

二列堆砂垣の機能についての実験的研究

堀田新太郎*・村田拓也**・森 秀人***・堀川清司****

1. はじめに

現在、日本の海岸は工業用地、鉄道道路用地、レジャー用地として多目的に利用されている。しかし、季節風の卓越する時期には隣接する砂浜より飛砂が用地に侵入し、その用地における機能を著しく阻害するため、飛砂防止工を必要とする例が生じている。飛砂防止工として通常用いられるのは垣の周辺に飛砂を埒積させる堆砂垣である。堆砂垣は海岸砂防上、前砂丘の育成・維持、植生の保護などの目的に使用される基本的な構造物として多用されているが、その機能は工学的に十分に明らかにされているわけではなく、多くの場合、経験的に用いられているのが実情である。著者らは、工学的な立場より、堆砂垣の機能を明らかにし、堆砂垣の使用上の指針を与えるべく、従来の研究の再整理をした。その結果は、Coastal Sediments '87 及び '91 に発表してある(Hotta et al., 1987, 1991)。その文献レビューの結果によれば、多列堆砂垣がしばしば使用されているが、その機能はほとんどわかっていない。この研究は多列堆砂垣のうち、特に基本となる二列堆砂垣の機能について、実験的に明らかにしようとするものである。

2. 実験施設と実験方法

実験は断面 $1 \times 1.1\text{m}$ 、長さ 20m の吹き出し型の風洞で行なった。風洞内底部に中央粒径 0.3mm 、均等係数 1.7 程度の粒度の揃った砂で、厚さ 10cm の砂層を敷設してある。風洞の風上端より 15m の位置に第一の垣(前垣)を設置、その風下側に第二の垣(後垣)を設置した。垣はスラットタイプと呼ばれる形式の垣で、4種類の異なった空隙率、20, 30, 40, 50%を用いた。前垣と後垣の空隙率は同じである。空隙率は垣の開口面積と垣の全前面積の比である。実験に用いられた風速は砂表面上 50cm で約 9.8m/s (摩擦速度で約 43cm/s) であっ

た。最初に一列の前垣のみ、そのあと前垣と後垣の間隔を $2H$, $4H$, $6H$, $8H$, $10H$ (ここで H は垣の高さで、 10cm である。)に変えて実験をした。垣周辺の砂の堆積過程は 10 分間隔に砂面測定器で測定し、その形状をチャート式記録計上に出力した。実験時間は一定せず、前垣と後垣の機能が明確に識別できるまでの時間とした。

単独の堆砂垣の機能については堀田・堀川(1990)の実験がある。実験に使用した風速、底質は本実験と同一であるが、垣の高さ H は前者では 9cm 、本実験では 10cm である。 H の相違による砂の堆積過程の相違、縮尺効果については検討すべき事柄ではあるが、紙面に限りがあるので、稿を改めることにし、ここでは二列堆砂垣の機能についてのみ報告することにする。

3. 実験結果と検討

図-1 に二列堆砂垣周辺の砂の堆積過程を示す。

図中 P は空隙率、 FSD は前垣と後垣の間隔、数字は経過時間 (min) である。長さは $H=10\text{cm}$ で無次元表示してある。縦と横の縮尺が異なるひずみ図形となっている。

3.1 二列堆砂垣周辺の堆積過程と堆積形状

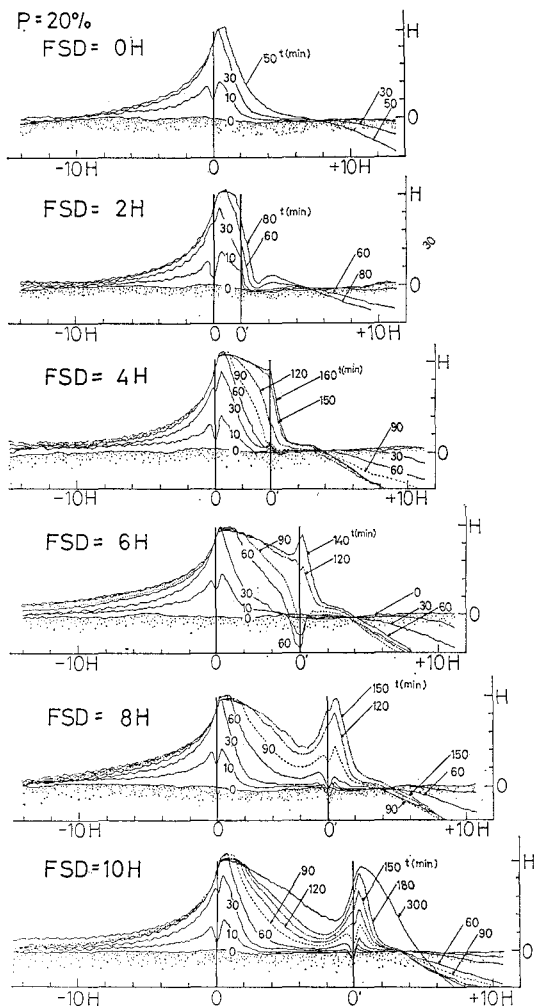
図-1 (a) の空隙率 20% の垣を参照されたい。垣間隔、 $2H$, $4H$ の場合、後垣はあたかも壁のように前垣と後垣の間の砂を留めている形状を示している。間隔 $6H$ の場合、特異な状況がみられる。経過時間 60分 までは、砂は前垣を中心に速やかに堆積しているが、同時に後垣の根元が深く、約 $0.4H$ 程度まで洗掘されている。たまたま、何らかの原因で偶然に生じたと考えられたので同一の実験が3回繰り返されたが、いずれも同じ現象が生じ、実験の誤りとは考えられなく、この場合の特徴と断定できる。つまり、間隔 $6H$ の場合は堆砂過程の初期段階において、後垣の根元が深く洗掘され、後垣の安定性において特別の配慮が必要であることを意味する。しかし、時間の経過とともに洗掘は埋め戻され、以後砂は垣間に集中的に堆積し、間隔 $2H$, $4H$ とほぼ同様な形状で堆積している。間隔 $8H$, $10H$ では前垣風下側の形状に多少の差異はあるが、前垣がほぼ単独の垣に似た過程で埋没した後、後垣周辺に堆積が進行している。

* 正会員 工博 日本大学教授 短期大学部建設学科

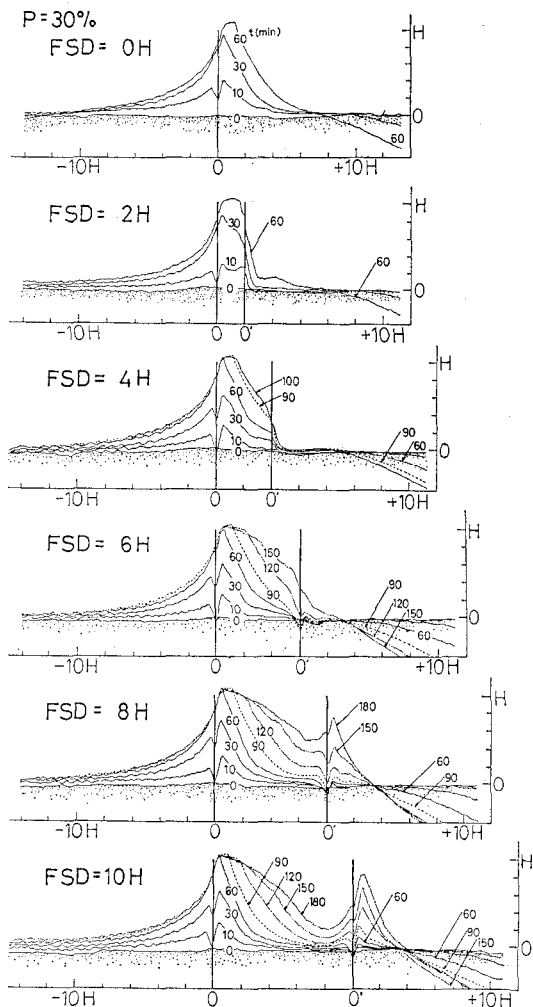
** 正会員 東京都港湾局 (元 日本大学理工学部 土木工科学学生)

*** 京都府港湾事務所 (元 日本大学理工学部 土木工科学学生)

**** 正会員 工博 埼玉大学学長



図—1 二列堆砂垣の堆積過程 (a)



図—1 二列堆砂垣の堆積過程 (b)

図—1 (b) の空隙率 30% の垣では 20% 垣と同様、間隔 2H, 4H, 6H で後垣は砂を留めて、垣間に砂を堆積させている。間隔 6H では 20% 垣で見られたように、後垣の根元は多少洗掘されるが 20% 垣ほど大きくはない。間隔 8H, 10H では先ず前垣周辺で、単独の垣に似た過程で堆積した後、後垣周辺で堆積が生じている。

図—1 (c) の空隙率 40% の垣では、間隔 2H では後垣中心に砂は堆積し、後垣が前垣より先に埋没している。間隔 4H では、初期の段階では後垣を中心に堆積が進行し、後垣が砂を留めるような形状で垣間に砂が堆積している。間隔 6H, 8H では、前垣がほぼ単独の垣に近い堆積を経た後、後垣に堆積の中心が移っているが、初期の段階で、前垣に比べて少ないが、後垣付近にも同時に堆積が進行している。間隔 10H では、前垣があたかも単独の垣のような過程で埋没した後、後垣周辺に堆積が進行している。

図—1 (d) の空隙率 50% の垣では、間隔 2H, 4H で後垣中心に堆積が進行している。間隔 6H では前・後の垣はほぼ同程度に埋没していき、垣間に砂は集中して堆積している。間隔 8H では前垣は単独の垣に似た経過で堆積は進行するが、初期の段階では後垣も前垣とほぼ同程度に堆積が進行している。間隔 10H では、前垣はほとんど単独の垣のような過程で堆積が進行した後、後垣に堆積が移っている。

単独の垣の風下側、および二列垣の後垣の風下側のある地点より砂面の低下がみられる。これは堆砂垣によって飛砂が捕捉され、飛砂の連続性が断たれたためと考えられる。堆砂垣が捕砂能力を保持している間は砂面の低下は進行するが、堆砂垣が捕砂能力を失う（埋もれてしまう）と砂面の低下は止まり、堆積に転じる（例えば、実験時間が長い各々の空隙率の FSD=10H の場合）。ここでは、この現象を研究の対象としないことにする。

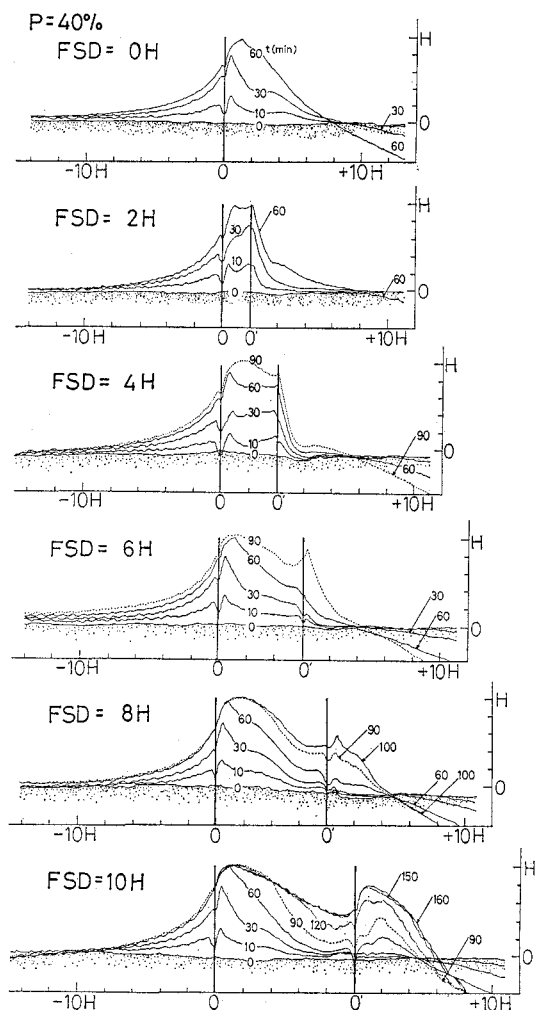


図-1 二列堆砂垣の堆積過程 (c)

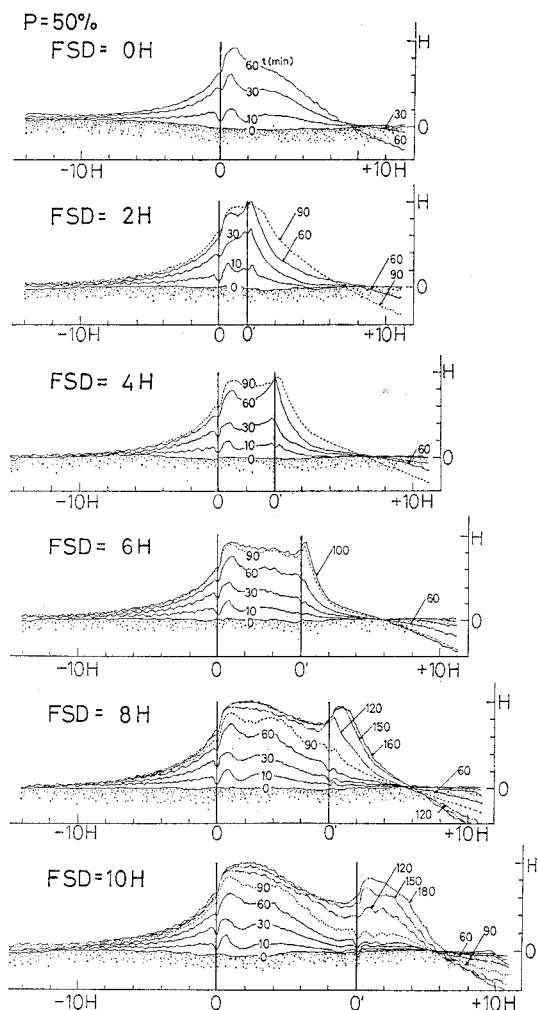


図-1 二列堆砂垣の堆積過程 (d)

3.2 二列垣の有効垣間隔

二列垣の垣間隔が広過ぎると、二列の垣はあたかも単一の垣が個々に機能するような状況になる。図-1の各々の空隙率の最上段に示してある単一の垣の堆砂形状をみると、風下側の砂の堆積範囲はほぼ20%垣で7H、30%垣で8H、40%垣で8H、50%垣で9H以内にある。一方、3.1節で述べたが、多少なりとも後垣の影響を受けるが、前垣が単一の垣とほぼ同様の形状で、ほぼ同様の過程をたどり、埋没あるいは捕砂機能を失った後、後垣周辺に堆積が移動し、後垣の風下側に単一の垣とほぼ同様の堆積形状が生じた垣間隔は、20%垣で、8H、30%垣で、8H、40%垣で、10H、50%垣で10Hであった。二列の垣の相互干渉が多少はあるが、ほぼこの程度の間隔まで二列垣の間隔が広がると、砂の堆積に関しては二個の垣がほぼ単独に機能するようになると思

えられる。

二列垣として機能する最大の間隔は空隙率によって異なり、20%垣、30%垣では、8H、40%、50%垣では10H以下であると考えてもよい。一方、単一の垣風下側に有効に砂が堆積している範囲は20%垣で約7H、30%垣で約8H、40%垣で約8H、50%垣で約9Hであった。後垣が存在することにより単一の垣と明確に異なった堆積形状を示す間隔は20%垣で6H、30%垣で6H、40%垣で4H、50%垣で4Hである。これは20%、30%低い空隙率の垣は通過する砂を阻止する傾向があるが40%、50%の高空隙では砂を通過させるからと考えられる。単一の垣と明確に異なった堆積形状を示す垣の間隔を有効間隔とすれば、本実験での有効垣間隔は20%垣、30%垣で6H、40%垣、50%垣では4Hとなる。

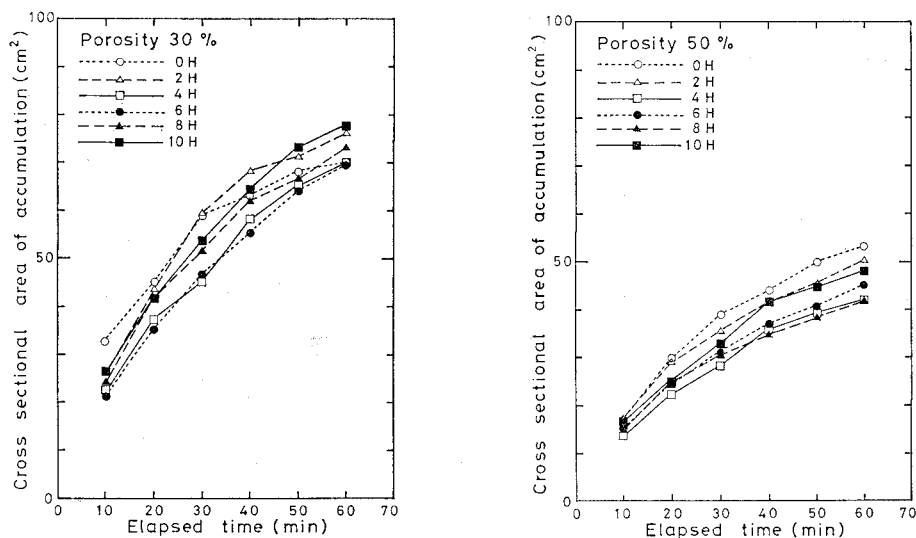


図-2 前垣風上側の堆積砂量の経時変化

3.3 前垣風上側の堆積形状

図-1 の前垣の風上側の堆積形状を参照されたい。時間の経過とともに堆積は進行していくが、いずれの空隙率の垣においても、経過時間60分（空隙率の小さい20%垣、30%垣では0.9H以上、空隙率の大きい40%垣、50%垣では0.7~0.8H程度まで埋没した状態）までは、後垣の位置に関係なく、ほぼ同じ形状で、ほぼ同じ割合で堆積が進行している。図-2 は空隙率30%と50%の垣の前垣より風上側12Hまでの範囲における砂の堆積量の経時変化を示す。堆積量は図-1 に示してある断面形状をプランメーターで測ったひずみ面積で示してある。データは平均的な値より約 $\pm 10\%$ の間にある。移動床実験であることと、用いた計測方法を考慮すると、この程度のデータのバラツキは実験誤差の範囲にあると考えられる。従って、二列垣の前垣の堆積形状は前垣がほぼ捕砂能力を失うまで後垣の位置（垣の間隔）の影響を受けないと判断してもよい。このことは透過性の垣の前面で風況が垣の存在の有意な影響を受ける範囲は空隙率20%でもたかだか2H程度、50%で0.8H程度（堀田・堀川；1990）であるから、後垣は前垣の風上までは影響を及ぼさないものと考えられる。

3.4 最適の垣間隔

二列垣を設置する場合に最も適切な垣間隔に設置することが工学的に重要になる。しかしながら、適切と判断する基準によって最適間隔は異なるであろう。基準としては、(1) 形成される砂丘の形状、(2) 砂丘の形成速度、(3) 砂の堆積量、などが考えられる。(1)の基準については、形状に対する明確な基準が設定できなければ主観的要因が多くなり、基準として用いることはできな

い。(2)の基準に従えば、明らかに単独の20%垣、あるいは垣間2Hの場合となる。堆砂垣の目的は速やかに大量の砂を捕捉することであるから、ここでは垣周辺の堆砂量について考慮してみる。垣間隔が狭い場合には、前後の垣とも速やかに埋没してしまうので、十分な時間の経過したデータはないが図-1より、十分に時間が経過した後ならば、垣間垣が広ければ広いほど、大量の砂が二列垣の周辺に堆積するということは容易に推定することができる。従って、十分に時間が経過した場合の堆砂量を比較することは判断基準として必ずしも適切でない。そこで、前垣が埋没または捕砂機能をほとんど失う60分までの捕砂量について検討する。図-3は30%垣と50%垣の風上側に12Hまでの範囲、垣間、後垣の風下側に堆積した砂の量の時間変化を示す。堆積量は図-2と同様、ひずみ面積で示してある。図-3から垣間隔が相違することによる、堆砂量、あるいは堆砂量の推移についての系統的な差異を認めることはできない。この程度のバラツキは実験上の誤差内にあると考えられる。20%垣、40%垣でも同様な結果であった。これは極めて重要な結果を意味している。すなわち、ある空隙率の二列垣に対しては、前垣が埋没あるいは捕砂機能を失うまでは後垣の設置位置に関係なく二列垣周辺に堆砂する堆砂量は一定であるということになる。この間は後垣は砂の捕捉機能を発揮していないことになる。前垣が機能を失った後に、後垣が捕捉機能を発揮することになる。言葉を変えれば堆砂を目的にした場合には二列垣に対する必要がないことになり、単独の垣が埋没した後に別の垣を設置すれば良いことになる。

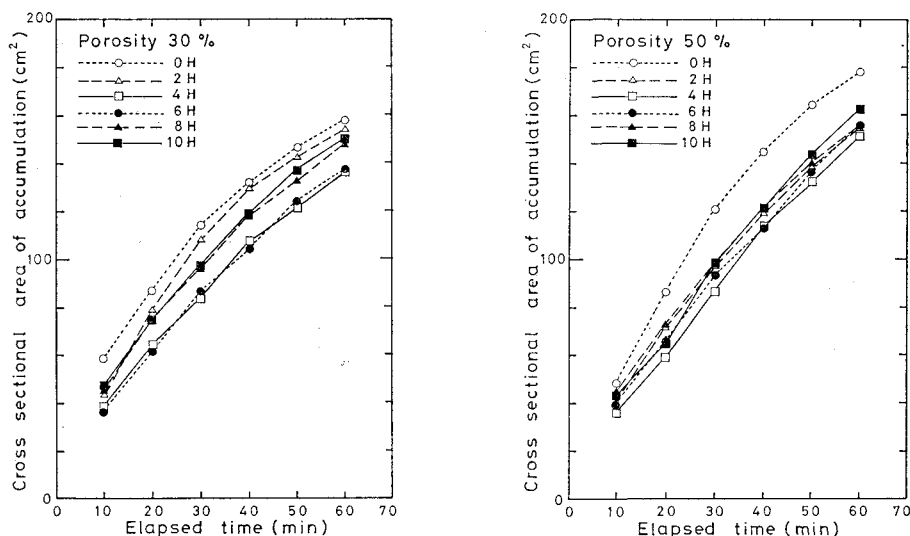


図-3 二列堆砂垣周辺の堆積砂量の経時変化

4. 結 論

得られた結果を要約すれば、

(1) 空隙率 20% の二列垣が間隔 6H で設置されると、堆積の初期段階で後垣の根元が深く洗掘され、垣が不安定となる。しかし、時間の経過とともに埋め戻される。

(2) 垣間隔が、20% 垣と 30% 垣で 8H、40% 垣と 50% 垣で 10H 離れると二列垣の個々の垣は単独の垣のように機能する。しかし、単独の垣と異なった形状で砂が堆積する垣間隔は 20% 垣と 30% 垣では 6H、40% 垣と 50% 垣では 4H である。

(3) 前垣が埋没、あるいはほとんど埋没して砂の捕捉機能が少なくなるまでは、実験に用いられた 20, 30, 40, 50% の空隙率の垣に対して、(i) 前垣風上側の砂の堆積形状と堆積量は後垣の設置位置に関係ない。(ii) 二列垣周辺に堆積する砂の量は後垣の位置によって堆積形状が相違することがあってもその堆積量は変わらない。

結論の (3) は特に重要である。すなわち実験に用いられた風速、砂表面上 50 cm の高さで 9.8 m/s (摩擦速度で約 43 cm/s) では、垣周辺の堆砂量という観点からいえば二列垣は工学的に意味を持たない。しかしながら、堆砂形状の制禦と捕砂機能の保持という点からは十

分に意味がある。Hotta et al. (1991) の文献調査が示すように多列垣が工学的に有利に働くのは強風の場合であるから、強風の場合の二列垣の特性についての解明が次の課題となろう。また今回の実験では、前垣と後垣の空隙率が同じであったが、前垣と後垣の空隙率が異なった場合についても今後の課題である。

謝 辞

実験は電力中央研究所の飛砂風洞を用いて行った。水理部長片野尚明氏、水理部次長角湯正剛氏、主席専門役鹿島遼一氏、専門役丸山康樹氏に便宜を計っていただいた。また実験には太平洋エンジニアリング山田功、イトーキ石田浩人(元日本大学理工学部土木工学科学生)の両氏の助力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 堀田新太郎・堀川清司 (1990): 堆砂垣の機能についての実験的研究, 海岸工学論文集, 第 37 巻 pp. 444-448.
- 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.
- Hotta, S., N. C. Kraus and K. Horikawa (1991): Functioning of multi-row sand fences in forming foredunes, Proc. Coastal Sediments '91, ASCE, pp. 261-275.