

土 木 研 究 所 資 料

安芸灘大橋の耐風性調査報告書

平成2年2月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

「Copyright © (1990) 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 General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

安芸灘大橋の耐風性調査報告書

構造研究室 室長 横山 功一
研究員 小路 泰広
東久保正徳

要 旨

広島県の本土と下蒲刈島の上に計画中の箱桁吊橋である安芸灘大橋の設計断面5案を対象とし、バネ支持模型試験を行った。次に耐風安定性のよい断面について三分力試験を行い、耐風性を調査した。その結果、基本断面は発散振動に対して十分安全であること、渦励振は検査車レールを取り付けることにより発現しなくなることが明かとなった。また三分力試験より、設計で用いた風荷重は安全側の値であることが確認された。これより、基本断面を今後の詳細設計の基本とすることは妥当であるという結論を得た。

キーワード：安芸灘大橋、箱桁吊橋、バネ支持模型試験、三分力試験

ま え が き

広島県では離島地域における地域産業の振興，地域住民の利便性の向上，瀬戸内特有の多島美を生かした観光開発などの総合的地域振興のために，安芸灘諸島連絡架橋の建設を進めている。安芸灘大橋はこのうち本土と離島を結ぶ最も重要な1号橋として位置づけられている。

安芸灘大橋は中央支間長740 mの箱桁吊橋であり，径間長に比べ桁幅の狭い吊橋であるため，基本諸元を決める上で耐風性の検討はきわめて重要な課題である。現在机上検討より選定した基本断面をはじめ補剛桁形状および桁幅の異なる5種の設計断面案があり，耐風性調査の結果より風に対する安定性の良好な断面を今後の詳細設計の基本とすることになっている。

土木研究所構造研究室では，平成元年度に広島県より本橋の設計基本案に関する耐風性調査の依頼を受けた。調査はバネ支持模型試験および三分力試験の2種の風洞実験により行い，発散振動および渦励振について各断面の耐風性を評価し，空力特性を把握した。また，必要不可欠の付属物である検査車レールの取付による影響も調査した。ここに調査結果をとりまとめ報告する。

平成2年2月

構造研究室 室 長 横 山 功 一
研究員 小 路 泰 広
東久保 正 徳

目 次

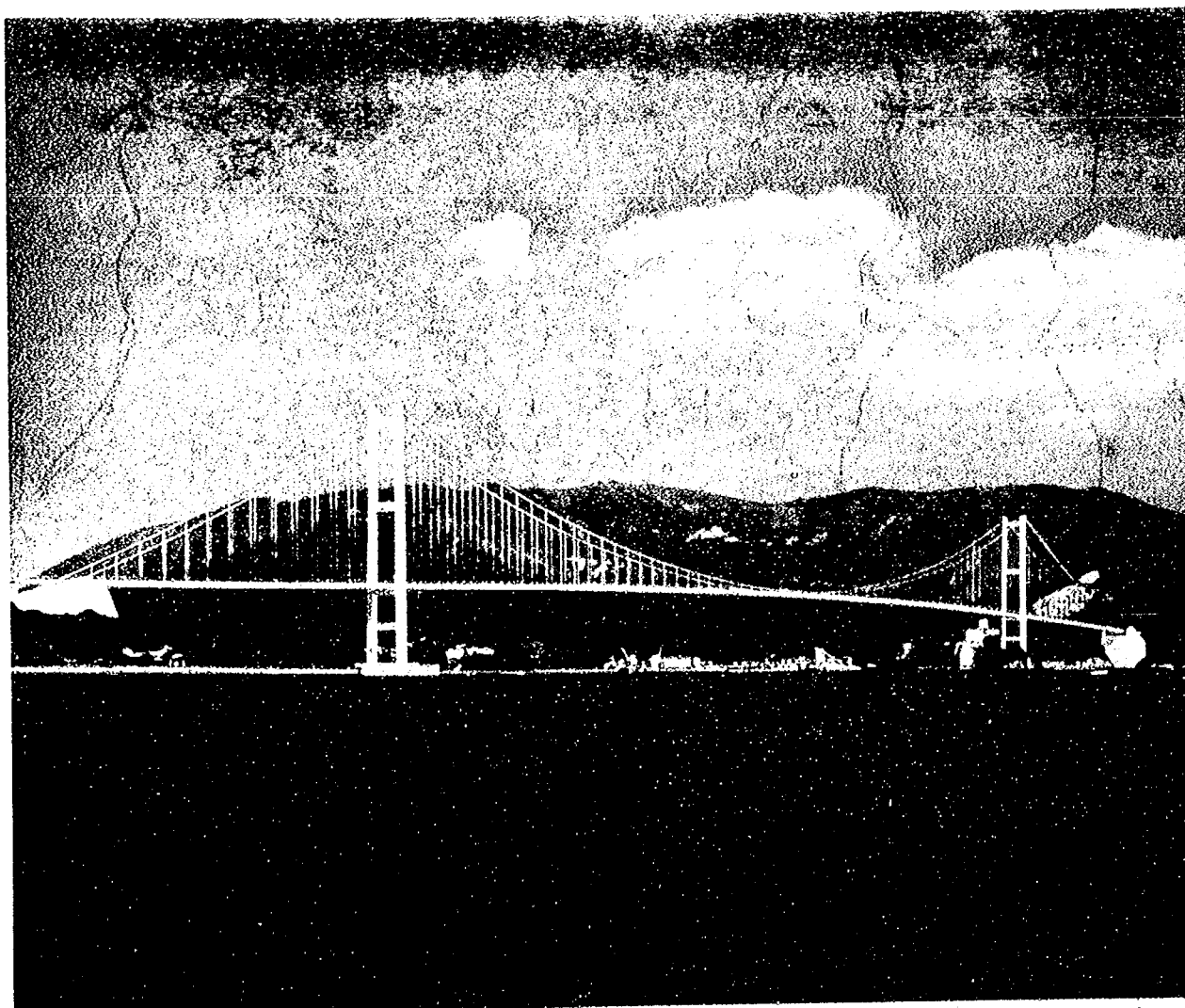
1. 概 要	1
1.1 安芸灘大橋の概要	1
1.2 調査の概要	9
2. 風洞実験による耐風性の検討	11
2.1 バネ支持模型試験	11
2.1.1 実験方法	11
2.1.2 実験条件	13
2.1.3 実験ケース及び実験結果	17
2.1.4 検査車レールの影響	36
2.2 三分力試験	40
2.2.1 実験方法	40
2.2.2 実験ケース及び実験結果	40
3. まとめ	52
4. あとがき	53
参考文献	53
付属資料	55

1. 概 要

1.1 安芸灘大橋の概要

(1) 架橋計画

安芸灘大橋（写真－1.1）は、広島県による安芸灘諸島連絡橋計画（図－1.1の1～8号橋）のうち、本土と離島を結ぶ重要な1号橋として位置付けられている。この架橋計画は、本土側川尻町小仁方の一般国道185号から、女猫瀬戸を渡海し、一般県道下蒲刈島循環線に至る延長約2.5kmのものであり、その中に橋長1,170mの安芸灘大橋がある。本橋の架設地点の位置図を図－1.2に示し、一般図を図－1.3に示す。



写真－1.1 安芸灘大橋の完成予想写真

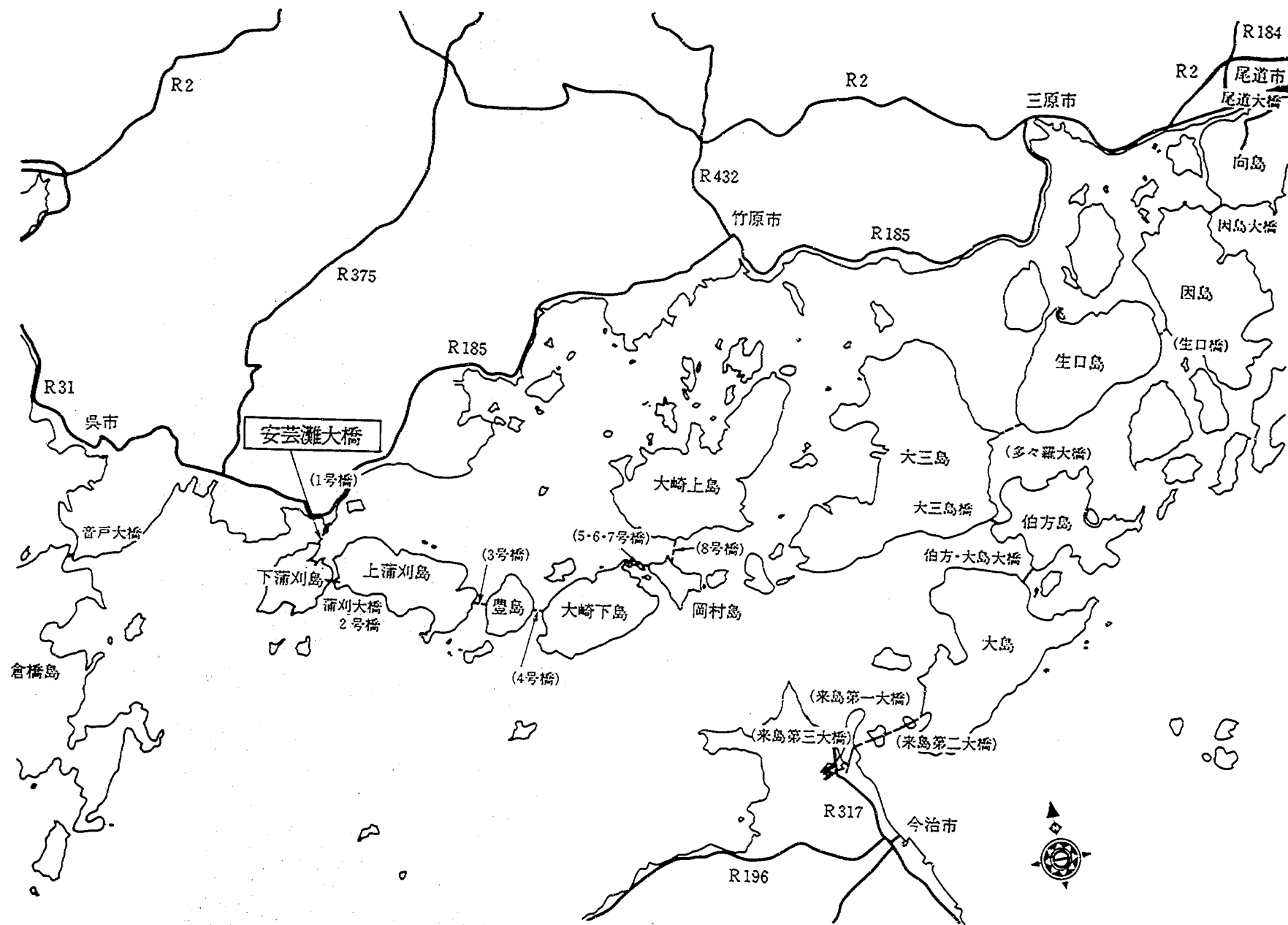


図-1.1 安芸灘諸島架橋全体概要図

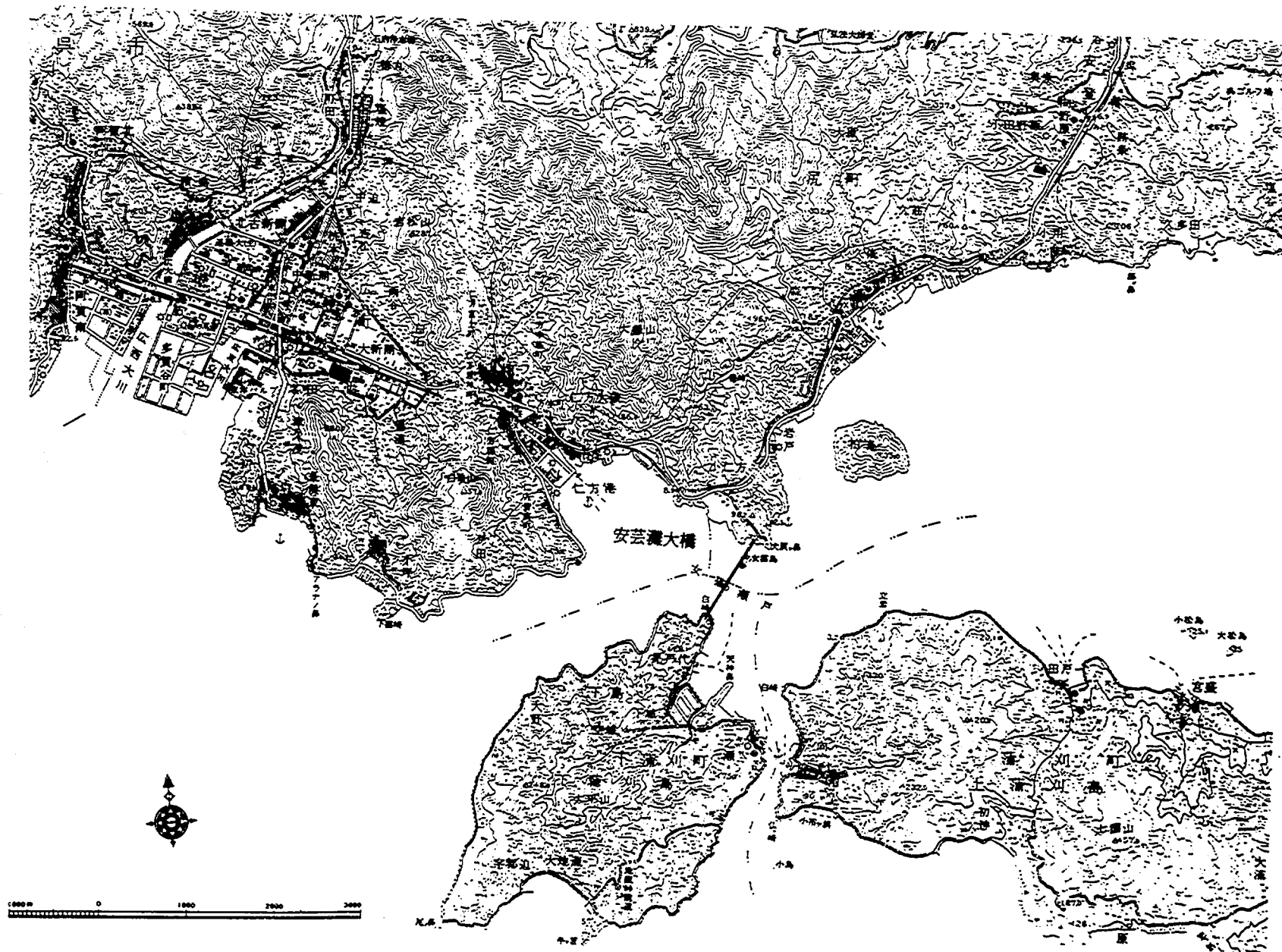
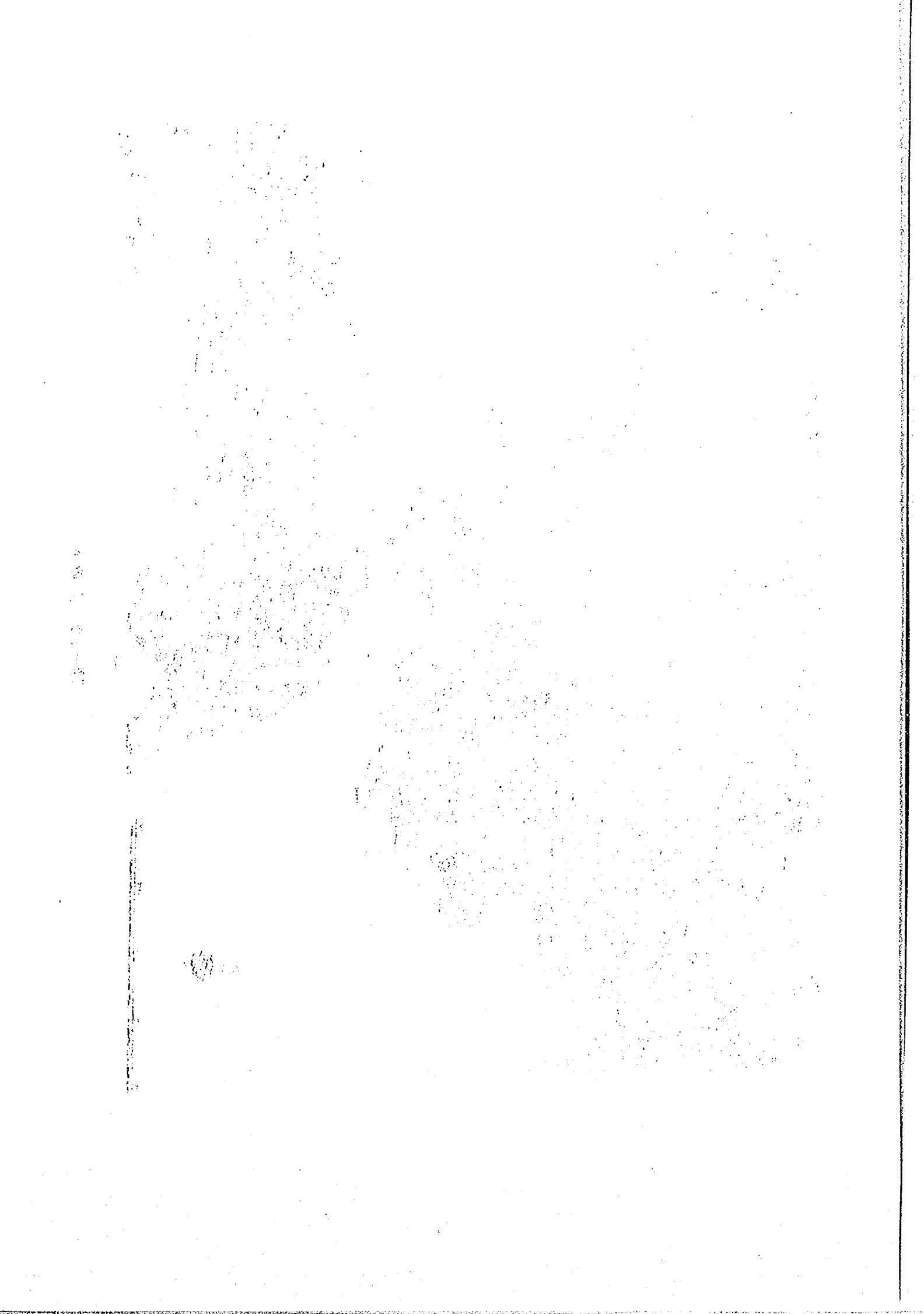
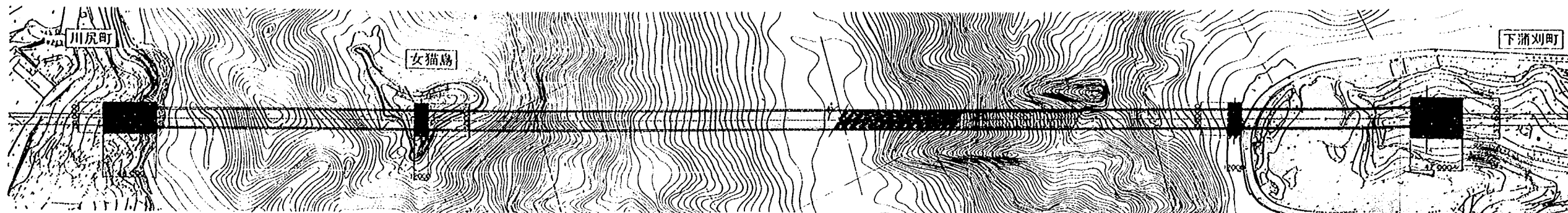


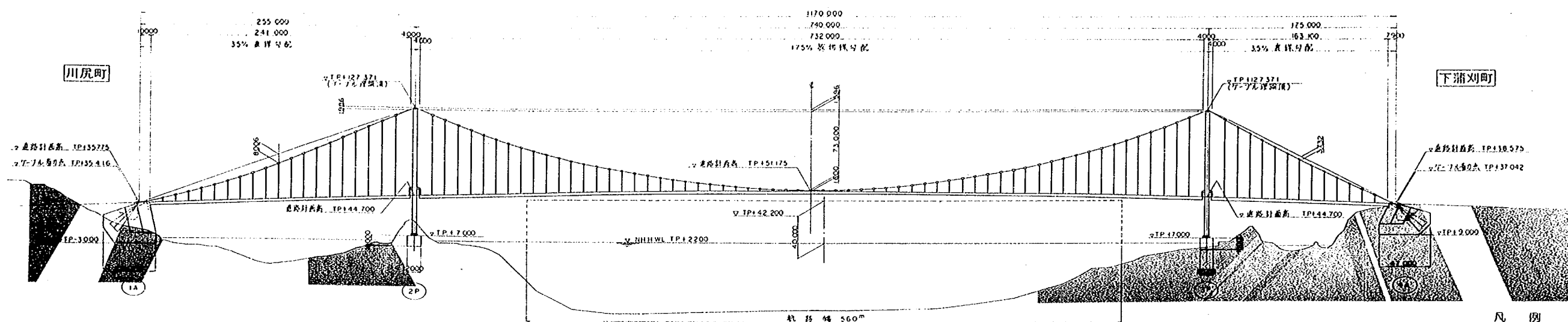
図-1.2 位置図



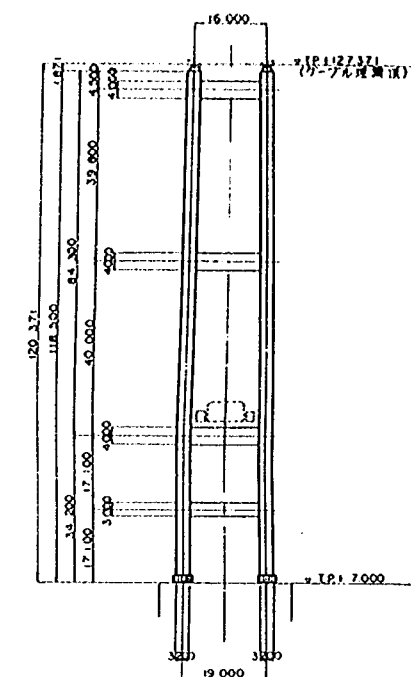
平面図



側面図



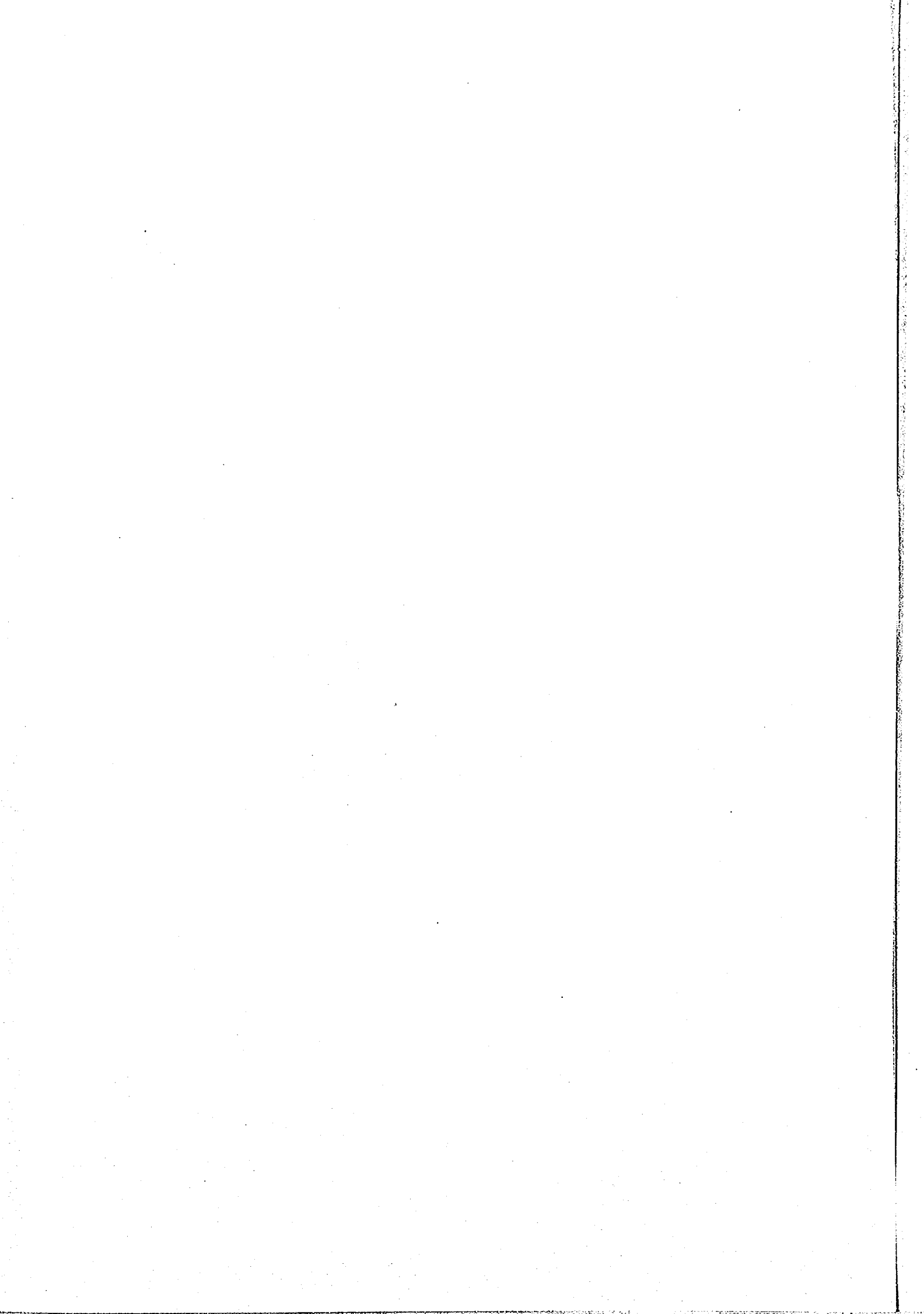
主塔構造図



凡例

- | | | |
|-----------|--|-----------|
| 岩質区分 | | 細粒花崗閃緑岩 |
| 現世堆積物 | | 粗粒アダメロ岩 |
| 崖錐堆積物 | | 中～粗粒花崗閃緑岩 |
| 花崗斑岩 | | 砂岩 |
| アプライト | | 粘板岩 |
| 細～中粒アダメロ岩 | | 石灰岩 |

図-1.3 橋梁一般図



(2) 構造基準等

路 線 名：一般県道下蒲刈川尻線

橋 格：1等橋

第3種3級（補助幹線D規格）

設計速度： $V = 40 \text{ km/h}$

橋長・径間：1,170 m（255 + 740 + 175）

主 塔 高：約 120 m（TP + 127 m）

勾 配：縦断 （中央径間） 1.75%放物線，（側径間） 3.5%直線

横断 1.5%直線

設計荷重：TL-20（L荷重は本四基準に準じ中央径間長により低減）

(3) 設計断面の特徴

本橋は補剛箱桁の吊橋であり，基本断面の標準断面図は図-1.4に示すとおりである。また，今回検討を行う5種の補剛箱桁形状案を表-1.1に示す。

本橋は図-1.5に示すように，これまで計画された橋梁の中でも径間長に比べて桁幅が非常に狭いものとなる。設計案のケーブル間隔は $B_c = 16.0 \text{ m}$ 及び $B_c = 14.0 \text{ m}$ であり，中央径間 $L_c = 740.0 \text{ m}$ に対してケーブル間隔比 $L_c / B_c = 46 \sim 53$ と非常に大きいものとなる。そのため風に対する安定性について十分に検討しておく必要がある。

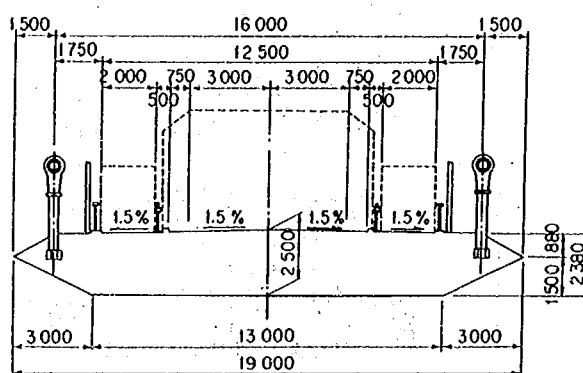


図-1.4 基本形状案の標準断面図

表-1.1 補剛桁形状案

モデル	断面図	実験諸元	備考
A-1		$w = 30.775 \text{ kg}$ $\theta = 0.1121 \text{ kg ms}^2$ $f_v = 0.166 \text{ Hz}$ $f_\theta = 0.534 \text{ Hz}$	机上検討より選定した基本形状案 ケーブル間隔16m
B-1		$w = 31.525 \text{ kg}$ $\theta = 0.1212 \text{ kg ms}^2$ $f_v = 0.166 \text{ Hz}$ $f_\theta = 0.520 \text{ Hz}$	偏平六角形断面 ケーブル間隔16m
C-1		$w = 31.475 \text{ kg}$ $\theta = 0.1163 \text{ kg ms}^2$ $f_v = 0.165 \text{ Hz}$ $f_\theta = 0.522 \text{ Hz}$	白鳥大橋タイプ ケーブル間隔16m
A-2		$w = 28.175 \text{ kg}$ $\theta = 0.0808 \text{ kg ms}^2$ $f_v = 0.166 \text{ Hz}$ $f_\theta = 0.555 \text{ Hz}$	A-1のケーブル間隔14m
B-2		$w = 28.950 \text{ kg}$ $\theta = 0.0883 \text{ kg ms}^2$ $f_v = 0.167 \text{ Hz}$ $f_\theta = 0.550 \text{ Hz}$	B-1のケーブル間隔14m

w : 模型重量

f_v : 実橋たわみ振動数

θ : 模型極慣性モーメント

f_θ : 実橋ねじれ振動数

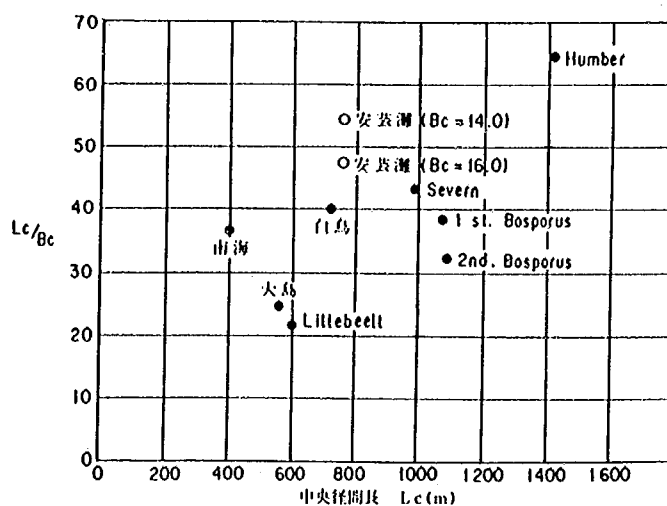


図-1.5 中央径間長とケーブル間隔比の関係

1.2 調査の概要

(1) 調査の目的

本調査の目的は、現在検討されている前述の設計断面 5 案についてその耐風性を明らかにすることにより、補剛桁の形状（橋梁総幅、フェアリング形状）のおおまかな耐風性を把握すること、及び必要不可欠な付属物である検査車レールを設置することによる耐風性への影響を把握することである。そのためにバネ支持模型試験を行い、発散振動及び渦励振について動的照査を行い、各断面の耐風安定性を評価する。また、耐風性の良好な断面について三分力試験を行い、設計に用いた風荷重が妥当であるかどうかを検証するとともに、今後の詳細な耐風性の検討の基礎資料として各空力特性を明かにする。

(2) 実験の流れ

実験は図-1.6 に示すように進める。すなわち、まず基本断面である A-1 に関してバネ支持模型試験を行い、耐風性を評価する。A-1 断面の耐風性が不良であった場合、ケーブル間隔が等しくフェアリング形状の異なる B-1, C-1 断面について実験する。ただし A-1 断面の耐風性は良好のため、結果的に B-1, C-1 断面の実験は行っていない。A-1 断面の耐風性が良好であることを確認した後、幅の狭い A-2, B-2 断面について実験を行い、実験結果より補剛桁断面の選定を行う。その結果得られた耐風性の良好な断面について検査車レールの有無や正風・逆風の違いに着目して耐風性を調査する。以上の実験結果より設計断面の耐風性を評価し、補剛桁断面の形状を選定する。

(3) 耐風性の評価

補剛桁の発散振動の評価については、本州四国連絡橋耐風設計基準（1976）（以下、本四基準と呼ぶ）で提案されている迎角-発現風速図を用いて行う。評価に必要な風速は、現段階では本四基準に規定されている、架橋地点に近い来島海峡における基本風速の値（ $V_{10} = 40 \text{ m/s}$ ）を準用する。これと架設高および水平長の補正より、設計風速、照査風速が以下のとおり求まっている。

基本風速 $V_{10} = 40 \text{ m/s}$ (10m高さ)

高度補正 $\nu_1 = 1.25$ ($h = 46.688 \text{ m}$)

水平長補正 $\nu_2 = 1.15$ ($\ell = 732 \text{ m}$)

設計風速 $V_d = \nu_1 \times \nu_2 \times V_{10}$

$$= 1.25 \times 1.15 \times 40 = 57.5 \text{ m/s}$$

照査風速 $V_R = 1.2 \times V_d$

$$= 1.2 \times 57.5 = 69.0 \text{ m/s}$$

渦励振については、その発現が直ちに構造物を破壊に導くものではなく、疲労あるいは使用性の面から検討すべき現象であるため、架橋地点の風の特性よりその発現頻度を考慮して評価する。

風荷重については、抗力係数 C_D が実橋の設計に用いた値よりも下回ることを確認する。

表-1.2 補剛箱桁断面形状

モデル	形状図	縮尺 1/30 ($l = 2.250m$)
A-1		
B-1		
C-1		
A-2		
B-2		

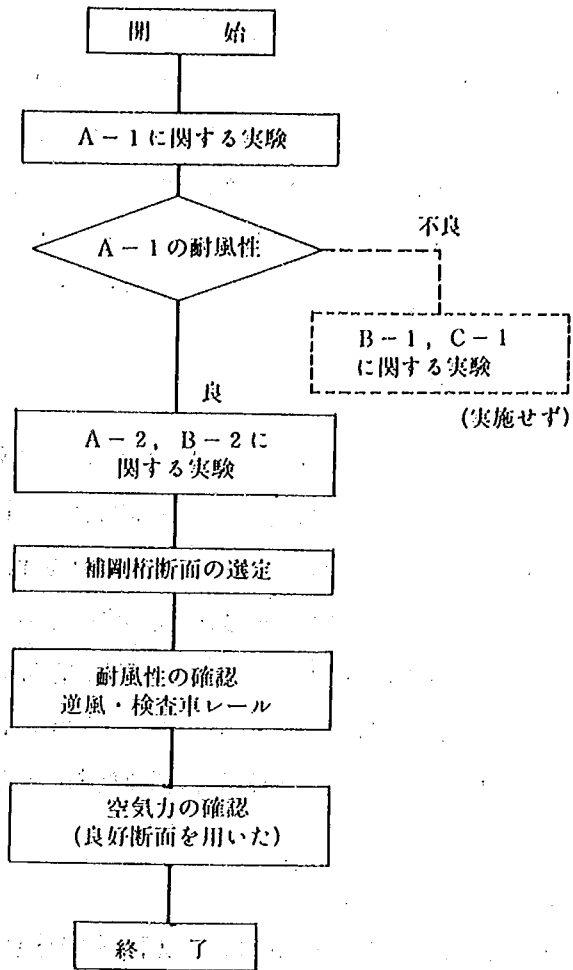


図-1.6 実験の流れ

2. 風洞実験による耐風性の検討

2.1 バネ支持模型試験

2.1.1 実験方法

バネ支持模型実験は橋桁の一部を模型化した二次元剛体模型を風洞内にバネで支持し、通常は一様気流中での応答を計測するものであり、橋梁の耐風安定性を検証する上で実績のある簡便な方法である。今回実施したバネ支持実験の手法の概要を図-2.1に示す。

模型は縮尺1/30とし、8本のコイルバネにより風洞内に支持し、風速及び迎角を変化させて各ケース毎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及びマノメータを用いて行なった。模型の挙動は2台の光学式変位計により測定し、それぞれの出力を加算によってたわみ変位量に、減算によってねじれ変位量に換算しデータレコーダ及びペン書きレコーダに記録した。振幅はペン書きレコーダの記録紙上に記録された振動振幅を読み取ることによって求めた。

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。フラッター風洞の主要諸元を図-2.2及び表-2.1に示す。また、模型を付図-1に示す。

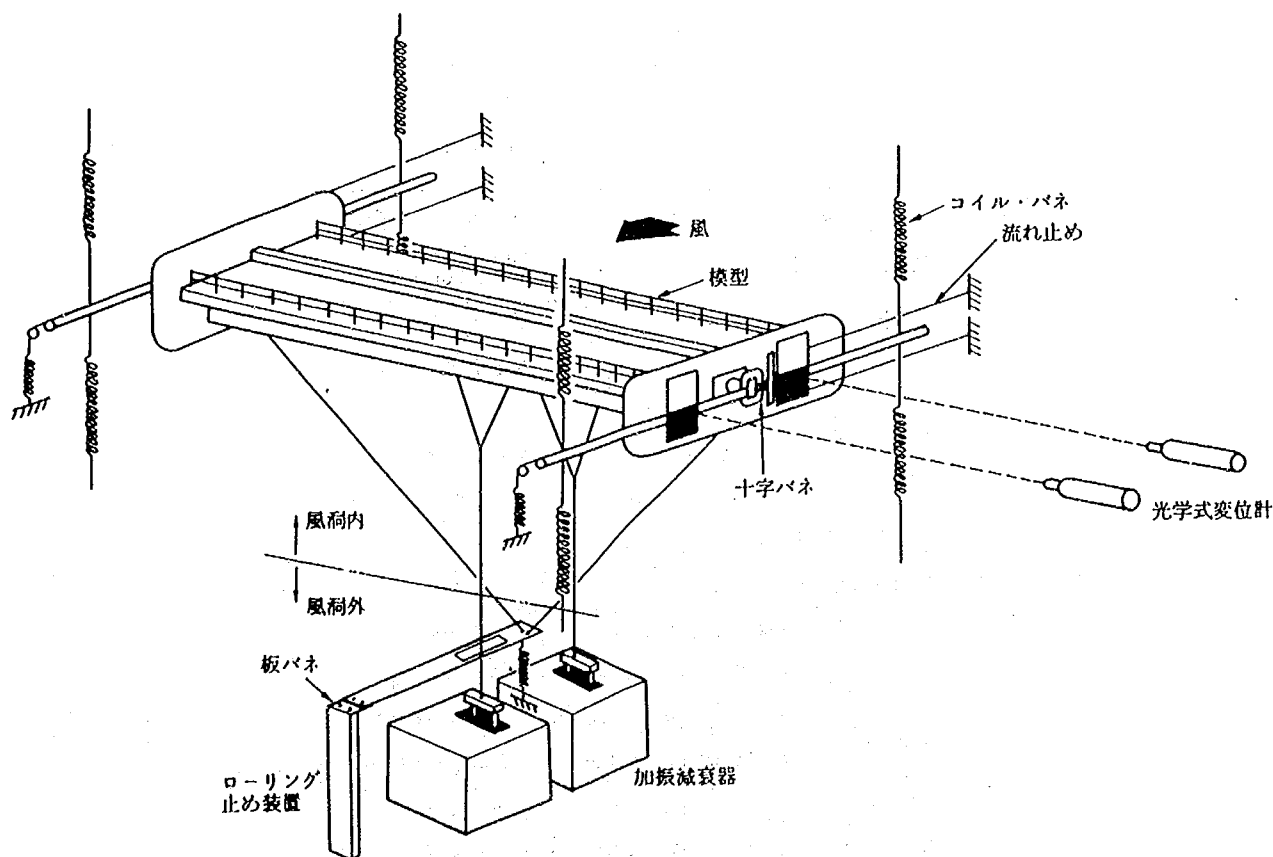


図-2.1 バネ支持模型試験方法の概要

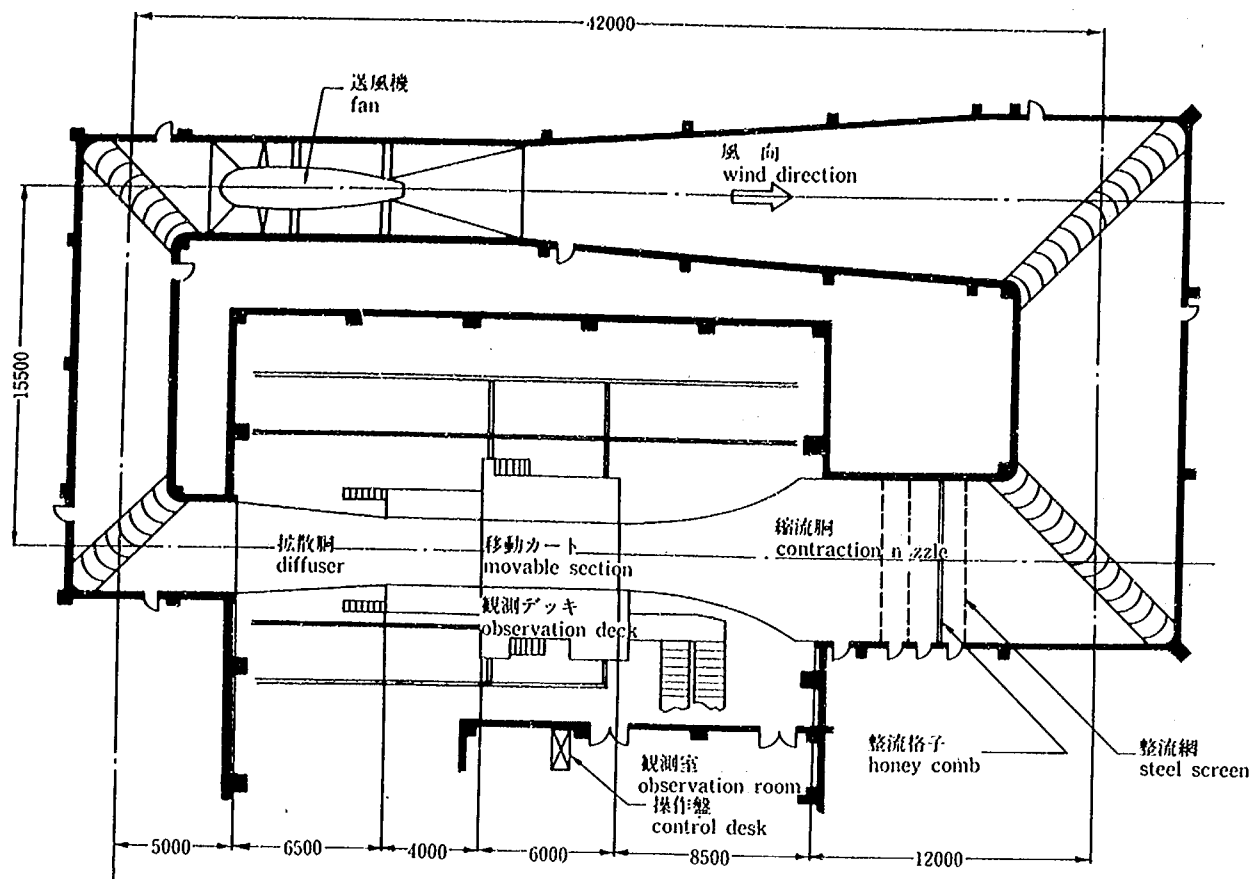


図- 2.2 フラッター風洞平面図

表- 2.1 フラッター風洞主要諸元

風 洞 名	フラッター風洞	
Wind Tunnel	Low Speed Wind Tunnel-A	
風洞形式	ゲッチンゲン型	
Type	Göttingen Type	
測 定 断 Test Section	幅 Width	2,500mm
	高 Height	4,000mm
	長 Length	10,000mm
風路全長		
Total Path Length	115m	
送 風 機 Fan	動翼直径 Diameter	4,000mm
	有効全圧 Pressure Rise	40.0mmAq
	風 量 Wind Volume	242.0 m ³ /sec
	回 転 数 Rotation	400.0rpm
	容 量 Power	250.0KW
気 流 Flow	風 速 Wind Speed	1.0~25.0m/sec
	乱 れ 率 Turbulence Intensity	0.5%

2.1.2 実験条件

安芸灘大橋の橋梁形式としては3径間吊橋案と2径間吊橋案の両案が検討されているが、両案の振動特性の解析の結果、振動数、質量及び極慣性モーメントは差がなく、2径間吊橋案の解析結果を実橋の構造特性値とした。両案の橋梁形式案の諸元を表-2.2に、振動モード図を図-2.3～4に示す。

バネ支持模型実験では、相似条件として幾何学的形状を相似させることの他に、次の6つの無次元量を実橋と模型とで一致させた。

$$m/\rho B^2, V/N\eta B, \delta_\eta, I/\rho B^4, V/N\theta B, \delta_\theta$$

ここに、 m ；単位長さ当りの質量 ρ ；空気密度

B ；構造物の代表長さ V ；風速

N ；固有振動数 δ ；無風時における対数減衰率

I ；極慣性モーメント

添字 η, θ ：それぞれ鉛直たわみ振動、ねじれ振動を表す

これらの相似条件により導かれた実験条件を表-2.3に示す。実験では、質量及び極慣性モーメント調整は次の手順によっている。まず模型を支持し、加振減衰器を取り付けた状態で全体の振動系としてのバネ定数を、付加質量を変化させて動的な試験により求める。次にこのバネ定数を用いて所要の質量あるいは極慣性モーメントにおける固有振動数を計算し、重錘を調整してその固有振動数に一致させることにより、質量あるいは極慣性モーメントを所要値に合わせる。

ところで、通常の実験においては、連成フラッターを正しく評価できるように、バネ間隔を変えてたわみの振動数とねじれの振動数との比を実橋の値に合わせる。しかし安芸灘大橋ではこの比がかなり大きく、極慣性モーメントが小さいためこれを満足することができないケースがあった。一般に振動数比の大きな橋梁では連成フラッターは発生しないため、振動数比が高い本橋に関しては、これを合わせることはあまり重要ではない。また実験を行った振動数比は、実橋の振動数比よりは小さいものの所要値の約80%と十分に大きな値となっているため、実橋で発現しないはずの連成フラッターが実験で発生する可能性も低い。したがって連成フラッターに関連して振動数比が合わなかったことは問題とならないと考えた。ただし、フラッターの発現振幅そのものも振動数比の影響をある程度受けるといわれり、フラッターが生じた場合には別途の検討が必要となる。ここでは必要な場合に別途検討を行うこととして、振動数比は低いままで実験を実施することとした。一方、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、その電気抵抗値を変化させて所要の減衰率（本橋の構造減衰は $\delta_\theta = \delta_\eta = 0.02$ と設定）に調整した。

表-2.2 実橋諸元

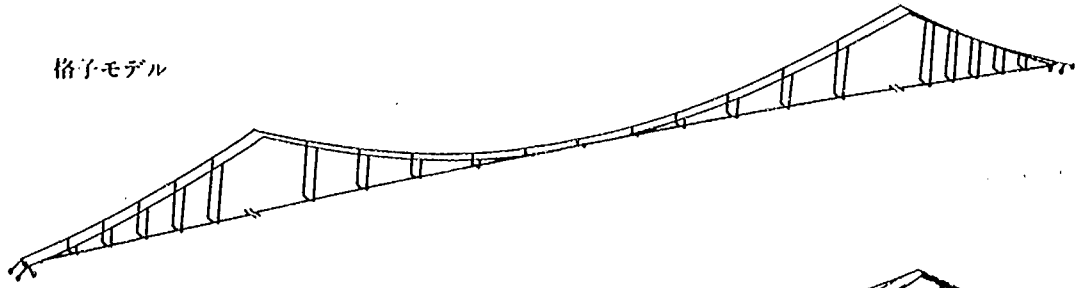
橋梁形式及び桁断面	総 幅 m	ケーブル 間隔 m	Lc/Bc	質量 ts^2/m^2	極慣性 モーメント $\text{ts}^2\text{m}^2/\text{m}^2$	振動数(Hz)		振動数比
						たわみ	ねじれ	
3径間吊橋 A-1	19.0	16.0	46.25	1.254	40.207	0.164	0.504	3.073
2径間吊橋 A-1	19.0	16.0	46.25	1.256	40.356	0.166	0.534	3.217
B-1	20.0	16.0	46.25	1.287	43.630	0.166	0.520	3.133
C-1	20.0	16.0	46.25	1.285	41.680	0.165	0.522	3.164
A-2	17.0	14.0	52.86	1.150	29.070	0.167	0.555	3.323
B-2	18.0	14.0	52.86	1.182	31.800	0.167	0.550	3.293

表-2.3 実験条件と実験値

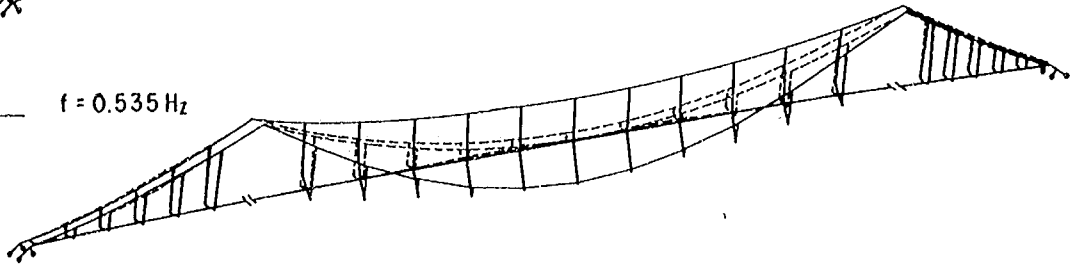
桁タイプ		A-1			A-2			B-2		
		実橋値	模型所要値	模型値	実橋値	模型所要値	模型値	実橋値	模型所要値	模型値
重 量		t/m 12.309	kg/model 30.773 ± 1.539	30.756	t/m 11.267	kg/model 28.168 ± 1.408	28.076	t/m 11.575	kg/model 28.938 ± 1.447	29.877
極慣性モーメント		t·m·s ² /m 40.356	kg·m·s ² /model 0.112 ± 0.006	0.112	t·m·s ² /m 29.073	kg·m·s ² /model 0.081 ± 0.004	0.081	t·m·s ² /m 31.798	kg·m·s ² /model 0.088 ± 0.004	0.088
振動数 (Hz)	たわみ	0.166	—	1.006	0.167	—	1.058	0.167	—	1.028
	ねじれ	0.534	—	3.189	0.566	—	2.868	0.550	—	3.030
振 動 数 比		3.217	—	3.170	3.369	—	2.711	3.293	—	2.947
構 造 減 衰	たわみ	—	0.02 ± 0.005	0.020	—	0.02 ± 0.005	0.020	—	0.02 ± 0.005	0.021
	ねじれ	—	0.02 ± 0.005	0.020	—	0.02 ± 0.005	0.020	—	0.02 ± 0.005	0.019

3 径間吊橋

格子モデル

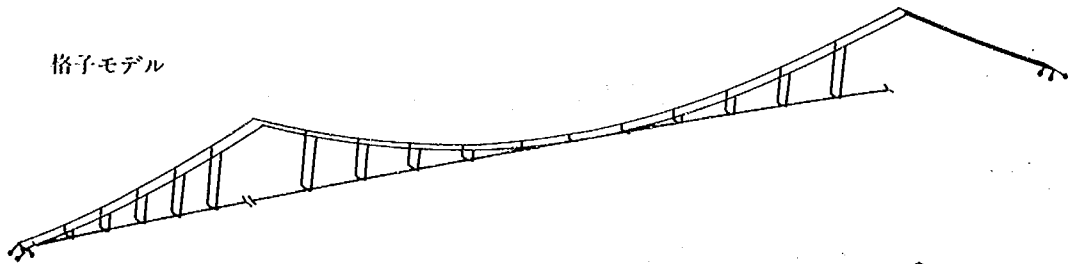


A-1 $f = 0.535 \text{ Hz}$

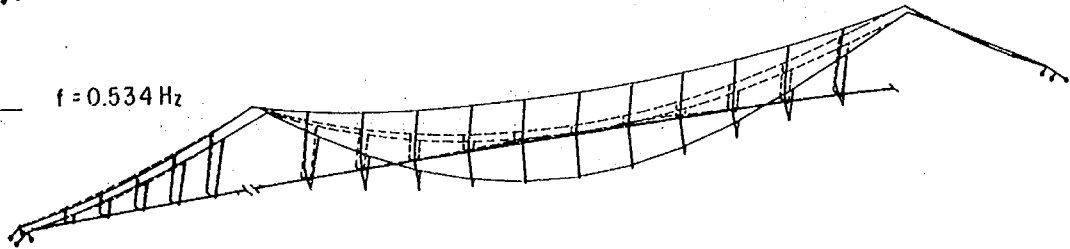


2 径間吊橋

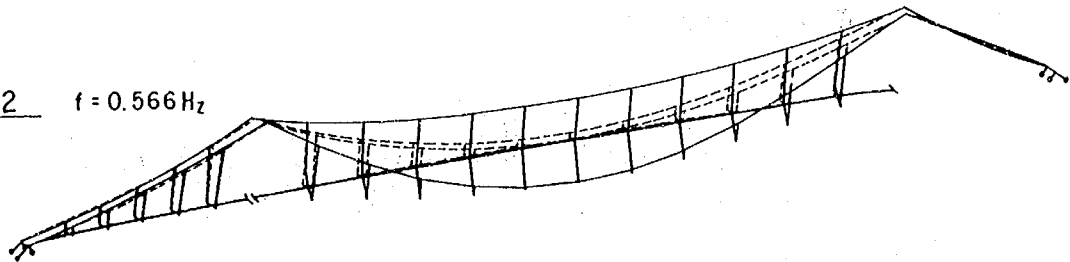
格子モデル



A-1 $f = 0.534 \text{ Hz}$



A-2 $f = 0.566 \text{ Hz}$



B-2 $f = 0.550 \text{ Hz}$

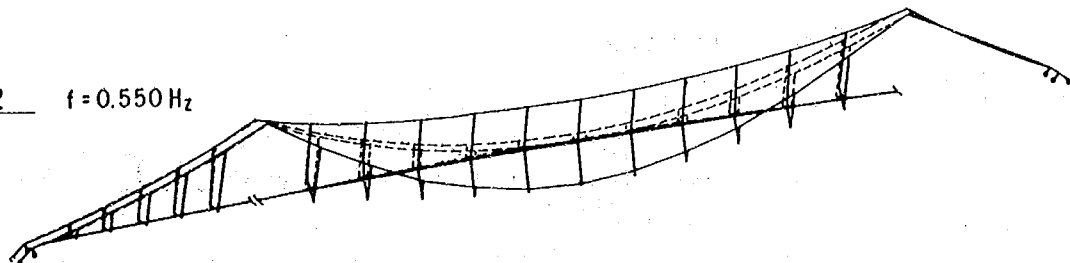


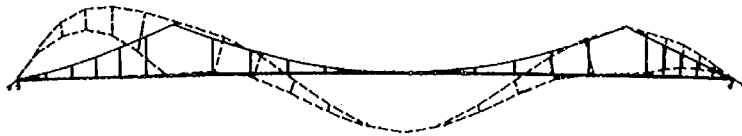
図-2.3 振動モード図 (ねじれ1次モード, その1)

格子モデル



3 径間吊橋

A-1 $f = 0.164 \text{ Hz}$

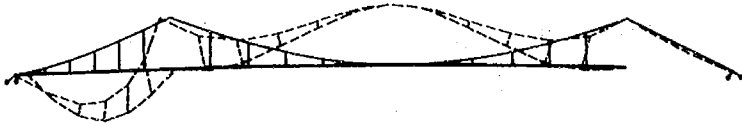


格子モデル

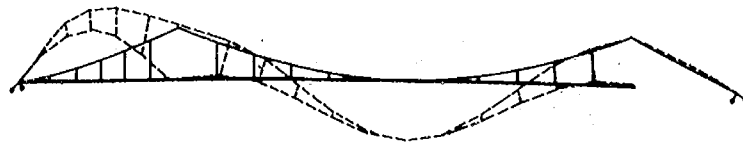


2 径間吊橋

A-1 $f = 0.166 \text{ Hz}$



A-2 $f = 0.167 \text{ Hz}$



B-2 $f = 0.167 \text{ Hz}$

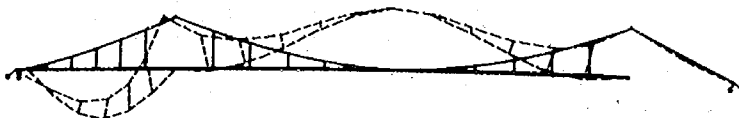


図-2.4 振動モード図（たわみ1次モード，その2）

2.1.3 実験ケース及び実験結果

これまで述べたように、実験は標準的な手法で対風応答特性を捉えることが目的であるため、実験ケースとしては、基本的なパラメータである迎角を変化させるものとした。実験ケースおよび実験結果の総括を表-2.4に示し、図-2.5～9に迎角-発現風速図として実験結果をまとめた。また、付図-2に風速-振幅図を示す。

(1) 各桁断面の対風応答

① 桁設計案A-1について

たわみの渦励振は実験を行った全ての迎角で発現しており、風速域は2.8～4.9m/s（無次元風速 $V/(f_h \times B) \div 1$ ）で、実橋換算片振幅0.20mの振幅が計測された。ねじれの渦励振は迎角が $+5^\circ$ 、 $+7^\circ$ のみで発現しており、風速域は10.3～14.2m/s（無次元風速 $V/(f_\theta \times B) \div 1.5$ ）で、ねじれ振幅はそれぞれ 1.0° 、 1.8° であった。

ねじれの発散振動であるフラッターは迎角が $+7^\circ$ でのみ発現し、模型の振動する中心が中央より上流に移動し、下流側が顕著に振動していた。その発現風速は54.7m/sであった。たわみ振動も同時に発現し、振動数はねじれ振動のものとほぼ等しかった。たわみ振動を拘束し、ねじれ1自由度にしたケースではフラッターは発現しなかった。発振風速は本四基準で規定されている風速迎角図の領域を超えており、高風速で十分な耐風性を有している。

② 桁設計案A-2について

本断面は非対称であり、車道側が上流にあるものを正風とした。また、歩道側を上流とした逆風も計測している。

たわみの渦励振は実験を行った全ての迎角で発現しており、風速域は2.7～4.9m/s（無次元風速 $\div 1$ ）で、実橋換算片振幅0.18mの振幅が計測された。ねじれの渦励振は迎角が $+5^\circ$ でのみ発現し、歩道側が上流の場合に11.8～13.9m/s（無次元風速 $\div 1.5$ ）でねじれ振幅 1.1° であった。

ねじれの発散振動は迎角 $+5^\circ$ で発現し、正風で76.9m/s、逆風で83.0m/sとなった。より耐風性の厳しい正風を本断面の耐風特性と考えても本四基準の領域を超えており、十分な耐風性を有している。

③ 桁設計案B-2について

たわみの渦励振は計測を行った全ての迎角で発現しなかった。ねじれの渦励振は全ての迎角で発現しており、風速域7.8～9.7m/s（無次元風速 $\div 1$ ）で最大振幅 0.4° が計測された。

発散振動は計測を行った全ての迎角で発現しなかった。

④ 桁設計案A-1'について（検査車レール）

たわみの渦励振、ねじれの渦励振、発散振動のいずれについても、計測を行った全ての迎角で発現しなかった。

⑤ 桁設計案A-2'について（検査車レール）

たわみの渦励振は計測を行った全ての迎角で発現しなかった。ねじれの渦励振は迎角 -3° で発

現し、風速域 18.4～24.9m/s（無次元風速 $\div 2$ ）で最大振幅 0.7°が計測された。

発散振動は本四基準の領域を超えており、十分な耐風性を有している。

表-2.4 実験ケース及び実験結果

実験 番号	桁 タイプ	迎角 (°)	たわみ渦励振		ねじれ渦励振		発散振動発現風速		備 考
			発現風速域 (m/s)	最大振幅 (m)	発現風速域 (m/s)	最大振幅 (°)	たわみ (m/s)	ねじれ (m/s)	
1		-5	3.42~4.87	0.204	-	-	-	-	7:ねじれ1自由度で発散振動のみの計測
2	A 1	-3	3.12~4.42	0.165	-	-	-	-	
3		0	2.82~3.76	0.166	-	-	-	-	
4		+3	2.84~3.77	0.174	-	-	-	-	
5		+5	2.82~3.99	0.135	11.09~14.15	1.01	-	-	
6		+7	2.81~3.73	0.112	10.34~14.06	1.86	61.42	54.66	
7		+7	***	***	***	***	***	-	
8	A 2	-3	3.14~4.85	0.158	-	-	-	-	8~11:車道側が上流
9		0	3.11~4.14	0.108	-	-	-	-	
10		+3	3.10~4.14	0.149	-	-	-	-	
11		+5	3.10~4.37	0.177	-	-	63.16	76.87	
12		+5	2.76~4.37	0.092	11.78~13.86	1.08	66.37	82.95	
13	B 2	-3	-	-	7.79~9.66	0.42	-	-	13~15:車道側が上流
14		0	-	-	8.11~9.53	0.25	-	-	
15		+3	-	-	7.79~9.58	0.17	-	-	
16	A 1'	-3	-	-	-	-	-	-	16~18:検査車レーン設置(実橋では底部に9mの間隔)
17		0	-	-	-	-	-	-	
18		+3	-	-	-	-	-	-	
19		0	-	-	-	-	-	-	
20	A 2'	-3	-	-	-	-	-	-	20~22:検査車レーン設置(実橋では底部に8mの間隔) 車道側が上流
21		0	-	-	-	-	-	-	
22		+3	-	-	18.44~24.90	0.76	-	82.83	

-:発現せず。***:計測せず。

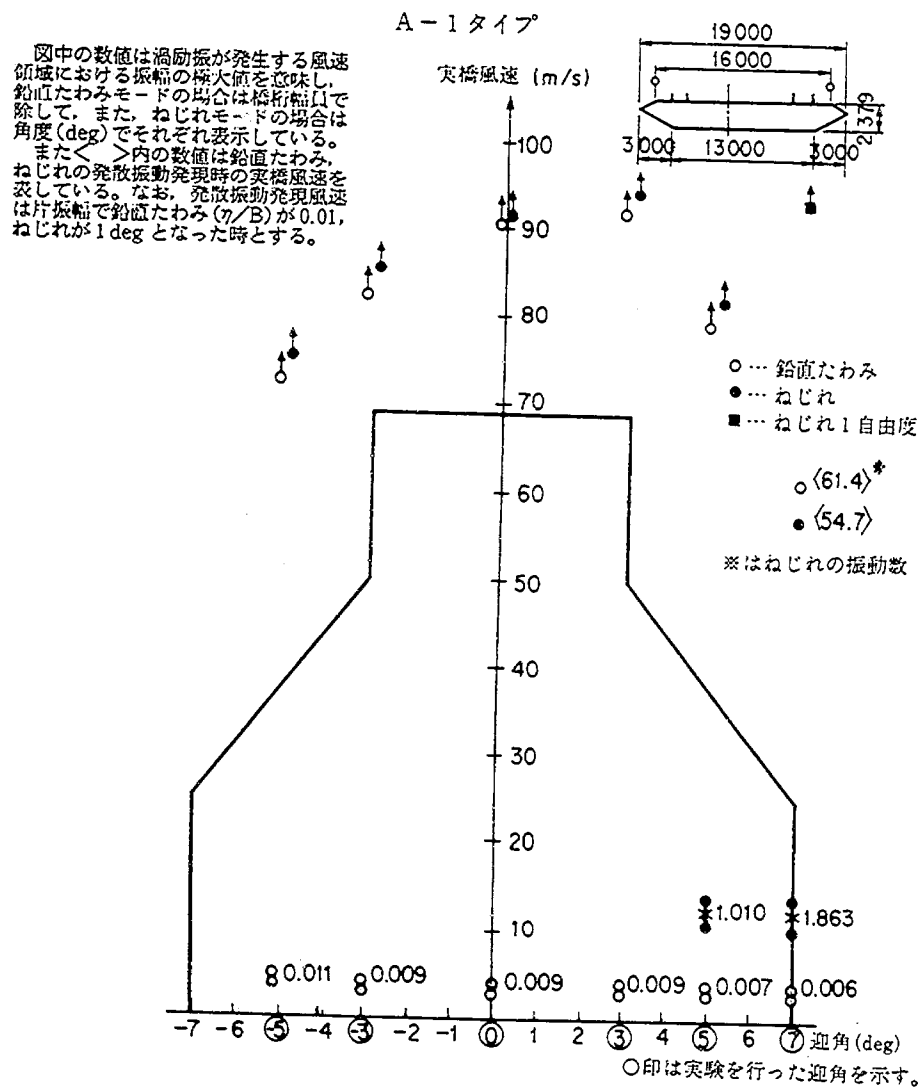


図-2.5 発振風速—迎角曲線 (A-1 断面)

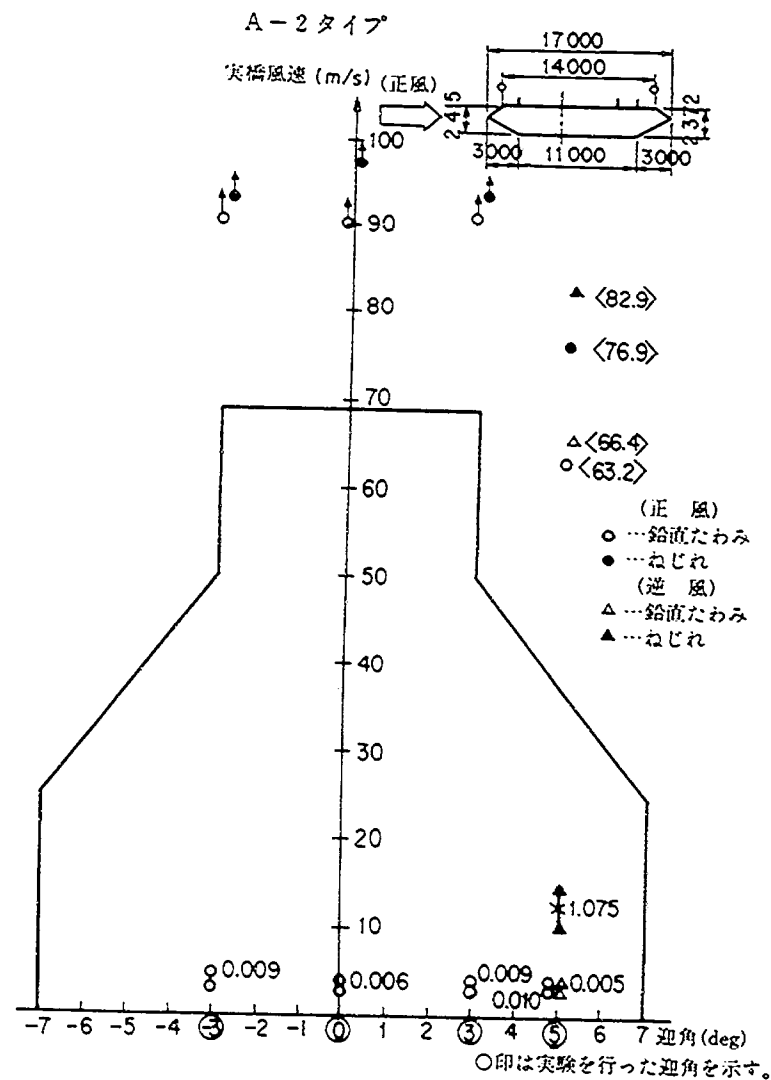


図-2.6 発振風速—迎角曲線 (A-2 断面)

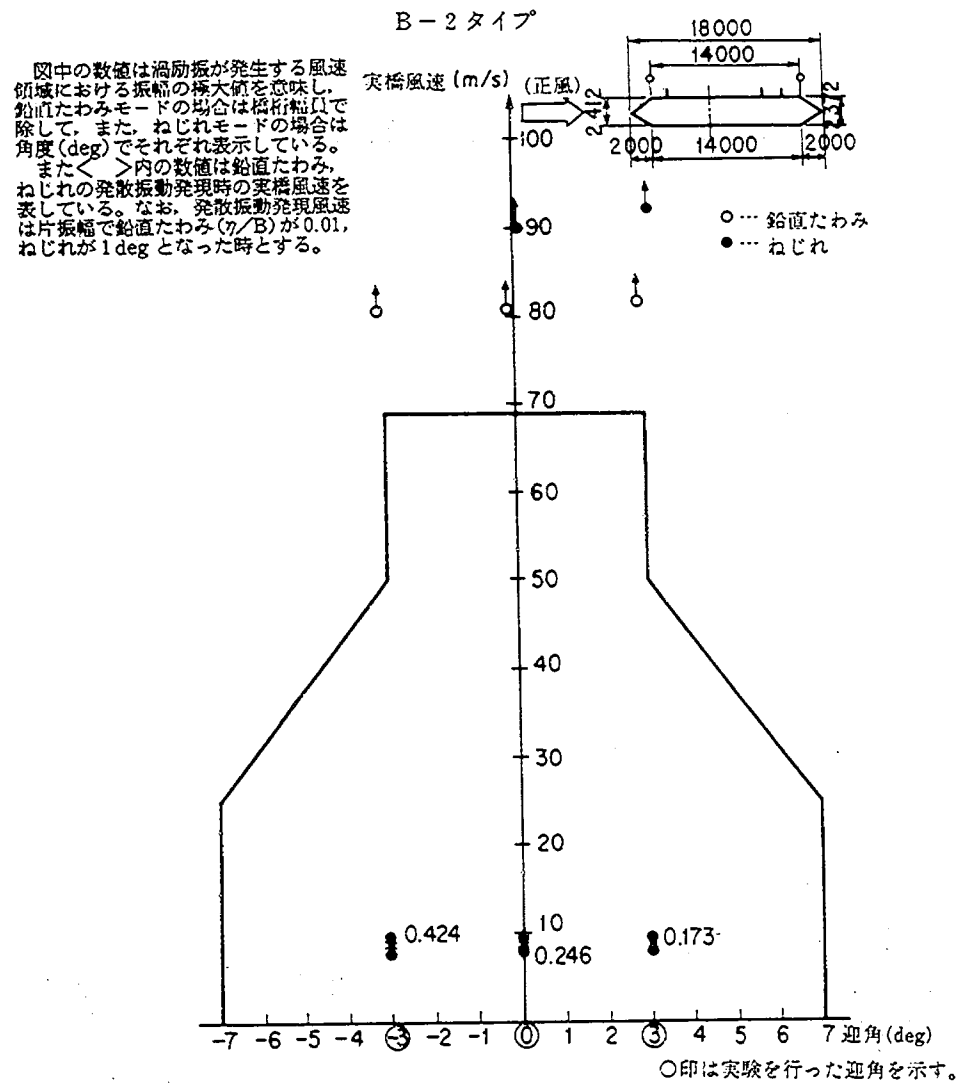


図-2.7 発振風速—迎角曲線 (B-2 断面)

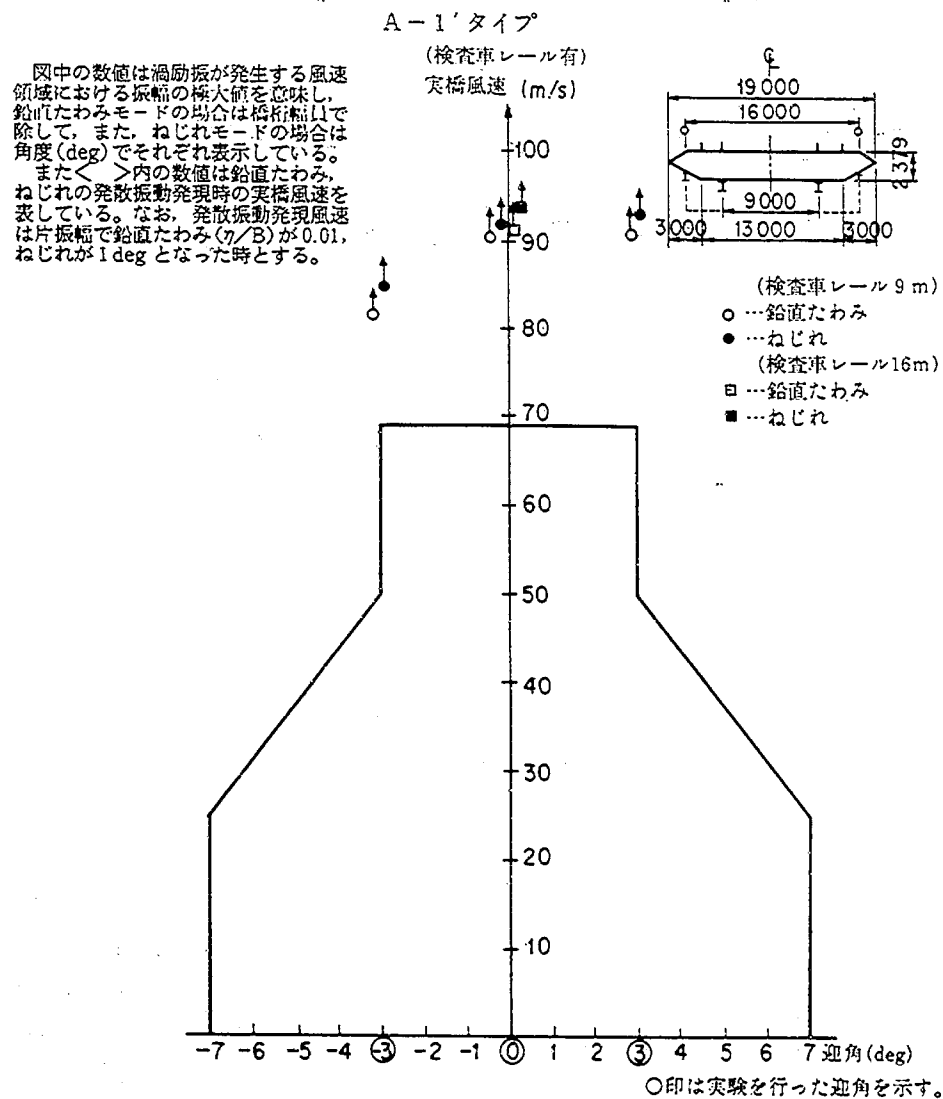


図-2.8 発振風速—迎角曲線 (A-1' 断面)

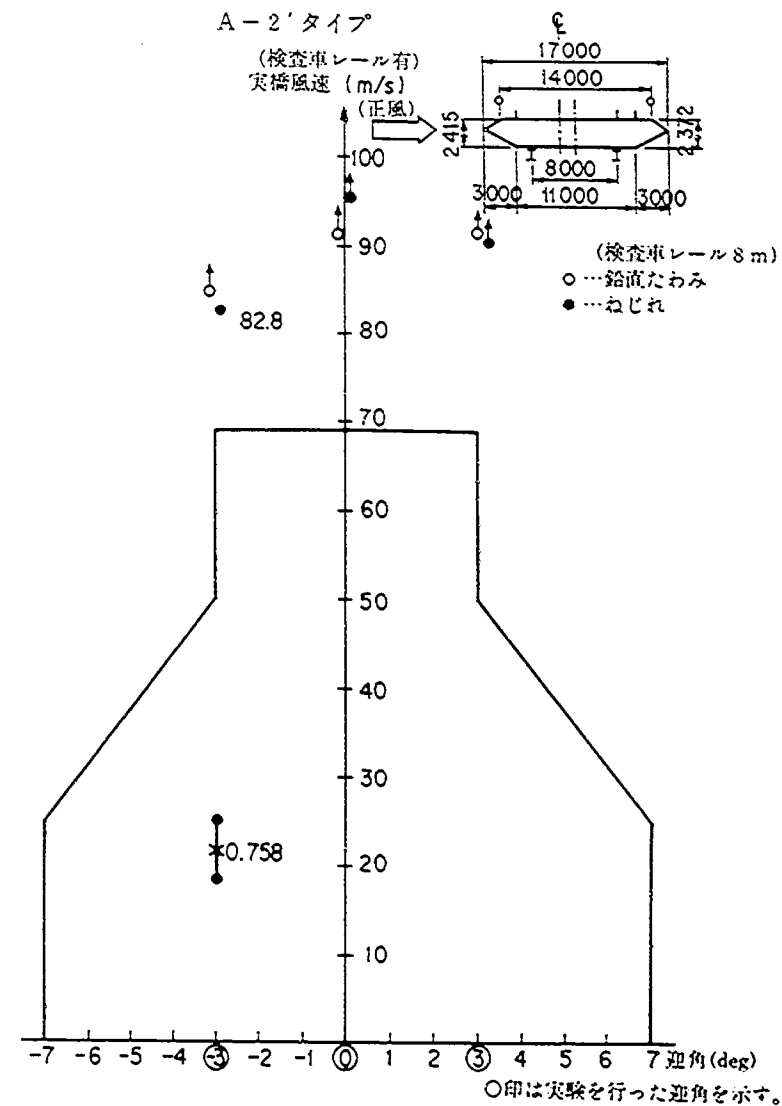


図-2.9 発振風速—迎角曲線 (A-2' 断面)

(2) 検査車レールの影響

① A-1断面について

設計案A-1断面の検査車レールの影響を図-2.10～21に示す。

たわみ振動に付いては検査車レールを取り付けることにより渦励振は発現しなくなり、取り付けないケースと同様に発散振動は本四基準で規定されている領域を超えており、十分な耐風性を有している。

ねじれ振動については渦励振、フラッターとも比較を行った迎角に対しては発現しなかった。しかし、風速一対数減衰率曲線図を見ると、検査車レールなしの断面の13m/s 付近(無次元風速 $\div 1.5$)で小さな値となっており、ねじれの渦励振が発現しやすくなっている。検査車レールを取り付けた断面では無次元風速1.5の渦励振は発現しにくくなるが、迎角 -3° の場合は25m/s 付近(無次元風速 $\div 2.5$)で発現しやすくなっている。

② A-2断面について

設計案A-2断面の検査車レールの影響を図-2.22～33に示す。

たわみ振動については検査車レールを取り付けることにより渦励振は発現しなくなり、取り付けないケースと同様に発散振動は本四基準で規定されている領域を超えており、十分な耐風性を有している。

ねじれ振動については、ねじれ渦励振が検査車レールなしのA-2断面で発現していないのに対し検査車レールを取り付けることにより、迎角 -3° でのみ渦励振が発現し、風速24m/s でねじれ振幅 0.7° が計測された。風速一対数減衰率曲線図を見ると、ねじれの渦励振は検査車レールなしのA-2断面の風速15m/s 付近で発現しやすくなっている。検査車レールを取り付けることにより無次元風速1.5の発現はしにくくなるが、迎角 -3° の場合のみ24m/s 付近(無次元風速 $\div 2.5$)で渦励振が発現しやすくなっており、現に発現している。

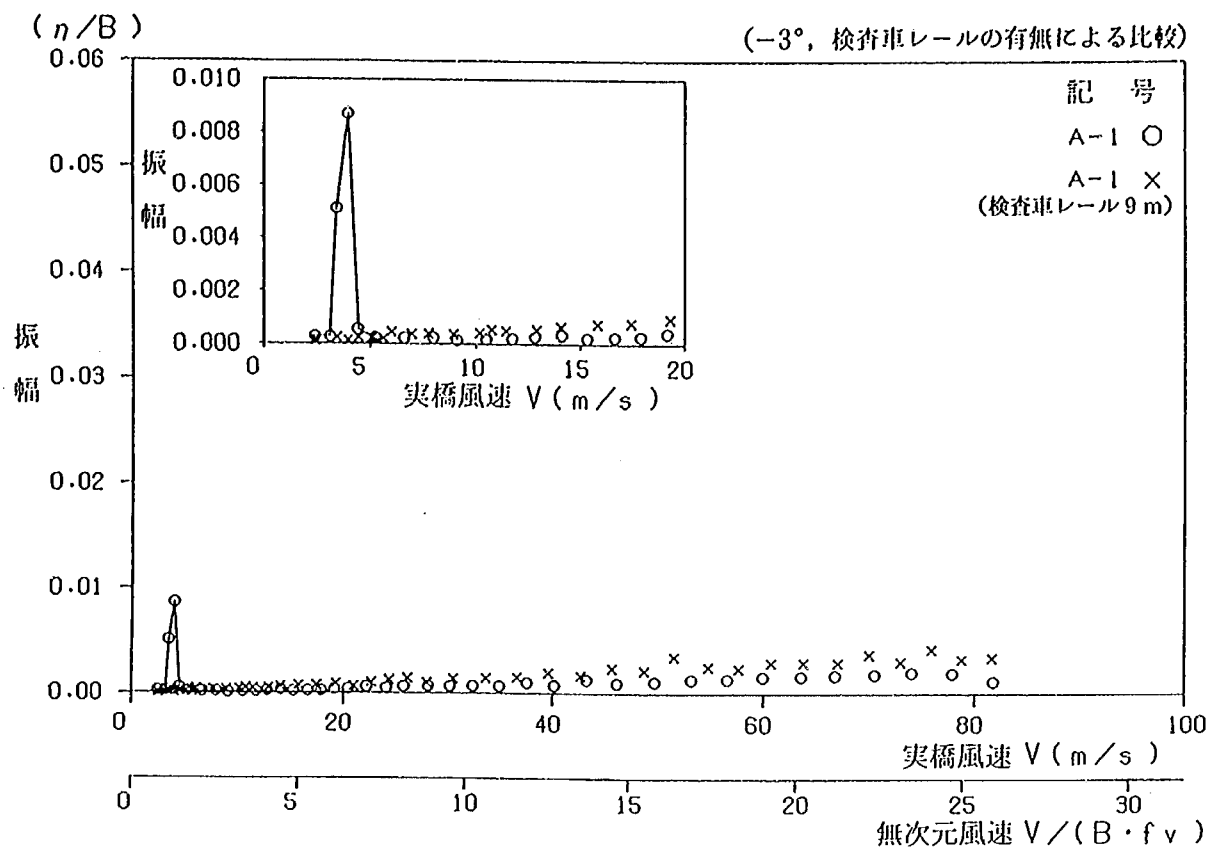


図-2.10 振幅—風速曲線図 (たわみ)

* 無次元風速値, 表中数値は正風の値を記してある。

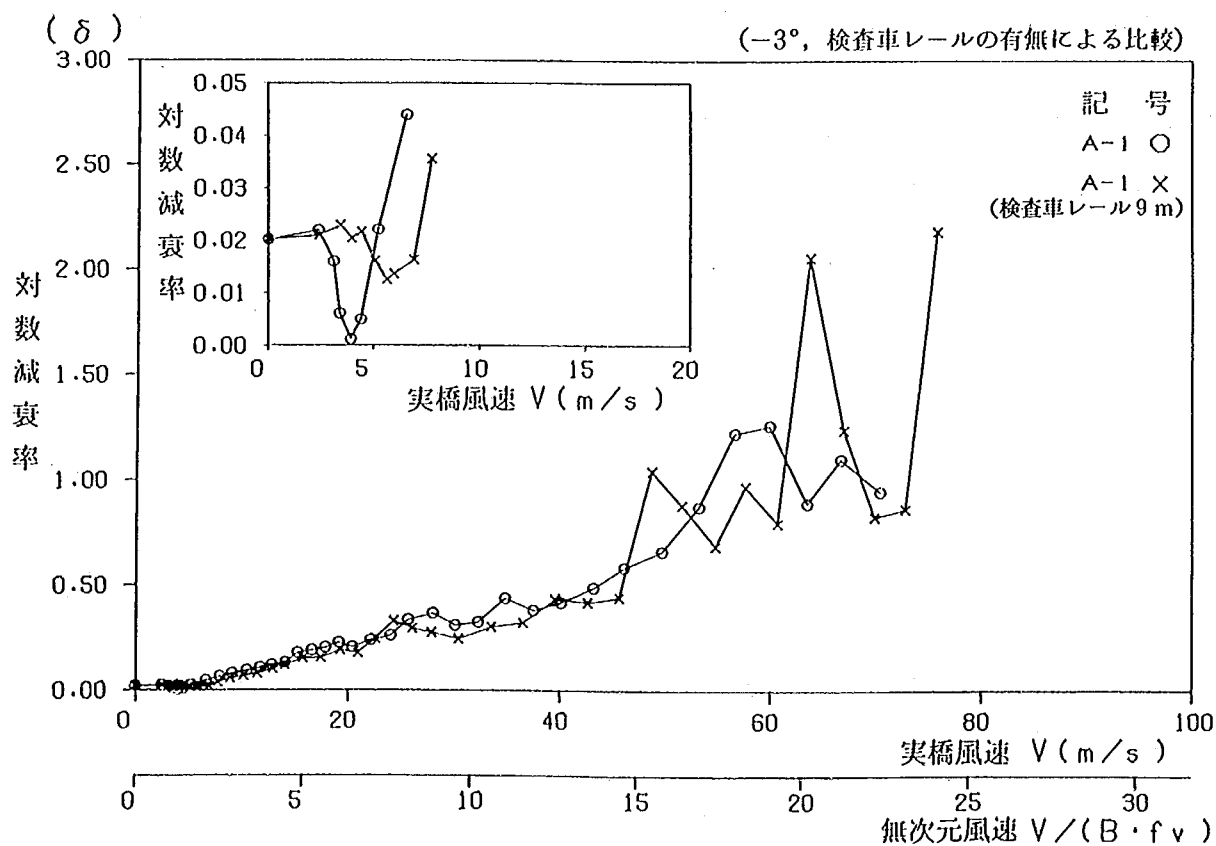


図-2.11 風速—対数減衰率曲線 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

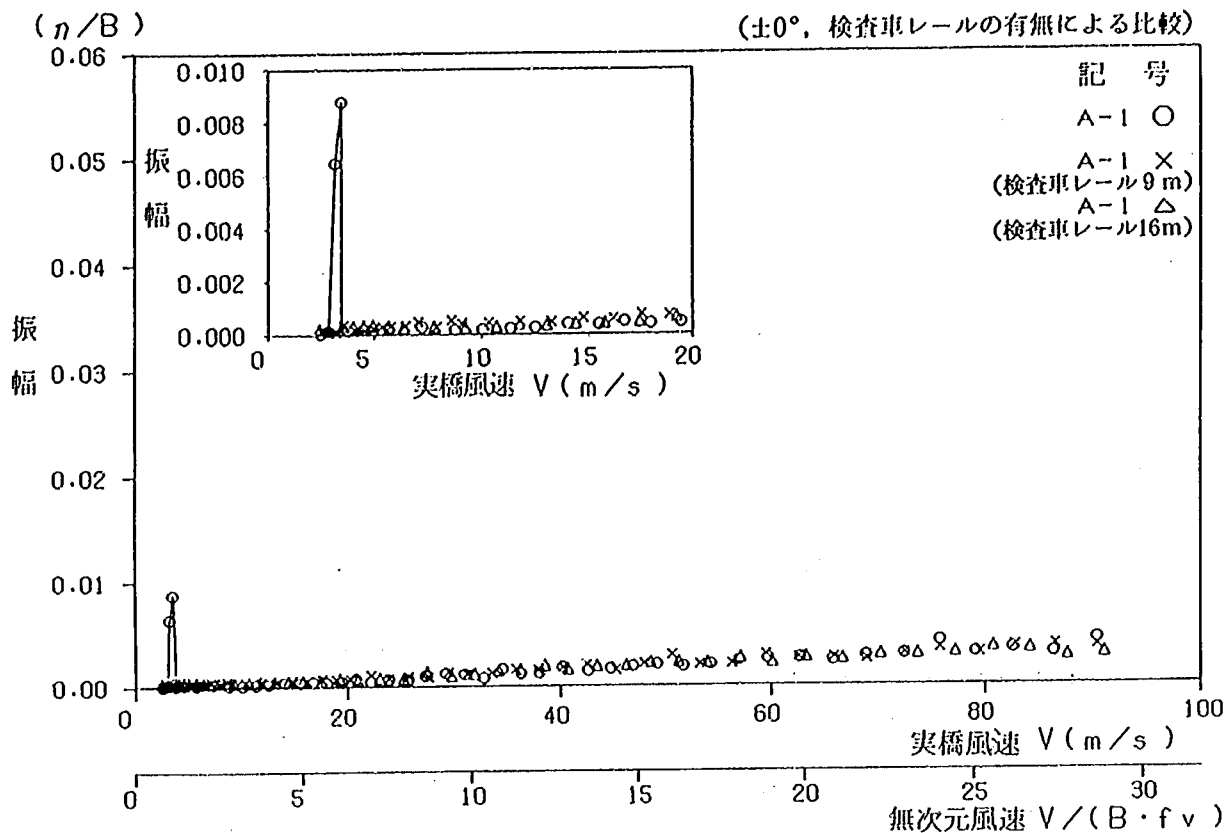


図-2.12 振幅—風速曲線図 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

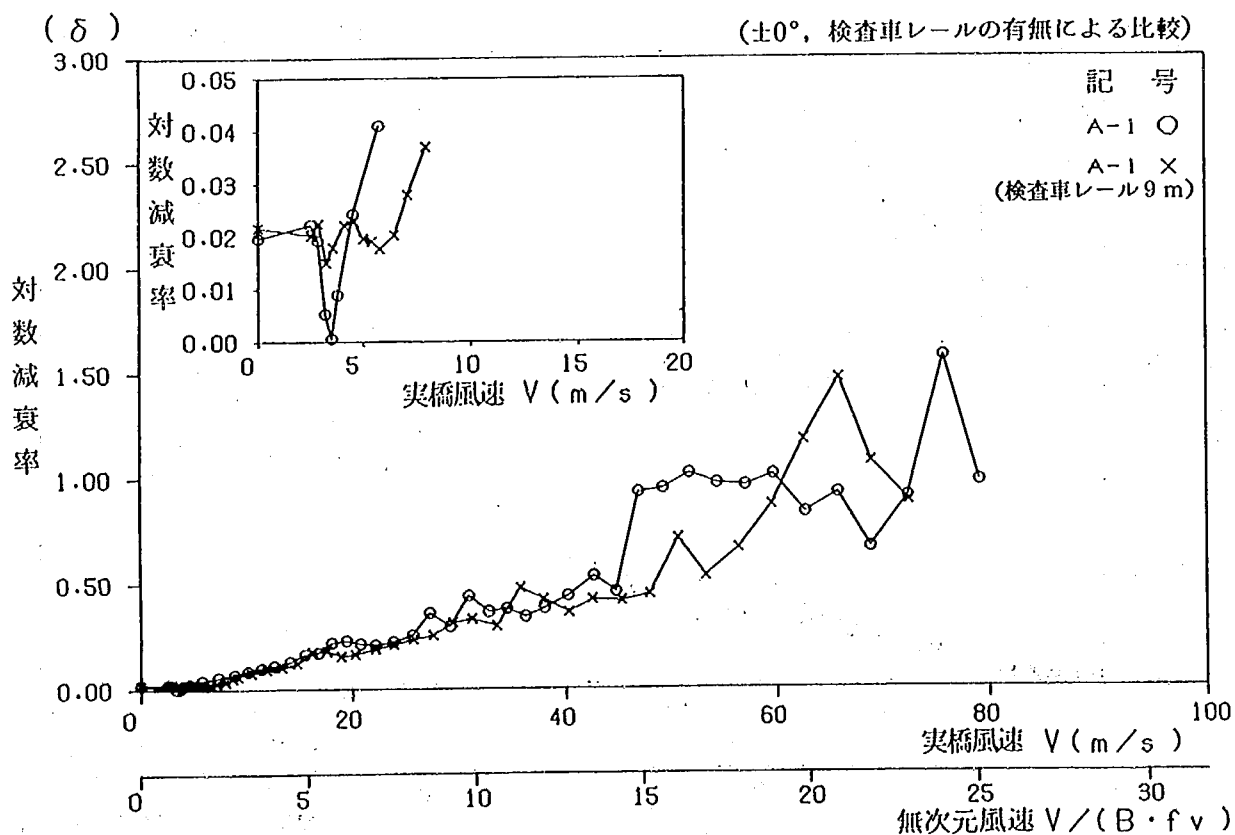


図-2.13 風速—対数減衰率曲線 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

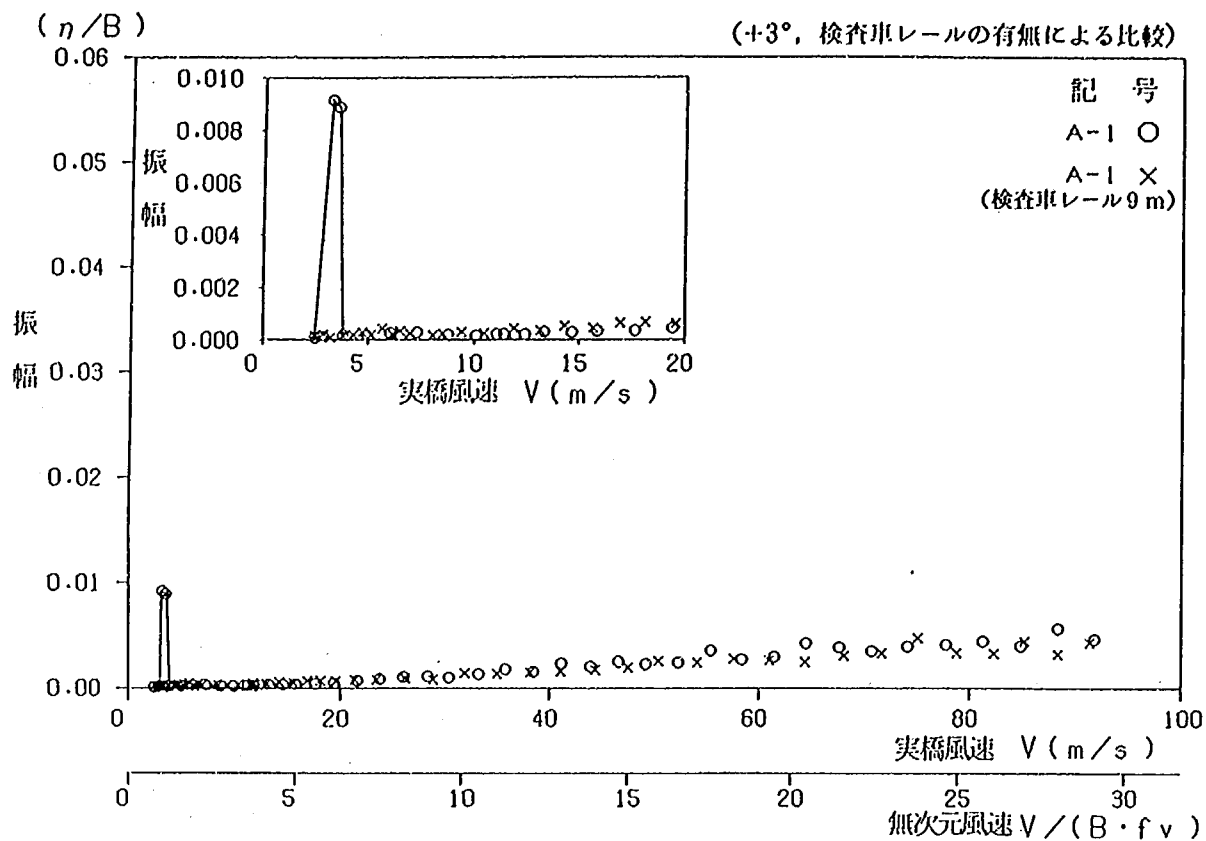


図-2.14 振幅—風速曲線図 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

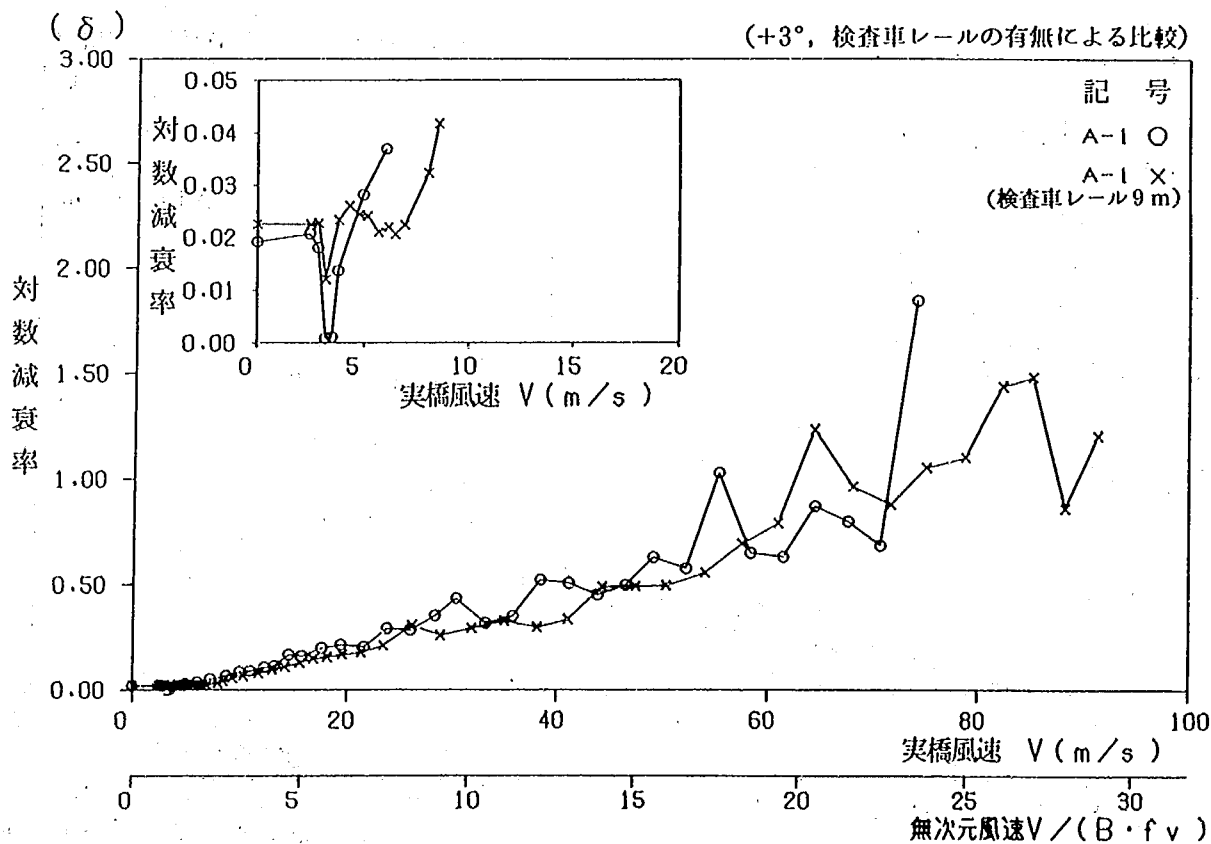


図-2.15 風速—対数減衰率曲線 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

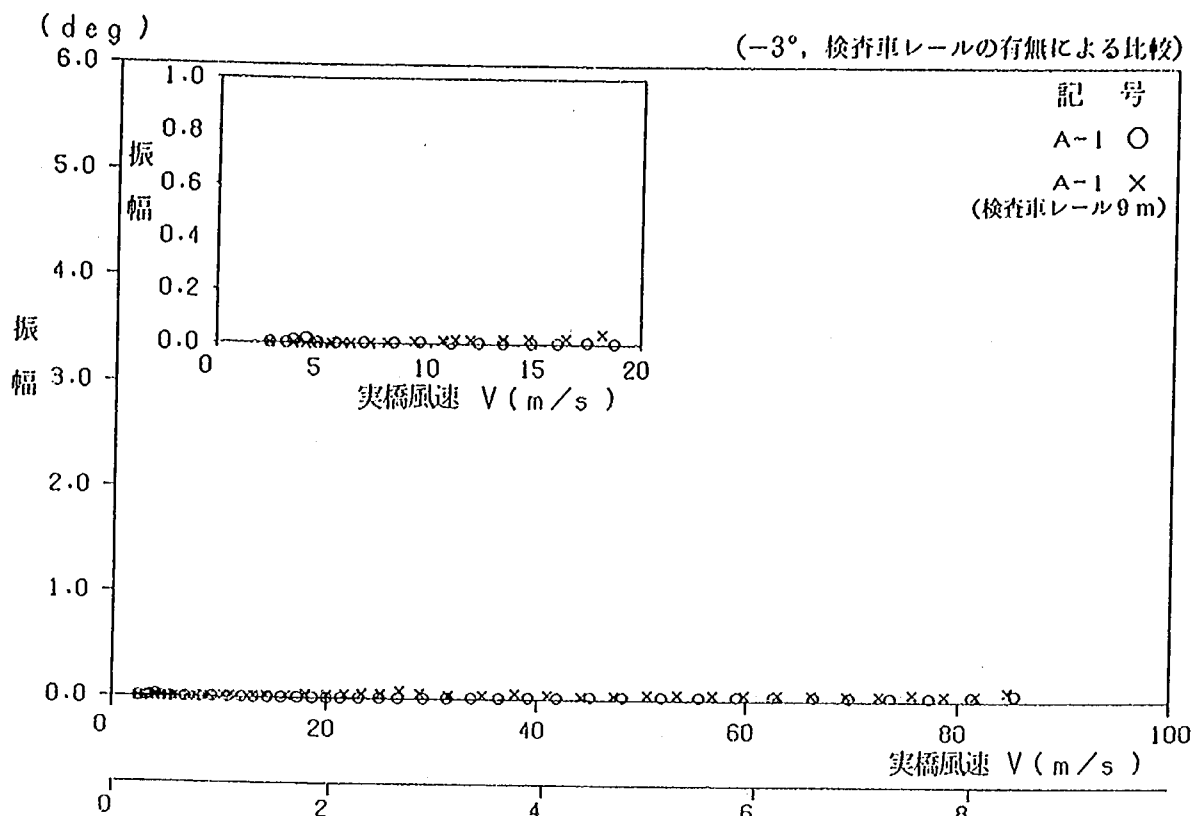


図-2.16 振幅—風速曲線図 (ねじれ)

* 無次元風速値, 表中数値は正風の値を記してある。

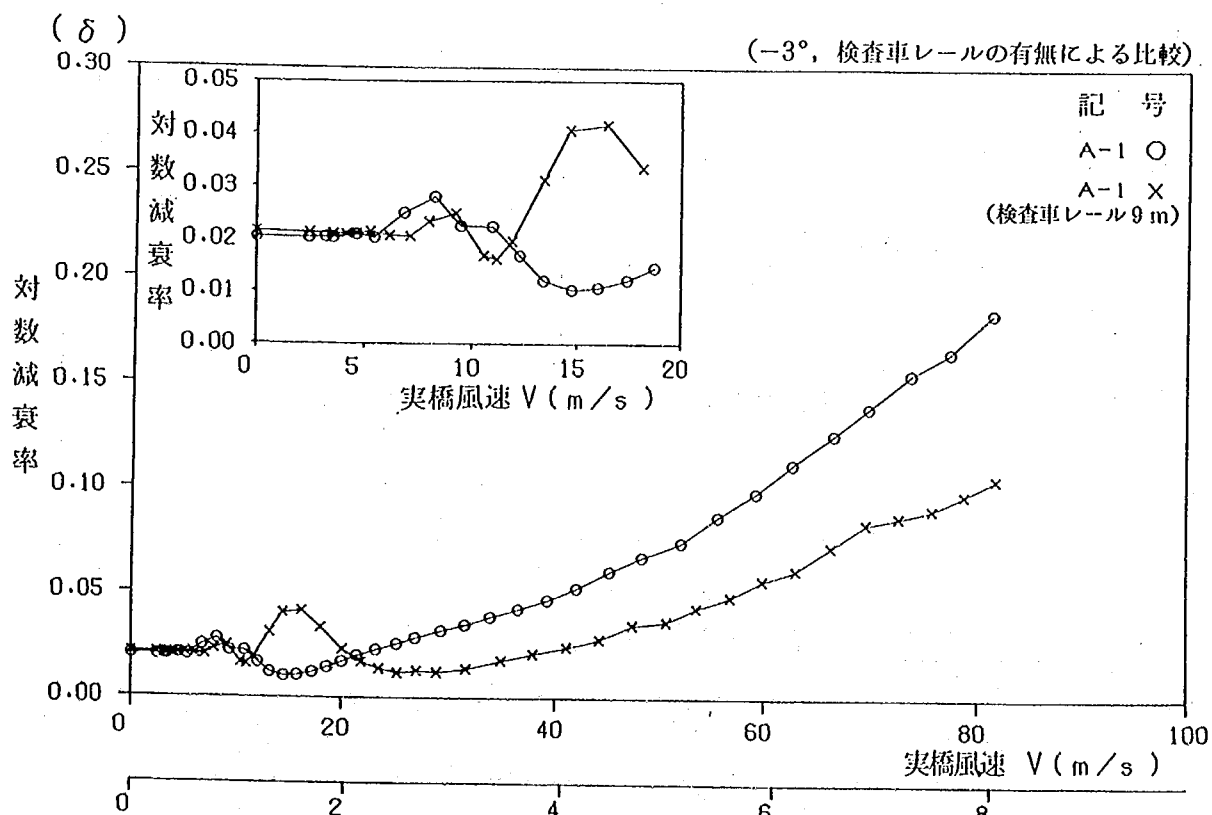


図-2.17 風速—対数減衰率曲線 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

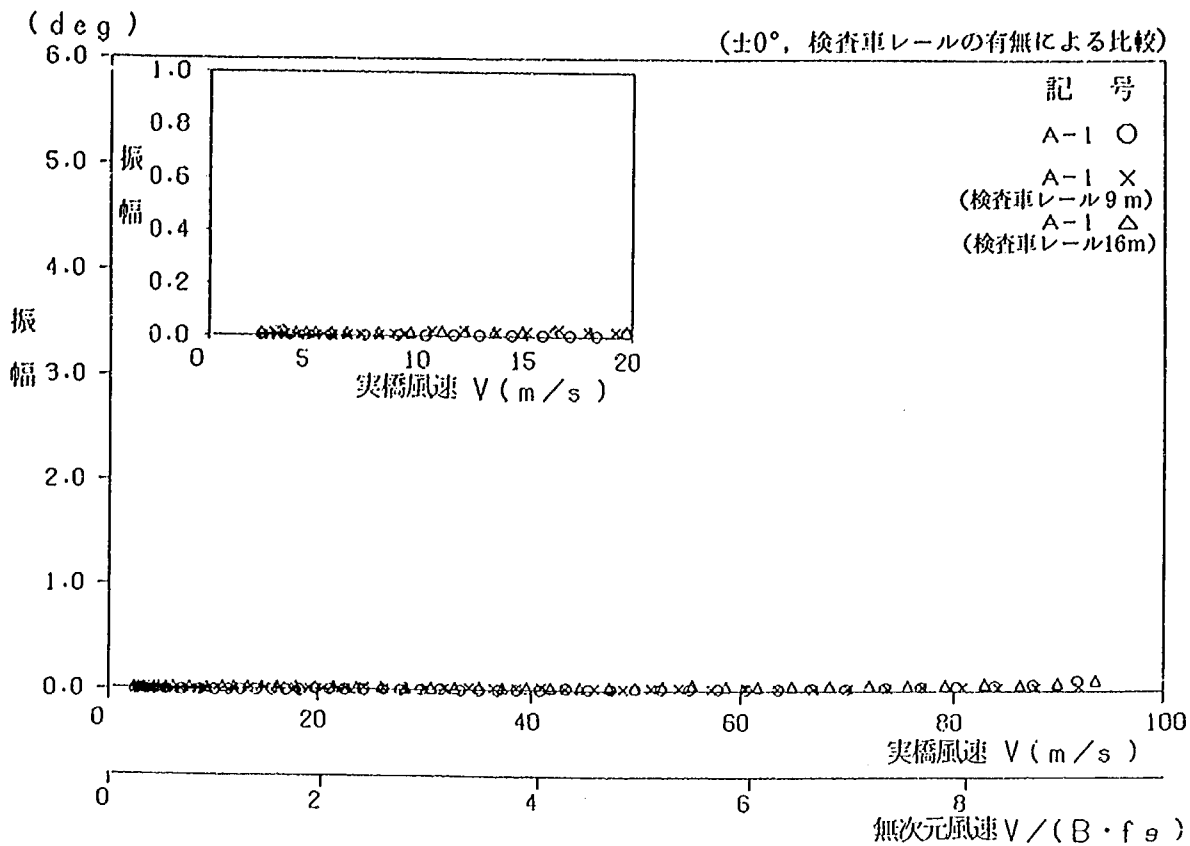


図-2.18 振幅—風速曲線図 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

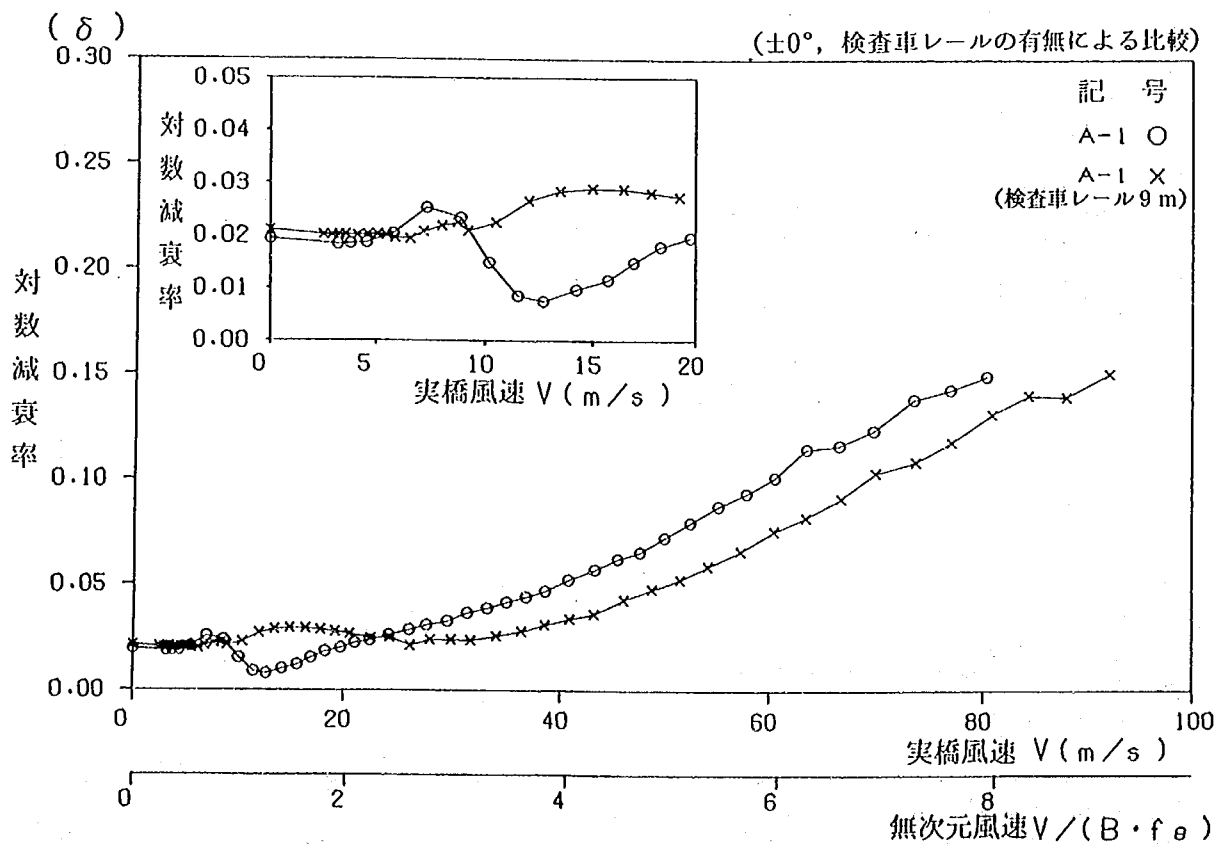


図-2.19 風速—対数減衰率曲線 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

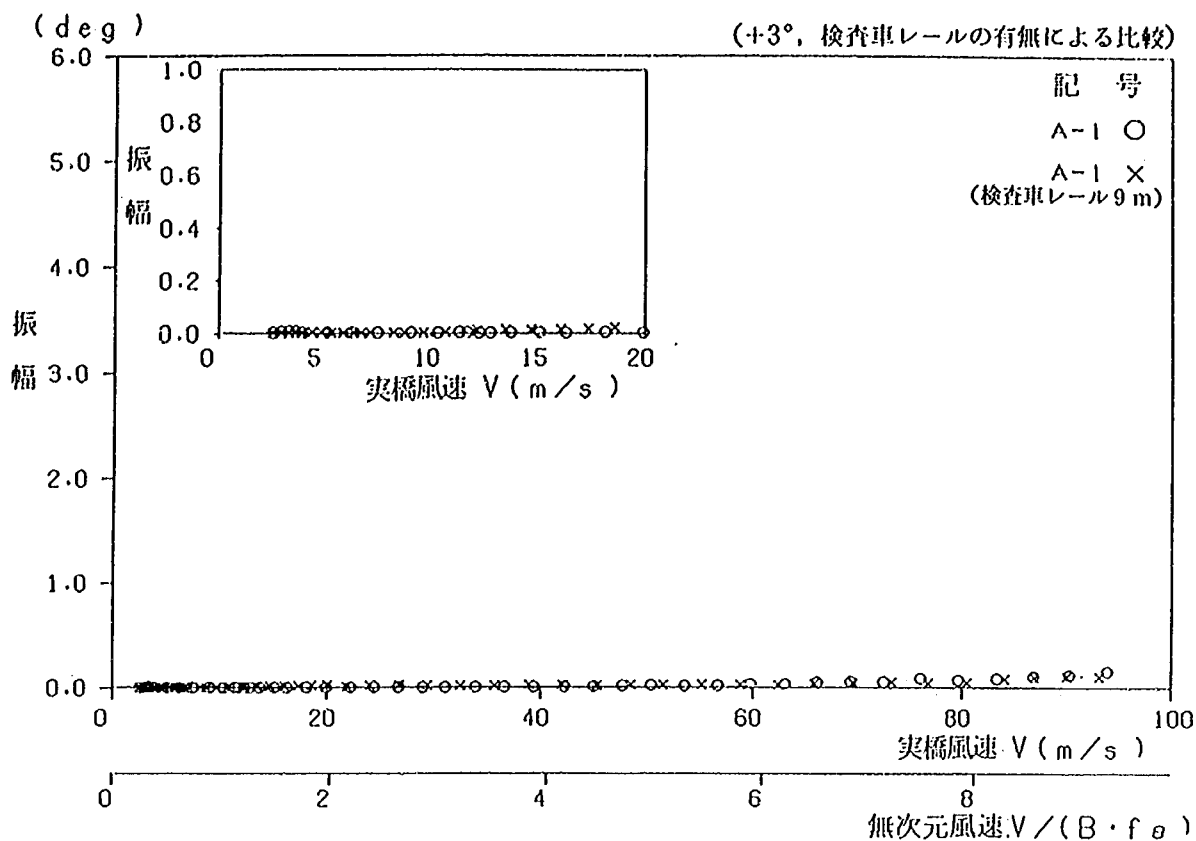


図-2.20 振幅—風速曲線図 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

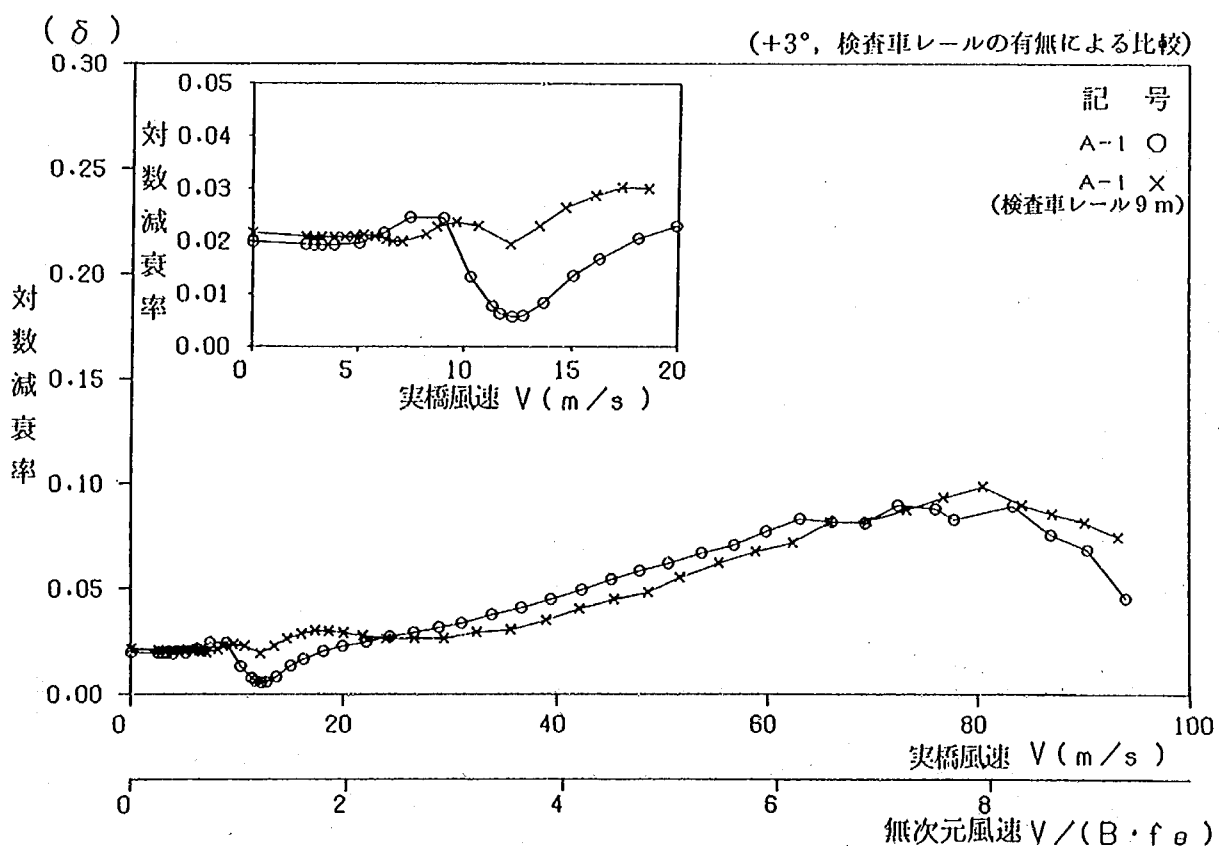


図-2.21 風速—対数減衰率曲線 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

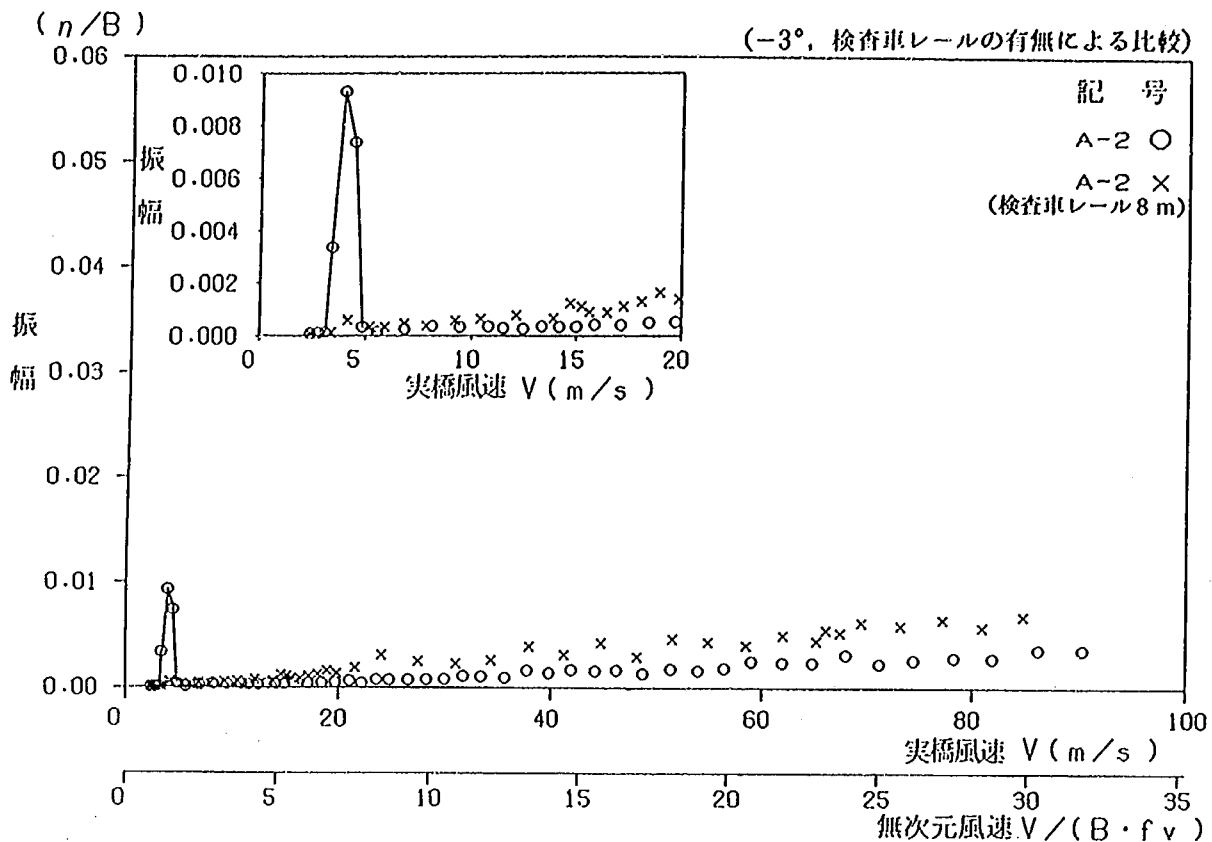


図-2.22 振幅—風速曲線図 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

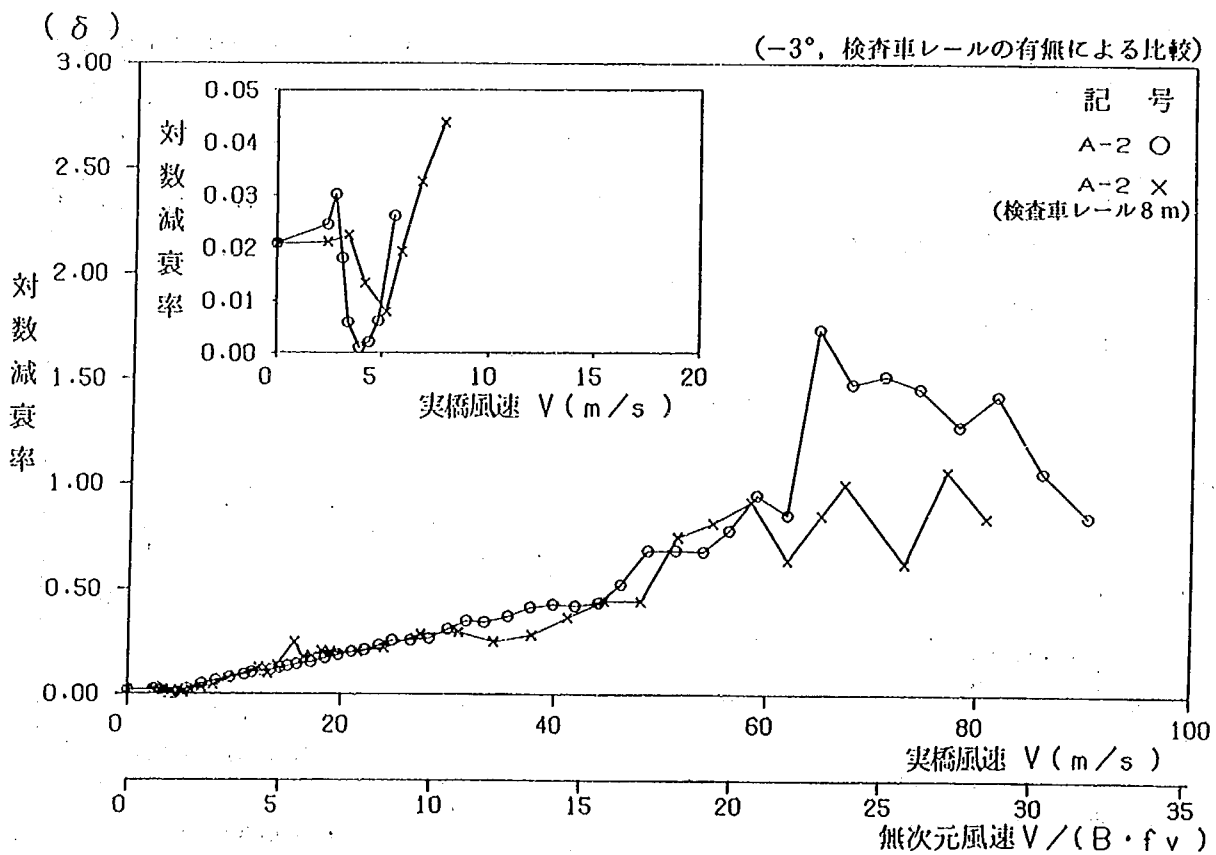


図-2.23 風速—対数減衰率曲線 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

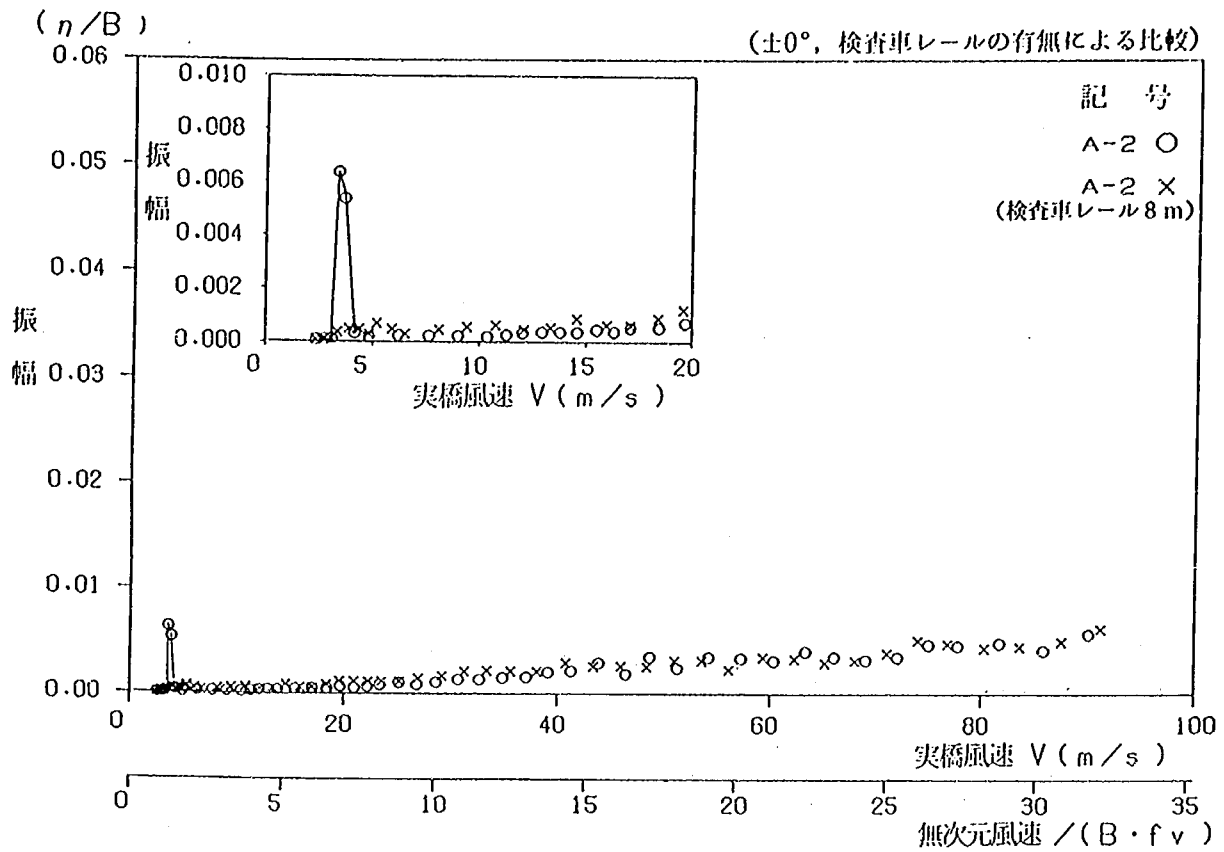


図-2.24 振幅—風速曲線図 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に
 $\Lambda-1$ の値を記してある。

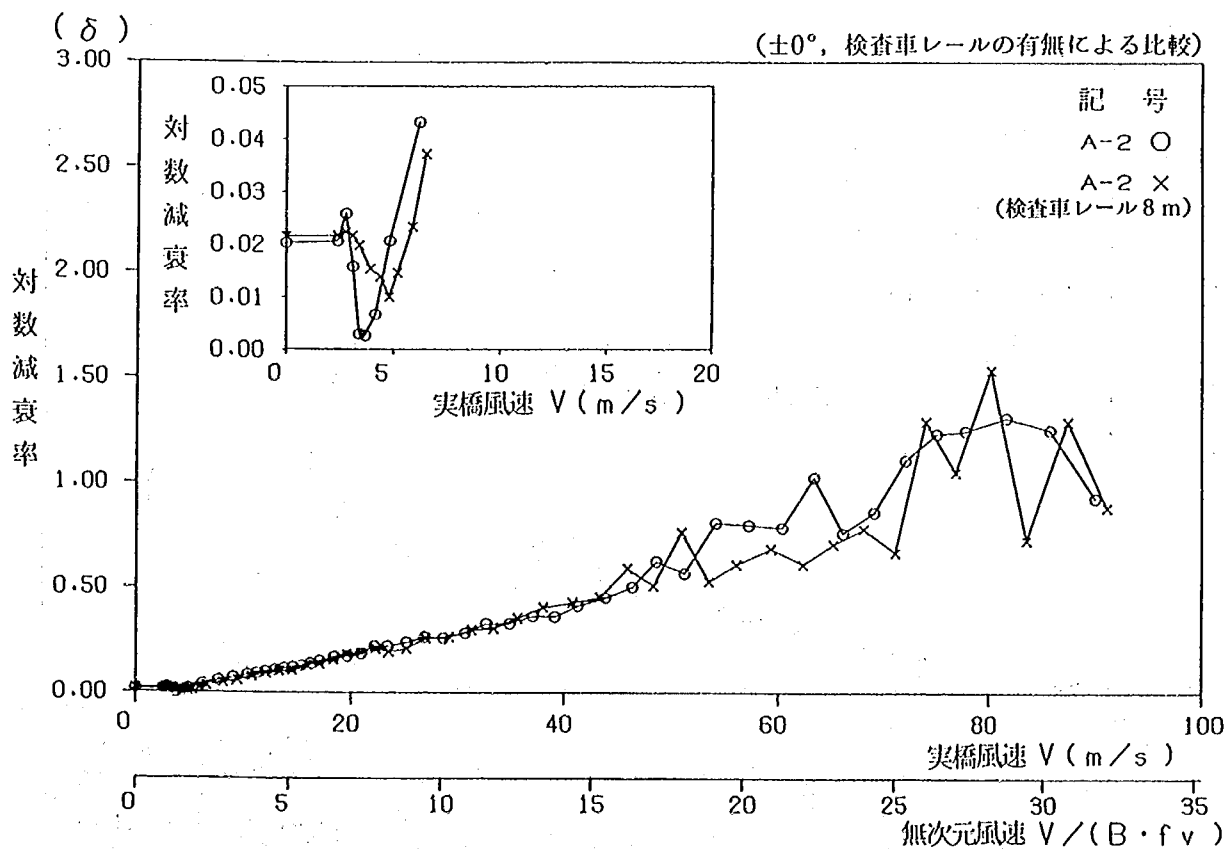


図-2.25 風速—対数減衰率曲線 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に
 $\Lambda-1$ の値を記してある。

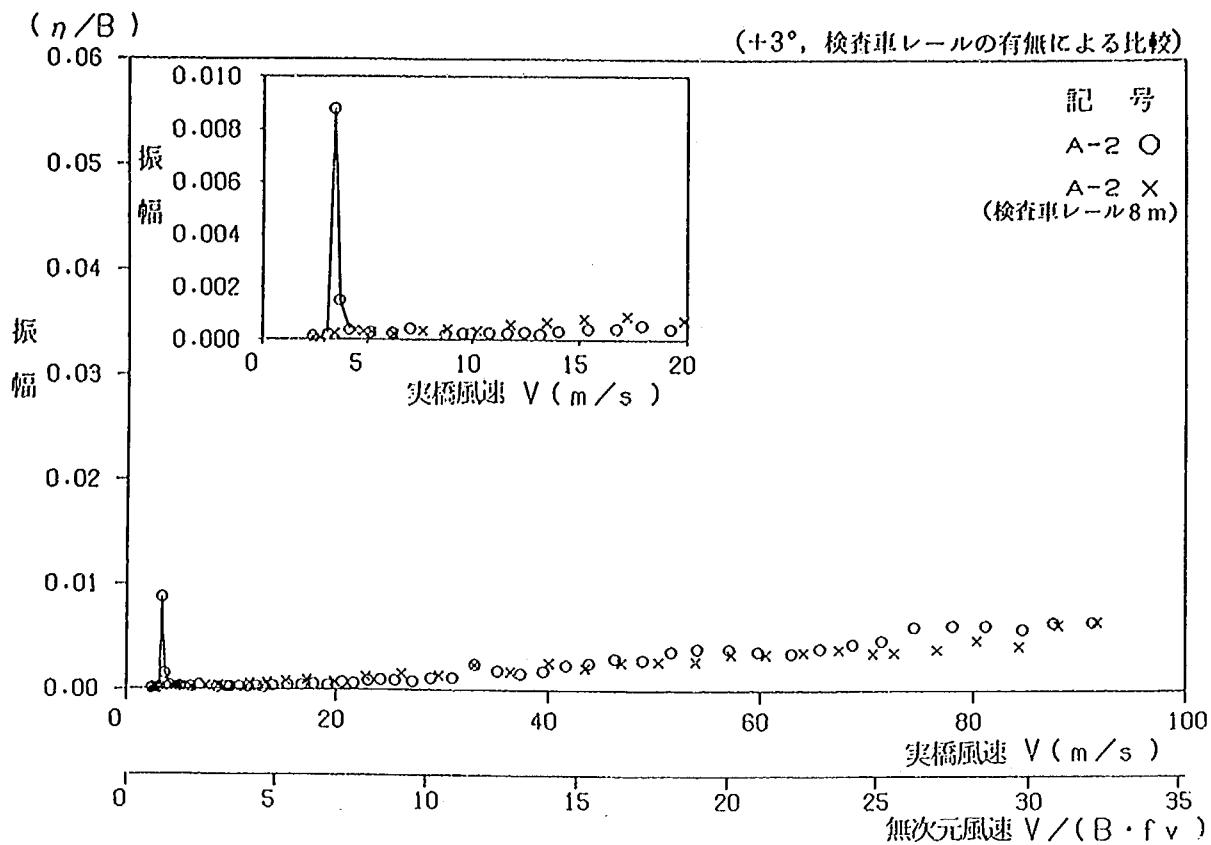


図-2.26 振幅—風速曲線図 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

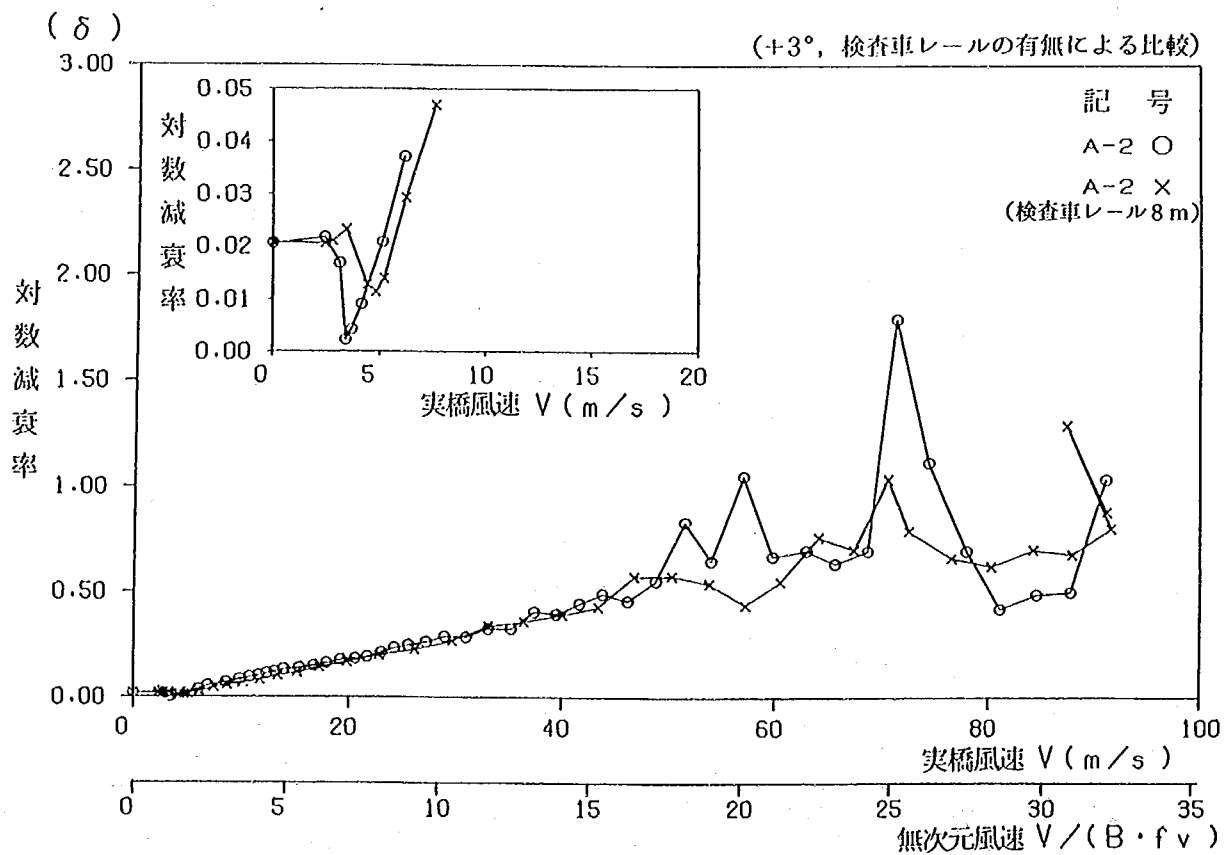


図-2.27 風速—対数減衰率曲線 (たわみ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

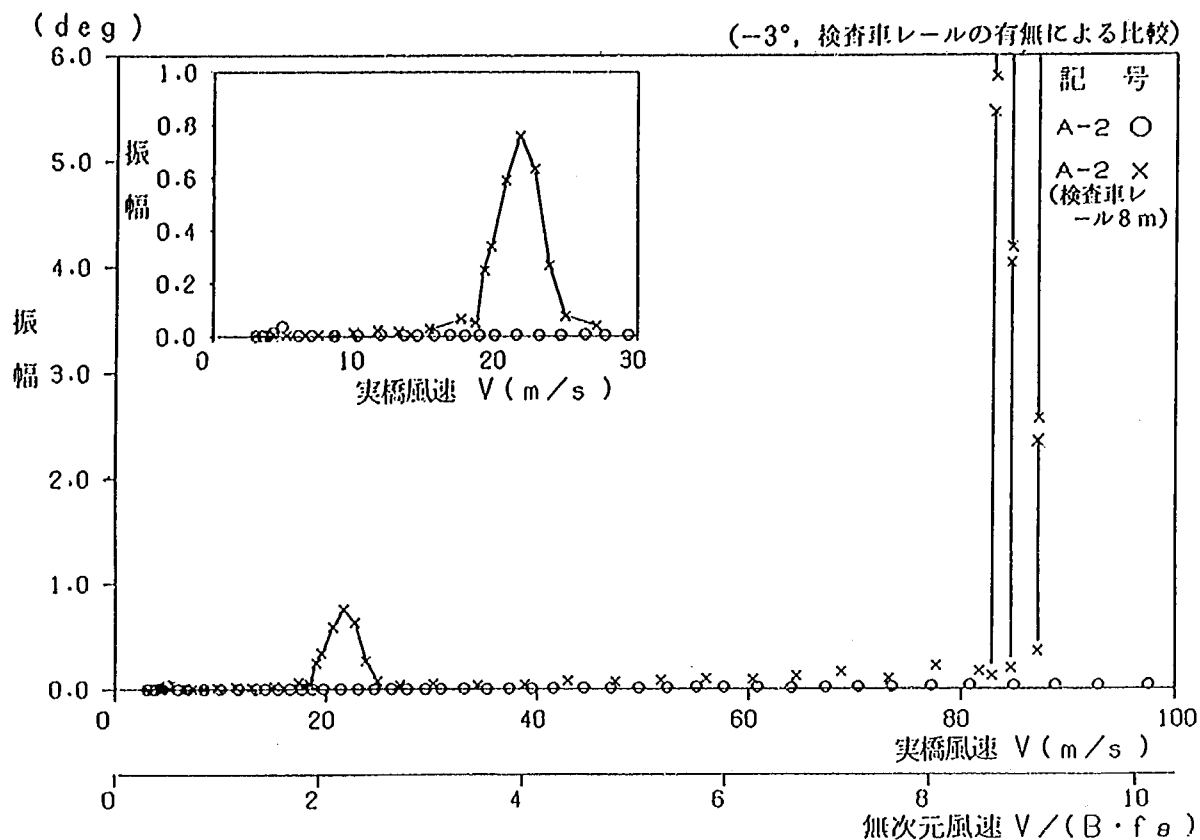


図-2.28 振幅—風速曲線図 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

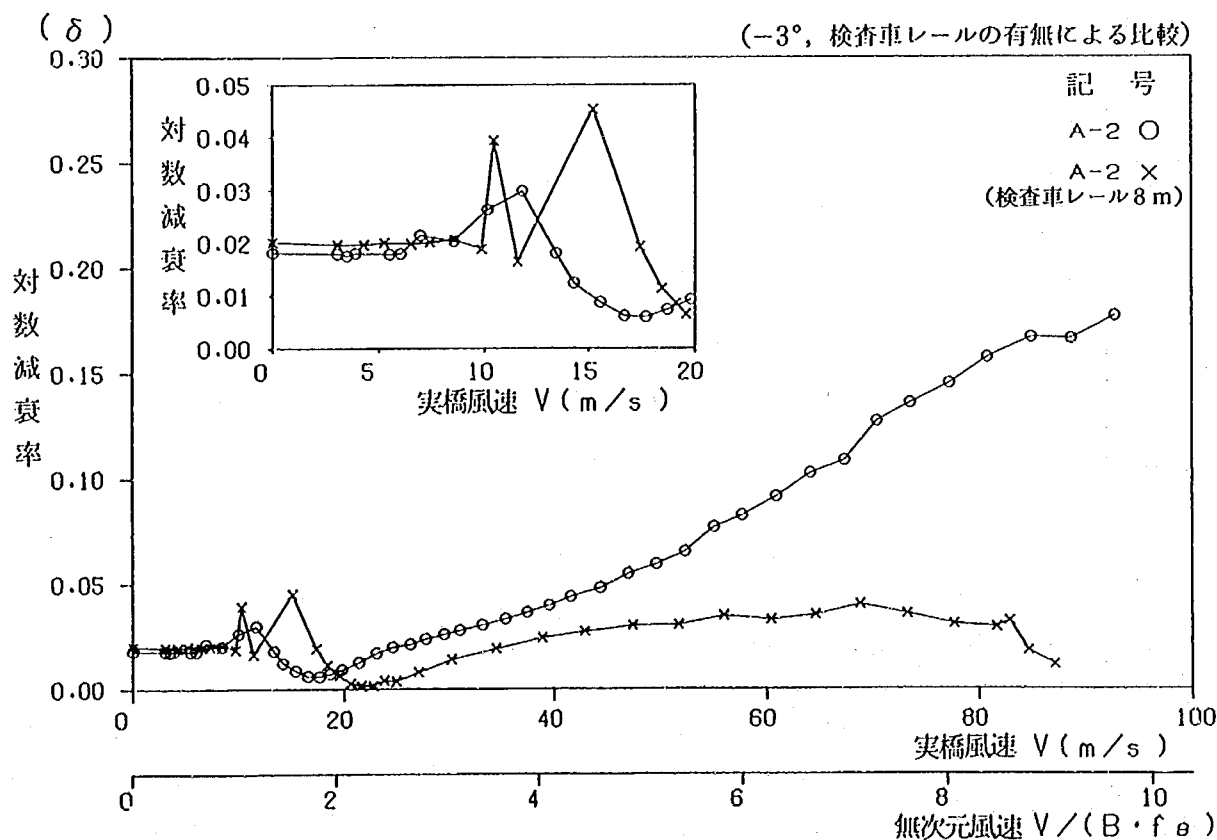


図-2.29 風速—対数減衰率曲線 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-1 の値を記してある。

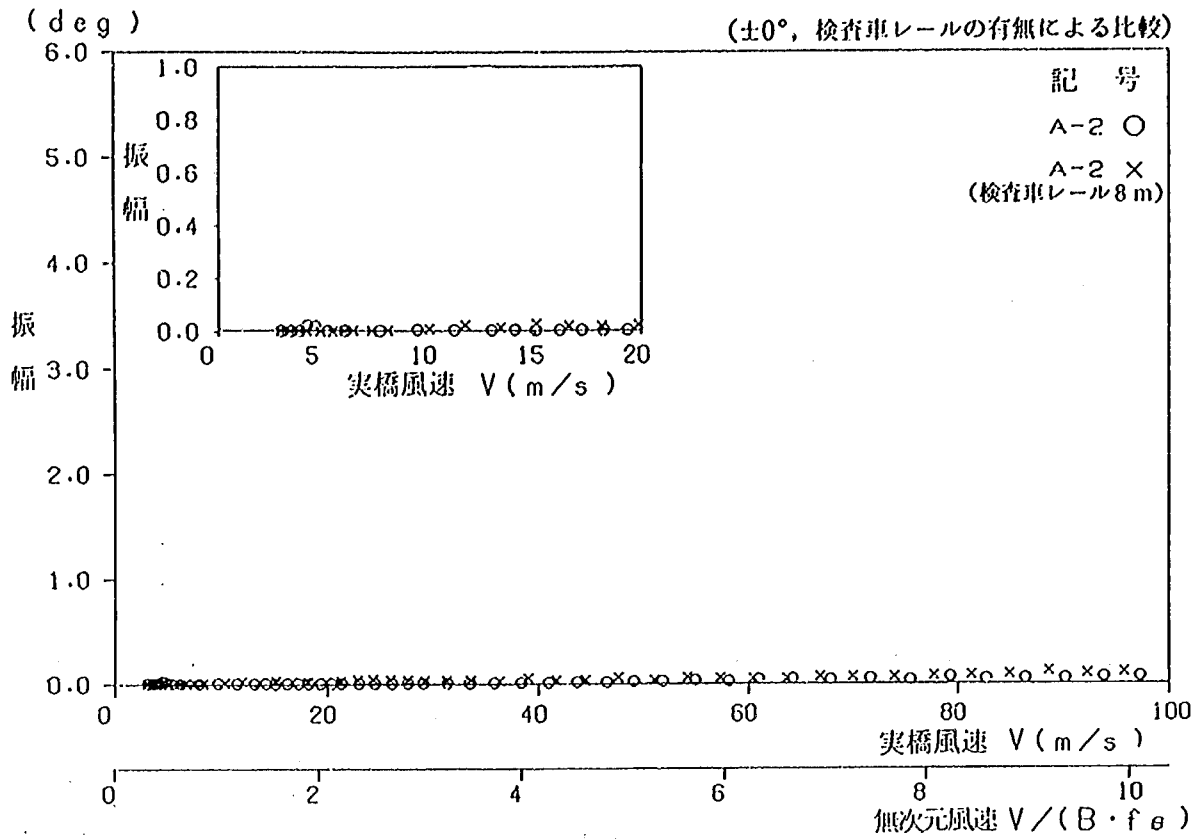


図-2.30 振幅—風速曲線図 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に
A-1 の値を記してある。

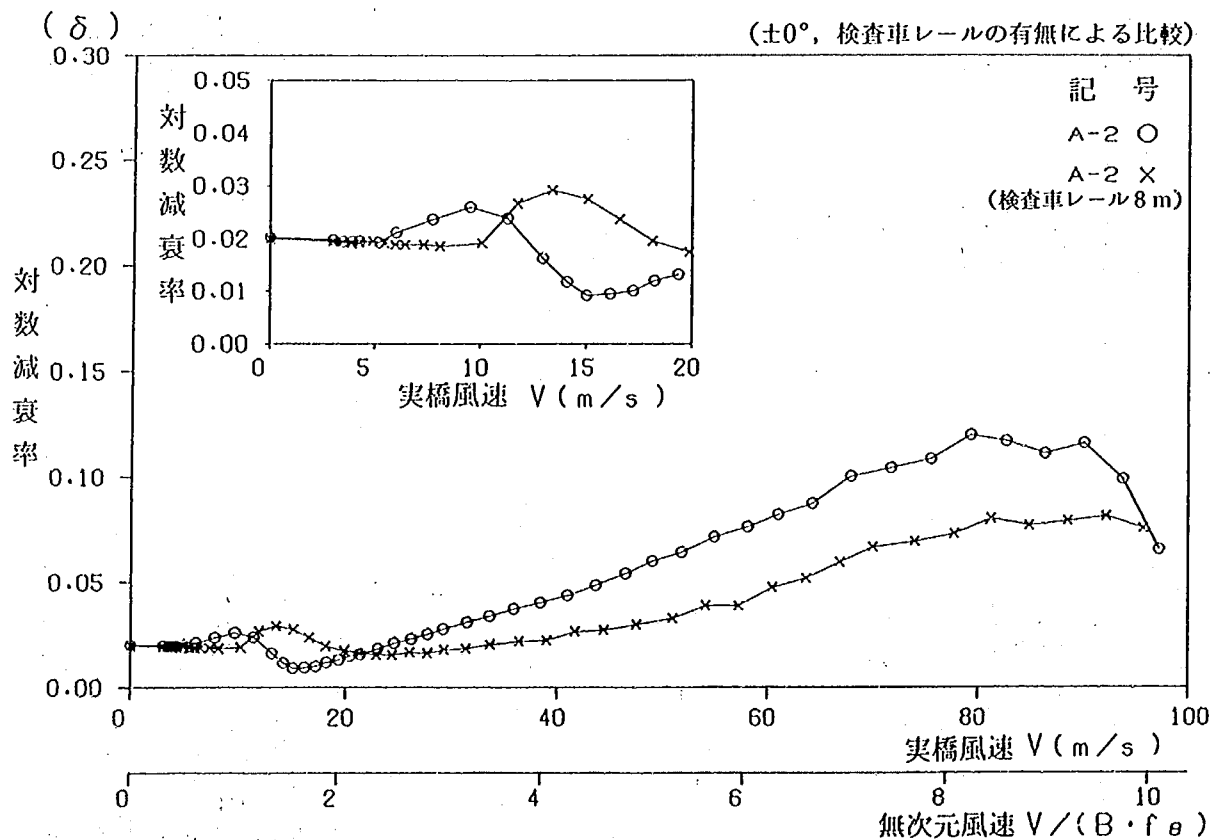


図-2.31 風速—対数減衰率曲線 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に
A-1 の値を記してある。

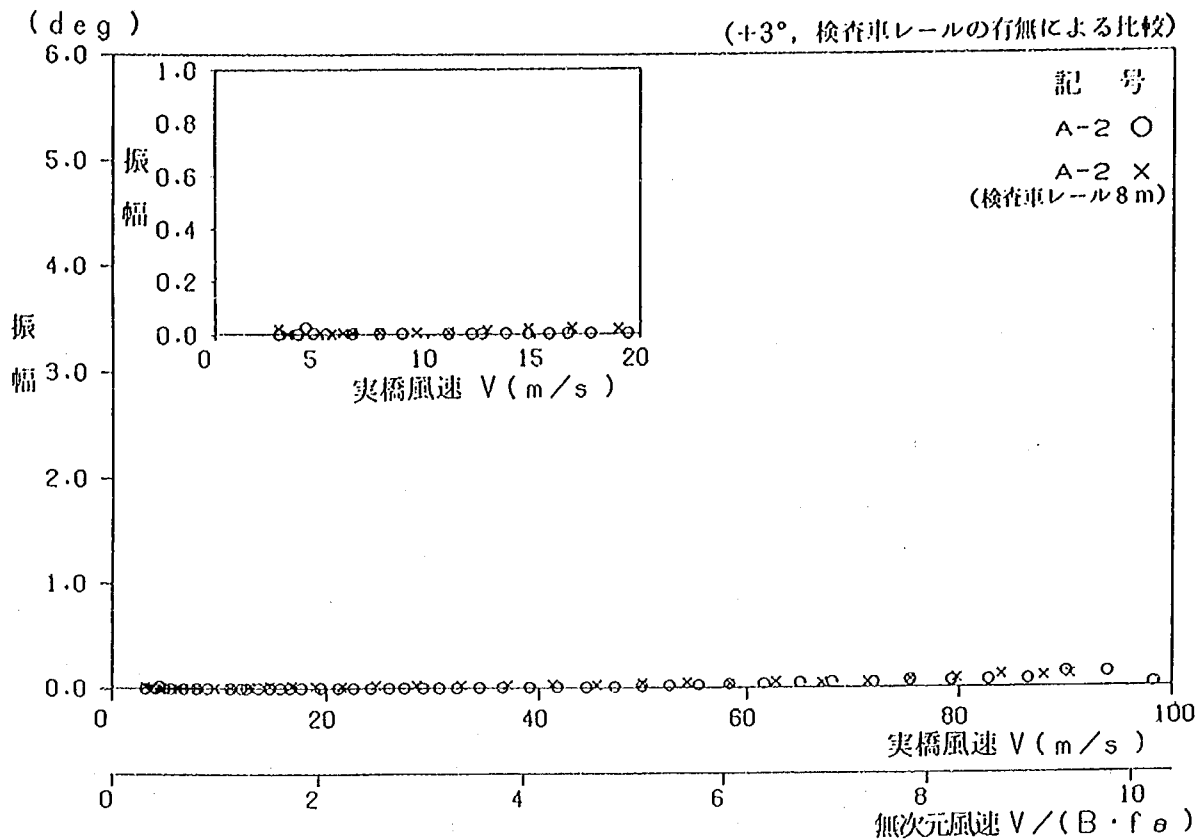


図-2.32 振幅—風速曲線図 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

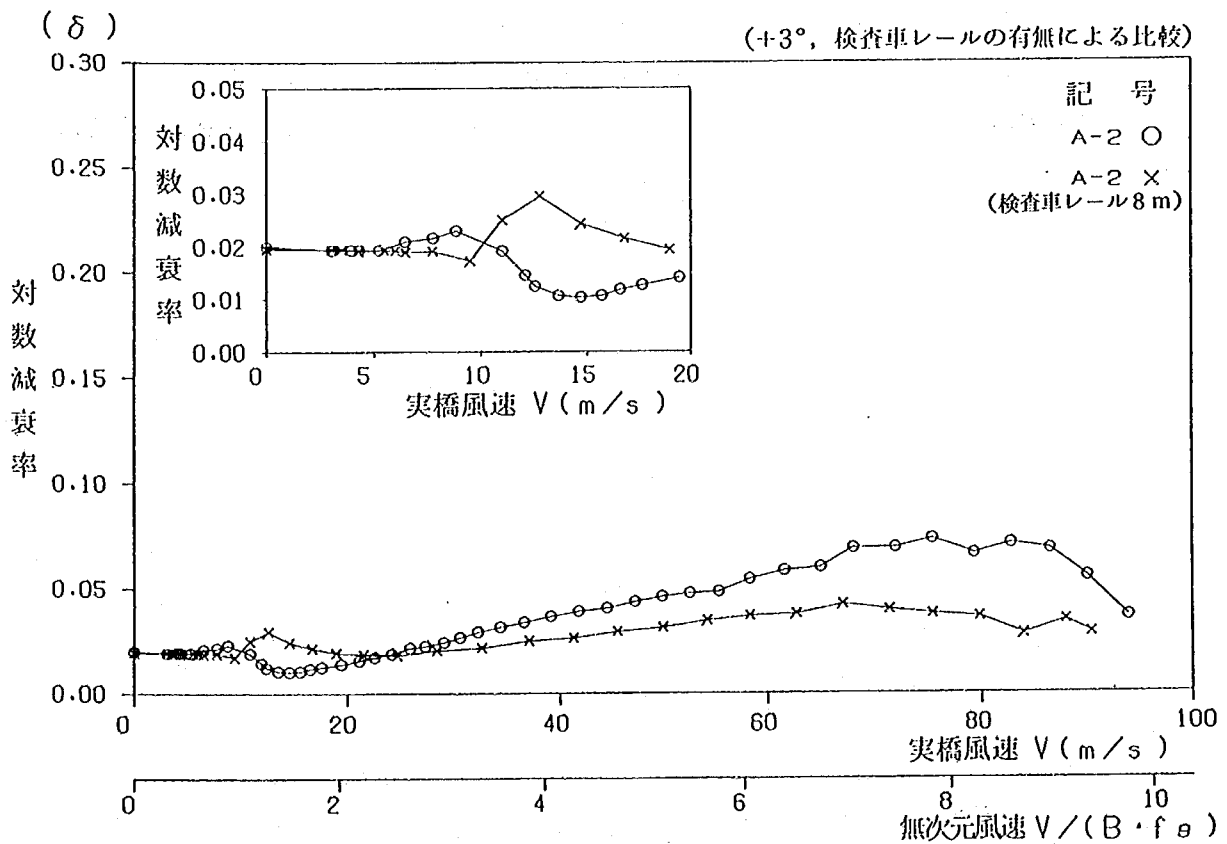


図-2.33 風速—対数減衰率曲線 (ねじれ)

* 無次元風速値は代表的に A-2 の値を記してある。

2.1.4 総合評価と今後の設計の方向

発散振動については、実験を行った全ての設計断面で本四基準に規定されている迎角—発現風速の領域を超えており、十分な耐風性を有している。

渦励振については、各断面における発現風速と、架橋地点の風の特性を比較して評価する。

ここに興地方気象測候所の1961年から25年間の風観測の10m高さにおける日最大平均風速及び3時間毎の平均風速より、年最大平均風速表、風配図にとりまとめ、表—2.5、図—2.34に示す。また、実験で計測された渦励振の発現風速を基本高度（10m）における風速に換算したものを表—2.6に示す。

設計断面B—2については、ねじれ渦励振の発現風速（無次元風速=1）が比較的低く、風速の非超過確率5%であり、耐風性を高めるべき対策をしたとしても発現風速12.5～15.5 m/s（無次元風速=2）となることが推測されるため、今後の設計案から除外するのが妥当であると考えた。

設計断面A—1、A—2のねじれ渦励振の発現する迎角は+5°から計測されており、架設場所が海上なのでこのような迎角は少ないと考えられる。また、たわみ渦励振も全ての基本断面において発現したが、検査車レールを取り付けることにより発現しなくなった。しかし一方で、検査車レールを取り付けることにより、無次元風速2.5付近のねじれ渦励振が発現しやすくなっており、A—2断面においては現に発現している。以上の結果を総合的に勘案すれば、A—1断面を今後の設計のための基本断面とすることは妥当であると言える。

渦励振の発現の様相は検査車レールのような微小な部材によって大きく変わることがあるため、今後詳細な設計を進めるにともない、設計案の耐風性も今回の実験結果と異なったものとなっていく可能性がある。したがって今後は、乱流による渦励振の振幅低減効果やガスト応答に配慮しつつ、一様流中でもより対風応答特性に優れた断面が得られるよう、風洞実験によって耐風対策、例えばフラップの効果なども併せて検討していくことが望ましい。

表- 2.5 10m高さにおける年最大風速

西 暦 年	年最大10分間平均風速	高風速順位	年最大10分間平均風速
1 9 6 1	1 2. 9 m/s	1	2 3. 6 m/s
1 9 6 2	1 0. 5 m/s	2	1 7. 3 m/s
1 9 6 3	1 2. 2 m/s	3	1 6. 9 m/s
1 9 6 4	1 5. 5 m/s	4	1 6. 4 m/s
1 9 6 5	1 4. 1 m/s	5	1 6. 4 m/s
1 9 6 6	1 2. 2 m/s	6	1 5. 8 m/s
1 9 6 7	1 4. 1 m/s	7	1 5. 5 m/s
1 9 6 8	1 6. 9 m/s	8	1 5. 0 m/s
1 9 6 9	1 4. 8 m/s	9	1 4. 8 m/s
1 9 7 0	2 3. 6 m/s	1 0	1 4. 1 m/s
1 9 7 1	1 6. 4 m/s	1 1	1 4. 1 m/s
1 9 7 2	1 6. 4 m/s	1 2	1 4. 1 m/s
1 9 7 3	1 2. 3 m/s	1 3	1 4. 0 m/s
1 9 7 4	1 4. 1 m/s	1 4	1 4. 0 m/s
1 9 7 5	1 4. 0 m/s	1 5	1 2. 9 m/s
1 9 7 6	1 4. 0 m/s	1 6	1 2. 4 m/s
1 9 7 7	1 1. 7 m/s	1 7	1 2. 3 m/s
1 9 7 8	1 7. 3 m/s	1 8	1 2. 2 m/s
1 9 7 9	1 5. 0 m/s	1 9	1 2. 2 m/s
1 9 8 0	1 2. 4 m/s	2 0	1 1. 7 m/s
1 9 8 1	1 0. 2 m/s	2 1	1 1. 5 m/s
1 9 8 2	1 5. 8 m/s	2 2	1 0. 5 m/s
1 9 8 3	1 1. 5 m/s	2 3	1 0. 2 m/s
1 9 8 4	9. 8 m/s	2 4	1 9. 8 m/s
1 9 8 5	9. 5 m/s	2 5	1 9. 5 m/s

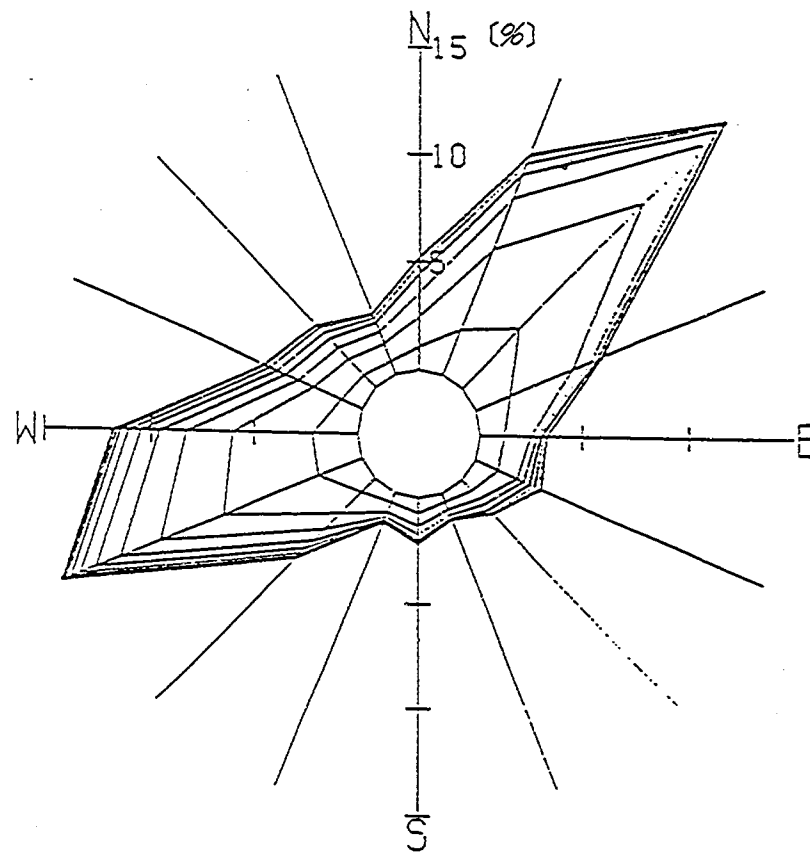
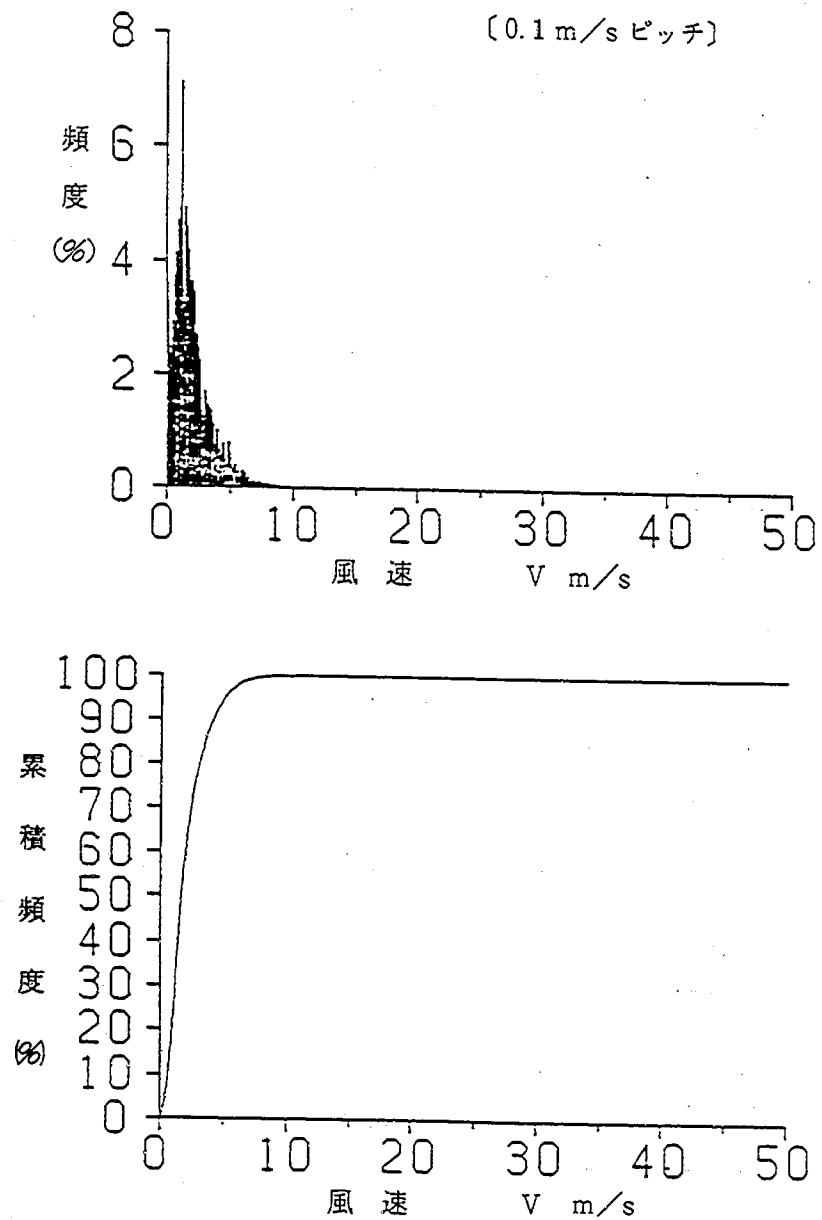


図-2.34 風配図 (吳地方気象測候所)

表- 2.6 基本高さ10mにおける渦励振発現風速

実験 番号	桁 タイプ	迎角 (°)	たわみ渦励振		ねじれ渦励振		基本高さにおける発現風速	
			発現風速域 (m/s)	最大振幅 (m)	発現風速域 (m/s)	最大振幅 (°)	たわみ風速域 (m/s)	ねじれ風速域 (m/s)
1	A	-5	3.42~4.87	0.204	—	—	2.74~3.90	—
2		-3	3.12~4.42	0.165	—	—	2.50~3.54	—
3		0	2.82~3.76	0.166	—	—	2.26~3.01	—
4		+3	2.84~3.77	0.174	—	—	2.27~3.02	—
5	1	+5	2.82~3.99	0.135	11.09~14.15	1.01	2.26~3.19	8.87~11.32
6		+7	2.81~3.73	0.112	10.34~14.06	1.86	2.25~2.98	8.27~11.25
7		+7 ^{*1}	***	***	***	***	***	***
8	A	-3	3.14~4.85	0.158	—	—	2.51~3.88	—
9		0	3.11~4.14	0.108	—	—	2.49~3.31	—
10		+3	3.10~4.14	0.149	—	—	2.48~3.31	—
11		+5	3.10~4.37	0.177	—	—	2.48~3.50	—
12		+5 ^{*2}	2.76~4.37	0.092	11.78~13.86	1.08	2.21~3.50	9.42~11.09
13	B	-3	—	—	7.79~9.66	0.42	—	6.23~7.72
14	1	0	—	—	8.11~9.53	0.25	—	6.49~7.62
15	2	+3	—	—	7.79~9.58	0.17	—	6.21~7.66
16	A	-3	—	—	—	—	—	—
17		0	—	—	—	—	—	—
18		+3	—	—	—	—	—	—
19		0	—	—	—	—	—	—
20	A	-3	—	—	—	—	—	—
21	1	0	—	—	—	—	—	—
22	2	+3	—	—	18.44~24.90	0.76	—	14.75~19.92

*1: ねじれ1自由度

*2: 逆風

2.2 三分力試験

2.2.1 実験方法

試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使用し、「本州四国連絡橋風洞試験要領(1980)」に従いピアノ線支持方式で実施した。三分力試験は $-15^{\circ} \sim +15^{\circ}$ の迎角範囲で 1° 毎に、また風洞風速 8 m/s と 16 m/s について計測を行った。三分力試験の概要を図-2.35 に、空気力を図-2.36 に、空気力係数を次式でそれぞれ定義する。

$$C_D = D / \left(\frac{1}{2} \rho U^2 A_n \right)$$

$$C_L = L / \left(\frac{1}{2} \rho U^2 B \right)$$

$$C_M = M / \left(\frac{1}{2} \rho U^2 B^2 \right)$$

ここに、 C_D ：抗力係数、 C_L ：揚力係数、 C_M ：空力モーメント係数、 D ：抗力、 L ：揚力、 M ：空力モーメント、 ρ ：空気密度、 U ：風速、 A_n ：投影面積、 B ：模型幅員

実験結果より空気力係数を算出する際には、ピアノ線に作用する空気力の修正を試みた。修正の概念図を図-2.37 に示す。ピアノ線抗力を動圧で除した抵抗面積 A_p は、

$$A_p = 0.01154 \text{ (m}^2\text{)}$$

となり、補正後の抗力係数 C_D' はこの A_p および模型の投影面積 A_n を用いて

$$C_D' = C_D - A_p / A_n$$

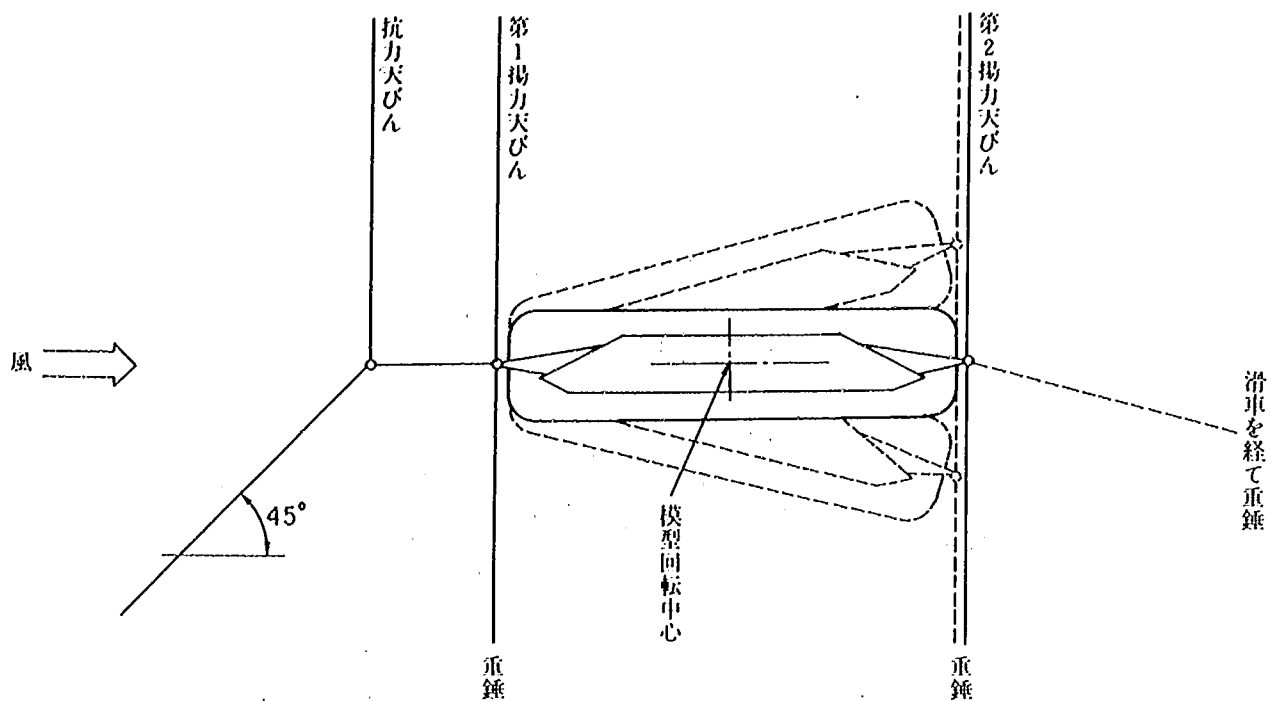
となる。

2.2.2 実験ケース及び実験結果

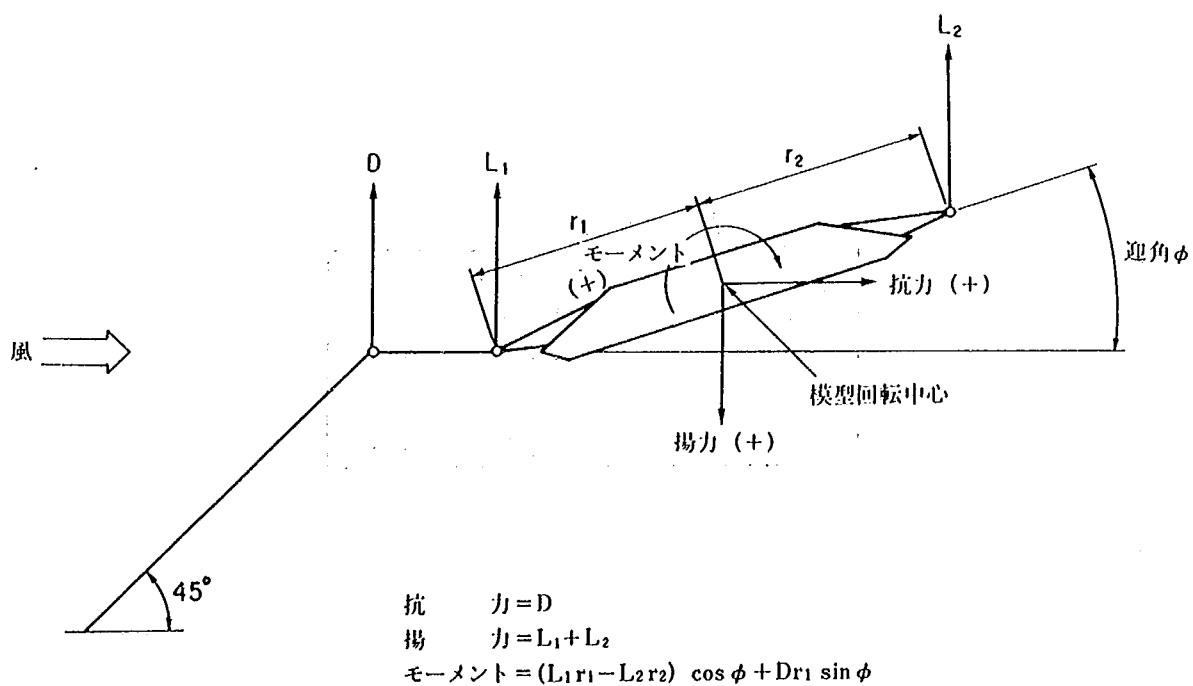
三分力試験はバネ支持模型試験で耐風安定性の良かった基本 A-1、A-2 断面および検査車レールを取り付けた A-1、A-2 断面について実施した。試験ケースを表-2.7 に、試験結果を表-2.8 に示す。

A-1 断面では検査車レール無しするとき抗力係数は 0.775、検査車レールを取り付けると 0.900 になった。A-2 断面では検査車レール無しとき 0.760、検査車レール取り付けると 0.876 になった。いずれも検査車レールを取り付けることにより、抗力係数が 0.125 程度大きくなるが、設計では抗力係数として 1.3 を用いており、検査車レールを取り付けた場合でもこの値を十分下回っている。よって設計に用いた風荷重は十分安全側の値である。

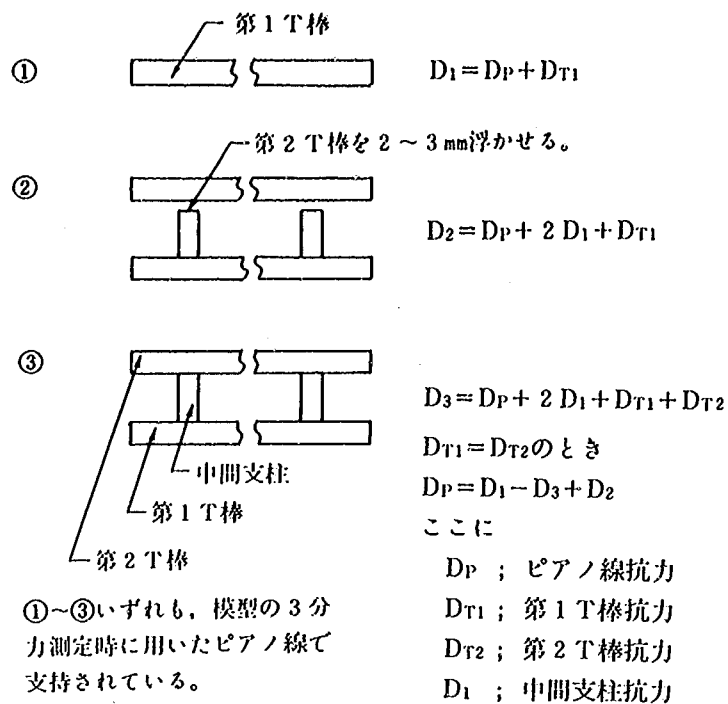
ギャロッピング、バフエッティングおよびダイバージェンスなどの現象には空気力係数の値よりもむしろ迎角の変化に対する空気力係数の変化の割合が密接に関係する。このうち迎角の変化に対する揚力係数の変化の割合を示す揚力傾斜($dC_L/d\alpha$)と、迎角の変化に対する空力モーメント係数の変化の割合を示す空力モーメント傾斜($dC_M/d\alpha$)を求め、各ケースの空気力を表 2.9～12 に、三分力曲線と各傾斜を図-2.38～45 に示す。



図－ 2.35 三分力試験の概要



図－ 2.36 三分力試験の空気力



図－2.37 ピアノ線に作用する抗力の測定

表－2.7 試験ケース

実験番号	模型断面
1	A－1
2	A－1 検査車レール(9 m)
3	A－2
4	A－2 検査車レール(8 m)

表-2.8 三分力試験結果一覧表

項 目		単位	A-1タイプ		A-2タイプ	
			基本断面	レール付断面	基本断面	レール付断面
三分力係数 用定数	投影面積 A_n	m^2	0.2291	0.2516	0.2245	0.2470
	外郭面積 A_L	m^2	1.433		1.284	
	モーメント係数用 A_M	m^3	0.9080		0.7298	
吊金具間隔 b		m	0.713		0.647	
測定迎角	$V=8\text{ m/s}$	$^\circ$	-15~+15	-15~+15	-15~+15	-15~+15
	$V=16\text{ m/s}$	$^\circ$	-10~+9	-10~+10	-10~+10	-5~+7
抗力係数 C_D	$V=8\text{ m/s}$	-	0.781	0.898	0.765	0.864*
	$V=16\text{ m/s}$	-	0.768	0.902	0.756	0.889
	平 均	-	0.775	0.900	0.760	0.876
揚力係数 C_L	$V=8\text{ m/s}$	-	-0.097	-0.131	-0.086	0.160*
	$V=16\text{ m/s}$	-	-0.115	-0.132	-0.102	0.151
	平 均	-	-0.106	-0.132	-0.094	0.156
モーメント係数 C_M	$V=8\text{ m/s}$	-	-0.017	-0.005	-0.010	0.009*
	$V=16\text{ m/s}$	-	-0.022	-0.008	-0.016	0.004
	平 均	-	-0.019	-0.006	-0.013	0.006
$\frac{dC_L}{d\alpha}$	$V=8\text{ m/s}$	-	4.366	4.461	5.214	4.215*
	$V=16\text{ m/s}$	-	4.329	4.217	4.469	3.817
	平 均	-	4.347	4.339	4.841	4.016
$\frac{dC_M}{d\alpha}$	$V=8\text{ m/s}$	-	1.165	1.098	0.600	0.886*
	$V=16\text{ m/s}$	-	1.174	1.079	0.957	0.942
	平 均	-	1.169	1.088	0.778	0.914

注) 三分力係数は全て迎角 $\alpha = 0^\circ$ の時の値を示す。

*印は $V = 7\text{ m/s}$ の値を示す。

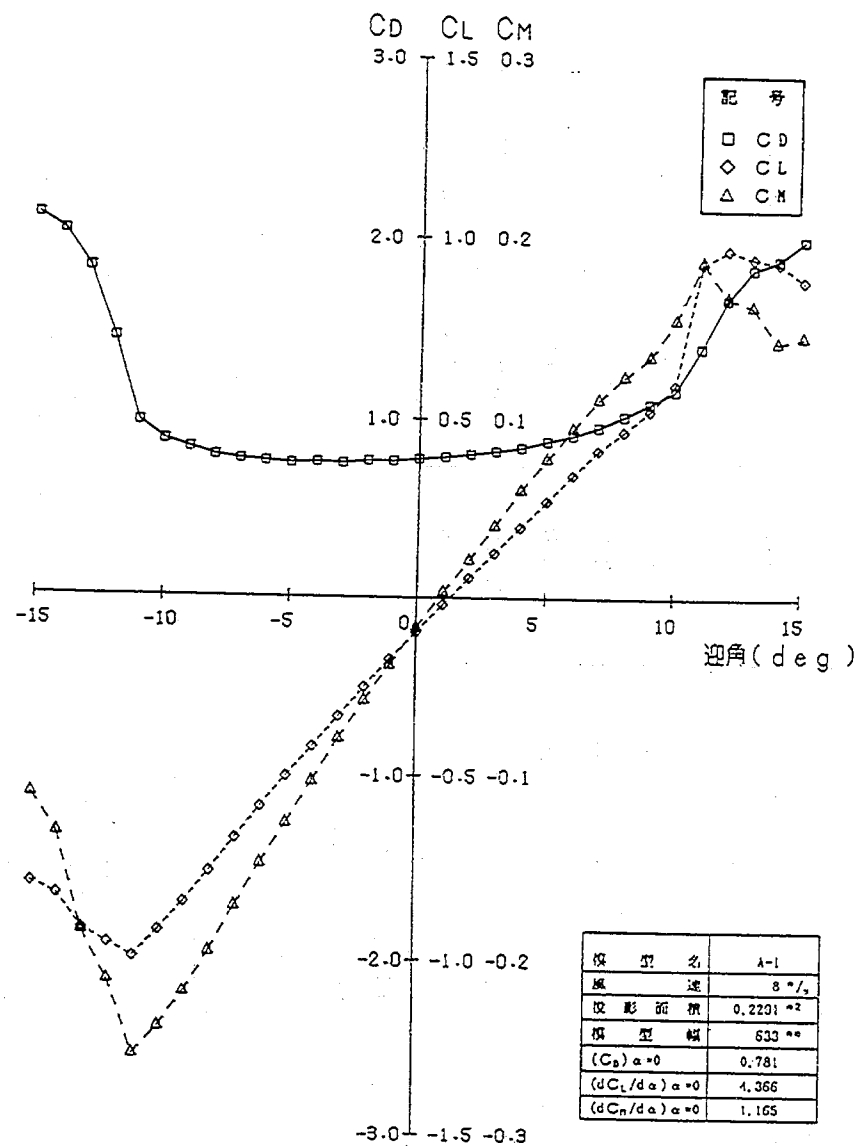


図-2.38 三分力曲線A-1タイプ風速8m/s

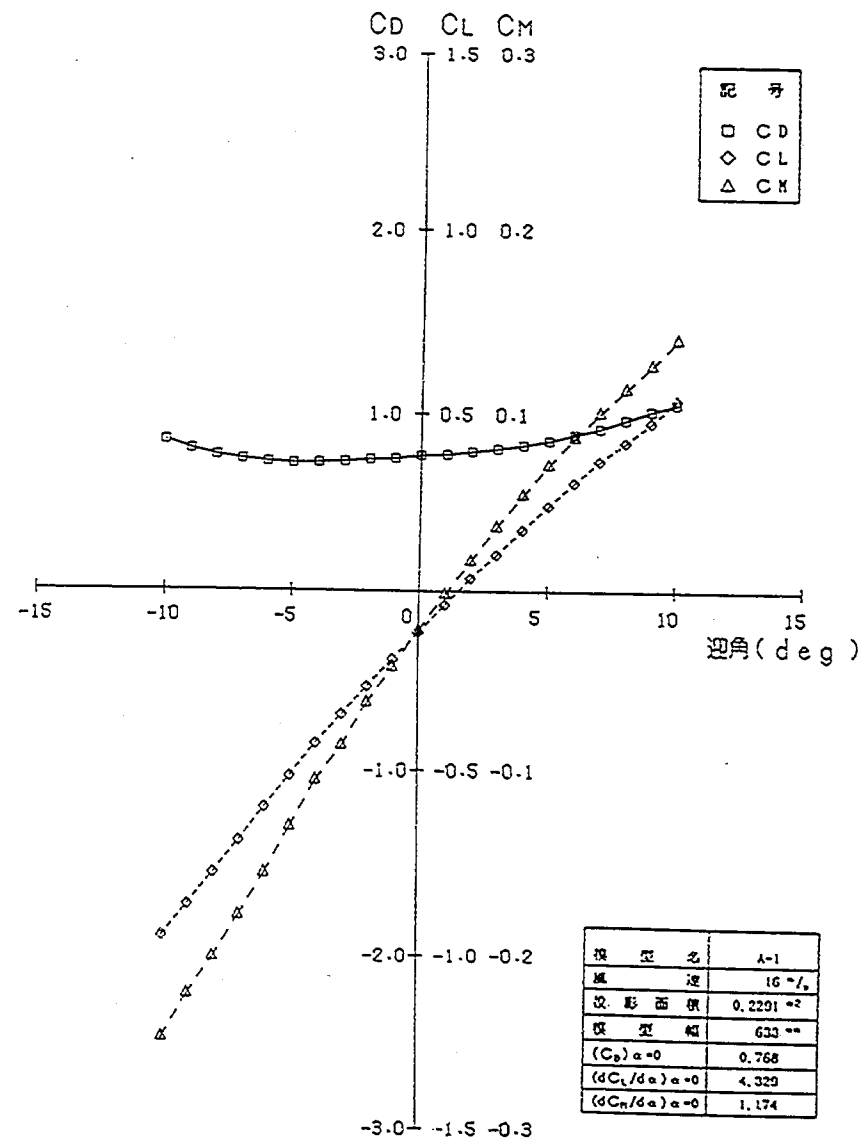


図-2.39 三分力曲線A-1タイプ風速16m/s

表- 2.9 A-1 (基本断面)

迎 角 (deg)	風速 8 m/s			風速 16 m/s		
	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M
-15	2.110	-0.799	-0.112			
-14	2.020	-0.830	-0.133			
-13	1.816	-0.923	-0.186			
-12	1.436	-0.962	-0.213			
-11	0.976	-0.999	-0.255			
-10	0.879	-0.927	-0.240	0.850	-0.950	-0.248
-9	0.837	-0.850	-0.220	0.800	-0.864	-0.224
-8	0.795	-0.766	-0.197	0.765	-0.778	-0.202
-7	0.776	-0.676	-0.172	0.744	-0.692	-0.179
-6	0.765	-0.589	-0.149	0.729	-0.601	-0.156
-5	0.755	-0.505	-0.127	0.721	-0.517	-0.131
-4	0.762	-0.422	-0.104	0.726	-0.428	-0.106
-3	0.755	-0.335	-0.080	0.732	-0.347	-0.087
-2	0.769	-0.251	-0.058	0.745	-0.268	-0.063
-1	0.769	-0.172	-0.038	0.750	-0.190	-0.043
0	0.781	-0.097	-0.017	0.768	-0.115	-0.022
1	0.793	-0.019	0.003	0.773	-0.039	-0.002
2	0.809	0.056	0.021	0.790	0.037	0.017
3	0.826	0.125	0.040	0.807	0.104	0.036
4	0.847	0.197	0.060	0.828	0.173	0.054
5	0.883	0.270	0.078	0.855	0.240	0.071
6	0.916	0.344	0.095	0.892	0.307	0.087
7	0.961	0.416	0.111	0.927	0.369	0.101
8	1.023	0.469	0.124	0.977	0.423	0.114
9	1.092	0.526	0.135	1.026	0.480	0.127
10	1.163	0.598	0.155	1.064	0.542	0.141
11	1.400	0.932	0.187			
12	1.670	0.969	0.168			
13	1.836	0.947	0.163			
14	1.886	0.934	0.143			
15	1.992	0.886	0.146			

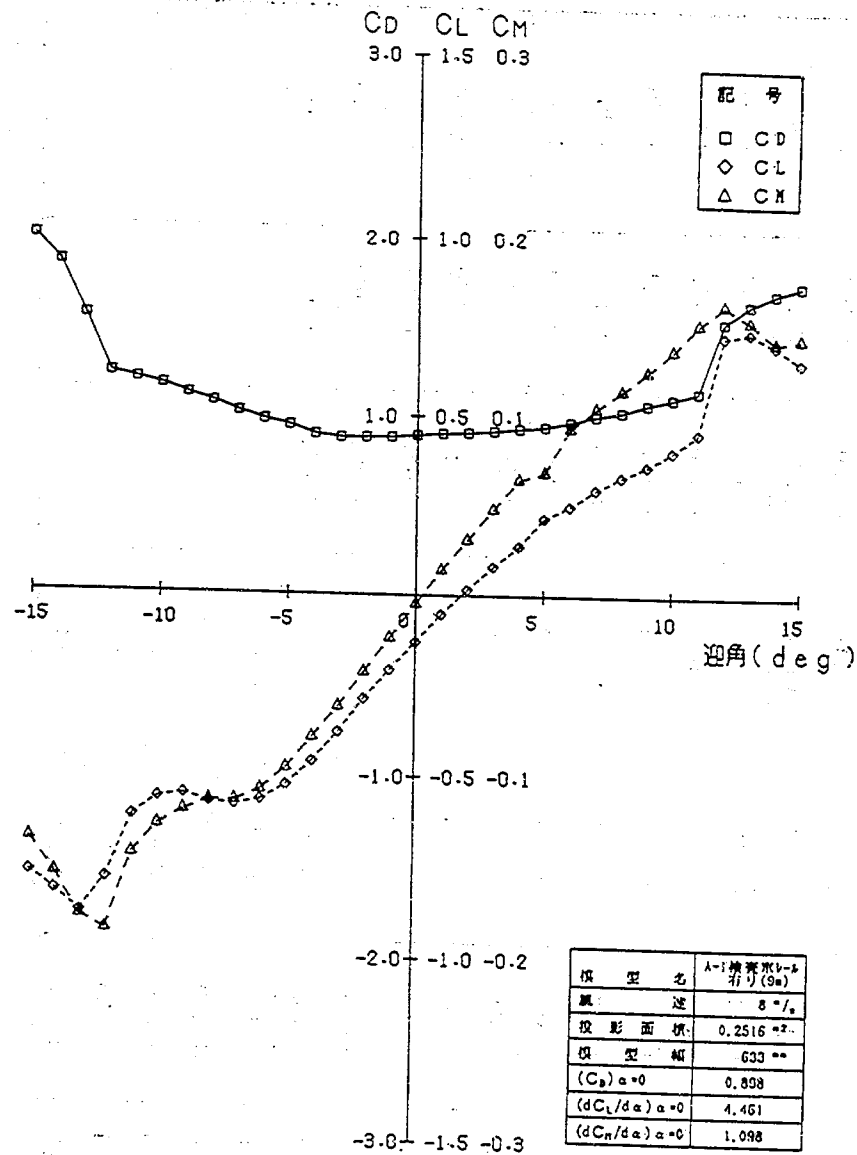


図-2.40 三分力曲線A-1タイプ(検査車レール有) 風速8 m/s

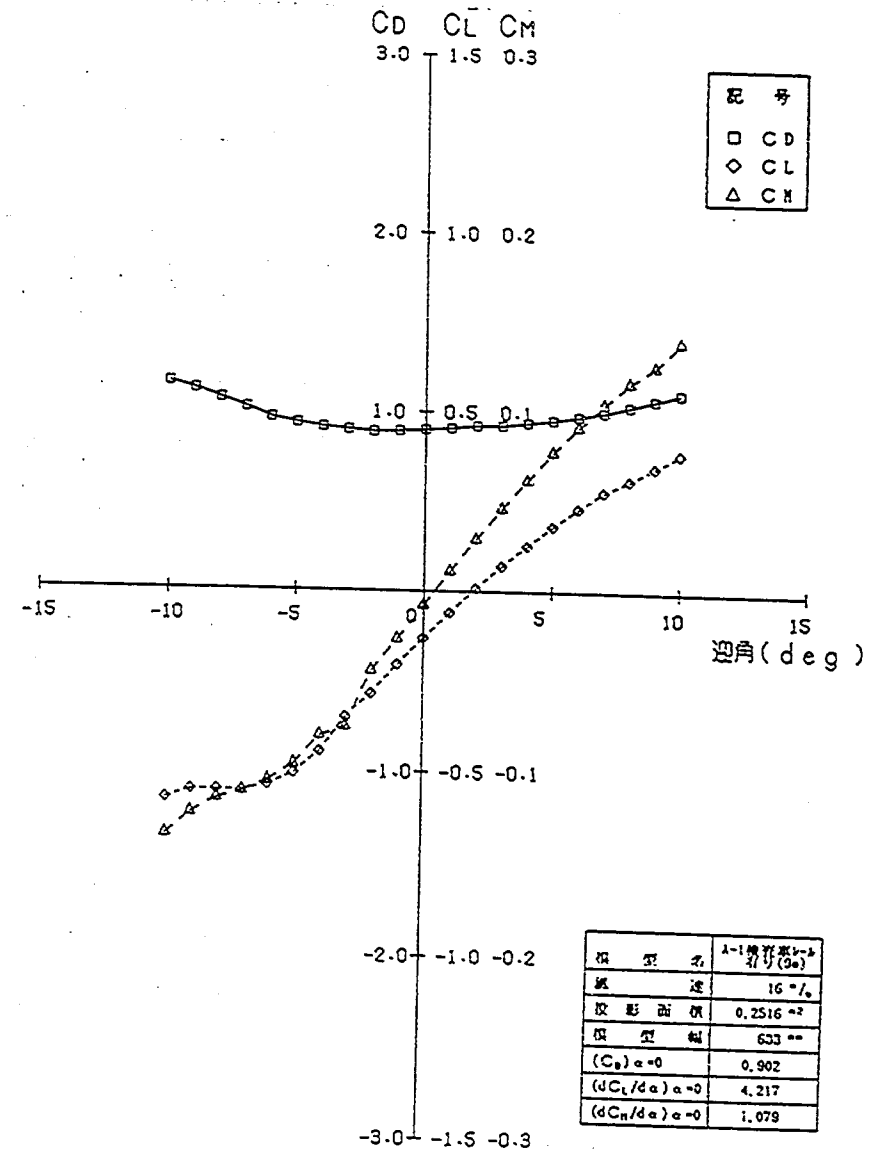


図-2.41 三分力曲線A-1タイプ(検査車レール有) 風速16 m/s

表-2.10 A-2 (基本断面)

迎 角 (deg)	風速 m/s			風速 16 m/s		
	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M
-15	2.029	-0.750	-0.127			
-14	1.913	-0.772	-0.149			
-13	1.631	-0.887	-0.181			
-12	1.281	-0.922	-0.220			
-11	0.938	-0.954	-0.245			
-10	0.839	-0.883	-0.230	0.818	-0.900	-0.236
-9	0.784	-0.792	-0.207	0.776	-0.814	-0.212
-8	0.763	-0.715	-0.184	0.771	-0.731	-0.192
-7	0.748	-0.627	-0.160	0.726	-0.644	-0.166
-6	0.729	-0.541	-0.137	0.712	-0.599	-0.144
-5	0.730	-0.467	-0.116	0.711	-0.476	-0.120
-4	0.735	-0.390	-0.094	0.722	-0.397	-0.098
-3	0.736	-0.310	-0.071	0.734	-0.325	-0.076
-2	0.750	-0.234	-0.051	0.744	-0.249	-0.055
-1	0.757	-0.191	-0.014	0.750	-0.184	-0.031
0	0.765	-0.086	-0.010	0.756	-0.102	-0.016
1	0.774	-0.009	0.007	0.769	-0.028	0.003
2	0.802	0.060	0.024	0.785	0.042	0.020
3	0.817	0.130	0.043	0.810	0.107	0.036
4	0.853	0.194	0.059	0.829	0.170	0.053
5	0.894	0.257	0.075	0.869	0.230	0.068
6	0.938	0.324	0.090	0.899	0.292	0.082
7	0.976	0.383	0.101	0.937	0.351	0.095
8	1.003	0.419	0.107	0.989	0.399	0.103
9	1.056	0.457	0.114	0.042	0.442	0.113
10	1.144	0.497	0.122	0.106	0.481	0.121
11	1.214	0.541	0.131			
12	1.263	0.582	0.142			
13	1.543	0.916	0.178			
14	1.768	0.964	0.159			
15	1.896	0.921	0.156			

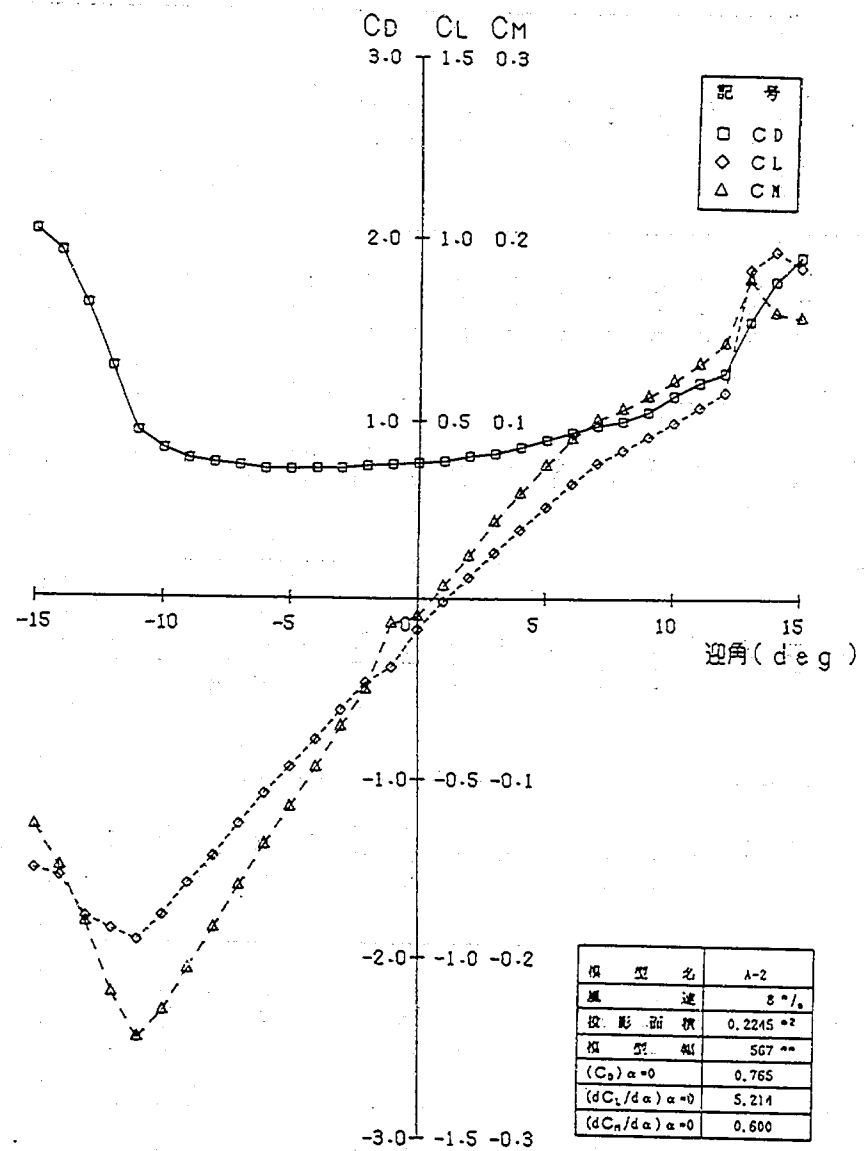


図-2.42 三分力曲線A-2タイプ風速8m/s

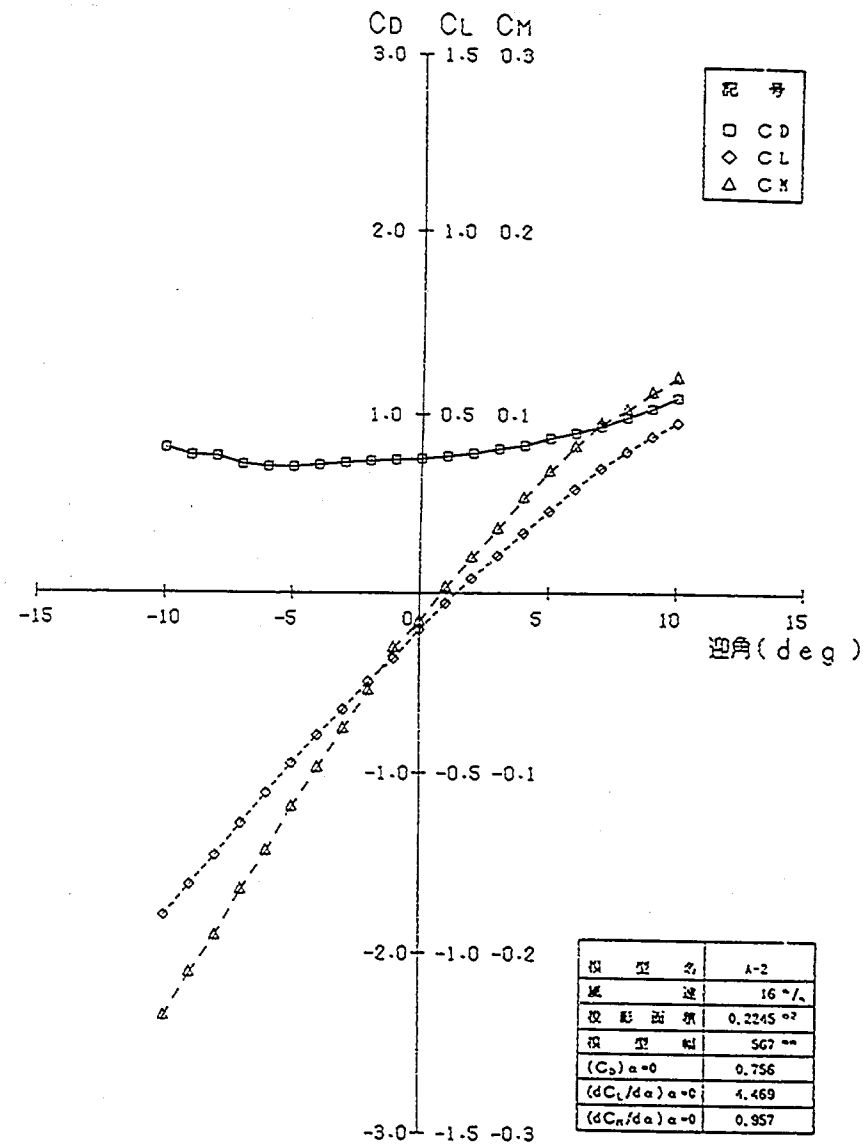


図-2.43 三分力曲線A-2タイプ風速16m/s

表-2.11 A-1検査車レール B=9 m

迎 角 (deg)	風速 m/s			風速16 m/s		
	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M
-15	1.992	-0.772	-0.136			
-14	1.848	-0.821	-0.155			
-13	1.556	-0.879	-0.178			
-12	1.232	-0.788	-0.186			
-11	1.201	-0.615	-0.144			
-10	1.169	-0.563	-0.128	1.147	-0.580	-0.136
-9	1.117	-0.553	-0.120	1.110	-0.557	-0.124
-8	1.073	-0.575	-0.114	1.062	-0.556	-0.116
-7	1.019	-0.581	-0.114	1.014	-0.557	-0.112
-6	0.977	-0.567	-0.108	0.961	-0.541	-0.106
-5	0.947	-0.527	-0.096	0.933	-0.508	-0.097
-4	0.900	-0.461	-0.079	0.911	-0.449	-0.081
-3	0.884	-0.380	-0.062	0.899	-0.352	-0.076
-2	0.886	-0.288	-0.043	0.889	-0.288	-0.045
-1	0.888	-0.209	-0.024	0.894	-0.207	-0.027
0	0.898	-0.131	-0.005	0.902	-0.132	-0.008
1	0.908	-0.054	0.014	0.910	-0.060	0.011
2	0.913	0.015	0.031	0.925	0.008	0.029
3	0.924	0.080	0.048	0.927	0.070	0.046
4	0.937	0.138	0.065	0.944	0.127	0.062
5	0.949	0.216	0.069	0.960	0.182	0.078
6	0.977	0.250	0.094	0.983	0.232	0.092
7	1.010	0.299	0.105	1.009	0.279	0.105
8	1.034	0.335	0.115	1.044	0.313	0.117
9	1.076	0.366	0.126	1.081	0.352	0.126
10	1.109	0.407	0.138	1.118	0.390	0.140
11	1.148	0.459	0.153			
12	1.543	0.731	0.164			
13	1.646	0.743	0.155			
14	1.708	0.706	0.143			
15	1.752	0.658	0.145			

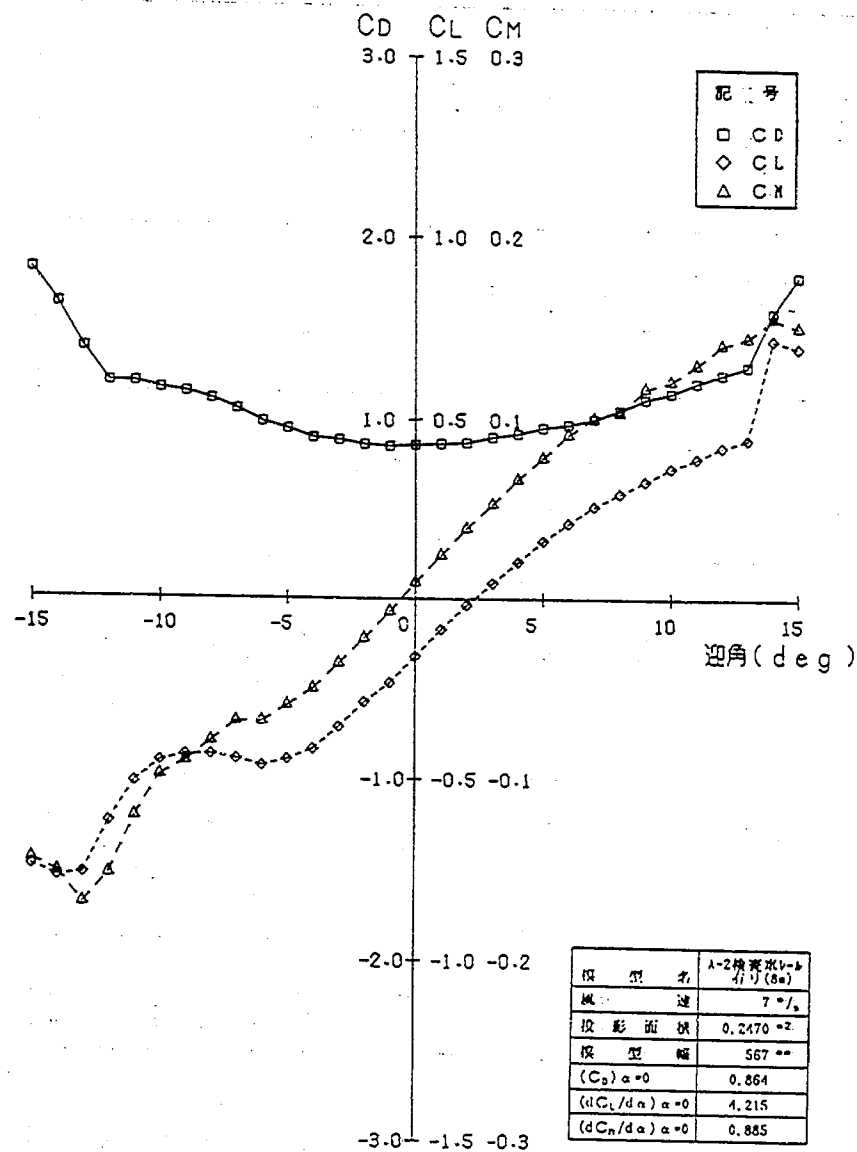


図-2.44 三分力曲線A-2タイプ(検査車レール有) 風速7m/s

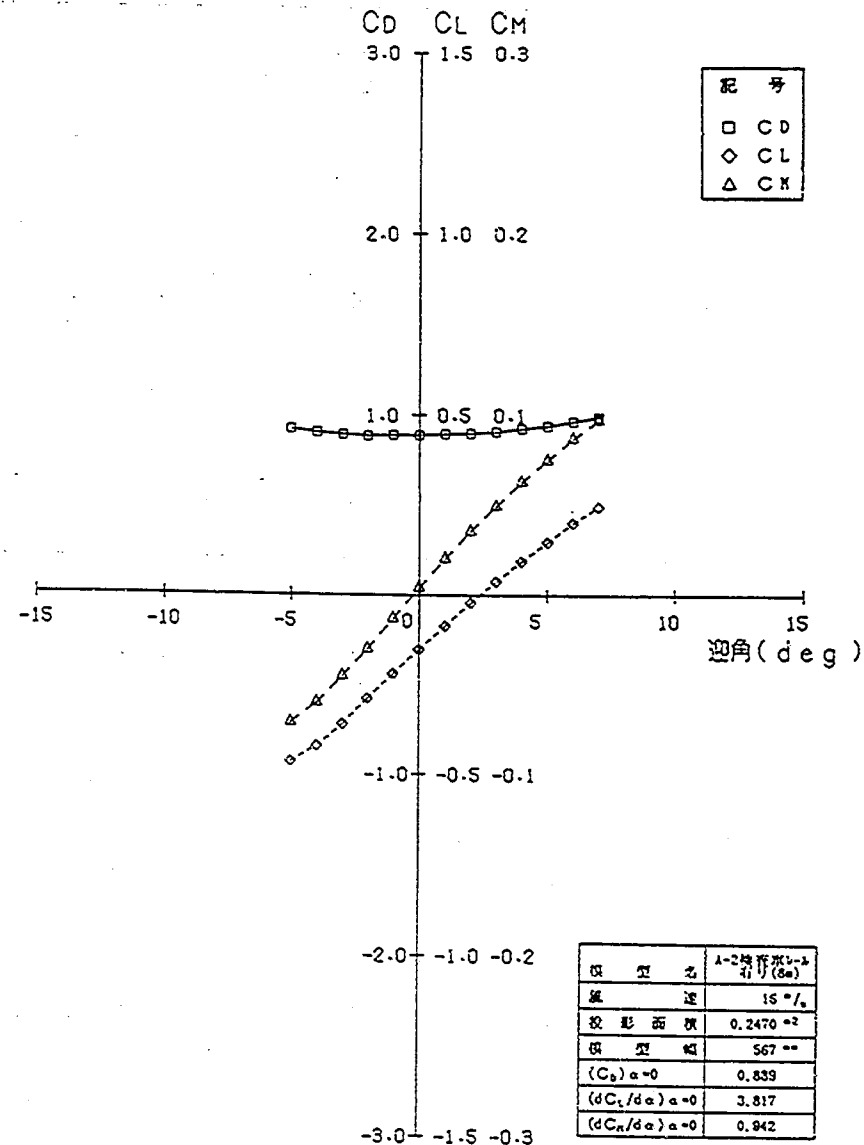


図-2.45 三分力曲線A-2タイプ(検査車レール有) 風速16m/s

表- 2.12 A-2 検査車レール B = 8 m

迎 角 (deg)	風速 m/s			風速 16 m/s		
	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M	抗力 C_D	揚力 C_L	モーメント C_M
-15	1.816	-0.742	-0.145			
-14	1.634	-0.772	-0.152			
-13	1.394	-0.763	-0.169			
-12	1.209	-0.618	-0.153			
-11	1.208	-0.508	-0.121			
-10	1.174	-0.449	-0.098			
-9	1.154	-0.432	-0.090			
-8	1.115	-0.431	-0.079			
-7	1.060	-0.443	-0.068			
-6	0.991	-0.462	-0.068			
-5	0.952	-0.444	-0.059	0.924	-0.465	-0.071
-4	0.902	-0.416	-0.050	0.907	-0.420	-0.060
-3	0.890	-0.355	-0.036	0.896	-0.359	-0.045
-2	0.867	-0.286	-0.022	0.888	-0.287	-0.030
-1	0.857	-0.233	-0.007	0.891	-0.218	-0.013
0	0.864	-0.160	0.009	0.889	-0.151	0.004
1	0.869	-0.085	0.024	0.896	-0.085	0.020
2	0.875	-0.017	0.039	0.900	-0.021	0.035
3	0.905	0.043	0.053	0.909	0.038	0.049
4	0.925	0.102	0.067	0.926	0.093	0.063
5	0.958	0.160	0.079	0.941	0.146	0.075
6	0.976	0.210	0.092	0.966	0.198	0.087
7	1.007	0.259	0.101	0.990	0.243	0.097
8	1.059	0.296	0.104			
9	1.120	0.331	0.118			
10	1.155	0.368	0.122			
11	1.213	0.395	0.131			
12	1.259	0.427	0.142			
13	1.304	0.448	0.146			
14	1.602	0.724	0.157			
15	1.793	0.703	0.152			

3. まとめ

本調査によって安芸灘大橋の耐風性について判明した成果をまとめると以下のとおりである。

(1) バネ支持模型試験の成果

A-1, A-2の基本断面は、本四基準の領域では同じような渦励振が発現し、その風速域はたわみ振動で実験を行った全ての迎角で 5 m/s 以下で、ねじれ振動は迎角 $+5^\circ$ でのみ $10 \sim 15 \text{ m/s}$ であった。発散振動については本四基準の領域を超えていることが確認できた。

B-2 はねじれ渦励振が迎角 $-3^\circ \sim +3^\circ$ で発現しており、発現風速域は $7.8 \sim 9.7 \text{ m/s}$ で最大振幅 0.4° が計測された。発散振動については発現しなかった。

検査車レールを取り付けることにより、A-1 は迎角 $-3^\circ \sim +3^\circ$ で渦励振は発現しなくなった。A-2 の場合はたわみの渦励振が消え、 $+3^\circ$ でねじれの渦励振が発現し、検査車レールで耐風性を安定化させることはできなかった。

(2) 三分力試験の成果

検査車レールを取り付けることにより抗力係数が 0.125 程度大きくなるが、設計に用いた抗力係数 1.3 を十分に下回っているため、設計の風荷重は安全側となることが明かとなった。

以上より、設計案 A-1 断面を今後の設計のための基本断面とすることは妥当であると考えられる。今後は渦励振の振幅低減効果やガスト応答の発現といった、乱流の効果に配慮しつつ、一様流中でもより対風応答特性に優れた断面が得られる方向に設計を進め、風洞実験によって検討して行くことが望ましい。

4. あとがき

本調査を実施するにあたり、種々お世話いただいた広島県土木建築部道路建設課の関係各位から多大な協力を得たことを記し、ここに謝意を表します。

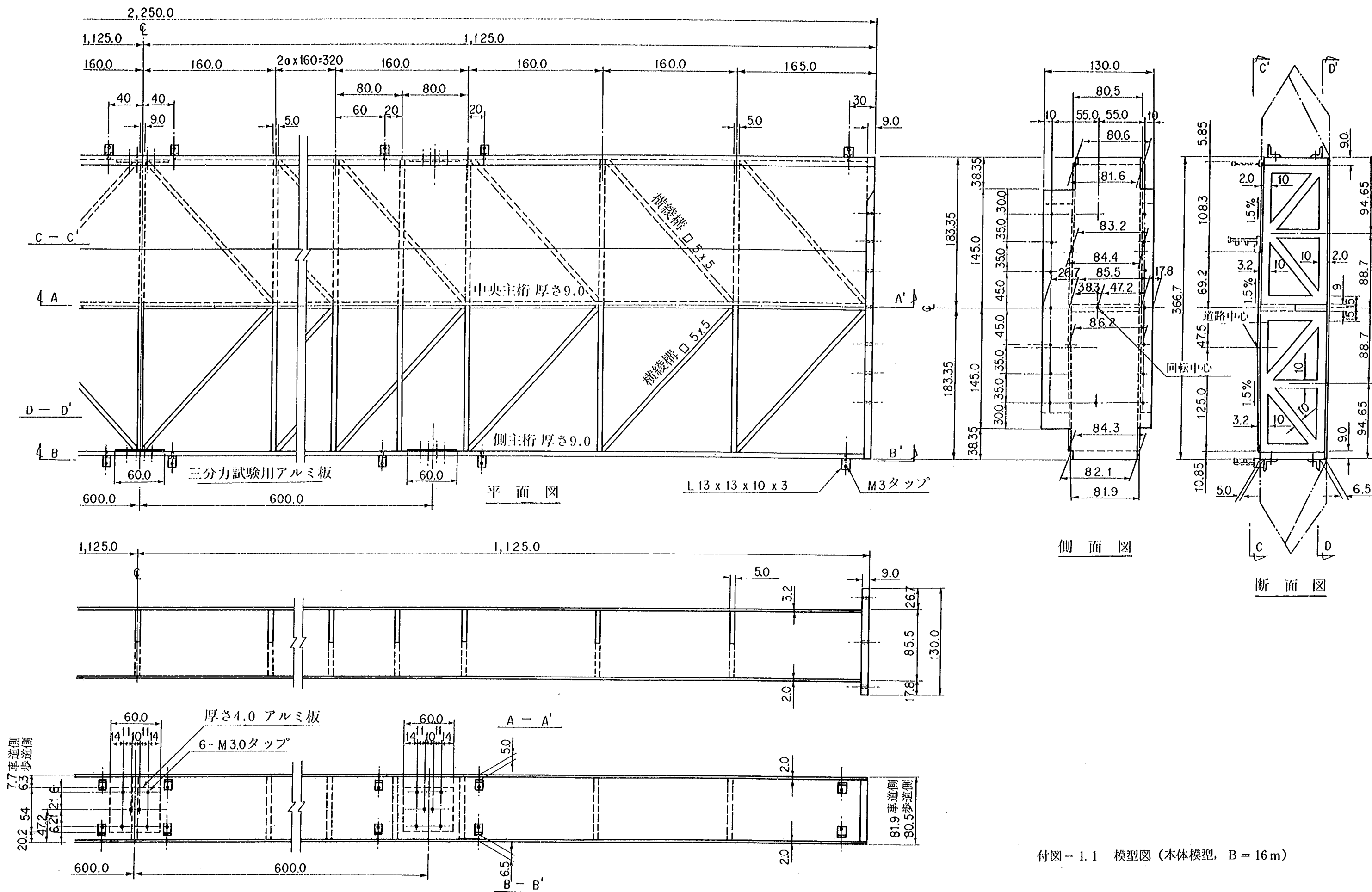
参考文献

- (1) 建設省土木研究所；白鳥大橋の耐風性調査報告書（その2）；構造研究室資料第7号，昭和59年3月

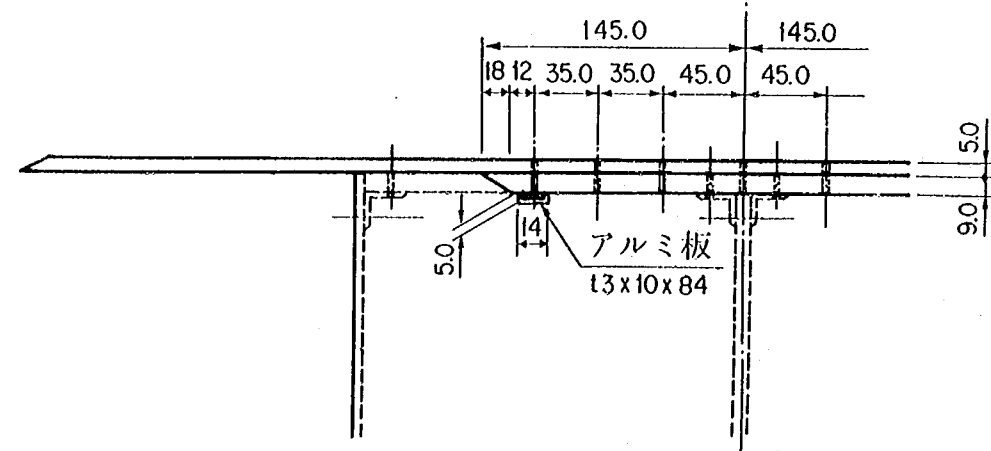
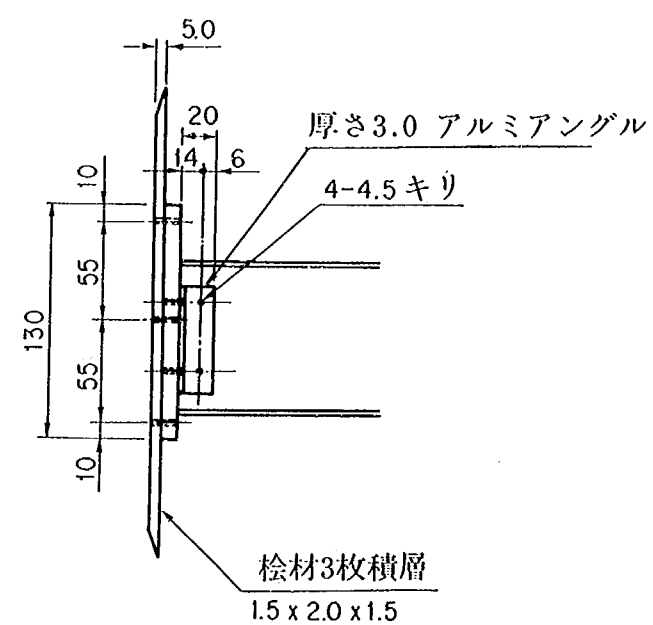
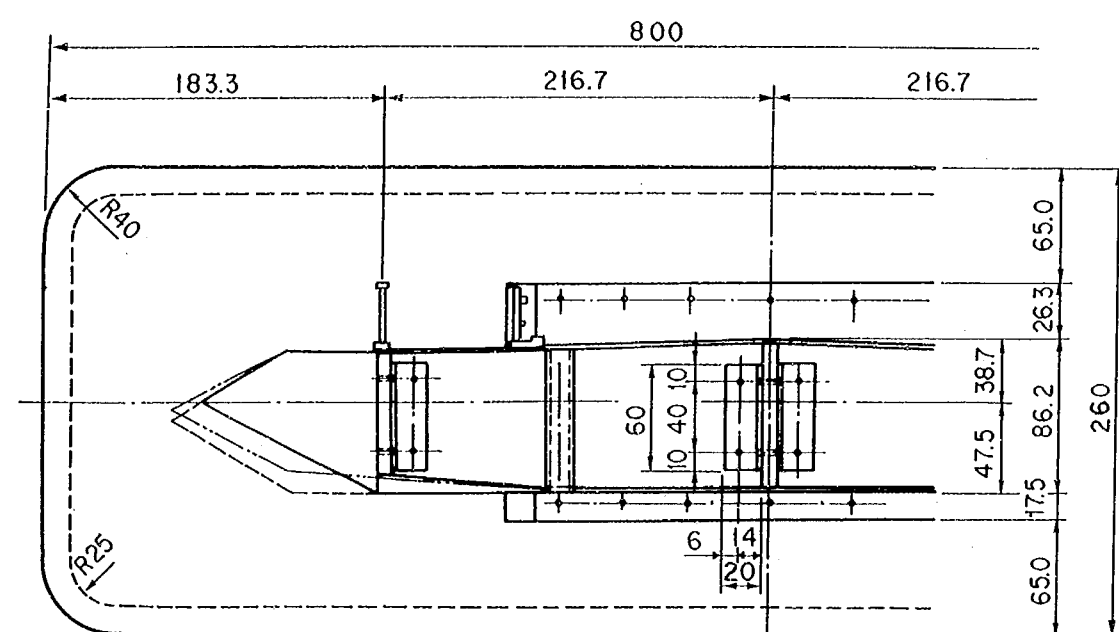
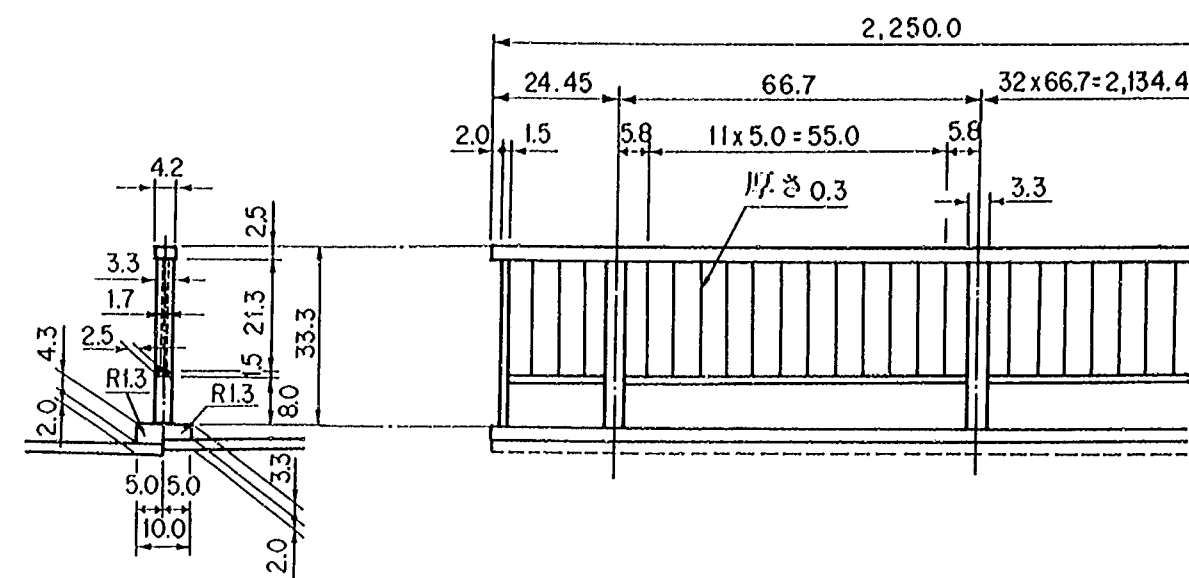
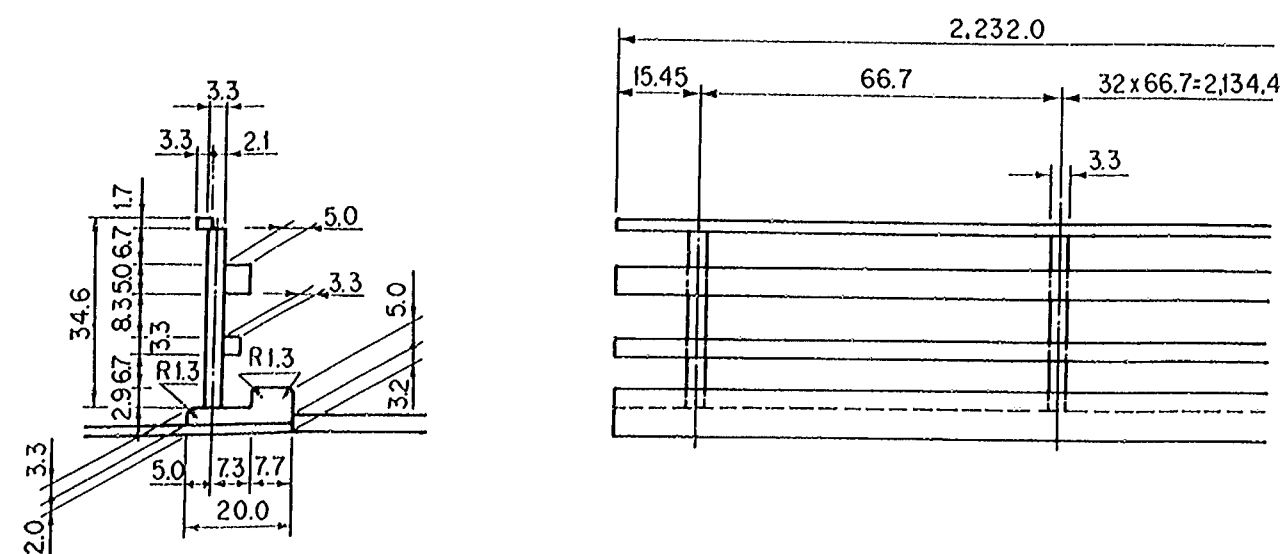
付 属 資 料

付図－1 模型図

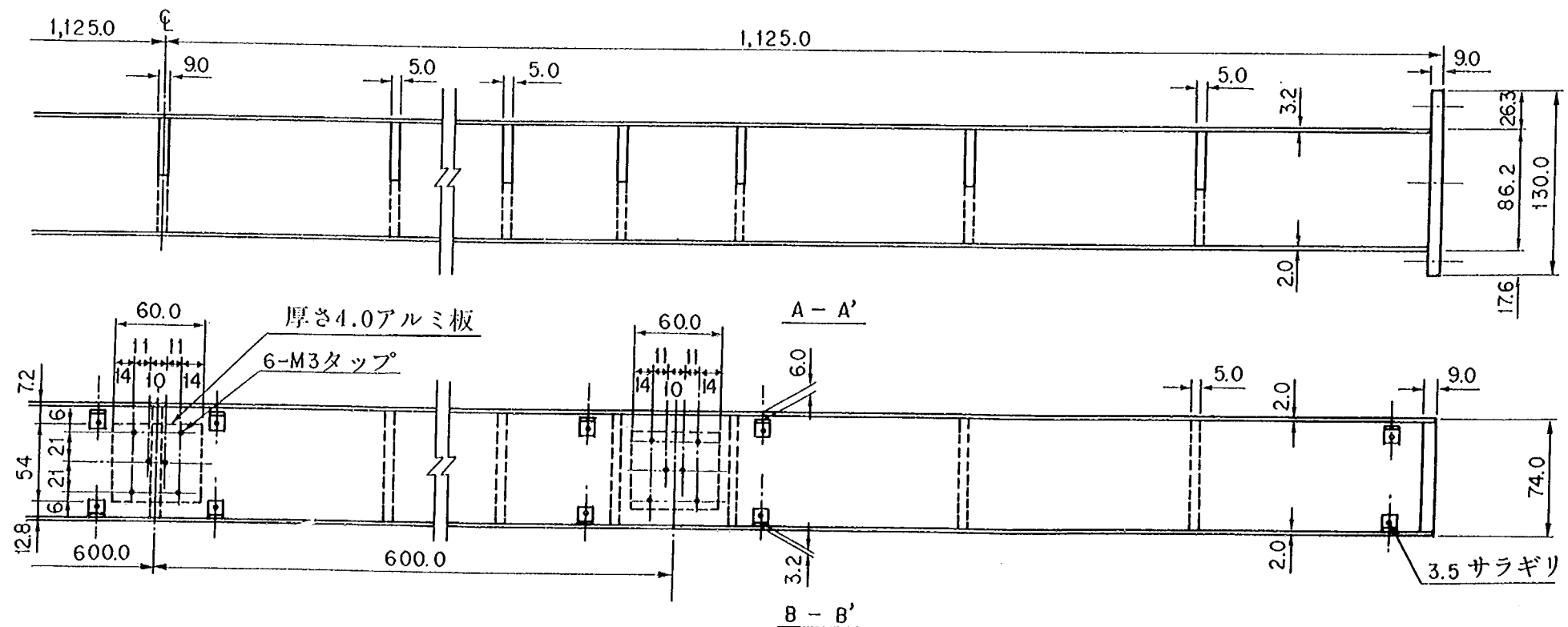
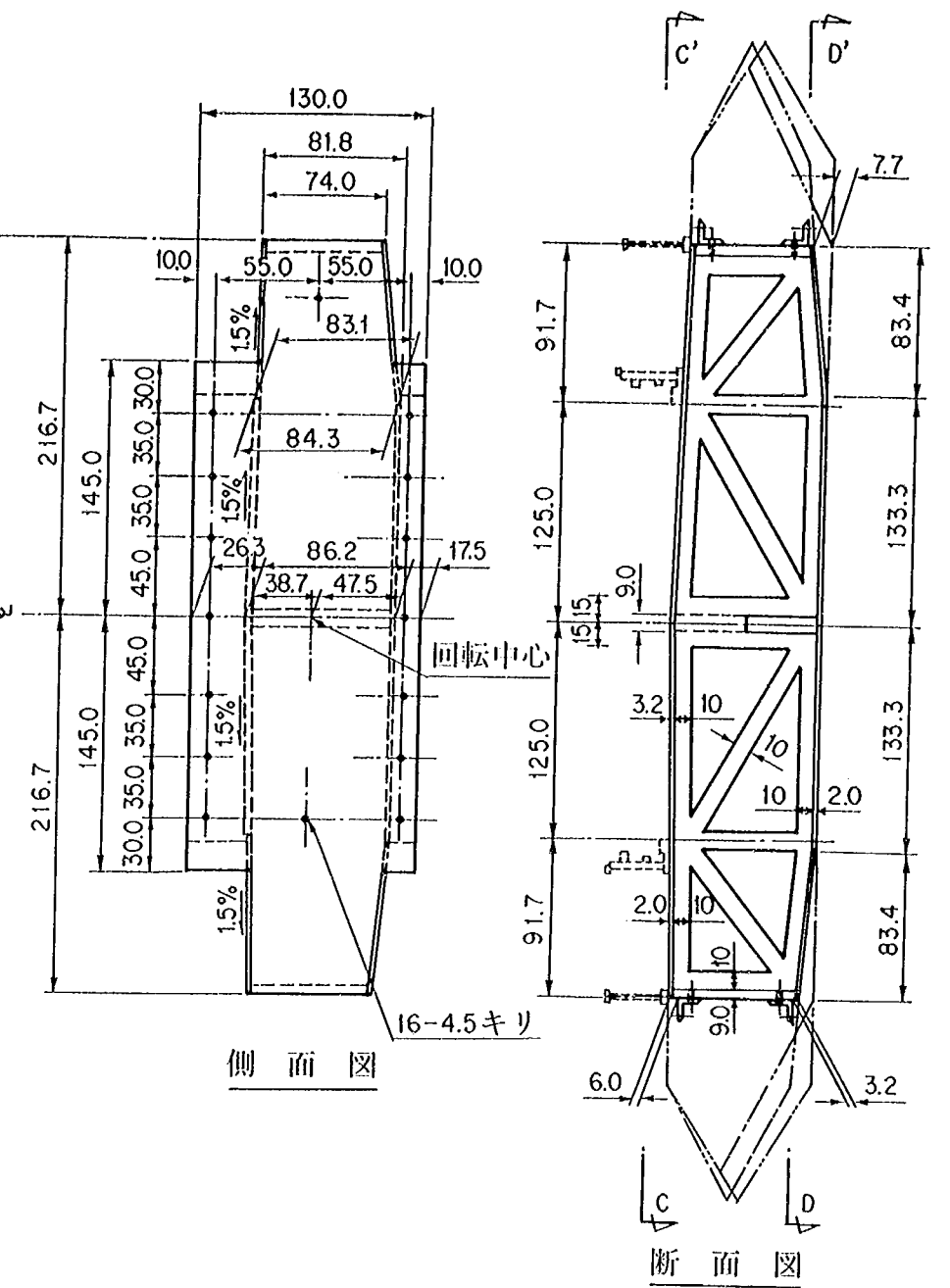
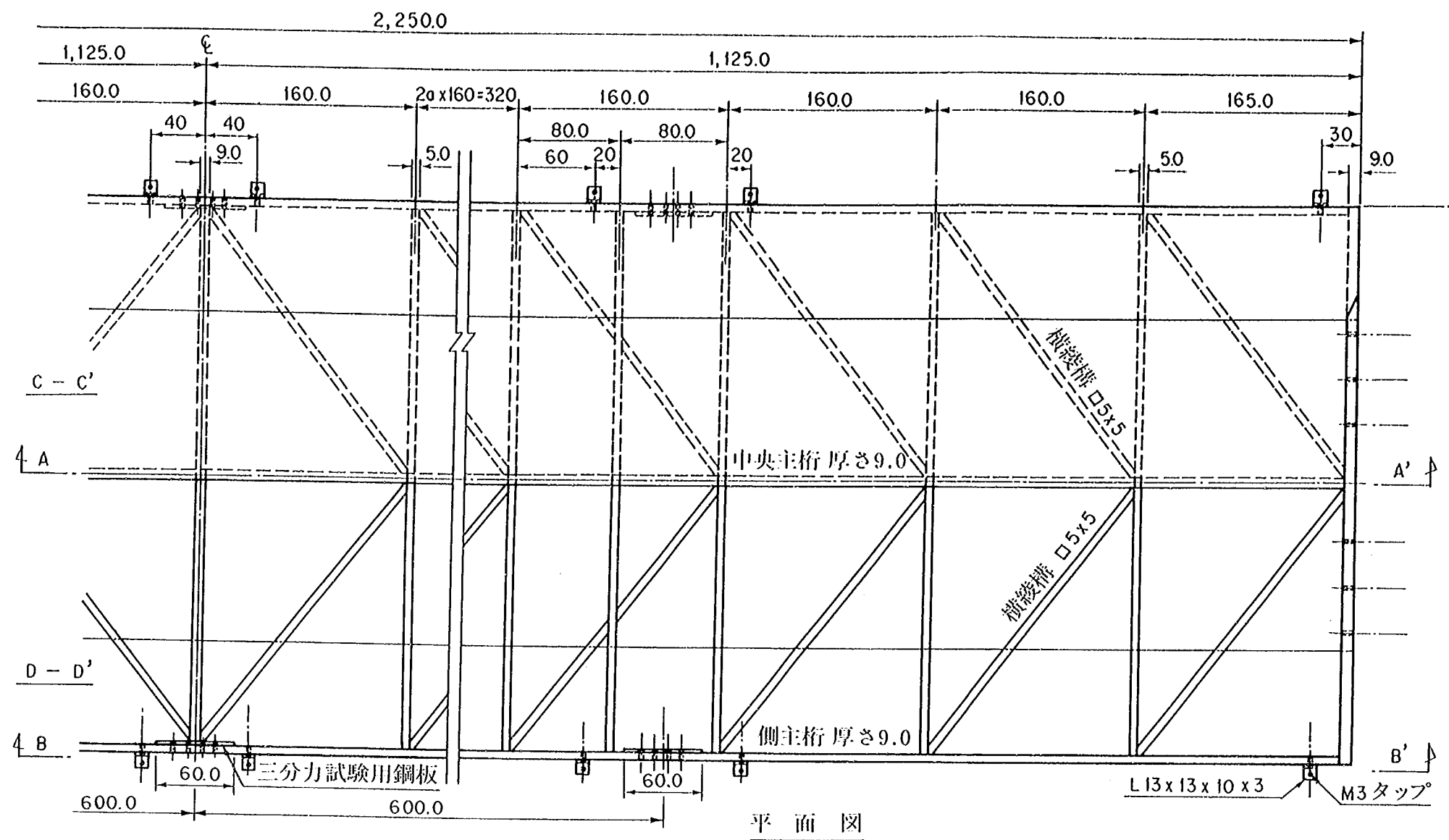
付図－2 風速－振幅図



付図- 1.1 模型図 (本体模型, B = 16 m)

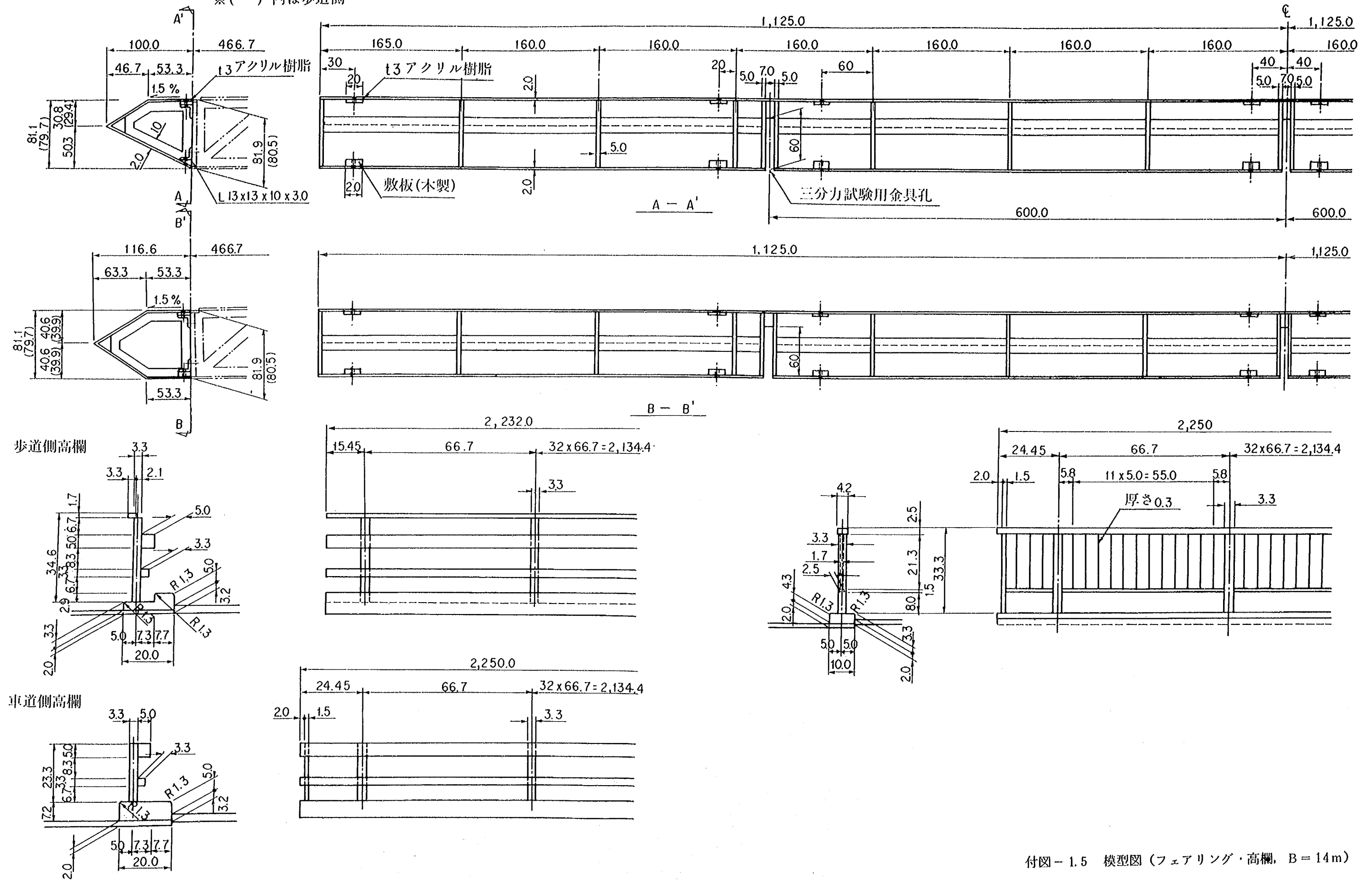


付図-1.3 模型図 (高欄・端板, B=16m)

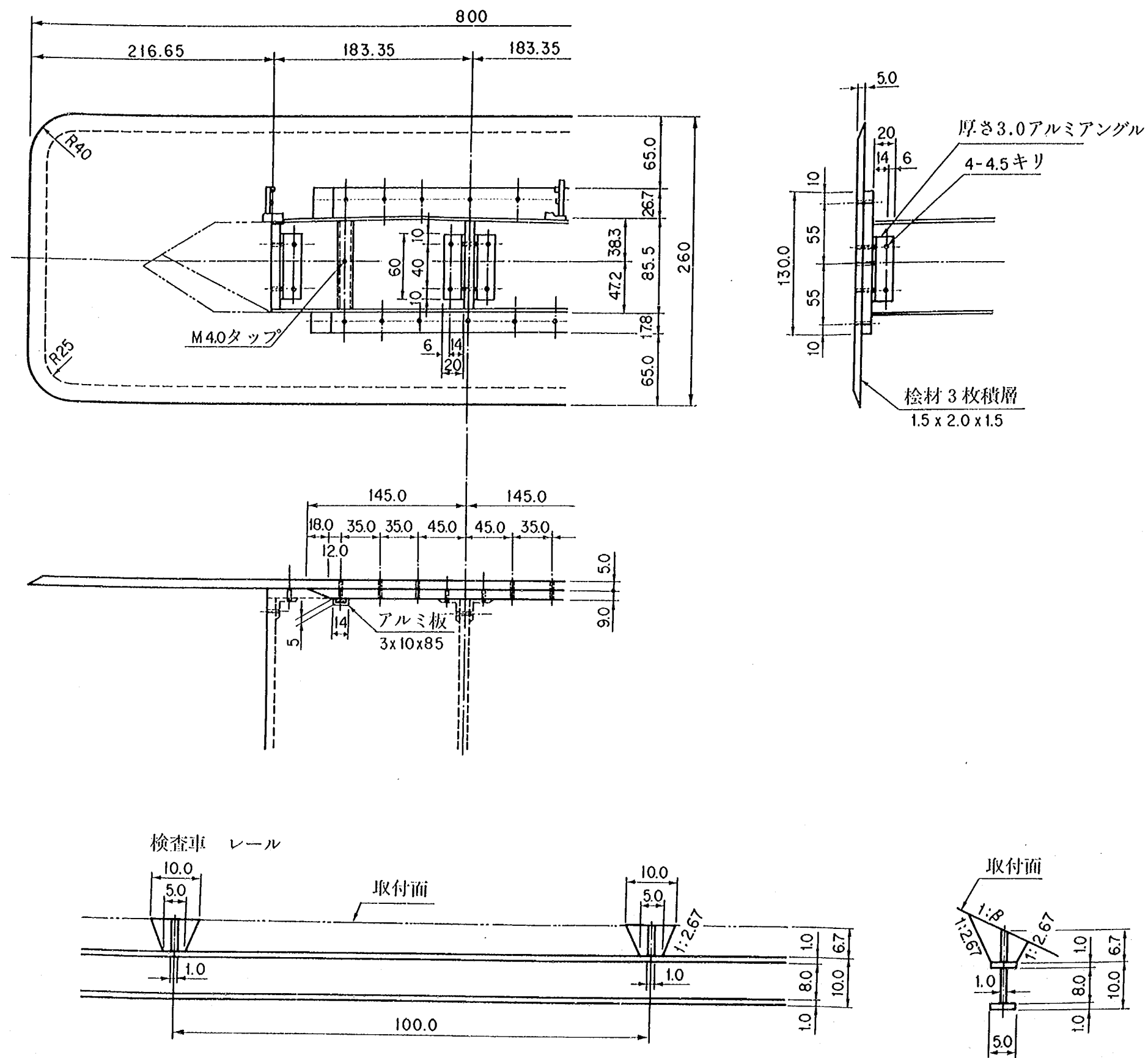


付図- 1.4 模型図 (本体模型, B = 14m)

※()内は歩道側

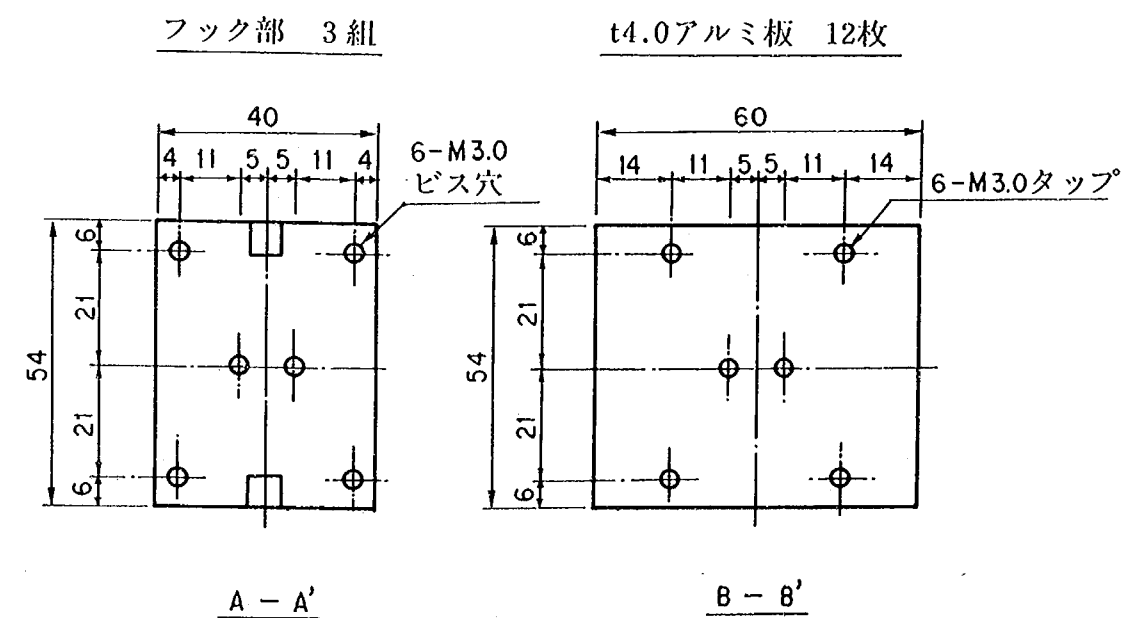
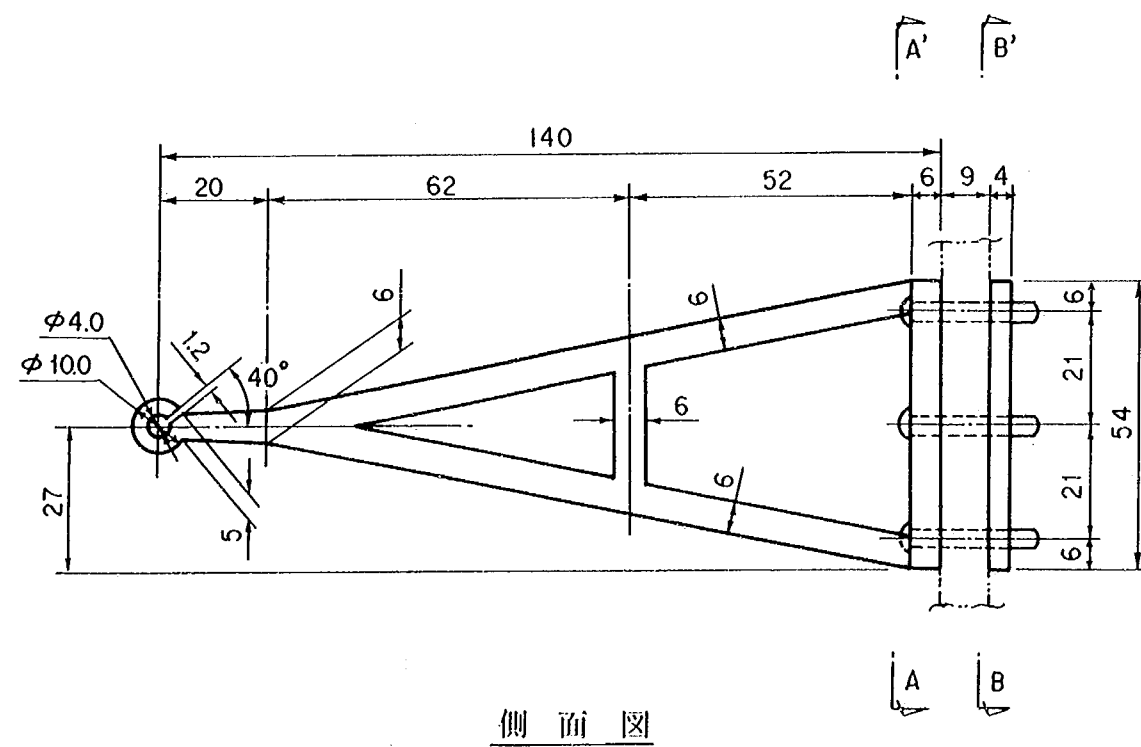
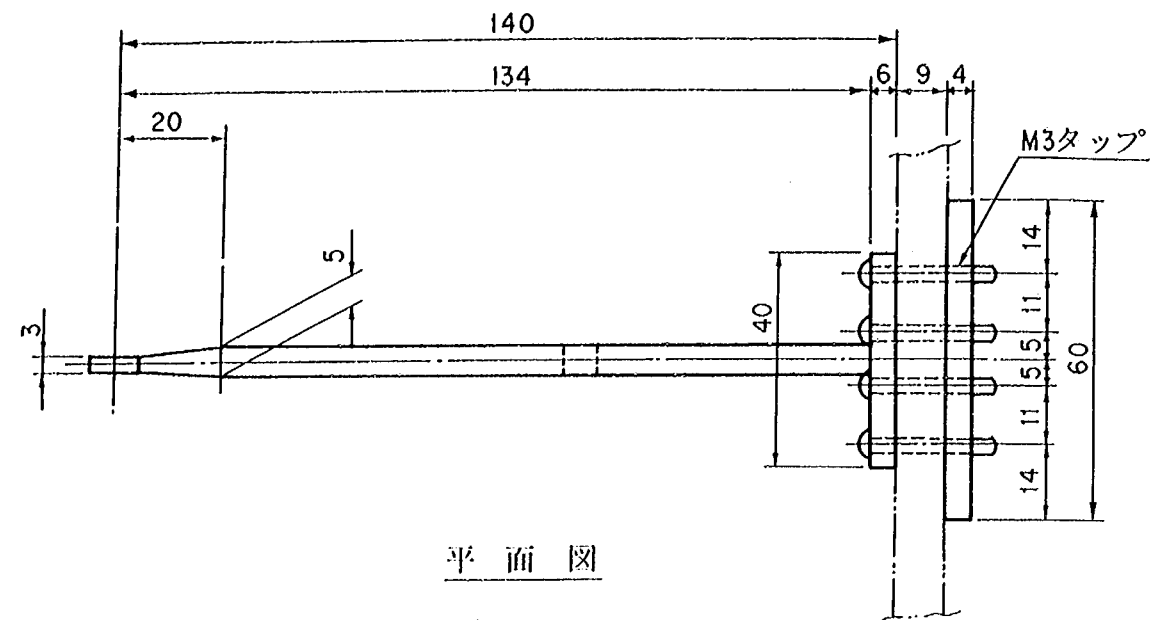


付図-1.5 模型図(フェアリング・高欄, $B=14\text{m}$)

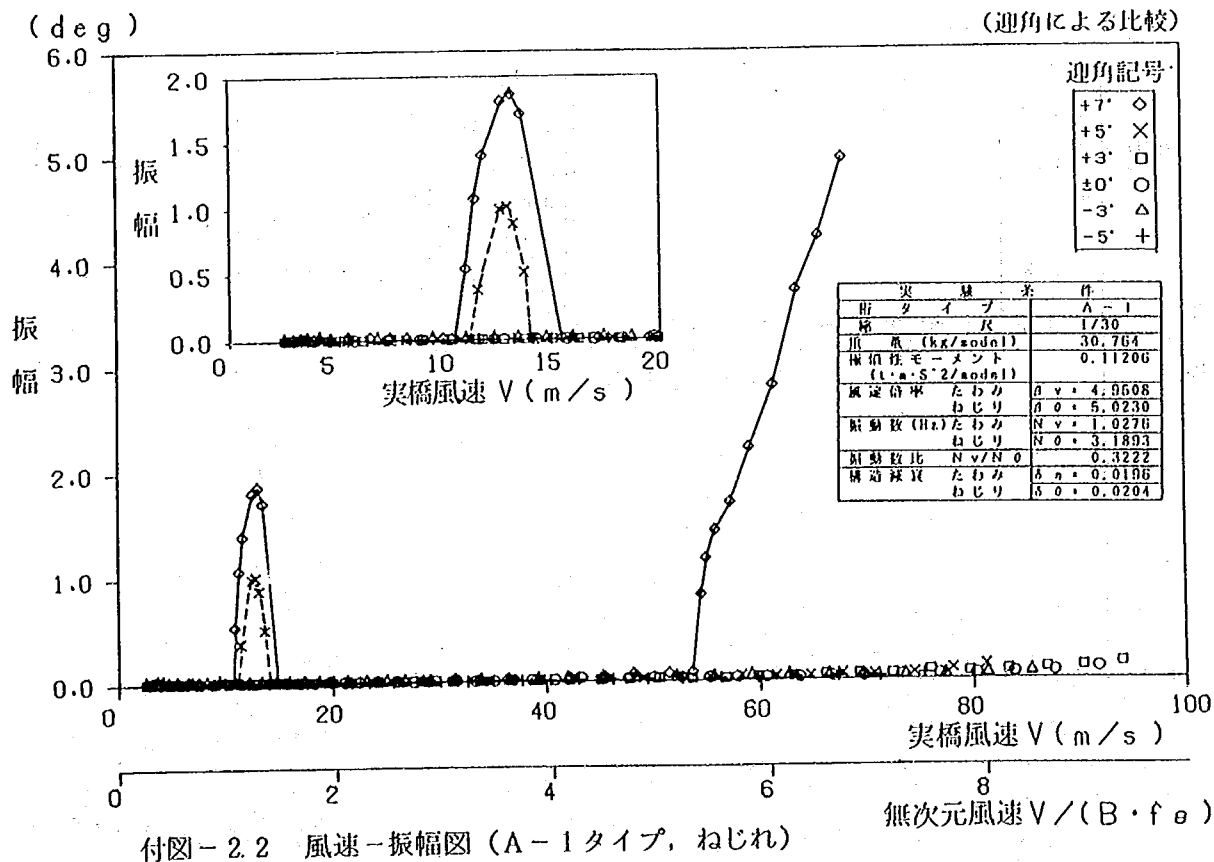
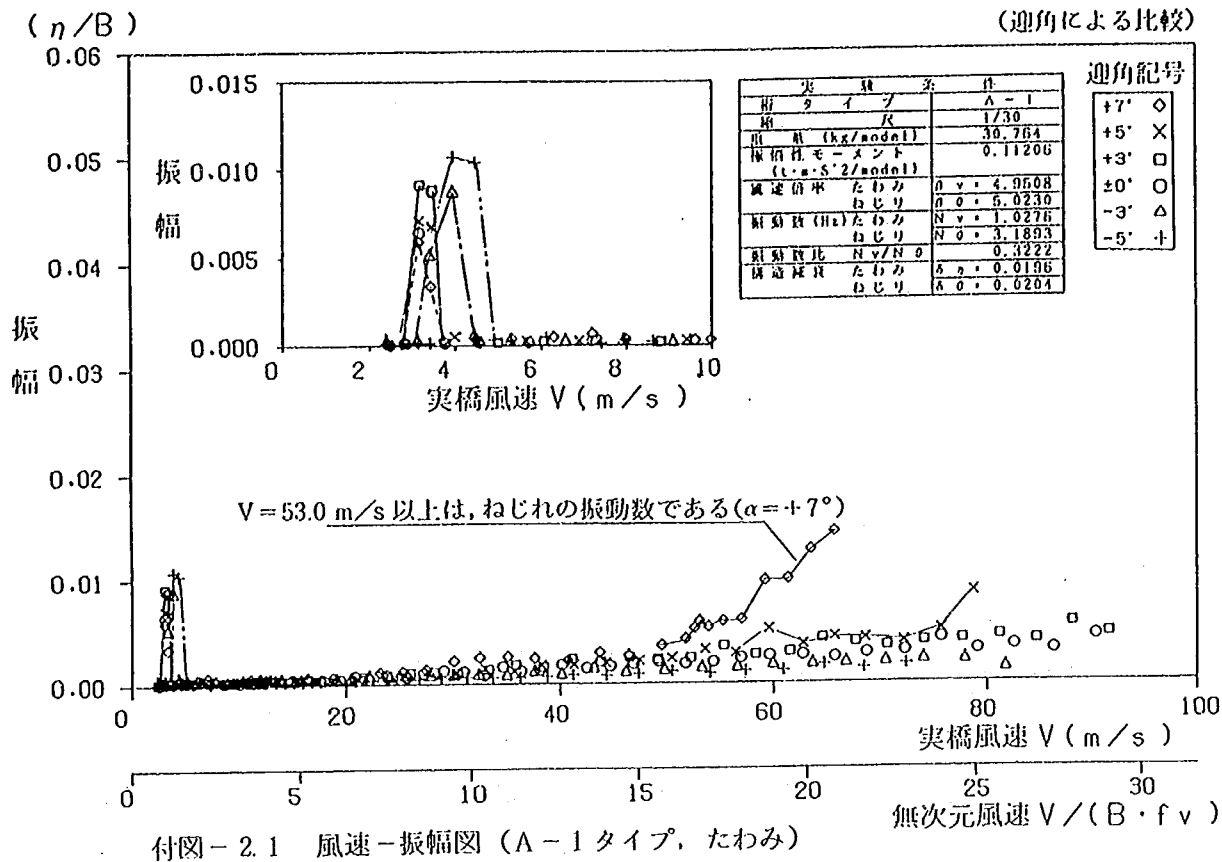


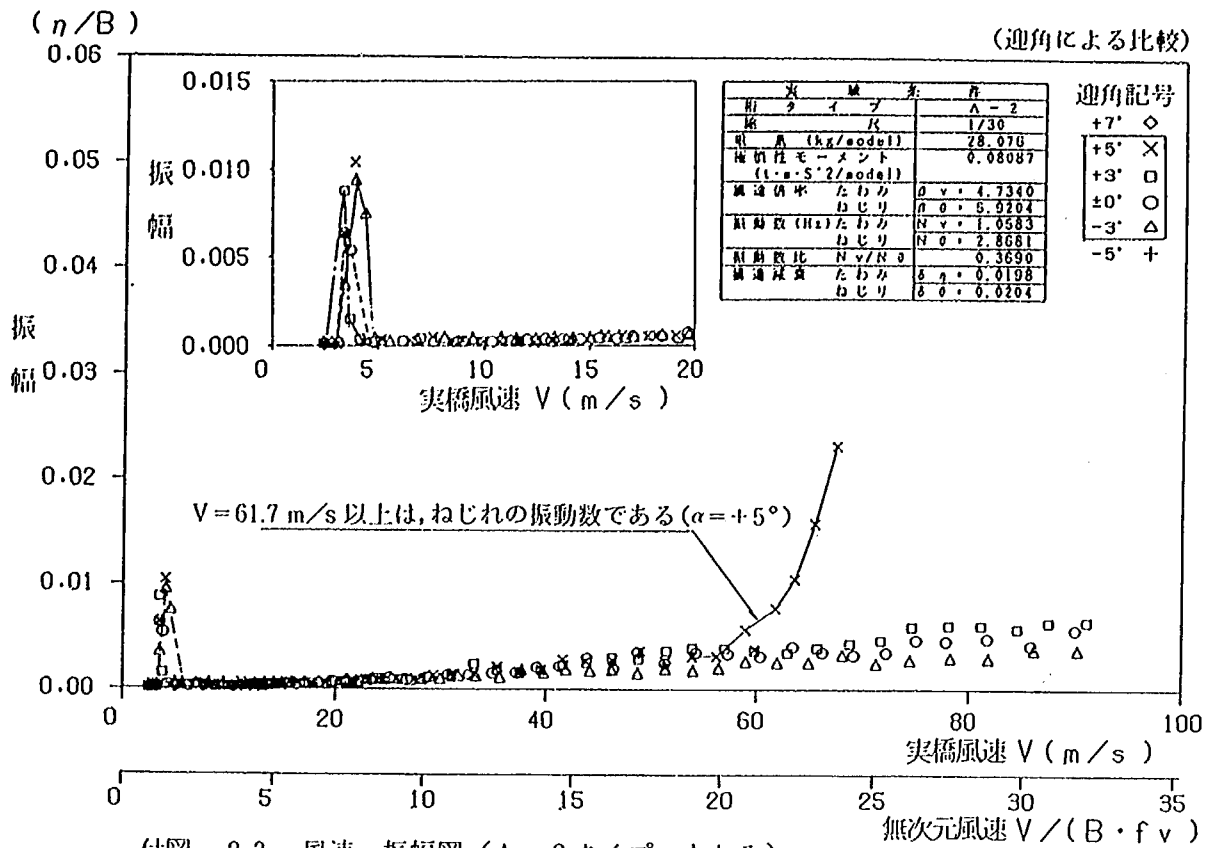
取付面としては各横型の水平面、傾斜下フランジ面とする。

付図-1.6 模型図(端板, B=14m)

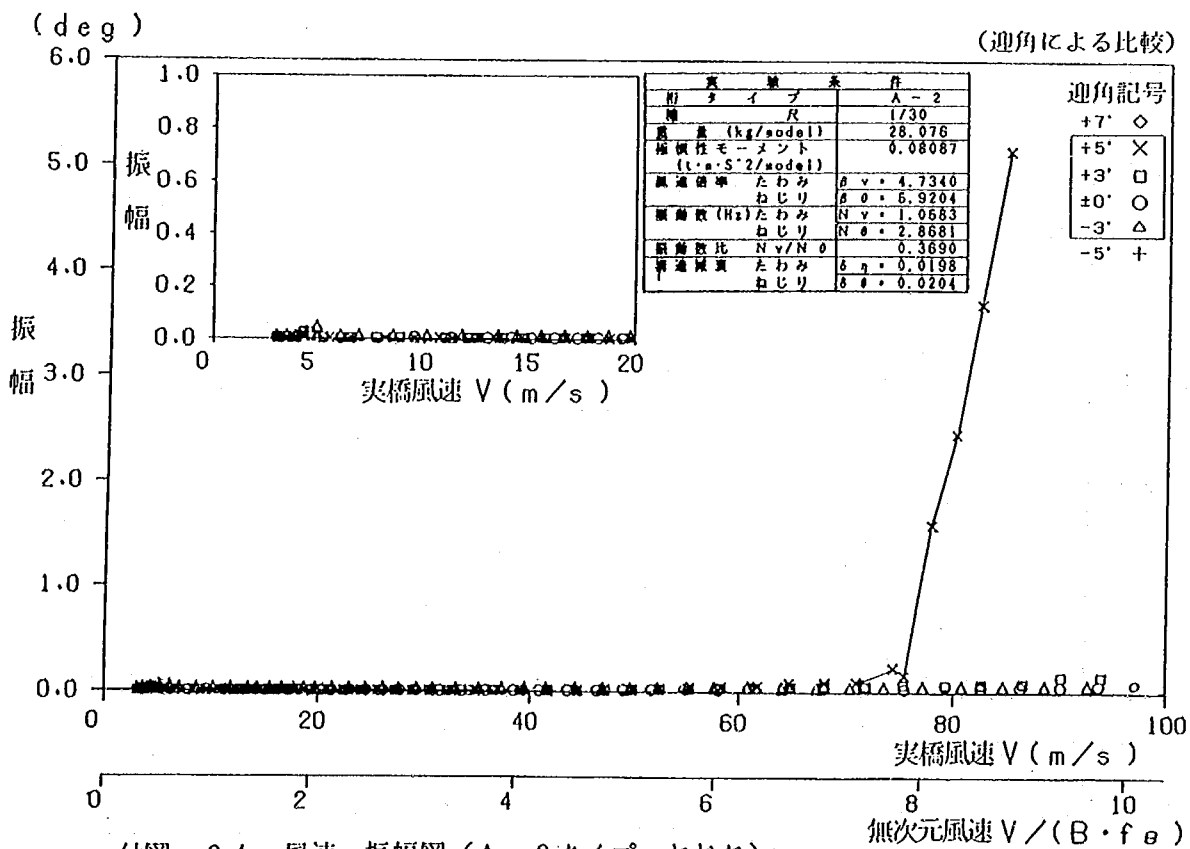


付図-1.7 模型図 (三分力試験器具, B = 14m, 16m)

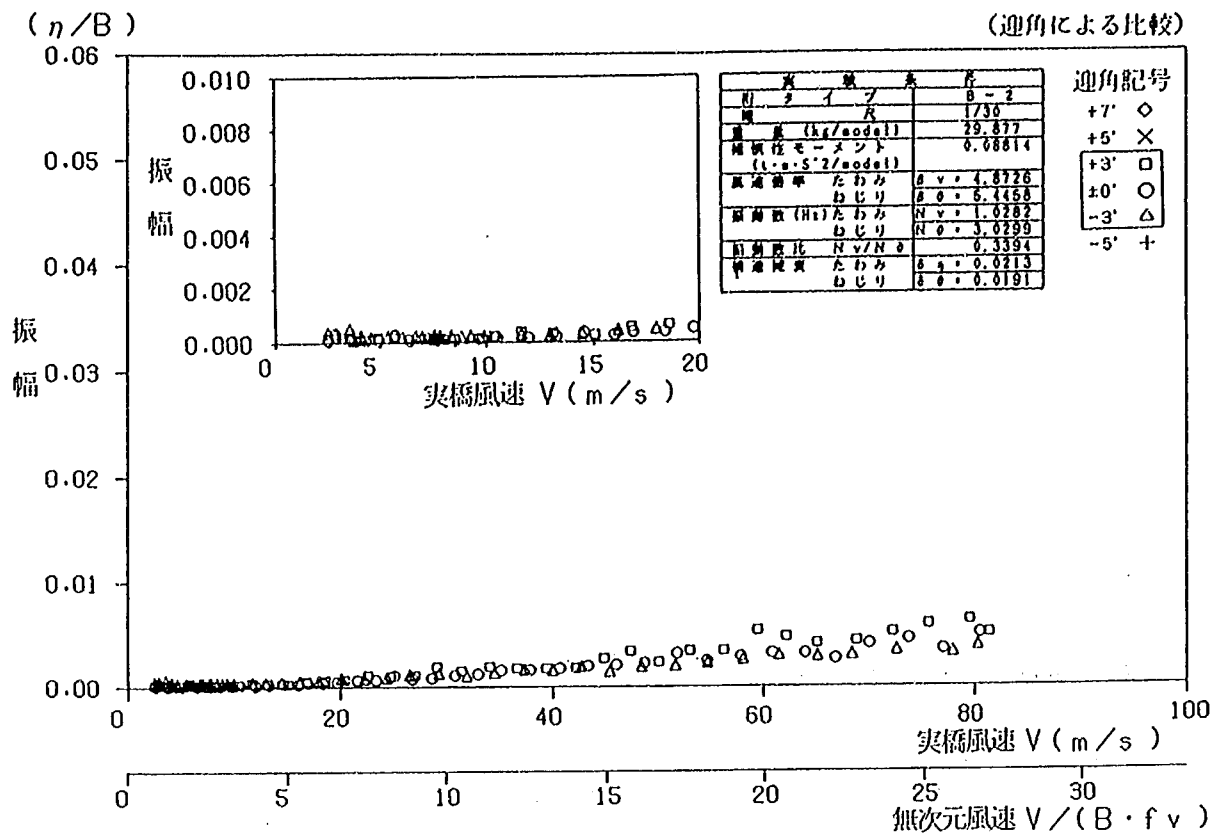




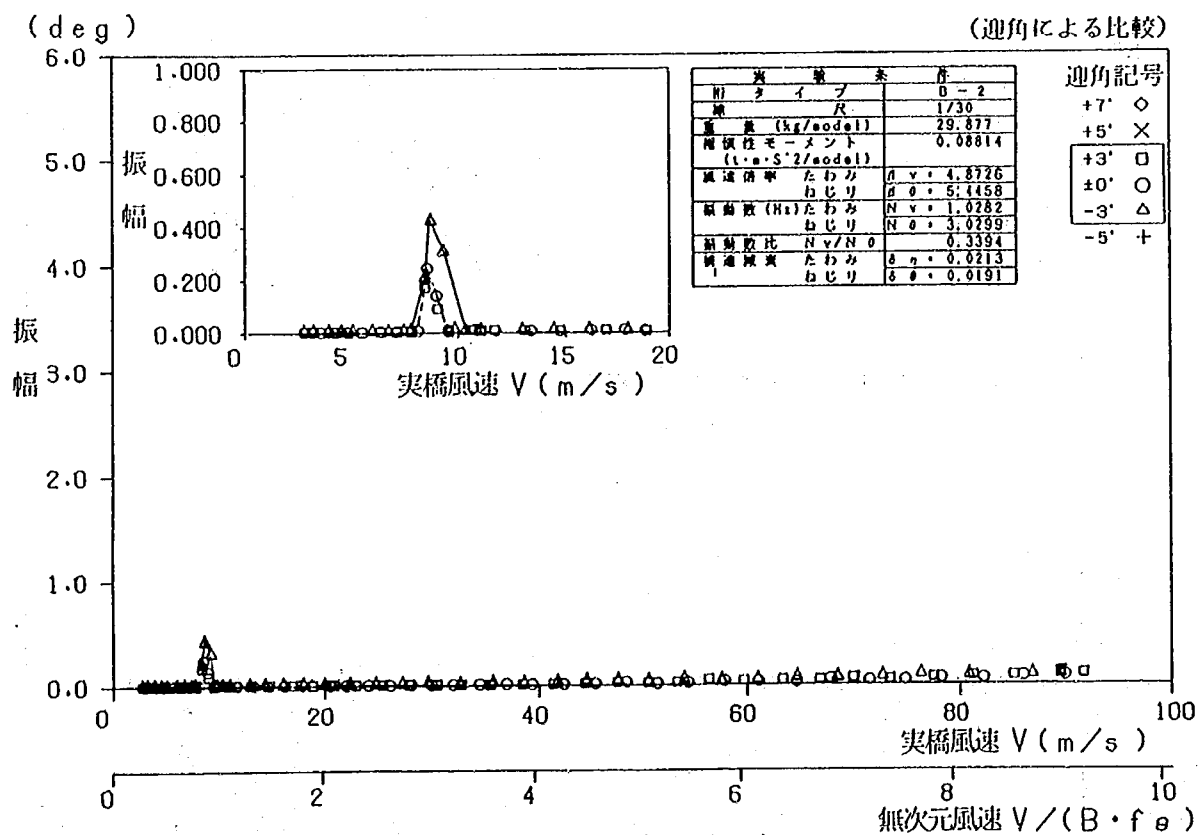
付図-2.3 風速-振幅図 ($\Lambda-2$ タイプ、たわみ)



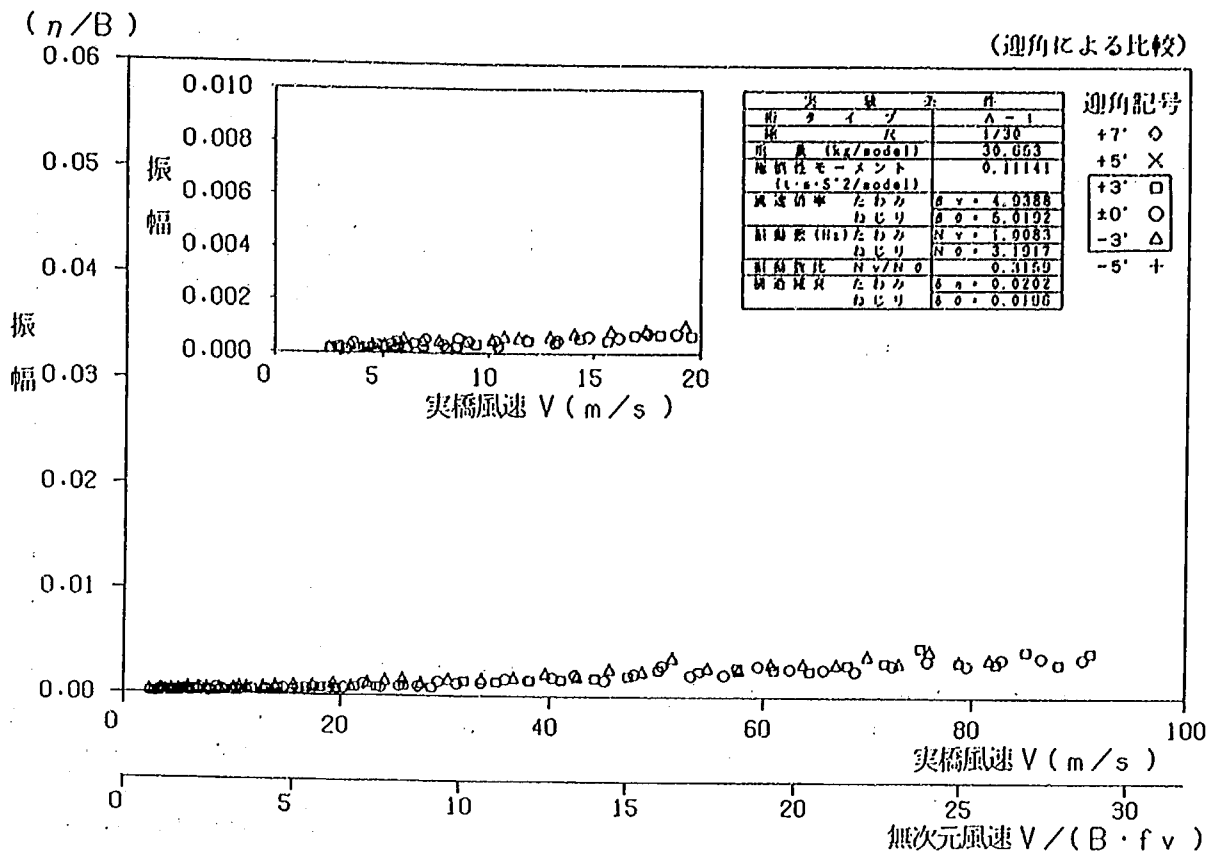
付図-2.4 風速-振幅図 ($\Lambda-2$ タイプ、ねじれ)



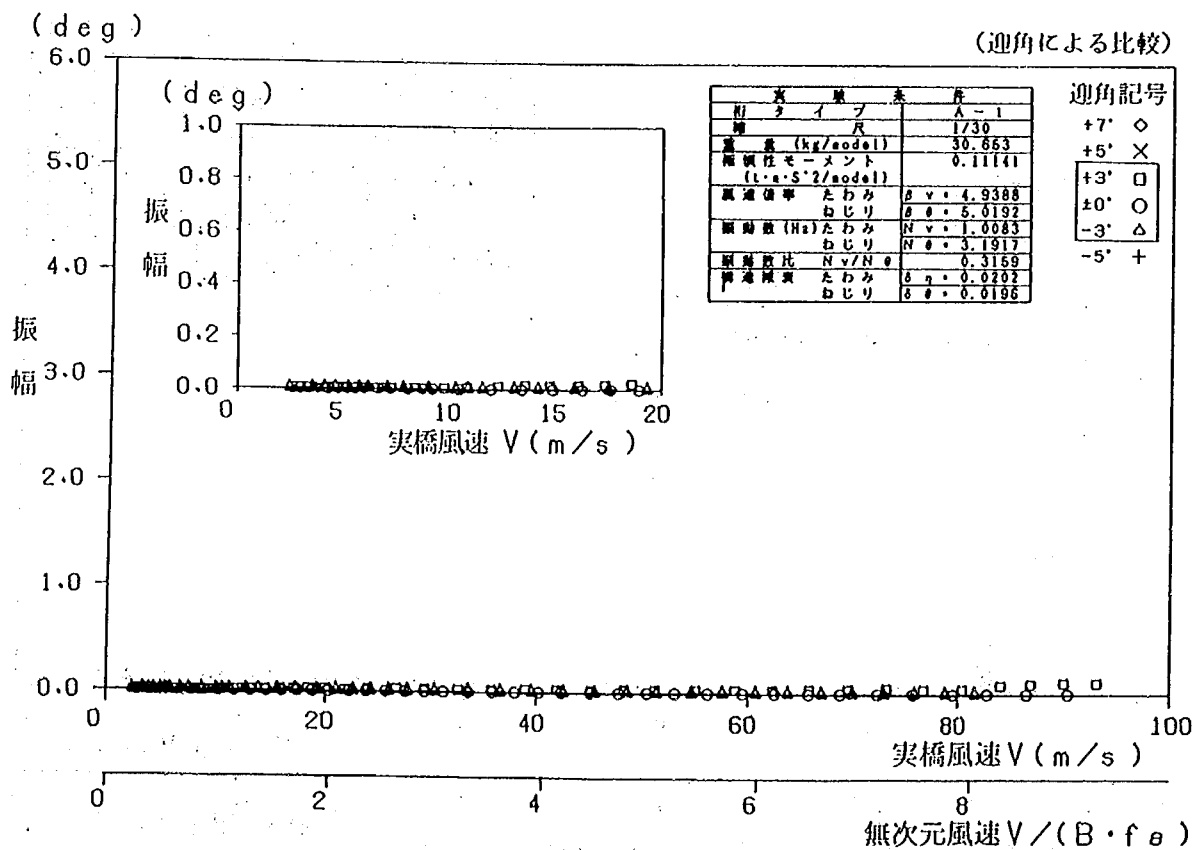
付図-2.5 風速-振幅図 (B-2タイプ, たわみ)



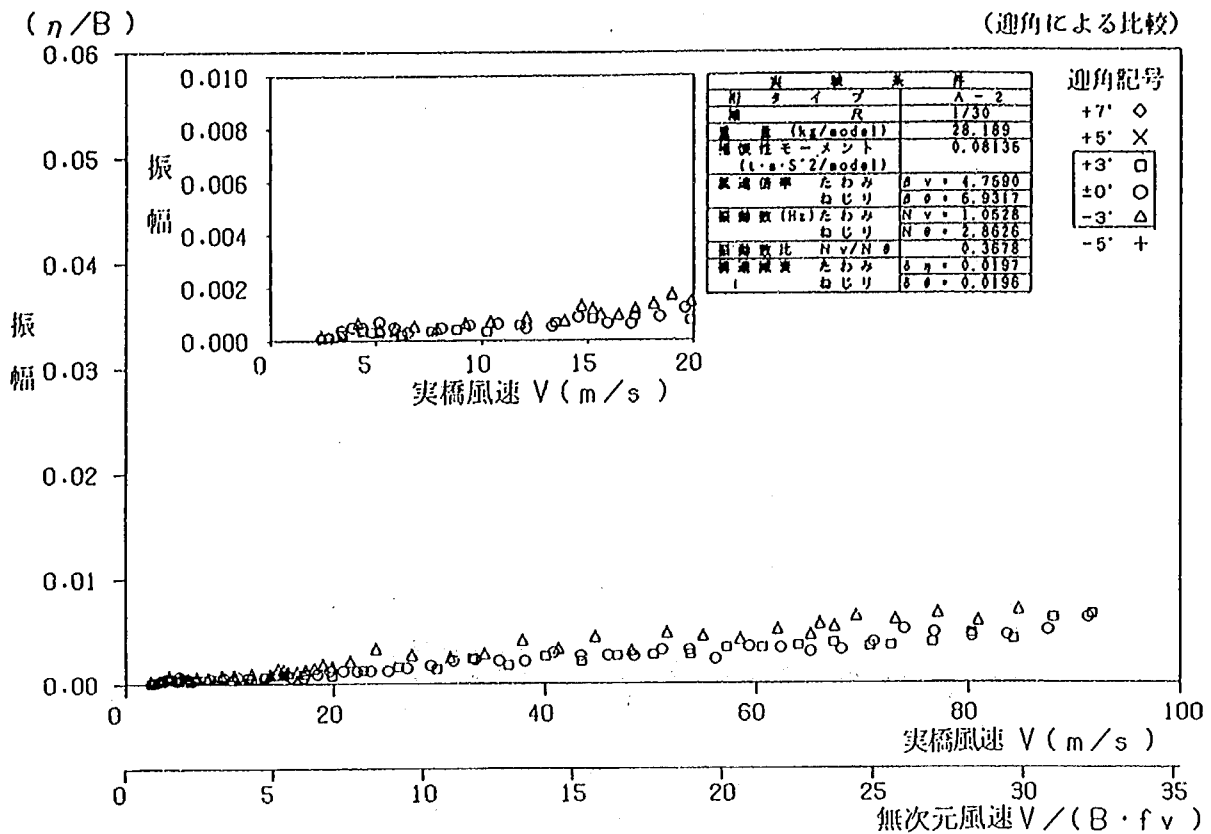
付図-2.6 風速-振幅図 (B-2タイプ, ねじれ)



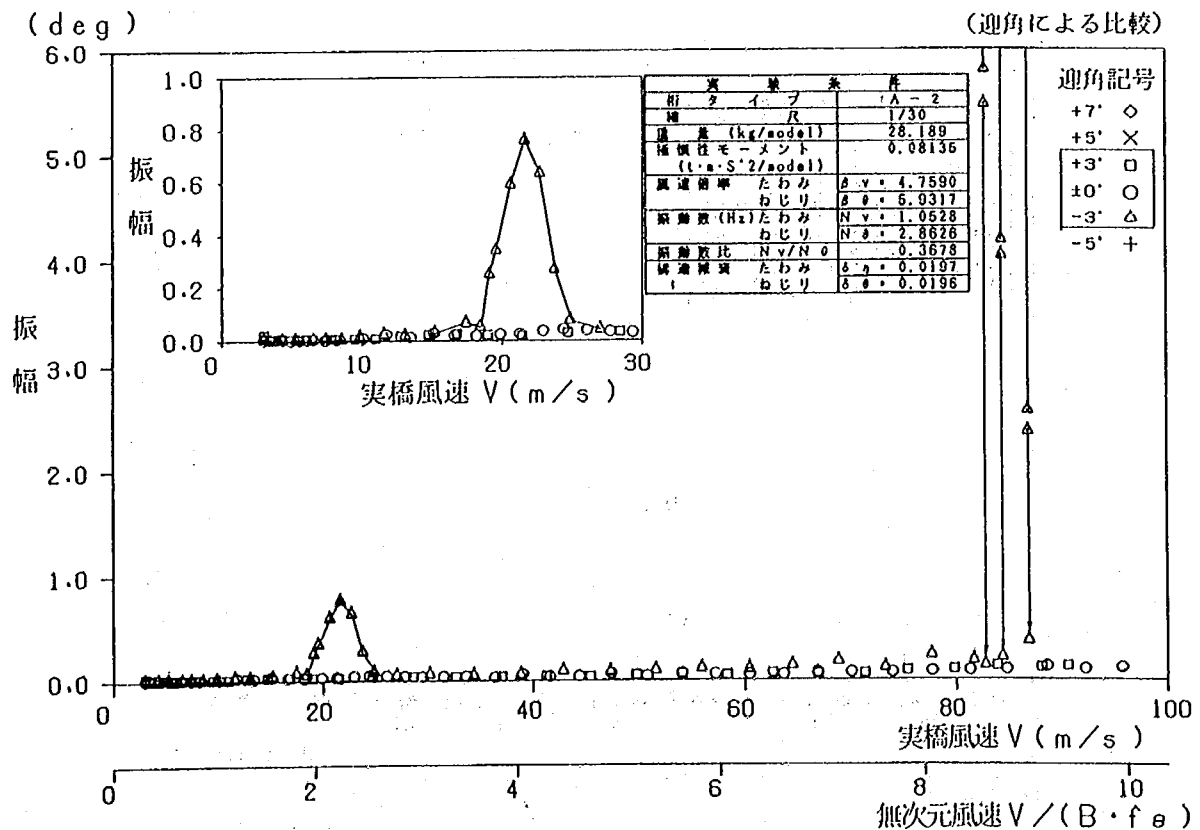
付図-2.7 風速-振幅図 (A-1タイプ (検査車ルール9m), たわみ)



付図-2.8 風速-振幅図 (A-1タイプ (検査車ルール9m), ねじれ)



付図-2.9 風速-振幅図 (A-2タイプ (検査車ルール8m), たわみ)



付図-2.10 風速-振幅図 (A-2タイプ (検査車ルール8m), ねじれ)

横山功一・小路泰広・東久保正徳

要 旨

広島県の本土と下瀬刈島の間計画中の箱桁吊橋である安芸灘大橋の設計断面5案を対象とし、バネ支持模型試験を行った。次に耐風安定性のよい断面について三分力試験を行い、耐風性を調査した。その結果、基本断面は発散振動に対して十分安全であること、渦励振は検査車レールを取り付けることにより発現しなくなるということが明かとなった。また三分力試験より、設計で用いた風荷重は安全側の値であることが確認された。これより、基本断面を今後の詳細設計の基本とすることは妥当であるという結論を得た。

キーワード：安芸灘大橋，箱桁吊橋，バネ支持模型試験，三分力試験

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

構造研究室 行

No. 14

No. 14

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 2849 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印