

土木研究所資料

名港西大橋の耐風性調査報告書(1981)

昭和56年12月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

序

名港西大橋は、名古屋環状2号線（一般国道302号）海上部の一環として計画された橋梁であり、桁下のクリアランスに関する条件、および架設地点の地盤条件などから橋梁形式として斜張橋が選ばれている。また、本橋は暫定2車線供用を行なう計画となっているため、暫定施工の容易さ、経済性などから全く同じ斜張橋を並列して2橋架設するという独立2橋案が選ばれている。

本橋のように長大スパン（175+405+175m）を有する斜張橋の建設にあたっては、その構造特性より耐風安定性について十分な検討が必要である。昭和52年度および昭和53年度には建設省中部地方建設局名四国道工事事務所が作成した設計案について耐風性調査を実施してきたが、その後事業主体が日本道路公団に決定し、同公団からの依頼により昭和54年度より本年度にわたり、公団の設計案についてその耐風安定性の検討を継続してきた。

本年度は、バネ支持模型実験により、本橋の自励振動および渦励振に関する耐風安定性を調べるとともに、三分力実験を実施し、橋桁の定常的な空気力特性も調べた。その結果、耐風性の良好な設計案を見出すことができた。本年度の成果をとりまとめて報告する。

昭和56年12月

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

目 次

1. ま え が き	1
1.1 名港西大橋の概要	1
1.2 過去の調査結果の概要	1
1.3 今年度の調査概要	2
2. バネ支持模型実験	2
2.1 実験方法および実験条件	2
2.2 実験ケース	4
2.3 実験結果	5
3. 3分力実験	6
3.1 実験方法および実験条件	6
3.2 実験結果	7
4. ま と め	7
5. あ と が き	7
参 考 文 献	7
付録 実橋の渦励振振幅の推定について	9
表	12
図	22

1. ま え が き

1.1 名港西大橋の概要

名港西大橋は、名古屋環状2号線（一般国道302号）海上部の一環として計画された橋梁であり、日本道路公団名古屋建設局が現在その事業を担当している。橋梁形式としては3径間連続鋼床版箱桁斜張橋が考えられており、暫定的に2車線を、完成時には6車線を供用するために、暫定施工の容易さ、および経済性の点から、全く同じ斜張橋を並列して2橋架設するという独立2橋案が計画されている。本橋の架設地点の概要を図-1に、一般図を図-2に示す。

本橋のような長大スパン（175+405+175m）を有する斜張橋の建設にあたっては、その構造特性より耐風安定性について十分な検討が必要である。当研究室は昭和52年度および昭和53年度には、建設省中部地方建設局名四国道工事事務所が作成した設計案について、耐風性調査を実施したが、その後事業主体が日本道路公団に決定し、昭和54年度より同公団からの依頼により公団の設計案に関する耐風性調査を行ってきた。

1.2 過去の調査結果の概要^{1),2),3),4),5)}

風による構造物への動的な作用として第1に問題になるのは、自励振動（フラッター、ギャロッピング）であり、その発生は構造物の崩壊へとつながる。また、振動振幅は自励振動に比較して小さいが、比較的低い風速領域で発生するため、疲労や使用性の面で問題となるのは渦励振であり、自然風の乱れに起因するガスト応答も、その振動振幅がほぼ平均風速の2乗に比例するために、渦励振と同様、疲労や使用性の面で問題となる。また、本橋は2橋並列して建設されるため、上流側の橋梁により乱れた風が下流側の橋梁にあたり、下流側の橋梁に不規則な強制振動、いわゆるバフティングを発生させる可能性がある。

当研究室では以上述べた自励振動、渦励振、およびバフティングに関する本橋の耐風安定性を検討するために、一連の風洞実験調査を行ってきた。それらの概要は以下のとおりである。

昭和52年度の調査結果¹⁾

- a. 本設計案の橋桁断面は、自励振動に関してはその発現風速が実橋風速で100m/s以上と予想され安定である。
- b. 渦励振に関しては、負の迎角の一部でねじれモードの振動が発生し、発現風速が20~30m/sと予想されるので、防振対策を講じる必要がある。
- c. バフティングについては、その振動振幅が、2橋の間隔によってどのように変化するかを調べた。實際上とりうる橋梁間隔は、幅員の1/2倍から2倍までの範囲であるが、鉛直たわみ振動に関しては間隔を幅員の2倍にしたときに振幅が最も小さく、ねじれ振動に関しては幅員の1/2倍にしたときに振幅が最も小さかった。しかし、簡単な計算により、設計風速以下でケーブルに発生する最大応力を推定すると、間隔が幅員の2倍のときのねじれ振動により発生する応力は335kg/cm²、橋桁間隔が幅員の1/2倍のときの鉛直たわみ振動によるものは435kg/cm²。

丸形にし、フラップの長さを長くすることが有効であることが明らかとなった。

- b. 傾斜地覆のない設計案が自励振動に対して安全であることを確認した。
 - c. 傾斜地覆のない設計案の高欄のハンドレールを丸形にし、実橋寸法 1.4 m 長さのフラップを取付けることにより、渦励振に対する安全性が大幅に向上されることが明らかとなった。
 - d. c の断面において迎角が 7° で、桁の厚い方から薄い方へ風が吹く場合に発現すると予想される鉛直たわみモードの渦励振については、橋桁下面の端部からの剥離が関係していることが明らかとなり、ディフレクターの設置により抑制しうると推察される。
- 一方、全径間模型実験より得られた成果は以下のとおりである。
- e. 単独橋の場合は、自励振動およびねじれモードの渦励振に対しては良好な耐風性を示しているが、鉛直たわみモード 1 次～3 次の渦励振が、 0° 付近の迎角を除いて、実橋風速 $5\text{ m/s} \sim 20\text{ m/s}$ の範囲で発生している。
 - f. 2 橋並列した場合は、自励振動およびねじれモードの渦励振については、単独橋の場合と同様に良好な耐風性を示しているが、鉛直たわみモードの渦励振については、下流側の橋梁において単独橋の場合に比べ発生振幅、迎角範囲、発生モード次数の面で耐風性が悪くなることが明らかとなった。橋桁の間隔を橋桁幅員の 2 倍にすれば、後流側の桁の振動特性も単独橋のそれにほぼ等しくなることが、確められた。

1.3. 今年度の調査概要

昨年度までの当研究室における調査は、左右非対称の断面を基本として行ったものであるが、昨年度の「名港西大橋調査特別委員会」において、設計および施工の容易さの観点より本橋の基本断面として左右対称な断面をとるべきであるとの意見もあり、公団において検討の結果、左右対称な断面を基本とした調査、設計が実施された。この設計案に対する風洞実験が、昨年度民間の研究機関により実施され⁶⁾、耐風安定性の良好な断面が選定された。

今年度は、民間の研究機関において選定された耐風安定性の良好な断面について、その特性を検証すること、および定常的な空気力特性を調べ、設計に用いた風荷重の妥当性を確認すること、を主な目的として調査を行った。

2. パネ支持模型実験

2.1 実験方法および実験条件

実験は、建設省土木研究所耐風工学実験施設内の非常空気力風洞を用いて実施した。風洞の主要諸元を表-1に示す。模型は 2 次元剛体模型を用い、6 本のコイルパネにより風洞内に支持し、風速、迎角を変化させて設定し、各ケースごとに模型の挙動を観測した。使用した気流は乱れのほとんどない一様気流であり、風速の測定はピトー管とマノメータを用いて行った。模型の挙動は 2 台の光学式変位計により測定し、2 つの変位を加算あるいは減算することによりそれぞれ鉛直たわみあるいはねじれ成分を求め、データレコーダおよびペンレコーダに記録した。

1 と小さくない。したがって、パフェッティングを抑制すること、およびパフェッティングを小さくするための最適な 2 橋の間隔を決定すること、についてさらに検討が必要である。

昭和 53 年度の調査結果²⁾

- a. スパン割りが、200+380+200m から 175+405+175m に変更され、検査車レールおよび地覆が取付けられ、高欄の形が変更された設計案が、名四国道工事事務所より提示されたので、提示断面に関する風洞実験を実施した。
- b. 本設計案について、高欄・地覆形状を変化させ実験を行ったところ、地覆を除き、高欄にフラップを取り付けた断面が、自励振動および渦励振に関して良好な耐風性を有していることが明らかとなった。
- c. この断面についてパフェッティング特性を調べると、2 橋の間隔を橋梁幅員の $1/2$ 倍から 2 倍まで変化させても、いずれも小さくない振幅の振動がとくにねじれモードについて実橋風速で 20～30m/s の低風速領域で生ずることが明らかとなり、今後は許容振幅および許容応力度に関する検討や 3 次元実験による防振対策の検討が必要であると考えられる。

昭和 54 年度の調査結果³⁾

- a. 公団より提示された名港西大橋の橋桁の基本断面について、バネ支持模型実験により自励振動および渦励振に関する耐風安定性を検討した。その結果、本橋の基本断面は自励振動については良好な耐風性を示すものの、渦励振については、とくに鉛直たわみモードの振動が低い風速領域で発生するため、検討が必要と思われる。
- b. 基本断面の渦励振に関する耐風安定性を改良するために、実橋寸法 1,000mm の長さのフラップを高欄に取付け調査したところ、自励振動については基本断面と同様良好な耐風性を示しており、またねじれモードの渦励振についても問題にならない程度にまでその発生を抑制しているが、鉛直たわみモードの渦励振については、 5° 、 7° という大きな正の迎角において、小さからぬ振幅の振動が発生している。
- c. この鉛直たわみモードの渦励振については、高欄および地覆形状が密接な関係をもつと考えられるため、この方向からの検討をさらに続けるつもりである。
- d. 自然風の乱れに起因する鉛直たわみモードのガスト応答に関する耐風安定性を検討する第 1 段階として、数値計算により、その大きさを推定した。その結果末広大橋において観測されたものに比べ、およそ 4 倍程度の大きさであると予想されるが、これが本橋の安全性、使用性に悪影響を与えるものであるかどうかについては、別途検討が必要である。

昭和 55 年度の調査結果^{4), 5)}

昭和 55 年度は、公団設計案にもとづいたバネ支持模型実験および昭和 52 年度に建設省で設計した案にもとづいた全径間模型実験を実施した。バネ支持模型実験より得られた成果は以下のとおりである。

- a. 傾斜地覆を有する設計案の、正の大きな迎角における渦励振を抑制するために、軽微な変更を施した種々の断面について風洞実験を実施したが、その結果、高欄のバンドレールの断面形状を

相似条件としては幾何学的形状を相似させることの他に、次の6つの無次元量を原型と模型で一致させた。

$$M/\rho B^2, V/N\eta B, \delta_0\eta, I/\rho B^4, V/N\theta B, \delta_0\theta$$

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、 B ；構造物の代表長さ、 V ；風速、 N ；固有振動数、 δ_0 ；無風時の対数減衰率、 η ；鉛直たわみ振動、 θ ；ねじれの振動

鉛直たわみとねじれの振動数比については実橋での値が4.8 1と大きく、支持装置の都合上、この値を満足することはできなかった。このような場合通常とられる方法としては、連成振動は起こらない、という仮定のもとに、両者を独立に扱い、それぞれ1自由度で支持して実験する方法と、連成の起こりにくい振動数比の範囲内で振動数比を小さくし、2自由度で支持してモードにより異なる風速換算比を用いて実験する方法とがある。ここでは安全側にあるという理由で後者の方法をとった。

以上の考えに従って求められた実験条件を表-2に示す。質量に関する相似条件を満足させるためには、模型を支持した状態で全体としての振動系のバネ定数を動的な試験により求め、所要の固有振動数を計算し、おもりを調整してその固有振動数に一致させるという方法をとった。減衰率に関する相似条件を満足させるためには電磁ダンパーを用い、その抵抗値を変化させ、所要の減衰率に設定した。

2.2 実験ケース

実験を行った断面形状を表-3および図-3に示す。

実験は、まず公団からの設計原案(A-1)および民間の研究機関により耐風性が良好と認められた設計案(A-2)について実施した。しかしながら、A-2断面は迎角0°付近で小さい振幅ではあるが鉛直たわみモードの渦励振が発現すること、またA-2断面では高欄として図-3-1に示す長高欄を用いているが、自動車の衝突に対する耐荷力等の観点からは図-3-2に示す改良高欄の方が好ましいという公団の意見を考慮し、改良高欄を用いた断面で耐風性の良好なものを見出す必要があること、などの理由により、断面形状を若干変更させたものに対して実験を行った。

表-3の模型番号に付したA,B,C,Dは、橋桁のウェブ角度が異なることを意味し、A~Dのあとに付した数字は、フラップ、高欄、あるいは地覆を変更させたことを意味する。A~Dの断面の代表例を図-3に示した。表-3に示した長改良高欄とは、図-3-2の改良高欄に対し、ハンドレール間隔をそれぞれ実橋寸法で25mmずつ大きくし、315mm→340mm、360mm→385mmとして、ポスト高を980mm→1030mmにした高欄である。

また、A-7断面に取付けたデフレクターおよびA-11断面に取付けたケーブル定着部については、それぞれ図-3-5および図-3-6にその形状を示した。

迎角および実験風速は、原則として、それぞれ0°、±1°、±3°、±5°、±7°、および名港西大橋設計基準(案)に従ったが、実験目的に照らし合わせ不要と考えられる迎角および風速範囲は省略した。

2.3 実験結果

実験結果のうち、迎角と発振風速の関係（以下 $V_{cr}-\alpha$ と略す）を図-4に、風速と振幅の関係の一部を図-5に、各断面の渦励振特性をまとめて表-4にそれぞれ示す。図-4に示されているように、自励振動に関しては鉛直たわみモードおよびねじれモードともいずれの断面も十分に安全であるので、ここでは渦励振におよぼす断面形状の影響について考察する。

2.3.1 ウェブ角度の影響

表-3に示されているように、フラップ、高欄および地覆の条件は同じで、ウェブ角度のみ異なる模型はA-3, B-2, C-1, D-1であるが、B-2の渦励振振幅は他に比べ2倍程度大きい。他の3種類はほぼ同程度である。したがって、B型を除いた他のウェブ角度は同程度の耐風性を有するといえる。

2.3.2 フラップの影響

A-1とA-2の実験結果を比較すると、フラップを取付けることにより渦励振に関する耐風安定性が大幅に改善されることがわかる。またA-4, A-8, A-9の実験結果を比較すると、フラップの角度を 5° ~ 15° の範囲で変化させても渦励振にはほとんど影響を与えないことがわかる。A-4とA-10の結果を比較すると、フラップの長さを1.0mから1.4mに広げることにより渦励振に対する安定性が若干向上することがわかる。D-1とD-2は地覆の延長の有無に関する条件も異なっているが、あとに述べるように地覆の延長が渦励振に及ぼす影響は小さいことを考慮すれば、この結果からも、フラップの長さを長くすることにより渦励振に対する安定性が向上することがわかる。

2.3.3 高欄の影響

A-2とA-3, およびA-4とA-5の結果を比較することにより高欄形状は、長高欄、改良高欄、あるいは長改良高欄のいずれでも渦励振振幅はほとんど変化しないことがわかる。

2.3.4 地覆の影響

A-3とA-4, B-1とB-2, およびC-1とC-2の結果を比較することにより、地覆の延長の有無は渦励振振幅にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。またA-5とA-6を比較することにより、地覆高さを8cmから4cmに変化させても渦励振振幅はほとんど変化しないことがわかる。

2.3.5 下部デフレクターの影響

A-2とA-7を比較することにより、下部デフレクターを取付けると渦励振振幅は若干減少することがわかる。

2.3.6 ケーブル定着部の影響

A-4とA-11を比較することにより、ケーブル定着部が存在すると渦励振振幅が半分程度に減少することがわかる。

以上まとめると次のとおりである。ウェブ角度として、A型、C型あるいはD型を用い、実橋寸法1.0mのフラップを取り付け、地覆の高さを8cm以内にすれば、ケーブル定着部の影響により鉛直たわみモードの渦励振は模型振幅片振幅で約0.2mm程度に抑えられる。さらに振幅を小さくする

ためには、フラップの長さを長くすること、あるいは下部デフレクターを取り付けること、などの対策を講じればよい。

次に、鉛直たわみモード渦励振におよぼす構造減衰の影響について述べる。A-3 模型および A-4 模型については、無風時の対数減衰率を変化させ、鉛直たわみモード渦励振の振幅がどのように変化するかを調べた。結果を図-6 に示す。図-6 によれば、減衰率の増加に伴い、振幅が徐々に減少していくことが読みとれる。しかしながら、迎角 0° 付近における渦励振は、減少のしかたがゆるやかであり、減衰率を0.05 程度まであげても、微少ながら振動が残っている。

今までは、渦励振振幅として、実験より得られた値に着目してきたが、ここでは実験において計測された渦励振振幅が、実橋でどの程度の振幅に対応するかを考察する。付録に記した方法により、構造物の3次元性およびそれによる空気力の3次元性を考慮し、実橋振幅を推定する。昭和54年度の設計計算書⁷⁾において示されている鉛直たわみ振動モード、およびこれに基づき計算した鉛直たわみモード渦励振の振幅換算比を表-5 に示す。さらに、実験における0.2mm の振幅が、実橋の各モードの振幅最大の点で、どの程度の振幅に対応するかを図-7 に示す。同図中には、昭和54年度に推定計算したガスト応答の値⁸⁾を、後述する三分力試験結果より得られた揚力勾配の値を用いて補正し、あわせて示した。図では両者を比較するため、変位は標準偏差で示されていることに注意されたい。図より明らかなように、逆対称2次モード、対称2次モード、逆対称3次モードの渦励振振幅は、同じ風速のガスト応答とほぼ同じあるいはそれ以下の値を示しているのに対し、渦励振を自励振動とみなして実橋振幅を推定した対称1次モードおよび逆対称1次モードの渦励振振幅は、同じ風速のガスト応答より若干大きめの値をとる。この渦励振振幅の推定値は、大きなものでも標準偏差で1cm弱であり、直ちに構造物に悪影響を与えることはないと考えられるが、発生風速が510m/sと低く、発生頻度が高いと考えられるため、風速10m/s以上のガスト応答ともあわせて疲労に対する検討を行うことが必要である。

3. 3. 分 力 実 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は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3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A-4である。実験風速は約7m/sと約15m/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。

$$\begin{aligned} C_D &= D / \frac{1}{2} \rho V^2 A \\ C_L &= L / \frac{1}{2} \rho V^2 B \\ C_M &= M / \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 \end{aligned}$$

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

ただし、水平方向の投影面積 A としては、橋桁のみを考慮し、高欄等は含んでいない。

3.2 実験結果

C_D 、 C_L 、 C_M と迎角の関係を図-8および表-6に示す。

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1.30の値を用いているが、今回の実験結果においても迎角 0° における抗力係数は、0.95~0.97の値であり、迎角 $-3^\circ \sim +3^\circ$ でも1.0前後の値をとっているため、設計時に用いた風荷重は充分安全であるといえる。

4. ま と め

本年度実施した名港西大橋の耐風性調査により得られた成果をとりまとめると以下のとおりである。

- a. ウェブ角度としてA型（上部ウェブ角度； 35° ，下部ウェブ角度； 28° ），C型（ 35° ， 25° ）あるいはD型（ 45° ， 28° ）を用い、実橋寸法1mのフラップを取付け、地覆高さを8cm以内にすれば、本橋橋桁は自励振動に関しては充分安全であり、渦励振についてもねじれモードの振動については無視しうるほどに、鉛直たわみモードの振動については実橋振幅で1cm程度に抑えることができる。
- b. 耐風安定性の確認の意味で、風速5~10m/sで発現が予想される鉛直たわみモードの渦励振および風速10m/s以上の鉛直たわみモードのガスト応答について、疲労の面での検討が必要と考えられる。
- c. 三分力実験により、設計時に用いた風荷重の値は充分安全であることを確認した。

5. あ と が き

本年度の調査を実施するにあたりお世話いただいた日本道路公団関係各位、とくに名港西大橋工事事務所の方々に心からお礼を申し上げる次第である。また、今回のバネ支持模型実験に関する多くの部分は、当研究室の指導のもとに佛建設技術研究所が実施した記して感謝の意を表わす。

参 考 文 献

1. 建設省土木研究所構造研究室；耐風調査（M-1977），土木研究所資料No1371，昭和53年3月
2. 建設省土木研究所構造研究室；耐風調査（VI-1978），土木研究所資料No1468，昭和53年12月
3. 建設省土木研究所構造研究室；名港西大橋の耐風性調査報告書（1979），土木研究所資料No1567，昭和55年3月
4. 建設省土木研究所構造研究室；名港西大橋の耐風性調査報告書（1980），土木研究所資料No1640，昭和56年3月

付 録 実橋の渦励振振幅の推定について

今年度は一様気流中において、2次元剛体模型を用いて渦励振特性を調べたが、実際の橋梁は3次元構造物であり、空間的にも時間的にも変動する気流の中に建設される。ここでは気流の変動の影響は除き、構造物の3次元性の影響を考慮して実橋の渦励振振幅を推定する手法について説明する。

渦励振は多くの場合モードが連成しないため、ここでは鉛直たわみの1つのモードの渦励振を考える。3次元構造物の1つのモードに関する運動方程式は次のとおりである。

$$\ddot{q}_h + 2\zeta_h \omega_h \dot{q}_h + \omega_h^2 q_h = \frac{\int \phi_h p_L dx}{\int m \phi_h^2 dx} \quad (1)$$

$$h(x, t) = q_h(t) \phi_h(x) \quad (2)$$

ここに、 q ；一般座標、 ζ ；構造減衰定数 ($\frac{\delta}{2\pi}$)、 ω ；固有円振動数、 ϕ ；固有振動モード、 p_L ；単位長さあたりの変動揚力、 x ；橋軸方向の座標、 m ；単位長さあたりの質量、 h ；鉛直たわみ変位、 t ；時間。

渦励振現象については、これを強制振動と解釈する場合と、自励振動と解釈する場合がある。強制振動と解釈する場合には、式(1)における p_L は次のように書ける。

$$p_L = \frac{1}{2} \rho U^2 B C_{LO} \cos \omega t \quad (3)$$

一方、自励振動と解釈する場合には、式(1)における p_L は次のように書ける。

$$p_L = \frac{1}{2} \rho U^2 B C_{LH}^I (\bar{h}/B) \dot{h}/U \quad (4)$$

ここに、 ρ ；空気密度、 U ；風速、 B ；橋桁幅員、 C_{LO} ；強制空気力係数、 $C_{LH}^I (\bar{h}/B)$ ；自励空気力係数、 $\bar{h}$ ；振幅。

式(3)を式(1)に代入し、共振振幅を求める。

$$\ddot{q}_h + 2\zeta_h \omega_h \dot{q}_h + \omega_h^2 q_h = \frac{P}{M} \cos \omega t \quad (5)$$

ここに、 $P = \int \frac{1}{2} \rho U^2 B C_{LO} \phi_h dx$ 、 $M = \int m \phi_h^2 dx$

式(5)の解のうち、定常振動の項に着目すると、

$$q_h = \frac{P}{M} \frac{\cos(\omega t - \varphi)}{\sqrt{(\omega_h^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta_h \omega_h \omega)^2}} \quad (6)$$

ここに、 $\varphi = \tan^{-1} (2\zeta_h \omega_h \omega / (\omega_h^2 - \omega^2))$

渦励振においては、振動数は固有振動数にほぼ一致するため、式(6)で $\omega = \omega_h$ とおき、

$$q_h = \frac{P}{M} \frac{\cos(\omega_h t - \varphi)}{2\zeta_h \omega_h^2} \quad (7)$$

共振振幅 $\bar{h}(x)$ は、 $\bar{h}(x) = \alpha |\phi_h(x)|$ 、(α は正の定数) で表わされることを考慮すると、

$$\bar{h}(x) = \frac{|\int \frac{1}{2} \rho U^2 B C_{LO} \phi_h dx|}{\int m \phi_h^2 dx \cdot 2\zeta_h \omega_h^2} |\phi_h(x)| \quad (8)$$

2次元実験においては、 $\phi_h(x) = 1$ とし、関連する諸量に下添字 2 を付ければ、

$$\bar{h}_2 = \frac{\frac{1}{2} \rho_2 U_2^2 B_2 C_{LO2}}{m_2 \cdot 2\zeta_{h2} \omega_{h2}^2} \quad (9)$$

実橋に関する諸量に下添字 3 を付け、式(8)および(9)より共振振幅の比を求めれば、

$$\frac{\bar{h}_3(x)}{\bar{h}_2} = \frac{|\int \frac{1}{2} \rho_3 U_3^2 B_3 C_{LO3} \phi_h dx| \cdot m_2 \cdot 2\zeta_{h2} \omega_{h2}^2}{\frac{1}{2} \rho_2 U_2^2 B_2 C_{LO2} \cdot \int m_3 \phi_h^2 dx \cdot 2\zeta_{h3} \omega_{h3}^2} |\phi_h(x)| \quad (10)$$

実橋と実験において満足されている次の相似則を考慮し、

$$\frac{m_2}{\rho_2 B_2^2} = \frac{m_3}{\rho_3 B_3^2}, \quad \frac{U_2}{\omega_{h2} B_2} = \frac{U_3}{\omega_{h3} B_3}, \quad \zeta_{h2} = \zeta_{h3} \quad (11) \sim (13)$$

さらに断面および風速が橋軸方向に一様であること、および C_{LO} は実橋と実験で等しいことを仮定すれば、式(10)は次のように変形される。

$$\frac{\bar{h}_3(x)}{\bar{h}_2} = \frac{B_3}{B_2} \frac{|\int \phi_h dx|}{\int \phi_h^2 dx} |\phi_h(x)| \quad (14)$$

次に、式(4)を式(1)に代入し、実橋の渦励振振幅を推定する。

$$\ddot{q}_h + 2\zeta_h \omega_h \dot{q}_h + \omega_h^2 q_h = \frac{\int \frac{1}{2} \rho U B C_{LH}^I (\bar{h}/B) \phi_h^2 dx}{\int m \phi_h^2 dx} \dot{q}_h \quad (15)$$

式(15)の右辺を左辺に移項し、見かけの減衰定数が 0 になるときの振幅を渦励振振幅とすれば、その条件式は以下のとおりである。

$$\zeta_h - \frac{\int \frac{1}{2} \rho U B C_{LH}^I (\bar{h}/B) \phi_h^2 dx}{2 \omega_h \int m \phi_h^2 dx} = 0 \quad (16)$$

2次元実験においては

$$\zeta_h - \frac{\frac{1}{2} \rho_2 U_2 B_2 C_{LH2}^I (\bar{h}/B)}{2 \omega_{h2} m_2} = 0 \quad (17)$$

自励空気力係数 C_{LH}^I が無次元振幅 $\bar{h}/B$ と反比例する場合を考える。このとき

$$C_{LH}^I = \frac{C}{\bar{h}/B} \quad (18)$$

式(18)を式(16)に代入し、下添字 3 を付し、橋軸方向に断面および風速が一様であると仮定すれば、

$$\bar{h}_3(x) = \frac{\frac{1}{2} \rho_3 U_3 B_3^2 C_3 \int |\phi_h| dx}{2 \omega_{h3} \zeta_{h3} m_3 \int \phi_h^2 dx} |\phi_h(x)| \quad (19)$$

同様に式(18)を式(17)に代入すれば,

$$\bar{h}_2 = \frac{\frac{1}{2} \rho_2 U_2 B_2^2 C_2}{2 \omega_{h2} \zeta_{h2} m_2} \quad (20)$$

式(19), 式(20)より, 式(11)~式(13)を考慮し, C は実橋と実験で等しいことを仮定すれば,

$$\frac{\bar{h}_3(x)}{h_2} = \frac{B_3 \int |\phi_h| dx}{B_2 \int \phi_h^2 dx} |\phi_h(x)| \quad (21)$$

となり, 式(14)と似た形の式が得られる。

自励空気力係数 C_{LH}^I が無次元振幅 $\bar{h}/B$ の 1 次関数で表示できる場合を考える。このとき

$$C_{LH}^I = C \bar{h}/B + D \quad (22)$$

C_{LH}^I が $\bar{h}/B$ に反比例する場合と同様に,

$$\bar{h}_3(x) = \frac{B_3 (4 \cdot \zeta_{h3} \frac{m_3}{\rho_3 B_3^2} \cdot \frac{\omega_{h3} B_3}{U_3} \cdot \frac{1}{C_3} - \frac{D_3}{C_3}) \int \phi_h^2 dx}{\int |\phi_h| \phi_h^2 dx} |\phi_h(x)| \quad (23)$$

$$\bar{h}_2 = B_2 (4 \cdot \zeta_{h2} \frac{m_2}{\rho_2 B_2^2} \cdot \frac{\omega_{h2} B_2}{U_2} \cdot \frac{1}{C_2} - \frac{D_2}{C_2}) \quad (24)$$

$$\frac{\bar{h}_3(x)}{h_2} = \frac{B_3 \int \phi_h^2 dx}{B_2 \int |\phi_h| \phi_h^2 dx} |\phi_h(x)| \quad (25)$$

表-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 幅 (mm)		1,000
	定 高 (mm)		2,000
	洞 長 (mm)		3,000
	縮 入 口 (mm × mm)		3,000 × 5,000
	流 出 口 (mm × mm)		1,000 × 2,000
	洞 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 (mmAg)		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

		実 験 値	模 型 所 要 値	実 験 値 (A-1)	実 験 値 (A-2)	実 験 値 (A-3)	実 験 値 (A-4)	実 験 値 (B-1, B-2)	実 験 値 (C-1, C-2)
縮 尺		—	$1/37$	$1/37$	$1/37$	$1/37$	$1/37$	$1/37$	$1/37$
重 量		1121t/m	8025kgf/model	8044kgf/model	7996kgf/model	8030kgf/model (8058kgf/model)	8037kgf/model	8030kgf/model	8010kgf/model
極慣性モーメント		2484t・s ²	1299kgf cm s ² /model	1302kgf cm s ² /model	1315kgf cm s ² /model	1301kgf cm s ² /model (1304kgf cm s ² /model)	1306kgf cm s ² /model	1395kgf cm s ² /model *	1417kgf cm s ² /model *
支 持 方 法		—	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度
振動数	鉛直たわみ	0.31Hz	—	2347Hz	2354Hz	2349Hz (2345Hz)	2348Hz	2349Hz	2352Hz
	ね じ れ	1.49Hz	—	5742Hz	5714Hz	5745Hz (5739Hz)	5734Hz	5547Hz	5504Hz
振 動 数 比		4.81	4.81	2447	2427	2446 (2447)	2442	2361	2340
減衰率	鉛直たわみ	—	0.02	0.020	0.020	0.021 (0.020)	0.021	0.020	0.020
	ね じ れ	—	0.02	0.020	0.020	0.021 (0.020)	0.021	0.019	0.018
風速	鉛直たわみ	—	—	4887	4873	4883 (4891)	4885	4883	4877
	ね じ れ	—	—	9.601	9.648	9.596 (9.606)	9.615	9.939	10.016

注) A-3モデルの実験値の()内は、他の実験後、再びA-3モデルにもどした時の値を表わす。

* 極慣性モーメントに関する相似条件を満足させることが困難なため、 $I/\rho B^4 \sim \text{const}$ を相似パラメータとして用いた。

表-2 (続 き)

実験値 (A-7)**	実験値 (D-1)	実験値 (A-5)	実験値 (A-6)	実験値 (D-2)	実験値 (A-10)	実験値 (A-8, A-9)	実験値 (A-11)
1/37	1/37	1/37	1/37	1/37	1/37	1/37	1/37
8148kgf/model	8058kgf/model	8051kgf/model	8037kgf/model	8030kgf/model	7996kgf/model	7990kgf/model	8106kgf/model
-	1305kgf cm s ² /model	1304kgf cm s ² /model	1295kgf cm s ² /model	1308kgf cm s ² /model	1297kgf cm s ² /model	1291kgf cm s ² /model	1304kgf cm s ² /model
鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度	鉛直たわみ・ ねじれ2自由度
2332Hz	2345Hz	2346Hz	2348Hz	2349Hz	2354Hz	2355Hz	2338Hz
-	5735Hz	5739Hz	5759Hz	5730Hz	5753Hz	5766Hz	5739Hz
-	2446	2446	2453	2439	2444	2448	2455
0020	0018	0020	0020	0020	0021	0019	002
-	0021	0020	0020	0020	0020	0021	002
4919	4891	4889	4885	4883	4873	4870	4906
-	9613	9606	9573	9621	9583	9561	9606

** 鉛直たわみモードの現象にのみ着目したため、ねじれモードに関する諸数値の計測は省略した。

表-3 使用 模 型

模型番号	フラップ		高 欄*	地 覆		備 考
	長さ	角度		延長**	高さ	
A-1	0	—	長 高 欄	無	8 cm	
A-2	1.0 m	10°	長 高 欄	無	8 cm	
A-3	1.0 m	10°	改 良 高 欄	無	8 cm	
A-4	1.0 m	10°	改 良 高 欄	有	8 cm	
A-5	1.0 m	10°	長改良高欄	有	8 cm	
A-6	1.0 m	10°	長改良高欄	有	4 cm	
A-7	1.0 m	10°	長 高 欄	無	8 cm	下部デフレクター付***
A-8	1.0 m	15°	改 良 高 欄	有	8 cm	
A-9	1.0 m	5°	改 良 高 欄	有	8 cm	
A-10	1.4 m	10°	改 良 高 欄	有	8 cm	
A-11	1.0 m	10°	改 良 高 欄	有	8 cm	ケーブル定着部あり****
B-1	1.0 m	10°	改 良 高 欄	有	8 cm	
B-2	1.0 m	10°	改 良 高 欄	無	8 cm	
C-1	1.0 m	10°	改 良 高 欄	無	8 cm	
C-2	1.0 m	10°	改 良 高 欄	有	8 cm	
D-1	1.0 m	10°	改 良 高 欄	無	8 cm	
D-2	1.4 m	10°	改 良 高 欄	有	8 cm	

* 図-3-1, 図-3-2 参照のこと

** 図-3-1, 図-3-2 参照のこと

*** 図-3-5 参照のこと

**** 図-3-6 参照のこと

表-4 各断面の渦励振特性

模型番号	鉛直たわみモード渦励振 (模型振幅 (mm) 実橋風速 (m/s))									ねじれモード渦励振(模型振幅 (°) 実橋風速 (m/s))									備 考
	-7°	-5°	-3°	-1°	0°	1°	3°	5°	7°	-7°	-5°	-3°	-1°	0°	1°	3°	5°	7°	
A-1	0.6 5.3	0.5 5.3	0.5 6.1	2.1 7.3	2.5 7.5	2.7 7.6	2.7 8.3	1.5 9.1	3.1 9.2	0.2 264	0.3 26.1	0.1 26.9	0.0	0.1 31.0	0.1 34.0	0.1 39.7	0.0	0.0	
A-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4 6.6	0.1 6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	風速間隔は 若干あらい
A-3	0.1 5.4	0.1 5.4	0.3 5.4	0.3 6.1	0.4 6.4	0.3 6.7	0.1 7.8	0.0	0.0	0.0	-	-	-	0.0	-	-	-	0.0	
A-4	0.1 4.9	0.3 4.9	0.3 5.3	0.5 5.7	0.4 6.1	0.4 6.4	0.0	0.1 8.5	0.1 8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A-5	0.0	0.3 4.9	0.2 4.8	0.1 5.6	0.4 5.6	0.4 5.9	0.4 6.2	-	-	0.0	0.1 23.1	0.1 23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
A-6	0.0	0.2 4.8	0.4 4.9	0.2 5.6	0.5 5.6	0.5 5.8	0.3 6.0	-	0.0	0.0	0.0	0.1 23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	
A-7	0.0	-	0.0	-	0.1 6.7	-	0.3 7.5	-	0.1 8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A-8	-	-	-	-	0.5 6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	
A-9	-	-	-	-	0.5 6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	
A-10	0.1 5.6	0.1 5.6	0.1 5.6	0.3 6.0	0.3 6.3	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	
A-11	0.1 6.2	0.1 5.2	0.1 5.2	0.1 6.2	0.2 5.7	0.1 6.0	0.2 7.4	0.1 8.2	0.1 8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
B-1	0.0	-	-	-	1.1 5.3	1.0 5.3	0.6 5.7	-	0.0	0.1 22.8	-	-	-	0.1 24.2	0.1 24.6	0.1 25.4	-	0.0	
B-2	-	-	-	-	1.0 5.3	1.0 5.3	0.6 5.7	-	-	0.1 22.8	-	-	-	0.1 24.2	0.1 24.7	0.1 25.7	-	-	
C-1	0.0	-	-	0.4 6.0	0.4 7.0	0.6 7.2	0.5 7.8	-	0.1 10.0	0.1 22.9	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	
C-2	0.0	-	-	0.4 6.0	0.4 6.4	0.6 7.0	0.5 8.0	-	0.1 10.9	0.1 22.2	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	
D-1	0.0	-	0.2 5.6	0.4 5.6	0.6 6.0	0.4 6.3	0.2 7.2	-	0.1 9.1	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	
D-2	0.1 5.6	0.1 5.2	0.3 5.6	0.2 6.2	0.2 6.2	0.1 6.6	0.0	0.0	0.1 9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

注) -印は実験を行っていないことを表す。

表中の振幅および風速は、渦励振の最大片振幅およびそれに対応する風速を意味する。

表-5 振動モードおよび振幅換算比

橋端からの橋軸方向 の距離 (m)	対称1次モード 0.31 Hz	対称2次モード 0.66 Hz	逆対称1次モード 0.37 Hz	逆対称2次モード 0.59 Hz	逆対称3次モード 0.79 Hz
0 (橋脚)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	-0.03	0.05	0.04	-0.02	0.07
16	-0.07	0.10	0.08	-0.04	0.13
24	-0.10	0.14	0.11	-0.05	0.19
32 側	-0.12	0.18	0.14	-0.07	0.24
42	-0.14	0.22	0.17	-0.08	0.29
54 径	-0.16	0.25	0.19	-0.08	0.32
68	-0.16	0.27	0.20	-0.08	0.33
84 間	-0.15	0.26	0.19	-0.06	0.30
102	-0.12	0.21	0.16	-0.04	0.24
122	-0.09	0.15	0.12	-0.02	0.15
144	-0.05	0.08	0.07	0.00	0.07
175 (主塔)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
206	0.05	-0.07	-0.07	0.00	-0.01
229	0.09	-0.13	-0.12	0.02	0.02
250	0.12	-0.16	-0.17	0.05	0.07
269 中	0.16	-0.15	-0.21	0.09	0.14
286	0.20	-0.10	-0.24	0.12	0.21
301 央	0.23	-0.03	-0.24	0.14	0.25
314	0.25	0.05	-0.24	0.15	0.26
325 径	0.27	0.13	-0.22	0.15	0.25
334	0.29	0.20	-0.20	0.14	0.23
342 間	0.30	0.25	-0.17	0.12	0.21
350	0.31	0.30	-0.14	0.10	0.17
358	0.32	0.34	-0.10	0.07	0.13
377.5 (中央)	0.33	0.39	0.00	0.00	0.00
	振幅換算比 ($\frac{\bar{h}_3(x)}{\bar{h}_2}$)				
強制振動仮定	1.1 (x=68m) 2.2 (x=377.5m)	2.6 (x=68m) 3.7 (x=377.5m)	0	0	0
自励振動仮定 (空気力係数は振 幅に反比例)	2.9 (x=68m) 6.0 (x=377.5m)	4.7 (x=68m) 6.8 (x=377.5m)	4.2 (x=68m) 5.1 (x=301m)	3.0 (x=54m) 5.6 (x=314m)	5.3 (x=68m) 4.2 (x=314m)
自励振動仮定 (空気力係数は振 幅の1次式)	2.5 (x=68m) 5.1 (x=377.5m)	4.0 (x=68m) 5.7 (x=377.5m)	3.9 (x=68m) 4.7 (x=301m)	2.6 (x=54m) 4.9 (x=314m)	4.8 (x=68m) 3.8 (x=314m)

表-6-1 名港西大橋 三分力試験結果整理表

(A-4, U=7.41m/s)

迎 角 (deg)	抗 力 係 数	揚 力 係 数	空力モーメント係数
-15	1.737	-1.062	-0.2881
-14	1.698	-1.034	-0.2687
-13	1.698	-0.971	-0.2401
-12	1.583	-0.923	-0.2151
-11	1.505	-0.867	-0.1907
-10	1.390	-0.812	-0.1690
-9	1.312	-0.770	-0.1557
-8	1.197	-0.722	-0.1389
-7	1.081	-0.631	-0.1110
-6	1.081	-0.548	-0.0783
-5	1.042	-0.465	-0.0452
-4	1.004	-0.389	-0.0161
-3	1.004	-0.319	0.0113
-2	0.965	-0.243	0.0365
-1	0.965	-0.160	0.0688
0	0.965	-0.069	0.0964
1	1.004	0.000	0.1248
2	1.042	0.062	0.1476
3	1.081	0.111	0.1665
4	1.158	0.173	0.1896
5	1.235	0.222	0.2096
6	1.312	0.278	0.2329
7	1.390	0.319	0.2491
8	1.467	0.375	0.2685
9	1.583	0.451	0.2729
10	1.698	0.472	0.2777
11	1.776	0.493	0.2822
12	1.891	0.513	0.2889
13	1.969	0.520	0.2912
14	2.084	0.527	0.2943
15	2.162	0.541	0.3016

表-6-2 名港西大橋 三分力試験結果整理表

(A-4, $U=7.41\text{m/s}$)

迎 角 (deg)	抗 力 係 数	揚 力 係 数	空力モーメント係数
-15	1.776	-1.062	-0.2904
-14	1.737	-1.034	-0.2725
-13	1.660	-0.978	-0.2419
-12	1.583	-0.923	-0.2183
-11	1.467	-0.874	-0.1942
-10	1.390	-0.819	-0.1746
-9	1.274	-0.777	-0.1577
-8	1.197	-0.708	-0.1381
-7	1.081	-0.624	-0.1086
-6	1.042	-0.541	-0.0772
-5	1.042	-0.458	-0.0460
-4	1.004	-0.389	-0.0161
-3	1.004	-0.319	0.0113
-2	0.965	-0.236	0.0413
-1	0.965	-0.153	0.0712
0	0.965	-0.062	0.0988
1	1.004	0.000	0.1232
2	1.042	0.056	0.1420
3	1.119	0.118	0.1674
4	1.158	0.173	0.1896
5	1.197	0.229	0.2118
6	1.312	0.271	0.2289
7	1.390	0.319	0.2474
8	1.467	0.368	0.2653
9	1.583	0.451	0.2713
10	1.698	0.479	0.2785
11	1.776	0.493	0.2806
12	1.891	0.513	0.2873
13	1.969	0.520	0.2880
14	2.084	0.534	0.2966
15	2.123	0.541	0.2993

表-6-3 名港西大橋 三分力試験結果整理表

(A-4, U=15.10m/s)

迎 角 (deg)	抗 力 係 数	揚 力 係 数	空力モーメント係数
-15	1.701	-1.104	-0.3104
-14	1.653	-1.061	-0.2847
-13	1.597	-1.002	-0.2539
-12	1.540	-0.943	-0.2269
-11	1.436	-0.892	-0.2036
-10	1.360	-0.341	-0.1827
-9	1.257	-0.790	-0.1642
-8	1.162	-0.730	-0.1445
-7	1.105	-0.645	-0.1160
-6	1.049	-0.552	-0.0815
-5	0.992	-0.467	-0.0494
-4	0.973	-0.399	-0.0216
-3	0.954	-0.323	0.0067
-2	0.954	-0.246	0.0363
-1	0.954	-0.161	0.0659
0	0.954	-0.076	0.0930
1	0.983	0.000	0.1229
2	1.030	0.059	0.1453
3	1.086	0.110	0.1647
4	1.143	0.166	0.1863
5	1.209	0.221	0.2082
6	1.275	0.272	0.2285
7	1.351	0.323	0.2487
8	1.446	0.391	0.2672
9	1.559	0.450	0.2743
10	1.644	0.467	0.2768
11	1.738	0.484	0.2808
12	1.823	0.501	0.2868
13	1.918	0.509	0.2895
14	2.012	0.526	0.2958
15	2.126	0.535	0.3008

表-6-4 名港西大橋 三分力試験結果整理表

(A-4, U=15.10m/s)

迎 角 (deg)	抗 力 係 数	揚 力 係 数	空力モーメント係数
-15	1.682	-1.095	-0.3073
-14	1.653	-1.061	-0.2847
-13	1.606	-1.002	-0.2560
-12	1.512	-0.943	-0.2265
-11	1.436	-0.892	-0.2036
-10	1.351	-0.841	-0.1818
-9	1.257	-0.790	-0.1646
-8	1.162	-0.722	-0.1416
-7	1.096	-0.637	-0.1130
-6	1.039	-0.552	-0.0814
-5	1.001	-0.467	-0.0502
-4	0.973	-0.399	-0.0228
-3	0.964	-0.323	0.0066
-2	0.945	-0.238	0.0373
-1	0.945	-0.153	0.0689
0	0.954	-0.068	0.0967
1	0.983	0.000	0.1210
2	1.020	0.059	0.1433
3	1.077	0.110	0.1639
4	1.134	0.170	0.1866
5	1.209	0.229	0.2111
6	1.275	0.272	0.2278
7	1.351	0.323	0.2483
8	1.436	0.382	0.2622
9	1.540	0.442	0.2701
10	1.644	0.467	0.2768
11	1.729	0.484	0.2799
12	1.833	0.501	0.2869
13	1.918	0.509	0.2887
14	2.012	0.526	0.2958
15	2.126	0.535	0.3008



图-1 名港西大桥位置图

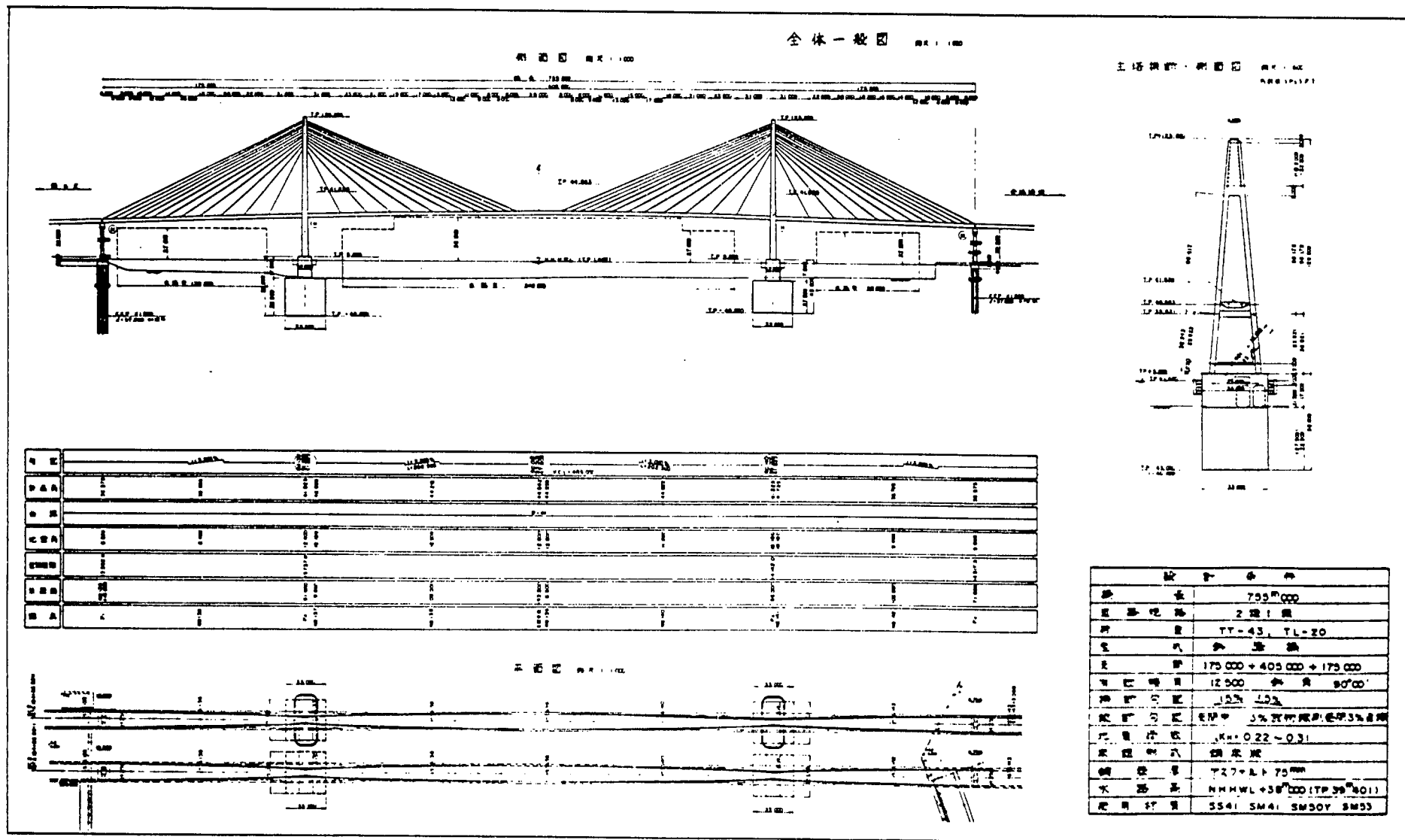


図-2 名 港 西 大 橋 一 般 図

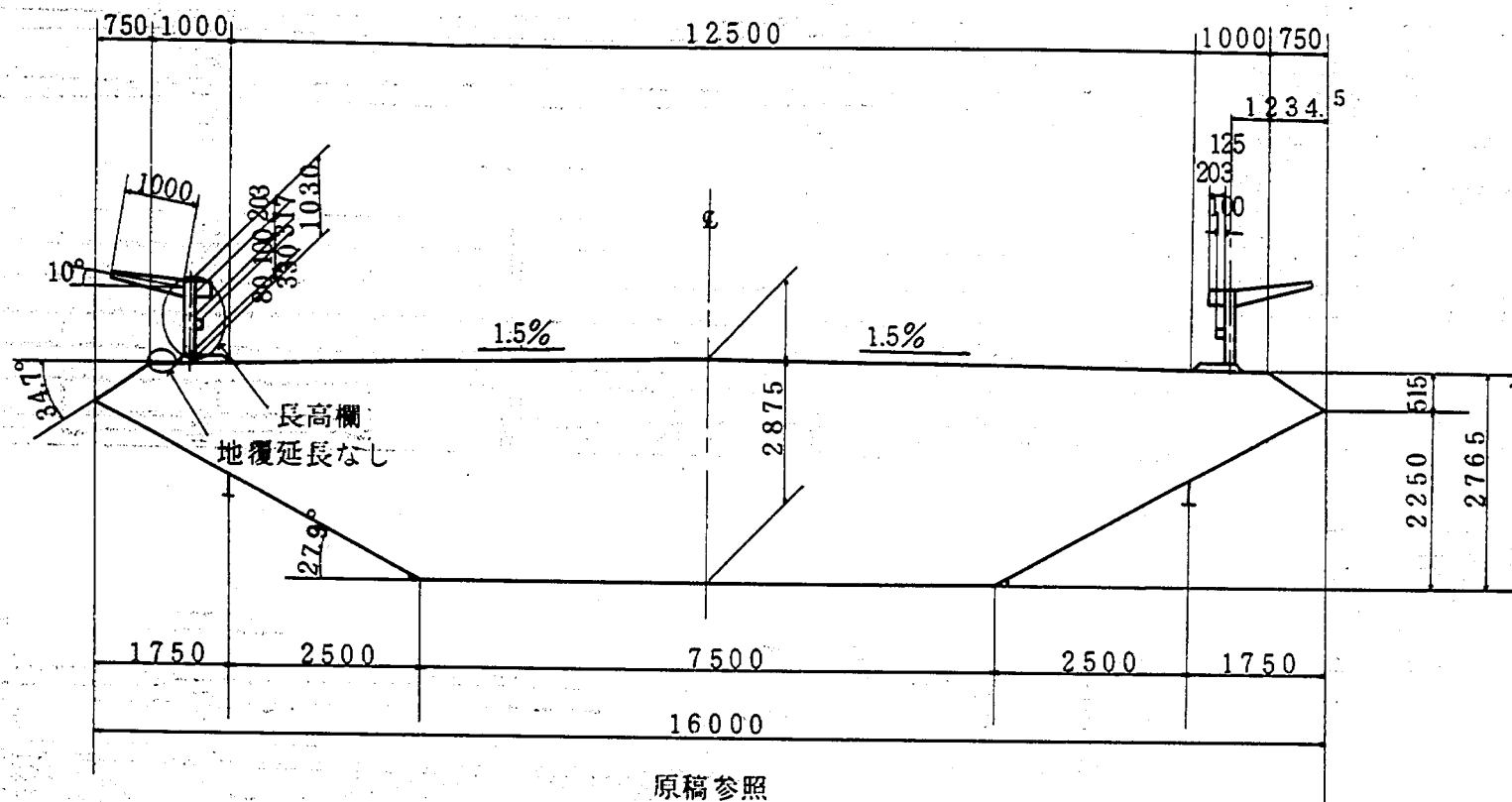


図-3-1 A-2 断面寸法 (実橋寸法)

注) 模型縮尺は $1/37$

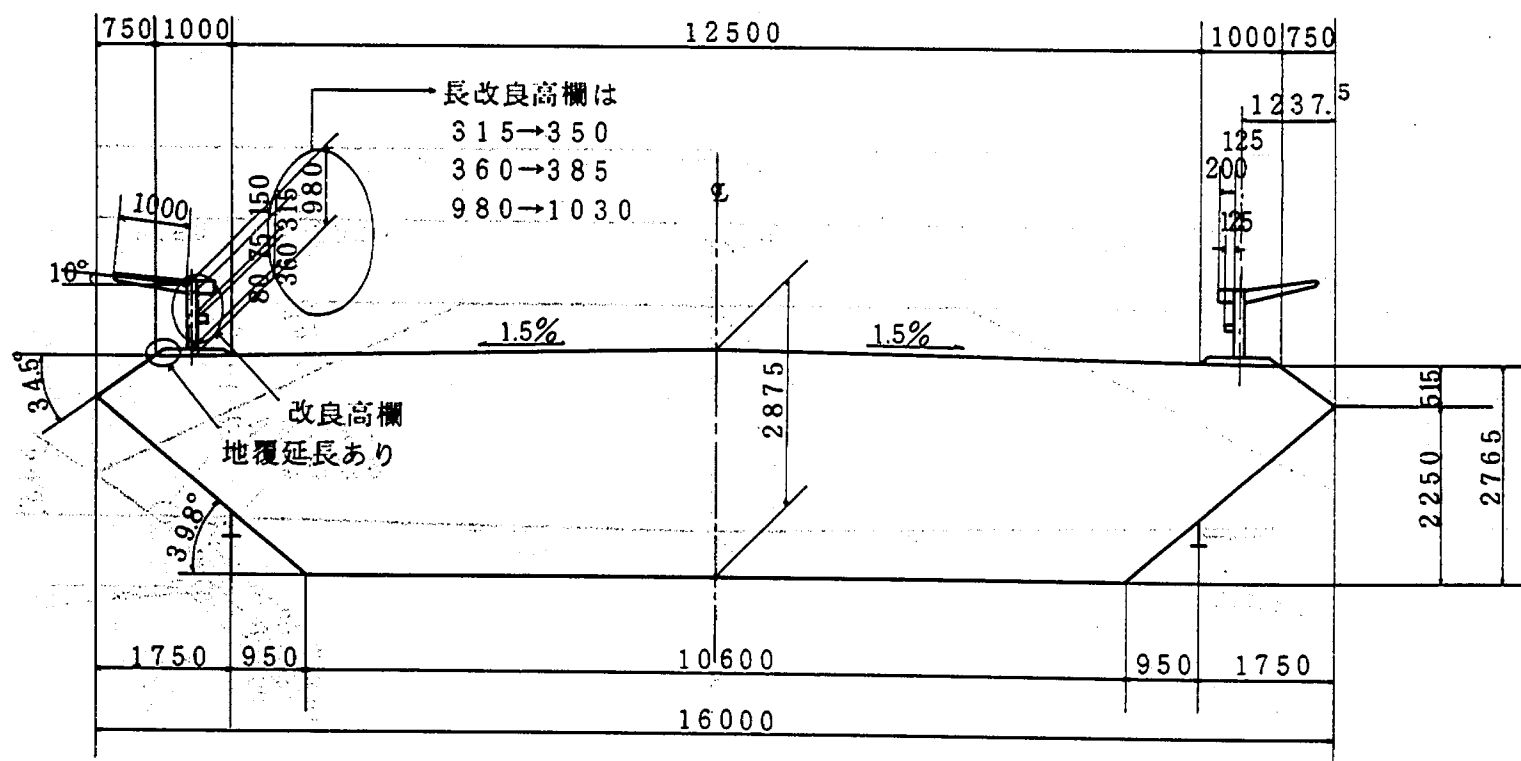


図-3-2 B-1 断面寸法 (実橋寸法)

注) 模型縮尺は $1/37$

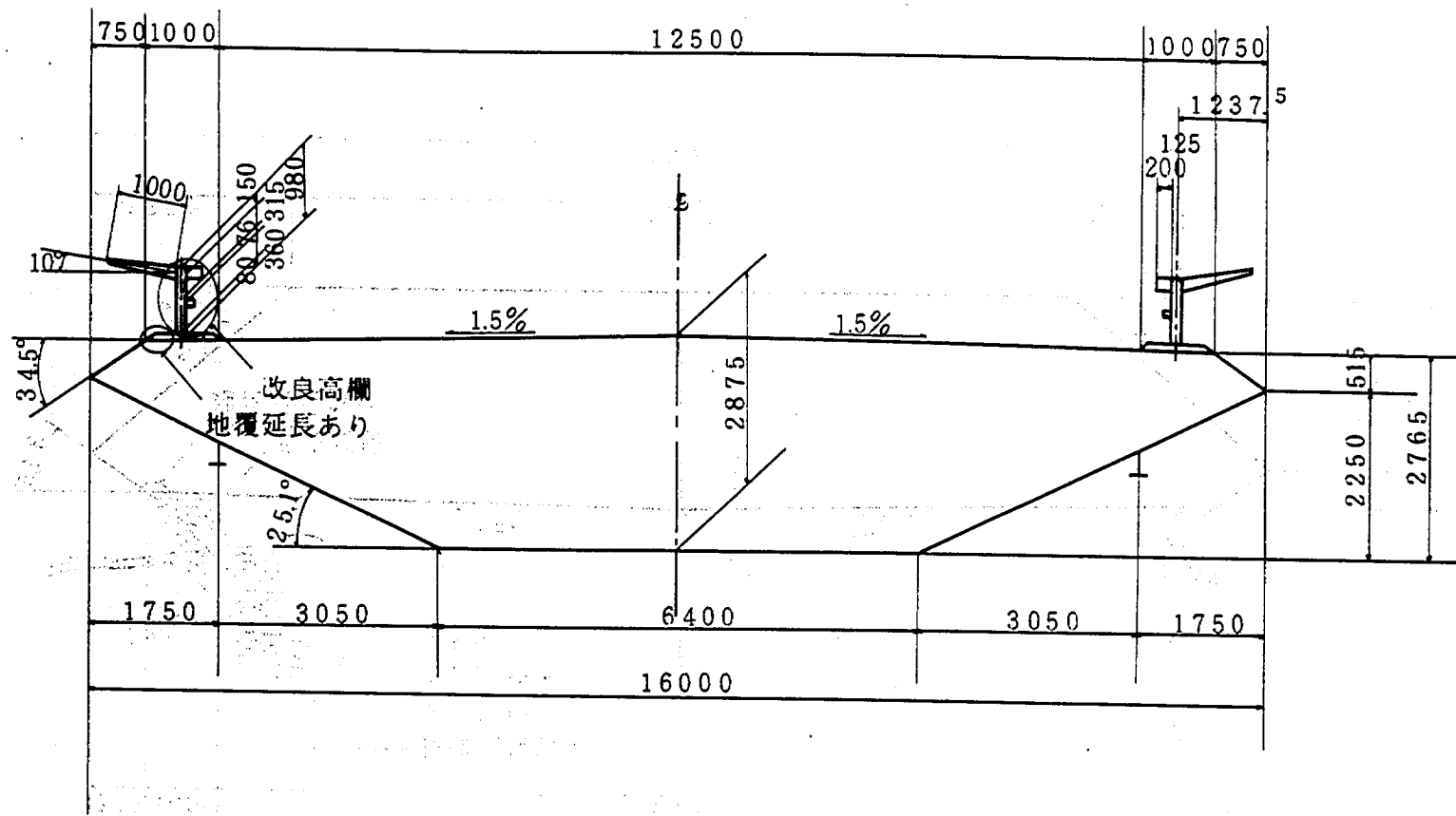


図-3・3 C-2 断面寸法(実橋寸法)

注) 模型縮尺は $1/37$

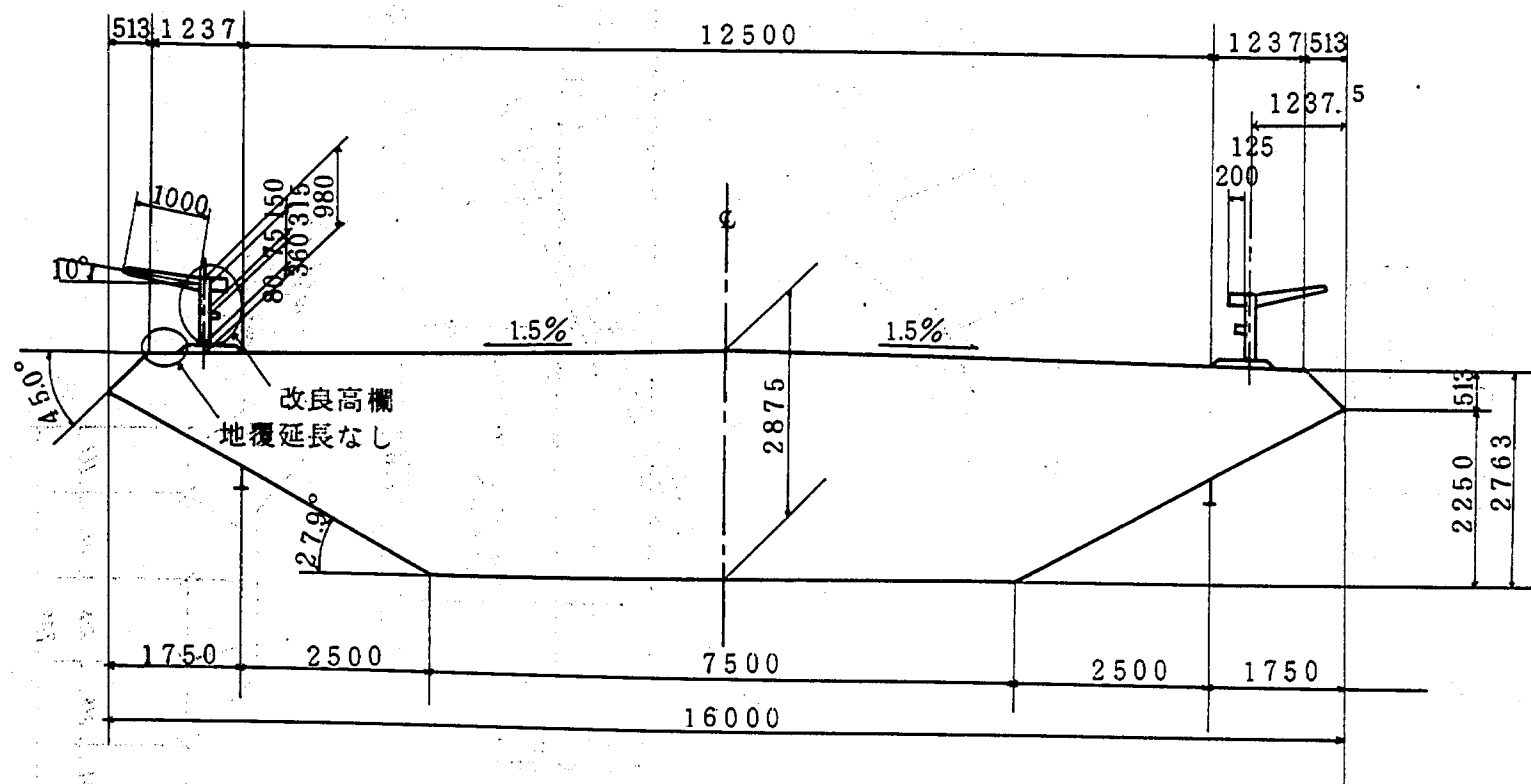
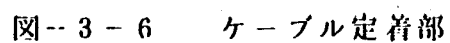
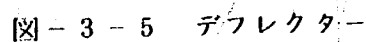


図-3-4 D-1 断面寸法 (実橋寸法)

注) 模型縮尺は $1/37$



A - 1

実橋風速 (m/s)

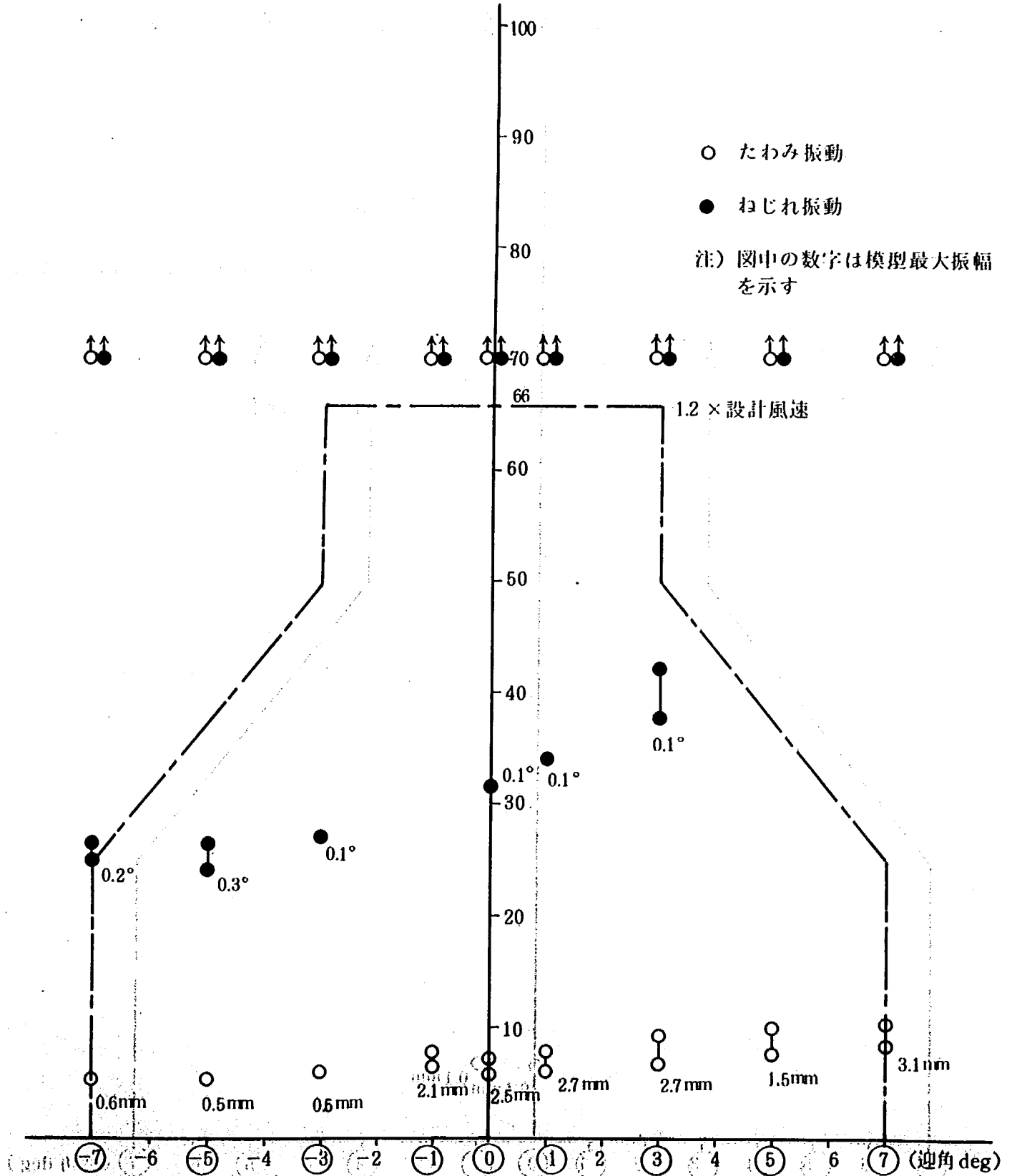


図-4.1.1 発振風速-迎角曲線

A - 2

実橋風速 (m/s)

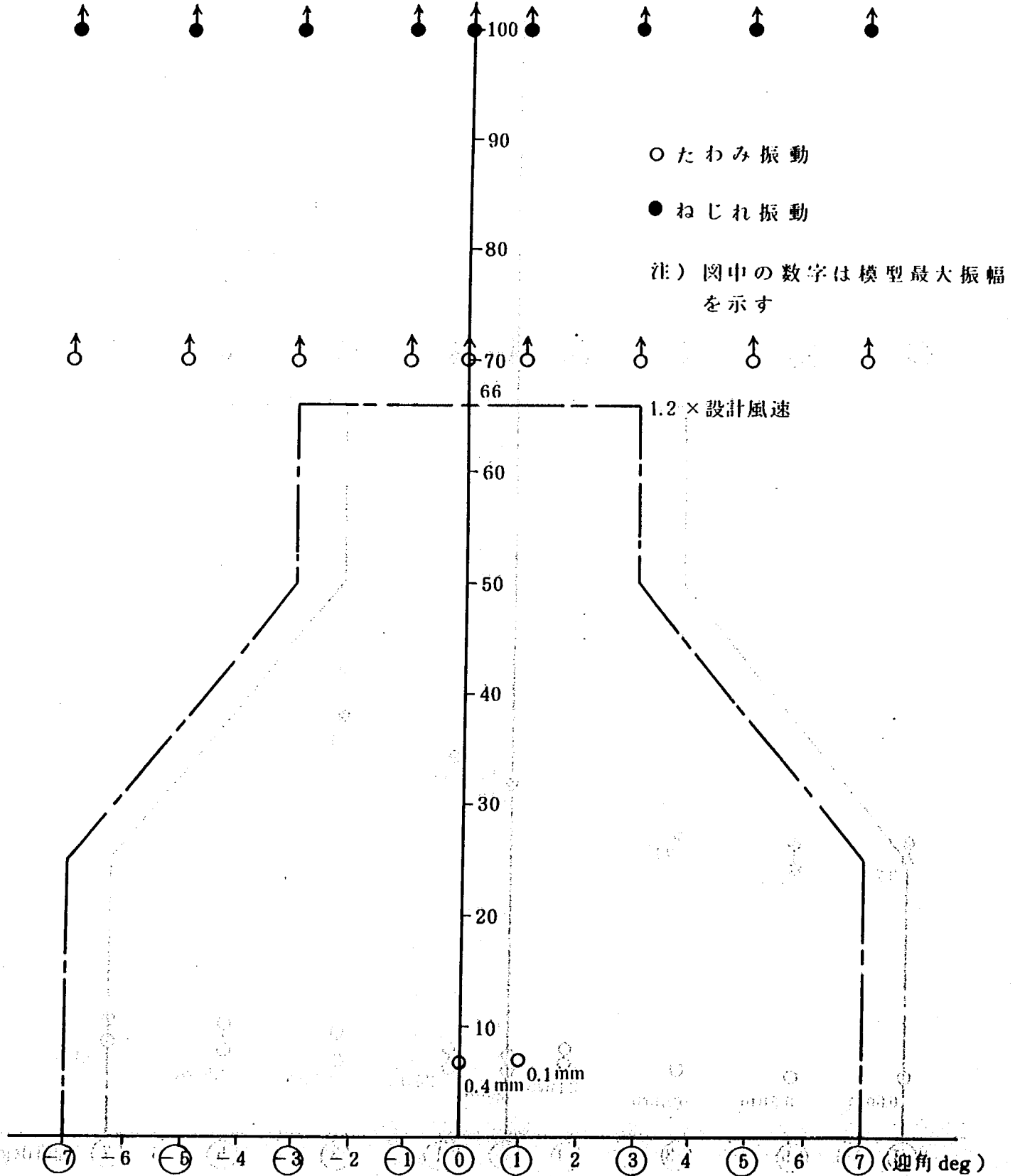


図 - 4 - 2 発振風速 - 迎角曲線

A - 3

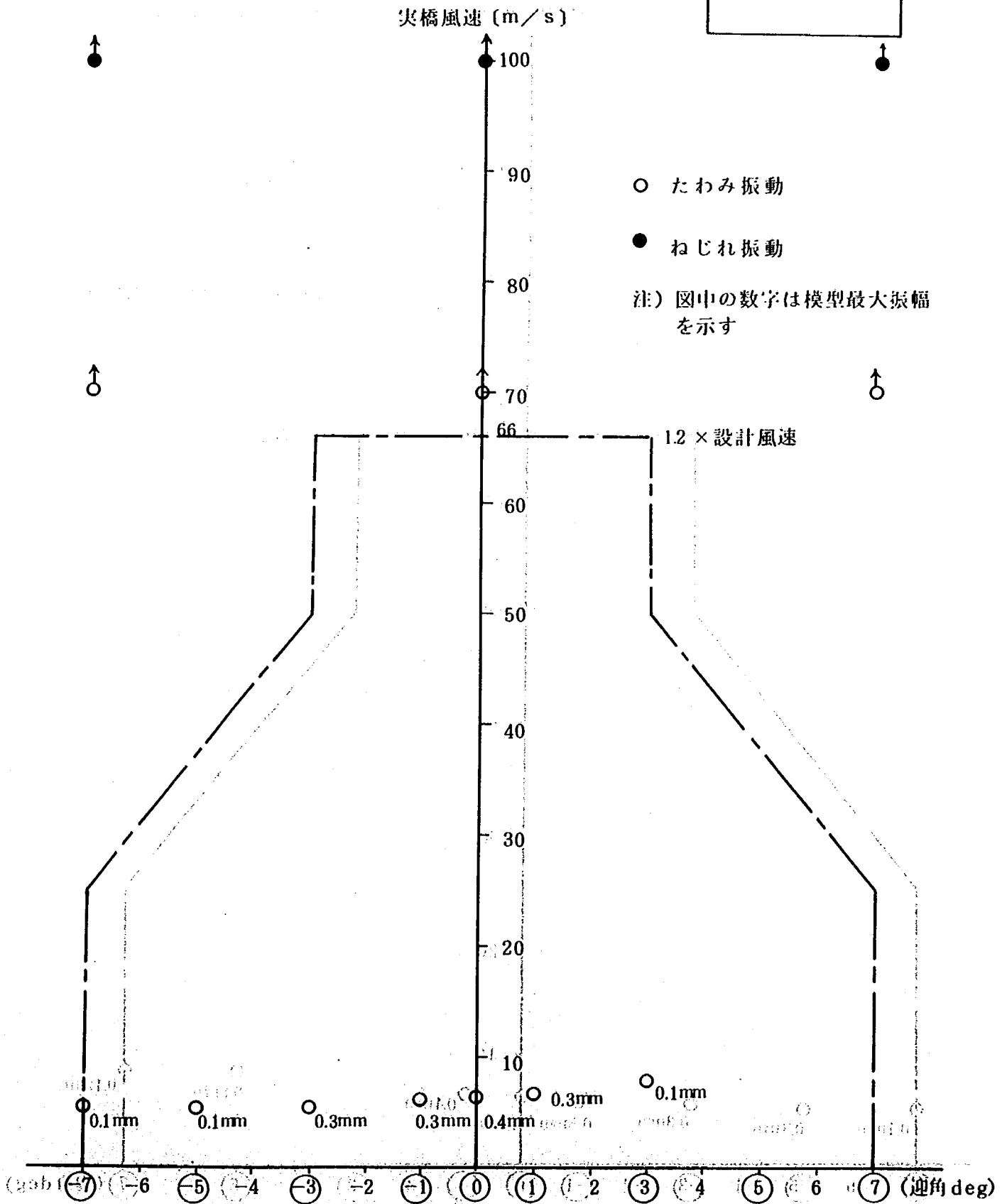


図 - 4 第 3 図 発振風速 - 迎角曲線 - 図

A-4

実橋風速 (m/s)

○ 最大振幅

注) 図中の数字は模型最大振幅を示す

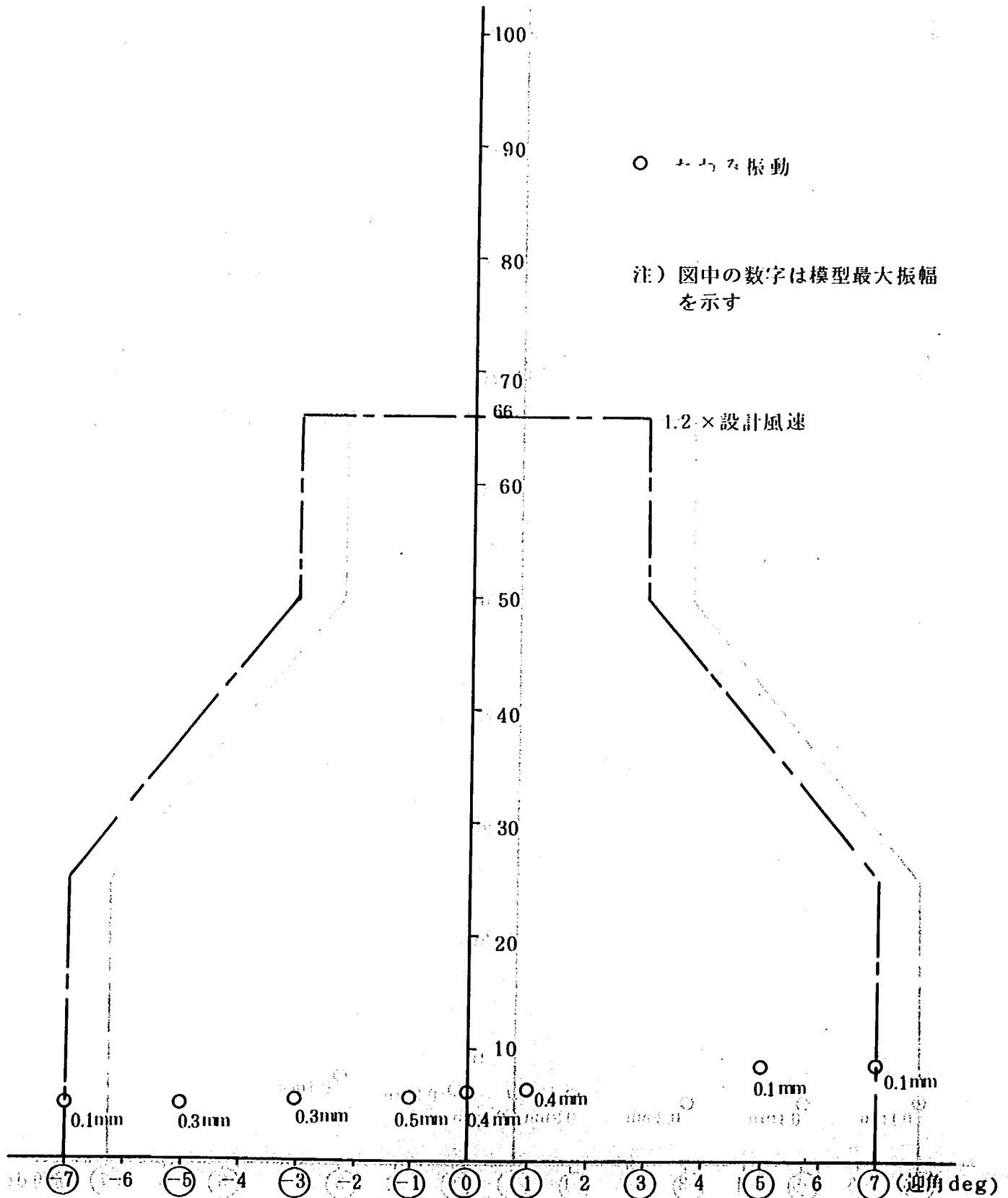


図 - 4 - 4 発振風速 - 迎角曲線

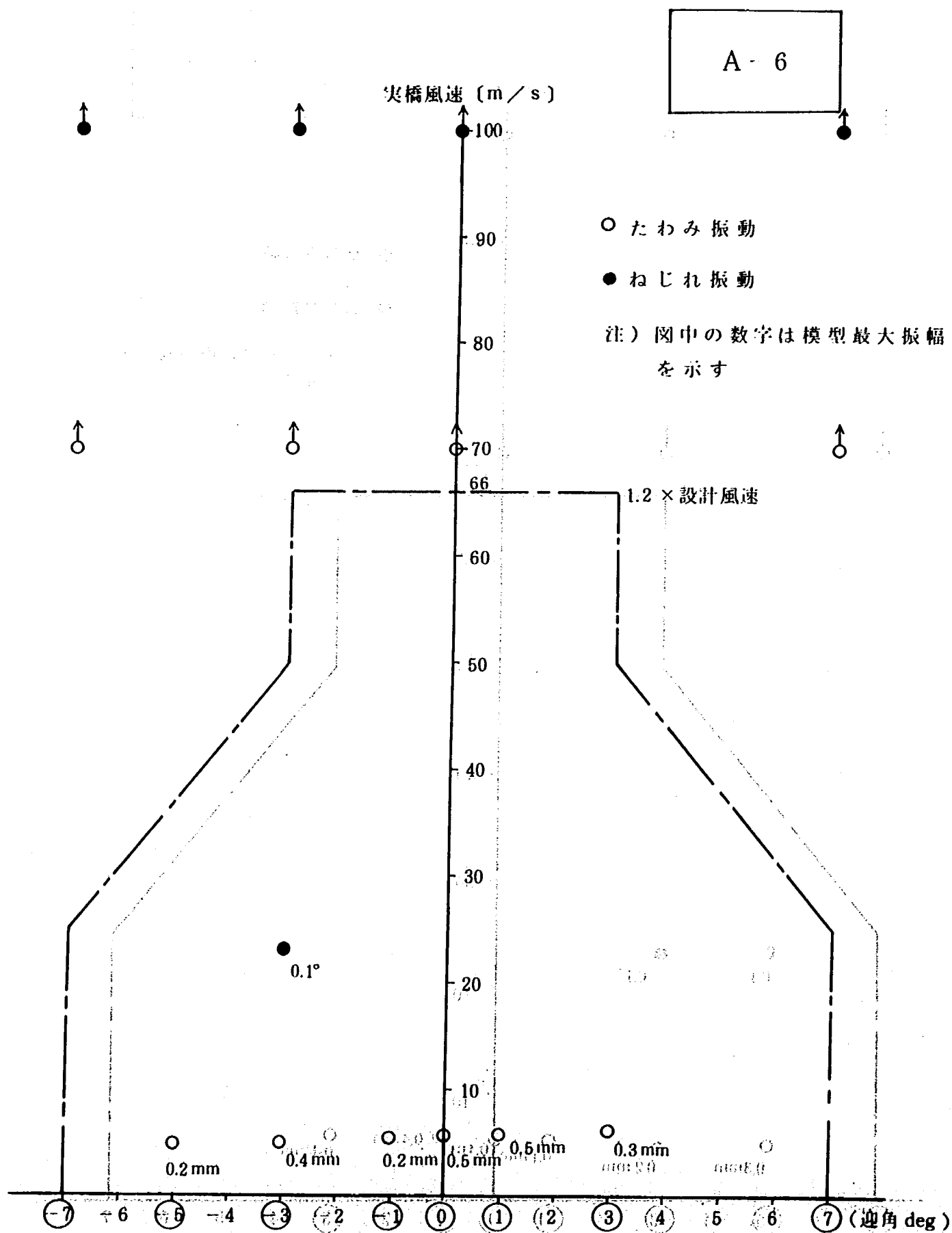


図-24 11760 発振風速-迎角曲線 (例)

A - 7

実橋風速 (m/s)

○ たわみ振動

● ねじれ振動

注) 図中の数字は模型最大振幅を示す

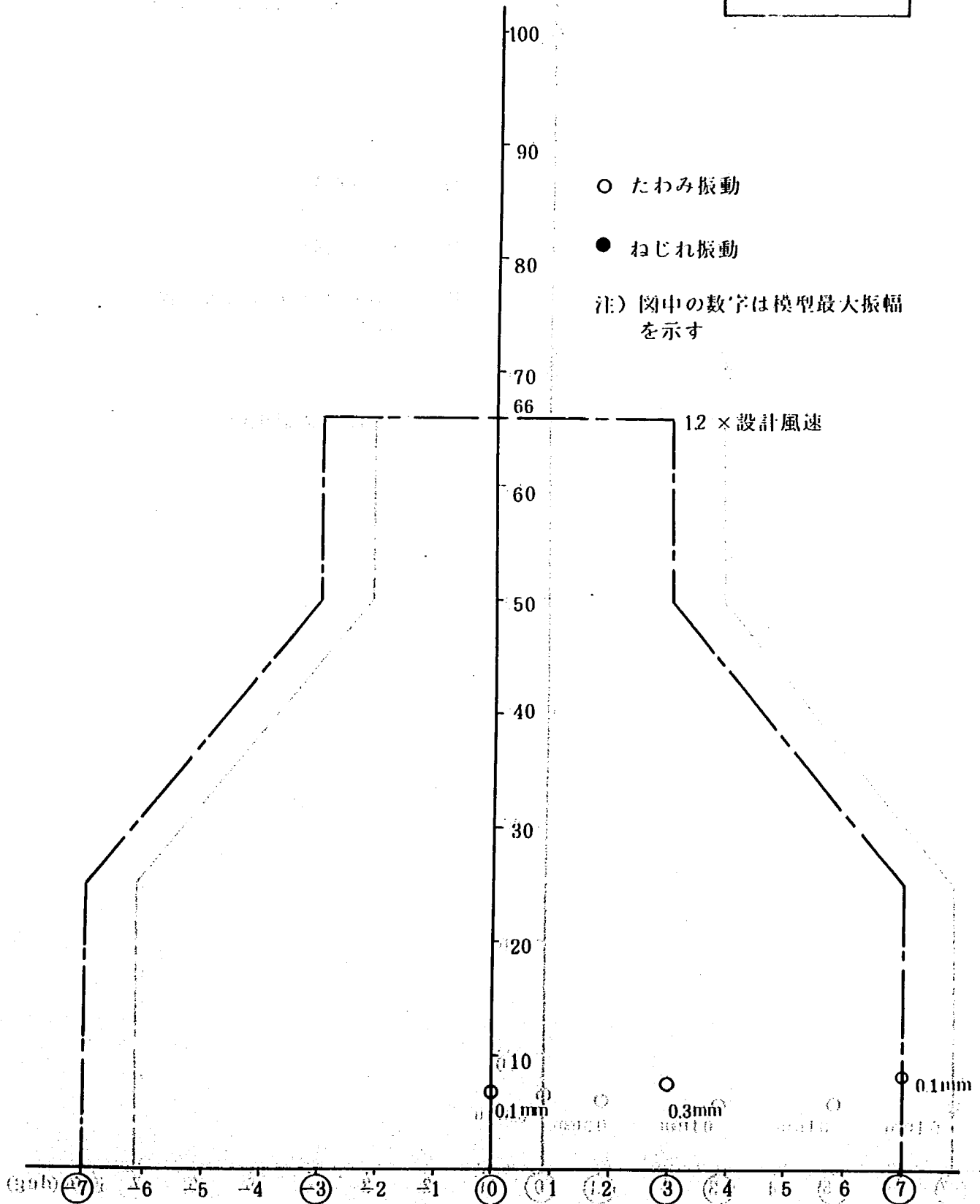


図-14 橋脚7号 発振風速と迎角曲線 (図)

A - 10

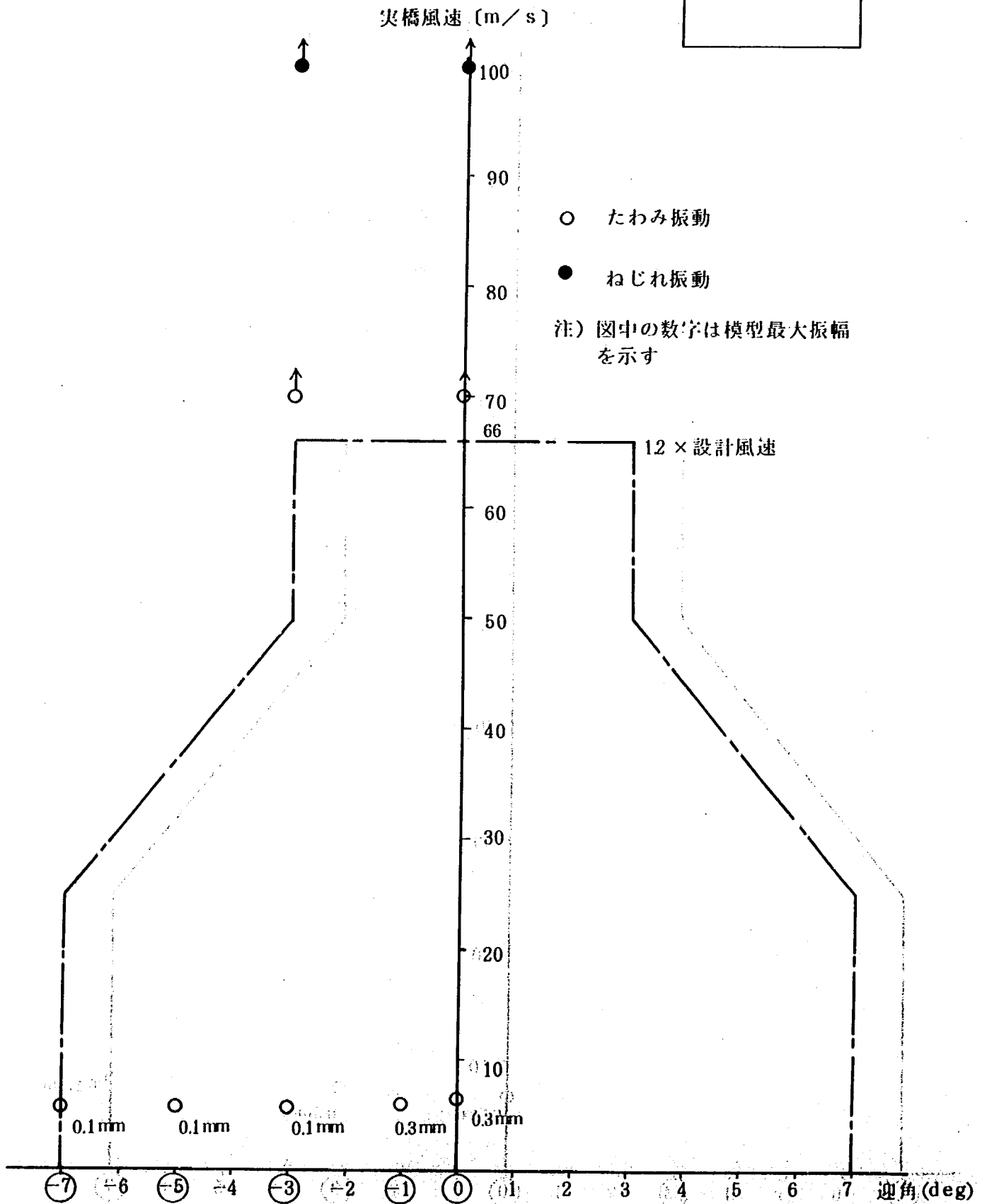


図 - 4 - 8 共振風速 - 迎角曲線

A - 11

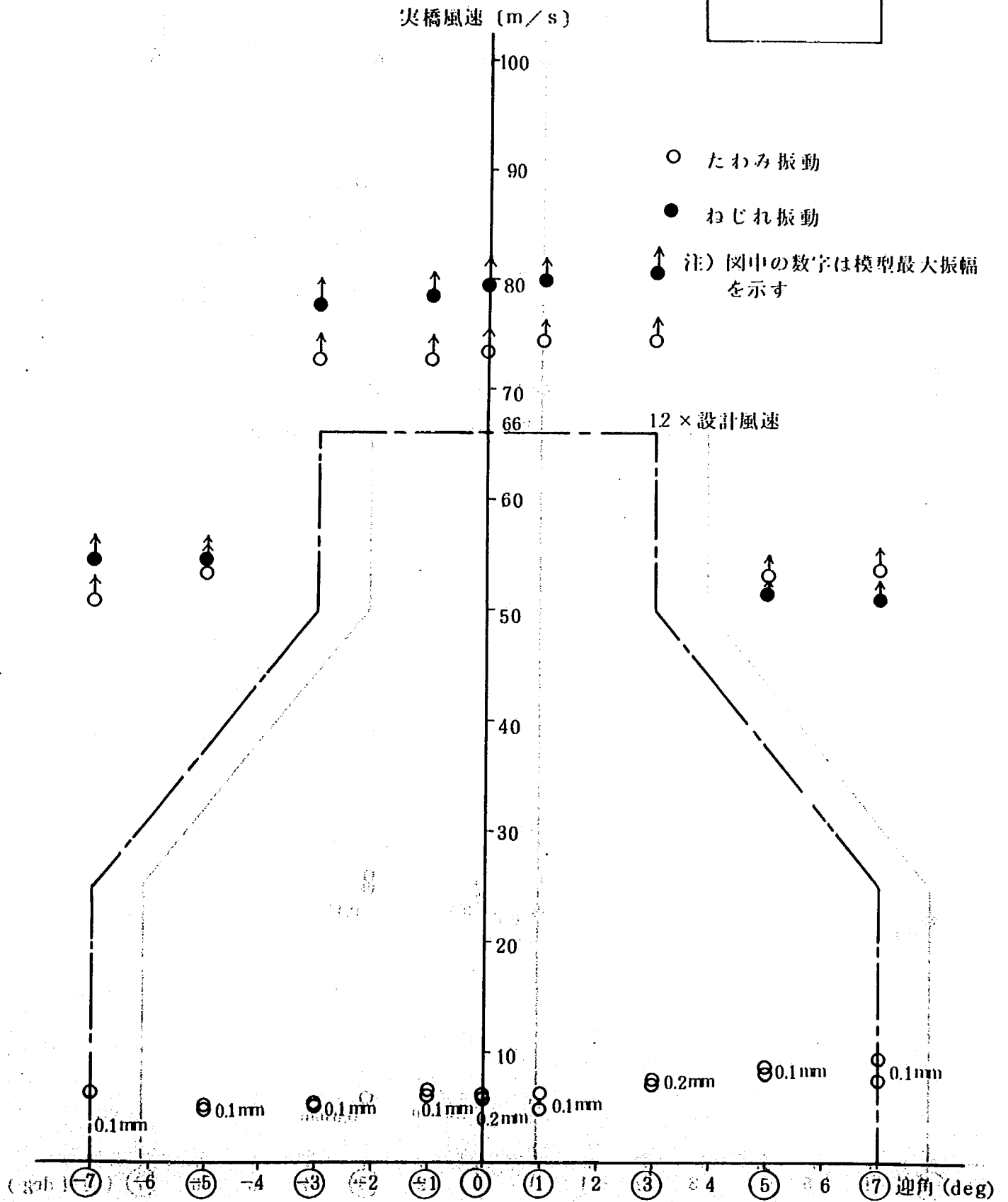


図-4 9度 発振風速-迎角曲線

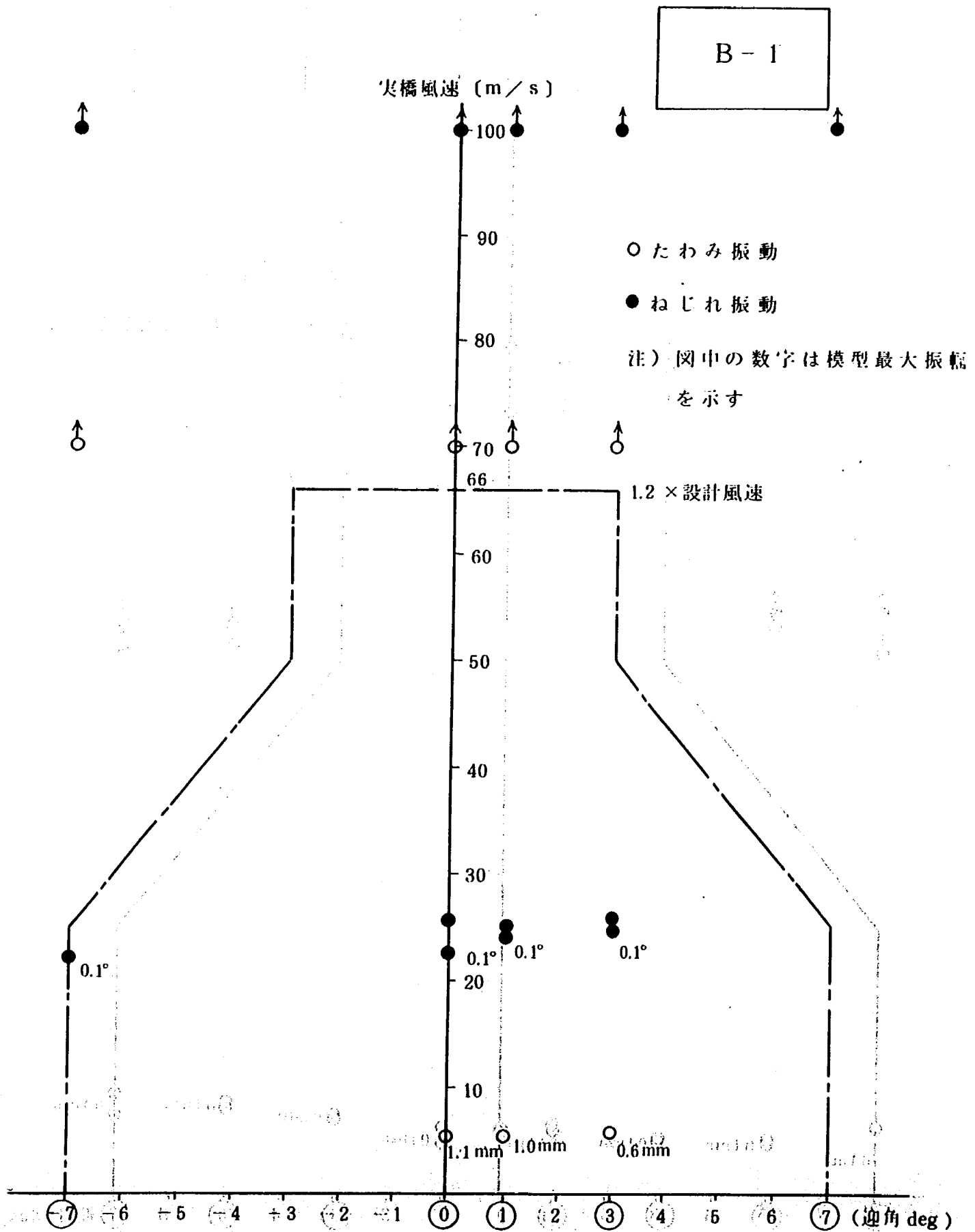


図 - 4 1:10 発振風速 - 迎角曲線

B - 2

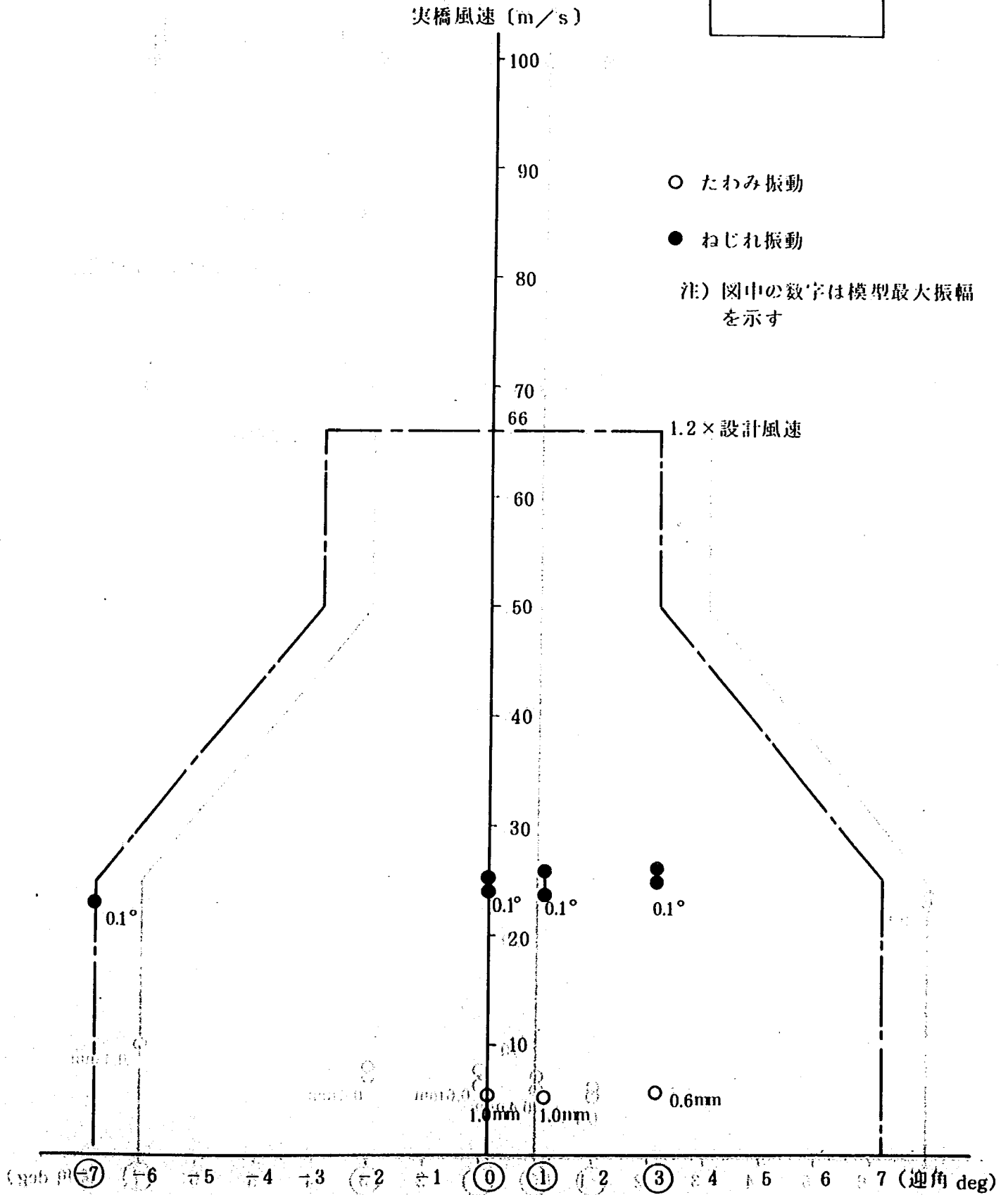


図 - 4-11 発振風速 - 迎角曲線 (3)

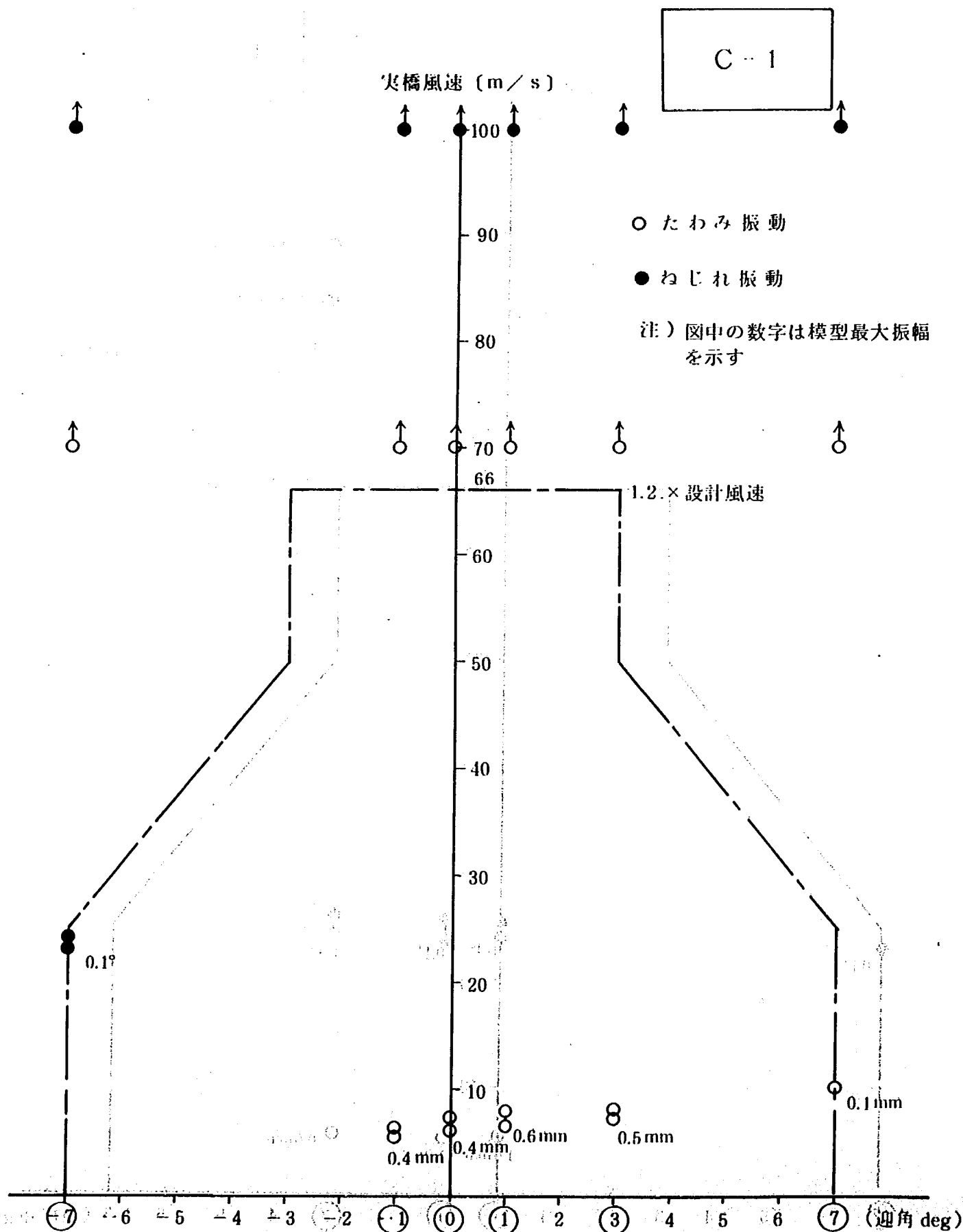


図 - 4-12 発振風速 - 迎角曲線

C - 2

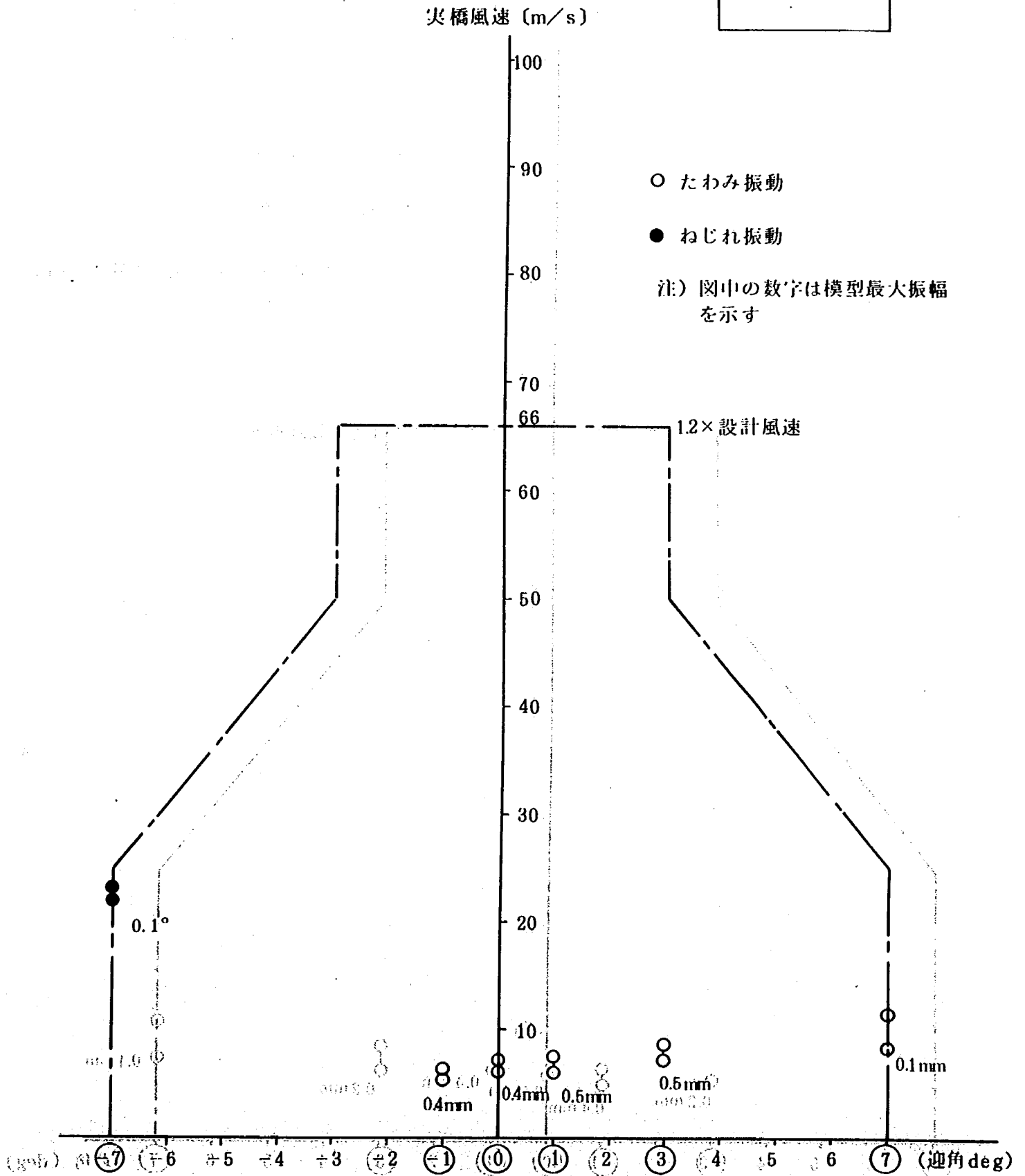


図-24-913 発振風速-迎角曲線

D - 1

実橋風速 (m/s)

○ たわみ振動

● ねじれ振動

注) 図中の数字は模型最大振幅を示す

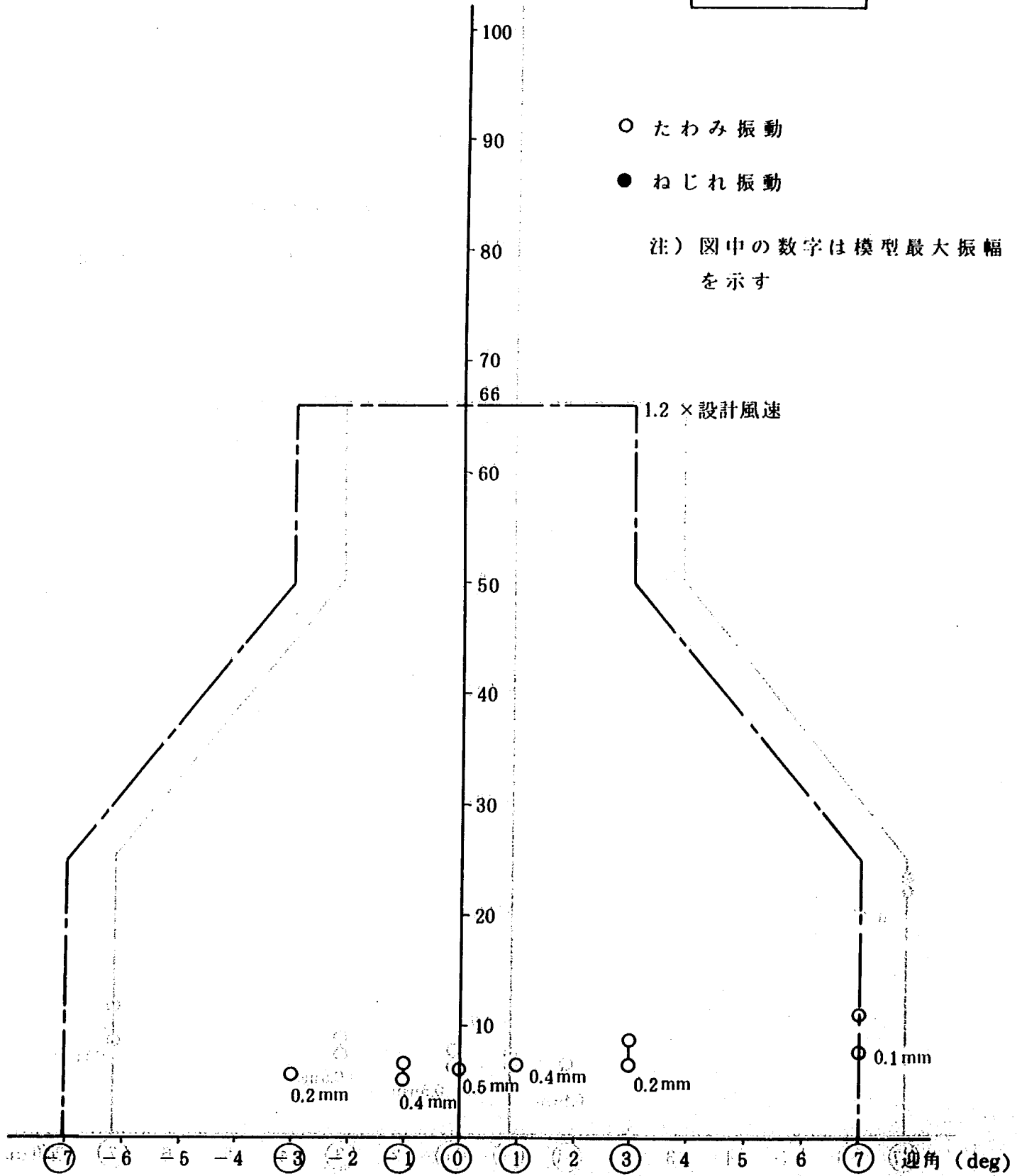


図 - 4 - 14 発振風速 - 迎角曲線

D - 2

実橋風速 (m / s)

○ たわみ振動

● ねじれ振動

注) 図中の数字は模型最大振幅を示す

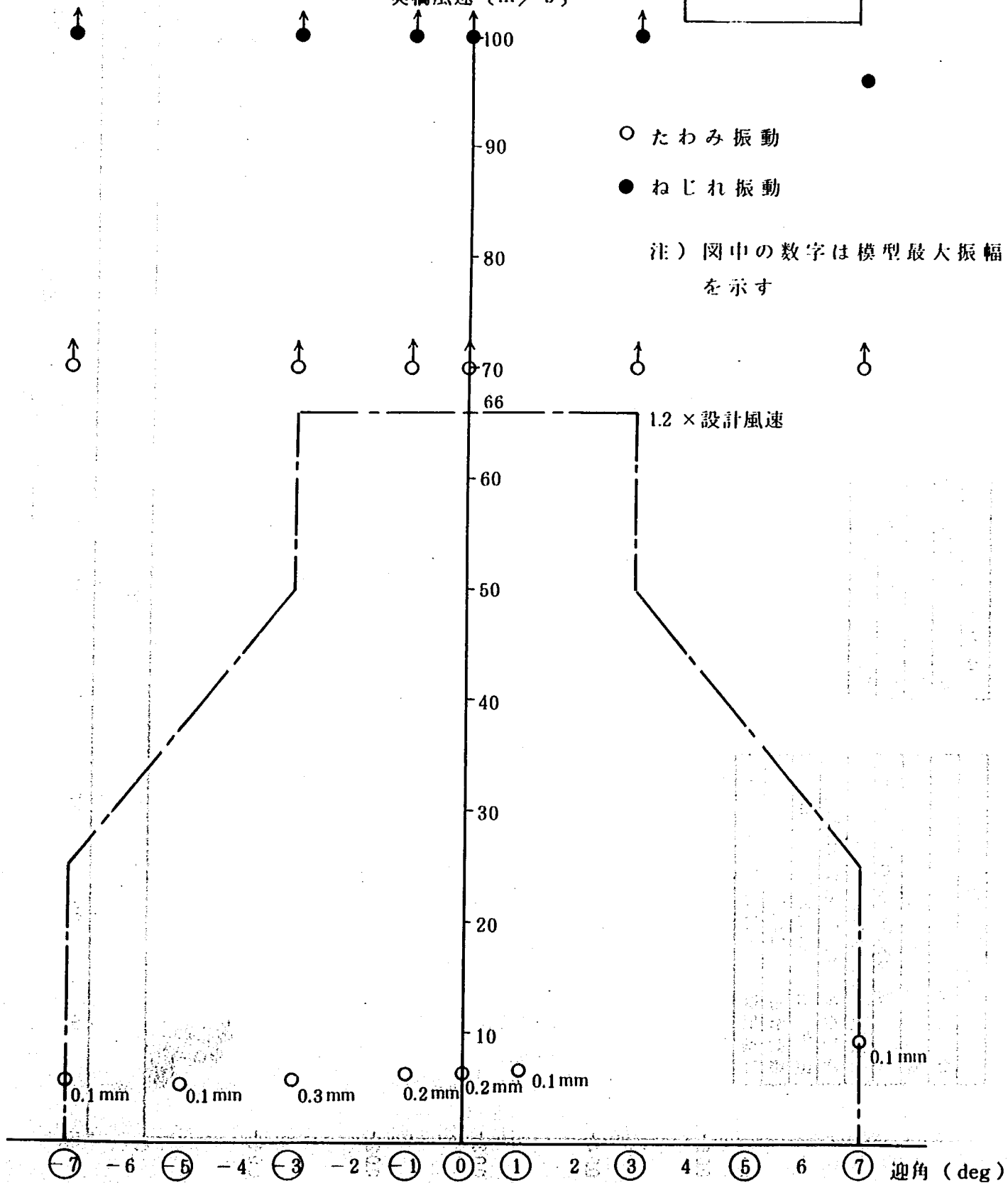


図 - 4 - 15 発振風速 - 迎角曲線

鉛直たわみ振幅
(τ/B)

試験条件	
模型名	A-1
縮尺	1/37
質量	0.8208 kgf·m ⁻¹ ·s ² /model
慣性モーメント	0.01302 kgf·m ² /model
風速倍率	たわみ4.887 ねじれ9.601
振動数	N _τ :2.347 N _θ :5.742
振動数比	2.447
構造減衰	δ _τ :0.020 δ _θ :0.020

模型主要部寸法	
弦長	432.4 mm
模型厚	7.77 mm
模型長	980 mm
閉塞比	0.038

迎角記号	
①	○
②	⊖
③	△
④	□
⑤	⊠
⑥	⊗
⑦	≡
-1°	●
-2°	●
-3°	▲
-4°	■
-5°	◼
-6°	◼
-7°	■

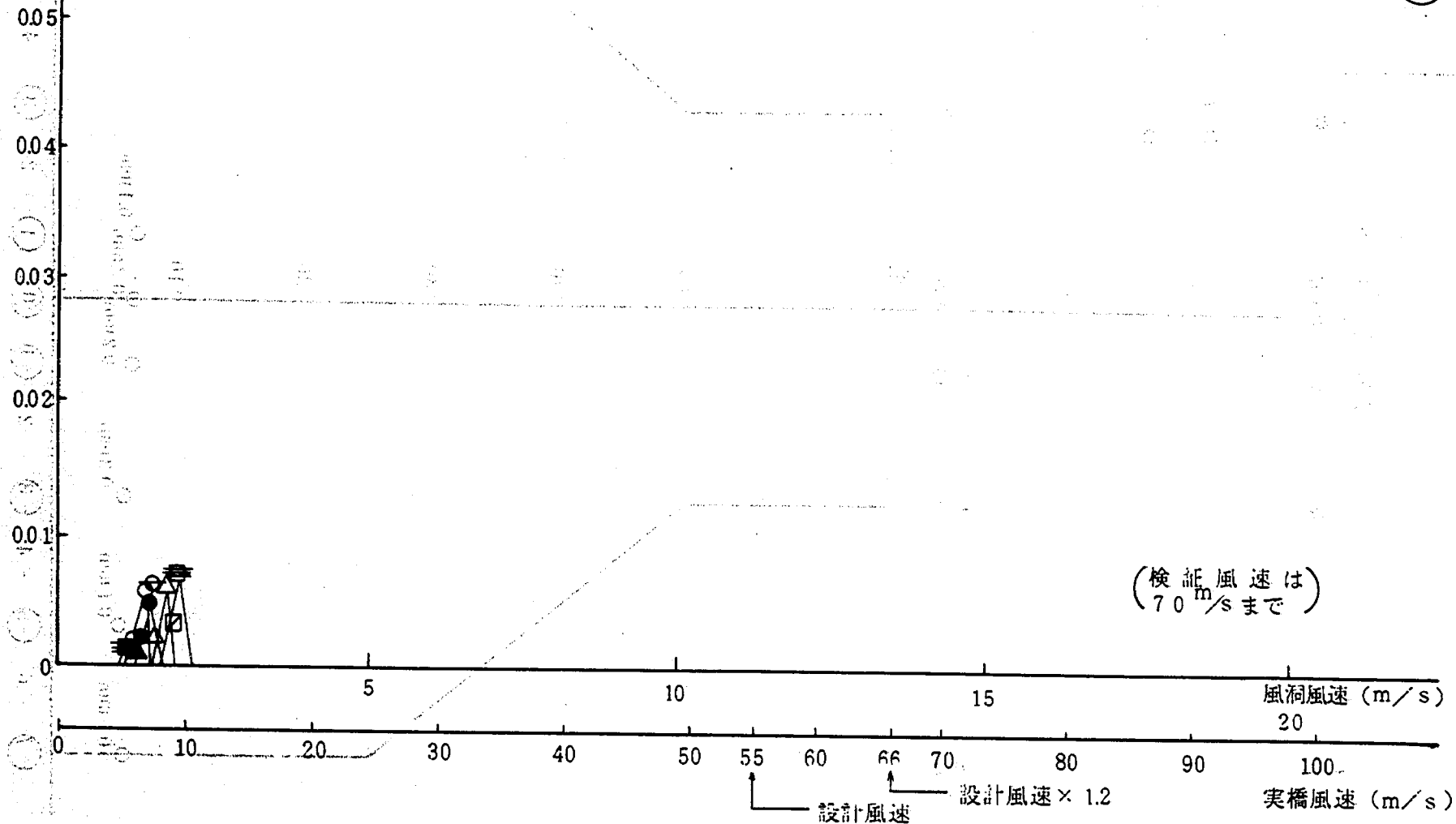


図-5-1 名港西大橋 (A-1) 橋桁振幅-風速曲線 (鉛直たわみ)

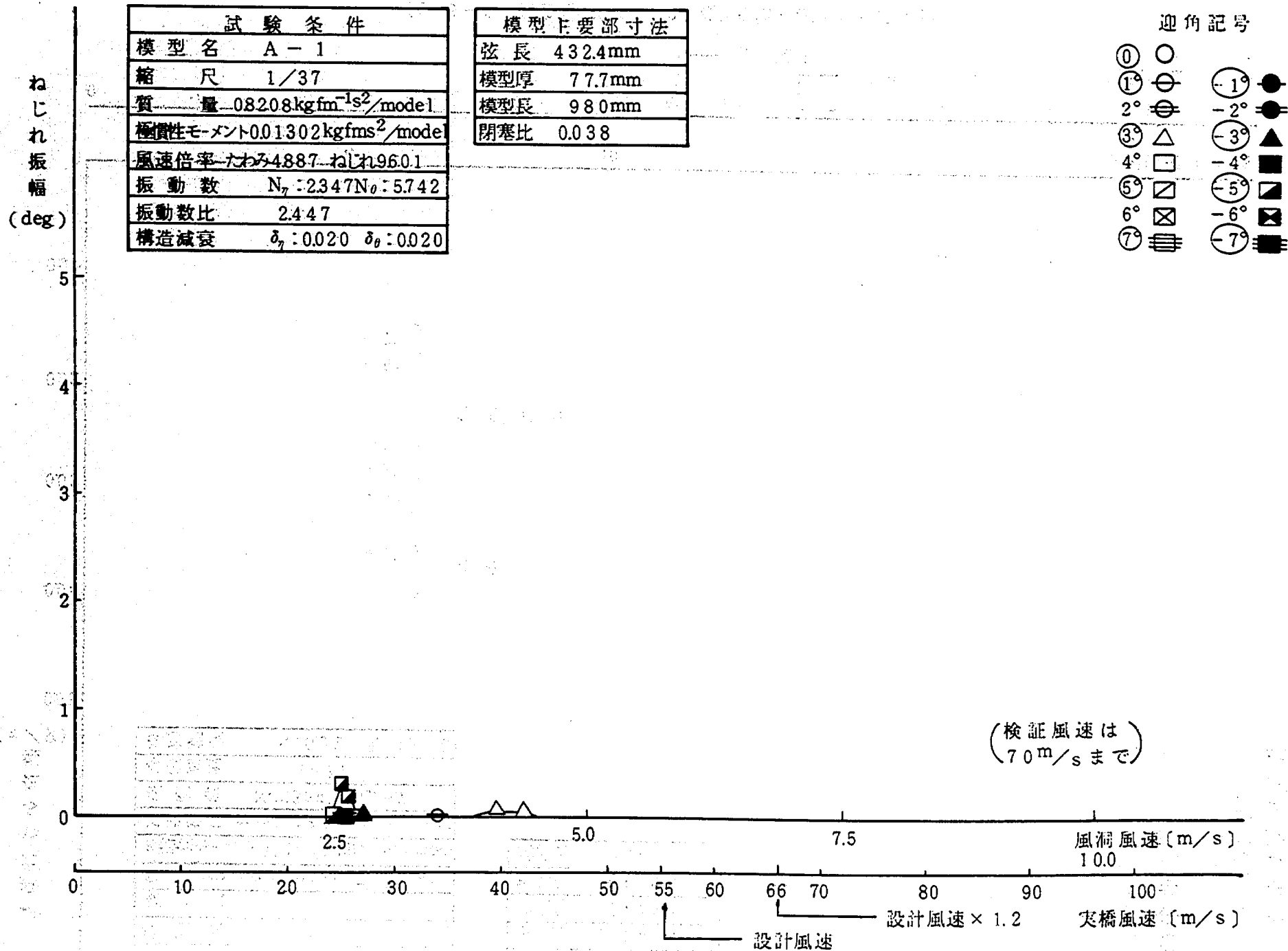


図-5-2 名港西大橋 (A-1) 橋桁振幅-風速曲線 (ねじれ)

鉛直たわみ振幅
(η/B)

試験条件	
模型名	A-2
縮尺	1/37
質量	0.8-1.59 kgf $m^{-1}s^2$ /model
極慣性モーメント	0.01315 kgfms ² /model
風速倍率	たわみ4873ねじれ9648
振動数	N_γ : 2354 N_θ : 5714
振動数比	2.427
構造減衰	δ_γ : 0.020 δ_θ : 0.020

模型主要部寸法	
弦長	432.4mm
模型厚	77.7mm
模型長	980mm
閉塞比	0.038

迎角記号	
①	○
①°	⊖
2°	⊗
③°	△
4°	□
⑤°	⊠
6°	⊞
⑦°	≡
-1°	●
-2°	⦿
-3°	▲
-4°	■
-5°	◼
-6°	◻
-7°	≡

0.05

0.04

0.03

0.02

0.01

0

0° } 発振
+1° }

+3° }
+5° }
+7° }
-1° } 発振せず
-3° }
-5° }
-7° }

(検証風速は)
70 m/sまで

風洞風速 (m/s)

20

0

10

20

30

40

50

55

60

66

70

80

90

100

設計風速

設計風速 × 1.2

実橋風速 (m/s)

図-5-3 名港西大橋 (A-2) 橋桁振幅-風速曲線 (鉛直たわみ)

鉛直たわみ
振幅
(η/B)

試験条件	
模型名	B-1
縮尺	1/37
質量	0.8194 kgfm ⁻¹ s ² /model
極慣性モーメント	0.01395 kgfms ² /model
風速倍率	たわみ4.883 ねじれ9.939
振動数	$N_r: 2349$ $N_\theta: 5547$
振動数比	2.361
構造減衰	$\delta_r: 0.020$ $\delta_\theta: 0.019$

模型主要部寸法	
弦長	432.4mm
模型厚	7.7mm
模型長	98.0mm
閉塞比	0.038

迎角記号

①	○		
②	⊖	-1°	●
③	⊗	-2°	●
④	△	-3°	▲
⑤	□	-4°	■
⑥	▤	-5°	▤
⑦	⊠	-6°	⊠
⑧	⊞	-7°	⊞

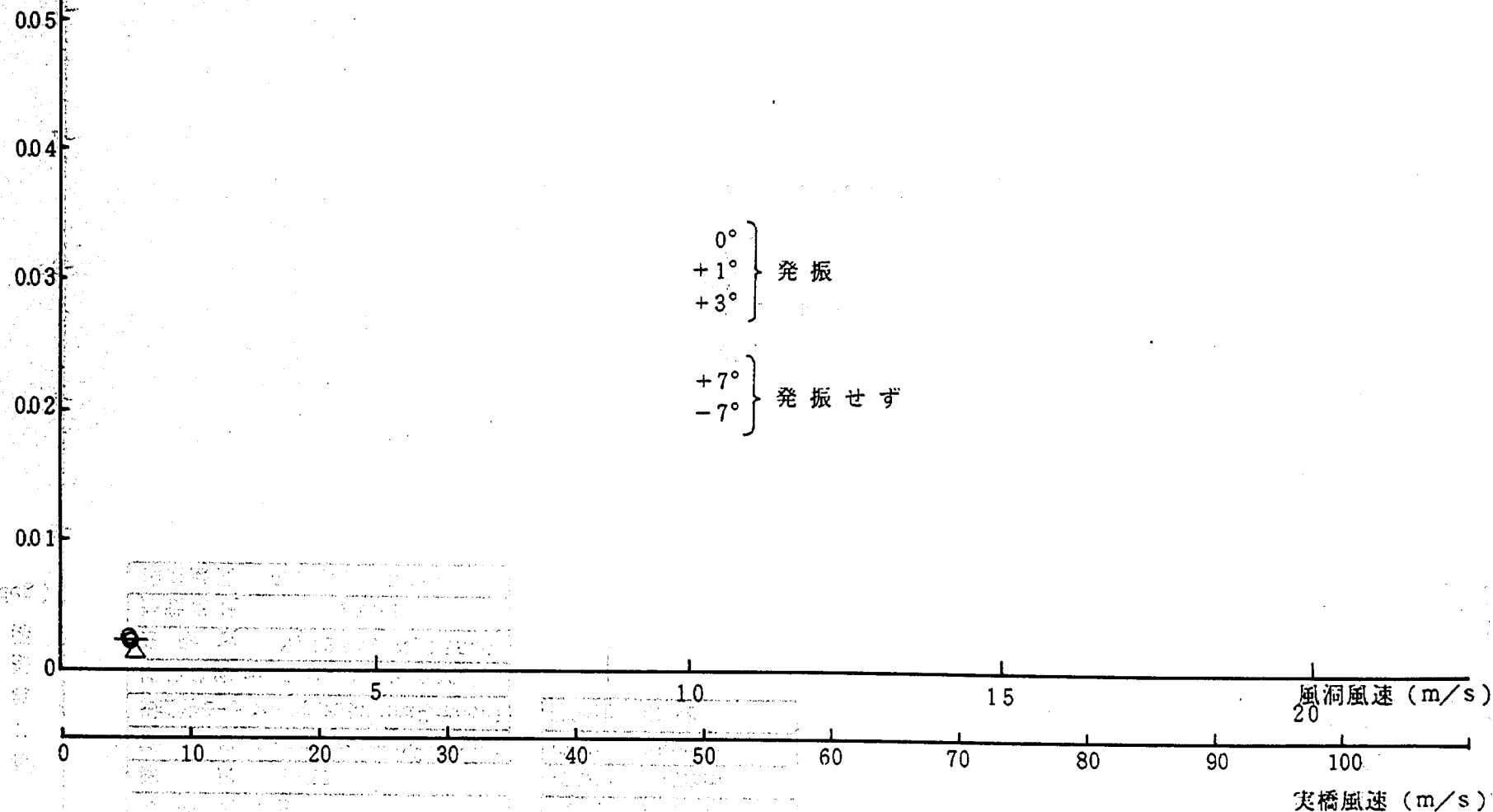


図-5-4 名港西大橋 (B-1) 橋桁振幅-風速曲線 (鉛直たわみ)

ねじれ振幅
(deg)

試験条件	
模型名	B-1
縮尺	1/37
質量	0.8194 kgfm ⁻¹ s ² /model
極慣性モーメント	0.01395 kgfms ² /model
風速倍率たわみ	488.3ねじれ993.9
振動数	N _γ :2.349 N _θ :5.547
振動数比	2.361
構造減衰	δ _γ :0.020 δ _θ :0.019

模型主要部寸法	
弦長	432.4mm
模型厚	77.7mm
模型長	980mm
閉塞比	0.038

迎角記号

①	○		
①°	⊖	-1°	●
2°	⊗	-2°	⊗
③°	△	-3°	▲
4°	□	-4°	■
5°	▧	-5°	▧
6°	⊠	-6°	⊠
⑦°	□	-7°	■

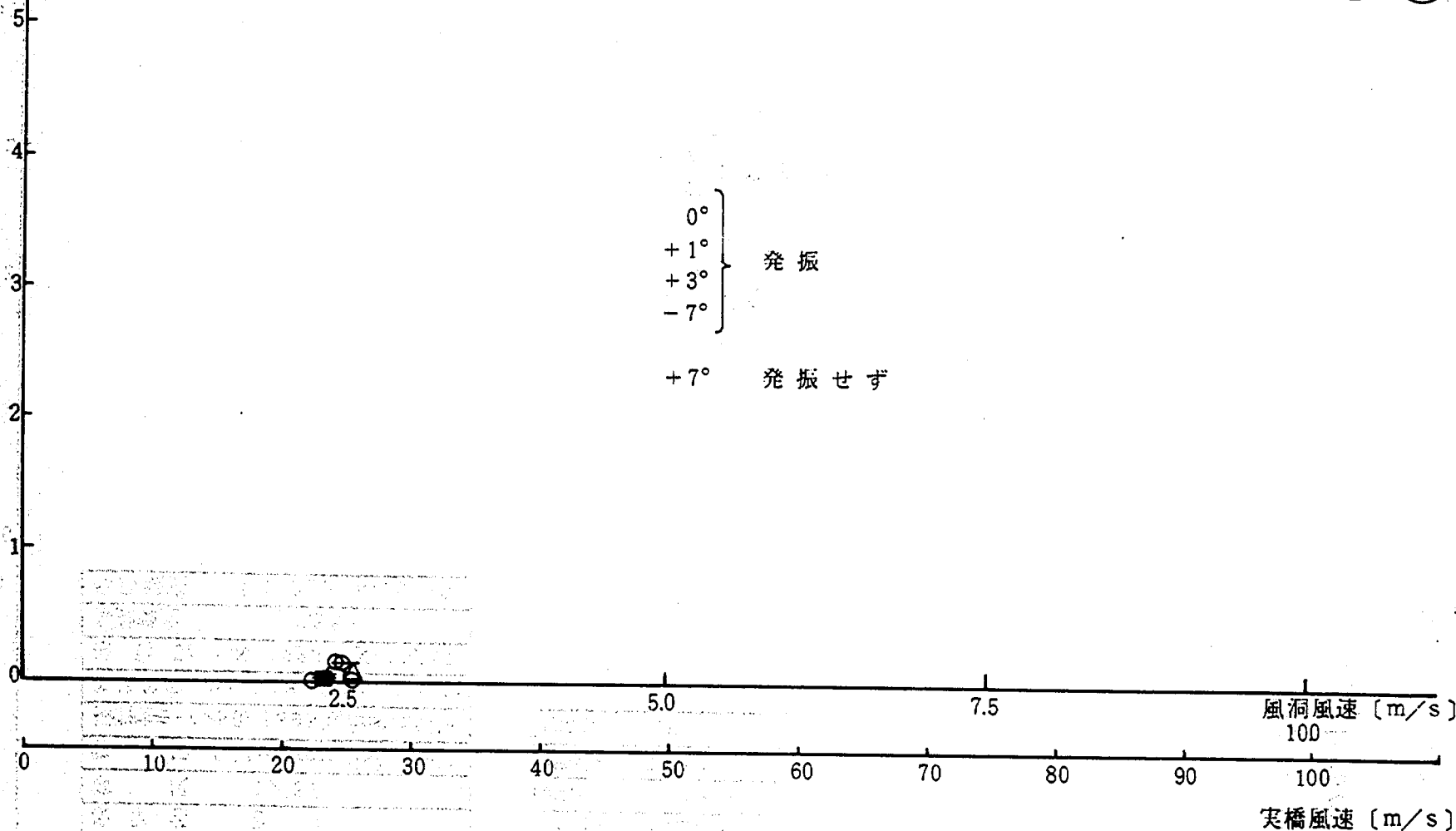


図-5-5 名港西大橋(B-1)橋桁振幅-風速曲線(ねじれ)

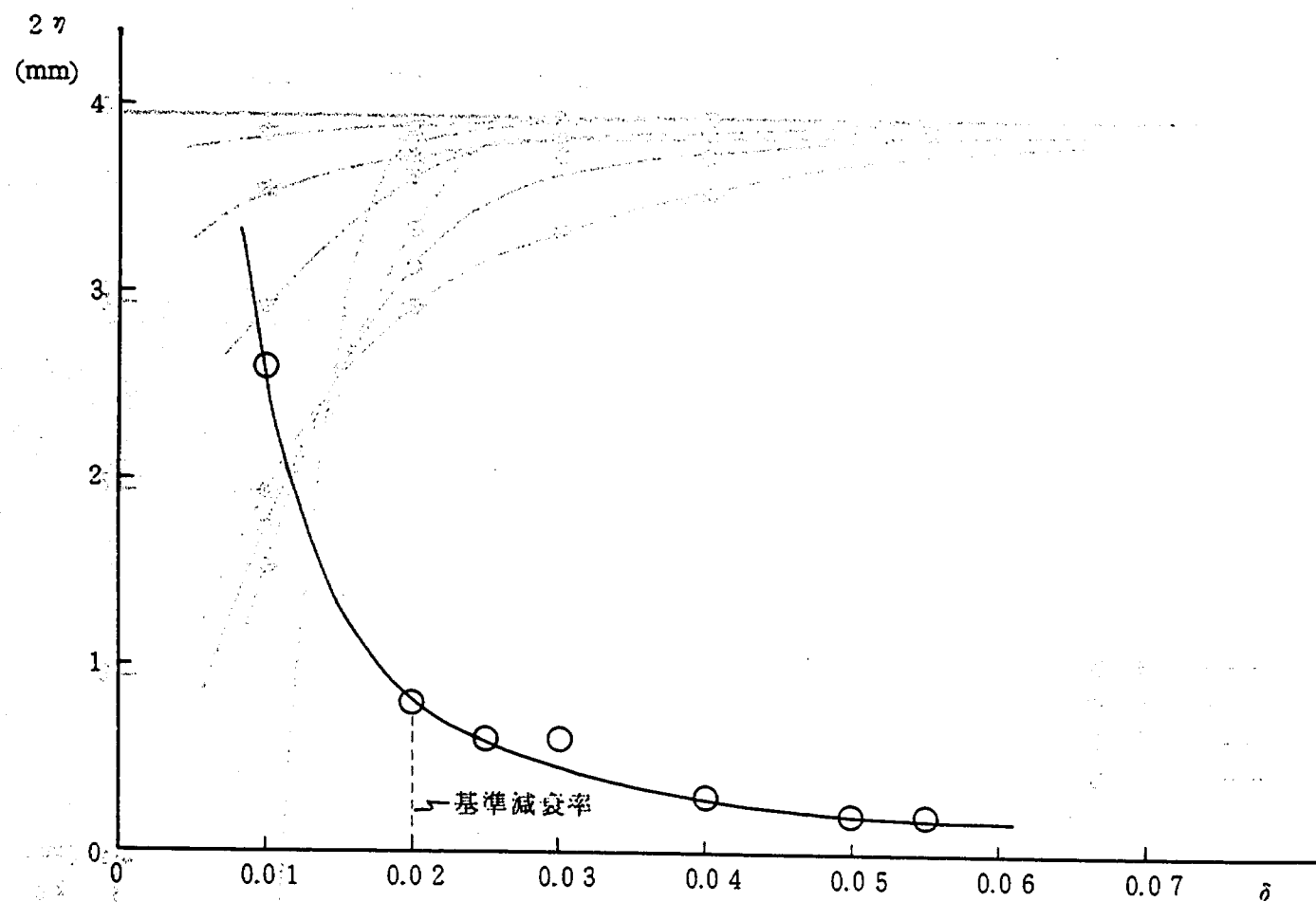


図-6-1, A-3 模型の鉛直たわみ渦励振振幅におよぼす無風時減衰率の影響 (迎角 0°)

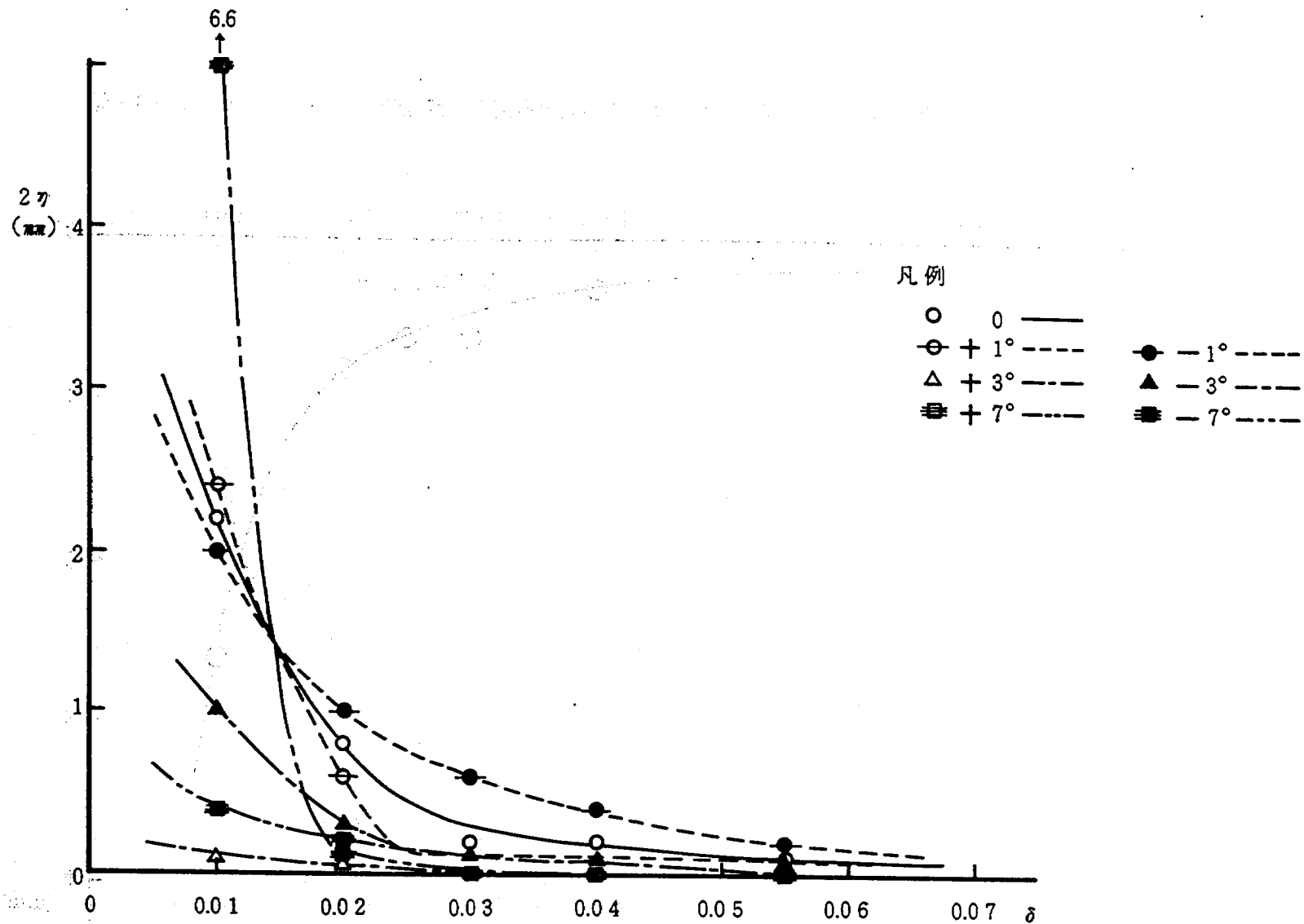


図-6-2 A-4 模型の鉛直たわみ渦励振振幅におよぼす無風時減衰率の影響

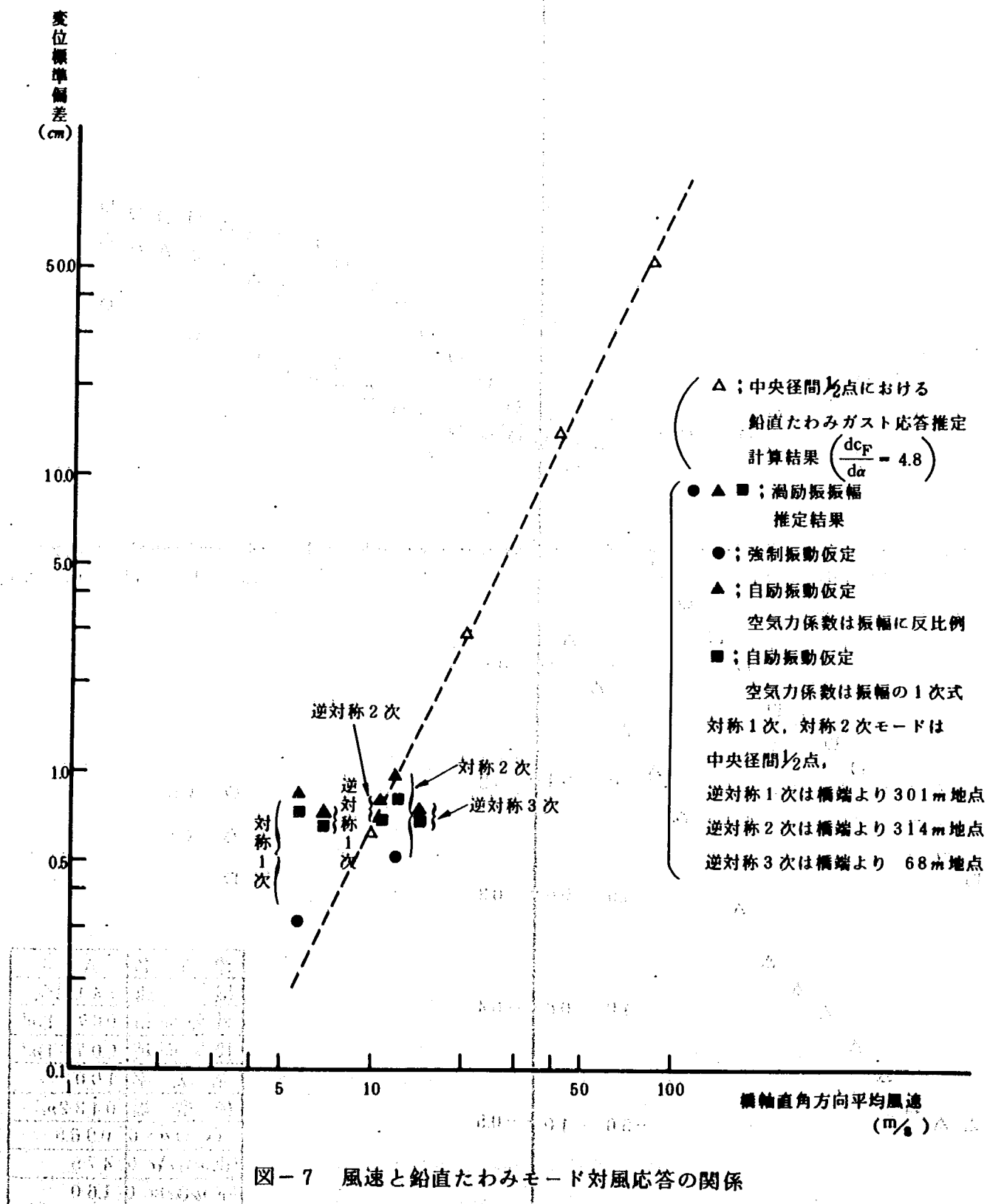


図-7 風速と鉛直たわみモード対風応答の関係

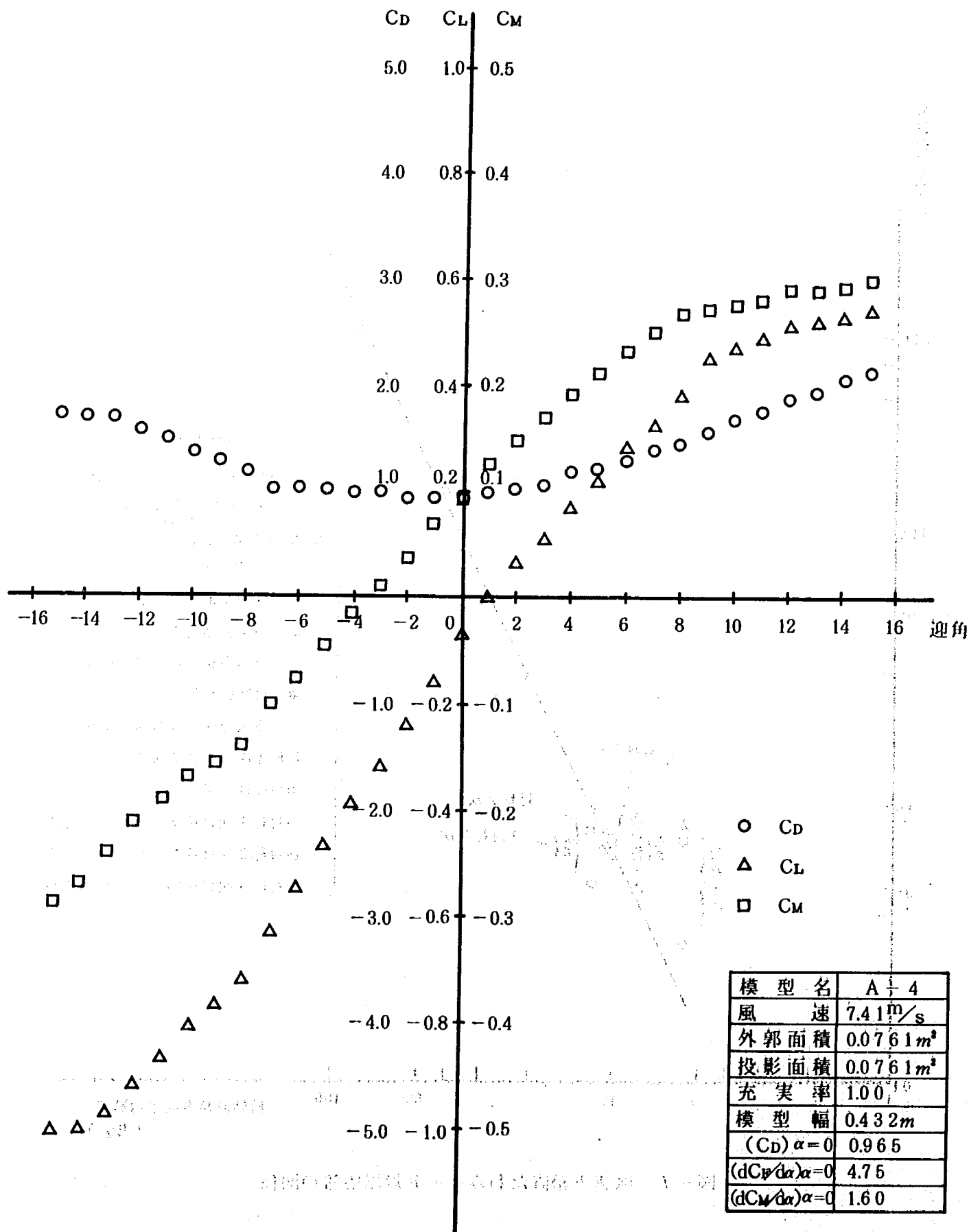


図-8-1 三分力特性

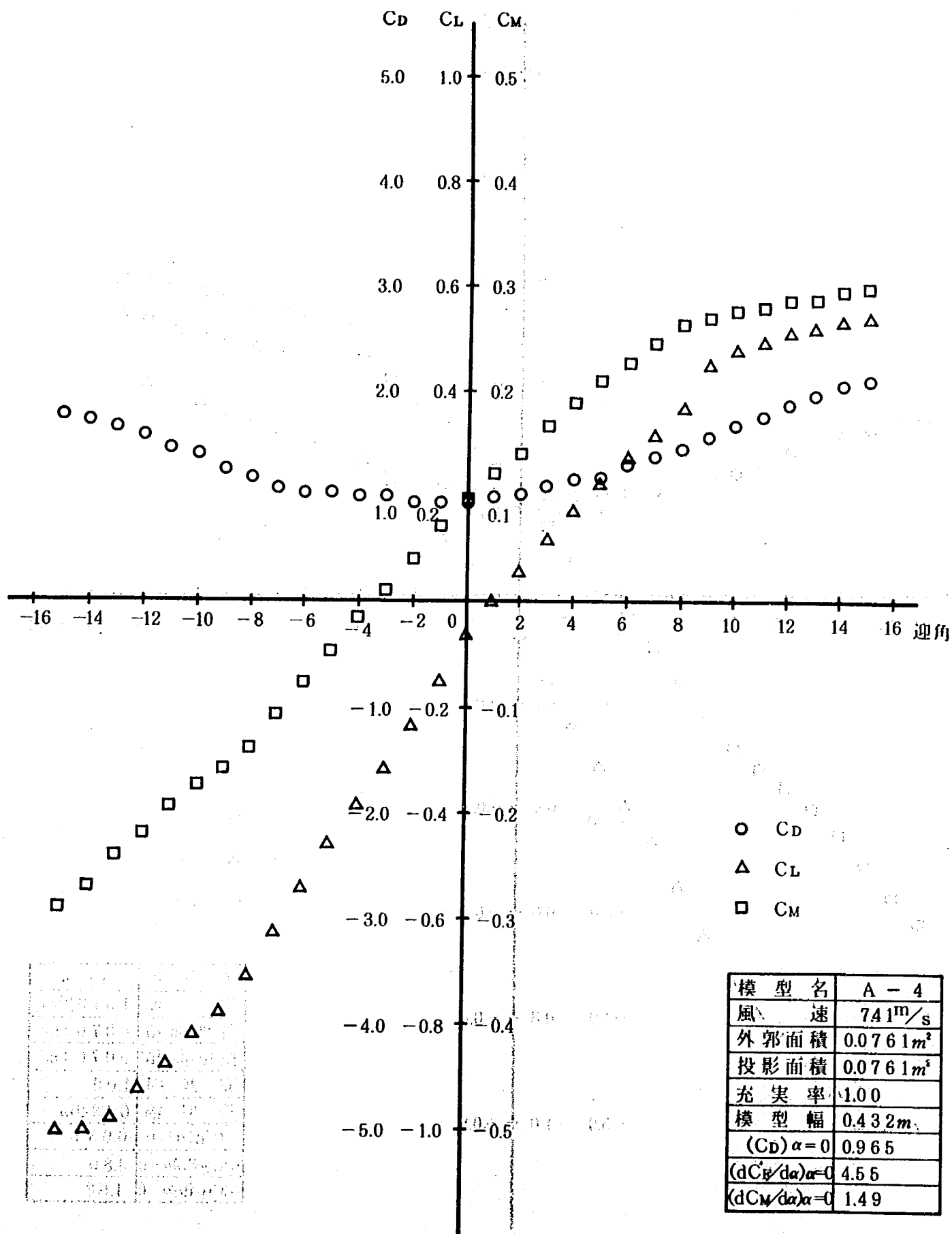


図-8-2 三分力特性

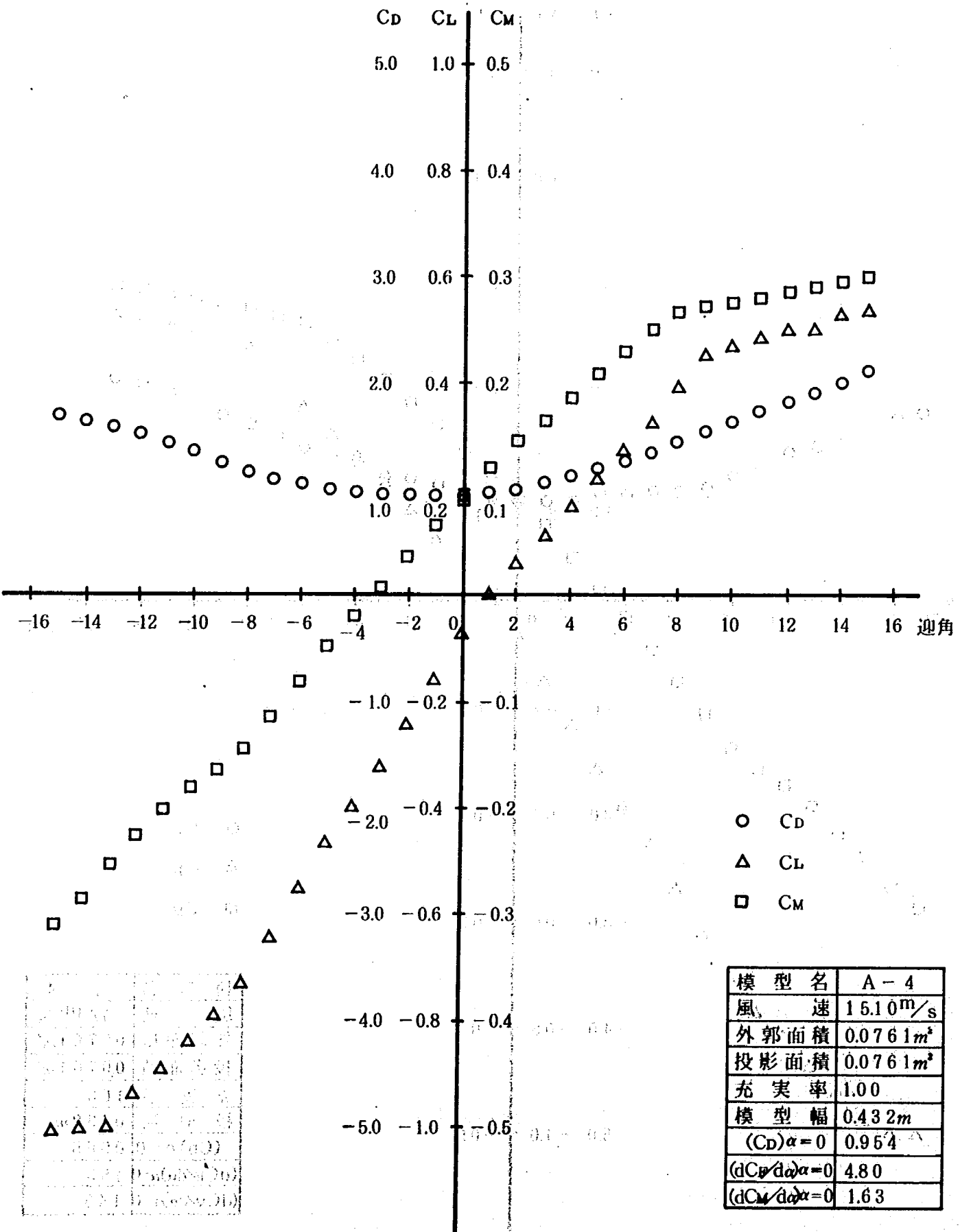


图 - 8 - 3 三分力特性

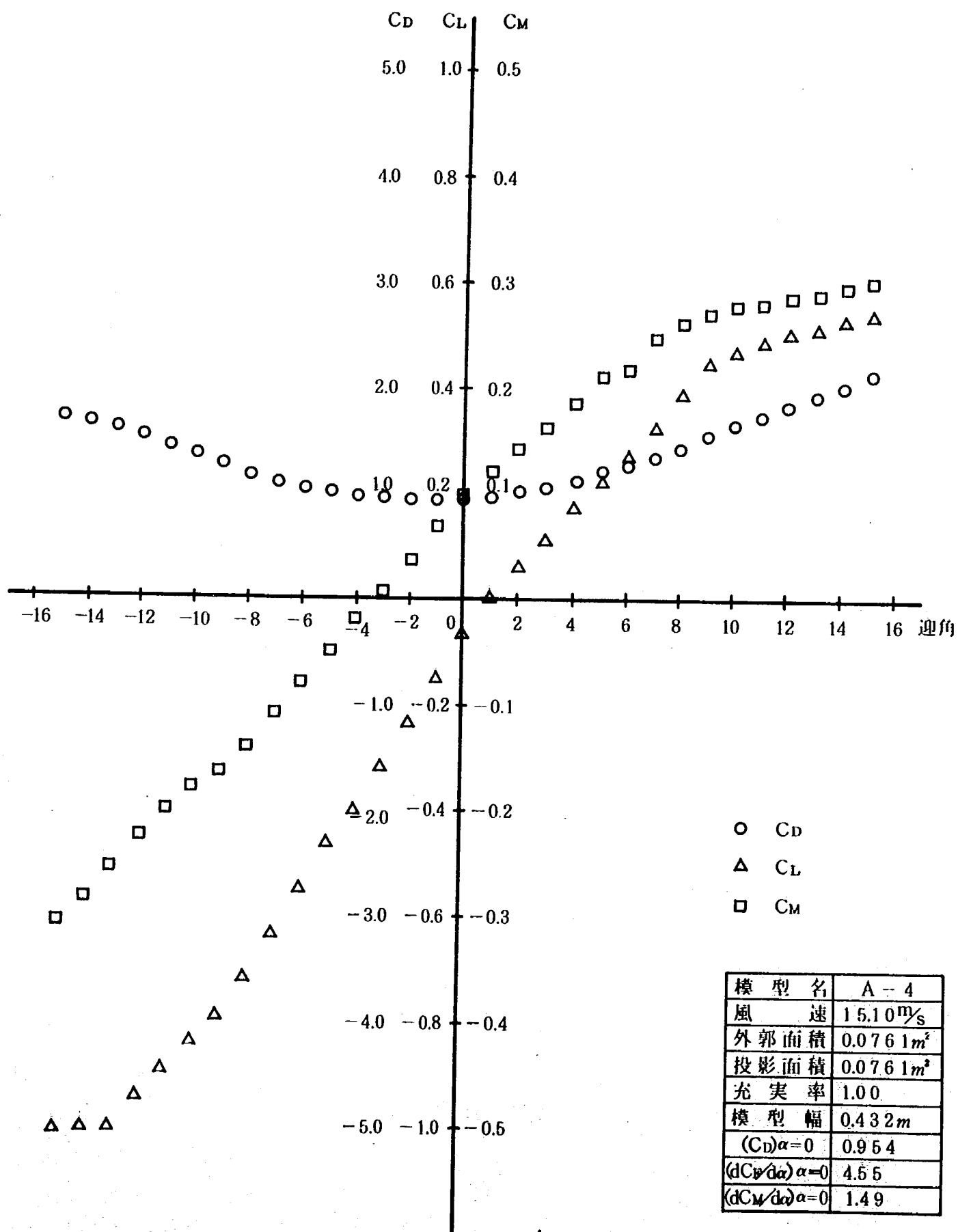


図- 8 - 4 三分力特性

名港西大橋の耐風性調査
報告書（1981）

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第1741号
昭和56年12月（1981）
山本邦夫・佐藤弘史・
水上幹之

キーワード 耐風設計，三分力特性，自励振動，渦励振，ガスト
応答，斜張橋，風洞実験

要 旨

名港西大橋の耐風安定性について実験的に検討を行い，自励振動
および渦励振に関して良好な耐風性を有する断面を選定するととも
に，設計に用いた風荷重の安全性を確認した。



郵便はがき

305-□□

40川切手
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

No. 7

No. 7

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1741号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印