

飛砂防止を目的とした自生型砂地緑化工法の開発と効果の検証

Development and Validation of Prevention Technique for Blown Sand by Natural Vegetations

滝沢有紀¹・真見和樹²・富永禎秀³

Yuki TAKIZAWA, Kazuki MAMI and Yoshihide TOMINAGA

Blown sand is a serious problem in the district facing the Japan Sea where seasonal wind is very strong in winter. In order to prevent the blown sand, the construction technique using natural vegetations had been developed. The growth of the natural vegetations is encouraged by the improvement of sand ingredients in this method. The effects of the method were investigated by the field survey and observation at the seashore in Kashiwazaki, Niigata Prefecture. As a result, the increase in the ground level by the sedimentary sand, which was caught by the vegetations, was observed in contrast with the natural beach. It was confirmed that this method is effective on the growth of the natural vegetations and the prevention of the blown sand.

1. はじめに

新潟県沿岸部では冬期の風浪等で発生する飛砂被害が著しく、その対策が必要とされてきた(船越ら, 1993; 塩澤ら, 1993; 佐藤ら, 1999等)。古くから行われてきた対策工法として、垣類などの補助工作物を設置した後方に植生を導入する方法があるが、垣類は老朽化や埋没した場合は更新が必要であり、施工にも高い技術と手間を要する。一方、施工の比較的容易な砂地表面を粘着材や無機資材で被覆する方法は、短期間で大面積を覆って飛砂を防止できる点で有効であるものの、激しい飛砂地では堆砂によって効果を失ってしまう。それに対し植生(砂草)の定着を促す工法は、その繁殖形態から長期的な飛砂抑制効果が期待できる。以上の点から、より単純な手順でかつ機械施工が可能な、植生による飛砂防止工法の開発は意義のあるものと考えられる。本研究では、その一手法として、砂浜に有機質を中心とした生育基盤層を設けることで、植栽は行わずに潜在植生を一面に発生させて飛砂を抑制する工法を開発する。そしてその効果の検証のため、試験施工及び現地実測を行い、現象把握を行う。

2. 研究内容

(1) 施工方法

図-1に試験施工の実施状況を示す。柏崎市荒浜海岸の砂浜(汀線までの距離約70m)を10m四方の正方形で深さ約0.5m掘削し、主となる有機質基盤(新潟県特産の食品製造後の培地を二次利用)を約30cm敷均し、動物系有機質肥料や微生物資材等を散布した後、現地砂で埋め戻す。試験施工した範囲を“試験区”とし、

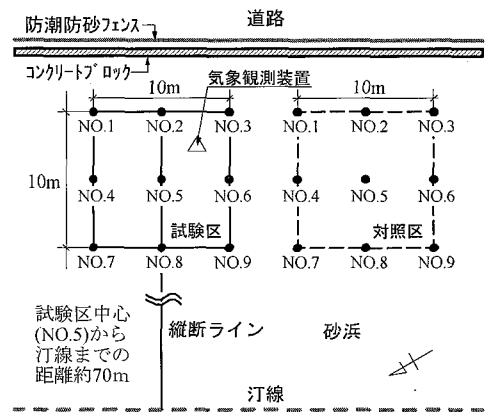


図-1 試験区・対照区の概要

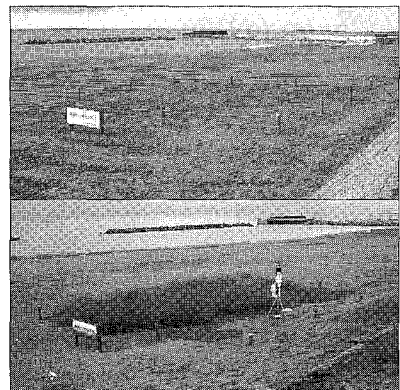


写真-1 試験地全景(上:施工完了2002年7月15日, 下:植生発生後2003年8月28日)

その隣に通常の砂浜である“対照区”を設け、両者を調査対象とした。施工完了時の状況を写真-1上に示す。

(2) 環境調査の方法

調査期間として、砂の捕捉量及び地温調査は2002年7月の施工時から2004年5月まで、気象観測は2003年

1 グリーン産業(株)調査設計部
2 グリーン産業(株)調査設計部長
3 正会員 工博 新潟工科大学教授工学部建築学科

9月から2004年8月まで実施した。また断面調査を2005年12月に実施した。

a) 気象観測

測定器には、アメリカ DAVIS 社製の気象観測装置ヴァンテージ・プロと、各気象センサーから無線で送られてきた気象項目を表示し、蓄積する専用のコンソールを使用した。地上約 1.6 m の高さで気温、湿度、雨量、気圧を、約 2 m の高さで風速、風向、日射量を計測した。測定間隔は全測定項目を 10 分間隔で自動測定した。

b) 砂の捕捉量 (レベル) 調査

地盤高を測定することで施工範囲における砂の捕捉量を調べ、間接的に飛砂量 (堆砂量) を測定した。試験区及び対照区 (通常の砂浜) 内の各 9 点と、試験区～汀線方向の縦断測量を行った。砂の捕捉量及び地温の調査は約 1 ヶ月おきに実施した。

c) 地温調査

試験区及び対照区でランダムに各 5 箇所を選出し、1 箇所につき測定深さ 0 cm, -10 cm, -20 cm の 3 通りで計測した。

(3) 植生調査の方法

主に目視により、区全体及びプロット (1×1 m) 内の発芽状況、植物種、被覆状況、生育状況等の確認を行った。断面調査として地中の根の状況確認を、2005 年 12 月 (施工 3 年後の冬) に実施した。

3. 調査結果

(1) 環境調査

a) 気象観測

① 風向・風速の発生頻度

図-2 に試験区地上高さ 2.0 m の位置で 1 年間観測した風速の風向発生頻度分布を示す。図-2 (1) は 10 分間毎に計測した全ての風速について求めたもので、図-2 (2) は風速 5 m/s 以上の風速が強い条件で求めたものである。全体に北からの風が多く、特に強風時に北風が非常に卓越している。図-3 に風速別発生頻度分布を示す。1 年間の全ての風速について求めた結果と季節風の影響の強い冬期 (ここでは 11 月～3 月) のデータのみで求めた結果を比較して示す。冬期は低風速側の累積頻度が小さく、高風速の発生頻度が非常に高いことが分かる。

② 飛砂の発生状況の推定

試験区における風速の観測結果から、当該地区での飛砂の発生状況を推定する。まず風速の鉛直分布に以下の対数則を仮定して、風速の観測値から砂面の摩擦速度 U_* を推定する。

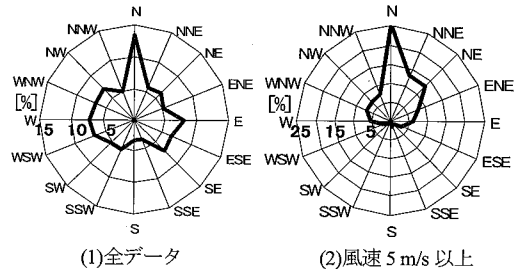


図-2 風向発生頻度分布 (試験区地上 2m)

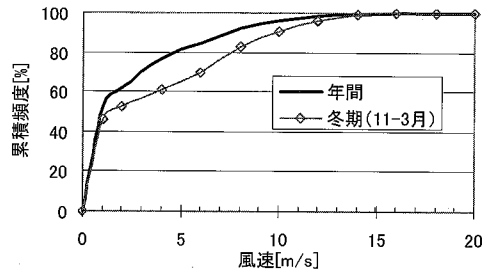


図-3 風速発生頻度分布 (試験区地上 2m)

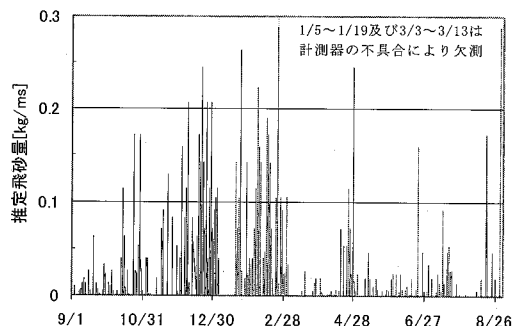


図-4 風速の観測結果から推定した飛砂の発生状況 (2003 年 9 月 1 日から 2004 年 8 月 31 日)

$$U_* = \frac{U_z}{5.75 \log_{10} \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad (1)$$

ここで U_z は風速の測定値 (地上高さ $z=2.0$ m), z_0 は砂面の粗度長 (本研究では, z_0 は 1.0×10^{-3} [m] とする) である。

また砂面の限界摩擦速度 U_{*t} は次式で求める (堀田, 1985; 栗山・上堂, 1999)。

$$U_{*t} = A \sqrt{gD \frac{\sigma - \rho}{\rho}} \quad (2)$$

A は数値定数 ($=1.0$), D は砂の粒形, σ は砂粒子の密度, ρ は空気密度である。現地の砂粒子の分析結果から粒径 D として 0.5 mm, 砂の密度 σ として 2.6 g/cm³ を用いると, U_{*t} は 0.24 [m/s] と求められる。

飛砂量 q は、次式の河村式 (河村, 1951) から推定す

るものとする。

$$q = K \left(\frac{\rho}{g} \right) (U_* + U_{*i})^2 (U_* + U_{*i}) \dots \dots \dots (3)$$

ここで $K=2.78$ とした。図-4 に、10 分間隔で計測された地上 2.0 m の 10 分間平均風速から算出した飛砂量 (単位時間に単位幅を移動する砂の質量) の推定結果を示す。なお砂面上の摩擦速度 (2) 式で求めた限界摩擦速度 U_{*i} 以下の場合、及び降水量が観測された時には飛砂は起きないものとした。この結果から 10 月頃から飛砂量が増加し始め、季節風の影響の強い 12 月から 2 月終わりまで相当量の飛砂が発生していると推定される。

ｂ) 砂の捕捉量 (レベル) 調査

図-5 は試験区及び対照区における仮地盤高の推移を全 9 測点 (測定位置は図-1 中の NO. で示す) の平均により示したものである。仮地盤高とは測定を開始した 2002 年 10 月 17 日を 0 としたときの地盤高である。両区共に上昇傾向がみられるが、測定開始から 2 年半で対照区は 10 cm 前後、試験区は 40 cm 前後の地盤上昇がみられ、約 30 cm の地盤高の差があった。

2003 年 8 月 28 日の観測から試験区の地盤高が急激に上昇している。これは後述するように、8 月頃に試験区のメヒシバの草高がピークとなり、飛砂粒子の捕捉量が最も多くなるものと考えられる。また図-4 に示したように、飛砂量は 10 月頃から 2 月末までが多いと推定されるが、その時期の仮地盤高の変動は比較的小さい。これはこの時期は、植生が枯死した状態になり捕捉量が減少し、侵食量と堆積量が平衡した結果、冬期の飛砂発生期の地盤は比較的安定した状態になったものと考えられる。また 4 月の植生の出芽時期より再び地盤が上昇し始める。

2003 年 7 月 24 日から 2004 年 1 月 19 日までの期間について、測定位置別の地盤高の変化を示したものを図-6 に示す。測点位置は、試験区の風上から風下に向かって (NO. 1 ~ 3) (NO. 4 ~ 6) (NO. 7 ~ 9) の順に 3 列に並んでいる (図-1 参照)。図-6(1) に示したように、試験区においては、測定期間 8/28 から 10/28 の間は風上の測点 (NO. 7 ~ 9) が著しく増加しており、10/28 から 11/28 の期間はそれより風下の (NO. 4 ~ 6) で増加している。すなわち順番として風上側の植生帯から飛砂を捕捉し、凹凸ができ、次にその後方 (風下) の植生帯で砂を貯めている。一方、対照区 (図-6(2)) では、全体的に地盤高の変化は小さい。10/28 から 11/27 に増加が見られるが、これは対照区と道路の間にあるコンクリートブロックの影響で堆積した砂の影響であり、試験区内で捕捉されたものとは過程が異なる。

図-7 に施工後の縦断面の変化を示す (縦断ラインは

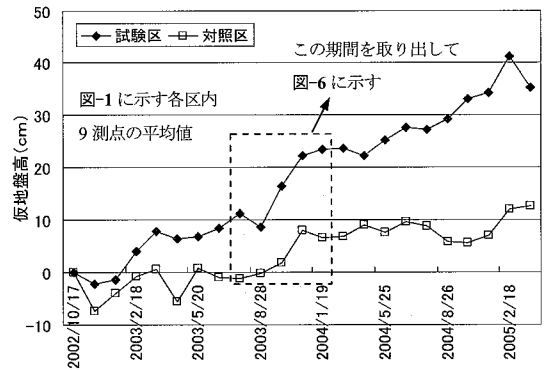


図-5 測定開始を 0 とした場合の仮地盤高の推移

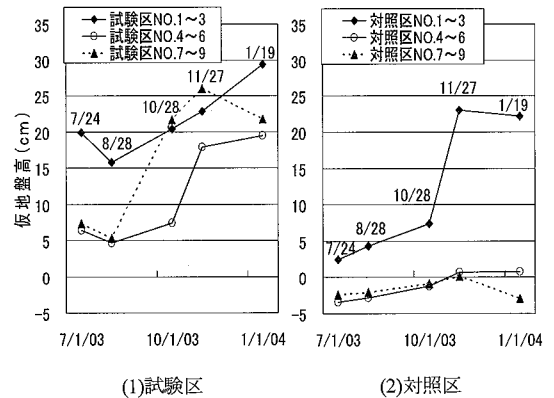


図-6 測点別仮地盤高の推移

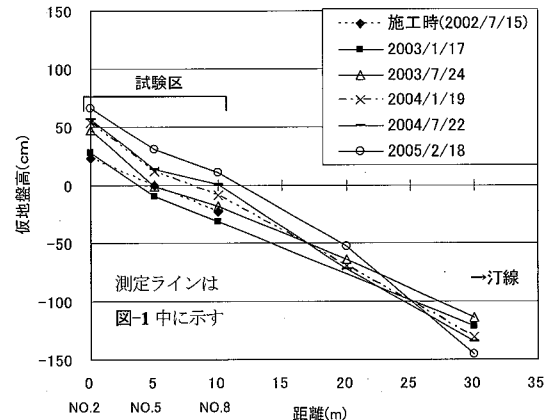


図-7 施工後の縦断の変化

図-1 の NO.2, 5, 8 を通る直線)。試験区の縦断変化は、施工から約半年の間に、砂の堆積によって現地に即した地表形状に変化した後、地盤高は時間経過と共に上昇している。また NO. 2 から汀線側に距離 20 m 付近までは特に地盤上昇の傾向が強い。対照区より汀線側の縦断ラインの計測は行っていないが、概ね試験区の汀線側と同

様の傾向であった。

なお試験区より更に風下側領域での飛砂量への影響については、施工区域の制約から十分把握することはできなかった。この点は、今後の課題としたい。

c) 地温調査

同時刻の試験区と対照区の地温の関係を図-8に示す。表面温度(深さ0 cm)は、天候や気温、乾湿の影響を受けやすく、特に暖かい晴れの日には、地中の2点とは最大で20℃前後の温度差が生じる。一方、雨天時や冬期、植生の下などの湿った状態の砂面では深さの違いによる温度差は小さい。表面温度(深さ0 cm)は、概ね地温30℃以上の場合、植生の影響により試験区は対照区より低温を示す。しかし深さ-20 cmでは、逆に試験区がやや高温になる傾向がある。また写真-2を見ると、基盤改良を行ったことで、施工区は周囲の砂浜より表面の湿度が高い状態になっていることが確認できる。

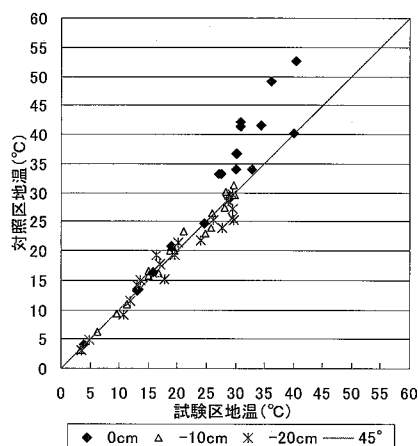


図-8 同時刻の試験区と対照区の地温の比較



写真-2 植生発生前の試験区 (2007年10月17日)

(2) 植生調査

a) 植生の発生

施工翌年の2003年4月の観察で初めて出芽が確認され、4月及び5月の各区の発芽本数を計測したところ、4月の発生時には両区同程度の数であったが、5月の段

表-1 発芽本数

	4月		5月	
試験区	211	→	1,114	(本/区)
対照区	217	→	422	

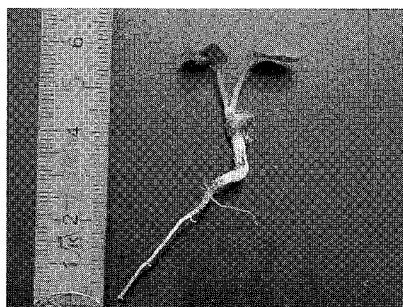


写真-3 試験区ハマヒルガオ発芽個体(種皮付き)

階では試験区内の本数は大きく増加し、顕著な差が認められた(表-1)。対照区は主に昨年茎からの出芽であるのに対し、試験区は現地土壤に含まれる種子からの発芽であるのが特徴的である(写真-3)。植物種は主にハマヒルガオ(海浜に生育する多年生草本)で、所々にメヒシバ(1年生草本)の出芽がみられた。すなわち試験区は通常の砂浜よりも発芽環境として優れていることが示された。

b) 出芽の条件

試験区の道路側(NO.1~3)の1帯で発芽本数が明らかに少ない傾向であった。ハマヒルガオの場合、埋土深-15 cmで出芽率が著しく低下する(近藤ら, 2002)ことがわかっており、レベル調査で試験区の道路側は施工時から+20 cmの地盤上昇があったことが影響していると判断できる。出芽前の堆砂によって出芽が妨げられ、全面被覆を遅らせる要因になるため考慮する必要がある。

c) 植生の遷移

施工翌年(2003年)4月及び5月のハマヒルガオの発芽後、夏に向けてメヒシバが著しく伸長し、群落を形成した。6月の観察ではハマヒルガオは草高5 cm程度、メヒシバは草高約30 cmであった。8月の植生ピーク時のメヒシバ草高は約80 cm、植被率は80%であった(写真-1下参照)。10月末の観察ではメヒシバは茶変・枯死したが、ハマヒルガオは地際で緑色を呈した。メヒシバとハマヒルガオは、どちらかが一方を被圧によって消滅させることなく、ハマヒルガオはメヒシバの下層や、その縁を囲うように棲み分けていた。

発生翌年の春から、ハマヒルガオは前年茎から出芽し、より確実に全面被覆された。またメヒシバの勢力も発生初年度に比べ抑えられる傾向がみられた。飛砂の少ない6月時の平均的な草高を比べると、2003年は約30 cm、

2004 年は 10 ～ 15 cm, 2005 年は 5 ～ 10 cm であった。

試験区においては、概ね平均気温 10℃を境に、植生の衰退・休眠（11 月末頃）と生長活動の開始（3 月末頃）が起り、毎年繰り返される。

d) 植物種

調査期間を通して試験区内で確認された種は、ハマヒルガオ、メヒシバ、コウボウムギ、ヨモギ、タカサブロウ、アメリカネナシカズラ、メマツヨイグサ、シロザ、アメリカセンダングサ、クサネム、オカヒジキ、オオオナモミなどで、この他に種子から発芽しても大きく生長できず姿を消すものもある。

e) 断面調査

施工 3 年後の 2005 年冬、試験区の一部をおよそ 0.6×2.7 m の大きさで掘削し根系状況を調査した。根系の状況を写真-4 に示す。根系は深さ最大 90 cm, 基盤改良層に達している。白く見える太根はハマヒルガオで、深さ 0 ～ -50 cm 付近まで最も根の密集がみられる。ハマヒルガオは深さ -1 m 以上根を伸ばすことができるのに対して、1 年生草本のメヒシバの根はおおむね深さ -25 ～ 30 cm まで分布し、メヒシバの枯れた地上部は約 10 cm 厚さで埋没し有機物の層となる。冬期は植生の地上部は葉を落として無くなるが、地下部は充実した多年生草本の根系により砂が保持される。

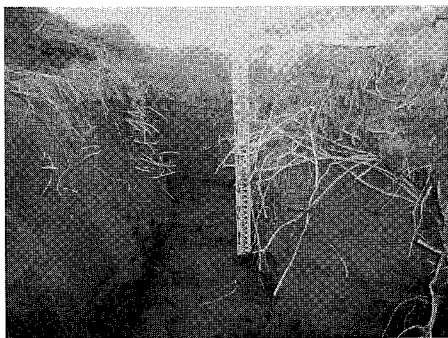


写真-4 断面調査による根系状況（2005 年 12 月 1 日）

4. ま と め

本研究で開発した飛砂防止工法の効果や特長は以下のように要約される。

- ①施工範囲は、基盤改良により砂面の保温効果・地盤内部温度が高まったことにより植物の発生条件が満たされ、海浜性のハマヒルガオや、先駆的な 1 年生草本（メヒシバ等）が埋土種子から自然発生し、一面が植生で覆われた。植生により砂浜の粗度が高まるため、地表の風速を低下させる効果が期待でき、実際に植生が砂を捕捉させている状況が測定結果より確認された。また地盤改良により砂表面の湿気が保持されており、

このことも飛砂粒子の移動を抑える効果として期待される。

- ②植生が飛砂粒子を捕捉することによって、植生の風上の部分から順に堆砂していく。施工面に凹凸が現れた後、風上の凸部の後方の凹部に飛砂が溜まり安定した。すなわち植生が毎年更新されることで、地盤もまた上昇する傾向が認められた。
- ③植生は砂浜に日陰をつくり、水分の蒸発を防ぐ。海浜性草本はその繁殖形態から、砂に埋もれても上へと伸長する能力をもっており、堆砂垣などの耐用年数が 2 ～ 3 年程度の構造物と比べた場合、生長によって効果が毎年更新するため、劣化することがなく持続性が高い工法といえる。
- ④充実した基盤環境を基に張り巡らされた根系の緊縛により、冬期も砂浜の安定を保っている。
- ⑤すなわち、本工法は、飛砂量を減じるための工法が有すべき条件（風速の低下、砂表層の含有水分低下の防止、飛砂粒子の移動の遮断あるいは捕捉、不断の継続性（中島, 1992）を総合的に満足していると判断できる。
- ⑥飛砂発生源となる砂浜の緑化は、ほとんどが自生する砂草を植栽する手法で導入されてきたが、本研究では、基盤改良のみを行う極めて単純な方法により、植栽することなく、現地性の植生を発生・繁茂させ、植生遷移を経て長期安定型の植生を成し飛砂を抑制するという一手法の可能性を示した。

参 考 文 献

- 遠藤治郎(1998): 海浜地の緑化と土壌, 興水 肇・吉田博宣編, 緑を創る植栽基盤, ソフトサイエンス社, pp. 275-289.
- 河村龍馬(1951): 飛砂の研究, 東大理工研報 5(3/4).
- 栗山善昭・上堂蘭孝一(1999): 後浜から砂丘前面にかけての飛砂量の数値計算, 海岸工学論文集, 第 46 巻, 土木学会, pp. 501-505.
- 近藤哲也・坂井明子・佐々木真二郎(2002): 播種時期と埋土深がハマヒルガオとハマエンドウの萌芽と生残に及ぼす影響, 日緑誌, 28 巻, 2 号, pp. 330-341.
- (財法)都市緑化技術開発機構(1998): 海岸地帯の緑化技術に関する調査, 都市緑化技術, No. 30, pp. 37-38.
- 酒井昭治(1987): 新潟県海辺の植物, 北都, 277p.
- 佐藤慎司・大谷靖郎・橋本新・堀口敬洋(1999): 新潟海岸における飛砂の実態と防砂フェンスの機能, 海岸工学論文集, 第 46 巻, 土木学会, pp. 496-501.
- 塩澤俊彦・中谷内信一・赤澤 守・玉城重則・黒木敬司(1993): 新潟西海岸における飛砂の現地観測, 海岸工学論文集, 第 40 巻, 土木学会, pp. 281-285.
- 中島勇喜(1992): 海岸林の環境保全の働きと評価 2. 飛砂防止, 村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編, 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, pp. 265-283.
- 船越晴世・大野正人・阿部勝雄・鈴木幸一・黒木敬司・玉城重則(1993): 飛砂防止対策について, 海岸工学論文集, 第 40 巻, 土木学会, pp. 291-295.
- 堀田新太郎(1985): 飛砂, 本間仁監修/堀川清司編, 海岸環境工学, 東京大学出版会, pp. 191-209.