

土木研究所資料

充腹断面橋桁を有する斜張橋の3次元風洞実験(その2)

昭和56年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

まえがき

名港西大橋は、名古屋環状2号線（一般国道302号）の名古屋港横断部に計画された橋梁であり、現在日本道路公団によりその建設事業が進められている。

本橋は、建設省により昭和49年度から本格的な検討が始められ、昭和50年度にはダブルデッキのトラス桁を有する斜張橋としての検討が行われた。しかしながら、その後我が国の経済状態およびその将来見通しなどを踏まえ、橋梁の規模の再検討が行われ、計画規模が6車線に縮小されるとともに、暫定供用をするということも考慮し、3車線の充腹桁を有する斜張橋を2橋並列して架橋する案に変更された。

本計画案のように、同様な橋梁を極く接近させて2橋並列して建設した場合、風下側の橋梁が風上側の橋梁によって引き起こされた風の乱れにより生じた風の変動の影響を受け、強制振動（パフエッテング）を引き起こすことがある。橋梁のパフエッテングについて調べるためには、風の乱れの空間的変動性およびそれに対応して橋梁の3次元性を考慮することがより重要となり、従来橋梁の耐風安定性を調査するために一般に行なわれている2次元実験ではその性状を充分把握することは困難であり、全径間弾性模型による風洞実験を実施することが必要となる。

このような背景のもとに、本年度日本道路公団からの委託を受け、当研究室において本橋の全径間弾性模型による風洞実験を実施した。

本報告書は昭和55年度に実施した上記実験より得られた成果をとりまとめたものである。

最後に、本調査を実施するにあたり、日本道路公団の本橋に関係する諸氏、特に同公団名港西大橋工事事務所の各位には多大なる御協力をいただいた。ここに深謝の意を表わすものである。

昭和56年3月

建設省土木研究所

構造研究室	室長	山本邦夫
	研究員	佐藤弘史
	〃	水上幹之
		野村一夫
		湯沢聡
		神崎一夫

目 次

1. 概 要	1
2. 全径間弾性模型の構造特性実験	5
2.1 概 要	5
2.2 模型の構造特性実験	5
3. 予備風洞実験	12
4. 単独橋の風洞実験	13
4.1 実験方法及び実験条件	13
4.2 実験結果及び考察	13
5. 2 橋並列の風洞実験	52
5.1 実験方法及び実験条件	52
5.2 実験結果及び考察	52
6. 単独橋と 2 橋並列との比較	94
7. ま と め	115

1. 概 要

名港西大橋は名古屋環状2号線（一般国道302号）の名古屋港横断部に計画された充腹桁を有する橋長705m(175m+405m+175m)の斜張橋である。しかも、暫定供用などのことを考慮し、同じ規模の斜張橋を2橋並列して建設する計画となっている。

本計画案の橋梁のように、同様な橋を極く接近させて建設した場合、風下側の橋梁が、風上側の橋梁によって引き起こされた風の流れの乱れにより生じた風速の変動の影響を受け、強制振動（パフェッティング）を引き起こす可能性がある。本橋の耐風安定性を検討するにあたり、単独橋としてその耐風安定性を検討することはもとより重要なことであるが、加えてパフェッティングについて調査検討しておくことが不可欠な事項であると思われる。

風下側の橋梁のパフェッティングについて検討するためには、風の乱れの空間的変動性およびそれに対応して橋梁の3次元性を考慮することが重要となり、2次元実験のみならず全径間弾性模型を用いた3次元風洞実験を行ない、その橋梁の挙動¹⁾を確める必要がある。

このような背景のもとに、当研究室においては、本年度日本道路公団より委託をうけ名港西大橋について全径間弾性模型による風洞実験を実施した。

実験の対象とした本橋の設計案は、昭和52年度建設省において検討された案であり、その一般図を図1に示す。

表一 1 名港西大橋 3 次元風洞実験に関連する実験一覧表

実施期間	項 目	概 要 及 び 備 考
55. 1	全 径 間 弾 性 模 型 桁 特 性 実 験	◦ 桁部が所要値（重量、極慣性、鉛直たわみ剛性、横たわみ剛性、ねじれ剛性など）を満足しているかどうかの実験。
55. 4	全 径 間 弾 性 模 型 構 造 特 性 実 験	◦ 完成系としての模型が所要値（振動数、減衰率など）を満足しているかどうかの実験。 ◦ 加振器による強制加振法の妥当性の検討。
55.5～6	3次元風洞予備実験	◦ 無加振風洞実験による、模型の励振状態の調査。 ◦ 模型支持台が気流に及ぼす影響の調査及び対策。
55.12. 前	3次元風洞本実験 単 独 橋 一 様 流	◦ 強制加振法による本格的な風洞実験。 ◦ 実験ケースは A、B 両方向とも迎角 $\pm 7^\circ$、$\pm 5^\circ$、$\pm 3^\circ$、0° の合計 14 ケース。
55.12. 後	3次元風洞本実験 2 橋 並 列 一 様 流	◦ 2 橋の間隔をかえながらの強制加振法による風洞実験。 ◦ 実験ケースは 1.28 L、2.0 L（各々迎角 $\pm 5^\circ$、$\pm 3^\circ$、0°）、1.5 L（迎角 0°）の合計 11 ケース。

2. 全径間弾性模型の構造特性実験

2.1 概 要

模型実験を行なう場合、模型と実物との間で関連づけなければならない関係は、両者に起こる物理現象を支配する方程式の各項について次元解析を行なうことによって決定される。

一方、一様流中におかれた構造物の挙動は、構造物の形状と以下の8個の物理量によって定まると考えられる。²⁾

- E ; 弾性係数
- P ; 空気密度
- V ; 風速
- B ; 構造物の代表長
- μ ; 空気の粘性係数
- g ; 重力加速度
- P_s ; 構造物材料の密度
- δ_s ; 構造減衰率

基本方程式を基にこれらの物理量について次元解析を行なうと表2-1に示す5個の無次元量が導かれる。一般的に模型実験を行なう場合、上記の5つの相似パラメーターによって示される条件を全て満足させる必要があるが、低風速風洞を使用する場合、粘性パラメーターを満足させることは極めて困難であるため、今回実験においては粘性パラメーターの条件は無視した。一般に充腹断面桁のように角ばった縁端を有する断面では、粘性パラメーターが変化しても流れの剥離点がほぼ一定しているため、無視してよいものとされている。³⁾

当研究室では、上記の相似則に基づき、昭和54年度に名港西大橋を対象とし全径間弾性模型製作のための設計計算及び重量、極慣性、剛性（桁特性実験）に関する試験を行なったが、その結果は表2-2に示すとおりである。⁴⁾この結果に基づき、本実験に用いる模型を製作した。また、全体系としての特性は、模型の架設後、強制加振実験を行ない、その固有振動数、対数減衰率を調べた。

2.2 模型の構造特性実験

架設された模型の固有振動数及び対数減衰率などの振動性状を精査するために、加振実験を行なった。本実験では高次モードの固有振動数等を知るため、加振方法として小型電動加振器による強制加振方法を採用した。使用した加振器は、動電動加振器（2台）、発振部、位相設定部、増幅部から構成され、任意の周波数が任意の位相で設定可能であり、振幅も変化でき得るものである。加振器の設定位置は模型の振動モードに与える影響を極力少なくするため、また加振器の設定による風の乱れの影響を少なくするため、主塔の直近とした。さらに加振器内部バネの抵抗により振動モードが乱されないよう、その影響を軽減するため加振器と模型の間には新たなバネを挿入した。

この加振法の適否を調べるために理論計算と実験を行い、その影響度の検討を行った。図2-1はバネをケーブルに換算しその振動計算を行なった結果のモード図、図2-2は加振器を取り付けない場合の計算振動モード図である。

実験としては、表2-3に示すとおり、加振器を全くつけない鉛直たわみ1次自由振動（手で変位を与え、瞬時にその拘束を解放することによる振動）、加振器を設置した状態での鉛直たわみ1次自由振動、加振器による鉛直たわみ1次強制振動の3ケースを実施した。以上の検討結果より加振器による模型の構造系への影響はほとんど問題のない程度のものであることが判明した。

なお、鉛直たわみ2次、3次、4次の強制加振実験の結果と計算値とを対比したものが表2-4である。これによれば、高次モードに関しては計算値と実測値の振動数は多少の差が生じている。この原因が加振器によるものか、模型自体の系によるものか明らかではない。しかしながら、鉛直たわみ1次において加振器の影響は微々たるものであり、このことから推定すれば、高次においても加振器の影響は少ないと考えられる。

以上の結果を総合して全径間弾性模型としてその主要諸元をまとめたのが表2-5である。

なお、全体の概略を図2-3に示す。

表 2-1 風洞実験で要求されるパラメーター

1 弾性パラメーター $E/\rho V^2$	構造物の弾性力/空気の慣性力
2 重力パラメーター gB/V^2	構造物の重力/空気の慣性力
3 慣性パラメーター σ/ρ	構造物の慣性力/空気の慣性力
4 粘性パラメーター $\rho VB/\mu$	空気の慣性力/空気の粘性力
5 減衰パラメーター δ_s	1 c/s の間の散逸エネルギー/振動中の全エネルギー

表 2-2 橋桁模型特性試験結果

項 目	所 要 値	実 験 値	誤 差 (%)
死 荷 重 (gf/mm)	0.613	0.625	2.0
極慣性モーメント (gf・mm ² /mm)	644	689	7.0
鉛直たわみ断面 2 次モーメント (mm ⁴)	17.33	17.31 ⁽¹⁾	±3.0 内 ⁽²⁾
横たわみ断面 2 次モーメント (mm ⁴)	309.19	307.07 ⁽¹⁾	±2.0 内 ⁽²⁾
ねじれ定数 (mm ⁴)	43.75	43.91	0.4

注 (1) 実験値の平均値。静的たわみ試験による。

(2) 実験値のバラつきも含む。

なお、死荷重と極慣性モーメントは設計変更によりほぼ所要値と合わせることが可能である。

表 2-3 加振器による模型の構造系への影響

	状 態	振 動 数	対 数 減 衰 率
鉛 直 1 次	加振器なし自由行動	3.6 5 2	0.0 2 8
	加振器つけて自由振動	3.6 6 8	0.0 2 7
	加振器による強制振動	3.6 6 6	0.0 2 4

表 2-4 強制加振法による高次の振動状態

	状 態	振動数(計算値)	対 数 減 衰 率	振 動 数
鉛 直 2 次	加振器による強制振動	4.2 2	0.0 2 4	4.5 4
鉛 直 3 次	" "	6.4 0	0.0 1 8	7.0 5
鉛 直 4 次	" "	7.6 8	0.0 2 0	7.5 5
ね じ れ 1 次	" "	1 8.6 9	0.0 1 7	1 6.1 0

注 (1) 実験回数は各々 3 回で値は平均値を採用

(2) 測定点は鉛直 2 次は中央径間 $\frac{1}{4}$ 点、鉛直 4 次は $\frac{1}{8}$ 点、その他はすべて $\frac{1}{2}$ 点

(3) 迎角は 0°

表2-5 全径間弾性模型主要諸元

諸 元	単 位	原 型	縮 尺 比	模 型 所 要 値	模 型 実 際 値
橋 長		755		5808	5808
主 径 間 長		405		3116	3116
側 径 間 長	mm	175×10^3	$1/n$	1346	1346
幅 員		15		115.4	115.4
桁 高		2.5		19.2	19.2
桁 全 重 量	gf	$7,827.8 \times 10^6$	$1/n^3$	3560	3565
死 荷 重	gf/mm	10.36×10^3	$1/n^2$	0.613	0.613
極 慣 性	gfmm ² /mm	184.0×10^8	$1/n^4$	644	約 644
桁 鉛 直 曲 げ 剛 性		1.352×10^{19}		3.633×10^8	3.629×10^8
桁 横 曲 げ 剛 性	gf・mm ²	2.411×10^{20}	$1/n^5$	6.493×10^9	6.449×10^9
桁 ね じ れ 剛 性		1.316×10^{19}		3.548×10^8	3.561×10^8
ケ ー ブ ル ※1) 伸 び 剛 性	gf・mm	① 6.93 ② 5.25 ③ 5.25 ④ 5.25 $\times 10^{11}$	$1/n^3$	3.61 2.79 2.79 2.79 $\times 10^5$	3.61 2.79 2.79 2.79 $\times 10^5$
ケ ー ブ ル 重 量	g/本	① 40.2 ② 22.5 ③ 22.5 ④ 36.4 $\times 10^6$	$1/n^3$	18 10 10 17	18 10 10 17
ケ ー ブ ル 長	mm	① 178 ② 112 ③ 112 ④ 182 $\times 10^3$	$1/n$	1370 860 860 1400	1370 860 860 1400
塔 高	mm	120×10^3	$1/n$	920	920
塔 曲 げ 剛 性 (橋 軸 方 向)	gf・mm ²	4.49×10^{19}	$1/n^5$	1.21×10^6	1.21×10^6
塔 重 量	gf	920×10^6	$1/n^3$	419	426
鉛直たわみ1次振動数	1/S	0.306		3.49 ※2)	3.60~3.66
2次 "	"	0.345		4.22 ※2)	4.48~4.54
3次 "	"	0.562	$\sqrt{n}$	6.40 ※2)	6.98~7.05
ねじれ1次振動数	"	1.63		18.69 ※2)	15.6~16.1
横たわみ1次振動数	"	0.236		2.69 ※2)	2.57~2.59
対 数 減 衰 率		0.02~0.03	1	0.02~0.03	0.015~0.03

(縮尺=1/130, n=130)

※1) 振動計算より補正している。

※2) マルチケーブルの実橋から求められる所要値。

従って16本ケーブルの計算値ではない。

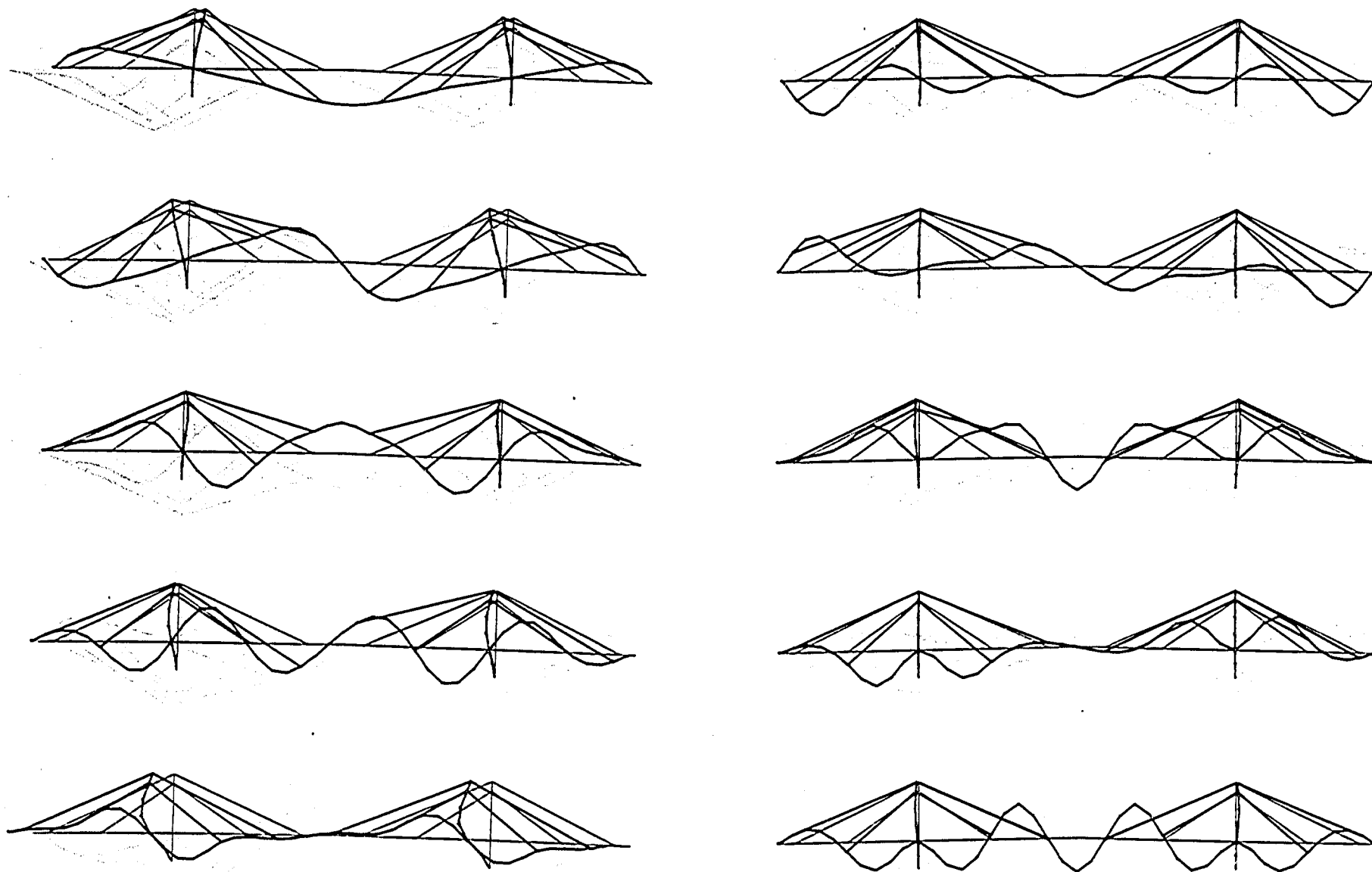


図2-1 加振器をつけない状態での振動モード図

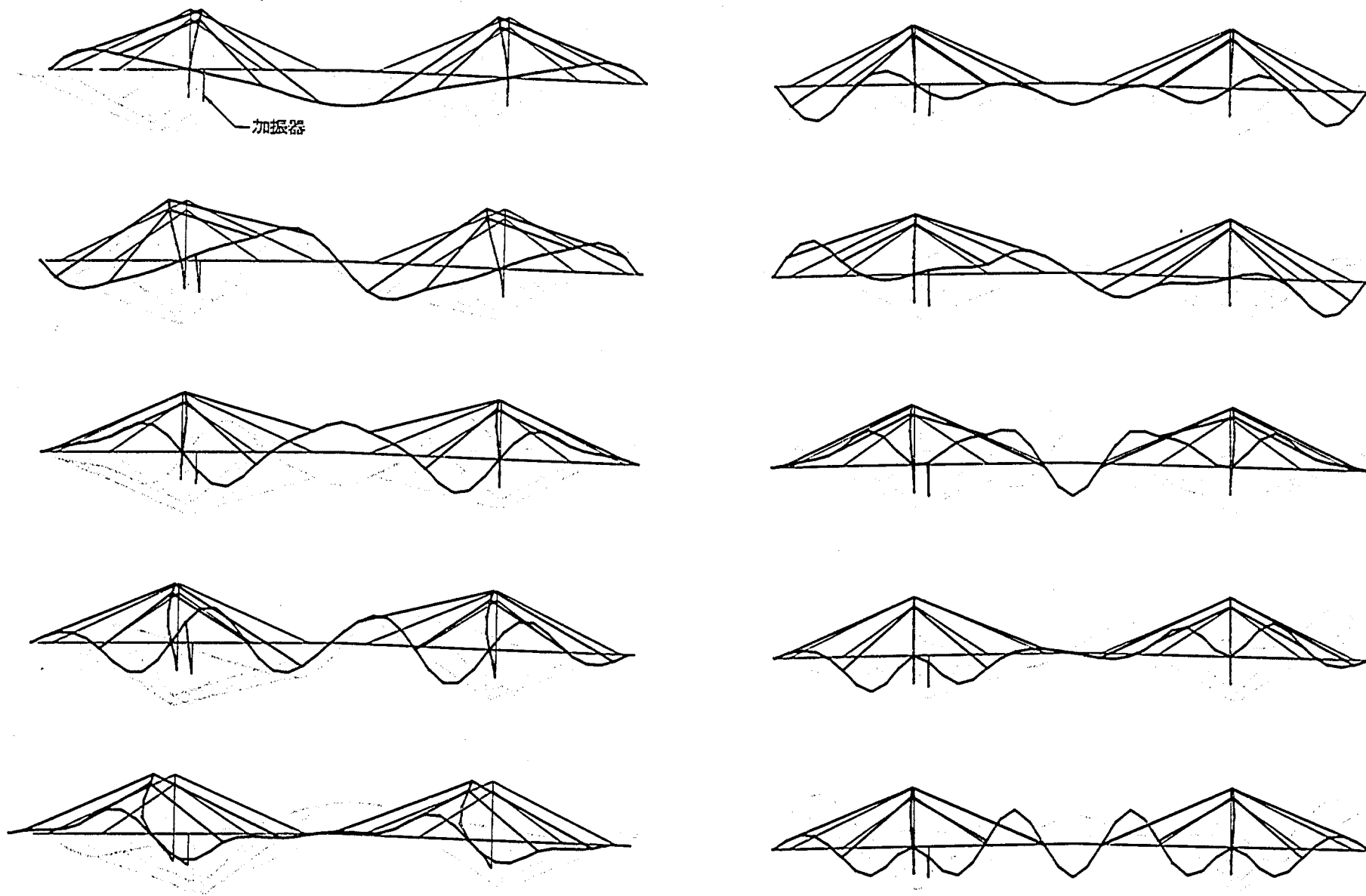


図2-2 加振器を設置した状態での振動モード図

3. 予備風洞実験

本実験は測定風速間隔の決定、模型支持台が気流に及ぼす影響の調査およびその対策方法の検討を主な目的とし実施した。

実験結果より渦励振の発生する風速範囲がある程度判明したため、実験上の能率をも考慮し、本実験に際しては以下のような測定風速間隔を設定することにした。

風 速 間 隔		
実 橋 風 速 :	0 ~ 20 m/sec	精密微差圧計で 0.01 mmHg ごと。
	20 ~ 60 m/sec	実橋風速で約 5 m/sec ごと。但し、20 m/sec ~ 30 m/sec においては、模型の挙動を観察しながら適宜その間隔を設定する。
	60 m/sec ~ 100 m/sec	実橋風速で約 10 m/sec ごと。

模型を設置した後、煙発生器および熱線風速計により気流の性状を調べたところ、模型支持台により気流が吹き上げられていることが判明したので、この影響を軽減するため、水平に板を模型支持台上に這わせ（以下これを地面板と呼ぶ。）上流側で予め風洞気流をこの板上と板下に分離し、模型の桁部には水平となった気流が当たるようにした。

4. 単独橋の風洞実験

4.1 実験方法及び実験条件

模型の支持は2橋並列用の模型支持台を使用して行なった。模型支持台の設計図を図4-1～10に、また概略図を図4-11に示す。

使用した風洞は建設省土木研究所の大気汚染拡散風洞である。この主要諸元を表4-1、概要図を図4-12に示す。

風速はピトー管と精密微差圧計を使用して測定し、模型の挙動は模型に取り付けた豆電球の挙動を非接触電子光学式変位計で観測することにより測定した。測定箇所は図4-13に示すように、合計5箇所であるが、その内①、②の箇所については2軸（鉛直方向、気流水平方向）測定可能な変位計を使用し、その他は1軸（鉛直方向）のみ測定可能な変位計を用いることにした。この光学式変位計からの信号はペン書きレコーダーでモニターしながら、アナログデータレコーダーに記録した。

各迎角の設定には模型支持台を傾斜させる方法をとったが、このことによる模型の構造特性の影響を調べるため、各ケースの風洞実験に先だち、無風時状態で鉛直たわみ1次、2次、3次、ねじれ1次の強制加振実験を行なった。

なお、実験は鉛直たわみ1次、ねじれ1次の強制加振を行ないながら表4-2に示すようなケースについて行なった。

4.2 実験結果及び考察

4.2.1 構造特性について

無風時における強制加振実験結果を表4-3～4および図4-14～27に示す。これらの表からわかるように1)振動数は模型の迎角を変化させてもほとんど変わらない。2)振動モードも同様に模型の迎角を変化させてもほとんど変わらない。3)しかしながら構造減衰率は設定迎角ごとにある程度のばらつきを示し、その値も目標値とした0.02付近かむしろ小さめの値を有しており、迎角の絶対値が大きくなるほど多少減衰率が增大する傾向を示している。実験結果より全般的に模型は所要値をほぼ満足していると言える。

なお、3)の構造減衰率の測定値がばらつくのは、模型桁の支持条件の変化などの要因が考えられる。

4.2.2 風洞実験結果及び考察

(1) 一様流中における本橋の発振風速と迎角との関係 ($V_{cri} - \alpha$) を図4-28, 29に示す。図からわかるように、フラッターなどの自励振動は、両方向の風に対して迎角で $+7^\circ \sim -7^\circ$ 、実橋風速にして100/secまでの範囲では発生していない。

(2) どのケースにおいてもねじれモードの渦励振は発生していないが、鉛直たわみモードの渦励振が、実橋風速5 m/sec $\sim$ 20 m/sec の範囲で発生している (図4-30, 31)。

渦励振の特性は次のようである。

- i) A方向の風に対しては迎角 $+3^\circ$ および 0° で、B方向の風に対しては迎角 0° で発生していないが、その他のケースについては渦励振が発生している。一般的に両方向の風に対しては、同次数の振動モードを比較した場合、迎角の絶対値が大きくなるにつれ、その振幅は大きくなり、また振動モードの種類も増える。
- ii) 高風速になるにつれ、順次発生する振動モードは高次となる。振動モード別にその発生風速域をみると、鉛直たわみ1次振動は実橋換算風速で約4.5 m/sec $\sim$ 10 m/sec の範囲で、2次は6 m/sec $\sim$ 13 m/sec の範囲で、3次は10 m/sec $\sim$ 18 m/sec の範囲で発生しており、いずれもその発生風速はかなり低風速である。

渦励振時の振動数は、模型の固有振動数とほぼ一致しており、低風速域における顕著な限定振動であると思わ

れる。また、両方向の風に対して迎角が小さくなるにつれ（正→負）、各々の振動モードの発振風速は低くなっているが、これは迎角により断面の Strouhal 数が変化したためと思われる。

Ⅲ) 励振する風速範囲に幅があるのは、Locking - in 現象と思われる。

Ⅳ) 発生する渦励振の最大倍振幅は、鉛直たわみ 1 次で実橋換算して、2.8cm 程度（B 方向、 $+7^\circ$ ；中央径間 $\frac{1}{2}$ 点）、2 次で 3.4cm 程度（A 方向、迎角 -7° ；中央径間 $\frac{1}{4}$ 点）、3 次で 3.7cm 程度（A 方向、迎角 -7° ；中央径間 $\frac{1}{2}$ 点）の値が観測された（表 4-5 参照）。

Ⅴ) 本実験は一様流で行ったため、測定された振動振幅が必ずしも実橋で生じるとは限らないが参考のため、実験結果より得られた振幅と振動数により波形正弦波形と仮定して、振動時の最大加速度を試算すると表 4-5 のようになり、その最大値は $0.276g$ （A 方向、迎角 -7° ）である。

(3) 実橋風速で 20 m/sec 以上の風速では、限定振動である渦励振はほとんど発生しなくなる。そして高風速になるに従って、次第に不規則振動が顕著になっていく。この原因としては、風洞気流の乱れ、模型の部分的な変形などにより生じた空気力による強制振動などが考えられるが、この場合、風洞気流の乱れ率は外気の影響を考慮しても高々 $\pm 2\%$ 前後であるため、後者によるものと思われ、今後検討する必要があると思われる。

振動振幅の観測値の A/D 変換にあたっては、各チャンネルのサンプリングタイムを 10 ms とし、1 チャンネルあたり 3,000 個のデータを I RUN として用いた。これらのデータを用い、各測定点の振幅標準偏差、ピーク値などを計算した。図 4-3 2 ~ 4 5 に各迎角ごとに中央径間 $\frac{1}{2}$ 点、 $\frac{1}{4}$ 点及び $\frac{1}{8}$ 点における鉛直たわみの標準偏差値を示す。これらの図より A、B 両方向の風に対して、中央径間 $\frac{1}{2}$ 点における振幅が最も大きな値を示していること、A 方向の風に対しては $\frac{1}{8}$ 点振幅の方が、 $\frac{1}{4}$ 点に比べ大きな値を示しており、B 方向は逆に $\frac{1}{4}$ 点の振幅の方が $\frac{1}{8}$ 点の方よりも大きな値を示していること、また高風速になるに従い、いずれの測定点も直線的にその振幅が増大していることなどがわかる。振幅は設計風速 54.5 m/sec で、最大 0.6 mm （実橋換算 7.8 cm ）程度であり、渦励振の振幅に比べれば小さい。

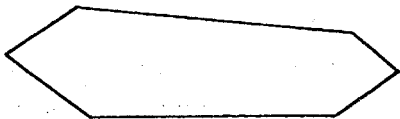
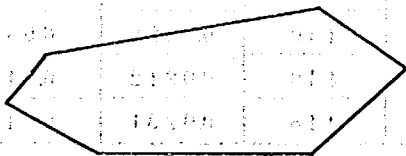
図 4-4 6 ~ 4 9 に中央径間 $\frac{1}{4}$ 点のねじれ角の標準偏差と迎角の関係を示す。一般的に両方向の風に対して迎角の絶対値が大きくなるにつれ、ねじれ変位も大きくなるが、高風速になると値もばらついてくる。しかしながら、A 方向の風に対しては迎角が 0° 、 -5° の場合の方が、 -7° の場合より変位が大きくなっている。

図 4-5 0 ~ 5 3 は、中央径間 $\frac{1}{2}$ 点の静的横たわみ移動量と、迎角の関係を図示したものである。図からわかるように、たわみ量はほぼ風速の 2 乗に比例して増加している。その最大たわみ量は実橋に換算して 1 m （実橋風速 100 m/sec 、A 方向 $+7^\circ$ ）程度であり中央径間長の $1/400$ 程度である。したがって、静的横たわみに関してはほとんど問題がないと言える。

表4-1 大気汚染拡散風洞主要諸元

風洞形式	吸込式エッフェル型
測定洞寸法	W: 6 m × H: 3 m × L: 24 m
風速設定範囲	0.2 ~ 15 m/s
縮流比	3.89
送風機形式	軸流1段動翼可変ピッチ型, 直径4,000 mm
回転数	360 rpm
動翼枚数	10枚(後置静翼9枚)
風量	270 m ³ /s
有効全圧	80 mmAq
電動機出力	320 kw
風速分布偏差	±1%以内
風速変動	±2%以内(外乱風速5 m/s時)
乱流強度	1%以内
風速制御方式	1. 定速回転(360 rpm) 空気取入扉開度, 風速制御ダンパー開度, 動翼開度による制御 2. 回転数制御

表4-2 一様流中単独橋3次元風洞実験ケース

実験整理番号	迎角	方 向	実験風速範囲（実橋換算）
MA-01	+7	A方向  桁の薄い方から厚い方へと 気流が流れる方向	0 ~ 100 m/s
MA-02	+5		
MA-03	+3		
MA-04	0		
MA-05	-3		
MA-06	-5		
MA-07	-7		
MB-01	+7	B方向  桁の厚い方から薄い方へと 気流が流れる方向	
MB-02	+5		
MB-03	+3		
MB-04	0		
MB-05	-3		
MB-06	-5		
MB-07	-7		

第4-3 単独橋の振動数特性および減衰率特性その1

気流方向	迎角	たわみ 1 次		たわみ 2 次		たわみ 3 次		ねじれ 1 次	
		振動数	減衰率	振動数	減衰率	振動数	減衰率	振動数	減衰率
A方向	+7°	3.65	0.0260	4.53	0.0217	7.05	0.0191	15.99	0.0229
	+5°	3.63	0.0280	4.47	0.0194	6.96	0.0199	15.61	0.0149
	+3°	3.63	0.0148	4.47	0.0246	6.96	0.0117	15.54	0.0198
	0°	3.63	0.0173	4.46	0.0201	6.94	0.0145	15.51	0.0158
	-3°	3.62	0.0174	4.45	0.0180	6.92	0.0182	15.46	0.0149
	-5°	3.63	0.0201	4.47	0.0181	6.95	0.0128	15.51	0.0211
	-7°	3.62	0.0153	4.46	0.0174	6.95	0.0148	15.49	0.0270
B方向	+7°	3.63	0.0154	4.49	0.0168	6.96	0.0152	15.59	0.0106
	+5°	3.63	0.0154	4.49	0.0229	6.96	0.0184	15.60	0.0134
	+3°	3.62	0.0132	4.48	0.0182	6.95	0.0183	15.60	0.0169
	0°	3.64	0.0129	4.50	0.0180	6.95	0.0136	15.63	0.0173
	-3°	3.64	0.0153	4.50	0.0178	6.95	0.0156	15.65	0.0158
	-5°	3.63	0.0154	4.49	0.0225	6.94	0.0166	15.59	0.0132
	-7°	3.62	0.0145	4.48	0.0193	6.94	0.0189	15.58	0.0232

たわみ振動については倍振幅 1 mm
ねじれ " " 0.5°

第4-4 単独橋の振動数特性および減衰率特性その2

気流方向	迎角	たわみ 1 次		たわみ 2 次		たわみ 3 次		ねじれ 1 次	
		振動数	減衰率	振動数	減衰率	振動数	減衰率	振動数	減衰率
A方向	+7°	3.65	0.0232	4.53	0.0181	7.05	0.0250	15.99	0.0231
	+5°	3.63	0.0240	4.47	0.0198	6.96	0.0212	15.61	0.0215
	+3°	3.63	0.0215	4.47	0.0200	6.96	0.0153	15.54	0.0192
	0°	3.63	0.0227	4.46	0.0225	6.94	0.0194	15.51	0.0223
	-3°	3.62	0.0226	4.45	0.0248⑩	6.92	0.0153	15.46	0.0181
	-5°	3.63	0.0205	4.47	—	6.95	0.0179	15.51	0.0252
	-7°	3.62	0.0216	4.46	0.0197	6.95	0.0188	15.49	0.0298
B方向	+7°	3.63	0.0184	4.49	0.0189	6.96	0.0148	15.59	0.0202
	+5°	3.63	0.0216	4.49	0.0225	6.96	0.0156	15.60	0.0194⑤
	+3°	3.62	0.0203	4.48	0.0210	6.95	0.0206	15.60	0.0236
	0°	3.64	0.0195	4.50	0.0198	6.95	0.0176	15.63	—
	-3°	3.64	0.0211	4.50	0.0228	6.95	0.0193	15.65	0.0220
	-5°	3.63	0.0226	4.49	0.0212	6.94	0.0164	15.59	0.0293
	-7°	3.62	0.0207	4.48	0.0231	6.94	0.0179	15.58	0.0429

たわみ振動については倍振幅 2 mm
ねじれ " " 1.0°
○の中の数字は使用波数であり
その他は20波で計算

表 4 - 5 単独橋渦励振特性表

方向	モ ー ド	迎角	発振風速(m/sec)	ピーク風速 (m/sec)	振 幅		振 動 数		実橋換算値 加速度 (g)
					模型(mm)	実橋 (cm)	模型(Hz)	実橋 (Hz)	
A	鉛直たわみ 1 次	+7	—	—	—	—	—	—	—
		+5	4.52 ~ 10.10	7.82	0.785	10.200	3.50	0.307	0.019
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	4.49 ~ 7.78	6.36	0.785	10.200	3.66	0.321	0.021
		-5	4.52 ~ 7.82	6.39	0.885	11.500	3.68	0.323	0.024
		-7	—	—	—	—	—	—	—
	鉛直たわみ 2 次	+7	9.07 ~ 11.10	10.23	1.046	13.600	4.55	0.399	0.044
		+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	6.36 ~ 8.99	7.78	0.423	5.500	4.49	0.394	0.017
		-5	6.39 ~ 9.03	7.82	0.946	12.300	4.46	0.391	0.038
		-7	6.40 ~ 9.04	7.83	2.623	34.100	4.47	0.392	0.106
	鉛直たわみ 3 次	+7	13.60 ~ 17.06	15.70	2.454	31.900	7.14	0.626	0.252
		+5	14.28 ~ 15.65	14.98	0.393	5.110	7.03	0.617	0.039
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	11.89 ~ 13.48	12.71	1.969	25.600	7.07	0.620	0.198
		-5	11.06 ~ 14.28	13.55	2.554	33.200	6.96	0.610	0.249
		-7	10.11 ~ 13.57	12.79	2.846	37.000	6.94	0.609	0.276
B	鉛直たわみ 1 次	+7	6.37 ~ 10.07	9.01	2.154	28.000	3.64	0.319	0.057
		+5	6.38 ~ 9.02	7.81	1.277	16.600	3.67	0.322	0.035
		+3	7.78 ~ 10.05	7.80	0.685	8.900	3.65	0.320	0.018
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	4.50 ~ 7.80	6.37	0.585	7.600	3.66	0.321	0.016
		-5	—	—	—	—	—	—	—
		-7	4.49 ~ 7.77	6.35	1.669	21.700	3.64	0.319	0.044
	鉛直たわみ 2 次	+7	10.07 ~ 12.74	11.92	1.262	16.400	4.52	0.396	0.052
		+5	9.02 ~ 10.09	9.02	1.154	15.000	4.53	0.397	0.048
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	6.37 ~ 9.00	7.80	1.154	15.000	4.55	0.399	0.048
		-5	—	—	—	—	—	—	—
		-7	6.35 ~ 8.97	7.77	0.685	8.900	4.55	0.399	0.029
	鉛直たわみ 3 次	+7	14.94 ~ 18.02	16.85	1.477	19.200	6.97	0.611	0.144
		+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	11.03 ~ 14.93	14.23	1.262	16.400	7.02	0.616	0.126
		-5	9.98 ~ 14.11	13.39	1.769	23.000	7.14	0.626	0.182
		-7	10.99 ~ 14.19	13.46	2.385	31.000	7.00	0.614	0.235

・発振風速, ピーク風速はともに実橋換算値である。

全径間模型概略図

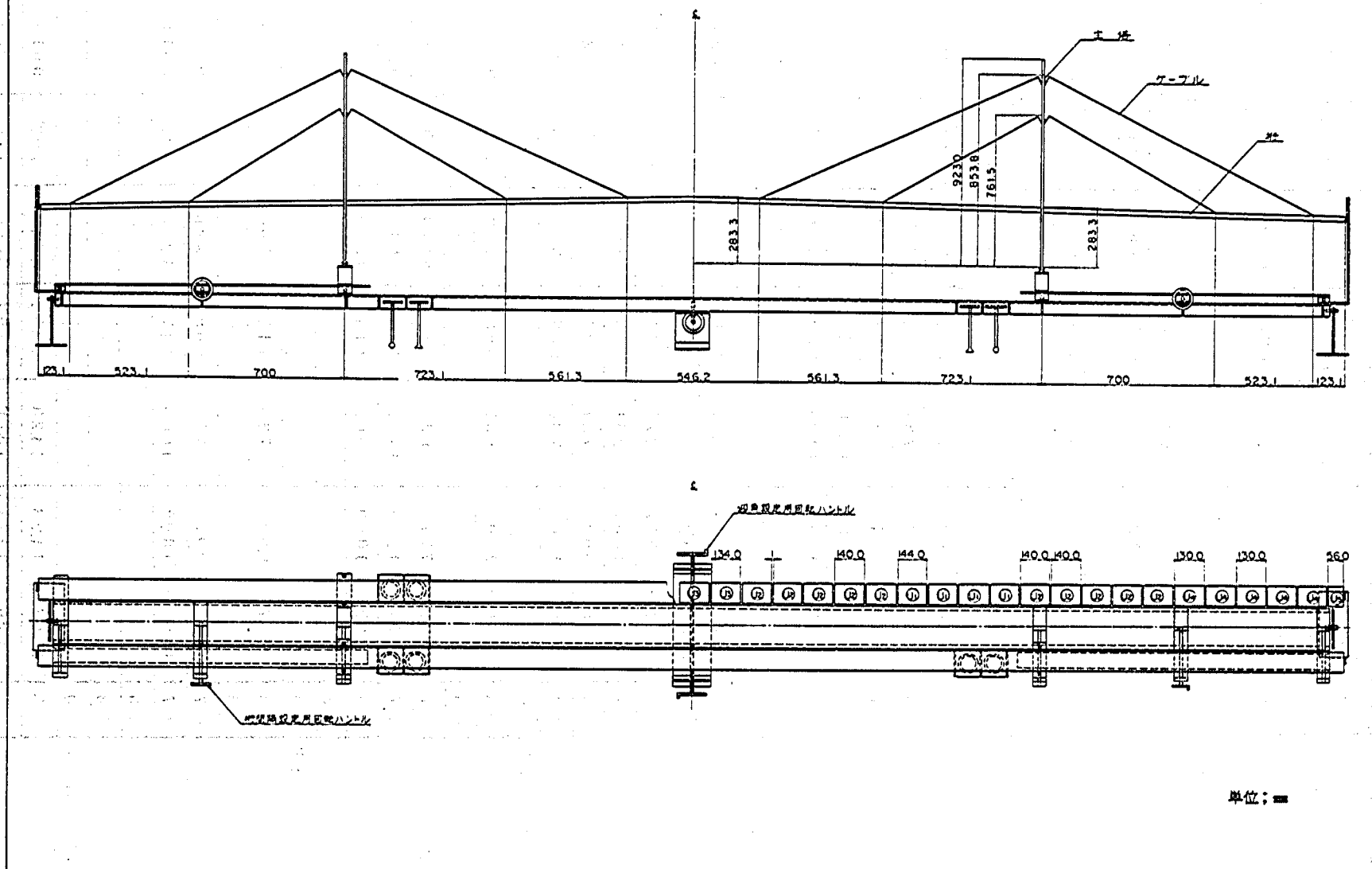
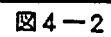


図4-1



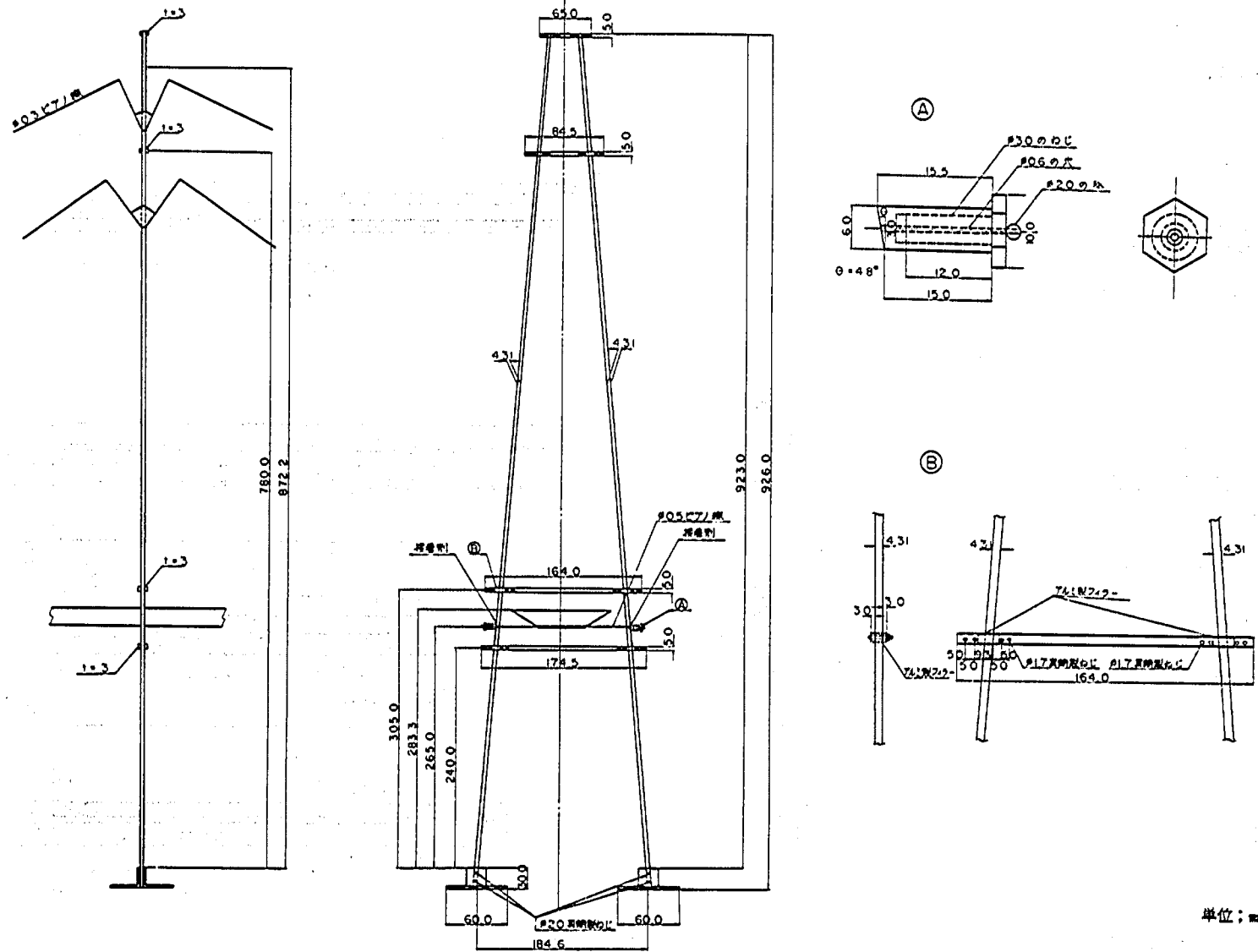
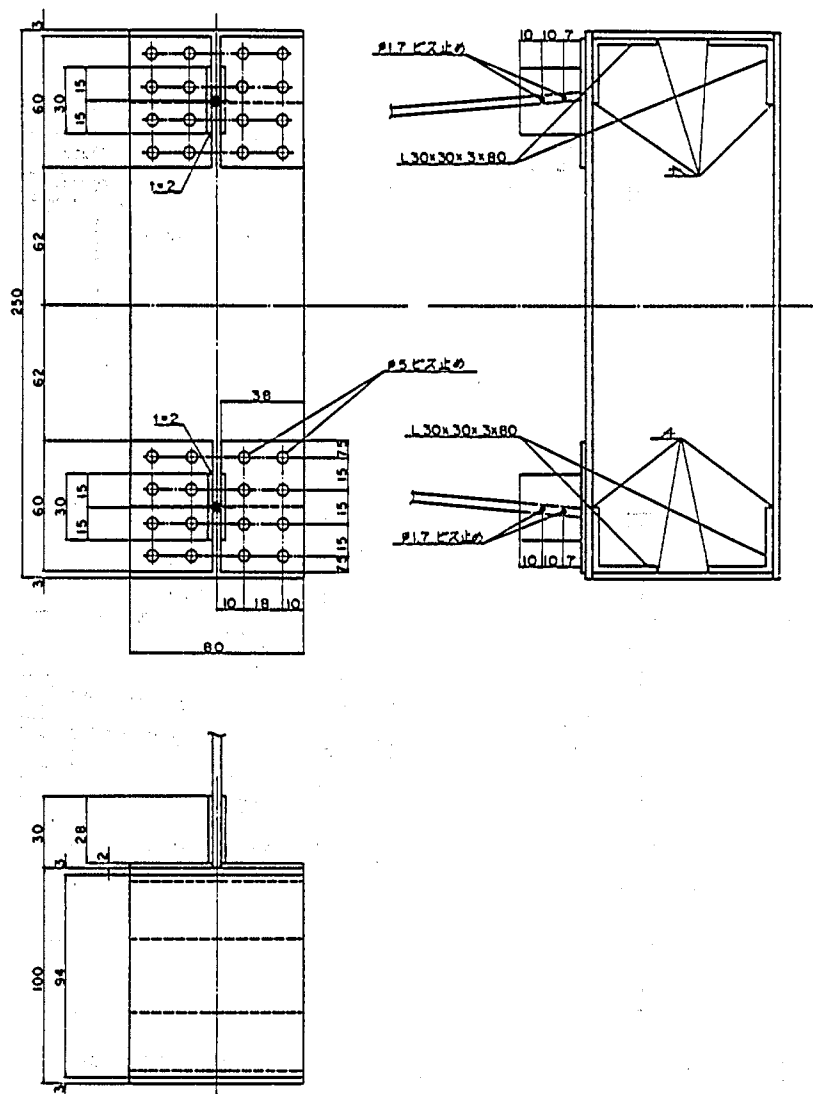
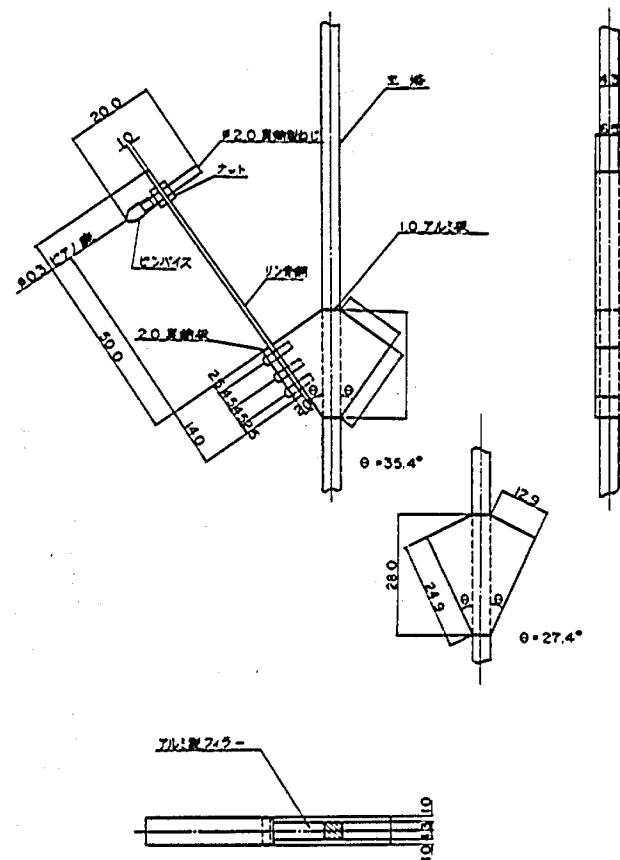


图 4-3

主塔と支持台連結部



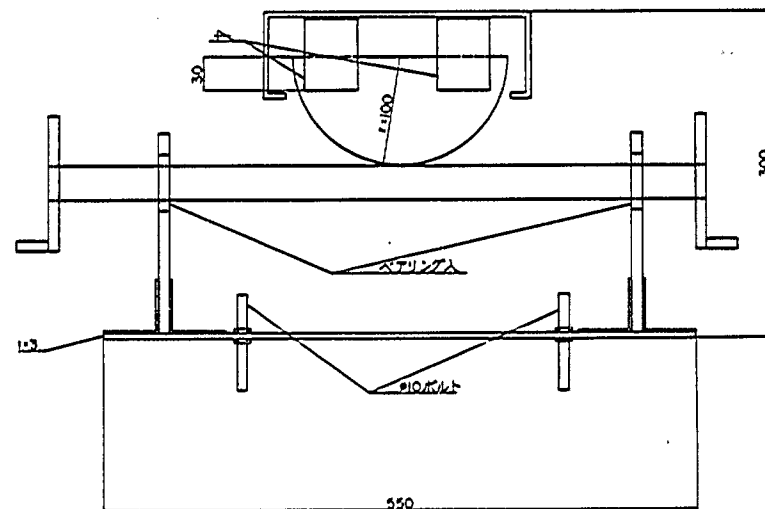
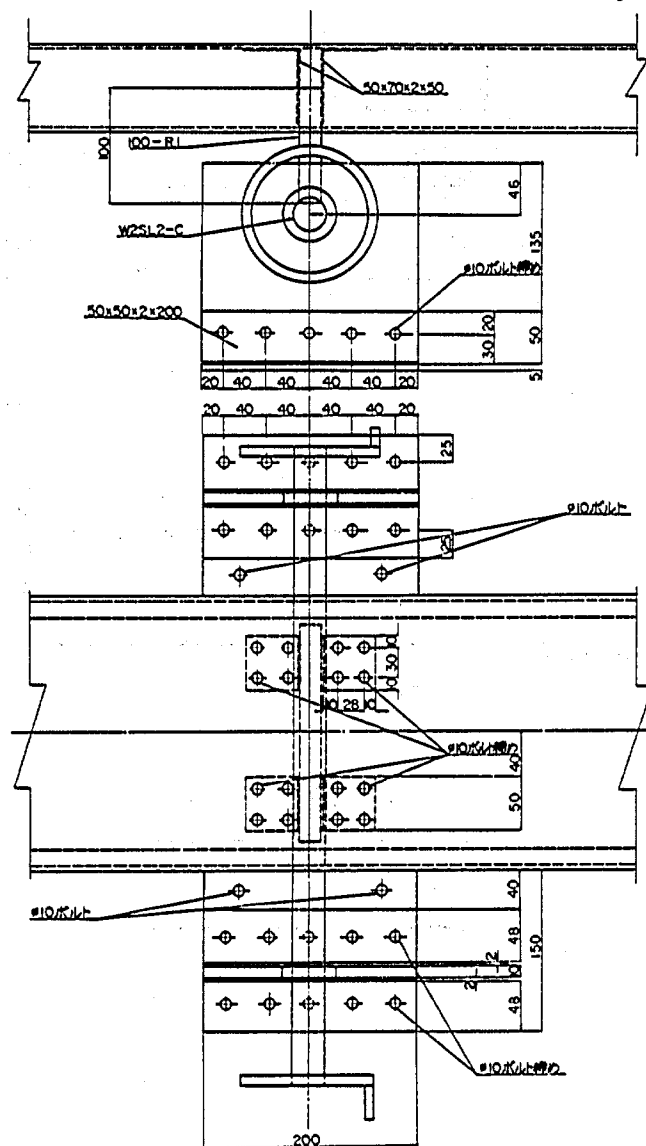
ケーブルと主塔連結部



单位: 元

图 4-5

支持台回轉部

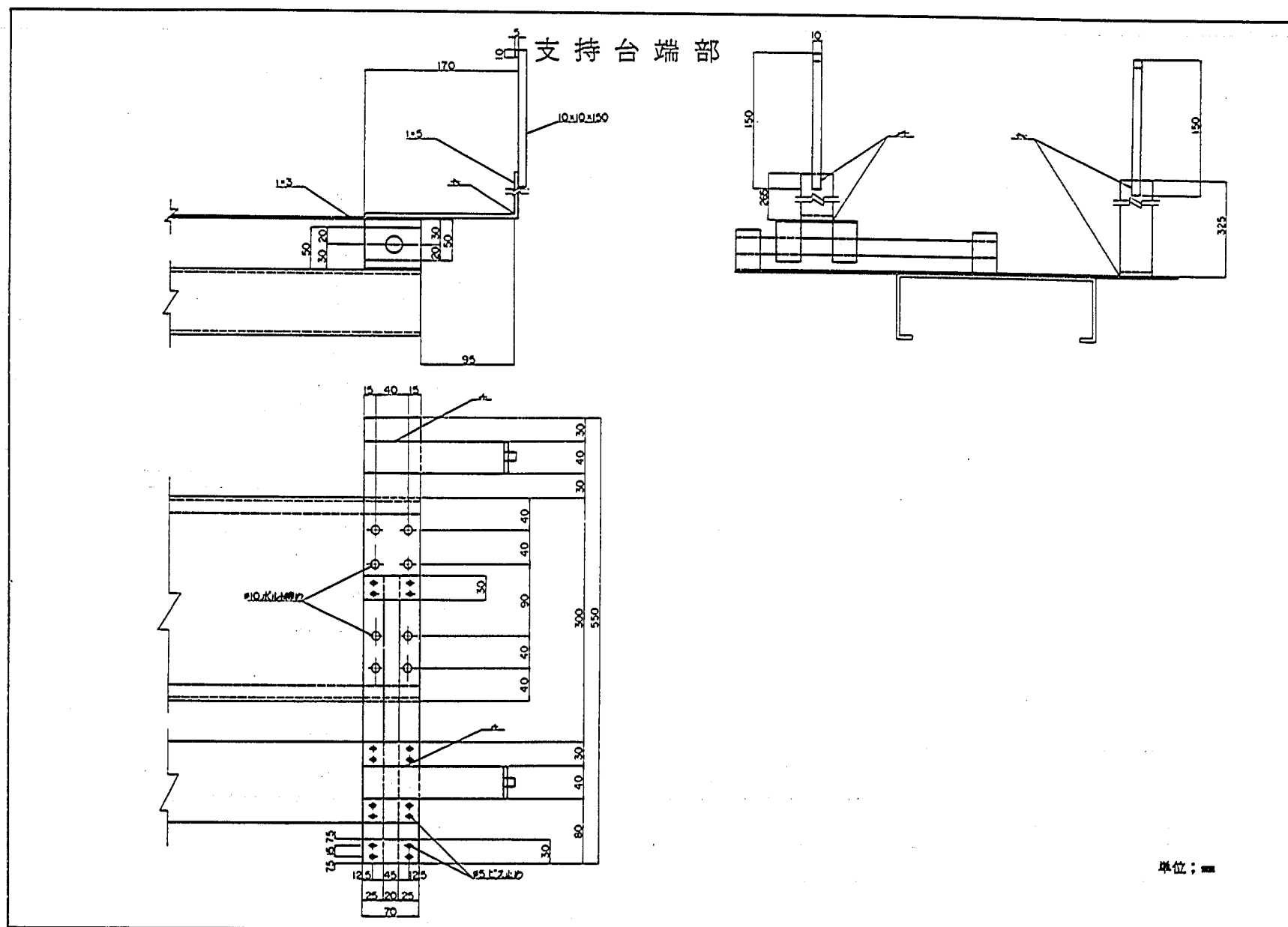


单位: mm

图 4-6



图 4-7



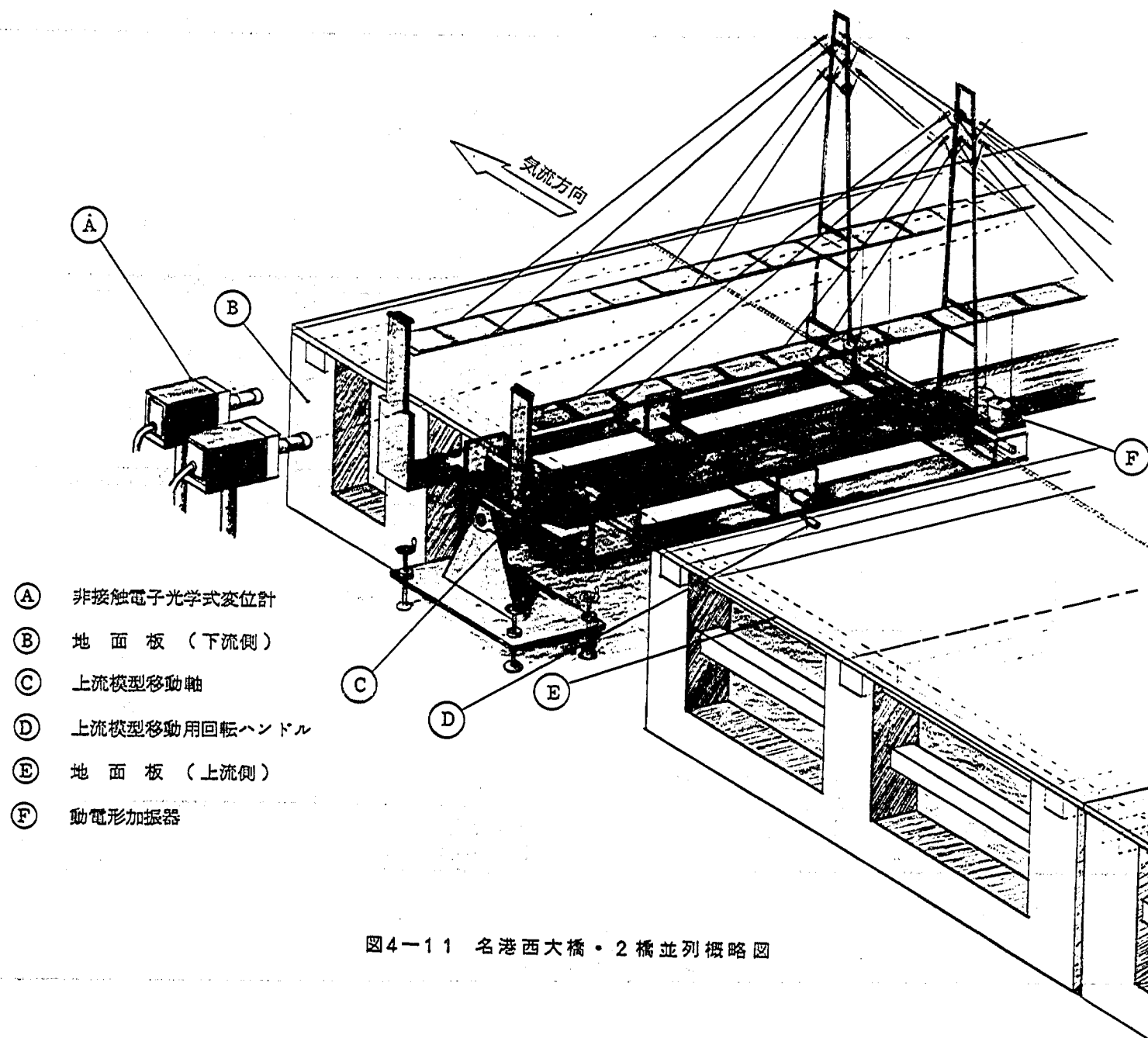


図4-11 名港西大橋・2橋並列概略図

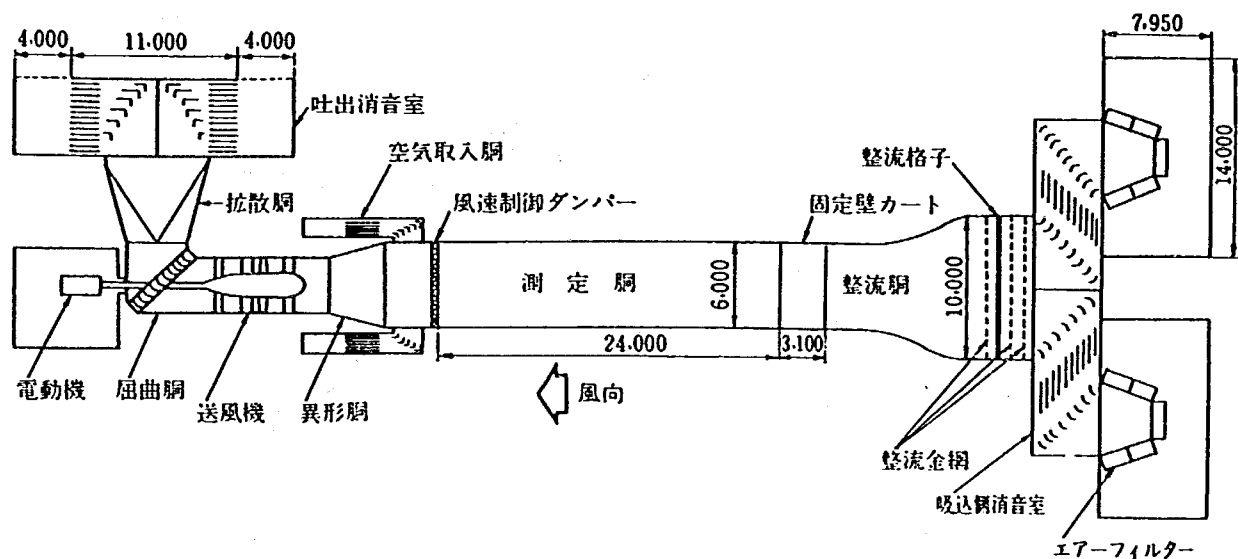
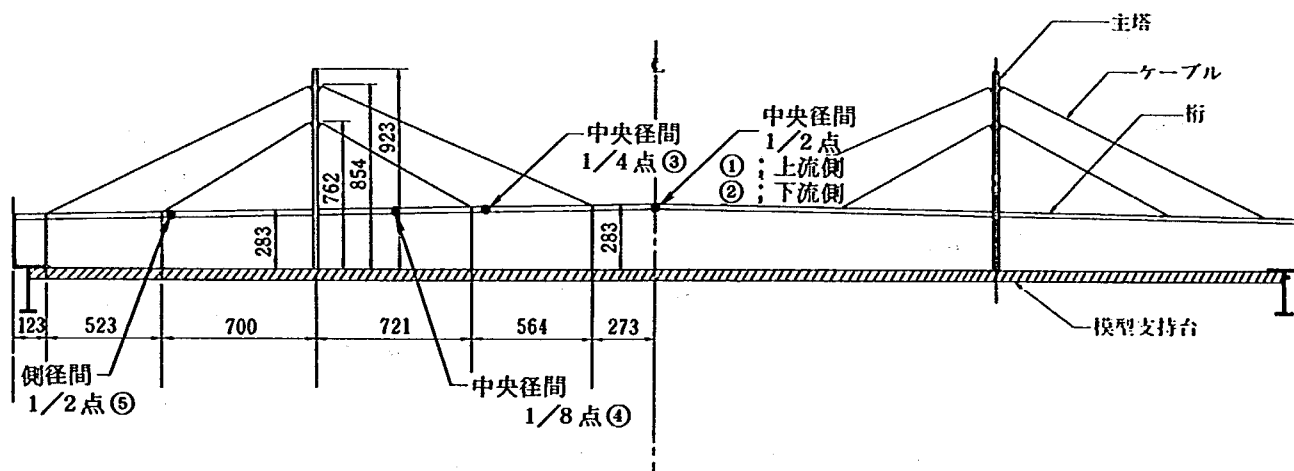


図4-12 拡散風洞平面図



測定 番号	測定箇所	測定成分	
		鉛直たわみ	横たわみ
①	中央径間1/2点(上流側)	V 1	
②	中央径間1/2点(下流側)	V 2	H ₁
③	中央径間1/4点(下流側)	V 3	
④	中央径間1/8点(下流側)	V 4	
⑤	側径間1/2点(下流側)	V 5	

図4-13 単独橋風洞実験測定箇所

A-+7°

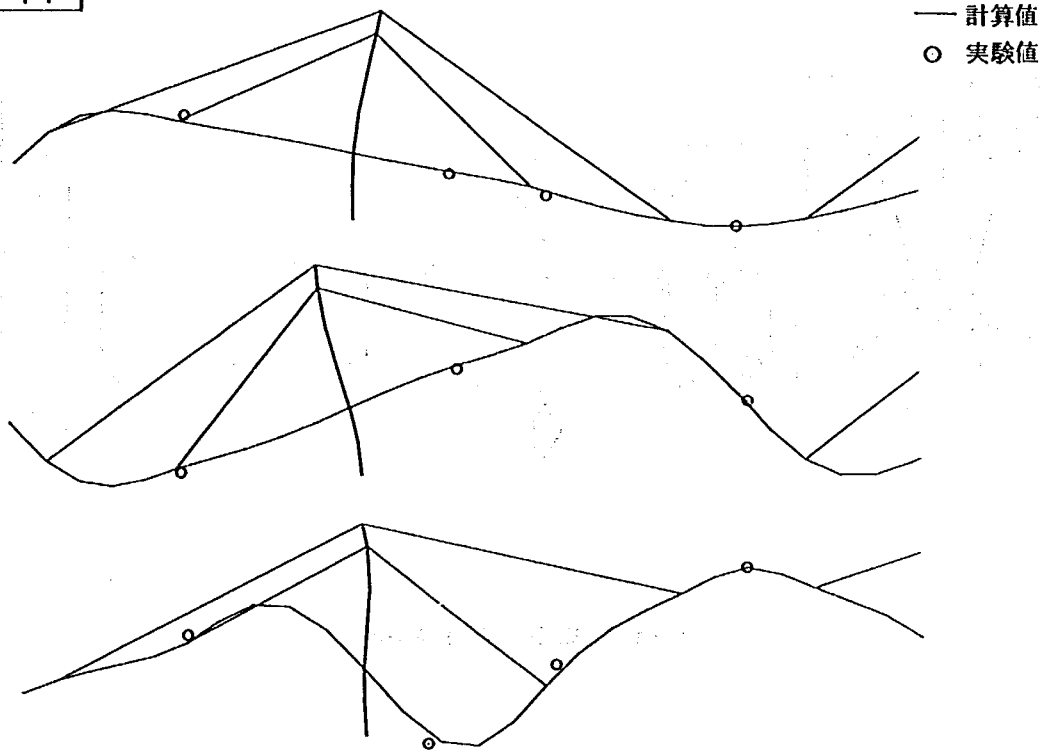


図4-14 鉛直たわみ振動モード

B-+7°

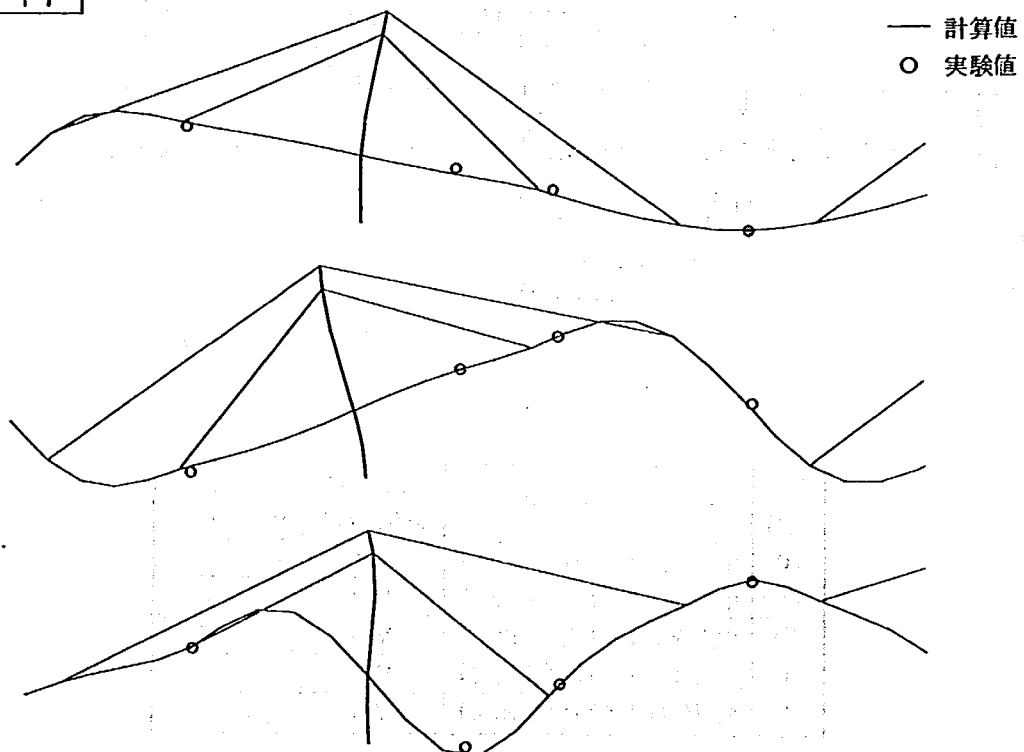


図4-15 鉛直たわみ振動モード

A-+5°

— 計算値
○ 実験値

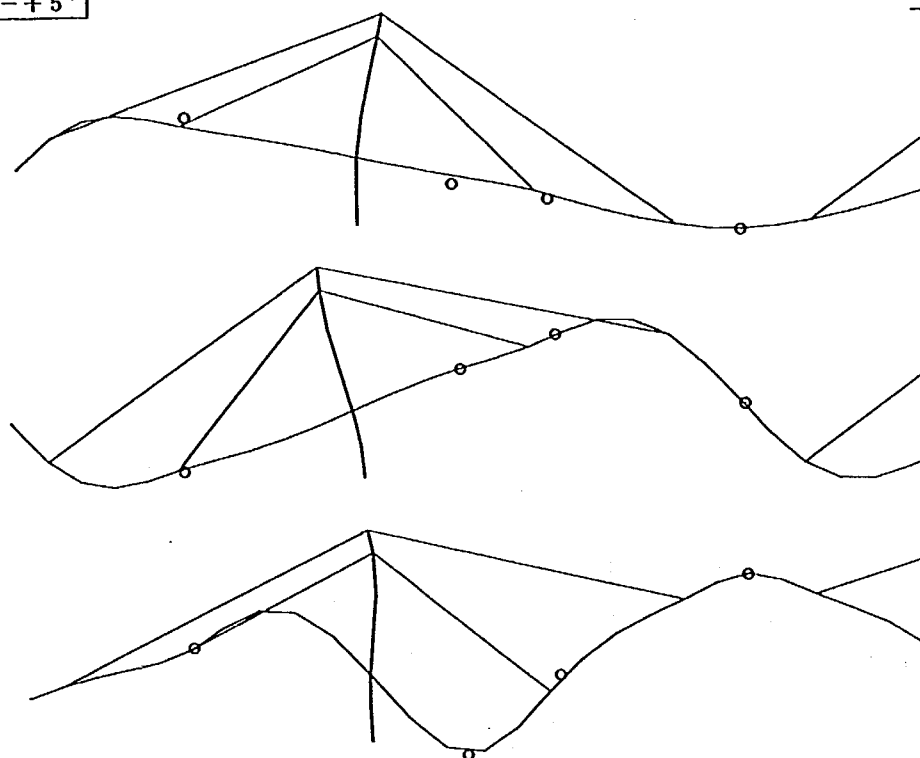


図4-16 鉛直たわみ振動モード

B-+5°

— 計算値
○ 実験値

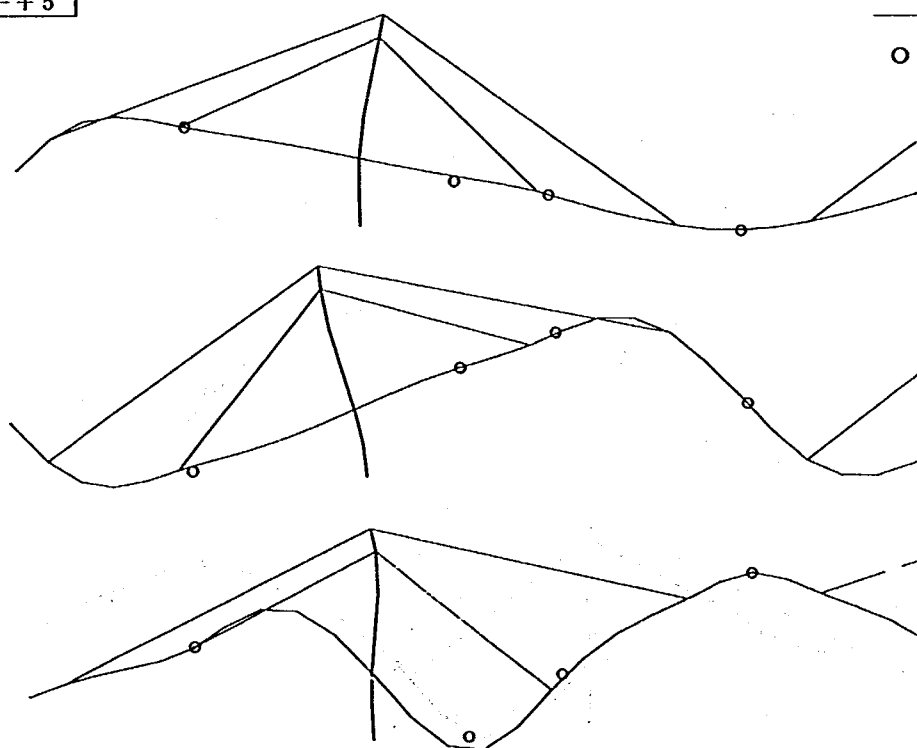


図4-17 鉛直たわみ振動モード

A-+3°

— 計算値
○ 実験値

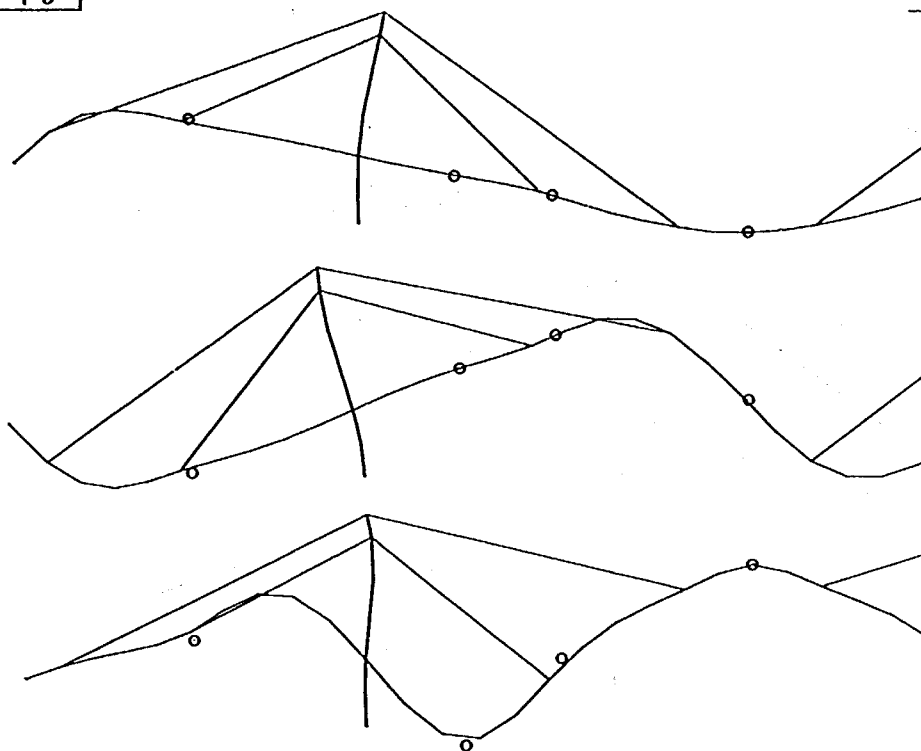


図4-18 鉛直たわみ振動モード

B-+3°

— 計算値
○ 実験値

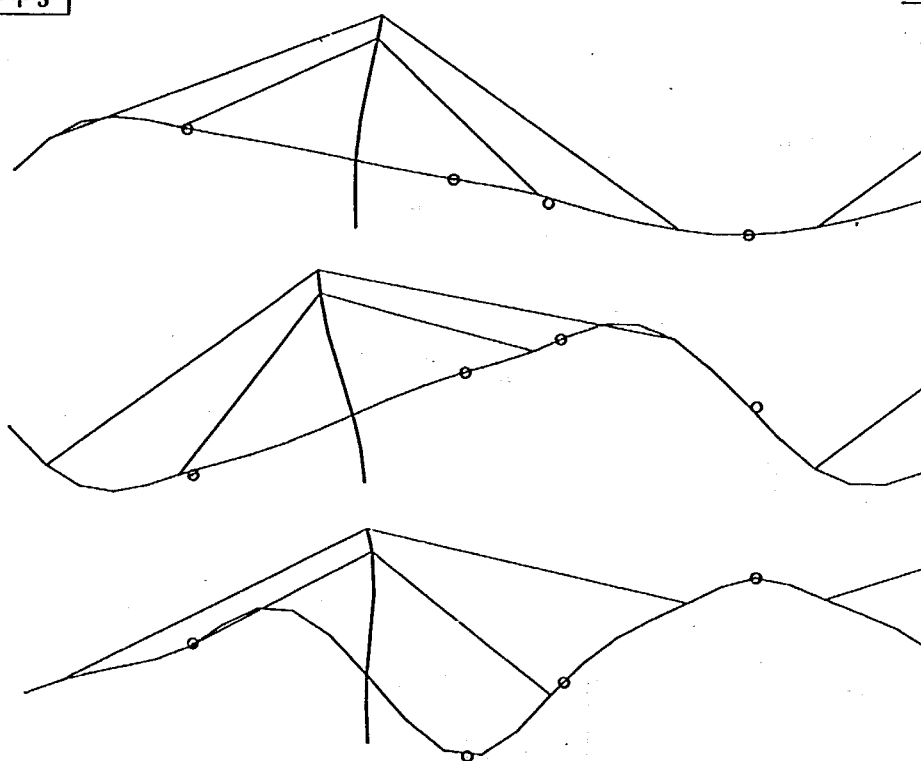


図4-19 鉛直たわみ振動モード

A-0°

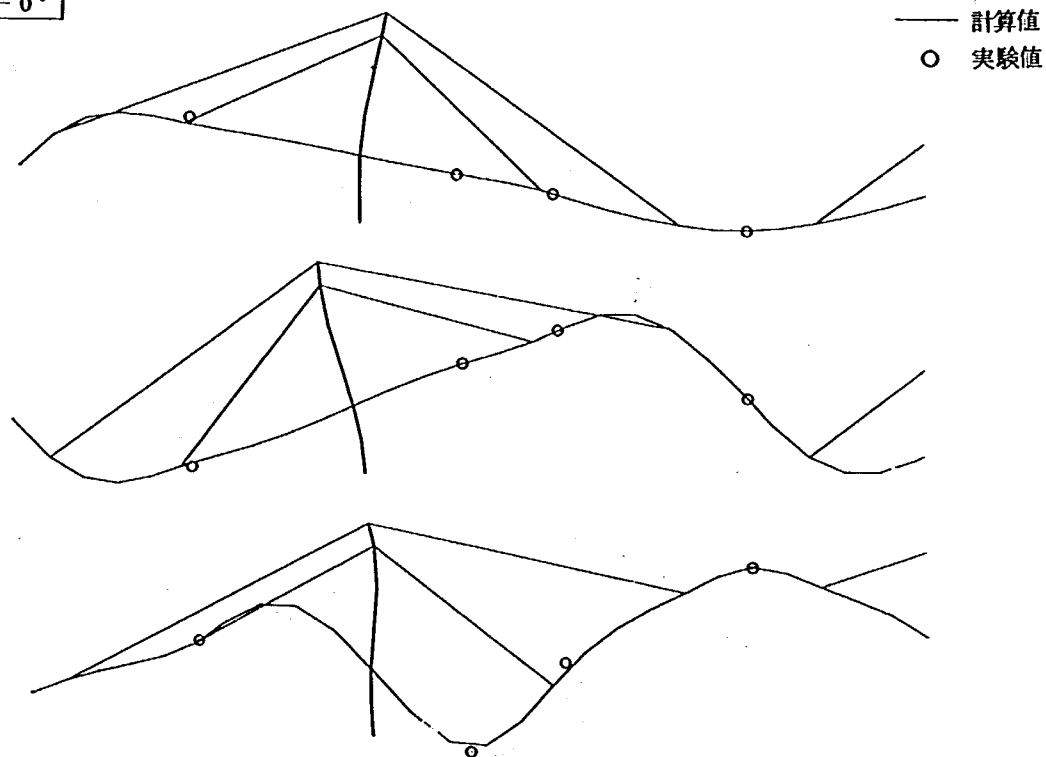


図4-20 鉛直たわみ振動モード

B-0°

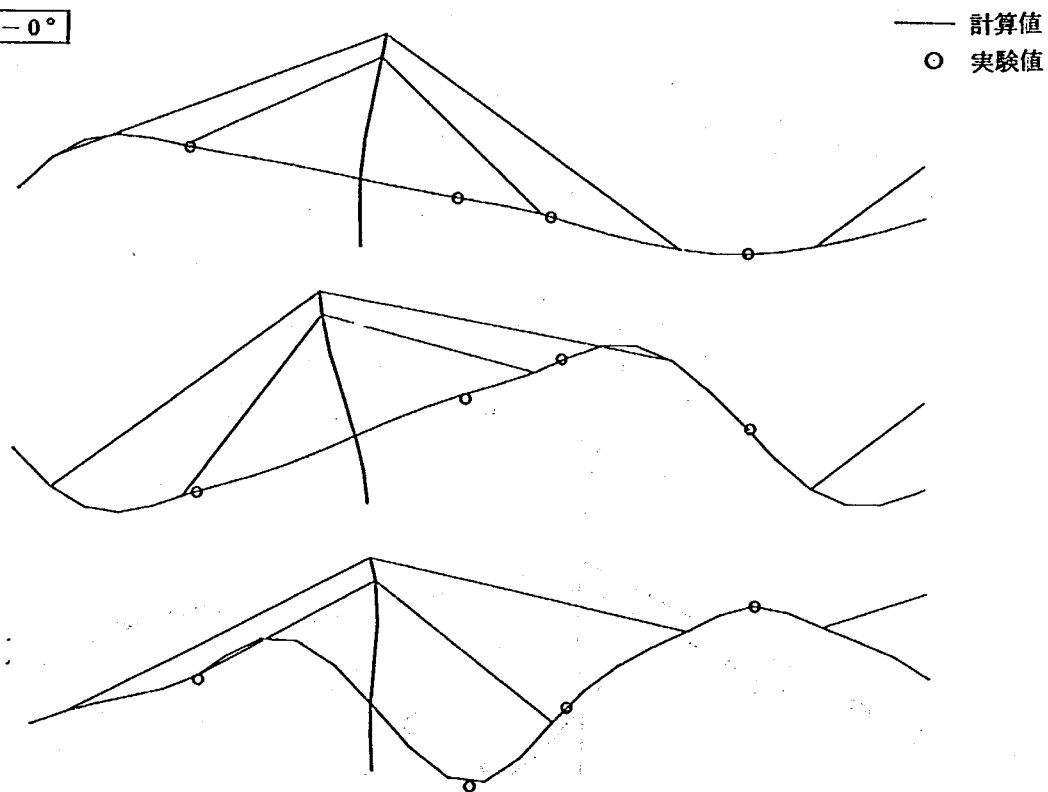


図4-21 鉛直たわみ振動モード

A--3°

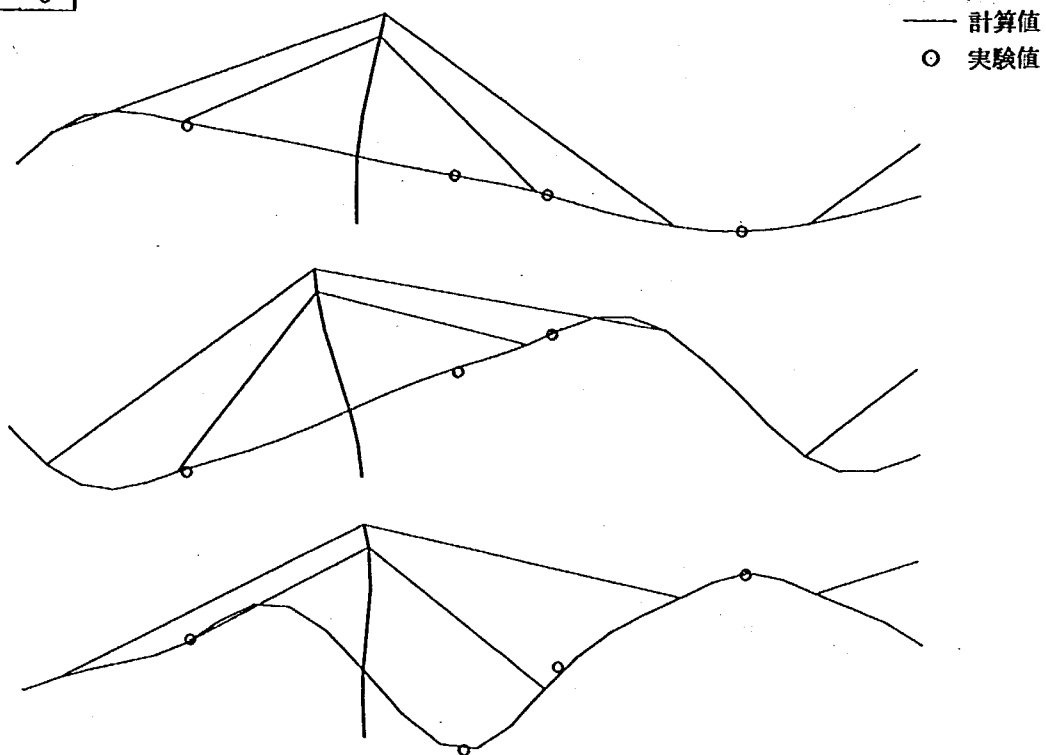


図4-22 鉛直たわみ振動モード

B--3°

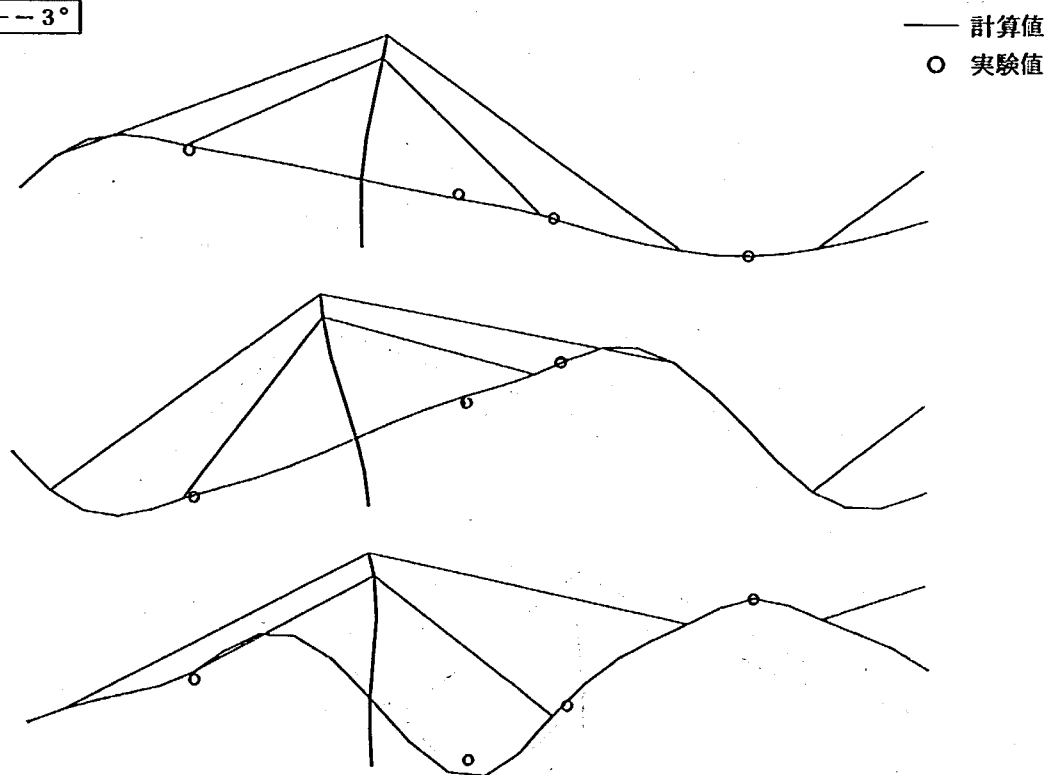


図4-23 鉛直たわみ振動モード

A--5°

— 計算値
○ 実験値

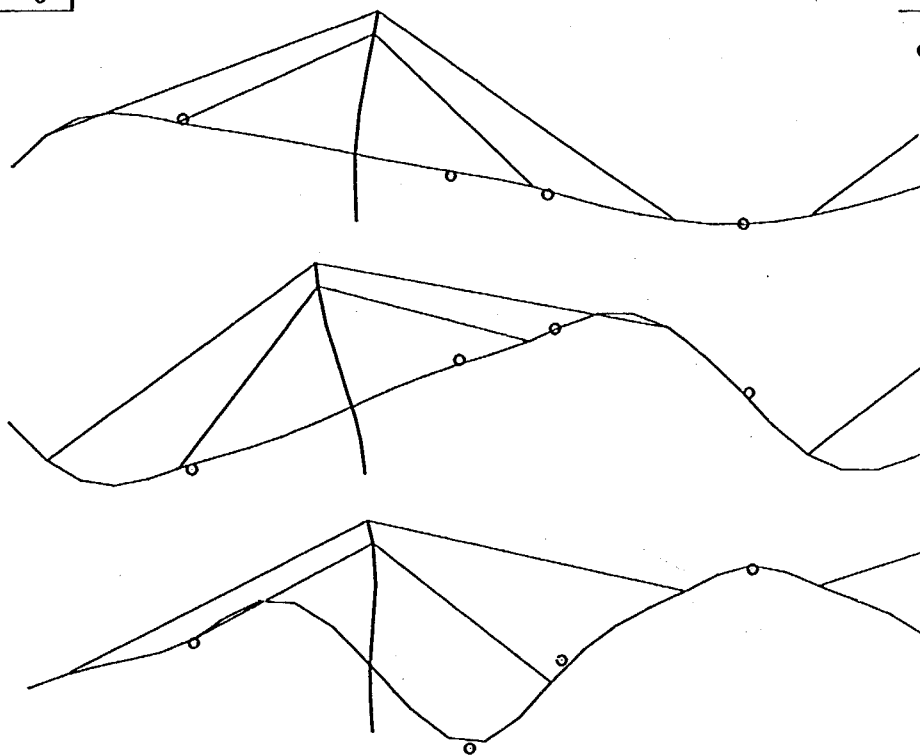


図4-24 鉛直たわみ振動モード

B--5°

— 計算値
○ 実験値

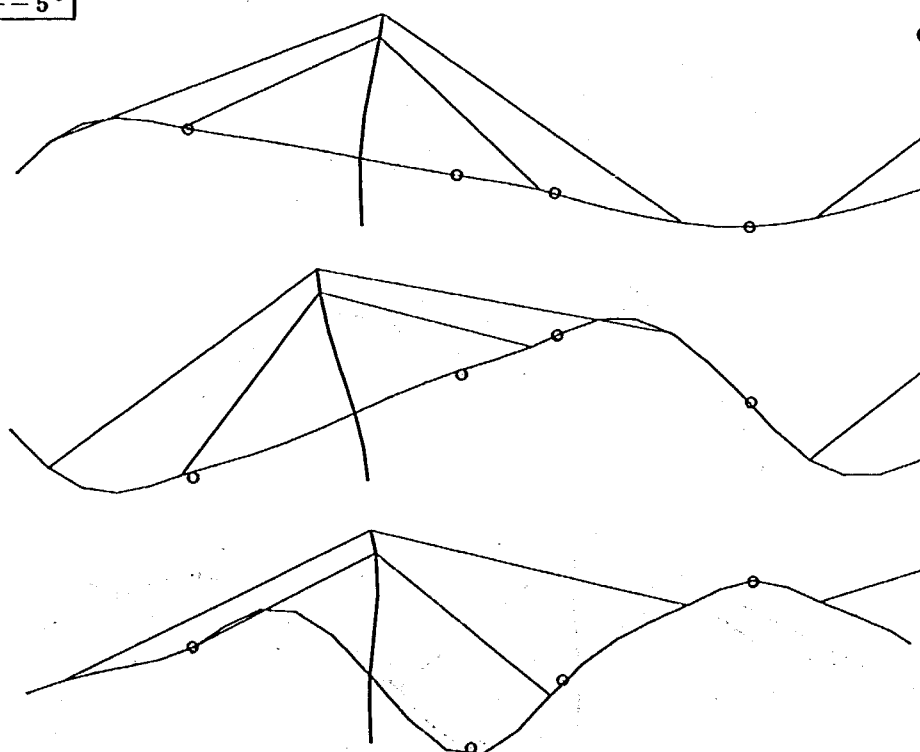


図4-25 鉛直たわみ振動モード

A--7°

— 計算値
○ 実験値

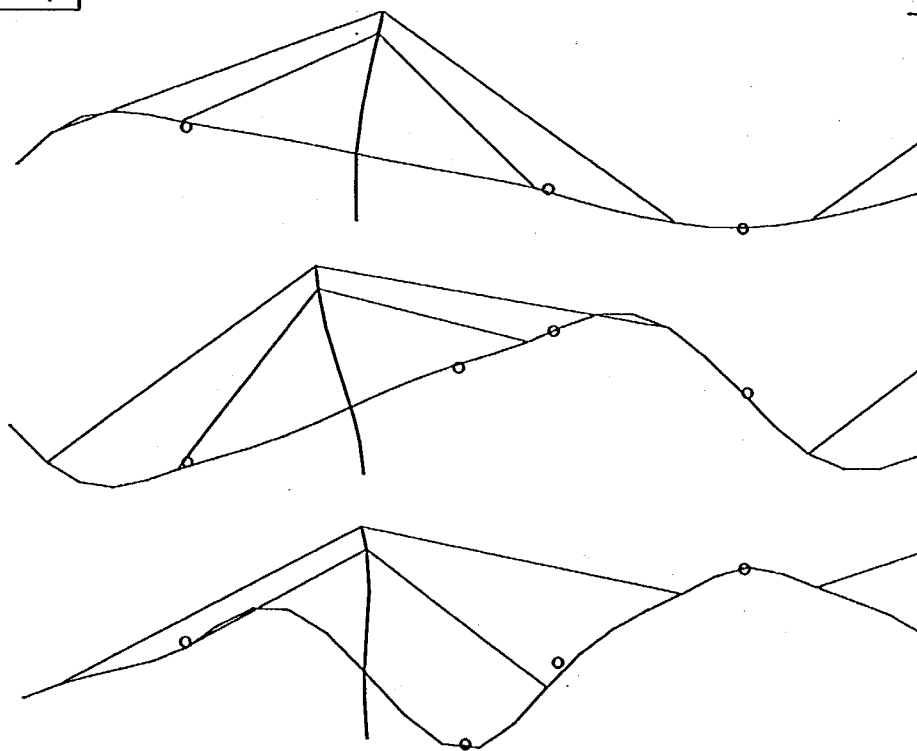


図4-26 鉛直たわみ振動モード

B--7°

— 計算値
○ 実験値

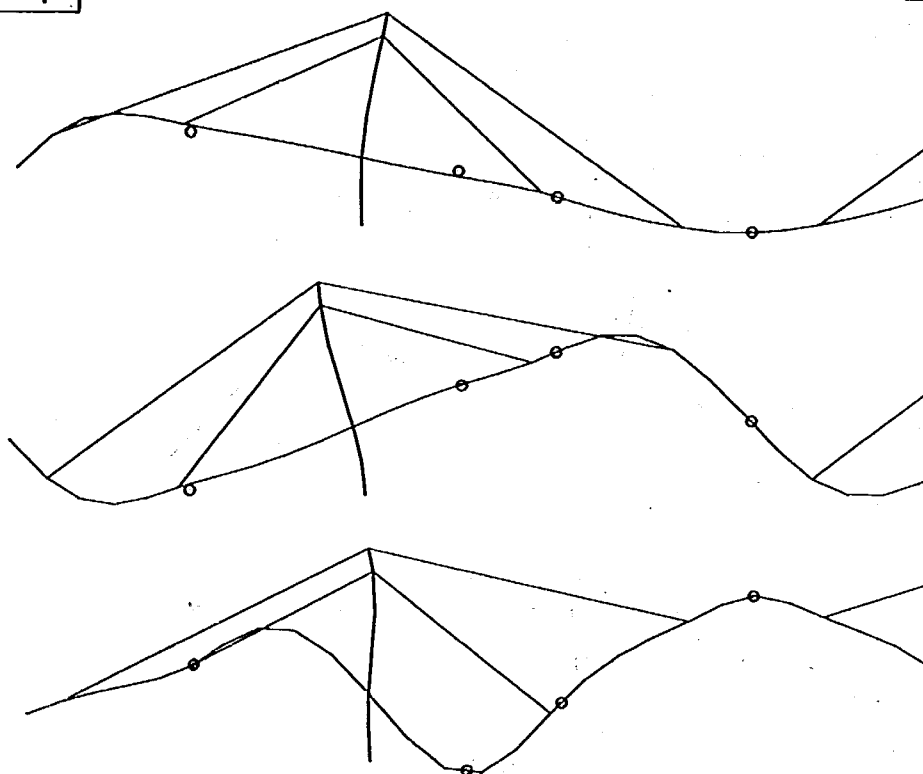


図4-27 鉛直たわみ振動モード

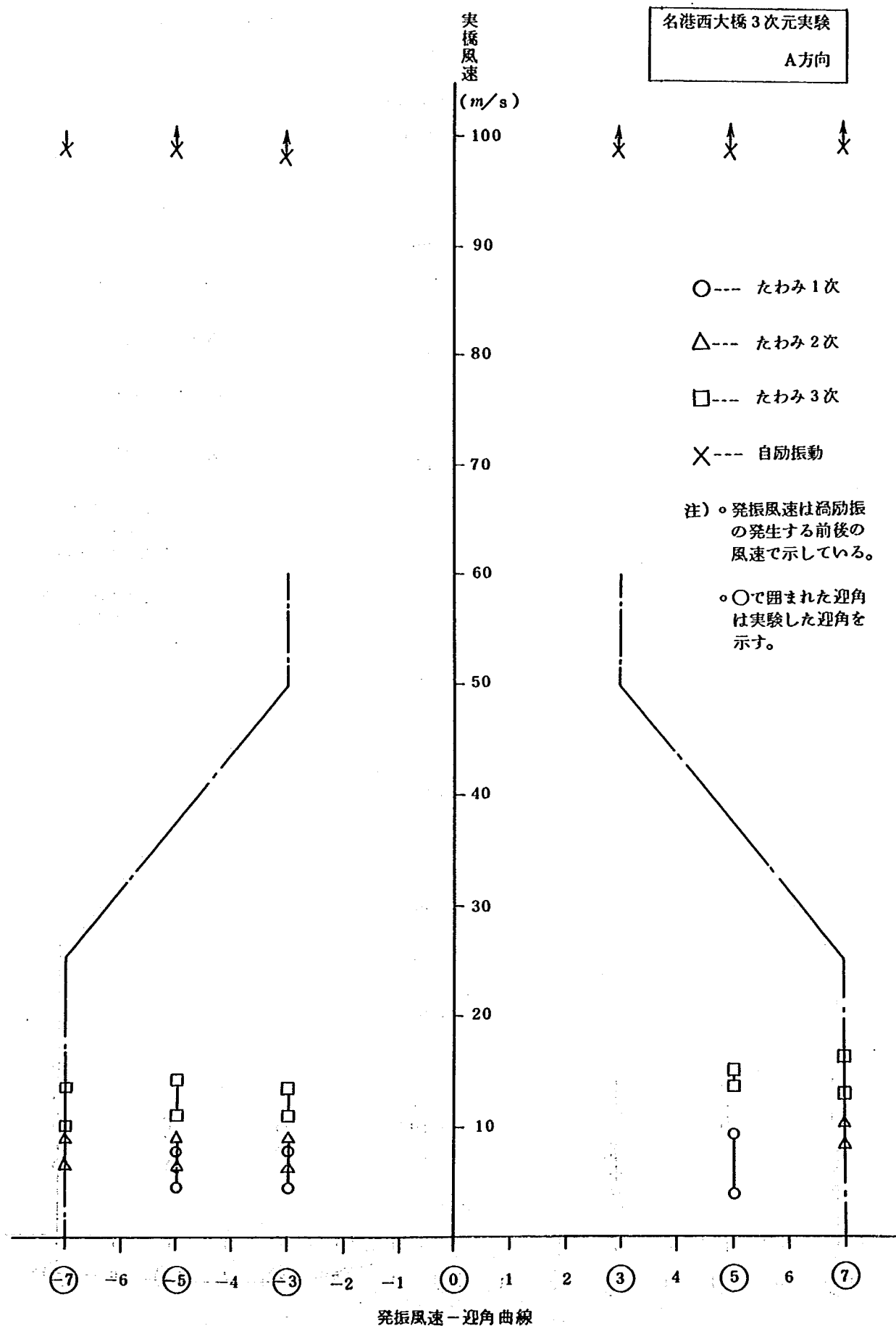


図4-28 単独橋 $V_{crit} - \alpha$ (No1)

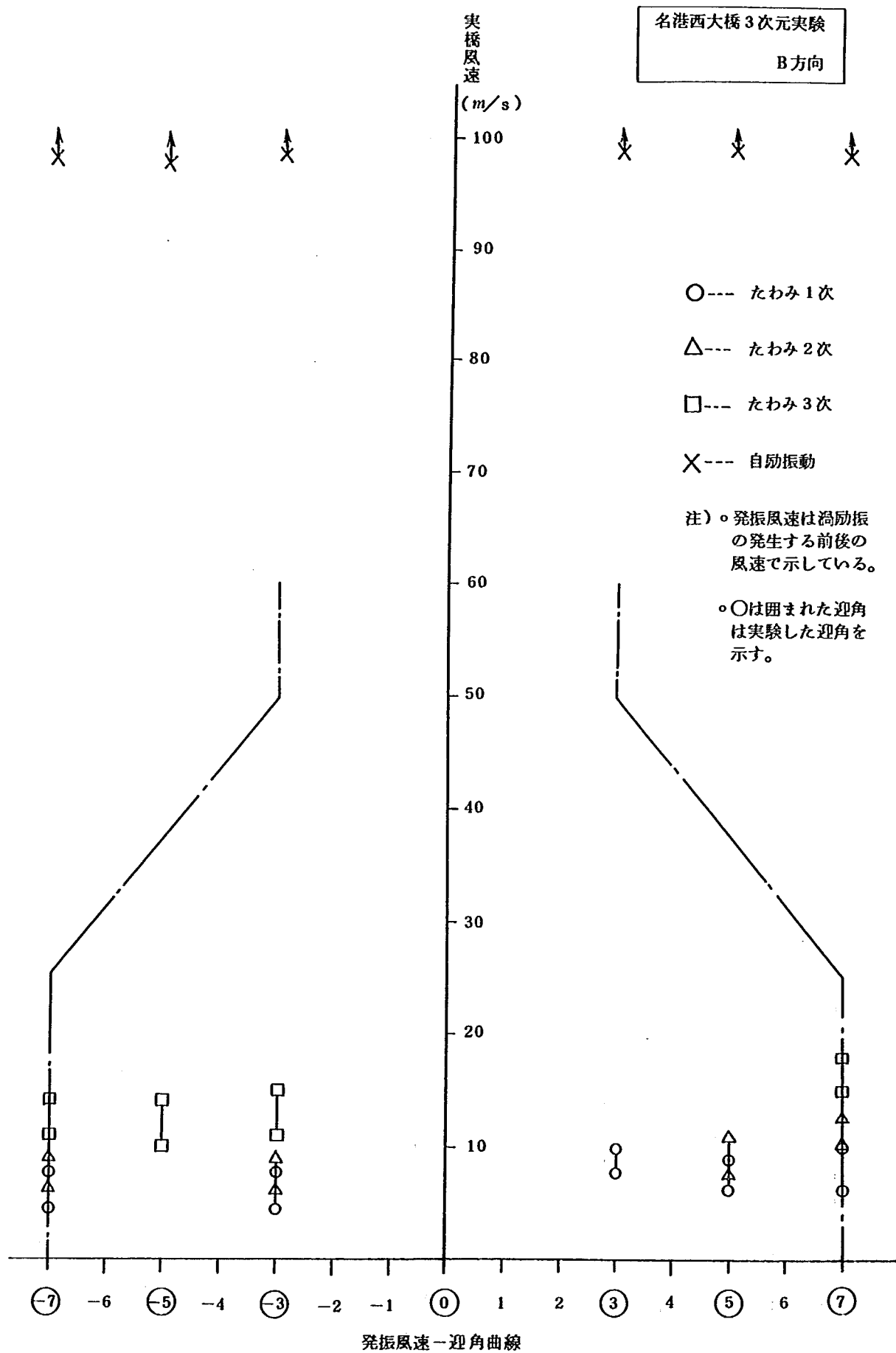


図4-29 単独橋 $V_{cri} - \alpha$ (No.2)

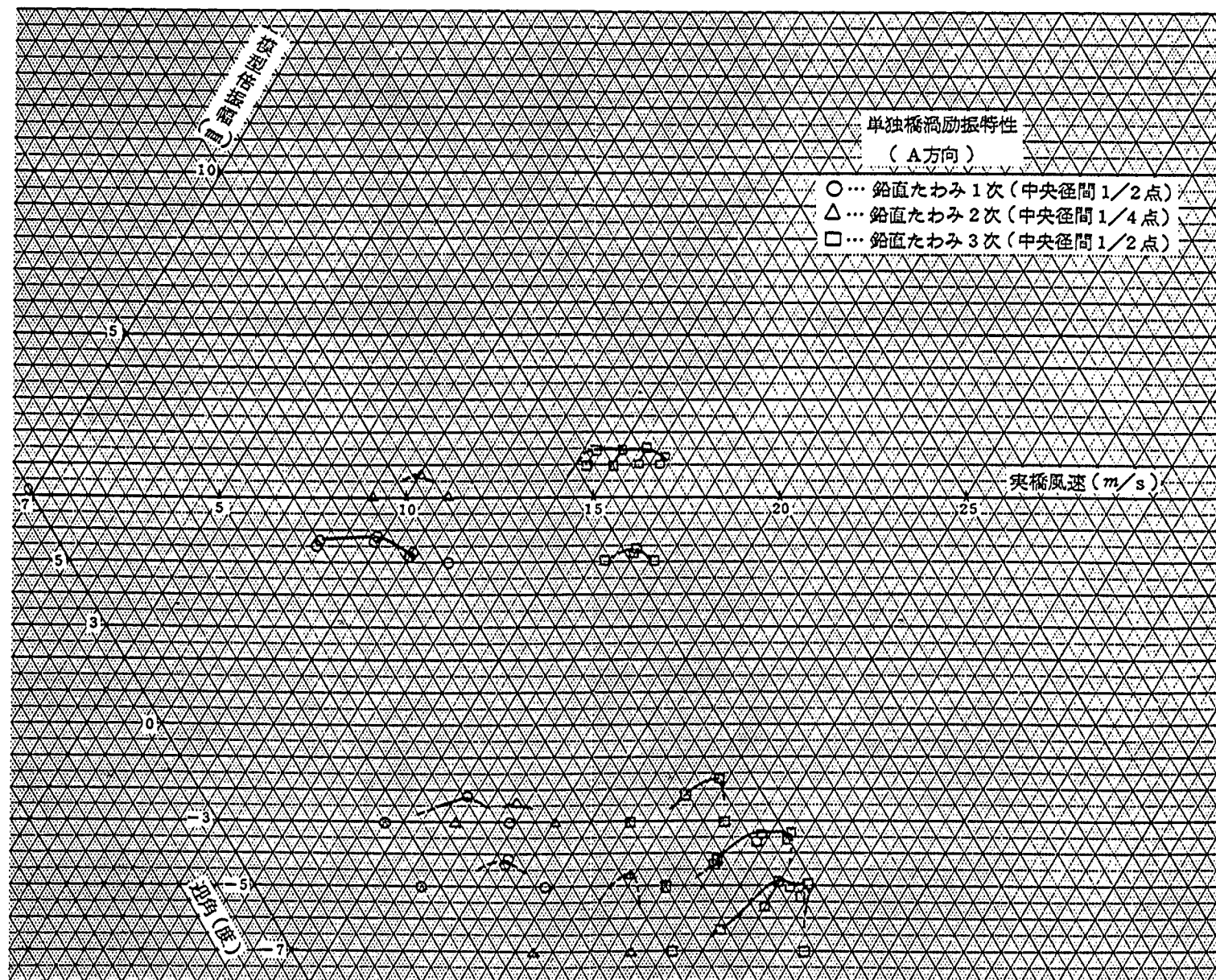


图4-30 单独桥 V—A— α (涡励振) (No.1)

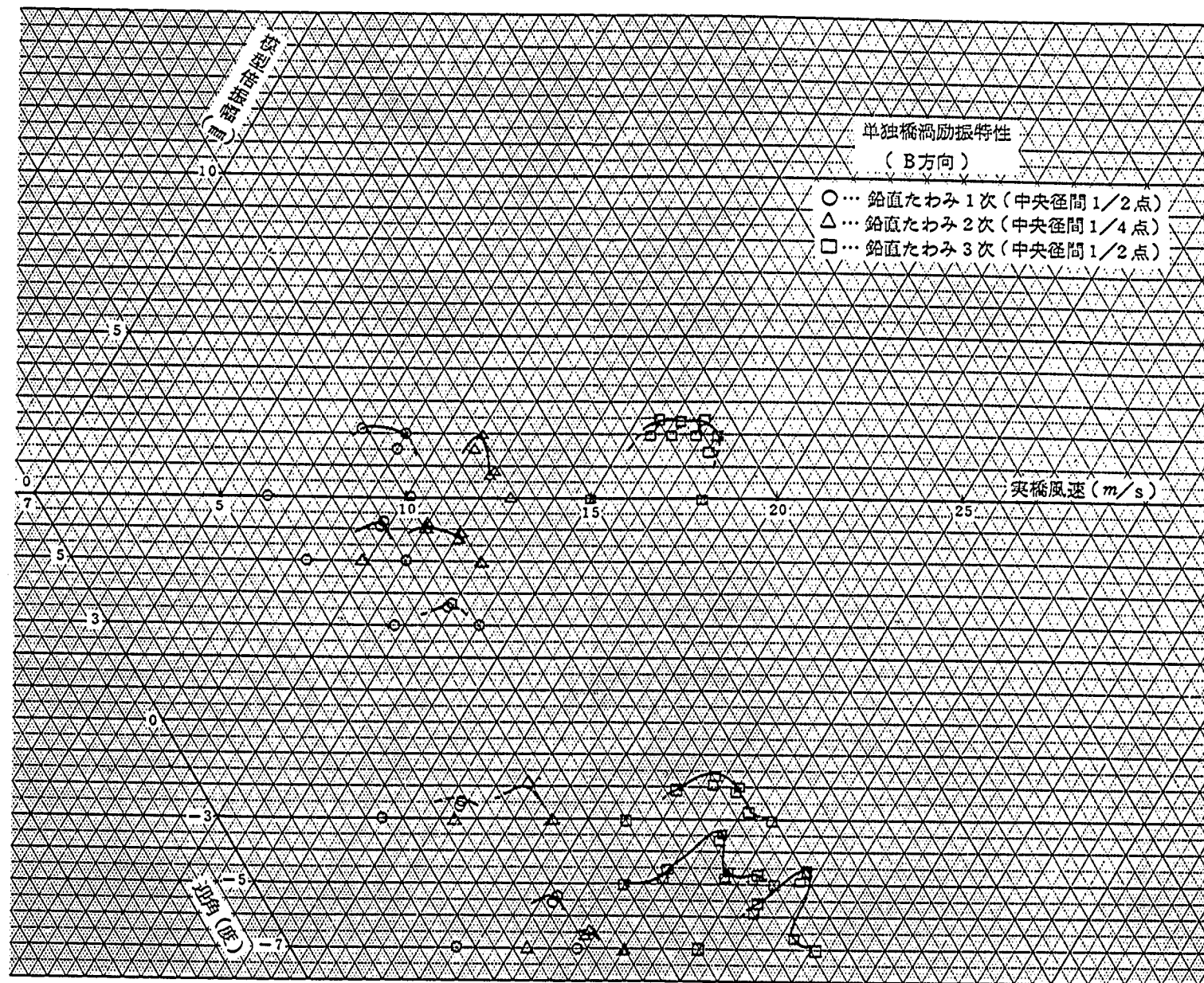


图4-31 单独橋 V-A- α (渦励振) (No.2)

単独橋 V - A 曲線 (No.1)	
成分・測定点	鉛直方向・中央柱間 1/2・1/4・1/8
迎角	+7°
方向	A

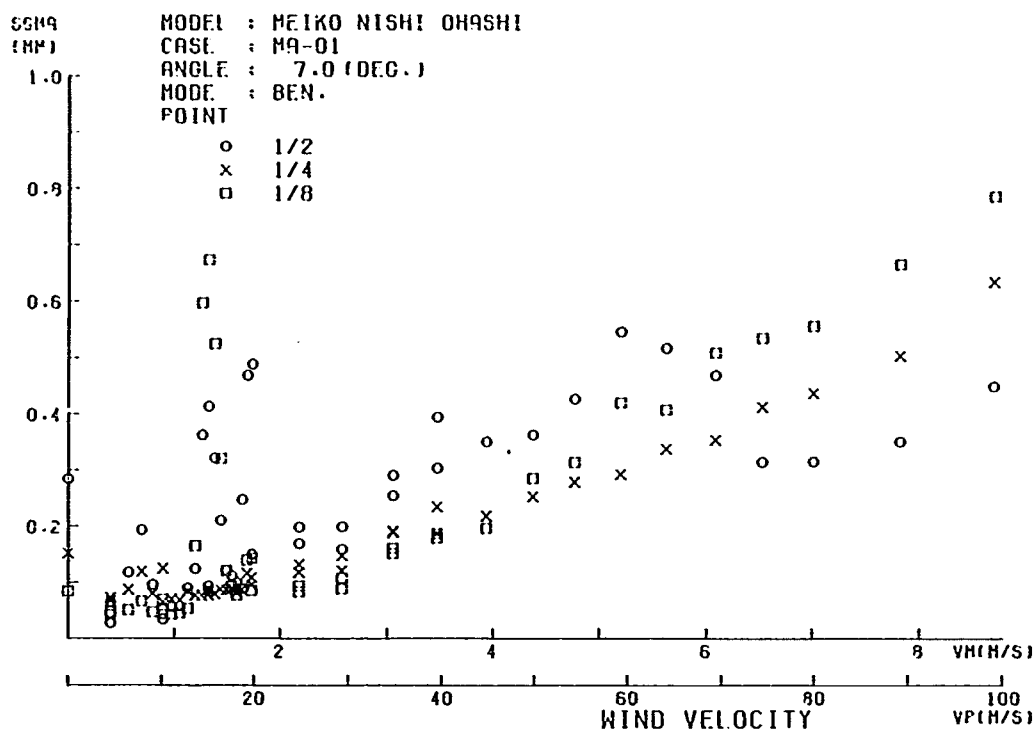


図4-32 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.2)	
成分・測定点	鉛直方向・中央柱間 1/2・1/4・1/8
迎角	+7°
方向	B

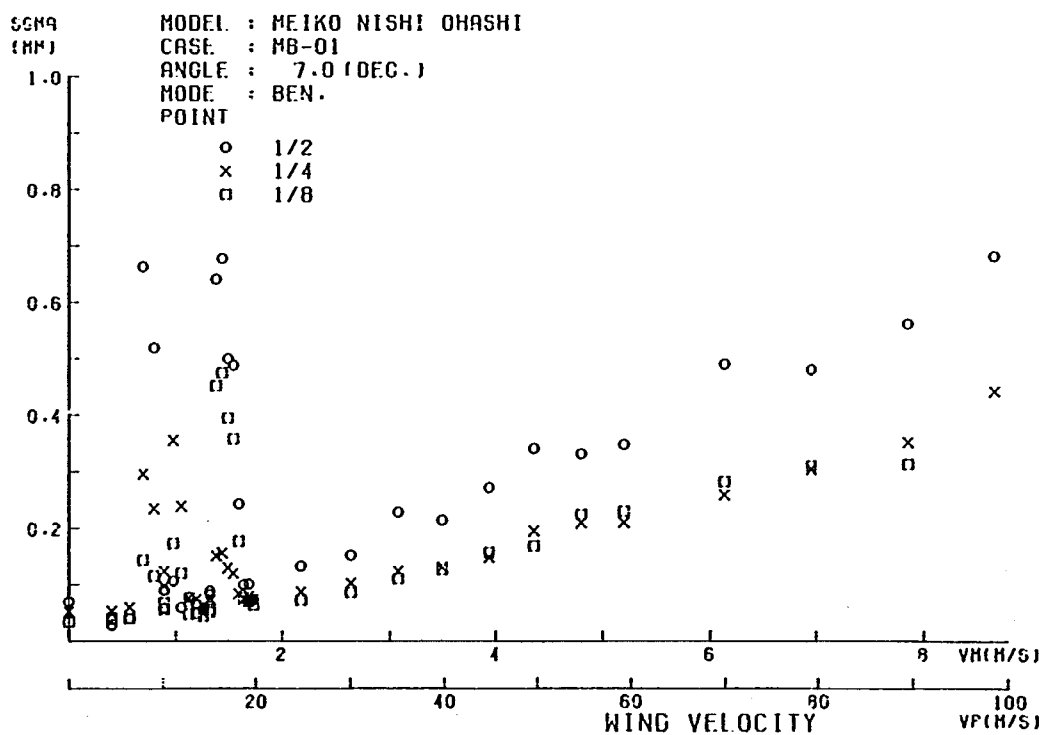


図4-33 単独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (No.3)	
成分・測定点	船直九わみ・中央区間 1/2・1/4・1/8
迎角	+5°
方向	A

A方向

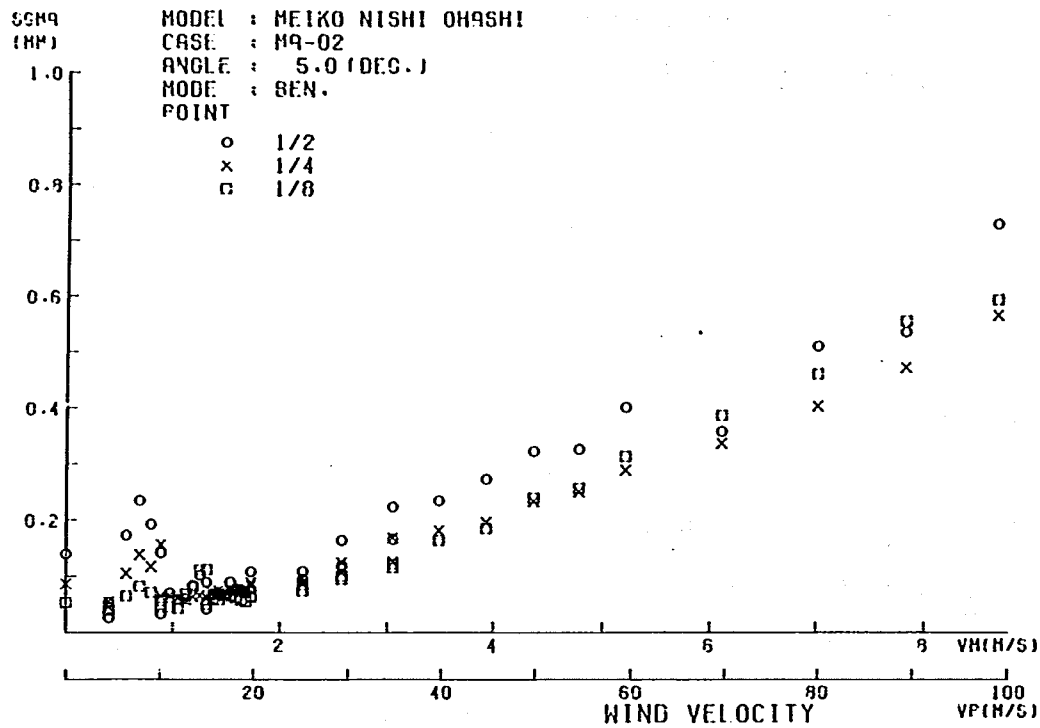


図4-34 单独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (No.4)	
成分・測定点	船直九わみ・中央区間 1/2・1/4・1/8
迎角	+5°
方向	B

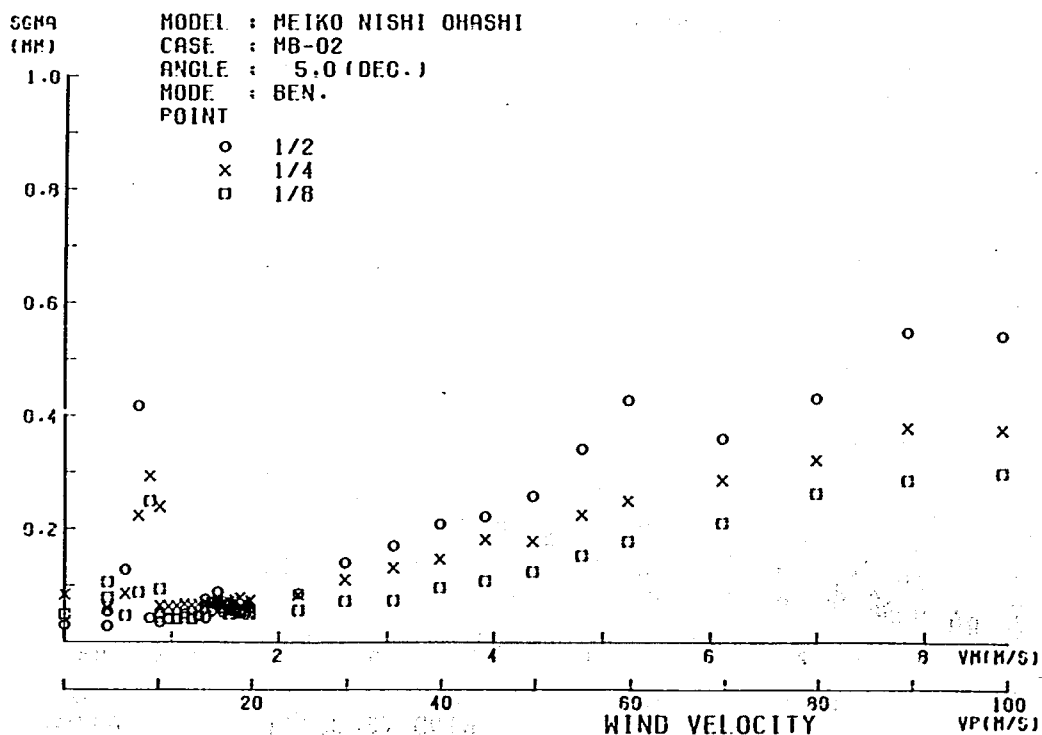


図4-35 单独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (No.5)	
成分・測定点	鉛直・わき・中央径間 1/2・1/4・1/8
迎角	+3°
方向	A

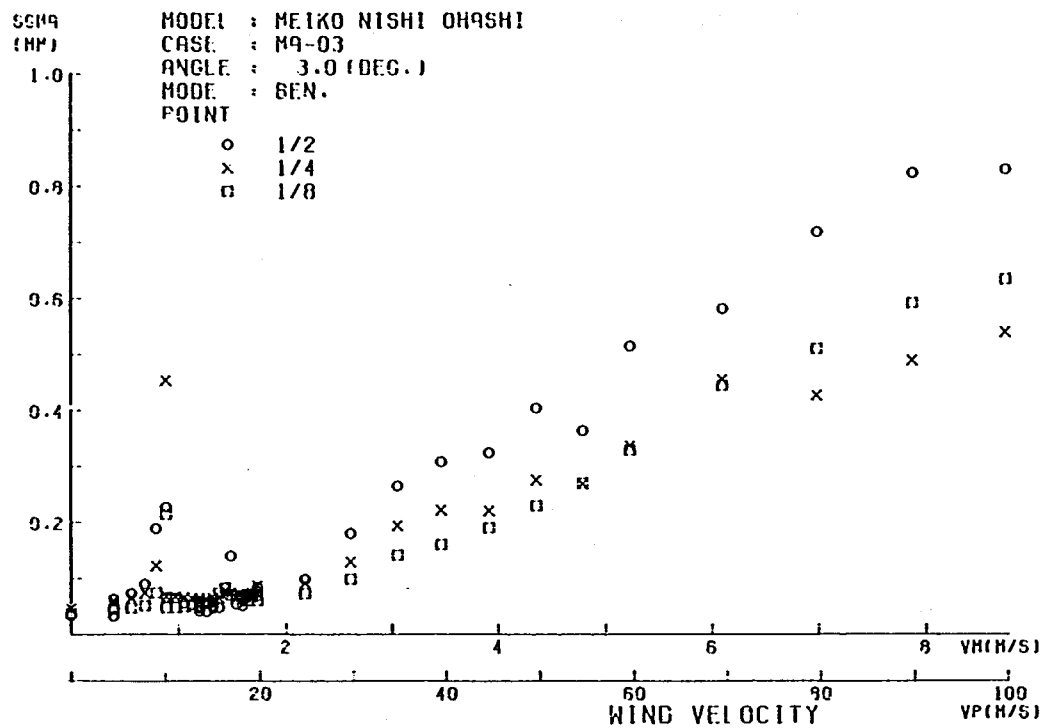


図4-36 单独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (No.6)	
成分・測定点	鉛直・わき・中央径間 1/2・1/4・1/8
迎角	+3°
方向	B

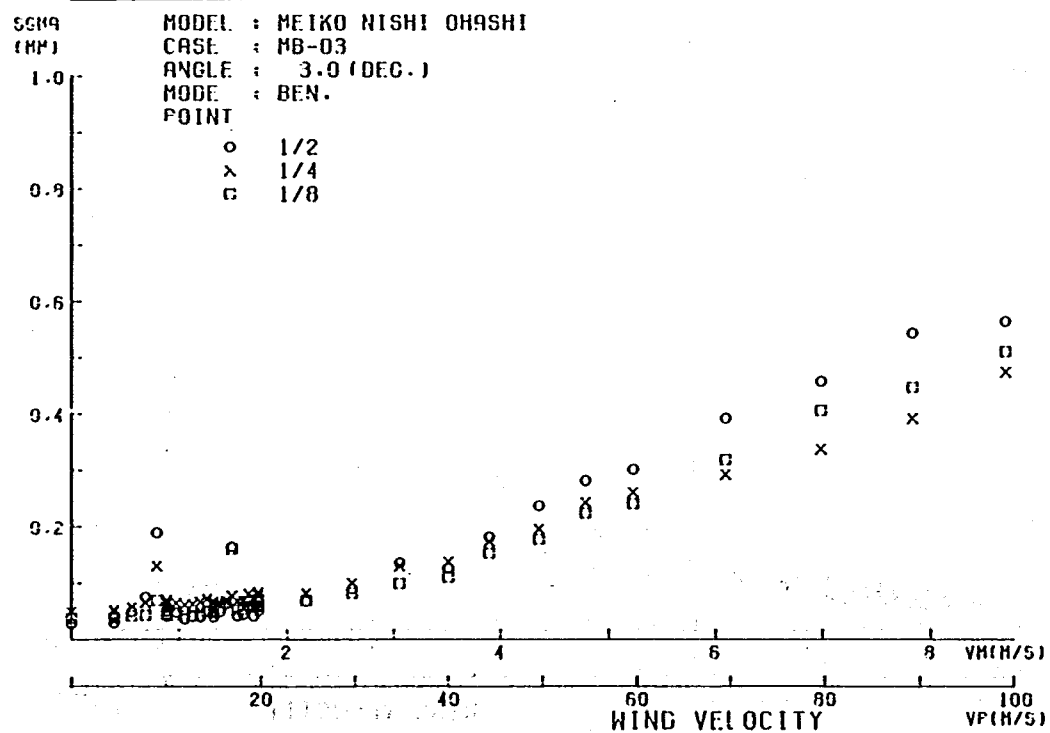


図4-37 单独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (No.7)	
成分・測定点	鉛直・わみ・中央圧荷 1/2・1/4・1/8
迎角	+0°
方向	A

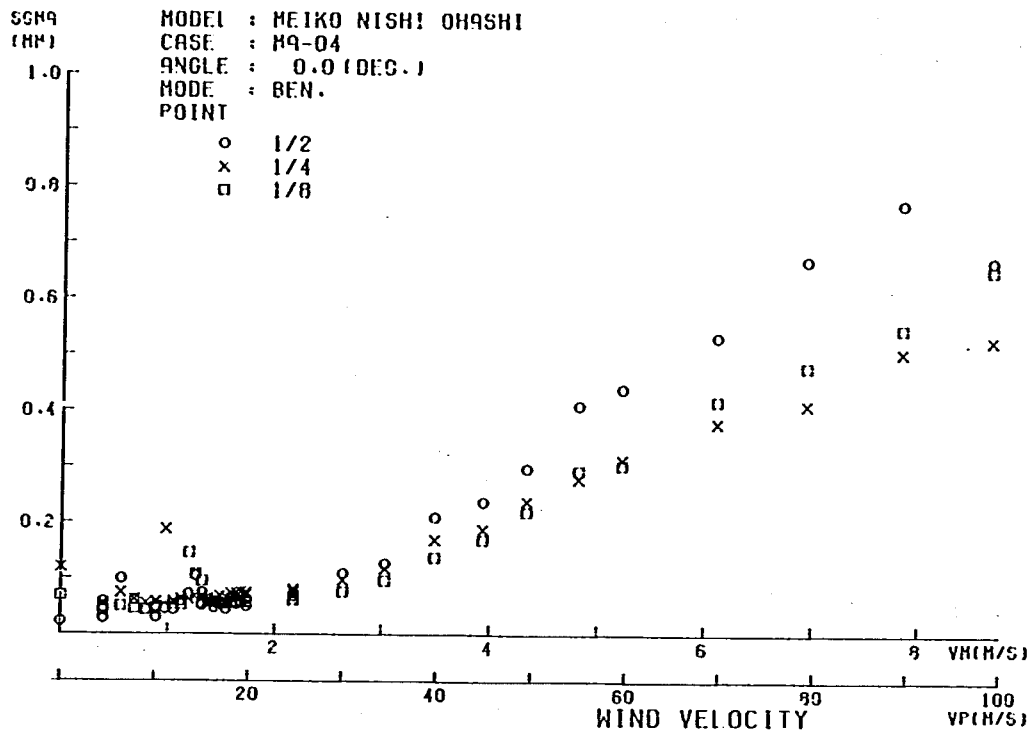


図4-38 单独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (No.8)	
成分・測定点	鉛直・わみ・中央圧荷 1/2・1/4・1/8
迎角	+0°
方向	B

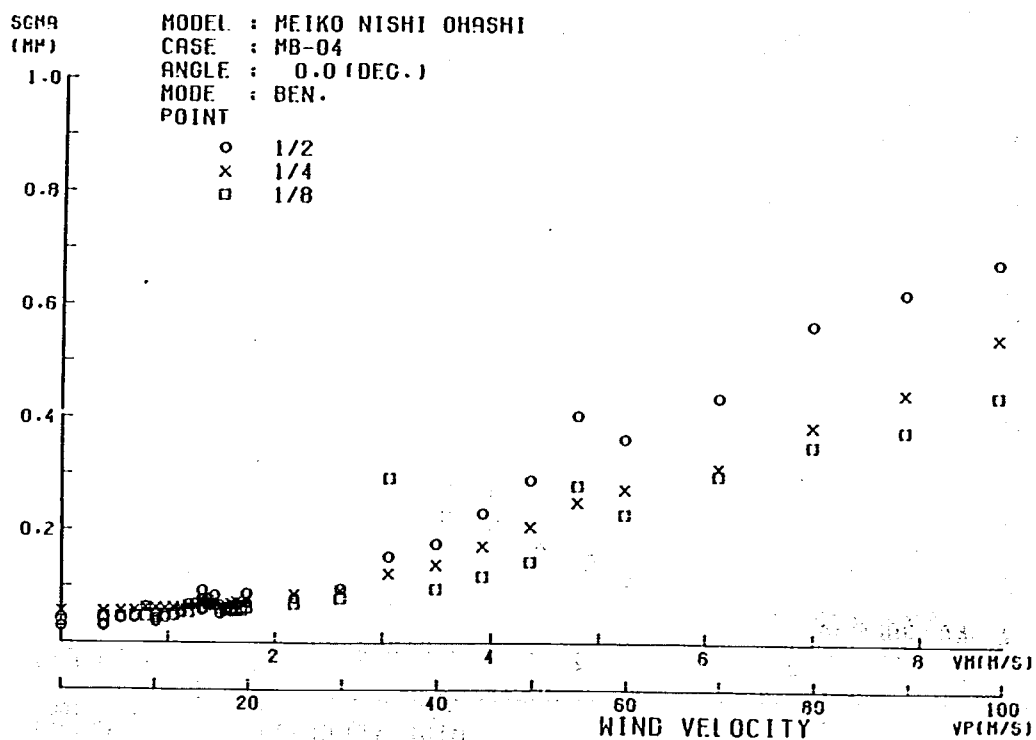


図4-39 单独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.13)	
成分・測定点	鉛直・わみ・中央区間 1/2・1/4・1/8
迎角	-7°
方向	A

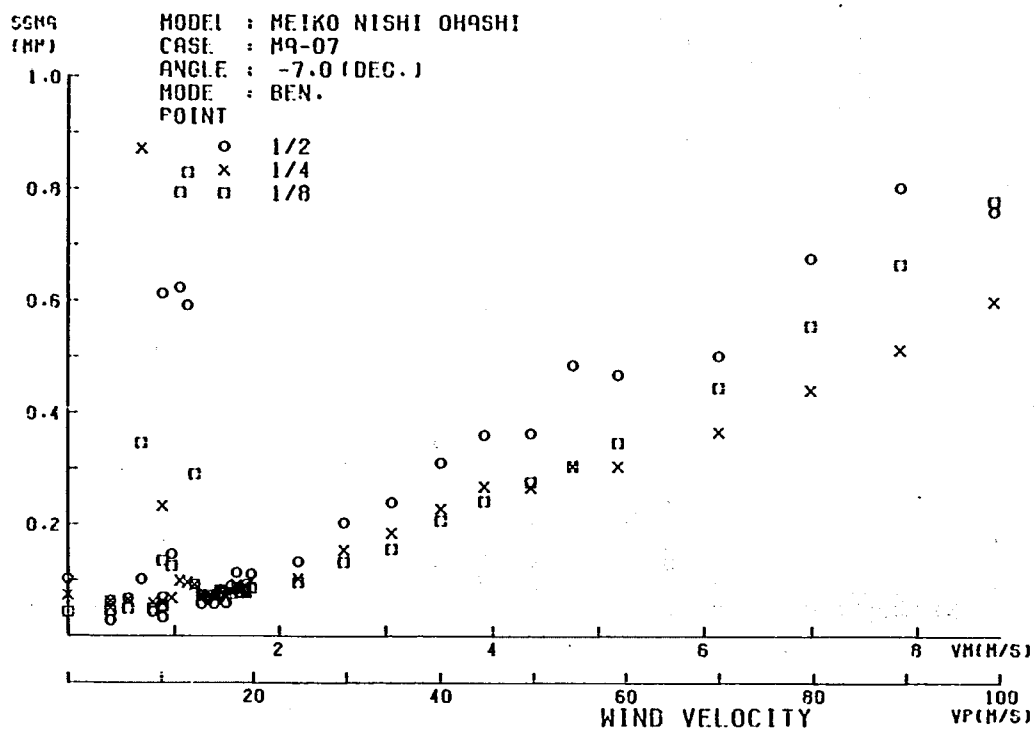


図4-44 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.14)	
成分・測定点	鉛直・わみ・中央区間 1/2・1/4・1/8
迎角	-7°
方向	B

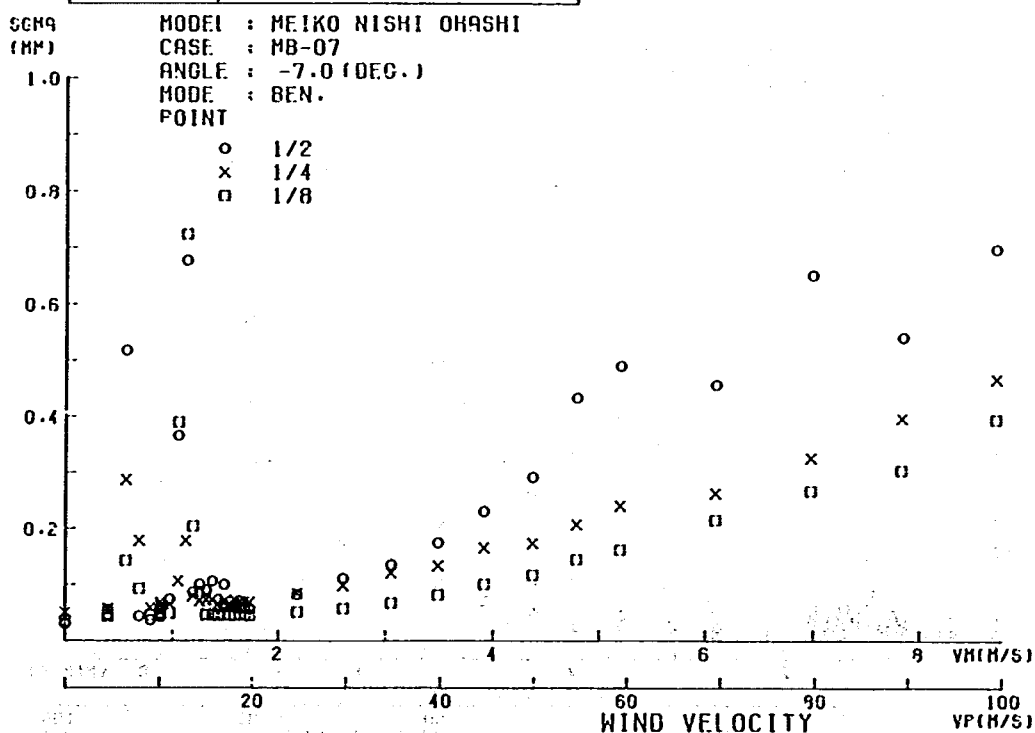


図4-45 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.15)	
成分・測定点	ねじれ・中央区間 1/2
迎 角	+7°, +5°, +3°, 0°
方 向	A

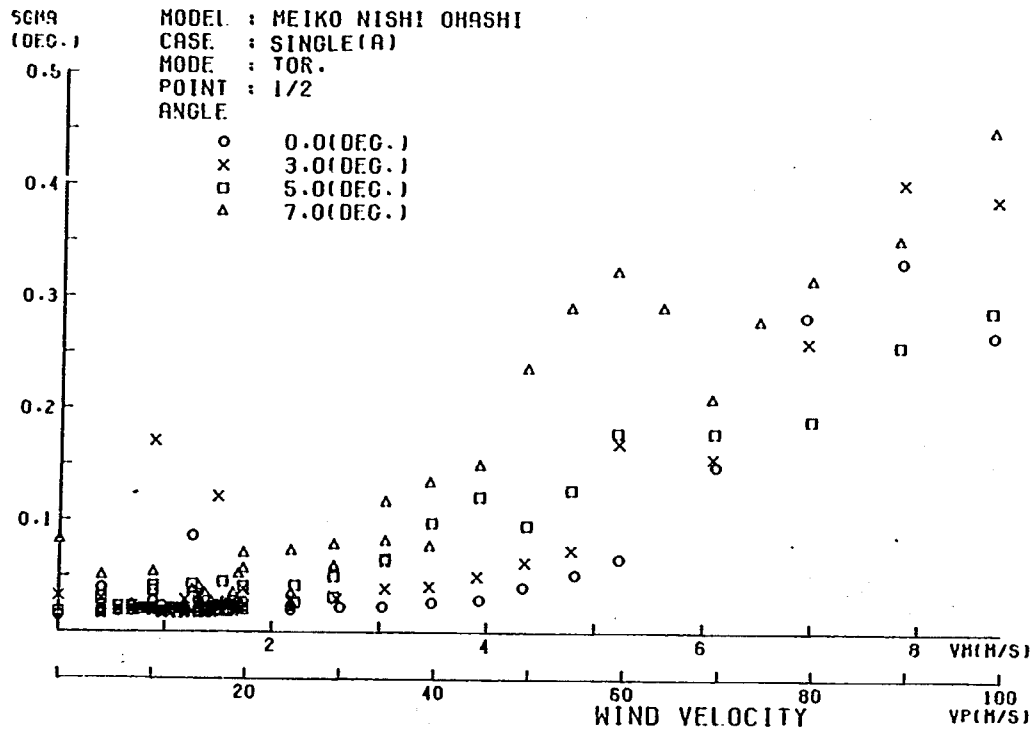


図4-46 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.16)	
成分・測定点	ねじれ・中央区間 1/2
迎 角	-7°, -5°, -3°, 0°
方 向	B

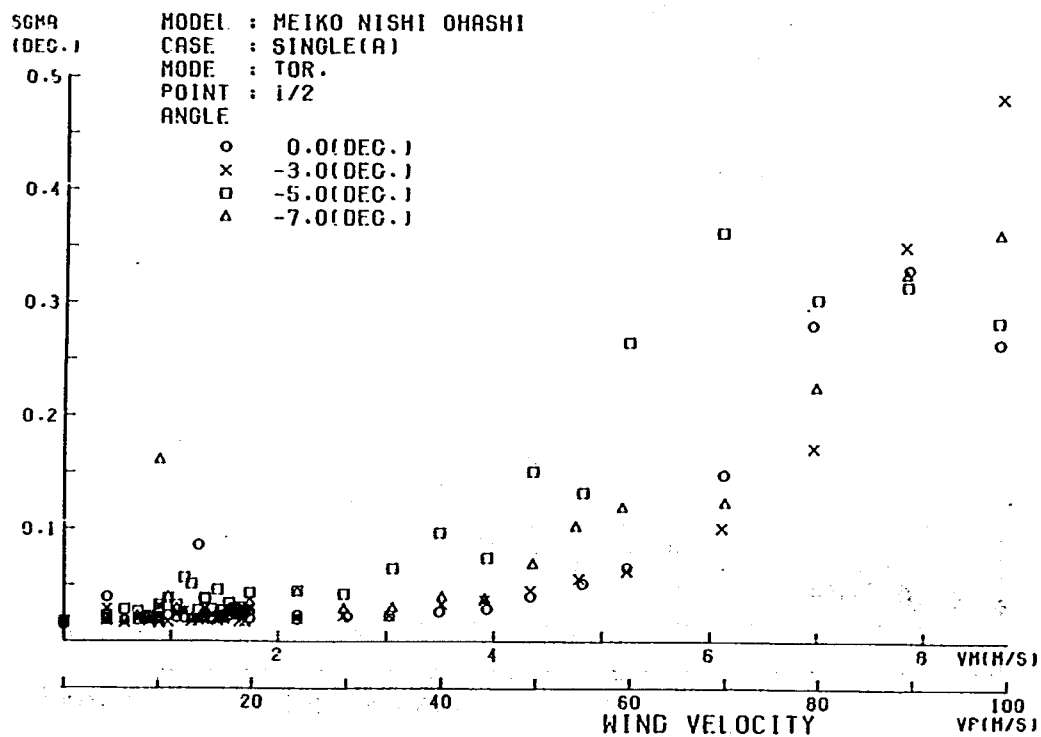


図4-47 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.17)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
傾角	+7°, +5°, +3°, 0°
方向	A

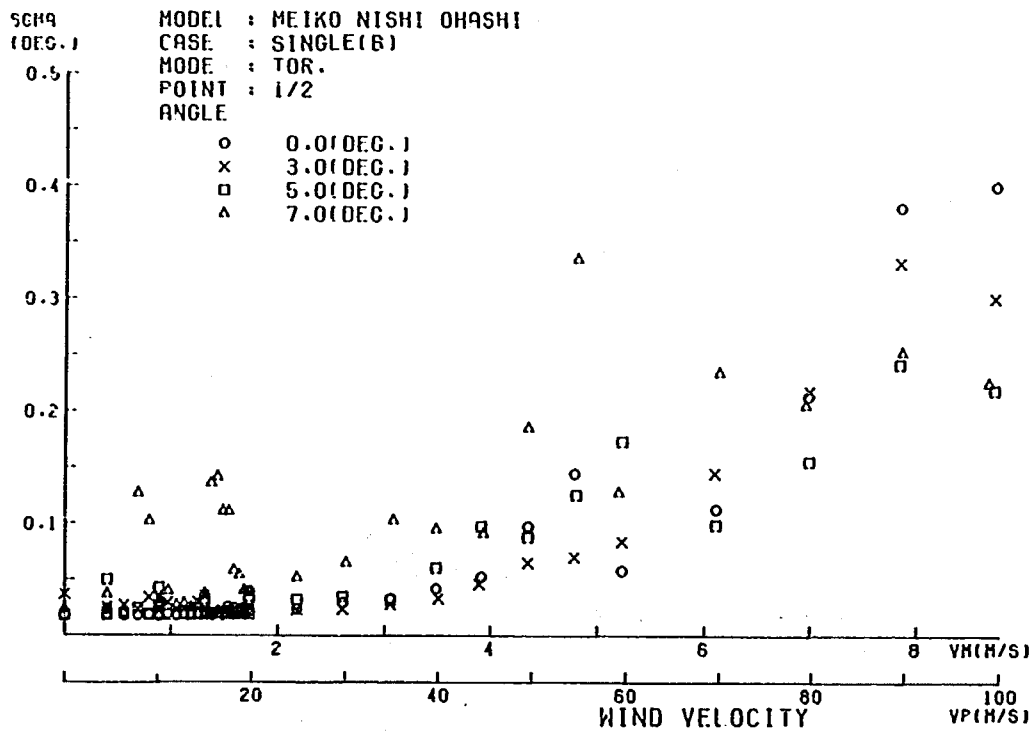


図4-48 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.18)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
傾角	-7°, -5°, -3°, 0°
方向	B

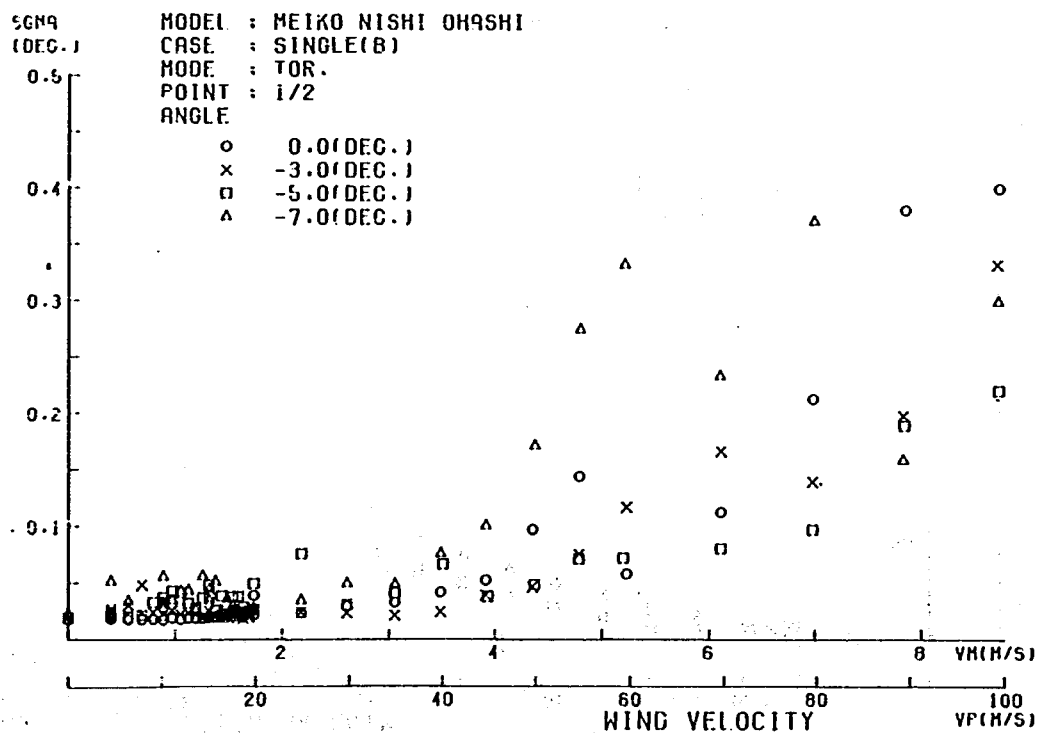


図4-49 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.3)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎角	+7°, +5°, +3°, 0°
方向	A

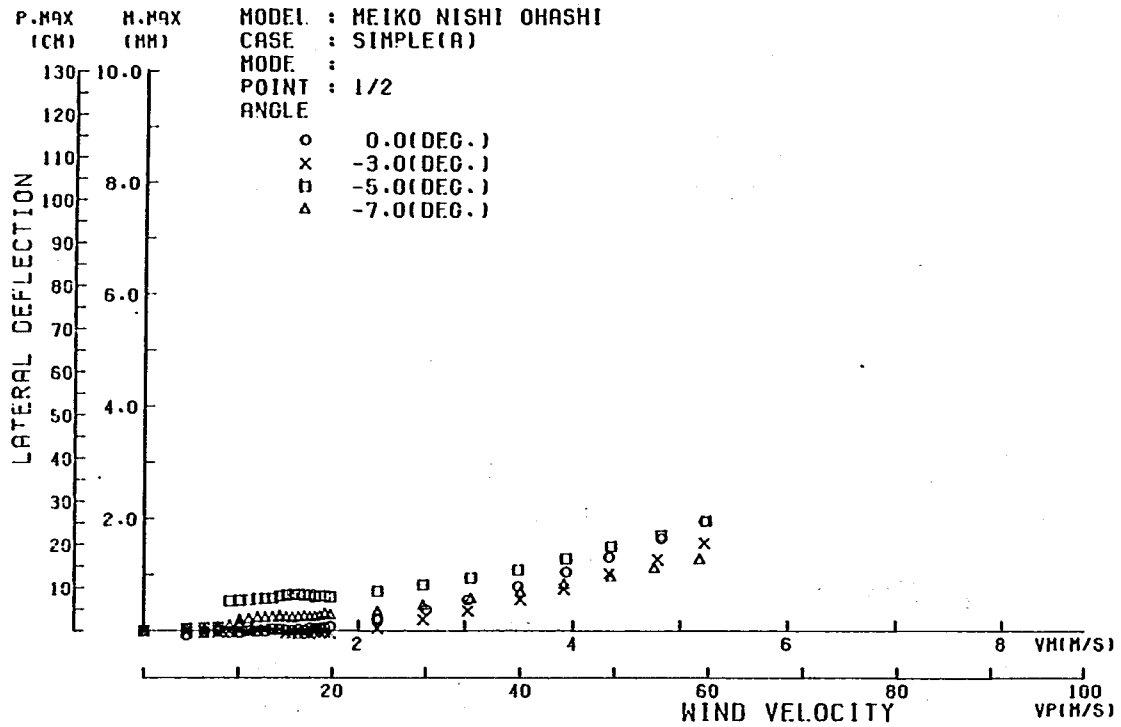


図4-50 単独橋 V - A

単独橋 V - A 曲線 (No.4)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎角	-7°, -5°, -3°, 0°
方向	B

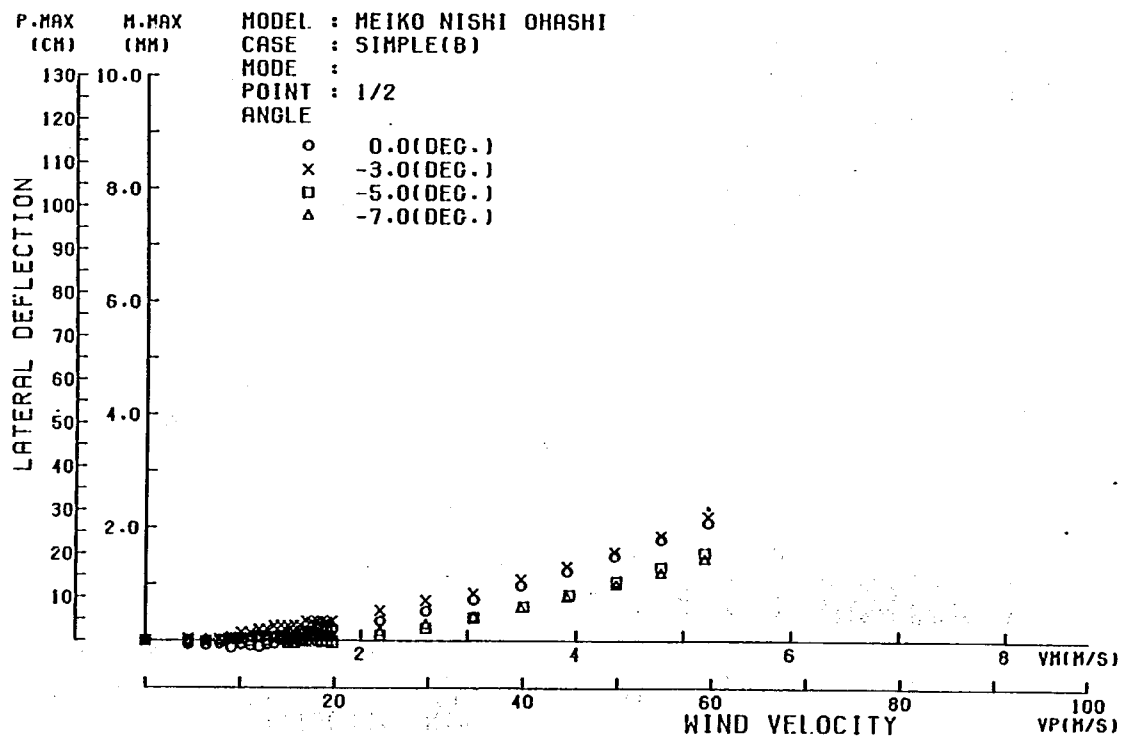


図4-51 単独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (№1)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎 角	+7°, +5°, +3°, 0°
方 向	A

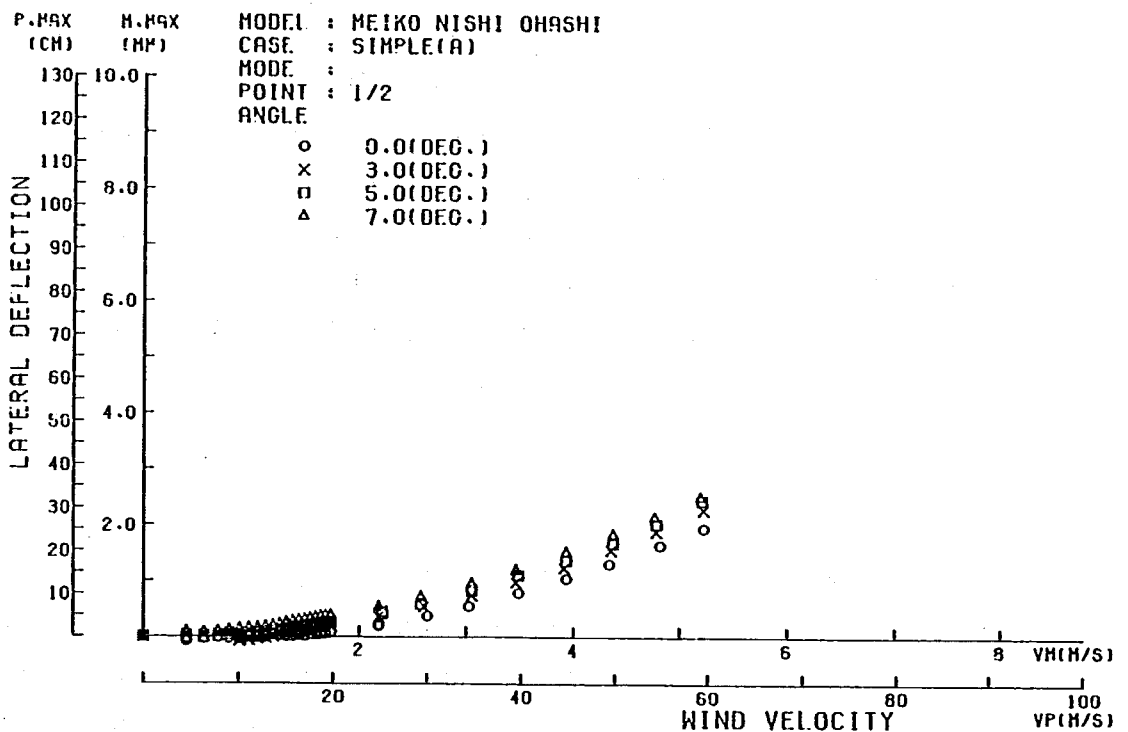


図4-52 单独橋 V - A

单独橋 V - A 曲線 (№2)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎 角	-7°, -5°, -3°, 0°
方 向	B

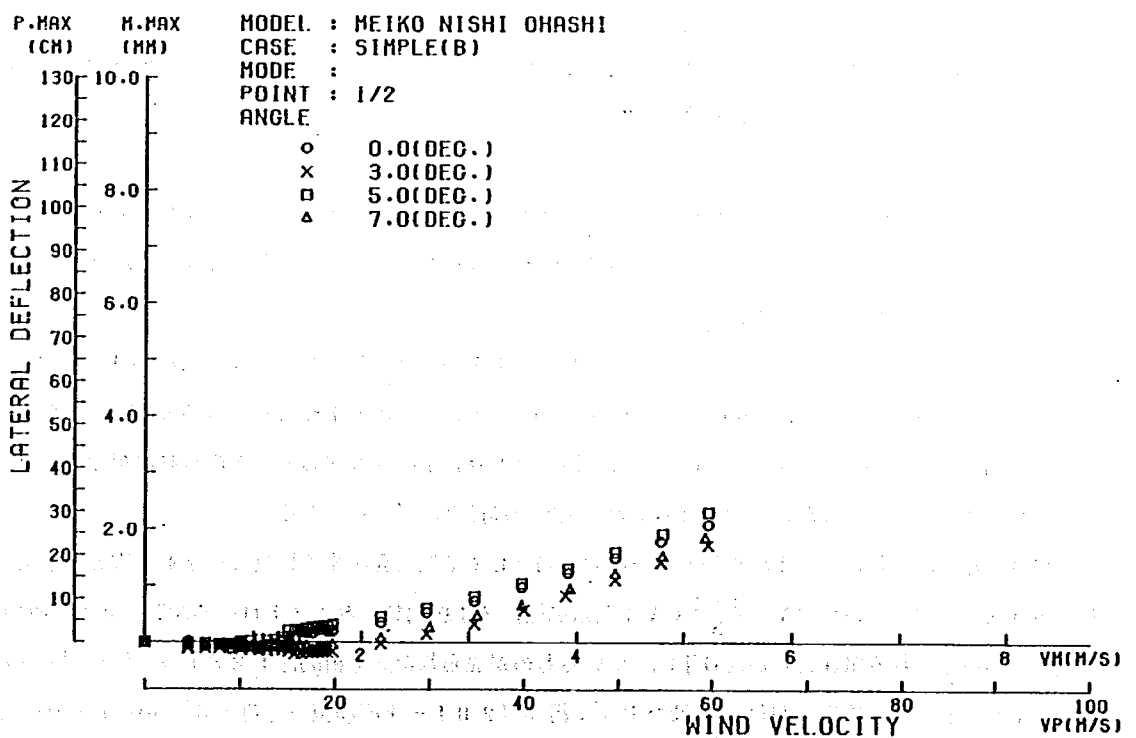


図4-53 单独橋 V - A

5. 一様流中 2 橋並列の実験

5.1 実験方法及び実験条件

測定方法などは単独橋と同様の手法を用いたので、ここでは省略する。上流模型と下流模型の橋桁間隔は、上流模型を移動させることにより、可変でき得るようにしたが、その可変範囲は純間隔で $1.28 \sim 2.5L$ である (L は橋桁幅員)。

今回の実験の目的が下流側の橋梁の挙動を調べることにあるため、下流模型に加振器を取り付け、鉛直たわみ 1 次、ねじれ 1 次の強制加振を行ないながら、表 5-1 に示すようなケースで実験を行なった。

また、下流模型について、各実験ケースごとに無風状態で鉛直たわみ 1 次、2 次、3 次、ねじれ 1 次の強制加振を行ない、振動数、減衰率などの構造特性を調べた。測定箇所は実験機器の都合上図 5-1 に示すように、上流側模型が 2 箇所 (中央径間 $\frac{1}{2}$ 点 (上流, 下流))、下流側模型が 4 箇所 (中央径間 $\frac{1}{2}$ 点 (上流, 下流) $\frac{1}{4}$ 点, $\frac{1}{8}$ 点) の合計 6 箇所とした。したがって、上流模型については鉛直たわみ 2 次の測定はできなかった。

5.2 実験結果及び考察

5.2.1 構造特性について

無風時の強制加振実験結果を表 5-2, 3 に示す。表よりわかるように単独橋同様、この実験においても模型の振動数は、迎角を変化させてもほとんど一定であり、その値も単独橋実験の時の値とほぼ一致している。構造減衰率は、単独橋時と同様、値にばらつきが見られるが、鉛直加振時に $0.02 \sim 0.03$ 、ねじれ加振時に 0.015 程度であり、対象振幅が大きいほどその値は大きくなっている。値の分布範囲は所要値と同程度か幾分低めであり、実験としては安全側の値を示しているといえる。

5.2.2 風洞実験結果及び考察

- (1) 一様流中における、2 橋の発振風速と迎角との関係 ($V_{cri} - \alpha$) を図 5-2 ~ 5 に示す。図からわかるように、フラッターなどの自励振動は両模型とも迎角が $+5^\circ \sim -5^\circ$ 、風速が実橋換算風速で 100 m/sec までの範囲で発生していない。
- (2) ねじれモードの渦励振は単独橋同様、どのケースでも発生していないが、実橋風速 $5 \text{ m/sec} \sim 25 \text{ m/sec}$ の範囲で種々の鉛直たわみモードの渦励振が見られた。

渦励振の特性は次のようである (図 5-6 ~ 9 参照)。

- i) 上流模型、下流模型とも全迎角で発生している。発生する振動モードは、1 次から 5 次までと広範囲である。傾向としては単独橋で見られたように、迎角の絶対値が大きくなるに従いがい、振幅は大きくなり、また、発生する振動モードの数も増えるようである。
- ii) 振動モード別にその発生風速域をみると、鉛直たわみ 1 次が実橋換算風速で $4.5 \text{ m/sec} \sim 10 \text{ m/sec}$ 、2 次が $6 \text{ m/sec} \sim 13 \text{ m/sec}$ 、3 次が $10 \text{ m/sec} \sim 18 \text{ m/sec}$ 、4 次が $11 \text{ m/sec} \sim 18 \text{ m/sec}$ 、5 次が $11 \text{ m/sec} \sim 14 \text{ m/sec}$ 、 $18 \text{ m/sec} \sim 26 \text{ m/sec}$ の範囲であり、1 次 ~ 3 次のモードの振動は単独橋とほぼ同じような性状を示している。また、両模型ともその発生風速はほとんど同じである。

高風速になるにつれ、上、下流模型とも一般的傾向として順次、発生する振動モードも高次となっているが、たわみ 4 次、5 次については $V = \frac{f \cdot d}{S}$ (V : 発振風速, f : 振動数, S : ストローハル数, d : 橋桁の代表長) の関係から推定される風速よりかなり下回っているものが見られた。(桁間隔 $1.28L$ - 上流模型 - 迎角 $+3^\circ$, 桁間隔 $1.28L$ - 下流模型 - 迎角 $+3^\circ$ 及び $+5^\circ$, 桁間隔 $2.0L$ - 下流模型 - 迎角 $+3^\circ$, etc) その結果、桁間

隔1.28L-下流模型-迎角 $+5^\circ$ では、実橋換算風速 $11\text{ m/sec} \sim 12\text{ m/sec}$ で4次が、 $12\text{ m/sec} \sim 15\text{ m/sec}$ で3次が発生するという逆転現象が起きている。この原因は定かではないが、4次の発生する風速は推定される風速の約 $\frac{1}{2}$ 程度である。

iii) 桁間隔を1.28Lとした場合の上流模型の発生する渦励振の実橋換算最大振幅は、鉛直たわみ1次で 16 cm (迎角 -5°)、3次で 33 cm (迎角 -5°)、4次で 22 cm (迎角 -3°)、5次で 9 cm (迎角 $+3^\circ$)である。また、下流模型については、1次で 38 cm (迎角 -5°)、2次で 30 cm (迎角 $+5^\circ$)、3次で 52 cm (迎角 -5°)、4次で 35 cm (迎角 -3°)、5次で 35 cm (迎角 -5°)である。

それに比べ桁間隔が2.0Lの場合には、上流模型の渦励振の実橋換算最大振幅は1次で 13 cm (迎角 -3°)、3次で 25 cm (迎角 -5°)、4次で 16 cm (迎角 -3°)である。下流模型については1次で 16 cm (迎角 -3°)、2次で 14 cm (迎角 -3°)、3次で 39 cm (迎角 $+5^\circ$)、4次で 26 cm (迎角 -5°)、5次で 10 cm (迎角 $+3^\circ$)である。(1次、3次、4次、5次に関しては中央径間 $\frac{1}{2}$ 点、2次に関しては中央径間 $\frac{1}{4}$ 点の変位)

iv) 実験結果より得られた振幅と振動数により波形を正弦波形と仮定してその実橋換算の最大加速度を試算すれば表5-4、5のようになる。

その最大値は、桁間隔が1.28Lの場合には、上流模型で 0.50 g (迎角 -5° 、風速 20 m/sec)、下流模型で 0.74 g (迎角 -5° 、風速 20 m/sec)程度であり、桁間隔2.0Lの場合には上流模型で 0.22 g (迎角 -5° 、風速 18 m/sec)、下流模型で 0.37 g (迎角 $+5^\circ$ 、風速 18 m/sec)程度である。

v) 桁間隔の異なる場合の渦励振現象を比較して図5-10、11に示す。これらの図によれば、桁間隔が2.0Lから1.28Lと狭くなるにつれ、渦励振の振幅は小さくなり、また、発生する振動モードの数も増える。このことは上流、下流模型とも言える。

(3) 風速が実橋風速で 25 m/sec 以上になると、単独橋の場合と同様に限定振動である渦励振はほとんど発生しなくなり、次第に不規則振動が顕著になる。

単独橋の場合と同様な解析方法を用いて、各測定点の振幅の標準偏差、ピーク値などを計算した。

図5-12~22は、下流模型の中央径間 $\frac{1}{2}$ 点、 $\frac{1}{4}$ 点、 $\frac{1}{8}$ 点における鉛直方向の振幅の標準偏差を各ケースごとに図示したものである。これらの図によれば、 $\frac{1}{2}$ 点が最も揺れやすく、ついで $\frac{1}{4}$ 点、 $\frac{1}{8}$ 点となっている。迎角による変化はほとんどなく、設計風速 54.5 m/sec で中央径間 $\frac{1}{2}$ 点の標準偏差は $0.2\text{ mm} \sim 0.3\text{ mm}$ (実橋換算 $2.6\text{ cm} \sim 3.9\text{ cm}$)程度である。

図5-23~33は、上流、下流模型の中央径間 $\frac{1}{2}$ 点における鉛直方向の振幅の標準偏差を比較して示したものである。一般的傾向として上流模型の方が下流模型よりも振幅が大きく、値としては設計風速 54.5 m/sec 付近で約 $0.25\text{ mm} \sim 0.35\text{ mm}$ (実橋換算 $3.3\text{ cm} \sim 4.6\text{ cm}$)であり、下流に比べ約1.2倍程度大きい。この原因としては①上流模型で乱された風が下流模型にあたり、下流模型自身の不規則振動を相殺させた。②上流模型によってその下流の風速が低下し、下流模型付近の風速は設定風速以下となっていることなどが考えられるが、図をみてわかるように、迎角 0° 付近でこの傾向が著しいため②によるものと思われる。

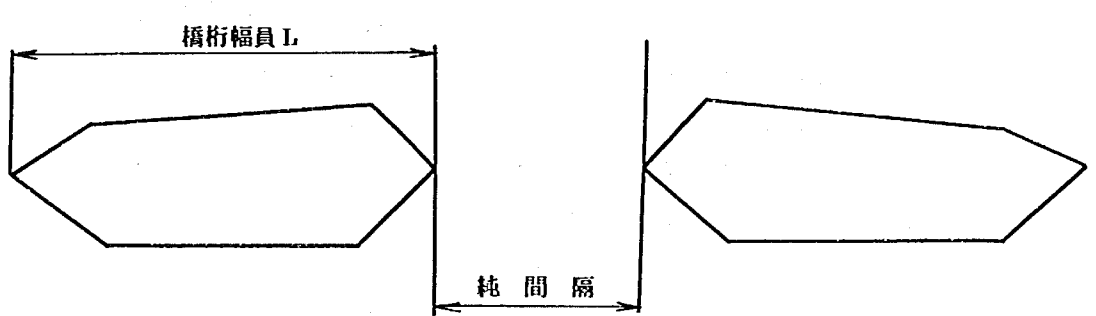
図5-34~44に中央径間 $\frac{1}{2}$ 点のねじれの標準偏差について、各ケースごとに上流模型と下流模型とを比較して示した。図からわかるように風速が実橋換算風速で $20\text{ m/sec} \sim 30\text{ m/sec}$ 付近では下流模型の振幅のが上流模型よりも大きい、高風速になると上流の方が下流よりも値が大きくなる。これは $20\text{ m/sec} \sim 30\text{ m/sec}$ 付近の風速がねじれの1次の渦励振発生域(ストローハル数;一定の法則から推定すれば)にあたるためと思われる。

図5-45~55は中央径間 $\frac{1}{2}$ 点における横たわみ量を、各実験ケースごとに上流模型と下流模型とを比較して

示したものである。これらの値も鉛直振幅と同様、上流側の模型の方が変位量大きい。また、低風速域で、下流模型が多少上流方向に移動しているのは、風により上流模型と下流模型との間の気圧が低下したため、下流模型が上流側へ引かれたためと思われる。上流、下流いずれも風速のほぼ2乗に比例してその変位量は増大している。また、迎角によりその抗力係数が変化するため変位量も当然のことながら変化している。正の範囲で迎角が大きいほど横たわみ量も増大するのはこのことによるものと思われる。それに比べ負の範囲で迎角の影響がそれほど見られないのは、桁の移動方向に対し、ケーブルが抵抗するからと思われる。

移動量としては風速100 m/secでも実橋換算で1 m程度であり、径間長の約1/400程度であることを考えれば問題ないと思われる。

表5-1 名港西大橋一様流中2橋並列実験ケース

			
実験整理番号	迎 角	間 隔	実験風速範囲（実橋換算）
M2-01	0°	1.28 L [*]	0 ~ 100 m/s
M2-02	0°	1.50 L	
M2-03	0°	2.00 L	
M2-04	+3°	2.00 L	
M2-05	+3°	1.28 L	
M2-06	+5°	1.28 L	
M2-07	+5°	2.00 L	
M2-08	-3°	2.00 L	
M2-09	-3°	1.28 L	
M2-10	-5°	1.28 L	
M2-11	-5°	2.00 L	

* 整理上、1.2 Lとしているところもあるが、実際の桁間隔は1.28 Lである。

表5-2 2橋並列の振動数特性および減衰率特性その1

間 隔	迎角	た わ み 1 次		た わ み 2 次		た わ み 3 次		ね じ れ 1 次	
		振 動 数	減 衰 率	振 動 数	減 衰 率	振 動 数	減 衰 率	振 動 数	減 衰 率
1.2 L	5°	3.61	0.0241	4.46	0.0184	6.94	0.0166	15.54	0.0117
	3°	3.61	0.0186	4.46	0.0171	6.95	0.0141	15.51	0.0216
	0°	3.61	0.0152	4.47	0.0191	6.96	0.0177	15.57	0.0157
	-3°	3.63	0.0166	4.48	0.0175	6.97	0.0149	15.64	0.0151
	-5°	3.62	0.0229	4.47	0.0179	6.96	0.0146	15.62	0.0166
1.5 L	0°	3.61	0.0227	4.47	0.0192	6.95	0.0188	15.56	0.0122
2.0 L	5°	3.61	0.0178	4.48	0.0196	6.96	0.0178	15.58	0.0187
	3°	3.61	0.0239	4.48	0.0154	6.96	0.0144	15.54	0.0133
	0°	3.62	0.0169	4.49	0.0130	6.97	0.0131	15.60	0.0140
	-3°	3.61	0.0137	4.48	0.0183	6.96	0.0104	15.63	0.0109
	-5°	3.62	0.0187	4.49	0.0154	6.97	0.0148	15.65	0.0152

たわみ振動については倍振幅 1mm

ねじれ " " 0.5°

表5-3 2橋並列の振動数特性および減衰率特性その2

間 隔	迎角	た わ み 1 次		た わ み 2 次		た わ み 3 次		ね じ れ 1 次	
		振 動 数	減 衰 率	振 動 数	減 衰 率	振 動 数	減 衰 率	振 動 数	減 衰 率
1.2 L	5°	3.61	0.0204 ㊤	4.46	0.0210	6.94	0.0184	15.54	0.0226
	3°	3.61	0.0266	4.46	0.0200	6.95	0.0199	15.51	0.0250
	0°	3.61	0.0233	4.47	0.0201	6.96	0.0182	15.57	0.0211 ㊤
	-3°	3.63	0.0163	4.48	0.0204	6.97	0.0173	15.64	0.0178
	-5°	3.62	0.0237	4.47	0.0208	6.96	0.0180	15.62	0.0202
1.5 L	0°	3.61	0.0238	4.47	0.0207	6.95	0.0188	15.56	0.0208
2.0 L	5°	3.61	0.0208	4.48	0.0197	6.96	0.0172	15.58	0.0174
	3°	3.61	0.0233	4.48	0.0189	6.96	0.0210	15.54	0.0185
	0°	3.62	0.0227	4.49	0.0200	6.97	0.0210	15.60	0.0219
	-3°	3.61	0.0221	4.48	0.0213	6.96	0.0179	15.63	0.0261
	-5°	3.62	0.0214	4.49	0.0220	6.97	0.0176	15.65	0.0220

たわみ振動については倍振幅 2mm

ねじれ " " 1.0°

○の中の数字は使用波数であり

その他は20波で計算

表5-4 2橋並列の渦励振特性 桁間隔1.28L

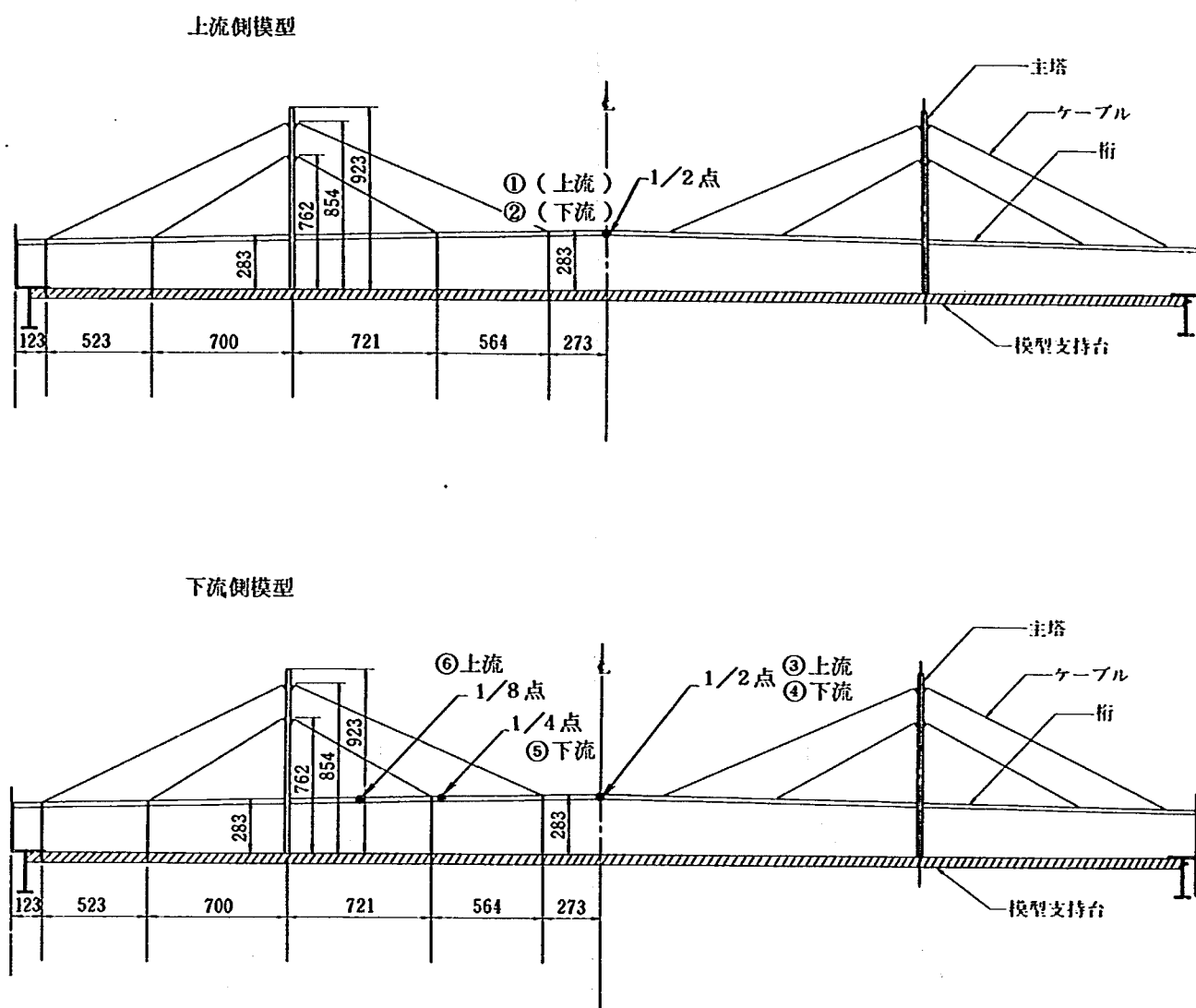
		迎角	発振風速(m/sec)	ピーク風速	振 幅		振 動 数		実橋換算値
				(m/sec)	模型(mm)	実橋(cm)	模型(Hz)	実橋(Hz)	加速度(O)
上 流 側 模 型	鉛直たわみ1次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	4.53 ~ 6.41	4.53	0.626	8.138	3.64	0.319	0.017
		0	4.50 ~ 7.80	6.41	1.184	15.390	3.57	0.313	0.031
		-3	4.53 ~ 9.07	7.85	0.424	5.512	3.66	0.321	0.012
		-5	4.53 ~ 7.85	6.41	1.202	15.626	3.58	0.314	0.031
	鉛直たわみ3次	+5	12.82 ~ 15.70	14.34	1.414	18.382	6.99	0.613	0.139
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	11.99 ~ 13.60	12.82	0.801	10.410	7.14	0.626	0.082
		-3	11.10 ~ 13.60	12.82	2.009	26.052	7.01	0.615	0.199
		-5	11.99 ~ 13.60	12.82	2.546	33.098	7.02	0.616	0.253
	鉛直たわみ4次	+5	9.07 ~ 11.10	10.14	0.544	7.072	9.52	0.835	0.099
		+3	9.07 ~ 11.10	10.14	0.430	5.590	9.52	0.835	0.079
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	15.04 ~ 18.13	16.35	1.714	22.282	9.43	0.827	0.307
		-5	15.04 ~ 17.56	16.35	1.352	17.576	9.52	0.835	0.247
	鉛直たわみ5次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	11.99 ~ 14.34	12.82	0.684	8.892	11.63	1.020	0.187
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	—	—	—	—	—	—	—
		-5	18.13 ~ 21.74	19.76	1.844	23.972	11.36	1.023	0.504
下 流 側 模 型	鉛直たわみ1次	+5	4.53 ~ 7.85	6.41	0.454	5.902	3.64	0.319	0.012
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	4.53 ~ 9.07	6.41	1.456	18.93	3.52	0.309	0.036
		-3	4.53 ~ 9.07	7.85	1.119	14.547	3.70	0.325	0.031
		-5	4.53 ~ 7.85	6.41	2.948	38.324	3.58	0.314	0.076
	鉛直たわみ2次	+5	7.85 ~ 10.14	9.07	2.328	30.264	4.44	0.389	0.092
		+3	4.53 ~ 9.85 9.07 ~ 11.10	4.53 10.14	0.614 0.684	8.892 7.982	4.49	0.394	0.028 0.025
		0	7.85 ~ 10.14	9.07	1.988	25.844	4.44	0.389	0.079
		-3	9.07 ~ 11.10	10.14	0.538	6.994	4.46	0.391	0.022
		-5	6.34 ~ 11.10	10.14	0.596	7.748	4.52	0.396	0.024
	鉛直たわみ3次	+5	13.60 ~ 15.04	14.34	2.674	34.762	6.99	0.613	0.263
		+3	9.07 ~ 11.10	10.14	0.858	11.154	6.99	0.613	0.084
		0	11.10 ~ 13.60	12.82	1.336	17.368	6.94	0.609	0.130
		-3	11.11 ~ 13.60	12.82	3.318	43.134	7.01	0.615	0.329
		-5	11.90 ~ 13.60	12.82	3.980	51.740	6.89	0.604	0.380
	鉛直たわみ4次	+5	11.10 ~ 12.82	11.99	1.320	17.160	9.38	0.823	0.234
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	15.70 ~ 17.56	16.35	0.882	11.466	9.36	0.821	0.154
		-3	15.04 ~ 18.31	15.70	2.682	34.866	9.43	0.827	0.480
		-5	15.04 ~ 17.56	16.35	1.918	24.934	9.38	0.823	0.340
	鉛直たわみ5次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	11.99 ~ 14.34	12.82	1.050	13.650	11.62	1.019	0.285
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	—	—	—	—	—	—	—
		-5	18.13 ~ 21.74	19.76	2.726	35.438	11.63	1.020	0.743

・発振風速, ピーク風速はともに実橋換算値である。

表5-5. 2橋並列の渦励振特性 桁間隔2.0L

		迎角	発振風速(m/sec)	ピーク風速	振 幅		振 動 数		実橋換算値
				(m/sec)	模型(mm)	実橋(cm)	模型(Hz)	実橋(Hz)	加速度(G)
上 流 側 模 型	鉛直たわみ1次	+5	4.53 ~ 9.05	7.85	0.406	5.278	3.60	0.316	0.011
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	4.53 ~ 6.41	4.53	0.698	9.074	3.61	0.317	0.018
		-3	4.53 ~ 9.07	6.41	1.008	13.104	3.64	0.319	0.027
		-5	6.41 ~ 9.07	7.85	0.286	3.718	3.59	0.315	0.007
		-5	6.41 ~ 9.07	7.85	0.286	3.718	3.59	0.315	0.007
	鉛直たわみ3次	+5	12.82 ~ 15.70	13.60	0.866	11.258	6.96	0.610	0.084
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	12.82 ~ 13.60	13.60	1.028	13.364	6.97	0.611	0.100
		-3	10.14 ~ 13.60	12.82	0.826	10.738	6.98	0.612	0.081
		-5	11.99 ~ 13.60	12.82	1.944	25.272	6.96	0.610	0.189
	鉛直たわみ4次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	9.07 ~ 11.99	10.14	0.562	7.306	9.52	0.835	0.103
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	—	—	—	—	—	—	—
		-5	15.04 ~ 18.13	17.56	1.202	15.626	9.54	0.837	0.220
	鉛直たわみ5次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	—	—	—	—	—	—	—
		-5	—	—	—	—	—	—	—
下 流 側 模 型	鉛直たわみ1次	+5	6.53 ~ 9.07	6.41	0.660	8.580	3.65	0.320	0.018
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	4.53 ~ 6.41	4.53	0.958	12.454	3.64	0.319	0.026
		-3	4.53 ~ 9.07	6.41	1.204	15.652	3.70	0.325	0.033
		-5	4.53 ~ 7.85	6.41	0.788	10.244	3.69	0.324	0.022
	鉛直たわみ2次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	6.43 ~ 10.14	7.85	0.724	9.412	4.49	0.394	0.029
		-3	9.07 ~ 11.10	10.41	1.050	13.650	4.48	0.393	0.042
		-5	6.43 ~ 9.07	7.85	0.810	10.530	4.47	0.392	0.033
	鉛直たわみ3次	+5	13.60 ~ 16.96	15.04	2.980	38.740	6.96	0.610	0.290
		+3	—	—	—	—	—	—	—
		0	12.82 ~ 15.04	13.60	2.422	31.486	6.94	0.609	0.235
		-3	11.10 ~ 14.34	11.99	1.604	20.852	6.97	0.611	0.157
		-5	11.10 ~ 13.60	12.89	2.696	35.048	6.95	0.610	0.263
	鉛直たわみ4次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	10.14 ~ 11.99	11.10	1.16	15.080	9.52	0.835	0.212
		0	11.10 ~ 12.82	11.99	0.75	9.75	9.43	0.827	0.134
		-3	15.70 ~ 17.56	16.96	1.332	17.316	9.52	0.825	0.237
		-5	15.04 ~ 18.13	17.56	2.010	26.130	9.50	0.833	0.365
	鉛直たわみ5次	+5	—	—	—	—	—	—	—
		+3	11.10 ~ 12.82	11.99	0.796	10.348	11.54	1.012	0.213
		0	—	—	—	—	—	—	—
		-3	—	—	—	—	—	—	—
		-5	22.21 ~ 25.65	23.12	0.502	6.526	11.61	1.018	0.136

・発振風速, ピーク風速はともに実橋換算値である。



測定 番号	模型	測定箇所	測定成分	
			鉛直たわみ	横たわみ
①	上流側模型	中央径間 1/2 点 (上流側)	V 1	
②	"	" (下流側)	V 2	H ₁
③	下流側模型	" (上流側)	V 3	
④	"	" (下流側)	V 4	H ₂
⑤	"	" 1/4 点 (")	V 5	
⑥	"	" 1/8 点 (")	V 6	

図5-1 2橋並列実験測定箇所

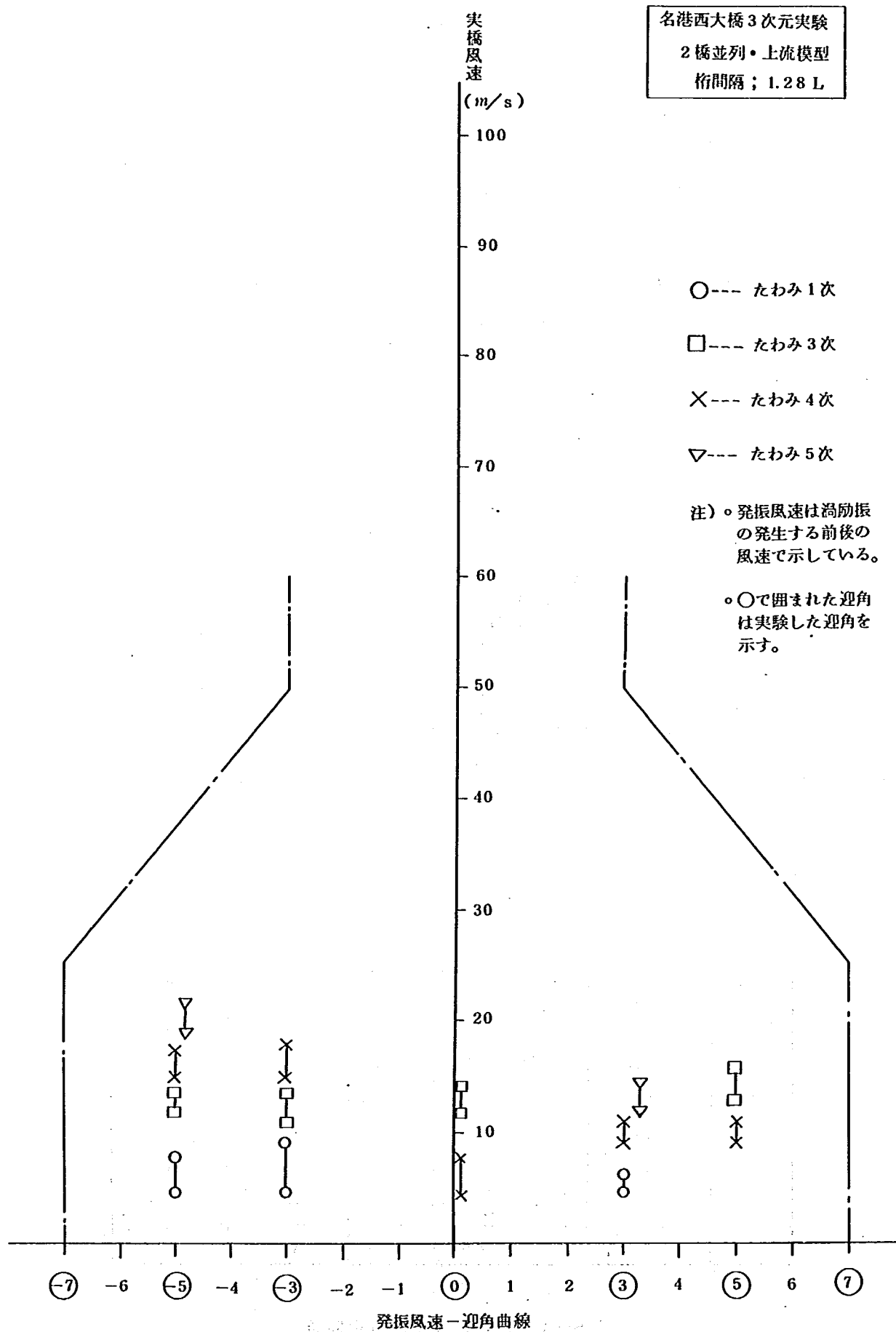


図5-2 2橋並列 $V_{cri}-\alpha$ (No.1)

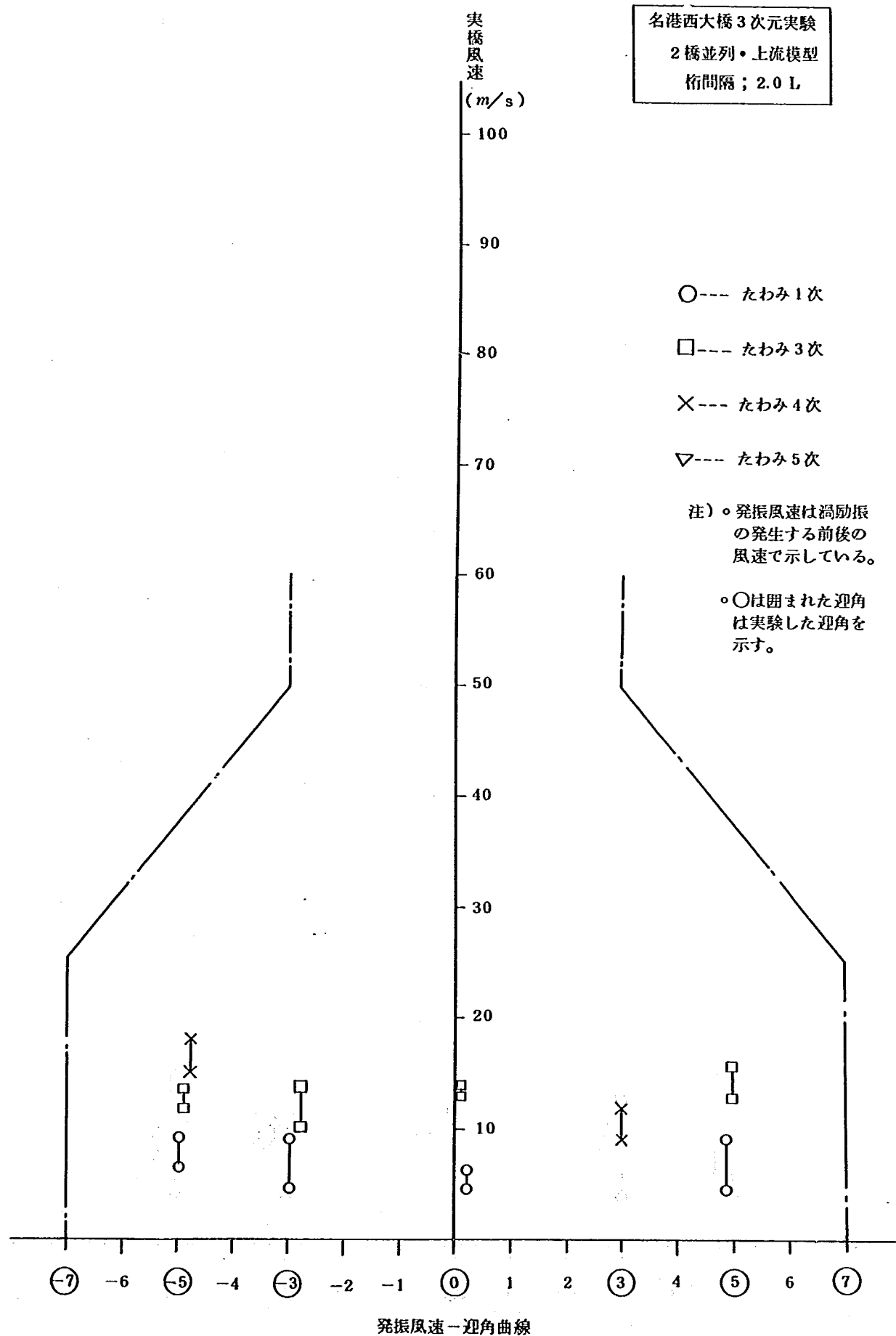


図5-3 2 橋並列 $V_{cri}-\alpha$ (No.2)

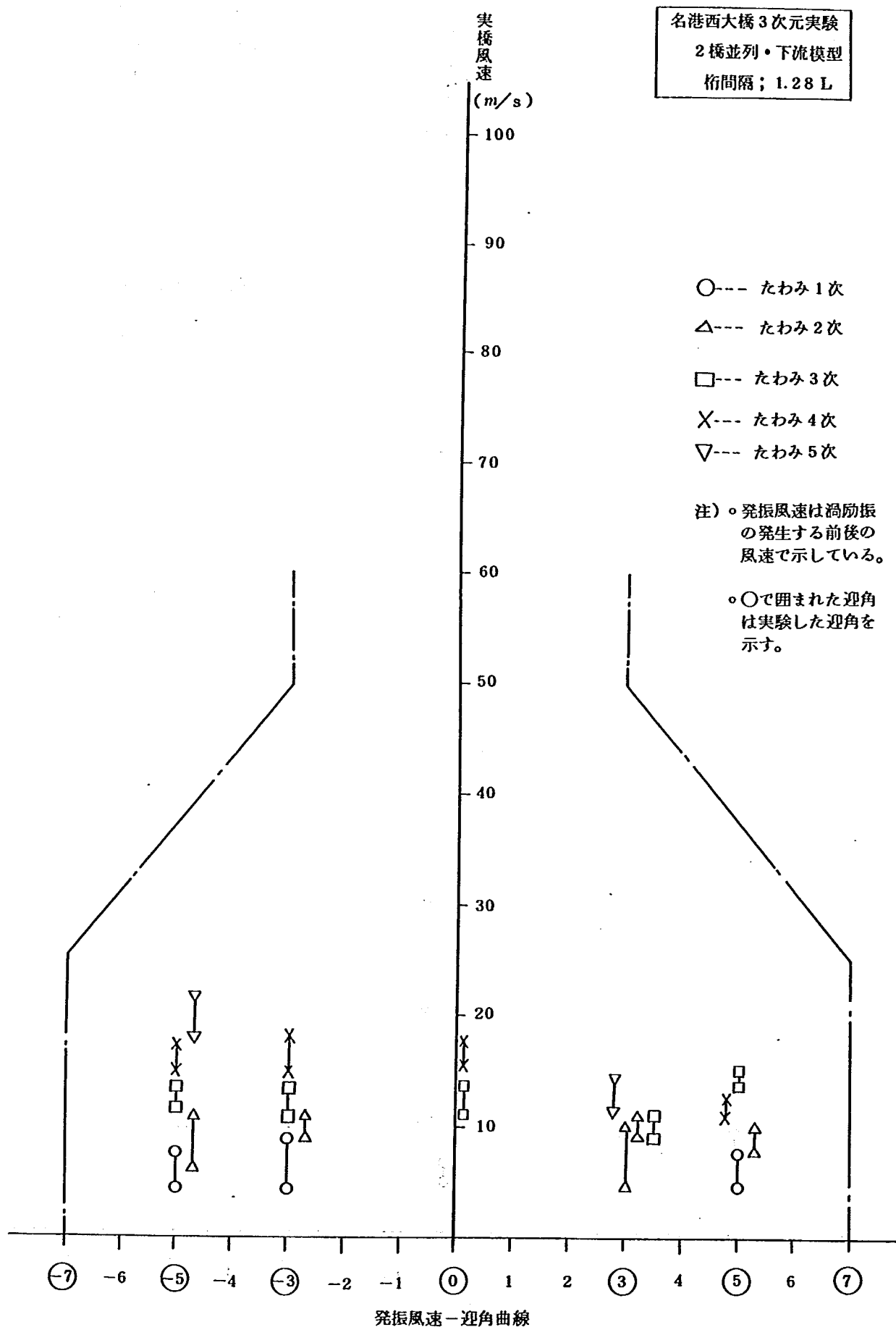


図5-4 2橋並列 $V_{cri}-\alpha$ (No.3)

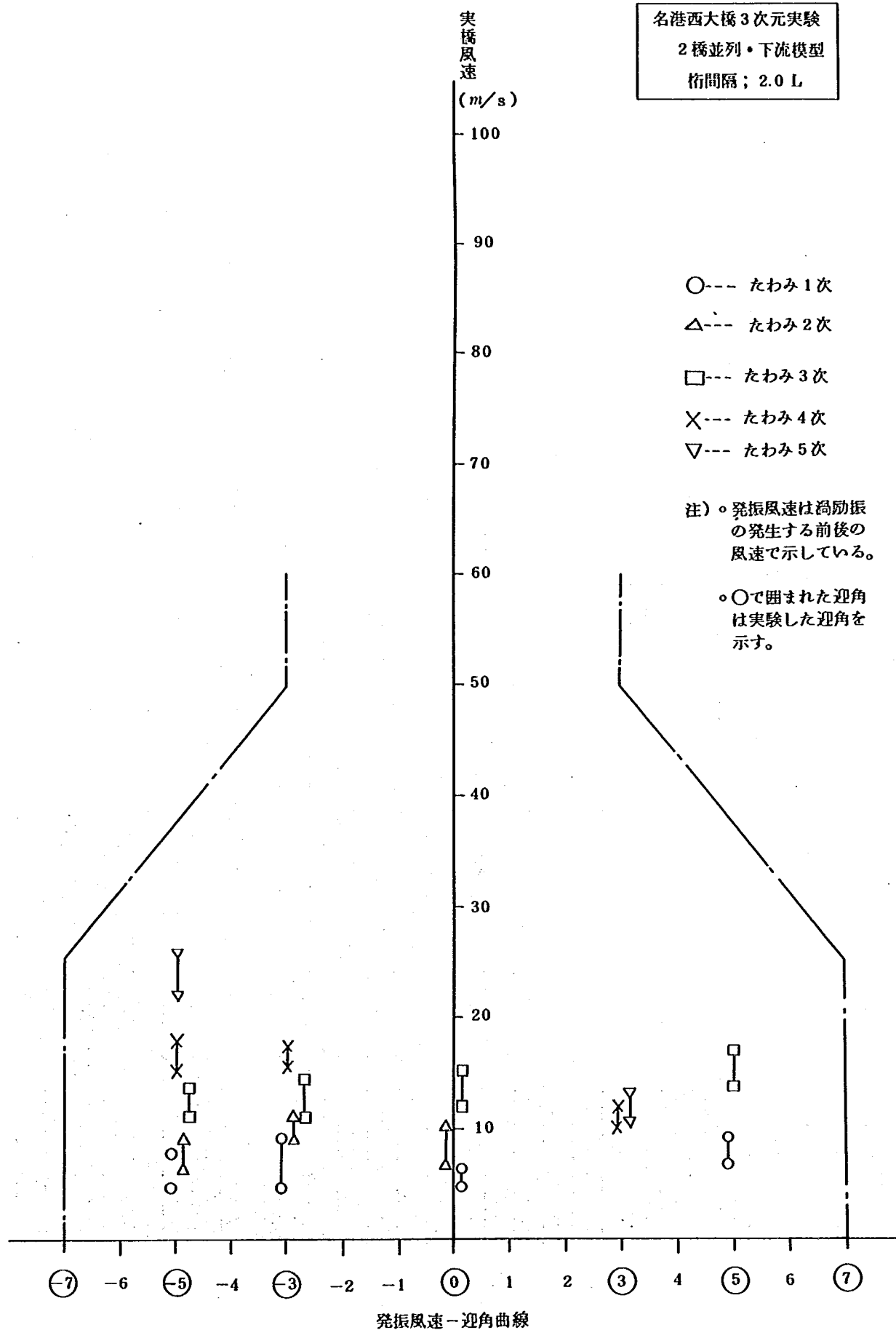


図5-5 2 橋並列 $V_{cri}-\alpha$ (No.4)

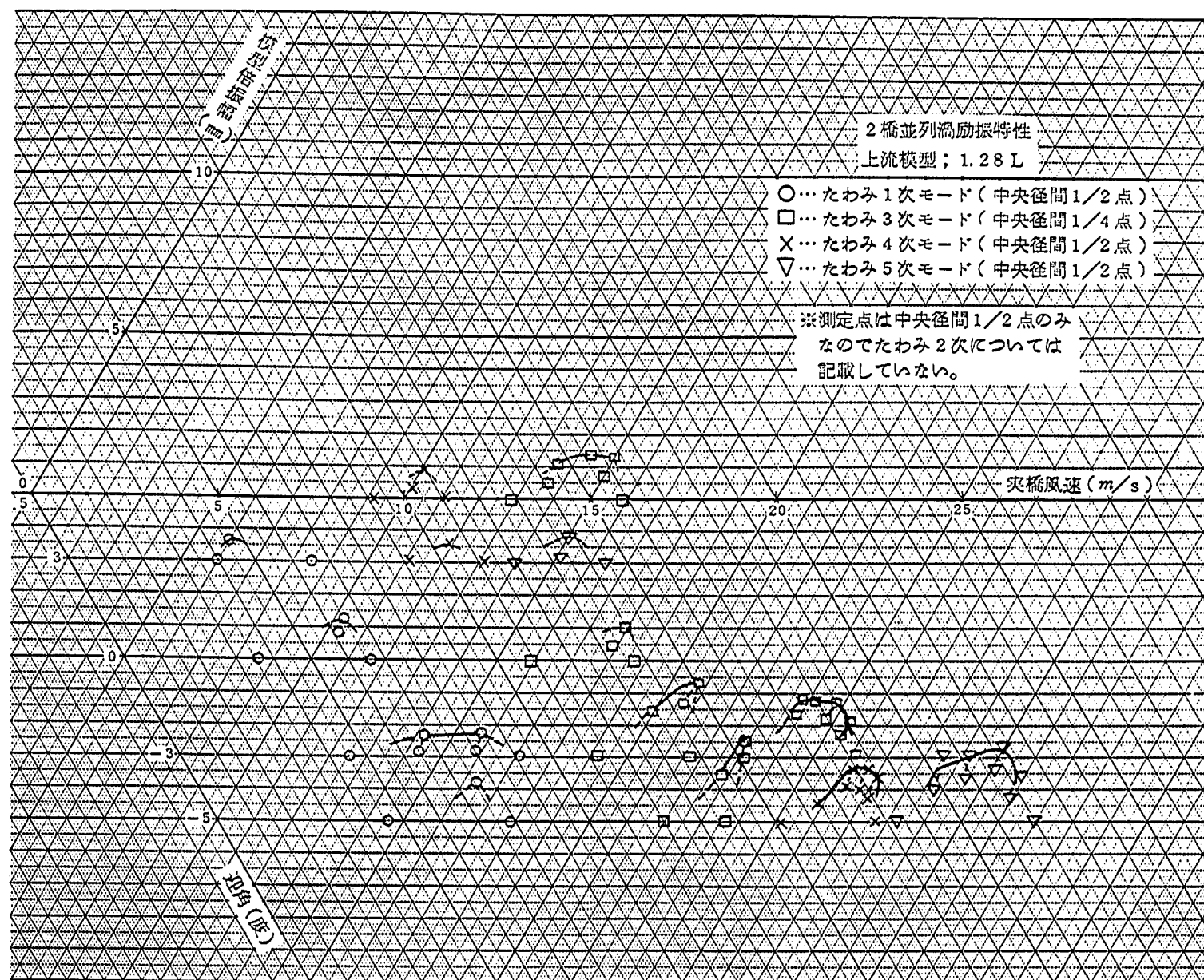


図 5-6 2 橋並列 V-A- α (渦励振)

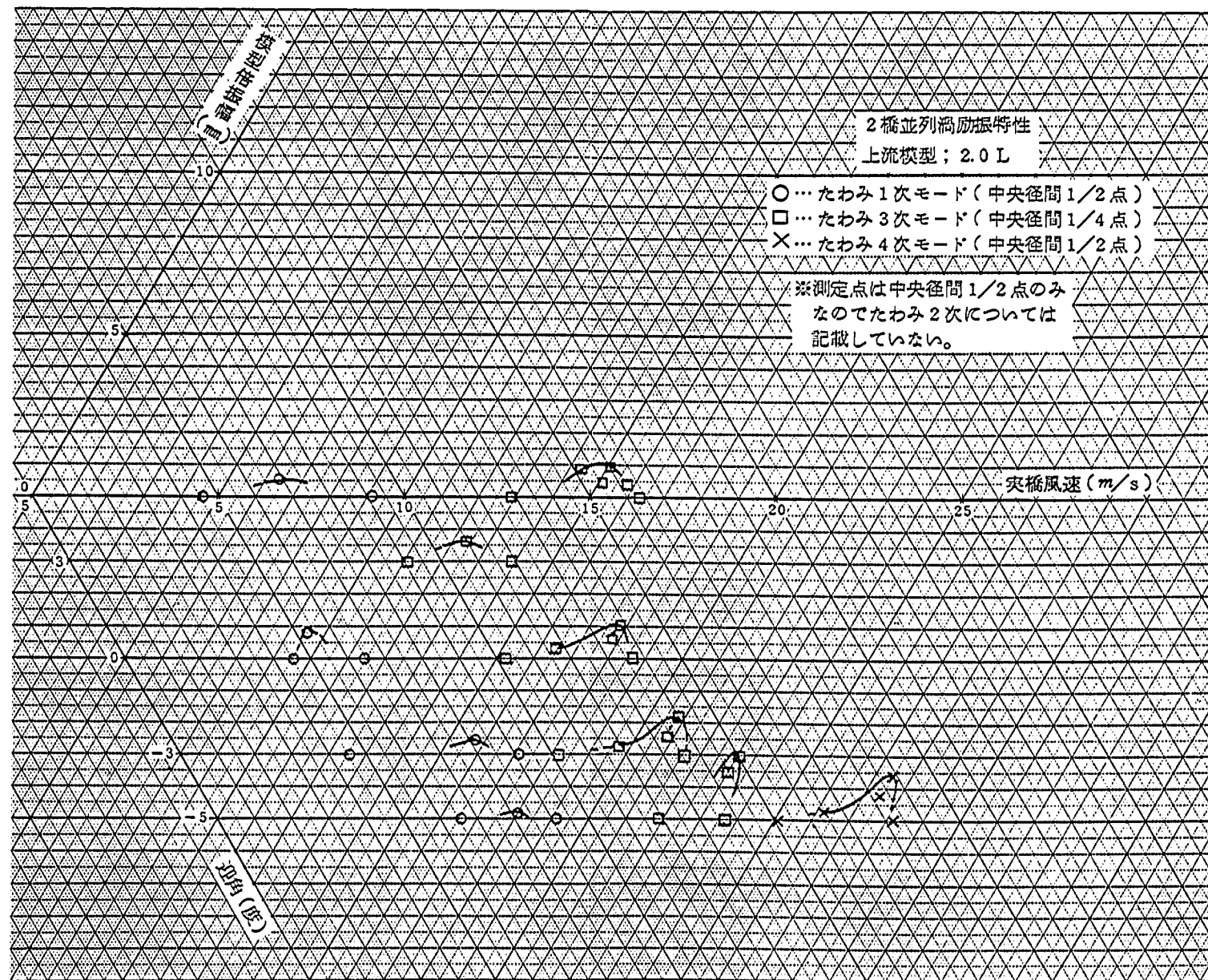


図5-7 2橋並列 V-A- α (渦励振)

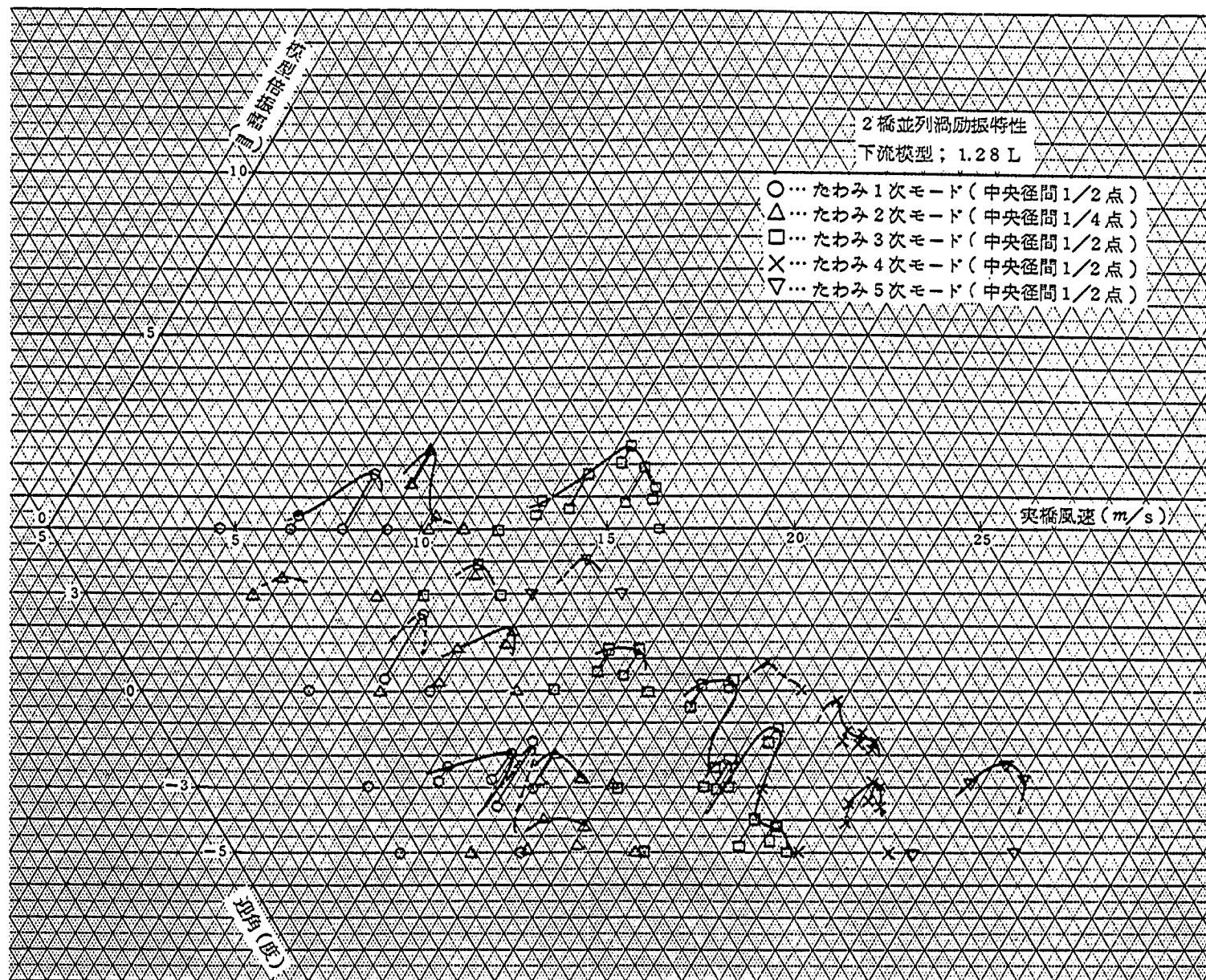


図5—8 2橋並列 V—A— α (渦励振)

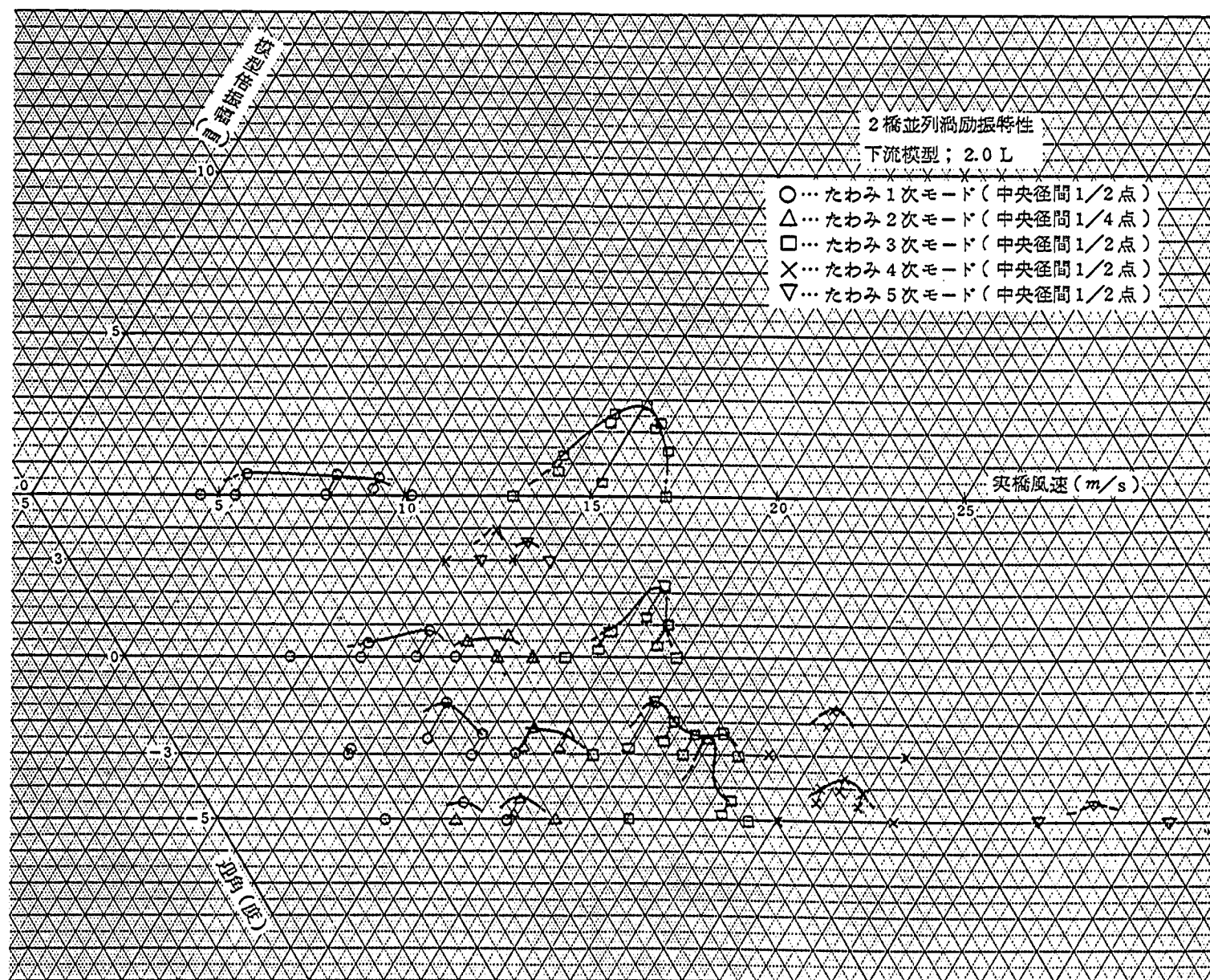


図5-9 2 橋並列 $V-A-\alpha$ (渦励振)

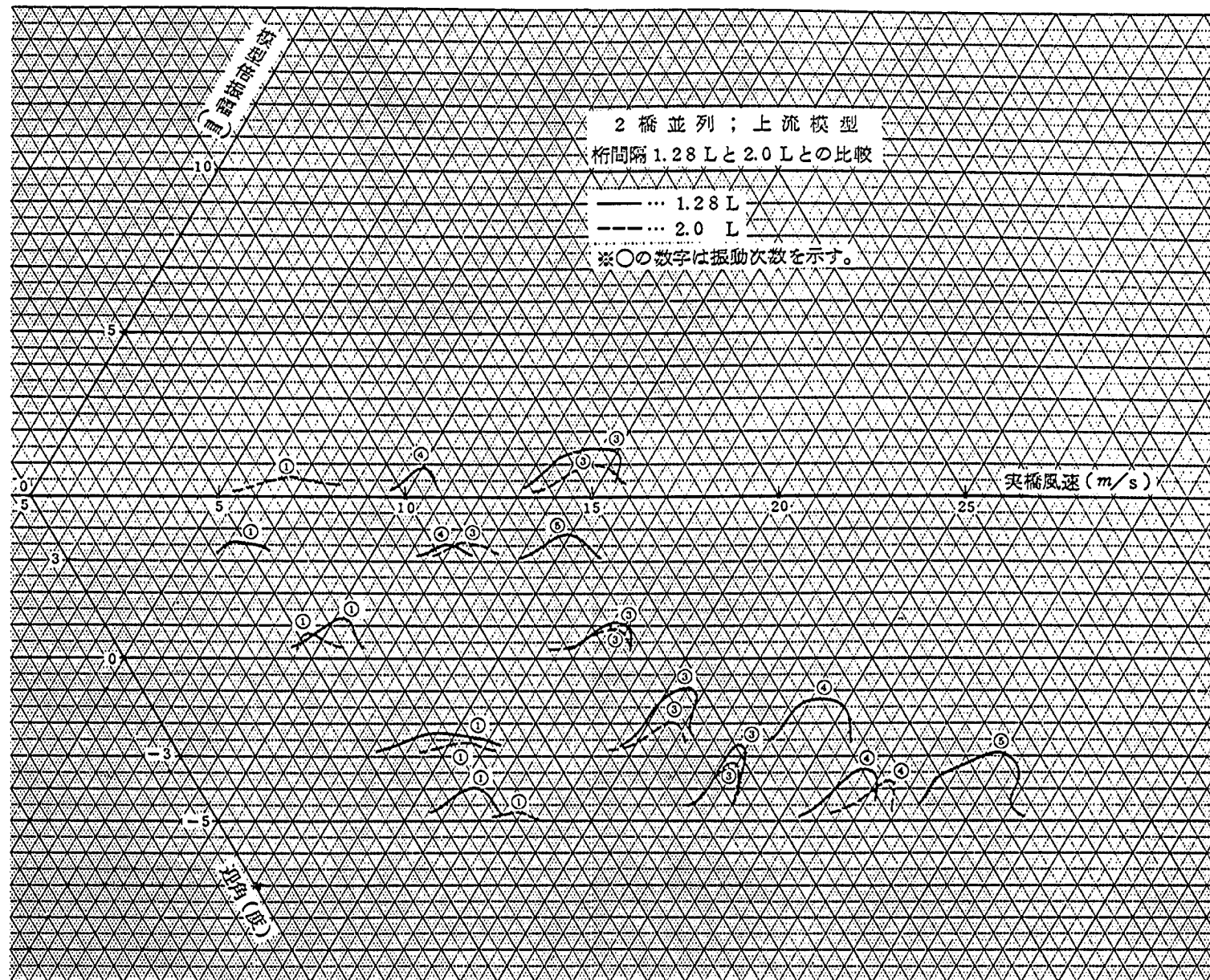


図5-10 2橋並列・桁間隔によるV-A- α 比較(上流)

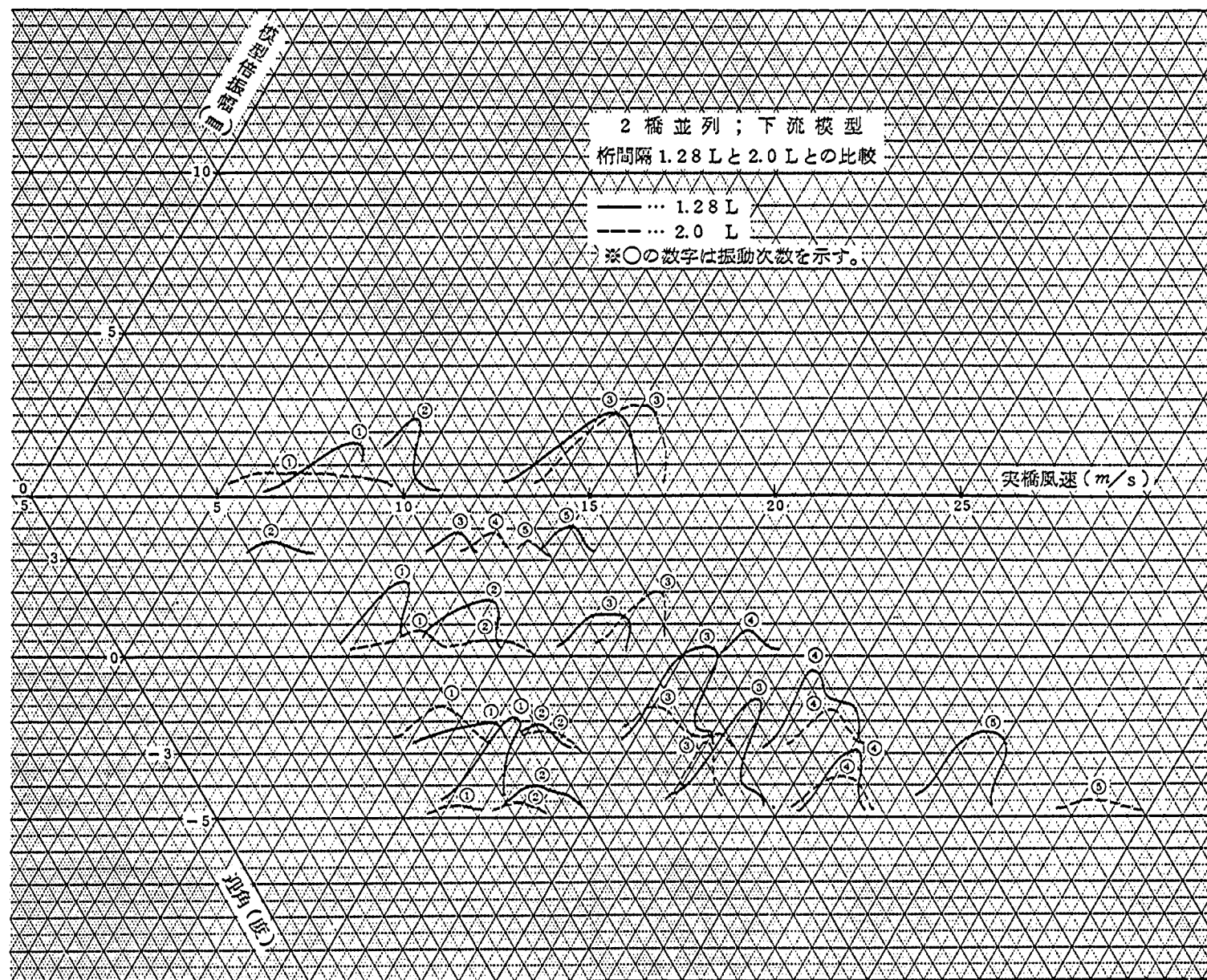


図 5-11 2 橋並列・桁間隔による $V-A-\alpha$ 比較 (下流)

2 橋 並 列 (下 流) V - A (No.1)	
成 分・測 定 点	船 直 流 向・中 央 柱 間 1/2・1/4・1/8
迎 角	0°
間 隔	1.28 L

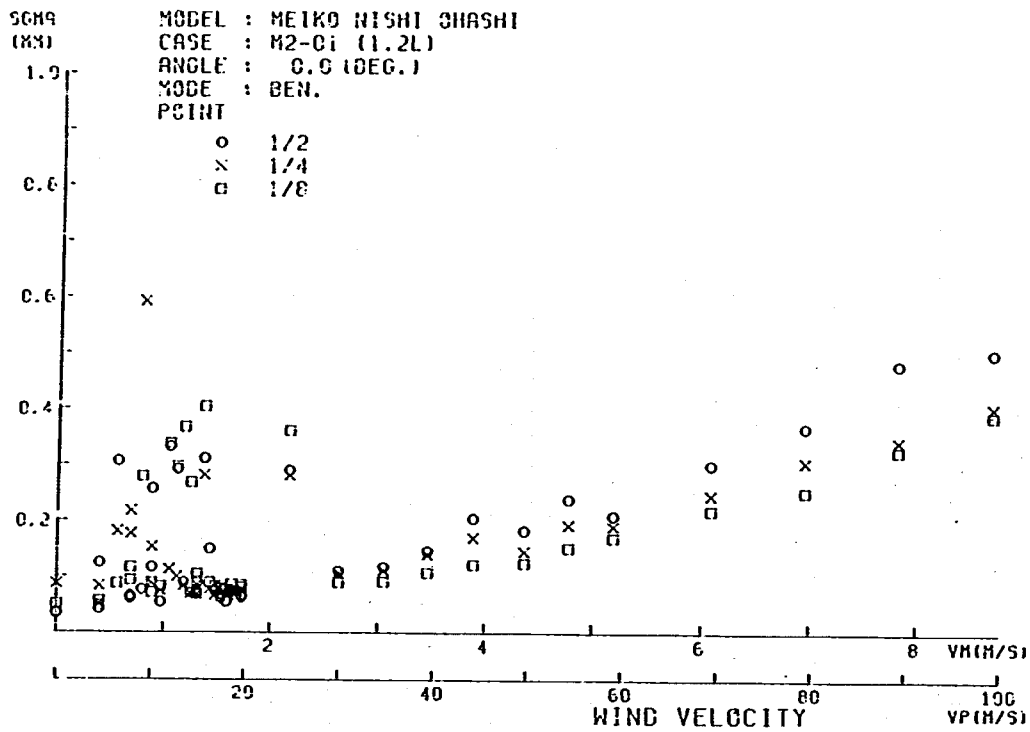


図5-12 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下 流) V - A (No.2)	
成 分・測 定 点	船 直 流 向・中 央 柱 間 1/2・1/4・1/8
迎 角	0°
間 隔	1.50 L

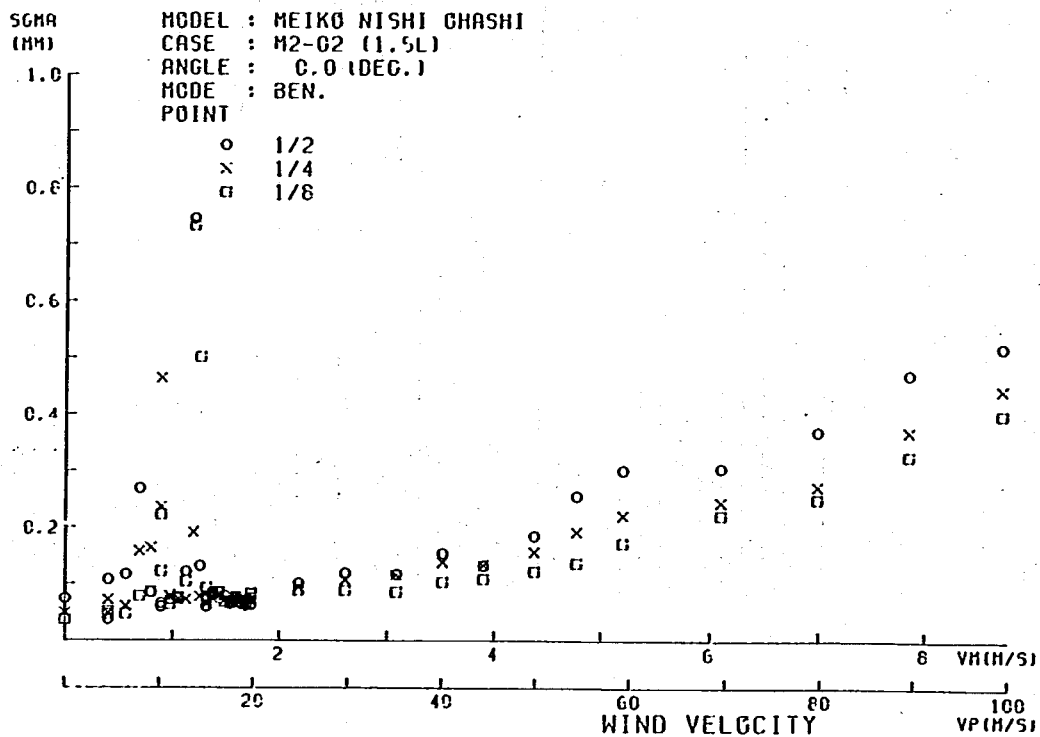


図5-13 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下流) V - A (No.3)	
成分・測定点	鉛直丸のみ・中央柱間 1/2・1/4・1/8
迎 角	0°
間 隔	2.00 L

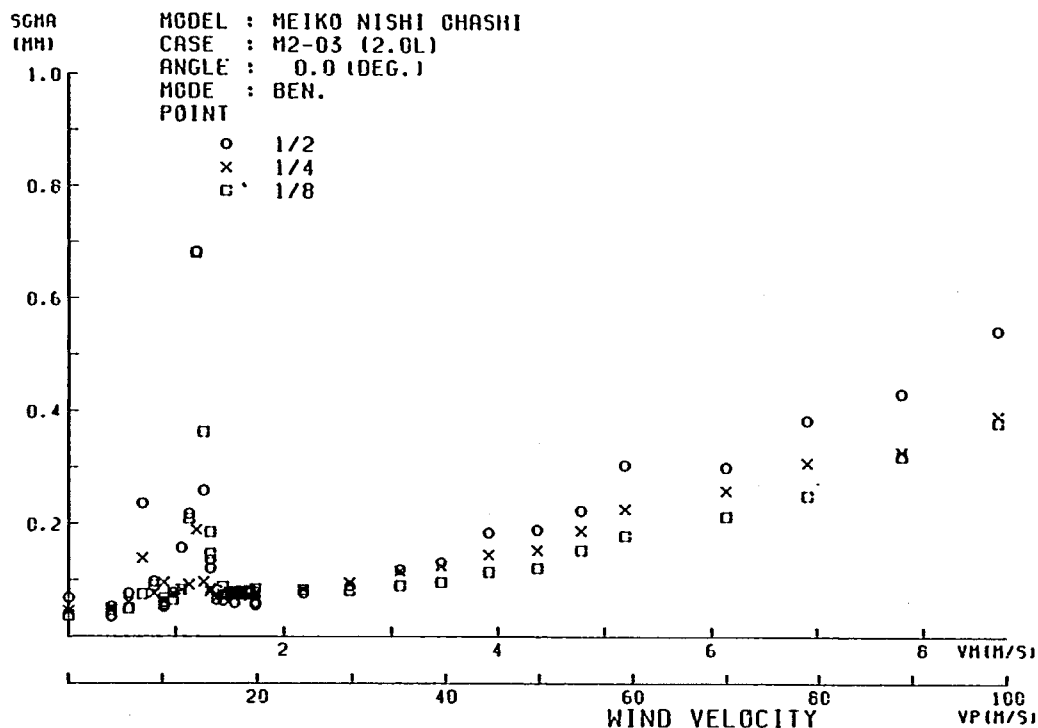


図5-14 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下流) V - A (No.4)	
成分・測定点	鉛直丸のみ・中央柱間 1/2・1/4・1/8
迎 角	+3°
間 隔	2.00 L

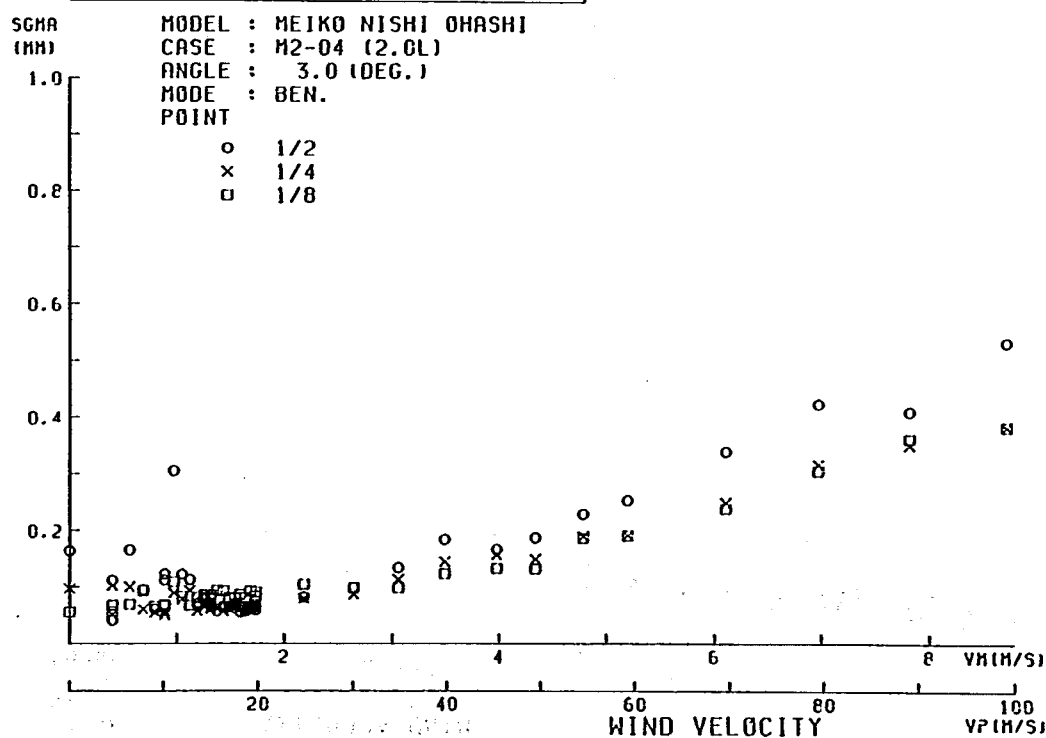


図5-15 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下 流) V - A (No.5)	
成 分・測 定 点	船 道 九 分 一 中 央 往 間 1/2・1/4・1/8
迎 角	+3°
間 隔	1.28 L

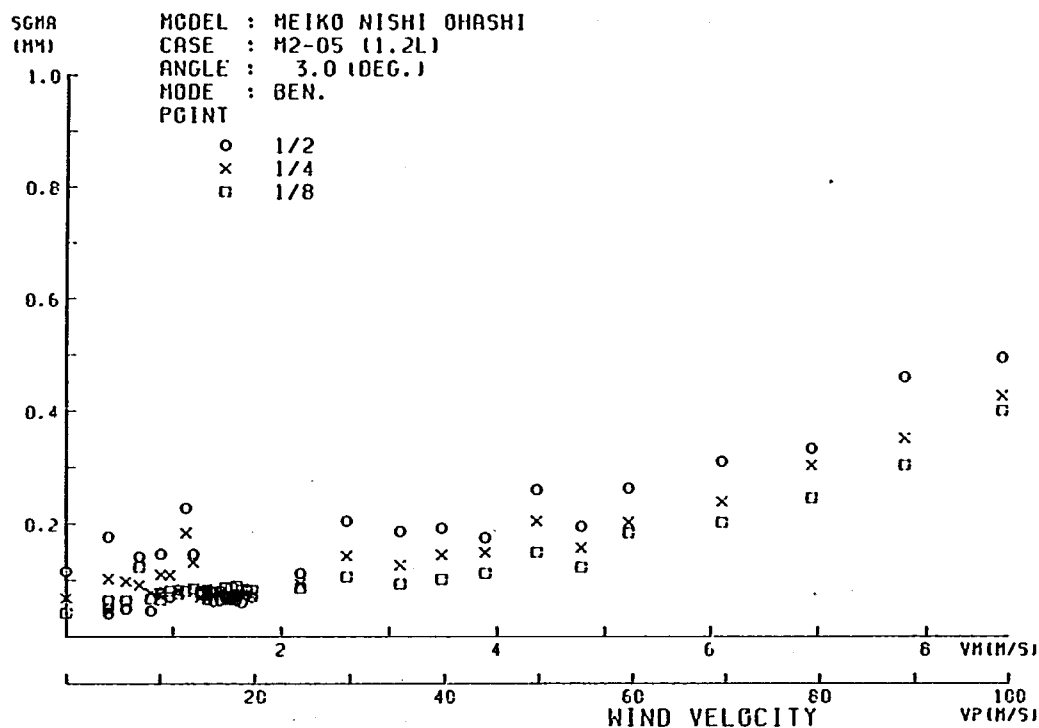


図5-16 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下 流) V - A (No.6)	
成 分・測 定 点	船 道 九 分 一 中 央 往 間 1/2・1/4・1/8
迎 角	+5°
間 隔	1.28 L

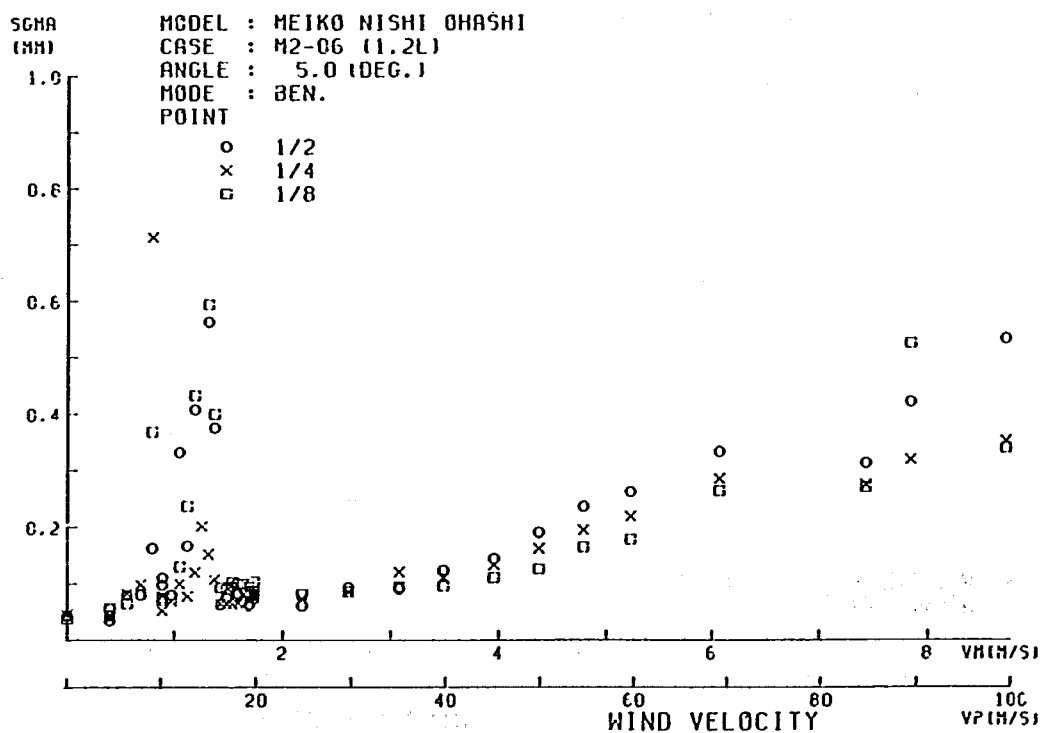


図5-17 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下流) V - A (No.1)	
成分・測定点	船直丸わみ・中央柱間 1/2・1/4・1/8
迎 角	+5°
間 隔	200L

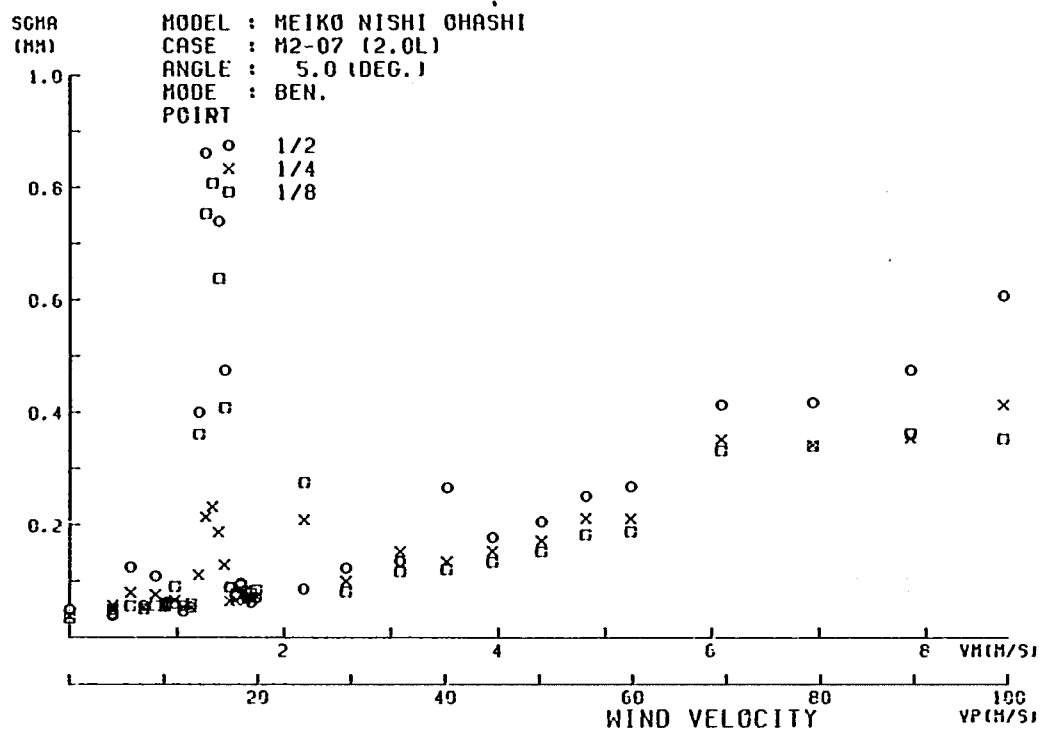


図5-18 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下流) V - A (No.2)	
成分・測定点	船直丸わみ・中央柱間 1/2・1/4・1/8
迎 角	-3°
間 隔	200L

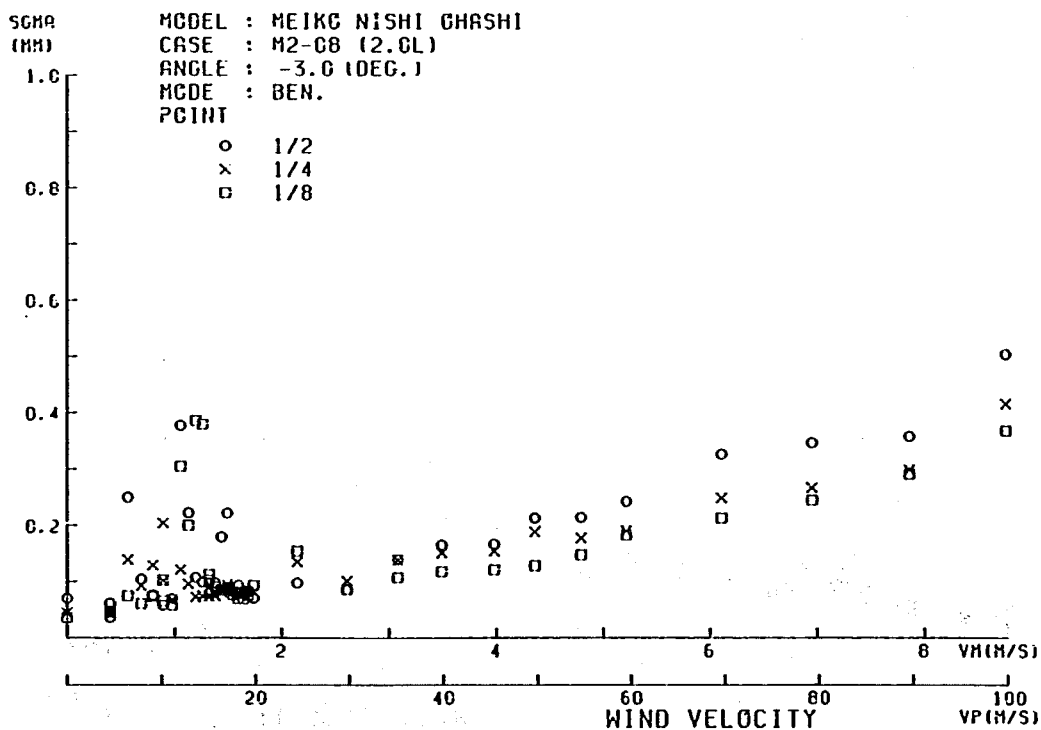


図5-19 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下流) V - A (No.9)	
成分・測定点	鉛直方向・中央区間 1/2・1/4・1/8
迎 角	-3°
間 隔	1.28 L

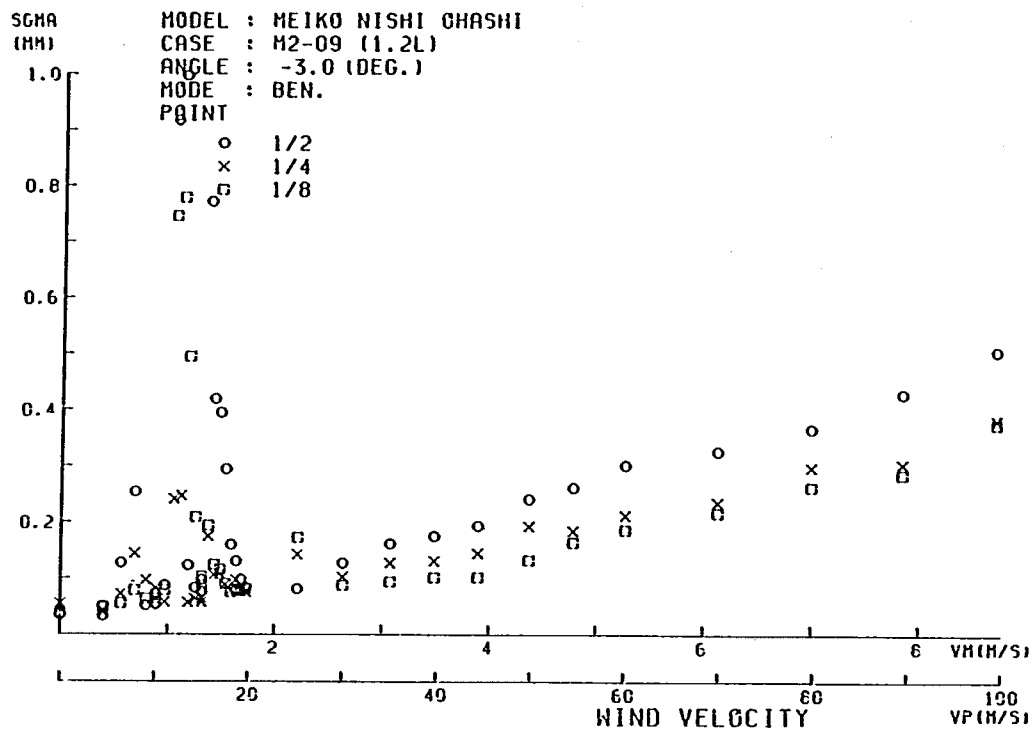


図5-20 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下流) V - A (No.10)	
成分・測定点	鉛直方向・中央区間 1/2・1/4・1/8
迎 角	-5°
間 隔	1.28 L

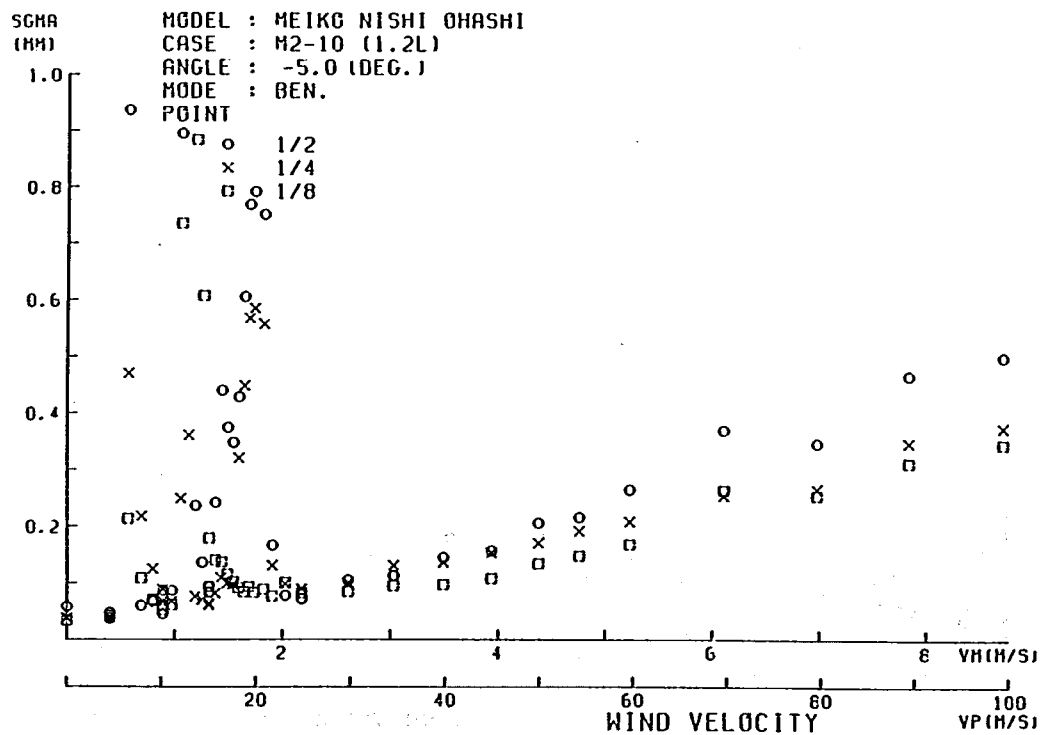


図5-21 2 橋 並 列 V - A

2 橋 並 列 (下 流) V - A (No.11)	
成 分・測 定 点	鉛 直 丸 形・中 央 徑 間 1/2・1/4・1/8
迎 角	-5°
間 隔	2.00 L

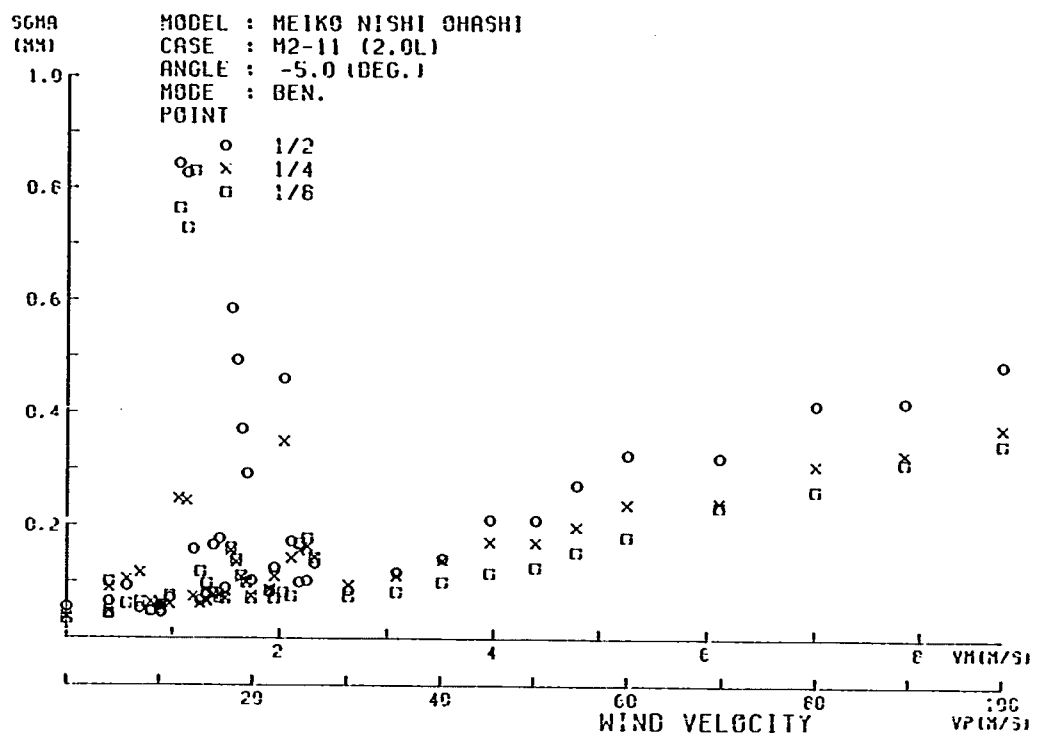


図5-22 2 橋 並 列 V - A

2橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.12)	
成分・測定点	鉛直方向・中央柱間 1/2
迎角	0°
間隔	1.28L

SCMR
(MM) MODEL : MEIKO NISHI GHASHI
CASE : M2-C1 (1.2L)
ANGLE : 0.0 (DEG.)
MODE : BEN.

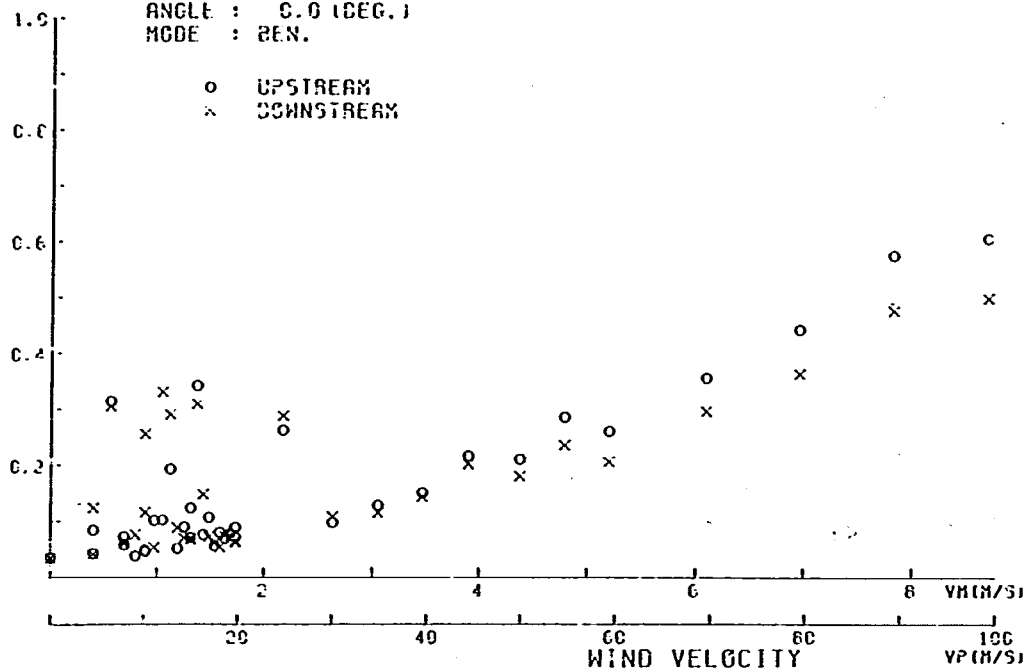


図5-23 2橋並列 V - A

2橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.13)	
成分・測定点	鉛直方向・中央柱間 1/2
迎角	0°
間隔	1.50L

SCMR
(MM) MODEL : MEIKO NISHI GHASHI
CASE : M2-C2 (1.5L)
ANGLE : 0.0 (DEG.)
MODE : BEN.

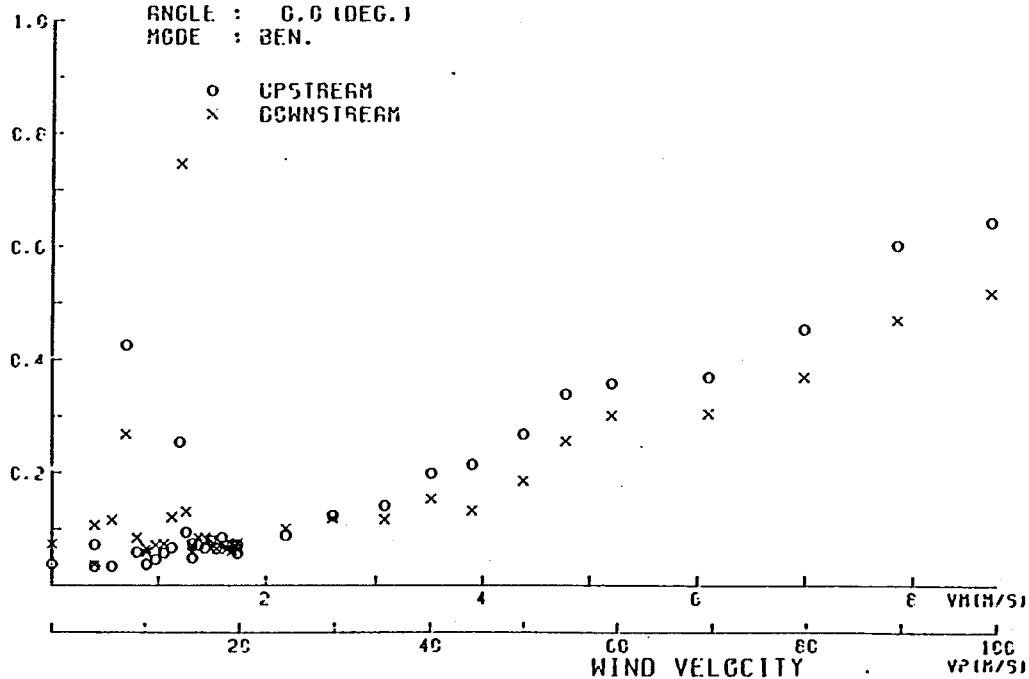


図5-24 2橋並列 V - A

2橋並列上流・下流V-A比較 (No.14)	
成分・測定点	鉛直方向・中央径間1/2
迎角	0°
間隔	2.0L

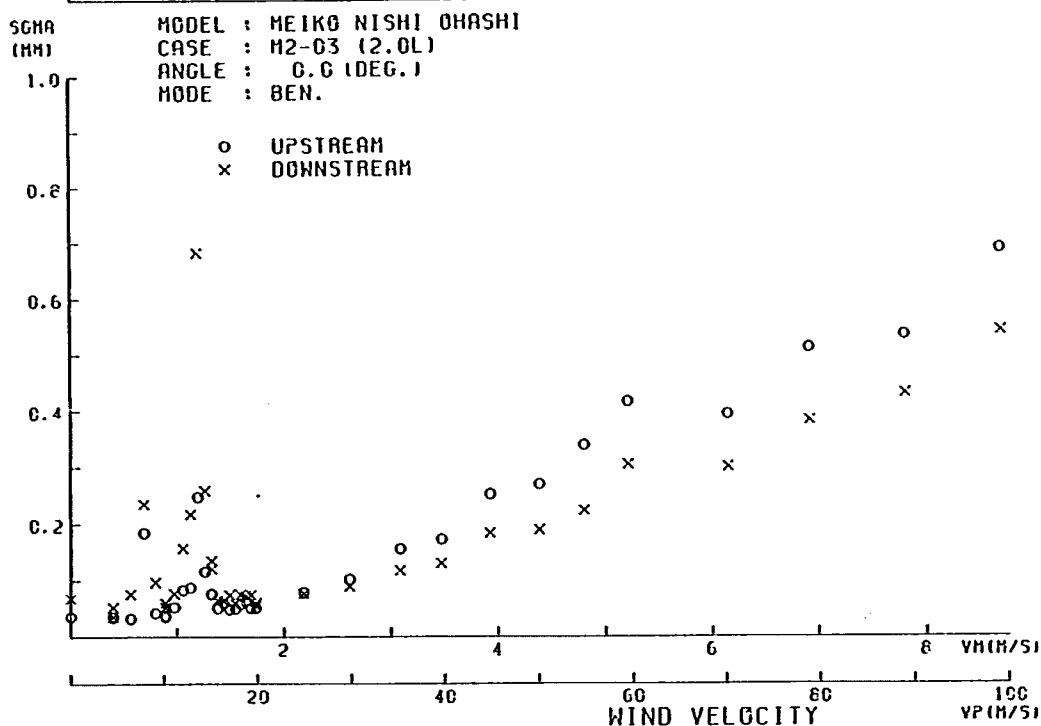


図5-25 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流V-A比較 (No.15)	
成分・測定点	鉛直方向・中央径間1/2
迎角	+3°
間隔	2.00L

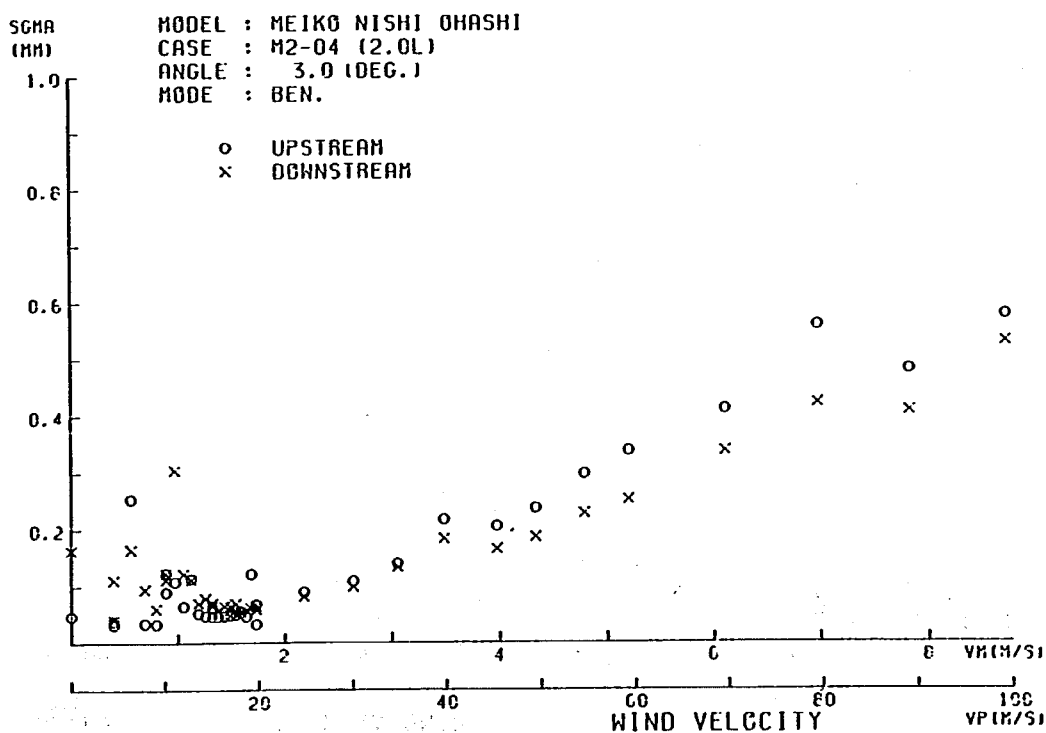


図5-26 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流 V-A 比較 (No.16)	
成分・測定点	鉛直方向・中央柱間 1/2
迎角	+3°
間隔	1.28L

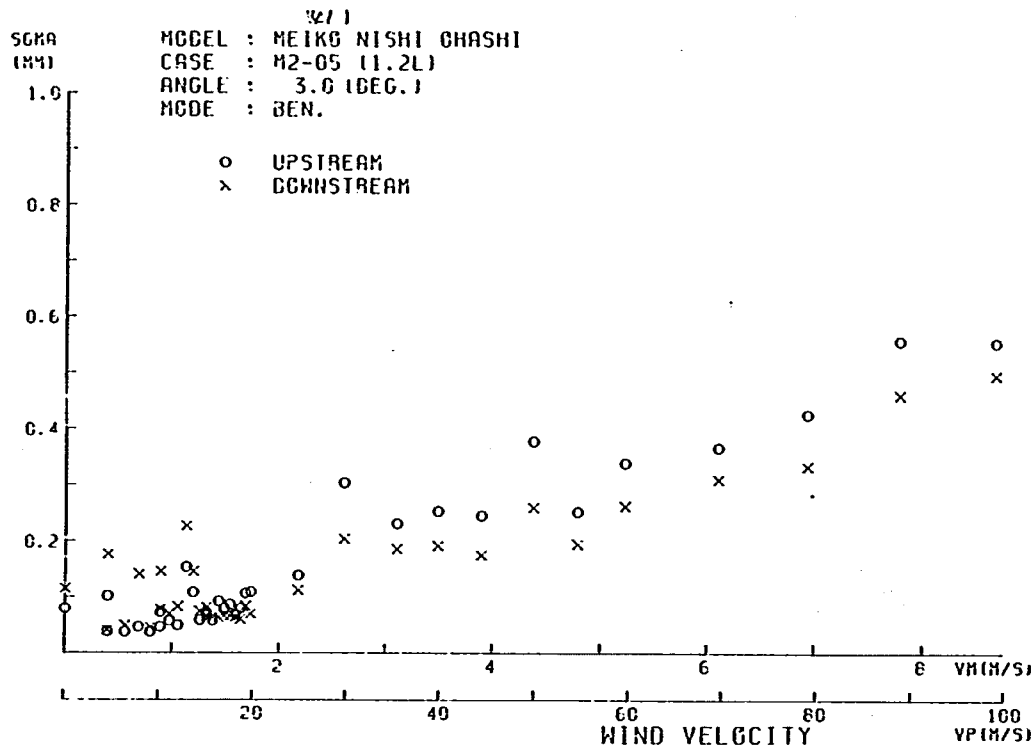


図5-27 2橋並列 V-A

2橋並列上流・下流 V-A 比較 (No.17)	
成分・測定点	鉛直方向・中央柱間 1/2
迎角	+5°
間隔	1.28L

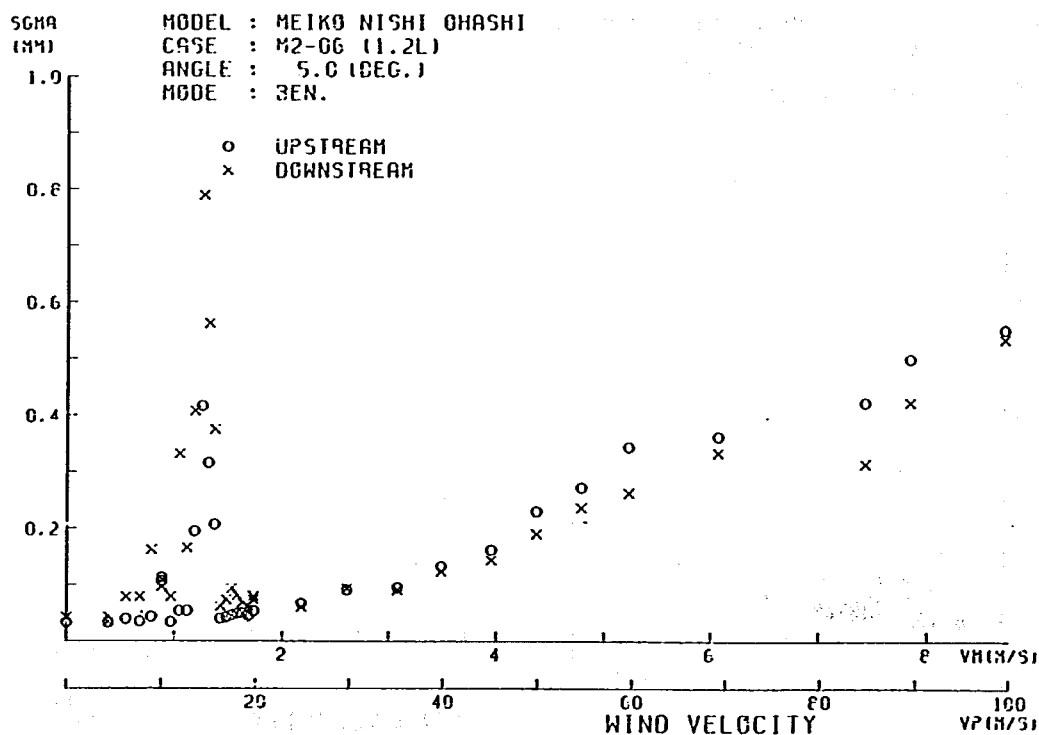


図5-28 2橋並列 V-A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.18)	
成分・測定点	船重たわみ・中央径間 1/2
迎 角	+5°
間 隔	200 L

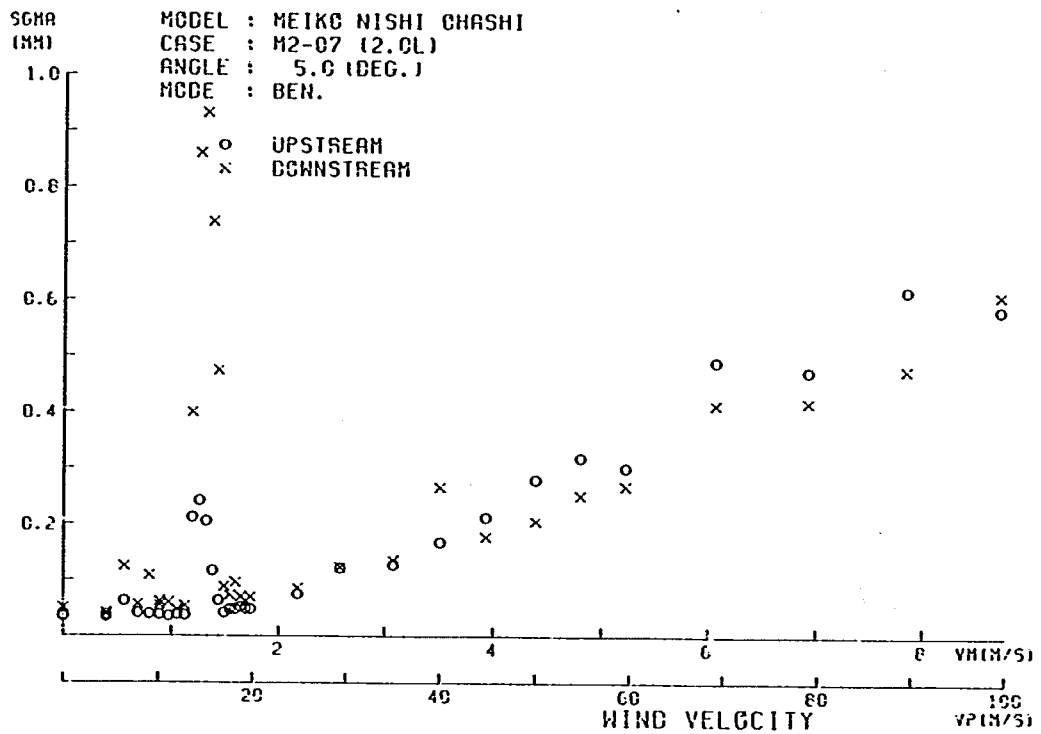


図5-29 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.19)	
成分・測定点	船重たわみ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
間 隔	200 L

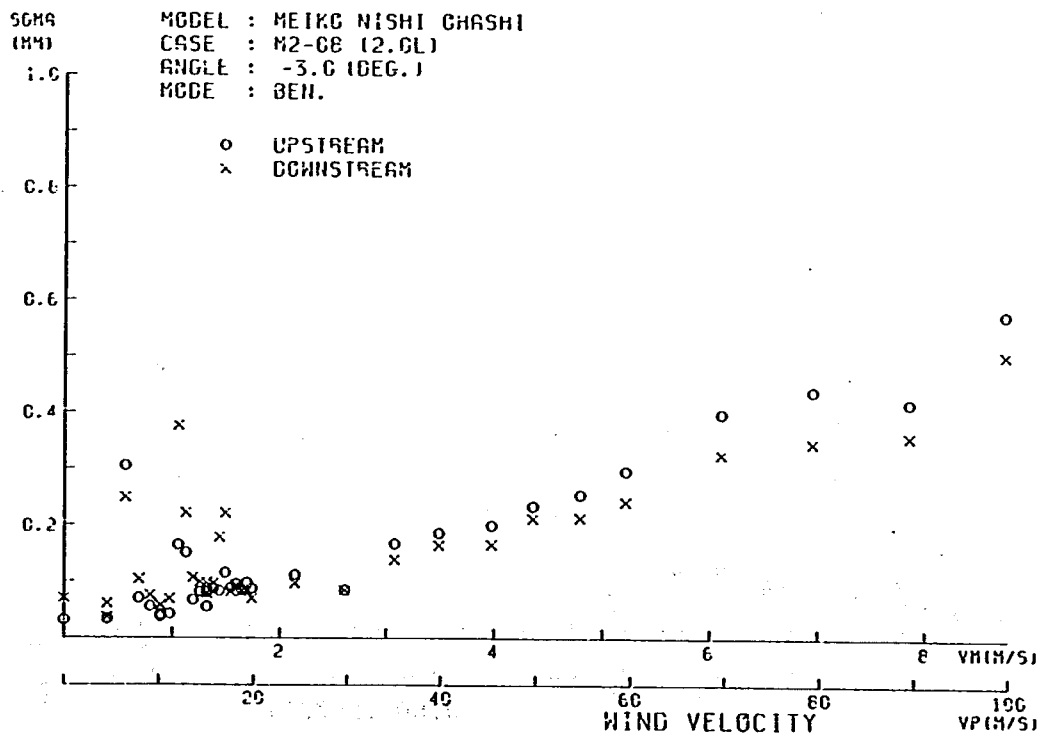


図5-30 2 橋並列 V - A

2橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.20)	
成分・測定点	鉛直方向・中央径間 1/2
迎角	-3°
間隔	1.28 L

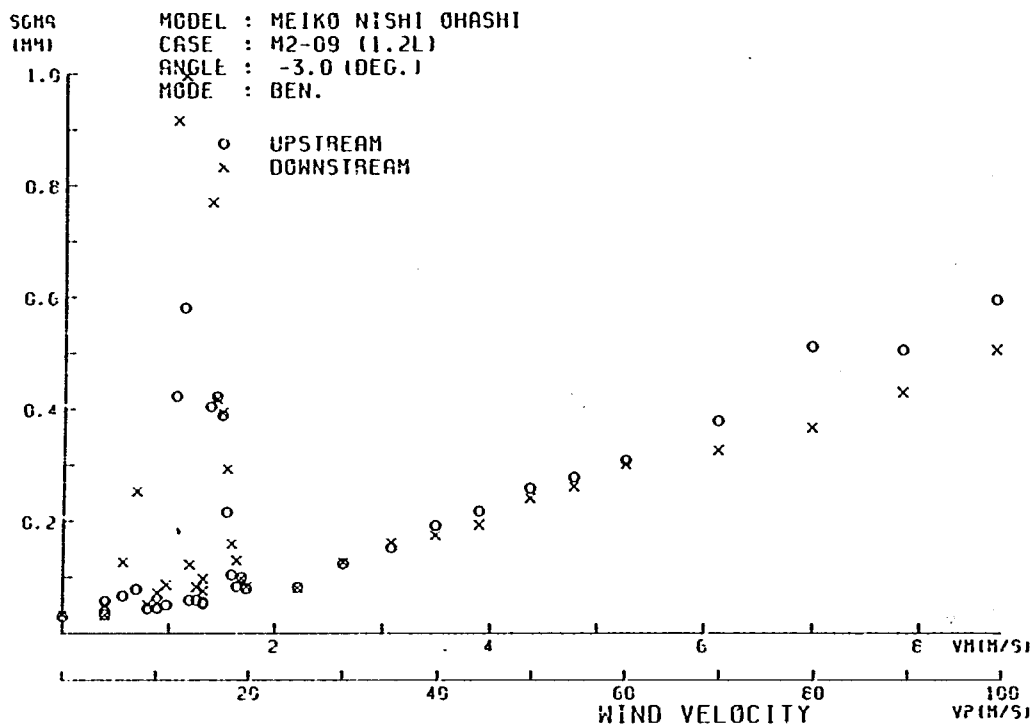


図5-31 2橋並列 V - A

2橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.21)	
成分・測定点	鉛直方向・中央径間 1/2
迎角	-5°
間隔	1.28 L

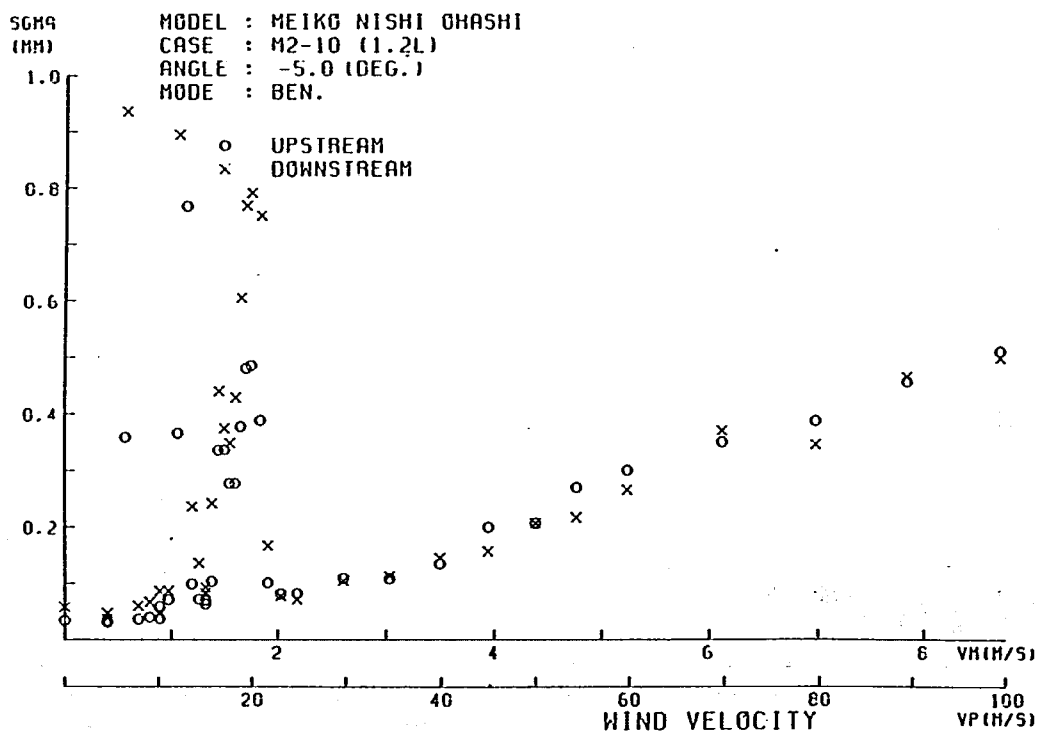


図5-32 2橋並列 V - A

2 橋 並 列 上 流 ・ 下 流 V - A 比 較 (No.22)		
成 分 ・ 観 定 点		鉛 直 大 小 ・ 中 央 径 間 1/2
迎 角	-5°	
間 隔	200 L	

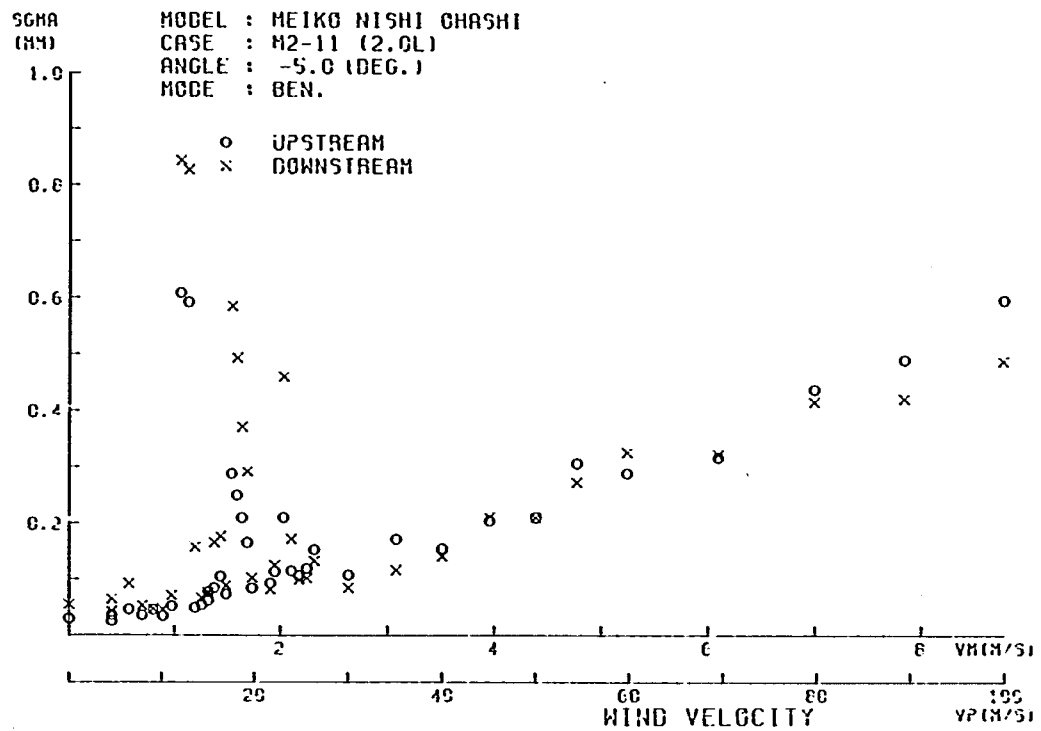


図5-33 2 橋 並 列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.23)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
迎 角	0°
間 隔	1.28 L

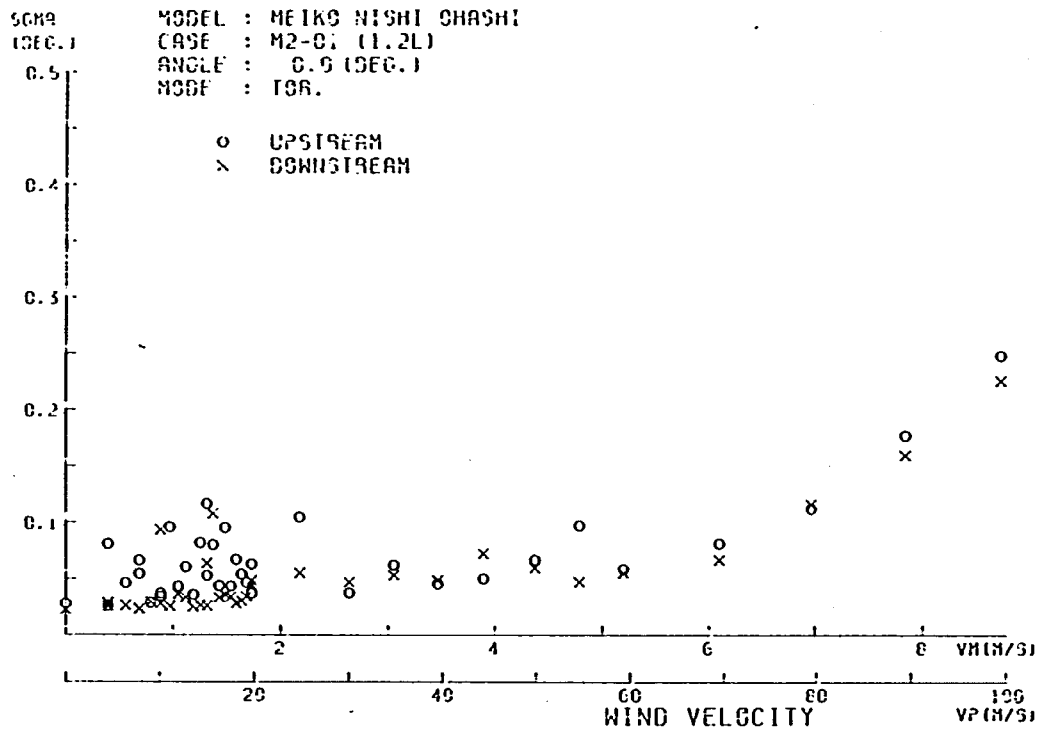


図5-34 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.24)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
迎 角	0°
間 隔	1.50 L

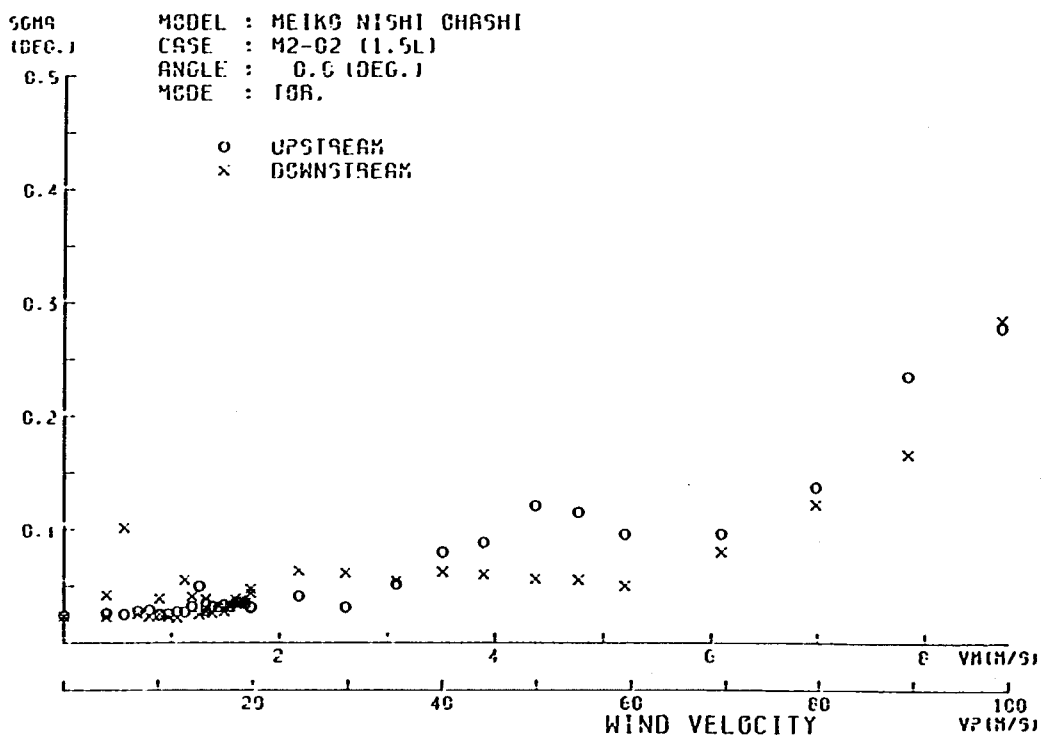


図5-35 2 橋並列 V - A

2橋並列上流・下流V-A比較 (№25)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間1/2
迎角	0°
間隔	200L

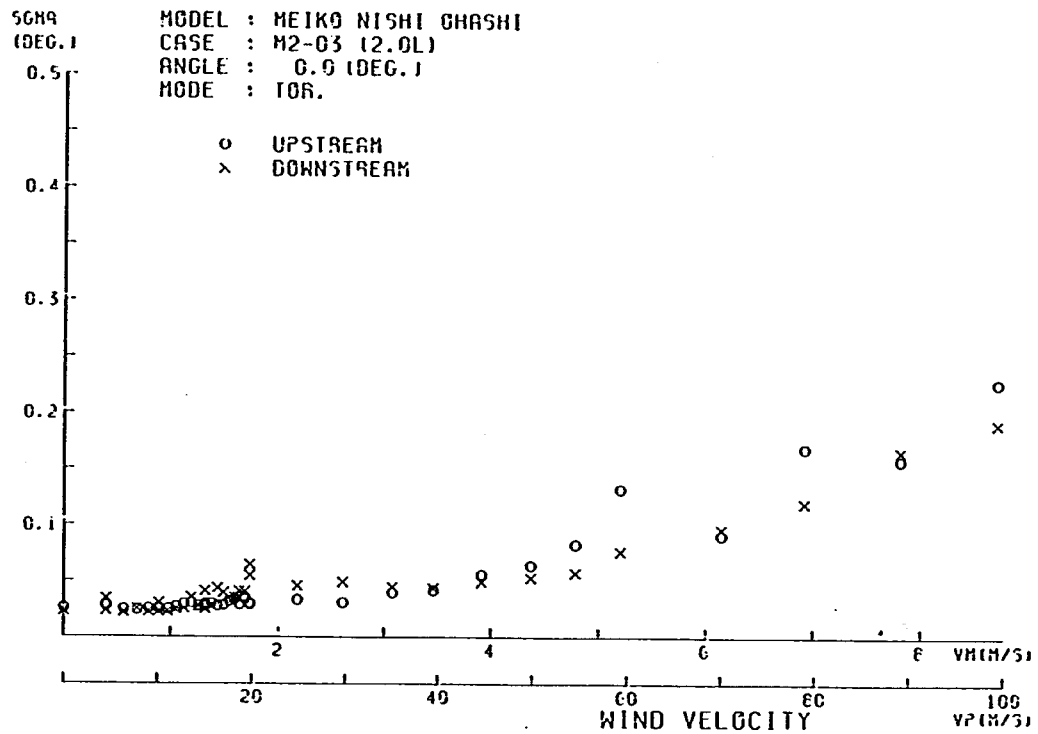


図5-36 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流V-A比較 (№26)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間1/2
迎角	+3°
間隔	200L

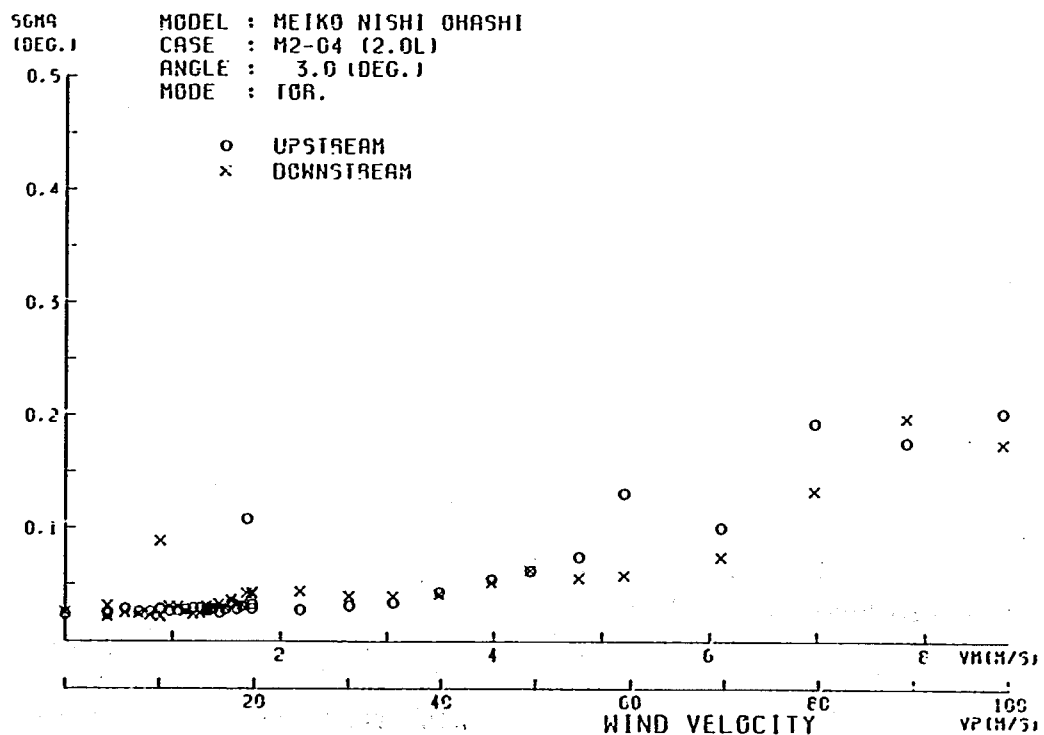


図5-37 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流V-A比較 (No.27)	
成分・測定点	ねじれ・中央柱間1/2
迎角	+3°
間隔	1.28L

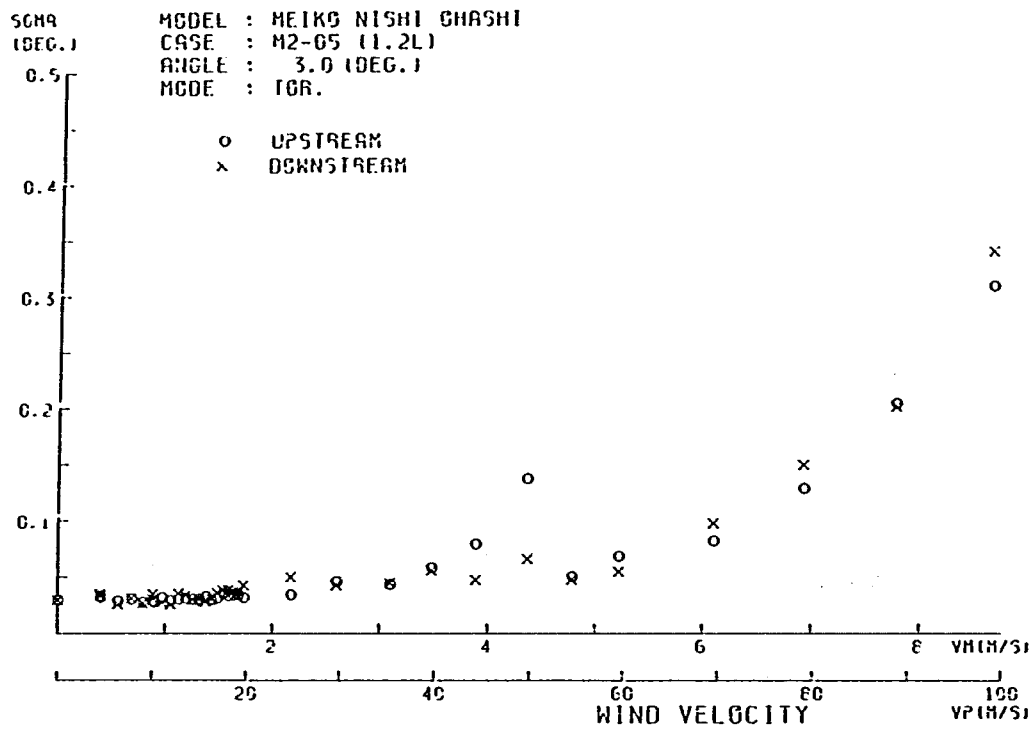


図5-38 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流V-A比較 (No.28)	
成分・測定点	ねじれ・中央柱間1/2
迎角	+5°
間隔	1.28L

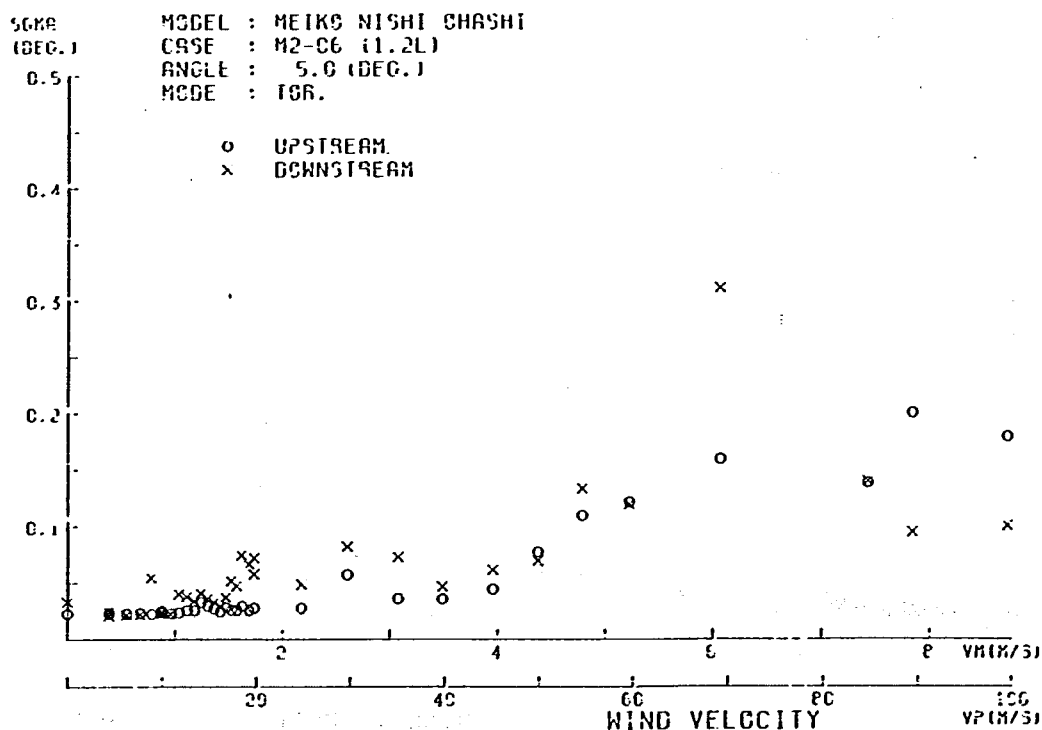


図5-39 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流 V-A 比較 (No.29)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
迎 角	+5°
間 隔	200L

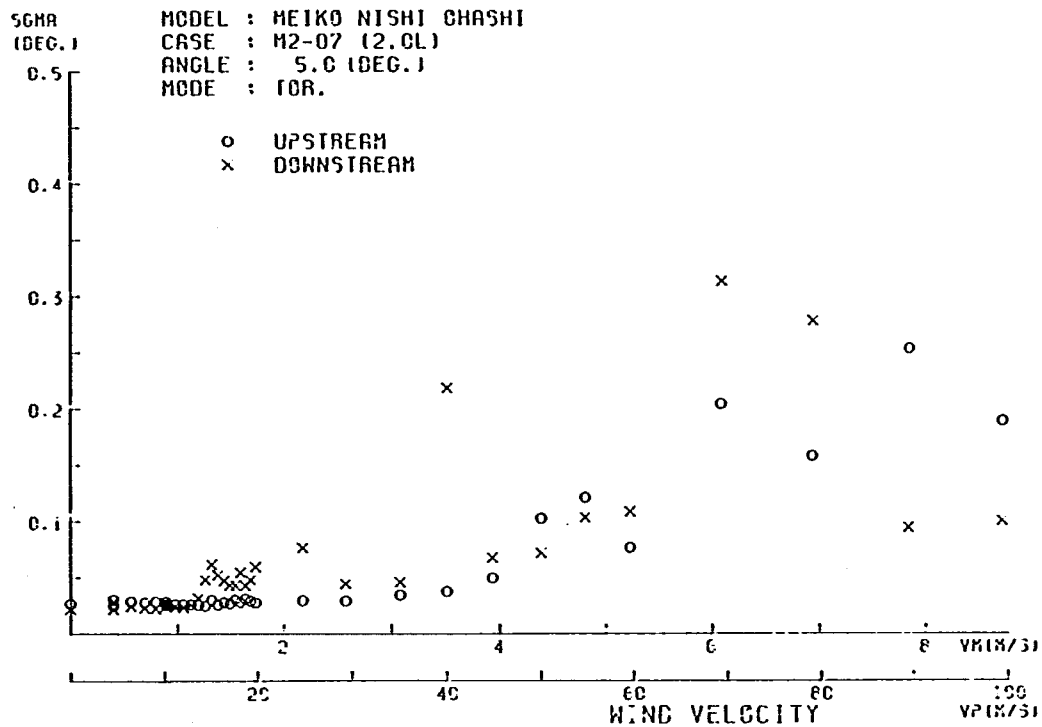


図5-40 2橋並列 V-A

2橋並列上流・下流 V-A 比較 (No.30)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
間 隔	200L

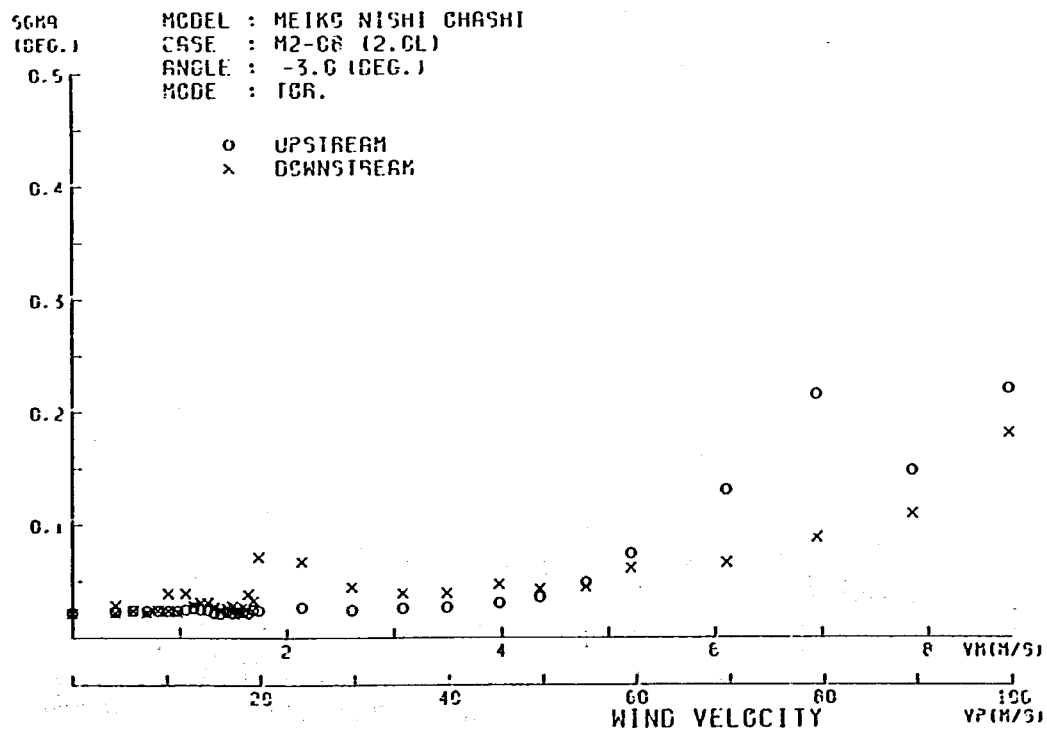


図5-41 2橋並列 V-A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.31)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
間 隔	1.28 L

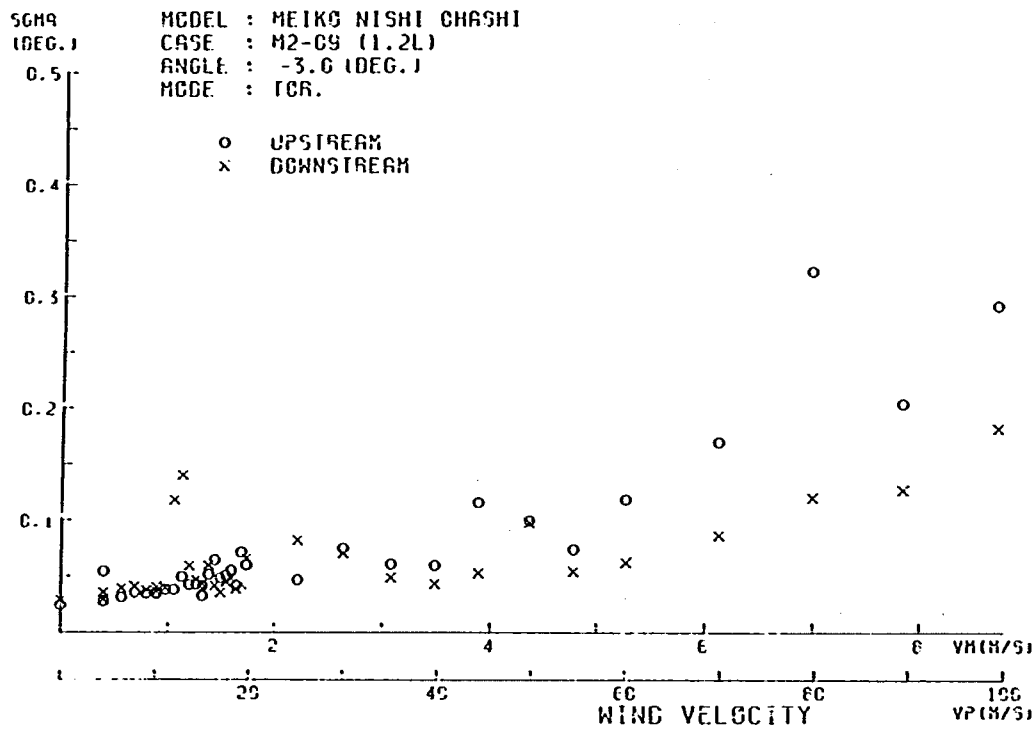


図5-42 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.32)	
成分・測定点	ねじれ・中央径間 1/2
迎 角	-5°
間 隔	1.28 L

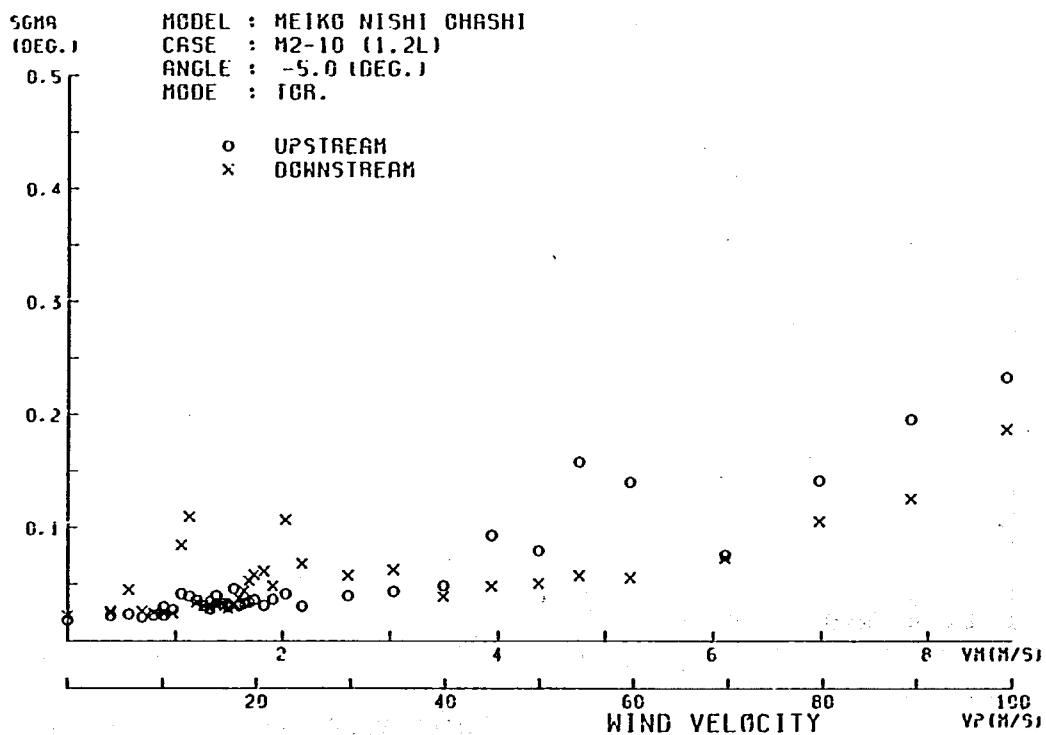


図5-43 2 橋並列 V - A

2 橋 並 列 上 流 ・ 下 流 V - A 比 較 (No.33)		
成 分 ・ 測 定 点		お じ れ ・ 中 央 柱 間 1/2
迎 角		-5°
間 隔		2.0L

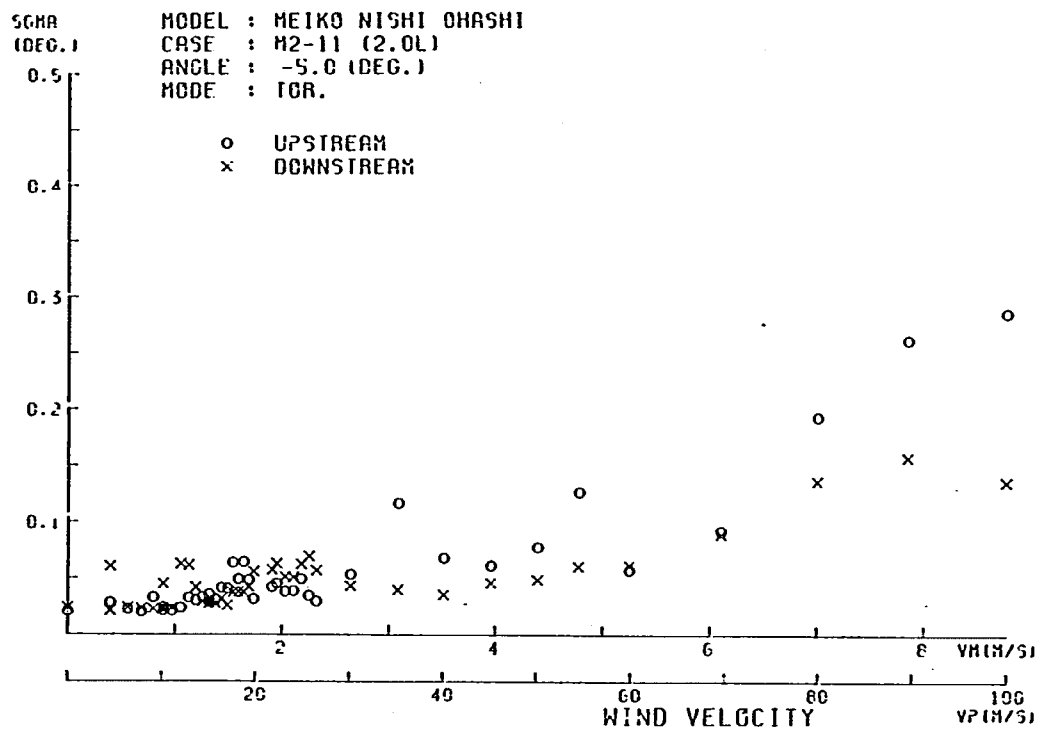


図5-44 2 橋 並 列 V - A

2橋並列上流・下流 V-A 比較 (No.34)		
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2	
迎角	0°	
間隔	1.28L	

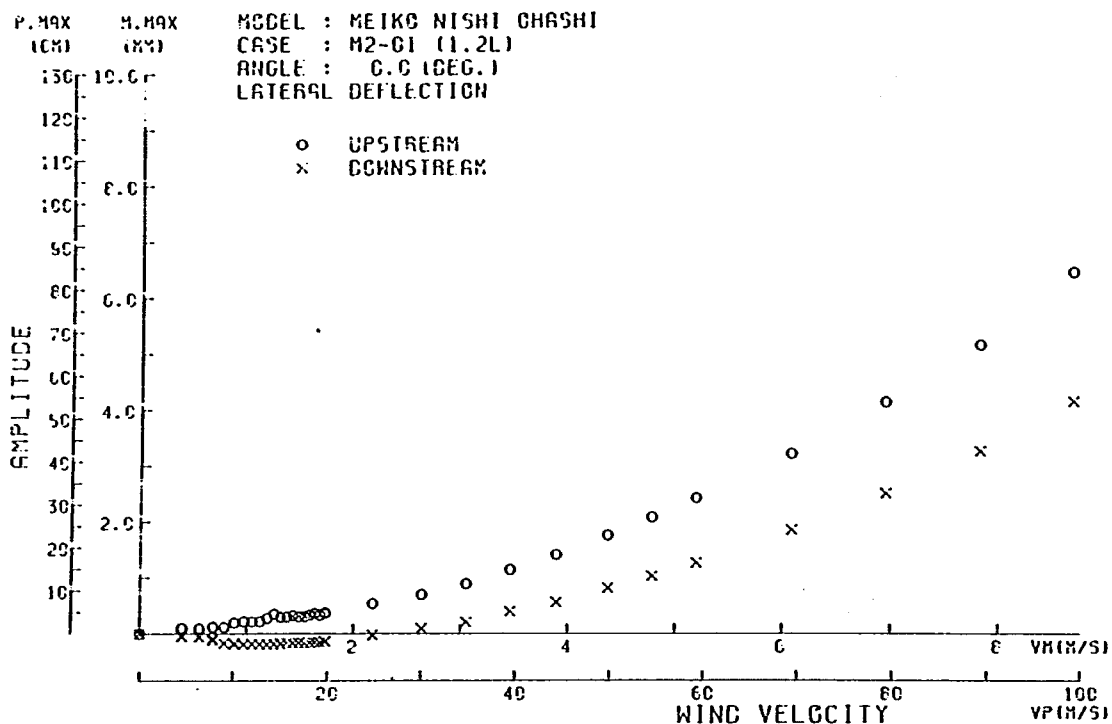


図5-45 2橋並列 V-A

2橋並列上流・下流 V-A 比較 (No.35)		
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2	
迎角	0°	
間隔	1.50L	

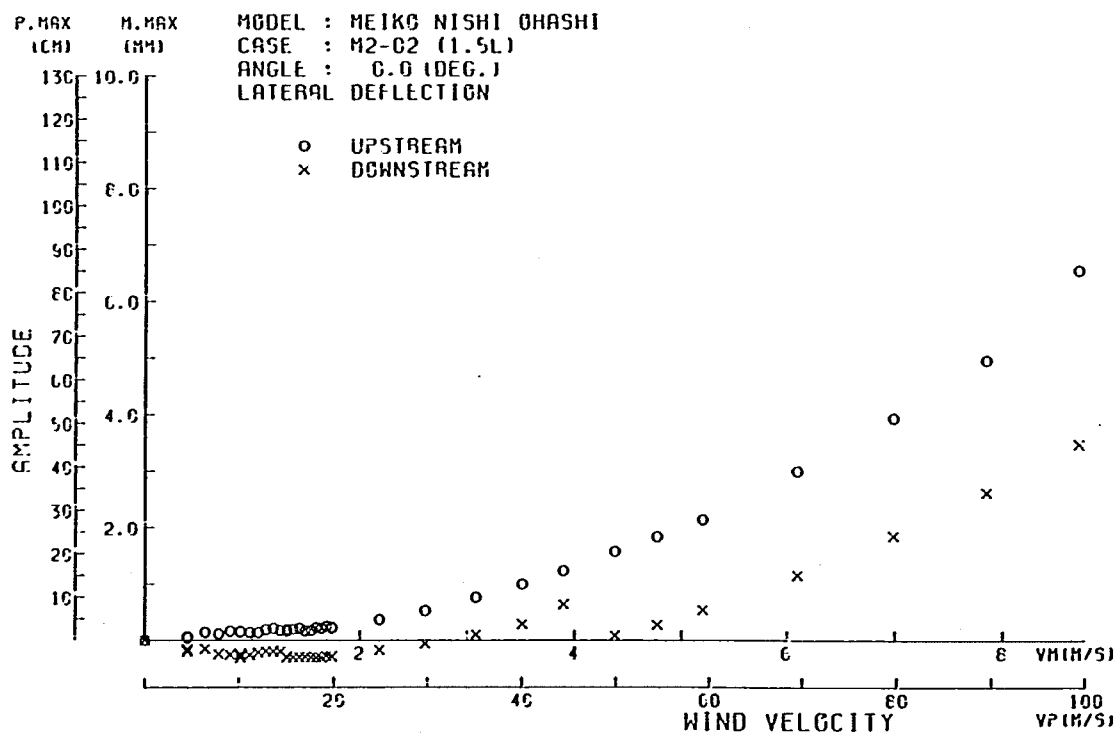


図5-46 2橋並列 V-A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.36)	
成分・測定点	横丸わき・中央径間 1/2
迎 角	0°
間 隔	200L

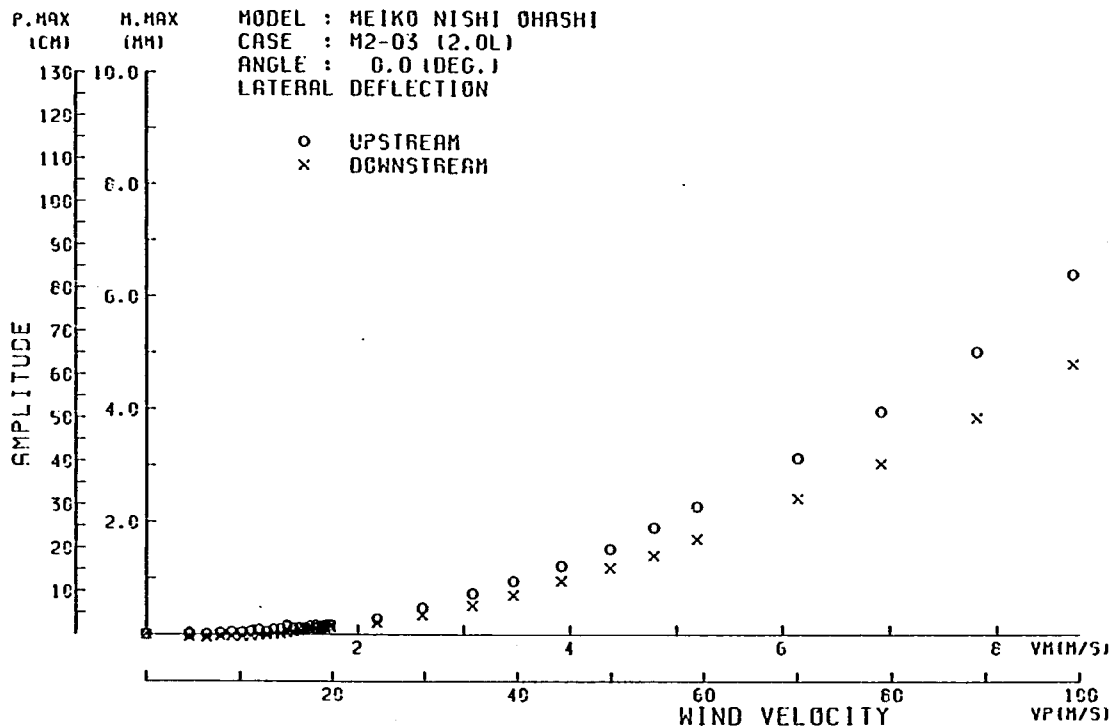


図5-47 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.37)	
成分・測定点	横丸わき・中央径間 1/2
迎 角	+3°
間 隔	200L

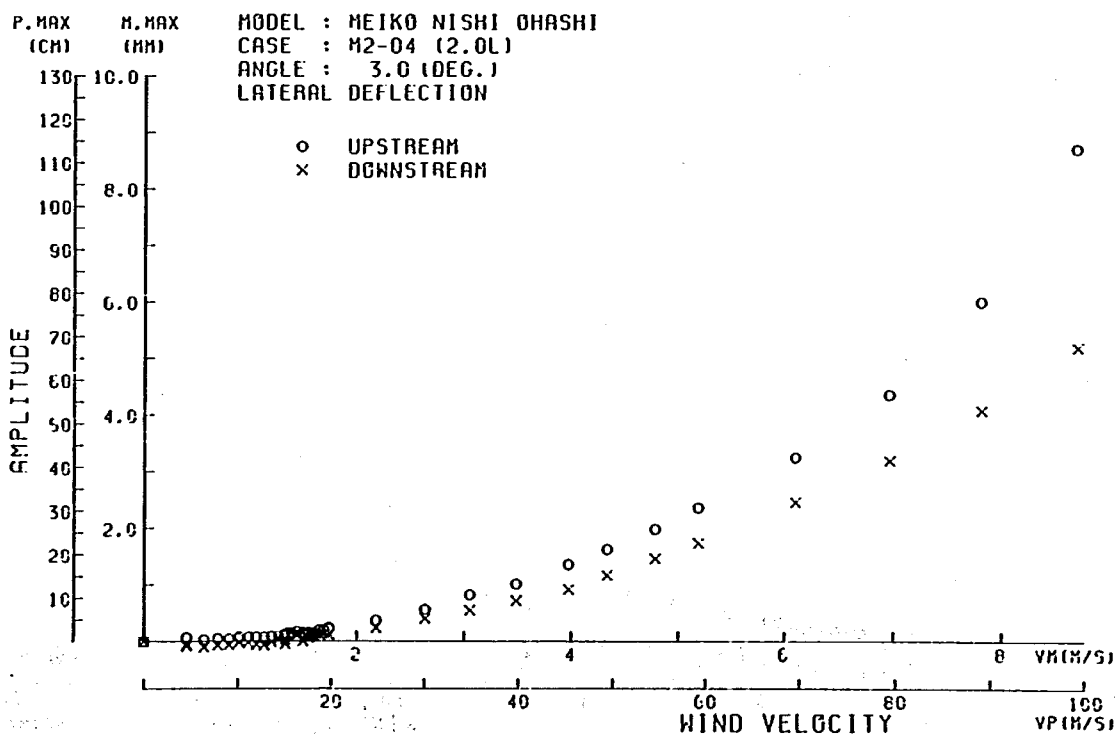


図5-48 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.38)		
成分・測定点	横丸わみ・中央区間 1/2	
迎 角	+3°	
間 隔	1.28 L	

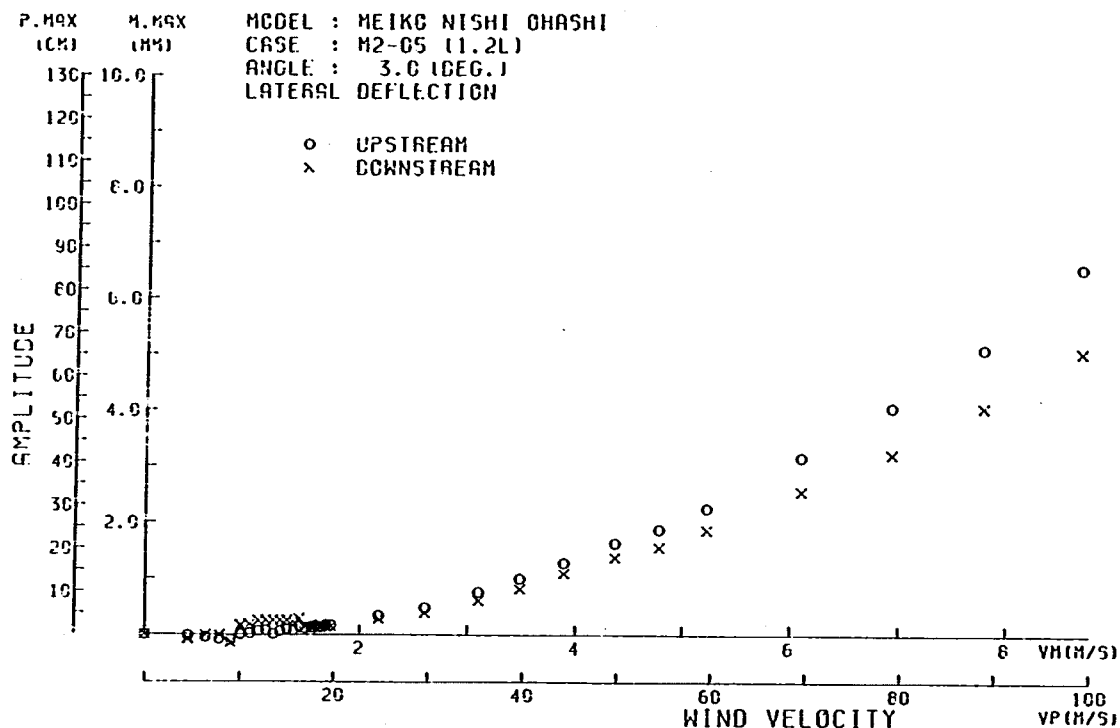


図5-49 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.39)		
成分・測定点	横丸わみ・中央区間 1/2	
迎 角	+5°	
間 隔	1.28 L	

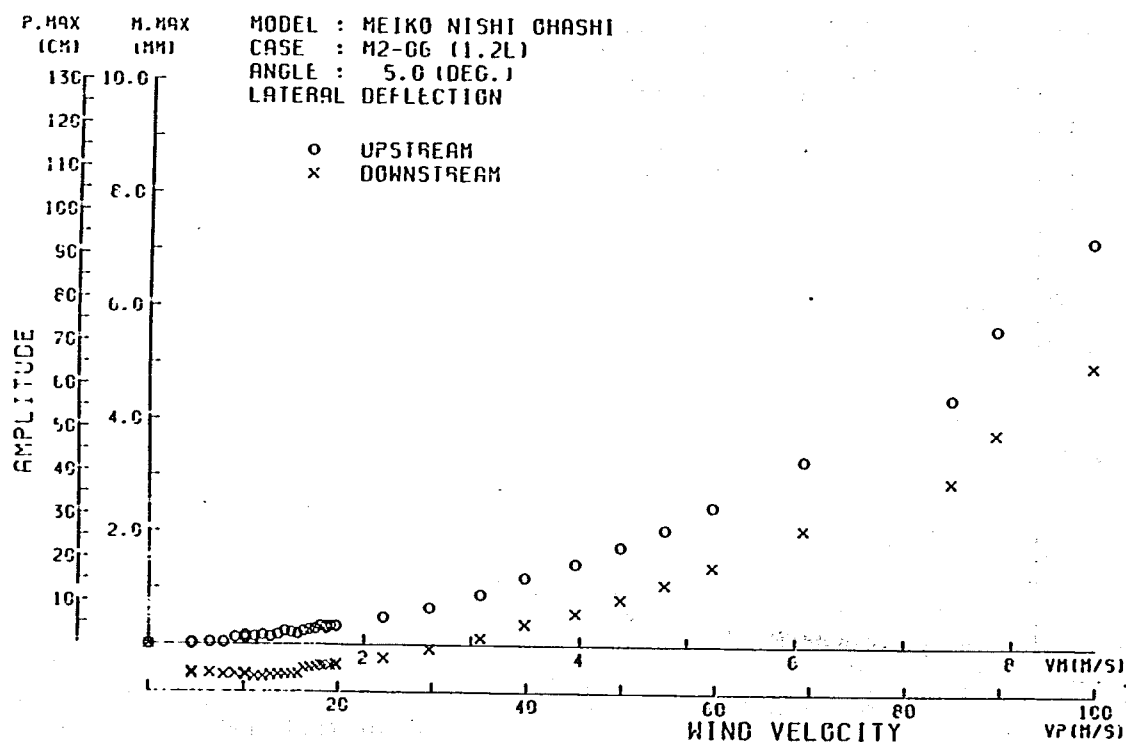


図5-50 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.10)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎 角	+5°
間 隔	200L

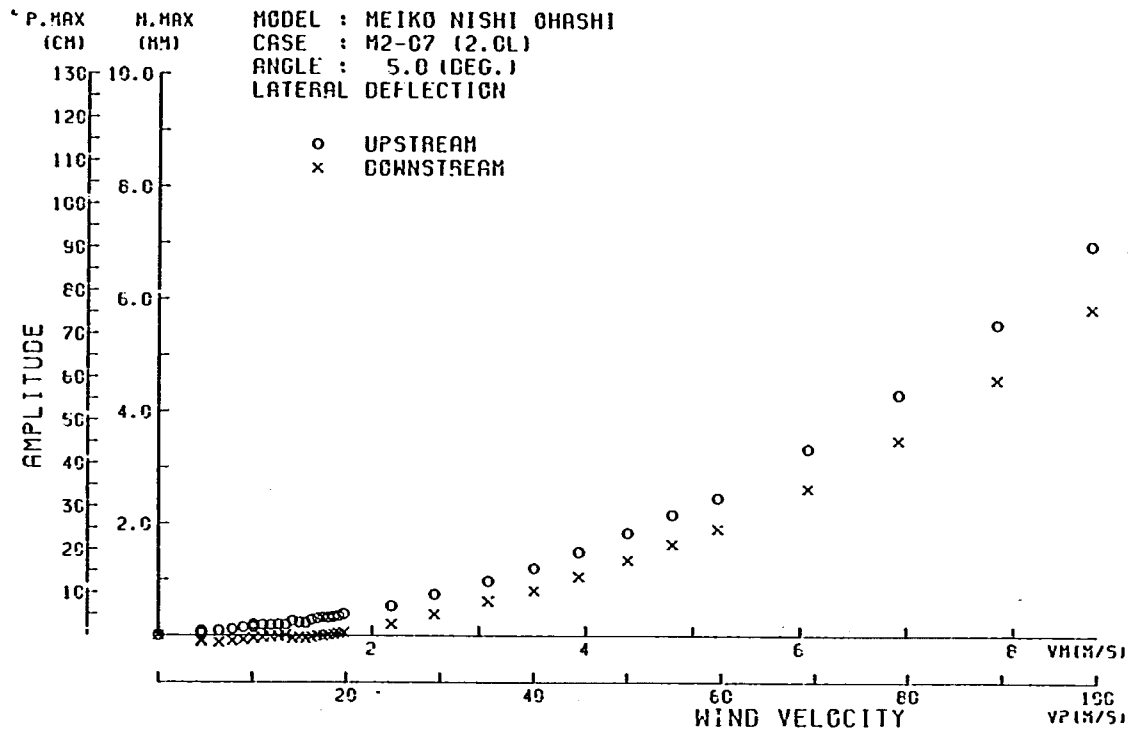


図5-51 2 橋並列 V - A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.11)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎 角	-3°
間 隔	200L

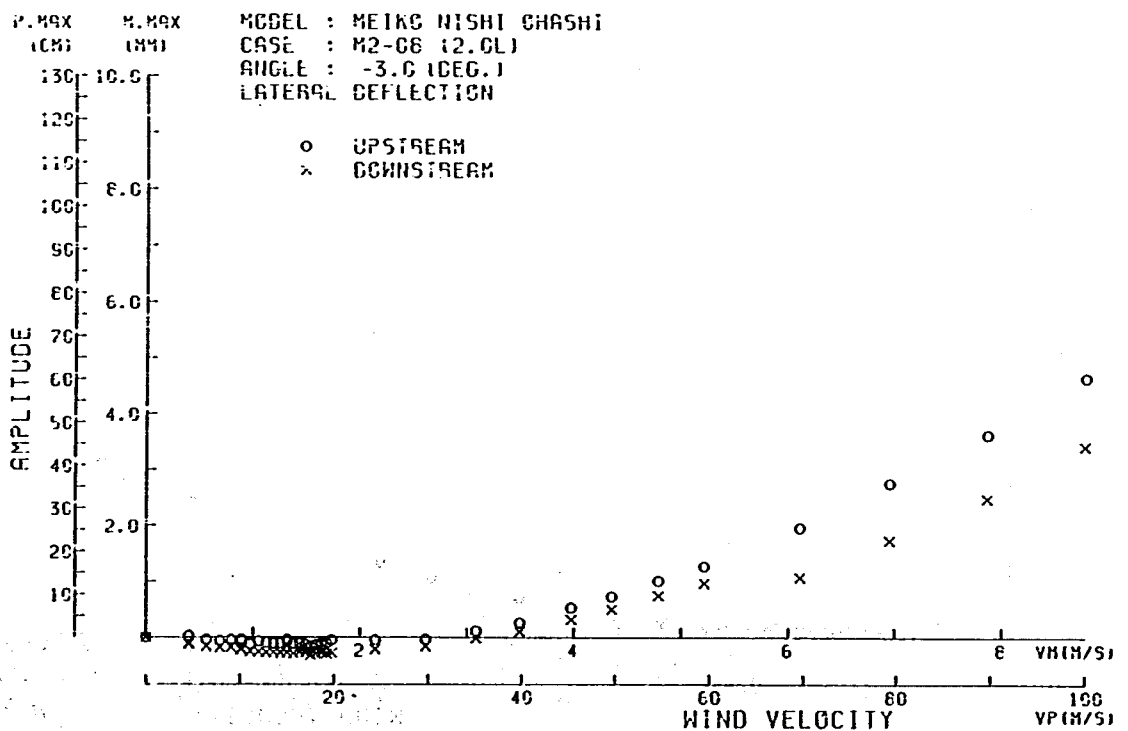


図5-52 2 橋並列 V - A

2橋並列上流・下流V-A比較 (No.42)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間1/2
迎角	-3°
間隔	1.28L

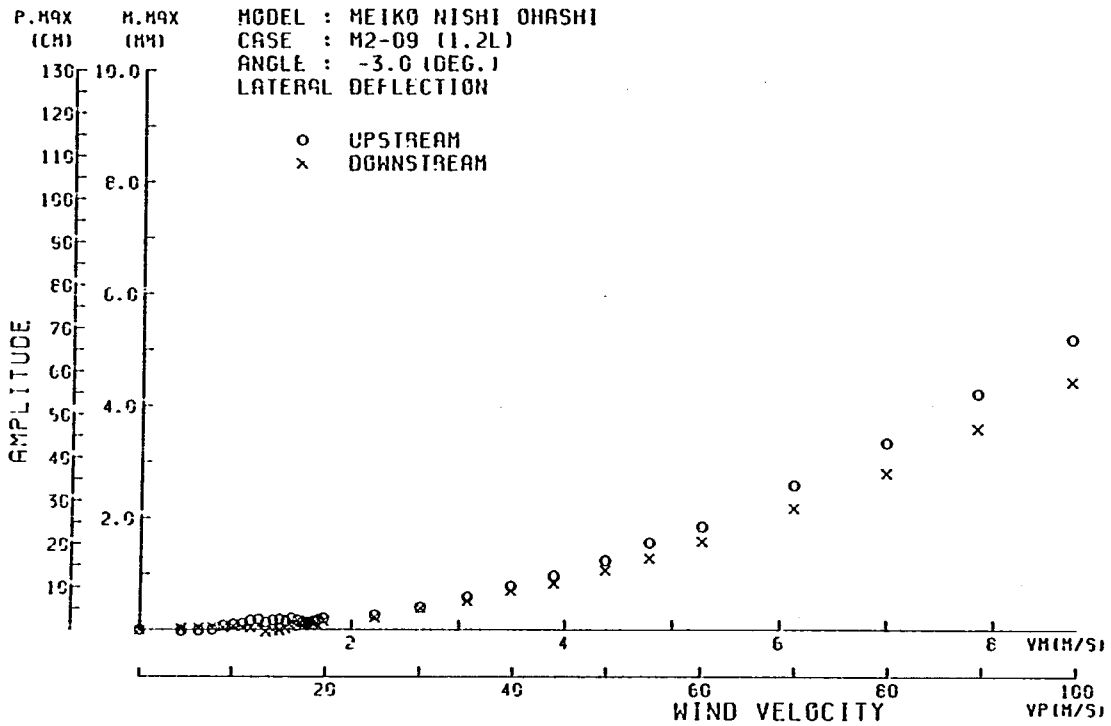


図5-53 2橋並列V-A

2橋並列上流・下流V-A比較 (No.43)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間1/2
迎角	-5°
間隔	1.28L

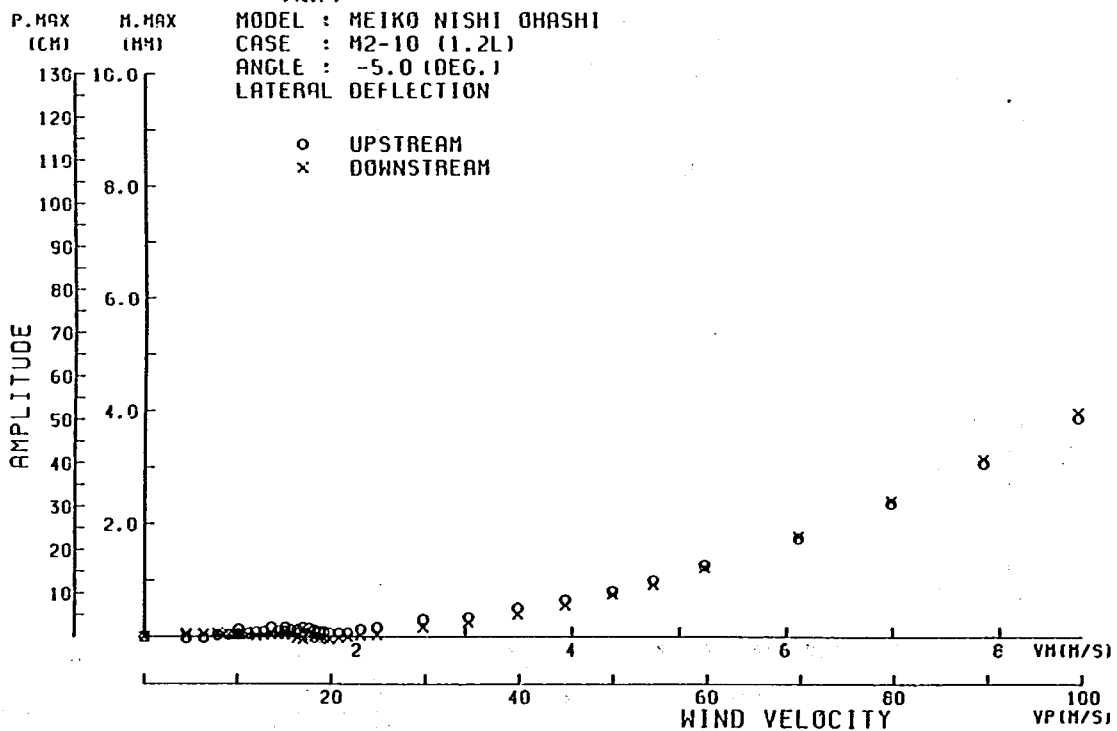


図5-54 2橋並列V-A

2 橋並列上流・下流 V - A 比較 (No.44)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎 角	-5°
間 隔	200L

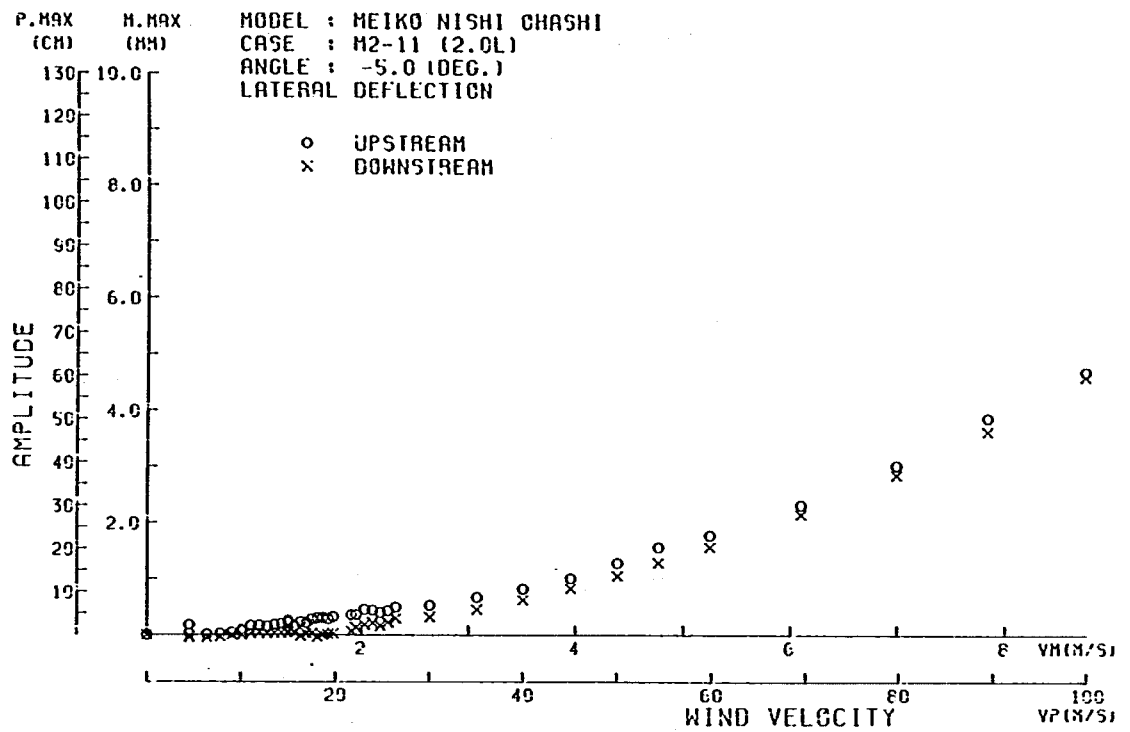


図5-55 2 橋並列 V - A

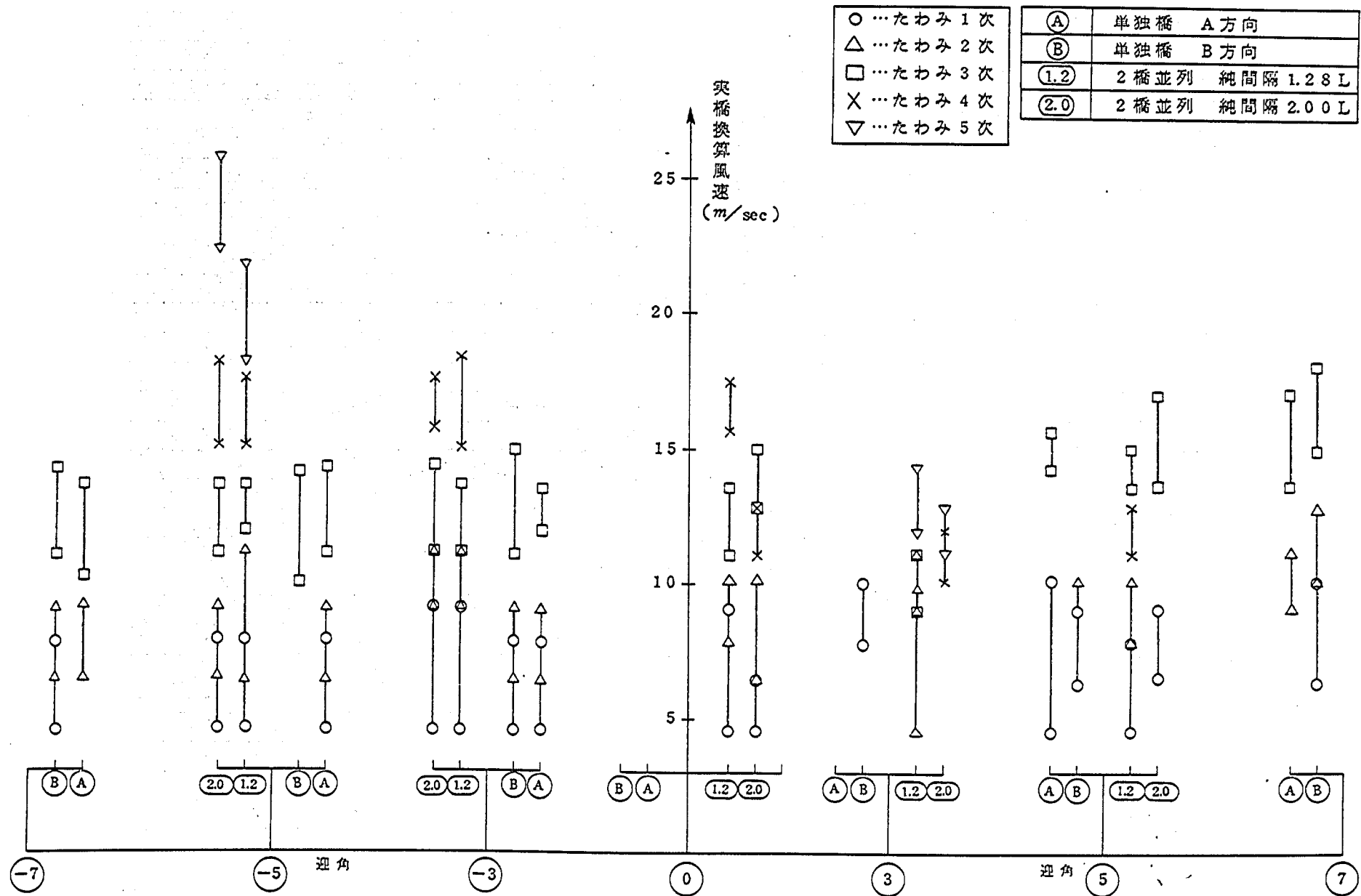
6. 単独橋と2橋並列との比較

4.で単独橋，5.で2橋並列した場合について個別に考察を加えたが，2橋を並列させることにより耐風上どのような問題が新たに提起されるか，単独橋と2橋並列した場合の実験結果を比較し，考察を加えてみる。

(1) 6-1に単独橋と2橋並列した場合の $V_{cri}-\alpha$ を比較して示す。また，図6-2～5に単独橋と2橋並列との渦励振振動特性 ($V-A-\alpha$ (風速-振幅-迎角)) を比較して示す。単独橋と比較する場合，上流模型については桁の薄い方から厚い方へ気流が流れるため，単独橋のA方向と比較し，同様に下流模型については単独橋のB方向と比較した。フラッターはいずれのケースにおいても生じていないので2橋並列の影響はないと考えられる。一方，渦励振については単独橋の場合生じていなかった迎角においても2橋並列にした場合発振し，しかも，鉛直たわみ4次，5次などより高次のモードで励振するようになった。しかしながら発振風速については鉛直たわみ1次，2次，3次発振風速は単独橋も2橋並列した場合もほぼ同風速である。また，その振幅も2橋を並列させることにより大きくなり，ケースによっては振幅が3倍近く大きくなっているところもみられる。

ただ，2橋並列にした場合の下流模型の発振時の振幅は，2橋間の純間隔を橋幅員の2倍にした場合，単独橋の渦励振の振幅とはほぼ同程度の振幅を示す結果が得られた。

- (2) 図6-6～15に単独橋と2橋並列にした場合の風速と鉛直不規則振動の振幅の標準偏差の関係を比較して各迎角ごとに示す。一般的な傾向として不規則振動の振幅の値は単独橋，桁間隔2.0L，1.28Lの順で小さくなる。
- (3) 図6-16～25に，単独橋と2橋並列した橋合の風速とねじれの不規則振動標準偏差との関係を比較し，各迎角ごとに示す。ねじれ振動の大きさは単独橋の方が2橋並列にした場合の値を上まわっているところもあるし，またその逆もあり，一般的な傾向は認められなかった。
- (4) 図6-26～35に，単独橋と2橋並列にした場合の風速と横たわみ量との関係を比較し，各迎角ごとに示す。単独橋と2橋並列にした場合の上流模型の横たわみ量には大差がないようであるが，下流模型については差が見られたが，迎角ごとに結果がまちまちであり，一般的傾向は認められなかった。



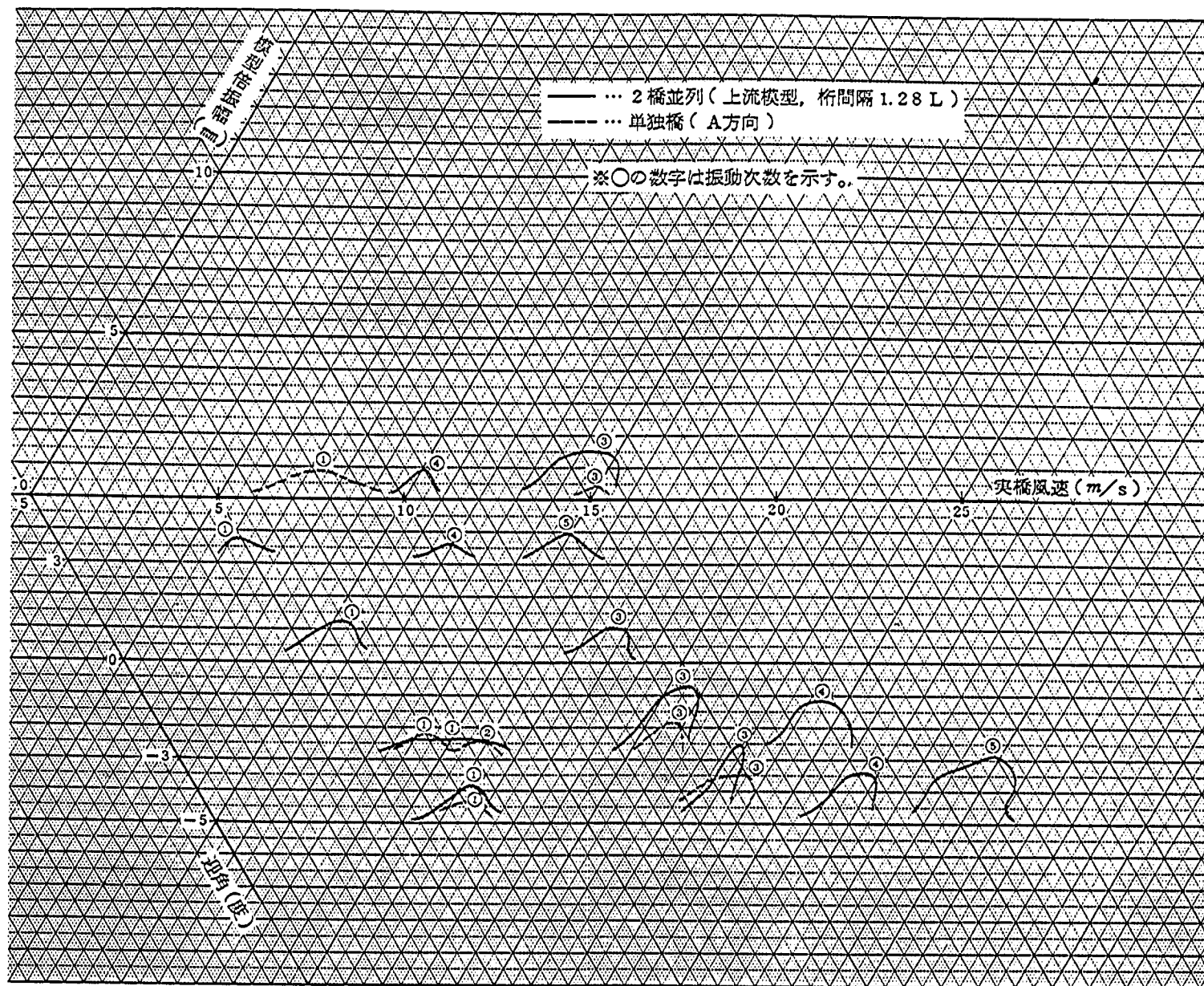


図6-2 単独橋と2橋並列橋とのV-A- α 比較(渦励振) (No.1)

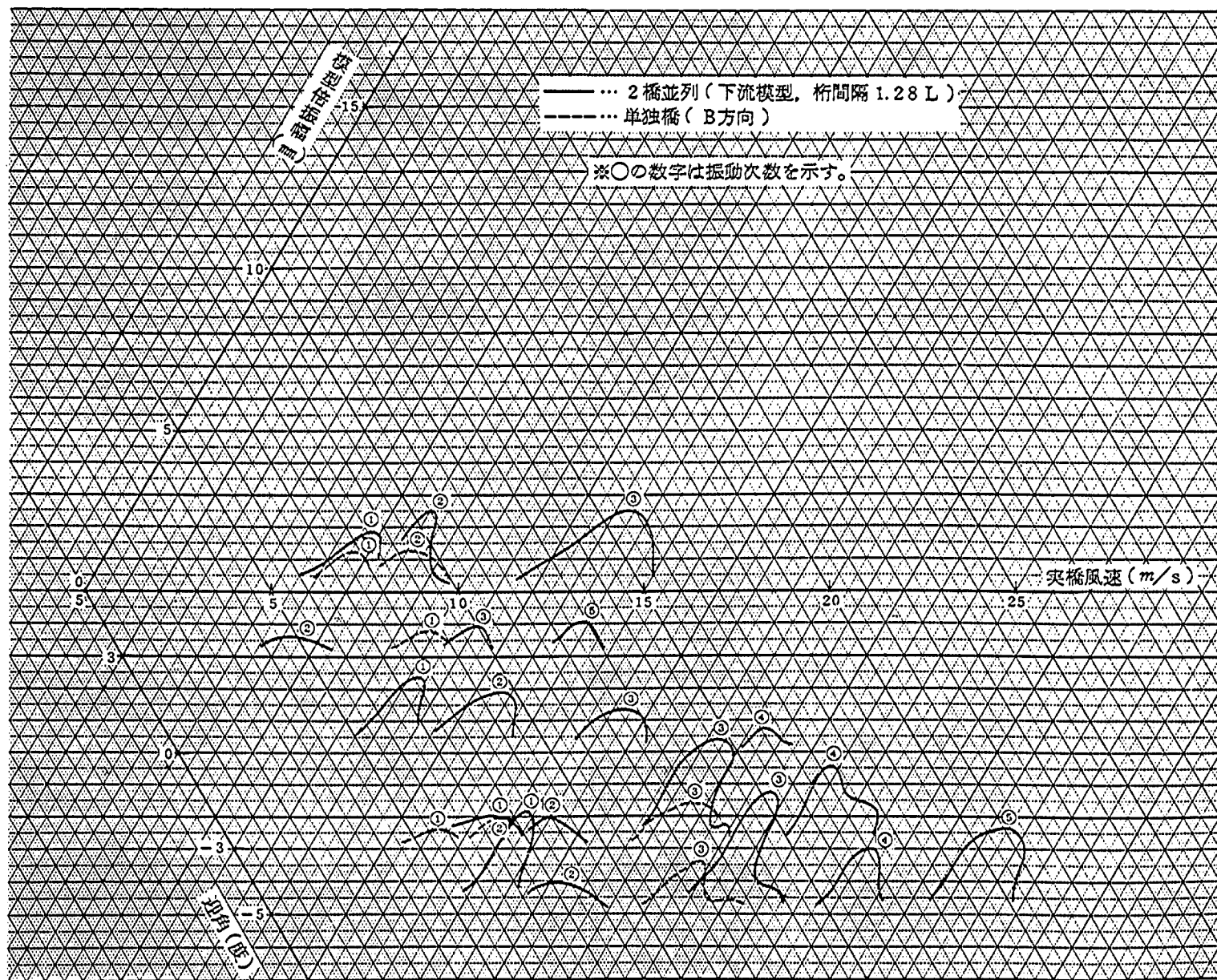


図6-3 単独橋と2橋並列橋とのV-A- α 比較(渦励振) (No.2)

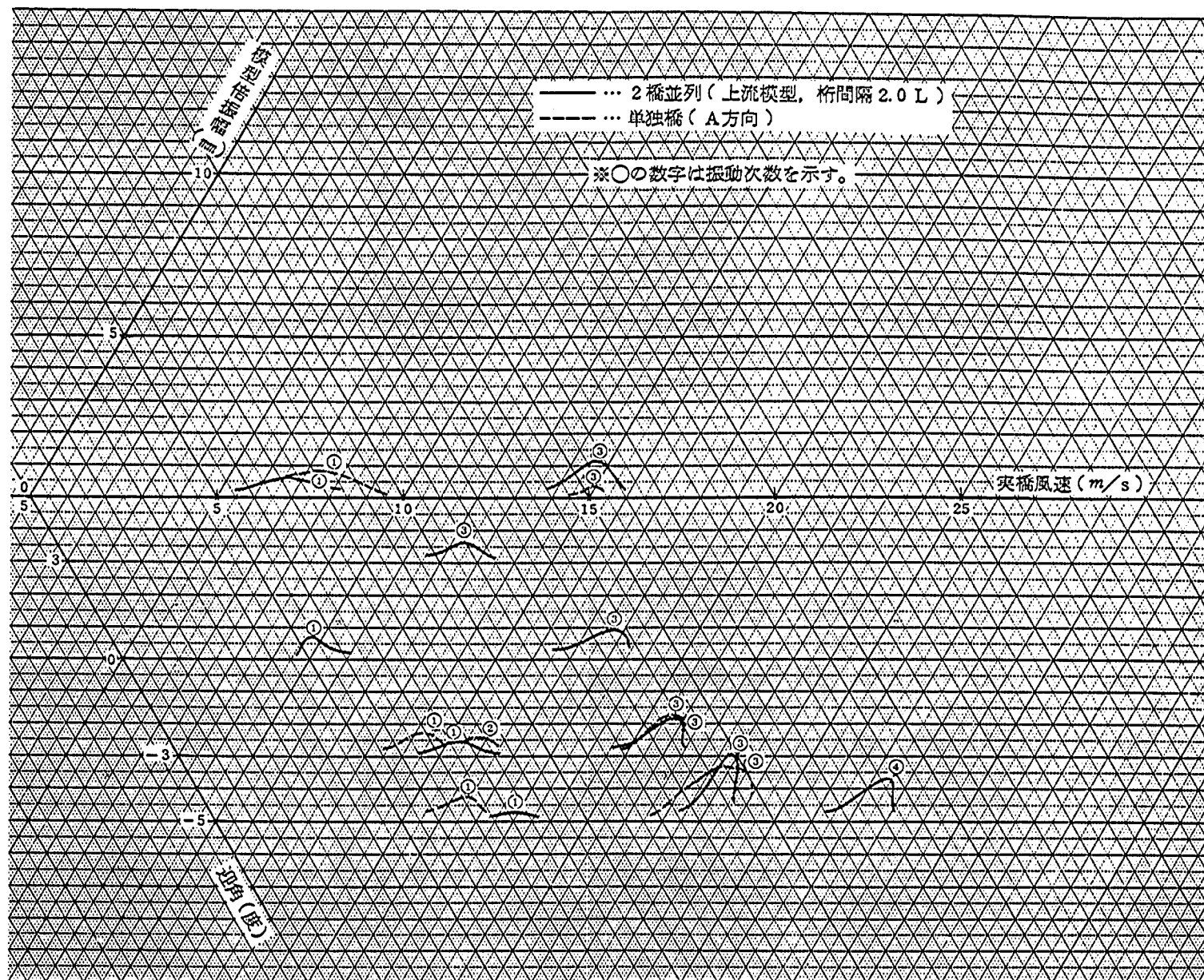


図6-4 単独橋と2橋並列橋とのV-A- α 比較 (渦励振) (No.3)

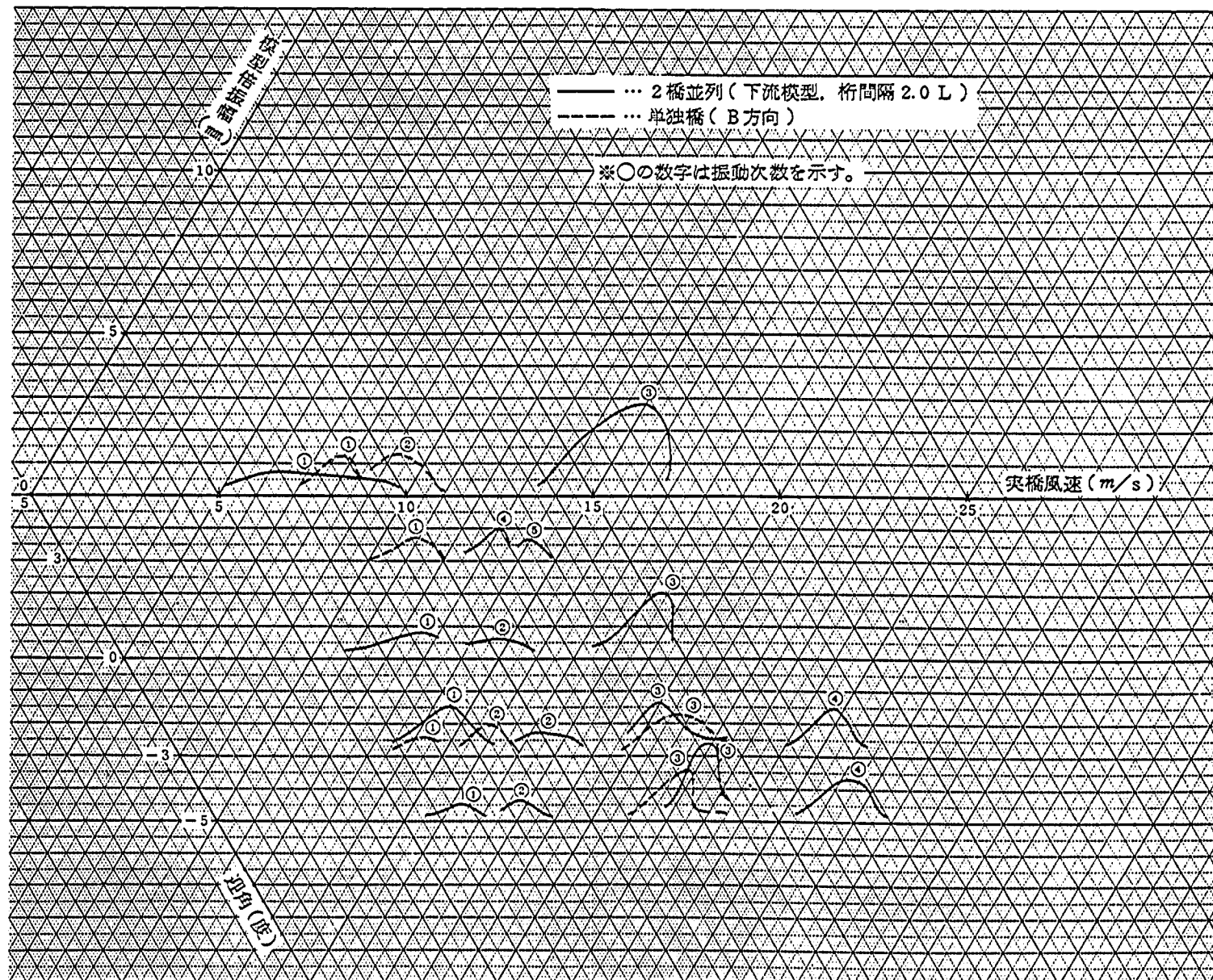


図6-5 単独橋と2橋並列橋とのV-A- α 比較 (渦励振) (No.4)

単独橋と2橋並列時のV-A比較 (No.1)	
成分・測定点	鉛直たわみ・中央径間 1/2
迎角	+5°
単独橋	A
2橋並列	上流

SGMA
(MM) MODEL : MEIKO NISHI OHASHI
ANGLE : 5.0 (DEG.)
MODE : BEN
POINT : 1/2

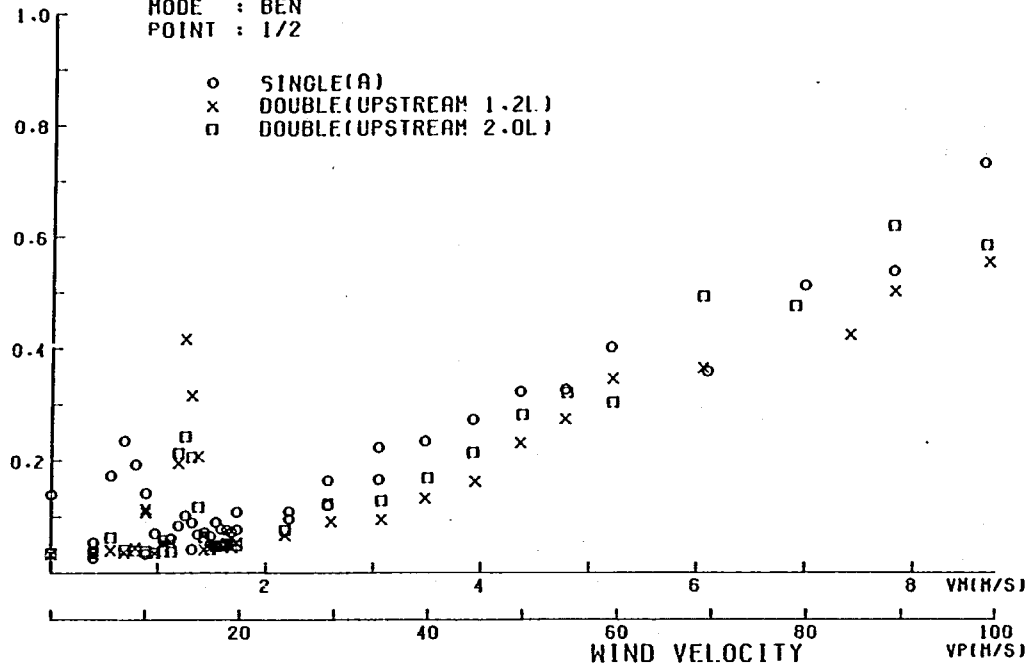


図6-6 単独橋と2橋並列時のV-A比較

単独橋と2橋並列時のV-A比較 (No.2)	
成分・測定点	鉛直たわみ・中央径間 1/2
迎角	+5°
単独橋	B
2橋並列	下流

SGMA
(MM) MODEL : MEIKO NISHI OHASHI
ANGLE : 5.0 (DEG.)
MODE : BEN.
POINT : 1/2

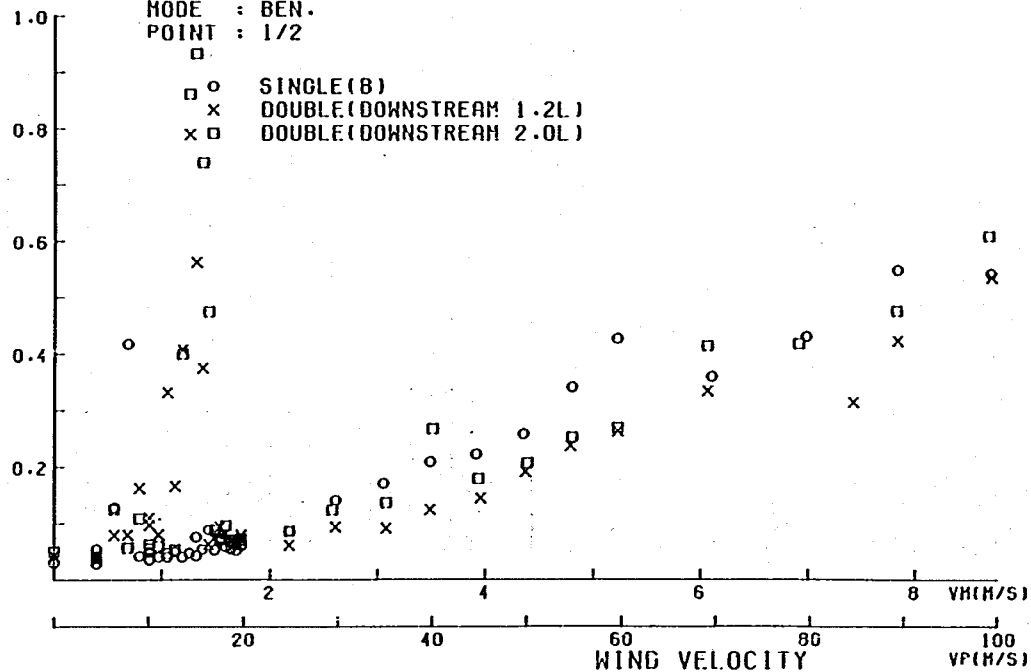


図6-7 単独橋と2橋並列時のV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.3)	
成分・測定点	約直たわみ・中央区間 1/2
対 角	+3°
単 独 橋	A
2 橋 並 列	上流

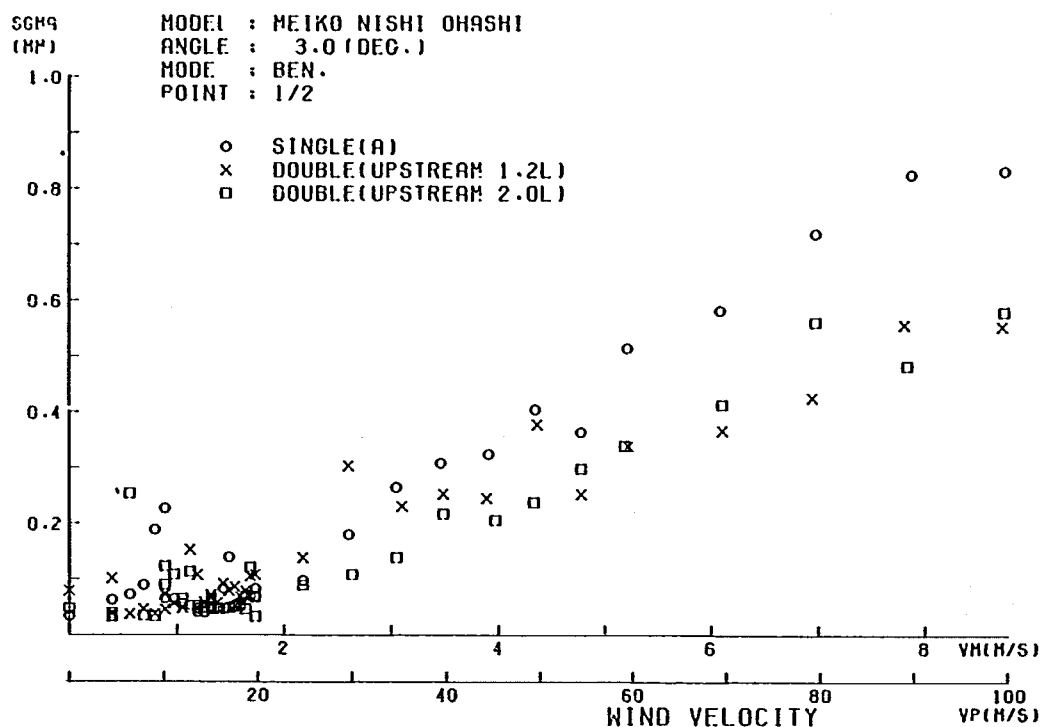


図6-8 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.4)	
成分・測定点	約直たわみ・中央区間 1/2
対 角	+3°
単 独 橋	B
2 橋 並 列	下流

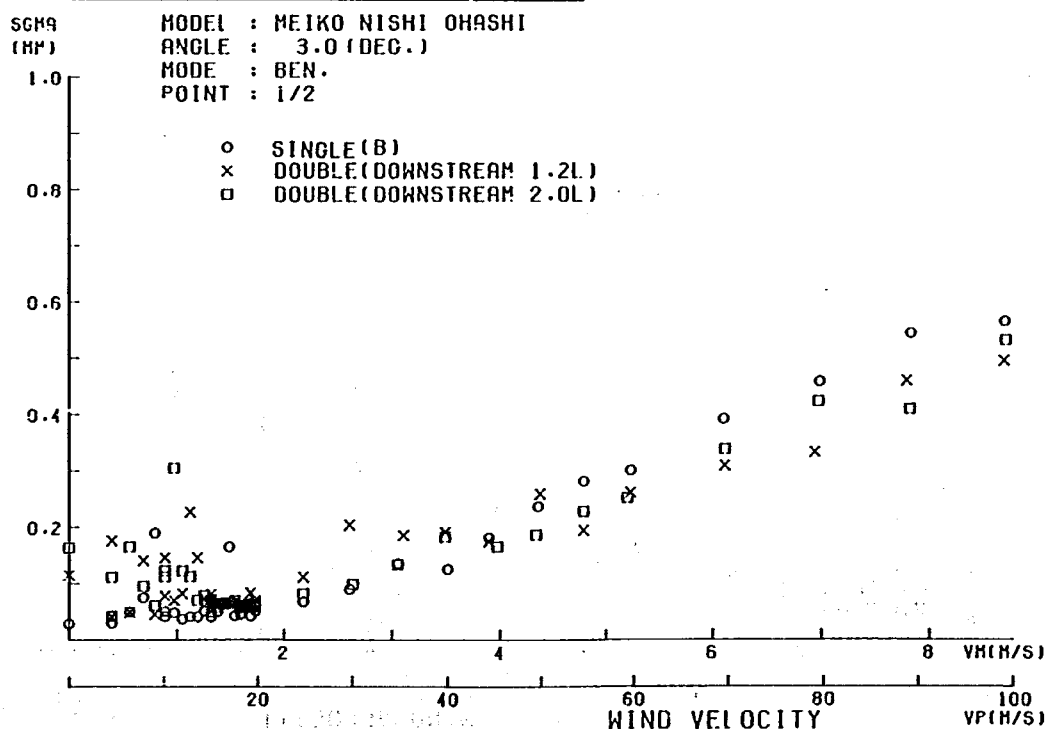


図6-9 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列時のV-A比較 (No.5)	
成分・測定点	鉛直上向き・中央径間 1/2
迎角	0°
単独橋	A
2橋並列	上流

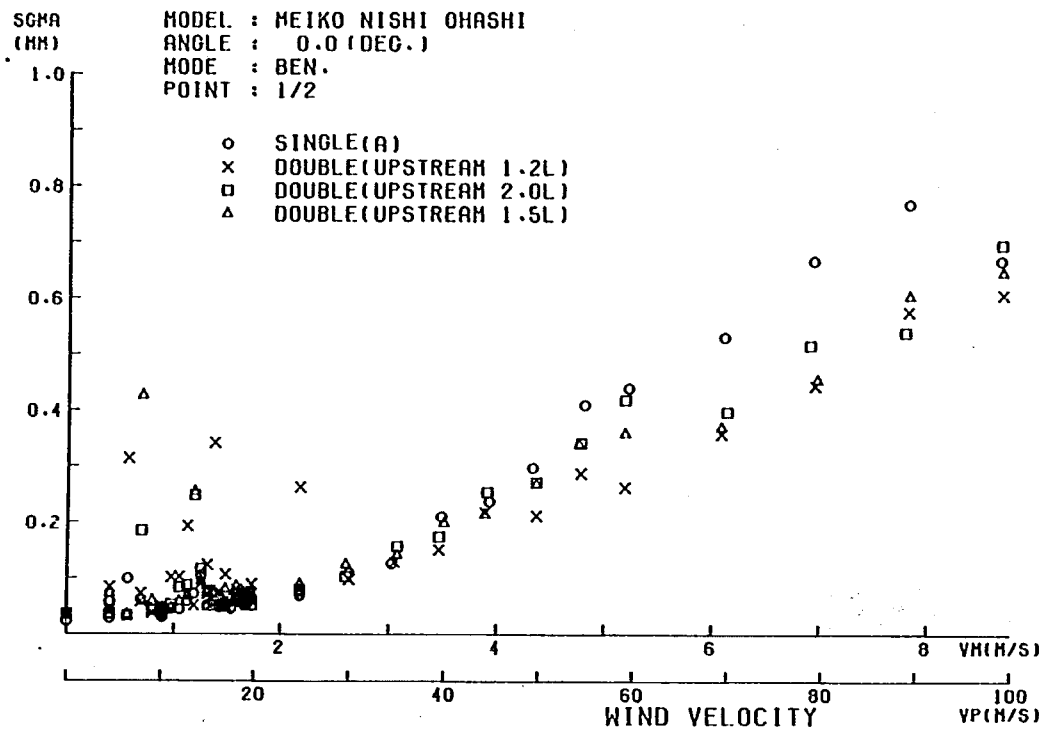


図6-10 単独橋と2橋並列時のV-A比較

単独橋と2橋並列時のV-A比較 (No.6)	
成分・測定点	鉛直上向き・中央径間 1/2
迎角	0°
単独橋	B
2橋並列	下流

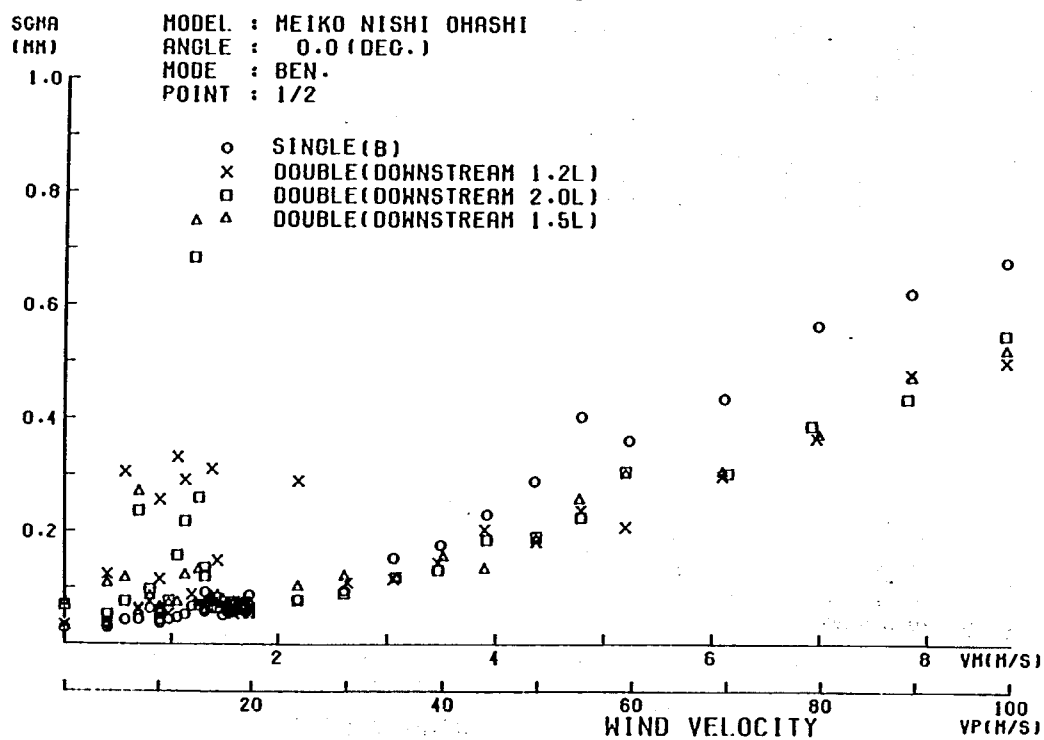


図6-11 単独橋と2橋並列時のV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.7)	
成分・測定点	鉛直たわみ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
単 独 橋	A
2 橋 並 列	上流

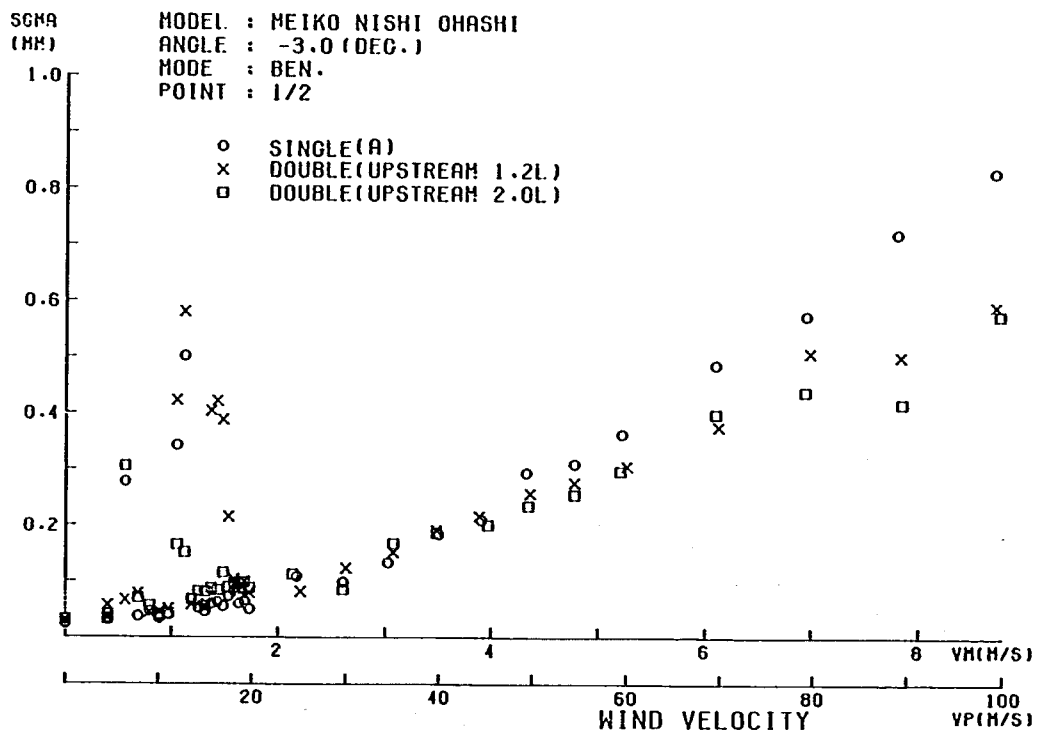


図6-12 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.8)	
成分・測定点	鉛直たわみ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
単 独 橋	B
2 橋 並 列	下流

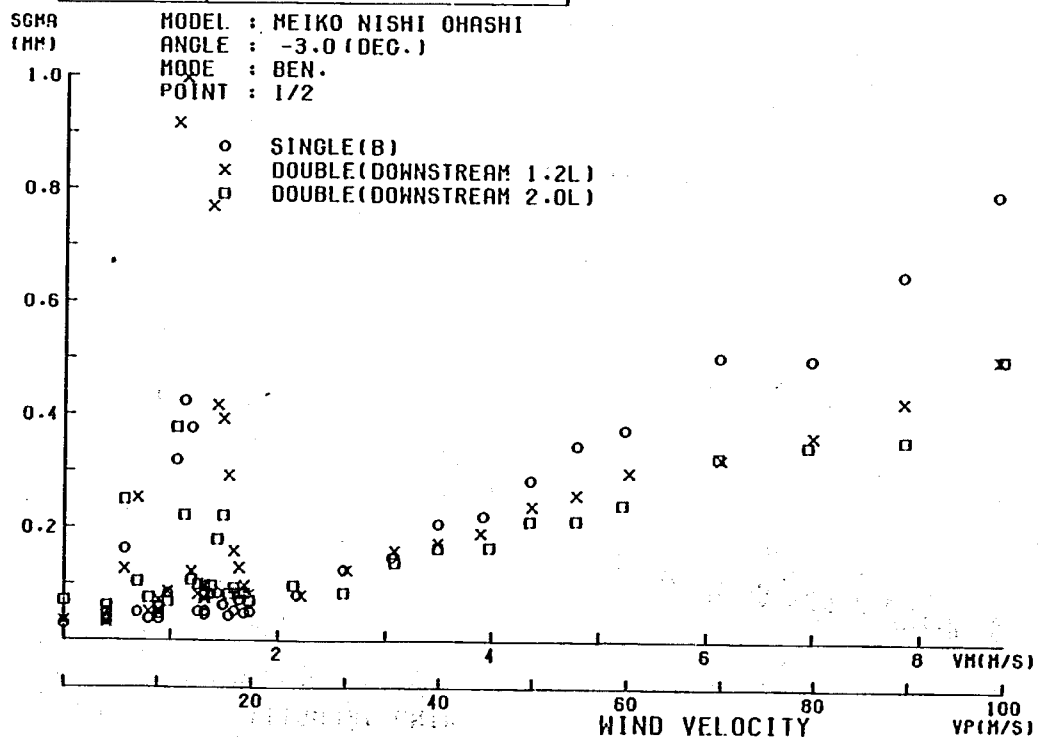


図6-13 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.9)	
成分・測定点	鉛直たわみ・中央径間 1/2
迎角	-5°
単独橋	A
2橋並列	上流

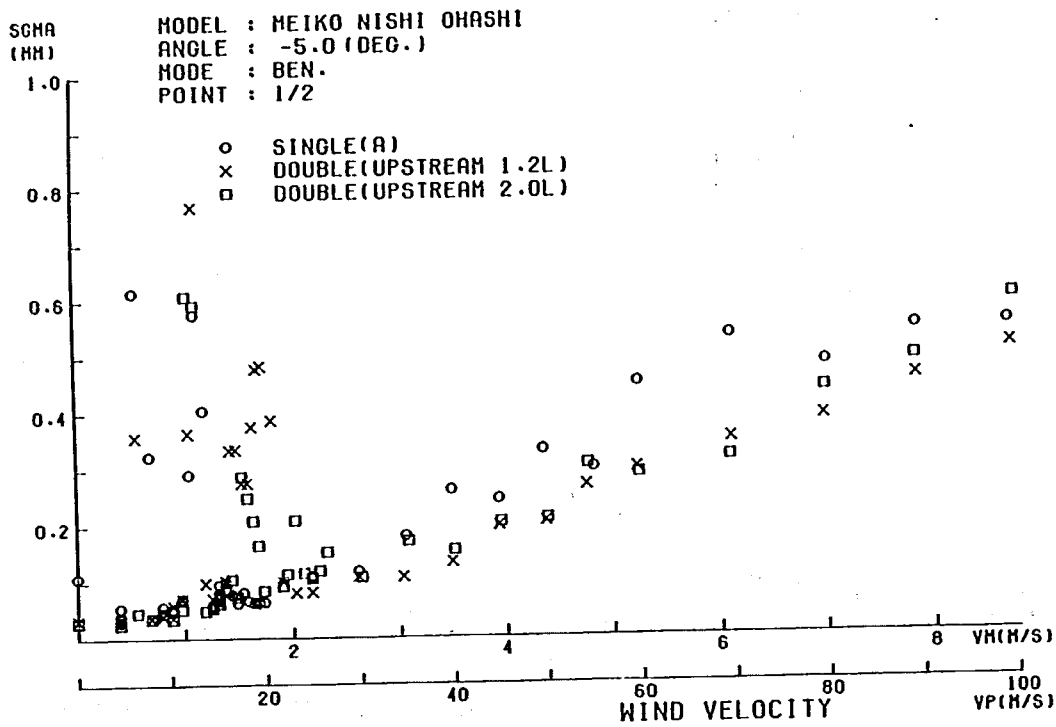


図6-14 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.10)	
成分・測定点	鉛直たわみ・中央径間 1/2
迎角	-5°
単独橋	B
2橋並列	下流

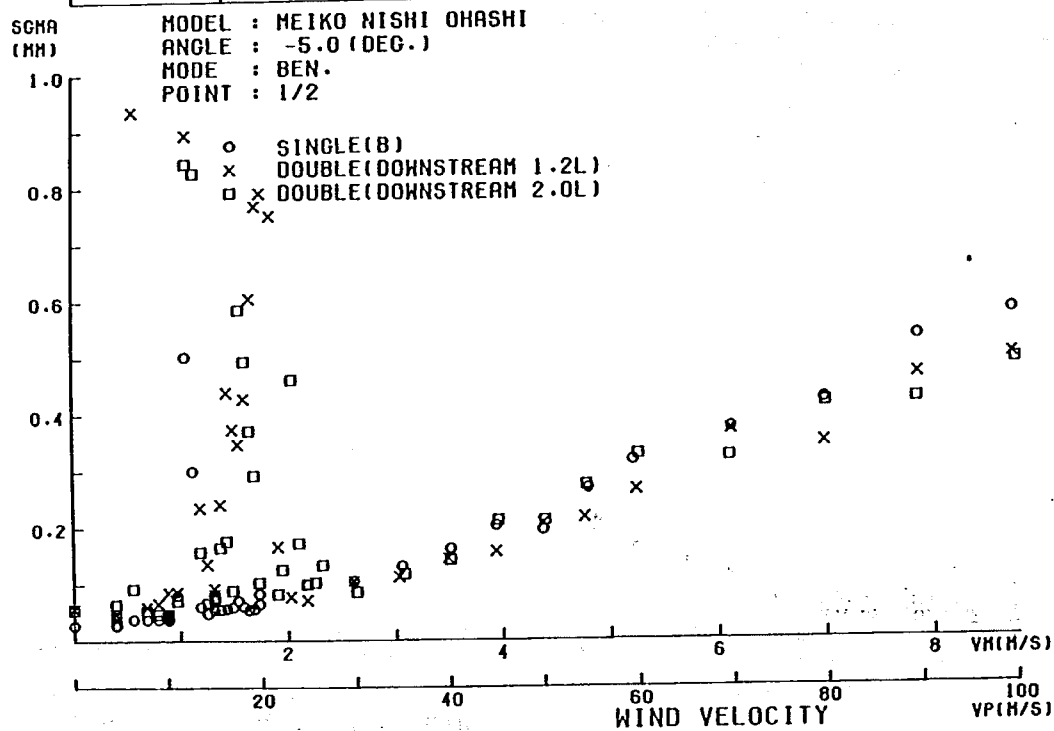


図6-15 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.11)	
成分・測定点	ねじれ・中央区間 1/2
迎角	+5°
単独橋	A
2橋並列	上流

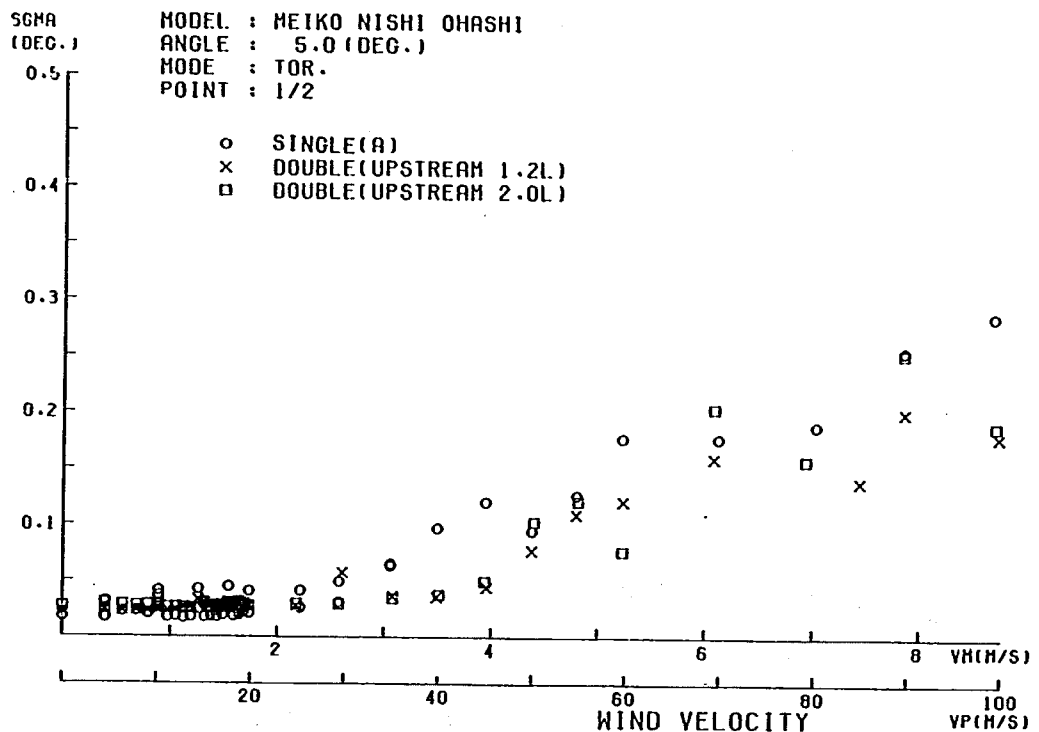


図6-16 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.12)	
成分・測定点	ねじれ・中央区間 1/2
迎角	+5°
単独橋	B
2橋並列	下流

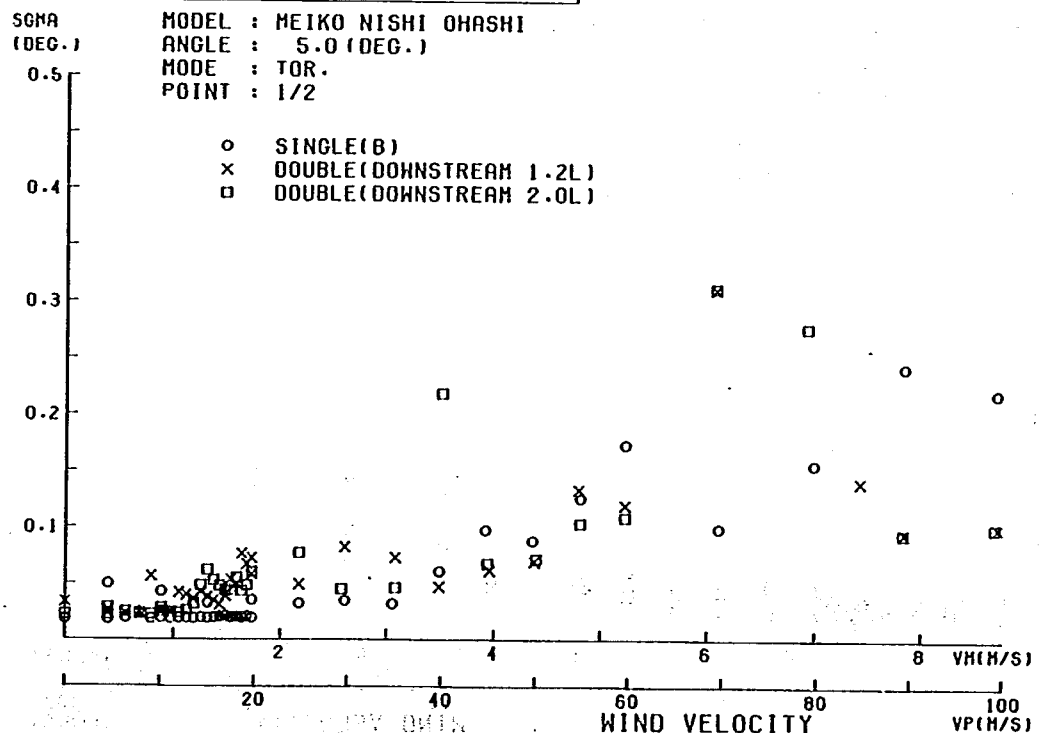


図6-17 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.13)	
成分・測定点	わじれ・中央径間 1/2
迎角	+3°
単独橋	A
2橋並列	上流

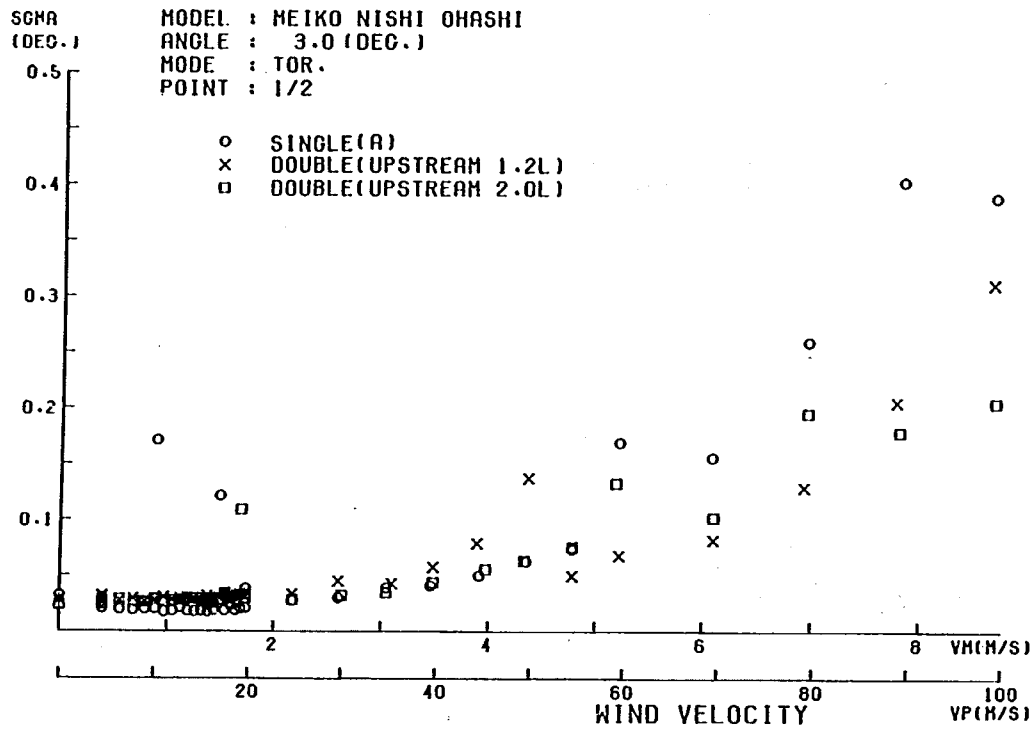


図6-18 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.14)	
成分・測定点	わじれ・中央径間 1/2
迎角	+3°
単独橋	B
2橋並列	下流

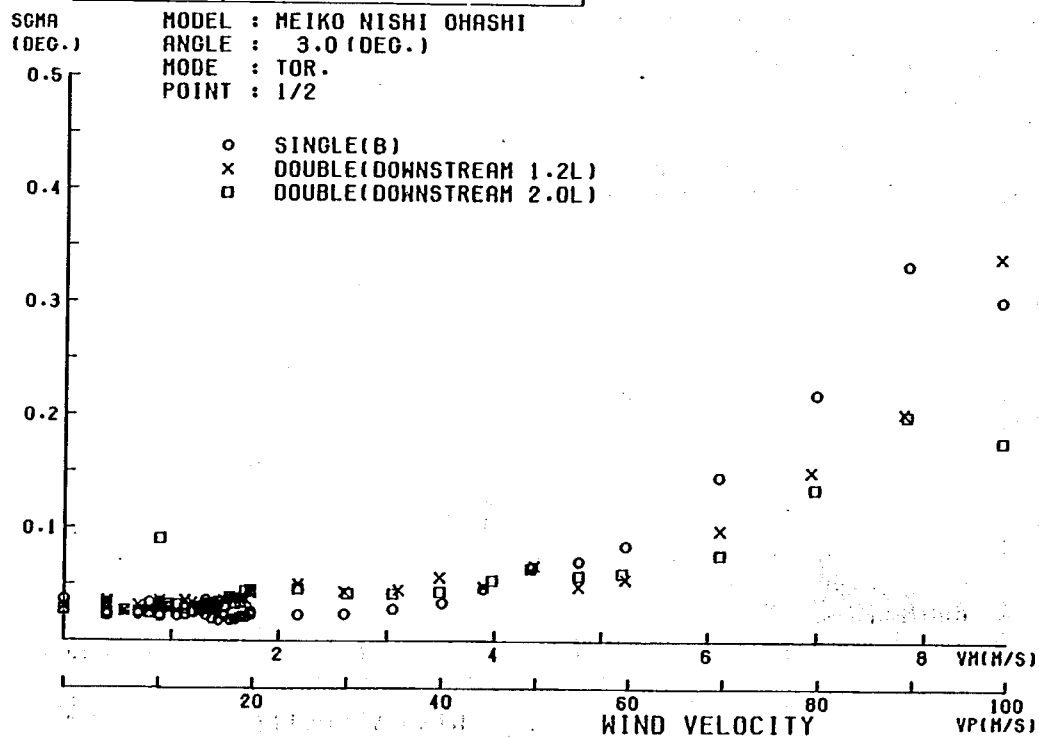


図6-19 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.15)	
成分・測定点	おじれ・中央径間 1/2
迎 角	0°
単 独 橋	A
2 橋 並 列	上流

SGMA MODEL : MEIKO NISHI OHASHI
(DEG.) ANGLE : 0.0 (DEG.)
MODE : TOR.
POINT : 1/2

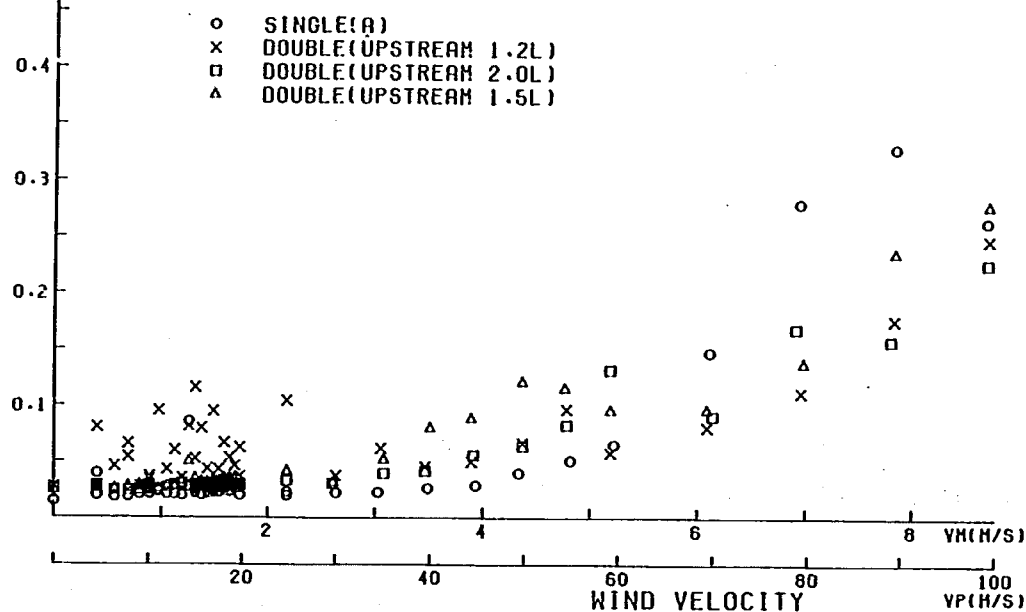


図6-20 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.16)	
成分・測定点	おじれ・中央径間 1/2
迎 角	0°
単 独 橋	B
2 橋 並 列	下流

SGMA MODEL : MEIKO NISHI OHASHI
(DEG.) ANGLE : 0.0 (DEG.)
MODE : TOR.
POINT : 1/2

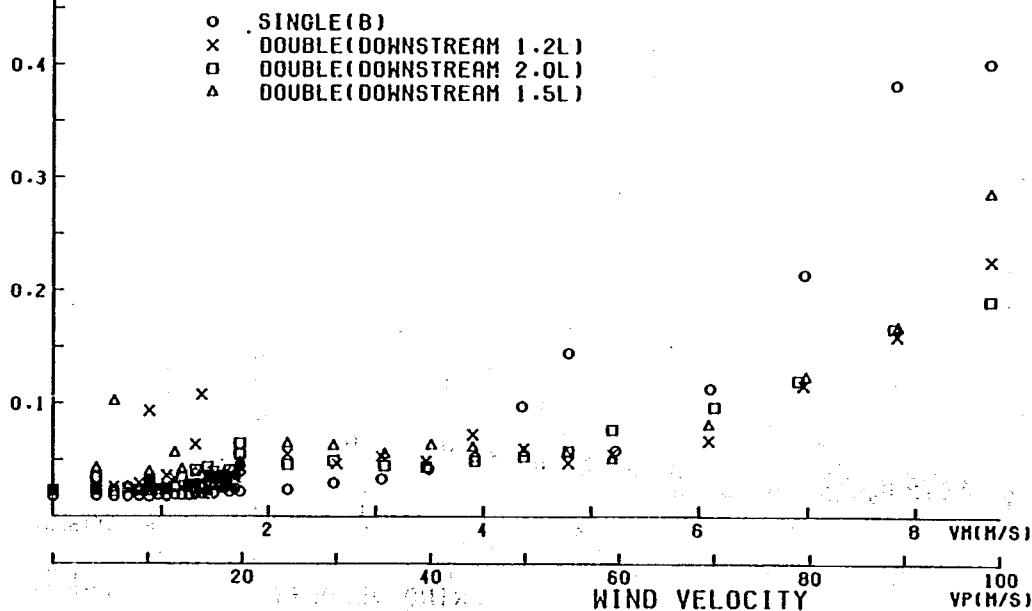


図6-21 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.17)	
成分・測定点	わじれ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
単 独 橋	A
2 橋 並 列	上流

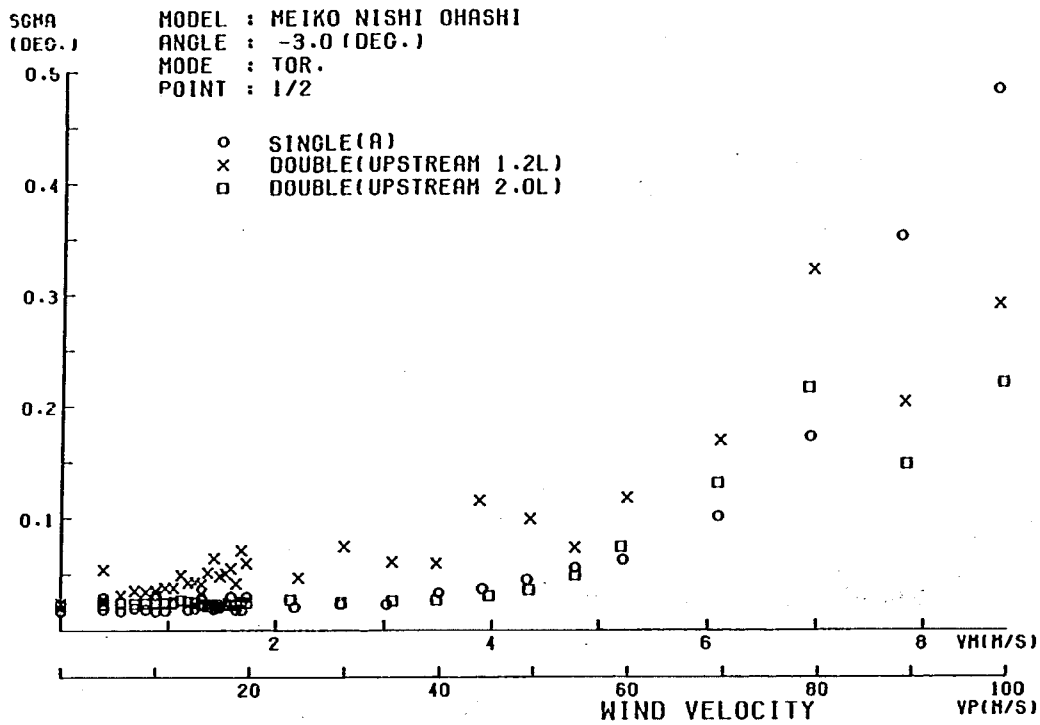


図6-22 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.18)	
成分・測定点	わじれ・中央径間 1/2
迎 角	-3°
単 独 橋	B
2 橋 並 列	下流

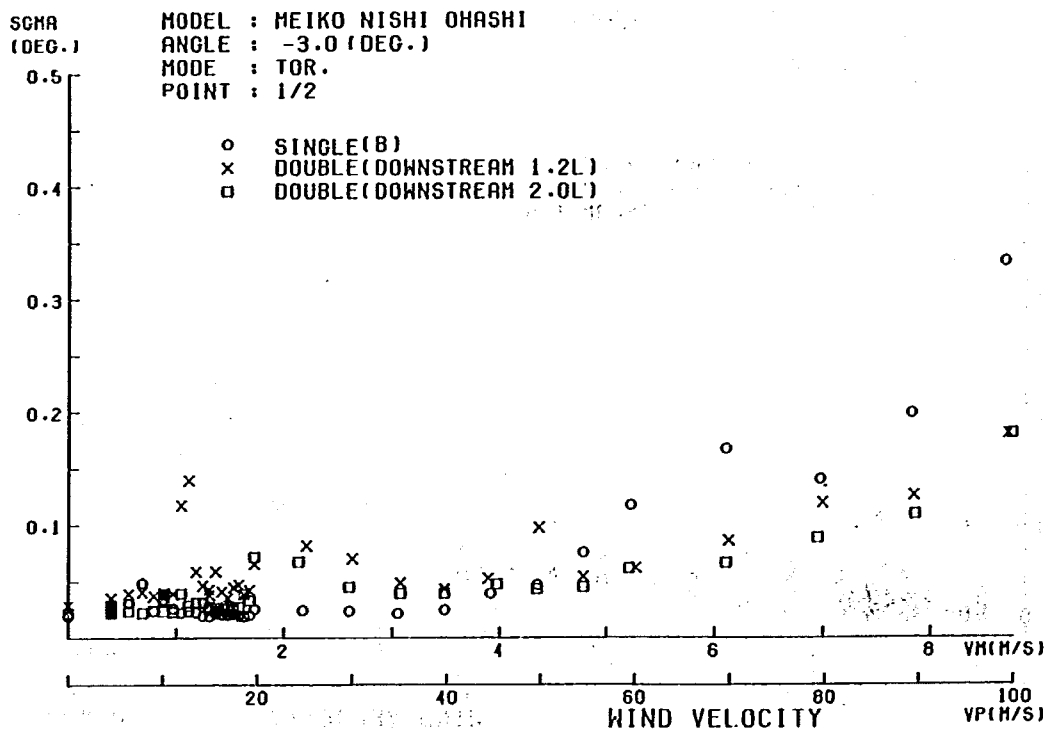


図6-23 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.19)	
成分・測定点	おじれ・中央住間 1/2
迎角	-5°
単独橋	A
2橋並列	上流

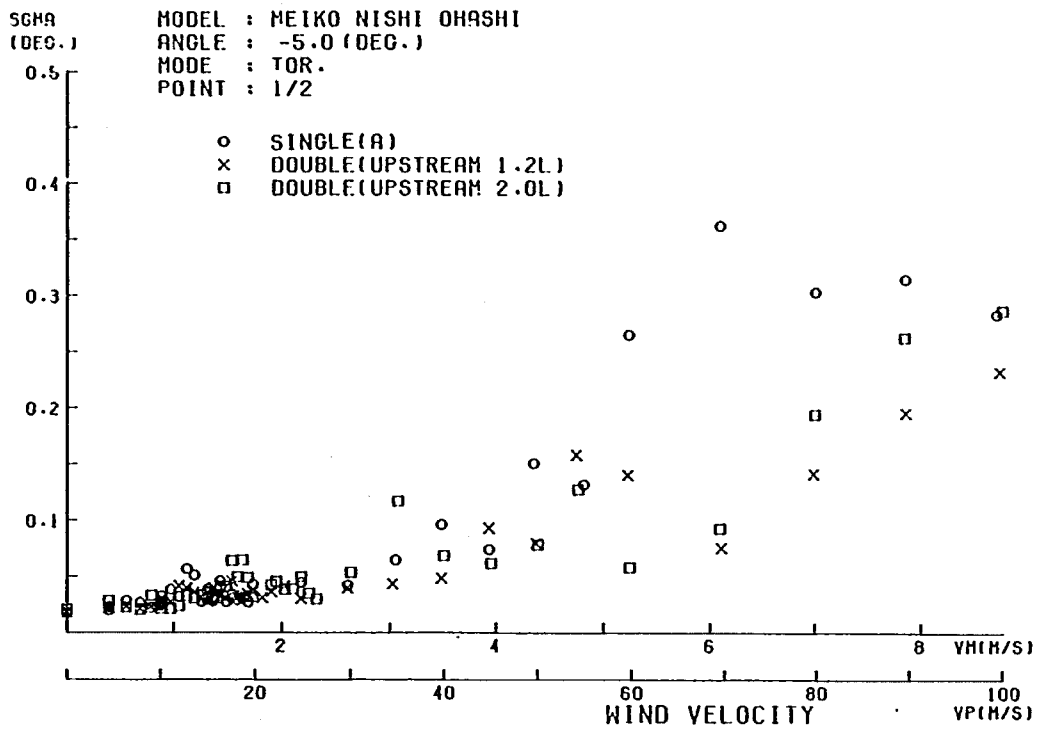


図6-24 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.20)	
成分・測定点	おじれ・中央住間 1/2
迎角	-5°
単独橋	B
2橋並列	下流

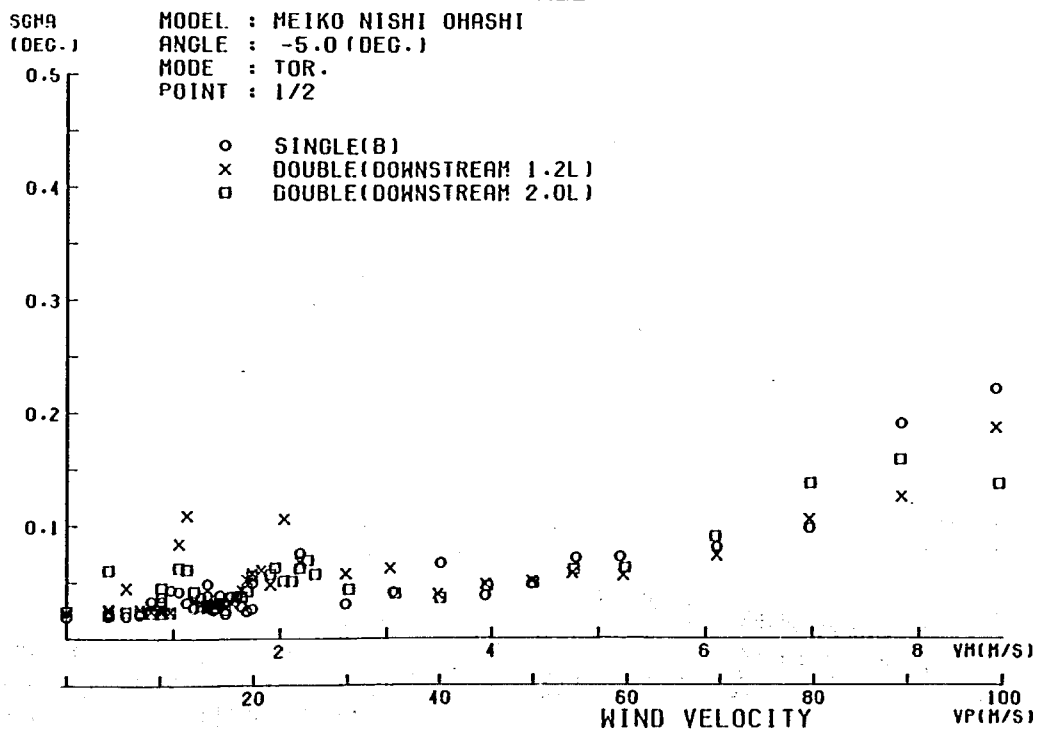


図6-25 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.21)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎角	+5°
単独橋	A
2橋並列	上流

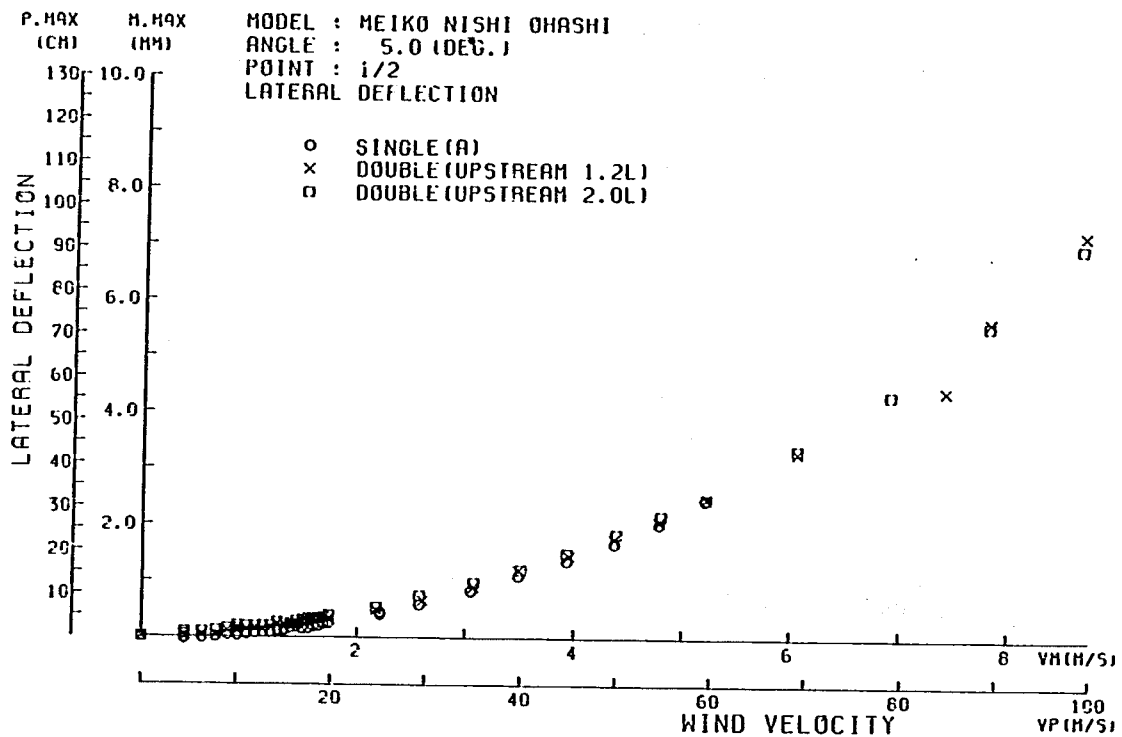


図6-26 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.22)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎角	+5°
単独橋	B
2橋並列	下流

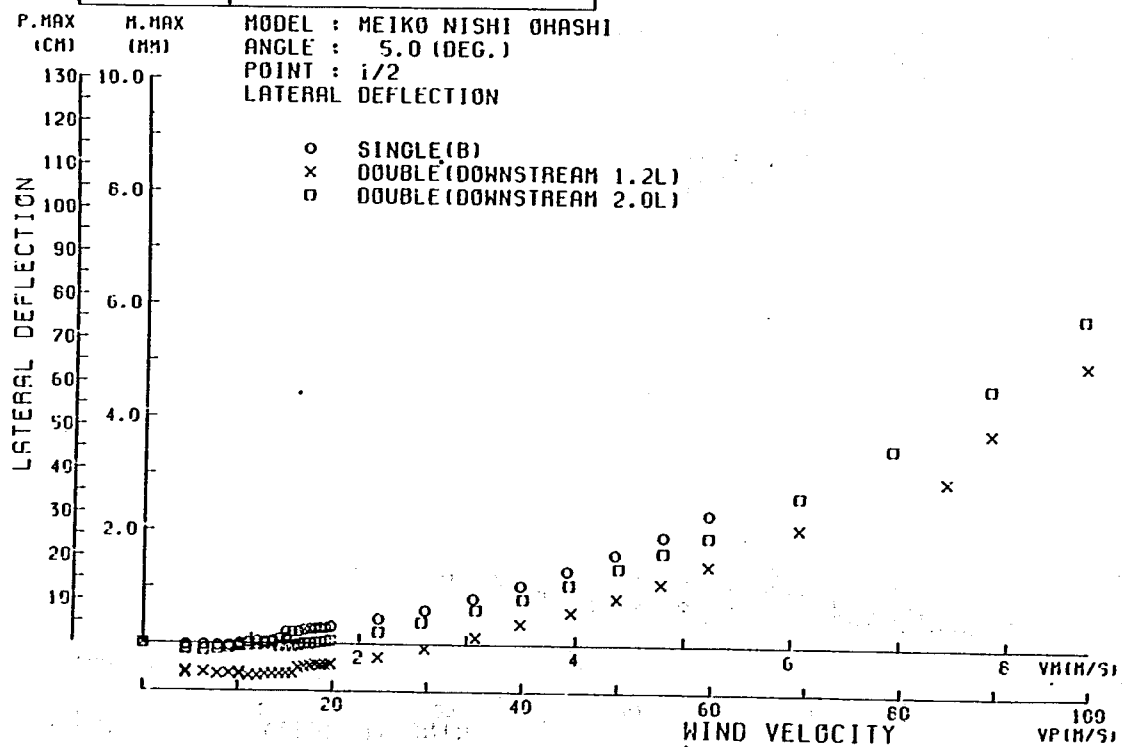


図6-27 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.23)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎角	+3°
単独橋	A
2橋並列	上流

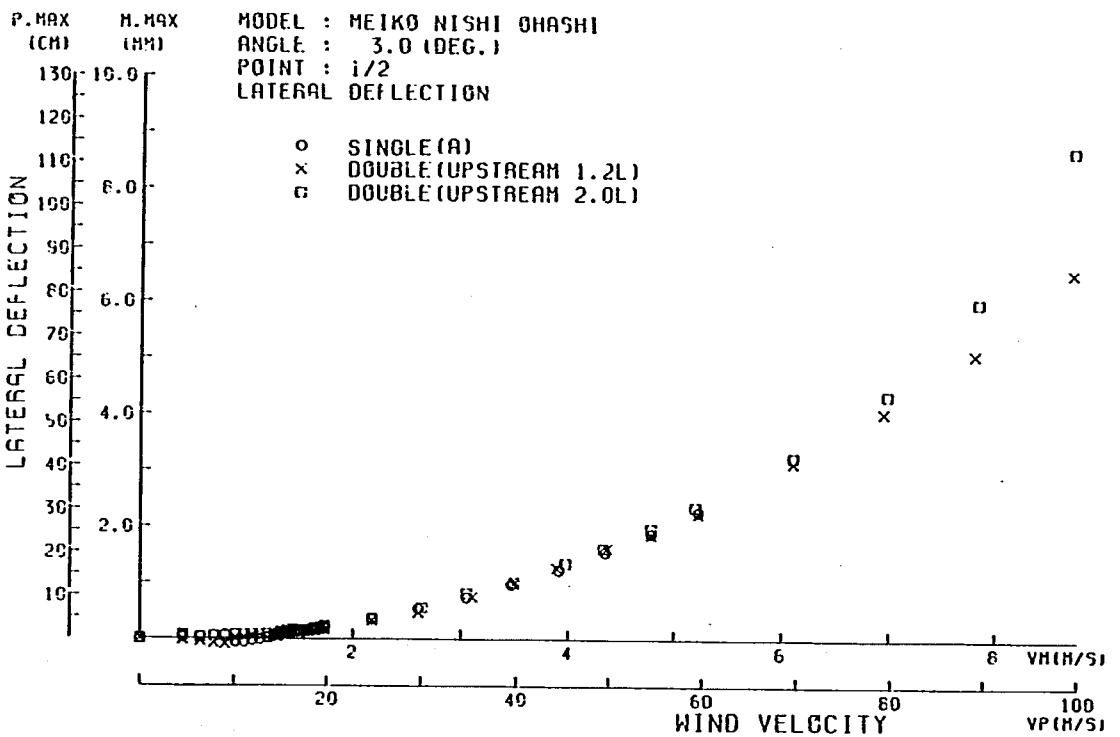


図6-28 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.24)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎角	+3°
単独橋	B
2橋並列	下流

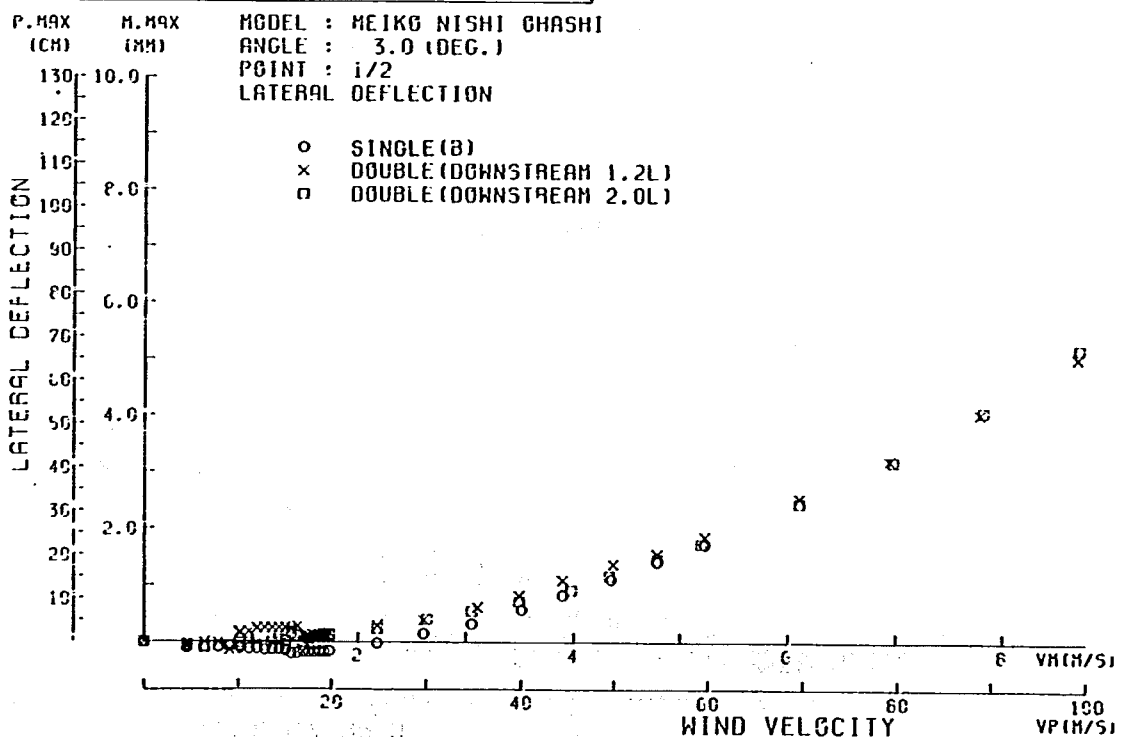


図6-29 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.25)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
羽 角	0°
単 独 橋	A
2 橋 並 列	上 流

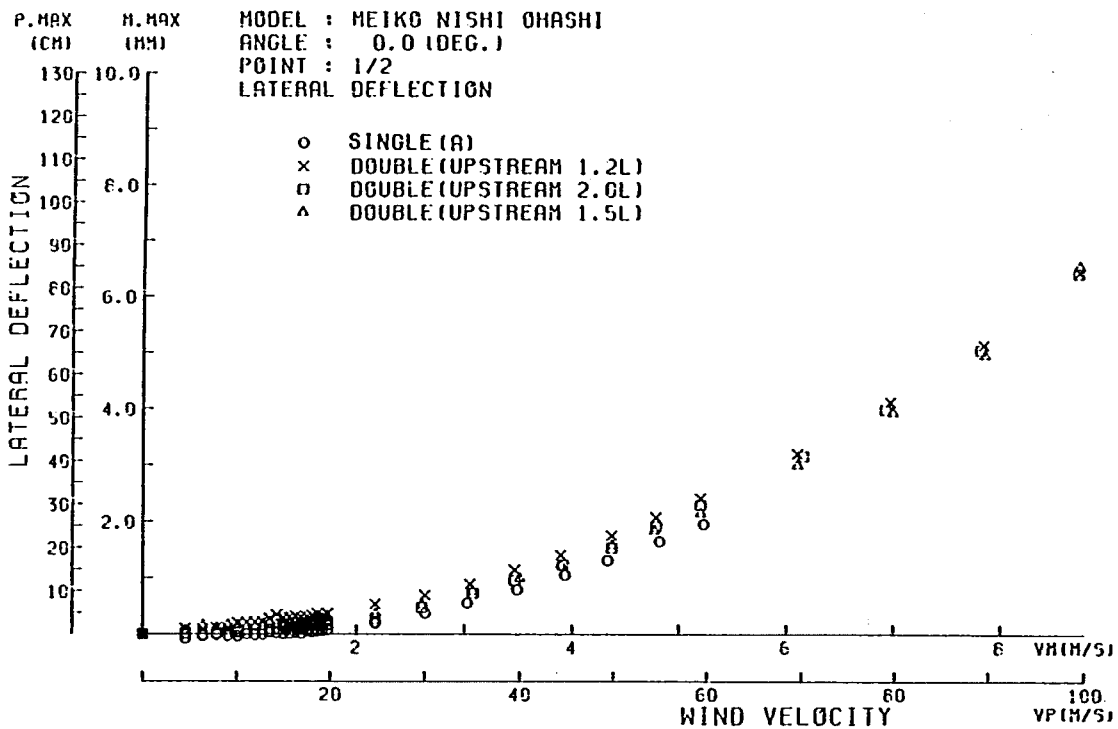


図6-30 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.26)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
羽 角	0°
単 独 橋	B
2 橋 並 列	下 流

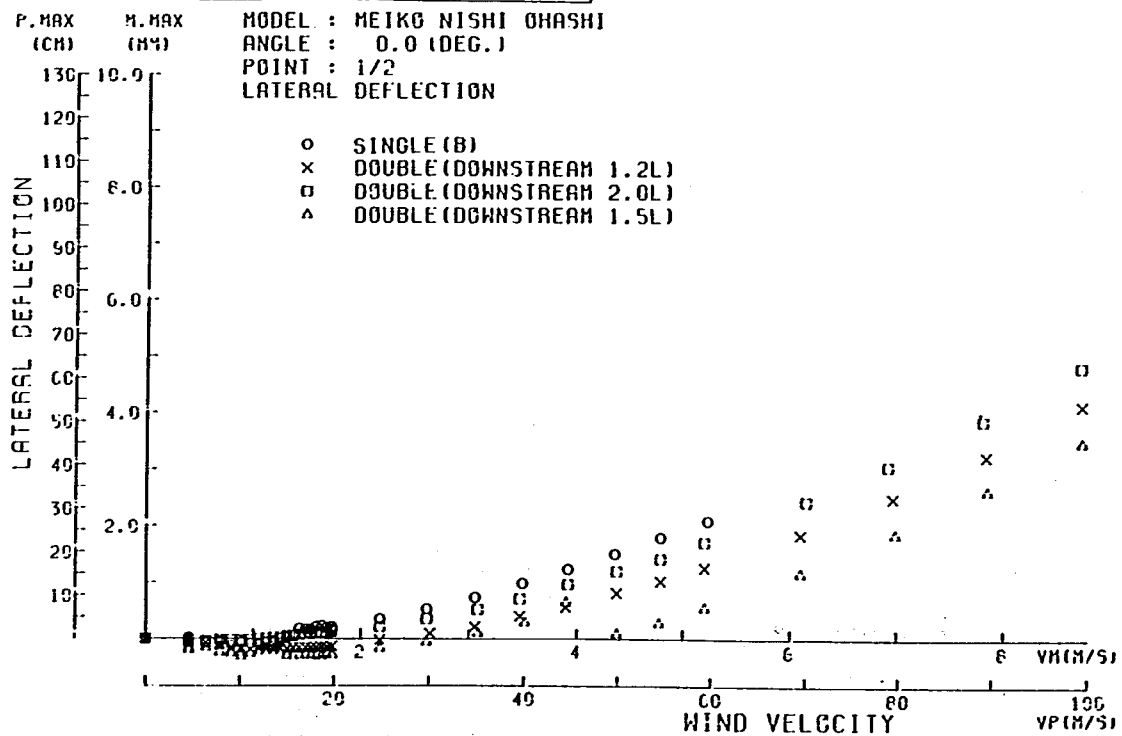


図6-31 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.27)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎角	-3°
単独橋	A
2橋並列	上流

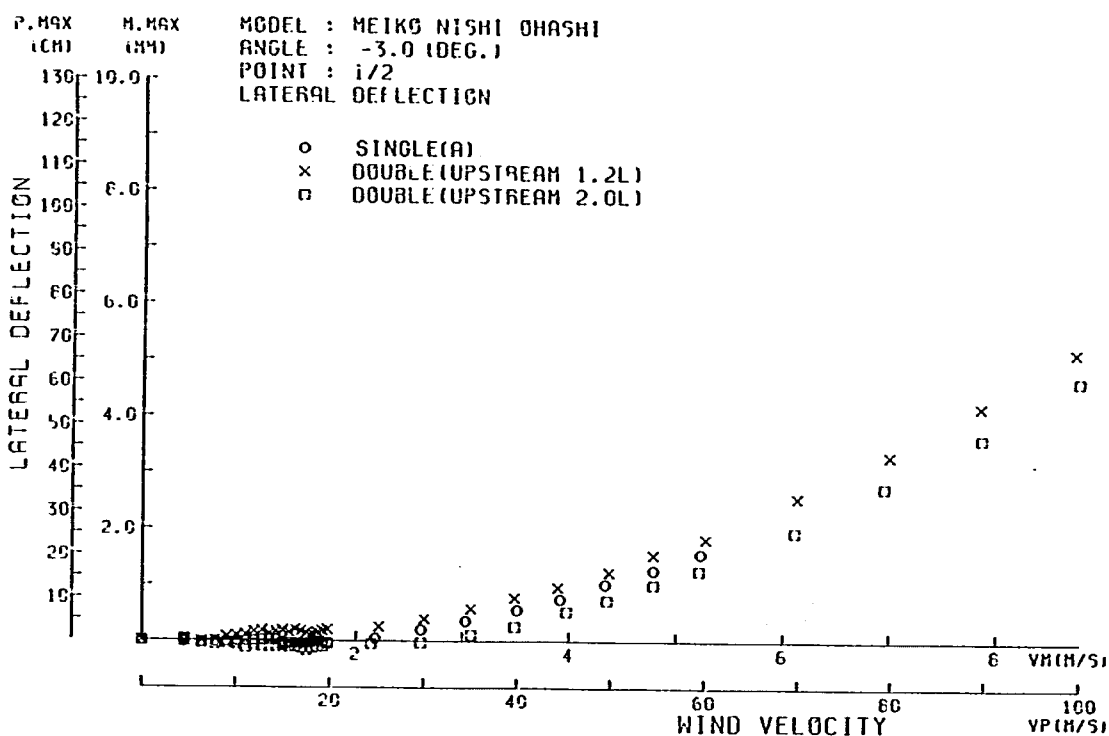


図6-32 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.28)	
成分・測定点	横たわみ・中央径間 1/2
迎角	-3°
単独橋	B
2橋並列	下流

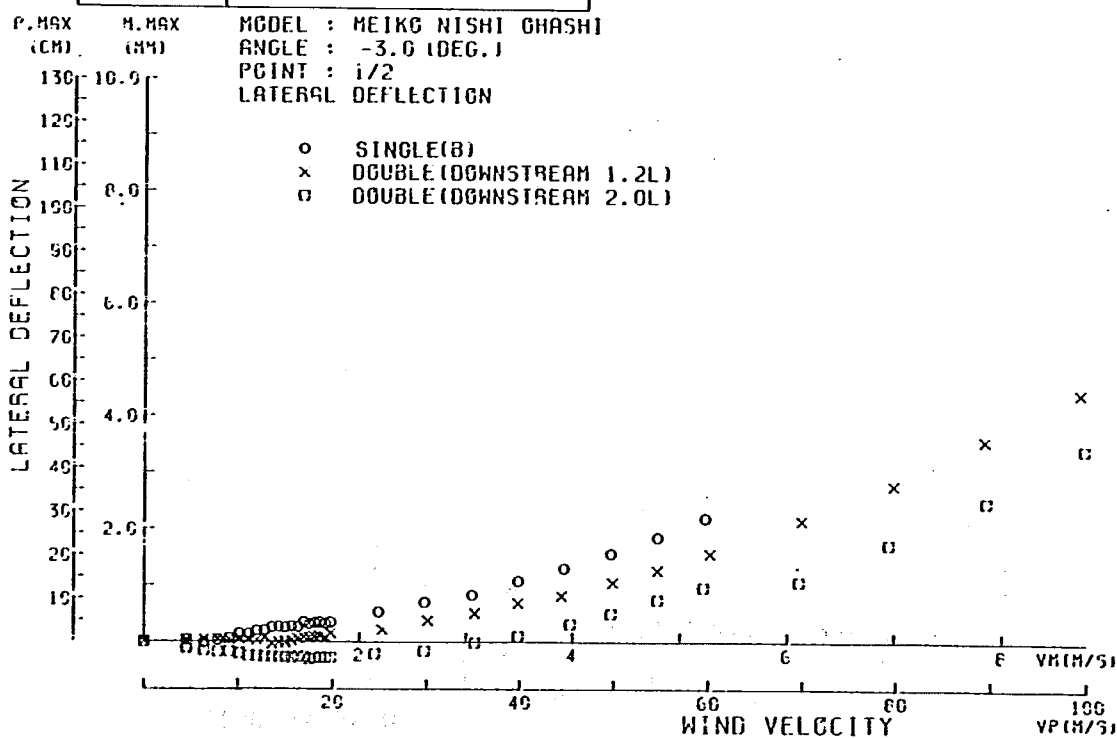


図6-33 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.29)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎角	-5°
単独橋	A
2橋並列	上流

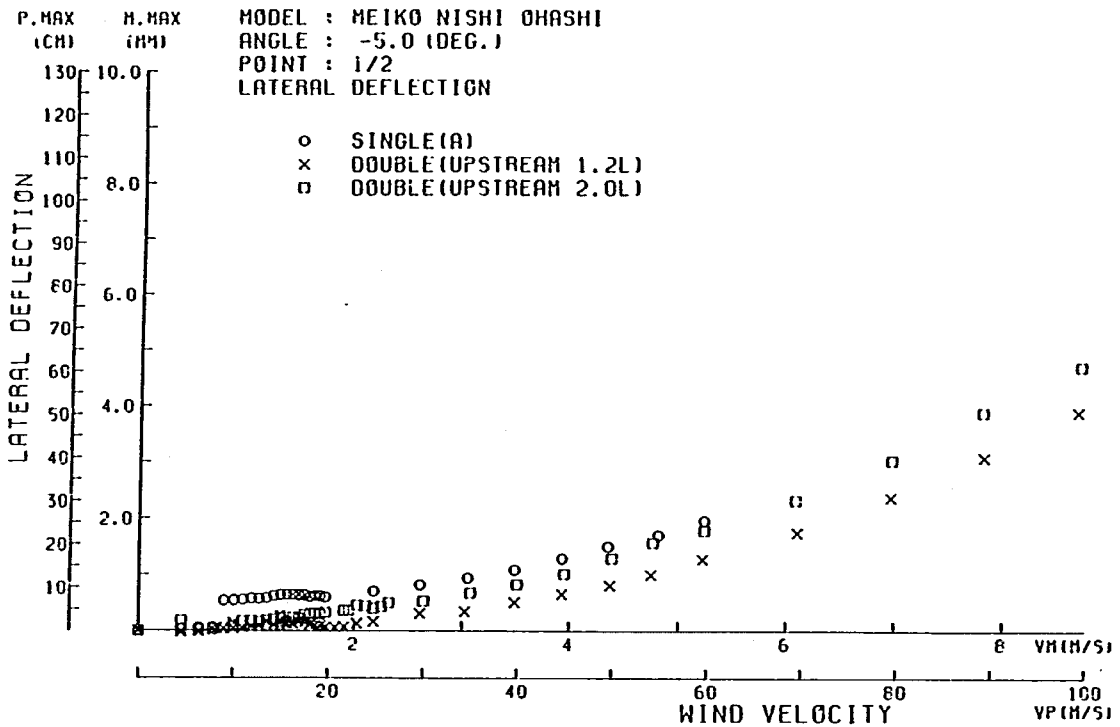


図6-34 単独橋と2橋並列とのV-A比較

単独橋と2橋並列橋とのV-A比較 (No.30)	
成分・測定点	横たわみ・中央区間 1/2
迎角	-5°
単独橋	B
2橋並列	下流

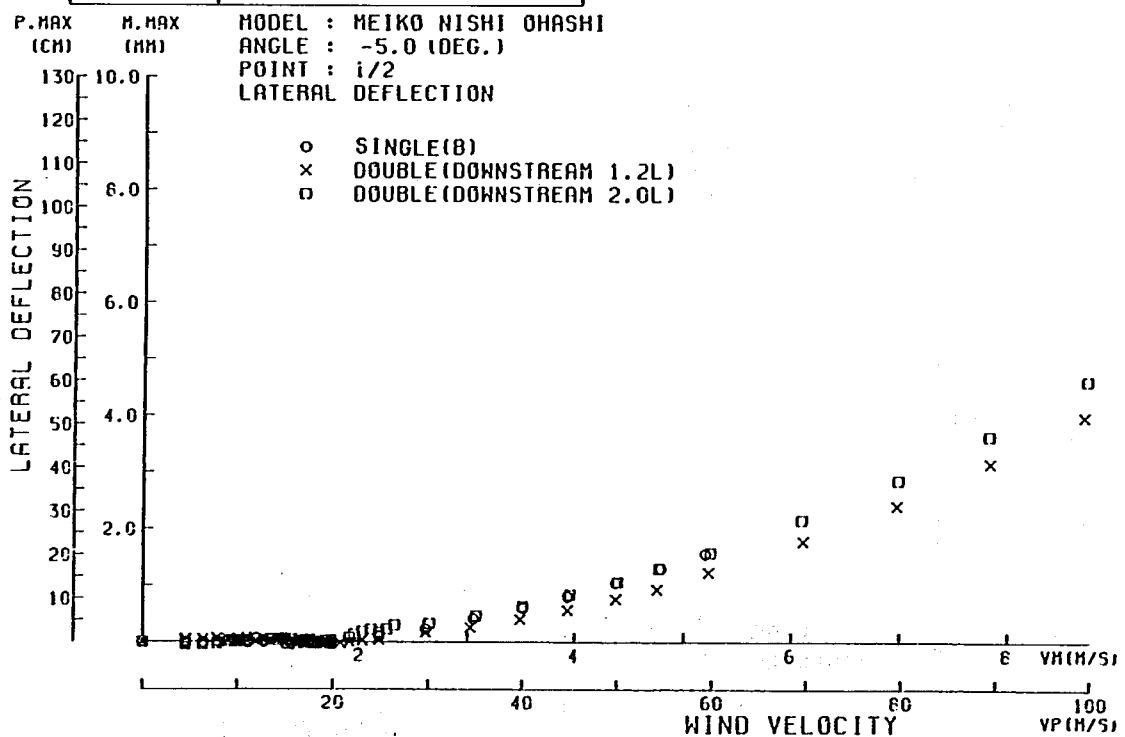


図6-35 単独橋と2橋並列とのV-A比較

7. ま と め

本年度実施した名港西大橋の3次元弾性模型による風洞実験により得られた成果をとりまとめれば以下のとおりである。

- i) 昭和52年度中部地区より提示された名港西大橋の概略設計案に基づき、全径間弾性模型を製作し、一様流中で単独橋および2橋を並列させた場合について風洞実験を行ない、その耐風安定性を検討した。なお、2橋を並列させた場合については、2橋間の純間隔を変化させて実験を行った。その結果、自励振動についてはいずれの場合も良好な耐風性を示しているが、渦励振については、鉛直たわみモードの振動が低風速で発生した。
- ii) 2橋並列することによる影響は、特に下流側橋梁に対して顕著であり、単独橋の振動挙動に対して、発振頻度が増し、高次モードの振動が発生するようになる。また、振動の振幅は、2橋間の純間隔が1.28Lの場合、かなり増幅されるが、純間隔を2.00Lにした場合にはほぼ単独橋の振動振幅に近くなる。
- iii) 渦励振による発振を除けば、鉛直たわみモード、ねじれモード、横たわみモードのいずれについても、設計風速54.5 m/secまではさして問題はないと思われる。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所構造研究室；耐風調査（Ⅶ-1978）土研資料第1468号昭和53年3月
- 2) 成田信之；充腹断面橋桁を有する斜張橋の耐風設計に関する基礎的研究，昭和53年2月
- 3) 岡田功，伊藤学，宮田利雄；耐風構造，丸善，1977
- 4) 建設省土木研究所構造研究室；耐風調査（Ⅶ-1979），土研資料第1561号昭和55年3月

全般的な事柄で参考にしたものは以下のとおりである。

- 1) W.H. Melbourne ; West Gate Bridgewind tunnel tests , Aug , 1973
- 2) H.P.A.H. Irwin and G.D. Schvyler ; Experiments on a full aeroelastic model of Lions Gate Bridge in smooth and turbulent flow , Laboratory Technical Report ; National Research Council Canada , Oct , 1977
- 3) 東京大学橋梁研究室報告 ； 長径間斜張橋の耐風安定性に関する研究（その2）, 1978

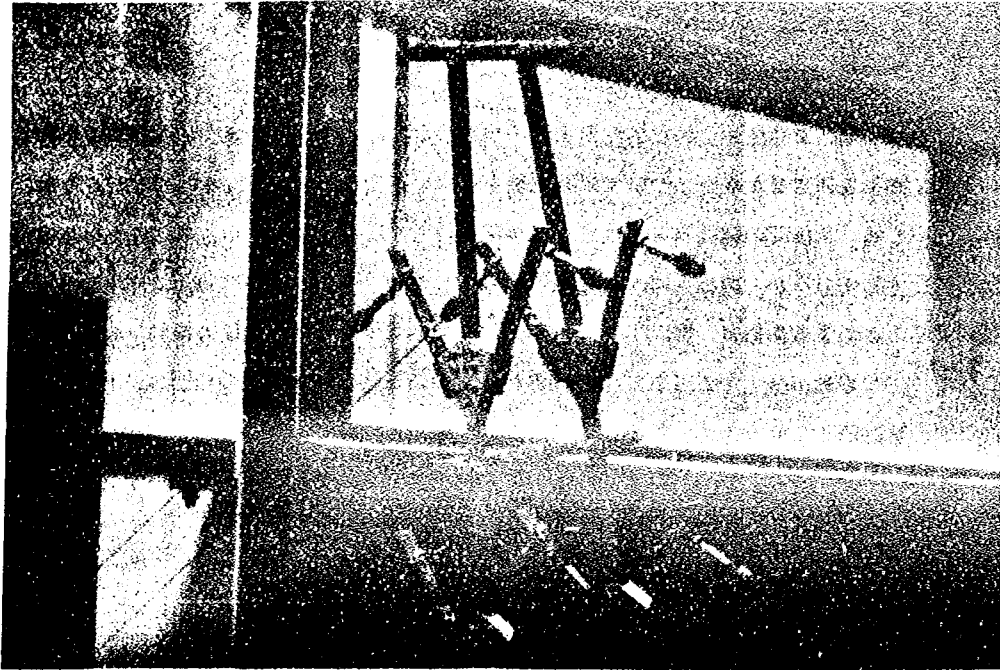


写真-1 ケーブル弾性バネ

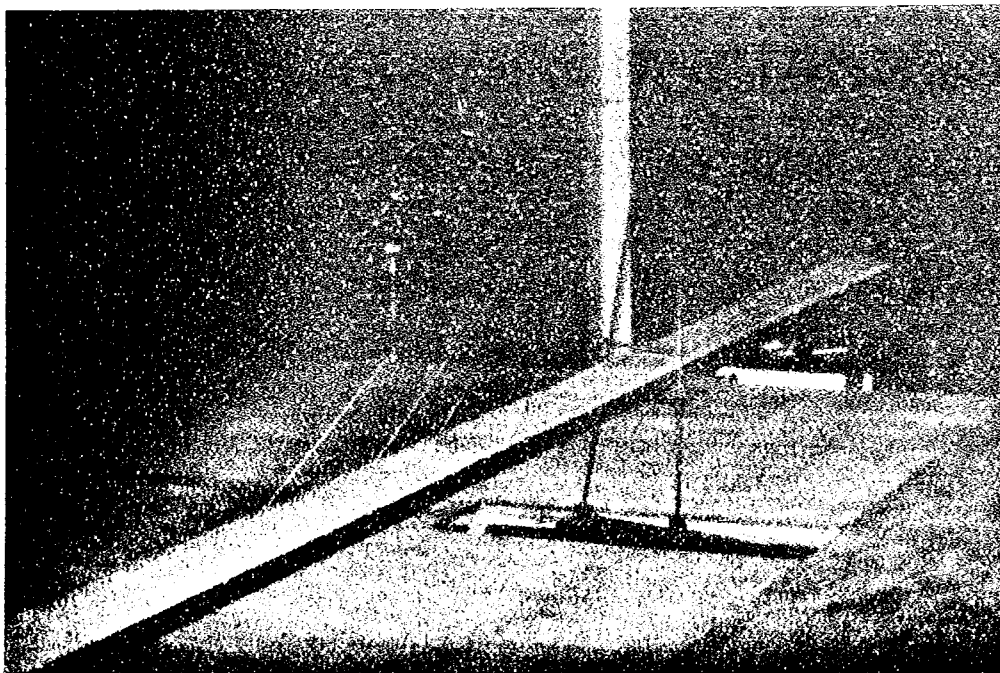
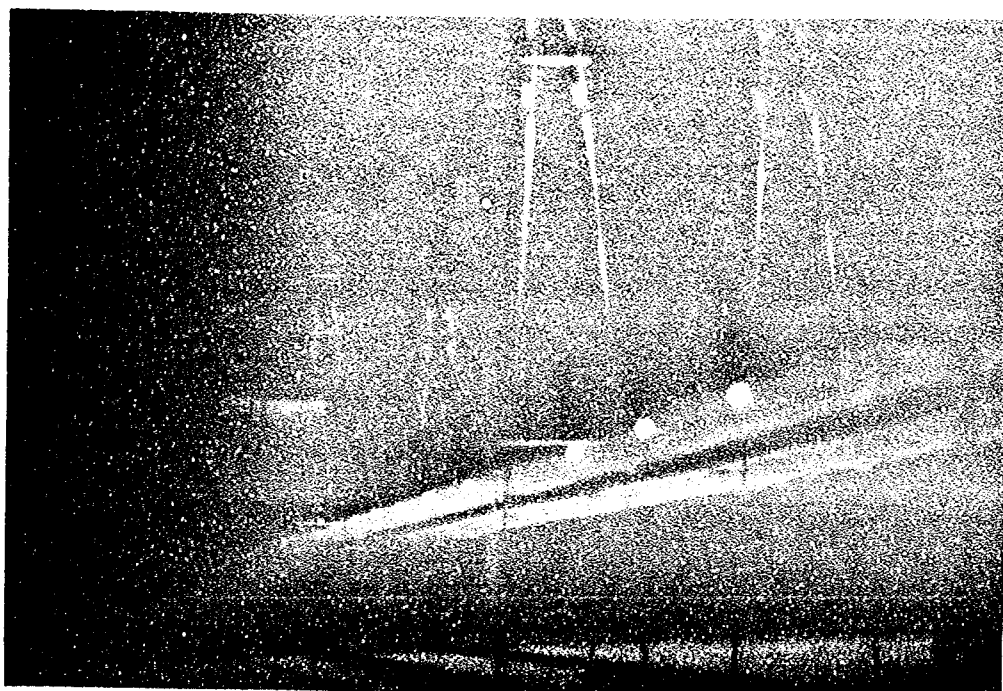
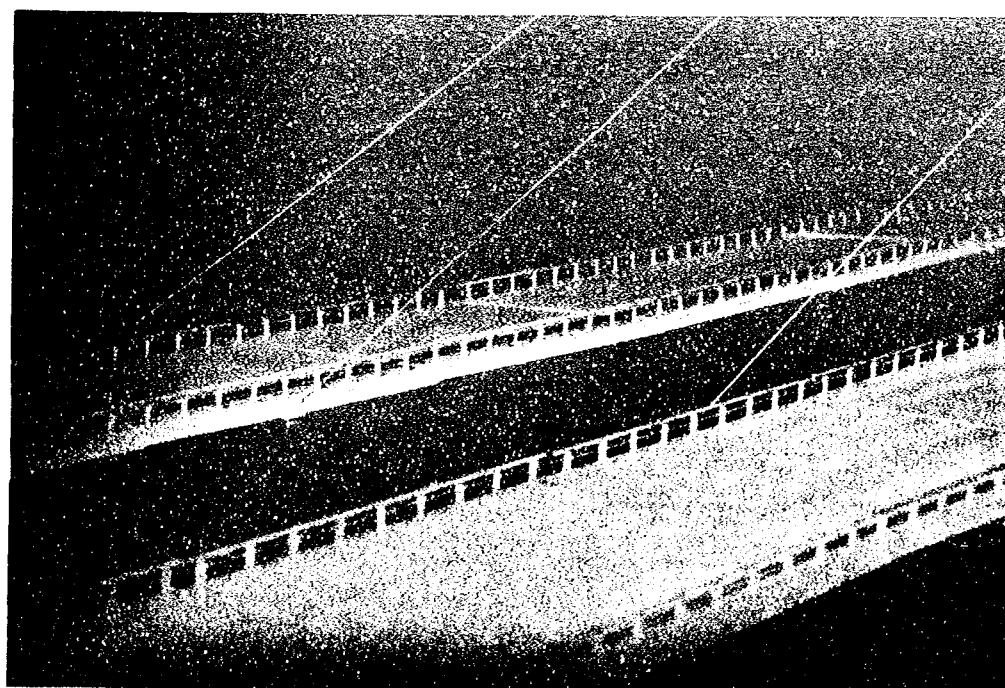


写真-2 単独橋 3次元風洞実験



写真一3 2橋並列3次元風洞実験



写真一4 2橋並列橋桁部

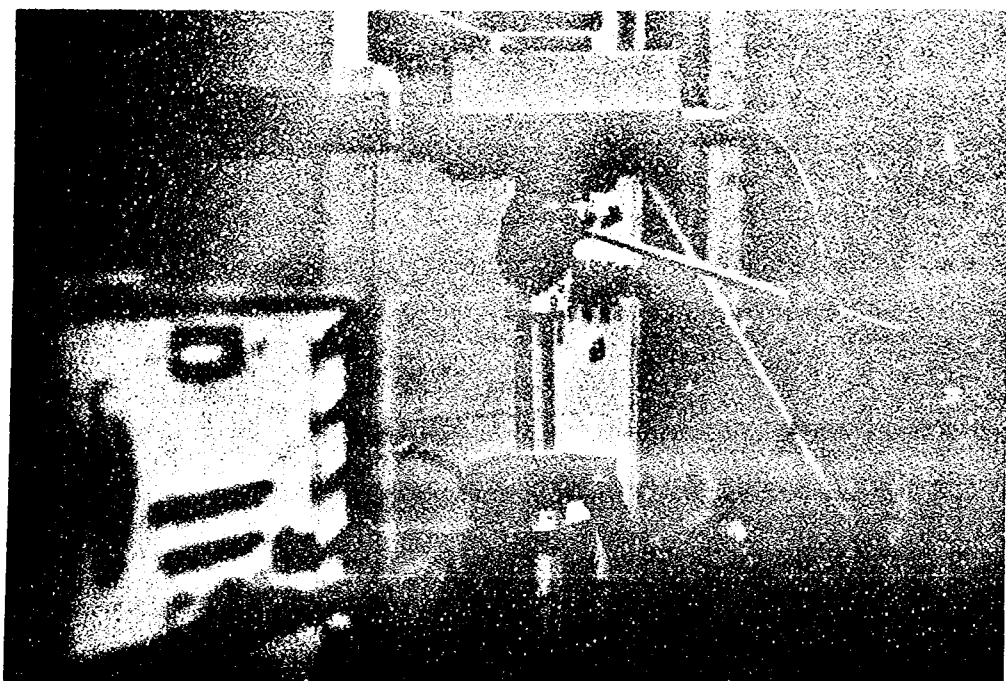


写真-5 非接触電子光学式変位計

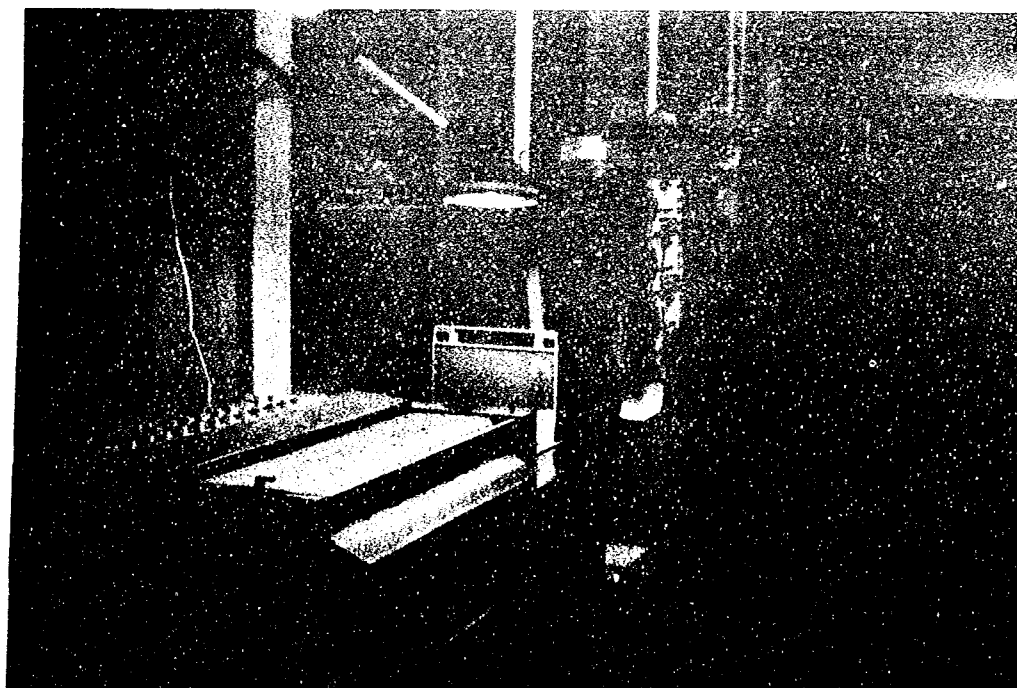


写真-6 データレコーダ、ペン書きレコーダーなど

充腹断面橋桁を有する
斜張橋の3次元風洞実験

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第1654号
昭和56年3月 (1981)

山本・佐藤・水上

キーワード 耐風設計, 自励振動, 渦励振, 斜張橋,
全径間弾性模型, 単独橋, 2橋並列,
3次元風洞実験

要旨

名港西大橋について, 全径間弾性模型により, 単独橋, 2橋並列
の3次元風洞実験を行ない, その耐風安定性を調査した。

郵便はがき

305-□□

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

構造研究室 御中

1

No. 1

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1654号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印