

円柱群による風波の制御に関する実験的研究

Experimental Study on Reducing Effect of Pole Type Wind Fence on Wind-Waves

村木義男 *・ 畠山典晴 **・ 佐伯 浩 ***

Yoshio Muraki, Tsuneharu Hatakeyama and Hiroshi Saeki

Experiments are carried out in a wind water tunnel. In this paper, wind-waves mean the waves newly generated by wind behind the pole type wind fence. Wind velocity and wave height behind the wind fence are observed. Three kinds of wind velocity, 7, 9, 11 m/s, and four kinds of air gap density of wind fence, 75, 50, 25, 0 %, are used in this experiment. The reducing effect of the pole type wind fence on wind and wind-waves is discussed.

Keywords: wind-waves, pole type wind fence, reducing effect

1. まえがき

ここでいう風波は、設置した円柱群防風柵の風下水面に新たに風により発生する波のことである。筆者らはこれまで、スリット型柵、ネット型柵、樹木柵の風波に対する制御効果を実験によりしらべ、海洋開発シンポジウム等で報告してきた。このたび、これの延長として円柱群による風波制御効果をしらべたので、その結果を報告する。スリット柵とネット柵は平面的な柵であるが、樹木柵と円柱柵は奥行きのある立体的な柵で前者とおもむきを異にする。両者の風と波に対する制御特性の相異を検討した。昨年報告²⁾した樹木柵の場合、下部の枝をカットした場合でも配列数を増やせばよい制御効果が得られることが知られたが、その根拠を得るために、また、一般に落葉した樹木は幹が支配的な存在になるが、この場合の風波制御効果をしらべるために、また、種々の雑多に配置された物体による制御効果の推測根拠を得るため等の目的をもってこの実験を行った。定性的ではあるがいくつかの知見を得た。制御効果に関する風のみについての研究報告は種々見られるが、波を対象としたこの種の研究報告は他に見当たらないようなのでここに報告する。ウォータフロントの開発、港の安全化等に役立つものと考えている。

2. 実験方法

実験に使用した水路は、図-1に示すような幅0.6m、高さ1m、長さ24mの両面ガラスばりの風洞水路である。円柱群前方の風速を、ほぼ平均の位置でデジタル型熱線風速計を用い測定し到来風の風速（与風速）とした。円柱群背後の風速、風向、波高を、風洞内の移動測定台に取りつけたデジタル型熱線風速計、風向流系、容量式波高計を用いそれぞれ測定した。風向、風速の測定位置は水面上5cmである。測定データは1/10

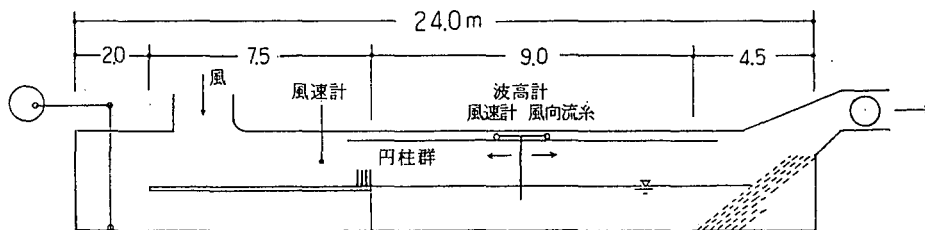


図-1 実験風洞水路

* 正会員 北海道工業大学工学部土木工学科 (006 札幌市手稲区前田7条15丁目)

** りんかい建設株式会社

*** 正会員 北海道大学工学部土木工学科

最大平均波高で整理した。

実験に供した円柱は、直径1 cm、長さ10 cmの木製である。円柱の配列は、図-5に示すような、方眼配列、ちどり配列、準ちどり配列2種の都合4種である。風の通る隙間の大小を表すパラメータとして、風方向投影空隙率を採用した。各配列の投影空隙率は、方眼配列が75%、ちどり配列が50%、準ちどり配列が25%、0%である。空間単位体積当たりの円柱の量を表す体積空隙率は、いずれの配列の場合も80%である。今回の実験は単位体積当たり同数の円柱群についての実験である。実験風速は、7 m/s、9 m/s、11 m/sの3種である。風洞の性能と議論に足る大きさの波を与えてくれる風速という立場からこのような風速の実験となった。この種実験について厳密な相似則を得ることは困難であろう。この実験の場合、乱れの構造が相似であるような相似則が第一義的には望ましいと考え、根本(1963)¹⁾の提案した風相似則に従うことにした。風速を U 、長さを L 、模型を m 、実物を p で表すと、 $U_m/U_p = (L_m/L_p)^{1/3}$ がその式である。これをこの実験に当てはめると、 $U_p = 26 \text{ m/s}$ 、 33 m/s 、 40 m/s となる。実風速に比し過大となるが、定性的特性、効果比較の考察にはゆるされるものとする。円柱群背後の波高、風速の水平分布を測定し、円柱がない場合の波高、風速との比をそれぞれ求め、また柵からの距離を柵高で割り比を求め、これらの比を用い無次元化された図を描き種々考察した。

3. 実験結果と考察

図中用いてある記号は次のようなものである。

- X : 円柱群(水際線)からの距離
- Z : 円柱の高さ
- U : 円柱群背後の風速
- U_0 : 与風速
- $U(Z=0)$: 円柱群がないときの風速
- H : 円柱群背後の波高
- $H(Z=0)$: 円柱群がないときの波高

(1) 円柱群柵とスリット型柵、ネット型柵、樹木柵との特性比較

(a) 風速と波高の水平分布

図-2に、風速と波高の測定結果の例を示した。この図から、円柱群柵の場合も、筆者等(1990、1992、1994)がさきに報告したスリット型柵、ネット型柵、樹木型柵と同様の形を示すことが知られた。すなわち、円柱群柵背後の波高の水平分布は無発達領域と成長領域とに明らかに区分され、無発達領域の範囲は円柱高のおおよそ20倍で、これまで実験した上記他の柵とほぼ同じ値を示している。風速の水平分布も他の3種類の柵の場合とほぼ同じ形を示している。スリット柵、ネット柵は平面的柵であるのに対し、樹木柵、円柱

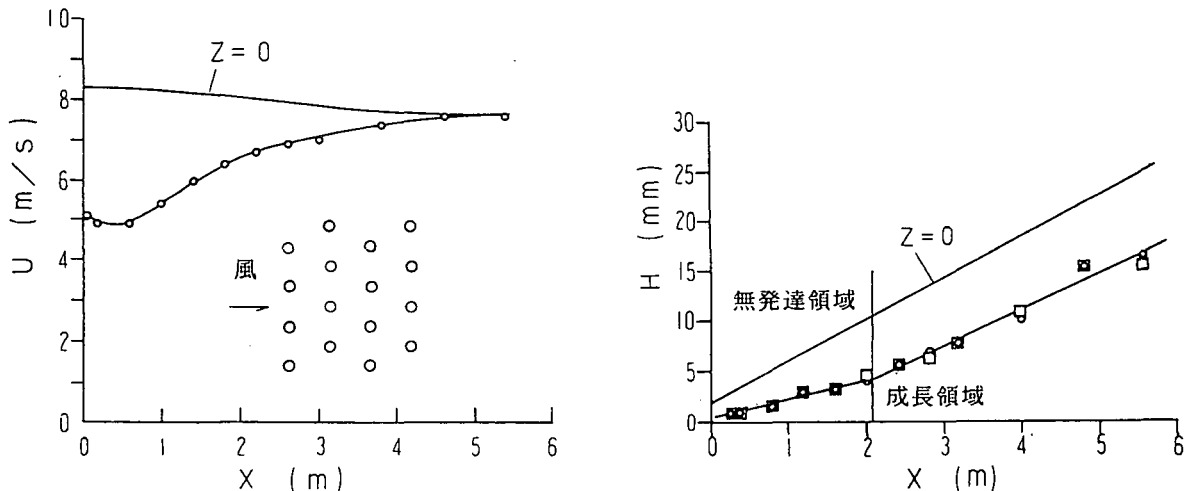


図-2 円柱群背後の風速・波高測定例(ちどり配列4列、投影空隙率50%)

群柵は立体状の柵であるが、平面、立体両者とも同様のパターンを示すことに興味をもたれる。図-3は図-2を無次元表示したものである。制御効果の大小をみる尺度として半減距離（範囲）なるものを定義した。半減距離とは、柵があることにより風速、波高が柵がないときの50%以下になる範囲を柵からの距離（柵高の倍数）表したものである。図-3の場合、波高については半減距離はあるが風速についてはない。

b) 相対風速の水平分布

風速を（柵があるときの風速）／（柵がないときの風速）の無次元値で表示した相対風速の水平分布は、平面柵の場合、風速による違いはあまりなく、風速7m/s, 9m/s, 11m/sの実験においてほぼ同一の曲線で表されることを筆者等（1990）⁵⁾はすでに報告した。今回の円柱群柵の場合についてこれをみると、図-4の例にみるように、平面柵と同様の結果を示していることがわかる。同じ立体構造の柵でも、樹木の場合は、さきに筆者等（1994）⁸⁾が報告したように、風速差により、相対風速の分布には差が生じたが、これは枝葉とみなしたブラシモデルの毛が風によりたわみ、そのため空隙率が変わり、そのため相対風速の分布に差が生じたものと考える。今回の円柱群柵の場合は空隙率は変わらないので、空隙率の固定された過去に実施した平面柵と同じような結果が得られたものと考える。

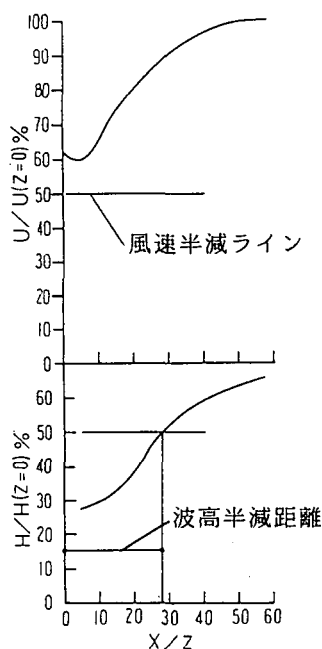


図-3 風速・波高の無次元表示と半減距離

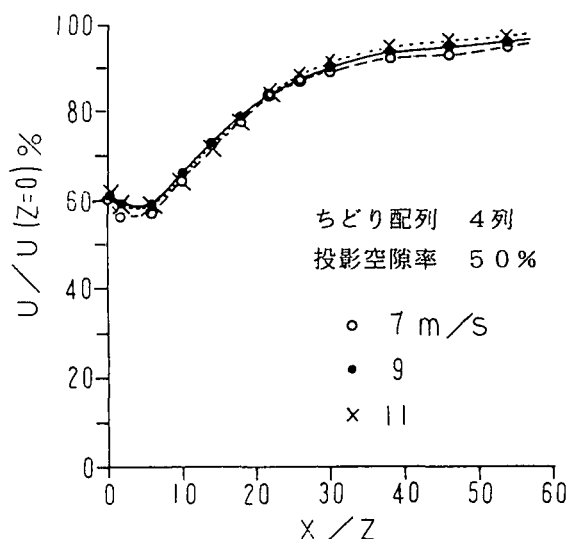


図-4 相対風速水平分布比較例

(2) 方眼配列の場合の特性

この配列は最も整然とした格子状の単純な配列である。図-6に測定結果を示した。投影空隙率は75%である。波高制御効果と風速制御効果をみるため、波高半減距離と風速半減距離を縦軸に、また、円柱の列数の増による効果の変化をみるため、列数を横軸にとってある。さらに、波高制御効果と風速との関係を少し詳しくみるため、背後の風について、最小値（無発達領域）、水際から柵高の30倍の位置（成長領域の前半代表）の相対風速をも縦軸にとってある。

この図から次のようなことがしられる。いずれの与風速についても、円柱の配列数を増せば、波高制御効果は増大し、配列数6列以上では波高半減距離は過去に行ったスリット型柵の値にかなり近い値を示す。投影空隙率が75%でかなり大きく、したがって風通しの非常によい配列なので、波高制御効果は非常に悪いであろうと思っていたが、結果は予想に反しかなりよいものである。円柱の存在による大小の乱れ、うずの発生等の多重効果によるものと考える。風速が7m/sの場合、9m/s, 11m/sに比し明らかに大きな波高半減距離を示しているが、これは、乱れの様子が9, 11m/sの場合とすこし違うためではないか、また、7m/sという風速が波発生限界風速（過去に行った実験では3.5～4.0m/s）に近いためではないかと種々検討しているが、まだ結論は得ていない。風速半減距離は配列数8列の場合にわずかにみられるだけである。図-6の上の部分により、円柱配列数の増にともなう風速の変化の様子を見ると、無発達領域においても成長領域においても明らかに列数に比例するともみられる風速の減少、とくに風速最小値についてはかなり顕著な減少が認められる。このことから、円柱の列数増による波高制御効果増の因果が理解できる。

(3) ちどり配列の場合の特性

ちどり配列は、(2)で述べた方眼配列の円柱間のやや広い空間を少しでもふさごうという意図のもとに行われた配列である。図-5を見ることによりこのことは理解されよう。このちどり配列の投影空隙率は50%である。図-7は測定結果である。この図から、ちどり配列の場合も、前記方眼配列の場合とほとんど同様の特性を示すことが知られる。ただし風速制御効果については、方眼配列よりも大きな風速半減距離の値がみられる。風速については意図した効果が得られたものとする。

(4) 方眼配列とちどり配列の制御効果の比較

波高および風速に対する制御効果について少し詳しくみると、方眼配列とちどり配列との間には若干の差がみられるので、この点について風速ごとに考察する。図-8、図-9、図-10は各風速ごとに方眼、ちどり両者の差をみた図である。波高半減距離をみると、風速7m/s(図-8)、9m/s(図-9)両者とも方眼配列の方がちどり配列より若干大きな値を示し、波高制御効果のよいことを示している。風速11m/sの場合は、実験範囲ではほぼ同じ値を示しているが、配列数を増やせば方眼配列の方が優るような気配もみられる。当初、投影空隙率の大きい、風の通り道の広い方眼配列の方が制御効果が悪いであろうと予想していたが、実験結果は逆の傾向を示している。このことの理由について考察する。当然考えられる風との関係をしらべる。図-8、9、10の上の部分に示した相対風速の値をみると、いずれの風速についても、最小風速、無発達領域中央風速($X=10Z$)とともに、ちどり配列の方が方眼配列より小さい値を示しているのに対し、成長領域代表風速($X=30Z$)については、これとは逆すなわち方眼配列の方がちどり配列より小さい値を示している。このことが方眼配列がちどり配列より波高制御効果が大いことの原因であるように思われる。波の成長に対する影響という立場からみれば、成長領域での風速の減少がより大きく波高制御に効いているものと理解する。しからば、なぜ、方眼配列とちどり配列とではこのような違った風速分布を示すのか。ちどり配列無発達領域で小さい風速を示すのは理解できるが、成長領域で大きな値を示すのは理解しづらい。複雑な大小の乱れ、うず等の重なりあった結果としかいまいのところいえない。今後円柱群領域を含め精細な実験を行い検討したいと考えている。

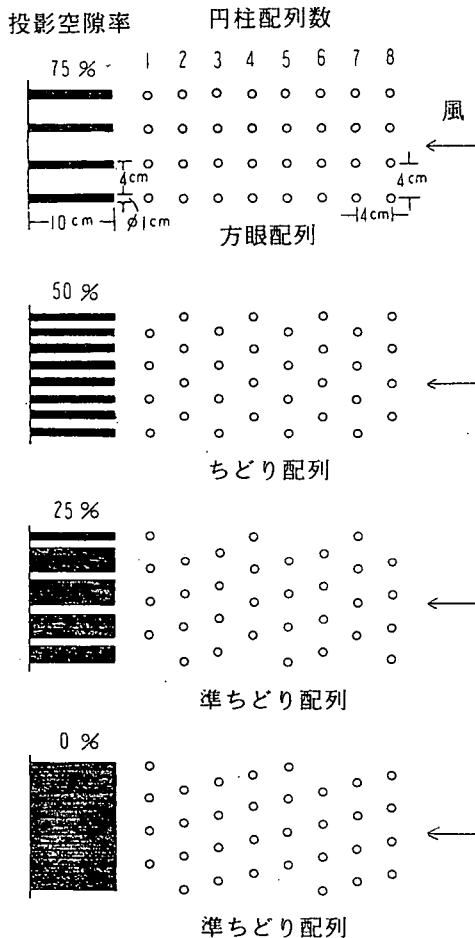


図-5 円柱群の種類と投影空隙率

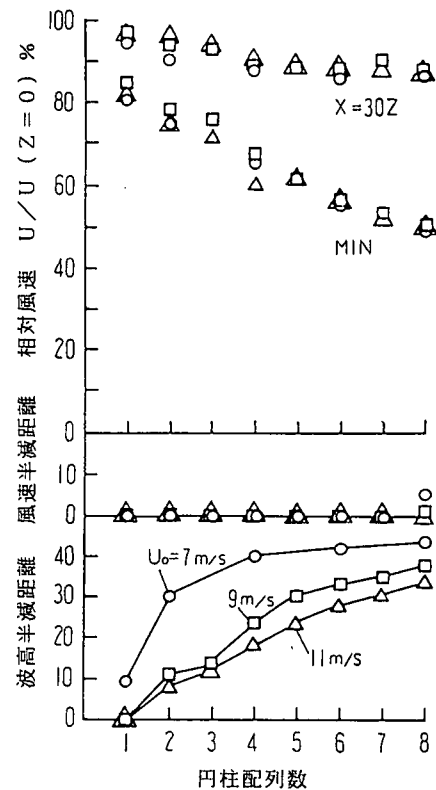


図-6 方眼配列の場合の制御効果

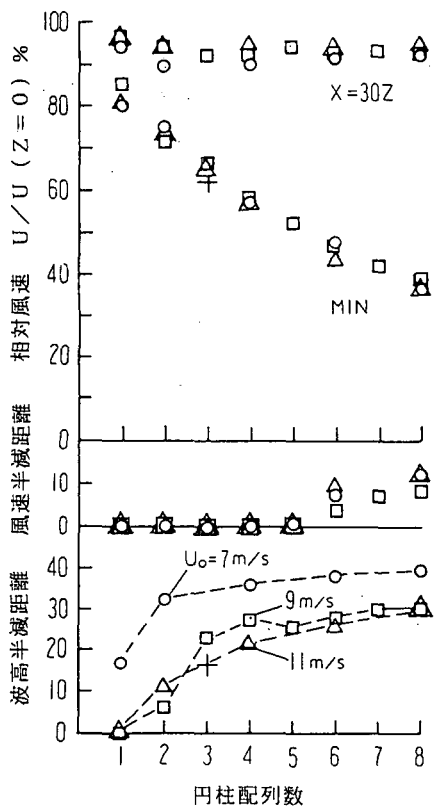


図-7 ちどり配列の場合の制御効果

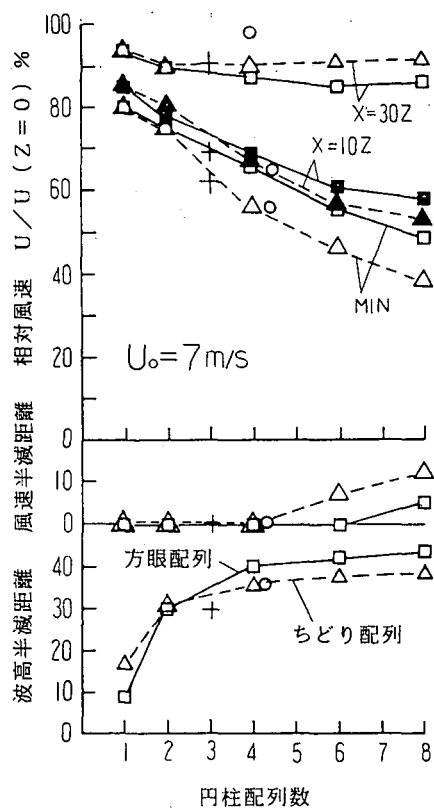


図-8 方眼配列とちどり配列の制御効果比較

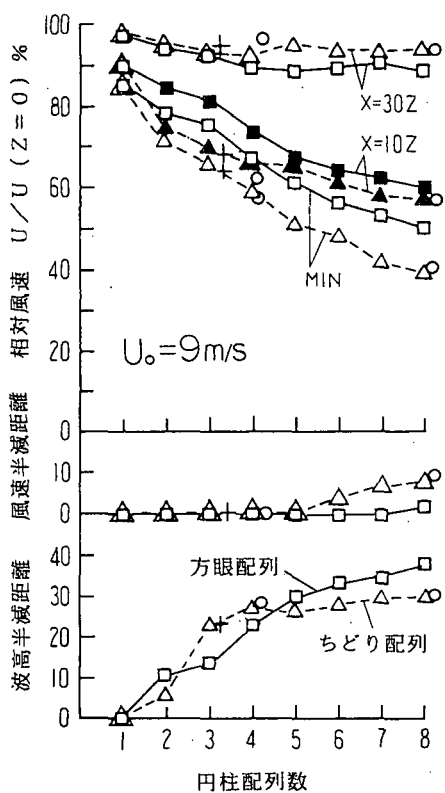


図-9 方眼配列とちどり配列の制御効果比較

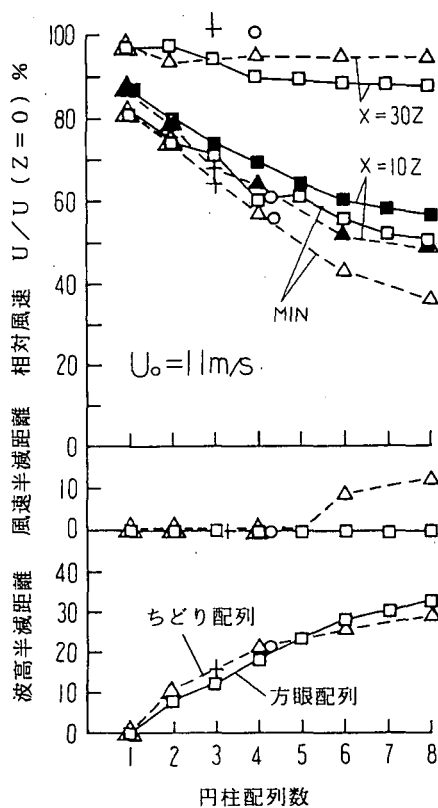


図-10 方眼配列とちどり配列の制御効果比較

(5) 投影空隙率25%と0%の場合の効果

図-5に準ちどり配列として示した投影空隙率25%と0%の場合の実験結果を、それぞれ、(+)、(○)の記号で、図-8、図-9、図-10に示した。これによると、空隙率25%、0%両者とも、ちどり配列50%にかなり近い値を示していることが知られる。過去に実験を行った平面柵の場合には、風速波高制御効果に対する空隙率の影響は非常に大きかったが、今回の実験のように、すこし広く列間隔をとった円柱群柵のような立体柵の場合には、投影空隙率にはあまり影響されず、列数いいかえれば、群の大きさに大きく影響されるようである。列間隔が小になればなるほど平面柵に近づくことになり、投影空隙率の影響は大きくなると考える。

4. あとがき

スリット型柵、ネット型柵、樹木柵（ブラシモデル）に引き続いて、今回、単純円柱群柵について風、波に対する制御効果の実験を行った。今回行った体積空隙率80%程度の円柱群の場合、方眼配列（投影空隙率75%）が、ちどり配列など他の配列（投影空隙率50%、25%、0%）に比べ若干波高制御効果が大きい傾向があるが、ごく大まかにみれば、波高制御効果は配列の種類、投影空隙率にはあまり影響されず、配列数に大きく支配されるといえる。このことから、葉の落ちた幹のみの樹木でも、また、一見風通しの非常によい樹木、円柱等の配列でも、ある程度以上配列数を多くすれば、かなり大きな波高制御効果が得られるものと期待される。今後は、体積空隙率をも変化させ実験を行い、投影、体積両空隙率の影響限界等をしらべるとともに、群柵内および柵背後の風の運動状態を可視化を含め種々の方法でしらべたいと考えている。

参考文献

- 1) 根本茂：自然風を対象とした風洞模型実験の相似則，航空学会誌，第11巻，第116号，pp. 272～278，1963.
- 2) 真木太一：防風網に関する研究（4）風洞実験による種々の防風網付近の風速分布特性，農業気象，38（2），pp. 123～133，1982.
- 3) 武田勝昭・安田喜世史・竹内政夫・金田安弘：防風柵・防雪柵の性能に関する風洞実験，日本風工学会誌，第25号，pp. 15～32，1985.
- 4) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：防風柵による小水域風波の制御に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 5，pp. 297～302，1989.
- 5) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：柵型防風構造物による風と風波の制御に関する実験的研究，海岸工学論文集，第37巻，pp. 564～568，1990.
- 6) 村木義男・大平正浩・竹内政夫・佐伯浩：スリット型防風柵の風波制御効果の予測に関する考察，海洋開発論文集，Vol. 8，pp. 307～312，1992.
- 7) 村木義男・大平正浩・竹内政夫・佐伯浩：ネット型防風柵による風と風波の制御に関する実験的研究，海岸工学論文集，第39巻，pp. 516～520，1992.
- 8) 村木義男・大平正浩・畠山典晴・佐伯浩：樹木による風波の制御に関する実験的研究—ブラシモデルによる定性的考察—，海洋開発論文集，Vol. 10，1994.