

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—

Experimental Study on Reducing Effect of Planting Trees on Wind-Waves

村木 義男* 大平 正浩** 畠山 典晴*** 佐伯 浩****

Yoshio. Muraki, Masahiro. Ōhira, Tsuneharu. Hatakeyama, 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 planting trees. Wind velocity distributions and wave height distributions behind the planting trees are observed. Brushes for chemical washing equipment are used for the planting tree models. Effective tree arrangements for reducing wave height are discussed.

Keywords: wind-waves, planting tree, reducing effect.

1. まえがき

ここでいう風波は、樹木の風下水面に新たに風により発生する波のことである。近年、海岸、内陸いずれにおいても、ウォーターフロント開発が多くすすめられている。また、人工島の造成も所々に見られる。今後の計画も多いようである。このような水辺開発では、水面の公園化、水面の快適レジャー利用化が行われることが多い。自然の湖沼や河川の水面整備、人工池、屋外プール、人工海水浴場、ボート遊び場、競艇場、海洋スポーツ場、水産増殖場、ヨットハーバー等の施設の建設整備が行われる。このような場所では、よい景観、よりよい快適環境をつくるため植樹がなされることが多い。この樹木により、水面の風、波が小さくなればまことに都合がよい。水面の利用日数の増大化、利用環境の快適化、維持管理の安全化に役立つことになる。植樹は緑化と風波制御という一挙両得をもたらすことになる。このようなことから、樹木による風波の制御の研究は非常に有意義であるものとする。この研究は風波制御に最も効果的な植樹の仕方を見出そうとするものである。筆者等はこれまで、防風柵による風波の制御に関し研究【(4)～(11)】をすすめてきたが、この研究はこれらの研究に続くものである。樹木そのものの模型は、製作も必ずしも容易ではなく、高価かつ一様なものを数多く入手することが難しいことから、この実験では、樹木とかなり類似性があり、かつ、寸法、材質とも均質性よくかつ安価に数多く容易に入手できるものとして洗浄ブラシに着目し、これを利用することにした。最適配列数、樹木下枝カット（視界、通路確保）の影響、その補足対策、密着配列とちどり配列との比較、柵と樹木との特性相違等について考察を行い、定性的ではあるが、基礎的諸点をかなり明らかにすることができたと考える。風の制御については種々の研究例えば2), 3)があるが、本論のような波の制御に関する研究は見当たらないようなのでここに報告する。

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の両面ガラス張りの風洞水路である。樹木前方の風速を、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（与風速）の風速とした。樹木背後の風速、風向、波高を風洞内の移動測定台に取り付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

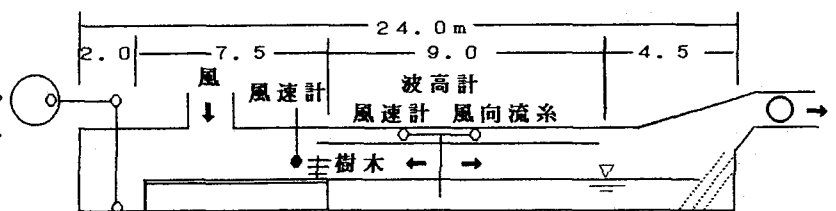


図-1 実験風洞水路

測定した。風向、風速測定位置は水面上5cmである。測定データは1/10最大平均波高で整理した。

実験に供した樹木の模型は、まえがきで述べたように、洗浄ブラシである。樹木は一般に種々の種類があり、

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

** 北海道農業土木技術指導協同組合

*** 北海道工業大学大学院

**** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

同じ種類でも、枝、葉の種類、大小、量等非常に複雑である。枝、葉は風によりたわみ、風の強さにより風の通り易さが変わる。この点に大きく注目するとき、洗浄ブラシは樹木と共通するところ大きく、かなりの程度樹木の模型としてその役割を果たしてくれるもの考える。定性的特性はかなり明らかにされ、また、樹木配列等の効果比較に対しても適切な答えを与えてくれるものと考え。

模型ブラシの種類は、直径 $\phi=90\text{mm}$ 、高さ $Z=100\text{mm}$ 、投影空隙率約10%、馬毛のものを主体とし、これとの比較用として $\phi=35\text{mm}$ $Z=100\text{mm}$ 、 $\phi=40\text{mm}$ $Z=80\text{mm}$ 、 $\phi=20\text{mm}$ $Z=40\text{mm}$ の3種、副林（図-2）用として $\phi=25\text{mm}$ $Z=60\text{mm}$ 、 $\phi=25\text{mm}$ $Z=30\text{mm}$ の2種、列数増効果限界実験用として $\phi=45\text{mm}$ $Z=100\text{mm}$ の1種、都合7種である。樹木間隔は、密着、45mm、90mmの3種、配列は図-2に示す密着配列とちどり配列の2種で、配列数は0~5列、特定のものについては11列である。樹木下枝カットの高さは、40mm（現地高で2m、視界通路遊休息空間確保可）、25mm（現地高1.25m、休息時視界確保可、カットの影響を詳しくみるため）の2種、副林配置は樹木の風上側と風下側の2種である。これらを種々組合わせ実験を行った。模型縮尺は1/50と仮定した。

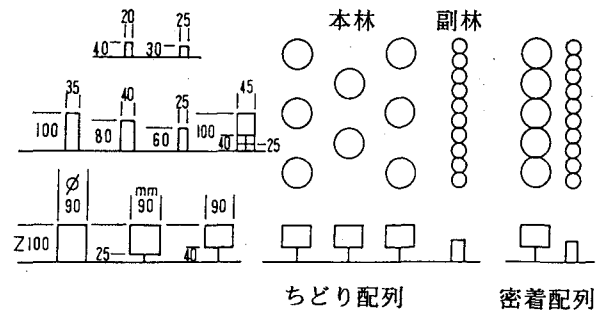


図-2 樹木モデル（ブラシ）と配列の種類

実験風速は7m/s、9m/sの2種類である。風洞の性能と議論に足る精度の大きさの波を与えてくれる風速という立場から、上記の風速とした。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。これを本実験にあてはめると、 $U_p=26\text{m/s}$ 、 33m/s となる。実際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許容されるものと考え。

3. 実験結果と考察

樹木背後の風速水平分布、波高水平分布を無次元表示し、すなわち、縦軸に（樹木があるときの風速）／（樹木がないときの風速）、（樹木があるときの波高）／（樹木がないときの波高）を、横軸に（樹木からの距離）／（樹木高）をとり図示し、樹木の風速、波高に対する制御効果、制御特性など比較考察した。

図中用いてある記号は次のようなものである。

- X : 樹木（水際線）からの距離
- Z : 樹木高
- U : 樹木背後の風速
- U_0 : 与風速
- $U(Z=0)$: 樹木がない時の風速
- H : 樹木背後の波高
- $H(Z=0)$: 樹木がない時の波高

(1) 樹木の場合と柵の場合の特性比較

(a) 風波水平分布の比較

図-3に、風速と波高の測定結果の例を示した。この図から、樹木の場合も、筆者等（1990、1992）がさきに報告したスリット型防風柵、ネット型防風柵と同様、樹木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樹木高のおおよそ22倍で、スリット型、ネット型のそれとほぼ同じ値であることがわかる。また風の分布は、これまた、両柵の場合と同様のパターンを示していることが知られる。図-4は図-3を無次元表示したもので、風速、波高の半減距離が示されてある。

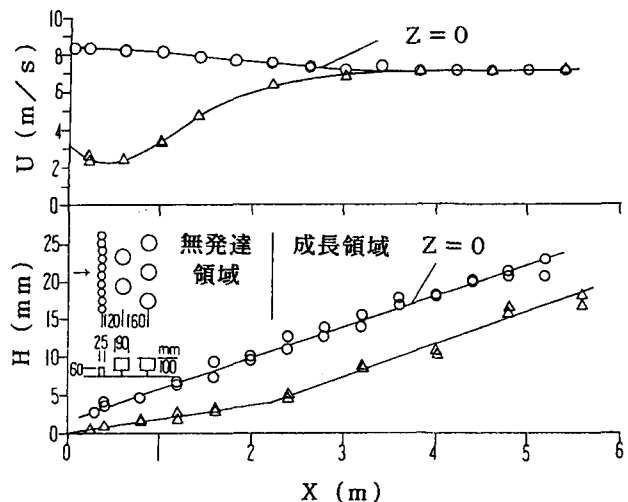


図-3 樹木背後の風速・波高測定例

(b) 空隙率の比較

柵の場合その空隙率は常に一定である。しかし、樹木の場合は、枝・葉がたわみ動くため、空隙率は風の強さによって変化することが当然予想される。柵の場合、風速を（風速）／（柵無し時の風速）の無次元で表示した場合、柵背後の風速水平分布は、7m/sの場合と9m/sの場合と殆ど同一分布曲線になることを筆者等（1990）^{6）}は既に報告した。柵背後の風速垂直分布も同様であることを筆者等（1992）^{10）}は報告した。樹木の場合についてこれを見てみると、例えば図-5に見るように、風速9m/sの場合は風速7m/sの場合よりかなり大きいことが知られる。このことは、風速が大きくなることにより空隙率が大きくなったことを示しているものと判断される。このことは樹木の場合の大きな特徴と言えよう。そしてこのことは、波の大きさを一般に大きくするので重要である。しかしその変化を量的に把握することは難しい。

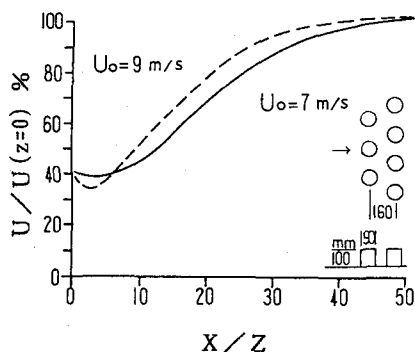


図-5 風速の大小による樹木の空隙率の変化

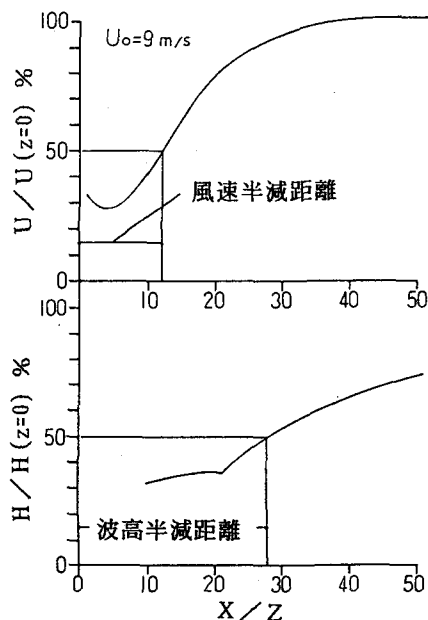


図-4 波高風速半減距離

(2) 樹木下枝カットの影響

一般に樹木はその下部が幹だけになっていることが多い。これは育成都合上のこともあろうかと思うが、遊歩空間、休息空間、景観眺望空間等の確保のためになされているものとも思われる。波制御の立場からみると、下枝カットは制御効果を減少させ好ましくないものと思われる。この様子を実験でみてみた。評価は波高半減距離、風速半減距離の大小で行った。半減距離は、図-4に示したように、風速、波高それぞれが、樹木がない時の風速、波高に対して50%以下であるような範囲を樹木（水際線）からの距離（無次元）で表したものである。当然この値が大きい程効果が大きいことになる。図-6に下枝カットなし、下枝カット25mm（全高の1/4）、40mm（現地2m）の場合の波高半減距離の値を示した。樹木下枝カット無しの場合、ちどり1列（90mm間隔）の時は、

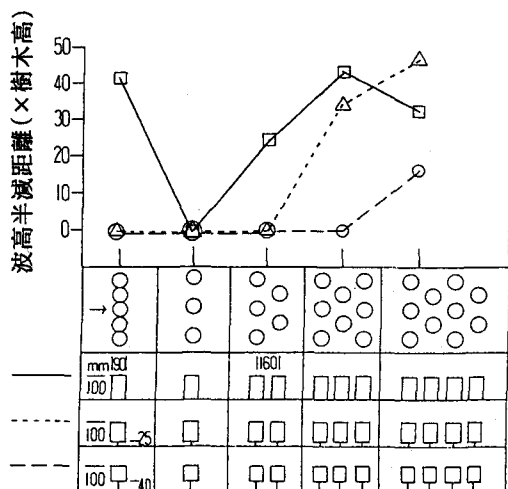


図-6 樹木下枝カットの影響（風速 9m/s）

半減距離はないが、密着型の時は41を示し、ちどり型の場合でも2列の時は24、3列のときは43、4列のときは32の半減距離を示し、ちどり1列以外は、大きな波高制御効果を示している。カット25mmの場合は、密着型でも半減距離はなく、ちどり3列で始めて半減距離34が見られ、カット40mmの場合は、ちどり4列で始めて、小さいが半減距離16を示している。このことから、下枝カットの波高制御効果への影響はかなり大きいことが分かる。

樹木下枝カットによる波高増大の影響を除く方法として副林の設置を試みた。図-7は下枝カット40mm（現地2m）としこれより高い高さ60mm（現地3m）の副林を風上側に設けた場合（風下側の水面に対する視界良好）の副林の効果をみたものである。副林がない場合は、密着型及びちどり型3列まで半減距離が無しであるのに対して、副林を設けた場合、明らかにいずれの場合も半減距離が生じ、副林の効果の大きいことがわかる。副林+密着型で39、副林+ちどり2列型の場合31で飽和の状態、ちどり3列、4列と増しても殆ど効果の増は認められない。副林を設けない場合でも、ちどり4列で半減距離は現れ、このことから、列数がある程度以上増やせば副林がなくてもそれ相当の効果が得られることが予想される。図-8は、下枝カット40mmとし、これにこれより低い高さ30mmの副林を風下側に設けた場合の例である。この場合、目の高さの狭い範囲ではあるが視界が得られる。副林+ちどり型2列で、波高半減距離35が得られ、ちどり3列、4列も殆ど変わらない値が得られ、副林の無い場合の値と比較するとき、副林の効果の大きいことが知られる。

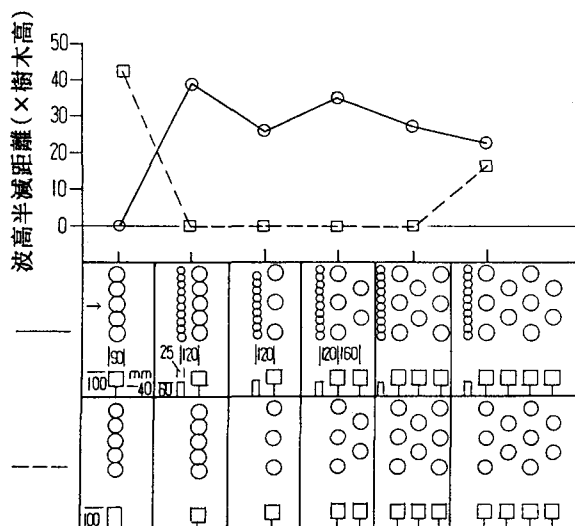


図-7 副林の効果（風上設置，風速 9m/s）

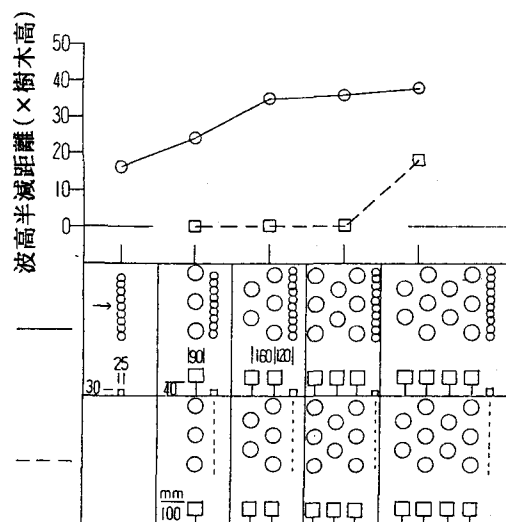


図-8 副林の効果 (風下設置, 風速 9m/s)

前後左右の視界を最小限確保し、かつ、樹木下枝カットによる波高制御効果減少を最大限抑制する立場から、樹木下枝カット40mm（現地2m）、副林高さ30mm（現地1.5m）の密着型樹木配列について、風上配置と風下配置の効果の比較をみたのが図-9である。なおこの図には、副林を全く設けない場合も示してある。またこの図では、副林と本林の間の空間を種々変えその影響も調べた。この空間は、遊歩空間として利用性が高いので、広いほどよいと思われる。結果は、副林を設けない場合は、波高半減距離は見られないのに対し、本林と副林を組み合わせた場合は半減距離を生じている。風上、風下いずれの配置の場合も、本林と副林の間が最も狭い時（模型寸法120mm）最大を示し、さらに、副林を本林の風下側に設置する方が風上側に設置するより大きな半減距離を示し、制御効果の大きいことを示している。副林を設けない場合、距離480mmと大きく離れた場合に半減距離が現れているが、これは、風下側にある程度の陸地部分があるとその摩擦

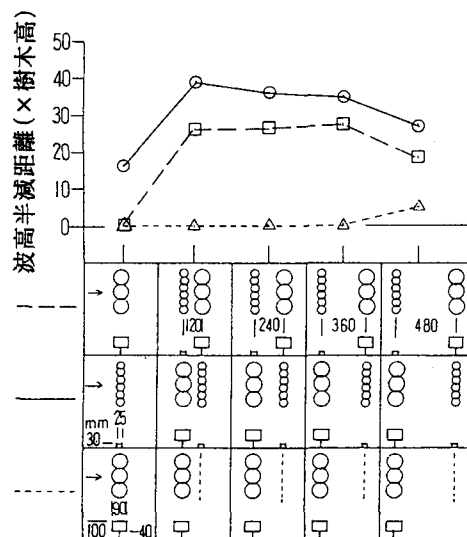


図-9 副林の風上設置と風下設置の効果比較
(風速 9m/s)

で風が弱まるためかと思われる。防波堤上に防風柵を設けた場合も同様のことが見られた。またこのことは、下枝カット25mmの場合（図-10）も見られた。図-10は、副林高さが60mmで、これはカット寸法より大きい場合であるが、図から分かるようにやはり本林の風下側に副林を設けた方が波高制御効果が大きいことが知られる。

(5) 樹木配列数増による波高制御効果の変化

図-11は、 $\phi=90\text{mm}$ 、 $Z=100\text{mm}$ の模型についての実験結果であるが、与風速 9m/s については、ちどり型配列3列で半減距離最大を示し、4列になるとかえって小さくなる傾向を示している。与風速 7m/s については、ちどり型配列2列で半減距離は最大を示し、それ以上配列数が増えると減少の傾向を示している。いずれにしても列数がある程度以上多くなると、効果が減少する傾向が見られる。この理由は、樹木の全体的空隙率が小さくなり、このため壁効果（海岸工学1990, 1992）的状态が生じたためと思われる。風速 7m/s の場合より 9m/s の場合の方が列数が多いときに最大となっているのは、風速が大きくなると空隙率が大きくなるためと思われる。図-12は、 $\phi=35\text{mm}$ 、 $Z=100\text{mm}$ についての実験であるが、密着型では1列で半減距離があり大きな効果を示しているが、2列では波高半減距離はなく、効果は大きく減少し、また、ちどり配列については、2列（密着1列と同数）のとき最大を示し、4列（密着2列と同数）では減少し、両者同じ傾向を示している。

風速 7m/s 、 9m/s いずれも同じ傾向を示している。さらに、図-13は、 $Z=80\text{mm}$ と $Z=40\text{mm}$ の模型についての密着型配列で与風速 9m/s の場合の実験結果であるが、両者とも1列では半減距離があったものが3列、5列では半減距離がなくなり、列数が多すぎてもよくないことが知られる。いまの場合、樹木高、樹木径、列間隔ともに、モデル間の比を2にとりスケールエフェクトをも一応考慮に入れてみたものであるが、両者間に大差なく同じ傾向を示しているといえる。次に樹木の配列数を特に多くした場合の実験結果を示す。図-14は $\phi=45\text{mm}$ 、 $Z=100\text{mm}$ 、下枝カット0, 25, 40mmのブラシモデルを0~11列配置した場合の結果である。この図から、下枝カットした場合でも列数がある程度以上多くすれば（この実験ではカット40mmのときで7~8列）、かなり大きな制御効果が得られることが分かる。副林の必要性がなくなる可能性が十分考えられる。

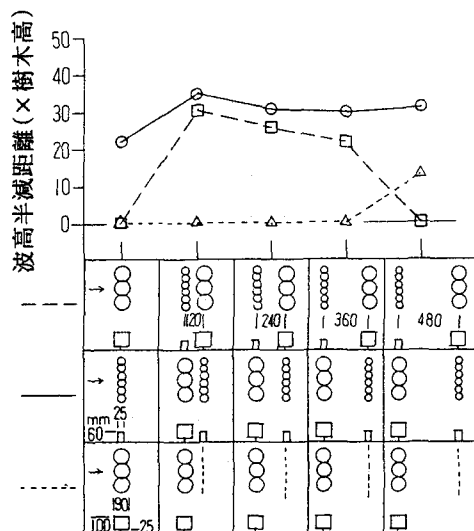


図-10 副林の風上設置と風下設置の効果比較
(風速 9m/s)

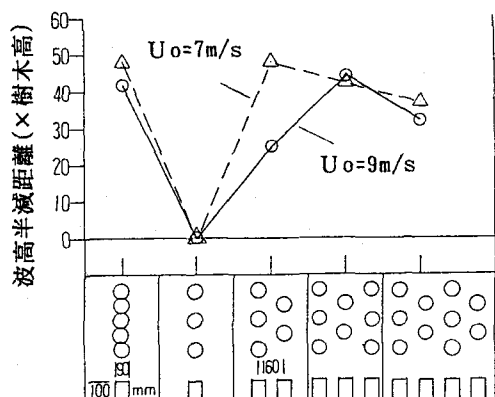


図-11 樹木配列増による波高制御効果の変化

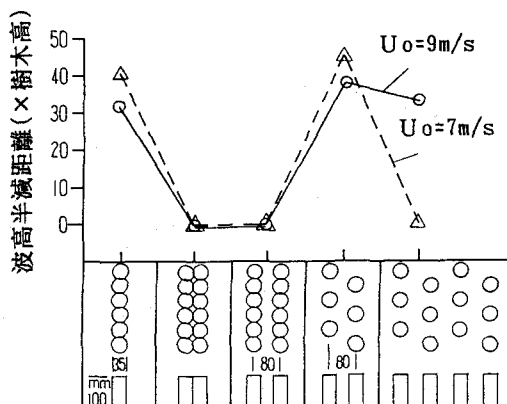


図-12 密着配列とちどり配列の比較

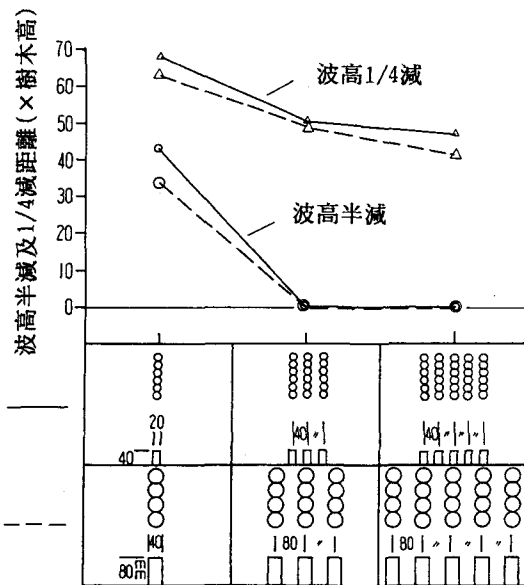


図-13 樹木配列増による波高制御効果の変化
(風速 9m/s)

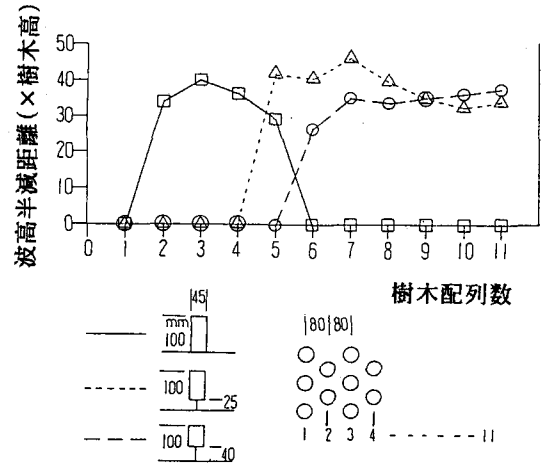


図-14 樹木配列増による波高制御効果の変化
(風速 9m/s)

4. あとがき

スリット型、ネット型両防風柵に引き続いて今回樹木にみたてたブラシ模型について実験を行い、樹木の場合に予想される風波制御効果に関するいくつかの基本的性質を考察した。柵との違い、下枝カットの影響、副林の効果等かなり明らかにすることができたと思う。今後は、幹だけの効果、風の垂直分布、乱れ等を調べ、制御のメカニズムを明らかにしたいと考えている。

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：防風柵に関する研究(4)風洞実験による種々の防風柵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：ドーム型防風構造物の小水域の風と風波におよぼす制御効果に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 6，pp. 149～154，1990.
- 6) 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.
- 7) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：多連浮防風柵による風と風波の制御に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 7，pp. 107～112，1991.
- 8) 村木義男・大平正浩・竹内政夫・佐伯浩：在来防波堤の風・風波制御効果に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 8，pp. 289～294，1992.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 村木義男・大平正浩・畠山典晴・佐伯浩：防風構造物を付加した防波堤の風・風波制御効果に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 9，pp. 241～246，1993.