

土木研究所資料

強風対策工の防風効果と橋梁の 耐風安定性に関する 調査報告書

平成12年 3 月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (2000) by P.W.R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

強風対策工の防風効果と 橋梁の耐風安定性に関する 調査報告書

構造研究室 室 長	佐 藤 弘 史
研究員	松 野 栄 明 *
研究員	大 儀 健 一
研究員	松 藤 洋 照

要旨

自動車の走行性は強い横風によって損なわれ場合によっては事故を誘発する。また、通行止めにより周辺地域の経済活動を妨げることとなる。このため、橋梁上の走行安全性を確保することは重要である。

強風対策工を橋梁に設置することによる、防風効果および耐風安定性への影響を明らかにし、耐風安定性に与える影響の少ない強風対策工を検討するために、高さ、充実率をパラメトリックに変化させた強風対策工を橋梁断面に設置し、バネ支持模型試験および断面上の気流計測を実施した。その結果、高さ、充実率の増加とともに、基本的に耐風安定性は悪化し防風効果は向上するが、路面付近に開口部を設けることにより、良い耐風安定性が得られることが明らかになった。また、数値流体解析を用いて橋梁断面周りの流れ解析を行い、その適用性を検討した。

キーワード：走行安全性、強風対策工、防風効果、耐風安定性、バネ支持模型試験、数値流体解析

* 現在 九州地方建設局鹿児島国道工事事務所調査課

目 次

1. まえがき	1
2. 強風による事故の発生状況および通行規制について	2
2. 1 強風による車両事故	2
2. 2 通行規制について	2
3. 連続箱桁橋断面を用いた検討	5
3. 1 概要	5
3. 2 研究方法	5
3. 3 実験条件	5
3. 4 実験結果	5
3. 5 考察	6
4. 斜張橋断面を用いた検討	17
4. 1 概要	17
4. 2 実験方法	17
4. 3 実験条件	17
4. 4 実験結果	17
4. 5 数値流体解析	18
4. 6 考察	18
5. まとめ	39
参考文献	40
巻末資料	41

1. まえがき

自動車の走行性は強い横風によって損なわれ、場合によっては横転事故や運転ミスによる事故を誘発する。一部道路や橋梁は強風による閉鎖される場合があり、周辺の経済活動に与える影響は大きい。このため、車両の走行性を確保するための強風対策工を設置することは重要な課題であるが、一般に強風対策工を設置すると、橋梁の耐風安定性の低下をもたらすことが予想される。

本研究では、橋梁の耐風安定性をなるべく低下させないような強風対策工を提案するために、強風対策工と取り付けた橋梁断面模型を用いたバネ支持模型実験を実施し、強風対策工が橋梁の耐風安定性に与える影響を調査した。また、橋梁断面上の気流計測を行い、強風対策工の防風効果を調査した。さらに、橋桁断面周りの数値流体解析を実施し、気流計測結果と比較して、その適用性を検討した。

2. 強風による事故の発生状況および通行規制について

2. 1 強風による車両事故

強風による自動車事故は、事故データとして強風という分類がないため、年間の発生件数および自動車事故件数全体に占める割合などは不明である。しかしながら、強風の吹きやすい地形状況において強風の影響を受けやすい車種では自動車事故が発生している。また、事故にまでは至らなくても、強い横風により自動車の走行安定性が損なわれるため、走行安定性に影響があると思われる場合には強風対策を施すことが重要である。自動車の事故例について文献調査を行った。表-2.1 に事故の発生状況が明記されたものをまとめる^{1)~4)}。これより、事故車両は、受風面積が大きいにも関わらず、車両重量が比較的小さい空荷のトラックが多い。また、事故発生時の風速は、事故の発生状況によりばらつきがあるが、おおよそ 25m/sec~30m/sec 以上となっている。

2. 2 通行規制について

国内の高速道路における強風による通行規制の例を表-2.2 に示す⁵⁾。規制基準は、各機関で異なっているが、風速が増加するに従い、注意を促す規制から速度規制、全面通行止めなどの規制が実施されている。全面通行止めとなるのは、各機関とも平均風速で 25m/sec となっている。

以上より、受風面積が大きいにも関わらず空荷の場合車両重量が比較的小さくなる、車高が 2m 程度の小型トラックなどを想定し、強風対策工の高さや充実率などをパラメトリックに変化させた検討を行い、強風対策工の有する減風効果および耐風安定性に与える影響を検討した。

表-2.1 強風による自動車事故の一例

番号	日時	場所	事故車両種別	事故発生時の風速	事故の発生状況
1	昭和 51 年 10 月 29 日	国道 8 号 米山大橋付近	小型トラック (2t 車、幌付き)	最大風速 23m/sec 平均風速 17~18m/sec	小型トラックが柏崎方面へ向け走行中、米山旧道付近で幌を強風にあおられガードレールに接触し、これを乗り越えて横転した。現地の風観測および周辺の地形を模型化した風洞実験により気流状況を確認したところ、海岸から崖に吹き上げられた気流が、切土斜面によって下降して反転流となるため複雑な気流状況となり、運転者にとっては風向が 3 回急激に変化していた。このためハンドル操作ミスが誘起されたと考えられる。
2	昭和 52 年 4 月 28 日	国道 8 号 上輪橋	小型トラック (2t 車、幌付き、 空車)	最大瞬間風速 25m/sec 以上	柏崎方面に進行中、上輪大橋のほぼ中央部から柏崎よりで、強風であおられて山側に荷台が傾き横転した。上輪橋は、深さ約 100m の典型的な V 字谷であるため、日本海からの季節風が収束作用によって増速したものである。谷による増速率は現地観測結果から推定すると約 1.7 倍であった。
3	昭和 54 年 10 月 19 日	国道 127 号 明鐘隧道付近	バス、トラック、 救急車	平均風速 (1 分間) 42m/sec 最大瞬間風速 60m/sec	房総半島の明鐘トンネル付近で、トンネル前にバスが停車したところ海側からの突風を受けて横転し、その直後に続いてきたマイクロバスも横転した。また、けが人の収容のため救急車が出動したところ、事故車の前に停車したところ 50m 近く吹き飛ばされた。トンネル付近の地形は、急峻な鋸山の山裾が海へとつきだした地形であり、南風が明鐘岬を迂回し事故現場付近に吹き込むことになる。このため、気流が増速し事故を誘発したものである。浦賀水道北部の風速と比較すると増速率は約 1.8 となる。
4	昭和 54 年 10 月 19 日	首都高速湾岸線 荒川河口橋	空荷の保冷車	最大瞬間風速 37m/sec	事故車両の斜め前を走行中のリムジンバスが強風のため挙動が不安定となり、事故車両の運転手がブレーキをかけたところ横転した。現場は、東京湾の北辺に当たり、南からの海上風を直接受ける箇所であった。
5	昭和 55 年 11 月 1 日	東北自動車道 古川インターチ ェンジ付近	トラック	平均風速 23m/sec 瞬間風速 43m/sec	古川市周辺は奥羽山脈がこの地域でくびれて鞍状となっているため、北西季節風が吹き抜ける地形状況となっている。また、事故当時の大気の成層状態が安定していたため、ダシ風による強風により事故が発生したものである。

表-2.2 強風による速度規制の例

番号	機関名	速度規制
1	日本道路公団	「走行注意」 10 分間平均風速 5～10m/sec 「80km/h」 10 分間平均風速 10～15m/sec 「50km/h」 10 分間平均風速 15～25m/sec 「通行止め」 10 分間平均風速 25m/sec
2	首都高速道路公団	「50km/h」 5 分間平均風速 20m/sec 「通行止め」 5 分間平均風速 25m/sec
3	阪神高速道路公団	「走行注意」 平均風速 20m/sec 「通行止め」 平均風速 25m/sec
4	本州四国連絡橋公団	「50km/h」 10 分間平均風速 15m/sec 「通行止め」 10 分間平均風速 25m/sec

3. 連続箱桁橋断面を用いた検討

3. 1 概要

本章では、対象橋梁を連続箱桁橋として、箱桁断面に優れた防風効果が予想される強風対策工を取り付け、耐風安定性および橋桁断面上の防風効果を検討した。

3. 2 研究方法

実験は、建設省土木研究所耐風工学実験施設の非定常空気力風洞を用いて実施した。非定常空気力風洞の主要諸元を表-3.1 および図-3.1 に示す。図-3.2 に示す連続箱桁橋の橋梁断面のバネ支持模型に様々な形状の強風対策工を取り付け、バネ支持模型風洞試験を実施し強風対策工が橋梁の耐風安定性に与える影響を調査した。今回実施したバネ支持模型試験の手法の概要を図-3.3 に示す。また、バネ支持模型を固定し橋梁断面上の気流計測を行い、強風対策工の減風効果を計測した。

3. 3 実験条件

バネ支持模型試験では、相似条件として幾何学的形状を相似させることの他に、次の6つの無次元量を実橋と模型で一致させた。

$$m/\rho B^2, V/N_\eta B, \delta_\eta, I_P/\rho B^4, V/N_\theta B, \delta_\theta$$

ここに、 m ；単位長さあたりの質量 ρ ；空気密度

B ；構造物の代表長さ V ；風速

N ；固有振動数 δ ；無風時における対数減衰率

I_P ；極慣性モーメント 添字 η, θ ；それぞれ鉛直たわみ振動、ねじれ振動を表す。

対象橋梁が連続箱桁橋であるため、鉛直たわみ振動を対象とした。これらの相似条件により導かれた実験条件を表-3.2 に示す。実験装置の制約から、質量・構造減衰パラメータが想定実橋値と実験模型で一致するように模型を設置した。また、模型の迎角は 0deg である。気流計測は、図-3.4 に示す計測点上で行った。気流計測に用いたプローブは上流用 X 型プローブで、実験風速は 5m/sec である。

実験ケースおよび強風対策工の形状を表-3.3 にしめす。強風対策工は、CASE1-1 の通常の橋梁防護柵に対して、CASE1-2～1-9 のように強風対策工の高さ、充実率を変化させた壁型、縦棧型、横棧型、CASE1-10、CASE1-11 のように接近流の吹き上げ効果を想定した斜平板型、CASE1-12、CASE1-13 のように既往の防風柵に関する研究より優れた防風効果を有する 60°ベンチレーション型を用いた。

3. 4 実験結果

3. 4. 1 バネ支持模型試験

バネ支持模型試験より計測された各実験ケースの渦励振振幅の最大値および最大値発現時の風速を表-3.4 および図-3.5 に総括する。

3. 4. 2 気流計測

各実験ケースの各計測点上の風速を接近流風速で除した風速比をおよび主流方向乱れ強さを表-3.5～表-3.6に示す。また、図-3.4の各列における風速比および主流方向乱れ強さの鉛直分布図を図-3.6と図-3.7に示す。

3. 5 考察

3. 5. 1 強風対策工形状が耐風安定性に与える影響

壁型、縦棧型、横棧型の各強風対策工形状は、CASE1-1の橋梁防護柵と同じ高さであれば、いずれもCASE1-1の渦励振最大振幅0.02よりも小さな値を示しており、耐風安定性は悪化していないと言える。壁型、縦棧型、横棧型のいずれの強風対策工形状においても、対策工高さが1.0mであるCASE1-2、CASE1-5、CASE1-8に比べて、対策工高さが1.5mであるCASE1-3、CASE1-6、CASE1-9が大きな渦励振振幅を示している。高さが1.0mから1.5mと1.5倍となることによる渦励振振幅の増加を比較すると、壁型、縦棧型とも約2割増であるが、横棧型は約5割増であり、他の強風対策工形状に比べ、対策工高さの渦励振振幅への影響が大きいことがわかる。また、充実率で比較すると、図-3.8、図-3.9のように縦棧、横棧とも渦励振振幅との関係は見られなかった。

接近流を上方へ吹き上げ車線上の防風効果を期待した斜平板は、斜度30degであるCASE1-10が渦励振振幅0.023、斜度45degであるCASE1-11が0.023であり、CASE1-1の橋梁防護柵に比べ1割ほど耐風安定性が悪化した。これは、斜平板によって接近流が跳ね上げられることにより他の強風対策工形状よりも、上流側対策工における接近流の剥離が上方まで達し、見かけの桁高を増大させるためと思われる。

また、防風効果の高いと予想されたCASE1-12のベンチレーションは、CASE1-1の橋梁防護柵に比べ耐風安定性が悪化した。

以上より、強風対策工の高さの増加とともに、渦励振振幅は増大し耐風安定性は悪化するが、強風対策工の充実率と耐風安定性の関係は見られなかった。また、優れた防風効果を想定した斜平板、ベンチレーションの耐風安定性はCASE1-1の橋梁防護柵に比べ耐風安定性が悪化することがわかった。

3. 5. 2 強風対策工形状とその防風効果

図-3.6、図-3.7より、上流側の強風対策工に近いA列以外では、いずれの形状の強風対策工も強風対策工の高さより低い範囲で、風速比が0.15～0.3、主流方向乱れ強さが40%～60%とほぼ同じ値を示した。強風対策工の高さより高い範囲では、充実率が大きく、高い強風対策工ほど小さな風速比、大きな乱れ強さを示している。

上流側強風対策工に近いA列では、壁型のCASE1-2、CASE1-3の風速比は、強風対策工よりも近い範囲で約0.1と非常に小さな値を示すが、強風対策工の高さよりも高い範囲で、風速比が1.0以上を示し増速する場合がある。

以上より、強風対策工の充実率が大きく、高いほど、強風対策工の高さよりも高い範囲で防風効果が高くなるが、充実率の高い壁型では、強風対策工の近くで接近流よりも増速する場合があることがわかった。

表-3.1 非定常空気力風洞主要諸元

風 洞 名		非定常空気力風洞
風洞形式		ゲッチングン
測定胴	幅	1, 0 0 0 mm
	高さ	2, 0 0 0 mm
	長さ	3, 0 0 0 mm
風路全長		5 5 m
送風機	動翼直径	1, 5 3 0 mm
	風 量	7 0. 0 m ³ /sec
	回転数	1, 2 5 0. 0 rpm
	容 量	5 0. 0 kw
気流	風 速	1. 0 ~ 2 5. 0 m/sec
	乱れ率	0. 5 %

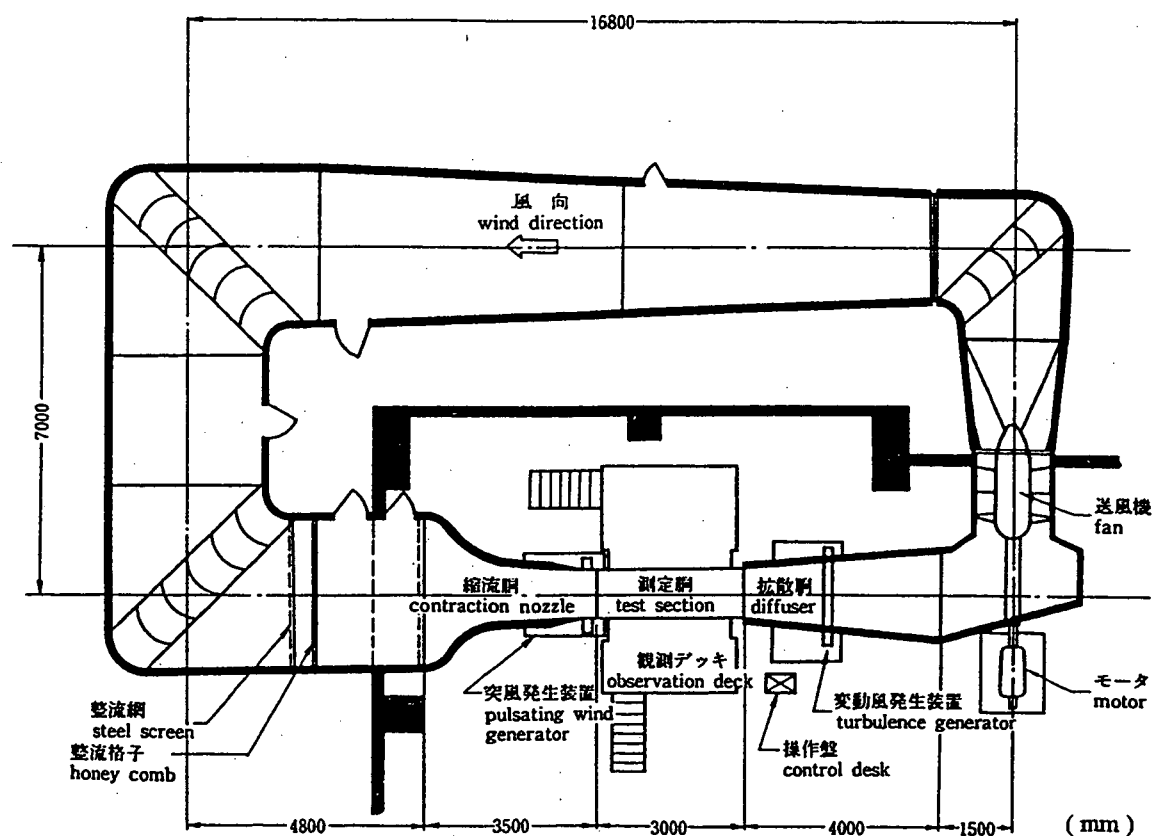


図-3.1 非定常空気力風洞平面図

表-3.2 実験条件

	想定実橋値	模型要求値	模型実測値
縮尺	—	1/85	1/85
桁幅	22.9 m	269.4 mm	269.4 mm
質量	1.952 t/m	2.595 kg/model	3.274 kg/model
振動数 (たわみ)	0.329 Hz	4.297 Hz	4.301 Hz
構造減衰	0.02	0.02	0.0158
風速倍率	—	6.50	6.49

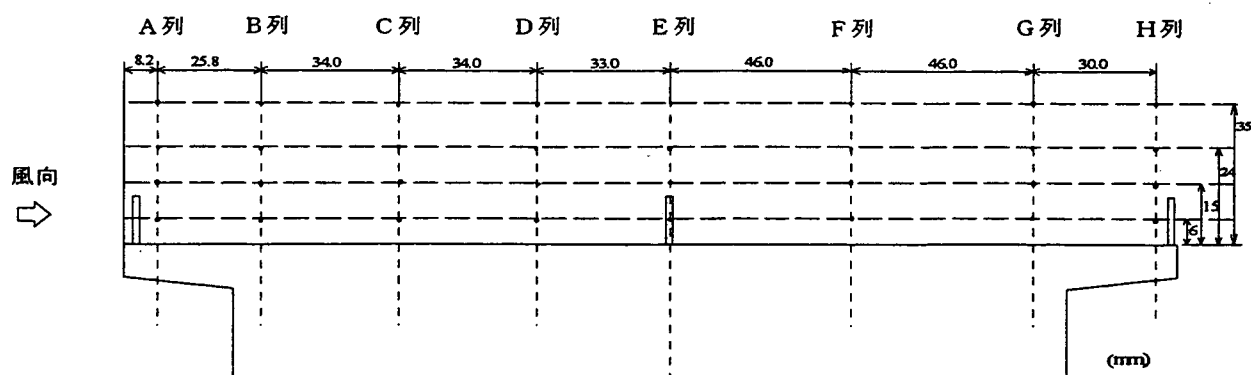


図-3.4 気流計測点

表・3.3 強風対策工の形状

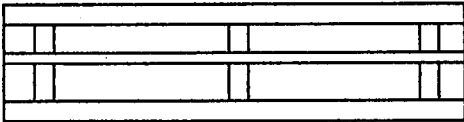
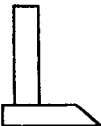
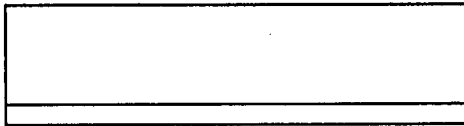
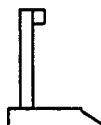
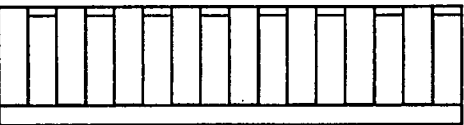
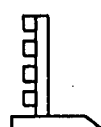
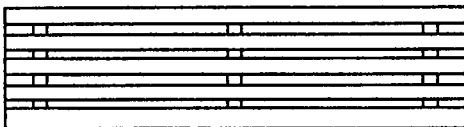
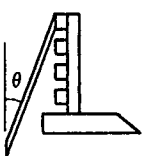
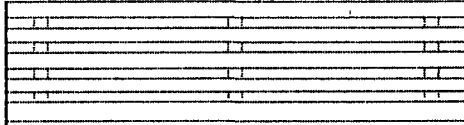
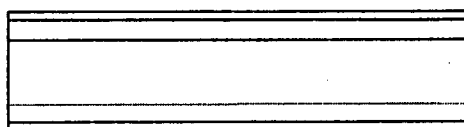
CASE NO.	形状	形状図		パラメータ
CASE1-1	橋梁防護柵			高さ H=1.0m
CASE1-2	壁型			高さ H=1.0m
CASE1-3				高さ H=1.5m
CASE1-4	縦桟型			高さ H=1.0m 充実率 ϕ =33%
CASE1-5				高さ H=1.0m 充実率 ϕ =66%
CASE1-6				高さ H=1.5m 充実率 ϕ =33%
CASE1-7	横桟型			高さ H=1.0m 充実率 ϕ =33%
CASE1-8				高さ H=1.0m 充実率 ϕ =66%
CASE1-9				高さ H=1.5m 充実率 ϕ =33%
CASE1-10	斜平板型			高さ H=1.0m 斜度 θ =30deg
CASE1-11				高さ H=1.0m 斜度 θ =45deg
CASE1-12	ベンチレーション型			高さ H=1.0m
CASE1-13				高さ H=1.5m

表-3.4 バネ支持模型試験結果総括表

試験番号	強風対策工形状	パラメータ	渦励振時最大振幅 η/B	最大振幅時風速 m/s
CASE1-1	橋梁防護柵	高さ	0.020	2.41
CASE1-2	壁型	高さ H=1.0m	0.016	2.60
CASE1-3	壁型	高さ H=1.5m	0.020	2.71
CASE1-4	縦棧型	高さ H=1.0m 充実率 $\phi=33\%$	0.014	2.44
CASE1-5	縦棧型	高さ H=1.0m 充実率 $\phi=66\%$	0.019	2.60
CASE1-6	縦棧型	高さ H=1.5m 充実率 $\phi=33\%$	0.017	2.38
CASE1-7	横棧型	高さ H=1.0m 充実率 $\phi=33\%$	0.016	2.43
CASE1-8	横棧型	高さ H=1.0m 充実率 $\phi=66\%$	0.019	2.49
CASE1-9	横棧型	高さ H=1.5m 充実率 $\phi=33\%$	0.025	2.37
CASE1-10	斜平板型	高さ H=1.0m 斜度 $\theta=30\text{deg}$	0.022	2.41
CASE1-11	斜平板型	高さ H=1.0m 斜度 $\theta=45\text{deg}$	0.023	2.42
CASE1-12	ベンチレーション型	高さ H=1.0m	0.018	2.50
CASE1-13	ベンチレーション型	高さ H=1.5m	0.022	2.63

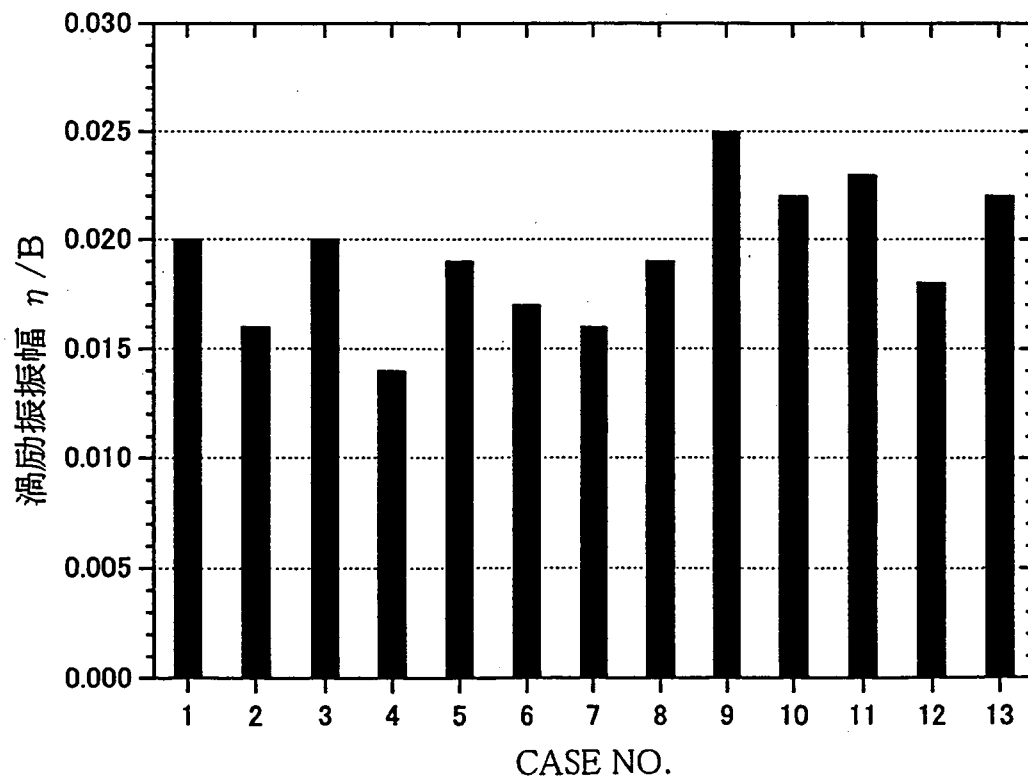


図-3.5 バネ支持模型試験結果総括

表-3.5 気流計測結果一覧 (風速比)

風速比		CASE NO.			
		1	2	3	6
対策工高さ		—	1	1.5	1.5
対策工充実率		—	100	100	33
形状		橋梁防護柵	壁型	壁型	縦桟型
計測断面	高度 m	風 速 比			
A列	0.5	0.71	0.12	0.10	0.18
	1.3	0.48	0.16	0.10	0.98
	2	1.35	1.59	0.22	1.21
	3	1.26	1.45	1.36	1.12
B列	0.5	0.19	0.12	0.09	0.06
	1.3	0.3	0.15	0.11	0.09
	2	0.55	0.22	0.13	0.53
	3	1.33	1.28	0.39	1.01
C列	0.5	0.14	0.15	0.09	0.08
	1.3	0.18	0.16	0.11	0.11
	2	0.34	0.20	0.13	0.19
	3	1.03	0.47	0.21	0.74
D列	0.5	0.14	0.17	0.11	0.13
	1.3	0.16	0.18	0.13	0.15
	2	0.28	0.24	0.16	0.21
	3	0.71	0.38	0.21	0.45
E列	1.3	0.23	0.31	0.24	0.22
	2	0.31	0.28	0.21	0.22
	3	0.65	0.36	0.22	0.41
F列	0.5	0.21	0.35	0.29	0.21
	1.3	0.25	0.30	0.27	0.22
	2	0.39	0.32	0.25	0.26
	3	0.71	0.42	0.27	0.61
G列	0.5	0.25	0.39	0.33	0.24
	1.3	0.35	0.35	0.32	0.30
	2	0.51	0.40	0.34	0.42
	3	0.79	0.50	0.38	0.69
H列	1.3	0.48	0.42	—	—
	2	0.63	0.44	0.36	0.58
	3	0.87	0.61	0.38	0.80

表-3.6 気流計測結果一覧 (乱れ強さ)

乱れ強さ		CASE NO.			
%		1	2	3	6
対策工高さ		—	1	1.5	1.5
対策工充実率		—	100	100	33
形状		橋梁防護柵	壁型	壁型	縦棧型
計測断面	高度 m	乱れ強さ %			
A列	0.5	37.2	68.9	70.2	60.2
	1.3	34.7	54.3	66.5	30.7
	2	1.9	1.6	36.9	4.6
	3	1.4	1.4	2.0	2.4
B列	0.5	49.5	57.1	68.9	51.4
	1.3	53.6	45.3	55.1	55.5
	2	32.0	48.4	46.1	26.8
	3	4.3	20.3	46.6	9.8
C列	0.5	58.5	48.7	61.1	53.5
	1.3	52.8	48.0	54.6	48.6
	2	48.3	47.0	51.0	51.8
	3	19.5	46.4	53.0	20.3
D列	0.5	49.4	47.7	56.7	50.3
	1.3	54.3	47.3	51.8	49.0
	2	51.7	48.2	49.3	48.9
	3	31.3	46.8	48.8	34.9
E列	1.3	47.3	36.2	35.3	50.0
	2	50.3	41.8	42.1	48.2
	3	33.3	49.0	49.5	37.9
F列	0.5	49.5	43.4	43.3	50.5
	1.3	50.8	45.4	47.5	47.1
	2	46.5	47.5	48.0	47.9
	3	29.6	47.6	50.1	27.2
G列	0.5	51.6	44.3	45.1	51.2
	1.3	49.1	46.1	47.7	49.5
	2	38.7	47.8	47.6	41.2
	3	24.6	44.7	47.4	25.2
H列	1.3	40.7	43.7	—	—
	2	32.4	49.8	40.1	31.8
	3	20.6	41.7	50.7	23.6

■ CASE1-1(橋梁防護柵) ● CASE1-2(壁型 高さ1.0m) ▲ CASE1-3(壁型 高さ1.5m) ▼ CASE1-6(縦棧型 高さ1.5m 充実率33%)

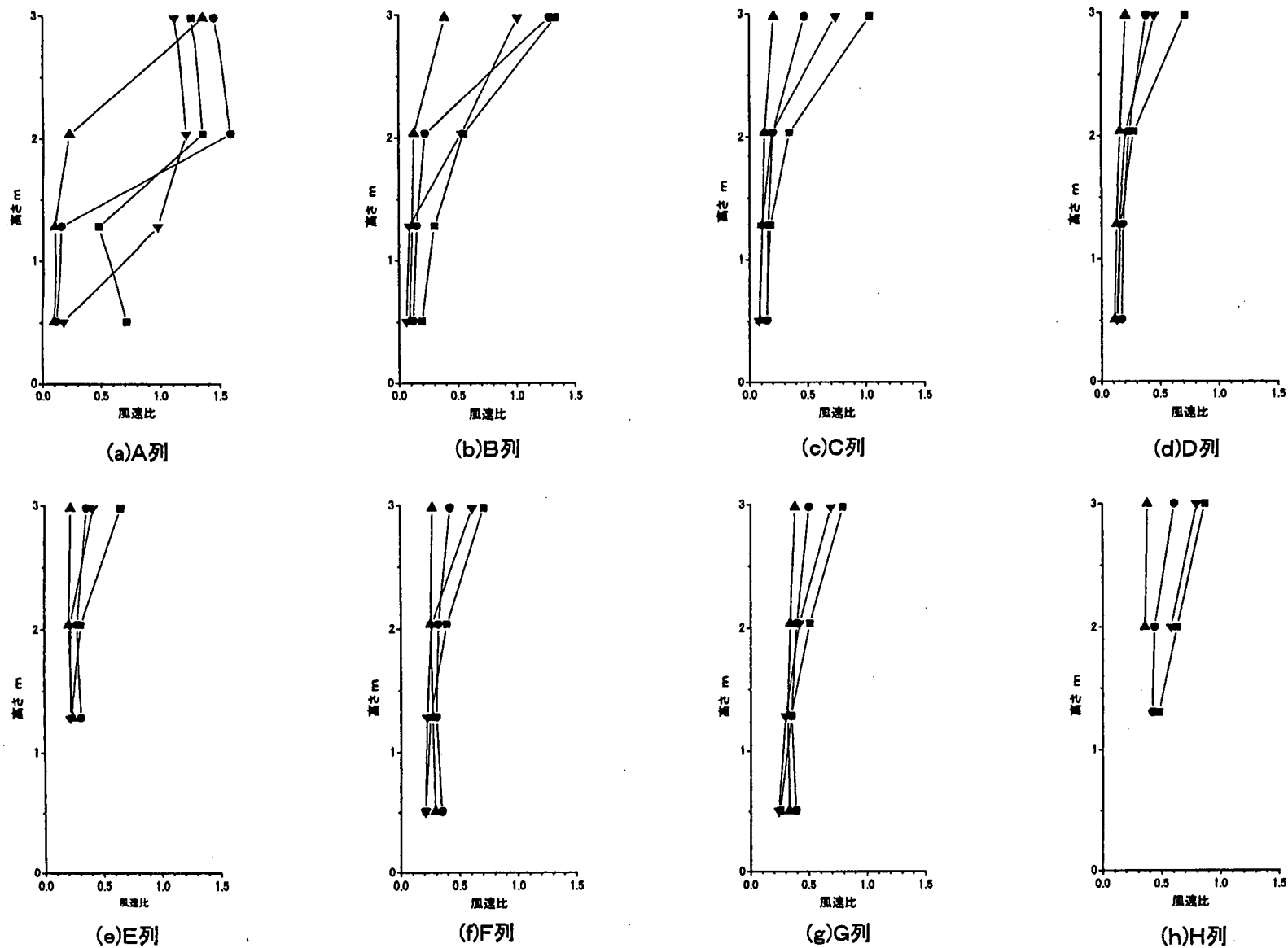
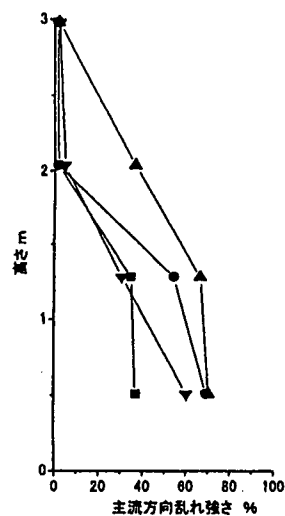
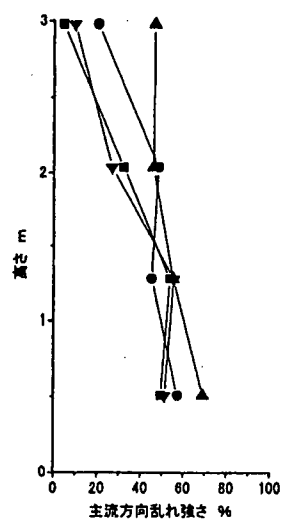


図-3.6 風速比一覧

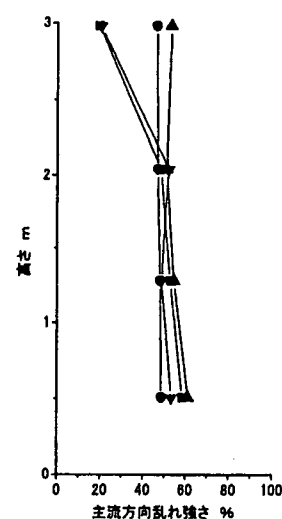
■ CASE1-1(橋梁防護柵) ● CASE1-2(壁型 高さ1.0m) ▲ CASE1-3(壁型 高さ1.5m) ▼ CASE1-6(縦桟型 高さ1.5m 充実率33%)



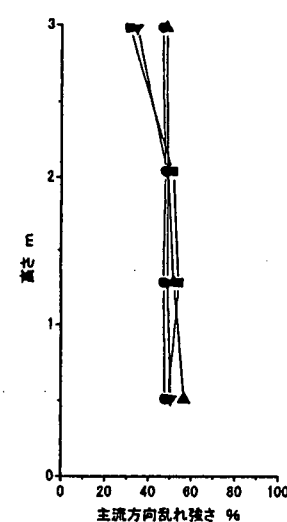
(a)A列



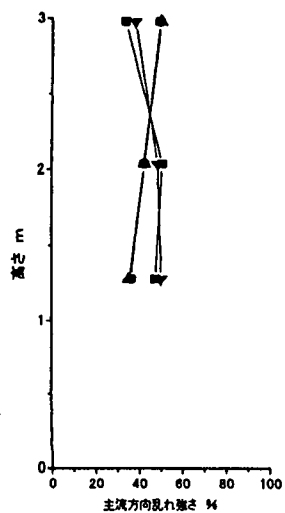
(b)B列



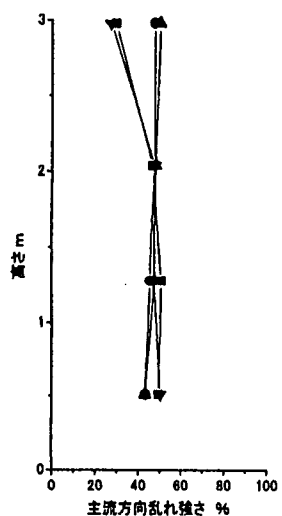
(c)C列



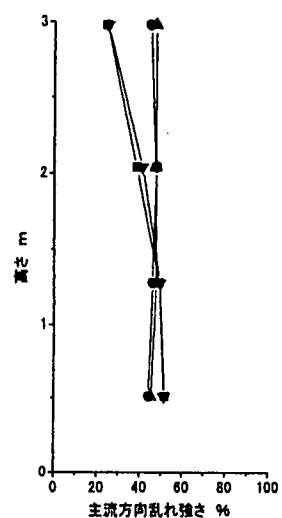
(d)D列



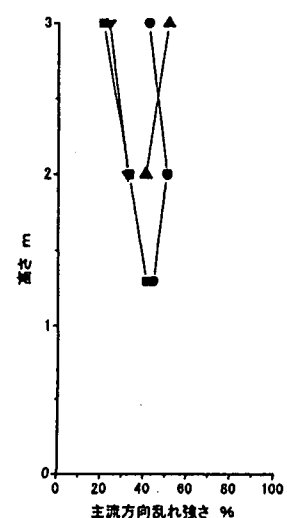
(e)E列



(f)F列



(g)G列



(h)H列

図-3.7 主流方向乱れ強さ一覧

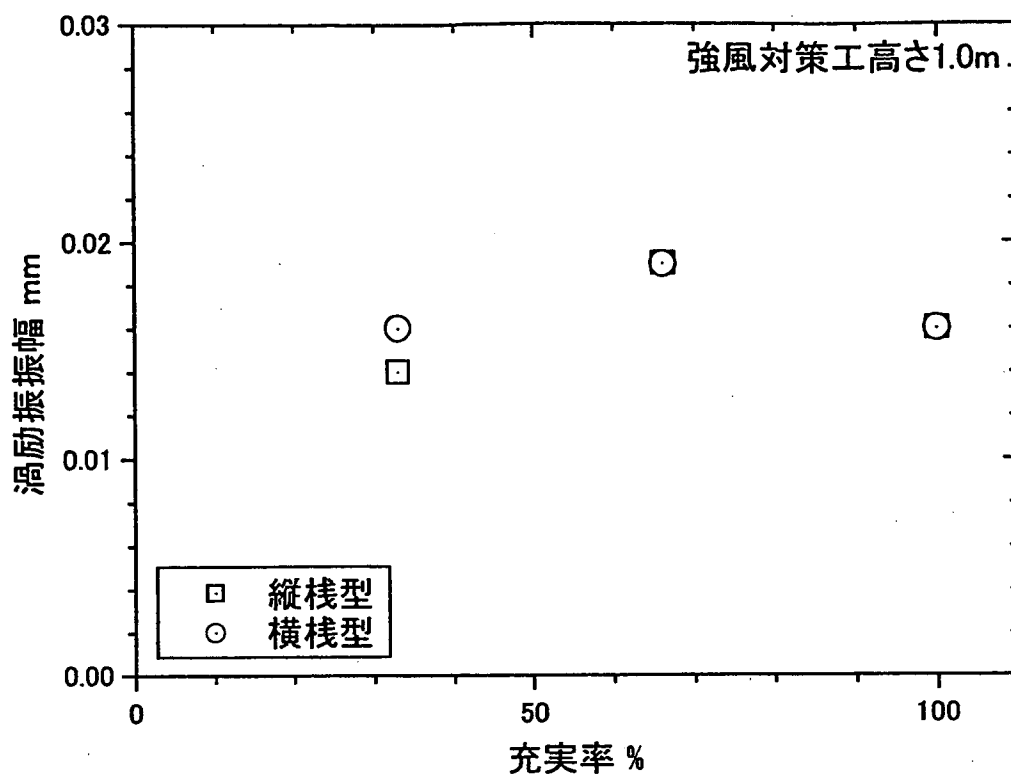


図-3.8 充実率と渦励振振幅の関係（強風対策工高さ 1.0m）

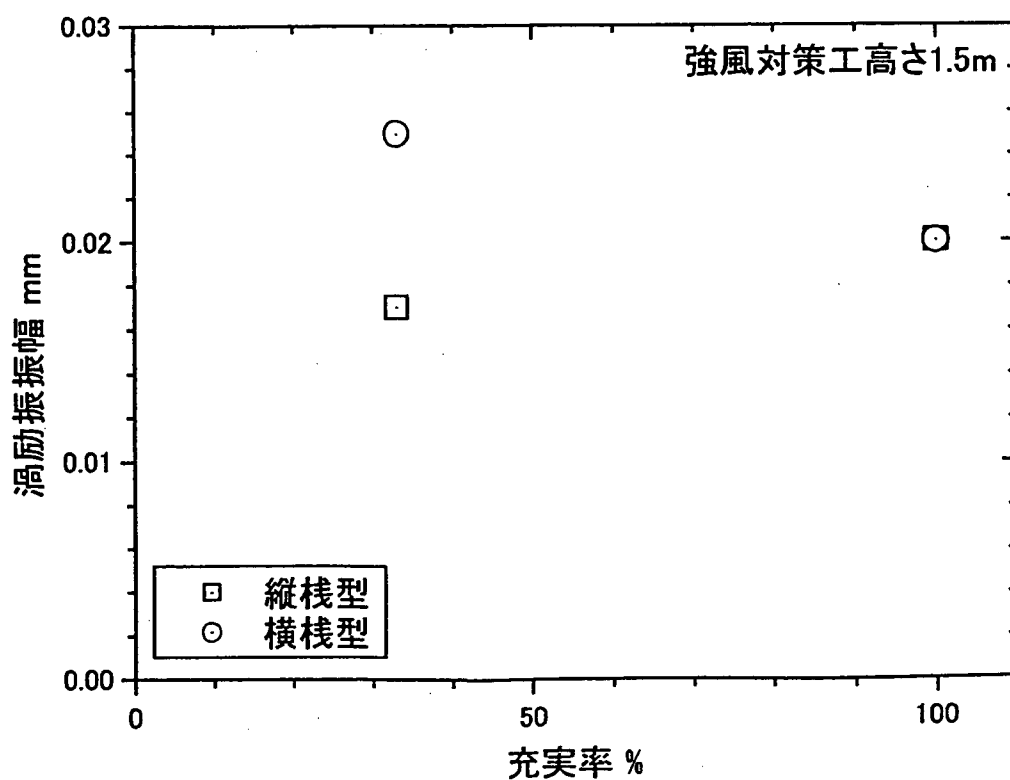


図-3.9 充実率と渦励振振幅の関係（強風対策工高さ 1.5m）

4. 斜張橋断面を用いた検討

4. 1 概要

3章の箱形断面を対象とした検討では、振動現象として渦励振が対象となるが、斜張橋や吊橋に強風対策工を取り付けた場合、フラッター発現風速の低下など、より耐風安定性への影響が大きくなると考えられる。また、斜張橋や吊橋が多く用いられる河口部や海岸部であるが、このような場所は一般に車両の走行性が問題となるような強風が吹くことが多い。

また、3章では、様々な形状の強風対策工を検討したが、防風効果があると予想された斜平板やベンチレーションなどでは耐風安定性を得ることができなかった。

そこで、本検討では対象橋梁を斜張橋とし、強風対策工として防風フェンスを橋梁防護柵に取り付け、フェンスの高さ、充実率が耐風安定性および防風効果に与える影響を検討した。また、耐風安定性を向上させるための対策を検討した。さらに、数値流体解析を橋桁周りの風況推定に適用した。

4. 2 実験方法

実験は連続箱桁橋断面を用いた検討と同様に、建設省土木研究所耐風工学実験施設の非定常空気力風洞を用いて、強風対策工を取り付けた橋梁断面に対してバネ支持模型試験および気流計測を実施し、強風対策工が耐風安定性および防風効果に与える影響を調査した。対象とした橋梁断面は主に斜張橋で用いられる逆台形型断面で図-4.1に示す。また、数値流体解析を用いて橋梁断面周りの流れ解析を行い、橋梁断面上の防風効果を気流計測結果と比較し、その適用性を検討した。

4. 3 実験条件

強風対策工の形状を表-4.1に示す。強風対策工は、通常の橋梁防護柵の外側に、充実率および高さをパラメトリックに変化させた防風フェンスとした。また、防風効果を向上させるためにフェアリング、フラップなどの耐風安定化部材を取り付けたほか、フェンスの橋梁面付近を開口するなどの工夫を行った。

バネ支持模型試験では、渦励振の発現風速、振動振幅およびフラッター発現風速を計測した。バネ支持模型試験の実験条件を表-4.2に示す。実験装置の制約から、質量・構造減衰パラメータが想定実橋値と実験模型で一致するように模型を設置した。迎角は耐風安定性の悪い3degおよび0degとした。気流計測は、図-4.2に示す計測点上で行った。気流計測に用いたプローブは上流用X型プローブで、実験風速は5m/secである。

4. 4 実験結果

4. 4. 1 バネ支持模型試験

バネ支持模型試験より計測された各実験ケースの渦励振振幅の最大値、最大振幅時の風速およびフラッター発現風速を表-4.3～表-4.4および図-4.3～図-4.4に総括する。

4. 4. 2 気流計測

各実験ケースの各計測点上の風速を接近流風速で除した風速比を表-4.5 に示す。また、主流方向乱れ強さを表-4.6 に示す。

4. 5 数値流体解析

4. 5. 1 解析方法

対象橋梁断面に橋梁防護柵を取り付けた CASE2-1 および高さ 1.1m、充実率 100% のフェンスを取り付けた CASE2-5 に対して、汎用数値流体解析コード SCRYU を用いて橋梁断面周りの流れ場を解析した。離散化手法は有限体積法で、乱流モデルには一般的な $k-\epsilon$ モデルを用いている。

4. 5. 2 解析条件

解析メッシュは図-4.5 のような強風対策工付近を細かくした異形メッシュとした。境界条件等の解析条件を表-4.7 にまとめる。

4. 5. 3 解析結果

図-4.6 に図-4.3 に示した気流計測点における解析結果より求めた風速比を、各列毎の鉛直分布図として示す。

4. 6 考察

4. 6. 1 耐風安定性への影響

本検討で対象とした橋梁断面では、迎角 0deg の場合には計測範囲内でフラッターは発現しなかったが、迎角+3deg の場合にはフラッターが発現し、図-4.7、図-4.8 に示すように、強風対策工の充実率、高さの増加とともに、フラッター発現風速は低下した。

図-4.9～図-4.10 に示した強風対策工の充実率と渦励振振幅の関係のように、ねじれ渦励振振幅は充実率とともに増加傾向にあるが、たわみ渦励振振幅は充実率との関係は特に見られなかった。一方、図-4.11～図-4.12 に示した強風対策工の高さと渦励振振幅の関係のように、たわみ、ねじれ渦励振は強風対策工の高さとともに増加傾向にあることがわかる。しかし、フェンス高さ 2.1m の場合、渦励振が発生しない若しくは振幅が減少している場合があるが、気流の大半がオーバーシュートし、橋梁断面に再付着出来なくなったためと考えられる。

以上のように、強風対策工の高さと充実率の増加とともに、橋梁の耐風安定性は基本的に悪化する。耐風安定性への影響を低減するために CASE2-9～CASE2-13 のような強風対策工を取り付け、風洞実験を行った。

図-4.13～図-4.18 に CASE2-9～CASE2-13 のバネ支持風洞試験結果をまとめる。

充実率 50% のフェンスを高さ 1～2m だけに設置し、路面から 1m の部分を開口した CASE2-11 では、図-4.16、図-4.17 に示すように、迎角 0deg における渦励振はほとんど発現せず、迎角 3deg においてもねじれ渦励振振幅は橋梁防護柵のみの場合よりも小さく、たわみ渦励振もフェンスですべてを覆った場合よりも振

幅が低減している。高さ 1~2m のフェンスを充実率 100%とした CASE2-12 も CASE2-11 とほぼ同じ傾向を示している。

高さ 2.0m 充実率 50%のフェンスを設置時に、フェアリングおよびフラップを取り付けた CASE2-9、CASE2-10 では、図-4.13、図-4.14 に示すように、迎角 0deg では耐風安定性の向上が見られたが、迎角 3deg で渦励振が発現し耐風安定性はあまり改善されなかった。

鋸歯状のフェンスにより、桁断面上の気流を攪乱し、耐風安定性の向上を期待した CASE2-13 は、図-4.18 に示すように、フラッターが比較的低風速で発現した。また、図-4.16、図-4.17 のように、たわみ渦励振振幅およびねじれ渦励振振幅が増加し、耐風安定性は悪化した。

したがって、強風対策工の充実率および高さの増加とともに橋梁の耐風安定性は悪化するが、橋梁路面付近に開口部を設けることにより、強風対策工を取り付けない場合とほぼおなじ耐風安定性を有することがわかった。

4. 6. 2 強風対策工の防風効果の比較

図-4.19 に橋梁防護柵と同じ高さの強風対策工の充実率と風速比の関係を示す。これより、上流側車線の C 列、D 列では充実率 70%の強風対策工が最も減風効果があった。下流側車線の E 列、F 列では、充実率による風速比の差はほとんど認められなかった。

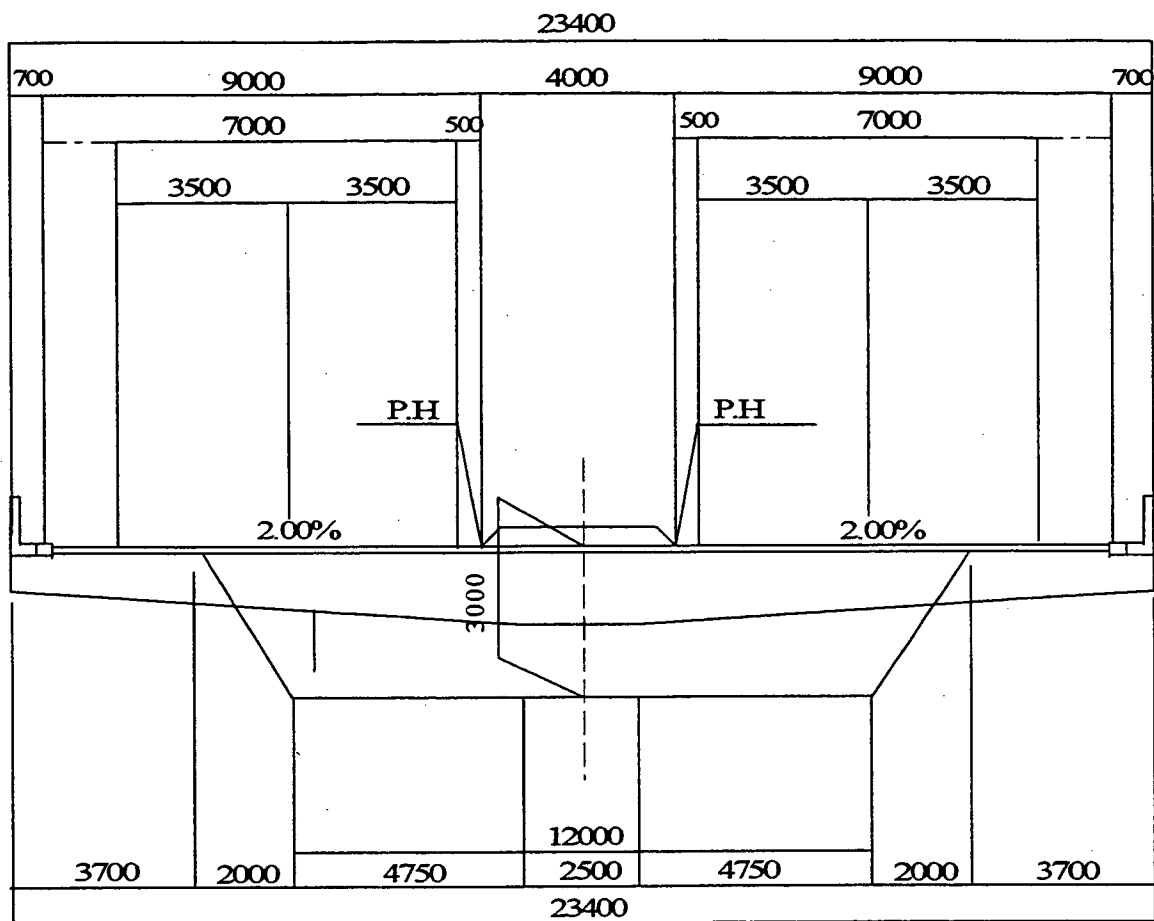
図-4.20 に強風対策工の高さと風速比の関係を示す。路面上 2m 以下の上流側車線ではフェンスの高さによる違いは見られないが、路面上 2m 以下の下流側車線ではフェンスが高いほど減風効果があることがわかる。路面上 2m 以上では、フェンスが高いほど減風効果があることが分かる。

また、開口部を路面付近に設けることで優れた耐風安定性を示した CASE2-11 と CASE2-12 と全閉にした CASE2-8 および橋梁防護柵のみの CASE2-1 の減風率の比較を図-4.21 に示す。路面付近に開口部を設けた場合、CASE2-12 では B 列、C 列の路面付近において CASE2-1 および CASE2-8 に比べて大きな風速比を示している。しかしながら、充実率が 50%である CASE2-11 では CASE2-1、CASE2-8 と比べてほぼ同じ風速比である。また、下流側車線の E 列、F 列では全閉にした CASE2-8 と風速比はほぼ同じであり、開口した影響はほとんどない。

以上より、充実率が大きく高い強風対策工ほど良い減風効果を示す。また、優れた耐風安定性を示す路面付近に開口部を設けた強風対策工では、適切な充実率にすることにより上流側の路面付近における吹き抜けを低減できることが分かった。

4. 6. 3 数値流体解析の適用性

図-4.6 より実験値と比較すると、CASE2-1 および CASE2-5 とともに下流側車線上においては、風速比の傾向をほぼ再現できているが、全体的に解析値の方が 1 割ほど大きな値を示している。しかし、上流側車線の強風対策工近傍の風速分布を再現しておらず、特に、CASE2-5 では実験値と大きく異なる。このため、今後解析条件などを検討し現象を再現できるようにする必要がある。



单位 mm

图·4.1 对象桥梁断面

表-4.1 強風対策工形状

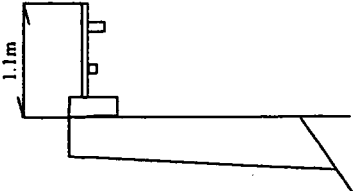
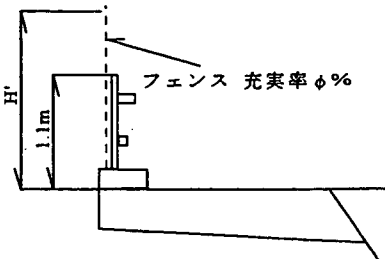
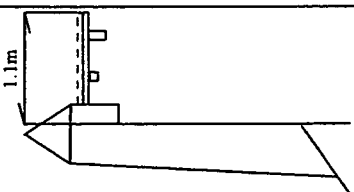
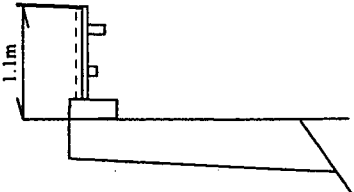
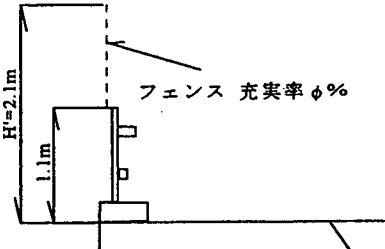
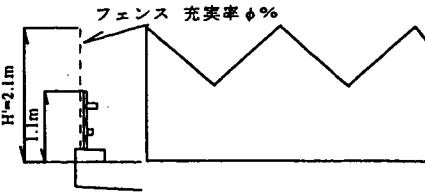
CASE	形状	
CASE 2-1		橋梁防護柵 高さ 1.1m
CASE 2-2		フェンス 高さ $H'=1.1\text{m}$ 充実率 30%
CASE 2-3		フェンス 高さ $H'=1.1\text{m}$ 充実率 50%
CASE 2-4		フェンス 高さ $H'=1.1\text{m}$ 充実率 70%
CASE 2-5		フェンス 高さ $H'=1.1\text{m}$ 充実率 100%
CASE 2-6		フェンス 高さ $H'=1.6\text{m}$ 充実率 30%
CASE 2-7		フェンス 高さ $H'=1.6\text{m}$ 充実率 50%
CASE 2-8		フェンス 高さ $H'=2.1\text{m}$ 充実率 50%
CASE 2-9		フェンス 高さ 1.1m 充実率 50% フェアリング
CASE 2-10		フェンス 高さ 1.1m 充実率 50% フラップ
CASE 2-11		フェンス 高さ 2.1m 充実率 50% 下部 1m 開口
CASE 2-12		フェンス 高さ 2.1m 充実率 100% 下部 1m 開口
CASE 2-13		フェンス 高さ 2.1~1.1m 充実率 50% 鋸状

表-4.2 実験条件

	想定実橋値	模型要求値	模型実測値
縮尺	—	1/90	1/90
桁幅	23.4 m	260.0 mm	260.0 mm
桁高	3.0 m	33.3 mm	33.3 mm
質量	22.820 t	2.761 kg	2.915 kg
極慣性モーメント	97.42tm	0.00146kgm ²	0.00287 kgm ²
振動数 たわみ	0.50 Hz	4.50 Hz	3.31 Hz
振動数 ねじれ	1.50 Hz	13.5 Hz	7.00 Hz
振動数比	3.0	3.0	2.12
構造減衰 たわみ	0.02	0.02	0.014
構造減衰 ねじれ	0.02	0.02	0.011
風速倍率 たわみ	—	10.0	13.6
風速倍率 ねじれ	—	10.0	19.3

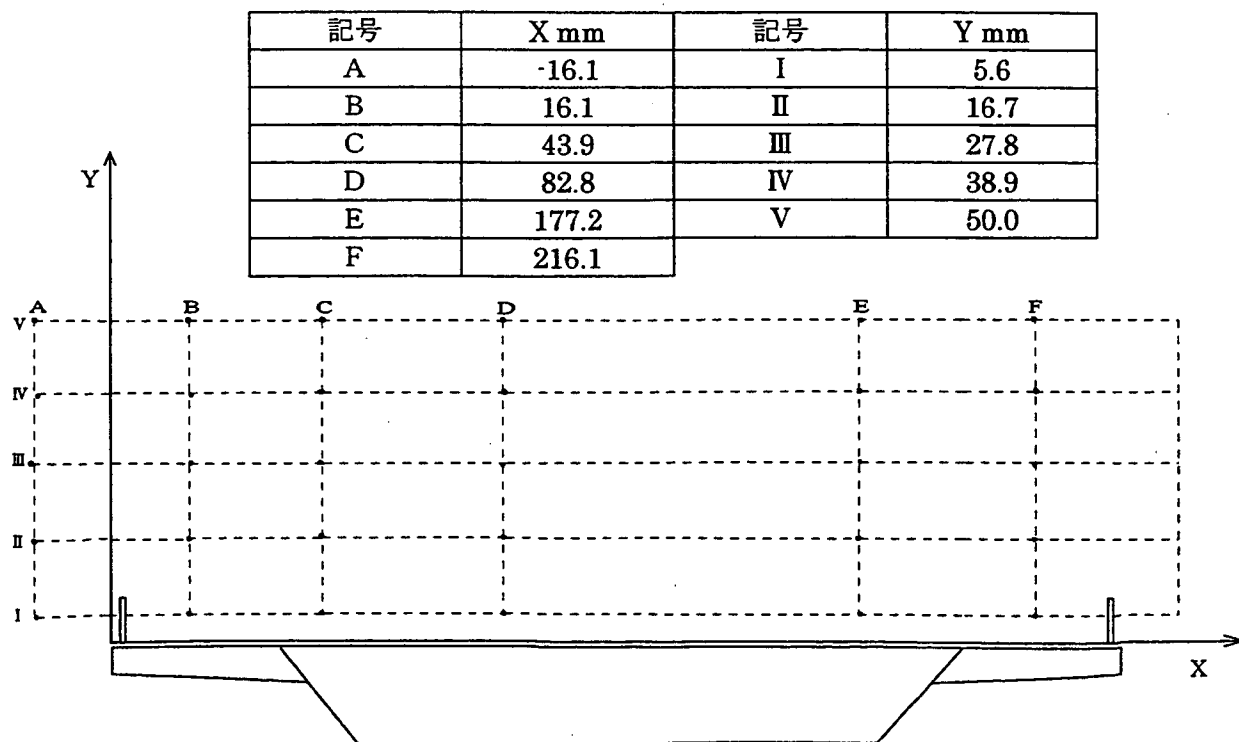


図-4.3 気流計測位置

表-4.3 バネ支持模型試験結果総括表（迎角0deg）

迎角0deg 試験番号	強風対策工形状	高さ m	充実率 %	その他パラメータ	渦励振時最大振幅		最大振幅時風速		フラッター発現風速 m/s
					たわみ mm	ねじれ θ	たわみmm	ねじれ θ	
CASE 2-1	橋梁防護柵	1.1	—	—	—	—	—	—	100 ↑
CASE2- 2	フェンス	1.1	30	—	1.3	0.1	1.5	1.9	100 ↑
CASE2- 3	フェンス	1.1	50	—	0.5	0.2	1.4	2.1	100 ↑
CASE2- 4	フェンス	1.1	70	—	0.5	0.3	0.8	2.1	100 ↑
CASE2- 5	フェンス	1.1	100	—	—	1.0	—	2.7	100 ↑
CASE 2-6	フェンス	1.6	30	—	2.3	0.2	1.5	1.9	100 ↑
CASE 2-7	フェンス	1.6	50	—	3.7	0.4	1.6	1.8	100 ↑
CASE 2-8	フェンス	2.1	50	—	4.3	—	1.4	—	100 ↑
CASE 2-9	フェンス	1.1	50	+フェアリング	1.7	0.5	1.9	2.2	100 ↑
CASE 2-10	フェンス	1.1	50	+フラップ	—	—	—	—	100 ↑
CASE 2-11	フェンス	2.1	50	下部1m開口	0.2	—	1.3	—	100 ↑
CASE 2-12	フェンス	2.1	100	下部1m開口	—	—	—	—	100 ↑
CASE 2-13	フェンス	2.1~1.1	50	鋸状	1.36/5.95	0.8	0.7/1.8	2.0	100 ↑

表-4.4 バネ支持模型試験結果総括表 (迎角3deg)

迎角3deg 試験番号	強風対策工形状	高さ m	充実率 %	その他パラメータ	渦励振時最大振幅		最大振幅時風速		フラッター発現風速 m/s
					たわみ mm	ねじれ θ	たわみmm	ねじれ θ	
CASE 2-1	橋梁防護柵	1.1	—	—	4.1	0.4	2.0	2.2	100 ↑
CASE 2-2	フェンス	1.1	30	—	6.1	0.7	2.0	2.3	81
CASE 2-3	フェンス	1.1	50	—	5.8	0.8	1.9	2.3	77
CASE 2-4	フェンス	1.1	70	—	6.4	0.5	2.2	2.6	71
CASE 2-5	フェンス	1.1	100	—	5.0	1.0	2.3	2.7	77
CASE 2-6	フェンス	1.6	30	—	5.8	0.5	1.8	2.1	77
CASE 2-7	フェンス	1.6	50	—	7.6	0.8	1.8	2.0	71
CASE 2-8	フェンス	2.1	50	—	5.6	—	1.4	—	66
CASE 2-9	フェンス	1.1	50	+フェアリング	7.0	0.9	2.2	2.3	100 ↑
CASE 2-10	フェンス	1.1	50	+フラップ	4.8	0.5	2.0	2.4	100 ↑
CASE 2-11	フェンス	2.1	50	下部1m開口	4.3	0.1	1.4	1.1	100 ↑
CASE 2-12	フェンス	2.1	100	下部1m開口	4.5	0.1	1.0	1.0	100 ↑
CASE 2-13	フェンス	2.1~1.1	50	鋸状	0.20/10.44	0.9	0.6/2.1	2.1	73

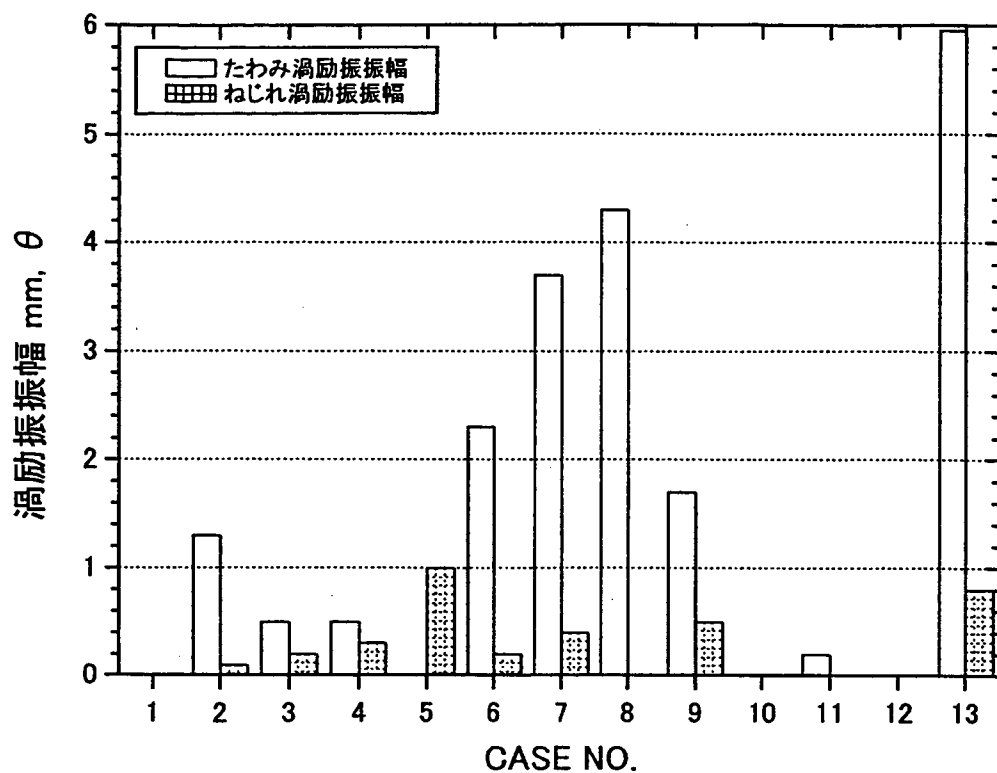


図-4.3 バネ支持模型試験結果総括 (迎角 0deg)

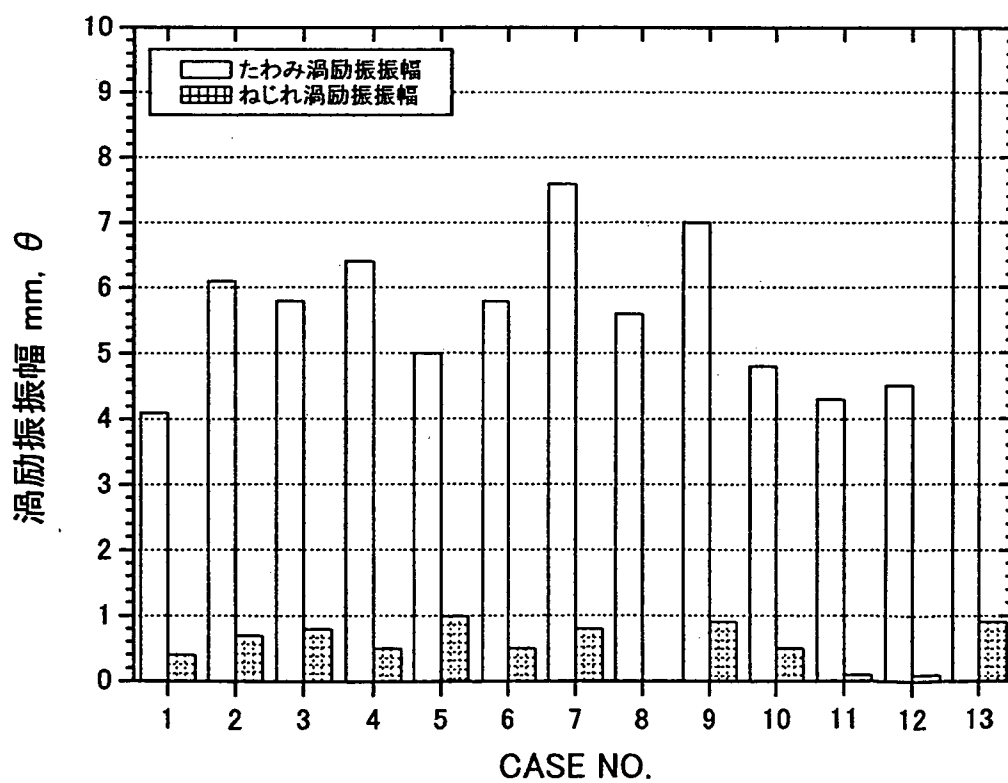


図-4.4 バネ支持模型試験結果総括 (迎角 3deg)

表-4.5 気流計測結果 (主流方向風速比)

風速比		CASE NO.								
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-7	2-8	2-11	2-12
対策工高さ		—	1.1	1.1	1.1	1.1	1.6	2.1	2.1	2.1
対策工充実率		—	30	50	70	100	50	50	50	50
開口部の有無		—	無	無	無	無	無	無	有	有
計測断面	高度 m									
A列	0.5	0.72	0.69	0.71	0.65	0.53	0.66	0.61	0.65	0.68
	1.5	0.82	0.82	0.79	0.78	0.68	0.77	0.69	0.74	0.67
	2.5	0.87	0.90	0.89	0.88	0.79	0.87	0.81	0.82	0.76
	3.5	0.91	0.93	0.94	0.94	0.85	0.93	0.87	0.86	0.85
	4.5	0.92	0.95	0.97	0.97	0.88	0.96	0.91	0.89	0.92
B列	0.5	0.77	0.75	0.56	0.30	0.09	0.54	0.56	0.45	1.03
	1.5	1.04	0.82	0.65	0.38	0.16	0.67	0.63	0.49	0.16
	2.5	1.02	1.07	1.11	1.13	1.06	1.10	0.65	1.02	0.18
	3.5	0.99	1.04	1.07	1.09	1.02	1.06	1.03	0.98	1.19
	4.5	0.97	1.02	1.07	1.07	0.99	1.04	1.00	0.96	1.12
C列	0.5	0.36	0.44	0.30	0.26	0.25	0.34	0.31	0.55	0.97
	1.5	0.54	0.56	0.50	0.21	0.30	0.46	0.46	0.32	0.41
	2.5	0.98	1.09	1.15	1.17	0.76	0.92	0.55	0.94	0.45
	3.5	0.99	1.07	1.12	1.14	1.11	1.09	1.04	0.99	1.09
	4.5	0.99	1.05	1.09	1.13	1.08	1.07	1.03	0.98	1.04
D列	0.5	0.37	0.26	0.19	0.10	0.20	0.16	0.22	0.46	0.38
	1.5	0.56	0.44	0.37	0.14	0.45	0.32	0.33	0.32	0.40
	2.5	0.98	1.08	0.99	0.77	0.74	0.58	0.53	0.56	0.59
	3.5	0.99	1.08	1.13	1.16	0.89	1.09	1.04	0.97	0.90
	4.5	1.00	1.07	1.11	1.15	0.96	1.08	1.05	0.98	0.98
E列	0.5	0.12	0.06	0.07	0.12	0.20	0.03	0.03	0.15	0.18
	1.5	0.55	0.39	0.33	0.36	0.45	0.24	0.25	0.36	0.35
	2.5	0.92	0.85	0.73	0.77	0.76	0.51	0.45	0.52	0.56
	3.5	1.03	1.09	1.10	1.13	0.94	0.98	0.74	0.82	0.81
	4.5	1.03	1.09	1.11	1.14	0.96	1.09	1.06	1.01	0.94
F列	0.5	0.18	0.14	0.13	0.17	0.26	0.07	0.05	0.12	0.22
	1.5	0.49	0.42	0.37	0.41	0.48	0.24	0.22	0.32	0.34
	2.5	0.92	0.85	0.76	0.76	0.73	0.53	0.42	0.55	0.55
	3.5	1.01	1.08	1.06	1.11	0.90	0.95	0.72	0.81	0.78
	4.5	1.02	1.08	1.13	1.13	0.94	1.08	1.06	1.02	0.92

表-4.6 気流計測結果（主流方向乱れ強さ）

主流方向乱れ強さ %		CASE NO.								
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-7	2-8	2-11	2-12
対策工高さ		—	1.1	1.1	1.1	1.1	1.6	2.1	2.1	2.1
対策工充実率		—	30	50	70	100	50	50	50	50
開口部の有無		—	無	無	無	無	無	無	有	有
計測断面	高度 m									
A列	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.8	0.6
	1.5	0.4	0.4	0.9	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.7
	2.5	0.6	0.4	1.1	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
	3.5	0.6	0.4	0.7	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7
	4.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7
B列	0.5	15.0	6.7	11.0	35.6	61.3	8.9	9.3	31.6	6.5
	1.5	3.1	3.0	3.6	14.3	39.8	2.4	1.4	6.1	35.4
	2.5	0.5	0.5	0.6	0.6	1.3	0.5	5.2	0.7	33.3
	3.5	0.5	0.4	0.8	0.4	0.7	0.5	0.5	0.5	1.3
	4.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.8	0.8
C列	0.5	13.8	18.0	29.6	32.1	33.4	20.5	27.3	17.2	10.0
	1.5	15.5	7.7	7.8	32.6	43.1	7.7	8.5	17.9	27.7
	2.5	3.1	0.6	0.7	1.6	19.8	3.6	2.1	5.2	25.2
	3.5	0.7	0.5	0.8	0.5	3.3	0.5	0.4	0.6	11.0
	4.5	0.5	0.5	0.4	0.6	1.1	0.4	0.4	0.5	3.0
D列	0.5	13.9	26.5	41.5	45.1	52.1	37.2	27.8	15.7	39.3
	1.5	15.2	9.5	16.8	43.3	35.0	15.3	12.5	24.0	42.6
	2.5	2.9	1.8	6.0	14.6	18.6	5.2	4.3	21.5	28.2
	3.5	0.7	0.6	0.9	1.0	9.7	0.7	1.9	1.8	20.0
	4.5	0.5	0.5	0.8	0.5	2.3	0.5	0.5	0.7	9.2
E列	0.5	46.4	69.1	64.6	56.0	52.8	92.7	88.7	24.9	59.8
	1.5	19.8	24.2	31.3	36.5	34.0	27.8	23.2	17.9	39.9
	2.5	8.3	10.3	13.8	17.3	17.3	16.5	10.2	13.3	29.5
	3.5	1.2	1.4	2.9	3.9	5.5	6.2	9.2	11.9	19.8
	4.5	0.7	0.7	1.0	1.4	2.1	0.9	1.6	2.7	11.9
F列	0.5	50.9	57.5	57.8	53.8	49.8	76.5	79.8	41.9	54.4
	1.5	22.5	26.8	32.3	35.6	31.9	33.5	29.1	19.7	44.3
	2.5	7.6	11.2	14.8	18.7	18.6	18.4	13.2	13.9	32.8
	3.5	1.4	1.8	4.1	4.5	6.8	7.7	10.3	11.6	21.2
	4.5	0.7	0.9	1.2	1.6	2.7	1.2	2.9	3.9	12.6

表-4.7 数値流体解析条件

乱流モデル	$k-\varepsilon$ モデル
レイノルズ数	$Re = \frac{vD}{\nu} = 1.0 \times 10^6$
解析領域 および 境界条件	

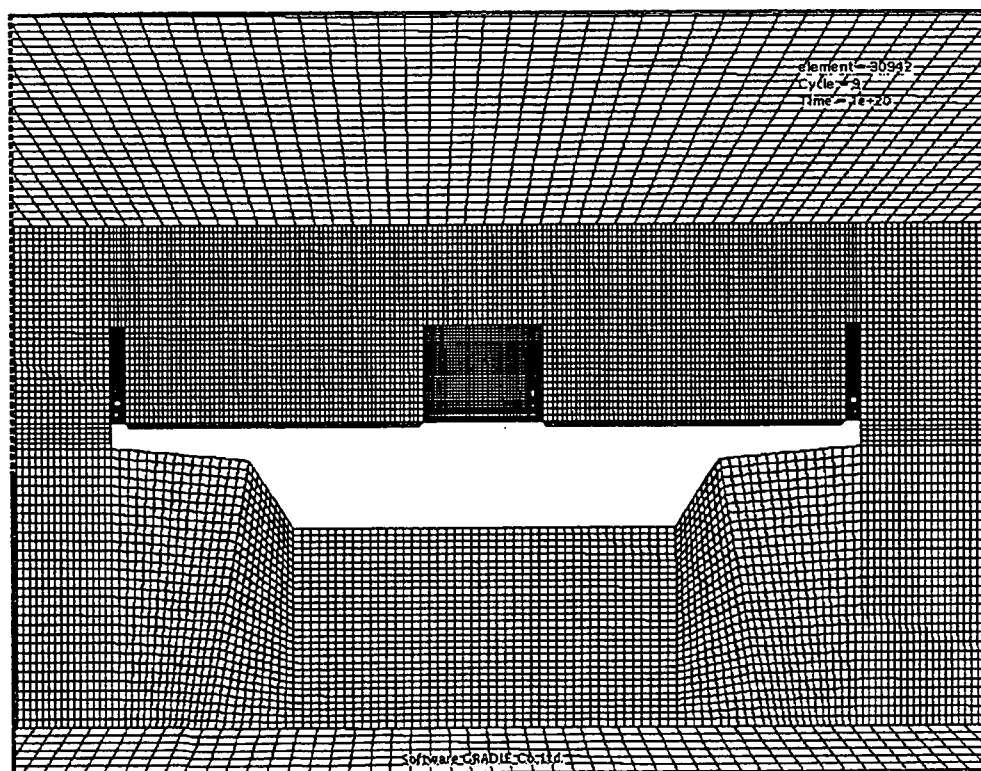


図-4.5 解析メッシュ図

CASE2-1 橋梁防護柵【●:実験値 実線:解析値】 CASE2-5 フェンス100%,1.1m【▲:実験値 点線:解析値】

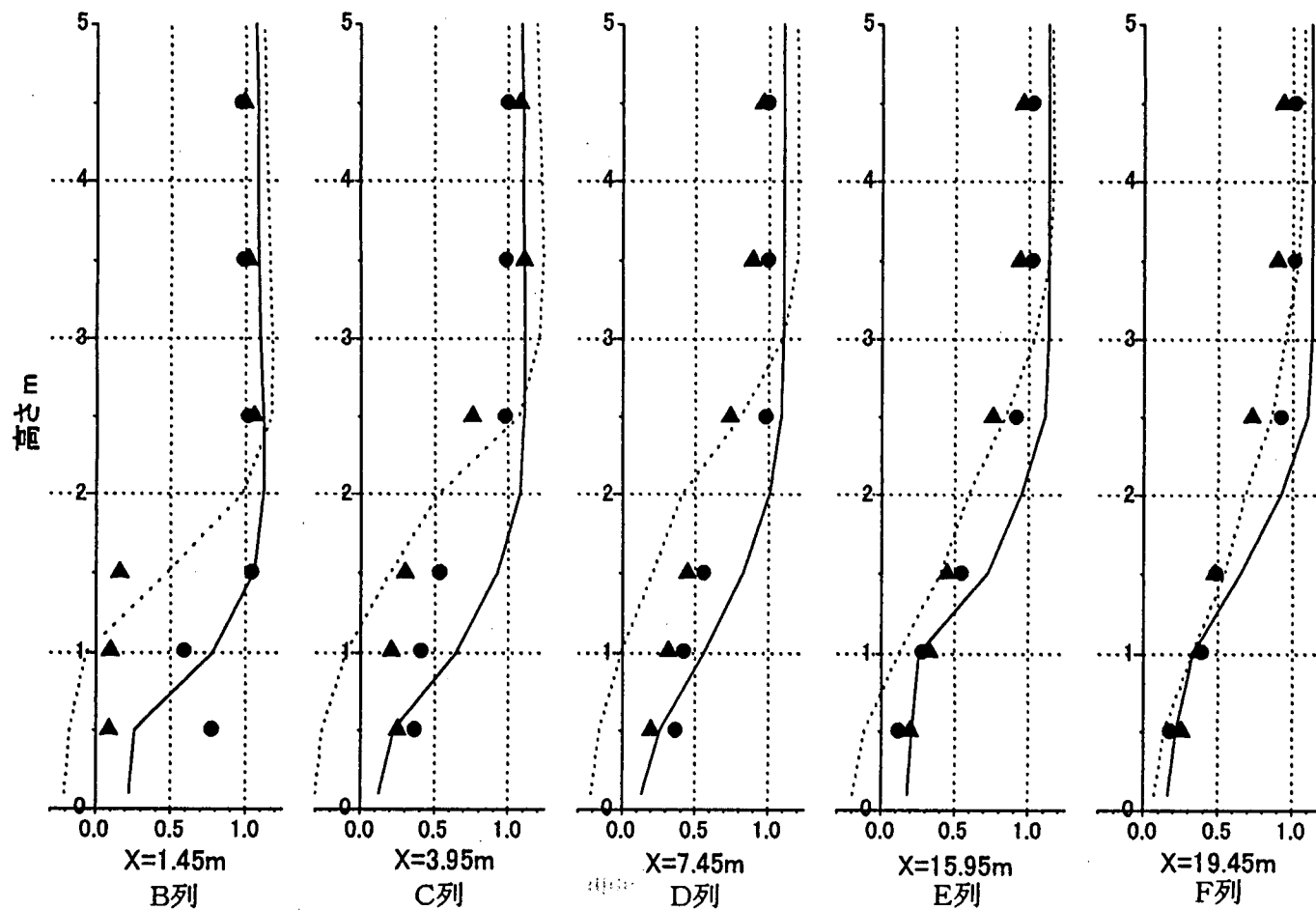


図-4.6 数値流体解析結果

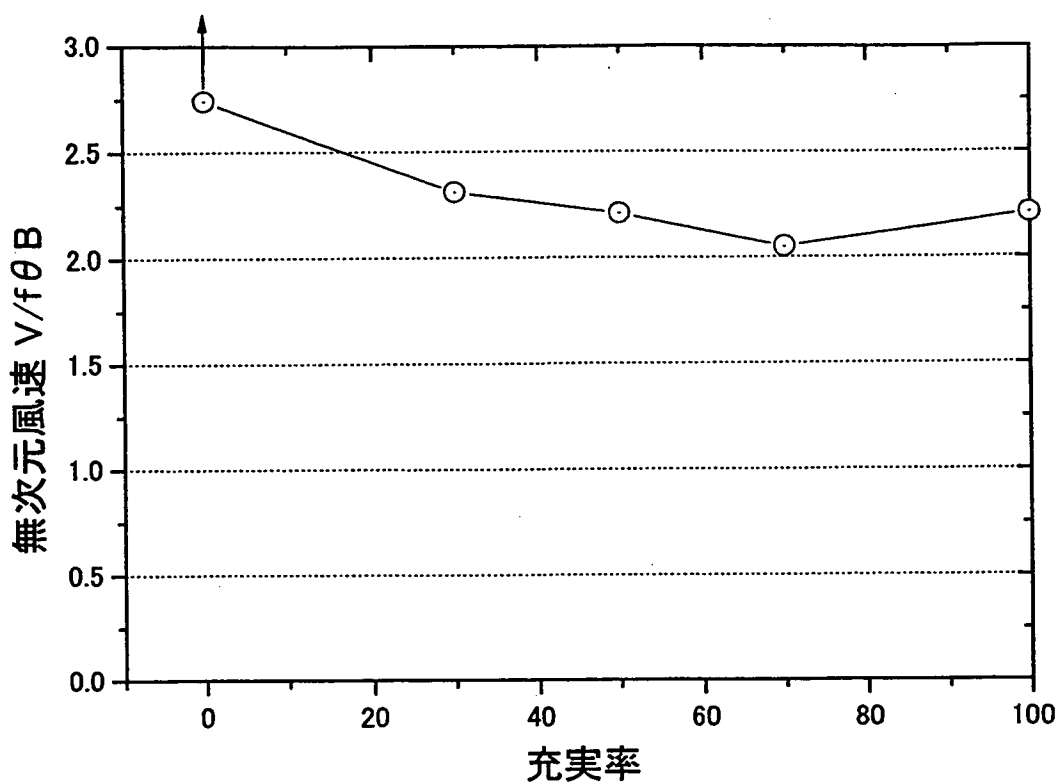


図-4.7 強風対策工の充実率とフラッター発現風速の関係 (迎角+3deg)

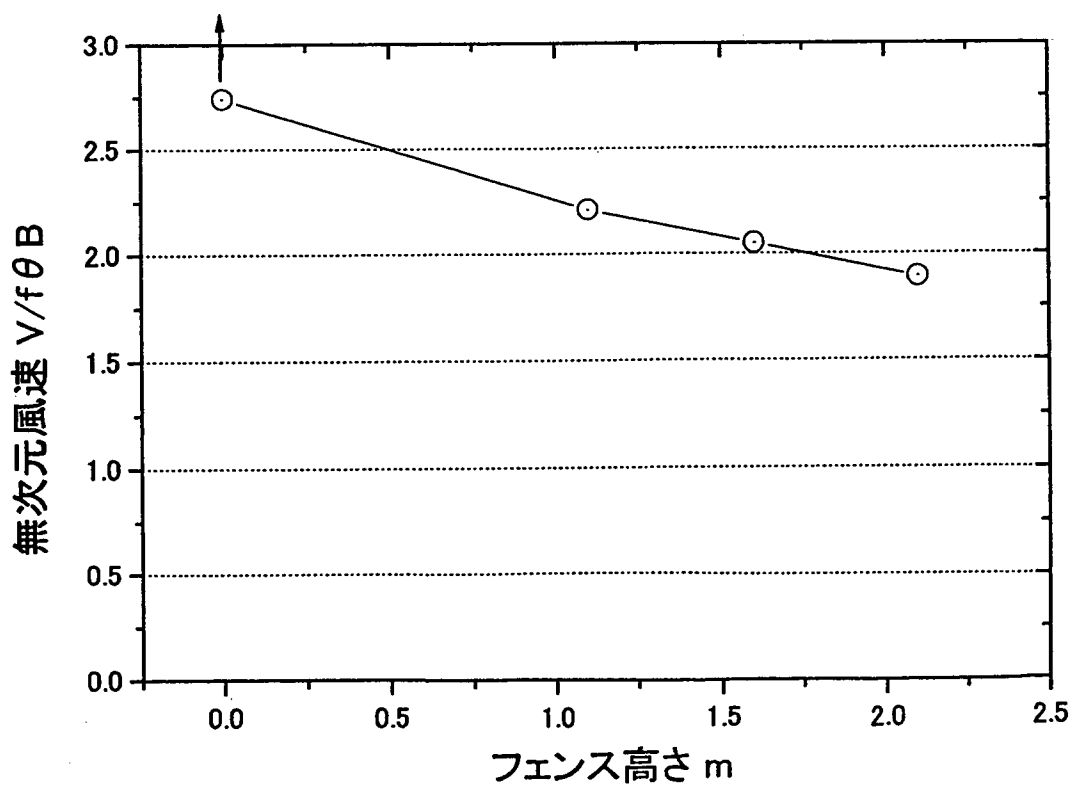


図-4.8 強風対策工の高さとフラッター発現風速の関係 (迎角+3deg)

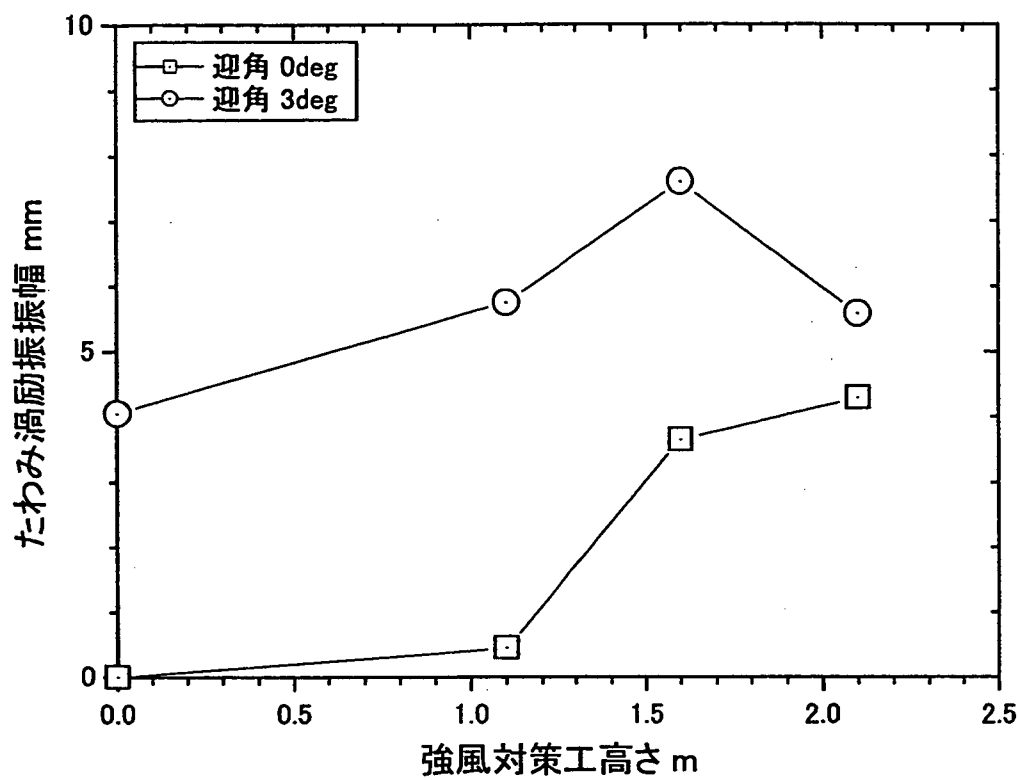


図-4.9 強風対策工高さとたわみ渦励振振幅の関係

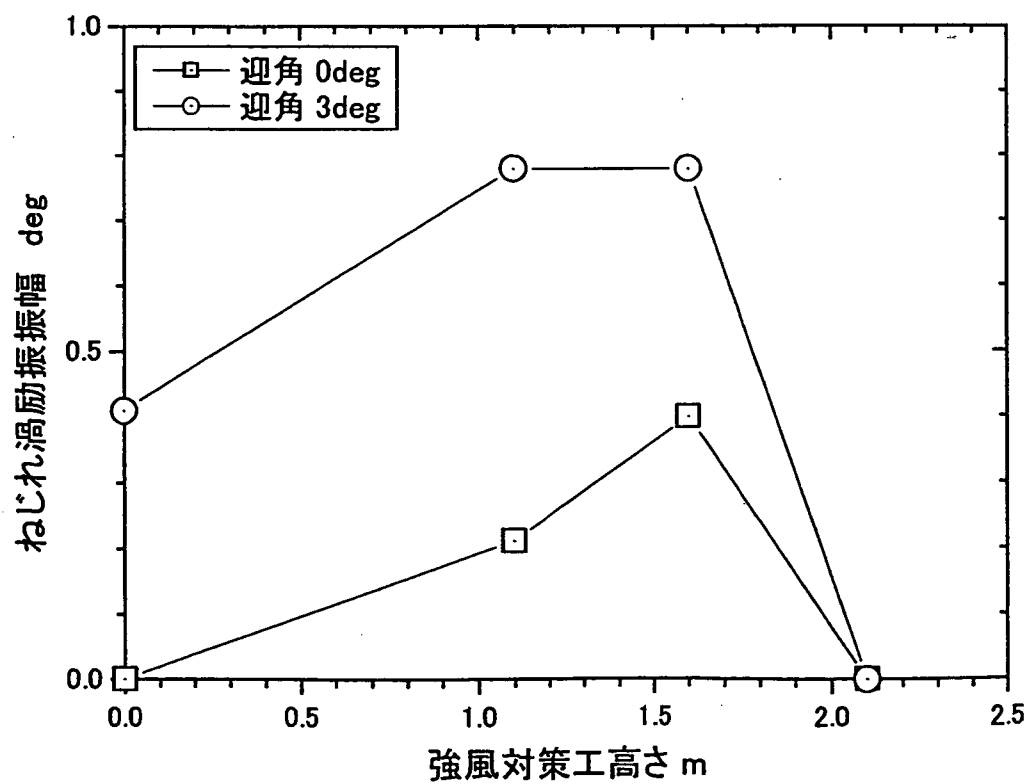


図-4.10 強風対策工高さとねじれ渦励振振幅の関係

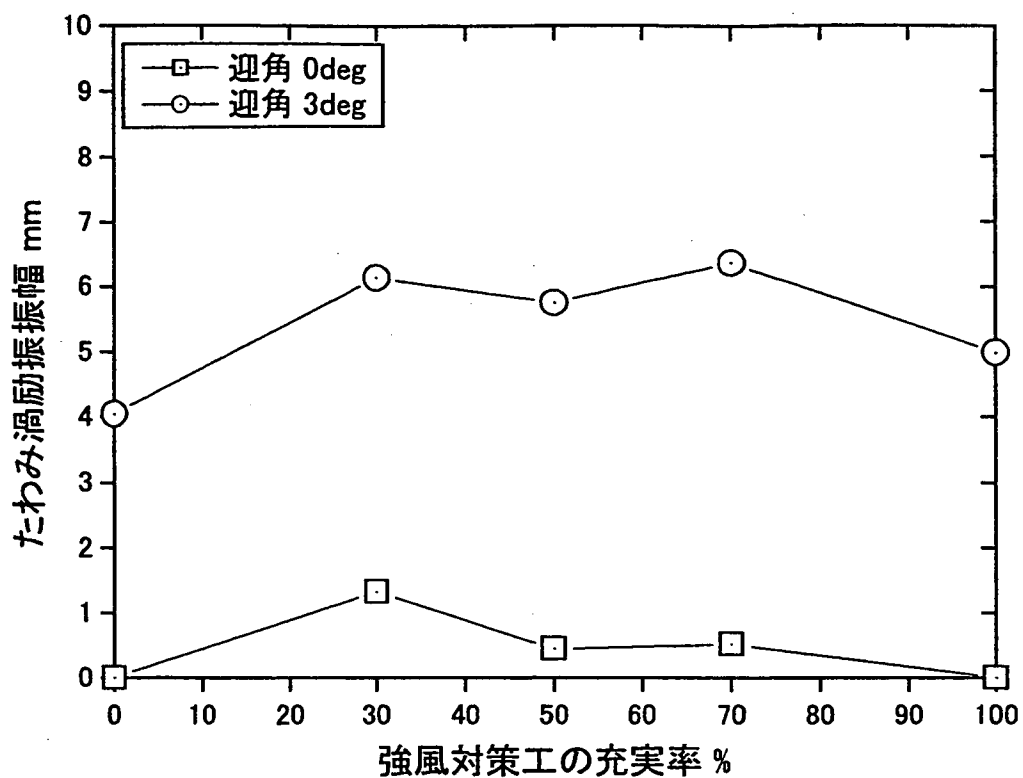


図-4.11 強風対策工の充実率とたわみ渦励振振幅の関係

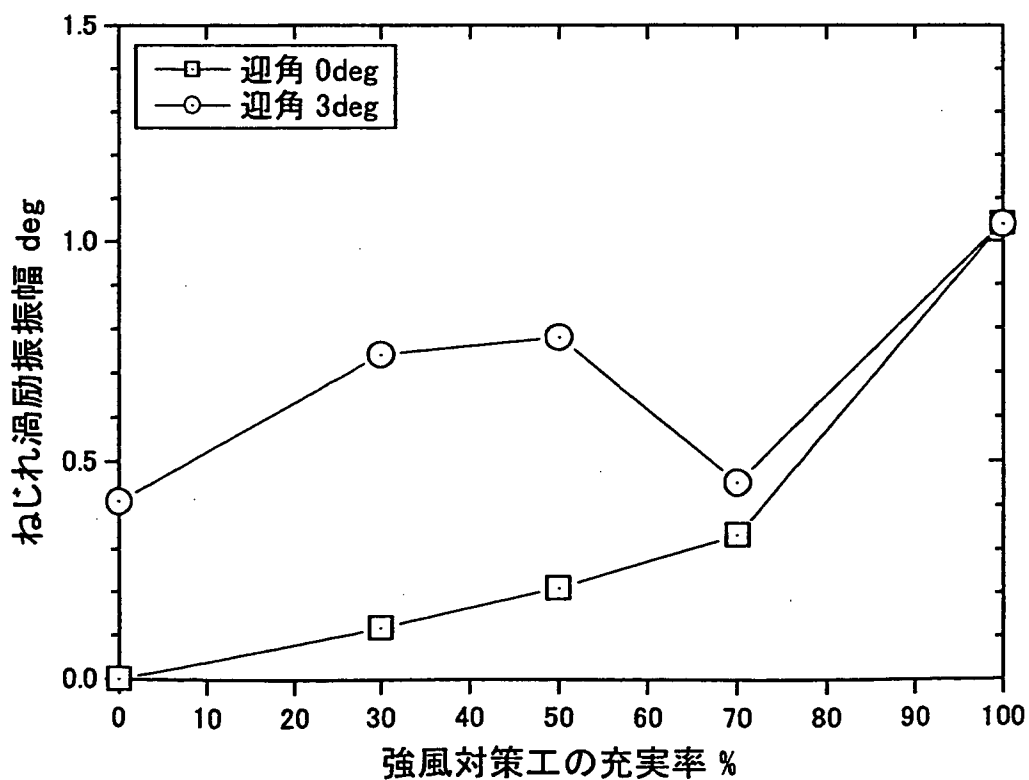


図-4.12 強風対策工の充実率とねじれ渦励振振幅の関係

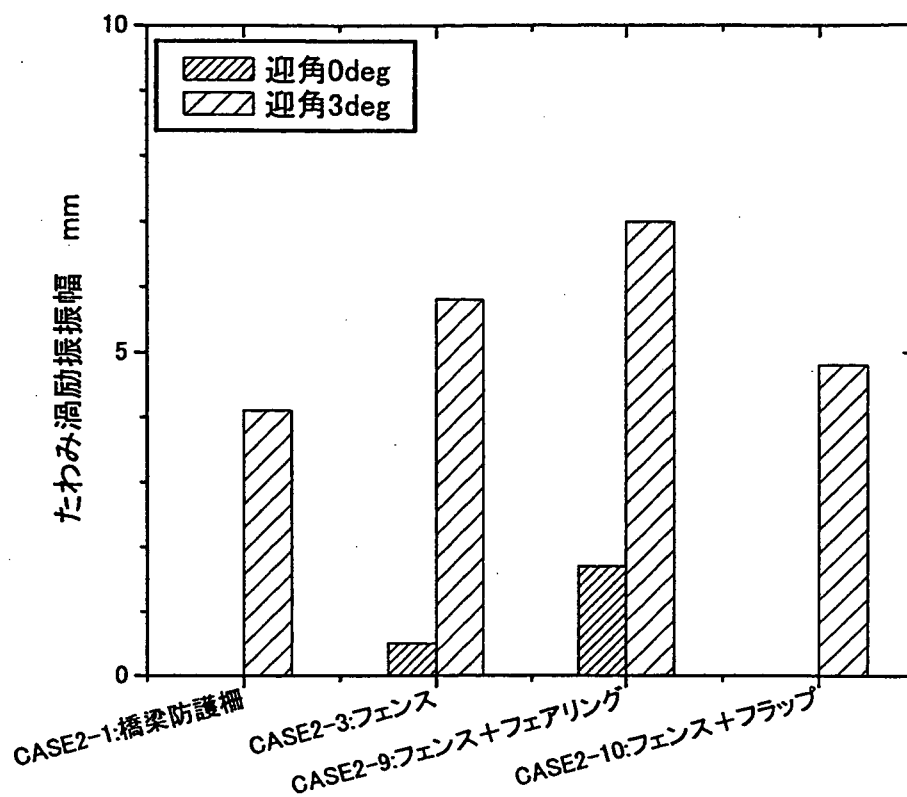


図-4.13 フェアリングおよびフラップのたわみ渦励振への影響

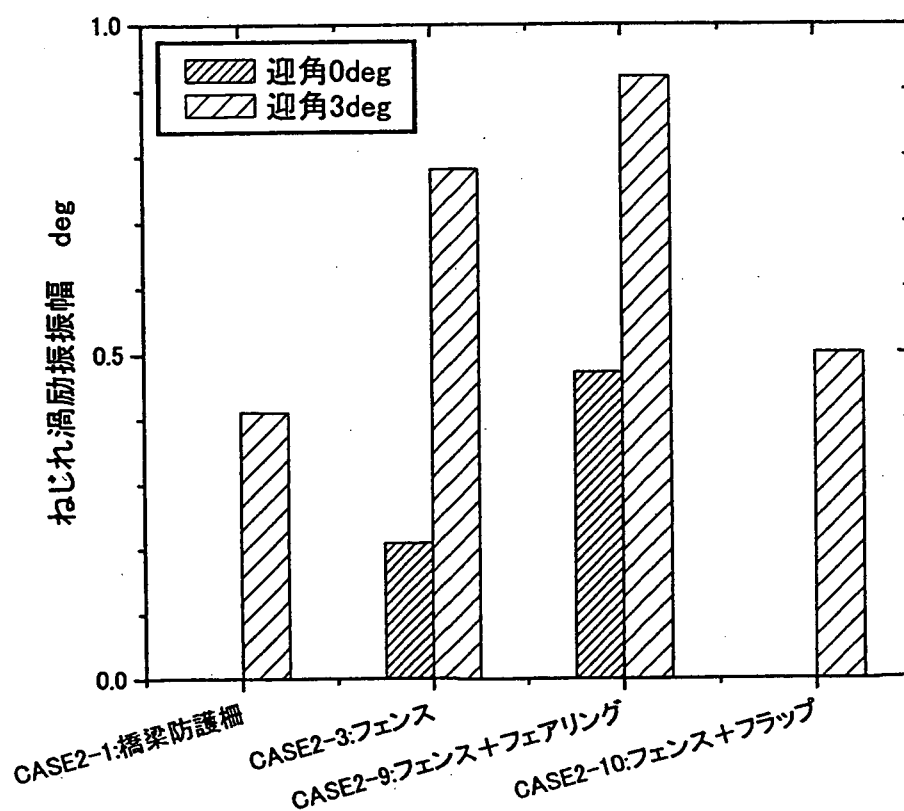


図-4.14 フェアリングおよびフラップのねじれ渦励振への影響

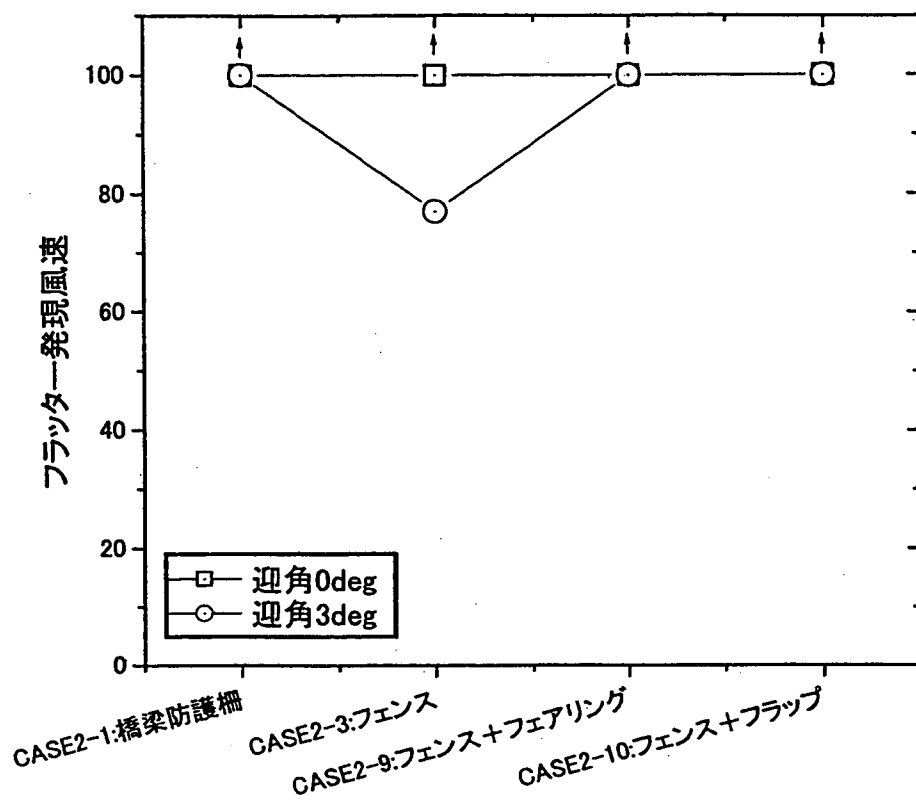


図-4.15 フェアリングおよびフラップのフラッター発現風速への影響

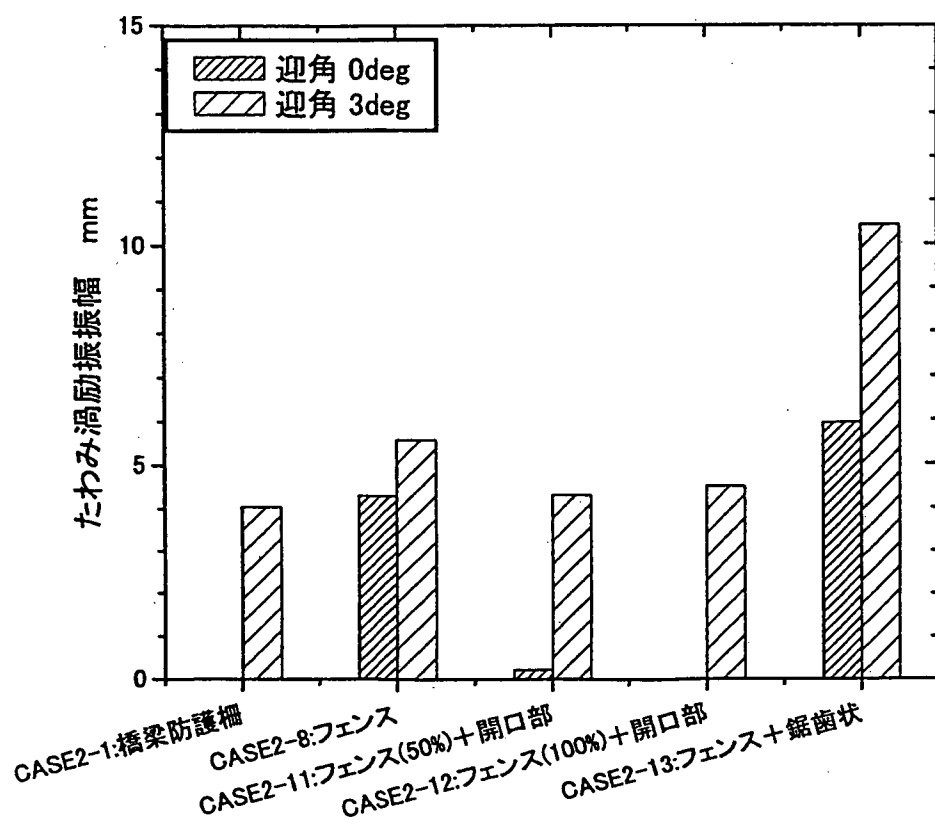


図-4.16 開口部および鋸歯状のたわみ渦励振への影響

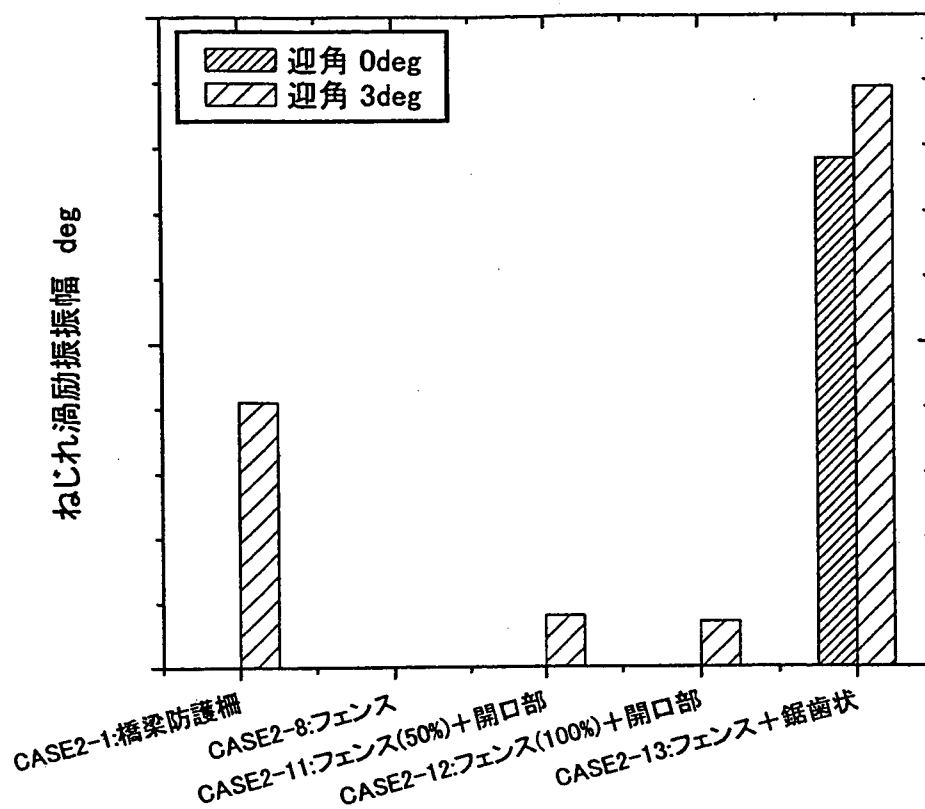


図-4.17 開口部および鋸歯状のねじれ渦励振への影響

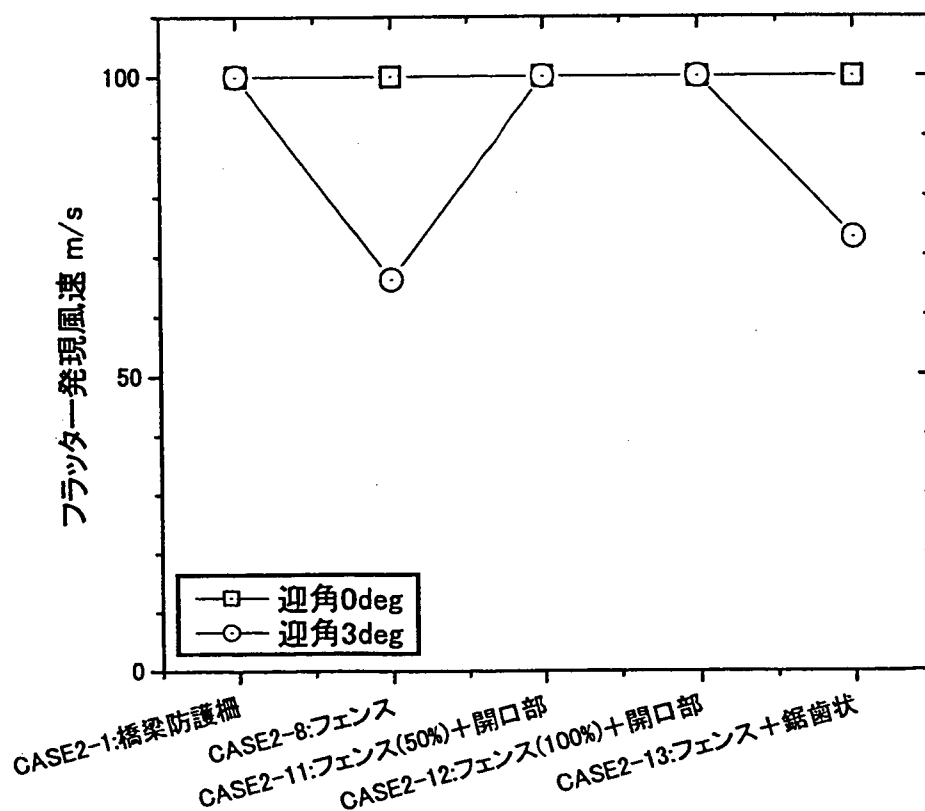


図-4.18 開口部および鋸歯状のフラッター発現風速への影響

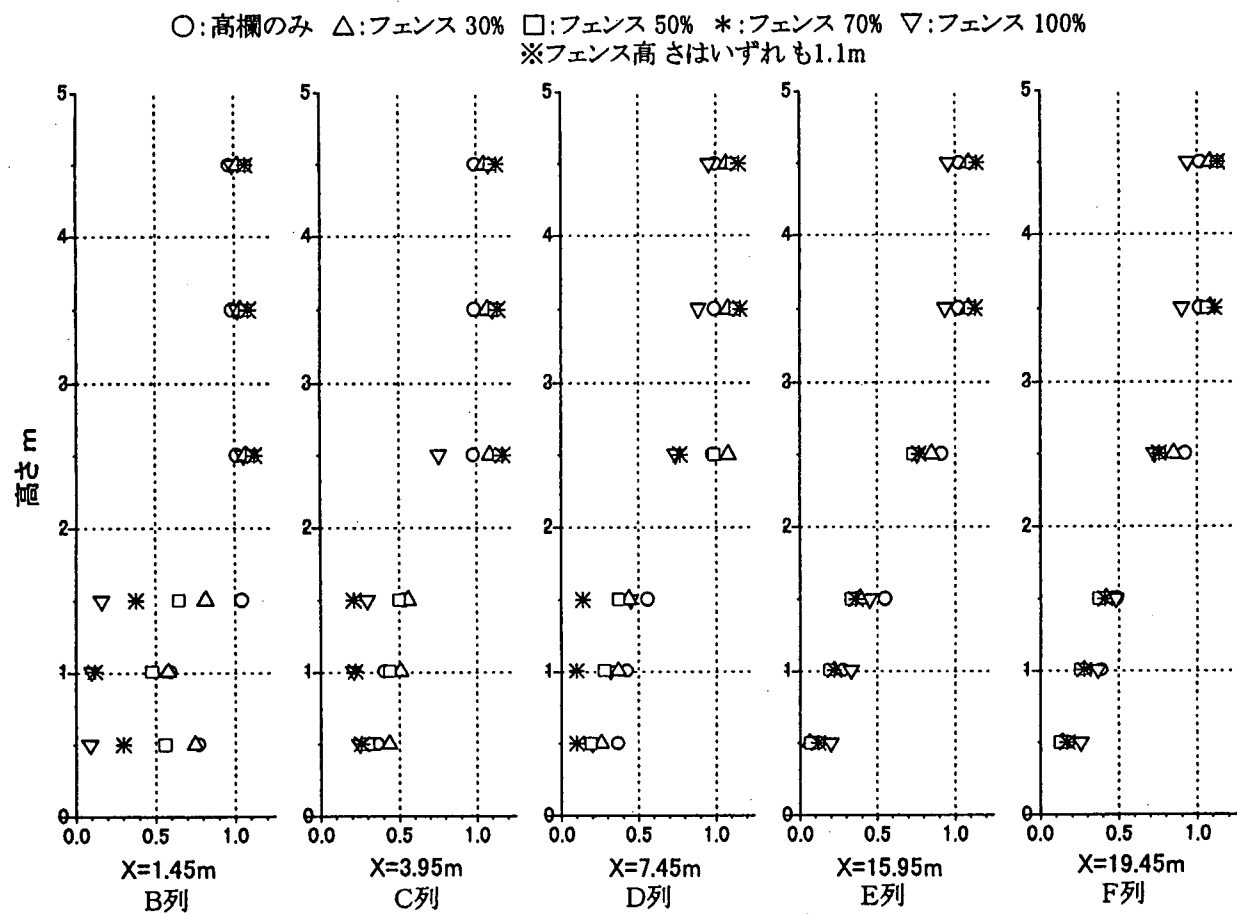


図-4.19 強風対策工の充実率と防風効果

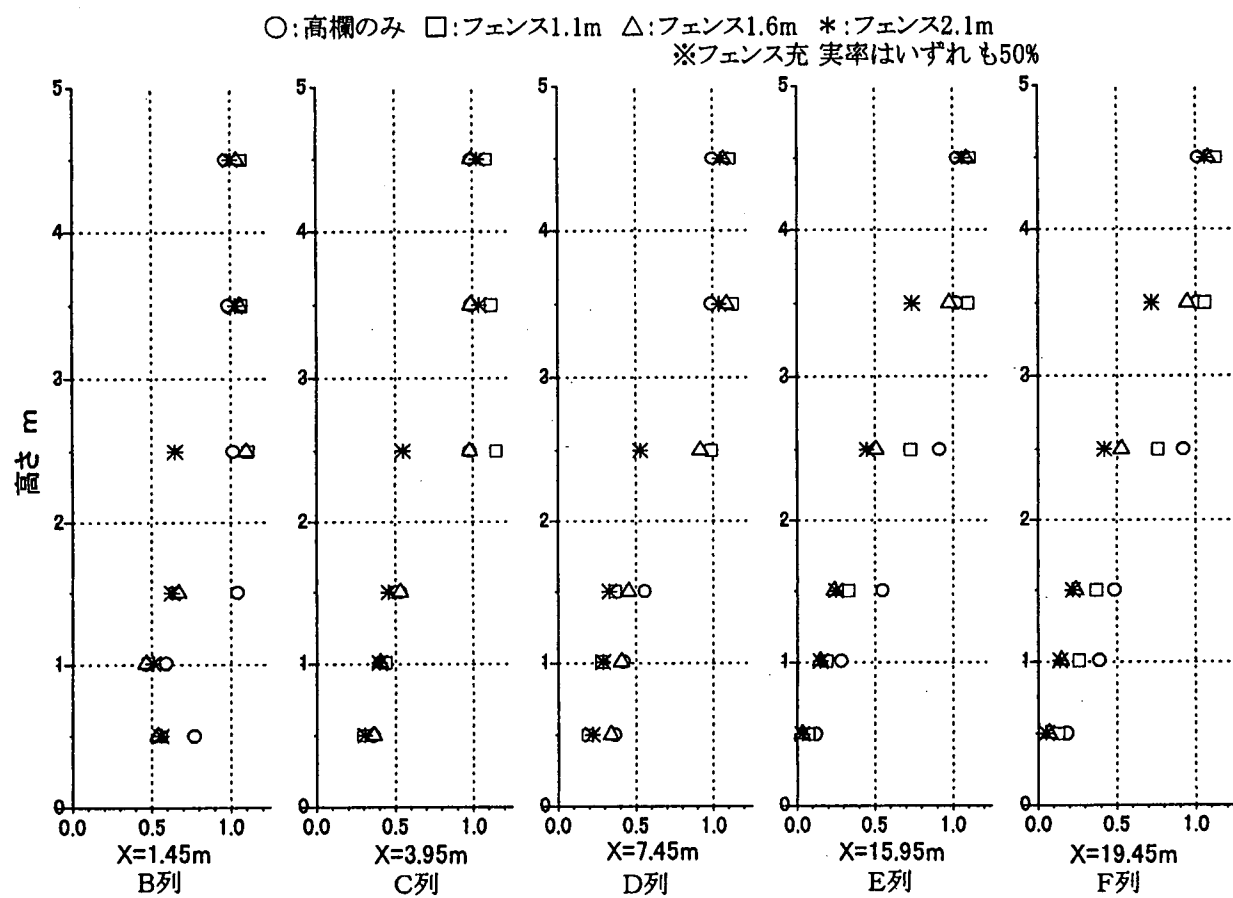


図-4.20 強風対策工の高さと防風効果

□ CASE2-1 橋梁防護柵 高さ1.1m ○ CASE2-8 フェンス 高さ2.1m 充実率50%
 △ CASE2-11 フェンス 高さ2.1m 充実率50%下部1m開口 ▽ CASE2-12 フェンス 高さ2.1m 充実率100% 下部1m開口

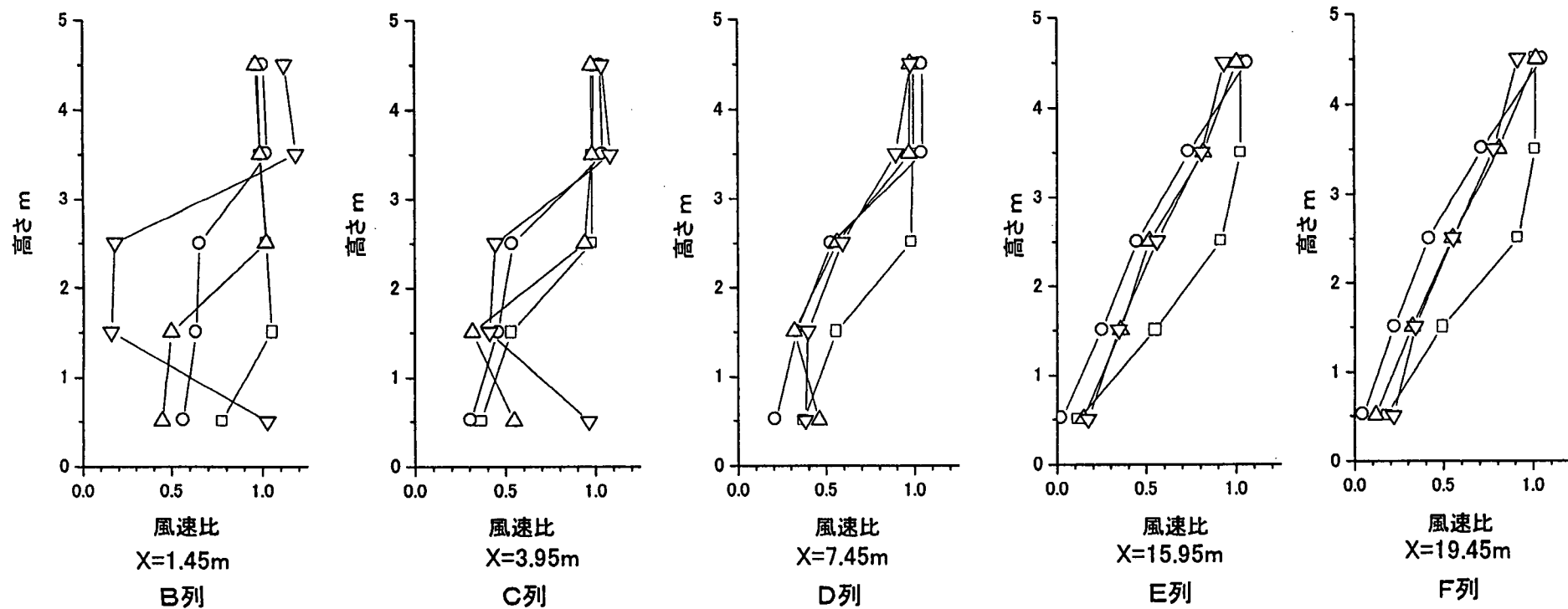


図-4.21 開口部を設けた強風対策工の防风効果

5. まとめ

以下に、本研究の成果をまとめる。

- (1) 連続箱桁橋断面および斜張橋断面において、たわみ渦励振振幅は強風対策工の高さとともに増加したが、強風対策工の充実率とは有意な関係が見られなかった。
- (2) 連続箱桁橋断面および斜張橋断面において、充実率が大きく、高い強風対策工ほど良い減風効果を示す。
- (3) 斜張橋断面を対象とした検討で、強風対策工の高さ、充実率の増加とともに、フラッター発現風速は低下し、ねじれ渦励振振幅は増大した。
- (4) 斜張橋断面では路面付近を開口した適切な充実率の防風フェンスを設置することにより、良い耐風安定性および減風効果が得られる。
- (5) 斜張橋断面を対象とした数値流体解析結果は、気流計測結果をほぼ再現しており、橋梁断面まわりの風速分布予測に数値流体解析が有効であることが分かった。ただし、上流側対策工付近の風速分布が風洞実験結果と異なるため、適切な解析条件を求め精度を向上する必要がある。

参考文献

- 1) 土木研究所構造研究室；米山地区強風対策模型実験報告書；土木研究所資料第 1554 号；昭和 55 年 2 月
- 2) 永田 伸之他；米山大橋取り付け部における強風対策調査について；第 13 回日本道路会議論文集
- 3) 相馬 清二；強風による自動車事故について；日本風工学会誌 第 15 号；昭和 58 年 2 月
- 4) 伊藤 学；風のはなしⅡ；技報堂出版
- 5) 本州四国連絡橋公団、(財) 海洋架橋調査会；海峡部長大橋の横風対策に関する検討業務報告書；平成 10 年 3 月
- 6) J. GANDEMER；WIND SHELTERS；Journal of Industrial Aerodynamics；1979

巻 末 資 料

付図－ 1 箱桁模型 バネ支持実験 V－A図

付図・1.1～付図・1.13

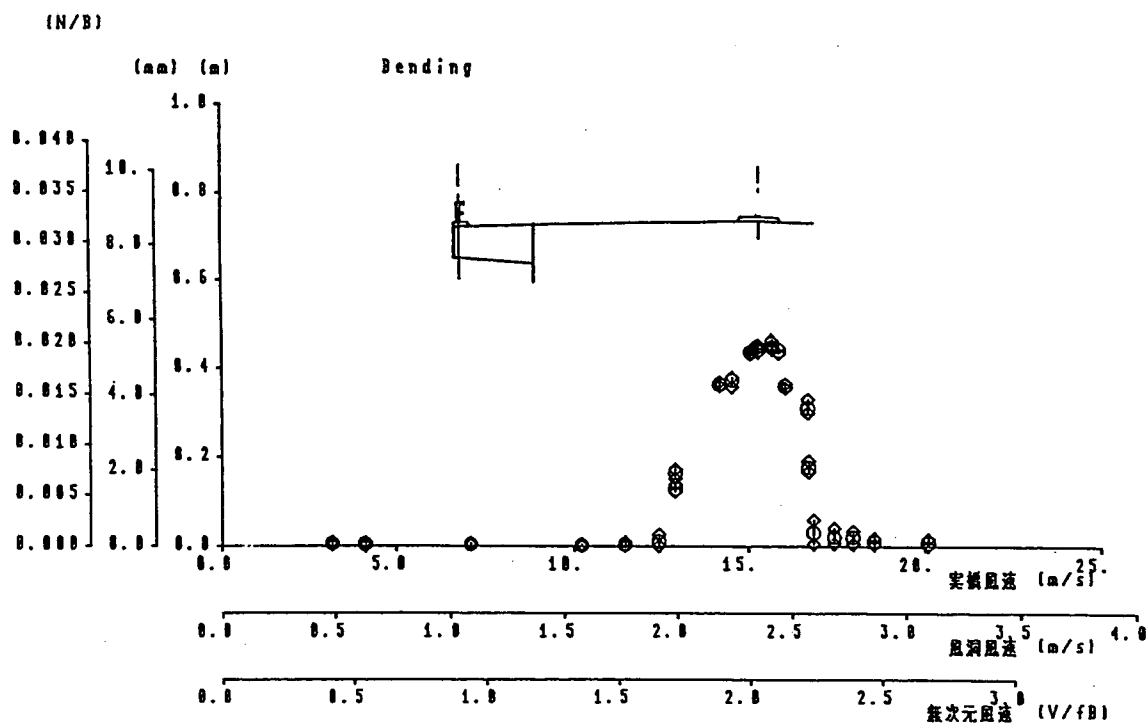
付図－ 2 斜張橋断面模型 バネ支持実験 V－A図

付図・2.1～付図・2.52

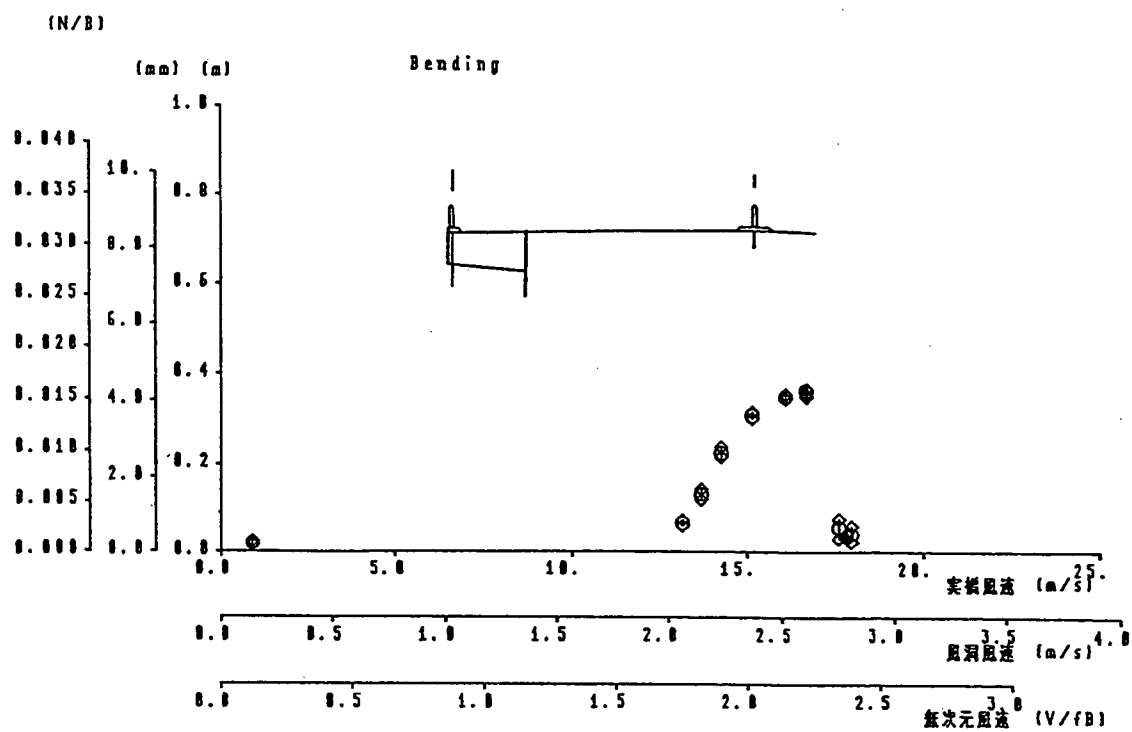
付図－ 3 強風対策工模型詳細図

付図・3.1～付図・3.9

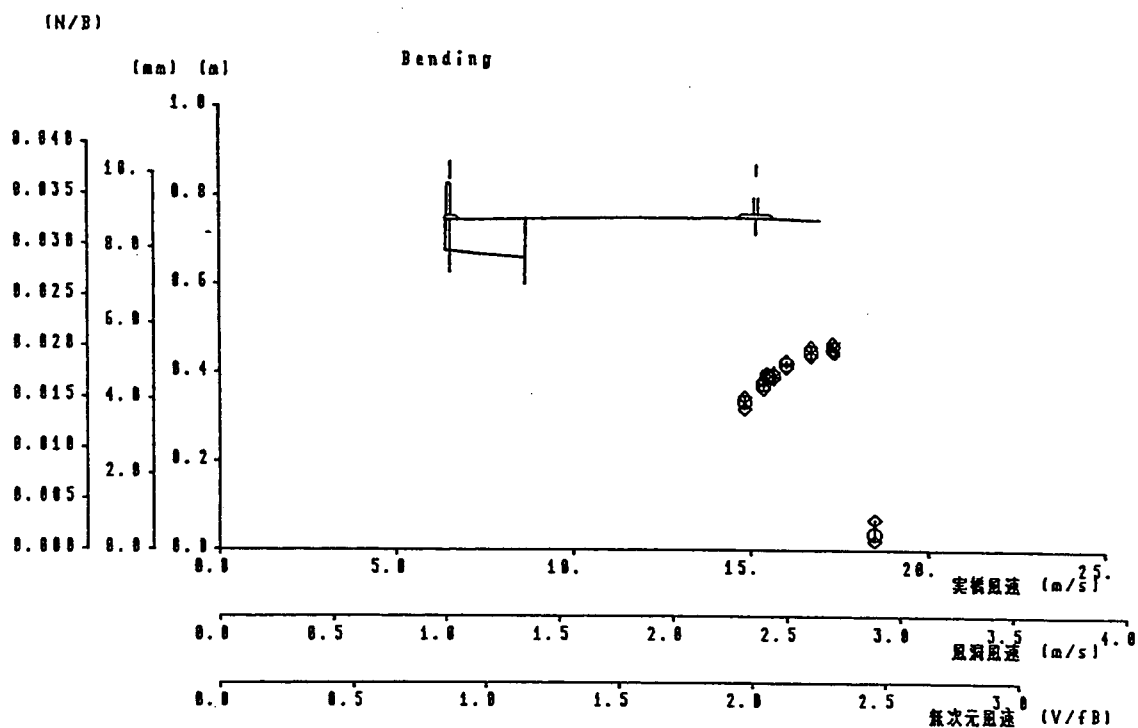
写真 実験状況



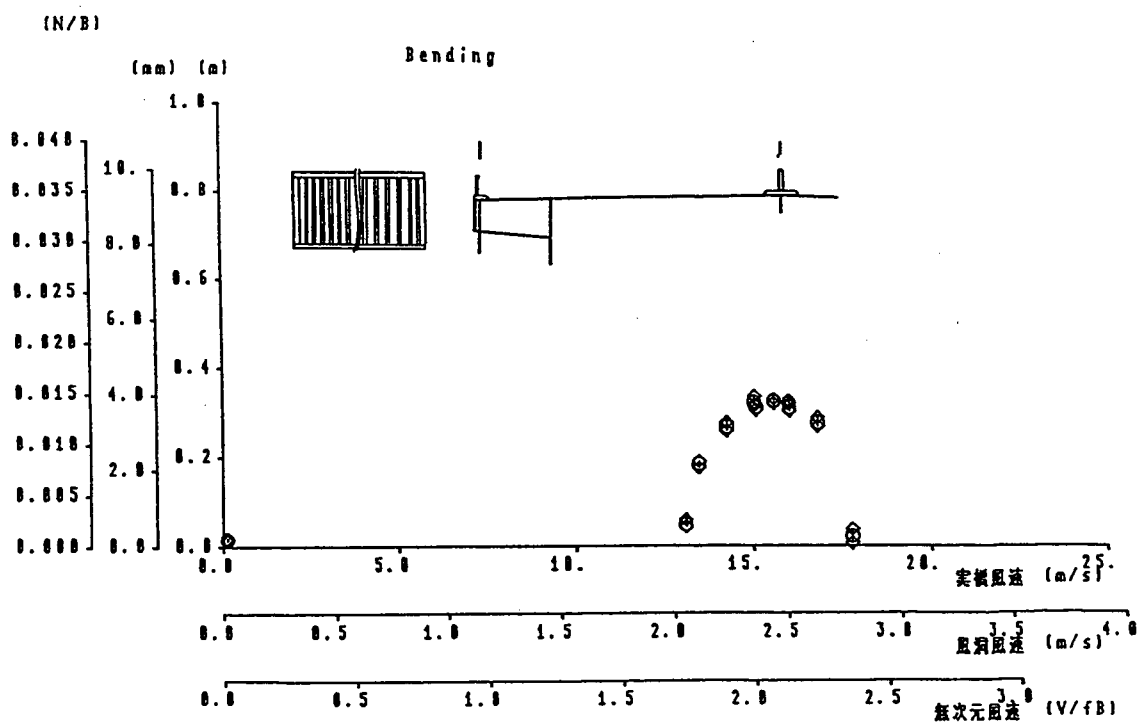
付図-1.1 風速—振幅曲線 (CASE1-1)



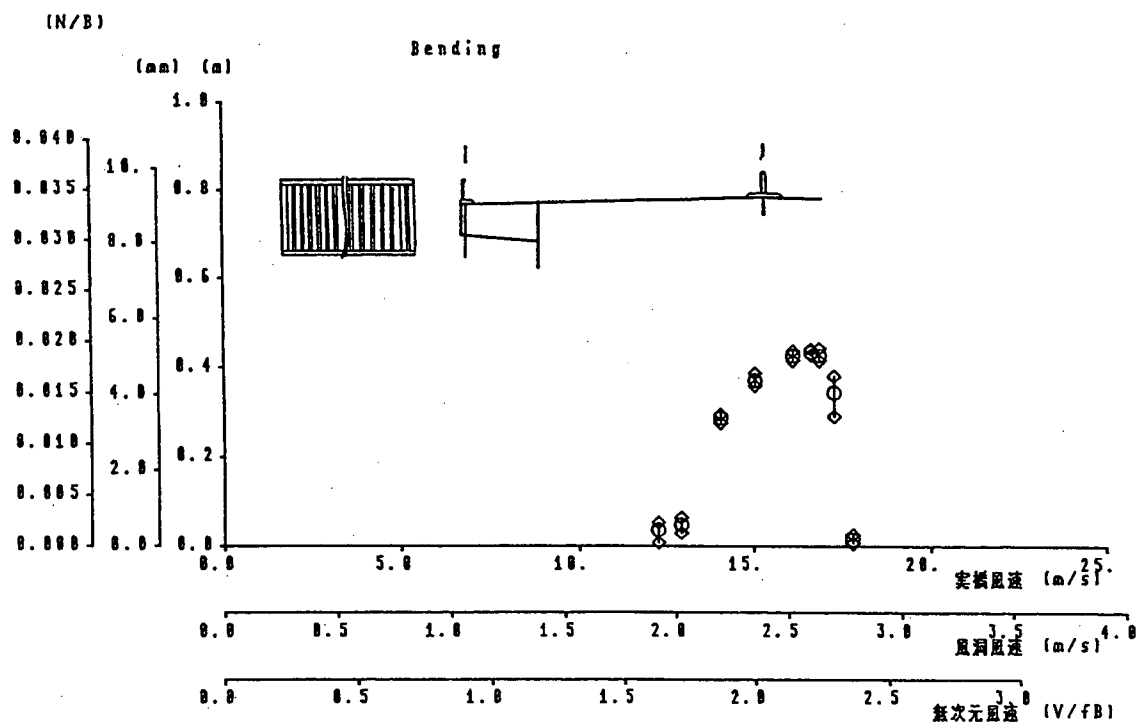
付図-1.2 風速—振幅曲線 (CASE1-2)



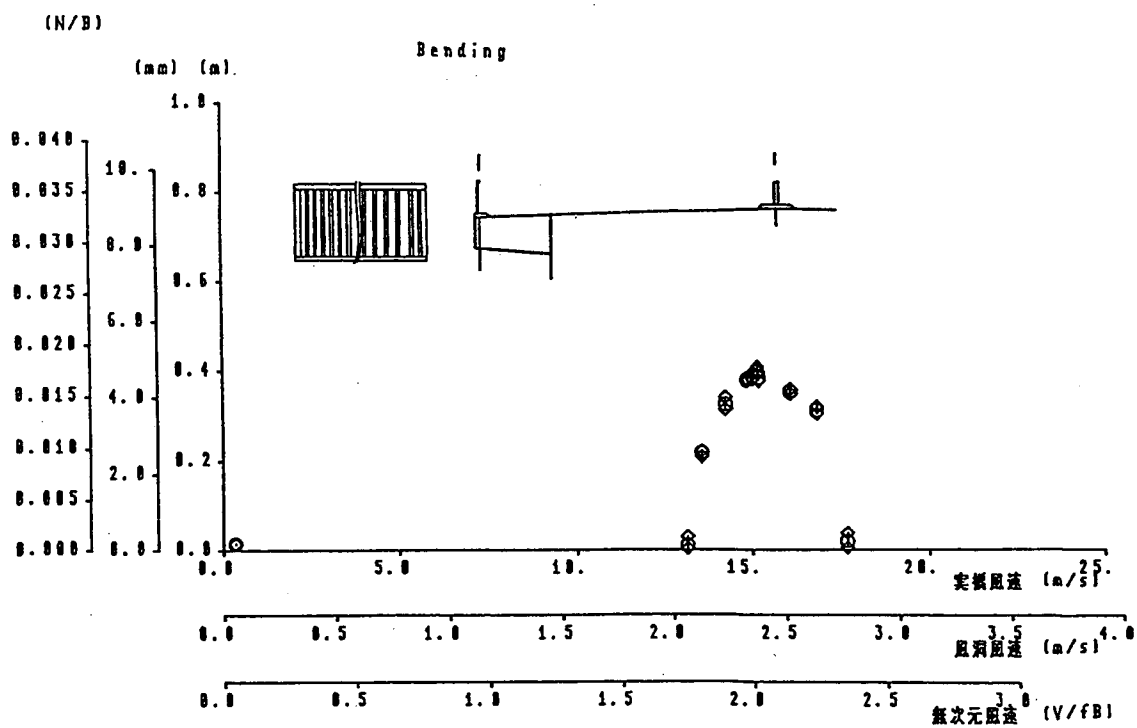
付図-1.3 風速-振幅曲線 (CASE1-3)



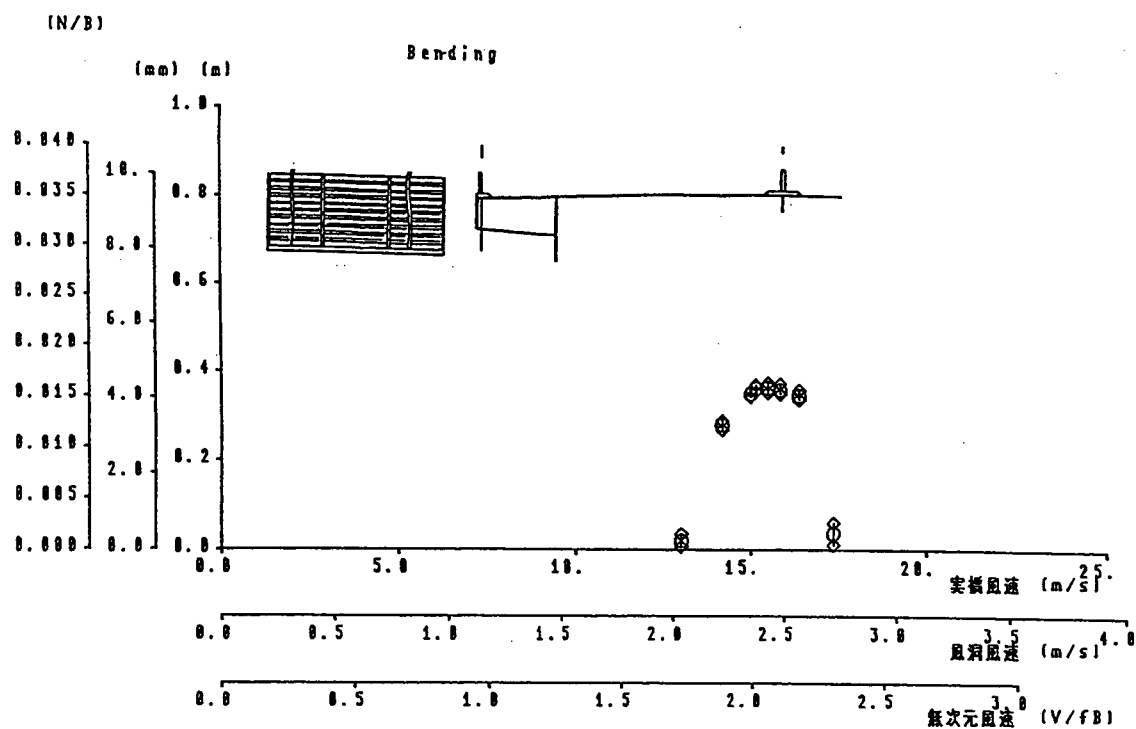
付図-1.4 風速-振幅曲線 (CASE1-4)



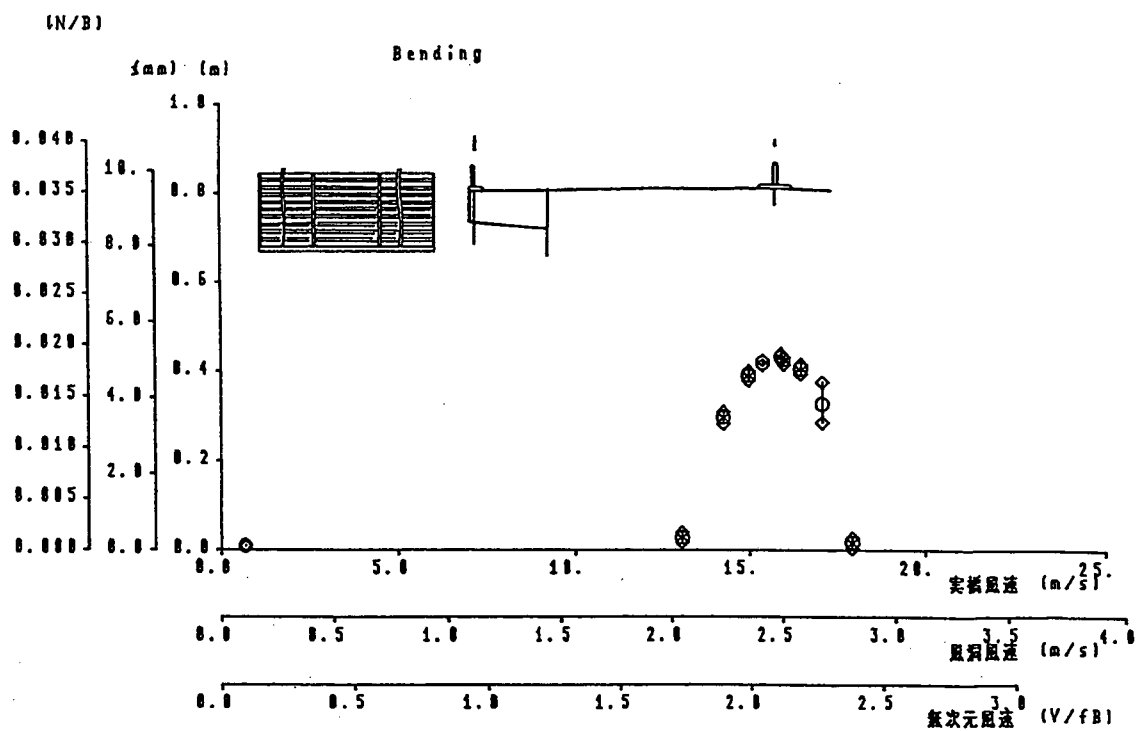
付図-1.5 風速—振幅曲線 (CASE1-5)



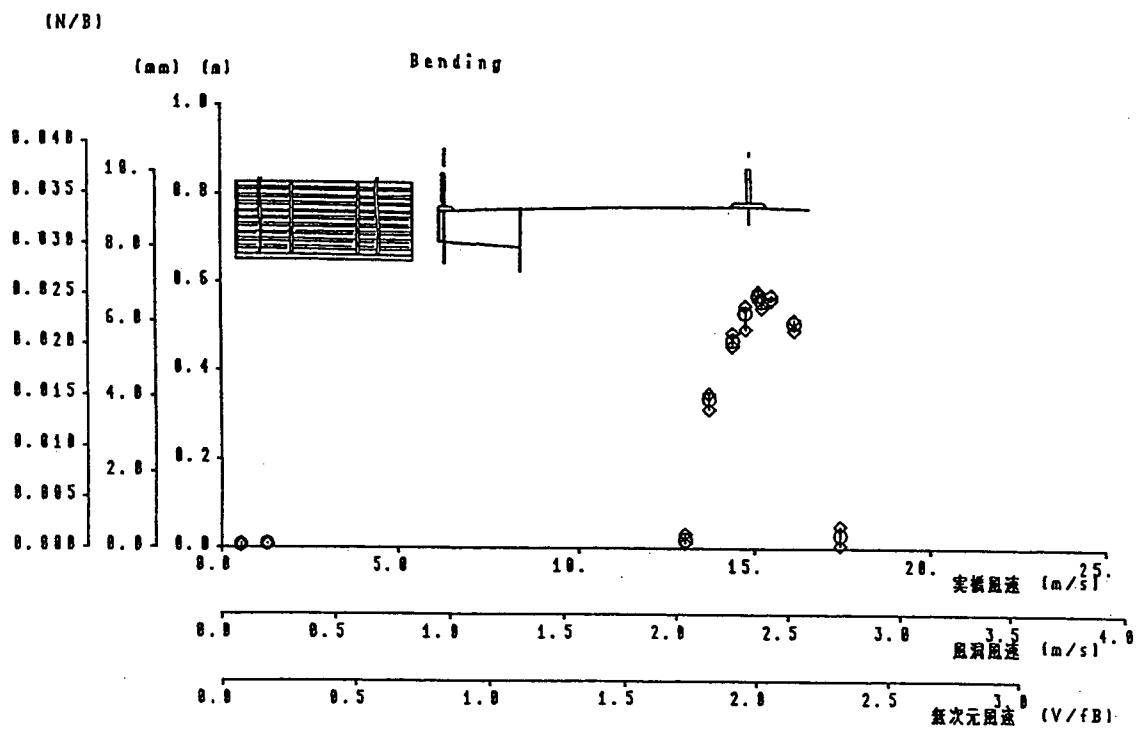
付図-1.6 風速—振幅曲線 (CASE1-6)



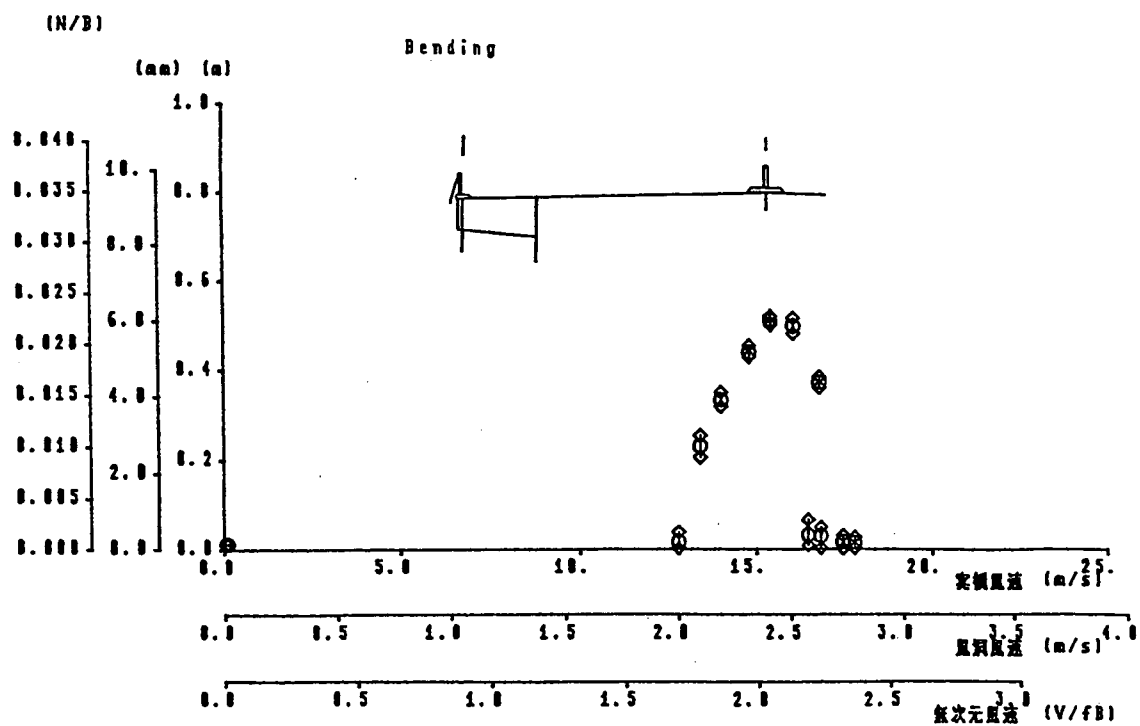
付図-1.7 風速—振幅曲線 (CASE1-7)



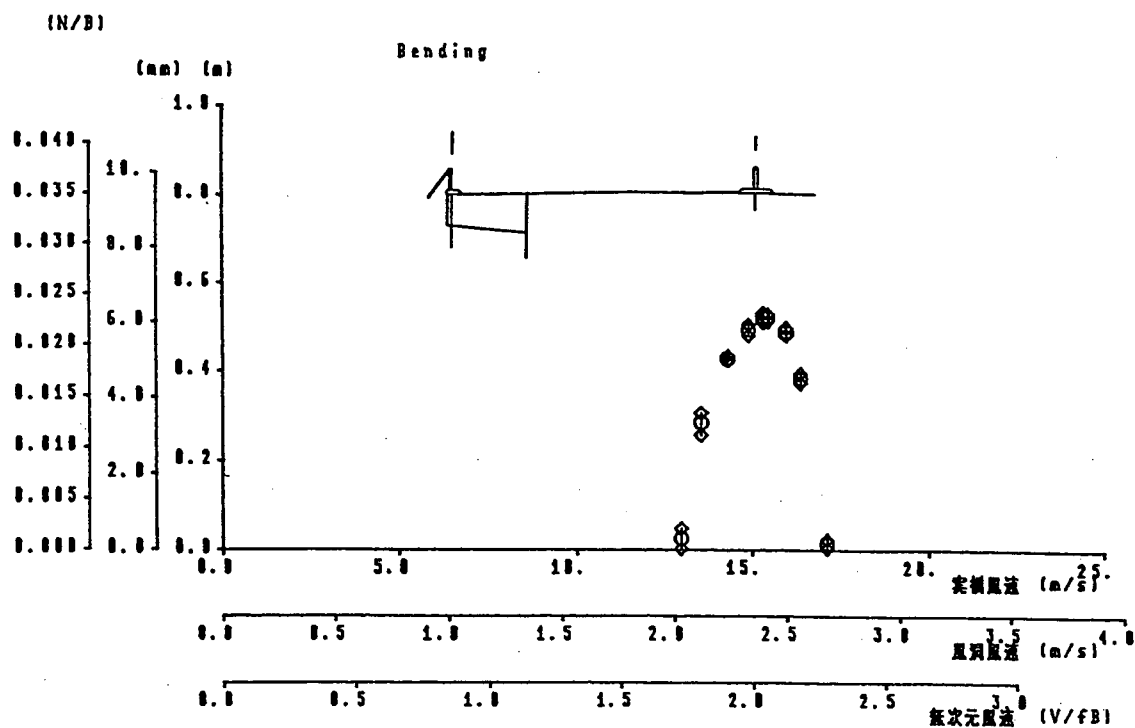
付図-1.8 風速—振幅曲線 (CASE1-8)



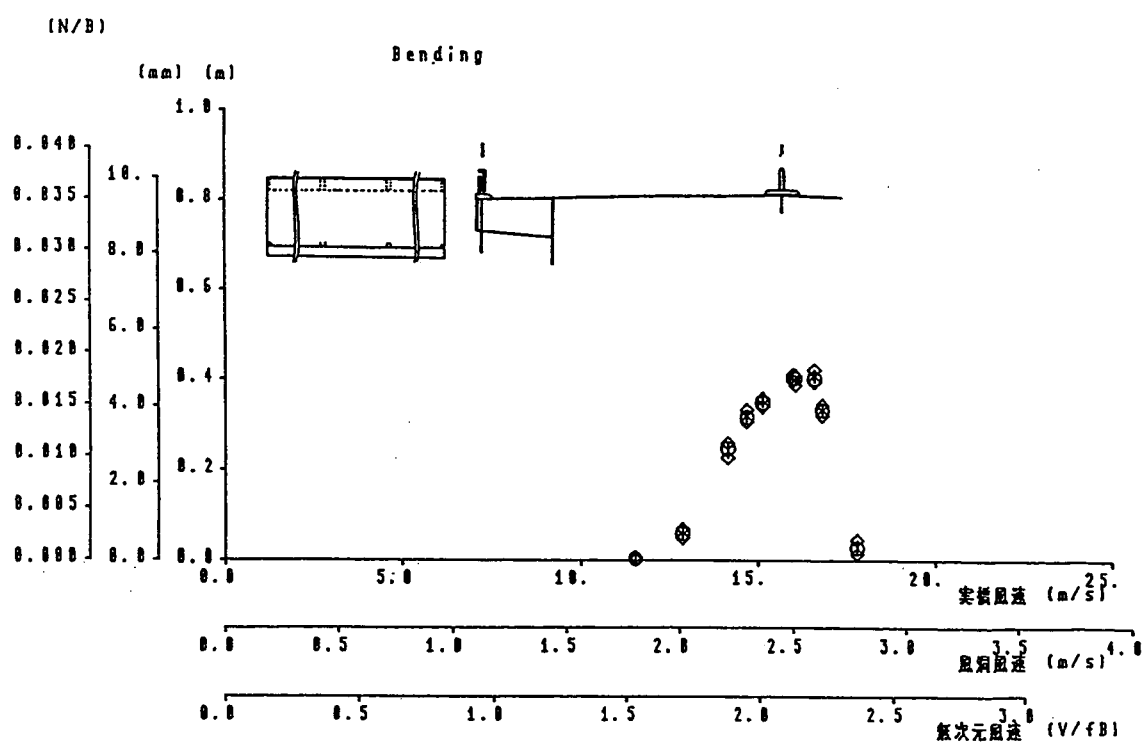
付図-1.9 風速—振幅曲線 (CASE1-9)



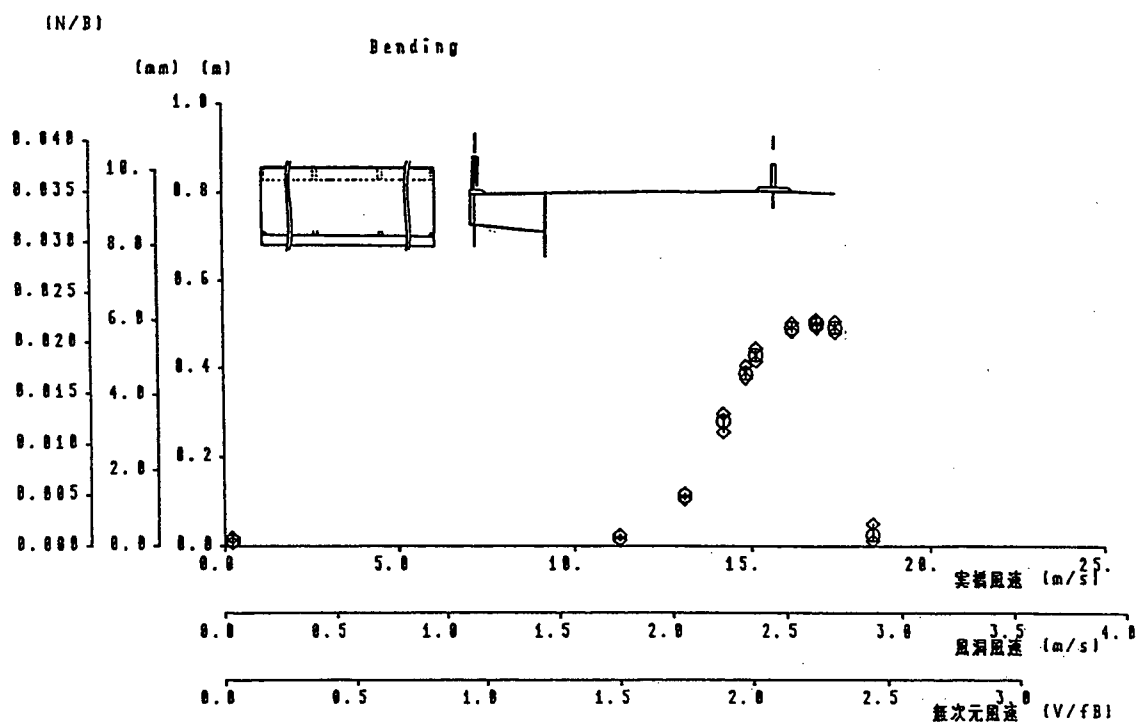
付図-1.10 風速—振幅曲線 (CASE1-10)



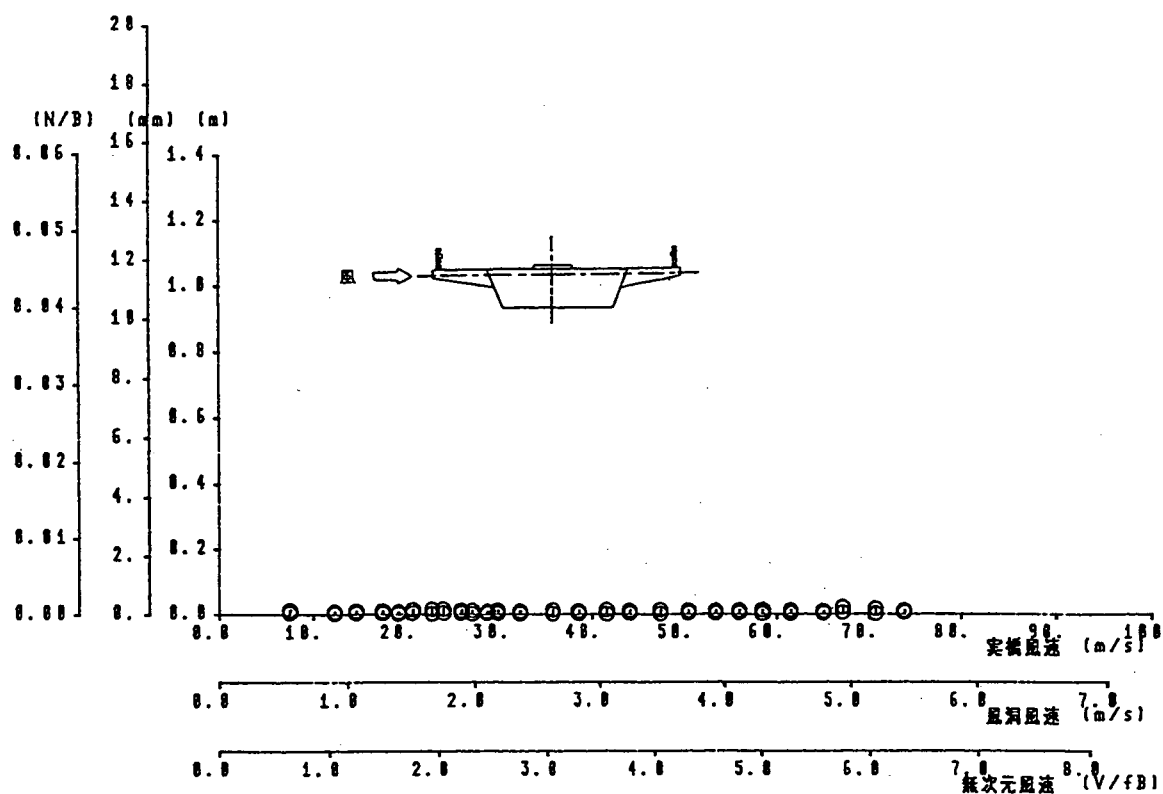
付図-1.11 風速-振幅曲線 (CASE1-11)



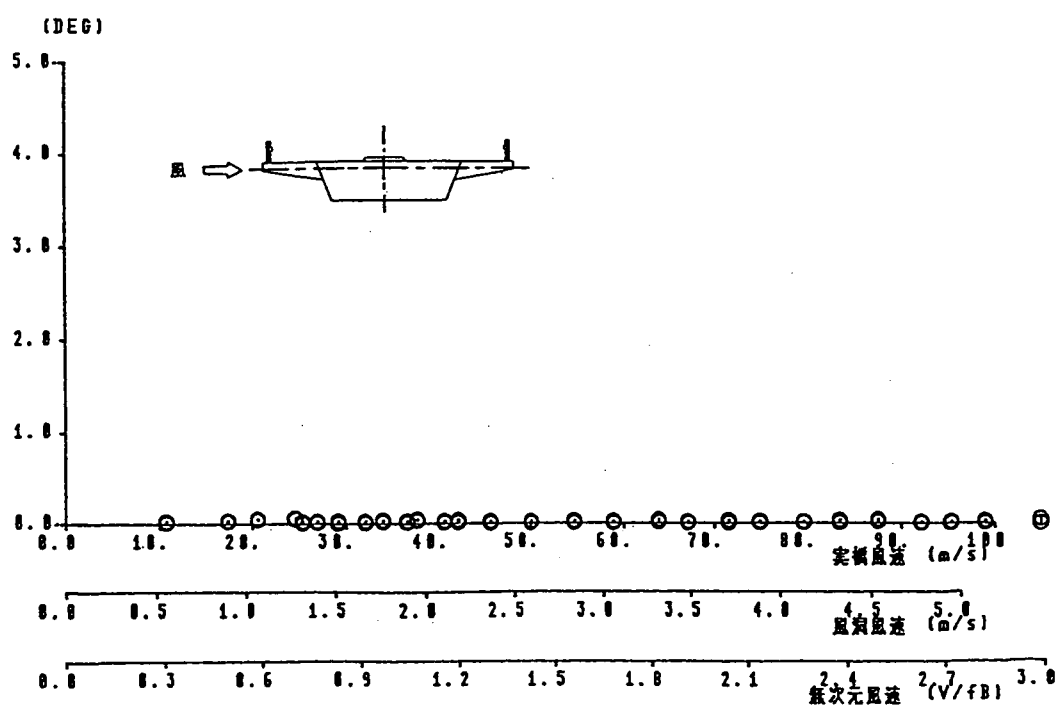
付図-1.12 風速-振幅曲線 (CASE1-12)



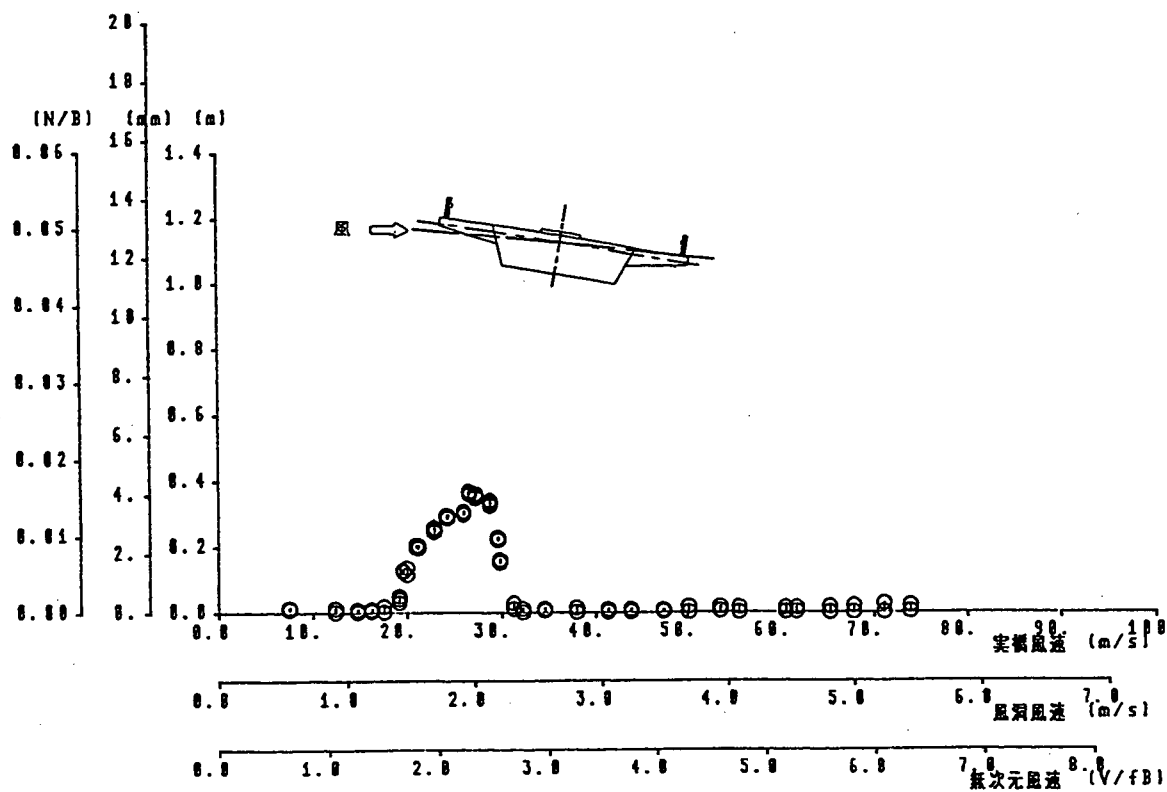
付図-1.13 風速—振幅曲線 (CASE1-13)



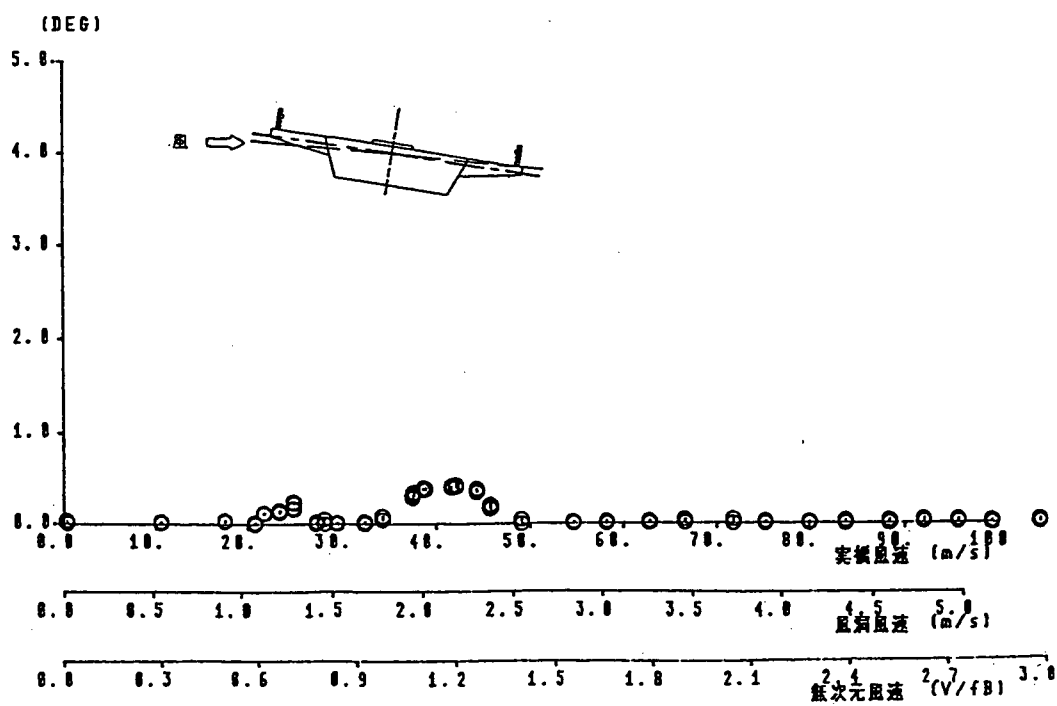
付図-2.1 風速-振幅曲線 (CASE2-1、迎角 0deg、たわみ)



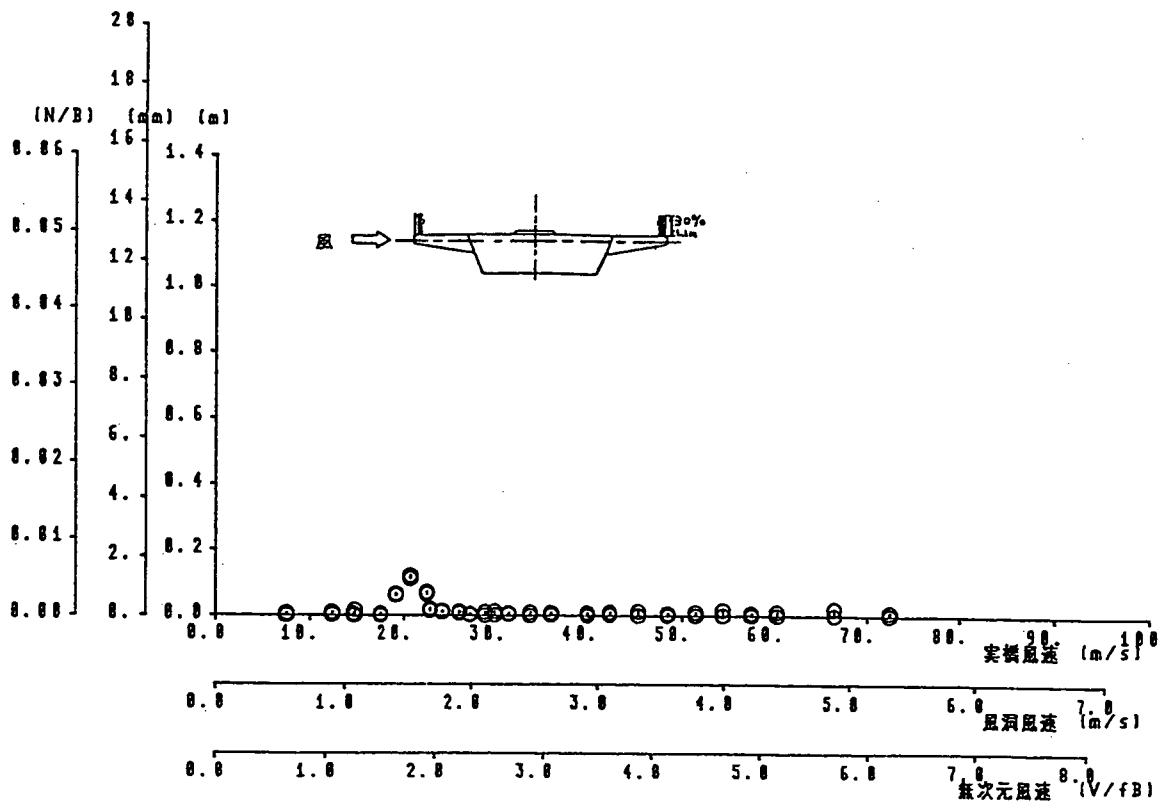
付図-2.2 風速-振幅曲線 (CASE2-1、迎角 0deg、ねじれ)



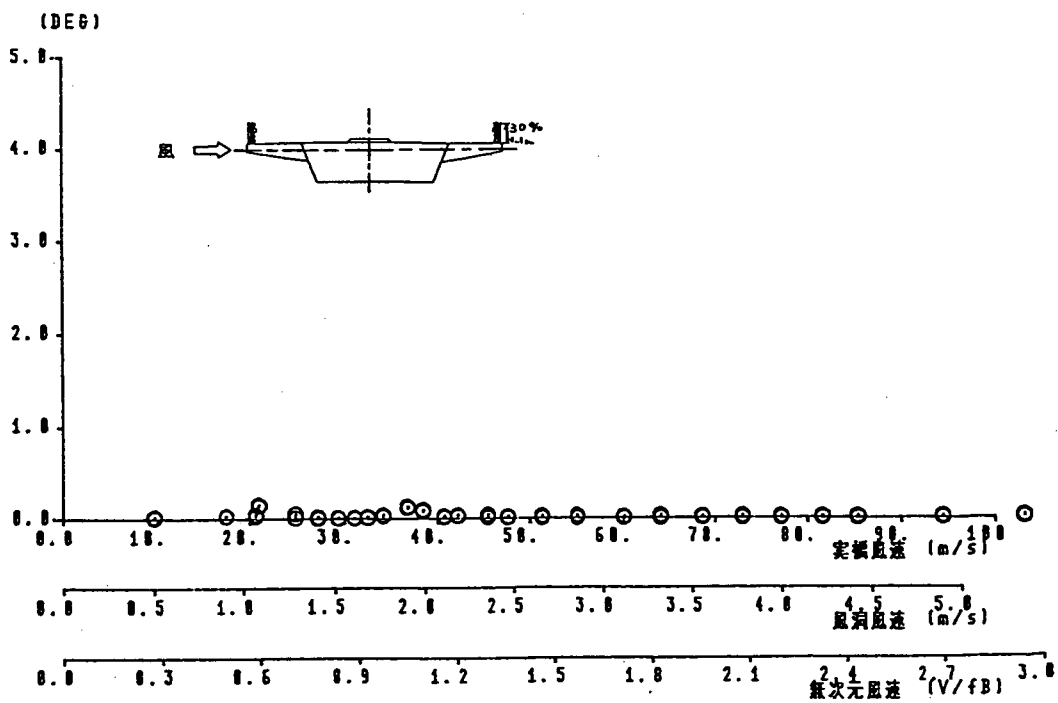
付図-2.3 風速-振幅曲線 (CASE2-1、迎角 3deg、たわみ)



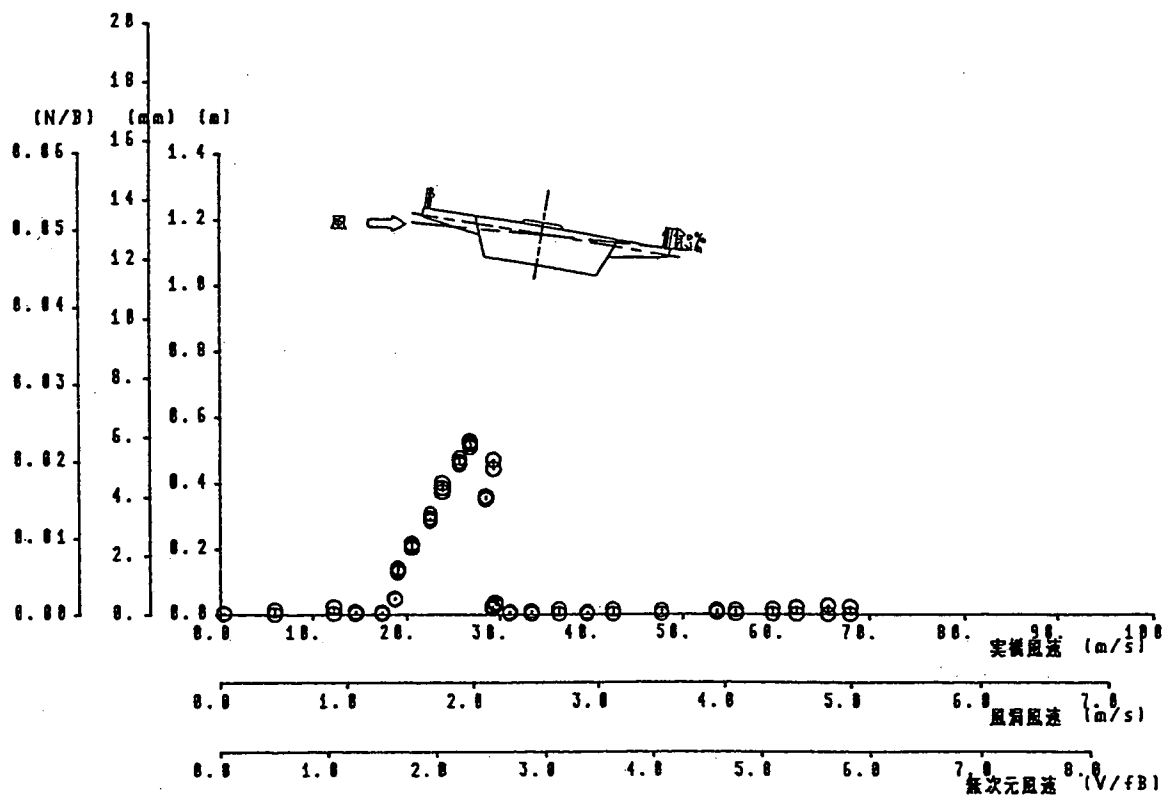
付図-2.4 風速-振幅曲線 (CASE2-1、迎角 3deg、ねじれ)



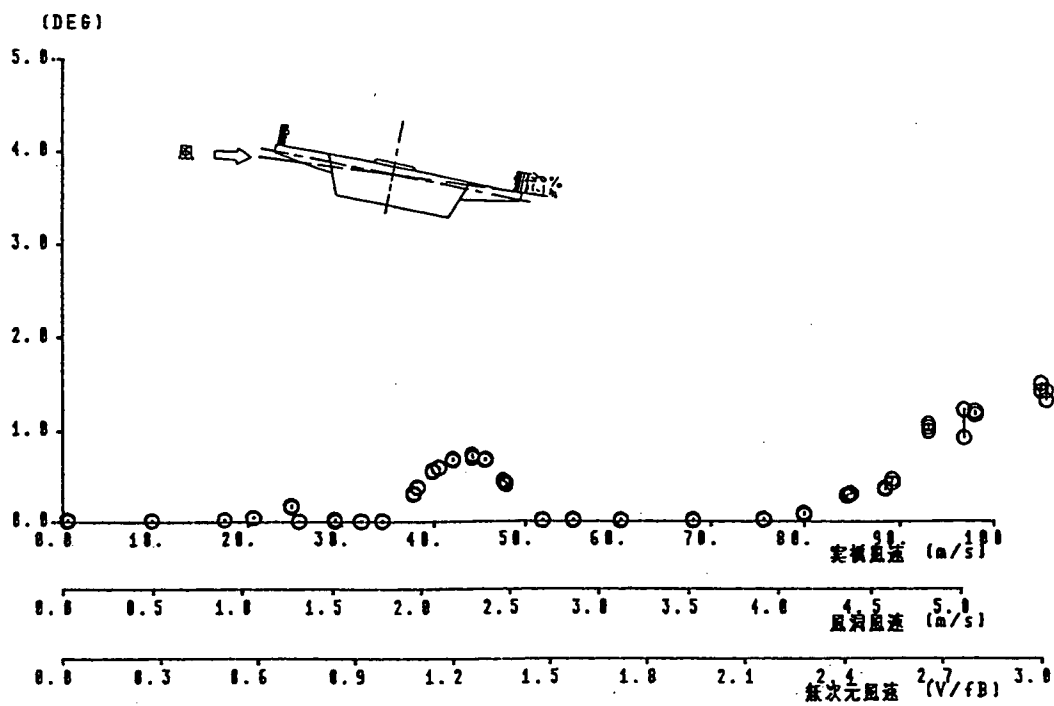
付図-2.5 風速—振幅曲線 (CASE2-2、迎角 0deg、たわみ)



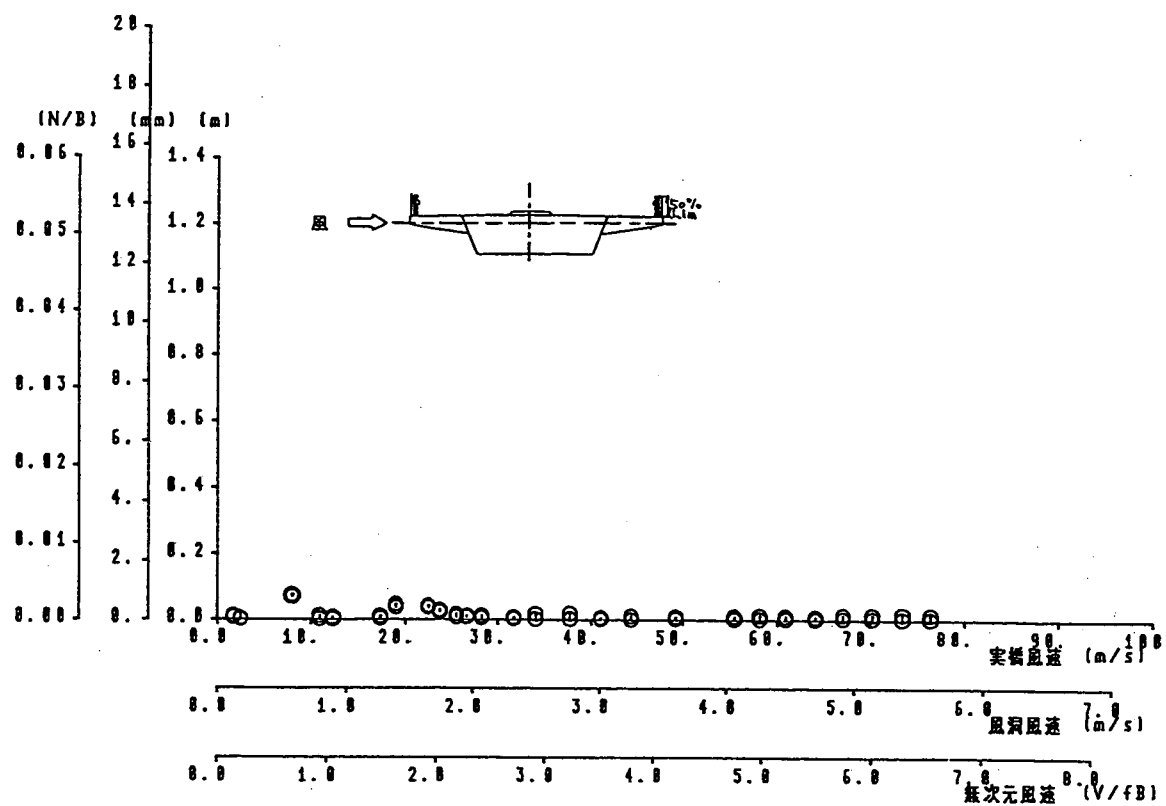
付図-2.6 風速—振幅曲線 (CASE2-2、迎角 0deg、ねじれ)



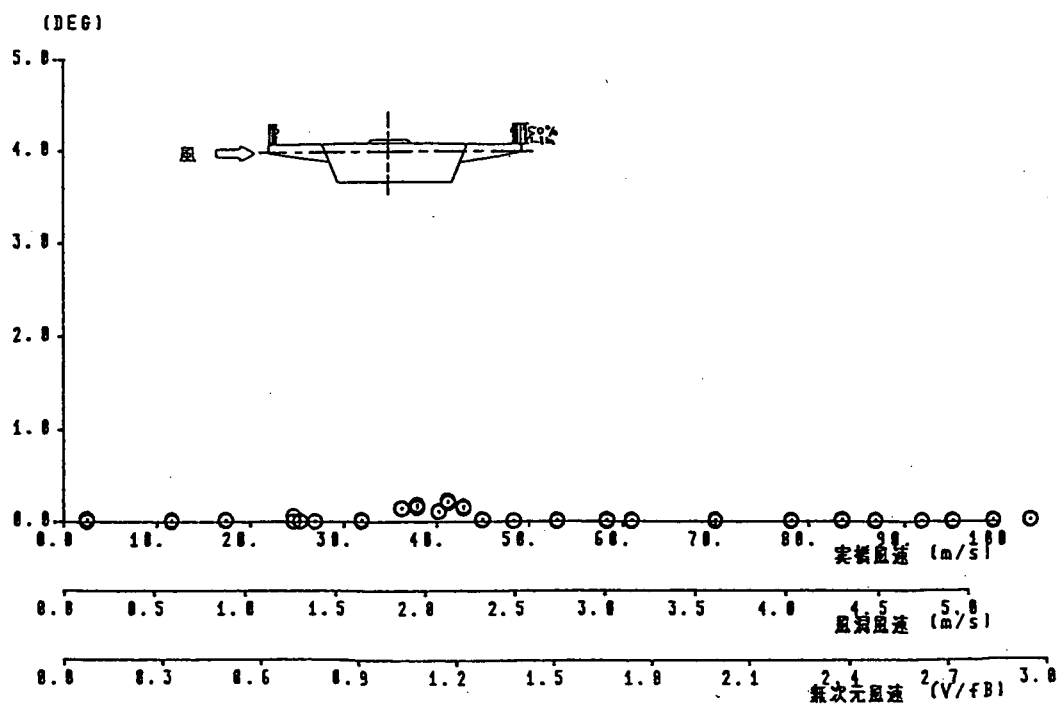
付図-2.7 風速-振幅曲線 (CASE2-2、迎角 3deg、たわみ)



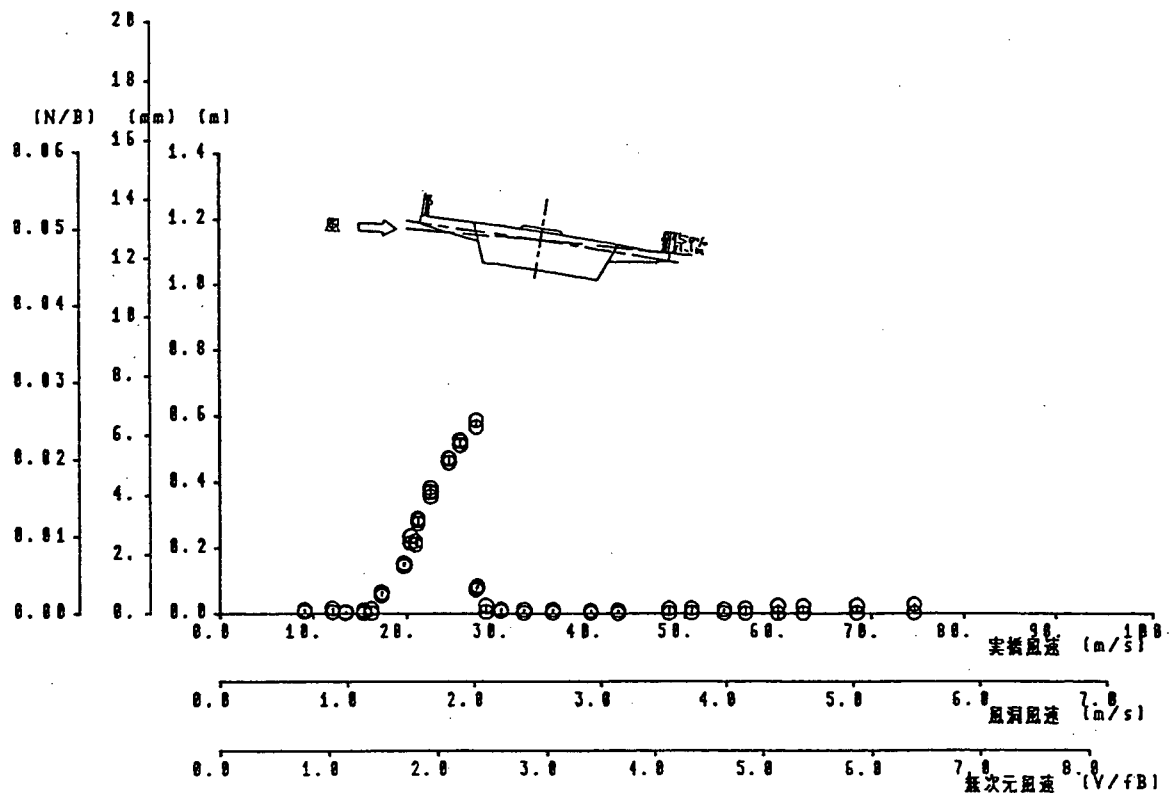
付図-2.8 風速-振幅曲線 (CASE2-2、迎角 3deg、ねじれ)



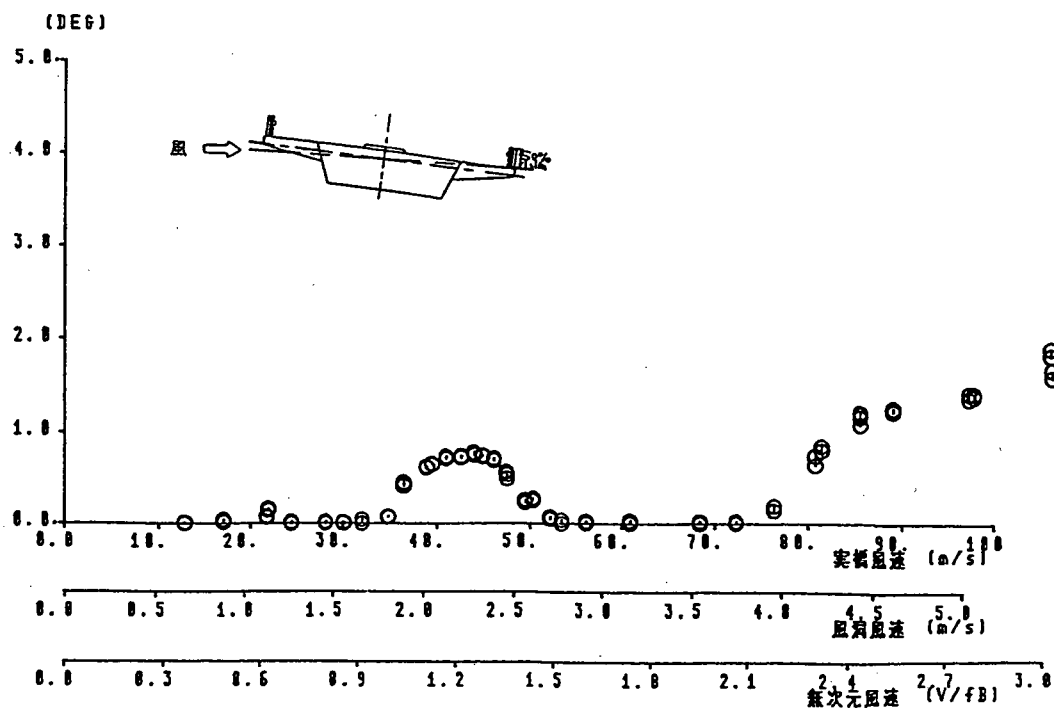
付図-2.9 風速-振幅曲線 (CASE2-3、迎角 0deg、たわみ)



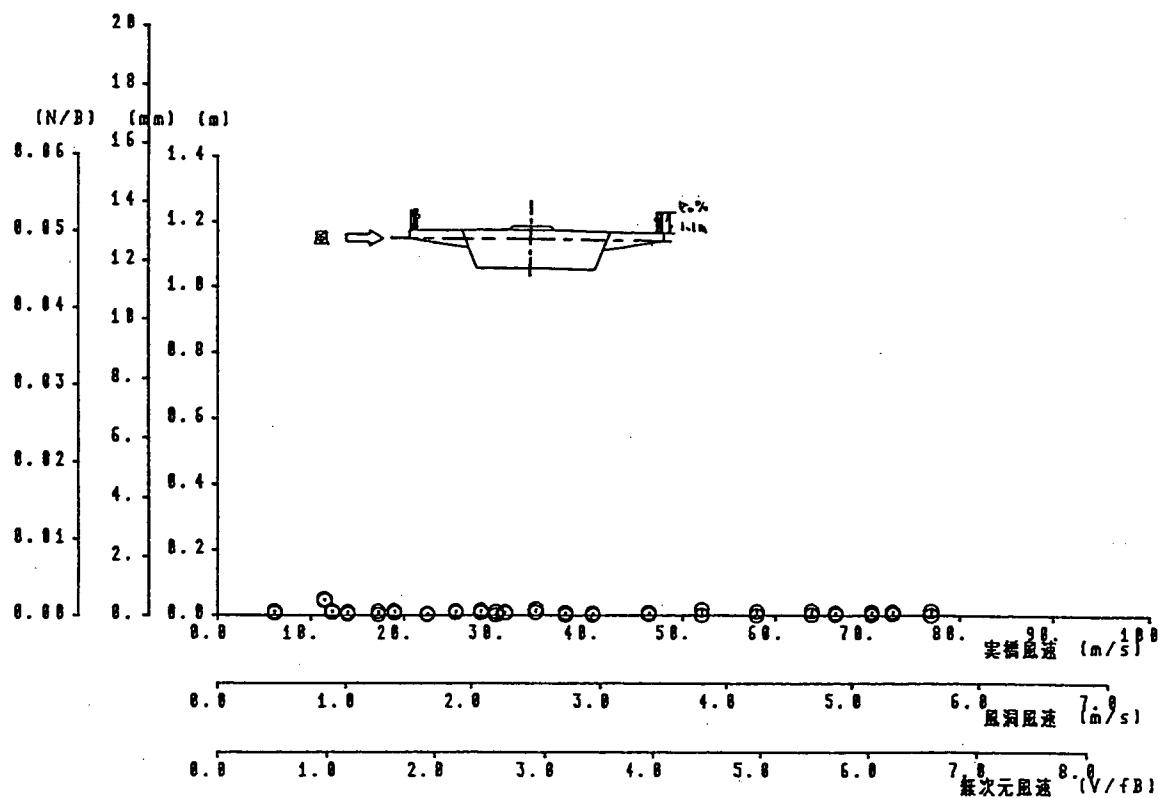
付図-2.10 風速-振幅曲線 (CASE2-3、迎角 0deg、ねじれ)



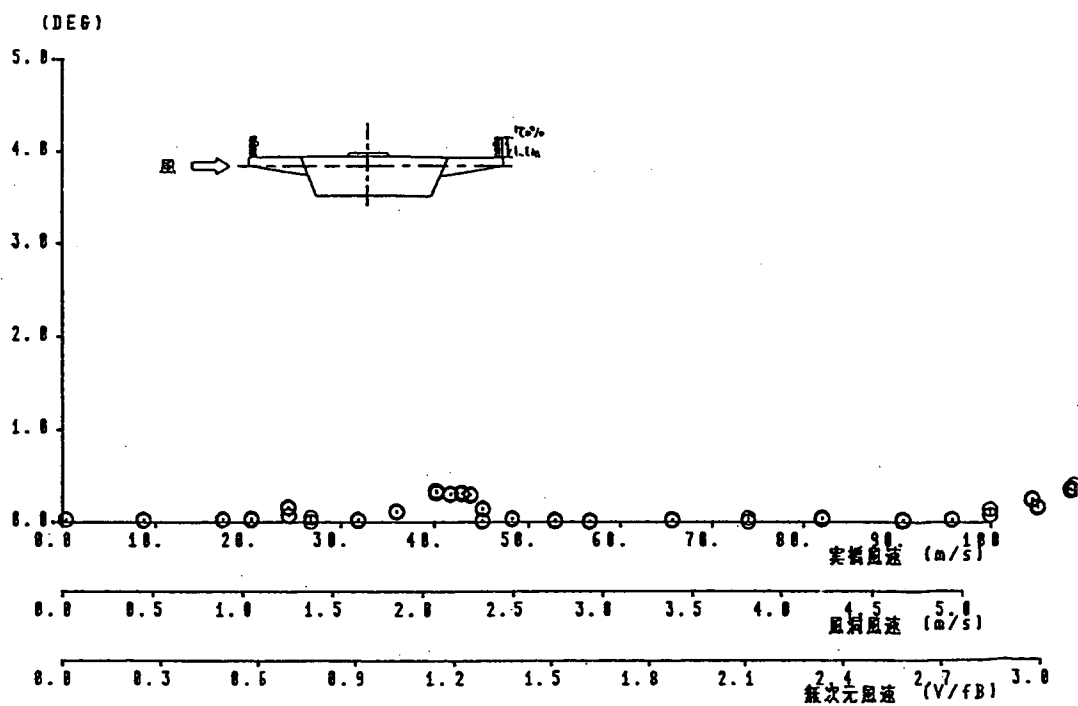
付図-2.11 風速—振幅曲線 (CASE2-3、迎角 3deg、たわみ)



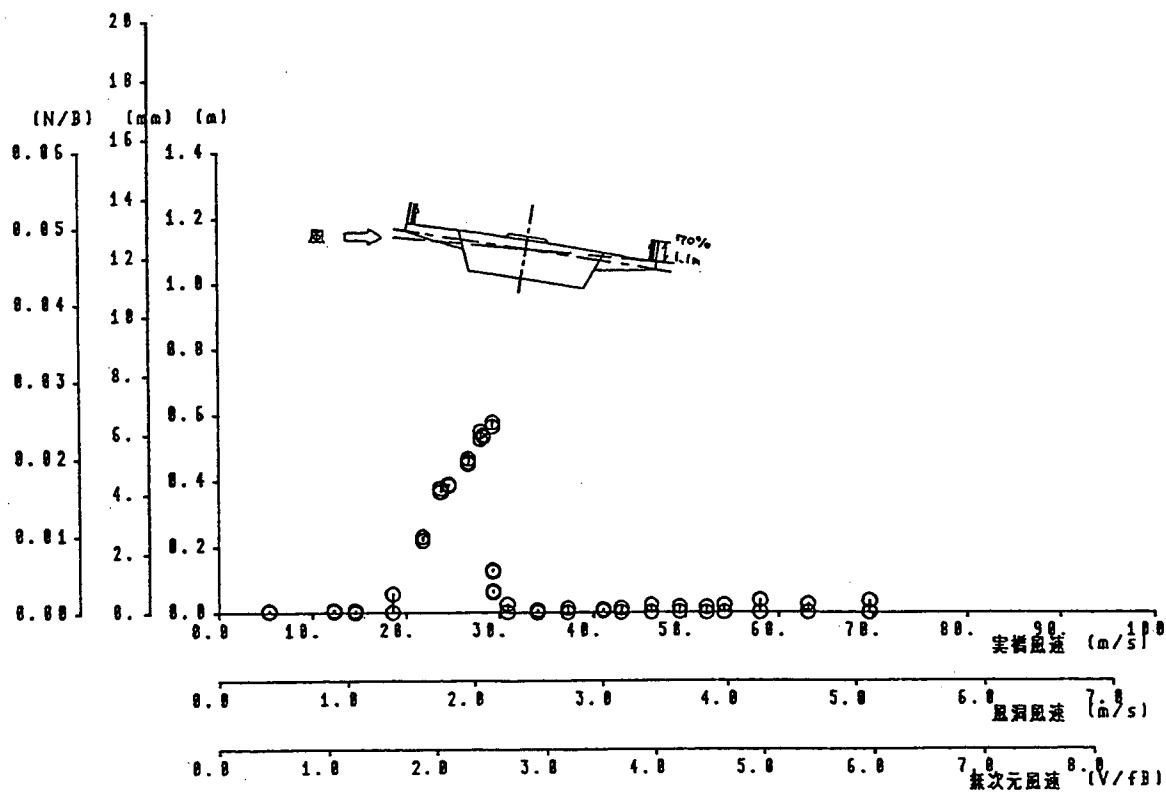
付図-2.12 風速—振幅曲線 (CASE2-3、迎角 3deg、ねじれ)



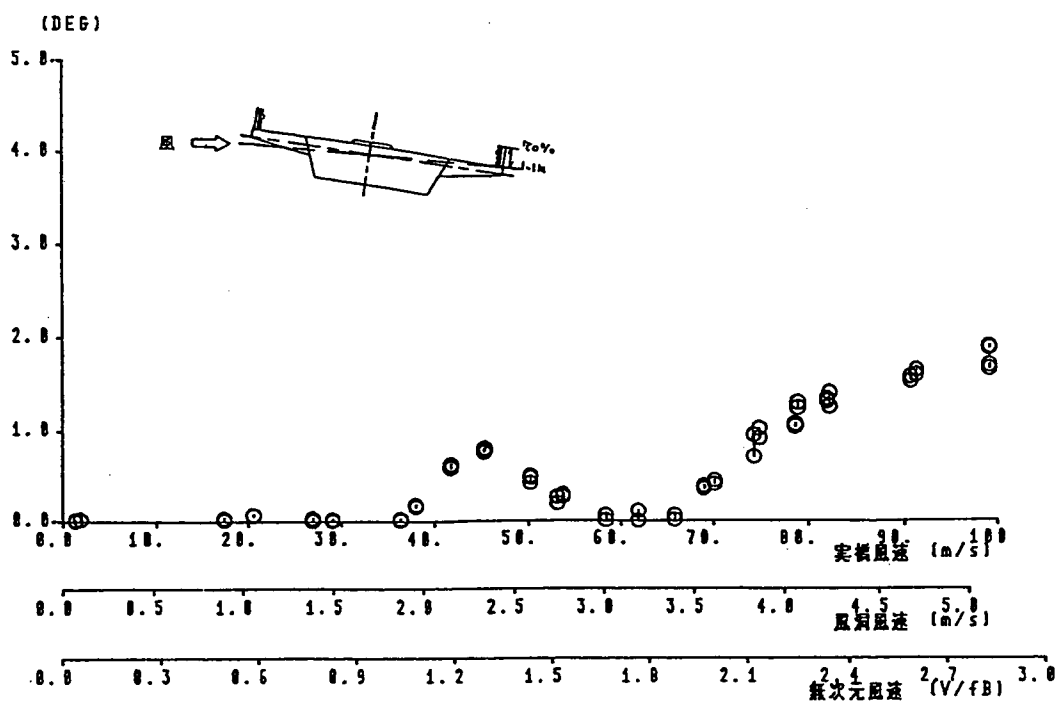
付図-2.13 風速-振幅曲線 (CASE2-4、迎角 0deg、たわみ)



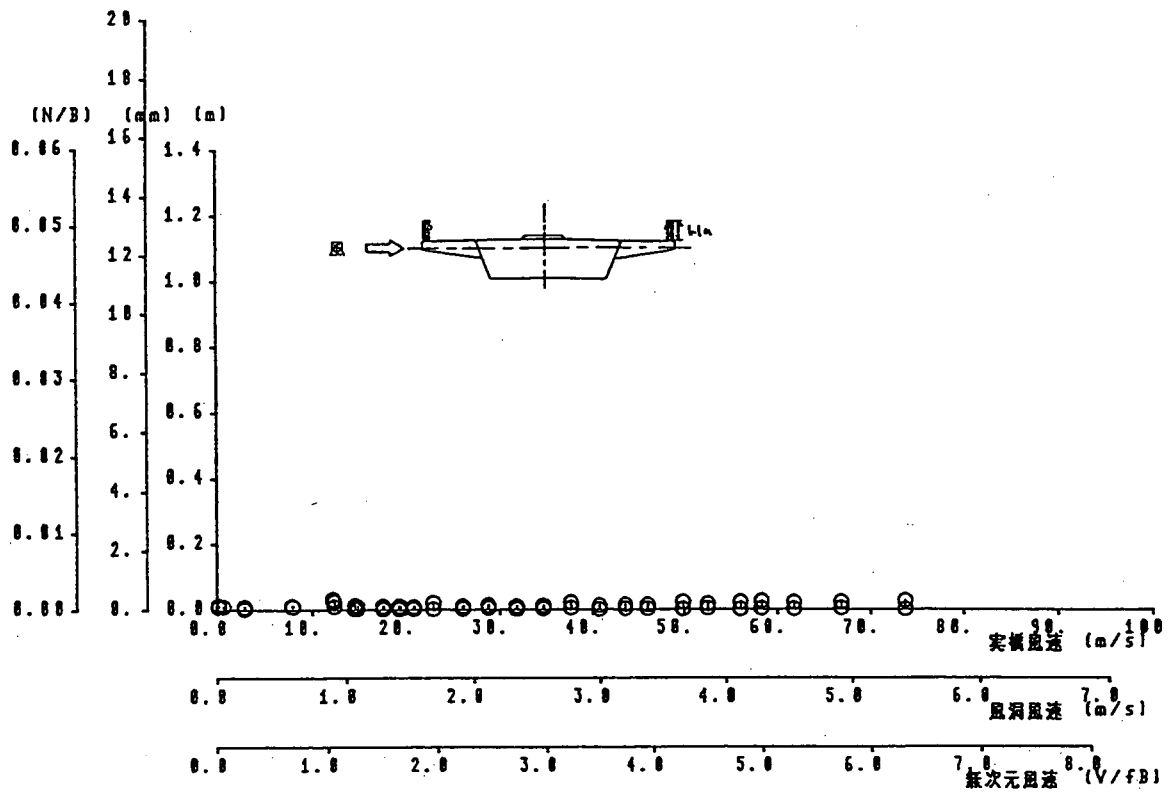
付図-2.14 風速-振幅曲線 (CASE2-4、迎角 0deg、ねじれ)



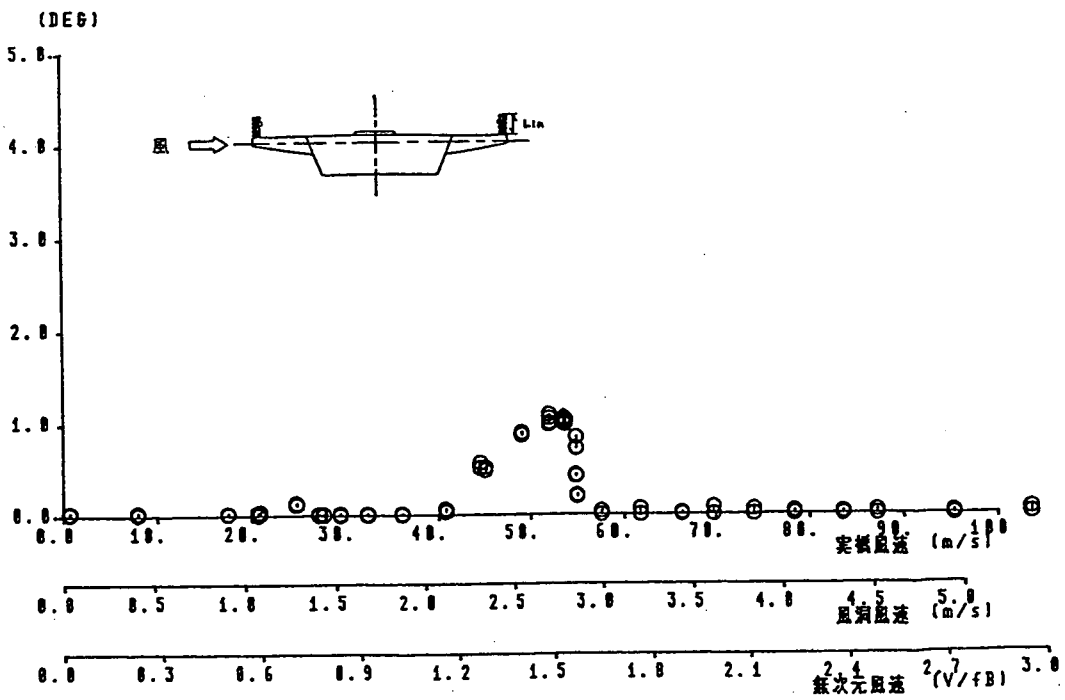
付図-2.15 風速-振幅曲線 (CASE2-4、迎角 3deg、たわみ)



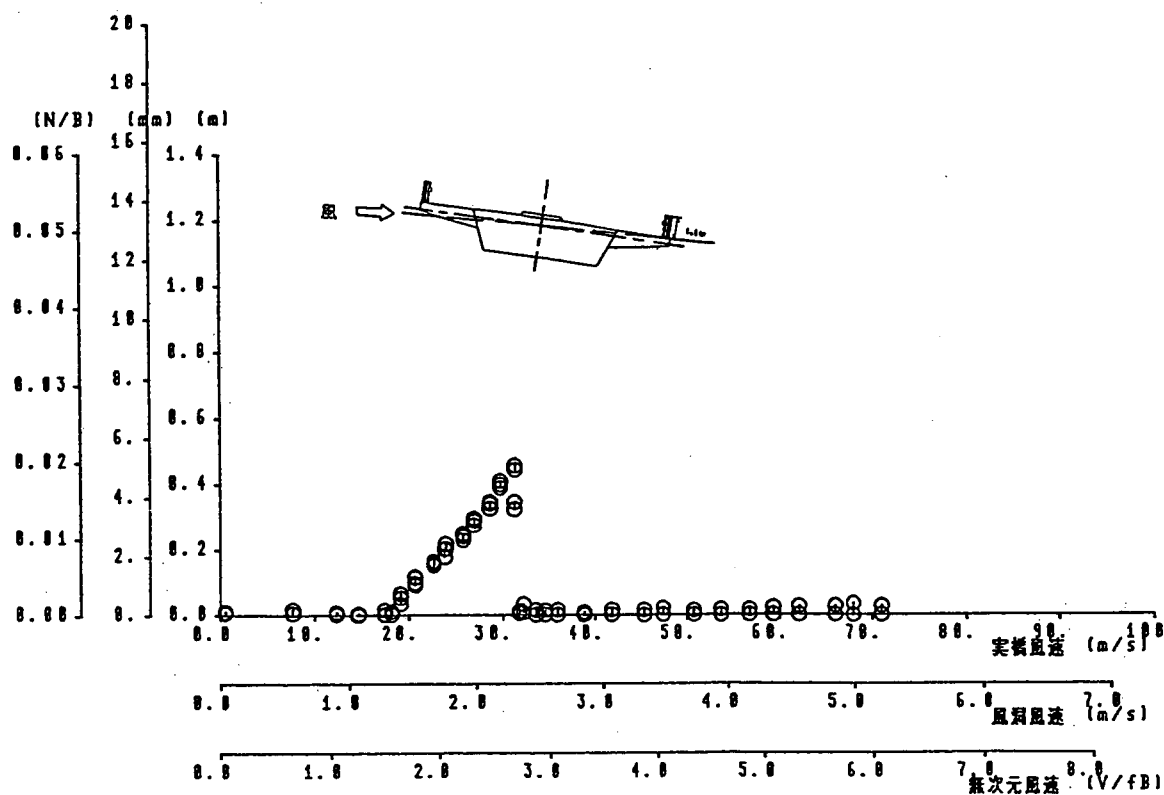
付図-2.16 風速-振幅曲線 (CASE2-4、迎角 3deg、ねじれ)



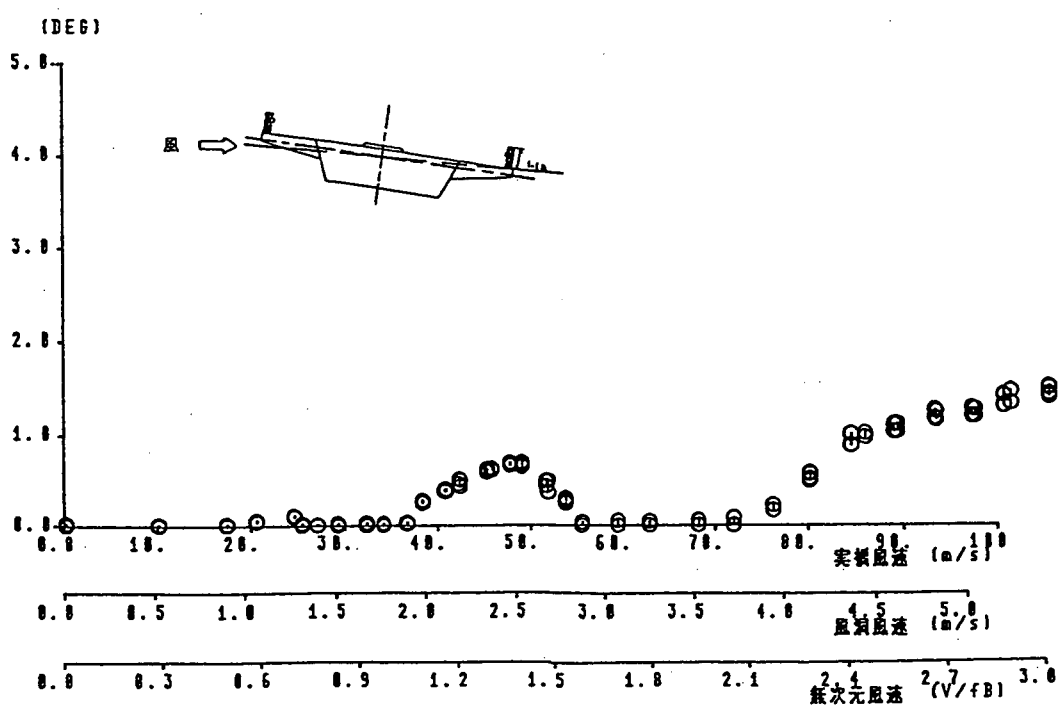
付図-2.17 風速-振幅曲線 (CASE2-5、迎角 0deg、たわみ)



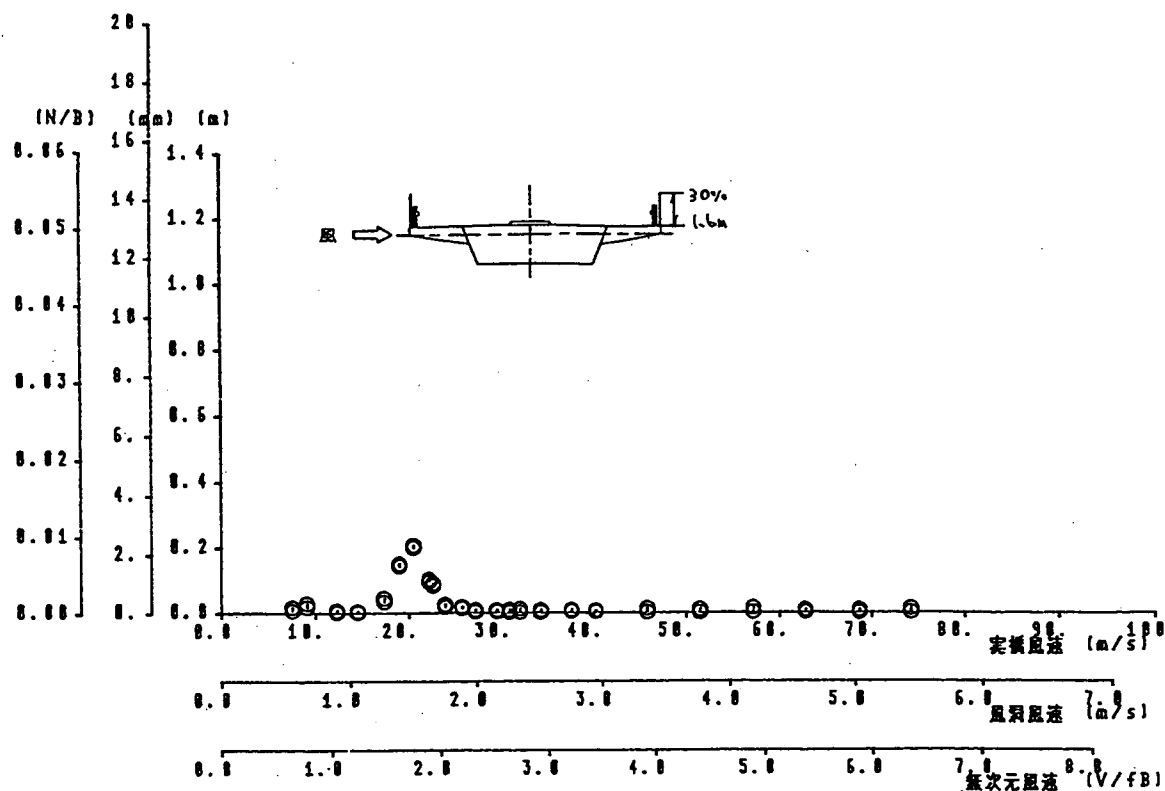
付図-2.18 風速-振幅曲線 (CASE2-5、迎角 0deg、ねじれ)



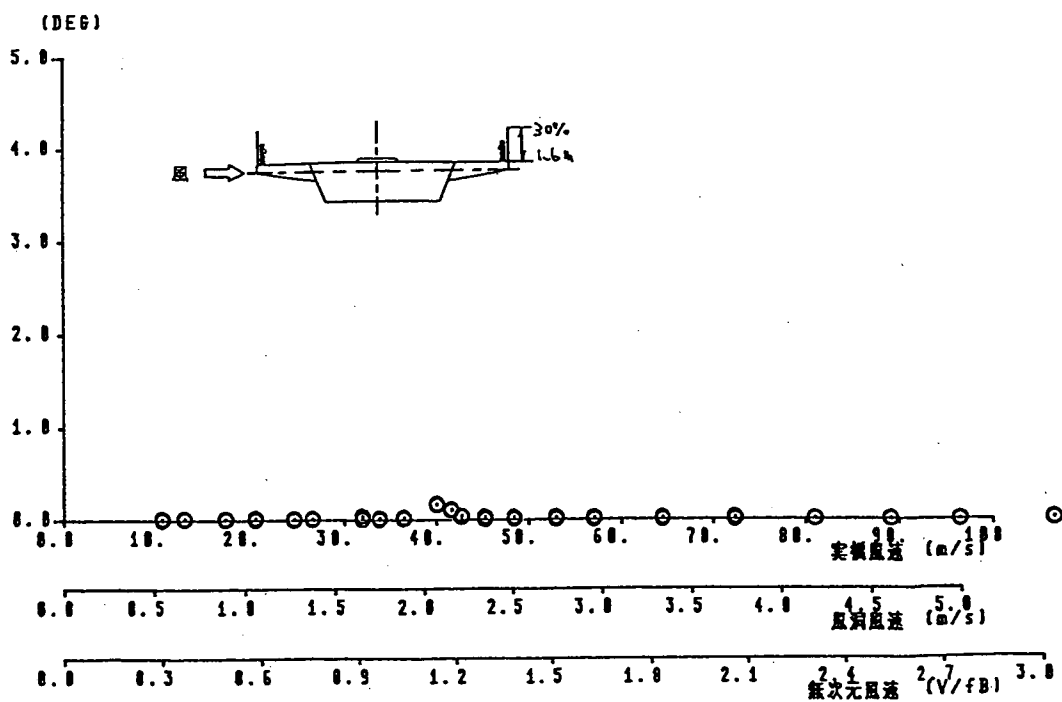
付図-2.19 風速-振幅曲線 (CASE2-5、迎角 3deg、たわみ)



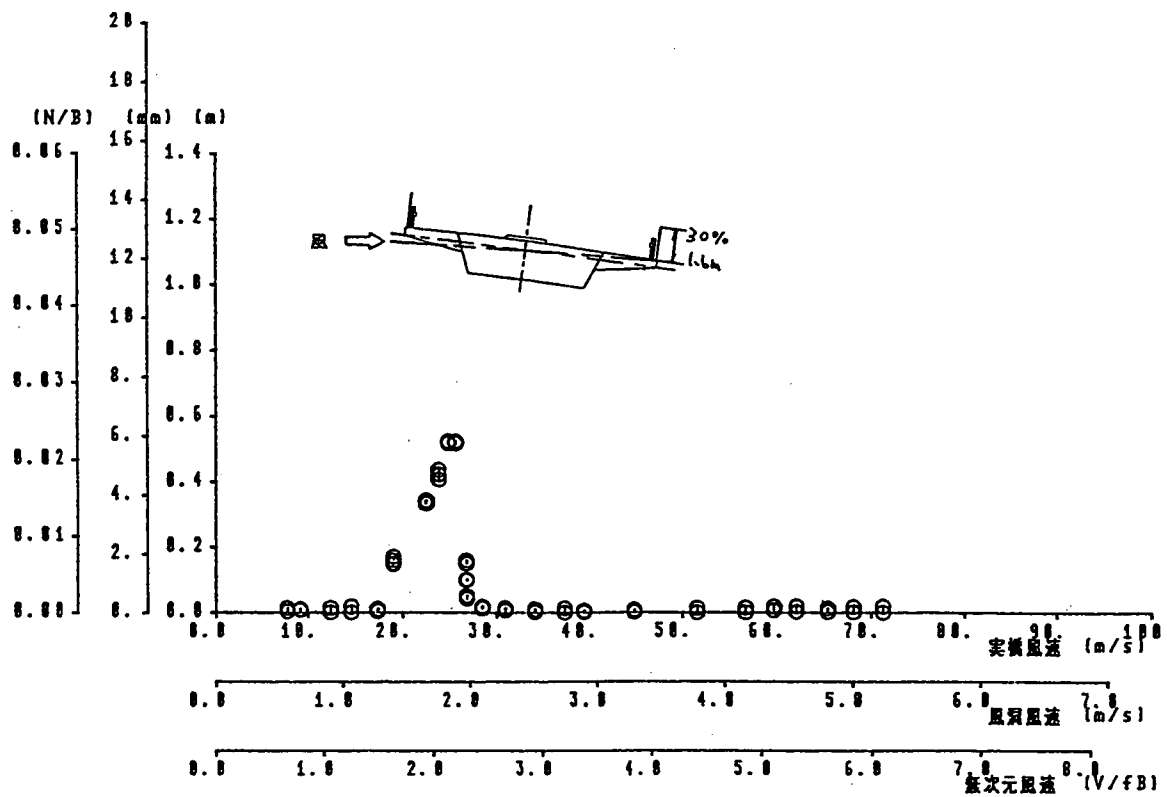
付図-2.20 風速-振幅曲線 (CASE2-5、迎角 3deg、ねじれ)



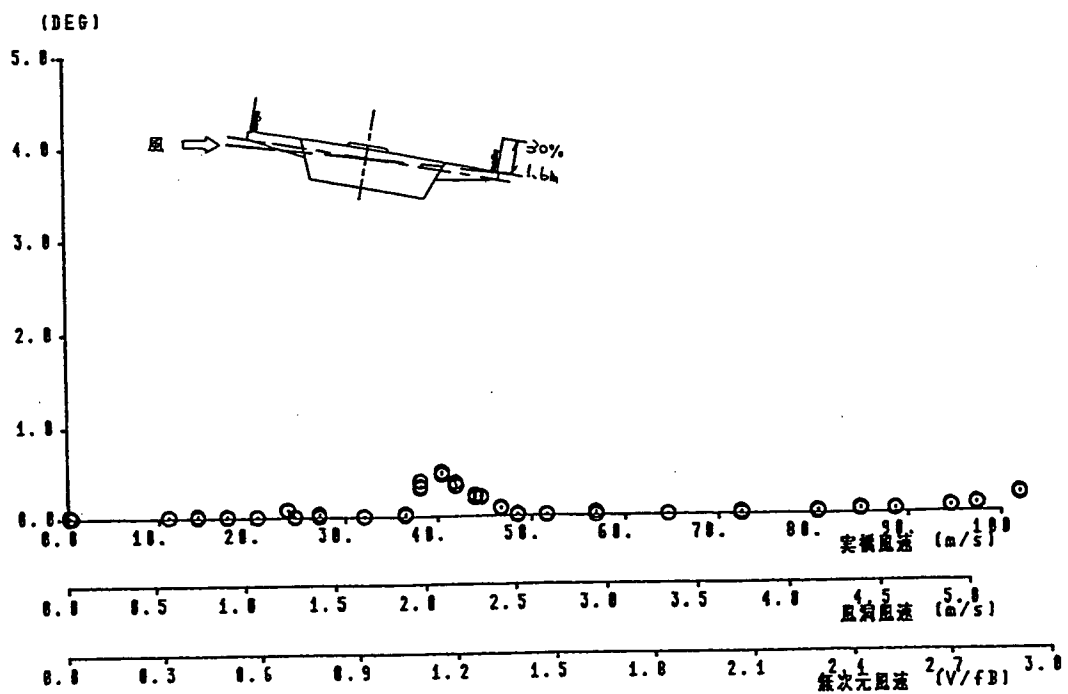
付図-2.21 風速—振幅曲線 (CASE2-6、迎角 0deg、たわみ)



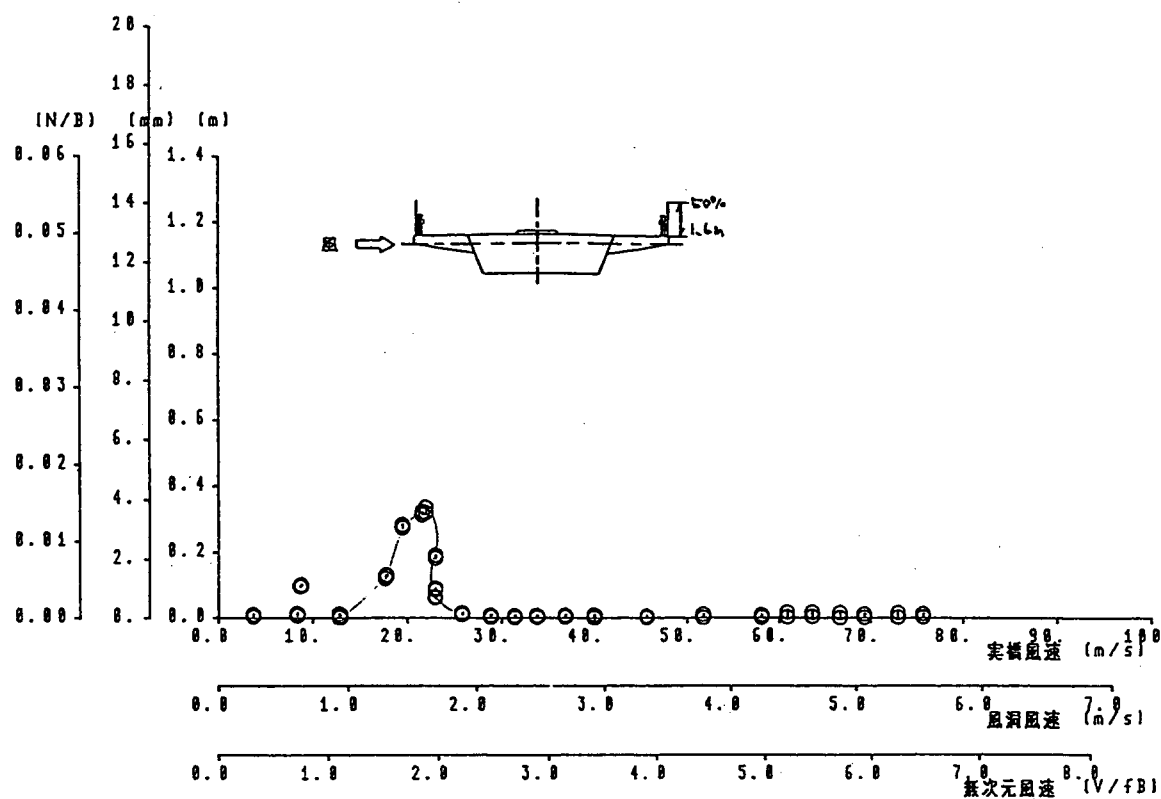
付図-2.22 風速—振幅曲線 (CASE2-6、迎角 0deg、ねじれ)



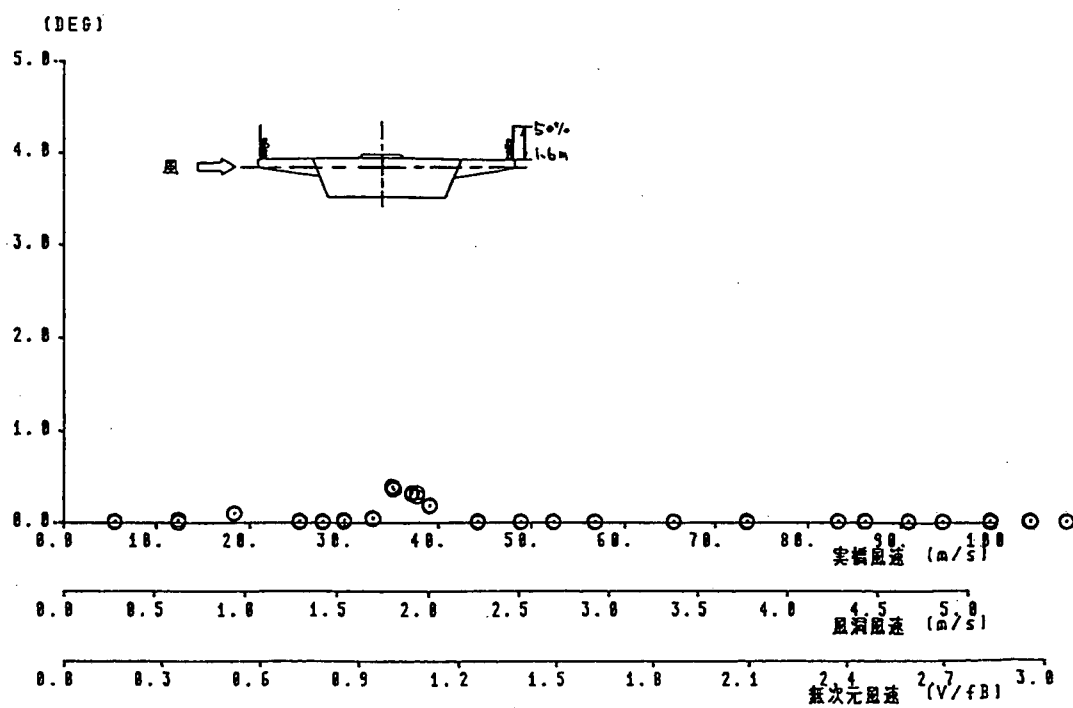
付図-2.23 風速-振幅曲線 (CASE2-6、迎角 3deg、たわみ)



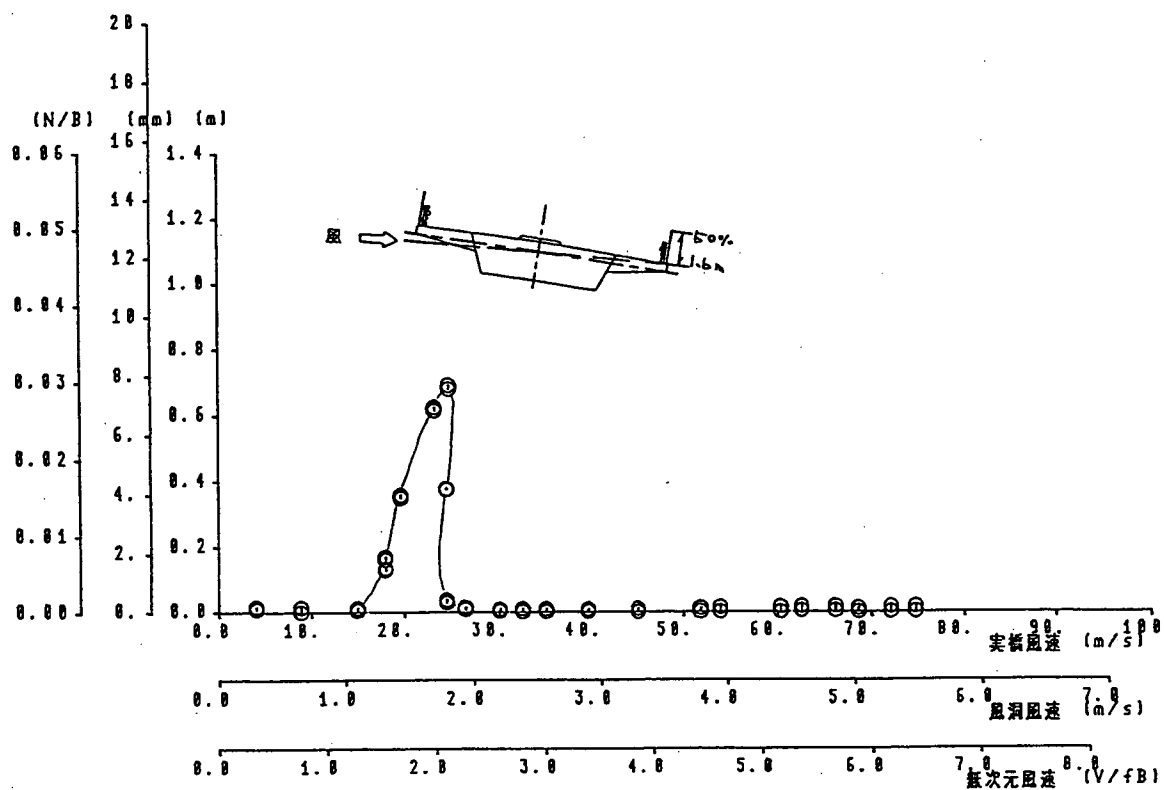
付図-2.24 風速-振幅曲線 (CASE2-6、迎角 3deg、ねじれ)



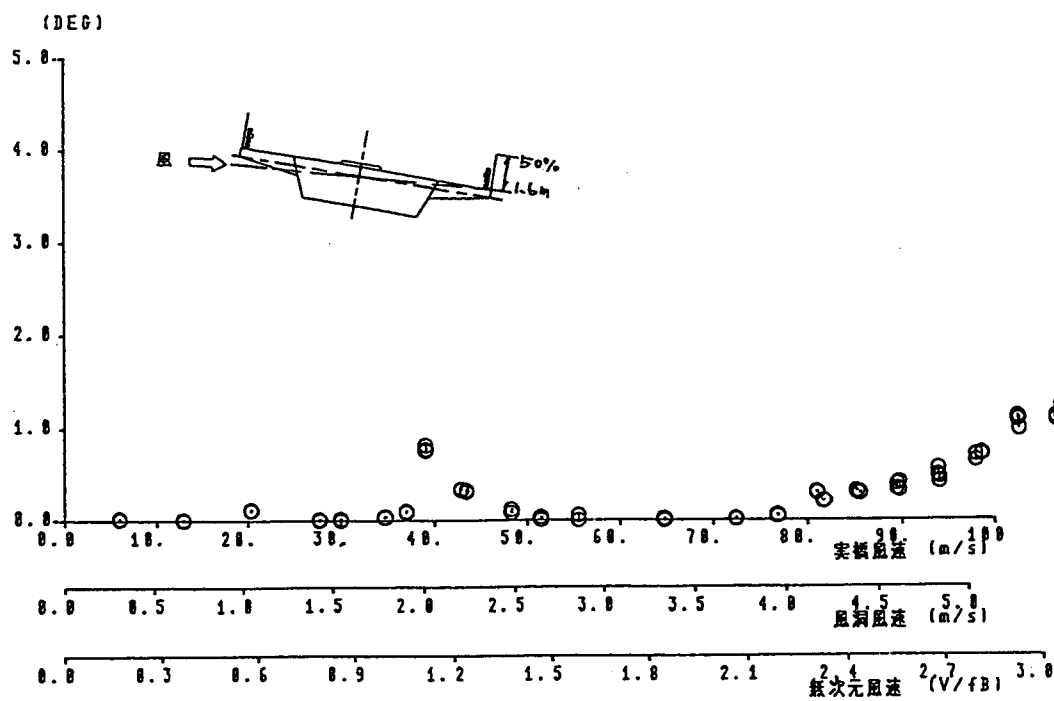
付図-2.25 風速-振幅曲線 (CASE2-7、迎角 0deg、たわみ)



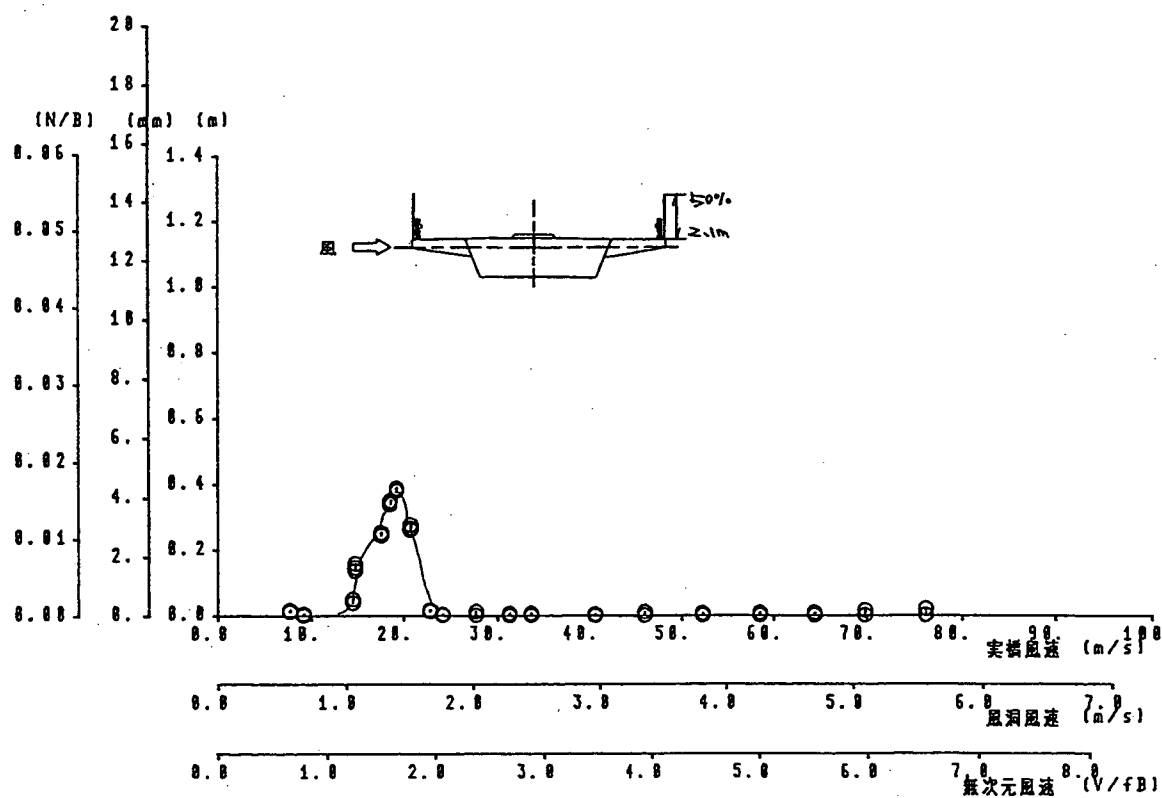
付図-2.26 風速-振幅曲線 (CASE2-7、迎角 0deg、わじれ)



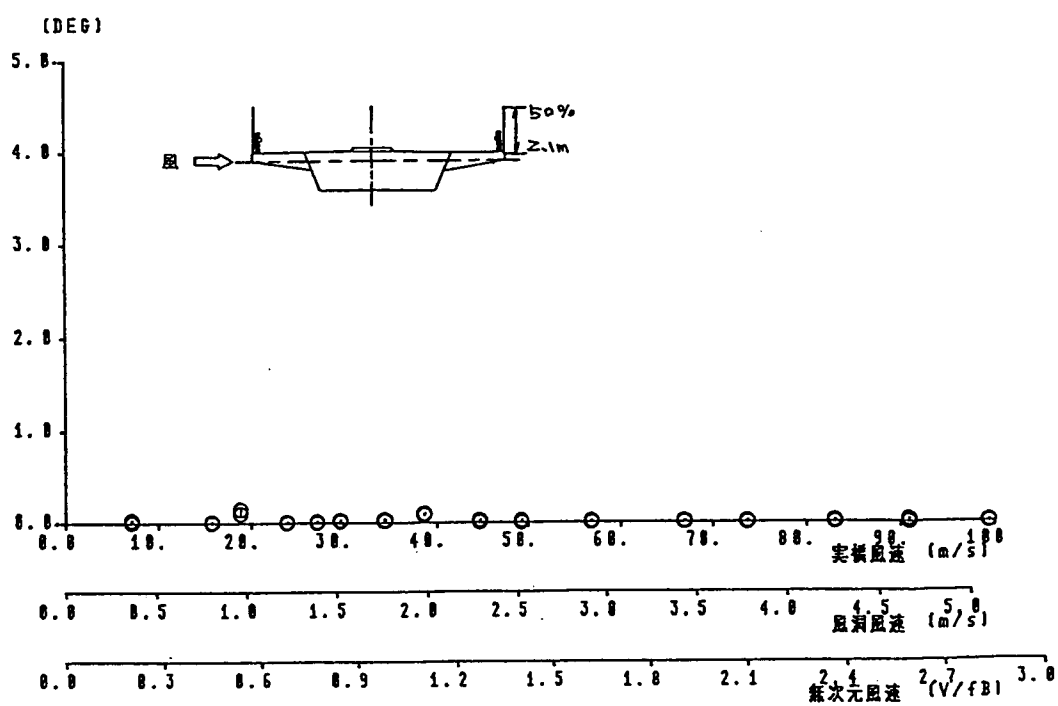
付図-2.27 風速-振幅曲線 (CASE2-7、迎角 3deg、たわみ)



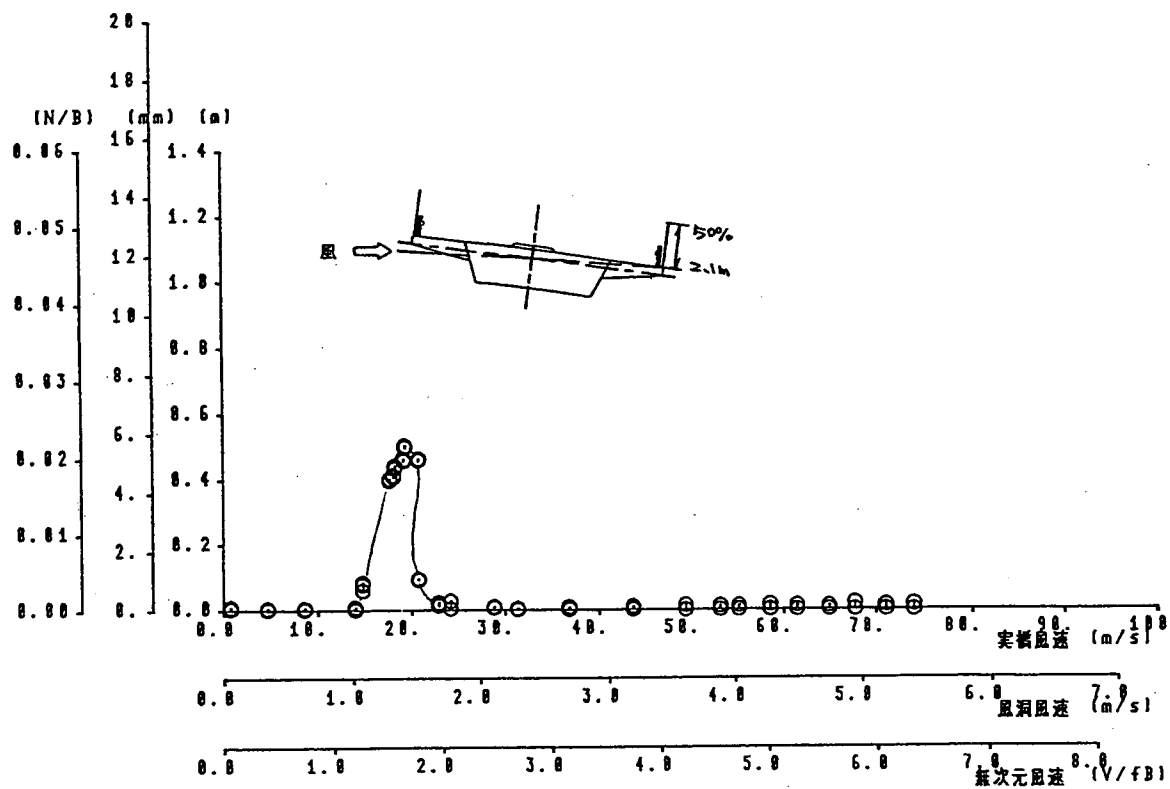
付図-2.28 風速-振幅曲線 (CASE2-7、迎角 3deg、ねじれ)



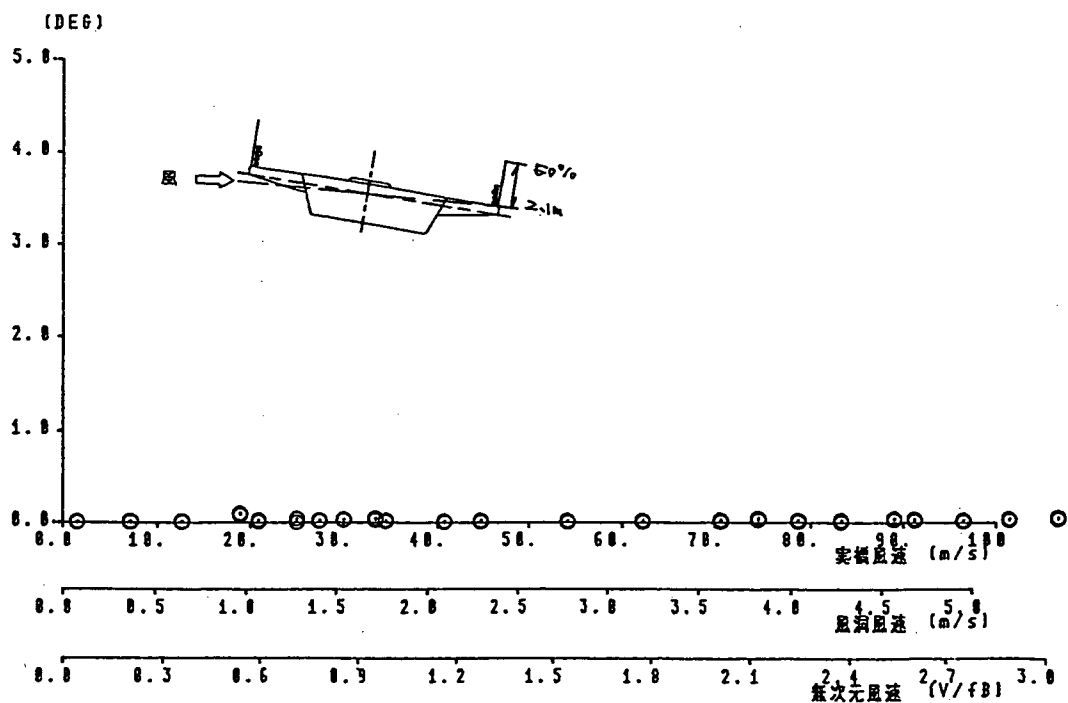
付図-2.29 風速-振幅曲線 (CASE2-8、迎角 0deg、たわみ)



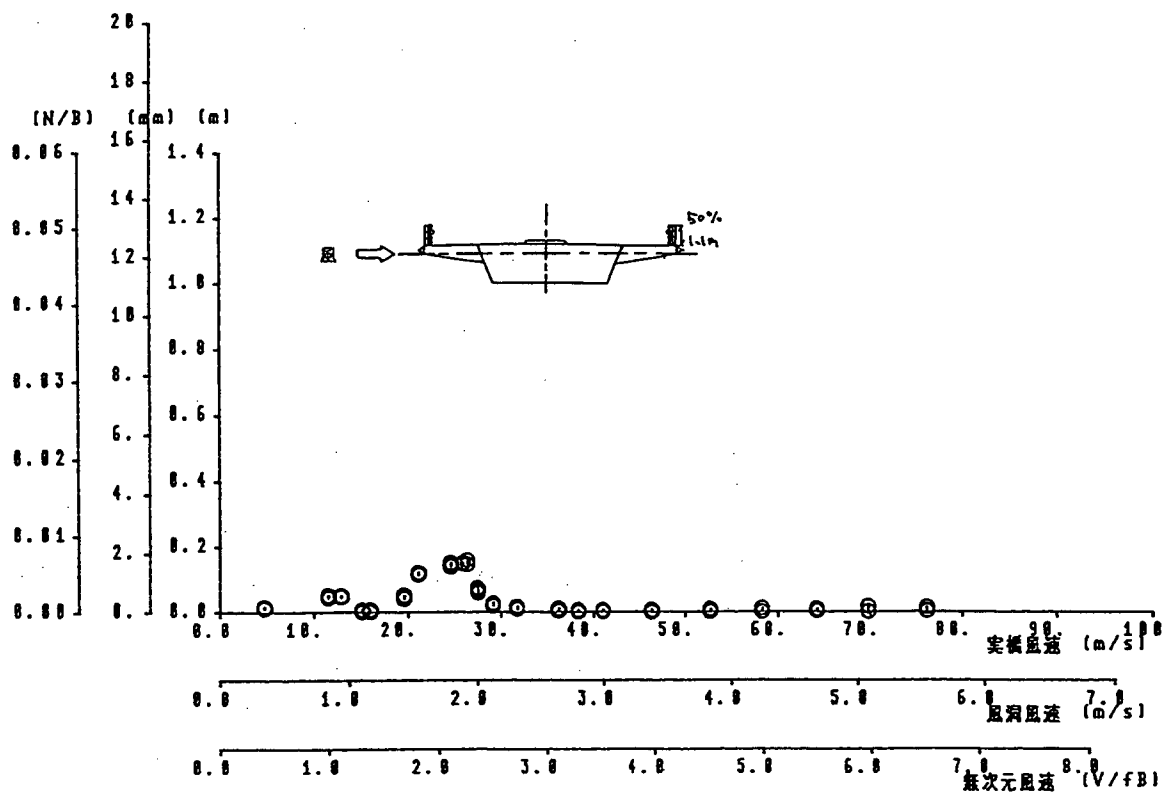
付図-2.30 風速-振幅曲線 (CASE2-8、迎角 0deg、ねじれ)



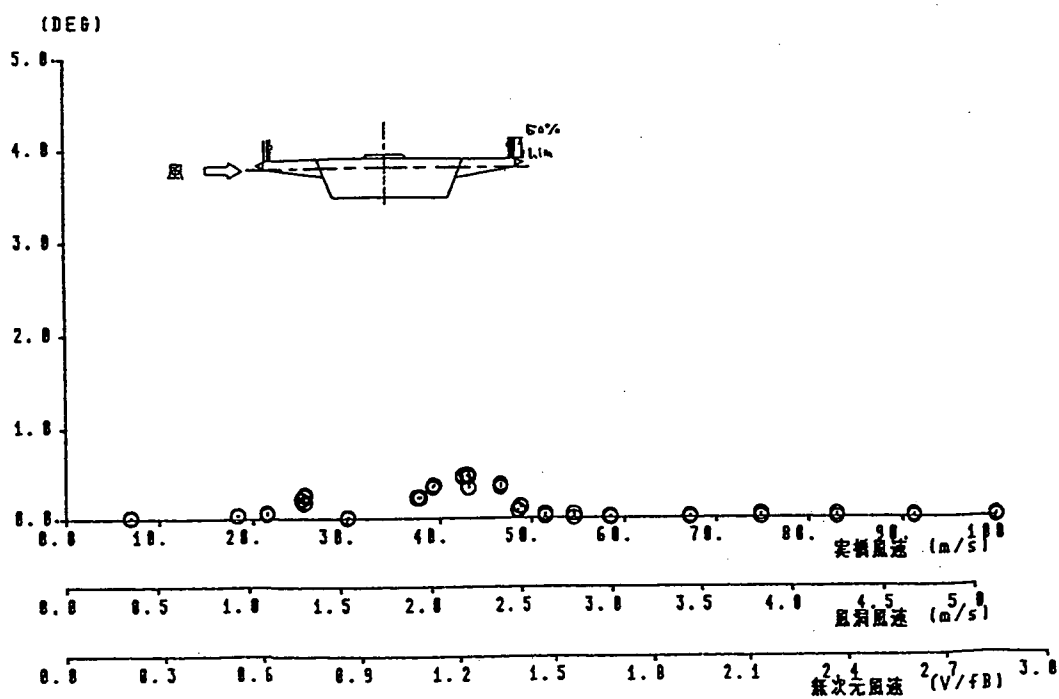
付図-2.31 風速-振幅曲線 (CASE2-8、迎角 3deg、たわみ)



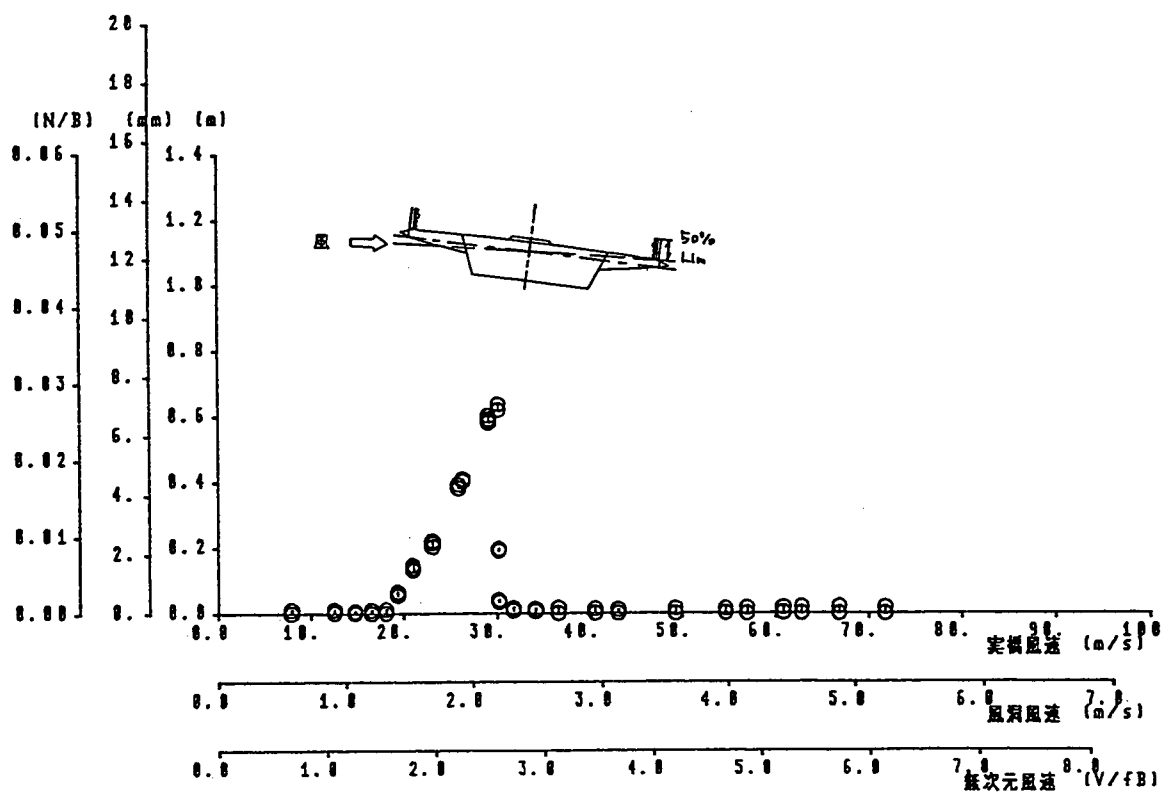
付図-2.32 風速-振幅曲線 (CASE2-8、迎角 3deg、わじれ)



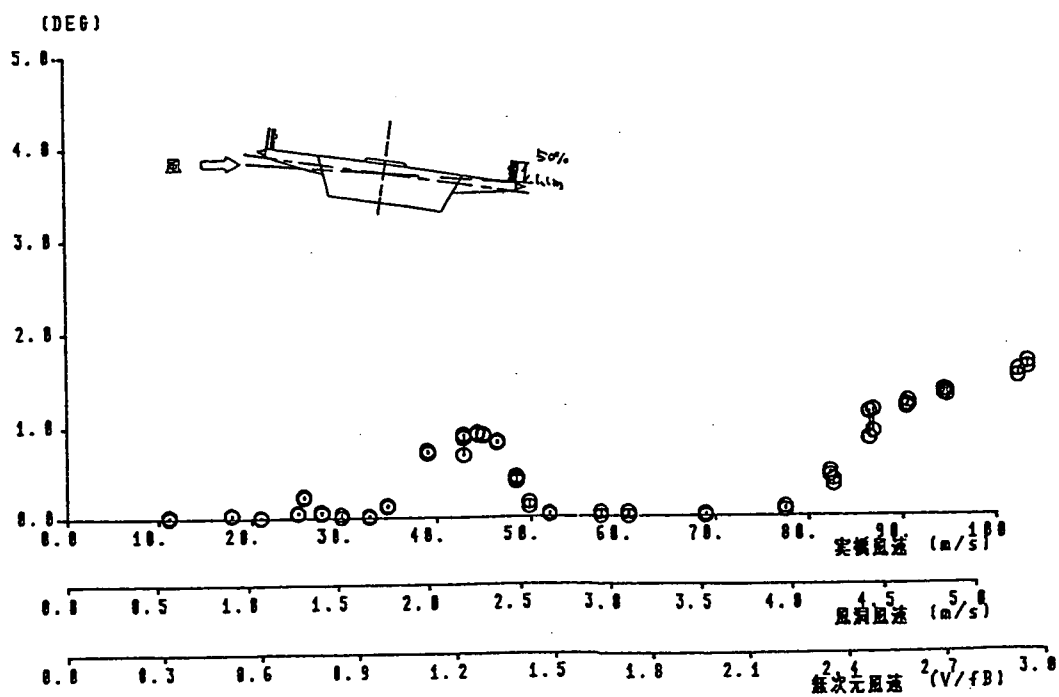
付図-2.33 風速—振幅曲線 (CASE2-9、迎角 0deg、たわみ)



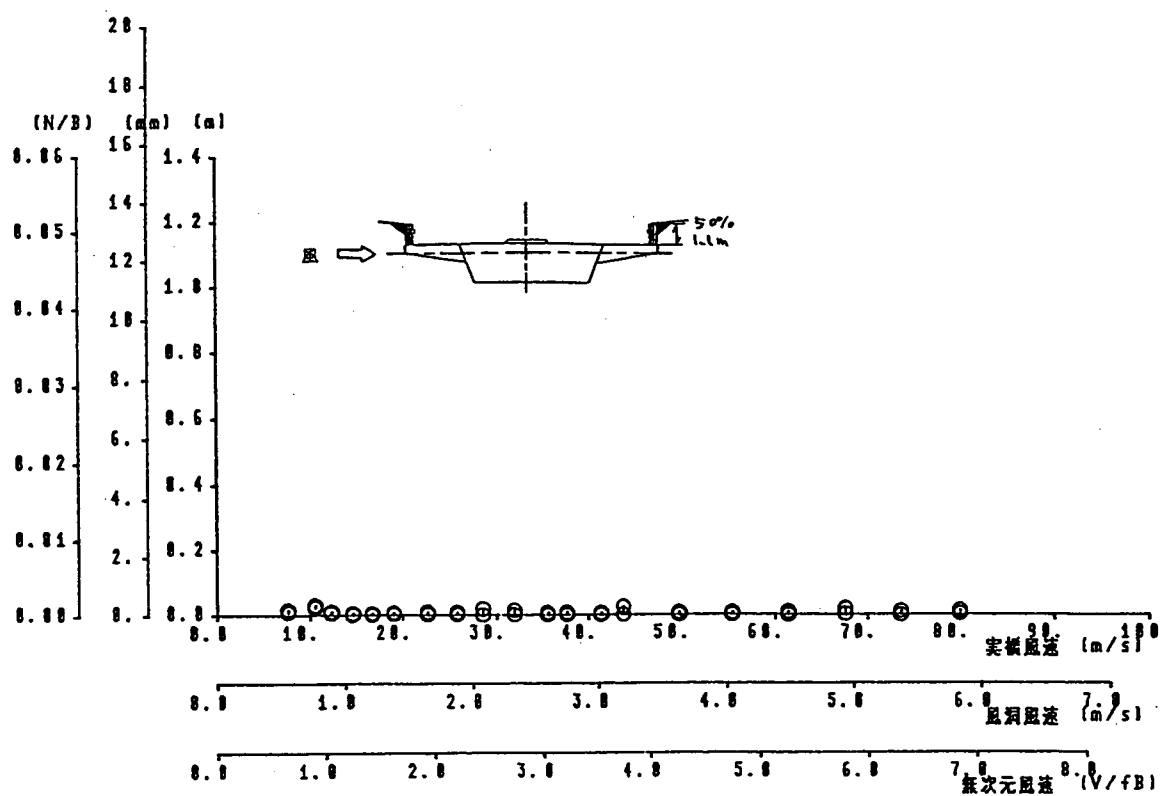
付図-2.34 風速—振幅曲線 (CASE2-9、迎角 0deg、ねじれ)



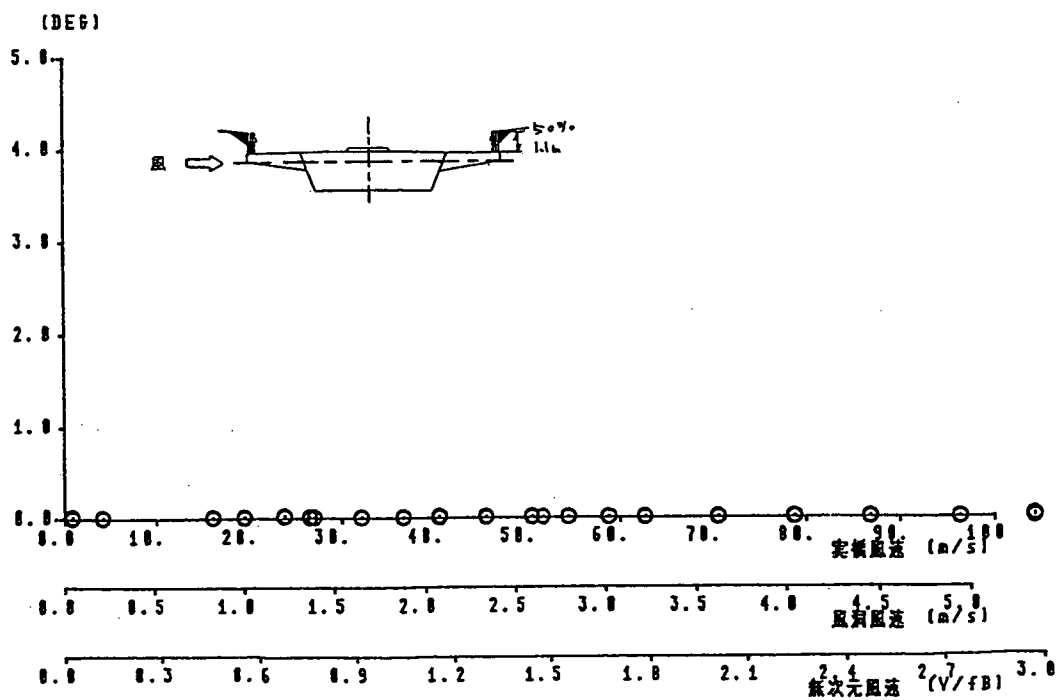
付図-2.35 風速—振幅曲線 (CASE2-9、迎角 3deg、たわみ)



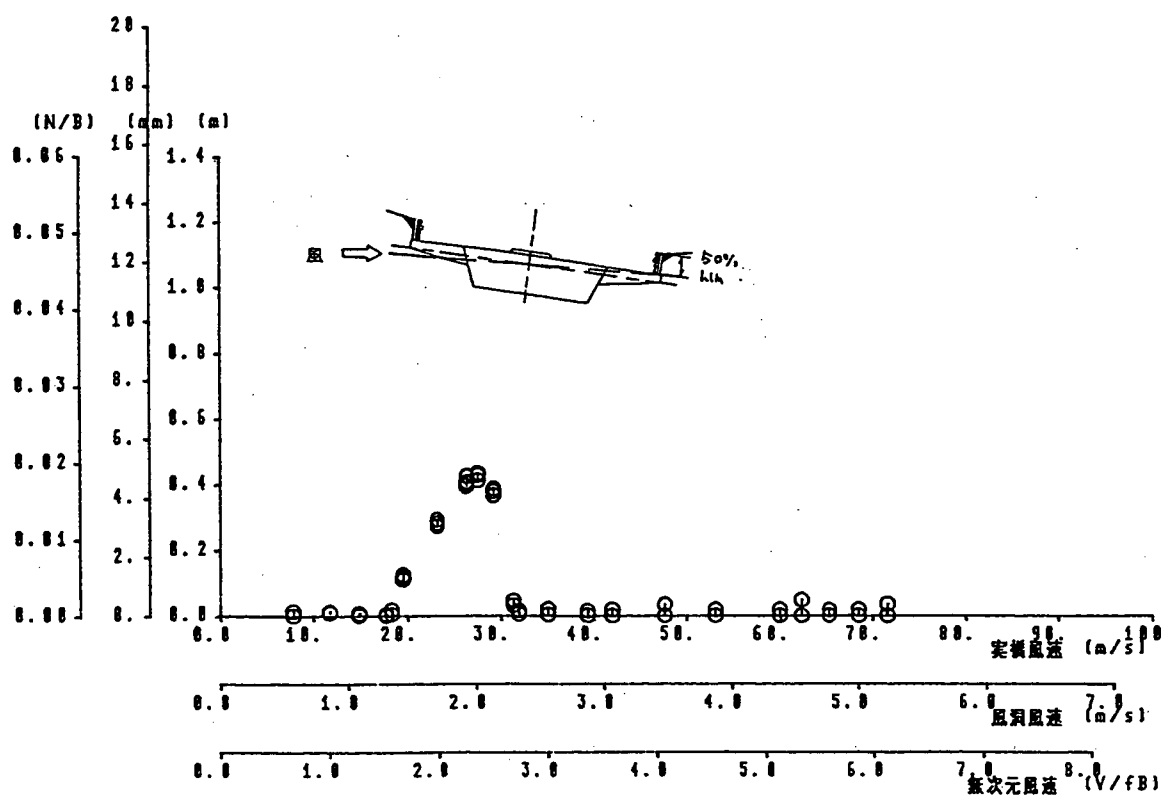
付図-2.36 風速—振幅曲線 (CASE2-9、迎角 3deg、ねじれ)



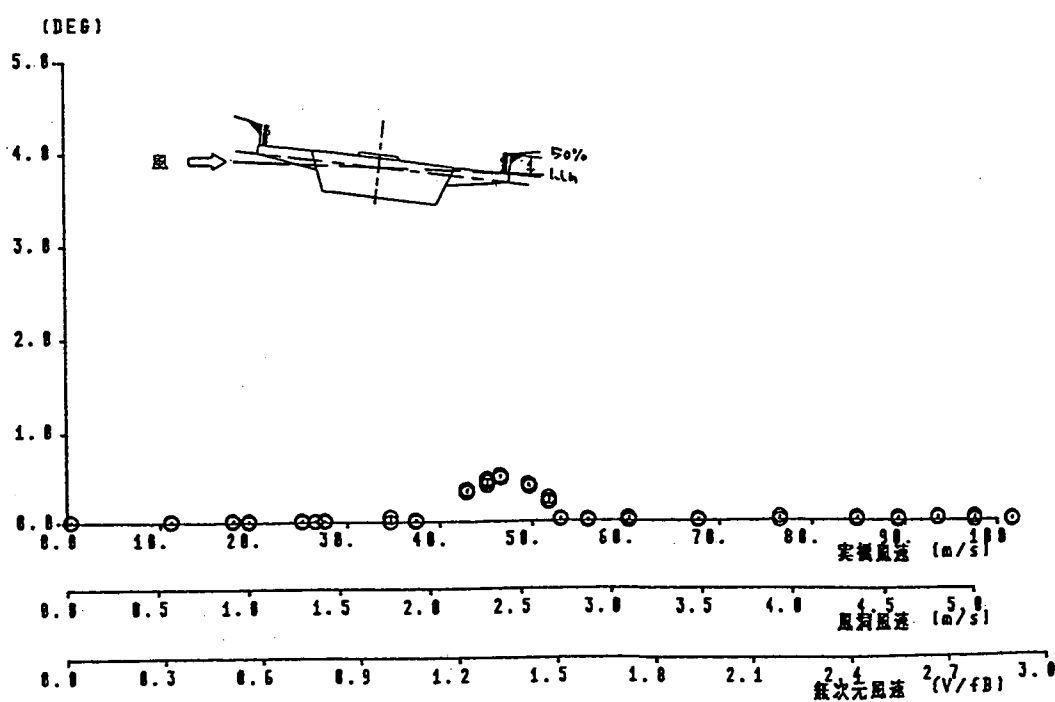
付図-2.37 風速-振幅曲線 (CASE2-10、迎角 0deg、たわみ)



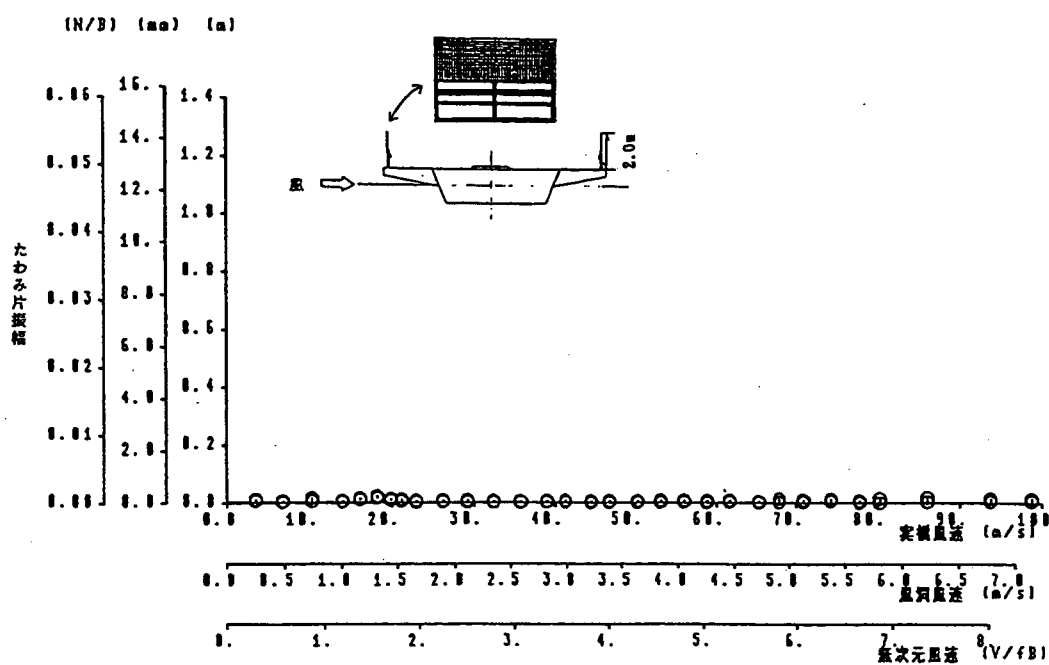
付図-2.38 風速-振幅曲線 (CASE2-10、迎角 0deg、ねじれ)



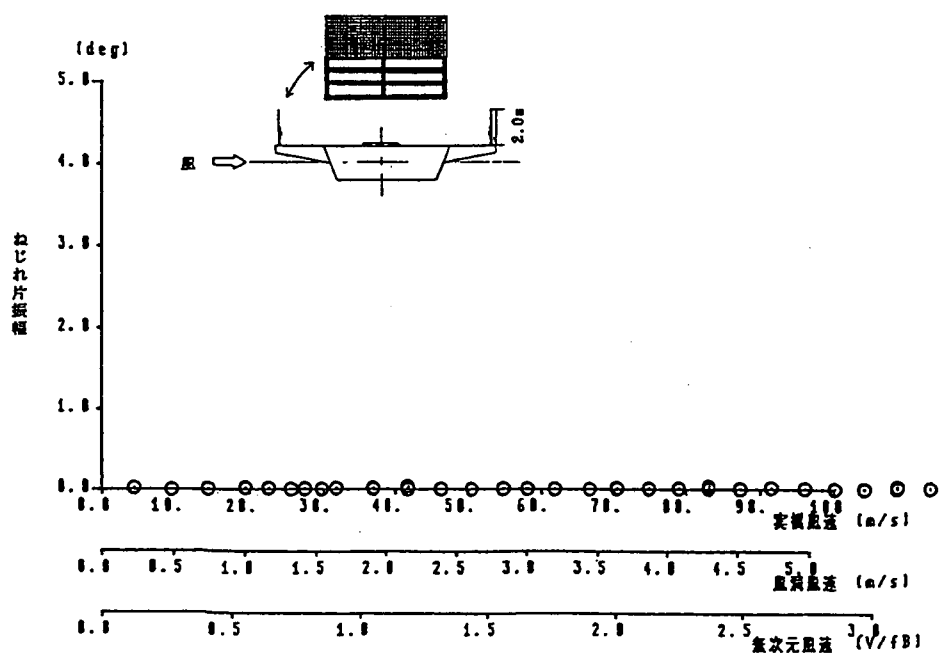
付図-2.39 風速-振幅曲線 (CASE2-10、迎角 3deg、たわみ)



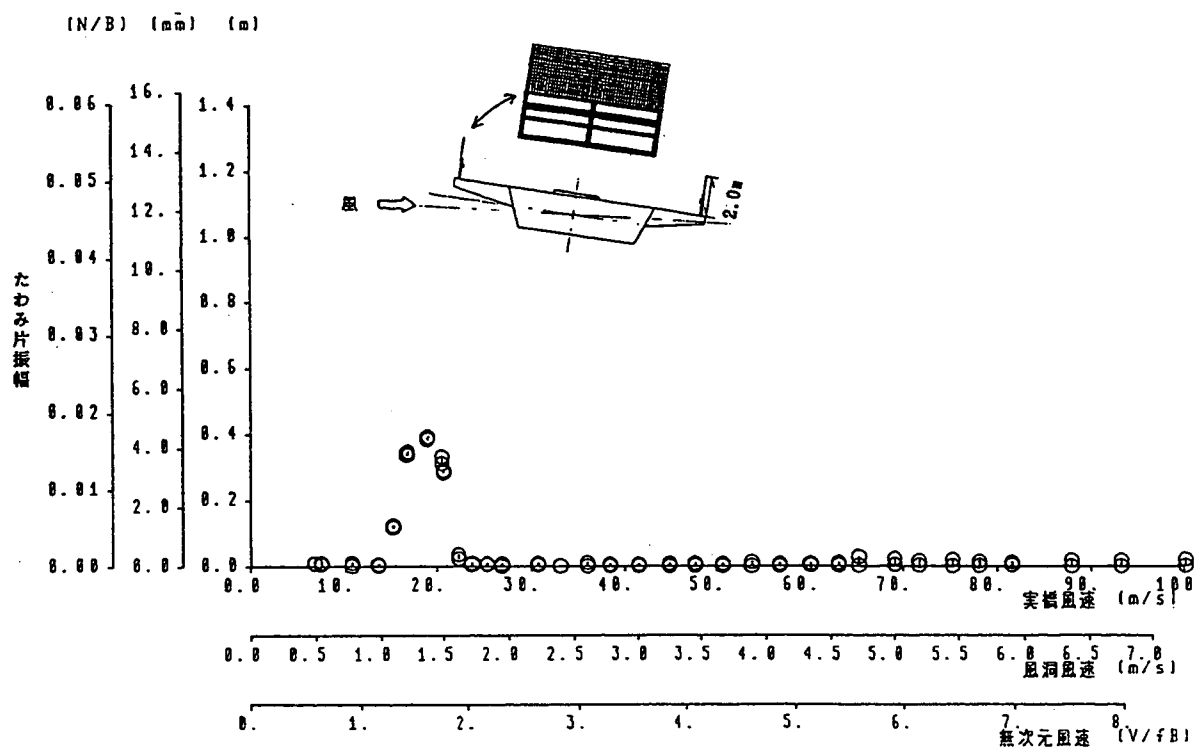
付図-2.40 風速-振幅曲線 (CASE2-10、迎角 3deg、ねじれ)



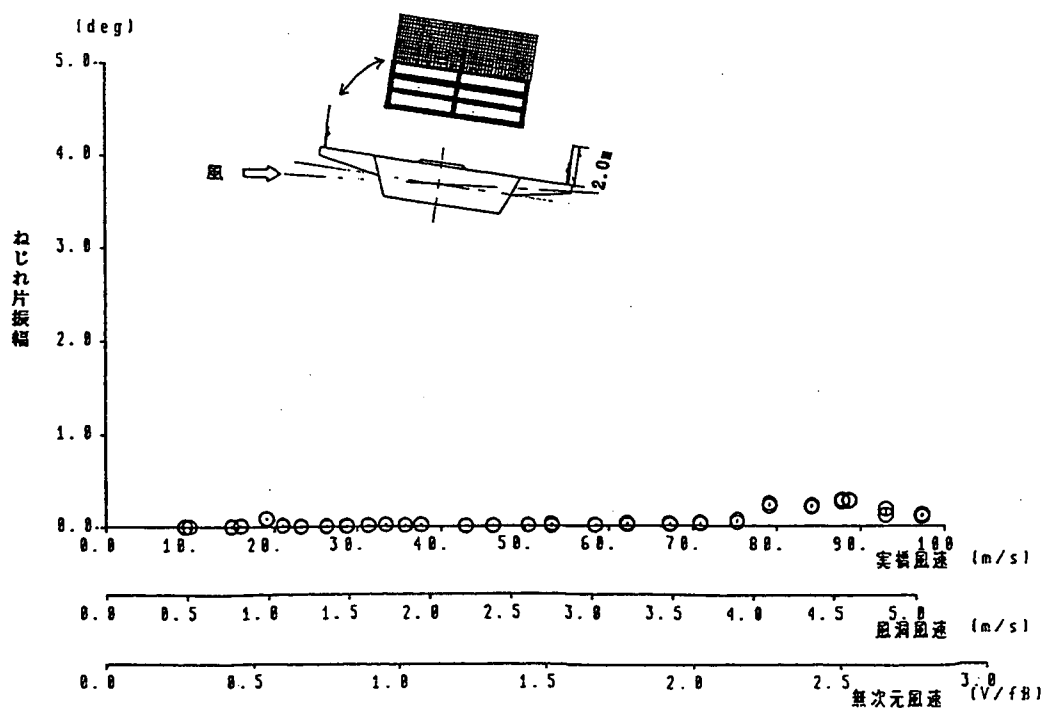
付図-2.41 風速-振幅曲線 (CASE2-11、迎角 0deg、たわみ)



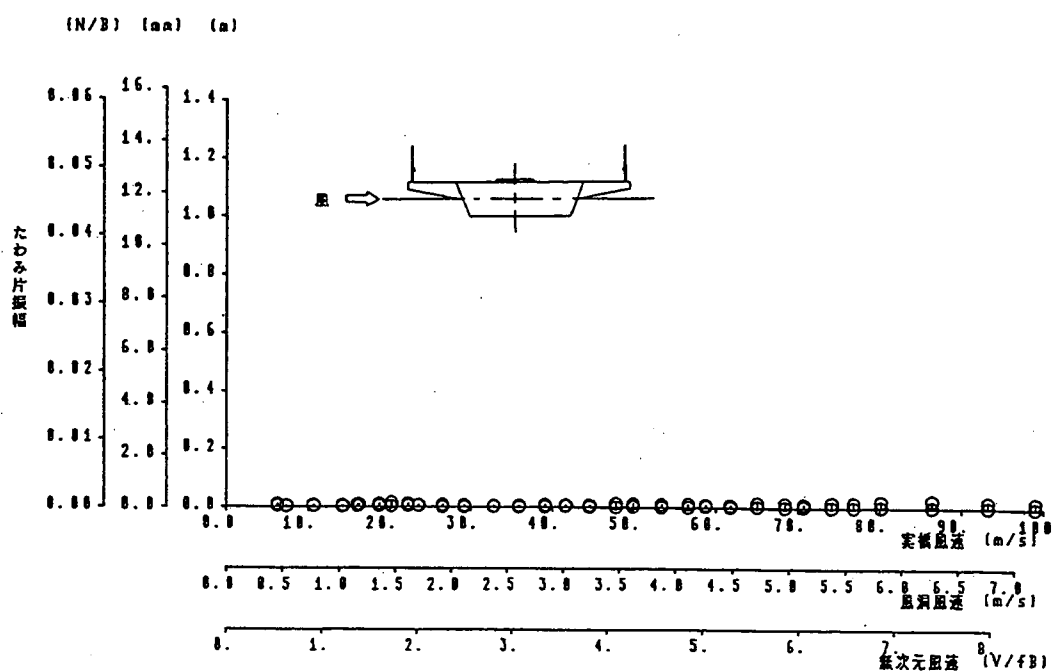
付図-2.42 風速-振幅曲線 (CASE2-11、迎角 0deg、ねじれ)



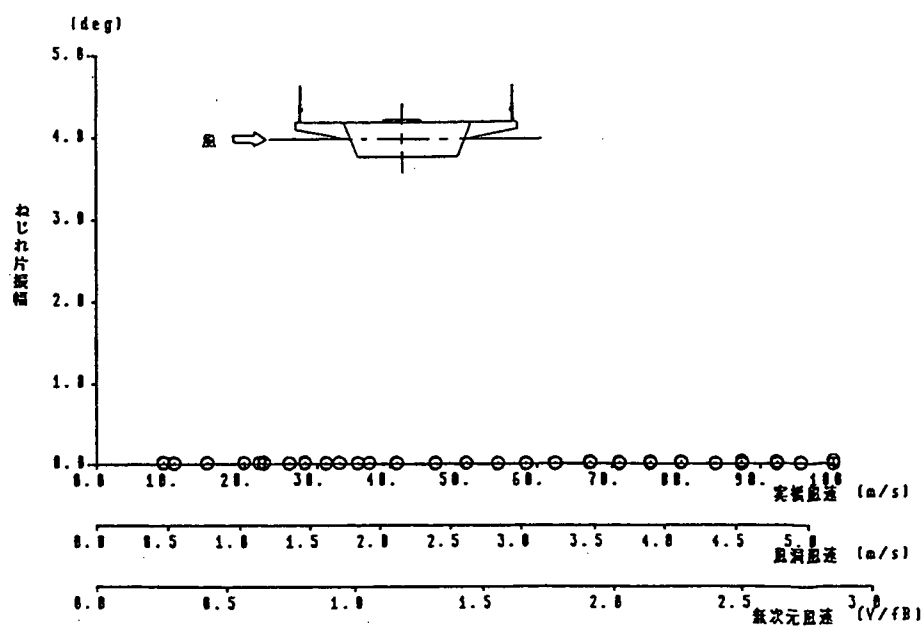
付図-2.43 風速-振幅曲線 (CASE2-11、迎角 3deg、たわみ)



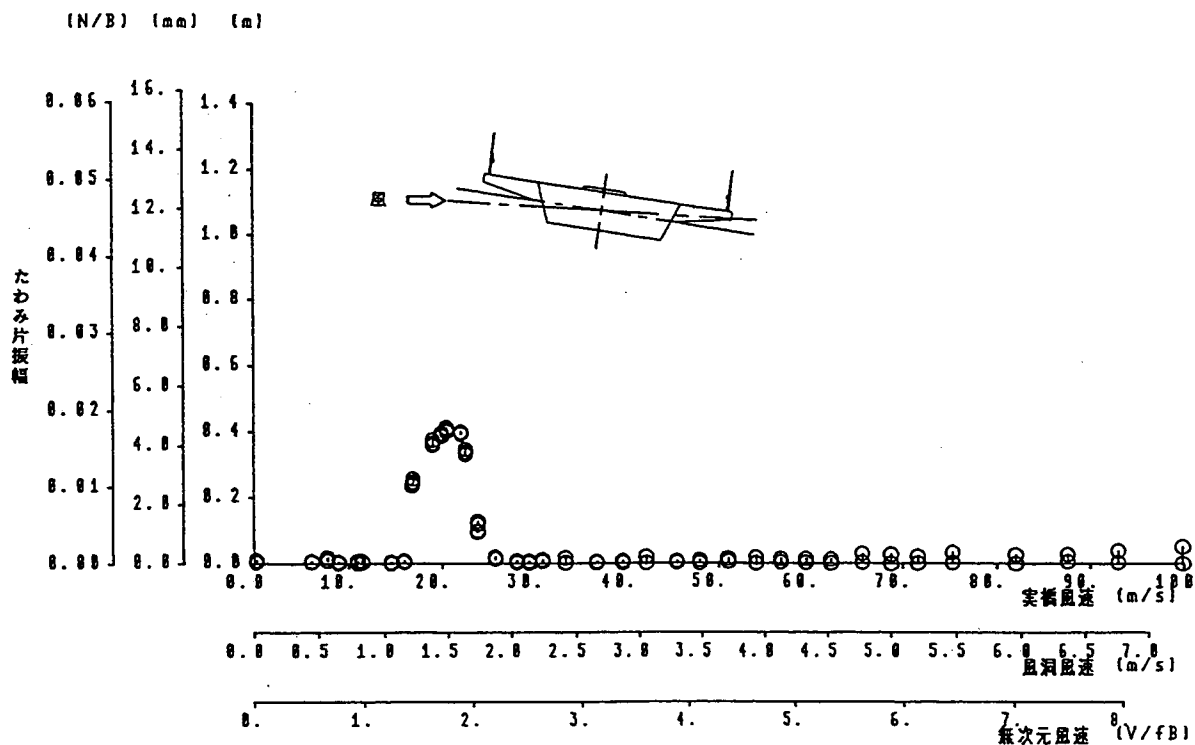
付図-2.44 風速-振幅曲線 (CASE2-11、迎角 3deg、ねじれ)



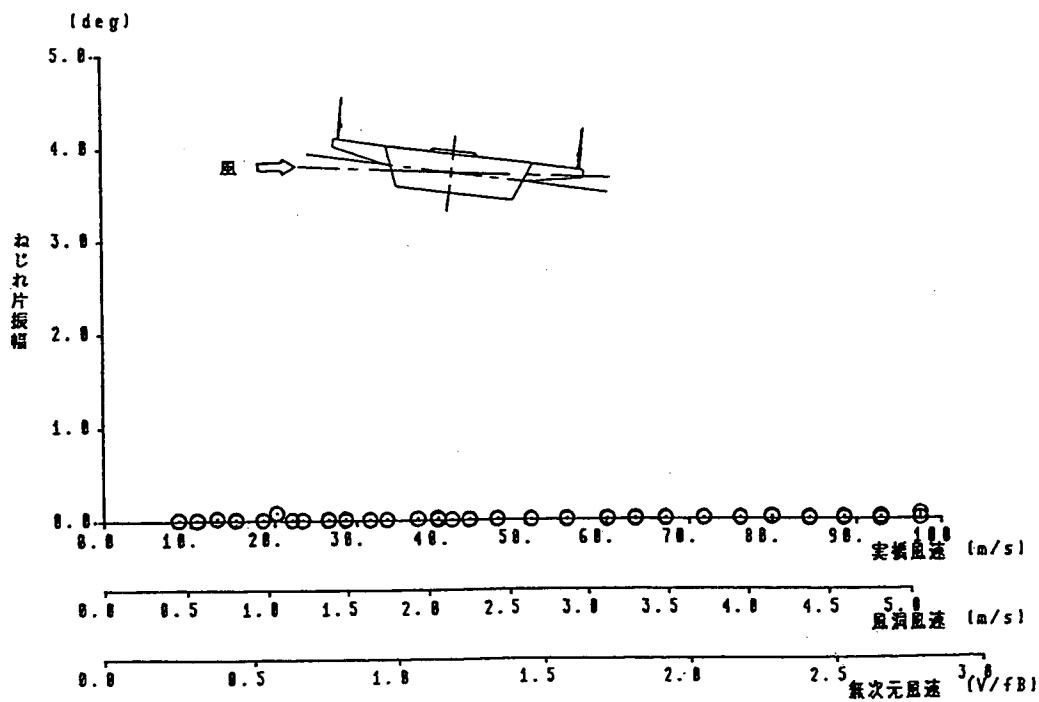
付図-2.45 風速-振幅曲線 (CASE2-12、迎角 0deg、たわみ)



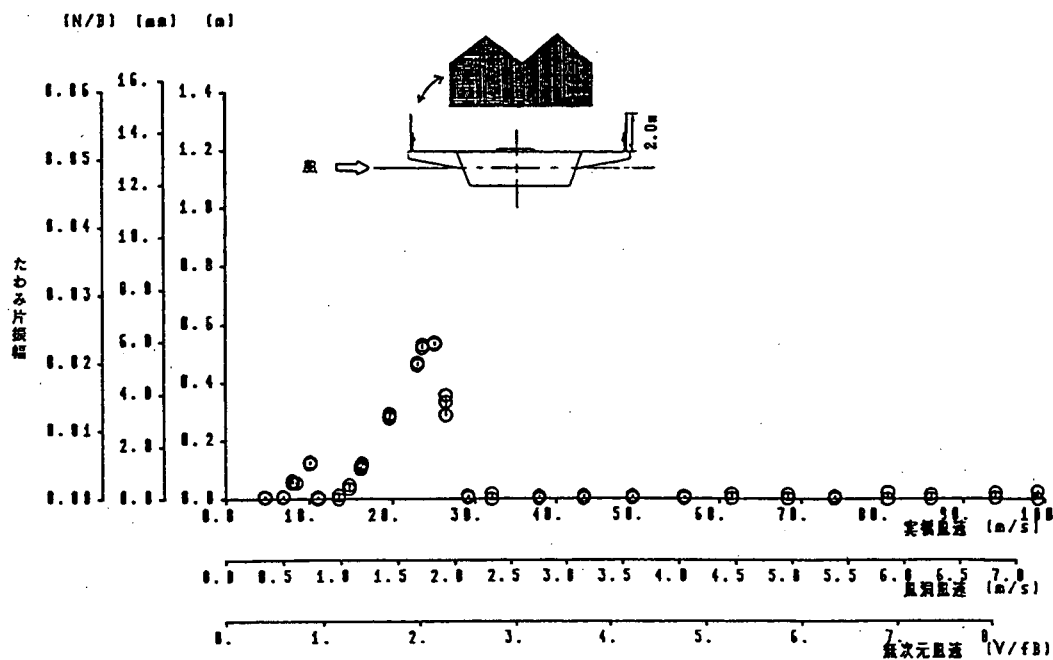
付図-2.46 風速-振幅曲線 (CASE2-12、迎角 0deg、ねじれ)



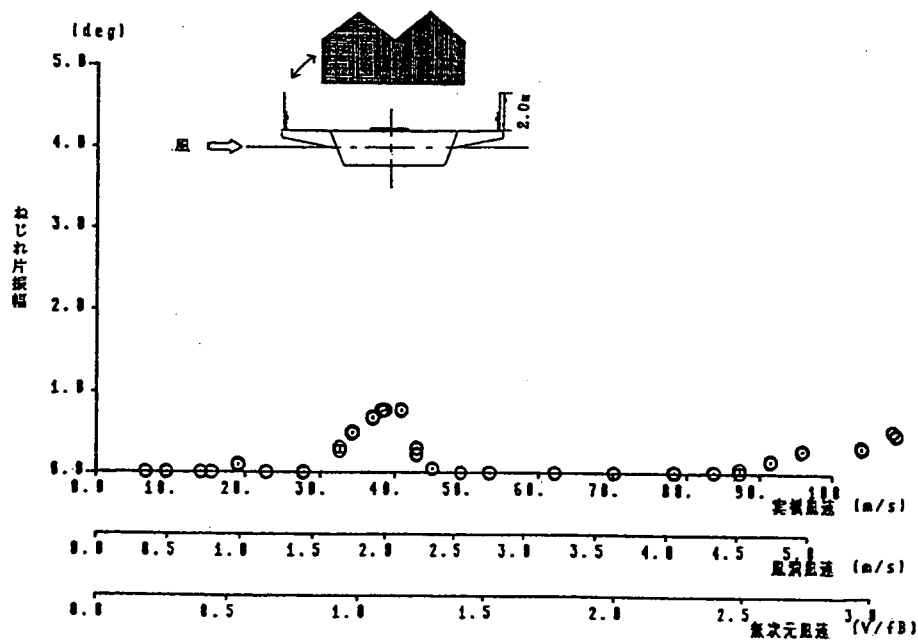
付図-2.47 風速-振幅曲線 (CASE2-12、迎角 3deg、たわみ)



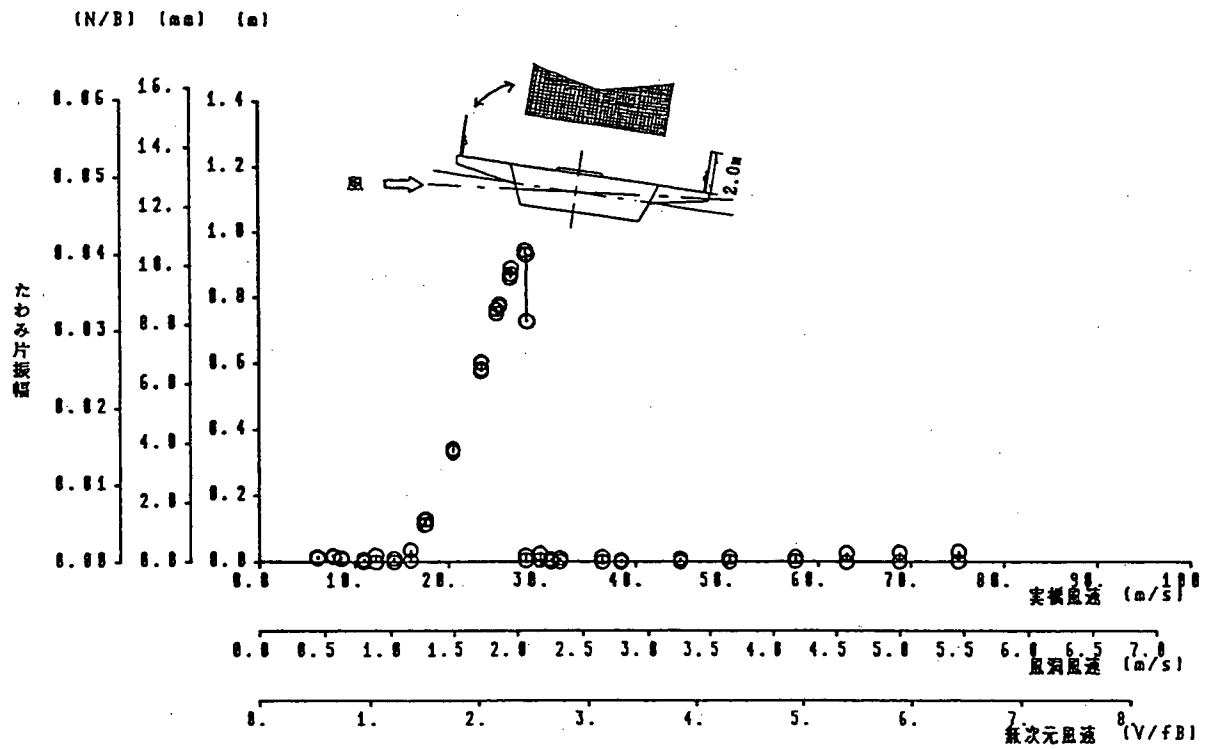
付図-2.48 風速-振幅曲線 (CASE2-12、迎角 3deg、ねじれ)



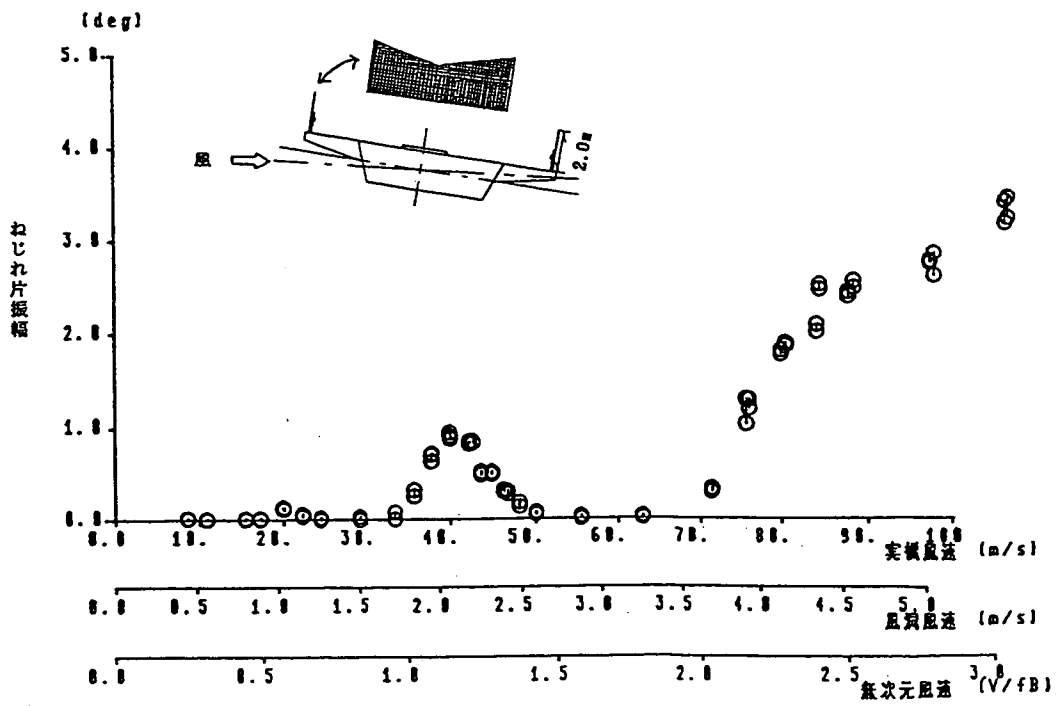
付図-2.49 風速-振幅曲線 (CASE2-13、迎角 0deg、たわみ)

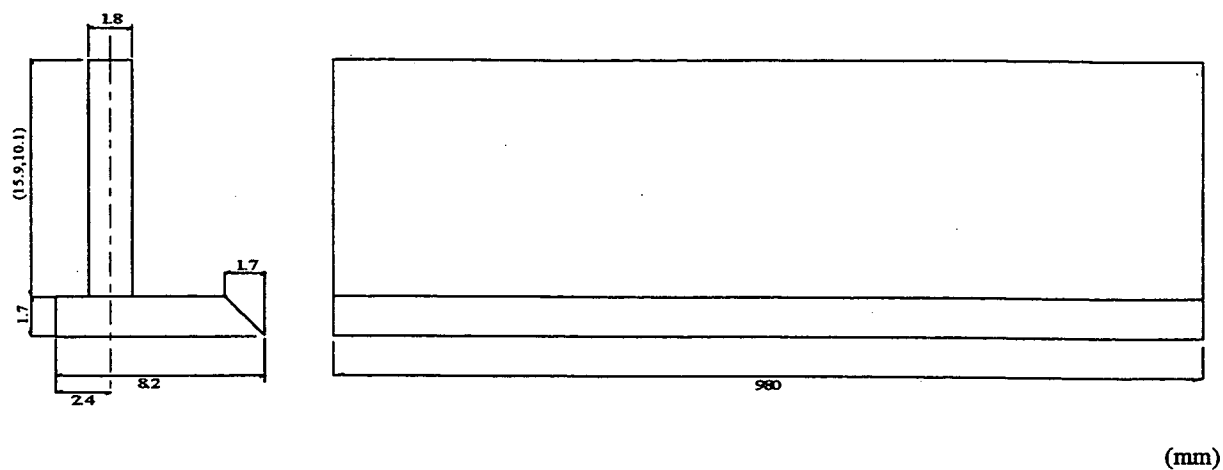


付図-2.50 風速-振幅曲線 (CASE2-13、迎角 0deg、ねじれ)

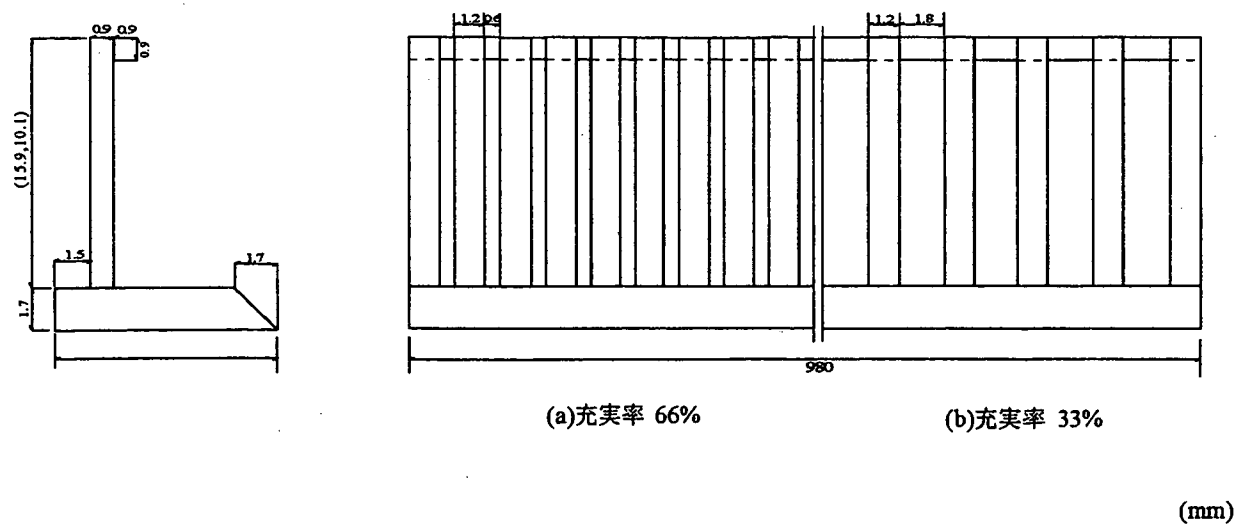


付図-2.51 風速-振幅曲線 (CASE2-13、迎角 3deg、たわみ)

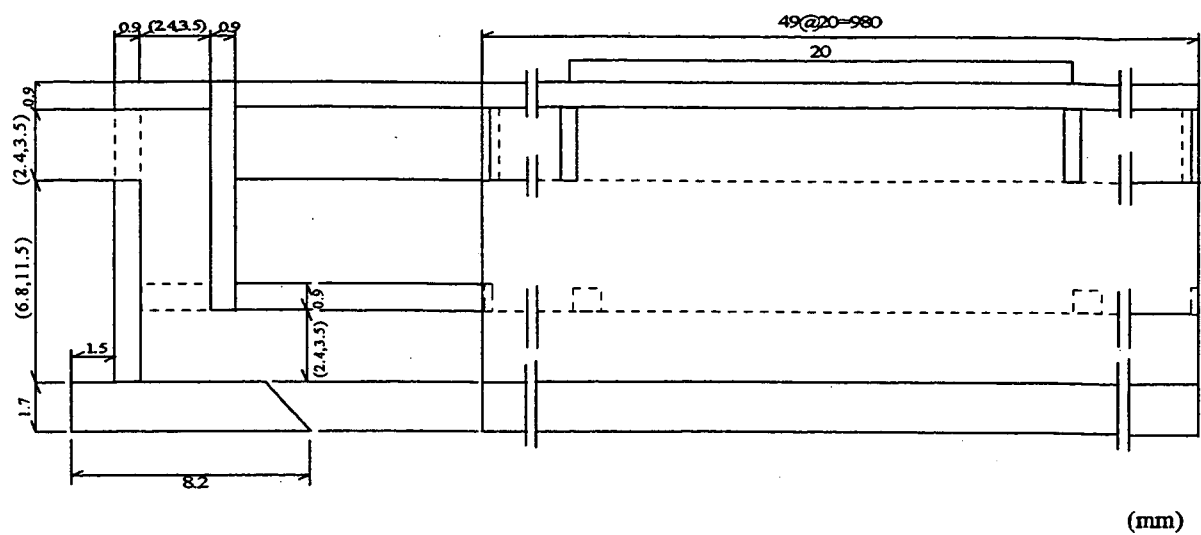




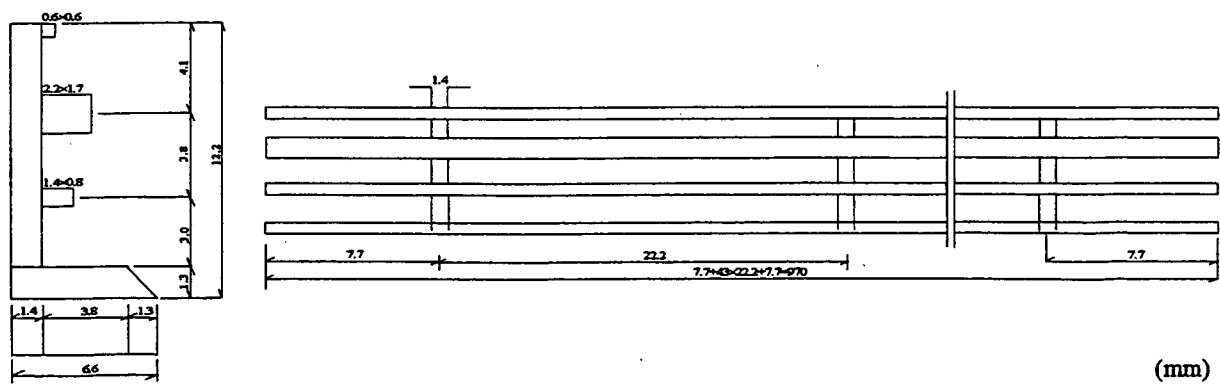
付図-3.1 壁型強風対策工詳細図 (CASE1-2,CASE1-3)



付図-3.2 縦格子型強風対策工詳細図 (CASE1-4, CASE1-5, CASE1-6)

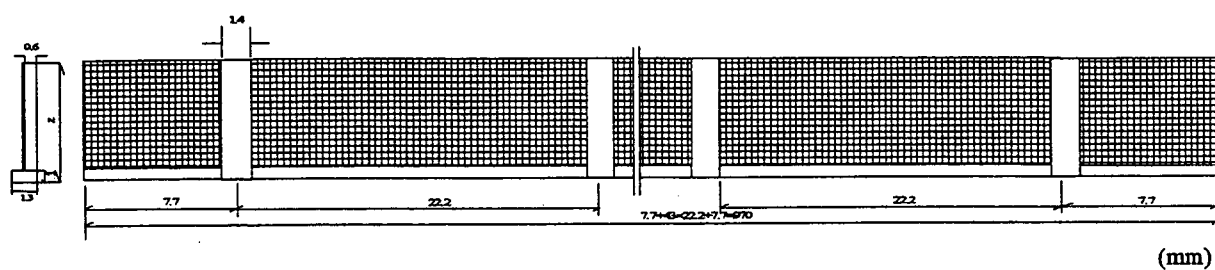


付図-3.5 ベンチレーション型強風対策工詳細図 (CASE1-12,CASE1-13)



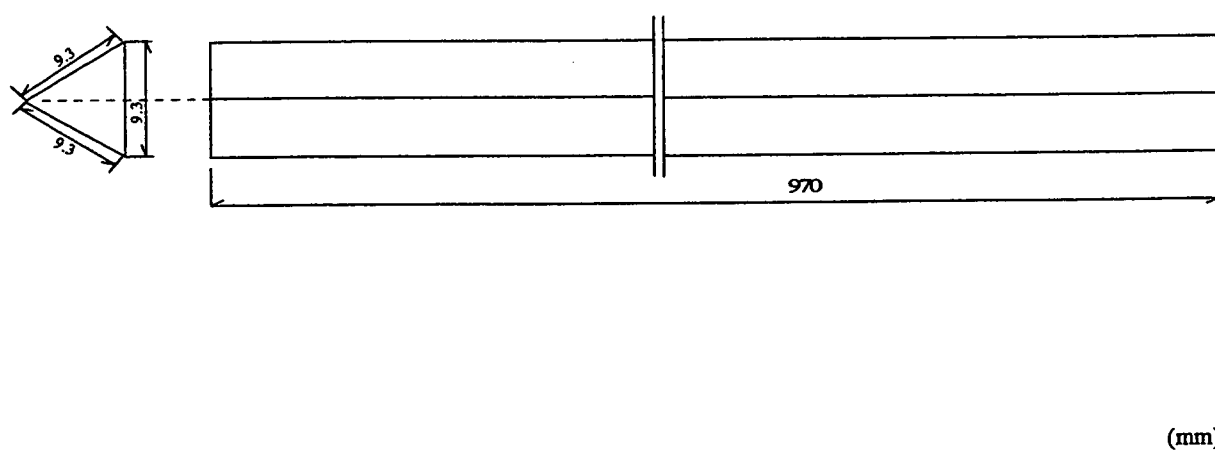
付図-3.6 橋梁防護柵詳細図 (CASE2-1)

ケース No.	フェンス高さ Zmm
CASE 2-2～2-5	12.2
CASE 2-6, 2-7	17.8
CASE 2-8	23.3

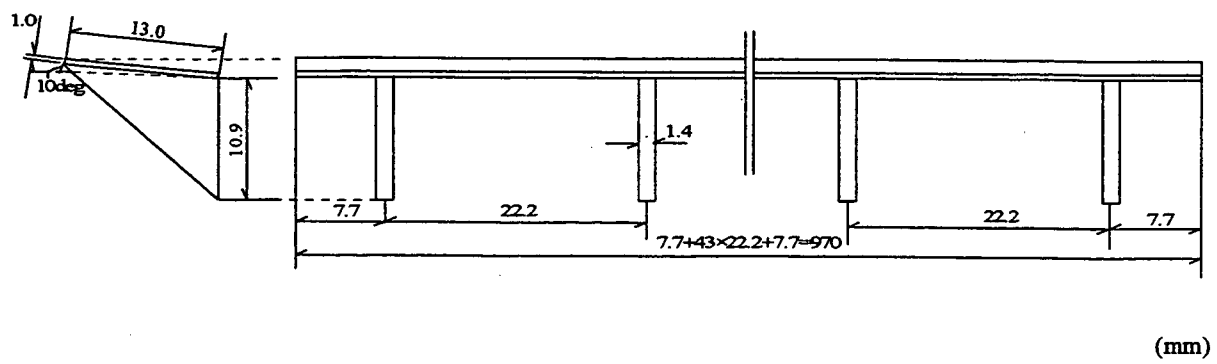


※本部材を橋梁防護柵に取り付け防風フェンスとする。

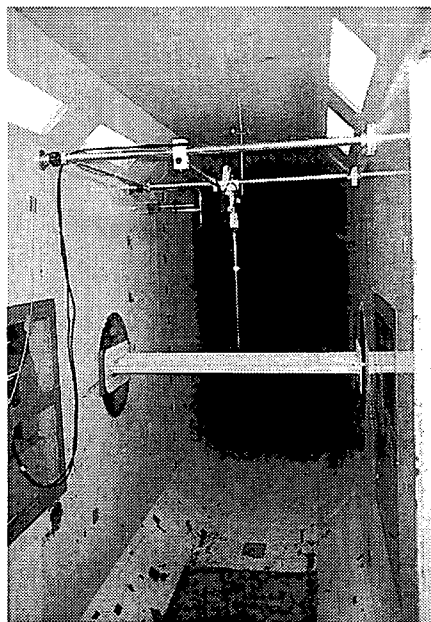
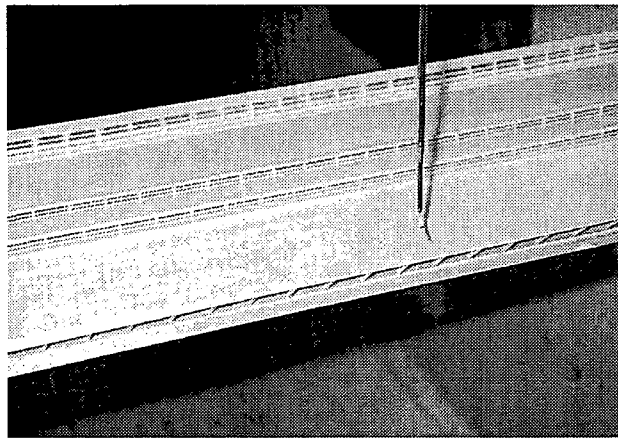
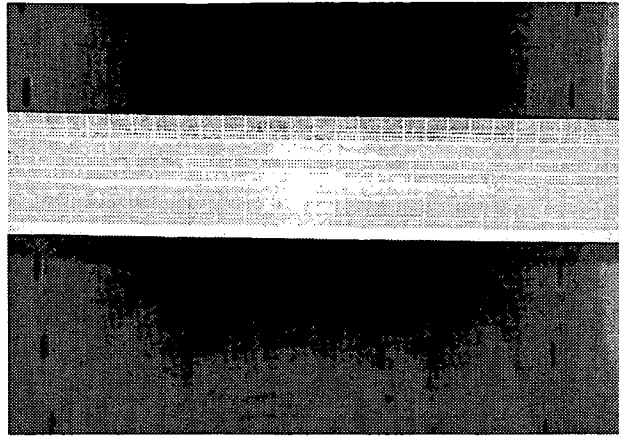
付図-3.7 防風フェンス詳細図 (CASE2-2～CASE2-8)



付図-3.8 フェアリング詳細図 (CASE2-9)



付図-3.9 フラップ詳細図 (CASE2-10)



写真・1 実験状況