

土木研究所資料

新滝橋の耐風性調査報告書

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

新滝橋は建設省富山工事事務所により架設が計画されている二主桁の二径間非連続斜張橋である。設計に際しては耐風性が重要視され、当研究室に風洞実験が委託された。研究室では予備設計された2案に対して風洞実験が実施されたが、箱桁を内側に寄せた設計案の方が耐風性が良いという結論を得た。ここに、その調査結果をとりまとめ、報告することにする。

昭和52年3月

構造研究室 室長	成田 信之
研究員	横山 功一
	野村 一夫
	湯沢 聡

目 次

1. ま え が き	1
1.1 新滝橋の概要	1
1.2 耐風性上の問題点と予備検討	1
1.3 調査の概要	2
1.4 用語および記号	3
2. 風 洞 実 験	4
2.1 非定常空気力実験	4
2.1.1 風洞および風洞模型	4
2.1.2 非定常空気力	4
2.1.3 非定常空気力の計測法	4
2.1.4 非定常空気力係数の算出	5
2.1.5 実験条件	6
2.1.6 結果および考察	6
2.2 バネ支持模型実験	8
2.2.1 実験方法	8
2.2.2 結果および考察	8
2.3 非定常空気力実験とバネ支持模型実験の比較	9
3. 結 論	9
4. あ と が き	10
参 考 文 献	10
資 料 : 図	11
表	51
写 真	53
付 録	54

1. ま え が き

1.1 新滝橋の概要

新滝橋は建設省富山工事事務所が国道156号線の一次改良工事として、庄川上流の富山・岐阜県境にある成出ダム湖に架設を計画中の全長446.1mの橋梁であり、二径間非連続鋼床版二主桁斜張橋と二径間連続鋼床版箱桁橋とから構成されている。その架設位置図を図-1および写真-1に、一般図を図-2に、設計諸元を表-1に示す。この斜張橋の特徴は、i) 半島を利用した二径間非連続の斜張橋であり、ii) 二主桁桁で二面吊りであるということなどである。

1.2 耐風性上の問題点と予備検討

吊橋や斜張橋などの可撓性に富む構造物は風の影響を受けやすいことはよく認識されているところである。構造物の風に対する応答にはいくつかの種類があり、発現する現象面から分類が行なわれることがある。これらのうちで今回特に問題となるのは、風琴振動 (Aeolian Oscillation) と空気力の負減衰効果による自励振動 (Self-excited Oscillation) である。

自励振動とは、振動系が外部よりエネルギーの供給を受け、発散して行く振動状態を言うが、橋梁の場合には曲げねじれフラッタ (Classical Flutter) とねじれフラッタ (Stall Flutter) である。これらの自励振動は構造物にとって最も危険な不安定振動であり、設計に際しては限界風速以下で自励振動が生じないように配慮する必要がある。

風琴振動とは、構造物の後流中に周期的に発生するカルマン渦による交替空気力が作用して発生する流れに直角方向の振動である。後流中に発生する渦の振動数 N は次式で表わされるように、風速 V に比例する。

$$N = VS/D$$

ここに、 S : ストローハル数、 D : 断面の代表長さ

風琴振動は、渦の発生振動数と構造物の固有振動数が一致するような風速範囲で生じ、風速が増しても減しても渦の発生振動数が固有振動数をはずれるため振幅は減少する。風琴振動によって構造物が一挙に破壊する恐れはあまりないが、比較的低風速で発現するためその回数が多く、構造物の疲労破壊、自動車の走行上の支障、歩行者の不快感の誘起などの問題が考えられる。

本橋の場合、構造設計からみた経済性、および架設工法および現地までの運搬などを考えて二主桁箱断面を採用することとしているが、従来の橋梁の耐風設計に関連して行なわれた風洞実験結果によると、決して好ましい断面形状ではないと判断される。すなわち、角ばった断面では後流に大きな渦を生じ、風琴振動が起りやすくその振幅も大きくなると考えられるからである。

新滝橋は富山工事事務所により調査、検討がくり返され、予備設計案として2種の断面が選定された。その断面の概略は表-2に示されている。新滝橋は二主桁であり、2案の断面の差は図-4.1および図-4.2の模型図からわかるように第1案の主桁が12.5m内側に入り張り出し部が12.5m設けられているのに対し、第2案は張り出し部がなく主桁の端は床版端と一致しているということである。

構造研究室では、これまでに斜張橋の代表的断面を数種選定し、各断面模型についての非定常空気力実験を実施して耐風性に関する資料を蓄積してきた。これにより橋梁断面の耐風性に及ぼす影響について知

ることができる。そこで本調査を進めるにあたり、それらの参考資料をもとにして新滝橋の耐風性の予備検討を行なった。新滝橋の断面と類似している断面としてB7515およびE0015の2種があげられる。新滝橋との比較を表-2に示すが、B7515は張出しのある長方形箱桁断面、E0015は張り出しのない長方形箱桁断面である。表に示されているように、新滝橋の断面はB7515、E0015断面の底板中央部を取り去った断面と考えられ、寸法比の差はあるものの、両者の空力特性は類似すると考えられる。B7515、E0015断面模型の耐風性の結果を図-3.1~4に示す。この図は風速と空気力係数の関係を表わしたものであり、空気力係数は正の領域が不安定領域であり、B7515、E0015断面模型の耐風性の概略は次のとおりである。

1) B7515

- i) 正の迎角（橋梁に対して吹き上げの風）でたわみ限定振動（風琴振動）の発現が予想される。その発現風速範囲は $V/NB = 1.0 \sim 1.5$ 付近である。
- ii) 正の迎角でねじれフラッタ振動の発現が予想される。

2) E0015

- i) $V/NB = 1.0 \sim 1.5$ 付近に迎角に関係なく風琴振動の発現が予想される。
- ii) 迎角に関係なく全迎角にねじれフラッタの発現が予想される。

しかし、図-3は空気力係数であり質量、振動数、構造減衰等を考慮しておらず、正の領域に入ったからといって必ずしも振動が生ずるとはいえない。

1.3 調査の概要

今年度実施した調査の目的は、予備設計された2案の耐風性の比較検討を行ない耐風性の良好な断面を選定することである。従来耐風性の検討は、バネ支持模型実験および静的三分力測定によって行なわれてきたが、本調査はそれらの実験に比べてより多くの情報を得ることのできる非定常空気力実験で行なわれた。しかし、非定常空気力実験により風琴振動のような微小空気力を精度よく測定できる検出器が開発されてから2~3年しか経ておらず、実橋への応用も徳島県に架設された末広大橋、長崎県に架設中の平戸大橋など数例を数えるのみである。そこで本調査では、非定常空気力実験結果の信頼度を高める目的で検証実験としてバネ支持模型実験を実施している。これらの調査の結果、非定常空気力実験から次のようなことがいえる。

- i) たわみ振動実験は、第1案が正の迎角のみに $V/NB=2$ 付近の風速で不安定振動が起こるのに対し第2案は迎角の正負に関係なく全迎角で $V/NB=2$ 付近に不安定振動が起こる。
- ii) ねじれ振動実験は第2案のみ実施しているが、迎角の正負に関係なく全迎角に $V/NB=4.5 \sim 5.0$ の風速で不安定振動が発現する。

また、バネ支持模型実験により検証した結果は次のとおりである。

- i) 第2案については、たわみ・ねじれ両振動実験とも非定常空気力実験とバネ支持模型実験の結果が良い対応を示していることが確認されたものの、第1案はたわみ振動実験のみの比較であるが、両実験は良い対応を示さなかった。
- ii) 第1案のバネ支持模型実験ねじれ振動の結果は、第2案と同様に迎角の正負に関係なく全迎角でねじれフラッタ振動が発現する。ただし、第1案は第2案に比べてその発振風速が実橋風速で約10m

/s 高くなっている。

以上の結果から、新滝橋は第1案の方が第2案より耐風性が良いという結論を得た。しかし、第1案で架設された場合でも、正の迎角で風速 10 m/s 付近にたわみ限定振動（風琴振動）が、また、ねじれフラッタ振動の発振風速は、風洞実験では 0° で 70 m/s となり、迎角が大きくなる程低くなる性質を示した。

1.4 用語および記号

本報告書に用いられている用語および記号を定義する。

(A) 用 語

- (1) 設計風速： 設計風荷重の算定および耐風安定性の検証の基準として用いる風速であって、基本風速に構造物の高度による補正係数および構造物の水平長をまたは鉛直長さによる係数を乗じて求める。
- (2) 自励振動の限界風速： 空力弾性的な特性に関して構造物に発生する自励振動の限界の風速をいう。
- (3) 風 向： 水平面内の風向をいう。
- (4) 傾斜角： 風の鉛直面内の傾斜角をいう。吹き上げを正とする。
- (5) 構造減衰： 無風時における構造物の振動の減衰性能をいう。対数減衰率で表わす。
- (6) 迎 角： 構造物に作用する風と構造物の橋軸直角方向の水平基準軸とのなす角をいう。吹き上げを正とする。

(B) 記 号

- (1) A : 振 幅 (m)
- (2) B : 幅 員 (m)
- (3) C_{LHR} , C_{LHI} , C_{LTR} , C_{LTI} , C_{MHR} , C_{MHI} , C_{MTR} , C_{MTI} : 非定常空気力係数（添字 L: 揚力, M: 空力モーメント, H: たわみ振動, T: ねじれ振動, R: 実数部（変位位相成分）, I: 虚数部（速度位相成分））
- (4) I_h : 質 量 ($\text{kg sec}^2/\text{m}$)
- (5) I_α : 極慣性モーメント ($\text{kg m} \cdot \text{sec}^2$)
- (6) l : 模型長 (m)
- (7) N : 振動数 (Hz)（添字 h: たわみ振動, α : ねじれ振動）
- (8) V : 風 速 (m/s)
- (9) V/NB: 無次元風速
- (10) ρ : 空気密度 ($\text{kg sec}^2/\text{m}^4$)
- (11) δ : 対数減衰率
- (12) $2\delta m/\delta B^2 l$: 無次元質量

2 風洞実験

2.1 非定常空気力実験

2.1.1 風洞および風洞模型

実験に使用した風洞は土木研究所構造研究室所属のB風洞で、その概略を示せば次のとおりである。

型 式	エッフェル型
測定部寸法	2.0H × 1.0W [m]
測定部風速	0 ~ 25m/s (連続)

風洞実験は、予備設計された2案に対して実施された。その模型図を図-4.1および図-4.2に示す。風洞模型は縮尺を1/25とし、パネ支持模型実験の際に極慣性モーメント等の相似条件を満足するように極力重量の軽減を計って製作した。

2.1.2 非定常空気力

一般に長大橋梁の空力現象を考える時には、構造物はたわみ振動、ねじれ振動の2自由度系として取扱う必要があるが、ここでは簡単のために、1自由度系の場合の非定常空気力について説明しよう。

流体中の1自由度の振動系の運動は次の運動方程式で表わされる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \quad (1)$$

ここに、 m : 質量、 c : 粘性抵抗、 k : パネ定数、 x : 変位、 $f(t)$: 外力

外力 $f(t)$ は物体が振動することによって流体より受ける力であり、特に空力現象を対象とする場合この力を非定常空気力と呼ぶ。非定常空気力は物体の振動変位と振動速度に比例する成分よりなり次のように表わすことができる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = A\dot{x} + Bx \quad (2)$$

(2)式を変形して

$$m\ddot{x} + (c-A)\dot{x} + (k-B)x = 0 \quad (3)$$

(3)式の $(c-A)$ の値により振動の消長が規定されることになる。すなわち

(1) $c-A > 0$: 減衰

(2) $c-A = 0$: 中立

(3) $c-A < 0$: 発散

従って(3)式の定数 A, B (すなわち非定常空気力)がわかれば構造物の応答を推定することができることになる。

2.1.3 非定常空気力の計測法

今回実施された非定常空気力実験は、上下(たわみ)振動時の揚力測定とねじれ振動時の揚力および回転モーメントの計測である。この検出器に使用した非定常空気力検出器は、機械的に慣性力を消去し空気力のみを検出するような構造をしている。その概略および原理図を図-5.1および図-5.2に示す。この検出器の原理は玩具の弥次郎兵衛と同じであり、模型とカウンターウェイトの重心をカウンターウェイトの位置を移動することにより十字パネの中心に合わせられる。すなわち慣性力をバランスさせる。したがって、検出器は風を吹かせたときに模型とカウンターウェイトの間に生ずるアンバランス分(非定常空気力)のみを検出することになる。模型の加振は図-6に示す装置により行なった。モータの回転運動はクラン

ク軸・腕を経て上下直線運動に変換され、模型をたわみ加振する。ねじれ加振はさらにクランク腕を取付けることによって上下運動が回転運動に変換される。この装置の概略を示せば次のとおりである。

強制振動振幅 (片振幅) : $\begin{cases} \text{たわみ振動 } 0 \sim 50 \text{ mm (連続)} \\ \text{ねじれ振動 } 0 \sim 15^\circ \text{ (連続)} \end{cases}$

加振振動数 : $0 \sim 10 \text{ Hz (連続)}$

今回実施した実験の計測回路ブロック図を図-7に示す。風洞左右岸の2台の検出器により検出された出力 (空気力) はストレインアンプにより増幅した後加算し、その後ローパスフィルタにより高周波ノイズ成分を取り除き、変位記録と同時にデータレコーダに記録する。また、実験時の風速はピトー管により静圧と動圧の差を検出し、それをベッツ型マノメータで読み取った。データ処理は、データレコーダにアナログ量として記録されている空気力および変位をA/D変換機によりデジタル量に変換し、風速記録と合わせて大型電子計算機を用いて行なった。

2.1.4 非定常空気力係数の算出

非定常空気力は変位との間に位相差をもつので、複素数表示し次のような4種の空気力 (8個の成分) に分けられる。実数部が変位位相成分であり、虚数部が速度位相成分である。

$$\begin{aligned} \text{たわみ振動} & \begin{cases} \text{揚力} & L_H = L_{HR} + i L_{HI} \\ \text{モーメント} & M_H = M_{HR} + i M_{HI} \end{cases} \\ \text{ねじれ振動} & \begin{cases} \text{揚力} & L_T = L_{TR} + i L_{TI} \\ \text{モーメント} & M_T = M_{TR} + i M_{TI} \end{cases} \end{aligned}$$

空気力係数の算出方法は耐風調査報告書 (V)²⁾ に詳しく述べられており、ここでは概略を述べる。計測された空気力より非定常空気力係数を算出するには次のようにして行なう。揚力、モーメントとも同様の方法で行なうので、ここでは揚力の計算式の展開のみを述べることにする。非定常空気力 $L(t)$ は周波数応答成分 $L_m(t)$ とその他の成分 $L_a(t)$ よりなると考えられる。

$$L(t) = L_m(t) + L_a(t)$$

模型の変位 $Y(t)$ を $Y(t) = Y_0 \cdot \cos \omega_m t$ とおくと、周波数応答成分は

$$L_m(t) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_{Lm}(t) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \{ C_{LHR} \cos \omega_m t + C_{LHI} \sin \omega_m t \} \text{ と書ける。}$$

この C_{LHR} 、 C_{LHI} がいわゆる非定常空気力係数 C_L の変位位相成分および速度位相成分である。ところで一般には空気力は乱れも含むため、実験結果の整理では次式より空気力係数を求めた。

$$L(t) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l C_L(t) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \left\{ C_0 + C_1 \cos \frac{2\pi}{T} t + C_2 \sin \frac{2\pi}{T} t + \dots + C_{LHR} \cos \omega_m t + C_{LHI} \sin \omega_m t + \dots \right\}$$

$$\therefore \int_0^T L(t) \cos \omega_m t dt = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \int_0^T C_{LHR} \cos^2 \omega_m t dt = \frac{1}{2} \rho V^2 B l \frac{T}{2} C_{LHR}$$

$$C_{LHR} = \left\{ \frac{2}{T} \int_0^T L(t) \cos \omega_m t dt \right\} / \frac{1}{2} \rho V^2 B l$$

同様にして

$$C_{LHI} = \left\{ \frac{2}{T} \int_0^T L(t) \sin \omega_m t dt \right\} / \frac{1}{2} \rho V^2 B l$$

また、モーメントについては次式で表わされる。

$$C_{MTR} = \left\{ \frac{2}{T} \int_0^T M(t) \cos \omega_m t dt \right\} / \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l$$

$$C_{MTI} = \left\{ \frac{2}{T} \int_0^T M(t) \sin \omega_m t dt \right\} / \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 l$$

データ整理に際して、 T は $30T_m$ (T_m : 加振周期) とし、 A/D 変換時のサンプリング時間は1波に60~70点取れるように、4Hz 加振時は4m/s、2Hz 加振時は8m/sで行なった。

2.1.5 実験条件

今回行なった非定常空気力実験の実験条件は次のとおりである。

迎 角 : $0^\circ, \pm 3^\circ, \pm 5^\circ$

加振振動数 : 4 Hz

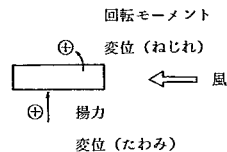
設定片振幅 : { たわみ — 1, 1.5, 2, 3, 5 (mm)
ねじれ — 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 (度)

たわみ振動実験の風速範囲は風琴振動に注目することとして、1.2項に述べた耐風性の予備検討の結果をもとにして、その発現が予想される $V/NB=2$ 付近を中心に定め、ねじれ振動実験は実橋風速80m/s位までを考慮して定めた。また、たわみ振動実験の加振振幅は片振幅で1~5mmを5段階に定めているが、幾何学的縮尺で単純に換算すると、これは実橋で25~125mm程度の振幅に対応することとなる。

2.1.6 非定常空気力実験結果と考察

非定常空気力実験の結果は、風速と空気力係数の関係が図-8.1~16に、風速と減衰率の関係が図-9.1~14に、風速と無次元質量の関係が図-10.1~14にそれぞれ示されている。空気力係数の図の横軸は無次元風速、縦軸が非定常空気力係数である。

なお、各値の符号は右図のように定義して計算されている。空気力係数は、たわみ振動時の揚力を例にとると、模型が上に移動するときに上向きの揚力を正とする。したがって、空気力係数の速度位相成分は正の値で不安定状態を表わすことになる。しかし、今回計測した非定常空気力係数のうち、ねじれ振動時の揚力係数 (C_{LTI}) は、たわみおよびねじれ振動の連成を考えた場合に必要となってくるが、今回の解析は、1自由度系としての扱いであるので、用いられていない。また、たわみ振動時のモーメント係数 (C_{MIR}, C_{MHI}) は今回の実験では計測されていない。空気力係数の変位位相成分は振動数に影響を及ぼす成分であり、値が正のときに空気力は振動数を低くする働きをし、負のときに振動数を高くする働きをする。図-8.1~12はたわみ振動時の揚力係数、図-8.13および図-8.14はねじれ振動時の揚力係数、図-8.15および図-8.16はねじれ振動時のモーメント係数である。



非定常空気力係数より橋梁の耐風性を直接推定することは不可能であり、非定常空気力係数を用いた応答計算を行わなければならないが、ここでは設計案の非定常空気力係数のもつ特徴を明らかにし、1.2項に述べた耐風性の予備検討資料との比較を行なうことにする。

1) 第1案たわみ振動実験

- 1) 図-8.1~6に示されているように全迎角に空気力係数 C_{LBI} が正の値を示す状態が現われているが、負の迎角では片振幅1.0, 1.5, 2.0mmのときに現われるのに対し、正の迎角では全振幅に現われ、その係数値も負の迎角に比べて大きい。空気力係数が正の値を示すことは風琴振動の発現が予想されることを意味し、迎角が負から正にゆくに従ってその傾向が強まっていることを表わしている。

- ii) 風琴振動の発現が予想される風速範囲は $V/NB = 1.5 \sim 2.3$ である。また負の迎角で、小さな振幅 (片振幅 $1mm$) では $V/NB = 1.25$ 付近でも係数が正の値を示している。

2) 第2案たわみ振動実験

- i) 図-8.7~12に示すように迎角の正負に関係なく全迎角で風琴振動の発現が予想される。
ii) そのときの発現風速範囲は $V/NB = 1.5 \sim 2.3$ である。

3) 第2案ねじれ振動実験

- i) 図-8.15~16に示されているように、迎角の正負に関係なく全迎角で空気力係数 C_{MTI} が負から正に変わっている。したがって、全迎角にねじれフラッタ振動の発現が予想される。
ii) ねじれフラッタ振動の発振風速は迎角によって多少異なり、迎角 0° が一番高く $V/NB = 4$ 付近であり、迎角が大きくなる程に低くなる。
iii) 振幅の大きさによる影響はほとんどみられない。

第1案のねじれ振動実験による空気力係数は得られなかったものの、以上の結果から新滝橋2案の耐風性は予備検討に用いたB7515, E0015タイプと良く対応しているといえるであろう。

次に、新滝橋の耐風性の検討を行なうために質量・減衰性・模型幅および長さ等を考慮した応答計算を行ない、風速と減衰率の関係 ($V \sim \delta$)、風速と無次元質量の関係 ($V \sim \delta \cdot m / \rho \cdot B^2 l$) (以下 $m_0 \cdot \delta$ と略記する) を求めた。その算出式は付録に示されている。以上の計算式により求められた結果は、 $V \sim \delta$ 図が図-9.1~14に、 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 図が図-10.1~14に示されている。 $V \sim \delta$ 図は横軸に無次元風速、縦軸が減衰率を表わしており、負の減衰率の領域は、振動が時間の経過と共に成長してゆく状態を示している。しかし、図に示されている値は構造減衰率を0として計算した値であり、この図は構造減衰率0.03を考慮する必要がある。図-9.1~12はたわみ振動時、図-9.13および図-9.14はねじれ振動時の減衰率の計算結果である。図にLP/SPで表わされているグラフは、空気力の作用による振動数の変動を表わしている。次に、 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 図は横軸に無次元風速、縦軸に無次元質量をとっている。

$V \sim m_0 \cdot \delta$ の場合も図に現われている値がすべて発振を意味するのではなく、 $m_0 \cdot \delta$ の算出式に減衰率 $\delta = 0.03$ を代入し計算された値を越える点が発振を意味することになる。本橋の場合は計算をした結果 $m_0 \cdot \delta$ は280になる。

$V \sim \delta$ および $V \sim m_0 \cdot \delta$ の計算結果から次のことがいえるであろう。

1) 第1案たわみ振動実験

- i) 図-9.1~6および図-10.1~6に示されているように迎角 $0^\circ, 3^\circ, 5^\circ$ に風琴振動が現われ、迎角が大きくなる程その傾向が強まる。
ii) 迎角 0° は振幅 $1mm$ のみ、迎角 3° は1および1.5mmと振幅の小さい程負減衰性を示す。また迎角 5° は振幅1~5mmですべて負減衰性を示している。
iii) 風琴振動の現われる風速範囲は $V/NB = 2$ を中心としている。

2) 第2案たわみ振動実験

- i) 図-9.7~12および図-10.7~12に示されているように迎角の正負に関係なく全迎角に風琴振動が現われる。
ii) 風琴振動の発現風速範囲は $V/NB = 1.5 \sim 2.25$ であり、これは全迎角ともほぼ変りがないことから発振風速範囲は迎角に影響されないといえるであろう。
iii) 振幅が小さい程不安定傾向が起り易い。

3) 第2案ねじれ振動実験

- i) 図-9.13~14および図-10.13~14に示されているように、迎角の正負に関係なく全迎角で負減衰性をもつねじれフラッタ振動が現われる。
- ii) 正の減衰から負の減衰へ変わる風速は $V/NB = 3.5$ 付近であり、 $\delta = -0.03$ を越える発振風速は、 $V/NB = 4.5 \sim 5.0$ 付近といえるであろう。
- iii) 発現風速は、迎角によって異なり、迎角 0° が最も高く迎角が大きくなる程低くなる。

2.2 バネ支持模型実験

2.2.1 実験方法

バネ支持模型実験は、風の作用を最も強く受ける主桁部を縮尺模型化し、以下に述べる相以則に従って風洞内にスプリングを用いて吊し、一定の迎角および風速の下で長大スパンを有する橋梁がどのような振動を惹起するかを実験的に求めるものである。橋梁の鉛直たわみおよびねじれの連成振動を対象とする場合には幾何学的な相似の他に次の無次元パラメータが同じ値を有することが必要となる。

$$V/N_\alpha B, \quad V/N_h B, \quad I_\alpha/\rho B^4, \quad I_h/\rho B^2, \quad \delta_\alpha, \quad \delta_h$$

なお、バネ支持模型実験条件を表-3.1および表3.2に示す。

さて、模型は鉛直たわみ振動および橋軸まわりのねじれ振動と2自由度を有し、風速の増加に伴って空気力の減衰効果などによって複雑に変化する。この模型の挙動を非接触型光学式変位計により測定し、鉛直たわみ成分、ねじれ成分に分離してペンレコーダーに記録した。

2.2.2 バネ支持模型実験結果と考察

バネ支持模型実験の結果は、迎角と発振風速の関係を表わす $V_c \sim \alpha$ 曲線（図-11.1~2）、風速と減衰率の関係を表わす $V \sim \delta$ 曲線（図-12.1~4）、風速と定常振動（ $\delta = 0$ ）時の振動振幅の関係を表わす $V \sim A$ 曲線（図-13.1~3）にまとめられている。 $V_c \sim \alpha$ 曲線は、横軸に迎角、縦軸に実橋風速がとってあり（図-11.1）、たわみ振動実験の場合各迎角のたわみ限定振動の発現風速範囲を表わし、同じ迎角に2点プロットされ実線で結ばれており、低い方の風速でたわみ限定振動が発現し、高い方の風速を越えると振動の納まることを表わしている。ねじれ振動の結果は、図-11.2にねじれフラッタ振動の発振風速が表わされている。発振風速は片振幅 1° の減衰率が負の値を持つときの風速を持って定義している。たわみ振動の $V \sim \delta$ 曲線が図-12.1および図-12.2に、ねじれ振動が図-12.3および図-12.4に示されている。横軸は風速、縦軸は減衰率を表わし、負の減衰が振動を成長させる働きを意味する。たわみ振動の $V \sim A$ 曲線が図-13.1に、ねじれ振動の実験結果が図-13.2および図-13.3に示されており、横軸は風速、縦軸は定常振動（ $\delta = 0$ ）時の振幅を表わしている。これら3種の図より第1案と第2案を比較すると次のことがいえる。

- 1) 第1案のたわみ限定振動は全迎角で生じない。
- 2) 第2案は実橋風速 $8 \sim 14 \text{ m/s}$ という、ほぼ同じ風速範囲で迎角の正負に関係なく全迎角でたわみ限定振動が発現する。
- 3) ねじれフラッタ振動は第1案・第2案とも迎角の正負に関係なく全迎角で発現する。
- 4) ねじれフラッタの発振風速は、迎角 0° のときに最も高く、迎角が大きくなる程低くなるという結果を得た。このとき、正の迎角の方が負の迎角に比べて実橋風速で約 5 m/s 低くなっている。

- 5) 第1案の発振風速は、 0° のとき約 70 m/s 、 $\pm 3^\circ$ のとき約 60 m/s 、 $\pm 5^\circ$ のとき約 50 m/s である。
- 6) 第2案の発振風速は、第1案に比べて約 10 m/s 低くなっている。

2.3 非定常空気力実験とバネ支持模型実験の比較

本調査は新滝橋の予備設計された2案に対して非定常空気力実験を行ない、その結果をバネ支持模型実験による検証実験によって確認し新滝橋の耐風性の検討をすることになっている。ここで両実験結果の比較を行なうことにする。

バネ支持模型実験と比較できるように、非定常空気力実験より求めた $V_c \sim \alpha$ 曲線を図-14.1および図-14.2に、また $V-A$ 曲線を図-15.1および図-15.2に示す。これらの図を用いて非定常空気力実験とバネ支持模型実験とを比較すると次のようなことがいえる。

- 1) 第1案の風琴振動は、非定常空気力実験では正の迎角の $V/NB = 2$ 付近の風速で発現するという結果を得ているのに対して、バネ支持模型実験では風琴振動の発現を確認することはできなかった。しかし、図-12.1の $V-\delta$ 曲線に示されるように、バネ支持模型実験においても $V/NB = 1.5$ 付近で δ が0に近づいており不安定な状態であることを示している。
- 2) 第2案のたわみ限定振動は、両実験結果とも全迎角の正負・大きさに関係なくほぼ同じ風速範囲で発現することを表わしており、両実験は良い対応を示しているといえる。
なお、風速範囲は非定常空気力実験では $V/NB = 1.5 \sim 2.5$ という結果であり、これは実橋風速に換算すると $8.5 \sim 14.1\text{ m/s}$ となり、バネ支持模型実験結果 $8 \sim 14\text{ m/s}$ と良く一致しているといえる。
- 3) 第2案のねじれフラッタ振動は、両実験結果とも全迎角で発振し、その発振風速は迎角 0° が最も高く、角度が大きくなる程低くなる傾向を示しており、両実験は良い対応を示しているといえる。また、発振風速を比較すると次のようになる。

これまで非定常空気力実験とバネ支持模型実験の結果の比較を述べてきたが、第1案のたわみ限定振動の発現、第2案のねじれフラッタ振動の正の迎角の発振風速などの違い、また第1案ねじれ振動の比較が行なわれなかったことなどはあるが、両実験は良く一致しているといえるであろう。

3 結 論

新滝橋の第1案と第2案の耐風性を比較すると次のことがいえる。

- 1) たわみ振動は、第1案の場合非定常空気力実験とバネ支持模型実験の結果が対応を示さなかったが、非定常空気力実験では正の迎角でたわみ限定振動が発現し、バネ支持模型実験では全迎角において安定であるという結論を得ている。また、第2案は両実験とも全迎角でたわみ限定振動が発現するという結果であり、第1案の方が第2案より耐風性が優れているといえるであろう。
- 2) ねじれ振動は、第1案についてはバネ支持模型実験のみ行なったが全迎角でねじれフラッタ振動が生ずる。第2案は、両実験とも全迎角でねじれフラッタ振動が生ずる。しかし、第1案は第2案に

較べて5~10m/s 高い発振風速を示しており、第1案の方が第2案より耐風性が優れているといえるであろう。

以上述べてきたように予備設計された新滝橋の2案に対して耐風性の比較を行った結果、たわみ振動、ねじれ振動とも第1案の方が第2案より耐風性が優れていると結論される。

4 あ と が き

新滝橋の実施設案としては第1案の方が耐風性が優れており、これを用いるのが適当であるという結論が得られた。

今回の調査では、第1案、第2案の耐風性の比較ばかりでなく、非定常空気力実験とバネ支持模型実験の比較、構造研究室でこれまでに実施してきた斜張橋の代表的断面の風洞実験結果を用いた新滝橋の耐風性の予備検討の妥当性についても検討した。その結果、非定常空気力実験とバネ支持模型実験は比較的良い対応を示すことが確認でき、また新滝橋の耐風性が予備検討結果と同様の耐風性を示したことから、今後さらに基本的断面に対し実験を行い資料の蓄積を続けるならば、今後の耐風設計では予備設計の段階では前記資料をもとにした予備検討により耐風性を推定し、最終設計断面については検証実験を行うということも可能であろう。

最後に本調査を進めるにあたり種々お世話になった北陸地方建設局富山工事事務所の方々に心からお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所構造研究室：耐風調査報告書(Ⅲ)，土木研究所資料№1014，昭和50年3月，耐風調査報告書(Ⅳ)，土木研究所資料№1132，昭和51年3月
- 2) 建設省土木研究所構造研究室：耐風調査報告書(Ⅴ)，第4章 箱桁斜張橋の耐風性調査，昭和52年3月

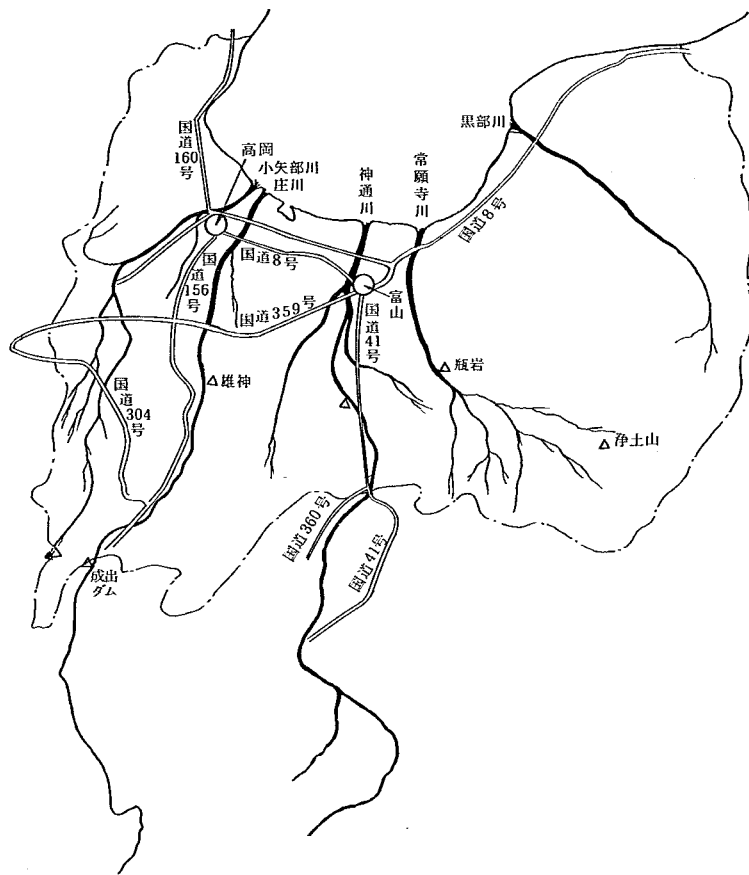


図-1.1 新滝橋位置図

庄川平面图 No19 成出

吉田省 地籍院
地籍部 大野 院

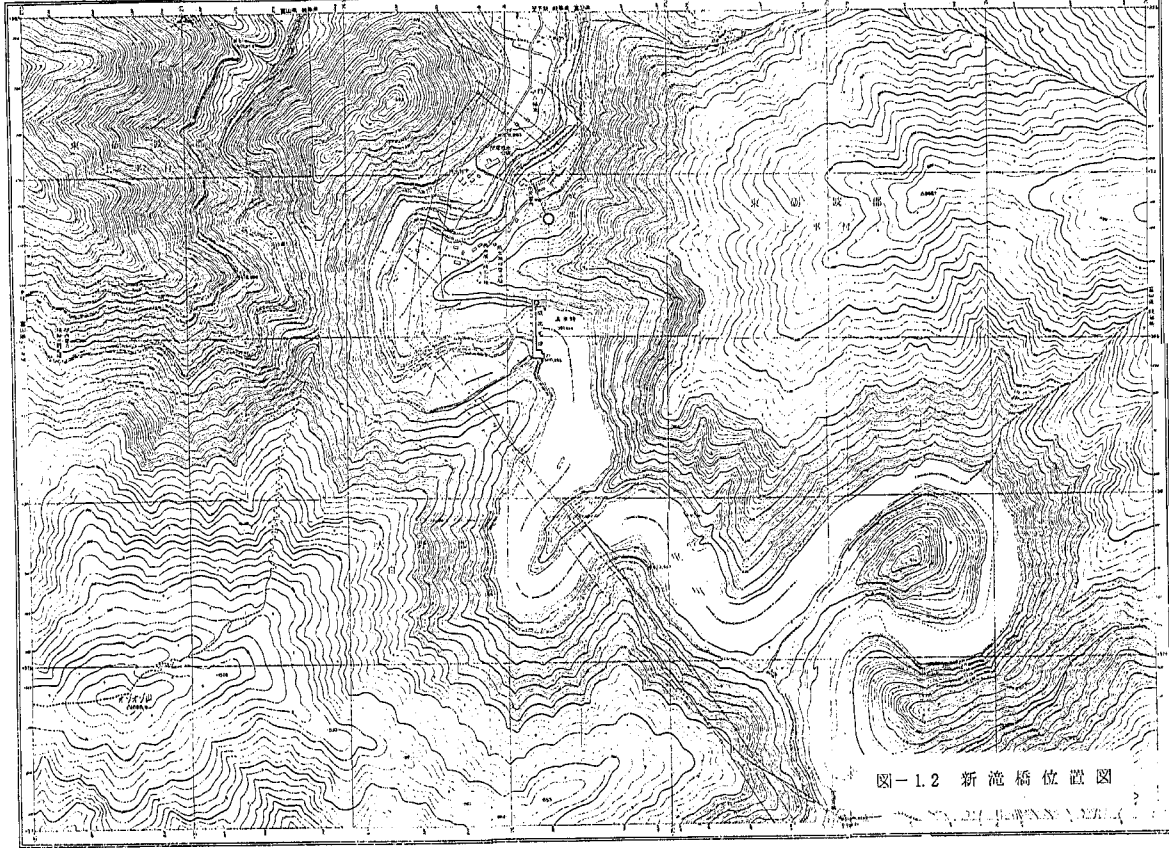


図-1.2 新流橋位置図

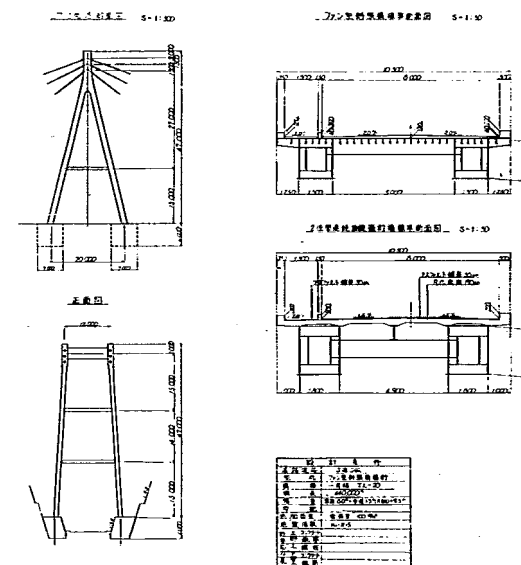


圖-2 新 淹 橋 一 般 圖

654

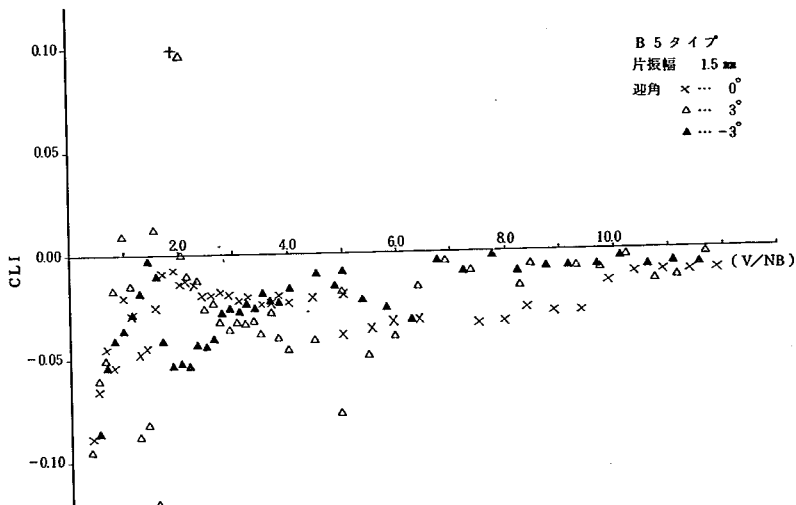


図-3.1 非常数空気力係数

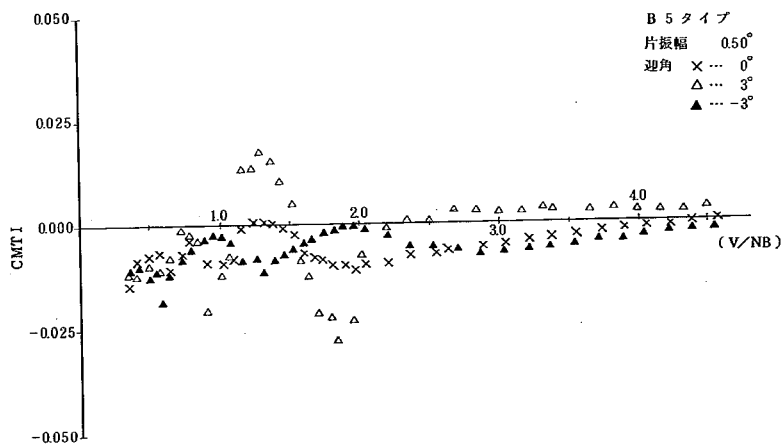


図-3.2 非常数空気力係数

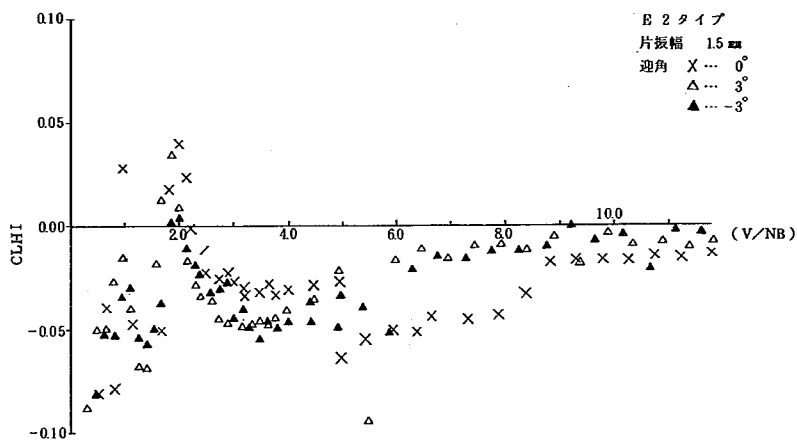


図-3.3 非常数空気力係数

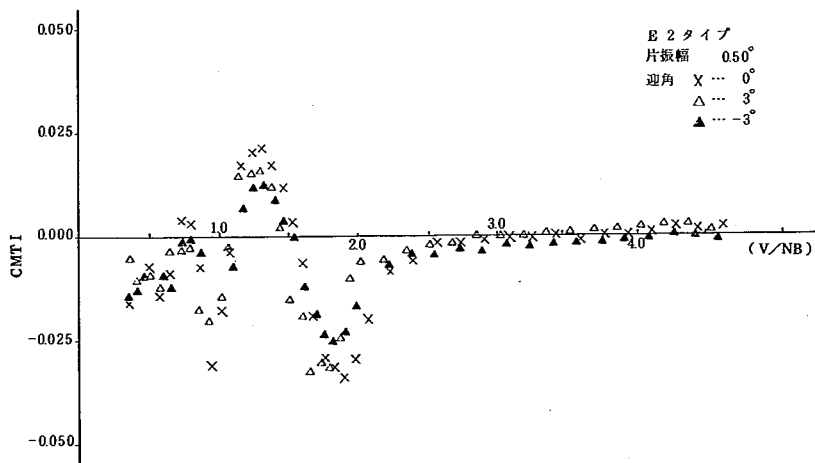


図-3.4 非常数空気力係数

- 11 -

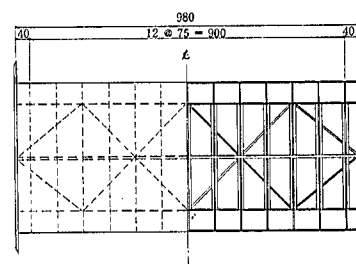
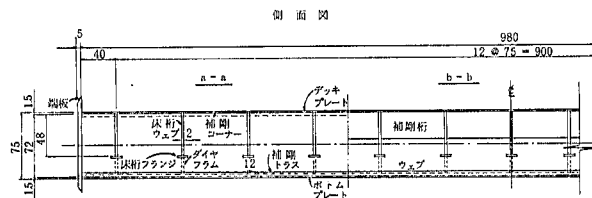
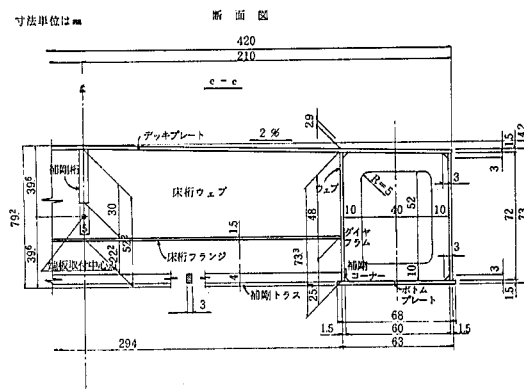
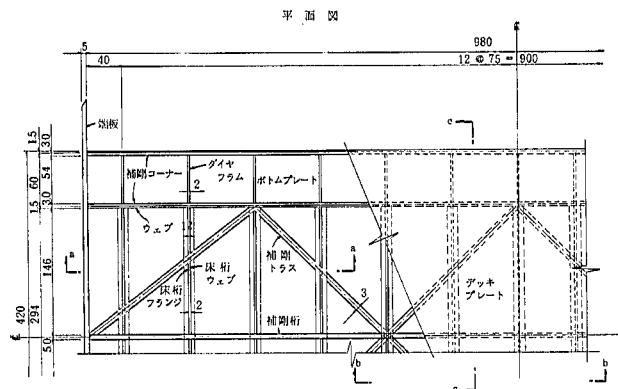


図-4.1 風洞模型図 (第1案)

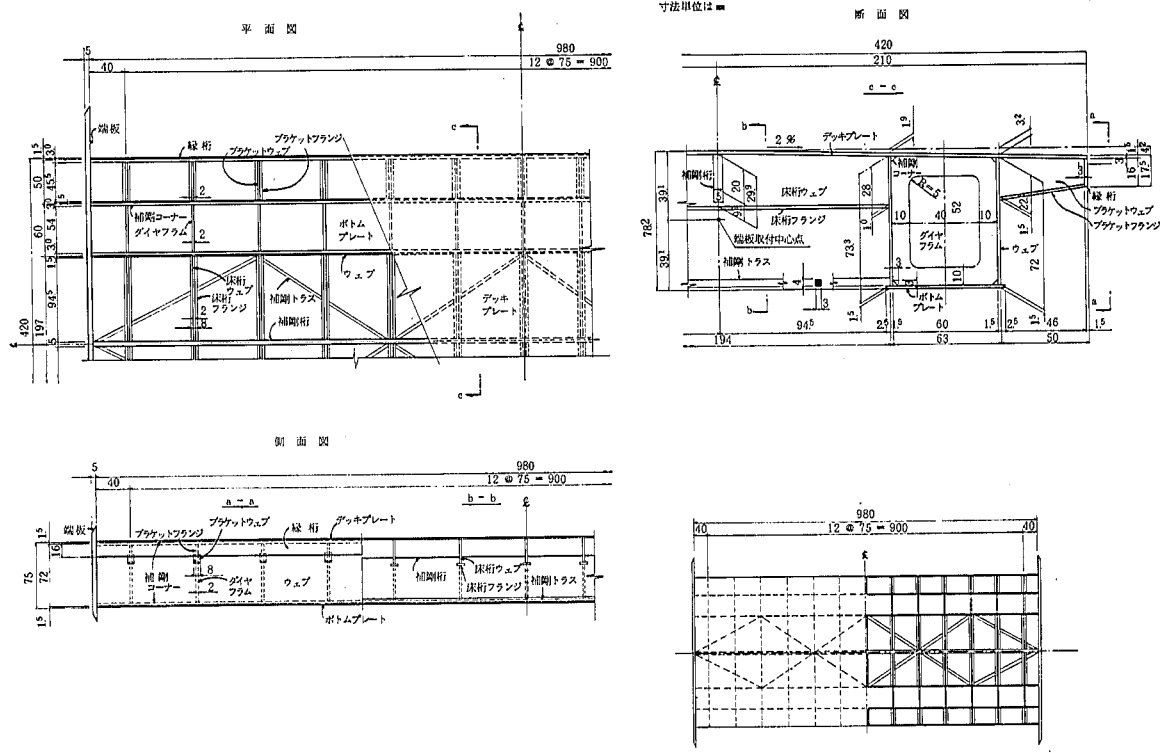


図-4.2 風洞模型図 (第2案)

659

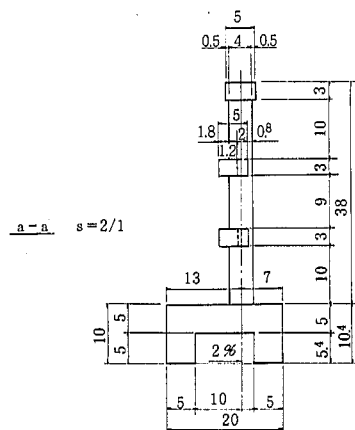
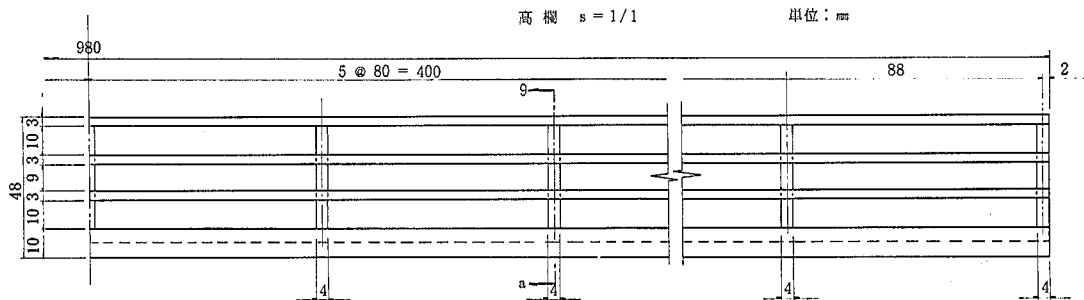


圖-4.3 風洞模型圖 (高欄)

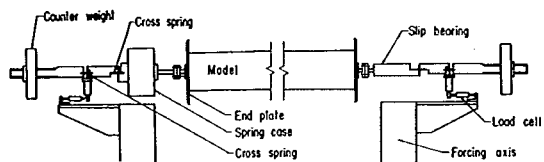


図-5.1 非正常空気力検出器（たわみ振動）概略図

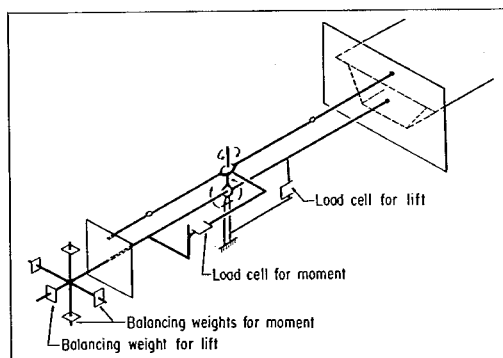


図-5.2 非正常空気力検出器（ねじれ振動）概略図

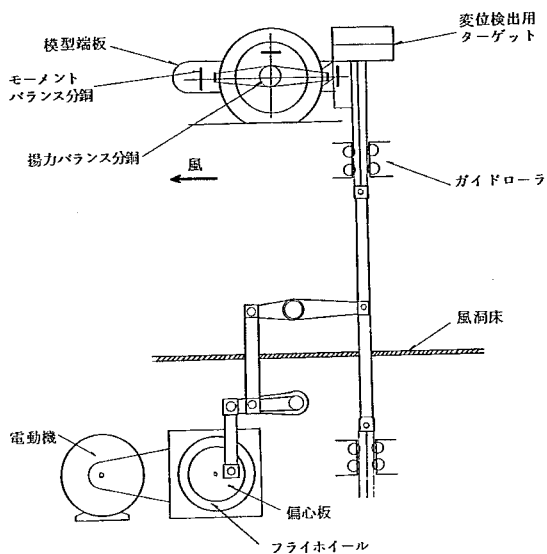


図-6 加振装置概略図

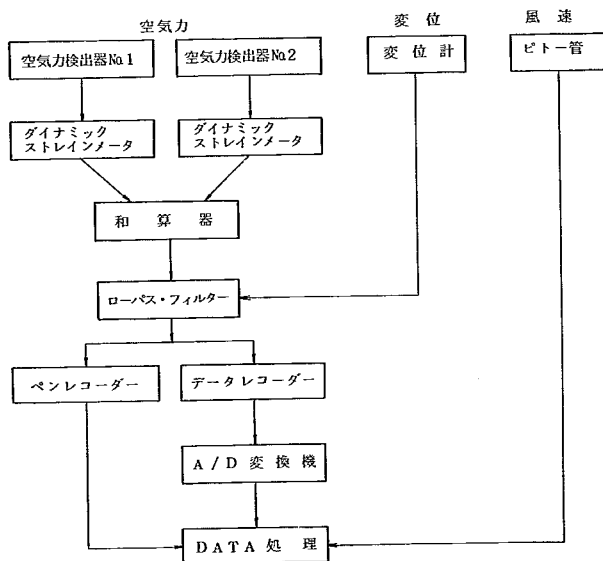


図-7 計測回路ブロック図

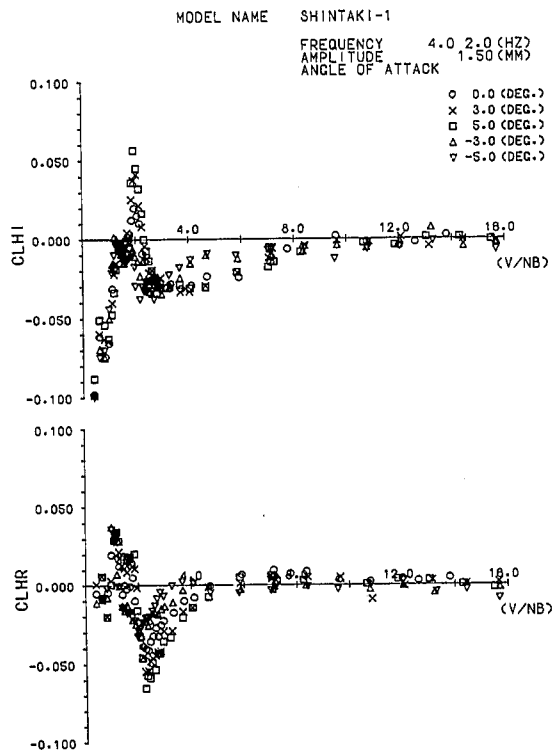


図-8.1 非定常空気力係数 (たわみ振動)

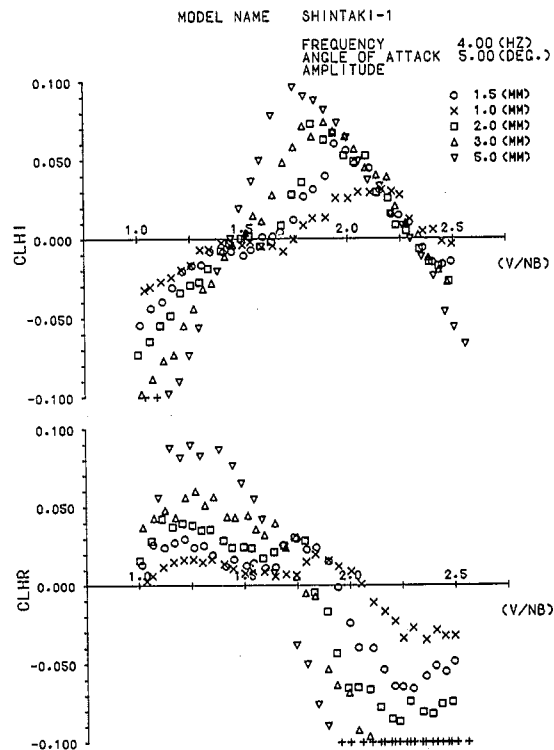


図-8.2 非定常空気力係数 (たわみ振動)

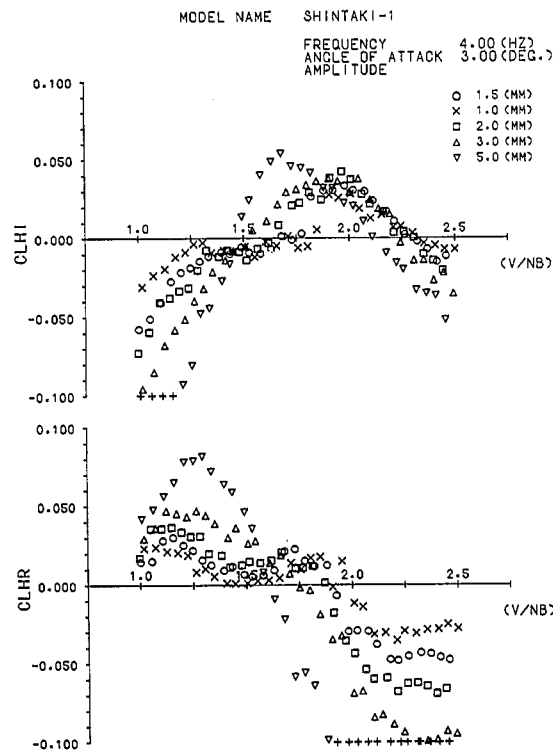


図-8.3 非定常空気力係数 (たわみ振動)

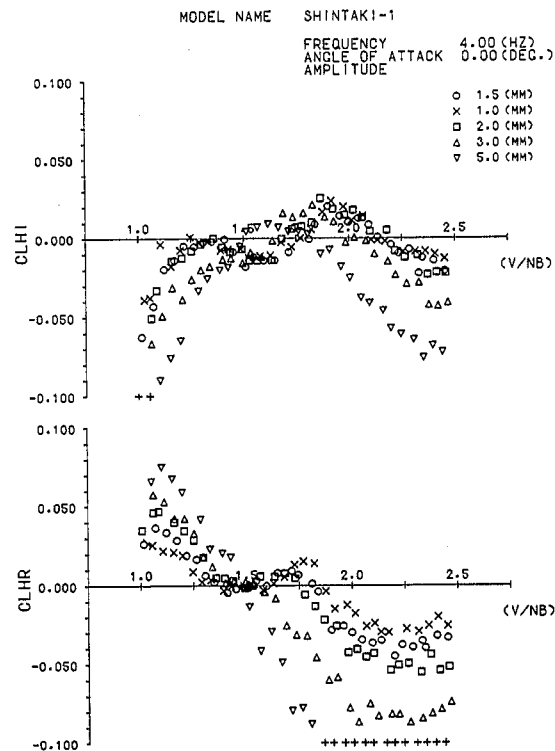


図-8.4 非定常空気力係数 (たわみ振動)

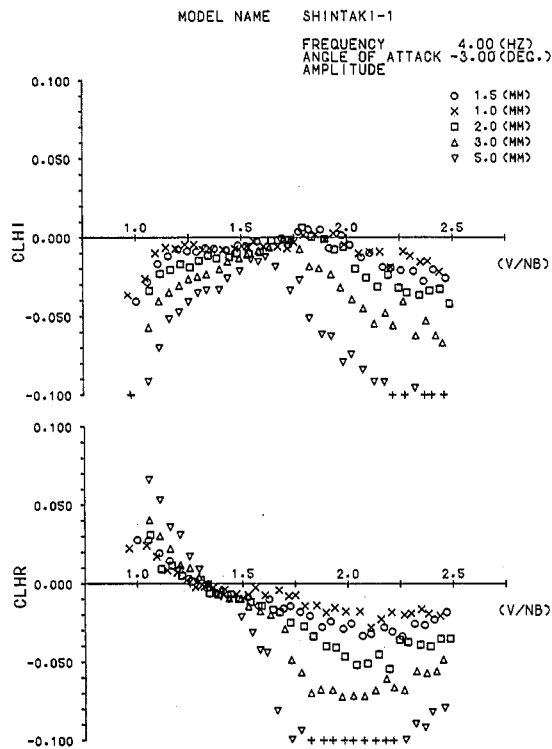


図-8.5 非定常空気力係数 (たわみ振動)

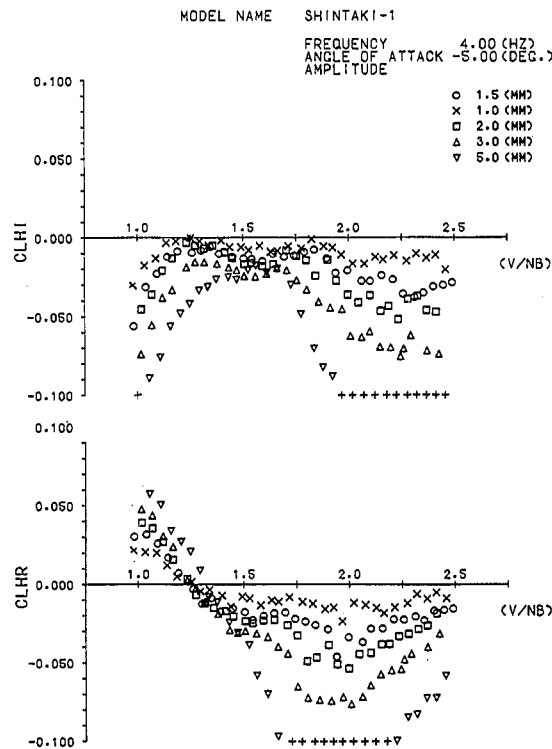


図-8.6 非定常空気力係数 (たわみ振動)

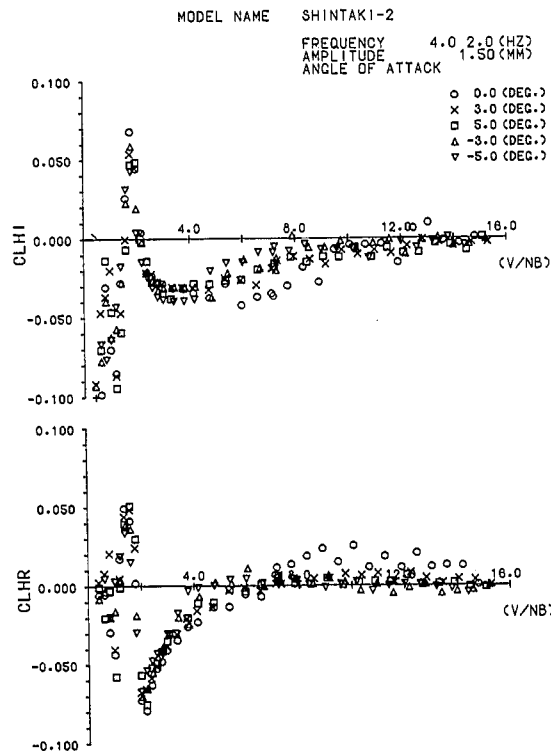


図-8.7 非定常空気力係数 (たわみ振動)

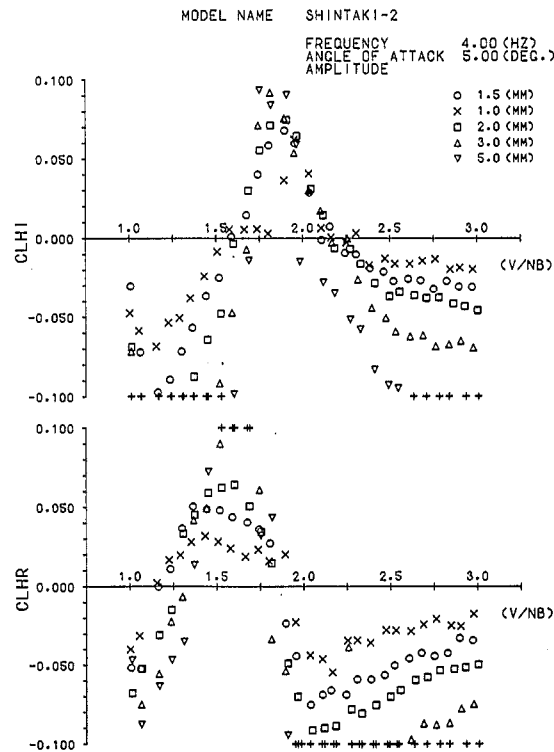


図-8.8 非定常空気力係数 (たわみ振動)

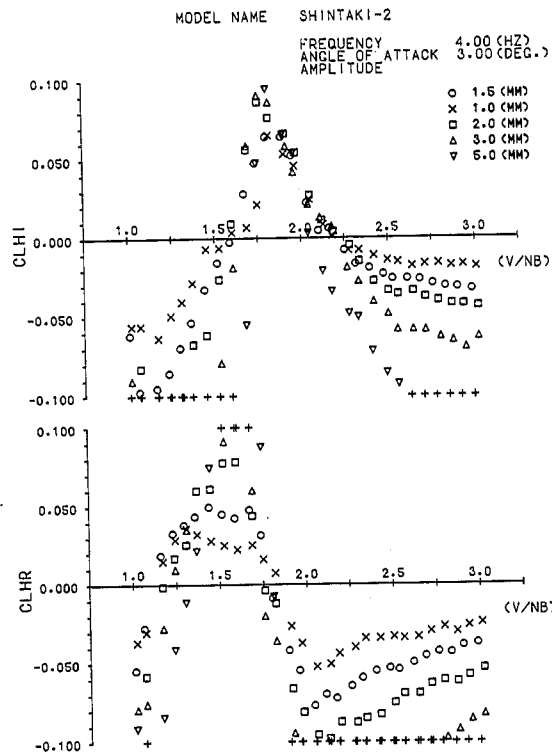


図-8.9 非定常空気力係数 (たわみ振動)

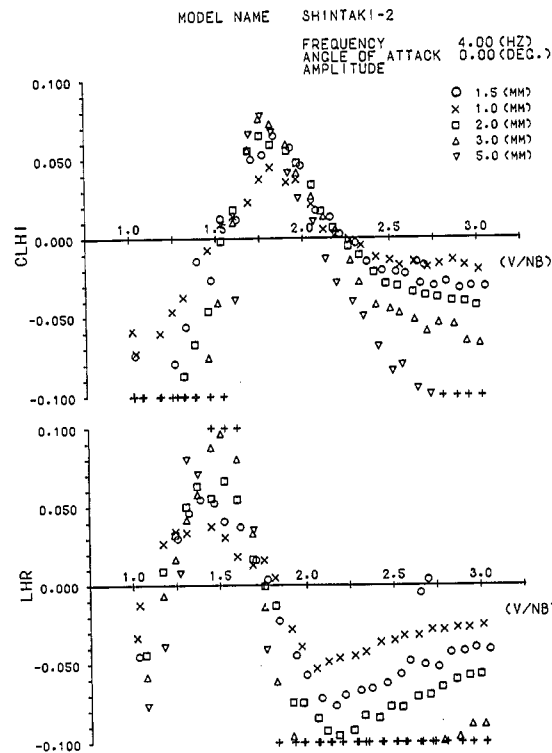


図-8.10 非定常空気力係数 (たわみ振動)

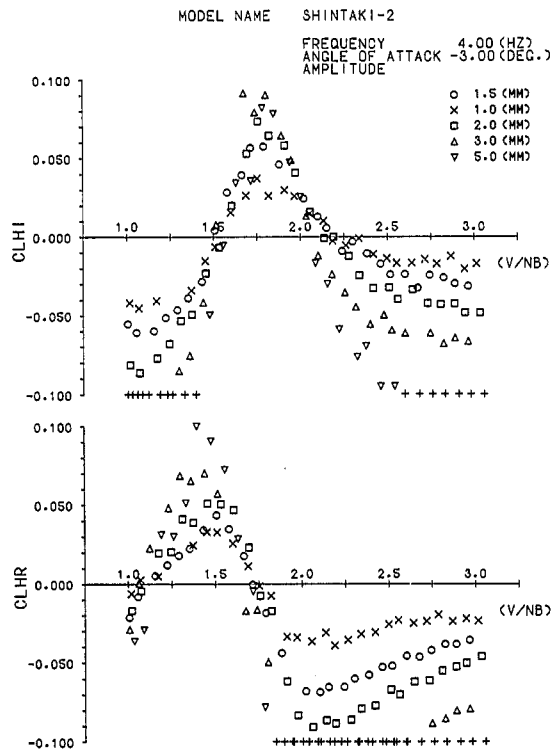


図-8.11 非定常空気力係数 (たわみ振動)

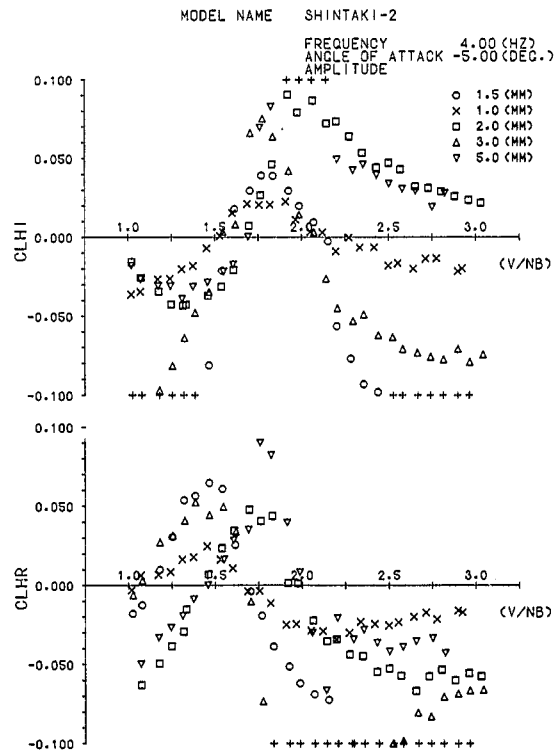


図-8.12 非定常空気力係数 (たわみ振動)

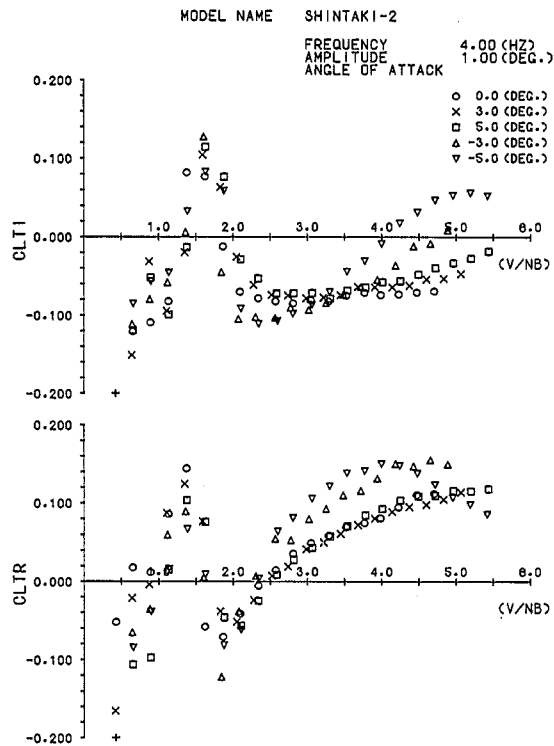


図-8.13 非定常空気力係数 (ねじれ振動)

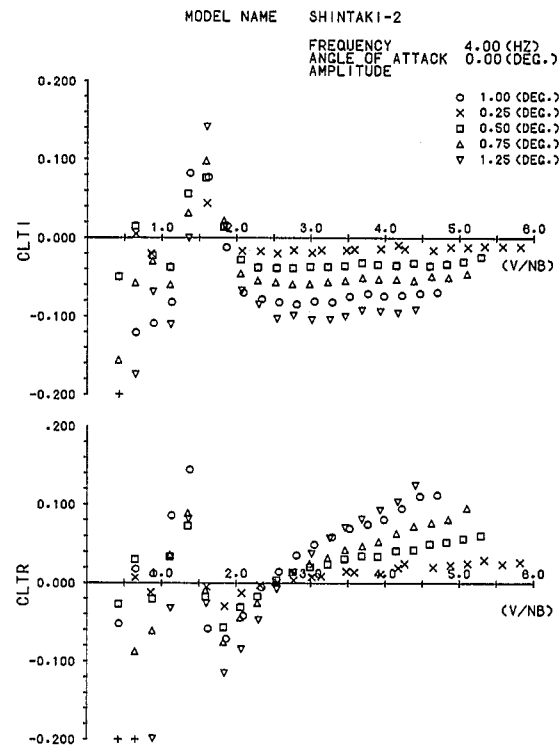


図-8.14 非定常空気力係数 (ねじれ振動)

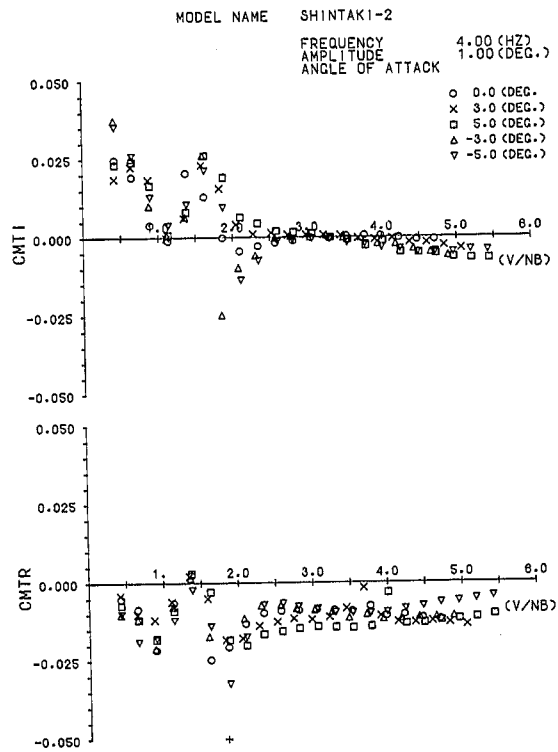


図-8.15 非定常空気力係数 (ねじれ振動)

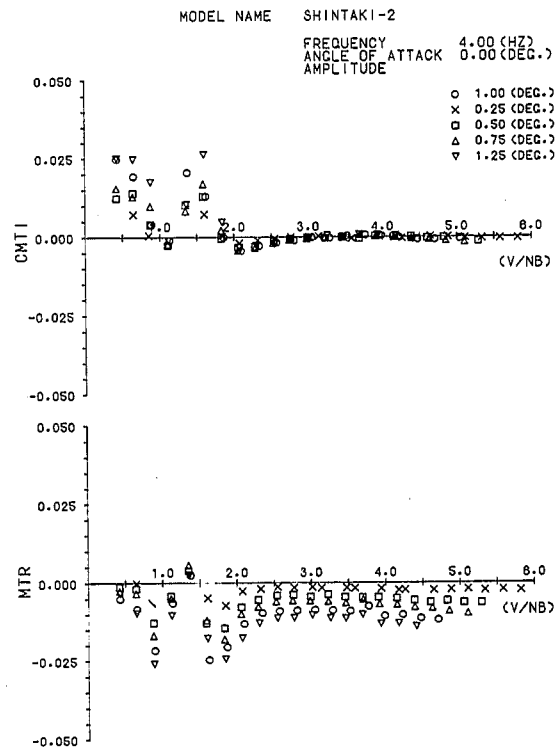


図-8.16 非定常空気力係数 (ねじれ振動)

MODEL NAME SHINTAKI-1

MASS 1.02 (KG·SEC/M)
 NATURAL FREQ. 13.28 (1/SEC)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM)
 MODEL LENGTH 99.00 (CM)

FREQUENCY 4.0 (HZ)
 AMPLITUDE 0.15 (CM)
 ANGLE OF ATTACK
 ○ 0.0(DEC.)
 × 3.0(DEC.)
 □ 5.0(DEC.)
 △ 3.0(DEC.)
 ▽ 5.0(DEC.)

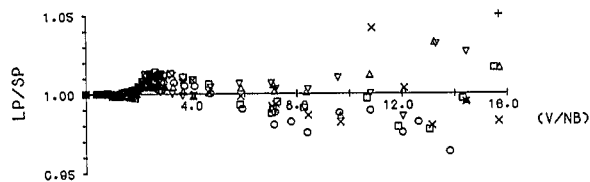
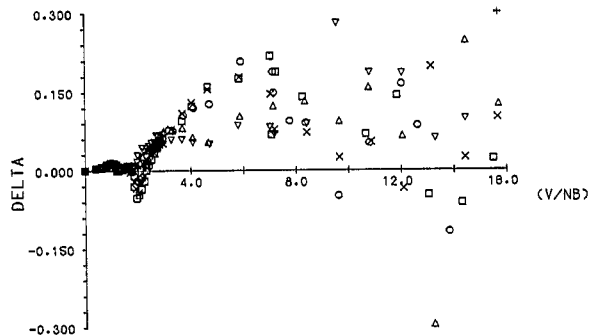


図-9.1 V~ δ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

MASS 1.02 (KG·SEC/M)
 NATURAL FREQ. 13.28 (1/SEC)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM)
 MODEL LENGTH 99.00 (CM)

FREQUENCY 4.00 (HZ)
 ANGLE OF ATTACK 5.00 (DEC.)
 AMPLITUDE
 ○ 1.5(MM)
 × 1.0(MM)
 □ 2.0(MM)
 △ 3.0(MM)
 ▽ 5.0(MM)

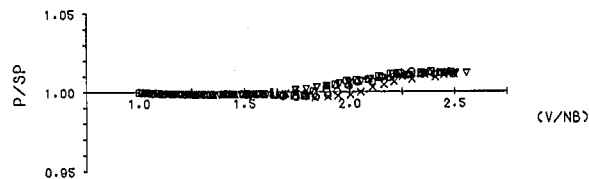
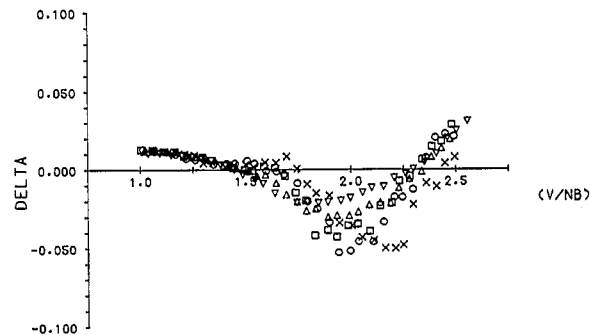


図-9.2 V~ δ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

0.70

MODEL NAME SHINTAKI-1

MASS	1.02 (KG·SEC ² /M)	FREQUENCY	4.00 (HZ)
NATURAL FREQ.	13.28 (1/SEC)	ANGLE OF ATTACK	3.00 (DEG.)
MODEL WIDTH	42.00 (CM)	AMPLITUDE	
MODEL LENGTH	98.00 (CM)		

○ 1.5(MM)
 × 1.0(MM)
 □ 2.0(MM)
 △ 3.0(MM)
 ▽ 5.0(MM)

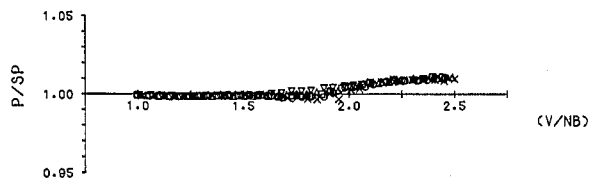
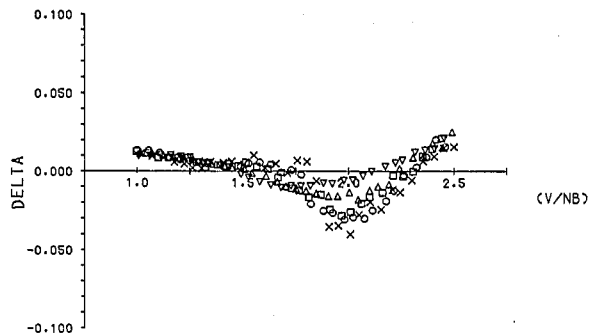


図-9.3 V~ δ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

MASS	1.02 (KG·SEC ² /M)	FREQUENCY	4.00 (HZ)
NATURAL FREQ.	13.28 (1/SEC)	ANGLE OF ATTACK	0.00 (DEG.)
MODEL WIDTH	42.00 (CM)	AMPLITUDE	
MODEL LENGTH	98.00 (CM)		

○ 1.5(MM)
 × 1.0(MM)
 □ 2.0(MM)
 △ 3.0(MM)
 ▽ 5.0(MM)

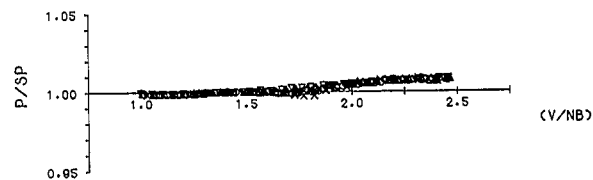
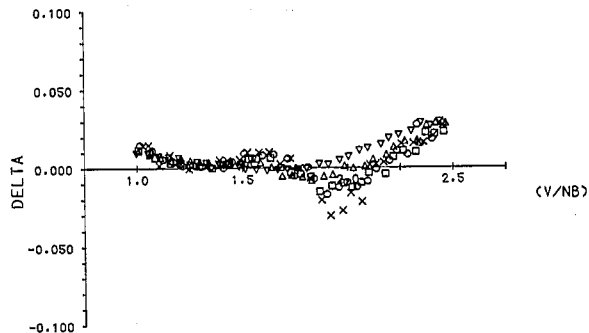


図-9.4 V~ δ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

MASS 1.02 (KG·SEC²/M)
 NATURAL FREQ. 13.26 (1/SEC)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM)
 MODEL LENGTH 69.00 (CM)
 FREQUENCY 4.00 (HZ)
 ANGLE OF ATTACK -3.00 (DEG.)
 AMPLITUDE
 ○ 1.5 (MM)
 × 1.0 (MM)
 □ 2.0 (MM)
 △ 3.0 (MM)
 ▽ 5.0 (MM)

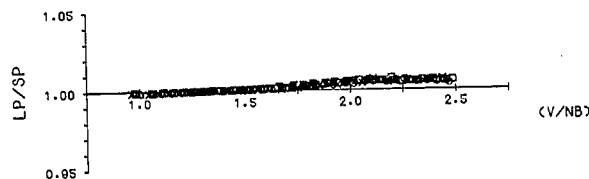
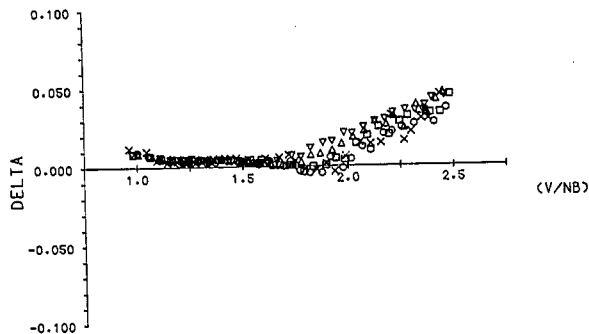


図-9.5 $V \sim \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

MASS 1.02 (KG·SEC²/M)
 NATURAL FREQ. 13.26 (1/SEC)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM)
 MODEL LENGTH 69.00 (CM)
 FREQUENCY 4.00 (HZ)
 ANGLE OF ATTACK -5.00 (DEG.)
 AMPLITUDE
 ○ 1.5 (MM)
 × 1.0 (MM)
 □ 2.0 (MM)
 △ 3.0 (MM)
 ▽ 5.0 (MM)

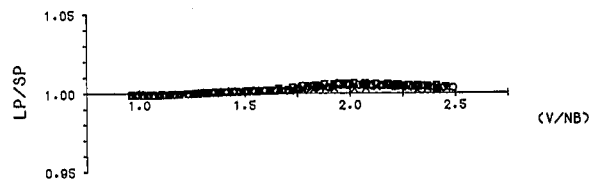
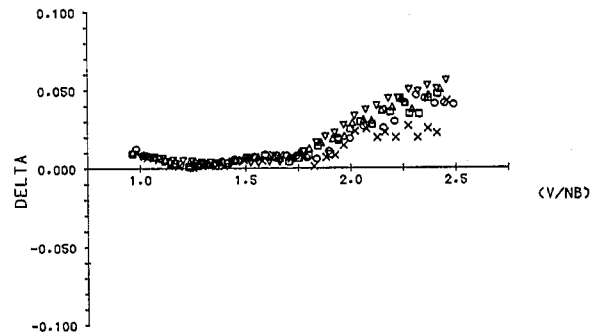


図-9.6 $V \sim \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

MASS	1.02 (KG·SEC ² /M)	FREQUENCY	4.0 2.0 (HZ)
NATURAL FREQ.	13.28 (1/SEC)	AMPLITUDE	0.15 (CM)
MODEL WIDTH	42.00 (CM)	ANGLE OF ATTACK	0.0 (DEG.)
MODEL LENGTH	86.00 (CM)		3.0 (DEG.)
			5.0 (DEG.)
			-3.0 (DEG.)
			-5.0 (DEG.)

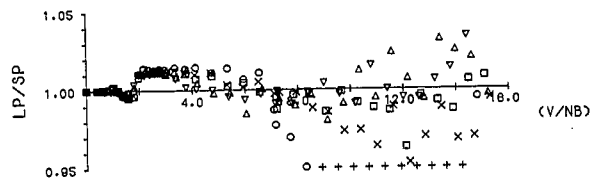
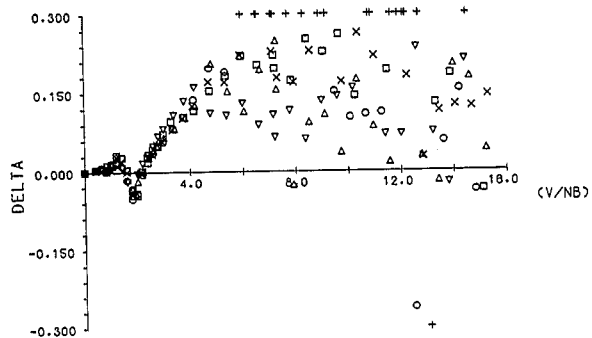


図-9.7 $V \sim \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

MASS	1.02 (KG·SEC ² /M)	FREQUENCY	4.00 (HZ)
NATURAL FREQ.	13.28 (1/SEC)	ANGLE OF ATTACK	5.00 (DEG.)
MODEL WIDTH	42.00 (CM)	AMPLITUDE	0.15 (CM)
MODEL LENGTH	86.00 (CM)		3.0 (MM)
			1.0 (MM)
			2.0 (MM)
			3.0 (MM)
			5.0 (MM)

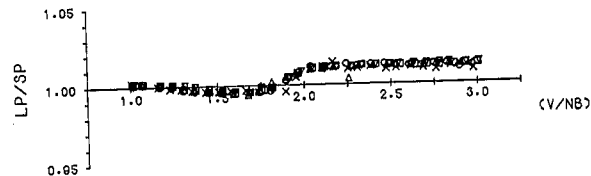
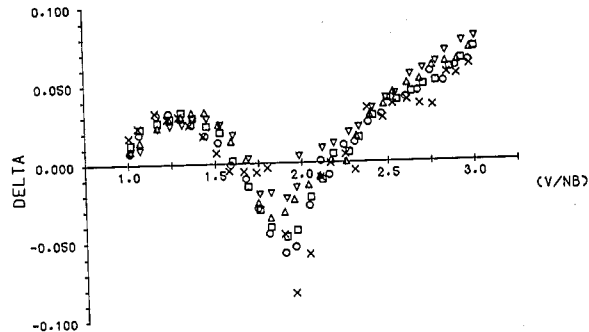


図-9.8 $V \sim \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

MASS 1.02 (KG·SEC²/M) FREQUENCY 4.00 (HZ)
 NATURAL FREQ. 13.28 (1/SEC) ANGLE OF ATTACK 3.00 (DEG.)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM)
 MODEL LENGTH 99.00 (CM) AMPLITUDE
 ○ 1.5(MM)
 × 1.0(MM)
 □ 2.0(MM)
 △ 3.0(MM)
 ▽ 5.0(MM)

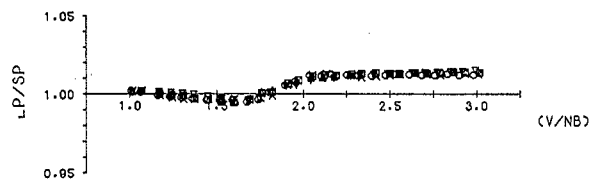
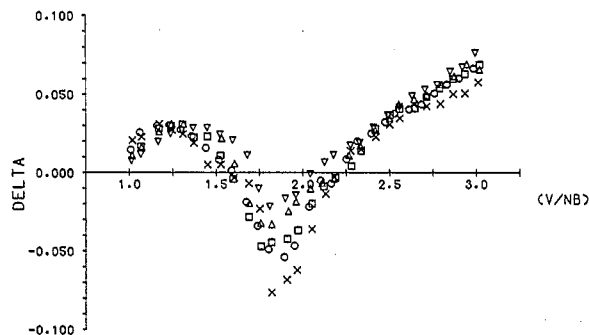


図-9.9 V~ δ 曲線(たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

MASS 1.02 (KG·SEC²/M) FREQUENCY 4.00 (HZ)
 NATURAL FREQ. 13.28 (1/SEC) ANGLE OF ATTACK 3.00 (DEG.)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM)
 MODEL LENGTH 99.00 (CM) AMPLITUDE
 ○ 1.5(MM)
 × 1.0(MM)
 □ 2.0(MM)
 △ 3.0(MM)
 ▽ 5.0(MM)

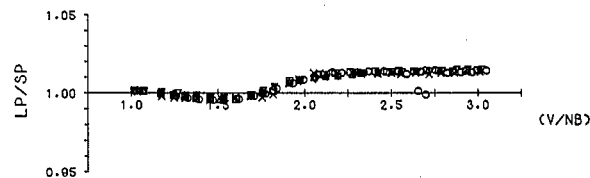
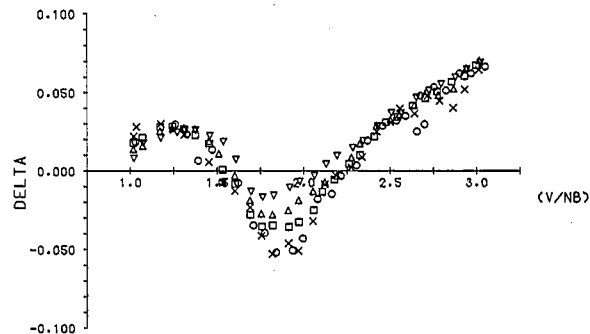


図-9.10 V~ δ 曲線(たわみ振動, 非定常空気力実験)

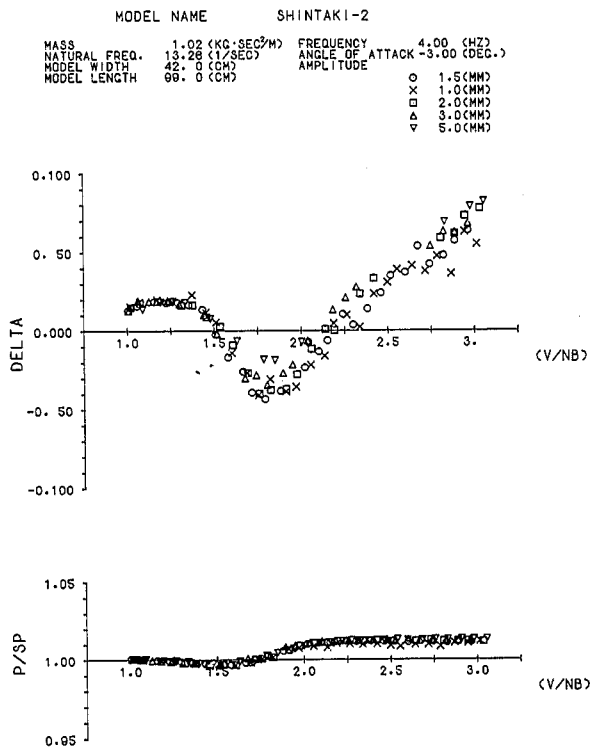


図-9.11 V~ δ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

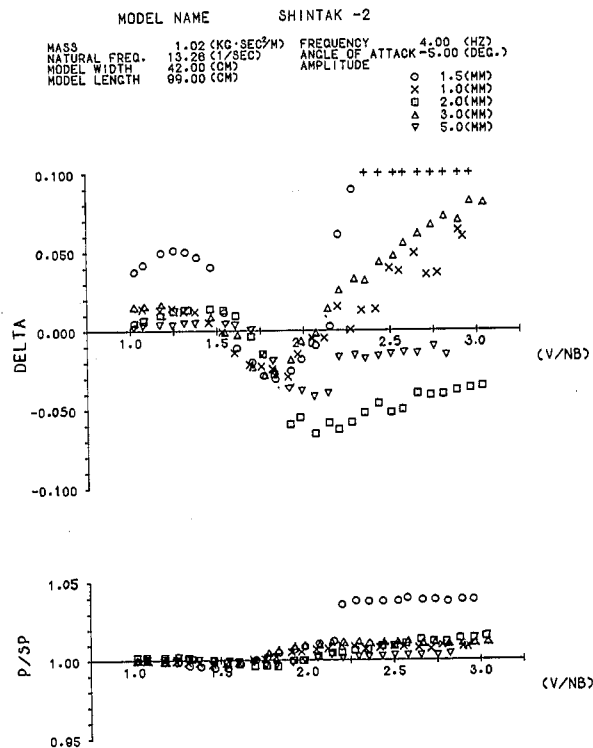


図-9.12 V~ δ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2
 POLAR MOMENT OF INERTIA 0.023 (KG M SEC²/M)
 NATURAL FREQ. 27.27 (1/SEC) FREQUENCY 4.00 (HZ)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM) AMPLITUDE 1.00 (DEG.)
 MODEL LENGTH 99.00 (CM) ANGLE OF ATTACK
 ○ 0.0(DEC.)
 □ 3.0(DEC.)
 △ 5.0(DEC.)
 ▲ -3.0(DEC.)
 ▼ -5.0(DEC.)

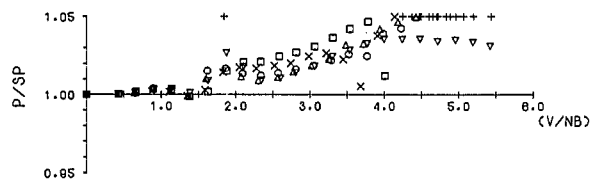
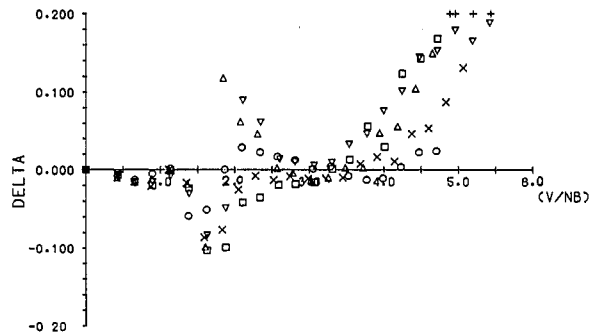


図-9.13 V~ δ 曲線 (ねじれ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2
 POLAR MOMENT OF INERTIA 0.023 (KG M SEC²/M)
 NATURAL FREQ. 27.27 (1/SEC) FREQUENCY 4.00 (HZ)
 MODEL WIDTH 42.00 (CM) ANGLE OF ATTACK 0.00 (DEC.)
 MODEL LENGTH 99.00 (CM) AMPLITUDE
 ○ 1.00(DEC.)
 × 0.25(DEC.)
 □ 0.50(DEC.)
 ▲ 0.75(DEC.)
 ▼ 1.25(DEC.)

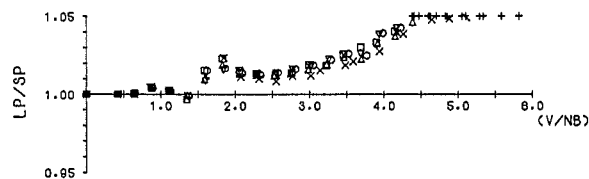
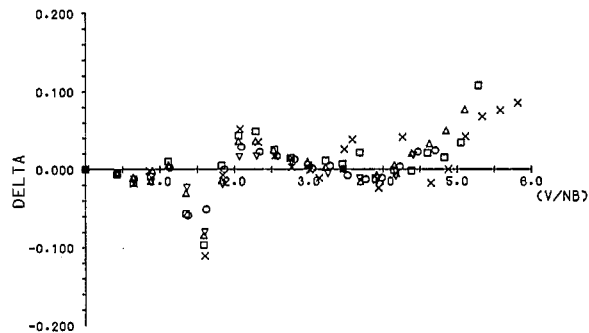


図-9.14 V~ δ 曲線 (ねじれ振動, 非定常空気力実験)

96

MODEL NAME SHINTAKI-1

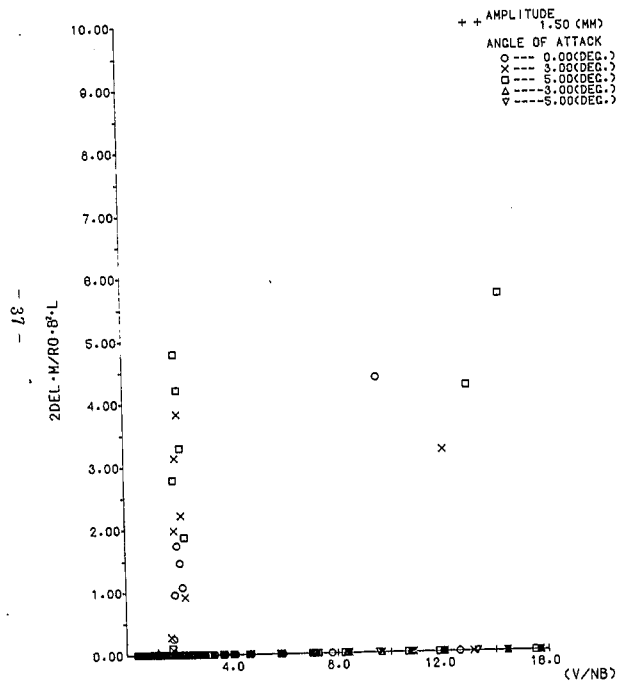


図-10.1 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

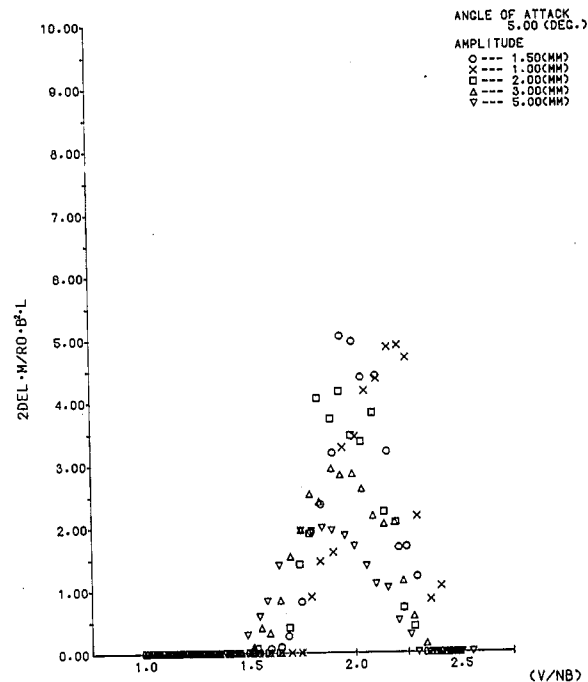


図-10.2 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

MODEL NAME SHINTAKI-1

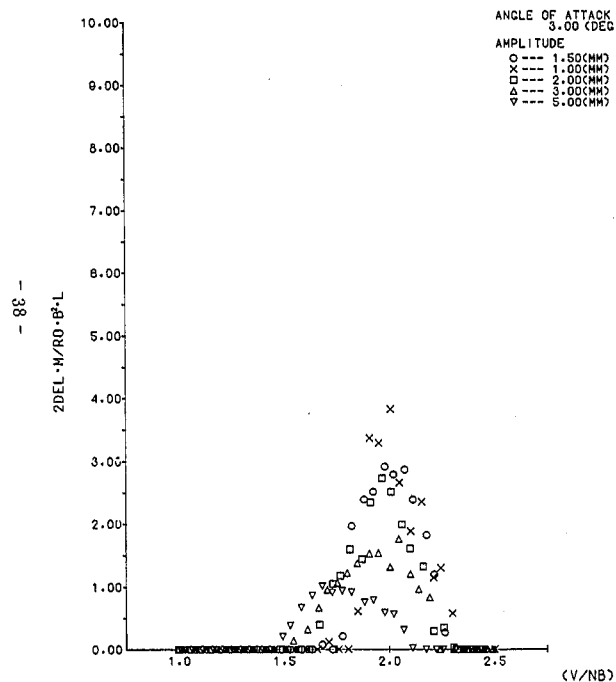


図-10.3 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

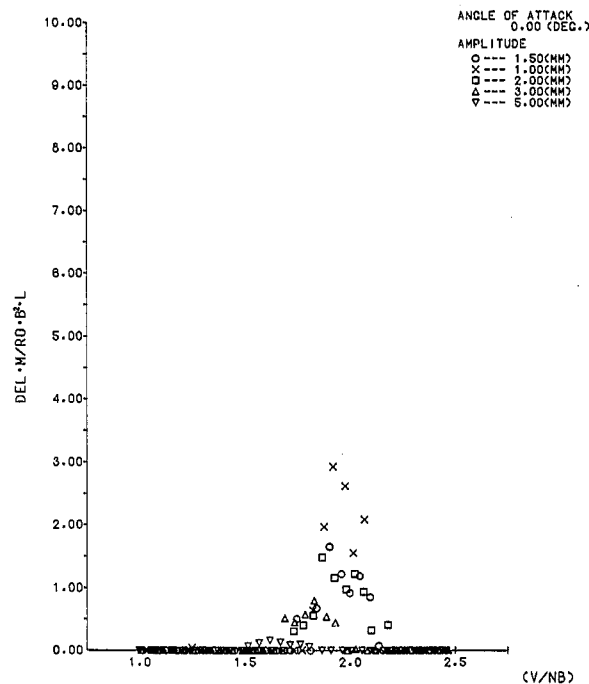


図-10.4 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

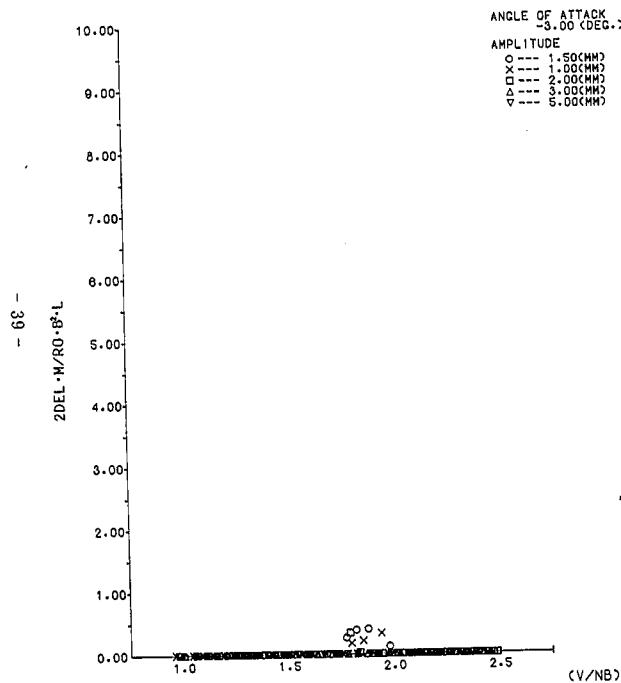


図 - 10.5 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-1

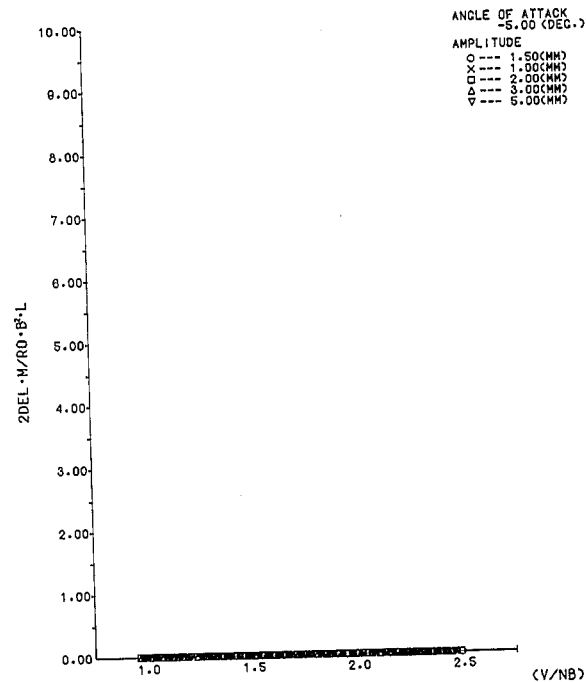
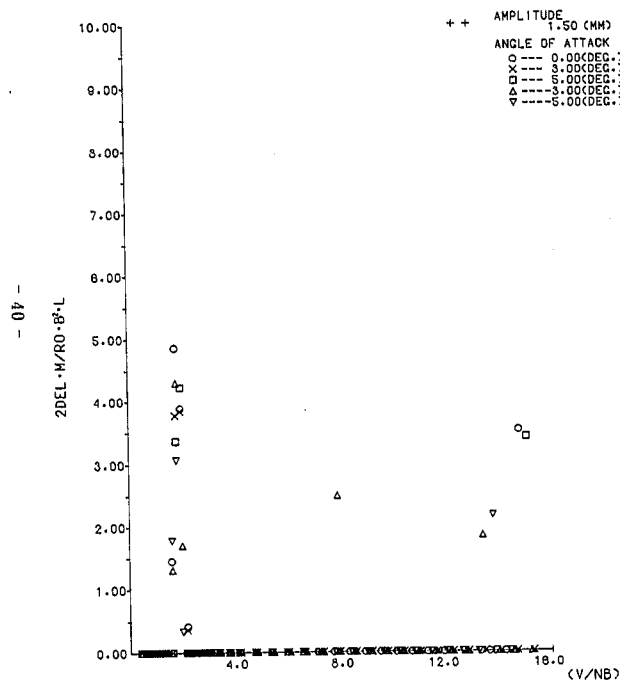


図 - 10.6 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

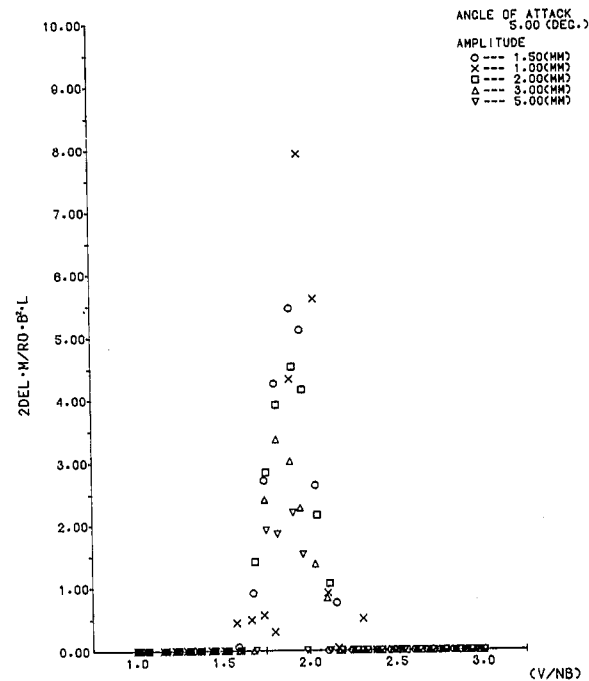
MODEL NAME

SHINTAKI-2

図 - 10.7 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME

SHINTAKI-2

図 - 10.8 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

MODEL NAME SHINTAKI-2

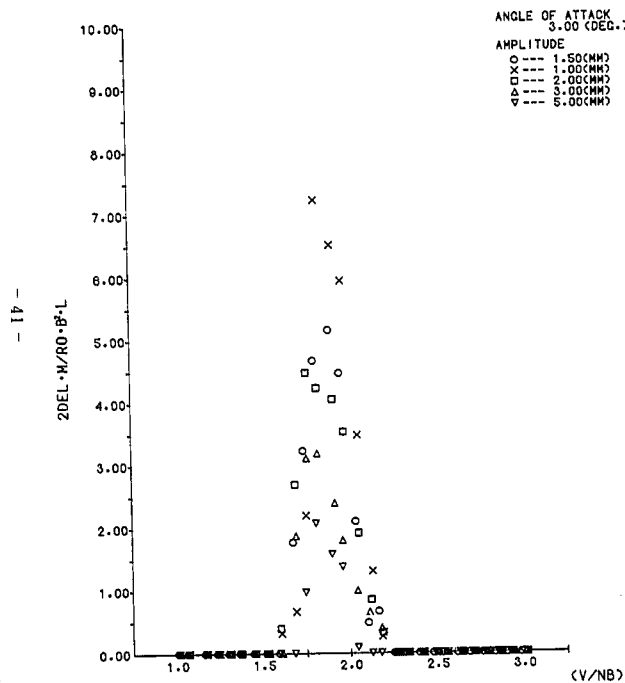


図-10.9 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

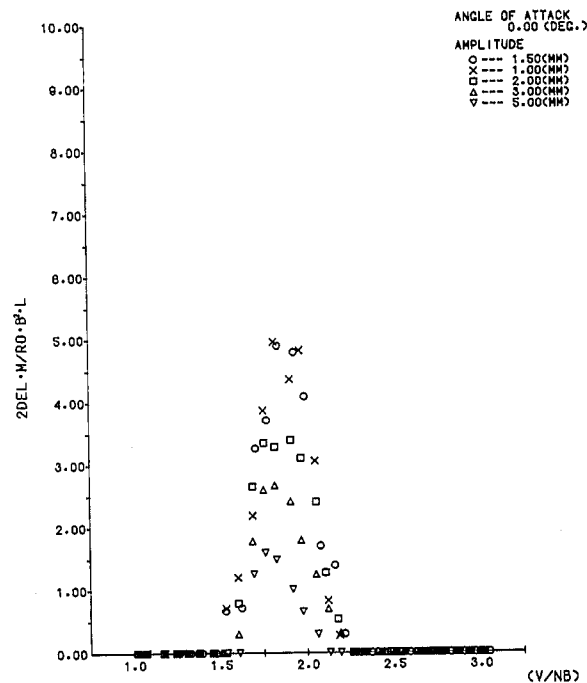


図-10.10 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

MODEL NAME SHINTAKI-2

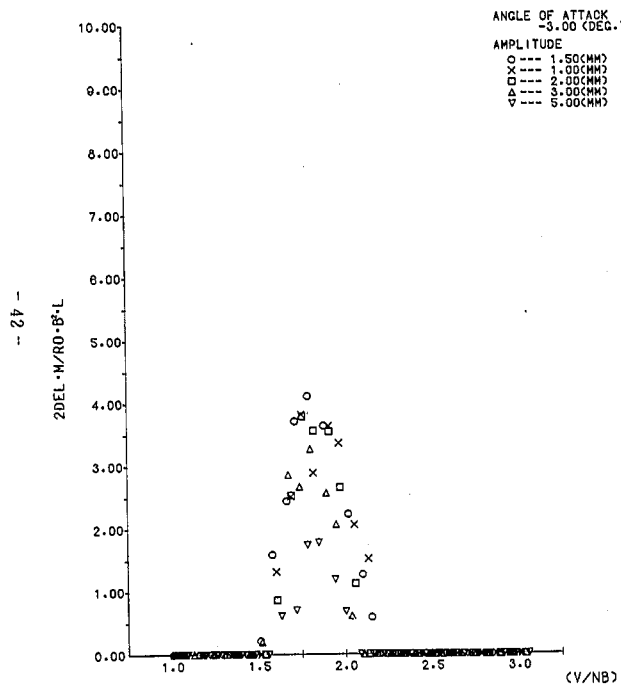


図-10.11 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

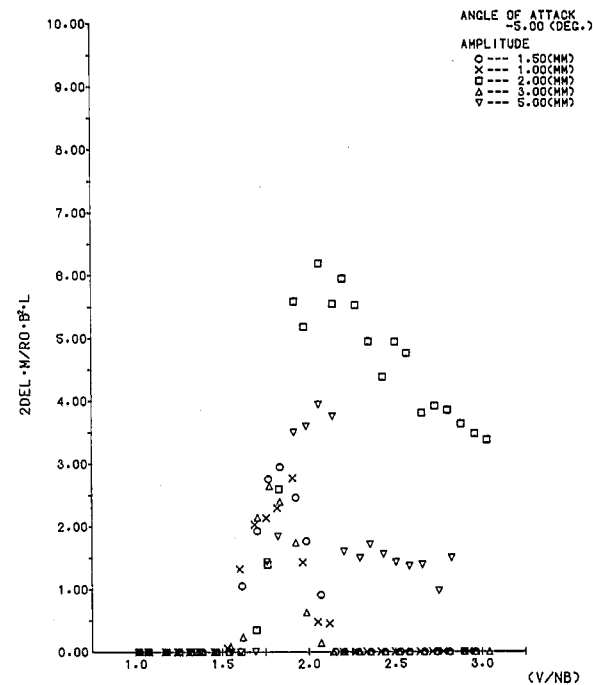


図-10.12 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

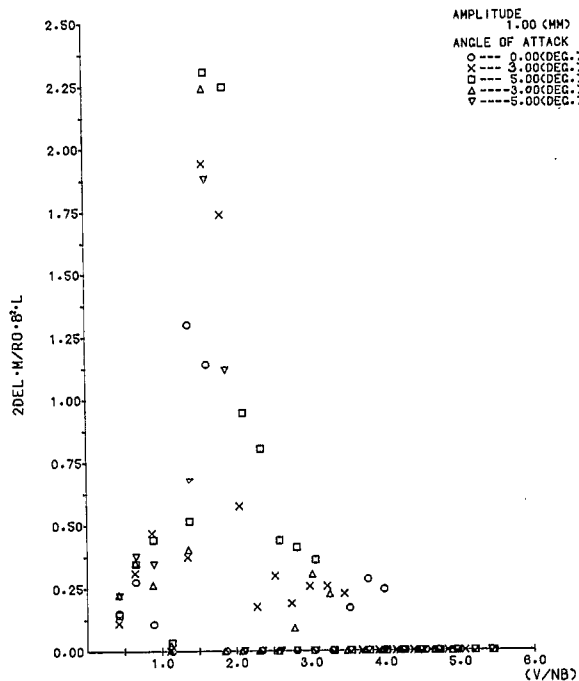


図-10.13 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非常空気力実験)

MODEL NAME SHINTAKI-2

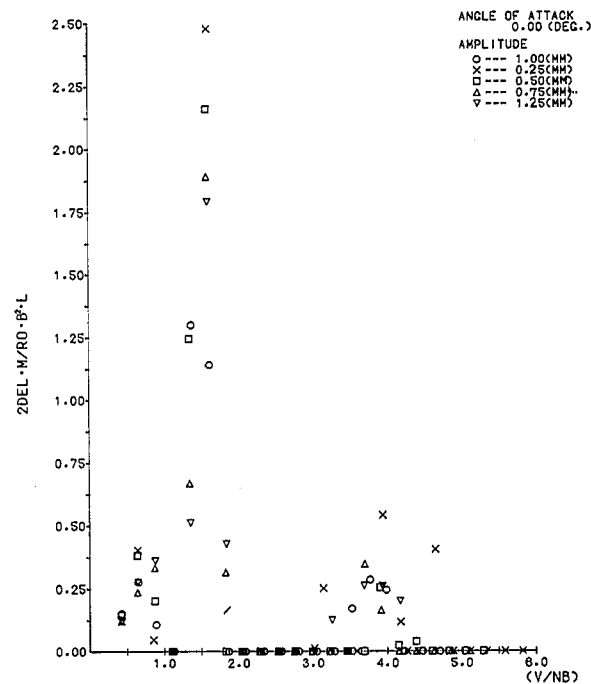


図-10.14 $V \sim m_0 \cdot \delta$ 曲線 (たわみ振動, 非常空気力実験)

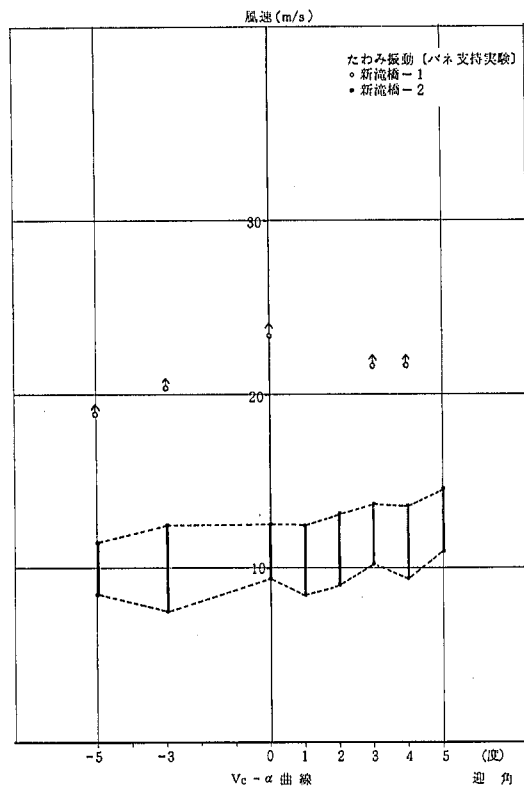


図-11.1 $V_c \sim \alpha$ 曲線 (たわみ振動, バネ支持模型実験)

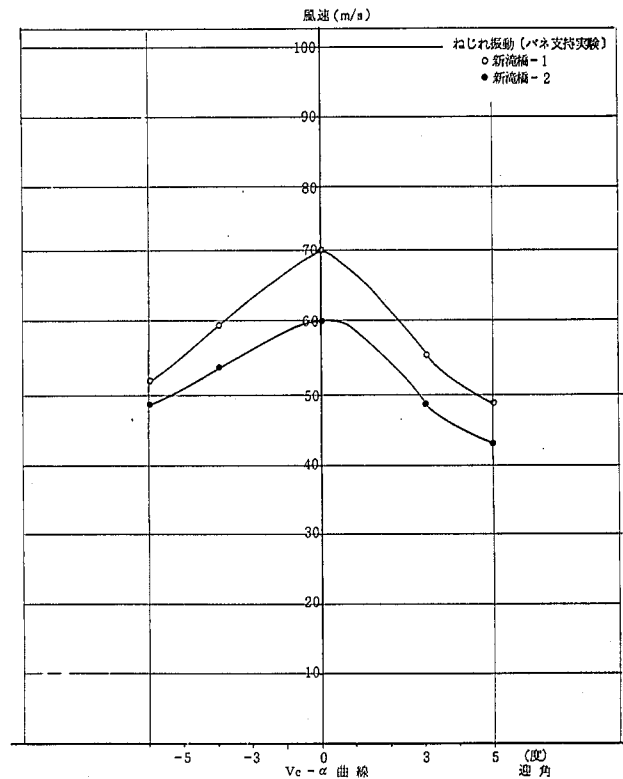


図-11.2 $V_c \sim \alpha$ 曲線 (ねじれ振動, バネ支持模型実験)

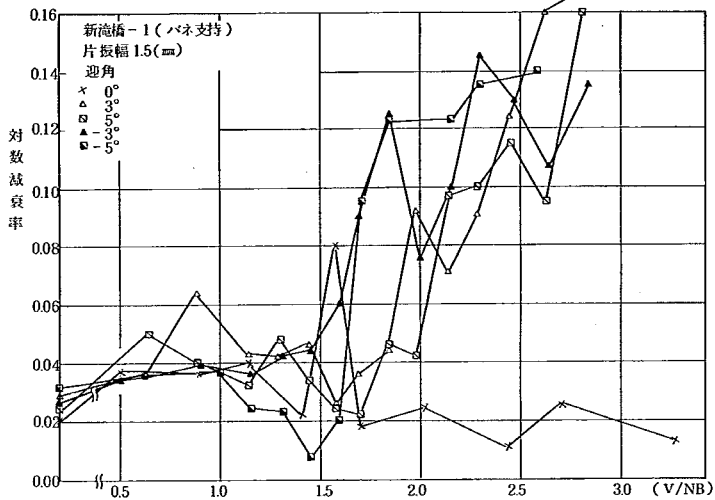


図-12.1 V $\sim$ δ 曲線 (たわみ振動, バネ支持模型実験)

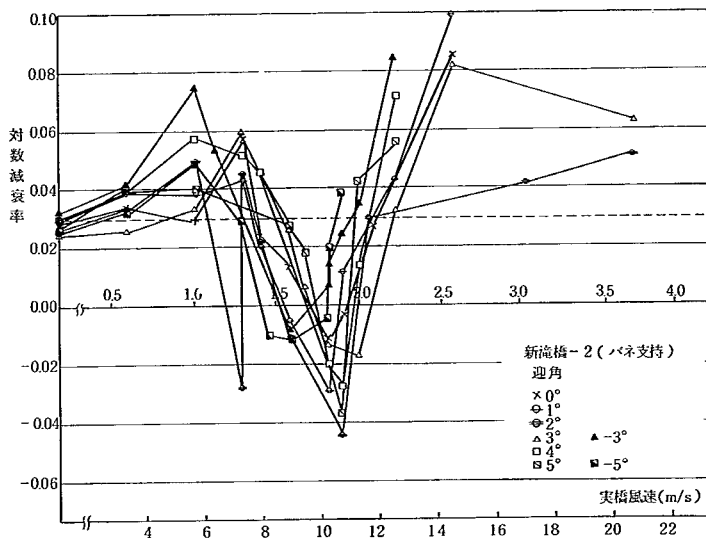


図-12.2 V $\sim$ δ 曲線 (たわみ振動, バネ支持模型実験)

65

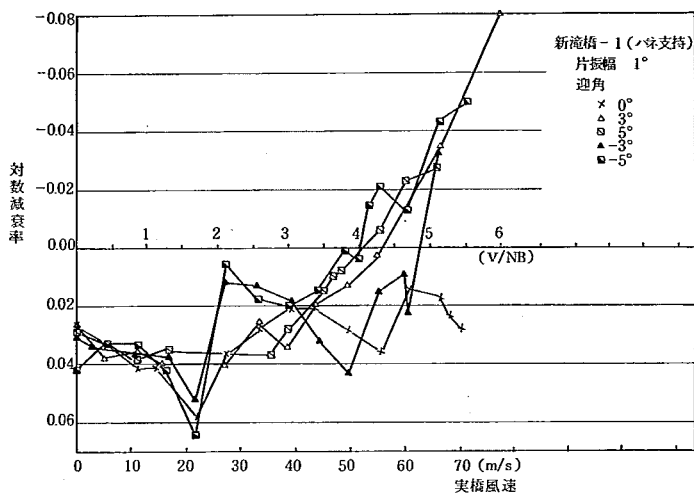


図-12.3 $V \sim \delta$ 曲線 (ねじれ振動, バネ支持模型実験)

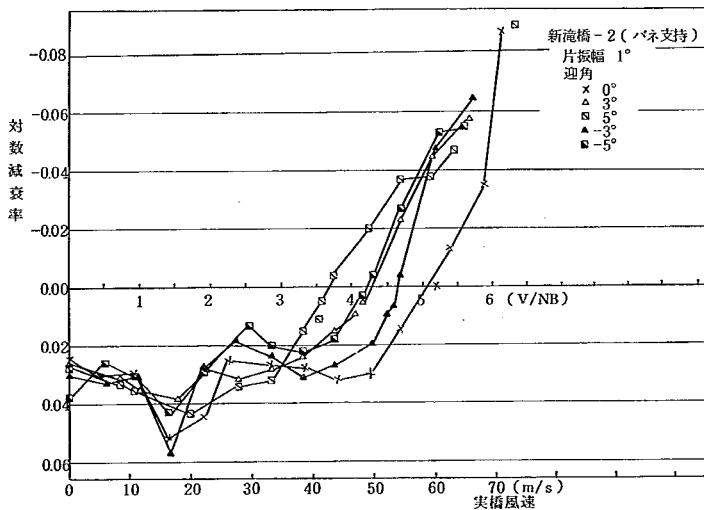


図-12.4 $V \sim \delta$ 曲線 (ねじれ振動, バネ支持模型実験)

686

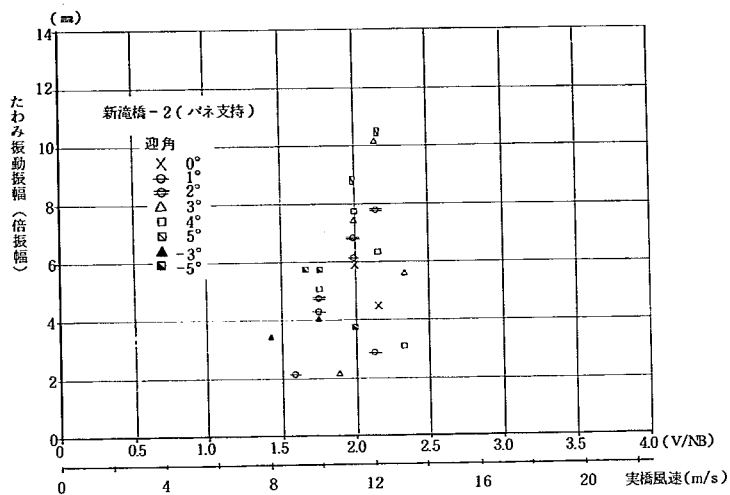


図-13.1 V~A曲線 (たわみ振動, バネ支持模型実験)

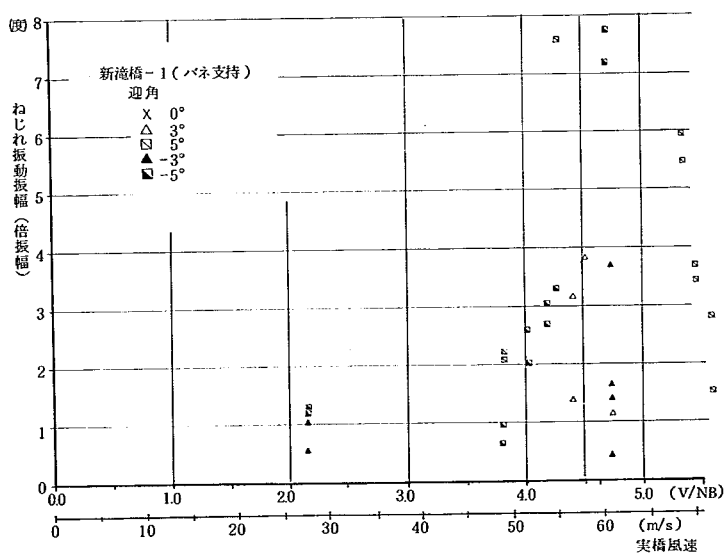


図-13.2 V~A曲線 (ねじれ振動, バネ支持模型実験)

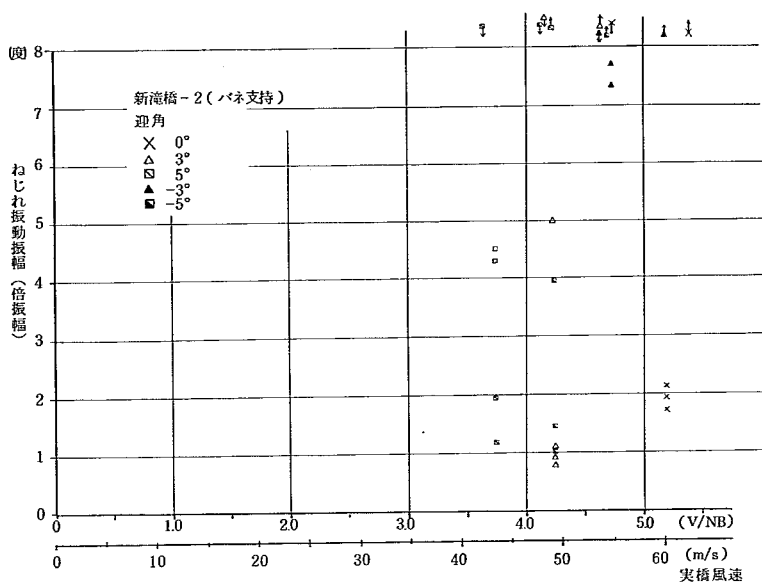


図-13.3 V～A曲線 (ねじれ振動, バネ支持模型実験)

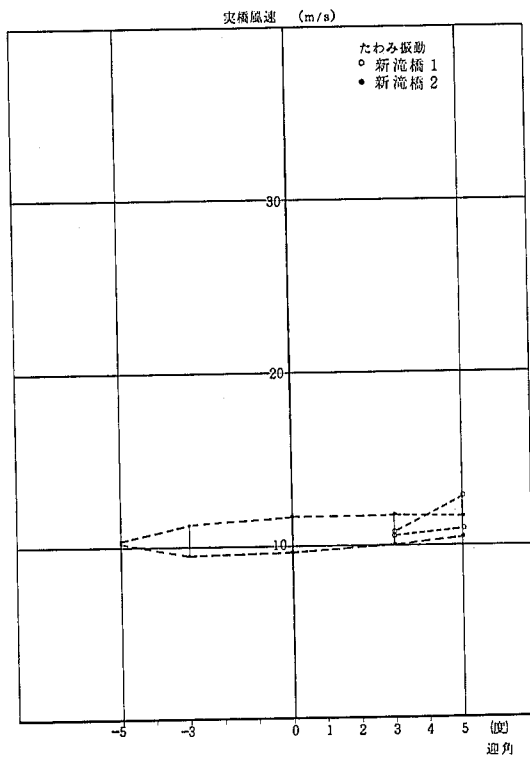


図-14.1 $V_c \sim \alpha$ 曲線 (たわみ振動, 非常常空気力実験)

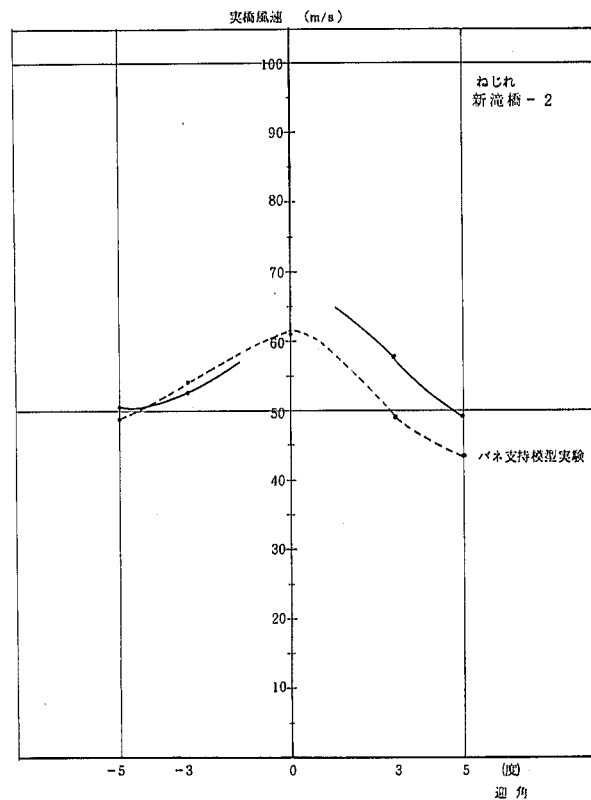


図-14.2 $V_c \sim \alpha$ 曲線 (ねじれ振動, 非常常空気力実験)

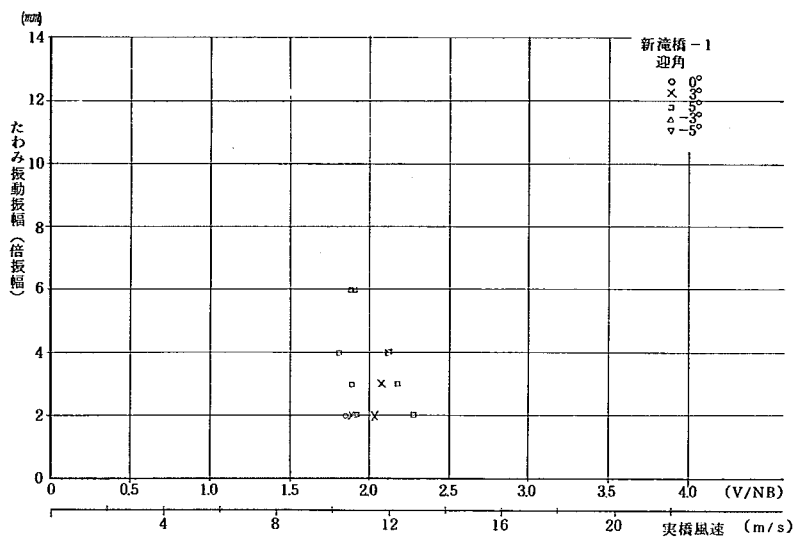


図-15.1 V~A曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

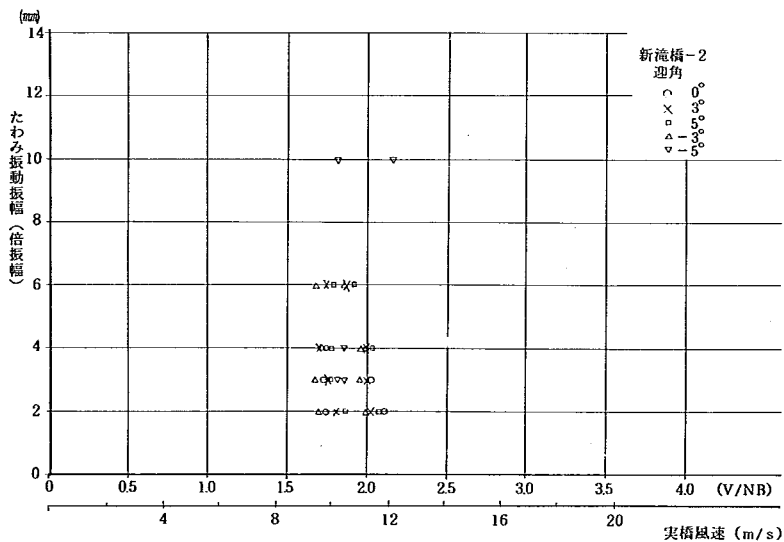


図-15.2 V~A曲線 (たわみ振動, 非定常空気力実験)

表-1 新滝橋諸元表

橋 格	1等橋
型 式	2径間非連続鋼床版斜張橋 144.0+44.0+144.0 m
橋 長	2径間連続鋼床版桁橋 2@55.0 m
橋 幅	10.5 m
道路規格	第3種第3級
設計速度	50 km/h

表-2 新滝橋と類似模型断面比較表

	新 滝 橋		斜張橋基本断面類似模型	
	断 面 図	寸 法 比	断 面 図	寸 法 比
新滝橋-1		$\frac{B'}{B} = 0.76$ $\frac{D}{B} = 0.17$		$\frac{B'}{B} = 0.75$ $\frac{D}{B} = 0.15$
新滝橋-2		$\frac{B'}{B} = 1.00$ $\frac{D}{B} = 0.17$		$\frac{B'}{B} = 1.00$ $\frac{D}{B} = 0.15$

表-3.1 実験条件(パネ支持模型実験)

	原 型	所 要 値	実 験 値
縮 尺		1 : 25	1 : 25
重 量	6.322 t/m/Br.	10,014 g/model	10,014 g/model
極慣性モーメント	7.434 t・m・sec ² /m/Br.	1,884 g・cm・sec ² /model	1,894 g・cm・sec ² /model
たわみ振動数	0.537 Hz	2.11 Hz	2.11 Hz
ねじれ振動数	1.227 Hz	4.82 Hz	4.81 Hz
振動数比	2.285	2.28	2.28
パネ定数		1,800 g/cm	1,800 g/cm
パネ間隔		62.0 cm	62.0 cm
風速換算比		$\frac{h}{\alpha} \frac{6.36}{6.36}$	$\frac{h}{\alpha} \frac{6.36}{6.38}$
構造減衰率		0.025	0.03

表-3.2 実験条件(パネ支持模型実験)

	原 型	所 要 値	実 験 値
縮 尺		1 : 25	1 : 25
重 量	6.322 t/m/Br.	10,014 g/model	9,757g/model
極慣性モーメント	9.173 t・m・sec ² /m/Br.	2,325 g・cm・sec ² /model	2,316g・cm・sec ² /model
たわみ振動数	0.537 Hz	2.11 Hz	2.14 Hz
ねじれ振動数	1.104 Hz	4.34 Hz	4.35 Hz
振動数比	2.056	2.06	2.06
パネ定数		1,800 g/cm	1,800 g/cm
パネ間隔		62.0cm	62.0cm
風速換算比		h 6.36 α 6.36	h 6.27 α 6.34
構造減衰率		0.025	0.03

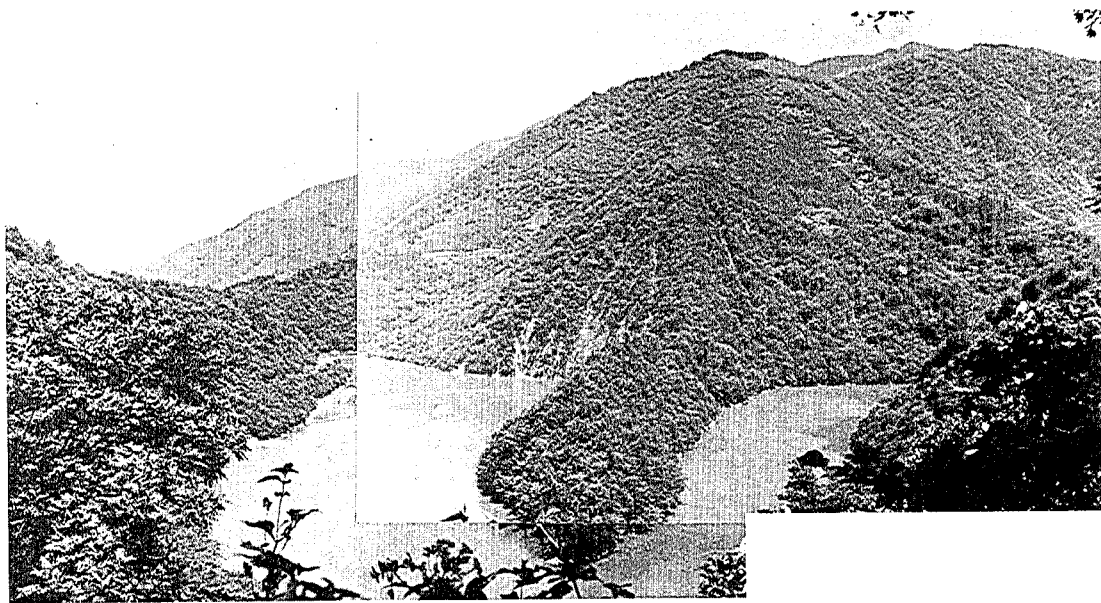


写真-1 新滝橋架設地点および周辺写真

付 録

1) 減衰率 (δ) および応答振動数の算出式

[非定常空気力係数から $V \sim \delta$ 曲線を作る方法]

今、たわみ 1 自由度の振動系と考えると、運動方程式は次のように表わすことができる。

$$m (\ddot{x} + 2h\omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x) = f(t) \quad (1)$$

$f(t)$ は、この振動系に働く外力、すなわち非定常空気力であり、定義より非定常空気力係数を用いて次のように表わすことができる。

$$f(t) = \frac{1}{2} \rho V^2 B l (C_{LR} \frac{x}{x_0} + C_{LI} \frac{\dot{x}}{\omega x_0}) \quad (2)$$

ここに x_0 : 振動振幅

$$x/x_0 = \cos \omega t, \quad \dot{x}/\omega x_0 = \sin \omega t$$

(2) 式を (1) 式に代入して整理すると

$$\ddot{x} + 2h\omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{1}{2m} \rho V^2 B l (C_{LR} \frac{x}{x_0} + C_{LI} \frac{\dot{x}}{\omega x_0})$$

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2\omega_0 (h - \frac{1}{4m} \rho V^2 B l \frac{C_{LI}}{\omega \omega_0 x_0}) \dot{x} \\ + (\omega_0^2 - \frac{1}{2m} \rho V^2 B l \frac{C_{LR}}{x_0}) x = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで

$$H = h - \frac{1}{4m} \rho V^2 B l \frac{C_{LI}}{\omega \omega_0 x_0} \quad (4)$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \frac{1}{2m} \rho V^2 B l \frac{C_{LR}}{x_0} \quad (5)$$

とすると、この振動系の対数減衰率 δ は

$$\delta = 2\pi H / \sqrt{(\omega/\omega_0)^2 - H^2} \quad (6)$$

となり、一方、応答振動数は

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{1}{2m} \rho V^2 B l \frac{C_{LR}}{x_0}} \quad (7)$$

で表わされる。

2) 無次元質量 ($m_0 \cdot \delta$) の算出式

[非定常空気力を用いる応答の推定]

式の展開を簡単にするために、たわみ 1 自由度系の場合について説明を継続する。(1) 式において定常振動する場合には、(4) 式の $H = 0$ となるので

$$h - \frac{1}{4m} \rho V^2 B l \frac{C_{LI}}{\omega \omega_0 x_0} = 0$$

$$\frac{\delta}{2\pi} - \frac{1}{4m} \rho V^2 B l \frac{C_{LI}}{\omega \omega_0 x_0} = 0$$

振動数の変化は微小であると考えて $\omega = \omega_0$ とすると

$$\frac{2m \cdot \delta}{\rho B^2 l} \div (V/NB)^2 \frac{C_{LI}}{x_0} = \frac{B}{4\pi} \quad (8)$$

という関係式が得られ

(1) V/NB と x_0 を仮定する

↓

(2) 実験結果から C_{LI} が決定される。

↓

(3) (8)式により $\frac{2m\delta}{\rho B^2 l}$ が計算される。

↓

(4) 横軸に V/NB , 縦軸に $\frac{2m\delta}{\rho B^2 l}$ をとって x_0 に関するコンターが得られる。

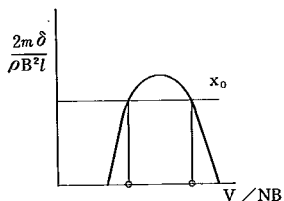
[この図の使い方]

1) 構造特性から $\frac{2m\delta}{\rho B^2 l}$ を計算する。

2) 図より x_0 との交点を求める。

3) その点の V/NB を求める。

4) このとき、構造物は V/NB の風速で振幅 x_0 の定常振動をする。



という関係式が得られ無次元質量が求まる。