

土木研究所資料

横浜港横断橋の耐風性調査報告書（1981）

昭和57年 2 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港岸道路の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、中央径間長が460m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り、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計画した設計案について耐風性調査を実施した。その後事業主体が首都高速道路公団に決定し、同公団からの依頼により、55年度および本年度に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てきた。

本年度は、完成断面および暫定完成断面について、バネ支持模型実験を実施し、自励振動および渦励振に関して耐風安定性の良好な断面を見出した。本年度の成果をとりまとめて、報告する。

昭和57月2月

構造研究室	室長	山本邦夫
	研究員	佐藤弘史
		神崎一夫

目

次

1. まえがき	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	2
2. バネ支持模型実験	3
2.1 実験方法および実験条件	3
2.2 実験結果	3
2.3 完成断面の耐風安定性	3
2.4 暫定完成断面の耐風安定性	4
3. ま と め	5
4. あとがき	5
参考文献	5
表	6
図	10

1. ま え が き

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梁であり、一般部6車線、自動車専用部6車線の二層構造を有している。東京湾岸道路は、その名が示すとおり東京湾沿いに横須賀市から富津市に至る延長約160kmの道路であり、浦賀水道を横断して横須賀市と富津市を連絡する延長約10kmの湾口部横断道路、および東京湾の中央部で川崎市と木更津市を結ぶ延長約15kmの湾中央横断道路とともに、東京湾環状道路を構成している。これら各道路の計画位置と、横浜港横断橋の位置を図-1に示す。

本橋は、3径間連続斜張橋(200m+460m+200m)として計画されているが、その一般図を図-2に、構造規格および設計諸元を表-1にそれぞれ示す。

1.2 過去の調査結果の概要^{1), 2), 3)}

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も長いので、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年度および事業主体が首都高速道路公団に決定した昭和55年度に当研究室で実施した。

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. 自動振動(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とも限界風速は所要の値よりも高いが、ねじれモードの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 $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$ 、実橋風速15~25m/sにおい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 $-3^{\circ} \sim +5^{\circ}$ 、実橋風速20~30m/sにおいて振幅0.5°程度で発現すると予想される。

以上の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た。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が迎角 0° の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するとねじれモードの自動振動の限界風速が低下し、橋

床面を上弦材上面より低くすると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、などの改良が加えられている。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とも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充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° 、実橋風速21~27m/sにおいて最大振幅15cm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調べ比較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. 渦励振については両案とも発現のおそれがあるが、第2案で発現のおそれのある迎角の一部、とくに 0° 付近では第1案は渦励振が発現せず、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開閉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といえる。

1.3 今年度の調査概要

昭和55年度の耐風性調査の成果等により、横浜港横断橋の設計案として、偏平六角の箱型断面とトラスの合成構造である第1案が選定された。今年度は、完成断面および上路のみ供用する暫定完成断面について、とくに渦励振の抑制に重点をおいて調査した。実施した実験は2次元剛体模型にするバネ支持模型実験であり、使用した模型を図-3に、実験ケースを表-2にそれぞれ示す。

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-3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、データレコードおよびペンレコードに記録した。

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。

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

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 ；ねじれ振動

なお、暫定完成断面のように、模型における極慣性モーメントの所要値が小さく模型支持具等の都合によりこれを満足できない場合には、次の緩和された相似条件⁴⁾を用いた。

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

これらの相似条件より導かれた実験条件を表-4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-4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、渦励振特性を表-5、表-6および図-5、図-6に示す。図-5は迎角と発振風速の関係を示したものであり（以下以下 $V_{cr}-\alpha$ とよぶ）、図-6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。

2.3 完成断面の耐風安定性

昨年度風洞実験を実施した第1案（以下原案とよぶ）の自励振動特性および渦励振特性を表-7および図-7に示す。表、図より明らかなように、原案は迎角 -7° 、 3° 、 5° 、 7° で鉛直たわみモードの渦励振および迎角 5° でねじれモードの渦励振がそれぞれ発現するおそれがある³⁾。箱桁断面形状の変更あるいはフラップ取付け等の耐風安定化対策を原案に施して実施した実験結果より、対策の効果を評価すると、以下のとおりである。

a. フラップの効果

原案と模型番号 2 (以下 No 2 と略す。他の模型番号も同様。) の結果, No 4 と No 5 の結果, あるいは No 9 と No 8 の結果を比較して明らかなように, フラップを取付けると渦励振に対する耐風安定性が向上する。原案に実橋寸法 1.0m のフラップを取付けた No 2, およびフェアリング先端角度を 60° にし実橋寸法 0.5m のフラップを取付けた No 8 は, 迎角 5° および迎角 7° で渦励振は発生しない。

b. 箱桁断面形状の変更の効果

箱桁断面の先端角度を, 原案の 74° から 60° (No 9), 50° (No 4), 34° (No 6, No 7) に変化させ, それらの影響を調べた。表-5 に見られるように, 箱桁の先端形状が渦励振におよぼす効果は単純に言い表わせるものではないが, 注目すべき特徴として, 先端角度が 60° のとき迎角 5° における渦励振が完全に抑制されること, また先端角度が 34° 下向きするとき迎角 5° および 7° における渦励振が完全に抑制されることなどが挙げられる。

c. 端部高欄の影響

原案と No 1 の結果より, 端部高欄を除去すると迎角 5° の鉛直たわみモードの渦励振は完全に抑制され, ねじれモードの渦励振の振幅も小さくなることがわかる。

d. 構造減衰の影響

今回は, 実橋の構造減衰率を 0.02 と考え安全側の実験を実施したが, No 9 については無風時の対数減衰率を変化させてその影響を調べた。表-5 に示されているように, 減衰率の増加に従い渦励振振幅は小さくなり, 減衰率が 0.03 の場合は迎角 6° , 7° において微小な振動が残るだけとなり, さらに橋桁として用いたトラスおよびマルチケーブルの影響により減衰率が 0.04 以上になるとすれば, 渦励振は完全に抑制される。

以上の結果より, フラップを取付けた No 2, No 5, No 8, あるいはフェアリングの先端角度を 34° 下向きとした No 6 を採用すれば, 実橋の構造減衰率 0.02 の場合でも, 迎角 $-7^\circ \sim 7^\circ$ の範囲で自励振動および渦励振に対して耐風性のきわめて良好な断面が得られる。

しかしながら, これらの対策はかなりの工費増が予想されること, 箱桁先端角度を 60° にすれば, 迎角の小さな領域では渦励振が発生せず, 発生する渦励振も構造減衰率が 0.03 であればその振幅はかなり抑制され, 0.04 であれば完全に抑制されること, さらに構造減衰率が小さく渦励振が問題となる場合でも実橋寸法 0.5 m のフラップを取付けるなどの対応がとれること, などの理由により, 完成断面としては No 9 の断面とし, もし完成後, 渦励振が問題となった場合にはフラップを取付けるという方策が最良案と考えられる。

2.4 暫定完成断面の耐風性

2.3 で選定した完成断面 No 9 をもとに, これより下路橋床を除いた断面 (No 11) および No 11 に実橋寸法 0.5 m のフラップを取付けた断面 (No 10) について耐風性を検討した。表-6 あるいは図-6 より明らかなように, No 11 は減衰率が 0.02 の場合は迎角 5° , 7° で渦励振の発生のおそれがあるが, 減衰率の増加に従いその振幅は減少し, また, 減衰率 0.02 で発現する渦励振も実橋寸法

0.5 mのフラップを取付ければ完全に抑制されるため、完成断面の選定方法と同様な考えに基づき、No11を暫定完成断面とするのが最良と思われる。

3. ま と め

本年度実施した横浜港横断橋の耐風性調査より得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- a. 公団より提示された本橋橋桁完成断面案に対して、渦励振を抑制するため種々の対策を施し、実験的にそれらの効果を評価した。その結果、フラップおよび箱桁の先端角度を下向き 34° にする方法がきわめて有効であること、箱桁の先端角度を 60° にした場合には迎角 5° の渦励振が抑制されること、などが明らかとなった。
- b. 公団より提示された設計案に対して箱桁の先端角度を 60° にした断面は、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、暫定完成断面で 5° 以上）場合には渦励振が発現するおそれがあるが、本橋の構造特性および架設地点の自然風特性等を勘案すると渦励振が発現する可能性はかなり低いと予想され、また仮に渦励振が問題となった場合でもフラップ等により対処が可能であるため、この断面（完成断面としては模型番号9、暫定完成断面としては模型番号11）が十分に良好な耐風性を有すると考えられる。

4. あ と が き

本年度の調査により、完成時および暫定完成時とも自励振動および渦励振に対し良好な耐風性を有する断面を見出すことができた。しかしながら、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のため、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関係各位、とくに神奈川建設局の方々に心からお礼を申し上げる次第である。

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

表-1 横浜港横断橋の構造規格および設計諸元

橋 種	3 径間連続トラス斜張橋 (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	860m
支 間 割	200m + 460m + 200m
縦 断 勾 配	中央径間中央を中心に600m区間4%放物線勾配
最急縦断勾配	4%

表-2 横浜港横断橋実験ケース

	模型番号	特 徴	迎 角
完成断面	1	フェアリング 74°, 高欄なし	5°
	2	フェアリング 74°+高欄+フラップ (実橋寸法 1.0m)	5°, 7°
	3	2 より フェアリングを除く	7°
	4	フェアリング 50°+高欄	0°, 5°, 7°, -1°
	5	フェアリング 50°+高欄+フラップ (実橋寸法 1.0m)	5°, 7°
	6	フェアリング 34°(下向き) + 高欄	5°, 7°
	7	フェアリング 34°(上向き) + 高欄	5°
	8	フェアリング 60°+高欄+フラップ (実橋寸法 0.5m)	6°, 7°
	9	フェアリング 60°+高欄	0°, ±1°, ±3°, ±5°, +6°, ±7°
暫定完成断面	10	フェアリング 60°+高欄+フラップ (実橋寸法 0.5m)	5, 7
	11	フェアリング 60°+高欄	0°, ±1°, ±3°, ±5°, ±7°

表-3 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	
	測定胴	幅 (mm)	2,500	
		高 (mm)	4,000	
		長 (mm)	10,000	
	縮流胴	入 口 (mm × mm)	7,000	×
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 (mmAg)		40.0	
	風 量 (m ³ /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. フラッタ模型支持装置 乱流発生装置 データ処置装置	

表-4 実 験 条 件

		完 成 断 面			暫 定 完 成 断 面		
		実 機	所 要 値	実 験 値	実 機	所 要 値	実 験 値
縮 尺		-	1/67.2	1/67.2	-	1/67.2	1/67.2
重 量		4395t/m/br.	2180kgf/model	2178kgf/model 2242kgf/model*	3335t/m/br.	1654kgf/model	1647kgf/model
極慣性モーメント		6366tm ² /m/br.	6993kgf cm ² /model	6982kgf cm ² /model 7240kgf cm ² /model	4965tm ² /m/br.	5454kgf cm ² /model	6062kgf cm 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	
振 動 数	鉛直たわみ	0.325Hz	-	1.95 Hz	0.368Hz	-	2.30 Hz
	ね じ れ	0.800Hz	-	4.80 Hz	0.899Hz	-	5.61 Hz
振 動 数 比		2.46	2.46	2.46	2.44	2.44	2.44
無減風速時率	鉛直たわみ	-	0.02 (振幅H/200)	0.020 0.019*	-	0.02 (振幅H/200)	0.020
	ね じ れ	-	0.02 (振幅H/200)	0.020 0.019*	-	0.02 (振幅H/200)	0.018
風倍速率	鉛直たわみ	-	-	11.2	-	-	10.8
	ね じ れ	-	-	11.2	-	-	10.8

* 実験番号29, 30の実機風速50m/s以上の実験値

** 減衰率の影響を調べる場合には、適宜変更した。(表-5, 表-6参照のこと)

表-5 横浜港横断橋の自励振動特性および渦励振特性（完成断面）

実験 番号	模型 番号	迎角 (度)	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
1	1	5	0.020	0.020	**	**	-	30.4~36.2(m/s), (0.44)
2	2	7					-	-
3		5					-	-
4	3	7					21.1~25.7(m/s), (0.013)	-
5	4	7			100m/s以上	100m/s以上	14.6~17.0, (0.006) 27.8~37.0, (0.011)	24.5~27.8, (0.19) 38.9~50.7, (0.69)
6		5					13.9~14.5, (0.004)	24.8~29.1, (0.44) 41.6~62.5, (1.06)
7		0					-	-
8		-1					-	-
9	5	7			**	**	-	43.2~47.0, (0.56)
10		5			100m/s以上	100m/s以上	-	-
11	6	7			**	**	-	-
12		5					-	-
13	7	5					13.2~15.3, (0.001) 21.2~35.3, (0.013)	37.0~60.6, (0.56)
14	8	7					-	-
15		6					-	-
16	9	7			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)
17			0.030	0.030	**	**	14.4~15.1, (0.004)	-
18			0.040	0.040			-	-
19	6		0.020	0.020			12.3~14.5, (0.005) 20.9~22.2, (0.003)	25.4~27.2, (0.34)
20			0.030	0.030			13.8, (0.003)	-
21			0.035	0.035			13.8, (0.003)	-
22			0.040	0.040			-	-
23	5		0.020	0.020	100m/s以上	100m/s以上	-	-
24	3						-	-
25	1						-	-
26	0						-	-
27	-1						-	-
28	-3						-	-
29	-5						-	-
30	-7		0.020 (0.019***)	0.020 (0.019***)	60m/s以上	60m/s以上	19.5~20.4, (0.001)	-
31			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-6 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）

実験 番号	模型 番号	迎角 (度)	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
1	10	7	0.020	0.018	**	**	-	-
2		5					-	-
3	11	7			90m/s 以上	40m/s 以上	13.3~15.7(m/s), (0.006)	44.6~66.2(m/s), (1.59)
4			0.030	0.030	**	**	14.6, (0.004)	**
5			0.040	0.040			-	-
6		5	0.020	0.018	90m/s 以上	50m/s 以上	12.7~14.7, (0.004)	-
7			0.030	0.030	**	**	-	-
8		3	0.020	0.018	90m/s 以上	90m/s 以上	-	-
9		1					-	-
10		0					-	-
11		-1					-	-
12		-3					-	-
13		-5					-	-
14		-7				40m/s 以上	-	-

* 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。

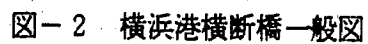
- 印は発振しなかったことを意味する。

表-7 横浜港横断橋の自励振動特性および渦励振特性
（完成断面，公団原案，昭和55年に実験）

迎角 (度)	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*））	
		鉛直たわみモード	ねじれモード	鉛直たわみモード	ねじれモード
7	鉛直たわみ			(m/s) (m/s) 10.0, (0.000), 17.8~23.6, (0.010)	-
5	ねじれとも			16.5~29.3 (m/s), (0.011)	30.8~37.1 (m/s), (0.64)
3				19.8~26.5, (0.009)	-
1	0.020	100m/s	100m/s	-	-
0		以上	以上	-	-
-3				-	-
-5				-	-
-7				18.7, (0.000)	-

* 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。

- 印は発振しなかったことを意味する。



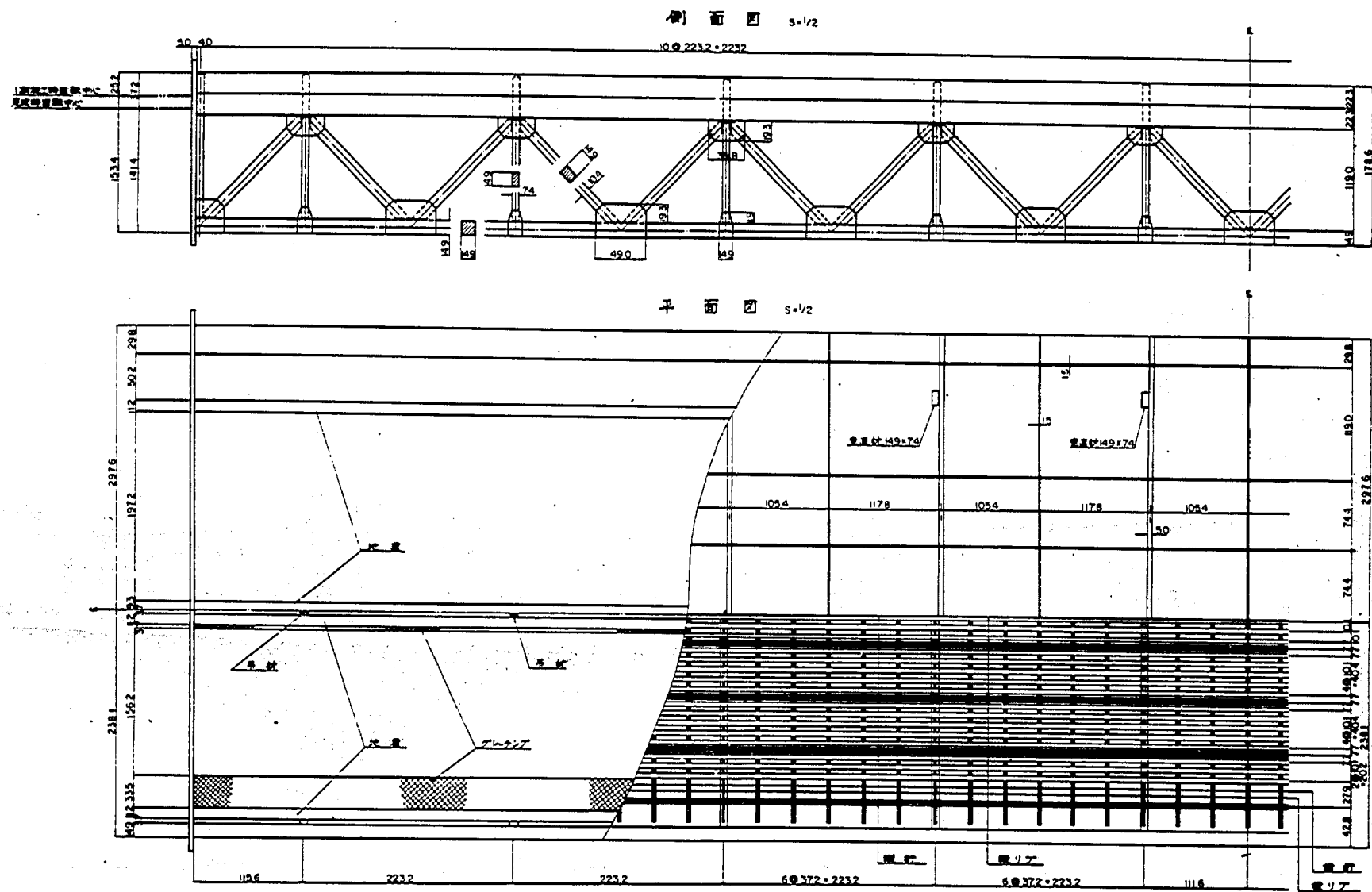


図3-1 模型図(第1案 その1)

横濱港橋脚場風洞実験(その1)			
番号	第1案(その1)		
断面	1/2	割合	1/10

図3-2 模型図(第1案 その2)

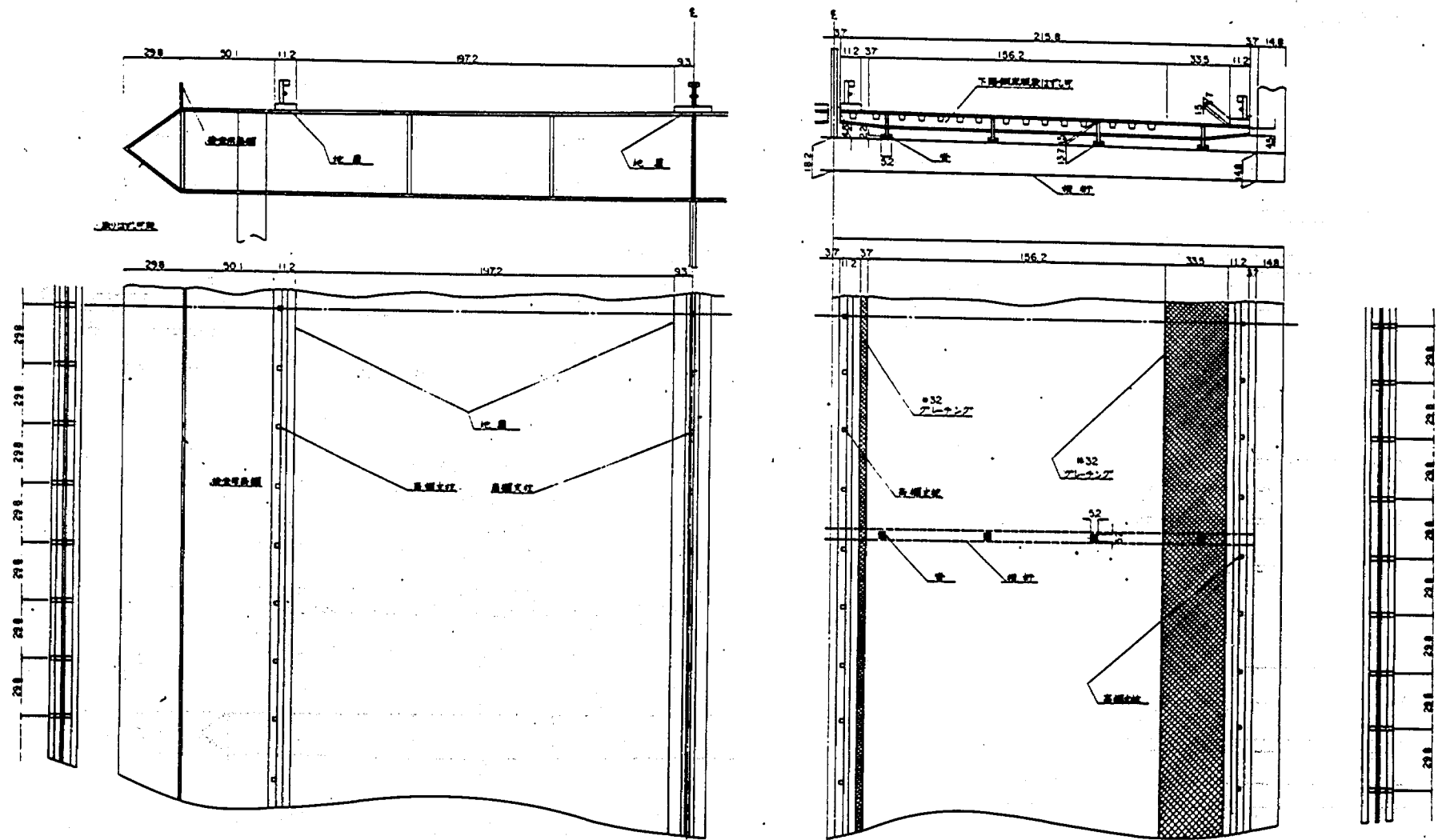
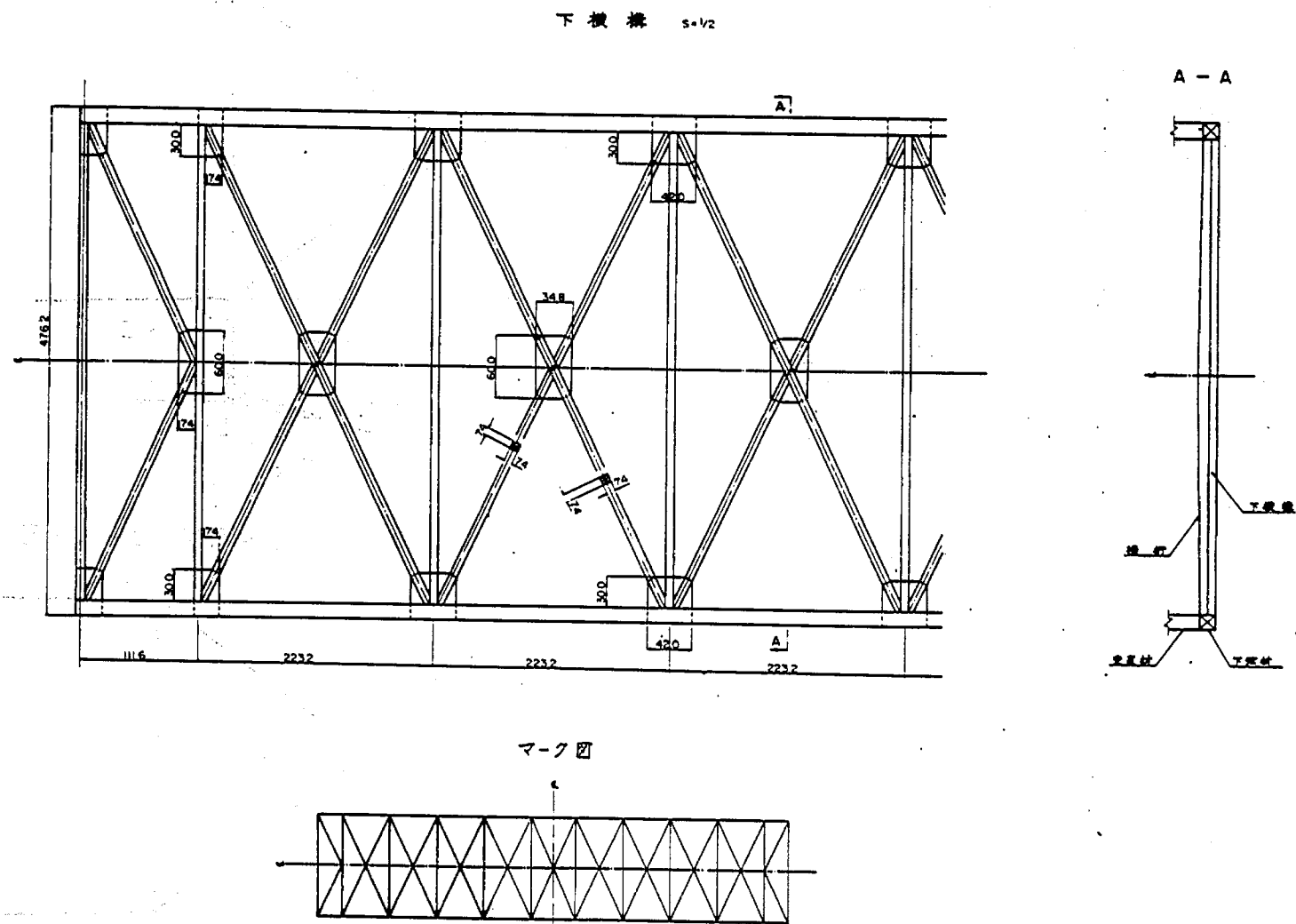


図3-3 模型図(第1案 その3)

模索発達の場面観察実験(その1)			
題名	第1次(その3)		
歳次	1/1	回数	3/4



鋼索吊橋の構造実験 (その1)			
図名	第1案 (その4)		
縮尺	1/2	図番	9/10

図3-4 模型図 (第1案 その4)

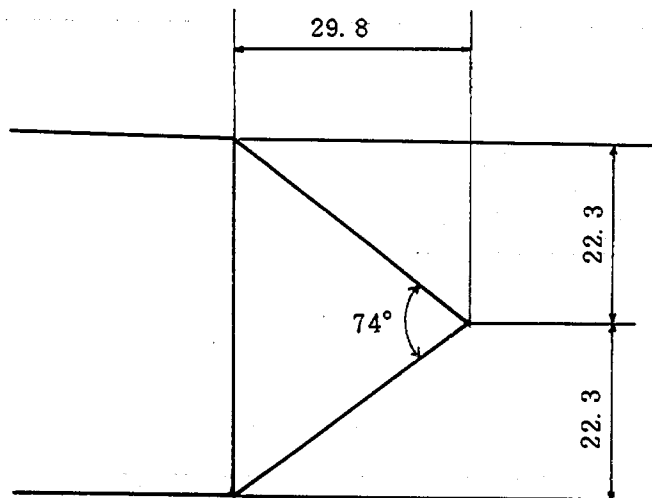


图-3-5 模型番号1 (完成断面)

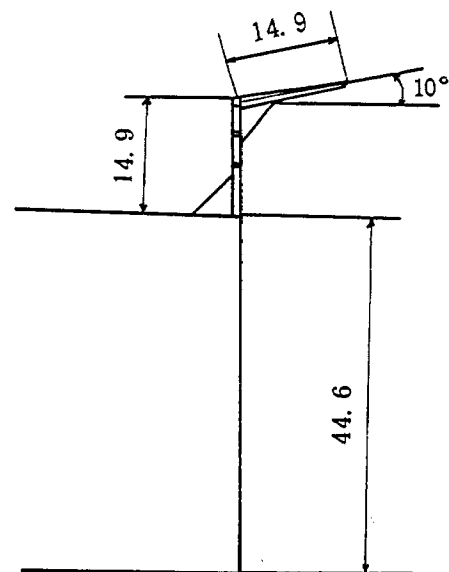


图-3-7 模型番号3 (完成断面)

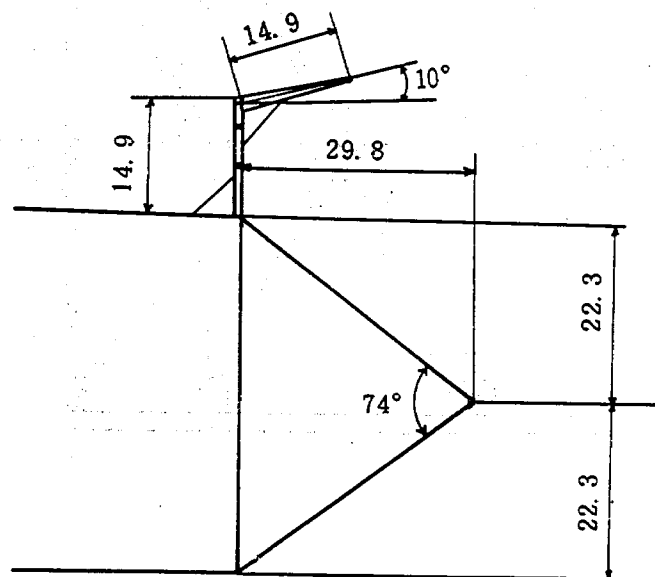


图-3-6 模型番号2 (完成断面)

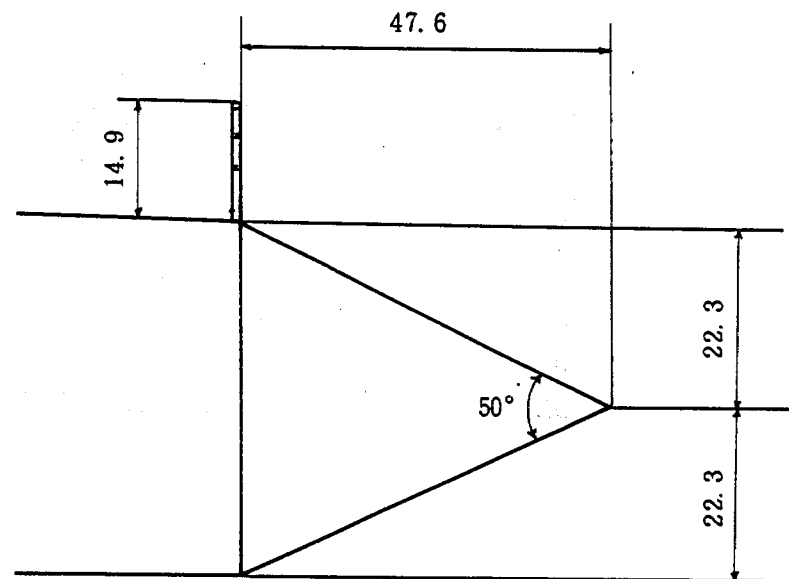


图-3-8 模型番号4 (完成断面)

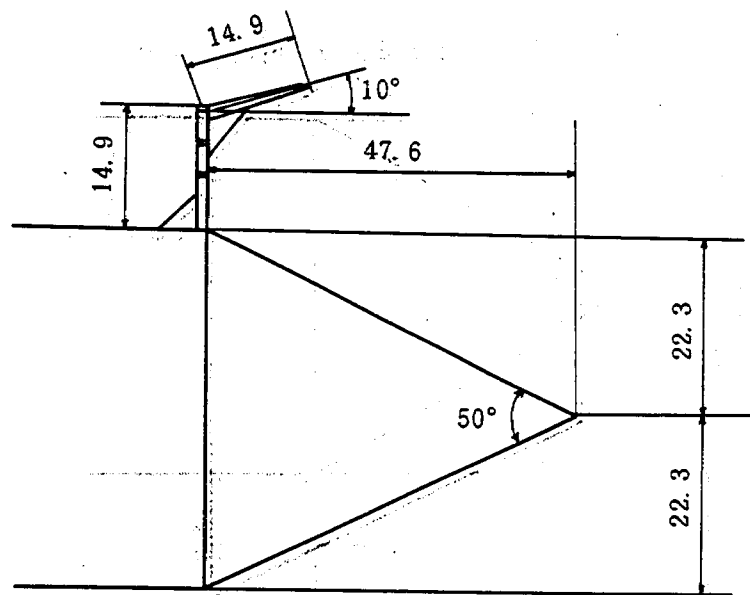


图-3-9 模型番号5 (完成断面)

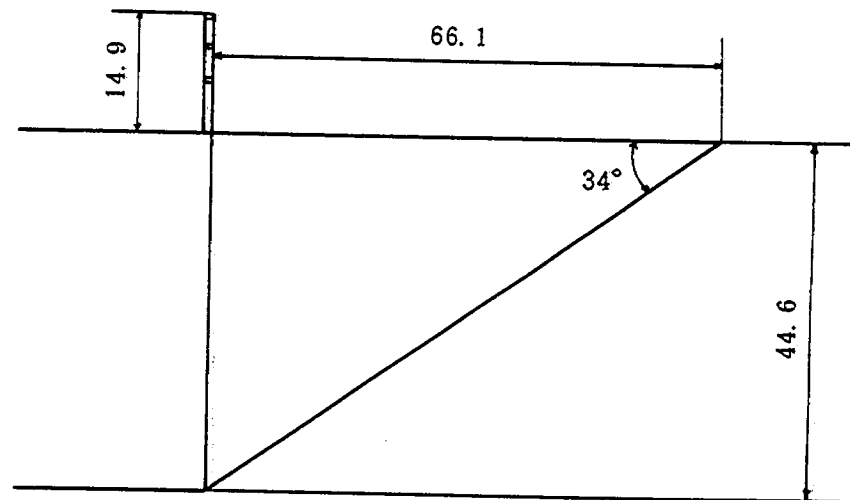


图-3-11 模型番号7 (完成断面)

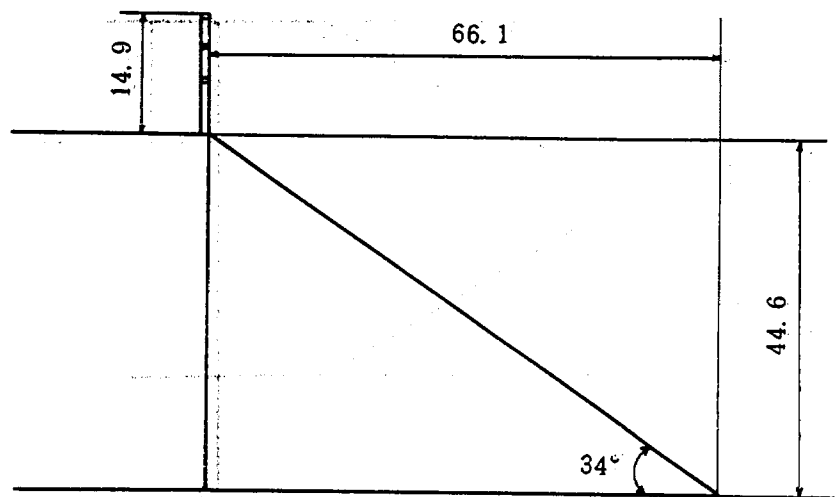


图-3-10 模型番号6 (完成断面)

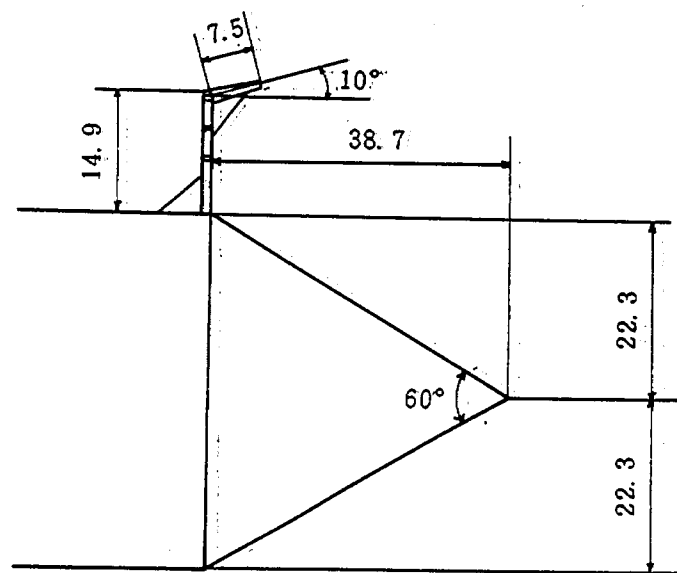


图-3-12 模型番号8 (完成断面)

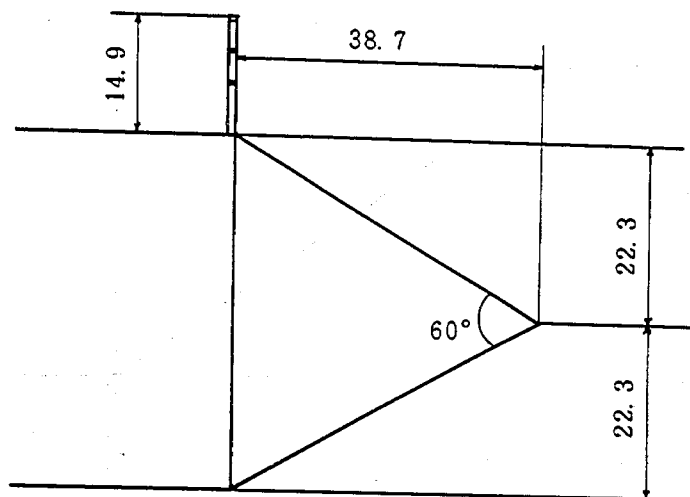


图-3-13 模型番号9 (完成断面)

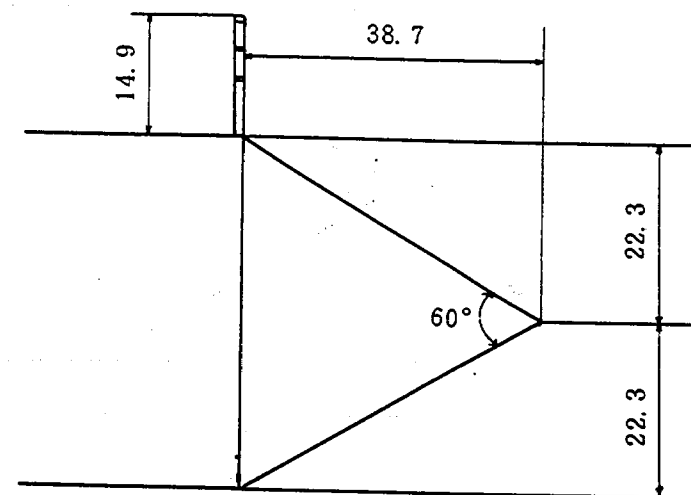


图-3-15 模型番号11 (暂定完成断面)

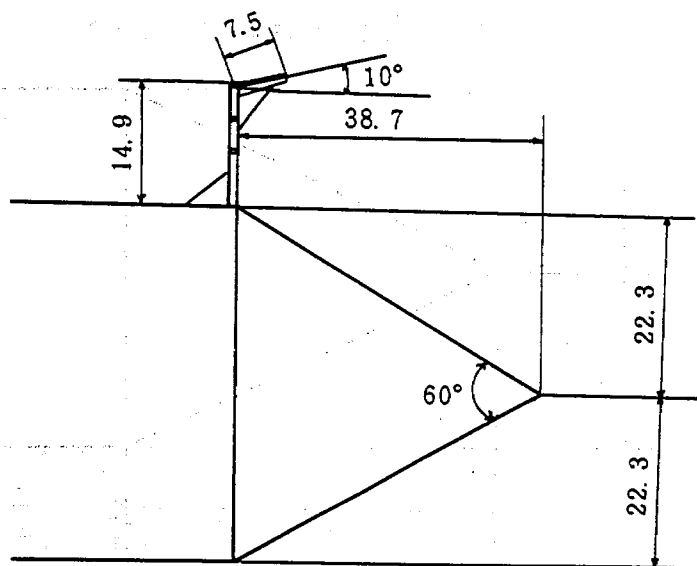


图-3-14 模型番号10 (暂定完成断面)

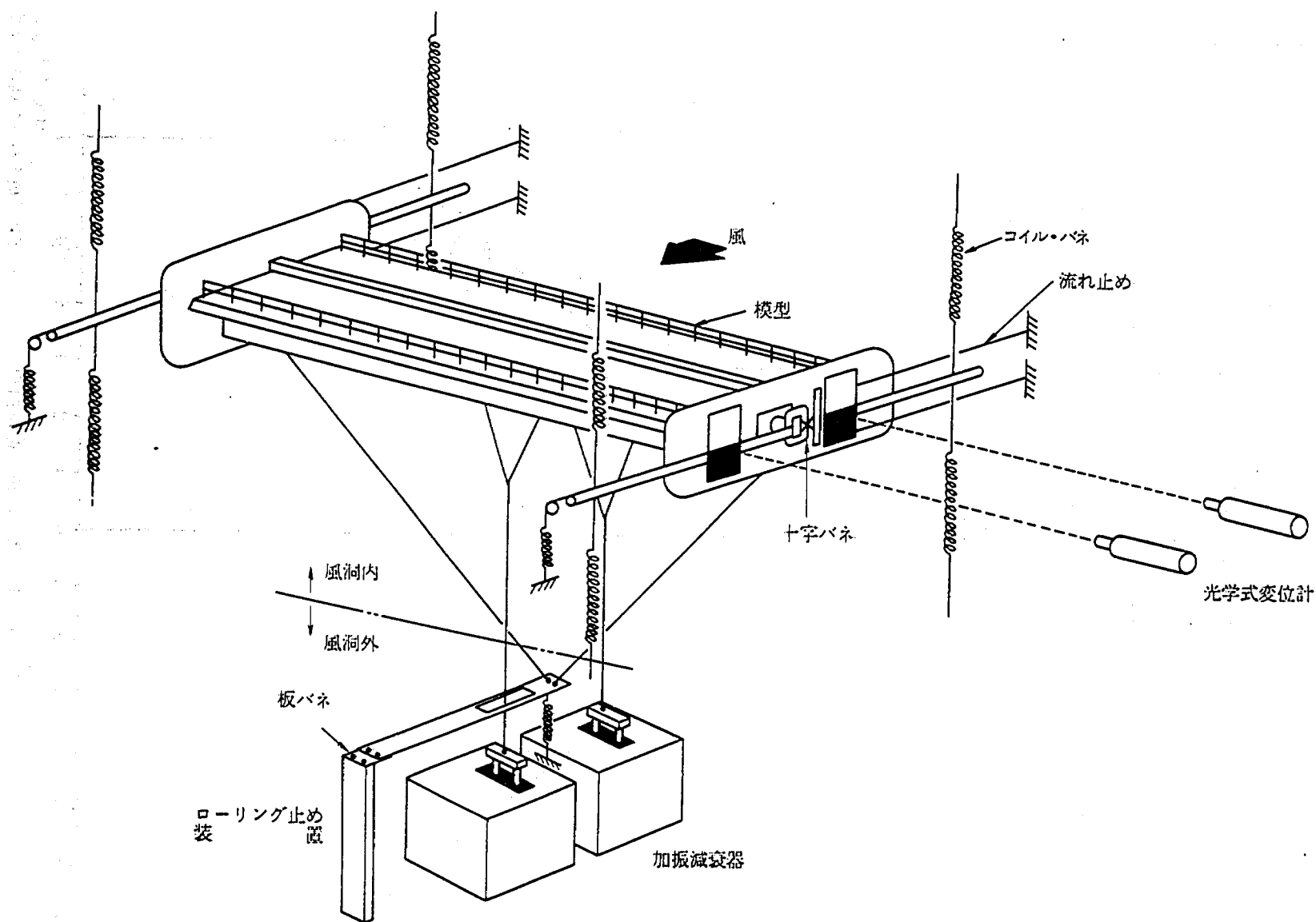
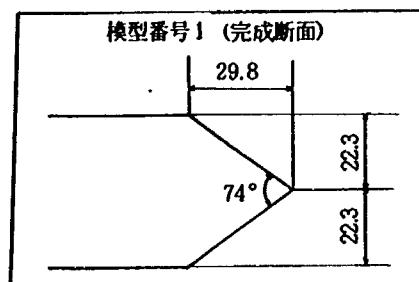


図-4 実験装置

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。



○…鉛直たわみ

●…ねじれ

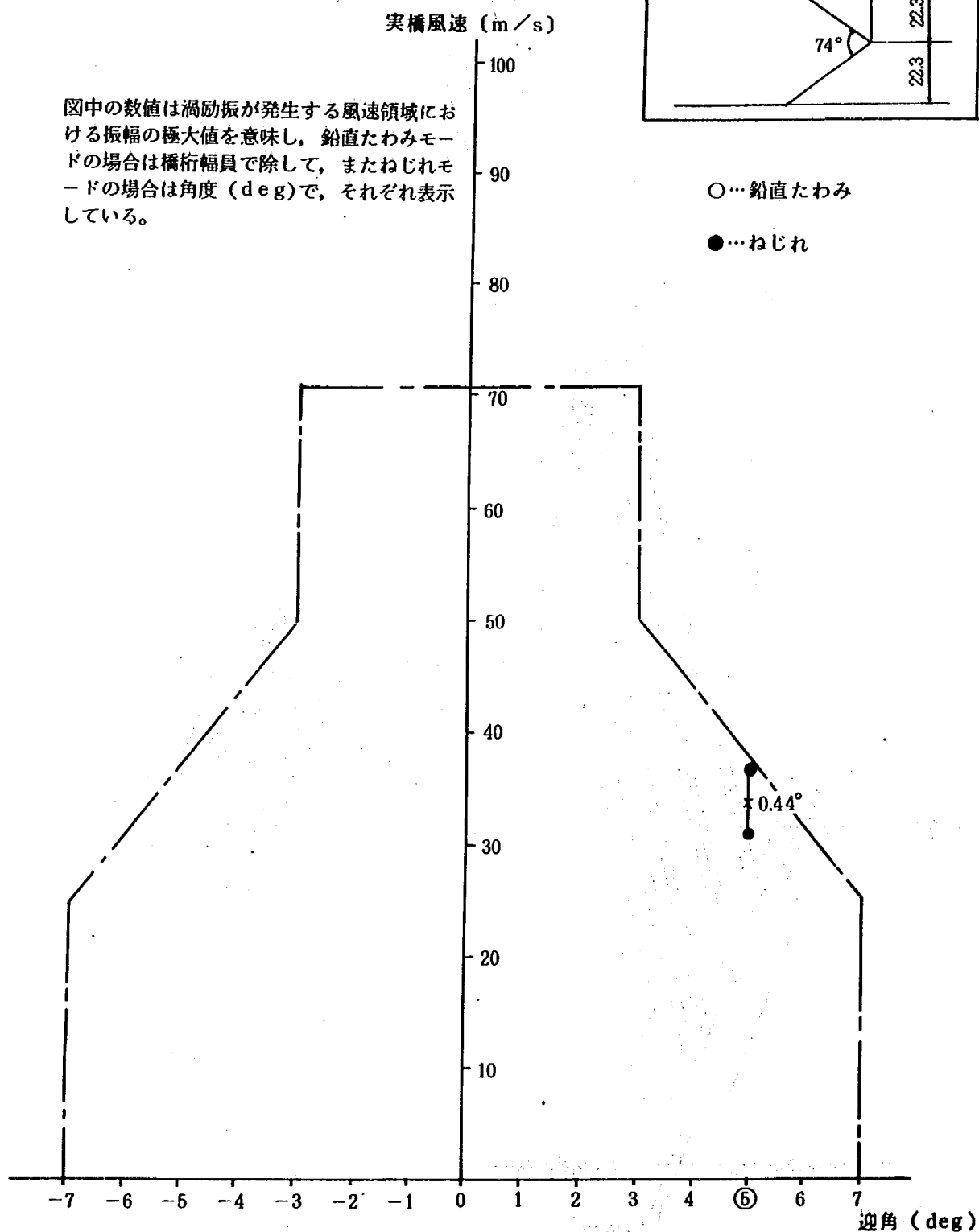
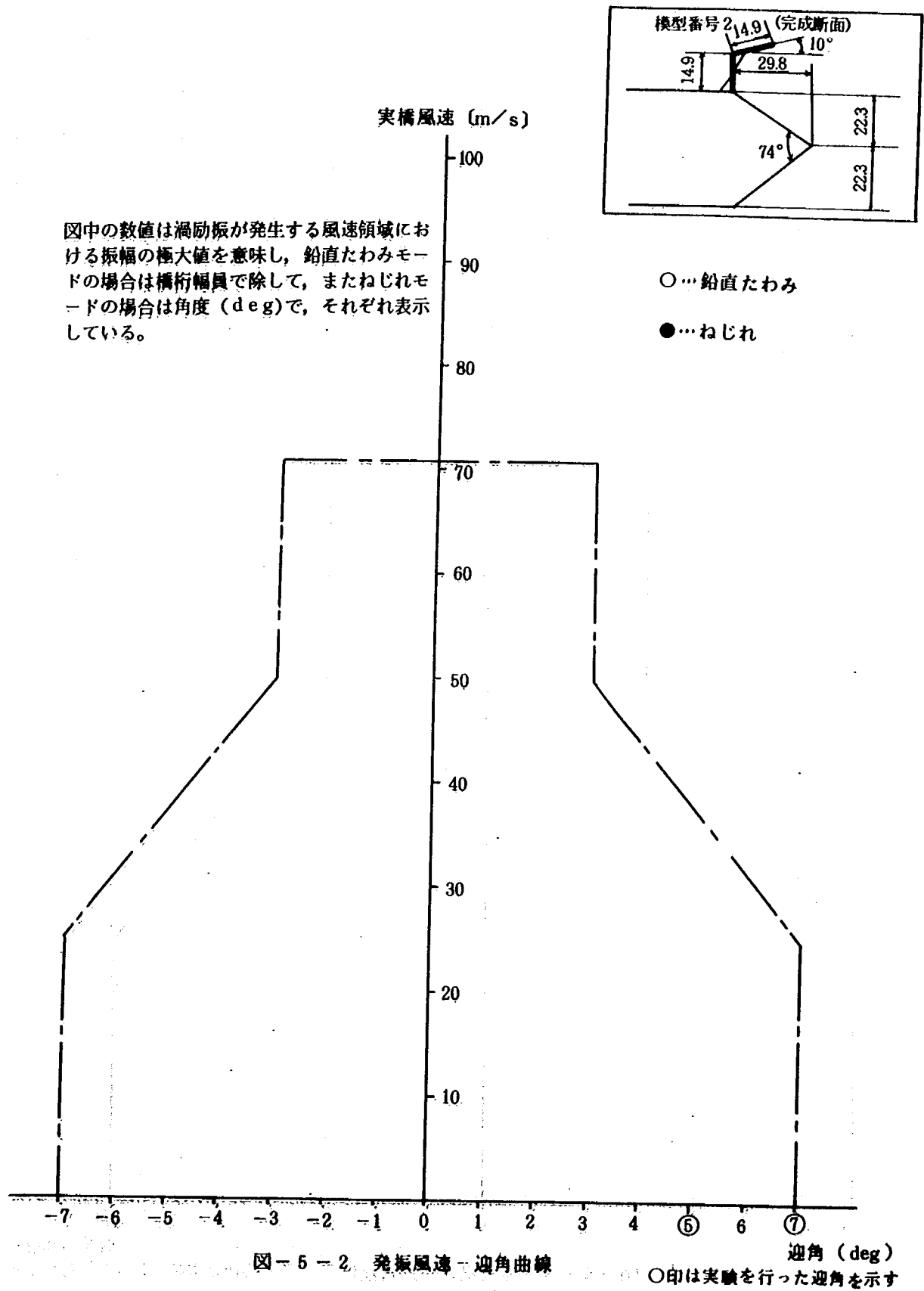
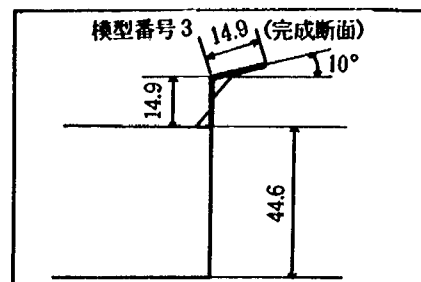


図-5-1 発振風速-迎角曲線

○印は実験を行った迎角を示す



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。



○…鉛直たわみ

●…ねじれ

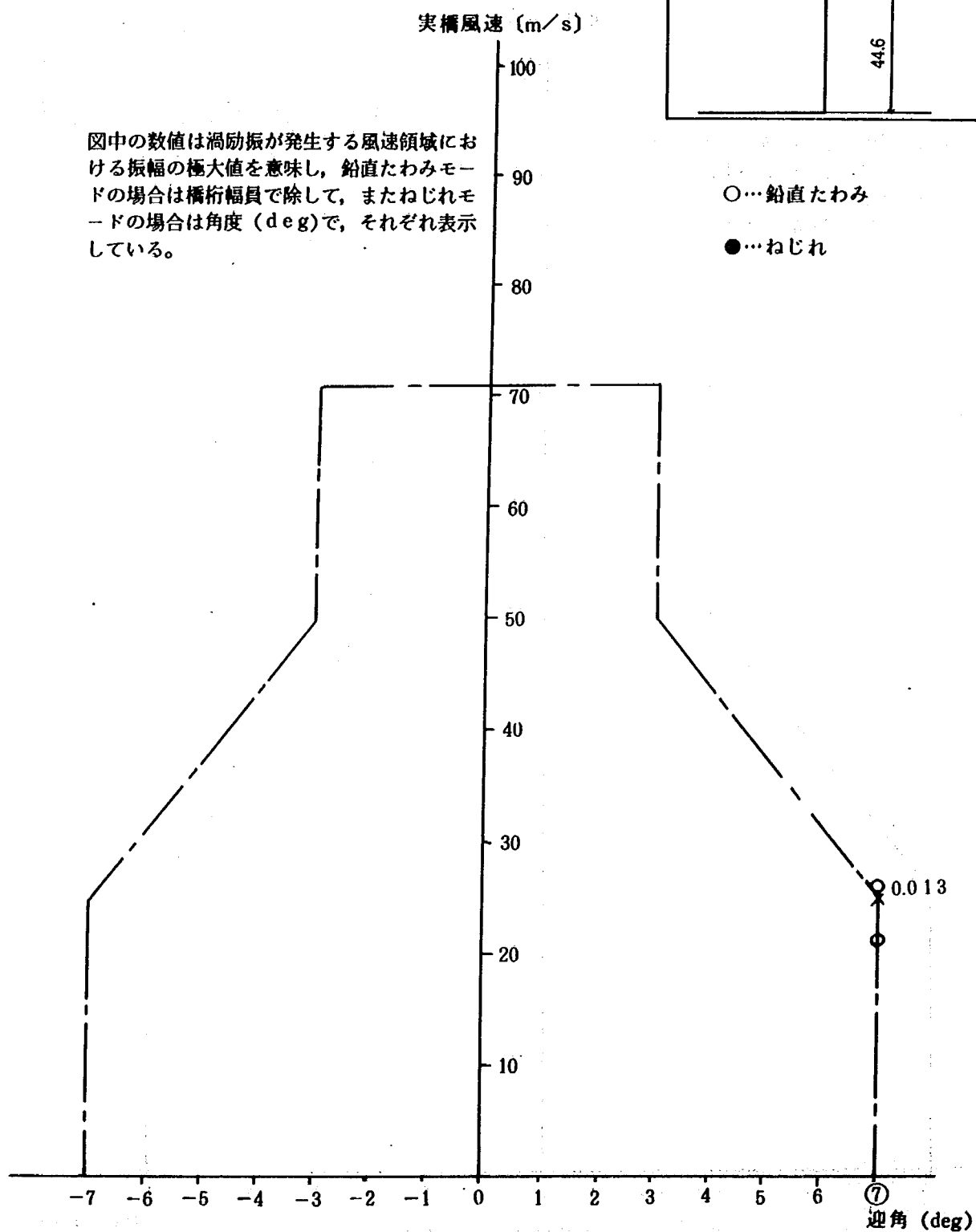


図-5-3 発振風速-迎角曲線

○印は実験を行った迎角を示す

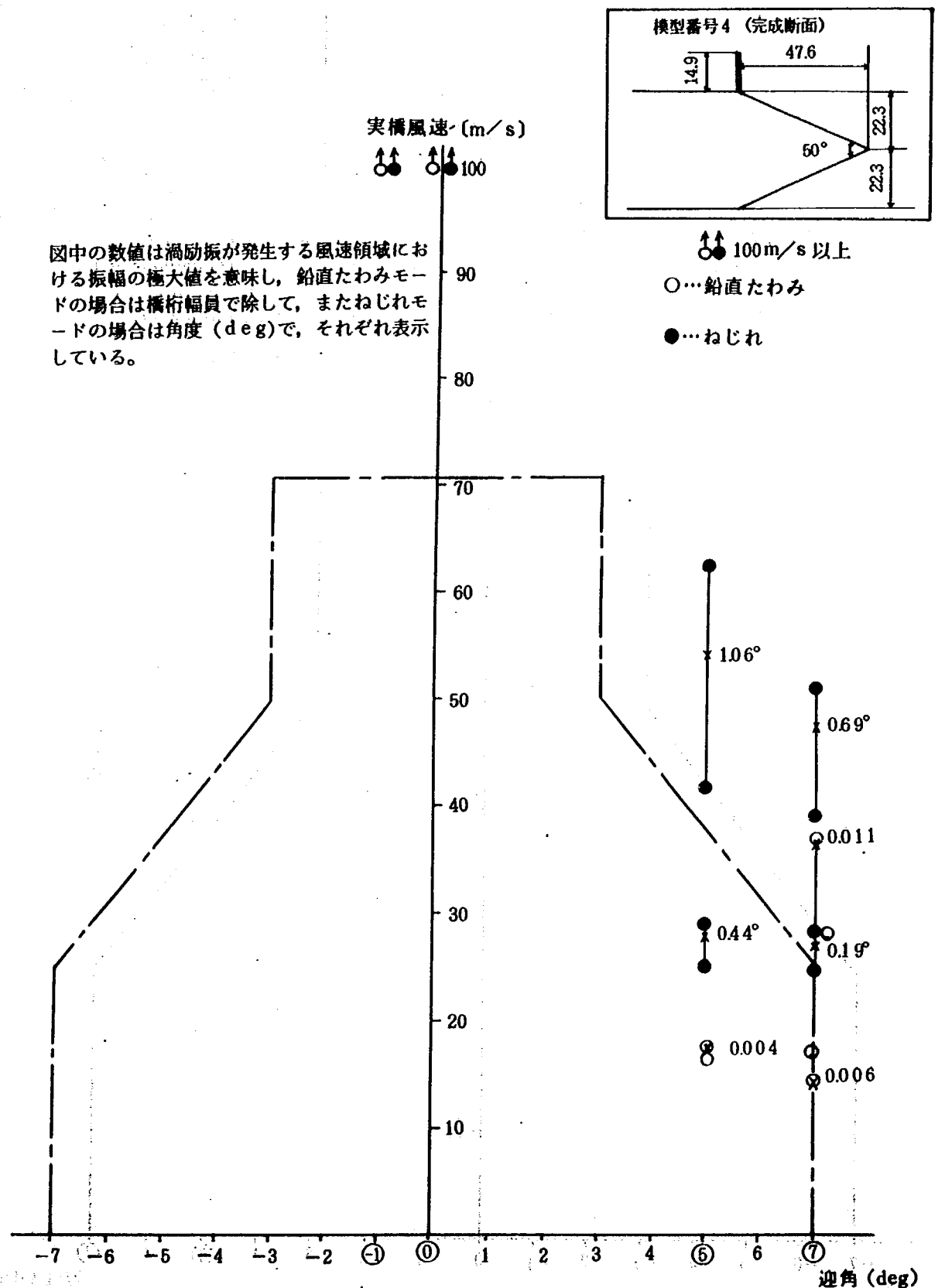
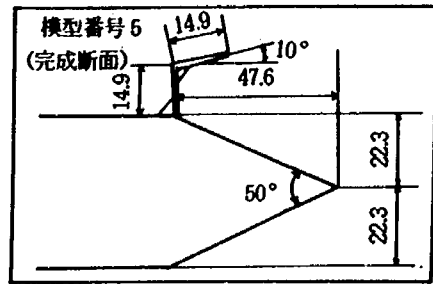


図-5-4 発振風速-迎角曲線 ○印は実験を行った迎角を示す



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。

↑↑ 100 m/s 以上

○…鉛直たわみ

●…ねじれ

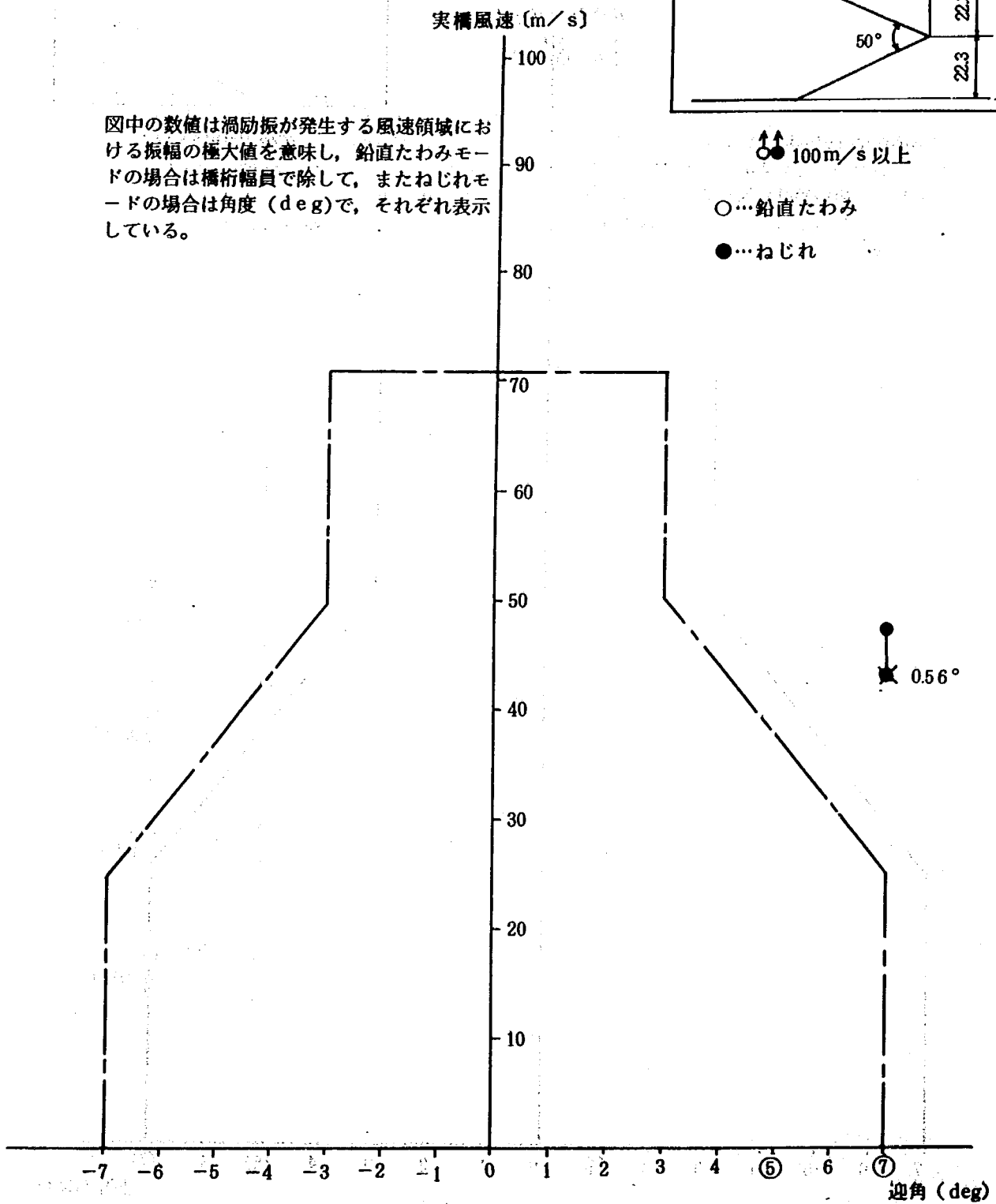
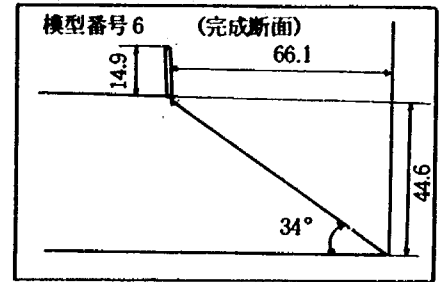


図-5-6 発振風速-迎角曲線

○印は実験を行った迎角を示す。



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。

○…鉛直たわみ

●…ねじれ

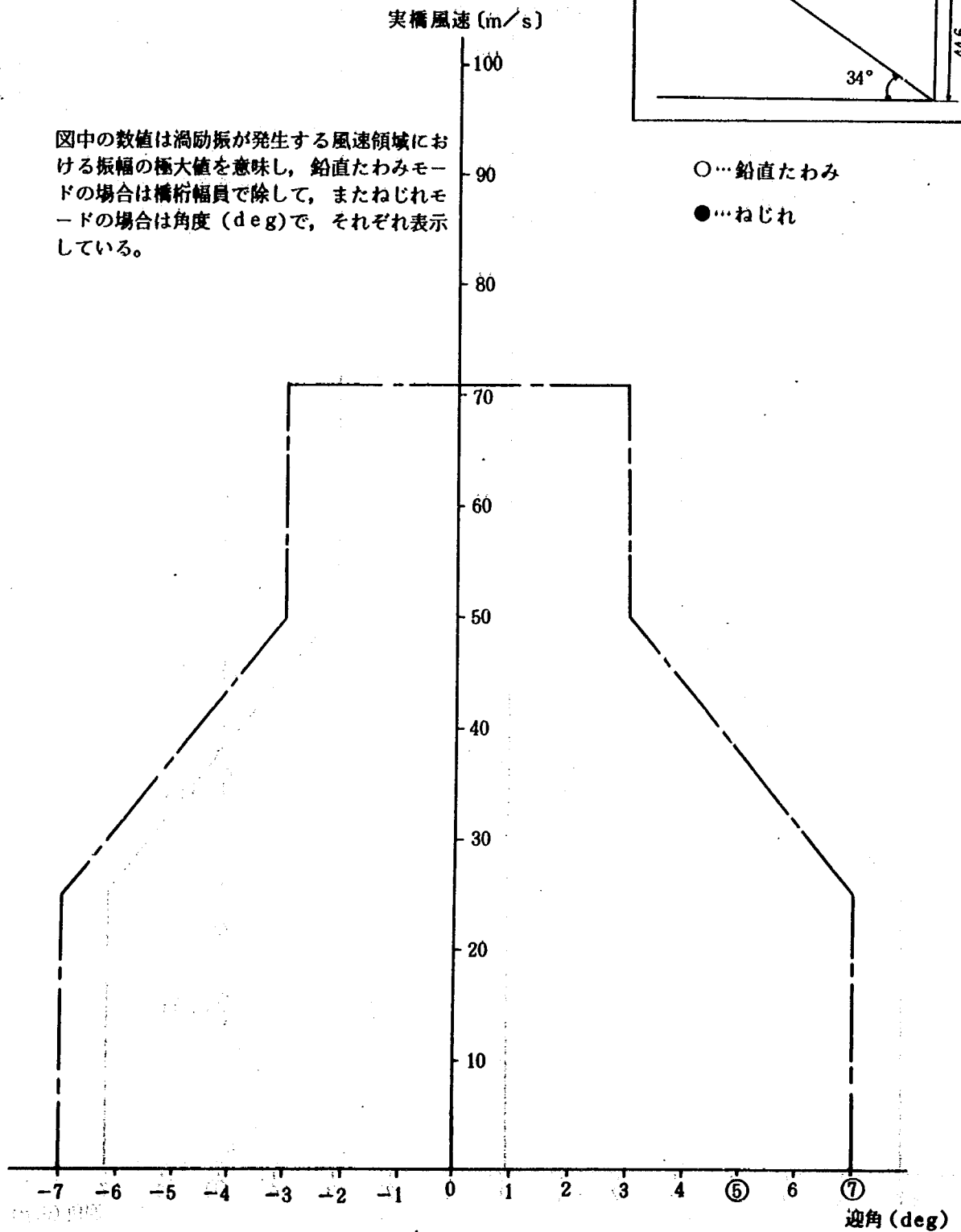
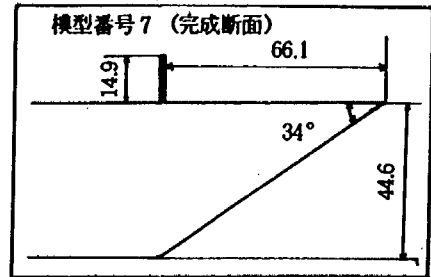


図-5-6 発振風速-迎角曲線

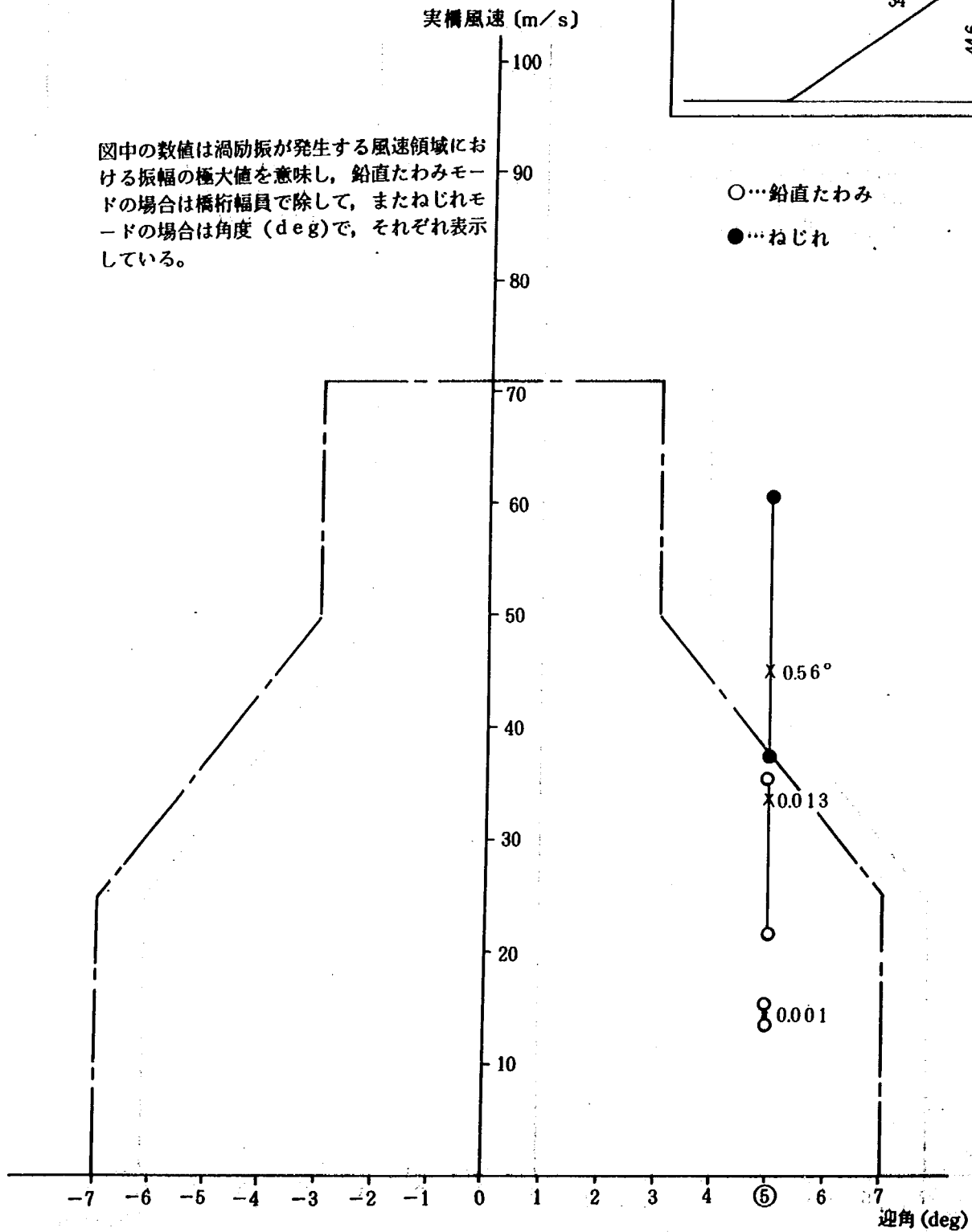
○印は実験を行った迎角を示す



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。

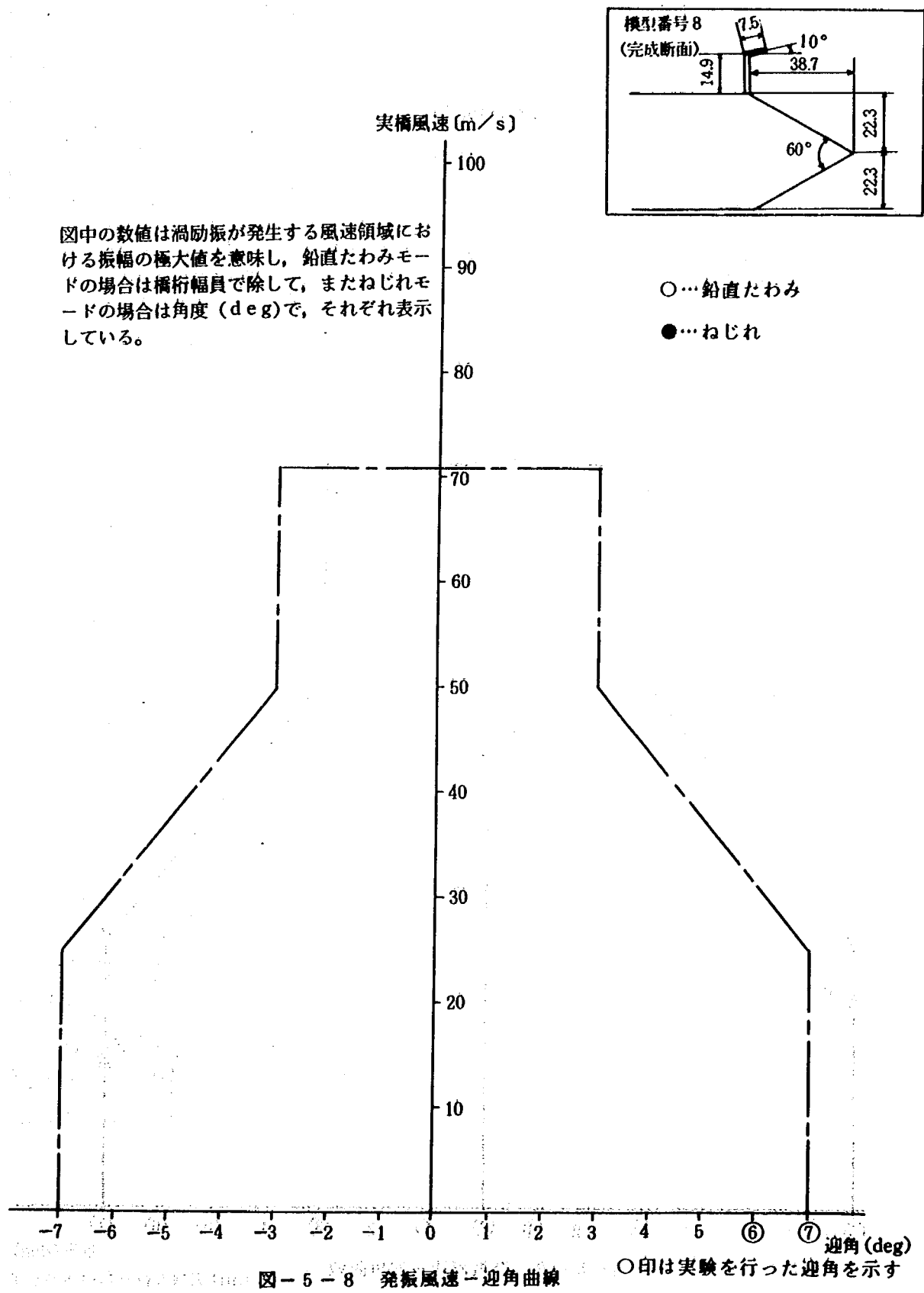
○…鉛直たわみ

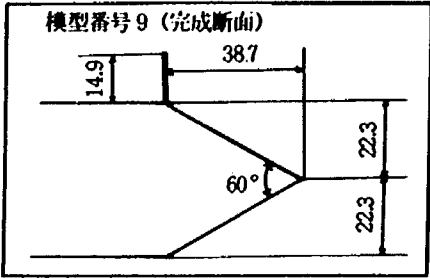
●…ねじれ



○印は実験を行った迎角を示す

図-5-7 発振風速-迎角曲線





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

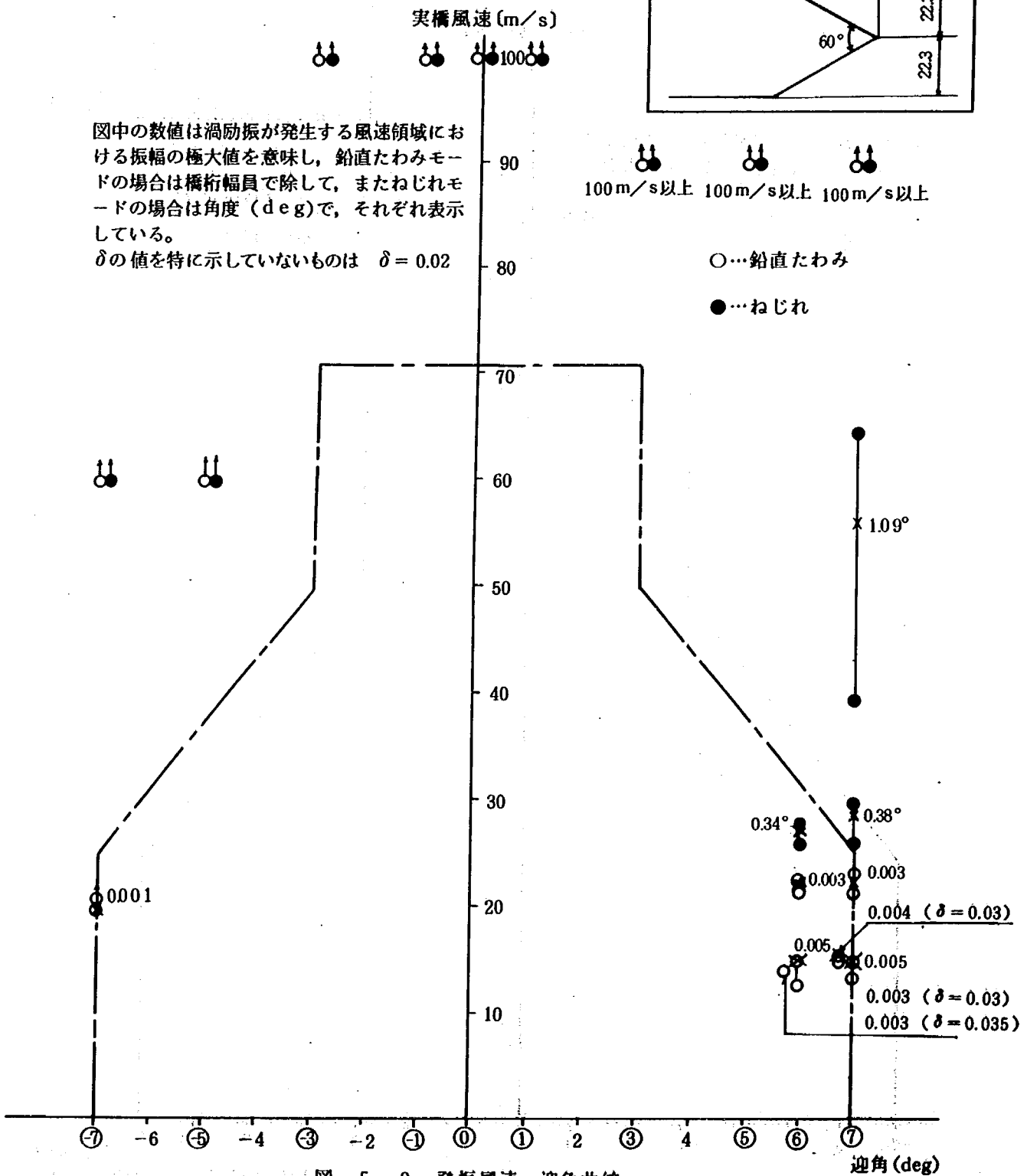
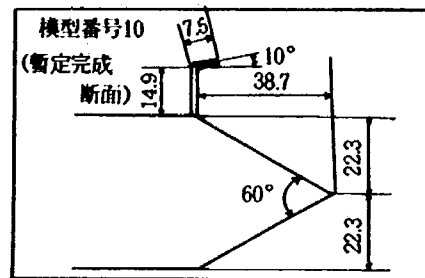


図 - 5 - 9 発振風速 - 迎角曲線

○印は実験を行った迎角を示す

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。



○…鉛直たわみ

●…ねじれ

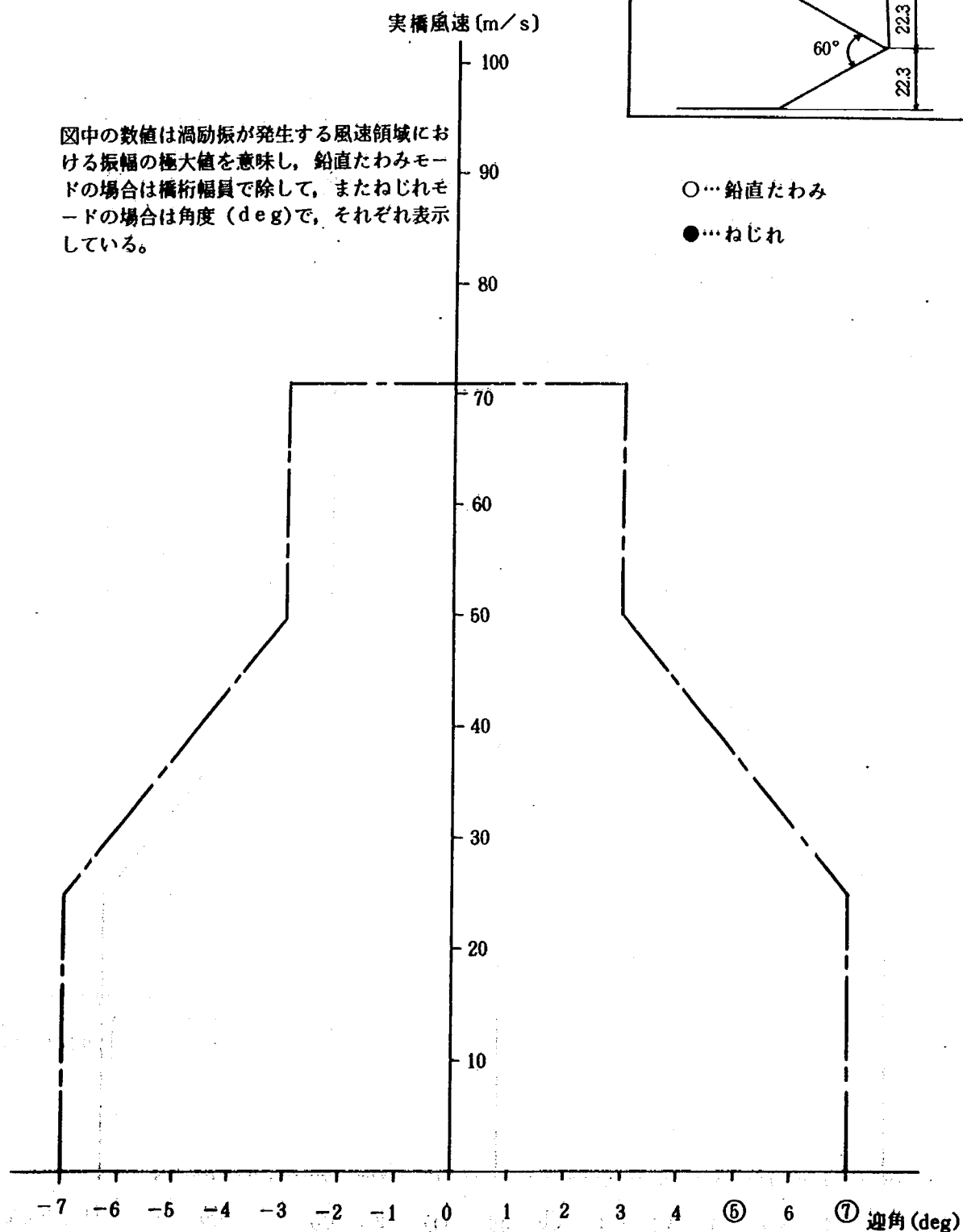


図 - 5 - 10 発振風速 - 迎角曲線

○印は実験を行った迎角を示す

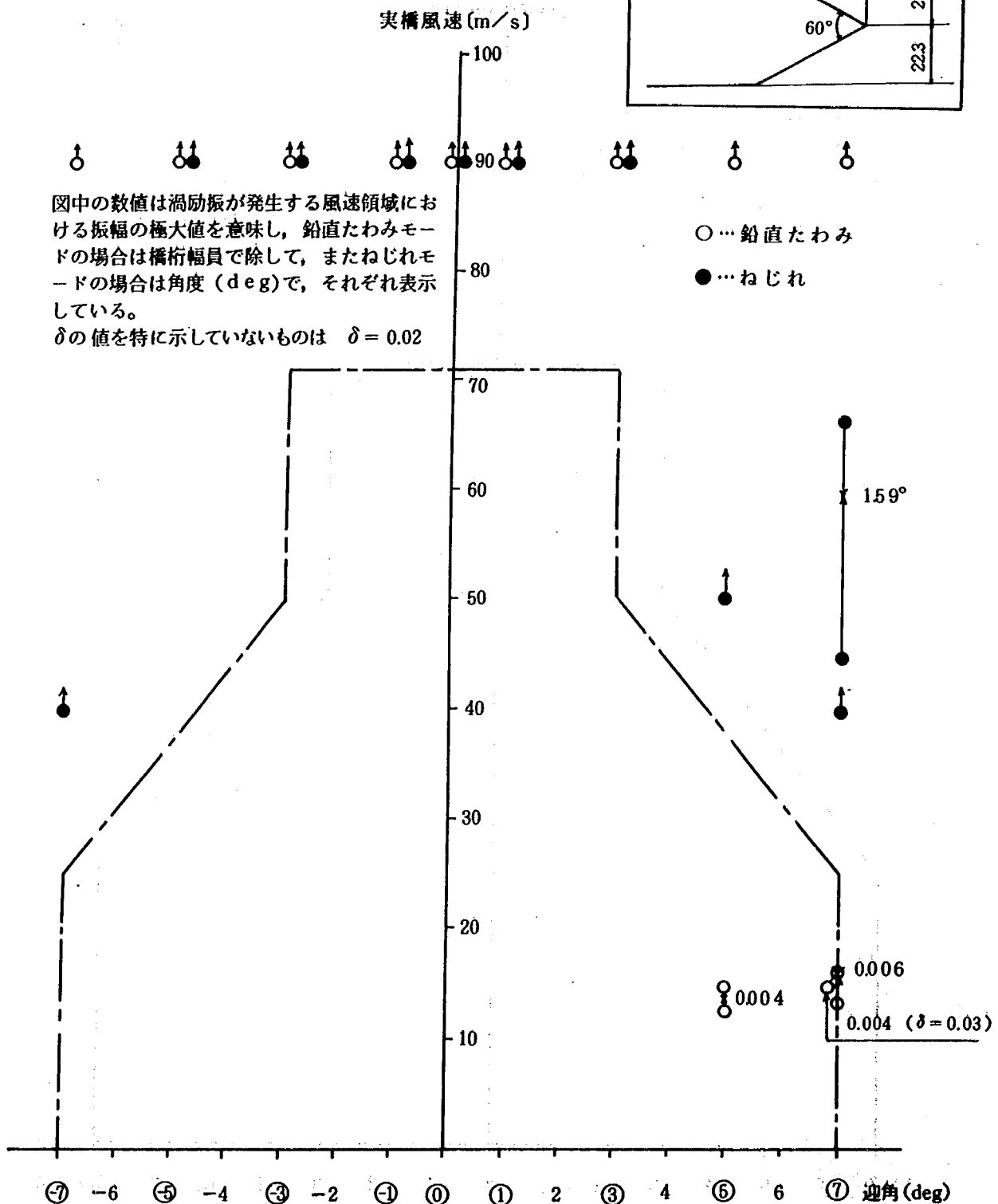
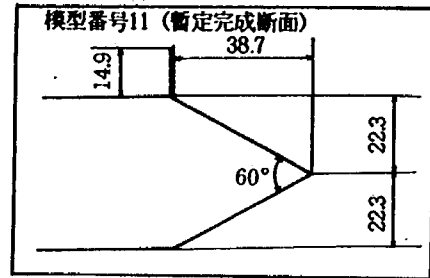


図 - 5 - 11 発振風速 - 迎角曲線

○印は実験を行った迎角を示す

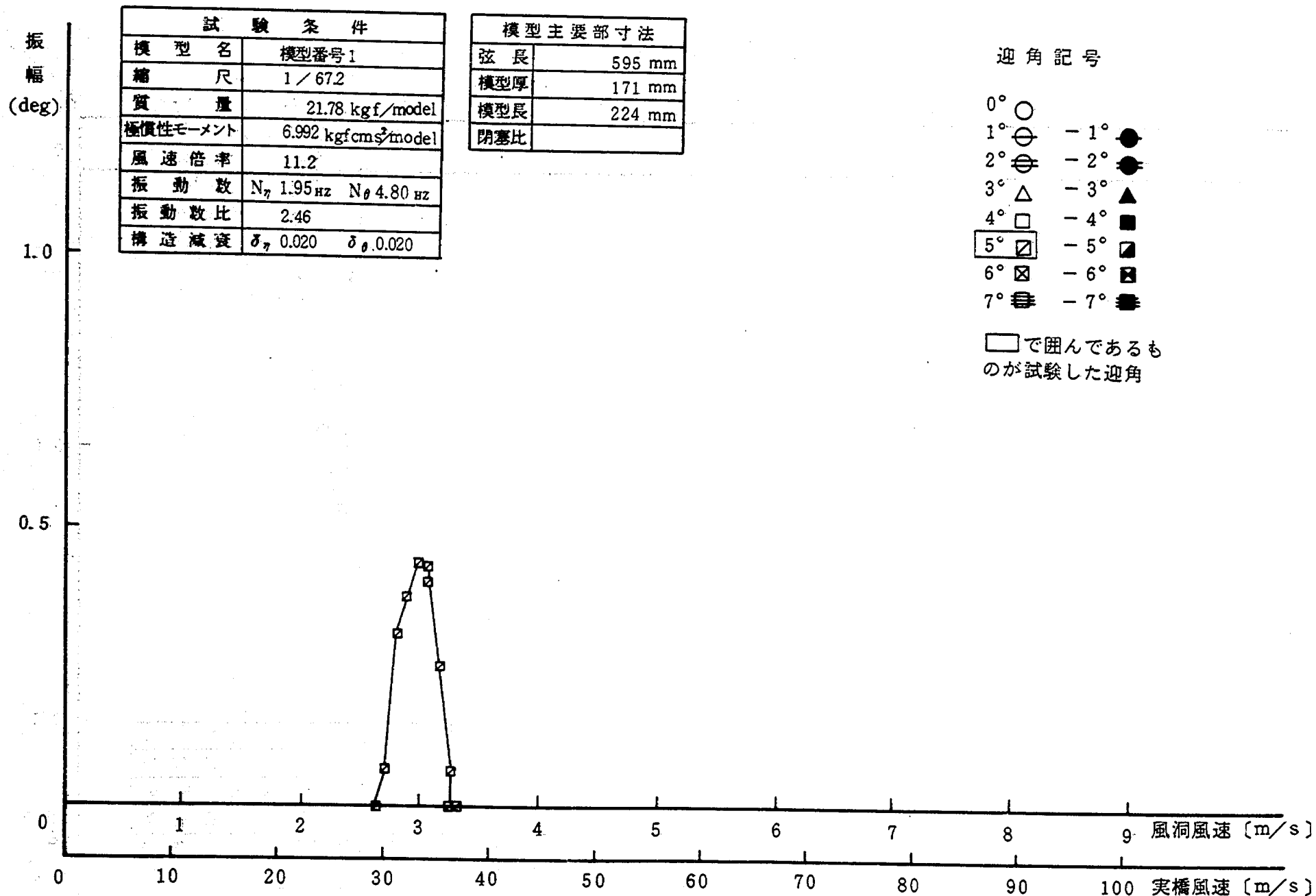


図-6-1 振幅-風速曲線

振
幅
(η/B)
 $\times 10^2$

2.0

1.0

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 風洞風速 [m/s]
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 実橋風速 [m/s]

試 験 条 件		
模 型 名	模型番号3	
縮 尺	1/67.2	
質 量	21.78 kgf/model	
極慣性モーメント	6992 kgfcm ² /model	
風 速 倍 率	11.2	
振 動 数	N_7 1.95 Hz N_8 4.80 Hz	
振 動 数 比	2.46	
構 造 減 衰	δ_7 0.020	δ_8 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	536 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° ⊢	7° ⊢

□ で囲んであるものが試験した迎角

図 - 6 - 2 振幅 - 風速曲線

振
幅
(γ/B)
 $\times 10^2$

試 験 条 件	
模 型 名	模型番号4
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 ₇ 1.95 Hz N ₈ 4.80 Hz
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ_7 0.020 δ_8 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	631mm
模型厚	171mm
模型長	2240mm
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°の結果を示した。
0°、-1°は発振せず。

2.0

1.0

0

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 風洞風速 [m/s] 実橋風速 [m/s]

図-6-3 振幅-風速曲線

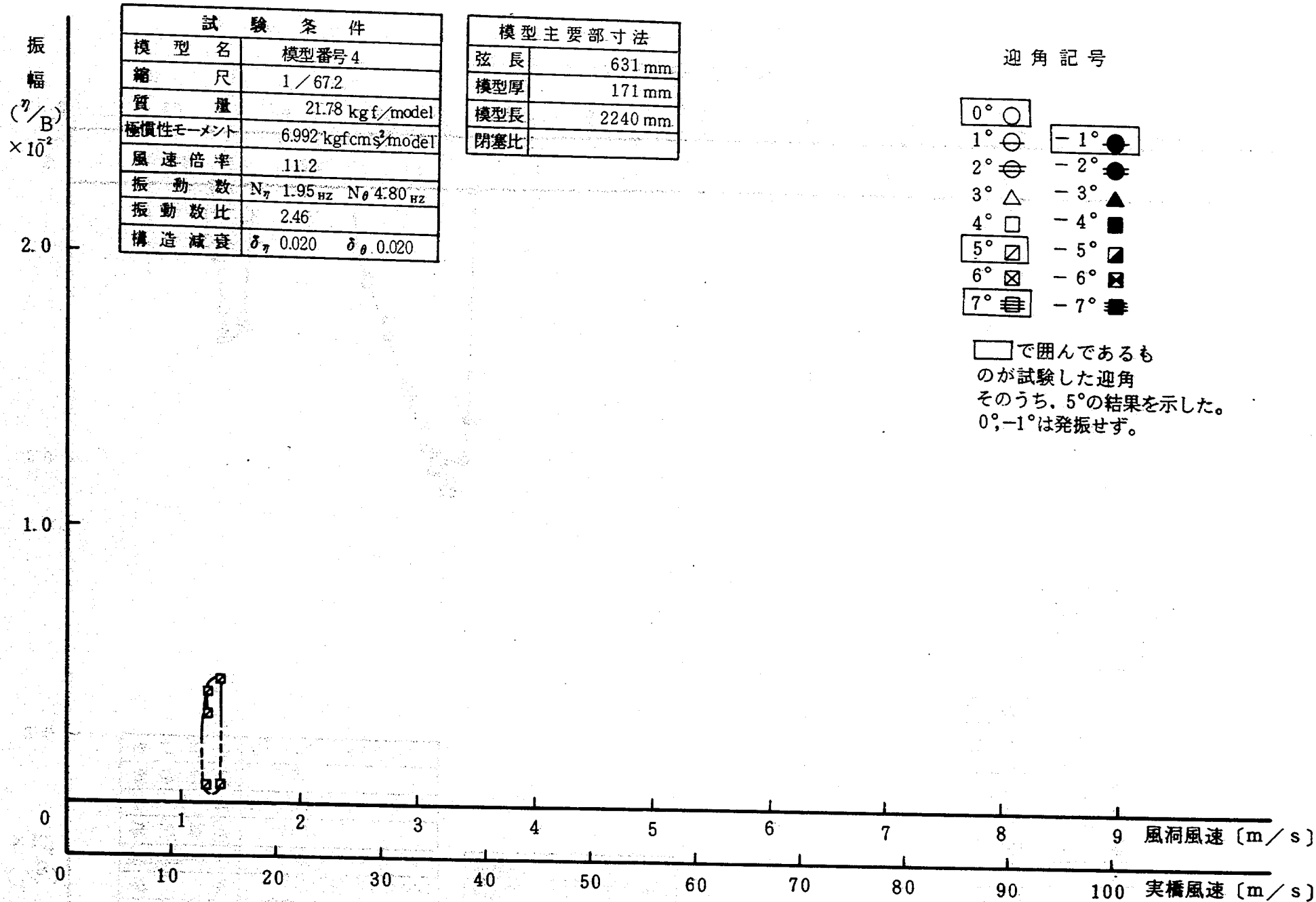


図-6-4 振幅-風速曲線

振
幅
(deg)

試 験 条 件	
模 型 名	模型番号4
縮 尺	1/672
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 ₇ 1.95 _{HZ} N _θ 4.80 _{HZ}
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ ₇ 0.020 δ _θ 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	631 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°の結果を示した。
0°, -1°は発振せず。

1.0

0.5

0

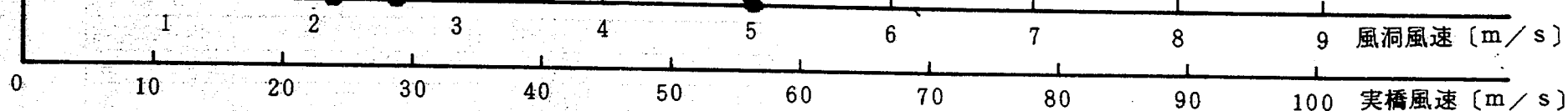


図-6-5 振幅-風速曲線

振
幅
(deg)

試 験 条 件	
模 型 名	模型番号4
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 ₇ 1.95 _{HZ} N _θ 4.80 _{HZ}
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ ₇ 0.020 δ _θ 0.020

模型主要部寸法	
弦 長	631 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°の結果を示した。
0°、-1°は発振せず。

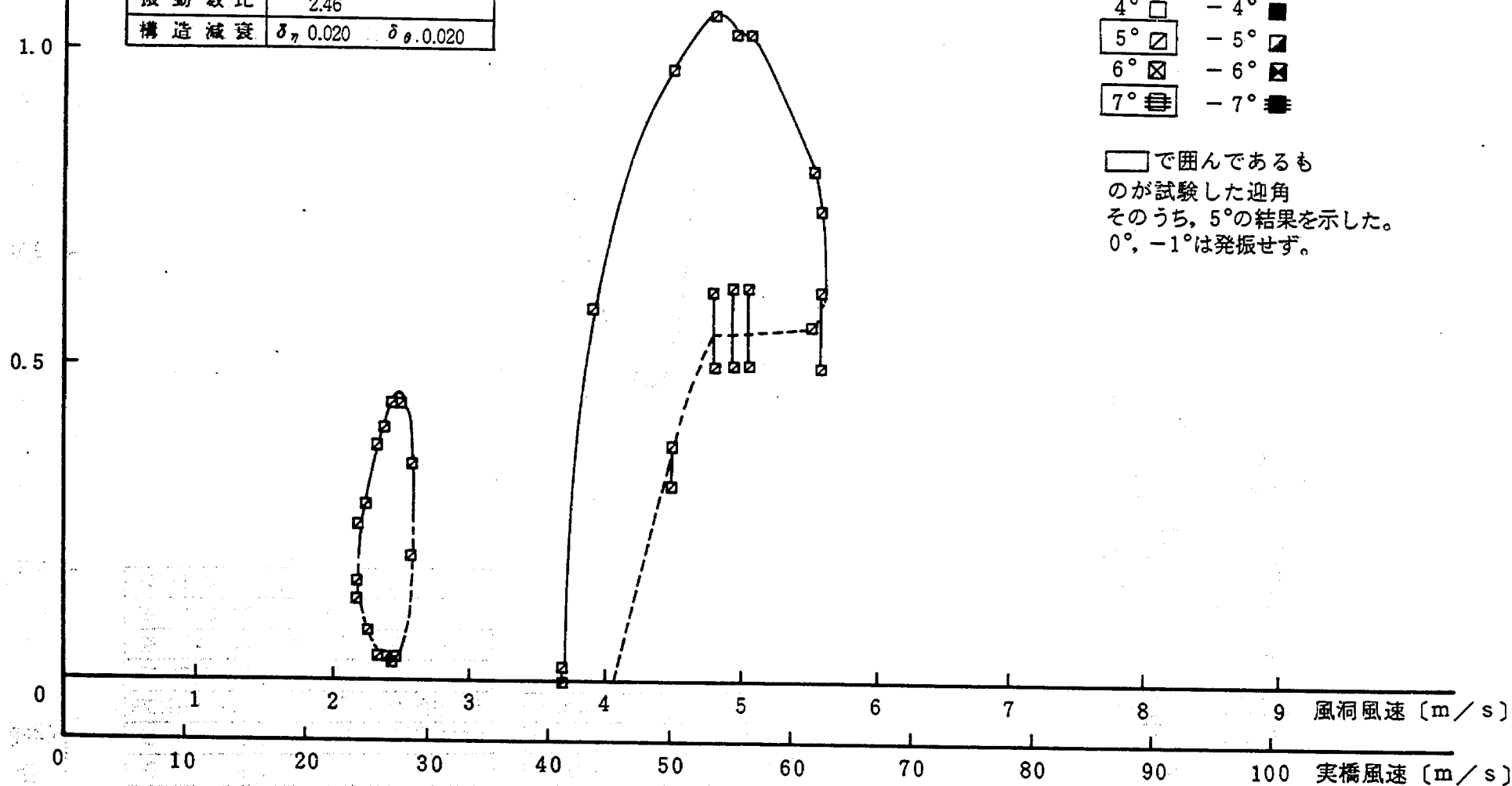


図-6-6 振幅-風速曲線

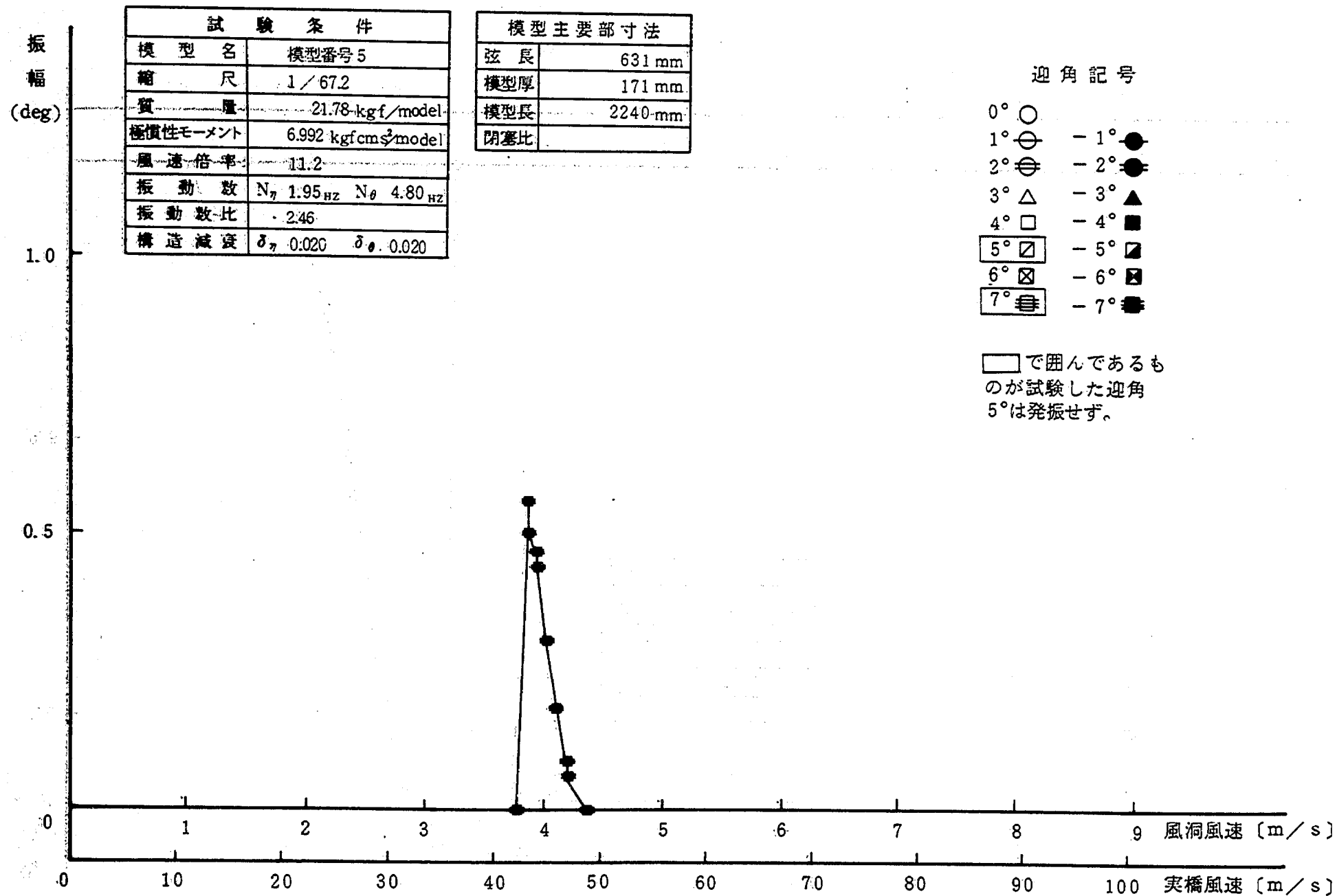


図-6-7 振幅-風速曲線

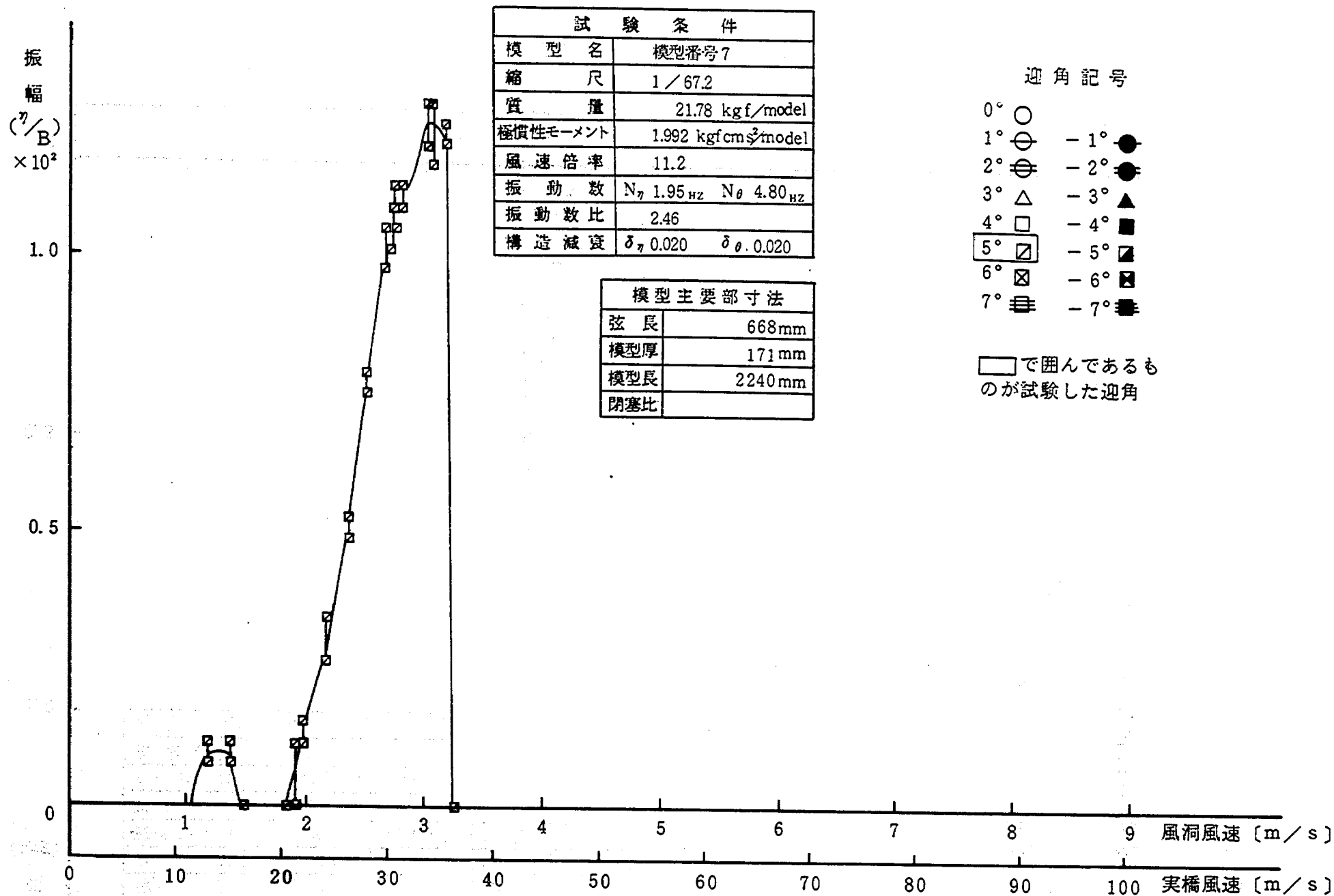


図-6-8 振幅-風速曲線

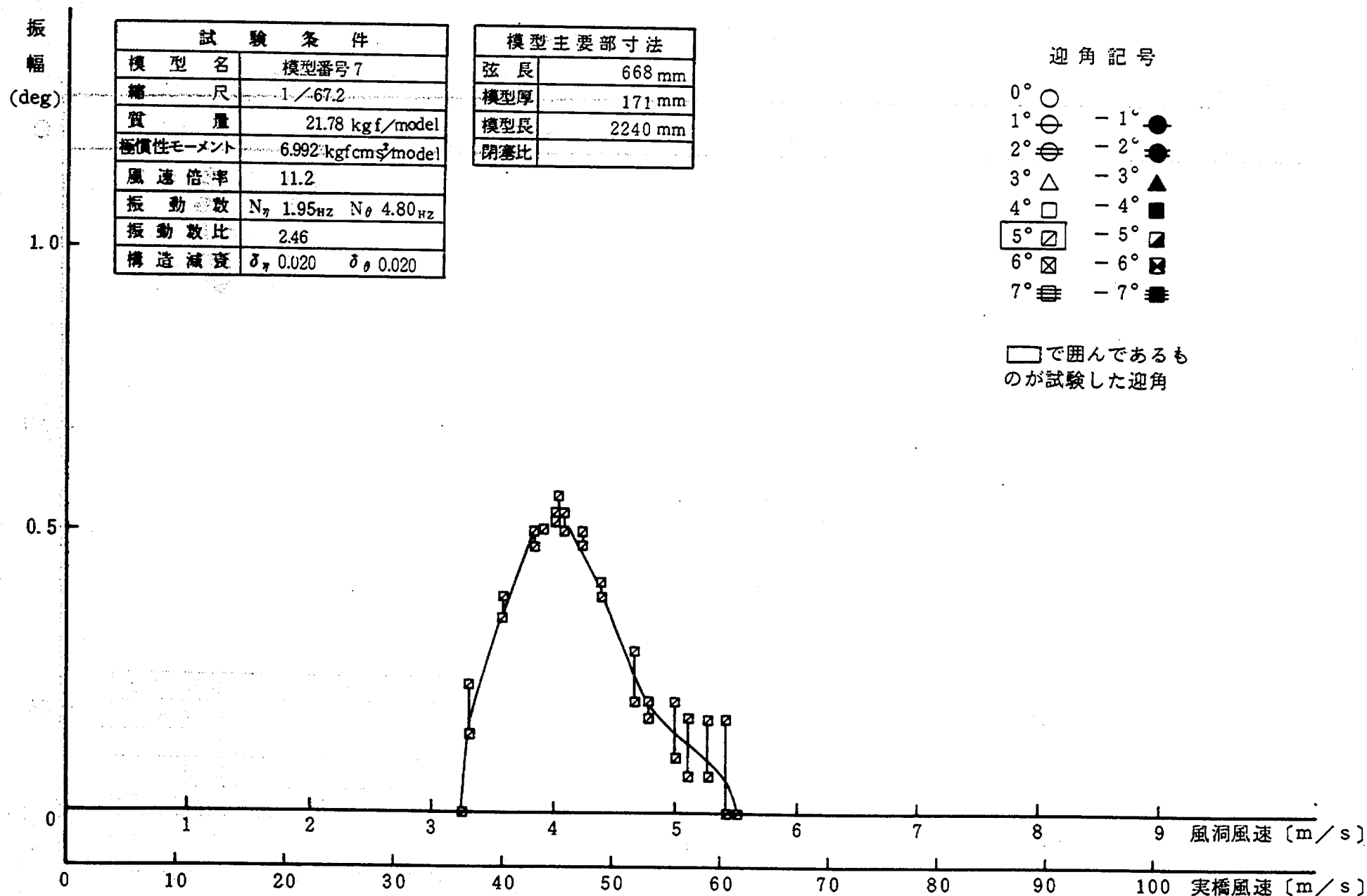


図-6-9 振幅-風速曲線

振 幅
(γ/B)
 $\times 10^{-2}$

20

1.0

0

試 験 条 件		
模 型 名	模型番号9	
縮 尺	1 / 67.2	
質 量	21.78 kgf/model	
極慣性モーメント	6.993 kgfcm ² /model	
風 速 倍 率	11.2	
振 動 数	N_{η} 1.95 Hz N_{θ} 4.80 Hz	
振 動 数 比	2.46	
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	2240 mm
閉塞比	

迎 角 記 号

0° ○	
1° ⊖	-1° ●
2° ⊗	-2° ⊙
3° △	-3° ▲
4° □	-4° ■
5° ▤	-5° ▥
6° ▨	-6° ▩
7° ▪	-7° ▫

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

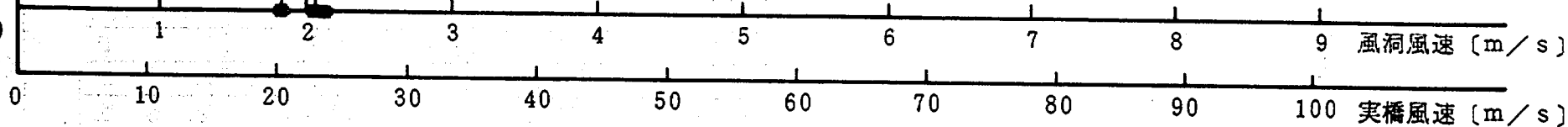


図-6-10 振幅-風速曲線

振
幅
 (γ/B)
 $\times 10^{-2}$

試 験 条 件	
模 型 名	模型番号9
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 ₇ 1.95 _{Hz} N _θ 4.80 _{Hz}
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ ₇ 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°の結果を示した。
5°、3°、1°、0°、-1°、-3°、-5°は
発振せず。

2.0

0

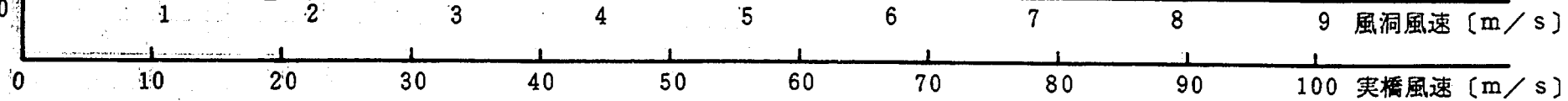


図-6-11 振幅-風速曲線

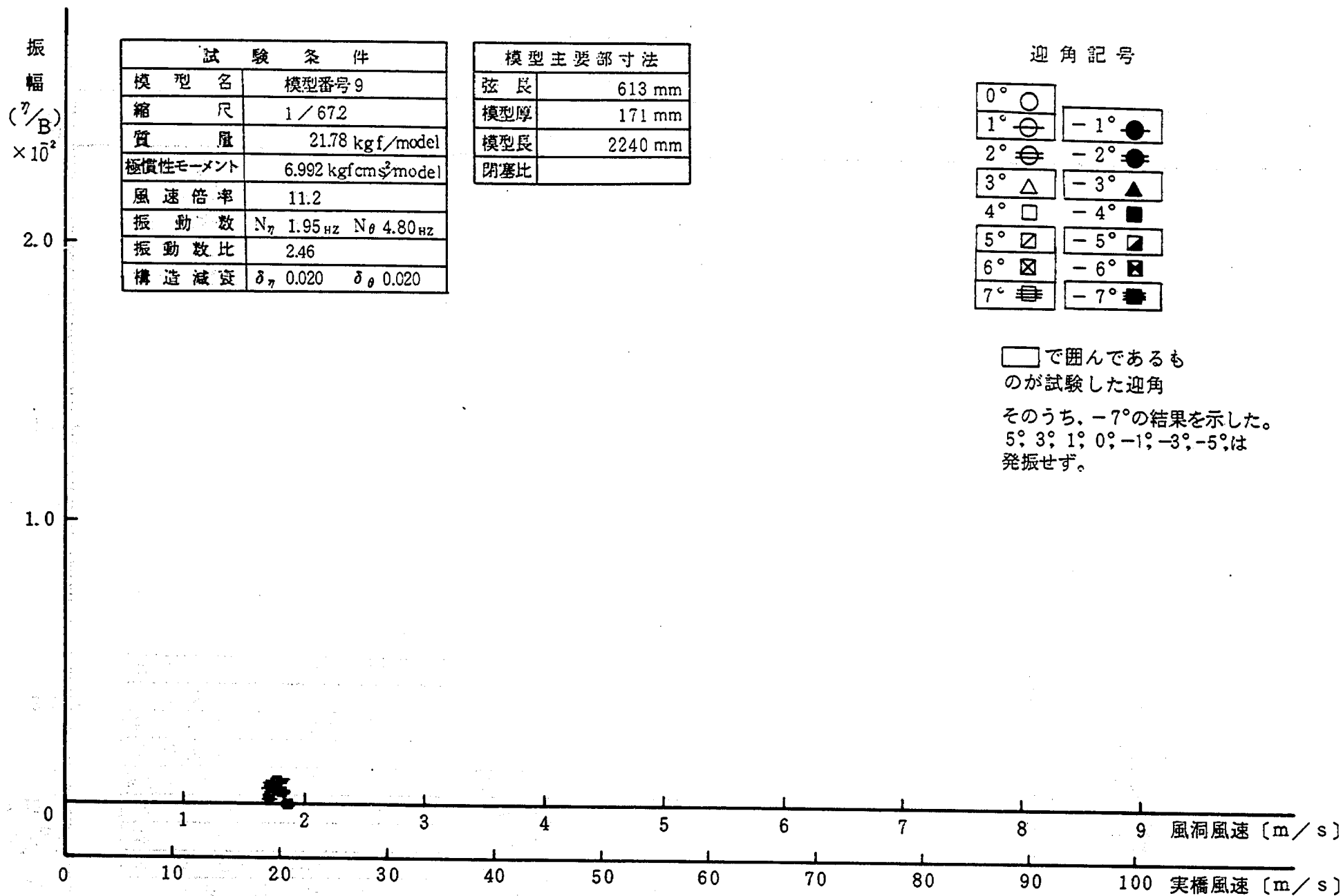


図-6-12 振幅-風速曲線

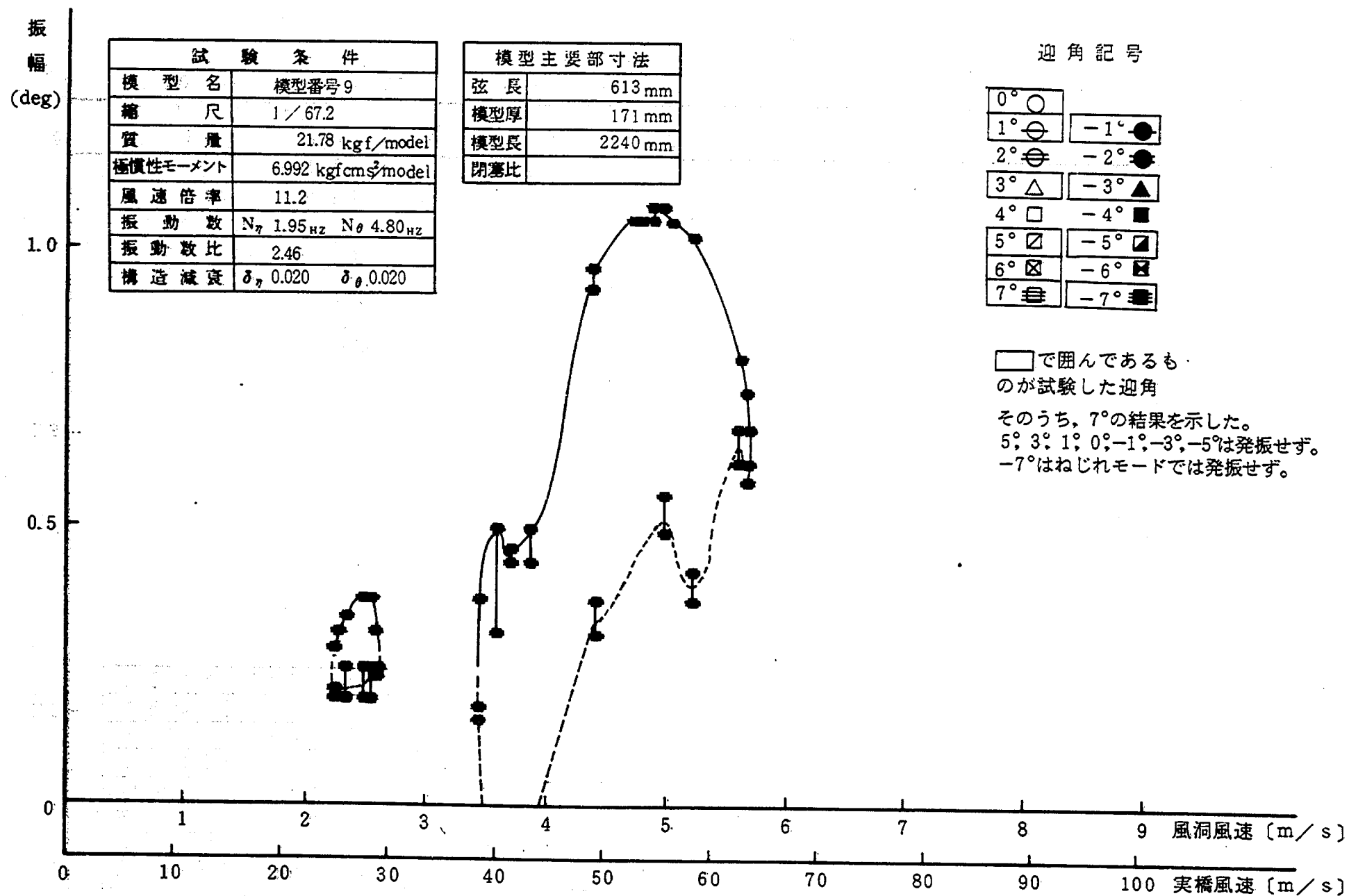


図-6-13 振幅-風速曲線

振
幅
(deg)

試 験 条 件	
模 型 名	模型番号9
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 ₇ 1.95 _{Hz} N ₀ 4.80 _{Hz}
振 動 数 比	2.46
構 造 減 衰	δ_7 0.020 δ_0 0.020

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

迎 角 記 号

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

□ で囲んであるものが試験した迎角

そのうち、6°の結果を示した。
5°、3°、1°、0°、-1°、-3°、-5°は発振せず。
-7°はねじれモードでは発振せず。

1.0

0.5

0

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 風洞風速 [m/s]
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 実橋風速 [m/s]

図-6-14 振幅-風速曲線

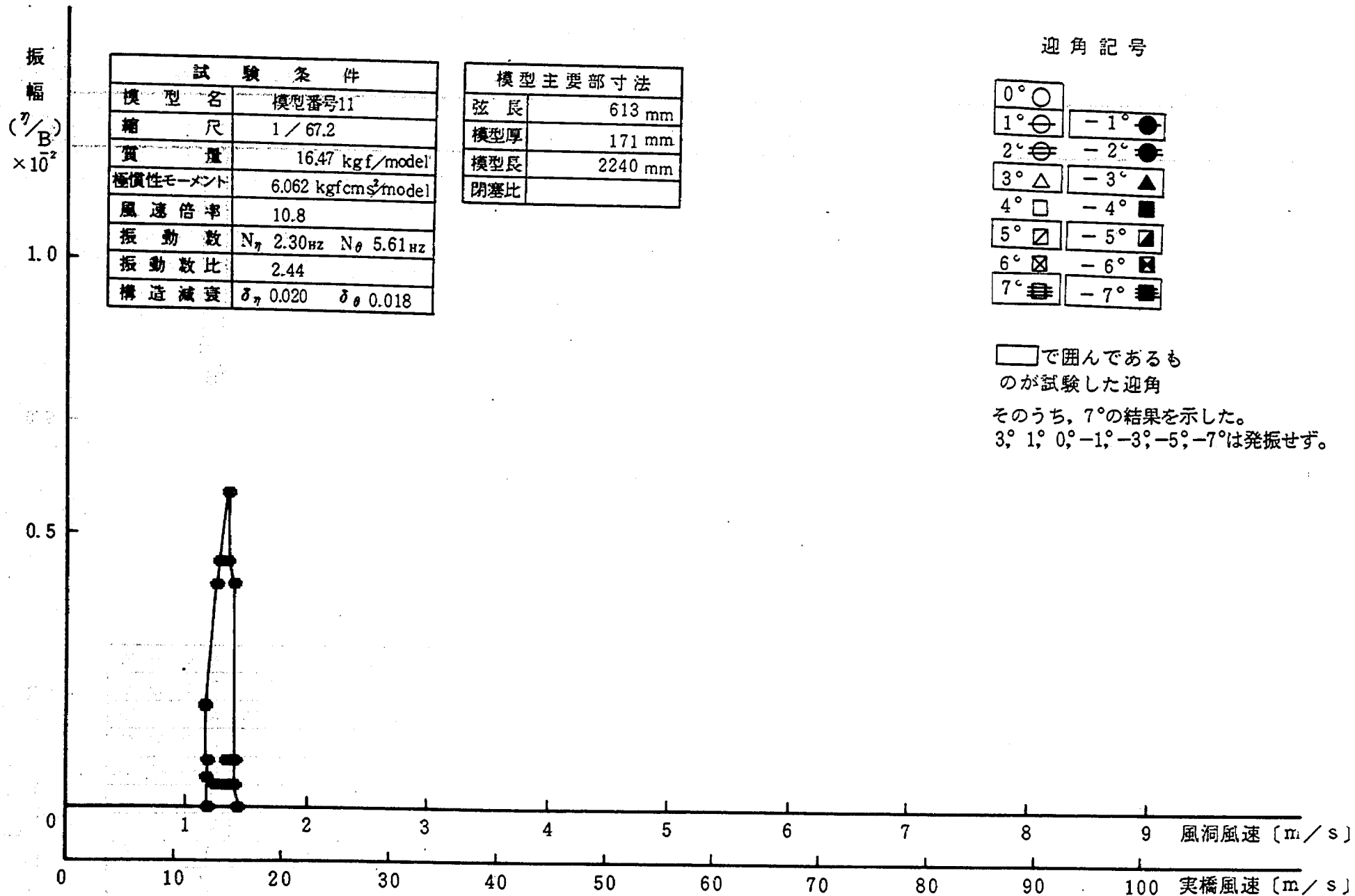


図-6-15 振幅-風速曲線

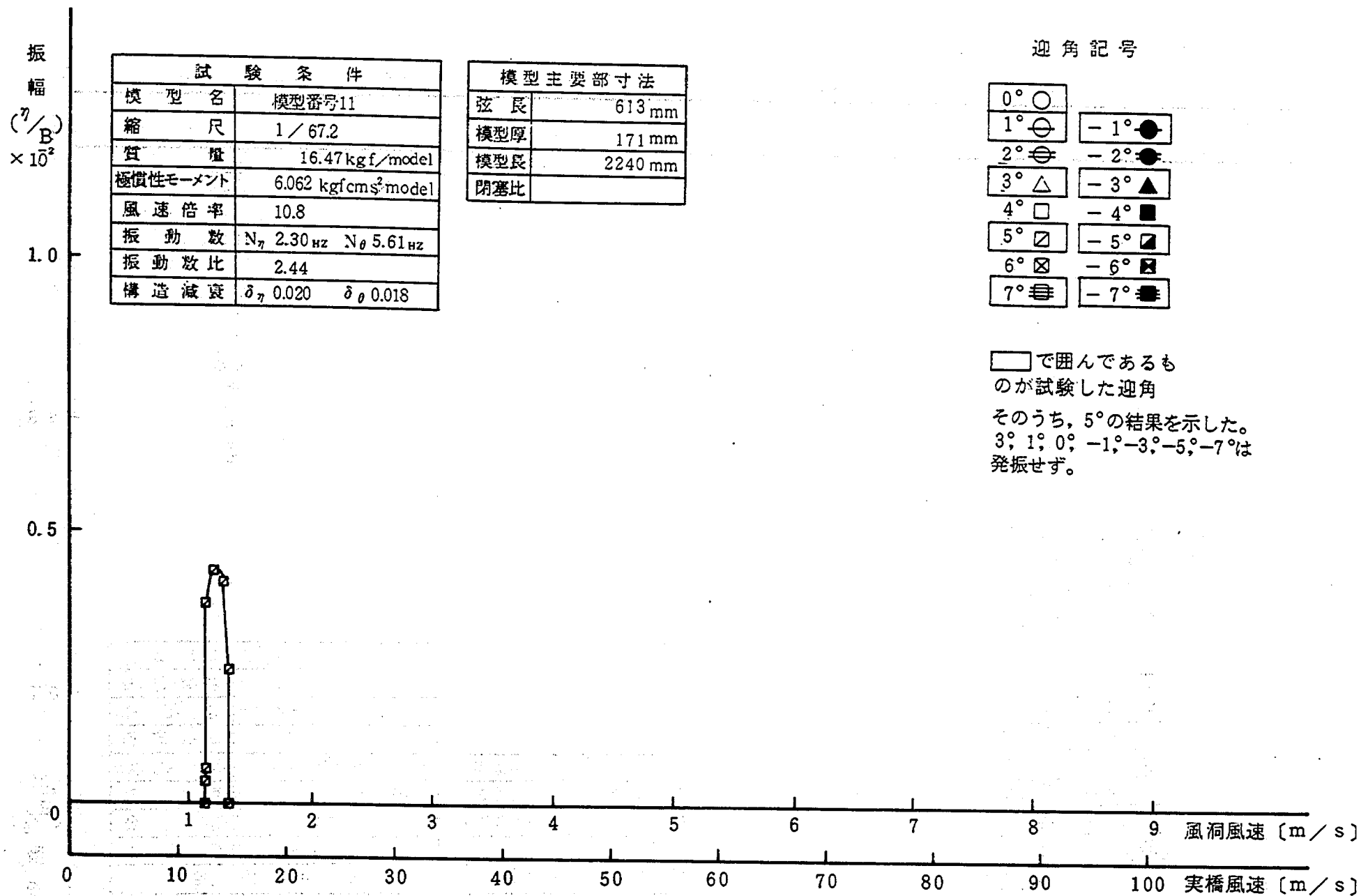


図-6-16 振幅-風速曲線

振
幅
(deg)

試 験 条 件	
模 型 名	模型番号11
縮 尺	1 / 67.2
質 量	16.47 kgf/model
極慣性モーメント	6.062 kgfcm ² /model
風 速 倍 率	10.8
振 動 数	N ₇ 2.30 _{Hz} N _θ 5.61 _{Hz}
振 動 数 比	2.44
構 造 減 衰	δ ₇ 0.020 δ _θ 0.018

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°の結果を示した。

3°, 1°, 0°, -1°, -3°, -5°, -7°は発振せず。

5°はねじれモードでは発振せず。

2.0

1.5

1.0

0.5

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

風洞風速 [m/s]

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

実橋風速 [m/s]

図-6-17 振幅-風速曲線

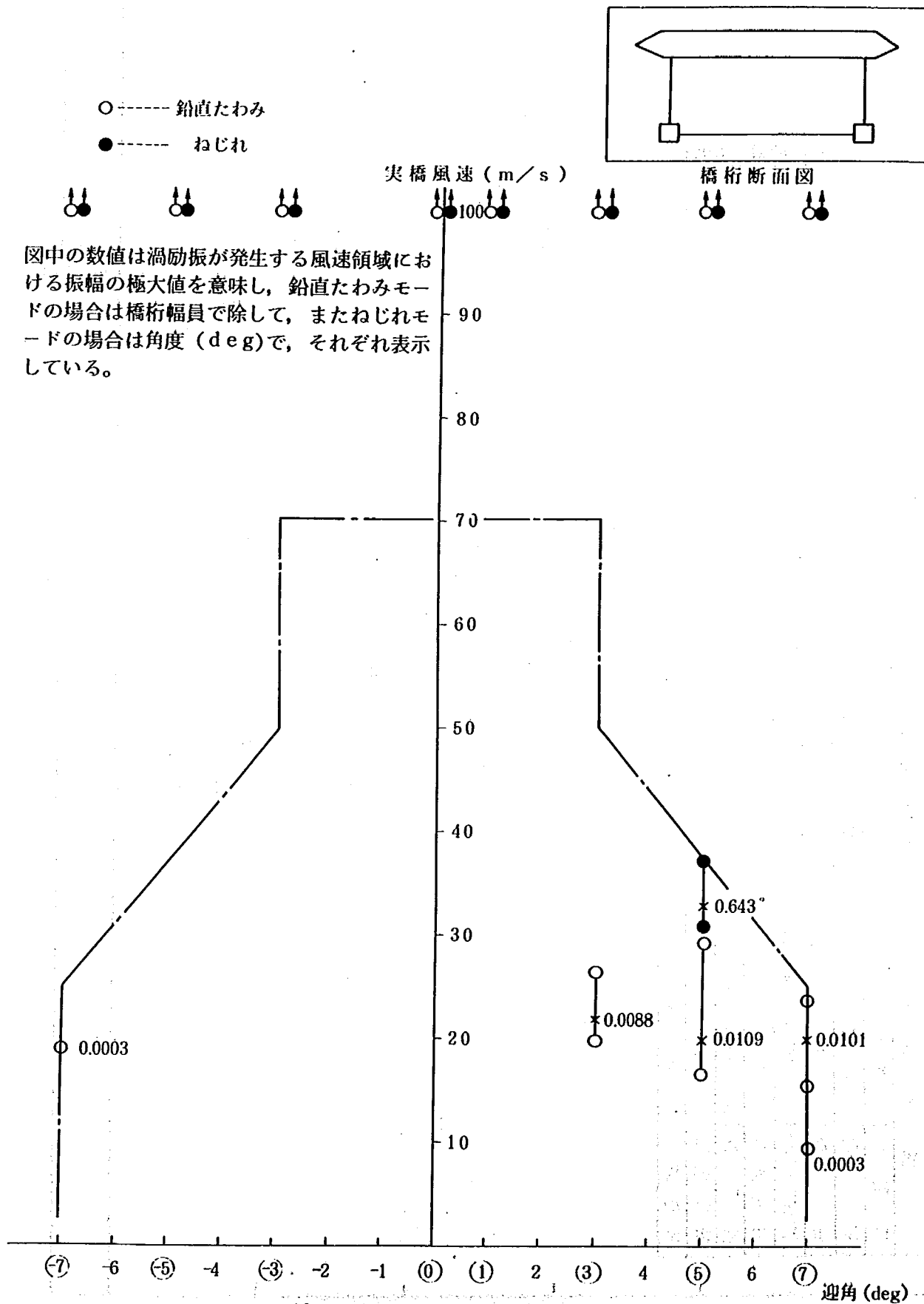


図-7 発振風速—迎角曲線

横浜港横断橋の耐風性調査
報告書(1981)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第 1782 号
昭和57年2月 (1982)

山本邦夫, 佐藤弘史
神崎一夫

キーワード 耐風設計, 自励振動, 渦励振, 斜張橋, 風洞実験

要 旨

横浜港横断橋の完成断面および暫定完成断面について,
自励振動および渦励振に関する耐風安定性の検討を行い,
耐風性の良好な断面を選定した。

郵便はがき

305-□□

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

建設省土木研究所

構造研究室

御中

No. 002

No. 002

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 1782 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印