

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

Experimental Study on Reducing Effect of Breakwater with
Wind-Fence on Wind and Wind-Waves村木 義男* 大平 正浩** 畠山 典晴** 佐伯 浩***
Yoshio. Muraki, Masahiro. Ohira, Tsuneharu. Hatakeyama, Hiroshi. Saeki

Experiments are carried out in a wind water tunnel. In this paper, wind-waves mean the newly generated waves behind the breakwater by wind. Horizontal distributions of wind velocity and wave height behind the breakwater are obtained. The useful type of wind-fence and the useful setting position of wind-fence on breakwater are found.

Keywords: breakwater, wind-fence, reducing effect, wave generation

1. まえがき

ここでいう風波は、防波堤背後水面に風により新たに発生する波のことである。漁港など比較的小さい港は、強風時には港の機能が一般に停止することが多い。また港内に設けた魚介類蓄養殖場の維持管理に支障をきたすこともある。北海道における漁港は直接外海に面しているものが多いため、このような例がかなりあると聞く。このような港を強風からまもることができれば、港の活動は大幅に増大するであろう。既存防波堤に防風構造物を付加し、これによって港内風速を弱め、港内発生波を小さくし、岸壁埠頭域の風を弱くできれば、非常に都合よい。全天候型漁港の実現に貢献することになる。この研究は、在来防波堤にどのような防風構造物をもたせたら、優れた制御効果が得られるかを知ろうとしたものである。まず、在来防波堤が風・風波の制御にどのような効果影響をもたらしているかをしらべたが、これについては、昨年（1992年）の第17回海洋開発シンポジウムにおいて報告した。これに続いて、これまで研究してきたスリット型防風柵とネット型防風柵（いずれも空隙率50%）を、さらに、親水構造を兼ねた階段ドーム型および平面壁型防風構造物を在来防波堤上に設置し実験を行い、効果、特性の相互比較を行い、効果の大きい構造タイプ、最適設置位置および所要高さ等を検討した。この研究は北海道日本海沿岸にある雄冬漁港をモデルに、風洞水路を用いた実験である。このような風波制御に関する研究はこれまでのところ他に見あたらないようであり、結果は今後の港改善、栽培漁業施設の建設維持管理等に役立つものと考えここに報告するものである。

2. モデル漁港の概要

実験のモデルとした雄冬漁港は、北海道日本海沿岸のほぼ中央部に位置し、直接外海に面した小漁港である。この漁港をモデルにした理由は、まえがきでも述べたような障害要因がすべて存在していること、一方、港が小さくそのためこれら要因による影響が大きく、また港内に蓄養殖施設があるなどのことから港改善が望まれるであろうこと、さらに、防波堤上に防風柵を将来付加したと仮定した場合、その効果、有用性が確認しやすいことなどによるものである。

* 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)
 ** 学会員 同 上
 *** 正会員 北海道大学工学部土木工学科

図-1 はこの漁港の形状を示す平面図である。港内奥行きは、ほぼ130mである。防波堤堤体の代表断面形状は図-2 のとおりで、港内側ケーソン部天端高は水面上4.1m、港外側パラペット部天端高は水面上6.2mである。幅は 15.5mで、かなり大きな防波堤である。

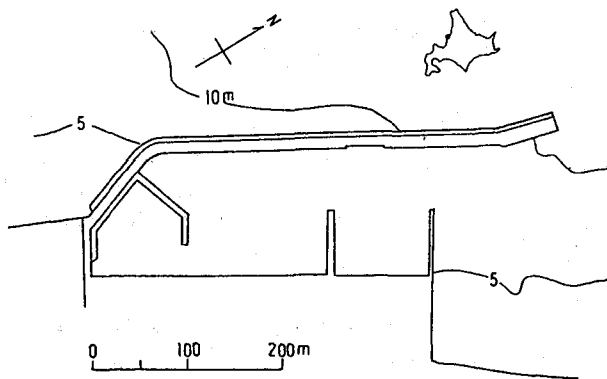


図-1 雄冬漁港平面図

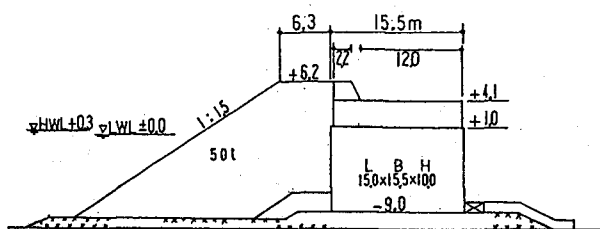


図-2 防波堤断面図

3. 実験方法

(1) 実験装置

実験に使用した水路は図-3 に示すような幅0.6m、高さ1.0m、長さ 24.0mの両面ガラス張りの風洞水路である。防波堤前方の風速を、ほぼ平均風速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とした。防波堤背後の風速、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て測定した。測定間隔は、20cmもしくは40cm（模型防波堤ケーソン部天端高 8cmの2.5倍もしくは5.0倍）である。風向流系は、長さ 4cmの糸を細い金属線に静水面上 5cmの位置に取り付けたものである。風速測定位置も静水面上 5cmの位置である。実験にあたっては水は常に新しいものを用いた。データは1/10 最大平均波高で整理した。

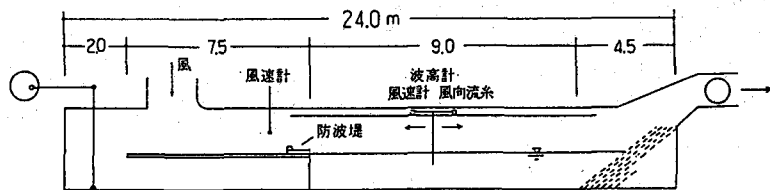


図-3 実験風洞水路

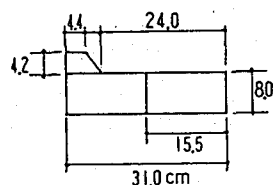


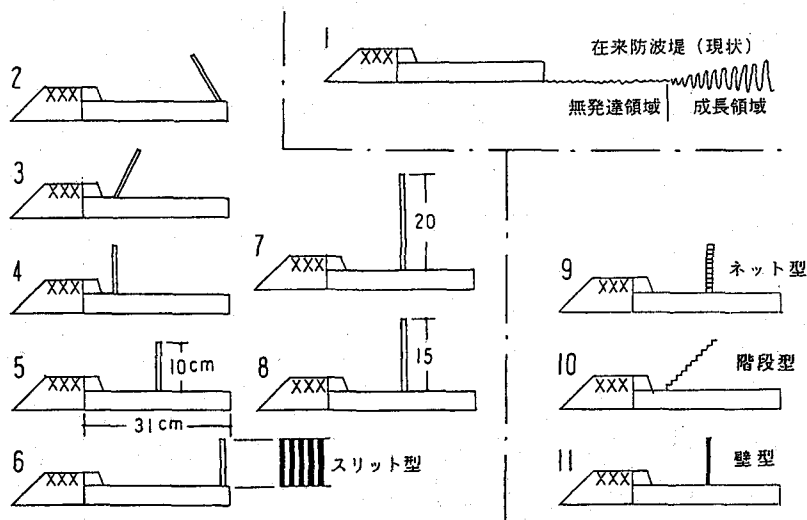
図-4 模型寸法

(2) 模型の種類

実験に供した在来防波堤の模型寸法は、図-4 のとおりである。防波堤前面の消波工はテトラポットの乱積である。模型の構造的種類は、スリット型、ネット型、階段ドーム型、平面壁型の4種類と防風構造物なしの5種類である。実験の種類は図-5 に示すような11とおりである。スリット型（空隙率50%）はこれまでの多くの実験結果^{4)~7)}から制御効果が大いことが知られ、かつ、構造的にも実用性が高いと思われるので、これについて、効果的設置位置を見出すため、堤体上港内側、港外側中央部各位置に設置し比較した。また、効果を高める意図で、防風柵を傾斜（60°）させた場合、また、柵の高さによる効果の変化をみるため、3種類の高さについて、さらに、親水性構造物を兼用する意味で階段ドーム型のもの、これと比較する意味で平面壁についても実験を行った。柵の高さは、防波堤中央部に設置したスリット型15cm、20cmを除いてすべて10cmである。

実験風速は7m/s、9m/sの2種類である。風洞の性能と、議論に足る精度が得られる大きさの風波を発生させるという立場から判断し上記の風速とした。水深は45cm、模型縮尺は1/50である。この実験について厳密な相似則を得ることは困難であろう。風の流れは防風構造物を付加した防波堤によって大きく乱される。大小複雑な乱れを含むこの広い意味での乱れによって波の発生発達制御されるものと理解される。このような考えのもとでは、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る。根本氏(1963)¹⁾は、自然風と模型風が平均流のパターンのみならず乱れの構造についても近似的に相似が期待できる相似則として、 $(U_m/U_p) = (L_m/L_p)^{1/3}$ なる式を提案している。ここで、mは模型、pは自然(実物)を表し、Uは風速、Lは物体の代表長である。この相似則を本実験にあてはめると、 $U_p = 26\text{m/s}$ 、 33m/s となる。この風速は実際よりやや大きい。比較考察には許されるものと考えられる。

図-5 に示した各ケースについて、防波堤背後の風速と波高を測定し、得た結果を場所的水平分布の形で図に示し、これにより種々の考察を行った。いまの場合、優劣の比較が主であり、かつ、制御効果にかかわる距離、範囲を直接絶対値として知りたいという立場から、模型寸法そのままの表示の方が理解しやすいと判断し、図のような表示をした。なお必要に応じ無次元の考察をすることとした。紙数制限の都合で風速9m/sの場合の図のみ示した。風速7m/sの場合も同じ傾向を示す。さきの報告²⁾～⁸⁾で、防風構造物背後の波高水平分布は、無発達領域とこれに続く成長領域とに区分されることを述べたが、この実験の場合も、これが成り立っている。



(1) 現状防波堤の効果

前面に消波工を設けた現状防波堤は、消波工がない場合に比し、大幅に風、風波に対して制御効果をもたらすことを、昨年¹⁾の第17回海洋開発シンポジウムで報告した。消波工は防風工でもあることを確認した。この現状在来防波堤は、防波堤がまったくない場合に比べると、図-6に示されるように、風に対してはかなり明確な制御効果（風速半減域が堤高（12cm）のほぼ8倍）を示しているが、発生風波については、その波高が防波堤がない場合より若干下まわる程度で効果は大きくはない（半減域なし）。

図-6-(a)に示されてある風速水平分布からわかるように、堤体中央部に、スリット型（空隙率50%）、ネット型（空隙率50%）、階段ドーム型、平面壁型いずれの防風構造物を付加しても、現状防波堤に対して明確に区別される風速制御効果の増がみられる。風速半減距離にして、現状防波堤に比べそのほぼ1.7倍以上となっている。ただし、不透過型である階段ドーム型と平面壁型の場合は堤体背後にかなり大きい逆風が生じている。この風速分布の結果は、そのまま、波高水平分布に現れている。波高水平分布を図-6-(b)にみると、スリット型、ネット型の場合は、現状防波堤の波高分布よりかなり小さく、波制御効果が大きく増大していることがわかる。一方階段ドーム型、平面壁型の場合は、無発達領域において、逆風のため、波が現状防波堤の場合よりむしろ大きくなり逆効果を示すが、成長領域においては波高は現状防波堤の場合より若干小さく、総じて防風構造物付加により波制御効果の増が得られるといえる。

(3) スリット型、ネット型、階段ドーム型、平面壁型の効果比較

図-6-(a)からわかるように、ネット型を除く三者はある領域でかなり近似した風速分布を示すが、全体的には、階段ドーム型、平面壁型の不透透型は背後に逆風をとまなうのに対して、スリット型、ネット型の透過型は逆風をとまわず、かつ、風速分布も小さく、風速制御効果は両者間で明らかに異なることがわかる。このことは波高制御効果にそのまま現れている。

効果の順位をみると、ネット型が風、波とも最も優れ、スリット型がこれに次ぐ。階段ドーム型と平面壁型とは大差はないが、敢えて順位をつければ階段ドーム型がやや優位である。この順位は、これまで行った堤体のない柵のみの場合の実験結果とも一致する。しかし、効果の度合は、柵のみの場合（堤高+柵高と同等高）より劣る。

構造的に実用性が高いと思われるスリット型の場合、防波堤から約130m離れた岸壁地点で、波高ほぼ40%減となり、効果は大きい。風については、いずれの柵についても復元状態に近いため、効果は少ない。

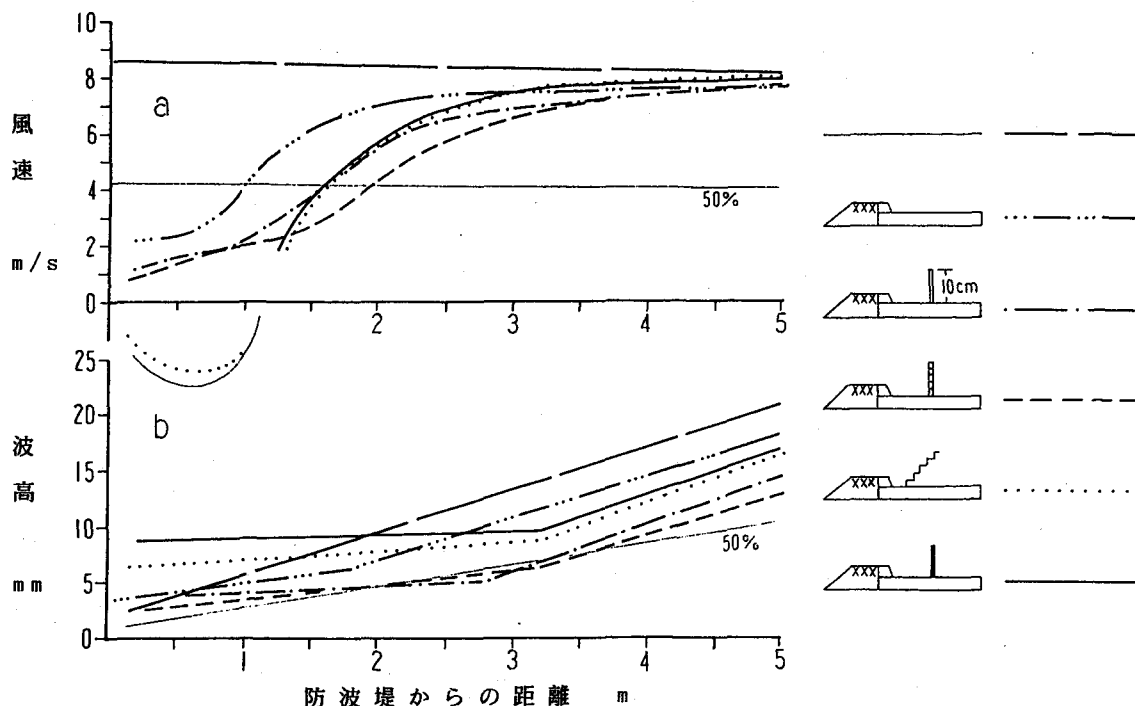


図-6 風速、波高水平分布（風速 9 m/s）

(4) 防波堤天端上設置位置による効果の相異

スリット型が構造的に実用性が高いと思われ、かつ、その効果がさきに述べたように、ネット型よりは小さいものの、階段ドーム型、平面壁型よりはるかに大きいことから、設置位置による効果の相異については、このスリット型防風柵についてのみ実験を行った。柵高は10cm、空隙率は50%である。図-7-(a)からわかるように、風速の水平分布線は、柵を港内側に置いた場合と港外側もしくは中央部に置いた場合とでは、明らかに区別される。港外側もしくは中央部に置いた方が港内側に置くよりも風制御効果が大きいことが知られる。この影響は波の制御効果として直ちに現われている。

図-7-(b)に波高水平分布が示されてあるが、明かに、柵を港外側もしくは中央部に置いた方が港内側に置いた場合より波制御効果の大きいことが認められる。その理由はいまのところ明らかでない。防波堤周辺領域の風速風向分布を詳しく測定し、しらべる必要があると考えている。

(5) スリット型防風柵を傾斜させた場合と直立の場合との効果比較

制御効果の増大を期待し、スリット型防風柵を60度傾けた場合の分布をしらべ直立の場合との効果の比較を行った。港内側と港外側について行った。図-7-(a)に風速分布を、図-7-(b)に波高分布を示したが、図からわかるように両者間にほとんど差は認められなかった。

(6) 柵高増による効果の変化

防波堤上に付加する防風構造物の高さを増大させれば当然制御を受ける範囲（実長）が増大する。これまで実験に供した堤体中央部に設置した柵高10cmを15cm、20cmと増大させた場合について実験を行い効果の変化をしらべた。図-8-(a)に風速分布を、図-8-(b)に波高分布を示したが、風、波ともに、当然ながら効果は大きく増加する。柵高は、母体となる堤体の安定性から自ら制限されるであろう。柵高10cmの場合、バラベツ天端高を越える部分が実質半減するせいか、効果がいま一つ物足りない感じがするが、いま仮に、柵高が堤体幅の1/2

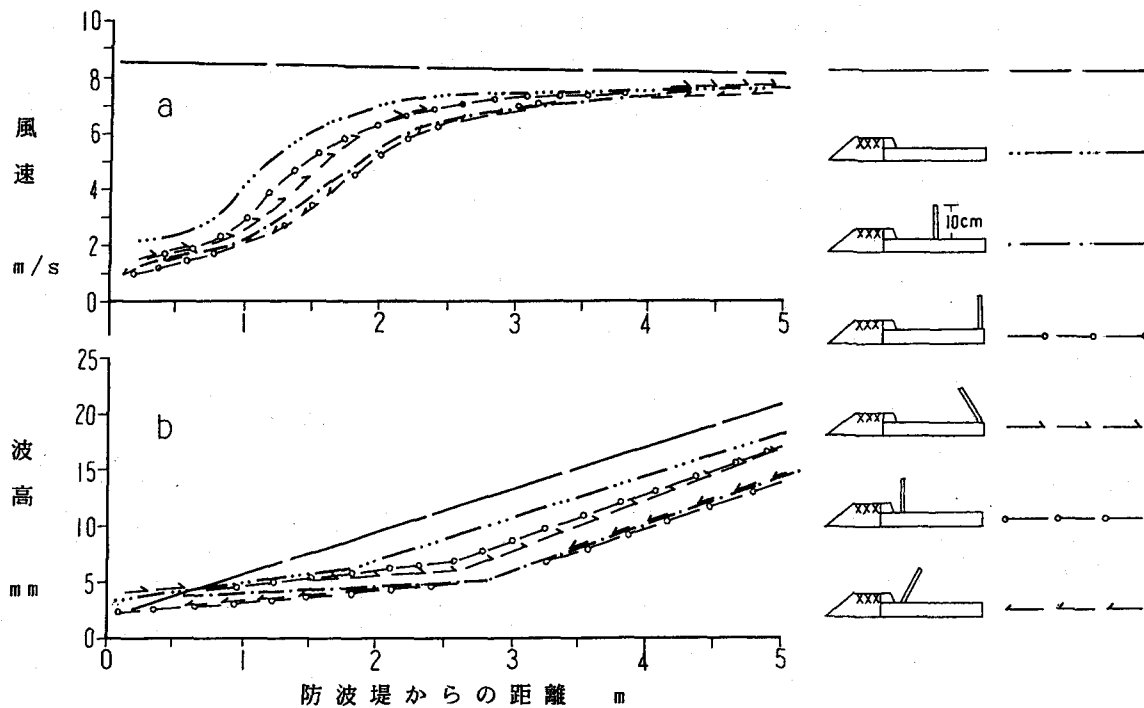


図-7 風速、波高水平分布（風速 9 m/s）

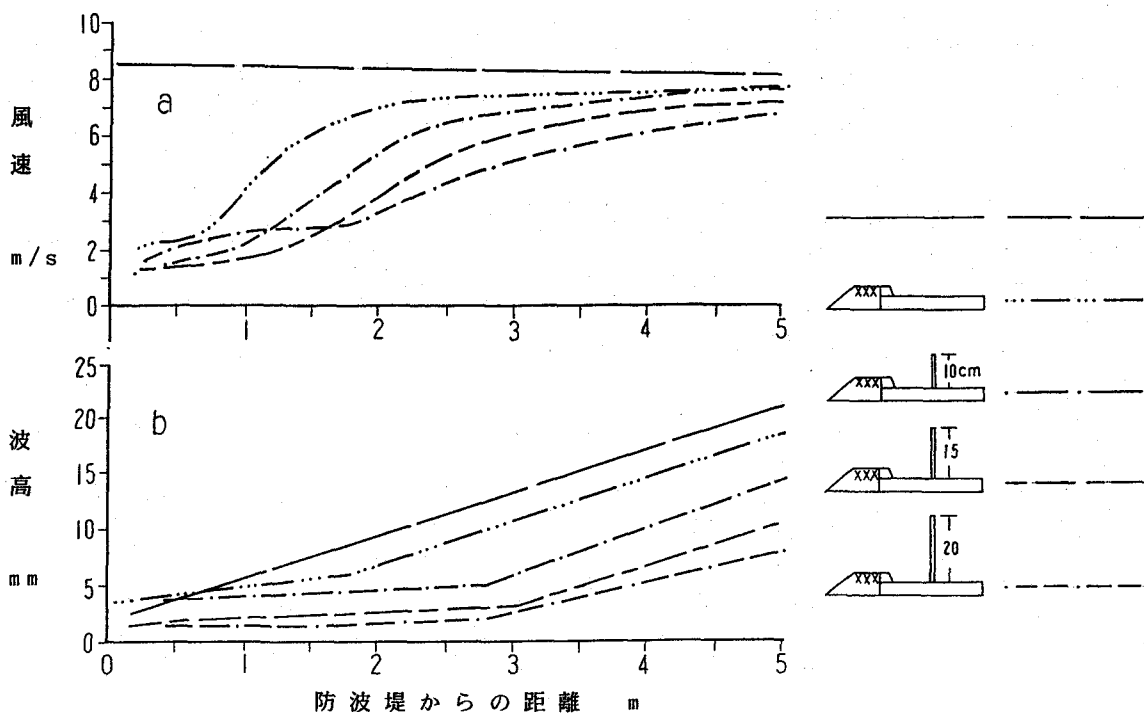


図-8 風速、波高水平分布（風速 9 m/s）

(模型寸法15cm、現地寸法7.5m)のスリット型防風柵を堤体港外側もしくは中央部に設けた場合、岸壁地点は波の無発達領域内に入り、波はかなり小さくなり、現状防波堤に比すと、波高はほぼ50%減すなわち半減となる。また風はほぼ30%減となる。

同じく柵高が堤幅の $1/2$ になるとき、その効果を防波堤のない場合に比べると、風速半減距離は堤高のほぼ18倍、波高半減距離は堤高の35~40倍となり、前記(1)に比べると、その効果の大きいことが知られる。

5、まとめ

- (1) 在来防波堤(現状)は、防波堤がない場合に比し、風に対してはかなり明確な制御効果を示しているが、発生風波に対してはあまり大きい効果は示していない。
- (2) 防風構造物を付加することにより、在来防波堤は、風、風波に対し、かなり明確な制御効果の増を示す。特にネット型防風柵もしくはスリット型防風柵を付加した場合顕著である。
- (3) ネット型防風柵が最も効果が大きく、スリット型防風柵がこれに次ぐ。階段ドーム型、平面壁型がこれに次ぐが、この効果の順位は、これまで行った堤体のない柵のみの実験結果と一致する。
- (4) 階段ドーム型、平面壁型の不透過型の場合は、背後にかなりの逆風が生じ、このため無発達領域内の波高がかえって高くなり、成長領域にあっても、風、風波ともにネット型、スリット型より大きくなっている。
- (5) スリット型防風柵の制御効果は、防波堤上の設置位置により異なる。防波堤の中央部が港外側に設置した方が港内側に設置するよりも、風、風波いずれに対しても制御効果は大きい。
- (6) スリット型防風柵を直立させた場合と傾斜させた場合との効果の差は風、風波いずれについてもほとんど認められない。
- (7) スリット型防風柵の高さ増による効果の増は、風、風波いずれについても当然ながら大きい。高さの限界は、安全性の方からきまってくるであろう。
- (8) 仮に、高さが堤幅の $1/2$ (模型寸法で15cm、現地寸法で7.5m)のスリット型防風柵を堤体港外側に設けた場合、岸壁地点は無発達領域内に入り、波はかなり小さく、現状防波堤に比すと、波高はほぼ50%減すなわち半減となる。また、風はほぼ30%減となる。
- (9) 堤体上構造物としては、安全性はもちろん施工の難易、景観性、多用性等も重要であるから、単純に決められないが、効果を第一に考えた場合、ネット型もしくはスリット型が優位であると考えられる。

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，1963，9。
- 2) 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, 1989。
- 3) 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, 1990。
- 4) 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，1990。
- 5) 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, 1991。
- 6) 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, 1992。
- 7) 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, 1992。
- 8) 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，1992。