

スリット型防風柵の風波制御効果の予測に関する考察

On A Forecasting Method of Wind-Generated
Waves behind the Slit Type Wind Fence村木義男*・大平正浩**・竹内政夫***・佐伯浩****
Yoshio. Muraki, Masahiro. Ohira, Masao. Takeuchi, Hiroshi. Saeki

Wind fence is useful structure to reduce the heights of waves which are newly generated by wind behind it. This paper presents a simple forecasting method of the reduced wave heights behind wind fence. Forecasting method is required for designing the wind fence. This method is obtained from data which are given by experiments carried out in a wind water tunnel.

Keywords: forecast, wind, wind waves, wind fence

1. まえがき

ここでいう風波は防風柵背後水面に風により新たに発生する波のことである。水面上の風と風波を小さくすることができれば、その水域の利用性は増大する。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も可能となり、また、ヨットハーバー等の安全管理、魚貝類養殖場の維持管理にも役立つ。これらのことの実現のため、筆者らは、これまで、防風柵による風と風波の制御に関する実験を行い、防風柵によるその制御効果の大きいことを確認し、これについて、さらに、海洋開発シンポジウム¹⁾²⁾⁴⁾及び海岸工学講演会³⁾において報告した。報告において、筆者らは、柵背後の波高の場所的分布は、無発達領域と成長領域とに区分され、無発達領域の範囲は、柵の位置から柵高のおよそ20倍であること、その領域内の波高は非常に小さいこと、及び、空隙率およそ50%の柵が最も大きな波高制御効果を示すことなどを示し、その利用性の高いことを述べた。このような防風柵を設計するには、その効果の量を予め知ることがぜひとも必要であるが、これに関しては、いまのところ、そのおおよその目安すら得られないのが現状であろう。理論解析によりこれを求めることは非常に困難であると思われるし、その都度条件に合致した実験を行い予測するのが望ましいが、それには、それ相当の実験施設を必要とし、また、多くの手間と時間をかけることになり容易ではない。この研究は、これまでの実験結果をもとに、おおよそではあるが簡単に柵背後の波高を予測し、柵がない場合に対する効果を予め知る方法を考察したものである。

2. 実験方法

これまでの実験に使用した水路は、図-1に示すような、幅0.6m、高さ1m、長さ24mの両面ガラス張りの風洞水路である。実験可能風速は0~15m/sである。

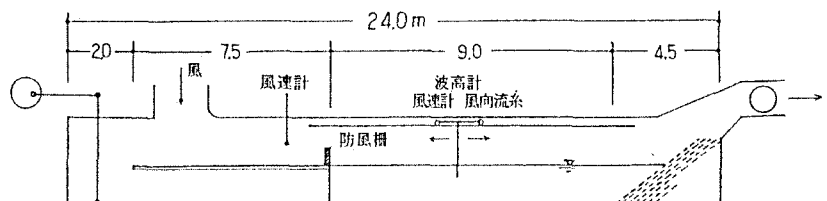


図-1 実験風洞水路

- | | | |
|----------|-----------------|-------------------------|
| * 正会員 | 北海道工業大学工学部土木工学科 | (〒006 札幌市手稲区手稲前田7条15丁目) |
| ** 学生員 | 同 | 上 |
| *** 正会員 | 北海道開発局開発土木研究所 | |
| **** 正会員 | 北海道大学工学部土木工学科 | |

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（与風速）とした。柵背後の風速、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測定した。測定間隔は、防風柵の高さの2倍もしくは4倍とした。風速測定位置は水面上5cmである。データは1/10 最大平均波高で整理した。

予測の対象とした柵の模型は、図-2 に示す縦スリット型で、空隙率は30%、50%、60%、70%、の4種である。これらはすべていわゆる透過型である。この他に、参考までに、空隙率 0%である不透過型柵についても2、3実験を行った。柵は、5mm角の木材を縦に並べたものと10mm角の木材を縦に並べたものの2種類である。縦スリット型柵は、柵高の寸法に関係なく空隙率を一定に保つことができるので都合がよい。

実験風速は、7m/s、9m/s、11m/s の3種類、柵の高さは、5cm、10cmの2種類である。風洞の性能と、議論に足る精度を与えてくれる波の大きさとから判断し、上記の風速とした。水深は45cm、模型縮尺は1/50 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。風の流れは防風柵によって大きく乱される。そうしてこの広い意味での乱れにより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られる。根本氏⁵⁾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当てはめると、 $U_p = 26\text{m/s}$ 、 33m/s 、 40m/s となり、実際風より過大となるが、制御量の概数把握の立場からは許容されるものとする。

3. 実験結果と考察

柵背後の波高の測定結果を図-3 の例に示すような波高水平分布の形に表わし、これを基に種々考察を行った。

(1) 柵がないときの波高水平分布

柵の波高制御効果を表わすのに、これまで、柵があるときの波高の柵がないときの波高に対す比で表わしてきた。したがって、到来風速から柵がないときの波高水平分布を知ることができれば、柵があるときの波高水平分布が実長として求まる。実長は、柵を設計する上で、また水面利用の立場からも必要とするものである。このようにことから、柵がないときの波高を実長として知ることが非常に重要である。

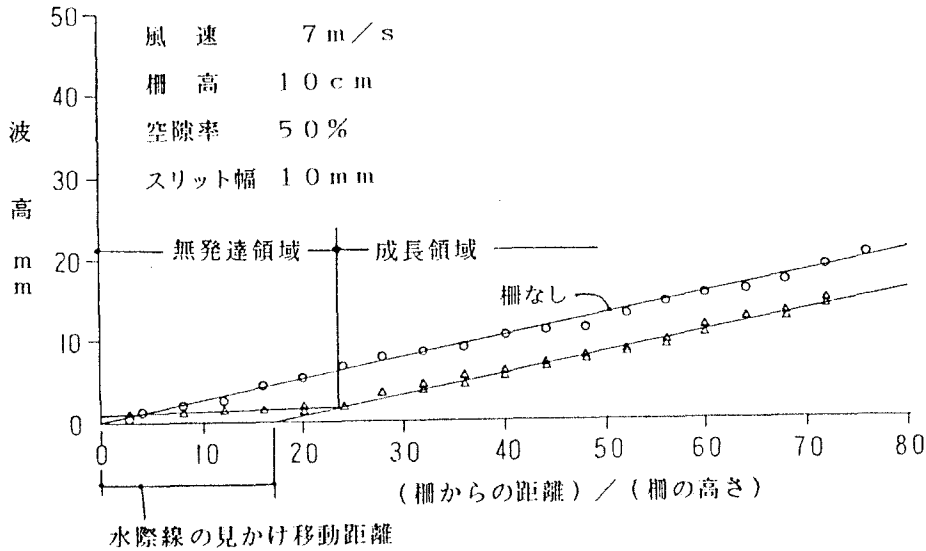


図-3 柵背後の波高水平分布と水際線の見かけ移動距離

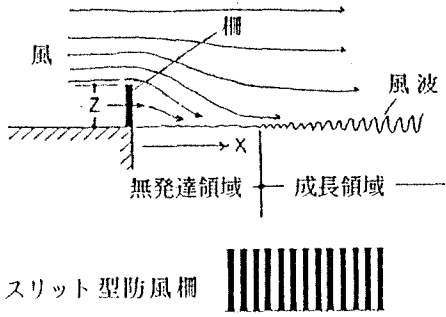


図-2 スリット型防風柵と実験概要

図をみて気付くように、風速から柵がないときの波高分布を知るには、SMB予知法の適用が考えられる。実験データを用いこれの検証を行ってみた。フェッチグラフ⁶⁾に得られた値をプロットすると、図-4、図-5のようになる。ずれの大きい値でも、過去の他の多くの研究者の実測値のばらつき範囲内にあり、プロットした点はフェッチグラフにかなりよくのるとみることができる。このことから、実水域における柵のないときの波高分布も、SMB法で求めてよいものとする。

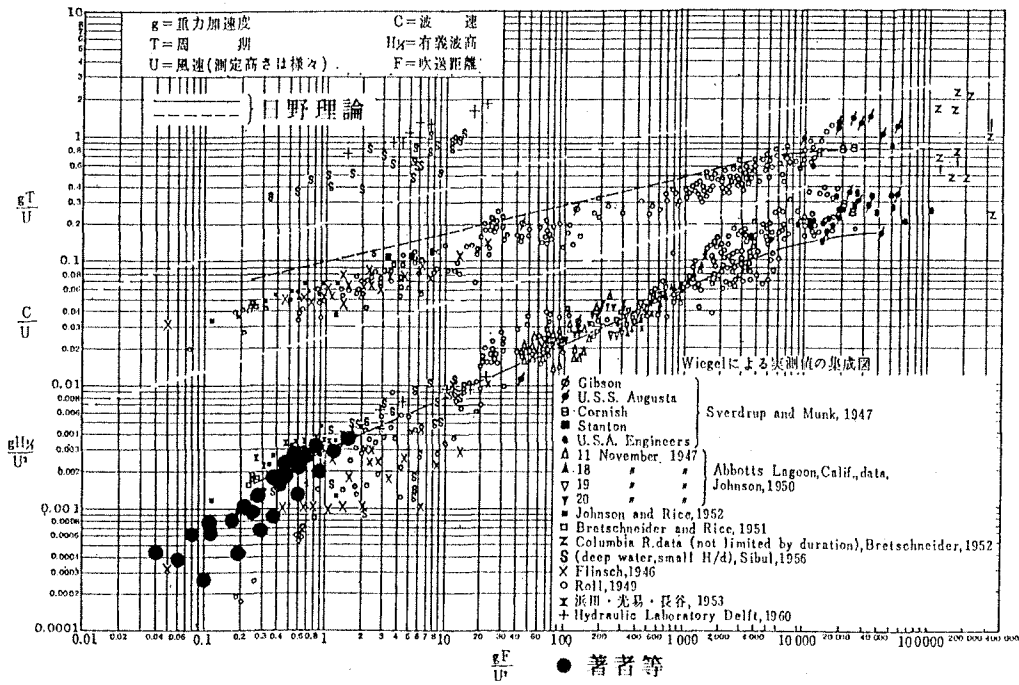


図-4 著者等の値をプロットしたフェッチグラフ (日野1965)

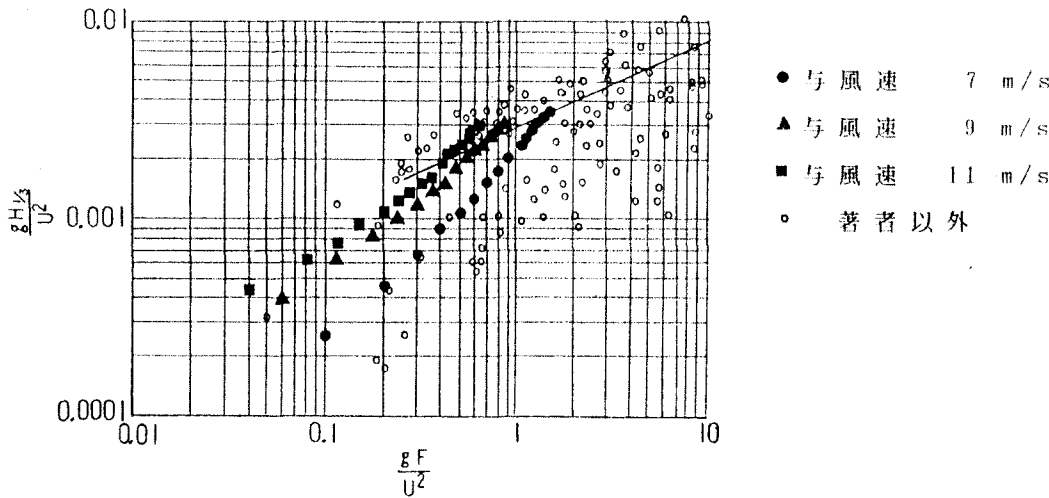
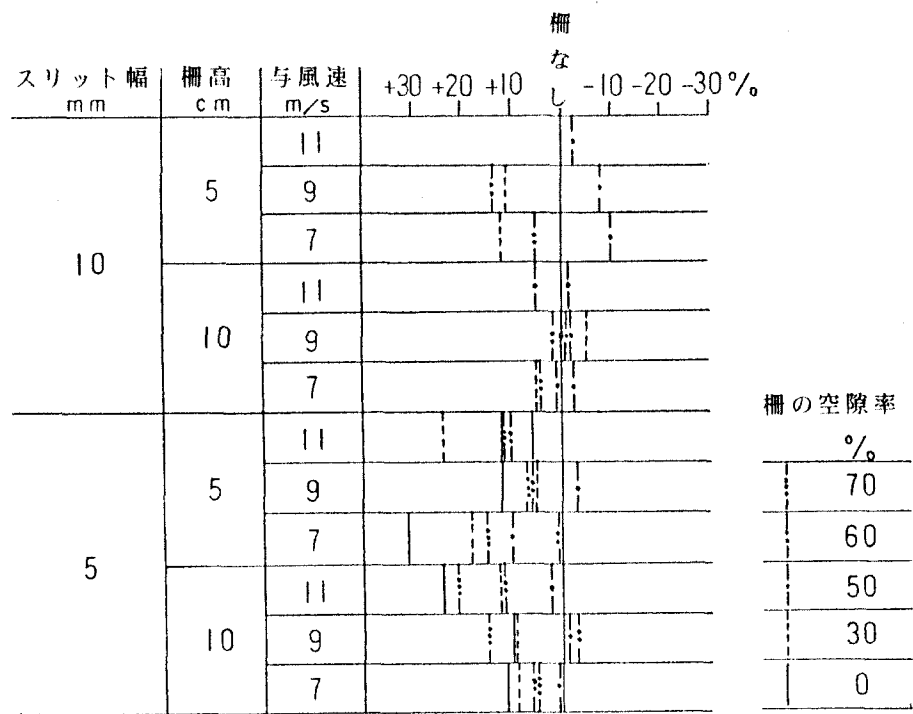


図-5 フェッチグラフ

(2) 柵がないときの波高分布線と柵があるときの波高分布線との平行度

柵背後の波高水平分布は、無発達領域と成長領域とに区分されることはすでに述べたが、これの成長領域の波高分布線について、柵がないときの波高分布線との平行度をみると、柵の種類によってはかなり平行なものがあるのに気付く。平行であれば利用性がでてくるので、この点についてしらべた。図-6 にその結果を示す。柵がないときの波高水平分布線の傾斜角に対する、ずれ角のパーセントを示してある。結果をまとめて記すると、空隙率 0%である平面壁の場合+5%~+30%、空隙率30%の場合 -5%~+20%、空隙率60%の場合 -5%~+15%、

空隙率70%の場合 -5%～-20%のそれぞれ範囲内のずれがあるとみることが出来る。風波制御効果が最もよい空隙率50%の場合のずれは、おおむね-10%～+10%の範囲内で、平行度はかなりよい。これについてはあとで考察することにし、ここでは、実験事実として単純に受けとめ、縦スリット型で空隙率50%の場合、成長領域にあっては、柵のある場合の波高水平分布線と柵のない場合の波高水平分布線とは平行であると仮定する。



図一六 柵なしの場合の波高分布線に対するずれ幅

(3) 水際線の見かけの移動距離

成長領域における柵があるときの柵背後の波高水平分布線と柵がないときの波高水平分布線とが平行であると仮定すると、柵がないときの波高水平分布線を、ある距離風下に移動させれば、柵があるときの波高水平分布が求まることになる。この移動距離を、仮に、柵を設けたことによる「水際線の見かけ移動距離」ということにし、これをこれまでの実験データについてしらべてみた。結果は表一1のようである。数値にばらつきがあるが、空隙率50%の柵について、この見かけ移動距離を平均的値で求めてみると、柵高の(20±4)倍という値を得る。各空隙率における平均において、柵があるときの波高を安全側な高い波高値で見積るという配慮から、最大値は除いてある。なお表からわかるように、この(20±4)の値は空隙率30%、60%の柵に対しての平均値を含むので、これらに対してもおおむね適用できる。

柵空隙率 (%)	与風速 (m/s)	スリット幅 5mm		スリット幅 10mm	
		柵 高 (cm)		柵 高 (cm)	
		5	10	5	10
70	7	19	11		
	9	17	17		
	11	20	17		
	最大値除く 平均16.2				
60	7	17	16	18	12
	9	18	14	19	14
	11	22	17	—	—
	最大値除く 平均16.4		最大値除く 平均14.7		
50	7	28	18	21	17
	9	19	20	24	20
	11	24	19	30	21
	最大値除く 平均20.0		最大値除く 平均20.6		
30	7	20	16	20	14
	9	17	17	25	18
	11	26	17	—	—
	最大値除く 平均17.4		最大値除く 平均17.3		
0	7	24	14		
	9	13	11		
	11	12	13		
	最大値除く 平均12.6				

表一1 水 際 線 見 かけ 移 動 距 離
(移 動 距 離 / 柵 高)

4. 予測法のまとめと考察

(1) 予測法のまとめ

これまでの実験データから、3 に述べたように柵背後の波高分布についていくつかの特性を得たので、これを用い、縦スリット型空隙率50%の柵に対する予測法を案出した。すなわち、SMB法により、与えられた風速に対する吹送時間十分なときの波高水平分布を求め、これを柵高の20倍の距離だけ風下に移動するというものである。無発達領域の波高は、スリット型（透過型）の場合は非常に小さいので無視した。空隙率30%、60%の場合は、それぞれに見合ったずれ角度を与えたものをもって波高水平分布線とする。

さきに述べたように、スリット型柵背後の風速分布を純理論的に求めることは難しく、さらにその風に原因をおく柵背後の波高分布を純理論的に求めることは現在のところ非常に困難であると思われる。筆者らがこれまでの報告で述べた柵がない場合の波高分布との比を図にした分布線を用い、SMB法で求めた柵なしの場合の波高実長に乗ずる方法も一つの方法であるが、若干多くの資料と手間を必要とする。目安を得るという立場で、より簡単という立場で、この方法を提案するものである。

(2) モデル化による考察

柵があるときの柵背後の風速水平分布をモデル化し、これにより、柵背後の波高水平分布の無発達領域と成長領域の区分および本予測法の考察を行う。柵があるときの風速水平分布は、一般に、図-7 の上の図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点の横座標の位置で突然、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。このように風速分布をモデル化すると、波高水平分布は、図-7 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、点線で示すように、A点の座標位置まで波高はゼロで（点線①）、これ以後はSMB法において風速 U_1 として得られる波高分布線（点線②）で示される。波発生限界風速は、われわれの実験水路で実験した結果ではおおよそ3.5m/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（破線③）で示され、

A点の座標位置以後は、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（破線④）で示される。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点の座標位置で明確に区分され、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点の横座標位置は、本実験結果ではおおよそ柵高の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する。このようなモデルにより求まる波高水平分布と、(1) の予測法により求まる波高水平分布とはかなりよく合致する。

5. あとがき

柵背後の風波を制御するための防風柵を設計するに当たっては、その効果量を予測する必要がある。現在そのための方法は示されていないので、簡単さを特徴とする本方法を提案するものである。縦スリット型に限られ、平行度、見かけ移動距離いづれにもかなりの差幅があるので、全体としてもそれなりの誤差を伴うが、おおよその波高分布、すなわち効果を知る上で有効に役立つものとする。

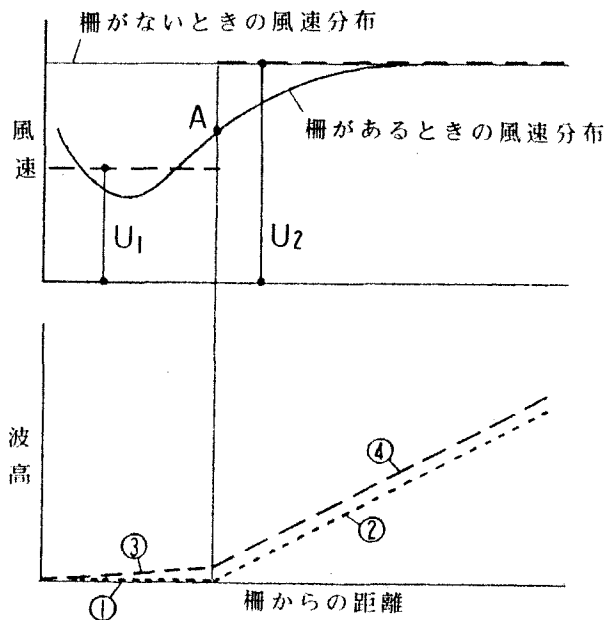


図-7 風速分布のモデル化

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) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 根本茂：自然風を対象に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
- 6) 日野幹雄：風波スペクトルの発生・発達と海面摩擦力に関する研究(3)，第12回海岸工学講演会講演集，1965