

防風柵による風速の低減効果の評価

○ [土] 荒木 啓司 [土] 種本 勝二 (鉄道総研) [土] 三須 弥生 (JR 東日本)

Evaluation of wind break fence effect

○Keiji Araki, Katsuji Tanemoto, (Railway Technical Research Institute)

Yayoi Misu, (East Japan Railway Company)

To evaluate wind break fence effect, authors performed field observation of wind around railway embankment which has wind break fence, and also performed wind tunnel test used a model that reproduced field observation site. In the case that wind direction were perpendicular to the wind break fence, compared to the wind velocity at the wind observation point on the windward side of the wind break fence, wind velocity decreased by 40-70% at points of 13m leeward from the wind break fence, and by 30% at point of 22.5m leeward from the wind break fence.

キーワード：防風柵，現地風観測，風洞試験，盛土

Key Words : windbreak fence, field observation of wind, wind tunnel test, embankment

1. はじめに

強風に対する列車の安全・安定輸送を確保するための対策の一つとして、鉄道沿線の強風箇所には防風柵が設置されている。風速や車両に働く空気力を防風柵がどの程度低減するかを知るには、防風柵設置予定箇所の線路構造物を模擬した風洞試験を行い、その結果をもとに必要な防風柵の仕様を決定するという手順が一般的である。その一方で、防風柵が設置された箇所では、防風柵による空気力の低減効果を検証した例は多くない。その理由のひとつに、強風時における走行中の実車両に働く空気力を精度よく計測することが困難であることが挙げられる。

著者らは、「風速」に着目し、防風柵が設置された盛土まわりの現地風観測および、現地を模擬した風洞試験による防風柵まわりの風速測定を行った。本稿では、これらの結果をもとに、防風柵の風速低減効果を検討した結果を報告する。

2. 防風柵が設置された盛土まわりの現地風観測

2.1 現地風観測の概要

(1) 観測場所

防風柵が設置された盛土まわりの現地風観測場所(以降、風観測サイトと呼ぶ)は、最上川を跨ぐ橋梁(上下線が約20m 間隔で並列並走)とその前後に続く盛土の約940m の区間であり、下り線側にレールレベル(以下、R.L.と記す)からの高さ2m、充実率60%の防風柵が設置されている。盛土の高さは河川堤防部で最も高く、堤防から離れるに従

って低くなっている。基準線(図2)付近の盛土高さは約5m、盛土幅約35mであり、線路方位は真北に対して東側に5度である。

風観測サイトは山形県の庄内平野内に位置し、そこから西側に10キロほどで日本海になり、東側に5キロほどで鳥海山から月山へと連なる山地の裾野部になる。また、風観測サイト周辺数キロはいずれの方位も水田が占め、平坦な地形である。風観測サイトの周辺には、気象庁が所管する酒田特別地域気象観測所(以降、酒田観測所と呼ぶ)と浜中アメダスが、風観測サイトからそれぞれ西北西方向に約7km、南西方向に約12kmの距離に位置している。

(2) 風速計配置と観測方法

風観測サイトに19台の風速計が東日本旅客鉄道株式



図1 風観測サイト位置図

会社（以降、JR 東日本と呼ぶ）により配置され、風観測が実施された。風速計の配置を図 2 に示す。風速計の種別は、C2 および C3 風速計（共にパンザマストの R.L. から 10.05m の高さに設置）がそれぞれプロペラ型風向風速計、風杯型風速計、それら以外は超音波風向風速計である。今回の風観測では、各風速計のサンプリング間隔を 0.25 秒とし、2009 年 12 月 1 日～2010 年 12 月 7 日までの 372 日間にわたって、風向風速データ（風杯型風速計は風速データのみ）を取得した。

2.2 風観測サイト周辺域の風向風速発生状況

風観測サイトに設置された 19 台の風速計のうち、風速計の設置高が最も高く（R.L. から 14.65m）、よって線路構造物や防風柵の影響が少なく、風観測サイト周辺の自然風を最も良く代表していると考えられる D 風速計（図 2）で観測された風向風速データを用いて、観測期間における風観測サイト周辺地域の風向風速発生状況を以下に概観する。

D 風速計で得られた風向風速データから求めた、風速階級別風向出現度数を図 3 に示す。ここでは、平均風速および平均風向（ともに水平成分）の評価時間は 10 分間に、風速階級の階級幅は 5m/s にそれぞれ設定した。また、図 3 には、酒田観測所の風向風速データから求めた風速階級別風向出現度数も併せて示した。なお、372 日間の観測期間に得られた D 風速計の風向風速データの品質管理を行った結果、10 分代表値の欠測データ数は 1,053、有効データ総数は 52,515（有効データ取得率 98%）となった。

図 3 より、10 分間平均風速が大きくなるに従い、風向が西北西に集中する傾向が D 風速計、酒田観測所ともに確認された。D 風速計による 10m/s 以上の 10 分間平均風速を強風データとし、この数を統計した結果、強風データ 3984 例中 3246 例（81%）が西～北西の風向、つまり線路にほぼ直交する風向で生じていた。なお、観測期間中における D 風速計による 10 分間平均風速の最大値は、2010 年 1 月 1 日 18:40 に観測された 21.5m/s、当該 10 分間の平均風向は 283 度（西）であった。また、当該 10 分間の最大瞬間風速は 28.8m/s、そのときの風向は 290 度（西北西）であった。

2.3 現地風観測データによる防風柵の風速低減効果の解析

（1）解析に用いた風速計

防風柵による風速の低減効果を評価するにあたり、風観測サイトに配置された 19 台の風速計から、4 台の風速計（No.01, No.04, No.06, No.03）を解析対象として選定した（図 4）。これら 4 台を選定した理由は、①後述する風洞試験での風速測定点と互いに近い位置にあること、②風観測サイトにて風速計がほぼ同一断面上に位置していること、の 2 点である。

（2）解析に用いた強風事例

前節にて、D 風速計による 10 分間平均風速が 10m/s 以上の強風データの 81%が、線路に対してほぼ直交する風向で生じていたことを示した。そこで、防風柵による風速低減効果の評価に使用する現地風観測データとして、防風柵に直交する風向下での強風データを用いることとした。具体

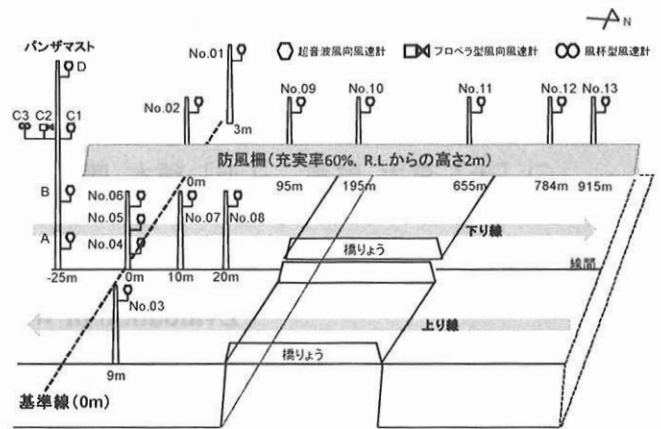


図 2 風観測サイトの風速計配置状況

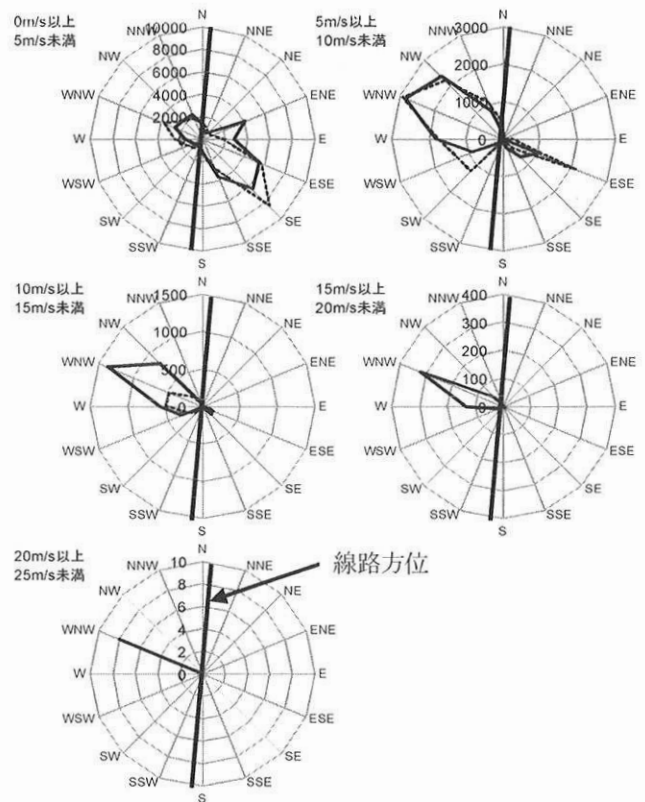


図 3 D 風速計および酒田観測所の風向風速データから求めた風速階級別風向出現度数



図 4 防風柵による風速の低減効果の比較検証に用いた風観測サイトの盛土断面と風速計配置

的には、D 風速計にて 10 分間平均風速が 10m/s 以上かつ 10 分間平均風向が 275 度±5 度（防風柵に直交する風向±5 度）の風向風速データが得られた時に、これと同時に時刻における 4 台風速計（図 4）の 10 分平均風速データを強風事

例として抽出した。

(3) 解析結果

抽出した強風事例の主風向では、図 4 に示した No.01 風速計が防風柵や盛土の影響を受けない防風柵風上側に、線間の No.04, No.06 風速計、上り線のり肩の No.03 風速計がそれぞれ防風柵風下側に位置することになる。そこで、防風柵風上側の No.01 風速計の 10 分間平均風速を分母とした No.04 風速計、No.06 風速計（ともに線間）および No.03 風速計（上り線のり肩）の 10 分間平均風速の比（平均風速比）、および各風速計の乱れの強さ（風速の標準偏差を 10 分間平均風速で除したものを）を求めた。その結果を表 1 に示す。防風柵に対してほぼ直角の風の場合、防風柵の風上側（No.01 風速計）を基準とした平均風速比は、0.29（No.04 風速計、線間の R.L.から 1.8m の高さ）、0.61（No.06 風速計、線間の R.L.から 3.9m の高さ）0.74（No.03 風速計、上り線側の R.L.からの 3.6m の高さ）となった。また、各風速計位置での乱れの強さは、0.54（No.04 風速計）、0.47（No.06 風速計）および 0.44（No.03 風速計）となった。R.L.からの高さが低いほど、また防風柵からの離れが小さいほど、平均風速比が小さい傾向がみられた。また、線間や風下側の上り線のり肩部で乱れの強さは、防風柵の風上側（No.01 風速計）に比較して 2 倍あるいはそれ以上に増大する傾向が確認された。

表 1 現地風観測結果に基づく平均風速比と乱れの強さ

風速計	風向：275±5 度	
	平均風速比 (No.01 基準)	乱れの強さ
No.01 風速計	1.0	0.22
No.04 風速計	0.29	0.54
No.06 風速計	0.61	0.47
No.03 風速計	0.74	0.41

3. 風観測サイトを再現した風洞試験

3.1 風洞試験の概要

(1) 風洞気流

風洞試験は鉄道総研の米原大型低騒音風洞の密閉胴で実

施した。自然風は時間的、空間的に変動するので、測定部内に自然風を模擬した乱流境界層生成装置を設置し、風観測サイト付近の自然風の特徴を再現した。日本建築学会建築物荷重指針・同解説¹⁾による分類に従い、風観測サイトが該当する田園地域の地表面粗度区分Ⅱを想定し、べき指数 1/7、乱れの強さ 0.15 となるよう、風洞気流を乱流境界層生成装置により調整した。今回再現した気流特性の鉛直分布を図 5 に示す。

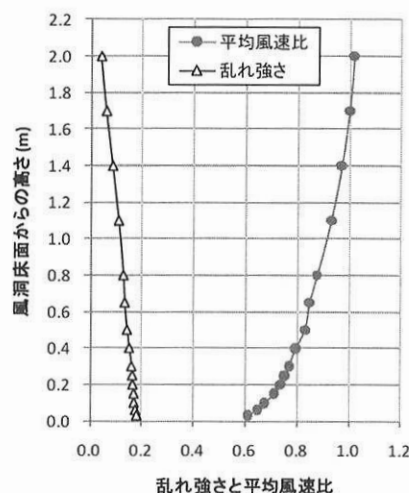


図 5 風洞試験で再現した気流特性
(べき指数 1/7) の鉛直分布

(2) 盛土模型

風観測サイトを再現した盛土等の地上構造物の模型の縮尺は 1/40 とした。風観測サイトの盛土の前後は高さや幅が変化しているが、風洞模型は 2 次元盛土として再現した。平地から盛土上の R.L.までの高さは 4.58m、盛土底面幅 32.47m、盛土肩幅 21.2m とした。R.L.から高さ 2m、充実率 60%の防風柵を下り線軌道中心から 85mm (3.73m) 離れて設置した (図 6)。

(3) 風速測定

測定点は、盛土直角方向に対して、防風柵から風上側（西側）へ 16.35m 離れた平地の A 線位置、防風柵から風下側（東側）へ 0.33m 離れた下り線盛土肩の B 線位置、防風柵

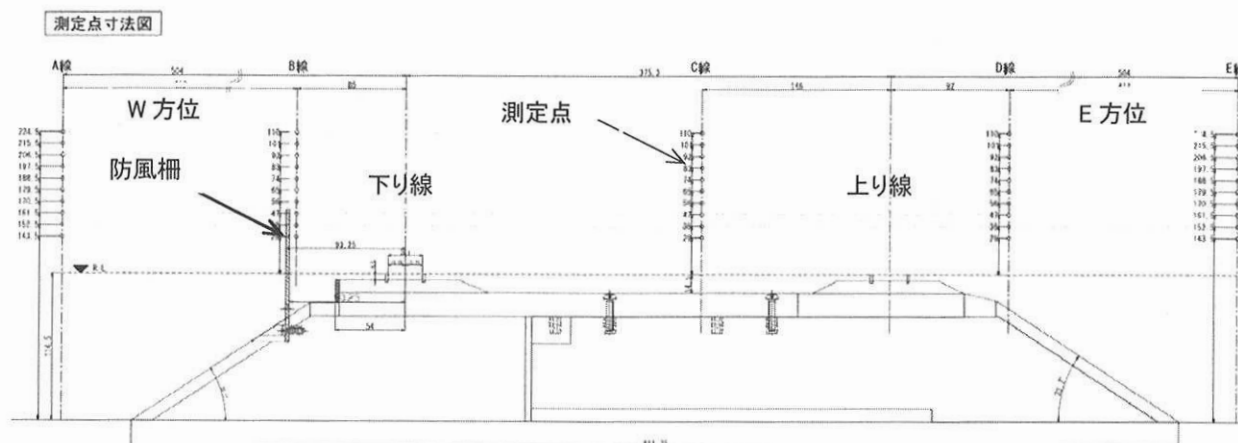


図 6 風観測サイトを再現した盛土模型と風速測定点（線路方向断面：単位 mm）

から風下側（東側）へ 12.9m 離れた上下線間の C 線位置、防風柵から風上側（東側）へ 22.42m 離れた上り線盛土肩の D 線位置、防風柵から風上側（東側）へ 38.9m 離れた E 線位置の 5 測定線とした（図 6）。測定高さは、R.L.から上方 1.16m～4.4m 間 10 点を測定点とした。風向角は線路方位（北から約 5 度東寄り）を 0 度として 30 度から 90 度、270 度から 330 度までをそれぞれ 15 度刻みで 10 種類を設定した。

風速測定には熱線風速計（KANOMAX 社製、MODEL IHW-100）を使用した。センサーには主流方向成分と鉛直方向成分の 2 次元風速を測定できる X 型プローブ I241-20 を使用した。プローブはサポートを介して鉛直方向に移動可能なトラバース装置に取り付けて測定した。測定時間は、実スケールの平均化時間である 10 分間に相当する幾何学的縮尺 1/40 から 15 秒間（15,195 点のデータ）とし、主流方向および鉛直方向の平均風速とそれぞれの風速の標準偏差を算出した。なお、試験風速は、風洞制御ピトー管の位置で 30m/s に設定した。

3.2 風洞試験による風速測定結果

風洞試験による風速測定結果のうち、線路方位を 0 度とした風向角 270 度（現地風観測での風向 275 度に相当する）における試験ケースにて、図 4 に示した風観測サイトの風速計位置（No.01, No.04, No.06 及び No.03）に対応する風速測定点（A8, C5, C9 および D8）での結果（A8 の平均風速を分母とした各測定点での平均風速比および各測定点での乱れの強さ）を表 2 に示す。防風柵の風上側（A8）を基準とした平均風速比および乱れの強さは、それぞれ 0.39 および 0.49（C5）、0.62 および 0.44（C9）、0.67 および 0.43（D8）となった。R.L.からの高さが低い C5 測定点にて、平均風速比が小さい傾向が確認された。また、R.L.からの高さはほぼ同じで防風柵からの離れが異なる C9 および D8 測定点では、平均風速比、乱れの強さともに大きな差異はなかった。

4. 現地風観測結果と風洞試験結果との比較

防風柵の風上側の観測点（測定点）を基準とした平均風速比と各観測点（測定点）での乱れの強さについて、現地風観測および風洞試験で得られた結果（表 1 および表 2）を相互に比較するため、表 3 にまとめて再掲する。

表 3 によると、現地風観測と風洞試験の結果は平均風速比、乱れの強さともに概ねよい一致が認められ、風洞試験

表 2 風洞試験結果に基づく平均風速比と乱れの強さ

風速測定点	風向：線路方位を 0 度として 270 度	
	平均風速比 (A8 基準)	乱れの強さ
A8	1.0	0.20
C5	0.39	0.49
C9	0.62	0.44
D8	0.67	0.43

の妥当性が確認された。また、防風柵に対してほぼ直角の風の場合、防風柵の風上側観測点（測定点）を基準とした平均風速比は、0.29～0.39（線間、R.L.から 1.8m の高さ）、0.61～0.62（線間、R.L.から 3.9m の高さ）、0.67～0.74（上り線側、R.L.からの 3.6m の高さ）となり、R.L.からの高さによって異なるものの線間では約 40～70%、防風柵から風下側に離れた上り線のり肩部で 30% 程度の風速の低減効果が確認された。

5. まとめ

本研究では、防風柵（充実率 60%、R.L.からの高さ 2m）による風速の低減効果を評価することを目的に、防風柵が設置された盛土まわりの現地風観測および現地を模擬した風洞試験による風速測定を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ① 1 年間にわたる現地風観測によって、風観測サイト周辺域では、風観測サイト近傍に位置する酒田観測所（気象庁所管）と同様に、風速（10 分間平均風速）が大きくなるに従い、風向（10 分間平均風向）が西北西（線路にほぼ直交）に集中する傾向が確認された。
- ② 現地観測および風洞試験で得られた風速データから算出した、防風柵の風上観測点（測定点）を基準とする線間（防風柵から約 13m の離れ）や上り線（風下側）のり肩部（防風柵から約 22.5m の離れ）での平均風速比や各観測点（測定点）での乱れの強さは互いに良い一致を示し、風洞試験の妥当性が確認された。
- ③ 防風柵に対してほぼ直角の風の場合、防風柵の風上側の観測点（測定点）を基準とすると、R.L.からの高さによって異なるものの線間で約 40～70%、上り線（風下側）のり肩部で 30% 程度の風速低減効果が確認された。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説（2004）、pp.21-22, pp.344-349, 2004

表 3 現地風観測及び風洞試験の結果に基づく防風柵による風速の低減効果の比較

風速計 (対応する風洞 試験の風速測定 点)	現地風観測		風洞試験	
	風向：275±5 度		風向：線路方位を 0 度として 270 度 (風向方位は 275 度に相当)	
	平均風速比 (No.01 基準)	乱れの強さ	平均風速比 (A8 基準)	乱れの強さ
No.01 風速計(A8)	1.0	0.22	1.0	0.20
No.01 風速計(C5)	0.29	0.54	0.39	0.49
No.01 風速計(C9)	0.61	0.47	0.62	0.44
No.01 風速計(D8)	0.74	0.41	0.67	0.43