

防風柵による小水域風波の制御に関する実験的研究

北海道工業大学工学部 正会員 村木 義男
北海道開発局開発土木研究所 正会員 竹内 政夫
北海道大学工学部 正会員 佐伯 浩

1. まえがき

近年、海岸港湾における空間や施設の多角的な高度利用の要請が強まり、ウォーターフロント開発、ハーバーフロント再開発等の名のもと多くの計画がすすめられ、あるものは既に実施に移されている。人工海水浴場、人工養魚水面施設、ヨットハーバー、ボート遊び場、ショッピングセンターなどその施設の例としてあげられよう。これら施設はもちろん、既存の海岸港湾施設等を含め、その有用性を経済的立場で考えると、その高度な稼働率の確保が基本的に非常に重要となる。稼働率を上げるには、自然条件的障害要因をできるだけ排除することが必要である。

このような状況の中から、全天候型バース、全天候型港湾なる構想も生れ、種々の立場から既に検討がすすめられている。北海道日本海岸に位置する留萌港にその例を見ることができる。この構想は、外来波制御のみに重点をおいてきたこれまでの考えを変え、風雪という気象条件をも制御することにより、施設の稼働率を大きく飛躍させようとする新しい構想である。

海岸は一般に風が強い。とくに北国の冬の海岸は厳しい。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、小水面域に発生する風波、直接風による風圧、雨雪による視程悪化、吹雪吹きだまりなどがあげられるが、これらは風の制御によりかなり軽減されることが予想される。とくに、人工海水浴場、人工養魚水面施設、ヨットハーバー、ボート遊び場など、また、港湾内の外来波の影響の少ない内港など小水面域については、風の制御の効果は非常に有益であると思われる。

風を制御する方法の1つに防風柵を用いる方法がある。防風柵による風圧風速軽減、雪吹視程改善、吹雪吹きだまり制御などに関してはこれまでも多くの研究がなされ、海岸領域において適用され得る成果も多々あるが、防風柵による風波の発生発達制御については、これまであまり研究がなされておらず、効果の有無その度合い、その領域など未だ明らかでない。防風柵の風波に対する制御効果はかなりあるものであることがわかれば、他の種の効果と相乗することから、投資価値があがり、海岸施設としての防風柵設置の考えがより現実的なものとなるであろう。この研究は、風波発生制御の立場から、防風柵の効果を確認し、そのメカニズムを明らかにし、もって設計法の確立をはかろうとするものである。

2. 実験方法

実験に使用した水路は幅60cm、高さ1m、長さ24mの両面ガラス張りの吸込み型風洞水路である。概略は、図-1のようなもので、有効水面長は約9mである。風速の能力は0～約15m/sである。

風速測定には熱線風速計を用いた。柵前方断面中心部での測定値をもって到来風の風速とした。

波高測定には容量式波高計を用いた。防風柵後方水路内に連続移動可能な測定台を設け、これに波高計を取付け、遠隔操作により所定位置に設定し、測定を行い、柵背後の波高分布を知るようにした。データは1/10最大波高で整理した。

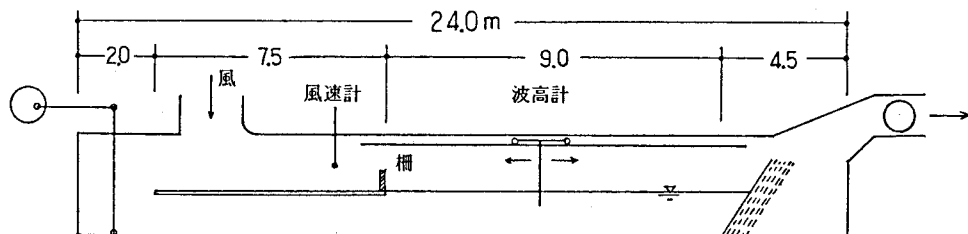


図-1 風洞造波水路

防風柵の模型は、5 mm角の小木材を水平に5 mm間隔に並べた構造のものである。したがって空隙率は約50%である。一般に用いられる防雪柵と基本的には同じ種類のものである。

実験水深は45 cmである。実験風速は、7 m/s、9 m/s、11 m/s の3種、模型防風柵の柵高は、0 cm、5 cm、10 cm、15 cm の4種である。

模型縮尺は1/50と仮定した。この種実験については厳密な相似則を得ることは不可能であろう。この水路で得られる安定した風速約13 m/sまでの範囲で、かつ、発生した波の波高が適当に大きく議論するに足る精度のデータを与えてくれる風速ということから、上記のような実験条件を設定した。

風の流れは柵によって乱される。このことによって柵背後の波発生が抑制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¹⁾は、自然風と模型風とが、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、次のような相似則を提案している。

$$U_m/U_p = (L_m/L_p)^{\frac{1}{3}}$$

ここで、mは模型、pは自然(実物)の場合を示し、Lは物体の代表長である。この相似則を本実験の場合に適用すれば、 $L_m/L_p = 1/50$ 、したがって、 $U_p/U_m = 3.68$ 、したがって、 $U_p = 25.7 \sim 40.0$ m/s となり、実際より若干大きな風速についての実験ということになる。

3. 結果と考察

(1) フェッチと波高との関係

各風速について、防風柵からの距離即ちフェッチと発生波の波高との関係を示したのが図-2(a)(b)(c)である。いずれの風速の場合も、柵のある場合は柵からある距離内は波高が小さく、その成長も少ないが、ある距離を越えると急に成長が大きくなっていることがわかる。明らかに防風柵の効果が顕著であることが理解される。防風柵の効果の顕著な域を過ぎると、波の成長度合は大きくなるが、その度合は、いずれの大きさの柵の場合も、柵のない場合のそれとかなり近似している。すなわち、かなり近似の勾配の曲線をなしている。

柵のない場合と柵高10 cmの場合について、フェッチと波高との関係を、日野氏の理論曲線の示されたフェッチグラフ²⁾にプロットすると、図-3のとおりで、他の人の測定結果の範囲内にあり、柵のない場合フェッチの比較的大きいところでは日野氏の理論曲線にかなりよく合致している。このことから、波高についての相似性もかなりよいものであらうと考える。

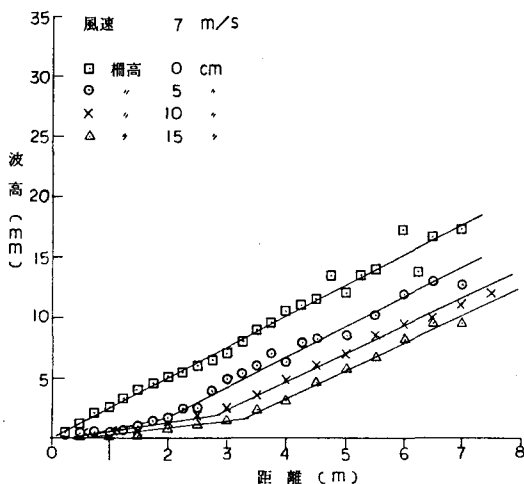


図-2(a)

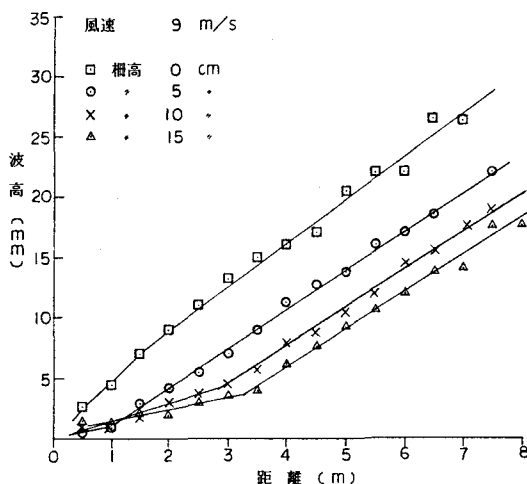


図-2(b)

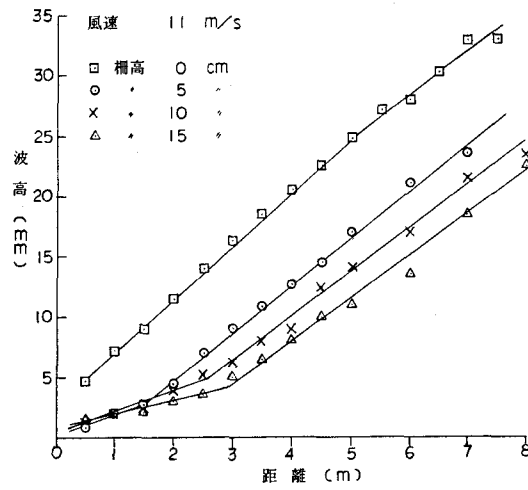


図-2 (c)

図-2 防風柵からの距離と波高との関係

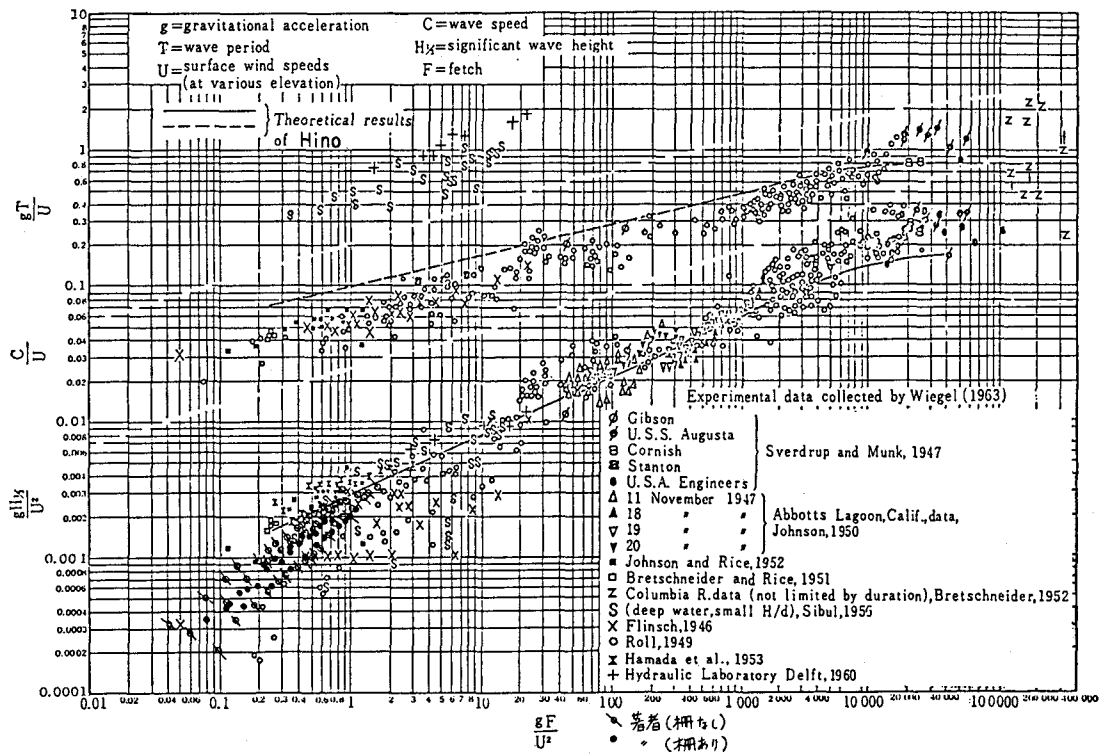


図-3 フェッチグラフにおける著者の実験値と他の実験値実測値との比較

次に、防風柵の風波制御の範囲と効果の度合をいまい少し詳しくみるため、測定値を無次元表示し、これを図-4 (a) (b) (c) に示した。縦軸には、柵がないときの波高に対する柵があるときの波高の比を、横軸には、防風柵からの距離を防風柵の高さで割った値をとってある。これらの図においては、防風柵の高さの違いによる風波抑制効果の差はさほど大きくはなく、プロットした点の全体的ばらつきをも考慮にいれるとき、柵高を区別せず全体を1本の曲線で表して議論してもよいように思われる。ここでは、マクロ的特性をつかむ立場からこのように取扱うことにした。

(2) 防風柵の効果の範囲

図-4 (a) (b) (c) からわかるように、防風柵の風波発生抑制効果はかなり大きいものがある。柵高の50倍以上の距離のところでもその効果がみとめられる。効果の顕著な範囲として柵高の約30倍か35倍をとることができる(曲線の変曲点までの範囲)。柵の期待効果を、柵のないときの波高の半分まで減少させることとすると、その期待可能な距離は柵高の約40倍となる。

(3) 防風柵の効果の大きさ

効果の大きさは図-4 (a) (b) (c) からわかるように、3部分に区分される。すなわち、柵高の約20倍、約20倍～50倍、約50倍以上の3部分である。20倍までの範囲では、柵のあるときの波高は柵のないときの波高の約30%以内まで減少し、50倍までの範囲では約55%以内に、50倍以上ではかなりの範囲まで約70%以内の波高まで減少する。これらのことは、(2)で述べたこととともに、風速の大小、柵高の大小にあまり関係なく認められる。このことから、実験結果と実際との相似性はかなりよいものと思われる。なお、3部分に区分されるという特性は柵による風の乱れ構造に関係するものと思われ、今後研究をすすめたい。

(4) 波高分布と風速分布、雪の吹きだまり分布との関係

防風柵についてはかなり多くの実験実測が行われている。筆者の一人竹内等の実験³⁾による防風柵背後の風速分布の例を図-5に示した。竹内等はこれらデータを基に、防風柵の、柵背後の風への影響範囲として、柵高の約30倍を提言している。また、図-6は竹内等の実験実測⁴⁾による柵背後の吹きだまりの分布を示す図であるが、この図から、吹きだまりの範囲は柵高の約30倍であることがわかる。これら2つのことと、この研究で得た風波制御効果の顕著な範囲が30～35倍であることとよく一致する。このことから、この実験で得た結果の現地への適合性はかなりよいものであろうと考える。

4. あとがき

防風構造物、防風樹木などにより、風の流れの構造に変化を起こさせ、このことにより、小水域における風波の発生成長を制御するという方法に関する研究は、これまでのところあまり行われていない。本研究により、防風柵の風波制御効果はかなり顕著なものであることが明らかとなった。防風柵の他の効果である風圧軽減、雨雪時視程改善、吹雪吹きだまり制御などに加えて、風波制御効果がさらに効果的にプラスされることから、防風柵の海岸、港湾、湖沼施設としての投資価値は高まり、実用に供される期待が一段と強まったものと思われる。今後さらに研究をすすめ、効果のメカニズムを明らかにし、設計法の確立をはかりたい。

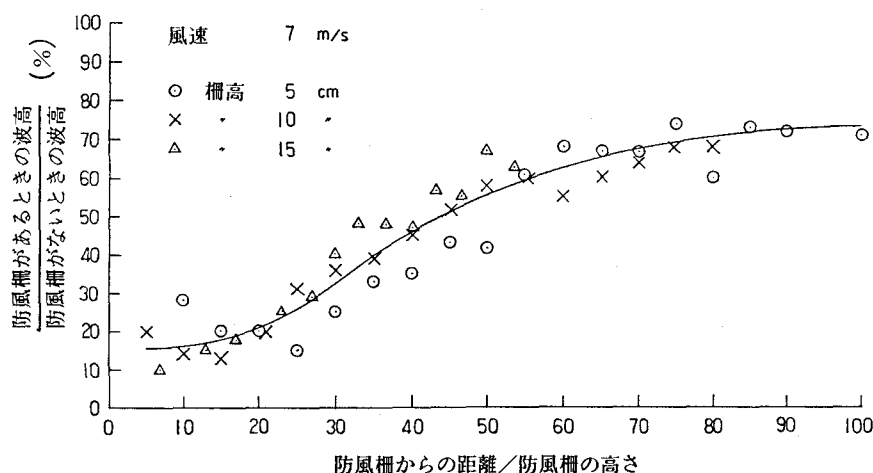


図-4 (a)

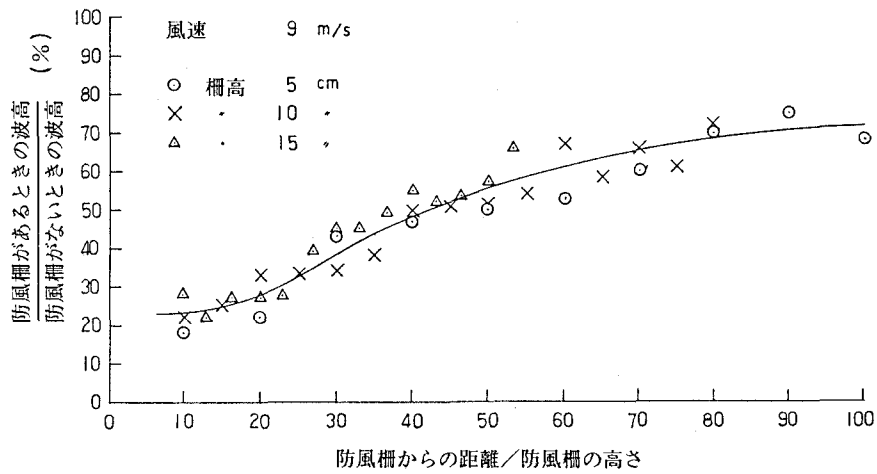


図-4 (b)

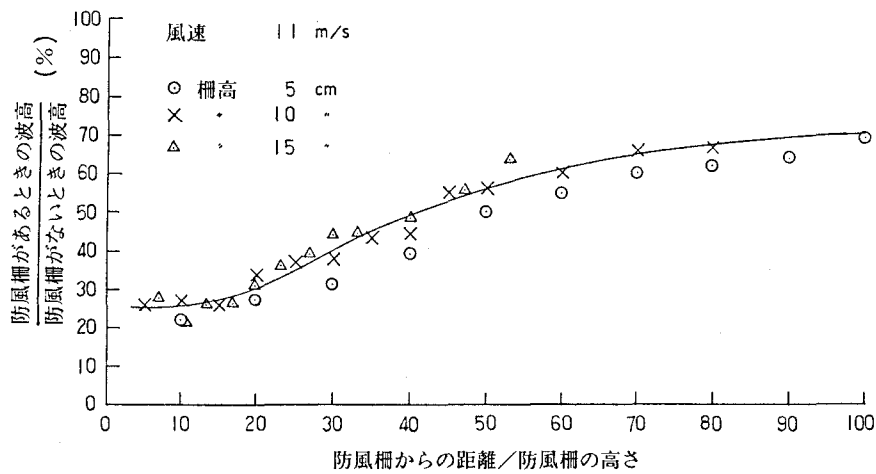


図-4 (c)

図-4 無次元表示による柵からの距離と波高との関係

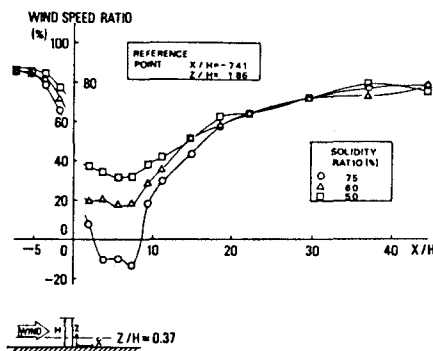


図-5 防風柵背後の風速分布例
(武田、安田、竹内、金田)

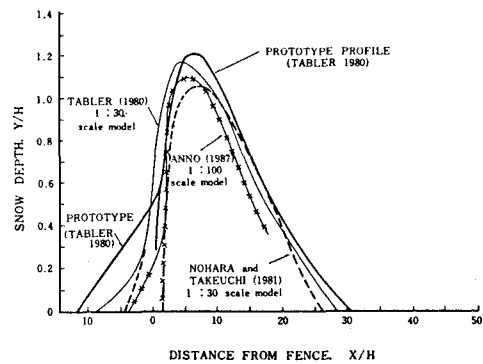


図-6 防風柵背後の雪の吹きだまり分布例 (竹内)

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) Mikio Hino: A theory on the fetch graph, the roughness of the sea and the energy transfer between wind and wave, Coastal Engineering in Japan, Vol 9, 1966.
- 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, 1985, 9.
- 4) Masao Takeuchi: Snow collection mechanism and capacity of snow fence, Symposium on snow and glacier research relating to human living conditions, Lom, Norway, 1988.