

漁船の安全係留のための間伐材を用いた 防風柵の減風効果について

WIND REDUCING EFFECT OF WINDBREAK USING THINNED WOODS
FOR SAFE MOORING OF FISHING BOATS

佐藤昭人¹・我原弘昭²・川路精孝²・小川和久³・立迫俊秀³・東積憲⁴

Akito SATOU, Hiroaki GAHARA, Seikou KAWAJI,
Kazuhisa OGAWA, Toshihide TACHISAKO and Tokunori HIGASHI

¹正会員 (財)漁港漁場漁村技術研究所 (〒101 東京都千代田区内神田1-14-10)

² (財)漁港漁場漁村技術研究所 (〒101 東京都千代田区内神田1-14-10)

³鹿児島県林務水産部漁港課 (〒890 鹿児島市鴨池新町10-1)

⁴鹿児島県伊集院土木事務所河川港湾課 (〒899 日置市伊集院町下谷口1960-1)

Several types of wind countermeasure had been set up until now in fishery ports. To try to apply thinned woods for windbreak in fishery port, wind tunnel tests were carried out to obtain wind reducing effect of windbreak using thinned woods. Measurements of mean wind velocity were made in the lee of model fences. The test cases were three cases of model fences on breakwater with impermeability of 50 %, 66 %, 80 % and one case on flat floor with impermeability of 66 %.

Results of the model tests showed that the case of impermeability 66 % was most effective in comparison with three types of impermeability, and that the case of model fences on breakwater with impermeability of 66 % was more effective comparing the case on flat floor with the same impermeability. By using these results, appropriate design for windbreak applying thinned woods would be conducted.

Key Words : windbreak, thinned wood, wind tunnel test, impermeability

1. はじめに

漁港における風障害として、係留漁船への被害、陸揚げ等漁港内の作業や就労環境への影響等が考えられる。その対策施設の検討に際しては、風による障害の実態や被害を及ぼす風の特性の把握、漁港の形状、背後地形、利用形態等を考慮して、適切に設計する必要がある。

防風柵の防風効果は、密閉度(遮蔽率)によって変化し、一般に密閉度の増加に伴い減風率も高くなる。これまでの実験結果や種々の条件を考えると、防風林では、60 ~ 70 %, 防風網・防風壁では 50 ~ 60 % が適当とされている¹⁾。また、防風柵の減風率は、その設計の柵高算定時に必要であり、例えば、漁港施設の設計の手引き²⁾によれば、数種類の穿孔された鉄板を用いた模型防風柵に関する実験結果が示されており、また、防風施設を港口付近に設置する場合は、密閉度が大きいと漁船出入港の見通しの障害になる恐れもあり、密閉度は減風効果だけでなく計画地点の諸条件を考慮する必要がある。

これまで漁港の防風施設である防風柵の材料として、主に鋼製やコンクリート製が使用されてきた。一方、近年、大量に発生する間伐材の有効な利用方法が求められている。本研究では、漁港の環境や景觀に配慮して、間伐材を用いた防風柵を採用する場合の基礎資料として、丸木材による防風柵模型を用いて風洞実験を行い、その減風率を求めたものである。なお、実験では、丸木材防風柵の効果的な密閉度を明らかにするとともに、漁港の港内防波堤への設置を対象として丸木材防風柵の下部壁面の有無による減風率の相違についても検討した。

2. 実験の内容

(1) 風洞装置

実験施設は、北海道立北方建築総合研究所の縦型回流方式の風洞を用いた(図-1)。測定部の寸法は、1.8 m x 1.8 m の断面で、軸流送風機による最大風速は 20 m/s である。計測には、熱線風速計を用い、

三次元トラバース装置に風速プローブを取り付けて計測した。

a) 風洞気流

自然風の特徴である大気境界層と相似な境界層を風洞に再現するために、助走路の入り口付近に境界層内の速度分布に応じた速度欠損を作り出す装置（スパイヤー）を設置した。また、地表の低層付近の粗度を再現するために、風洞床面にラフネスブロックを風路風上側に設置し、相似性を満たした乱流特性を再現した（写真-1）。

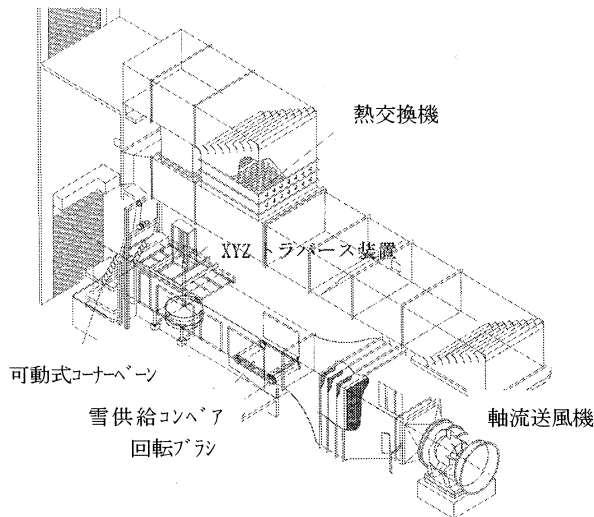


図-1 風洞実験設備



写真-1 スパイヤー・ラフネスブロック

自然風の平均風速鉛直プロファイルは、べき法則あるいは対数法則に従うことが観測結果や理論より明らかとなっている²⁾。べき法則の場合、平均風速鉛直プロファイルは、式(1)で表される。

$$V_z / V_R = (Z / Z_R)^\alpha \quad (1)$$

ここに、 Z_R は基準高さ、 V_R は基準風速、 α は風速分布の形状を決めるべき指数である。 α は海上では0.1程度、田園地帯で0.15、住宅地で0.20、中層市街地で0.27、高層市街地で0.35である。

本実験では、間伐材防風柵を漁港の港内防波堤上へ設置することを想定しているため、 $\alpha = 0.1 \sim 0.15$ の範囲内が望ましく、本実験値 $\alpha = 0.11$ は自然風の特徴を風洞内に再現しているといえる。

スパイヤーとラフネスブロックで生成した境界層乱流の模型柵設置位置における平均風速鉛直プロファイルを図-2に示す。

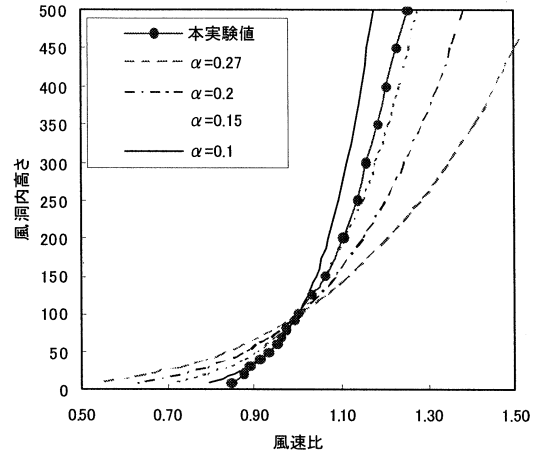


図-2 平均風速鉛直プロファイル

上記の条件から得られた模型柵設置位置における平均風速値の鉛直プロファイルを図-3に示す。この曲線は、基準風速値として模型柵を設置した際の減風率算定等に用いる。

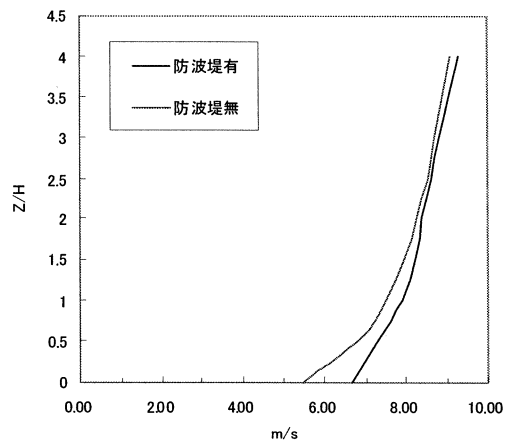


図-3 風速鉛直プロファイル

(2) 実験内容

a) 相似性

実際と模型実験との相似性については、式(2)に示すように一般的に管内流れの場合、実物と模型とのレイノルズ数が等しければ流れの状態が相似になる。

$$Re = Lv / \nu \quad (2)$$

ここに、 Re はレイノルズ数、 L は物体の代表長さ、 v は流速、 ν は動粘性係数である。

自然風と風洞気流の動粘性係数はほぼ等しいため、

実際にはレイノルズ数を一致させることは困難である。一般に、球のように角を持たない物体の場合は、レイノルズ数に依存するが、長方形等の角ばった物体の周りの流れ模様は、広いレイノルズ数の範囲でほとんど変化しない。本実験は、柵を連続して設置した縦長の模型であるため、実験の相似性として、風洞気流を自然風と模擬させた境界層内で実験を行うこととする。また、本実験は、平均風速により減風率などを求める実験であり、実験風速に関しては、模型後方の無次元表示した風速分布が風速の大きさにほとんど依存しないことが知られており、風速計の感度が良い風速(約 10.0 m/s)とした。

b) 測定箇所

測定位置は、主流方向に対し平行な模型柵中央部の断面内とし、測定範囲は、柵の風上側 3 H (H:柵高) から柵の風下側 25 H、鉛直方向に関して、柵の設置高さを基準に 0 ~ 4 H までとし、測定値のバラツキが顕著な柵の近傍を細かく測定し、柵から離れるにつれて粗く測定した。測定箇所は、図-4 に示すように 266 点とした。風洞測定縦断面を図-5 に示す。

測定点一箇所当たりの測定時間は、測定誤差を無くすため、1 s あたりの平均風速を 30 回計測し、その平均値を測定値とした。

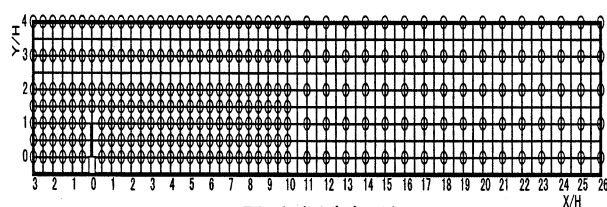


図-4 測定箇所

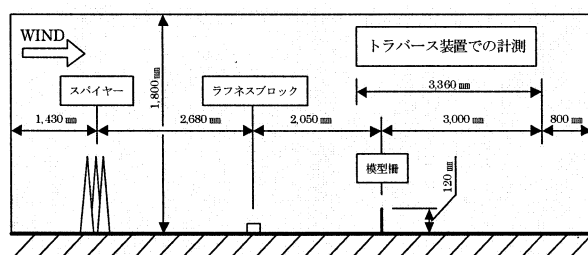


図-5 風洞測定縦断面

c) 防風柵模型

実験に用いた間伐材防風柵は、防風効果の高い横柵型³⁾として、支柱を鉛直に設置し、防風板としてスギ丸太を横に這わせた構造とした。模型は、実物スケール柵高 3 m、柱の支間 3 m、間伐材径 100 mm の縮尺 1/25 とした。

この防風柵模型の縮尺の決定にあたっては、模型の大きさによって風洞内の風路が塞がれ、模型周りでの風速が実物の場合よりも大きくなり、模型に作用する風力が増大する閉塞効果の影響を避けなければならない。既往の研究により、5 % 程度以下の閉

塞率の場合には、模型に作用する風力などにはほとんど影響しないことが知られている。また、本実験のように、風力ではなく、風速を測定する場合には、10 % 程度以下まで影響しないと考えられる。従って、本実験の風洞高さ 1,800 mm、模型高さ 120 mm より算出される閉塞率は 6.7 % であり、相似性を満たしている。

また、本実験は、柵の密閉度を 80 %、66 %、50 % と変化させ、木と木の間隙から抜けるスリット流れの遮蔽率と透過性能との関係を調べる実験であるため、木と木の間隙が重要になる。本実験の模型柵の間隙寸法は、密閉度 80 % で 1 mm、66 % で 2 mm、50 % で 4.2 mm であり、模型作成の精度からも十分であった。

模型の一例を図-6 および 7 に示す。

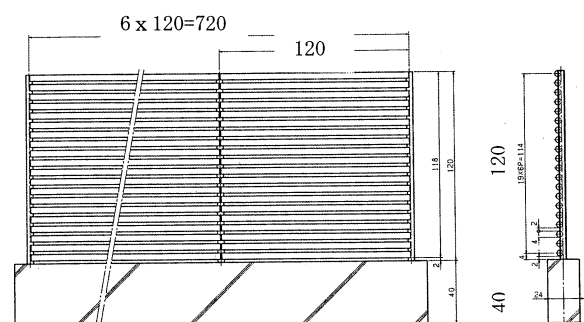


図-6 防風柵模型(前面壁あり、密閉度 66 %)

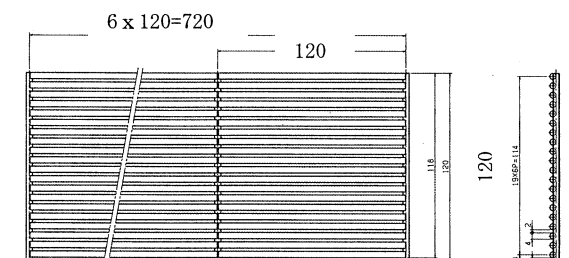


図-7 防風柵模型(前面壁なし、密閉度 66 %)

d) 実験ケース

実験ケースは、漁港港内防波堤上の設置を対象とした下部遮蔽部を有する 3 ケース(密閉度: 80 %, 66 %, 50 %), および平地を対象とした下部遮蔽部を有しない 1 ケース(密閉度: 66 %)の計 4 ケースとした(表-1)。

なお、下部遮蔽部と防風柵の高さの比を 1 : 3 と設定した。

Wf-2 の模型防風柵設置状況を写真-2 に示す。

表-1 実験ケース

実験 No.	密閉度	間伐材数	間隙	備考
Wf-1	80%	24本	1 mm	下部 遮蔽部 有り
Wf-2	66%	20本	2 mm	
Wf-3	50%	15本	4.2 mm	
Wf-4	66%	20本	2 mm	平地

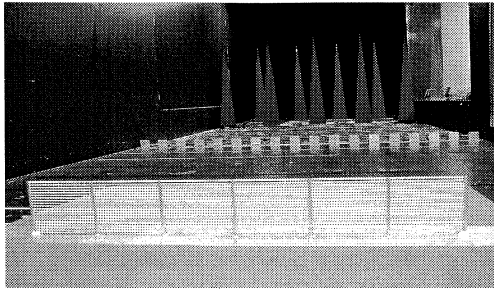


写真-2 模型防風柵設置状況

3. 実験結果

(1) 実験結果

実験結果を、測定値による速度分布図、主流速度による無次元化（測定値と主流速度 10 m/s の比）、減風率（柵設置後の風速値と設置前の風速値の比）に整理した。その内、減風率の結果を各密閉度 80 %、66 %、50 % 毎に図-8 ~ 10 に示す。また、平地の場合（密閉度 66 %）の減風率を図-11 に示す。

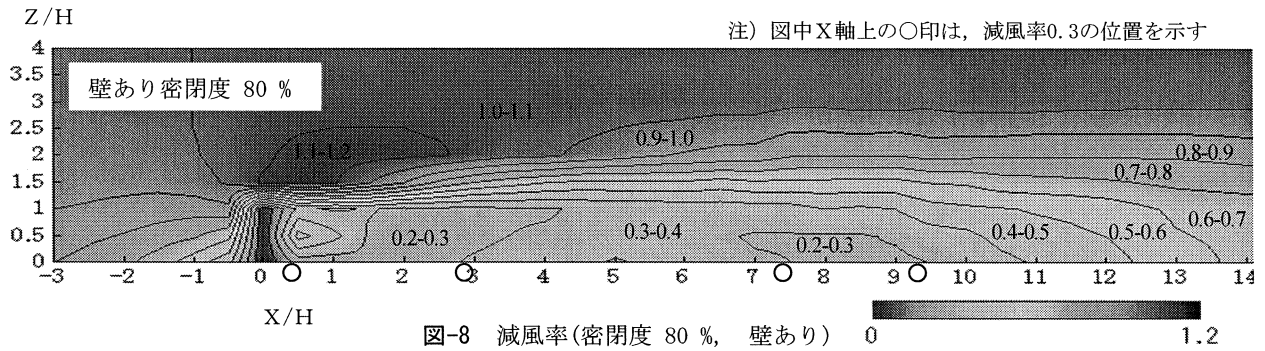


図-8 減風率(密閉度 80 %, 壁あり) 0 1.2

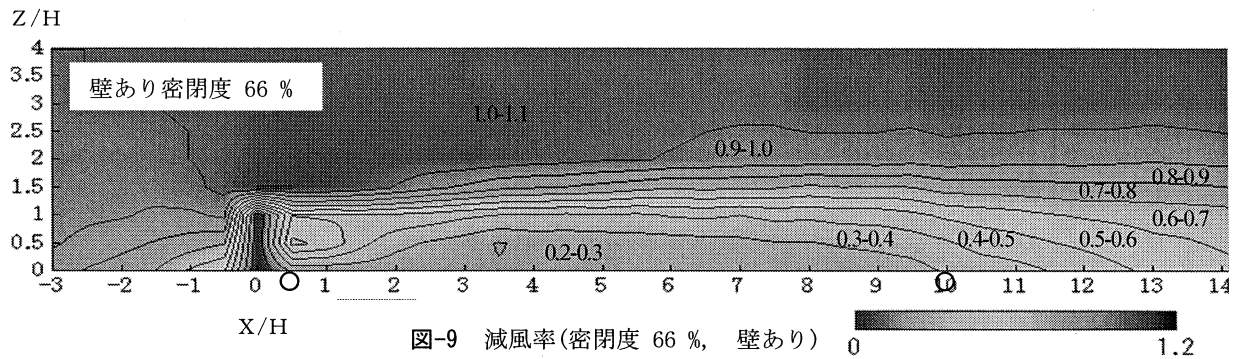


図-9 減風率(密閉度 66 %, 壁あり) 0 1.2

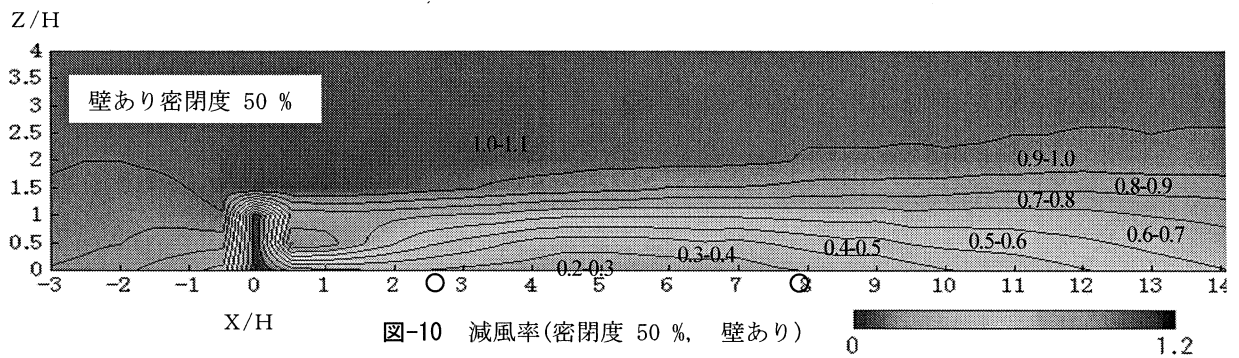


図-10 減風率(密閉度 50 %, 壁あり) 0 1.2

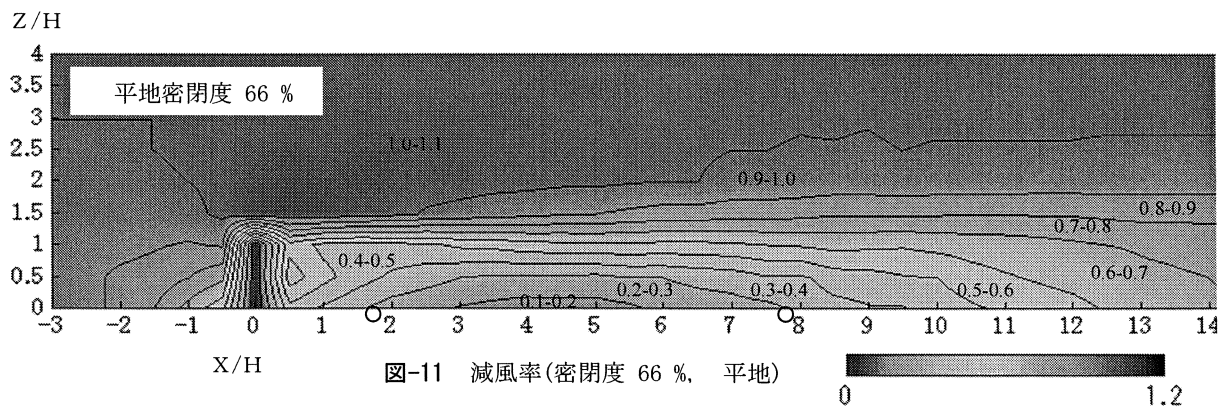


図-11 減風率(密閉度 66 %, 平地) 0 1.2

これらの図は、防風柵の高さを H として、横軸方向は、防風柵からの相対的な距離で、風上側に $-3H$ 、風下側に $14H$ までの範囲の結果を示している。また、同様に鉛直方向は、防風柵の下端を 0 として、上方向に $4H$ までの範囲を示している。

これらの図から、防風柵の直背後で風速が極端に小さくなり減風率が $0.2 \sim 0.3$ となる範囲は、風下側で $8 \sim 10H$ 程度であることがわかる。

4. 考察

(1) 効果的な減風率

漁港の港内防波堤上に間伐材防風柵を設置した際の密閉度（80 %、66 %、50 %）の効果の違いを比較する。図-8 ～ 10 は、減風率の結果であるが、本風洞は、境界層乱流にて鉛直高さでの風速値が異なるため、同じ高さでの設置前後の値を比較することにより、柵の性能を得ることができる。

密閉度 80 % の場合は、図-8 からわかるように、減風率は、柵高の 11.0 倍程度の風下まで 0.4、柵高の 12.5 倍程度の風下まで 0.5、柵高の 13.5 倍程度の風下まで 0.6 をそれぞれ示す。柵背後の渦領域の減風率は、 $0.4 \sim 0.5$ である。

密閉度 66 % の場合は、図-9 からわかるように、減風率は、柵高の 11.5 倍程度の風下まで 0.4、柵高の 12.5 倍程度の風下まで 0.5、柵高の 14.5 倍程度の風下まで 0.6 をそれぞれ示す。柵背後の渦領域の減風率は、 $0.3 \sim 0.4$ である。

密閉度 50 % の場合は、図-10 からわかるように、減風率は、柵高の 10.0 倍程度の風下まで 0.4、柵高の 12.0 倍程度の風下まで 0.5、柵高の 14.0 倍程度の風下まで 0.6 をそれぞれ示す。柵背後の渦領域の減風率は、 $0.1 \sim 0.2$ である。

これらの密閉度 3 タイプの減風率の比較結果を表-2 に示す。

以上の検討結果から、密閉度が 80 % の場合は、柵直背後での防風効果が大きい、その効果範囲は小さい。密閉度が 50 % の場合は、風下での効果範囲が広いが、柵直背後での防風効果は殆ど得られない。密閉度 66 % の場合は、柵直背後での防風効果も得られており、効果範囲も広いと考えられる。従って、最も効果的な密閉度は 66 % である。

表-2 減風効果（密閉度 80 %、66 %、50 %）

密閉度	柵直背後	減風率 0.4	減風率 0.5	減風率 0.6
80 %	40-50%	11.0H	12.5H	13.5H
66 %	30-40%	11.5H	12.5H	14.5H
50 %	10-20%	10.0H	12.0H	14.0H

(2) 平地状態の遮蔽率

平地状態（密閉度 66 %）の減風率の実験結果は、図-11 からわかるように、柵高の 9.0 倍程度の風下まで減風率 0.4、柵高の 10.5 倍程度の風下まで 0.5、柵高の 12.5 倍程度の風下まで 0.6 をそれぞれ示す。柵直背後の渦領域の減風率は、 $0.3 \sim 0.4$ である。

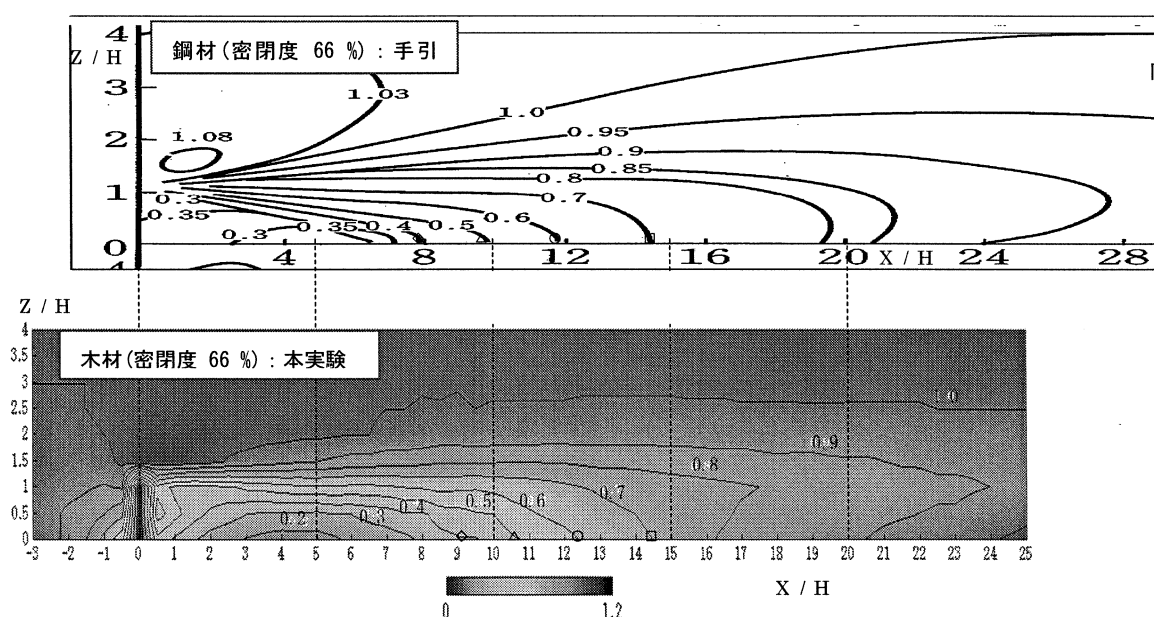


図-12 防風柵材料の違いによる防風効果の検討

(3) 下部遮蔽部の影響

下部遮蔽の影響を比較・検討する。

表-3 に減風率について比較結果を示す。

下部遮蔽がある場合は、無い場合に比べ、柵直背後での減風率は、ほぼ同等であるが、地表付近の減風率を比較すると、明らかに下部遮蔽がある場合の効果範囲が広く、効果的である。

表-3 減風効果（下部壁あり，下部壁なし）

タイプ	柵直背後	減風率0.4	減風率0.5	減風率0.6
下部有	30-40%	11.5H	12.5H	14.5H
平地	30-40%	9.0H	10.5H	12.5H

(4) 防風柵材料の違いによる減風効果の検討

漁港施設の設計の手引き¹⁾では、鋼材の防風柵を対象とした平地状態の減風率を示している。このため、本実験の同様な実験条件である図-11の結果（密閉度 66 %）と比較し、防風柵材料の違いによる減風率の検討を行う。図-12 にこれらを同時に示した。また、減風率について比較結果を表-4 に示す。

図-12 および表-4 からわかるように、防風柵から地表付近の減風率 0.7 までの減風効果を比較すると、本実験結果もほぼ同等である。次に、地表付近の減風率 0.8～0.9 の減風効果を比較すると、本実験結果の効果範囲が狭いことを示している。

表-4 減風効果（防風柵材料の違い）

比較	柵直背後	減風率0.4	減風率0.5	減風率0.6	減風率0.7
手引き	30-40%	8.0H	10.0H	12.0H	14.5H
本実験	30-40%	9.0H	10.5H	12.5H	14.5H

一般に、防風柵を設置する場所は風速が強く、必要とされる減風率は 0.7 以下になる場合が多い。従って、今回の平地状態の結果は、実用的な範囲では、既存資料結果とほぼ同じ実験結果を示していると考えられる。

5. おわりに

本実験により間伐材を用いた防風柵の柵高の決定に利用する減風率の鉛直分布図を得た。港内防波堤上を想定した場合、密閉度を変えた実験結果の比較では、66 % が最も有効であった。また、港内防波堤上に防風柵の設置を想定した下部に直壁を有するケースでは、平地を想定したケースよりも減風効果が大きかった。既存の平地での鋼材の減風率と今回の平地の実験結果は、実用的な範囲でほぼ同様な結果であった。今後、港内防波堤上の防風柵の設置を検討する場合は、さらに防風柵高に対する直壁高さの比率を変えた条件での実験結果も含めて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局計画部： 土地改良指針－防風施設－，1987，p69.
- 2) (社)全国漁港漁場協会： 漁港・漁場の施設の設計の手引，2003年版下巻，pp. 589-590.
- 3) 塩谷正雄： 強風の性質，開発社，1982.
- 4) 村木義男ら： 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. 564-302，1990.