

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

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

現在海岸港湾域における空間及び施設の多角的な高度利用が要求されている。既存港湾施設、沖合人工島施設を含め海岸域施設のより高度な投資効果のある有効利用をはかるには、高い稼働率の確保が必要である。このようなことから、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。北海道日本海に面する留萌港もその一例である。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、稼働率を大きく飛躍させようとする新構想である。すでにこのための防風構造物の検討がはじめられている。

海岸域における自然条件的障害要因としては、外来波浪のほか、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、吹雪吹きだまりなどあげられるが、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。

風を効果的に制御する方法に防風柵による方法がある。これについては、さきに実験を行い、風波の発生を制御する効果はかなり顕著にあることを確認し、前回の海洋開発シンポジウムにおいて報告¹⁾した。防風柵は北国においては防雪柵として吹きだまり防止、視程改善のため多く使用されているが、風波の発生制御には使用されていない。実用にはさらに研究が必要であるが、今後、全天候型港湾のみならず、人工海水浴場、ボート遊び場、ヨットハーバー等の稼働率向上、安全確保に役立つものと期待される。

方法のいかに問わず、港湾、海岸、湖沼等の水際に防風のために特につくられた施設はこれまでのところ見あたらないといってよいであろう。防波堤の高いパラベット、水際の大きな建物が結果的に風に対し制御の効果をもたらすことはあるであろうが、このような中であって、外来波ばかりでなく外来風を防ぐことをも目的の1つとしてつくられた防波堤がある。それは稚内港のドーム型防風兼用防波堤²⁾である。これはおそらく日本における港湾にかかわる唯一の防風構造物であろう。

一般港湾構造物、建築物が防風構造物としても十分な性能をもつものであれば、われわれにとって大変都合がよい。このような構造物や建築物を合理的に適切に配置することにより、風や風波を目的にかなうよう制御できる可能性がでてくるからである。防風柵など特に設けなくてすむからである。

このようなことから、今回、このドーム型防風構造物について、その背後の水域における風と風波とのかかわりあい、その制御効果はどのようなものなのかなど実験によりしらべ、他種のウォール型、複合型、柵型の実験結果と比較し、その特性、優劣等を検討してみた。本論文はその結果を報告するものである。

2. 実験方法

(1) 実験装置

実験に使用した水路は、幅0.6m、高さ1m、長さ24mの両面ガラス張りの吸引型風洞水路である。概略は図-1のようなもので、有効水面長は約9mである。実験可能風速は0～約15m/sである。防風構造物の前方の風速と防風構造物背後の風速、波高、風向を測定した。前方の風速は、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。背後の測定は、風洞水路内に設けた移動測定台に取付けた容量式波高計、デジタル型熱線風速計、風向流系により行った。この移動台は、遠隔操作により所定の位置に設定可能なものである。測定

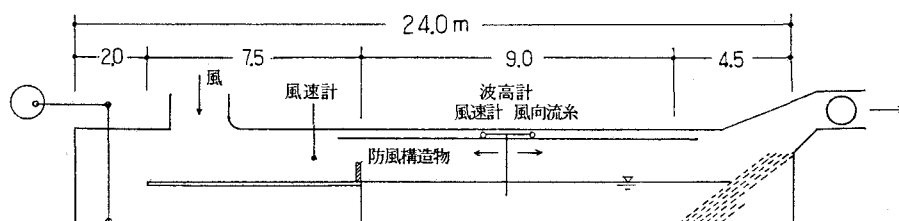


図-1 実験風洞水路

間隔は防風構造物の高さの2倍を原則としたが、場合によってはこれより短い距離で行い、かなり密度の高いものである。風向流糸は、長さ5cmの腰のやわらかい糸を0.5mmの細い銅線で上下方向5cm間隔で取付けたもので、最下端流糸の位置は静水面上5cmである。なお背後の風速測定的位置も静水面上5cm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過程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。実験の様子を写真-1に示した。

(2) 模型

実験に供した模型は、ドーム型、ウォール型、複合型、縦柵型、横柵型の5種である。前の3種は不透過型であり、後の2種は透過型である。ドーム型の実物形状を図-2に示した。また、比較に用いた防風構造物の様式を図-3に示した。柵型は、5mm角の小木材を縦または横に5mm間隔で並べたもので、空隙率は50%である。空隙率がおおよそ50%のものが最も大きな制御効果を示すことが他の実験により知られたので、この空隙率を用いた。複合型は、透過型、不透過型それぞれの特徴を生かすことを意図し考えたものである。これら5種の実験結果を比較することにより、ドーム型の制御効果の優劣を検討した。

(3) 実験条件

実験水深は45cmである。実験風速は7、9、11m/sの3種、構造物の高さは0cm（構造物がない場合）と15cm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条件をきめた。模型縮尺は1/92である。ドーム型の高さを他の構造物の高さ15cmに合せたためにこのような端数となった。

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って波の発生発達が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³⁾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。

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

ここで、mは模型、pは自然（実物）の場合を示し、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、 $U_p = 31.5, 40.5, 49.5 \text{ m/s}$ となり、実際よりかなり過大な風速となるが、防風構造物間の制御効果の優劣比較および定性的性質の把握の立場からは、許容されるものと考えられる。

3. 結果と考察

測定読取値をプロットした図の例を図-4に示した。防風構造物がない場合とある場合の風速と波高が示されてある。測定間隔は、両者とも構造物高の2倍を原則としたが、構造物がない場合の風速、波高については10cmと20cmで観測した。これを見るとわかるように、風速については、プロットした点のばらつきはほとんどない。距離との関係曲線は点を結ぶことにより簡単に求まる。波高については、構造物に近い部分はばらつきは少ないが、遠い部分についてはかなりのばらつきみられる。しかしこれに対しても、平均的関係曲線は容易に引くことができる。風速と波高それぞれについての、防風構造物があるときとないときの比（風速比、波高比）は、この例に示されるような関係曲線から求めた。したがって、無次元表示された図-5～図-8にはプロット点は示されていない。

(1) 防風構造物の風に対する制御効果

風速と距離（防風構造物からの）との関係を無次元表示した図-5～図-7とこれらを1つにまとめた図-8により、風に対する制御効果を考察する。これらの図から、構造物の種類により、その背後の風速の減少状況が明確に異なることがわかる。ドーム型、ウォール型、複合型の不透過型と、縦柵型、横柵型の透過型とでは著しい違いがみられる。特徴は、ドーム型を含む不透過型では、背後に大きな渦を生じ、この渦流による逆方向の風が生ずること、そして背後の風速減少量は非常に大きい、反面速やかに（短い距離で）制御効果を失い構造物がないときの風速にかなり速やかにもどっていることである。これに対し透過型の場合は、背後の風速減少は不透過型に比しかなり少ないが、制御効果が長い距離続いている。そして、逆流を生じていない。とくに横柵型はその傾向が大きい。不透過型の場合の大きな渦による逆流の生ずる範囲は、図-8からわかるように、おおよそ構造物の高さの8～10倍であるが、これは著者の一人竹内等の他種の柵による実験結果⁴⁾と一致している。

次に構造物の種類別に風速比と相対距離との関係を見てみると、図-8からわかるように、どの型も風速にほとんど関係なくそれぞれ独自のパターンを示している。風速が変わっても風速の減少率は変わらないことを意味し予測上も都合よい。いま仮に効果の評価に風速半減距離という考えを設けるならば、これらの図からそれぞれの防風構造物の半減距離が求まる。ドーム型の場合構造物高のおおよそ10倍、単純なウォール型の場合はおおよそ12倍で少し大きく、横柵型の場合もほぼ12倍で、全体的に大きな差はない。風速制御を目的とする場合これらの図は設計に役

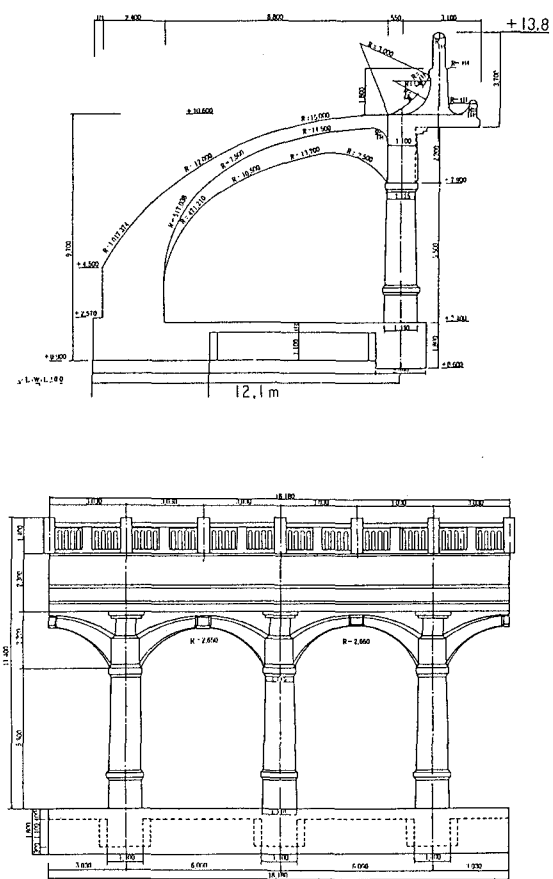


図-2 ドーム型防風構造物（稚内港）

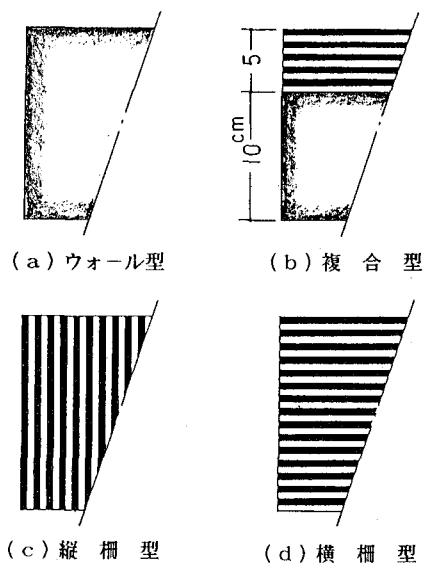


図-3 比較に用いた防風構造物の種類

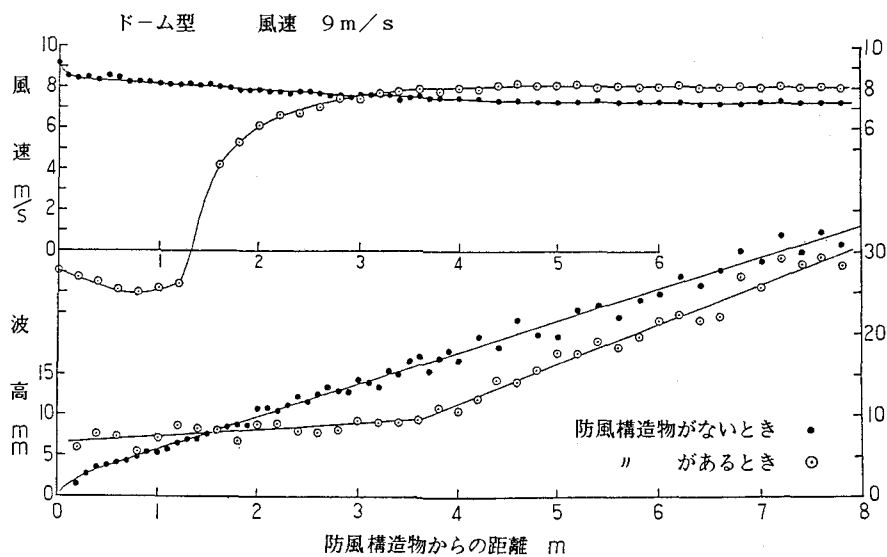


図-4 風速、波高の距離的变化の例

立つであろう。不透過型、透過型ともに風に対する制御効果はかなり顕著であるが、その特徴が上記のように著しく異なるので、目的に応じ使いわけの必要があらう。

(2) 防風構造物の風波に対する制御効果

波高測定値と、構造物があるときとないときの波高の比(波高比)とを、構造物からの距離を構造物の高さで割った値との関係で示した図-5～図-8により考察する。まず一般的なこととして、背後の風波の発生発達の様子をみてる。防風構造物の存在により、その背後には、風波が発生はするがほとんど発達しない領域が生ずる。このことは図上に明確に現れている。これは防風構造物により得られた最大の効果である。その範囲は構造物の種類によってちがってくる。その範囲が大きいかつその範囲の中の波高が小さいものほど優れた防風構造物ということになる。

この領域をすぎると、風波は次第に波高を増大させていく。不透過型の場合さきにも述べたように、背後に渦流による逆流の風速が生じ、これにより、比較的周期の長い波が発生し、逆方向に進行するものもある。時には重複波状を呈する。この無発達領域の波は絶対値としてはそれほど大きくはないが、構造物がないときの波高よりかえって大きくなり逆効果をもたらすことが多い。ドーム型を含む不透過型の場合ほとんどこの状態となる。しかし柵型の場合は現れていない。発達領域に入ってから波高の増加の仕方は、透過型の場合は、構造物がない場合の増加の傾向とかなりよく似ている。

図-5～図-7により、ドーム型と他の型との制御効果の比較を行ってみると、ドーム型と複合型、ウォール型との間にはさほど差はないが、これら不透過型と縦柵型、横柵型の透過型との間には顕著な差がみとめられ、実験の範囲では横柵型が、その関係曲線が最下位に位置し、制御効果が最も優れていることが知られる。このことはいずれの風速についてもいえる。次に同一構造物について、図-8により、風速の違いによる差をみてみると、透過型についてはあまり差はみとめられないが、ドーム型を含む不透過型についてはかなりの差がみとめられる。

風の場合と同様に、効果の評価に波高半減距離なる考えを用いると、ドーム型を含む不透過型の場合その値は存在せず、つまり50%まで低減せず、これに対し柵型ではおおそ3.2倍なる値を示し、ドーム型は柵型に比し大きく劣ることが知られる。ドーム型に広い範囲の減少効果を期待することはできない。複合型は、ウォール型の特徴である風速を大きく減ずることと、ウォール型の欠点である背後の逆流を無くすこと、そして低減風速の持続を長くすることを意図したものであるが、その効果はみとめられず、したがって風波に対する制御効果も他の不透過型と同程度のものであった。

(3) 風速分布と波高分布との関係

柵型構造物の場合、風の流れは、この構造物を越えて流れる越流と空隙を通し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を生じ、このため逆流の風を生じさせ、また、透過流は柵を構成する栈によって小さな渦を発生する。したがって構造物背後の風は、越流、透過流、大きな渦、小さな渦の複雑な合成流で、その混合の違いが、風波制御効果の違いになるものと思われる。ドーム型を含む不透過型の場合は、透過流も小さい渦ともに無いか、もしくは非常に少ない状態にあり、これに対し横柵型など透過型の場合は小さい渦も透過流も適当に存在し、このため、優れた制御効果が得られているものと考えられる。

実験に使用した風向流系の振れにより乱れ(構造物がないときの系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、この乱れが長い距離存在するほど風波制御効果はよいようで、このことから、この乱れの存在が風波の制御効果に大きく関与していることが理解される。縦柵型と横柵型とでは乱れの持続距離はあまり変わらないが、系の振れの方向が異なる。横柵型では上下に、縦柵型では水平方向に振れている。この振れ方向も制御効果に影響を与えているようだ。また、透過流は越流の流速を緩和するよう作用しているようで、これも風波制御に大きく関係しているものとおもわれる。

図-5～図-8に示された風速分布の形と波高制御効果の優劣とを対比してみると、ドーム型等不透過型の場合背後の風速は非常に小さく(マイナスまで)なるが、かなり速く構造物がないときの状態に復したがつてはやく波が発達するのにに対し、柵型の場合は風速はそれほど低減しないが、しかし柵がないときの状態に復するのに長い距離を必要としていることから波の発達はやく、このため制御効果が大きくなっているものと理解される。

4. あとがき

現実に存在するドーム型防風兼用防波堤について、背後の水域における風速と波高に対する効果を模型実験によりしらべたが、期待した結果は得られなかった。ドーム型は空隙率0である単純なウォール型とほぼ同じ程度の制御効果を示すと考えてよいようだ。このドーム型構造物は来襲する風、波浪、飛沫を防ぎ、ドーム空間を利用する立場からは非常に合理的で優れていると考える。背後の風波の制御効果のみを対象とするときは柵型が好ましい。

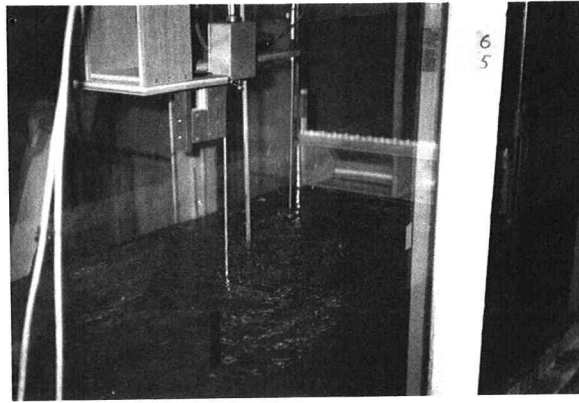


写真-1 実験状況

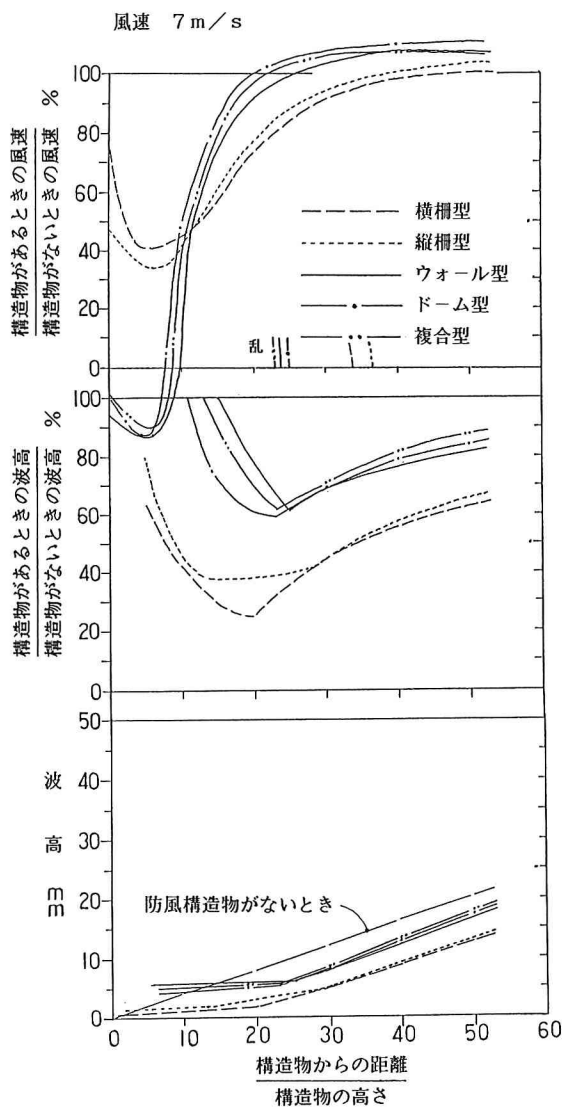


図-5 防風構造物の風と波に対する制御効果の比較

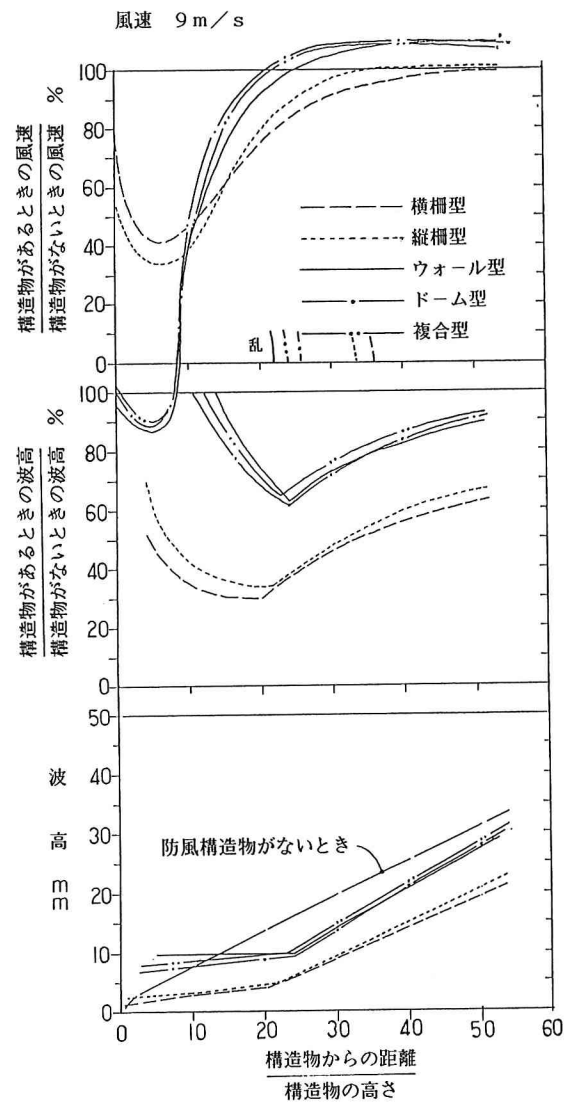


図-6 防風構造物の風と波に対する制御効果の比較

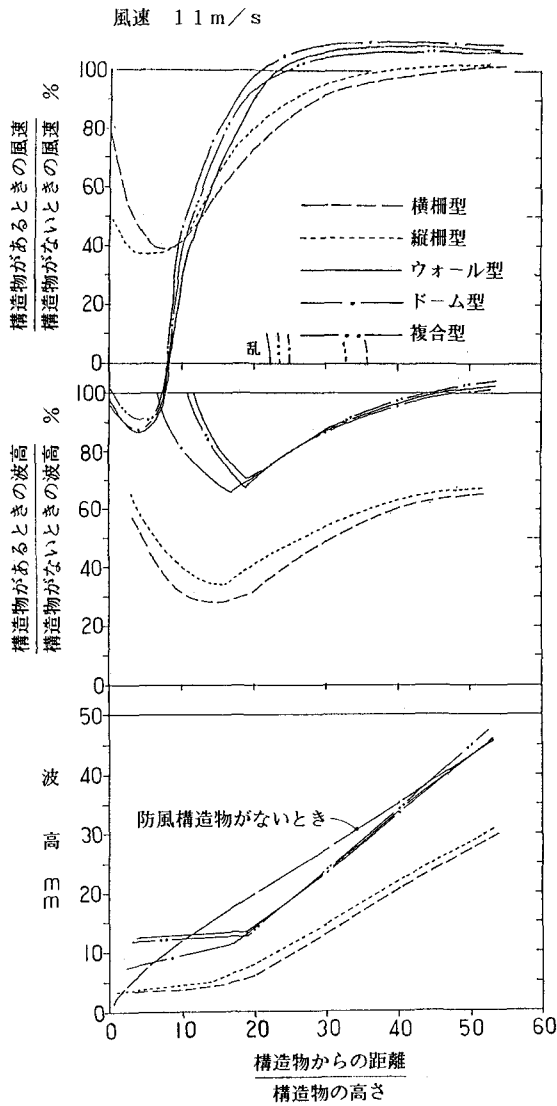


図-7 防風構造物の風と波に対する制御効果の比較

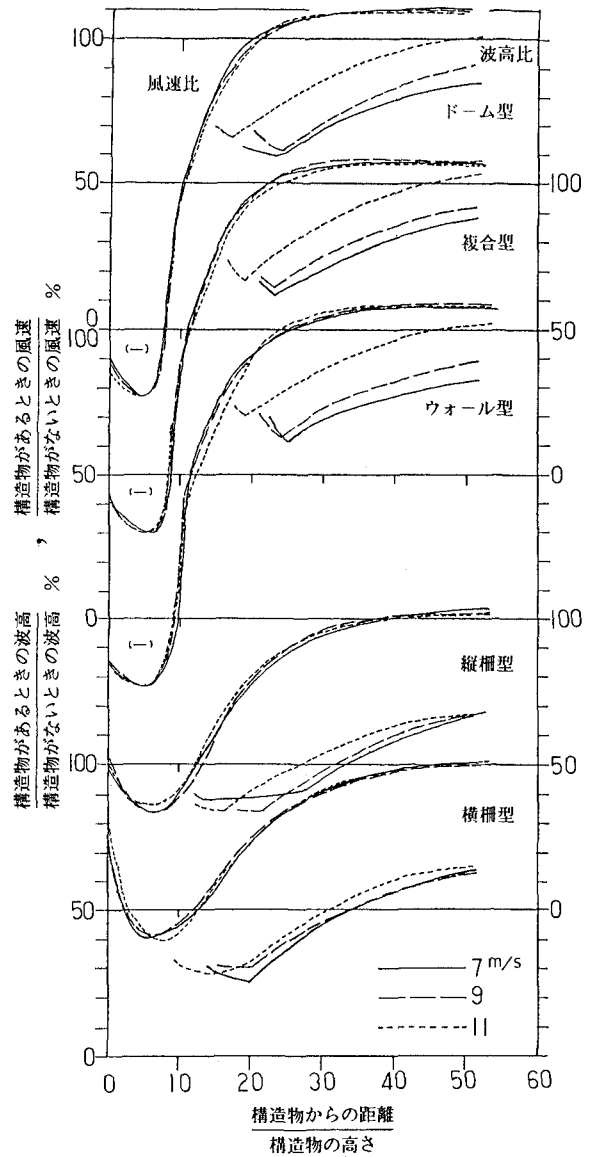


図-8 風速の相違による制御効果の相違

参考文献

- 1) 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.
- 2) 北海道開発局稚内開発建設部稚内港湾建設事務所：稚内港北防波堤ドーム，1985，3.
- 3) 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.
- 4) 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.