長期的な地形変化特性の違いは明らかではなく、後浜を保全するための対策方法も現在は確立されていない。

そこで本研究では、現地調査を行い植物の有無による長期的な後浜地形変化の違いを検討し、次に後浜を保全するため、植栽等による対策を試験施工しその効果について比較検討した。

2. 調査方法

調査は、鹿島灘に面する砂浜海岸にある波崎海洋研究施設 (以後 HORS と呼ぶ、図-1) で行った。1987 年 8 月から 2002 年 12 月まで、1 月に 1 回程度 HORS を中心に沿岸方向 400 m、砂丘付け根から海側に 215 m の範囲を沿岸方向間隔 40 m、岸沖方向間隔 5 m の地形測量を実施した。さらに、植生に注目した後浜の写真撮影を随時実施した。

図-2 は、1995 年 9 月 7 日の測量結果を示している。この図から、調査範囲の地形は沿岸方向にほぼ一様になっ

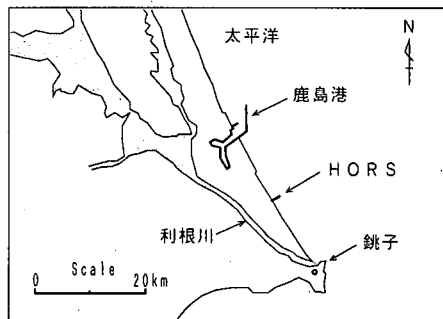


図-1 調査位置図

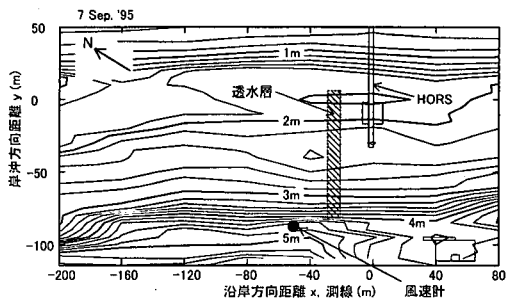


図-2 調査範囲詳細図 (1995 年 9 月測量)

ていることが分かる。

風の測定は、汀線から 385 m 沖の棧橋先端 (D.L.+10 m) に取り付けられた風速計を用いた。また、2002 年 1 月から 5 月の間は、超音波式風速計を地盤上 0.5 m の位置の後浜に設置し (図-2 中の●印)、棧橋先端と後浜での風速の関係を調べた。

波の遡上高さは、鹿島港で観測された有義波高・有義波周期および汀線付近の棧橋に取り付けた波高計によって得られた平均水位および長周期波の波高を用い、加藤ら (1989) の HORS における経験式によって計算した。

3. 調査期間中の風

後浜における風速は、風向きによって砂丘等の地形の

* 正会員 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 主任研究官
** 国土交通省中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所
(元 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 漂砂研究室)

影響を受け減衰することが分かっている(加藤ら, 1997)。そこで, 2002年1月25日から5月7日までの棧橋先端の風速と後浜における地盤上0.5mの風速($U_{0.5}$)の関係を風向別に調べた。

図-3は, 16方位別の風速減衰率を示したものである。海からの風向(NNE~SE)の減衰率は, 風向Eを除き0.6である。E方向の減衰率が0.5以下になっているのは, 図-2に示す後浜における風速計設置位置が, HORS棧橋への進入斜路および高床式の建物の遮蔽域になったためと考えられる。上記以外の風向は, 砂丘, 後浜の地形の影響を受け, 減衰率は0.4~0.5で小さくなっている。そこで, 以後の検討においては, 図-3に示す関係を用い, 棧橋先端で観測された風速から後浜での風速を($U_{0.5}$)計算し, 用いることにした。

4. 後浜地盤高および植生の長期的変化

図-4は, 測線0mの1987年8月から2002年12月までの断面地形を重ね合わせたものである。なお, $y = -115$ mよりも陸側は2001年9月19日の測量結果を示している。

前浜から岸沖方向距離(y) -95 mまでの後浜は緩やかな勾配になっており, $y = -95$ mから砂丘までの間は平坦な地形になっている。この平坦な後浜($y = -95$ m ~ -115 m)は, 平坦な形状を保ちつつ, 年々堆積が進みその地盤高は15年間で約2 m高くなっている。

砂丘付け根($y = -115$ m)には, 高さ1 mの碓砂垣が砂丘に沿って, 繰り返し設置された(1986, 1990, 1993, 1996年)。現在, 1996年に設置された碓砂垣は砂に埋まった状態になっている。従って, 後浜の地盤高の上昇には, 碓砂垣の影響も含まれている。

図-5は, 測線0 mと植生条件の異なる-40 mの, 後浜($y = -95 \sim -100$ m)の平均地盤高の経年変化および植生の有無を示したものである。測線0 mの地盤高(Δ 印)は, 1987年から1990年まで+3.5 mでほとんど変化しない。しかし, 地盤高は1990年8月から高くなり初め, 1998年2月に極大(+5.5 m)になり, その後は安定している。一方, 測線-40 mの地盤高($\bullet$ 印)は, 1987年から上昇を続け, 1995年9月に極大(+5.2 m)になっている。ところが, 1995年9月以降地盤高は低下の一途をたどり, 2000年12月には+4.6 mまで低下した。ただし, 2000年12月以降地盤高は, 次章で示す対策工により測線0 mと同様な高さまで復活している。

側線0 mの後浜において, 植物は1990年8月頃まで存在しなかった。これは, 1982年から1986年3月までHORSの建設に伴ってこの測線が作業基地および作業通路として利用されていた事が原因の一つと考えられる。さらに, 1990年までの波の遡上高さを調べたところ,

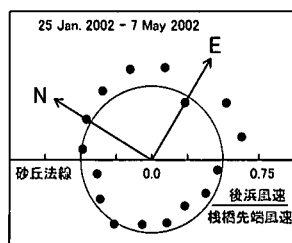


図-3 後浜における風向別風速減衰率

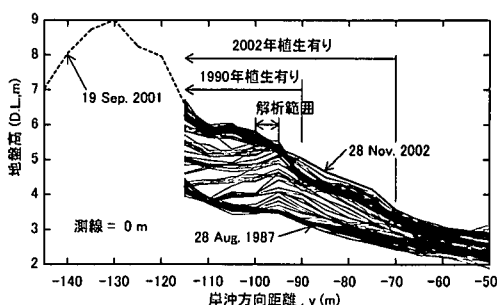


図-4 測線0 mの断面地形重ね合わせ

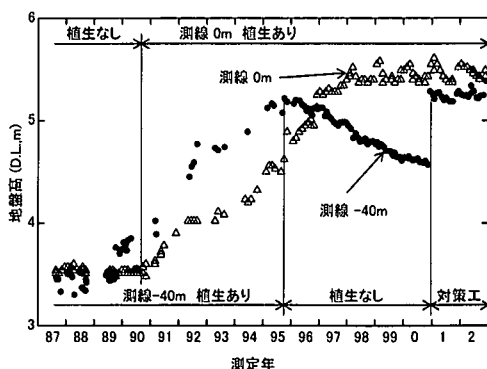


図-5 地盤高の経年変化

年に1~3回は+3.5~+3.7 mの位置まで波が遡上していた。そのため植物が生え難かったものと考えられる。1990年8月より図-4に示す, $y = -90$ mから陸側にコウボウムギ, ハマヒルガオが生え始め, 2002年12月には, その範囲が-70 mまで広がった。これに対し, 側線-40 mの後浜においては, 1987年からコウボウムギ, ハマヒルガオ, ハマニンクが生えていた。しかし, 1995年9月以降2001年3月まで植物が消滅した。その経緯は, 以下のとおりである。

1994年7月に透水層埋設による海浜安定化工法の作業用地にするため, 測線-40 mの後浜付近(沿岸方向40 m, 岸沖方向20 mの範囲)を整地した。この際に後浜に存在した植生は全て除去された。工事完了後の11月にハマニンクを植栽したものの, 翌1995年8月には, 全て

枯れてしまった。そして、1995年9月以降2001年3月まで上記範囲の植物が消滅した。

側線0mと-40mとは沿岸方向に40mしか離れておらず、地形変化を生じる外力である風速が異なるとは考えにくい。そうすると、1995年9月以降の二つの測線における地盤高変化の違いは、植生の違いにあると考えられる。つまり、植生のある後浜(測線0m)の地盤高は、植生により砂が捕捉されるため高くなる。そして、砂の堆積に伴ってコウボウムギ等の地下茎が垂直上方に伸び、葉は地表に現れる性質(鈴木, 1974)により、地盤高の上昇は継続するものと考えられる。しかし、何らかの原因で広い範囲で植生が無くなると、それまで堆積していた範囲も侵食が生じる(測線-40m)。

図-6は、測線-40m付近後浜の侵食が最も進んだ2000年11月15日の等高線を示したものである。沿岸方向距離(x)-50~-10mの範囲の+5mのコンターが陸側に大きく凹んでおり、後浜の広い範囲で一様に侵食が生じたことが分かる。栗山ら(2001)のHORSにおける観測によると、地表面付近の後浜の風速は前浜よりも速くなっていた。そうすると、飛砂量は後浜の方が前浜よりも多くなるはずである。つまり、植生の無い後浜は飛砂の供給源になり、砂が運び去られるため地盤高は低下する。そして、植物の種子が後浜に定着し、実生の芽が出たとしても飛砂による砂の移動のため根がすぐに露出し、枯死する。このような過程で、後浜の侵食が継続するものと推察される。

5. 対策工およびその後の地形変化

測線-40m付近の侵食された後浜を保全するため、以下に示す対策工(図-7)を実施した。

- ① 陸側に凹んでいた+5mのコンター(図-6)を海岸線とほぼ平行になるよう、砂を搬入した(2000年12月)。なお、2001年2月に以下に示す藁柵内の地盤高の低下が生じたため、砂を再度搬入した。
- ② 稲藁を用い、幅2cm、砂面からの高さ0.1m、根入れ0.2mの稲藁柵を5m間隔で格子状に設置した(2000年12月)。
- ③ 空港着陸帯のグラウンドカバープランツとして使用されているマツバギク(高橋ら, 2001)を港湾空港技術研究所構内(横須賀市)から藁柵内に移植した(2001年4月)。この時、長さ1m程度のマツバギクを2本/ m^2 の密度で、根は深さ0.1mで植え付けた。
- ④ ハマニンニク苗(長さ20cm)を藁柵内および柵外に沿岸・岸沖方向とも0.5m間隔、深さ0.1mで植え付けた(2001年5月)。
- ⑤ 藁柵内のマツバギク、ハマニンニクおよび柵外のハマニンニクを植栽した範囲に藁を敷いた(0.4 kg/

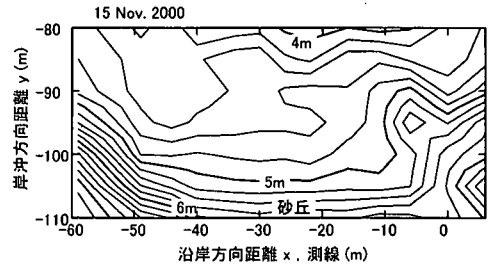


図-6 侵食の進んだ後浜(2000年11月15日)

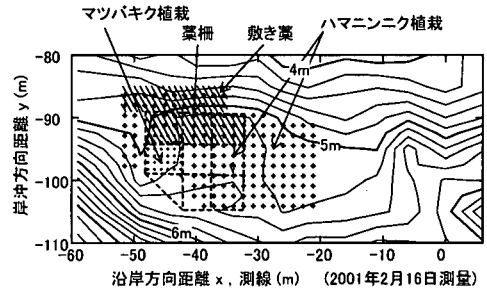


図-7 対策工の詳細(地形は2001年2月16日)

m^2 , 図中斜線部, 2001年4, 5月)。

- ⑥ $x = -21m \sim -10m$ の範囲は、砂を搬入したのみとした(対策無し)。

マツバギクは植え付け後枯れることなく成長している。しかし、ハマニンニクは、2001年7月末にそのほとんどが枯れ始めた。2001年10月に調べたところ、敷き藁と併用した範囲のハマニンニクは、23%(最大42%)残ったけれど、敷き藁をしなかった範囲は11%(最大15%)しか残らなかった。一方、対策無しの範囲に植物は、全く生えてこなかった。

対策後の詳細な地形変化を把握するため、2000年12月から2002年12月まで、沿岸方向の測量間隔を4~10mとし、図-7の範囲を2週間~1週間隔で測量した。また、藁柵内に位置する測線-35、-40、-45mは、岸沖方向間隔1mでの測量を実施した。

図-8は、2000年12月15日から2002年12月10日までの地形変化量(斜線部は侵食)を示している。調査期間中に最も堆積したのはマツバギクを植栽した部分(図-7参照)で、地盤高は0.6m高くなっている。そして、藁柵内のほとんどが堆積し、その範囲は砂丘まで広がっている。また、図-7に示した+5mのコンターよりも低く、勾配が急になっていた範囲も0.1~0.4m堆積している。これに対し、ハマニンニクを植栽しただけの範囲と対策無しの範囲の侵食が大きく(0.5m)なっている。なお、 $x = -6m$, $y = -100m$ 付近の侵食は、もともと小山状に盛り上げてあった搬入砂が侵食を受けたものであ

る。

図-9は、2001年4月13日から12月20日までの測線-35mの断面地形変化を示したものである。 $y=-88$ mの藁柵位置の地盤高は低くなっているものの、それ以外の敷き藁をした範囲の地形変化は少ない。ハマニクを植栽しただけの藁柵内は、地盤高が徐々に低くなり侵食が進んでいる。そして、2001年9月に地盤高は0.1 m低下していた。当初、ハマニクの根は深さ0.1 mで植えており、この時点で根が露出し、枯れたのである。藁柵外の $y=-108$ mから砂丘側は、少しずつ堆積が進んでいる。

図-10は、測線-45mの断面地形変化を示したものである。ハマニク植栽に加え敷き藁をした範囲の地形はほとんど変化していない。つまり、敷き藁には地形変化を少なくする効果のあることが分かる。これは、敷き藁によって粗度が大きくなり砂の移動を抑制したためと考えられる。ところで、図に示した敷き藁をした範囲のハマニクは2001年10月に42%生き残っていた。このようにたくさんのハマニクが生き残ったのは、敷き藁によって地形変化が少なかったことが原因と考えられる。ただし、この程度のハマニク密度(4本/m²)では、砂を捕捉するまでには至らないことも明らかである。一方、マツバギクを植栽した範囲から砂丘側は全て堆積しており、特にマツバギクを植栽した範囲の堆積量が多い。マツバギクは、地盤の上昇に伴って上方に成長し、一時的に飛砂によって砂中に埋まってもすぐに砂面上に葉を現した。さらに、マツバギクの葉は、肉厚で密生しているため、砂を捕捉する能力が高いものと考えられる。

次に、地形変化の大きい $y=-95\sim-100$ m(図-9, 10に示す解析範囲および対策無しの側線-16m)の平均地盤高を調べ、2000年12月の地盤高を基準とした変化量を図-11に示す。対策無しの測線-16mにおいて、地盤高は、2001年11月までに0.3 m低下し、その後緩やかに0.1 m低下した。ハマニクを植栽した測線-35mの地盤高は、1年8ヶ月間で緩やかに0.3 m低下している。ただし、2002年5月および12月に急激な堆積が生じた。これは、図-10に示した測線-45mのマツバギク植栽範囲に生じた堆積が尾根状に測線-35mまでおよんだためである(図-8中の矢印)。対策無しの測線に比べ侵食が緩やかになっているのは、藁柵の影響と考えられる。というのは、図-9において、藁柵のある $y=-94$ m付近の地形変化が少ないからである。これに対し、マツバギクを植栽した測線-45mの地盤高は、1年8ヶ月の間に0.4 m高くなっている。地盤高は、4~6月、10~12月に急激に高くなり、それ以外の期間の変化量は少ない。

図-12は、測量日間における日平均風速の最大値の変

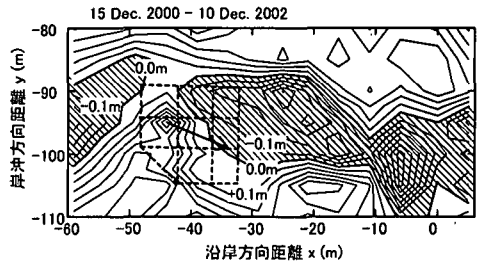


図-8 2000年12月15日から2002年12月10日までの地形変化量(コンターは0.1 m 毎)

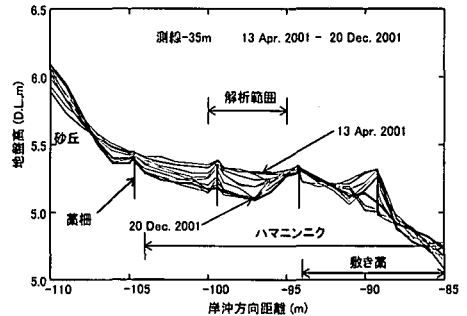


図-9 測線-35mの断面地形変化

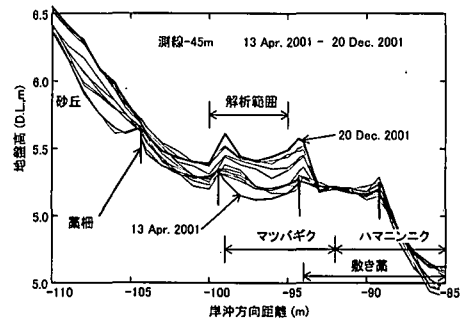


図-10 測線-45mの断面地形変化

化を示したものである。図-11に示した測線-45mの地盤高変化と見比べると、低気圧、台風の通過に伴い海からの強い風($U_{0.5}=7\sim9$ m/s)が吹く、4~6月、10~12月に地盤高が高くなっていることが分かる。ハマニク、コウボウムギなどは、9月頃から枯れていく(栗山ら、2001)のに対し、マツバギクは年間を通じ常緑であるため10~12月でも堆積が生じるものと考えられる。

次に、堆積が生じたマツバギク植栽範囲の地形変化量と測量日間の最大日平均風速の関係を調べ、その結果を図-13に示す。パラツキは大きいものの、地盤上0.5 mの風速が6 m/sを越えると地形変化量が大きく(堆積する)なることが分かる。ただし、風速が9 m/sを越えると地形変化量はむしろ小さくなるようである。

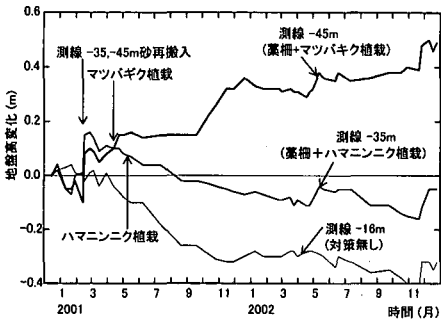


図-11 対策後の地盤高変化

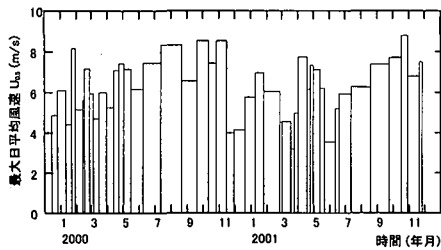


図-12 測量日間の最大日平均風速の変化

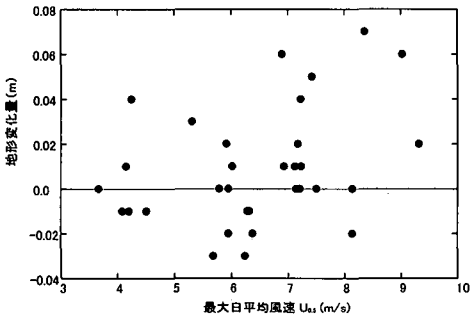


図-13 地形変化量と最大日平均風速の関係(測線-45m)

6. おわりに

得られた主要な結論は以下のとおりである。

- ① 植生のある後浜の地盤高は、飛砂の捕捉効果により砂が堆積し高くなる。

- ② 広い範囲で植生の消滅した後浜の地盤高は、侵食され低くなる。そして、この範囲に植物は生育しない。
- ③ 敷き藁には、地形変化を少なくする効果がある。
- ④ マツバギクは、飛砂を捕捉する効果が優れており、マツバギクを植栽した範囲の地盤高は、地盤上 0.5 m の風速が 6 m/s を越えると急激に高くなる。

本研究により、マツバギクは飛砂捕捉能力に優れ、後浜の保全に有効であることが分かった。しかし、本来海浜には分布していない種であり、海浜の生態系に悪影響を及ぼす可能性もある。そこで、今後はマツバギクの生態系への影響を検討する予定である。

最後に、本研究のとりまとめにあたっては、栗山善昭漂砂研究室長から有益な助言を頂いた。鹿島港の波浪データは、国土交通省関東地方整備局鹿島港湾空港事務所および当所海洋・水工部海象情報研究室から提供していただいた。後浜の測量においては、(株)エコーの山田貴裕氏、伊東啓勝氏のご協力を、汀線測量においては、漂砂研究室メンバーの協力をいただいた。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 有働恵子・武若 聡 (2001): 後浜の地形変動に関する研究, 土木学会論文集, No. 677/II-55, pp. 175-187.
- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良 (1989): 荒天時のバーム地形の侵食一長周期波に注目した現地観測一, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 354-358.
- 加藤史訓・佐藤慎司・田中茂信・笠井雅広 (1997): 砂浜海岸における植生の地形変化に及ぼす影響に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 1151-1155.
- 加藤史訓・佐藤慎司 (1998): 砂浜海岸の植生群落と地形変化の現地調査, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 666-670.
- 栗山善昭・中島 剛・上堂蘭孝一・望月徳雄 (2001): 後浜から砂丘前面にかけての植生が地形変化に及ぼす影響に関する現地観測と植生を考慮した飛砂量の数値計算, 港研報告, 第 40 巻, 第 1 号, pp. 47-80.
- 栗山善昭・望月徳雄 (1997): 後浜から砂丘前面にかけての地形変化と植生, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 681-685.
- 鈴木 清 (1974): 海岸砂地固定植物としてのコウボウムギ (*Carex kobomugi* Ohwi) の利用に関する研究, 神奈川県林業試験場研究報告, 第 2 号, pp. 1-27.
- 高橋 修・八谷好高・坪川将丈・松崎和博・阿部 寛 (2001): 建設残土地盤上の空港着陸帯の植生技術に関する研究, 国総研資料, 第 8 号, 39 p.