湘南海岸における砂防柵設置による微地形と風環境の変化が飛砂害に及ぼす影響

吉崎真司^{*1)}・長島大輔²⁾・清水亜里沙³⁾

1) 東京都市大学環境学部 Faculty of Environmental Studies, Tokyo City University

2) 株式会社オリエンタルコンサルタンツ Oriental Consultants Co.,Ltd

3) 武蔵工業大学環境情報学部 (現:主婦) Musashi Institute of Technology (at present:Housewife)

摘要: 飛砂害が激しい神奈川県湘南海岸において、砂防柵設置による微地形と風環境の変化が飛砂害に及ぼす影響を把握するために、2008年と2014年に微地形、風環境(風向・風速)、飛砂量等の調査を行った。その結果、飛砂害の発生要因として、砂移動の障害となる砂防柵や植生の有無、防風柵の設置位置による減風域の範囲や微地形の変化が考えられ、これらが相互に関連し合う結果、自転車道への堆砂量(飛砂害)にも影響を与えることがわかった。本研究の結果は、自転車道への飛砂害を制御し、背後の海岸防災林内への飛砂の侵入を抑制するとともに飛砂や潮風から樹木を健全に維持するなど、海岸防災林の維持・管理にとっても重要な示唆を与えるものと考えられた。

キーワード: 微地形、風環境、飛砂害、砂防柵、海岸防災林

YOSHIZAKI, Shinji, NAGASHIMA, Daisuke and SHIMIZU, Arisa: **Effects of the change of topographic and wind conditions by constructing sand fence on shifting sand damage at sandy beach in Shonan coast, Kanagawa Pref., Japan**

Abstract: Micro topographic change, wind conditions(wind velocity, wind direction) and the accumulation of shifting sands etc. were surveyed to verify the effect of the change of topographic and wind conditions by constructing sand fence on shifting sand damage in 2008 and 2014 at Shonan beach, Kanagawa Pref., Japan. As a result, It was considered that the factors of shifting sand damage were (a)existence of artificial wind or sand barrier, (b)change of wind reduction range by the position of wind barrier. It was also cleared that the manner of accumulated amount of sand was different in each conditions (a)and(b). Those results showed important suggestions for maintenance and management of coastal forest behind beach.

Key words: micro topography, wind condition, shifting sand damage, sand fence, coastal forest for disaster prevention

1. はじめに

我が国の沿岸域に住む人々は、海からの強風によって常に飛砂害に悩まされてきた⁶⁾。最近では海岸防災林の造成や建物の性能向上等によって飛砂害は減少しているものの、防災林の前面への自転車道や遊歩道建設等に伴う飛砂害は依然として多い²⁾。

飛砂の発生と供給源である砂浜は、強風・潮風・飛砂・強い日射・貧栄養・乾燥といった植物の生育にとって非常に厳しい環境下にある³⁾。そのために、これらの環境変化によって起こる攪乱に耐性または適応力がある海岸植物が汀線から内陸へ向かって、不安定帯、半安定帯、安定帯という大きな環境の傾度に沿って種構成や植被の状況を変化させながら群落を形成していくと考えられる⁸⁾。一方、我が国の沿岸域の多くは人の手によって植栽・育成されたマツ類を主とする海岸防災林が広く成立しているが、多くは松枯れによって劣化しており、本来発揮すべき防風や防砂、潮害防備といった機能の発揮が困難になっている¹⁷⁾。海岸林がこれらの機能を発

揮するためには樹高の高い健全な樹林が必要であり、それを維持するためには安定した砂浜と飛砂の発生を抑制する海岸植生の存在が有効である。更に、2011年に発生した東日本大震災において、東北地方太平洋岸の海岸防災林が壊滅的なダメージを受けたことは記憶に新しい⁹⁾。今後発生が予想される南海トラフ地震と津波の被害が心配される関東以西の太平洋岸においては災害に強い海岸防災林の造成が進められている¹⁾が、海岸防災林の造成や維持にあたっては樹林前面の微地形の検討や飛砂の発生状況の把握が必須である。

そこで、砂面変動が激しい神奈川県藤沢市の湘南海岸において、2008年と2014年に微地形や風環境等の調査を行い、微地形と風環境の変化が自転車道への飛砂害に及ぼす影響を明らかにすることを目的に研究を行った。

2. 材料ならびに方法

調査地は神奈川県湘南海岸の自転車道とその前面の砂浜である(図-1)。自転車道は、総延長8.4km、幅員3~4mのアスファルト舗装である(写真-1)が、図-1に示すように、

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒224-8551 横浜市中区牛久保西 3-3-1 E-mail : shin@tcu.ac.jp

図-3 砂浜幅と微地形による後浜の形状 (タイプ)

Fig. 3 Profile of beach type with the width of beach and its micro topography

図-4 後浜の形状タイプごとの除砂量 (m³)

Fig. 4 Removal sands in each beach type (m³)

間の連続測定を行った後に移動するという方法で実施した。また、砂防柵の前後も測定した。なお移動点の風速は、基準点の風速を 100 とした相対風速比(%)として算出し解析を行った。2014 年調査は、9 月 24 日、10 月 2・3 日に、2008 年と同じ場所で、かつ同じ方法で調査を行ったが、2014 年調査では、基準点風速測定にはノースワン社 (KDC-S4) の風向・風速計を、鉛直方向の計測には太田計器製作所 26-D 風速計を用いた。

2.4 除砂量及び堆砂量調査

神奈川県藤沢土木事務所から提供を受けた除砂量データのうち、整理されていた 2002・2004～2006 年のデータを用いて対象とした地点 B, C, D の年間除砂量を集計した。除砂量は $4\text{m}(\text{自転車道幅}) \times 100\text{m}(\text{ブロック距離}) = 400\text{m}^2$ の自転車道上の砂を排除した量としてブロックごとに表した。

図-5 除砂直前の砂の状況と測定項目(2014 年 12 月 19 日)

Fig.5 Measurement of accumulated sands before removing

また 2014 年の堆砂量は、2014 年 12 月 19 日に、各調査地点の自転車道上に堆積している砂の容量を調査した。自転車道に 50 cm 間隔で 3 本の測線を引き、10 cm ごとに堆積した砂の高さを定規とコンベックスを用いて計測し、堆積した砂の平均厚さから単位面積当たりの堆砂量を算出した(図-5)。なお、飛砂は自転車道上に均一に堆積していないが連続していることから、 $4\text{m}(\text{自転車道幅}) \times 100\text{m}(\text{ブロック距離}) = 400\text{m}^2$ に一様に堆積したものとして計算した。

3. 結果と考察

3.1 微地形及び植生の変化

表-1 に 2008 年と 2014 年の砂防柵 (以下、「柵」) の有無、砂浜幅、植生の有無、植生幅の変化を、図-6 に各調査地点における断面地形の変化、植生の変化、柵の位置を示す。なお、図中の X 軸が示す「砂浜の幅」は、自転車道の南縁から汀線方向への水平距離(m)を示す。

地点 D : 2008 年に存在した柵 a は崩壊し、新たに主風向に対して斜めに柵 b が設置されていたが、これもまたほぼ砂中に埋没していた。丘頂は、6 年の間に 15 m 汀線側へ移動し、柵 b と自転車道との間に大きな凹地形が形成されていた。植生 1 は、2008 年には砂丘南面に一列に成立していたが、2014 年では柵 b の風背側で衰退し、自転車道と凹地の間に新たに植生 3 が成立していた。

地点 B : 2008 年に存在していた 2 列柵 a・b は砂中に埋没し、新たに 1 列柵 c が確認された。最大比高の位置が自転車道から 10 m の位置に移動し、比高も低下した。すなわち、砂丘自体が低く小さくなり、砂浜の地表面は自転車道より低い位置に存在することになった。

地点 C : 2008 年には自転車道から 15 m～25 m 付近で砂丘が形成されていたが、2014 年は柵 c・d の影響により、自転車道から 7 m、25 m 付近の 2 か所に砂丘が形成されていた。更に、2008 年では植生 1 は一列に 20 m 成立していたが、2014 年では植生は 2 と 3 の 2 か所に分かれて成立していた。

表-1 調査地点ごとの砂浜幅、植生、柵の変化

Table 1 Change of the width of beach, vegetation and sand fence from 2008 to 2014

地点	D		B		C	
西暦年	2008	2014	2008	2014	2008	2014
砂防柵	1 列 有り	1 列 埋没	2 列 有り	1 列 斜め	3 列 有り	1 列 有り
砂浜幅(m)	80	82	67	82	69	78
植生	有り	有り	無し	無し	有り	有り
植被率(%)	26.5	12.1	0	0	41.8	9.5
植生幅(m)	31 (1 列)	30 (2 列)	0	0	20 (1 列)	12 (2 列)

図-6 6年後の微地形の変化

Fig. 6 Change of micro topography from 2008 to 2014

3.2 風環境と微地形の変化

図-7~9は、2008年と2014年に作成した地形断面上に、算出した風速比を重ねて作成した風速分布図である。図には、相対風速の加速域（相対風速比 100%以上の範囲）と減風域（相対風速比 50%以下の範囲^{12) 16)}を示した。なお図中のX軸は、自転車道端から汀線へ向かう水平距離(m)、Y軸は汀線からの高さを示している。

地点D（図-7）：2008年以後、砂丘の位置が汀線側に15m移動したことにより、減風域の範囲が汀線側へ約10m広がった。また、2008年の砂丘の丘頂は自転車道脇の柵aより少し離れて形成されているが、これは設置された柵aの密閉率が約80%と高く、飛砂が反射したために形成されたものと推定される。更に、2014年には柵bが設置されたことで背後が侵食を受け¹¹⁾、砂丘の風背側脚部に凹地状の地形が形成された。また自転車道側肩部には小丘状の地形も出現した。

地点B（図-8）：2008年以前に設置された2列の柵a・bの上部にまで砂が堆積しているが、これは柵の設置順位に関係していると考えられる。すなわち柵aがまず設置されて砂丘ができ、そこからの飛砂の侵入を防止するために柵bが設置された。そして柵aとbの間に飛砂が堆積した結果、両柵の間に多量の飛砂が堆積されていったと考えられる。

図-7 風環境変化と柵、微地形及び植生との関係（地点D）

Fig. 7 Relationship among wind conditions, sand fence, micro topography and vegetation of type D

図-8 風環境変化と砂防柵、微地形及び植生との関係（地点B）

Fig. 8 Relationship among wind conditions, sand fence, micro topography and vegetation of type B

これは、地点Dや地点Cの地形から推定できる。また、柵aの南側の急傾斜により柵aの上部に明瞭な加速域が確認でき、その背後に減風域が発生している。一般に傾斜が 0.3° から 17° の緩やかな地形では風は地表面に沿って流れるが、急な地形では頂上付近で最高風速を示す¹⁴⁾。また障害物がある場合には、風下に大きな後ろ風が生じることが知られている⁴⁾。そのために加速域で飛砂現象が活発になるとともに、減風域には多くの飛砂が堆積する状況になったと推測される。一方、2014年には古い柵cの上に設置された新しい柵dの機能の発揮によって減風域の範囲は汀線側に広くなり、加速域は消失した。また、新しい柵dによる砂丘は未発達であり、地表面は自転車道よりも低く維持されていた。

地点C（図-9）：2008年には2列の柵a・bの間隔が短いために一つの砂丘として発達したと考えられる。そのために地点Dの2014年と同じように柵の風背側に凹地が形成されている。柵a・b上には明瞭な加速域が確認され、活発な飛砂現象が生じていたと考えられる。一方、2014年では、古い柵a・bの上に設置された柵dを中心とする砂丘と自転車道縁から約7mほど離れた位置に新たに砂丘が形成されている。この地点Dの2008年（図-7の上図）に見られるように、柵に反射した飛砂が堆積してできたものと考えられた。

3.3 自転車道における堆砂量と2014年地形との関係

図-9 風環境変化と柵、微地形及び植生との関係（地点C）

Fig. 9 Relationship among wind conditions, sand fence, micro topography and vegetation of type C

表-2に、2002年・2004年～2006年における各地点の年平均除砂量（ m^3 ）及び2014年に現地計測した各地点の自転車道（ $1m \times 4m$ ）に堆積した砂の容量を示す。表-2に示したように、2002年及び2004年～2006年の4年間の除砂量は地点Dで最も多く、次いで地点B、Cの順であった。しかし、柵の耐久年が約2年¹¹⁾であり、本研究における地形測量年が2008年であるために、過去の除砂量と地形との関係を明らかにすることができない。そこで前項までの検討結果に基づいて、2014年の堆砂量の解釈を次のように試みた。

地点Dの2014年堆砂量は $44.93 m^3$ となり、他の2地点よりも多かった。地点Dでは2008年以後にあらたに設置された柵bにより丘頂の位置が汀線側に大きく移動し、その間に凹地形が出現したことや、植生も形成されたこともあり自転車道への飛砂は抑制されると予想された。しかし、自転車

表-2 2002・2004～2006年の除砂量及び2014年の堆砂量

Table 2 Amount of removed sands in 2002・2004～2006 and accumulated sands in 2014

地 点	D	B	C
年平均除砂量（ m^3 ）	111.5	74.03	16.17
2014年の堆砂量（ m^3 ）	44.93	9.06	28.58

道縁に柵が設置されていないこと、自転車道と凹地の間に小丘状の場所が出現し、これが飛砂の供給源になって堆砂量が多くなっていると考えられた。

地点Bの2014年堆砂量は 9.06 m^3 であり、他の2地点よりも少なかった。2008年時点では加速域の存在により飛砂現象が活発で、柵a・bの間に溜まった大量の砂が自転車道側へ押し出されていたと考えられるが、2014年には新たに設置された柵dが砂にとっての障害物として機能したこと、砂丘が未発達で地表面が自転車道よりも低位置にあること、風の加速域もないことなどから、自転車道への飛砂の堆積も他の地点に比べて少なくなったと考えられる。

地点Cにおける2014年堆砂量は、 28.58 m^3 であり、地点Dに次いで多かった。2008年の地形は2014年の地点Dの地形と比べて凹地が深いことや、凹地内には植生が成立していたことから、自転車道への飛砂の侵入は比較的少なかったと考えられる。しかし2014年には自転車道から近い地点に小丘状の地形が形成され、その脚部に溜まった砂が自転車道に押出し始めることで、自転車道への堆砂は今後増加すると考えられた。

4. まとめと今後の課題

本研究の結果から、以下のことが考えられた。

1) 柵の設置により柵上を丘頂とする砂丘が形成される。
2) 形成される砂丘の南側（風衝側）が急傾斜で凹型地形の場合は、柵上に風の加速域が出現する。
3) 形成された砂丘の北側（風衝側）斜面は減風域となり堆砂が生じるが、柵と自転車道との間が広い場合には凹地が形成される。
4) 自転車道と柵の間に凹地が存在する場合、飛砂は減風域である凹地内に堆積するが、凹地と自転車道の間に小砂丘が形成され、これが自転車道の高さを越えるようになると、自転車道への堆砂（砂の押し出し）が増加する。
5) 柵の密閉率が高い場合、飛砂は柵によって反射し、風衝側に砂丘を形成する。

以上から、柵の設置の有無や設置位置、新設と砂中への埋没が微地形の変化（形成される砂丘の位置）に影響し、微地形の変化と柵の防風・防砂効果によって減風域の範囲や飛砂が堆積する場所が変化することで、自転車道への堆砂量（飛砂害の程度）にも影響を与えることがわかった。

砂丘の丘頂部では風速の増大とともに飛砂量も多量となり⁵⁾、柵で上方へ吹き上げられた飛砂はその風下へ吹き送られ、後方の飛砂量を多くすることが知られている¹³⁾。今後、飛砂害を抑制するためには、柵の設置位置とそれによって生じる減風域を予測し調整すること、また自転車道前面に自転車道よりも低い凹地を形成させることや小丘の形成を防止することが効果が高いと考えられる。また、柵の設置にあたっては現存する植生の連続性を遮断しないことや、砂表面における飛砂の発生を抑制するための植生による被覆¹¹⁾、柵によって飛砂を海側へ逃がす方法¹⁵⁾も有効であると考えられる。

鈴木(1981)によって、「堆砂垣を連ねて出来た砂丘の頂に

起伏がある場合には、その起伏が次第に増幅され、凹所の後方の林帯に被害をもたらす例も多い。」¹¹⁾と述べられているように、砂浜の安定や飛砂害の低減は、砂浜後方の海岸防災林を健全に維持していくために重要である。本研究では十分な解析ができなかったが、風環境や微地形の変化と植生との関係や飛砂の粒径と植生との関係、更には砂浜後方の海岸防災林との関係についても、今後検討する必要がある。

謝辞： 本研究の遂行にあたり、神奈川県藤沢土木事務所より湘南海岸自転車道における飛砂量データをご提供いただきました。心より御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 井上 晋(2012)今後における海岸防災林の再生について～「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」報告～. グリーンエイジ, 39(5): 28-32.
- 2) 神奈川県湘南なぎさ事務所(1997)白砂青松－湘南海岸の保全と整備の歩み－.
- 3) 河合英二(2010)海岸環境と海岸林. 日本緑化工学会誌, 35(4): 513-517.
- 4) 真木太一(1987)風害と防風施設. 文永堂出版, 301pp.
- 5) 松倉他(1979)風成デューンの風下斜面上における飛砂. 筑波大学水利実験センター報告, 3: 47-53.
- 6) 村井宏他編(1992)日本の海岸林－多面的な環境機能とその活用－. ソフトサイエンス社, 512pp.
- 7) 岡浩平・吉崎真司・小堀洋美(2007)湘南海岸における地形特性と砂防柵の有無が海浜植生の成帯構造の成立に及ぼす影響. 環境情報科学論文集, 21: 87-92.
- 8) 岡浩平・吉崎真司・小堀洋美(2008)静岡県遠州灘海岸における海浜植生の成帯構造の成立要因. 日本緑化工学会誌, 34(1): 57-62.
- 9) 坂本知己(2012)津波によって被災した海岸林の再生にむけて. 水利科学, 56(3): 39-61.
- 10) 佐々木寧他(2013)津波と海岸林－バイオシールドの減災効果. 共立出版, 209pp.
- 11) 鈴木 清(1981)湘南海岸における砂地緑化工に関する考察. 緑化工技術, 8(2): 17-21.
- 12) 鈴木 清(1984)湘南海岸砂防林の生長と林形に関する風洞実験. 神奈川県林業試験場報告, 10: 23-35.
- 13) 鈴木 清(1994)湘南海岸の飛砂の特性について. 神奈川県林業試験場報告, 20: 45-61.
- 14) 竹内清秀(1997)風の気象学, 東京大学出版会.
- 15) 宇多ら(2008)湘南海岸における飛砂量の検討. 海洋開発論文集, 24: 1195-1200.
- 16) 山野井克己ら(2001)海岸林の樹高成長に及ぼす間伐材防風柵の効果. 日林誌, 83(2): 143-149.
- 17) 吉崎真司(2012)今日の海岸林の課題, 水利科学. NO.326 (第56巻第3号) 14-27.
- 18) 財団法人電力中央研究所技術第二研究所(1971)飛砂と海岸砂防に関する調査, 技術第二研究所報告 調査報告 71002, 29p.

(2017年6月19日受理)