

土 木 研 究 所 資 料

横浜港横断橋の耐風性調査報告書 (1982)

昭和58年 1 月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © 1982 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ってはならない。

序

横浜港横断橋は東京湾岸道路のうち横浜港横断部に計画された橋梁であり、車線数が一般部 6 車線、自動車専用部 6 車線、合計 12 車線、中央径間長が 460 m の 3 径間連続斜張橋である。

本橋のような長大斜張橋の建設にあたっては、耐風安定性について十分な検討が必要である。当研究室では昭和 49 年度および昭和 50 年度に建設省関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所が調査および討画した設計案について耐風性調査を実施したが、その後事業主体が首都高速道路公団に決定し、同公団からの委託により、昭和 55 年度、昭和 56 年度にわたり公団の設計案に関する耐風性の検討を当研究室で実施し、耐風安定性の良好な断面を見い出した。

本年度は、完成断面に対して歩道を側径間に設置した場合の耐風安定性について、横浜市の委託より検討を加えた。ここに本年度の成果をとりまとめて報告する。

昭和 58 年 1 月

構造研究室	室長	山本邦夫
	研究員	佐藤弘史
		中神陽一
		神崎一夫

目

次

1. 概 要	1
1.1 横浜港横断橋の概要	1
1.2 過去の調査結果の概要	1
1.3 今年度の調査概要	3
2. バネ支持模型実験	4
2.1 実験方法および実験条件	4
2.2 実験ケース	4
2.3 実験結果	5
2.4 歩道部設置断面の耐風安定性	5
3. 横浜港横断橋の耐風安定性	7
4. ま と め	7
5. あ と が き	7
参 考 文 献	8
付 録 実橋の渦励振振巾の推定方法	9
表	12
図	29

1. 概 要

1.1 横浜港横断橋の概要

横浜港横断橋は東京湾岸道路の横浜港横断部に計画された橋長 860m の 3 径間連続斜張橋である。本橋はその中央径間長が 460m と既存の斜張橋に比較してかなり長く、主桁の横断面構成も上部橋床に高速部 6 車線、下部橋床に一般部 6 車線の合計 12 車線の 2 橋床構造となっており、斜張橋としては当面世界最大の橋梁となっている。また、主桁の横断面形状も美観、耐風安定性などの面より、箱桁とトラス構造の複合断面と従来の橋梁に比し特異な断面形状となっている。施工についても、当面上部橋床のみを建設する暫定施工を行う計画になっている。本橋の一般図ならびに構造規格および設計諸元をそれぞれ図-1 および表-1 に示す。

1.2 過去の調査結果の概要^{1), 2), 3), 4)}

一般に斜張橋は吊橋と同様にたわみやすい構造物であり、本橋はその中央径間が現在わが国の斜張橋として最大の中央径間を有する大和川橋梁より 105m も長いと、とくに耐風安定性に対する検討が重要であると考えられた。そこで本橋の耐風性調査を、設計初期の昭和 49 年度と昭和 50 年度には当所の耐風調査の一環として、また昭和 55 年度に事業主体が首都高速道路公団に決定した後には同公団から受託研究として実施してきた。

昭和 49 年度の調査結果¹⁾

建設省関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所より提示された本橋の概略設計(その 1)結果に基づき耐風性の検討がなされた。本斜張橋の橋桁は主構間隔 30.5m、主構高 12.0m の複橋床を有するトラス桁であり、充実率は約 49% と高くなっている。耐風調査の結果は、以下のとおりである。

- a. 自励振動(発生が構造物の破壊につながる振動)については鉛直たわみモードおよびねじれモード振動ともその発生限界風速は所要の値よりも高いが、ねじれモードの発生限界風速は所要の値をわずかに超えているにすぎない。
- b. 渦励振(振幅は比較的小さいため発生が破壊につながることはないが、比較的低風速で発生するため、疲労および使用性の面で問題となる振動)については、鉛直たわみモードの振動が迎角 $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$ 、風速 15~25m/s の風に対して小さからぬ振幅で発現すると予想され、ねじれモードの振動が迎角 $-3^{\circ} \sim +5^{\circ}$ 、風速 20~30m/s の風に対して振幅 0.5° 程度で発現すると予想される。

以上の試験結果より事務所から提示された原設計案は十分な耐風安定性を具備していないと判断され、本橋の耐風性を向上させるため数種の対策が検討された。それらの結果は以下のとおりである。

- c. 中央分離帯に設置した、遮光板がねじれモードの渦励振を抑制する効果は小さい。
- d. 上路の高欄・中央分離帯部の除去およびグレーチングの設置は迎角 0° の風に対して生じるねじれモードの渦励振を抑制する効果はほとんどない。
- e. 上路の橋床面を上弦材の上面より高くした場合にはねじれモードの自励振動の限界風速が低下する

が、橋床面を上弦材上面より低くした場合には両者を同一面にした場合に比べ大きな差はない。

f. 高欄を充実高欄からポスト型高欄に変更すると渦励振に対する安定性が向上する。

g. 下路橋床の幅を小さくすることはねじれモードの自励振動および渦励振に対する安定性を高めるのに有効である。

昭和 50 年度の調査結果²⁾

昭和 49 年度の調査結果を基にして種々の改良を加えた概略設計(その 3)が事務所より提示された。本案は概略設計(その 1)に対し上路橋床の路肩および中央分離帯部分をグレーチングにしたこと、下路橋床の幅を小さくしたこと、高欄形状はポスト型にしたこと、などの変更が加えられている。本案は橋床に鋼床版を用いているが、鋼床版が橋桁のねじれ剛性にどの程度寄与するかにより耐風安定性の評価は異なるので、その影響を調べる必要がある。また、本橋は上路橋床のみによる暫定供用を考えているため、この暫定供用時の耐風安定性についても別途検討する必要がある。このような目的に従い調査を行ったが、その結果は以下のとおりである。

a. 鋼床版が橋桁のねじれ剛性に 100%寄与すると仮定した場合には、自励振動および渦励振に対して良好な耐風性を示す。

b. 鋼床版が橋桁のねじれ剛性におよぼす影響を全て無視した場合には、ねじれモードの自励振動の限界風速が迎角 3° において所要値より若干下がる。

したがって本橋の設計にあたっては十分なねじれ剛性を確保しておくことが必要である。

c. 上路橋床のみ建設された暫定供用時には、迎角 5° 、 -3° 、 -4° 、 -5° 、風速 $21 \sim 27\text{m/s}$ の風に対して最大振幅 15 cm 程度の鉛直たわみモードの渦励振が発現すると予想されるので、それらの対応が必要である。

昭和 55 年度の調査結果³⁾

公団より提示のあった 2 種類の基本断面について、自励振動および渦励振に対する耐風安定性を比較検討することを目的として風洞実験を行った。また、下路橋床の路肩および中央分離帯部分をグレーチングにすることが耐風安定性におよぼす影響もあわせて調査した。その結果は以下のとおりである。

a. 両案とも自励振動については充分安全であることが明らかとなった。

b. 両案とも渦励振が発現するおそれがあるが、迎角が 0° 付近の風に対して第 1 案では渦励振が発現しないため、この意味で第 1 案の方が良好な耐風性を有するといえる。

c. 下路橋床のグレーチングの有無が耐風性におよぼす影響は第 1 案および第 2 案とも非常に小さいことが明らかとなった。

昭和 56 年度の調査結果⁴⁾

前年度までに実施した調査検討結果より、本橋主桁の基本断面形状として、偏平六角形断面の箱桁とトラスの複合構造である断面が選定された。56 年度は、この基本断面に基づき、完成断面および上路のみを使用する暫定完成断面について、箱桁の先端角度の変化およびフラップの設置が本橋の耐風安定性に与える影響などについて調査検討を実施し、耐風安定性の面よりみて妥当と考えられる主桁の断面を提案した。その結果は以下のとおりである。

- a. 長さ1mのフラップを設置すれば、基本断面でも渦励振は発生しない。
- b. 箱桁の先端角度を下向き 34° とすれば渦励振は発生しない。
- c. 箱桁の先端角度を 60° にすれば、本橋の構造減衰率が低く(0.02)、風の平均傾斜角が大きい(完成断面で 6° 以上、暫定断面で 5° 以上)場合には渦励振が発現する可能性があるが、構造減衰率が0.04であれば渦励振は発生しなくなる。本橋の構造特性、架設地点の自然風特性などを勘案すれば、箱桁の先端角度を 60° とした場合には、渦励振の発生する可能性はかなり低く、また仮りに渦励振が問題となった場合でも、長さ50cmのフラップなどによりその抑制が可能であると思われるので、この断面で十分に良好な耐風性を有すると考えられる。

1.3 今年度の調査概要

今年度は、横浜市からの委託を受け、昭和56年度実施した調査検討結果より得られた本橋の耐風性の良好な断面に対して、片側側径間に下部橋床と同一面に歩道部を設置した場合の耐風安定性について調査、検討を行った。実験としては、横浜市から提案された2つの断面案に対して、2次元剛体模型を用いたバネ支持模型実験を行い、それぞれの対風応答特性を調べるとともにその特性の比較検討を行った。また、昨年度および今年度実施した実験結果より歩道部の設置されていない断面および歩道部の設置された断面に対する作用空気力を求め、数値計算により片側1側径間に歩道部設置した場合の本橋の耐風安定性について検討を加えた。

2. バネ支持模型実験

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フラッター風洞を用いて実施した。風洞の主要諸元を表-2に示す。模型は2次元剛体模型を用い、8本のコイルバ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変位を求め、データレコーダおよびペンレコーダに記録した。

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

$$M/\rho B^2, \quad V/N\eta B, \quad \delta_{0\eta}, \quad I/\rho B^4, \quad V/N_{\theta} B, \quad \delta_{0\theta}$$

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 ：ねじれ振動

しかしながら、加振減衰器の性能などより上記条件のもとでは、ねじれ加振が 5° まで出来なかったため一連の実験ではねじれ加振幅は 2° までとし、補足実験として以下のようにねじれ振動に関する相似条件を緩和⁴⁾し、実橋風速100m/sの風に対して 5° まで加振し、ねじれフラッターの発生の可能性について検討を加えた。

$$I/\rho B^4 \cdot \delta_{0\theta}, \quad V/N_{\theta} B$$

これらの相似条件より導かれた実験条件を表-3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の振動系としてバネ定数を動的な試験により求め、所要の質量およびこのバネ定数より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。なお、ローリング振動を抑制するため、図-2に示すようなローリング振動防止装置を使用して実験した。

2.2 実験ケース

実験に使用した模型を図-3に示す。

実験は図-3・2に示す基本断面に、図-3-5に示す歩道部を取りつけた断面についてそれぞれ実施した。実験対象とした風の迎角は 0° 、 $\pm 1^\circ$ 、 $\pm 3^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 7^\circ$ であり、実験風速は実橋換算風速で95m/sまでとした。設定風速-迎角の範囲内で渦励振が発現した場合には、その渦励振を止めるために必要な構造減衰率の値を実験より求めた。また、緩和された相似条件のもとでねじれフラッターの発現の有無についての確認実験も実施した。

2.3 実験結果

バネ支持模型実験より得られた各断面の自励振動特性および渦励振特性を表-4, および図-4, 図-5に示す。図-4は迎角と発振風速の関係を示したものであり(以下 $V_{cr}-\alpha$ とよぶ), 図-5は風速と振幅の関係を示したもの(以下 $V-A$ とよぶ)である。また参考に歩道部を設置しない断面の振動特性を各表および図に併載した。

また, 図-5に示す $V-A$ 曲線のうちに履歴曲線を描いているものがあるが, これは破線で示している振幅以上の振幅で初期振動を与えると振動は実線で示した振幅を持つ振動状態で安定状態になるが, 破線で示す振幅以下の振幅で初期振動を与えた場合には振動が消滅することを意味している。さらに, 鉛直たわみモードの渦励振の発現をおさえるために必要な構造減衰率の値をとりまとめて表-5に示す。

2.4 歩道部設置断面の耐風安定性

基本断面の対風応答特性は表-4 および図-4 からわかるように, $+6^\circ, \pm 7^\circ$ で多少渦励振の発現の恐れがあるものの, 構造減衰率が0.04程度期待出来ればこの渦励振も発現しなくなるような, かなり良好な耐風安定性を有する断面である。今回この基本断面に対して歩道部を設置した断面について実験を実施し, 歩道部を設置することが本橋の耐風安定性に与える影響を調べたが, 実験結果よりその影響度を評価すると次のようになる。

a. 自励振動

歩道部1案, 2案いずれの形状の歩道部を設置しても, 実橋風速95m以下では自励振動の発現の可能性はなく, この範囲内では, 歩道部を設置したことによる影響はないものと考えられる。

b. たわみモードの渦励振

歩道部1案を設置した場合には, 迎角 $-1^\circ \sim -7^\circ$, 実橋風速20~26m/secの風および迎角 7° , 実橋風速12~15m/secの風に対してたわみモードの渦励振の発現の可能性がある。また, 歩道部2案を設置した場合には迎角 0° 実橋風速25m/s前後の風に対して渦励振の発現の可能性はある他は第1案とほぼ同等の対風応答特性を有している。また両者で発現する渦励振の最大振幅は第1案を設置した場合の方がやや大きな値となっている。いずれにしても, 歩道部を設置すると, 設置しない場合に比べいずれの負の迎角の風に対しても, 渦励振の発現する可能性が現われ, 耐風安定性は悪化する。

c. ねじれモードの渦励振

歩道部1案を設置した場合には, 迎角 $-3^\circ, 5^\circ$, 実橋風速で30m/sec前後の風および迎角 7° で実橋風速50m/secの風に対してねじれモードの渦励振が発現する可能性がある。また, 歩道部2案を設置した場合も第1案の場合とほぼ同様な対風応答特性を有しているが, 渦励振振幅の大きさはやや第1案を設置した場合の方が大きい。いずれにしても, 歩道部を設置すると, 設置しない場合に比べ迎角 $-3^\circ, -5^\circ$ の風に対して渦励振が発現する可能性がでてきており, 負の迎角の風に対する耐風安定性が悪化している。ただし, 迎角が 7° の風に対して生じる渦励振については歩道部を設置した方が発振風速が上昇しており, この意味では歩道部を設置した方が耐風安定性が良くなったと言える。

d. 構造減衰率の影響

実験の結果発現した渦励振を抑制するために必要な構造減衰率を実験より求めて一覧表にしたものが表-5である。表-5からわかるように、渦励振を抑制するために必要な減衰率は風の迎角が大きな場合には0.2程度となり、基本断面の所要減衰率0.04に比べかなり大きく、この面からも歩道部を設置した場合には耐風安定性は変化していると言える。

以上、風洞実験の結果の概要について述べたが、歩道部の断面案2案の耐風安定性を比較するとほぼ同等と考えられるが、発振振幅が多少でも小さいという面からみれば第2案の方が良いと言える。

3. 横浜港横断橋の耐風安定性

本年度実施した実験結果より、横浜市から提案のあった歩道部を本橋全体にわたり設置することは、負の迎角をもつ風が吹いた場合に本橋の耐風安定性を劣化させる可能性があることが明らかとなった。しかしながら、今回の計画では歩道部の設置区間が大黒埠頭側の側径間のみであるため歩道部を設置した場合の本橋の耐風安定性を今回実施した風洞実験のみにより判断することは困難である。このため、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基づく作用空気力の変動をも考慮して、本橋の対風応答特性を推定することにした。解析にあたり使用した本橋の鉛直たわみ1次振動のモード形を図-6に、対数減衰率 δ をたわみ η と橋幅員 B の関数として表わしたときの定数を風洞実験結果より求め表-6に示す。また、これらの値を用いて推定した本橋の対風応答特性を表-7および図-7, 8に示す。表-7および図-7, 8から明らかなように、1側径間のみに歩道部を設置しても本橋の対風応答特性は歩道部を設置しない場合の特性に比べてほとんど変化しないものと考えられる。このことは、本橋の振動モード図からわかるように、本橋の全体の振動特性におよぼす側径間の寄与率がかなり小さいため、また歩道部を設置しても耐風安定性が極端に悪化しないことなどから側径間に振動を起こさせるような力が作用したとしても、橋全体としてみれば振動を生じさせるような力にはならないためであると考えられる。

4. ま と め

本年度実施した耐風性調査より得られた成果をとりまとめると以下ようになる。

- a. 横浜市より提案のあった歩道部を取りつけた断面は、いずれの歩道部案でも負の迎角の風が吹いた場合には、耐風安定性が基本案に比し低下し、渦励振が発現する恐れがあることが風洞実験より確められた。
- b. 本橋の場合、側径間の有する対風応答特性が橋全体としての対風応答特性に及ぼす寄与率が小さいこと、歩道部を設置した場合の断面の耐風安定性が極端に悪くならないことなどから、1側径間のみに歩道部を設置しても、本橋全体としての耐風安定性は基本断面の場合のそれとほとんど変わらないという数値解析結果を得た。

5. あ と が き

本年度の調査により、本橋の場合1側径間に歩道部を設置しても耐風安定性上悪影響はないと思われるが、当研究室で選定した断面は、本橋の構造減衰がきわめて低く、かつ架設地点の風の平均傾斜角が大きい場合には、渦励振に関する検討が必要なため、竣工後に実橋振動実験および風や橋の振動に関する観測を実施することが望ましい。

最後に、本年度の調査を実施するにあたりお世話いただいた首都高速道路公団ならびに横浜市の関係各

位に心からお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

参 考 文 献

1. 建設省土木研究所構造研究室；耐風調査報告書(Ⅲ)，土木研究所資料第 1014 号，昭和 50 年 3 月
2. 建設省土木研究所構造研究室；耐風調査報告書(Ⅳ)，土木研究所資料第 1132 号，昭和 51 年 3 月
3. 建設省土木研究所構造研究室；横浜港横断橋の耐風性調査報告書（1980），土木研究所資料第 1639 号，昭和 56 年 3 月
4. 建設省土木研究所構造研究室；高坂丘陵地区歩道橋の耐風性調査報告書，土木研究所資料第 1638 号，昭和 56 年 3 月
5. 建設省土木研究所構造研究室；横浜港横断橋の耐風性調査報告書（1981），土木研究所資料第 1782 号，昭和 57 年 2 月

本橋のように水平方向に長い構造物の対風応答特性を検討する場合には、風の空間的・時間的変動特性や構造物の振動波形などを考慮に入れる必要がある。しかしながら、今回は問題を簡単にするため本橋のように一様断面でないような桁を有する橋梁の一様流中における鉛直たわみ1次モードの渦励振特性を推定する手法について説明する。このような問題を取り扱うには、振動モード解析法が有効であるので、この手法にのっとって説明する。

振動モード解析法によれば、橋梁の長軸に沿ってx軸をとると、任意の着目点の鉛直たわみ変位 $h(x, t)$ は鉛直たわみ1次モードの固有振動モード $\phi(x)$ と基準座標 $q(t)$ を用いて次の式で与えられる。

$$h(x, t) = q(t) \phi(x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1)式を、分布質量が $m(x)$ であるような線形系構造物の運動方程式に代入すると、基準座標 $q(t)$ の運動方程式は次のようになる。

$$\ddot{q} + 2\zeta_0 \omega \dot{q} + \omega^2 q = \frac{Q(t)}{M} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ここに、 } Q(t) = \text{一般化外力} = \int p(x, t) \phi(x) dx \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$M = \text{一般化質量} = \int m(x) \phi^2(x) dx \quad \dots\dots\dots (4)$$

ω ; 鉛直たわみ1次モードの固有円振動数

ζ_0 ; 鉛直たわみ1次モードの無風時の減衰比

t ; 時間

$p(x, t)$; 単位長さ当りの変動空気力

今回の解析では渦励振を自励振動的な振動であるとして、変動空気力 $p(x, t)$ を次のように仮定する。

$$p(x, t) = \frac{1}{2} \rho U^2 B C(x, t) h(x, t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 ρ ; 空気密度、 U ; 風速、 B ; 橋桁幅員、 $C(x, t)$; 空気力係数

(5)式を(2)式に代入し、 ρ, B, U を全橋にわたって同一とすれば、

$$\ddot{q} + \left(2\zeta_0 \omega - \frac{\frac{1}{2} \rho U B \int \phi^2(x) C(x, t) dx}{\int m(x) \phi^2(x) dx} \right) \dot{q} + \omega^2 q = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

(6)式より通風時の減衰比 ζ は次式で与えられる。

$$2\zeta\omega = 2\zeta_0\omega - \frac{\frac{1}{2} \rho U B \int \phi^2(x) C(x, t) dx}{\int m(x) \phi^2(x) dx} \quad \dots\dots\dots (7)$$

また、 $\omega = 2\pi f$ 、 $\delta = 2\pi\zeta$ であるから、これを(7)に代入すると、

$$\delta = \delta_0 - \frac{\rho U B \int \phi^2(x) C(x, t) dx}{4 \int m(x) \phi^2(x) dx} \quad \dots\dots\dots (8)$$

橋梁を2次元構造物として取り扱うときは、 $\phi = 1$ となり、等質量桁とすれば $m(x) = m_0$ となるので、(8)式は(9)式のようになる。

$$\delta = \delta_0 - \frac{\rho U B C}{4 m_0 f} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\therefore C = \frac{4 m_0}{\rho B^2} \left(\frac{f \cdot B}{U} \right) (\delta_0 - \delta) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 δ は $|\bar{h}/B|$ の2次関数で近似できると仮定し、

$$\delta_0 - \delta = \delta^*, \quad \bar{h}/B = h^* \quad \text{とすれば、}$$

$$\delta^* = a h^{*2} + b h^* + c \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。

(11)式の係数 a, b, c は2次元剛体模型による実験から得られた δ^*, h^* の実測値より最少2乗法で決めることができる。

(11)式を(10)式に代入すると空気力係数 C は(12)式で求めることができる。

$$C = \frac{4 m_0}{\rho B^2} \left(\frac{f B}{U} \right) \{ a |\bar{h}/B|^2 + b |\bar{h}/B| + c \} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\begin{aligned} \therefore C \left(\frac{U}{f B} \right) &= \frac{4 m_0}{\rho B^2} \{ a |\bar{h}/B|^2 + b |\bar{h}/B| + c \} \\ &= \{ \alpha |\bar{h}/B|^2 + \beta |\bar{h}/B| + \gamma \} \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

次に橋梁を3次元構造物として取りあつかうには、

$$\delta = \delta_0 - \frac{\rho U B \int \phi^2(x) C(x, t) dx}{4 \int m(x) \phi^2(x) dx} \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8)式 (13)式を代入すれば

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_0 - \frac{\rho B^2 \int \phi^2(x) \{ \alpha(x) |\bar{h}/B|^2 + \beta(x) |\bar{h}/B| + \gamma(x) \} dx}{4 \int m(x) \phi^2(x) dx} \\ &= \delta_0 - \frac{\rho B^2 \left[|\bar{q}/B|^2 \int \alpha(x) |\phi(x)|^4 dx + |\bar{q}/B| \int \beta(x) |\phi(x)|^3 dx + \int \gamma(x) |\phi(x)|^2 dx \right]}{4 \int m(x) \phi^2(x) dx} \quad \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

$$(\therefore |\bar{h}/B| = |\phi \cdot \bar{q}/B|)$$

本橋の場合には、 $\alpha(x)$, $\beta(x)$, $\gamma(x)$ としては径間毎にそれぞれ対応した断面をもったバネ支持実験から求めた値を使用すれば良い。

渦励振振幅を求めるためには、(14)式で $\delta = 0$ とした場合の $|\bar{q}/B|$ に関する方程式を解けばよい。その解のうち、 $|\bar{q}/B| > 0$ となる解が渦励振振幅である。

表－1. 横浜港横断橋の構造規格および設計諸元

橋 種	3径間連続トラス斜長橋（鋼床版ダブルデッキ形式）
橋 の 等 級	1 等 橋
構 造 規 格	上路 第2種第1級（自動車専用道路） 下路 第3種第1級
車 線 数	上路 6車線 下路 6車線
設 計 速 度	80～100 km/h
設 計 荷 重	TL-20, TT-43
橋 長	860 m
支 間 割	200 m + 460 m + 200 m
縦 断 勾 配	中央径間中央を中心に600 m区間4‰放物線勾配
最急縦断勾配	4‰

表－2. フラッター風洞主要諸元

主 要 寸 法	風 洞 形 式		単 回 路 還 流 式
	測 定 洞	幅 (mm) 高 (mm) 長 (mm)	2,500 4,000 10,000
縮 流 洞	入 口	(mm×mm)	7,000×8,500
	出 口	(mm×mm)	2,500×4,000
	縮流比		5.95
	風 路 全 長 (mm)		115,000
送 風 機	形 式		固定ピッチ動翼軸流式
	動 翼 直 径 (mm)		4,000
	有 効 全 圧 (mmHg)		40.0
	風 量 (m³/s)		242.0
	回 転 数 (rpm)		400.0
	容 量 (kw)		250.0
気 流	最 大 風 速 (m/s)		25.0
	乱 れ 率 (%)		0.5%以下
付 属 計 測 機 器 等			三分力天秤 フラッター模型支持装置 乱流発生装置 データ処置装置

表-3. 実 験 条 件

		実 橋	所 要 値	歩道第1案	歩道第2案	フ ラ ッ タ ー 検 証 実 験			
				実 験 値	実 験 値	歩道第2案		歩道第3案	
						実 験 値	実験値*	実験値**	
縮 尺		—	1/672	1/67.2	1/67.2	1/67.2	1/67.2	1/67.2	
重 量		46.35 t/m/bridge	22.99kg/model	22.97	23.17				
極慣性 モーメント		738.4 tms ² /m/br.	8.066kgcms ² /mod.	8.093	8.136	11.946kgcms ² /mod.	10.860	14.110	
振 動 数	た わ み	0.320Hz	—	2.353Hz	2.349				
	ね じ れ	0.800Hz	—	5.814Hz	5.798	4.766Hz	5.019	4.403	
振 動 数 比		2.46	2.46	2.47	2.47				
パ ネ 間 隔		—	—	98.6 cm	98.6	98.6 cm	98.6	98.6	
風速倍率	た わ み	—	—	9.28	9.30				
	ね じ れ	—	—	9.25	9.27	11.28	10.71	12.21	
構 造	たわみ; 3.07mm	—	0.020						
減衰率	ねじれ; 0.5°	—	0.020			0.0135	0.0149	0.0114	

注) 歩道をとりつけたことによる重量などの諸数値は、1案2案とも同一とした。

*: 迎角 -7°~-5°

**: 迎角 -3°~-7°

表-4. 横浜港横断橋の自励振動特性および渦励振特性（暫定完成断面）

模型 番号	迎角 ($^{\circ}$)	無風時の対数減衰率		自励振動特性(実橋換算限界風速)		渦励振特性(実橋換算発振風速(振幅*))	
		鉛直たわみ	ねじれ	鉛直たわみモード	ねじれモード	鉛直たわみモード	ねじれモード
歩 道 部 1 案	7	0.02	0.02	95m/s 以上	95m/s 以上	11.9~14.6m/s(0.005)	42.9~55.7m/s(0.65)
	5					—	—
	3					—	—
	1					—	—
	0					—	—
	-1					23.9~24.9 (0.003)	—
	-3					20.8~26.1 (0.007)	36.5~42.6 (0.38)
	-5					21.0~24.9 (0.008)	38.0~46.3 (0.43)
	-7					20.3~25.2 (0.009)	—
歩 道 部 2 案	7	0.02	0.02	95m/s 以上	95m/s 以上	10.8~15.2 (0.004)	39.9~54.7 (0.48)
	5					—	—
	3					—	—
	1					—	—
	0					24.1~25.0 (0.002)	—
	-1					24.8 (0.003)	—
	-3					20.7~25.4 (0.006)	36.6~41.2 (0.25)
	-5					19.7~25.2 (0.008)	38.1~45.6 (0.40)
	-7					20.8~25.2 (0.008)	—
基 本 断 面	7	0.030	0.030	100m/s 以上	100m/s 以上	13.1~15.1 (0.005) 20.9~23.1 (0.003)	25.4~29.3 (0.38) 39.2~64.2 (1.09)
						14.4~15.1 (0.004)	—
						—	—
	6	0.020	0.020	100m/s 以上	100m/s 以上	12.3~14.5 (0.005) 20.9~22.2 (0.003)	25.4~27.2 (0.34)
		0.030	0.030			13.8 (0.003)	—
		0.035	0.035			13.8 (0.003)	—
		0.040	0.040			—	—
	5	0.020	0.020	100m/s 以上	100m/s 以上	—	—
	3					—	—
	1					—	—
	0					—	—
	-1					—	—
	-3					—	—
	-5	0.020 (0.019***)	0.020 (0.019***)	60m/s 以上	60m/s 以上	—	—
	-7					19.5~20.4 (0.001)	—
		0.030	0.030	**	**	—	—

* 渦励振振幅は発生した風速領域における振幅の極大値で定義し、鉛直たわみモードの場合は橋桁幅員で除して、またねじれモードの場合は角度(deg)で、それぞれ表示する。

** 実験していないことを意味する。

*** 実橋風速50m/s 以上の場合にこの値を用いた。

— 印は発振しなかったことを意味する。

表-5. 渦励振が発現しなくなる減衰率（鉛直たわみ）

迎 角	第 2 案	第 3 案
-7°	0.207	0.192
-5°	0.079	0.113
-3°	0.041	0.041
-1°	実 験 せ ず	0.030~0.020**
0°	発 生 せ ず*	0.030~0.020**
7°	0.071	0.044

*：減衰率が0.020の時にも渦励振が発現しない。

**：減衰率が0.020時には渦励振が発現したが、0.030にすると発現しない。

表-6-1 $\delta(\bar{\eta}/B)$ の係数表

歩道部1案

迎角+7.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.0	0.206	E	2	-0.187	E	0	-0.409	E	-2	-0.254	E	2	0.139	E	1	-0.223	E	-1
0.32	-0.164	E	3	0.392	E	1	-0.244	E	-1	-0.367	E	2	0.199	E	1	-0.320	E	-1
0.46	-0.545	E	2	0.146	E	1	-0.117	E	-1	-0.366	E	2	0.199	E	1	-0.321	E	-1
0.56	-0.127	E	3	0.262	E	1	-0.120	E	-1	-0.517	E	2	0.282	E	1	-0.453	E	-1
0.65	-0.181	E	3	0.481	E	1	-0.371	E	-1	-0.580	E	2	0.317	E	1	-0.508	E	-1
0.73	0.126	E	3	-0.140	E	1	-0.217	E	-1	-0.668	E	3	0.364	E	1	-0.585	E	-1
0.84	0.182	E	3	-0.253	E	1	-0.189	E	-1	0.200	E	3	-0.268	E	1	-0.221	E	-1
0.86	0.150	E	3	-0.255	E	1	-0.863	E	-2	0.601	E	3	-0.122	E	2	0.326	E	-1
0.89	0.673	E	2	-0.262	E	1	0.186	E	-1	0.312	E	3	-0.762	E	1	0.366	E	-1
0.97	0.217	E	3	-0.463	E	1	0.797	E	-2	0.418	E	3	-0.883	E	1	0.263	E	-1
1.03	0.252	E	3	-0.833	E	1	0.683	E	-1	0.142	E	3	-0.567	E	1	0.532	E	-1
1.05	0.163	E	3	-0.631	E	1	0.605	E	-1	0.364	E	3	-0.116	E	2	0.937	E	-1
1.08	-0.766	E	4	0.195	E	3	-0.118	E	1	-0.418	E	3	0.798	E	1	-0.225	E	-1
1.13	-0.298	E	3	0.661	E	1	-0.251	E	-1	-0.653	E	3	0.141	E	2	-0.615	E	-1
1.17	-0.432	E	3	0.110	E	2	-0.664	E	-1	-0.149	E	4	0.353	E	2	-0.203	E	0
1.30	-0.512	E	3	0.186	E	2	-0.200	E	0	-0.212	E	4	0.504	E	2	-0.316	E	0
1.35	-0.415	E	3	0.168	E	2	-0.252	E	0	-0.407	E	3	0.161	E	2	-0.216	E	0
1.52	-0.427	E	4	0.103	E	3	-0.679	E	0	0.125	E	3	0.445	E	1	-0.165	E	0
1.56	0.472	E	3	-0.111	E	2	-0.555	E	-1	0.193	E	3	0.258	E	1	-0.168	E	0
1.66	0.342	E	3	-0.933	E	1	-0.535	E	-1	0.559	E	3	-0.667	E	1	-0.143	E	0
1.72	0.544	E	3	-0.178	E	2	0.506	E	-1	0.586	E	3	-0.887	E	1	-0.142	E	0
1.76	0.406	E	3	-0.151	E	2	0.463	E	-1	0.703	E	3	-0.124	E	2	-0.114	E	0
1.85	0.406	E	3	-0.151	E	2	0.462	E	-1	0.691	E	3	-0.185	E	2	0.207	E	-1
1.97	0.405	E	3	-0.151	E	2	0.462	E	-1	-0.377	E	3	0.327	E	1	-0.408	E	-1
2.09	0.404	E	3	-0.150	E	2	0.461	E	-1	-0.373	E	3	0.695	E	1	-0.689	E	-1
2.32	0.402	E	3	-0.150	E	2	0.459	E	-1	-0.525	E	2	0.337	E	1	-0.935	E	-1
2.70	-0.527	E	2	0.159	E	1	0.984	E	-2	0.206	E	2	0.444	E	0	0.159	E	-1

表-6-2 $\delta(\bar{\gamma}/B)$ の係数表

歩道部2案

迎角+7.0度

U/B	原 断 面									步 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.32	-0.164	E	3	0.392	E	1	-0.244	E	-1	-0.170	E	3	0.365	E	1	-0.226	E	-1
0.46	-0.545	E	2	0.146	E	1	-0.117	E	-1	-0.171	E	3	0.365	E	1	-0.227	E	-1
0.56	-0.127	E	3	0.262	E	1	-0.120	E	-1	-0.241	E	3	0.515	E	1	-0.320	E	-1
0.65	-0.119	E	3	0.250	E	1	-0.129	E	-1	-0.241	E	3	0.516	E	1	-0.320	E	-1
0.70	-0.181	E	3	0.481	E	1	-0.371	E	-1	-0.275	E	3	0.625	E	1	-0.447	E	-1
0.73	0.142	E	2	0.857	E	0	-0.273	E	-1	-0.310	E	3	0.790	E	1	-0.688	E	-1
0.80	0.182	E	3	-0.253	E	1	-0.189	E	-1	0.154	E	3	-0.284	E	1	-0.952	E	-2
0.86	0.140	E	3	-0.256	E	1	-0.523	E	-2	0.463	E	3	-1.000	E	1	0.300	E	-1
0.90	0.192	E	3	-0.252	E	1	-0.223	E	-1	0.640	E	2	-0.381	E	0	-0.302	E	-1
0.94	0.673	E	2	-0.262	E	1	0.186	E	-1	-0.245	E	4	0.553	E	2	-0.287	E	0
0.97	0.217	E	3	-0.463	E	1	0.797	E	-2	0.379	E	3	-0.871	E	1	0.305	E	-1
0.98	0.939	E	2	-0.407	E	1	0.388	E	-1	0.236	E	3	-0.736	E	1	0.567	E	-1
1.03	0.222	E	3	-0.765	E	1	0.657	E	-1	0.860	E	2	-0.484	E	1	0.543	E	-1
1.06	0.163	E	3	-0.661	E	1	0.605	E	-1	0.178	E	3	-0.634	E	1	0.569	E	-1
1.08	-0.447	E	3	0.876	E	1	-0.221	E	-1	0.199	E	4	0.429	E	2	-0.196	E	0
1.13	-0.298	E	3	0.661	E	1	-0.251	E	-1	-0.187	E	4	0.403	E	2	-0.183	E	0
1.14	-0.435	E	3	0.101	E	2	-0.475	E	-1	-0.228	E	4	0.567	E	2	-0.329	E	0
1.17	-0.428	E	3	0.120	E	2	-0.853	E	-1	-0.545	E	3	0.105	E	2	-0.381	E	-1
1.21	-0.416	E	3	0.148	E	2	-0.142	E	0	-0.579	E	4	0.126	E	3	-0.613	E	0
1.27	-0.410	E	3	0.162	E	2	-0.170	E	0	-0.383	E	3	0.889	E	1	-0.640	E	-1
1.30	-0.427	E	3	0.171	E	2	-0.246	E	0	-0.393	E	3	0.145	E	2	-0.201	E	0
1.50	-0.415	E	3	0.168	E	2	-0.252	E	0	-0.287	E	3	0.122	E	2	-0.194	E	0
1.52	0.711	E	3	-0.162	E	2	-0.199	E	-1	-0.359	E	3	0.141	E	2	-0.216	E	0
1.56	0.472	E	3	-0.111	E	2	-0.555	E	-1	-0.342	E	3	0.139	E	2	-0.223	E	0
1.59	0.494	E	3	-0.122	E	2	-0.396	E	-1	-0.319	E	3	0.137	E	2	-0.233	E	0
1.63	-0.364	E	4	0.776	E	2	-0.465	E	0	-0.197	E	3	0.114	E	2	-0.236	E	0
1.66	0.342	E	3	-0.933	E	1	-0.535	E	-1	-0.307	E	3	0.145	E	2	-0.267	E	0
1.69	0.849	E	3	-0.224	E	2	0.396	E	-1	-0.381	E	3	0.166	E	2	-0.288	E	0
1.71	0.820	E	3	-0.230	E	2	0.592	E	-1	-0.807	E	4	0.195	E	3	-0.123	E	1
1.72	0.407	E	3	-0.151	E	2	0.463	E	-1	-0.515	E	4	0.124	E	3	-0.826	E	0
1.78	0.406	E	3	-0.151	E	2	0.462	E	-1	0.117	E	4	-0.290	E	2	0.530	E	-1
1.91	0.405	E	3	-0.151	E	2	0.462	E	-1	0.299	E	3	-0.120	E	2	0.250	E	-1
2.01	0.405	E	3	-0.151	E	2	0.462	E	-1	-0.420	E	2	-0.563	E	1	0.827	E	-2
2.13	0.404	E	3	-0.150	E	2	0.461	E	-1	-0.621	E	3	0.880	E	1	-0.421	E	-1
2.34	0.403	E	3	-0.150	E	2	0.460	E	-1	-0.833	E	3	0.171	E	2	-0.937	E	-1
2.48	0.402	E	3	-0.150	E	2	0.459	E	-1	-0.124	E	4	0.271	E	2	-0.147	E	0
2.73	-0.527	E	2	0.159	E	1	0.984	E	-2	0.140	E	3	-0.220	E	1	0.271	E	-1

表-6-3 $\delta(\bar{\gamma}/B)$ の係数表

歩道部1案

迎角 0.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.46	0.317	E	3	-0.840	E	1	0.550	E	-1	-0.146	E	3	0.428	E	1	-0.357	E	-1
0.57	-0.104	E	2	0.232	E	0	-0.628	E	-3	-0.169	E	2	0.735	E	0	-0.128	E	-1
0.65	-0.182	E	3	0.410	E	1	-0.210	E	-1	-0.179	E	2	0.781	E	0	-0.136	E	-1
0.73	-0.966	E	2	0.263	E	1	-0.233	E	-1	-0.568	E	1	0.392	E	0	-0.972	E	-2
0.80	-0.144	E	3	0.370	E	1	-0.375	E	-1	0.911	E	1	-0.147	E	0	-0.907	E	-2
0.90	-0.182	E	3	0.455	E	1	-0.489	E	-1	-0.601	E	2	0.175	E	1	-0.297	E	-1
0.98	0.135	E	2	0.475	E	0	-0.425	E	-1	-0.190	E	3	0.530	E	1	-0.683	E	-1
1.13	-0.100	E	3	0.216	E	1	-0.299	E	-1	-0.132	E	3	0.372	E	1	-0.566	E	-1
1.31	0.638	E	2	-0.114	E	1	-0.821	E	-2	-0.843	E	2	0.241	E	1	-0.468	E	-1
1.46	-0.415	E	2	-0.511	E	0	-0.107	E	-1	-0.619	E	2	0.180	E	1	-0.422	E	-1
1.53	0.192	E	2	0.119	E	0	-0.132	E	-1	-0.589	E	2	0.141	E	1	-0.251	E	-1
1.60	-0.536	E	2	0.168	E	1	-0.209	E	-1	-0.576	E	2	0.124	E	1	-0.178	E	-1
1.67	-0.118	E	3	0.327	E	1	-0.338	E	-1	-0.109	E	3	0.145	E	1	0.548	E	-3
1.72	-0.921	E	2	0.288	E	1	-0.359	E	-1	-0.181	E	2	-0.481	E	0	0.114	E	-1
1.79	-0.112	E	3	0.327	E	1	-0.442	E	-1	-0.770	E	2	0.998	E	0	0.552	E	-2
1.86	-0.123	E	3	0.351	E	1	-0.491	E	-1	0.270	E	2	-0.104	E	1	0.109	E	-1
1.92	-0.143	E	3	0.390	E	1	-0.573	E	-1	0.296	E	2	-0.874	E	0	0.338	E	-2
2.02	-0.162	E	3	0.430	E	1	-0.656	E	-1	-0.145	E	3	0.300	E	1	-0.259	E	-1
2.12	-0.191	E	3	0.489	E	1	-0.780	E	-1	-0.229	E	3	0.543	E	1	-0.570	E	-1
2.27	-0.273	E	3	0.667	E	1	-0.892	E	-1	-0.246	E	3	0.591	E	1	-0.632	E	-1
2.69	-0.147	E	4	0.328	E	2	-0.254	E	0	-0.491	E	3	0.117	E	2	-0.139	E	0
2.74	-0.313	E	2	0.121	E	1	0.114	E	-1	0.132	E	3	-0.184	E	1	0.244	E	-1

表-6-4 $\delta(\bar{\eta}/B)$ の係数表

歩道部2案

迎角 0.0度

U/fB	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.46	0.317	E	3	-0.840	E	1	0.550	E	-1	0.136	E	3	0.389	E	1	-0.329	E	-1
0.57	-0.202	E	2	0.118	E	2	-0.165	E	0	0.934	E	2	-0.177	E	1	-0.553	E	-3
0.64	-0.104	E	2	0.232	E	0	-0.628	E	-3	0.909	E	2	-0.171	E	1	-0.746	E	-3
0.73	-0.280	E	3	-0.644	E	1	-0.362	E	-1	0.659	E	2	-0.116	E	1	-0.267	E	-2
0.80	-0.144	E	3	0.370	E	1	-0.375	E	-1	0.996	E	2	-0.204	E	1	-0.153	E	-2
0.90	-0.182	E	3	0.455	E	1	-0.489	E	-1	0.731	E	2	-0.116	E	1	-0.137	E	-1
0.98	0.135	E	2	0.475	E	0	-0.425	E	-1	0.232	E	2	0.475	E	0	-0.421	E	-1
1.13	0.720	E	1	0.569	E	0	-0.418	E	-1	0.199	E	2	0.884	E	0	-0.440	E	-1
1.31	0.638	E	2	-0.114	E	1	-0.821	E	-2	0.827	E	2	-0.853	E	0	-0.321	E	-1
1.46	0.479	E	2	-0.691	E	0	-0.999	E	-2	0.925	E	2	-0.109	E	1	-0.302	E	-1
1.51	0.192	E	2	0.119	E	0	-0.132	E	-1	-0.216	E	2	0.246	E	0	-0.105	E	-1
1.60	-0.506	E	1	0.640	E	0	-0.158	E	-1	-0.343	E	2	0.393	E	0	-0.825	E	-2
1.67	-0.112	E	3	0.317	E	1	-0.344	E	-1	0.157	E	3	-0.432	E	1	0.303	E	-1
1.73	-0.921	E	2	0.288	E	1	-0.359	E	-1	0.534	E	2	-0.212	E	1	0.217	E	-1
1.80	-0.234	E	2	0.134	E	1	-0.355	E	-1	0.823	E	2	-0.278	E	1	0.293	E	-1
1.87	-0.134	E	2	0.111	E	1	-0.369	E	-1	-0.269	E	1	-0.943	E	0	0.187	E	-1
1.91	-0.141	E	3	0.386	E	1	-0.565	E	-1	-0.143	E	3	0.271	E	1	-0.963	E	-2
2.01	-0.168	E	3	0.442	E	1	-0.681	E	-1	-0.821	E	3	0.180	E	2	-0.985	E	-1
2.15	-0.191	E	3	0.489	E	1	-0.780	E	-1	-0.272	E	3	0.614	E	1	-0.564	E	-1
2.30	-0.128	E	4	0.287	E	2	-0.228	E	0	0.410	E	2	0.568	E	0	-0.931	E	-1
2.67	-0.147	E	4	0.328	E	2	-0.254	E	0	0.411	E	2	0.594	E	0	-0.929	E	-1
2.74	-0.313	E	2	0.121	E	1	0.114	E	-1	0.411	E	2	0.594	E	0	-0.927	E	-1

表-6-5 $\delta(\bar{\eta}/B)$ の係数表

歩道部1案

迎角-1.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.46	-0.697	E	2	0.151	E	1	-0.904	E	-2	0.235	E	1	0.306	E	0	-0.806	E	-2
0.57	-0.845	E	2	0.185	E	1	-0.894	E	-2	0.272	E	1	0.355	E	0	-0.934	E	-2
0.66	-0.945	E	2	0.205	E	1	-0.889	E	-2	0.273	E	1	0.355	E	0	-0.935	E	-2
0.73	0.145	E	3	-0.269	E	1	-0.204	E	-2	-0.595	E	2	0.566	E	0	-0.119	E	-1
0.80	0.140	E	2	0.282	E	0	-0.253	E	-1	-0.595	E	2	0.109	E	1	-0.999	E	-2
0.90	-0.255	E	2	0.117	E	1	-0.335	E	-1	-0.758	E	2	0.163	E	1	-0.179	E	-1
1.04	-0.120	E	3	0.295	E	1	-0.501	E	-1	-0.161	E	3	0.449	E	1	-0.605	E	-1
1.09	-0.176	E	3	0.416	E	1	-0.549	E	-1	-0.167	E	3	0.466	E	1	-0.631	E	-1
1.27	-0.135	E	3	0.296	E	2	-0.154	E	0	-0.644	E	4	0.142	E	3	-0.738	E	0
1.31	-0.461	E	2	0.103	E	1	-0.118	E	-1	-0.242	E	4	0.533	E	2	-0.293	E	0
1.43	-0.117	E	3	0.263	E	1	-0.201	E	-1	-0.773	E	2	0.171	E	1	-0.338	E	-1
1.50	-0.158	E	3	0.355	E	1	-0.248	E	-1	-0.832	E	2	0.172	E	1	-0.269	E	-1
1.54	0.908	E	1	0.148	E	0	-0.140	E	-1	-0.634	E	2	0.109	E	1	-0.116	E	-1
1.61	-0.734	E	4	0.161	E	3	-0.790	E	0	-0.964	E	2	0.175	E	1	-0.116	E	-1
1.72	0.607	E	2	-0.970	E	0	-0.191	E	-1	-0.457	E	2	0.525	E	0	0.124	E	-1
1.79	0.223	E	3	-0.451	E	1	-0.254	E	-1	-0.106	E	2	-0.289	E	0	0.168	E	-1
1.86	0.865	E	2	-0.142	E	1	-0.252	E	-1	-0.115	E	2	-0.364	E	0	0.163	E	-1
1.96	-0.132	E	3	0.353	E	1	-0.614	E	-1	0.801	E	2	-0.208	E	1	0.947	E	-2
2.06	-0.432	E	3	0.103	E	2	-0.111	E	0	0.749	E	2	-0.139	E	1	-0.247	E	-1
2.28	-0.459	E	3	0.110	E	2	-0.116	E	0	-0.108	E	3	0.275	E	1	-0.482	E	-1
2.69	-0.203	E	3	0.449	E	1	-0.117	E	0	-0.194	E	4	0.455	E	2	-0.323	E	0
2.77	0.412	E	2	-0.316	E	0	-0.131	E	0	-0.193	E	4	0.453	E	2	-0.322	E	0
3.25	0.571	E	2	-0.653	E	0	0.207	E	-1	0.109	E	3	-0.134	E	1	0.225	E	-1

表-6-6 $\delta(\bar{\eta}/B)$ の係数表

歩道部2案

迎角-1.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.46	-0.697	E	2	0.151	E	1	-0.904	E	-2	0.760	E	1	0.805	E	-1	-0.817	E	-2
0.57	-0.796	E	2	0.174	E	1	-0.897	E	-2	0.840	E	1	0.889	E	-1	-0.903	E	-2
0.63	-0.845	E	2	0.185	E	1	-0.894	E	-2	0.118	E	2	0.530	E	-2	-0.868	E	-2
0.66	-0.945	E	2	0.205	E	1	-0.889	E	-2	0.118	E	2	0.253	E	-2	-0.868	E	-2
0.73	0.145	E	3	-0.269	E	1	0.204	E	-2	0.274	E	2	-0.385	E	0	-0.712	E	-2
0.80	-0.255	E	2	0.117	E	1	-0.335	E	-1	0.420	E	2	-0.747	E	0	-0.567	E	-2
0.93	0.522	E	2	-0.541	E	0	-0.256	E	-1	0.431	E	2	-0.775	E	0	-0.555	E	-2
1.04	-0.120	E	3	0.295	E	1	-0.501	E	-1	-0.386	E	2	0.193	E	1	-0.518	E	-1
1.10	-0.135	E	4	0.296	E	2	-0.154	E	0	-0.431	E	2	0.157	E	1	-0.420	E	-1
1.31	-0.461	E	2	0.103	E	1	-0.118	E	-1	-0.426	E	2	0.126	E	1	-0.346	E	-1
1.43	-0.117	E	3	0.263	E	1	-0.201	E	-1	-0.423	E	2	0.108	E	1	-0.303	E	-1
1.50	-0.158	E	3	0.355	E	1	-0.248	E	-1	0.345	E	2	-0.856	E	0	-0.111	E	-1
1.60	0.908	E	1	0.148	E	0	-0.140	E	-1	-0.375	E	2	0.335	E	0	-0.112	E	-2
1.75	0.223	E	3	-0.451	E	1	-0.255	E	-2	0.205	E	3	-0.470	E	1	0.361	E	-1
1.80	0.209	E	3	-0.421	E	1	-0.482	E	-2	0.203	E	3	-0.461	E	1	0.359	E	-1
1.92	-0.226	E	2	0.106	E	1	-0.433	E	-1	0.163	E	3	-0.411	E	1	0.311	E	-1
1.98	-0.772	E	2	0.229	E	1	-0.524	E	-1	0.166	E	3	-0.406	E	1	0.250	E	-1
2.14	-0.886	E	2	0.293	E	1	-0.763	E	-1	-0.104	E	3	0.268	E	1	-0.475	E	-1
2.28	-0.459	E	3	0.109	E	2	-0.116	E	0	0.398	E	3	-0.752	E	1	-0.556	E	-1
2.70	-0.203	E	3	0.449	E	1	-0.117	E	0	0.398	E	3	-0.752	E	1	-0.555	E	-1
2.77	0.412	E	2	-0.316	E	0	-0.131	E	0	0.397	E	3	-0.750	E	1	-0.551	E	-1
3.25	0.571	E	2	-0.653	E	0	0.207	E	-1	0.238	E	3	-0.419	E	1	0.357	E	-1

表-6-7 $\delta(\bar{\gamma}/B)$ の係数表

歩道部1案

迎角-3.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.47	-0.219	E	2	0.439	E	0	-0.231	E	-2	-0.656	E	2	0.228	E	1	-0.216	E	-1
0.70	-0.270	E	2	0.521	E	0	-0.228	E	-2	-0.834	E	2	0.264	E	1	-0.245	E	-1
0.80	-0.101	E	3	0.232	E	1	-0.123	E	-1	-0.111	E	3	0.313	E	1	-0.281	E	-1
0.87	-0.178	E	3	0.365	E	1	-0.166	E	-1	-0.112	E	3	0.268	E	1	-0.203	E	-1
0.90	-0.190	E	3	0.401	E	1	-0.200	E	-1	-0.718	E	2	0.194	E	1	-0.212	E	-1
0.93	-0.635	E	2	0.188	E	1	-0.199	E	-1	-0.704	E	2	0.191	E	1	-0.212	E	-1
1.04	-0.112	E	3	0.294	E	1	-0.439	E	-1	0.155	E	3	-0.230	E	1	-0.261	E	-1
1.10	-0.249	E	3	0.565	E	1	-0.598	E	-1	0.980	E	2	-0.155	E	1	-0.230	E	-1
1.19	-0.127	E	3	0.276	E	1	-0.185	E	-1	-0.359	E	2	0.189	E	0	-0.158	E	-1
1.40	-0.144	E	2	0.177	E	0	-0.675	E	-3	-0.106	E	3	0.110	E	1	-0.118	E	-1
1.51	-0.116	E	3	0.237	E	1	-0.136	E	-1	0.582	E	2	-0.262	E	1	0.218	E	-1
1.56	-0.298	E	3	0.633	E	1	-0.368	E	-1	-0.471	E	1	-0.119	E	1	0.281	E	-1
1.65	-0.209	E	3	0.461	E	1	-0.367	E	-1	-0.606	E	2	0.679	E	-1	0.334	E	-1
1.80	-0.989	E	2	0.245	E	1	-0.366	E	-1	-0.480	E	3	0.149	E	1	-0.114	E	-1
1.84	-0.960	E	2	0.247	E	1	-0.427	E	-1	0.226	E	2	-0.101	E	1	0.279	E	-1
1.89	-0.930	E	2	0.248	E	1	-0.489	E	-1	0.178	E	3	-0.389	E	1	0.304	E	-1
1.95	-0.891	E	2	0.249	E	1	-0.570	E	-1	0.548	E	2	-0.119	E	1	0.883	E	-2
2.03	-0.872	E	2	0.251	E	1	-0.611	E	-1	-0.147	E	3	0.333	E	1	-0.212	E	-1
2.30	-0.725	E	2	0.250	E	1	-0.852	E	-1	-0.278	E	3	0.671	E	1	-0.781	E	-1
2.70	0.891	E	2	-0.501	E	0	-0.118	E	0	-0.725	E	1	0.167	E	1	-0.114	E	0
2.79	-0.218	E	3	0.537	E	1	-0.174	E	0	-0.647	E	1	0.165	E	1	-0.113	E	0
3.26	-0.575	E	2	0.154	E	1	0.124	E	-1	0.153	E	3	-0.212	E	1	0.250	E	-1

表-6-8 $\delta(\bar{\gamma}/B)$ の係数表

歩道部2案

迎角-3.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.47	-0.206	E	2	0.419	E	0	-0.232	E	-2	-0.347	E	2	0.127	E	1	-0.160	E	-1
0.69	-0.270	E	2	0.521	E	0	-0.228	E	-2	0.201	E	2	0.841	E	-1	-0.696	E	-2
0.74	-0.907	E	2	0.206	E	1	-0.108	E	-1	0.860	E	2	-0.133	E	1	-0.119	E	-1
0.80	-0.101	E	3	0.232	E	1	-0.123	E	-1	0.706	E	2	-0.104	E	1	-0.802	E	-2
0.87	-0.174	E	3	0.232	E	1	-0.123	E	-1	0.708	E	2	-0.104	E	1	-0.802	E	-2
0.93	-0.634	E	2	0.188	E	1	-0.199	E	-1	0.251	E	2	-0.233	E	0	-0.156	E	-1
1.04	-0.519	E	2	0.174	E	1	-0.369	E	-1	0.264	E	3	-0.511	E	1	-0.130	E	-1
1.06	-0.249	E	3	0.565	E	1	-0.597	E	-1	-0.182	E	4	0.425	E	2	-0.279	E	0
1.19	-0.243	E	3	0.552	E	1	-0.578	E	-1	-0.198	E	4	0.461	E	2	-0.300	E	0
1.40	-0.553	E	2	0.112	E	1	-0.714	E	-2	0.186	E	3	-0.541	E	1	0.239	E	-1
1.47	-0.144	E	2	0.177	E	0	-0.675	E	-3	-0.334	E	2	-0.734	E	0	0.919	E	-2
1.51	0.278	E	2	-0.757	E	0	0.199	E	-2	0.326	E	2	-0.229	E	1	0.246	E	-1
1.55	-0.156	E	3	0.325	E	1	-0.187	E	-1	0.479	E	3	-0.121	E	2	0.832	E	-1
1.58	-0.298	E	3	0.633	E	1	-0.368	E	-1	-0.145	E	2	-0.110	E	1	0.336	E	-1
1.65	-0.102	E	3	0.218	E	1	-0.219	E	-1	-0.605	E	2	0.241	E	-1	0.305	E	-1
1.70	0.279	E	3	-0.769	E	1	0.348	E	-1	-0.564	E	2	0.756	E	0	0.192	E	-1
1.77	-0.989	E	2	0.245	E	1	-0.366	E	-1	0.563	E	2	-0.214	E	1	0.353	E	-1
1.83	-0.975	E	2	0.246	E	1	-0.397	E	-1	0.713	E	3	-0.161	E	2	0.969	E	-1
1.86	-0.926	E	2	0.248	E	1	-0.499	E	-1	0.276	E	2	-0.876	E	0	0.132	E	-1
1.96	-0.508	E	2	0.162	E	1	-0.498	E	-1	-0.140	E	3	0.310	E	1	-0.160	E	-1
2.00	-0.759	E	2	0.256	E	1	-0.845	E	-1	-0.137	E	3	0.366	E	1	-0.682	E	-1
2.30	0.297	E	3	-0.518	E	1	-0.838	E	-1	0.440	E	3	-0.958	E	1	-0.538	E	-1
2.67	0.891	E	2	-0.501	E	0	-0.118	E	0	0.439	E	3	-0.956	E	1	-0.537	E	-1
2.79	-0.218	E	3	0.537	E	1	-0.174	E	0	0.437	E	3	-0.951	E	1	-0.534	E	-1
3.26	-0.575	E	2	0.154	E	1	0.124	E	-1	0.437	E	3	-0.951	E	1	-0.534	E	-1

表-6-9 $\delta(\bar{\eta}/B)$ の係数表

歩道部1案

迎角-5.0度

U/FB	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.46	0.641	E	2	-0.964	E	0	-0.643	E	-3	0.139	E	1	0.379	E	0	-0.980	E	-2
0.57	0.347	E	2	-0.451	E	0	-0.210	E	-2	0.161	E	1	0.439	E	0	-0.114	E	-1
0.66	0.398	E	1	0.208	E	0	-0.756	E	-2	0.162	E	1	0.439	E	0	-0.114	E	-1
0.70	-0.779	E	2	0.215	E	1	-0.212	E	-1	-0.617	E	2	0.178	E	1	-0.208	E	-1
0.80	-0.627	E	2	0.180	E	1	-0.205	E	-1	-0.680	E	2	0.191	E	1	-0.217	E	-1
0.93	0.115	E	3	-0.232	E	1	-0.145	E	-1	-0.316	E	2	0.682	E	0	-0.125	E	-1
1.04	0.589	E	2	-0.118	E	1	-0.118	E	-1	0.498	E	1	0.398	E	0	-0.286	E	-1
1.11	0.206	E	2	-0.616	E	0	-0.107	E	-2	-0.245	E	2	0.573	E	0	-0.236	E	-1
1.18	-0.724	E	2	0.151	E	1	-0.303	E	-2	-0.623	E	2	0.798	E	0	-0.171	E	-1
1.27	-0.498	E	2	0.141	E	1	-0.588	E	-2	-0.113	E	3	0.110	E	1	-0.856	E	-2
1.39	0.295	E	2	-0.198	E	0	-0.935	E	-3	-0.159	E	3	0.137	E	1	-0.698	E	-3
1.50	0.406	E	2	-0.435	E	0	-0.482	E	-3	-0.168	E	3	0.142	E	1	0.732	E	-3
1.52	0.684	E	2	-0.103	E	1	0.651	E	-3	0.340	E	3	-0.102	E	2	0.816	E	-1
1.57	0.107	E	3	-0.186	E	1	0.224	E	-2	0.537	E	3	-0.141	E	2	0.112	E	0
1.64	-0.860	E	2	0.224	E	1	-0.180	E	-1	0.622	E	3	-0.158	E	2	0.125	E	0
1.67	-0.473	E	3	0.104	E	2	-0.584	E	-1	0.616	E	3	-0.151	E	2	0.117	E	0
1.73	-0.585	E	3	0.130	E	2	-0.912	E	-1	0.609	E	3	-0.143	E	2	0.105	E	0
1.81	-0.599	E	3	0.133	E	2	-0.953	E	-1	0.534	E	3	-0.125	E	2	0.942	E	-1
1.86	-0.410	E	3	0.934	E	1	-0.867	E	-1	0.597	E	1	-0.202	E	0	0.141	E	-1
1.92	0.288	E	3	-0.544	E	1	-0.549	E	-1	-0.406	E	3	-0.926	E	1	-0.993	E	-1
2.29	-0.229	E	4	0.519	E	2	-0.375	E	0	-0.415	E	3	0.103	E	2	-0.168	E	0
2.72	-0.252	E	4	0.572	E	2	-0.405	E	0	-0.415	E	3	0.103	E	2	-0.168	E	0
2.76	0.589	E	3	-0.128	E	2	-0.930	E	-1	-0.412	E	3	0.102	E	2	-0.167	E	0
3.24	0.107	E	3	-0.167	E	1	0.258	E	-1	0.171	E	3	-0.294	E	1	0.312	E	-1

表-6-10 $\delta(\bar{\gamma}/B)$ の係数表

歩道部2案

迎角-5.0度

U/IB	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.46	0.641	E	2	-0.964	E	0	-0.643	E	-3	-0.515	E	2	0.166	E	1	-0.171	E	-1
0.57	0.347	E	2	-0.451	E	0	-0.210	E	-2	-0.596	E	2	0.192	E	1	-0.198	E	-1
0.66	0.398	E	1	0.208	E	0	-0.756	E	-2	-0.597	E	2	0.192	E	1	-0.198	E	-1
0.70	-0.779	E	2	0.215	E	1	-0.212	E	-1	-0.844	E	2	0.244	E	1	-0.247	E	-1
0.80	-0.225	E	1	-0.382	E	0	-0.179	E	-1	-0.949	E	2	0.264	E	1	-0.266	E	-1
0.85	0.119	E	3	-0.245	E	1	-0.127	E	-1	-0.419	E	3	0.962	E	1	-0.656	E	-1
0.93	0.972	E	2	-0.175	E	1	-0.226	E	-1	-0.864	E	3	0.192	E	2	-0.119	E	0
1.04	0.863	E	2	-0.159	E	1	-0.195	E	-1	-0.945	E	3	0.210	E	2	-0.129	E	0
1.18	-0.724	E	2	0.151	E	1	-0.303	E	-2	-0.648	E	3	0.139	E	2	-0.924	E	-1
1.27	-0.498	E	2	0.141	E	1	-0.588	E	-2	-0.478	E	3	0.986	E	1	-0.715	E	-1
1.39	-0.282	E	2	0.972	E	0	-0.453	E	-2	-0.436	E	3	0.885	E	1	-0.662	E	-1
1.42	-0.657	E	1	0.533	E	0	-0.318	E	-2	0.878	E	2	-0.379	E	1	0.164	E	-1
1.45	0.150	E	2	0.946	E	-1	-0.183	E	-2	-0.877	E	3	0.166	E	2	-0.687	E	-1
1.48	0.295	E	2	-0.198	E	0	-0.935	E	-3	-0.469	E	3	0.770	E	1	-0.204	E	-1
1.50	0.906	E	2	-0.150	E	1	0.156	E	-2	0.177	E	4	-0.415	E	2	0.246	E	0
1.68	-0.473	E	3	0.104	E	2	-0.584	E	-1	0.566	E	4	-0.805	E	2	-0.415	E	0
1.73	-0.599	E	3	0.133	E	2	-0.953	E	-1	0.347	E	3	-0.814	E	1	0.622	E	-1
1.82	-0.486	E	3	0.109	E	2	-0.902	E	-1	0.147	E	3	-0.287	E	1	0.212	E	-1
1.88	-0.391	E	3	0.894	E	1	-0.859	E	-1	0.541	E	2	-0.104	E	1	0.432	E	-2
1.93	-0.165	E	3	0.415	E	1	-0.756	E	-1	0.185	E	3	0.422	E	1	-0.438	E	-1
2.05	0.288	E	3	-0.544	E	1	-0.549	E	-1	-0.295	E	3	0.688	E	1	-0.978	E	-1
2.29	-0.205	E	4	0.465	E	2	-0.345	E	0	-0.137	E	4	0.313	E	2	-0.274	E	0
2.68	-0.252	E	4	0.572	E	2	-0.405	E	0	-0.137	E	4	0.312	E	2	-0.273	E	0
2.76	0.589	E	3	-0.128	E	2	-0.930	E	-1	-0.136	E	4	0.311	E	2	-0.272	E	0
3.24	0.107	E	3	-0.167	E	1	0.258	E	-1									

表-6-11 $\delta(\bar{\eta}/B)$ の係数表

歩道部1案

迎角-7.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.64	0.273	E	3	-0.551	E	1	0.171	E	-1	-0.262	E	3	0.640	E	1	-0.433	E	-1
0.65	0.125	E	3	-0.241	E	1	0.114	E	-2	-0.297	E	3	0.721	E	1	-0.492	E	-1
0.76	0.843	E	2	-0.157	E	1	-0.321	E	-2	-0.266	E	3	0.641	E	1	-0.451	E	-1
0.79	0.577	E	2	-0.702	E	0	-0.143	E	-1	-0.193	E	3	0.455	E	1	-0.355	E	-1
0.86	0.370	E	3	-0.776	E	1	0.169	E	-1	-0.117	E	3	0.310	E	1	-0.350	E	-1
0.97	0.213	E	3	-0.408	E	1	-0.570	E	-2	-0.759	E	2	0.231	E	1	-0.348	E	-1
1.03	0.214	E	3	-0.398	E	1	-0.992	E	-2	-0.752	E	2	0.230	E	1	-0.348	E	-1
1.08	0.128	E	3	-0.282	E	1	-0.103	E	-1	-0.749	E	2	0.257	E	1	-0.434	E	-1
1.12	0.324	E	3	-0.666	E	1	0.115	E	-1	-0.758	E	2	0.259	E	1	-0.436	E	-1
1.38	0.175	E	1	0.145	E	0	0.416	E	-2	-0.287	E	3	0.775	E	1	-0.840	E	-1
1.41	0.308	E	3	-0.711	E	1	0.375	E	-1	-0.491	E	3	0.122	E	2	-0.105	E	0
1.45	0.768	E	3	-0.170	E	2	0.791	E	-1	-0.869	E	3	0.192	E	2	-0.113	E	0
1.47	0.120	E	4	-0.266	E	2	0.124	E	0	-0.149	E	4	0.330	E	2	-0.172	E	0
1.49	0.222	E	3	-0.495	E	1	0.158	E	-1	-0.244	E	4	0.532	E	2	-0.252	E	0
1.52	0.333	E	3	-0.727	E	1	0.227	E	-1	-0.113	E	5	0.289	E	3	-0.176	E	1
1.56	0.175	E	2	0.108	E	0	-0.197	E	-1	-0.126	E	3	0.394	E	-1	0.445	E	-1
1.60	0.363	E	3	-0.750	E	1	0.142	E	-1	-0.554	E	4	0.143	E	3	-0.863	E	0
1.65	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.142	E	-1	0.221	E	4	-0.502	E	2	0.289	E	0
1.73	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.142	E	-1	0.180	E	4	-0.411	E	2	0.238	E	0
1.77	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.143	E	-1	-0.573	E	3	0.126	E	2	-0.552	E	-1
1.89	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.143	E	-1	-0.256	E	3	0.614	E	1	-0.400	E	-1
1.93	0.362	E	3	-0.748	E	1	0.144	E	-1	-0.188	E	3	0.544	E	1	-0.108	E	0
2.30	0.362	E	3	-0.746	E	1	0.144	E	-1	-0.202	E	3	0.556	E	1	-0.159	E	0
2.70	0.231	E	3	-0.442	E	1	0.374	E	-1	0.242	E	2	0.385	E	0	0.143	E	-1

表-6-12 $\delta(\bar{\gamma}/B)$ の係数表

歩道部2案

迎角-7.0度

U/B	原 断 面									歩 道 付 加 断 面								
	a			b			c			a			b			c		
0.65	0.219	E	3	-0.438	E	1	0.113	E	-1	-0.107	E	3	0.306	E	1	-0.278	E	-1
0.69	0.843	E	2	-0.157	E	1	-0.321	E	-2	-0.157	E	3	0.403	E	1	-0.335	E	-1
0.79	0.577	E	2	-0.702	E	0	-0.143	E	-1	-0.192	E	3	0.471	E	1	-0.375	E	-1
0.86	0.171	E	3	-0.327	E	1	-0.293	E	-2	-0.212	E	3	0.510	E	1	-0.398	E	-1
0.90	0.370	E	3	-0.776	E	1	0.169	E	-1	-0.222	E	3	0.554	E	1	-0.479	E	-1
0.97	0.213	E	3	-0.408	E	1	-0.570	E	-2	-0.231	E	3	0.591	E	1	-0.549	E	-1
1.03	0.214	E	3	-0.398	E	1	-0.992	E	-2	-0.231	E	3	0.592	E	1	-0.550	E	-1
1.06	0.128	E	3	-0.282	E	1	-0.103	E	-1	-0.316	E	3	0.773	E	1	-0.642	E	-1
1.12	0.324	E	3	-0.666	E	1	0.115	E	-1	-0.317	E	3	0.775	E	1	-0.643	E	-1
1.41	0.308	E	3	-0.711	E	1	0.375	E	-1	-0.704	E	3	0.156	E	2	-0.925	E	-1
1.44	0.333	E	3	-0.743	E	1	0.344	E	-1	-0.382	E	3	0.840	E	1	-0.539	E	-1
1.45	0.120	E	4	-0.266	E	2	0.124	E	0	-0.271	E	3	0.492	E	1	-0.200	E	-1
1.49	0.222	E	3	-0.495	E	1	0.158	E	-1	-0.188	E	3	0.230	E	1	0.545	E	-2
1.52	0.211	E	3	-0.460	E	1	0.105	E	-1	-0.104	E	3	-0.306	E	0	0.309	E	-1
1.55	0.333	E	3	-0.727	E	1	0.227	E	-1	-0.243	E	4	0.713	E	2	-0.531	E	0
1.56	0.347	E	3	-0.737	E	1	0.189	E	-1	0.193	E	3	-0.663	E	1	0.773	E	-1
1.60	0.363	E	3	-0.750	E	1	0.142	E	-1	0.565	E	3	-0.146	E	2	0.118	E	0
1.65	0.363	E	3	-0.750	E	1	0.142	E	-1	0.788	E	3	-0.194	E	2	0.143	E	0
1.68	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.142	E	-1	0.125	E	4	-0.295	E	2	0.190	E	0
1.75	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.142	E	-1	-0.196	E	3	0.378	E	1	-0.102	E	-2
1.84	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.143	E	-1	0.420	E	2	-0.122	E	1	0.952	E	-2
1.88	0.363	E	3	-0.749	E	1	0.143	E	-1	-0.163	E	3	0.412	E	1	-0.354	E	-1
1.94	0.362	E	3	-0.748	E	1	0.143	E	-1	-0.111	E	3	0.382	E	1	-0.722	E	-1
2.12	0.360	E	2	-0.120	E	0	-0.230	E	-1	0.370	E	3	-0.823	E	1	-0.842	E	-1
2.67	0.231	E	3	-0.442	E	1	0.374	E	-1	0.303	E	2	0.389	E	0	0.133	E	-1

表-7. 渦励振最大倍振幅～迎角

断面 \ 迎 角	-7°	-5°	-3°	-1°	0°	+7°
歩 道 な し	0.001	0.	0.	0.	0.	0.005
歩道第1案(実験値)	0.009	0.008	0.007	0.003	0.	0.005
歩道第2案(実験値)	0.008	0.008	0.006	0.003	0.002	0.004
歩道第1案(解析結果)	0.001	0.	0.	0.	0.	0.005
歩道第2案(解析結果)	0.001	0.	0.	0.	0.	0.005

(η/B ; 無次元振幅)

側面図

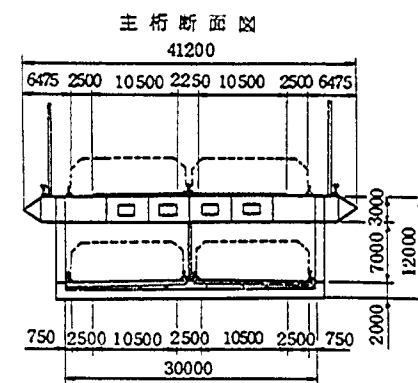
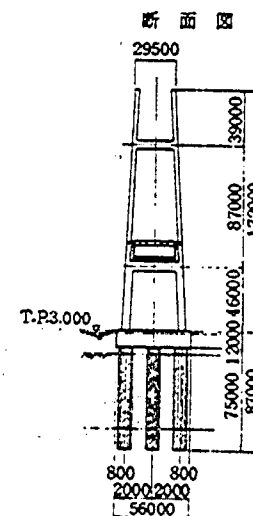
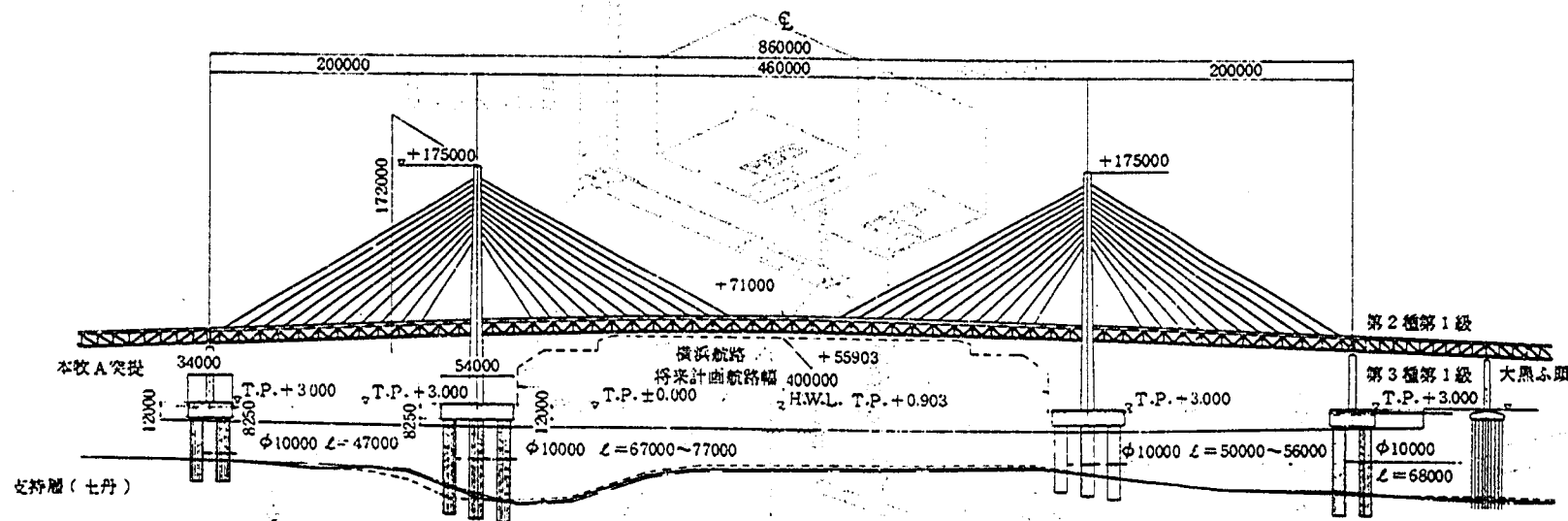


図-1 横浜港横断橋一般図

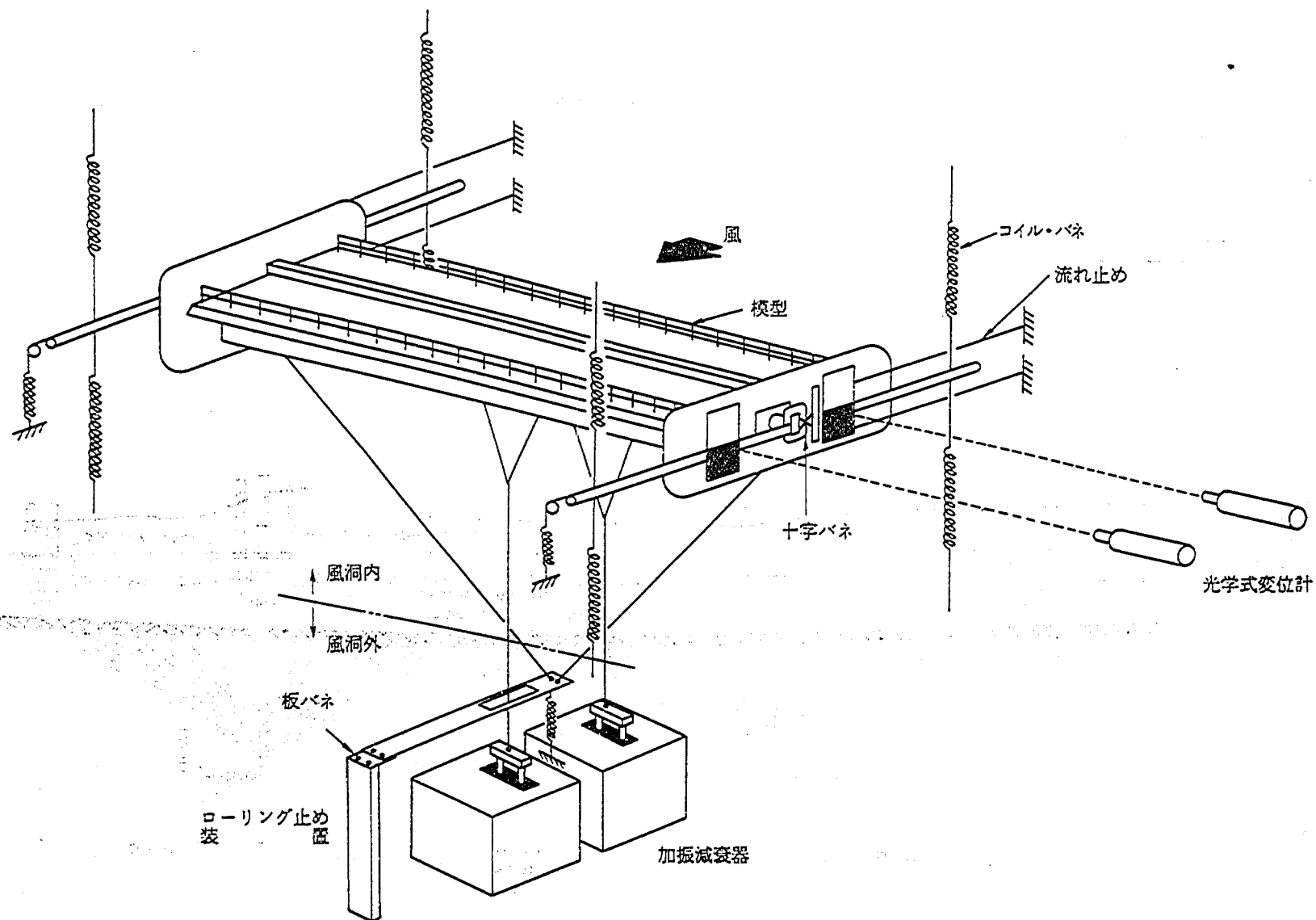


図-2 実験装置

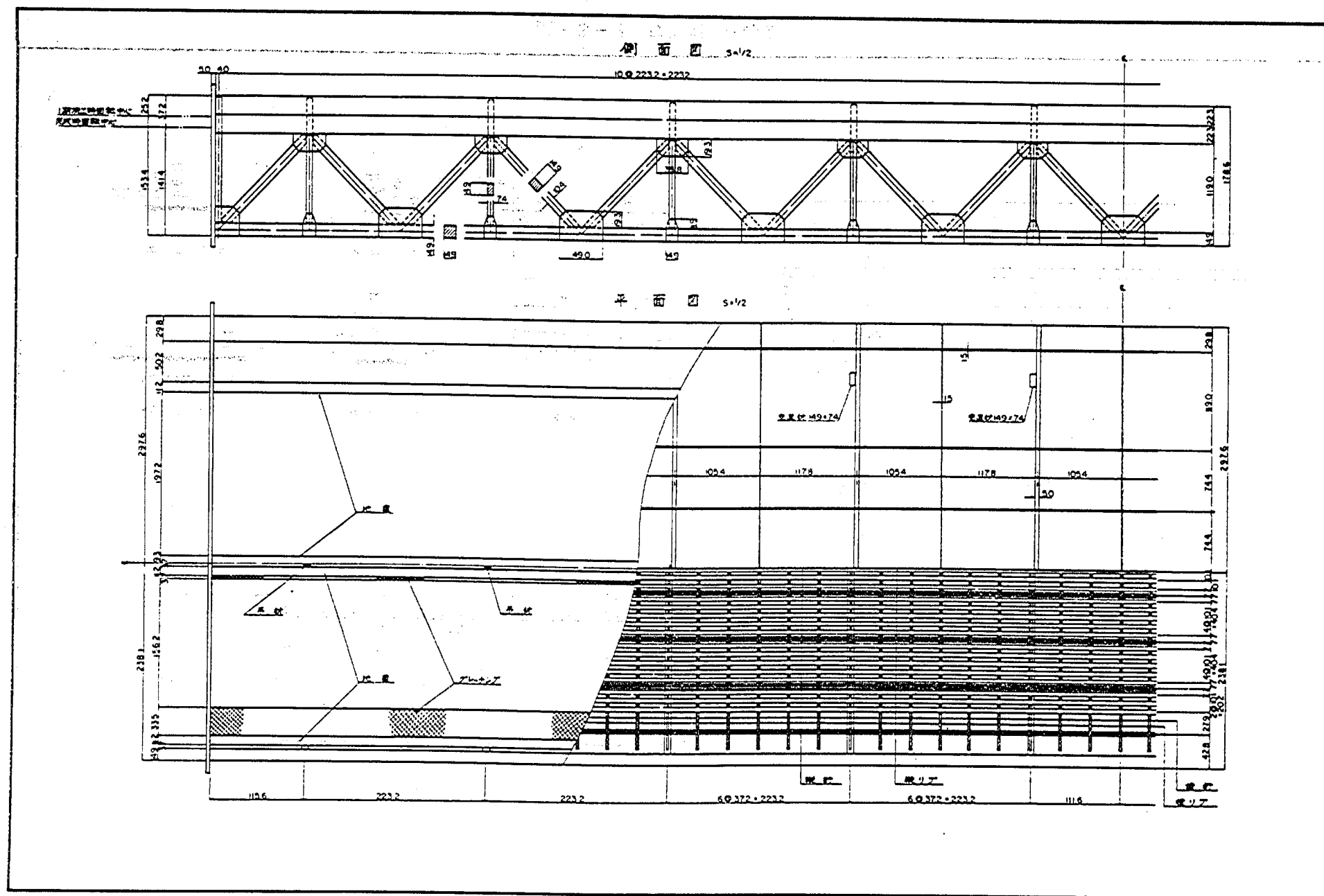


図-3-1 模型図(その1)

橫斷面圖 $s=1/2$

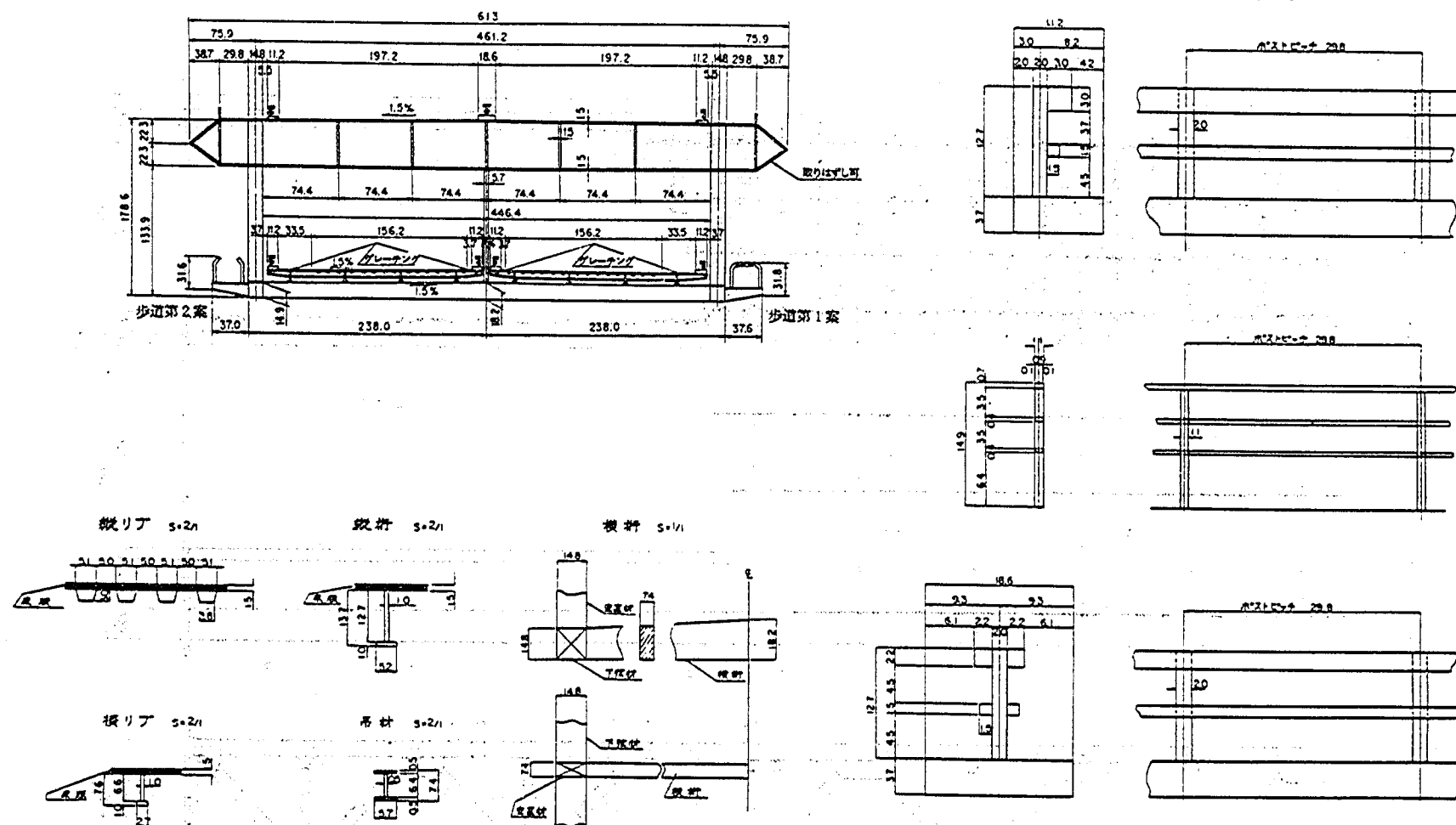


図-3-2 模型図(その2)

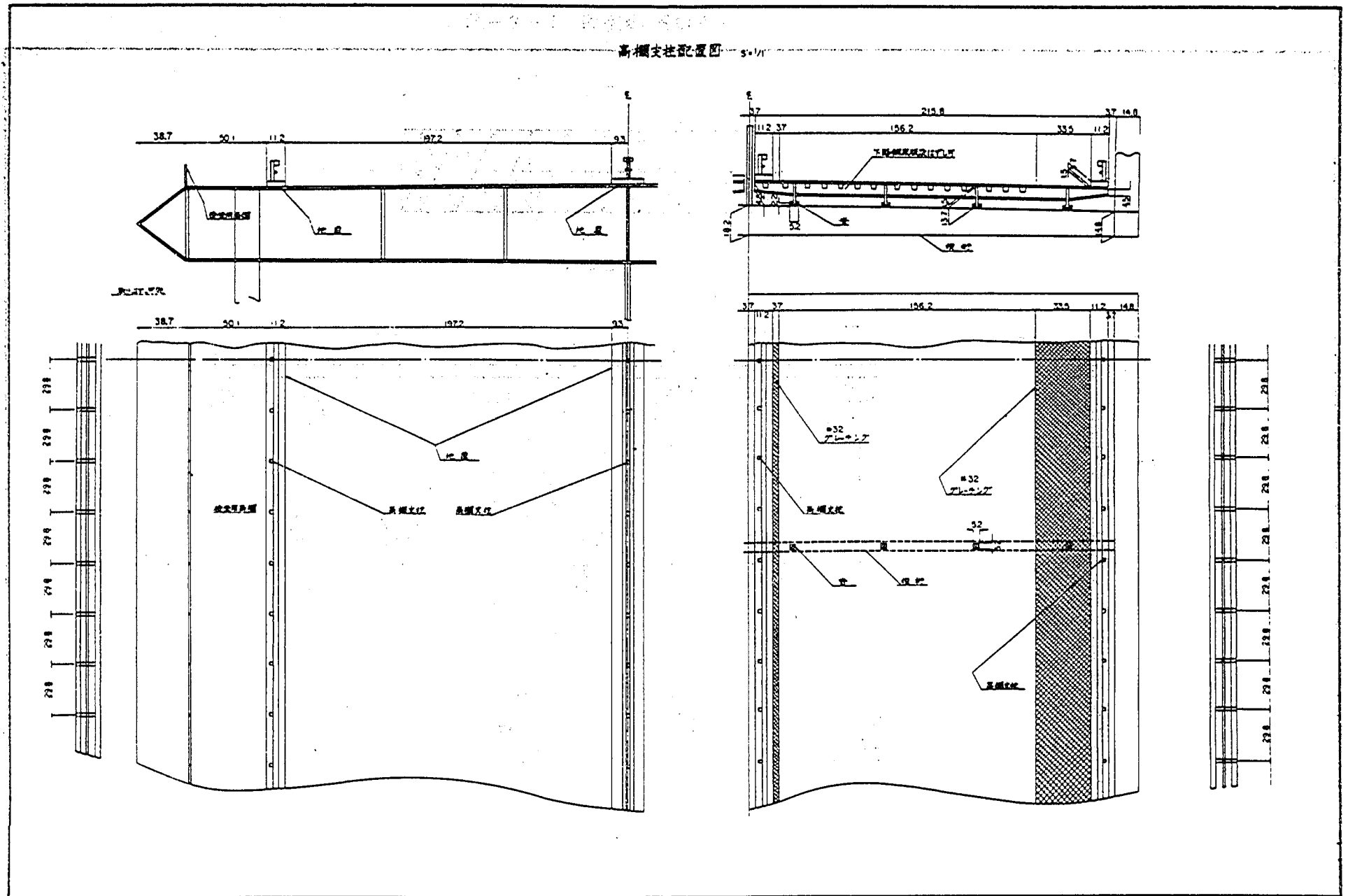
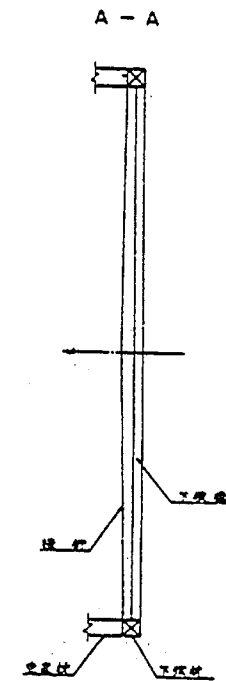
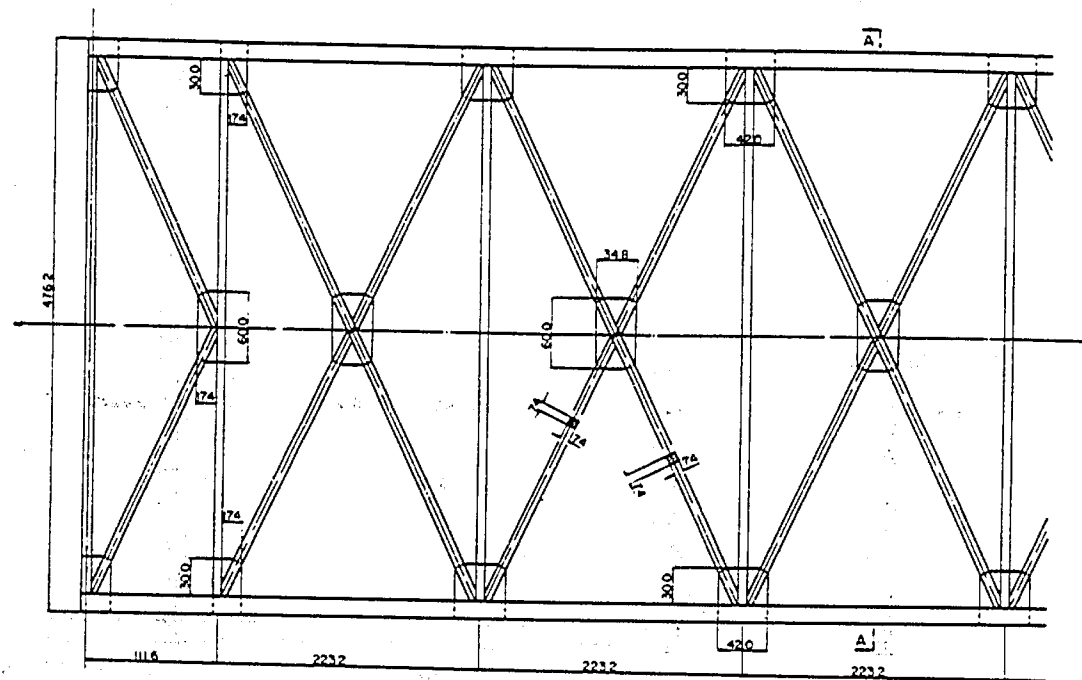


図-3-3 模型図(その3)

下 横 樑 $5 \times 1/2$



マ-ク図

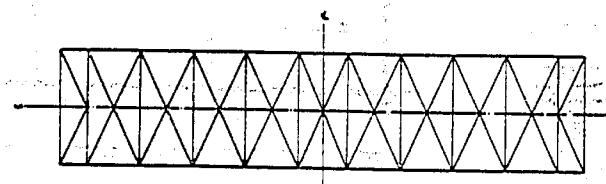
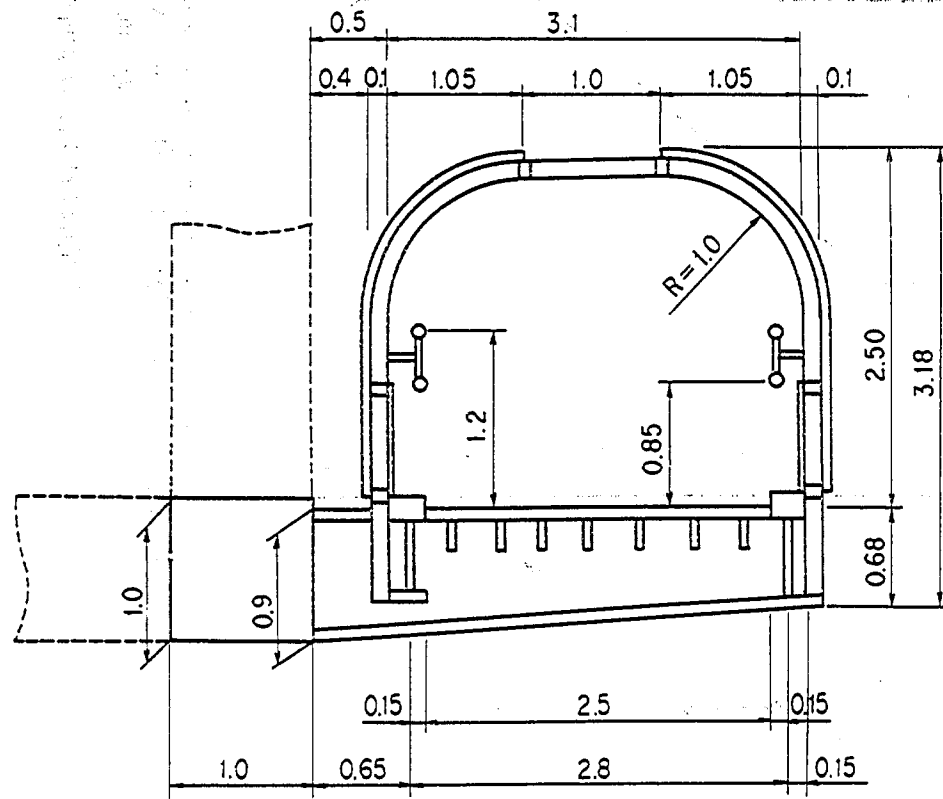
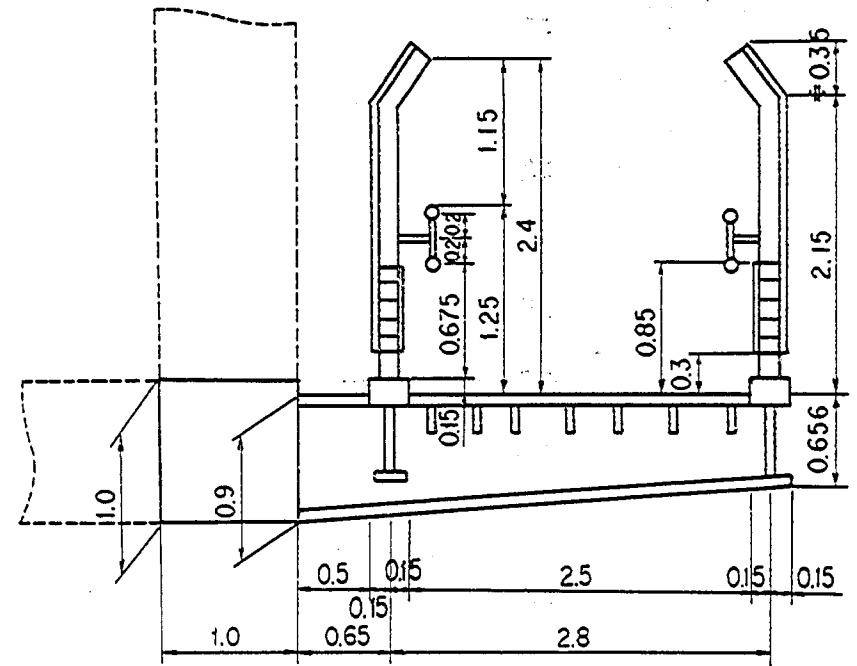


図-3-4 模型図(その4)

歩道部



歩道第1案



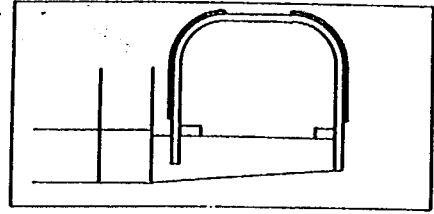
歩道第2案

図-3-5 模型図(その5)

歩道部1案

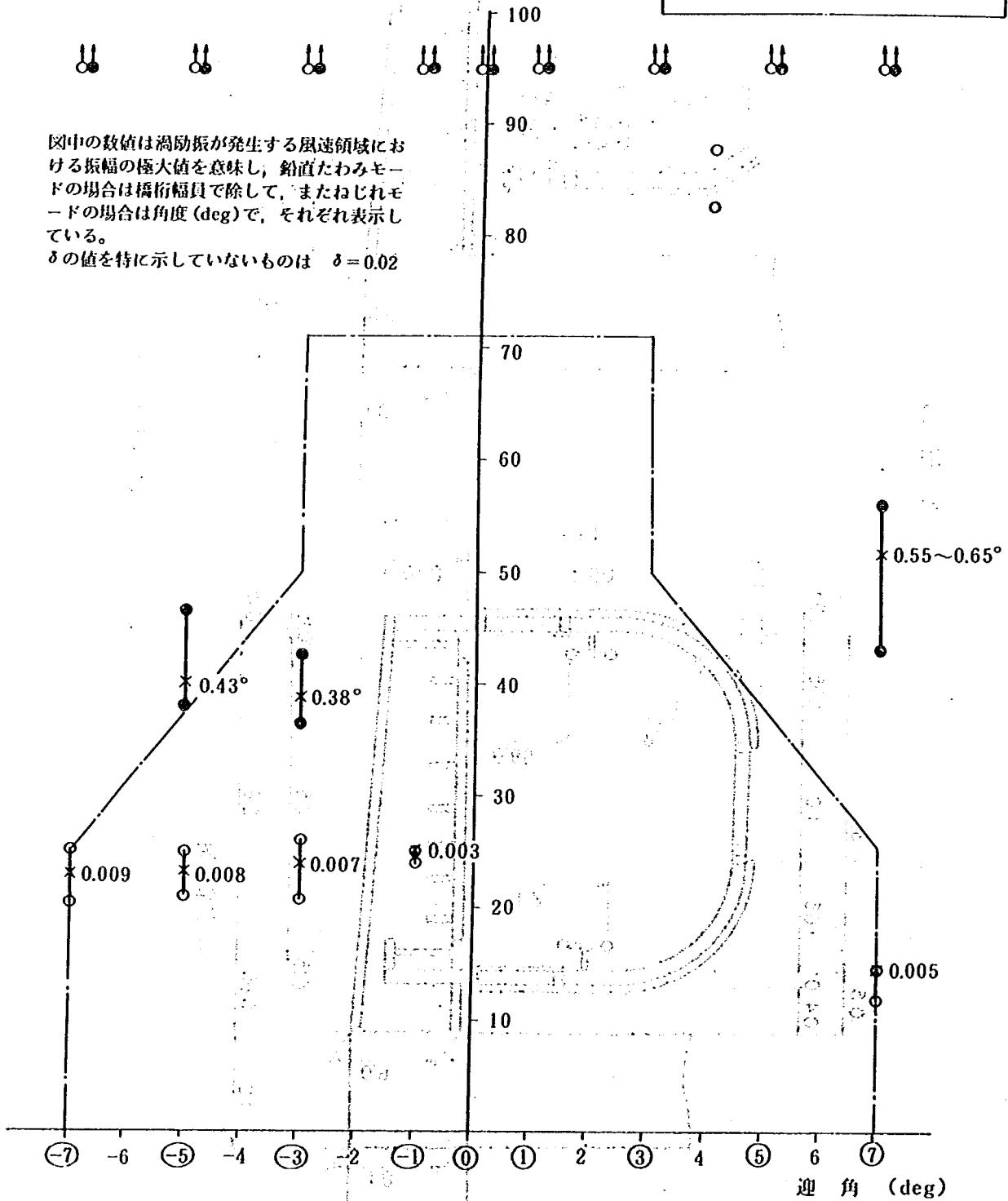
○… たわみ
●… ねじれ

実橋風速 [m/s]



図中の数値は渦励振が発生する風速領域における振幅の極大値を意味し、鉛直たわみモードの場合は橋桁幅員で除して、またねじれモードの場合は角度 (deg) で、それぞれ表示している。

δ の値を特に示していないものは $\delta = 0.02$



○印は実験を行った迎角を示す

図 - 4 - 1 風速 - 迎角曲線

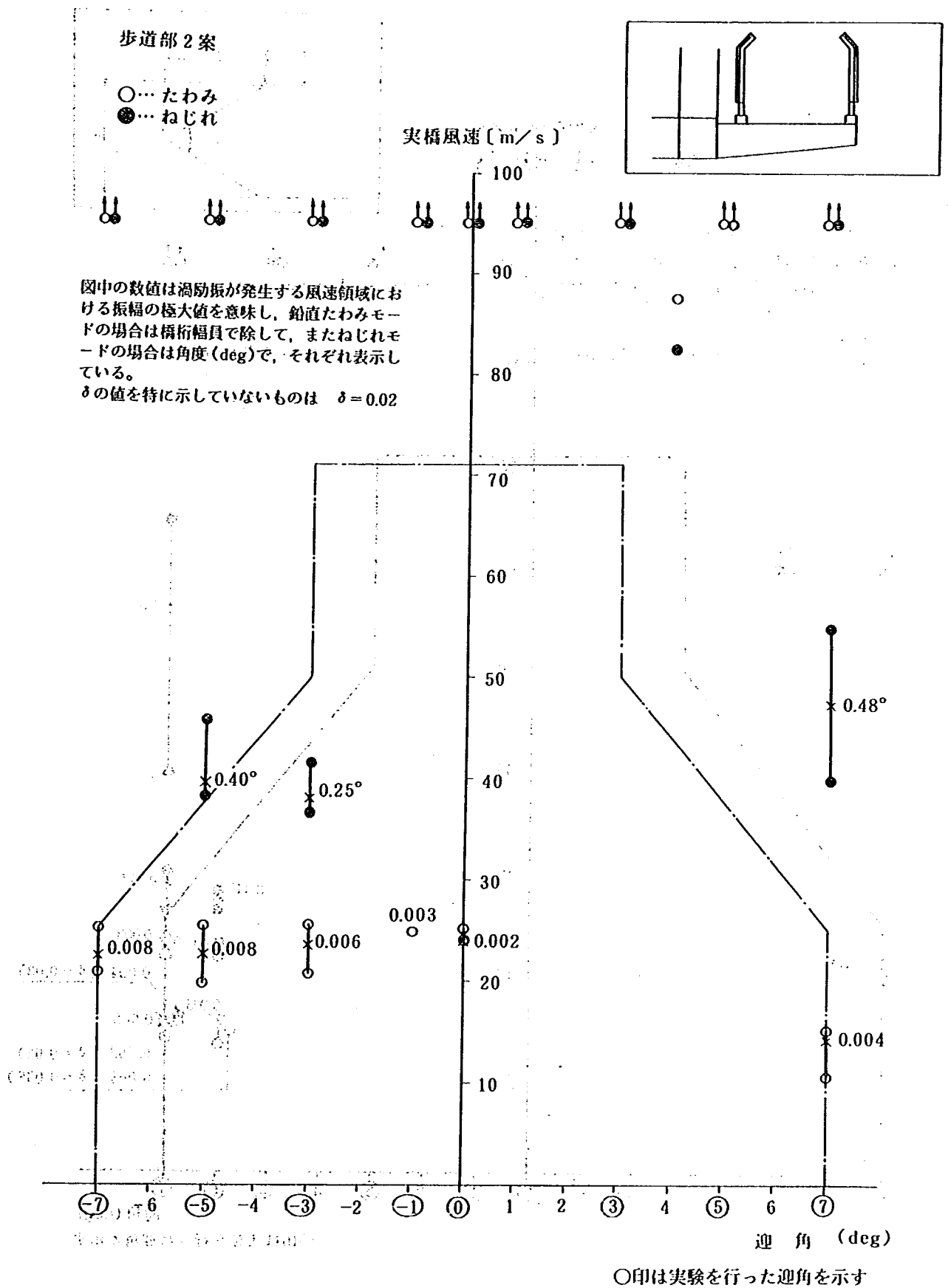
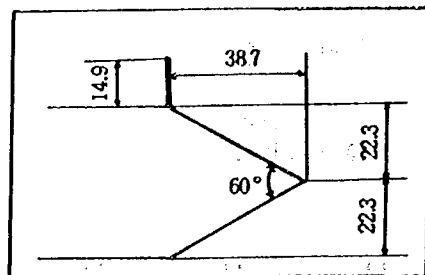


図 - 4 - 2 風速 - 迎角曲線

歩道部なし

実橋風速 (m/s)



図中の数値は渦励振が発生する風速領域における振幅の極大値を意味し、鉛直たわみモードの場合は橋桁幅員で除して、またねじれモードの場合は角度 (deg) で、それぞれ表示している。

δ の値を特に示していないものは $\delta = 0.02$

100 m/s 以上 100 m/s 以上 100 m/s 以上

○…鉛直たわみ

●…ねじれ

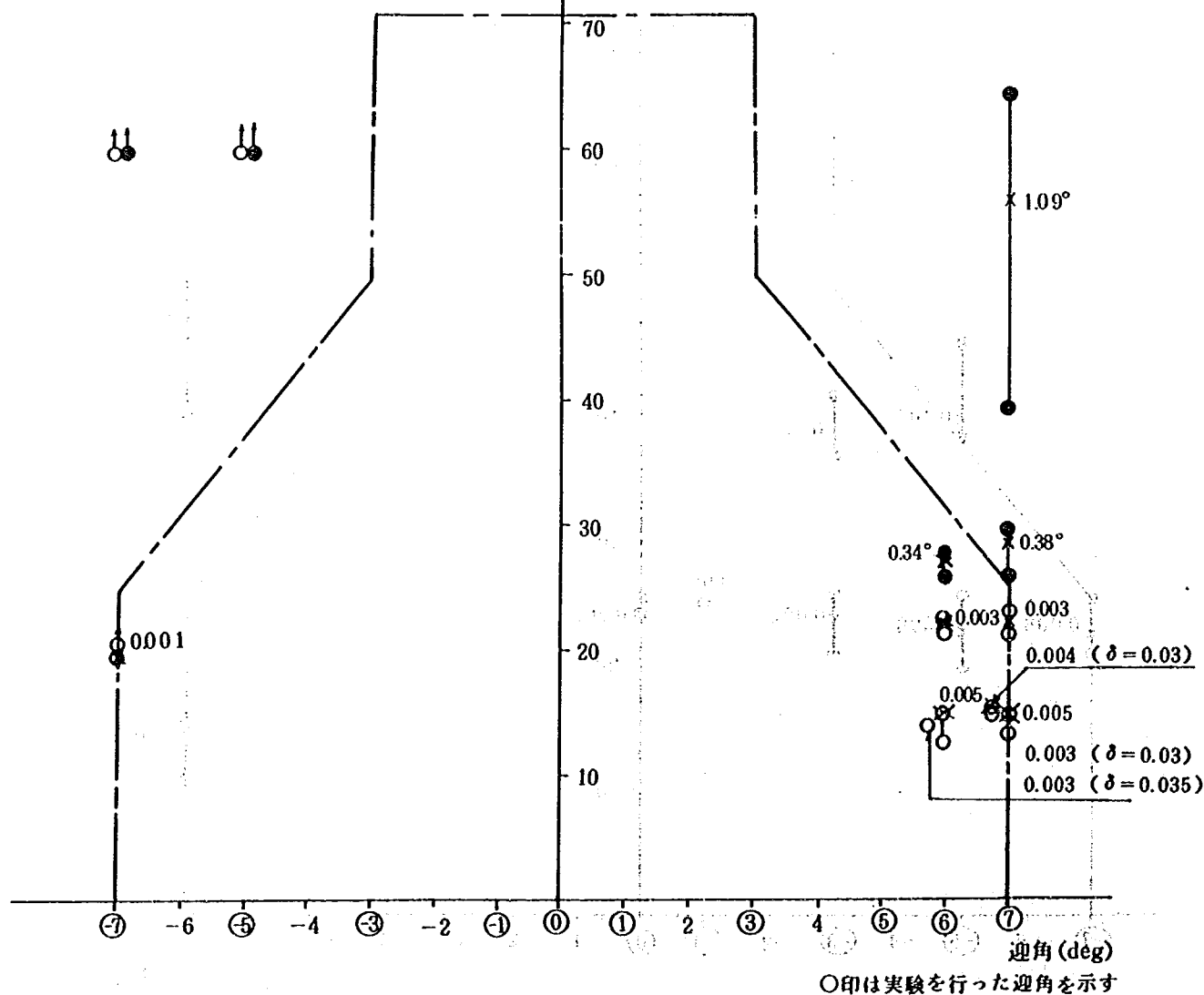


図-4-3 発振風速-迎角曲線

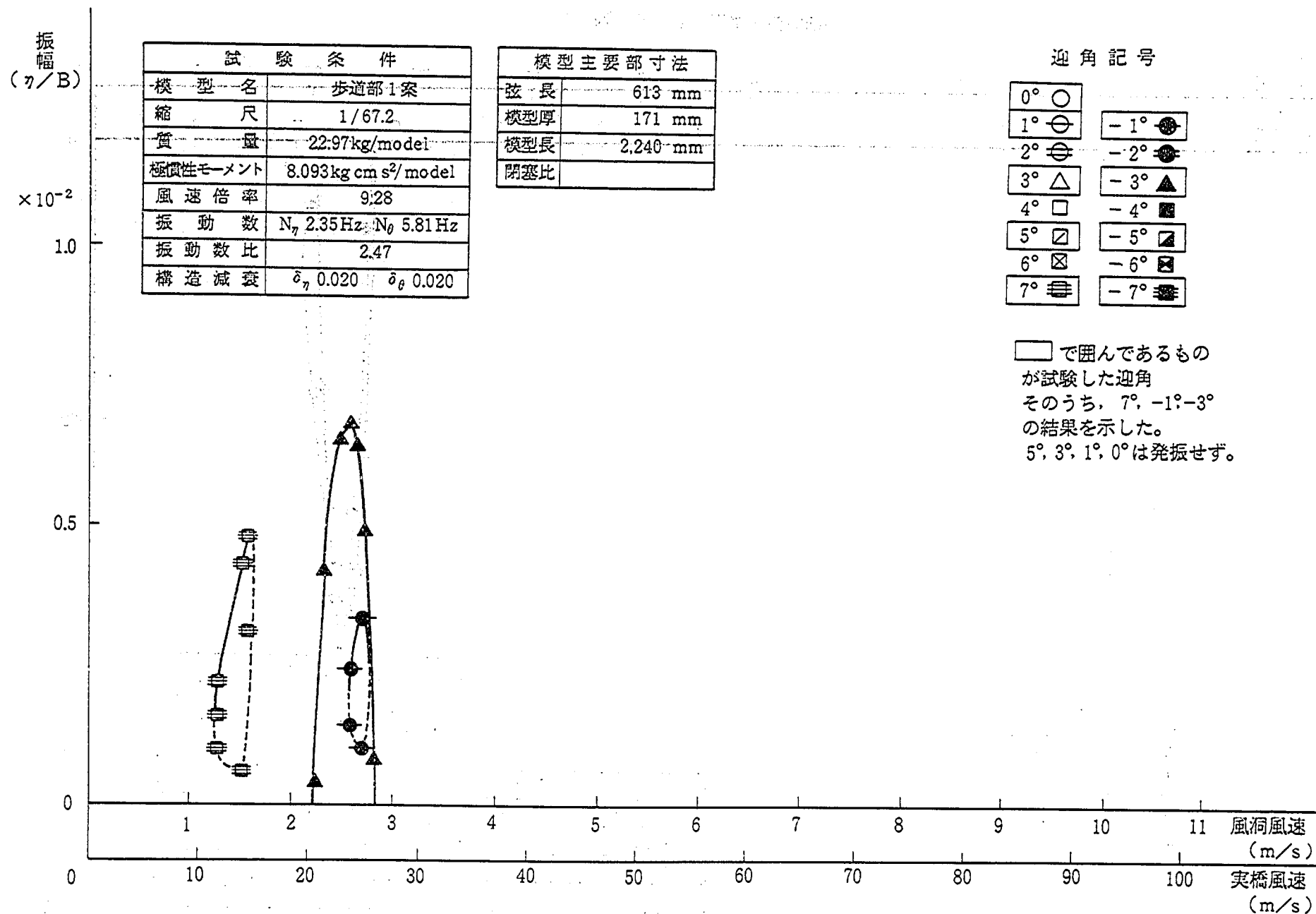


図-5-1 振幅-風速曲線

振幅
(η/B)

$\times 10^{-2}$

1.0

0.5

0

試験条件	
模 型 名	歩道部1案
縮 尺	1/67.2
質 量	22.97kg/model
極慣性モーメント	8.093kg cm s ² /model
風 速 倍 率	9.28
振 動 数	N _η 2.35Hz N _θ 5.81Hz
振 動 数 比	2.47
構 造 減 衰	δ_η 0.020 δ_θ 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2,240 mm
閉塞比	

迎角記号

0° ○	-1° ●
1° ⊖	-2° ●
2° ⊗	-3° ▲
3° △	-4° ■
4° □	-5° ▣
5° ⊠	-6° ▤
6° ⊡	-7° ▥

□ で囲んであるものが試験した迎角
そのうち、-5°、-7°の結果を示す。
5°、3°、1°、0°は発振せず。

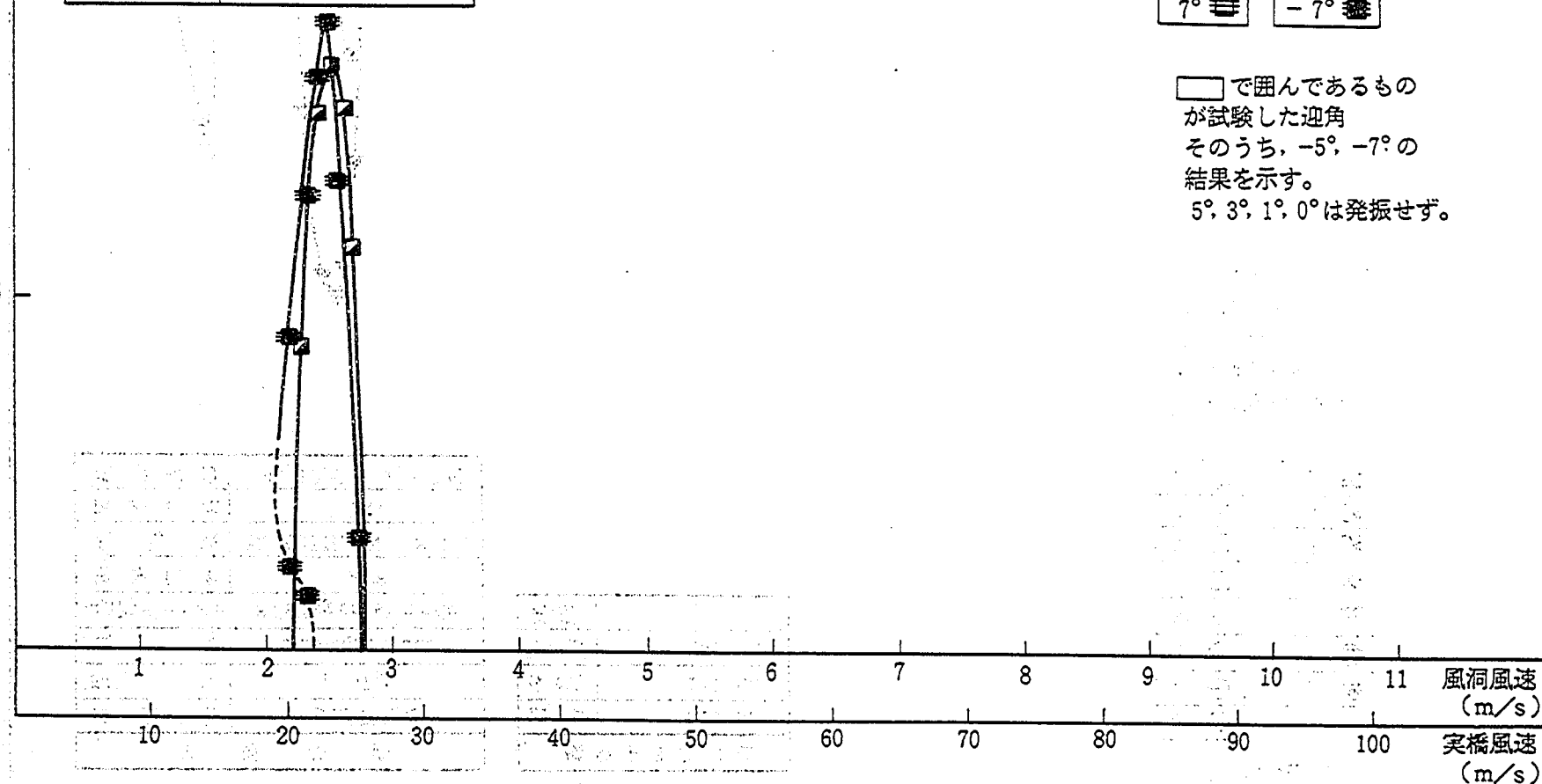


図-5-2 振幅-風速曲線

振幅
(deg)

1.0

0.5

0

試験条件	
模型名	歩道部1案
縮尺	1/67.2
質量	22.97kg/model
極慣性モーメント	8.093kg cm s ² /model
風速倍率	9.25
振動数	N _γ 2.35Hz, N _θ 5.81Hz
振動数比	2.47
構造減衰	δ _γ 0.020, δ _θ 0.020

模型主要部寸法	
弦長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2,240 mm
閉塞比	

迎角記号

0° ○	-1° ●
1° ⊖	-2° ⊗
2° ⊕	-3° ▲
3° △	-4° ■
4° □	-5° ▤
5° ▨	-6° ▩
6° ⊠	-7° ⊞

□ で囲んであるものが試験した迎角
7°は設定枠外で発生
5°, 3°, 1°, 0°, -1°, -7°では発振せず。

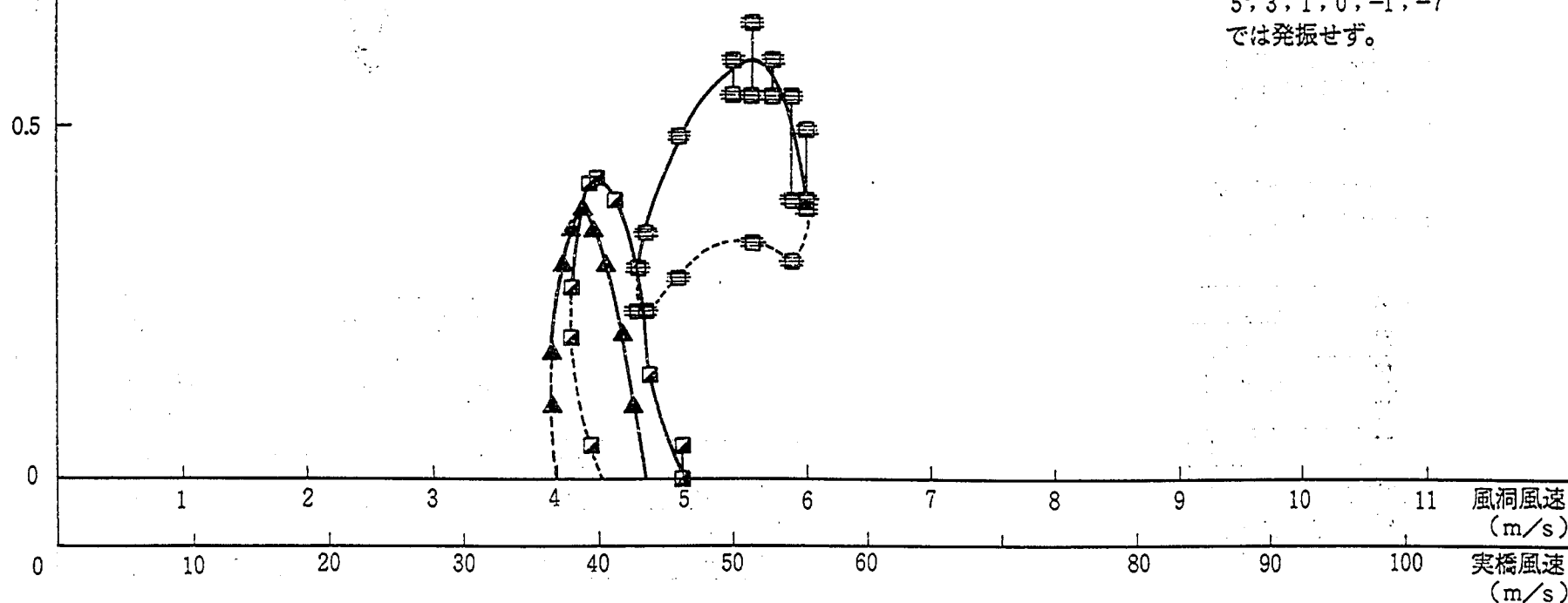


図-5-3 振幅-風速曲線

振幅
(η/B)

$\times 10^{-2}$

1.0

0.5

0

試 験 条 件	
模 型 名	歩道部 2 案
縮 尺	1/67.2
質 量	23.17 kg/model
極慣性モーメント	8.136 kg cms ² /model
風 速 倍 率	9.30
振 動 数	N ₇ 2.35Hz N ₀ 5.80Hz
振 動 数 比	2.47
構 造 減 衰	δ_7 0.020 δ_0 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2240 mm
閉塞比	

迎 角 記 号

0° ○	-1° ⊖
1° ⊙	-2° ⊗
2° ⊕	-3° ▲
3° △	-4° ▣
4° □	-5° ▤
5° ▥	-6° ▦
6° ▧	-7° ▨

□ で囲んであるものが試験した迎角

そのうち, 7°, 0°, -1°, -3°の結果を示す。
5°, 3°, 1°は発振せず。

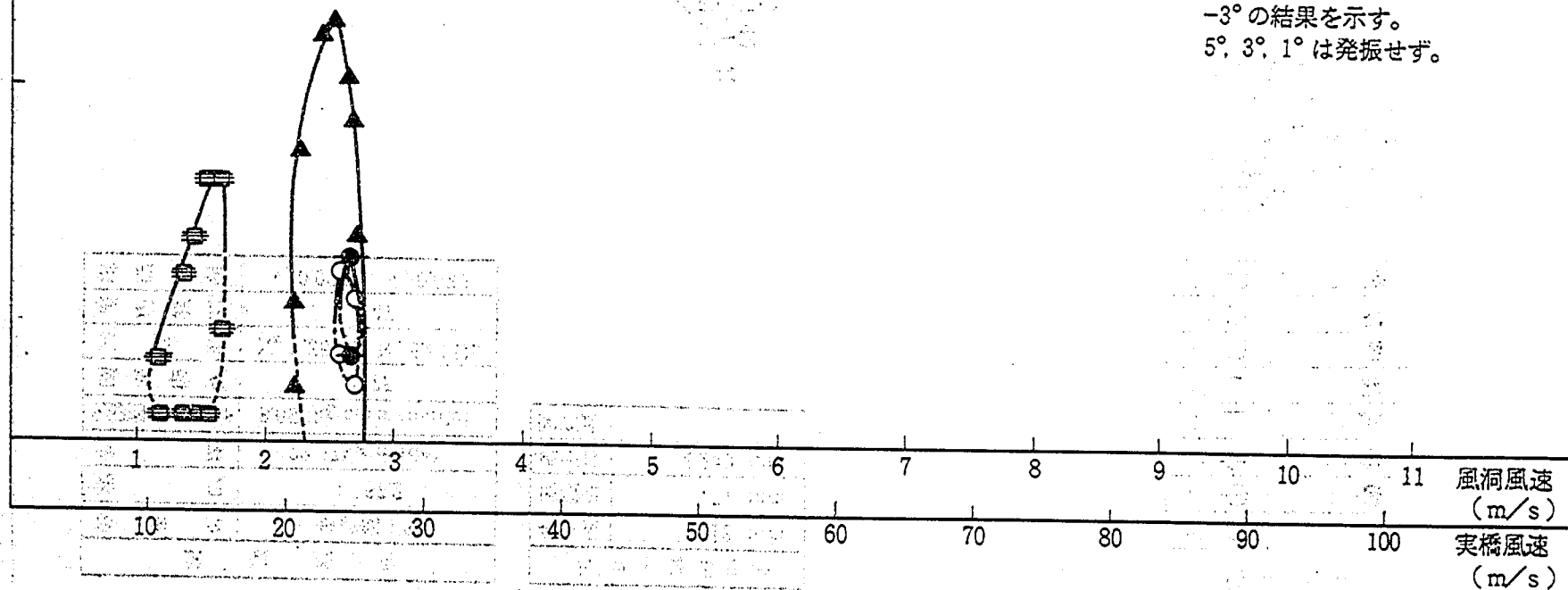


図-5-4 振幅-風速曲線

振幅
(η/B)

$\times 10^{-2}$

1.0

0.5

0

試験条件	
模 型 名	歩道部2案
縮 尺	1/67.2
質 量	23.17 kg/model
極慣性モーメント	8.136 kg cms ² /model
風 速 倍 率	9.30
振 動 数	N ₇ 2.35Hz N ₀ 5.80Hz
振 動 数 比	2.47
構 造 減 衰	δ_7 0.020 δ_0 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2240 mm
閉塞比	

迎 角 記 号

0° ○	-1° ●
1° ⊖	-2° ⊗
2° ⊕	-3° ▲
3° △	-4° ■
4° □	-5° ▤
5° ▨	-6° ▩
6° ⊠	-7° ⊞

□ で囲んであるものが試験した迎角

そのうち, -5°, -7°の結果を示す。
5°, 3°, 1°は発振せず。

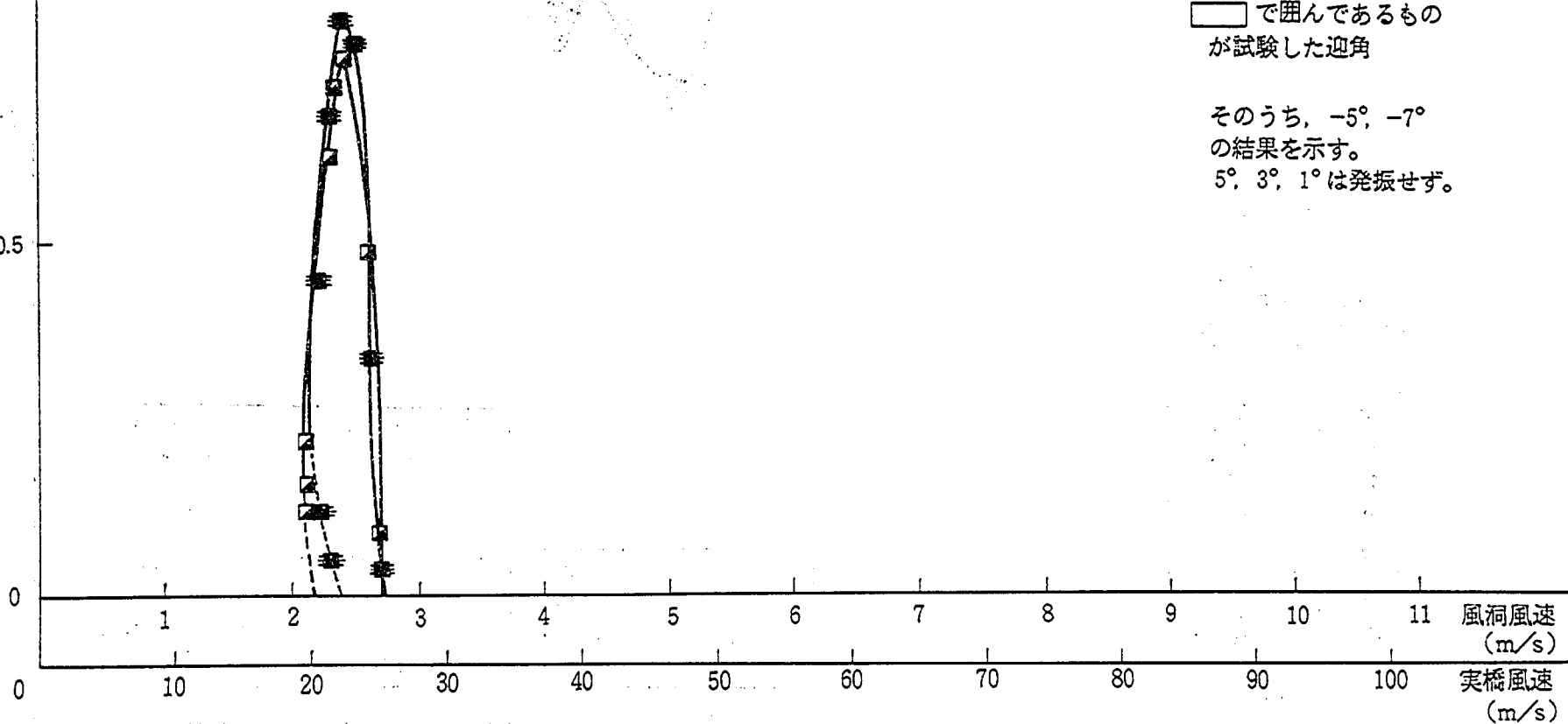


図-5-5 振幅-風速曲線

振幅
(deg)

試 験 条 件	
模 型 名	歩道部2案
縮 尺	1/67.2
質 量	23.17 kgf/model
極慣性モーメント	8.136 kgf cm ² /model
風 速 倍 率	9.27
振 動 数	N ₇ 2.35Hz N ₀ 5.80Hz
振 動 数 比	2.47
構 造 減 衰	δ_7 0.020 δ_0 0.020

模 型 主 要 部 寸 法	
弦 長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2240 mm
閉塞比	

迎 角 記 号

0° ○	-1° ●
1° ⊖	-2° ⊖
2° ⊕	-3° ▲
3° △	-4° ■
4° □	-5° ▣
5° ⊠	-6° ⊠
6° ⊡	-7° ⊡

□ で囲んであるものが試験した迎角
7°は設定枠外で発振
5°, 3°, 1°, 0°, -1°, -7°で発振せず。

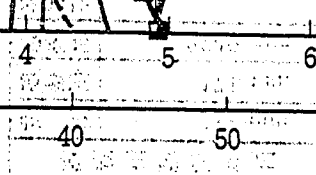
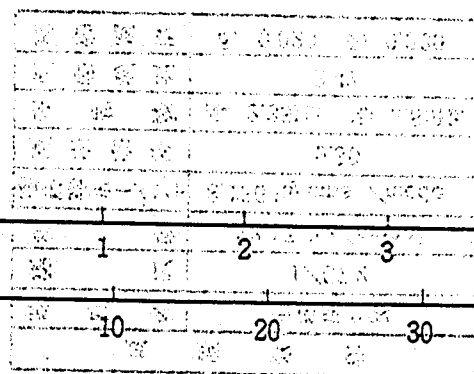
1.0

0.5

0

0

0



6

7

8

9

10

11

風洞風速
(m/s)

実橋風速
(m/s)

図-5-6 振幅-風速曲線

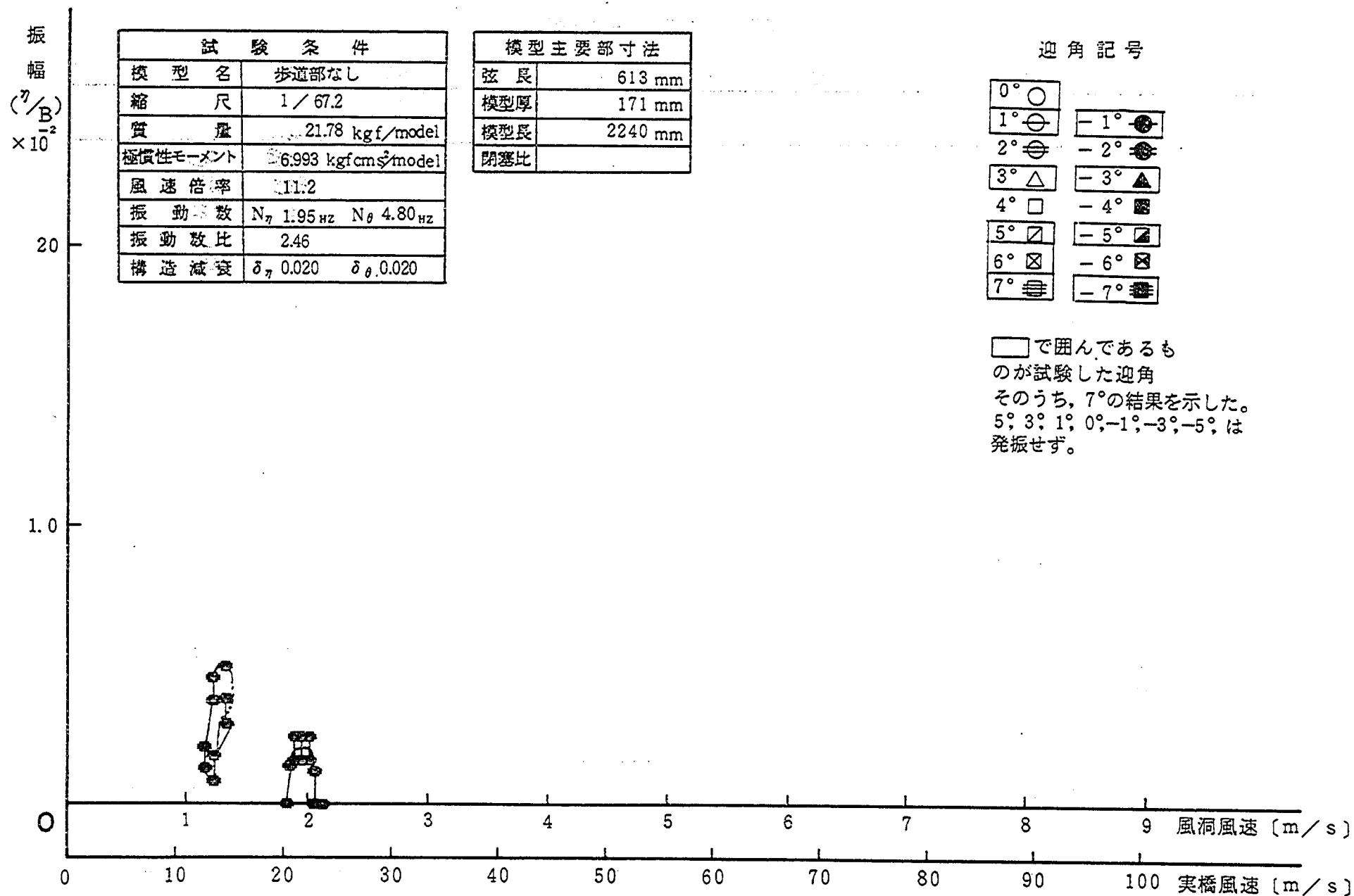


図-5-7 振幅-風速曲線

振
幅
(η/B)
 $\times 10^{-2}$

試 験 条 件	
模 型 名	歩道部なし
縮 尺	1/67.2
質 量	21.78kgf/model
極慣性モーメント	6992kgfcm ² /model
風 速 倍 率	11.2
振 動 数	N _γ 1.95Hz N _θ 4.80Hz
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ_γ 0.020 δ_θ 0.020

模 型 主 要 部 寸 法	
弦 長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2240 mm
閉塞比	

迎角記号

0° ○	-1° ⊖
1° ⊖	-2° ⊖
2° ⊖	-3° ▲
3° △	-4° ⊖
4° □	-5° ⊖
5° ⊖	-6° ⊖
6° ⊖	-7° ⊖

□で囲んであるものが試験した迎角
そのうち6°, -7°の結果を示した。
5°, 3°, 1°, -1°, -3°, -5°は
発振せず

1.0

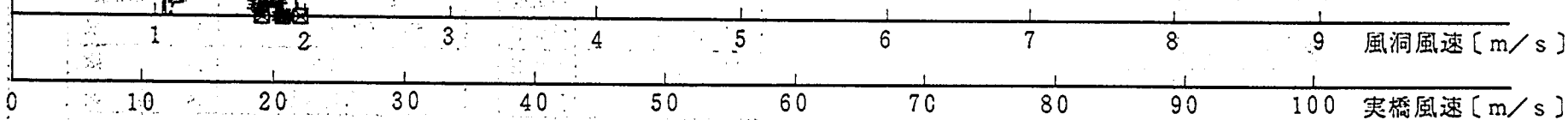


図-5-8 振幅-風速曲線

振
幅
(deg)

1.0

0.5

0

試 験 条 件	
模 型 名	歩道部なし
縮 尺	1/67.2
質 量	21.78 kgf/model
極慣性モーメント	6.992 kgfcm ² /model
風 速 倍 率	11.2
振 動 数	N _γ 1.95Hz N _θ 4.80Hz
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ _γ 0.020 δ _θ 0.020

模 型 主 要 部 寸 法	
弦 長	613 mm
模型厚	171 mm
模型長	2240 mm
閉塞比	

迎 角 記 号

0° ○	-1° ●
1° ⊖	-2° ⊖
2° ⊗	-3° ▲
3° △	-4° ■
4° □	-5° ▣
5° ▤	-6° ▥
6° ▦	-7° ▧

□ で囲んであるものが試験した迎角
そのうち、6°, 7°の結果を示した。
5°, 3°, 1°, 0°, -1°, -3°, -5°, -7°は
発振せず

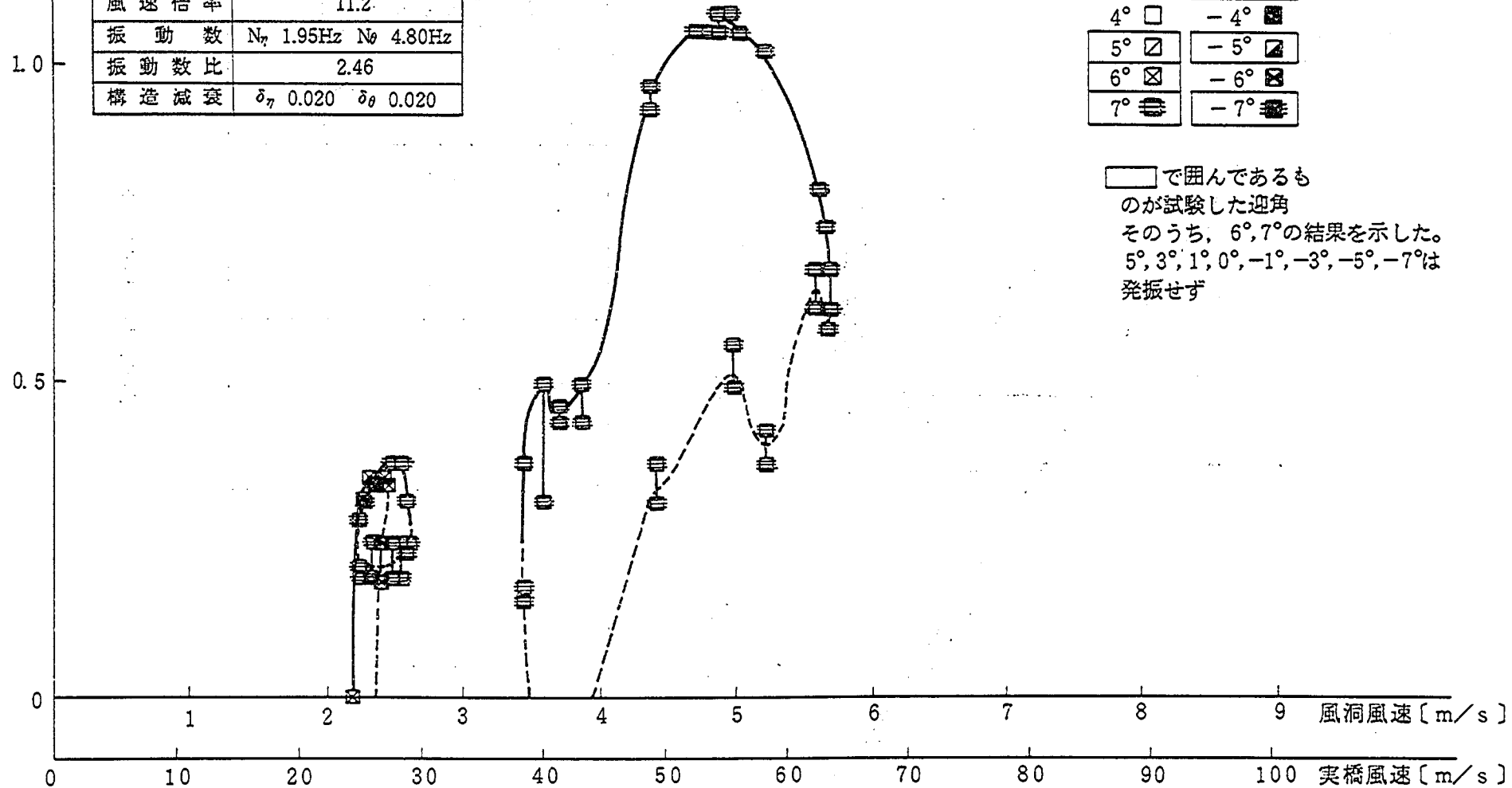
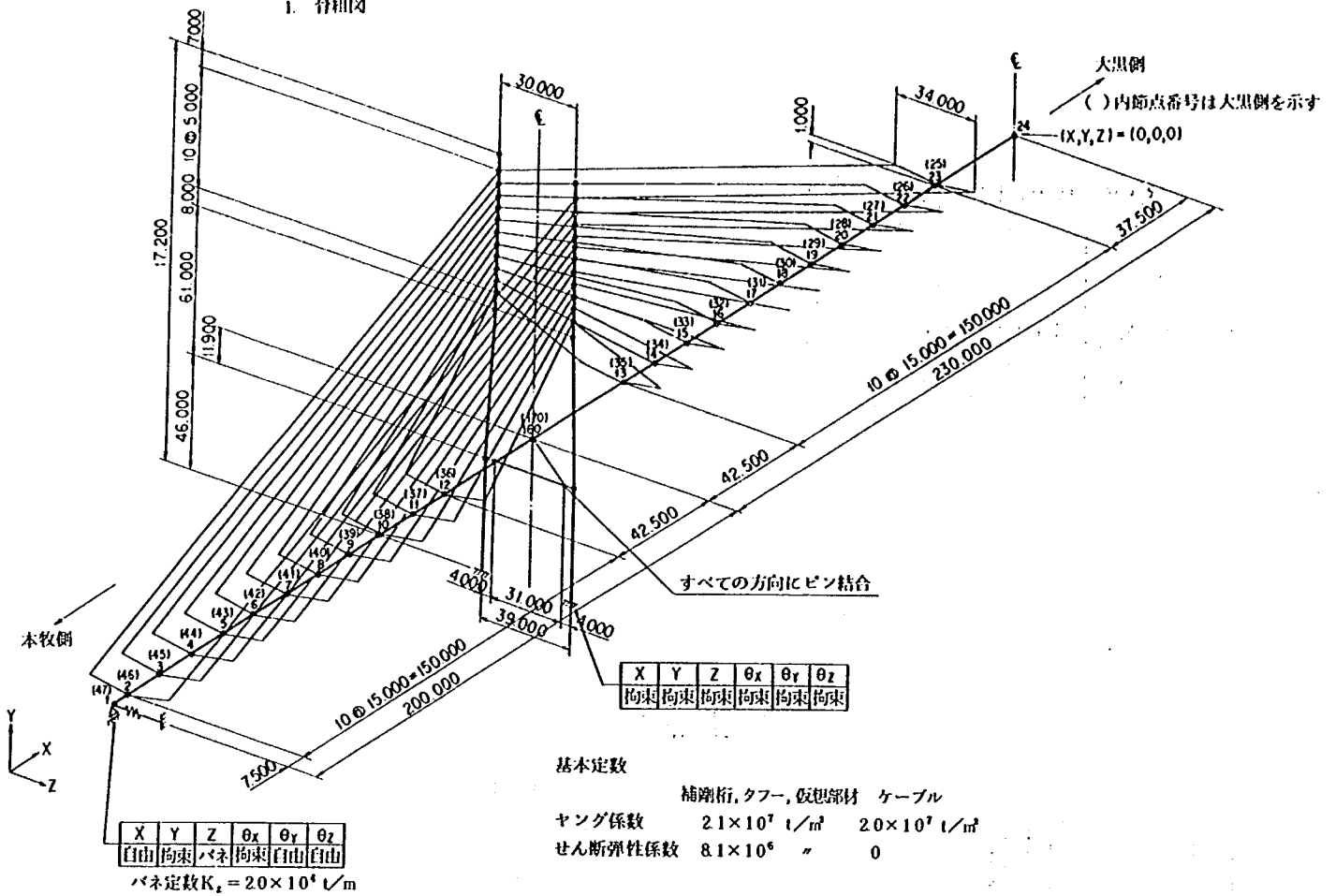


図-5-9 振幅-風速曲線

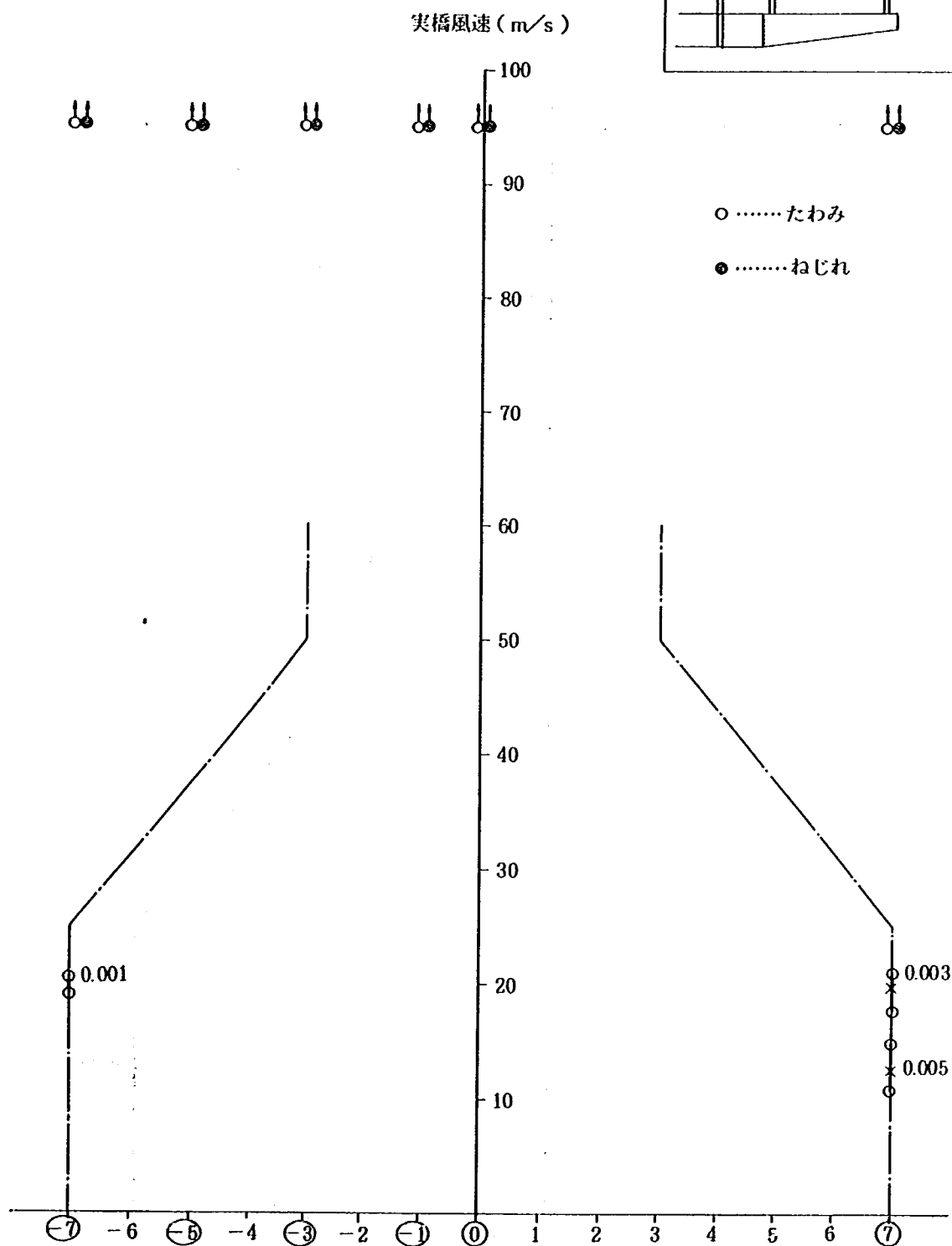
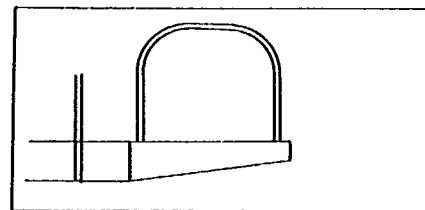
1. 骨組図



POINT No	Y	POINT No	Y	POINT No	Y	POINT No	Y
1	0.000000	14	0.008895	27	0.025909	40	-0.09592
2	-0.001667	15	0.011451	28	0.023859	41	-0.011521
3	-0.004818	16	0.014036	29	0.021608	42	-0.010924
4	-0.007502	17	0.016607	30	0.019204	43	-0.009592
5	-0.009542	18	0.019121	31	0.016692	44	-0.007534
6	-0.010855	19	0.021530	32	0.014120	45	-0.004835
7	-0.011436	20	0.023788	33	0.011532	46	-0.001672
8	-0.011323	21	0.025848	34	0.008968	47	0.000000
9	-0.010595	22	0.027649	35	0.006469	160	0.000071
10	-0.009352	23	0.029115	36	-0.005878	170	0.000070
11	-0.007712	24	0.030796	37	-0.007809		
12	-0.005797	25	0.029151	38	-0.009457		
13	0.006406	26	0.027699	39	-0.010700		

図-6 鉛直たわみ1次モード形

横浜港横断橋（＊歩道第1案）



○印は解析を行った迎角を示す

図-7-1 風速-迎角曲線

横浜港横断橋（歩道第2案）

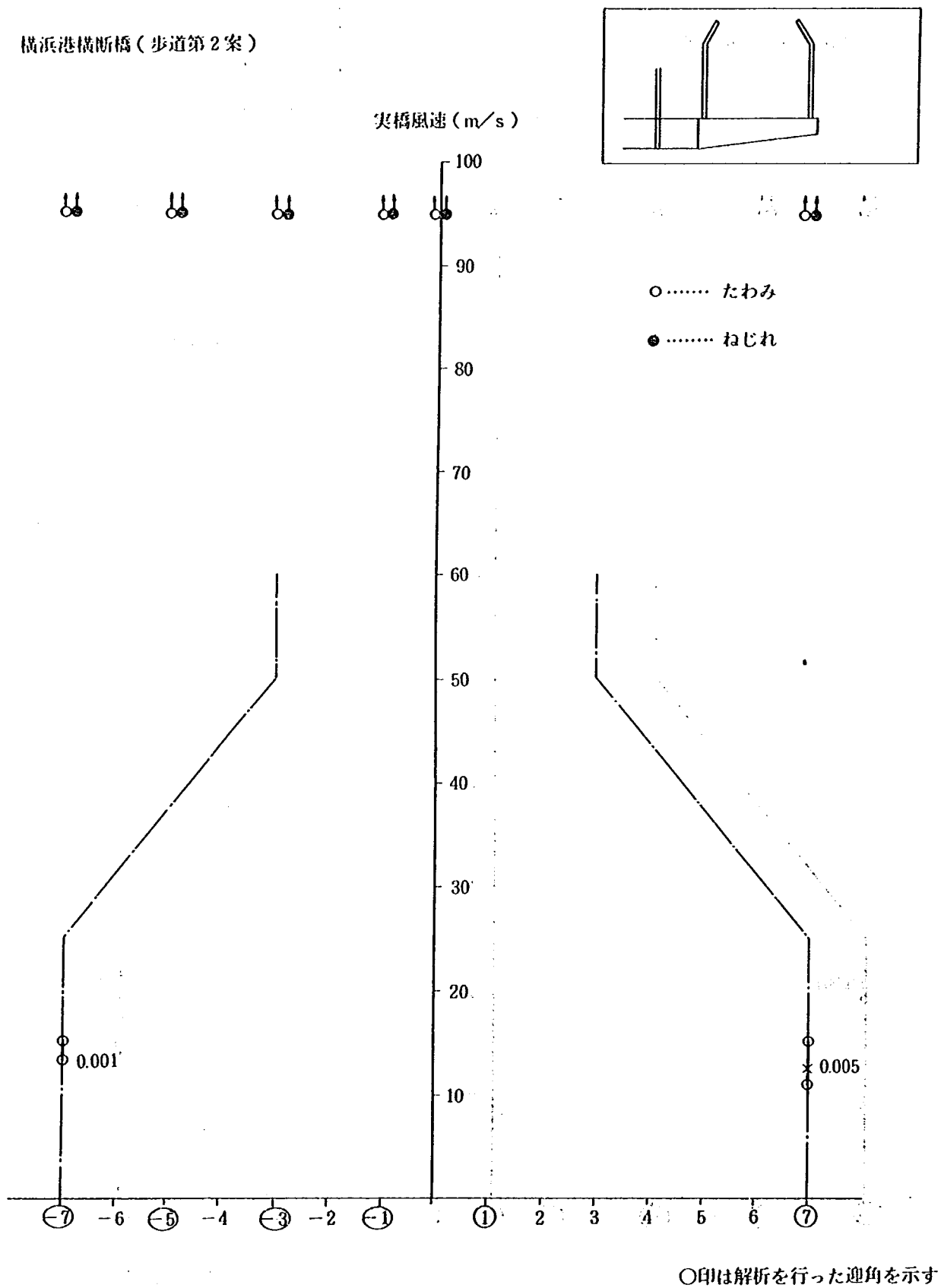


図 7-2 風速+迎角曲線

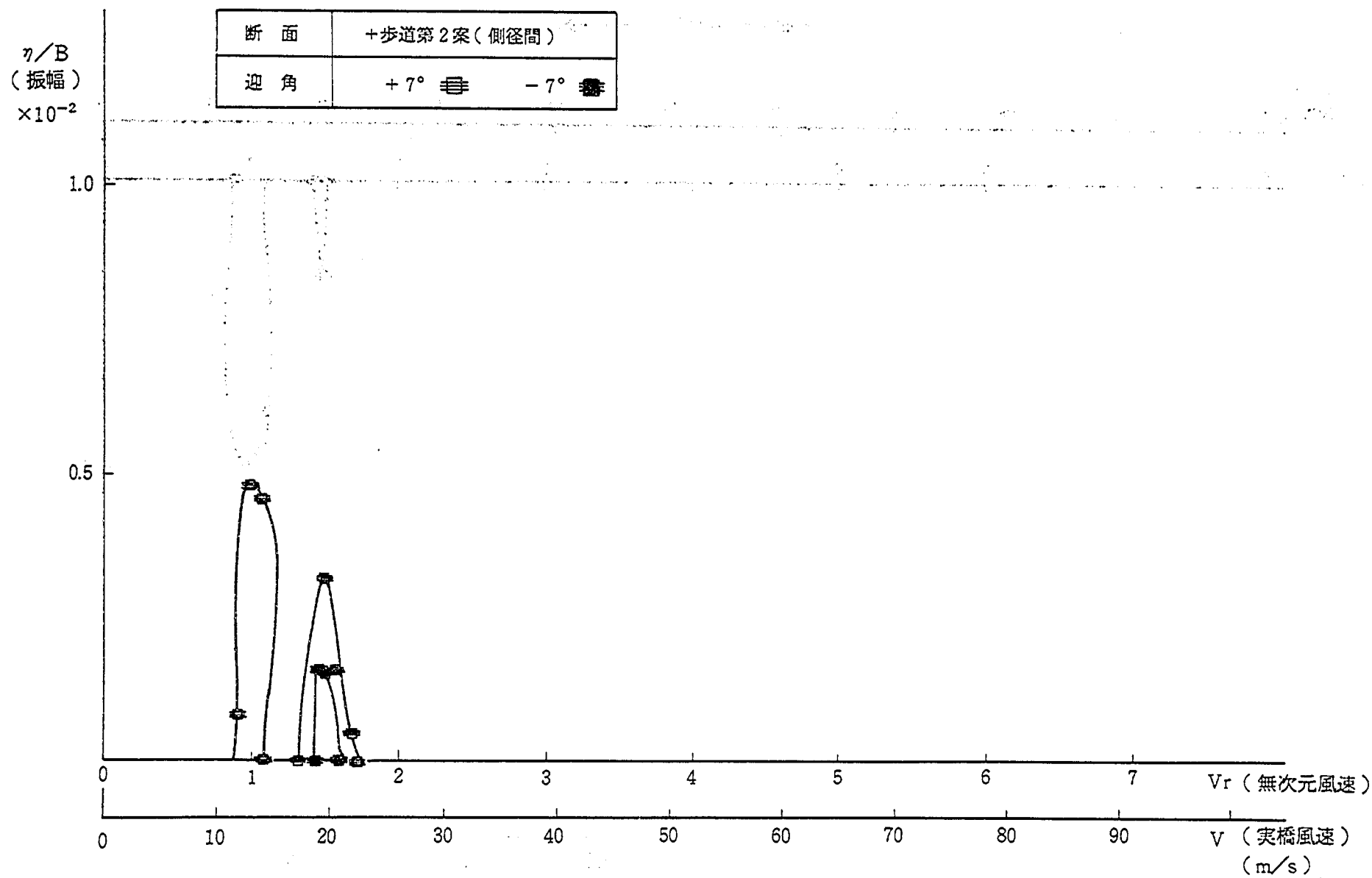


図-8-1 振幅-風速曲線

η/B
(振幅)
 $\times 10^{-2}$

断面	+步道第3案	
迎角	+7° 	-7° 

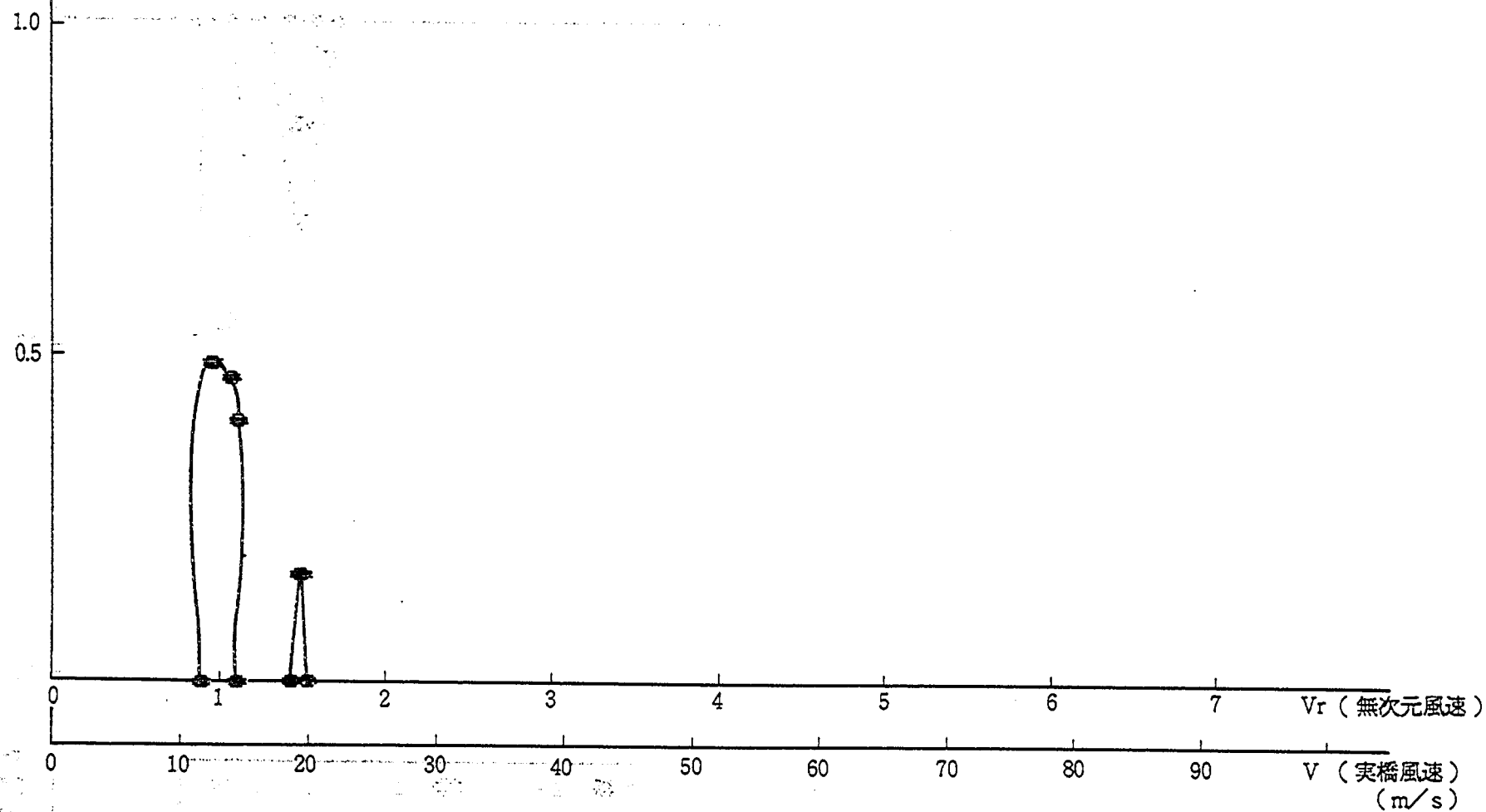


图-8-2 振幅-风速曲线

横浜港横断橋の耐風性調査
報告書(1982)

ISSN 0386-5878
土研資料第1892号
昭和58年1月
山本邦夫, 佐藤弘史
中神陽一, 神崎一夫

キーワード 耐風設計, 自動振動, 渦励振, 斜張橋, 風洞実験

要 旨

横浜港横断橋の完成断面に歩道部を設置した場合の耐風
安定性の検討を行い, 耐風性の良好なことを確認した。



郵便はがき

40円切手
をはって
下さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

構造研究室
御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 2

No. 2

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 1892 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

