# 3413 風洞試験による線路構造物上の防風柵まわりの風速測定

正［土］○種本　勝二　（鉄道総研）　　正［機］　鈴木　実　（鉄道総研）

# Measurement of wind velocities around wind fences installed on a infrastructure by wind tunnel test using scale model

Katsuji TANEMOTO,　Minoru SUZUKI
Aerodynamics, Railway Technical Research Institute. 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City

Wind fences are installed on bridges to ensure a safe railway operation against strong winds. We carried out wind tunnel tests using scale models, and measured wind velocity distributions behind the wind fences. We report about the relationship between the distance from the wind fences and the wind velocity.

キーワード：防風柵、風洞実験、風速
*Keywords:* Railway, Wind fence, Wind tunnel experiment, Wind velocity

## 1．はじめに

我が国での強風による列車脱線転覆事故は、今日まで30件以上あり、平均して約4年に1回の割合で発生していることになる。強風時には車両の脱線転覆事故防止とともに適切な運転規制による列車の安定輸送が望まれている。強風対策としては、車両に対する外力を小さくする防風柵の設置が有効な方法である。JR会社においては、強風地域の在来線の線路構造物へ防風柵を設置することにより、規制風速を緩和させている。在来線の鉄道において、防風柵は27箇所設置され、強風対策に役立っている[1)]。

鉄道総研では、強風時の安全・安定輸送を目的とした研究の一環として、鉄道車両に働く空力特性を解明するための風洞実験を実施してきた[2)]。ここでは、風洞試験により、鉄道橋梁に防風柵を設置した場合の、防風柵下流の減風範囲を把握するために実施した、橋梁まわりの風速測定の試験結果を紹介する。

## 2．風洞実験の概要

### 2.1 風洞設備

風洞実験は鉄道総研所有の大型低騒音風洞（滋賀県米原市）の密閉型測定部で実施した。測定部の大きさは、幅5m×高さ3m×長さ20mである（図1）。風洞吹き出し口より下流16.8mの位置に、ターンテーブルが設置されており、橋梁模型はターンテーブル上に固定した。風向角は線路構造物（橋梁）の線路直角方向となる90度とした。風洞の基準風速は、ターンテーブル中心から5m上流、風洞中心より1.5m側方、風洞床面より高さ$Z_0$=1.8mの位置に設置した風洞制御ピトー管の風速とした。風洞試験の基準風速は$U_0$=20m/sである（図2）。

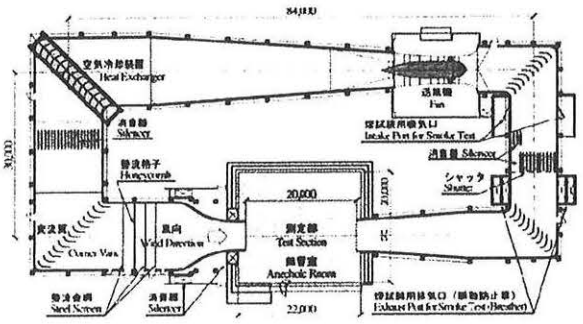



図1 大型低騒音風洞

図2に示すように、バリア、ラフネスブロック等の乱流境界層生成装置をターンテーブル上流側に設置することにより、風洞内に自然風の境界層を模擬した気流を再現した。

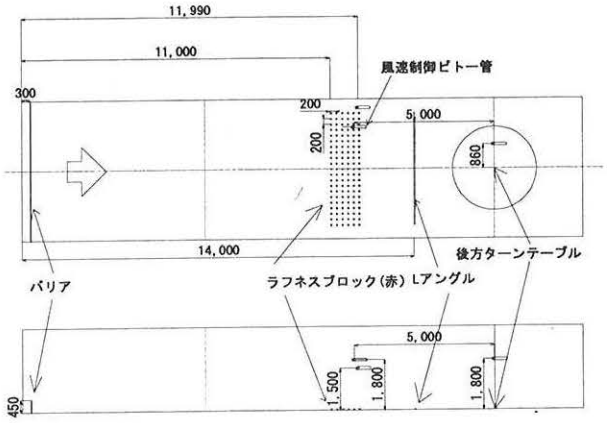



図2 風洞測定部と乱流境界層生成装置

### 2.2 風洞気流

一般に、大気の最下層領域では地表面の影響による境界層が生成されている。自然風の性質は極めて複雑であるが、境界層内の風速の鉛直分布は観測結果や理論からべき法則あるいは対数法則に従うとされている。

$$\frac{U(Z)}{U_0}=\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{a} \qquad (1)$$

自然風の時間平均風速 $U(Z)$の鉛直分布は、地表からの高さ $Z$が大きくなるにつれて増加し、べき法則を用いる場合、べき指数 $a$は地表面の状態により定まり、日本建築学会建築物荷重指針・同解説 [3]による分類では、例えば,「田園地帯」での平均風速の鉛直分布のべき指数 $a$は 1/7（0.14）となっている。今回の風洞試験では、田園地帯の河川を渡る橋梁を想定し、べき指数 1/7（0.14）の気流を再現した。模型縮尺は 1/40 である。図 3 に、乱流境界層（べき指数 1/7）の平均風速の鉛直分布と乱れ強さを示す。横軸は、測定部内に模型が設置されていない場合のターンテーブル上における風速比 $U/U_0$と乱れ強さ（$\sigma_u/U$, $\sigma_u$は主流方向の風速変動の実効値）である。風洞床面からの高さ 0.5m(実寸換算 20m)の主流方向の乱れ強さ $\sigma_u/U$が 0.16 である。橋梁の設置高さ（後術）での風速比は 0.72（試験風速 $U_0$=20m/s 時 $U$=14.4m/s）である。

### 2.3 風洞模型

橋梁は、鉄道における一般的な単線橋梁の形状を想定

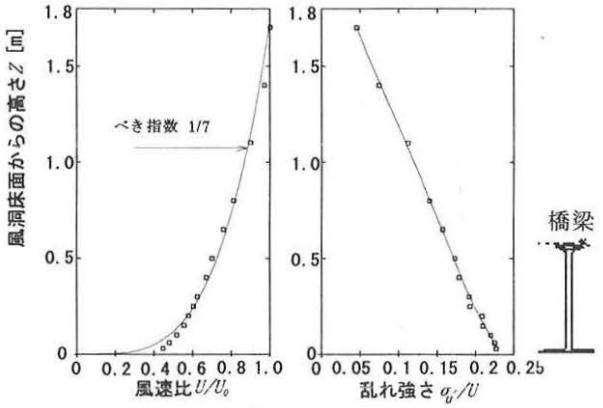



図 3　風洞気流の鉛直分布

し、桁の厚さは 25mm（実寸換算 1m）とした。単線橋梁の断面形状を図 4 に示す。ここでは、車両の位置も、防風柵と車両の関係がわかるように示している。単線橋梁模型と防風柵の縮尺は実物の 1/40 とした。防風柵は、橋梁中心から風上側の 70.5mm（実寸換算 2.82m）の片側に、レールレベルからの高さ 50mm（実寸換算 2m）を設置した

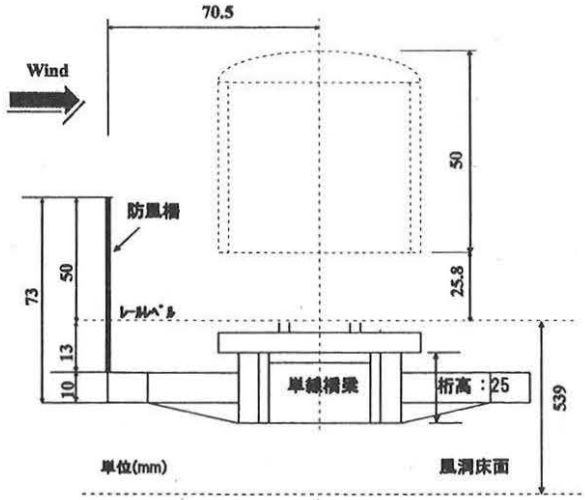



図 4　単線橋梁模型と防風柵
（防風柵との位置関係を示すため車両も表示）

(図 4)。防風柵は充実率 0%（防風柵無）, 40%, 60%, 80%, 100%（防風壁）の条件について実施した。充実率を小さ

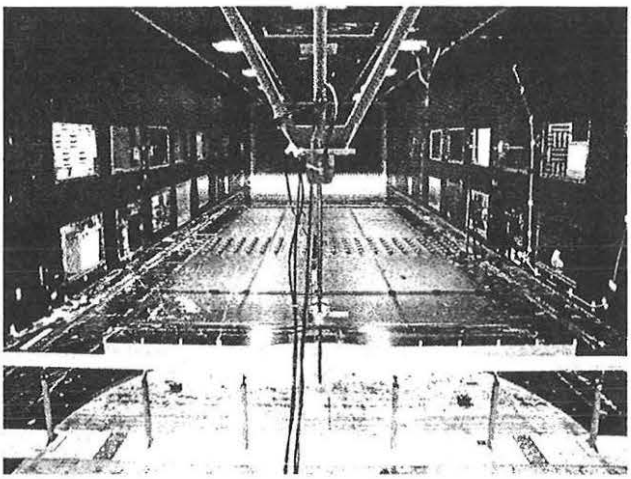


図 5 風洞試験の様子（風は奥から手前に吹く）

くするほど車内からの景色や視界が良く、一方、充実率が大きいほど、防風効果は期待できるが、防風柵や橋梁に作用する風荷重が増加する。風洞試験の様子を図 5 に示す。

### 2.4 測定点と風速測定方法

図 6 に、橋梁上の防風柵の下流側の風速測定点を示す。測定点は防風柵からの距離、75mm（実寸換算 3m）から 825mm（実寸換算 33m）間を 150mm（実寸換算 6m）間隔とした。測定点の鉛直方向は、鉛直上方にレールレベル(R.L.)からの高さ 12.5mm（実寸換算 0.5m）から 125mm（実寸換算 5m）までの範囲とした。以降、防風柵から最も近い距離 75mm の測定点を A 測線、次の 225mm の測定点を B 測線、最も離れた F 測線(825mm)と測線で呼ぶ。

風速測定には熱線風速計（KANOMAX 社製, IHW-100 システム）を使用した。センサーには主流方向成分 $U$と鉛

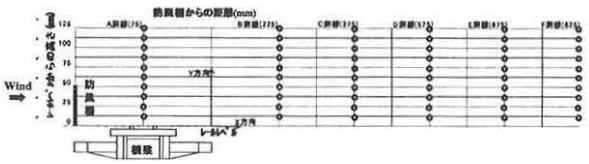



図 6 防風柵の風下側の風速測定点

直方向成分 $W$の 2 次元風速を測定できる X 型フィルムプローブ MODEL1223 を使用した。センサーは天井トラバース装置で支持し、鉛直方向に移動させることで鉛直分布を測定した。測定データはサンプリング時間が約 40 秒間とし、主流方向成分 $U$と鉛直方向成分 $W$の平均値と標準偏差をそれぞれ算出した。本報告では、平均値を測定風速とし、風速の主流方向成分を水平風速、鉛直方向成分を鉛直風速とする。鉛直成分の符号は上方に吹く風を正とした。ここで、熱線プローブの風速計は、順流、逆流が判断できないので注意が必要である [4]。

## 3．試験結果

### 3.1 防風柵からの距離

橋梁上の防風柵下流側の風の状況を見るため，各測定点の風速ベクトルを図7に示す。ここで，矢印の長さは風速の大きさを示す。以下に風速測定の結果を示すが、熱線では風速の正負が判断できない測点もあるが、測定された風速の平均値をそのまま表示した。

図7(a)は防風柵が無い場合(充実率0%)の結果を示す。図から、防風柵の後方高さ25mm以下のA測線（75mm）では若干増速、B測線（225mm）では減速している。防風柵が無い場合でも、橋梁の下流に行くほど橋梁の影響が上方に及んでいることが分かる。図7(b)は充実率40%の結果を示す。A測線では、R.L.から高さ50mmまでは減速、それより上方では吹き上げの風で増速している。B測線では、高さ25mm以下ではA測線よりも減速し、より上方まで減速域となっていることが分かる。防風柵の影響は、下流に行くほど防風柵の影響が上方に及んでいることが分かる。図7(c)は充実率60%の結果を示す。A測線では、R.L.から防風柵の高さ50mmまでは減速、それより上方では吹き上げの風で増速し、充実率40%の場合よりも大きく減速している。B測線では、A測線の風速と同様な傾向を示しているが、より上方までも減速していることが分かる。図7(d)は充実率80%の結果を示す。A測線では、充実率60%の場合と同様、R.L.から防風柵の高さ50mmまでは減速、それよる上方では吹き上げの風で増速している。B測線では、高さ25mm以下では充実率60%の場合よりも増速しているが、高さ25mm以上では下向きの吹き下げの風となっている。C測線より下流、特にF測線では、充実率60%の場合よりも減速域が小さくなっている。図7(e)は充実率100%の結果を示す。A測線では、充実率80%の場合と同様の傾向を示し、R.L.から防風柵の高さ50mmまでは減速、上方では吹き上げの風で増速している。しかし、高さ50mmまでの減速域での風速値は充実率80%の場合よりも大きくなっている。このことから、充実率80%及び100%の場合、防風柵高さ50mm以下の風速については、逆流（風速がマイナス）のケースも考えられる。

図8には充実率60%の場合の風速と防風柵からの距離の結果を示す。R.L.から高さ50mm以下の風速を見ると、

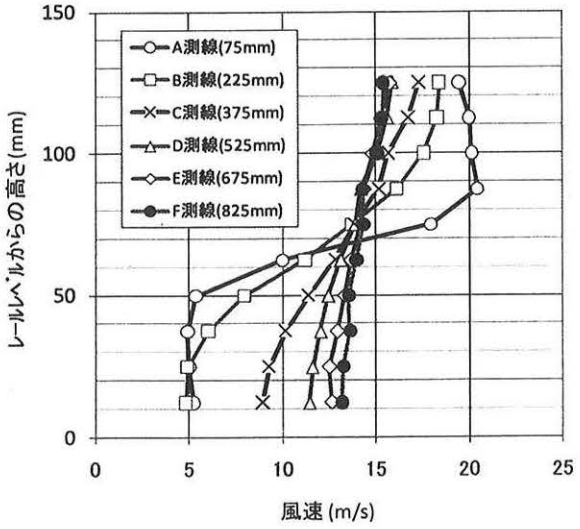



図8 風速と防風柵からの距離の関係
（充実率60%の場合）

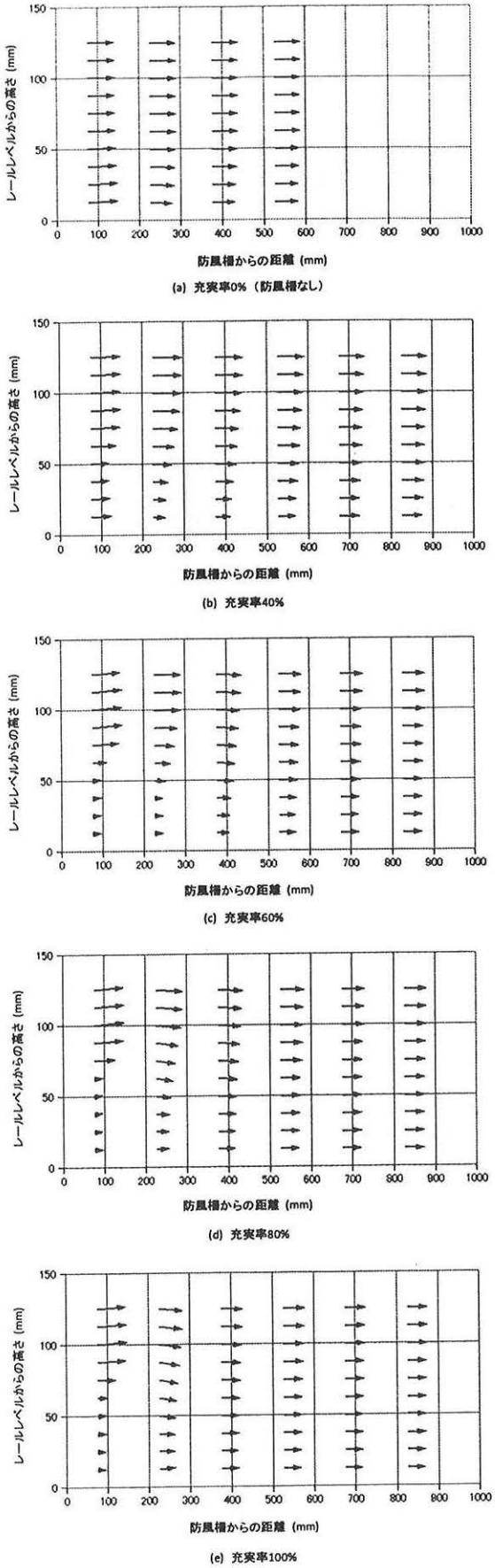
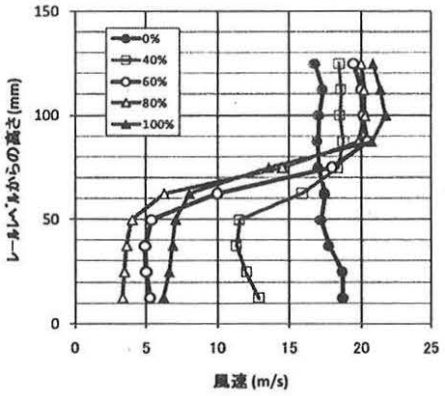
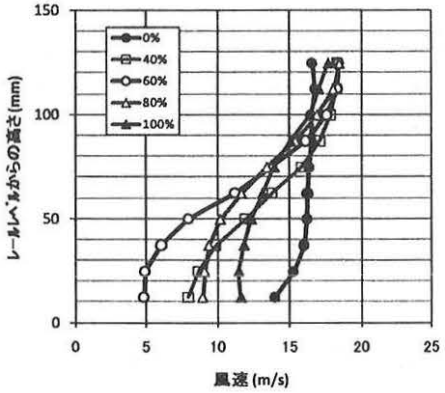


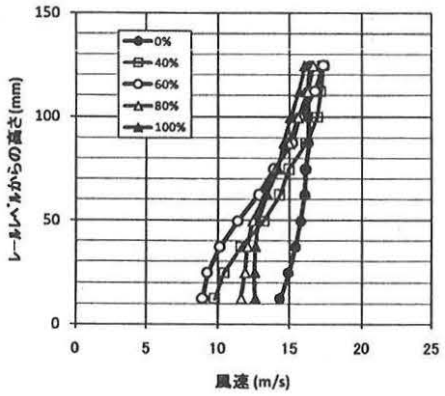

図7 防風柵の下流の風速ベクトル



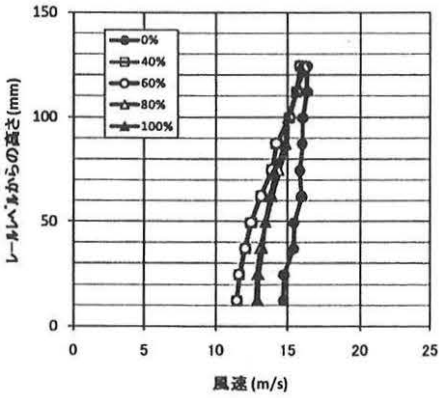

(a) A測線(75mm)




(b) B測線(225mm)




(c) C測線(375mm)




(d) D測線(525mm)

図 9 充実率と風速の鉛直分布の関係

およそ防風柵から離れるに従い風速が増加する傾向を示すが、高さ約 70mm 以上の風速は、防風柵に近いほど増示す。防風柵の高さ 50mm までの風速において、減速されているのは A 測線（75mm）であるが、B 測線（225mm）の場合にはそれよりも上方での増速が小さいことが分かる。また、それより下流になると、防風効果が小さく、減速域及び増速域がなくなっていく。このことから、下流側の B 測線（実寸換算 9m）の防風効果は、車両側面に当たる高さ約 100mm(実寸換算 4m)では、A 測線と同等かそれ以上と考えられる。文献[5]によると、防風柵下流の最低風速が発生する位置は、防風柵高さの 2～5 倍とされているが、その範囲に相当する。

### 3.2 充実率

図 9 に充実率を変えた場合の風速と防風柵からの距離との関係を示す。図 9(a)の A 測線（75mm）の場合、R.L. からの高さ 50mm 以下の風速は、充実率 40%では 12～13m/s、60%では約 5m/s、80%では約 4m/s、100%では 6～7m/s となった。充実率 100%を除き、充実率の増加に従い風速が減少しているため、充実率 100%の風速は逆流と推測される。充実率 60%の風速は、防風柵が無い場合に比べ約 30%となっている。高さ 70～80mm 以上の風速は、防風柵が無い場合よりも 10～25%大きくなる。また、充実率が小さいほど、減速域から増速域に変わる変化点の高さが低いことが分かる。図 9(d)の D 測線（525mm）の場合、充実率によらず、風速の鉛直分布が同じ傾向を示し、防風柵が無い場合の鉛直分布に近づく。

## 4. まとめと今後の課題

縮尺模型を用いた風洞試験を実施し、橋梁上に防風柵を設置した場合の、防風柵下流の風速を測定した。その結果、防風柵の高さ以下では減速、その上方では増速となる風速の鉛直分布を示し、防風柵からの距離の影響が明らかとなった。また、充実率 60%では、防風柵からの距離が 225mm（実寸換算 9m）までの範囲において最も防風効果があることが推測された。しかし、充実率 100%の下流ではマイナス風速が推測され、逆流等の詳細な流れを検証する必要がある。今回の試験では、縮尺模型による結果のため、実際のレイノルズ数 *Re* は 40 倍異なる。防風柵のメッシュの縮尺の違いも含め検討する必要がある。今後、防風柵の下流に位置する車両に働く空気力と風速分布の関係を明らかにしていく予定である。

### 参考文献

1) 国土交通省 ：第 5 回強風対策協議会資料，2008.4.9
2) 種本勝二，鈴木　実，斉藤寛之，今井俊昭 ：強風下での車両に働く空気力と低減対策に関する風洞試験，鉄道総研報告，18 巻 9 号，pp.17-22，2004.
3) 日本建築学会 ：建築物荷重指針・同解説（2004），pp.22
4) 笠木伸英他: 流体実験ハンドブック, pp.74
5) 真木太一: 風害と防風設備, pp.99