

道路に対する横風軽減用防風柵の実験的検討

Experimental study of wind barriers for road vehicles in cross winds

枝元 勝哉*, 畠中 真一**, 宮地 真一***

Katsuya EDAMOTO, Shinichi HATAKENAKA and Shinichi MIYACHI

*工博 川田工業(株) 技術開発本部 技術研究室(〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11)

**工修 川田工業(株) 技術開発本部 技術研究室(〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11)

***工修 川田工業(株) 技術開発本部 技術研究室(〒550-0014 大阪市西区北堀江1-22-19)

Several types of wind barrier structures for road vehicles in crosswind have been proposed. Wind tunnel tests were carried out to investigate basic flow patterns and velocity profiles around these barriers. The drag force and aerodynamic response of a slender bridge section with selected barriers were also examined. Experimental results clearly indicate prospects and advantages of proposed wind barriers. Some noticeable points are also presented when considering aerodynamic effects to the bridge sections with the wind barriers.

Key Words: wind barrier, crosswind, road vehicle, wind tunnel test

1. はじめに

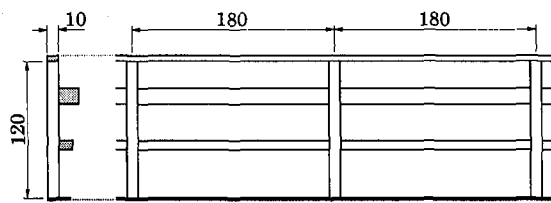
道路上を走行する車両に対し強い横風が作用した場合、車両の安定性が損なわれるばかりでなく、運転者の操縦性にも大きな影響を及ぼし、場合によっては事故災害に到る例もある。このような強い横風の作用が考えられる状況として、自然強風地帯を通過する道路、谷あいや河川上の風道を渡る橋梁、あるいはトンネル出口や高層建築物の側など突風を受けやすい場所が考えられる。いずれの場合においても、横風の影響が無視し得ない大きさになった場合、走行車両の軌道には大きな横変位が生じ、運転者は進行方向の修正を余儀なくされる。また、風の強さも常に一定しているわけではなく、その強弱に応じて車両には不安定で予測困難な外力が加わり、運転者の操縦性ひいては安全性を著しく低下させる原因となる。

このような横風に対処する方法として、①一定風速以上の強風下において道路・橋梁を封鎖もしくは低速走行を促す、②防風柵等の設置により横風の強さを軽減する、③走行車両自体の形状を横風に対し有利な形に変更する、などが挙げられる。①はすでに主要幹線道路や海上を横断する長大橋梁などで実施されており、各管理団体ごとに地域性を考慮した管理風速が設けられている。次に②は、常時もしくは比較的高い頻度で強風・突風が作用する場所に設けられる構造であり、パンチングプレートや合成樹脂ネットを利用した遮風フェンスなどが一般的である。最後に③は、車両そのものの空力特性の改善を図って横風の影響を軽減しようとする試みで、前述の①、②とは発想が異なり、また車種も限定される。したがって、道路管理者からみた場合には、上記の①および②のいずれかが有効な手段

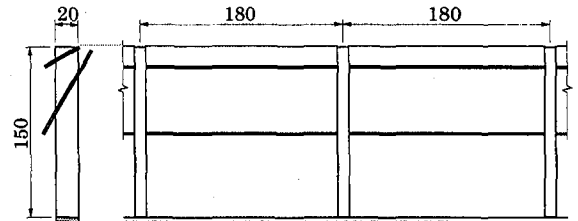
であると言える。しかしながら、先に述べたように、①の手段が採られる道路は、一般に高速自動車道や長大橋などいわゆる基幹道路であることが多く、強風による道路封鎖等が頻繁に行われた場合、迂回や渋滞による経済的あるいは環境的な損害が懸念される。したがって、将来基幹道路網の整備を進めていく上で、強風の発現頻度が高い地域では、あらかじめ②の防風柵による横風対策を考慮し、道路交通を極力阻害しないような事前措置を取ることが肝要と思われる。

ところで、防風柵に関する国内の研究活動は近年活発になりつつあるものの、防風フェンスを基礎とした報告を除けば、いまだ研究事例は非常に少ないのが現状である。また、一般に防風フェンスは減風効果が大きい反面、外界に対する運転者の視界をネット等で妨げるため、海浜部など風光明媚な地域を走る道路では景観上マイナスの側面があることは否めない。また、背の高いフェンスの場合受風面積も大きくなるため、フェンス支柱基部に作用する転倒モーメント、あるいは橋梁に設置する場合には風荷重の増加に対しても配慮が必要になる。

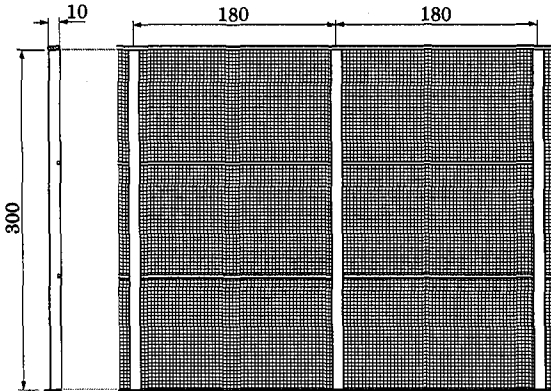
以上のような観点から、本研究では、フェンスを含めた新しい防風柵をいくつか提案し、風洞実験によりその基本的な減風効果を探ることとした。また、橋梁に設置した場合の空力特性に及ぼす影響に関して、偏平箱桁模型にいくつかの防風柵を設置した断面に対し、静的三分力試験およびばね支持実験による検討を実施した。これらの実験結果から、試案した各防風柵の特徴と効果、橋梁断面に適用する際の留意点など、今後効果的な防風柵を開発していく上で有用な資料が得られたことから、ここに報告する。



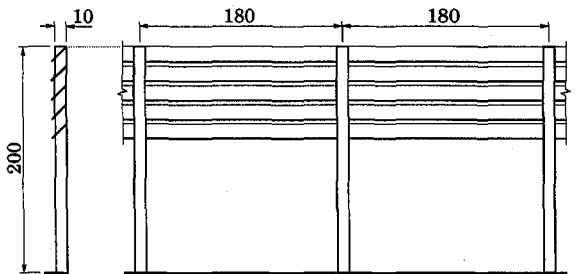
(a) Type-A



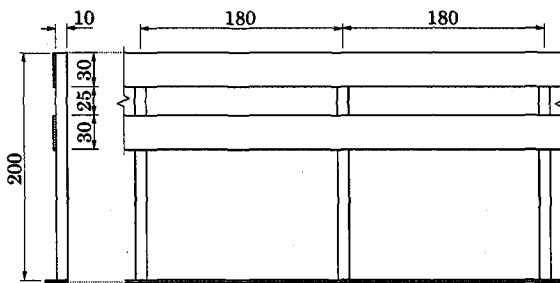
(d) Type-D



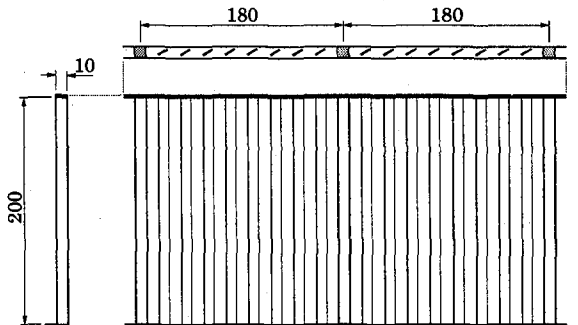
(b) Type-B



(e) Type-E

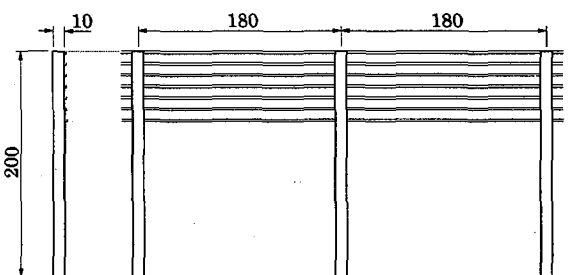


(c) Type-C



(f) Type-F

タイプ名称	模型の説明	想定地上高
Type-A	基本防護柵	1.2m
Type-B	防風フェンス（充実率30％）	3.0m
Type-C	第2セバーン型防風柵	2.0m
Type-D	縮流吹上げ型防風柵	1.5m
Type-E	吹上げ型防風柵（吹上げ角45°）	2.0m
Type-F	ブラインド型防風柵（折れ角60°）	2.0m
Type-G	横桟型防風柵	2.0m



(g) Type-G

図-1 各防風柵模型の概要（模型縮尺 $S = 1/10$ ，単位：mm）

2. 風洞実験

本研究では、各防風柵の基本的な減風特性を把握するため、風速分布測定試験ならびに可視化実験を実施した。また、防風柵が橋梁の空力特性に及ぼす影響についても調べるため、静的三分力試験とばね支持実験についても検討を実施した。本章ではこれらの概要について述べる。

2.1 防風柵模型の製作

防風柵の検討に際しては、比較的広幅員（20～30m）の道路を想定して図-1に示すような7種類の防風柵模型を製作し、それぞれに Type-A～G までの記号を付けることとした。各模型はいずれも模型縮尺 $1/10$ にて製作されており、このとき図-1(a)に示す基本防護柵の高さは1.2mと、標準的な橋梁用防護柵の高さとほぼ同じになる。

製作した各模型の形状が意図するところは以下の通りである。Type-Aは、前述したように一般的な防護柵を想定し

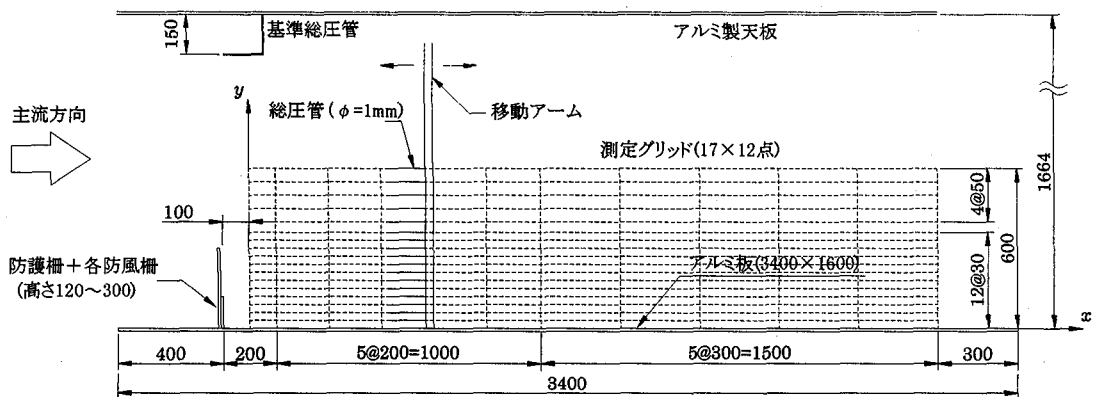


図-2 風速分布測定装置

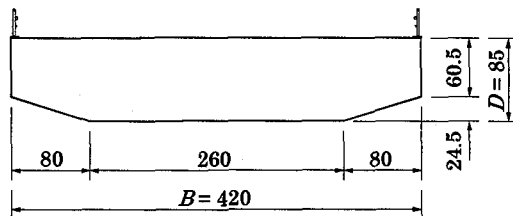


図-3 防護柵付きの基本断面(単位:mm)

表-1 基本断面のばね支持実験条件(模型縮尺 1/33)

		想定した実橋諸元	ばね支持実験条件
単位長さ当り重量		15.27 tf/m	14.02 kgf/m
単位長さ当り慣性モーメント		31.55 tf・m・s ² /m	0.0266 kgf・m・s ² /m
振動数	たわみ	0.37 Hz	2.00 Hz
	ねじれ	1.62 Hz	5.22 Hz
振動数比		4.38	2.61
風速倍率	たわみ	1	1/6.11
	ねじれ	1	1/10.2
構造対数減衰率		0.02	0.02

た模型であり、想定高さ1.2mの支柱に3本の横棧を張り渡した構造となっている。Type-Bは、防風対策としてよく使用される防風フェンスをモデル化したものであり、想定高さ3mの支柱に充実率30% (隙間間隔=約1mm) のグラスファイバー製のネットを貼り付けてある。Type-Cは、第2セパン橋などで使用されている防風柵¹⁰⁾を模したものであり、想定高さ2mの支柱に幅広の板を2枚渡した構造である。Type-Dは、取付け角度の異なる2枚の板間を風が通過することによって生じる吹上縮流により、横風の向きを上方に偏向させようとするものである。また、外界に対する運転者の視界を極力妨げないよう、支柱高さも1.5mと比較的低く抑えている。Type-Eは、複数の偏向板を水平配置することによりType-Dと同様の吹上げ効果を狙ったものであり、想定高さ2mの支柱上方に5枚の偏向板(偏向角=45°)が取り付けられている。つづくType-Fも同様に偏向板を取り付けたものであるが、Type-Eとは異なり偏向板は鉛直方向に偏向角60°を持って設置されている。Type-Fはこの縦板により気流を乱すとともに、運転者から見て斜め前方の視界を妨げないよう配慮したものである。最後にType-Gは、支柱上方に7本の横棧を張り渡したものであり、横棧に対し乱流格子のように気流を乱す効果を期待したものである。なお、上記のType-D～Gの防風柵については、本実験に際して新たに試案したモデルである。

後述する風洞実験においては、Type-Aとこれにネット(Type-Bと同じもの)を張り付けただけのもっとも簡単な防風柵から実験を開始し、その後、残りの防風柵をこの基本防護柵の外側に配置した場合について風速分布を計測している。Type-C, E, Gにおいて横棧等が上方にしか取り付けられていない理由は、このように基本防護柵と重ね合わせることを前提にしたからである。

2.2 風速分布測定および可視化実験の概要

本研究で使用した風洞は、川田工業(株)保有の多目的風洞施設であり、本風洞を風速分布の測定にあたっては閉鎖型測定洞(ゲッチング型、幅2.0m×高さ2.5m)として、また可視化実験においては開放型測定洞(押出し式エッフェル型、幅2.5m×高さ2.5m)として使用した。

風速分布の測定は、図-2に示すようにアルミ製平板(幅1600×長さ3400×厚さ3mm)の上に模型幅900mmの防風柵模型を固定して実施した。実験に際しては、防風柵の前方より一様流速($U_{\infty}=5\text{m/s}$)を作用させ、このときの主流方向格点風速 $u(x, y)$ を測定した。なお、一様流速の設定に際しては、実際の防風柵と模型の間においてレイノルズ数相似を行うことが困難であったため、Type-A, B, Dの各模型に対する流入速度を5, 10, 15m/sと変化させ、このとき模型後方において流入速度で基準化された格点平均風速(=減風率)の分布性状がほぼ変化しないこと、すなわちレイノルズ数依存性が小さいことを確認している。

風速の測定にあたっては、本来熱線流速計などの使用が望ましいが、本研究では総圧管を使用している。すなわち、図のように17本の総圧管(外径1.6mm、内径=1mm)を主流方向に並列配置し、これらにより測定された総圧を図の基準総圧管による圧力と比較することにより、流入速度に対する格点風速の大きさを算出することにした。なお、基準位置での総圧をもとに算出された流速は、各模型ともに上流側に設置されたピトー管による流速と98%以上の精度で一致しており、閉塞効果による影響はほぼ無視し得ることを確認している。また、風速は、時間きざみ0.01秒で12秒間のサンプリング(データ個数 $n=1200$)を行い、次式で表される減風率および標準偏差を算出した。

$$\varphi(x, y) = \frac{\bar{u}(x, y)}{U_\infty} \quad (1)$$

$$\sigma u(x, y) = \frac{1}{U_\infty} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (u(x, y)^n - \bar{u}(x, y))^2} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{u}(x, y)$ は平板上の格点 (x, y) における平均風速、 $\varphi(x, y)$ 、 $\sigma u(x, y)$ はそれぞれ U_∞ で基準化された減風率および標準偏差である。なお、総圧管の特性上、式(1)による減風率が負の値を示す場合には、減風率を0として結果を評価している。また、アルミ板のみで風速分布を調べた結果、防風柵設置位置における各格点の平均風速は、すべて基準総圧管位置での流速に一致することを確認している。

一方、可視化実験に関しては、風速分布測定で使用したものと同一模型をアルミ製の平板(幅1000×長さ2000×厚さ3mm)上に設置し、風速5m/s時において上流から煙を発生させたうえで、防風柵近傍における風の流れ状況を観察した。なお、可視化状況はすべてVTRに記録し、ビデオプリンタにより瞬間的な流れ構造の写真を抽出した。

2.3 静的三分力試験およびばね支持実験の概要

防風柵を設置した橋梁断面の空力特性を検討するため、図-3に示す偏平箱桁断面Ⅲに防風柵模型を取り付けて、静的三分力試験およびばね支持実験を実施した。模型の諸元は表-1に示すとおりである。

静的三分力試験は、抗力係数 C_D の大きさに着目して比較検討を実施した。その際、防風柵模型としては、基本防護柵であるType-A、標準的な防風フェンスであるType-B、そして本研究で試案したType-Dの3種類を使用している。なお、橋梁模型の縮尺が1/33であることから、これら3種類の防風柵については、2.1で述べた縮尺1/10模型を縮尺1/33に縮小した相似模型を新たに製作している。一方、ばね支持実験による比較検討においては、基本断面で応答が顕著であった迎角+3°におけるたわみ渦励振、およびねじれフラッターに着目して比較検討を実施した。

3. 実験結果

3.1 風速分布特性

Type-A～Fの各防風柵を設置した平板上の減風率およびその標準偏差の等値線を図-4に、また、各防風柵の後流域における瞬間可視化写真を図-5にそれぞれ示す。なお、図-4の縦軸・横軸は、模型縮尺から実物大スケールに換算してメートル表示している。

はじめに、基本防護柵であるType-A(無対策)について観察すると、防護柵直後で一部減風効果が認められるものの、 $x=7\text{m}$ を境にそれ以降ではそれほど顕著な減風効果は認められていない。また、標準偏差の等値線から、防護柵を吹き抜けた風はほとんど乱されていないことがわかる。一方、Type-A(ネット付き)については、防護柵後流域の減風特性がいく分改善されており、図-5の可視化写真から

もネットにより気流が乱されている様子が観察される。

次に、もっとも一般的な防風フェンスであるType-Bについて観察すると、広範囲に渡り良好な減風特性を示しており、標準偏差の結果から気流の乱れも小さいことがわかる。また、図-5からも、フェンスを通った気流は一樣に拡散されていることが明らかである。先のType-Aの結果と考え合わせると、減風効果のみに着目した場合、ネットは極めて有効な防風対策であり、残る問題はフェンス高さや充実率の設定と視界性の確保、あるいは橋梁の場合には風荷重の増加に対する注意にあると言える。

つづいて、Type-C～Eについての結果を比較すると、各モデルともほぼ類似の特性を有しており、 $x=15\sim 20\text{m}$ の範囲から減風効果が徐々に衰えていくことがわかる。図-5を観察すると、Type-Cでは横に張り渡した2枚の平板の縁から強い離れ渦が放出されており、すき間を通った離れ渦は防護柵背後でいったん干渉し合い、その後さらに後方まで伸長していく様相が伺える。一方、Type-D、Eでは、縮流板あるいは偏向板から吹き上げられた気流が、その後方において大きく下側に巻き込むという現象が観察される。すなわち、Type-Cが離れ渦の相互干渉により減風効果を得ているのに対し、Type-D、Eでは偏向気流の巻き込みにより減風効果を生じさせていると言える。いずれにしても、これら3タイプでは渦の発生により気流を乱しているため、図-4(b)における標準偏差はType-A、Bに比較すると大きめの値を与える結果となっている。

最後に、Type-F、Gについては、図-4(a)からも明らかに、防風柵の高さを2mに設定した他のモデルと比較しても、著しい減風効果を得るまでには到らなかった。この理由として、Type-Fでは、鉛直に立てた偏向板の間隔が開きすぎていたため十分な巻き込み渦が発生しなかったこと、また、Type-Gでは、横棧の径が細すぎて、発生した離れ渦が気流にほとんど影響を及ぼさなかったことが挙げられる。

以上の各防風柵モデルに対し、風速の4割減を目標として減風率 $\varphi=0.6$ の等値線を求め、一覧表示による比較検討を行なった。結果を図-6に示す。

図-6の縦軸には、普通乗用車の車高がほぼ収まる $y=2\text{m}$ の位置と、道路構造令に基づく道路の建築限界高さである $y=4.5\text{m}$ の位置にそれぞれ横線を引いてある。また、横軸には、道路1車線の幅3.5mと歩道・路肩まで考慮して、ほぼ2車線の幅に相当する $x=10\text{m}$ の位置と、同じく4車線の幅に相当する $x=20\text{m}$ の位置にそれぞれ参考となる縦線を引いてある。

はじめに、もっとも高い減風効果の認められたType-Bに着目すると、建築限界高さ $y=4.5\text{m}$ にはわずかに及ばないものの、 $y=3.5\sim 4\text{m}$ 程度以下の広範囲にわたり減風率0.6の領域を確保していることがわかる。

次に、Type-C、Eについて観察すると、両モデルとも防風柵の高さが2mであるにも関わらず、 $y=3\sim 3.5\text{m}$ に及ぶ高い減風範囲が確認された。また、本研究で試案したType-E

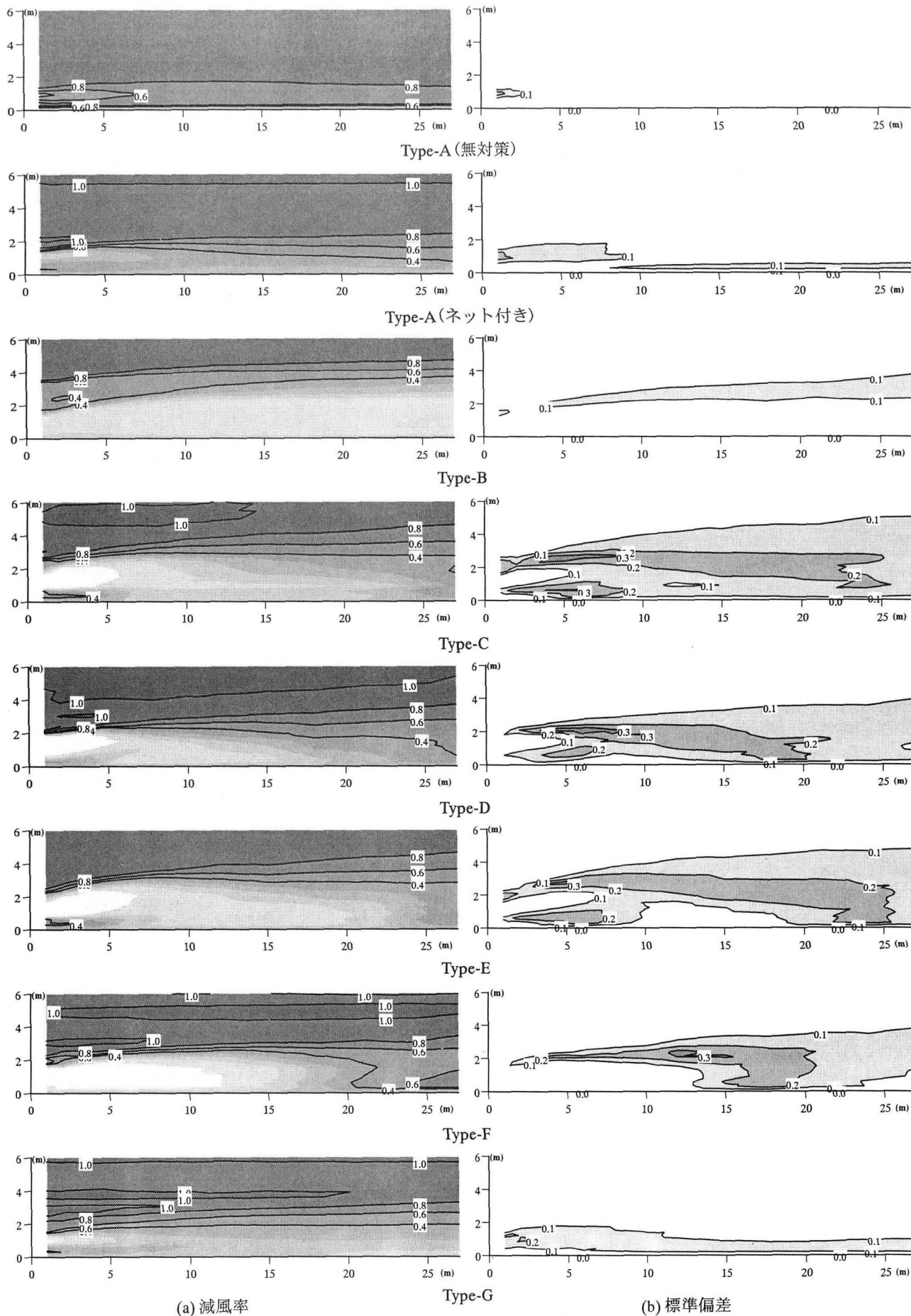


図-4 減風率と標準偏差の等値線図

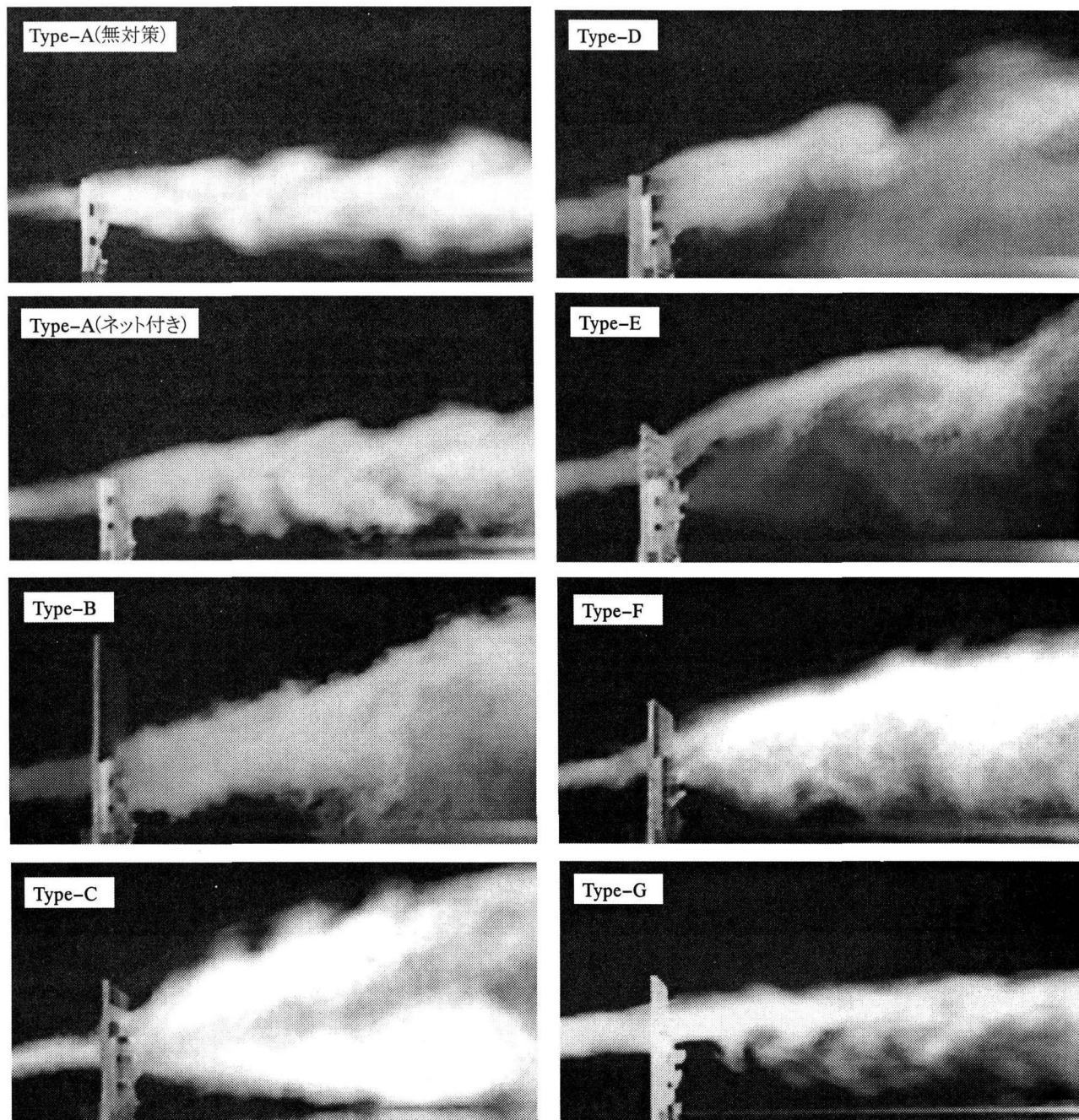


図-5 各防風柵後方の瞬間可視化写真

の防風柵は、第2セパン橋で採用された防風柵を模した Type-C と同等の性能を有していると言える。また、Type-B のフェンス高が 3.0m と Type-C, E より 1m 高いことを考慮すれば、これら 3 つの防風柵はほぼ同程度の減風効果を有するものと考えられる。

ついで Type-D, F, G の各モデルに関しては、減風率 0.6 を確保する領域が $y=2.2 \sim 2.7$ m 程度以下であり、普通乗用車の車高をカバーする程度にとどまった。特に Type-G については、支柱高さが 2m である他のモデルに比較してかなり低い減風効果となっている。一方、Type-D については、支柱高さが 1.5m であるにも関わらず、減風率曲線の開始位置は 2m 以上の地点にあり、比較的優れた吹上げ効果を発揮していることがわかる。したがって、Type-D に関しては、

運転者の視界性を確保しつつ、偏向板の取付け角度や位置を工夫することにより減風効果のさらなる改善を図ることが、今後の課題であると言える。

最後に、Type-A(ネット付き)に関しては、普通乗用車程度の高さであっても減風率 0.6 を確保することは出来ず、既存の防護柵にネットを取り付けるだけでは、それほどの効果を期待できないことが予想される。

文献 5) によると、エキスパンドメタルタイプ防風柵の柵高を H とした場合、その減風領域は後方 $5H \sim 10H$ に及ぶとされているが、図-6 の結果から判断するかぎり、 $10H$ という数字は他の防風柵に対してもほぼ妥当な水平有効範囲を示していると言える。しかしながら、高さ方向に着目した場合、減風特性は防風柵後方数 m までの範囲において概

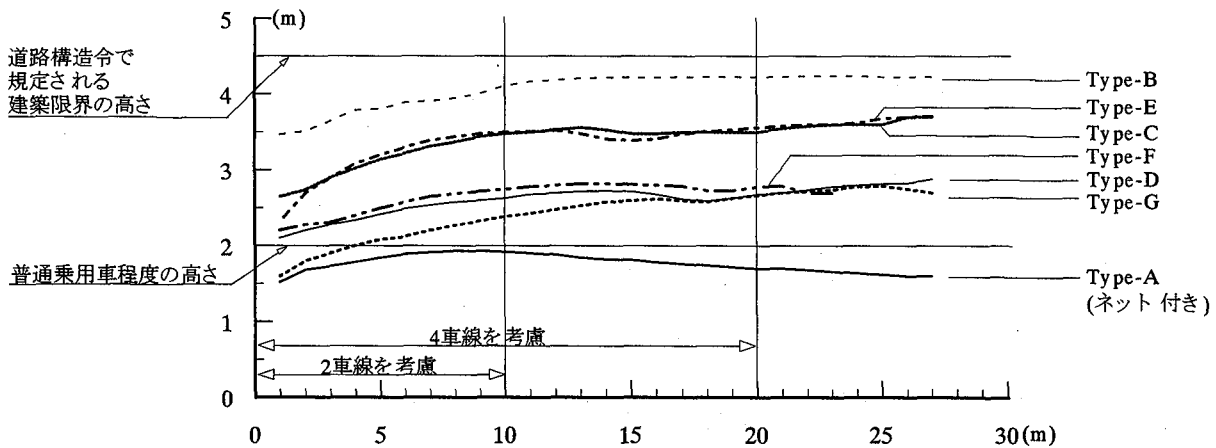


図-6 等減風率曲線 (減風率 $\varphi=0.6$)

表-2 抗力係数 C_D の比較 (迎角 $\alpha=0^\circ$)

	道路橋示方書の推定 C_D 値	各断面での実測 C_D 値	基本断面に対する倍率
基本断面	1.61	0.620	1.00
Type-A		0.853	1.38
Type-B		1.532	2.47
Type-D		1.160	1.87

表-3 空力応答特性の比較 (迎角 $\alpha=+3^\circ$)

	渦励振最大振幅 (mm)	フラッター発現風速 (m/s) (括弧内は無次元風速 V/fB)
基本断面	3.5	10.3 (4.70)
Type-A	0.3	10.7 (4.88)
Type-B	0.0	16.0 (7.30)
Type-D	0.0	13.2 (6.02)

ね決定付けられており、Type-Bのような遮風タイプの防風柵ではその高さが、また Type-D, E, F など気流を制御するタイプの防風柵ではその構造が鉛直方向の減風特性を支配していると言える。なお、本研究の比較は、乱れの無い水平風が作用するというもっとも安全側の条件下における結果を示すものであり、地形条件によって吹上げの風が吹く場合、あるいは橋梁断面のように前縁はく離れた流れが作用する場合には、これらの減風率曲線も大きく変化し、本研究で示した以上の高い減風効果を示すことが考えられる。したがって、今後も様々な条件下での実験を実施し、風速分布データのさらなる充実を図ることが望ましい。

3.2 抗力係数

防風柵模型として、基本防護柵である Type-A (無対策)、前節において高い減風効果を示した3タイプ (Type-B, C, E) の中から Type-B、そして気流を制御するタイプ (Type-D, E, F) の中から Type-D をそれぞれ選出し、図-3 に示す基本断面に取り付けた上で静的三分力試験を実施した。迎角 0° における抗力係数 C_D の測定結果を表-2 に示す。

表-2 の結果から、基本断面に対する各防風柵の C_D 値を比較すると、およそ1.4~2.5倍の抗力値が確認されており、中でも Type-B の値が際立って大きい結果となった。Type-

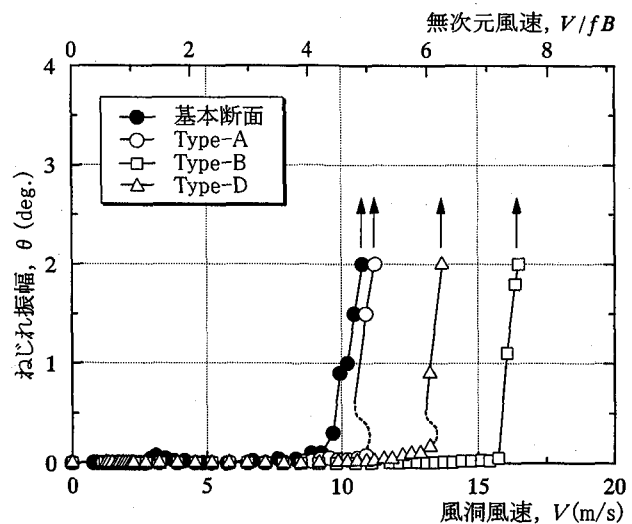


図-7 ねじれフラッター応答 (迎角 $\alpha=+3^\circ$)

B に採用したネットの充実率は30%と比較的低い値であるが、表に示したように抗力係数の増加は顕著であり、柔性に富んだ長大橋梁などでは風荷重に対する配慮が必要と言えよう。一方、測定された抗力係数は、いずれも道路橋示方書に基づく C_D の推定値より小さめの値を示しており、本研究に用いた断面に関するかぎり、道路橋示方書は安全側の風荷重を算出する結果となった。この理由としては、対象とした基本断面が下部コーナーを面取りした形状をしており、元々の抗力係数がかなり小さかったことが挙げられる。したがって、一般のプレートガーダー橋などを対象とした場合には、表中の C_D 値もある程度上昇することが予想され、Type-B のように背の高い防風柵を設置する場合には注意が必要である。

3.3 ばね支持実験結果

静的三分力試験と同じく、Type-A (無対策)、B, D の3種類の防風柵を設置した断面について、迎角 $+3^\circ$ におけるばね支持実験を実施した。観測されたたわみ渦励振の振幅最大値とねじれフラッターの発現風速を表-3 に、また、ねじれ振動に対する V-A 曲線を図-7 に示す。

まずはじめに、表-3 の渦励振応答に着目すると、基本断面で3.5mm発生していた振幅は、Type-A (無対策) を設置

した断面において0.3mmまで減少し、さらにType-B, Dを設置した断面では応答がまったく生じない結果となった。

次に、ねじれフラッターの発現風速について着目すると、防風柵の背が高いほど発現風速は高風速側にシフトしており、迎角 $+3^\circ$ においては防風柵の設置が安全側の効果をもたらす結果となった。すなわち、本研究で対象とした橋梁断面では、前縁はく離れた渦が防風柵の干渉により抑制され、結果として渦励振やフラッター応答の低減につながったものと思われる。一方、図-7のV-A曲線を観察すると、Type-A, Dを設置した断面において、基本断面では認められない不安定なリミットサイクルが観測されており、Type-Bのようにはく離渦を一様に拡散する防風フェンスでない場合、その耐風挙動は複雑な応答特性を示すことが予想される。したがって、フェアリング等を設置した橋梁断面においては、その改善効果を損なうことのないよう防風柵に対しては慎重な配慮が必要である。さらに、風速分布の項でも触れたように、防風柵付き断面の空力特性は、防風柵の形状や取付け位置に大きく左右され、また、迎角によっても異なる応答特性を示す場合がある¹²⁾。この点に関しては、防風柵の取付け位置や迎角をパラメータとしてさらに詳細な検討を要する。

4. まとめ

本研究で得られた主要な知見を以下にまとめる。

- (1) 基本防護柵 (Type-A)、従来型防風フェンス (Type-B) を含め、合計7タイプの防風柵についてその減風特性を測定し、各防風柵の特徴と優位性を明らかにすることが出来た。その結果、Type-Bはもっとも高い減風効果を発揮するが、フェンス高さを考慮すれば、Type-C, Eもほぼ同等の減風効果を有するものと判断される。
- (2) Type-C, D, Eのように、はく離渦や巻込み渦を利用して風速の低減を図る防風柵では、柵から離れるにしたがって減風効果が徐々に低下する傾向が認められた。また、防風柵背後の乱れは、Type-A, Bなどに比較すると大きくなる傾向が認められた。
- (3) 各防風柵による減風効果の水平有効範囲は、概ね柵高さの10倍程度はあるものと判断されるが、鉛直方向の効果に関しては防風柵の高さと形状に大きく依存し、効果的な防風柵の開発にあたっては、防風柵の後方数 m の範囲内で可能な限り高い減風率を確保することが肝要である。
- (4) 偏平箱桁断面を対象とした静的三分力試験結果から、防風柵付き断面の抗力係数は、防風柵の無い基本断面の値に比べ1.4~2.5倍大きくなることが判明した。また、充実率30%のネットを使用したType-Bの抗力係数ももっとも大きく、プレートガーダー橋や柔性に富む長大橋梁などに防風フェンスを設置する際には、風荷重に対する十分な配慮が必要である。
- (5) 渦励振やフラッターに関し、基本断面でもっとも顕著な応答を示した迎角 $+3^\circ$ についてはね支持実験を実施したと

ころ、防風柵付き断面の応答特性は基本断面に比べ全て安全側の傾向を示す結果となった。ただし、これらの空力応答特性は、防風柵の形状や取付け位置、さらに迎角などによっても左右されるため、今後さらなる検討が必要である。

本研究で得られた成果により、各種防風柵の持つ基本的な減風特性や橋梁断面に適用する際の留意点などを明らかにすることが出来た。今後は、防風柵の高さや設置位置などのパラメータを変化させた場合など、定量的な観点から検討を進めるとともに、景観性や運転者の使用性の問題についても改善を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 相馬清二：車の安全走行を脅かす冰雪、濃霧、突風一特に突風事故について一、自動車技術、Vol. 36, No. 5, pp. 462-468, 1982年。
- 2) JAFユーザーテスト・18, JAF MATE社, pp. 82-85, 1992年8月。
- 3) 榑場重正, 小泉 徹, 長久太郎：横風・突風が高速走行自動車に及ぼす影響について、土木学会論文報告集, 第270号, pp. 109-119, 1978年2月。
- 4) 小島幸夫, 田久保宣晃：気象要因が車両の安全走行に及ぼす影響 1. 横風について、科学警察研究所報告 交通編, Vol. 28, No. 1, pp. 102-114, 1987年1月。
- 5) 柳澤茂樹, 渡部文雄, 宇川義信：一般国道197号三崎地区の防風対策について、建設省技術研究会報告, Vol. 38th, pp. 602-608, 1985年。
- 6) 保田雅彦, 松本 毅：瀬戸大橋の維持管理、十年（主な損傷とその補修について）、本四技報, Vol. 22 No. 85, pp. 30-41, 1998年1月。
- 7) Okumura, K and Kuriyama, T : Transient aerodynamic simulation in crosswind and passing an automobile, SAE technical paper, 970404, pp. 141-156, 1997.
- 8) Baker, C. J.: The problems of road vehicles in cross winds, Highways and Transportation, pp. 6-9, May 1991.
- 9) 佐藤弘史, 大儀健一, 松藤洋照：橋梁上の減風効果および耐風安定性に与える防風フェンスの影響の検討、土木学会第53回年次学術講演会概要集, pp. 70-71, 1998年10月。
- 10) Sham, R. : When the wind blows, Bridge design & engineering, Second Quarter, pp. 39-42, 1998.
- 11) 米田昌弘, 宮地真一, 瀬戸内秀規, 枝元勝哉：偏平箱桁断面に対する水平プレートの空力制振効果に関する実験的研究、構造工学論文集, Vol. 42A, pp. 825-832, 1996年3月。
- 12) 皆田龍一, 久保喜延, 加藤九州男, 山口栄輝, 岡 利文：剥離干渉による実橋桁断面の耐風特性に及ぼす高欄の影響、構造工学論文集, Vol. 43A, pp. 939-944, 1997年3月。

(1998年9月18日受付)