

土木研究所資料

安芸灘大橋の耐風性調査報告書（その2）

平成3年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (1991) 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(その2)

構造研究室 室長 横山 功一
研究員 小路 泰広
関谷 光昭

要 旨

安芸灘大橋は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が、長大支間を有する吊橋であるため補剛桁の耐風性の検討を行った。本調査では、元年度に実施した風洞実験より耐風性が良好な補剛桁形状を基本断面とし、バネ支持模型試験、三分力試験を行い最適な検査車レール間隔、防護柵形状やハンガー定着部構造、将来車線拡幅時の耐風性について評価した。その結果、耐風性が良好な検査車レール間隔は9 mであること、防護柵形状やハンガー定着部構造の影響は小さいこと、将来車線拡幅時の耐風性は良好であり制振対策は不要であることが明らかとなった。また三分力試験結果より、主要断面の抗力係数は設計に用いる抗力係数 $C_d=1.3$ を下回ることが確認された。

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，検査車レール，防護柵

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，安芸灘諸島連絡橋の建設を進めている。安芸灘大橋はこのうち本土と下蒲刈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750m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補剛桁の耐風性の検討は非常に重要な課題である。

土木研究所構造研究室では平成元年度に安芸灘大橋の耐風性調査のための風洞実験を行い，数案あった桁断面より耐風性の良好な補剛桁形状を選定した。平成2年度の調査では，前年度に選定した補剛桁形状を基本断面とし，径間長の変更に伴う諸元変更の影響，最適な検査車レール間隔の決定，防護柵形状やハンガー定着部構造，将来車線拡幅時の耐風性を調査するためバネ支持模型試験を行った。また設計に用いる抗力係数を決定するため，主要な断面について三分力試験を行い空力特性を把握した。ここに調査結果をとりまとめ報告する。

平成3年3月

構造研究室 室 長 横山 功一
研究員 小路 泰広
関谷 光昭

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. 風洞試験による耐風性の検討	15
2.1 バネ支持模型試験	15
2.1.1 実験ケースおよび実験の流れ	15
2.1.2 実験方法	18
2.1.3 実験条件	20
2.1.4 実験結果	23
2.2 三分力試験	32
2.2.1 実験方法	32
2.2.2 実験ケースおよび実験結果	34
2.3 考察	35
2.3.1 諸元変更に伴う耐風性の影響	35
2.3.2 検査車レール間隔の影響	35
2.3.3 防護柵形状の影響	35
2.3.4 ハンガー定着部構造の影響	35
2.3.5 将来車線拡幅時の耐風性	35
2.3.6 ねじれ振動数低下の影響	36
2.3.7 設計に用いる抗力係数の検討	36
3. まとめ	37
4. あとがき	38
参考文献	38
付属資料	39

1. 概 要

1.1 安芸灘大橋の概要

(1) 架橋計画

安芸灘大橋は、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、本土と安芸灘諸島を結ぶ重要な1号橋として位置づけられている。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1,175mの安芸灘大橋がある。

(2) 道路規格

路 線 名：一般県道 下蒲刈川尻線

道 路 規 格：補助幹線D規格（第3種 第3級）

設 計 速 度： $V = 40\text{km/h}$

幅 員 構 成：図－1.2に示す2車線＋両側歩道

ただし、図－1.3に示す将来車線拡幅時3車線＋片側歩道についても考慮する。

平 面 線 形：吊橋区間は直線

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

航 路 限 界：図－1.4のとおり

(3) 構造概要

橋 梁 形 式：3径間2ヒンジ補剛箱桁吊橋

橋 格：1等橋

橋 長：ケーブルスプレー点間距離 1,175m

支 間 割：ケーブル支間 255m＋750m＋170m

補剛桁支間 241m＋742m＋158m

ケーブル間隔：16.0m

ケーブルサグ：74.0m

ケーブルサグ比：1/10

設 計 活 荷 重：TL-20＋群集荷重

（L荷重，群集荷重は本四基準に準じ，中央径間長による低減を考慮する。）

舗 装：アスファルト舗装 $t = 65\text{mm}$

これらの基準事項に基づく，安芸灘大橋一般図を図－1.5に示す。

(4) 耐風性検討の必要性

本橋は補剛箱桁の吊橋であり，基本断面は図－1.6に示すとおりである。本橋は図－1.7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 $B_c = 16.0\text{m}$ であり，中央径間 $L_c = 750.0\text{m}$ に対してケーブル間隔比 $L_c / B_c = 47$ と他の

長大吊橋と比べて大きい値となる。一般に風による振動現象の発現風速は、風速を振動数と幅員で割った無次元風速 V/NB （ V ：風速， N ：振動数， B ：幅員）に大きく依存するため、振動数と幅員の積が小さい本橋の場合には、低風速で振動現象が発現するおそれがある。また、振動数比 N_θ/N_η （ N_θ ：ねじれ振動数， N_η ：たわみ振動数）の低下にともなって連成振動が発現しやすくなる。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。

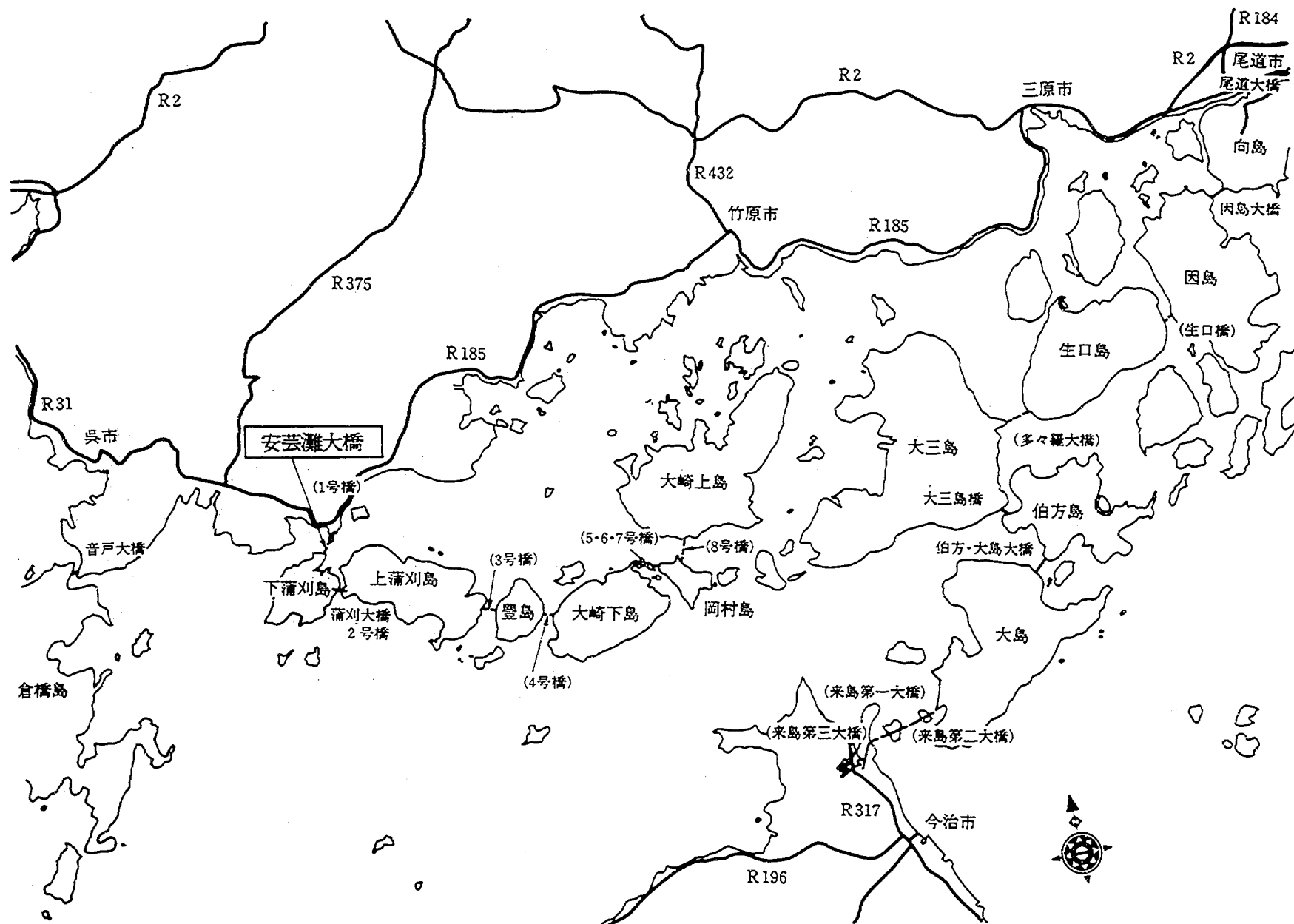


図-1.1 安芸灘諸島架橋全体概要図

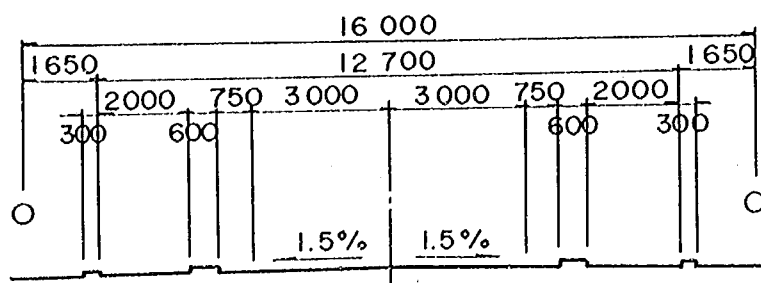


図-1.2 建設時幅員構成

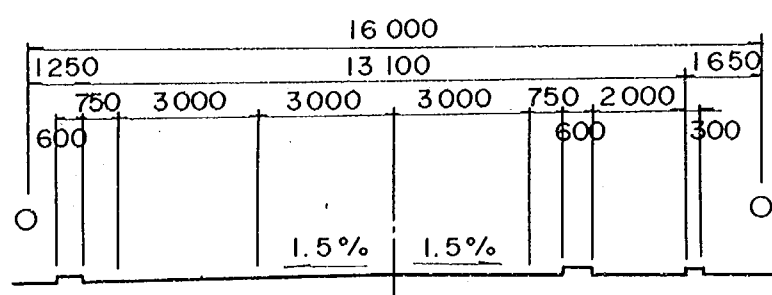


図-1.3 将来拡幅時幅員構成

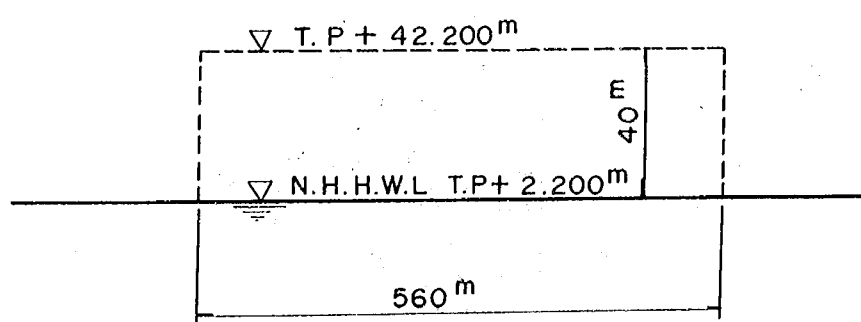
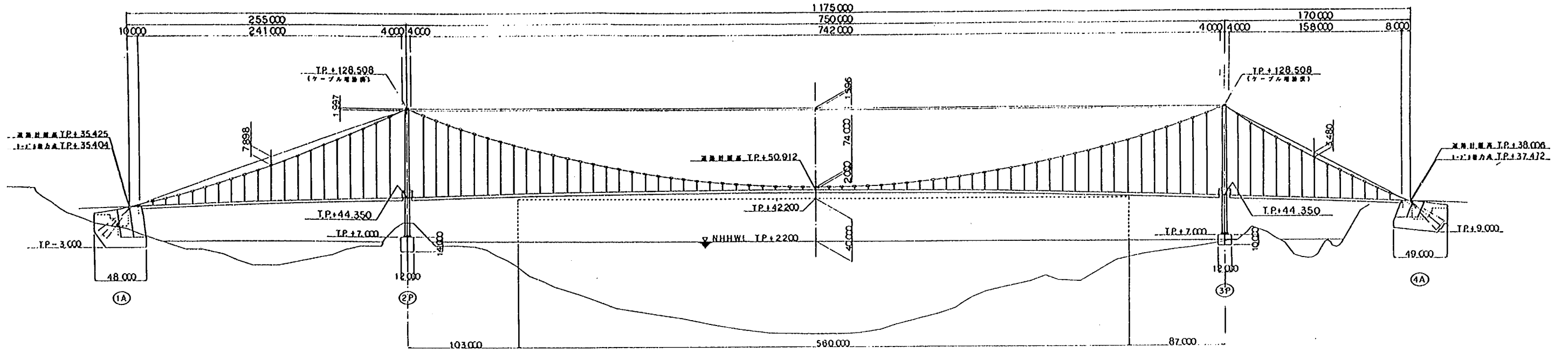
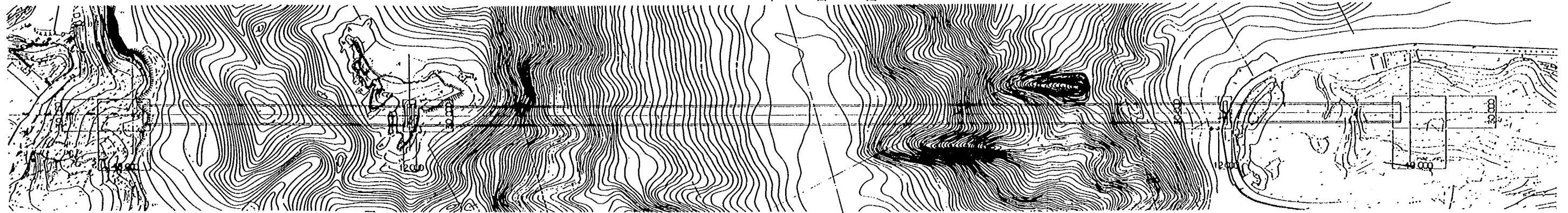


図-1.4 航路限界

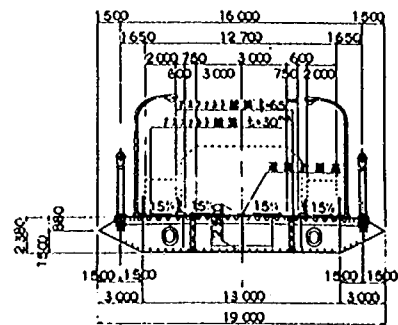
側面図



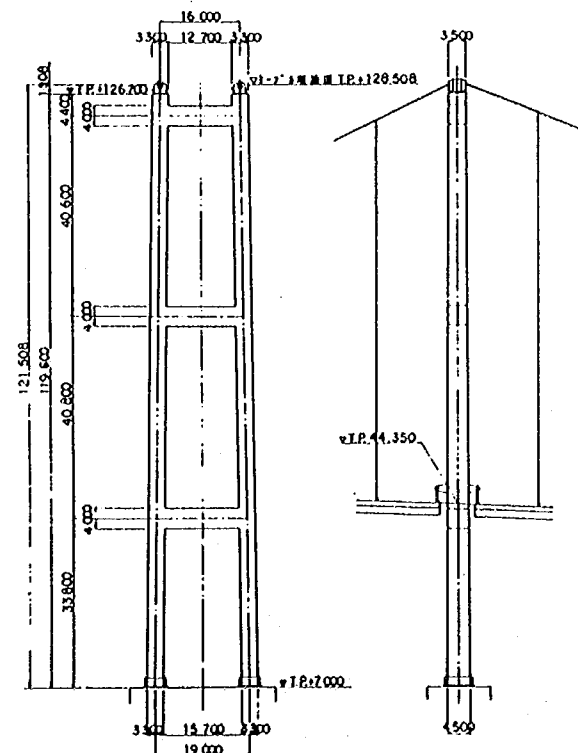
平面図



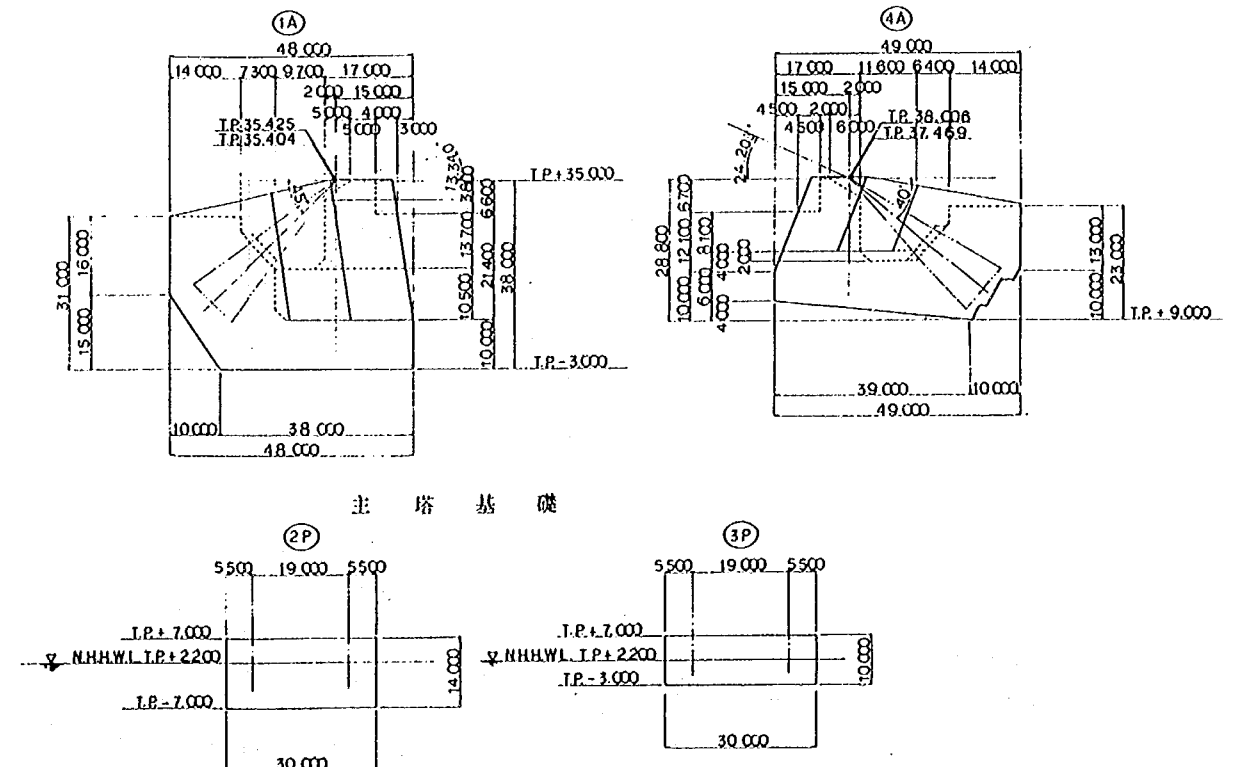
標準断面図



主塔

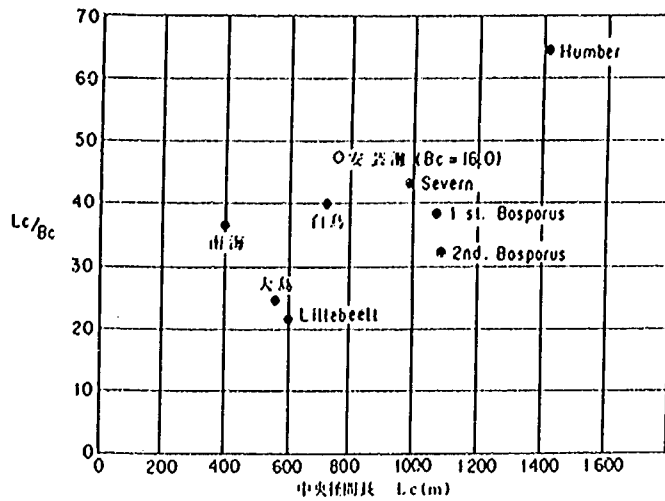


アンカレイジ



主塔基礎

図-1.5 安芸灘大橋一般図



図－ 1. 7 中央径間長とケーブル間隔比の関係

1. 2 調査の概要

(1) 過去の調査経緯

土木研究所構造研究室では平成元年度に安芸灘大橋の耐風性調査を実施し、表－ 1. 1 に示す設計断面 5 案について耐風性を明らかにし、耐風性が良好な補剛桁形状（橋梁総幅、フェアリング形状）を選定した⁽¹⁾。また、検査車レール取付けによる渦励振の抑制効果についても確認した。その結果、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－発現風速図の限界領域を超えており、十分な耐風性を有していた。しかし、設計断面 B－ 2 はねじれ渦励振の発現風速が比較的低く、耐風性向上の対策をしても効果が上がらないと推測された。また、A－ 2 断面は検査車レールを取り付けることによりねじれ渦励振が発現した。A－ 1 断面は、検査車レール取り付けにより渦励振が発現しなくなったため今後の設計の基本断面として妥当であると決定した。

(2) 調査の目的

安芸灘大橋は、元年度の風洞実験後の調査検討により、基本諸元の若干の変更を余儀なくされ、さらに歩行者の安全性についての議論も行われるに至っている。このためこれらを考慮した場合の耐風性の確認が必要と考えられる。

以上の事項を背景に、2 年度は以下の項目の確認を調査の目的とした。

- ①諸元変更に伴う基本断面の耐風性の照査
- ②検査車レール間隔が耐風性に及ぼす影響
- ③防護柵形状が耐風性に及ぼす影響
- ④ハンガー定着構造が耐風性に及ぼす影響
- ⑤将来車線拡幅時の耐風性の照査
- ⑥ねじれ振動数減少の影響

そのために二次元剛体模型によるバネ支持模型試験を行い、発散振動および渦励振について動的照査を行い、各断面の耐風性を評価する。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らかにする。

(3) 調査の内容

パネ支持模型試験の内容は以下のとおりである。

①諸元変更に伴う基本断面の耐風性の照査

基本諸元の変更点を表-1.2に示す。基本諸元については、断面形状が若干変更され、また径間数が3径間に決定され、死荷重が増加するなどの構造諸元の変更が行われた。そこで新しい諸元による基本断面の耐風性の影響を確認する。

表-1.1 補剛箱桁形状案

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

w : 模型重量
 θ : 模型極慣性モーメント
 f_v : 実橋たわみ振動数
 f_θ : 実橋ねじれ振動数

表-1.2 基本構造諸元の変更点一覧表

項 目		元 年 度 業 務 (元年度風洞実験)	2 年 度 業 務 (2年度風洞実験)	変 更 理 由
橋 面 工	アスファルト 舗 装 厚	車 道 65mm 歩 道 30mm その他 無舗装	車 道 65mm 歩 道 30mm その他 30mm	車線拡幅時の施工性(塗装の撤去) 鋼床版の防錆の配慮。
	地 覆	鋼 製	コンクリート製 (下側はアスファルト舗装)	図-1.8 参照。
	歩 道 部 高 欄	h = 1.10m	h = 1.30m (路面から)	海峡部のため通行時の安全性を高めた。 図-1.9 参照
基 本 諸 元	支 間 長	255+740+175=1170m	255+750+170=1175m	3Pを陸側へ移動。 4Aはケーブルスリップより5m移動。 (今後基礎地盤の検討要)
	サ グ	73m	74m	サグ比 L/10
	ケーブル中心と 路面の間隔	1 A 1.6m 中央 1.6m 4 A 1.6m	1 A 2.0m 中央 2.0m 4 A 2.6m	直下吊り上げ工法の施工性より1A・中央部は大島大橋と同じとした。 4Aはアンカレイジセット面を上げる。
	ストランド数	44ストランド	52ストランド	拡幅時の対応。
	塔 柱 寸 法	(2.80~3.90) × 3.20m	(3.50~4.50) × 3.30m	エレベータ設置空間確保。
死 荷 重 全 橋 当 り	橋 面 工	1,725 t/m	2,772 t/m (3,004)	舗装・地覆の変更。
	補 剛 桁	6,378 t/m	7,012 t/m	Uリブ全数ボルト継手。 製作ブロック12mで製作重量の見直し。
	添 加 物 等	0,900 t/m	0,900 t/m	
	ケーブル関係	2,221 t/m	2,672 t/m	車線拡幅時の対応。
	合 計	11,224 t/m	13,356 t/m (13,588)	

注；〔 〕内数値は車線拡幅時荷重を示す。

②検査車レール間隔が耐風性に及ぼす影響

実橋の建設時には、橋桁の維持管理のため橋の下面に検査車レールが設置される。検査車レール間隔については、

- i) 車輪反力の不均等が小さく走行時の規制が少なくなる、
- ii) 検査車のたわみが小さくなり作業性が向上する、
- iii) 検査車の車輪の構造が簡素化され経済的になる、

等の理由により、橋桁に近づけた取り付け位置が想定される。一方、耐風性上は橋桁に近づけすぎない方が望ましいと考えられる。そのため検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 、 $B = 11\text{ m}$ について実験を行い、耐風性に問題なければ $B = 11\text{ m}$ を採用することとする。

③防護柵形状が耐風性に及ぼす影響

歩行者の安全性を検討する中で、防護柵については数種のタイプが検討されており、その中でも有力な図-1.10に示す高欄添架形 (TYPE-1) と忍び返し形 (TYPE-2) の2種類の防護柵形状による耐風性の検証を行う。

④ハンガー定着構造が耐風性に及ぼす影響

ハンガーは実績の多い C、F、R、C、の鞍掛け方式を前提に応力の流れが明確な腹板直接定着方式が考えられているが、定着部の水密性に問題があるため、水密性の高いピン定着構造についても検討されている。これらの形式の違いによる耐風性への影響について検証する。

⑤将来車線拡幅時の耐風性の照査

現行の2車線+両側歩道は、将来交通量が増加した場合に歩道を片側だけにして車道を3車線に拡幅する可能性があるため、将来車線拡幅時の耐風性について検証する。

⑥ねじれ振動数減少の影響

元年度の構造検討では、箱桁断面のねじれ剛性を増加させるため下フランジにUリブを採用していたが、板リブの方が重量が軽く経済的にも施工性を考えても良好であるため板リブ採用についても検討されている。そのため、板リブ使用によるねじれ振動数低下の影響を検証する。

また、設計に用いる抗力係数を決定するため、主要な断面について三分力試験を行い空力特性を把握する。

(4) 耐風性の評価

補剛桁の発散振動に対する安全性の評価は、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、現段階では現地での風観測の計測期間が十分でないため基本風速は定められていない。そこで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⁽²⁾。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 $\nu_2 = 1.15$ ($L = 732\text{ m}$)

設計風速 $V_d = v_1 \times v_2 \times V_{10}$

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

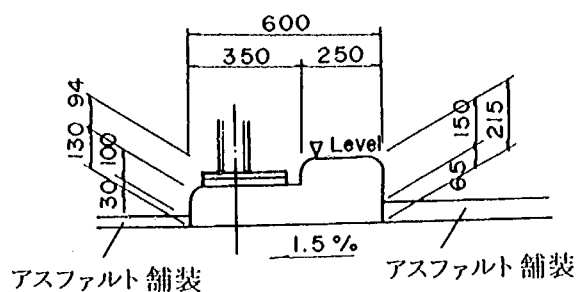
照査風速 $V_R = 1.2 \times V_d$

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

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、架橋地点の風の特長よりその発現頻度を考慮して評価する。

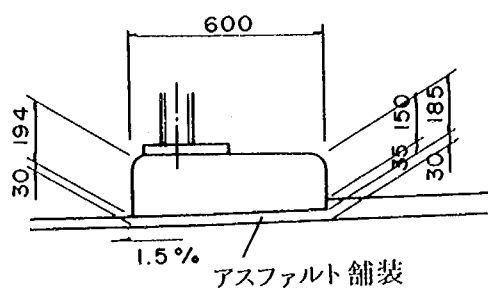
風荷重については、抗力係数 C_d が実橋の設計に用いた値よりも下回ることを確認する。

車道部変更前



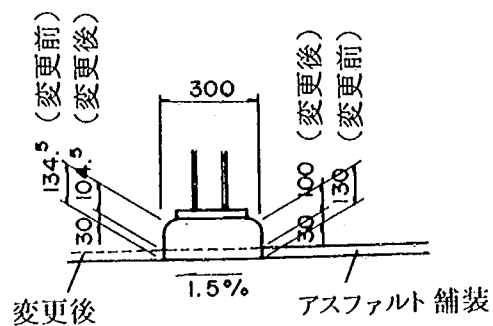
鋼製地覆
コーナ R=40mm

車道部変更後



コンクリート製
地覆

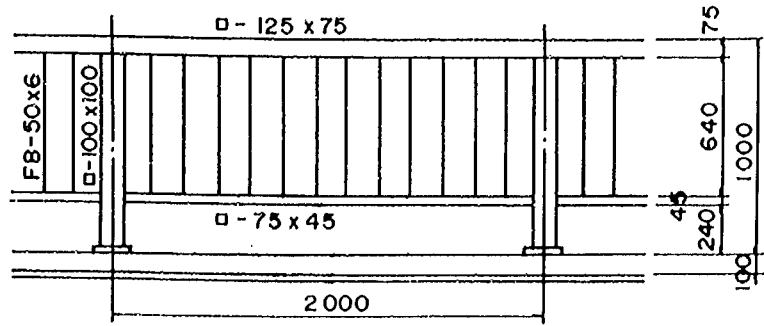
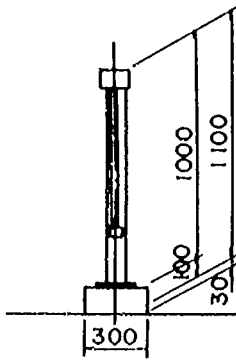
歩道部（外形に変更無し）



鋼製
↓（鋼床版溶接）
コンクリート製
（アスファルト舗装）
t=30mm
スタッドボルト止め

図-1.8 地覆形状

變更前



變更後

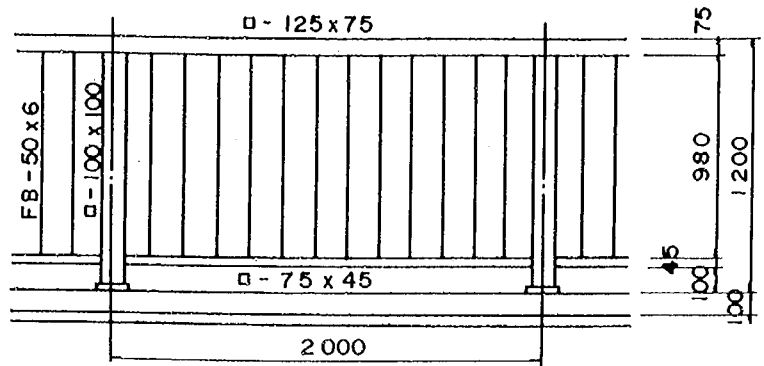
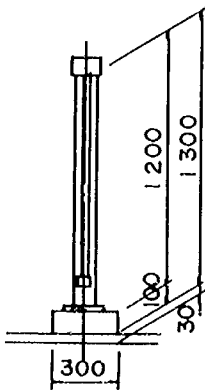
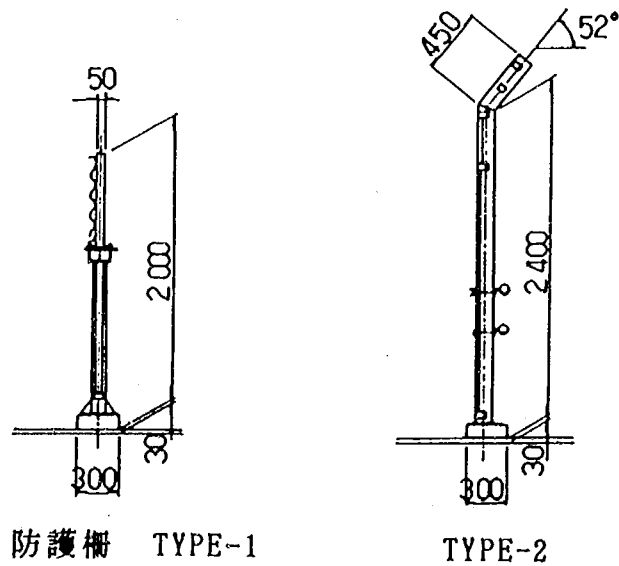


圖-1.9 自步道高欄



防護柵 TYPE-1

TYPE-2

圖-1.10 防護柵形状

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 実験ケースおよび実験の流れ

実験ケースとしては、照査を行う各断面について迎角を変化させて設定した。表-2.1に補剛桁形状と実験ケース一覧表を示す。以下の流れで実験を行い、図-2.1にバネ支持模型試験の流れを示す。

- (1) 設計諸元の変更後の基本断面であるA-1に関して実験を行い、耐風性を評価する。
- (2) 検査車レール間隔が耐風性に及ぼす影響を明らかにするために検査車レール間隔11mのA-2断面に関して実験し、検査車レール間隔9mのA-1断面の実験結果との比較により最適な検査車レール間隔を決定する。
- (3) 防護ネットが耐風性に及ぼす影響をA-3断面、A-4断面に関する実験より明らかにする。
- (4) ハンガー定着部構造の影響を調べるためピン定着板の場合のA-5断面について耐風性を評価し選定する。
- (5) A-6断面では車線を2車線から3車線に拡幅した場合と正風・逆風の場合の耐風性についても調査する。
- (6) A-7断面ではA-3断面のねじれ振動数を減少させた実験を行う。

以上の実験結果より補剛桁断面の耐風性を評価し、断面形状を選定する。

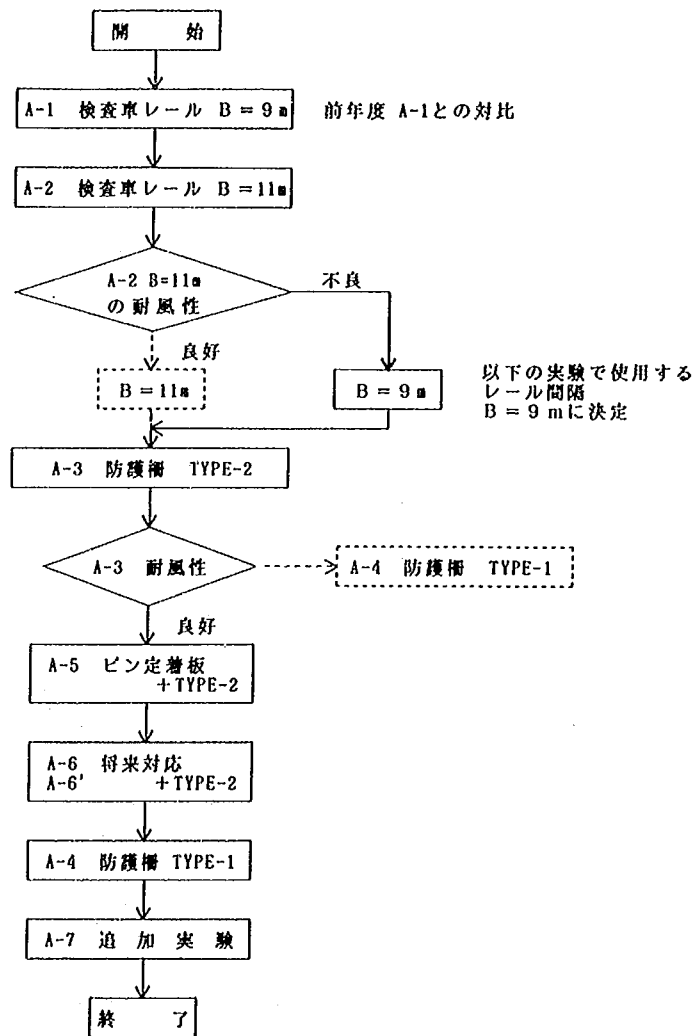


図-2.1 バネ支持実験フロー

表-2.1(a) 実験ケース一覧表

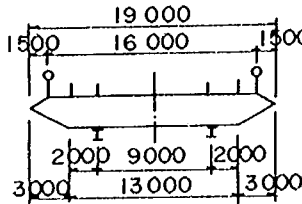
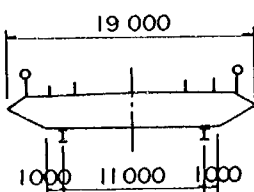
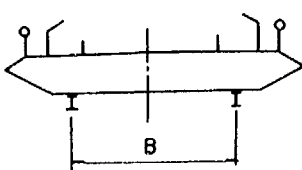
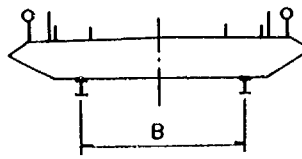
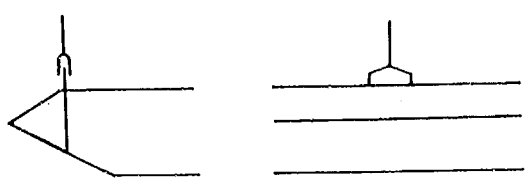
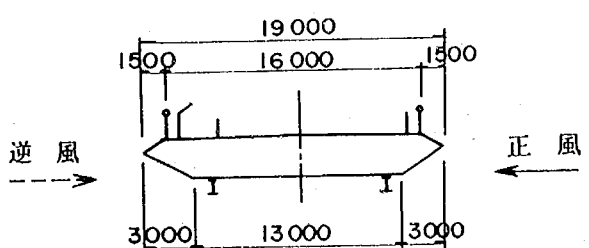
実験番号		模型断面	迎 角	備 考
パ ネ 支 持 実 験	1	A-1	-3	検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 防護ネット無し, ハンガー定着板有り 
	2		0	
	3		3	
	4		5	
	5	A-2	-3	検査車レール間隔 $B = 11\text{ m}$ 防護ネット無し, ハンガー定着板有り 
	6		0	
	7		3	
	8		5	
	9	A-3	-3	検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 防護ネット TYPE-2, ハンガー定着板有り 
	10		0	
	11		3	
	12		5	
	13		7	

表-2.1(b) 実験ケース一覧表

実験番号		模型断面	迎 角	備 考
パ ネ 支 持 実 験	14	A-4	-3	検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 防護ネット TYPE-1, ハンガー定着板有り 
	15		0	
	16		3	
	17		5	
	18	A-5	-3	ハンガー定着板 (ピン), 防護ネット (TYPE-2) 
	19		0	
	20		3	
	21	A-6	-3	将来対応時 (3 車線 + 片歩道) ・正風 
	22		0	
	23		3	
	24		5	
	25		7	
	26	A-6'	3	将来対応時・逆風
	27	A-7	3	ねじれ振動数変更 (A-3 断面)

A-1 ~ A-5 は基本断面 (2 車線 + 両側歩道)

構造減衰 $\delta_v = 0.02$ (たわみ)

$\delta_\theta = 0.02$ (ねじれ)

2.1.2 実験方法

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および表-2.2に示す。また、模型の断面図を付図-1に示す。

バネ支持模型試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、一様気流中での応答を計測するものである。今回実施したバネ支持模型試験の手法の概要を図-2.3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、風速および迎角等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およ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。

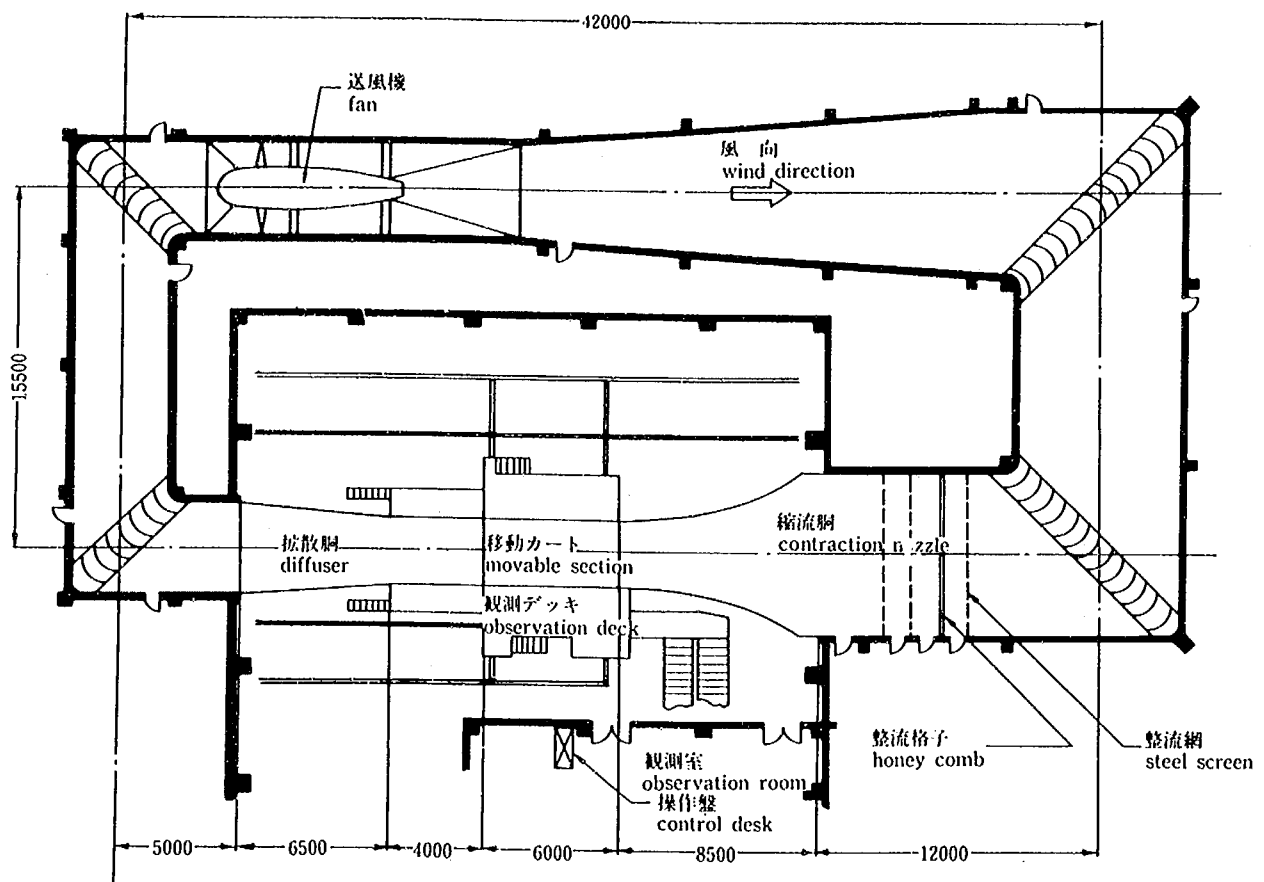


図-2.2 フラッター風洞平面図

表-2.2 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	幅 Width	2,500mm	
	高 Height	4,000mm	
	長 Length	10,000mm	
風路全長			
Total Path Length	115m		
送 風 機	動翼直径 Diameter	4,000mm	
	有効全圧 Pressure Rise	40.0mmAq	
	風 量 Wind Volume	242.0m³/sec	
	回 転 数 Rotation	400.0rpm	
容 量	容 量 Power	250.0KW	
	風 速 Wind Speed	1.0～ 25.0m/sec	
	乱 れ 率 Turbulence Intensity	0.5%	

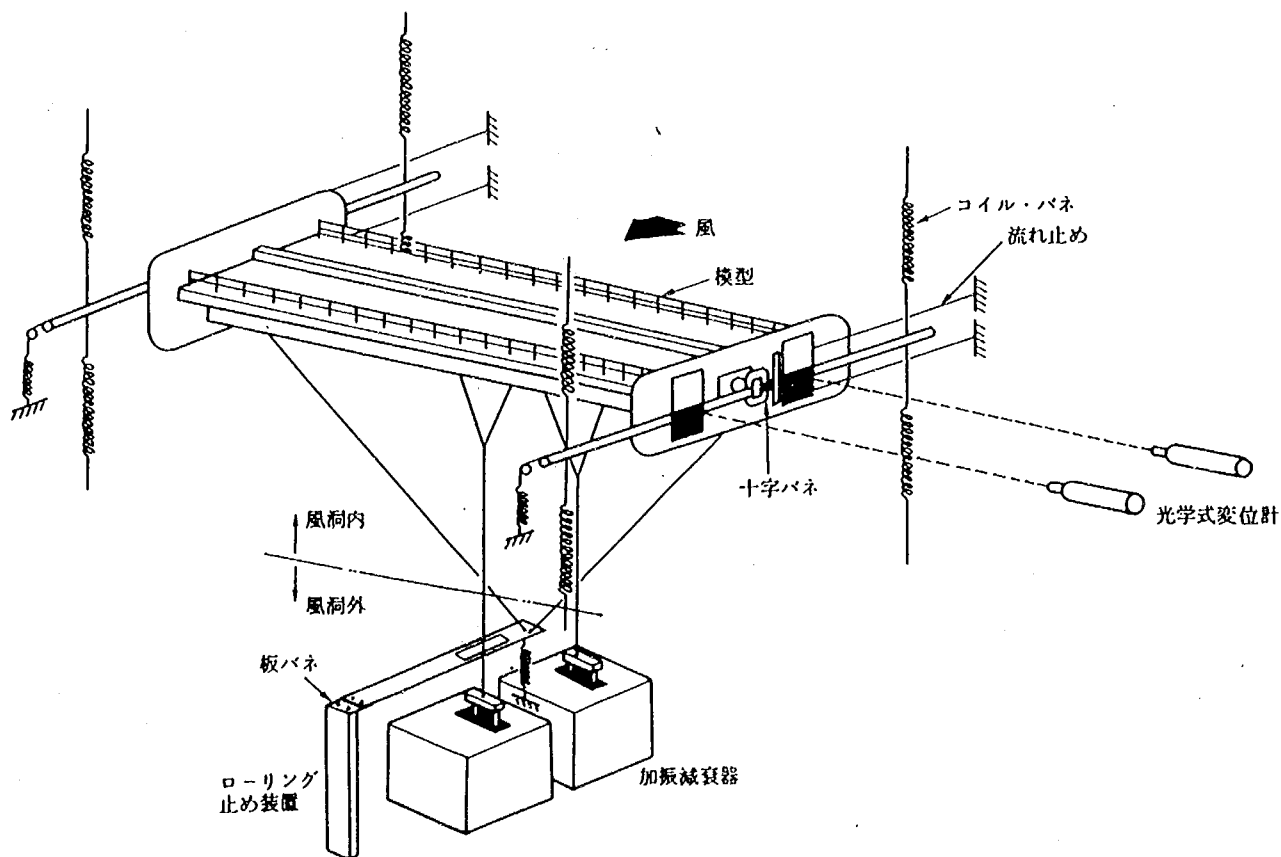


図-2.3 バネ支持模型試験方法の概要

2.1.3 実験条件

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

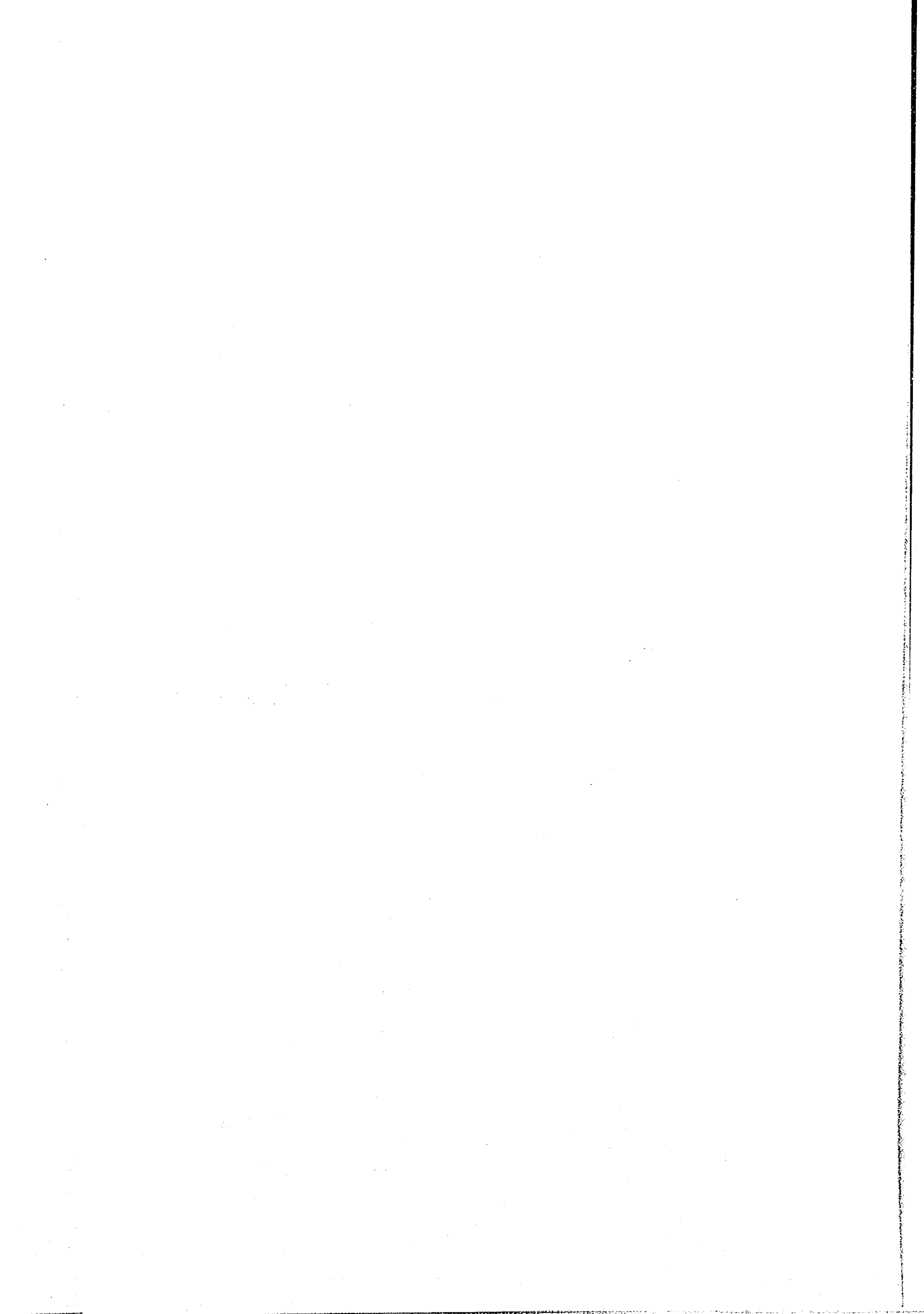
I ；極慣性モーメント

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と実験値を表-2.3に示す。実験では、質量及び極慣性モーメントの調整は次の手順によって行っている。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。また、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-2.3 実験条件と実験値

項 目		A-1 (検査車レール間隔 9m) 防護ネット落下防止柵なし			A-2 (検査車レール間隔 11m) 防護ネット落下防止柵なし			A-3 (検査車レール間隔 9m) 防護ネット落下防止柵 T Y P E-2			A-4 (検査車レール間隔 9m) 防護ネット落下防止柵 T Y P E-1		
		実 橋	模 型		実 橋	模 型		実 橋	模 型		実 橋	模 型	
			所 要 値	実 験 値		所 要 値	実 験 値		所 要 値	実 験 値		所 要 値	実 験 値
重 量		t/m 13.37	kg/model 33.43±1.671 (31.76~35.10)	kg/model 33.397	t/m 13.37	kg/model 33.43±1.671 (31.76~35.10)	kg/model 33.397	t/m 13.48	kg/model 33.70±1.685 (32.02~35.39)	kg/model 33.700	t/m 13.41	kg/model 33.53±1.676 (31.85~35.21)	kg/model 33.502
極 慣 性 モーメント		t・m・S ² /m 45.36	kg・cm・S ² /model 12.60±0.630 (11.97~13.23)	kg・cm・S ² /model 12.733	t・m・S ² /m 45.61	kg・cm・S ² /model 12.67±0.633 (12.04~13.30)	kg・cm・S ² /model 12.733	t・m・S ² /m 45.94	kg・cm・S ² /model 12.76±0.638 (12.12~13.40)	kg・cm・S ² /model 12.878	t・m・S ² /m 45.57	kg・cm・S ² /model 12.66±0.633 (12.03~13.29)	kg・cm・S ² /model 12.783
振 動 数	た わ み	0.164 Hz	-----	1.019 Hz	0.164 Hz	-----	1.019 Hz	0.164 Hz	-----	1.014 Hz	0.164 Hz	-----	1.019 Hz
	ね じ れ	0.511 Hz	-----	3.037 Hz	0.510 Hz	-----	3.034 Hz	0.508 Hz	-----	3.013 Hz	0.510 Hz	-----	3.028 Hz
振 動 数 比 （ $\frac{\text{ねじれ振動}}{\text{たわみ振動}}$ ）		3.116	3,116±0.156 (2,960~3.272)	2,980	3,110	3,110±0.156 (2,955~3.266)	2,979	3,098	3,098±0.155 (2,943~3.253)	2,971	3,110	3,110±0.156 (2,955~3.266)	2,972
風 速 倍 率	た わ み	-----	-----	4,828	-----	-----	4,830	-----	-----	4,850	-----	-----	4,829
	ね じ れ	-----	-----	5,048	-----	-----	5,043	-----	-----	5,057	-----	-----	5,052
構 造 減 衰 (対数減衰率)	た わ み	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0203	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0202	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0203	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0199
	ね じ れ	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0202	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0197	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0205	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0200
バ ネ 定 数	使用 コイルバネ	-----	-----	kg/cm 0,856	-----	-----	kg/cm 0,856	-----	-----	kg/cm 0,856	-----	-----	kg/cm 0,856
	実 験 値	たわみ	-----	kg/cm 1,397	-----	-----	kg/cm 1,396	-----	-----	kg/cm 1,397	-----	-----	kg/cm 1,401
		ねじれ	-----	-----	kg・cm/rad 4637	-----	-----	kg・cm/rad 4627	-----	-----	kg・cm/rad 4617	-----	-----
バ ネ 間 隔		-----	-----	cm 142	-----	-----	cm 142	-----	-----	cm 142	-----	-----	cm 142
項 目		A-5 (検査車レール間隔 9m) 防護ネット落下防 T Y P E-2, 定着ピン			A-6 (検査車レール間隔 9m) 将来拡張対応時, 防護ネット落下防止柵 T Y P E-2			A-7 (検査車レール間隔 9m) ねじれ振動数変更, 防護ネット落下防止柵 T Y P E-2					
		実 橋	模 型		実 橋	模 型		実 橋	模 型				
			所 要 値	実 験 値		所 要 値	実 験 値		所 要 値	実 験 値			
重 量		t/m 13.48	kg/model 33.70±1.685 (32.02~35.39)	kg/model 33.711	t/m 13.56	kg/model 33.90±1.695 (32.21~35.60)	kg/model 33.895	t/m 13.48	kg/model 33.70±1.685 (32.02~35.39)	kg/model 33.700			
極 慣 性 モーメント		t・m・S ² /m 45.94	kg・cm・S ² /model 12.76±0.638 (12.12~13.40)	kg・cm・S ² /model 12.886	t・m・S ² /m 47.16	kg・cm・S ² /model 13.10±0.655 (12.45~13.76)	kg・cm・S ² /model 12.870	t・m・S ² /m 45.94	kg・cm・S ² /model 12.76±0.638 (12.12~13.40)	kg・cm・S ² /model 12.607			
振 動 数	た わ み	0.164 Hz	-----	1.014 Hz	0.163 Hz	-----	1.025 Hz	0.163 Hz	-----	1.021 Hz			
	ね じ れ	0.508 Hz	-----	3.014 Hz	0.501 Hz	-----	3.015 Hz	0.487 Hz	-----	2.922 Hz			
振 動 数 比 （ $\frac{\text{ねじれ振動}}{\text{たわみ振動}}$ ）		3.098	3,098±0.155 (2,943~3.253)	2,973	3,074	3,074±0.154 (2,920~3.228)	2,942	2,988	2,916±0.146 (2,770~3.062)	2,862			
風 速 倍 率	た わ み	-----	-----	4,853	-----	-----	4,772	-----	-----	4,791			
	ね じ れ	-----	-----	5,056	-----	-----	4,986	-----	-----	5,000			
構 造 減 衰 (対数減衰率)	た わ み	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0196	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0197	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0204			
	ね じ れ	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0199	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0203	δ=0.02	δ=0.02±0.005 (0.015~0.025)	δ=0.0196			
バ ネ 定 数	使用 コイルバネ	-----	-----	kg/cm 0,856	-----	-----	kg/cm 0,856	-----	-----	kg/cm 0,856			
	実 験 値	たわみ	-----	kg/cm 1,396	-----	-----	kg/cm 1,434	-----	-----	kg/cm 1,415			
		ねじれ	-----	-----	kg・cm/rad 4623	-----	-----	kg・cm/rad 4618	-----	-----	kg・cm/rad 4249		
バ ネ 間 隔		-----	-----	cm 142	-----	-----	cm 142	-----	-----	cm 136			



2.1.4 実験結果

実験結果の総括を表-2.4に示し、図-2.4～図-2.10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。以下に各桁断面の対風応答の結果をまとめる。

(1) 桁設計案A-1について

たわみ及びねじれの渦励振は実験を行ったすべての迎角で発現しなかった。発散振動は迎角が $+5^\circ$ でのみ発現しているが、風速域は 72.9m/s と高く、本四基準で規定されている風速迎角図の限界領域を超えており、十分な耐風性を有している。

(2) 桁設計案A-2について

たわみの渦励振は迎角 -3° 、 $+5^\circ$ で発現しており、風速域は $4.0\sim 7.6\text{m/s}$ の低速で、片振幅 0.29m の振幅が計測された。他の迎角 0° 、 $+3^\circ$ では発現しなかった。ねじれの渦励振は迎角 -3° でのみ発現し、風速域 $13.5\sim 22.4\text{m/s}$ で片振幅 3.3° が計測された。発散振動は迎角 -3° 、 $+5^\circ$ で発現し、発現風速は各々 49.1m/s と 60.6m/s であり、 -3° の場合本四基準の風速迎角図の限界領域を満足しない。

(3) 桁設計案A-3について

たわみ及びねじれの渦励振は実験を行った全ての迎角で発現しなかった。発散振動は迎角 $+5^\circ$ 、 $+7^\circ$ で発現しており、発現風速は 84.5m/s 、と 61.9m/s であったが、本四基準の風速迎角図の限界領域を超えており、十分な耐風性を有している。他の迎角では発現しなかった。

(4) 桁設計案A-4について

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-5について

たわみの渦励振は迎角 -3° でのみ発現し、風速域は $5.5\sim 6.9\text{m/s}$ で片振幅 0.13m が計測された。ねじれの渦励振及び発散振動は実験を行った全ての迎角でも発現しなかった。

(6) 桁設計案A-6について

たわみの渦励振は迎角 $+7^\circ$ で発現し、風速域は $4.3\sim 6.1\text{m/s}$ で片振幅 0.10m が計測された。他の迎角と逆風($+3^\circ$ のみ)では発現しなかった。ねじれの渦励振は実験を行った全ての迎角で発現しなかった。発散振動は迎角 $+3^\circ$ 、 $+5^\circ$ 、 $+7^\circ$ で発現し、発現風速は各々 78.2m/s 、 54.3m/s 、 44.8m/s であったが、本四基準の風速迎角図の限界領域を超えており、十分な耐風性を有している。

(7) 桁形状案A-7について

迎角 $+3^\circ$ のみ計測したが、たわみの渦励振、ねじれの渦励振、発散振動とも発現しなかった。

表-2.4 実験結果総括表

単位: 風速 (m/s)
たわみ振幅 (mm)
ねじれ振幅 (deg)

ねじれ振動 (deg)

桁 タイプ	実験 番号	迎角 (deg)	風速 領域	構造減衰 δ (対数減衰率)		渦励振特性				発散振動発現風速 * 1		備 考
						たわみ		ねじれ		たわみ	ねじれ	
A-1	1	-3°	開始 終了	0.02012	0.02041	発現せず	—	発現せず	—	発現せず	発現せず	検査車レール間隔 (9m) 防護ネット落下防止柵なし
	2	±0°	開始 終了	0.02030	0.02021	〃	—	〃	—	—	—	
	3	+3°	開始 終了	0.02017	0.02042	〃	—	〃	—	—	—	
	4	+5°	開始 終了	0.01998	0.02030	〃	—	〃	—	76.4	72.9	
A-2	5	-3°	開始 終了	0.01990	0.01983	4.01 5.49	0.285	13.52 22.35	3.345	50.3	49.1	検査車レール間隔 (11m) 防護ネット落下防止柵なし
	6	±0°	開始 終了	0.02022	0.01966	発現せず	—	発現せず	—	発現せず	発現せず	
	7	+3°	開始 終了	0.01981	0.01982	〃	—	〃	—	〃	〃	
	8	+5°	開始 終了	0.02012	0.01965	4.41 7.64	0.233	〃	—	〃	60.6	
A-3	9	-3°	開始 終了	0.01963	0.02024	発現せず	—	発現せず	—	発現せず	発現せず	検査車レール間隔 (9m) 防護ネット落下防止柵 TYPE-2
	10	±0°	開始 終了	0.01960	0.01988	〃	—	〃	—	〃	〃	
	11	+3°	開始 終了	0.02027	0.02049	〃	—	〃	—	〃	〃	
	12	+5°	開始 終了	0.02031	0.01966	〃	—	〃	—	〃	84.5	
	13	+7°	開始 終了	0.02020	0.01969	〃	—	〃	—	〃	61.9	
A-4	14	-3°	開始 終了	0.02034	0.01995	発現せず	—	発現せず	—	発現せず	発現せず	検査車レール間隔 (9m) 防護ネット落下防止柵 TYPE-1
	15	±0°	開始 終了	0.01989	0.01999	〃	—	〃	—	〃	〃	
	16	+3°	開始 終了	0.02012	0.02042	〃	—	〃	—	〃	〃	
	17	+5°	開始 終了	0.01992	0.02002	〃	—	〃	—	〃	〃	
A-5	18	-3°	開始 終了	0.02029	0.01964	5.45 6.90	0.125	発現せず	—	発現せず	発現せず	検査車レール間隔 (9m) 防護ネット落下防止柵 TYPE-2 ハンガー定着 (ピン)
	19	±0°	開始 終了	0.01961	0.01992	発現せず	—	〃	—	〃	〃	
	20	+3°	開始 終了	0.01975	0.02024	〃	—	〃	—	〃	〃	
A-6	21	-3°	開始 終了	0.02047	0.02021	発現せず	—	発現せず	—	発現せず	発現せず	将来振幅対応 (3車線+片歩道) 検査車レール間隔 (9m) 防護ネット落下防止柵 TYPE-2 (正風) *2
	22	±0°	開始 終了	0.01970	0.02027	〃	—	〃	—	〃	〃	
	23	+3°	開始 終了	0.01953	0.02039	〃	—	〃	—	78.2	81.3	
	24	+5°	開始 終了	0.01959	0.01960	〃	—	〃	—	発現せず	54.3	
	25	+7°	開始 終了	0.01986	0.01975	4.34 6.14	0.097	〃	—	〃	44.8	
A-6 ⁻	26	+3°	開始 終了	0.02026	0.02007	発現せず	—	〃	—	〃	発現せず	A-6 (逆風)
A-7	27	+3°	開始 終了	0.02038	0.01956	発現せず	—	発現せず	—	発現せず	発現せず	ねじれ振動数変更 (A-3断面)

* 風速倍率は、たわみ、ねじれ、とも約5倍としている。

*1 発散振動発現風速はたわみ (η/B) が0.01, ねじれ (deg) が1以上になった時とする。*2 A-6, A-6⁻タイプの場合、歩道のない側から歩道のある側へ流れる風を正風とする。

安芸灘大橋 A-1 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$

防護ネット無し、ハンガー定着板有り

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を除いて、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。

また $\square$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01、ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005、ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

$\square$ …… 鉛直たわみ

$\circ$ …… ねじれ

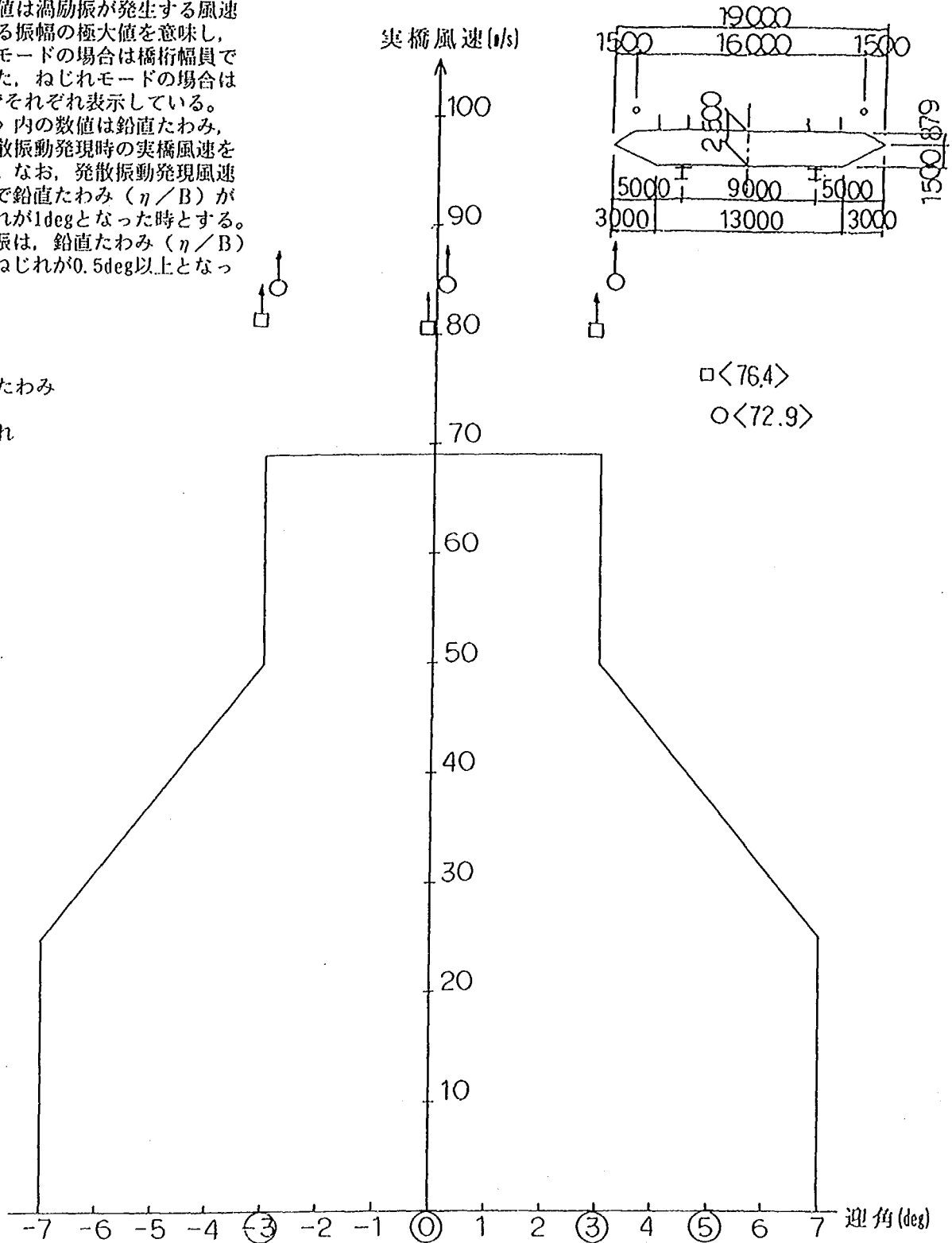


図-2.4 迎角-発現風速図 (A-1 断面)

安芸灘大橋 A-2 タイプ

検査車レール間隔 $B = 11 \text{ m}$

防護ネット無し、ハンガー定着板有り

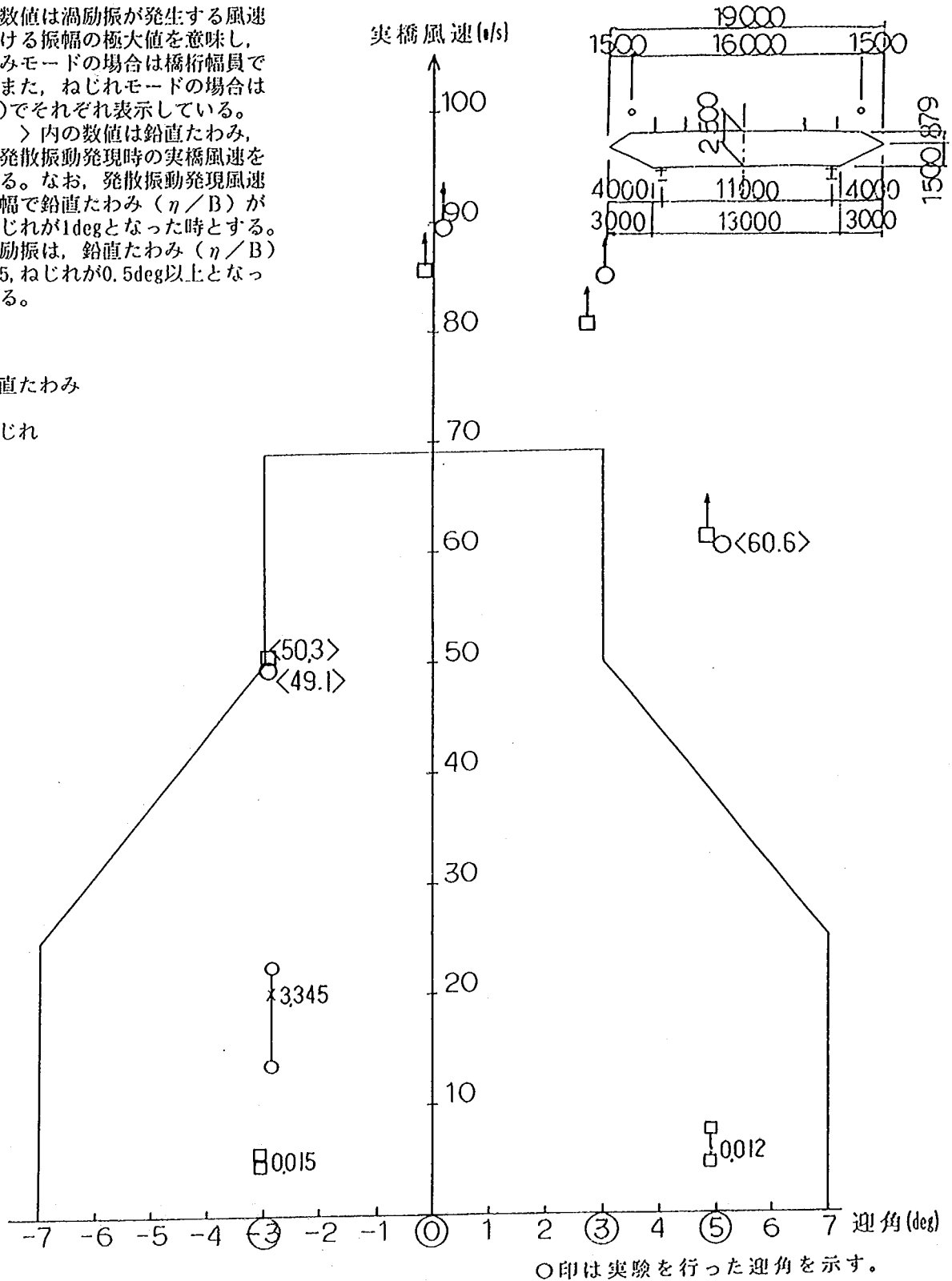
図中の数値は渦励振が発生する風速領域における振幅の極大値を意味し、鉛直たわみモードの場合は橋桁幅員を除いて、また、ねじれモードの場合は角度(deg)でそれぞれ表示している。

また $\langle \rangle$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01、ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005、ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

□……鉛直たわみ

○……ねじれ



安芸灘大橋 A-3 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9 \text{ m}$

防護ネット TYPE-2、ハンガー定着板有り

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を除して、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。

また、 $\square$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01、ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005、ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

$\square$ 鉛直たわみ

$\circ$ ねじれ

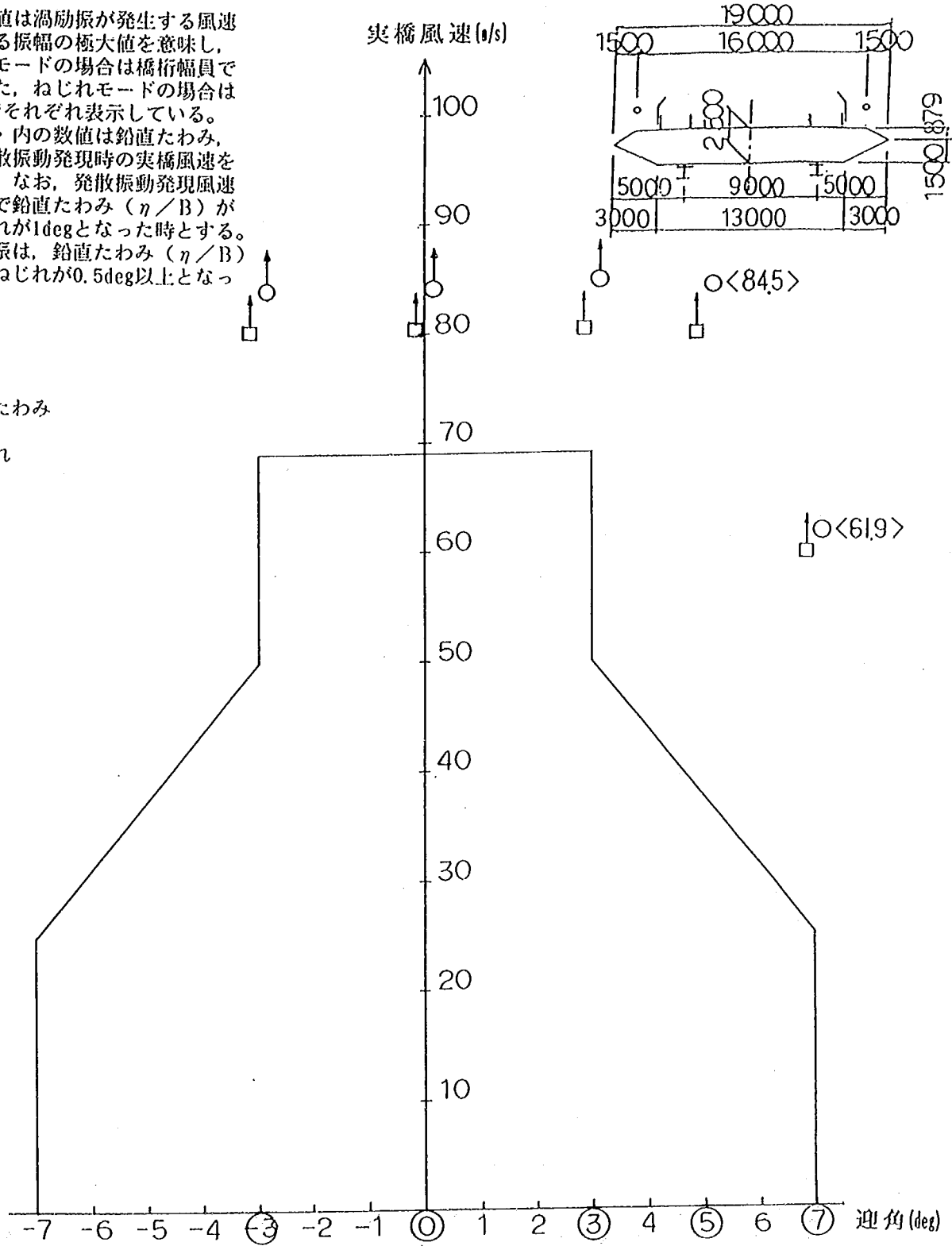


図-2.6 迎角-発現風速図 (A-3 断面)

安芸灘大橋 A-4 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9 \text{ m}$

防護ネット TYPE-1、ハンガー定着板有り

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。

また $\square$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01, ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005, ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

$\square$ 鉛直たわみ

$\bigcirc$ ねじれ

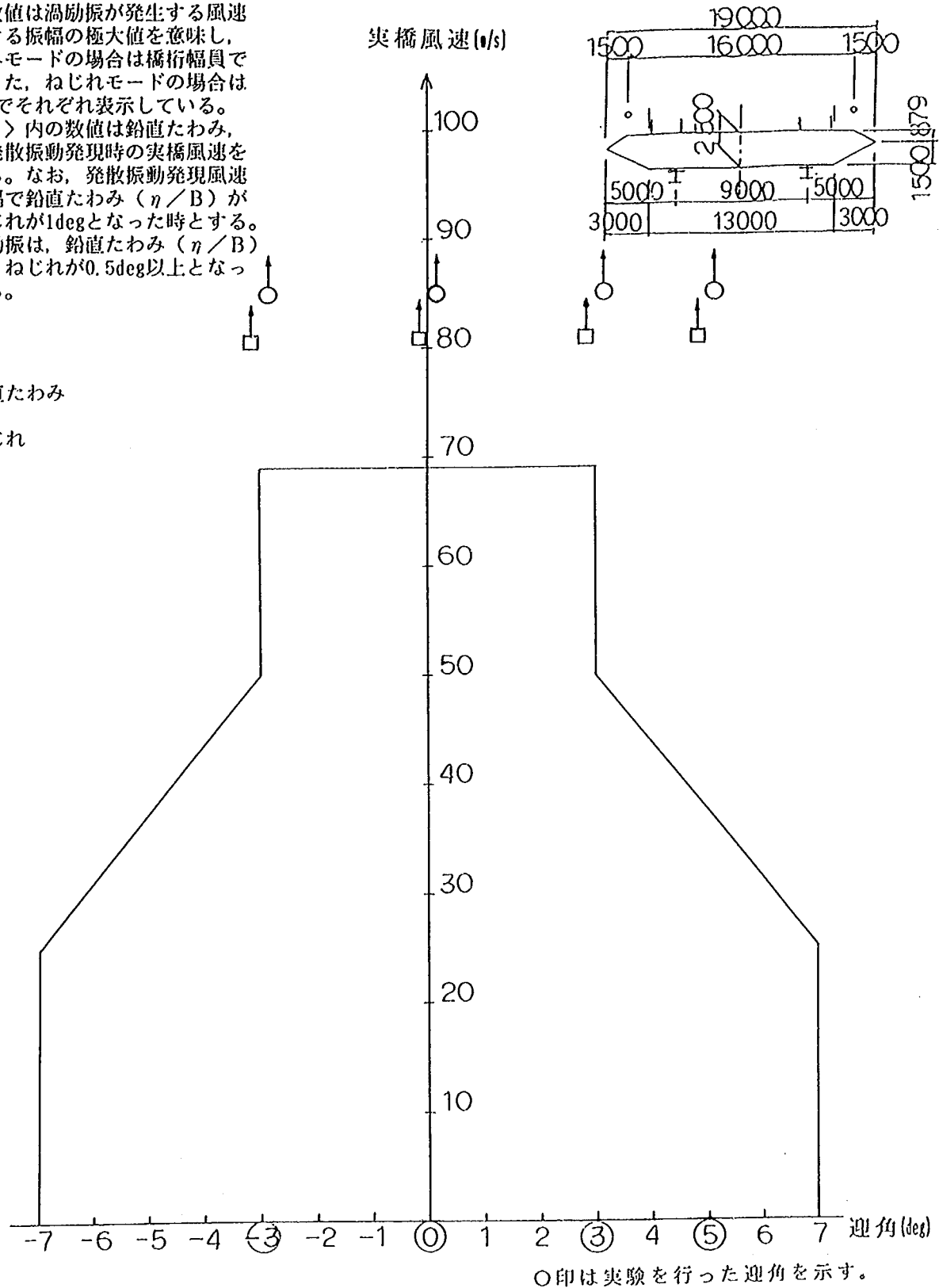


図-2.7 迎角-発現風速図 (A-4 断面)

安芸灘大橋 A-5タイプ

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$

防護ネット TYPE-2、ハンガー定着板 (ピン)

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。

また、 $\square$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01、ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005、ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

$\square$ 鉛直たわみ

$\circ$ ねじれ

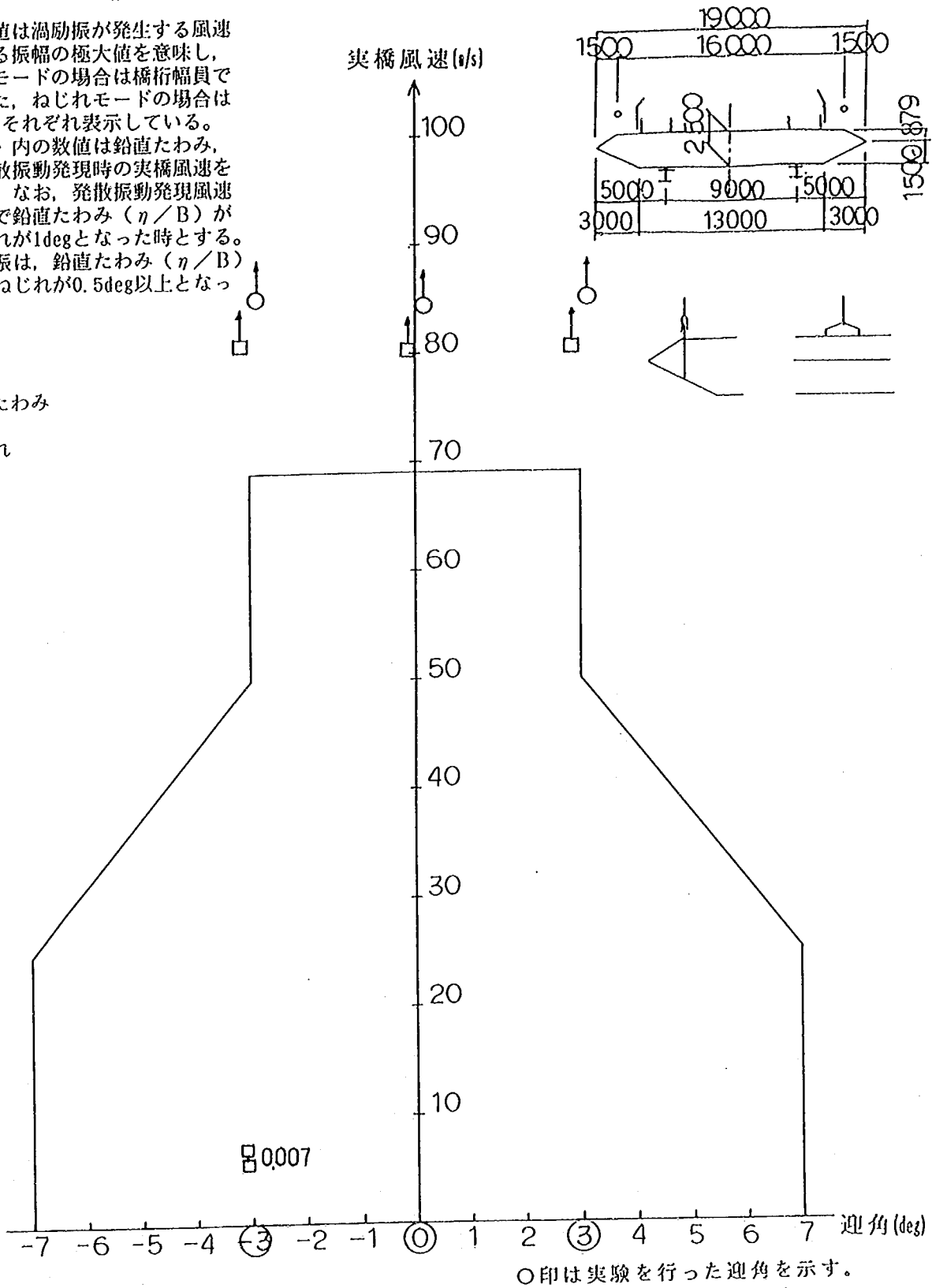


図-2.8 迎角-発現風速図 (A-5断面)

安芸灘大橋 A-6タイプ

将来対応時 (3車線+片側歩道)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$

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。

また $\square$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01、ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005、ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

(正風)

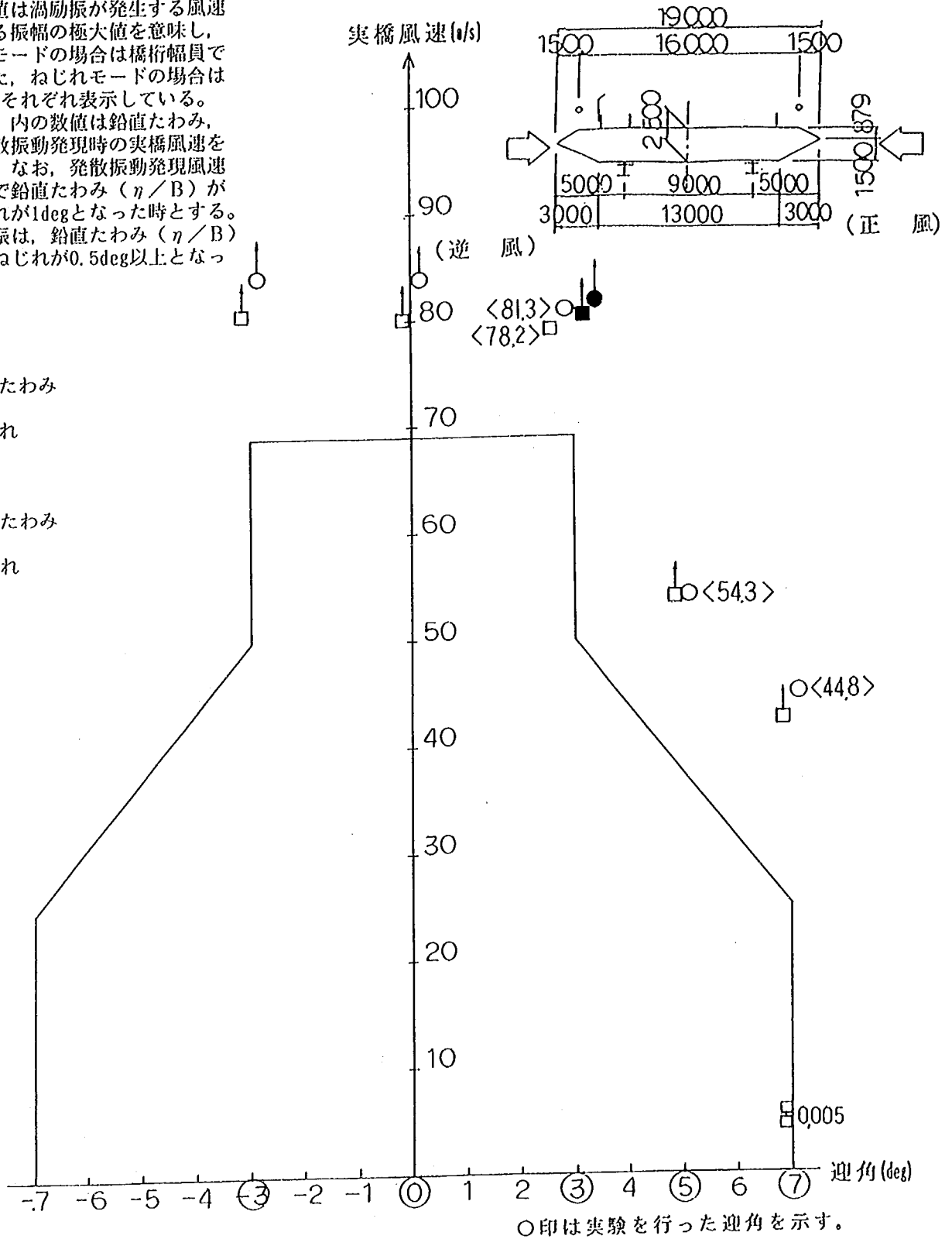
$\square$ 鉛直たわみ

$\circ$ ねじれ

(逆風)

$\blacksquare$ 鉛直たわみ

$\bullet$ ねじれ



安芸灘大橋 A-7タイプ

ねじれ振動数変更

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$

防護ネット TYPE-2、ハンガー定着板有り

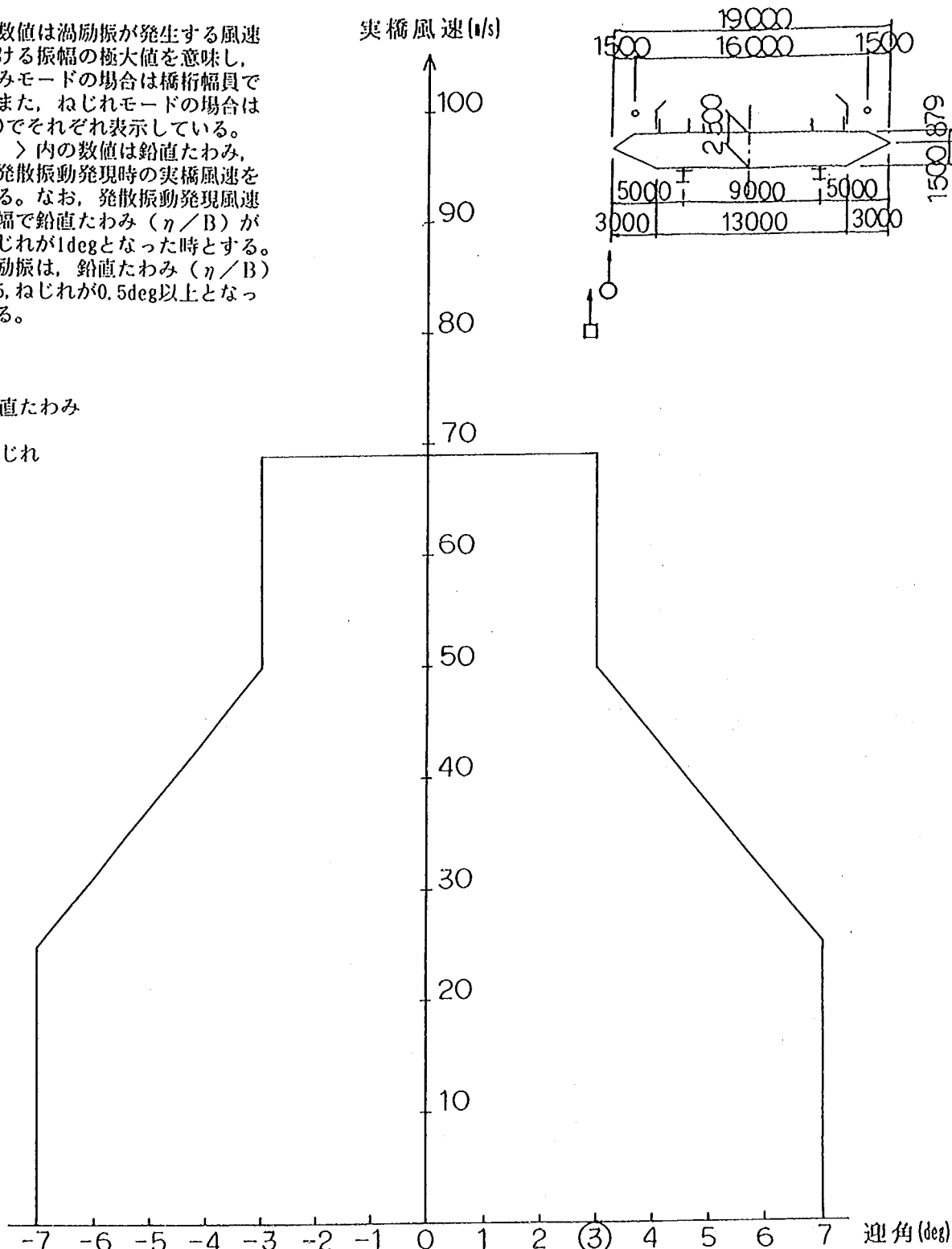
図中の数値は渦励振が発生する風速領域における振幅の極大値を意味し、鉛直たわみモードの場合は橋桁幅員で除して、また、ねじれモードの場合は角度(deg)でそれぞれ表示している。

また $\langle \rangle$ 内の数値は鉛直たわみ、ねじれの発散振動発現時の実橋風速を表している。なお、発散振動発現風速は、片振幅で鉛直たわみ (η/B) が 0.01、ねじれが 1deg となった時とする。

また渦励振は、鉛直たわみ (η/B) が、0.005、ねじれが 0.5deg 以上となった時とする。

□……鉛直たわみ

○……ねじれ



○印は実験を行った迎角を示す。

図-2.10 迎角一発現風速図 (A-7断面)

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、橋桁に作用する空気力(抗力, 揚力, 空力モーメント)をバネ支持模型試験で用いた模型を使い, ピアノ線支持方式の三分力天秤を用いて測定した。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。三分力実験の概要を図-2.11に, 空気力を図-2.12に示す。

空気力係数は次式でそれぞれ定義した。

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

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

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

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 : 撮影面積, B : 模型幅員

なお, 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補正を実施した。補正の概念図を図-2.13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 および模型の撮影面積 A_n を用いて

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

となる。

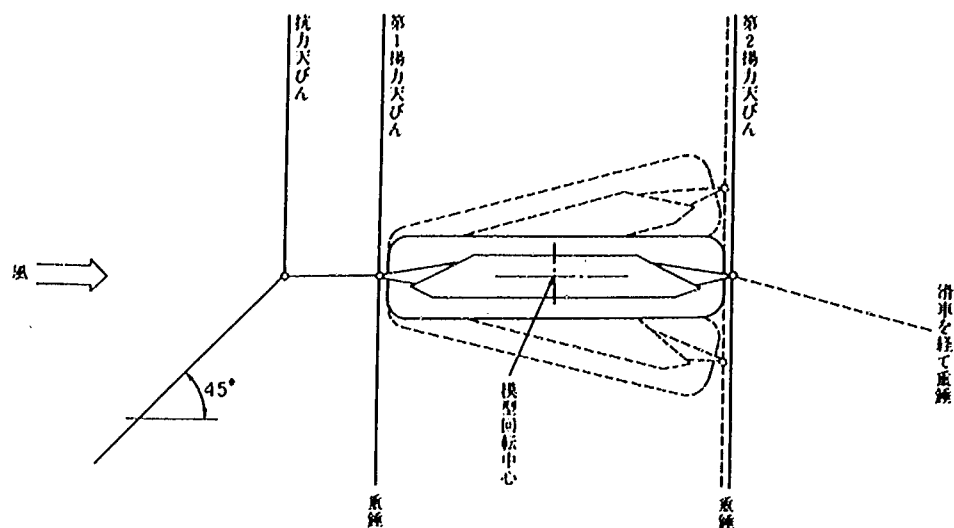


図-2.11 三分力試験の概要

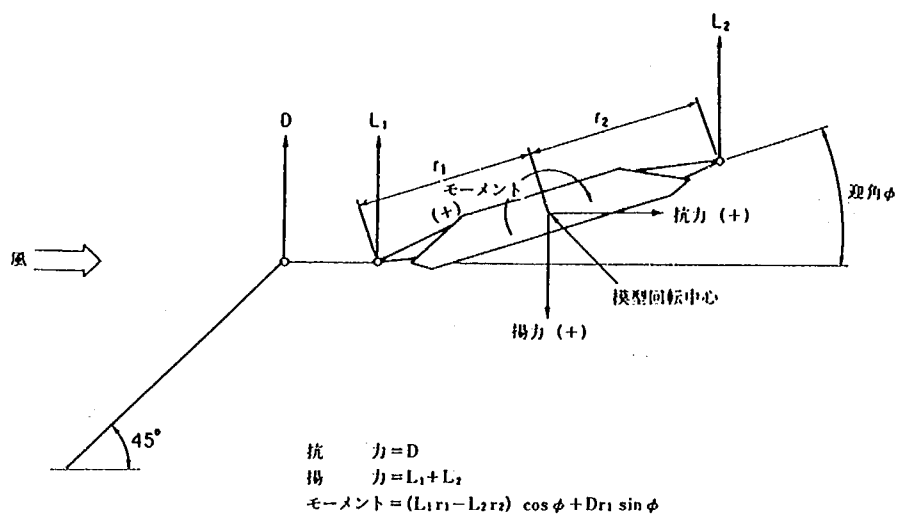


図-2.12 三分力試験の空気力

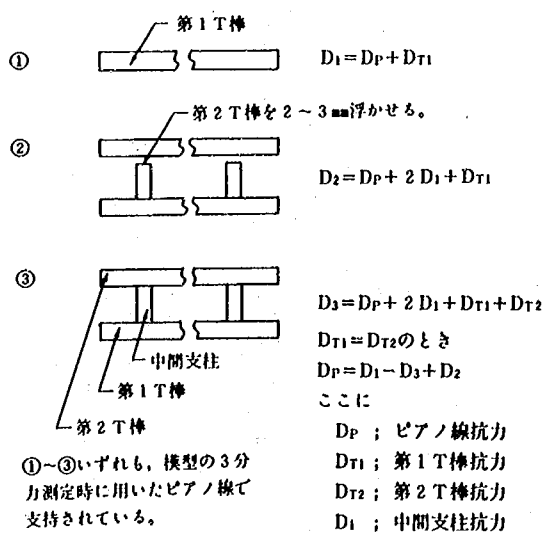


図-2.13 ピアノ線に作用する抗力の測定

2.2.2 実験ケースおよび実験結果

三分力試験は、実際に採用され则认为られる形状案のA-1断面、A-3断面、A-6断面の3断面について実施した。実験ケースを表-2.5、実験結果を表-2.6に示す。付図-3に主な三分力曲線図を示した。

表-2.5 三分力試験ケース

実験番号	模 型 断 面	検査車レール間隔	防 護 柵	備 考
1	A-1	9 m	無し	
2	A-3	9 m	TYPE-2	
3	A-6	9 m	歩道側だけ TYPE-2	正風のみ

表-2.6 三分力試験結果一覧表

項 目		単位	元年度	2 年 度			摘要
			A-1	A-1	A-3	A-6	
三分力係数用 定数	投 影 面 積 A_n	m ²	0.2516	0.2531	0.2852	0.2531	
	外 郭 面 積 A_L	m ²	1.433	1.433	1.433	1.433	
	モーメント係数用 A_M	m ²	0.9080	0.9080	0.9080	0.9080	
吊 金 具 間 隔 b		m	0.713	0.713	0.713	0.713	
測定迎角	$V = 8 \text{ m/s}$	°	-15~+15	-15~+15	-15~+15	-15~+15	
	$V = 16 \text{ m/s}$	°	-10~+10	-7~+7	-10~+10	-8~+10	
抗力係数 C_D	$V = 8 \text{ m/s}$	-	0.898	0.917	1.229	1.199	
	$V = 16 \text{ m/s}$	-	0.902	0.926	1.228	1.204	
	平 均	-	0.900	0.922	1.229	1.201	
揚力係数 C_L	$V = 8 \text{ m/s}$	-	-0.131	-0.132	-0.233	-0.179	
	$V = 16 \text{ m/s}$	-	-0.132	-0.116	-0.169	-0.112	
	平 均	-	-0.132	-0.124	-0.201	-0.145	
モーメント 係数 C_M	$V = 8 \text{ m/s}$	-	-0.005	-0.003	-0.017	0.008	
	$V = 16 \text{ m/s}$	-	-0.008	-0.001	-0.016	0.012	
	平 均	-	-0.006	-0.002	-0.016	0.010	
$\frac{d C_L}{d \alpha}$	$V = 8 \text{ m/s}$	-	4.461	4.584	3.870	4.955	
	$V = 16 \text{ m/s}$	-	4.217	4.251	3.909	4.749	
	平 均	-	4.339	4.418	3.890	4.852	
$\frac{d C_M}{d \alpha}$	$V = 8 \text{ m/s}$	-	1.098	1.073	0.894	1.001	
	$V = 16 \text{ m/s}$	-	1.079	1.084	0.902	1.020	
	平 均	-	1.088	1.078	0.898	1.010	

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

2.3 考察

2.3.1 諸元変更に伴う耐風性の影響

A-1 基本断面は元年度の風洞試験結果と同じく迎角 $-3^{\circ} \sim +3^{\circ}$ では、たわみ・ねじれの渦励振および発散振動とも発現しなかった。迎角 $+5^{\circ}$ で発散振動が発現したが、発振風速は高いため良好な耐風性を有していることが確認された。設計諸元の変更による影響は認められなかった。

2.3.2 検査車レール間隔の影響

検査車レール間隔を9mとしたA-1断面と11mとしたA-2断面の試験結果より、発散振動に対する耐風性はA-1断面が良好であるのに対し、A-2断面は本四基準の限界領域を満足しない。これより、検査車レール間隔は9mとした。

2.3.3 防護柵形状の影響

A-1断面の歩道部高欄上に0.7mの防護柵を取り付けたA-3断面はたわみおよびねじれの渦励振とも発現しなかった。また、A-1断面の迎角 $+5^{\circ}$ で発現した発散振動も発現せず、A-1断面よりも結果は良好となった。また、A-1断面の歩道部高欄を忍び返しネット防護柵に変更したA-4断面はたわみおよびねじれの渦励振ともA-1断面と同様に発現しなかった。発散振動もA-1断面と同様に $+5^{\circ}$ 、 $+7^{\circ}$ の迎角で発現したが、発振風速はA-1断面より高くなり、防護柵取付による耐風性の劣化は認められなかった。

2.3.4 ハンガー定着部構造の影響

鞍掛けハンガー構造をピン定着ハンガー構造に変更したA-5断面では、迎角 -3° の時にA-3断面では発現しなかったたわみの渦励振が発現した。風速域が $5.5 \sim 6.9 \text{ m/s}$ と低くて範囲も狭く、かつ振幅も0.13mと小さいが、ピン定着板により若干たわみ渦励振の耐風性が劣化している。A-5断面はねじれの渦励振と発散振動が発現しなかったので耐風性が良好といえる。ピン定着板を採用した場合、たわみ振幅0.13mに対する許容振幅の検討は必要であるが、影響度は大きくないと推定される。

2.3.5 将来車線拡幅時の耐風性

将来車線拡幅時のA-6断面では、ねじれの渦励振は発現しなかったが、迎角 $+7^{\circ}$ の時にA-3断面では発現しなかったたわみの渦励振が、風速域 $4.3 \sim 6.1 \text{ m/s}$ 、振幅0.10mと小さい値ではあるが計測された。発散振動は迎角 $+3^{\circ}$ 、 $+5^{\circ}$ 、 $+7^{\circ}$ で発現し、発振風速もA-3よりも低くなっている。車線を2車線から3車線に変更することにより、高欄・地覆が断面の外側に移動したため、耐風性がA-3よりも劣化したものと考えられる。ただし、本四基準の風速—迎角図の限界領域を超えており、将来車線拡幅時に渦励振に対する許容振幅の検討は必要であるが、フラッターに対する安全性は具備していると考えられる。

2.3.6 ねじれ振動数低下の影響

ねじれ振動数を小さくしたA-7断面では $+3^{\circ}$ のみ計測したが、渦励振も発散振動も発現しなかった。ねじれ振動数低下による耐風性の悪化は認められなかった。

2.3.7 設計に用いる抗力係数の検討

- 1) A-1断面の試験結果から、設計諸元の変更により抗力係数は0.90（元年度の結果）から0.93へとわずかに増加しただけであった。
- 2) 防護柵TYPE-2を取り付けたA-3断面は、受風面積の増加だけでなく抗力係数もA-1断面よりも0.30大きな1.23となった。この値は本四基準から求めた抗力係数1.3と大きな差がないため、防護柵を設置した場合の設計に用いる抗力係数は本四基準どおり $C_D = 1.3$ を採用するのがよいと考えられる。
- 3) 将来車線拡幅断面の歩道部高欄として防護柵TYPE-2を設置し、車道側からの風によるA-6断面の抗力係数はA-3断面とほぼ同じ1.20となった。この場合、抗力係数 $C_D = 1.3$ を採用しておけば十分である。

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

検査車レール間隔が11mより9mの方が発散振動に対する耐風性が良好である。防護柵形状やハンガー定着部構造については耐風性に与える影響が小さいことが明かとなった。また、将来車線拡幅時の耐風性は本四基準の風速—迎角図の限界領域を超えており、特段問題のないことが確認された。

(2) 三分力試験の成果

三分力試験を主要な3断面について行ったところ、抗力係数は設計で考えている抗力係数 $C_D = 1.3$ 以下であり、設計に用いる風荷重は妥当であることが明らかとなった。

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

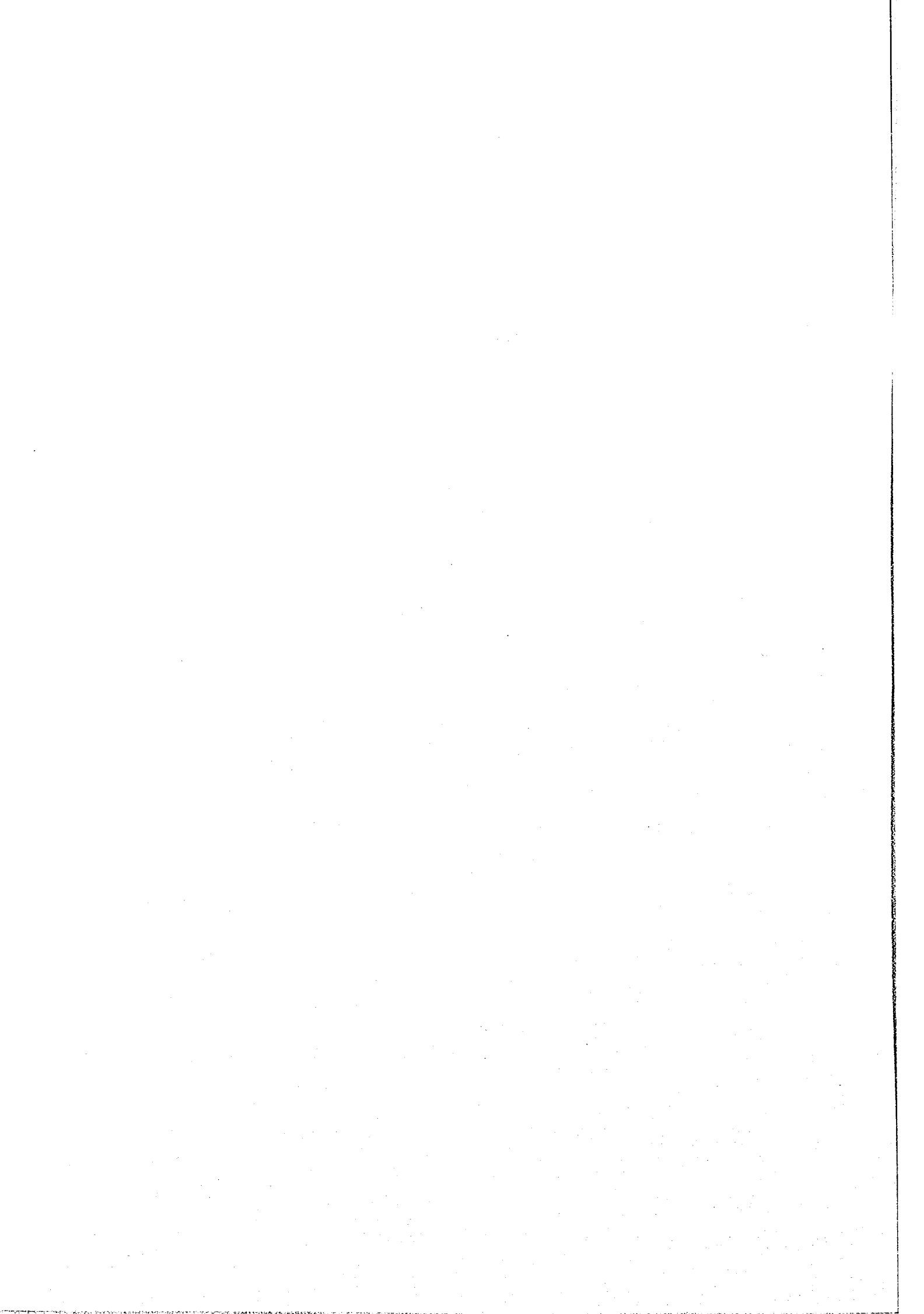
- (1) 建設省土木研究所；安芸灘大橋の耐風性調査報告書；土木研究所資料第2849号，平成2年3月
- (2) 本州四国連絡橋公団；本州四国連絡橋耐風設計基準（1976）・同解説，1976

付 属 資 料

付図－1 模型図

付図－2 風速－振幅図

付図－3 三分力曲線図



Technical drawing of a boat hull cross-section. The drawing shows the hull structure with various dimensions and assembly details. Key dimensions include:

- Overall width: 633.4
- Overall length: 433.4
- Top edge dimensions (from left to right): 46.7, 48.3, 10.0, 66.7, 20.0, 125.0, 125.0, 20.0, 66.7, 10.0, 48.3, 46.7
- Bottom edge dimensions (from left to right): 100.0, 433.4, 100.0
- Internal dimensions on the right side: 50.3, 29.7, 80.0
- Internal dimension on the left side: 86.2

Assembly details and labels:

- 鋪装板① (接着剤) (Plating board ① (Adhesive))
- 調整板 (接着剤) (Adjustment plate (Adhesive))
- フェアリング (ビス止め) (Fairing (Screw fastening))

Technical drawing of a boat hull cross-section. The drawing shows the internal structure with various components labeled in Japanese. Dimensions are provided in millimeters (mm) and degrees.

Labels and dimensions:

- Dimensions (mm):**
 - Top edge: 46.7, 20.0, 100.0, 125.0, 125.0, 20.0, 66.7, 48.3, 46.7
 - Bottom edge: 100.0, 433.4, 100.0
 - Internal vertical dimensions: 25.0, 1.2, 1.2, 86.2, 50.3, 29.7, 80.0
 - Internal horizontal dimensions: 100.0, 433.4, 100.0
- Components:**
 - 船装板① (Shipboard ①)
 - 船装板② (両面テープ) (Shipboard ② (Double-sided tape))
 - 調整板 (接着剤) (Adjustment plate (Adhesive))
 - フェアリング (ビス止め) (Fairing (Screw fastening))
- Notes:**
 - 船装板① (製作数 2) (Shipboard ① (Production quantity 2))
 - 船装板② (製作数 5) (Shipboard ② (Production quantity 5))

舗装板 ② (製作数 5)

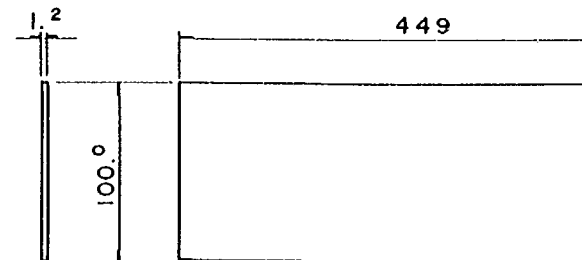
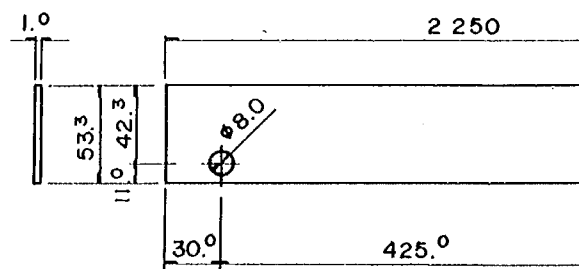
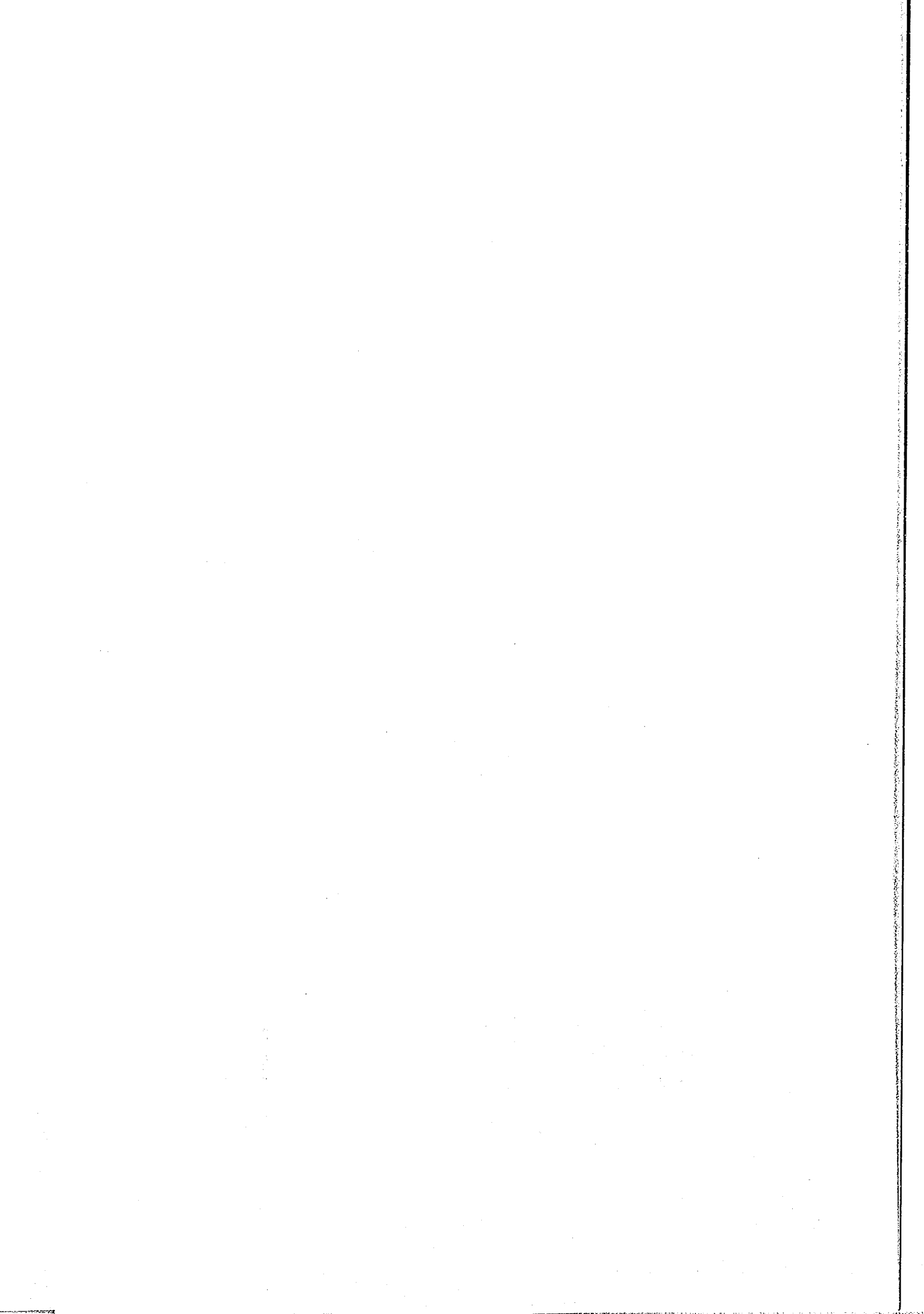


Figure 1 shows the manufacturing details of the acrylic resin model. The top view of the corner joint indicates a width of 10.0 mm, a height of 6.3 mm, and a 1.5% slope, with a label '両面テープ接着' (Double-sided tape bonding). The side view shows a rectangular block with a length of 400.0 mm, a height of 33.3 mm, and a width of 10.0 mm. The top view of the long rectangular block shows a total length of 2250 mm, with segments of 108.35 mm, five 366.7 mm segments, and another 108.35 mm segment, with a height of 33.3 mm and a width of 10.0 mm. A label 'ハンガー定着板' (Hanger mounting plate) points to the bottom edge.

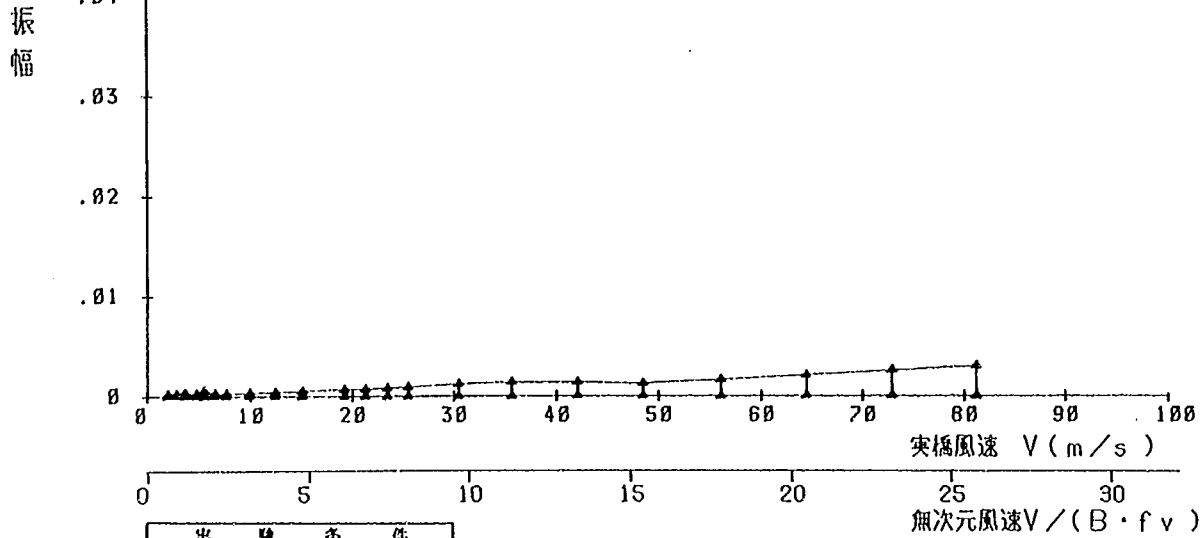


安芸灘大橋A-1タイプ

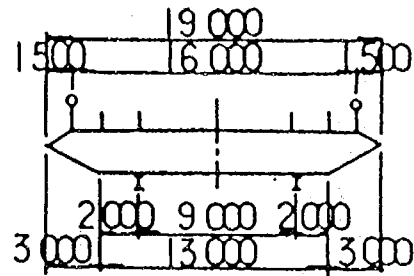
(迎角 -3°)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵無し

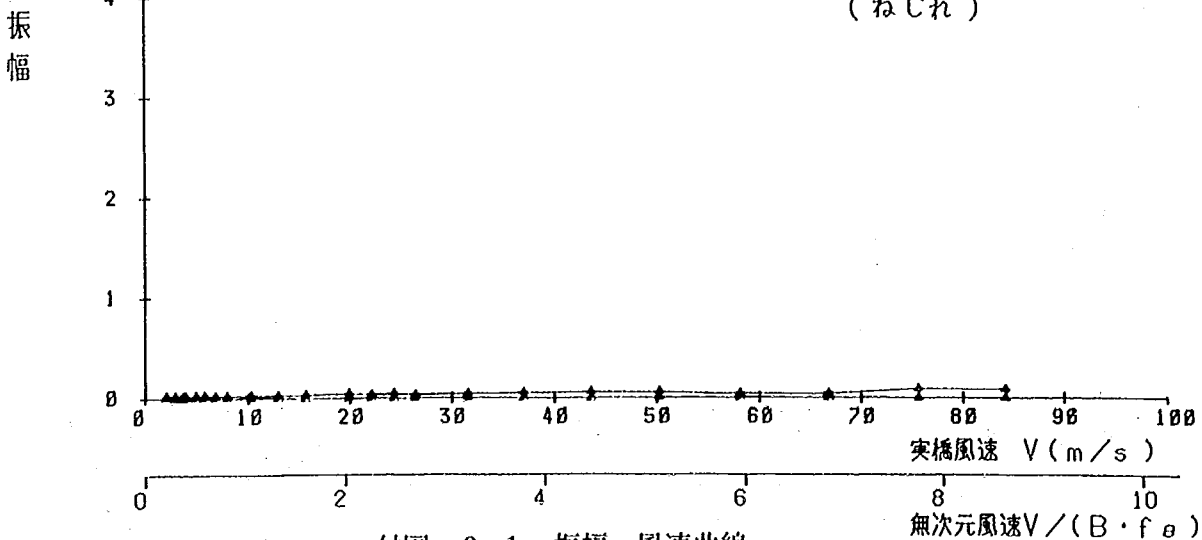
(たわみ)



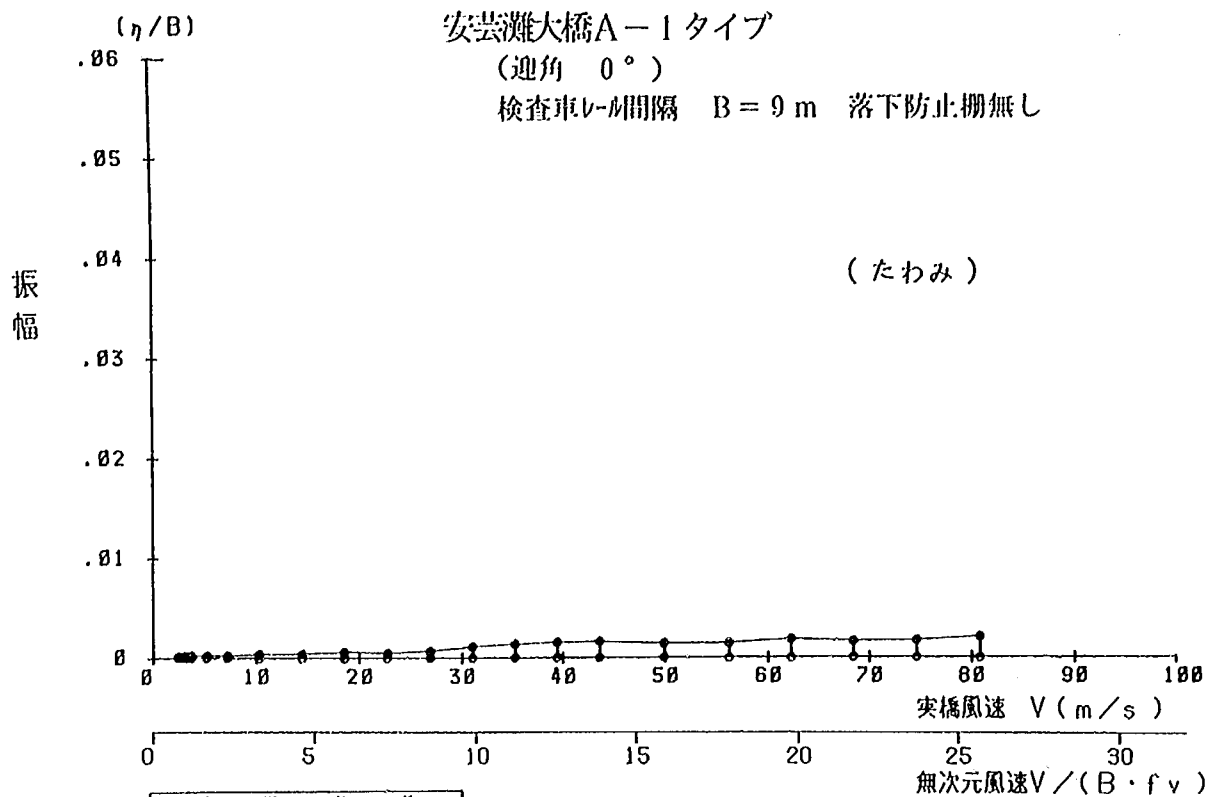
実験条件	
桁タイプ	A-1
迎角	-3°
重量(kg/model)	33.397
慣性モーメント (kg・cm・S ² /model)	12.733
風速倍率	たわみ $\beta_v = 4.8624$ ねじり $\beta_\theta = 5.0445$
振動数(Hz)	たわみ $f_v = 1.0119$ ねじり $f_\theta = 3.0389$
振動数比	$f_v/f_\theta = 3.003$
構造減衰	たわみ $\delta_v = 0.0201$ ねじり $\delta_\theta = 0.0204$



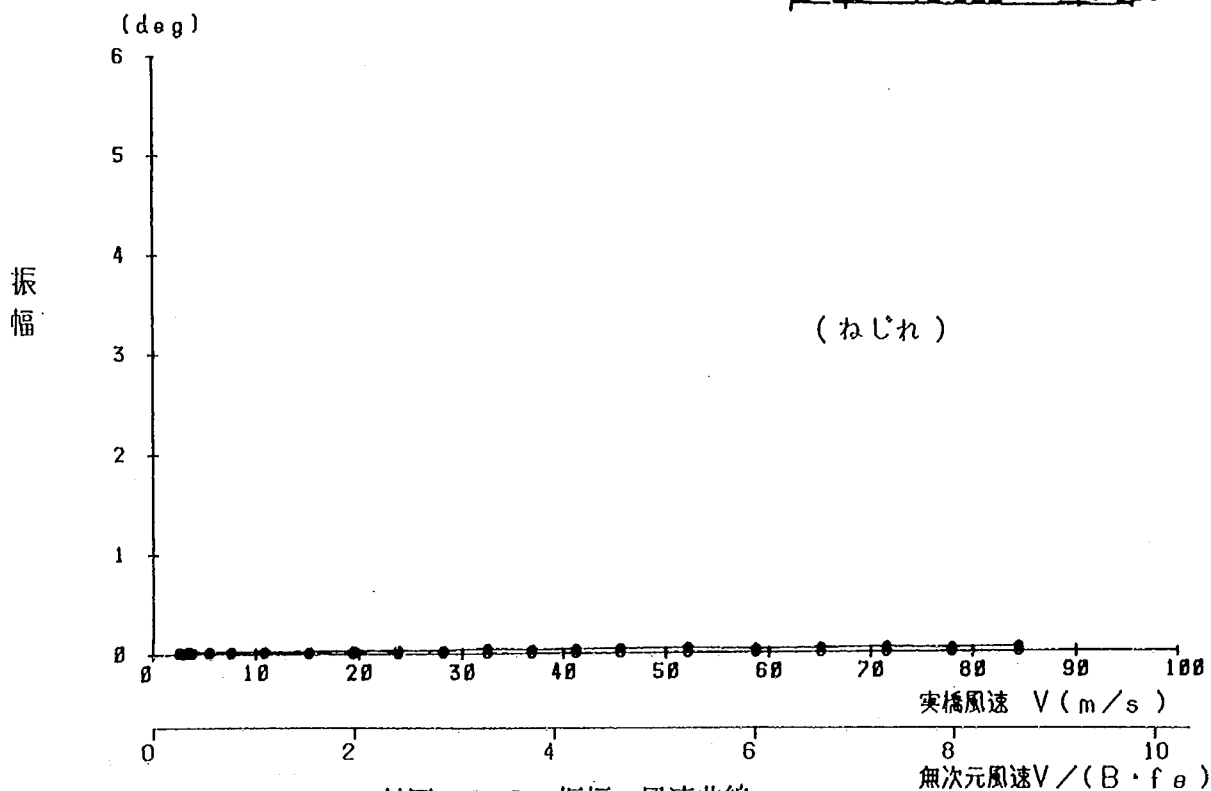
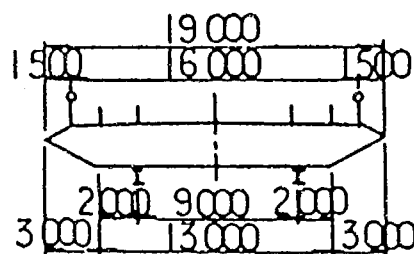
(ねじれ)



付図-2.1 振幅-風速曲線



実 験 条 件	
桁 型 式	A-1
迎 角	$\pm 0^\circ$
重 量 (kg/model)	33.397
慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{model}$)	12.733
風速倍率	
たわみ	$\beta_v = 4.8282$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0476$
振動数 (Hz)	
たわみ	$f_v = 1.0190$
ねじり	$f_\theta = 3.0371$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.980$
構造減衰	
たわみ	$\delta_\eta = 0.0203$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0202$

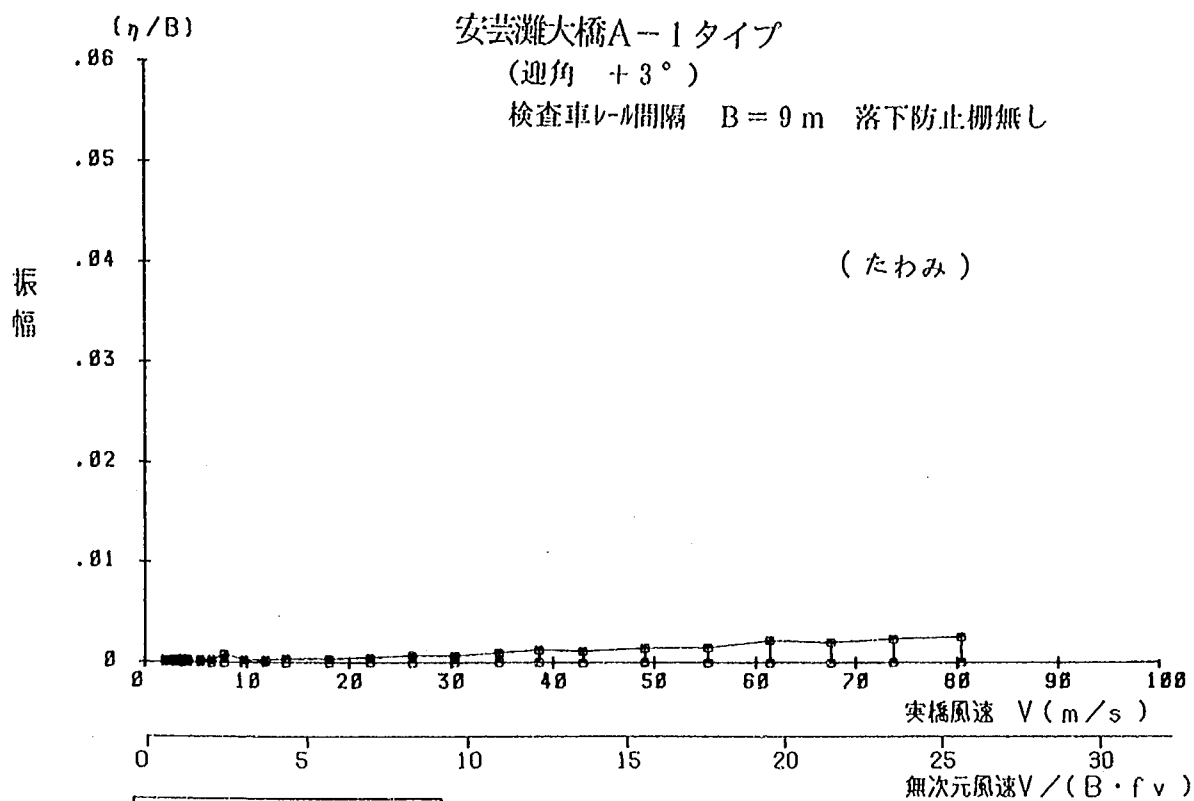


付図-2.2 振幅-風速曲線

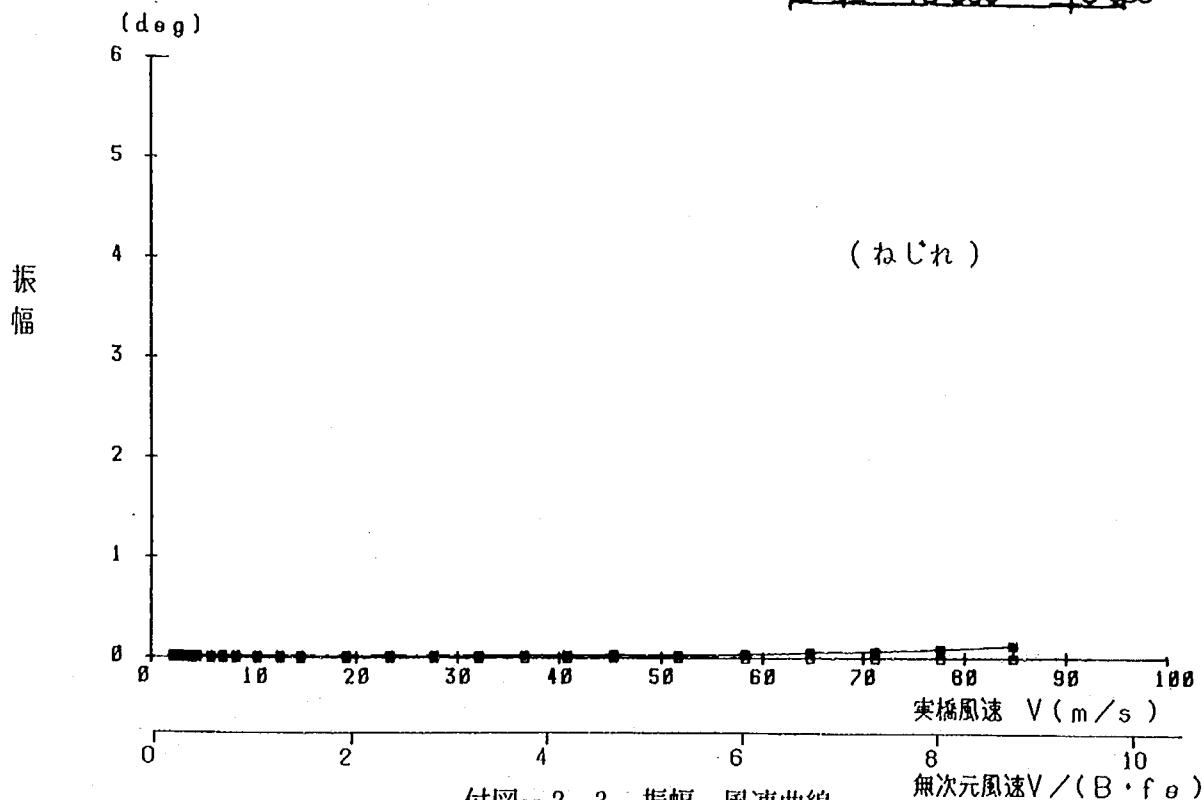
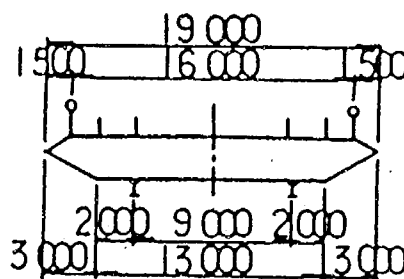
安芸灘大橋A-1タイプ

(迎角 $+3^\circ$)

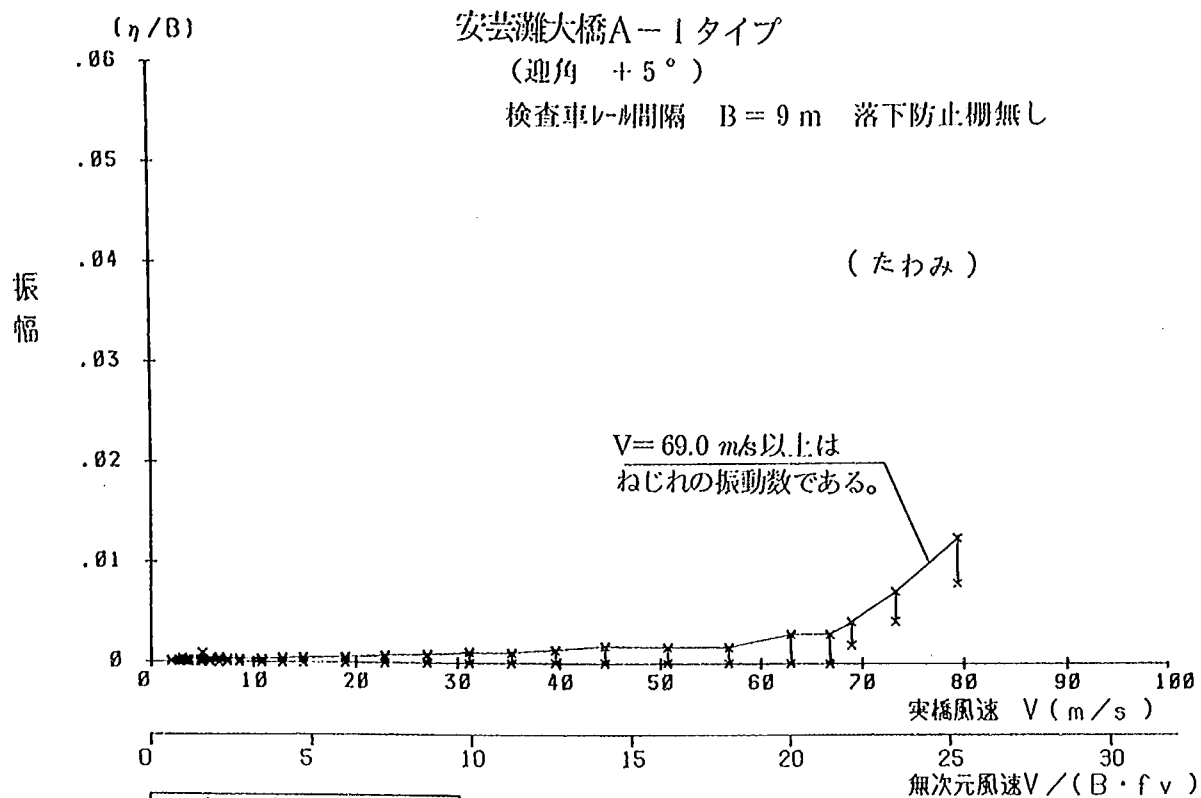
検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵無し



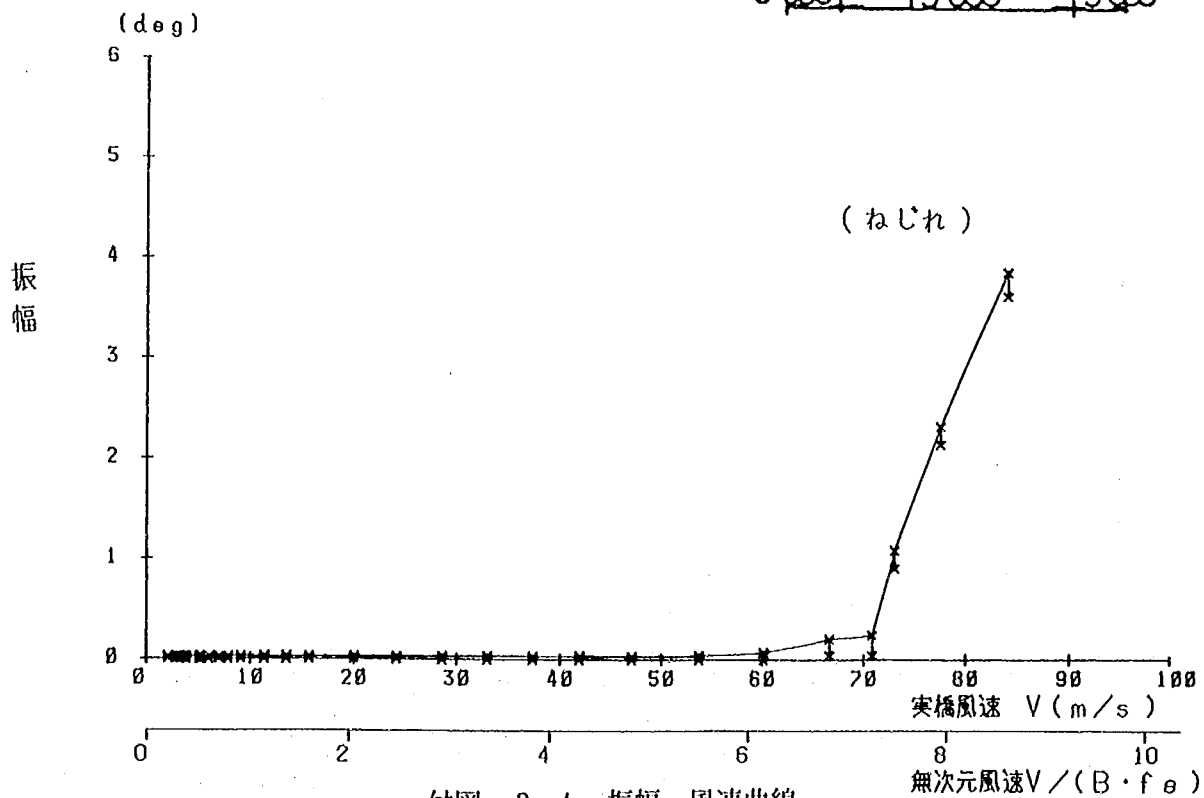
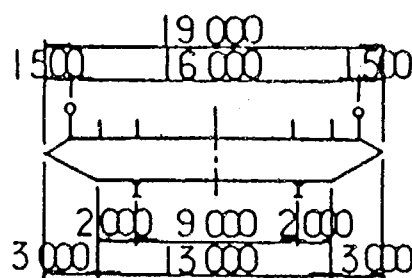
実験条件	
桁タイプ	A-1
迎角	$+3^\circ$
重量 (kg/model)	33.397
慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12.733
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.7935$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0508$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0264$
ねじり	$f_\theta = 3.0352$
振動数比 f_v/f_θ	2.957
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0202$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0204$



付図-2.3 振幅-風速曲線



実 験 条 件	
桁 タイ プ	A-1
迎 角	$+5^\circ$
重 量 (kg/model)	33.397
機械性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12.733
風速倍率	たわみ $\beta v = 4.7667$ ねじり $\beta \theta = 5.0515$
振動数 (Hz)	たわみ $f_v = 1.0322$ ねじり $f_\theta = 3.0347$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.940$
構造減衰	たわみ $\delta \eta = 0.0200$ ねじり $\delta \theta = 0.0203$

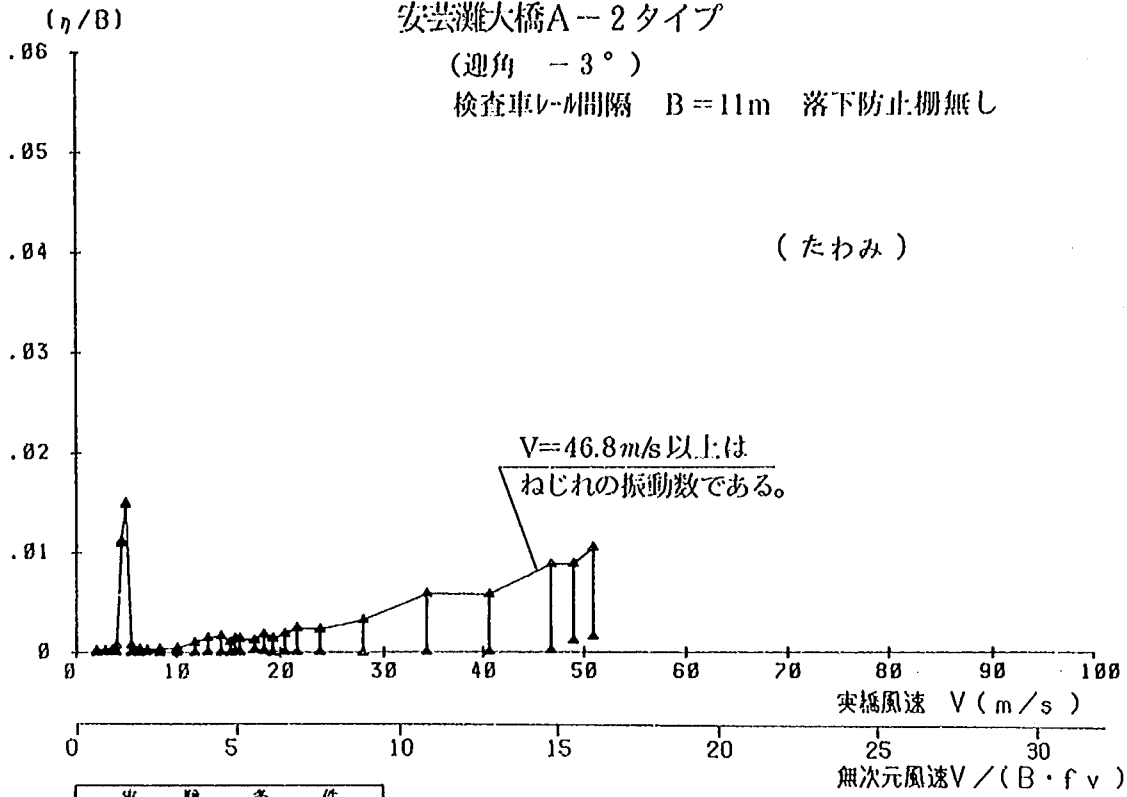


安芸灘大橋A-2タイプ

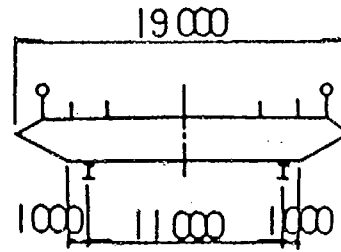
(迎角 -3°)

検査車レール間隔 $B=11\text{m}$ 落下防止柵無し

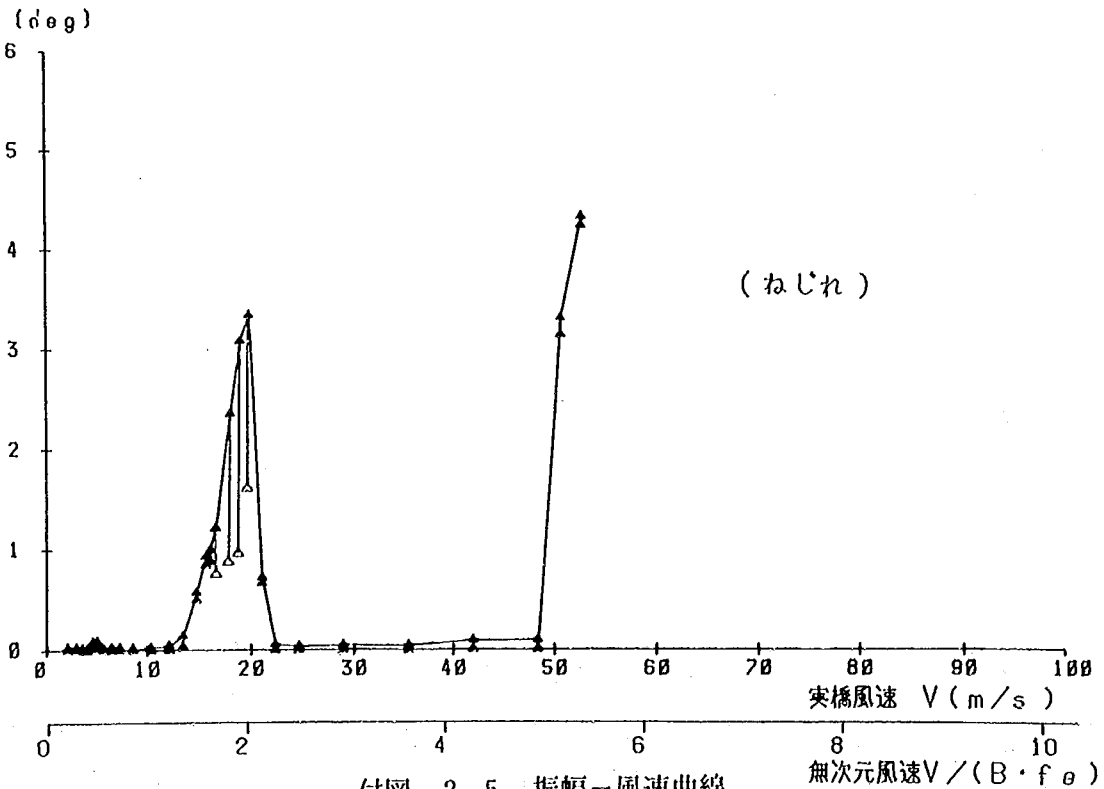
振幅



実 験 条 件	
桁タイプ	A-2
迎 角	-3°
重 量 (kg/model)	33,397
慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}^2/\text{model}$)	12,733
風速倍率	$\beta_v = 4.8630$
たわみ	$\beta_\eta = 5.0350$
ねじり	$f_v = 1.0117$
振動数 (Hz)	$f_\theta = 3.0387$
ねじり	$f_v/f_\theta = 3.004$
振動数比	$\delta_\eta = 0.0199$
構造減衰	$\delta_\theta = 0.0198$
たわみ	
ねじり	



振幅



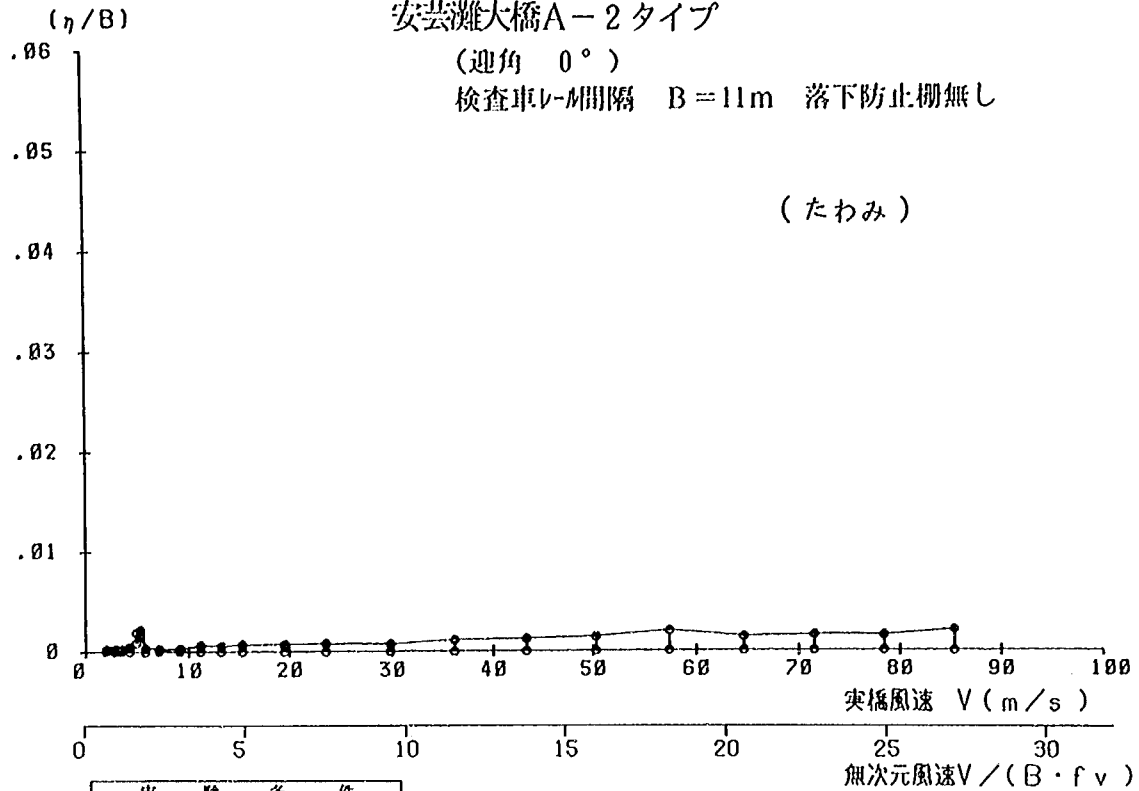
付図-2.5 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-2タイプ

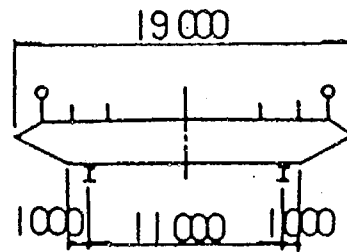
(迎角 0°)

検査車レール間隔 $B=11\text{m}$ 落下防止柵無し

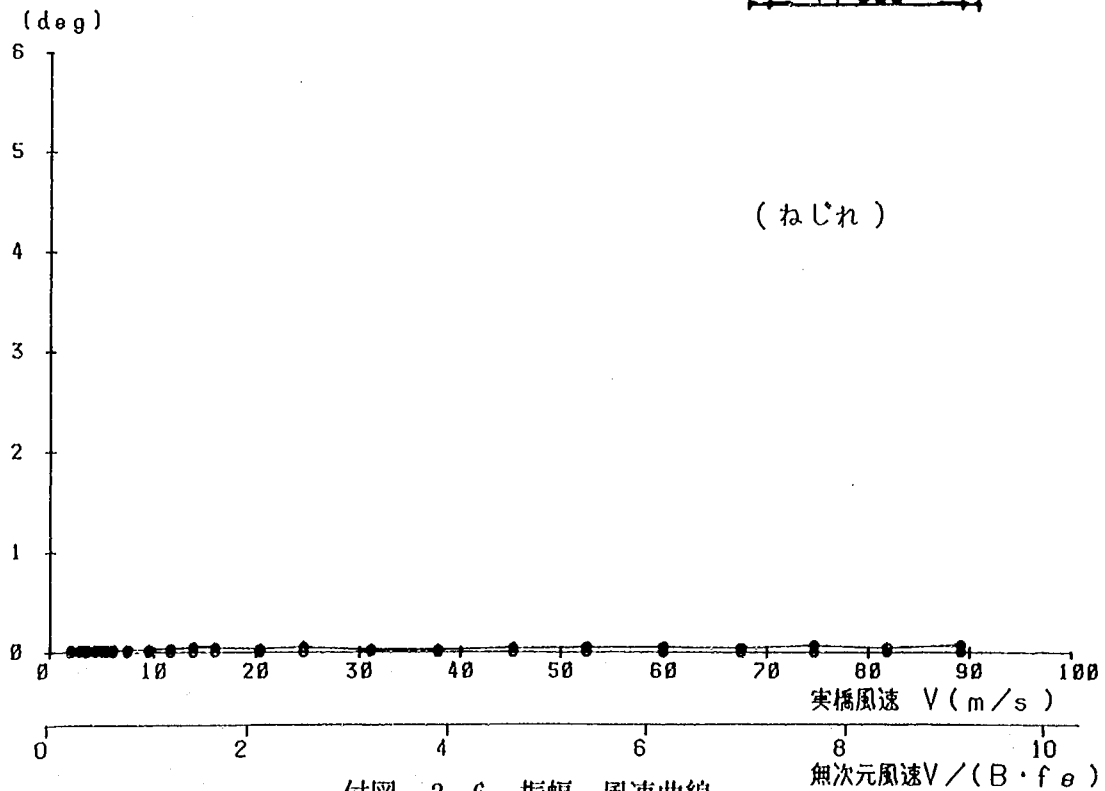
振幅



実験条件	
桁タイプ	A-2
迎角	$\pm 0^\circ$
重量 (kg/model)	33.397
極慣性モーメント (kg·cm·s ² /model)	12.733
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.8304$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0430$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0186$
ねじり	$f_\theta = 3.0339$
振動数比 f_v/f_θ	2.978
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0202$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0197$



振幅



付図-2.6 振幅-風速曲線

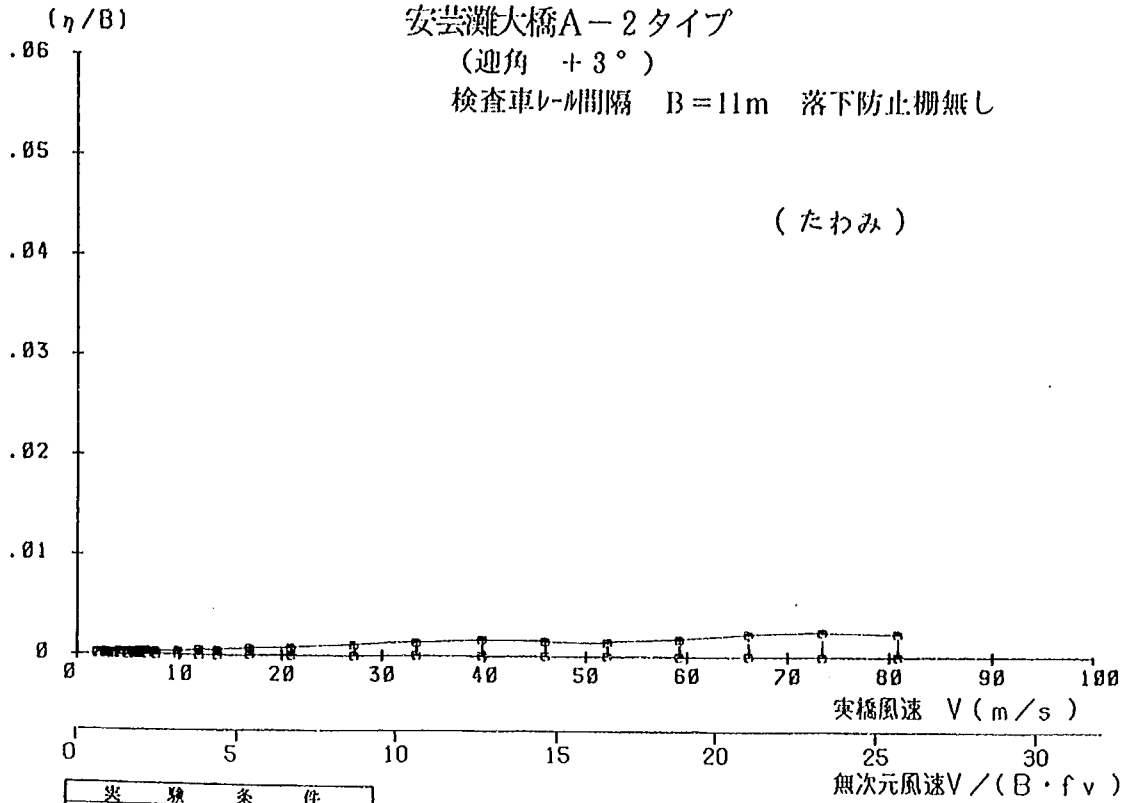
安芸灘大橋A-2タイプ

(迎角 $+3^\circ$)

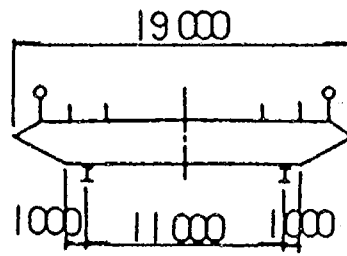
検査車レール間隔 $B=11\text{m}$ 落下防止柵無し

(たわみ)

振幅

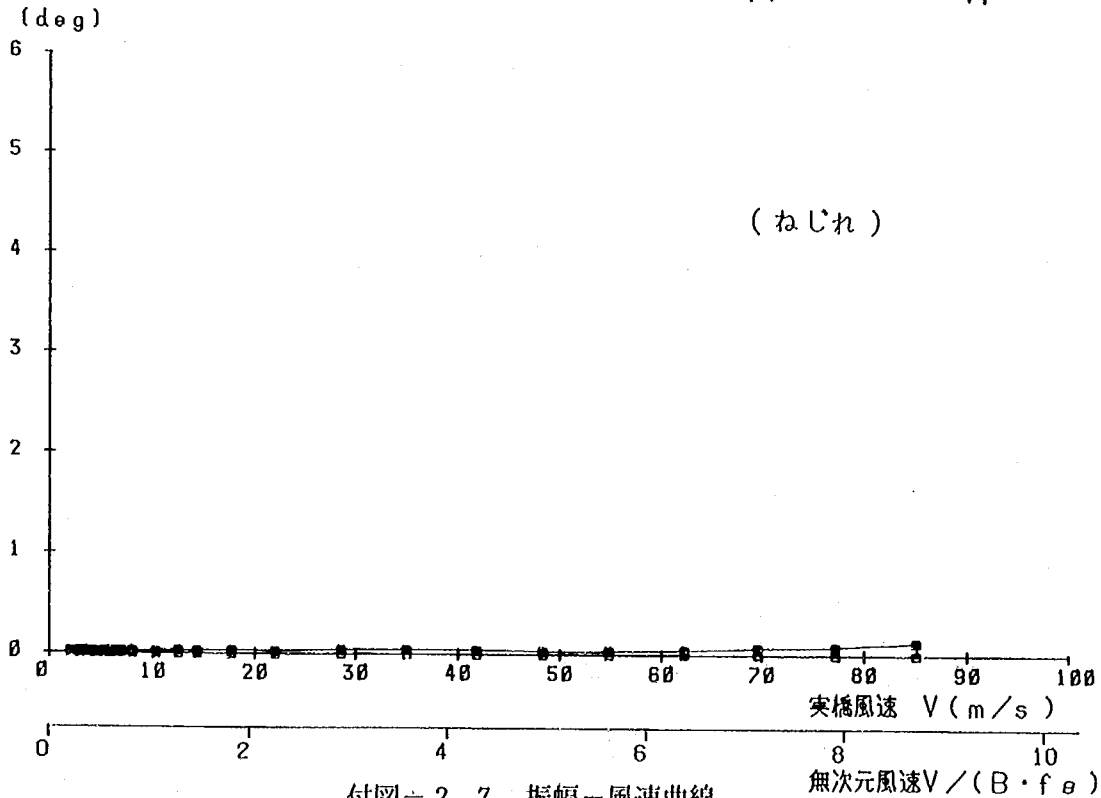


実験条件	
桁タイプ	A-2
迎角	$+3^\circ$
重量(kg/model)	33.397
横慣性モーメント(kg·cm ² /model)	12.733
風速倍率	たわみ $\beta_v = 4.7923$ ねじり $\beta_\theta = 5.0429$
振動数(Hz)	たわみ $f_v = 1.0267$ ねじり $f_\theta = 3.0340$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.955$
構造減衰	たわみ $\delta_\eta = 0.0198$ ねじり $\delta_\theta = 0.0198$



(ねじれ)

振幅



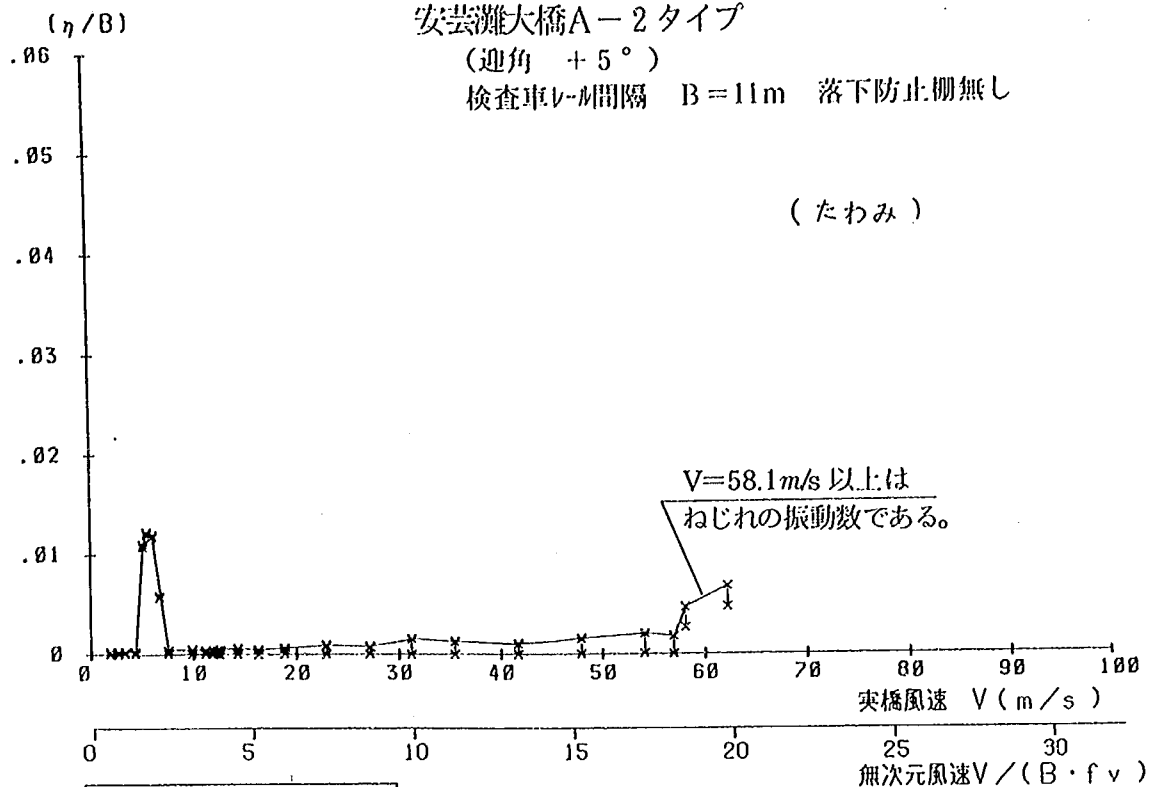
付図-2.7 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-2タイプ

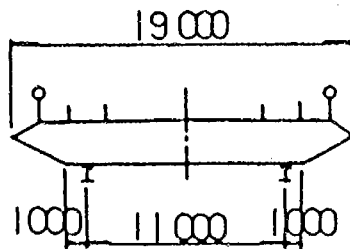
(迎角 $+5^\circ$)

検査車レール間隔 $B=11\text{m}$ 落下防止柵無し

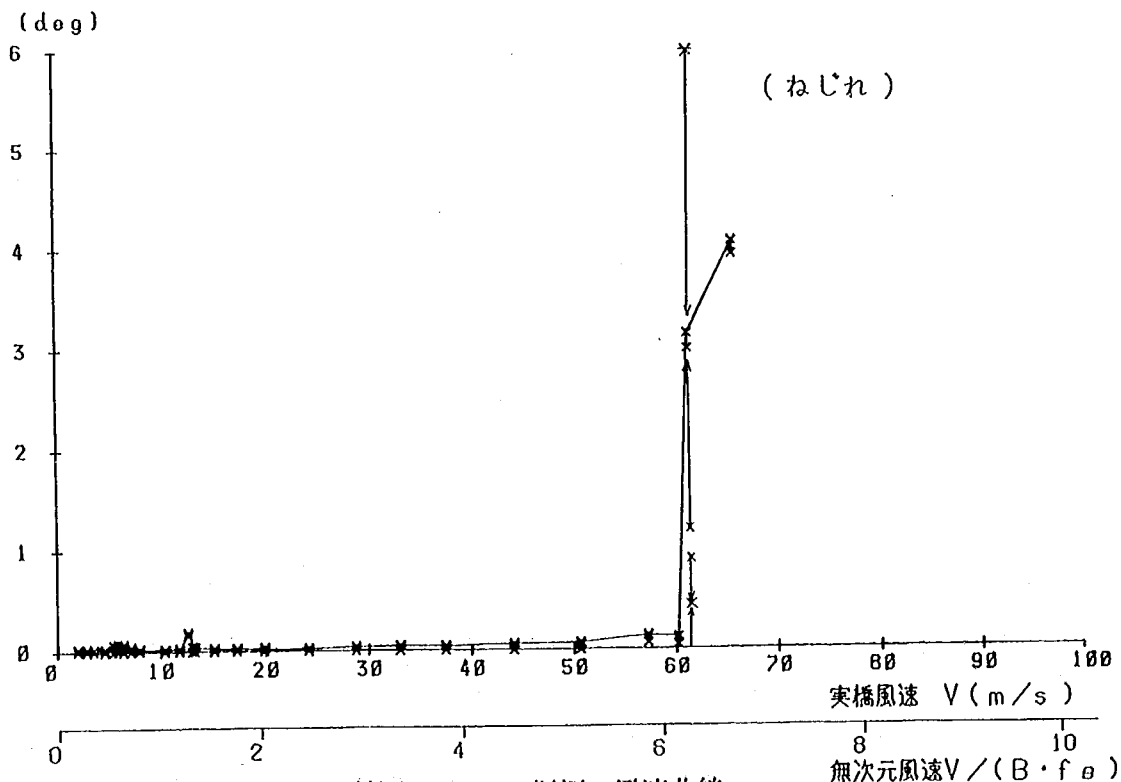
振幅



実 験 条 件	
桁 タイ プ	A-2
迎 角	$+5^\circ$
重 量 (kg/model)	33.397
極慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{model}$)	12.733
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.7671$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0443$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0321$
ねじり	$f_\theta = 3.0331$
振動数比 f_v/f_θ	2.939
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0201$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0197$



振幅



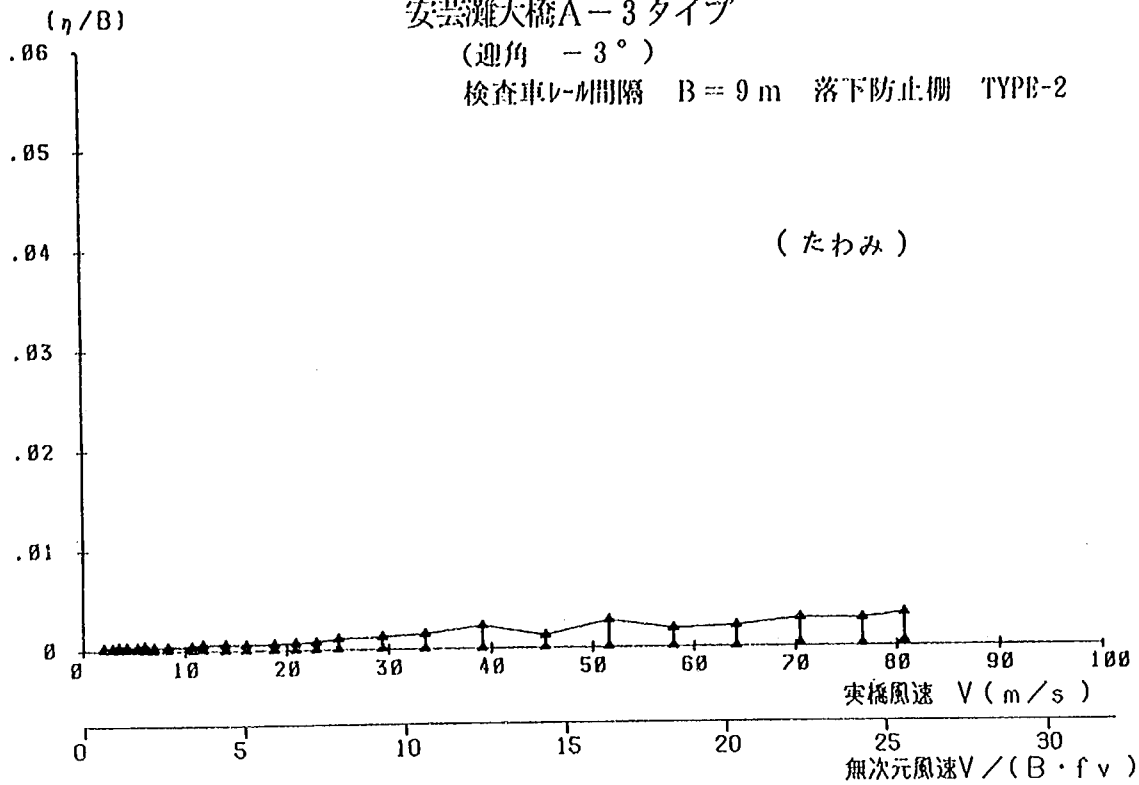
付図-2.8 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-3タイプ

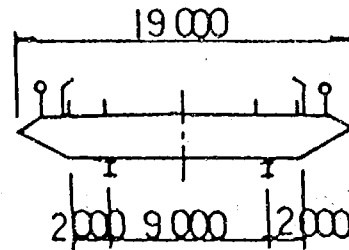
(迎角 -3°)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

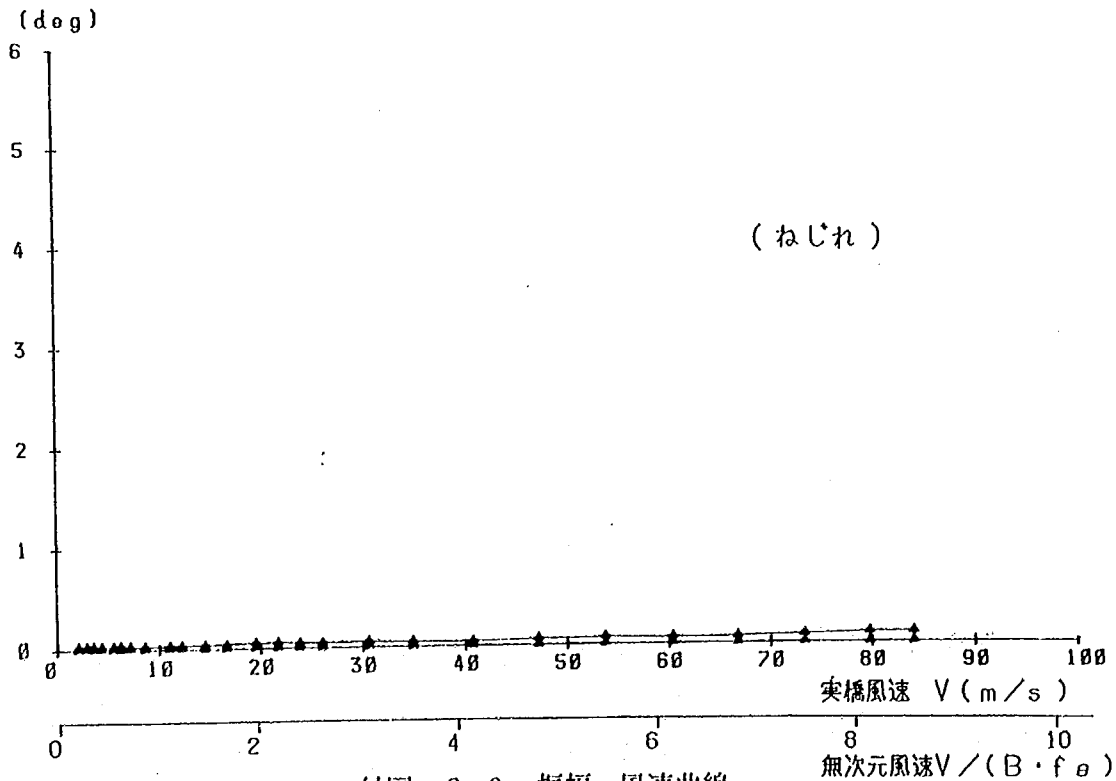
振幅



実験条件	
桁タイプ	A-3
迎角	-3°
重量 (kg/model)	33,700
慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12,878
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.8413$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0471$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0163$
ねじり	$f_\theta = 3.0195$
振動数比 f_v/f_θ	2.971
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0186$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0202$



振幅



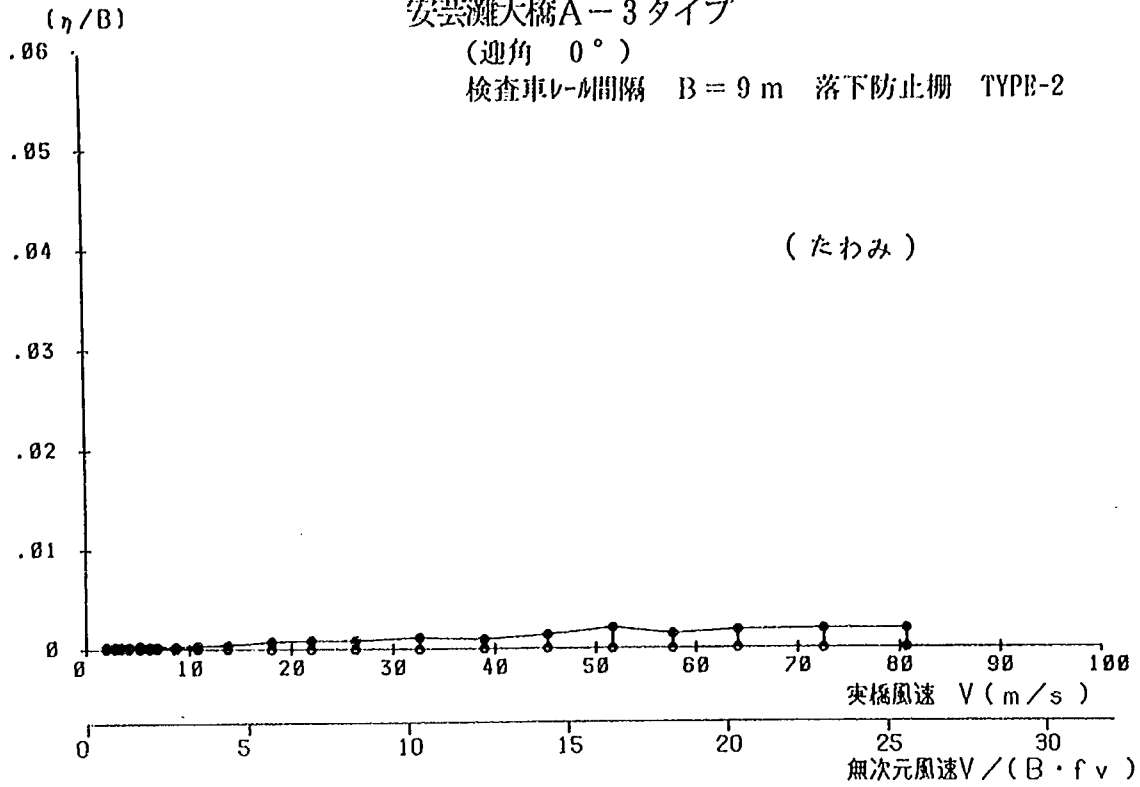
付図-2.9 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-3タイプ

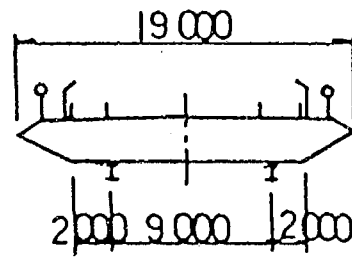
(迎角 0°)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

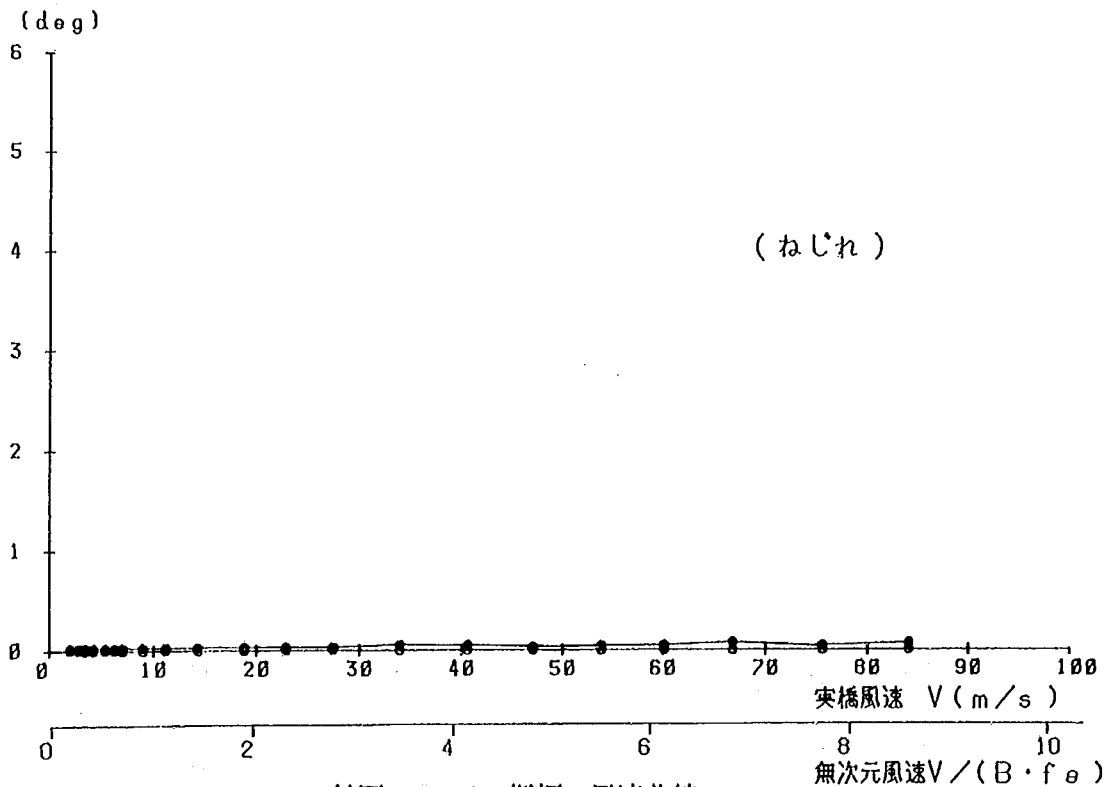
振幅



実 験 条 件	
桁 タイ プ	A-3
迎 角	$\pm 0^\circ$
重 量 (kg/model)	33,700
極慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}\cdot\text{S}^2/\text{model}$)	12,878
風速倍率	
たわみ	$\beta_v = 4.8503$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0573$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0144$
ねじり	$f_\theta = 3.0135$
振動数比 f_v/f_θ	2.971
構造減衰	
たわみ	$\delta_\eta = 0.0203$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0205$



振幅

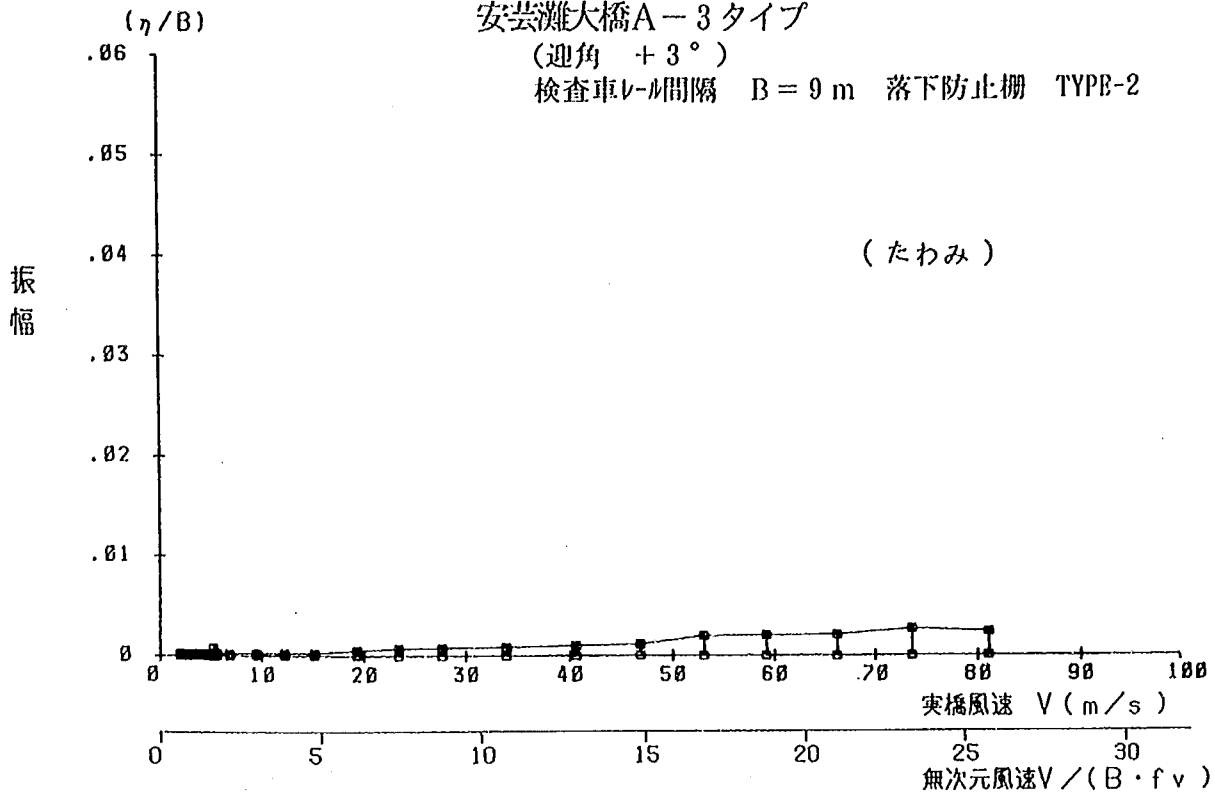


付図-2.10 振幅-風速曲線

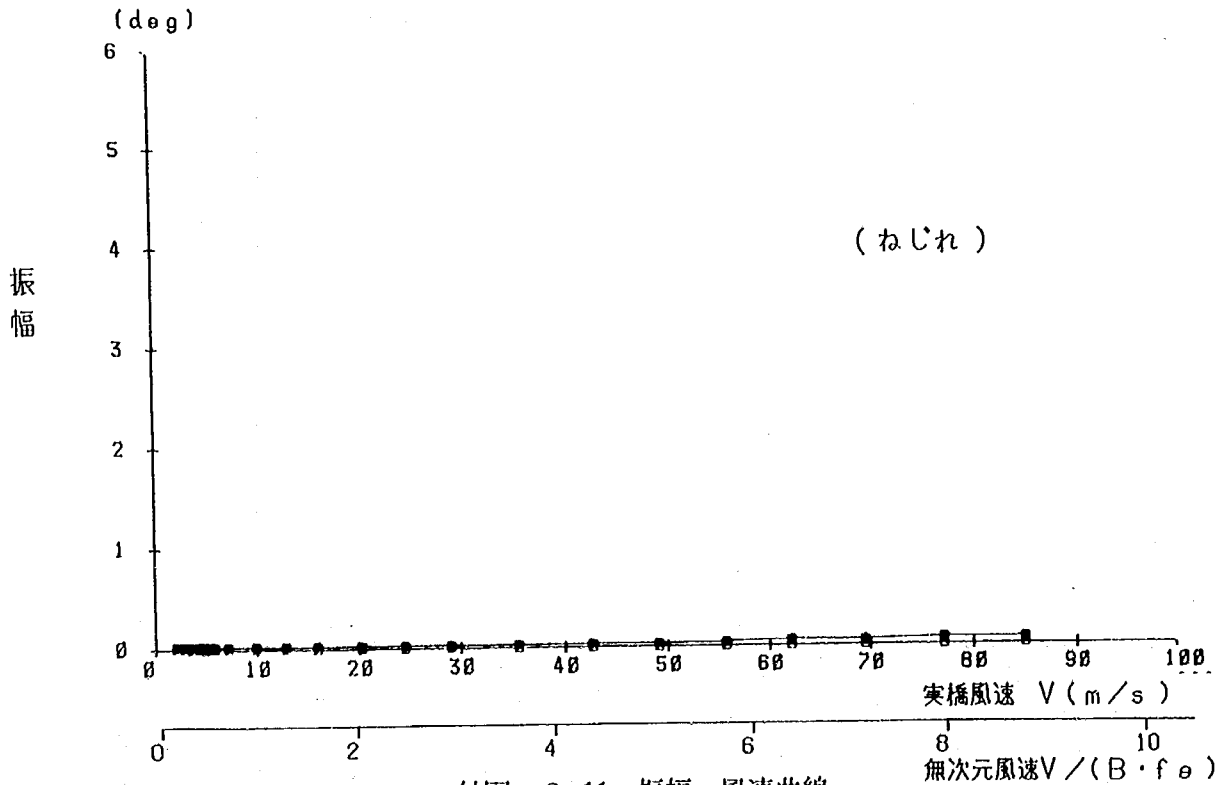
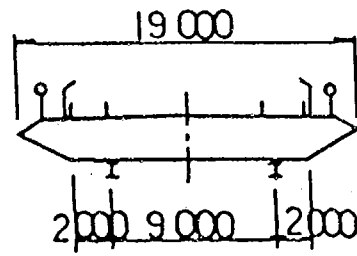
安芸灘大橋A-3タイプ

(迎角 $+3^\circ$)

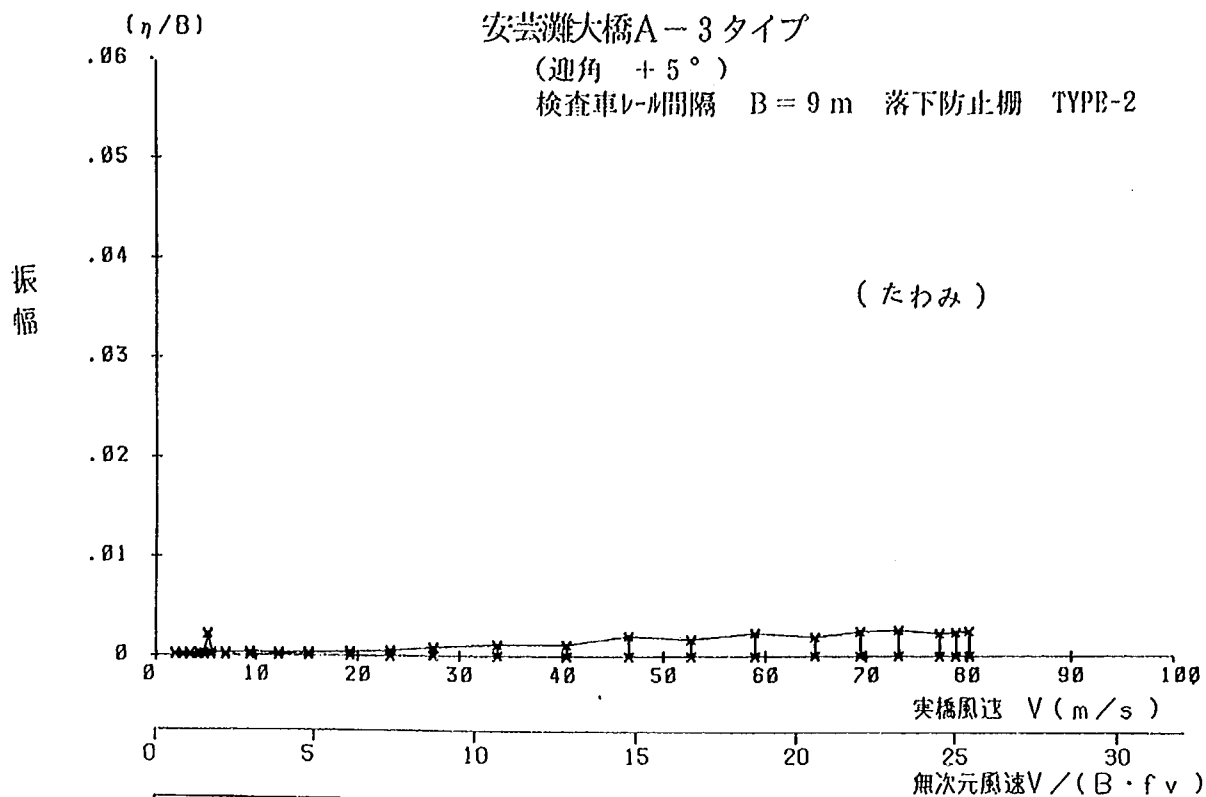
検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2



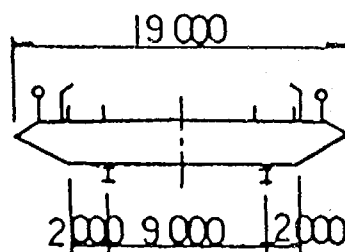
実験条件	
桁タイプ	A-3
迎角	$+3^\circ$
重量 (kg/model)	33,700
慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12.878
風速倍率	
たわみ	$\beta_v = 4.8165$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0554$
振動数 (Hz)	
たわみ	$f_v = 1.0215$
ねじり	$f_\theta = 3.0146$
振動数比	
f_v/f_θ	2.951
構造減衰	
たわみ	$\delta_\eta = 0.0196$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0199$



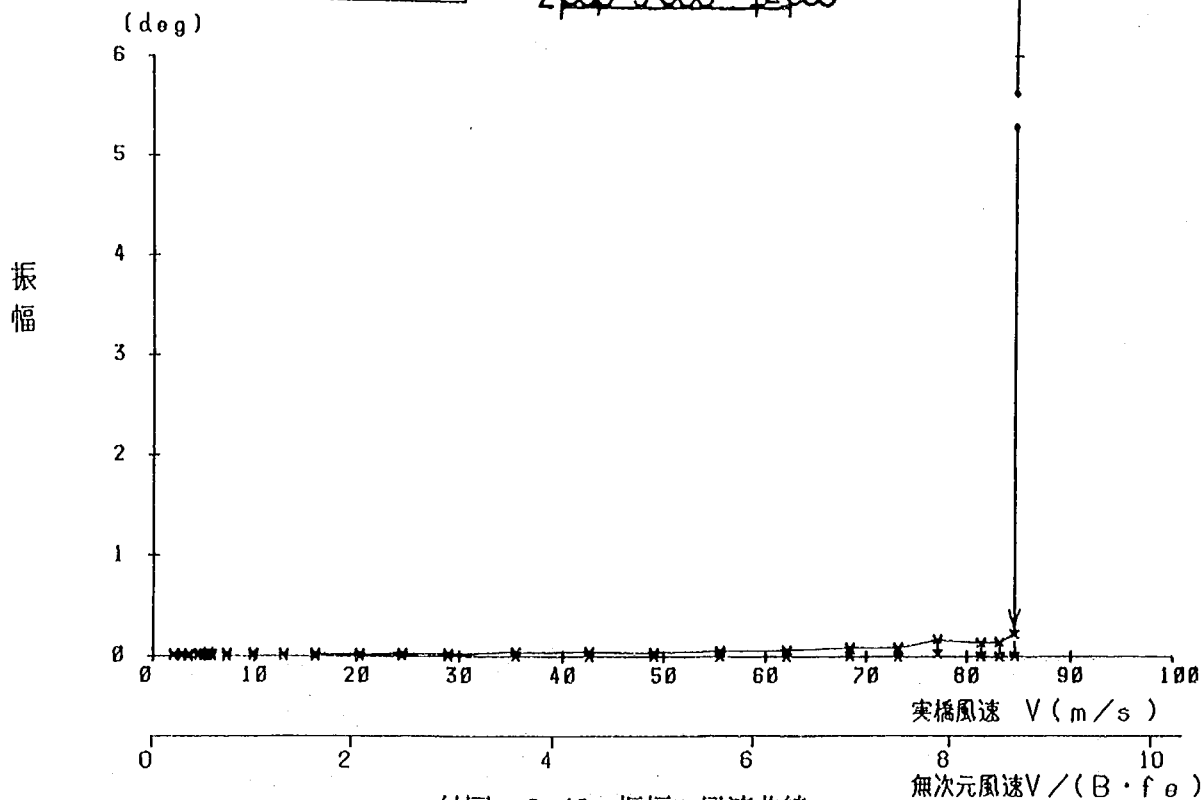
付図-2.11 振幅-風速曲線



実験条件	
桁タイプ	A-3
迎角	$+5^\circ$
重量 (kg/model)	33,700
慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{model}$)	12,878
風速倍率	たわみ $\beta_v = 4.7955$
	ねじり $\beta_\theta = 5.0538$
振動数 (Hz)	たわみ $f_v = 1.0260$
	ねじり $f_\theta = 3.0156$
振動数比 f_v/f_θ	2.939
構造減衰	たわみ $\delta_\eta = 0.0203$
	ねじり $\delta_\theta = 0.0200$



(ねじれ)

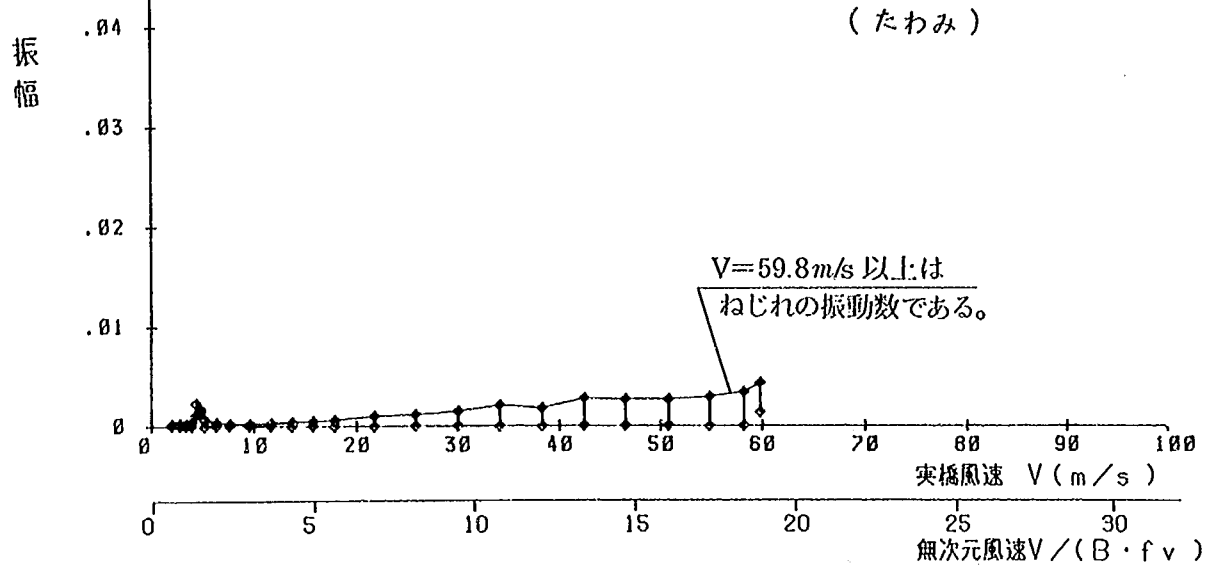


付図-2.12 振幅-風速曲線

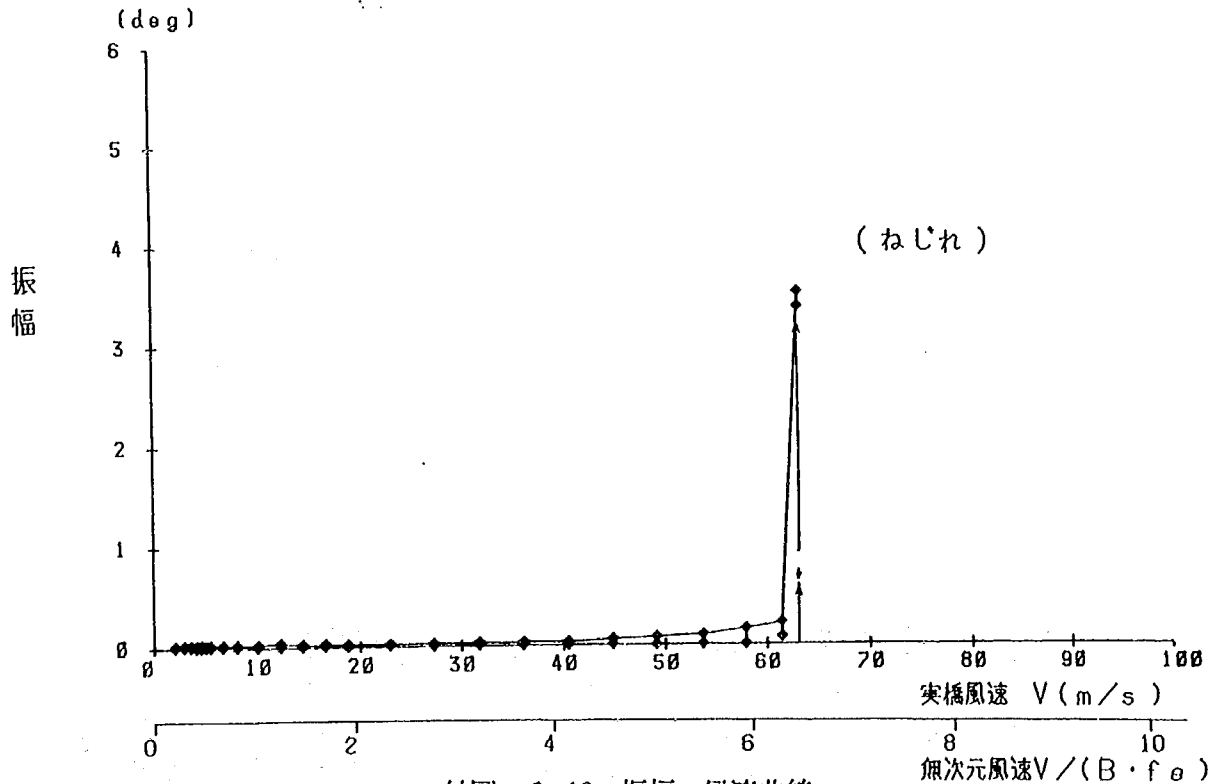
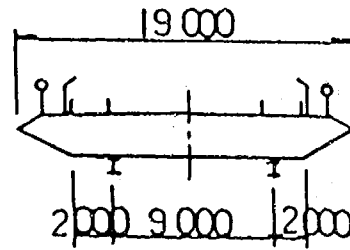
安芸灘大橋A-3タイプ

(迎角 $+7^\circ$)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2



実 験 条 件	
桁 タイプ	A-3
迎 角	$+7^\circ$
重 量 (kg/model)	33.700
慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}^2/\text{model}$)	12.878
風速倍率	$\beta_v = 4.7748$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0483$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0304$
ねじり	$f_\theta = 3.0189$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.930$
構造減衰	$\delta_v = 0.0202$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0197$



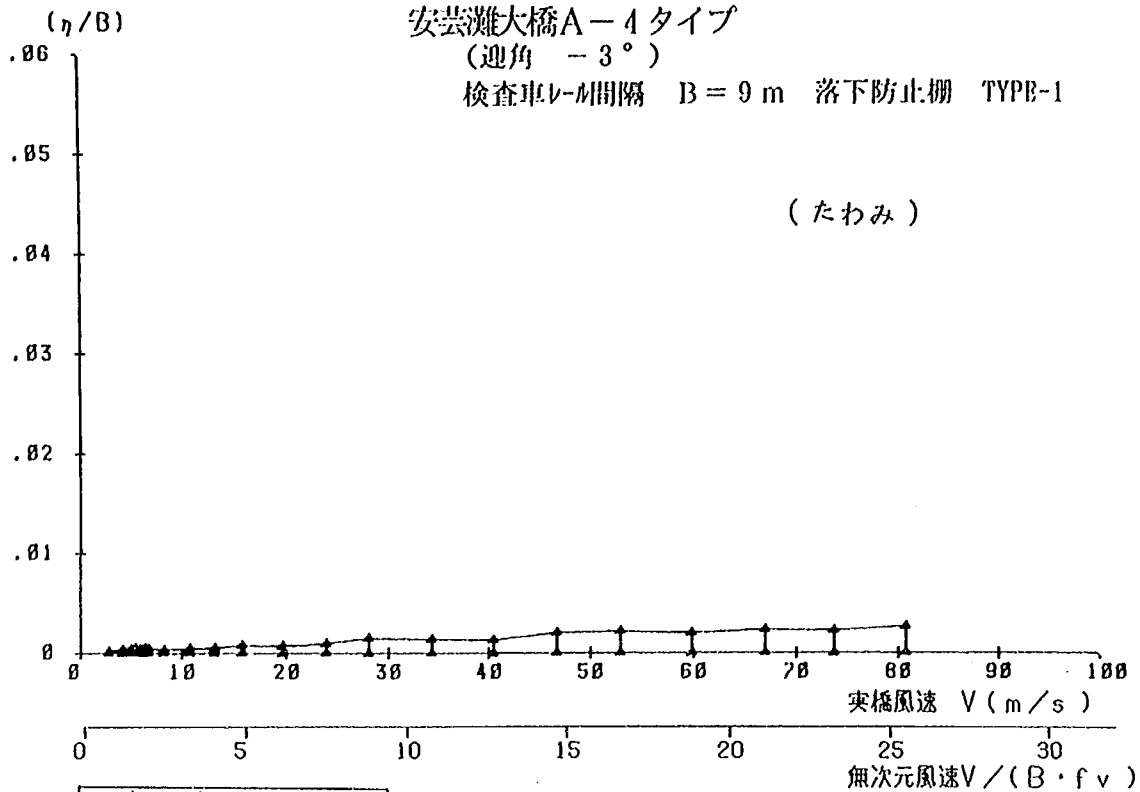
付図-2.13 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-4タイプ

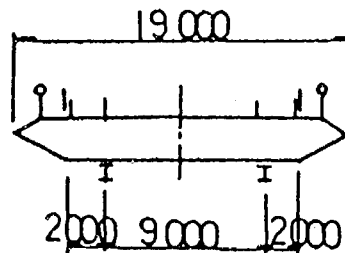
(迎角 -3°)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-1

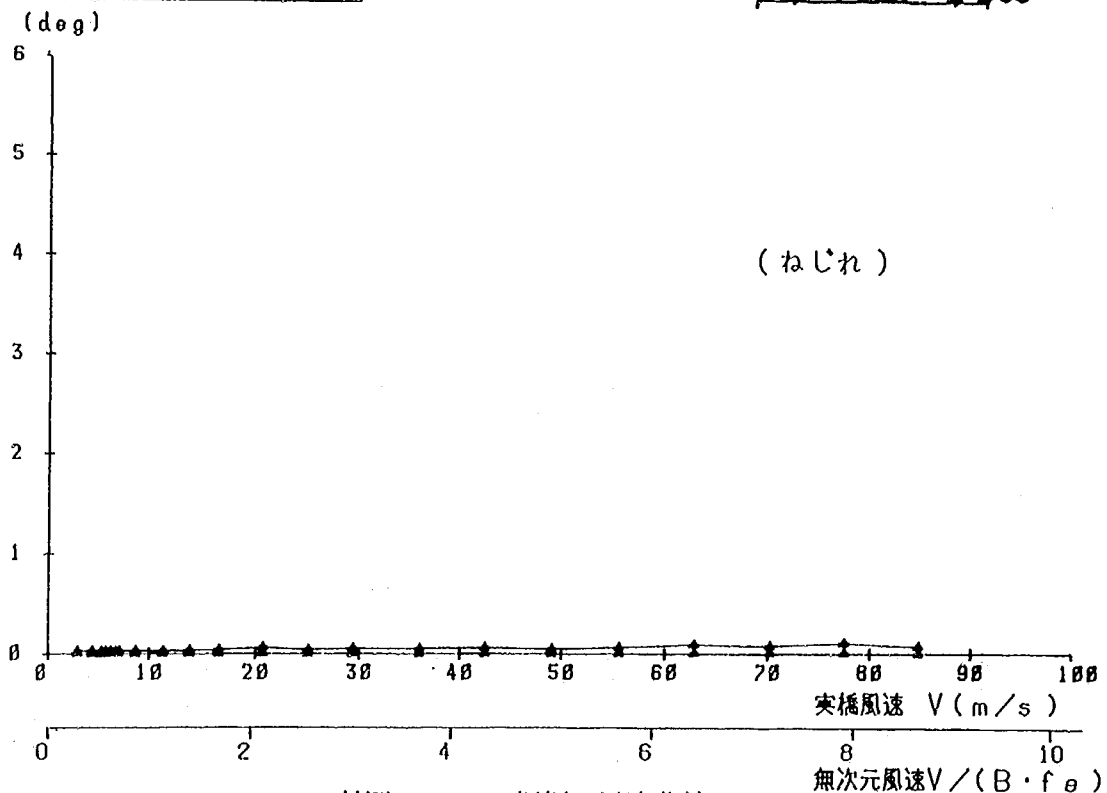
振幅



実験条件	
桁タイプ	A-4
迎角	-3°
重量 (kg/model)	33,502
慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12,733
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.8039$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0501$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0242$
ねじり	$f_\theta = 3.0296$
振動数比 f_v/f_θ	2.958
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0203$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0200$



振幅

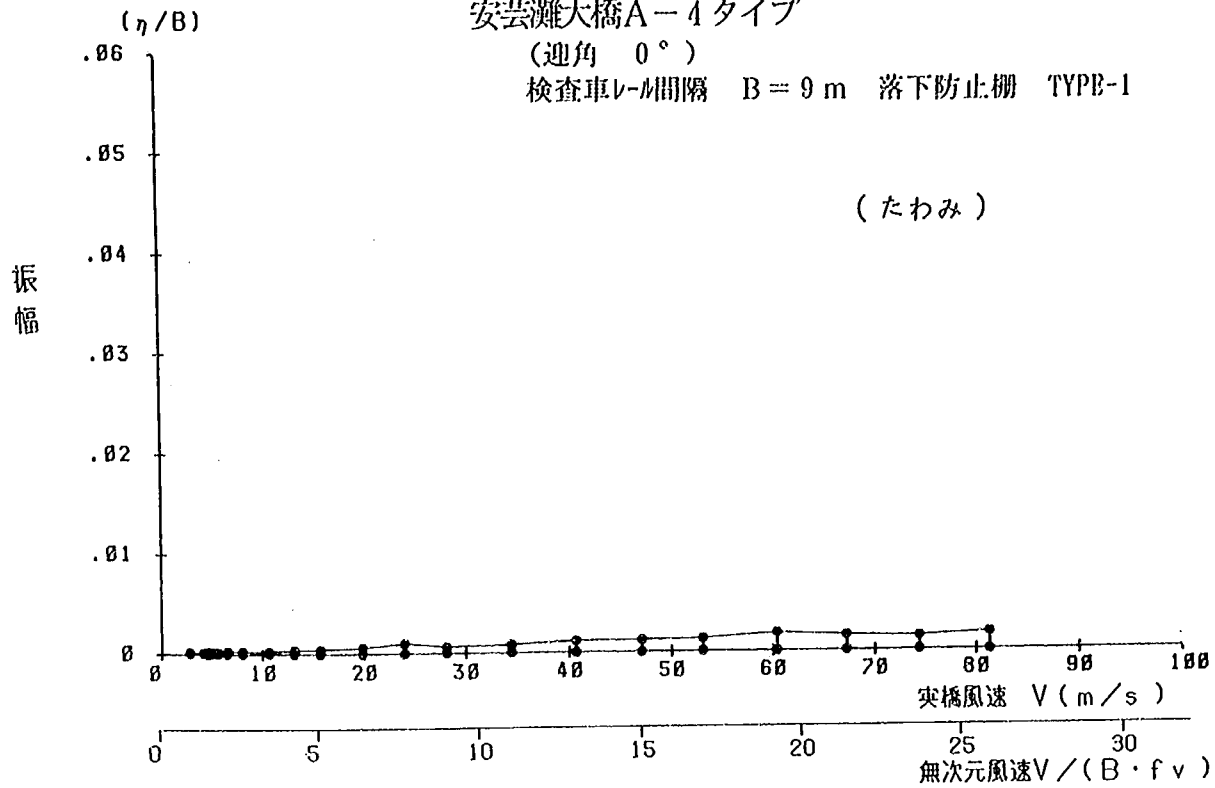


付図-2.14 振幅-風速曲線

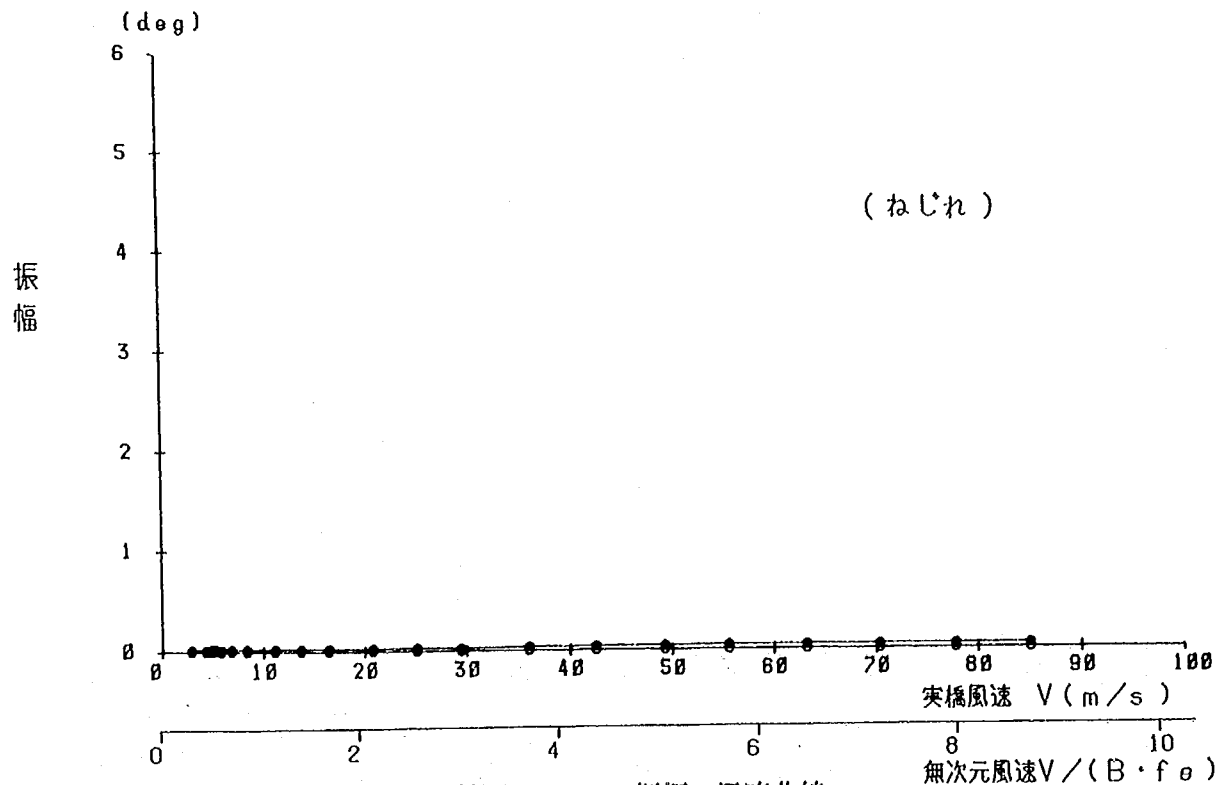
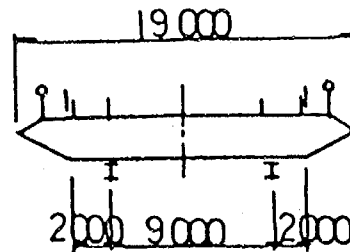
安芸灘大橋A-4タイプ

(迎角 0°)

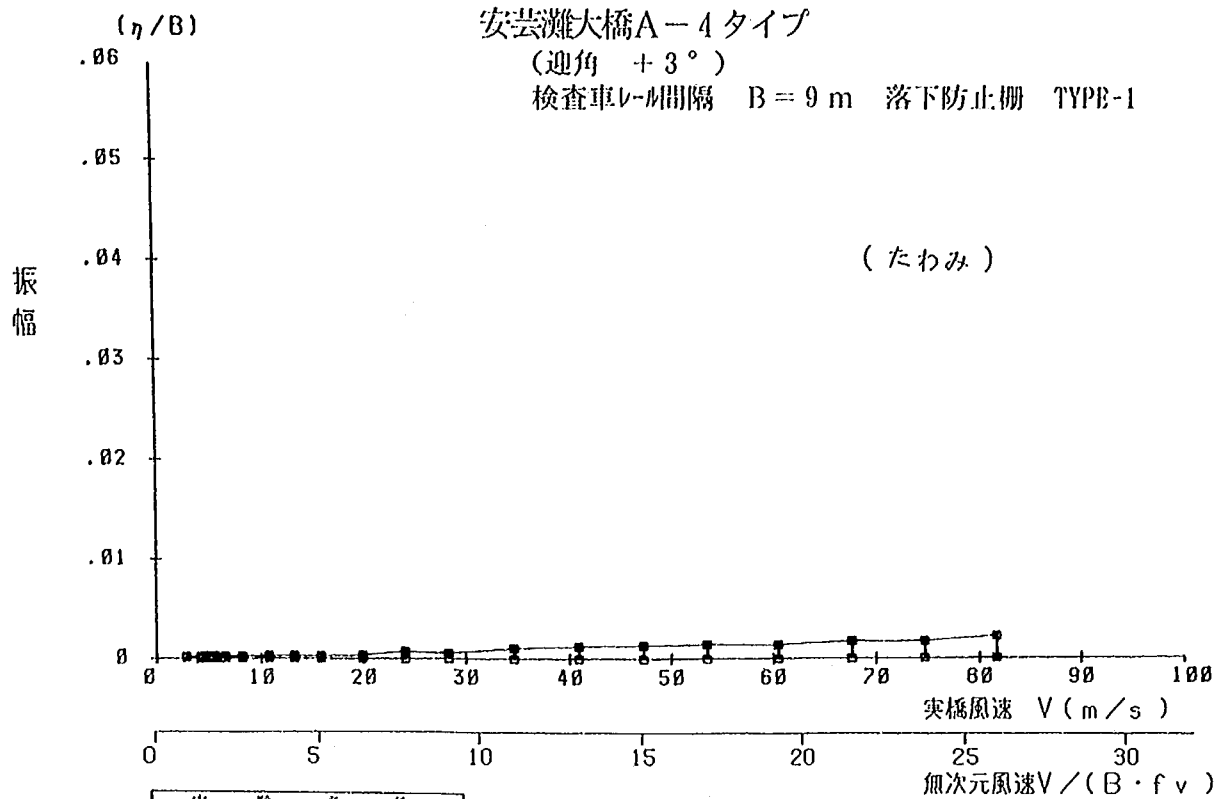
検査車 ν - θ 間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-1



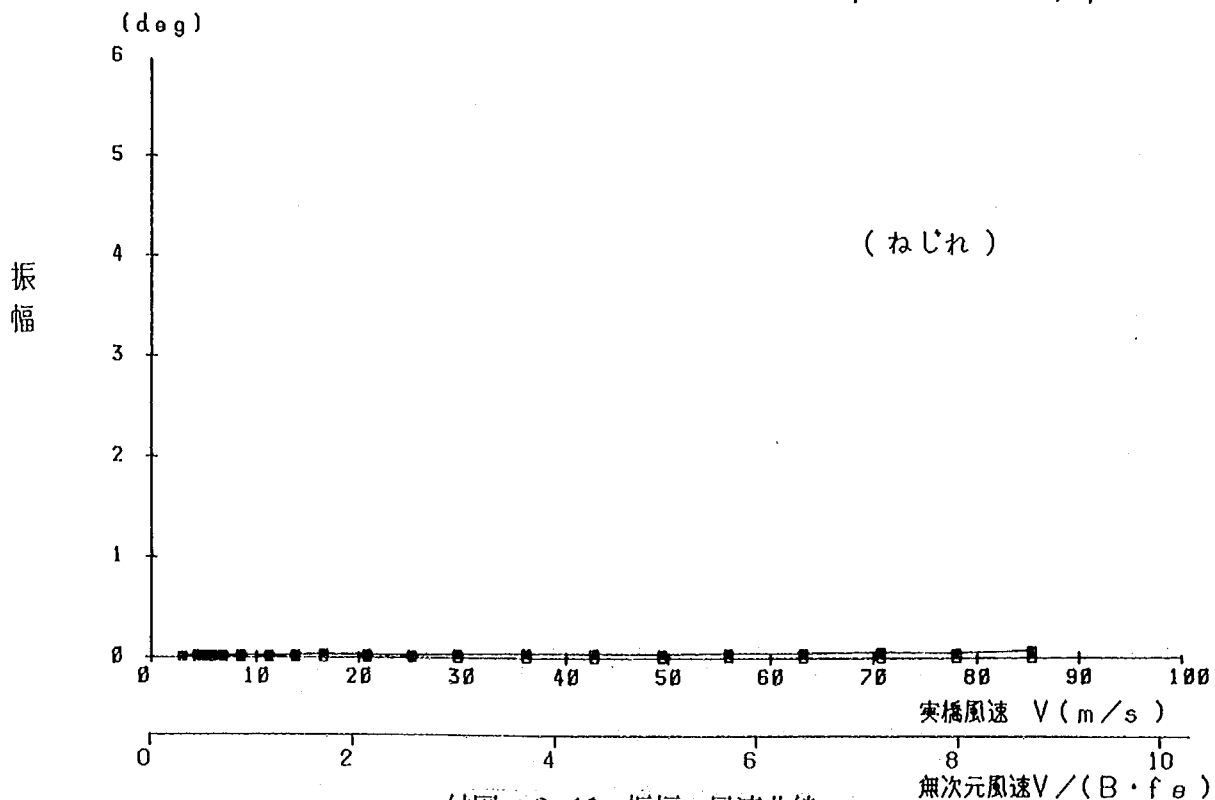
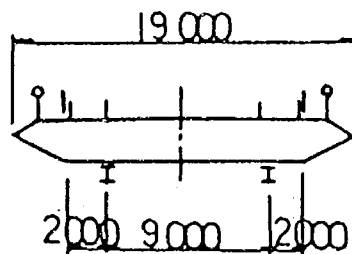
実験条件	
桁タイプ	A-4
迎角	$\pm 0^\circ$
質量 (kg/model)	33,502
慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{S}^2/\text{model}$)	12,783
風速倍率	たわみ $\beta_v = 4.8286$ ねじり $\beta_\theta = 5.0522$
振動数 (Hz)	たわみ $f_v = 1.0189$ ねじり $f_\theta = 3.0284$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.972$
構造減衰	たわみ $\delta_\eta = 0.0199$ ねじり $\delta_\theta = 0.0200$



付図-2.15 振幅-風速曲線



実験条件	
桁タイプ	A-4
迎角	$+3^\circ$
重量 (kg/model)	33,502
極慣性モーメント $(\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{S}^2/\text{model})$	12,783
風速倍率	$\beta v = 4.8344$
ねじり	$\beta \theta = 5.0524$
振動数(Hz)たわみ	$f_v = 1.0177$
ねじり	$f_\theta = 3.0283$
振動数比 f_v/f_θ	2.976
構造減衰	
たわみ	$\delta \eta = 0.0201$
ねじり	$\delta \theta = 0.2042$



付図-2.16 振幅-風速曲線

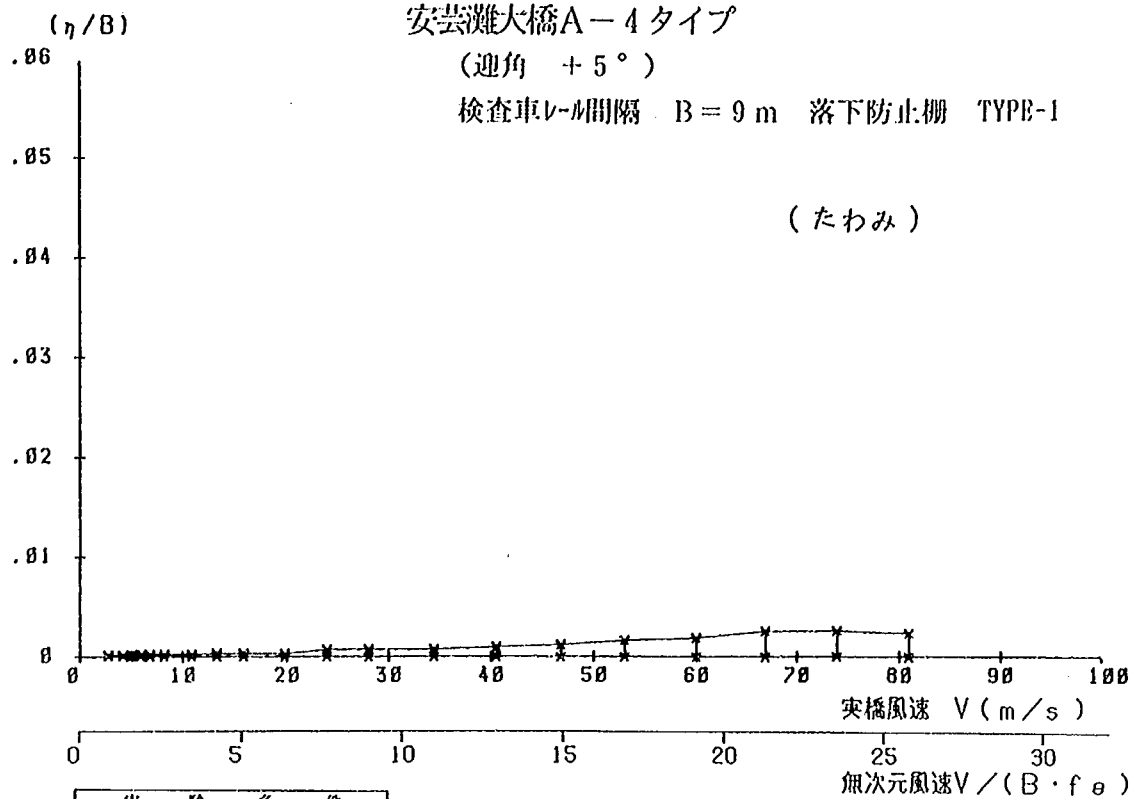
安芸灘大橋A-4タイプ

(迎角 $+5^\circ$)

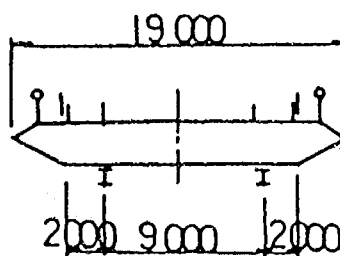
検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-1

(たわみ)

振幅

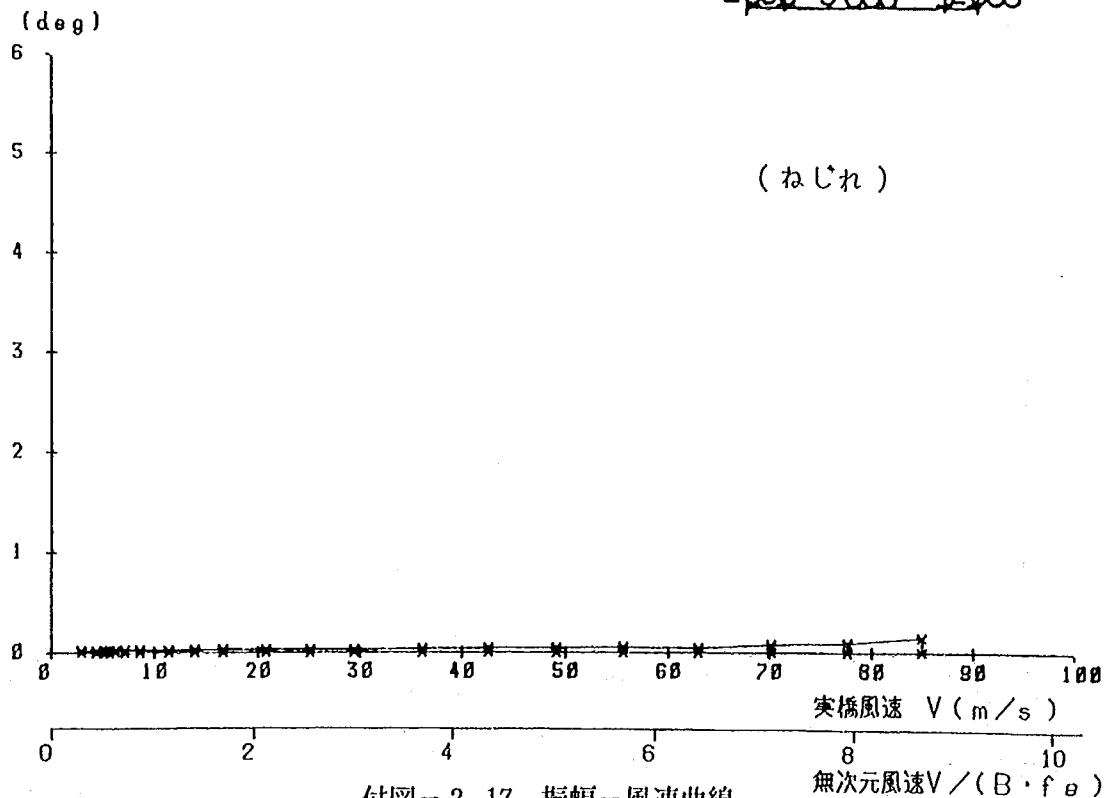


実 験 条 件	
桁 型 式	A-4
迎 角	$+5^\circ$
重 量 (kg/model)	33.502
慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12.783
風速倍率	$\beta_v = 4.8130$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0535$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0222$
ねじり	$f_\theta = 3.0276$
振動数比 f_v/f_θ	2.962
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0199$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0200$



(ねじれ)

Amp



付図-2.17 振幅-風速曲線

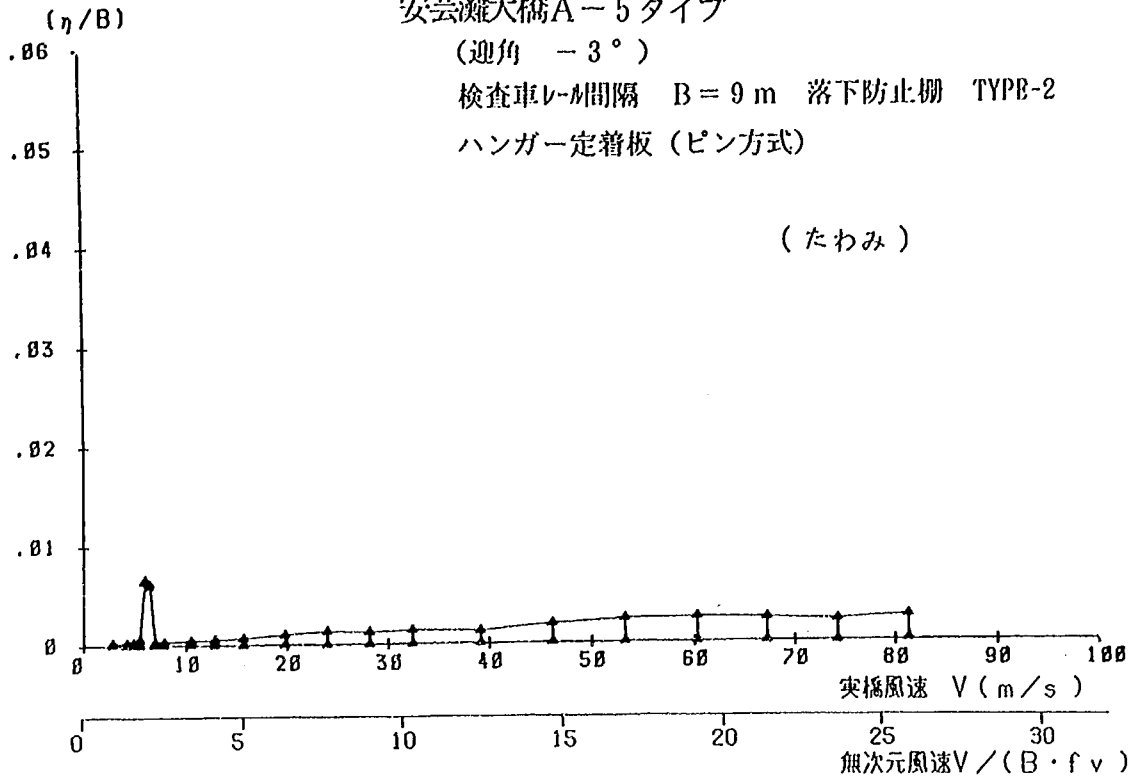
安芸灘大橋A-5タイプ

(迎角 -3°)

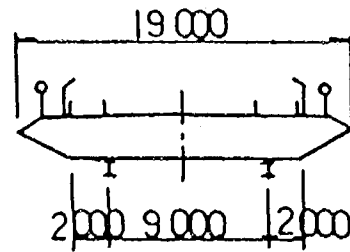
検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

ハンガー定着板 (ピン方式)

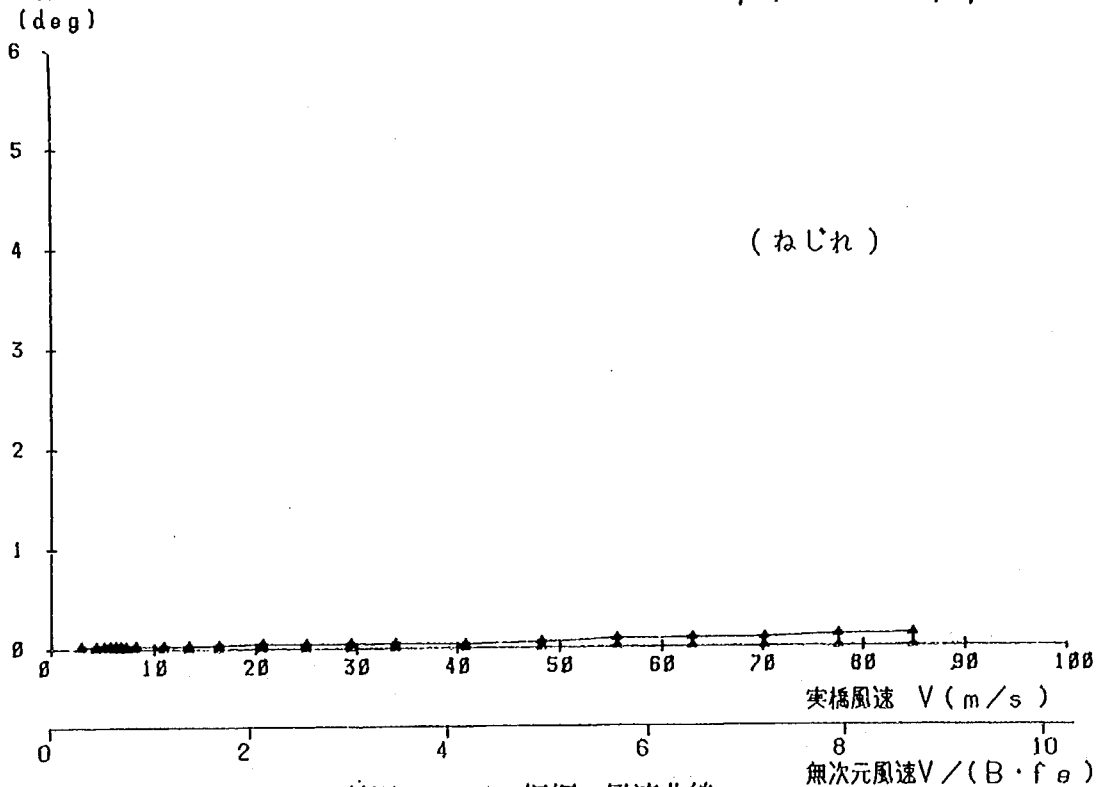
振幅



実験条件	
桁タイプ	A-5
迎角	-3°
重量 (kg/model)	33,711
極慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12,886
風速倍率	
たわみ	$\beta_v = 4.8391$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0549$
振動数 (Hz)	
たわみ	$f_v = 1.0167$
ねじり	$f_\theta = 3.0149$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.965$
構造減衰	
たわみ	$\delta_v = 0.0203$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0196$



振幅



付図-2.18 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-5タイプ

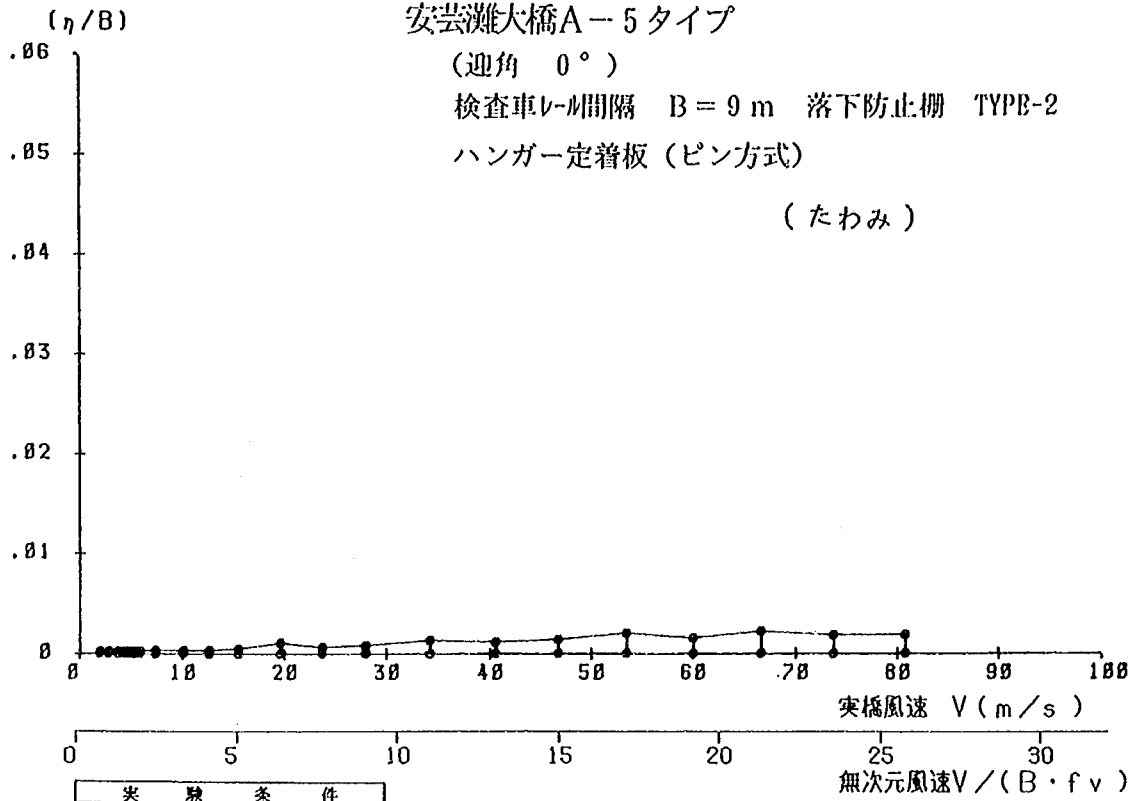
(迎角 0°)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

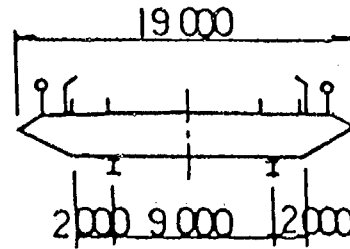
ハンガー定着板 (ピン方式)

(たわみ)

振幅

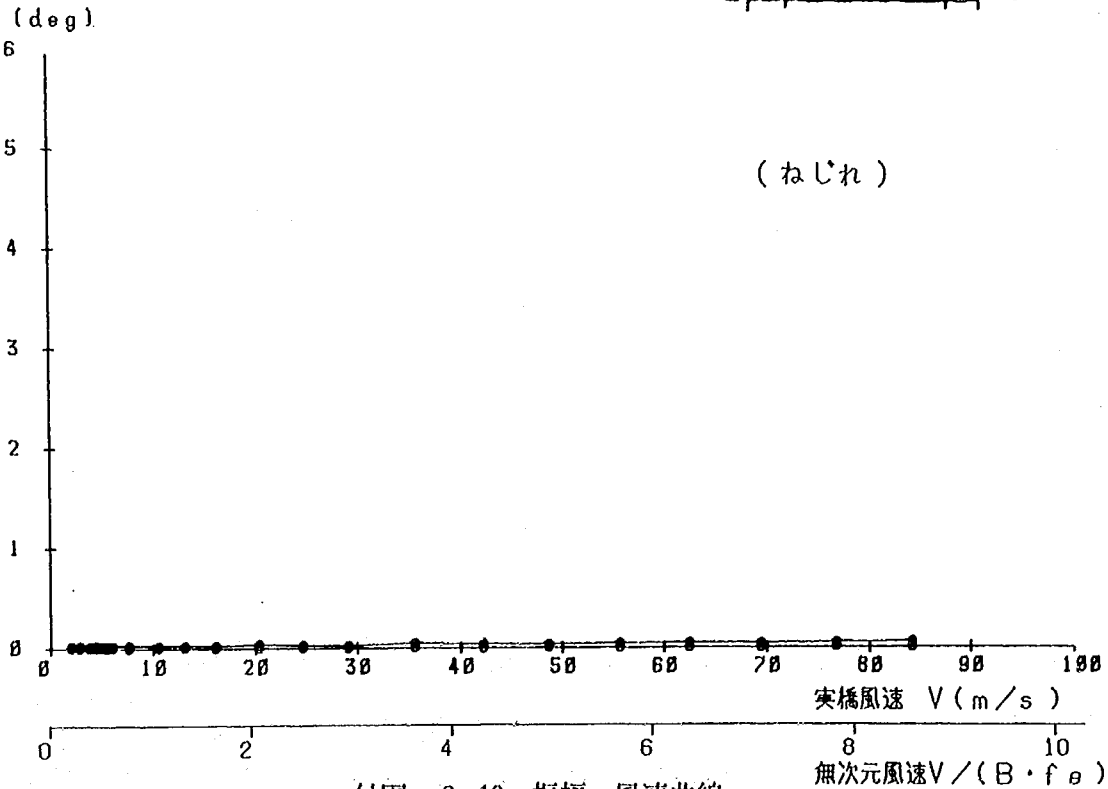


実験条件	
桁タイプ	A-5
迎角	$\pm 0^\circ$
重量 (kg/model)	33,711
慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{model}$)	12,886
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.8526$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0557$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0139$
ねじり	$f_\theta = 3.0144$
振動数比 f_v/f_θ	2.973
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0196$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0199$

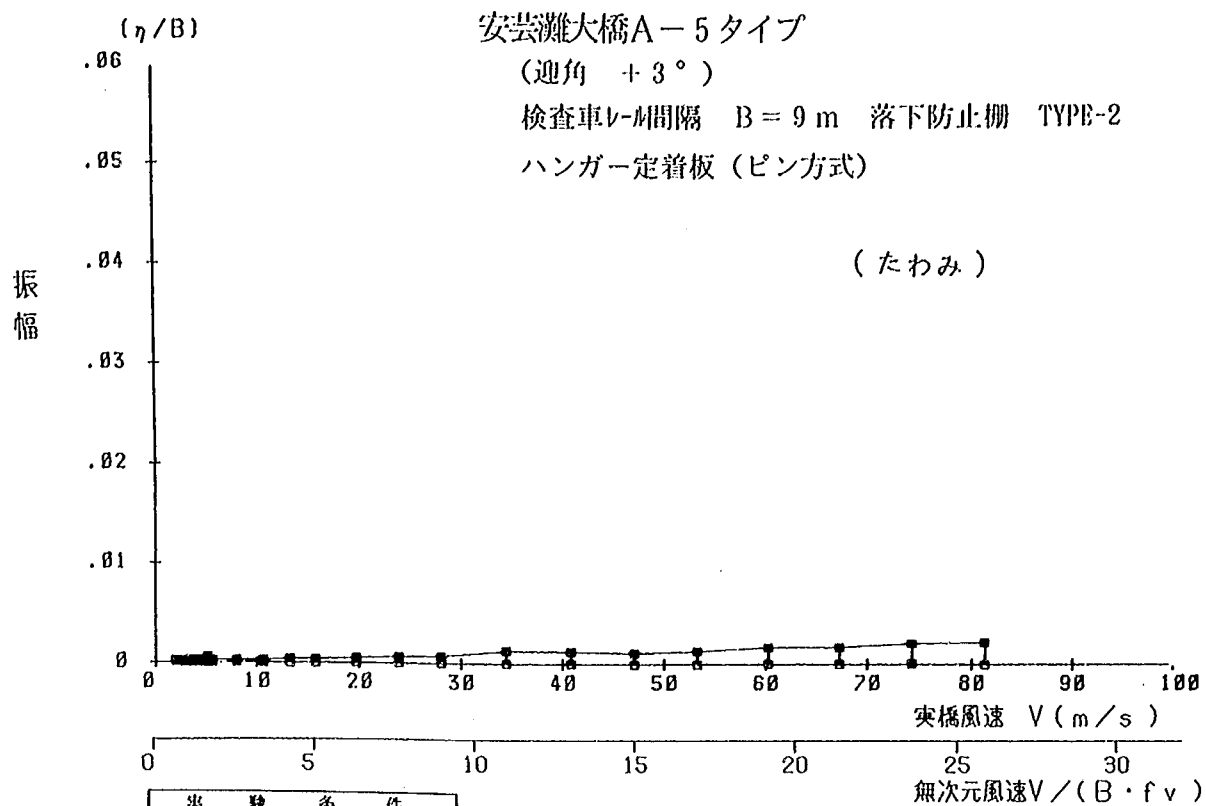


(ねじれ)

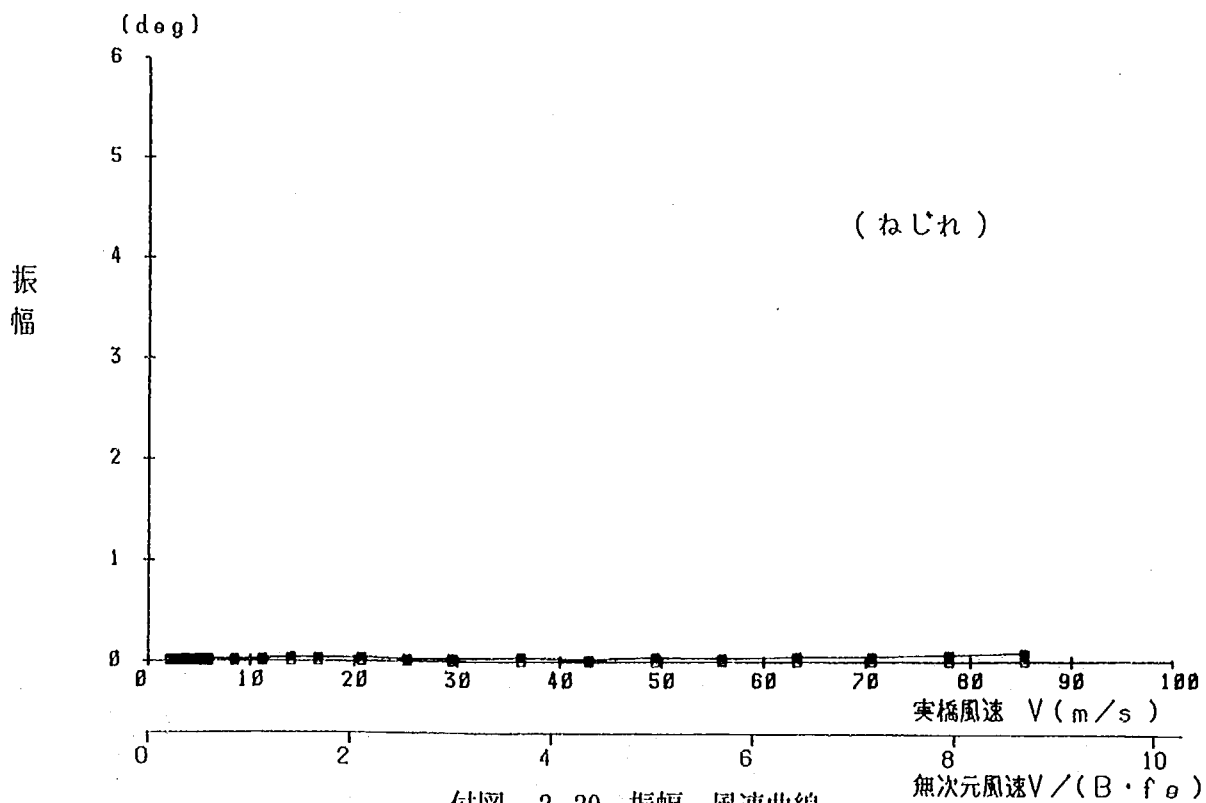
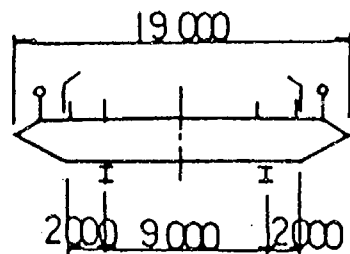
振幅



付図-2.19 振幅-風速曲線



実験条件	
桁タイプ	A-5
迎角	$+3^\circ$
重量 (kg/model)	33.711
極慣性モーメント (kg $\cdot$ cm $\cdot$ S ^{2} /model)	12.886
風速倍率 たわみ	$\beta_v = 4.8174$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0569$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0213$
ねじり	$f_\theta = 3.0137$
振動数比 f_v/f_θ	2.951
構造減衰 たわみ	$\delta_\eta = 0.0197$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0202$



付図-2.20 振幅-風速曲線

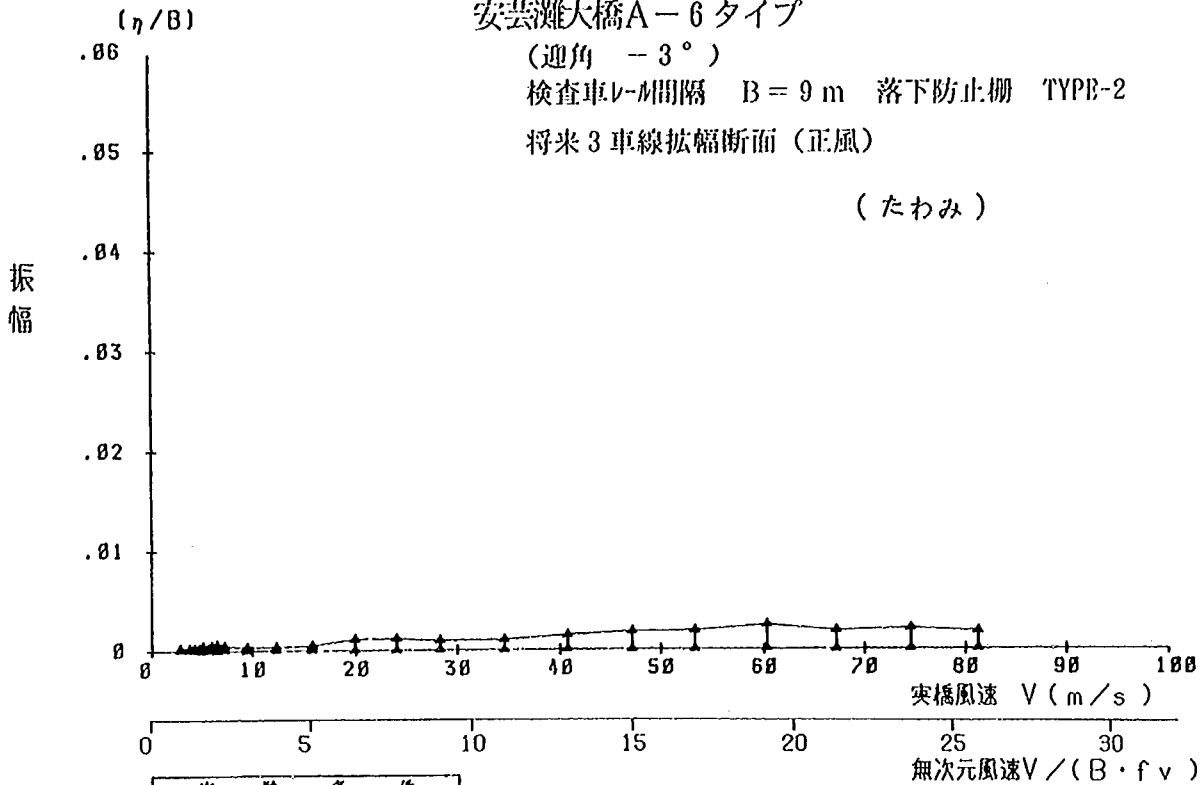
安芸灘大橋A-6タイプ

(迎角 -3°)

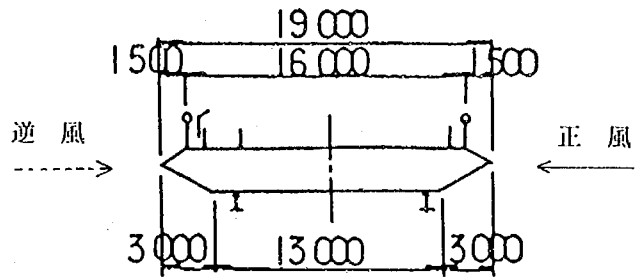
検査車 η - θ 間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPB-2

将来3車線拡幅断面(正風)

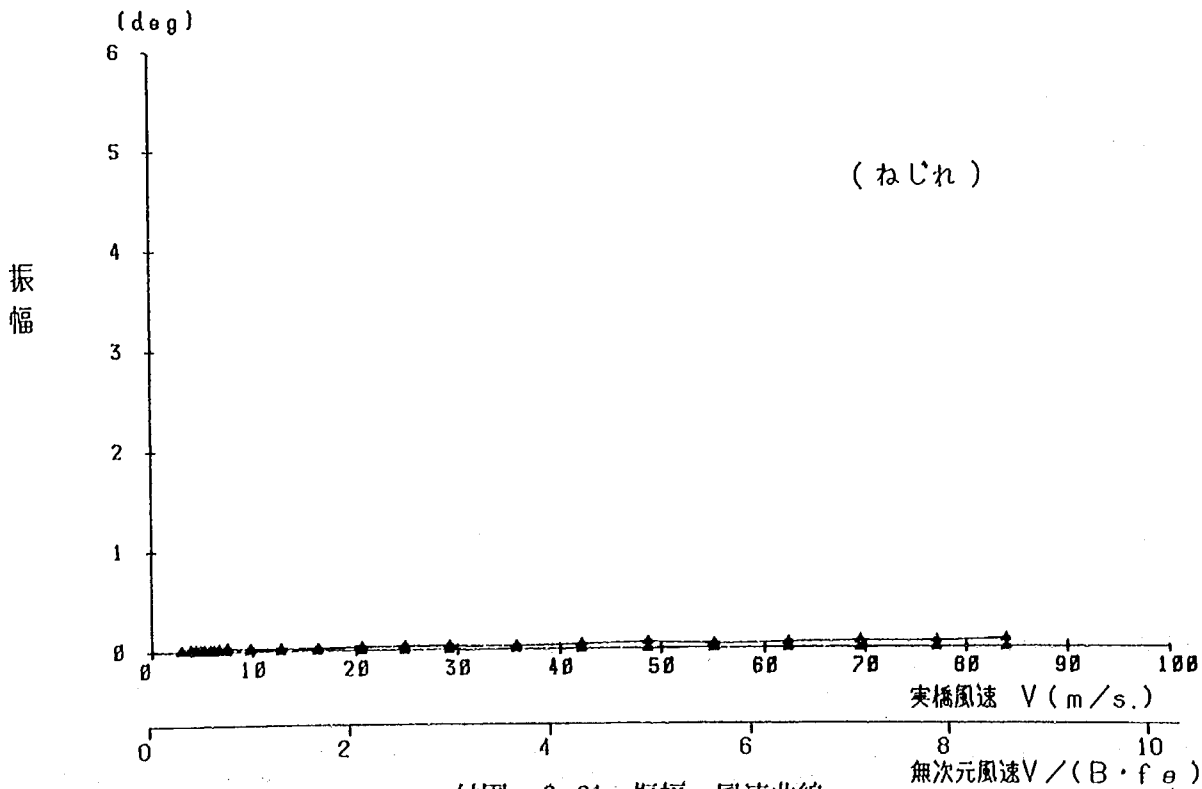
(たわみ)



実 験 条 件	
桁タイプ	A-6
迎角	-3°
車重(kg/model)	33,895
極慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}^2 / \text{model}$)	12,870
風速倍率	$\beta_v = 4.8217$
ねじり	$\beta_\theta = 4.9841$
振動数(Hz)たわみ	$f_v = 1.0142$
ねじり	$f_\theta = 3.0156$
振動数比	$f_v / f_\theta = 2.973$
構造減衰	$\delta_\eta = 0.0205$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0202$



(ねじれ)



付図-2.21 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-6タイプ

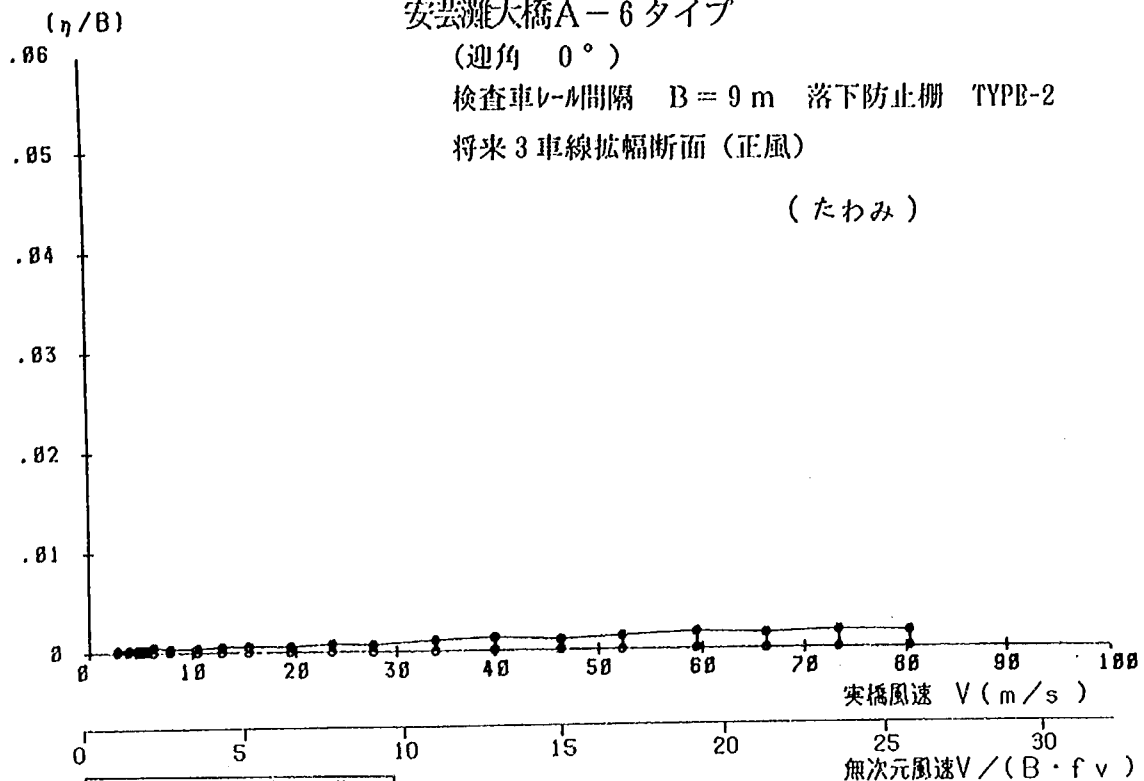
(迎角 0°)

検査車 η - η 間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

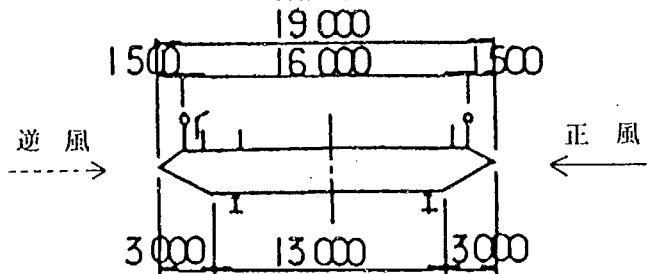
将来3車線拡幅断面(正風)

(たわみ)

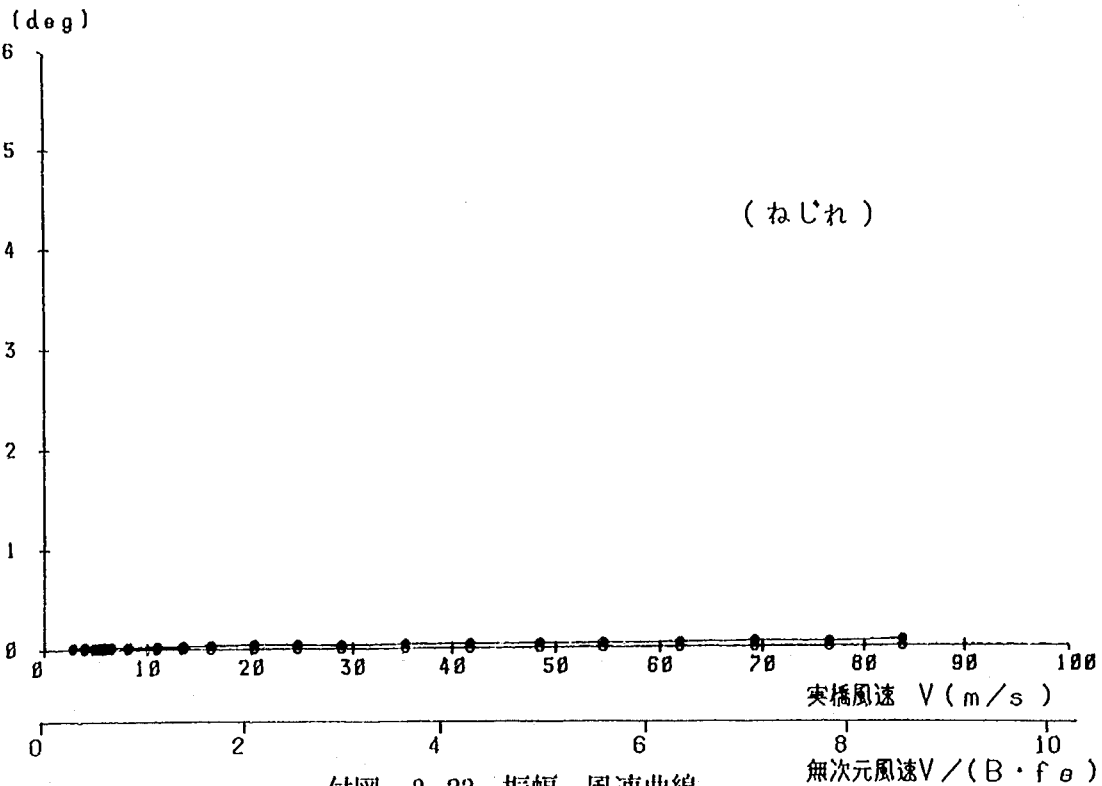
振幅



実験条件	
桁タイプ	A-6
迎角	$\pm 0^\circ$
質量(kg/model)	33.895
極慣性モーメント(kg·cm ² /model)	12.870
風速倍率	たわみ $\beta_v = 4.7720$ ねじり $\beta_\theta = 4.9857$
振動数(Hz)	たわみ $f_v = 1.0247$ ねじり $f_\theta = 3.0146$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.942$
構造減衰	たわみ $\delta_\eta = 0.0197$ ねじり $\delta_\theta = 0.0203$



振幅



付図-2.22 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-6タイプ

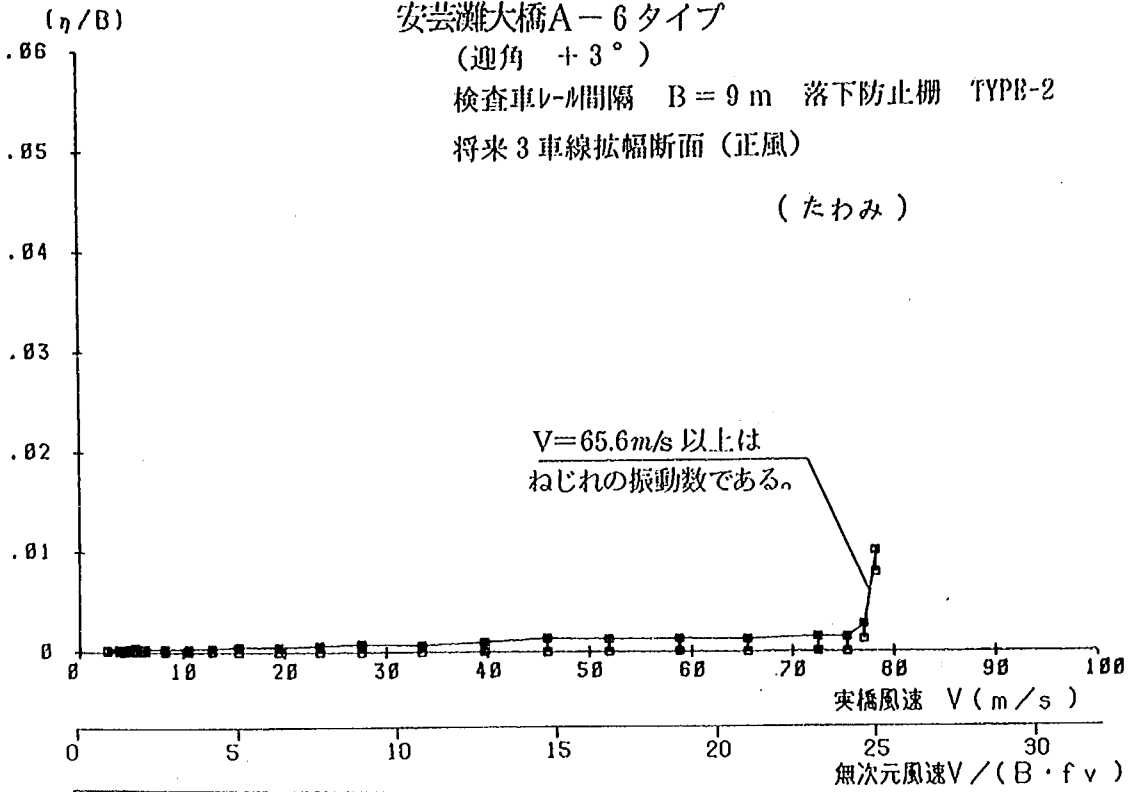
(迎角 $+3^\circ$)

検査車1-1間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPB-2

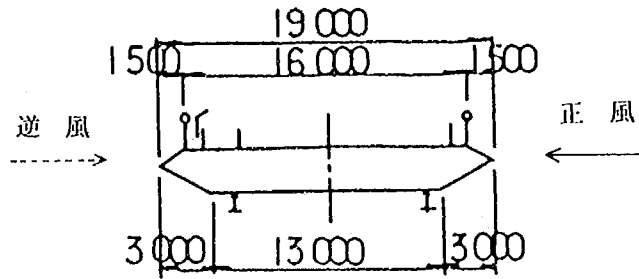
将来3車線拡幅断面(正風)

(たわみ)

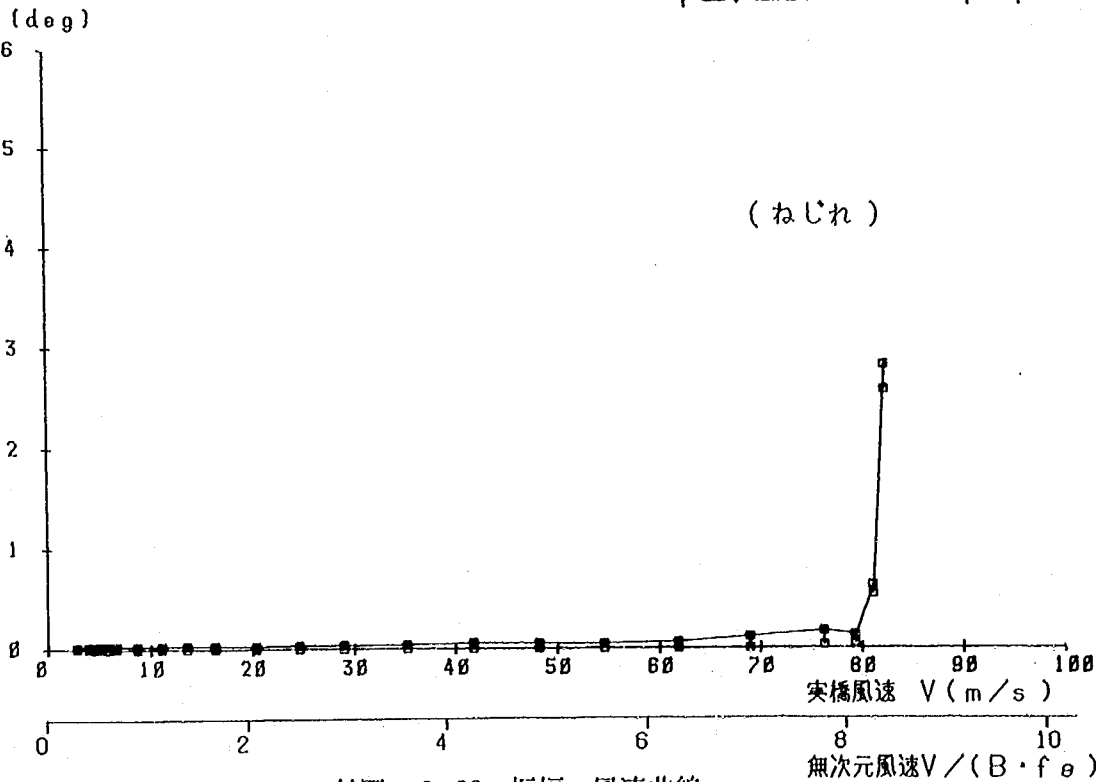
振幅



実験条件	
桁タイプ	A-6
迎角	$+3^\circ$
重量 (kg/model)	33,895
慣性モーメント (kg·cm·s ² /model)	12,870
風速倍率	$\beta v = 4.7385$
ねじり	$\beta \theta = 4.9857$
振動数 (Hz) たわみ	$f v = 1.0320$
ねじり	$f \theta = 3.0146$
振動数比	$f v / f \theta = 2.921$
構造減衰	$\delta \eta = 0.0195$
ねじり	$\delta \theta = 0.0204$



振幅



付図-2.23 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-6タイプ

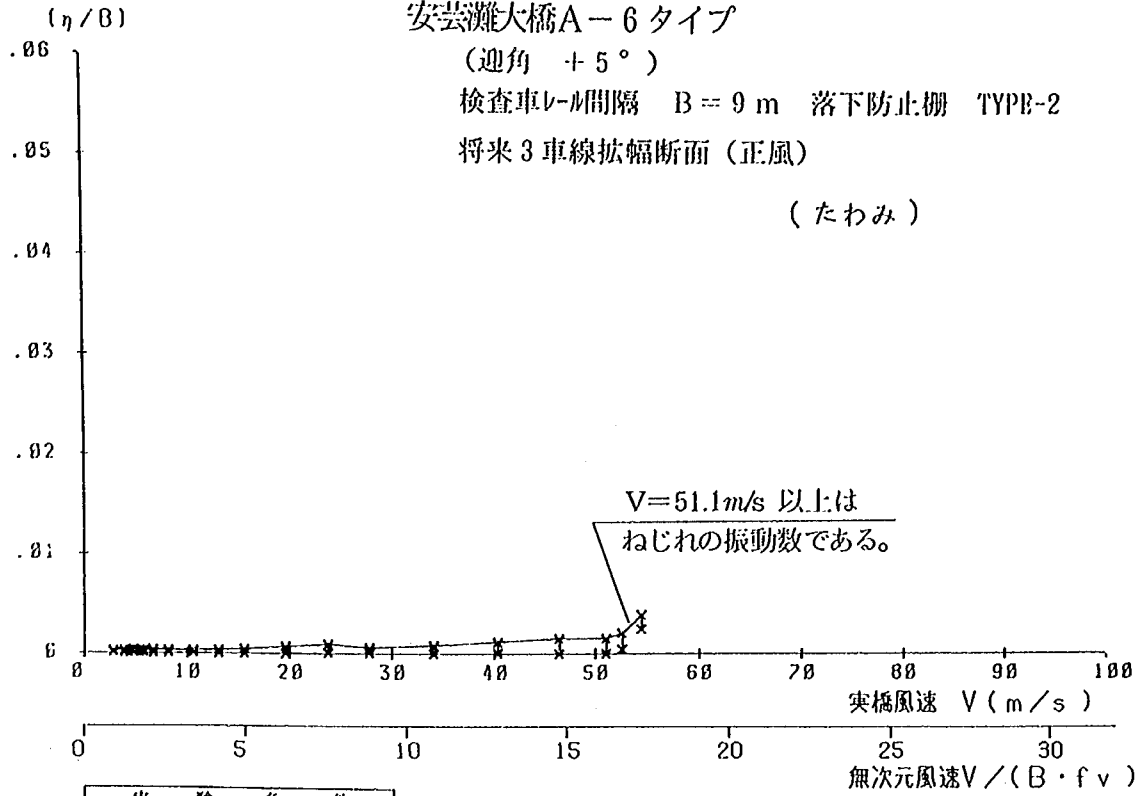
(迎角 $+5^\circ$)

検査車レベル間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

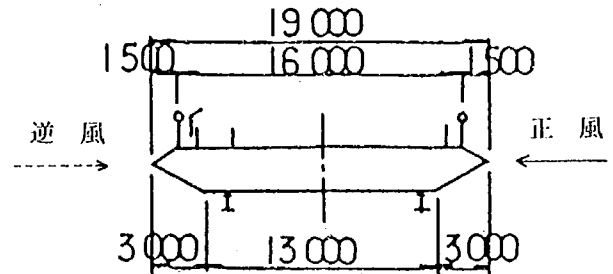
将来3車線拡幅断面 (正風)

(たわみ)

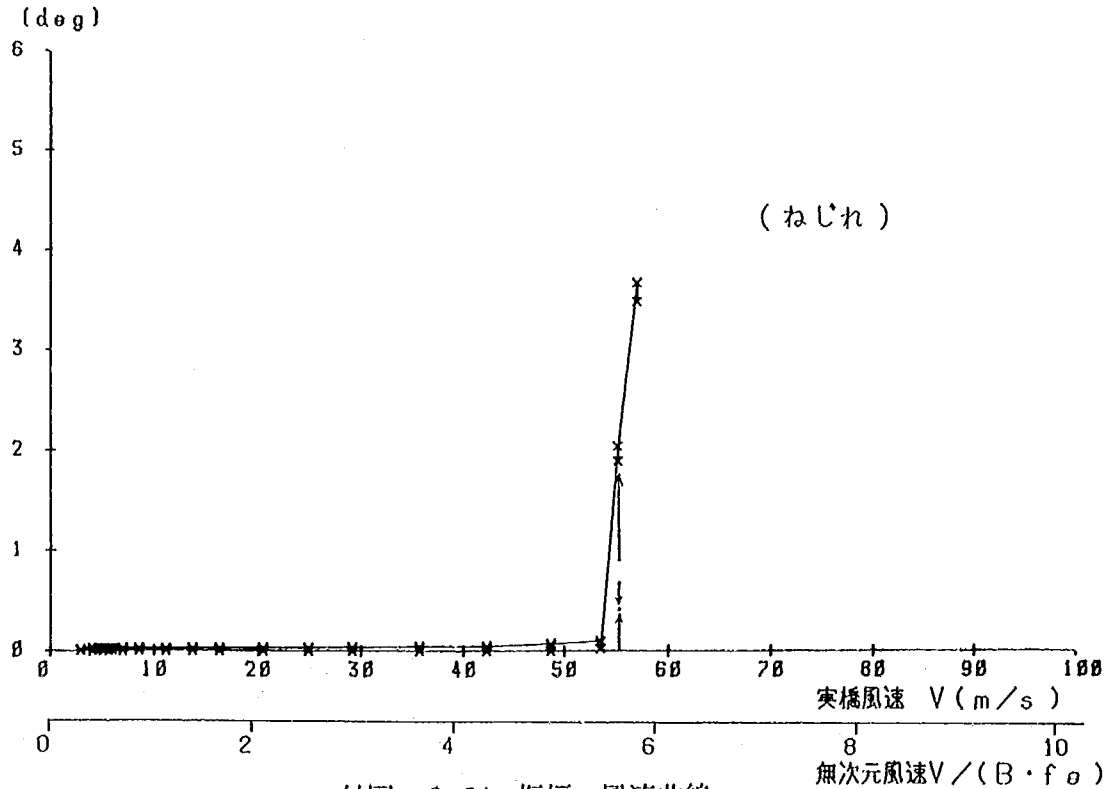
振幅



実 験 条 件	
桁タイプ	A-6
迎角	$+5^\circ$
重 量 (kg/model)	33.895
極慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{model}$)	12.870
風速倍率	
たわみ	$\beta v = 4.7518$
ねじり	$\beta \theta = 4.9846$
振動数 (Hz)	
たわみ	$f v = 1.0291$
ねじり	$f \theta = 3.0153$
振動数比	$f v / f \theta = 2.930$
構造減衰	
たわみ	$\delta \eta = 0.0196$
ねじり	$\delta \theta = 0.0196$



振幅



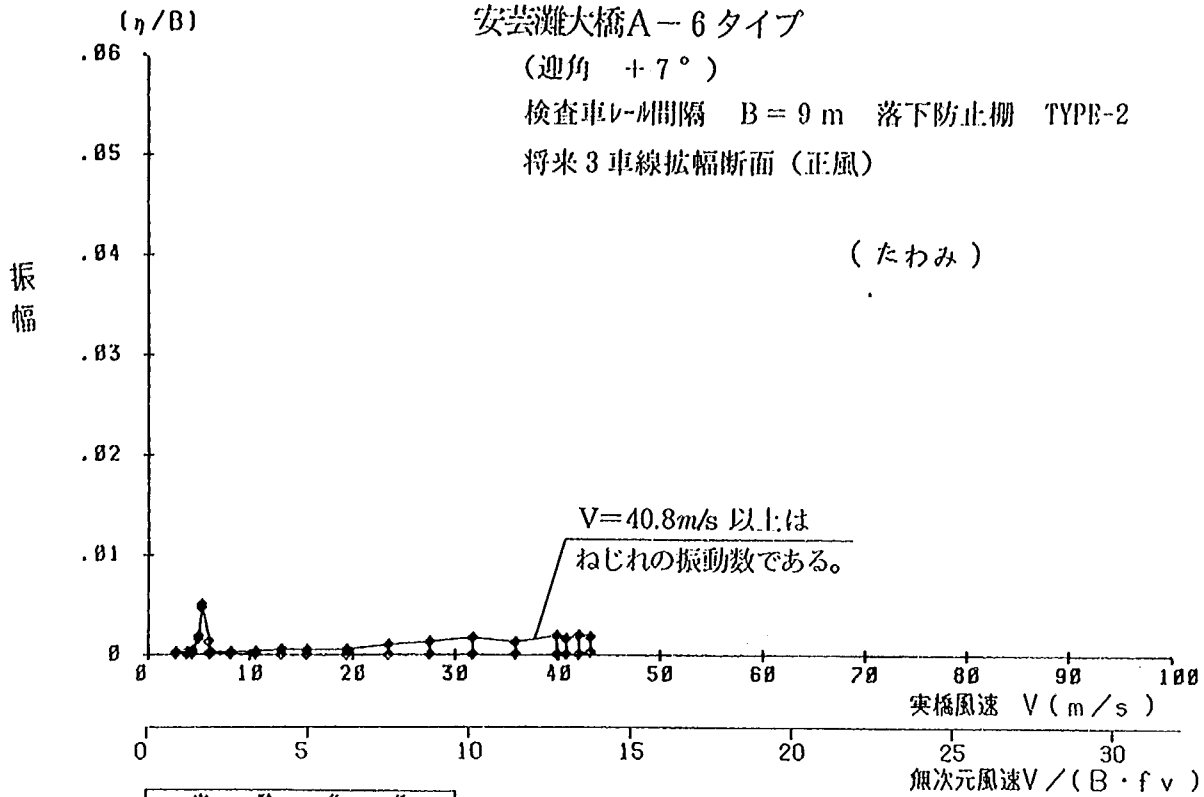
付図-2.24 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-6タイプ

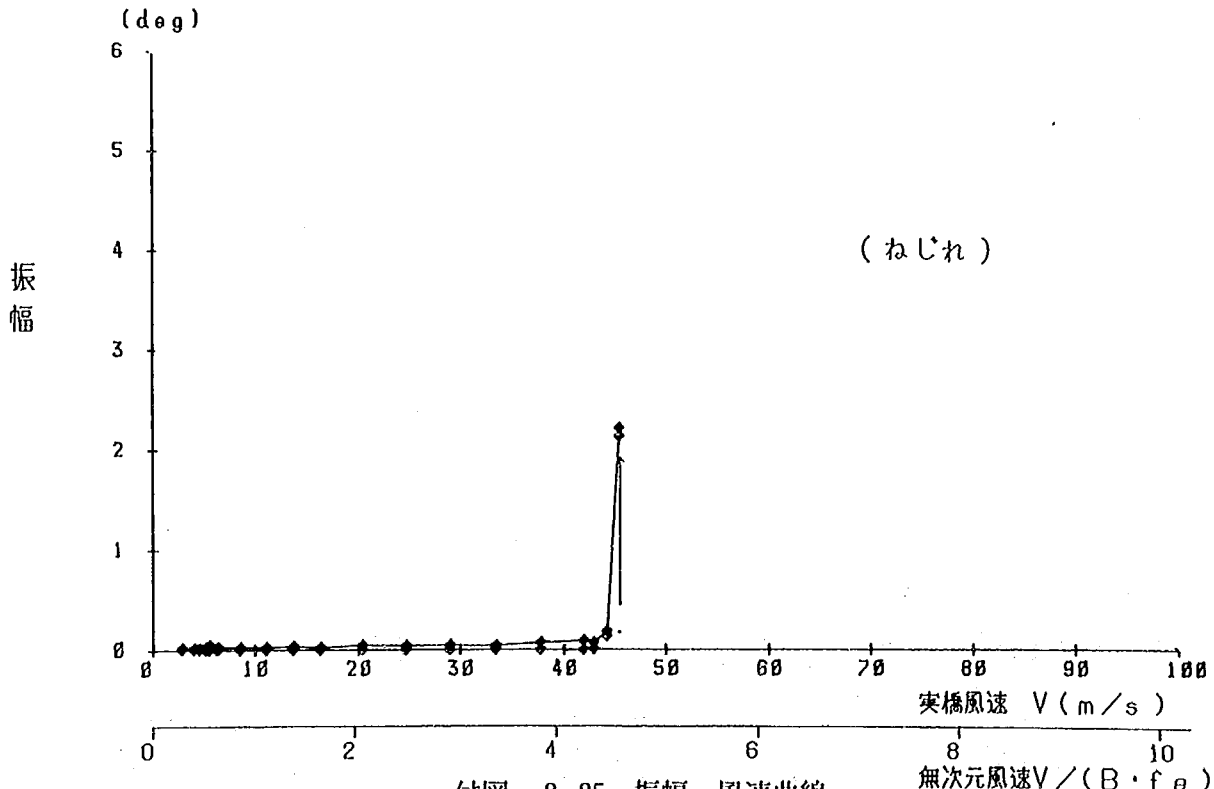
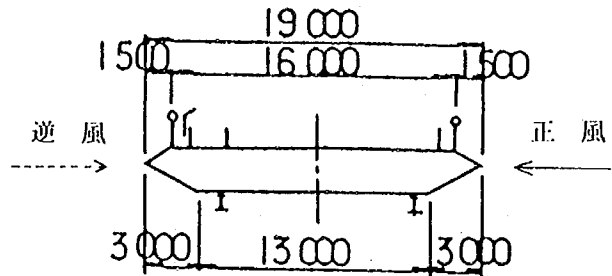
(迎角 $+7^\circ$)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

将来3車線拡幅断面(正風)



実 験 条 件	
橋 型	A-6
迎 角	$+7^\circ$
重 量 (kg/model)	33,895
慣性モーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{model}$)	12,870
風速倍率	$\beta v = 4.7305$
ねじり	$\beta \theta = 4.9874$
振動数 (Hz) たわみ	$f_v = 1.0337$
ねじり	$f_\theta = 3.0136$
振動数比 f_v/f_θ	2.915
構造減衰	
たわみ	$\delta \eta = 0.0199$
ねじり	$\delta \theta = 0.0198$



付図-2.25 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-6' タイプ

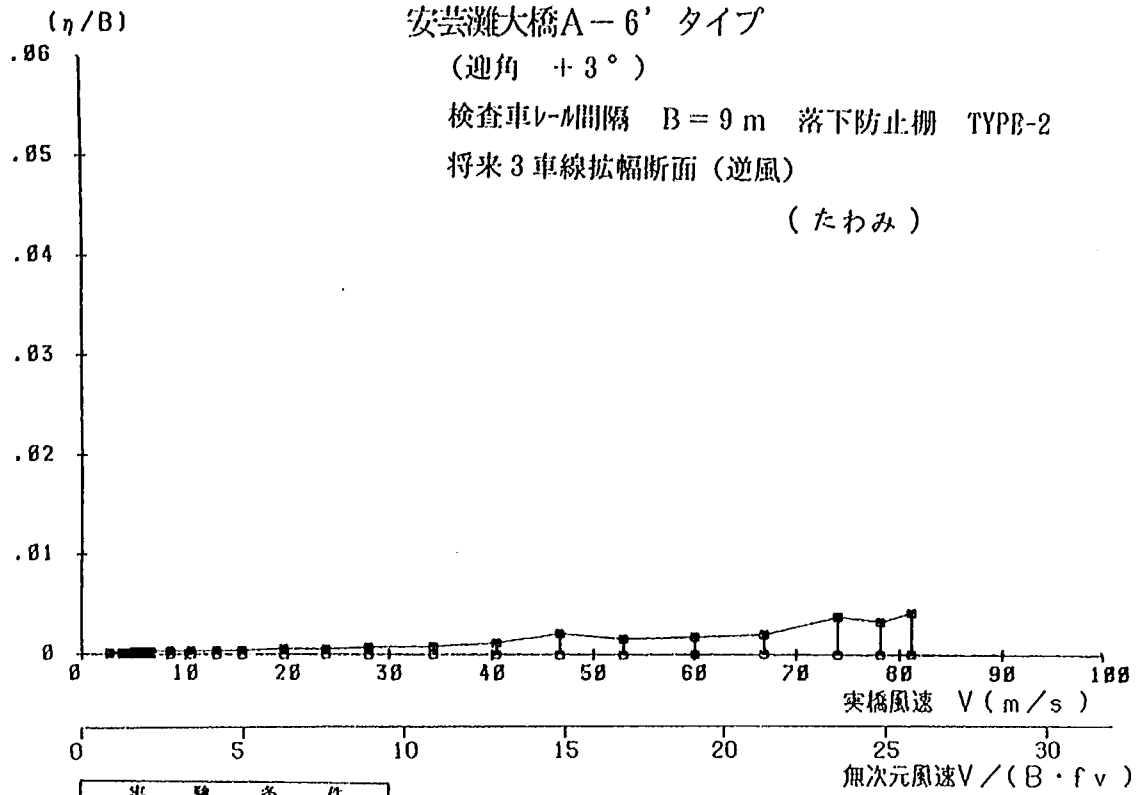
(迎角 $+3^\circ$)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

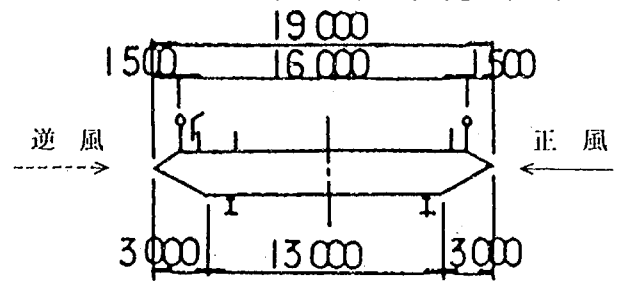
将来3車線拡幅断面 (逆風)

(たわみ)

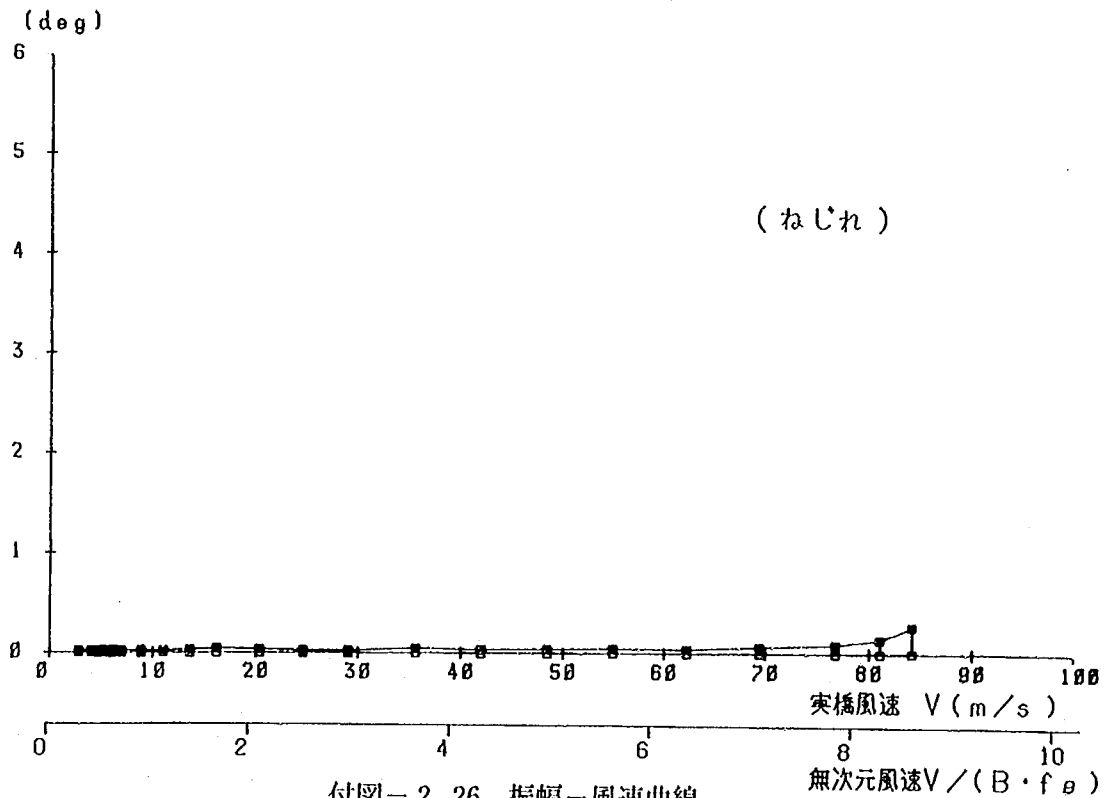
振幅



実 験 条 件	
桁 タイ プ	A-6'
迎 角	$+3^\circ$
重 量 (kg/model)	33,895
極慣性モーメント (kg·cm·S ² /model)	12,870
風速倍率	
たわみ	$\beta_v = 4.8095$
ねじり	$\beta_\theta = 4.9865$
振動数 (Hz)	
たわみ	$f_v = 1.0167$
ねじり	$f_\theta = 3.0141$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.965$
構造減衰	
たわみ	$\delta_\eta = 0.0203$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0201$



振幅



付図-2.26 振幅-風速曲線

安芸灘大橋A-7タイプ

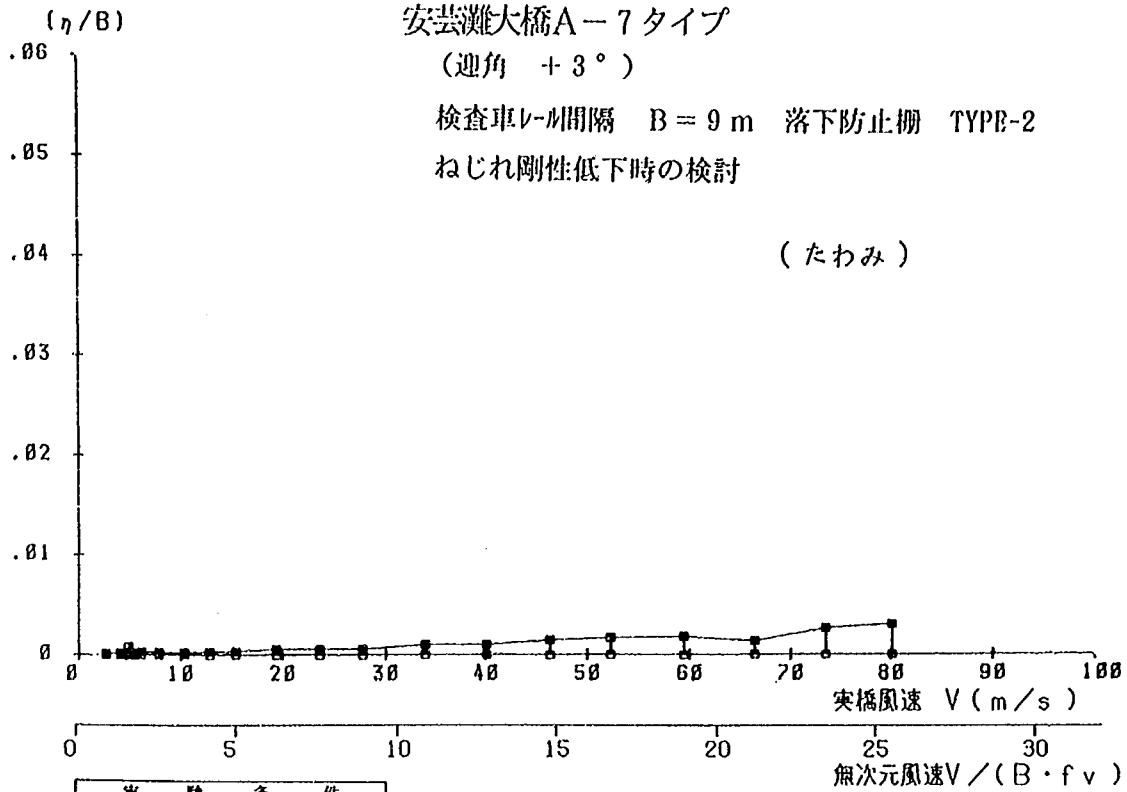
(迎角 $+3^\circ$)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$ 落下防止柵 TYPE-2

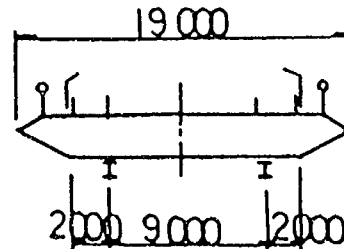
ねじれ剛性低下時の検討

(たわみ)

振幅

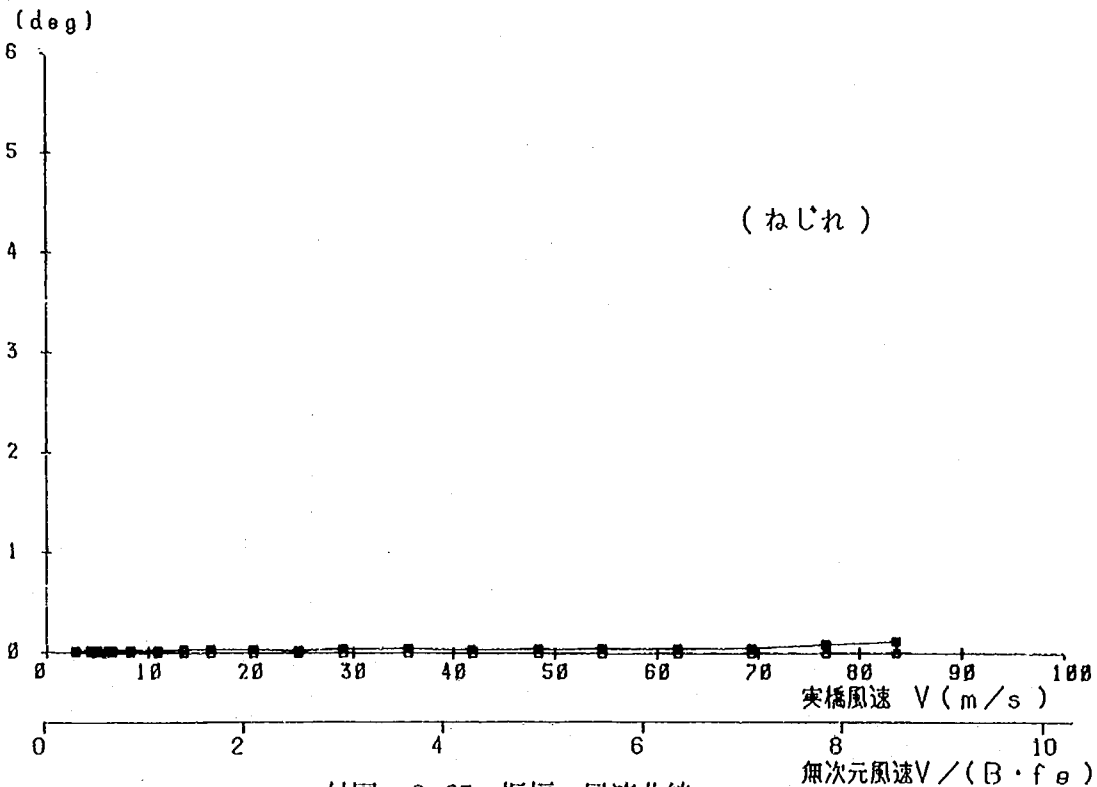


実 験 条 件	
桁 々 イ プ	A-7
迎 角	$+3^\circ$
重 量 (kg/model)	33.700
極慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}^2/\text{model}$)	12.607
風速倍率	$\beta_v = 4.7906$
ねじり	$\beta_\theta = 5.0003$
振動数 (Hz)	$f_v = 1.0207$
ねじり	$f_\theta = 2.9218$
振動数比	$f_v/f_\theta = 2.863$
構造減衰	$\delta_\eta = 0.0204$
ねじり	$\delta_\theta = 0.0196$



(ねじれ)

振幅



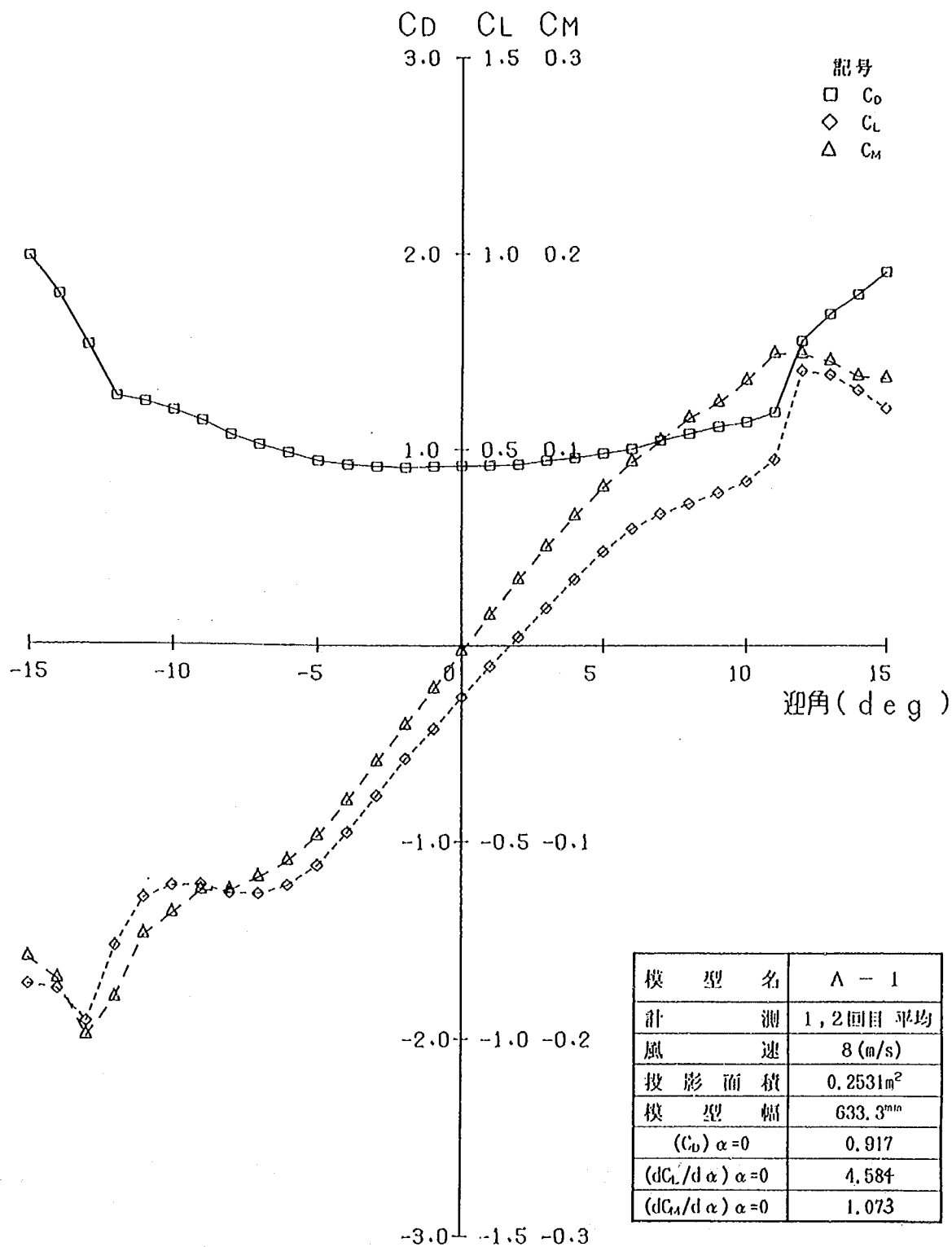
付図-2.27 振幅-風速曲線

安芸灘大橋 A-1 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9 \text{ m}$

防護ネット無し、ハンガー定着板有り

風速 8 (m/s) 1 回目、2 回目の平均



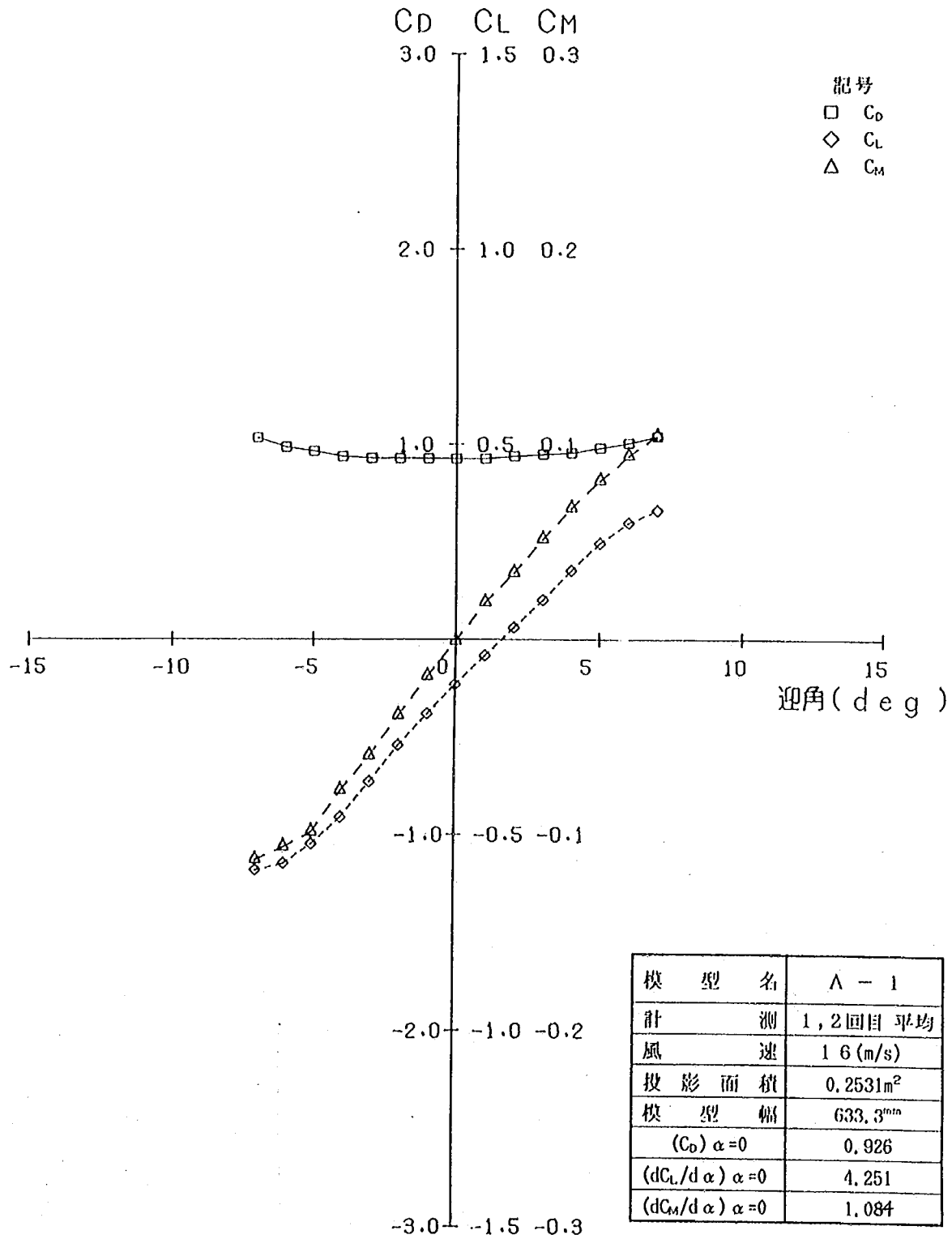
付図-3.1 三分力曲線

安芸灘大橋 A-1 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9 \text{ m}$

防護ネット無し、ハンガー定着板有り

風速 1.6 (m/s) 1 回目、2 回目の平均



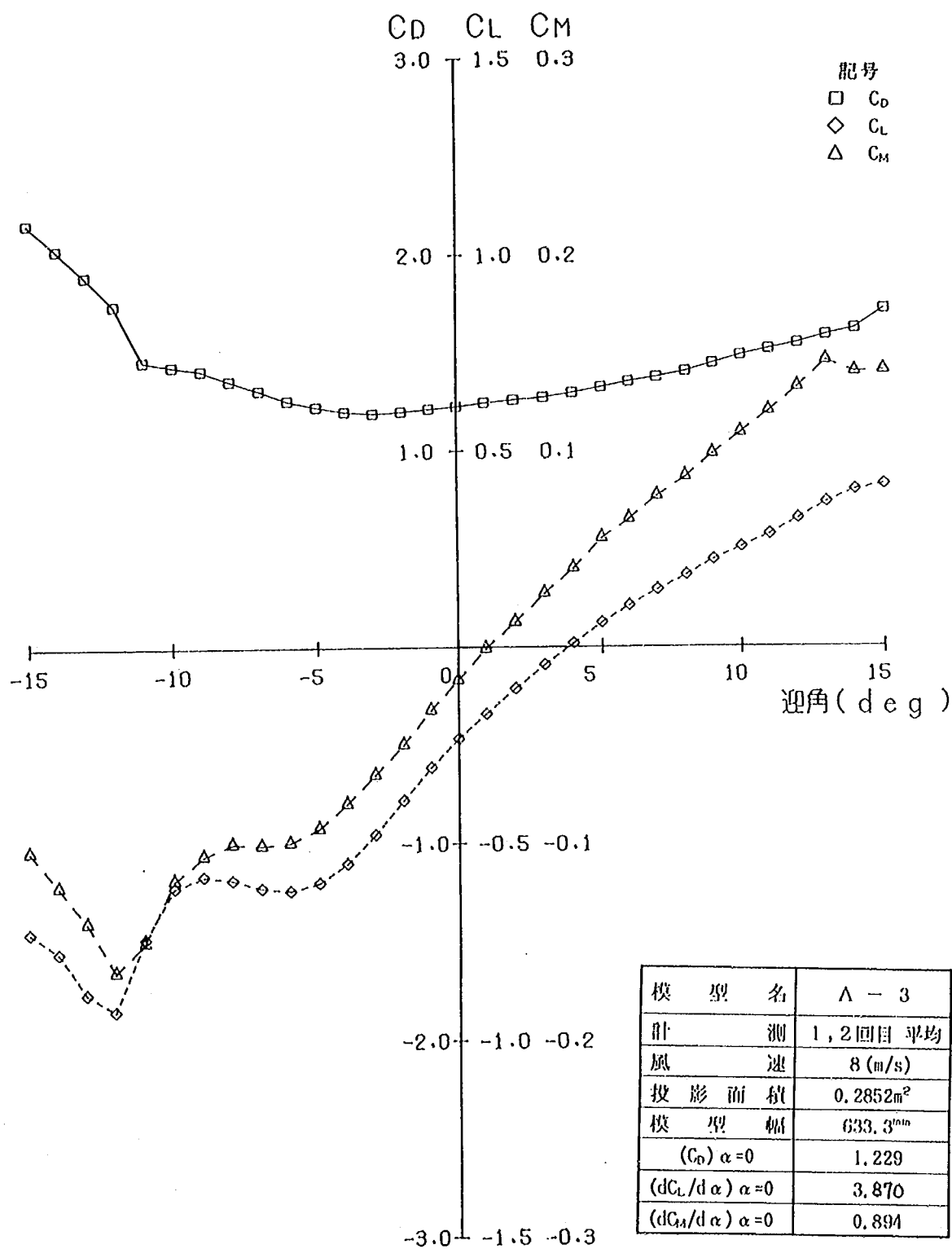
付図-3.2 三分力曲線

安芸灘大橋 A-3 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9 \text{ m}$

防護ネット TYPE-2、ハンガー定着板有り

風速 8 (m/s) 1 回目、2 回目の平均



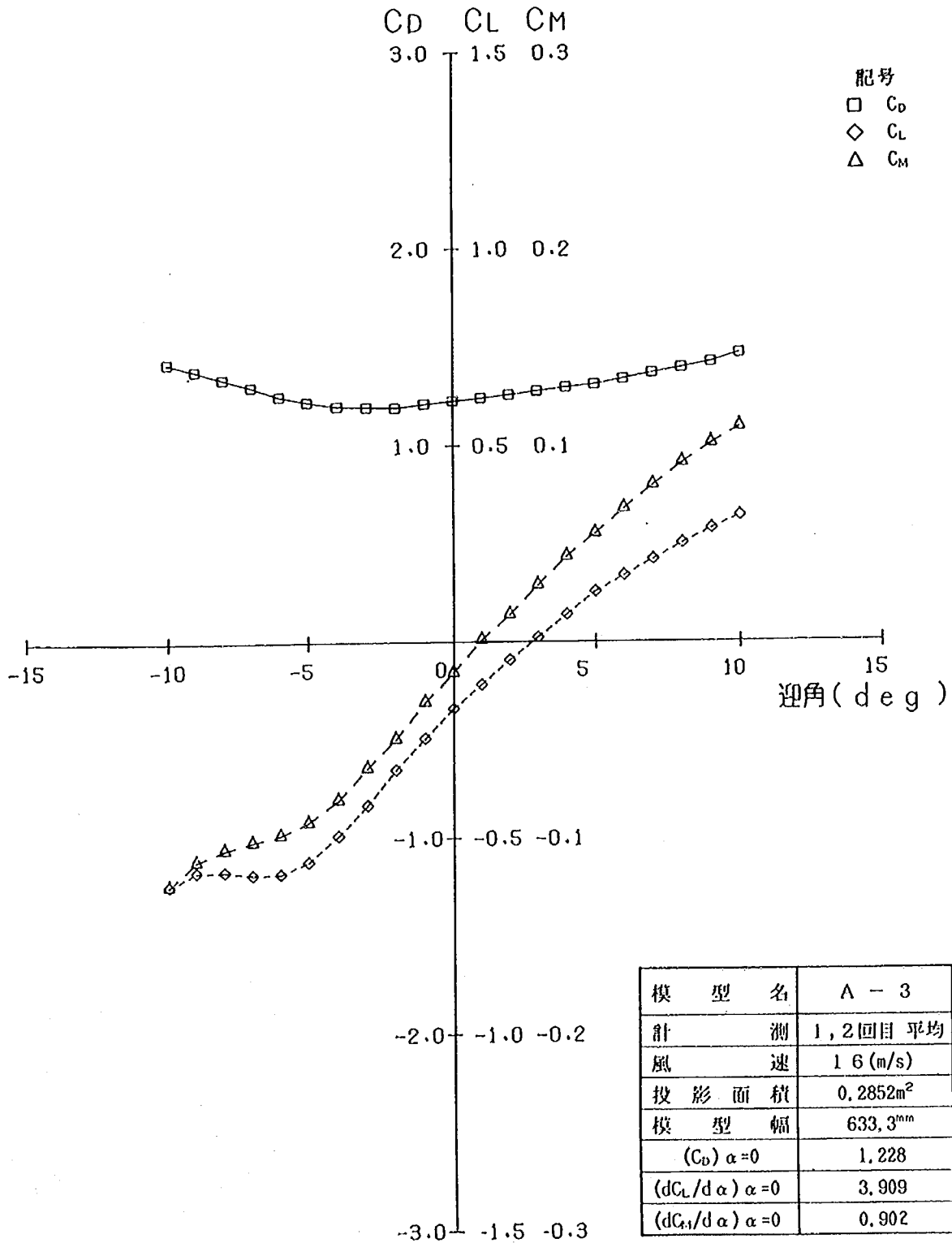
付図-3.3 三分力曲線

安芸灘大橋 A-3 タイプ

検査車レール間隔 $B = 9 \text{ m}$

防護ネット TYPE-2、ハンガー定着板有り

風速 1.6 (m/s) 1 回目、2 回目の平均



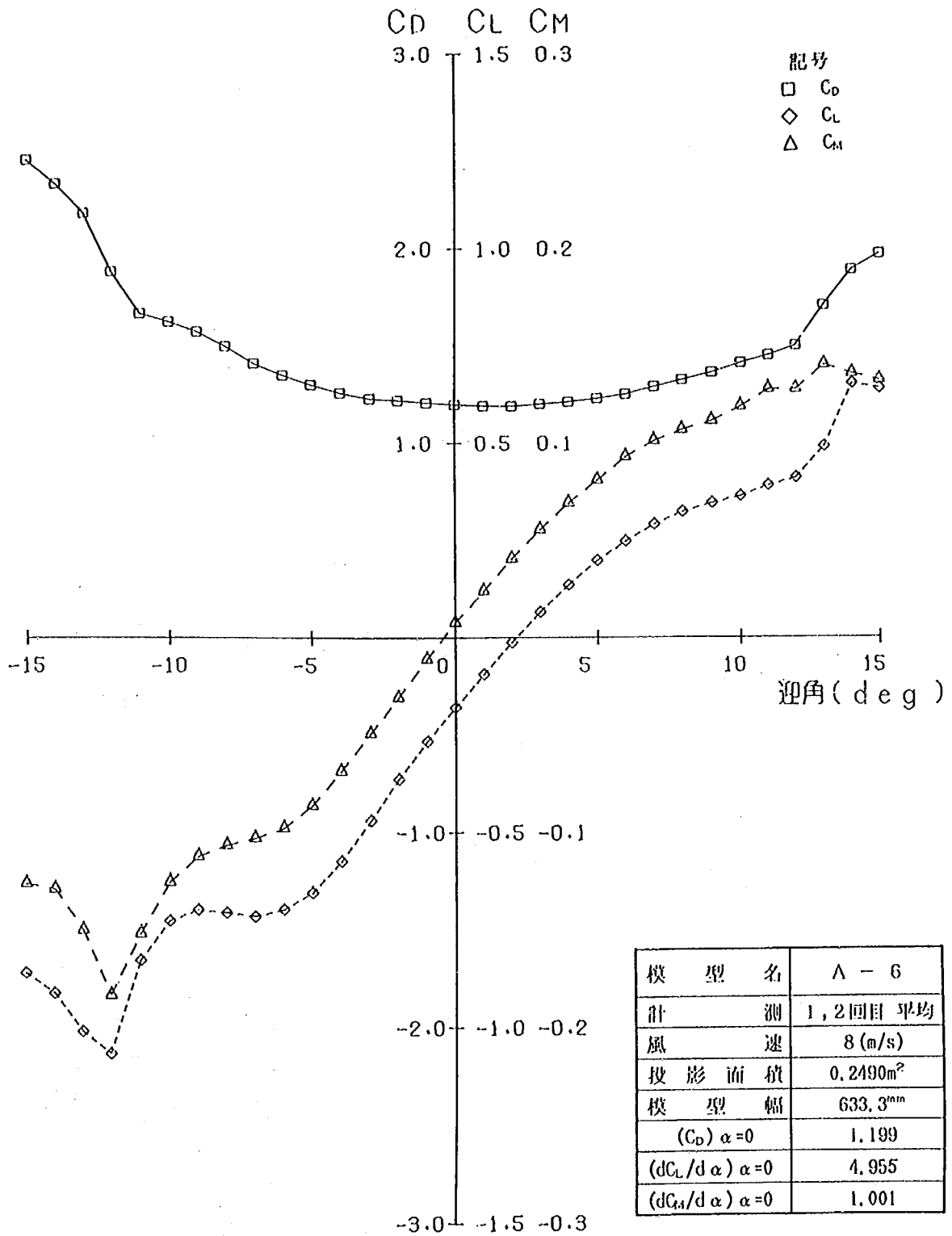
付図-3.4 三分力曲線

安芸灘大橋 A-6タイプ

将来対応時 (3車線+片側歩道)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$

風速 8 (m/s) 1回目、2回目の平均



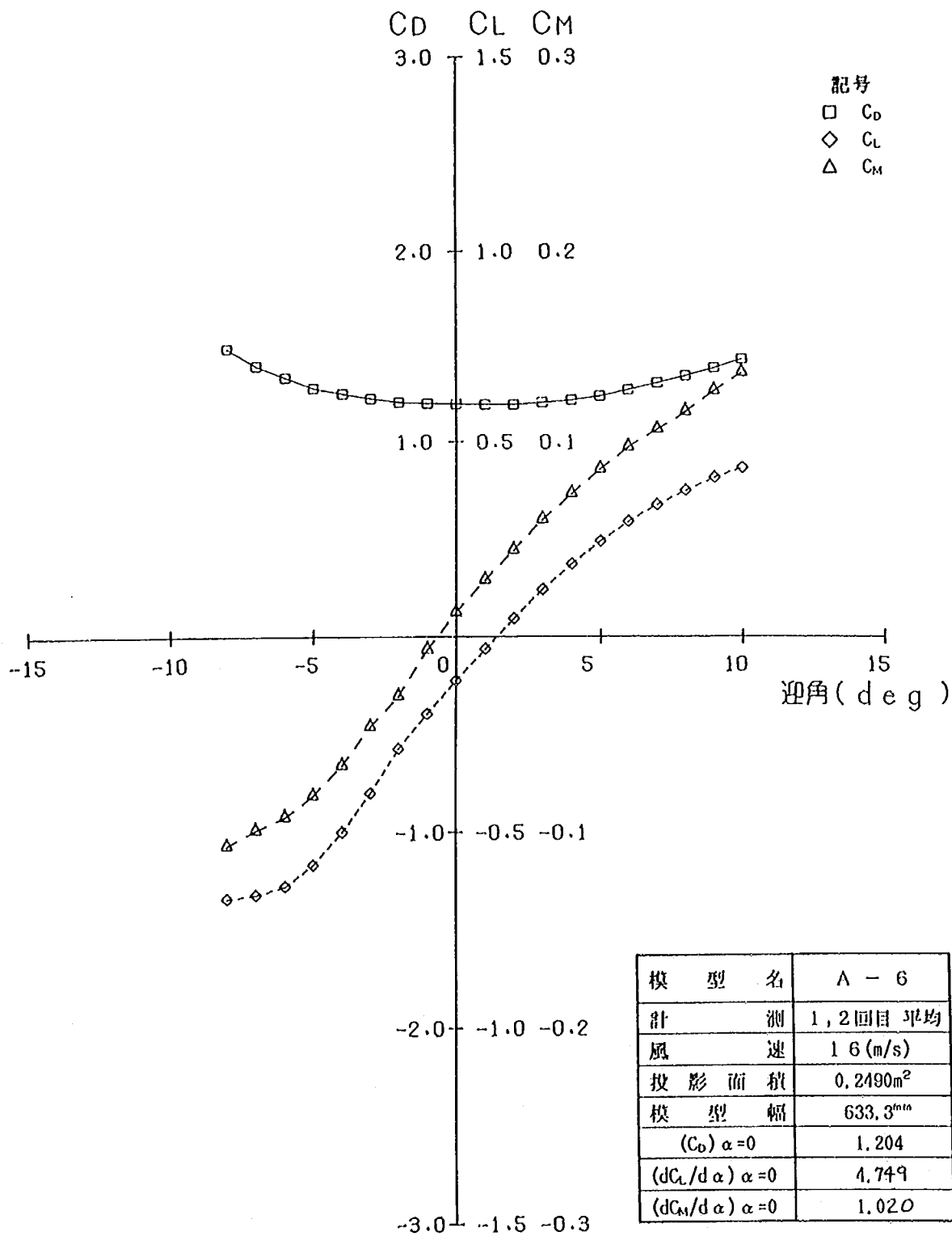
付図-3.5 三分力曲線

安芸灘大橋 A-6タイプ

将来対応時 (3車線+片側歩道)

検査車レール間隔 $B = 9\text{ m}$

風速 16 (m/s) 1回目、2回目の平均



付図-3.6 三分力曲線

要 旨 安芸灘大橋は広島県の本土と下浦刈島の間には計画中の箱桁吊橋であるが、長大支間を有する吊橋であるため補剛桁の耐風性の検討を行った。本調査では、元年度に実施した風洞実験より耐風性が良好な補剛桁形状を基本断面とし、バネ支持模型試験、三分力試験を行い最適な検査車レール間隔、防護棚形状やハンガー定着部構造、将来車線拡幅時の耐風性について評価した。その結果、耐風性が良好な検査車レール間隔は9mであること、防護棚形状やハンガー定着部構造の影響は小さいこと、将来車線拡幅時の耐風性は良好であり制振対策は不要であることが明らかとなった。また三分力試験結果より、主要断面の抗力係数は設計に用いる抗力係数 $C_d=1.3$ を下回ることが確認された。

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, 検査車レール, 防護棚

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

構造研究室 行

茨城県つくば市旭一番地

No. 08

No. 08

配布先住所

配布先氏名

土木研究所資料 第 2 9 4 2 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印