

# 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

村木 義男\*・竹内 政夫\*\*・佐伯 浩\*\*\*

## 1. 緒 言

近年、海岸港湾域における空間及び施設の多角的高度利用が強く望まれるようになった。現在北海道の港ではこれに対応するため、全天候型バース、全天候型港湾の開発構想が出現している。この構想は、外来波制御に重点をおいてきたこれまでの考えを脱し、風雪という気象条件をも制御することにより、稼働率を大幅に飛躍させようとするものである。すでにこのための防風構造物の検討が始められている。

海岸域における自然条件の障害要因としては、外来波浪の外に、小水面に発生する風波、直接風による風圧、雨雪による視程悪化、吹雪吹き溜まり等あげられるが、これらは風の制御により大幅に軽減されることが予想される。この研究は、防風構造物によりその背後の風と風波を制御し、稼働率を大幅に飛躍させようとするものである。夏期間の短い北国においては、人工海水浴場、ボート遊び場等の利用日数拡大をも可能とし、ヨットハーバー等の安全管理にも役立ち、広く益するものである。

風を効果的に制御する方法に防風柵がある。これは、北国においては防雪柵として吹雪時の視程改善、吹雪吹き溜まり防止に多く実用されているが、風波の制御には使用されていない。著者ら(1989)は、防風柵による風波制御に関する若干の実験をさきに行ない、顕著に効果のあることを確認し報告したが、さらに引続き実験をすすめてきた。この論文はその結果を報告するもので、柵型防風構造物の風と風波に対する制御効果の再確認、制御のメカニズム特に空隙率の影響、及び、縦柵型柵と横柵型柵の効果の優劣等を明らかにしたものである。この種の構造物の設計に役立つものと考える。防風構造物による防風効果に関しては研究が多いが、風波の制御に関しては研究がほとんどないのが現状である。

## 2. 実験方法

### (1) 実験装置

実験に使用された水路は、図-1に示すような、幅0.6 m、高さ1 m、長さ24 mの両面ガラス張り吸引型風洞水路である。実験可能風速は0~15 m/sである。防風構造物前方の風速を、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。構造物背後の風速、風向、波高を、風洞内の移動測定台に取付けたデジタル型熱線風速計、風向流糸、容量式波高計を用い測定した。測定間隔は、防風構造物の高さの2倍とし、時に1倍とした。風向流糸は、長さ4 cmの糸を細い金属線に上下方向に5 cm間隔で取付けたもので、最下端流糸の位置は静水面上5 cmである。風速測定位置も同じ高さである。実験にあたっては水は常に新しいものを用い、また、測定は波が定常状態に落ち着いた後に行った。データは1/10最大波高で整理した。

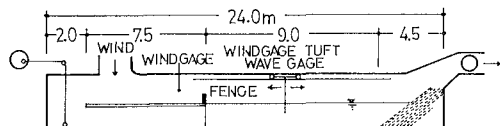


図-1 実験風洞水路

### (2) 模 型

実験に供した模型は、図-2に示す縦柵型柵、横柵型柵の2種で、空隙率は、それぞれについて、0, 30, 50, 60, 70%の5種である。0%は不透過型(壁)で、他はすべて透過型である。柵は、5 mm角の木材を縦または横に等間隔に並べたものである。

### (3) 実験条件

実験風速は、7, 9, 11 m/sの3種、柵の高さは、0 (柵



図-2 柵の種類

\* 正会員 工博 北海道工業大学教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 理博 北海道開発局開発土木研究所道路研究部長

\*\*\* 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

がないとき), 5, 10 cm の 3 種である。風洞の性能と議論に足る精度を与える風波の大きさとから判断し上記の風速とした。水深は 45 cm, 模型縮尺は 1/100 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。風の流れは防風構造物によって大きく乱される。そしてこの広い意味での乱れにより波の発生発達に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) 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) を表わし、 $U$  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、 $U_p = 31.5, 40.5, 49.5$  m/s となり、実際風速よりかなり過大な風速となるが、柵の種類間の制御効果の優劣比較、柵の制御特性の定性的把握の立場からは許容されるものと考えられる。

### 3. 実験結果と考察

実験結果をとりまとめ 図—3~図—8 に示した。図中にある記号は次のようなものである。

X: 柵型防風構造物 (柵) からの距離 (吹送距離)

Z: 柵の高さ

G: 柵の空隙率

U: 風速

$U_0$ : 到来風の風速, 与風速

$U(Z=0)$ : 柵がないときの柵位置以後の風速

$U(Z=5)$ : 柵高 5 cm のときの柵背後の風速

H: 波高

$H(Z=0)$ : 柵がないときの波高

$H(Z=5)$ : 柵高 5 cm のときの波高

T, TATE: 縦柵型柵型防風構造物 (縦型柵)

Y, YOKO: 横柵型柵型防風構造物 (横型柵)

測定読取値をプロットした図の例を図—3 に示した。

無次元表示した 図—4~図—8 にある、風速と波高それ

ぞれの、柵があるときと柵がないときの比は、この図にあるようなそれぞれの 2 つの関係曲線の比から求めた。

図—3~図—9 により、防風柵の風と風波に対する制御に関し以下考察を行う。

#### (1) 風に対する制御

a) 風速変化のパターン 図—4~図—8 に示されてあるように、柵を設けることにより、柵背後の水面近くの風速は明らかに低減する。柵に比較的近いところ (柵高の 5 倍前後) で最小値を示しその後増加をたどる。その低減量、低減持続距離は空隙率により顕著に異なる。図—8 の例にみるように、風速の変化のしかたは、風速の大小にほとんど関係なくそれぞれの空隙率に応じ独自のパターンを示す。このことは風速制御効果の予測に都合よい。

b) 風速低減量と空隙率との関係 最大低減量は空隙率が小さいほど大きい。壁の場合最大となる。風速低減持続距離は、空隙率との間に一定の関係は見い出せないが、全体を通してみた場合、空隙率 50 % の場合が常に安定した長い持続を示している。

c) 渦流の発生 空隙率 0 % (壁) の場合は、柵背後に渦流が生じ逆風となる。その範囲は、柵の種類、風速に関係なく柵高の 8~10 倍で、これは著者の一人竹内を含む武田等 (1985) の他種の柵の実験結果 (野外を含む) と一致している。

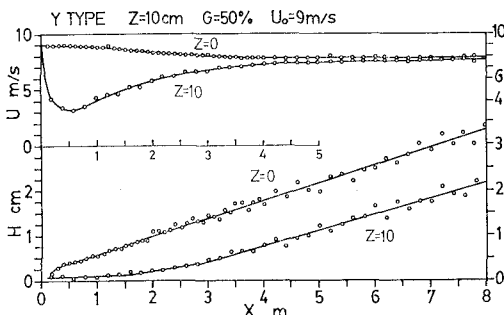
d) 風速半減距離 柵の防風効果の評価に、風速半減距離なる考えを設けると、その値は一般に空隙率によって異なり、空隙率 0~50 % の場合柵高の 10~15 倍、空隙率 60 % 以上では半減しない場合がほとんどである。

e) 縦型柵と横型柵による相異 流糸観測によれば柵を構成する栈による乱れの方が異なるようである。これが風波の制御に影響を与えているようである。

以上の諸特性は風の制御構造物を設計する場合に役立つものであると考える。

#### (2) 風波に対する制御

a) 無発達領域の発生 図—3 にみるように、柵があるときの波高は、柵がないときの波高に比しかなり小さく、明らかに柵により制御されていることがわかる。とくに柵に近い部分には風波がほとんど発達しない (ほぼ水平に近い) 領域が生じ、制御の効果が顕著であることが認められる。この領域が長く、かつ、この領域における波高が小さいほど優れた性能の柵といえる。この領域の長さは、柵の空隙率によって異なっているが、横型柵の空隙率 50 % の場合でみれば、図—4~図—7 からわかるように、おおむね柵高の 25 倍である。この数値は予想をかなり越える大きな値であると考えられる。またその波高は柵がないときの約 20 % 以下でかなり小さい。各空隙率の柵のこの領域の様子を 図—4~図—7 に見るこ



図—3 風速、波高の距離の変化例

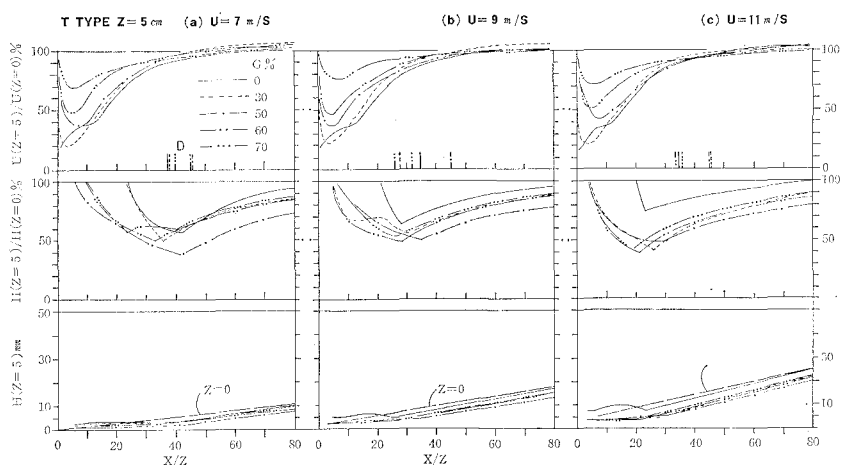


図-4 柵の背後における風速と波高の変化特性 (縦型柵, 柵高 5 cm の場合)

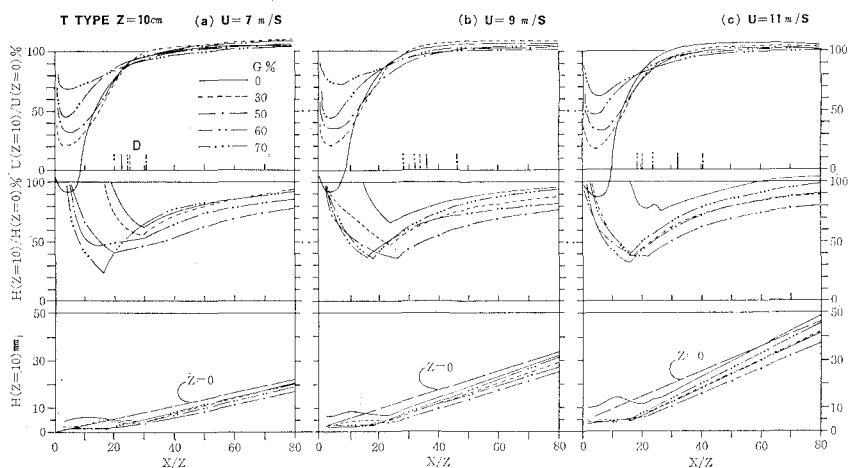


図-5 柵の背後における風速と波高の変化特性 (縦型柵, 柵高 10 cm の場合)

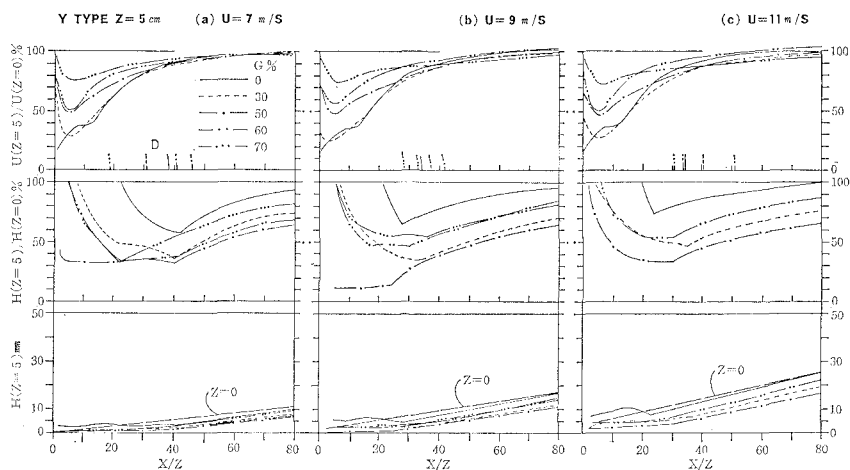
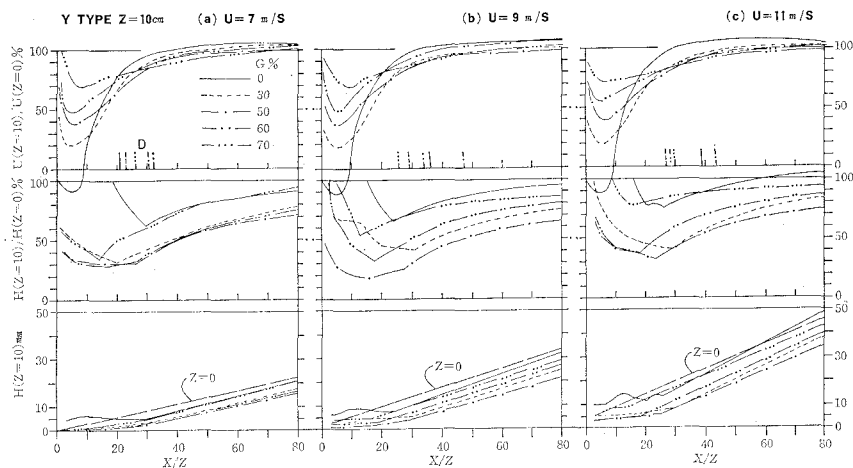


図-6 柵の背後における風速と波高の変化特性 (横型柵, 柵高 5 cm の場合)



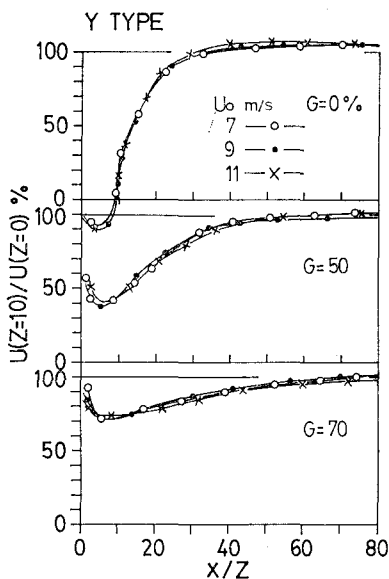
図—7 柵の背後における風速と波高の変化特性 (横型柵, 柵高 10 cm の場合)

とができる。

b) 最大制御効果をもたらす空隙率の存在 無発達領域を過ぎると波は発達し始め波高を増加させていく。図—4～図—7 より、どのような空隙率の柵が制御効果が大きいかにみても、空隙率 50 % の場合の波高変化特性曲線 (無次元表示した曲線の右側波高発達部分) が、柵種、柵高、風速に関係なく、常に最も下位に位置していることから、最適空隙率が存在することが知られ、その値はおおむね 50 % と推定される (いまだ密な実験を行えば、あるいは 50 近傍の他の値になるかもしれない)。風の低減量は、空隙率が小なるほど大であったが、風波の場合は、空隙率が小さ過ぎても大き過ぎても制御効果は劣るのである。

c) 波高半減距離 風の場合と同様に制御効果の評価に波高半減距離の考えを用い考察する。図—4～図—7 から求めた、種々の条件における波高半減距離を一括し示したのが図—9 である。これによれば、縦型柵、模型柵いずれも空隙率 50 % の場合に最も大きく、平均的値として横型柵の場合およそ柵高の 45 倍を得る。空隙率 30 % の場合はおおよそ 37 倍、60 % の場合は 32 倍ぐらいの値を得る。仮りにこのまま現場にあてはまるものとする、柵高 5 m の場合 225 m 以内が半分以下の小さな波となりその効果は大きい。風の半減距離が 15 倍程度であったのにくらべその約 3 倍以上の値を示し、防風柵の風波に対する制御効果が風に対するそれよりもはるかに大きいことがわかった。なおこの図から、さきに述べた空隙率 50 % が最大制御効果をもたらすことも直ちに理解できる。

d) 縦型柵と横型柵の優劣比較 図—9 をみると、黒く塗りつぶされたプロットマークが、白いマークより上の方にあり、明らかに横型柵の方が縦型柵より

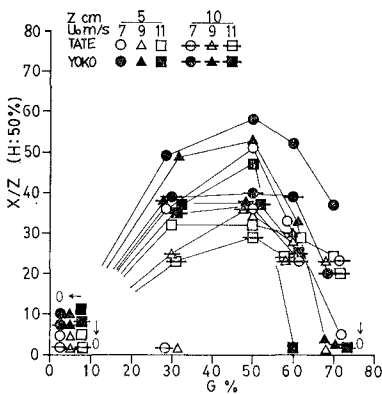


図—8 柵の背後における風速変化のパターンの例

り制御効果がよいことがわかる。平均的にみると、空隙率 50 % の場合半減距離は横型柵がほぼ 45 倍であるのに対し縦型柵の場合は 35 倍ぐらいで、両者間に柵高の約 10 倍の差がみられる。この理由は明らかではないが、柵を構成する棧による渦の回転方向が横型柵の場合上下方向であるのに対し、縦型柵では水平方向であることが、かなり大きく影響しているように思われる。実際製作上の立場からは縦型柵の方が容易で優位のように思われる。

### (3) 風波制御のメカニズムの考察

a) 複雑な合成流の形成 柵型防風構造物の場合、風の流れは、この構造物を越えて流れる越流と、空隙を



図—9 波高半減距離による縦桟型柵と横桟型柵との比較  
及び空隙率の影響比較

通って流れる透過流との合成流である。越流は一般に構造物背後に大きな渦（巻きこみ）を生じ、これにより逆風が生ずる。また、透過流は柵を構成する個々の桟により小さな渦を発生する。したがって、柵背後の風は、風速、風向に変化をきたした越流と透過流に加えて、大きな渦、小さな渦の複雑な合成流となっており、その混合条件の相異が風波制御効果の相異を生じているものと思われる。柵背後の大きな渦による逆風は、空隙率 0 すなわち壁の場合にはほとんど必ず生じている。この場合、比較的周期の長い波が無発達領域内に生じ、逆方向に進むものもあり、時には重複波状を呈する。この波は絶対値はそれほど大きくなくても、柵がないときにくらべるとかなり大きい場合が多く、柵の設置がいわゆる逆効果をもたらすことになる。柵構造の場合、空隙率が非常に小さい場合その傾向を示すことがあるが、一般にはこの逆風、逆効果はほとんど生じていない。

b) 乱れ残存距離と制御効果との関係 実験に用い

た風向流線の振れにより乱れ（柵がないときの糸の動きに比し明らかに振れが大きいと判断される状態、これは小さい渦による分が多いと思われる）の存在範囲を目視により観察した結果、この乱れの残存距離（図中Dで示す）の大小が制御効果にかなり関与しているように思われる。風速低減の量がある程度以上大きく、かつ、低減距離が長い場合一般に風波制御効果が大きい、しかしそうでない場合もあり、上記した乱れの残存距離の大小もさらにこれにかなりの重みで関与し、風波制御効果に優劣の差がでるものと考え、図—4～図—7 に示した乱れの残存距離が、空隙率 50 % の場合はほとんど最長を示していることから推測される。

#### 4. 結 言

実験の結果知られたことを種々述べたが、これらのうち重要と思われることを 2, 3 記しまとめとする。防風柵は、風に対する制御効果よりも風波に対しより大きな顕著な制御効果を示す。防風柵は風波の無発達領域をつくる。不透過型である壁構造よりも透過型である柵構造の方が風波に対し大きな制御効果を示す。柵には効果を最大ならしめる最適空隙率が存在し、その値はこの実験で用いた柵構造の場合およそ 50 % である。縦桟型柵より横桟型柵の方が大きな風波制御効果を示す。

#### 参 考 文 献

- 武田勝昭・安田喜世史・竹内政夫・金田安弘 (1985): 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.
- 根本 茂 (1963): 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.
- 村木義男・竹内政夫・佐伯 浩 (1989): 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.