

堆砂垣の機能についての実験的研究

堀田新太郎*・堀川清司**

1. はじめに

飛砂防止工として最も一般的に使用されるのは堆砂垣である。海岸工学上の立場より飛砂防止工に関する研究は特に日本では少ない。現在海岸は工業用地、高速道路用地、マリッジ用地として高度に利用されているが、ある季節には隣接する砂浜より飛砂が侵入し、その防止を必要とする例がみられるようになった。飛砂防止工は農業工学、林学の一分野ではそぼそと続けられているが、その研究は風洞実験や現地調査の結果を断片的に記述するのみで、工学的立場からみると満足されるものではない。著者らは堆砂垣の機能を明らかにし、その使用に対して工学的な指針を与えるべく従来の研究をとりまとめ、その結果を Coastal Sediments'87 で発表した (Hotta *et al.*, 1987)。この研究はそれに続くもので、最終的には海岸堤防を越えて道路や隣接する居住地、レジャー用地に侵入する飛砂を最も効果的に防止する堆砂垣の空隙率とその設置位置を実験的に決定しようとするものである。その方法の基本的な考え方は、先ず、垣のみが存在する状態での最適空隙率を決定し、次に、堤体のみがある場合の堤体前面の風の状況、砂の堆砂状況を求め、両者の重ね合わせより、最適の空隙率とその設置位置を推定する。その後、その推定を実験で検証しようとするものである。本稿では最適空隙率の決定と重ね合わせによる最適設置位置の推定までを報告する。後半の検証については稿を改める。

2. 実験施設と方法

実験は、断面 1×1.1 m、長さ 20 m の吹き出し型風洞を用いて次のような手順で行った。1) 風洞底面に砂を張り付けたベニヤ板を敷き固定床粗面を作成し、風洞風上端より 14~19 m の区間において風速の鉛直分布を 1 m 毎に測定した。2) 風洞の風上端より 15 m の位置に垣のみを設置し、垣前後の風速分布を測定した。風速の測定範囲は風上側 10 H、風下側 40 H で、測定間隔

は 1 H である。ここに H は垣の高さで、9 cm である。空隙率の異なった 7 種の垣 (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60%) について風速分布を測定した。空隙率は垣の開口面積と垣の全面積との比である。3) 垣のない状態で風上端より 19 m の位置に高さ 2.5 H、法勾配 45° の堤体を設置し、風上側の風速分布を測定した。4) 堤体法先より 5 H, 10 H, 15 H, 20 H の位置にそれぞれの空隙率の垣を置き風速分布を測定した。風速測定に先立って、垣の前後 1 H 毎に風洞底面に開孔した径 5 mm の孔より発煙気流検出管を挿入し、風況を観察した。5) 固定床上における風速分布の測定終了後、固定床を厚さ 10 cm の移動床に変え、風速測定と同一の順序で砂面変動を測定した。

実験に用いた砂は静岡県浜松市米津浜の砂で、中央粒径 0.3 mm、均等係数 1.5 程度のよく揃った砂である。模型垣は図-1 に示すようなスラットタイプと呼ばれる形状のものである。板の厚さは 2 mm である。空隙率は、板と板との間隔を 2 mm に保ち、板の幅をかえることによって変えた。それぞれの空隙率に対する板の幅は 10% で 18 mm, 20% で 8 mm, 30% で 5 mm, (厳密には約 28.5% となるが、30% と呼ぶことにする。) 40% で 3 mm, 50% で 2 mm である。60% には板の

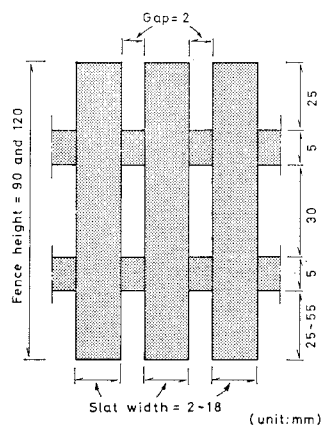


図-1 模型垣の寸法

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科

** 正会員 工博 埼玉大学教授 工学部建設基礎工学科

幅を 2 mm として、板と板の間隔を 3 mm に拡げた。移動床実験には高さ 12 cm の垣を使用し、3 cm の根入をしてある。風速は 16 チャンネルの熱線（ホットフィルム）風速計で測定した。1 台の風速計は風上端より 12 m の位置で高さ 50 cm に固定して基準風速の測定をした。他の 15 台で鉛直アレイを構成した。風速計の高さは 0.6, 1.8, 3.0, 4.2, 5.4, 6.6, 7.8, 9.0, 10.2, 11.4, 16.4, 21.4, 30.0, 40.0, 50.0 cm である。風速はサンプリング間隔 0.2 秒で 2 分間測定し、600 個のデータの平均値を風速値とした。データは直接パーソナルコンピュータ (PC 9801) に取り込まれている。風洞天井の中心線に沿って幅 4 cm の溝を切り開き、風洞上部のレール上を走る台車にアレイを取り付け、アレイを上下前後に移動できるようにしてある。移動床実験では、基準風速点の高さ 10, 20, 35, 50 cm のみの風速を測定した。砂面変動は、風速アレイの移動に用いた台車に取り付けたプロファイラーを使用して測定した。台車の移動速度は約 3 cm/s であった。プロファイラーの出力は同時にチャートレコーダーとデータレコーダーの両方に記録した。

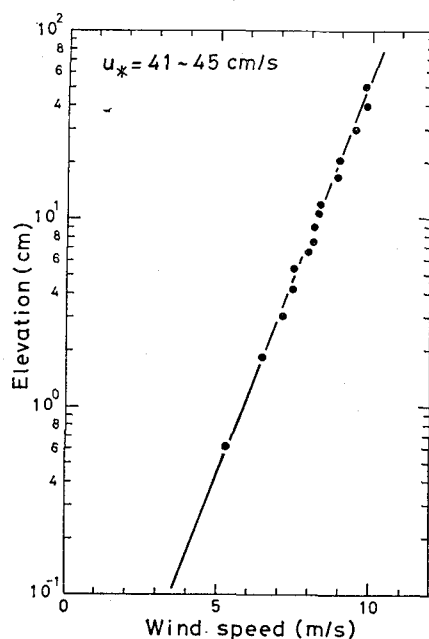


図-2 固定床上の風速分布

3. 実験結果と検討

3.1 固定床上の風速鉛直分布

図-2 は実験に使用した風洞区間、風上端より 14—19 m の区間で測定された鉛直分布の例である。対数則が成立している。基準風速地点の風速を 9.8 m/s に保つように実験を行ったが、全てのケースについて一定に保つことはできなかった。各々の実験で決められた摩擦速度 u_* は 41~45 cm/s の範囲にあり、平均値は 43 cm/s であった。

3.2 フローパターン

図-3 は Hotta *et al.* (1987) によってとりまとめられた、不透透性 (a)、透過性 (b) 垣周辺の流れの模式図である。 L_f は垣前面に生じる循環流の範囲、 L_i は垣前面の風速鉛直分布が垣の影響を受け始める地点、 L_b は垣背後に生じる循環流の存在範囲、 L_s はよどみ点の生じる位置、 L_r は逆流が最も強い地点、 L_e はもとの風速分布に戻る地点である。図中に示されている数値は既往の実験結果を示す。本実験でも図-3 と同様の流れが観察され、 $L_f = (0.5 \sim 1.0)H$ 、 $L_i = 10H$ であった。後の図-4 (a) 最上端に示すように $L_i = 5H$ 、 $L_e = 20H$ であった。透過性垣では図-3 (b) に示すような新たなよどみ点 L_m が生じる。本実験では垣前面の循環流は 10% 垣で $L_f = 0.2H$ と認識できたが、20% 垣では検出されなかった。 L_m は 10% で 2H, 20% で 2.5H, 30% で (3~4)H であった。 L_e は 10% で 10H, 20% で 10H, 30% で 9H であった。40% 垣では、明瞭なセルは

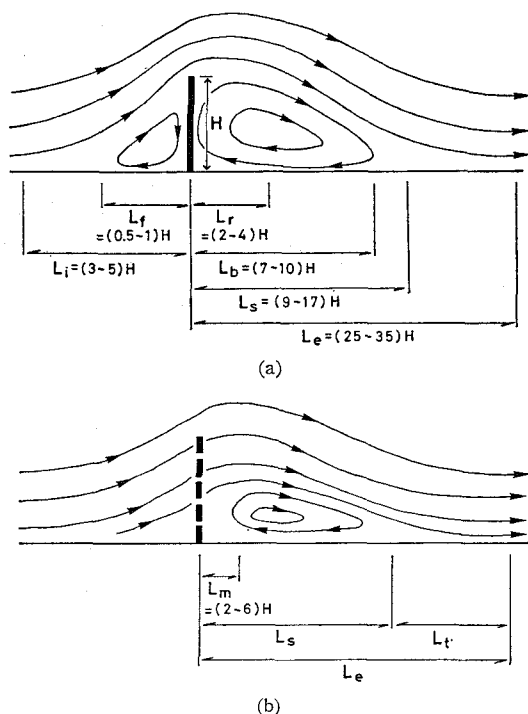
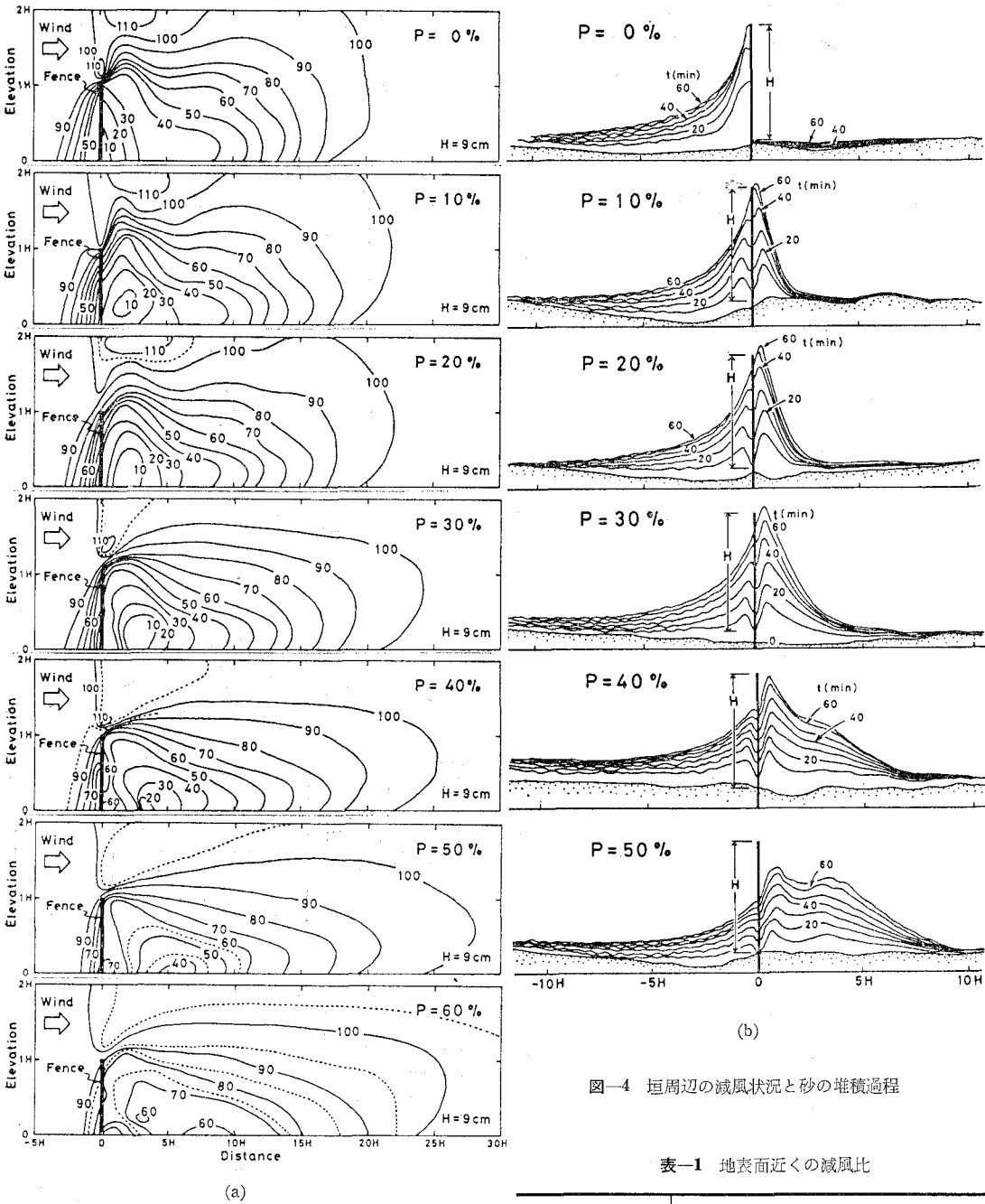


図-3 垣周辺のフローパターン

確認できなかったが、(6~5)H に小さいセルが形成され、そのセルが剝離して風下に流されるのが観察された。本実験で求められた値は従来の実験で求められている値の範囲にある。

透過性垣での L_e は約 (22~28)H (図-4) であった。



図—4 垣周辺の減風状況と砂の堆積過程

発煙による流況の観察によると、空隙率 30% 以下（不透過性垣を含めて）で垣背後に明確にセルが存在する場合に、セルの存在範囲 L_s での煙の乱れの範囲は $(0.1 \sim 0.2)H$ 程度であった。しかし、 L_t で示される範囲の底面付近においては、煙は大きく乱れ、 H の程度の大きさで渦巻き、時には流れが逆転する状況も観測された。このような流れの性質がどのように砂の運動に関係するかは現在の段階では考慮されていない。

表—1 地表面近くの減風比

		Fence Porosity						
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Fence Position	5H	32	30	25	20	25	35	65
	10H	43	43	45	43	50	55	60
	15H	83	80	80	75	75	75	80
	20H	100	100	100	96	95	90	90
	25H	100	100	100	100	100	100	100

3.3 垣前後の減風域

図—4 (a) に各々の垣周辺の等減風比曲線を示す。減

風比は、垣のある状態での風速と垣のない状態（図-2で示される風速）での風速の比として定義する。熱線風速計で風速測定を行ったので風向は考慮しないこととする。減風比は%で示してある。図-4 (a) は減風される領域は空隙率が小さいほど上方に拡っており、風下側に短いことを示している。空隙率 50% の垣が風下側に最も長い減風域を持つ。最適空隙率をいかにして決定するかは問題であるが、判断基準を風下側に最も長い減風域を持つ垣とすれば、最適空隙率は風下側に 28 H まで減風域がある 50% となるが、垣風下側の風速の減風状況は必ずしもよくはない。図-5 は各々の垣に対して、垣風下側において、等減風比曲線で囲まれる面積を示したものである。面積は縦 1/1.1, 横 1/16 のひずみ図形で描かれた図よりプランメーターで求めている。縦軸はひずみ面積のまま表示してある。実際の面積にするには $1.1 \times 16 = 17.6$ を乗ずればよい。図-5 は空隙率 0, 10, 20, 30% の垣に対して、各々の減風比で囲まれる面積は測定誤差内で一致してしまっていることを示している。単に減風域の大きさを比較することより、最適空隙率は求まらない。表-1 は垣風下側における代表地点の地表面近くの減風比を示したものである。空隙率 30% の垣が底面近くで、最も効果的な減風状況を現している。飛砂の移動が底面近くに集中している事実を考えれば、底面近くで最も効果的な減風状態を示す空隙率 30% が最適空隙率であると考えてよい。ここで求められた最適空隙率 30% は従来求められている値の平均的な値になる (Hotta *et al.*, 1987)。

3.4 透過性垣の捕砂効果

図-4 (b) は垣周辺の砂の堆積過程を示す（空隙率 60% の垣は減風状況より砂の捕捉能力が小さいと推定されたので実験は行っていない）。図では水平距離は鉛直距離に比べて 1/14.5 に縮小されているので、初期砂面の凹凸が強調されてみえる。図-4 (b) は空隙率によって砂の堆積形状が異なることを示す。空隙率が 30% より小さい垣では、垣の前面に、30% より大きい空隙率では垣の後面に砂が多く堆積している。

観察によれば、実験の初期において速やかに堆積が生じ、時間の経過につれて、堆積量が減少した。透過性垣で、垣の根元にくぼみがあるのは、垣の空隙を風が通過する際に風が加速され、砂面を一時的に侵食するからである。このくぼみは、10%, 20%, 30% の透過性垣にみられるように垣の高さの約 0.8 H 程度まで砂が堆積してしまふと消える。そしてそれ以後の砂の堆積は少ない。つまり垣の高さの約 80% まで埋まってしまうと、垣の捕砂能力は著しく減少することになる。また図に現われていないが、垣より風下 15 H あたりから底面の低下がみられた。これは風上よりの飛砂を垣が捕捉し

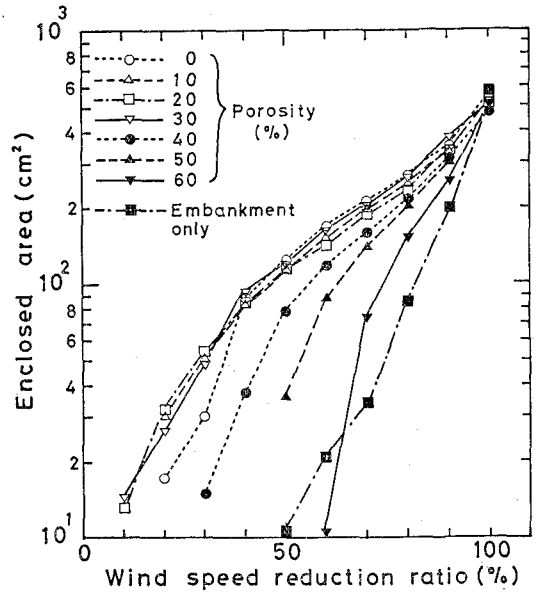


図-5 減風域の大きさの比較

ているため、風下側では風上からの砂の流入より流出が多くなり底面の低下をきたしたものと考えられる。

図-6 は垣の風下側にある頂部 (dune crest) の高まりの経時変化を初期砂面を 0 として示したものである。20% の透過性垣が最も速やかな頂部の成長を示す。30% 垣では 20% 垣に比べて多少高まりが遅れるがほとんど差異はない。

図-4 (b) からわかるように垣周辺の砂の堆積はおもに垣を中心に $\pm 10 H$ の範囲に生じている。図-7 は $\pm 10 H$ の範囲での砂の堆積量の経時変化を示す。減風速を求めたと同寸法のひずみ図形の面積をプランメーターで計測したもので、ひずみの面積のままに表示してある。図-7 によると、速やかに大量の飛砂を捕砂する垣の空隙率は 40% である。堆砂垣の最適空隙率と考えてよい。20% 垣と 30% 垣は堆積形状を異にするがほぼ等量の飛砂を捕砂していることがわかる。

4. 最適設置の推定

図-8 (a) は堤体前面における減風状況を示す。法先部に減風領域がみられるが、垣による減風領域ほど大きくはない（図-5、図印）。減風比 50% を一つの目安とすれば空隙率 30% の垣では風下側 11 H 付近までの範囲である。堤体の場合は前面 2 H 程度となる。つまり 30% の空隙率の垣を堤体前面 15 H 付近に設置すれば、50% 以下に減風される領域が広く現れると推定される。

図-8 (b) は堤体前面における砂の堆積過程を示す。砂の堆積はおもに法先より 10 H の範囲に生じているこ

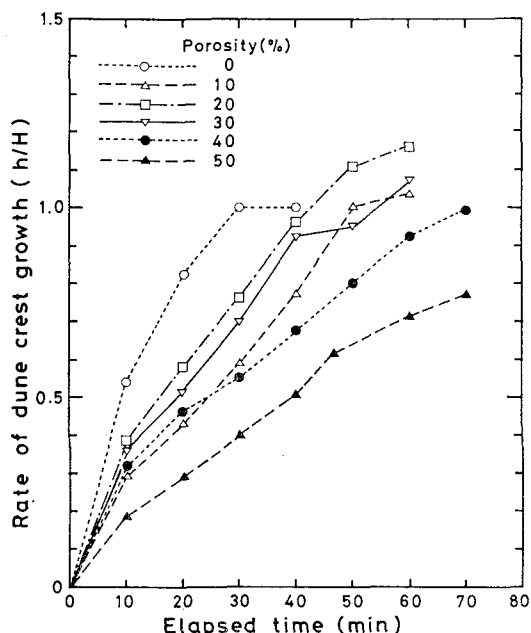


図-6 Dune crest の成長割合の比較

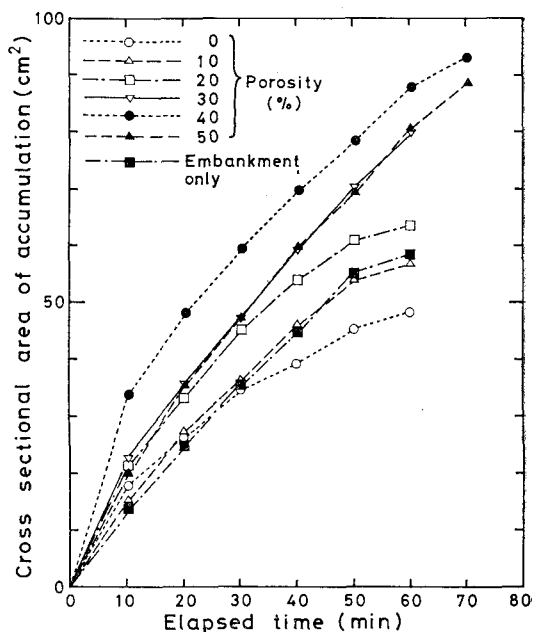
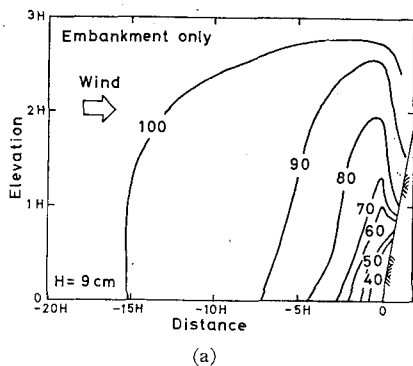
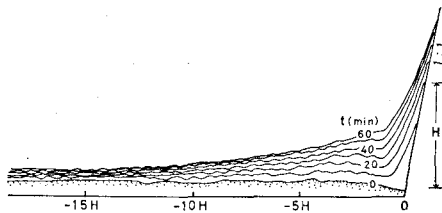


図-7 堆積砂量の経時変化



(a)



(b)

図-8 堤体前面における減風状況と砂の堆積過程

とを示す。垣の堆積形状を考へて、垣と堤体の間に砂を速やかに堆積させるには、法先 (10~15)H の位置に 40, 50% の垣を設置する。逆に法先に砂を堆積させたくない場合には法先より離れて 10, 20% の空隙率の小さい垣を設置すればよいと推定できる。

5. 結 論

以上の結果をまとめれば

1. 空隙率 50% の垣が風下側に最も長い減風域を持ち、その範囲は 28 H であった。
2. 空隙率 30% の垣が底面近くで最も良い減風状況を示し、減風の観点からは最適空隙率と判断された。
3. 最も速やかに dune crest の成長を示す空隙率は 20% であった。
4. 速やかに大量の砂を堆積させる垣の空隙率は 40%

であり、堆砂の観点から最適空隙率と結論された。砂の堆積より求められた垣の最適空隙率は風況より求められたものより大きい。

6. 謝 辞

実験は電力中央研究所の飛砂風洞を用いて行った。水理部長白砂孝夫氏、主席専門役鹿島遼一氏、構造水理研究室長田中寛好氏、主任研究員齊藤昭三氏に便宜を計っていただいた。ここに記して感謝の意を表する。特に、実験の実施に当たって多くのお世話を願った齊藤氏が急逝された。謹んで同氏のご冥福をお祈りする次第である。

参 考 文 献

- Hotta, S., N. C. Kraus and K. Horikawa (1987): Function of sand fences in controlling wind-blown sand. Proc. Coastal Sediments' 87, ASCE, pp. 772~787.