

土 木 研 究 所 資 料

アクティブコントロールによる 耐風制振に関する研究報告書（その2）

平成8年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (1996) 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。

アクティブコントロールによる 耐風制振に関する研究報告書（その2）

構造研究室	室	長	佐藤弘史
	主任研究員	日下部毅明*	
	研究員	松野栄明	
	研究員	松藤洋照	

要 旨

超長大橋梁の耐風安定性の確保する手法の一つとして、アクティブコントロールがある。土木研究所においては、桁からの剥離を制御する新しいアクティブコントロールを開発中である。本報告書は、平成6年～7年度において、開発研究された結果について報告するものである。平成6年度においては、前年度までの開発過程において問題とされた高風速域における不規則振動を制御する手法を開発し、さらに幾つかの断面における効果について検証した。平成7年度においては、渦励振に対する効果およびガスト応答に対する効果が確認された。

キーワード：振動制御、アクティブコントロール、超長大橋、フラッター、渦励振、
ガスト応答、フローパターン制御

ま え が き

明石海峡大橋を越える中央径間を有する超長大橋梁では耐風安定性の確保が重大な課題である。この課題の解決に関しては現在のところ様々な角度から検討がなされており、アクティブコントロールの適用も一つのアプローチとして注目されている。空気力学的アクティブ制御は、風の力を利用したり、有害な外力の方向・タイミングを制御できる点に利点がある。このような視点に立ったアクティブ制御の研究はわが国でもいくつかの例があるが、超長大橋梁の制振対策として十分に効果が確認されたものはまだ提案されていない。土木研究所では、このアクティブコントロール制御の1つの方法を独自に開発している。この方法のフラッターに対する効果は、平成5年度までに確認され、その結果は土木研究所資料第3351号「アクティブコントロールによる耐風制振に関する研究報告書、平成7年3月」としてまとめられている。

本報告書は、前年度までの研究に引き続き行われた平成6年度および7年度の研究成果を取りまとめたものである。

目 次

まえがき

1. はじめに	1
2. 研究の概要	2
2. 1 剥離せん断型アクティブコントロールの概念	2
2. 2 研究の概要	2
2. 3 制御方法	3
3. バネ支持実験	4
3. 1 実験条件等	4
3. 2 実験結果	4
4. 空気力の計測	35
4. 1 非定常空気力の計測試験	35
4. 1. 1 計測方法	35
4. 1. 2 計測結果	35
4. 1. 3 フラッター解析	36
4. 2 3分力の計測	36
4. 2. 1 計測方法	36
4. 2. 2 計測結果	36
5. まとめ	42
参考文献	42
付図	43

1. はじめに

明石海峡大橋を越える中央径間を有する超長大橋梁では耐風安定性の確保が重大な課題である。この課題の解決に関しては現在のところ様々な角度から検討がなされている。アクティブコントロールの適用も一つのアプローチとして注目されている。アクティブコントロールを風による振動に適用する場合、他の分野におけるアクティブコントロールのあり方と本質的に相違する部分がある。それは、風の力は地震や交通振動などと異なり、有害な外力の方向、タイミングを制御できる点にある。このことは単に風の力の悪影響を避けるだけではなく、これを積極的に利用する可能性があることを意味する。外力が制御不能な場合のアクティブ制御では外力に十分に対抗できる動力を有する制御系が必要とされる。これに対し、風による振動の場合は、翼状の部材を動かすだけの動力で、外力を無害化したり、風から有益な力を得たりすることができる。

土木研究所では、この空力的なアクティブコントロール制御の1つとして、橋桁に設置したゲートを制御することにより剥離のパターンを変化させることにより、耐風安定性に対して有害な空気力をコントロールする「剥離せん断層攪乱型アクティブコントロール」を開発している。この方法のフラッターに対する画期的な効果は平成5年度までに確認されている。

平成6年度には、前年度に引き続き、より効果の高いゲートの制御手法に関する検討、5年度までに効果が確認されたもの以外の断面への効果の確認、および代表的なケースに対する非定常空気力の計測が行われ、平成7年度には、渦励振およびガスト応答に対する検討、静的な3分力の計測が行われた。ここに、これらの結果を報告する。

2. 研究の概要

2. 1 剥離せん断層攪乱型アクティブコントロールの概念

この手法は、鉛直に振動する平板（ゲート）によって流れのパターンを攪乱し、空力振動現象を抑制するものである。ゲートは橋桁の変位の情報に基づいてコンピュータによって制御される。制御の主要パラメータは、ゲートの振幅およびゲートの変位と橋桁本体の変位との位相差などである。

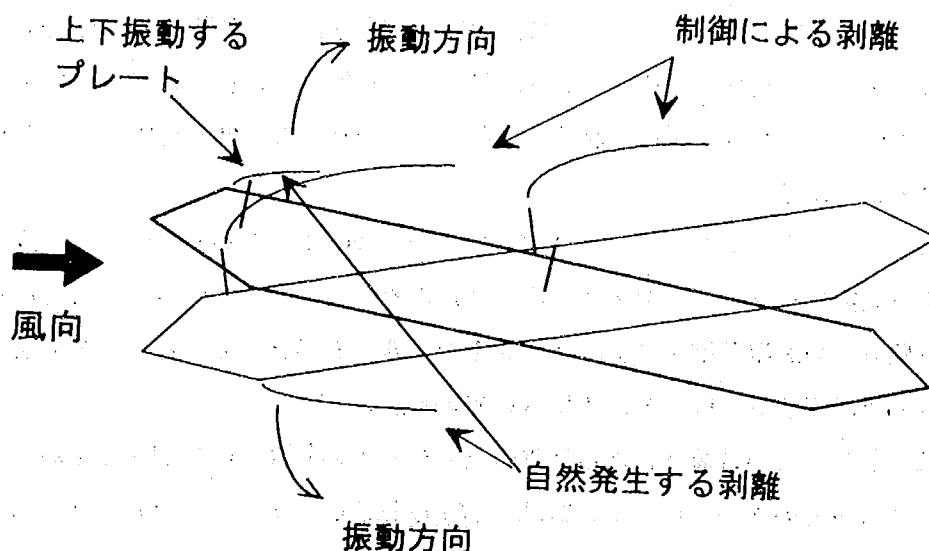


図-2. 1 剥離せん断層攪乱型アクティブコントロールの概念

2. 2 研究の概要

平成5年度においては、図-2. 1 に示される様な基本的な六角形の断面について、バネ支持実験によりフラッターに対する効果の確認を行った。バネ支持実験は、ゲートの設置位置、ゲートを制御する際における橋桁本体との位相差の効果および制御を行う際の振幅に着目して行われた。

平成5年度における成果を以下にまとめる。

- ・ダイバージェンスにより実験不能となる風速まで、フラッターが抑えられることが明らかになった。
- ・制御ゲートと橋桁本体の位相差は制振効果を決定する重要なパラメータであることがわかった。但し、制振効果が発揮される位相差の範囲は広く、位相差を変えても効果には顕著な変化が見られなかったため、制御の安定性は高く、実用上好ましい。

- ・明確なフラッターは発現しないが、高風速域において、不規則な振動が制御翼によって励起された。

これらの詳細は、土木研究所資料第3351号「アクティブコントロールによる耐風制振に関する研究報告書、平成7年3月」にまとめられている。

以上の結果を踏まえ、平成6年度においては、主として高風速域における不規則振動を抑えるため、新たな制御法の検討が行われた。また、基本とした6角形断面の他に、より実際の橋梁に近い断面に対しても検討を行った。さらに、代表的な1ケースに対して、非定常空気力を計測した。

平成7年度においては、主としてガスト応答、渦励振といったフラッター以外の風による振動現象に対しての効果の確認実験を行った。

2. 3 制御方法

実験に用いた模型のシステムを図-2. 2に示す。制御翼位置は3箇所とし、同時に2つまでの制御翼を動作可能とした。使用言語はC言語であり、コンピュータ内部のタイマによる割り込みを利用して、100分の1秒単位で時間がわかるようにしている。プログラムは模型応答のピークを探索することで振動数、振幅、その時点での位相を算出し、これに応じて所要の位相差および振幅で制御翼を出し入れするものである。

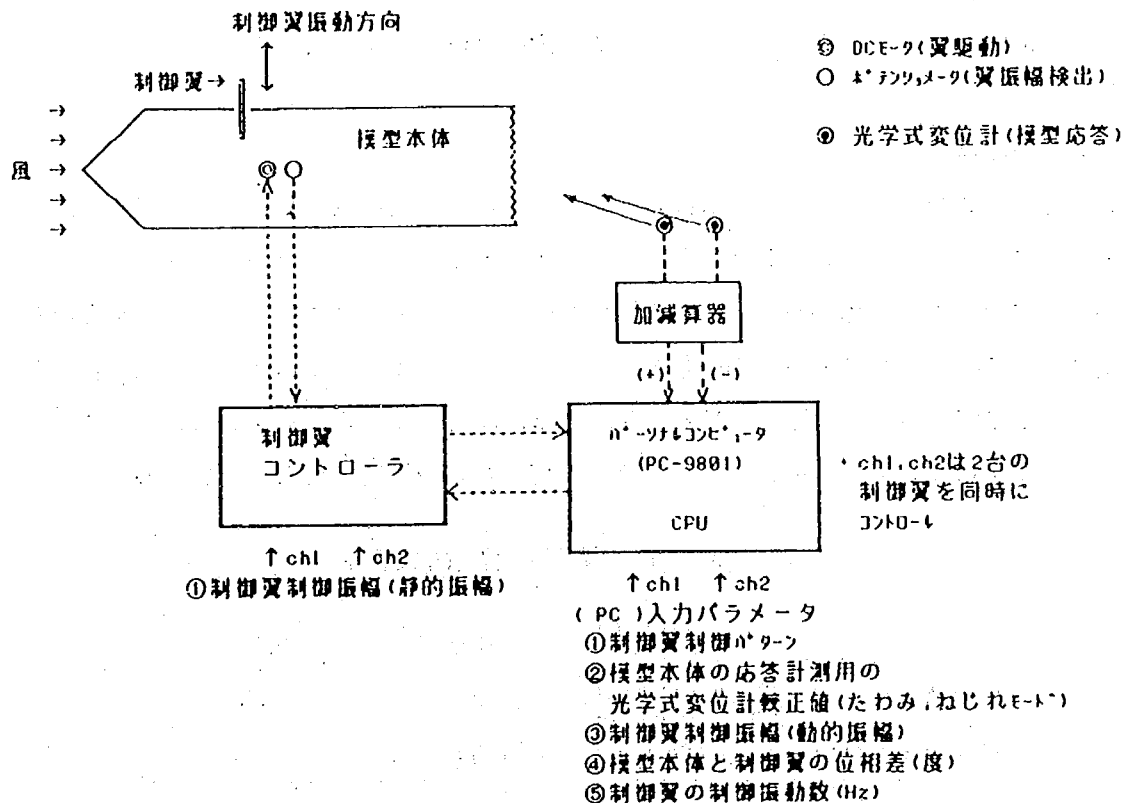


図-2. 2 アクティブ制御システム

3. バネ支持実験

3. 1 実験条件等

実験は土木研究所の非定常空気力風洞（図－3. 1）を用いたバネ支持実験（図－3. 2）である。

実験に用いられた模型の断面図および制御ゲートの設置位置を図－3. 3に示す。

模型の支持は、たわみおよびねじれの2自由度を基本とし、渦励振の照査については1自由度で支持した。実験条件を表－3. 1に示す。

平成6年度においては、ねじれの構造減衰は通常設計に用いられる値に比べてやや大きくなったがフラッターの効果の照査に対しては問題がないと判断した。平成7年度の実験においては、装置の改造により構造減衰の値を通常程度まで下げることができたが、平成6年度と比較して風速倍率および極慣性モーメントが若干上昇している。

3. 2 実験結果

平成6年度の実験ケースを表－3. 2、平成7年度の実験ケースを表－3. 3に示す。

（1）制御方法の検討

平成5年度の実験では、フラッターは抑えられたものの、高風速域において不規則な振動が生じた（図－3. 4参照）。これは、制御ゲートからの剥離せん断流により、セルフバフェッティング的な不規則振動が生じているものと思われる。この不規則振動の制御および制御効率・信頼性を高めるため、平成6年度においては、新たな制御方法を考案し、高風速域におけるより安定した制御を行うための実験を行った。ここで確認された制御方法を表－3. 4および図－3. 5に示す。これらの方法は、本体と適当な位相差を保ち振動を制御するという点では、同一の原理に従ったものといえる。

表－3. 1 実験条件（代表値）

		平成6年度	平成7年度
重量	(kgf)	11.98	11.93
極慣性モーメント	(kgf·cm·s ²)	1.69	2.01
振動数 (Hz)	たわみ	1.61	1.74
	ねじれ	2.15	2.30
振動数比		1.34	1.32
構造減衰 (対数減衰率)	たわみ	0.020	0.020
	ねじれ	0.032	0.020

表-3. 2 実験ケース総括表 (平成6年度)

実験 No.	迎角 (度)	断面 形状	制御翼 位置	制御 手法	気流	備考
1	0	基本	なし	—	一様流	前年度確認実験
2			①	5		//
3			①	7種類		新制御方式の模索
4			①	3種類		
5			②	3種類		
6			①	最適		
7	0	A	なし	—		
8	+3		なし	—		
9	0		②	最適		
10	+3		②	最適		
11	0	B	なし	—		
12			①	最適		
13	0	A	①-③	最適	一様流	制御翼位置変更
14	0	B	①-③	最適		//
15	+3		①-③	最適		//
16	0	C	①	最適		//
17			なし	—		//
18	0	基本	なし	—	乱流	
19	0		なし	—		構造減衰アップ
20	0		①-③	最適		

表-3. 3 実験ケース総括表(平成7年度)

ケース	対象	気流	迎角	断面	制御パターン	設置位置	風速	備考
1	フラッター	一様流	0°	基本	—	—	全風速	基本特性
2					探索	①	1風速	パラメータの効果、制御の探索
3					5		全風速	昨年度の実験との比較
4					5		フラッター発現以降	ゲインを変化させ、データの取得
5			-3°	B	—		全風速	矩形断面の基本特性
6					8	①+③	全風速	昨年度の実験との比較
7	渦励振 (BEND) (TOR)	一様流	-3°	D	—	—	全風速	渦励振に対する基本特性 (-3°)
8					5	①、②、③	渦励振発現風速	最適位相差、ゲインの検討
9			0°		—	—	全風速	渦励振に対する基本特性 (0°)
10					5	①、②	渦励振発現風速	渦励振の効果、最適位相差の検討 (0°)
11					5	①、②	渦励振発現風速	渦励振の効果、最適位相差の検討 (0°)
12			+3°		—	—	全風速	渦励振に対する基本特性 (+3°)
13					5	①	渦励振発現風速	渦励振の効果、最適位相差の検討 (+3°)
14			0°		5	①、②	0～5m/s	v-a-δ用データ
15	ガスト応答 (乱流中フラッター)	乱流	0°	基本	—	—	全風速	乱流中の基本特性 (0°)
16					A, B, C	①、①+③	全風速	乱流中の制御の効果の確認 (0°)
17			+3°		—	—	全風速	乱流中の基本特性 (+3°)
18					A, B, C	①、①+③	全風速	乱流中の制御の効果の確認 (+3°)
19			+0° +3°		モータのみ制御	①、①+③	全風速	マスダンパー効果の確認

表－３．４ 適用を試みた制御方法

パターン番号	制御法	解説
1	直接変位制御	変位にゲインを乗じ、これを制御量として直接使用
2	直接速度制御	速度にゲインを乗じ、これを制御量として直接使用
3	Bang-Bang制御	変位、速度が正もしくは負の条件を満たしたとき一定量制御を行う
4	振幅1.5乗制御	本体振幅の1.5乗に比例して特定の位相差で制御する
5	振幅一定制御	本体振幅に無関係に本体振動と一定の位相差の正弦波で制御する
6	倍振動数制御	本体の倍の振動数の正弦波で制御する
7	直接変位速度制御	パターン1および2の重み付き和で制御する
8	多段階振幅制御	振幅一定制御を本体振幅の範囲に応じて一定の振幅で制御する
9	多段階振幅+Bang-Bang制御	パターン8の最小振幅時をBang-Bang制御とする

第1段階として、1～7までの制御パターンに対して検討が行われた結果、パターン2、3、5に良好な効果が認められた。このときの、パターン3、5の制御量は11mmである。これらの制御は図－3.7に示されるとおり、ダイバージェンスが発生する風速までフラッターは制御されている。しかしながら、無制御時のフラッター発現風速以上においては、模型に比較的大きな初期加振を与えるとフラッターが発生する、応答のリミットサイクルが見られた。この現象は、ゲートの制御振幅量を大きくすればするほど、大きな初期加振まで耐えることができるようになるが、逆に前述した高風速における不規則振動は大きくなる。結局、このトレードオフは、桁の応答振幅に応じてゲートの制御振幅量を変化させることにより、回避することが可能となった。具体的には、振幅一定制御を本体振幅の範囲に

応じて一定の振幅で制御する方法（パターン8；多段階制御）によった。（図-3.6）。また、フラッターが制御された後に振動が不規則なものに移行してからは、振幅一定制御よりもBang-Bang制御の方が効果が大きいことが明らかになった（パターン9；多段階制御+Bang-Bang）。この理由は、不規則な振動においては、制御プログラムの関係上、設定した位相差で制御ができなくなり期待した効果が得られなくなるためと思われる。制御パターン2, 3, 8, 9について比較を行った結果を図-3.7に示す。

以上の結果を踏まえ、平成7年度においては、フラッターの発現に対するゲート制御についてより詳細に検討した。まず、フラッターの制御が可能な制御振幅量を把握するために、フラッター発現風速を超える風洞風速9.2m/sおよび9.8m/sにおいて、桁を加振した場合、どの程度の振幅でフラッターが発現するか、ゲートの制御量を変化させて把握した（図-3.8）。この結果より、同一風速においては、ゲートの制御量を大きくすればするほど、大きな加振振幅に対してもフラッターの制振が可能となり、フラッターの発現に対する加振振幅とゲートの制御量との関係はほぼ直線になっていることが確認された。また、異なった風速に対しては、高風速ほどフラッターの発現を抑止するのに必要な制御量が大きくなることが明らかになった。

平成6年度の実験においては、桁の振幅に応じて多段階に制御を行う方法が最も良好な結果が得られたが、平成7年度においては、桁の振幅にゲインを乗じた制御を行う方法（線形制御）および、桁の振幅に対し指数的に制御量を決定する方法（指数制御）についても検討を行った（図-3.6）。その結果、線形制御の場合は微小振幅においてフラッターを発現するフローパターンを許してしまい、制御効果が桁の振幅の増大に追従できない。一方、指数制御の場合にはフラッターに対する制御効果は十分追従するものの、ゲートの振幅が急激に大きくなるため、ゲートからの剥離による不規則振動の増大を招く（図-3.9）。以上の結果より、振幅量に応じて敏感に制御を行うよりも、多段階制御のような、安定した制御振幅量によりコントロールを行う方がより良好な効果が得られることが明らかになった。

（2）様々な断面に対する効果

上下対象の6角形断面（基本断面）に対する効果の他に、図-3.2に示されるA～Cの断面に対して効果の確認を行った。各断面の基本フラッター特性を図-3.10に示す。フラッターの発現風速は基本断面が最も高く、断面A、B、Cの順に低下する。これらの断面に対しアクティブ制御を行ったものを図-3.11に示す。いずれの断面に対してもフラッターの発現風速を上昇させることができたが、この図において断面Bのみは桁の上下のゲート（設置位置①、③）に対して制御をおこなったデータが示されている。断面Bについては、上側のゲートの制御のみでは無次元風速8.0付近においてフラッターが発現してしまい、桁の上下のゲートを制御しなければ、ダイバージェンス発現までフラッターを抑えることができなかった（図-3.1.2）。また、断面Cは、桁の下側（設置位置①）に部材を設置したため、上側のゲートのみしか制御できない。そのためもあって、無次元風速4.2程度でフラッターが発現した。これらの結果より、フラッターに対する剥離コントロールの効果は、断面形状がスレンダーなほ

ど高いと考えられる。この理由としては、同風速では断面が鈍いほど自然に発生する剥離が大きく、ゲートによって発生させる剥離の効果が相対的に小さくなるためと思われる。

また、断面Aについては、設置位置②と比較し、設置位置①では良好な効果が得られなかった。この理由としては、上流側に断面が延長されているため、ゲートの設置位置が相対的に桁の内側になり、桁前縁の剥離流の中に入りやすくなったためであると思われる。

(3) 渦励振に対する効果

一連の渦励振に対する効果の効果を調べる実験は、ねじれもしくはたわみ1自由度で行った。断面は、無制御時に渦励振が発生するような、2主桁を想定した断面(D断面)で行った。無制御時のV-A図を図-3. 13に示す。無制御時の構造減衰は、 $\delta=0.02$ を目標としたが、アクティブ制御時には後述するAMD効果の影響が最も小さくなるように、構造減衰が最も小さくなるようにした。 $(\eta/B=0.005$ 時、 $\delta=0.011)$

まず、制御位相差の効果を調査するために、渦励振の振幅が最も大きい風速(たわみ; 1.93m/s , ねじれ; 1.31m/s)において、位相差を変化させ、振幅を計測した。このときの制御量はたわみ 7mm 、ねじれ 5mm である。

迎角 $+0^\circ$ 、たわみ方向の渦励振に関して、ゲートの設置位置①においては、位相差 $0^\circ \sim 120^\circ$ 程度まで、設置位置②においては位相差 $60^\circ \sim 120^\circ$ 程度までにおいて、渦励振は発生しなかった(図-3. 15)。但し、本制御手法は、ゲートが構造物本体と同一振動数で制御されるため、位相差によってはモータの回転慣性やゲートの慣性力による力が作用する。本アクティブコントロールでは、この効果をアクティブマスダンパーとしての効果という意味でAMD効果と呼んでいる¹⁾。この力については、模型と実機との間に相似性は無いため、この効果の影響を明らかにする必要がある。特に渦励振はある程度の減衰の付加により渦励振を制振することが可能なため、効果の把握のためにはそれを明確に分離して考える必要がある。そのため、AMD効果を把握するために、無風時の対数減衰率を計測した(図-3. 14)。この図における無制御①~⑤は、加振減衰器により構造減衰を変化させたものである。この図より、加振減衰器によって構造減衰を変化させた場合と比較し、AMD効果は、小振幅において急激な構造減衰の変化をもたらしていることがわかる。図-3. 15においては、前述した渦励振発生風速における応答振幅量の他に、ゲートの制御位相差に対する構造減衰の変化($\eta/B=0.005$)を示している。この図によると、一般的には減衰が大きい位相差において振幅も小さくなっているが、同じ程度の減衰においても振幅量が大きく異なるところがあり、AMD効果以外に、確実にアクティブ制御の効果が表れていることを示している。また、設置位置に関しては、①と②の無風時対数減衰率が殆ど等しいにもかかわらず、設置位置①の方が振幅が小さくなっている。特に設定位相差 $0^\circ \sim 50^\circ$ 付近については、設置位置②では振動を示すのに対し、①では制振が可能となっており、桁縁に近い方が渦励振に対する効果が大きいことがわかる。制御時、無制御時において無風時対数減衰率と振幅の関係を示したものが図-3. 16である。図-3. 14と図-3. 16とを比較検討することにより、制御の効果を読みとることができ

る。

ねじれ方向の渦励振に対しても、たわみ方向と同様の考察を行えば、図-3. 14、図-3. 17および図-3. 18より、設置位置②については制御効果が確認される。例えば、制御位相差 100° で制御を行った場合には、図-3. 17より渦励振が発生していないこと、 $\theta=0.5^\circ$ の対数減衰率が $\delta=0.03$ 程度であることが読みとれる。図-3. 14からは、制御位相差 100° の場合の構造減衰は最大でも $\delta=0.04$ 程度であることがわかる。さらに、図-3. 18には、無制御の場合、 $\delta=0.04$ 程度でも渦励振が発生していることが示されており、アクティブコントロールの渦励振に対する制御効果を確認することができる。一方、設置位置①については、設置位置②よりもAMD効果が大きく、構造減衰が非常に大きくなってしまい（図-3. 14、図-3. 17）、制御効果があるかどうか判然とはしない。

迎角 0° の場合において、無制御時と、効果があることが明らかな制御（たわみ；設置位置①、位相差 0° 、ねじれ；設置位置②、位相差 110° ）を行った時の $V-A-\delta$ 図（ δ は空力減衰）を示す

（図-3. 19、図-3. 20）。これらの図より、無対策において渦励振が生じていた風速域において、無対策時と比較して減衰が大きくなっており、渦励振発生域において、たわみで $0.01 \sim 0.04$ 、ねじれで $0.01 \sim 0.03$ 程度は減衰が大きくなっていることがわかる。

迎角 $\pm 3^\circ$ の場合についても同様の実験を行った。 $+3^\circ$ の場合には設置位置②では、効果が見られなかったが、設置位置①ではたわみ方向に関しては、迎角 0° と同等程度の効果が見られた（図-3. 21、図-3. 22）。この理由としては、設置位置②については、 $+3^\circ$ の場合には模型の死水領域に入ってしまうため効果が無いものと考えられる。一方、 -3° の場合については、渦励振の振幅量を減少させることは可能であったが、完全に制振するまでには至らなかった（図-3. 23、図-3. 24）。また、設置位置については、①と②でほぼ同じ程度の効果が示された。

ところで、渦励振の対策として剥離点を複数個作り、桁からの剥離を干渉させ剥離せん断流を小さくする手法があるが、本コントロールによっても、桁縁からの剥離とゲート上部からの剥離が干渉している可能性がある。従って、ゲートの高さを、たわみ；7mm、ねじれ；5mmに設定した静的な状態との比較を行った。その結果、いずれの設置位置に対しても、基本断面の場合より振幅量は大きくなる傾向にある（図-3. 25）。これより、アクティブコントロールの効果は、単に桁からの剥離を小さくするものではなく、桁縁からのアクティブにゲートを制御することにより、加振力となる渦の発生パターンをキャンセルするようなフローパターンを発生していることが推察される。

なお、これらの制御は、たわみ；7mm、ねじれ；5mmの制御量でゲートをコントロールしているが、制御量を今以上に大きくすれば、効果が大きくなることも予想される。しかしながら、本実験においては、これ以上の制御量でコントロールを行うと、マスダンパー効果が大きくなりすぎ、空力的な効果を分離して把握することが極めて難しくなったため、とりあえず効果の確認できうと思われる制御量で実験をおこなった。

(4) ガスト応答に関する効果および乱流中のフラッターに対する効果

ガスト応答に対する効果の確認は、格子によって乱流を発生させ、その変動風速による応答に対して制御させることにより行った。変動風速のP. S. D. Fを図-3. 26に、気流の特性を表-3. 5に示す。格子乱流のため自然風と比較すると乱れスケールはかなり小さく、主流方向の乱れ強さと比較して鉛直方向の乱れ強さが相対的に大きい。しかし、ガスト応答への効果の有無を評価するには差し支えないと判断した。ガスト応答に関する制御については、Bang-Bang制御を基本とした、3種類のパターン（制御A～C）で実験を行った（表-3. 6）。

表-3. 6 ガスト応答に対する制御方法

制御パターン	制御のタイミング	
	ゲート設置位置①	ゲート設置位置②
制御A	たわみ速度および変位が負の時に制御	①のゲートから一定の遅れ時間で制御
制御B	たわみ変位が正、ねじれ変位が負の時に制御	たわみの変位が負、ねじれ変位が正の時に制御
制御C	たわみ速度および変位が負の時に制御	

平成6年度の実験においては、鉛直たわみのガスト応答を対象とした。従って、制御の際の入力信号は鉛直たわみ変位である。まず一定風速において幾つかの制御方法について検討した結果、桁の上のゲート（設置位置①）の制御をBang-Bang制御で行い、桁の下側（設置位置②）のゲートを上のゲートの制御から一定の遅れ時間で制御させた場合が最も効果が高いことがわかった（制御B）。但し、前述したように、ガスト応答についてもモータの制御による減衰付加の影響（AMD効果）を無視できないため、平成6年度においては、図-3. 27に示されるように、無風時の対数減衰率を求め、無風時の対数減衰率を上回る減衰を付加して比較検討を行っている。その結果、制御時については、減衰付加時とほぼ同じかそれ以下の振幅となっている（図-3. 28）。但し、ガスト応答は不規則的な振動のため、無風時のAMD効果が有風時にそのまま作用するとは限らない。また、この制御はたわみを対象にしているが、ねじれの振動に対しては、どの程度の影響があるのか図り難い。

平成7年度においては、より詳細な検討を行うため、まずは前年度と同様の制御（制御B）にて実験を行ったが、平成6年には無風時の対数減衰率が大きくなっているのに対し、平成7年にはAMD効果により無制御時より減衰が小さくなり、無風時にはむしろ加振してしまうという結果になった

（図-3.29）。この理由としては、平成7年度の実験においては、ねじれ、たわみ共に振動数が大きくなっているため（振動数比は同じ）、AMD効果がより大きく表れるようになったこと、フィルタの特性が異なるため、位相ずれの大きさが異なることなどが考えられる。平成7年度においては、後述する3分力試験との対応を考慮するために、設置位置③のみにおいて最も制御効果のあったbang-bang制御（制御C）を行った。さらに、高風速におけるガスト応答は、たわみとねじれの連成空気が大きく寄与していることも予想されたため、たわみ応答だけではなく、ねじれ応答も入力信号とし、たわみおよびねじれ変位、速度に対しBang-Bangを試みた。検討の結果、たわみの応答およびねじれの応答がそれぞれ負、正になるときにBang-Bang制御を行う場合にフラッターの制御と不規則な振動が最もよく制御され、さらには乱流中のフラッターも制御された。（制御A）。以上の制御に対するV-Aを

図-3.30に示す。比較的高風速の領域においては、若干のたわみ振幅の低減が見受けられ、制御Aについてはフラッターについても制御されることが確認されたが、前述のようにモータの加振によるAMD効果の影響を把握する必要がある。このため、制御ゲートを取り外し、空力的な影響を取り除いた、AMD効果のみの影響を調査した（図-3.31）。この図より、モータのみの制御を行った場合は、ほとんど無制御時の振幅と変わらないことが明らかになり、図-3.30に示されている応答振幅の低減は、空力的なアクティブコントロールの効果であることが確認された。アクティブ制御時と、モータのみの制御を行った時の振幅（RMS）との比を図-3.32に示すが、風洞風速が高いほど制御の効果が大きいことがわかる。また、無制御で減衰を付加した場合の応答振幅の変化を図-3.33に示すが、応答振幅に対する構造減衰の感度はそれほど大きくはないことがわかる。

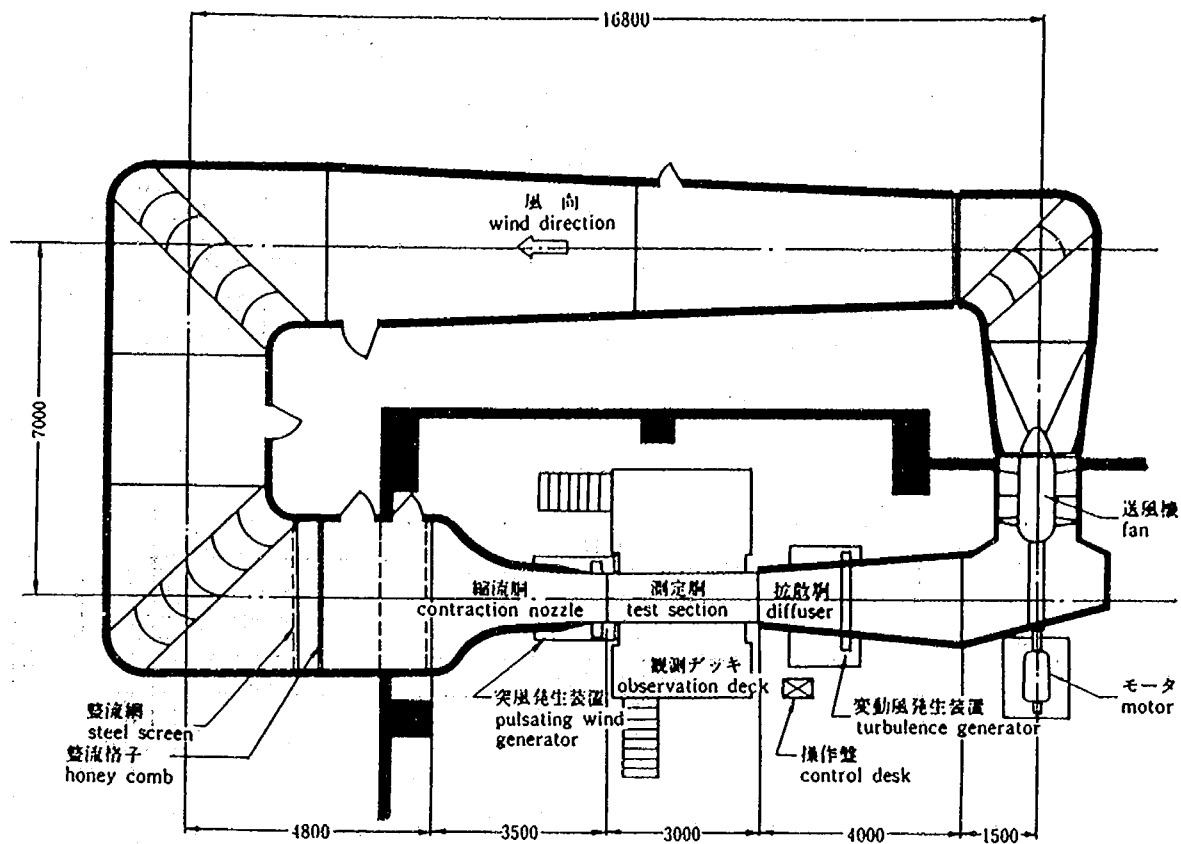


図-3.1 非定常空気力風洞平面図

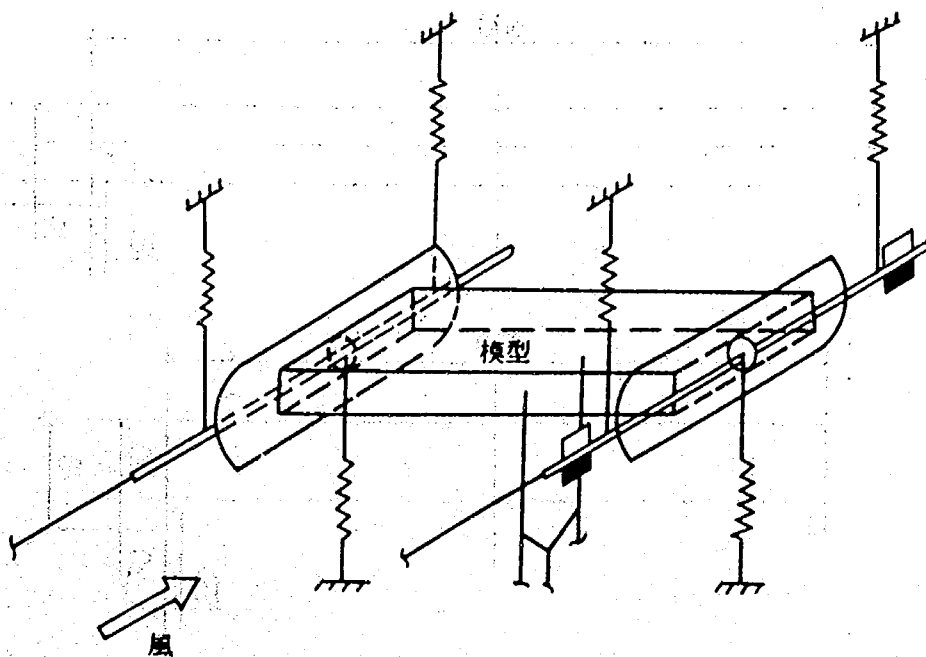


図-3.2 バネ支持実験

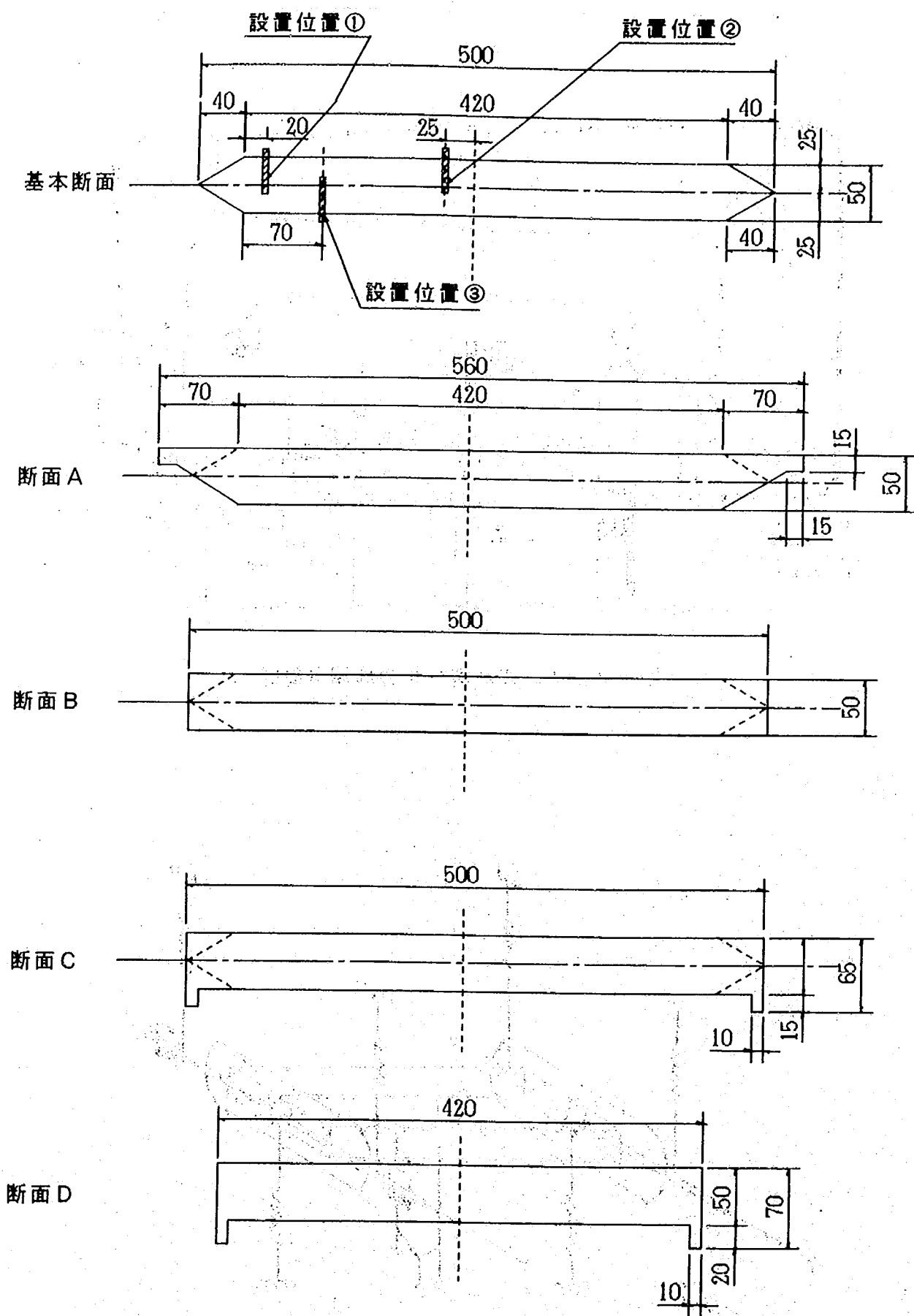


图-3.3 模型断面图

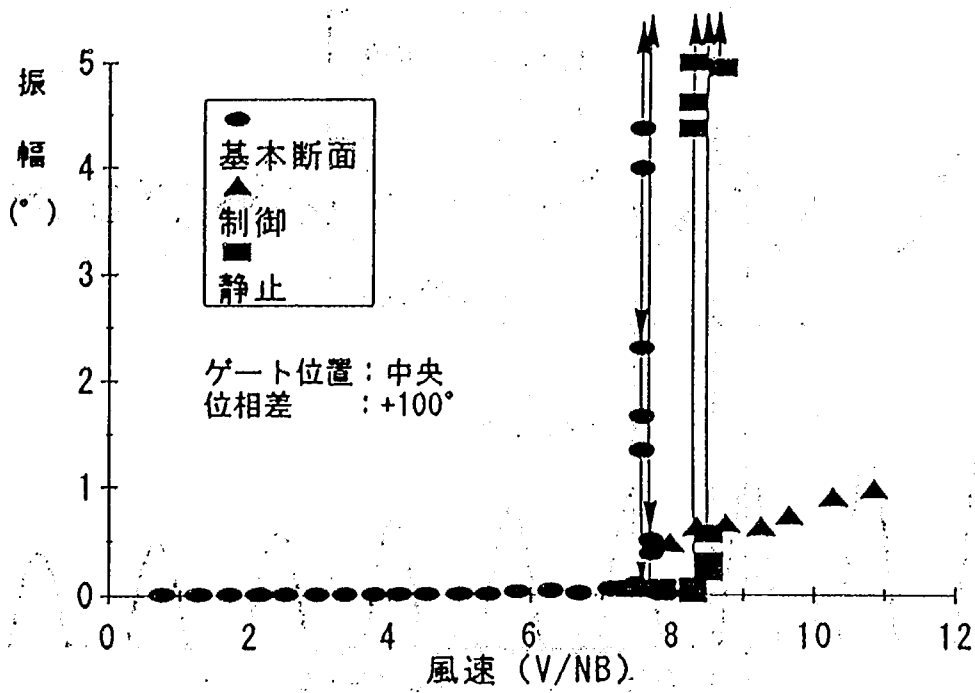


図-3. 4 アクティブ制振の効果

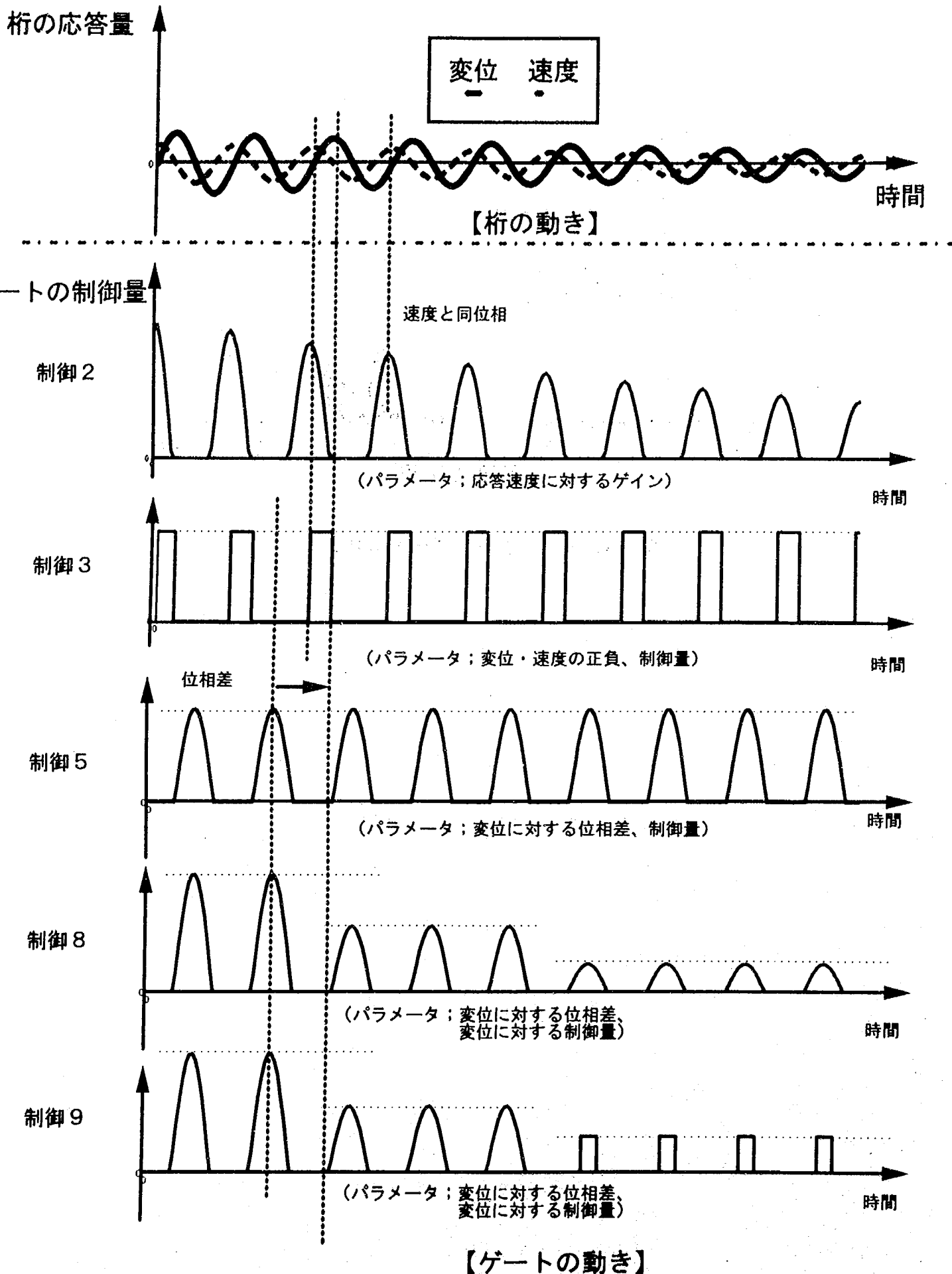


図-3. 5 主な制御方法の信号波形

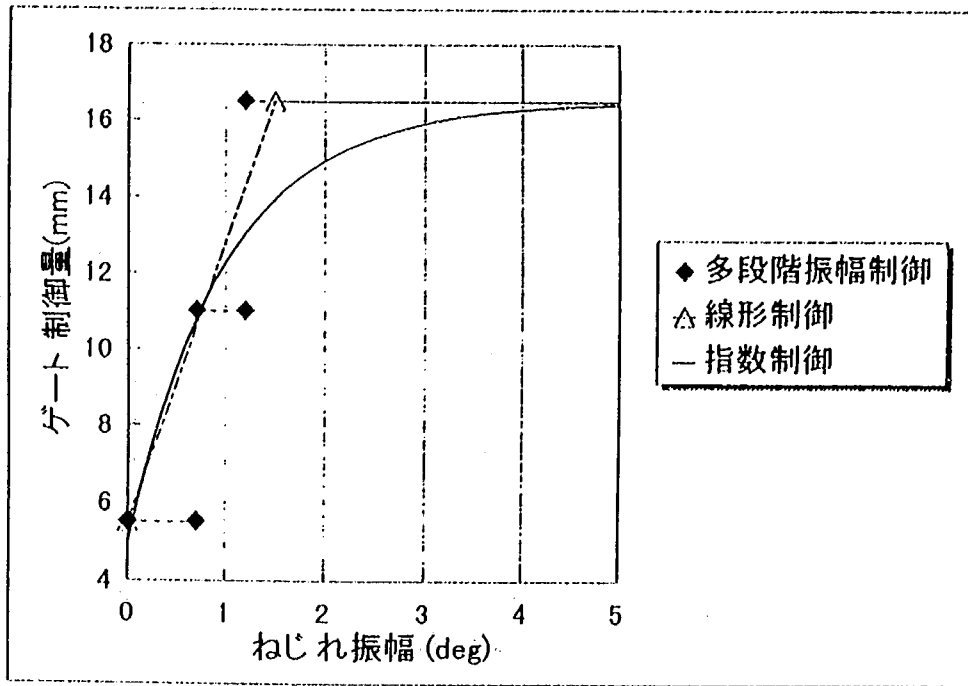
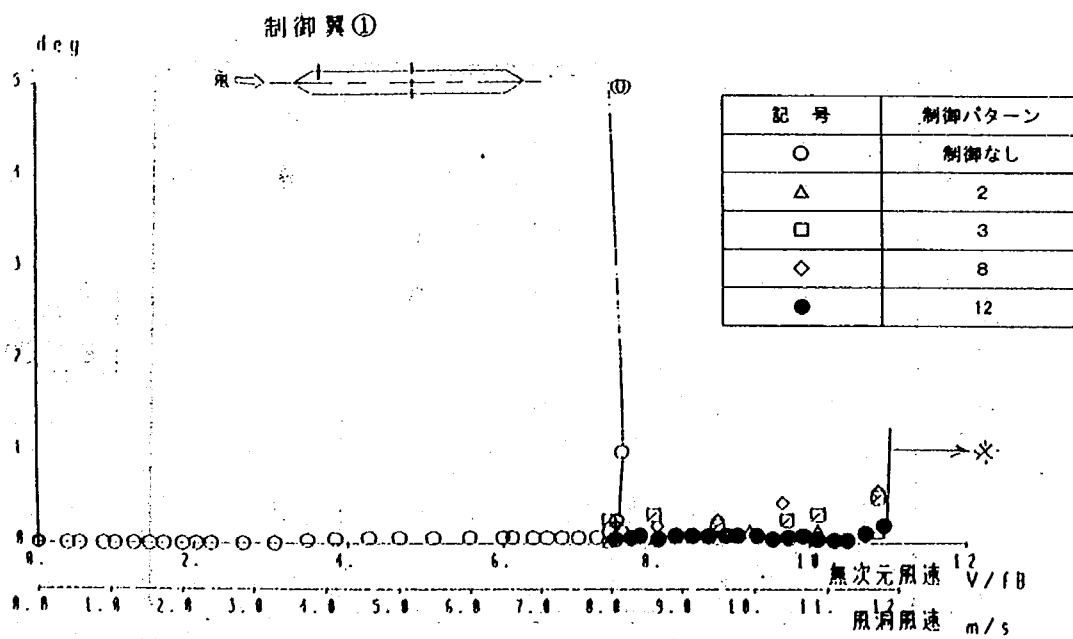
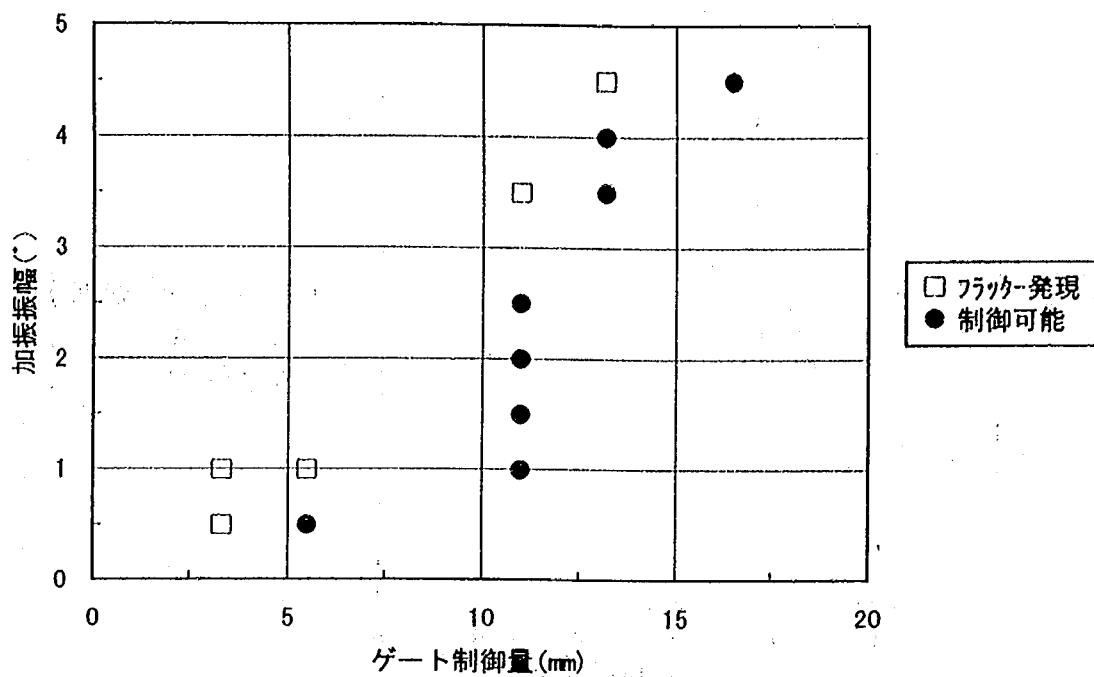


図-3.6 ゲートの制御量の設定方法



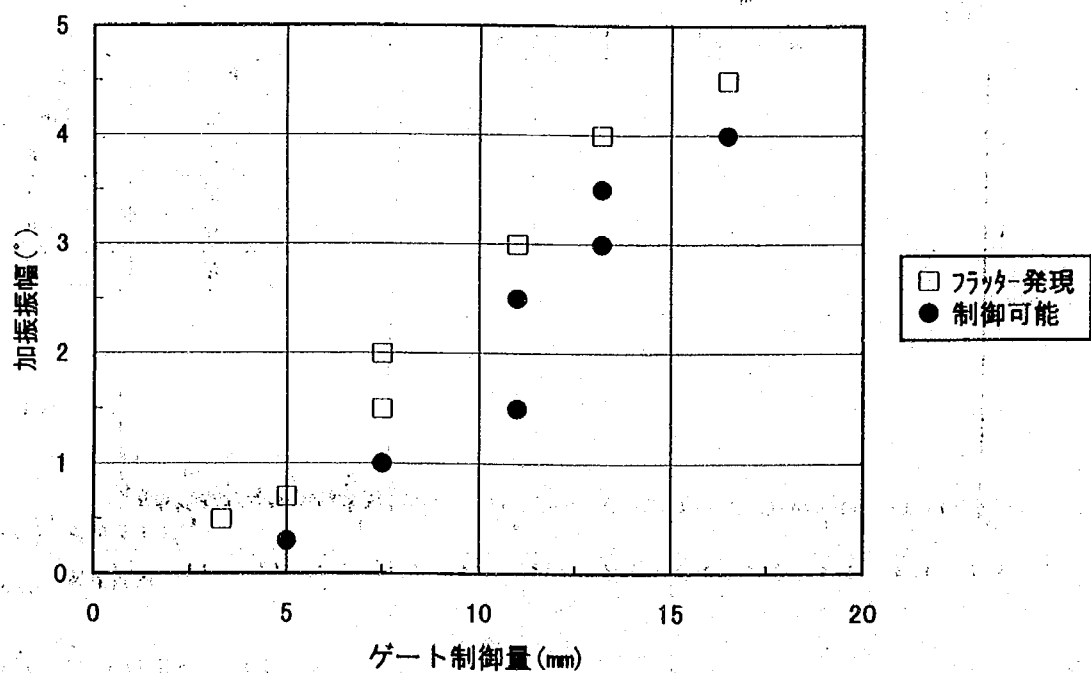
注) →※はゲートジェス発生のため、これ以上の風速は検証出来なかった事を示す。

図-3.7 制御方法に関する比較



振幅一定制御
制御位相 : 140°

(1) 風洞風速 ; 9.2m/s



振幅一定制御
制御位相 : 140°

(2) 風洞風速 ; 9.8m/s

図-3. 8 フラッター発現に対する加振振幅とゲート制御量との関係

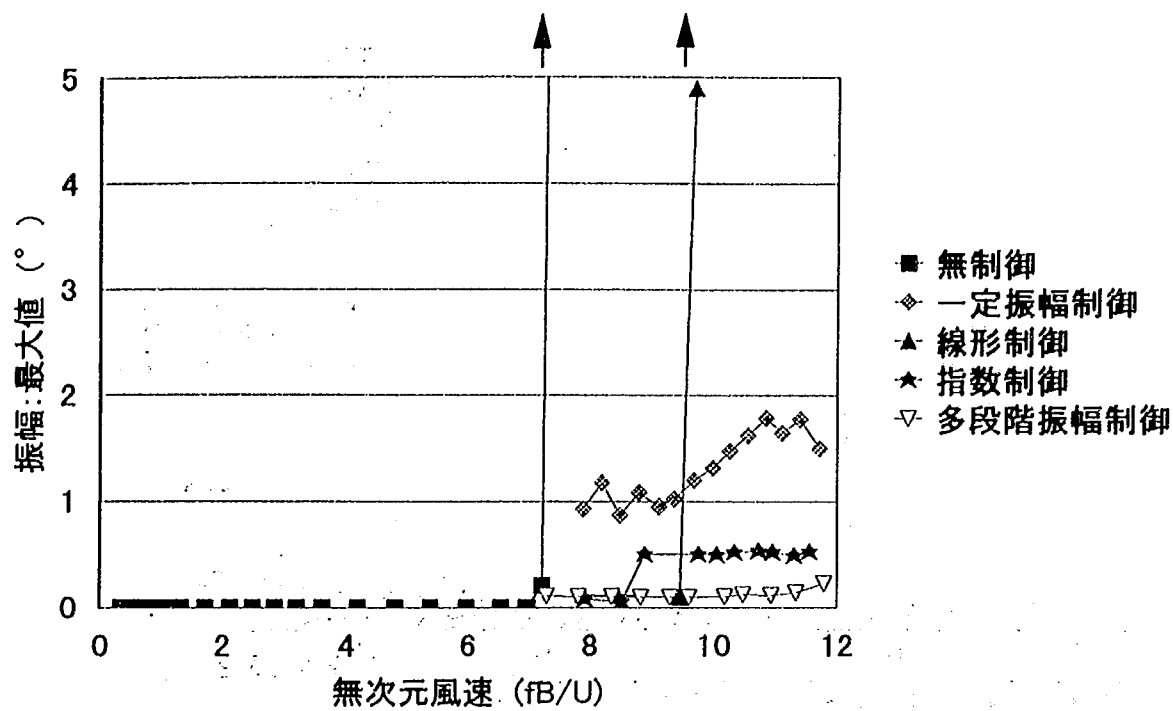


図-3. 9 制御効果の比較

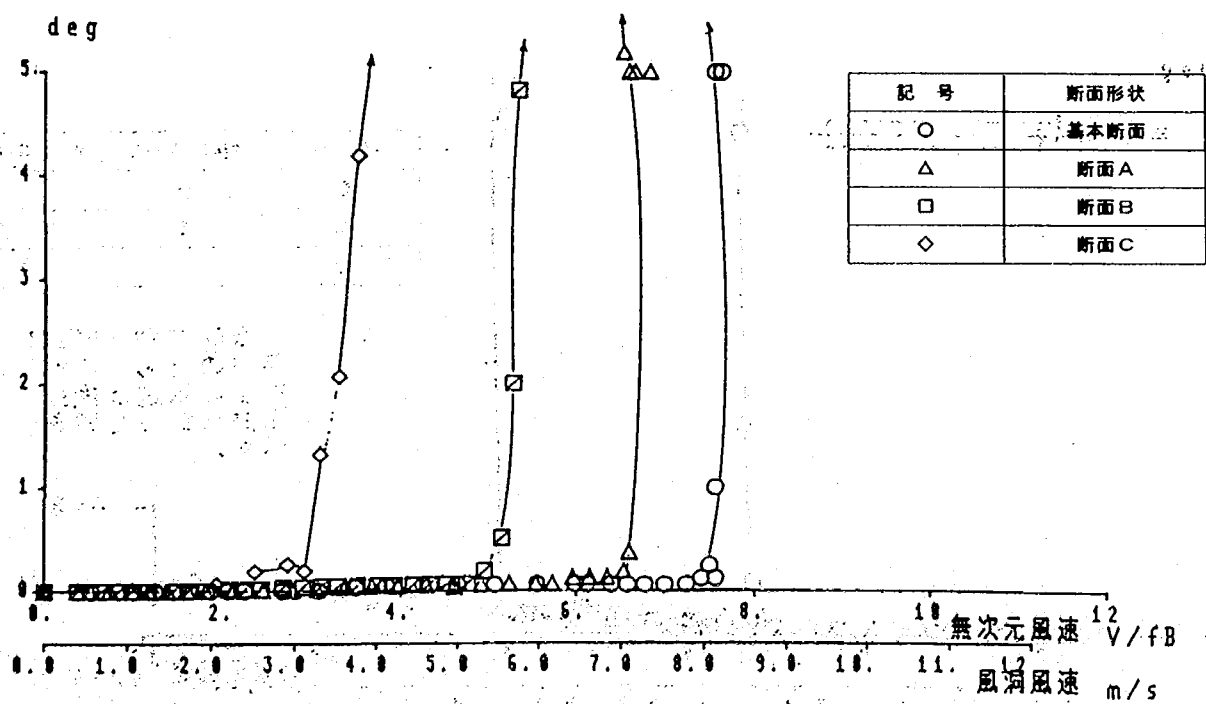


図-3. 10 断面形状に関するフラッター発現風速の比較 (無制御)

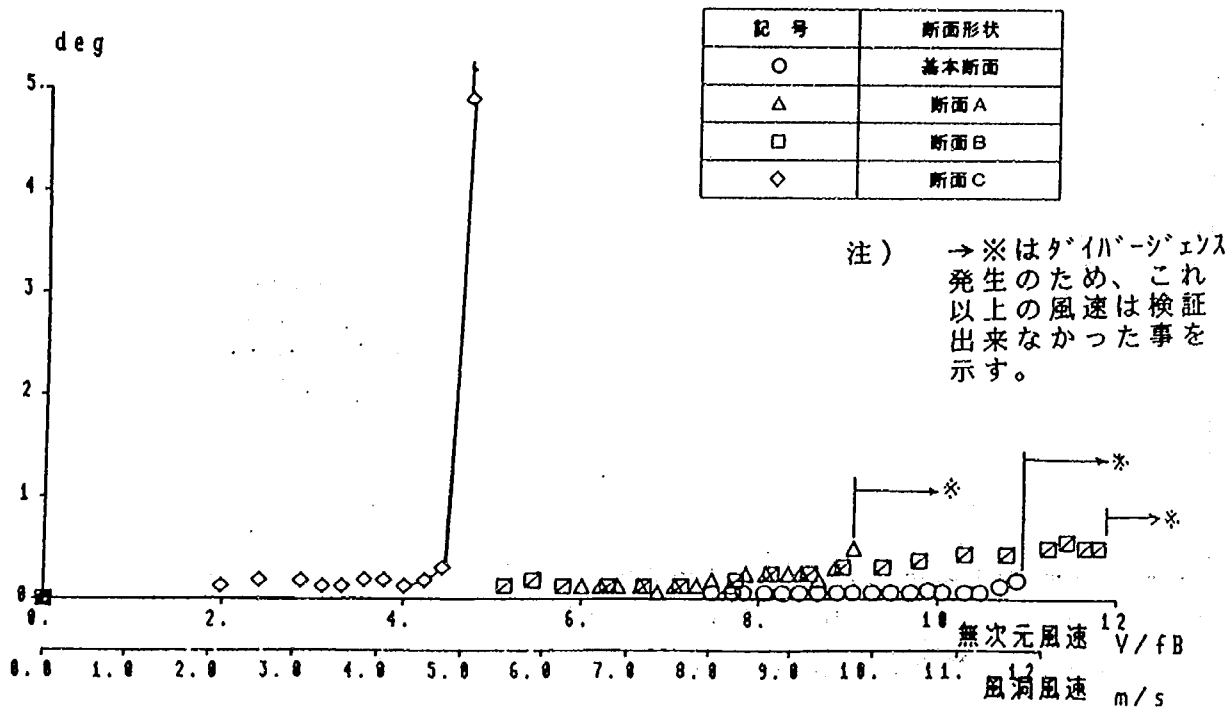


図-3. 1 1 断面形状に関するアクティブ制御時の応答比較

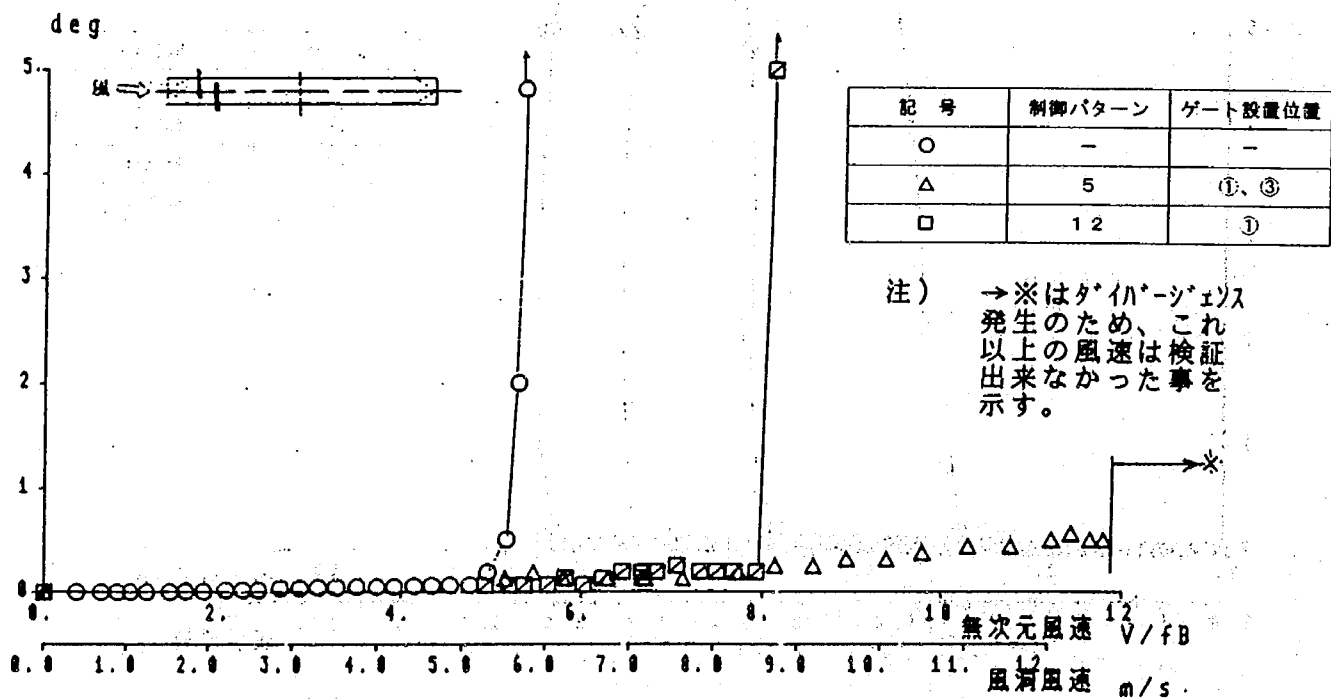
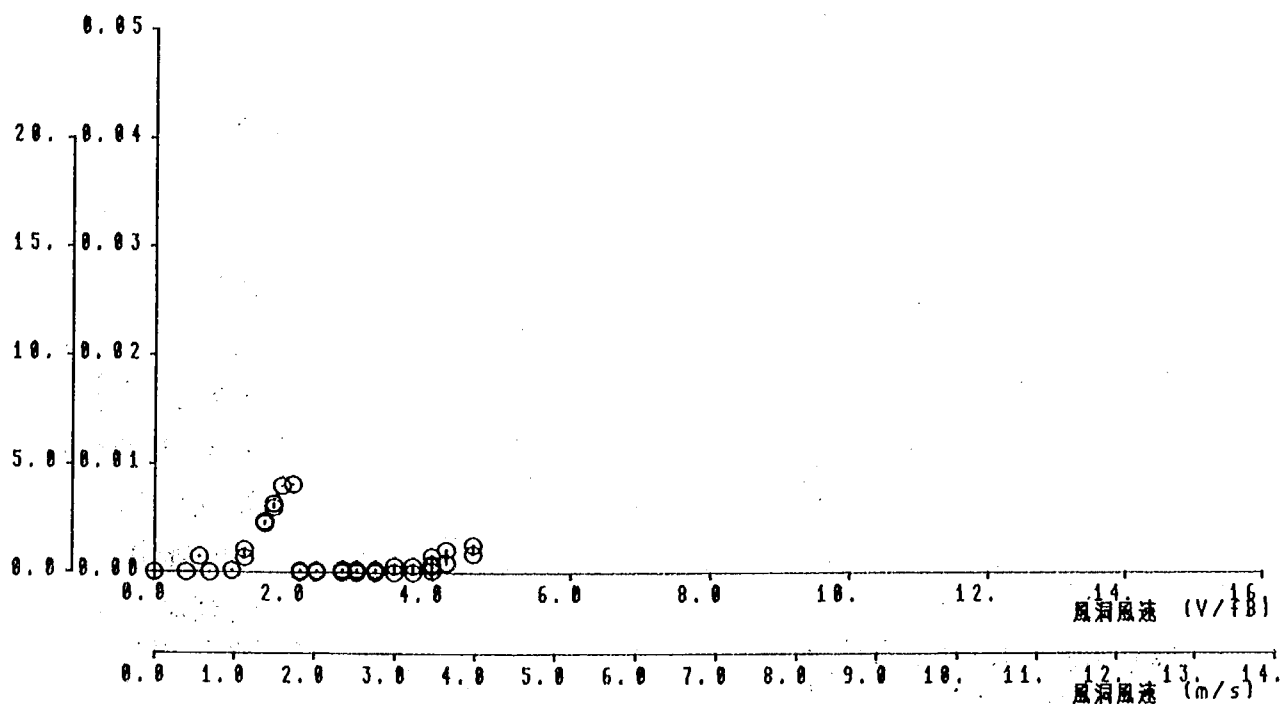


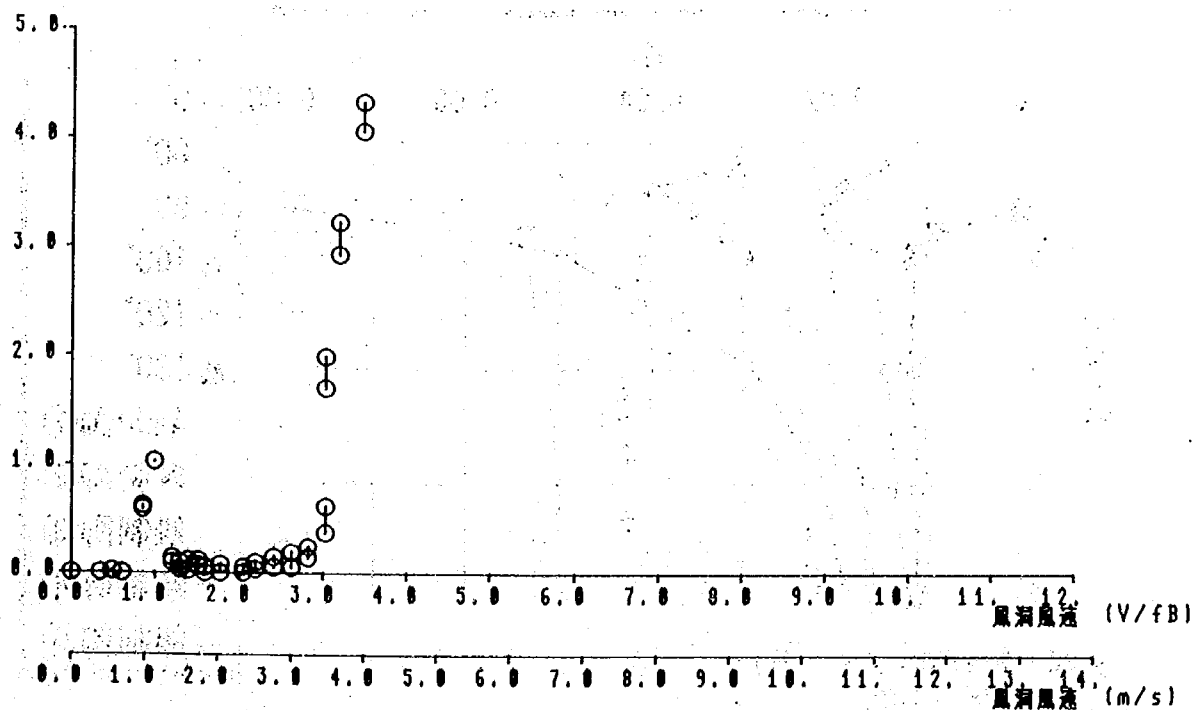
図-3. 1 2 断面Bに対する制御方法の検討

(mm) (N/B)



(1) たわみ応答

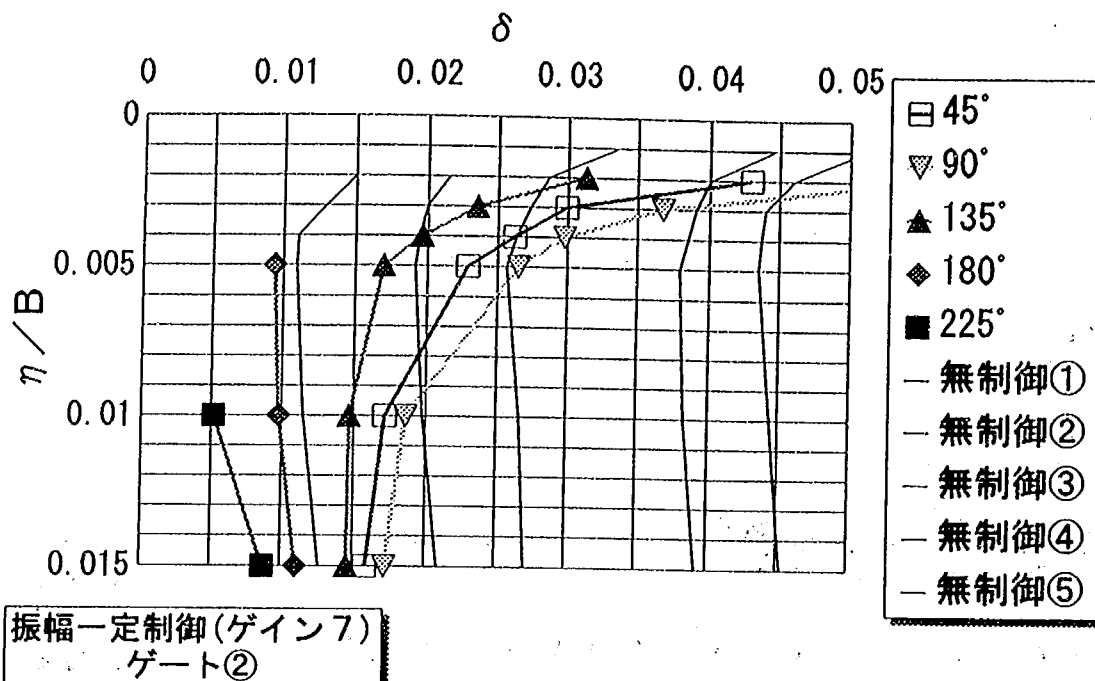
(deg)



(2) ねじれ応答

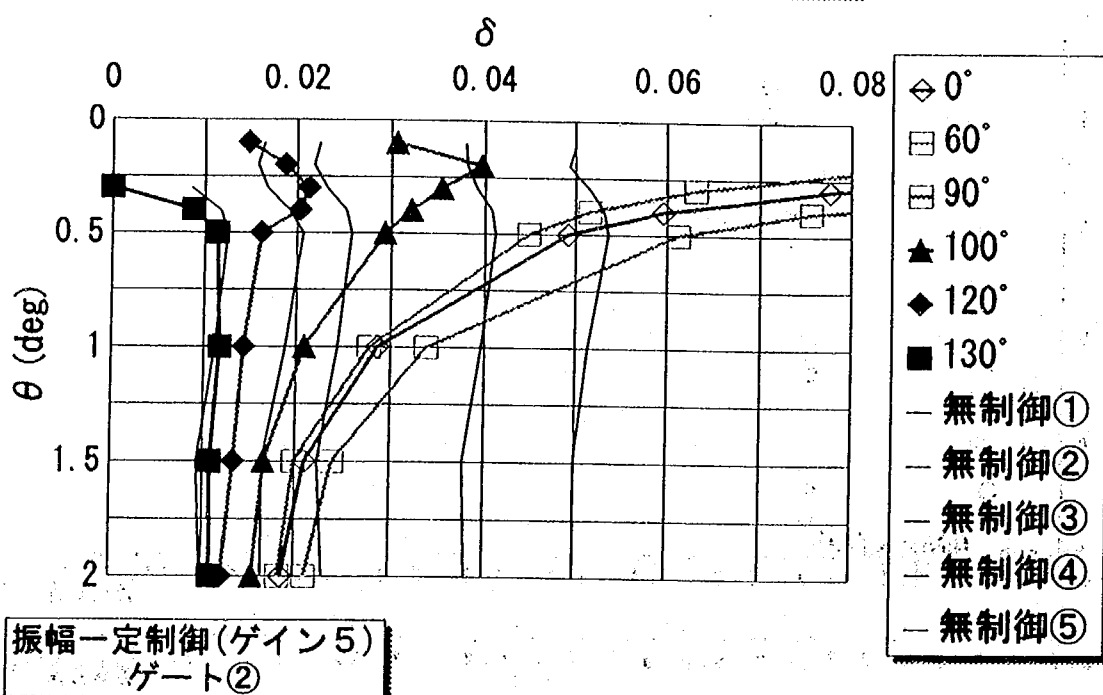
図-3. 13 渦励振の発現状況 (迎角0°)

無風時対数減衰率の振幅依存性 たわみ



(1) たわみ

無風時対数減衰率の振幅依存性 ねじれ



(2) ねじれ

図-3. 14 無風時の対数減衰率

設定位相差と減衰、振幅の関係

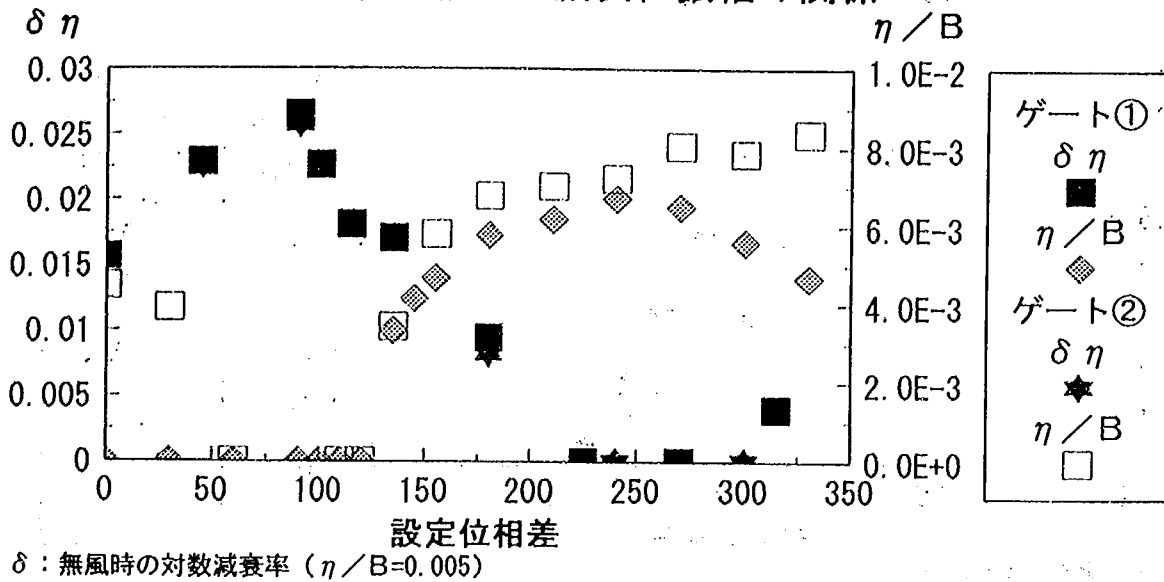


図-3. 15 制御位相差と減衰、応答振幅の関係 (迎角 0° 、たわみ)

無風時対数減衰率と渦励振振幅の関係

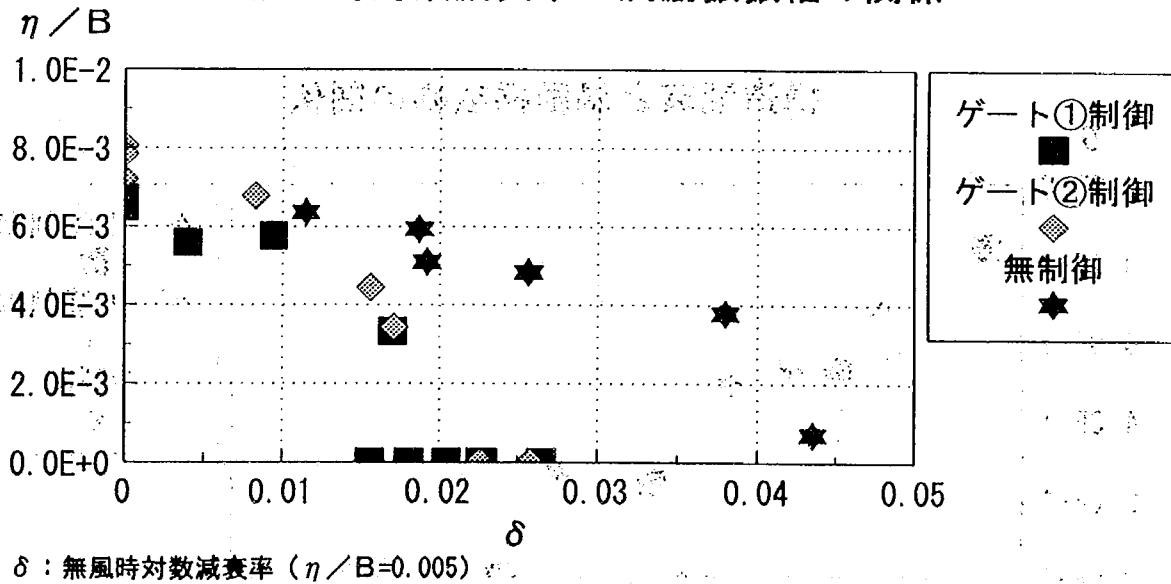


図-3. 16 無風時対数減衰率と渦励振振幅の関係 (迎角 0° 、たわみ)

設定位相差と構造減衰、振幅の関係

ねじれ

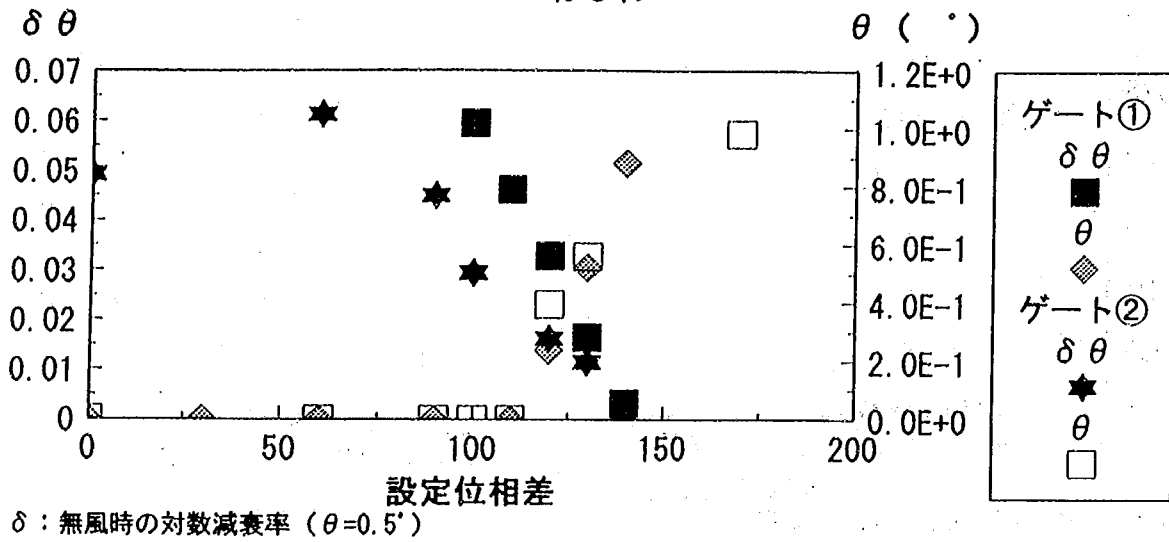


図-3. 17 制御位相差と減衰、応答振幅の関係 (迎角 0° 、ねじれ)

構造減衰と渦励振振幅の関係

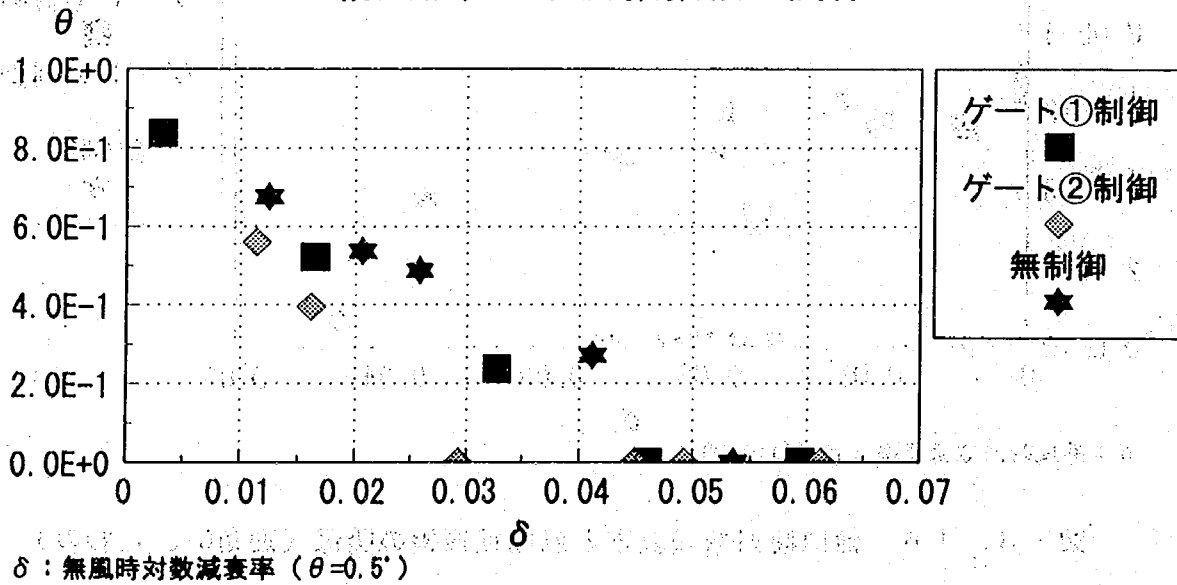


図-3. 18 無風時対数減衰率と渦励振振幅の関係 (迎角 0° 、ねじれ)

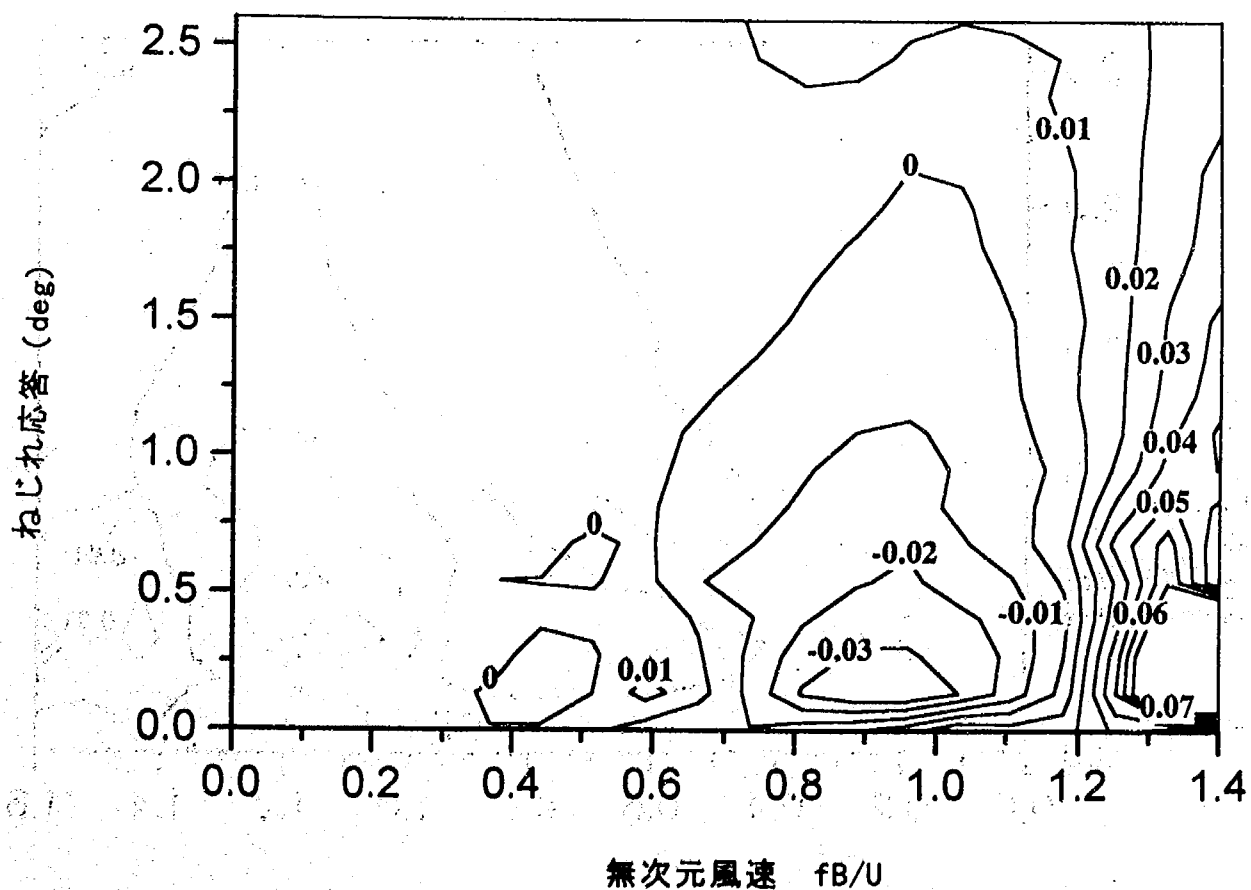
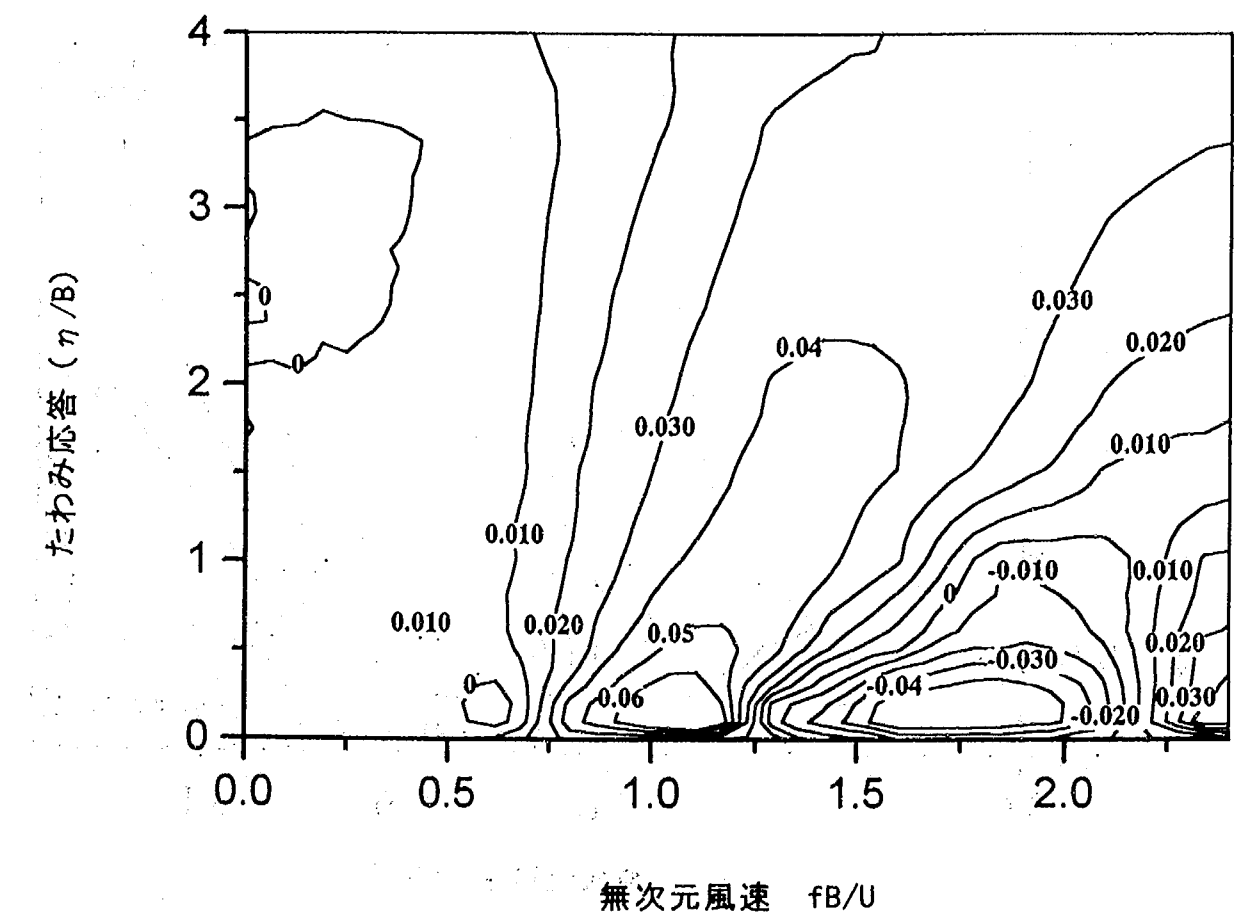


図-3. 19 無制御時の $V-A-\delta$

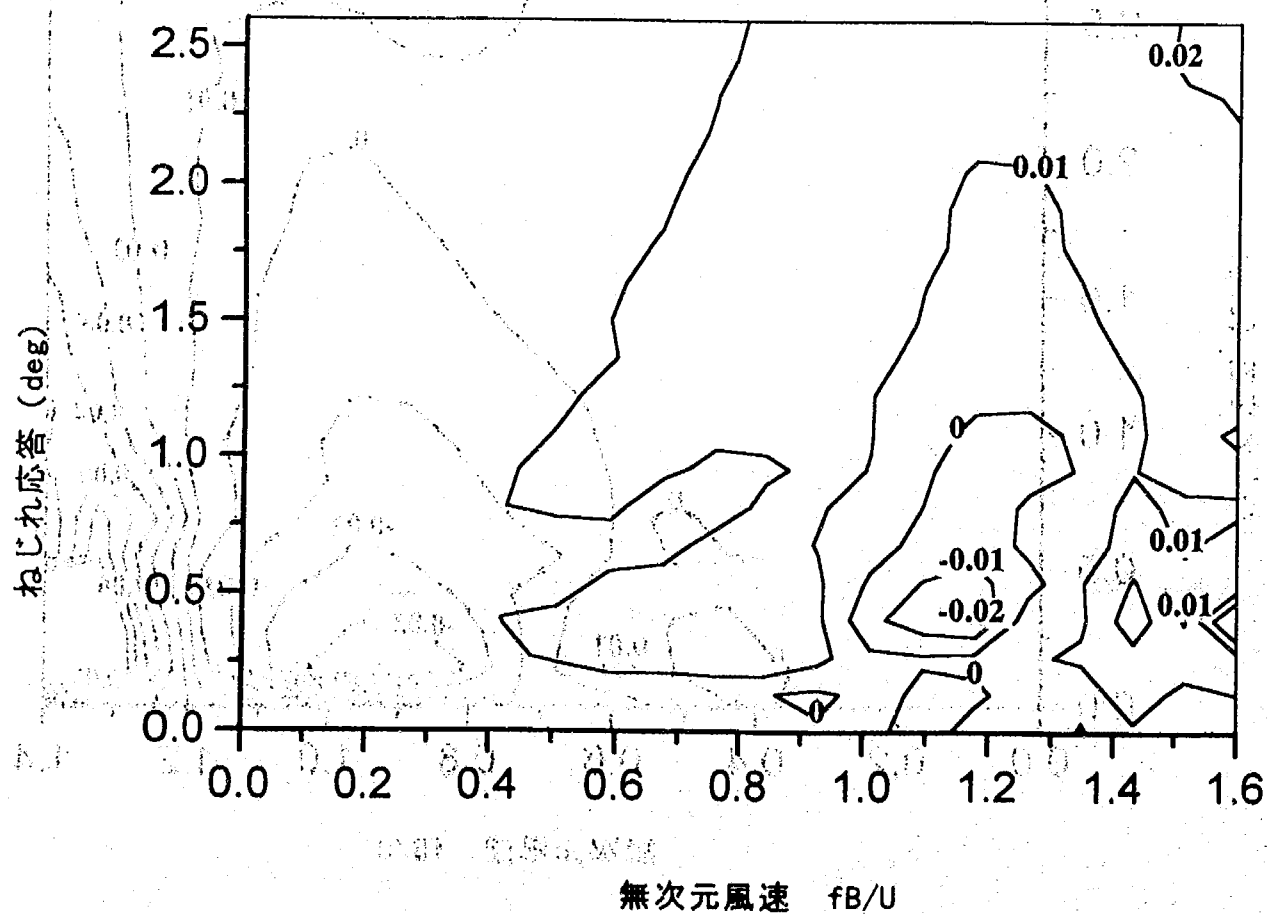
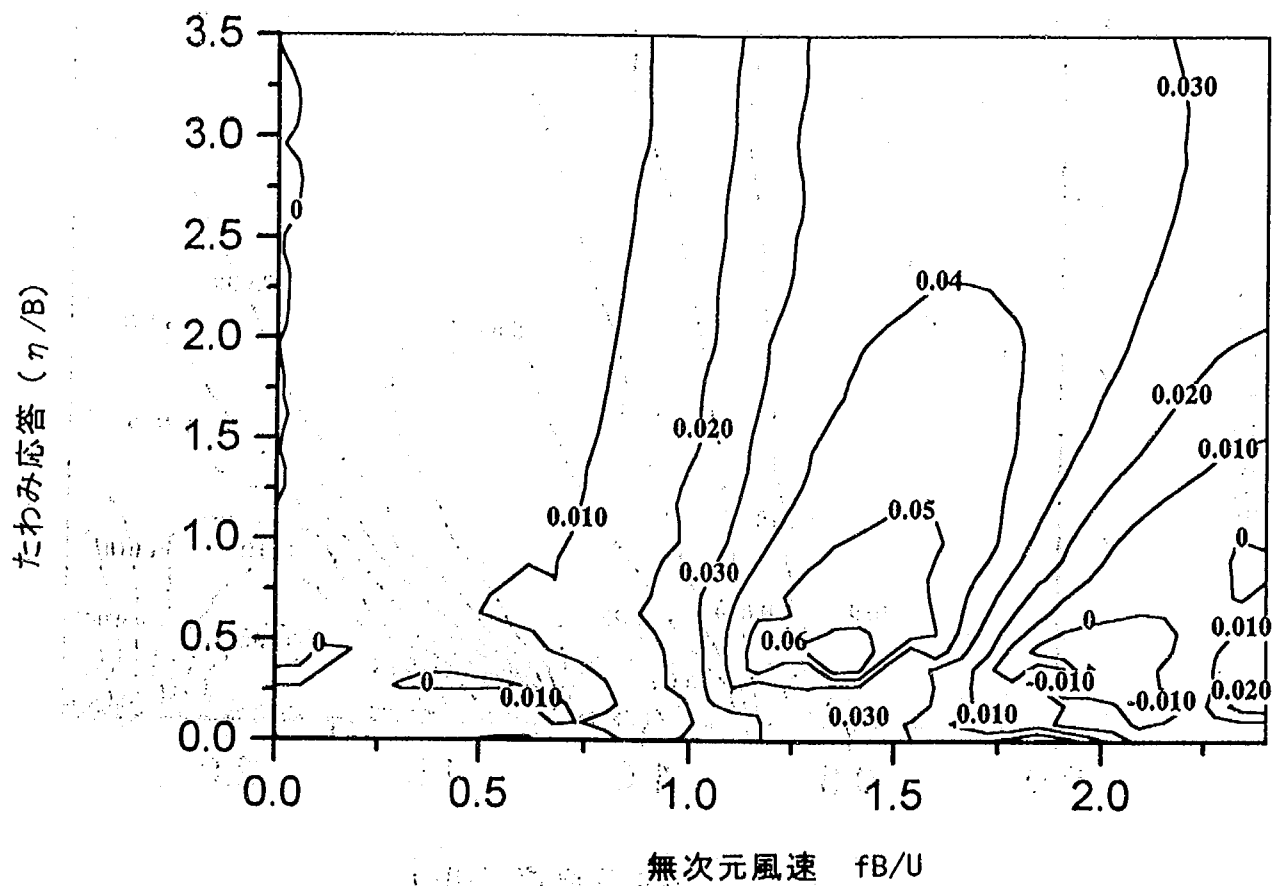


図-3. 20 制御時の $V-A-\delta$

設定位相差と減衰、振幅の関係

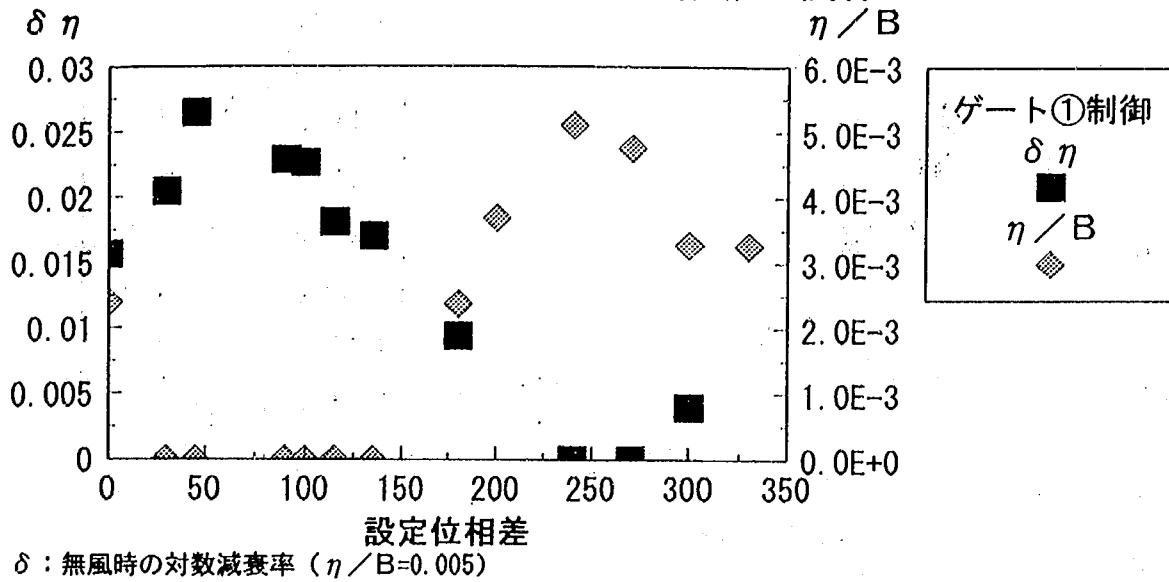


図-3. 2.1 制御位相差と減衰、応答振幅の関係 (迎角+3°、たわみ)

構造減衰と渦励振振幅の関係

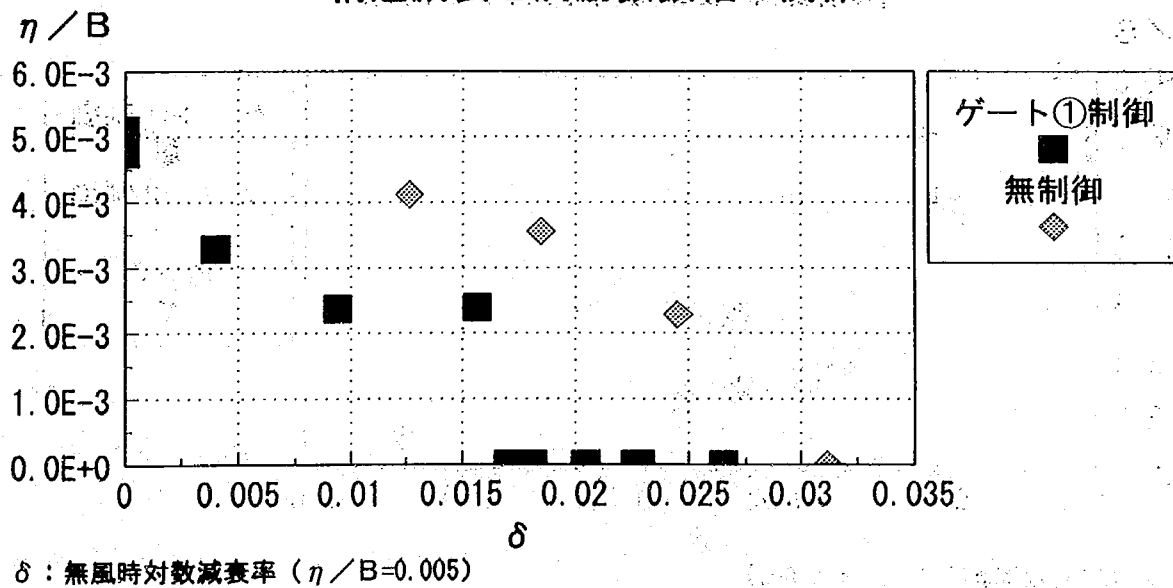
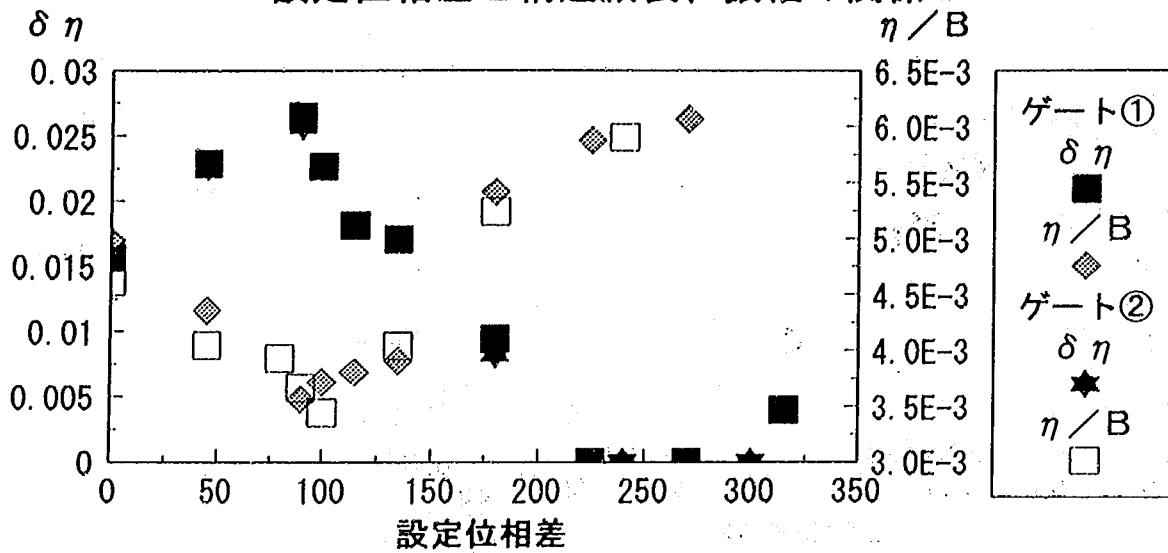


図-3. 2.2 無風時対数減衰率と渦励振振幅の関係 (迎角+3°、たわみ)

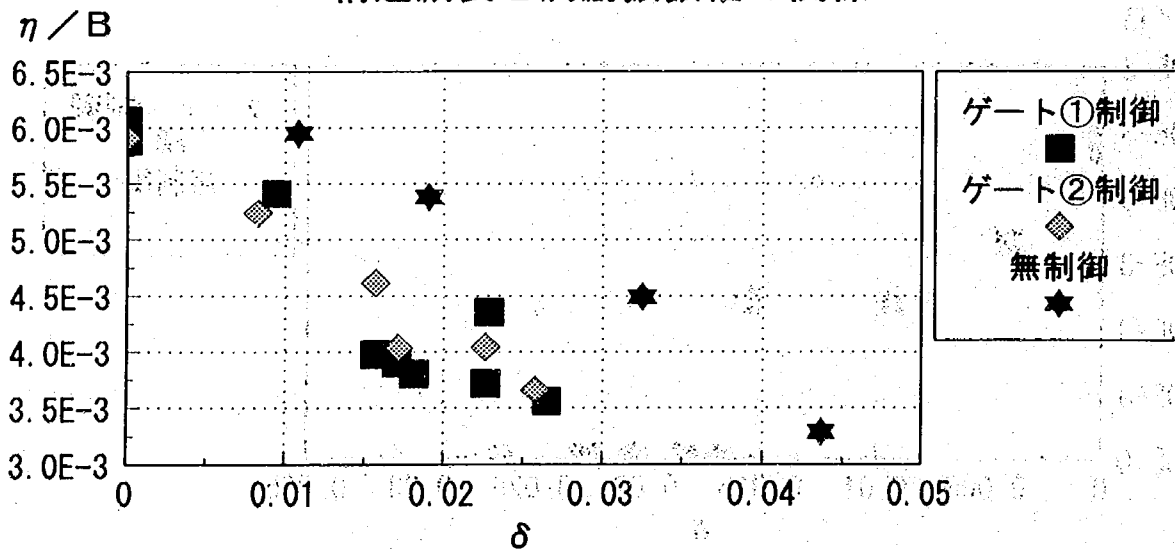
設定位相差と構造減衰、振幅の関係



δ : 無風時の対数減衰率 ($\eta / B = 0.005$)

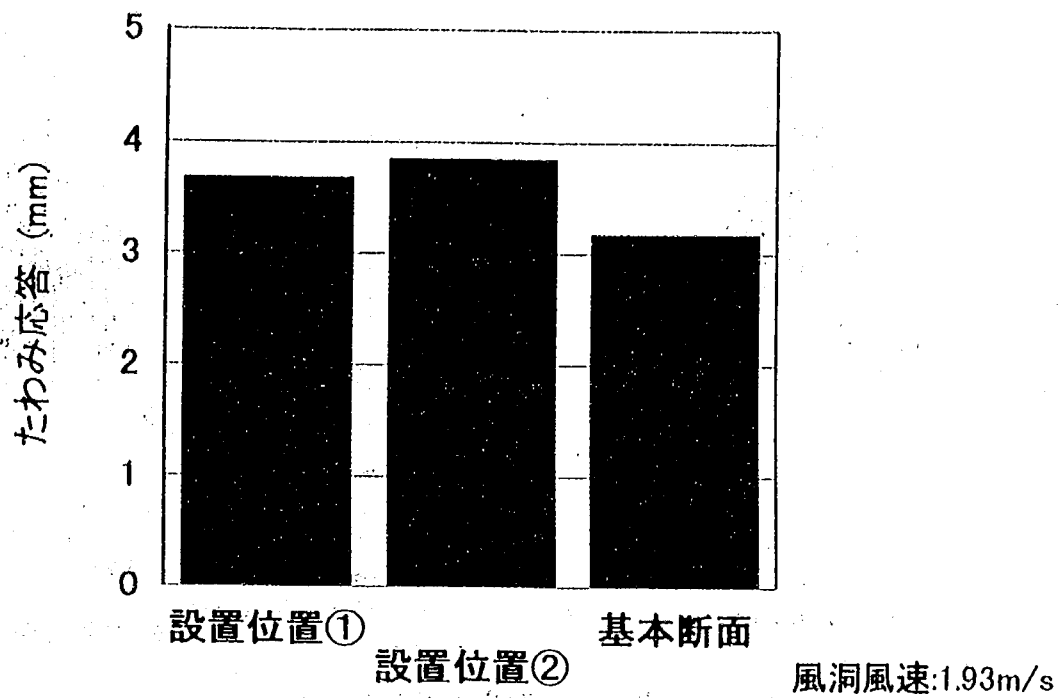
図-3. 23 制御位相差と減衰、応答振幅の関係 (迎角-3°、たわみ)

構造減衰と渦励振振幅の関係

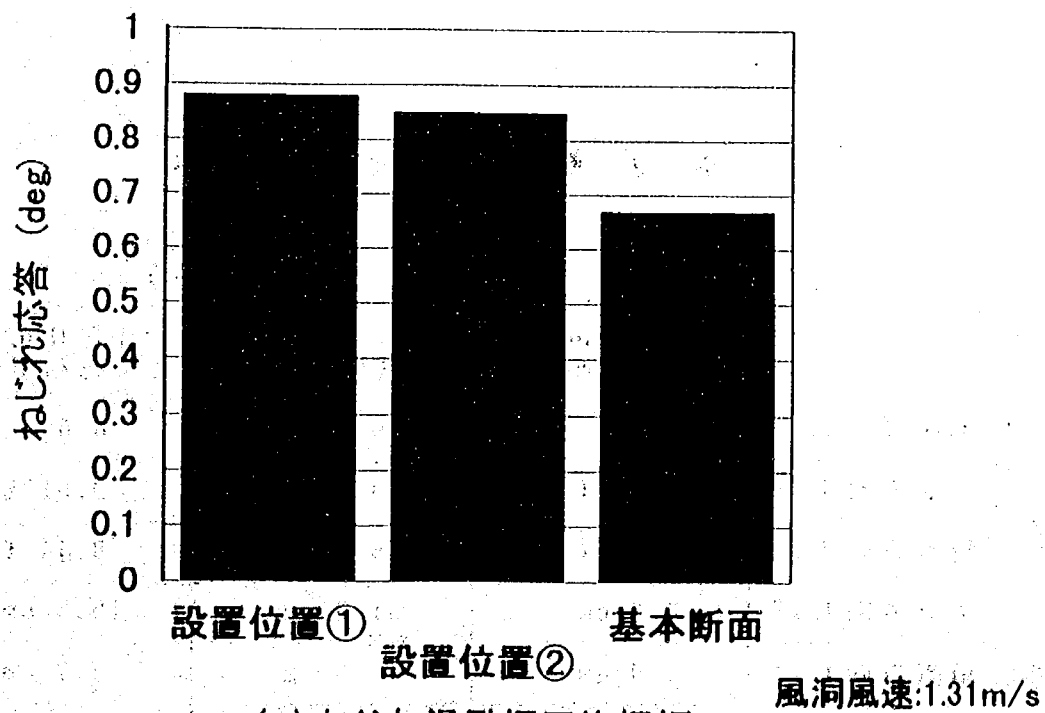


δ : 無風時対数減衰率 ($\eta / B = 0.005$)

図-3. 24 無風時対数減衰率と渦励振振幅の関係 (迎角-3°、たわみ)



(1) たわみ渦励振平均振幅



(2) ねじれ渦励振平均振幅

図-3. 25 静的な効果との比較

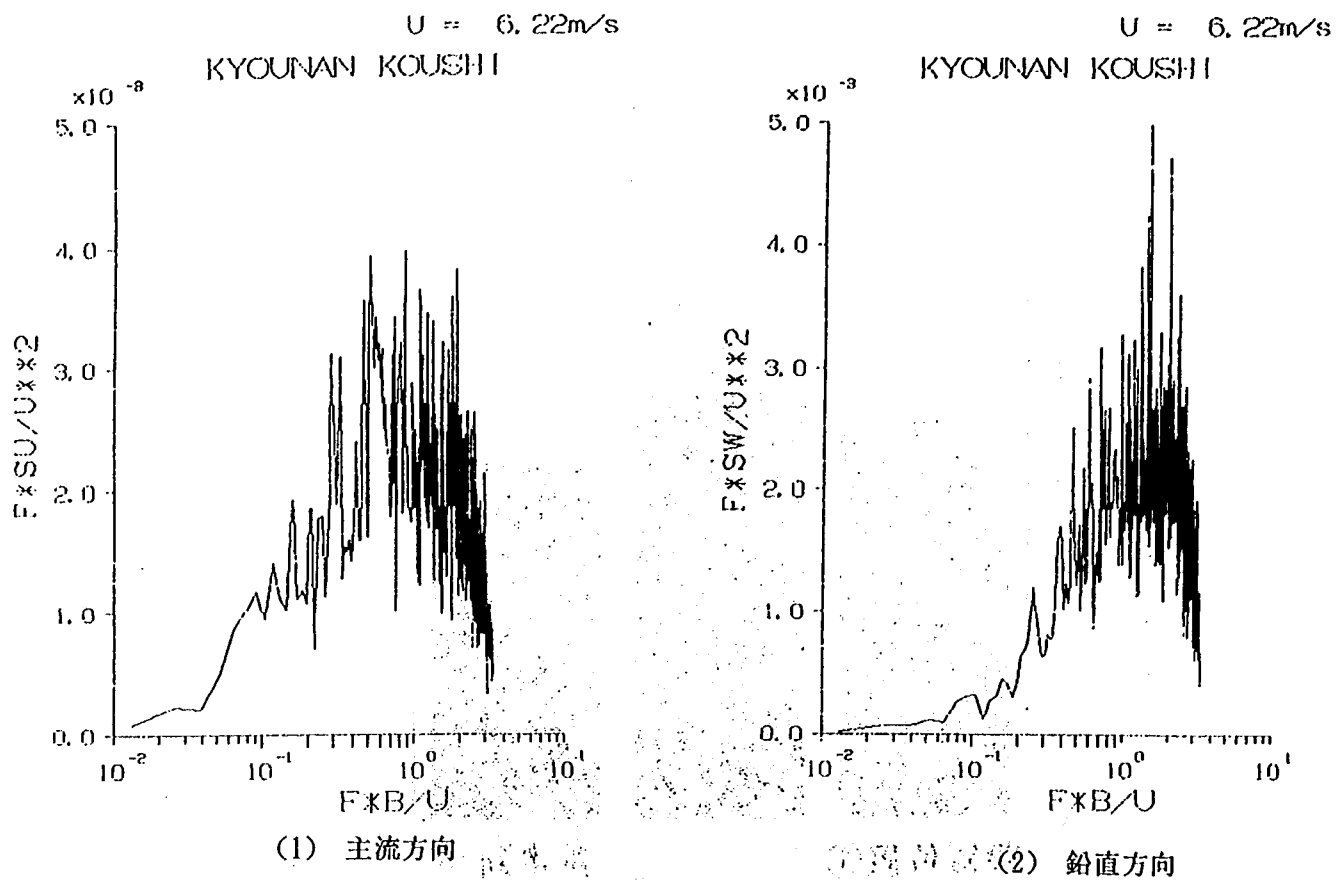


図-3. 26 変動風速のP.S.D.F

表-3. 5 気流の特性

		計 測 位 置 (Y 方向)		
		250 mm (観測室側)	0 mm (中央)	250 mm (反観測室側)
平均風速 (m/s)		6.19	6.19	6.09
乱れ強さ	主流方向 I_u	9.92 %	10.24 %	9.91 %
	鉛直方向 I_w	8.09 %	8.30 %	8.44 %
スケール	主流方向 L_x^u	12.3 cm	21.0 cm	15.5 cm
	鉛直方向 L_x^w	5.9 cm	6.5 cm	7.7 cm
気流傾斜角 (度)		-0.06	0.07	0.02

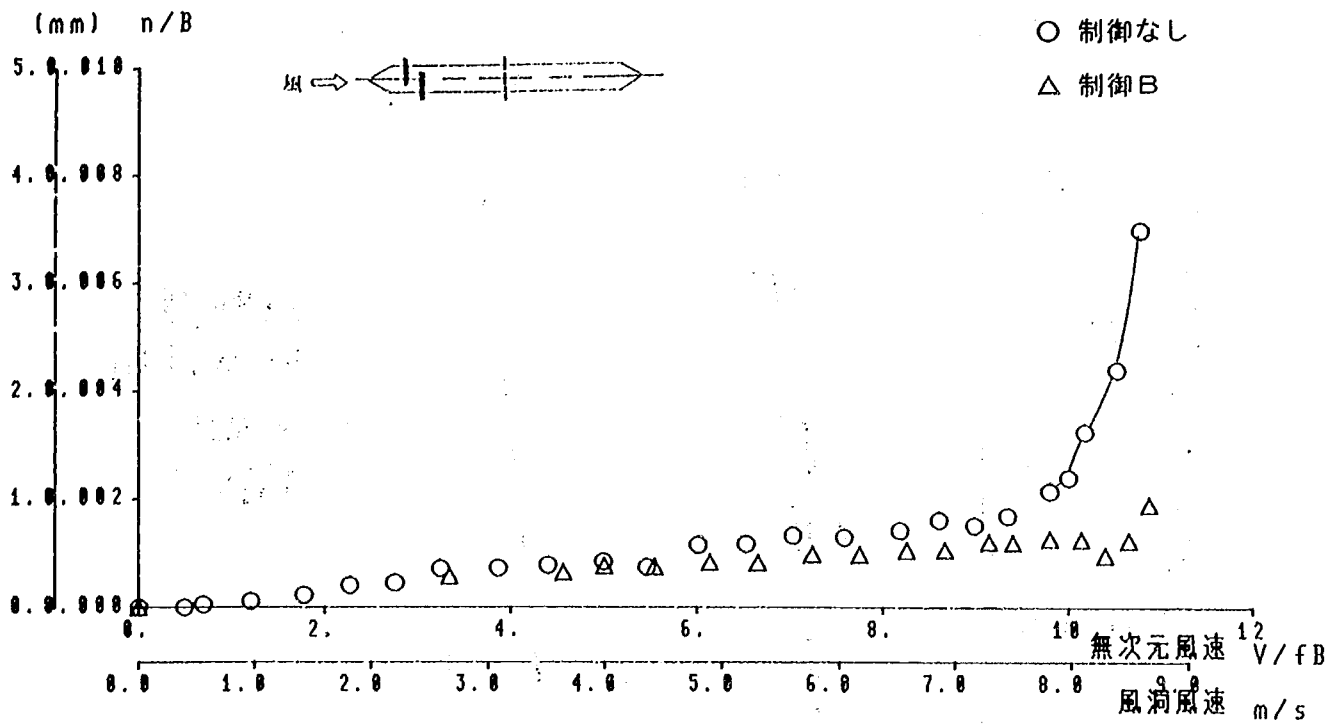


図-3. 27 ガスト応答に対する制御効果 (平成6年度)

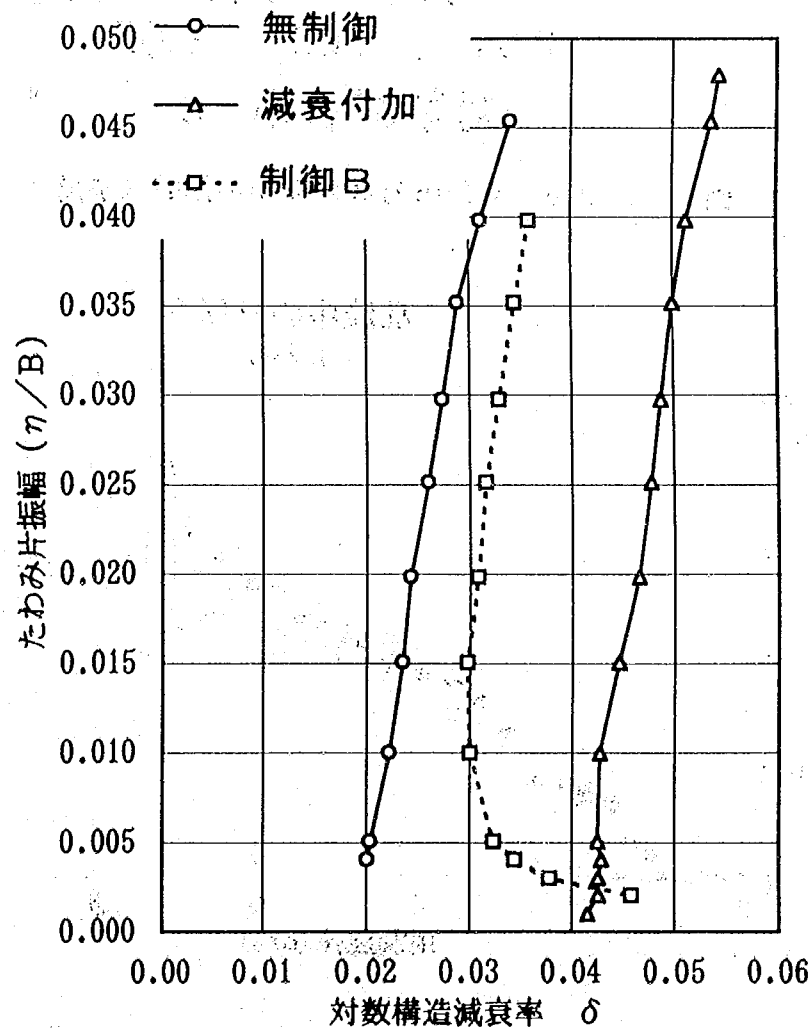


図-3. 28 無風時対数減衰率の比較 (平成6年度)

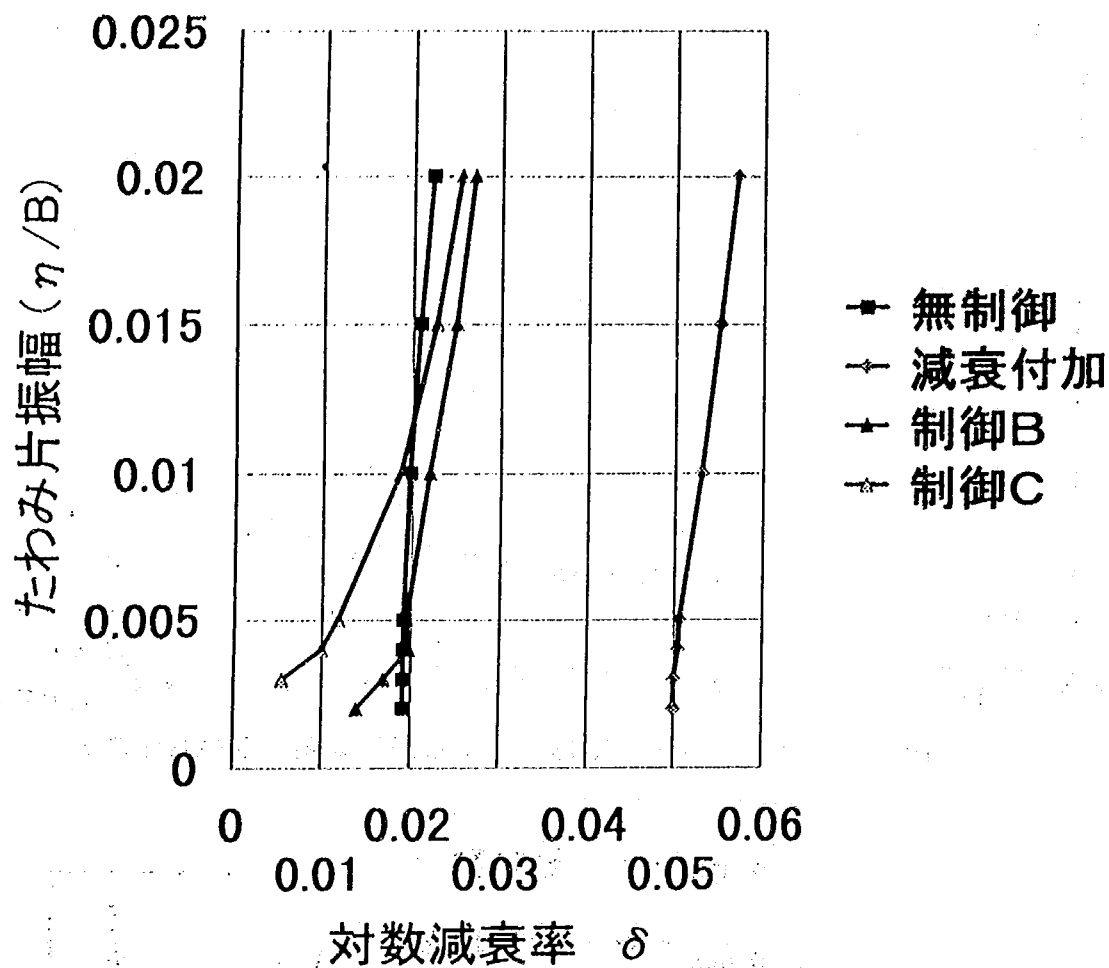


図-3. 29 無風時対数減衰率の比較 (平成7年度)

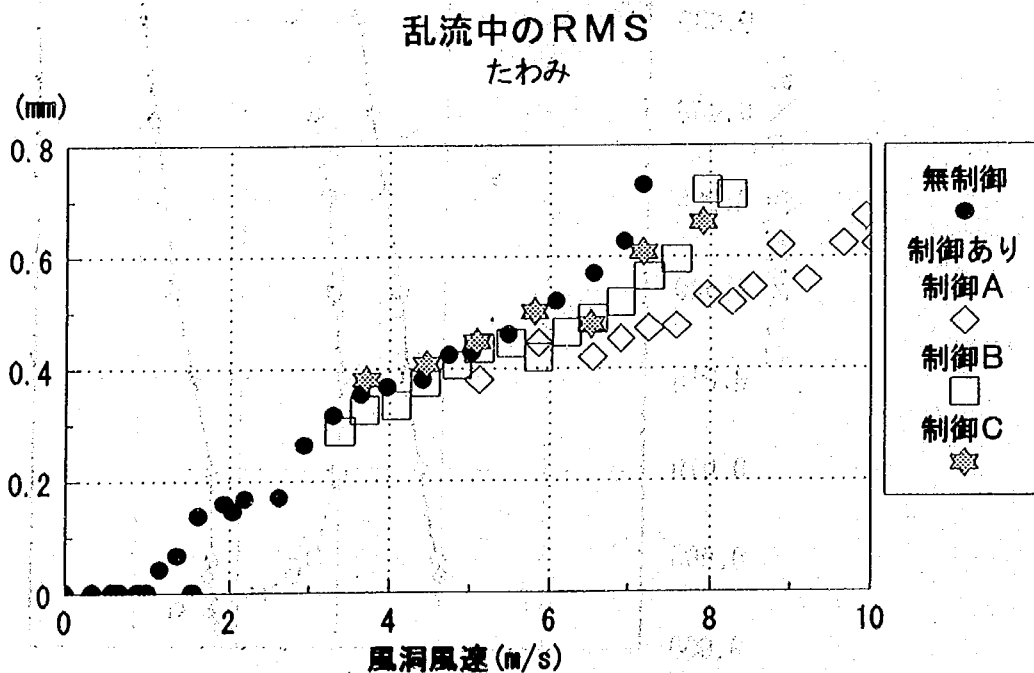


図-3. 30 ガスト応答に対する制御効果 (迎角 0° 、たわみ、平成7年度)

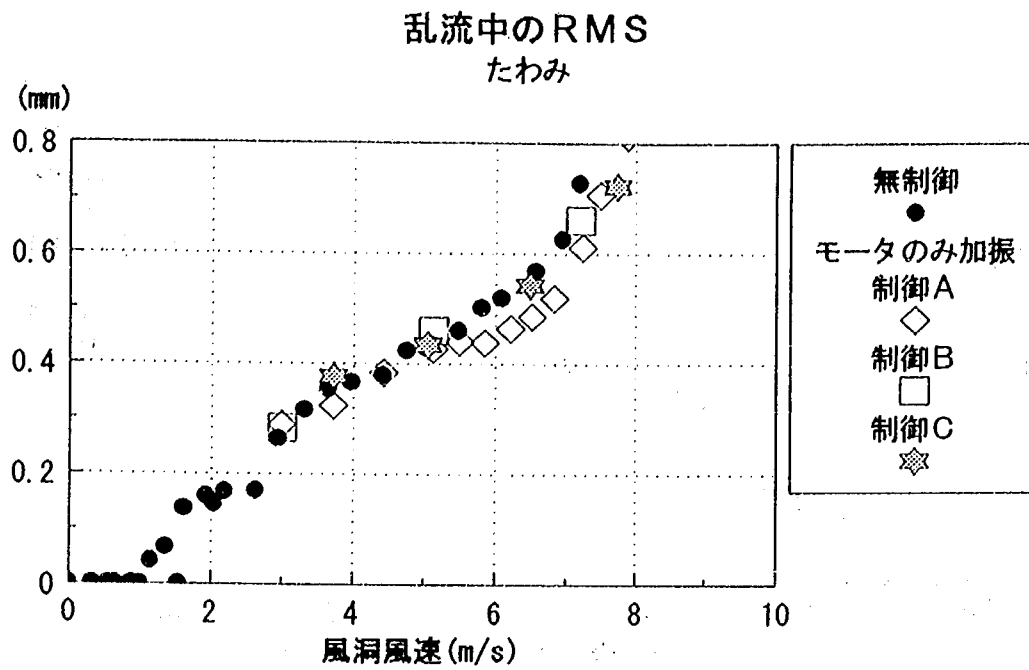


図-3. 3 1 モーターのみの制御によるAMD効果の把握

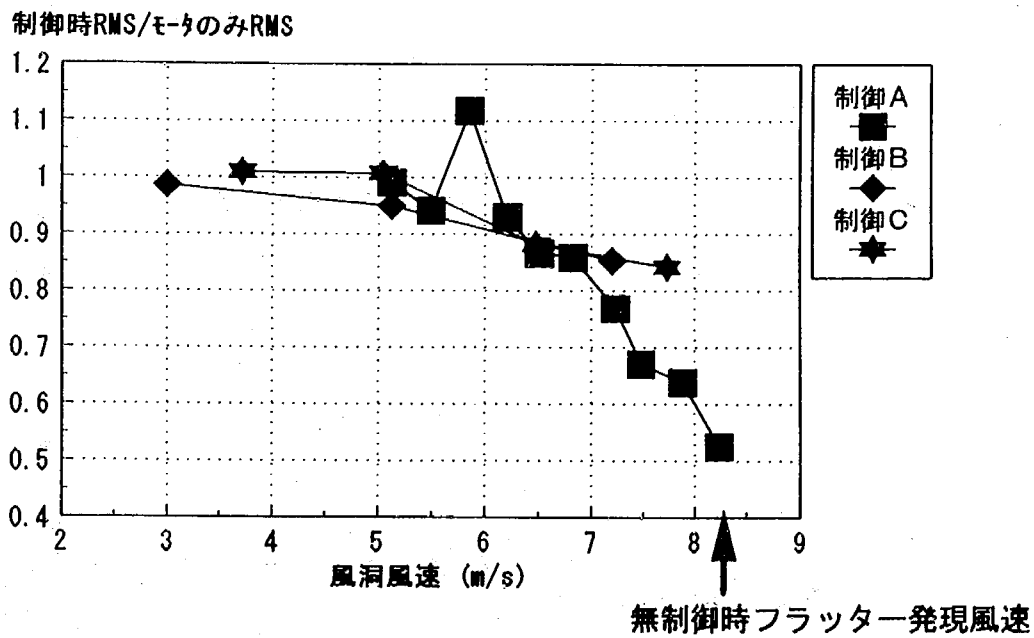


図-3. 3 2 アクティブ制御時のRMSとモーターのみ制御時のRMSの比率

乱流中のRMS たわみ

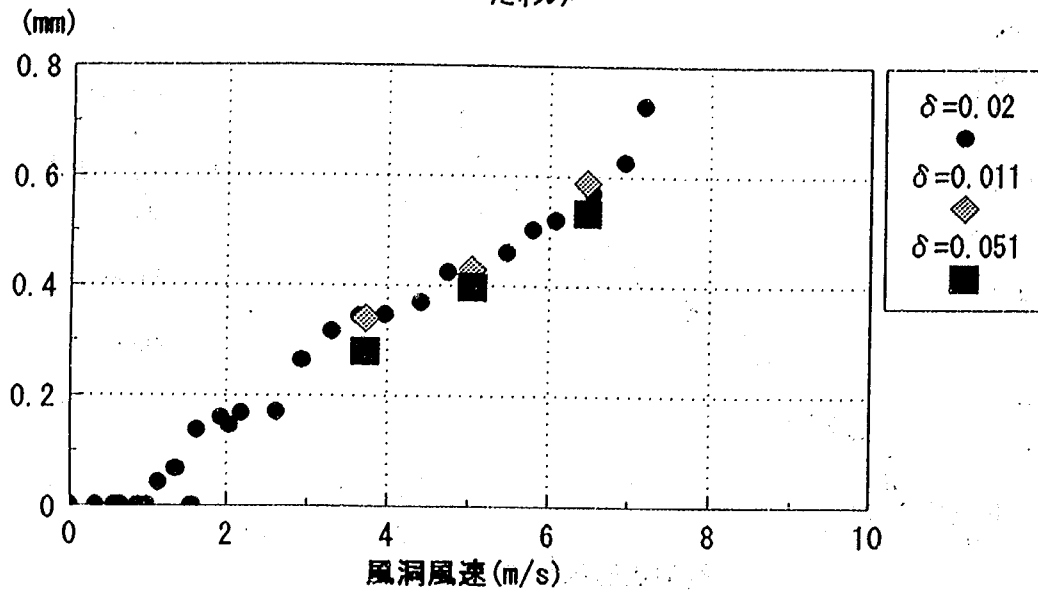


図-3. 3 3 構造減衰の影響

4. 空気力の計測

4. 1 非定常空気力の計測試験

4. 1. 1 計測方法

非定常空気力の検出は、土木研究所内のフラッター風洞において非定常空気力検出器（強制振動法）により行われた。制御方法はバネ支持実験において効果の認められた制御方法（振幅一定制御；制御量11mm）とし、加振量は片振幅で鉛直方向3.0mm、ねじれ方向1.5°とした。制御の位相差はねじれ加振に対して°で行い、たわみ加振に対しては、バネ支持実験における自由振動波形よりねじれとたわみの位相差を求め、制御ゲートとたわみ応答の位相差を設定した。表-4. 1にねじれ応答に対するたわみ応答の位相差を示す。

4. 1. 2 計測結果

非定常空気力の定義は式(3. 1)に示される通りである。

$$\begin{aligned} L &= \pi \rho b^2 [L_{ZR} \omega^2 z + L_{ZI} \omega z] + \pi \rho b^3 [L_{\theta R} \omega^2 \theta + L_{\theta I} \omega \theta] + \pi \rho b^2 [L_{YR} \omega^2 y + L_{YI} \omega y] \\ M &= \pi \rho b^3 [M_{ZR} \omega^2 z + M_{ZI} \omega z] + \pi \rho b^4 [M_{\theta R} \omega^2 \theta + M_{\theta I} \omega \theta] + \pi \rho b^3 [M_{YR} \omega^2 y + M_{YI} \omega y] \cdots \cdots (3. 1) \\ D &= -\pi \rho b d [D_{ZR} \omega^2 z + D_{ZI} \omega z] - \pi \rho b^2 d [D_{\theta R} \omega^2 \theta + D_{\theta I} \omega \theta] - \pi \rho b d [D_{YR} \omega^2 y + D_{YI} \omega y] \end{aligned}$$

ここで、

L, M, D : 揚力、モーメント、抗力

z, θ, y : 鉛直、回転、水平変位

ρ : 空気密度

b, d : 模型有効幅、桁高

$L_{ZR}, L_{ZI}, L_{\theta R}, L_{\theta I}, L_{YR}, L_{YI}$

$M_{ZR}, M_{ZI}, M_{\theta R}, M_{\theta I}, M_{YR}, M_{YI}$

$D_{ZR}, D_{ZI}, D_{\theta R}, D_{\theta I}, D_{YR}, D_{YI}$

: 非定常空気力係数

添字 z, θ, y ; 加振方向、 R, I ; 実部、虚部

図-4. 1、図-4. 2に計測された非定常空気力を示す。

4. 1. 3 フラッター解析

バネ支持実験と比較するために、バネ支持実験が行われた諸元に対し、計測された非定常空気力およびセオドルセン空気力によりフラッター解析を行った。無制御時については、バネ支持実験結果とセオドルセン空気力によるフラッター解析結果は、ほぼ等しい風速においてフラッターが発現している（風洞風速8.0m/sと8.1m/s）。一方、制御時については、バネ支持実験において、1.5°程度加振した場合のフラッター発現風速が9.0m/sなのに対し、図-4.1に示される非定常空気力によるフラッター解析結果は8.2m/sであり、バネ支持実験の結果と比較してもかなり低い風速でフラッターが発現する（図-4.3）。

この理由として、以下のようなことが考えられる。図-3.8に示されるとおり、初期加振を行う場合においては、アクティブコントロールの制御効果は、その振幅量に依存する。すなわち、制御時には、非定常空気力の振幅依存性がかなり大きい。従って、バネ支持実験において模型に作用する非定常空気力と強制加振法による非定常空気力の間には差があり、ひいてはフラッター解析の結果に誤差を生ずる。

今後、詳細な検討のためには、ゲートの制御量や位相差を変化させた場合の非定常空気力や自由振動法による非定常空気力を求め、比較検討することが必要である。

4. 2. 3 分力試験

4. 2. 1 計測方法

3分力試験は非定常空気力風洞内に、ストラット型3分力天秤を設置し、バネ支持実験に用いられた模型をそのまま用いた。実験は、設置位置③のゲートを対象とした。計測された空気力の迎角は1°ピッチで±10°とし、各迎角において設置位置③のゲートを突出した状態で静止させ、静的な空気力を計測した。ゲートの突出量は、3mmピッチで12mmまでとした。

4. 2. 2 計測結果

3分力係数のそれぞれの計測結果を図-4.4、図-4.5に示す。これらの図より、制御量を変化させた場合、抗力に関しては若干の差はあるものの、揚力、モーメントについてはほとんど差が見られない。つまり、どの様な経路を通る制御を行っても揚力勾配には殆ど差はなく、準定常的なアプローチでは、2章で示されているバネ支持実験におけるガスト応答の低減を説明することはできない。従って、ガスト応答に対するアクティブ制御の効果は、桁の応答に応じて制御されるゲートによって生ずる、空気力の非定常性が主たる原因と思われる。

表-4. 1 ねじれ応答とたわみ応答の位相差

case6 ねじれとたわみの位相差

rpm	風速(m/s)	位相差(度)
370	8.05	-170
380	8.69	-175
390	8.31	-180
400	8.44	-172.5
410	8.92	-170
420	9.13	-160
430	9.35	-155
440	9.58	-140
450	9.77	-136
460	10.01	-133
470	10.22	-130
480	10.46	-125
490	10.67	-133
500	10.83	-119
510	11.10	-117
520	11.28	-115
530	11.52	-117
540	11.73	-110

case1 ねじれとたわみの位相差

rpm	風速(m/s)	位相差(度)
40	0.57	-10
50	0.89	-30
60	1.06	-50
70	1.33	-60
80	1.55	-80
90	1.74	-85
100	2.00	-90
110	2.19	-100
120	2.40	-110
140	2.86	-120
160	3.30	-130
180	3.75	-135
200	4.14	-145
220	4.60	-150
240	5.01	-155
260	5.47	-160
280	5.99	-162
300	6.47	-165
310	6.60	-165
320	6.90	-164
330	7.09	-165
340	7.30	-163
350	7.54	-161
360	7.80	-159
370	7.98	-156
375	8.15	-154
380	8.23	-152

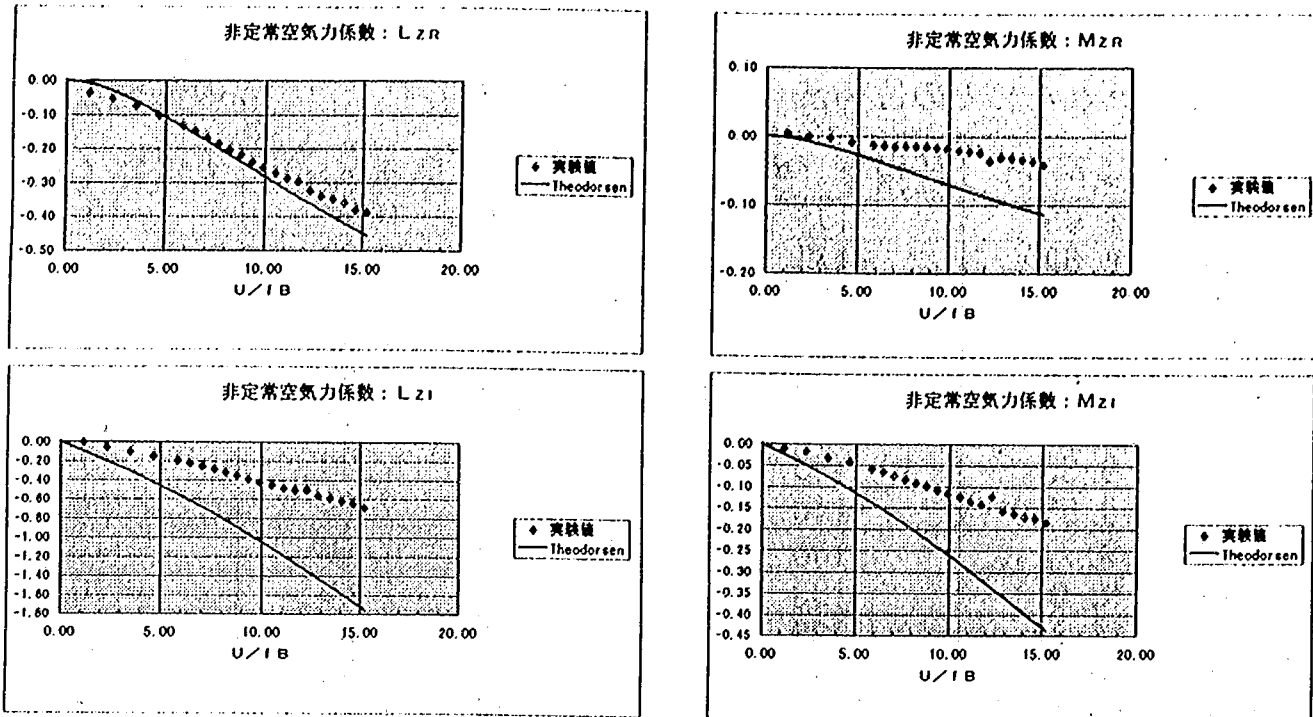


図-4. 1 アクティブ制御の非定常空気力 (鉛直加振)

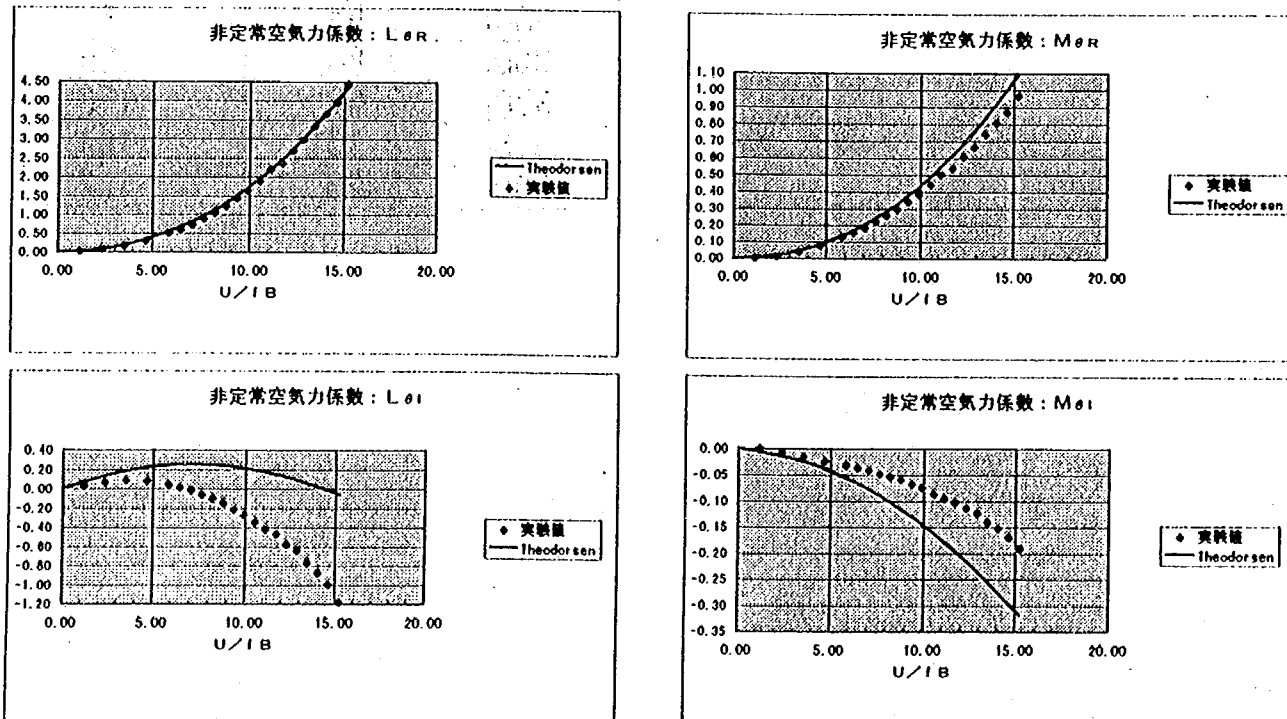


図-4. 2 アクティブ制御の非定常空気力 (モーメント加振)

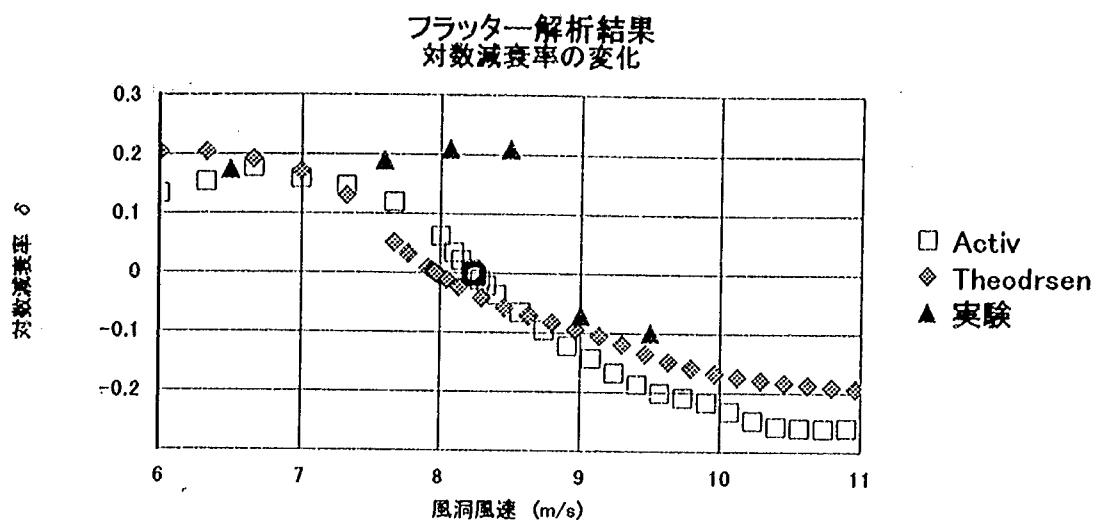
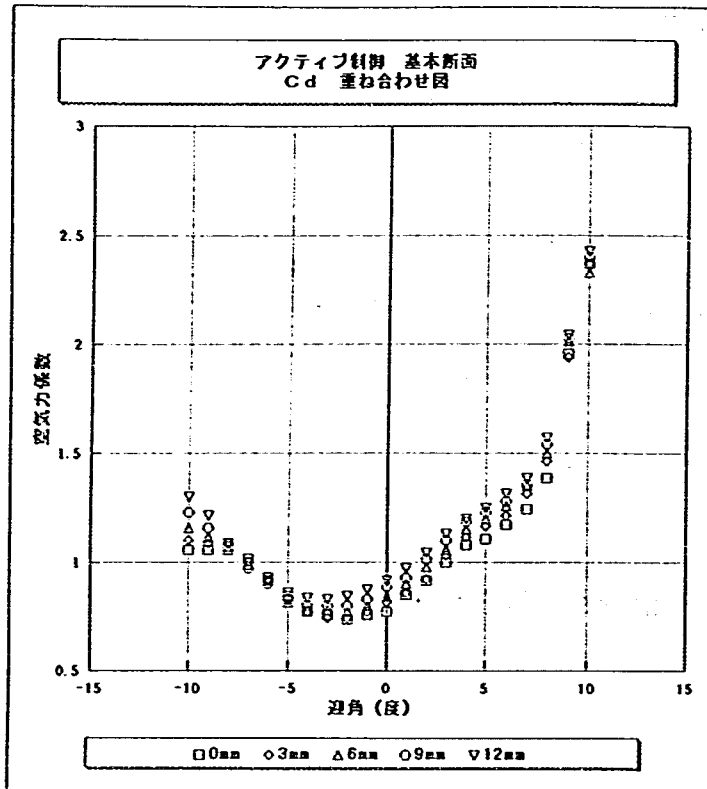
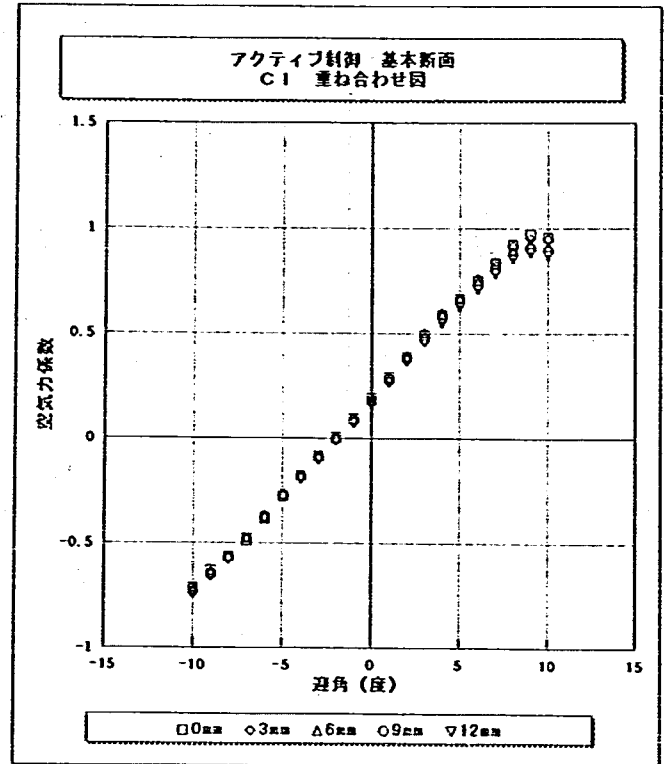


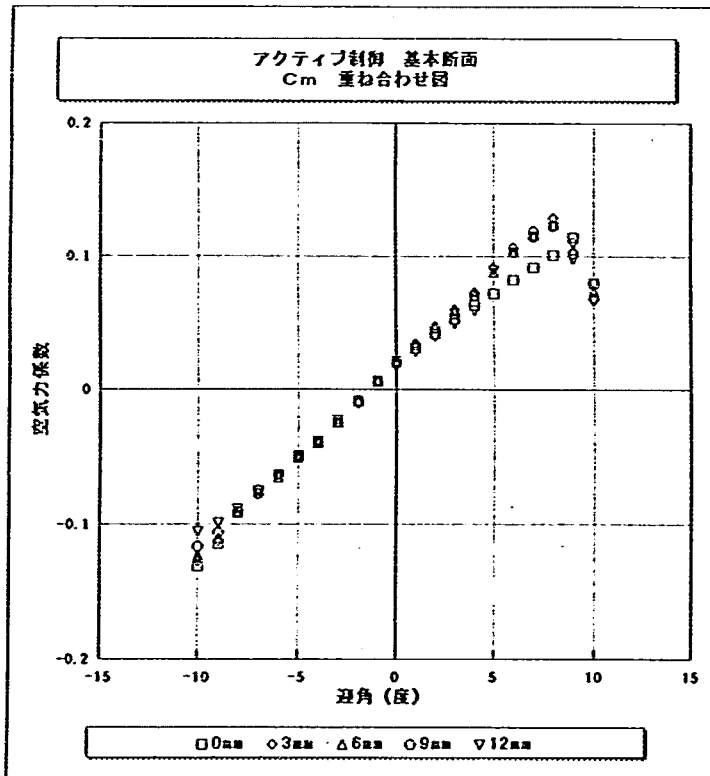
図-4. 3 フラッター解析と実験値の比較



(1) も

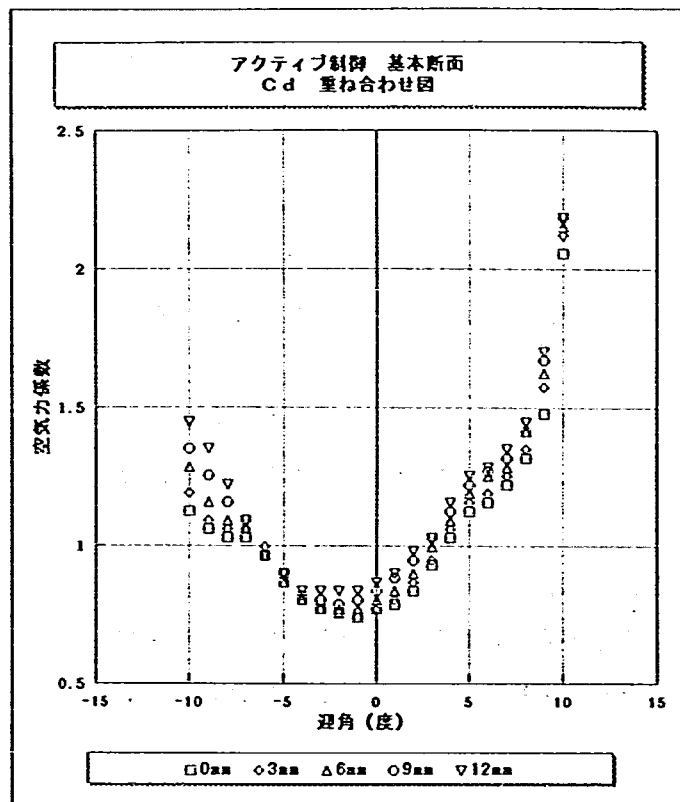


(2) 揚力

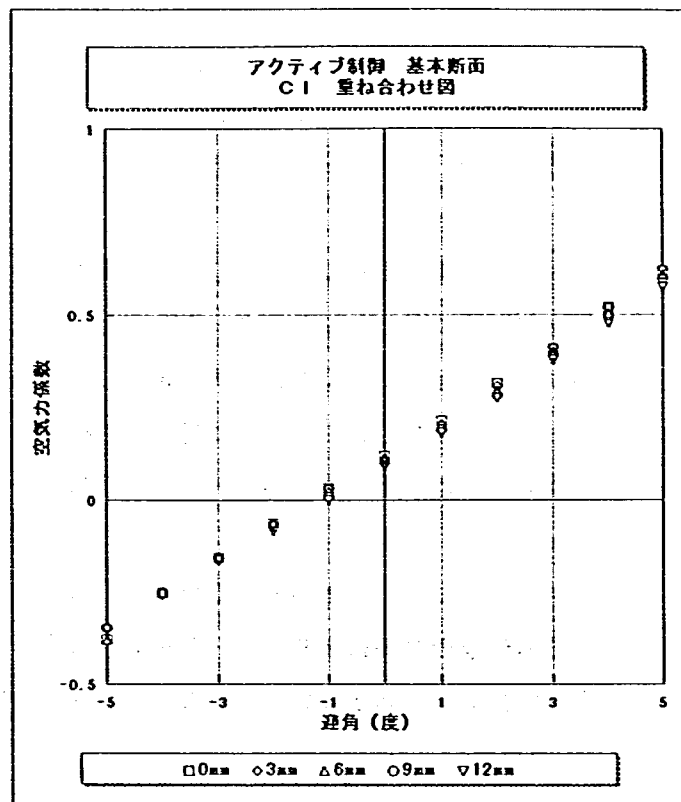


(3) モーメント

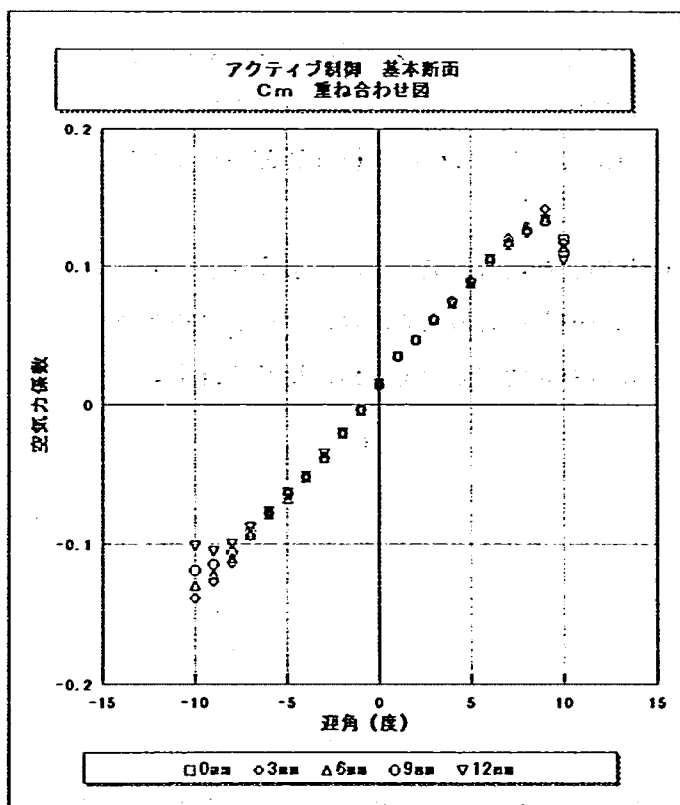
図-4. 4 ゲート高さに関する3分力係数の比較 (10m/s)



(1) 抗力



(2) 揚力



(3) モーメント

図-4.5 ゲート高さに関する3分力係数の比較 (15m/s)

5. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

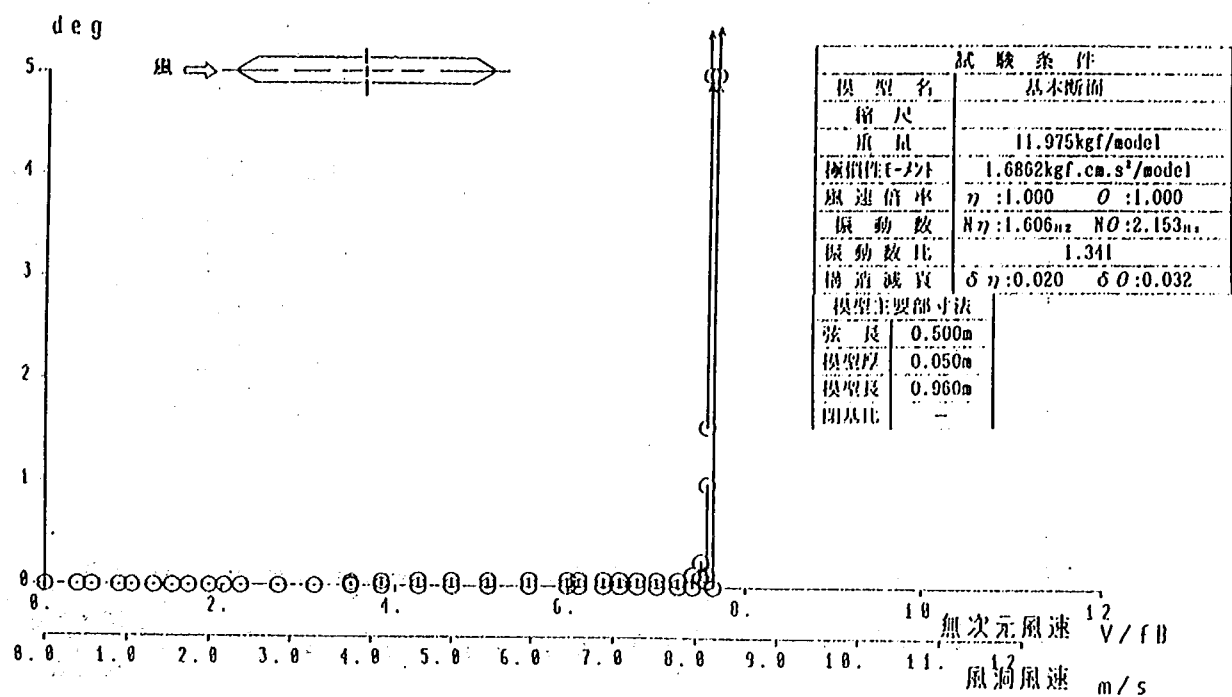
- ・制御方法を工夫することにより、高風速で見られた不規則振動を抑えることが可能となった。
- ・様々な断面に対し、フラッターを抑える効果があることが明らかになった。また、断面が鈍いほどその効果が低減していくことが明らかになった。
- ・たわみおよびねじれの渦励振に対しても制御効果があることが明らかになった。また、たわみの渦励振に対しては、桁縁に制御ゲートを設置した方が中央に設置するよりも効果が高いことが明らかになった。
- ・ガスト応答に対してもある程度の効果があることが明らかになった。
- ・3分力係数の計測により、ゲートを出した時とそうでないときの間に静的な揚力勾配、モーメント勾配に大きな差がないことから、ガスト応答量の減少は非定常的な空気力の影響が大きいことが示唆された。

今後の課題として、

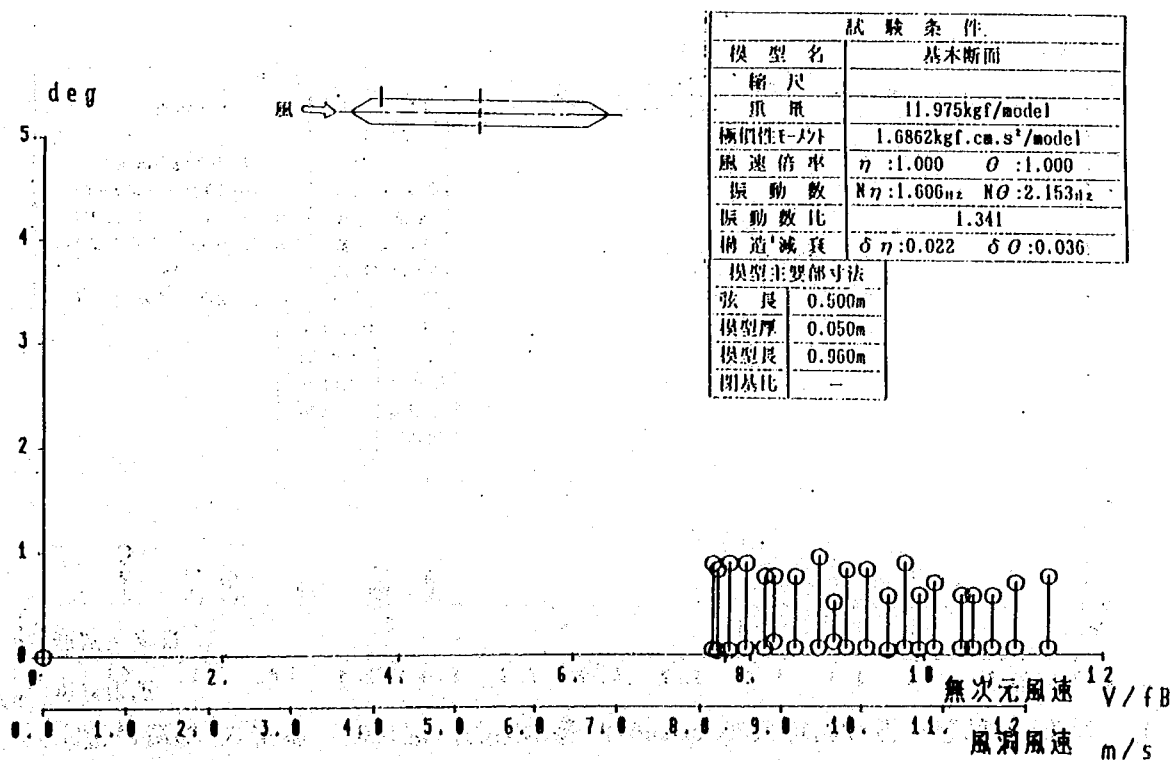
- ・渦励振、ガスト応答に関しては、効果があることは示されたものの、モータの加振によるAMD効果により、最適な制御量、制御位相差等を把握することができなかった。今後、駆動系の工夫やモータを模型の外に設置するなど、AMD効果の影響が少ない模型により詳細な検討を行うことが必要である。
- ・アクティブ制御時について、非定常空気力の振幅依存性のため、非定常空気力計測によるフラッター解析の結果とバネ支持実験の結果が大きく異なった。今後、詳細な検討のためには、ゲートの制御量や位相差を変化させた場合の非定常空気力や自由振動法による非定常空気力を求め、比較検討することが必要である。

【参考文献】

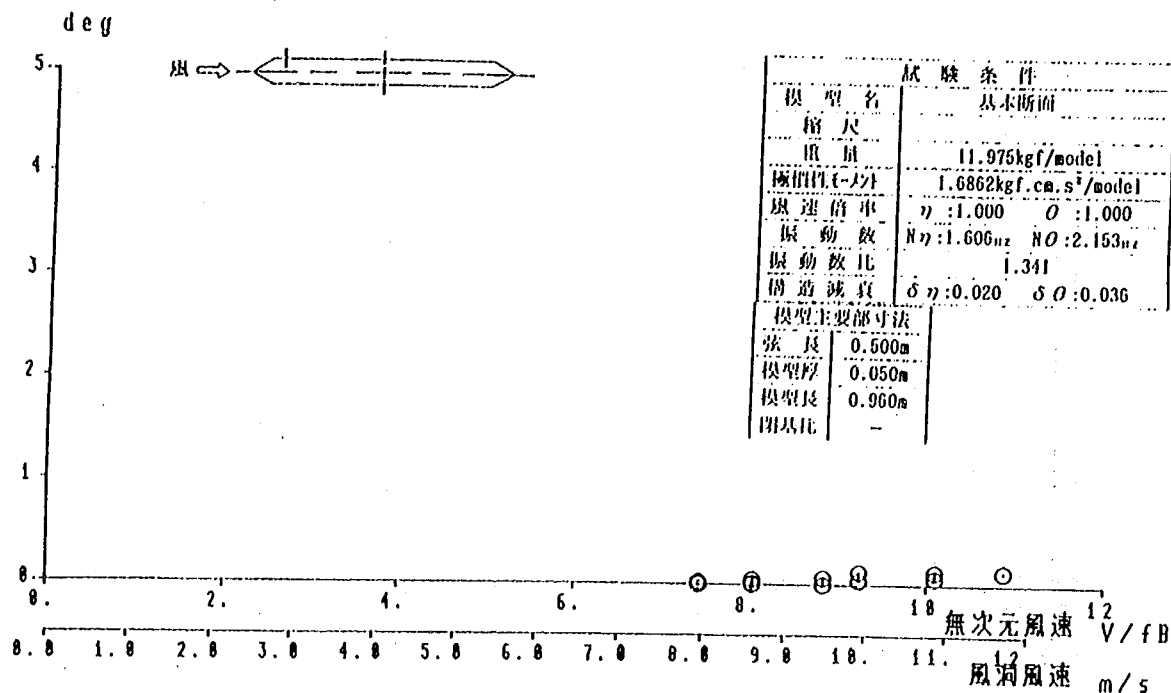
- 1) 佐藤、日下部、松藤：アクティブコントロールによる耐風制振に関する研究報告書、建設省土木研究所資料、平成7年3月



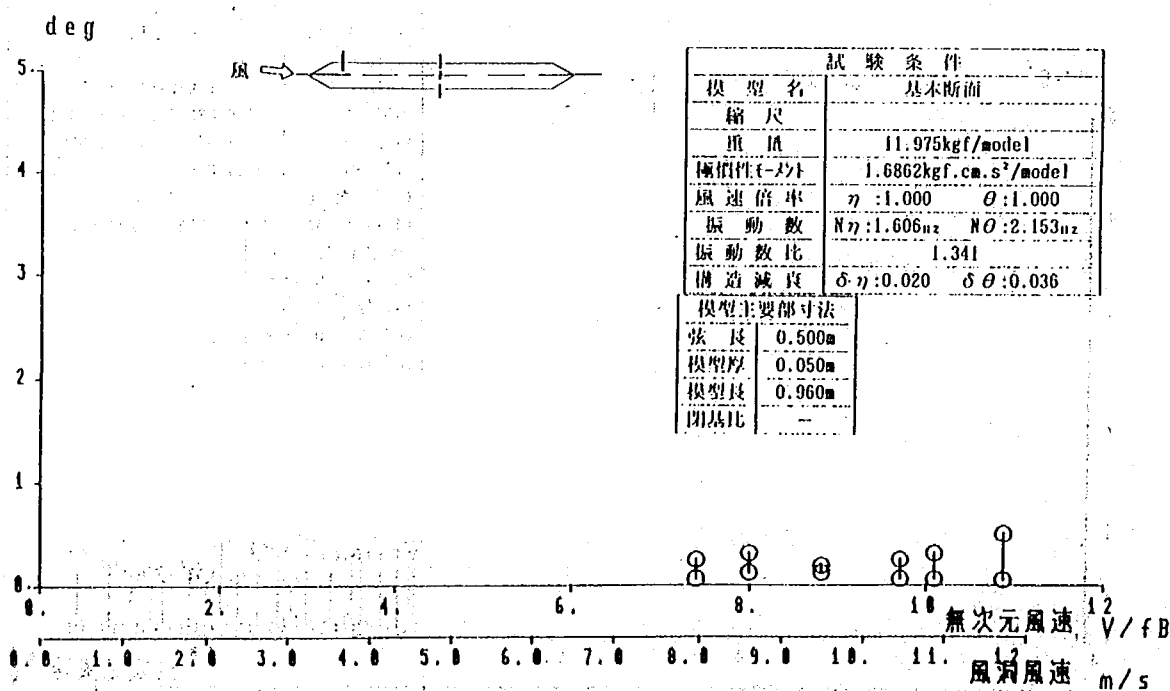
付図—1. 1 風速—振幅曲線 (H6. case1, 基本断面, 迎角0°, 制御なし)



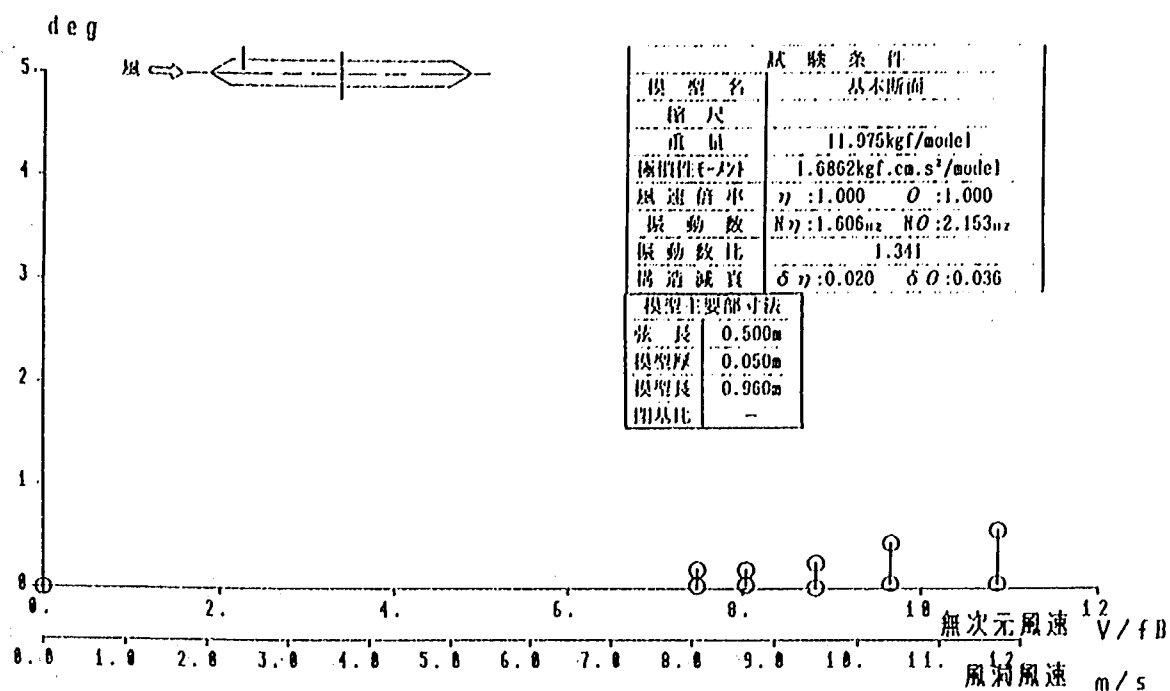
付図—1. 2 風速—振幅曲線 (H6. case2, 基本断面, 迎角0°, 制御5, 設置位置①)



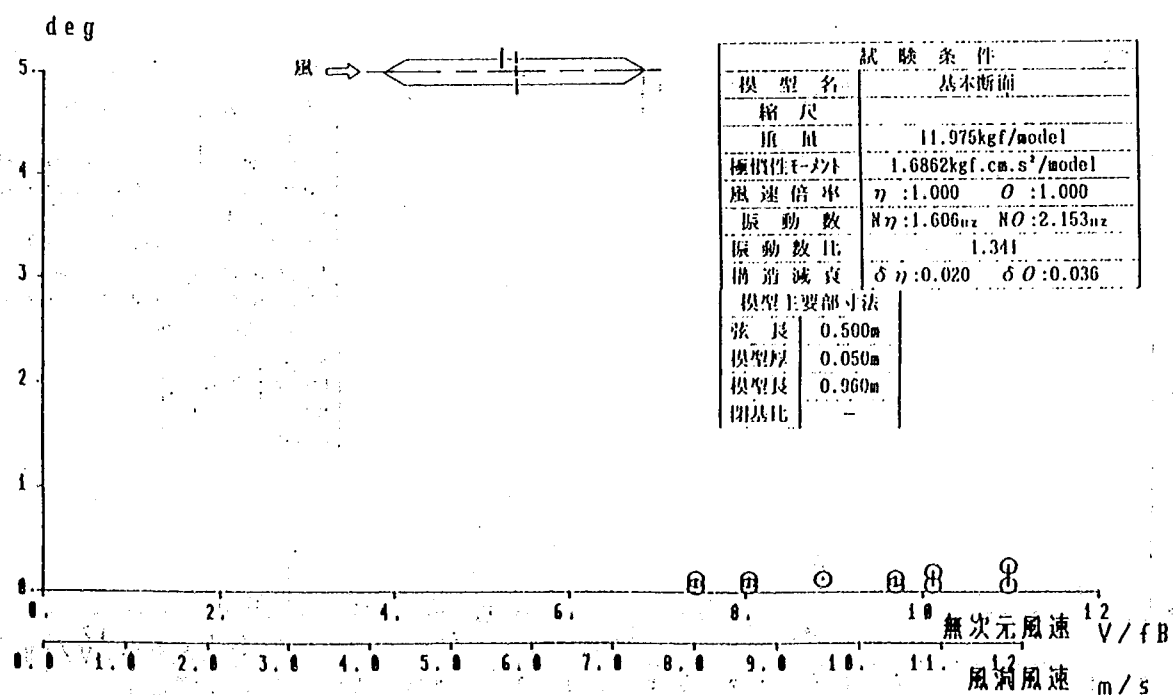
付図-1. 3 (a) 風速—振幅曲線 (H6. case4.1, 基本断面, 迎角 0° , 制御2, 設置位置①)



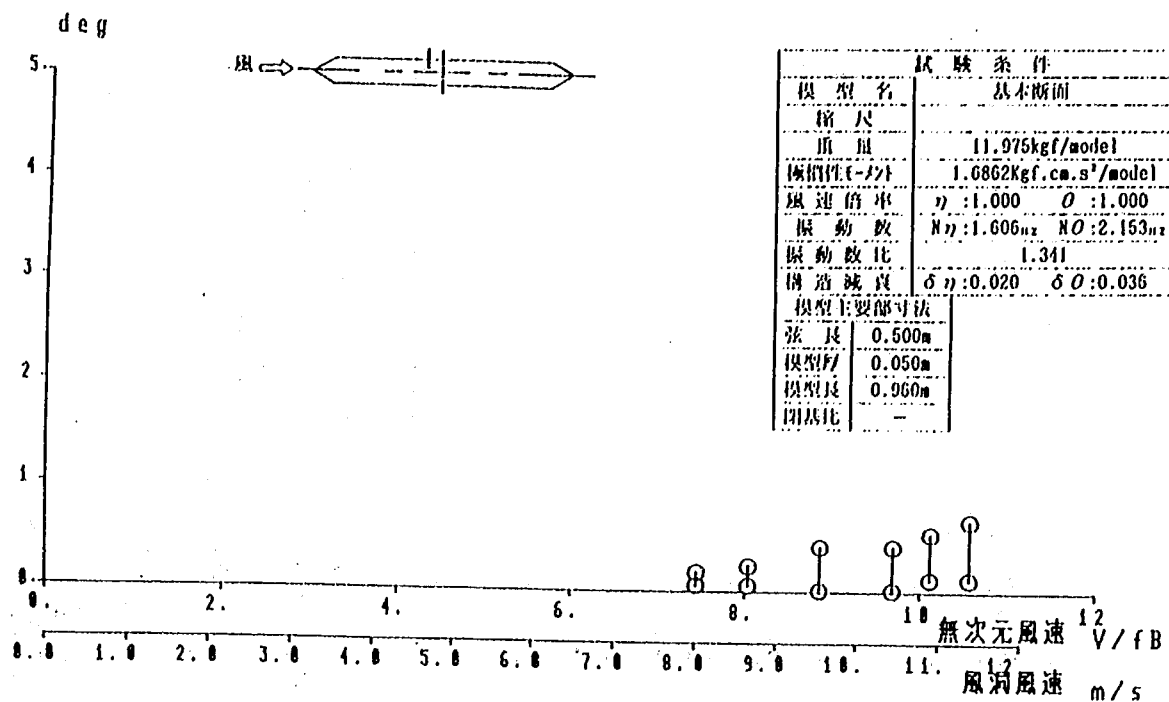
付図-1. 3 (b) 風速—振幅曲線 (H6. case4.2, 基本断面, 迎角 0° , 制御3, 設置位置①)



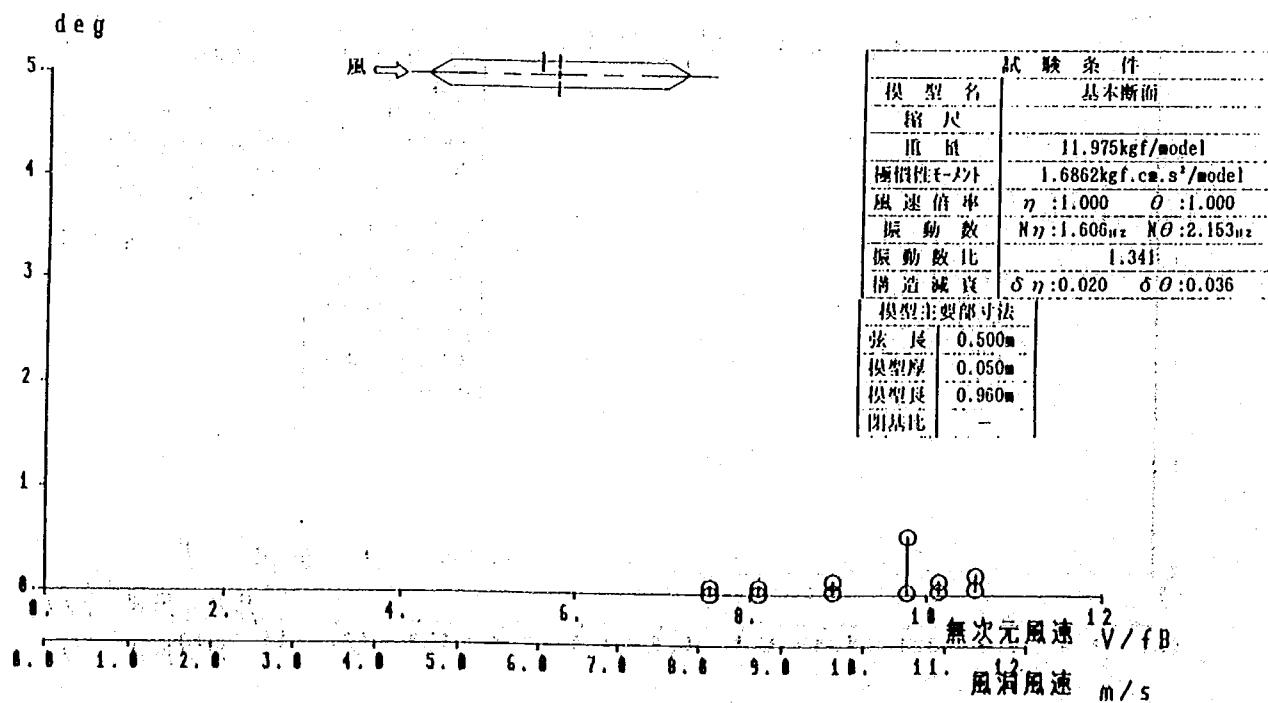
付図—1. 3(c) 風速—振幅曲線 (H6, case 4.3, 基本断面, 迎角 0° , 制御8, 設置位置①)



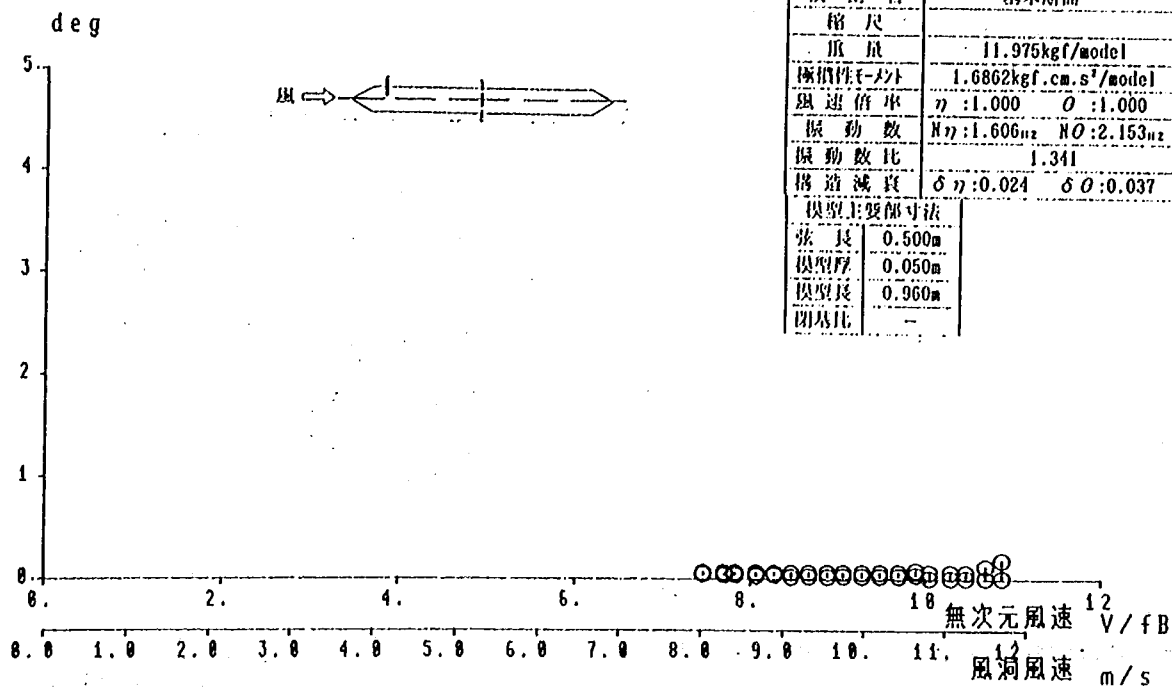
付図—1. 4(a) 風速—振幅曲線 (H6, case 5.1, 基本断面, 迎角 0° , 制御2, 設置位置②)



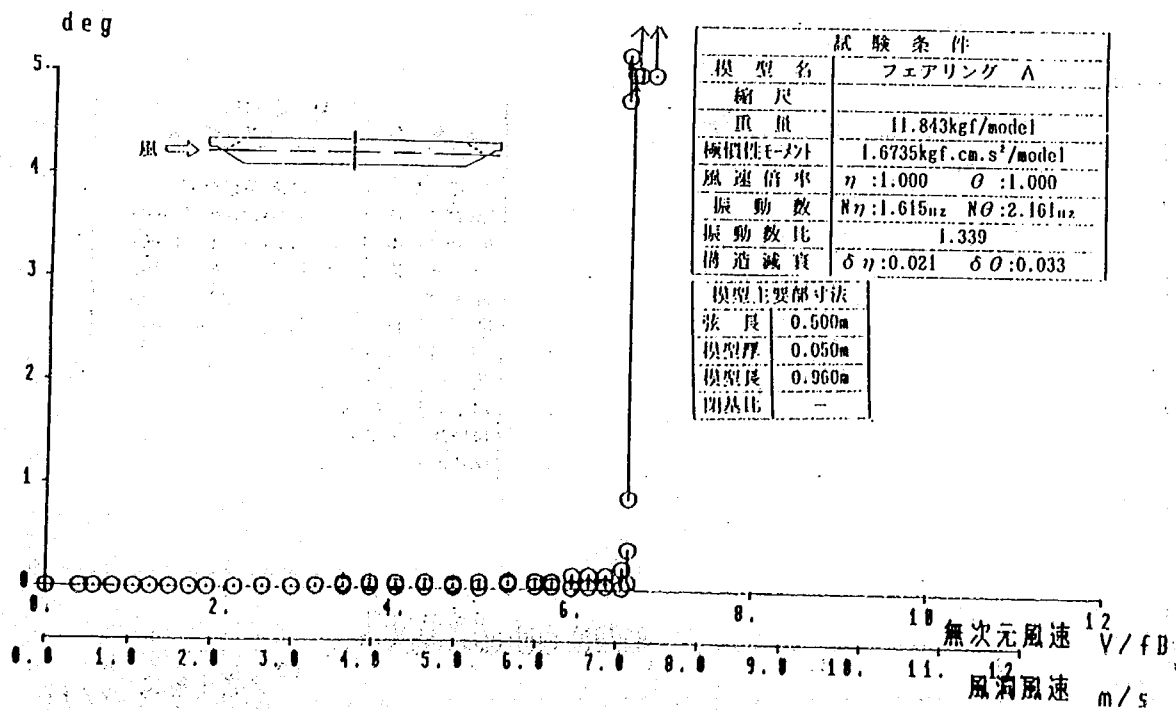
付図—1. 4 (b) 風速—振幅曲線 (H6. case5. 2, 基本断面, 迎角 0° , 制御3, 設置位置②)



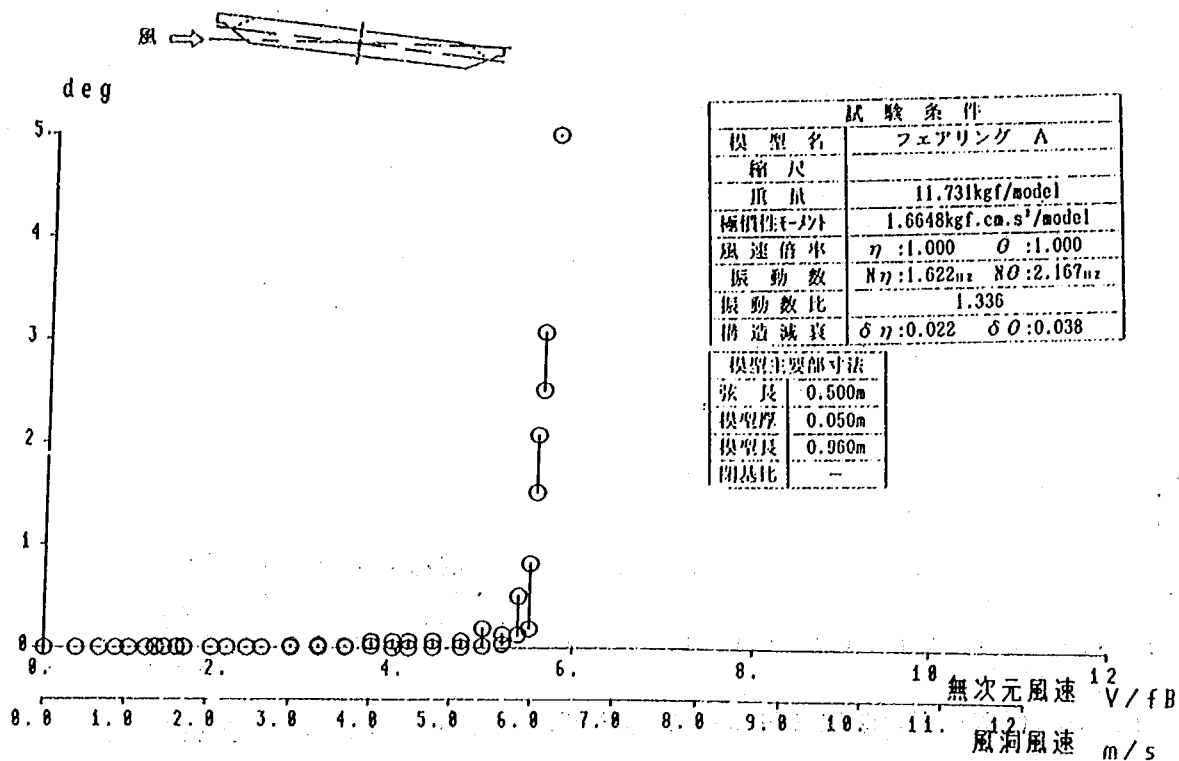
付図—1. 4 (c) 風速—振幅曲線 (H6. case5. 3, 基本断面, 迎角 0° , 制御8, 設置位置②)



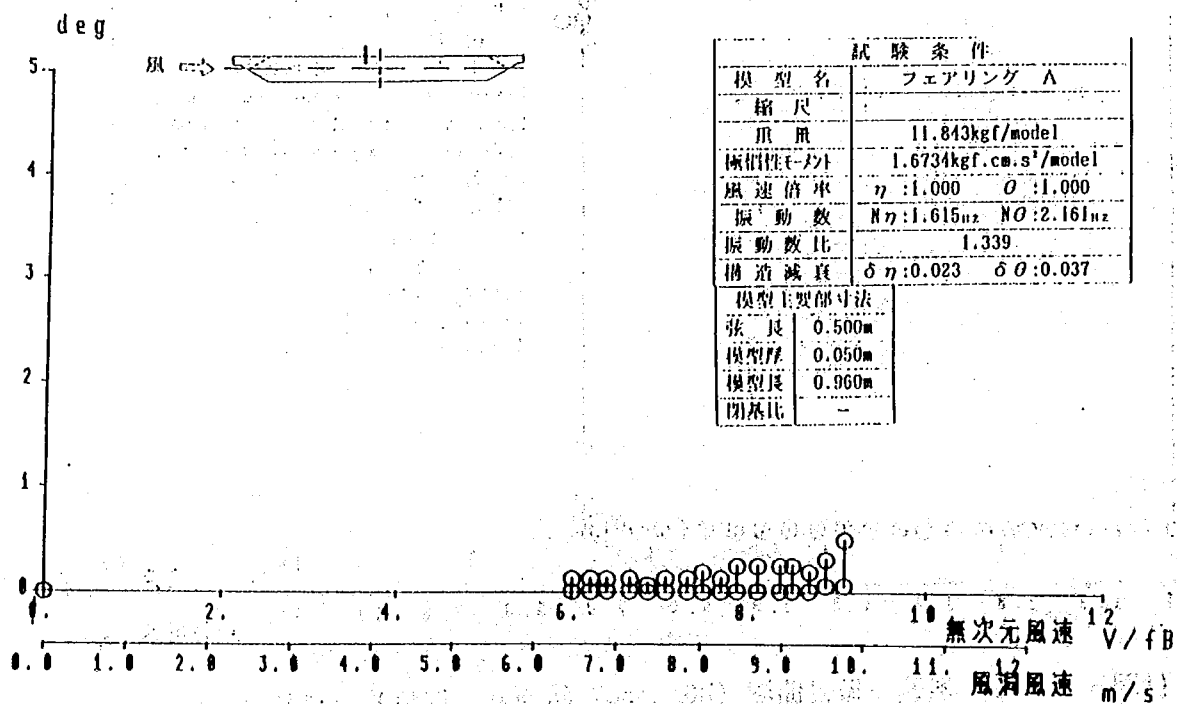
付図-1. 5 風速-振幅曲線 (H6. case6, 基本断面, 迎角0°, 制御9, 設置位置①)



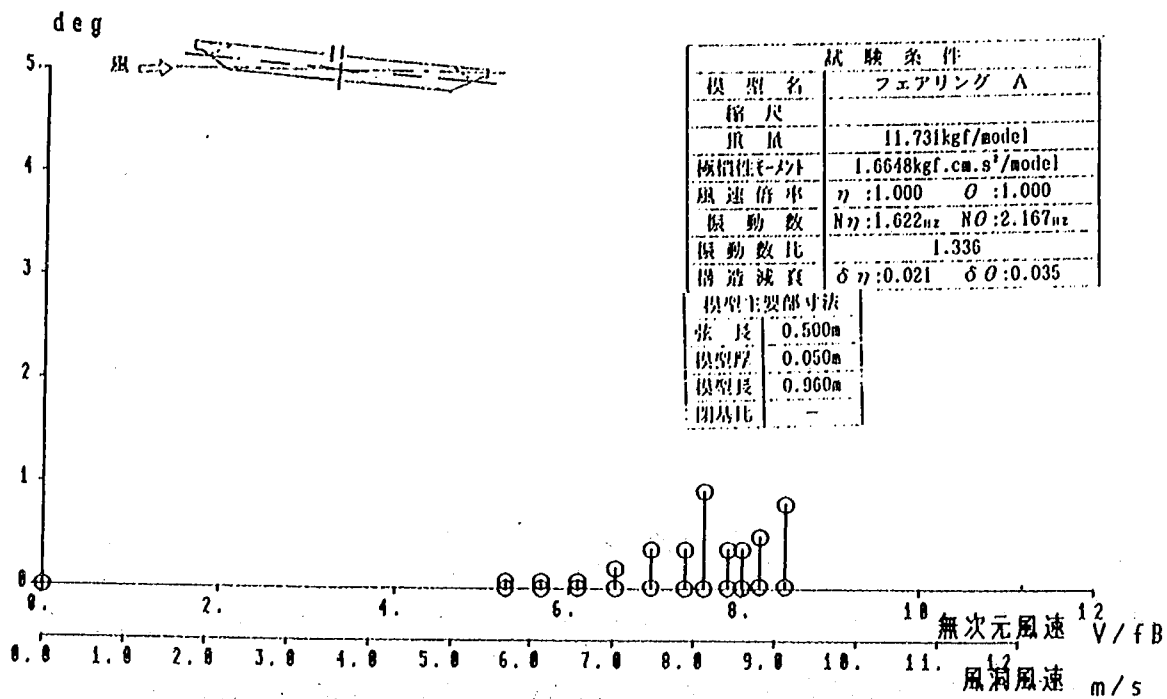
付図-1. 6 風速-振幅曲線 (H6. case7, 断面A, 迎角0°, 制御なし)



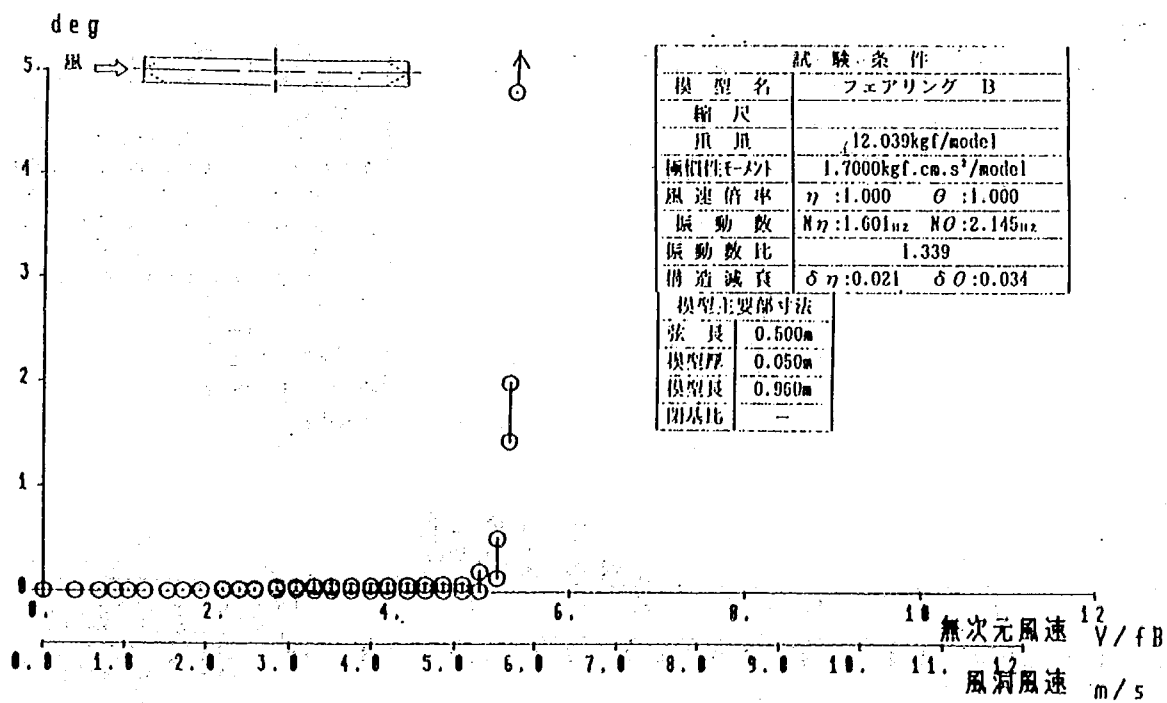
付図-1. 7 風速-振幅曲線 (H6, case 8, 断面 A, 迎角+3°, 制御なし)



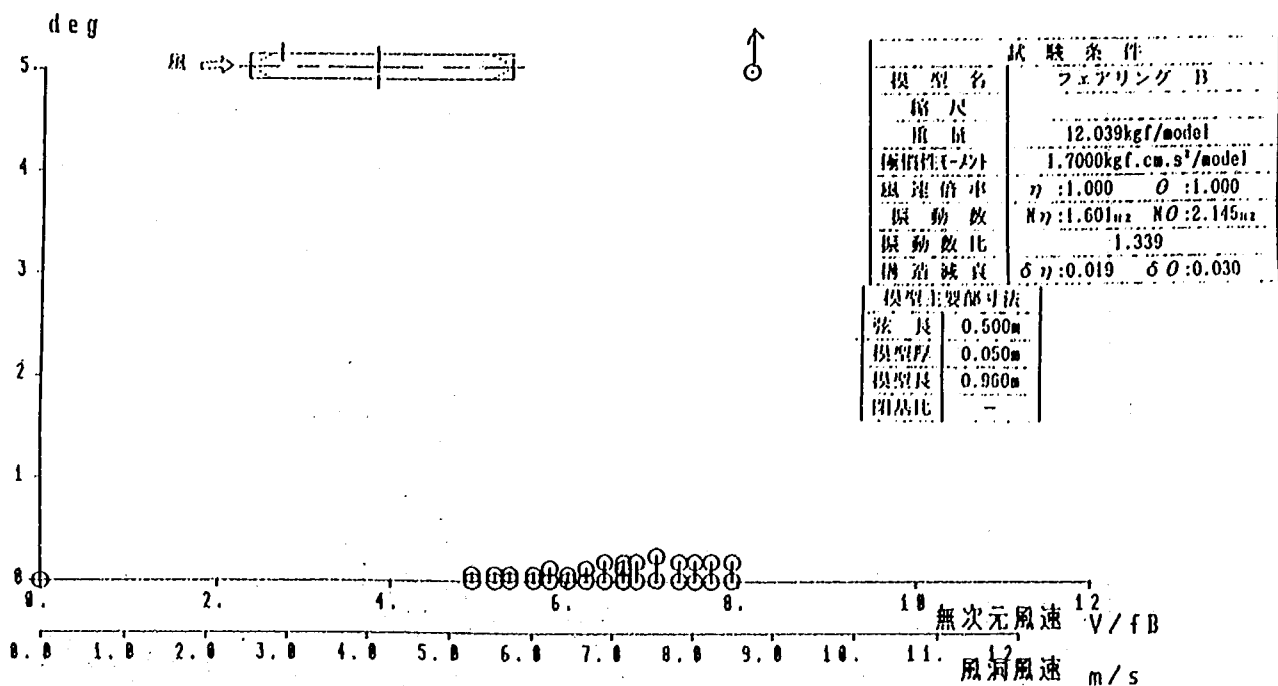
付図-1. 8 風速-振幅曲線 (H6, case 9, 断面 A, 迎角0°, 制御 9, 設置位置 ②)



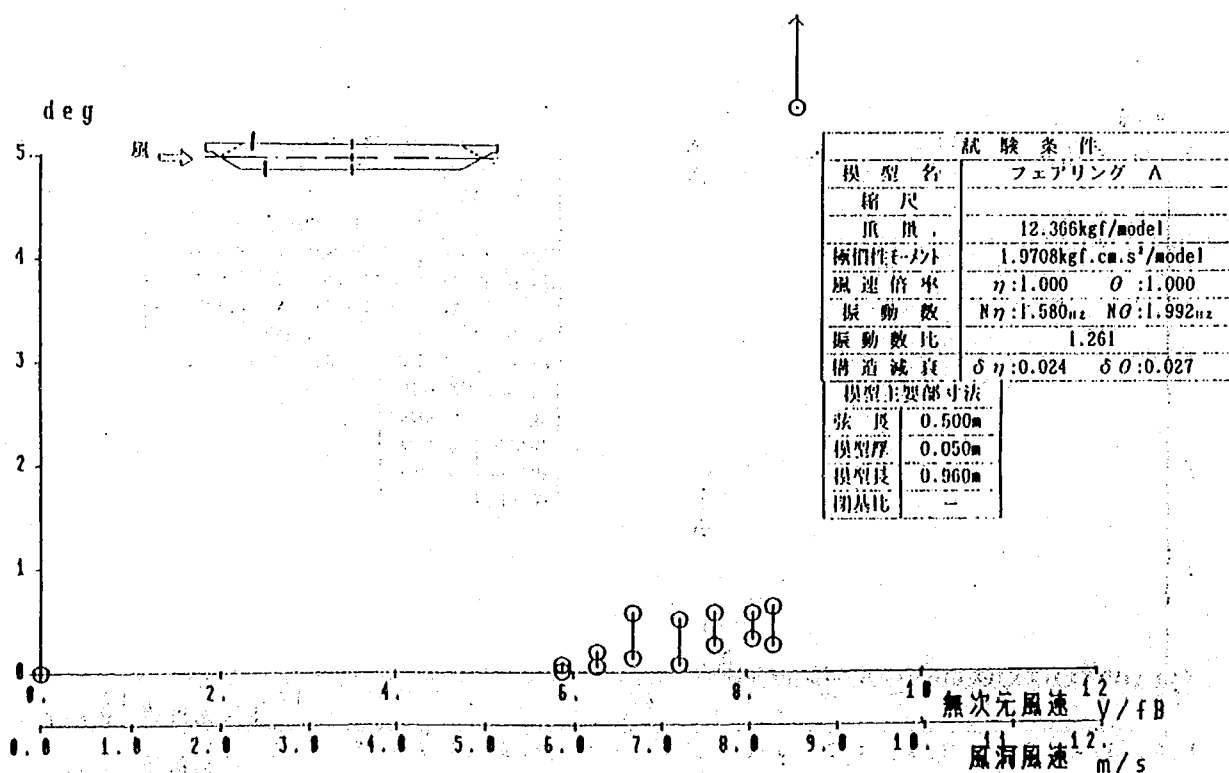
付図—1. 9 風速—振幅曲線 (H6. case10, 断面A, 迎角+3°, 制御9, 設置位置②)



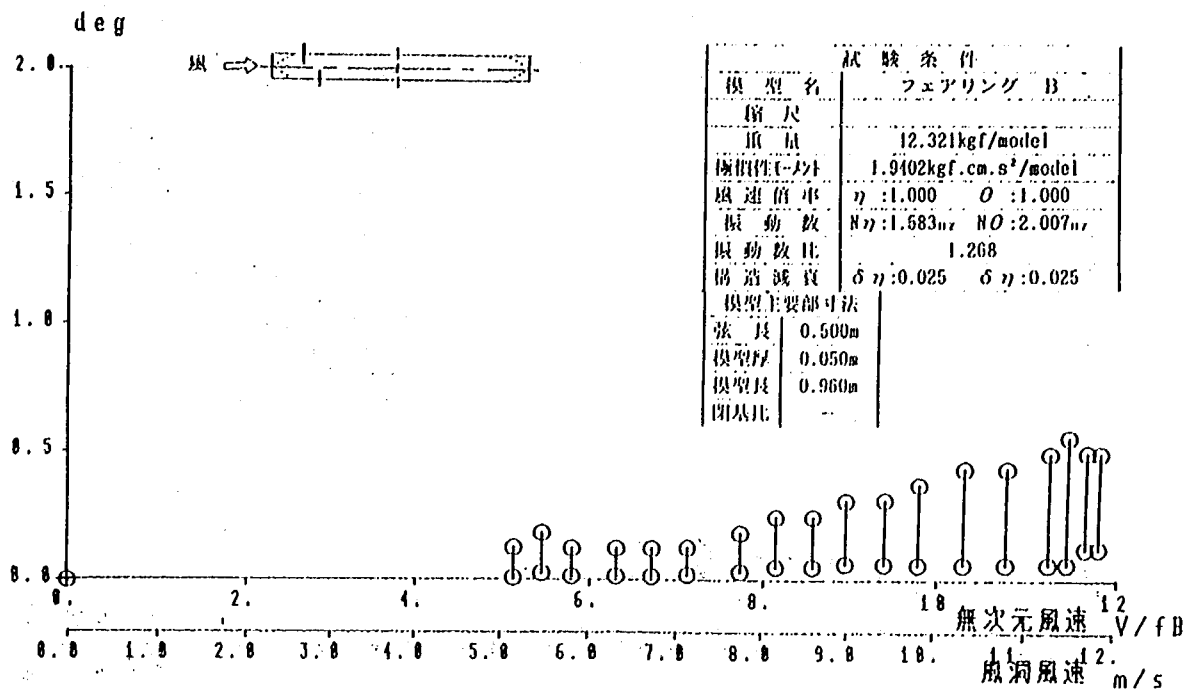
付図—1. 10 風速—振幅曲線 (H6. case11, 断面B, 迎角0°, 制御なし)



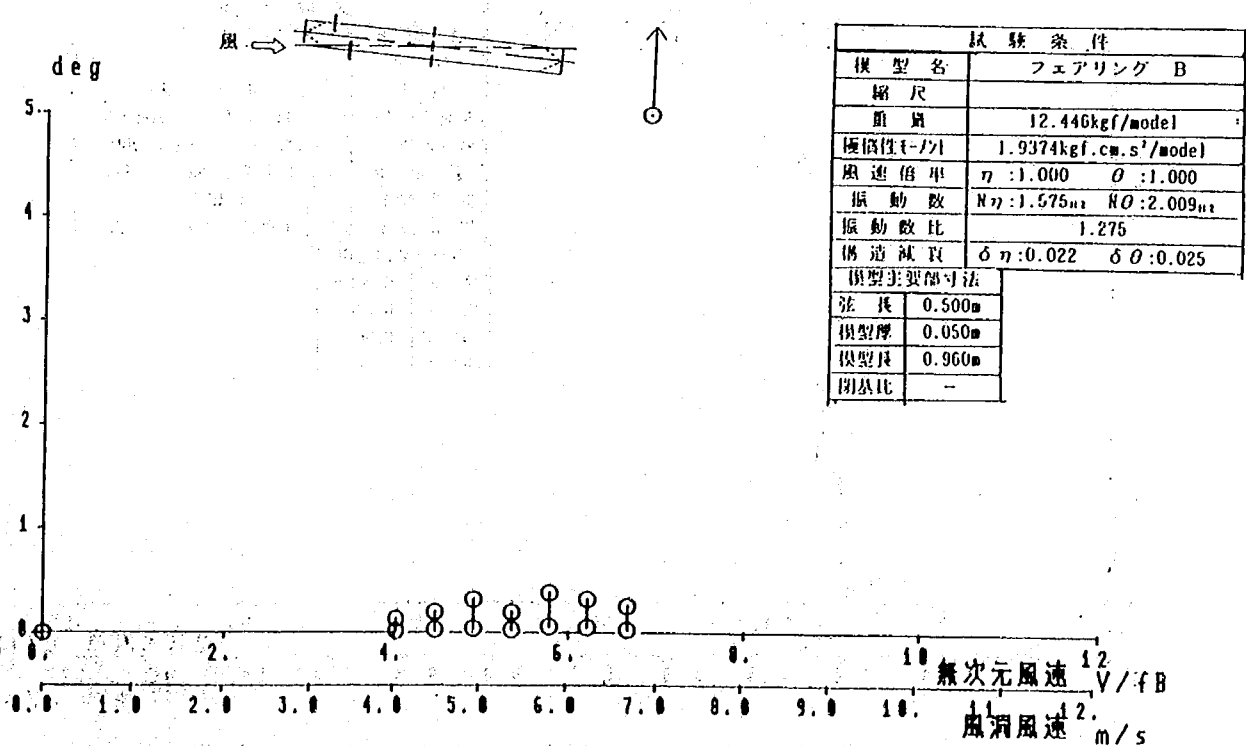
付図—1. 1 1 風速—振幅曲線 (H6. case12, 断面B, 迎角0°, 制御9, 設置位置①)



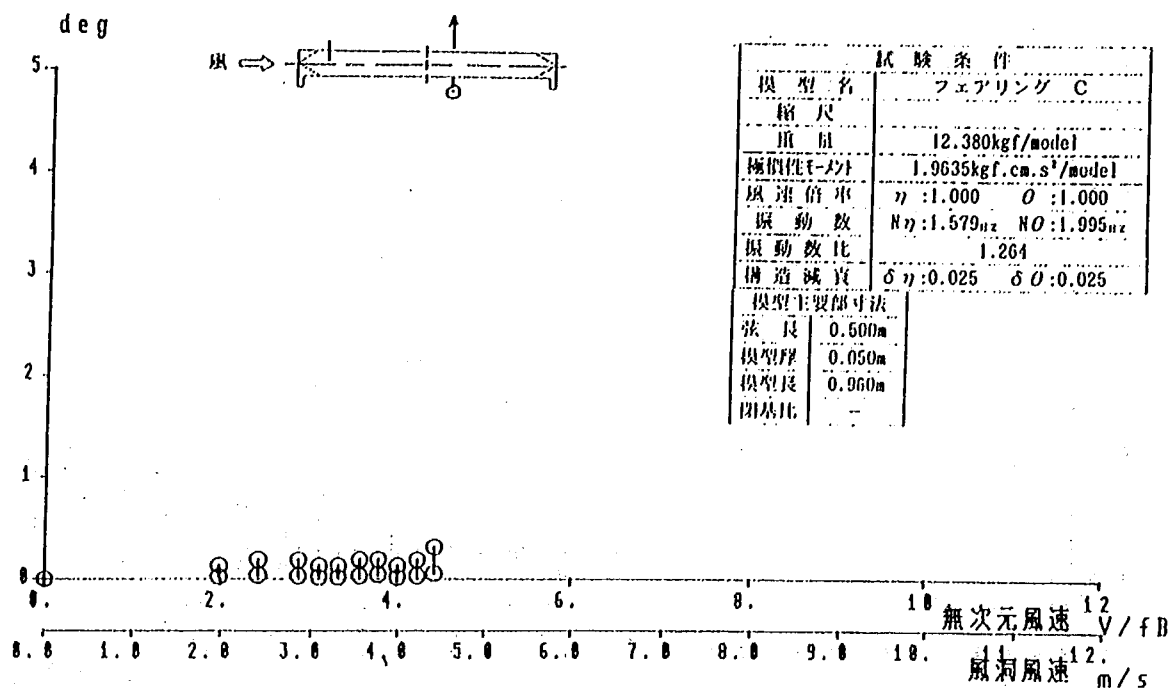
付図—1. 1 2 風速—振幅曲線 (H6. case13, 断面A, 迎角0°, 制御5, 設置位置①+③)



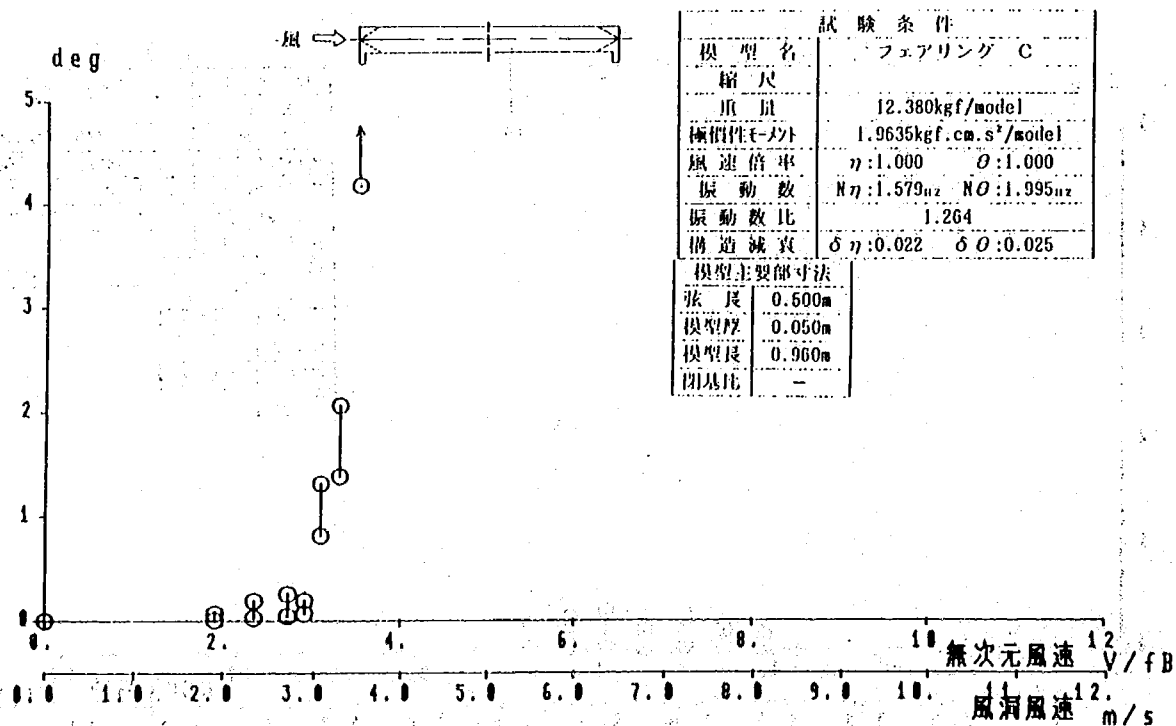
付図-1. 13 風速-振幅曲線 (H6. case14, 断面B, 迎角0°, 制御5, 設置位置①+③)



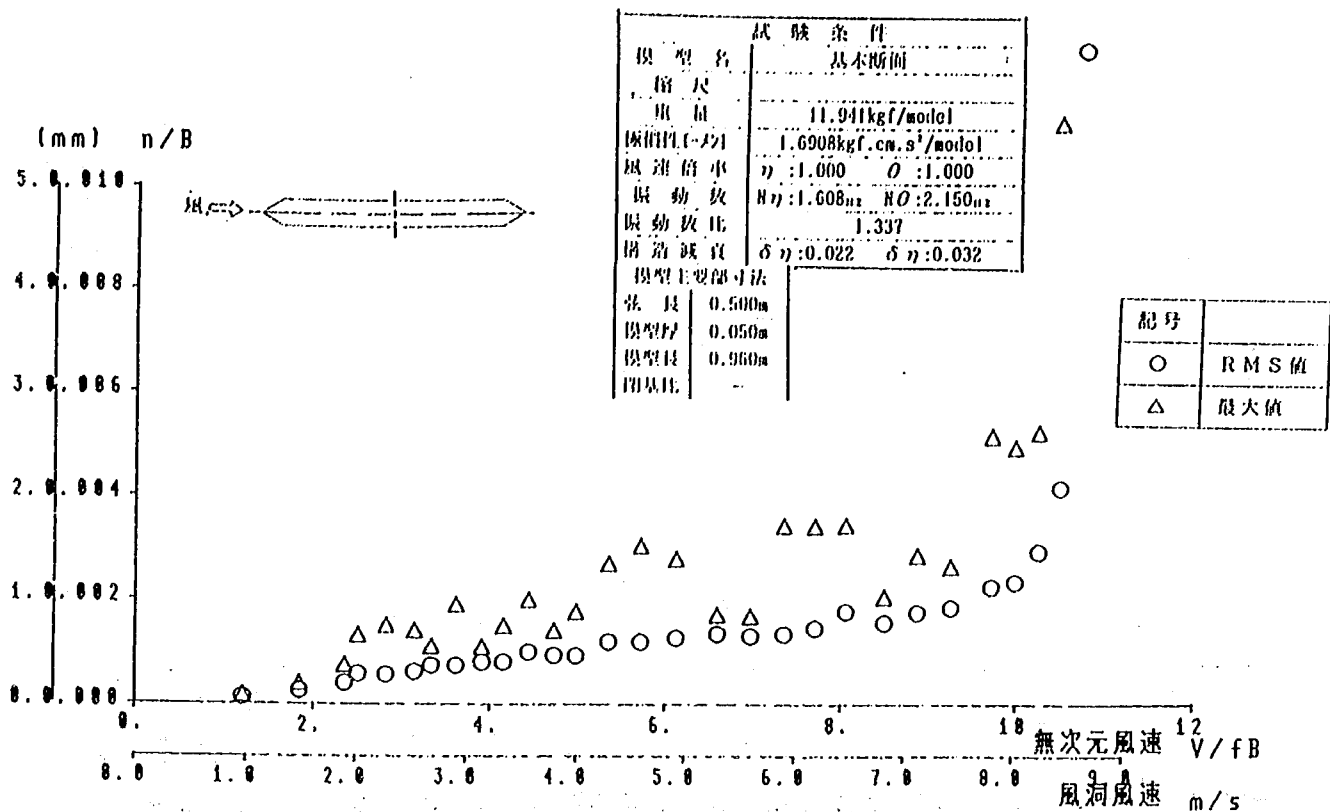
付図-1. 14 風速-振幅曲線 (H6. case15, 断面B, 迎角+3°, 制御5, 設置位置①+③)



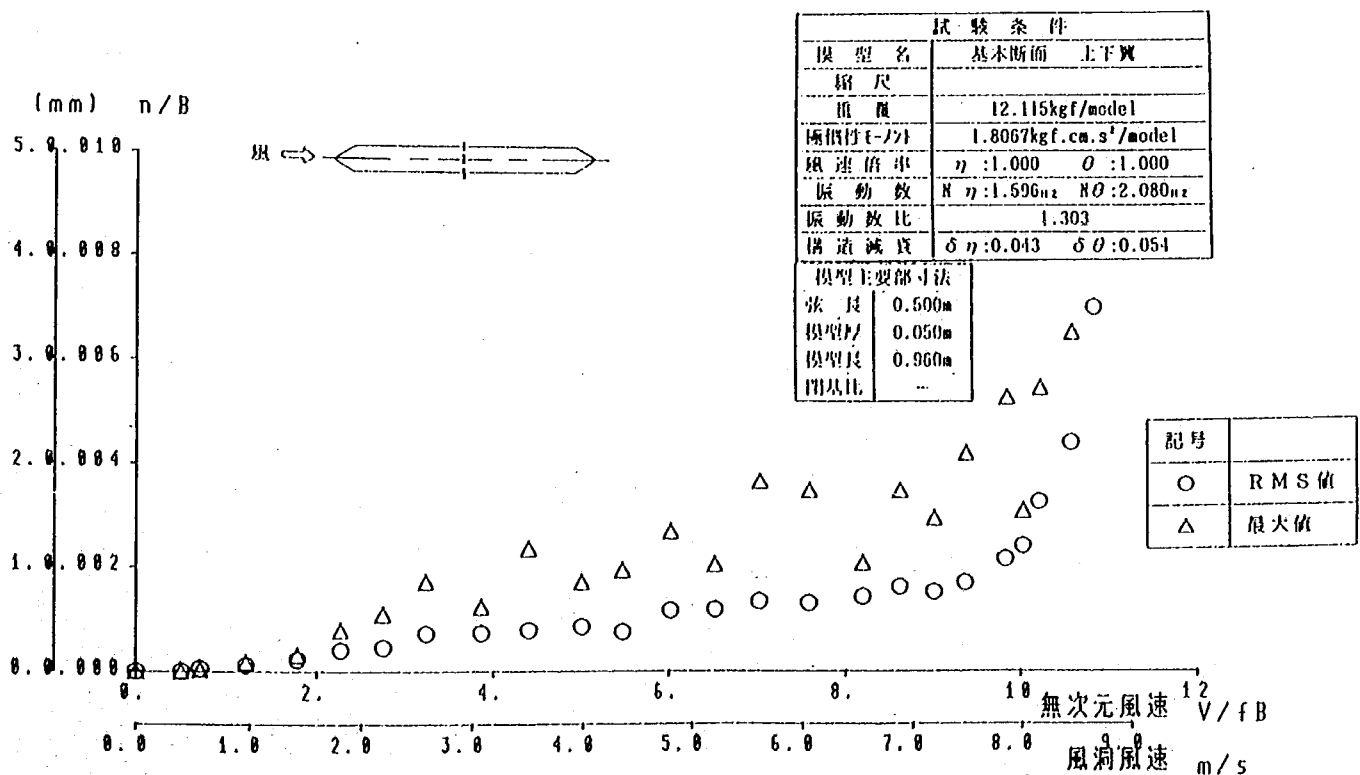
付図-1. 15 風速-振幅曲線 (H6. case16, 断面C, 迎角0°, 制御なし)



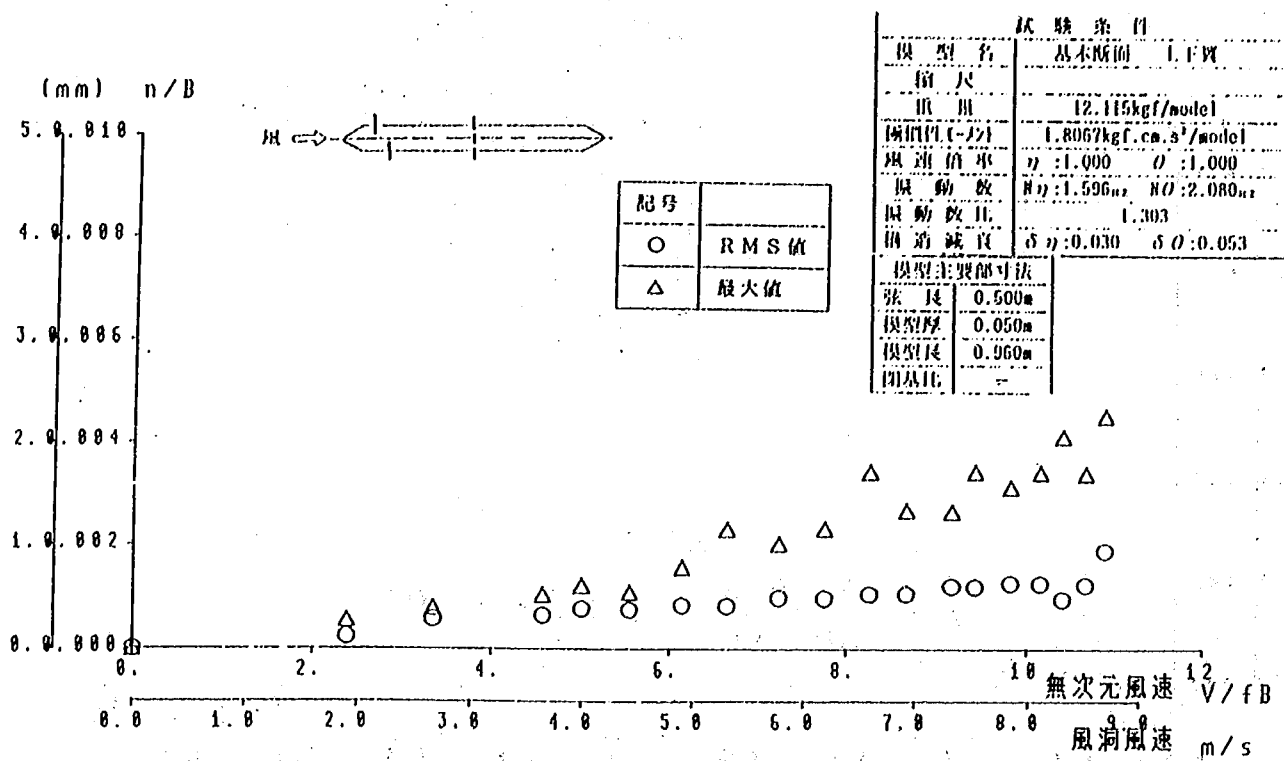
付図-1. 16 風速-振幅曲線 (H6. case17, 断面C, 迎角0°, 制御5, 設置位置①)



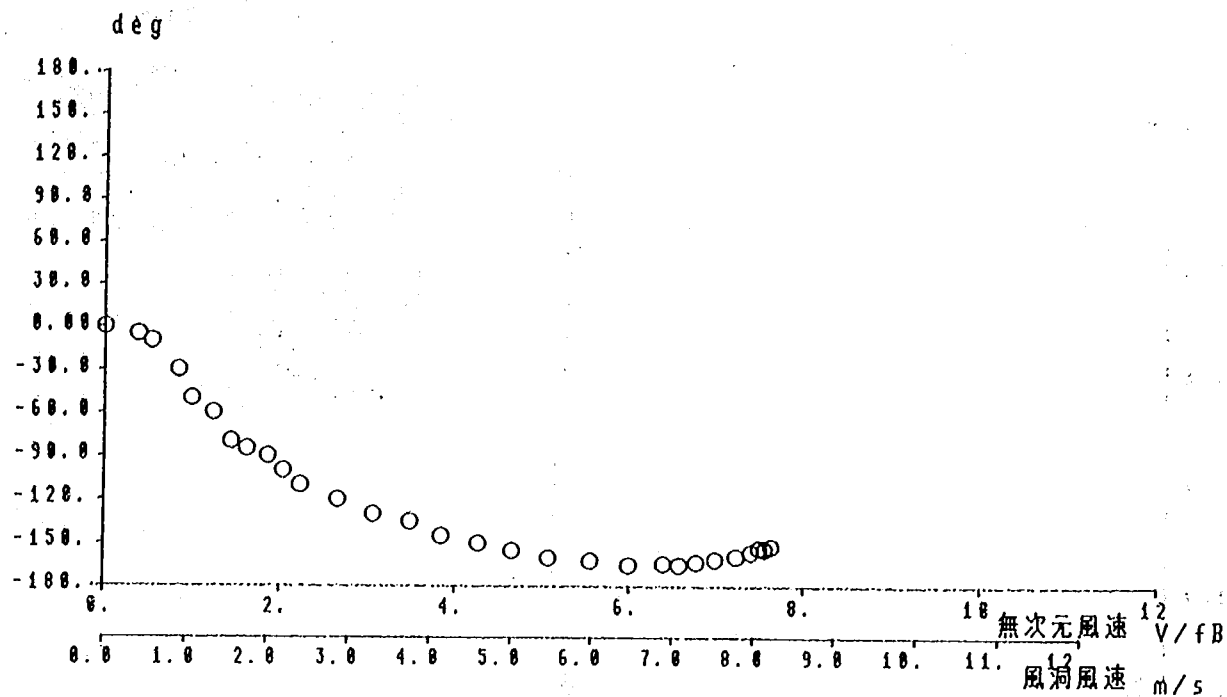
付図—1. 17 風速—振幅曲線 (H6. case18, 基本断面, 迎角 0° , 制御なし、乱流)



付図—1. 18 風速—振幅曲線 (H6. case19, 基本断面, 迎角 0° , 制御なし、減衰付加)

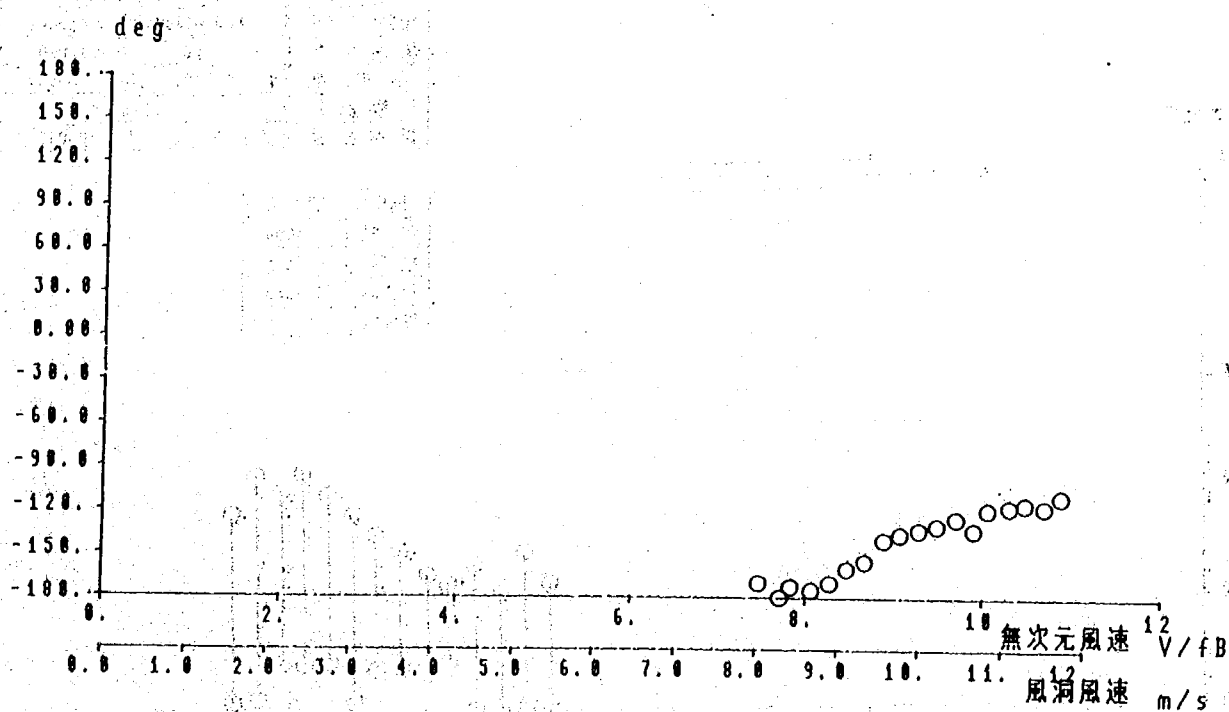


付図—1. 1.9 風速—振幅曲線 (H6. case20, 基本断面, 迎角 0° , 制御B, 設置位置①+③)



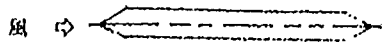
(H6. case1, 基本断面、迎角 0° , 制御なし)

付図-2. 1(a) ねじれ応答に対するたわみ応答の位相差



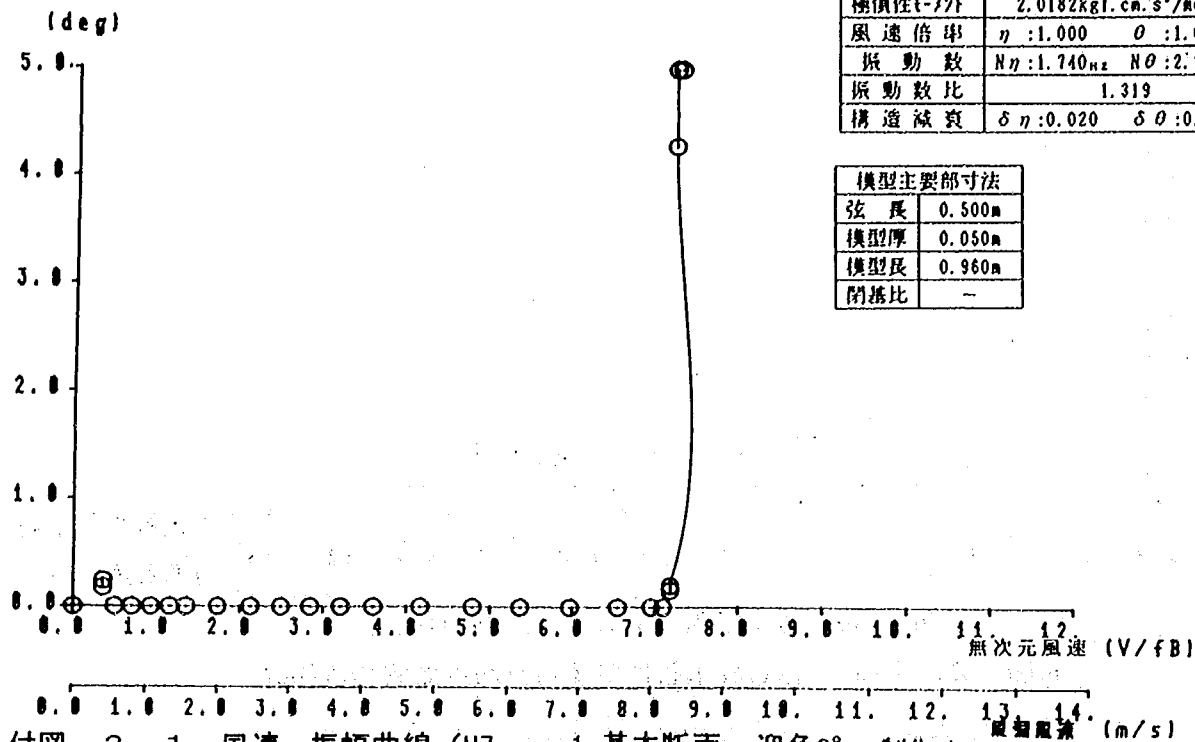
(H6. case6, 基本断面、迎角 0° , 制御パターン9、ゲート設置位置①)

付図-2. 2(b) ねじれ応答に対するたわみ応答の位相差



試験条件	
模型名	基本断面
縮尺	
重量	11.885kgf/model
極慣性 I_{xx}/I_{yy}	2.0182kgf.cm.s ² /model
風速倍率	η :1.000 θ :1.000
振動数	$N\eta$:1.740Hz $N\theta$:2.296Hz
振動数比	1.319
構造減衰	$\delta\eta$:0.020 $\delta\theta$:0.192

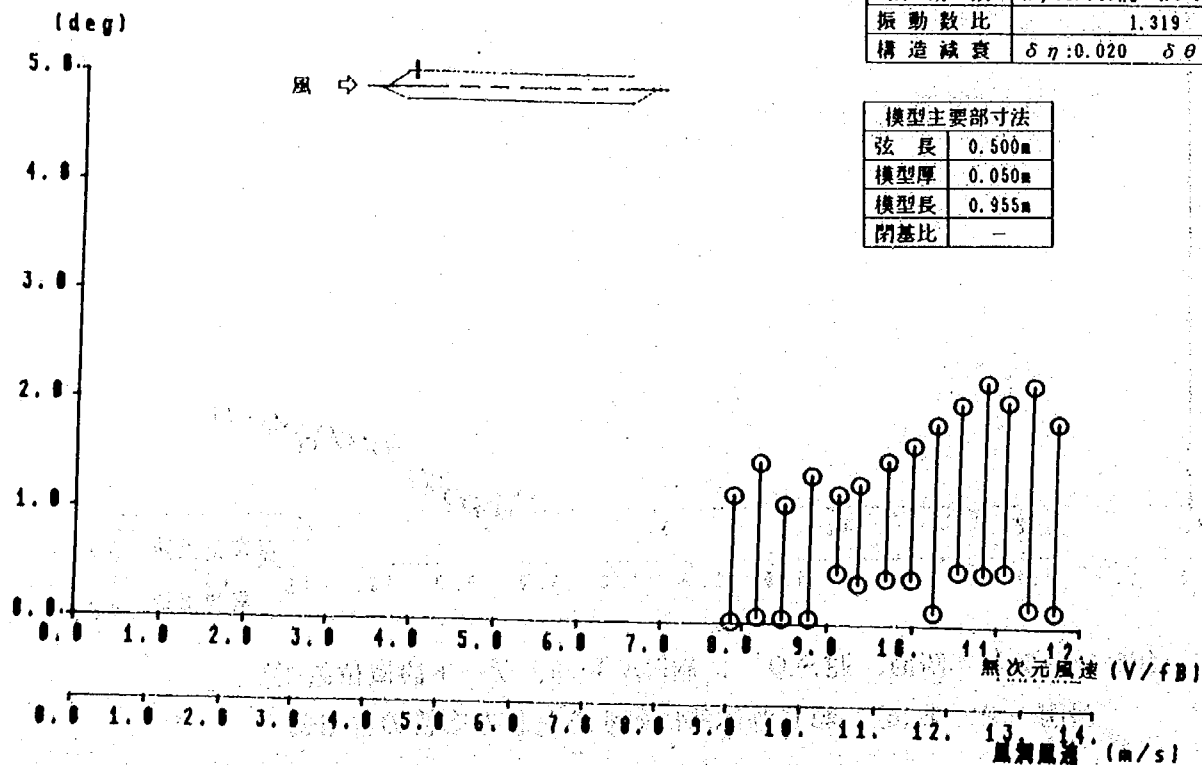
模型主要部寸法	
弦長	0.500m
模型厚	0.050m
模型長	0.960m
閉基比	—



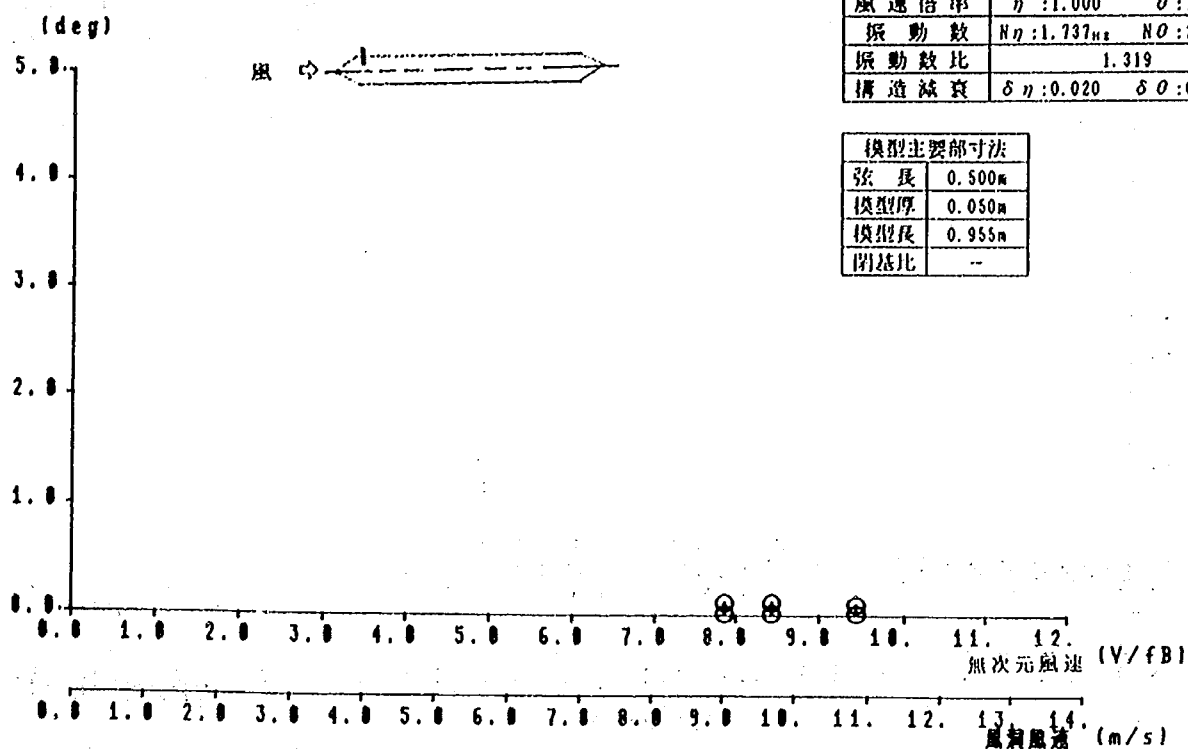
付図-3. 1 風速-振幅曲線 (H7. case1, 基本断面, 迎角0°, 制御なし)

試験条件	
模型名	基本断面
縮尺	
重量	11.885kgf/model
極慣性 I_{xx}/I_{yy}	2.0182kgf.cm.s ² /model
風速倍率	η :1.000 θ :1.000
振動数	$N\eta$:1.740Hz $N\theta$:2.296Hz
振動数比	1.319
構造減衰	$\delta\eta$:0.020 $\delta\theta$:0.019

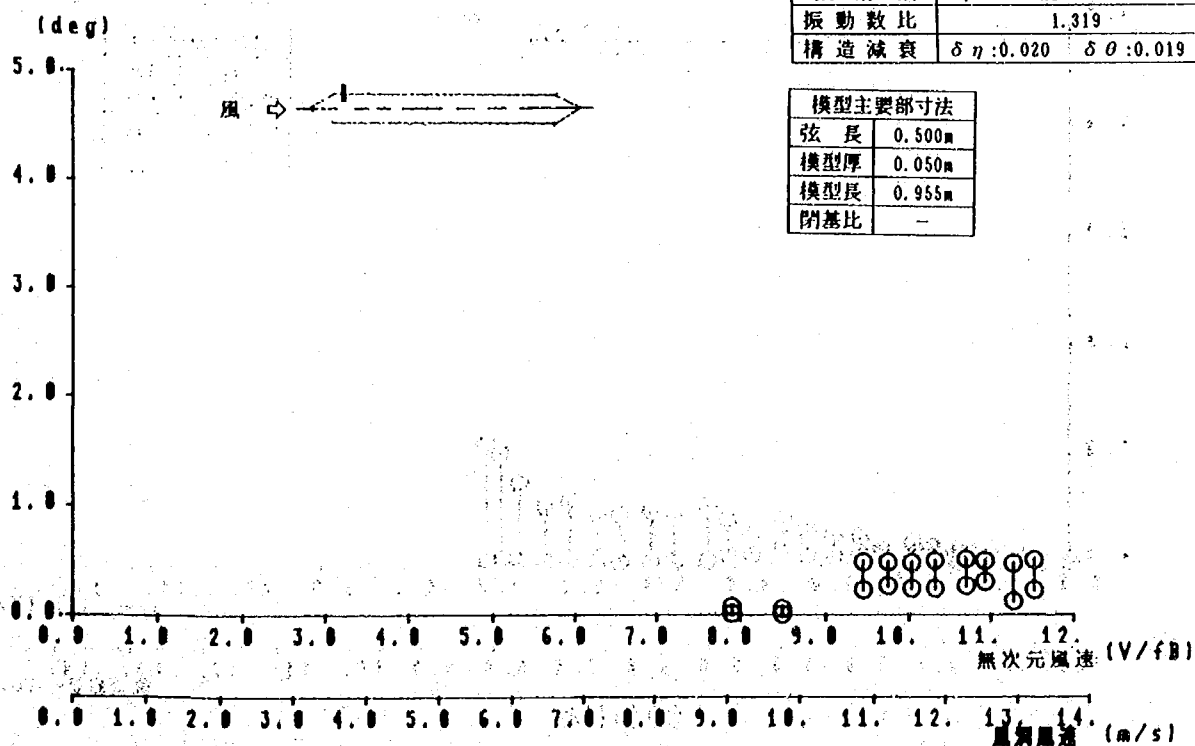
模型主要部寸法	
弦長	0.500m
模型厚	0.050m
模型長	0.955m
閉基比	—



付図-3. 2 (a) 風速-振幅曲線 (H7. case4.1, 基本断面, 迎角0°, 制御5, 設置位置②)

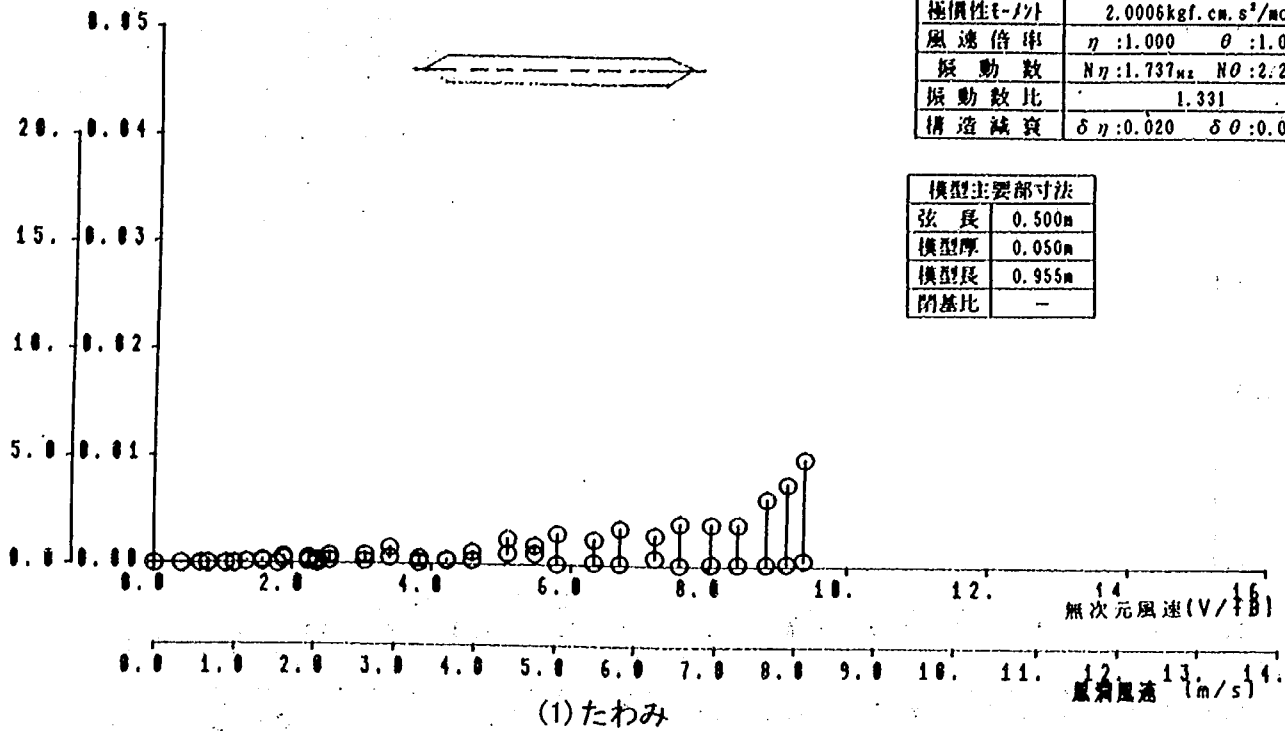


付図-3. 2 (b) 風速-振幅曲線 (H7.case4.2, 基本断面, 迎角 0° , 制御5.1, 設置位置②)



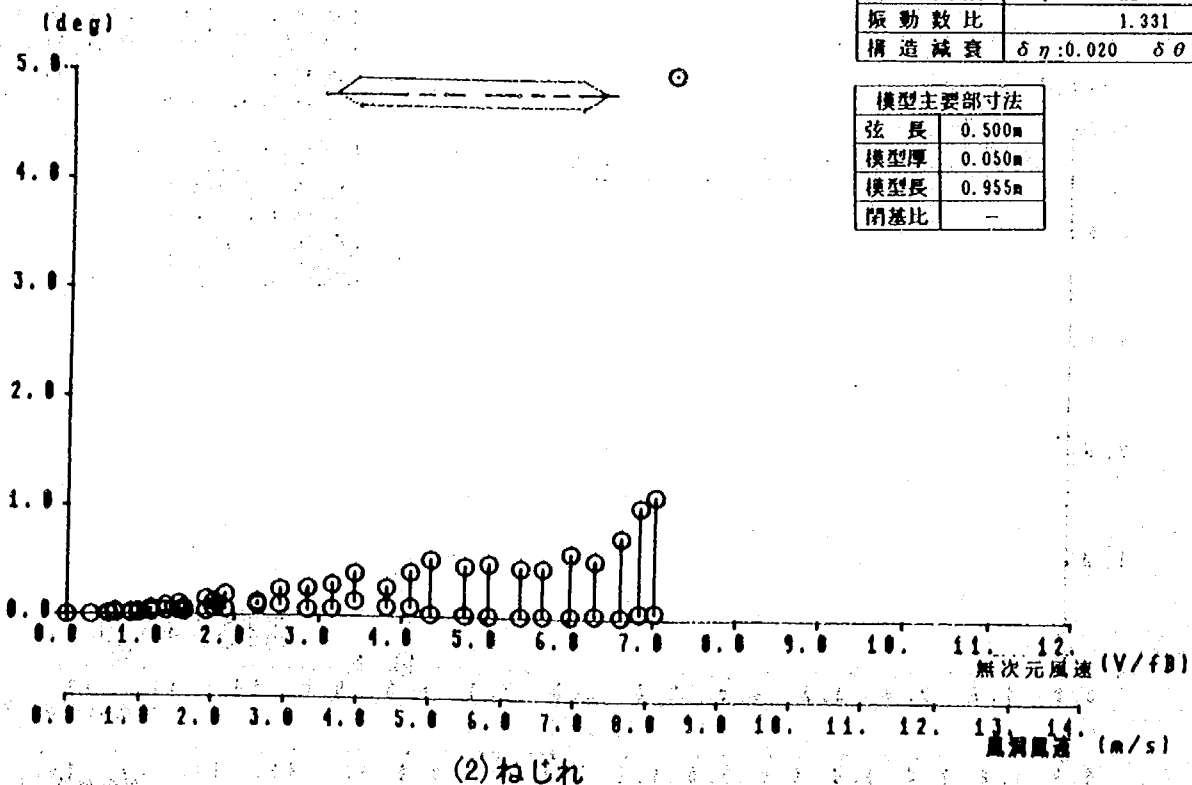
付図-3. 2 (c) 風速-振幅曲線 (H7.case4.3, 基本断面, 迎角 0° , 制御5.2, 設置位置②)

(mm) (N/B)



試験条件	
模型名	基本断面
縮尺	
重量	11.995kgf/model
極慣性 $t-f$	2.0006kgf.cm.s ² /model
風速倍率	$\eta:1.000 \quad \theta:1.000$
振動数	$N\eta:1.737_{Hz} \quad N\theta:2.296_{Hz}$
振動数比	1.331
構造減衰	$\delta\eta:0.020 \quad \delta\theta:0.020$

模型主要部寸法	
弦長	0.500m
模型厚	0.050m
模型長	0.955m
閉基比	—

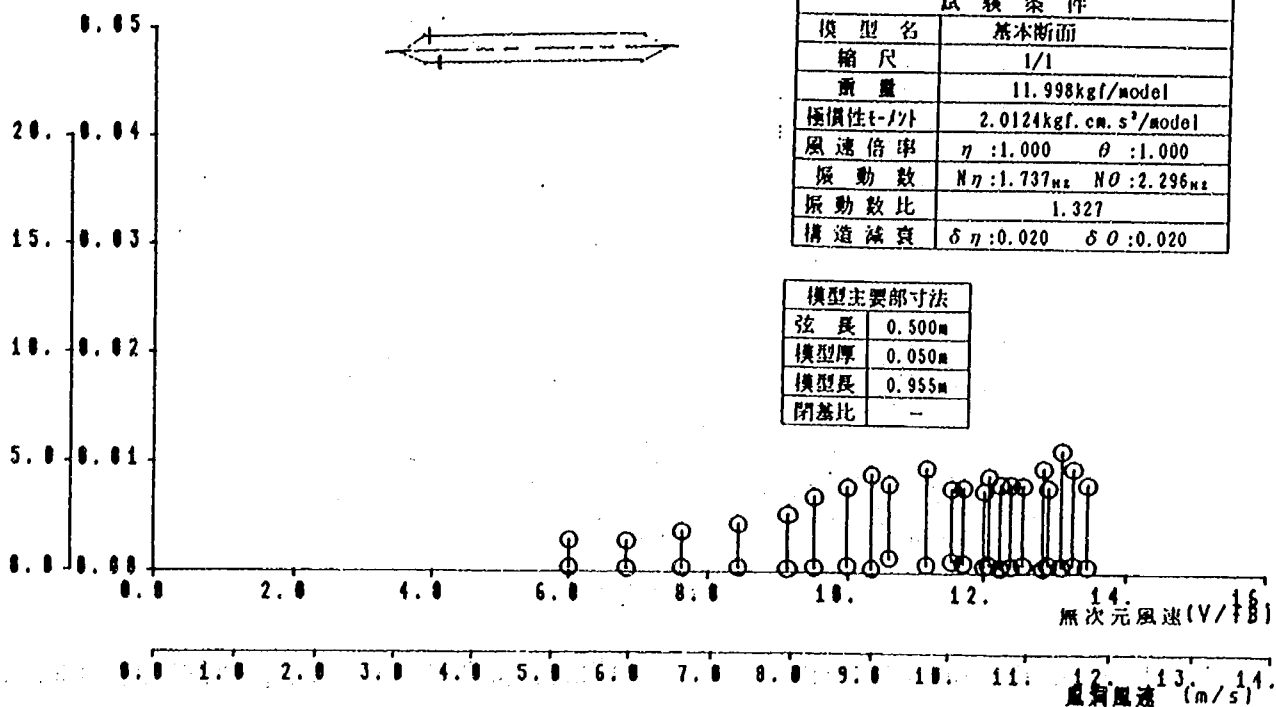


試験条件	
模型名	基本断面
縮尺	
重量	11.995kgf/model
極慣性 $t-f$	2.0006kgf.cm.s ² /model
風速倍率	$\eta:1.000 \quad \theta:1.000$
振動数	$N\eta:1.737_{Hz} \quad N\theta:2.296_{Hz}$
振動数比	1.331
構造減衰	$\delta\eta:0.020 \quad \delta\theta:0.020$

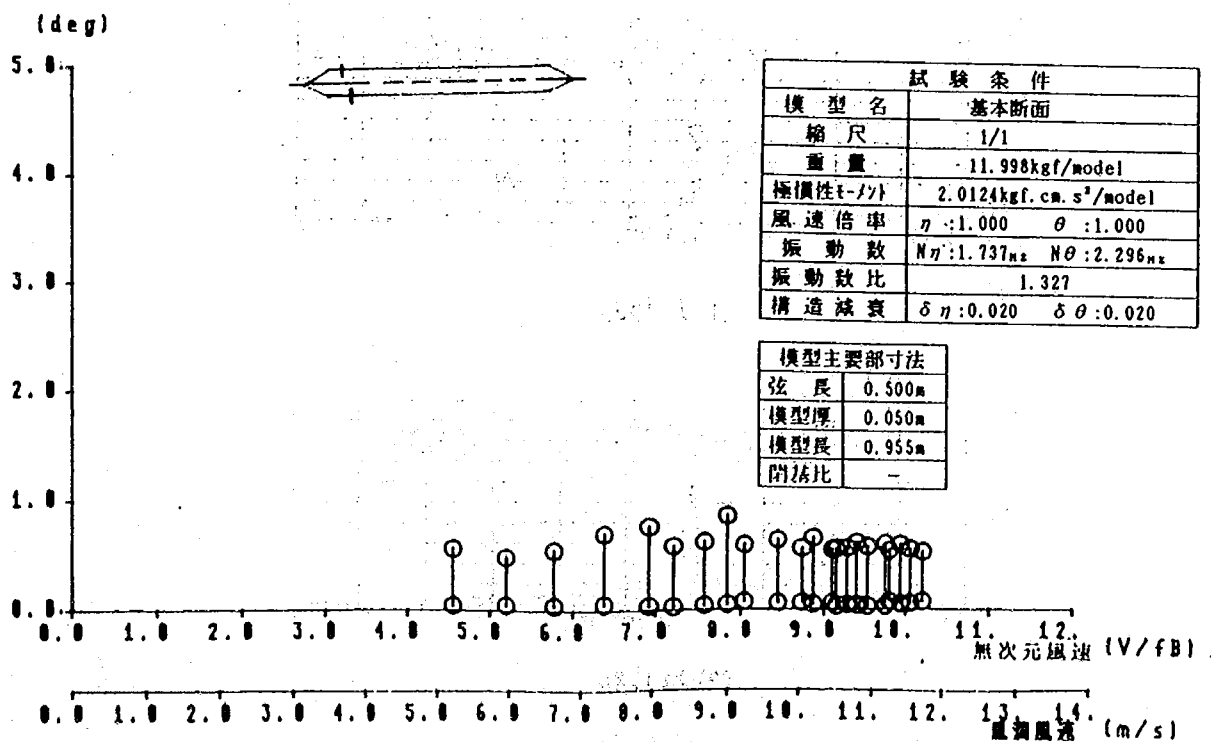
模型主要部寸法	
弦長	0.500m
模型厚	0.050m
模型長	0.955m
閉基比	—

付図-3.3 風速—振幅曲線 (H7. case15, 基本断面, 迎角0°, 制御なし)

(mm) (N/B)

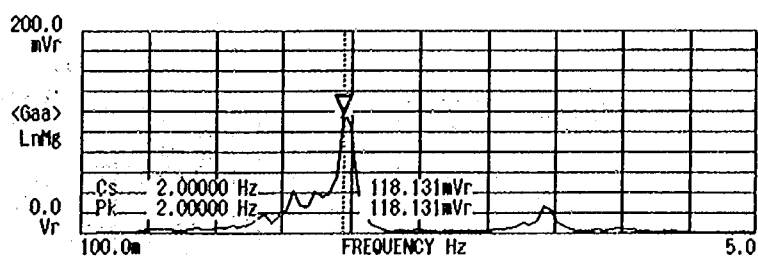


(1) たわみ

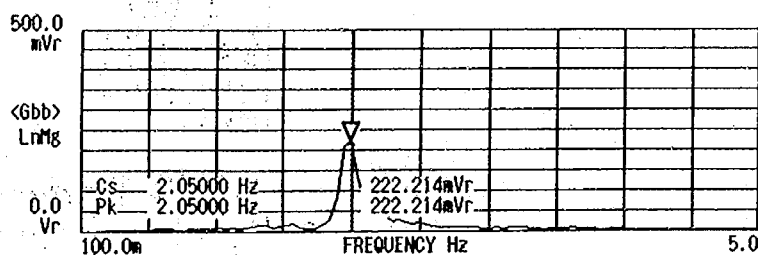


(2) ねじれ

付図-3. 4 風速-振幅曲線 (H7.case16.1, 基本断面, 迎角 0° , 制御A, 設置位置①+③)

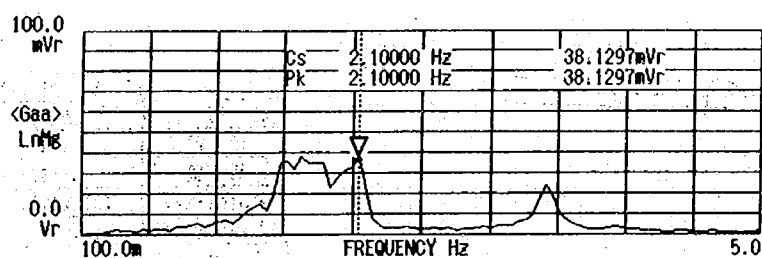


(1) たわみ

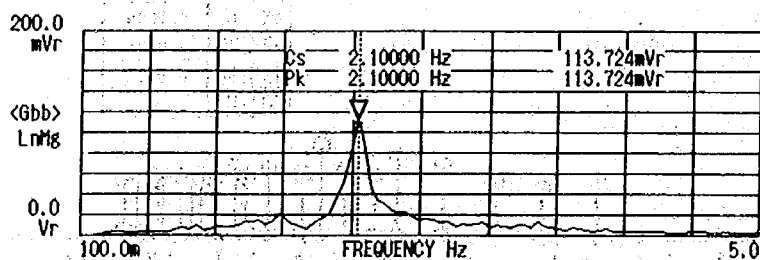


(2) ねじれ

付図-4. 1 (a) 乱流時のP. S. D. F (H7. case15. 基本断面, 迎角 0° , 制御なし, 風洞風速7.18m/s)

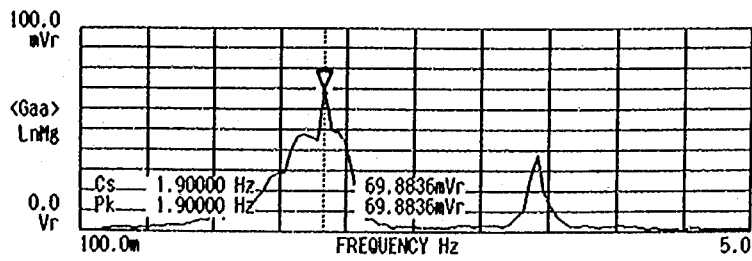


(1) たわみ

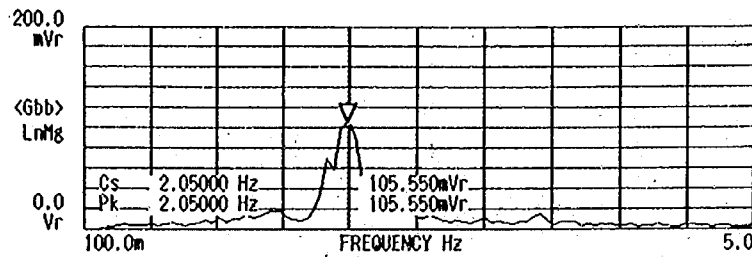


(2) ねじれ

付図-4. 1 (b) 乱流時のP. S. D. F (H7. case15. 基本断面, 迎角 0° , 制御A, 風洞風速7.18m/s)

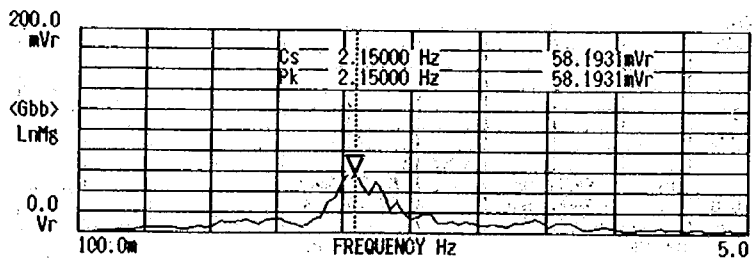


(1) たわみ

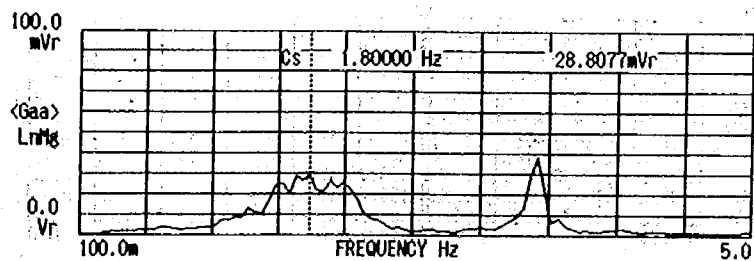


(2) ねじれ

付図－4. 1(c) 乱流時のP. S. D. F (H7. case15. 基本断面, 迎角 0° , 制御B, 風洞風速7.18m/s)

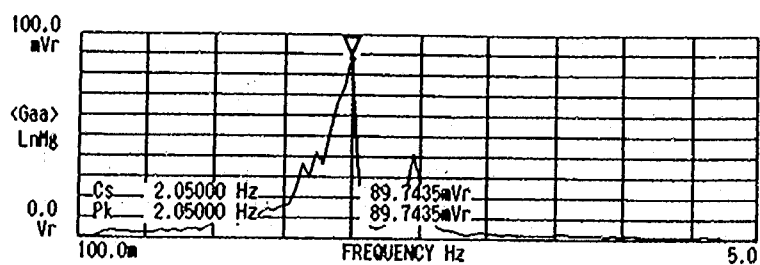


(1) たわみ

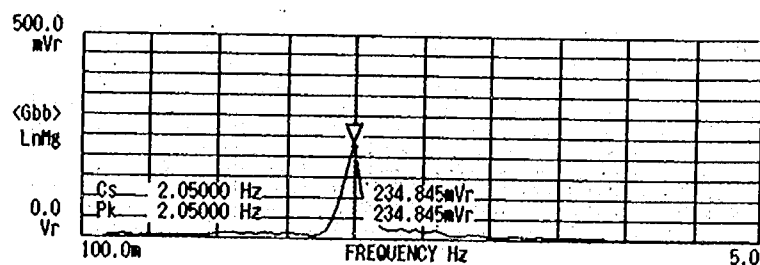


(2) ねじれ

付図－4. 1(d) 乱流時のP. S. D. F (H7. case15. 基本断面, 迎角 0° , 制御C, 風洞風速7.18m/s)

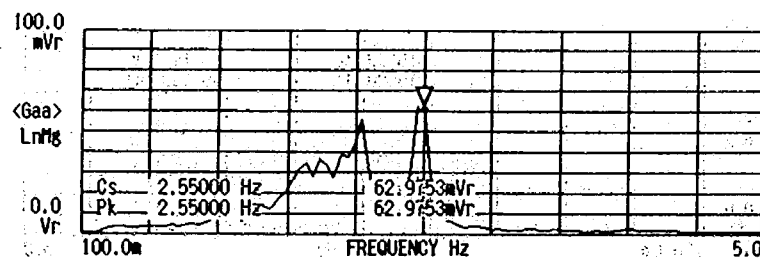


(1) たわみ

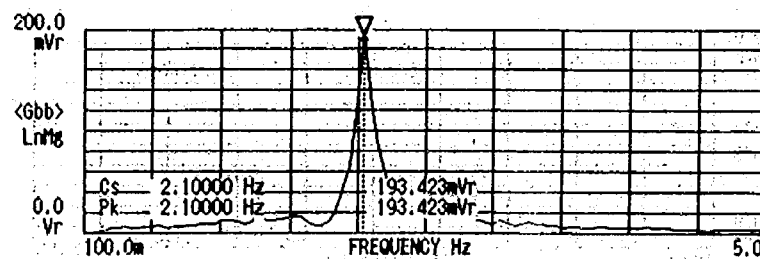


(2) ねじれ

付図-4. 2(a) 乱流時のP. S. D. F (H7. case15. 基本断面, 迎角+3°, 制御なし, 風洞風速7.55m/s)

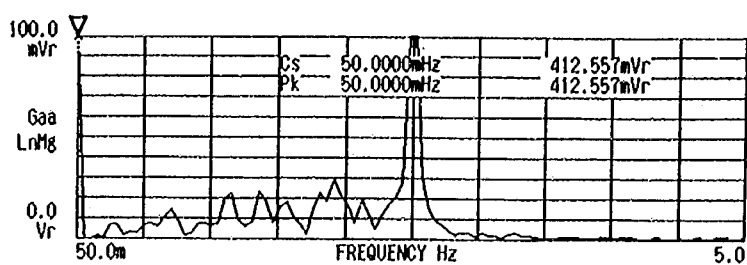


(1) たわみ

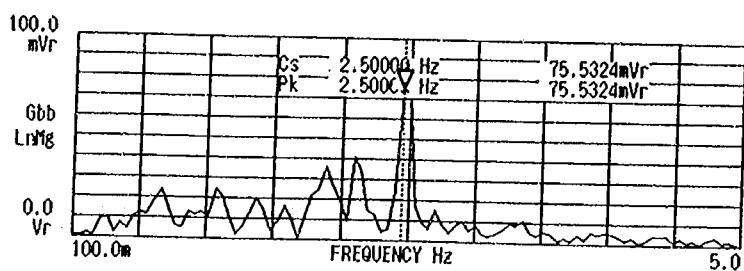


(2) ねじれ

付図-4. 2(b) 乱流時のP. S. D. F (H7. case15. 基本断面, 迎角+3°, 制御A, 風洞風速7.25m/s)



(1) たわみ



(2) ねじれ

付図－4. 2(c) 乱流時のP.S.D.F (H7. case15. 基本断面, 迎角+3°, 制御A, 風洞風速10.25m/s)

アクティブコントロールによる
耐風制振に関する研究報告書(その2)

ISSN 0386-5878
土研資料 第3433号
平成8年3月(1996)

超長大橋梁の耐風安定性の確保する手法の一つとして、アクティブコントロールがある。土木研究所においては、桁からの剝離を制御する新しいアクティブコントロールを開発中である。本報告書は、平成6年～7年度において、開発研究された結果について報告するものである。平成6年度においては、前年度までの開発過程において問題とされた高風速域における不規則振動を制御する手法を開発し、さらに幾つかの断面における効果について検証した。平成7年度においては、渦励振に対する効果およびガスト応答に対する効果が確認された。

キーワード：振動制御，アクティブコントロール，超長大橋，フ
ラッター，渦励振，ガスト応答，フローパターン制御

郵便はがき

3 0 5 - □ □

郵便切手
は
つ
て
下
さ
い。

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室 行

No. 002

No. 002

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料 第 3 4 3 3 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印