

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

村木義男*・大平正浩**・竹内政夫***・佐伯 浩****

1. 緒 言

海岸域における自然条件的障害要因としては、外来波の外に、港内、海岸湖沼等小水面に新たに発生する風波、直接風による風圧、雨雪による視程悪化、吹雪吹きだ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。海岸港湾域の空間や施設の稼働率を高めることは、投資効果の立場から非常に重要である。北海道では全天候型港の実現をめざし、そのための構造物の検討も始められている。

この研究は、防風柵により、その背後の風と新たに発生する風波を制御し、稼働率、利用率を大幅に高めようとするものである。港の全天候型化に対してはもちろん、夏期間の短い北国の人工海水浴場、ボート遊場等の利用日数の拡大、ヨットハーバー等の安全管理、魚貝類蓄養施設の維持管理等にも役立ち広く益するものと考えられる。これの実現のため、さきに筆者等(1990)は、縦型防風柵、横型防風柵(いずれもスリット型)について実験を行い報告した。この報告で、柵背後の波高の場所的水平分布は、無発達領域と成長領域とに区分されること、空隙率おおよそ50%の柵が最も大きな波高制御効果を示すことなど述べた。今回、より効果的な防風柵構造を求め、新たに用意したネット型防風柵について実験を行い、スリット型との制御特性の比較を行い、相異、類似、優劣等を明らかにし、さらに、風速垂直分布水平分布と、無発達領域、成長領域との関係及び波高制御効果との関係をも考察したのでここに報告する。現在のところこのような研究は他に見当たらないようであり、結果は港改善等に役立つところ大と考え報告する次第である。

2. 実験方法

実験に使用した水路を図-1に示す。幅0.6m、高さ1m、長さ24mの両面ガラス張り風洞水路である。

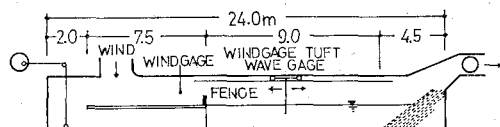


図-1 実験風洞水路

実験可能風速は0~15m/sである。防風柵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。防風柵背後の風速、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、風向流系、容量式波高計を用い測定した。測定間隔は柵高の2倍もしくは4倍とし、風向、風速測定位置は静水面上5cmである。風速垂直分布の測定は、柵直背後の位置として柵からの距離が柵高の1/5倍、無発達領域を代表して柵高の10倍、成長領域を代表して柵高の30倍のそれぞれの位置で行った。実験にあたっては、水は常に新しいものを用いた。測定データは1/10最大平均波高で整理した。

実験に供したネット型防風柵は、空隙率38%、49%、59%、79%の4種、形状は平面、曲面の2種である。空隙率38%のネットは布ガーゼ、49%と59%のネットは有孔プラスチック板、79%のネットは金網である。優劣比較のため、空隙率33%、50%、67%の縦スリット型防風柵と空隙率0%である平面壁及び柵なしの場合についても実験を行った。これら模型の種類を一括して図-2に示した。柵高は10cmである。模型縮尺は1/50と仮定した。

実験風速は、7m/s、9m/sの2種である。風洞の性

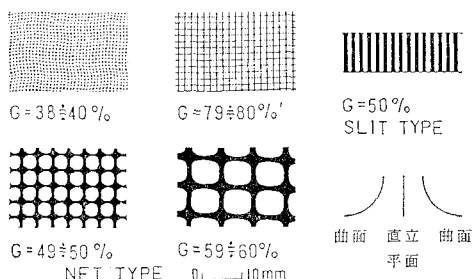


図-2 模型の種類 (G: 空隙率)

* 正 会 員 工博 北海道工業大学教授 土木工学科

** 学生会員 北海道工業大学大学院 土木工学科

*** 正 会 員 理博 北海道開発局開発土木研究所部長

**** 正 会 員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

能と、議論に足る精度を与えてくれ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 である。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) の提案した相似則に従うこととした。風速を U 、長さを L 、模型を m 、実物を p で表わすと、 $U_m/U_p = (L_m/L_p)^{1/3}$ がその式である。これを本実験にあてはめると、 $U_p = 26 \text{ m/s}$, 33 m/s となる。実際風速に比し過大となるが、比較考察には許容されるものと考ええる。

3. 実験結果と考察

柵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 (柵があるときの風速)/(柵がないときの風速)、(柵があるときの波高)/(柵がないときの波高) を、横軸に (柵からの距離)/(柵高) をとり図示し、柵の制御特性、制御効果の比較等を行った。また、風の垂直分布については、縦軸に (水面上の高さ) もしくは (水面上の高さ)/(柵高) を、横軸に 実風速 もしくは (柵があるときの風速)/(与風速) をとり、分布特性、制御効果の比較等を行った。

図中用いてある記号は次のようなものである。

X : 柵からの距離 U_0 : 与風速
 Y : 水面からの高さ $U(Z=0)$: 柵なし時の風速
 Z : 柵高 H : 柵背後の波高
 G : 柵の空隙率 $H(Z=0)$: 柵なし時の波高
 U : 柵背後の風速

(1) 柵背後の風と風波の水平分布の一般特性

図-3 に柵背後の風速と波高の測定結果の例を示した。

この図から、ネット型の場合も、著者等 (1990) がさきに報告したスリット型と同様、柵背後の風波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柵高のおおよそ 20 倍であることがわかる。また風の分布は、図-3 の上の図のとおりで、これもまたスリット型と同様のパターンを示す。図-4 は、図-3 を無次元表示したものである。紙数の都合で図は

NET TYPE $Z=10\text{cm}$ $G=49$ $U_0=7\text{m/s}$

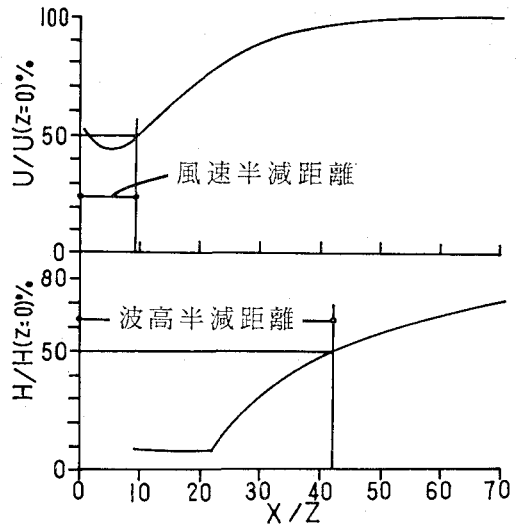


図-4 風速・波高無次元表示及半減距離

省略したが、風速を (風速)/(柵なし時の風速) で表示した場合、風速 7 m/s の場合と 9 m/s の場合とではほとんど同じ分布線となる。これもさきの著者等 (1990) の報告と同様である。

(2) 最適空隙率

防風柵の風波制御効果を表わす一つの方法として、波高半減距離なる量を考えることができる。図-4 に示したように、波高が、柵がないときの波高の $1/2$ 以下であるような範囲を、柵からの距離 (柵高の倍数) で表わすものである。この数が大きければ当然制御効果が大きくなることになる。ネット型柵についてこの波高半減距離と柵の空隙率との関係を見ると図-5 のとおりで、風速 7 m/s , 9 m/s いずれについても空隙率おおよそ 50% のとき最大を示す。これはスリット型についての著者等 (1990) のさきの報告と同じである。また、図-5 には、新たに行ったスリット型に対する実験結果も示してあるが、この図から、スリット型の最適空隙率がおおよそ 50% であることが再確認された。

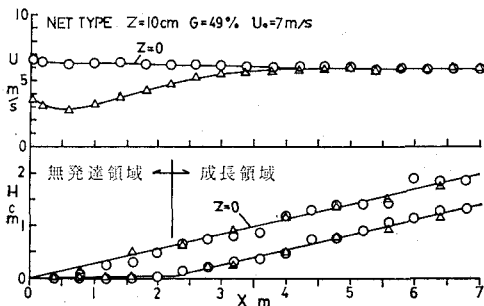


図-3 柵背後の風速・波高測定例

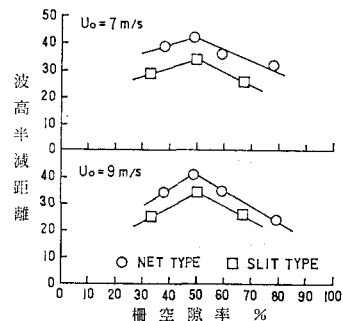


図-5 最適空隙率

(3) ネット型とスリット型との制御効果の比較

図-5 において、ネット型がスリット型の上に示されていることから、ネット型がスリット型より風波制御効果が大きいことが理解される。この理由は、ネット型を通過した風の乱れは、縦スリットと横スリットの相異なる乱れの相重的乱れとなり、縦スリット単独より複雑であるためと思われる。

(4) 曲面防風柵と直立平面防風柵との効果の比較

より効果的柵構造を求め、図-2 に示すような曲面をなした防風柵について実験を行ない、直立平面型との比較を行った。図-6 はその結果を示す。波高半減距離で評価した。これらの図からわかるように、風がくさび状に入りこむ曲面型の場合が直立平面型より効果が大きくなっている。この理由を風速垂直分布との関係から考察したが、因果関係は見い出せなかった。解明には、流線、乱れの様子を観察する必要があると考えている。

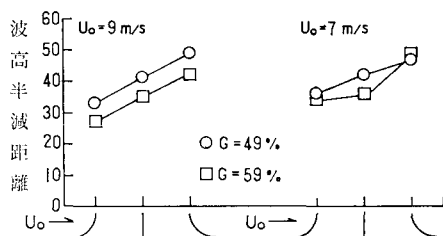


図-6 曲面柵と直立平面柵との効果比較

(5) 柵背後の風速垂直分布の一特性

柵背後の風速垂直分布を、縦軸に(水面からの高さ)/(柵高)、横軸に(柵があるときの風速)/(与風速)をとる表わすと、風速 7 m/s, 9 m/s 両者の分布がほとんど一致する。ネット型の空隙率 49% の場合の例を図-7 に示した。ネット型柵間の比較考察は風速に関係なく、この表示により行うことができる。

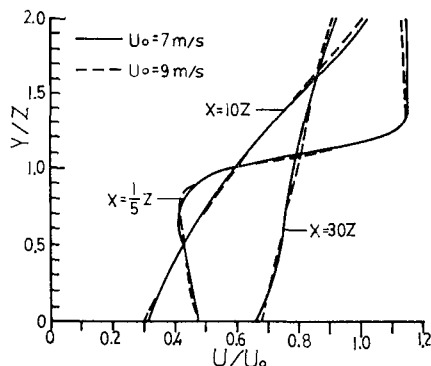


図-7 風速 7 m/s と 9 m/s の垂直分布比較例

(6) 柵直背後の風速垂直分布

柵直背後(柵高の 1/5 倍)の風速垂直分布は、図-8-A のように、柵の種類に応じた特徴ある分布を示す。

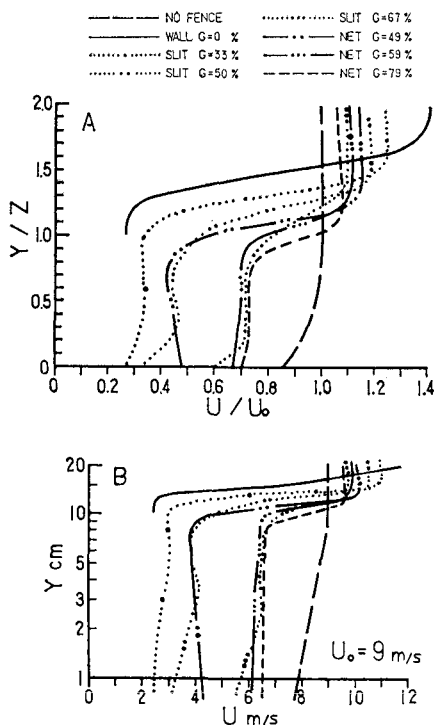


図-8 柵直背後における風速垂直分布

いずれも、柵高内では一様垂直分布に近く、ほぼ柵高位置で急に大きく変化し、明らかに柵の存在効果を示している。柵がない場合の風速に比し、柵高内では当然ながら風速は大幅に小さいが、柵高を越えたある範囲内(柵高のほぼ 2 倍内)では逆に大きくなっている。柵高内では、空隙率が異なると風速も異なり、空隙率が小さいほど風速が小さい。いずれにしてもこの部分で、柵の風、風波制御効果に対する初期条件がつくられている。対数分布表示を図-8-B に示した。柵がないときの分布は直線をなす。これと同じ高さ範囲が直線をなす柵はネット型と壁であるが、これらは縦軸にほとんど平行あるいは逆勾配であり、水面に作用する進行方向せん断力は得られそうもない。

(7) 無発達領域における風速垂直分布

無発達領域を代表する柵高の 10 倍の距離における風速垂直分布は、図-9-A のとおりで、分布はかなり滑らかとなり、柵高近くでの急変はない。水面近傍での風速は、いずれの柵についても柵直背後の風速よりむしろ若干小さくなっている。これは水面摩擦による減速と考えられる。分布形状は柵すべて一様に傾斜し、柵直背後の分布がかなり垂直的であったのに比し、明らかに大きく変化したことを示している。対数分布表示すると、図-9-B のように、分布線の直線度、縦軸との傾斜度、柵がないときの直線分布との比較から判断して、水面に作用するせん断力はほとんどないと思われる。

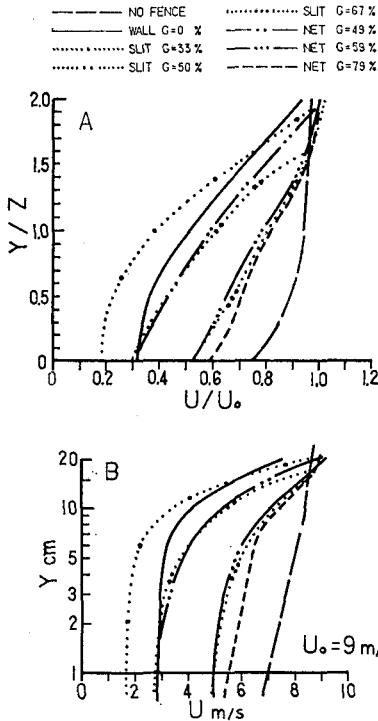


図-9 柵高の10倍位置における風速垂直分布

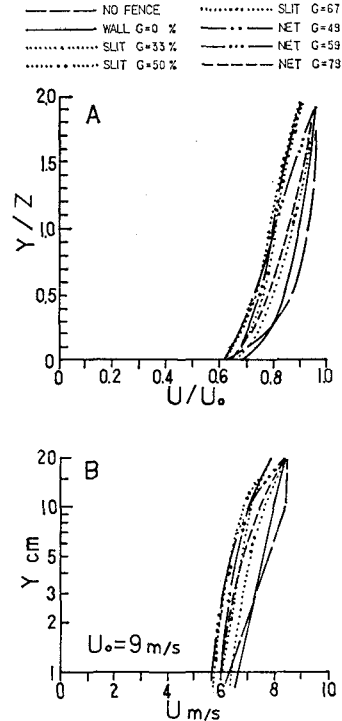


図-10 柵高の30倍位置における風速垂直分布

(8) 成長領域における風速垂直分布

成長領域を代表する柵高の30倍の距離における風速垂直分布は、図-10-Aのとおりで、柵がないときの分布にかなり近い形である。柵種間の風速差は非常に小さく、水面近傍風速は、無発達領域のそれに比し大幅に増大し、無発達領域の分布が明らかに大きな変化をきたしたことが知られる。対数分布表示をすると、図-10-Bのようで、直立壁とこれに比較的近い空隙率33%のスリット型はほとんど直線とみてよく、縦軸とも角度をなし、したがって柵がない場合とともに水面に作用するせん断力は求められる。他の柵については、直線分布にはいま一つ隔りはあるが、全体の形及び図-8, 9との比較から判断し、水面に作用するせん断力が生じはじめていように思われる。

(9) 風が柵により乱される高さ範囲

以上に示した柵背後の風速垂直分布から、柵により風が大きく乱される高さ方向範囲は、水面からおおよそ柵高の2倍までであるといえる。

4. 総合考察

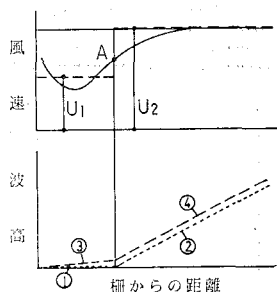
(1) 最適空隙率及制御効果優劣に対する考察

図-9-Aに示されるように、無発達領域においては空隙率が小さいほど風速が小さい傾向を示す。これは空隙率50%が最も大きな波高制御効果を示すこととは一致しない。柵の種類によって風の流線は異なり、風の移

動にもなって上記の順は変動する。成長領域においては風速は、図-10-Aに示されるように、ネット型、スリット型両者とも僅かの差であるが、空隙率50%の場合に最小を示す。これは空隙率50%の柵が波高制御効果が最も大きいことと一致する。ネット型がスリット型より波高制御効果が優位であることの説明は、分布形状からは明確には得られなかった。強いていえば、上記のことに矛盾する風速分布はなしてはいないことである。ネット型とスリット型とでは、柵背後の風の乱れの姿(細かい乱れ)がかなり異なることが予想され、これにより波高制御効果に差がでてくるのではないかと考えている。

(2) 無発達領域及成長領域に対する考察

柵からの距離が柵高の10倍と30倍の位置における風速は明らかに大きく異なる。このことから両位置における波高は大きく違うことが当然予想される。ここで、柵があるときの風速水平分布をモデル化し考察を試みる。柵があるときの風速水平分布は、一般に、図-11に示すように、柵からの距離とともに一度減少し後増加をたどり柵がないときの風速に復元する。この曲線の上昇部分の縦座標中点A点を求め、これを境に、風速水平分布を大胆に不連続な2つの風速に分割する。すなわち、風速 U_1 がA点の横座標位置で突然風速 U_2 に変わるものと仮定する。 U_1 はA点以下の風速分布の平均的値、 U_2 は柵がないときの風速である。このようにすると、波高水



図—11 風速水平分布のモデル化

平分布は、図—11 の下の図のようになる。 U_1 が波発生限界風速より小さい場合は、A 点の座標位置までは波高はゼロ（点線①無発生無発達）で、これ以後は SMB 法において風速 U_2 として得られる波高分布線②で示される。波発生限界風速は、われわれの実験水路での実験によればおよそ 3.5 m/s である。 U_1 が波発生限界風速より大きい場合は、その風速 U_1 を用い SMB 法により得られる波高分布線③が示され、A 点の座標以後は破線③をベースに、風速 U_2 を用い SMB 法により得られる波高分布線④が示される。風速 U_1 も吹送距離（柵から A 点座標までの距離）も一般に小さいので、破線③で示される波高は一般に小さく無発達に近い。このモデルに従えば、波高水平分布線は、無発達領域と成長領域とに A 点座標で明確に区分され、また成長領域における波高分布線は、柵がないときの波高分布線に平行となる。A 点の座標位置は、実験結果ではおよそ柵高の 20 倍である。このようなモデル化は近似的に許されるものと考えられる。実際には、さきに述べたように、無発達領域内では水面に作用するせん断力はほとんどないものと判断されるので、破線③はこれより下まわるものと考えられる。この

モデル化は、全体的に安全側に設定されてある。

柵高の 10 倍地点において風速垂直分布が水面に作用するせん断力をほとんど生じていないことは、無発達領域形成にプラス効果をなし、また一方、柵高の 30 倍地点における風速垂直分布が水面に作用するせん断力を発生しはじめていることは成長領域形成にプラスの働きをする。

5. 結 言

スリット型に引続いて今回ネット型防風柵について実験を行い、柵背後に発生する風波に対する柵の制御効果について種々考察した。ネット型もスリット型と同様空隙率はほぼ 50% の柵が風波に対し最大の制御効果を示し、無発達領域の範囲もスリット型と同様柵高のほぼ 20 倍の値を示し、しかし、制御の効果はネット型がスリット型よりよいことなど知られた。また、柵背後の風速垂直分布、このモデル化により、防波防風柵の風波制御メカニズムの考察を行った。

参 考 文 献

- 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.
- 村木義男・竹内政夫・佐伯 浩 (1990): 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.
- 村木義男・竹内政夫・佐伯 浩 (1990): 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.
- 村木義男・竹内政夫・佐伯 浩 (1991): 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.