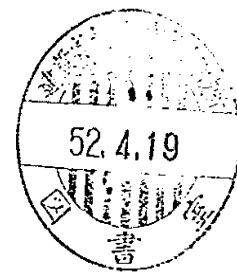


土木研究所資料

耐風調査報告書 (V-1976)



昭和52年3月

建設省土木研究所

構造橋梁部構造研究室

序

昭和51年度に実施した耐風調査の結果を報告する。調査項目は以下の通りである。

- (1) 名港中央大橋の耐風性
- (2) 設計基本風速の推定
- (3) 箱桁斜張橋の耐風性(Ⅲ)

昭和52年3月

構造研究室	室長	成田信之
	研究員	横山功一
	研究員	佐藤弘史
	室員	野村一夫
	同	湯沢聡
	同	神寄一夫

目 次

1. 概 説	1
2. 名港中央大橋の耐風性調査	2
2.1 ま え が き	2
2.2 名港中央大橋の概要と耐風性上の問題点	2
2.3 風洞模型実験	3
2.4 結 論	4
2.5 あ と が き	5
3. 設計基本風速の調査	27
3.1 ま え が き	27
3.2 設計基本風速の調査計画	27
4. 箱桁斜張橋の耐風性調査(Ⅲ)	32
4.1 ま え が き	32
4.2 実 験 模 型	32
4.3 空気力の計測方法	33
4.4 得られた非定常空気力係数	35
4.5 橋桁の作用空気力と耐風安定性	35

1. 概 説

現在、東京湾・伊勢湾・大阪湾などの大都市圏には、湾岸道路の計画があり、その中では数多くの長大橋梁の建設が予定されているが、長大吊橋・斜張橋などに代表される長大橋梁には、耐風性の検討は不可欠である。

しかし、外力としての自然風の特徴、またこれを受けた際の構造物の応答には未だ不確かな点が数多く残されている。耐風調査では、長径間橋梁の建設の可能性と、より合理的な設計法の確立を計るために、以下の各項目に対して調査を進めている。

- 1) トラス補剛構および箱ゲタ断面の空力特性を検討し、良好な設計案決定の資料とする。
- 2) 自然風の乱れが構造物の耐風性に及ぼす影響について調べ、その影響を考慮した耐風設計法の確立を計る。

本年度の調査は次のとおりである。

「名港中央大橋の耐風性調査」

- 1) に関連して伊勢湾岸道路に計画されている中央支間長 740 m のトラス補剛吊橋の設計案（完成系、段階施工時）に対して、風洞実験により耐風安定性を検討した。

「箱桁斜張橋の耐風性調査（Ⅲ）」

昭和 49 年度より、箱桁断面に作用する非定常空気力の測定を行って、箱桁斜張橋の耐風設計資料の蓄積を計っているが、本年は昨年度と同一の 10 種の断面に対してたわみ振動時の揚力および空力モーメントを測定し、従来のデータとまとめて整理した。

「設計基本風速の調査」

完成系および架設時の設計風荷重算定の基本となる 10 分間平均風速の再現期待値を全国的規模で求めることとし、データの収集と解析法の検討を開始した。

2. 名港中央大橋の耐風性調査

2.1 ま え が き

現在、東京湾、伊勢湾、大阪湾地域には、湾周辺地域の経済活動や将来の都市計画を受けて、地域内幹線道路網、広域幹線道路網と有機的に一体となった道路網を構成し、湾域全体の機能的な開発・発展を目ざした湾岸道路計画がある。

伊勢湾岸道路計画では、特定重要港湾である名古屋港、四日市港などの港湾地域と名古屋市を中心とした後背地区である諸都市とを結ぶ大動脈として総延長250kmの道路建設が予定されている。この道路が名古屋港を横断する際には、幅500mを超える水路が三本あり、長大橋梁案と沈埋トンネル案が検討されたが、現在は橋梁案で設計が進められている。この三本の橋梁は東からそれぞれ、名港東大橋、名港中央大橋、名港西大橋と呼ばれる。

一方、名古屋市内の道路網計画の一環として名古屋環状2号線の構想が打ち出され、国道302号線として建設計画が実施にうつされつつある。この道路は名古屋港付近で伊勢湾岸道路と一体となるため、上記名港大橋は上層4車線、下層6車線の二層構造をもった橋梁として計画され、技術的検討が進められている。

3橋の主要諸元は以下の通りである。

橋 名	橋 種	橋 長 (支間長) (m)	桁下空間高 (m)
東 大 橋	3 径間吊橋	860 (150+560+150)	42 (主)
中央大橋	"	1,490 (370+750+370)	50 (主), 45 (側)
西 大 橋	3 径間斜張橋	780 (200+380+200)	38 (主), 27 (側)

今回は、3橋のうちで最大の中央大橋の設計案に対して風洞実験を実施し、耐風安定性の検討を行うこととした。

2.2 名港中央大橋の概要と耐風性上の問題点

中央大橋は名古屋港9号地と金城埠頭の間の約1,100 mの水路を横断する橋梁であり、架橋予定地点が図-2.1に示されている。その一般図が図-2.2に示されているが、ペントタワー付3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋であり、上路は4車線(伊勢湾岸道路)、下路は6車線(名古屋環状2号線)の二層構造となっている。補剛トラスの主構幅は33 m、主構高は12 mであり、主な諸元が表-2.1に示されている。参考のために、同程度の中央支間長を有する関門橋の諸元も併記したが、中央大橋の方が主構高、幅とも大きくなっていることがわかる。

さて、長大吊橋の耐風設計で問題となる現象は、フラッターと呼ばれる発散振動であり、設計基準に定められた限界風速以下でこの振動が生じないような設計案とすることが必要となる。また、道路建設計画によると上路のみ、あるいは下路のみを先行して建設する段階施工が採用される可能性もあり、完成時ばかりでなくこの時の耐風安全性を確認しておく必要もある。そこで風洞実験では、(1)完成時、(2)上路のみ、(3)下路のみの3ケースについて検討することとした。

なお、本橋の耐風設計基準によるとフラッターの限界風速は次のように定められている。

基本風速 (V_{10})	37 m/s
高度補正係数 (ν_1)	$1.31 \left(\nu_1 = \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha, \alpha = 1/7, z = 65 \text{ m} \right)$
水平長補正係数 (ν_3)	1.15 (水平長 = 740 m)
設計基本風速 (V_D)	57.3 m/s ($V_D = \nu_1 \cdot \nu_3 \cdot V_{10}$)
限界風速 (V_c)	68.7 m/s ($V_c = 1.2 \times V_D$)

そして、図-2.3 に風の迎角 (鉛直面内での風の傾き、吹き上げを正とする) と風速の関係を示す。つまり設計基準では、図の折線で囲まれた領域内で、かつ上記限界風速 (V_c) 以下で自励振動が生じてはならないと規定している。

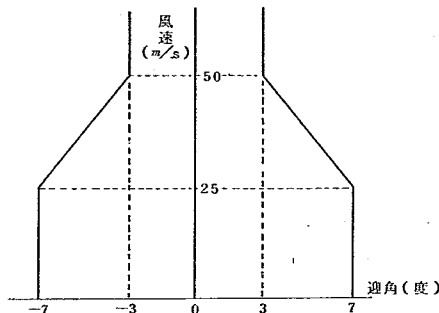


図-2.3 風の迎角と風速の範囲

2.3 風洞模型実験

2.3.1 風洞および風洞実験法

実験に使用した風洞は土木研究所構造研究室所属の橋梁試験用風洞で、その概略を示せば次の通りである。

型 式	ゲッチンゲン型
測定部寸法	$3.0 \text{ H} \times 1.8 \text{ W} (\text{m})$
測定部風速	$0 \sim 25 (\text{m/s})$ (連続)

行った実験はバネ支持模型実験と呼ばれるもので、模型を風洞内にバネで吊り実橋の振動特性を相似させ、風速と模型の応答 (振動振幅) との関係を求めるものである。バネ支持模型実験の実験方法、実験装置、相似則については既に他で詳しく述べられているので、ここでは省略することにする。相似則より計算されたバネ支持模型実験の実験条件を表-2.2 に示す。行なった実験ケースは次の3通りであるが、実験条件としては質量・固有振動数ばかりでなく回転中心の変化も考慮している。

断面形状	模 型 名
(1) 完 成 時	MK-76
(2) 上路のみ完成	MK-U-76
(3) 下路のみ完成	MK-L-76

また、風洞模型は図-2.4に示されているが、中央径間中央部を取り出し縮尺1/87で製作した。高欄に関しては設計では未だ決められていないため、関門橋の場合と同じものを用いることとした。

2.3.2 実験結果と考察

実験結果が、図-2.5、2.6にとりまとめられている。図-2.5は $V_e \sim \alpha$ 曲線と呼ばれ、横軸は迎角であり、縦軸はフラッターの発振風速を示している。また図-2.6は $V \sim A \sim \delta$ 曲線とよばれ横軸が風速で、縦軸が振動のねじれ振幅であり、構造物の等減衰率線を示している。減衰率は構造減衰($\delta \approx 0.03$)と空力減衰の和で示されており、この図からは空力減衰は振幅・風速に依存すること、減衰率が負になる発振時の状況を推察することができる。

さて、 $V_e \sim \alpha$ 曲線によると、MK-76は一点鎖線で示された設計基準を犯していることが分る。一方、MK-U-76とMK-L-76は基準値を満足している。したがって、完成系に対しては何かの対策が必要になるが、今回調査対象とした名港中央大橋は未だ概略設計の段階であるので、この調査ではこれ以上の検討は行わないことにした。

また、今回行った3ケースの実験結果より、断面形状の違いによって空力特性に差が見られる。すなわち、 $V_e \sim \alpha$ 曲線によると3ケースの差はあまりないが、 $V \sim A \sim \delta$ 曲線の $\delta = 0$ の傾きを見ると、MK-76とMK-U-76が垂直に近いのに対し、MK-L-76はかなりの傾きを示している。

2.4 結 論

今回の調査により得られた結論をまとめると、次のとおりである。

- (1) 名港中央大橋の完成系に対する設計案は、耐風設計基準を一部満足しないという実験結果が得られたが、これは僅かの範囲である。したがって、次の設計では、i) 構造系の剛性を高める、ii) 従来の実験結果を参照して、断面の形状を変更するなどの対策を施す必要があり、またこれにより充分耐風性の良好な設計案が得られるものと考えられる。
- (2) 段階架設として、上路床版のみ、あるいは下路床版のみが完成した段階に対して検討したが、負の迎角では完成系よりも発振風速は低下するものの、現在のままで耐風設計基準を満足するので、特に対策は必要ないと判断される。
- (3) 下路床版のみを架設した設計案は、他の2案と比較してやや異なった空力特性を示した。

2.5 あ と が き

本調査は、中部地方建設局の意向により昭和51年度当初に実験したものである。その後、諸般の事情により道路計画の見直しが行われ、本橋の設計も異なった条件で行われている。

昭和52年度からは、架橋地点近傍における現地風観測、および近接して二橋が架設された場合の耐風性に関する風洞実験が実施される予定になっている。

最後に、本調査を実施するにあたりお世話いただいた中部地方建設局名四国道工事事務所の関係各位にお礼申しあげる次第である。

表 - 2. 1 名港中央大橋諸元

区 分	単 位	名港中央大橋		関 門 橋	
		中央径間	側 径 間	中央径間	側 径 間
径 間 長	m	750. 0	370. 0	712. 0	178. 0
支 間 長	m	740. 0	362. 0	703. 5	167. 75
垂 距	m	74. 0	17. 986	64. 0	3. 906
補 剛 ト ラ ス 高	m	12. 0		9. 0	
トラス間隔 (ケーブル間隔)	m	33. 0		29. 0	
補剛トラスパネル長	m	11. 55		10. 35	
上下横構パネル長	m	23. 1		20. 7	
死 荷 重 (全 体)	t / m / br	39. 58	40. 20	24. 172	25. 946
" (ケーブル)	t / m / br	7. 76	7. 80	4. 378	
断 面 積 (ケーブル)	m ² / br	0. 459 × 2 本		0. 559	
" (弦 材)	m ²			0. 0380	0. 0320
" (斜 材)	m ²			0. 0185	
" (上下横構)	m ²			0. 0232	
ケーブリング率	t / m ²	2. 0 × 10 ⁻⁷		2. 0 × 10 ⁻⁷	
補剛トラス断面 2 次モーメント	m ⁴	15. 264		2. 916	
極慣性モーメント (ケーブルを含む)	t · m · sec ² / m / br	613. 4		276. 60	

表-2.2.1 名港中央大橋の実験条件(完成系)

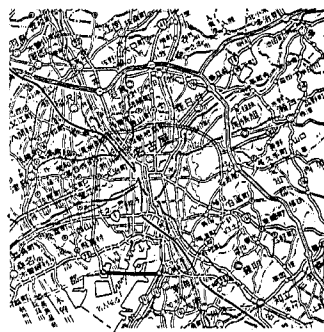
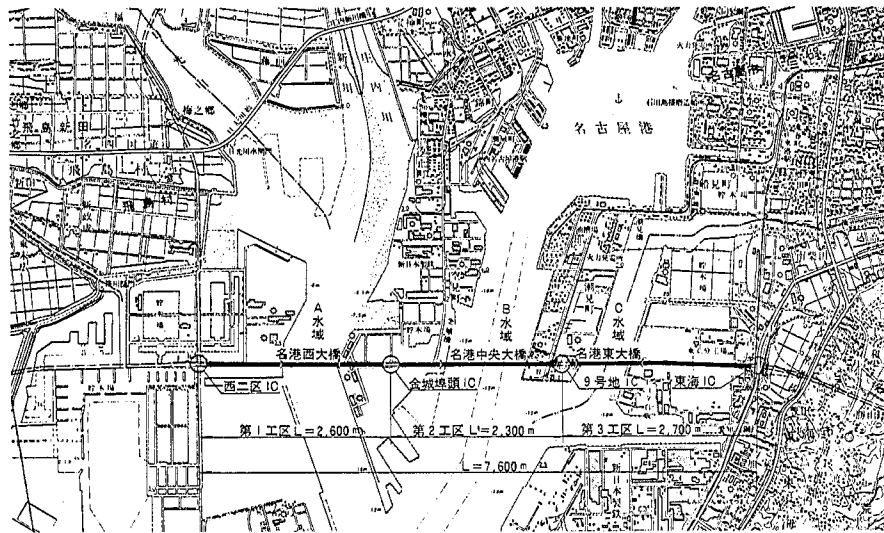
	原 型	所 要 値	実 験 値
縮 尺	—	1 : 87	1 : 87
重 量	39.58 t/m/bridge	8367 g/model	—
極慣性モーメント	613.4 t·m·sec ² /m/bridge	1.713 Kg·cm·sec ² /model	—
たわみ振動数	0.121 Hz	1.72 Hz	1.71 Hz
ねじれ振動数	0.329 Hz	4.68 Hz	4.66 Hz
振 動 数 比	2.719	2.721	2.725
バネ定数	—	1000 g/cm	1000 g/cm
バネ間隔	—	38.49 cm	38.49 cm
風速倍率	—	6.12	6.14
構造減衰	—	0.03	

表-2.2.2 名港中央大橋実験条件(下路のみ完成)

	原 型	所 要 値	実 験 値
縮 尺	—	1 : 87	1 : 87
重 量	30.34 t/m/bridge	6.414 Kg/model	6.528 Kg/model
極慣性モーメント	477.7 t·m·sec ² /m/bridge	1.334 Kg·cm·sec ² /model	
たわみ振動数	0.128 Hz	1.72 Hz	1.70 Hz
ねじれ振動数	0.369 Hz	4.30 Hz	4.31 Hz
振 動 数 比	2.883	2.50	2.54
バネ定数	—	760 g/cm	760 g/cm
バネ間隔	—	71.6 cm	71.6 cm
風速換算比	—	7.47	7.45
構造減衰	—	0.03	

表-2.2.3 名港中央大橋実験条件(上路のみ完成)

	原 型	所 要 値	実 験 値
縮 尺	—	1 : 87	1 : 87
重 量	30.0 t/m/bridge	6.342 Kg/model	
極慣性モーメント	528.8 t·m·sec ² /m/bridge	1.477 Kg·cm·sec ² /model	
たわみ振動数	0.128 Hz	1.73 Hz	
ねじれ振動数	0.351 Hz	4.33 Hz	
振 動 数 比	2.742	2.50	
バネ定数	—	760 g/cm	
バネ間隔	—	75.0 cm	
風速換算比	—	7.05	
構造減衰	—	0.03	



伊勢湾岸道路位置圖 S=1/500,000

圖-2.1 名港中央大橋位置圖

101

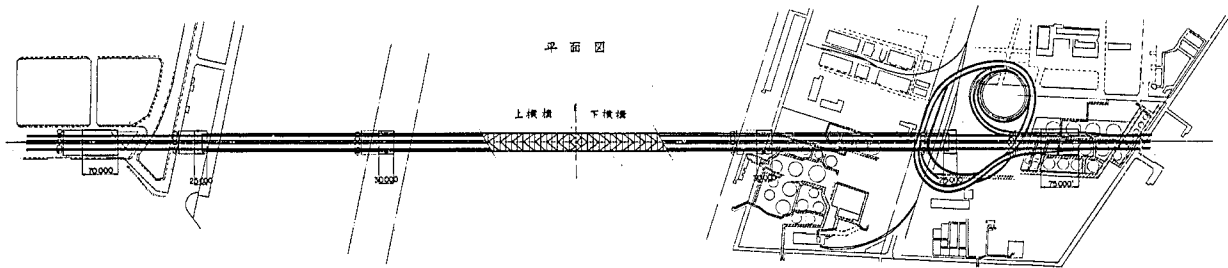
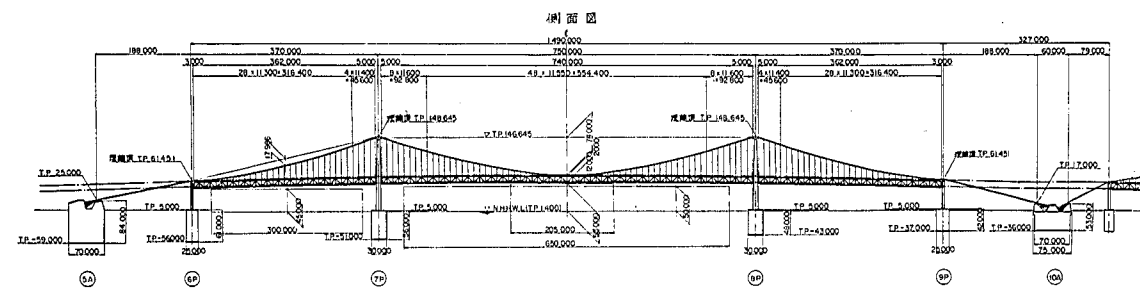


図-2.2.1 名港中央大橋一般図(1)

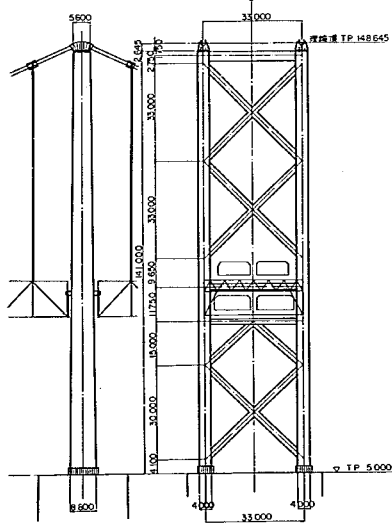
K02

主ケーブル断面 S=1.30

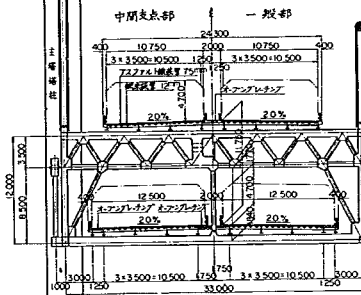


断面構成：PWS127 7線×184ストランド
(1)内寸法はバンド部を基準。

主塔



横断面図



副塔

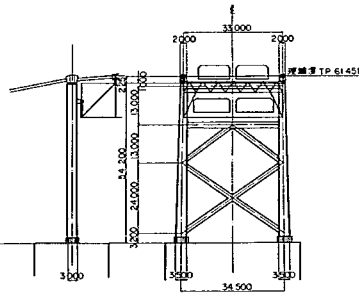
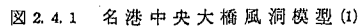
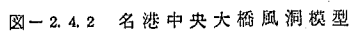


図-2.2.2 名港中央大橋一般図(2)



四-2.4.1 名港中央火橋 風洞模型(1)



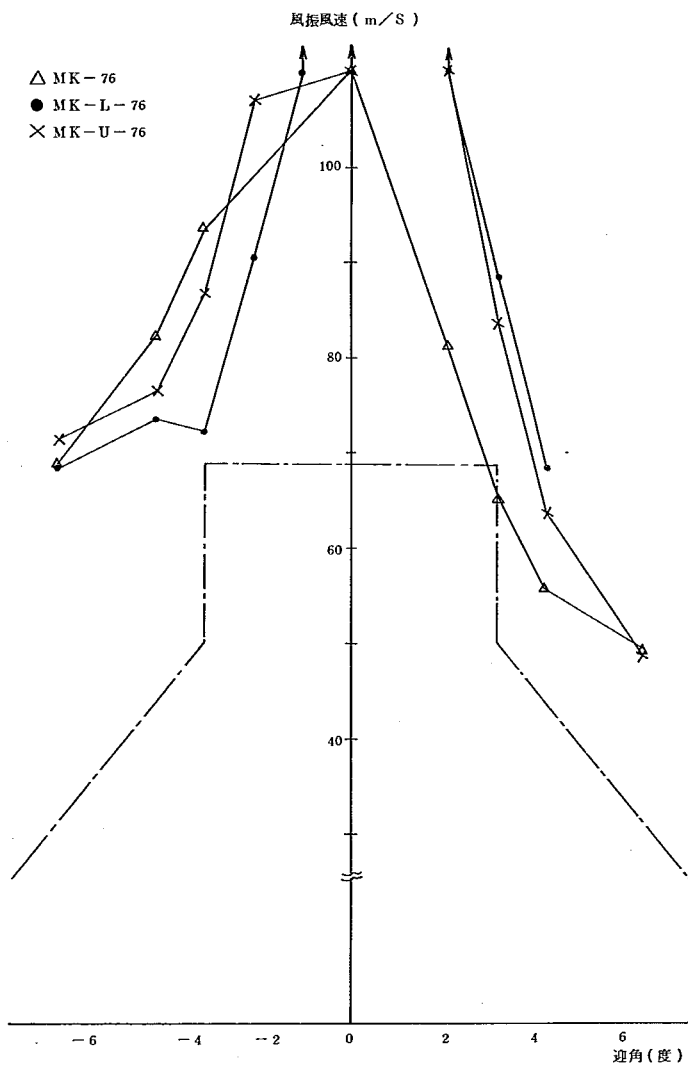


圖-2.5 $V_c \sim \alpha$ 曲線

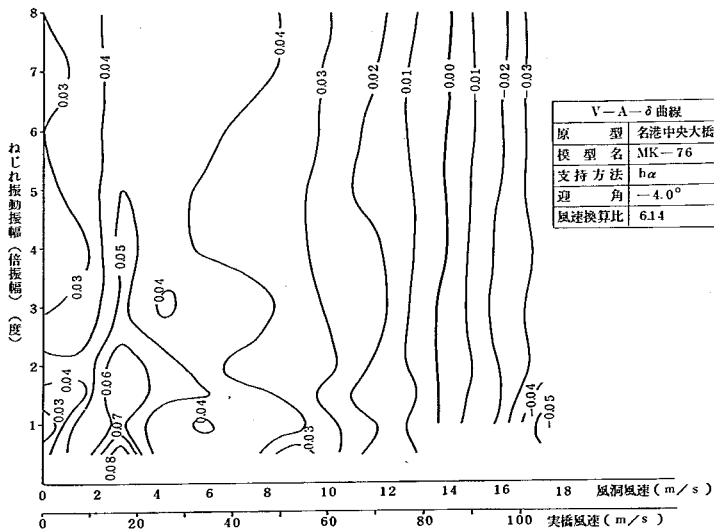
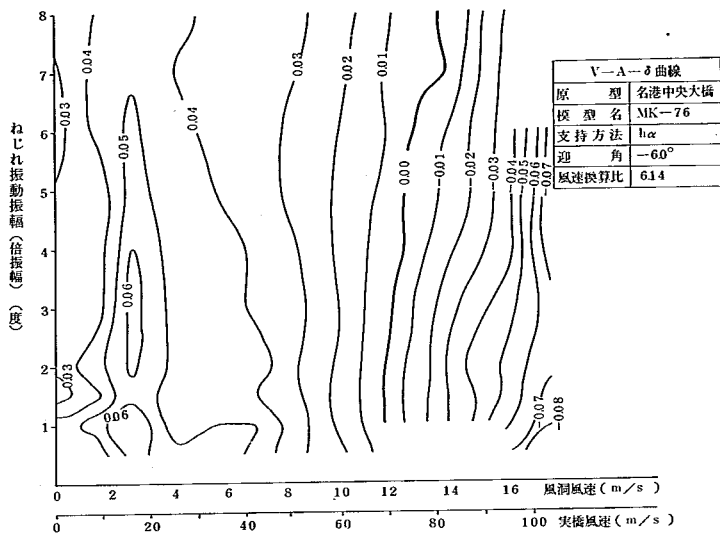


図-2.6.2

597

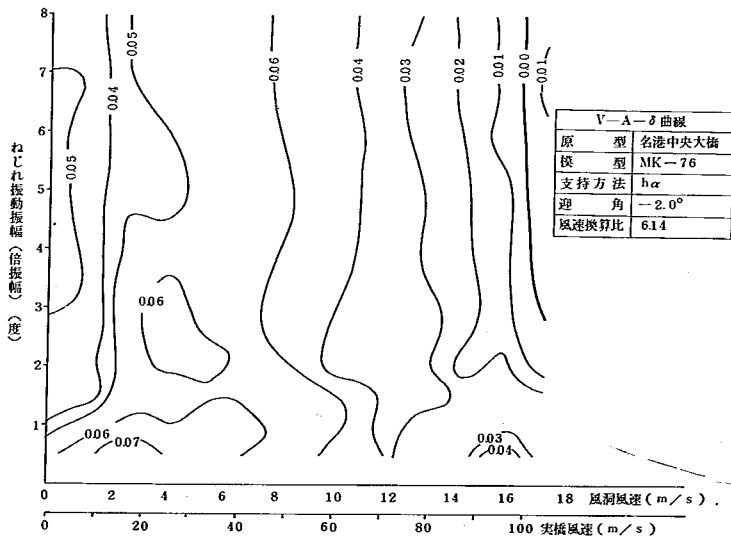
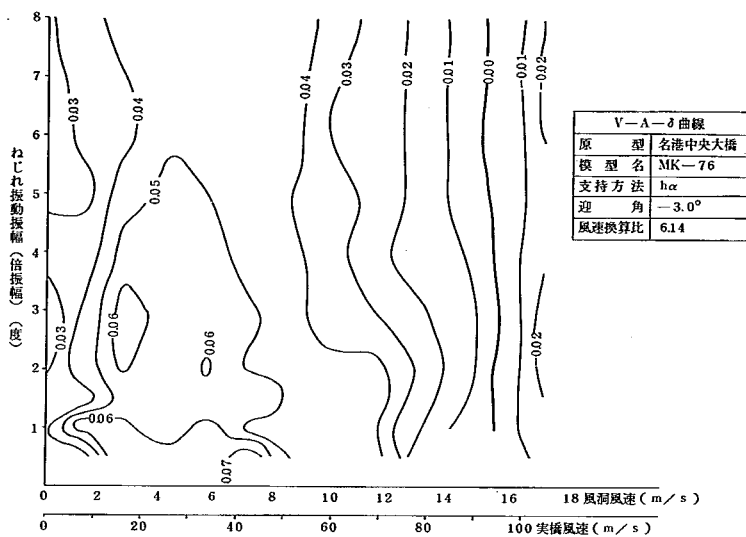


図-2.6.4

KOB

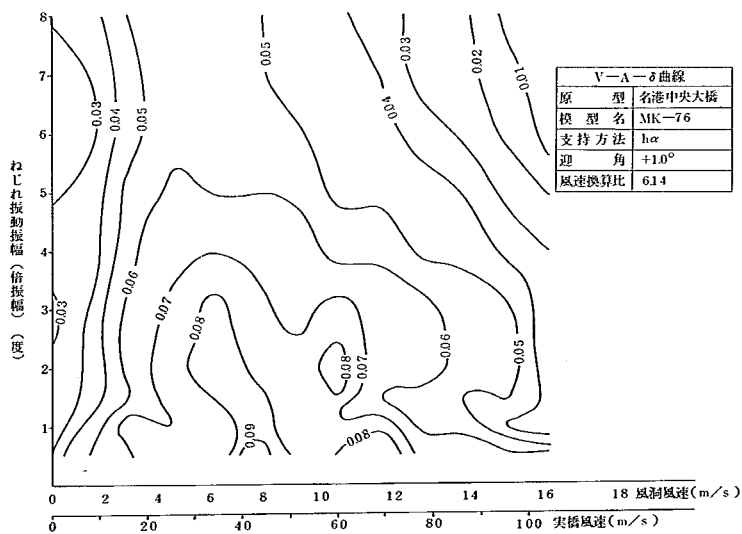
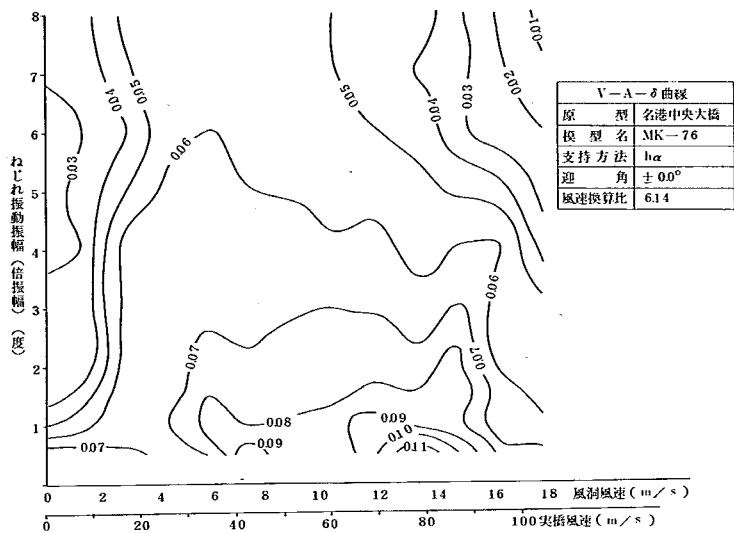


図-2.6.6

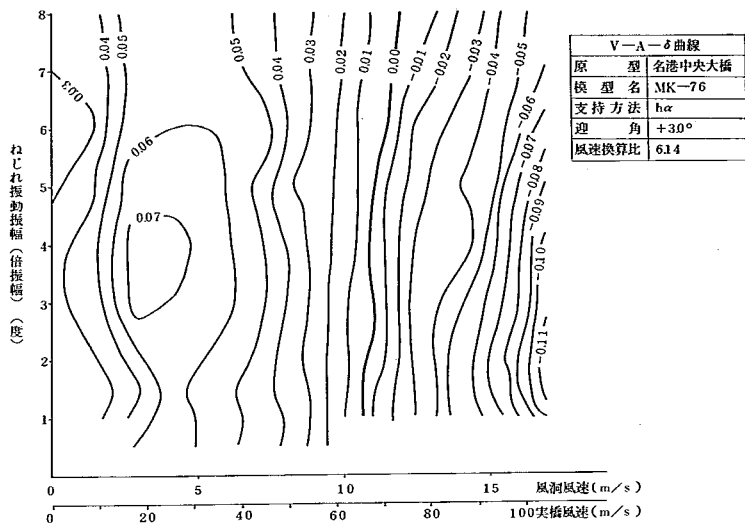


図-2.6.7

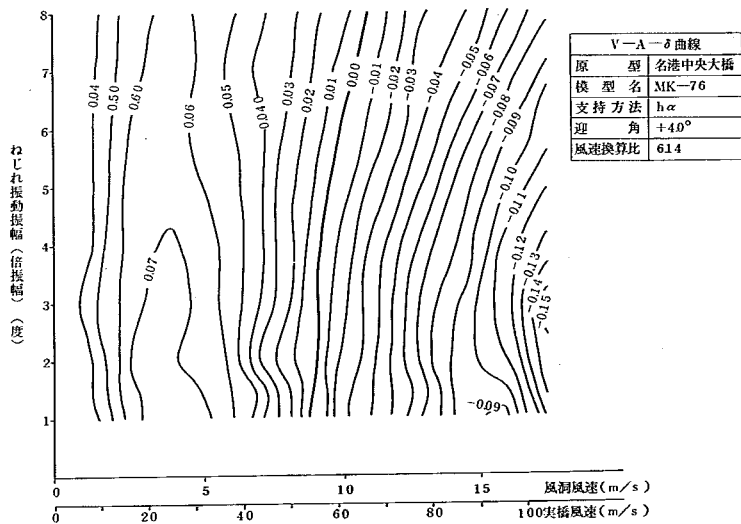


図-2.6.8

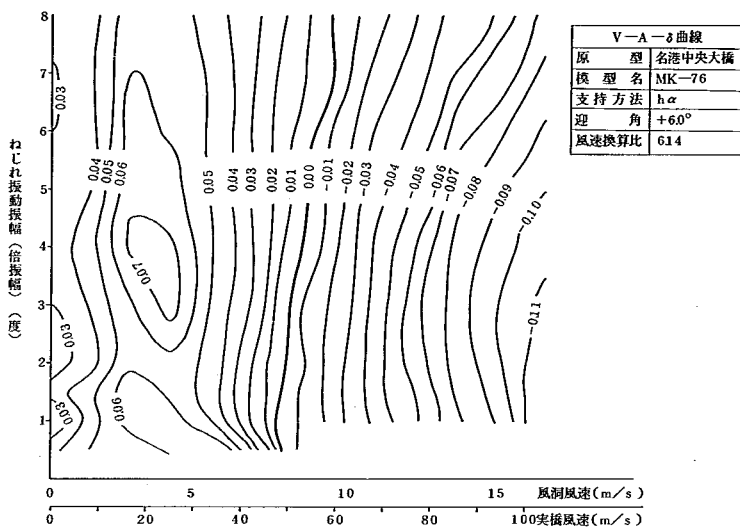


図-2.6.9

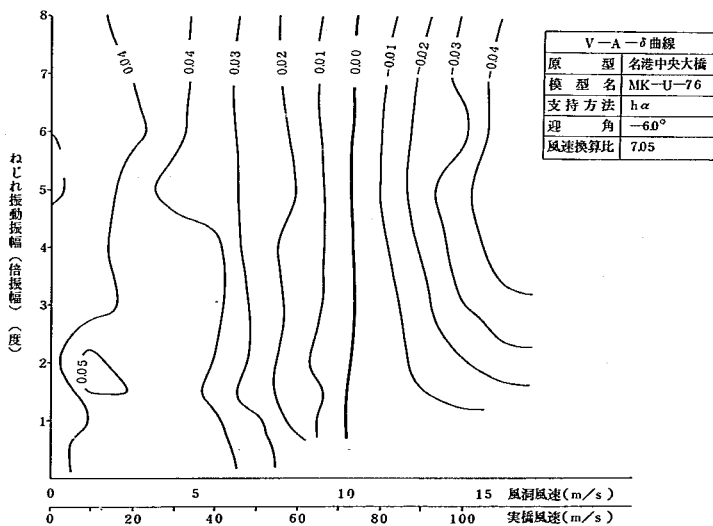


図 2.6.10

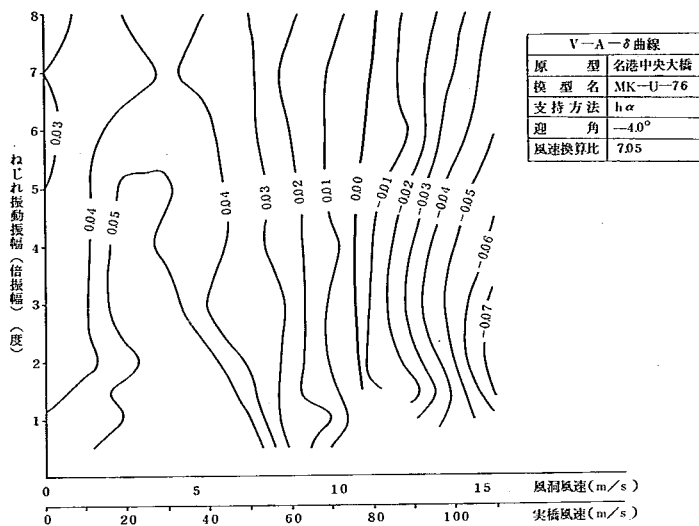


図-2.6.1.1

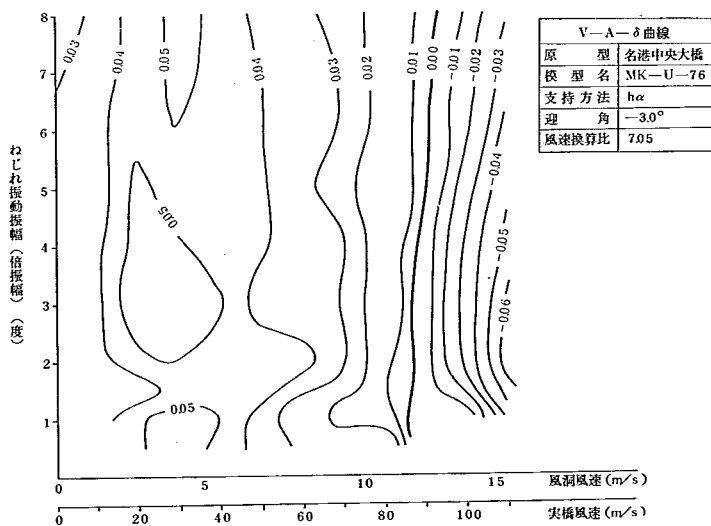


図-2.6.1.2

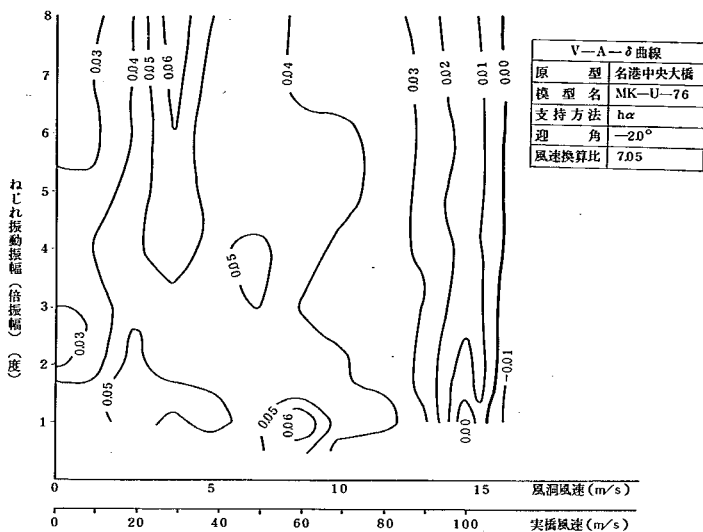


図 2.6.1.3

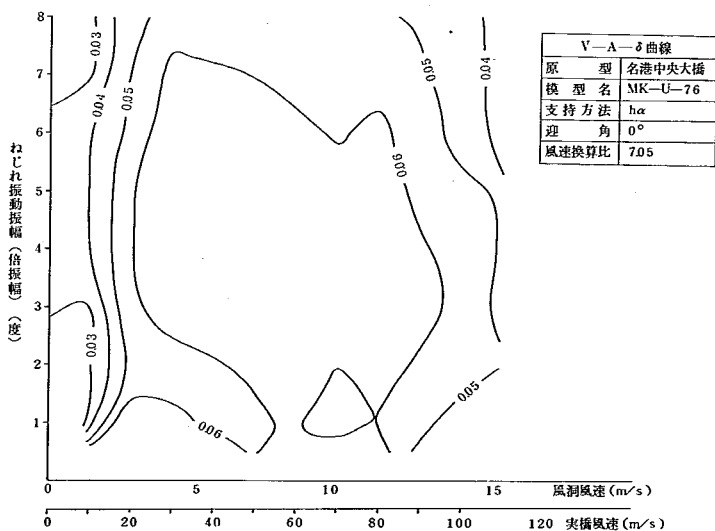


図 2.6.1.4



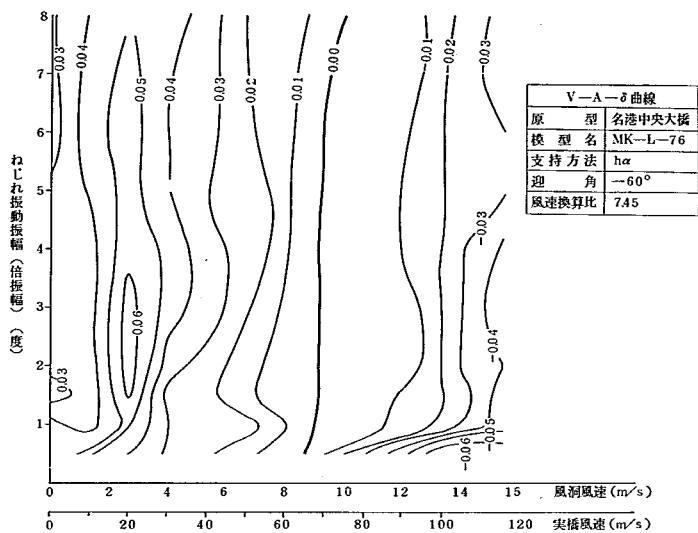


図-2.6.1.7

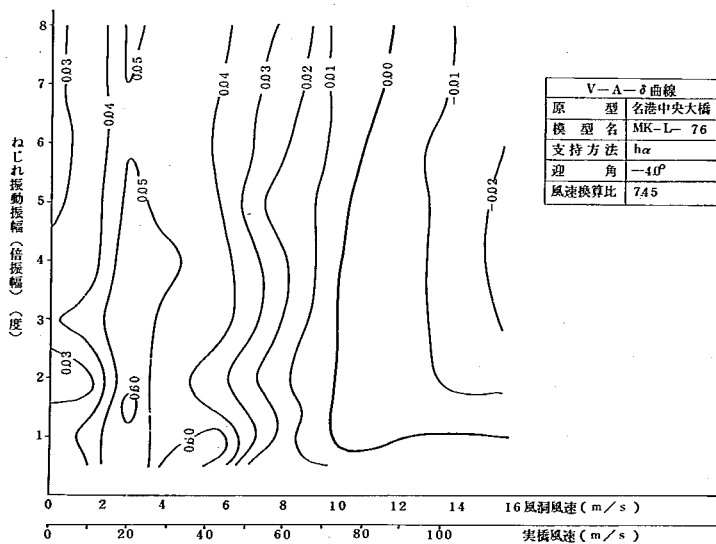


図-2.6.1.8

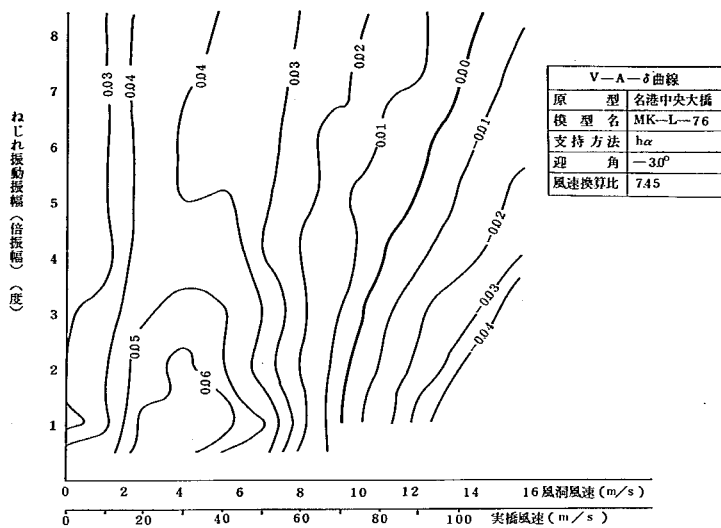


図-2.6.1.9

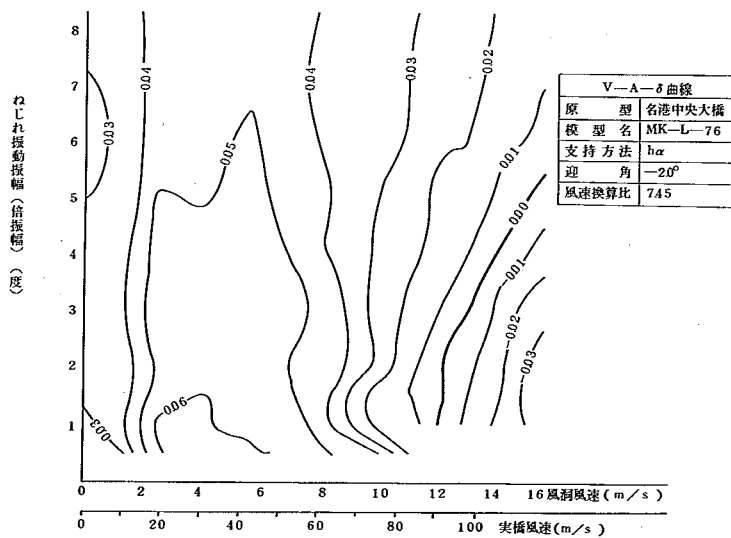


図-2.6.2.0

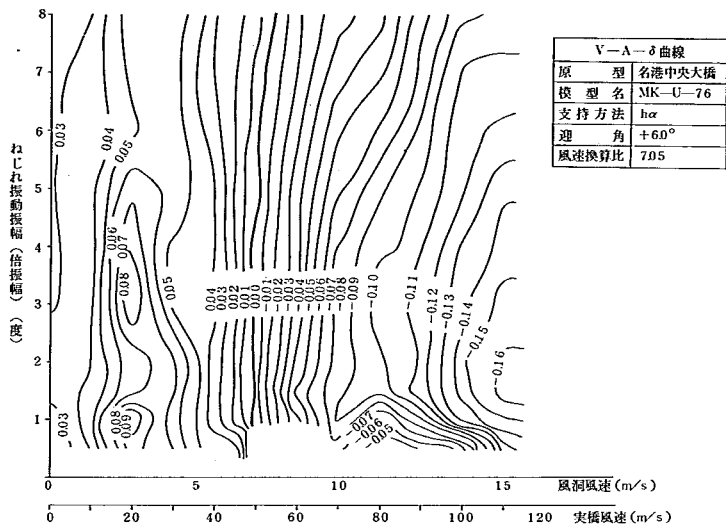


図-2.6.2.1

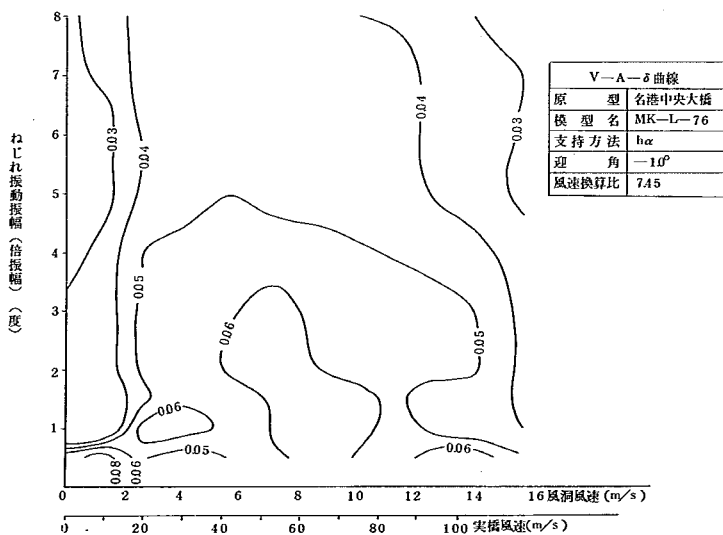


図-2.6.2.2

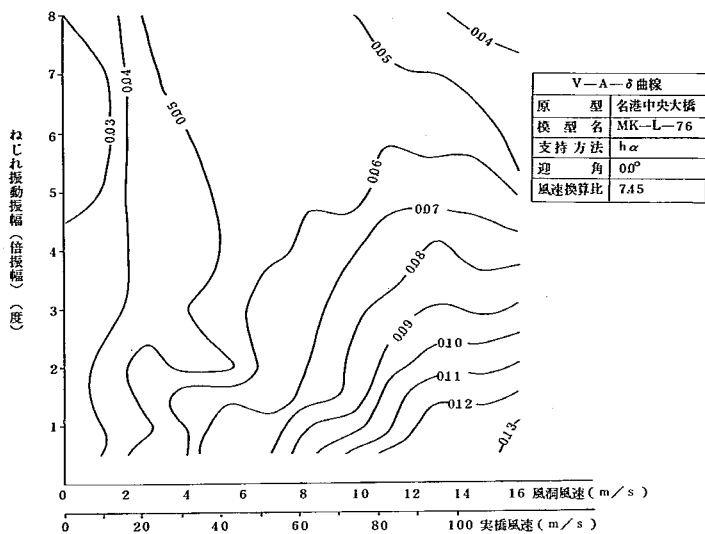


図-2.6.2.3

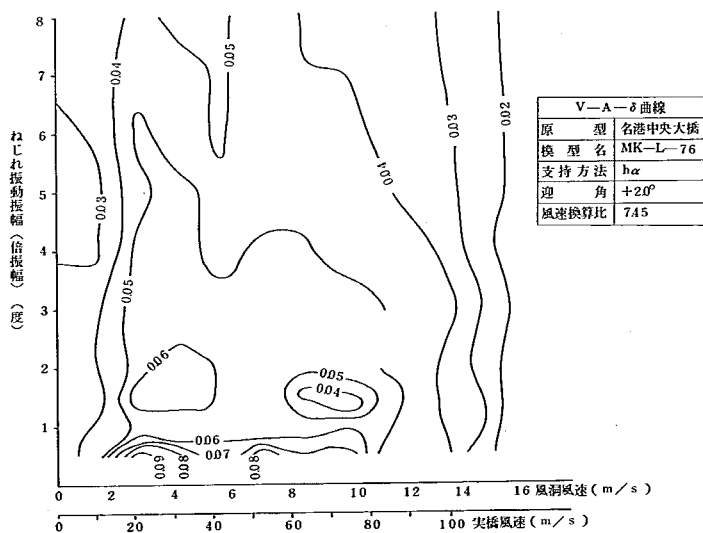
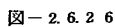
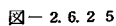


図-2.6.2.4



3 設計基本風速の調査

3.1 ま え が き

大規模特殊事業調査(耐風調査)の一環として、設計風荷重の基本となる10分間平均風速の再現期待値を全国的規模で求めることとした。

今回の調査では、以下の3項目を中心に作業を行なった。

- (i) 橋梁の設計風荷重を決定する際の基礎となる任意地点における地上10mの10分間平均風速を再現期間20, 50, 100年について求める。
- (ii) 架設時の橋梁の風荷重を決定する際の基礎となる任意地点における暖候期・寒候期別地上10mの10分間平均風速を再現期間2, 5, 10, 25年について求める。
- (iii) 項目(i)と同様の作業を最大瞬間風速についても求め、適用性を検討する。

本調査の成果は現在とりまとめ中であるので、ここでは調査方法の概要を報告するに止める。

3.2 設計基本風速の調査計画

3.2.1 目 的

大規模事業に係る構造物の設計に用いられる設計風荷重の算定基礎となる任意対象地点における風速期待値の、より合理的・客観的な推定方法を、まず確立する。

次に、この推定方法を日本全域(適当格子点をも含め)に適用して、再現期間別の全国の最大(平均)風速と最大瞬間風速の期待値の地理的分布図を作る。

3.2.2 基礎資料の選択と定義

再現期間の長い風速期待値を算定し、これらとそれぞれの地形因子との相関関係を解析して任意地点における風速期待値が推定できる信頼度の高い推定式を決定するためには、多数の観測地点における長期間の信頼できる資料に基づいて解析することが望まれる。そこで、今回は次の諸点を配慮して資料を選択収集し、解析する。

3.2.2.1 風速の資料

- (1) 観測方法の均質性から、基本的調査には気象庁管下観測所の資料に重点をおいて用いる。一部の気象庁管下観測所およびその他の機関による資料は、適用性の検証などの資料として活用する。
- (2) 測器の違いによる風速値の差異は、弱風時に大きく、強風時には小さくなり、極値を取り扱う場合には、問題にならないことが多い。⁽¹⁾そこで、測器の変更があっても、年最大瞬間風速は資料としては接続し、そのための修正は行わない。
- (3) 資料年数が長くなるにしたがい、実測の年最大風速値が増大する傾向があり、資料年数の違いによって生ずる再現期待値の差異は無視できない。⁽²⁾したがって、本調査では、できるかぎり同一資料期間・同一年数の資料で解析する。
- (4) 風速は地上からの高さによって変わる。そこで、各観測所の風速値は地上10mの値に換算する

こととし、換算は、一般によく用いられる算法則により、指数は $1/7$ とする。

3.2.2.2 地形因子に関する資料

別紙—地形因子とその定義—による。

3.2.3 各観測所における年最大風速、年最大瞬間風速の度数解析 (Frequency analysis)

3.2.3.1 風速資料の統計期間

(a) 年最大風速 1929 ~ 1975 年 (47年間)

(b) 年最大瞬間風速 1937 ~ 1975 年 (39年間)

3.2.3.2 確率関数の検討

各地方の代表点について、二重指数分布の適合性を再確認する方向で検討する。(二重指数確率紙上の直線性による。)

3.2.3.3 年最大風速および年最大瞬間風速の Frequency analysis

Gringorten の推算法により、 $RP^{(3)}$ (再現期間) = 20, 50, 100 年の最大風速および最大瞬間風速の再現期待値と標準誤差を、全地点についてそれぞれ算定する。

3.2.4 任意地点における $RP = 20, 50, 100$ 年の最大風速および最大瞬間風速の再現期待値を地形因子から推定する方法の調査

推定式は、最大風速と瞬間最大風速と各独立に解析して求めることにする。解析方法は概ね次のとおりとする。

3.2.4.1 地形因子の計測

前章で定義した地形因子を、各風速観測地点について、国土地理院発行の地形図 ($1/20$ 万, $1/50$ 万 etc) によって計測し、求める。

3.2.4.2 採用する地形因子の選定

- (a) 各地形因子とそれぞれの風速期待値、および各地形因子相互の単相関係数をすべて算出する。
- (b) まず、風速と最大の相関のある地形因子を採用する。次に、風速と相関が大きく、採用した地形因子との重相関係数になるべく大きくなるような地形因子の組を採用する。

3.2.4.3 風速と地形因子との回帰式の決定

- (a) 風速が、前項で採用された地形因子の組に属する各因子の 1 次式で表わされるものとし、最小二乗法で係数を決定する。これを、 $RP = 20, 50, 100$ 年別の最大風速および最大瞬間風速の再現期待値に関して求め、それぞれの場合の回帰式を、全国一本で作成する。
- (b) 独立資料による回帰式の適用性の検証・回帰式の作成に用いなかった地点の地形因子を、各回帰式に入れ、それぞれの地点の風速期待値を算出し、もとの風速期待値との差 (算定誤差) の出現度数分布を求める。これを回帰式を作成した地点における場合の誤差の出現度数分布と比較し、適用性を検証する。

3.2.4.4 地域補正項の必要性の調査

多変数関式相関解析法 (共軸図法) においては、因子として地域 (zone) が導入され、効果的な推定法が得られているが、回帰式による場合には、これはいれられない。そこで、算定誤差の地理

的分布図(全地点)を画き、これの地域性から補正項を加えることにより、推定精度が上がる場合もある。⁽⁴⁾この補正項の導入により、推定結果の精度を向上させることを検討し、最終的な“地形因子による任意地点の最大風速と最大瞬間風速の再現期待値の推定式”を決定する。

3.2.5 気象官署における暖候期・寒候期別の最大風速と最大瞬間風速の再現期待値を基礎資料にした、任意地点のそれらを地形因子から推定する方法の調査

3.2.5.1 風速資料の統計期間

1964～1975年(12年間)。ただし、資料期間がこれに満たぬ官署は除く。また、季節の区分は、暖候期：5～10月、寒候期：11～4月とする。

3.2.5.2 解析調査方法

Frequency analysisにおいて、return periodを2.5, 10, 25年とする以外は5.2.3, 5.2.4章と概ね同じとする。

3.2.6 gust factorに関する調査

平均風速($\bar{v}$)と瞬間風速(v_m)とは、一般に、約1.5程度のgust factor($f=v_m/\bar{v}$)で結びつくといわれているが、この値はcase by caseでかなり大きく変動し、1.1程度から2.0を越える位の値が現れる。そこで、conversion coefficientとしての f の特性に重点をおいて、全国的視野で調査する。

3.2.6.1 基礎資料

(a) 統計期間：1964～1975年(12年間)

(b) 地 点：気象庁管下全気象官署。ただし、資料期間が(a)に満たぬ所は除く。

3.2.6.2 f の特性・規則性・その他の調査

(a) 月別平均値、 $\bar{f}$ の統計

風速範囲(10.0～12.9 m/s, 13.0～16.9 m/s, 17.0～20.9 m/s, 21.0 m/s ≤)別に、風向が北寄り(W～N～ENE) 南寄り(E～S～WSW)および全風向について、それぞれ f を算定し、各月および年の平均値 $\bar{f}$ を求めると共に、出現度数、標準偏差も算出する。

(b) 特性・規則性・etcの検討

(a)の統計資料に基づき、調査検討し、特に平均風速と瞬間風速の再現期待値間のconversion coefficientとしての実用性を対象に検討する。

3.2.7 その他、参考調査、文献調査等

(別紙)

地形因子とその定義

地形因子は既往の諸調査の成果を参照し、次の要素を選び、国土地理院発行の地形図により測定する。

1 陸度(X_1, X_2, X_3, X_4)

(7) 対象地点を中心にして、半径 $r=10, 20, 30, 40$ km の円を画く。

(7) 円内の部分が全部陸地ならば10、全部海ならば0とし、10から0までの数であらわす。

2 海岸度 (X_5, X_6, X_7)

- (7) 対象地点中心にして、半径 $r = 3, 5, 8 \text{ km}$ の円を画く。
 (4) 円内の部分が全部海ならば10、全部陸地ならば0とし、10から0までの数であらわす。(陸度の逆である。)

3 起伏度 (X_8, X_9, X_{10}, X_{11})

- (7) 対象地点を中心にして半径 $r = 5, 10, 15, 20 \text{ km}$ の円を画く。
 (4) 円内の最高地点の標高と対象地点の標高の差であらわす。(単位 m)

4 勾配 ($X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$)

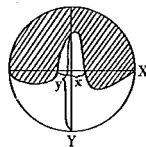
- (7) 対象地点を中心にして半径 $r = 5, 10, 15, 20 \text{ km}$ の円を画く。
 (4) 対象地点と円内の最高点との距離を d とし、対象点と最高点との標高差を dh とするとき、勾配 $\alpha = dh/d$ であらわす。

5 開放度 ($X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}$)

- (7) 対象地点を中心にして半径 $r = 10, 20, 30, 40 \text{ km}$ の円を画く。
 (4) 対象地点よりも 200 m 高い地域を障害域として斜線で区別し、障害域のない開いた方向の角度(中心からの)の総和をもってあらわす。(単位は度)

6 収束 ($X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}$)

- (7) 対象地点を中心にして半径 $r = 5, 10, 15, 20 \text{ km}$ の円を画く。
 (4) 対象地点よりも 200 m 高い地域を区別し(例えば斜線)、斜線のある部分が最大になる直径軸 X 、およびそれに直角な直径軸を引く。
 (4) X 軸、 Y 軸の斜線のない部分の長さを x, y とするとき、収束値を $I = y/x$ であらわす。(小数1位まで)



7 障害距離 (X_{24})

- (7) 対象地点より 200 m 高い地域を障害域とする。
 (4) 対象地点から障害域までの最短距離を求めてあらわす。(単位 0.1 km)

8 風速計の標高 (X_{25})

- (7) 対象地点の標高に 10 m 加えてあらわす。(単位 m)

参考文献

- (1) 気象庁観測部統計課(1967): 日最大瞬間風速と日最大風速の比に関する調査
 測候時報, 34, 95~99
 (2) 小野田仁(昭42): 関門海峡における風速の再現期待値, 第二関門道路調査, 気象調査, 11~21
 (3) Gringorten, I (1963): A simplified method of estimating extreme values for data samples. J. Appl. Met., 2, 82~89
 (4) 正務 章(1974): 岐阜地方における日最高気温の地理的分布の推定法

研究時報, 26, 8, 1~7

- (5) 花籠, 正務, 桂 (1976): 任意地点における最大日降水量の推定に関する解析調査 (未刊)
- (6) 気象庁, 建設省 (昭42): 第二関門道路調査, 気象調査。
- (7) 気象庁, 建設省 (昭40): 本州四国連絡架橋調査, 気象調査, (中間報告, その3)
- (8) 気象庁, 建設省 (昭39): 本州四国連絡架橋調査, 気象調査, (中間報告, その2)
- (9) 斉藤鍊一, 井上恵一, 壇上得爾 (1959): 暴風値の図式相関解析
気象庁研究時報, 11.9

4 箱桁斜張橋の耐風性調査(Ⅲ)

4.1 ま え が き

箱桁斜張橋の耐風性をより統一的な立場から検討することを計画し、特別な場合を除き、具体的な橋梁はその対象とせず、つぎの程度の橋梁を対象として系統的な風洞実験を開始したこと、およびその成果については昨年度の報告書で紹介した。

(1) 中央支間 100 ～ 300 m 程度の斜張橋

(2) 箱桁形式の橋桁を有する斜張橋

本調査全体の流れを再録するとつぎのとおりである。

- 1) 既設の箱桁斜張橋の現況調査を行ない、静的・動的な特性を明らかにする。これをもとに代表的な橋桁の基本形状を選定する。
- 2) 渦励振現象を解明するために、非定常空気力の計測手法を開発する。
- 3) 上記より定められた模型および実験装置を用いて非定常空気力を計測する。
- 4) 実験結果を総括し、箱桁斜張橋として耐風性の優れた橋桁断面を提案する。

項目1)に関する調査は昭和49年度に実施し、既設斜張橋の構造特性から断面形状、剛性、重量に関する統計資料を整理して、鉛直たわみ、ねじれ固有振動数を求める簡略式を提示すると共に、模型実験に供する橋桁の基本断面を選定した。項目2)に関する調査は昭和49,50年の2ヶ年にわたって行ない、計測装置を改良整備して非定常空気力の4成分(L_h , L_a , M_h , M_a)を計測できるようにした。また、項目3)については昭和49年度より逐次実施し、一応本年度をもって完了することとした。以上の調査成果は項目4)において総括する予定であるが、本章では昨年度に引き継いで行なった風洞実験の結果を紹介する。

4.2 実験模型

今回の実験は原則として特定の斜張橋を対象としたものではなく、その空気力特性の一般的傾向を考えようとするものである。そこで従来の施工例を参考にして実験断面を定めた。それによると、最も多い桁断面は1箱桁(□, ▽, □ など)であり、その他に2箱桁、プレートガーダなどの例が見られる。ただし、プレートガーダは2面吊りのように桁自身に比較的振り剛度が低くともよい2面吊り構造の場合に限られているようである。また、それら各種断面の桁高 H と幅員 B の比は0.1～0.2程度となっている。

我が国のような台風常襲国ではフラッタの発生を恐れて振れ剛性の大きい断面が選ばれる可能性が大きいことを考慮して本調査では表-4.1(1)示した5種類とした。特に模型Eについては両縁端に直角2等辺三角形および半円形のフェアリングを取り付けた模型<E, およびQ>Eも考慮した。

*) 本調査は昭和49年度より開始された。(昨年度までの成果)については下記文献参照
耐風調査報告書(Ⅲ)土木研究資料 第1,014号建設省土木研究所, 昭和50年3月
耐風調査報告書(Ⅳ)土木研究資料 第1,132号建設省土木研究所, 昭和51年3月

更に、高欄と地覆は前縁における剝離を左右して作用空気力に大きな影響を与えと考え、表-4.1(2)に示した3種類を製作した。 T_1 は歩道付き、 T_2 、 T_3 は地覆高の違いを代表するものとした。模型の名称は次のように名付けた。

(模型基本形) $(100B'/B)(100H/B)$ -(高欄地覆模型)

ただし、模型 E については $100B'/B$ を100の代りに00と表示することとした。風洞の規模により模型寸法には自ら限度があり、本実験ではその幅員を $B=400\text{ mm}$ に統一した。また実物と模型の幾何学寸法比は一応1/60程度を想定した。模型は檜材を主体とし、一部にバルサ材を用いて製作し、その重量は端板を含めて800~900 gr程度であった、支間は990 mmに統一した。

参考のために実施した末広大橋の模型(実橋の40分の1)では2種類の高欄(T は一般型、 F は抑流板型、図-4.1(2))を用いて実験を行なった。

4.3 空気力の計測方法

4.3.1 非定常空気力の検出装置

実験は構造研究所所属の非定常空気力風洞(1.0×2.0 m)によって実施した。その内容は鉛直たわみ振動(Pure heaving)および振え振動(Pure pitching)時の非定常揚力およびモーメントの測定を中心とし、他に一部フラッター実験、3分力係数の測定も実施した。非定常空気力の測定に用いた実験装置は従来のもものと異なるので以下にその概要を説明しておく。

非定常空気力検出器の原理図を図-4.1に示す。ねじれ振動実験における空気力(揚力、モーメント)測定装置概略図を同図に示しているが、この装置は、ねじれ運動中の模型に働く空気力の揚力、モーメント成分を検出するよう作られている。揚力バランス分銅、モーメントバランス分銅を実験に先立って、前後、左右、上下に調整することにより振動時の慣性力を機械的に取り除く構造になっている。その調整は、低振動数(約0.25 Hz, 50 rpm)で加振し、揚力バランス分銅(橋軸方向)と上下方向の分銅にて模型の重心を定め、その後3~5 Hz加振を行ない、モーメントバランス分銅を移動させて慣性力を取り除くものである。それゆえ一旦バランス分銅の調整を終れば、検出器で検出される出力は空気力だけとなり、出力の増巾に便利である。

この検出器で検出された空気力信号はストレインアンプに入り、その後加減算器で加算されてから高周波ノイズ成分をローパスフィルター(8 Hz cut off)にて取り除き、変位記録と同時にデータレコーダーに記録した。変位は電子光学式変位測定器(チンマー社)により測定した。この測定器はターゲット(白と黒のコントラストをもったもの)をカメラで写し、光の量を電子量に変換しこの電子像が変位する時(白い部分は多量、黒い部分は少量)、これを元の位置に戻すためのフィードバック修正電流が流れる。これを出力信号として取り出すものである。図-4.2は計測回路をブロック図で示したものである。また実験時の風速はピトー管により静圧、動圧の差を検出しそれをベッツ型マノメータで読みその後風速に換算した。

風速は換算風速 V/NB で0~4.50とした。

4.3.2 非定常空気力係数の算出

非定常空気力は模型の加振方向（鉛直たわみ h ，または振れ α ）に応じた揚力（ L ）あるいは空力モーメント（ M ）に分類されるが、以下では鉛直たわみ加振のとき 発生する揚力を例に非定常空気係数の算出法を説明する。

模型を周波数 ω_m で鉛直たわみ加振した時に発生する揚力は加振周波数と同じ周波数の成分（ L_m ）とその他の成分（ L_a ）より構成されていると考えられるが、構造物の振動にとって重要なものは L_m である。模型の変位および周波数応答揚力成分は次式で表わされる。すなわち、揚力は変位に対して位相おくれ $\beta_{Lh} = \tan^{-1} (L_h^I / L_h^R)$ をもつ。

$$\begin{cases} h = h_0 e^{i\omega t} \\ L = (L_h^R + i L_h^I) e^{i\omega t} = \frac{1}{2} \rho V^2 B l (C_{Lh}^R + i C_{Lh}^I) e^{i\omega t} \end{cases} \quad (4.1)$$

模型の変位を $h = h_0 \cos \omega t$ とおくと、それに対応する揚力は次式で表わされる。

$$\begin{cases} h = h_0 \cos \omega t \\ L = \frac{1}{2} \rho V^2 B l (C_{Lh}^R \cos \omega t - C_{Lh}^I \sin \omega t) \end{cases} \quad (4.2)$$

ところで、一般に空気力には乱れを含むので、実験結果はつぎのように整理した。加振周波数を ω_m データ長を T とすると、

$$\begin{aligned} L(t) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \{ & C_0 + C_1 \cos \frac{2\pi}{T} t + C_2 \sin \frac{2\pi}{T} t + \dots \\ & + C_{Lh}^R \cos \omega t - C_{Lh}^I \sin \omega t + \dots \} \end{aligned} \quad (4.3)$$

両辺に $\cos \omega t$ を乗じ積分することにより、

$$C_{Lh}^R = \frac{2}{T} \cdot \frac{2}{\rho V^2 B l} \int_0^T L(t) \cos \omega t dt \quad (4.4)$$

として C_{Lh}^R を求められる。同様に、 C_{Lh}^I は

$$C_{Lh}^I = -\frac{2}{T} \cdot \frac{2}{\rho V^2 B l} \int_0^T L(t) \sin \omega t dt \quad (4.4')$$

位相差は次式で与えられる。

$$\beta_{Lh} = \tan^{-1} C_{Lh}^I / C_{Lh}^R \quad (4.5)$$

ここで、 C_{Lh}^R 、 C_{Lh}^I は揚力の変位位相成分、速度位相成分である。モーメントについても同様にして算定できる。なお、各値の符号はつぎの定義に従う。

変 位(h): 上向きを正

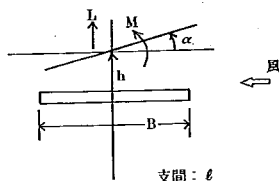
回転変位(α): 頭上げを正

揚 力(L): 上向きを正

空力モーメントの頭上げを正

なお、データの整理に際して T を加振周期の30倍とし、データの A/D 変換の時間間隔は加振周波数 5 Hz で 3 ms とした。

非定常空気力係数の基本は平板空気力 (Theodorsen 空気力) である。そこで、本実験による係数と平板空気力係数との対比を表-4.2 にまとめて参考に供する。



4.4 得られた非定常空気力係数

これまでの実験を通じて得られた非定常空気力係数の概要を表-4.3 に、その詳細を表-4.4 に示す。各データの詳細は紙面の都合で省略する。

4.5 橋桁の作用空気力と耐風安定性

橋桁に作用する空気力の実態およびそれを受ける橋梁の安定性について実験により求められたが、ここでは理想化された場合の安定問題を論ずる。

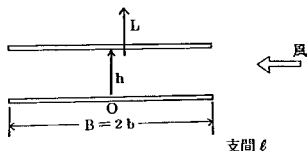
4.5.1 各種自由度の振動系と安定条件

空気力の作用を受けて振動する橋桁の振動の自由度は鉛直たわみ振動、捩れ振動、および両者の連成振動の3種に大別される。長大吊橋や高層ビルの場合には抗力の作用方向に振動するガスト応答の問題もあるが、ここでは取扱わない。

(i) 鉛直たわみ1自由度振動の安定条件

……ギャロッピング、ダイバージェンス

右図に示すように、橋桁が鉛直たわみ1自由度振動する場合、その運動および作用空気力は次式で表わせる。



$$\left. \begin{aligned} h &= h_0 e^{i\omega t} \\ L &= (I^R + iL^I) e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

空気力が1サイクルごとに仕事は

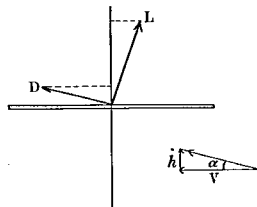
$$\begin{aligned} W &= \int_{\text{サイクル}} L dh = \int_0^{2\pi/\omega} R(L) d(R(h)) = \int_0^{2\pi/\omega} (L^R \cos \omega t - L^I \sin \omega t) d(h_0 \cos \omega t) \\ &= \pi h_0 L^I \end{aligned} \quad (4.7)$$

故に、 $L^I > 0$ ならば系は負減衰 (negative damping) となる。

右図を参考に準定常理論に従えば下向きに $|h|$ で運動しているとき下向きに作用する力は

$$F = -\frac{1}{2} \rho V^2 B l \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + D \right) \frac{\dot{h}}{V}$$

$$= -\frac{i}{2} \rho V B l \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + D \right) \omega h_0 e^{i\omega t} \quad (4.8)$$



これより $L^h = 0$, $L^I = -\frac{1}{2} \rho V B l \omega h_0 \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + D \right)$

となり, $\left(\frac{dC_L}{d\alpha} + D \right) < 0$ のときは負減衰となる。これは氷雪の付着した電線の跳躍振動 (Galloping oscillation) について Den Hartog の導いた条件式と一致する。

跳躍振動は大振幅の自励振動である点でカルマン渦による、いわゆる風琴振動とは異なり、また、初期振幅が大きくないと発生しにくい。また、現実には空気力の非線形性のために、有限振幅の振動に止まるのが普通である。

次に、このギャロッピングをもう少し厳密に減衰力が作用する場合も含めて考えて見る。

減衰力を伴った鉛直たわみ 1 自由度の運動方式は非定常空気力を用いて表わせば、

$$m \ddot{h} + (1 + i g_h) K_h h = \frac{1}{2} \rho V^2 B l (C_L^R + i C_L^I) e^{i\omega t} \quad (4.9)$$

上式に $h = h_0 e^{i\omega t}$, $K_h = m \omega_h^2$ として代入すると、

$$-\omega^2 m h_0 + (1 + i g_h) m \omega_h^2 h_0 = \frac{1}{2} \rho V^2 B l (C_L^R + i C_L^I)$$

実部と虚部分けると

$$\left. \begin{aligned} -\omega^2 m h_0 + m \omega_h^2 h_0 - \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_L^R &= 0 \\ \omega_h^2 m h_0 g_h - \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_L^I &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

上式より $N_F = \omega / 2\pi$ において ω_h^2 を消去すると、

$$\frac{h_0}{B} = \frac{\rho B}{8\pi^2} \left(\frac{V_F}{N_F B} \right)^2 \frac{l}{m} \left(\frac{C_L^I}{g_h} - C_L^R \right) \quad (4.11)$$

更に $\pi \rho B^2 l / 4 m = \mu$ とおくと、

$$\frac{h_0}{B} = \frac{\mu}{2\pi^3} \left(\frac{V_F}{N_F B} \right)^2 \left(\frac{C_L^I}{g_h} - C_L^R \right) \quad (4.11')$$

一般に C_L^R , C_L^I とも V/NB , h_0/B の関数であるから、 V_F は次の手順で求める必要がある。

(i) $h_0/B = \eta$ と仮定する。

(ii) 式 (4.11') の右辺 = η となるような $V/NB = f_F$ を求める。

(iii) $h_0/B = \eta$, $V/NB = f$ のときの ω_h/ω_F を求める。

(iv) これより、 ω_h/ω_F , $V/NB = f_F$ より V_F を求める。

ついでに式(4.10)において $\omega=0$ とおくことにより

$$V_D = \sqrt{K_h h_0 / \frac{1}{2} \rho B l C_L^R} \quad (4.12)$$

が得られる。これは静的不安定の限界条件で V_D は Divergence 速度を与える。

もしも、 C_L^R の値が小さく $\omega_F \approx \omega_h$ のときは、式(4.10)の第1式の $C_L^R = 0$ とおけるので、式(4.11')は、

$$\frac{h_0}{B} = \frac{\mu}{2\pi^3 B} \left(\frac{V_F}{N_F B} \right)^2 \cdot \frac{C_L^I}{g_h} \quad (4.13)$$

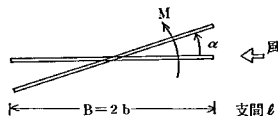
となる。この場合も、 h_0/B を仮定して、上式の右边が仮定の h_0/B になるような $V_F/N_F B$ を求め、 $\omega = \omega_F$ から V_F を求めることが出来る。

また、減衰を無視する場合には、式(4.11')の両辺に g_h を乗じ $g_h \rightarrow 0$ とすれば、 $C_L^I = 0$ となる。このときも、 h_0/B を仮定し、それを満す $V_F/N_F B$ を求め、式(4.10)の第1式より仮定した h_0/B および $V_F/N_F B$ に対応する ω_F/ω_h を求め、 V_F を導くことが出来る。

(e) 振れ1自由度振動の安定条件……………振れフラッタ、

振れダイバージェンス

右図のように、橋桁が振れ1自由度で振動する場合の運動と空気力は次式で表わされる。



$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 e^{i\omega t} \\ M &= (M^R + iM^I) e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

鉛直たわみ振動の場合と同様に空気力が1サイクルごとに仕事は

$$W = \int_{\phi I_{2\pi}} M d\alpha = \int_0^{\omega/2\pi} (M^R \cos \omega t - M^I \sin \omega t) d(\alpha_0 \cos \omega t) = \pi \alpha_0 M_I \quad (4.15)$$

故に負減衰の条件は $M_I > 0$ となる。すなわち、空力モーメントの位相が振れ変位から $180^\circ \sim 360^\circ$ 遅れた領域で負減衰となる。

前と同様に構造減衰が存在する場合について考察する。

$$I_\alpha \ddot{\alpha} + (1 + i g_\alpha) K_\alpha \alpha = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l (C_M^R + C_M^I) e^{i\omega t} \quad (4.16)$$

$$\alpha = \alpha_0 e^{i\omega t}, \quad K_\alpha = I_\alpha \cdot \omega_\alpha^2 \quad \text{とおくと}$$

$$\left. \begin{aligned} -I_\alpha \omega^2 \alpha_0 + I_\alpha \omega_\alpha^2 \alpha_0 - \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l C_M^R &= 0 \\ I_\alpha \omega_\alpha^2 \alpha_0 g_\alpha - \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l C_M^I &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

更に $\nu = \pi \rho B^4 l / 16 I_\alpha$ において上式より ω_α^2 を消去すると、

$$\alpha_0 = \frac{2\nu}{\pi^3} \left(\frac{V_F}{N_F B} \right)^2 \left(\frac{C_M^I}{g_\alpha} - C_M^R \right) \quad (4.18)$$

V_F を各条件の下で求める方法は鉛直たわみ振動の場合と同じであるので省略する。

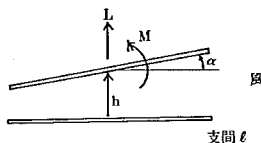
また、振れのダイバージェンスの限界風速は式(4.17)より、

$$V_D = \sqrt{K\alpha\alpha_0 / \frac{1}{2}\rho B^2 l C_L^R} \quad (4.19)$$

として求められる。

(イ) 鉛直たわみおよび振れの2自由度の安定条件、……フラッタ

右図のように2自由度の連成振動を行なう場合の安定条件について考察する。それぞれの運動と作用空気力は次式で表わせる。



$$\left. \begin{aligned} h &= h_0 e^{i\omega t} \\ L &= (L^R + iL^I) e^{i\omega t} \\ \alpha &= \alpha_0 e^{i(\omega t + \phi)} \\ M &= (M^R + iM^I) e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

これまでと同様に空気力が1サイクルごとに仕事計算すると、

$$\begin{aligned} W &= \int_0^{2\pi/\omega} (L^R \cos \omega t - L^I \sin \omega t) d(h_0 \cos \omega t) + \int_0^{2\pi/\omega} (M^R \cos \omega t - M^I \sin \omega t) d(\alpha_0 \cos(\omega t - \phi)) \\ &= \pi h_0 L + \pi \alpha_0 (-M^R \sin \phi + M^I \cos \phi) \end{aligned} \quad (4.21)$$

準定常空気力を用いれば、

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{2} \rho V^2 B l \frac{dC_L}{d\alpha} \left(-\frac{\dot{h}}{V} + \alpha \right) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \frac{dC_L}{d\alpha} \left(-\frac{i\omega h_0}{V} + \alpha_0 e^{i\phi} \right) e^{i\omega t} \\ M &= 0 \end{aligned} \quad (4.22)$$

故に、 $L_I = -\frac{1}{2} \rho V^2 B l \alpha_0 \frac{dC_L}{d\alpha} \left(\frac{\omega h_0}{\alpha_0 V} - \sin \phi \right)$ であるから、

$$\frac{\omega h_0}{\alpha_0 V} < \sin \phi \quad \text{のとき負減衰となる。}$$

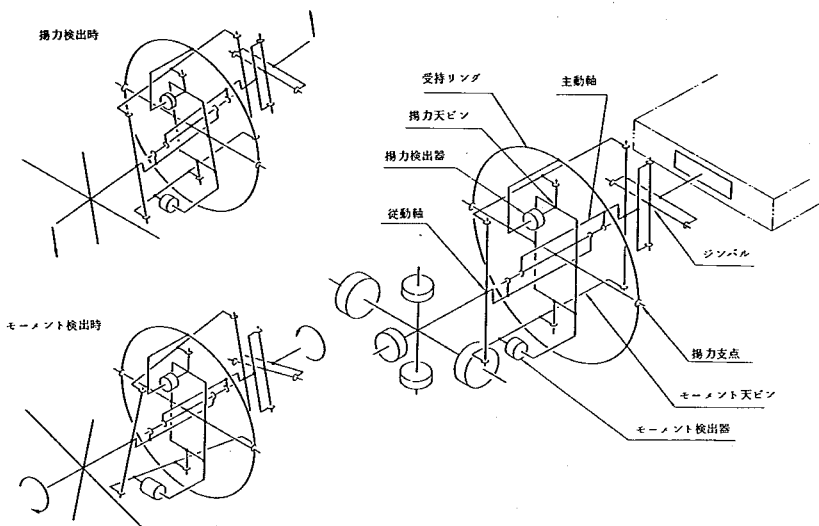


図-4.1 非定常空気力検出器原理図

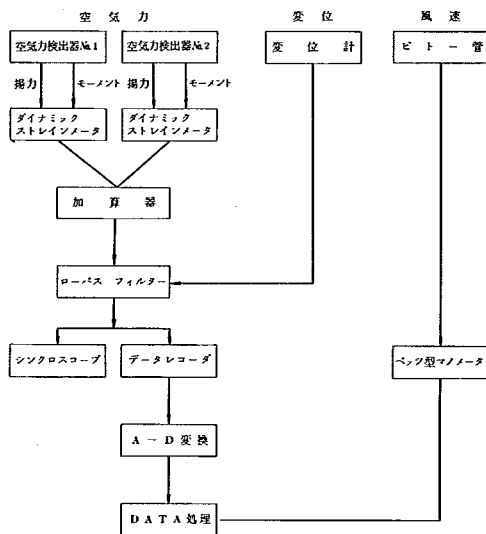


図-4.2 計測回路ブロック図

表 4.1 (1) 基本模型 (橋桁)

形式	断面
A	
B	
C	
D	
E ◁E ◁E ◁E	

表 4.1 (2) 基本模型 (高欄と地覆)

T 1	T 2	T 3	未広-T	未広-F

623

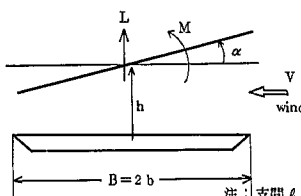
表 4. 3 非定常空気を計測した模型の種類

寸 法 (mm)			記 号	A	B	C	D	E	△ E	□ E	SUEHIRO
B	B'	H									
400	200	80	5020	○	○	○	○	-	-	-	T お よ び F
		60	5015	○	○	○	○	-	-	-	
		40	5010	○	○	○	○	-	-	-	
	300	80	7520	○	○	-	○	-	-	-	
		60	7515	○	○	-	○	-	-	-	
		40	7510	○	○	-	-	-	-	-	
	400	80	0020	-	-	-	-	○	-	○	
		60	0015	-	-	-	-	○	-	-	
		40	0010	-	-	-	-	○	○	○	
断 面 形 状											

注 ○ 実験資料あり

- 実験資料なし

表-4.2 橋梁と平板の非定常空気力係数の比較

記号・符号の定義	定義 (揚力)	(空力モーメント)
(符号)  注: 支間 ℓ $B=2b$ L M V wind h α $\beta_L, (\beta_{L\alpha}, \beta_{M\alpha}, \beta_h)$ $L_h e^{i\omega t}$ $L_\alpha e^{i\omega t}$ $M_\alpha e^{i\omega t}$ $M_h e^{i\omega t}$	$L = \{ (L_h^R + iL_h^I) + (L_\alpha^R + iL_\alpha^I) \} e^{i\omega t}$ $L_h^R = \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_{Lh}^R, L_h^I = \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_{Lh}^I$ $L_\alpha^R = \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_{L\alpha}^R, L_\alpha^I = \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_{L\alpha}^I$ $L_h = L_h^R + iL_h^I = L_h e^{i\beta_{Lh}},$ $L_\alpha = L_\alpha^R + iL_\alpha^I = L_\alpha e^{i\beta_{L\alpha}}$ $L_h = \sqrt{L_h^{R2} + L_h^{I2}}, \beta_{Lh} = \tan^{-1} L_h^I / L_h^R$ $L_\alpha = \sqrt{L_\alpha^{R2} + L_\alpha^{I2}}, \beta_{L\alpha} = \tan^{-1} L_\alpha^I / L_\alpha^R$ $R(L) = L_h^R \cos \omega t - L_h^I \sin \omega t + L_\alpha^R \cos \omega t - L_\alpha^I \sin \omega t$ $= L_h \cos(\omega t + \beta_{Lh}) + L_\alpha \cos(\omega t + \beta_{L\alpha})$ Theodorsen 関数による表示 $L = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \left[C(k) \alpha + (1 + C(k)) \frac{B}{4} \frac{\dot{\alpha}}{V} - C(k) \frac{\dot{h}}{V} \right] \times 2\pi$ $C(k) = F(k) + iG(k), k = \omega B / 2V$	$M = \{ (M_\alpha^R + iM_\alpha^I) + (M_h^R + iM_h^I) \} e^{i\omega t}$ $M_\alpha^R = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l C_{M\alpha}^R, M_\alpha^I = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l C_{M\alpha}^I$ $M_h^R = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l C_{Mh}^R, M_h^I = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l C_{Mh}^I$ $M_\alpha = M_\alpha^R + iM_\alpha^I = M_\alpha e^{i\beta_{M\alpha}},$ $M_h = M_h^R + iM_h^I = M_h e^{i\beta_{Mh}}$ $M_h = \sqrt{M_h^{R2} + M_h^{I2}}, \beta_{M\alpha} = \tan^{-1} M_\alpha^I / M_\alpha^R$ $M_h = \sqrt{M_h^{R2} + M_h^{I2}}, \beta_{Mh} = \tan^{-1} M_h^I / M_h^R$ $R(M) = M_\alpha^R \cos \omega t - M_\alpha^I \sin \omega t + M_h^R \cos \omega t - M_h^I \sin \omega t$ $= M_\alpha \cos(\omega t + \beta_{M\alpha}) + M_h \cos(\omega t + \beta_{Mh})$ $M = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l \left[C(k) \alpha + (-1 + C(k)) \frac{B}{4} \frac{\dot{\alpha}}{V} - C(k) \frac{\dot{h}}{V} \right] \frac{\pi}{2}$

(変位)

$$h = h_0 e^{i\omega t}$$

$$\alpha = \alpha_0 e^{i\tau} e^{i\omega t}$$

空気力係数の対比

$$C_{Lh}^R \quad 4\pi G(k) k \frac{h_0}{B}$$

$$C_{Lh}^I \quad -4\pi F(k) k \frac{h_0}{B}$$

$$C_{L\alpha}^R \quad 2\pi \left[(F(k) - G(k) \frac{k}{2}) \cos \tau \right. \\ \left. - (G(k) + (1 + F(k)) \frac{k}{2}) \sin \tau \right] \alpha_0$$

$$C_{L\alpha}^I \quad 2\pi \left[(G(k) + (1 + F(k)) \frac{k}{2}) \cos \tau \right. \\ \left. + (F(k) - G(k) \frac{k}{2}) \sin \tau \right] \alpha_0$$

$$C_{M\alpha}^R \quad \frac{\pi}{2} \left[(F(k) - \frac{k}{2} G(k) \cos \tau - (G(k) + \frac{k}{2} \right. \\ \left. + \frac{k}{2} (F(k) - 1)) \sin \tau \right] \alpha_0$$

$$C_{M\alpha}^I \quad \frac{\pi}{2} \left[(G(k) + \frac{k}{2} (F(k) - 1)) \cos \tau \right. \\ \left. + (F(k) - \frac{k}{2} G(k)) \sin \tau \right] \alpha_0$$

$$C_{Mh}^R \quad \pi G(k) k \frac{h_0}{B}$$

$$C_{Mh}^I \quad -\pi F(k) k \frac{h_0}{B}$$

表 4.4 非定常空気力係数計測実験の集計

模型: A 型

整理番号	模 型		平均 迎角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本 体	設置 高欄		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
101	A 5 0 1 0	T 1	-3	1.5		5.0	○				
2	"	"	0	"		"	"				
3	"	"	3	"		"	"				
4	"	"	-3		0.5	"		○			
5	"	"	0		"	"	"				
6	"	"	3	"	"	"	"				
7	"	"	-3		"	"			○		
8	"	"	0		"	"			"		
9	"	"	3	"	"	"			"		
110	"	"	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
111	"	"	-3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
112	"	T 3	-3	"		5.0	○				
3	"	"	0	"		"	"				
4	"	"	3	"		5.0, 2.0	"				
5	A 5 0 1 5	T 1	-3	"		"	"				
6	"	"	0	"		"	"				
7	"	"	3	"		"	"				
8	"	"	-3		0.5	5.0		○			
9	"	"	0		"	"	"				
120	"	"	3		"	"	"				
1	"	"	-3		"	"			○		
2	"	"	0		"	"			"		
3	"	"	3		"	"			"		
124	"	"	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
125	"	"	-3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
126	"	T 3	-3	"		"	○				
7	"	"	0	"		"	"				
8	"	"	3	"		"	"				
9	A 7 5 1 5	T 1	-3	"		"	"				
130	"	"	0	"		"	"				
1	"	"	3	"		"	"				
2	"	"	-3		0.5	5.0		○			
3	"	"	0		"	"		"			
4	"	"	3		"	"		"			
5	"	"	-3		"	"			○		
6	"	"	0		"	"			"		
7	"	"	3		"	"			"		
8	"	T 3	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
9	"	"	0	"		"	"				
140	"	"	3	"		"	"				
1	A 7 5 2 0	T 1	-3	"		"	"				
2	"	"	0	"		"	"				

模型：A 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 氣 力 係 数				備 考
	本	体 地覆 高 闊		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
143	A 7 5 2 0	T 1	3	1.5		5.0, 2.0	○				
4	"	"	-3		0.5	5.0		○			
5	"	"	0		"	"		"			
6	"	"	3		"	"		"			
7	"	"	-3		"	"			○		
8	"	"	0		"	"			"		
9	"	"	3		"	"			"		
150	"	T 3	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
1	"	"	0	"		"	"				
2	"	"	3	"		"	"				
153	A 5 0 2 0	T 1	-4	"		3.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
154	A 7 5 1 0	"	-4	"		5.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				

模型：B 型

配理 序号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加 振 振 幅		加 振 振 数 (Hz)	空 气 力 系 数				备 考
	本	体	地 震 模 型	α/α	deg		C L α	C L σ	C M σ	C M δ	
200	B5010		T1	-3	1.5	5.0	○				
2				0							
3				3							
4				-3	0.5			○			
5				0							
6				3							
7				-3					○		
8				0							
9				3							
210			T3	-3	1.5		○				
1				0							
2				3							
3	B5015		T1	-3		5.0, 2.0					
4				0							
5				3							
6				-3	0.5	5.0		○			
7				0							
8				3							
9				-3					○		
220				0							
1				3							
2			T3	-3	1.5	5.0, 2.0	○				
3				0							
4				3							
5	B7515		T1	-3							
6				0							
7				3							
8				-3	0.5	5.0		○			
9				0							
230				3							
1				-3					○		
2				0							
3				3							
4			T3	-3	1.5	5.0, 2.0	○				
5				0							
6				3							
7	B7520		T1	-3							
8				0							
9				3							
240				-3	0.5	5.0		○			
1				0							
2				3							
3				-3					○		
4				0							
5				3							
6			T3	-3	1.5	5.0, 2.0	○				
7				0							
8				3							
249	B5020		T1	-4		5.0					
				0							

模型：B 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本 体	地覆 高隔		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
249	B 5 0 2 0	T 1	4	1.5		3.0	○				
250	B 7 5 1 0	"	- 4	"		5.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				

模型：C 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地覆 高欄		m/m	deg		C Lh	C La'	C Ma	C Mh	
301	C5010	T1	0	1.0		5.0	○				
2	"	"	"	2.0		5.0, 2.0	"				
3	"	"	"	3.0		"	"				
4	"	"	"	5.0		"	"				
5	"	"	-3		0.5	5.0		○			
6	"	"	0		0.25	"		"			
7	"	"	"		0.5	"		"			
8	"	"	"		0.75	"		"			
9	"	"	"		1.0	"		"			
310	"	"	"		1.25	"		"			
1	"	"	3		0.5	"		"			
2	"	"	-3		0.5	"			○		
3	"	"	0		0.25	"			"		
4	"	"	"		0.5	"			"		
5	"	"	"		0.75	"			"		
6	"	"	"		1.0	"			"		
7	"	"	"		1.25	"			"		
8	"	"	3		0.5	"			"		
319	"	"	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
320	"	"	-3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
321	"	"	0	1.0		"	○				
"	"	"	"	2.0		"	"				
"	"	"	"	3.0		"	"				
"	"	"	"	5.0		"	"				
322	"	"	"	1.0		"				○	
"	"	"	"	2.0		"				"	
"	"	"	"	3.0		"				"	
"	"	"	"	5.0		"				"	
323	"	T2	"	1.0		"	○				
4	"	"	"	2.0		"	"				
5	"	"	"	3.0		"	"				
6	"	"	"	5.0		"	"				
7	"	T3	"	1.0		"	"				
8	"	"	"	2.0		"	"				
9	"	"	"	3.0		"	"				
330	"	"	"	5.0		"	"				
1	C5015	T1	-3	1.5		"	"				
2	"	"	0	"		"	"				
3	"	"	3	"		"	"				
4	"	"	0	1.0		"	"				
5	"	"	"	2.0		"	"				
6	"	"	"	3.0		"	"				
7	"	"	"	5.0		"	"				
8	"	"	-3		0.5	5.0		○			
9	"	"	0		0.25	"		"			
340	"	"	"		0.5	"		"			

模型：C 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地置 高欄		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
341	C5015	T1	0		0.75	5.0		○			
2	"	"	"		1.0	"		"			
3	"	"	"		1.25	"		"			
4	"	"	3		0.5	"		"			
5	"	"	-3		0.5	"			○		
6	"	"	0		0.25	"			"		
7	"	"	"		0.5	"			"		
8	"	"	"		0.75	"			"		
9	"	"	"		1.0	"			"		
350	"	"	"		1.25	"			"		
1	"	"	3		0.5	"			"		
352	"	"	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
353	"	"	-3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
354	"	"	0	1.0		"	○				
"	"	"	"	2.0		"	"				
"	"	"	"	3.0		"	"				
"	"	"	"	5.0		"	"				
355	"	"	"	1.0		"				○	
"	"	"	"	2.0		"				"	
"	"	"	"	3.0		"				"	
"	"	"	"	5.0		"				"	
356	"	"	"	1.0		5.0	○				
7	"	"	"	2.0		"	"				
8	"	"	"	3.0		"	"				
9	"	"	"	5.0		"	"				
360	"	T3	-3	1.5		5.0, 2.0	"				
1	"	"	0	"		"	"				
2	"	"	3	"		"	"				
3	"	"	0	1.0		5.0	"				
4	"	"	"	2.0		"	"				
5	"	"	"	3.0		"	"				
6	"	"	"	5.0		"	"				
7	C5020	T1	0	1.0		"	"				
8	"	"	"	2.0		"	"				
9	"	"	"	3.0		"	"				
370	"	"	"	5.0		"	"				
1	"	"	-3		0.5	"		○			
2	"	"	0		0.25	"		"			
3	"	"	"		0.5	"		"			
4	"	"	"		0.75	"		"			
5	"	"	"		1.0	"		"			
6	"	"	"		1.25	"		"			
7	"	"	3		0.5	"		"			
8	"	"	-3		"	"			○		
9	"	"	0		0.25	"			"		
380	"	"	"		0.5	"			"		

模型：C 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加 振 振 幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地覆 高欄		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
381	C 5 0 2 0	T 1	0		0.75	5.0			○		
2	"	"	"		1.0	"			"		
3	"	"	"		1.25	"			"		
4	"	"	3		0.5	"			"		
385	"	"	- 3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
386	"	"	- 3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
387	"	"	0	1.0		"	○				
"	"	"	"	2.0		"	"				
"	"	"	"	3.0		"	"				
"	"	"	"	5.0		"	"				
388	"	"	"	1.0		"				○	
"	"	"	"	2.0		"				"	
"	"	"	"	3.0		"				"	
"	"	"	"	5.0		"				"	
389	"	T 2	"	1.0		"	○				
390	"	"	"	2.0		"	"				
1	"	"	"	3.0		"	"				
2	"	"	"	5.0		"	"				
3	"	T 3	"	1.0		5.0	"				
4	"	"	"	2.0		"	"				
5	"	"	"	3.0		"	"				
6	"	"	"	5.0		"	"				
397	C 5 0 1 0	T 1	- 4	1.5		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
398	"	T 2	- 4	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
399	"	T 3	- 4	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
400	C 5 0 2 0	T 1	- 4	"		3.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				

模型：D 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加 振 振 幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地覆 高欄		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
A01	D5015	T1	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
2	"	"	0	"		"	"				
3	"	"	3	"		"	"				
4	"	"	-3		0.5	5.0		○			
5	"	"	0		"	"		"			
6	"	"	3		"	"		"			
7	"	"	-3		"	"			○		
8	"	"	0		"	"			"		
9	"	"	3		"	"			"		
410	"	T3	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
1	"	"	0	"		"	"				
2	"	"	3	"		"	"				
3	D7515	T1	-3	"		"	"				
4	"	"	0	"		"	"				
5	"	"	3	"		"	"				
6	"	"	-3		0.5	5.0		○			
7	"	"	0		"	"		"			
8	"	"	3		"	"		"			
9	"	"	-3		"	"			○		
420	"	"	0		"	"			"		
1	"	"	3		"	"			"		
2	"	T3	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
3	"	"	0	"		"	"				
4	"	"	3	"		"	"				
5	D7520	T1	-3	"		5.0	"				
6	"	"	0	"		"	"				
7	"	"	3	"		"	"				
8	"	"	-3		0.5	"		○			
9	"	"	0		"	"		"			
430	"	"	3		"	"			"		
1	"	"	-3		"	"			○		
2	"	"	0		"	"			"		
3	"	"	3		"	"			"		
4	"	T3	-3	1.5		"	○				
5	"	"	0	"		"	"				
6	"	"	3	"		"	"				
437	D5010	T1	-4	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
438	D5020	"	-4	"		3.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				

模型：E 型

整理 序号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振动数 (Hz)	空 气 力 係 数				備 考
	本	体	地留 高脚	m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
501	E0010	T1	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
2	"	"	0	1.0		5.0	"				
3	"	"	"	1.5		"	"				
4	"	"	"	2.0		5.0, 2.0	"				
5	"	"	"	3.0		"	"				
6	"	"	"	5.0		"	"				
7	"	"	3	1.5		"	"				
8	"	"	-3		0.5	5.0		○			
9	"	"	0		0.25	"		"			
510	"	"	"		0.5	"		"			
1	"	"	"		0.75	"		"			
2	"	"	"		1.0	"		"			
3	"	"	"		1.25	"		"			
4	"	"	3		0.5	"		"			
5	"	"	-3		"	"			○		
6	"	"	0		0.25	"			"		
7	"	"	"		0.5	"			"		
8	"	"	"		0.75	"			"		
9	"	"	"		1.0	"			"		
520	"	"	"		1.25	"			"		
1	"	"	3		0.5	"			"		
522	"	"	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
523	"	"	-3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
524	"	"	0	1.0		"	○				
"	"	"	"	2.0		"	"				
"	"	"	"	3.0		"	"				
"	"	"	"	5.0		"	"				
525	"	"	"	1.0		"				○	
"	"	"	"	2.0		"				"	
"	"	"	"	3.0		"				"	
"	"	"	"	5.0		"				"	
526	"	T3	-3	1.5		"	○				
7	"	"	0	1.0		5.0	"				
8	"	"	"	1.5		"	"				
9	"	"	"	2.0		"	"				
530	"	"	"	3.0		5.0, 2.0	"				
1	"	"	"	5.0		"	"				
2	"	"	3	1.5		"	"				
3	E0015	T1	-3	"		"	"				
4	"	"	0	1.0		"	"				
5	"	"	"	1.5		"	"				
6	"	"	"	2.0		"	"				
7	"	"	"	3.0		"	"				
8	"	"	"	5.0		"	"				
9	"	"	3	1.5		"	"				
540	"	"	-3		0.5	5.0		○			

模型：E 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地覆 高欄		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
541	E 0 0 1 5	T 1	0		0.25	5.0		○			
2	"	"	"		0.5	"		"			
3	"	"	"		0.75	"		"			
4	"	"	"		1.0	"		"			
5	"	"	"		1.25	"		"			
6	"	"	3		0.5	"		"			
7	"	"	-3		"	"			○		
8	"	"	0		0.25	"			"		
9	"	"	"		0.5	"			"		
550	"	"	"		0.75	"			"		
1	"	"	"		1.0	"			"		
2	"	"	"		1.25	"			"		
3	"	"	3		0.5	"			"		
554	"	"	-3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
555	"	"	3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
556	"	"	0	1.0		"	○				
"	"	"	"	2.0		"	"				
"	"	"	"	3.0		"	"				
"	"	"	"	5.0		"	"				
557	"	"	"	1.0		"				○	
"	"	"	"	2.0		"				"	
"	"	"	"	3.0		"				"	
"	"	"	"	5.0		"				"	
558	"	T 3	-3	1.5		"	○				
9	"	"	0	1.0		"	"				
560	"	"	"	1.5		"	"				
1	"	"	"	2.0		"	"				
2	"	"	"	3.0		"	"				
3	"	"	"	5.0		"	"				
4	"	"	3	1.5		"	"				
5	E 0 0 2 0	T 1	0	1.0		"	"				
6	"	"	"	2.0		"	"				
7	"	"	"	3.0		"	"				
8	"	"	"	5.0		"	"				
9	"	"	-3		0.5	5.0		○			
570	"	"	0		0.25	"		"			
1	"	"	"		0.5	"		"			
2	"	"	"		0.75	"		"			
3	"	"	"		1.0	"		"			
4	"	"	"		1.25	"		"			
5	"	"	3		0.5	"		"			
6	"	"	-3		0.5	"			○		
7	"	"	0		0.25	"			"		
8	"	"	"		0.5	"			"		
9	"	"	"		0.75	"			"		
580	"	"	"		1.0	"			"		

模型：E 型

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加振振幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地覆 高欄		m/m	deg		C Lh	C Lα	C Mα	C Mh	
581	E 0 0 2 0	T 1	0		1.25	5.0			○		
2	"	"	3		0.5	"			"		
583	"	"	- 3	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
584	"	"	- 3	"		"				○	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
585	"	"	0	1.0		"	○				
"	"	"	"	2.0		"	"				
"	"	"	"	3.0		"	"				
"	"	"	"	5.0		"	"				
586	"	"	"	1.0		"				○	
"	"	"	"	2.0		"				"	
"	"	"	"	3.0		"				"	
"	"	"	"	5.0		"				"	
587	"	T 3	"	1.0		"	○				
8	"	"	"	2.0		"	"				
9	"	"	"	3.0		"	"				
590	"	"	"	5.0		5.0	"				
591	E 0 0 1 0	T 1	- 4	1.5		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
592	E 0 0 2 0	"	- 4	"		3.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
593	△E 0 0 1 0	"	- 4	"		5.0	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
594	□E 0 0 1 0	"	- 4	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				
595	□E 0 0 2 0	"	- 4	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	4	"		"	"				

模型：末広大橋

整理 番号	模 型		平 均 迎 角 (deg)	加 振 振 幅		加振振動数 (Hz)	空 気 力 係 数				備 考
	本	体 地 覆 高 橋		m/m	deg		C Lh	C La	C Ma	C Mh	
601	末広-T	T	-5	1.5		2.0, 5.0	○				
2	"	"	-3	"		"	"				
3	"	"	0	"		"	"				
4	"	"	3	"		"	"				
5	"	"	5	"		"	"				
6	"	"	-5		0.5	5.0		○			
7	"	"	-3		"	"		"			
8	"	"	0		"	"		"			
9	"	"	3		"	"		"			
610	"	"	5		"	"		"			
1	"	"	-5		"	"			○		
2	"	"	-3		"	"			"		
3	"	"	0		"	"			"		
4	"	"	3		"	"			"		
5	"	"	5		"	"			"		
616	"	"	-5	1.5		5.0, 2.0	○				
"	"	"	-3	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
"	"	"	5	"		"	"				
617	"	"	-5	"		"				○	
"	"	"	-3	"		"				"	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
"	"	"	5	"		"				"	
618	末広-F	F	-5	"		"	○				
9	"	"	-3	"		"	"				
620	"	"	0	"		"	"				
1	"	"	3	"		"	"				
2	"	"	5	"		"	"				
3	"	"	-5		0.5	"		○			
4	"	"	-3		"	"		"			
5	"	"	0		"	"		"			
6	"	"	3		"	"		"			
7	"	"	5		"	"		"			
8	"	"	-5		"	"			○		
9	"	"	-3		"	"			"		
630	"	"	0		"	"			"		
1	"	"	3		"	"			"		
2	"	"	5		"	"			"		
633	"	"	-5	1.5		"	○				
"	"	"	-3	"		"	"				
"	"	"	0	"		"	"				
"	"	"	3	"		"	"				
"	"	"	5	"		"	"				
634	"	"	-5	"		"				○	
"	"	"	-3	"		"				"	
"	"	"	0	"		"				"	
"	"	"	3	"		"				"	
"	"	"	5	"		"				"	