

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

平成7年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright ©1995 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, 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

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 関 谷 光 昭*

要 旨

超長大橋梁の耐風安定性の確保する手法として注目されているアクティブコントロールの適用について研究し、その結果を中間的に報告した。研究は、既に提案されている手法についての確認と土木研究所が新たに発明した手法の開発からなる。風洞実験を実施した結果、前者では、数値解析の結果を反映する効果が確認された。後者では、風洞実験によって、剥離を制御する手法の既存の手法を凌ぐ有効性が確認された。

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，フローパターン制御

*現在 建設省 関東地方建設局 常陸工事事務所

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保証されたものはまだ提案されていない。そこで土木研究所では、独自に発明した方法の開発に着手した。

本報告書では、まず既に提案された手法の効果を確認し、さらに土木研究所で新たに発明した制御ゲートによる剥離制御型アクティブ制御の開発に関して中間的な成果をとりまとめたものである。

目 次

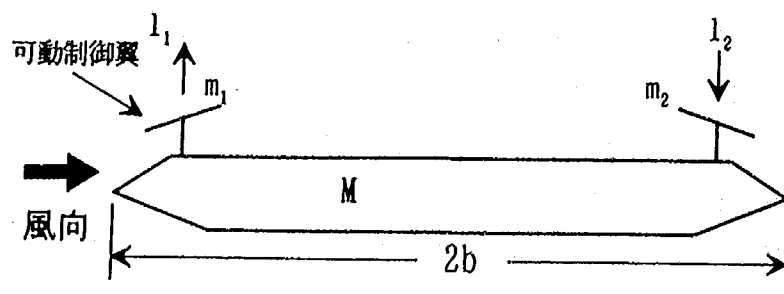
まえがき

1. はじめに	1
2. 空気力を利用したアクティブコントロールの効果	3
2. 1 制御法および研究手法	3
2. 2 予備解析	3
2. 3 風洞実験	4
2. 3. 1 実験方法	4
2. 3. 2 実験効果	5
2. 4 空気力利用型アクティブコントロールの効果に関するまとめ	6
3. 剥離せん断層攪乱型アクティブコントロール	12
3. 1 研究の経緯	12
3. 2 研究手法	12
3. 2. 1 研究手法の概要	12
3. 3 バネ支持実験	13
3. 3. 1 実験条件等	13
3. 3. 2 実験結果	13
3. 4 可視化実験	14
3. 5 考察	14
4. まとめ今後の課題	39
参考文献	39
付図 剥離制御型アクティブコントロール実験結果	41
付図 制御プログラム	69

1. はじめに

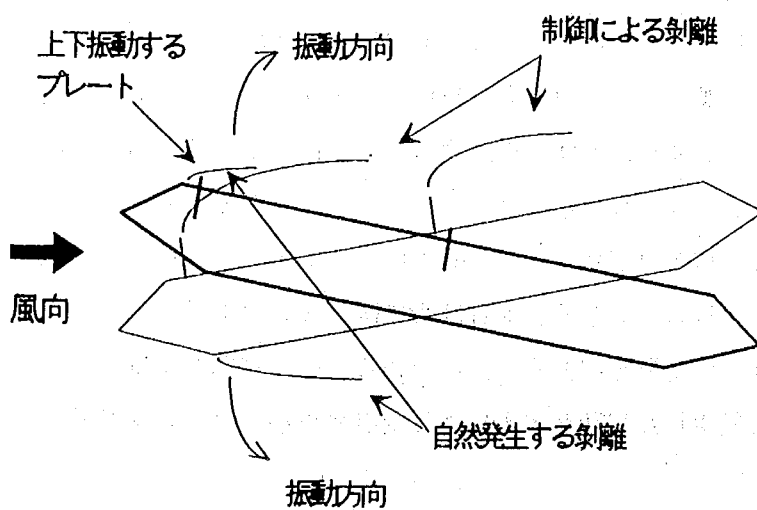
明石海峡大橋を越える中央径間を有する超長大橋梁では耐風安定性の確保が重大な課題である。この課題の解決に関しては現在のところ様々な角度から検討がなされている。アクティブコントロールの適用も一つのアプローチとして注目されている。アクティブコントロールを風による振動に適用する場合、他の分野におけるアクティブコントロールのあり方と本質的に相違する部分がある。それは、風の力は地震や交通振動などと異なり、有害な外力の方向、タイミングを制御できる点にある。このことは単に風の力の悪影響を避けるだけでなく、これを積極的に利用する可能性があることを意味する。外力が制御不能な場合のアクティブ制御では外力に十分に対抗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

本報告書では、このような風の力や流れのパターンを制御する手法を空気力学的アクティブ制御と呼び、その効果を、中間的にとりまとめたものである。本報告書において空気力学的アクティブ制御は2種類に分類される(図-1. 1)。1つは空気力を利用したアクティブコントロールである。これは制御翼に作用する空気力を最適に制御し、本体に作用する空気力に対抗するものである。これに対し、もう一方は流れのパターンをコントロールするアクティブコントロールである。これは本体と制御翼を空力的に一体の構造物と見なし、制御翼が発生させる効果によって本体に作用する空気力を支配する流れのパターンそのものを変化させるものである。前者は既に研究実績があるため¹⁾、本報告書では土木研究所において効果の確認を行った結果を紹介するにとどめる。後者に関しては、これに属する手法として土木研究所において独自に発明した制御ゲートによる剥離制御型アクティブ制御について、研究の中間結果を報告する。



$$M = (l_1 + l_2)b + m_1 + m_2$$

(1) 空気力を利用したもの



(2) 流れのパターンをコントロールするもの (剝離制御)

図-1. 1 アクティブ制御の原理について

2. 空気力を利用したアクティブコントロールの効果

2. 1 制御手法および研究手法

空気力を利用したアクティブコントロールは、文献1)に紹介されたものであるが、本研究室でもその効果を別途確認した。アクティブ制御の原理は既に図-1. 1に示した。本制御は、制御翼を本体に対しある位相差および振幅比でねじり振動させることで、翼に作用する非定常空気力を制御し、これによって本体に作用する有害な空気力を打ち消そうとするものである。

本研究ではまず、制御翼と模型本体を平板とみなして予備解析を行い、その効果を検討し、その後に風洞実験によって効果を調べた。

2. 2 予備解析

予備解析は2次元模型を対象としたフラッター解析によった。解析においては、制御翼および本体を図-2. 1に示すようにモデル化した。本体および制御翼に作用する空気力として、平板に作用する空気力を仮定し、本体と制御翼間の空力干渉を無視した。

平板をねじれおよびたわみ振動が起こる2自由度系と考えると、運動方程式は(1)式のように成り立つ。

$$\begin{aligned} m(\ddot{h} + 2\zeta_h \omega_h \dot{h} + \omega_h^2 h) &= L \\ I(\ddot{\alpha} + 2\zeta_\alpha \omega_\alpha \dot{\alpha} + \omega_\alpha^2 \alpha) &= M \end{aligned} \quad \dots\dots (1)$$

ここに m : 質量 I : 極慣性モーメント

h : たわみ変位 α : ねじれ変位 ζ : 減衰係数 ω : 円振動数

式(1)における動的揚力 L およびモーメント M が構造系に作用する非定常空気力である。橋桁および補助翼それぞれに作用する空気力は、速度比例成分と変位比例成分とに分解することができる。図-2. 1のモデルにおいて、橋桁に添え字0、補助翼に1をそれぞれ当てると、それぞれの非定常空気力は式(2)のようになる。

$$\begin{aligned} L_i &= \rho \pi b_i^3 \omega^2 (L_{h_i} h_i + L_{\alpha_i} \alpha_i) \\ M_i &= \rho \pi b_i^4 \omega^2 (M_{h_i} h_i + M_{\alpha_i} \alpha_i) \\ i &= 0, 1 \end{aligned} \quad \dots\dots (2)$$

ここに ρ は空気密度、 M_i 、 L_i 、 α_i 、 α_{m_i} 、 h_i 、 b_i は、図-2. 1に示した定義をそれぞれ用いる。 α_i は桁および補助翼の水平からのねじれ変位、 α_{m_i} は補助翼の桁よりなす角をそれぞれ示している。

補助翼と橋桁の変位の関係は、 $\overline{h_i} = h_i / b_i$ とおくと、

$$b_1 \overline{h_1} = b_0 \overline{h_0} - b_0 \alpha_0 - b_1 \alpha_{m1} \quad \dots (3)$$

補助翼を桁のねじれ変位に対しK倍かつ位相差 θ で制御するとき、2つのねじれ変位の関係は、複素数 K_α を用いて式(4)のように示される。

$$\alpha_{m1} = K \exp(i\theta) \alpha_0 = K_\alpha \alpha_0 \quad \dots (4)$$

補助翼と橋桁の桁幅比を β ($b_1 = \beta b_0$) とすると、式(3)、(4)より

$$\begin{aligned} \overline{h_1} &= \frac{1}{\beta} (\overline{h_0} - \alpha_0 - \beta K_\alpha \alpha_0) \\ &= \frac{1}{\beta} \{ \overline{h_0} - (1 + \beta K_\alpha) \alpha_0 \} \end{aligned} \quad \dots (5)$$

一方、この構造系全体に作用する空気力をLおよびMとすれば

$$\begin{aligned} L &= L_0 + L_1 \\ M &= M_0 + M_1 + L_1 b_0 \end{aligned} \quad \dots (6)$$

式(2)、(4)、(5)を式(6)に代入すると非定常空気力LおよびMは式(7)のように示される。

$$\begin{aligned} L &= \pi \rho b_0^3 \omega^2 [\{L_{h0} + \beta^2 L_{h1}\} h_0 \\ &\quad + \{L_{\alpha 0} + \beta^3 L_{\alpha 1} (1 + K_\alpha) - \beta^2 (1 + \beta K_\alpha) L_{h1}\} \alpha_0] \\ M &= \pi \rho b_0^4 \omega^2 [\{M_{h0} + \beta^3 M_{h1} - \beta^2 L_{h1}\} h_0 \\ &\quad + \{M_{\alpha 0} + \beta^4 M_{\alpha 1} (1 + K_\alpha) - \beta^3 (1 + \beta K_\alpha) M_{h1} \\ &\quad - \beta^3 L_{\alpha 1} (1 + K_\alpha) + \beta^2 (1 + \beta K_\alpha) L_{h1}\} \alpha_0] \end{aligned} \quad \dots (7)$$

このとき、 L_{hi} 、 $L_{\alpha i}$ 、 M_{hi} 、 $M_{\alpha i}$ は5次の多項式で近似したセオドルセン関数より求められる。セオドルセン関数は無次元風速の関数であるため、式(7)を用いてフラッター解析を行うことにより、フラッター発現風速を求めることができる。

解析結果は2. 3. 2において風洞実験結果との比較において示す。

2. 3 風洞実験

2. 3. 1 実験方法

実験は土木研究所の非定常空気力風洞(図-2. 2)を用いたバネ支持実験(図-2. 3)である。実験には、フェアリングを設けた幅500mm×高50mmの平板の上流側に、幅50mmもしくは30mm、厚さ2mmの補助翼を取り付けた剛体模型を用いた。模型の概要および実験条件を図-2. 4および表-2. 1にそれぞれ示す。

補助翼の制御は次のように行われる。まず光学変位計で桁の回転変位 α_0 を感知し、A/D変換を行った後パーソナルコンピュータで式(4)に基づき必要な制御量を計算する。次にその信号をD/A変換しサーボモータに与えることにより補助翼をコントロールする。

実験は、式(4)における位相差 θ と制御倍率K、補助翼の幅および補助翼の設置場所をパラメータ

とし、フラッター発現風速もしくは対数減衰率を計測した。補助翼の設置場所は、図-2.4に示したA～Cの3ヶ所で変化させた。

2.3.2 実験結果

(1) 最適な位相差

実験では、まず最適な制御を実現する位相差を求めた。図-2.5は幅50mmの補助翼をA位置に設置し、 $K=3$ としたときの位相差 θ と対数減衰率との関係を示している（風洞風速は7.55m/s）。減衰は位相差 $\theta=-125^\circ$ 付近で最も大きくなっており、これを最適な位相差と考えた。比較のために、フラッター発現風速に与える θ の影響を前項のフラッター解析より求めた結果を図-2.6に示す。解析でも最適な位相差は $\theta=-125^\circ$ 付近であり、実験結果と良い一致が見られた。なお、解析上は $K=3$ の制御倍率ではフラッターは発現しないため、本比較は $K=1$ で行った。参考のために無制振および $K=5$ の場合について、風洞実験により得られた風速-振幅図（V-A図）を図-2.7に示す。

(2) 制御倍率Kの効果

補助翼を図-2.4におけるA位置に設置し、位相差 -125° で制御したときの制御倍率Kとフラッター発現風速との関係を図-2.8に示す。

これを見ると、フラッター解析においては、制御される振幅比(K)を大きくすると、アクティブコントロールの効果は際限なく大きくなり、 $\beta=0.1$ の補助翼の場合は $K=1.8$ 、 $\beta=0.06$ の補助翼では $K=2.5$ でフラッター発現風速は無限大となりフラッターは発現しないという結果となる。これは、解析上ではある振幅を境に補助翼に作用する空気力の増加量が桁に作用するものよりも常に大きくなるためである。しかしながら、実験においては、ある程度までは制御倍率を大きくするのに伴いフラッター発現風速は高くなるが、解析のように、無限大まで急激に上昇することはない。これは、補助翼の振幅を大きくすると、補助翼に実際に作用する空気力は微小振動理論で導き出される空気力とは異なってくるためであると思われる。

(3) 位置の効果

補助翼の取付位置は図-2.4のように3ヶ所で変化させて同様の実験を行った。その結果、補助翼位置がBの場合最適制御を行う位相差 θ は、 -105° 、Cの場合は -130° であった。また、それぞれの最適位相差において、制御倍率Kを変化させた場合のフラッター発現風速を図-2.9に示す。この場合、補助翼をA位置でコントロールさせた場合とB、C位置とではいずれの場合においても、制御倍率が大きくなると発現風速も上昇するという傾向が見られた。しかしながら、桁まわりの流れに最も影響を及ぼさないとされるA位置に設置した場合が、何れの制御倍率においても高いフラッター発現風速を示した。なお、補助翼をB位置に設置させた場合には、制御倍率 $K=7.0$ にすると、補助翼の運動による振動数より低い発散振動が生じ、フラッター発現風速は低下した。

2. 4 空気力利用型アクティブコントロールの効果に関するまとめ

補助翼に作用する空気力を利用する方法については、以上に示した実験より、フラッター発現風速を無制御時の1.4倍程度まで上昇させる効果を確認することができた。ただし、制御量を大きくした場合には、補助翼による低周波数の発散振動が見られ、理論と同等の制御効果を得ることはできなかった。実用的な問題を考慮するならば、制御翼と橋桁の距離は、あまり大きく取れず、今回のような平板と橋桁間の空力干渉の影響は避けがたい物と思われる。

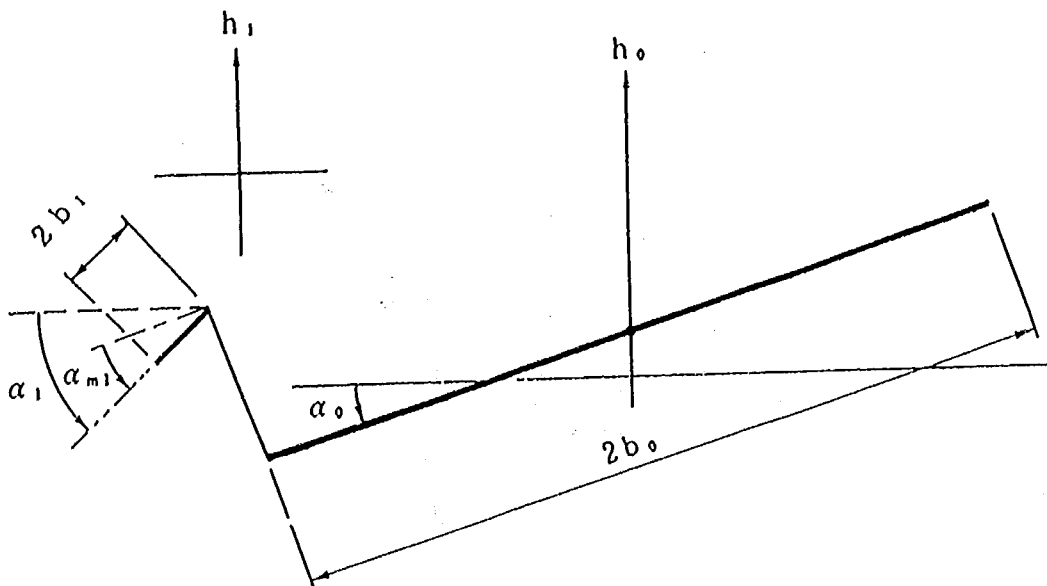


図-2. 1 座標、寸法の定義

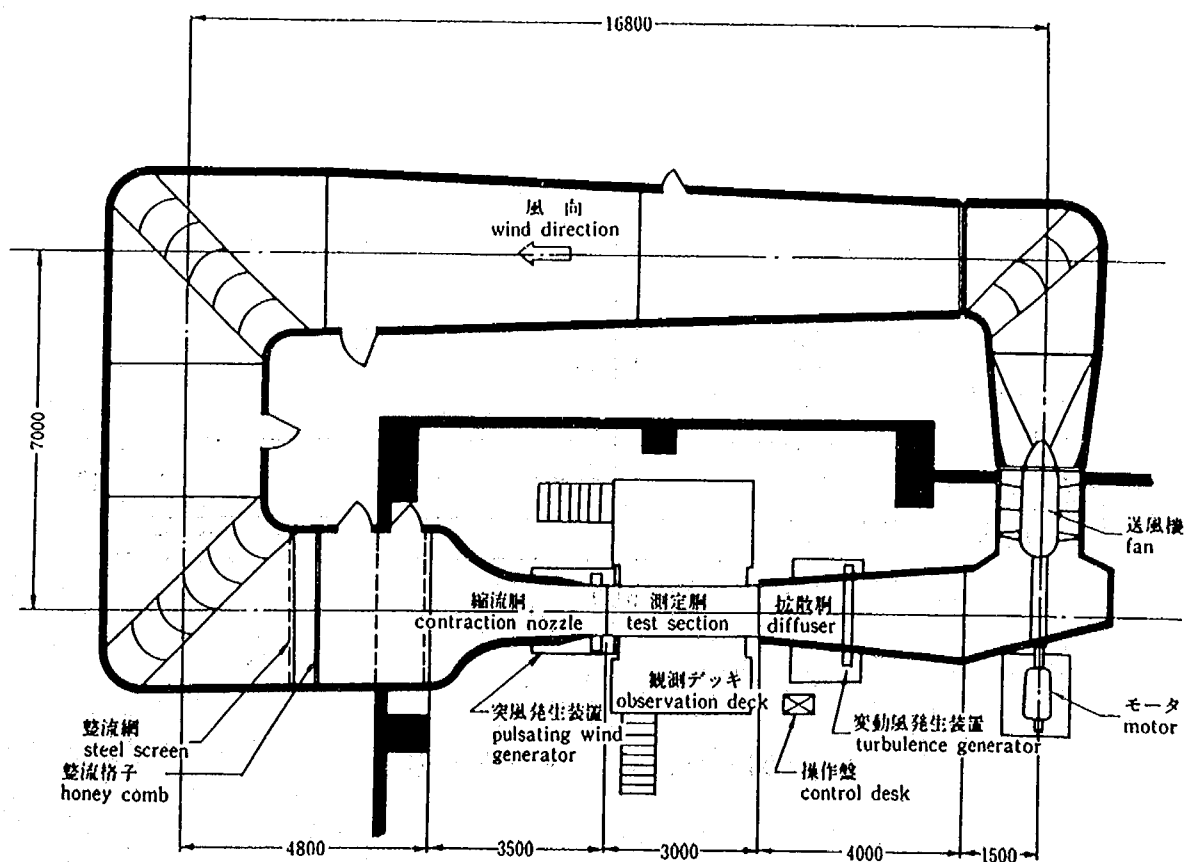


図-2. 2 非定常空気力風洞平面図

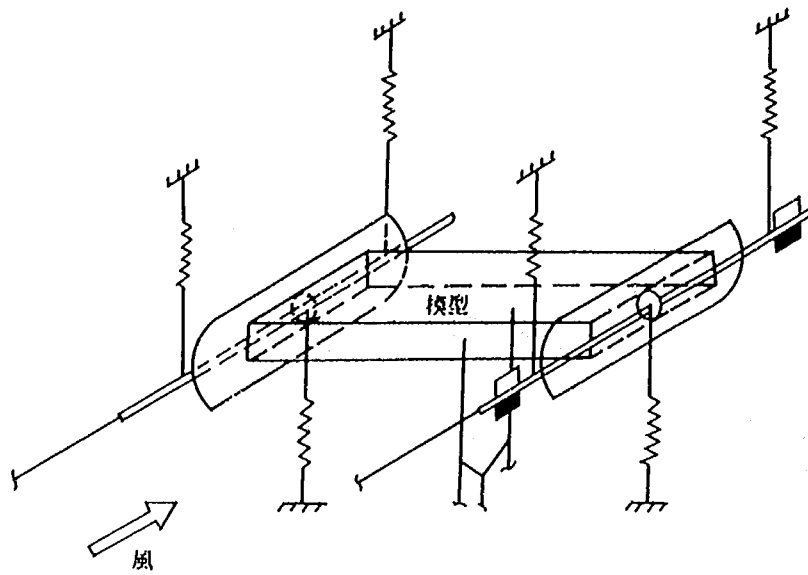


図-2.3 バネ支持実験

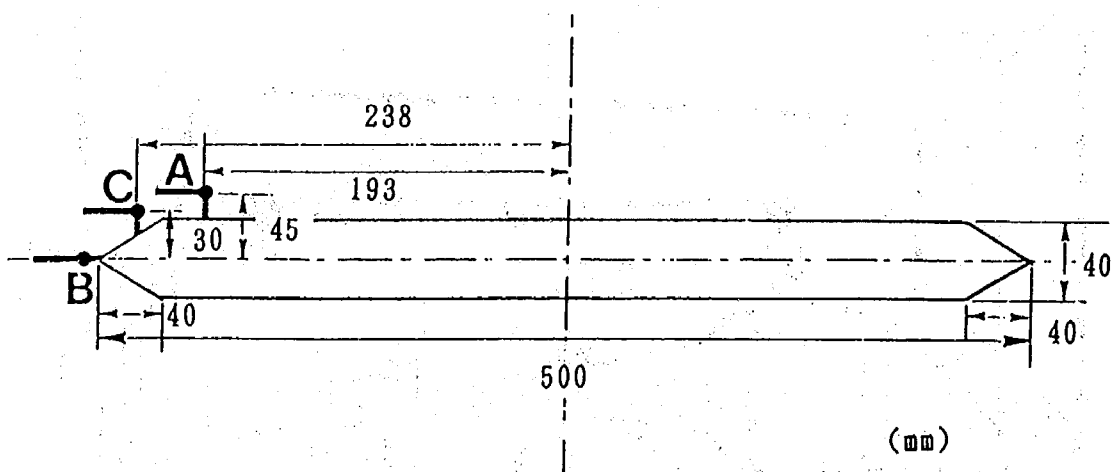


図-2.4 模型概要図

表-2. 1 実験条件

桁 幅		50.0 cm
桁 高		4.0 cm
重 量		11.98 kgf
極 慣 性		1.69~1.78kgf・cm・s ²
振動数	たわみ	1.47 H _z
	ねじれ	1.92~1.97 H _z
振 動 数 比		1.31~1.34
補 助 翼 幅		5cm , 3cm

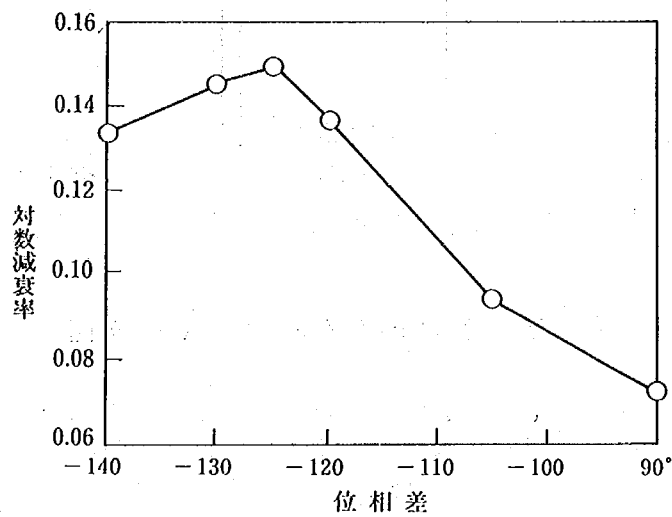


図-2. 5 制御位相差と減衰率の関係 (実験)

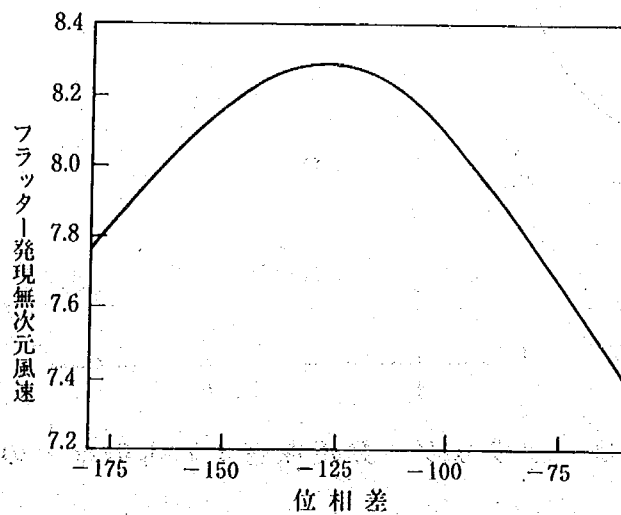


図-2. 6 制御位相差と発現風速の関係 (解析)

迎角 (deg)	制御翼 設置位置	制御翼 寸法	振幅比	位相差 (度)
0	A	大	5	+55

5° 加振 (制御可能) ← | → 0° 加振 (制御不可能)

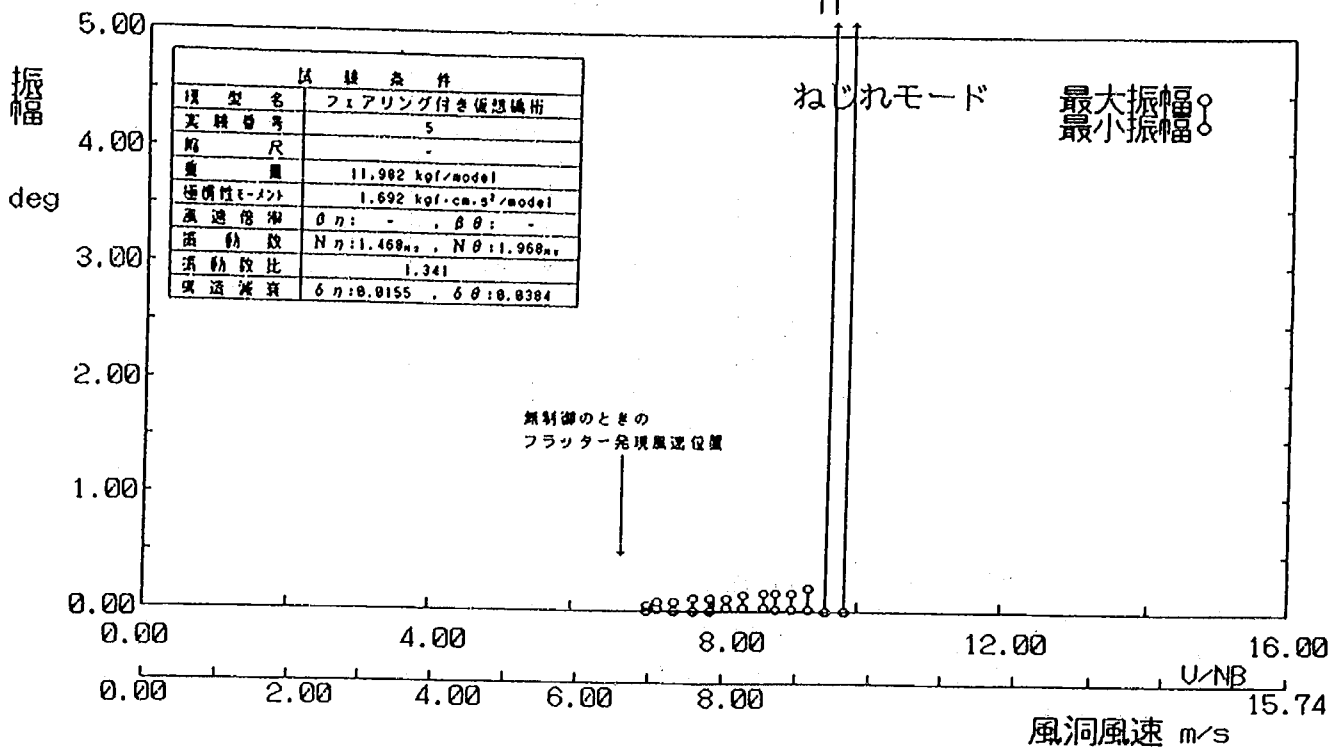


図-2. 7 代表的なケースの V-A 図

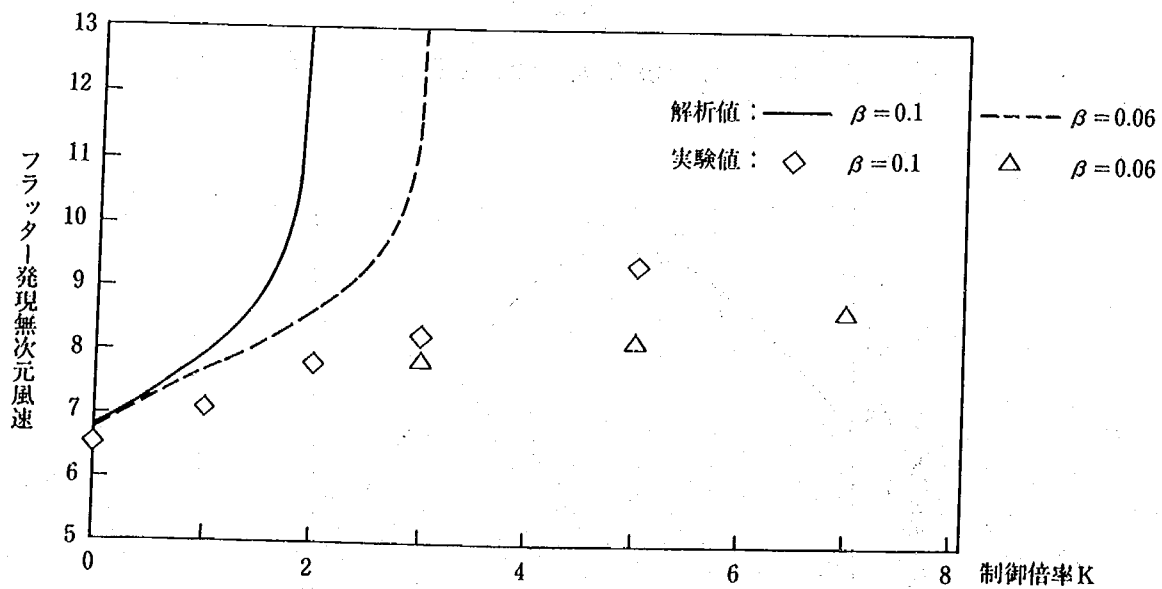


図-2. 8 フラッター発現風速と制御倍率との関係

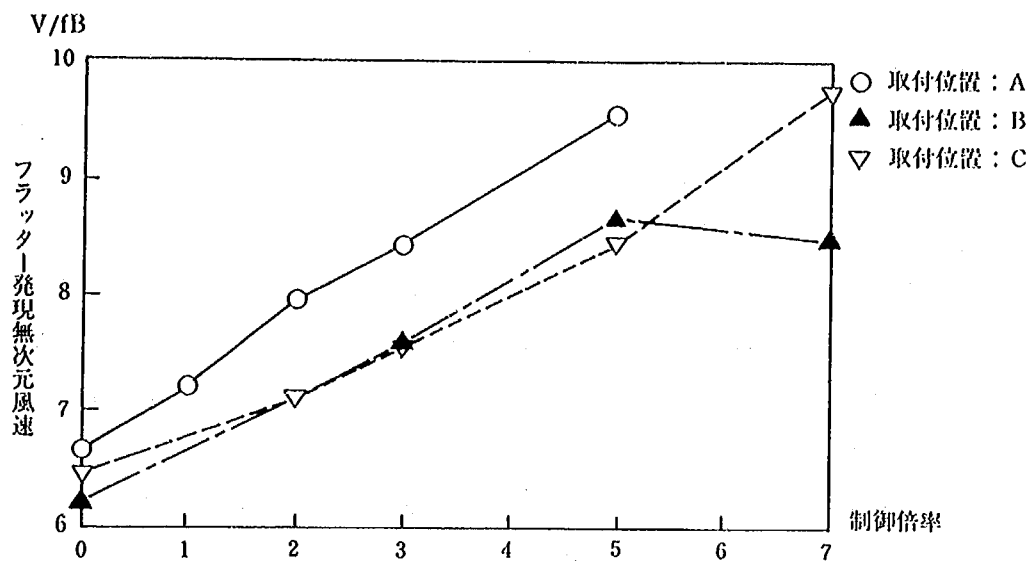


図-2. 9 フラッター発現風速に対する模型位置の影響

3. 剥離せん断層攪乱型アクティブコントロール

3. 1 研究の経緯

フローパターンをコントロールするタイプのアクティブコントロールには、直感的に二つの手法が考えられる。一つは、振動の原因となる剥離を抑えることで振動を抑える手法であり、もう一つは剥離を故意に発生させて振動を抑える力を得る方法である。一般的に剥離を抑える方が剥離を発生させるよりも難しいが、好ましい効果が得られた手法として、角柱の角にローターを設置し、剥離せん断層を加速し、剥離の効果を弱めたものがある²⁾。

本研究では、まず第2章において説明した回転型の制御翼を図-2. 4の位置Bに設置し、これによって再付着を促すことを試みた。しかしながらこの方法は、第2章で利用した、補助翼に作用する空気の影響が支配的であり、良い成果を得ることができなかった。そこで、図-1. 1(2)に示した剥離を有効利用する手法を重点的に開発することとした。

本手法は、橋桁の表層に直交する板(ゲート)を橋桁から必要な時にだけ、突き出すようにして、剥離を強制的に発生させるものである。この方法では、ゲートの運動方向に風の力を受けないため、必要な動力は他の方式に比べかなり小さくなることが期待できる。

3. 2 研究手法

3. 2. 1 研究手法の概要

本手法に関しては、論理的なアプローチが困難であるため、風洞実験によってその効果を調べた。風洞実験はバネ支持実験および煙風洞実験を実施し、バネ支持実験によって効果がある制御法を探索した。煙風洞実験は、バネ支持実験によって効果が認められた制御について、流れを可視化することで、効果が発揮される原理を考察するために実施した。

実験に用いたモデルのシステムを図-3. 1に、橋桁モデルの代表的寸法を図-3. 2にそれぞれ示す。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。制御プログラムには、制御パターンとして、図-3. 3に示す5つのパターンを準備した。プログラムは付録-1に示す。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。本プログラムによる模型の状態の同定は非常に単純であるため、振動が不規則になると本体の挙動と制御翼の動きの関係が理想的でなくなることがあるが、実験の初期の段階で効果の有無を判別するためには十分に役立った。

3. 3 バネ支持実験

3. 3. 1 実験条件等

バネ支持実験は、3. 2 節の実験と同じく土木研究所の非定常空気力風洞にて実施した。模型はたわみおよびねじれの2自由度で支持した。実験条件を表-3. 1に示す。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、本手法のフラッターに対する有効性を調べるためには、問題がないと判断した。

3. 3. 2 実験結果

実験ケースおよび実験条件を表-3. 2に総括する。表中の断面形状および配置パターンをそれぞれ図-3. 4および図-3. 5に示す。実験ケースAシリーズからGシリーズまでの実験結果を以下概説する。なお各実験ケースの結果をそれぞれの目的に応じてまとめた風速-振幅図(V-A図)等の全データは、本文中の図と重複があるが、付図-1にまとめた。

(1) Aシリーズ

研究の第1段階として、A-1で無対策断面の耐風性を調べ、A-2で制御パターン5(片側振幅一定制御)によってどのような位相差で制御効果が発揮されるかを調査した。図-3. 6に示すように、 $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ の範囲でフラッターが抑えられる事が明らかとなった。効果が保証される風速の上限はダイバージェンスの発現により十分に把握できなかった。

ところで、この制御位置にある剥離を促す板は、アクティブ制御を実施しなくても耐風性を向上させる効果がある。そこで、A-3では制御を行わない、センターバリアとしての効果を調べた。その結果図-3. 7に示すように、フラッター発現風速は無対策時に比べやや向上するものの、アクティブ制御に比べて効果は著しく劣り、これによって空力的アクティブ制御によってフラッターが抑えられることがほぼ確認された。ただし本制御ではモータが模型内に入っているため、アクティブマスダンパー(A MD)のような、構造的効果が発揮されている可能性が残されている。これについては3. 5に後述するように、制振効果に寄与していないことが確かめられてた。A-4およびA-5では制御パターン4(片側振幅比例制御)の効果を調べた。最も良い効果が得られた結果を図-3. 8に示す。制振効果は認められるものの、片側振幅一定制御に比べ、効果は著しく劣る。

A-6からA-9では、よりフラッターの起こりやすい断面に対するアクティブ制御の効果を調べた。図-3. 9に示すとおり、振動の不規則性が高まり、振幅は一時的に大きくなるものの、無対策時のフラッター発現風速の2倍まで発散的な振動は抑えられている。

(2) BおよびCシリーズ

BシリーズおよびCシリーズでは、制御翼の位置の効果を調べた。橋桁の上面か下面かの相違はあるものの、両者はほぼ同じ位置である。有効な位相差は図-3. 10に示すように 180° の位相差を中心に効果が見られた。前縁において自然に発生する剥離渦が流下する過程と関係があるものと考えられる。

制振効果は図-3. 11に示すように、良好である。

(3) D～Fシリーズ

D～Fシリーズでは2つの制御ゲートを同時に制御した。いずれの組み合わせでも安定した制御効果を得られており、それぞれの制御ゲートの最適位相差は単独制御時とあまり大きく異ならない。(図-3. 12参照)。

(4) Gシリーズ

以上のように、アクティブ制御がフラッターに有効なことが明らかとなったが、以上の実験は全て迎角が 0° の場合の実験結果である。迎角が大きくなると、片側の剥離せん断層が厚くなり、また制御ゲートが橋梁本体の陰に隠れるなどして効果が失われる恐れがあったため、Gシリーズでは迎角の効果を調べた。実験結果を図-3. 13に示す。位置②に関しては迎角が 0° の場合より若干効果が劣化しているように思われるが、 $\pm 3^\circ$ いずれの迎角においても、フラッターを抑えていることがわかる。

3. 4 可視化実験

アクティブコントロールの効果が発揮されるメカニズムを明らかにするために、煙風洞を用いて流れの可視化を行った。図-3. 14に風洞模型を示す。模型をたわみおよびねじれが連成した正弦波で加振し、バネ支持実験に用いたものと同じのプログラムで制御ゲートをコントロールした。可視化の一例を図-3. 15に示す。自然に発生する剥離とは別のタイミングで制御ゲートが剥離を発生させていることがわかる。

3. 5 考察

実験結果の要点は前節においてまとめたが、ここではいくつかの重要な制御のパラメータに着目し、剥離制御型のアクティブコントロールの効果について考察を加えるとともに、効果の特徴についてより詳細に検証する。

(1) 制御パラメータ

ここでは重要な制御パラメータである位相差、位置および制御振幅に関して考察する。まず配置パターン毎の有効な位相差範囲を図-3. 16に総括する。位置①にゲートを設置したAシリーズが 90° 先行を中心とする範囲で有効なのに比べ、前縁にゲートを設置した、BおよびCシリーズでは 180° の位相差を中心に効果が見られる。前縁では構造物の振動に伴い、上面および下面側に交互に剥離渦が放出される。直感的には、ゲートを前縁に設置した場合は、ゲートが設置された面と反対側の面から渦が発生するのとはほぼ同じタイミングでゲートを突出させれば、それぞれの剥離の効果が弱められそうである。これが位相差 180° の制御であり、実験結果は可視化でも見られたように、この直感的な機構が実際にフラッターを抑えていることを示唆するものと受けとめられる。一方、幅員中央付近にゲートが設置された場合は、前縁において自然に発生する剥離渦が流下する過程での時間差や、剥離位置が橋桁全体の非定常圧力分布勾配に及ぼす効果の違いから、最適位相差がずれているものと考えられる。

いずれにせよ、制御ゲートの最適位相差は、フラッターの原因となる剥離渦が放出される位置とゲートの位置関係が支配的となり、断面形状の多少の相違には影響されないことが予想される。この点に関しては今後明らかにしたい。なお、適正な位相差の範囲内では位相差が変わっても効果に大きな変化が見られない(図-3.17)。

位置に関しては、図-3.18に示すように、位置③が他より若干優れている傾向があるが、制御位相差が完全に最適値を抑えているか否か確実でないため有意な差と見なしうるかは不明である。この比較結果は、むしろ制御ゲートの位置が多少異なっても、同程度の効果が得られることに着目すべきであり、適用の制約条件が緩いことを意味している。また、迎角の付いた風に対する効果も、図-3.19に示すようにどの位置でも安定した制御効果が得られていることを示している。

制御振幅の影響は図-3.20に示すが、振幅を大きくすることが、必ずしも制御効果の向上につながっていないことがわかる。これは制御が大きくなると、それによって発生する空気力が大きくなり、逆に不規則な振動を励起しているためと考えられる。

(2) 風洞模型の質量効果

本研究で提案したアクティブコントロールで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(この力による効果を、便宜上アクティブ・マスダンパーとしての効果という意味で、AMD効果と呼ぶ)。この力については、模型と実機の間には相似性がない。したがって、本制振手法の効果を評価するに当たり、本実験における制御系のAMD効果を明らかにしなければならない。表-3.3は本装置を振幅11mmで片側正弦振動させた場合の定常振幅と、これより推定される等価な効果を持つAMDの性能等をまとめたものである。模型応答振幅を見ると、無風時において制御系のAMD効果はかなり大きい。具体的には、本装置は、最大ストローク0.2D、重錘質量が0.3%の桁端部に置かれたAMDと等価な働きを持っていると考えられる。

一方、今回検討したアクティブコントロールは、本体に対し $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 付近の位相差で先行する制御が有効であった。無風時自由減衰時にこの制御を行うと表-3.4に示すように一定振幅で定常状態となり、モータによる加振モーメントが作用していることがわかる。したがって、AMD効果としては加振力が作用する制御が、空力的には好ましい効果を生み出していることがわかる。以上の結果より、本実験で得られた制振効果は空力的な効果とみなすのが妥当であり、AMDとしての効果が制振に寄与していることは考えられない。

なお、本研究ではフラッターの制御を対象としたが、より低風速で発生する渦励振に対しては、空力的効果とAMD効果を比較して、制御方法をフラッターの場合とは変える必要がある事が推定される。

(3) 制御プログラムのあいまいさに関する考察

先に述べたとおり、今回の制御プログラムはかなり単純な規則によって書かれている。そのため制御に伴い振動が不規則になると、必ずしも図3.2に示したような理想的な制御が常に実現されているわ

けではない。図-3. 21は制御翼の動きと変位の時系列を示したものである。ただし変位計の出力はフィルタを通してあるため位相ずれがあり、実際の位相差を正しく表示していない。またこの時系列データのスペクトル解析結果を図-3. 22に示す。これらを見ると、模型および制御翼はフラッター発現時の本来の振動数と、制御翼によって発生する空気力によるものと思われるより高い振動数の二つのモードが認められる。後者はいわば構造力学的制振装置におけるスピルオーバーと呼ばれる現象に相当するが、どちらの状態でも制御が安定していることが興味深い。ただし高振動数モードの状態から本来のモードへ移る段階では、振幅が大きくなっており、今後はさらに制御法を工夫して、より安定した制御を実現する必要がある。

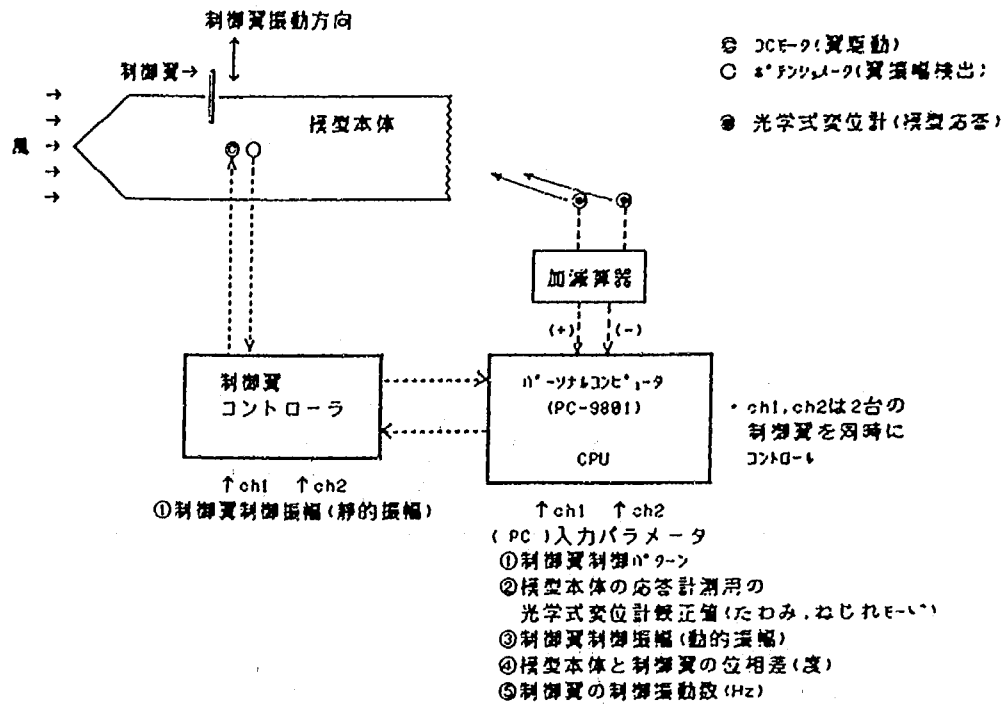


図-3. 1 アクティブ制御システム

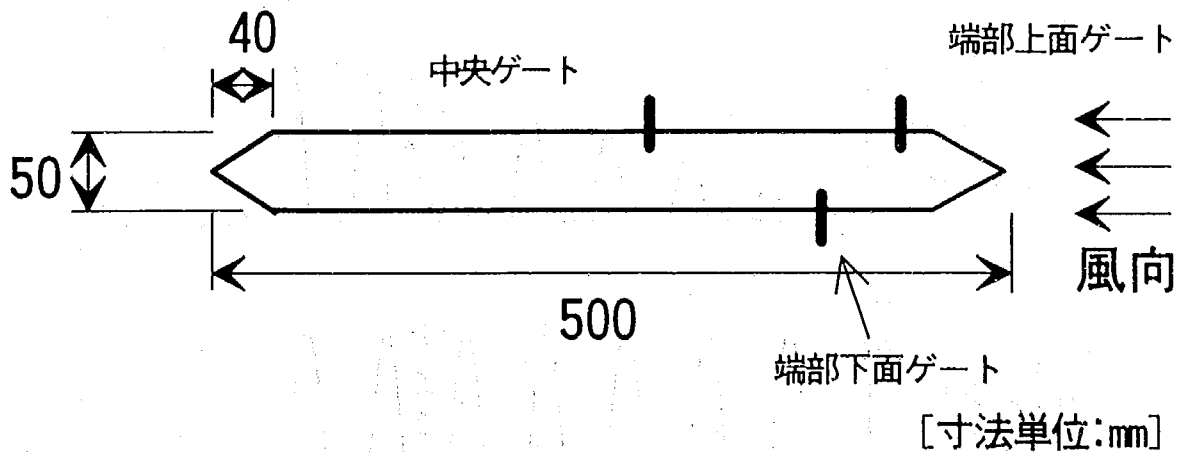


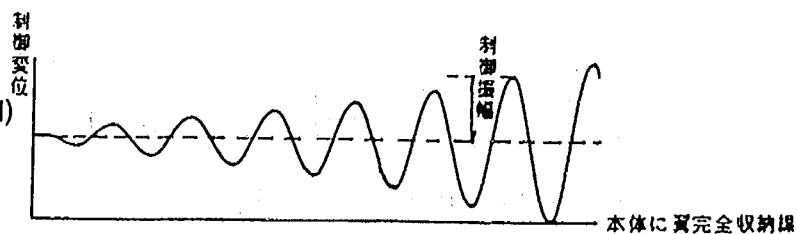
図-3. 2 アクティブ制御模型

模型本体
の挙動



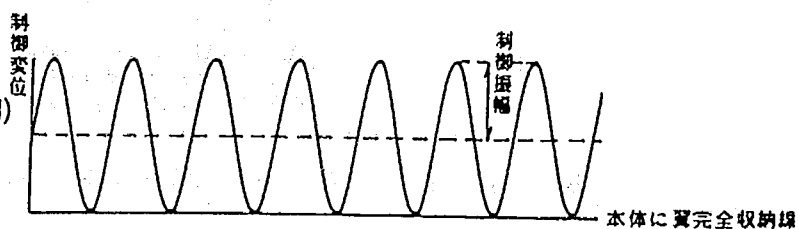
1) 制御パターン 1
(振幅比例制御)

制御単位: mm/deg



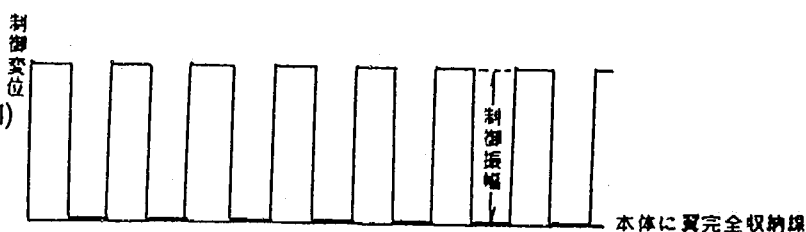
2) 制御パターン 2
(振幅一定制御)

制御単位: mm



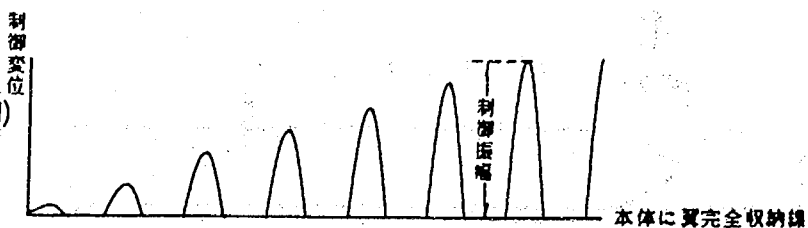
3) 制御パターン 3
(振幅一定制御)

制御単位: mm



4) 制御パターン 4
(振幅比例制御)

制御単位: mm/deg



5) 制御パターン 5
(振幅一定制御)

制御単位: mm

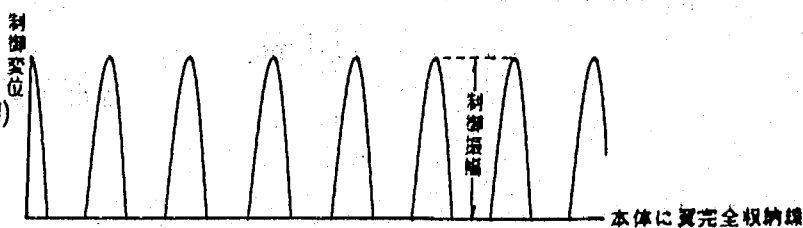


図-3. 3 制御翼の制御パターン

表-3. 1 アクティブ制御実験条件

条件項目		ハネ支持所要値
質	量	12.000 kgf/model
極慣性	モーメント	1.700 kgf・cm・s ² /model
支	持方法	2自由度
振動数	たわみモード	1.55 Hz
	ねじれモード	2.02~2.10Hz
振	動数比	$N\theta / N\eta = 1.31 \sim 1.36$
無風時対 数減衰率	たわみモード	0.018~0.026
	ねじれモード	0.052~0.066
ハネ間隔		31cm
ハネ定数		1.150kgf/cm

表-3. 2. 1 実験ケース総括表 (その1)

ケース 番号	実験項目	模型本体	迎角 (deg)	制 御 翼			制御条件			観測風洞風速 (m/s)	観測無次元 風速(V/NB)	備 考
				制御の 有無	配置 ハ・ター	振動翼	制御ハ・ター	制御振幅	本体と制御翼の位相差 (度)			
A-1	基本特性	断面形状A	0	-	-	-	-	-	-	0.8~8.2 (7.9でハ・ト ワッター発生)	0.8~7.9 (7.6でハ・ト ワッター発生)	-
A-2	位相差の 影響		0	●	A	①	5	動的10.5mm	-180° ↔ 翼先行型135°	8.3~11.3 (11.3以上 ではハ・ト ワッター発生)	8.0~10.8 (10.8以上 ではハ・ト ワッター発生)	制御翼① 単独制御
A-3	セパ-ハ・リ- の效果		0	●	A	①	-	静的10.5mm	-	7.7~9.1 (8.6でハ・ト ワッター発生)	7.4~8.7 (8.3でハ・ト ワッター発生)	-
								静的23.5mm	-	6.3~9.2 (9.2以上 ではハ・ト ワッター発生)	6.0~8.6 (8.6以上 ではハ・ト ワッター発生)	
A-4	制御ハ・ター の影響		0	●	A	①	4	4mm/deg 4mm/deg 4mm/deg	45° ↔ 翼先行型135° 翼先行型100°一定 翼先行型 45°一定	8.6一定 8.9~10.3 8.6~9.8	8.2一定 8.5~9.8 8.2~9.4	制御翼① 単独制御
A-5	制御振幅 の影響	0	●	A	①	4	3mm/deg 5mm/deg 6mm/deg	翼先行型100°一定 翼先行型100°一定 翼先行型100°一定	9.0~9.9 9.0~9.9 9.0~10.3	8.6~9.5 8.6~9.5 8.6~9.8	制御翼① 単独制御	
A-6	基本特性	断面形状A'	0	-	-	-	-	-	-	4.1~5.9 (5.6でハ・ト ワッター発生)	3.9~5.7 (5.4でハ・ト ワッター発生)	-
A-7	一定振幅 制御		0	●	A	①	5	動的10.5mm	翼先行型100°一定	5.9~10.7	5.7~10.3	制御翼① 単独制御
A-8	振幅の 影響		0	●	A	①	5	動的 5mm 動的 9mm	翼先行型100°一定 翼先行型100°一定	6.3~10.7 8.5~11.1	6.1~10.3 8.2~10.7	制御翼① 単独制御
A-9	制御ハ・ター の影響		0	●	A	①	2	動的 5mm 動的 5mm	翼先行型100°一定 -180° ↔ 翼先行型135°	6.9~9.5 7.0一定	6.6~9.0 6.6一定	制御翼① 単独制御

・制御翼の制御がないときは、翼は模型本体に収納した。

・●印は制御したことを示す。

表-3. 2. 2 実験ケース総括表 (その2)

ケース 番号	実験項目	模型本体	迎角 (deg)	制 御 翼			制御条件			観測風洞 風速(m/s)	観測無次元 風速(V/NB)	備 考	
				制御の 有無	配置 パターン	振動翼	制御パターン	制御振幅	本体と制御翼の位相差 (度)				
B-1	位相差の 影響	断面形状A	0	●	B	②	5	動的 11mm	-180°→翼先行型135° 逆位相180°一定 翼先行型135°一定 翼追従型135°一定	8.3一定 8.3~11.2 8.3~11.2 8.3~11.2	8.1一定 8.1~11.0 8.1~11.0 8.1~11.0	制御翼②単独制御	
				-		③							使用せず(模型本体に制御翼収納)
B-2	位相差の 影響 (詳細)		0	●	B	②	5	動的 11mm	翼先行型165°一定 翼先行型150°一定	8.7~11.2 8.7~11.2	8.5~11.0 8.5~11.0		制御翼②単独制御
				-		③							
B-3	振幅の 影響		0	●	B	②	5	動的 5mm 動的 9mm	翼先行型165°一定 翼先行型165°一定	8.1~11.2 8.1~11.2	8.0~11.0 8.0~11.0		制御翼②単独制御
				-		③							

●印は制御したことを示す。

ケース 番号	実験項目	模型本体	迎角 (deg)	制 御 翼		制 御 条 件				観測風洞 風速(m/s)	観測無次元 風速(V/NB)	備 考
				制御の 有無	配置 パター	振動翼	制御パター	制御振幅	本体と制御翼の位相差 (度)			
C-1	位相差の 影響	断面形状A	0	-	B	②	使用せず(模型本体に制御翼収納)					制御翼③単独制御
				●		③	5	動的11mm	-180°↔翼先行型135° 翼先行型135°一定 逆位相180°一定 翼追従型155°一定	8.5一定 8.5~11.1 8.5~11.1 8.5~11.1	8.3一定 8.3~10.9 8.3~10.9 8.3~10.9	
C-2	位相差の 影響 (詳細)		0	-	B	②	使用せず(模型本体に制御翼収納)					制御翼③単独制御
				●		③	5	動的11mm	翼先行型150°一定 翼先行型165°一定	8.4~11.2 8.4~11.2	8.3~11.0 8.3~11.0	
C-3	振幅の 影響		0	-	B	②	使用せず(模型本体に制御翼収納)					制御翼③単独制御
				●		③	5	動的 5mm 動的 9mm	翼先行型150°一定 翼先行型150°一定	8.5~11.3 8.5~11.3	8.4~11.2 8.4~11.2	

●印は制御したことを示す。

ケース 番号	実験項目	模型本体	迎角 (deg)	制御翼			制御条件			観測風洞 風速(n/s)	観測無次元 風速(V/NB)	備 考
				制御の有無	配置 パターン	振動翼	制御パターン	制御振幅	本体と制御翼の位相差 (度)			
D-1	制御効果	断面形状A	0	●	B	②	5	動的 9mm	翼先行型165°一定 翼先行型150°一定	6.8~11.3 6.8~11.3	6.8~11.2 6.8~11.2	制御翼②③同時 制御
				●		③						

●印は制御したことを示す。

表-3. 2. 3 実験ケース総括表 (その3)

ケース番号	実験項目	模型本体	迎角(deg)	制御翼			制御条件			観測風洞風速(m/s)	観測無次元風速(Y/NB)	備考
				制御の有無	配置 A° B° C°	振動翼	制御A° B° C°	制御振幅	本体と制御翼の位相差(度)			
E-1	位相差の影響	断面形状A	0	●	C	①	5	動的 9mm	翼先行型100°一定	8.5~10.8 8.5~10.8 8.5~10.8	8.2~10.4 8.2~10.4 8.2~10.4	制御翼①②同時制御
				●		③	5	動的 9mm	翼先行型120°一定 翼先行型150°一定 逆位相180°一定			
				●		③	5	動的 9mm	翼先行型100°一定			
E-2	制御効果		0	●	C	①	5	動的 9mm	翼先行型100°一定	6.7~11.2	6.5~10.8	制御翼①③同時制御
				●		③	5	動的 9mm	翼先行型150°一定			

●印は制御したことを示す。

ケース 番号	実験項目	機 型 本 体	迎角 (deg)	制 御 翼			制御条件			観測風洞 風速(m/s)	観測無次元 風速(V/NB)	備 考	
				制御の 有無	配置 パター	振動翼	制御パター	制御振幅	本体と制御翼の位相差 (度)				
F-1	位相差の 影響(1)	断面形状A	0	●	D	①	5	動的 9mm	-180°←翼先行型155° 翼先行型 90°一定 翼先行型135°一定 翼追従型135°一定	8.5一定 8.5~11.2 8.5~11.2 8.5~11.2	8.2一定 8.2~10.8 8.2~10.8 8.2~10.8	制御翼 ①②同 時制御	
	●			②		5	動的 9mm	翼先行型165°一定					
F-2	位相差の 影響(2)		0	●	D	①	5	動的 9mm	翼先行型 90°一定	8.4~11.4 8.4~11.4	8.2~10.9 8.2~10.9		制御翼 ①②同 時制御
				●		②	5	動的 9mm	翼先行型135°一定 翼先行型195°一定				
F-3	振幅の 影響		0	●	D	①	5	動的 (制御翼①:9mm 制御翼②:5mm)	翼先行型 90°一定	8.4~11.1	8.2~10.9		制御翼 ①②同 時制御
				●		②	5	(制御翼①:5mm 制御翼②:9mm 制御翼①:5mm 制御翼②:5mm)	翼先行型135°一定	8.4~11.1	8.2~10.9		

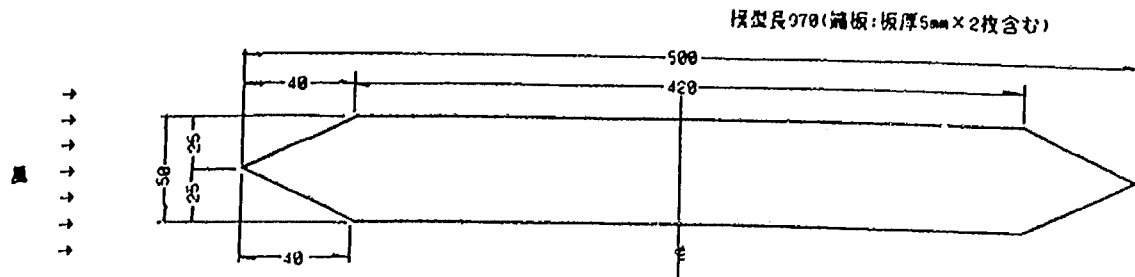
●印は制御したことを示す。

ケース 番号	実験項目	模型本体	迎角 (deg)	制 御 翼			制 御 条 件			観測風洞 風速(m/s)	観測無次元 風速(V/NB)	備 考	
				制御の 有無	配置 パターン	振動翼	制御パター ン	制御振幅	本体と制御翼の位相差 (度)				
G-1	迎角の 効果	断面形状A	+3	●	D	①	5	動的11mm	翼先行型100°一定	7.3~11.4	7.1~11.1	制御翼①単独制御	
				-		②	使用せず(模型本体に制御翼収納)						
G-2			+3	-	D	①	使用せず(模型本体に制御翼収納)						制御翼②単独制御
						②	5	動的11mm	翼先行型165°一定	7.3~11.4	7.1~11.1		
G-3			-3	●	D	①	5	動的11mm	翼先行型100°一定	7.1~11.0	6.9~10.6	制御翼①単独制御	
						②	使用せず(模型本体に制御翼収納)						
G-4			-3	-	D	①	使用せず(模型本体に制御翼収納)						制御翼②単独制御
						②	5	動的11mm	翼先行型165°一定	7.1~11.0	6.9~10.7		

●印は制御したことを示す。

単位 mm

1) 断面形状 (A)



2) 断面形状 (A')

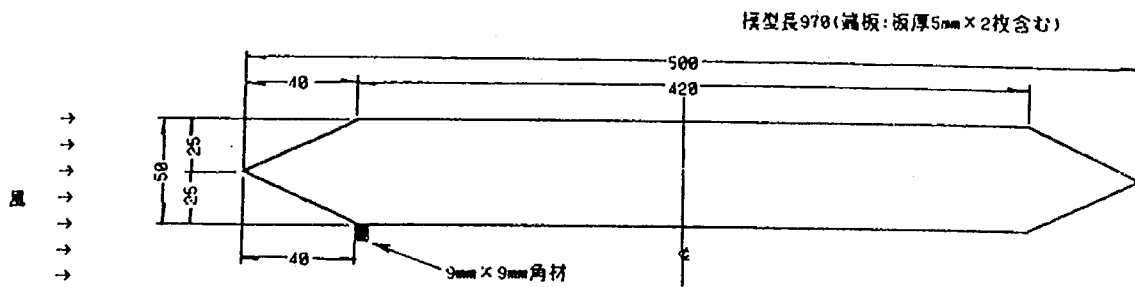
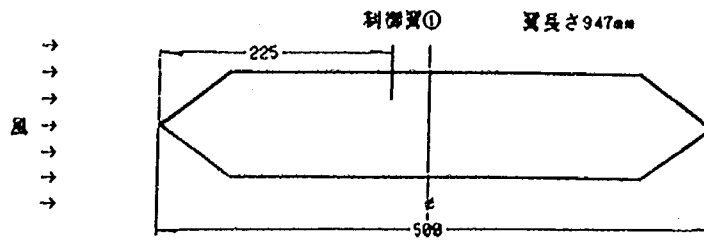


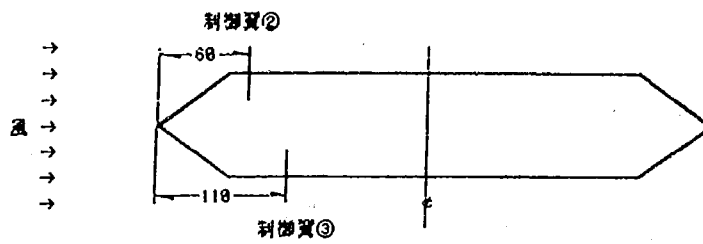
図-3. 4 バネ支持のフェアリング付き仮想橋桁模型図

1) 翼配置パターン(A)

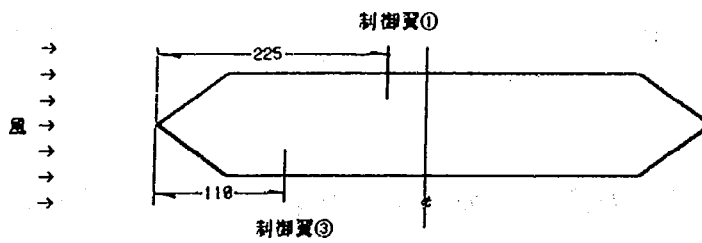
単位mm



2) 翼配置パターン(B)



3) 翼配置パターン(C)



4) 翼配置パターン(D)

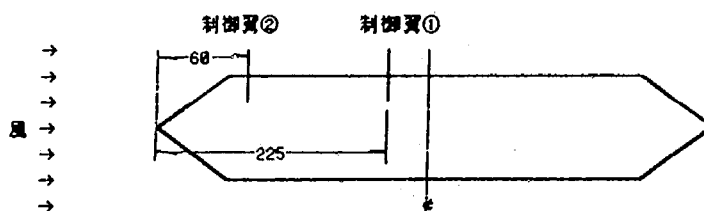


図-3. 5 バネ支持模型の制御翼配置パターン

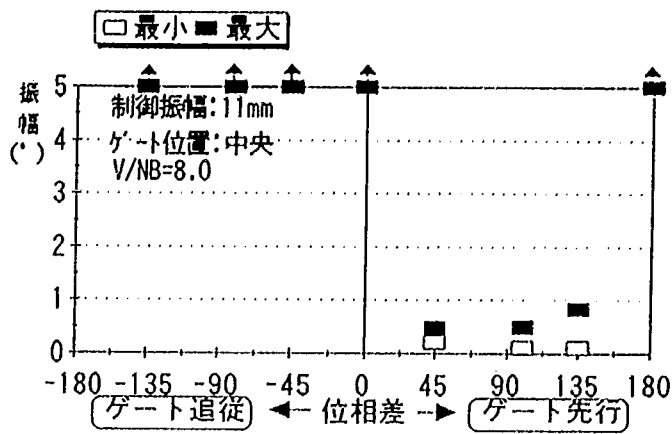


図-3.6 位相差の影響

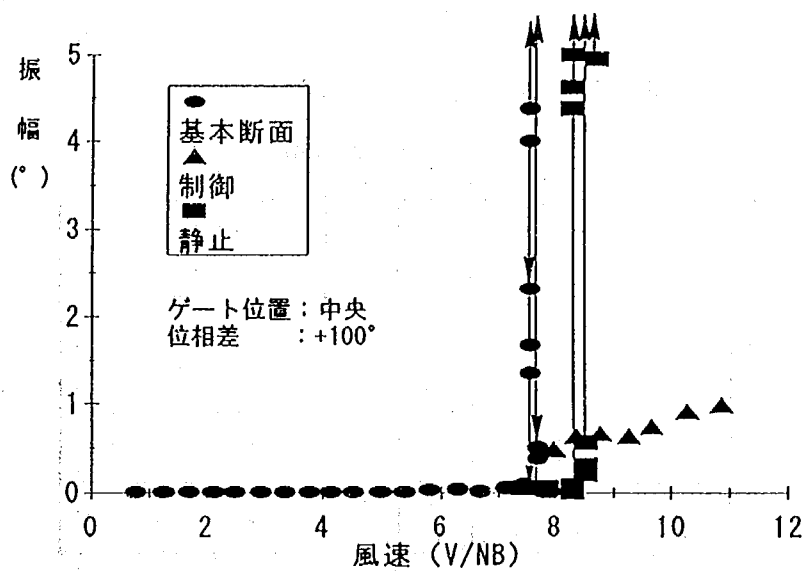


図-3.7 静的対策の効果

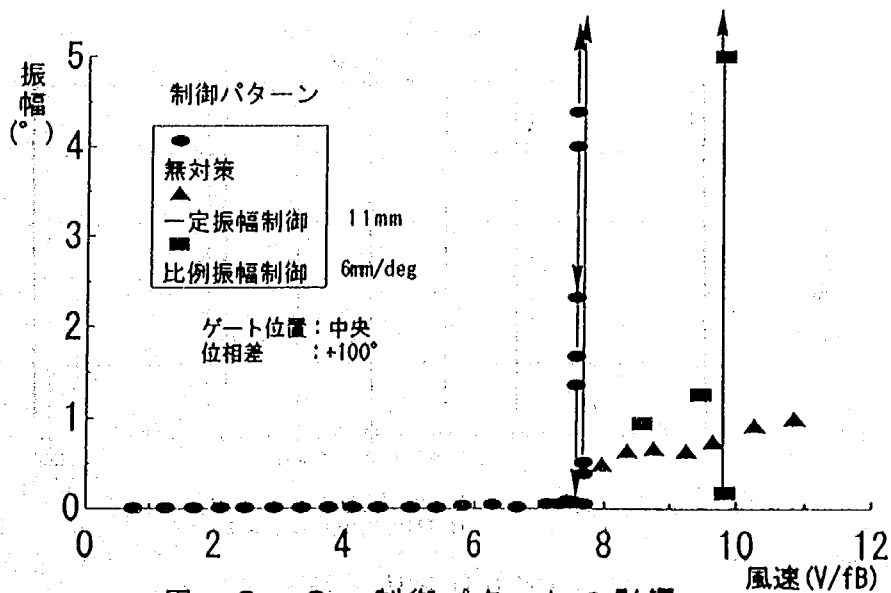


図-3.8 制御パターンの影響

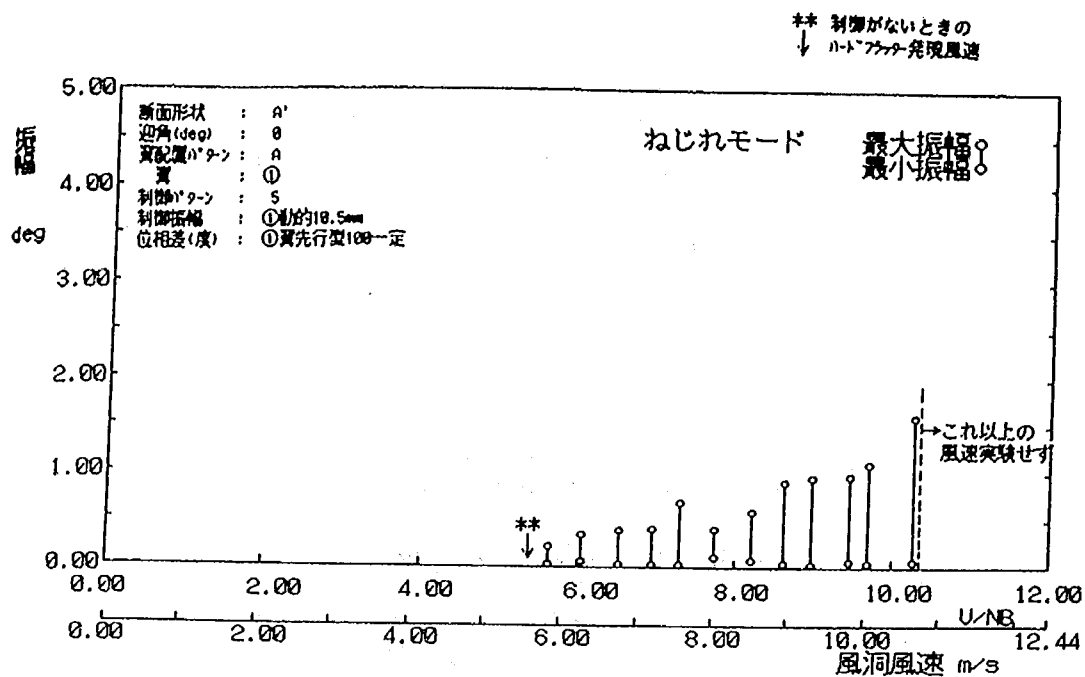
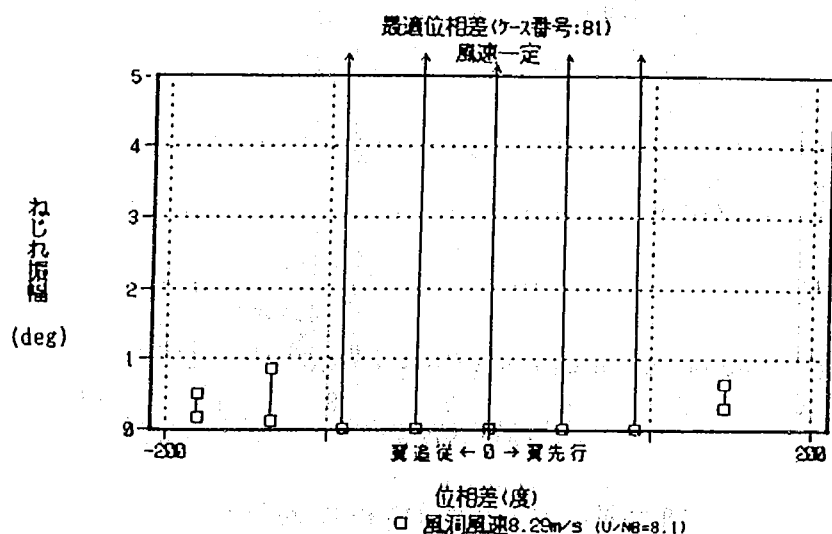
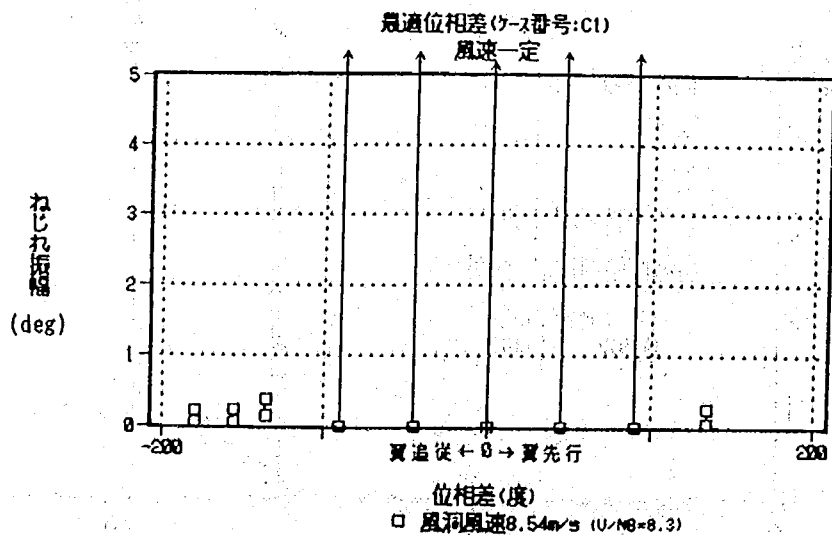


図-3.9 振幅-風速曲線

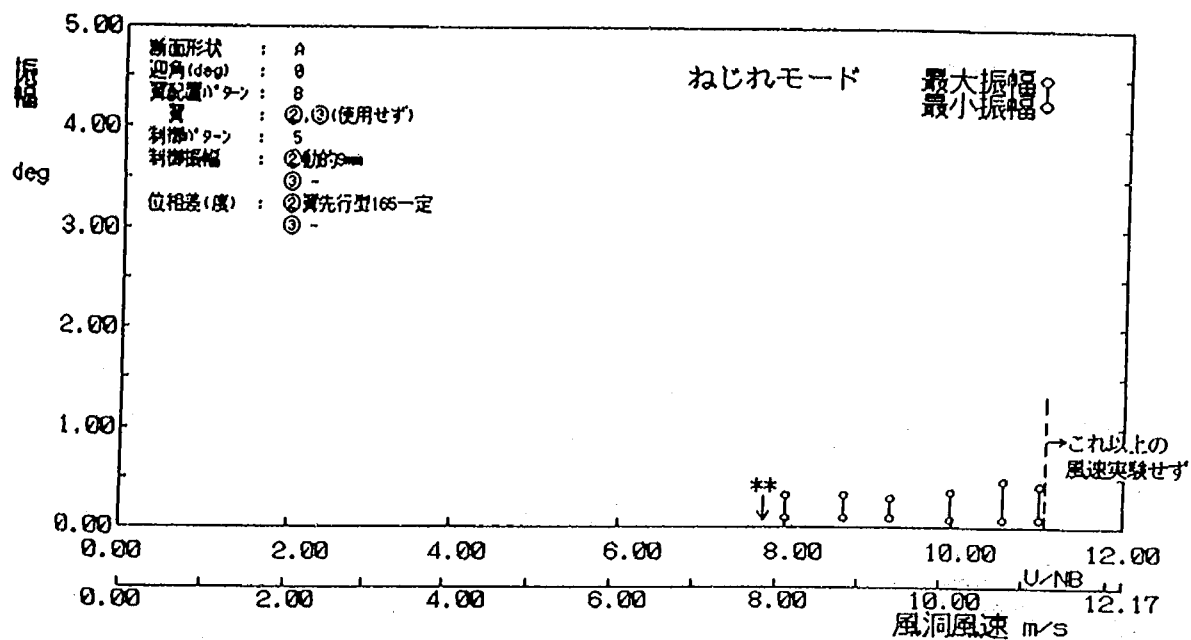


(1) Bシリーズ

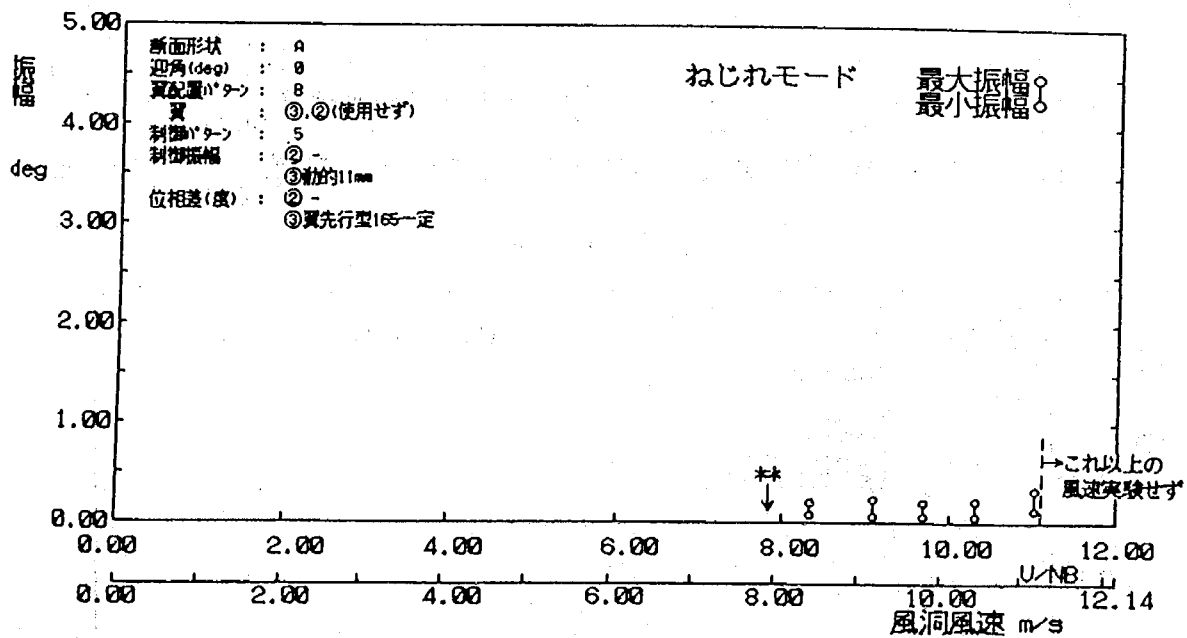


(2) Cシリーズ

図-3.10 位相差の影響

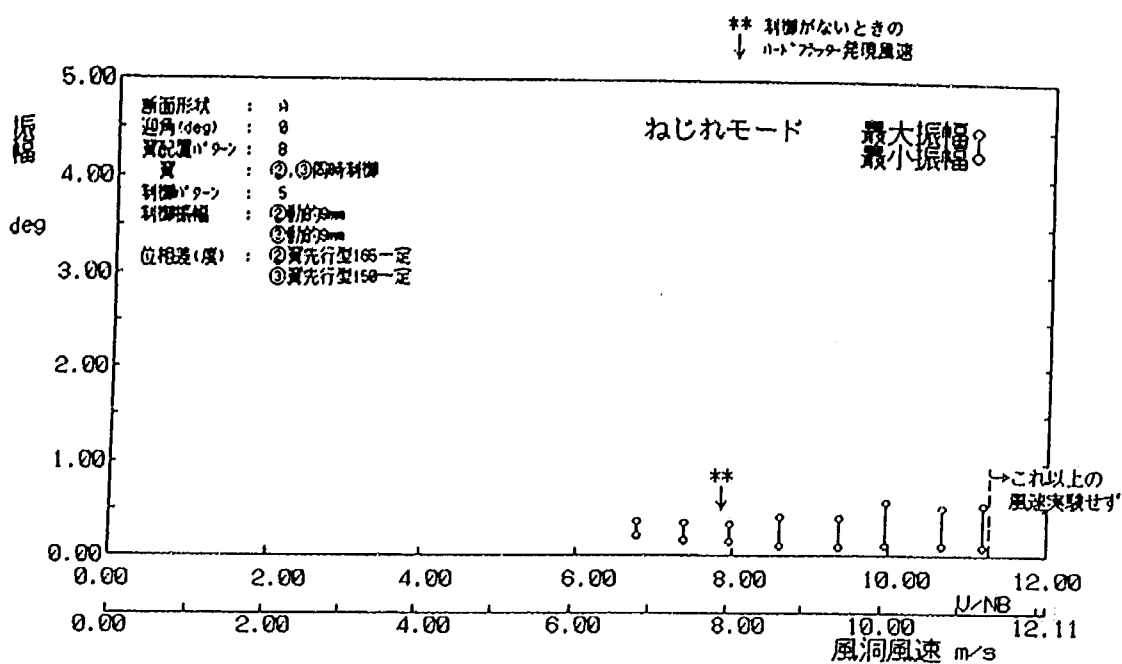


(1) ケース番号 B-3

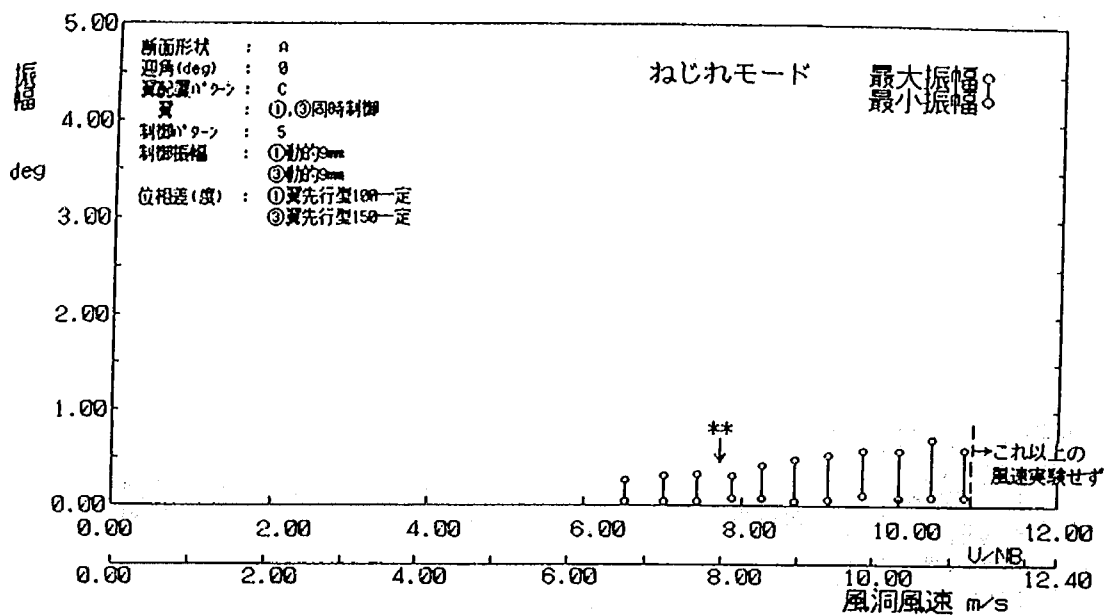


(2) ケース番号 C-2

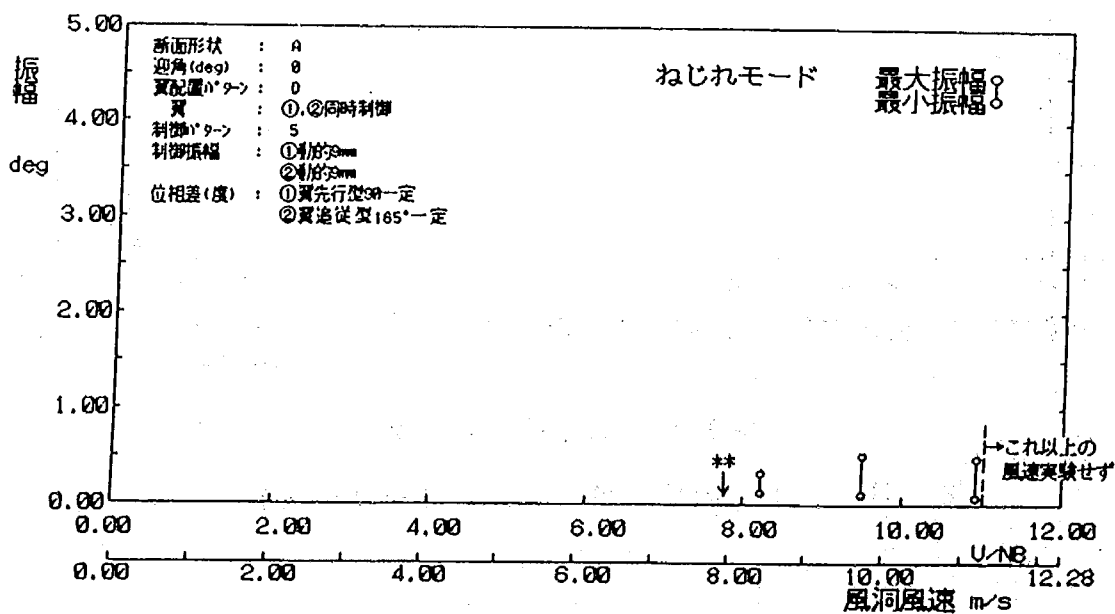
図-3. 1.1 制振効果 (B、Cシリーズ)



(1) D-1



(2) E-2



(3) F-2

図-3. 12 制振効果 (D~Fシリーズ)

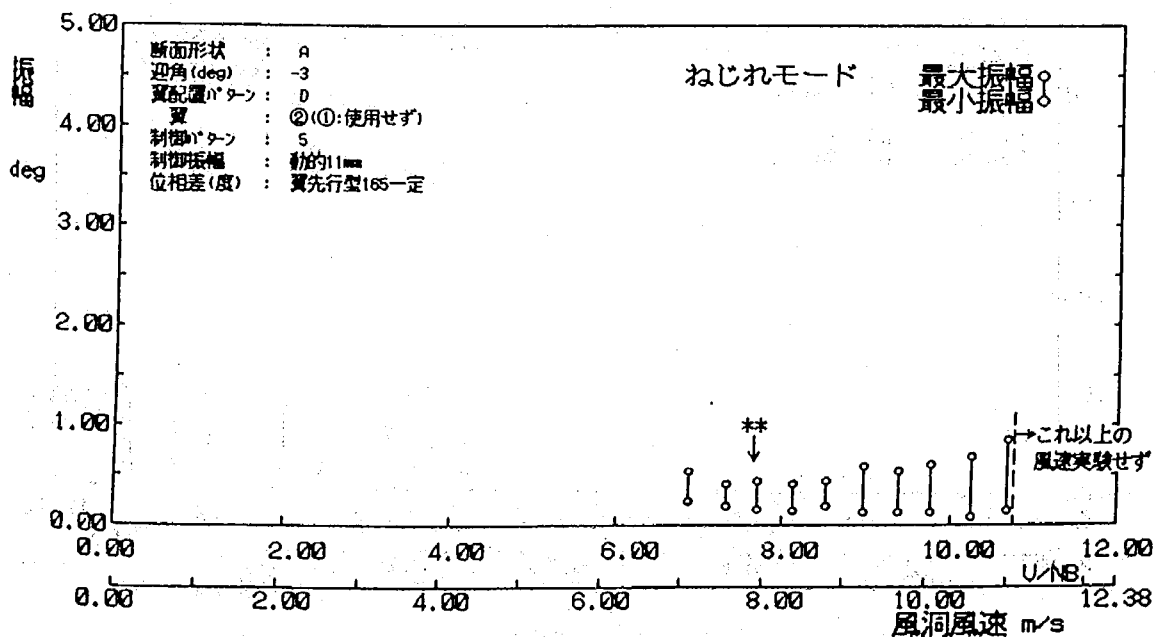
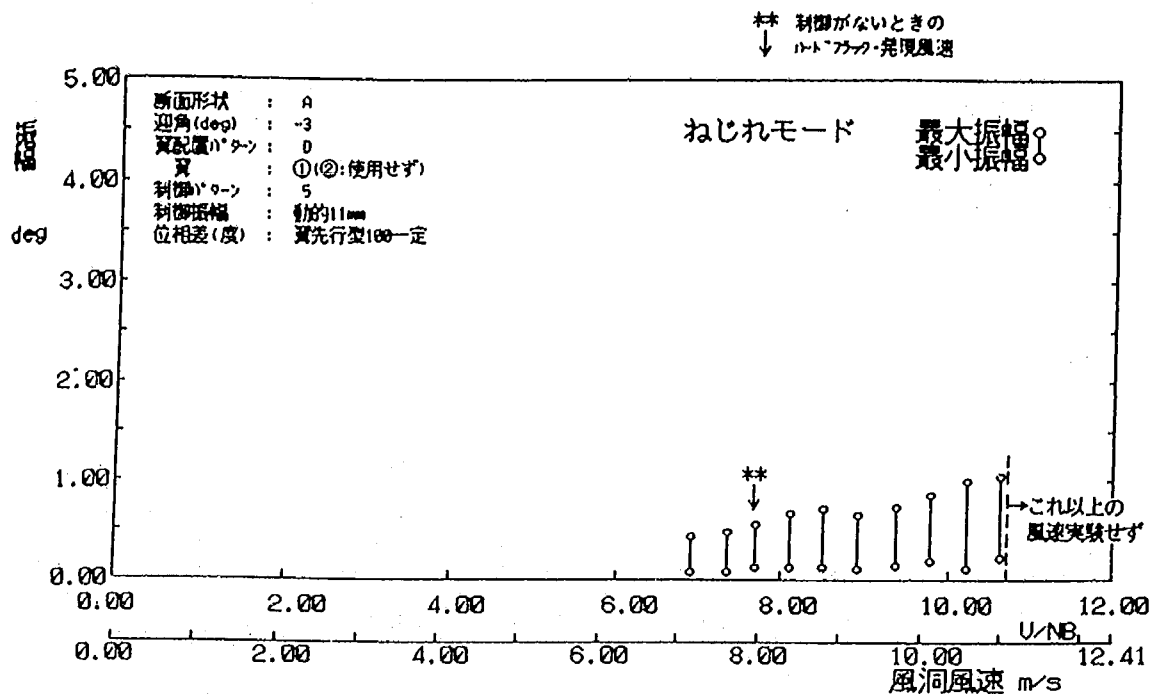
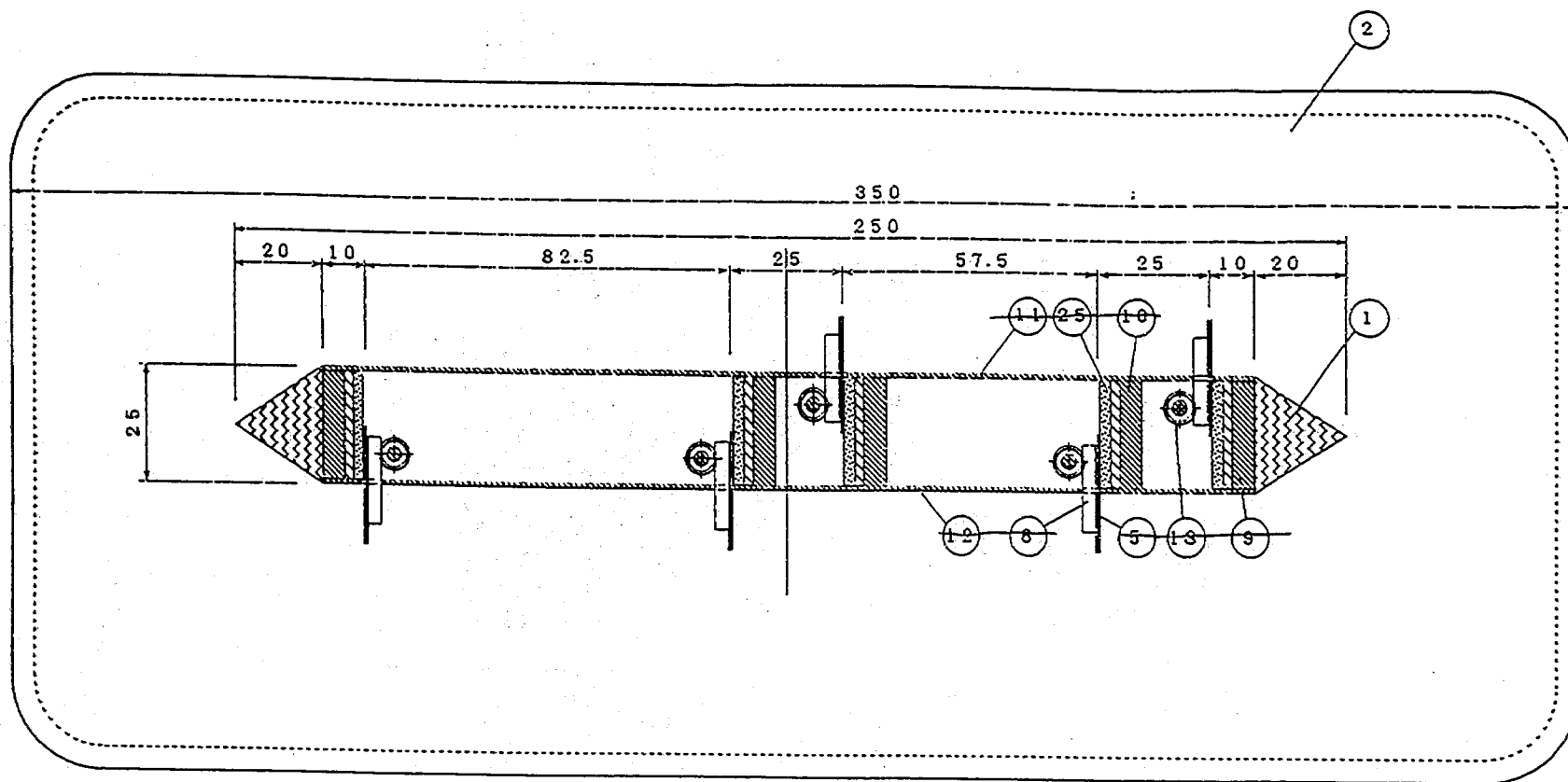


図-3. 13. 2 迎角に対する効果 ($\alpha = -3 \text{ deg}$)



图—3. 1 4 可視化実験用模型

橋桁位相：0°

橋桁位相：90°

橋桁位相：180°

橋桁位相：270°

風は右から吹いている

左：効果のある制御
（位相差：ゲート先行165°）
右：逆効果となった制御
（位相差：ゲート先行30°）

図-3. 15 可視化実験効果

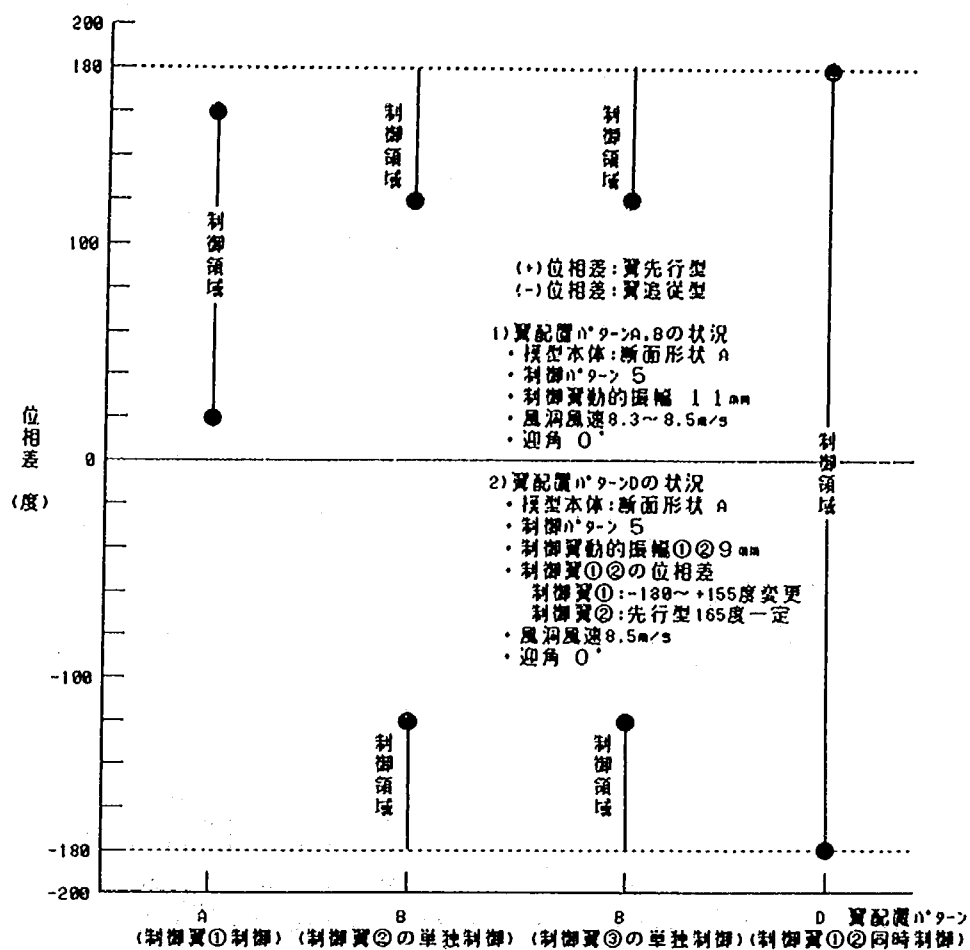
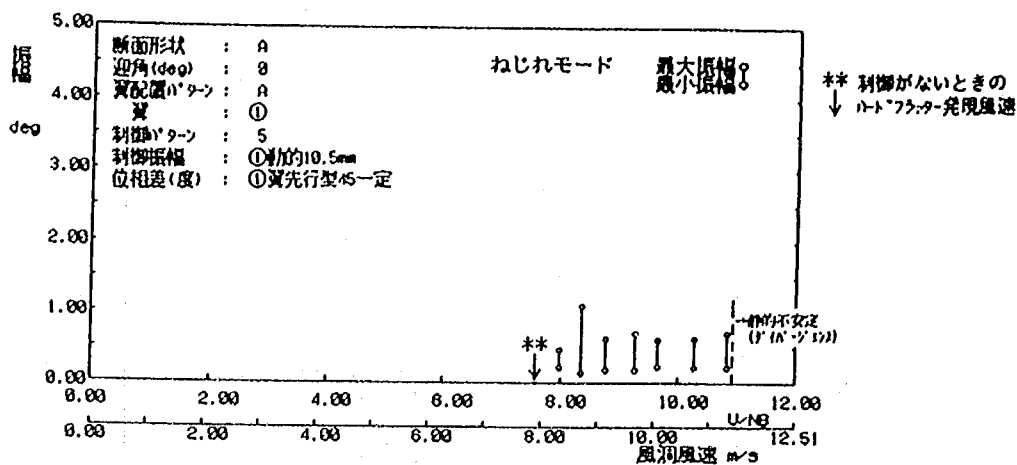
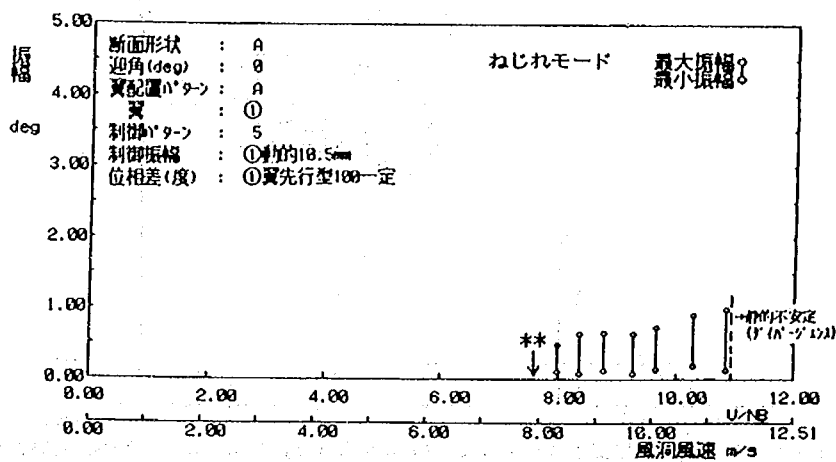


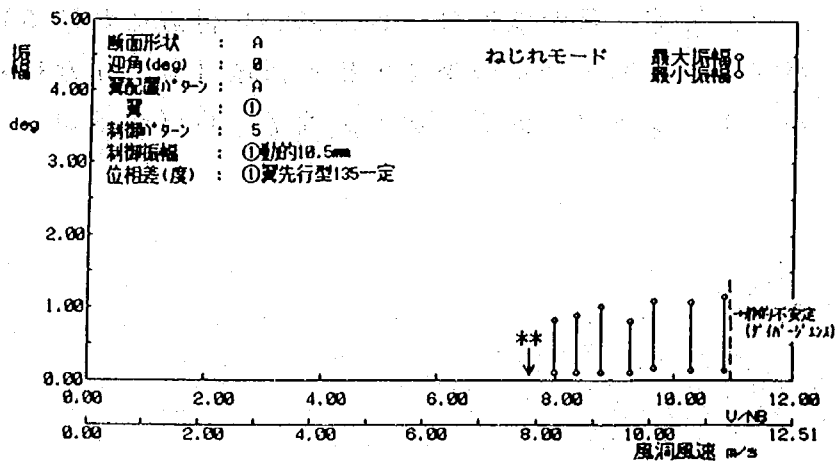
図-3.16 無次元風速（風洞風速 8.5 m/s）付近における翼配置パターンと制御効果のある位相差領域（制御がないときのハードフラッター発現無次元風速 7.6（風洞風速 7.9））



(1) 45°



(2) 100°



(3) 135°

図-3. 17 位相差と耐風応答

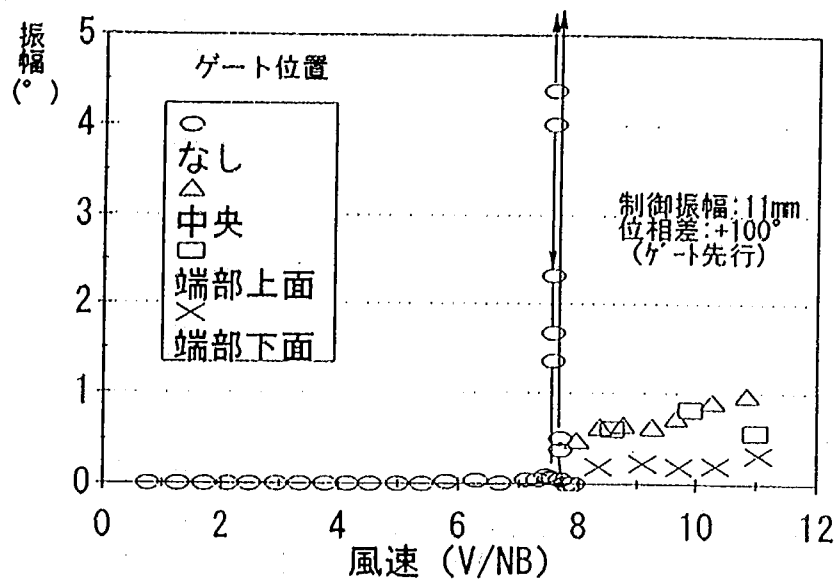


図-3. 18 アクティブ制御の効果

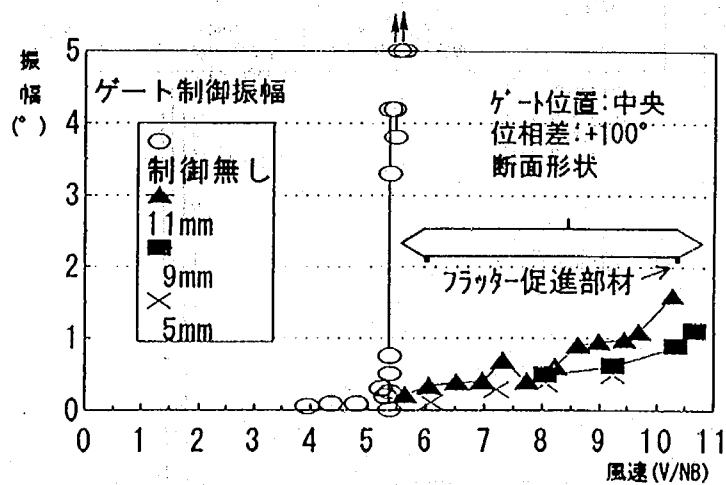
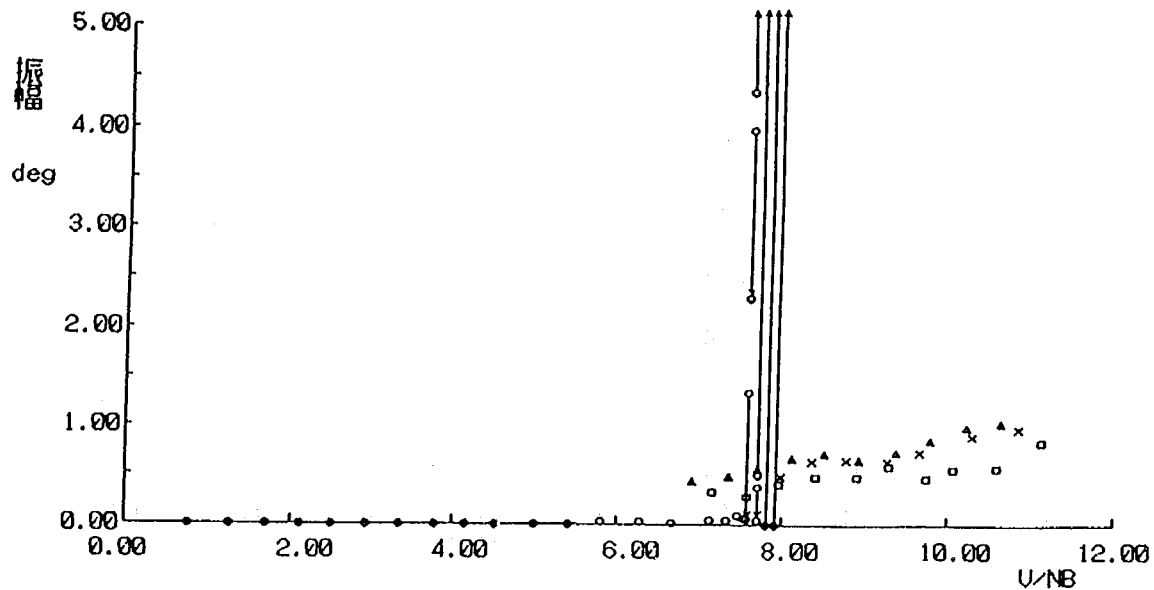


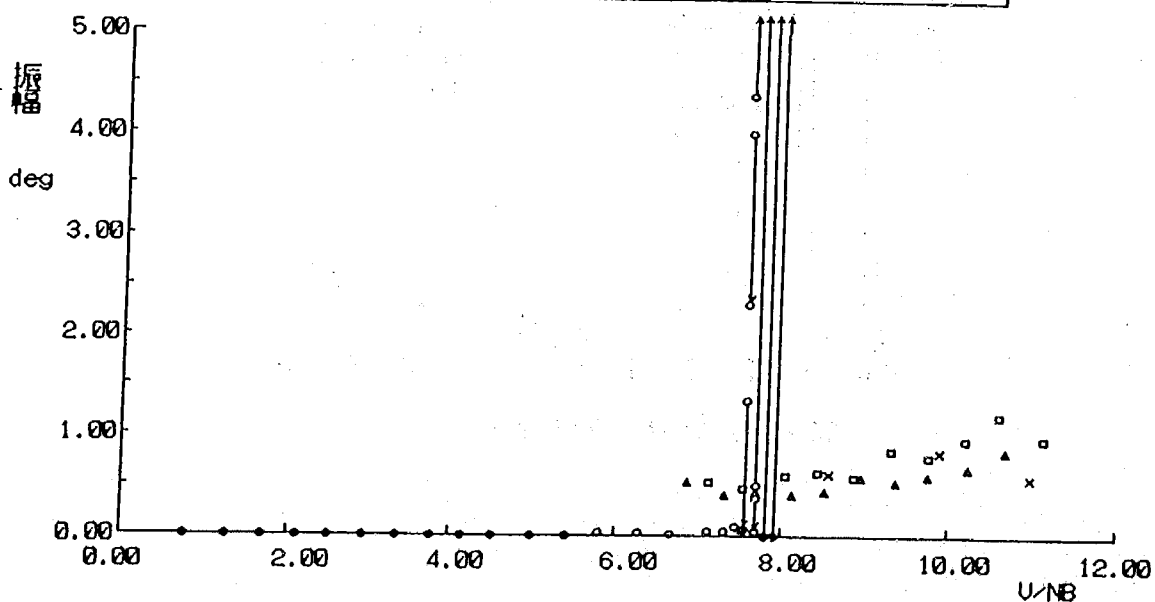
図-3. 20 制御振幅と効果

記号	O	□	△	x
断面形状		A	A	A
迎角(deg)		+3	-3	0
翼配置パターン	基本特性	0	0	0
翼	(断面形状A)	①	①	①
制御パターン	迎角 0deg	5	5	5
制御振幅		動的11mm	動的11mm	動的18.5mm
位相差(度)		翼先行型100一定	翼先行型100一定	翼先行型100一定



(1) ケース番号：A-1, A-2, G-1, G-3

記号	O	□	△	x
断面形状		A	A	A
迎角(deg)		+3	-3	0
翼配置パターン	基本特性	0	0	0
翼	(断面形状A)	②	②	②
制御パターン	迎角 0deg	5	5	5
制御振幅		動的11mm	動的11mm	動的11mm
位相差(度)		翼先行型165一定	翼先行型165一定	翼先行型165一定



(2) ケース番号：A-1, B-2, G-2, G-4

図-3. 19 迎角が付いた場合の制御効果

表－3. 3 制御装置の動的効果

制御ゲート		模型応答振 幅 (°)	等価なAMDの性能、質量など		
設置位置	振動数		加振モーメント (kgfm)×10 ⁻³	質量比 (%)	極慣性モーメン ト比 (%)
上面中央	2.06	1.69	1.41	0.3	1.2
上面端部	2.03	2.18	1.87	0.3	1.5
下面端部	2.03	1.79	1.54	0.3	1.2

表の項目の説明

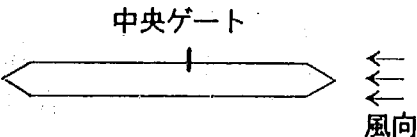
AMDは桁端に設置され、0.2Dのストロークを持つものを仮想している

加振モーメント：本装置は加振機として、加振モーメント×sin(2πft)の加振モーメントを与える事になる

質量比：左欄の加振モーメントを発生させるために必要なAMDの重錘質量と本体重量の比

極慣性モーメント比：重錘質量が付加する極慣性モーメントと桁本体のモーメントの比

表－3. 4 制御位相差と定常振動

位相差 (°)	模型応答振 幅 (°)	制御ゲート
0	0.11	
45	1.06	
80	1.56	
135	1.34	

図－2の制御方法により、振幅11mmで制御したものである

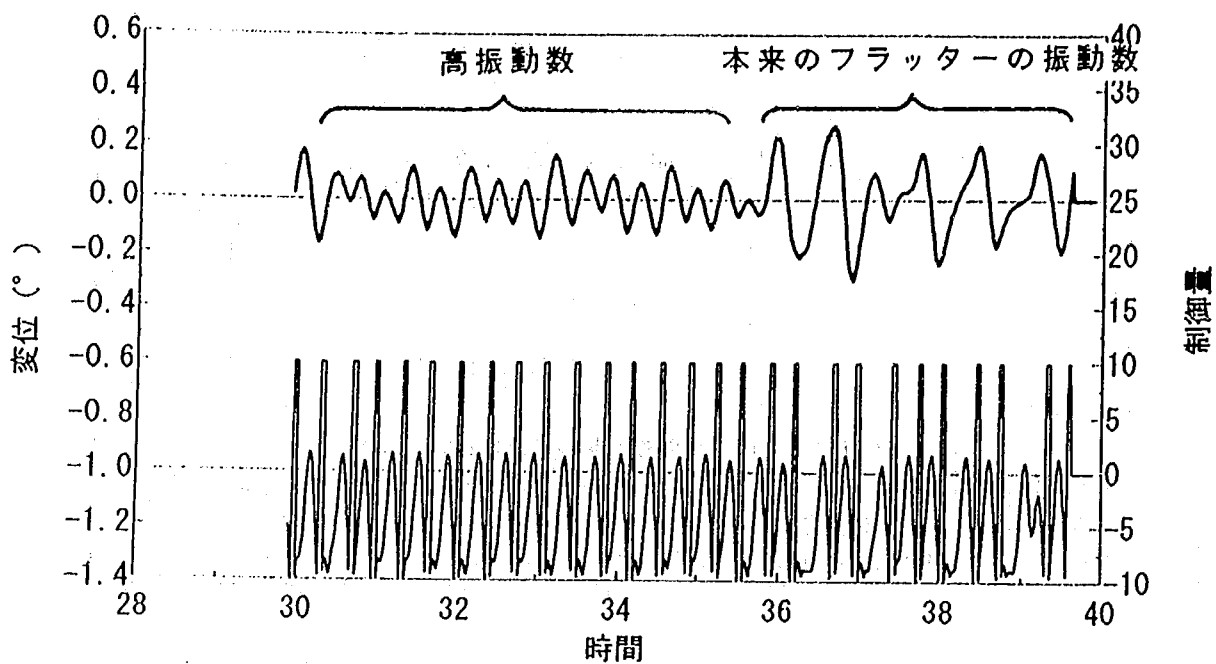


図-3. 21 応答と制御の時系列

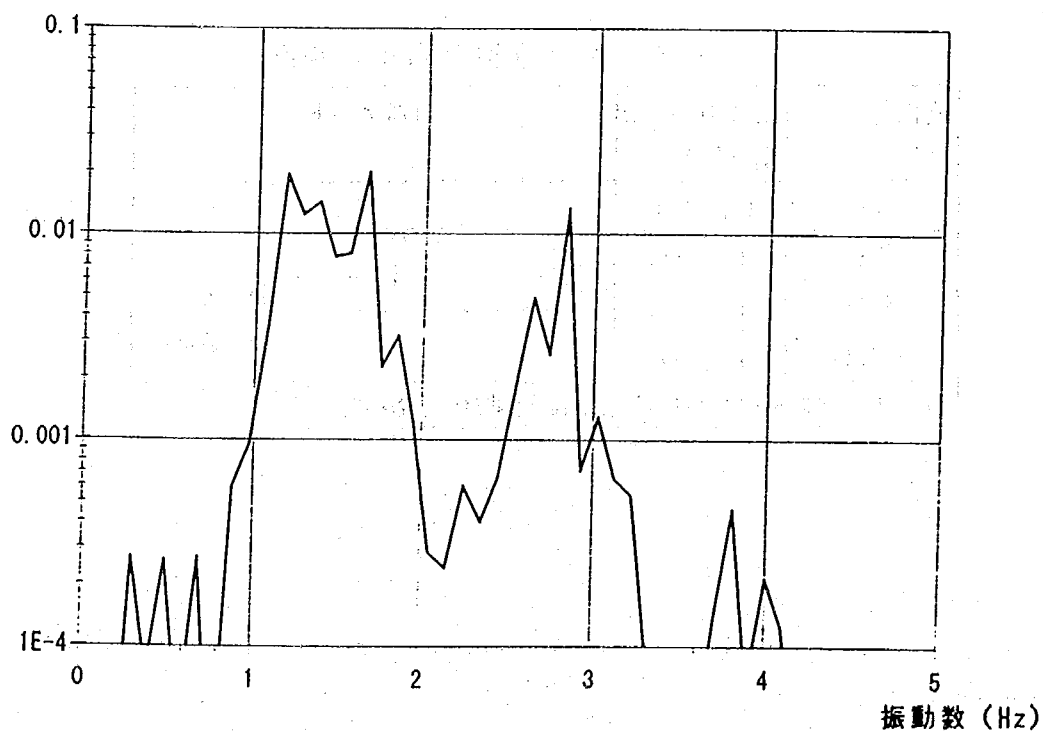


図-3. 22 応答のパワースペクトル密度

4. まとめと今後の課題

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

(1) 空気力を反力として利用するアクティブ制御について

- ・空気力を反力とするアクティブ制御について、理論と関連性の高い制振効果が確認され、フラッター発現風速が1.4倍高められた。
- ・制御翼と橋桁間の空力干渉の影響により、その効果は理論よりはかなり劣るものとなった。

(2) 剥離制御型アクティブ制御について

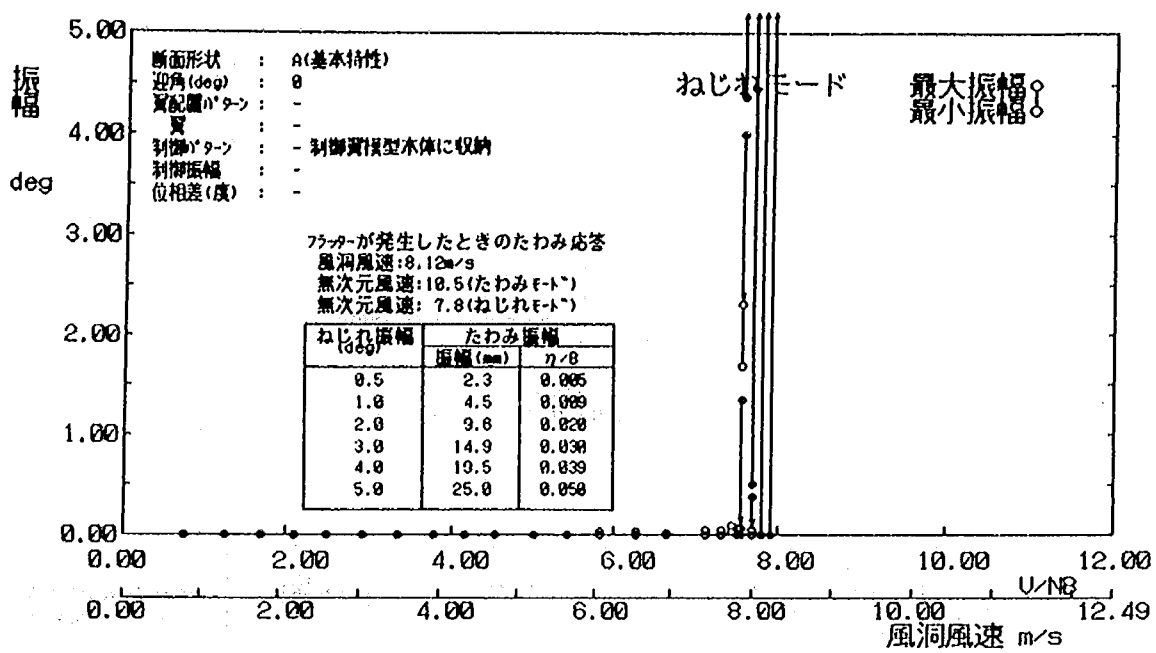
- ・ダイバージェンスによって実験不能となる風速までフラッターが抑えられることが明らかとなった。
- ・構造力学的効果ではなく、空気力学的な効果によってフラッターが抑えられていることが確認された。
- ・制御ゲートと橋桁本体の位相差は制振効果を決定する重要なパラメータであることがわかった。ただし、制振効果が発揮される位相差の範囲は広く、また位相差を変えても効果には顕著な変化が見られなかったため、制御の安定性は高く、実用上好ましい。
- ・明確なフラッターは発現しないが、不規則な振動が制御翼によって励起された。

(3) 今後の課題

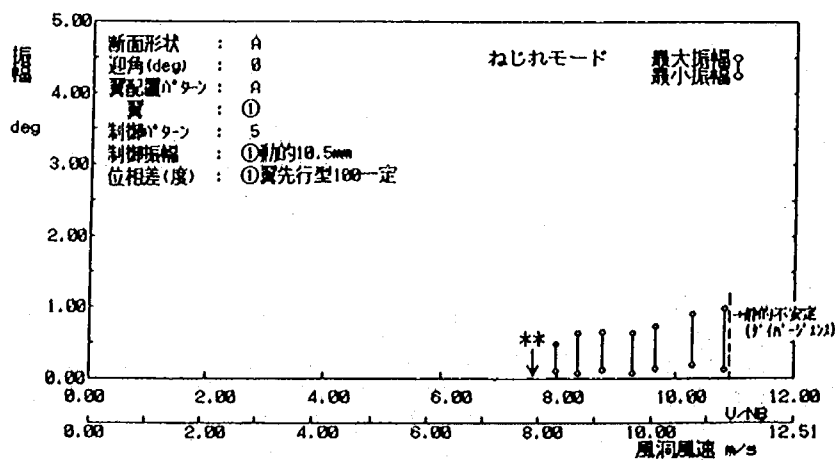
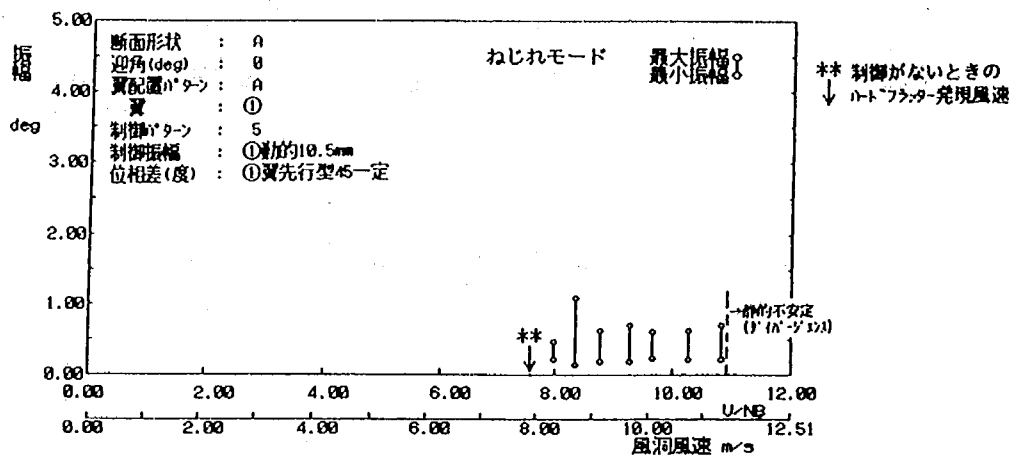
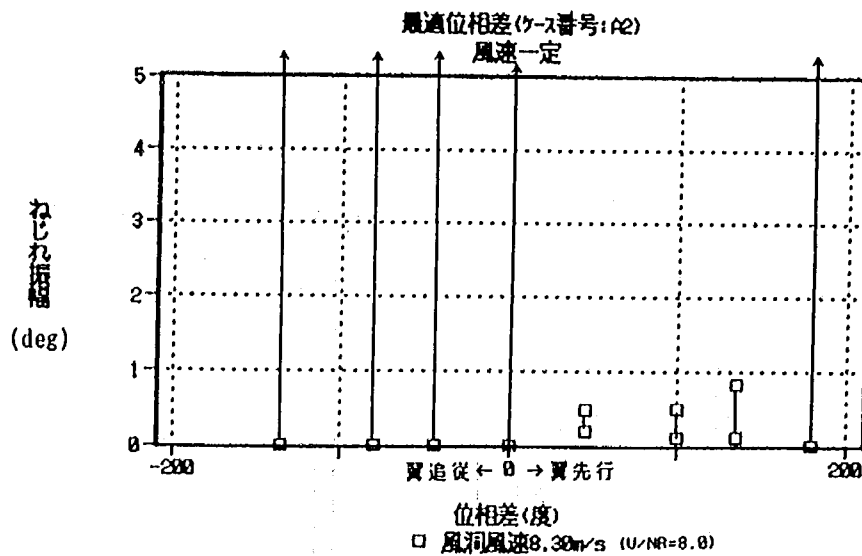
- ・高風速での不規則な振動を抑え、さらに安定性の高い制御法を開発する。
- ・ガスト応答に対する効果を検討する。
- ・非定常空気力を計測し、多自由度の構造系に対する効果を検討する。

参考文献

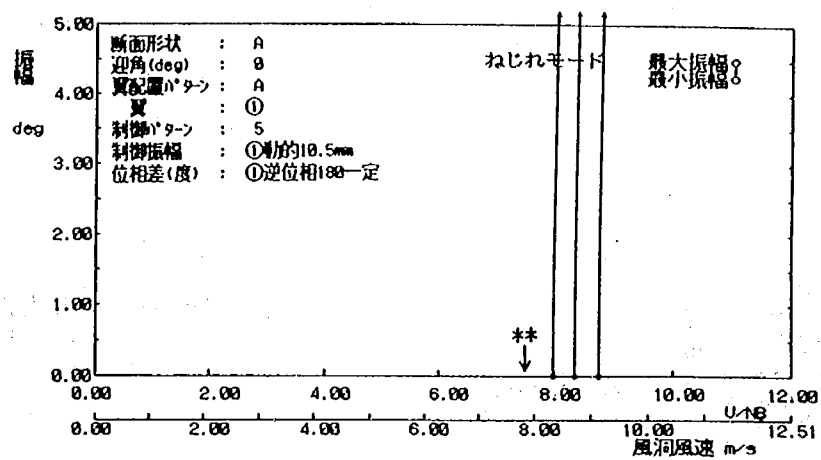
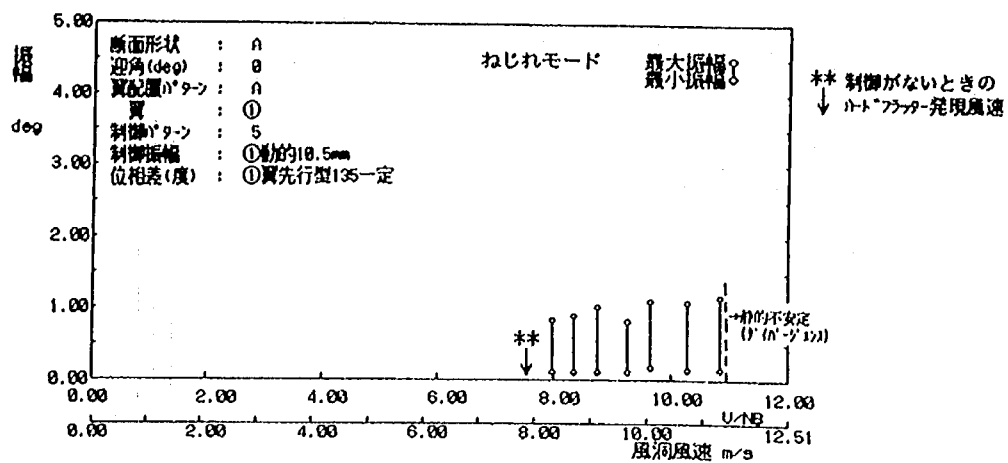
- 1) 永岡、小林：橋梁断面のアクティブフラッターコントロールに関する研究、土木学会第44回年次講演会概要集 I-139、平成元年10月
- 2) 安田、久保、沖井、田崎：回転ローターを用いた境界層加速による耐風制振法、土木学会第46回年次講演会概要集 I-218、平成3年9月



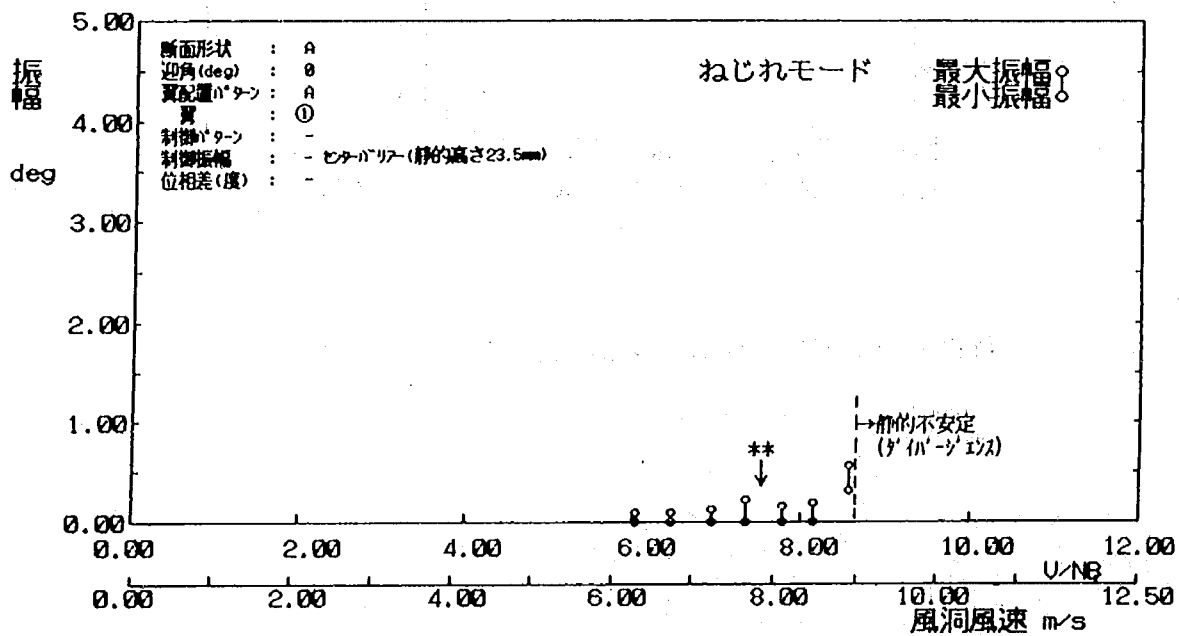
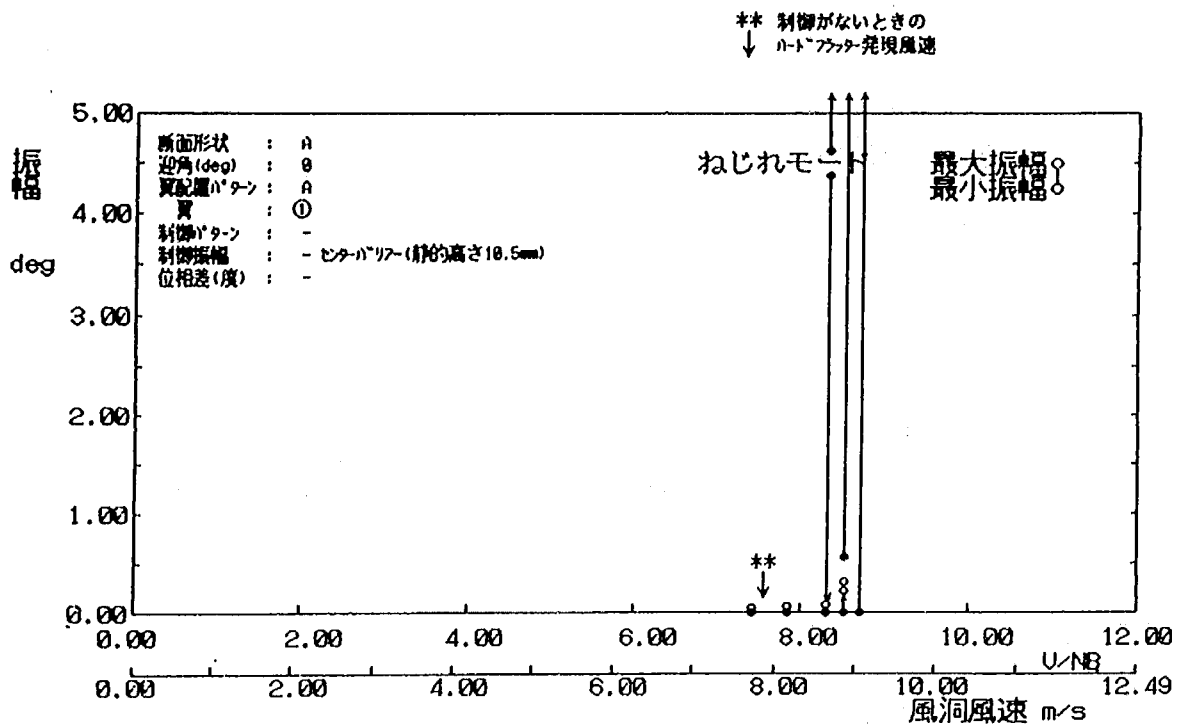
付図－１． １ 振幅－風速曲線（ケース番号：A－１）



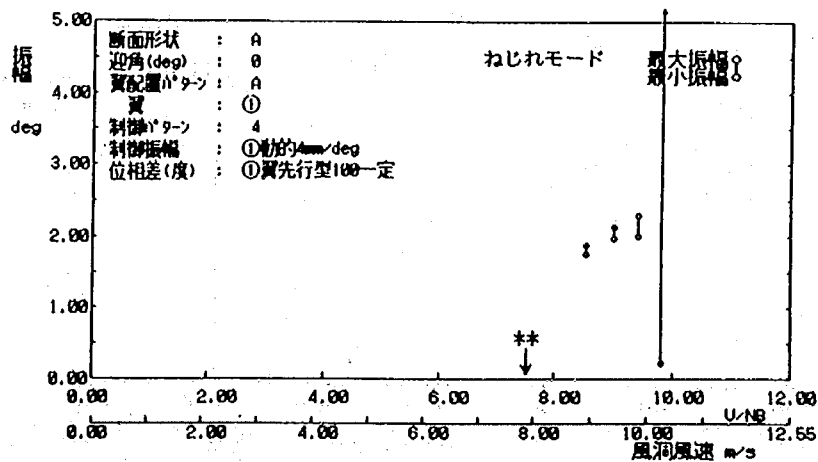
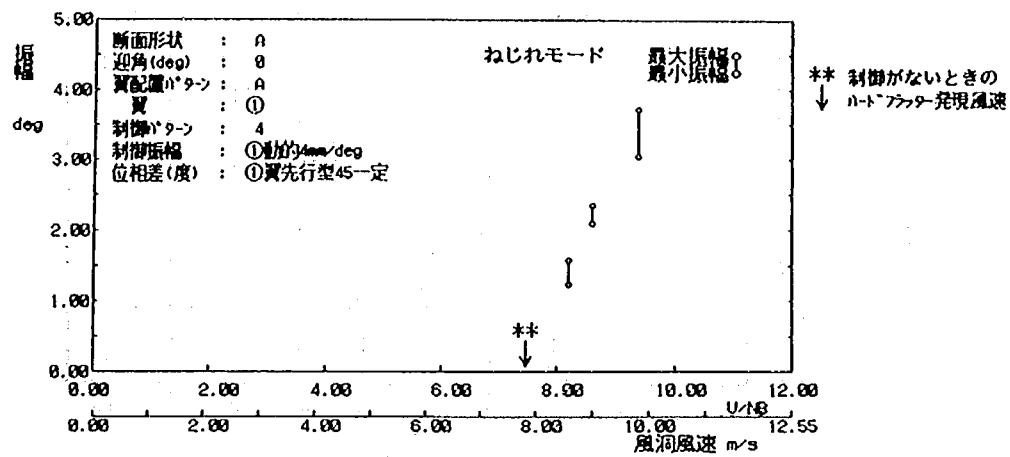
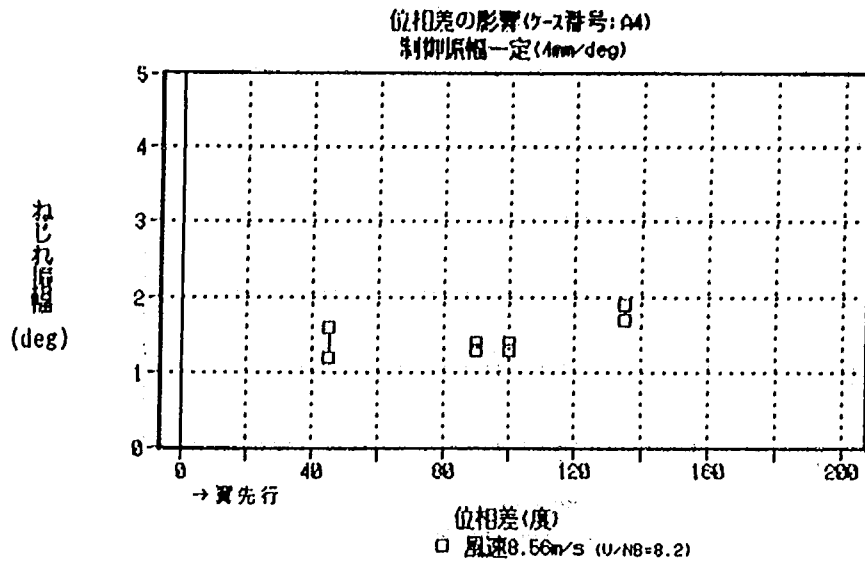
付図-1. 2 最適位相差および振幅-風速曲線 (ケース番号: A-2)



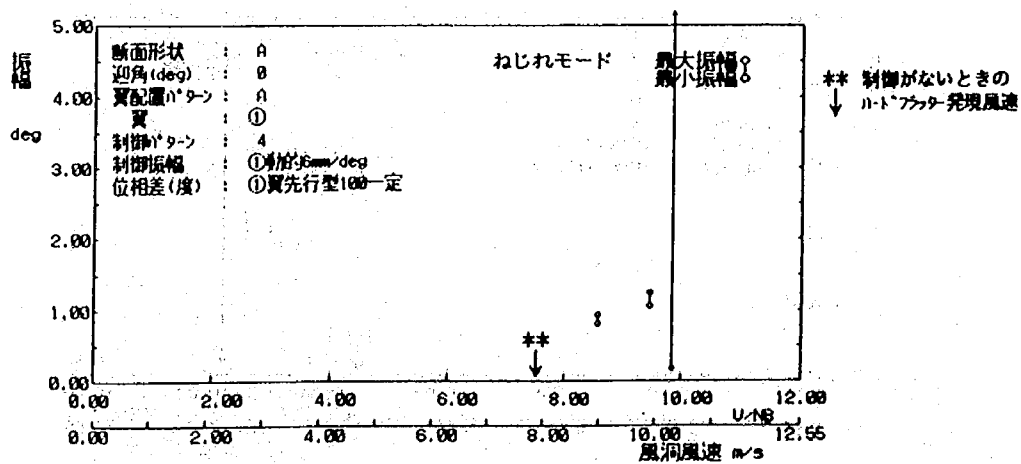
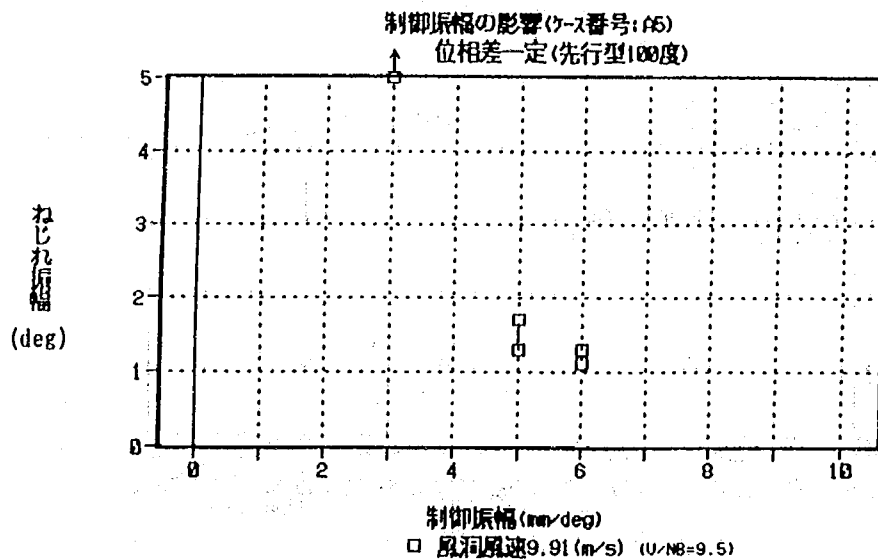
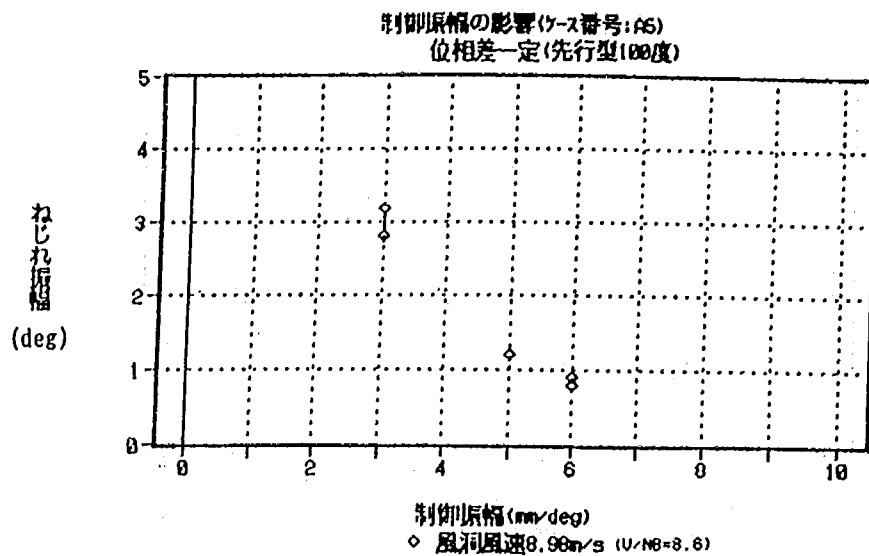
付図－1. 3 振幅－風速曲線（ケース番号：A－2）



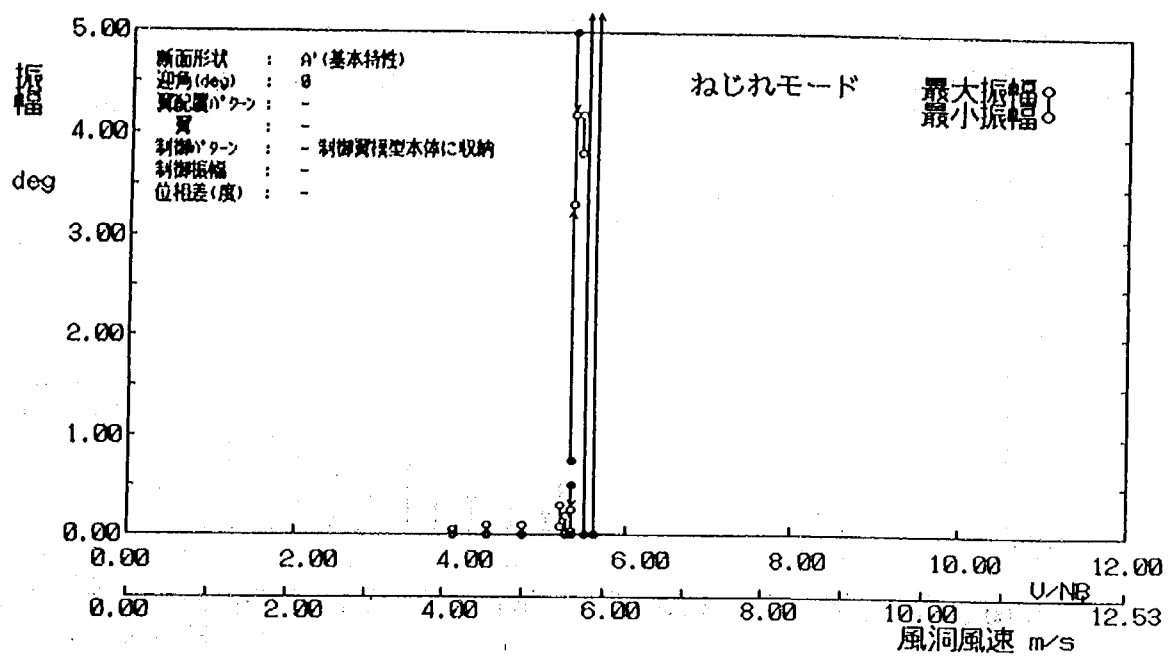
付図－1. 4 振幅－風速曲線（ケース番号：A－3）



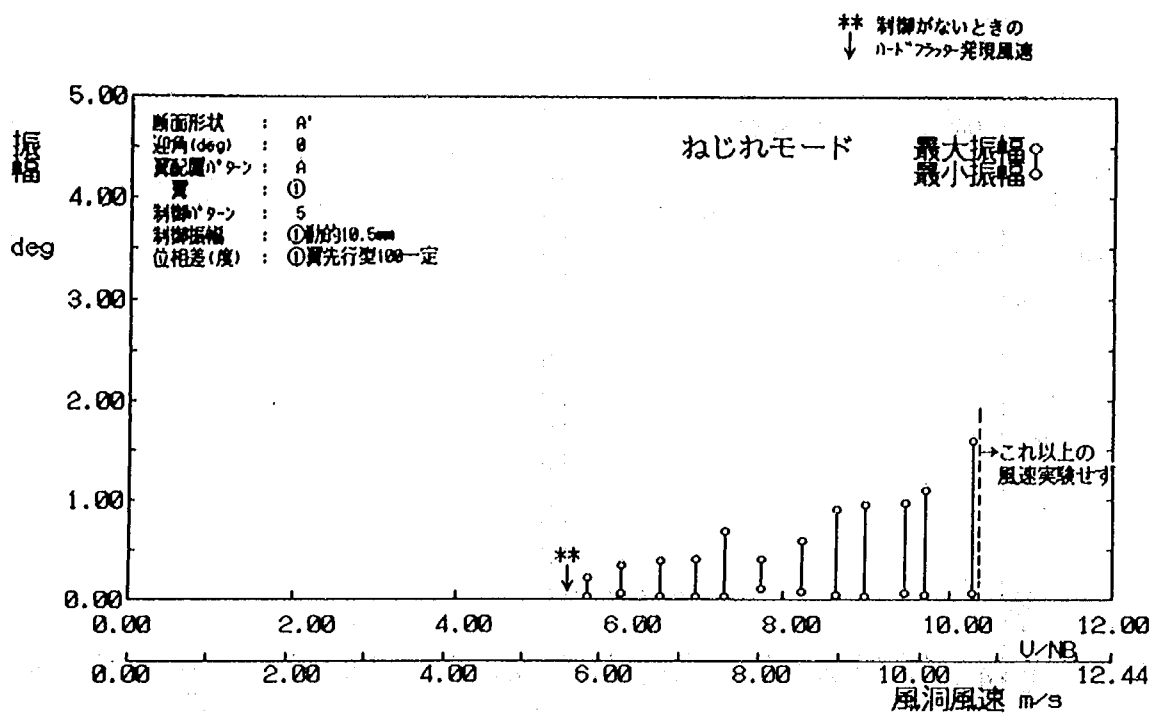
付図-1. 5 位相差の影響および振幅-風速曲線 (ケース番号: A-4)



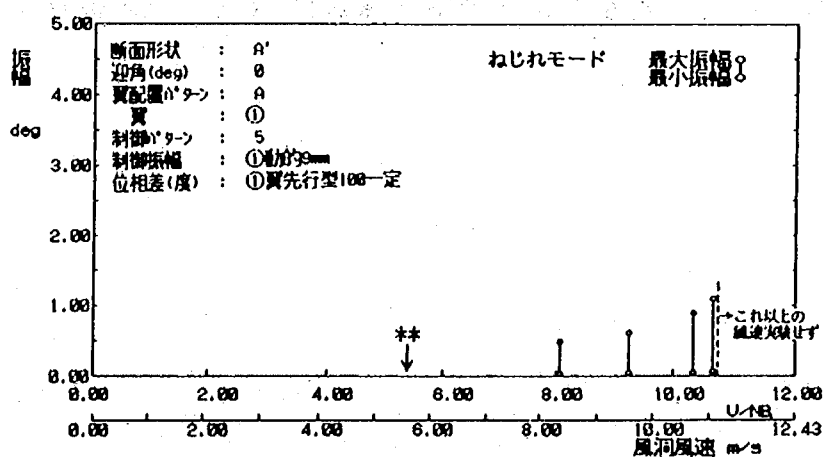
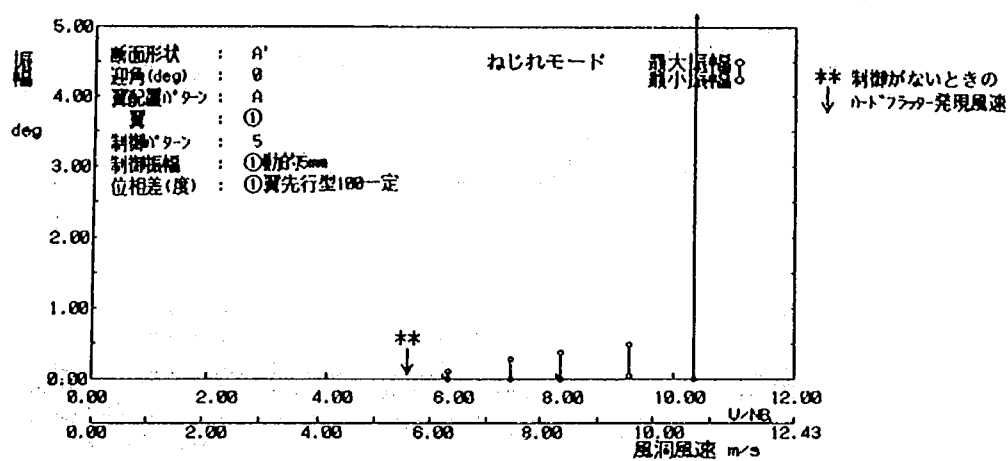
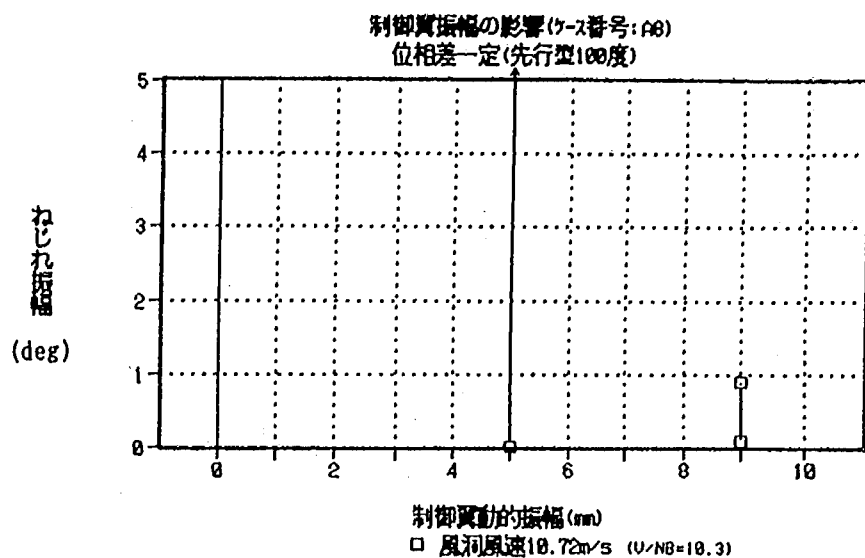
付図-1. 6 制御振幅の影響および振幅-風速曲線(ケース番号: A-5)



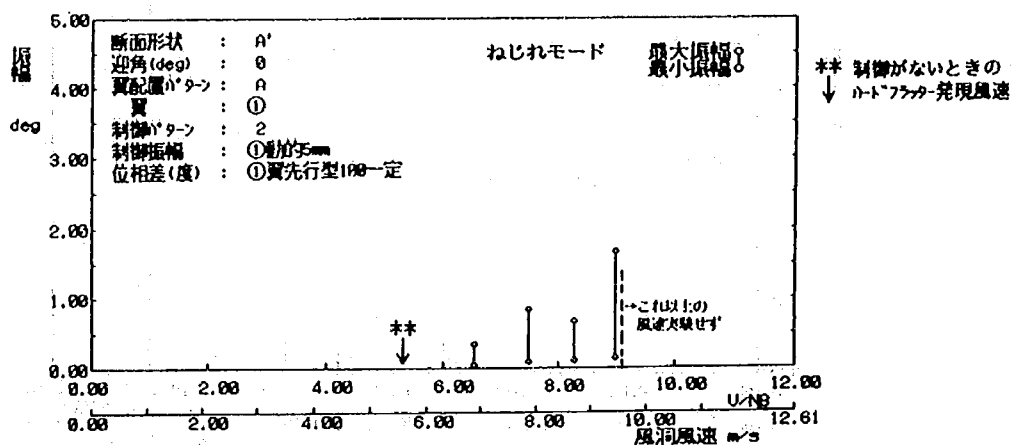
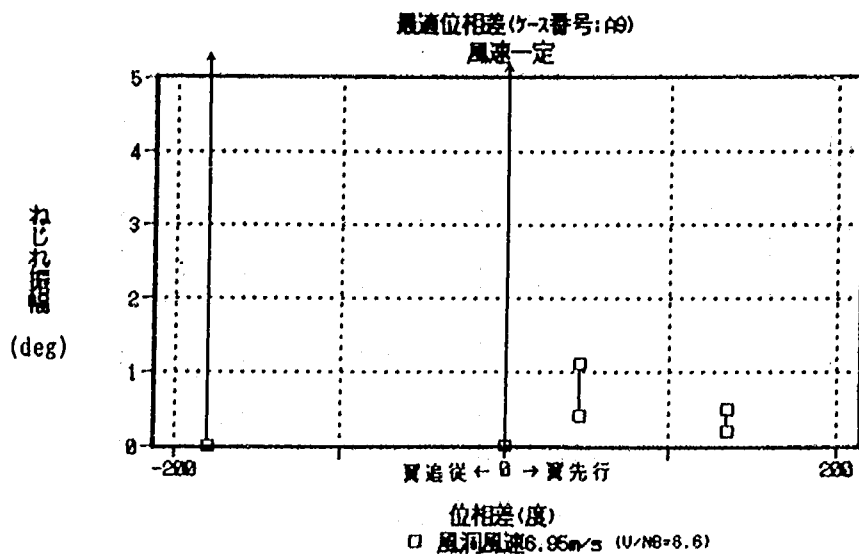
付図－1. 7 振幅－風速曲線（ケース番号：A－6）



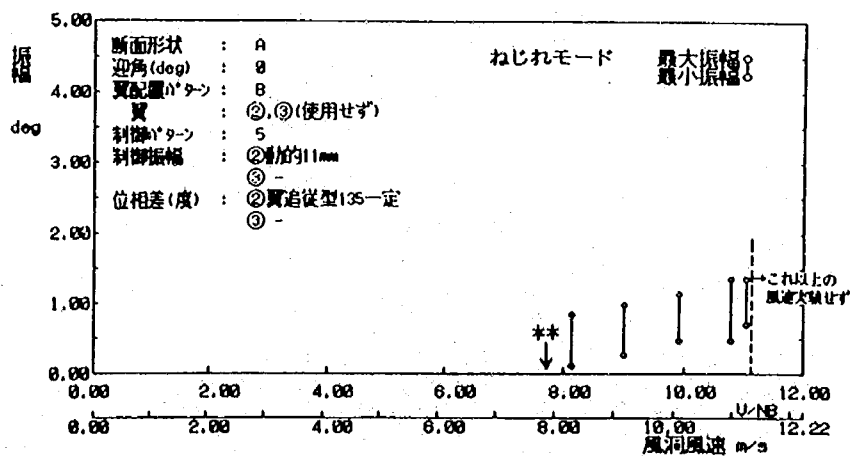
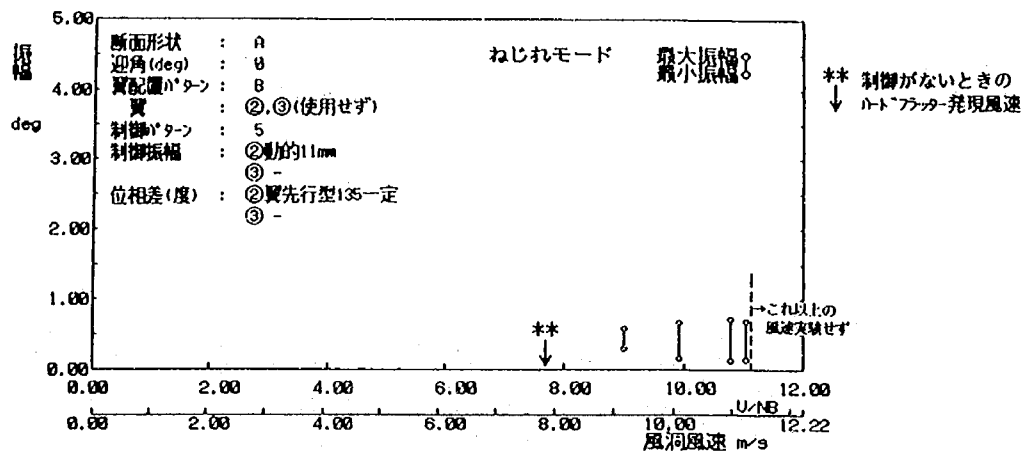
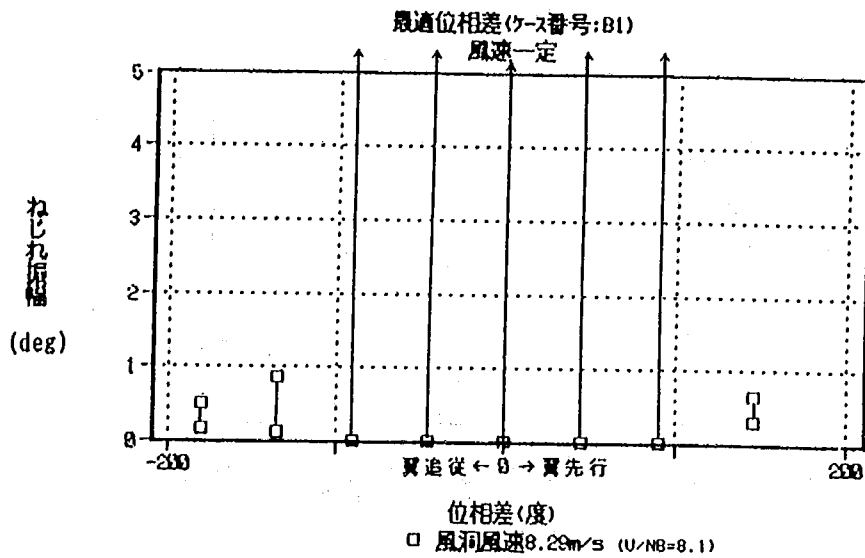
付図－1. 8 振幅－風速曲線（ケース番号：A－7）



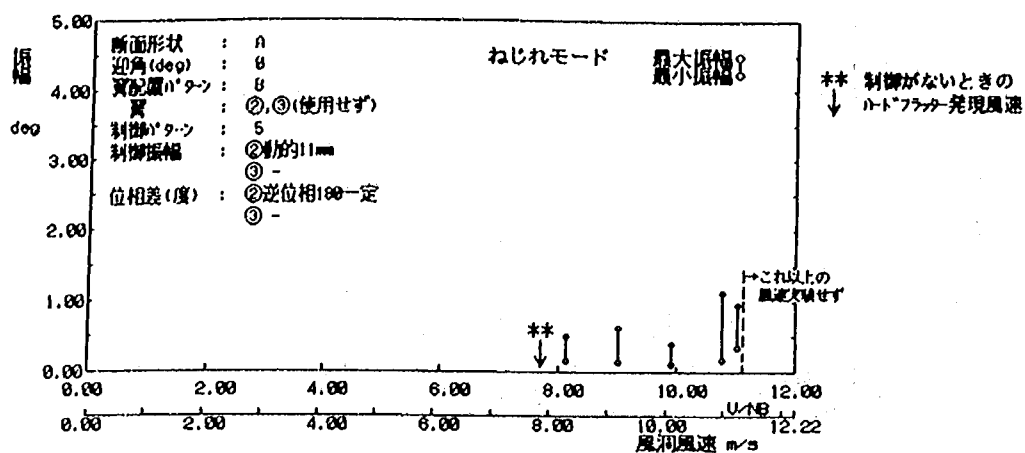
付図-1. 9 制御振幅の影響および振幅-風速曲線(ケース番号: A-8)



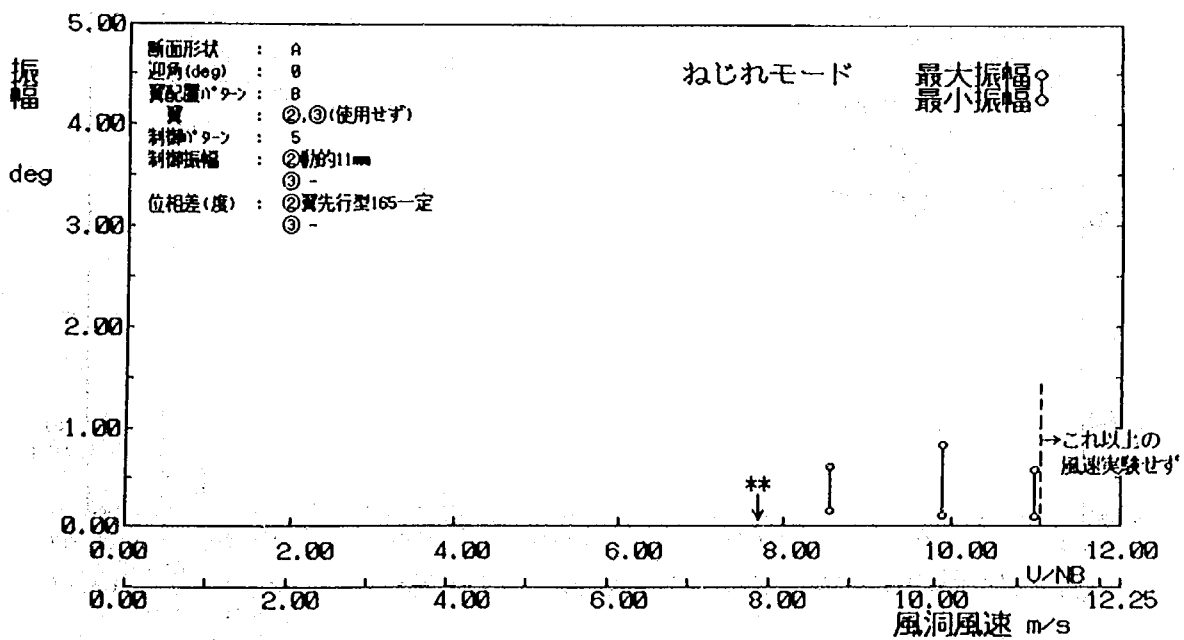
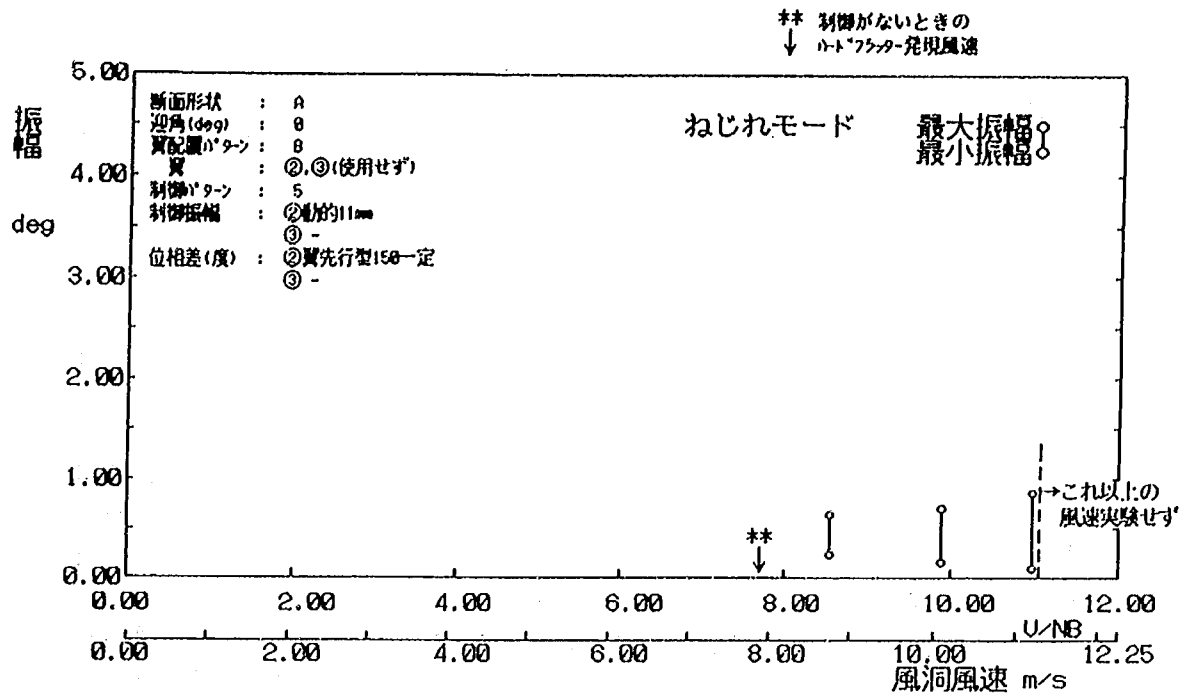
付図-1. 10 最適位相差および振幅-風速曲線(ケース番号:A-9)



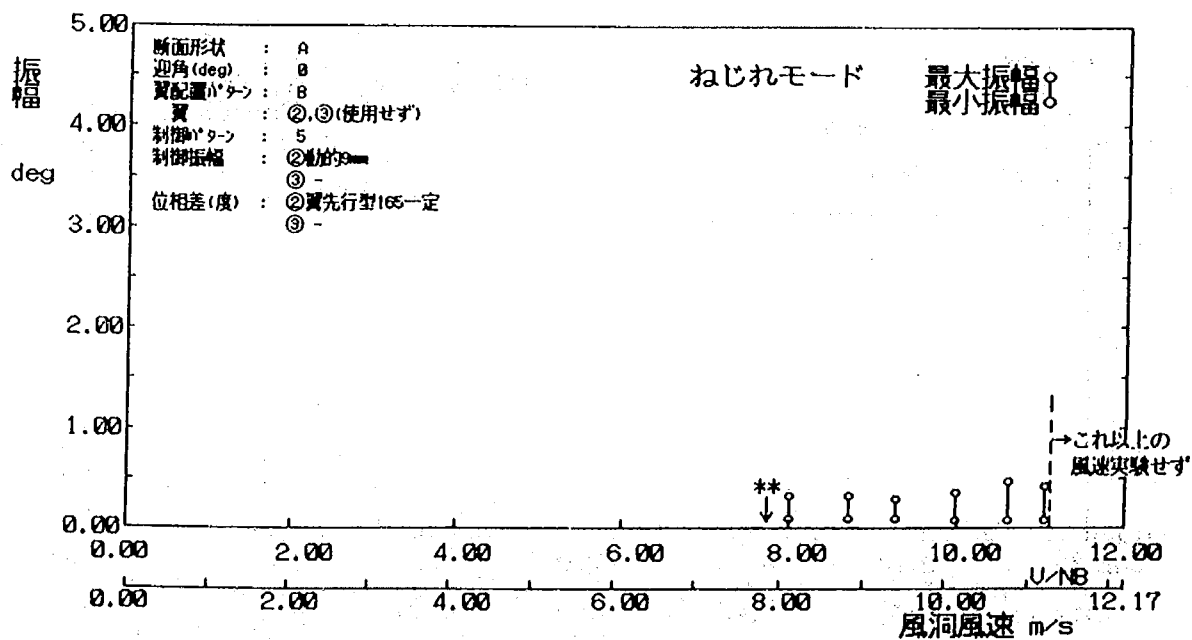
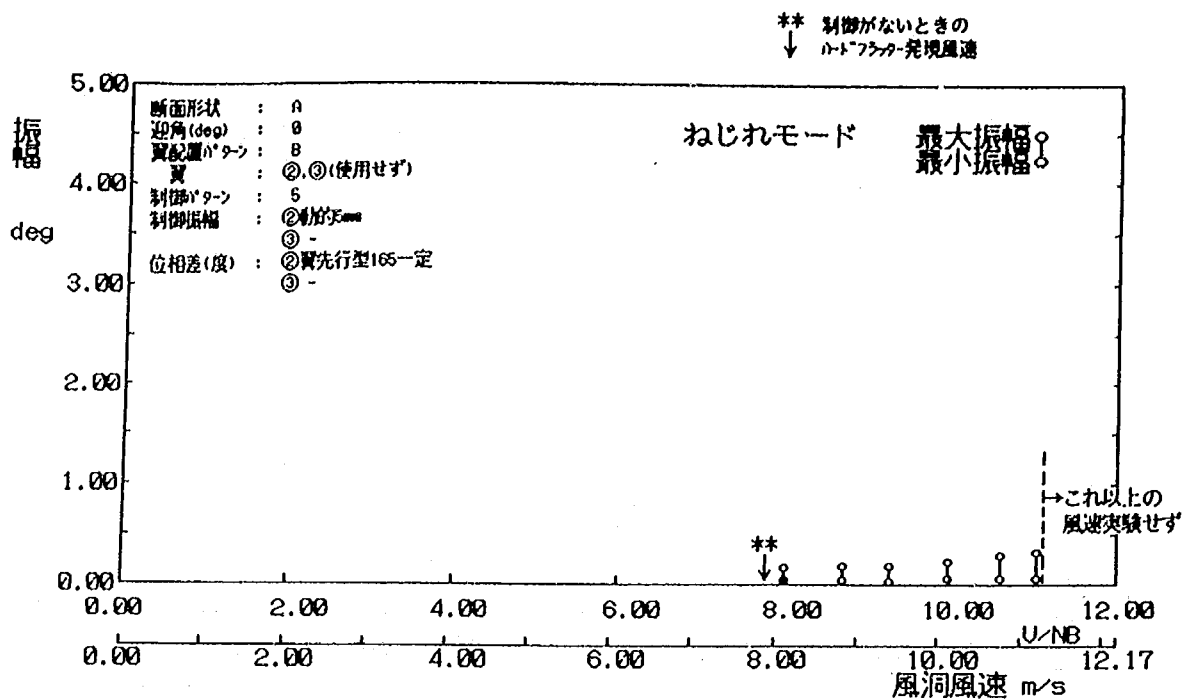
付図-1. 1 1 最適位相差および振幅-風速曲線 (ケース番号: B-1)



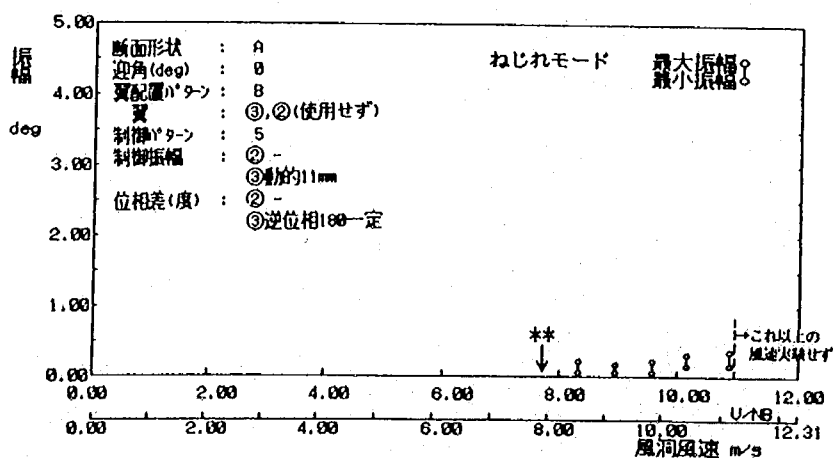
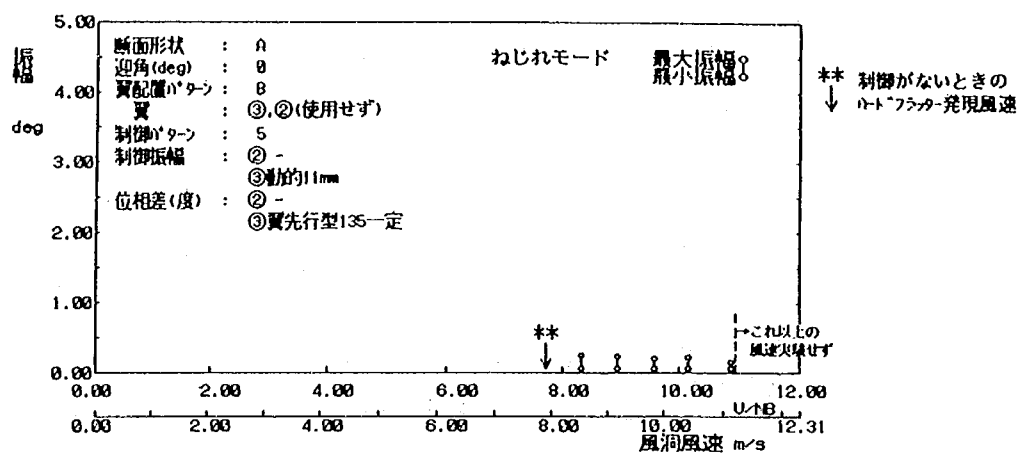
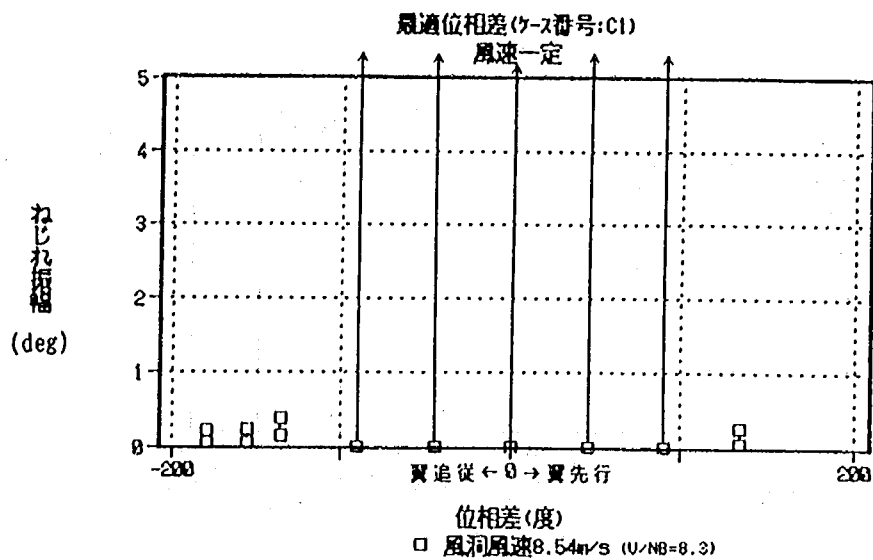
付図－1. 1 2 振幅－風速曲線（ケース番号：B－1）



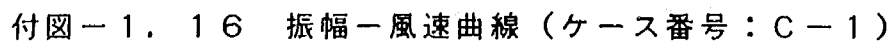
付図-1. 13 振幅-風速曲線 (ケース番号: B-2)

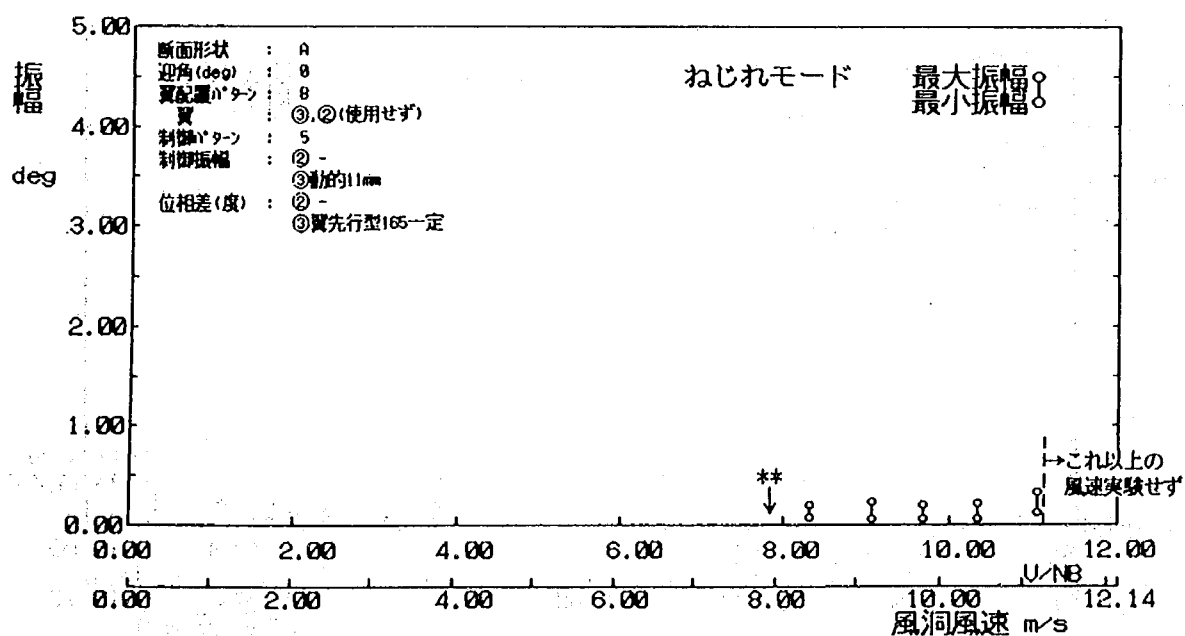
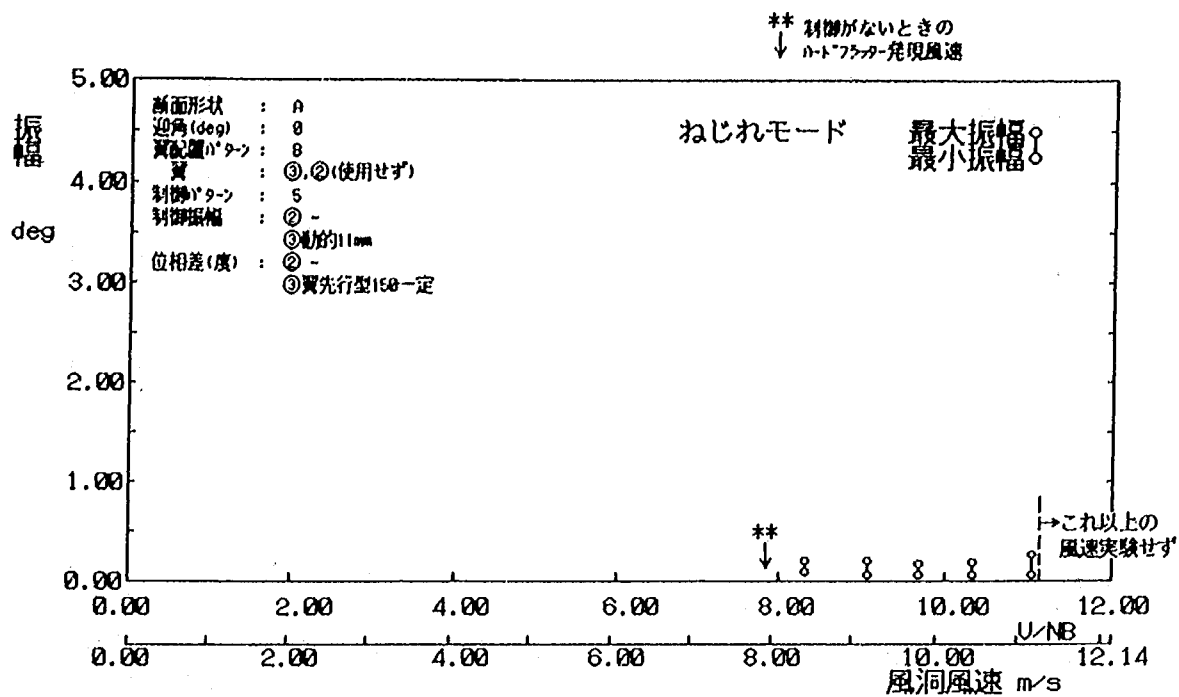


付図-1. 14 振幅-風速曲線 (ケース番号: B-3)

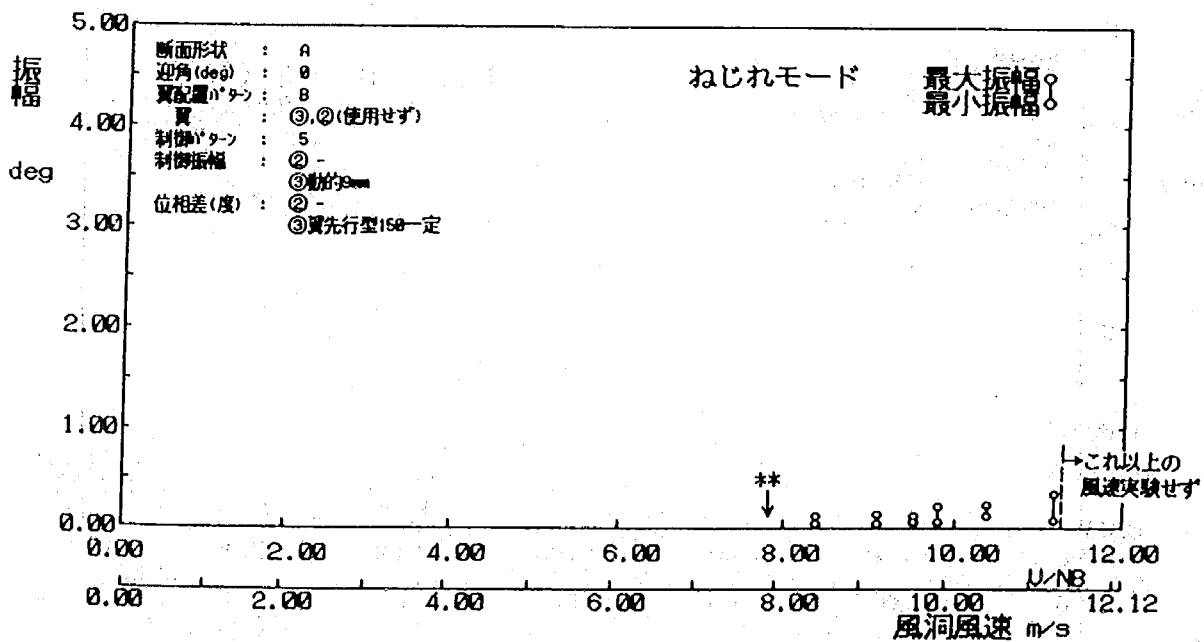
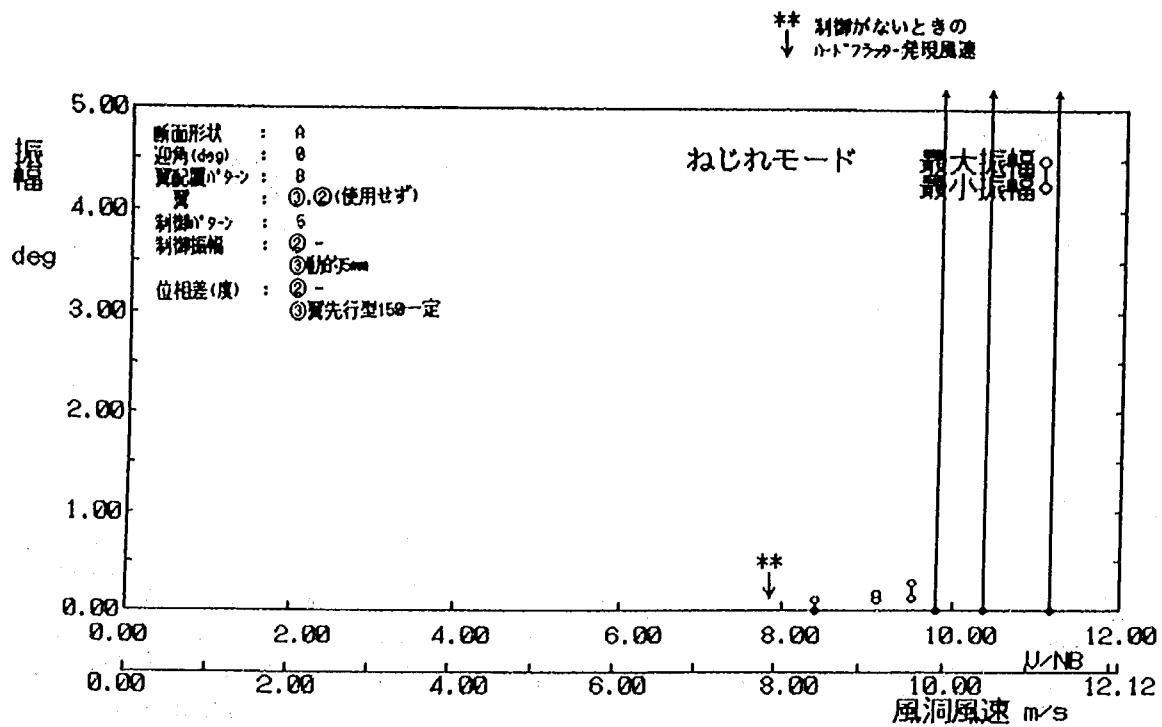


付図-1. 15 最適位相差および振幅-風速曲線(ケース番号:C-1)

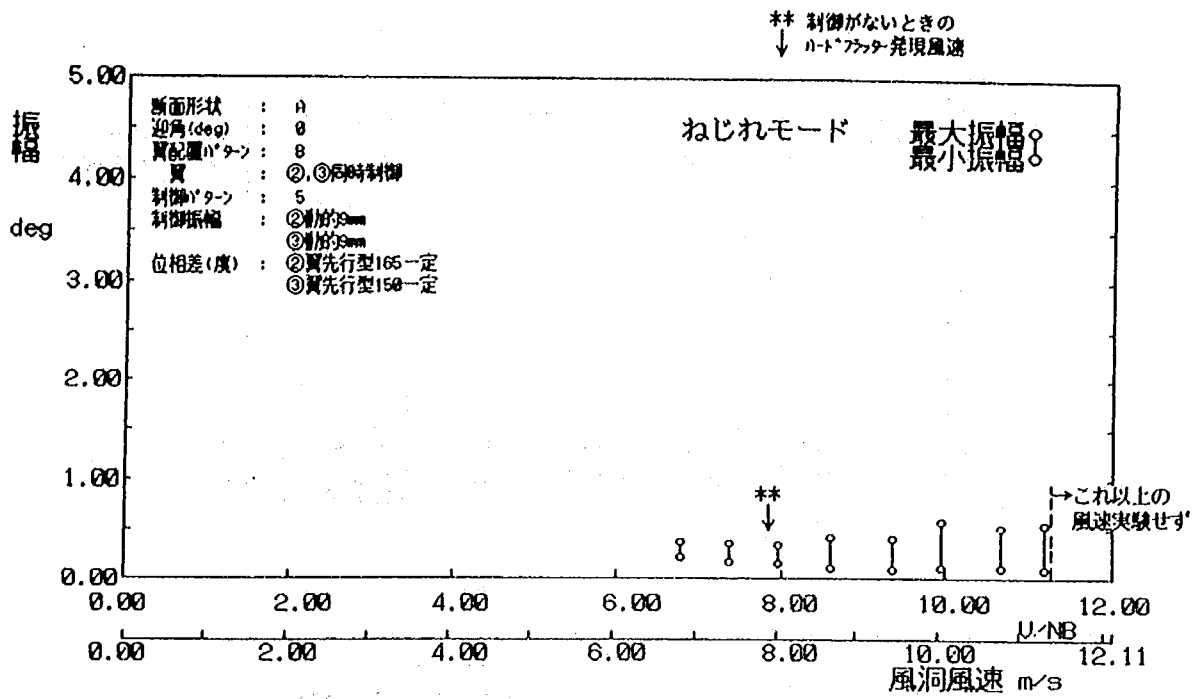




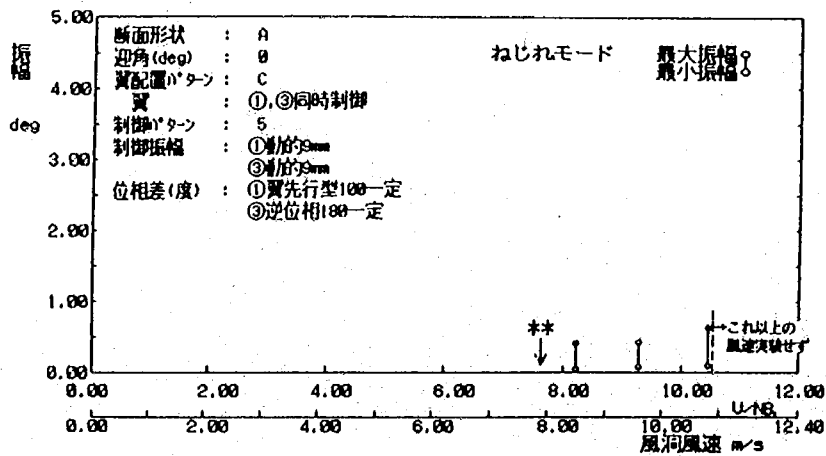
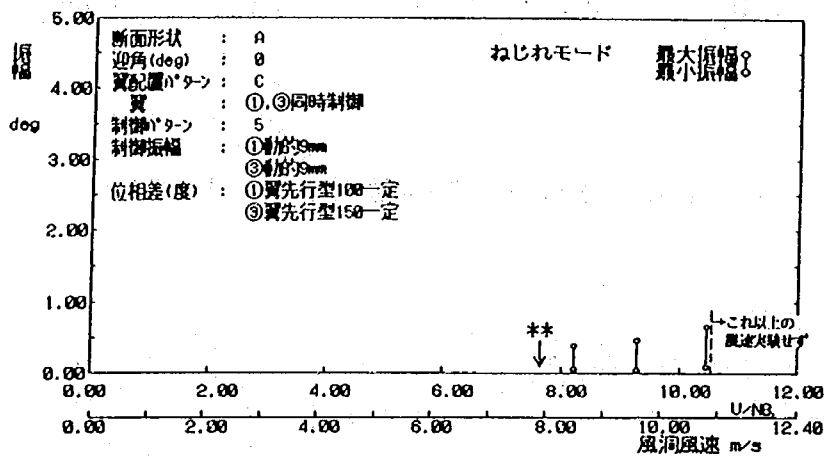
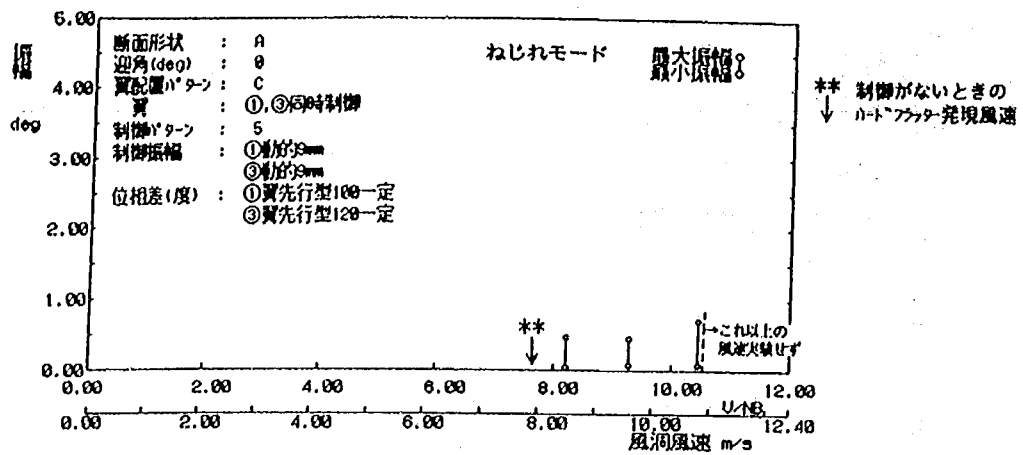
付図-1. 17 振幅-風速曲線 (ケース番号: C-2)



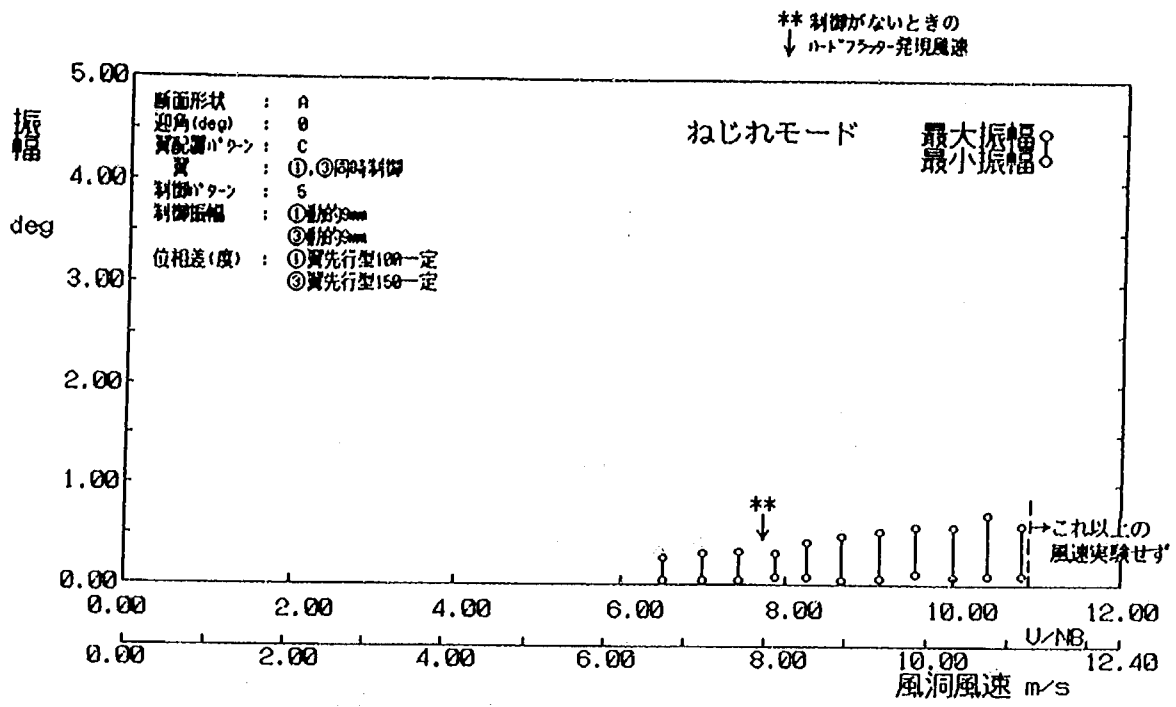
付図-1. 18 振幅-風速曲線 (ケース番号: C-3)



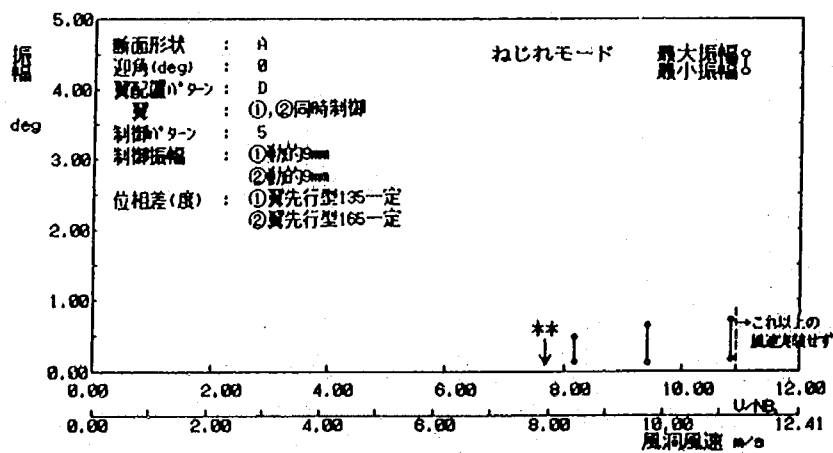
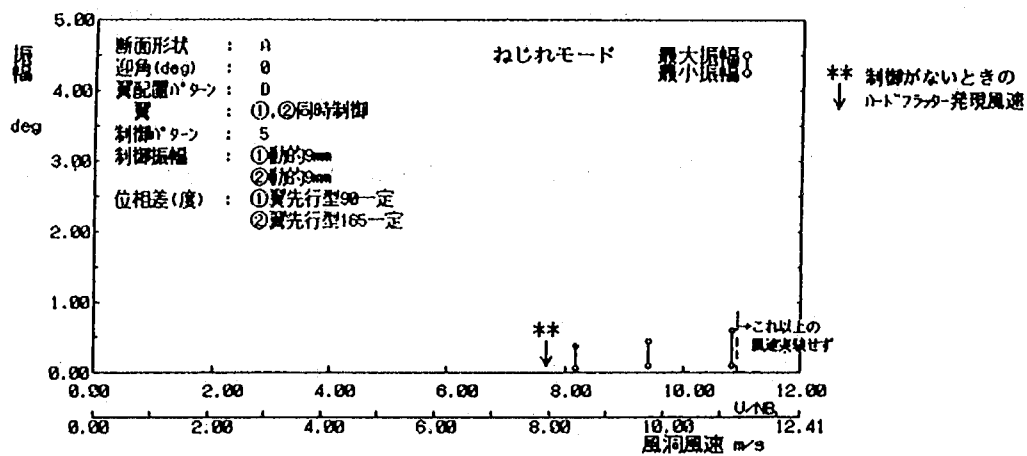
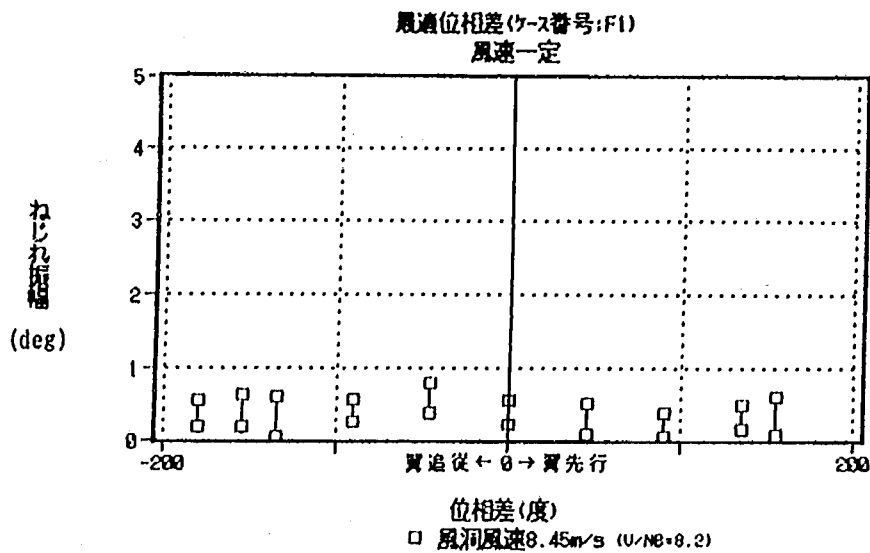
付図－1. 19 振幅－風速曲線（ケース番号：D－1）



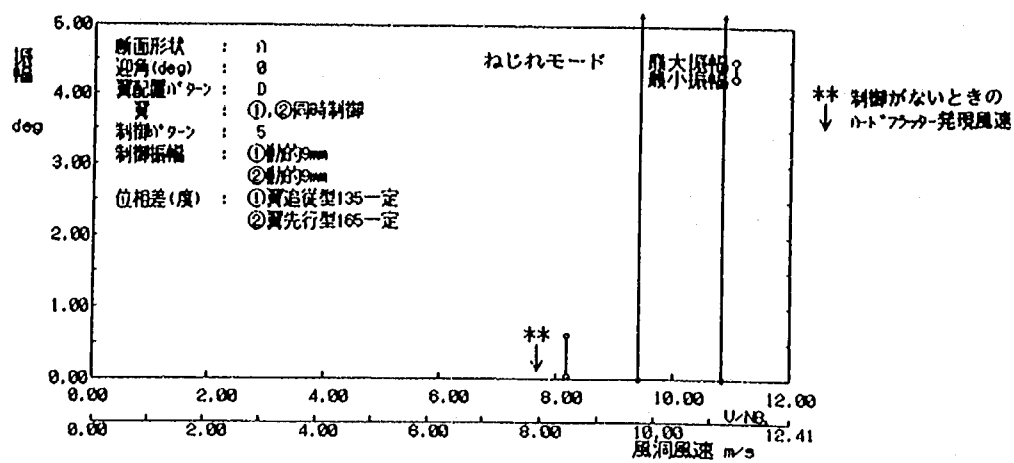
付図-1. 20 振幅-風速曲線 (ケース番号: E-1)



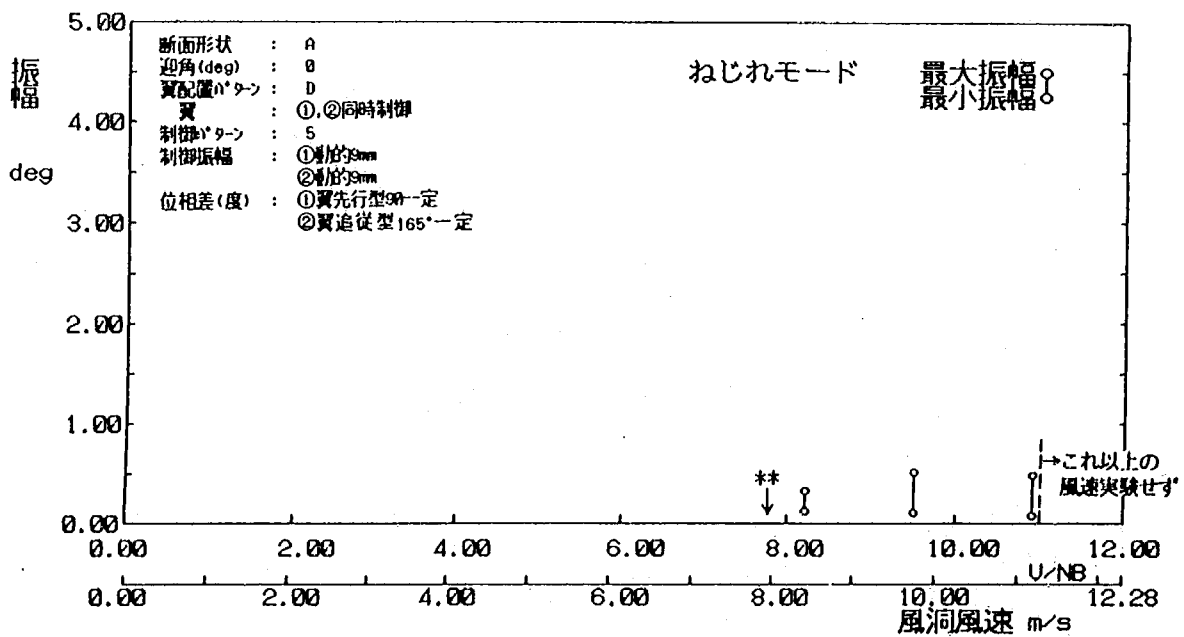
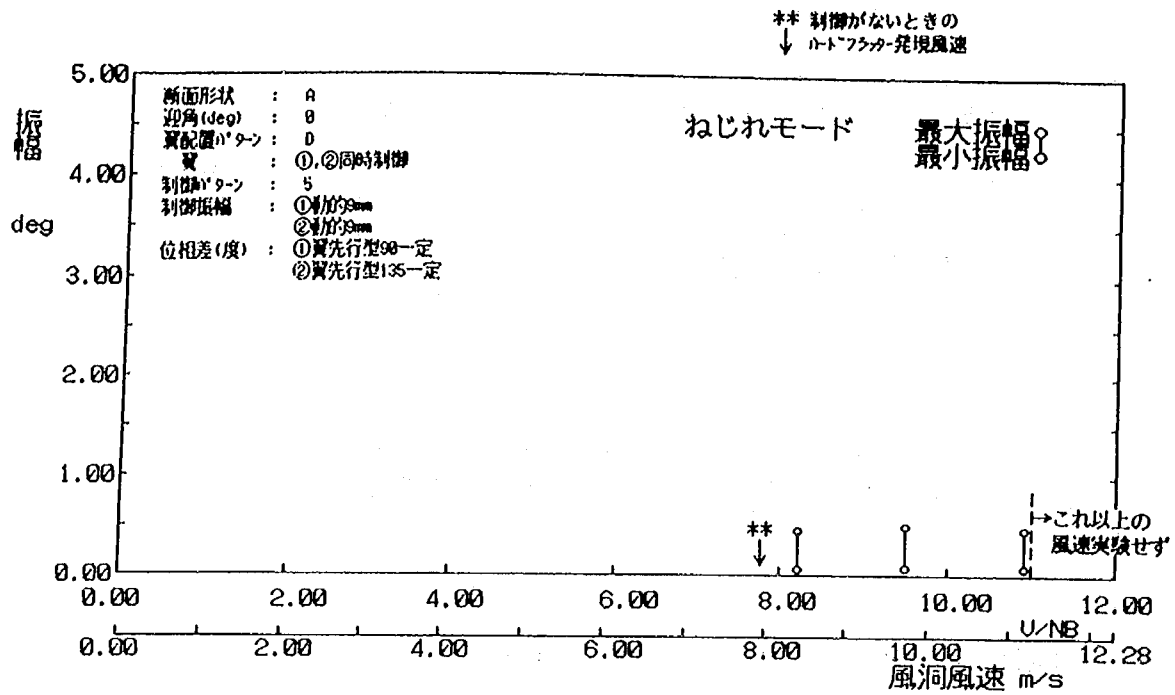
付図－1. 21 振幅－風速曲線（ケース番号：E－2）



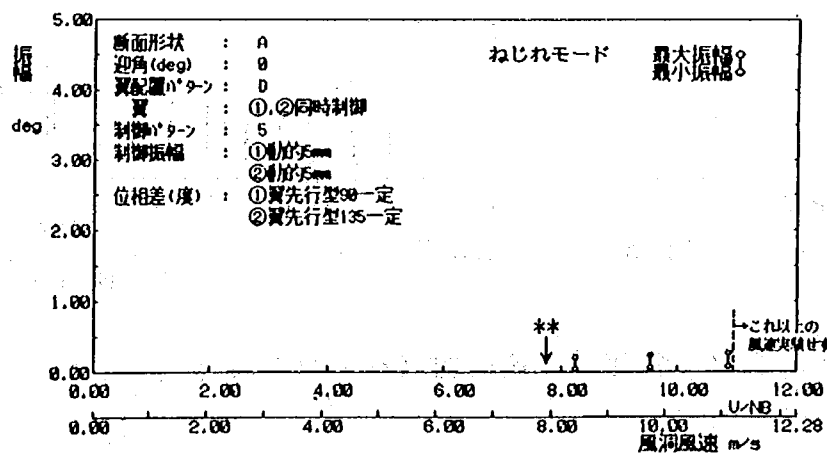
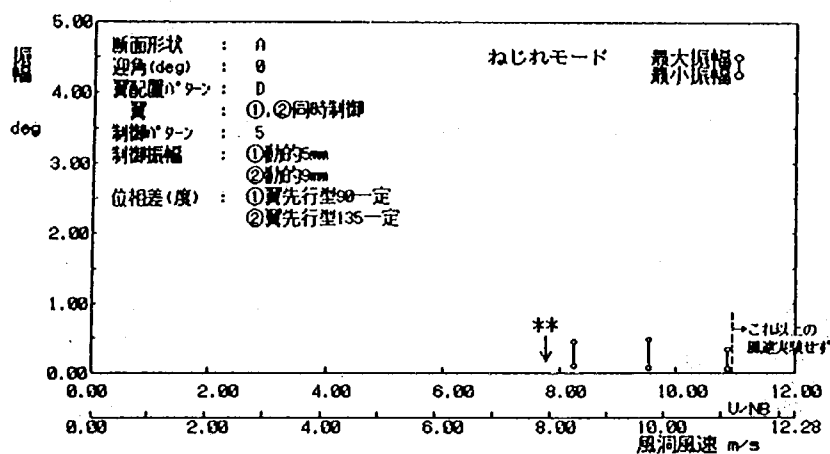
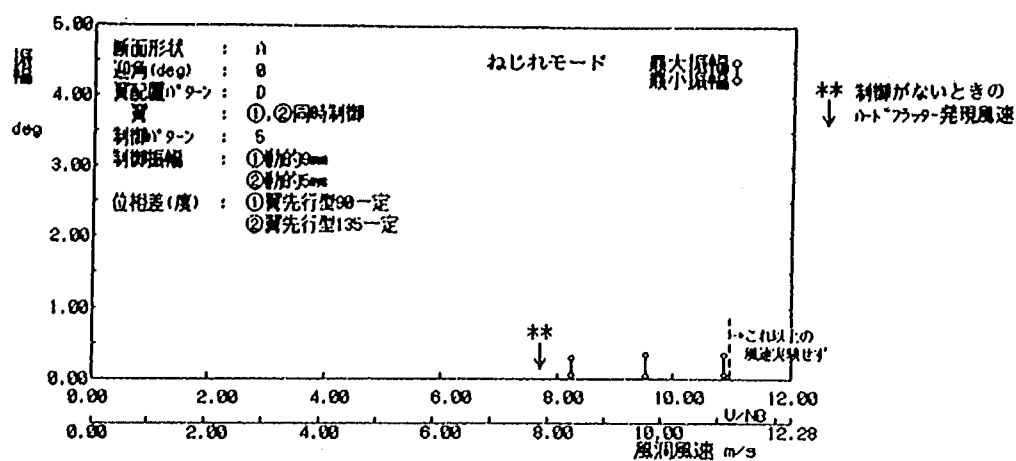
付図-1. 22 振幅-風速曲線 (ケース番号:F-1)



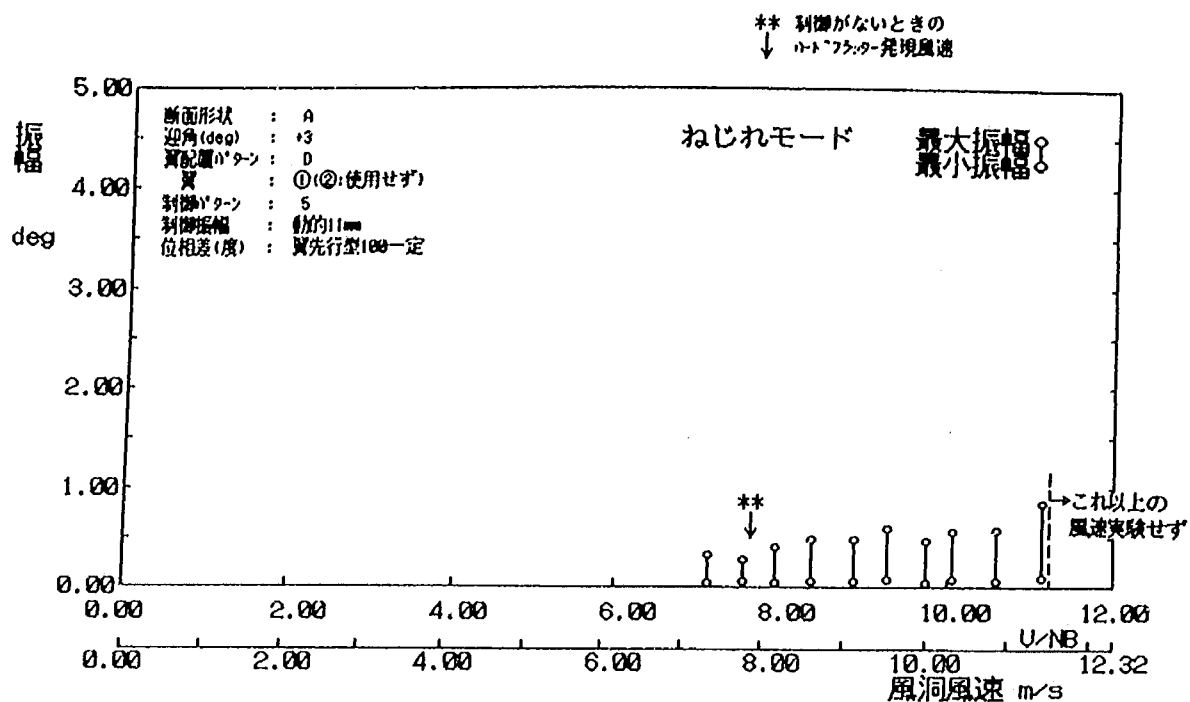
付図-1. 23 振幅-風速曲線 (ケース番号: F-1)



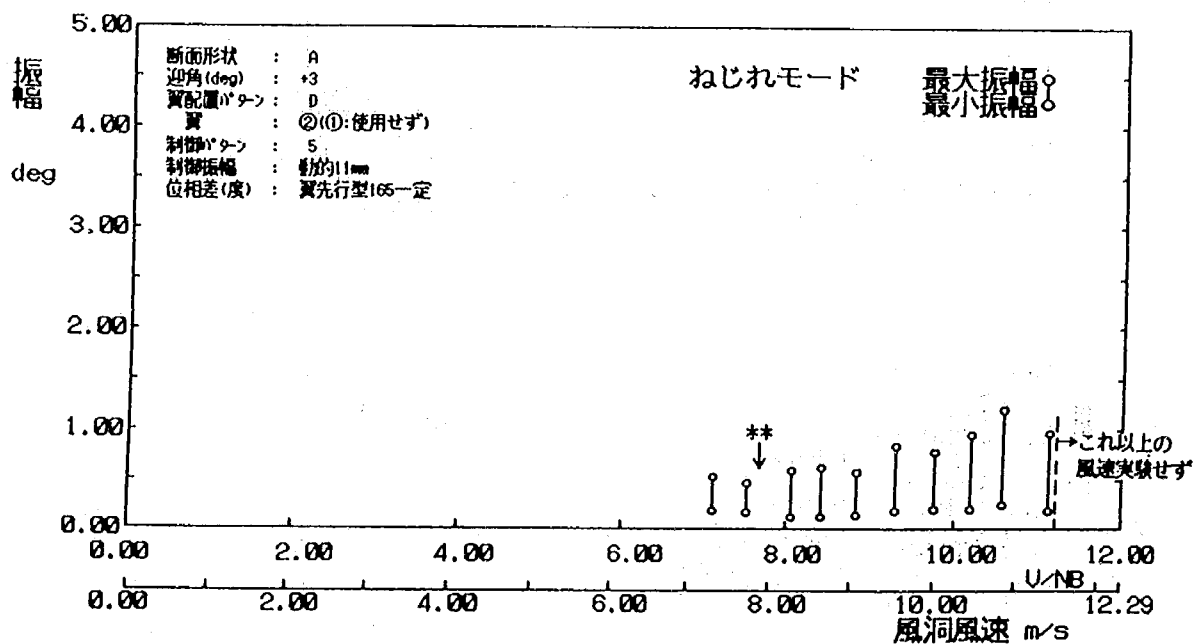
付図-1, 24 振幅-風速曲線(ケース番号:F-2)



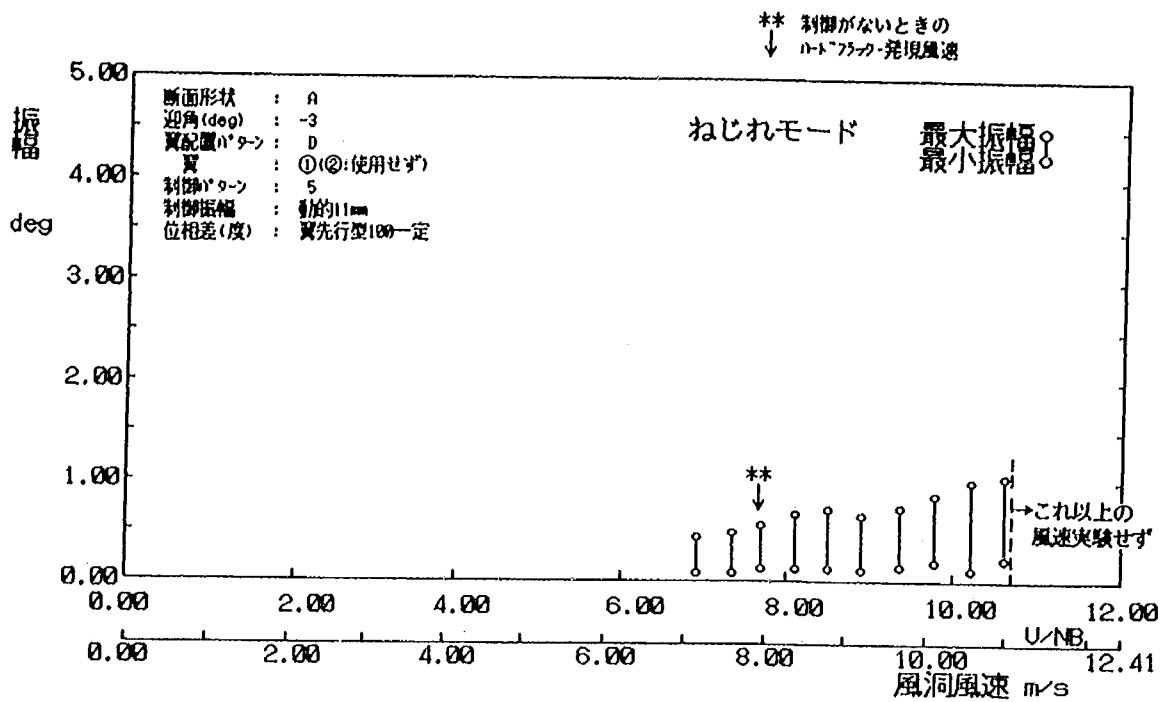
付図-1. 25 振幅-風速曲線 (ケース番号: F-3)



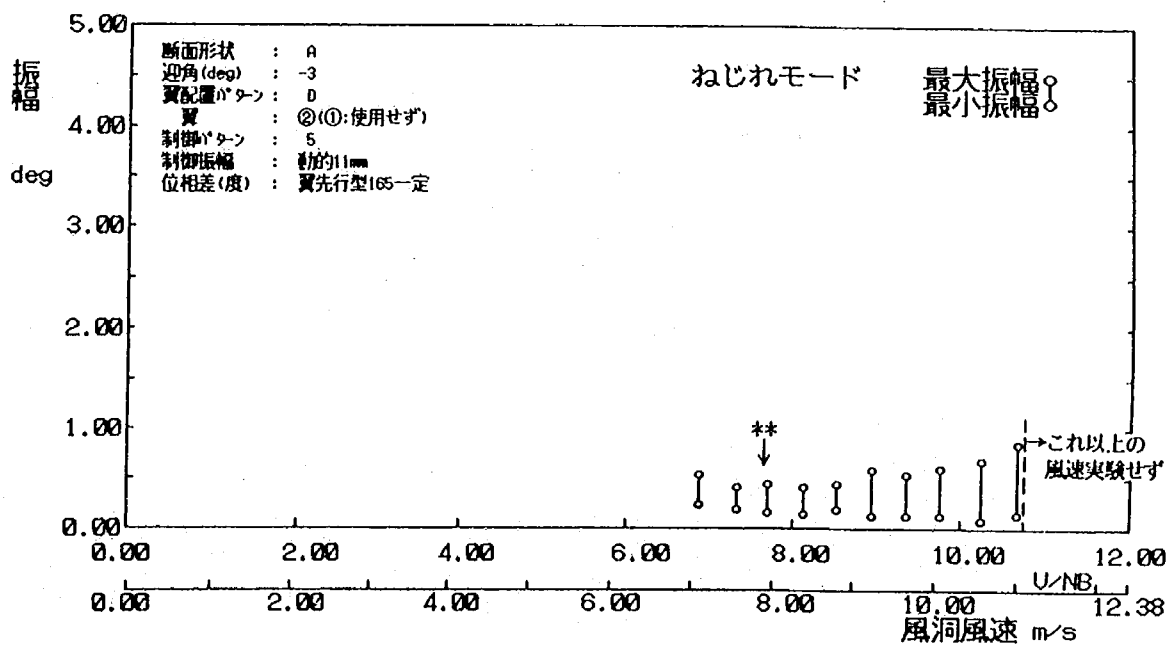
付図－1. 26 振幅－風速曲線（ケース番号：G－1）



付図－1. 27 振幅－風速曲線（ケース番号：G－2）



付図-1. 28 振幅-風速曲線 (ケース番号: G-3)



付図-1. 29 振幅-風速曲線 (ケース番号: G-4)

付録 剥離撓乱型アクティブ制御のための制御プログラム

```

/* **** */
/*
/* アクティブ制振制御模型サーボプログラム
/*
/* AD board AD12-8T(98) CONTEC
/* DA board DA12-2 (98) CONTEC
/*
/* 1992. 03. 15 (Ver 1.0) (basic)
/* 1993. 10. 30 (Ver 1.0) ( C )
/* 1994. 01. 17 (Ver 1.1) ( C ) By T. Kusakabe
/*
/* (MS-DOS / N88BASIC) --> (MS-DOS / Turbo-C++)
/*
/* 土木研究所構造研究室
/*
/* **** */

/* ++++++ */
/* インクルード宣言
/* ++++++ */
#include <stdio.h> /* ms-c 入出力・標準関数 (ストリーム)
#include <stdlib.h> /* ms-c データ変換・標準関数
#include <math.h>
#include <conio.h> /* ms-c 入出力・標準関数 (コンソール/ポート)
#include "super98.h" /* スーパーテクニック 関数
#include <dos.h>
#include <pc98.h>
/*#define SIM 1 */ /*A/D変換ボードのシミュレーションを行う場合に定義 数値は無意味*/
#define GRPH 1 /*グラフィックを用いる場合に定義 数値は無意味 */
#define TMS 1 /*タイマ設定(10msec)
#define CW1 1 /*n chが逆回転 (CW) に設定された場合、CWnを定義 数値は無意味*/
/* ++++++ */
/* プロトタイプ宣言
/* ++++++ */
void crt(void); /* 初期画面表示 C R T
void setp(void); /* 設定画面入力表示
void setd(void); /* ゲート位置設定
void dac(void); /* D A制御
void samp(void); /* S M P
float chs(int); /* A Dデータ変換取得
void cls(void); /* C L S画面クリア
void locate(int, int); /* カーソル移動指定
void cursor(int); /* カーソル消去&復活
void color(int); /* カラー指定
void f_key(int); /* ファンクション消去&表示
void beep(void); /* ビープ音

```

```

int inkey(void); /* 間接キー入力 */
int keystate(void); /* キーボード・ステータス */
void flskey(void); /* キーボード・バッファのクリア */

#ifdef SIM
void outpsim(int, int); /* アウトプットダミー */
#endif

/* ++++++ */
/* 変数宣言 */
/* ++++++ */
unsigned Dport = 0x10d0; /* 設定ポートアドレス = 10D0h */
unsigned Aport = 0x11d0; /* 設定ポートアドレス = 11D0h */
unsigned int al, ah; /* 機械後変数(hi & low) */
int mode = 0; /* モード */
int smd = 0; /* サーボモード (1/2) [0] */
float sdv = 0; /* サーボ量 (dec/v) [0] */
float da[2];
float tt = 0.0; /* 時間 */
float ttm = 0.0;
int ttmc=0;
int idsmp; /* 0 when SMP is just called */
int cnptn;
#ifdef SIM
float tt2 = 0.0; /* Time for debug */
#endif

char fk[] = "f.1:原波形 f.2:制御波形 f.3:設定 f.4:ゲート位置 f10:終了";
char fs[] = " ";
#define ESC "\x01b" /* エスケープ */
/* ++++++
較正值の設定
+++++ */
float cal[2]; /* 模型本体の較正值 */
float gai[2]; /* 振幅比例制御の場合の模型本体角度・制御振幅比(mm/deg) */
float ph[2]; /* 本体と制御翼の位相差 */
float omgw0, omgchk; /* omgw0:無風時固有振動数(rad/sec) omgchk:omg check */
float omg; /* 有風時固有振動数(rad/sec) */
float pi=3.141593, pi2=6.28319;
/* ++++++ */
/* メイン・プログラム */
/* ++++++ */
void main(int argc, char *argv[])
{
    int c, f, i;
    FILE *fp;

    /* Check Argument */
    if(argc!=2)

```

```

    {
        printf("This program requires an argument as below\n ACTIVE cntrolfile\n");
        exit(1);
    }
/* Open Cntrol File*/
    if((fp=fopen(argv[1], "r"))== NULL)
    {
        setcolor(4);
        printf("Cant open %s\n", argv[1]);
        exit(1);
    }
/* Read Cntrol Data*/
    fscanf(fp, "%5d", &cnptn);
    fscanf(fp, "%10f%10f", &cal[0], &cal[1]);
    fscanf(fp, "%10f%10f", &gai[0], &gai[1]);
    fscanf(fp, "%10f%10f", &ph[0], &ph[1]);
    fscanf(fp, "%10f", &omgw0);
    for(i=0; i<2; i++){
        ph[i]=ph[i]/180*pi;
    }
    omgw0=omgw0*pi2;
    omgchk=pi/omgw0*0.5;
    GraphicInit(1, 1);
    PaletteInit();
    cls();
    SetPen(0xFFFF, 3);
    f_key(0);

    al=inp(Aport);
    ah=inp(Aport + 0x01);
    if (al==0xff && ah==0xff){
        cls(); beep(); color(7);
        locate(15, 10); printf("AD 1 2 - 8 T ( 9 8 ) がセットされていません");
        locate(15, 12); printf("ボード・アドレスは 【&h 1 1 D 0】 です。");
        locate(15, 14); printf("ボードを確認して下さい");
    }

#ifdef SIM
    exit(0);
#endif

}

main_jump::
    crt();
    cursor(0);
    locate( 0, 24); printf("%s", fk);
    f=0; flskey();
    while (f==0){
        c=inkey();
        if (c==27){

```

```

        if (keystat()!=0){          /* キーボード・ステータス          */
            c=inkey();              /* キーボード・間接入力          */
            if (c==83){             /* 原波形      処理    F.key = 1  */
                mode=0; samp(); break;
            }
            if (c==84){             /* 制御波形      処理    F.key = 2  */
                mode=1; samp(); break;
            }
            if (c==85){             /* 設定          処理    F.key = 3  */
                mode=2; setp(); break;
            }
            if (c==86){             /* ゲート位置  処理    F.key = 4  */
                mode=3; setd();
            }
            if (c==90){             /* 終了          処理    F.key =10  */
                mode=4; f=1; /* 終了フラグ オン */
            }
        }
    }
}

if (mode==0 || mode==1 || mode==2) goto main_jump;
cls();                                /* 画面クリア          */
color(7);
locate(10,12);
printf("アクティブ制振制御模型サーボプログラムを終了します");
cursor(1);                            /* カーソル復活          */
}

/* ++++++ */
/* 初期画面表示 C R T */
/* ++++++ */
void crt(void)
{
    int i, j;

    cls();                            /* 画面クリア          */
    color(7); locate(30, 0); printf("アクティブ制振模型サーボ制御 Yn");
    for (i=0; i<=2; i++){
        GdcBox(130, 40+i*116, 630, 140+i*116, 7);
    }
    for (i=0; i<=2; i++){
        GdcBox(129, 39+i*116, 631, 141+i*116, 7);
    }
    for (i=0; i<=10; i++){
        for (j=0; j<=2; j++){
            GdcLine(126, 40+j*116+i*10, 130, 40+j*116+i*10, 7);
            GdcLine(630, 40+j*116+i*10, 633, 40+j*116+i*10, 7);
            GdcLine(130+i*50, 40+j*116, 130+i*50, 37+j*116, 7);
            GdcLine(130+i*50, 140+j*116, 130+i*50, 143+j*116, 7);
        }
    }
}

```

```

    }

    color(7);
    locate( 0, 5); printf("原波形");
    locate( 0,12); printf("制御波形");
    locate( 0,19); printf("ゲート位置");
    locate( 8, 2); printf(" 10V");
    locate( 8, 8); printf(" -10V");
    locate( 8, 9); printf(" 10V");
    locate( 8,15); printf(" -10V");
    locate( 8,17); printf(" 12.5mm");
    locate( 8,22); printf("-12.5mm");
}

#ifdef SIM

void outpsim(int opsl,int ops2)
{
    int i,j;
    i=opsl;
    j=ops2;
    return;
}

#endif

/* ++++++ */
/* 設定画面入力表示 */
/* ++++++ */
void setp(void)
{
    int f,i,le;
    char c,dat[10];

    setp_jump;;
    cls(); /* 画面クリア */
    color(6); locate( 0, 0); printf("ゲート位置サーボ方法の設定");
    color(7);
    locate( 2, 2);
    printf("サーボの対象は、c h 1, 2の加速度計の信号(±10V)です。");
    locate( 2, 3);
    printf("c h 3, 4には、制御盤のゲート出力±12.5mm/±10Vを接続します。");
    locate( 2, 6);
    printf("サーボモードは、2つあります。選択して下さい。");
    locate( 2, 7);
    printf("1. 加速度計電圧V・サーボ量");
    locate( 2, 8);
    printf("2. 加速度計電圧V・サーボ量-ゲート位置");
    locate( 2, 9);
    printf("サーボ量は、ゲート位置/加速度計電圧の単位とします。");

```

```

locate( 2, 10);
printf(" サーボ量は、符号、小数点を含み 6 桁で指定します。");

cursor(1);                                /* カーソル復活 */

color(6); locate(10, 16); printf(" サーボモード      (1~2) ");
f=0; flskey(); locate(40, 16);
while (f == 0){                          /* フラグ監視 */
    c=getch();                            /* キー入力 */
    if ((c==0x31) || (c==0x32)){
        putchar(c);                      /* 入力値・画面表示 */
        if (c==0x31) smd=0;
        if (c==0x32) smd=1;
        f=1;
    }
    else{
        beep();
    }
}

color(6); locate(10, 18); printf(" サーボ量    (ゲート位置/V) ");
f=0; i=0; le=6; flskey(); locate(40, 18);
while (f==0){
    if (keystat()!=0){
        c=inkey();
        if ((c== 8) && (i>0)){
            dat[i]=0; i=i-1; putchar(0x08);
        }
        else{
            if (c!= 8){
                if ((c==13) || (c==27) || (i==le)){
                    f=1;
                }
                else{
                    putchar(c); dat[i]=c; i=i+1; dat[i]=0;
                }
            }
        }
    }
}
sdv=atof(dat);

color(6); locate(13, 23); printf(" よろしいですか <Y/N>");
f=0; flskey(); locate(34, 23);
while (f == 0){                          /* フラグ・判定 */
    c=getch();                            /* キー入力 */
    if ((c==0x59) || (c==0x79)) f=1;
    if ((c==0x4e) || (c==0x6e)) goto setp_jump;
    beep();
}

```

```

    cursor(0);                                /* カーソル消去 */
}

/* ++++++ */
/* ゲート位置設定 */
/* ++++++ */
void setd(void)
{
    int f, i, le;
    char c, dat[10];
    float da00, dd;

    locate( 0, 24); printf("%s", fs); cursor(1);
setd_jump:;
    color(7); locate( 0, 24); printf("ゲート位置=");
    f=0; i=0; le=6; flskey(); locate(12, 24);
    while (f==0){
        if (keystat()!=0){
            c=inkey();
            if ((c== 8) && (i>0)){
                dat[i]=0; i=i-1; putch(0x08);
            }
            else{
                if (c!= 8){
                    if ((c==13) || (c==27) || (i==le)){
                        f=1;
                    }
                    else{
                        putch(c); dat[i]=c; i=i+1; dat[i]=0;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

    dd=atof(dat); da00=dd/1.25;

    if ((da00>10) || (da00<-10)){
        beep(); goto setd_jump;
    }
    cursor(0); locate( 0, 24); printf("%s", fk);
    da[0]=da00; da[1]=da00; dac();
}

/* ++++++ */
/* DA12-2(98) 入力 → DA ゲート位置設定値 ±10V/12.5mm */
/* ++++++ */
void dac(void)
{
    int das;

```

```

das=0;
if (da[0]>=0){
    if (da[0]>=10){
        da[0]=10; das=2047;
    }
    else{
        das=da[0]/9.995*2047;
    }
}
else{
    if (da[0]<=-10){
        da[0]=-10; das=2048;
    }
    else{
        das=(da[0]+10)/9.995*2047+2048;
    }
}
al=(das & 0x00f)*16+ 0;          /* DA --> ch 0 output      */
ah=(das-(das & 0x00f))/16;

#ifdef SIM
    outpsim(Dport      ,al);          /* DAデータ出力 (ロー)      */
    outpsim(Dport + 0x01,ah);          /* DAデータ出力 (ハイ)      */
#else
    outp(Dport      ,al);              /* DAデータ出力 (ロー)      */
    outp(Dport + 0x01,ah);              /* DAデータ出力 (ハイ)      */
#endif
das=0;
if (da[1]>=0){
    if (da[1]>=10){
        da[1]=10; das=2047;
    }
    else{
        das=da[1]/9.995*2047;
    }
}
else{
    if (da[1]<=-10){
        da[1]=-10; das=2048;
    }
    else{
        das=(da[1]+10)/9.995*2047+2048;
    }
}
al=(das & 0x00f)*16+ 1;          /* DA --> ch 1 output      */
ah=(das-(das & 0x00f))/16;

#ifdef SIM
    outpsim(Dport      ,al);          /* DAデータ出力 (ロー)      */

```

```

    outpsim(Dport + 0x01, ah);          /* D A データ出力 (ハイ)          */
#else
    outp(Dport , al);                   /* D A データ出力 (ロー)          */
    outp(Dport + 0x01, ah);             /* D A データ出力 (ハイ)          */
#endif
}
void time(void)
{
    tmc++;
/*
    sound(1000);
    delay(5);
    nosound();*/
    pc98timer(TMS, time);
}

/* ++++++ */
/* GTDA - コントロール量の計算 コントロールしない場合は0を返す
   */
/* ++++++ */
int gtda(float v[])
{
    static float amp0=0.5, amp=0.5, ampr=0.5, omgt=0.0;
    static float a0=0.01, sh0=0.0, omg0=12.56, omg1=12.56, omg2=12.56;
    static int itc=0, ppf=1, nopk=0;
    static float t0=0.0;
    static float damp;                /* Damping*/
    static float snodsp=0.0;          /* Voltage of No displacement*/

    float al=0.0, sht=0.0;
    float tatsmp, tempfl;
    int j;

    if(idsmp==0){                      /* SMP ルーチンが呼ばれた直後に初期化*/
        amp0=0.5; amp=0.5; ampr=0.5; omgt=0.0;
        a0=0.01; sh0=0.0; omg=omgw0; omg0=omgw0; omg1=omgw0; omg2=omgw0;
        itc=0; ppf=1; nopk=0;
        t0=0.0;
        return(1);
    }

    sht=cal[0]*v[0];                  /*電圧を角度に換算*/
    tatsmp=tt;                        /*サンプリング時の時間を保存*/

    if(itc==0) {                       /*最初はデータの保存のみ*/
        sh0=sht; itc++;
        return(0);
    }
    if(itc==1) {                      /*2回目は方向の確定*/
        if(sh0>sht) ppf=1;
    }
}

```

```

else ppf=0;
sh0=sht;itc++;
return(0);
}
if(ppf==1){
/* (-) 側ピーク探索中ならば*/
if(sh0<sht && fabs(tatsmp-t0)>omgchk) { /* (-) 側ピーク検出*/
ppf=0;al=sh0;
amp0=amp;
if(nopk!=0) { /*初めてのピークでなければ通常の計算*/
amp=fabs((a1-a0)/2.0);
snodsp=(snodsp+(a1+a0)/2)/2.0;
if(fabs(tatsmp-t0)>0.01){
omg0=omg1;omg1=omg2;omg2=omg;
omg=(omg0+omg1+omg2+pi/(tatsmp-t0))/4.0;
if(fabs((omgw0-omg)/omgw0)>0.3) omg=omg2;
}
}
else amp= fabs((a1-a0));
if(nopk>2) {
damp=(damp+2.0*log(amp0/amp))/2;
ampr=amp*amp/amp0; /*consideration of damping */
}
else ampr=amp;
a0=a1;t0=tatsmp;
nopk++;
omgt=pi;
}
else {
ttm=(float)ttmc;
omgt=omg*(ttm*TMS/100.-t0);
sh0=sht;
}
}
else {
/* (+) 側ピーク探索中ならば(ppf=0)*/
if(sh0>sht && fabs(tatsmp-t0)>omgchk) { /* (+) 側ピーク検出*/
ppf=1;al=sh0;
amp0=amp;
if(nopk!=0) {
amp=fabs((a1-a0))/2.0;
snodsp=(snodsp+(a1+a0)/2.0)/2.0;
if(fabs(tatsmp-t0)>0.01){
omg0=omg1;omg1=omg2;omg2=omg;
omg=(omg0+omg1+omg2+pi/(tatsmp-t0))/4.0;
if(fabs((omgw0-omg)/omgw0)>0.3) omg=omg2;
}
}
else amp= fabs(a1-a0);
if(nopk>2) {
damp=(damp+2.0*log(amp0/amp))/2;
ampr=amp*amp/amp0; /*damping */
}
}
}

```

```

    }
    else ampr=amp;
    a0=a1; t0=tatsmp;
    nopk++;
    omgt=0.0;
}
else {
    ttm=(float)ttmc;
    omgt=omg*(ttm*TMS/100. -t0)+pi;
    sh0=sht;
}
}
switch (cnptn){ /*D/A出力電圧の計算*/
case 1: /*振幅比例制御*/
    for(j=0;j<=1;j++) {
        da[j]=(gai[j]*ampr*cos(omgt-ph[j]))/1.25; /*位相差ph[j]*/
    }
    break;
case 2: /*振幅一定制御*/
#ifdef CW1
        da[0]=(gai[0]*cos(omgt-ph[0]))/1.25; /*位相差ph[0]*/
#else
        da[0]=- (gai[0]*cos(omgt-ph[0]))/1.25; /*位相差ph[0]*/
#endif
#ifdef CW2
        da[1]=(gai[1]*cos(omgt-ph[1]))/1.25; /*位相差ph[1]*/
#else
        da[1]=- (gai[1]*cos(omgt-ph[1]))/1.25; /*位相差ph[1]*/
#endif
    break;
case 3: /*Bang-Bang制御*/
    for(j=0;j<=1;j++) {
        if(sht>snodsp) da[j]=pow(-1.0, (float)j)*gai[j]*ampr/1.25;
        else da[j]=-pow(-1.0, (float)j)*gai[j]*ampr/1.25;
    }
    break;
case 4: /*片側振幅比例制御*/
    for(j=0;j<=1;j++) {
        tempf1=-10.0+(gai[j]*ampr*cos(omgt-ph[j]))/1.25; /*位相差ph[j]*/
        if(tempf1>-9.0) da[j]=tempf1;
        else da[j]=-9.0;
    }
    break;
case 5: /*片側振幅一定制御*/
    for(j=0;j<=1;j++) {
        if(j==0){ /*チャンネル1の制御*/
            /*かつてチャンネル1と2は同じ式で制御できたため、jのループになっている。*/
#ifdef CW1
                tempf1=-10.0+(gai[j]*cos(omgt-ph[j]))/1.25; /*位相差ph[j]*/

```

```

        if(tempf1>-9.0) da[j]=tempf1;
        else da[j]=-9.0;

#else

        tempf1=-10.0+(gai[j]*cos(omgt-ph[j]))/1.25; /*位相差ph[j]*/
        if(tempf1>-9.0) da[j]=tempf1;
        else da[j]=-9.0;

#endif

    }
    else{ /*チャンネル2の制御*/

        tempf1=-10.0+(gai[j]*cos(omgt-ph[j]))/1.25; /*位相差ph[j]*/
        if(tempf1>-9.0) da[j]=tempf1;
        else da[j]=-9.0;

        /*逆回転*/
        tempf1=10.0-(gai[j]*cos(omgt-ph[j]))/1.25; /*位相差ph[j]*/
        if(tempf1<9.0) da[j]=tempf1;
        else da[j]=9.0;

    }

}

break;
}

gotoxy(5,5);
ttm=(float)ttmc;
/*時間、振動数、構造減衰、前振幅、現振幅の表示*/
cprintf("%f %f %f %f %f", ttmc*TMS/100.0, omg/pi2, damp, amp0, amp);
if (nopk>3) return(1);
else return(0);
}

/* ++++++ */
/* SMP */
/* ++++++ */
void samp(void)
{
    int c,i,aflag;
    int x[2]={0,0}; /* ドットX軸 */
    int y[8]={0,0,0,0,0,0,0,0}; /* ドットY軸 */
    float v[4]={0.0,0.0,0.0,0.0}; /* チャンネル配列 */

    ttmc=0;
    idsmp=0;idsmp=gt-da(v);
    locate( 0,24); printf("%s",fs); /* ファンクション配列表示しない */
    locate( 0,24); printf("終了するなら任意のキーを押して下さい。");
    GraphicBoxf(130,40+mode*116,630,140+mode*116, 0);
    GraphicBoxf(130,40+ 2*116,630,140+ 2*116, 0);

    aflag=0; flskey(); /* キーボード・バッファークリア */
}

```

```

#ifdef SIM
    outpsim(Aport + 0x2, 0x00);          /* 内部タイマの選択と停止          */
    outpsim(Aport + 0x1, 0x01);          /* トリガ入力ステータスリセット    */
    outpsim(Aport + 0xc, 0x34);          /* 内部タイマのカウンタ 0 選択      */
    outpsim(Aport + 0x8, 0x02);          /* カウンタ 0 下位データの書き込み  */
    outpsim(Aport + 0x8, 0x00);          /* カウンタ 0 上位データの書き込み  */
    outpsim(Aport + 0xc, 0x74);          /* 内部タイマのカウンタ 1 選択      */
    outpsim(Aport + 0xa, 0x02);          /* カウンタ 1 下位データの書き込み  */
    outpsim(Aport + 0xa, 0x00);          /* カウンタ 1 上位データの書き込み  */
    outpsim(Aport + 0xc, 0xb4);          /* 内部タイマのカウンタ 2 選択      */
    outpsim(Aport + 0xc, 0x00);          /* カウンタ 2 下位データの書き込み  */
    outpsim(Aport + 0xc, 0x28);          /* カウンタ 2 上位データの書き込み  */
    outpsim(Aport + 0x2, 0x10);          /* 内部タイマスタート              */

    tt2=0.0;
#else

    outp(Aport + 0x2, 0x00);             /* 内部タイマの選択と停止          */
    outp(Aport + 0x1, 0x01);             /* トリガ入力ステータスリセット    */
    outp(Aport + 0xc, 0x34);             /* 内部タイマのカウンタ 0 選択      */
    outp(Aport + 0x8, 0x02);             /* カウンタ 0 下位データの書き込み  */
    outp(Aport + 0x8, 0x00);             /* カウンタ 0 上位データの書き込み  */
    outp(Aport + 0xc, 0x74);             /* 内部タイマのカウンタ 1 選択      */
    outp(Aport + 0xa, 0x02);             /* カウンタ 1 下位データの書き込み  */
    outp(Aport + 0xa, 0x00);             /* カウンタ 1 上位データの書き込み  */
    outp(Aport + 0xc, 0xb4);             /* 内部タイマのカウンタ 2 選択      */
    outp(Aport + 0xc, 0x00);             /* カウンタ 2 下位データの書き込み  */
    outp(Aport + 0xc, 0x28);             /* カウンタ 2 上位データの書き込み  */
    outp(Aport + 0x2, 0x10);             /* 内部タイマスタート              */

#endif

    pc98timer(TMS, time);
    i=0;
    while (aflag==0) {
        if(i%1000==0)i=0;

#ifdef SIM
        tt2=tt2+0.025;
#endif

        v[0]=chs(0); ttm=(float)ttmc; tt=ttm*TMS/100.0;
        v[1]=chs(1);
        v[2]=chs(2); v[3]=chs(3); /* AD read ch */

        if (mode==1){
            if(gtda(v)==1)dac();          /* D A制御*/
        }

#ifdef GRPH
        x[0]=130+i/2;
#endif
    }

```

```

    if (x[0]<629){
        if (i%2==0){
            GdcLine(x[0]+1, 40+116*mode, x[0]+1, 140+116*mode, 0);
        }
        else{
            GdcLine(x[0]+1, 40+116* 2, x[0]+1, 140+116* 2, 0);
        }
        y[0]=90+116*mode-v[0]*15; y[1]=90+116*mode-v[1]*15;
        /* ↓本来の式          ↑ Y 軸拡大表示用          */
        /* y[0]=90+116*mode-v[0]*5; y[1]=90+116*mode-v[1]*5; */
        y[2]=90+116* 2-v[2]*5; y[3]=90+116* 2-v[3]*5;
        if (i!=0){
            if (i%2==0){
                GdcLine(x[1], y[4], x[0], y[0], 15);
                GdcLine(x[1], y[5], x[0], y[1], 12);
            }
            else{
                GdcLine(x[1], y[6], x[0], y[2], 14);
                GdcLine(x[1], y[7], x[0], y[3], 13);
            }
        }
        y[4]=y[0]; y[5]=y[1]; y[6]=y[2]; y[7]=y[3];          /* y 軸 退避 */
        x[1]=x[0];          /* x 軸 退避 */          }
#endif

#ifdef SIM
    outpsim(Aport + 0x01, 0x01);          /* トリガ入力ステータスリセット          */
#else
    outp(Aport + 0x01, 0x01);          /* トリガ入力ステータスリセット          */
#endif

    i++;
    c=keystat(); if (c!=0) aflag=1;          /* キーボード・バッファ取り込み          */
}
pc98timer(0, NULL);

#ifdef SIM
    outpsim(Aport + 0x02, 0x00);          /* 内部タイマの停止          */
#else
    outp(Aport + 0x02, 0x00);          /* 内部タイマの停止          */
#endif

    flskey();          /* キーボード・バッファークリア          */
    locate( 0, 24); printf("%s", fs);          /* ファンクション配列表示しない          */
}

#ifdef SIM
/* ++++++ */
/* AD変換データのシミュレーション          */
/* ++++++ */

```

```

float chs(ch)
int ch;
{
    float volt;
    /* AD変換値 */
    if(ch<2)volt=exp(0.02*0.65*tt2)*pow(-1.0,(double)ch)*sin(pi2*0.65*tt2+0.523)*1.0;
    /* 電圧値の計算*/
    else volt=da[ch-2];
    /*volt=0;*/
    return(volt);
}
#else
/* ++++++ */
/* AD変換データ取得 */
/* ++++++ */
float chs(ch)
int ch;
{
    float volt;
    /* AD変換値 */

    ah=0;
    while ((ah & 0x10)==0){
        ah=inp(Aport + 0x1);
        /* 上位ポートから入力 */
    }
    outp(Aport, 0x10 + ch);
    /* マニュアル変換 ch */

    ah=0;
    while ((ah & 0x40)==0){
        ah=inp(Aport + 1);
        /* 上位ポート入力 */
    }
    al=inp(Aport);
    /* 下位ポート入力 */
    volt=(ah & 0x0f)*0x100+al;
    /* A/D変換コード演算 */
    volt=volt*20/0x1000-10;
    /* 電圧値の計算 */
    return(volt);
}
#endif
/* ++++++ */
/* CLS画面クリア */
/* ++++++ */
void cls(void)
{
    GraphicCls(0);
    /* グラフ画面クリア */
    printf(ESC"[2J");
    /* テキスト画面クリア */
}

/* ++++++ */
/* カーソル位置指定 */
/* ++++++ */
void locate(x,y)
int x,y;
{

```

```

    printf(ESC "[%d;%dl]", y+1, x+1);    /* ESC[Y, X] */
}

/* ++++++ */
/* カーソル消去&復活 */
/* ++++++ */
void cursor(x)
int x;
{
    if (x==0) printf(ESC "[>5h");    /* off */
    if (x==1) printf(ESC "[>5l");    /* on */
}

/* ++++++ */
/* c o l o r 文 */
/* ++++++ */
void color(c)
int c;
{
    printf(ESC "[%dm", 30+c);
}

/* ++++++ */
/* ファンクション・キーの表示 */
/* ++++++ */
void f_key(x)
int x;
{
    if (x==0) printf(ESC "[>lh");    /* off */
    if (x==1) printf(ESC "[>ll");    /* on */
}

/* ++++++ */
/* ビープ */
/* ++++++ */
void beep(void)
{
    putchar(0x07);
}

/* ++++++ */
/* 直接キー入力 */
/* ++++++ */
int inkey(void)
{
    return(bdos( 6, 0xff, 0)&0x00ff);
}

/* ++++++ */
/* キーボード・ステータスの検査 */
/* ++++++ */

```

```

/* ++++++ */
int keystat(void)
{
    return(bdos(11, 0, 0)&0x00ff);
}

/* ++++++ */
/* キーボード・バッファのクリア */
/* ++++++ */
void flskey(void)
{
    bdos(12, 0, 0);
}

/* ++++++ */
/* END PROGRAM */
/* ++++++ */

```

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

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3308号
平成6年9月(1994)

要 旨

佐藤弘史, 日下部毅明, 松野栄明, 関谷光昭

超長大橋梁の耐風安定性の確保する手法として注目されているアクティブコントロールの適用について研究し, その結果を中間的に報告した。研究は, 既に提案されている手法についての確認と土木研究所が新たに発明した手法の開発からなる。風洞実験を実施した結果, 前者では, 数値解析の結果を反映する効果が確認された。後者では, 風洞実験によって, 剥離を制御する手法の既存の手法を凌ぐ有効性が確認された。

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,
フローパターン制御



郵便はがき

五十円切手
をはって下さい。

305-□□

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. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 3308 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印