

中国地方建設局依頼

ISSN 0386-5878

土研資料第 1562 号

Aero. 43/ST. Division

土 木 研 究 所 資 料

弥栄大橋の耐風性調査報告書

昭和55年 3 月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © 1980 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

序

弥栄大橋は、建設省中国地方建設局弥栄ダム工事事務所が建設を計画している五径間連続鋼床版箱桁斜張橋である。本橋の構造形式が斜張橋であること、および架設点付近には強風の可能性が予測されること、などの理由により建設前に耐風安定性の検討を行うことが必要であると考えられ、当研究室がその調査の依頼を受けた。調査は主として風洞実験により行われ、その結果耐風安定性の良好な橋桁断面を得ることができた。ここに、その調査結果をとりまとめ報告することにする。

昭和 55 年 3 月

構造研究室 室 長 成 田 信 之
研究員 佐 藤 弘 史
野 村 一 夫

目 次

1. まえがき	1
1.1 弥栄大橋の概要	1
1.2 調査の目的	1
1.3 調査の概要	1
2. バネ支持模型実験	2
2.1 実験の概要	2
2.2 実験方法および実験条件	2
2.3 基本断面の耐風安定性	3
2.4 改良断面の耐風安定性	4
2.5 最終断面の耐風安定性	5
3. 三分力試験	6
3.1 実験方法および実験条件	6
3.2 三分力係数の特性	6
4. ま と め	7
5. あとがき	7
 資 料 図	 9
表	73

1. ま え が き

1.1 弥栄大橋の概要

弥栄大橋は、建設省中国地方建設局弥栄ダム工事事務所が建設を計画している五径間連続鋼床版箱桁斜張橋である。本橋は同事務所が計画している弥栄ダム建設に伴う県道大竹―美和線の付替工事の一環として計画されているものであり、構造形式については斜張橋、タイドアーチ、ゲルバートラスの間で比較検討がなされ、斜張橋案の採用が決定された。その架設位置図を図-1に、本橋の一般図を図-2に示す。

1.2 調査の目的

吊橋や斜張橋のような可撓性に富む構造物は風の影響を受けやすい。また本橋はダム湖面を跨ぐ橋梁であるが、桁下余裕高は常時満水時でも約30m程度もあり、強風を受ける可能性がある。これらの理由により、本橋の建設にあたっては事前にその耐風性に関し十分な検討が必要であると考えられた。

自然風中にさらされた構造物には、風により空気力が作用し、その結果構造物は変形したり、振動したりする。このうち主として定常的な空気力による構造物の変形に対する安全性については、静的設計の際に風荷重を考慮することによりその検討がなされている。一方非定常な空気力による構造物の振動に対する安全性については風洞実験により検討されるのが一般的である。今回の調査は橋梁の風による振動に対する安全性を検討し、この意味で耐風安定性の良好な橋桁断面を提案することを主な目的とした。

風による構造物の振動は、その発生機構により、自励振動、渦励振、およびバフエッティングに分類されるが、今回調査の対象とした現象は、その発生が直ちに構造物の崩壊につながる自励振動、および自励振動ほどその振動振幅は大きくないが、比較的低風速で発見するため疲労および使用性の面で問題となる渦励振である。なお構造物に接近する流れの乱れに起因する不規則振動であるバフエッティングについては、本橋と同程度の規模の既設の斜張橋について数ケ年の間に観測された結果によればバフエッティングによる振動の振幅は構造物に悪影響を与えるほど大きくないこと、またバフエッティングによる振動を推定する手法が現在のところまだ確立されたとはいえない状況であること、などを考慮して、今回の調査の対象とはしなかった。

以上の考えに従い、今回の調査の目的を、自励振動および渦励振に関して耐風安定性の良好な橋桁断面を提案することとした。

1.3 調査の概要

調査は、まず弥栄ダム工事事務所より提出された2つの基本断面についてその耐風安定性を比較することより開始された。この結果とくに渦励振に関する耐風安定性についてより、良好と思われる1つの基本断面を選定したが、その断面においてもまだ構造物に悪影響を与える渦励振が発生する可能性があったために、渦励振を抑制するための方法について実験的検討を続けた。これより得られた、渦励振に対して最も有効な対策を施した断面を最終断面とし、その耐風安定性をさらに詳細に確認した。

なお最後に、渦励振を抑制するために用いた補助部材が定常的な空気力特性におよぼす影響を調べるために、また静的設計時に用いた風荷重の妥当性を確認するために、定常的な空気力係数の測定もあわせて

実施した。

2. パネ支持模型実験

2.1 実験の概要

自励振動および渦励振に対する耐風安定性を調べるために実施した実験は、パネ支持模型実験である。すなわち幾何学的に相似な2次元剛体模型を、質量、剛性、減衰性能などの相似条件を満足させるように風洞内に設置し、風を流し、実橋において発生する風による振動を風洞内に再現させ、この振動と風速および構造物に対する風の傾斜角との関係を把握する、という実験である。

1.3に述べたように今回の実験はその目的により以下の3つの段階から成り立つ。

- (1) 2つの基本断面について耐風安定性を比較し、より良好な耐風安定性を有する基本断面を選定する実験。
- (2) (1)より選ばれた基本断面について、さらにその耐風安定性をよくするために数種の補助部材を付加し、その効果を調べるための実験。
- (3) (2)より得られた最も耐風性の良好な断面について、その耐風安定性を詳細に確認するための実験。

2.2 実験方法および実験条件

実験に用いた風洞は、建設省土木研究所耐風工学実験施設の非定常空気力風洞であり、その主要諸元を表-1に示す。気流としては乱れのほとんどない一様気流を用いた。

模型は6本のコイルパネにより所要の剛性を有するよう支持され、模型の外側に付加したおもり、および模型中央よりおろしたピアノ線に接続したダンパーにより、それぞれ質量あるいは減衰性能に関する相似条件を満足させた。また気流の2次元性を保つために、模型端部には端板をつけ、模型が風により流されるのを防ぐため、流れ止めを取り付けた。これらの様子を図-3に示す。

模型の振動は、模型と同じ動きをする模型外側のパイプに取付けたターゲットの変位を光学式変位計で測定することにより求めた。また風速はピトー管およびマノメータにより測定した。光学式変位計により得られた模型の振動データはペン書きレコーダおよびデータレコーダに記録され、ミニコンピューターなどにより解析された。

実験において相似させるべき条件として考慮したものは、幾何学的形状の他に以下のパラメータがある。

$$\frac{M}{\rho B^2}, \frac{I}{\rho B^4}, \frac{V}{f_{\eta} B}, \frac{V}{f_{\theta} B}, \delta_{\eta}, \delta_{\theta}$$

ここに

M : 単位長さあたりの質量, I : 単位長さあたりの極慣性モーメント, ρ : 空気密度, V : 風速, B : 構造物の代表長さ, f : 固有振動数, δ : 無風時の対数減衰率, η : 鉛直たわみ振動, θ : ねじれ振動
これらのパラメータを実橋および風洞実験において等しくする、という考えで得られた実験条件を表-2

に示す。表-2においては対象とした実橋諸元のちがいに对应して3種類の実験条件が示されている。また補助部材を付加した実験において、その部材が橋桁本体に比べ非常に小さい場合には、それを付加していない基本断面について実験条件をあわせ、部材を付加した。表-2に示されているように振動数比は実橋のそれと一致していないが、実橋の振動数比は3前後と高いため、連成振動が発生する可能性がほとんどないこと、仮に連成振動が発生したとしても、実験値の振動数比の方が小さく、得られた結果は安全側であること、などの理由により実験値として示されている値を用いた。なお表-2に示された構造減衰は、鉛直たわみ振動においては(模型幅)/200の振幅のときに、ねじれ振動においては 0.5° の振幅のときにこの値となるように設定した。

実験は実橋換算風速 100 m/s までを目標として実施した。基本断面に関する実験は、一般に鉛直たわみの振動はねじれの振動により抑制されやすいことを考慮して鉛直たわみ・ねじれ2自由度の実験の他に、鉛直たわみ1自由度の実験も実施した。一方、改良断面および最終断面に関する実験では、これらの断面の基本となる断面が、2自由度においても鉛直たわみモードの振動が1自由度の場合と同様に発生するため、2自由度の実験のみを実施した。

2.3 基本断面の耐風安定性

弥栄ダム工事事務所より提案された弥栄大橋橋桁の基本断面を図-4に示す。第1案(以下YB-Iと略す)は、2-box型であり、第2案(以下YB-IIと略す)は1-boxの逆台形断面である。風洞実験の模型は両者とも1/30の縮尺で橋軸方向長さは 980 mm であり、主要材料はひのきである。

YB-IおよびYB-IIのパネ支持模型実験結果を、発振風速と迎角(風の構造物に対する傾斜角、吹き上げが正)の関係(以下 $V_{cr}-\alpha$ と略す)、風速と発振振幅(鉛直たわみモードの場合は発振振幅(η)を橋梁幅員(B)で除したもの、ねじれモードは発振振幅(θ))の関係(以下 $V-A$ と略す)、風速と振幅と対数減衰率($\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$ で定義されるもの、ここに A_i :第 i 番めの振幅)の関係(以下 $V-A-\delta$ と略す)についてとりまとめた。YB-Iに対する $V_{cr}-\alpha$ を図-5に、 $V-A$ を図-6に、 $V-A-\delta$ を図-7に示す。またYB-IIに対する $V_{cr}-\alpha$ を図-8に、 $V-A$ を図-9に、 $V-A-\delta$ を図-10に示す。これらについて2つの基本断面の耐風安定性を比較すれば以下のとおりである。

- (1) 鉛直たわみモードの渦励振については、YB-Iは実橋風速 15 m/s 付近で -7° から 7° までの迎角で $\eta/B = 0.005 \sim 0.01$ の振幅の振動が発生している。一方YB-IIは正の迎角のときは実橋風速 15 m/s 付近で、負の迎角のときはそれよりやや低い風速で $\eta/B = 0.005 \sim 0.02$ の振幅の振動が発生しており、YB-Iの方が発振風速、振幅の点でYB-IIに比べ耐風安定性が良好と判断される。
- (2) ねじれモードの渦励振については、YB-Iは迎角 5° において実橋風速 55 m/s 付近で 0.2° 程度の振幅の振動が発生している。一方YB-IIは正の迎角において実橋風速 $35 \sim 40 \text{ m/s}$ を中心に、負の迎角において実橋風速 50 m/s を中心に $0.2^\circ \sim 0.9^\circ$ の振幅の振動が発生しており、YB-Iの方が耐風安定性が良好と判断される。
- (3) ねじれモードの自励振動(ねじれフラッター)については、YB-Iは -5° 、 -7° を除く迎角で観測され、正の迎角では迎角が大きくなるほど発振風速が低くなる。一方YB-IIでは 1° 以上の迎角

で発生しており、迎角が大きくなるほど発振風速が低くなる。一方YB-IIでは 1° 以上の迎角で発生しており、迎角が大きくなると発振風速が低下する。しかしながらいずれにしても発振風速が高いため、實際上構造物の安全に関しては問題ないと思われる。

(4) 鉛直たわみモードの自励振動（ギャロッピング）についてはYB-IIのみ迎角 5° 、 7° において鉛直たわみ1自由度支持の場合に実橋風速 50 m/s 程度で発生することが観測された。

以上の結果よりYB-Iの方が、渦励振およびギャロッピングに関してYB-IIより、耐風安定性が良好であることが明らかとなった。また設計面においても、YB-Iの方がYB-IIに比べ鋼重を軽減でき経済的であること、また箱桁の腹板から地覆外側までの張出し長が短くケーブルの定着構造が容易であること、などの理由でYB-Iの方が好ましい。これらの理由によりYB-Iを基本断面とし、以後補助部材を用いて鉛直たわみモードの渦励振を抑制するための実験を実施した。

2.4 改良断面の耐風安定性

渦励振に関する耐風安定性を改良するために付加した補助部材を、図-4および図-11に示す。これらの補助部材は主として橋桁端部からの気流の剥離および渦の発生を防ぐという観点から取り付けられたものであり、基本断面YB-Iに取付たため、改良断面の記号はYB-Iのあとに取り付けた部材の記号を付加することにより示すものとする。また図に示していないものに、高欄の笠木高を $\frac{1}{2}$ にしたもの、地覆を取除いたものがある。

実験は主として迎角 0° における鉛直たわみモードの渦励振に対する抑制効果を調べることを目的とし、効果のあるものについてはさらに迎角 5° についてもその効果を調べた。ただし、大型の端整流板（FA）を取付けた改良断面（YB-I-FA）については、基本断面に準ずるものとして取扱い、より詳細な実験を行った。これらの結果を、YB-I-FAについては $V_{cr}-\alpha$ を図-12に、 $V-A$ を図-13に、 $V-A-\delta$ を図-14に示し、他の改良断面については $V-A$ を図-15に、 $V-A-\delta$ を図-16に示す。これより改良断面の渦励振に対する効果をとりまとめると以下のとおりである。

(1) 大型端整流板の効果……YB-I-FA

本断面はすべての迎角で実橋風速 100 m/s まで自励振動が発生せず、この点に関しては耐風性の向上が著しいが、鉛直たわみモードの渦励振については実橋風速 10 m/s 前後で $\eta/B=0.002\sim0.018$ 程度の振幅の振動が観測されており、発振風速および振幅の面で基本断面（YB-I）に比べ耐風安定性の劣るものとなっている。

(2) 穴あき歩車道境界ブロックの効果……YB-I-BB

迎角 0° における鉛直たわみモードの渦励振をYB-Iと比較すると、振幅は若干低下するが、発振風速領域はほとんど同じであり、これらの効果は充分とは認められない。

(3) 傾斜地覆の効果……YB-I-SC, YB-I-地覆なし, YB-I-BB, SC

傾斜地覆の場合迎角 0° においては渦励振の振幅の面で効果があったが、迎角 5° においては効果が認められなかった。また地覆をとった場合および穴あき歩車道境界ブロックを併用した場合の迎角 0° におけ

る効果は、傾斜地覆の場合ほど大きくなかった。

(4) 傾斜地覆+小型端整流板の効果……YB-I-S, FA1, YB-I-S, FA2, YB-I-S, FA3

傾斜地覆の効果をさらに増すために小型の端整流板を付加したが、発振風速領域が低下し、振幅もS, FA1の場合はYB-Iに比べ若干低くなるが、他の場合はYB-Iより大きく、効果は認められない。

(5) 高欄の笠木高の効果……YB-I-高欄笠木高100mm→50mm

渦励振の発振風速領域、振幅ともYB-Iとはほとんど変化なく、効果は認められない。

(6) 端抑流板の効果……YB-I-FL700, YB-I-S, FL700, YB-I-BB, FL700, YB-I-FL1,000

実橋寸法で700mmの端抑流板を付けた場合、発振風速領域が小さくなり、迎角 0° においては振幅もYB-Iの $\frac{1}{2}$ 程度になった。また迎角 5° についても振幅が $\frac{1}{2}$ 程度に抑制され、著しい効果があると認められた。これと傾斜地覆あるいは穴あき歩車道境界ブロックを併用した場合は、端抑流板のみに比べ発振風速領域が若干低下し、振幅はほとんど変化がなく、併用したことによる効果は認められない。一方端抑流板の長さを700mmから1,000mmに伸ばした場合は、700mmの場合に比べ迎角 0° での発振風速領域、振幅が改良され、迎角 0° および 5° における振幅が $\eta/B = 0.001$ にまで抑制された。

(7) ディフレクターの効果……YB-I-DE

YB-Iに比べその発振風速領域、振幅ともに同じ程度であり、効果は認められない。

以上の結果より、高欄に端抑流板1,000mmを付加したものが鉛直たわみモードの渦励振に関して最も安定であることが明らかとなったので、このYB-I-FL1,000を最終断面とし、その耐風安定性を確認するための詳細な実験を実施した。

2.5 最終断面の耐風安定性

最終断面(YB-I-FL1,000)に関する実験結果を整理し、 $V_{cr}-\alpha$ を図-17に、 $V-A$ を図-18に、 $V-A-\delta$ を図-19に示す。なお、鉛直たわみモードの渦励振については振幅 η/B が0.001より大きく振動したもののについてのみ $V_{cr}-\alpha$ 、 $V-A$ に示した。これより得られる最終断面の耐風安定性は以下のとおりである。

(1) 鉛直たわみモードの渦励振については、 -3° より小さな迎角で振幅が最大 $\eta/B = 0.002$ 程度の振動が発生しているが、この振動は振幅も非常に小さく、構造物に対する安全性の面では問題ないと判断される。

(2) ねじれモードの渦励振についてはすべての迎角で発生せず、その耐風安定性は良好と判断される。

(3) 自励振動に関しては基本断面YB-Iと同様良好な耐風安定性を有しており、とくにねじれフラッターに関しては正の迎角でもその限界風速が高く端抑流板の効果が現われたものと考えられる。

以上の結果より本断面の自励振動および渦励振に対する耐風安定性は良好であると判断される。

なお今回実施した実験では無風時の対数減衰率を0.02と仮定し、この値を用いたが、実橋の正確な減衰率は明らかとされていない。鉛直たわみモードの振幅におよぼす減衰の影響を調べるため、YB-I-SCの迎角 5° における渦励振について、無風時の対数減衰率を0.01から0.05まで0.01きざみに変化させ、ピークとなる倍振幅と減衰との関係を図-20に示した。これによれば、対数減衰率0.02のときの

振幅を基準にすると、対数減衰率の 0.01 の増加に対し、0.14 倍に相当する振幅の減少が見られるが、対数減衰率に反比例するといった大きな影響は見うけられなかった。

3. 三分力試験

3.1 実験方法および実験条件

実験に用いた風洞は、バネ支持模型実験と同じ非定常空気力風洞であり、気流としては乱れのほとんどない一様気流を用いた。

空気力の計測はストラット方式の三分力天秤により行い、抗力、揚力、空力モーメントの三分力について測定した。風速についてはピトー管およびマノメータにより測定した。

対象とした模型は基本断面の YB-I と最終断面の YB-I-FL 1,000 である。実験風速は約 7 m/s と約 14 m/s の 2通りとし、迎角は -15° から 15° まで 1° きざみに変化させた。

測定した空気力は風軸に対して定義されたものであり、以下の式より空気力係数が計算される。

$$C_D = D / \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

$$C_L = L / \frac{1}{2} \rho V^2 B$$

$$C_M = M / \frac{1}{2} \rho V^2 B^2$$

ここに、 C ：空気力係数、 D ：抗力、 L ：揚力、 M ：空力モーメント、 ρ ：空気密度、 V ：試験風速、 A ：水平方向の投影面積、 B ：橋桁幅員

また、橋桁幅員に対して定義した抗力係数 C_D^B 、橋軸に対して定義した揚力係数 C_F 、および揚力勾配 $dC_F/d\alpha$ は次式により計算される。

$$C_D^B = D / \frac{1}{2} \rho V^2 B$$

$$C_F = C_L \cos \alpha + C_D^B \sin \alpha$$

$$dC_F/d\alpha(\alpha) \div \{C_F(\alpha+1^\circ) - C_F(\alpha-1^\circ)\} / (\frac{\pi}{180} \times 2)$$

ここに、 α ：迎角

3.2 三分力係数の特性

YB-I および YB-I-FL 1,000 について、 C_D 、 C_L 、 C_M と迎角の関係を図-21、図-22に示す。また試験風速約 14 m/s における C_D 、 C_L 、 C_M 、 C_D^B 、 C_F 、 $dC_F/d\alpha$ と迎角の関係を表-3、表-4に示す。両断面の三分力係数の特性を比較すると、 C_D 、 C_M については YB-I-FL 1,000 の方が若干大きいもののその特性に大きな変化はない。一方 C_L については基本断面 YB-I において迎角 0° から 5° までの間に負の揚力勾配が見うけられ、これが鉛直たわみモードの不安定な振動現象と何らかの関連があるものと考えられるが、最終断面では負の揚力勾配は見うけられず、耐風安定性が向上されたものと判断される。

本橋の設計においては風荷重を算定する場合の抗力係数として 1.60 の値を用いているが、今回の試験結果においても迎角 0° における最終断面の抗力係数は 1.58～1.60 の値であったので、設計時に用いた風荷重の妥当性も確認できたといえる。

4. ま と め

今回の調査内容を取りまとめると以下のとおりである。

- (1) 弥栄ダム工事事務所より提出された2つの弥栄大橋基本断面(YB-I, YB-II)についてその耐風安定性を比較し, 2-box型のYB-Iの方が耐風安定性が良好であることが明らかとなった。
- (2) YB-Iについて, 鉛直たわみモードの渦励振をさらに抑制するために, 補助部材を付加しその効果を調べた。その結果, 実橋寸法 1,000 mmの端抑流板を高欄に付加した断面(YB-I-FL 1,000)が, 渦励振に関して耐風安定性が最も良好であることが明らかとなり, これを最終断面とした。
- (3) YB-I-FL 1,000について, 自励振動, 渦励振に関する耐風安定性が良好であることを詳細に確認した。
- (4) YB-IおよびYB-I-FL 1,000について三分力係数を測定し, 耐風安定性が向上されていること, 静的設計時に用いた抗力係数が妥当であることを確認した。

5. あ と が き

今回の調査により耐風安定性の良好な橋桁断面を提案することができた。上述の耐風設計の妥当性を確認するためにも, 本橋の完成後に風速計および加速度計などの観測システムを取付け, 自然風および対風応答のデータを収集することが望まれる。

最後に本調査を進めるにあたり種々お世話いただいた弥栄ダム工事事務所の方々に心からお礼申し上げる次第である。また今回の実験は当研究室の指導のもとに新日本技研株式会社が実施した。記して感謝の意を表わす。

1 1

1 1

1 1

1 1

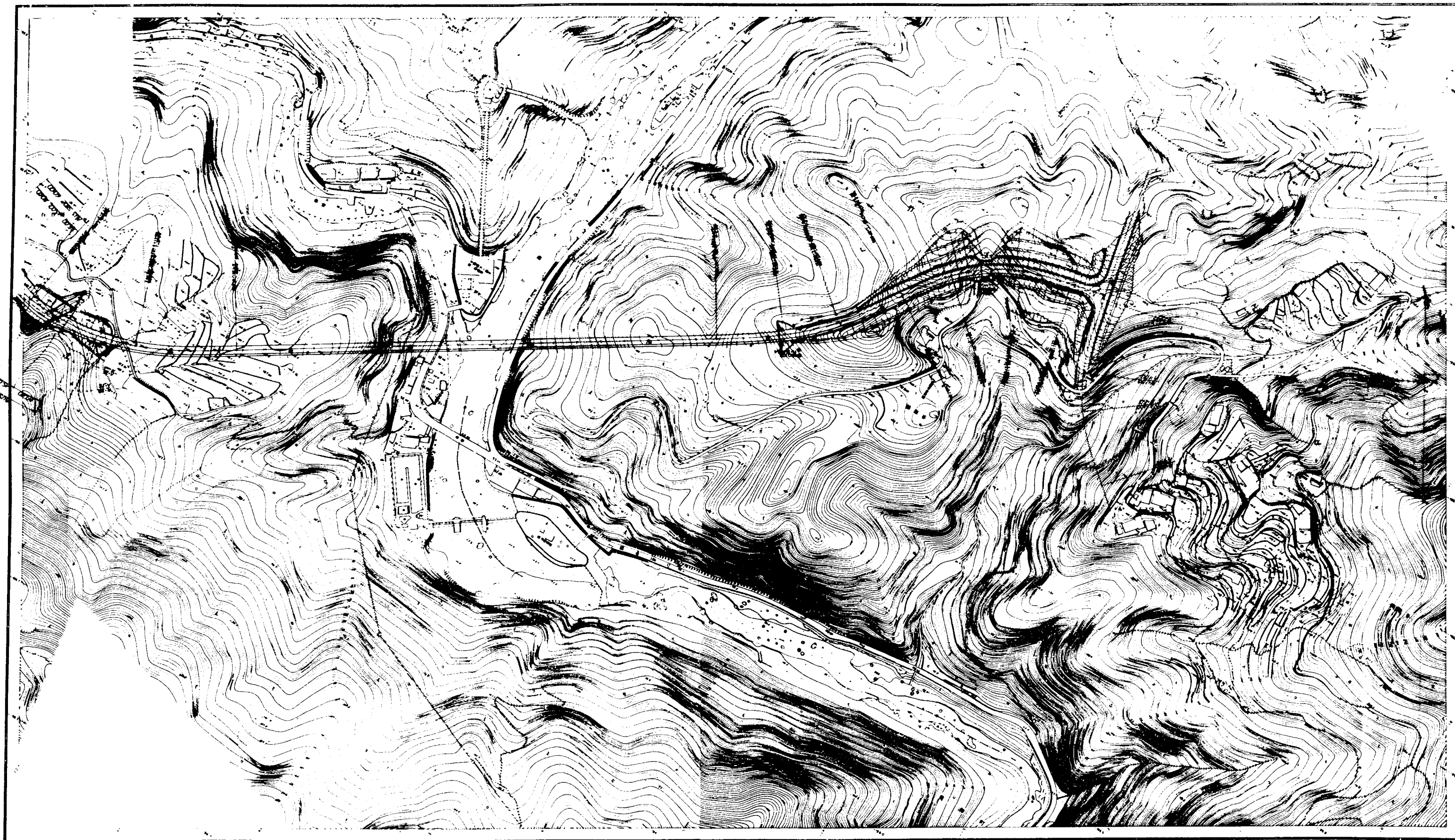


図-1 弥栄大橋架設位置図

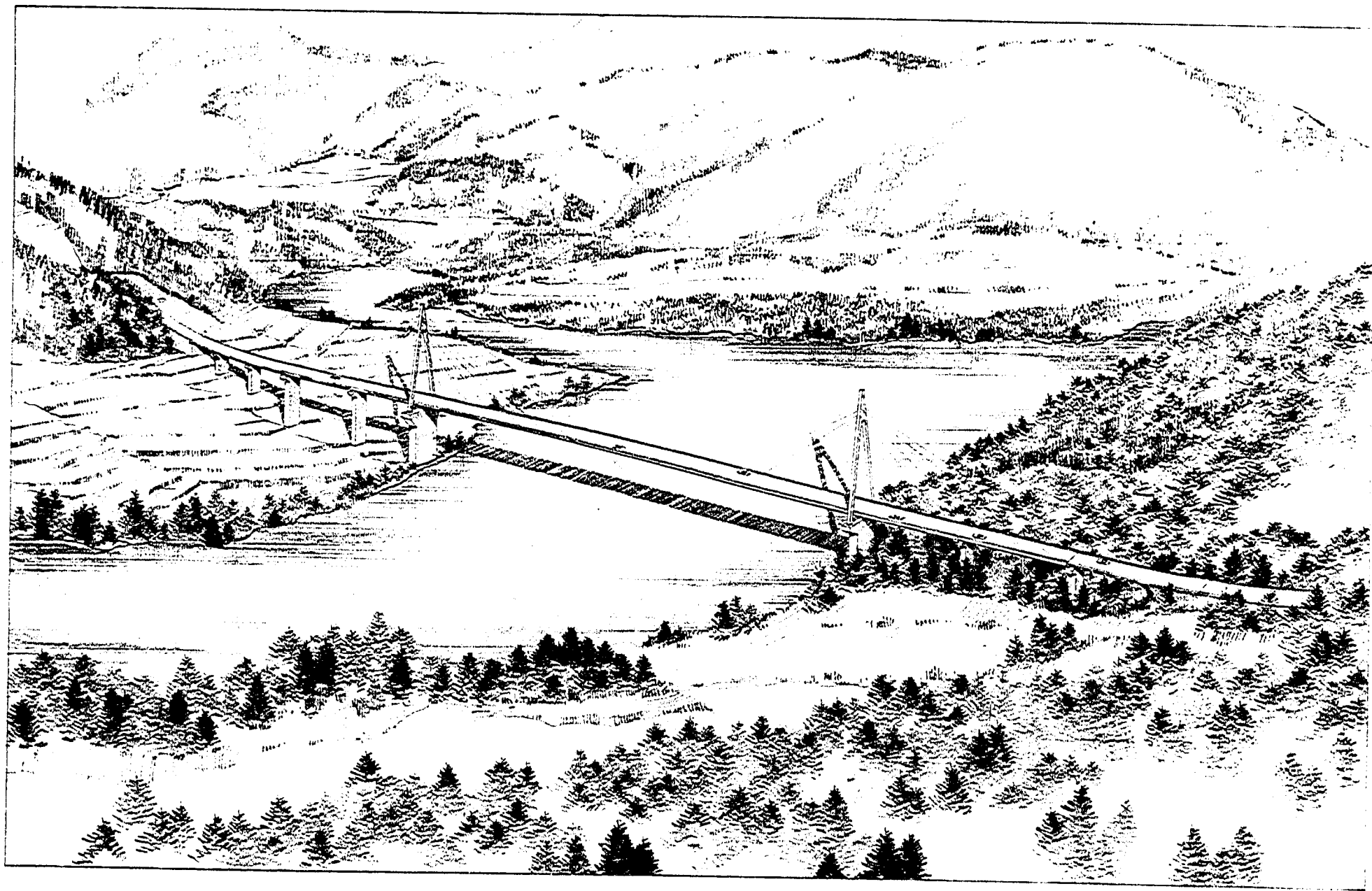


図-2-1 弥栄大橋一般図(その1)

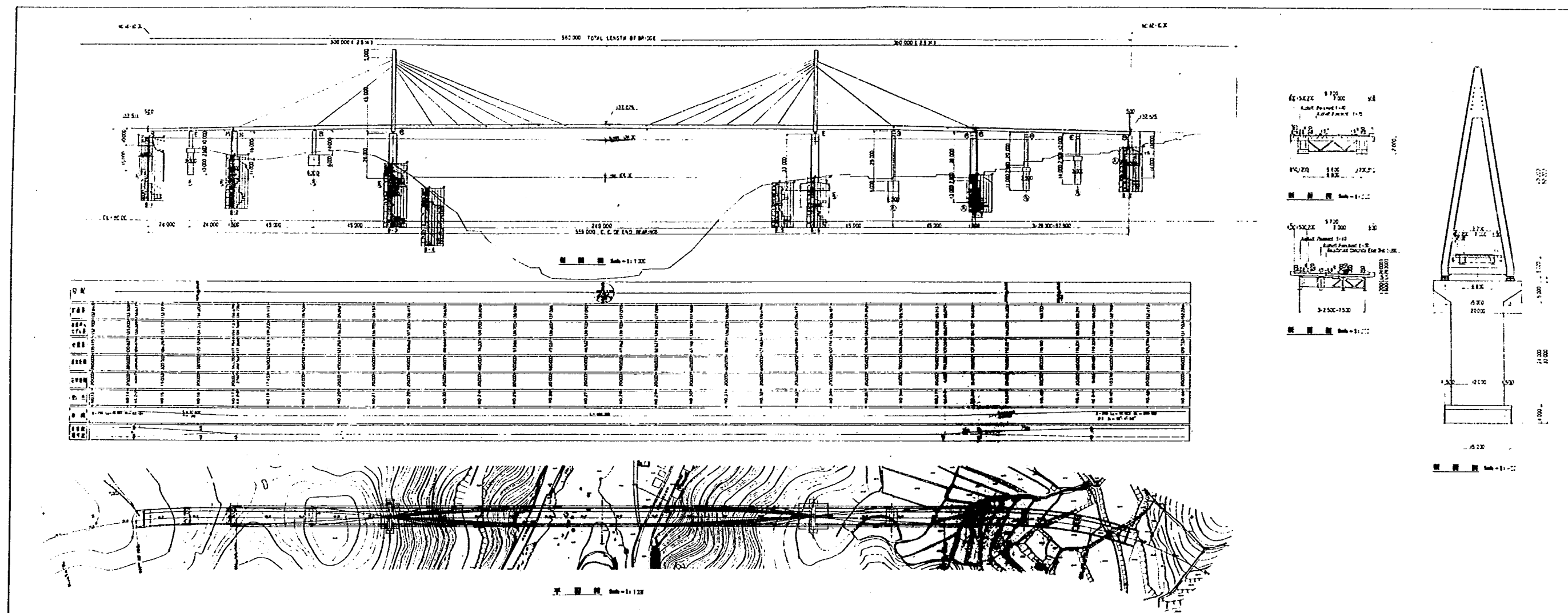


図-2-1 弥栄大橋一般図(その2)

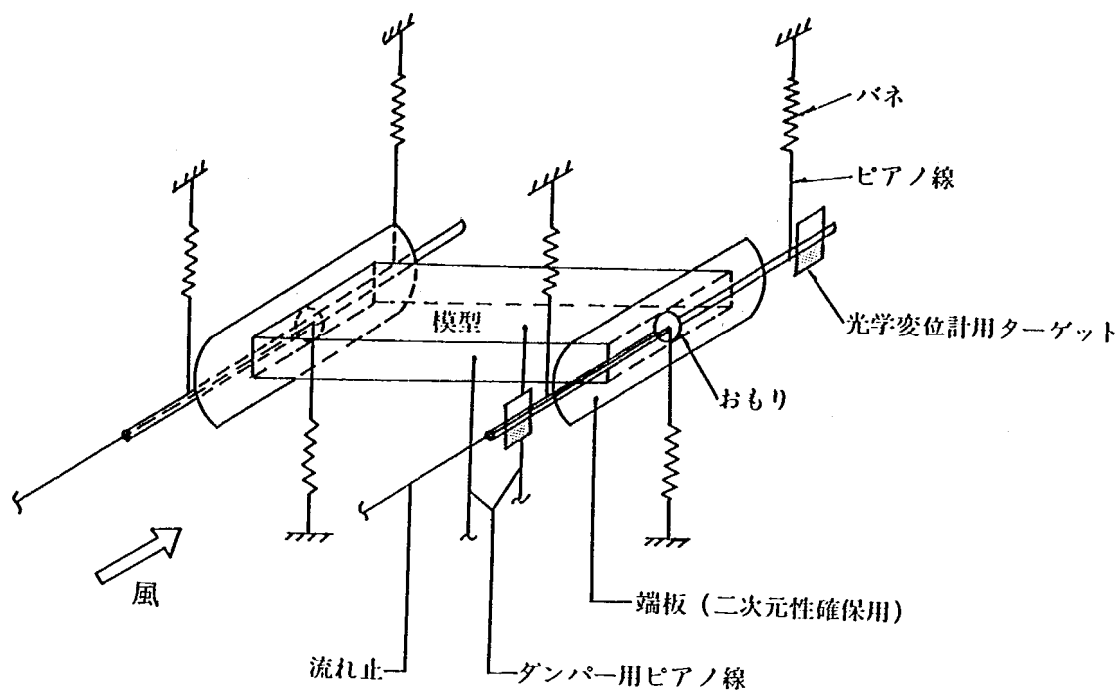
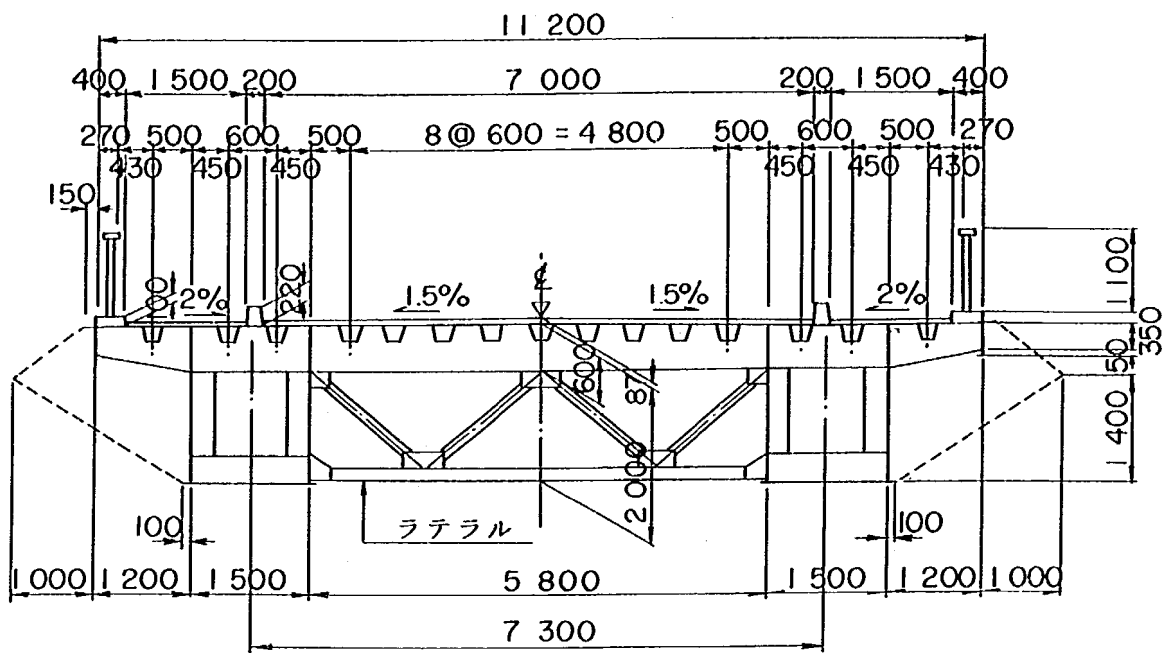
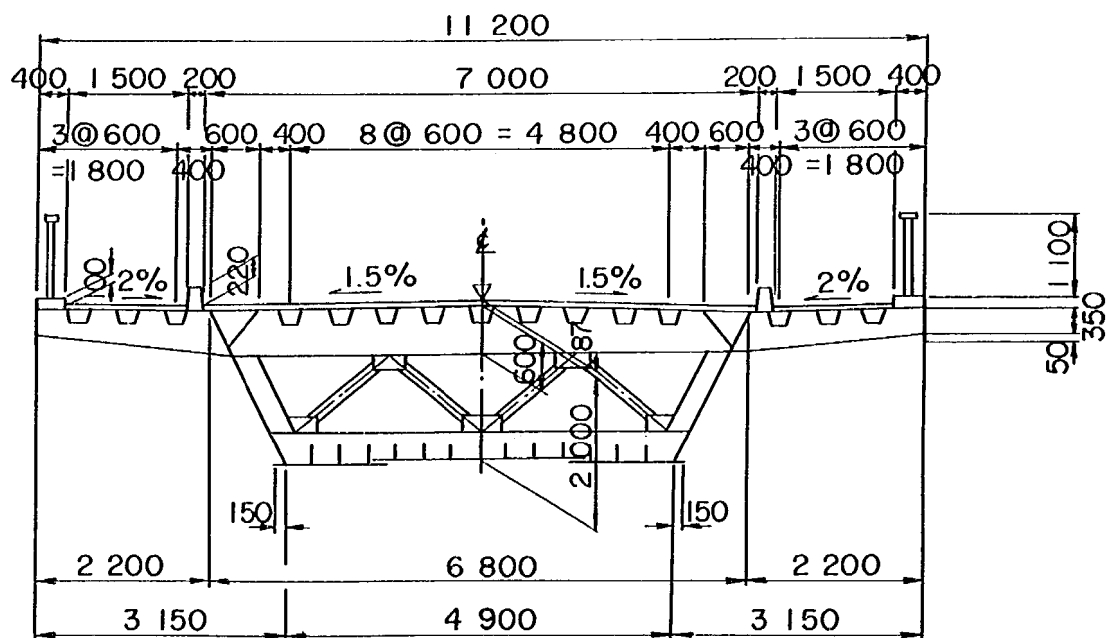


図-3 模型支持方法

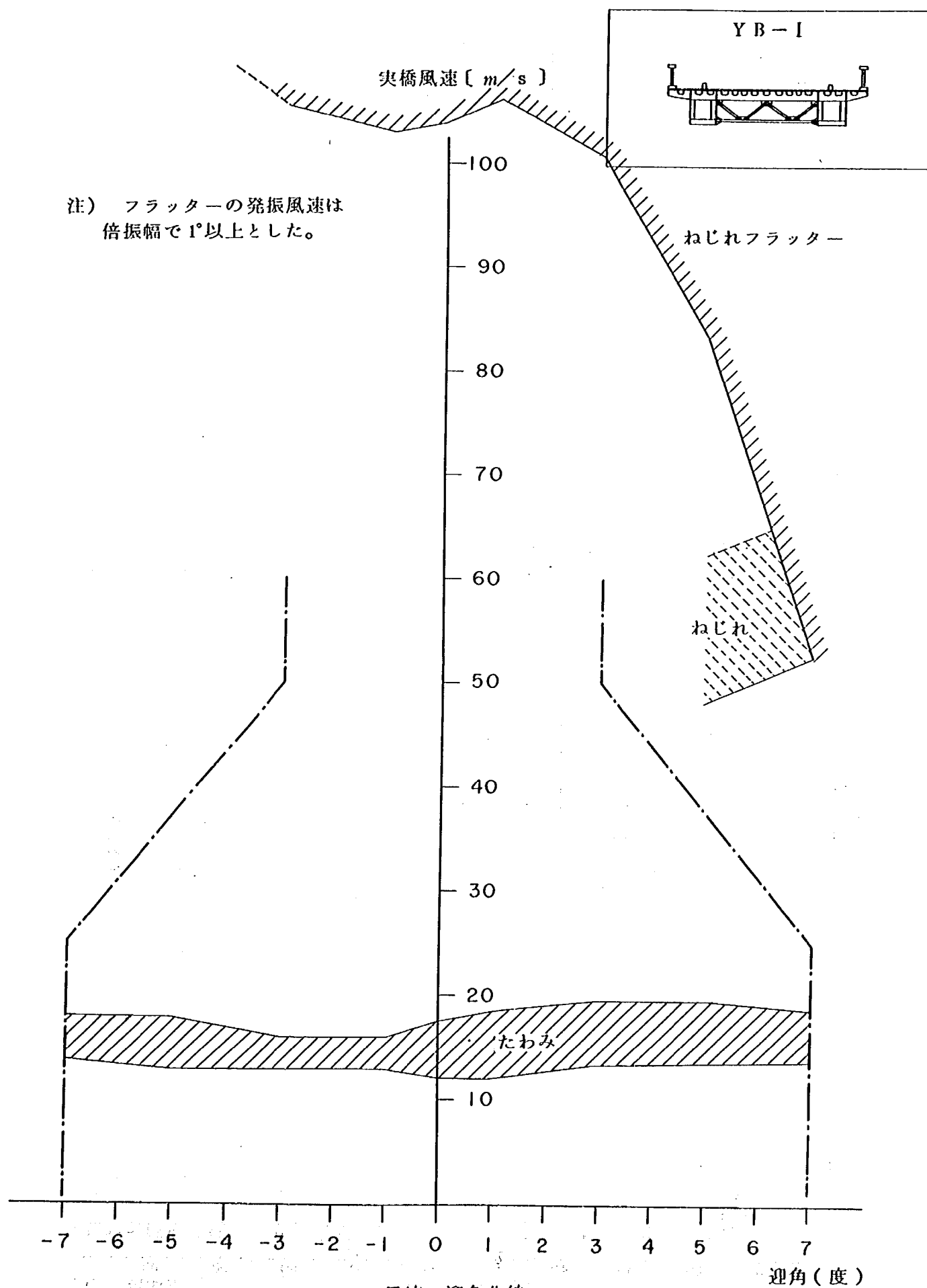


(破線の端整流板付加 YB-I-FA)



注) 模型縮尺は 1 / 30 である。

図-4 弥栄大橋橋桁基本断面図



風速—迎角曲線

図-5 $V_{cr}-\alpha$

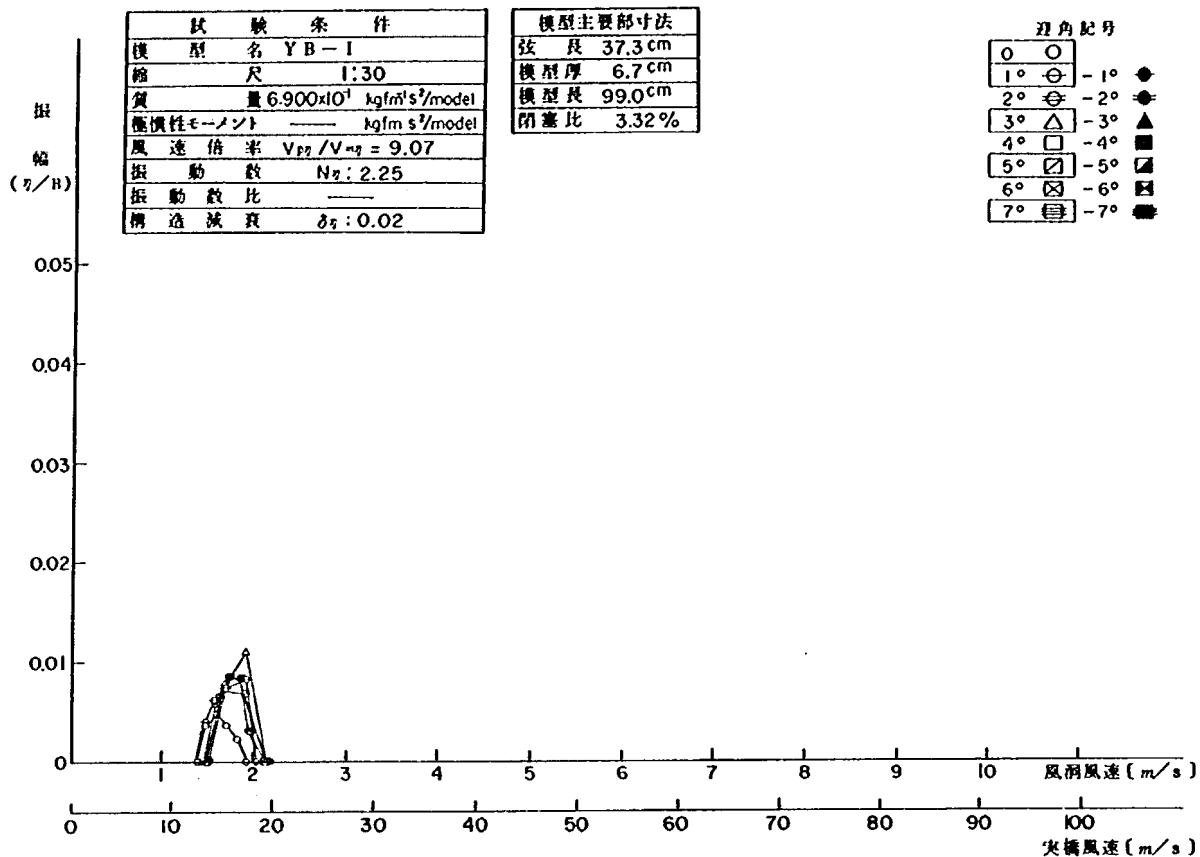


図-6-1 V-A

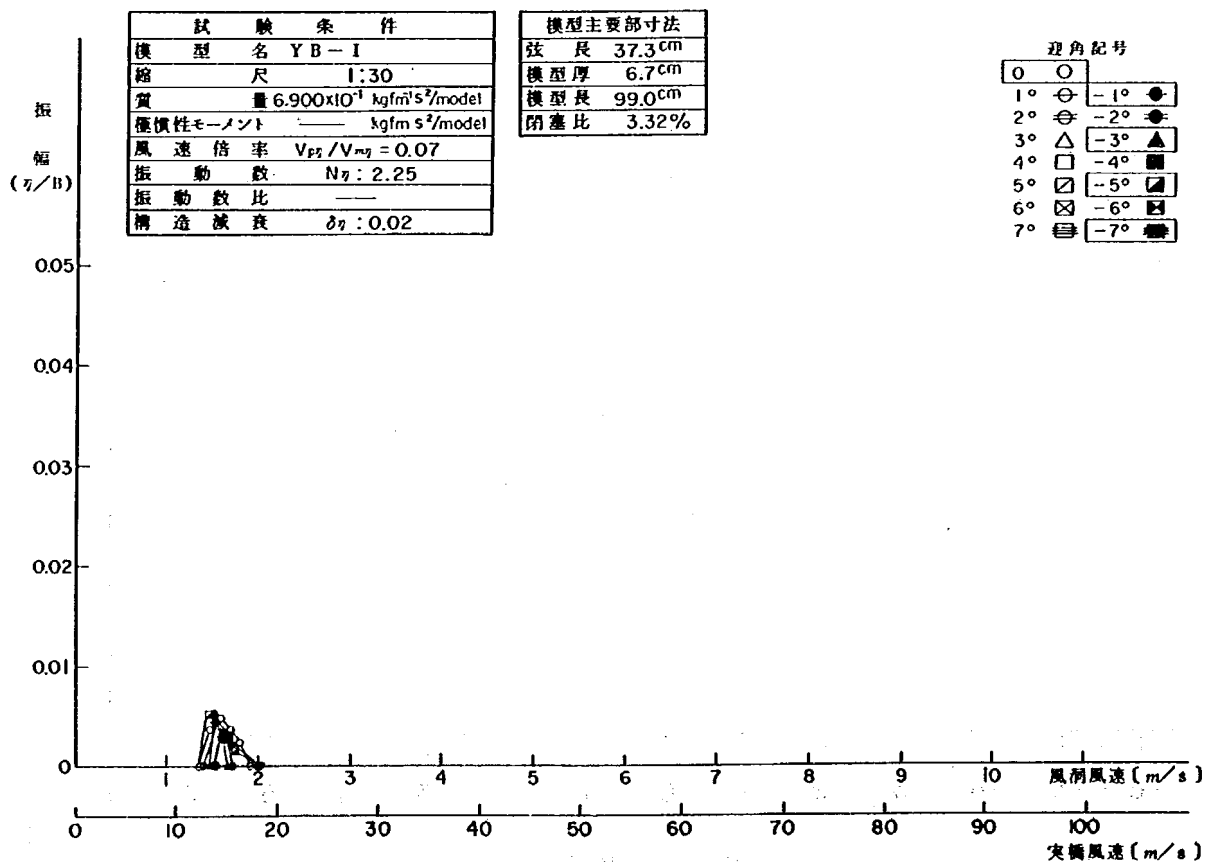


図-6-2 V-A

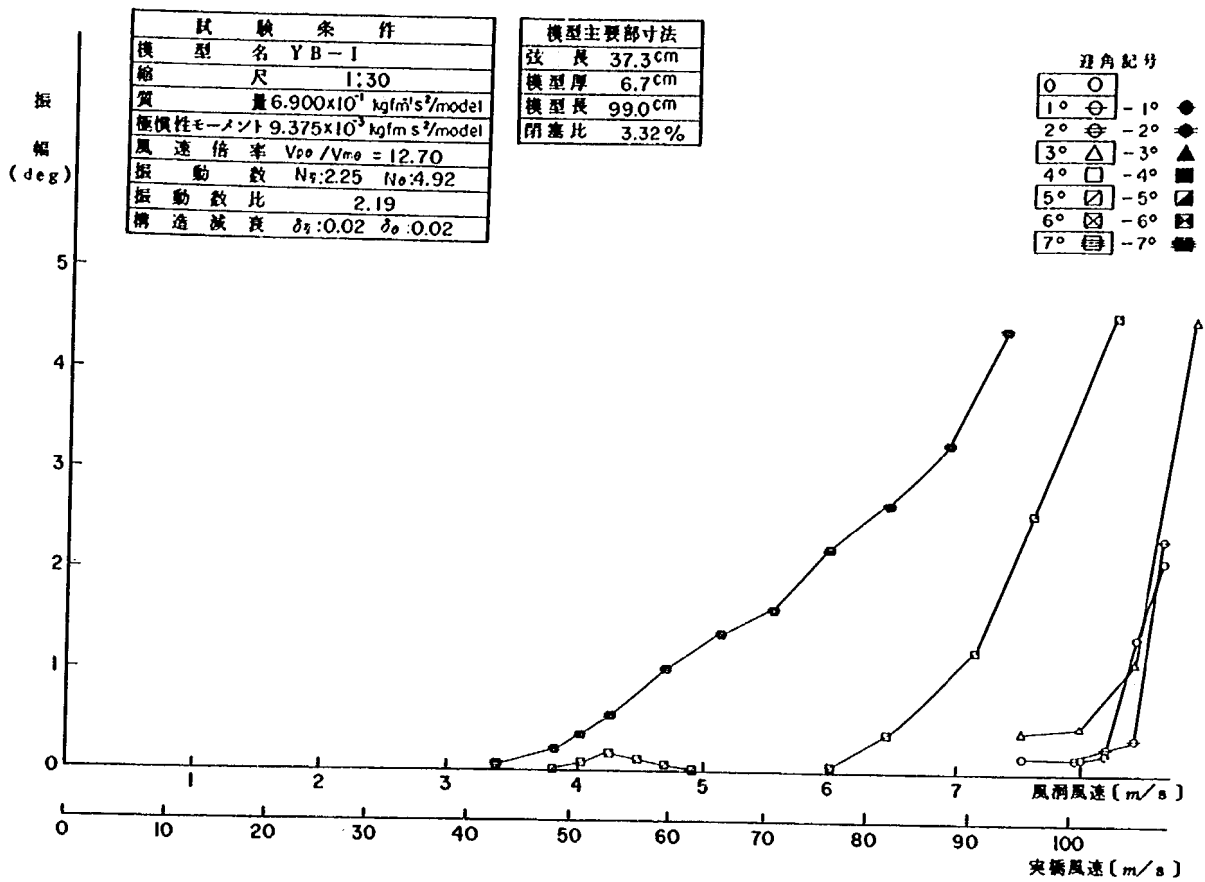


図-6-3 V-A

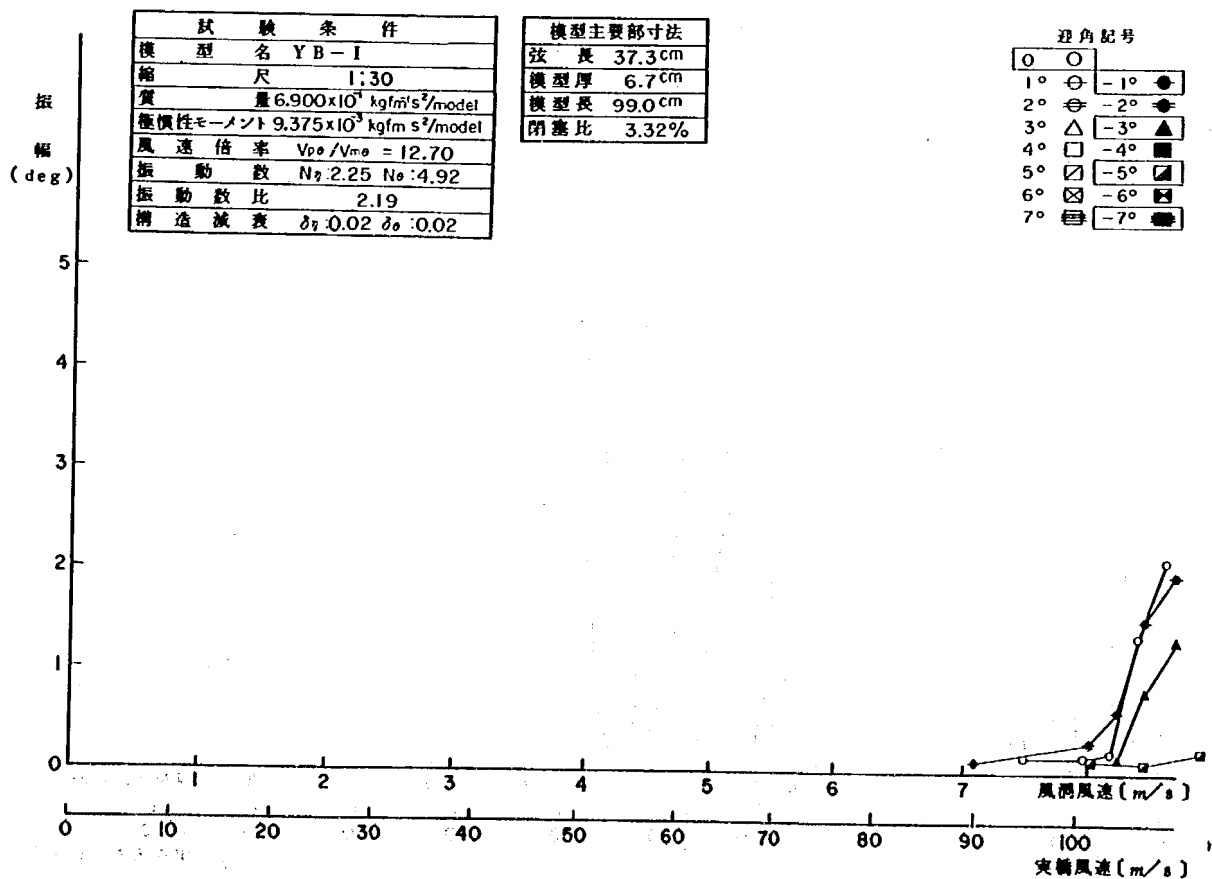


図-6-4 V-A

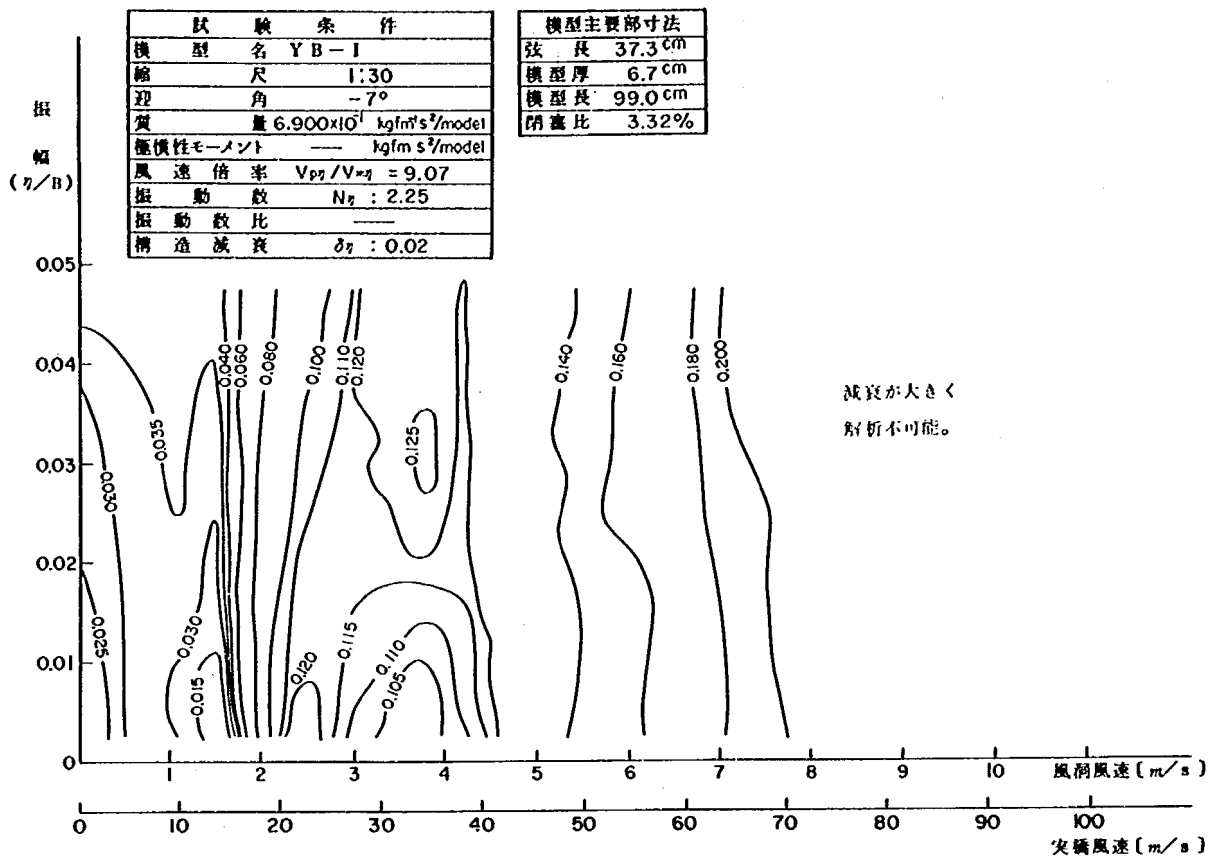


図-7-1 $V-A-\delta$

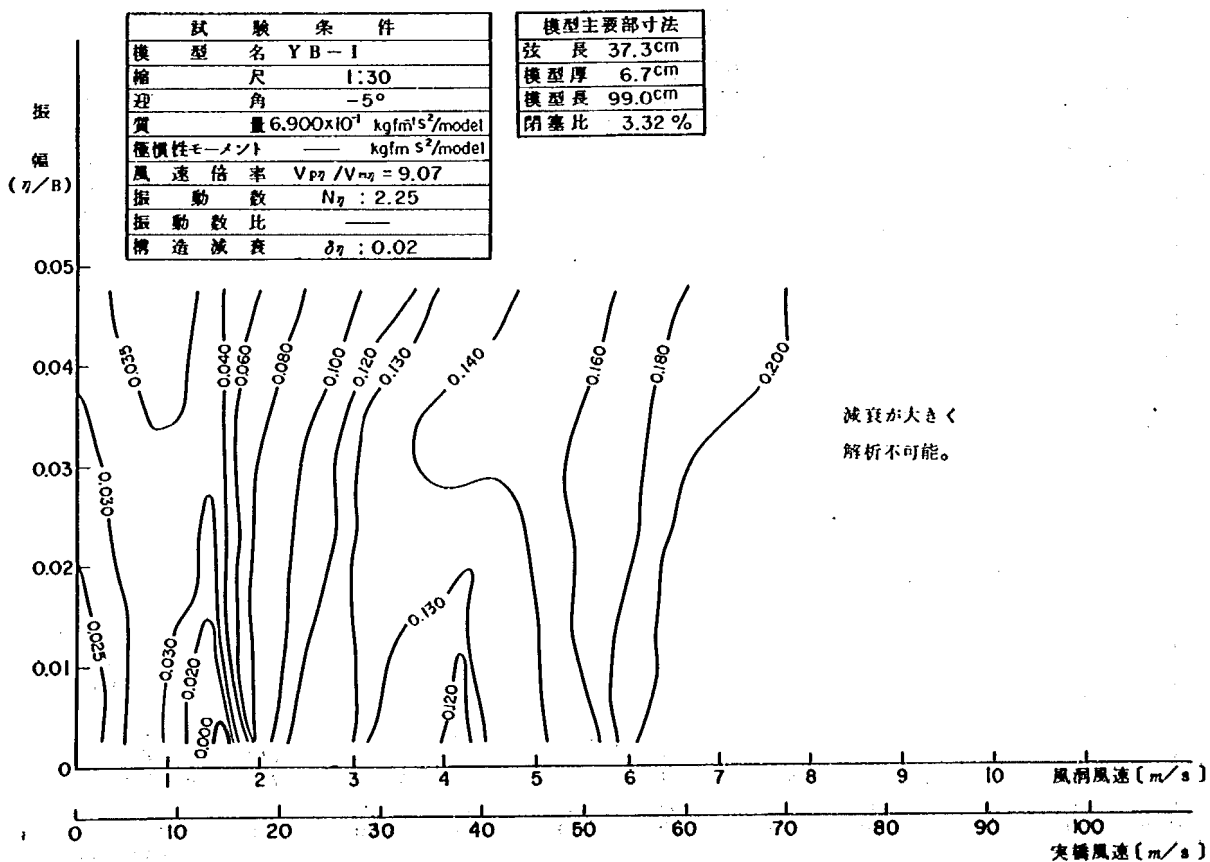


図-7-2 $V-A-\delta$

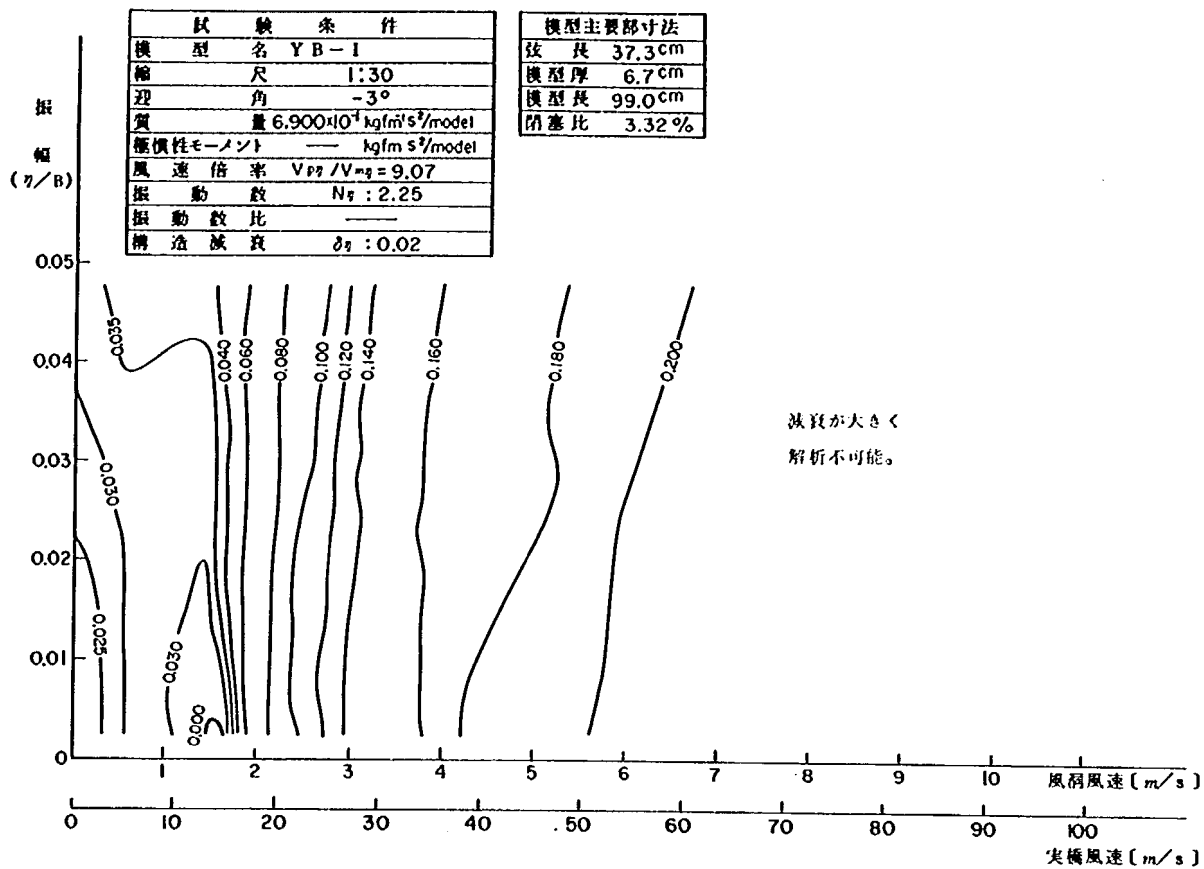


図-7-3 $V-A-\delta$

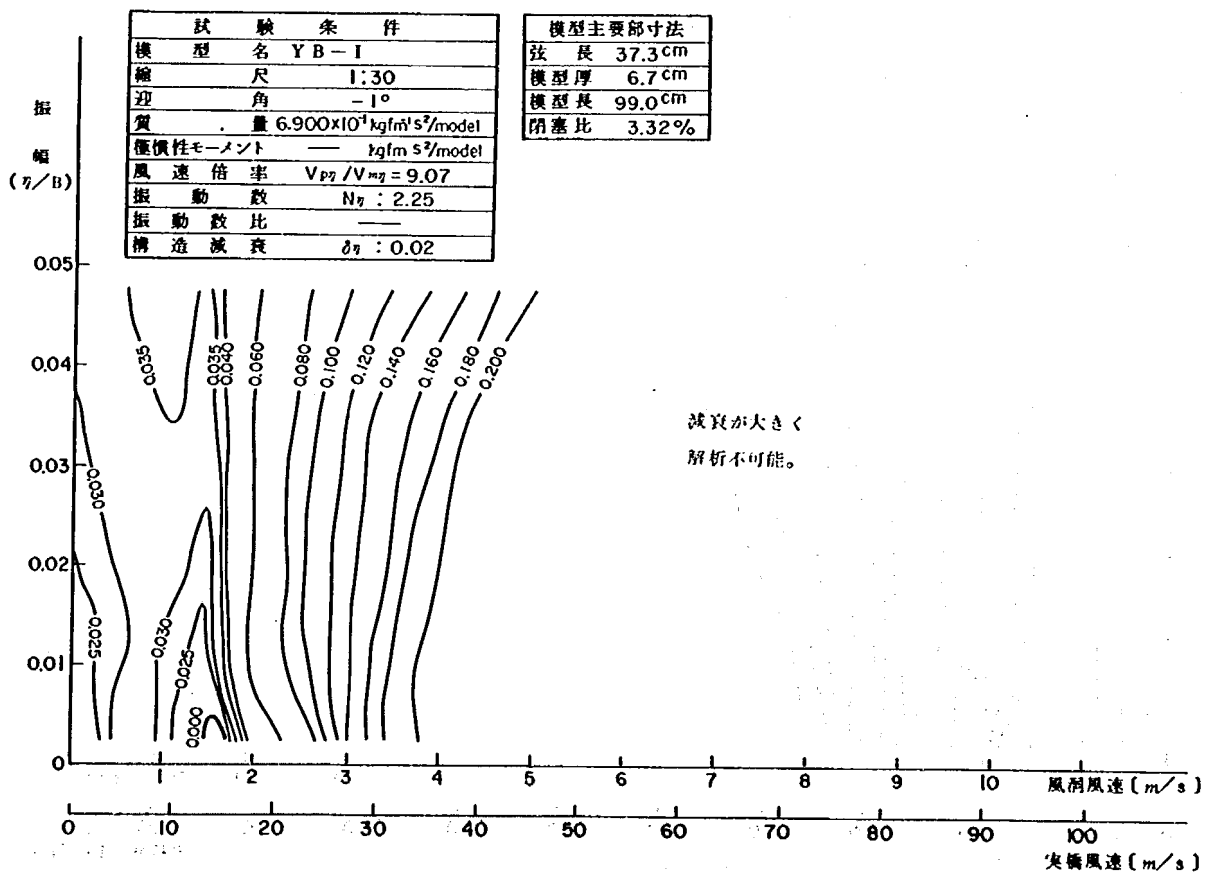


図-7-4 $V-A-\delta$

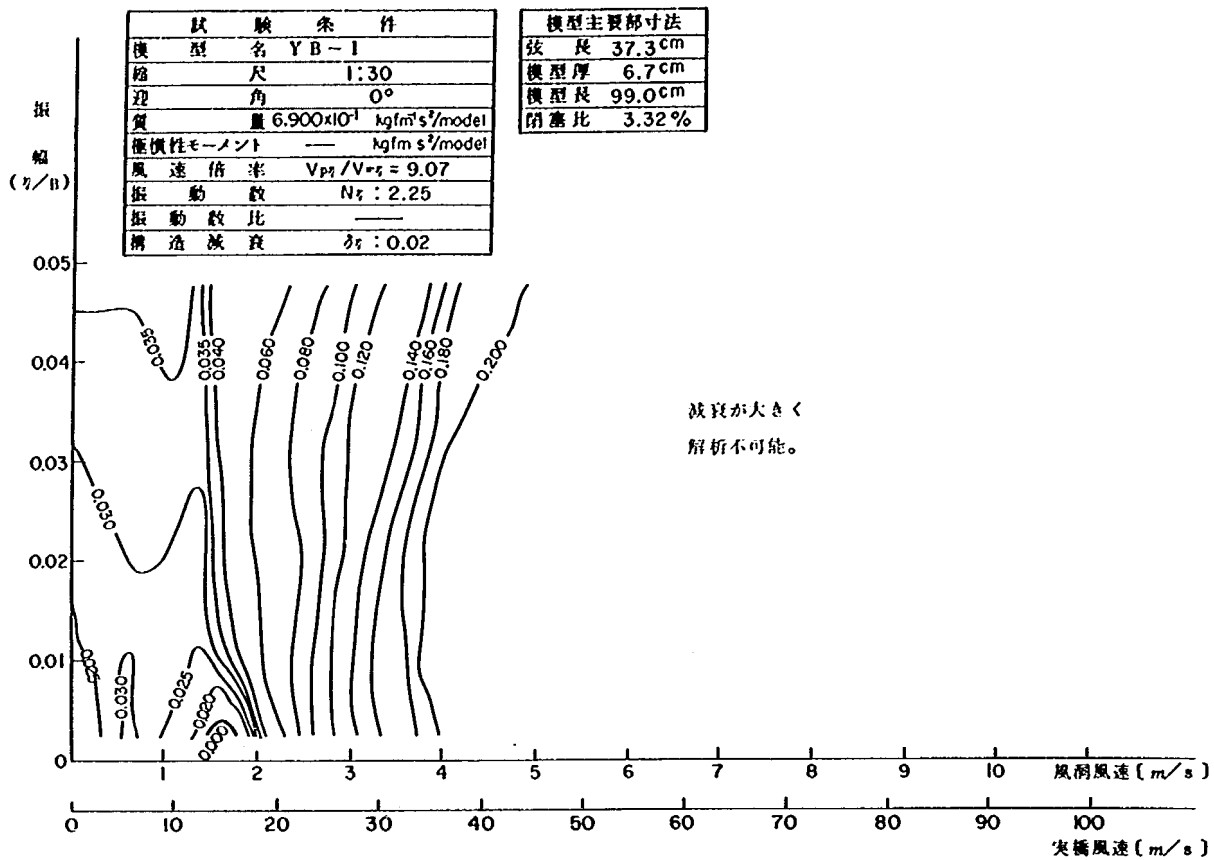


図-7-5 $V-A-\delta$

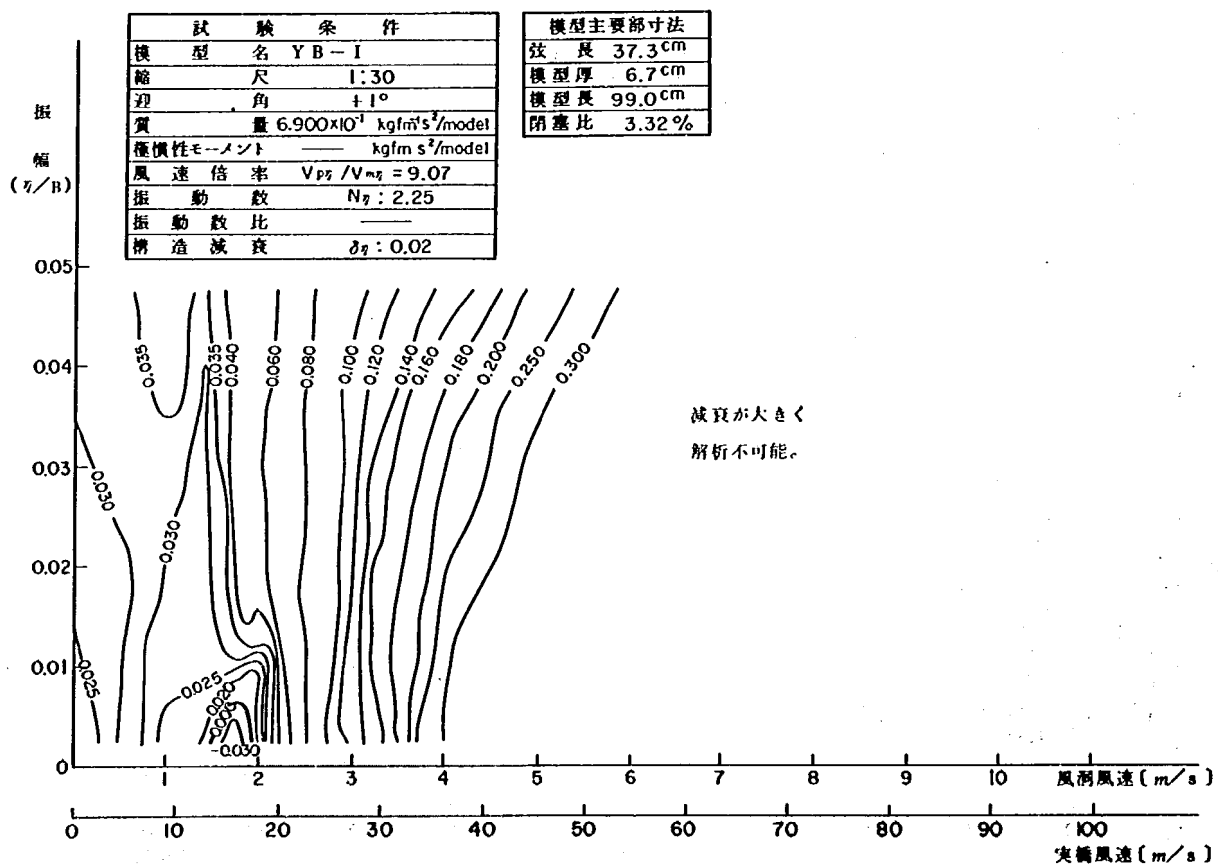


図-7-6 $V-A-\delta$

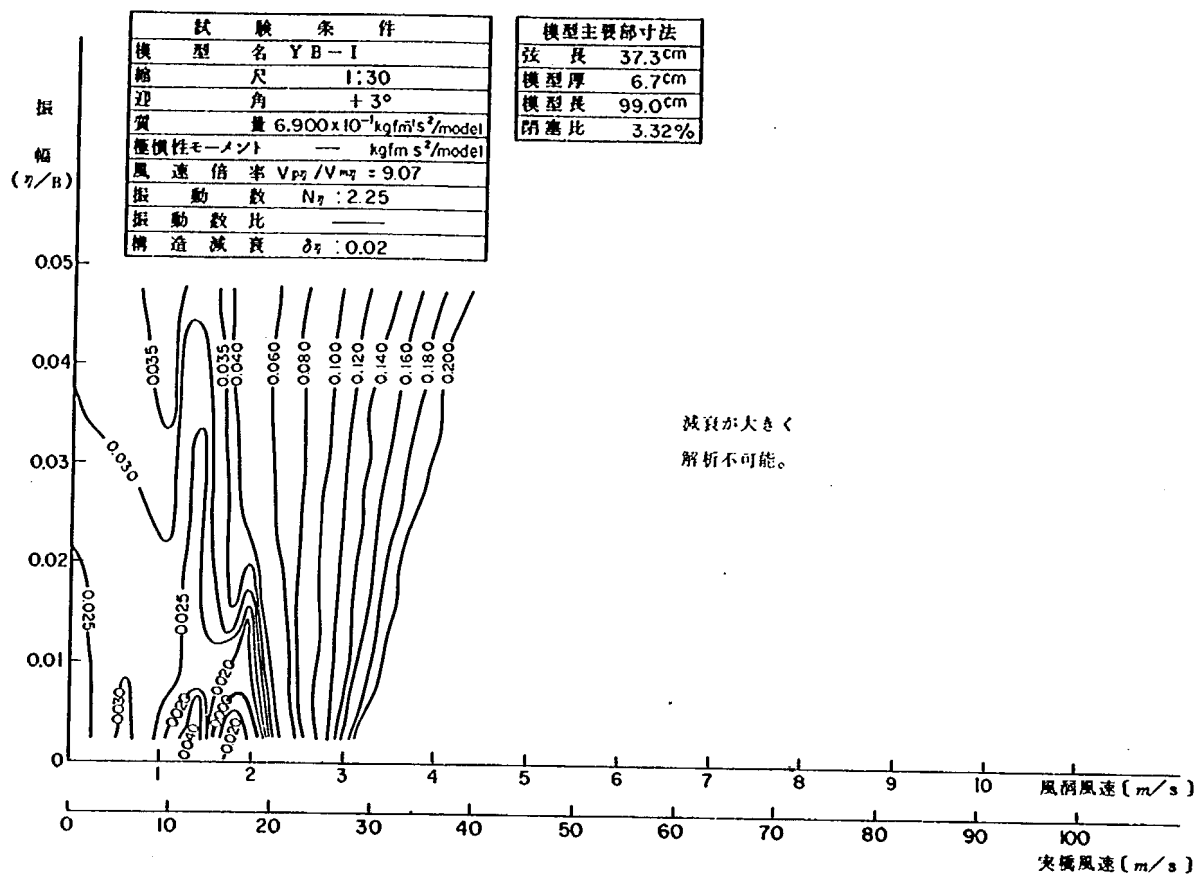


図-7-7 $V-A-\delta$

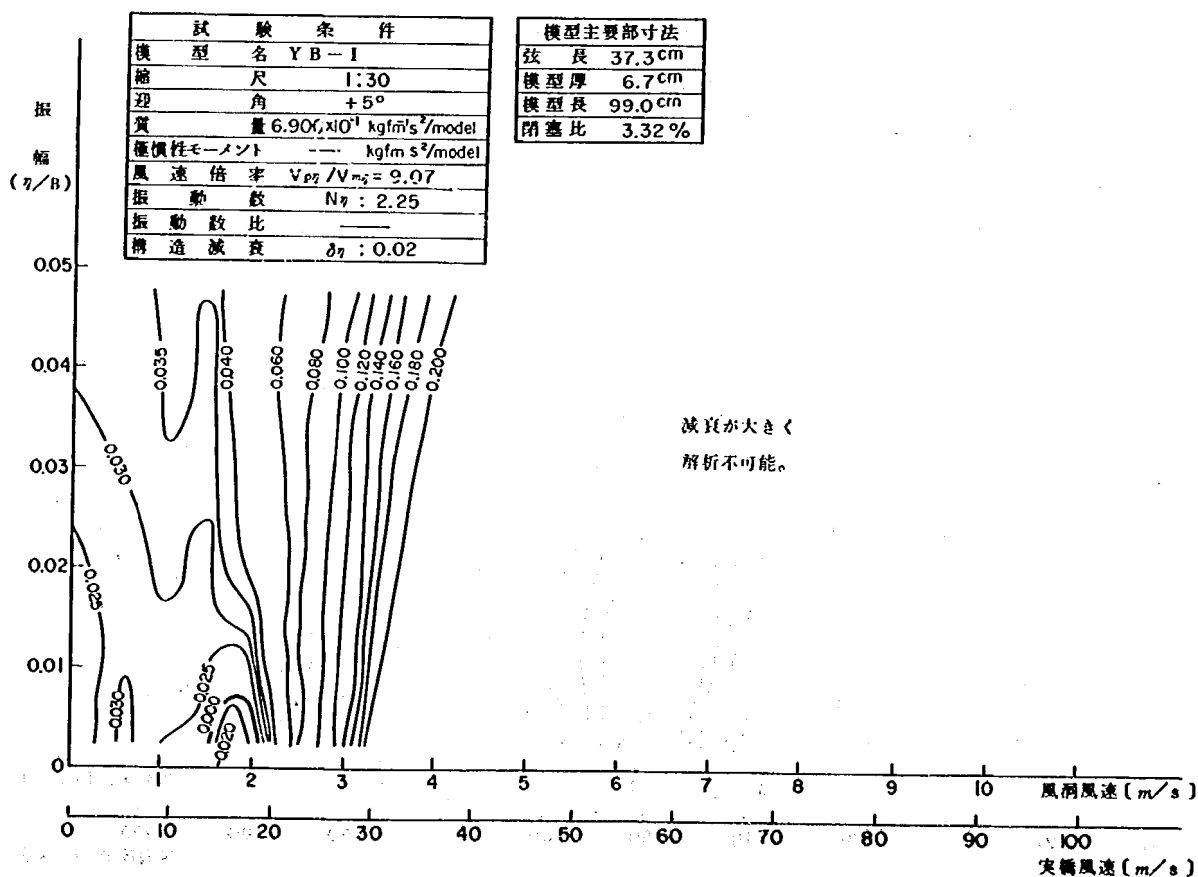


図-7-8 $V-A-\delta$

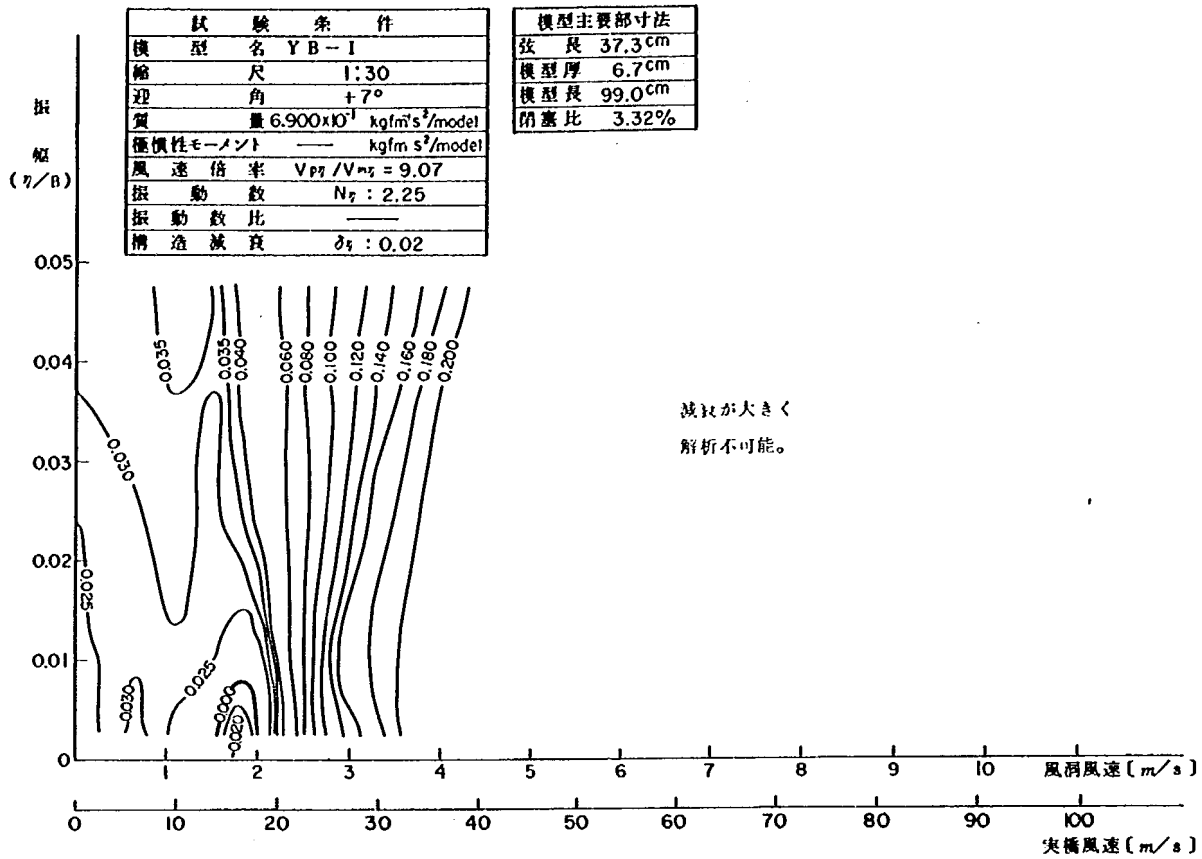


図-7-9 V-A- δ

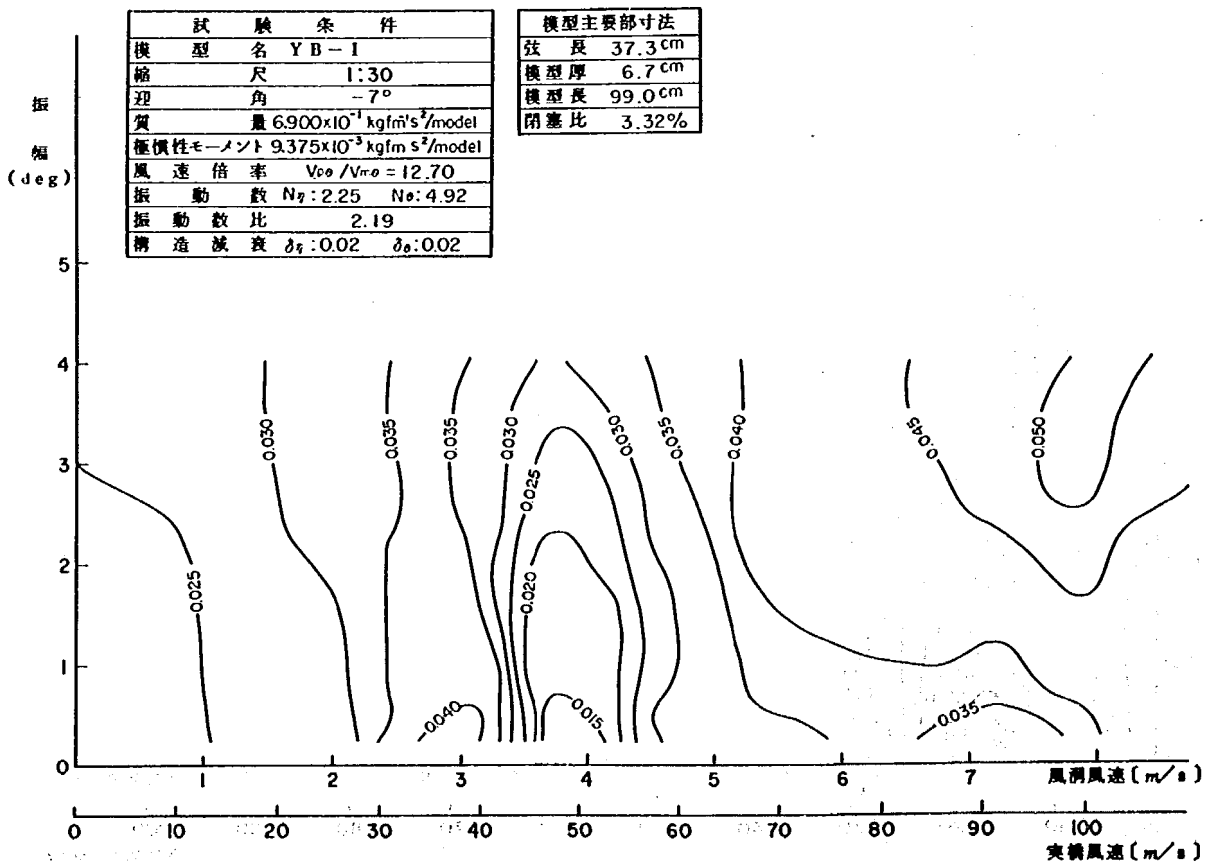


図-7-10 V-A- δ

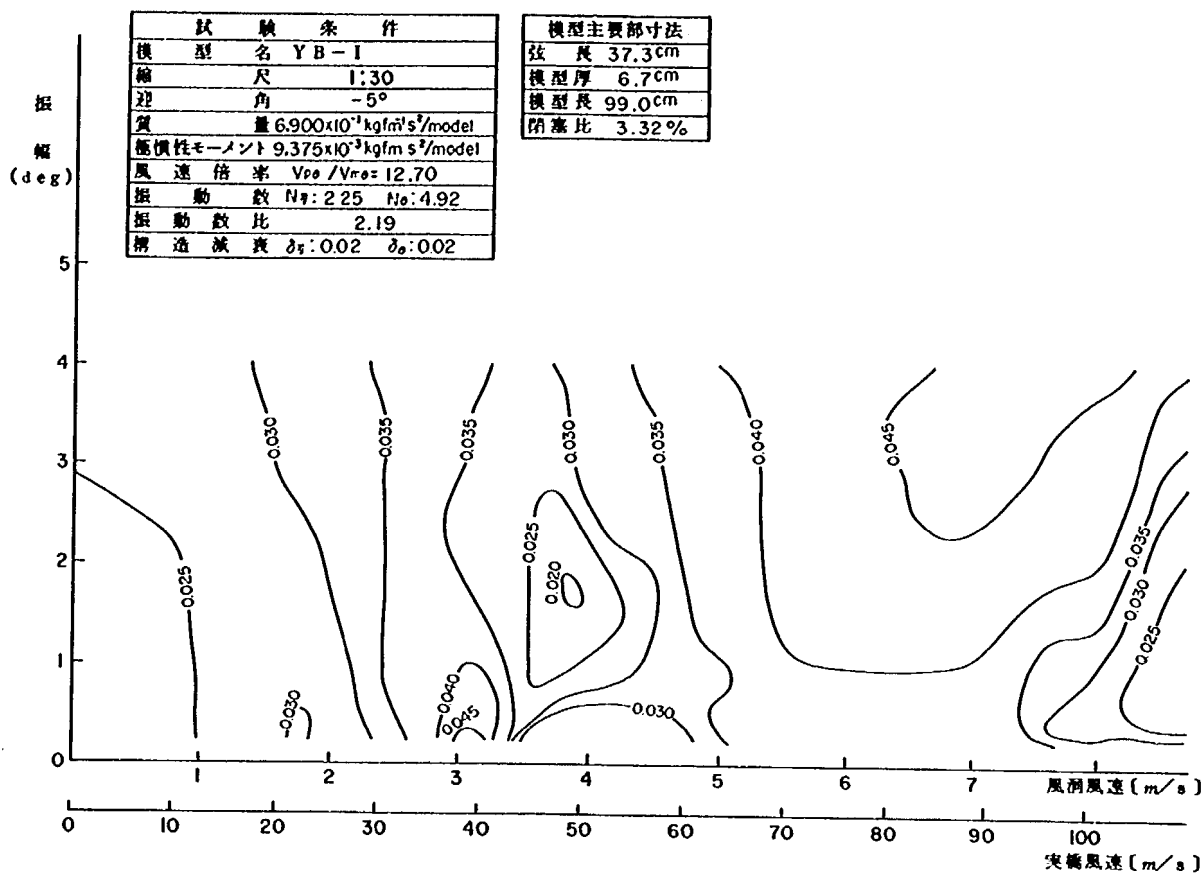


図-7-11 $V-A-\delta$

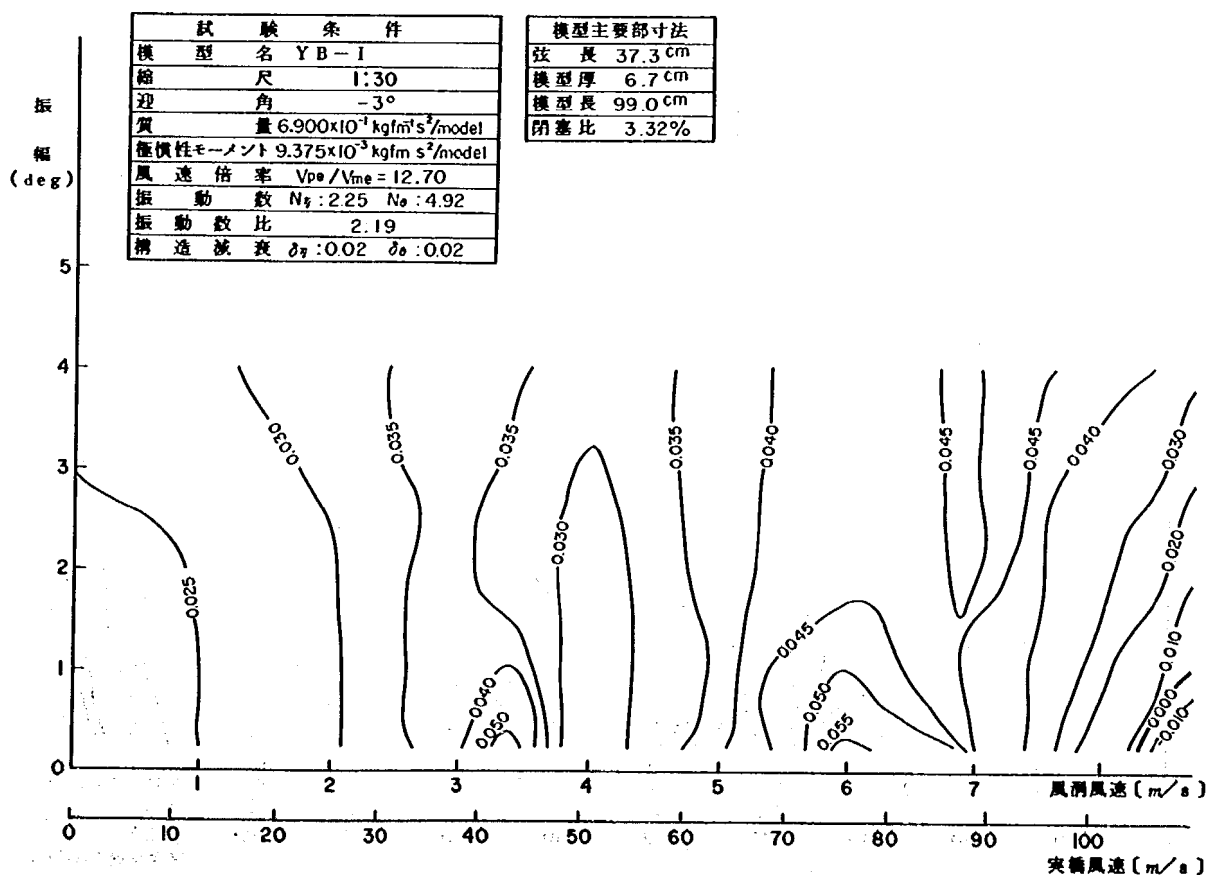


図-7-12 $V-A-\delta$

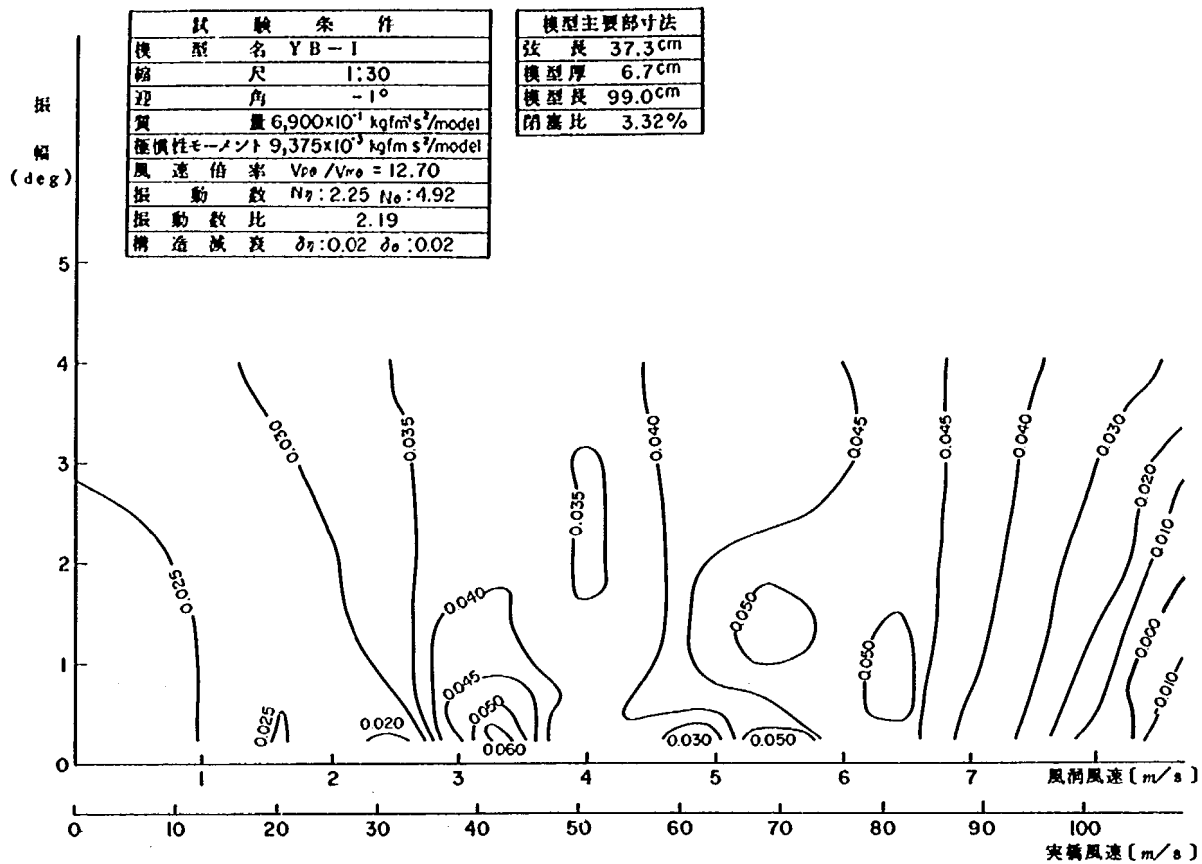


図-7-13 $V-A-\delta$

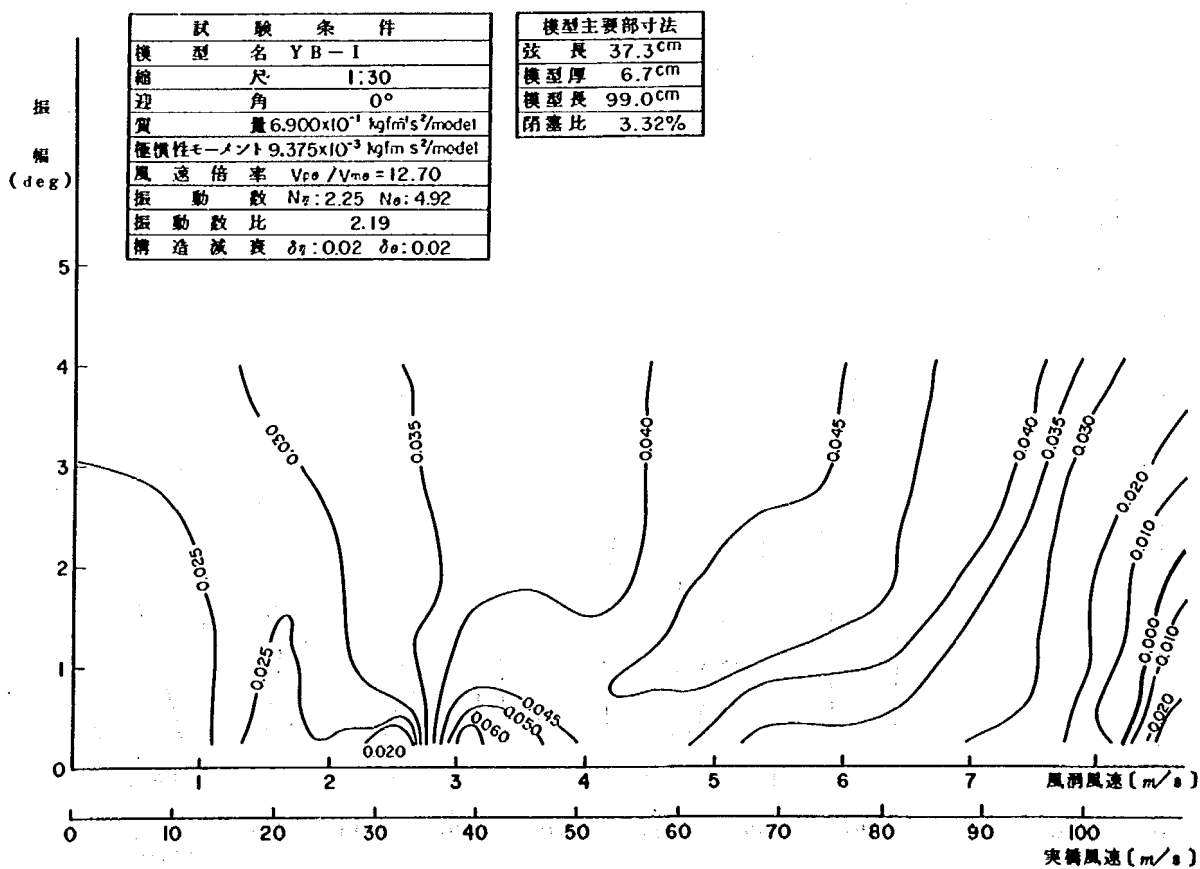


図-7-14 $V-A-\delta$

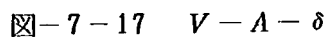
模型主要部寸法	
弦 長	37.3cm
模型厚	6.7cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%



模型主要部寸法	
弦 長	37.3 cm
模型厚	6.7 cm
模型長	99.0 cm
閉塞比	3.32%



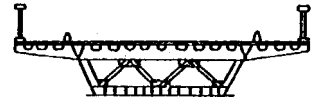
機型主要部寸法	
弦長	37.3 cm
模型厚	6.7 cm
模型長	99.0 cm
閉塞比	3.32%



機型主要部寸法	
弦長	37.3cm
模型厚	6.7cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%

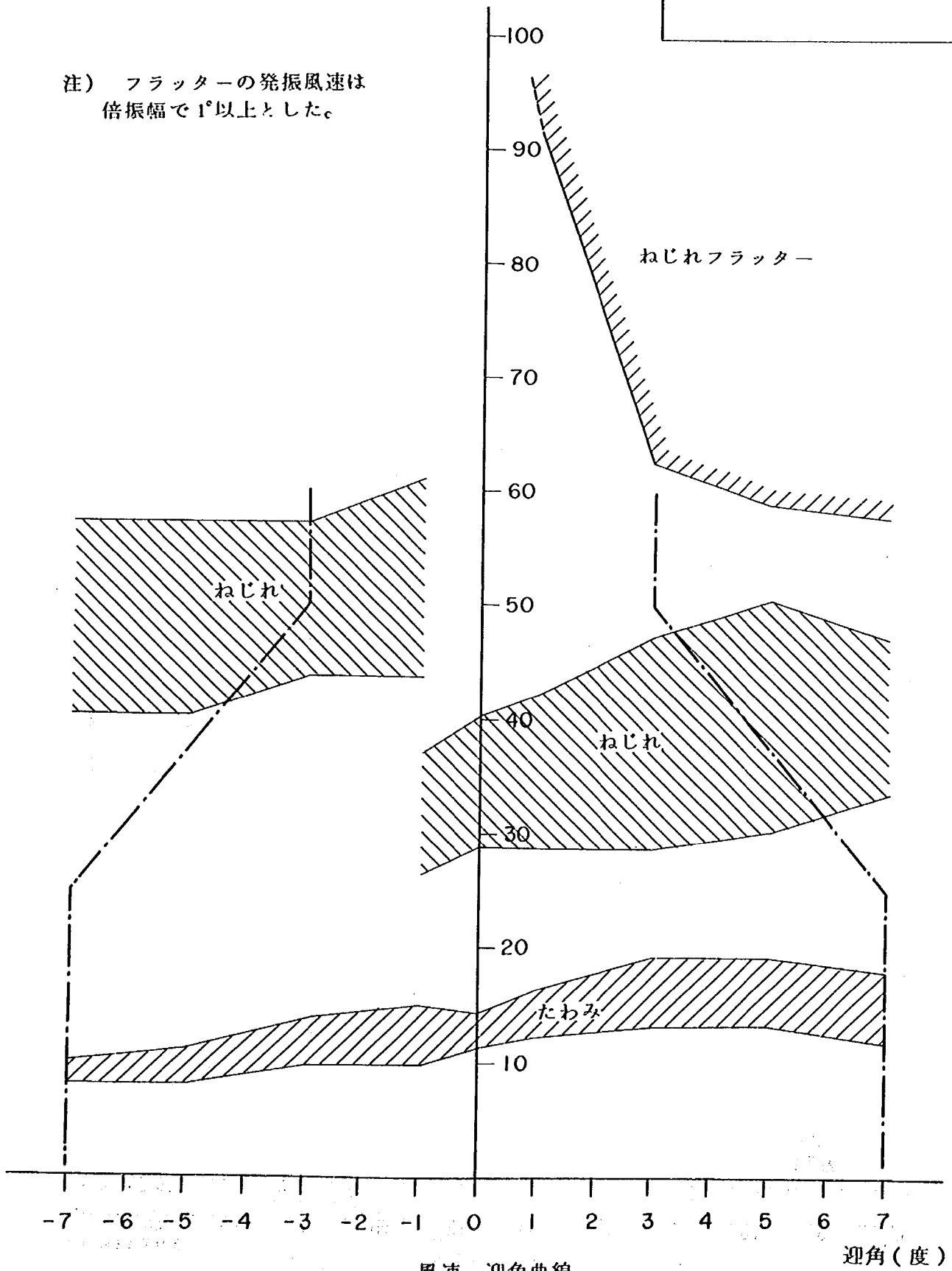


Y B - II



実橋風速 [m/s]

注) フラッターの発振風速は
倍振幅で1°以上とした。



風速—迎角曲線
図—8 $V_{cr} - \alpha$

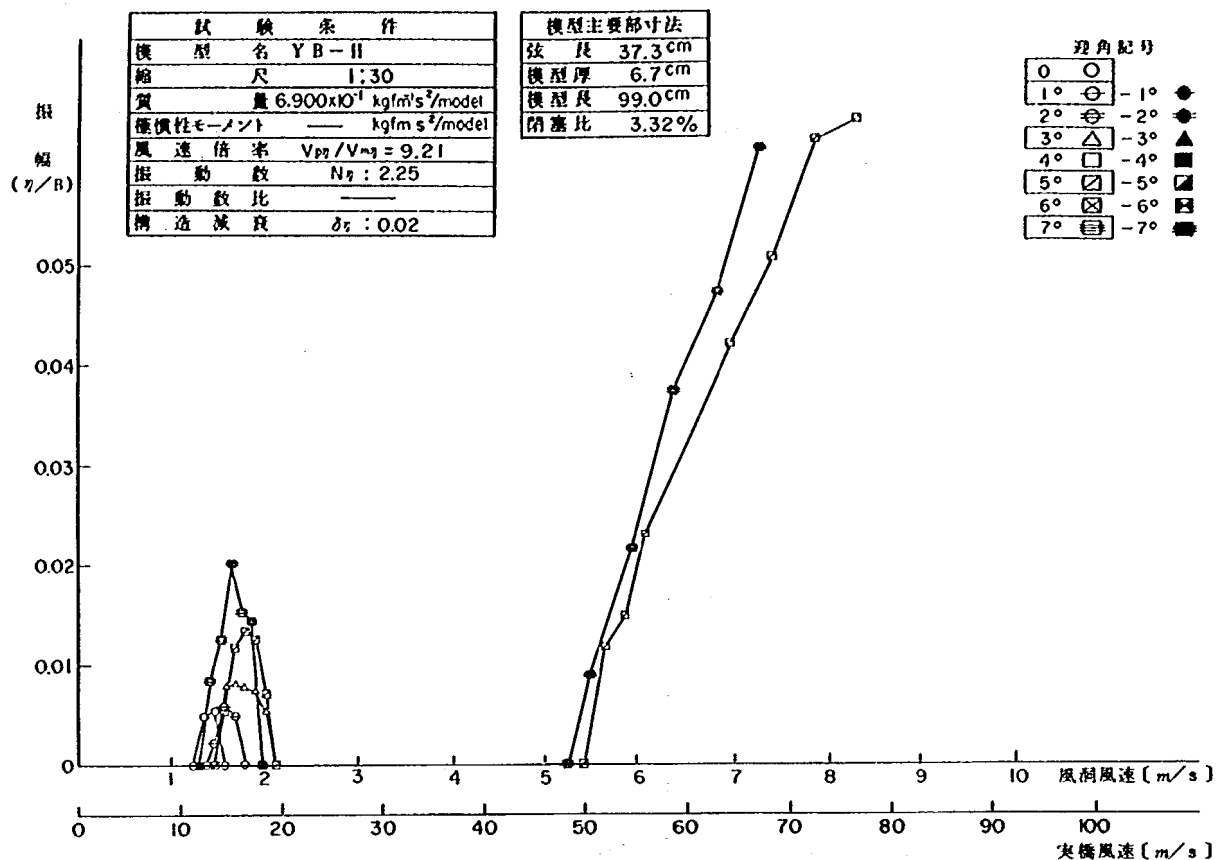


図-9-1 V-A

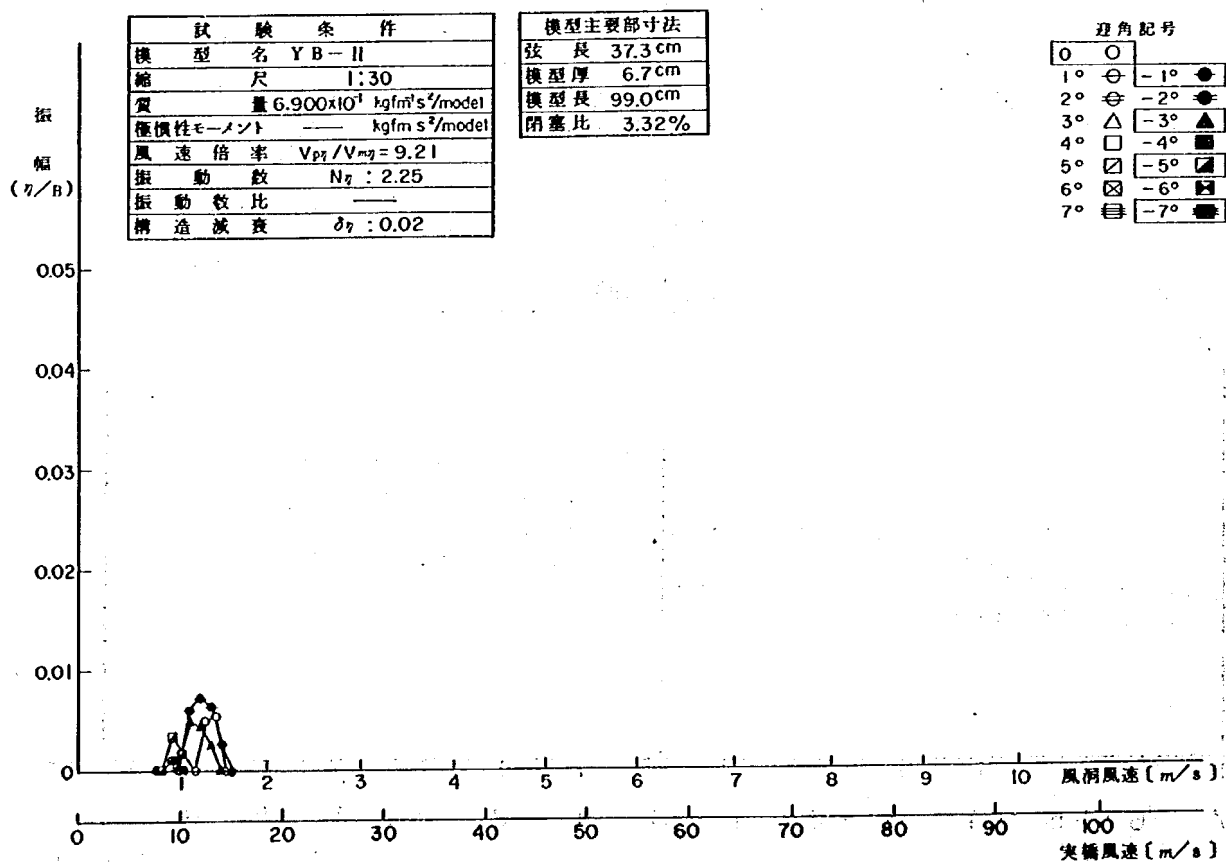


図-9-2 V-A

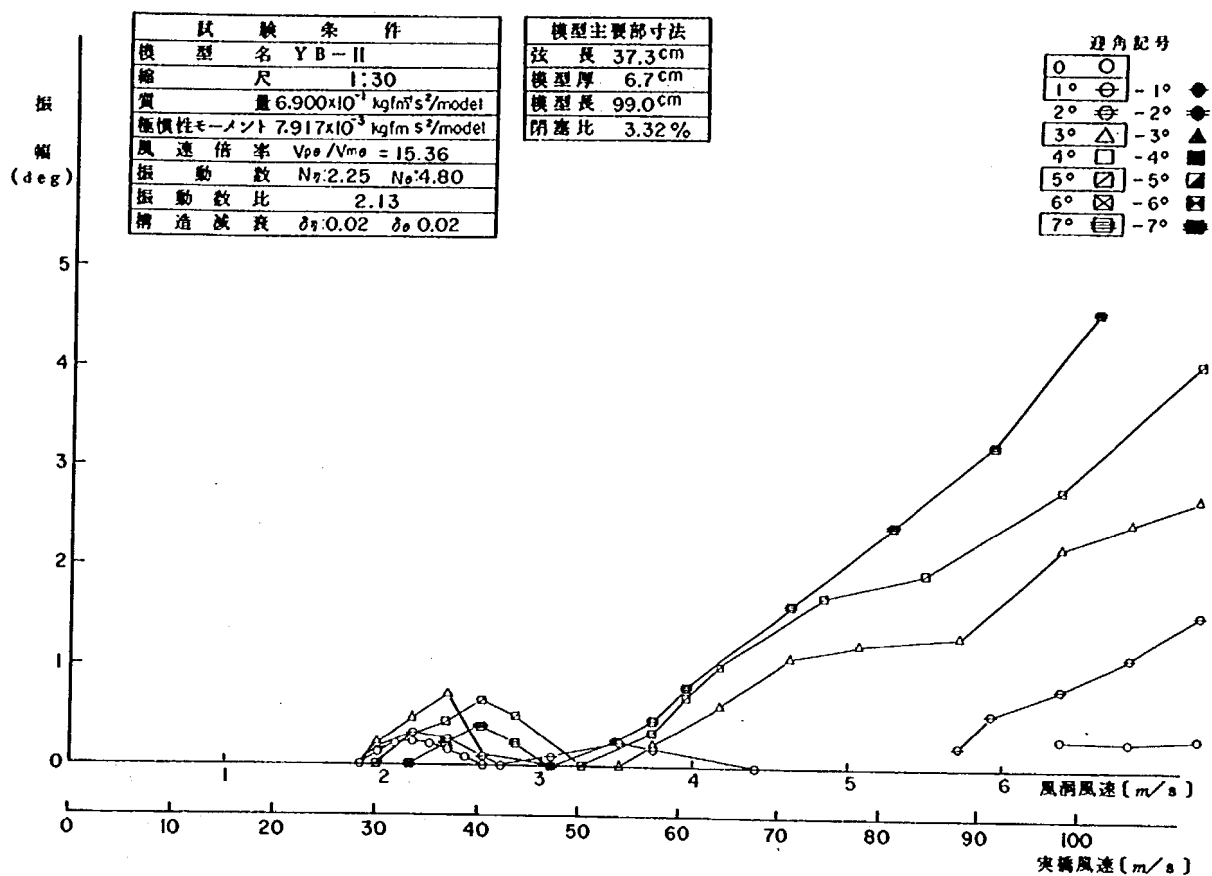


図-9-3 V-A

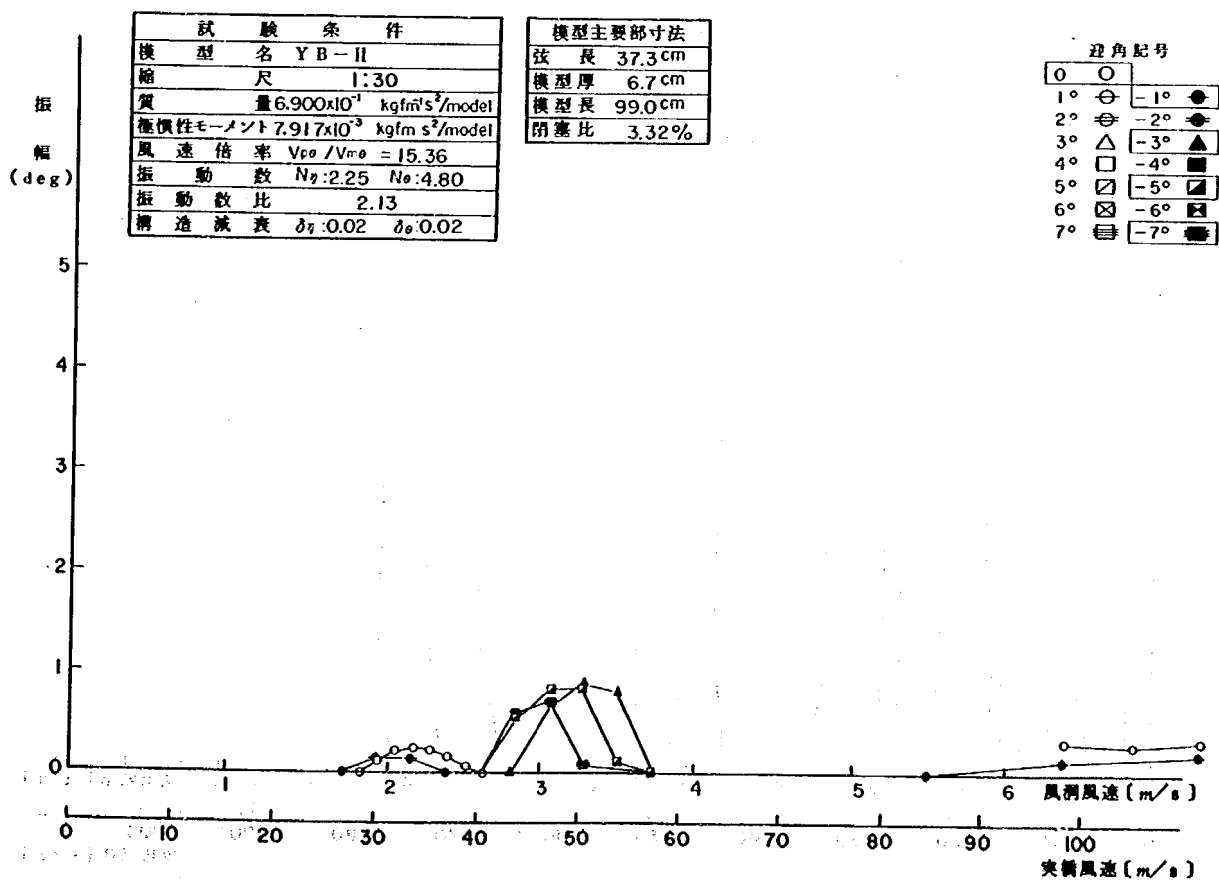


図-9-4 V-A

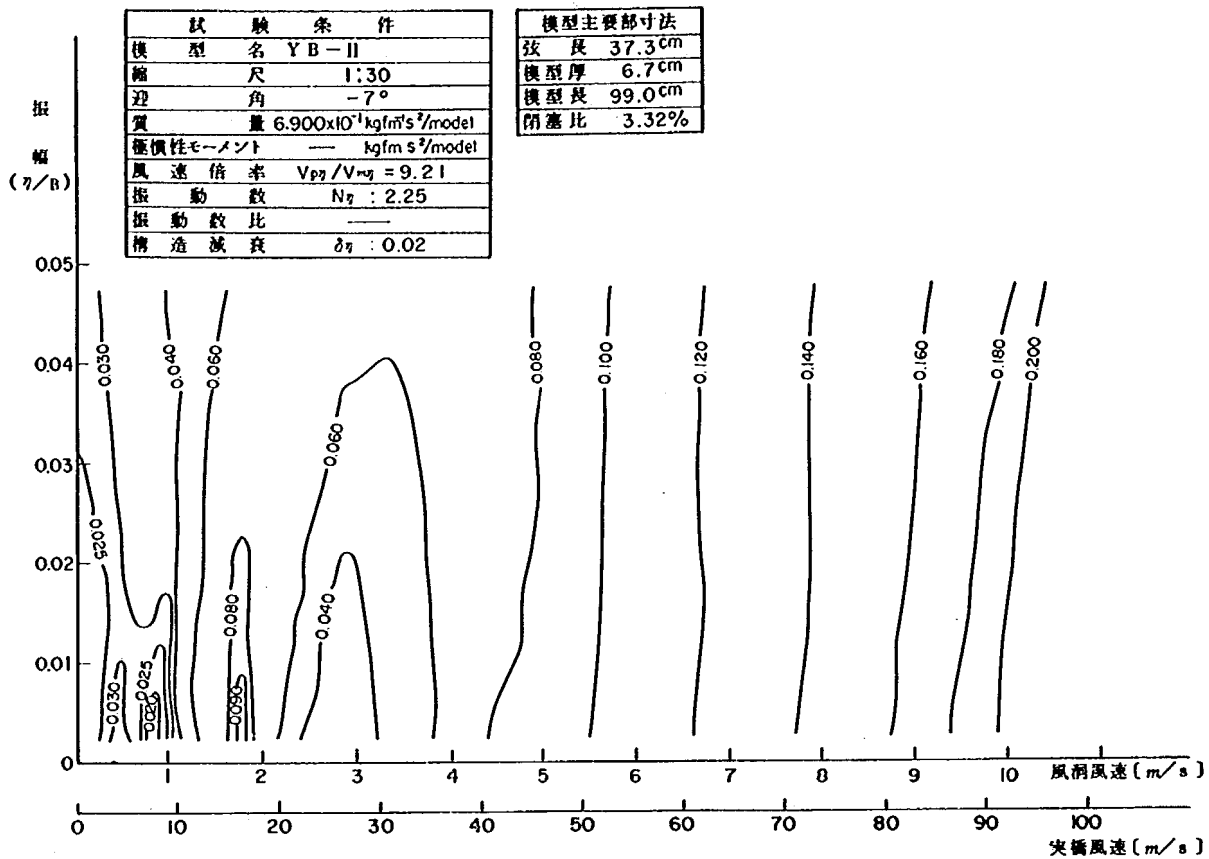


図-10-1 $V-A-\delta$

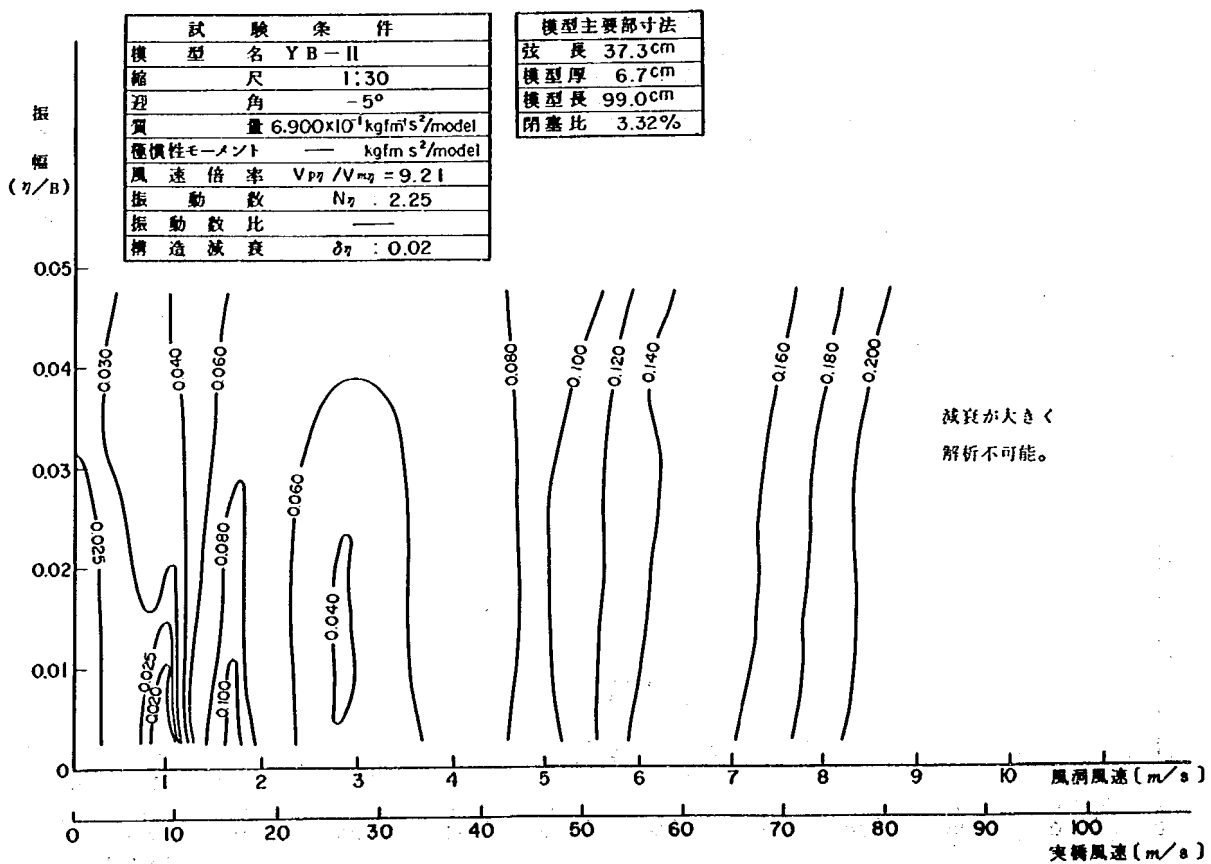


図-10-2 $V-A-\delta$

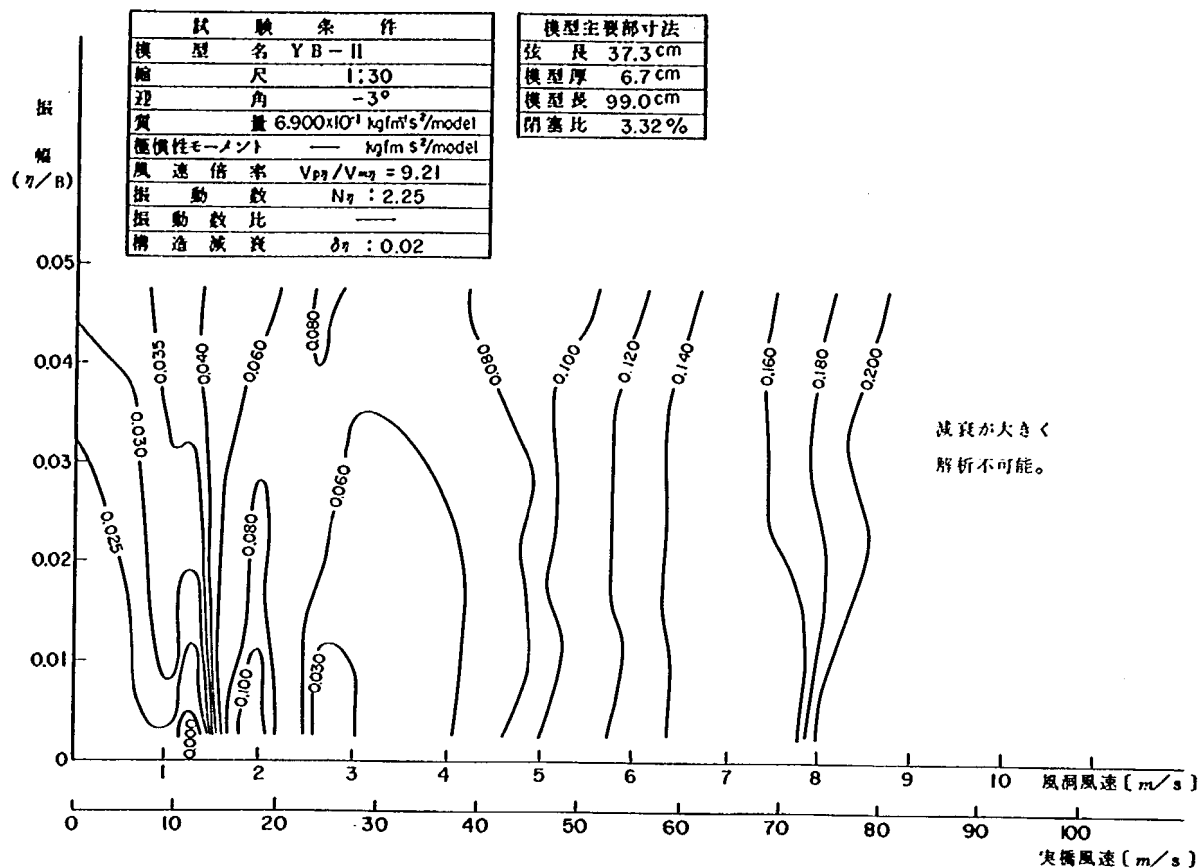


図-10-3 $V - A - \delta$

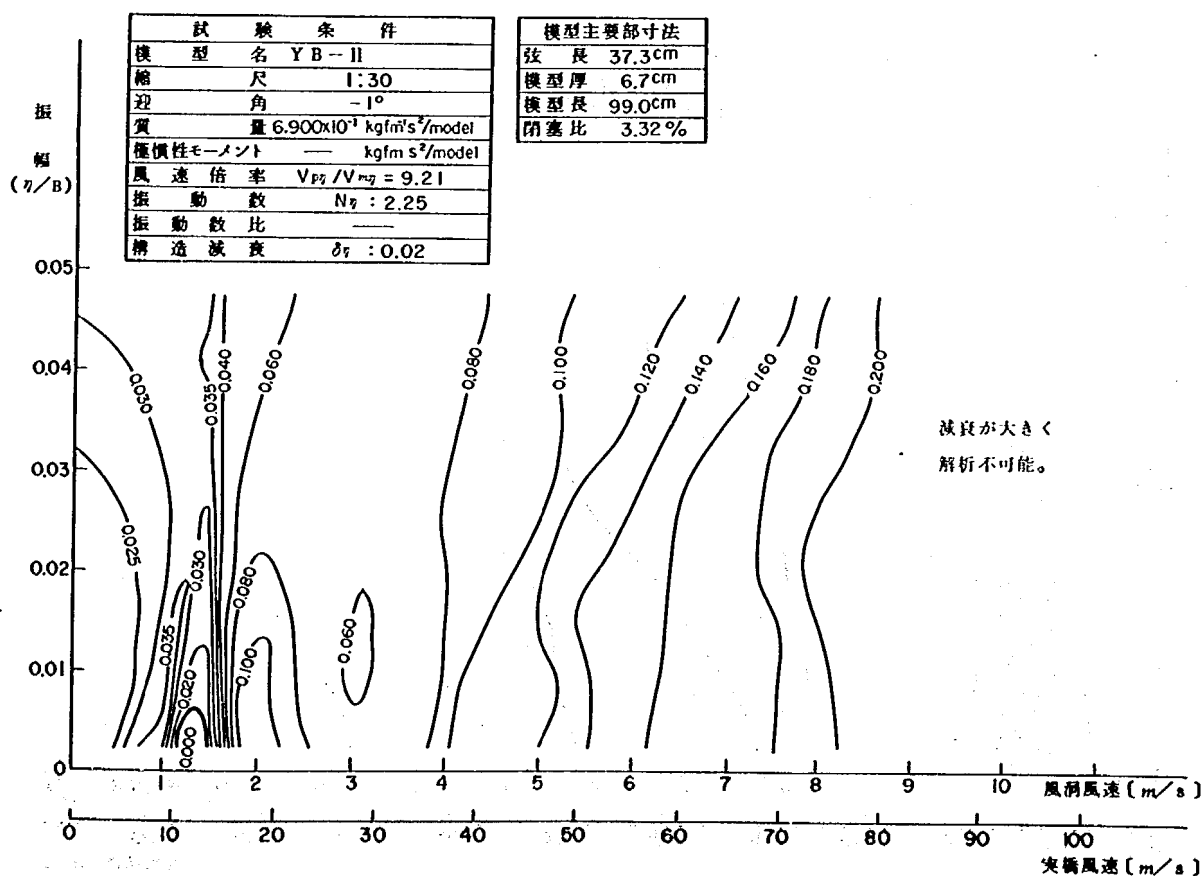


図-10-4 $V - A - \delta$

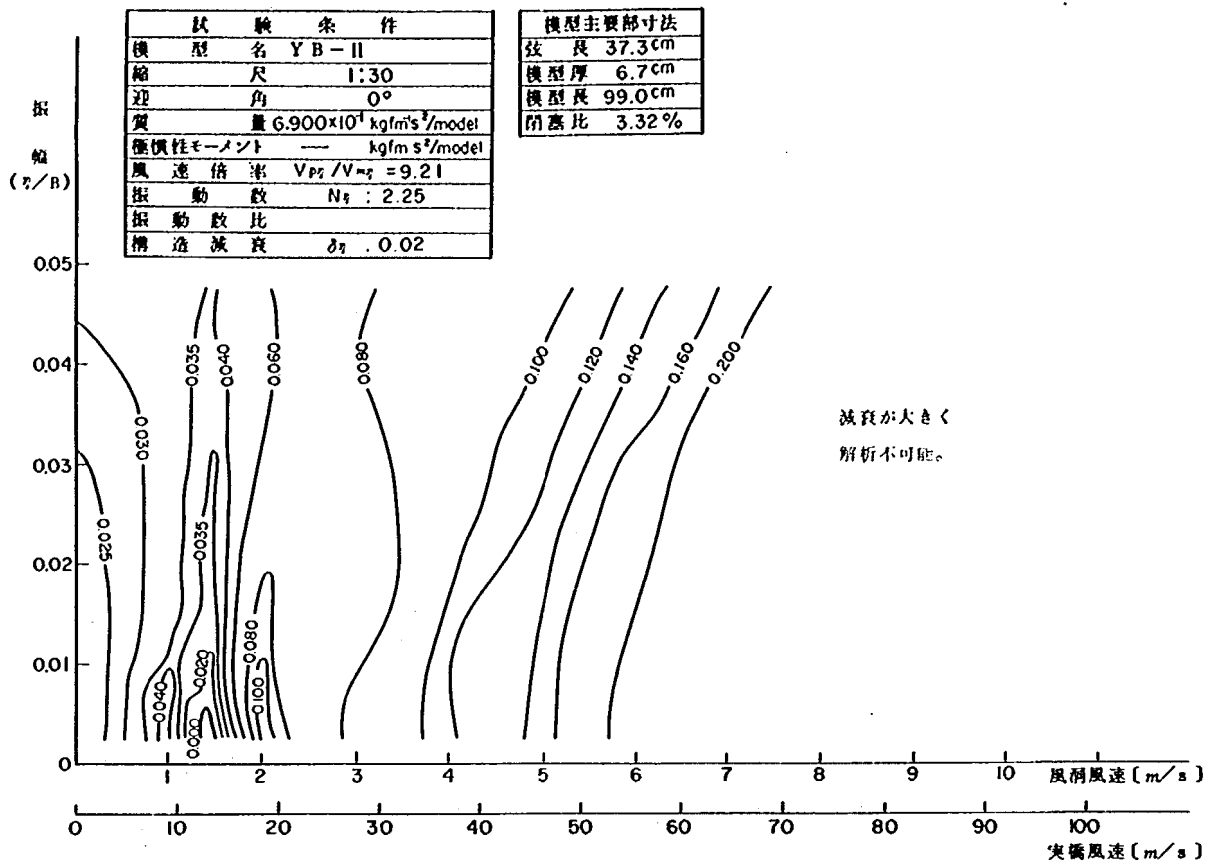


図-10-5 $V-A-\delta$

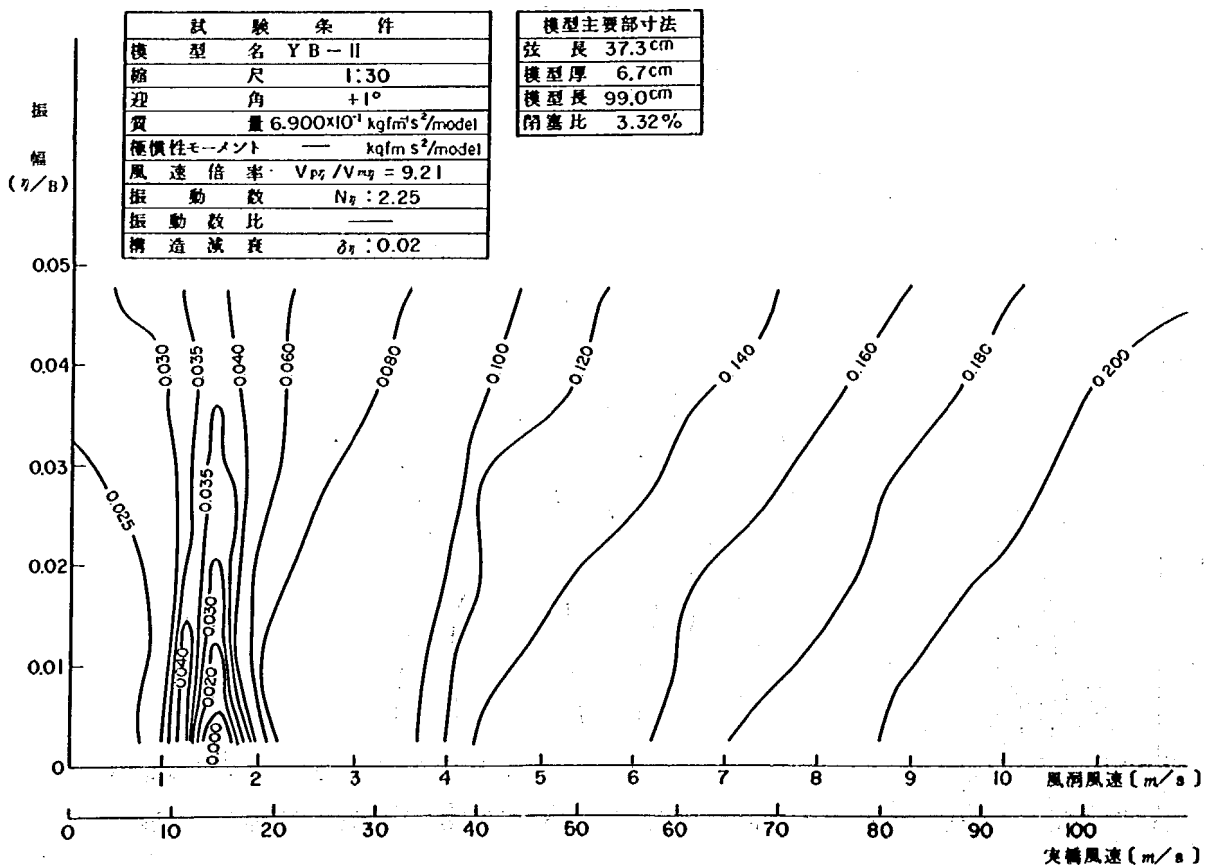


図-10-6 $V-A-\delta$

機型主要部寸法	
弦長	37.3cm
機型厚	6.7cm
機型長	99.0cm
閉塞比	3.32%

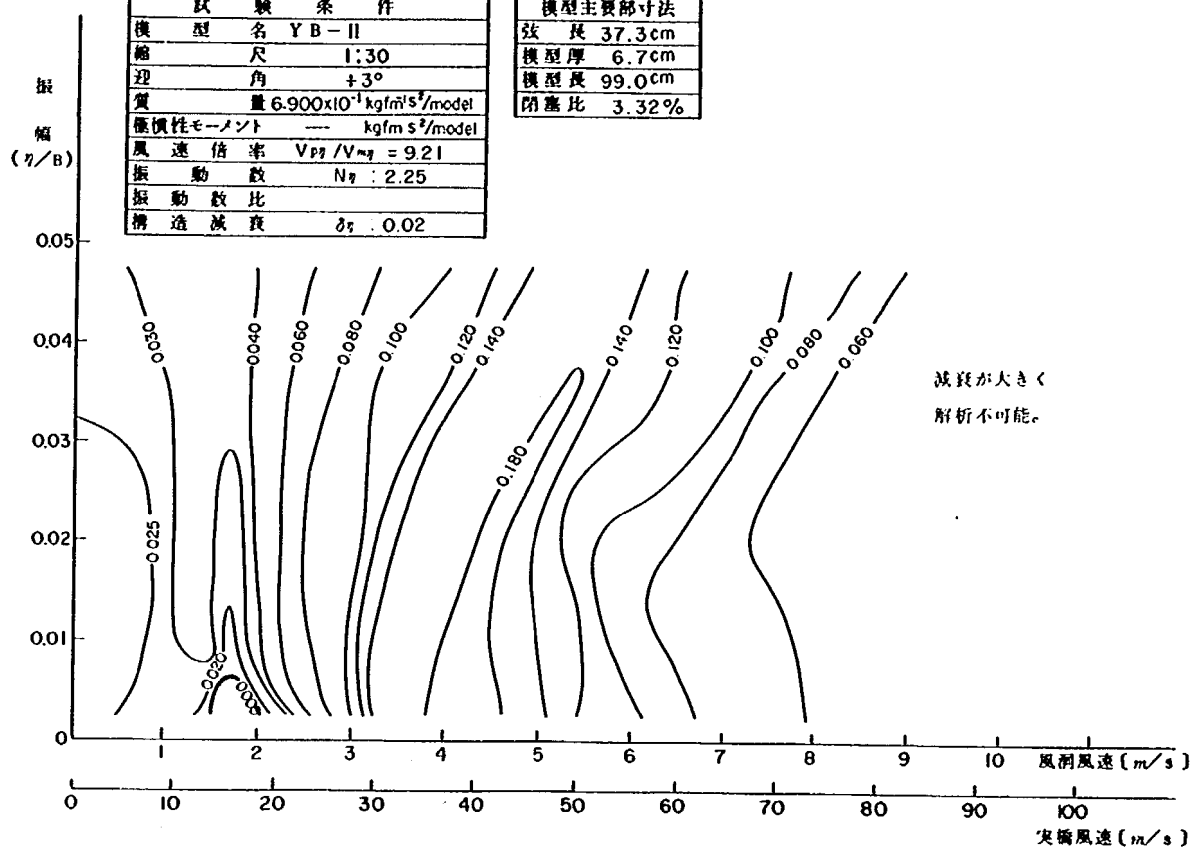


图-10-7 $V-A-\delta$

模型主要部寸法	
弦長	37.3cm
模型厚	6.7cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%

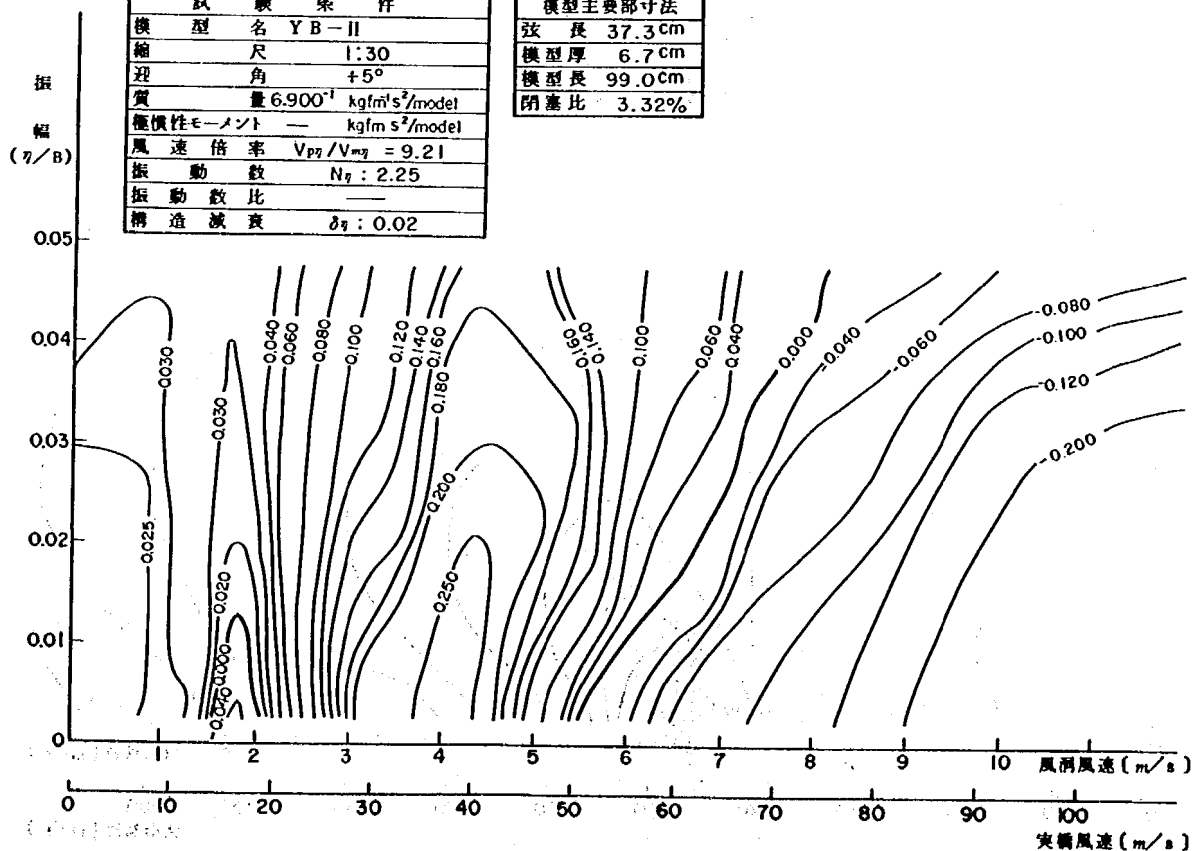


图-10-8 $V-A-\delta$

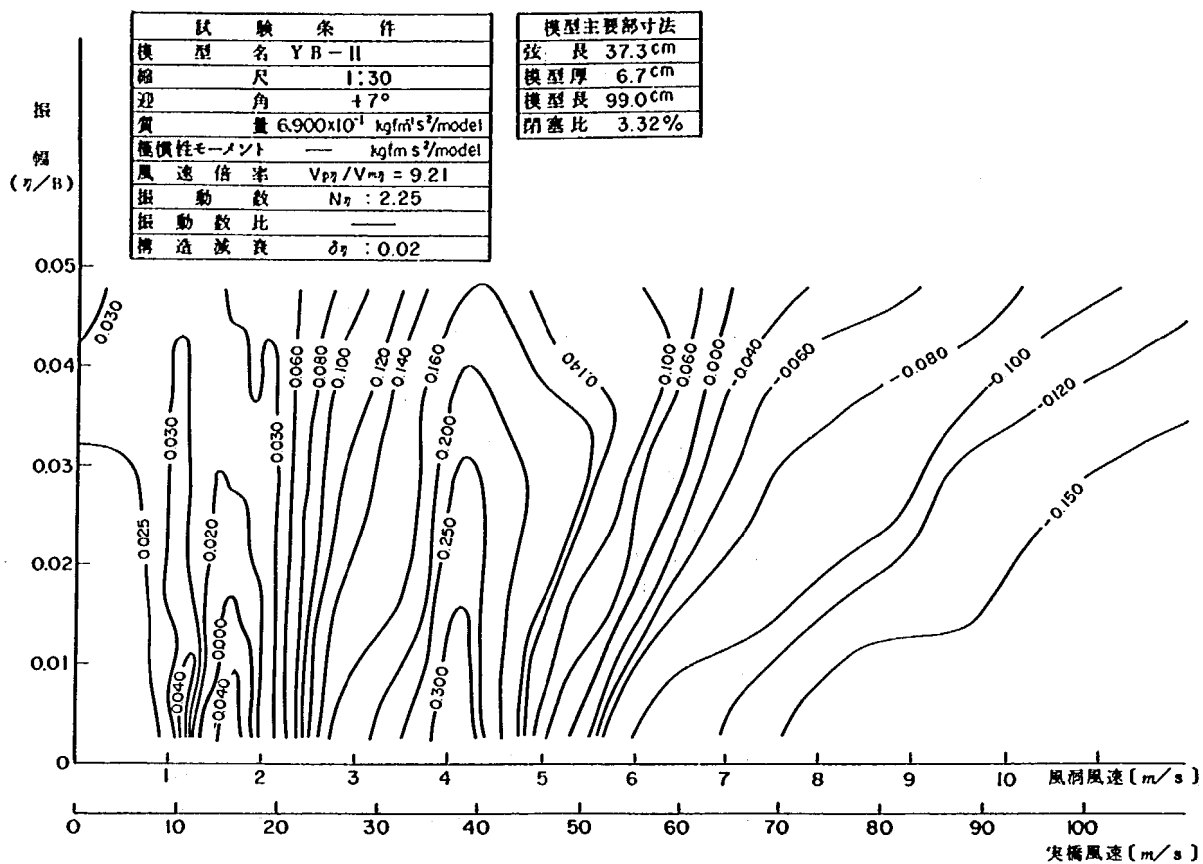


図-10-9 $V-A-\delta$

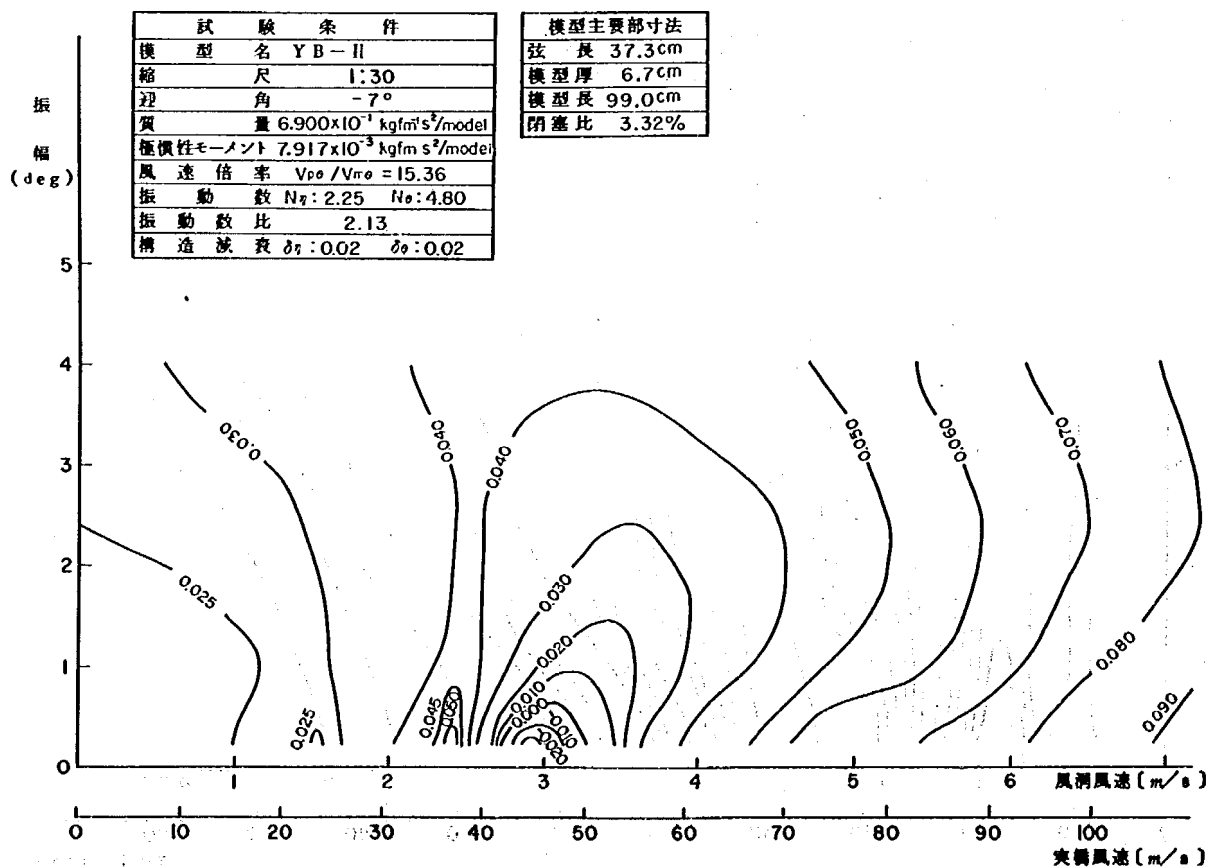


図-10-10 $V-A-\delta$

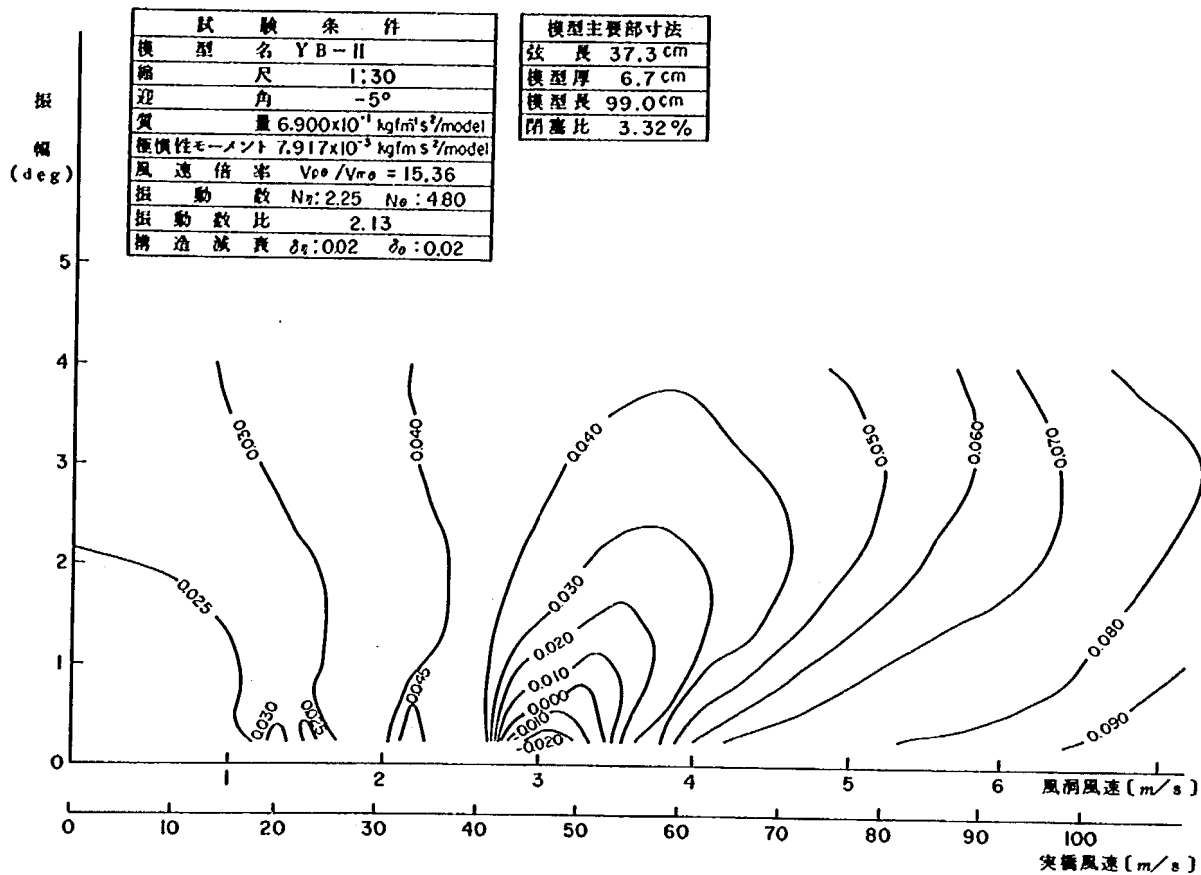


図-10-11 $V-A-\delta$

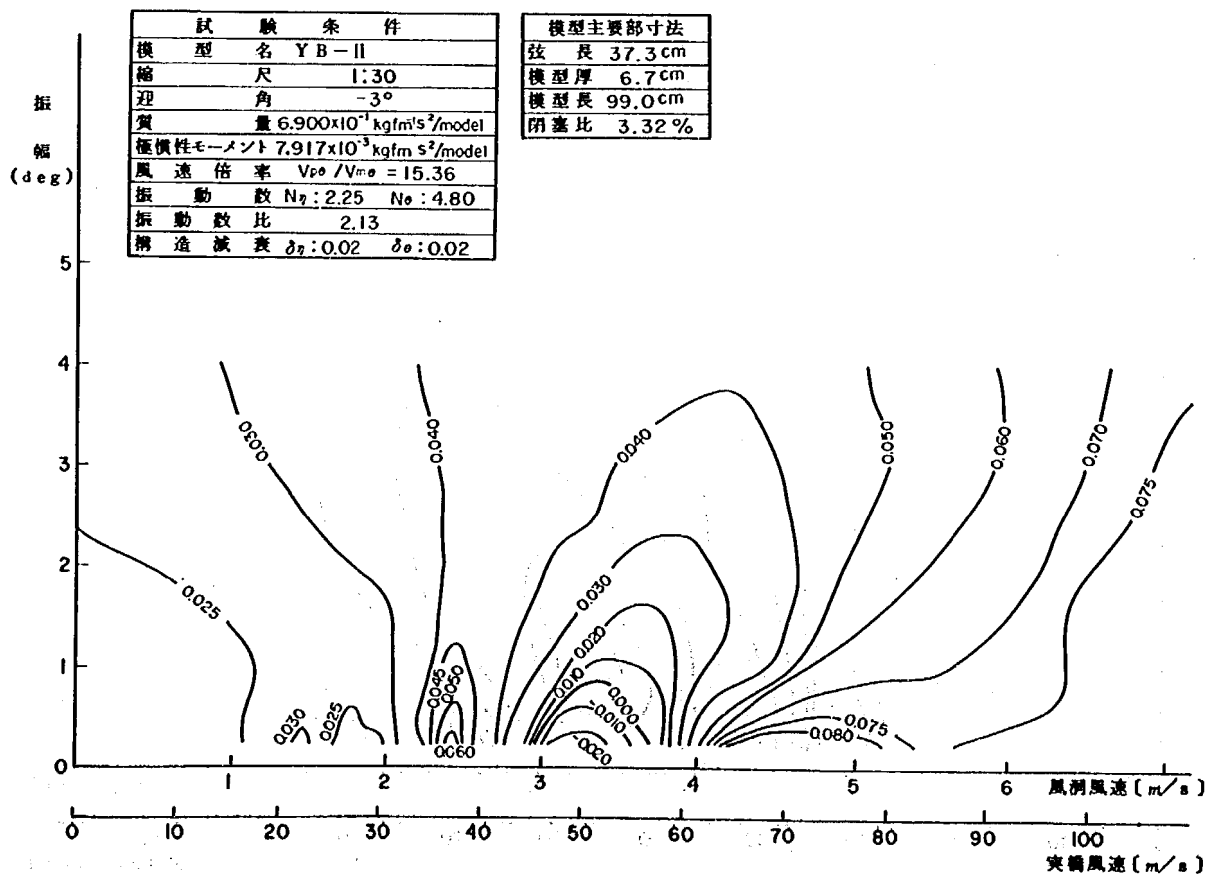


図-10-12 $V-A-\delta$

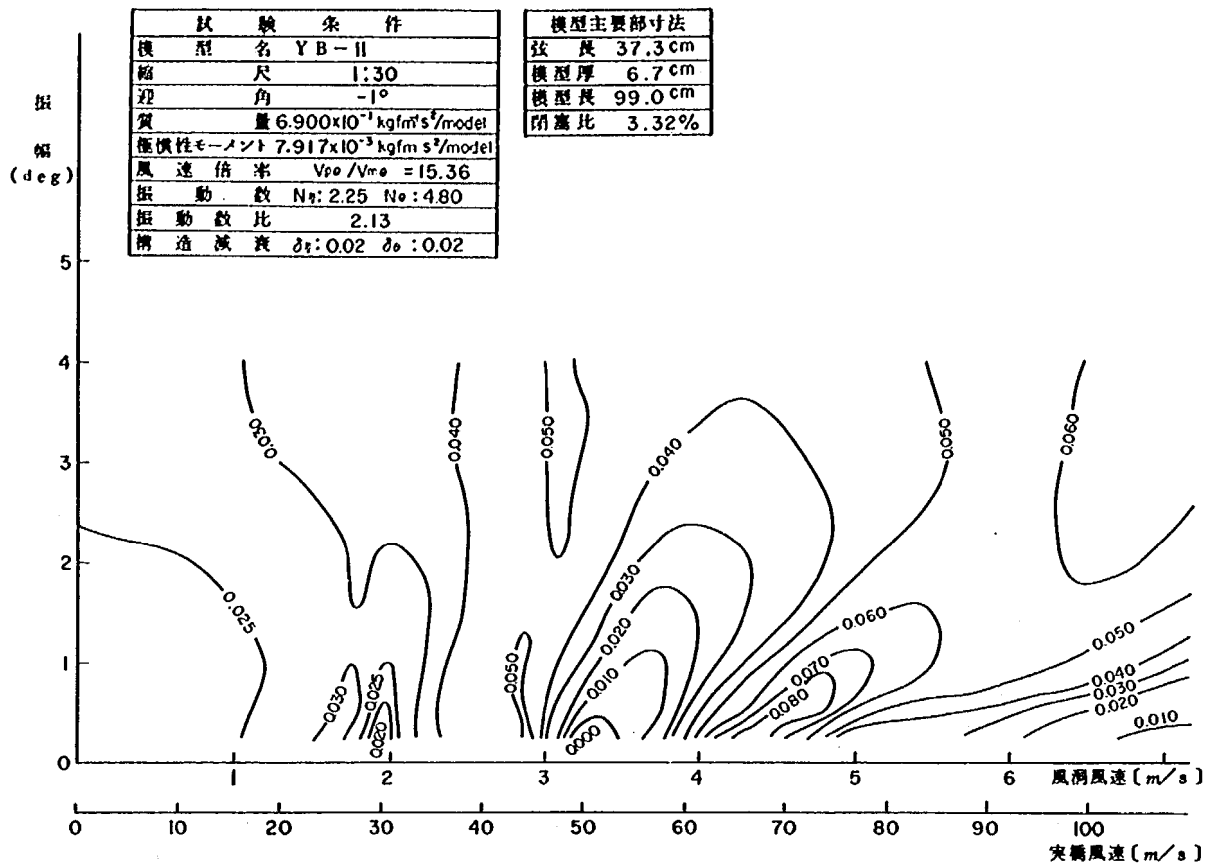


図-10-13 $V-A-\delta$

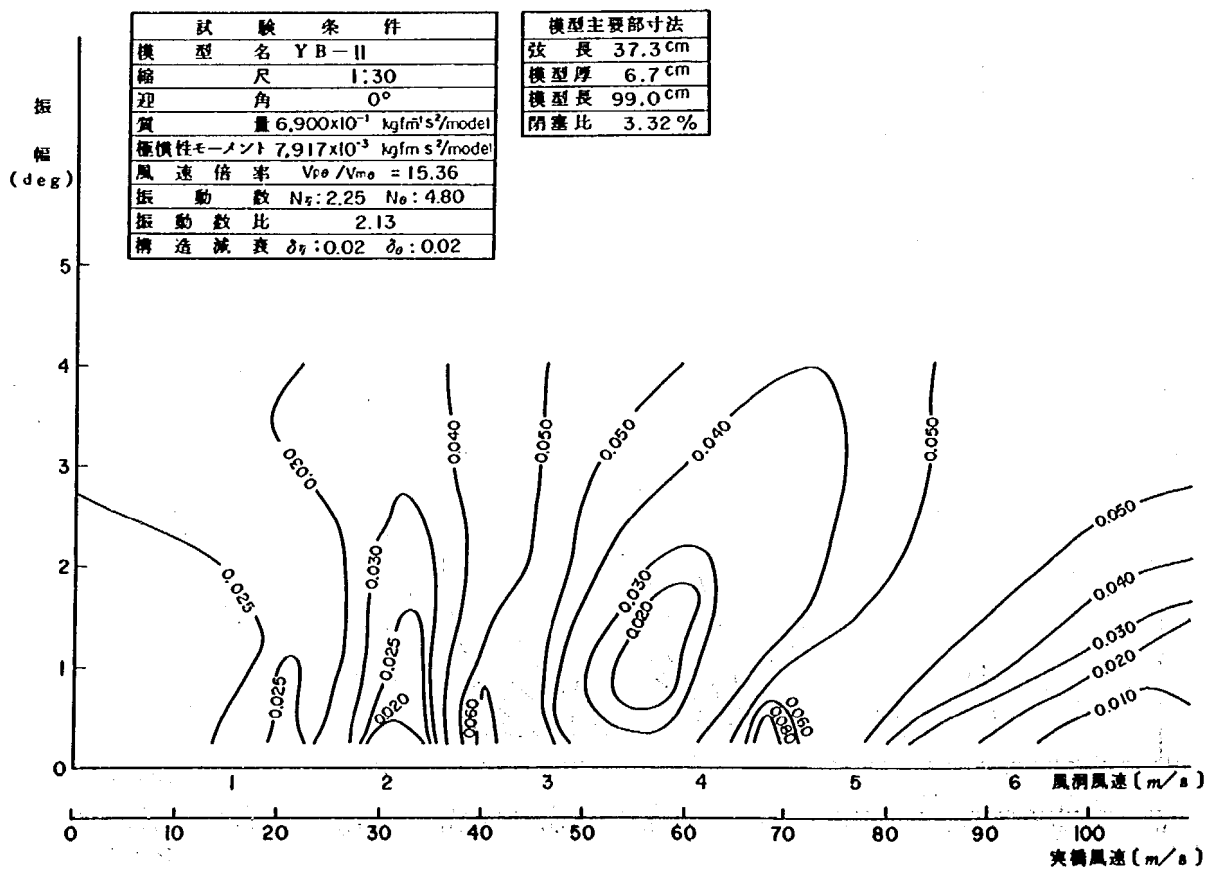
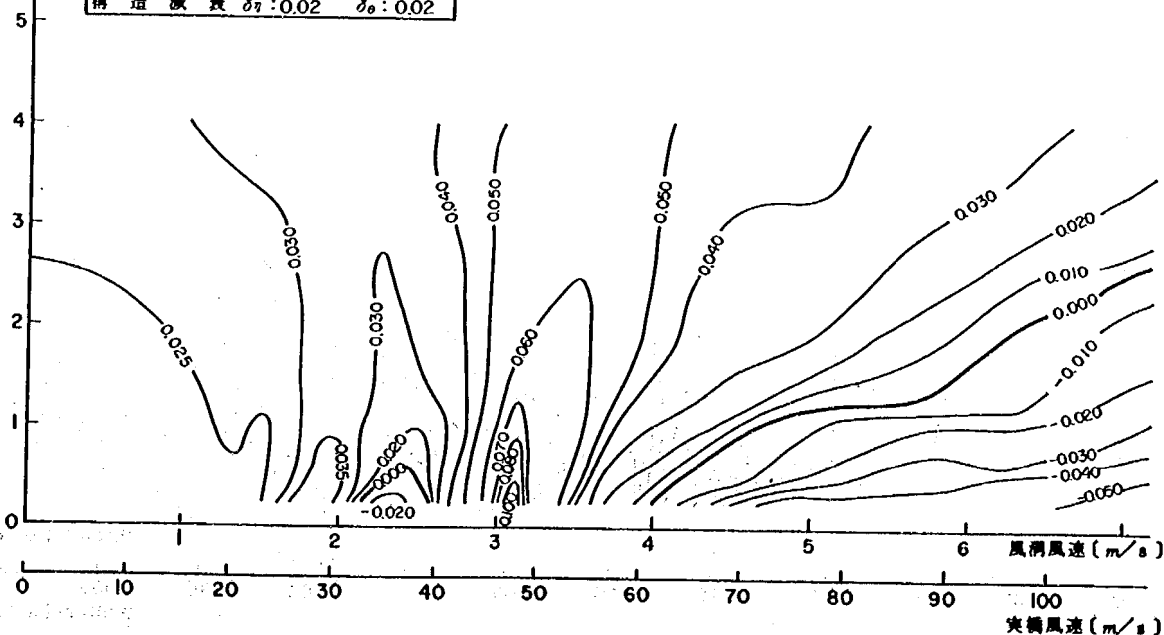


図-10-14 $V-A-\delta$

幅
(deg)

	試 験 条 件
	模 型 名 Y B - II
	縮 尺 1:30
	迎 角 $+3^{\circ}$
振	質 量 $6.900 \times 10^{-1} \text{ kgfm}^2/\text{model}$
幅	慣性モーメント $7.917 \times 10^{-3} \text{ kgfm}^2/\text{model}$
(deg)	風 速 倍 率 $V_{\text{pe}}/V_{\text{re}} = 15.36$
	振 動 数 $N_{\gamma}: 2.25 \quad N_{\theta}: 4.80$
	振 動 数 比 2.13
	構 造 減 衰 $\delta_{\gamma}: 0.02 \quad \delta_{\theta}: 0.02$

振
幅
(deg)

图-10-16 $V-A-\delta$

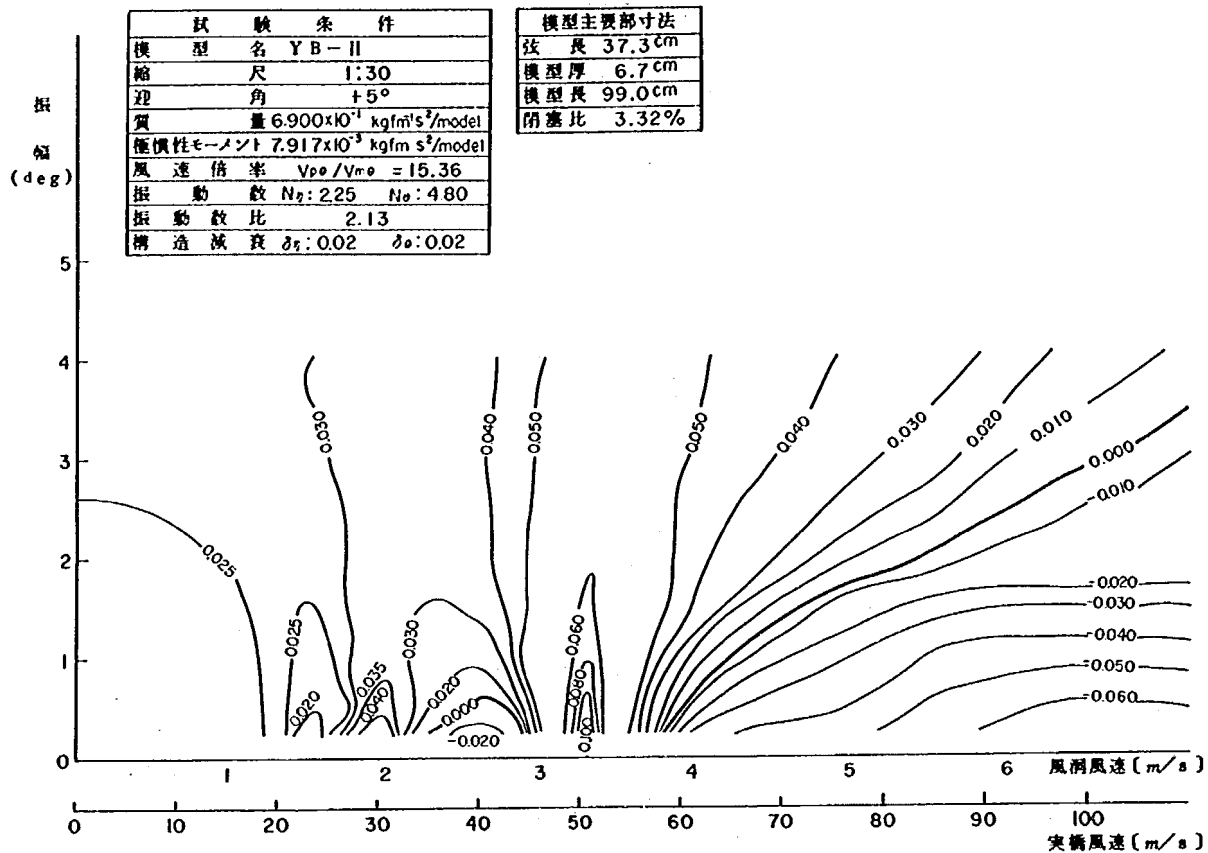


図-10-17 $V-A-\delta$

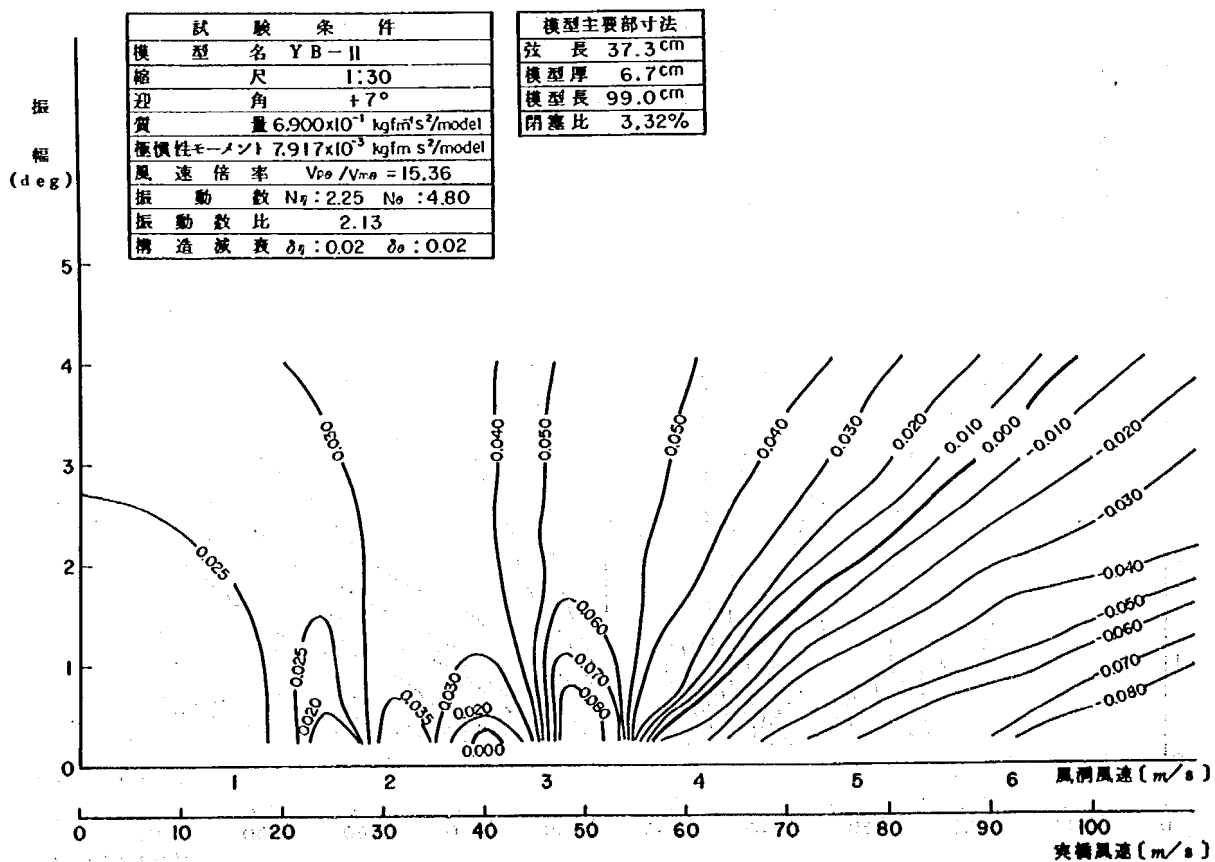
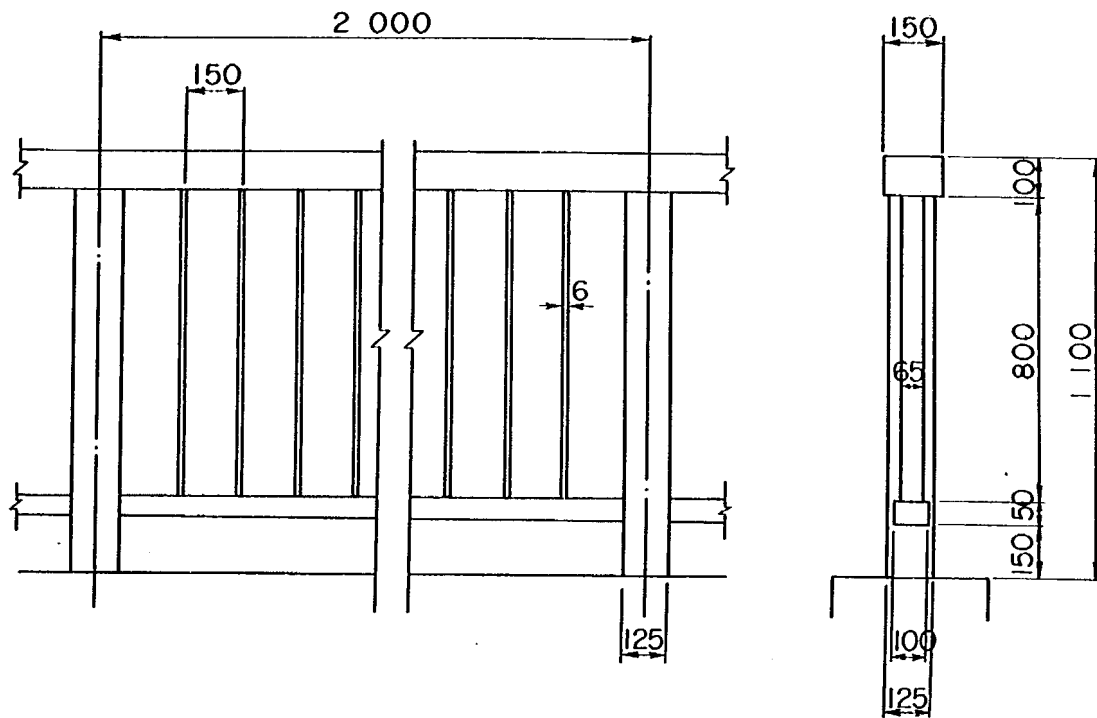
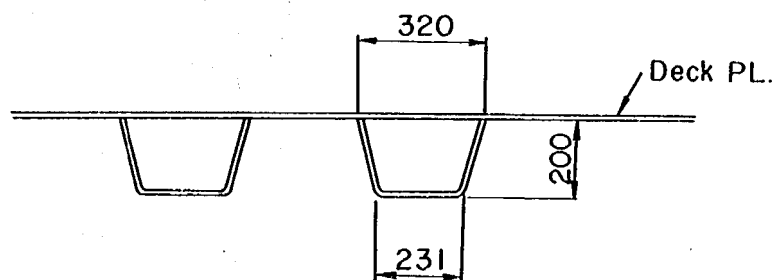


図-10-18 $V-A-\delta$

高 欄



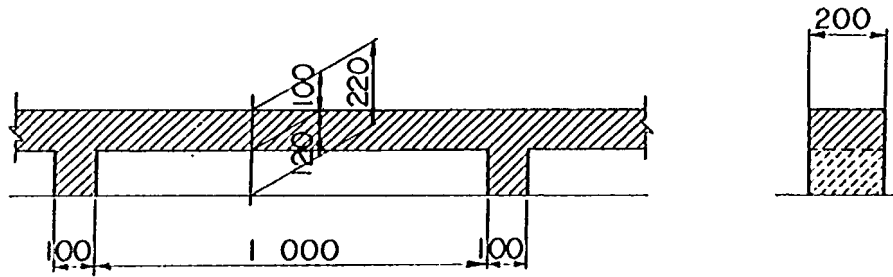
トラフプレート



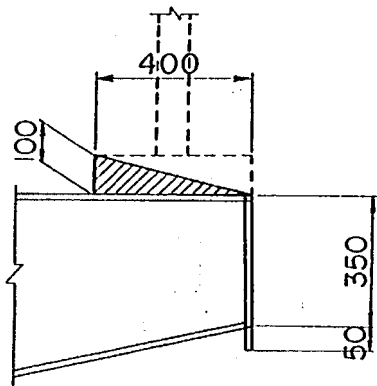
注) 模型縮尺は 1 / 30 である。

図-11-1 補助部材 (その1)

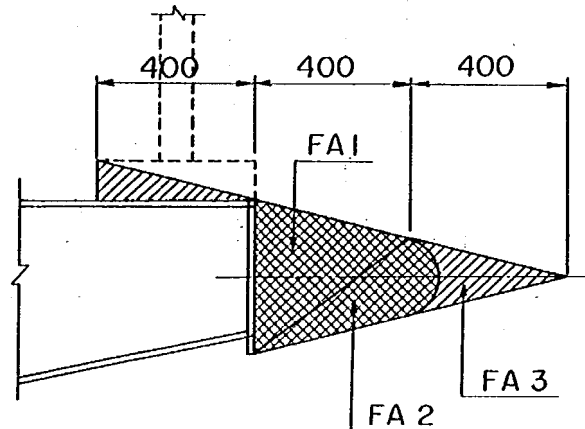
穴あき歩車道境界ブロック (B B)



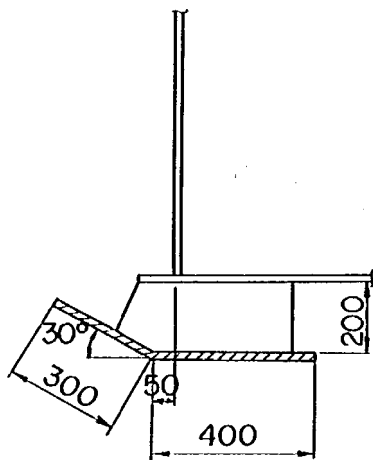
傾斜地覆 (S C)



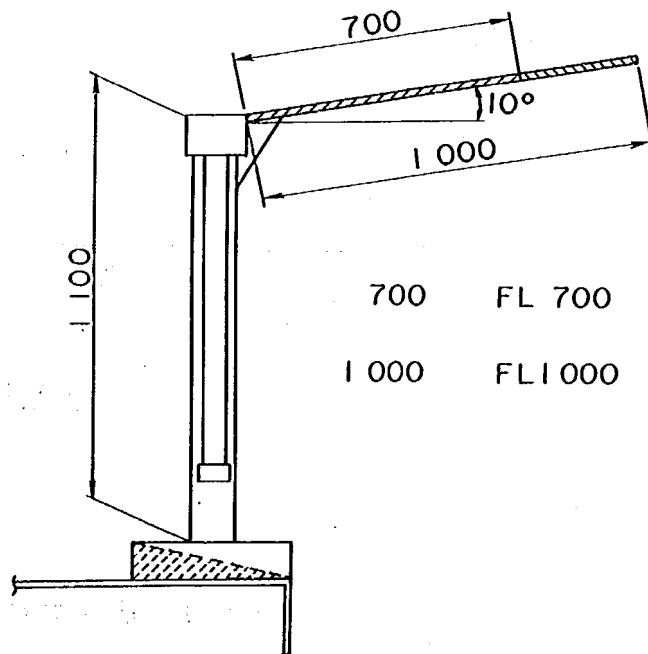
傾斜地覆 + 端整流板 (S , F A 1. 2. 3)



ディフレクター (D E)



端抑流板 (F L)



注) 補助部材の各々の組合せは、・で示す

たとえば、傾斜地覆 + 端抑流板 → S , F L 700 etc

ただし、この場合、傾斜地覆 S C → S と略記

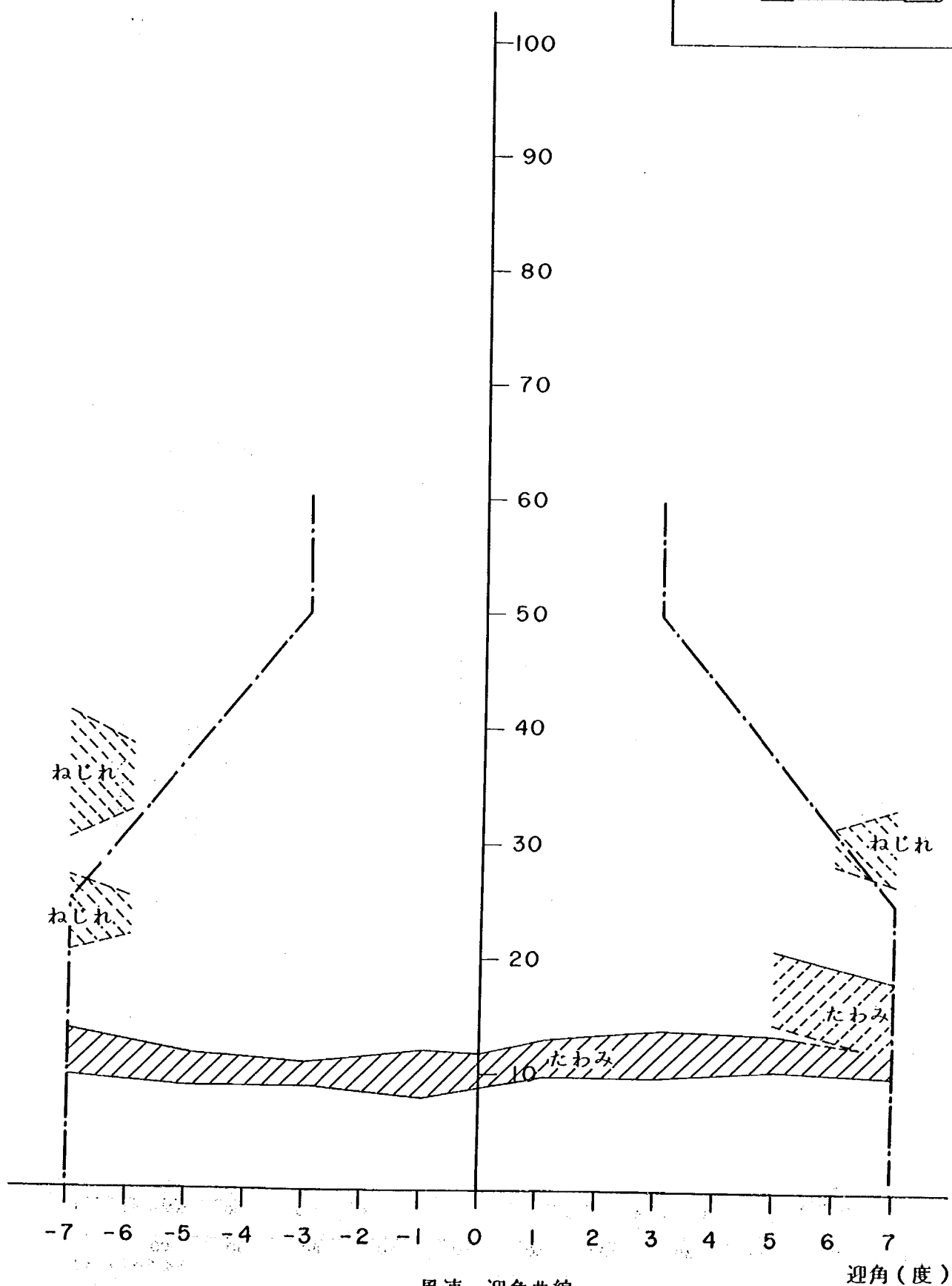
注) 模型縮尺は 1 / 30 である。

図-11-2 補助部材 (その 2)

Y B - I - F A



実橋風速 [m/s]



風速-迎角曲線
図-12 $V_{cr}-\alpha$

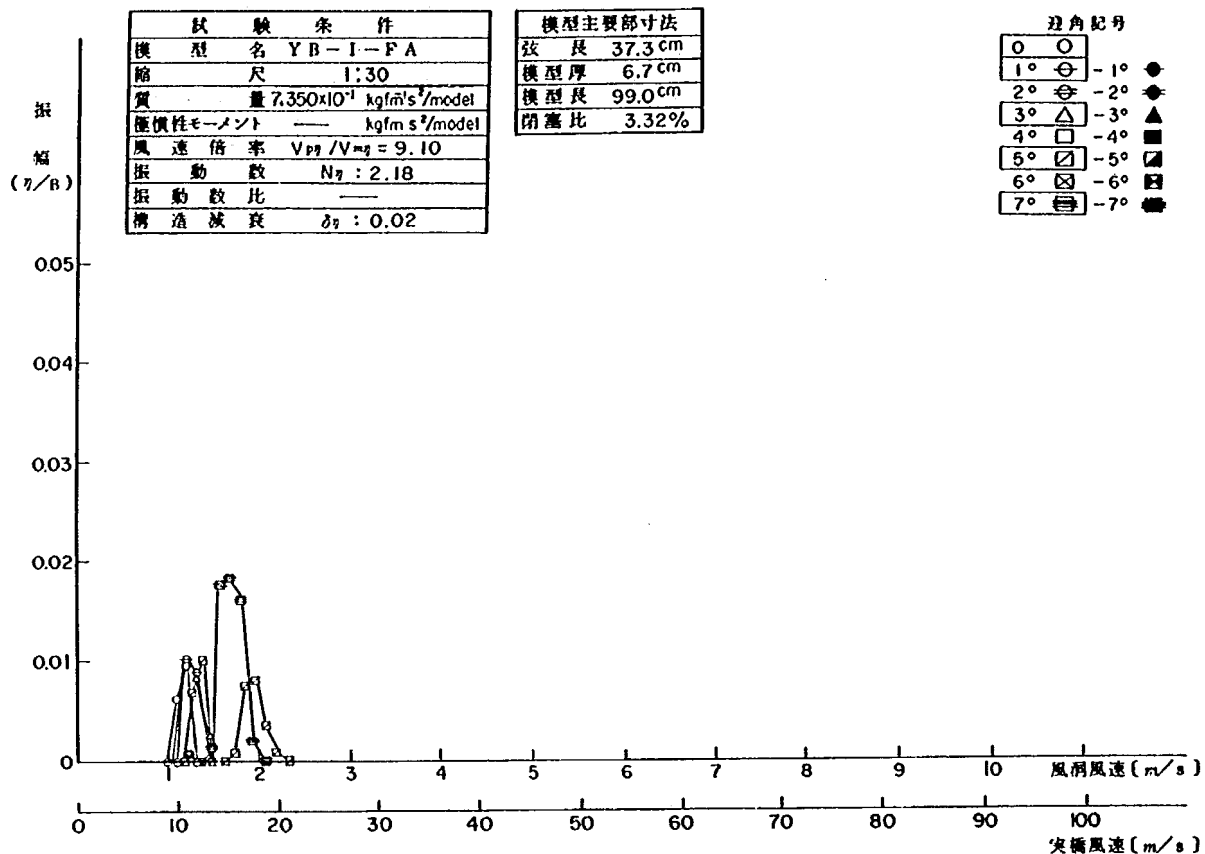


図-13-1 V-A

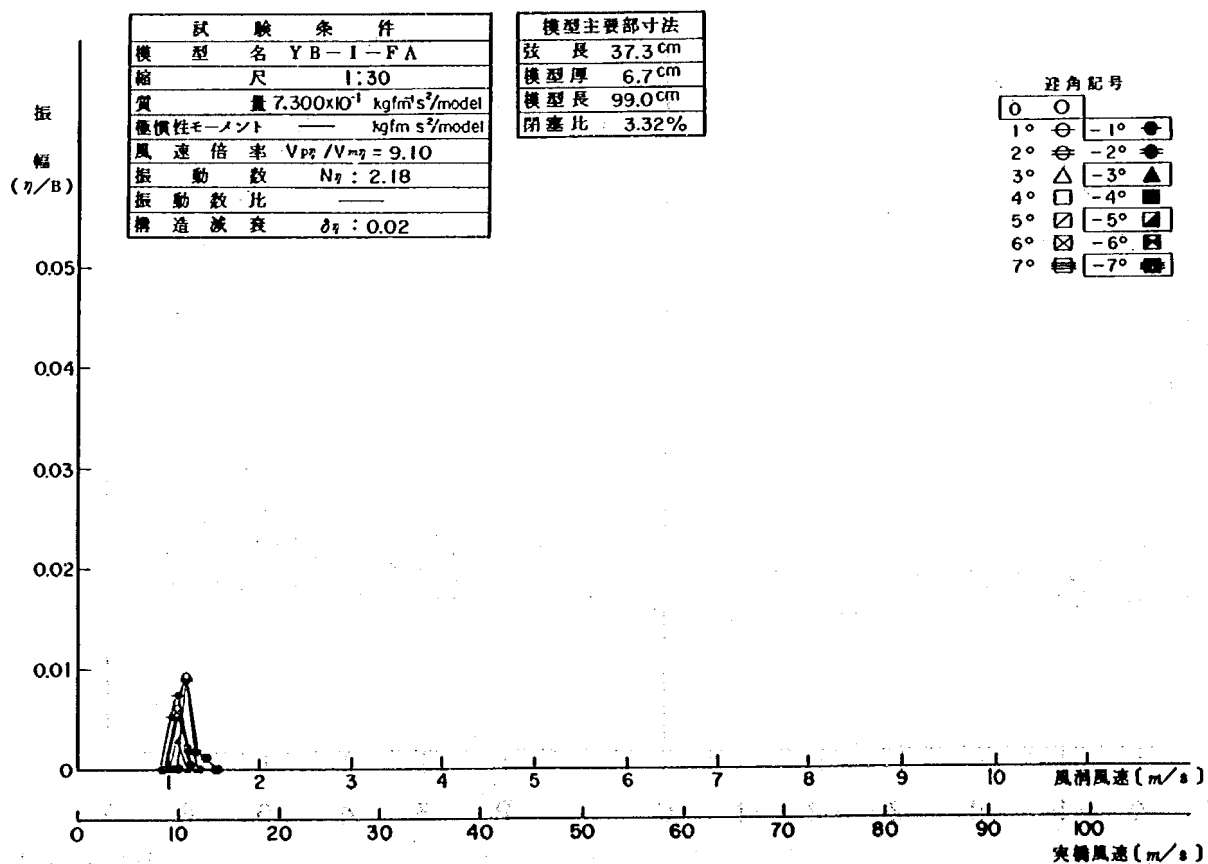


図-13-2 V-A

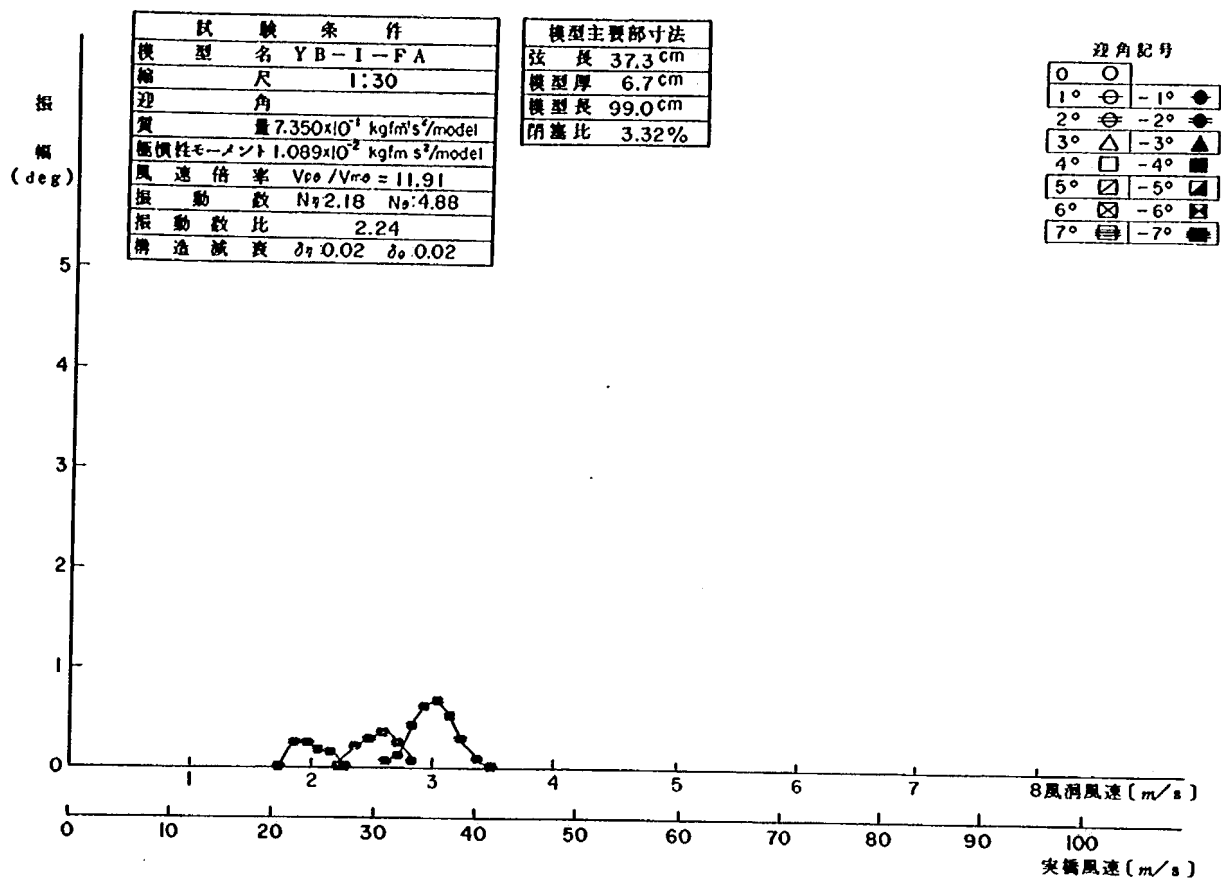


図-13-3 V-A

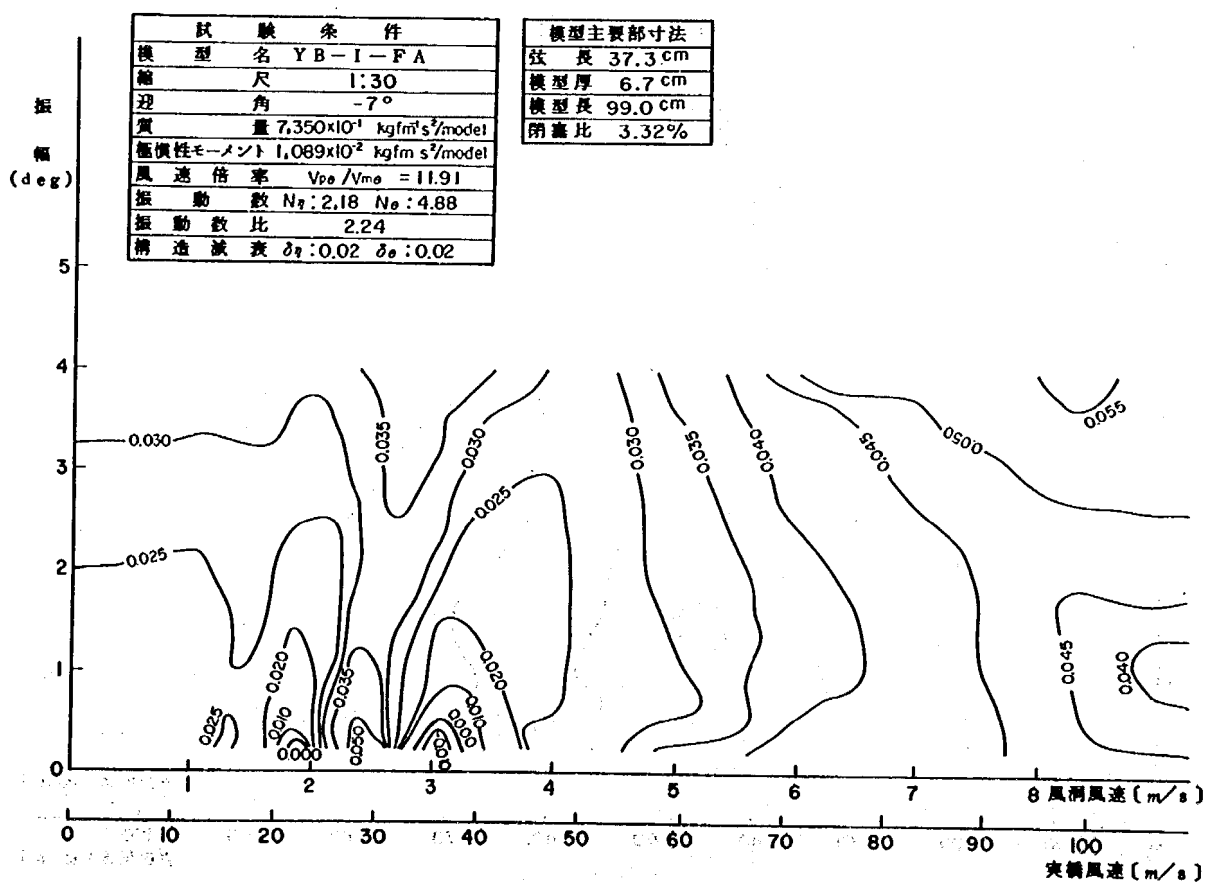


図-14-1 V-A- δ

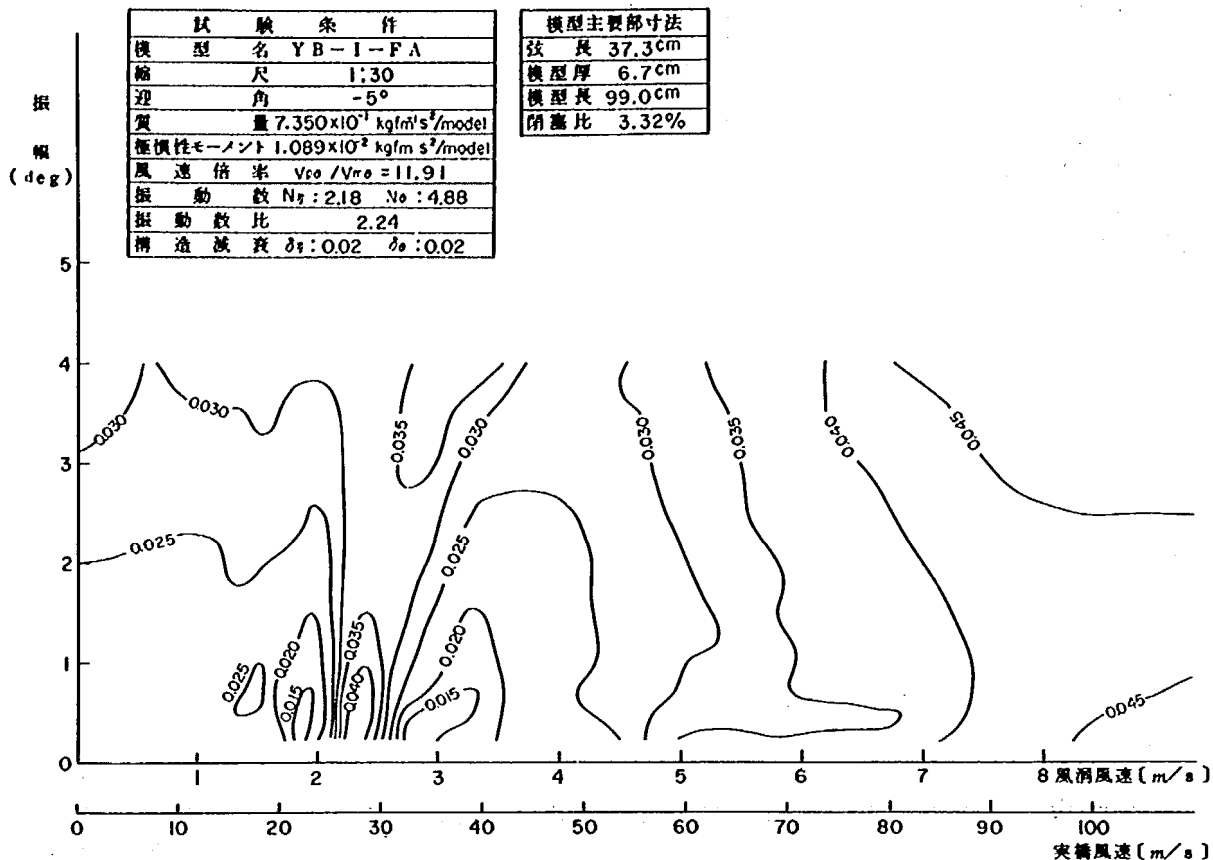


図-14-2 $V-A-\delta$

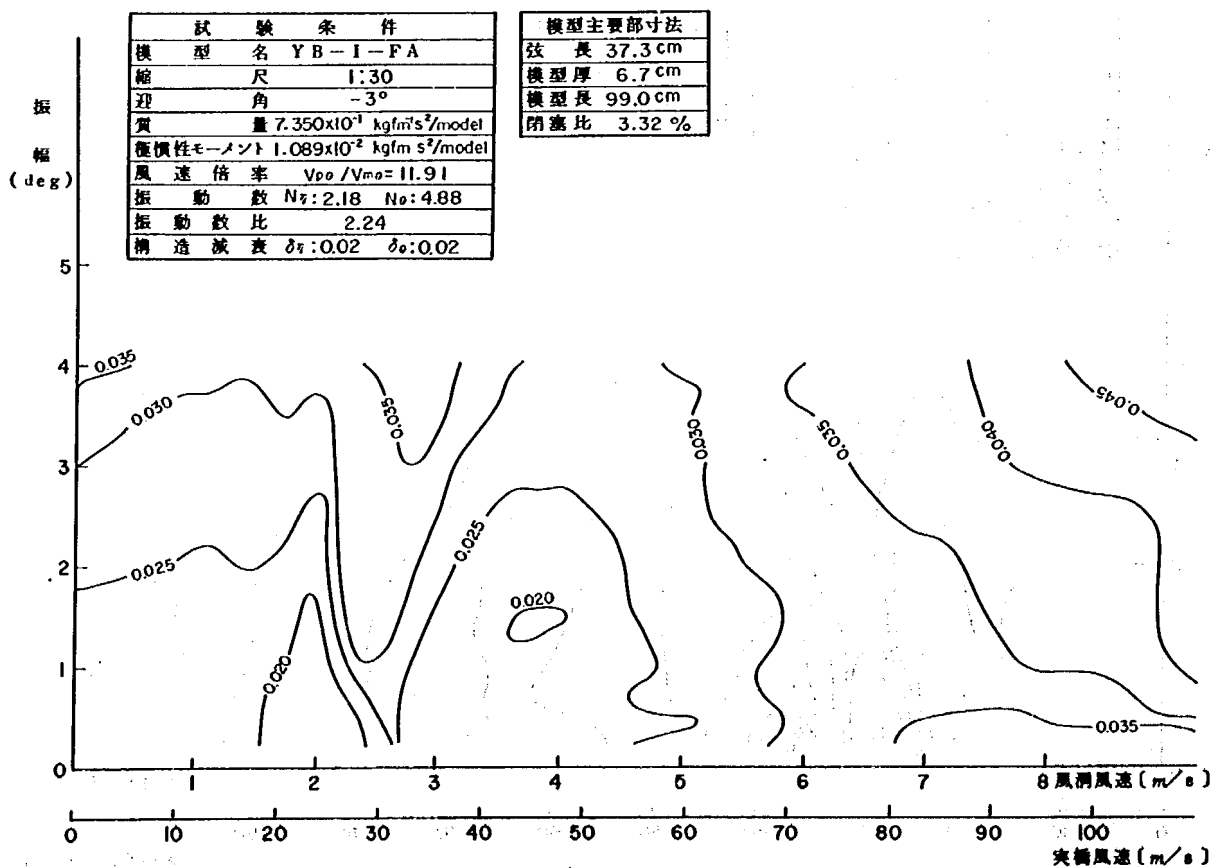


図-14-3 $V-A-\delta$

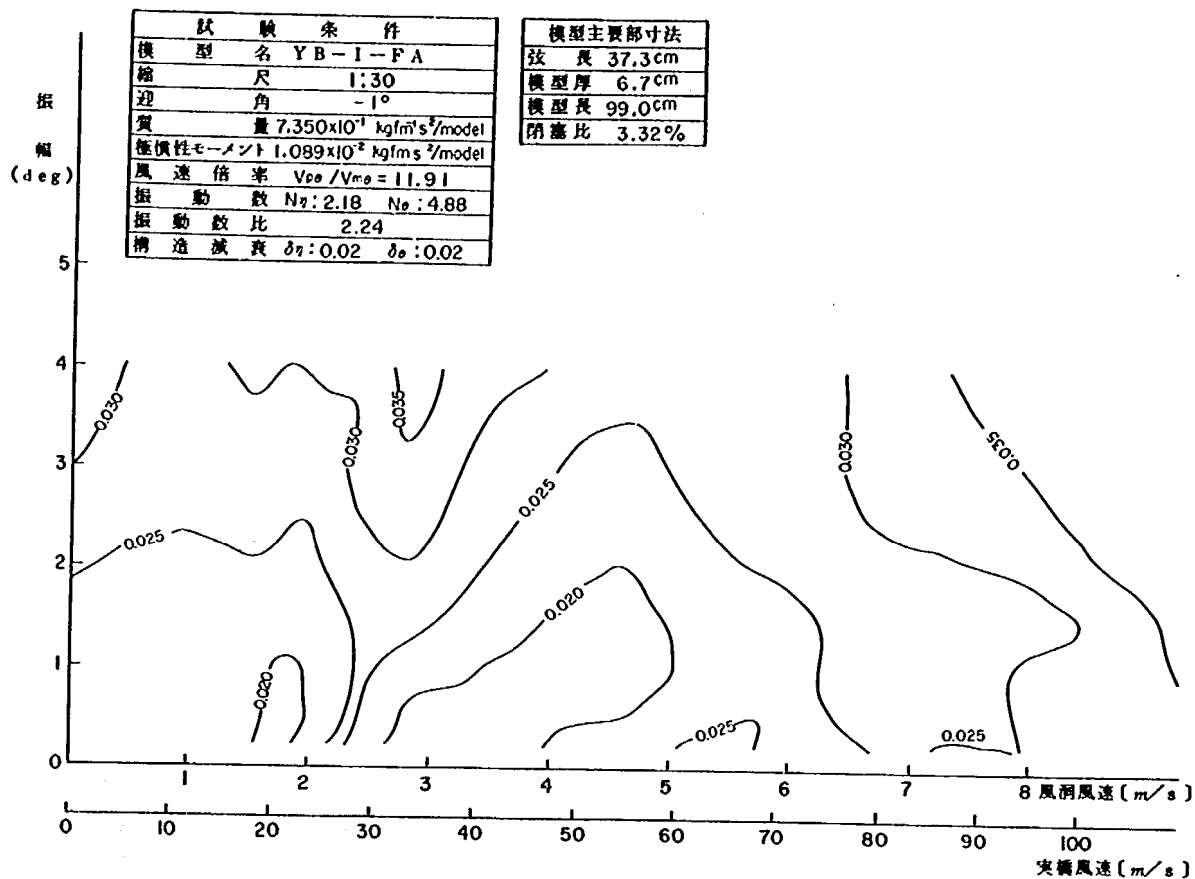


図-14-4 $V-A-\delta$

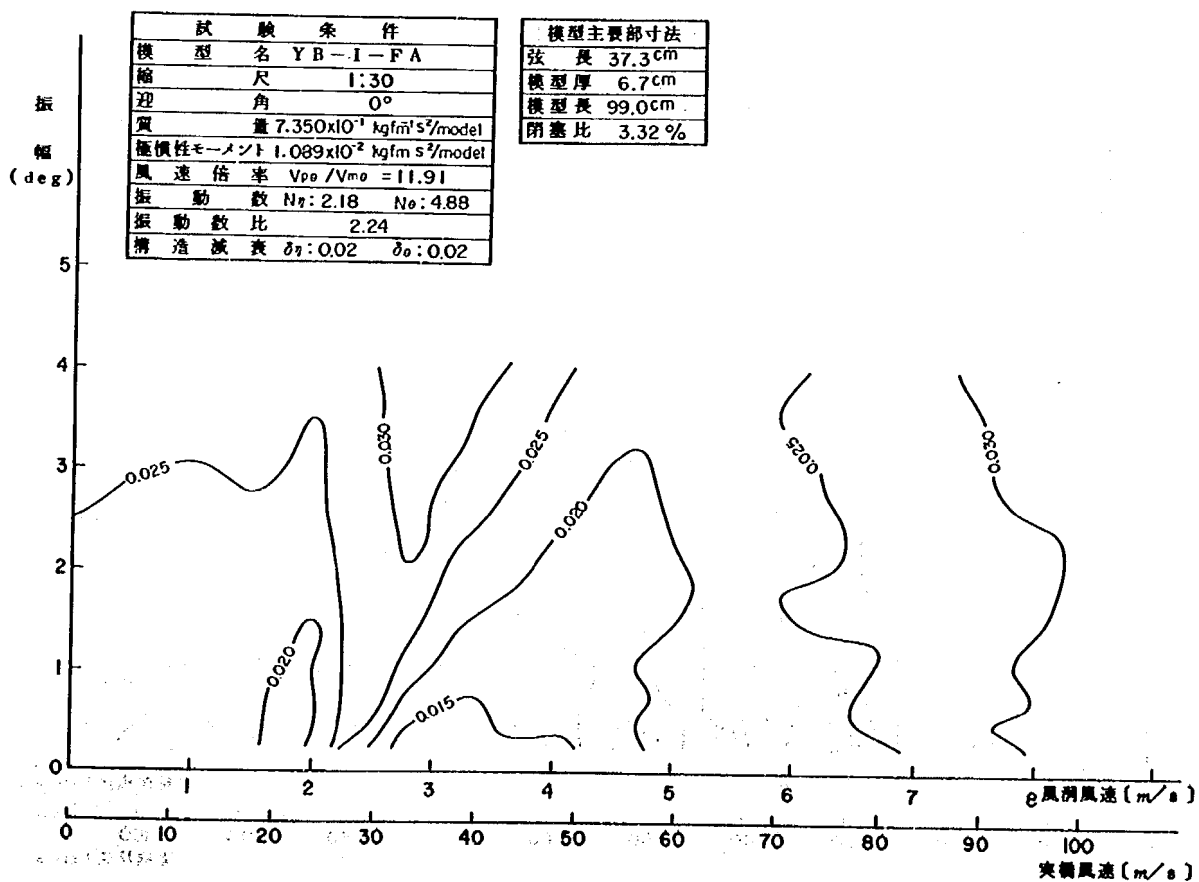


図-14-5 $V-A-\delta$

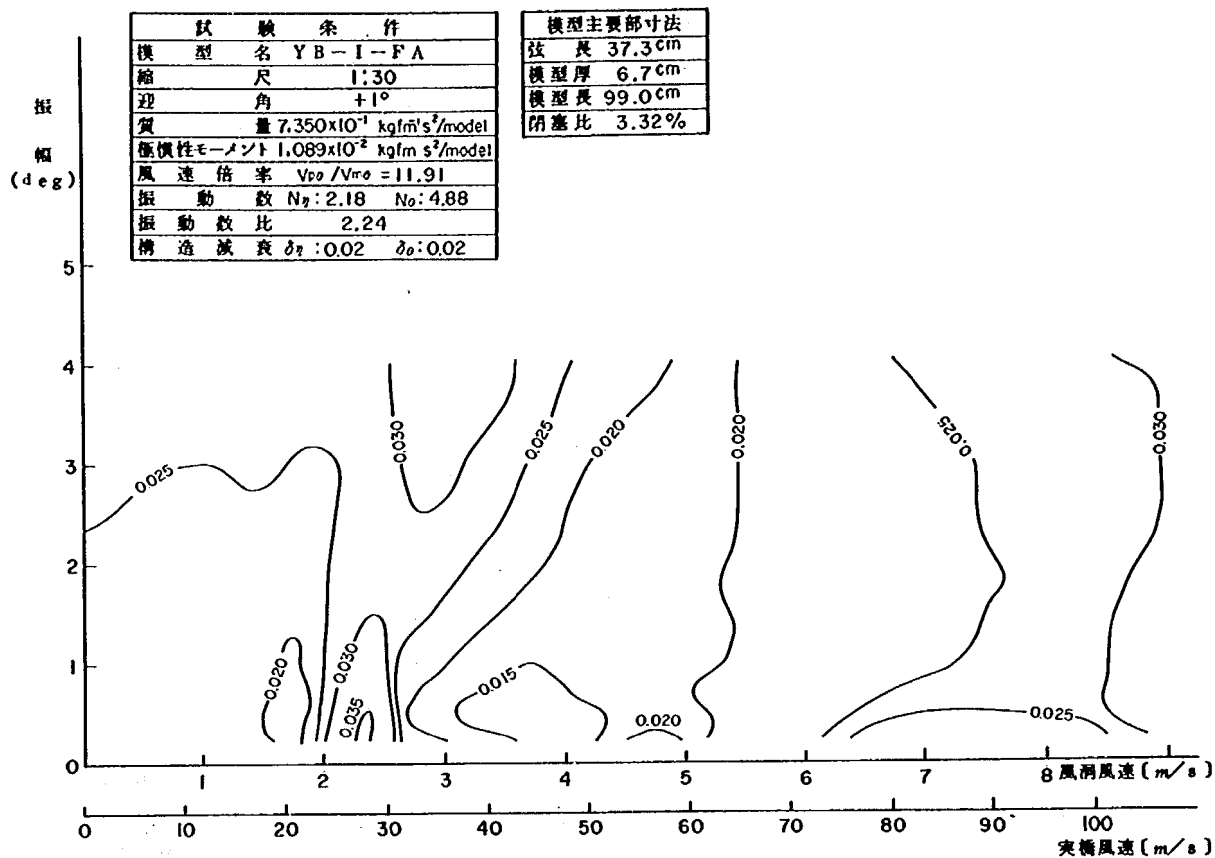


図-14-6 $V-A-\delta$

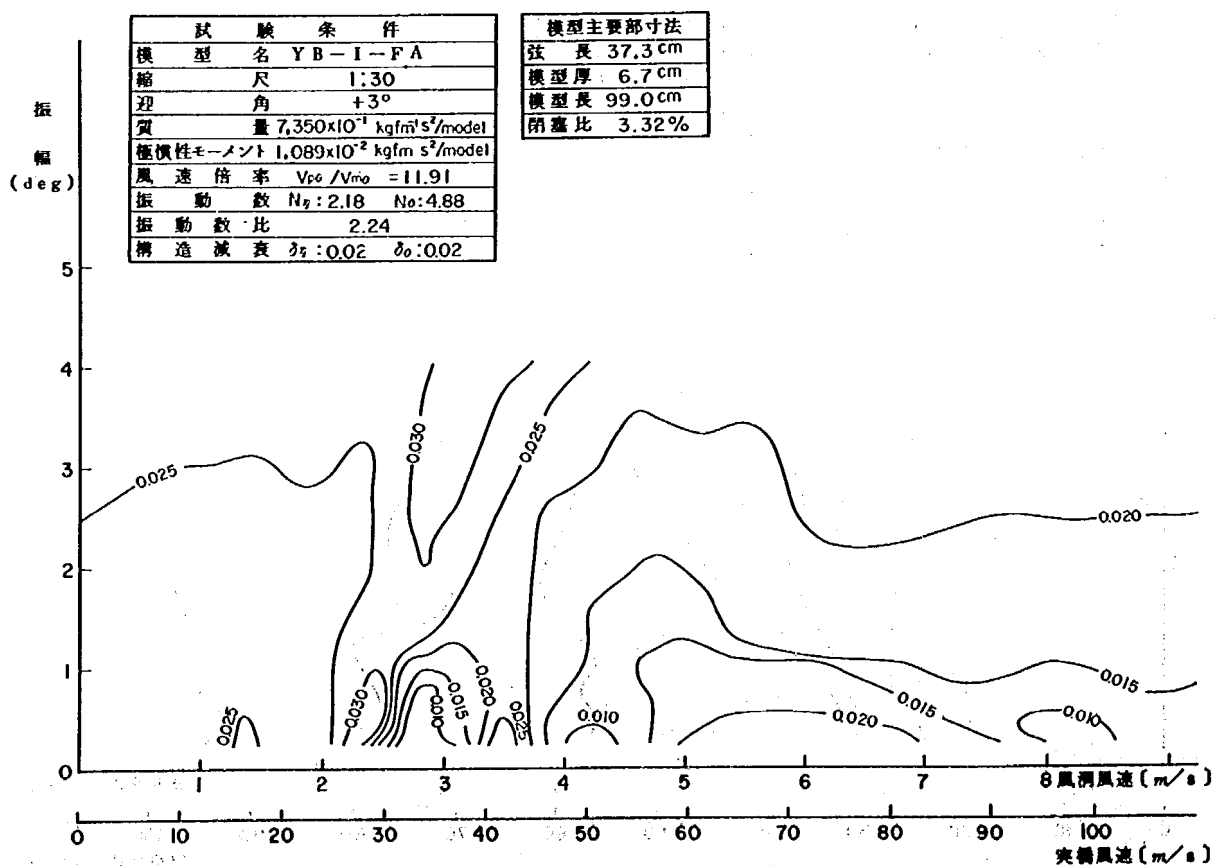


図-14-7 $V-A-\delta$

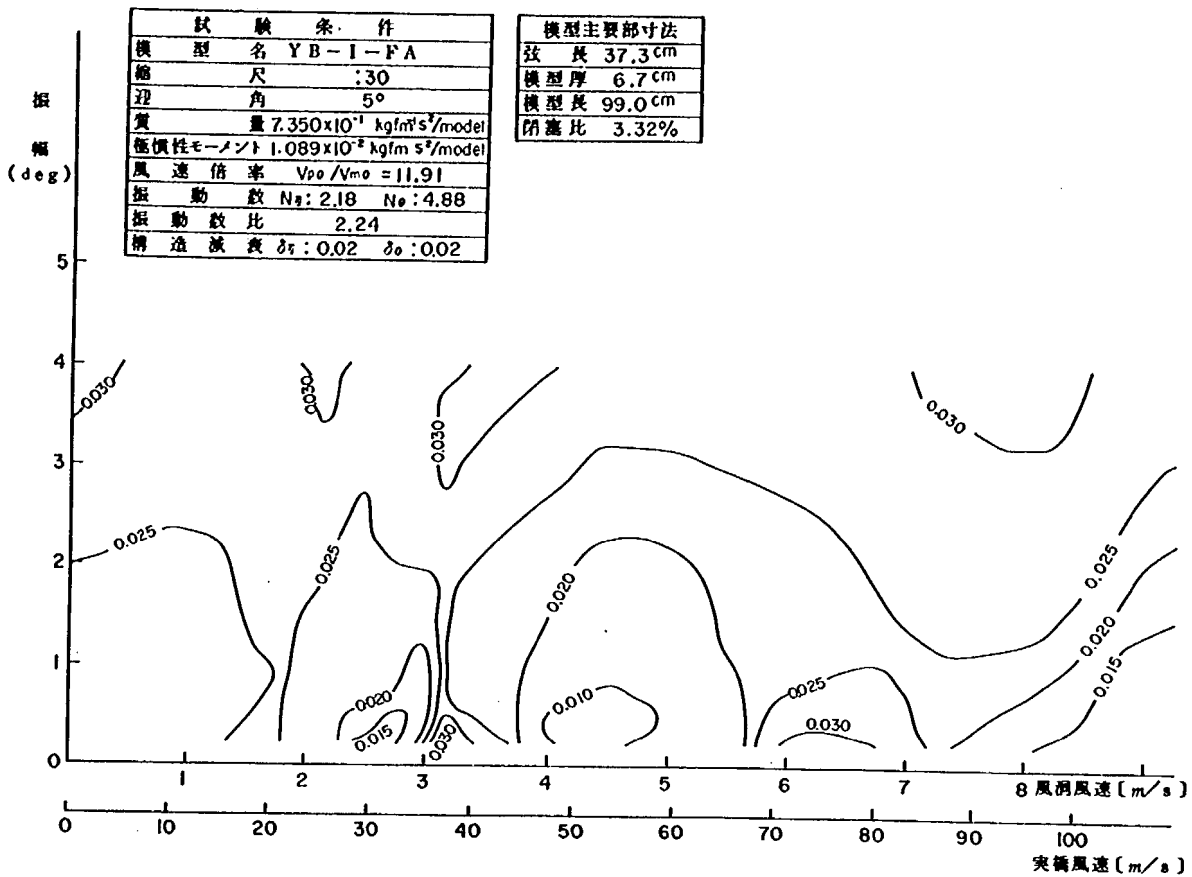


図-14-8 $V-A-\delta$

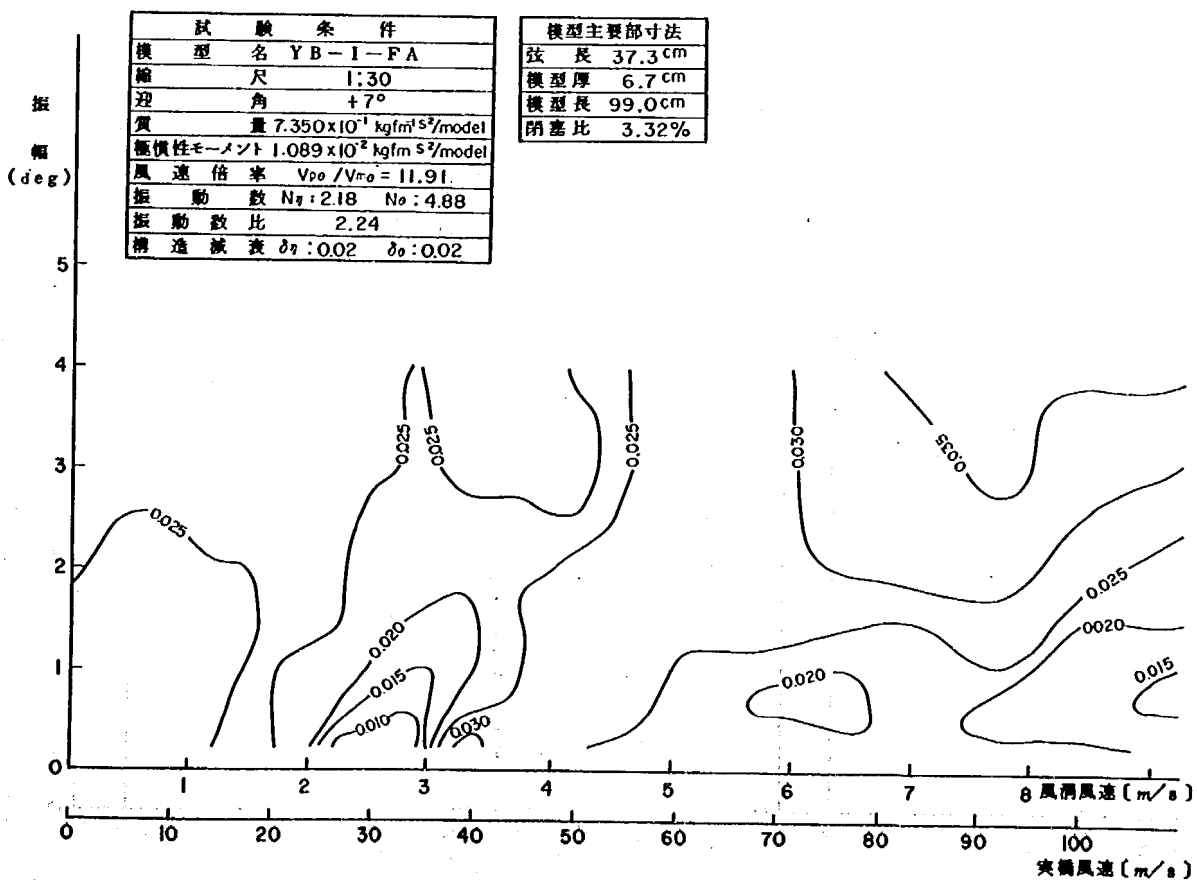


図-14-9 $V-A-\delta$

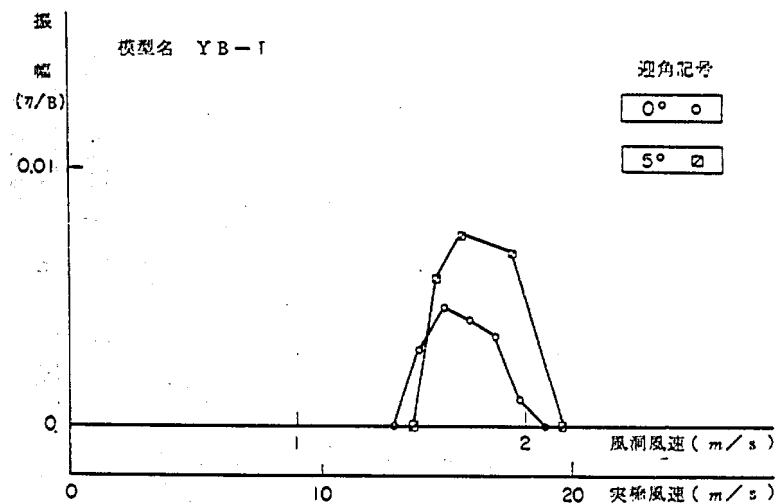


図-15-1 V-A

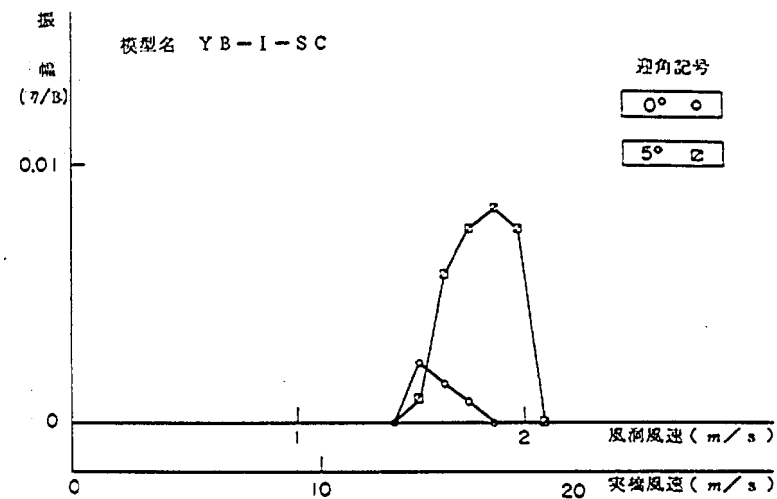


図-15-3 V-A

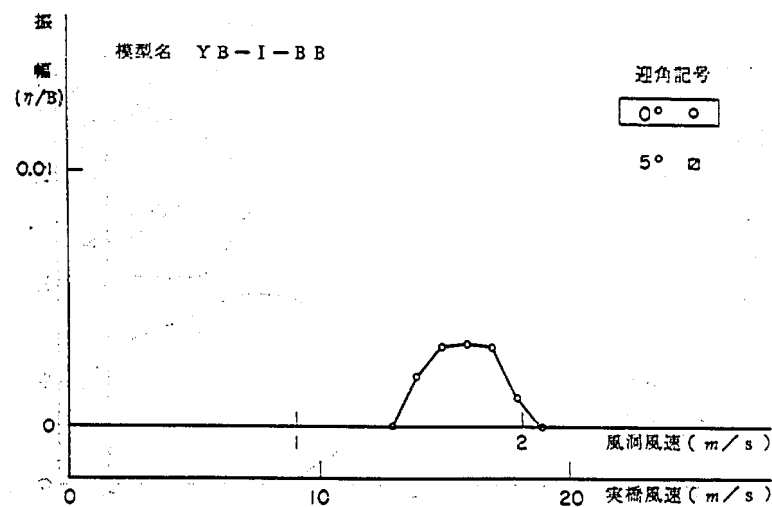


図-15-2 V-A

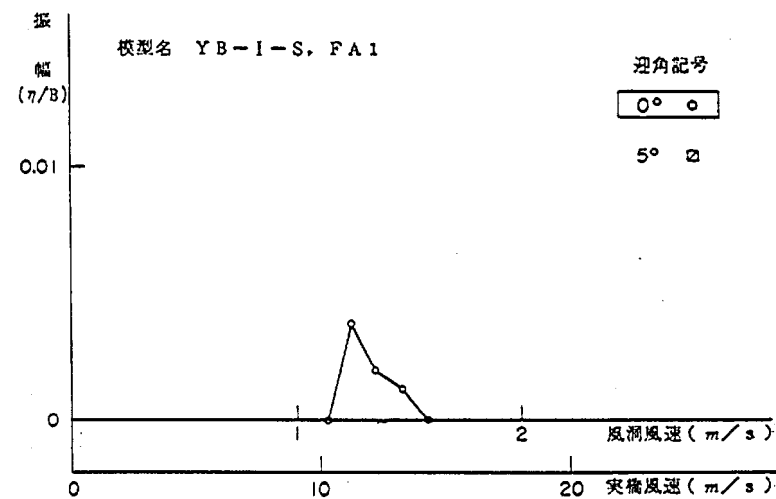


図-15-4 V-A

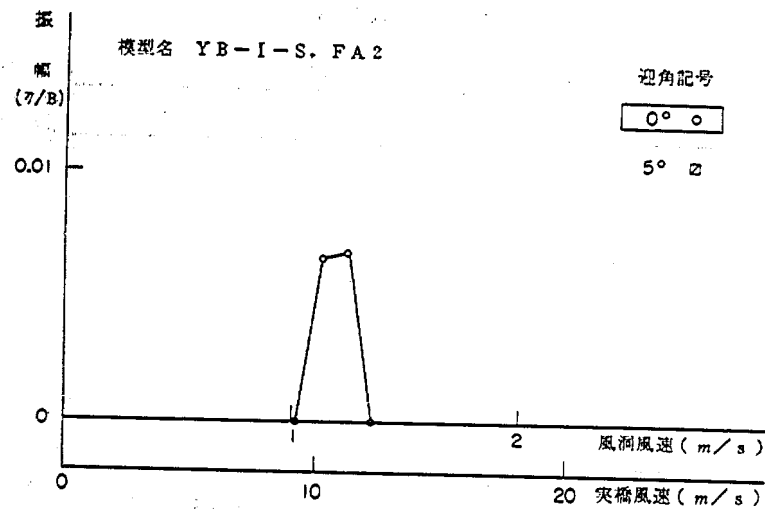


図-15-5 V-A

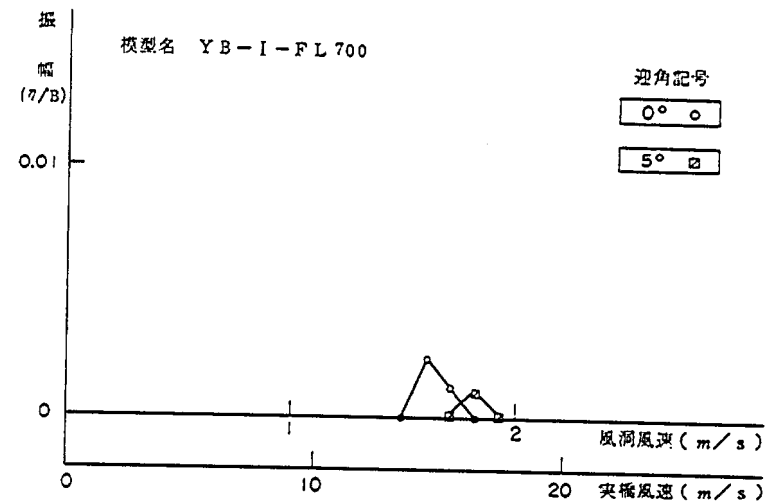


図-15-7 V-A

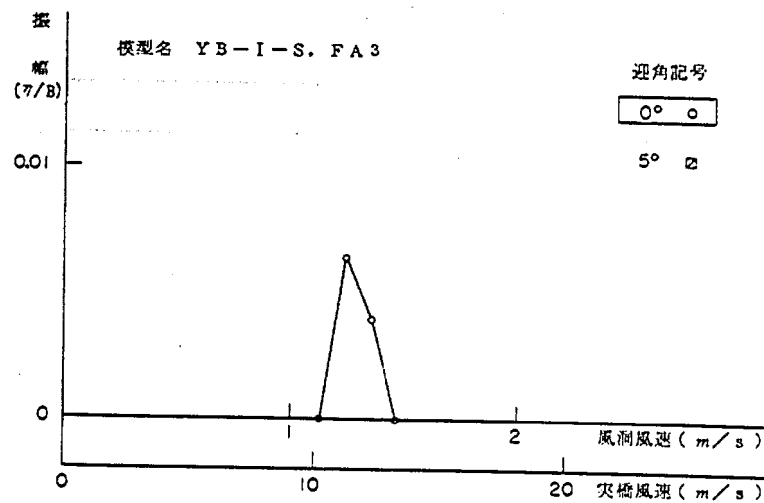


図-15-6 V-A

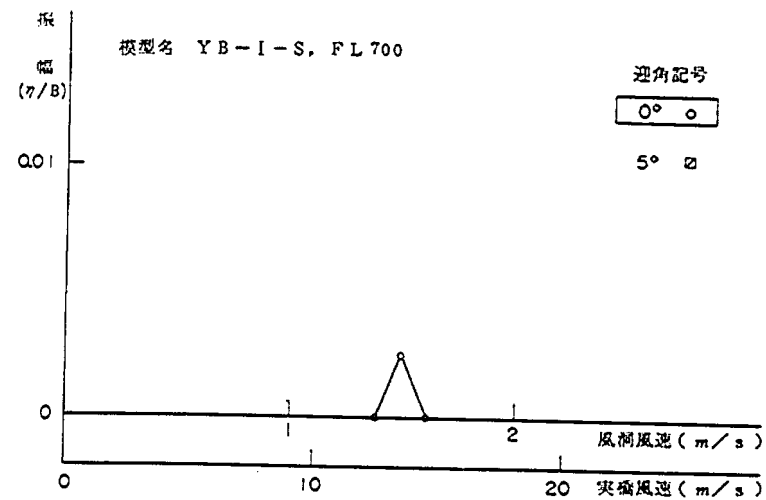


図-15-8 V-A

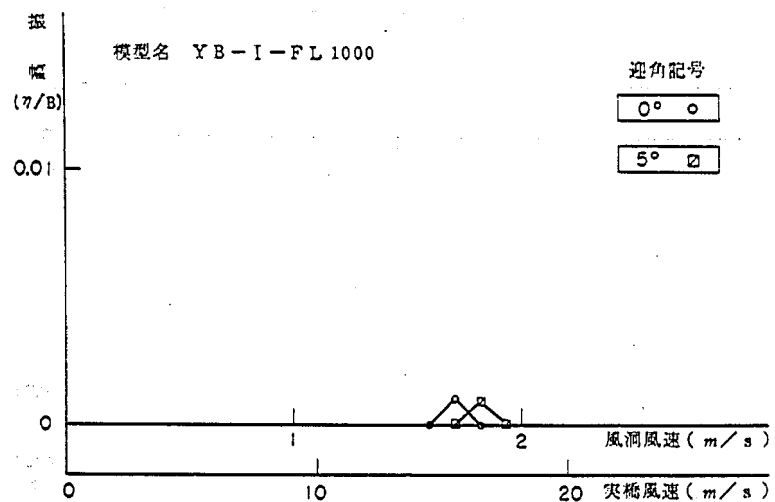


図-15-9 V-A

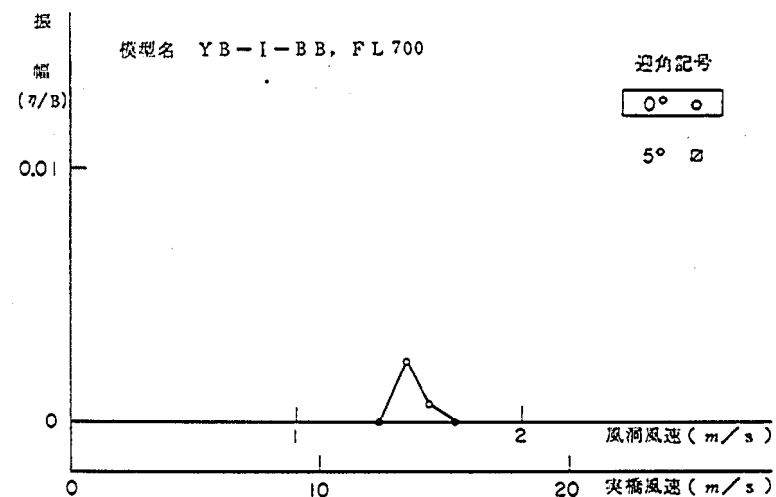


図-15-11 V-A

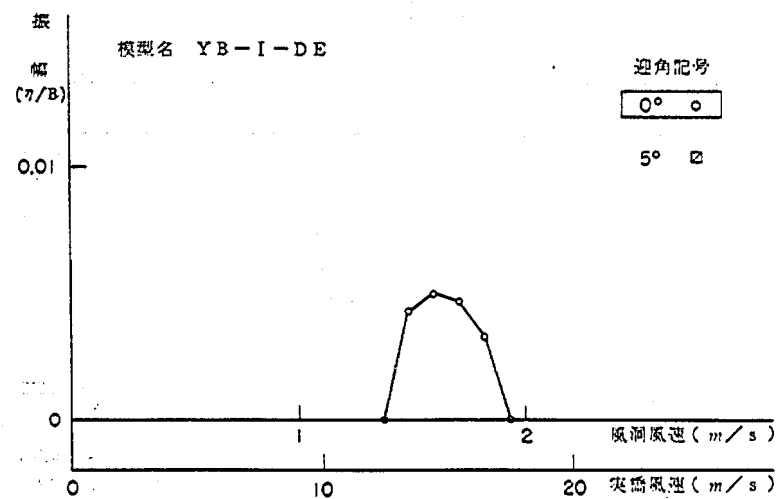


図-15-10 V-A

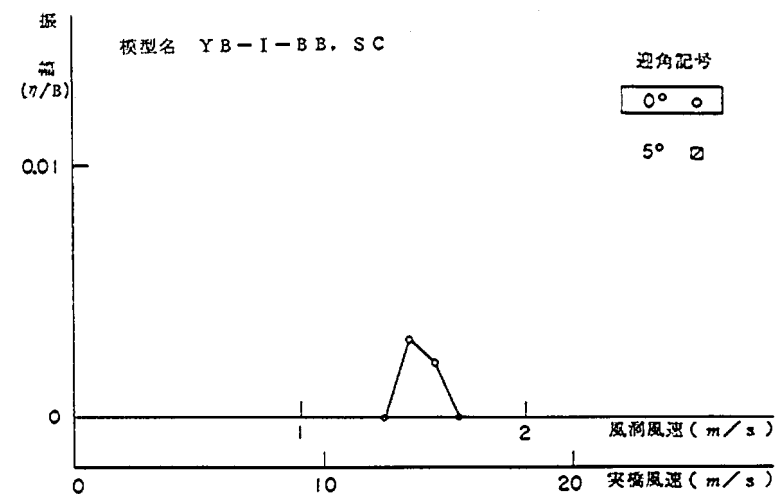


図-15-12 V-A

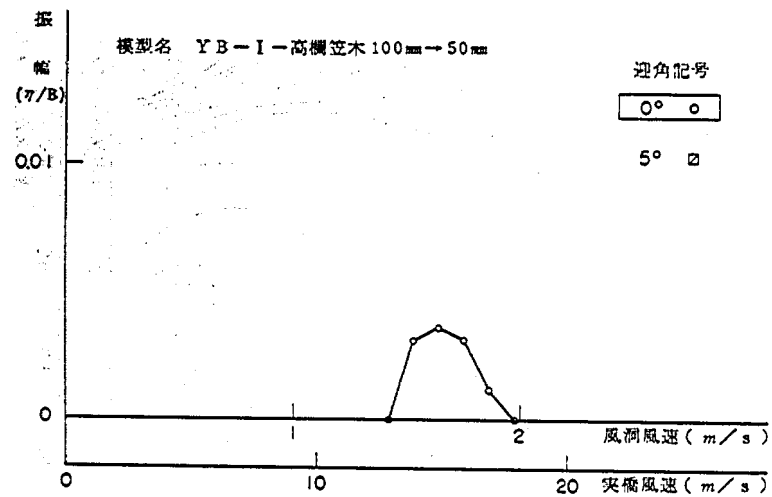


図-15-13 V-A

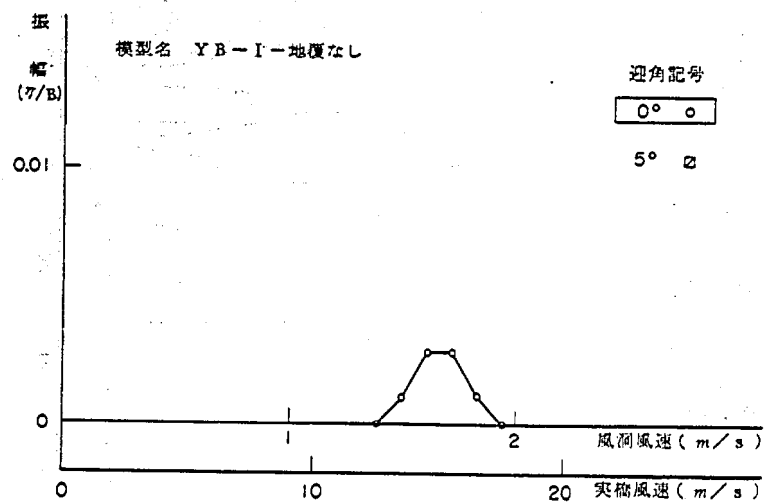


図-15-14 V-A

弦長	37.3cm
模型厚	6.7cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%



模型主要部寸法	
弦 長	37.3 cm
模型厚	6.7 cm
模型長	99.0 cm
閉塞比	3.32 %



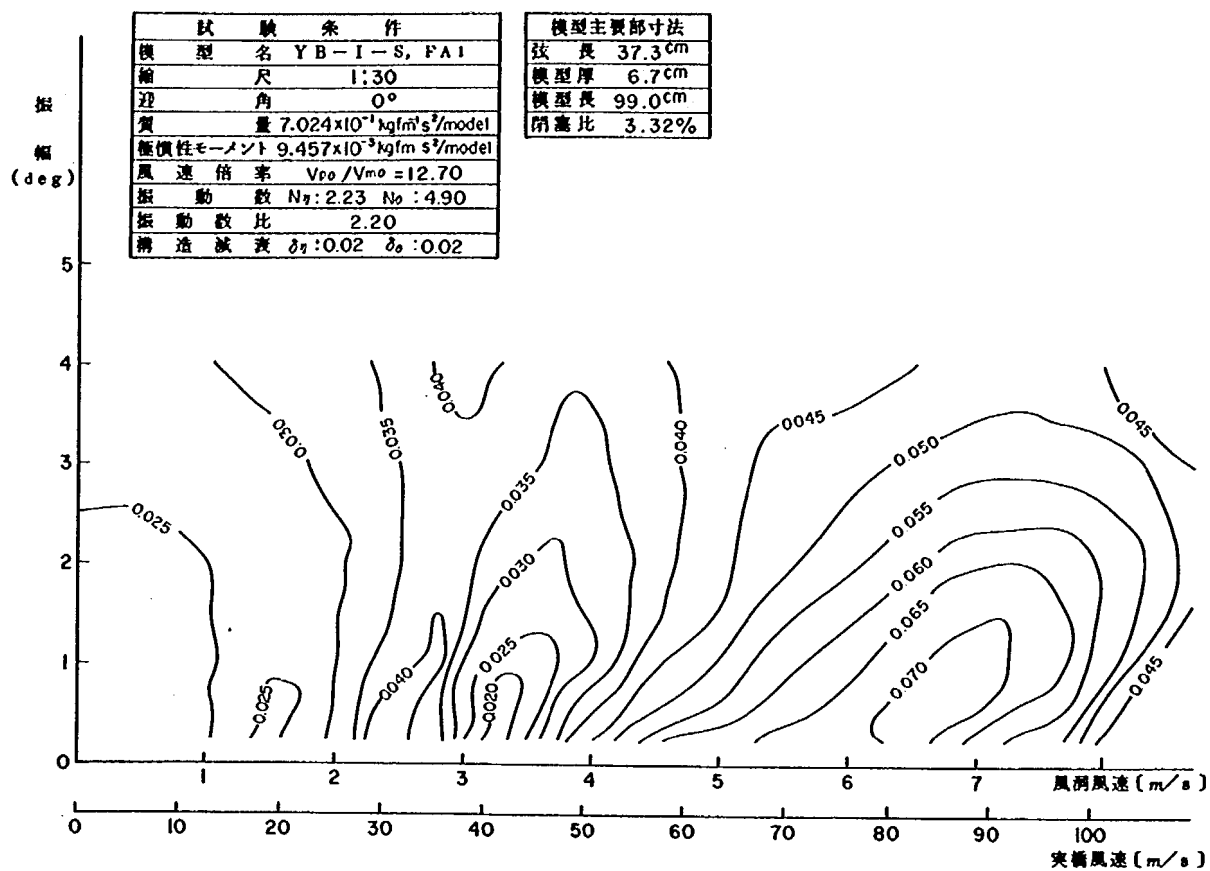


図-16-3 $V-A-\delta$

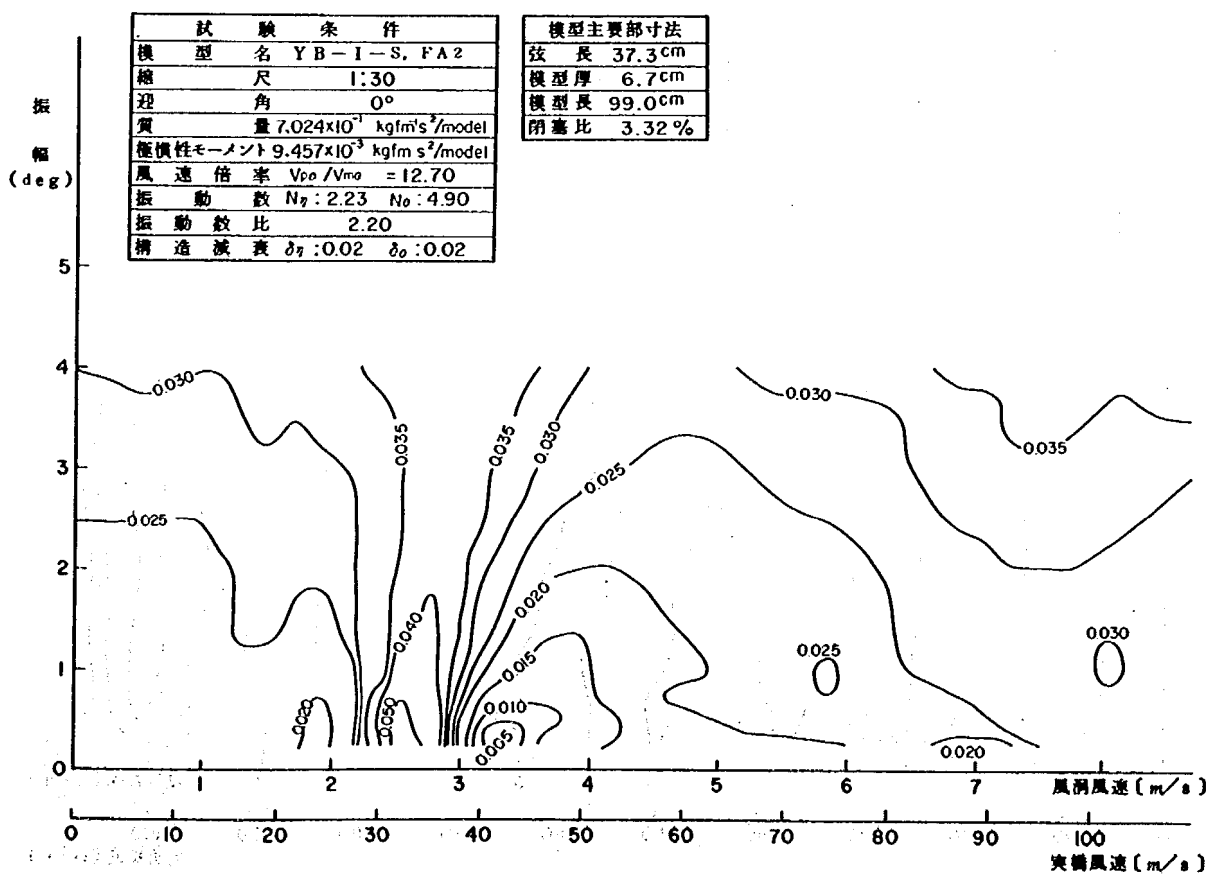


図-16-4 $V-A-\delta$

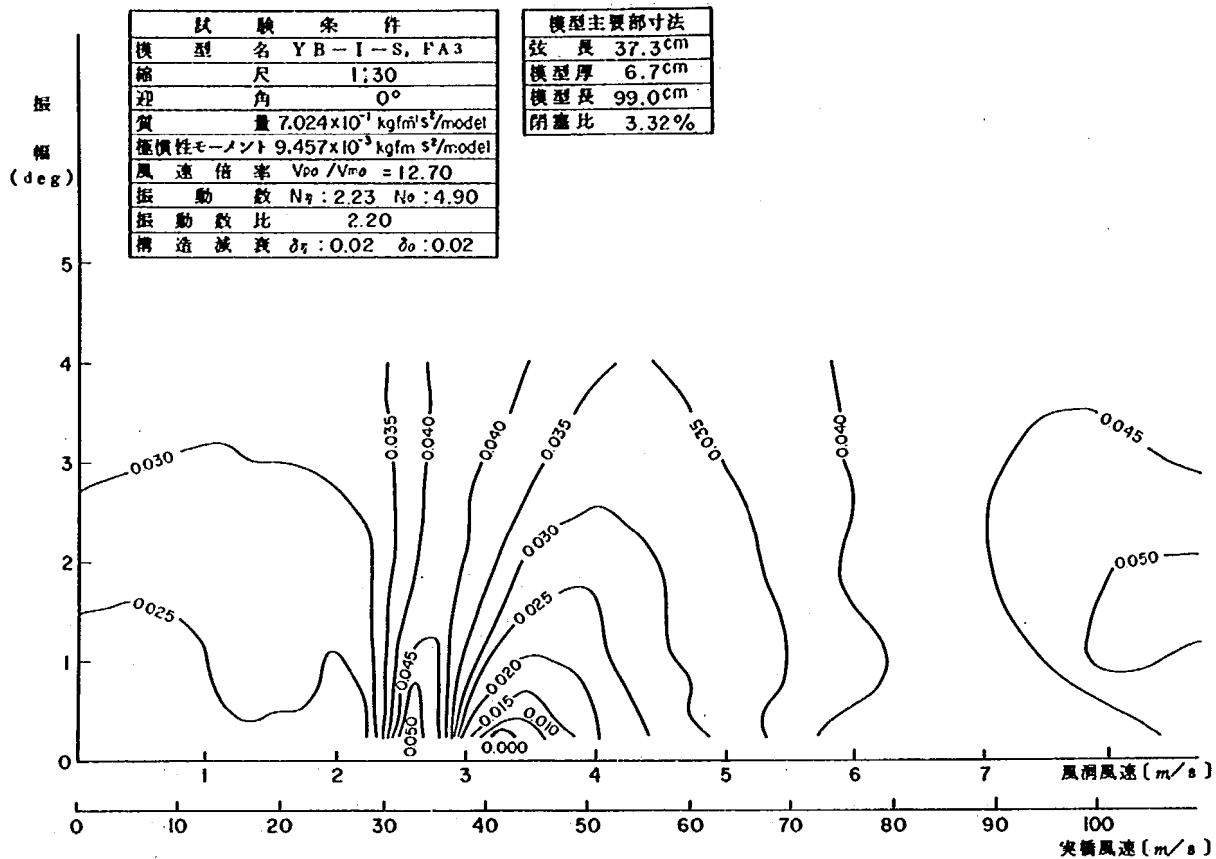


図-16-5 V-A- δ

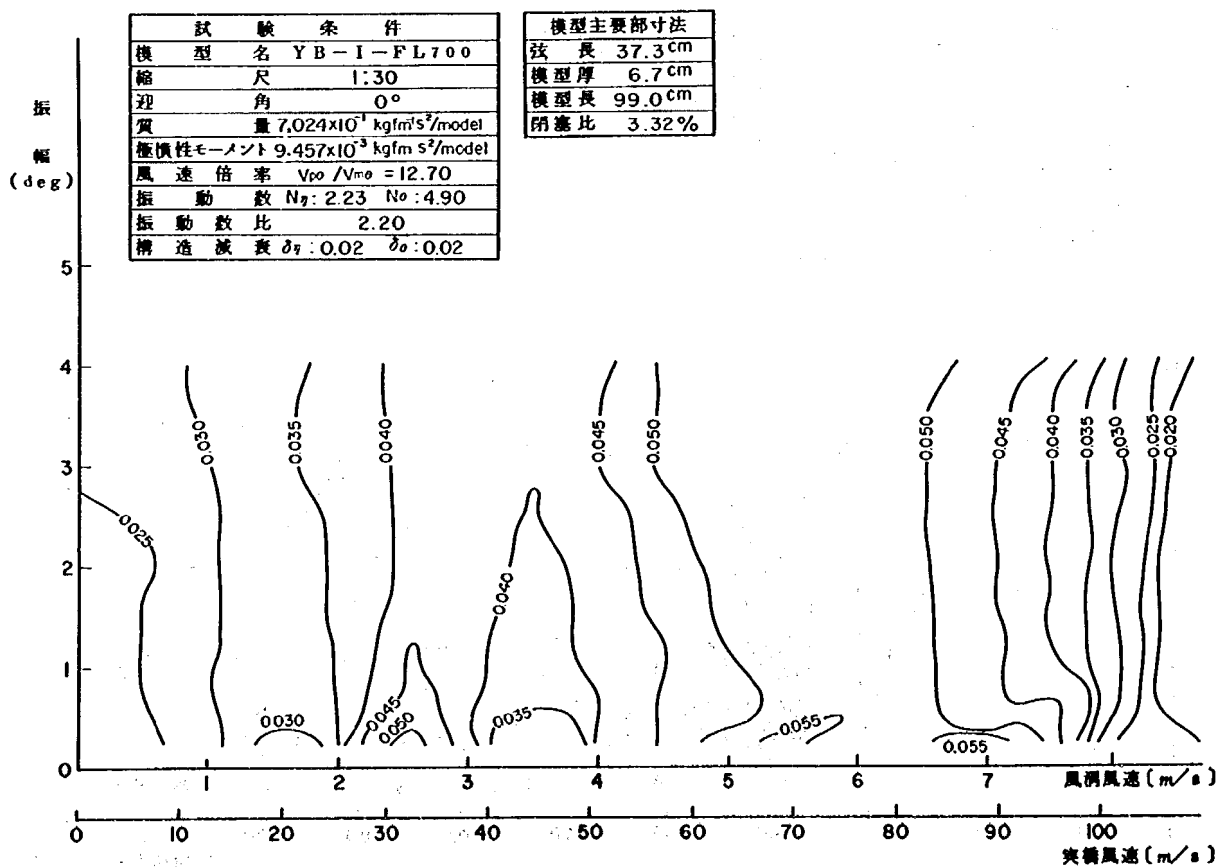


図-16-6 V-A- δ

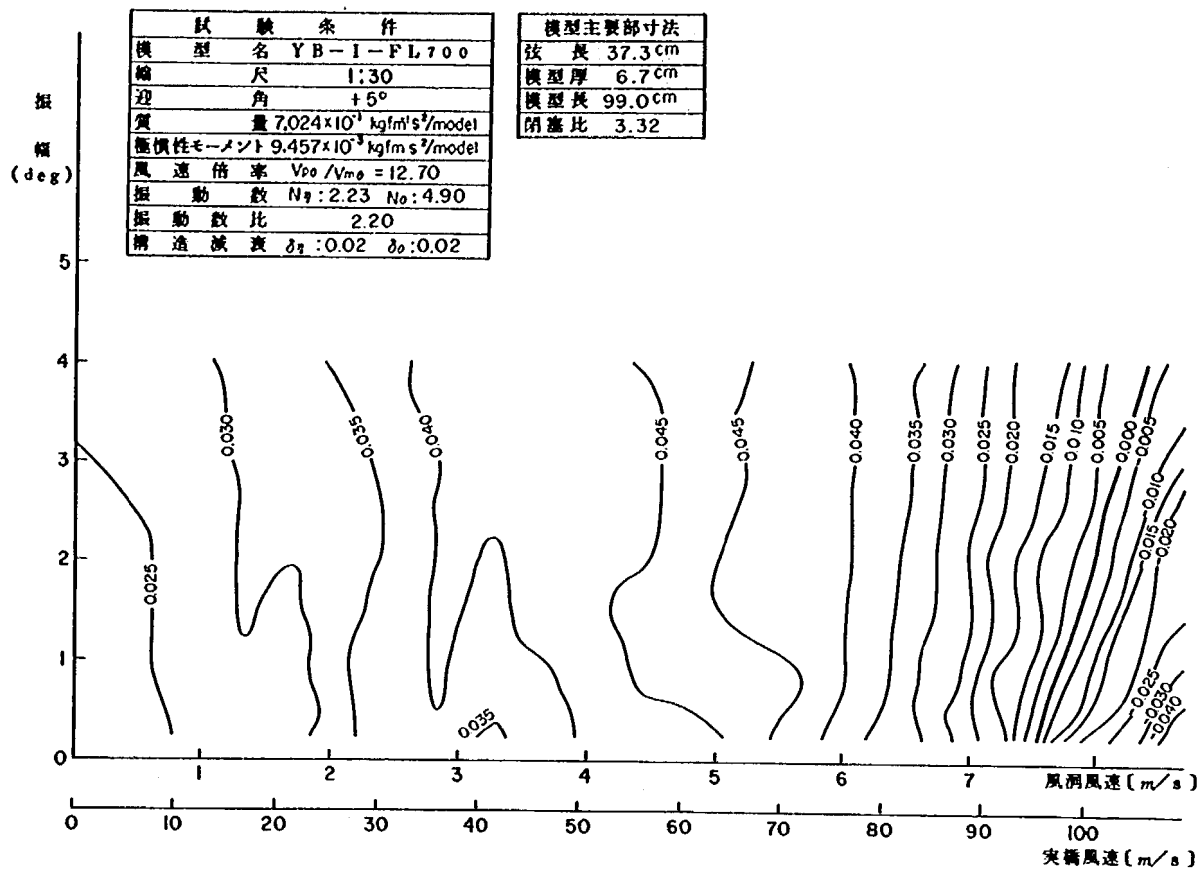


図-16-7 $V-A-\delta$

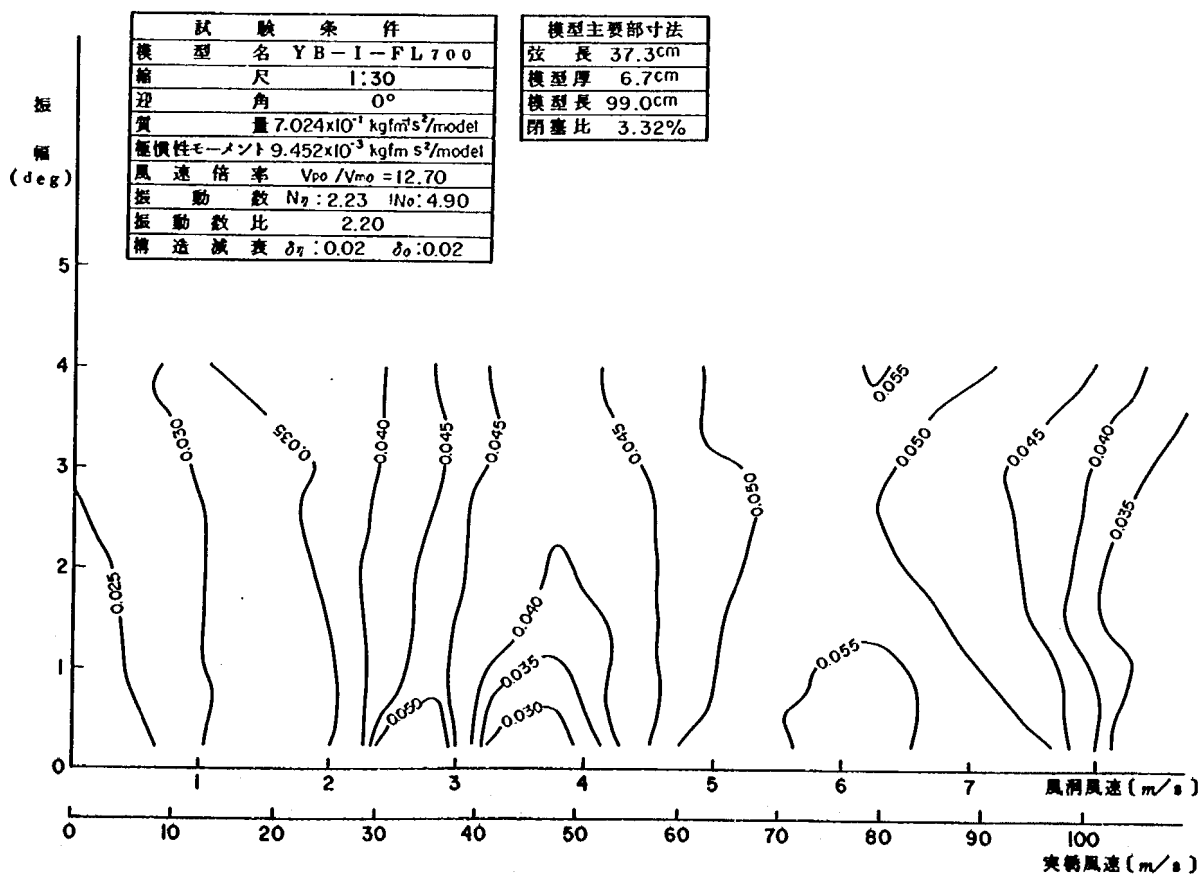


図-16-8 $V-A-\delta$

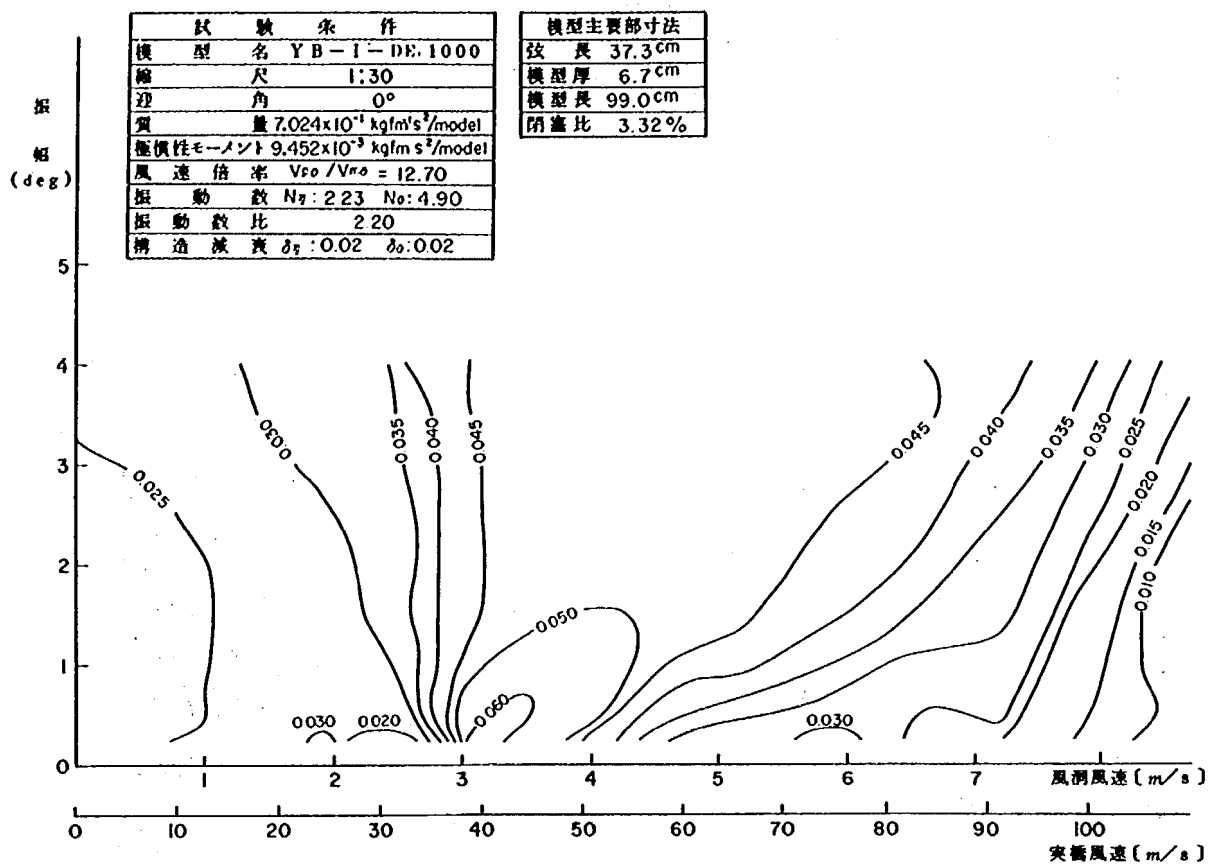


図-16-9 $V-A-\delta$

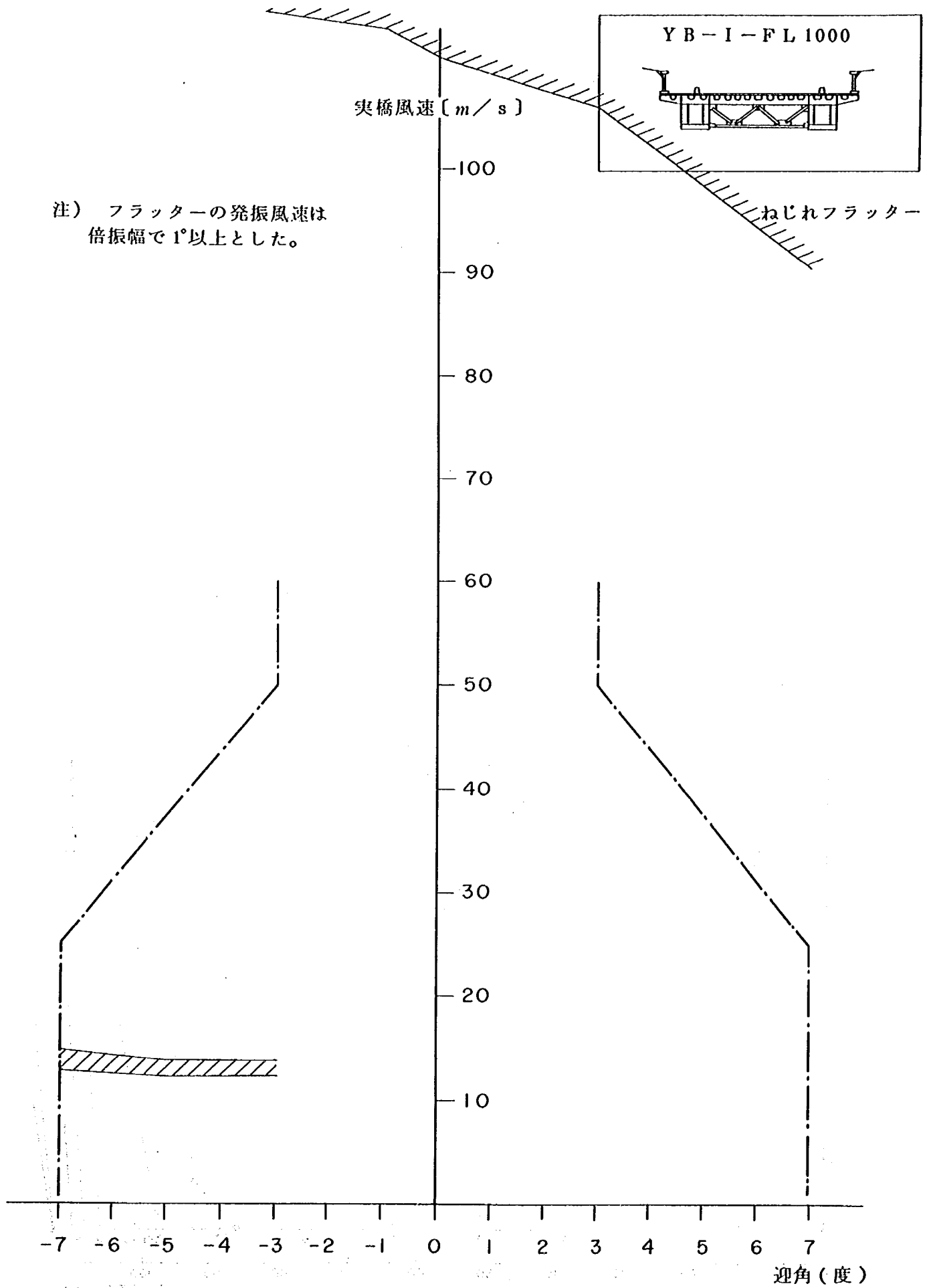


図-17 風速-迎角曲線

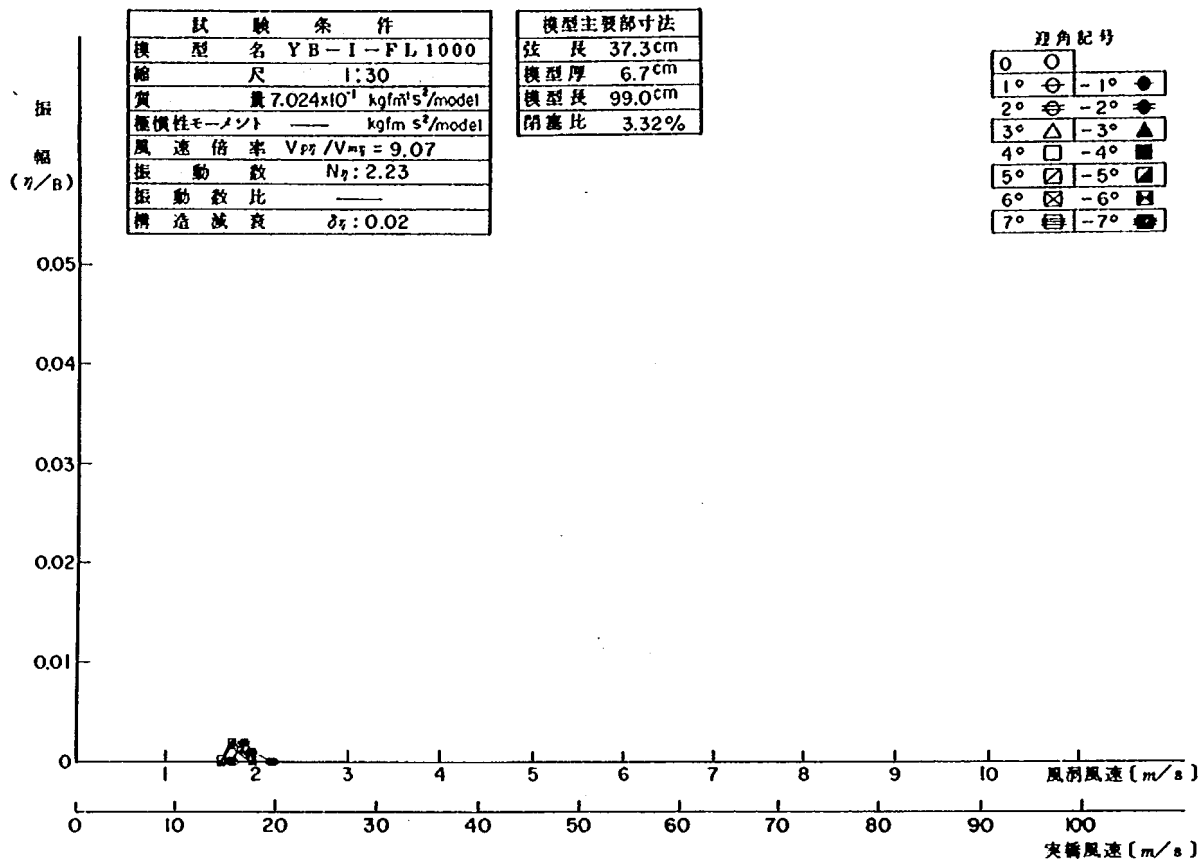


図-18-1 V-A

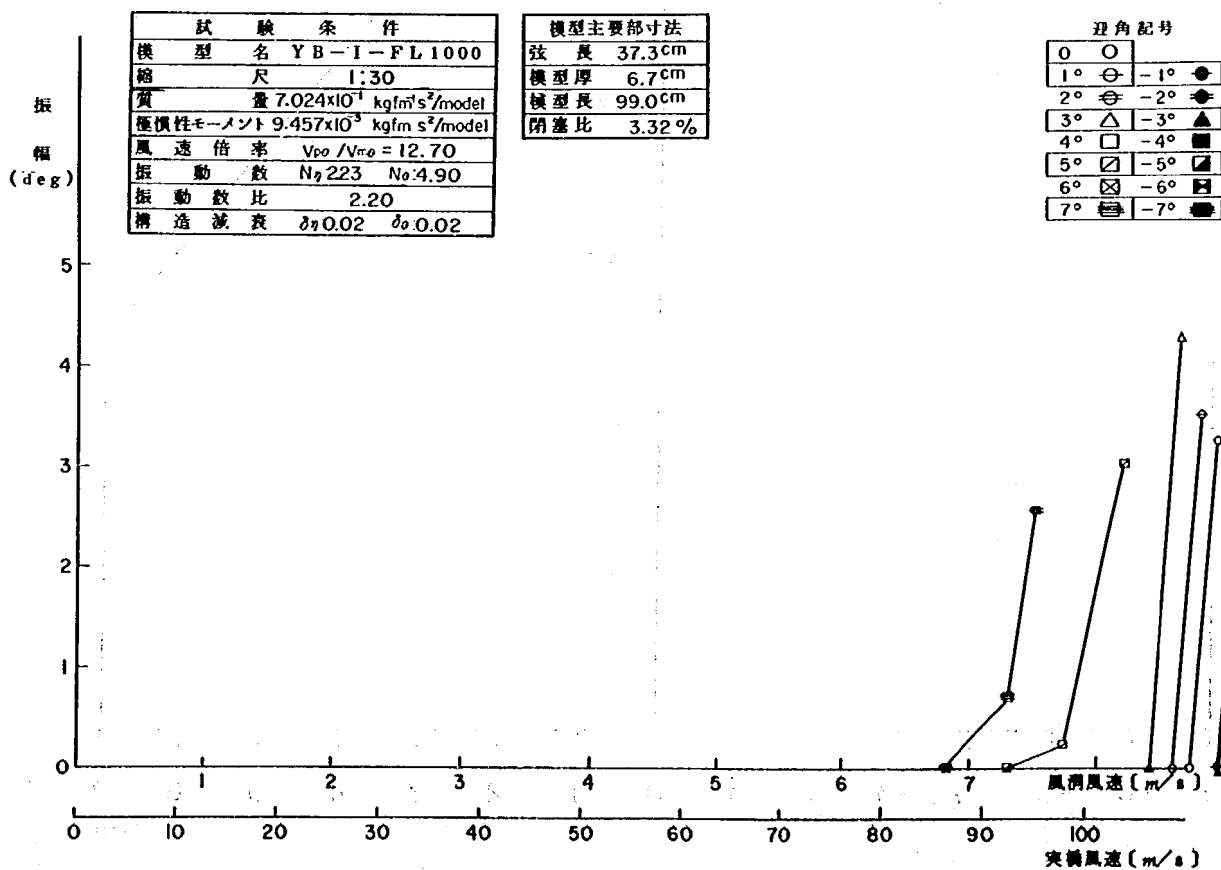


図-18-2 V-A

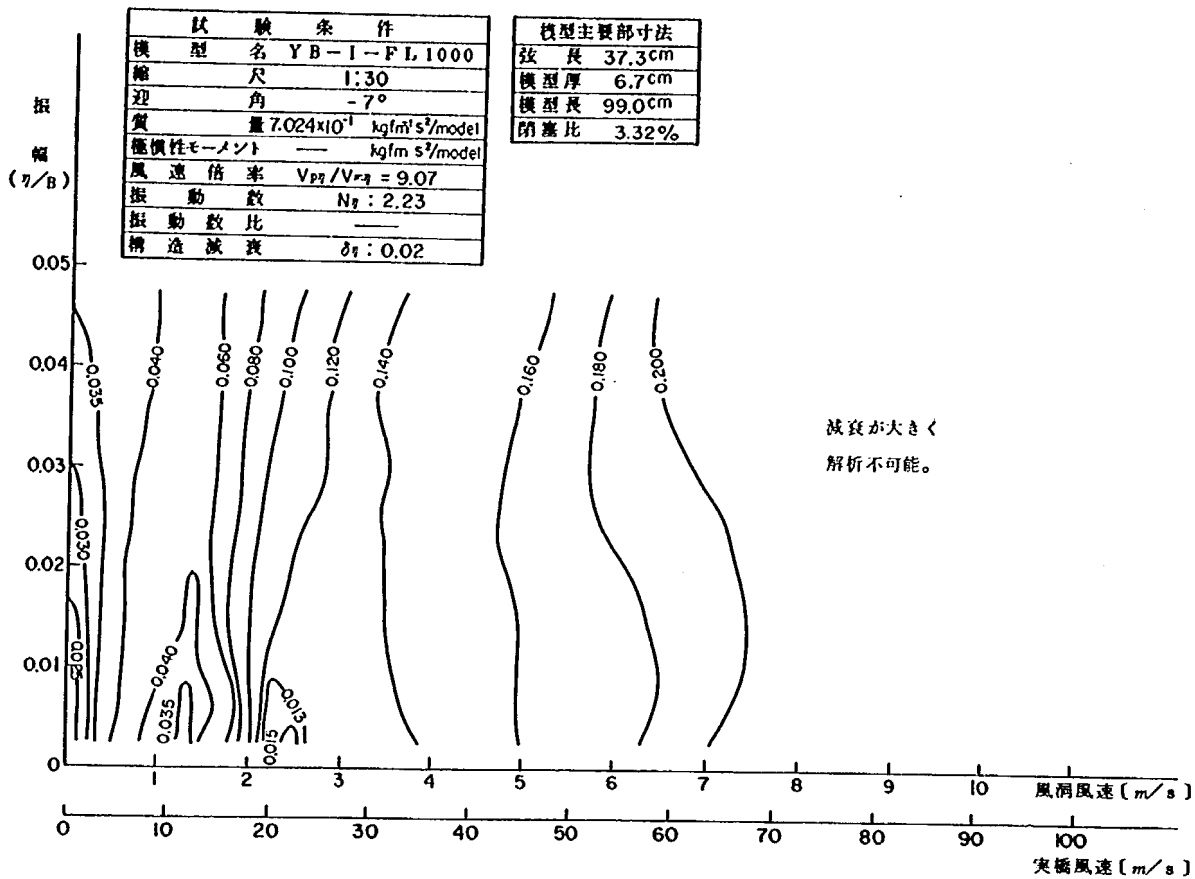


図-19-1 $V - A - \delta$

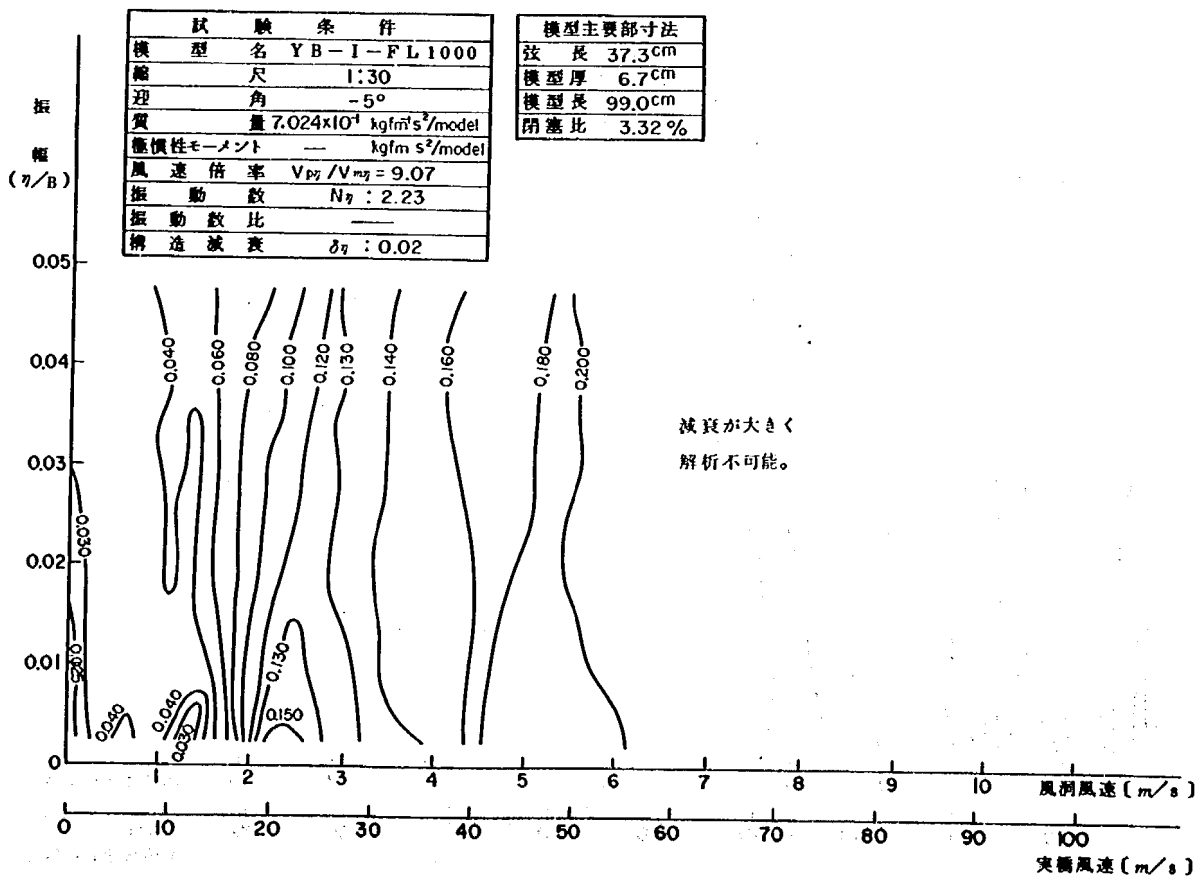


図-19-2 $V - A - \delta$

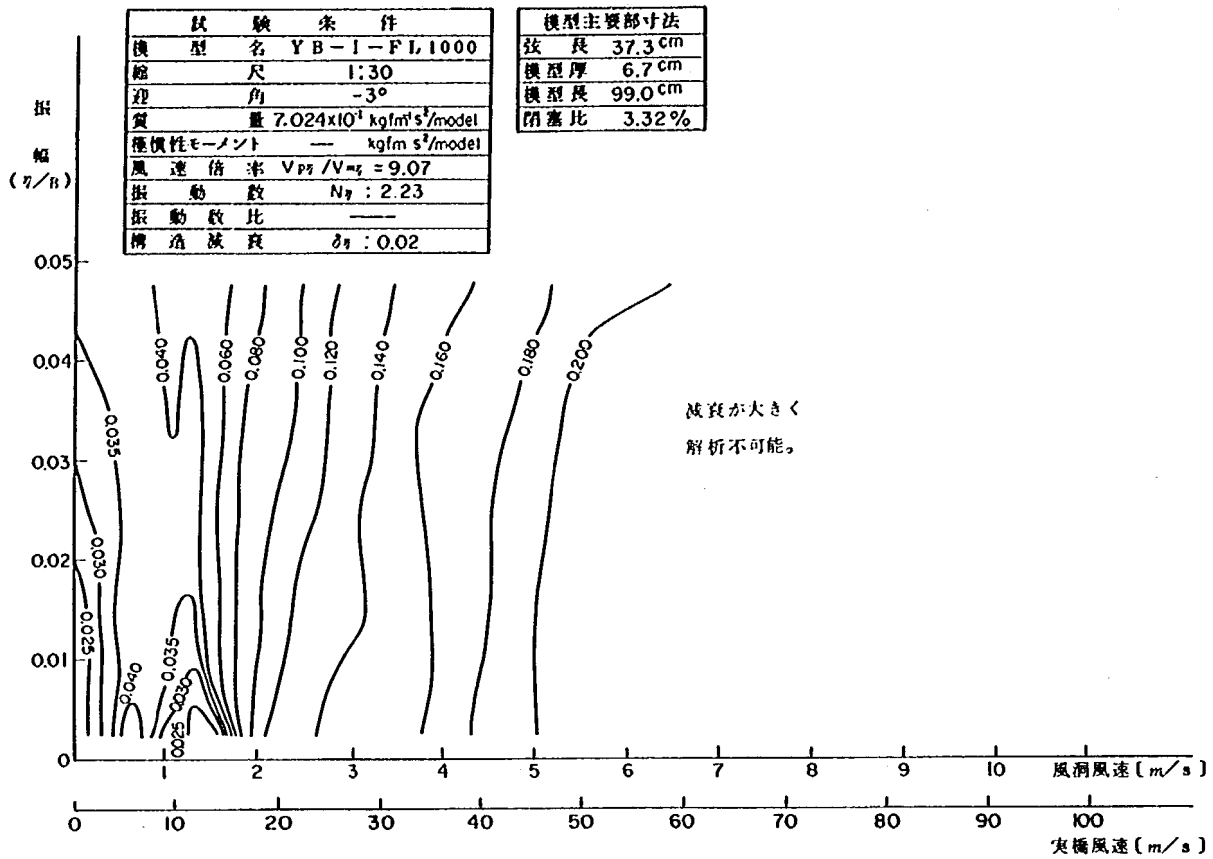


図-19-3 $V - A - \delta$

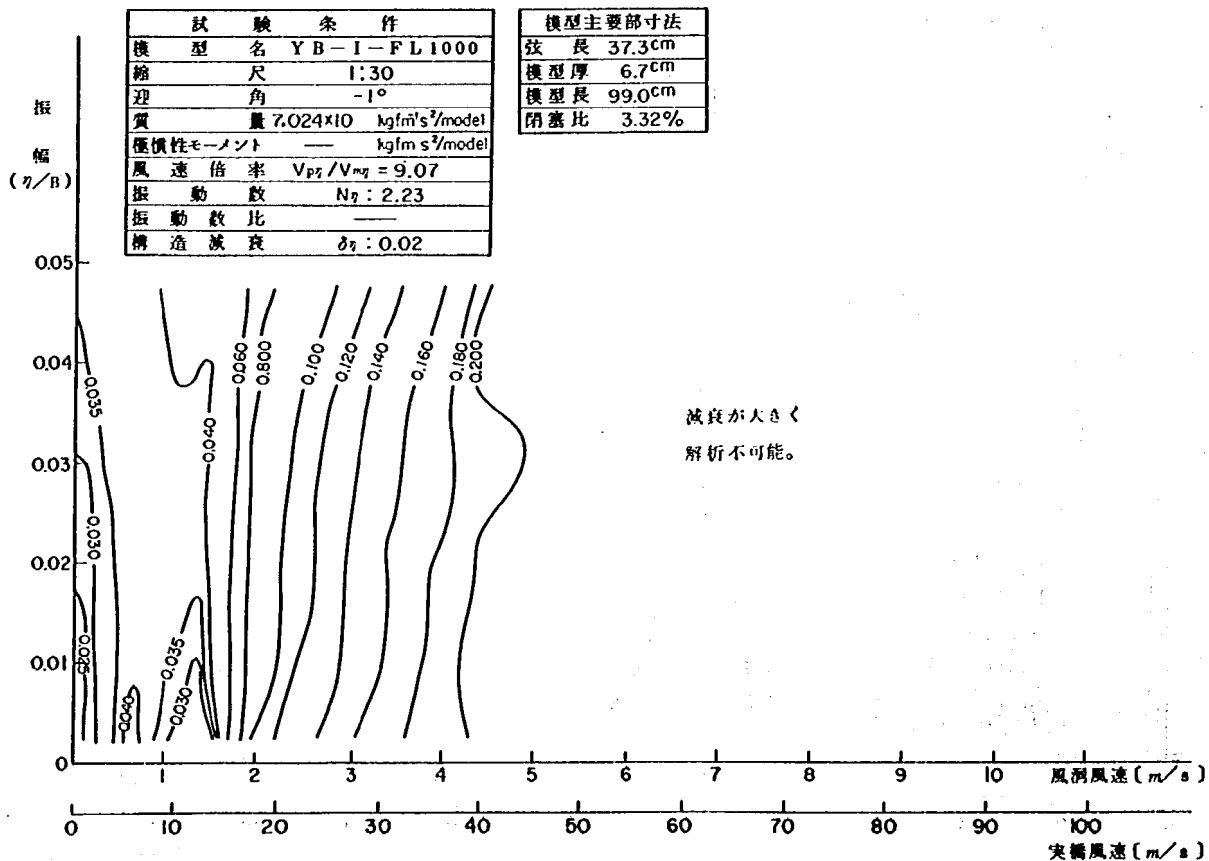


図-19-4 $V - A - \delta$

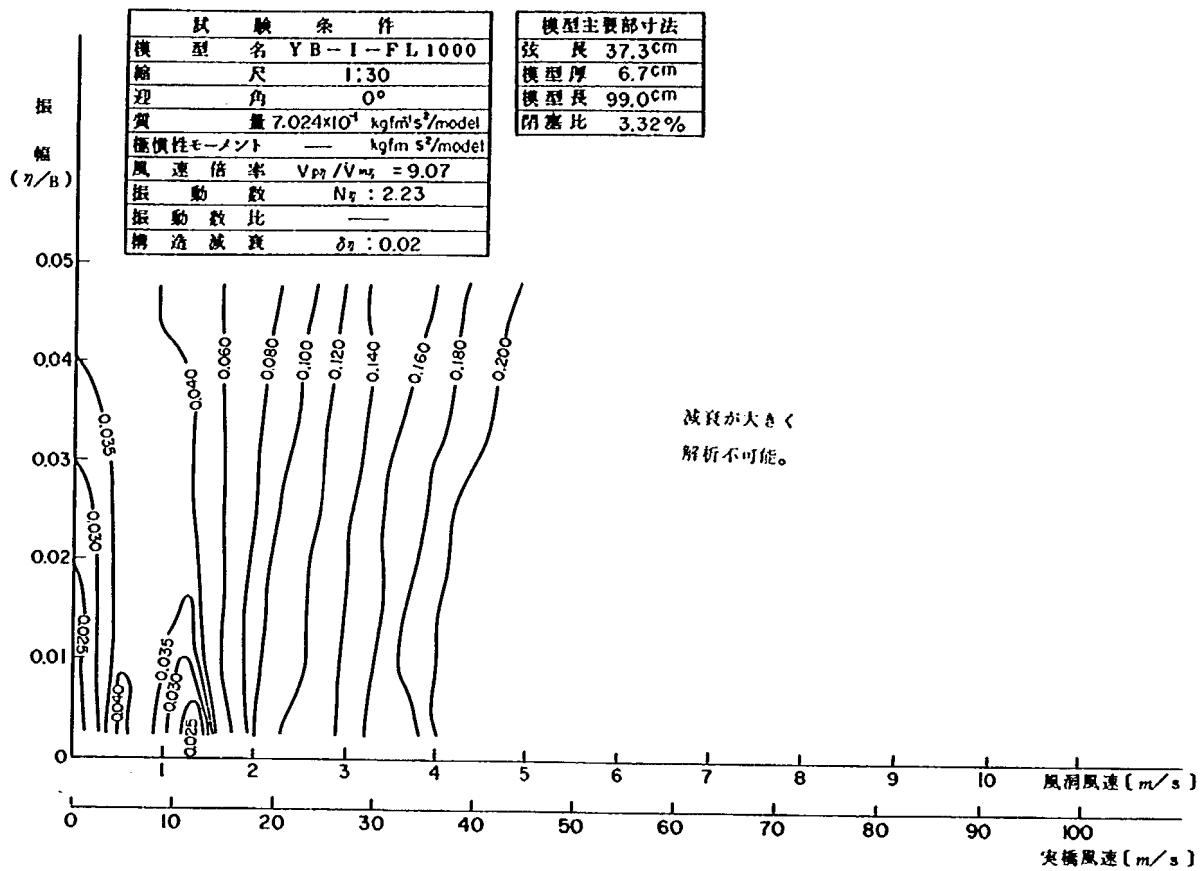


図-19-5 $V - A - \delta$

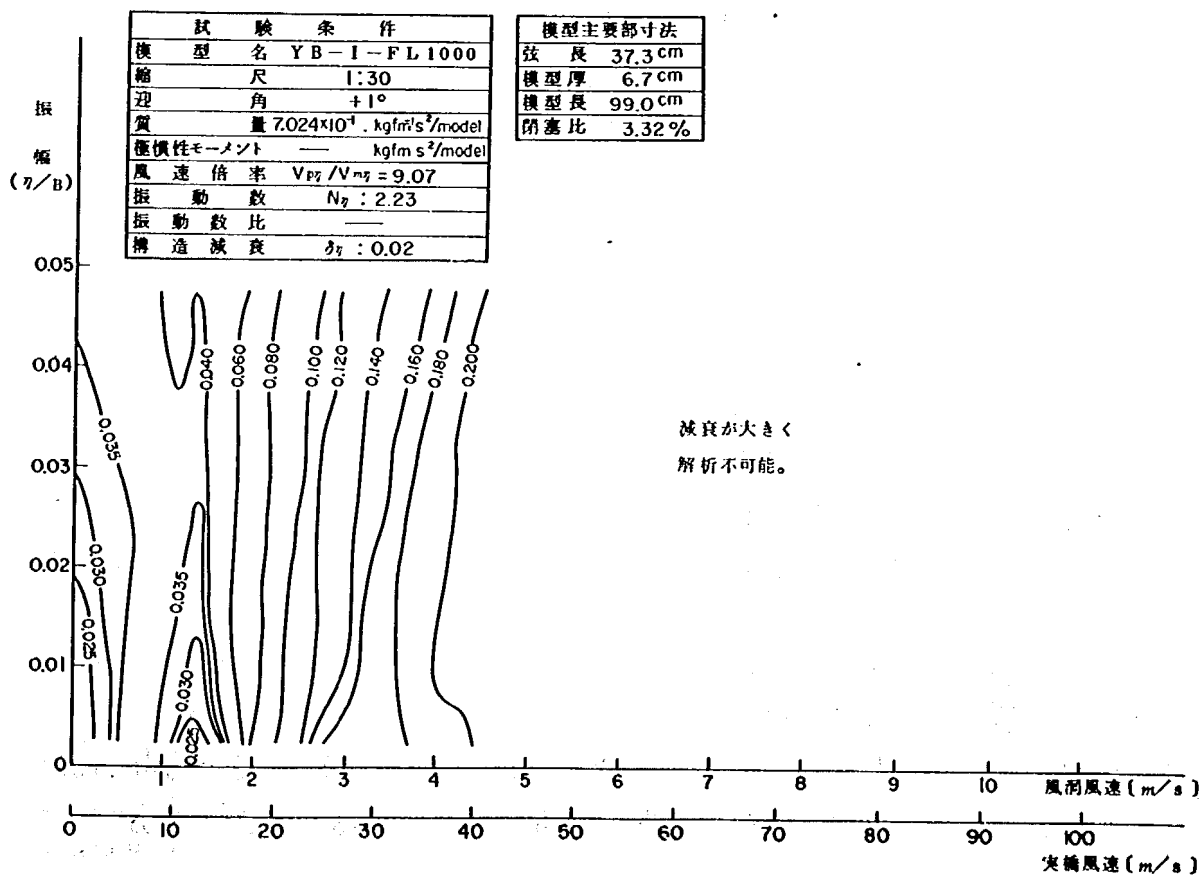


図-19-6 $V - A - \delta$

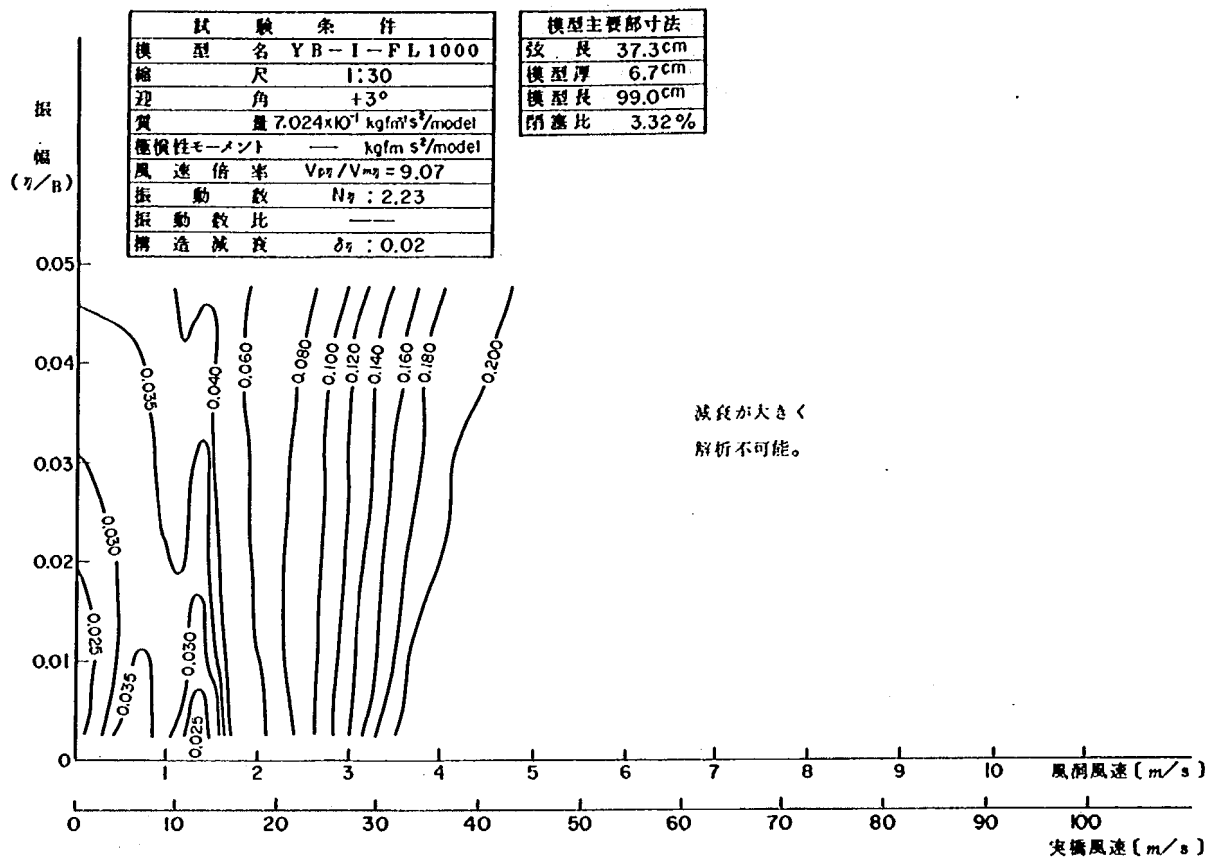


図-19-7 $V-A-\delta$

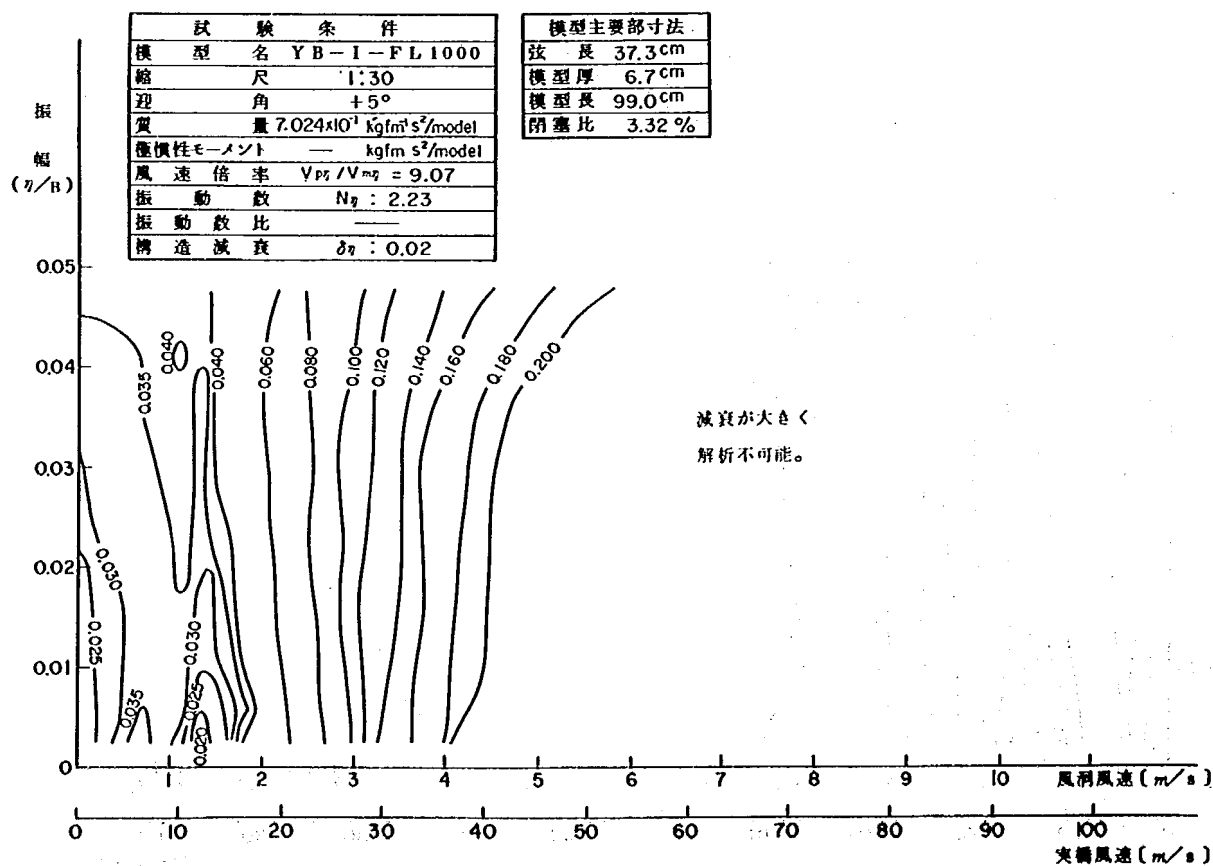


図-19-8 $V-A-\delta$

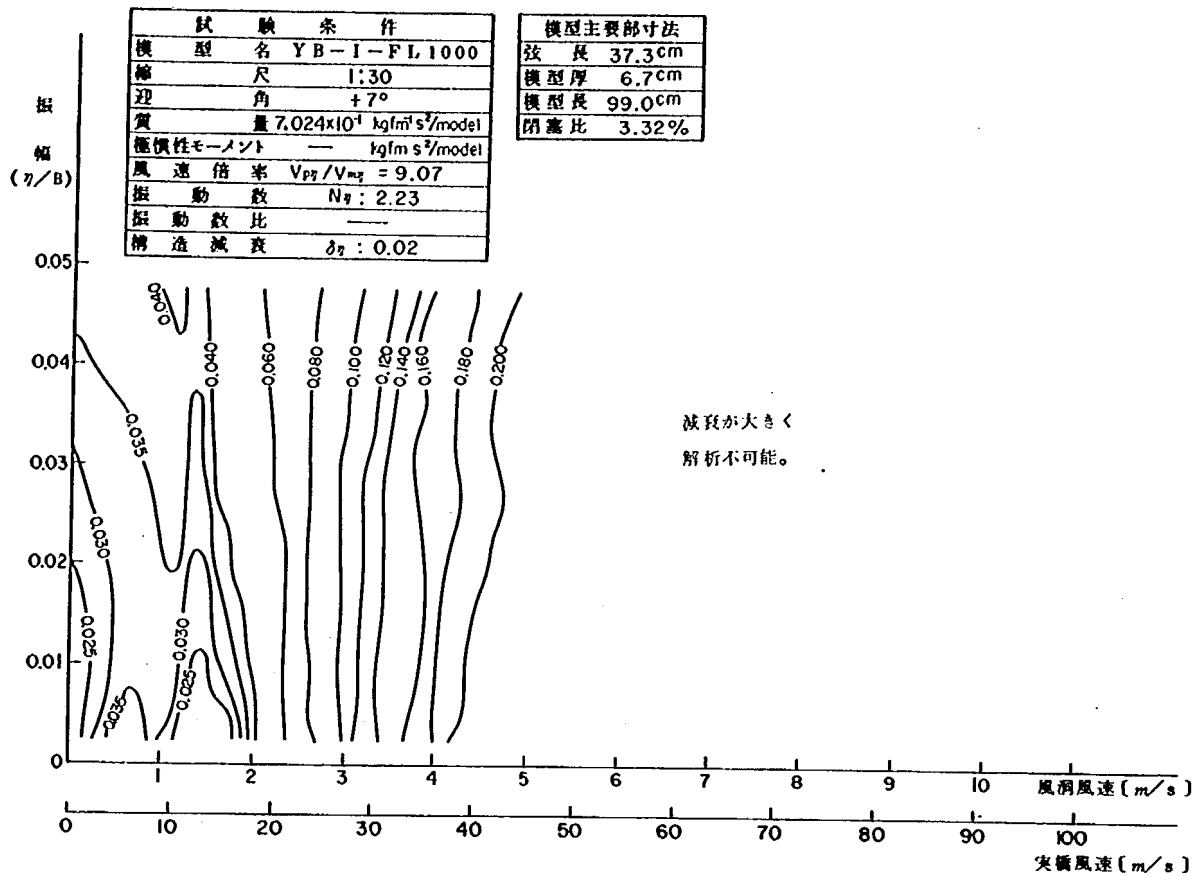


図-19-9 $V-A-\delta$

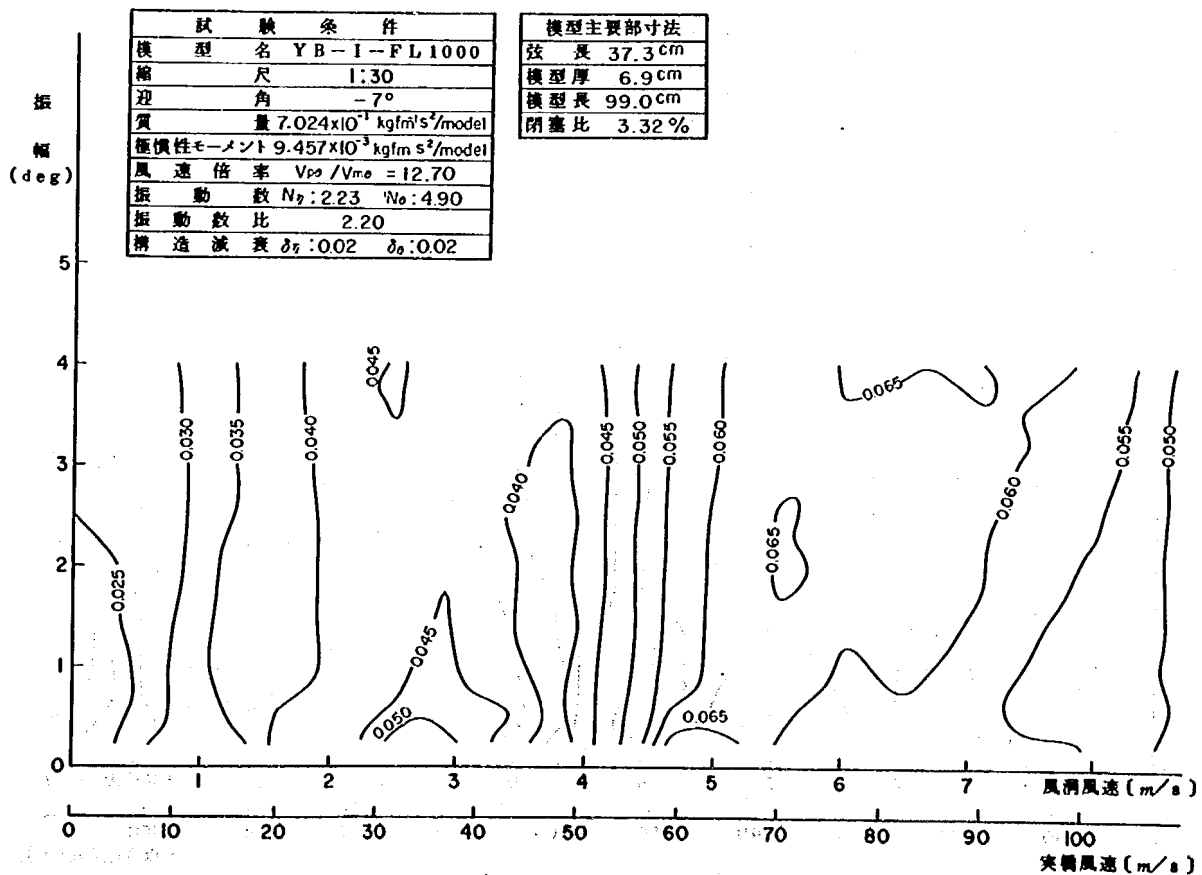


図-19-10 $V-A-\delta$

模型主要部寸法	
弦長	37.3cm
模型厚	6.9cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%



模型主要部寸法	
弦 長	37.3 cm
模型厚	6.9 cm
模型長	99.0 cm
閉塞比	3.32%



機型主要部寸法	
弦長	37.3cm
機型厚	6.9cm
機型長	99.0cm
閉塞比	3.32%

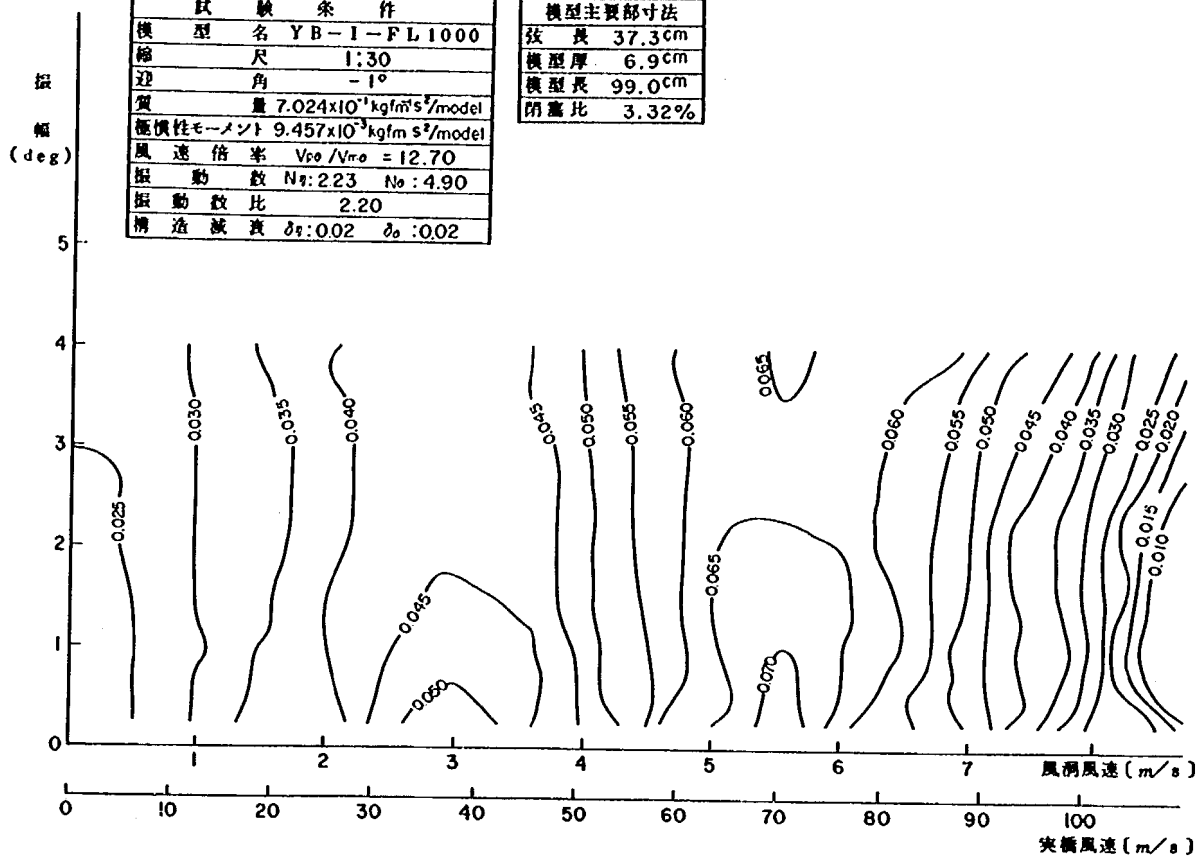


图-19-13 $V-A-\delta$

模型主要部寸法	
弦 長	37.3cm
模型厚	6.9cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%

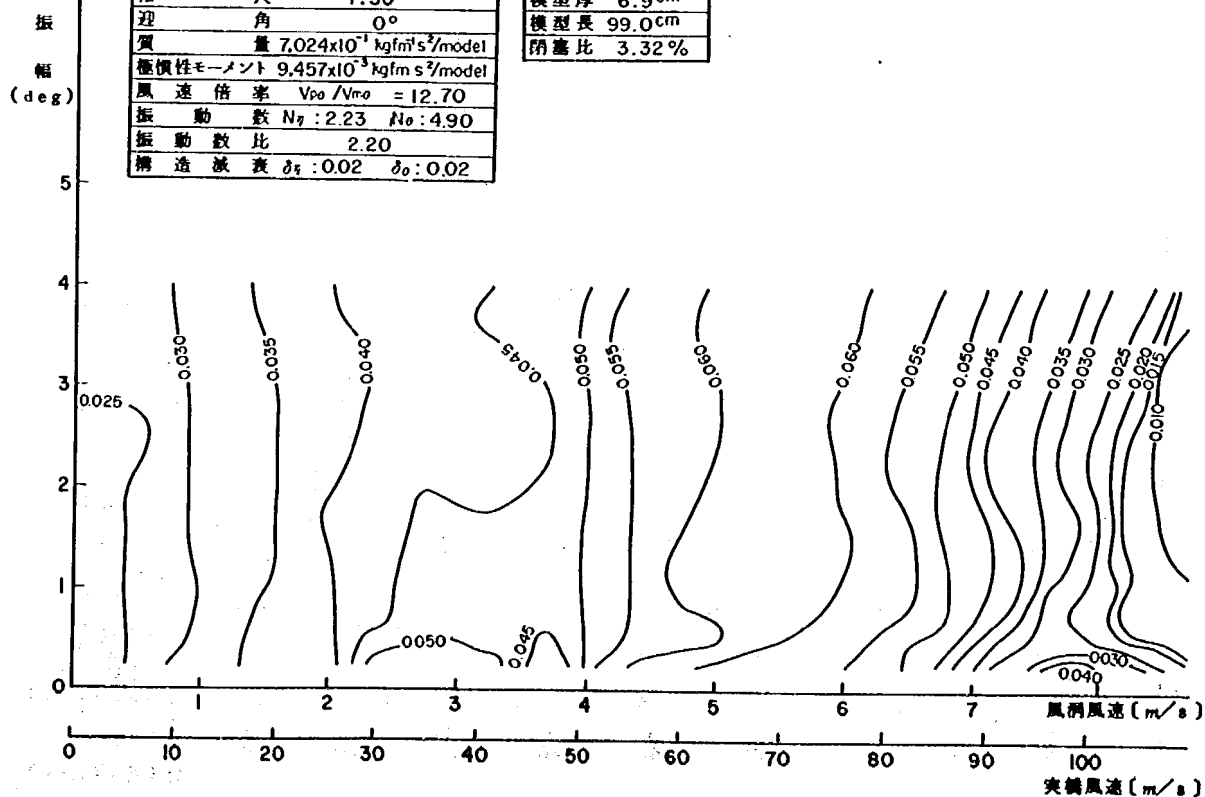


图-19-14 $V-A-\delta$

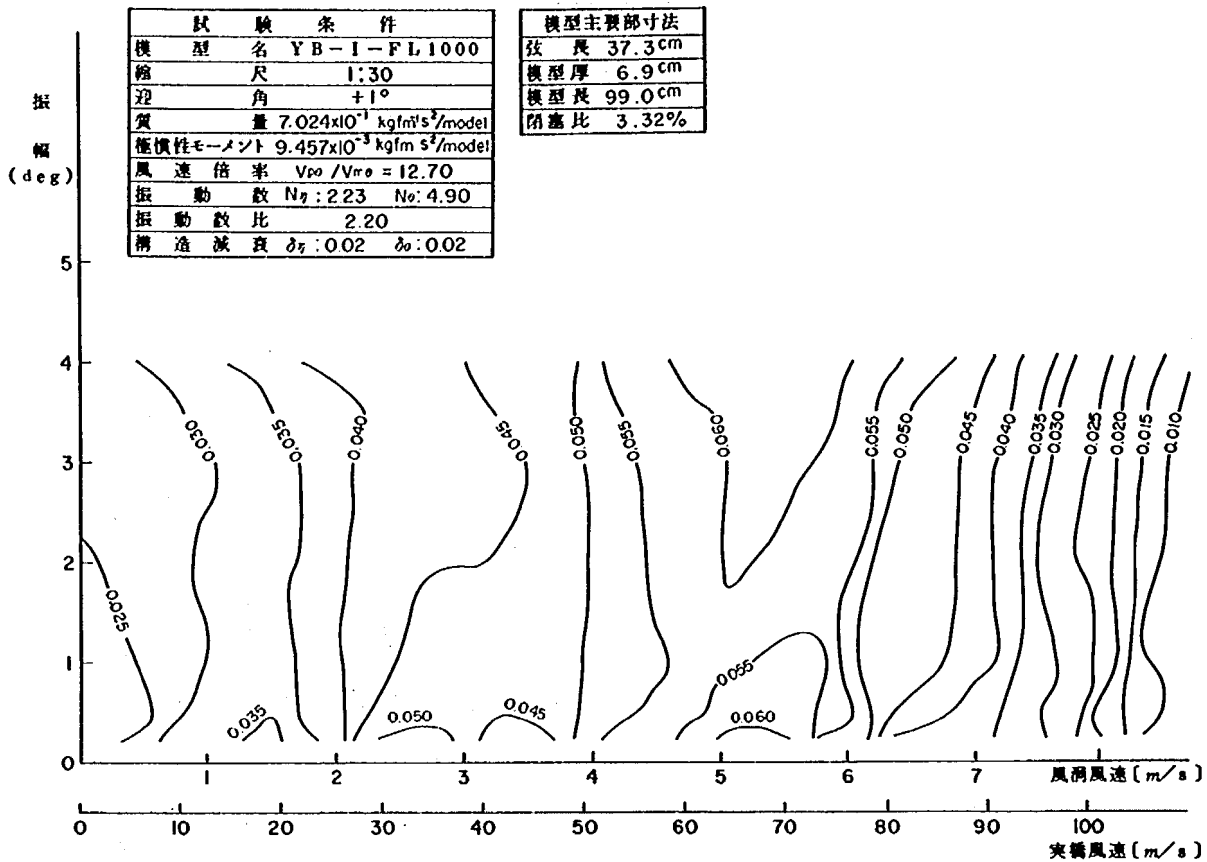


図-19-15 $V-A-\delta$

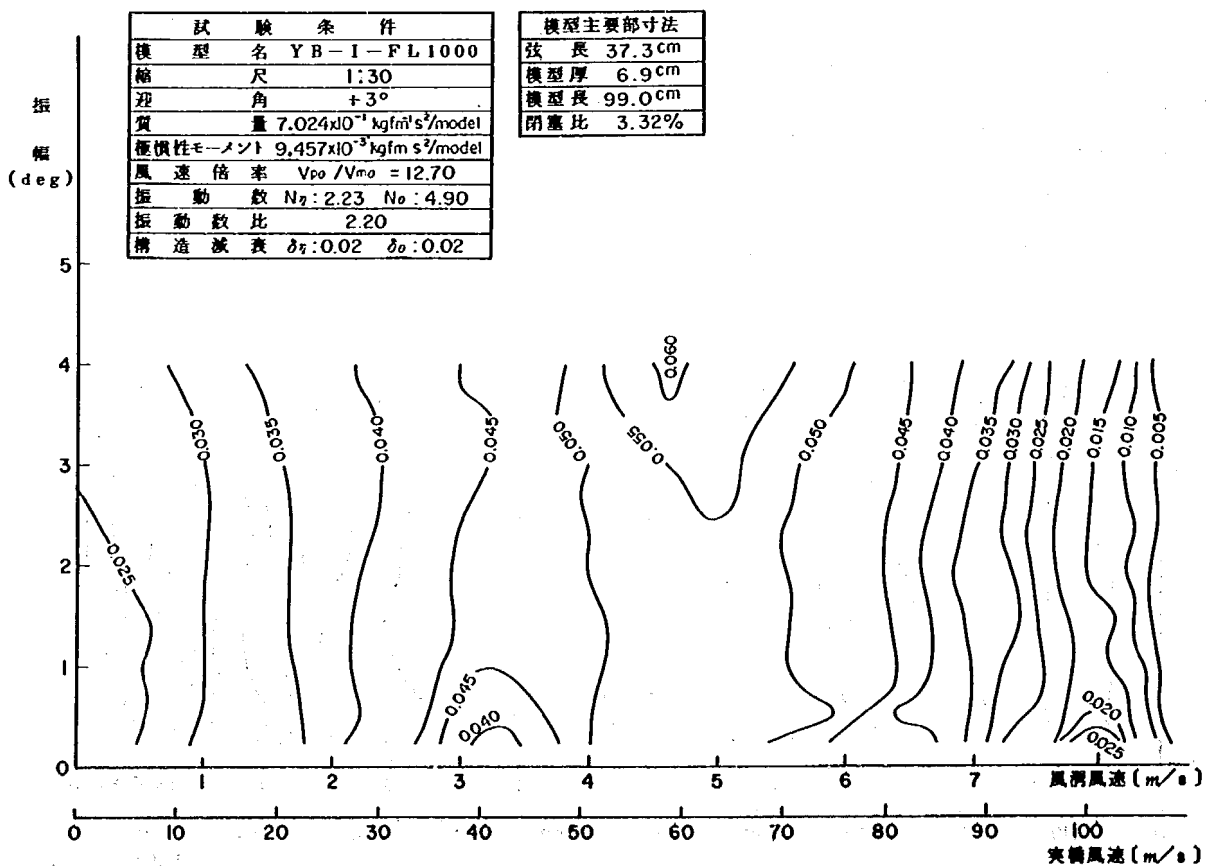


図-19-16 $V-A-\delta$

振
幅
(d'ég)

試 験 条 件	
模 型 名	YB-1-FL1000
縮 尺	1:30
迎 角	$+7^\circ$
質 量	$7.024 \times 10^{-1} \text{ kgfm}^2/\text{s}^2/\text{model}$
慣性モーメント	$9.457 \times 10^{-3} \text{ kgfm}^2/\text{s}^2/\text{model}$
風速倍率	$V_{p0}/V_{m0} = 12.70$
振動数	$N_T: 2.23 \quad N_0: 4.90$
振動数比	2.20
構造減衰	$\delta_T: 0.02 \quad \delta_0: 0.02$

模型主要部寸法	
弦 長	37.3cm
模型厚	6.9cm
模型長	99.0cm
閉塞比	3.32%

— 69 —

Y B - I - S C, $\alpha = +5^\circ$, $V_{p\eta} = 16.87 \text{ m/s}$

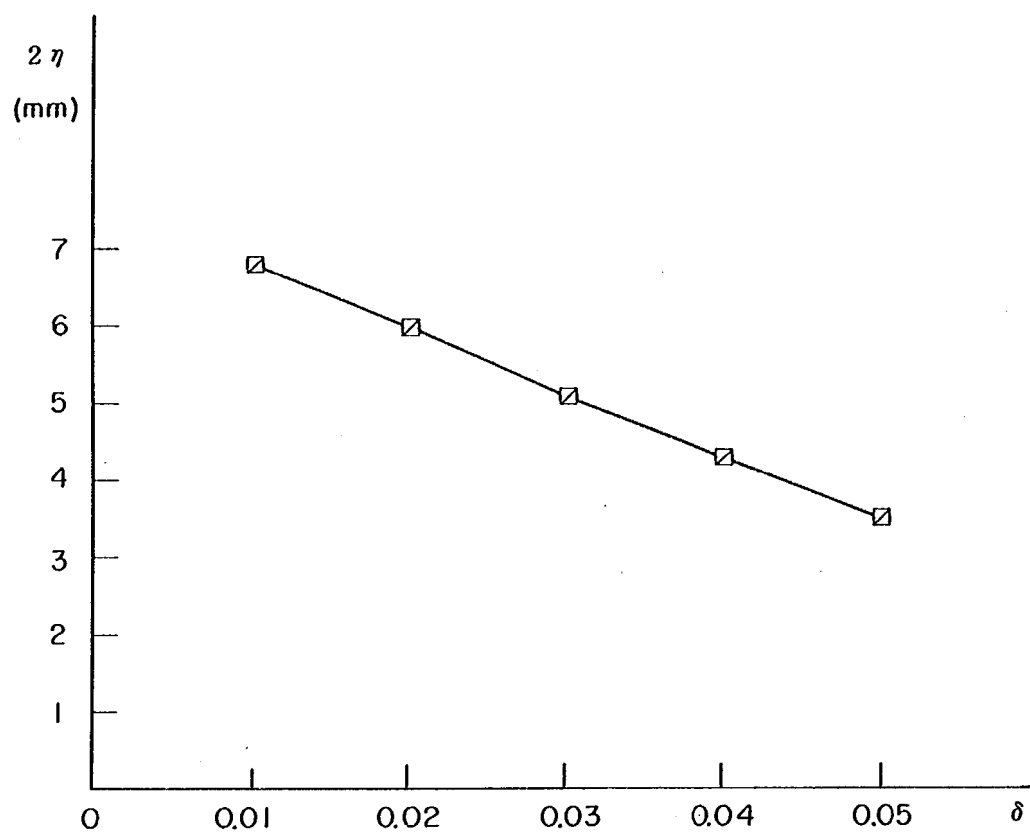


図-20 渦励振振幅におよぼす減衰率の影響

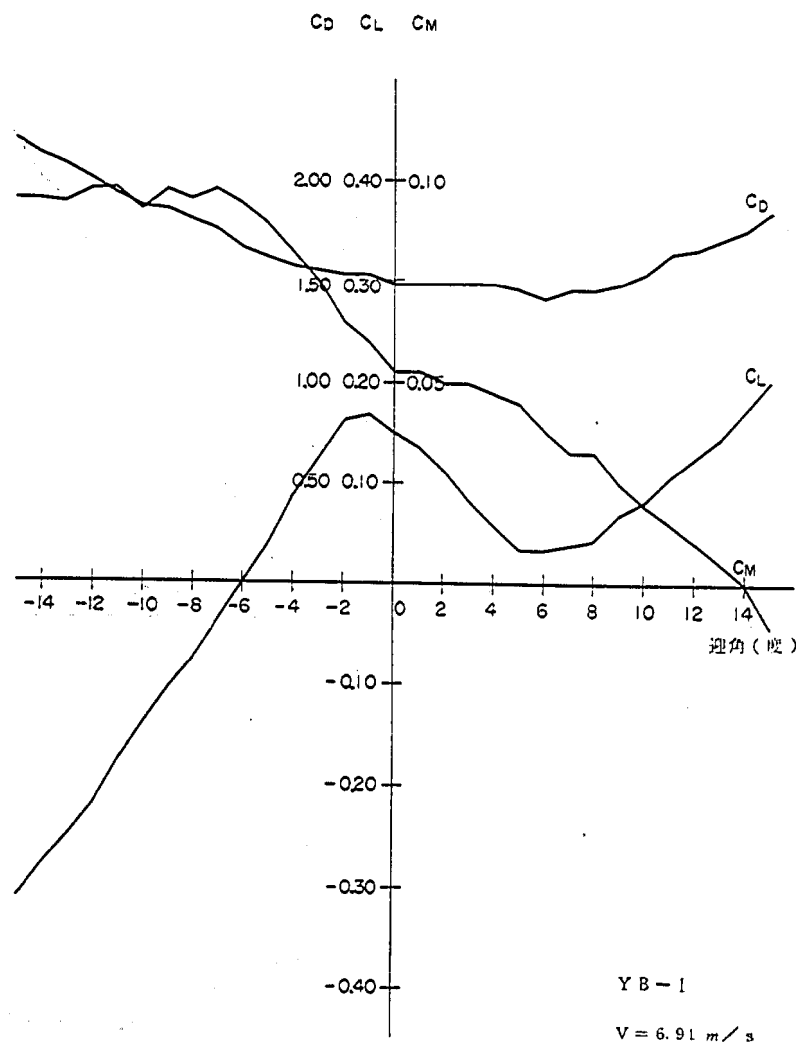


图-21-1 三分力曲线

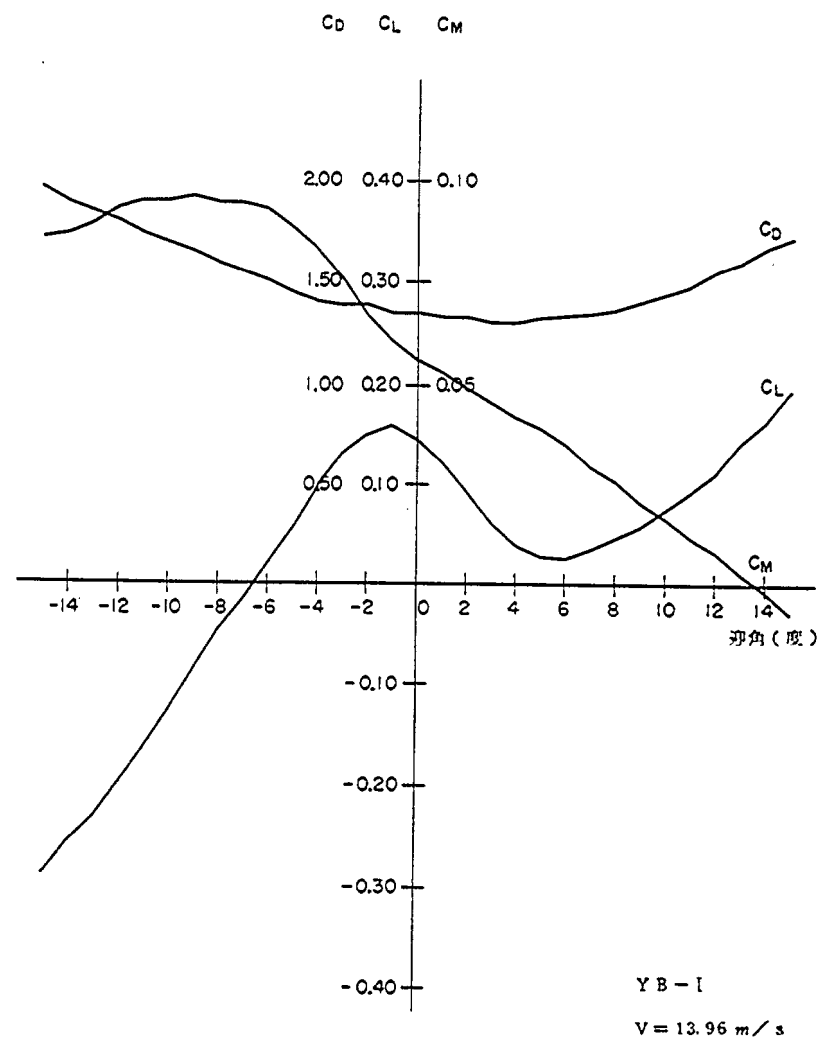


图-21-2 三分力曲线

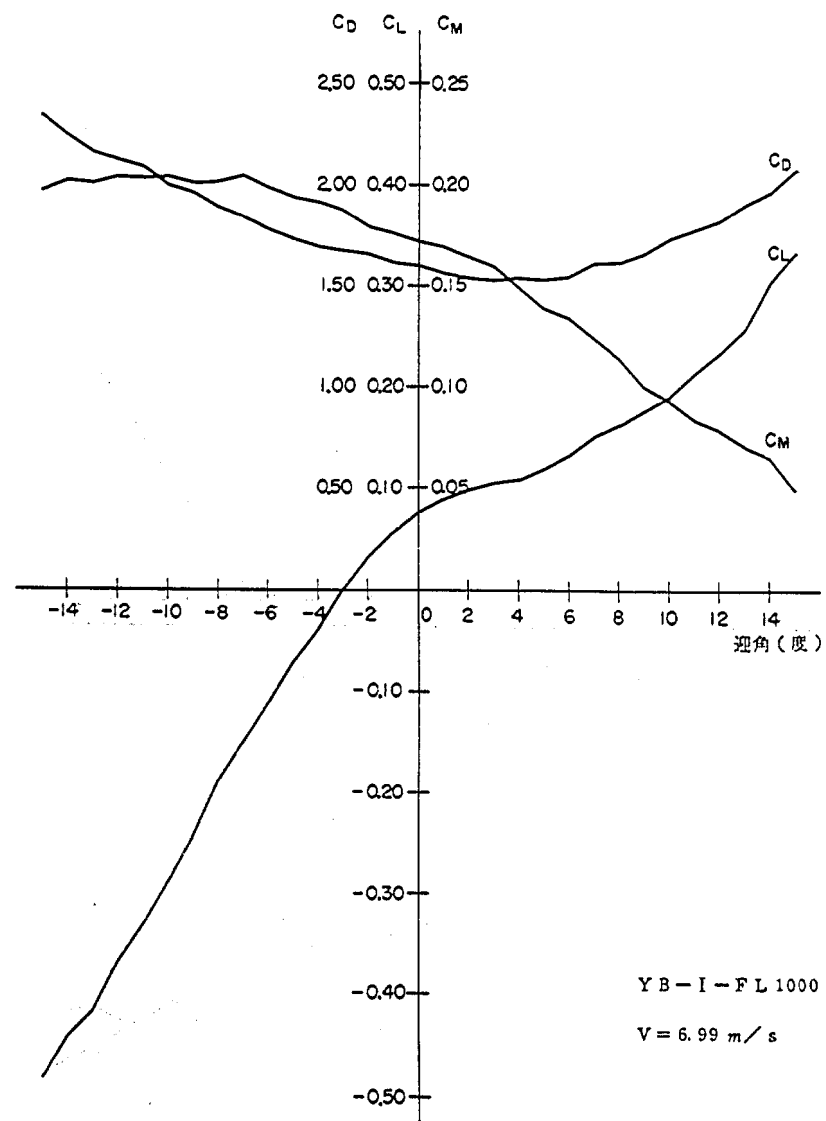


图-22-1 三分力曲线

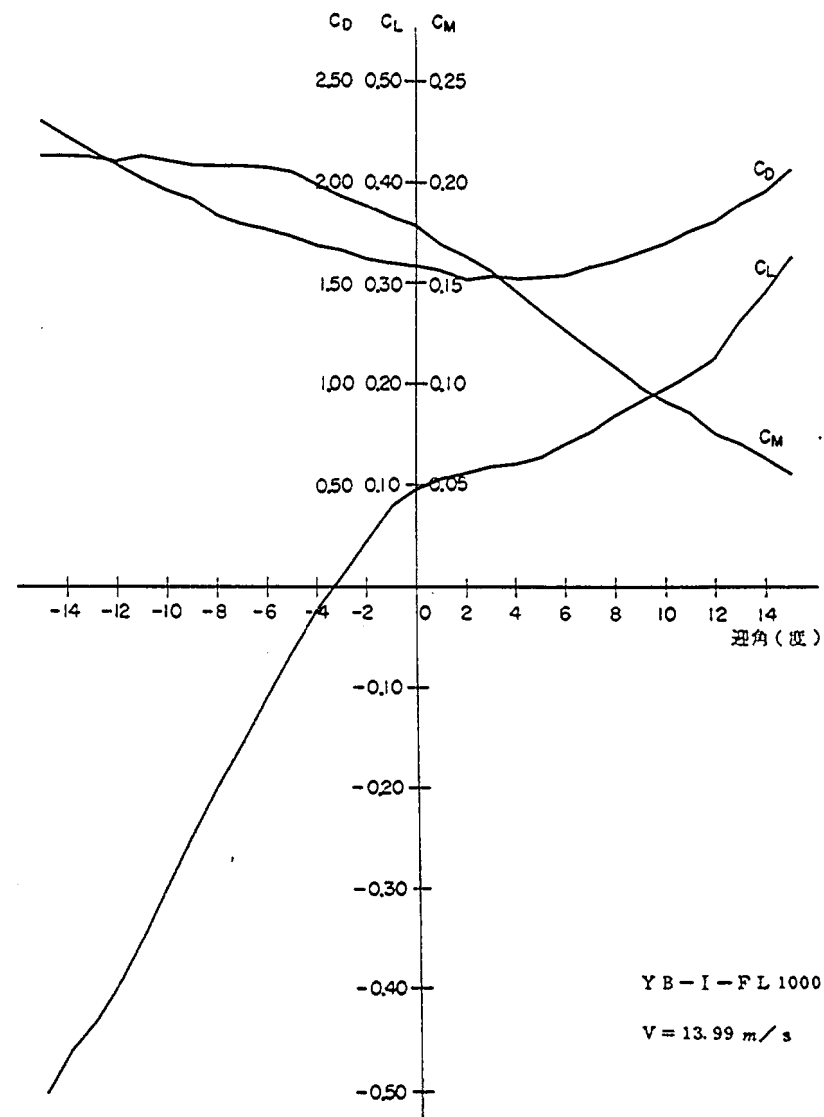


图-22-2 三分力曲线

表一 1 非定常空気力風洞主要諸元

風 洞 形 式			単 回 路 還 流 式
主 要 寸 法	測 定 胴	幅 (mm)	1,000
		高 (mm)	2,000
		長 (mm)	3,000
	縮 流 胴	入口 (mm×mm)	3,000×5,000
		出口 (mm×mm)	1,000×2,000
縮流比		7.50	
風 路 全 長 (mm)		55,000	
送 風 機	形 式		固 定 ピ ッ チ 動 翼 軸 流 式
	動 翼 直 径 (mm)		1,500
	有 効 全 圧 (mm Ag)		40.0
	風 量 (m³/s)		70.0
	回 転 数 (rpm)		1,250.0
	容 量 (kW)		50.0
気 流	最 大 風 速 (m/s)		30.0
	乱 れ 率 (%)		0.5%以下
付 属 計 測 機 器 等			三 分 力 天 秤 フ ラ ッ タ 模 型 支 持 装 置 非 定 常 空 気 力 測 定 装 置 突 風 発 生 装 置 脈 動 発 生 装 置 デ ー タ 処 理 装 置

表-2 実験条件

		Y B - I			Y B - I - FA		
		実 橋	模型所要値	実 験 値	実 橋	模型所要値	実 験 値
縮 尺 率		—	1 : 30	1 : 30	—	1 : 30	1 : 30
重 量		$\frac{t}{m}$ 6.156	$\frac{kg f}{cm}$ 6.772	$\frac{kg f}{cm}$ 6.762	$\frac{t}{m}$ 6.519	$\frac{kg f}{cm}$ 7.171	$\frac{kg f}{cm}$ 7.203
重量極慣性		$\frac{t m^2}{m}$ 75,224	$\frac{kg f cm^2}{cm}$ 919.404	$\frac{kg f cm^2}{cm}$ 918.746	$\frac{t m^2}{m}$ 87.276	$\frac{kg f cm^2}{cm}$ 1,066.707	$\frac{kg f cm^2}{cm}$ 1,067.121
振 動 数	たわみ1次	Hz 0.680	Hz 2.248	Hz 2.25	Hz 0.661	Hz 2.185	Hz 2.18
	ねじり1次	Hz 2.083	Hz 4.918	Hz 4.92	Hz 1.938	Hz 4.881	Hz 4.88
振 動 数 比		3.06	2.19	2.19	2.93	2.23	2.24
構 造 減 衰		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
風速換算比		—	$\eta : 9.07$ $\theta : 12.71$	$\eta : 9.07$ $\theta : 12.70$	—	$\eta : 9.08$ $\theta : 11.91$	$\eta : 9.10$ $\theta : 11.91$
パネ間隔		—	58.0 cm	58.0 cm	—	62.0 cm	62.0 cm

		Y B - II		
		実 橋	模型所要値	実 験 値
縮 尺 率		—	1 : 30	1 : 30
重 量		$\frac{t}{m}$ 6.145	$\frac{kg f}{cm}$ 6.760	$\frac{kg f}{cm}$ 6.762
重量極慣性		$\frac{t m^2}{m}$ 63.396	$\frac{kg f cm^2}{cm}$ 774.840	$\frac{kg f cm^2}{cm}$ 775.877
振 動 数	たわみ1次	Hz 0.691	Hz 2.250	Hz 2.25
	ねじり1次	Hz 2.457	Hz 4.803	Hz 4.80
振 動 数 比		3.56	2.13	2.13
構 造 減 衰		0.020	0.020	0.020
風速換算比		—	$\eta : 9.21$ $\theta : 15.35$	$\eta : 9.21$ $\theta : 15.36$
パネ間隔		—	52.0 cm	52.0 cm

注) ○実橋の重量, 重量極慣性はケーブル重量の $\frac{1}{2}$ を考慮して算出してある。

○回転中心は, せん断中心と重心との中点としてある。

表-3 空 氣 力 係 数

〔 YB-I
V=13.96 m/s

α	C_L	C_D^B	C_D^A	C_M	C_F	$dC_F/d\alpha$
15	0.197	0.361	1.727	-0.0068	0.284	2.29
14	0.164	0.352	1.683	-0.0015	0.244	1.98
13	0.143	0.335	1.604	0.0029	0.215	1.92
12	0.112	0.326	1.559	0.0084	0.177	1.80
11	0.094	0.312	1.492	0.0121	0.152	1.40
10	0.077	0.302	1.447	0.0168	0.128	1.38
9	0.059	0.295	1.413	0.0207	0.104	1.20
8	0.047	0.286	1.368	0.0255	0.086	1.00
7	0.035	0.281	1.346	0.0294	0.069	0.89
6	0.026	0.279	1.335	0.0350	0.055	0.49
5	0.028	0.277	1.324	0.0395	0.052	-0.11
4	0.040	0.272	1.301	0.0424	0.059	-0.72
3	0.063	0.272	1.301	0.0462	0.077	-1.29
2	0.094	0.277	1.324	0.0496	0.104	-1.43
1	0.122	0.277	1.324	0.0532	0.127	-1.17
0	0.145	0.281	1.346	0.0560	0.145	-0.77
-1	0.159	0.281	1.346	0.0608	0.154	0.14
-2	0.150	0.288	1.380	0.0664	0.140	1.09
-3	0.131	0.288	1.380	0.0757	0.116	1.80
-4	0.098	0.293	1.402	0.0835	0.077	2.49
-5	0.056	0.302	1.447	0.0887	0.029	2.55
-6	0.021	0.314	1.503	0.0930	-0.012	2.41
-7	-0.016	0.323	1.548	0.0946	-0.055	2.29
-8	-0.047	0.330	1.582	0.0945	-0.092	2.44
-9	-0.087	0.344	1.649	0.0960	-0.140	2.69
-10	-0.127	0.352	1.683	0.0948	-0.186	2.58
-11	-0.164	0.363	1.739	0.0947	-0.230	2.49
-12	-0.199	0.375	1.795	0.0929	-0.273	2.35
-13	-0.232	0.384	1.840	0.0894	-0.312	2.01
-14	-0.255	0.394	1.884	0.0864	-0.343	2.01
-15	-0.286	0.408	1.952	0.0857	-0.382	2.23

表-4 空 气 力 係 数

$$\left[\begin{array}{l} YB=I-FL1,000 \\ V=13.99 \text{ m/s} \end{array} \right.$$

α	C_L	C_D^B	C_D^A	C_M	C_F	$dC_F/d\alpha$
15	0.327	0.466	2.077	0.0564	0.436	2.69
14	0.291	0.442	1.971	0.0639	0.389	2.38
13	0.263	0.428	1.907	0.0706	0.353	2.44
12	0.225	0.406	1.811	0.0754	0.304	2.03
11	0.210	0.396	1.768	0.0864	0.282	1.29
10	0.196	0.382	1.705	0.0920	0.259	1.26
9	0.182	0.373	1.662	0.0990	0.238	1.15
8	0.170	0.363	1.619	0.1084	0.219	1.23
7	0.153	0.356	1.587	0.1174	0.195	1.23
6	0.141	0.346	1.545	0.1268	0.176	1.06
5	0.129	0.344	1.534	0.1363	0.158	0.86
4	0.122	0.342	1.523	0.1458	0.146	0.60
3	0.119	0.344	1.534	0.1556	0.137	0.63
2	0.112	0.342	1.523	0.1626	0.124	0.69
1	0.107	0.349	1.555	0.1693	0.113	0.80
0	0.096	0.353	1.577	0.1763	0.096	1.15
-1	0.079	0.358	1.598	0.1831	0.073	1.83
-2	0.045	0.363	1.619	0.1882	0.032	2.32
-3	0.012	0.373	1.662	0.1933	-0.008	2.35
-4	-0.024	0.377	1.683	0.1992	-0.050	2.64
-5	-0.067	0.387	1.726	0.2050	-0.100	2.81
-6	-0.107	0.396	1.768	0.2073	-0.148	2.89
-7	-0.153	0.401	1.790	0.2082	-0.201	2.95
-8	-0.196	0.411	1.832	0.2085	-0.251	3.07
-9	-0.244	0.430	1.918	0.2083	-0.308	3.21
-10	-0.291	0.442	1.971	0.2101	-0.363	3.32
-11	-0.344	0.454	2.024	0.2126	-0.424	3.38
-12	-0.392	0.468	2.088	0.2110	-0.481	2.95
-13	-0.430	0.482	2.152	0.2125	-0.527	2.46
-14	-0.459	0.502	2.237	0.2129	-0.567	2.61
-15	-0.502	0.516	2.301	0.2128	-0.618	2.92

成田・佐藤・野村

キーワード 耐風設計, 自励振動, 渦励振, 三分力係数, 斜張橋, 風洞実験

要旨

弥栄大橋の耐風安定性について実験的検討を行い, 自励振動および渦励振について良好な耐風安定性を有する橋桁断面を選定した。

郵便はがき

3 0 5 - □ □

二十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

構造研究室
御中

3

No. 3

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1562号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印