

土 木 研 究 所 資 料

関門橋長期観測データ解析報告書（その5）

昭和54年1月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

序

昭和48年秋に完成した、本州と九州を結ぶ関門橋はわが国で最長の吊橋であり、強風および地震に対する本橋の応答を調べるための長期観測システムがとりつけられている。観測記録の解析は建設省土木研究所が受託業務として担当することとなり、昭和49年度より作業が開始された。

本年度は新たに収録されたデータを用いて、関門海峡における風と関門橋の応答の基礎的な特性を求めた。更に、補剛桁の水平たわみ応答に関しては、過去5ヶ年の間に有効なデータが得られたので、詳細な解析を行ない理論値との比較を行なった。また、補剛桁の鉛直たわみおよびねじれ振動応答に関しては、昨年ひきつづき計算値と実測値の比較を行ない、解析方法について検討を加えた。

昭和54年1月

構造研究室	室	長	成	田	信	之
		主任研究員	横	山	功	一
		研 究 員	佐	藤	弘	史
			湯	沢		聡

目 次

1. はじめに	1
1.1 長期観測の目的	1
1.2 調査の経緯	1
1.3 今年度の調査の概要	2
2. 昭和53年度収録のデータ解析	2
2.1 収録されたデータ	2
2.2 風の特徴	2
2.3 応答の特徴	2
3. 補剛桁の水平たわみ応答	4
3.1 応答の実測値	4
3.2 計算値との対比	4
3.3 結 論	5
4. 補剛桁の鉛直たわみおよびねじれ応答	5
4.1 非定常空気力の測定	5
4.2 推定計算	6
4.3 実測値と計算値の比較	6
5. ま と め	6
6. お わ り に	7
参 考 文 献	7
図, 表	8

1. はじめに

1.1 長期観測の目的

関門橋には強風時の吊橋の挙動を観測する長期観測システムが昭和48年10月に設置され、計測が続けられている。

長大吊橋は風の影響を受け易い構造物であり、設計において耐風性の検討は重要な役割を占めている。関門橋は数次の風洞実験によりその耐風性が検討され、最終的に実施設計案として耐風性の良好な設計案が得られた。ところで、関門橋は中央径間長が700mを越す、わが国で最長の本格的な長大吊橋であり、自然の条件下での長大橋としての実橋の挙動を観測し、耐風設計の妥当性を確認することは重要なことであると考えられた。

さらに、最近の構造物の耐風設計に関する研究は活発に行なわれ、着々と成果をあげつつあるが、これらの結果をとり込んだ耐風設計基準¹⁾では、自然風による吊橋の不規則応答計算を行なって、その影響を設計の中に反映させている。しかし、このような現象が強風時に観測された事例は僅かであり、実橋における現象の確認が熱望されている。

また、最近自然風の乱れを風洞内で再現した実験が行なわれることが多いが、相似則の面で未だ手法として確立されたものはない。したがって、自然風をうける構造物の応答観測は非常に重要な役割をもっているといえよう。

以上のような考えにしたがって、長期観測システムが関門橋に設置され観測が行なわれている。観測システムに関しては、既に詳細な報告がなされており、その後システムに大幅な変更はないので、ここでは図-1, 2, 表-1~3にその資料を掲げるにとどめ、説明は省略する²⁾。

1.2 調査の経緯^{2)~5)}

観測を開始した当初は長期観測システムの点検、測器の初期故障などにより、十分な記録が得られなかったが、昭和50年3月、昭和51年3月に総合調整を行ない、システムの信頼性は向上した。特に昭和51年7月には、光学式変位計、超音波風速計の修理が行なわれ、それ以後はほぼ満足できる性能を発揮するようになった。しかし、磁気テープのパリティ・エラーに関しては、回数は減ったものの、磁気テープの読めないものがあり、貴重なデータを失うという結果になっている。

強風のデータは昭和49年度、昭和51年度に得られているが、昭和50、52年は台風の襲来もなく、得られていない。ただし、風向、風速の面からは、片よったデータが多い。

基礎的な解析として、風向・風速、応答の加速度・変位のそれぞれの平均値、標準偏差、変動係数、最大値、最小値、頻度分布、パワースペクトルなどが求められる。また自然風の特性和として、傾斜角・風の空間分布・空間相関が求められ、従来の結果との比較を行なった。

応答に関しては、鉛直たわみ・水平たわみおよびねじれ振動の不規則振動が観測され、理論計算値との対比を行なっている。

現在までに明らかになった事項を要約すると次のとおりである。

- (1) 架橋地点の風速パワースペクトル、乱れ強さ、ガストファクターは従来値と大差なかった。
風速の水平分布の結果からは、ほぼ様な風向および風速分布をしており、海峡部において風の収斂効果があったかどうか確かではない。
- (2) 風の傾斜角については未だ十分なデータが得られていない。
- (3) 風速の空間相関を表わす k は、従来いわれている値よりも小さいものが得られた。
- (4) 補剛桁の不規則振動が観測され、振動変位には最低次の振動モードの寄与が大きいことがパワースペクトルより明らかになった。
- (5) 不規則応答の実測値と計算値は、水平たわみ振動の平均変位に関してはほぼ一致したが、動的応答に関しては水平たわみ・鉛直たわみ、ねじれ振動ともよい一致はみられず、計算方法の改良を続けることとした。

1.3 今年度の調査の概要

今年度得られた強風記録は基礎的統計値の計算を行ない、データの蓄積をはかると共に、今年度は水平たわみ応答および鉛直たわみ・ねじれ振動の計算方法を再検討し、実測値との対比を行なった。

2. 昭和53年度収録データの解析

2.1 収録されたデータ

昭和53年2月から現在までに得られたデータを表-4にとりまとめた。今回記録された磁気テープにはバリティ・エラーが多いこと、また当研究室で解析に用いるデータ個数(標準として2,000個、時間にして400秒)に満たない短いデータが非常に多かった。第1の問題は、従来からのものであり容易に改善できないものなので、解析時にはバリティ・エラー部を読みとばしたコピーテープを作成し、データ数が1,000個以上のものについて計算を行なった。第2の問題は、システムの起動と停止を指令する風速の選定の問題と考えられる。

2.2 風 の 特 性

本年度は、台風7818号が本橋付近を通過する前後約5時間の強風記録を得ることができた。この台風は、昭和53年9月15日15時には下関の北約50 kmに達し、その後東北東に加速し、16時ごろ山口県豊浦町に上陸したもので、下関気象台での台風の観測値は次のとおりである。

- (a) 平均最大風速 24.6 m/s 西北西 16時50分
- (b) 瞬間最大風速 42.2 m/s 西北西 16時50分
- (c) 1時間毎の風向風速の記録

時 刻	風速 (m/s)	風 向
9:00	8.0	東
10:00	11.2	"

11:00	11.1	東
12:00	14.5	"
13:00	16.1	"
14:00	22.6	東南東
15:00	18.1	南々東
16:00	13.4	西南西
17:00	20.8	西北西
18:00	10.0	北西
19:00	9.5	"
20:00	7.2	"

台風の記録を含めた強風の記録から、平均値・乱れ強さなどの統計諸量を計算し、表-5に示した。一方、図-3は7818号台風の記録より求めた平均風速と傾斜角の関係を示したものである。平均風速が20m/s前後において、傾斜角は $5^{\circ} \sim -4^{\circ}$ 程度という結果が得られた。また、図-4にはBT法とMEM法によって計算した強風時の塔頂での風速のパワースペクトルを示す。

2.3 応答の特性

加速度計および光学式変位計より得られた応答の記録より、統計諸量を計算し表-6に示した。表中の加速度応答は、中央径間1/2点および1/4点の鉛直成分1と鉛直成分2の標準偏差の値はほぼ近い値を示すはずである。しかし、昭和53年9月15日以降の1/2点の鉛直成分2の値は明らかに異常と思われる。このため、これを用いて計算した1/2点の鉛直たわみおよびねじれ応答もかなり大きな値となっている。また変位応答にも常識的な値と異なるものも見受けられる。これらのデータを取り扱う場合には充分な注意が必要である。

3. 補剛桁の水平たわみ応答

観測が開始されてから今年までの5年間に、しばしば強風による補剛桁の水平たわみ応答が観測され、解析が行われてきた。しかし、その中には超音波風速計・光学式変位計が不調であった時のデータも含まれている。そこで、今年度は5年分のデータを総合し、見直して、水平たわみ応答に対してとりまとめを行ない、計算値と実測値の対比を行なった。また、以前の報告書には一部誤りも発見されたので、ここには修正をしたものを掲げた。

3.1 応答の実測値

解析の対象としたのは次のデータである。

データの日時	平均風速 (m/s)	主風向 (度)	
昭和49年 11月18日	4～11.5	255～282	超音波風速計が不調のため、風向風速計より橋軸直角方向風速を求めた。
11月21日	7～15	240～266	
昭和51年 9月13日	21～26	55～80	
10月28日	14～17	248～260	

また、光学式変位計の出力にはドリフトが含まれていると考えられるので、全てのデータについて零点の補正を行なった。これらのデータの風向は必ずしも橋軸直角方向と一致していないので、解析には橋軸直角方向成分の風速を用いた。

図-5は平均風速と水平たわみ振動の関係を示すものである。

3.2 計算値との対比

水平たわみ応答の解析方法および計算プログラムについては既に報告³⁾してあるので、ここでは省略する。

動的応答の大きさには空間相関を表す k の影響が大きいことが分っているので、 k を5通りに変化させて応答値・動的応答倍率などを求めた。その結果が図-6～8に示されている。実測された風速のコヒーレンスから得られた k は3～4となっており、従来いわれていた $k=7$ よりも小さな値であった。この場合にはかなり大きな応答が期待されることになる。

図-5の実測結果には、計算値も併記して、両者の対比を行なった。なお計算には風速のパワースペクトルとして日野により提案されたものを用いているので、計算値は一つの曲線で示されている。また k は7を用いた。

これらの結果をとりまとめると、次のとおりである。

- (1) 水平たわみ応答の平均値（静的変位）は、風速とともに増大し、計算値と実測値はかなりよい対応を示している。
- (2) 水平たわみ応答の標準偏差は、一般的には平均風速の増加とともに増大する。しかし、風速の乱れ強さの影響もかなり強く、同一の平均風速でも応答の大きさはかなり異なる。

乱れ強さの影響を計算に取り入れるために、実測された風速のパワースペクトルを計算に入力し、その結果と実測値を図-9に比較した。用いたデータは平均風速がほぼ同一のもの(19~22m/s)である。この結果より、水平たわみ応答の標準偏差は、実測の風速パワースペクトルを用いることによりかなり精度よく推定できることが明らかになった。

なお、設計に直接関係するのは平均変位($\bar{D}$)、標準偏差(σ_D)そのものではなく、最大変位(D_{max})である。一般にこれらは次式により関係づけられる。

$$D_{max} = \bar{D} + g\sigma_D$$

ここに、 g は平均ピーク係数と呼ばれ、理論的には評価時間 T 、ならびに振動応答のパワースペクトルの形によって決まる値である。したがって、変位の最大値の推定には g の値として妥当なものが使用されなければならない。昭和51年9月23日の5ケースの場合、実測した風速のパワースペクトルを用いて応答を計算した際の g の値(g_c)は2.79~2.88であるのに対し、応答の実測値より求めた g の値(g_m)は2.48~3.30とバラツキが大きく、 g_c よりも大きいものもみられた。これらの差は設計に際して十分考慮されねばならないであろう。

3.3 結 論

水平たわみ応答に関して、調査結果をとりまとめると、次のように結論されよう。

- (1) 従来、長大吊橋の水平たわみ応答が観測された事例は極く僅かしかないが、関門橋においては水平たわみ振動が確認され、貴重な実測データが得られた。
- (2) 水平たわみ不規則振動の変位応答は、最低次の対称1次振動が卓越し、他の振動の応答全体に及ぼす寄与は小さい。
- (3) 応答の平均変位の計算値は実測値とほぼ一致する。動的変位に関しては、風の乱れの強さを考慮して、実測された風速のパワースペクトルを用いると、計算値と実測値は良い対応を示す。
- (4) 現在までに得られているデータは、風速が高々20数mであり、風向も橋軸直角方向とは一致していない。設計の信頼性の確認のために、さらに高風速でのデータの蓄積が望まれる。

4. 補剛桁の鉛直たわみおよびねじれ応答

補剛桁の鉛直たわみおよびねじれ応答については、昨年度推定計算を実施したが、実測値と計算値のあいだには満足な一致は見られなかった。⁵⁾その原因としては、非定常空気力として平板に作用する空気力を用いたことなどが考えられた。今年度はまず一様気流中での関門橋模型に作用する非定常空気力を測定し、これを用いて補剛桁の応答を推定し、実測値と比較した。

4.1 非定常空気力の測定

測定は建設省土木研究所の非定常空気力用風洞を使用して、強制振動法により行なった。方法の詳細は別記文献⁶⁾を参照されたい。実験ケースを表-7に示す。実験結果を無次元風速(V/NB)

を横軸に、非定常空気力係数を縦軸にとり、図-10(1)~図-10(4)に示す。なお非定常空気力係数の添字の意味は次のとおりである。

L……揚力成分	H……たわみ加振	R……変位と同位相の成分
M……空力モーメント成分	T……ねじれ加振	I……速度と同位相の成分

4.2 推定計算

実測した変動風速パワースペクトルを入力し、周波数領域で応答のパワースペクトルを推定計算した。方法の詳細は別記文献⁷⁾⁸⁾を参照されたい。計算におよぼす各パラメータの影響を調べるために、昭和51年9月13日2時0分のデータに関して空力アドミッタンスあるいは非定常空気力係数の値をいくつか変化させ、それに対する応答の変化を中央径間1/2点での標準偏差として求めた。これらの結果を表-8および表-9に示す。これによれば、非定常空気力係数として平板のそれを用いるより一様気流中での実測値を用いる方が鉛直たわみ応答が大きいこと(Ⅱ1とⅡ2を比較することにより読みとれる)、空力アドミッタンスとして $\lambda=3\sim20$ の範囲ではSears関数を用いたものよりDavenportのアドミッタンスを用いた方が応答が大きいこと(Ⅱ2とⅡ3~Ⅱ6)、Davenportのアドミッタンスでは λ を大きくするほど応答が小さくなること(Ⅱ3~Ⅱ6)、などが読みとれる。

4.3 実測値と計算値との比較

実測した応答と計算したそれとを中央径間1/2点での標準偏差で比較する。対象とした観測データは昭和51年度得られた台風時のもの⁴⁾である。応答は鉛直たわみおよびねじれモードとも対称1次モードが卓越している⁴⁾ので、実測値の応答は中央径間1/2点での加速度より、これを対称1次モードの単振動と仮定して求めた。その結果を風の特性とあわせて表-10に示す。一方推定計算は表-8に示したⅡ2およびⅡ4の条件で行ない、その結果を表-11に示した。これらを図-11で比較すると、Sears関数のアドミッタンスと一様気流中で測定した非定常空気力係数を用いたものは実測値に比べて値が小さいこと、一方Davenportのアドミッタンス($\lambda=7$)と一様気流中で測定した非定常空気力係数を用いたものは多少バラツキはあるが、ある程度実測値と一致していること、などが読み取れる。

5. ま と め

本年度の調査成果をとりまとめると、次のとおりである。

- (1) 台風時を含む強風時のデータが記録され、これらの統計諸量を計算し、データの蓄積を行った。
- (2) 補剛桁の水平たわみ応答記録の再整理を行なった。その結果、平均変位の実測値と計算値はほぼ一致し、また変位の標準偏差は実測された風速のパワースペクトルを入力すると計算値は

実測値にかなり近い値をとることが分った。

- (3) 補剛桁の鉛直たわみおよびねじれ応答計算には、昨年は Theodorsen 空気力を用いたのに対し今年は一様気流中で実測された非定常空気力係数を用いた。その結果、アドミッタンス等を適当に選ぶと、計算値はバラツキはあるもののある程度実測値に近い値となることが明らかになった。

6. おわりに

5年間のデータが蓄積されてきて、強風の特性と、これを受けた時の吊橋の挙動の特性が解析できるようになってきた。今年度の調査により、補剛桁の不規則応答の計算方法がかなりしっかりしたものになってきた。今後はさらに推定精度の向上のための検討を続けてゆく予定である。収集されたデータには、風速・風向範囲などに片寄りがみられる。強風時のデータとともに、多くのデータの蓄積が望まれる。

最後に、貴重なデータを提供された日本道路公団関係各位に深く謝意を表わす。特に、下関管理事務所の豊田副所長、前園補修課長、同課鶴助役には長期観測システムの調整、強風データの収録など特別の尽力をいただいた。記して感謝の意を表わす。

参 考 文 献

1. 土木学会；本州四国連絡橋の耐風に関する調査研究報告書，昭和50年3月
2. 建設省土木研究所構造研究室；
関門橋長期観測データ解析報告書（その1），土木研究所資料№1015，昭和50年3月
3. 建設省土木研究所構造研究室；
関門橋長期観測データ解析報告書（その2），土木研究所資料№1128，昭和51年3月
4. 建設省土木研究所構造研究室；
関門橋長期観測データ解析報告書（その3），土木研究所資料№1214，昭和52年3月
5. 建設省土木研究所構造研究室；
関門橋長期観測データ解析報告書（その4），土木研究所資料№1347，昭和53年3月
6. 成田信之；充腹断面橋桁を有する斜張橋の耐風設計に関する基礎的研究，昭和53年2月
7. 成田，佐藤；長大斜張橋の自然風応答と影響因子について，第5回構造物の耐風性に関するシンポジウム論文集，昭和53年12月
8. 建設省土木研究所；本州四国連絡橋の設計施工に関する研究報告，土木研究所資料№1456，昭和53年12月

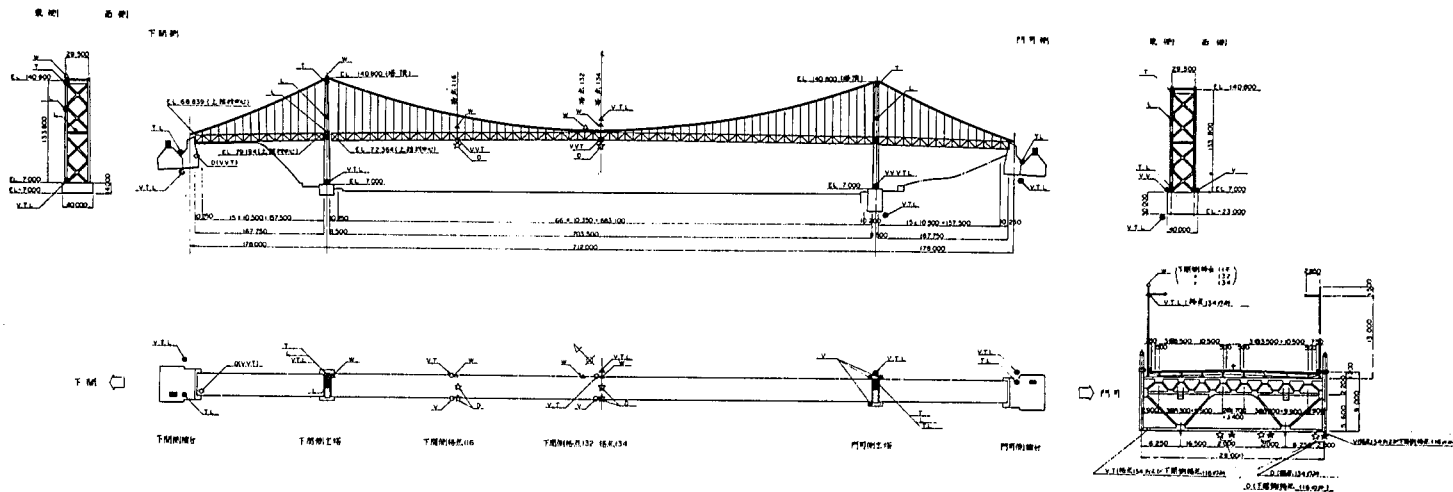


图-2 观测机器配置图

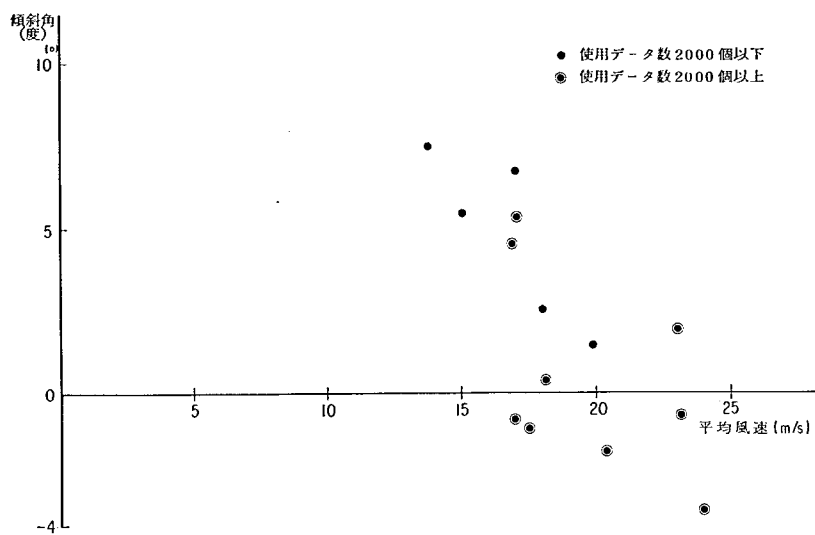


図-3 平均風速と傾斜角

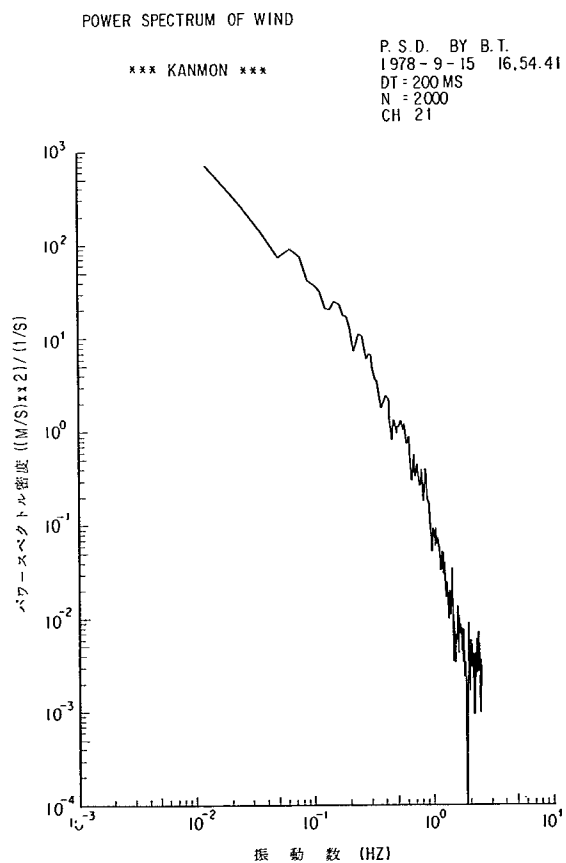


図-4 (1) 風速のパワースペクトル (BT法)

POWER SPECTRUM OF WIND

*** KANMON ***

P. S. D. BY MEM
1978-9-15 16.54.41
DT=200 MS
N=2000
CH 21

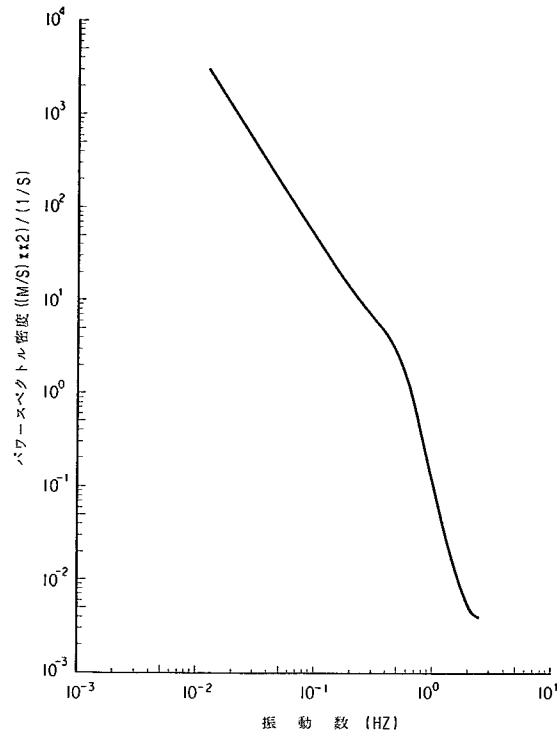


図-4 (2) 風速のパワースペクトル (MEM法)

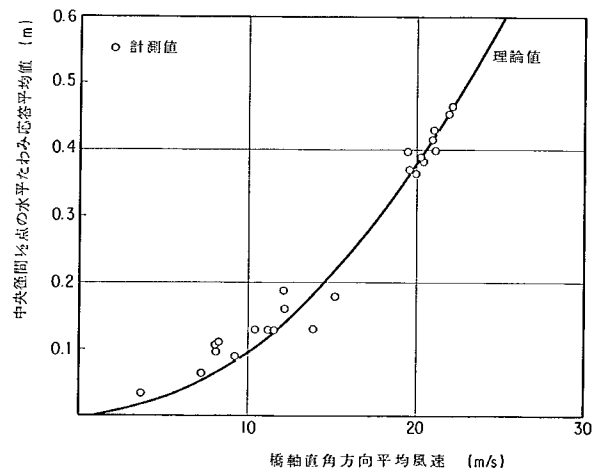


図-5 (1) 平均風速と水平たわみ変位 (平均変位)

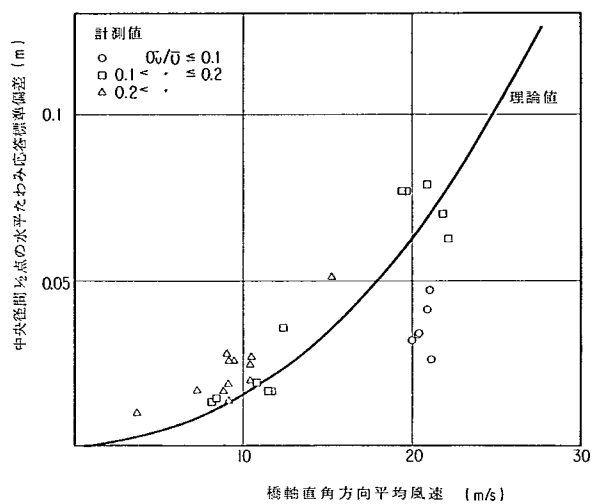


図-5(2) 平均風速と水平たわみ変位(標準偏差)

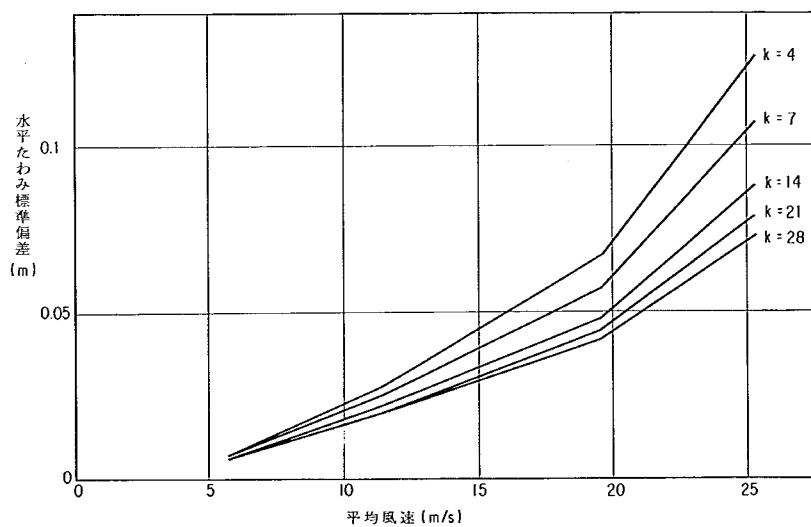


図-6 水平たわみ変位(標準偏差)に及ぼす k の影響

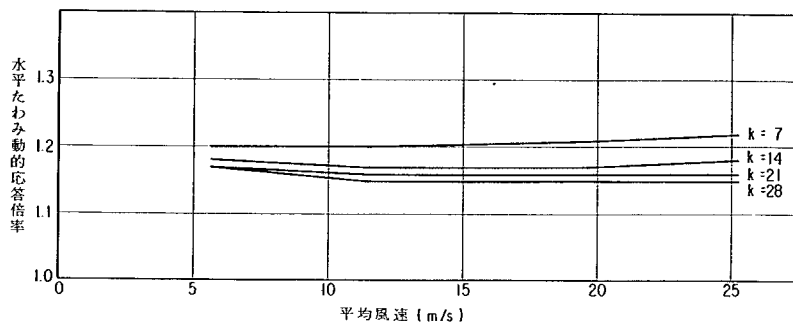


図-7 水平たわみ動的応答倍率に及ぼす k の影響

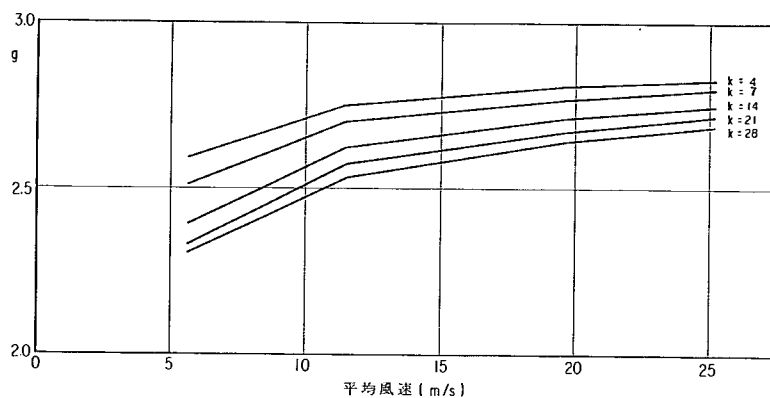


図-8 平均ピーク係数に及ぼす k の影響

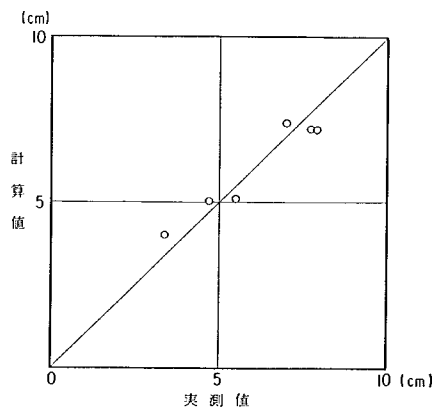


図-9 水平たわみ応答, 実測値と計算値の比較

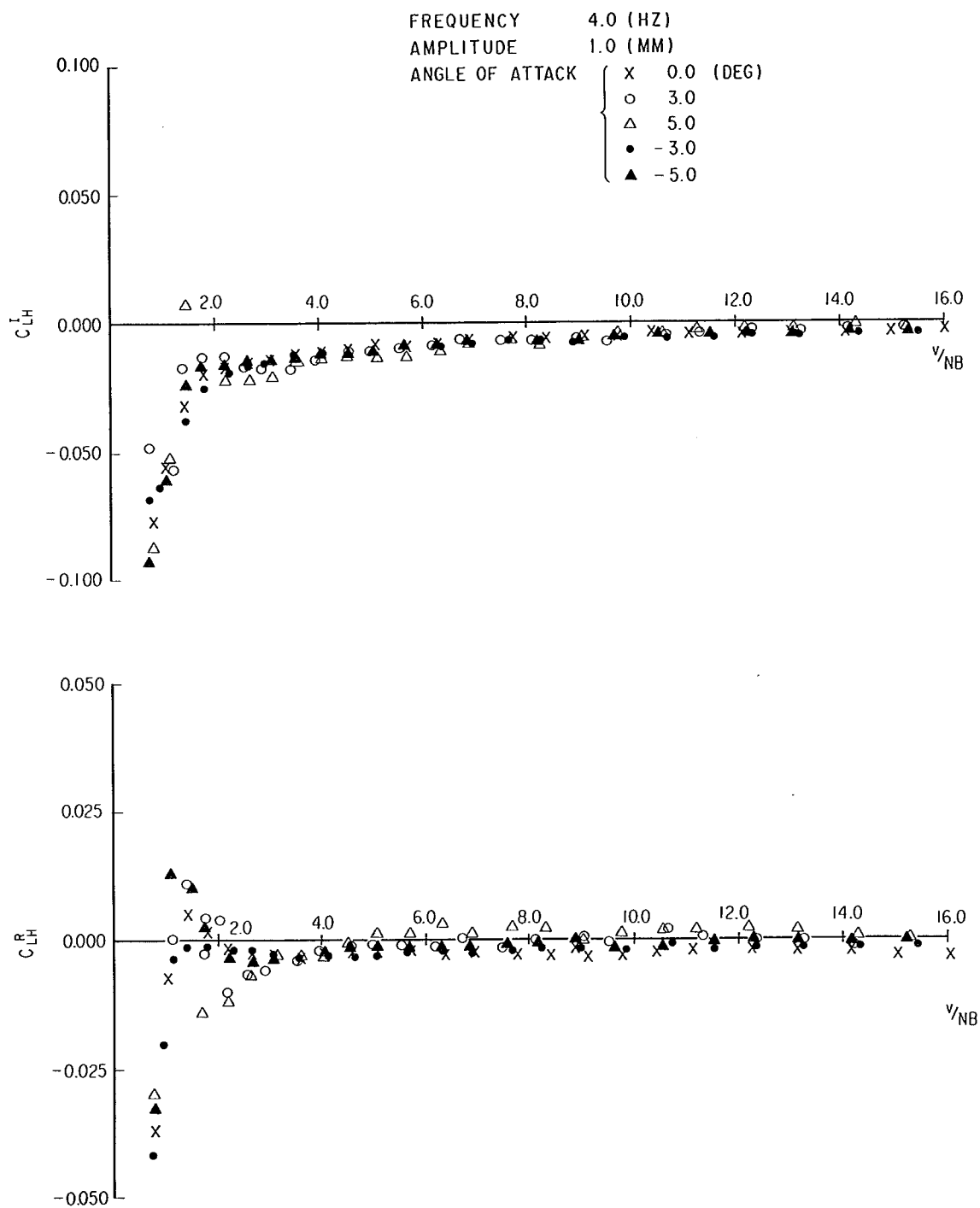


图-10 (1) 非定常空气力系数 C_{LH}^I , C_{LH}^R

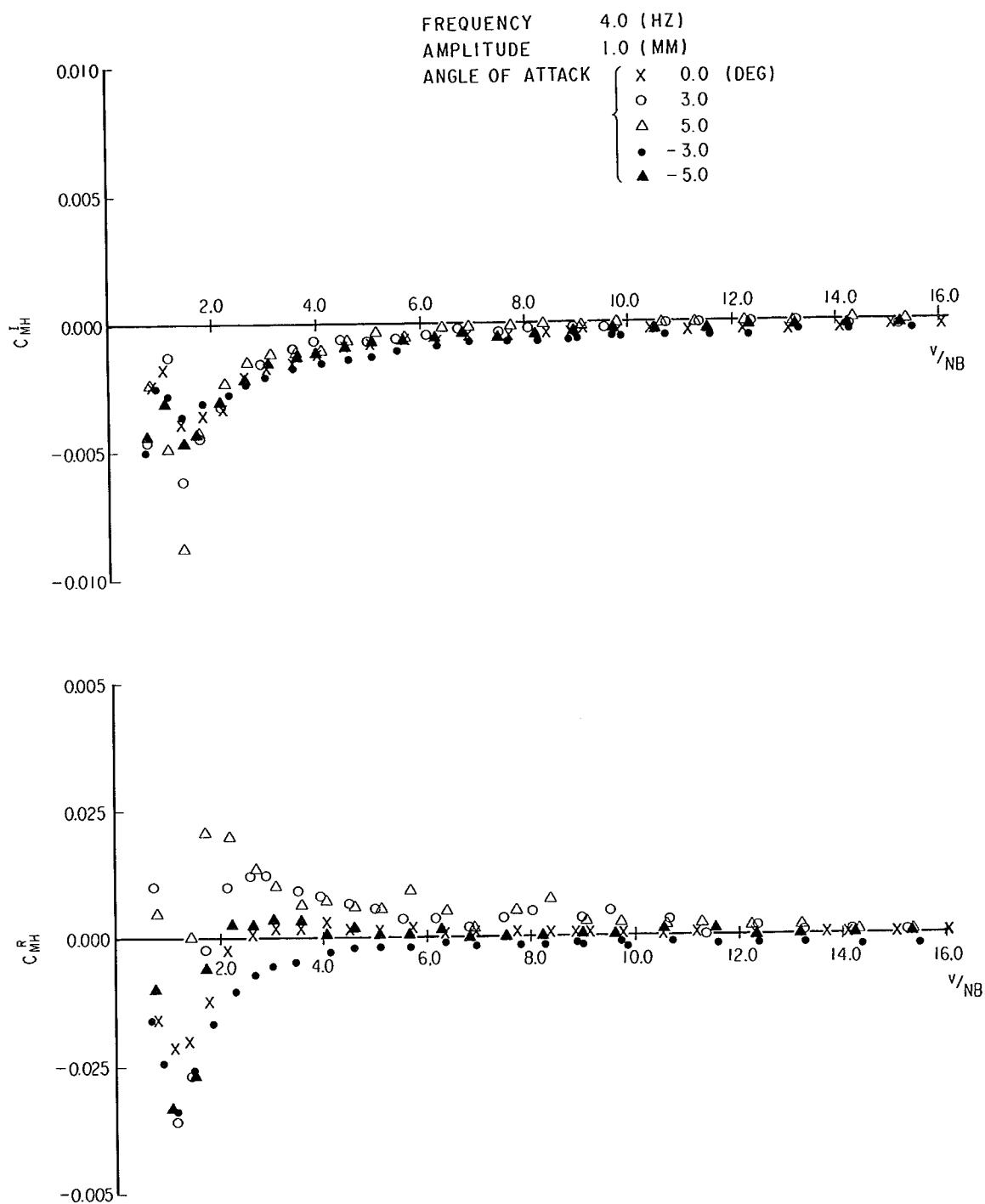


图-10(2) 非定常空气力系数 C_{MH}^I , C_{MH}^R

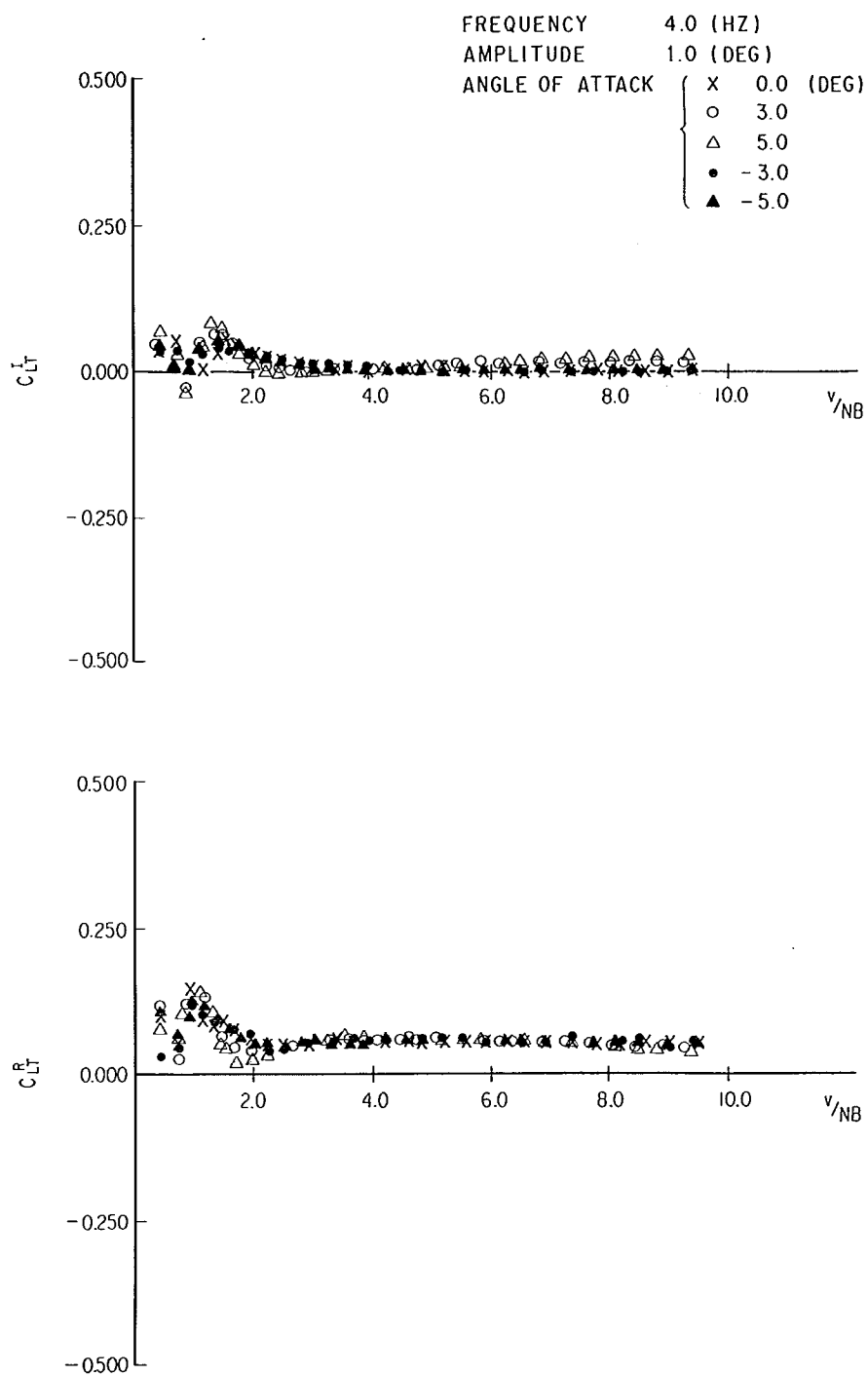


図-10(3) 非定常空気力係数 C_{LT}^I , C_{LT}^R

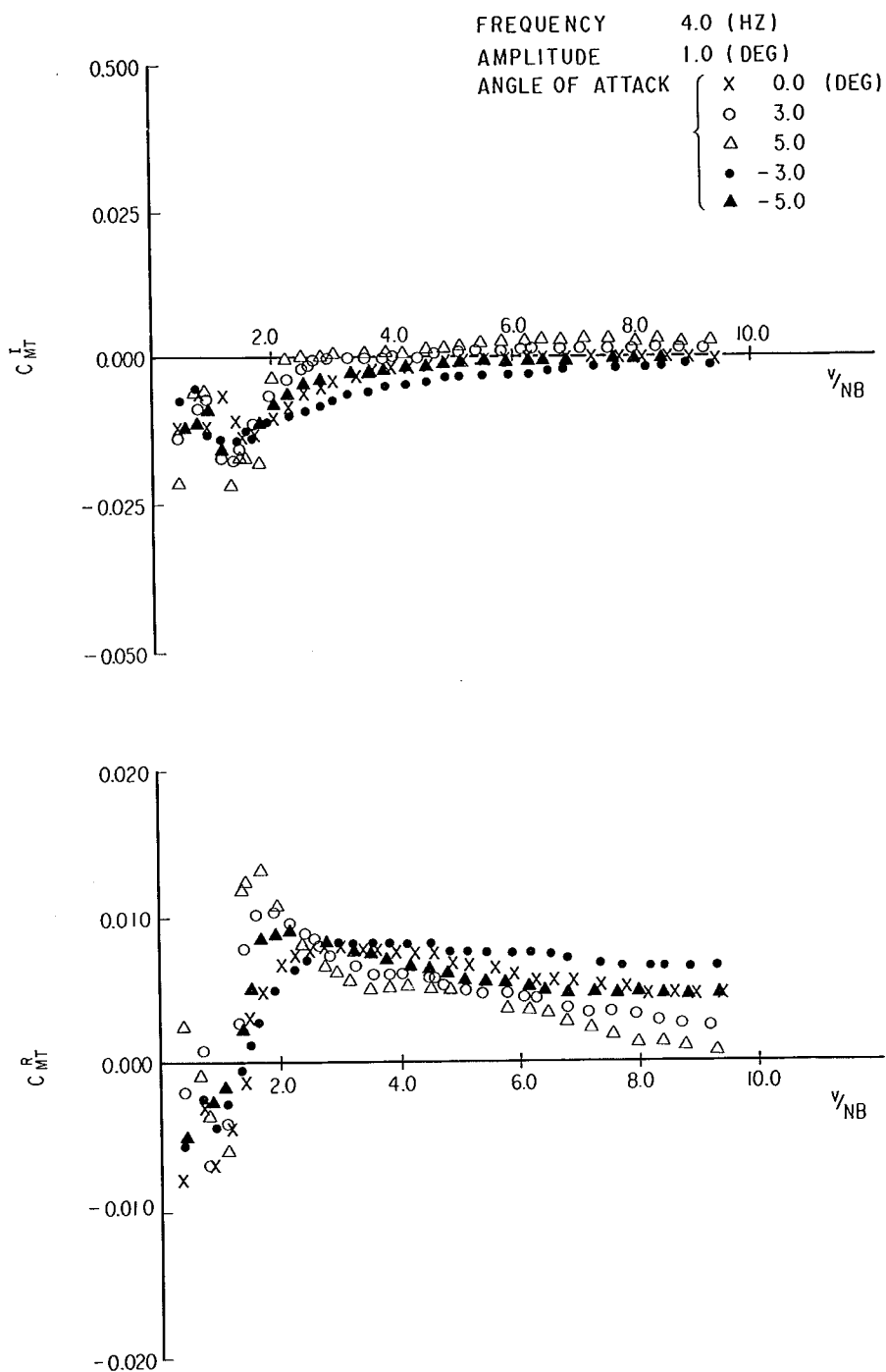


図-10(4) 非定常空気力係数 C_{MT}^I , C_{MT}^R

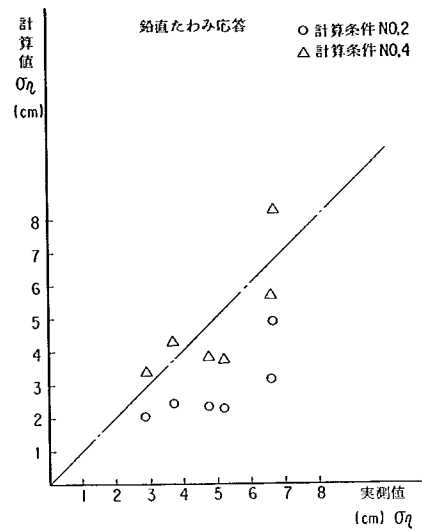


図-11(1) 鉛直たわみ応答，計算値と実測値の比較

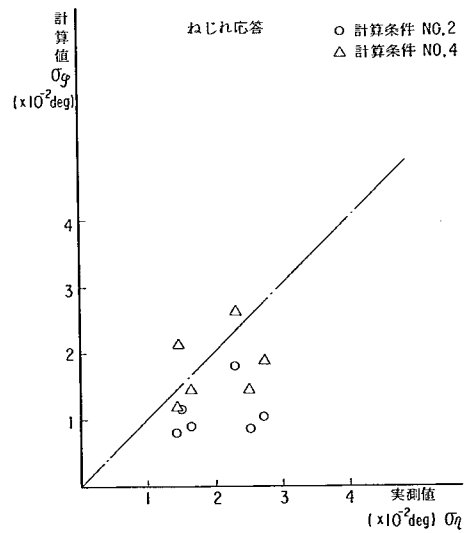


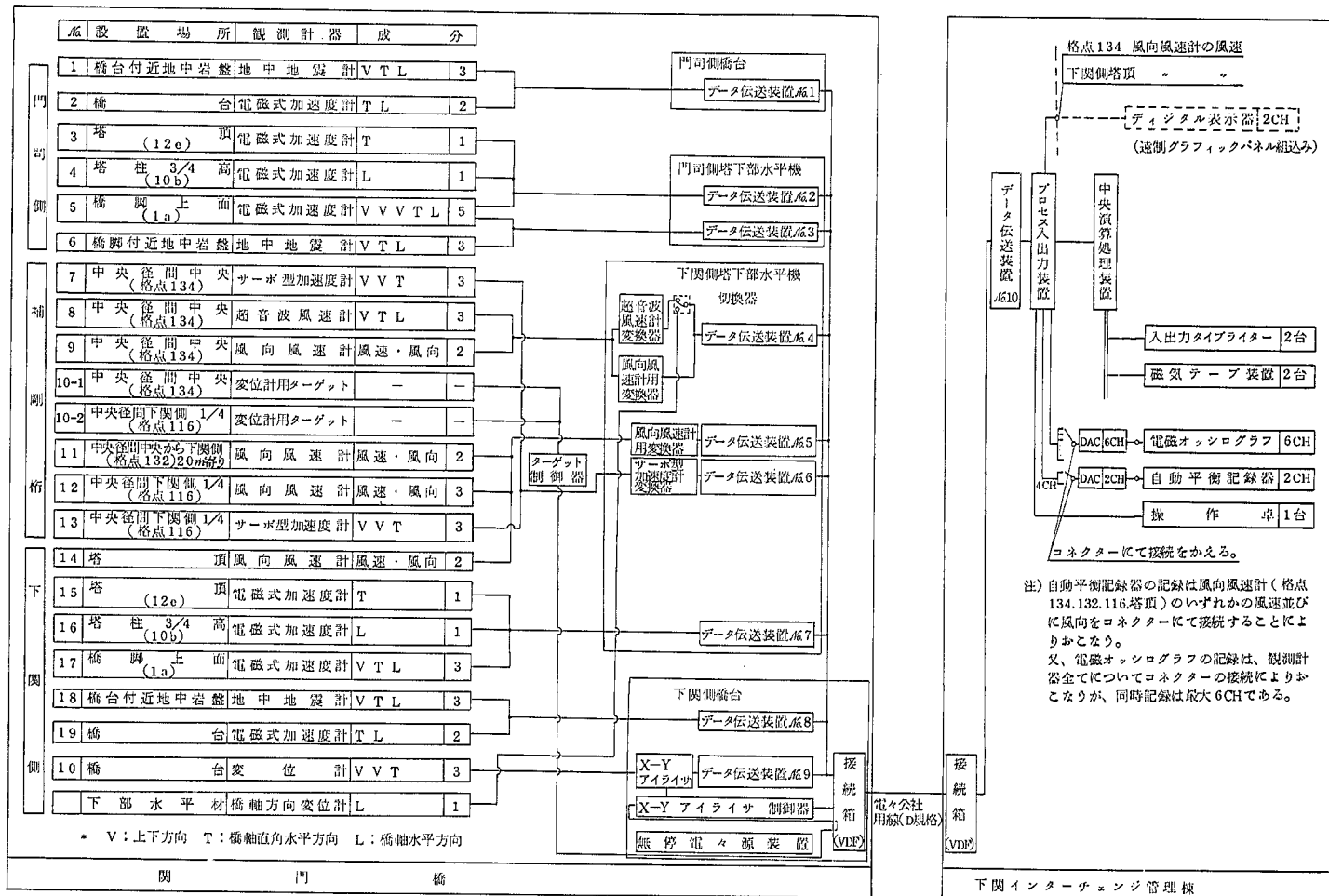
図-11(2) ねじれ応答，計算値と実測値の比較

表－１ 観測項目，観測計器，観測範囲等

観測項目	測定場所	最大測定範囲	観測計器	数量	成分数		毎秒当り AD変換 サンプリング回数
					1台 当り	合計	
加 速 度	岩 盤	±500 Gal	地 中 地 震 計	3台	3	9	100
	橋 台	±500 Gal	電 磁 式 加 速 度 計	4台	1	4	50
	橋 脚	±500 Gal		8台	1	8	
	塔	±500 Gal		4台	1	4	
	補剛桁	±200 Gal	サ ー ボ 型 加 速 度 計	6台	1	6	25
変 位	補剛桁	水平±2 m 上下±2 m	変 位 計 1) ターゲット 2) ターゲット制御器 3) X-Y アナライザ 4) X-Y アナライザ 制御器	1式	3	3	25
		橋軸方向 ±25cm	橋軸方向変位計測装置 ¹⁾	1式	1	1	25
風向・風速	補剛桁上	水平風速 60m/sec	超 音 波 風 速 計	1式	3	3	25
		上下風速 10m/sec					
		水平風速 60m/sec	風 向 風 速 計	3	2 (風向 風速)	6	25
		風 向 540°					
	下関側 塔 頂	水平風速 60m/sec 風 向 540°	風 向 風 速 計	1	2	2	25

注1) 橋軸方向変位計測装置は超音波風速計3成分のいずれか1成分と切換えて観測される。

表 - 2 観測機器配置図



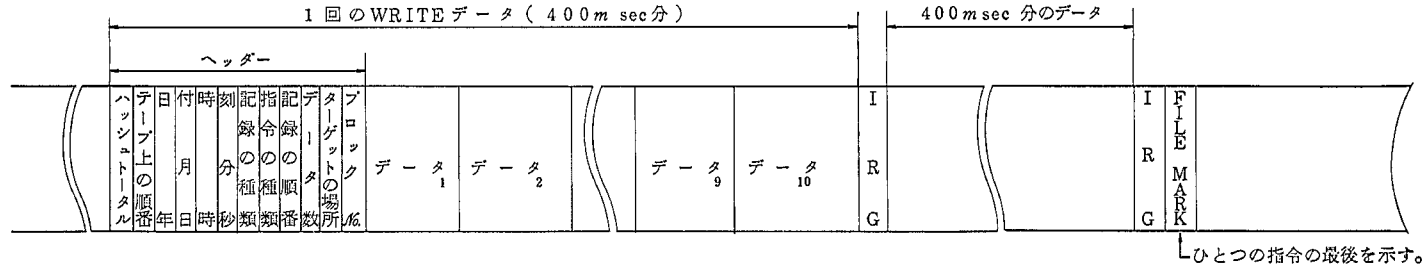
注) 自動平衡記録器の記録は風向風速計 (格点 134, 132, 116 塔頂) のいずれかの風速並びに風向をコネクタにて接続することによりおこなう。
又、電磁オシログラフの記録は、観測計器全てについてコネクタの接続によりおこなうが、同時記録は最大 6CH である。

表-3・1 強風指令に記録するデータ (40m sec分)

セ ン サ	セ ン サ 設 置 場 所	セ ン サ の 種 類	成 分	CH NO	強 風 指 令 開 始	風 速 の デ ジ タ ル 表 示
電 磁 式 加 速 度 計	門 司 側 塔 頂	M	T	1		
		"	"	2		
	門 司 側 塔 柱 $\frac{3}{4}$ 高	M	L	3		
		"	"	4		
	下 関 側 塔 頂	M	T	5		
		"	"	6		
	下 関 側 塔 柱 $\frac{3}{4}$ 高	M	L	7		
		"	"	8		
サ ー ボ 型 加 速 度 計	補 剛 桁 中 央 径 間 中 央	S	V	9		
		"	"	10		
		"	T	11		
	中 央 径 間 下 関 側 $\frac{1}{4}$	S	V	12		
		"	"	13		
		"	T	14		
風 向 風 速 計	補 剛 桁 中 央 径 間 中 央	W	S	15	○	○
		"	D	16		
	中 央 径 間 中 央 下 関 寄 20 m	W	S	17	○	
		"	D	18		
	中 央 径 間 下 関 寄 $\frac{1}{4}$	W	S	19	○	
		"	D	20		
	下 関 側 塔 頂	W	S	21	○	○
		"	D	22		
超 音 波 風 速 計	補 剛 桁 中 央 径 間 中 央	U	V	23		
		"	T	24		
		"	L	25		
変 位 計	下 関 側 橋 台	D	V	26		
		"	"	27		
		"	T	28		

成分 L ; 橋軸方向成分
T ; " 直角方向成分
V ; 上下方向成分
S ; 風 速
D ; 風 向

表 - 3 ・ 2 磁気テープの内容



0	ハッシュトータル
1	テープ上の順番
2	年
3	月
4	日
5	時
6	分
7	秒
8	記録の種類
9	記録の順番
10	ターゲットの場所
11	ブロックNo.

記録の種類 1 自動記録
2 手動記録
4 点検記録

指令の種類 0 点検
1 地震指令
2 強風指令

ターゲットの場所 0 無点灯
1 測定用ターゲット
2 検定用ターゲット
3 両ターゲット

ブロックNo 0 点検なし
1 制御ブロックNo. 1. が点検中
2 " No. 2. "
3 " No. 3. "
4 " No. 4. "

入力データ型式

0	5	6	7	8	15
同期みだれ	P	A	R	A	データ
	R	A	N	G	
	I	T	I	E	

表-4 関門橋長期観測磁気テープ

No	日	時	備 考
49	53-2-28	13:08:16	チェックデータ 台風18号 "
50	53-4-6	10:31:01	
51	53-6-30	13:52:54	
52	53-8-2	9:05:01	
53	53-9-15	12:37:58	
54	53-9-15	15:55:25	

表 - 5 風 の 測 定 結 果

日	時		中央径間 1/2		1/2より20m下関より		中央径間 1/4		下関側塔頂		中央径間 1/2				データ数
			風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	鉛直方向	橋軸直方向	橋軸方向	傾斜角	
53-02-28	13:08:16	1	15.4	256.7	17.1	270.9	17.9	250.8	21.3	244.5	0.1	11.4	-12.3		1,200
		2	4.7	11.0	5.1	11.6	5.0	9.3	5.0	8.4	1.7	4.5	5.2		
		3	0.30	0.04	0.30	0.04	0.28	0.04	0.23	0.03	17.11	0.39	-0.42		
		4	26.8	302.8	29.2	313.4	30.1	296.5	32.9	330.4	4.6	25.6	-3.1		
		5	9.4	230.8	8.0	243.5	7.3	230.8	8.5	205.4	-5.6	1.2	-24.2		
	13:12:32	1	17.5	258.7	19.2	271.7	20.2	251.1	25.0	244.9	0.3	13.4	-14.3		2,000
		2	3.5	9.7	3.9	10.1	3.6	7.3	5.0	4.7	1.8	3.7	4.3		
		3	0.20	0.04	0.21	0.04	0.18	0.03	0.20	0.02	5.58	0.27	-0.30		
		4	28.0	324.0	30.8	311.3	29.2	283.8	38.4	262.6	7.3	24.7	-1.2		
		5	8.7	230.8	8.9	205.4	11.1	228.7	12.9	222.4	-7.8	-5.9	-25.6		
	14:20:44	1	14.5	261.5	16.3	275.7	18.7	253.8	21.6	248.0	0.3	10.3	-12.7		2,000
		2	2.6	10.4	3.1	10.7	2.4	6.9	2.9	5.1	1.7	3.0	3.5		
		3	0.18	0.04	0.19	0.04	0.13	0.03	0.13	0.02	5.77	0.29	-0.28		
		4	21.2	302.8	23.1	324.0	24.0	279.5	29.9	266.8	7.3	18.1	-1.2		
		5	8.5	209.6	7.1	232.9	12.5	230.8	13.2	220.2	-6.2	-1.6	-21.4		
	16:34:06	1	15.0	273.3	16.8	288.4	17.2	266.5	22.5	256.6	-0.2	8.7	-15.7		2,000
		2	3.5	9.9	3.9	10.1	2.8	7.4	2.8	6.3	1.5	2.3	4.5		
		3	0.23	0.04	0.23	0.04	0.16	0.03	0.13	0.02	-5.94	0.26	-0.28		
		4	24.0	304.9	25.9	317.6	24.0	292.2	29.2	277.4	4.6	15.8	-4.0		
		5	7.3	235.1	8.2	235.1	10.6	241.4	13.2	228.7	-5.6	1.2	-27.0		
	16:42:20	1	16.4	271.2	18.3	285.6	16.6	264.3	22.2	256.5	-0.2	10.4	-16.6		2,000
		2	2.6	10.2	2.8	10.1	3.0	8.2	3.3	6.1	1.7	2.6	3.6		
		3	0.16	0.04	0.15	0.04	0.18	0.03	0.15	0.02	-7.41	0.25	-0.22		
		4	22.1	309.2	24.9	313.4	24.2	298.6	28.7	277.4	5.9	18.6	-2.1		
		5	9.4	228.7	10.8	245.6	8.7	235.1	13.2	235.1	-6.0	-1.2	-24.7		
	17:05:33	1	17.8	268.7	19.9	282.6	18.0	261.2	23.7	254.6	-0.2	12.2	-17.3		2,000
		2	2.4	9.0	2.9	9.5	3.7	8.2	3.5	6.5	1.7	2.5	3.5		
		3	0.13	0.03	0.14	0.03	0.20	0.03	0.15	0.03	-9.88	0.20	-0.20		
		4	23.5	300.7	26.8	326.1	27.8	292.2	31.5	279.5	7.5	20.0	-3.5		
		5	11.8	222.4	12.0	245.6	10.1	235.1	14.1	216.0	-6.2	1.2	-27.1		

1:平均値 2:標準偏差 3:標準偏差/平均値 4:最大値 5:最小値

風速の単位はm/s, 風向の単位は度であり, 真北を0度としている。

日 時			中央径間 1/2		1/2より20m下関より		中央径間 1/4		下関側塔頂		中央径間 1/2				データ数
			風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	鉛直方向	橋軸直角方向	橋軸方向	傾斜角	
	17:27:0	1	14.9	269.7	16.7	284.3	19.2	262.7	24.6	255.0	-0.3	9.7	-14.6		2,000
		2	3.1	11.6	3.2	12.3	3.2	7.9	3.0	4.7	1.6	3.5	3.7		
		3	0.21	0.04	0.19	0.04	0.17	0.03	0.12	0.02	-5.15	0.36	-0.25		
		4	23.1	313.4	26.8	340.9	26.8	285.9	30.1	277.4	5.5	20.0	-2.1		
		5	7.5	175.8	5.9	209.6	10.4	232.9	15.5	232.9	-6.5	-3.1	-25.6		
	17:52:38	1	13.1	269.6	15.1	287.0	17.7	263.9	22.0	256.8	-0.1	7.8	-13.3		2,000
		2	3.2	18.3	3.3	12.0	2.7	7.6	2.6	5.1	1.5	2.8	4.1		
		3	0.24	0.07	0.22	0.04	0.15	0.03	0.12	0.02	-23.19	0.36	-0.31		
		4	22.1	326.1	25.9	349.4	23.1	307.1	28.0	275.3	6.3	16.7	-1.2		
		5	4.2	29.6	5.2	245.6	7.8	228.7	14.6	226.6	-5.7	-5.9	-25.6		
53-4-6	10:31:01	1	11.1	266.4	12.0	279.6	10.1	259.8	13.9	252.7	-0.3	6.9	-10.6		1,600
		2	1.7	10.9	2.4	12.4	1.6	8.0	1.8	5.5	1.2	1.7	2.5		
		3	0.15	0.04	0.20	0.04	0.15	0.03	0.13	0.02	-3.99	0.25	-0.24		
		4	14.6	311.3	16.0	336.7	13.6	281.6	18.8	271.1	4.1	12.5	-1.6		
		5	6.4	139.8	5.6	211.8	6.6	235.1	8.2	230.8	-4.1	-1.6	-15.3		
	10:36:37	1	12.6	265.2	14.1	281.0	14.5	258.1	16.9	252.1	-0.0	8.2	-11.7		2,000
		2	2.3	11.6	2.7	12.2	2.4	7.0	2.6	6.6	1.4	2.4	3.0		
		3	0.18	0.04	0.19	0.04	0.16	0.03	0.15	0.03	-91.39	0.29	-0.26		
		4	17.2	319.8	20.2	370.6	19.5	290.1	22.6	279.5	6.5	13.9	-1.6		
		5	6.4	114.4	4.0	228.7	6.1	237.2	9.6	224.5	-4.0	-1.2	-19.1		
	12:13:54	1	13.5	263.0	14.7	277.4	16.0	254.1	18.4	249.8	-0.0	9.4	-12.0		2,000
		2	2.3	10.4	2.5	12.4	2.6	7.0	3.1	6.3	1.6	2.8	2.8		
		3	0.17	0.04	0.17	0.04	0.16	0.03	0.17	0.03	-540.76	0.30	-0.23		
		4	19.5	302.8	20.2	326.1	23.1	290.1	24.5	283.8	6.9	16.7	-2.1		
		5	4.9	224.5	8.2	218.1	9.2	232.9	7.8	203.3	-5.6	-3.5	-19.5		
	12:49:26	1	10.8	269.5	12.8	285.2	15.2	261.6	20.2	254.4	0.2	6.0	-10.7		2,000
		2	2.3	14.5	2.3	12.4	1.9	8.0	2.1	5.8	1.2	2.7	2.9		
		3	0.21	0.05	0.18	0.04	0.13	0.03	0.10	0.02	5.88	0.46	-0.27		
		4	16.2	332.5	18.6	351.5	20.5	292.2	25.9	279.5	4.1	13.4	-0.7		
		5	3.3	201.2	5.2	241.4	8.5	232.9	11.8	226.6	-4.0	-4.5	-18.6		

1:平均値 2:標準偏差 3:標準偏差/平均値 4:最大値 5:最小値

風速の単位はm/s, 風向の単位は度であり, 真北を0度としている。

日 時			中央径間 1/2		1/2より20m下関より		中央径間 1/4		下関側塔頂		中央径間 1/2				データ数
			風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	鉛直方向	橋軸直角方向	橋軸方向	傾斜角	
53- 8- 2	11:18:57	1	14.3	90.8	15.8	95.6	18.7	93.0	23.3	96.2	0.5	-5.6	12.0		1,700
		2	2.6	9.9	2.7	10.0	2.3	7.3	2.6	5.4	2.3	4.4	2.7		
		3	0.18	0.11	0.17	0.10	0.13	0.08	0.11	0.06	4.60	-0.78	0.23		
		4	19.8	124.9	21.2	135.5	23.5	124.9	29.2	112.2	7.9	0.7	19.1		
		5	7.3	57.2	7.8	61.4	12.5	67.8	14.8	78.4	-8.0	-14.4	3.5		
53- 9-15	12:41:10	1	13.3	89.7	15.1	94.9	18.1	91.0	20.8	93.7	1.2	-8.8	10.8	7.4	1,400
		2	3.3	14.7	3.4	15.5	2.6	11.0	2.5	10.8	3.0	4.0	3.2		
		3	0.25	0.16	0.22	0.16	0.15	0.12	0.12	0.12	2.57	-0.46	0.30		
		4	21.9	141.9	23.5	148.2	26.4	131.3	27.8	133.4	9.6	2.1	21.9		
		5	4.2	48.7	5.4	52.9	12.0	55.1	14.4	65.6	-8.0	-20.0	1.2		
	13:56:24	1	16.8	106.6	19.1	112.5	18.1	107.7	24.8	111.4	1.2	-3.5	14.6	6.7	1,100
		2	4.7	22.8	5.1	21.7	4.9	20.1	6.2	14.3	4.1	7.2	4.9		
		3	0.28	0.21	0.27	0.19	0.27	0.19	0.25	0.13	3.30	-2.08	0.33		
		4	31.5	169.4	37.4	182.1	32.9	180.0	45.4	167.3	9.7	15.8	33.6		
		5	6.8	42.4	7.3	44.5	7.8	52.9	13.2	63.5	-9.4	-22.8	2.1		
	14:01:00	1	17.1	109.0	19.1	113.0	18.4	108.4	25.3	110.6	0.3	-2.9	14.8	4.5	2,000
		2	5.0	21.3	5.5	21.5	5.6	19.6	5.7	14.5	4.0	6.7	5.2		
		3	0.29	0.20	0.29	0.19	0.31	0.18	0.23	0.13	15.86	-2.29	0.35		
		4	32.7	188.5	34.1	192.7	40.5	173.6	45.4	150.4	9.8	21.4	29.9		
		5	4.7	31.8	6.6	42.4	7.3	50.8	12.5	57.2	-9.1	-23.3	-3.1		
	14:10:36	1	17.3	168.0	19.2	431.8	19.5	111.2	26.4	112.9	0.4	-2.1	15.3	5.3	2,000
		2	5.4	129.3	5.9	120.4	5.7	17.3	5.6	12.0	3.5	6.1	5.9		
		3	0.31	0.77	0.31	0.28	0.29	0.16	0.21	0.11	8.91	-2.89	0.38		
		4	30.8	504.0	35.3	529.4	33.2	186.4	41.4	167.3	9.4	15.8	31.8		
		5	3.1	8.5	0.9	6.4	5.4	57.2	7.3	31.8	-9.1	-19.5	-1.2		
	14:26:13	1	15.8	122.7	17.6	128.6	16.8	120.3	24.8	121.8	0.5	2.0	13.7	5.4	1,400
		2	4.4	15.6	4.8	16.4	5.3	18.4	4.2	11.0	2.9	4.9	4.5		
		3	0.28	0.13	0.27	0.13	0.32	0.15	0.17	0.09	5.30	2.46	0.33		
		4	29.6	167.3	32.7	180.0	30.4	194.8	35.8	156.7	9.4	14.4	27.5		
		5	5.4	52.9	5.9	44.5	4.7	61.4	10.4	61.4	-8.4	-13.4	2.1		

1: 平均値 2: 標準偏差 3: 標準偏差/平均値 4: 最大値 5: 最小値

風速の単位は m/s, 風向の単位は度であり, 真北を0度としている。

日 時			中央径間 1/2		1/2より20m下関より		中央径間 1/4		下関側塔頂		中央径間 1/2				データ数
			風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	鉛直方向	橋軸直方向	橋軸方向	傾斜角	
	15:29:56	1	22.6	201.4	24.6	214.8	23.3	206.1	22.7	207.6	0.3	22.1	-3.3	1.9	2,000
		2	1.8	6.0	2.1	6.4	2.1	3.7	4.5	12.7	1.9	3.0	2.8		
		3	0.08	0.03	0.08	0.03	0.09	0.02	0.20	0.06	5.42	0.13	-0.85		
		4	28.7	220.2	31.5	235.1	30.8	218.1	33.4	249.9	8.7	32.7	5.4		
		5	17.4	182.1	19.5	186.4	16.9	194.8	7.1	139.8	-4.0	12.0	-12.0		
	15:55:25	1	22.4	215.9	24.5	230.1	20.0	214.3	21.0	227.0	-0.0	17.3	-8.7	1.4	1,700
		2	1.9	5.7	2.2	6.1	3.4	9.6	3.6	9.4	1.3	3.0	1.7		
		3	0.08	0.03	0.09	0.03	0.17	0.04	0.17	0.04	-47.15	0.18	-0.19		
		4	26.4	235.1	29.6	249.9	27.3	262.6	31.1	281.6	3.8	26.1	-3.1		
		5	17.6	201.2	18.4	213.9	10.8	201.2	6.8	165.2	-3.6	8.2	-16.7		
	16:12:53	1	16.3	245.3	18.1	261.0	18.8	257.4	28.7	250.4	-0.0	9.8	-14.9	2.5	1,300
		2	3.7	11.3	3.9	10.4	3.3	8.5	3.6	5.3	2.0	3.1	4.8		
		3	0.23	0.05	0.21	0.04	0.18	0.03	0.13	0.02	-348.5	0.32	-0.32		
		4	27.1	281.6	29.2	296.5	28.0	288.0	37.4	266.8	7.7	17.6	0.7		
		5	8.2	182.1	8.2	211.8	10.4	232.9	19.1	224.5	-7.3	-0.2	-28.5		
	16:17:32	1	20.7	258.7	22.6	274.0	19.3	268.3	27.7	259.3	-0.8	9.4	-21.4	-0.7	2,000
		2	3.0	10.0	3.4	10.6	3.5	10.2	3.4	7.4	1.7	3.7	3.6		
		3	0.15	0.04	0.15	0.04	0.18	0.04	0.12	0.03	-2.13	0.39	-0.17		
		4	27.1	288.0	30.4	304.9	28.7	302.8	35.3	281.6	5.1	19.5	-8.7		
		5	10.4	222.4	13.4	232.9	9.9	228.7	15.5	216.0	-7.7	-2.1	-29.9		
	16:25:43	1	15.9	278.1	17.5	294.2	15.0	283.1	27.9	271.4	-1.1	1.0	-17.1	-1.1	2,000
		2	4.4	17.1	4.7	18.1	3.9	16.6	3.8	9.5	2.6	5.0	5.2		
		3	0.28	0.06	0.27	0.06	0.26	0.06	0.14	0.03	-2.28	5.20	-0.30		
		4	26.6	362.1	28.9	374.8	27.3	343.1	39.8	302.8	7.2	12.0	-2.1		
		5	3.5	201.2	4.0	228.7	5.2	224.5	17.9	237.2	-8.5	-15.8	-32.7		
	16:33:51	1	13.8	281.2	15.1	295.5	14.4	280.6	26.2	271.6	-0.9	-0.1	-14.7	-0.0	1,300
		2	5.3	21.5	5.7	22.1	5.0	16.9	5.0	10.3	2.7	5.1	6.0		
		3	0.38	0.08	0.38	0.07	0.35	0.06	0.19	0.04	-2.86	-61.92	-0.41		
		4	26.1	349.4	29.2	368.5	28.7	355.8	40.5	307.1	7.6	17.6	0.7		
		5	2.6	207.5	3.8	216.0	4.7	228.7	15.8	222.4	-8.3	-13.9	-29.4		

1：平均値 2：標準偏差 3：標準偏差／平均値 4：最大値 5：最小値

風速の単位はm/s, 風向の単位は度であり, 真北を0度としている。

日 時			中央径間 1/2		1/2より20m下関より		中央径間 1/4		下関側塔頂		中央径間 1/2				データ数
			風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	鉛直方向	橋軸直方向	橋軸方向	傾斜角	
	16:38:24	1	15.2	280.3	16.8	296.1	14.6	285.9	31.2	269.0	-1.1	0.1	-16.4	-0.8	2,000
		2	5.0	24.6	5.4	23.1	4.4	19.9	6.2	50.2	3.2	5.9	5.7		
		3	0.33	0.09	0.32	0.08	0.30	0.07	0.20	0.19	-2.92	86.35	-0.35		
		4	28.5	495.5	31.1	393.9	27.5	370.6	47.1	446.8	9.5	15.3	-2.1		
		5	1.2	169.4	4.0	199.1	3.3	175.8	6.6	25.4	-8.8	-18.1	-33.2		
	16:46:31	1	16.5	281.5	17.7	298.5	15.1	287.0	27.9	272.6	-0.8	-0.2	-17.7	0.4	2,000
		2	5.6	19.3	6.0	20.5	5.6	25.7	5.6	27.1	3.1	6.2	6.5		
		3	0.34	0.07	0.34	0.07	0.37	0.09	0.20	0.10	-3.66	-26.46	-0.37		
		4	31.5	345.2	33.6	372.7	29.9	512.5	44.0	510.4	9.2	17.2	-2.6		
		5	4.2	213.9	5.2	213.9	0.7	180.0	7.1	120.7	-9.4	-20.9	-42.1		
	16:54:41	1	18.9	276.0	20.3	292.5	18.0	282.0	35.5	269.2	-1.4	2.1	-20.2	-1.8	2,000
		2	6.8	17.2	7.5	20.3	6.5	17.8	7.4	9.9	2.9	5.2	8.1		
		3	0.36	0.06	0.37	0.07	0.36	0.06	0.21	0.04	-1.99	2.47	-0.40		
		4	36.7	349.4	39.3	404.5	35.5	360.0	53.6	324.0	7.6	18.1	-0.2		
		5	4.9	196.9	3.1	201.2	3.8	224.5	10.4	199.1	-9.6	-15.8	-44.9		
	17:02:51	1	22.3	292.6	24.4	309.8	21.7	295.9	31.5	286.8	-2.3	-5.7	-23.4	-3.6	2,000
		2	5.1	12.3	5.5	13.3	5.2	13.9	4.3	7.8	3.0	4.8	6.0		
		3	0.23	0.04	0.23	0.04	0.24	0.05	0.14	0.03	-1.34	-0.84	-0.26		
		4	32.5	326.1	36.9	357.9	36.7	376.9	44.2	311.3	8.4	9.6	-6.4		
		5	7.1	220.2	5.4	224.5	7.3	232.9	18.4	252.0	-9.4	-20.5	-43.1		
		1													
		2													
		3													
		4													
		5													
		1													
		2													
		3													
		4													
		5													

1：平均値 2：標準偏差 3：標準偏差／平均値 4：最大値 5：最小値

風速の単位は m/s ，風向の単位は度であり，真北を0度としている。

表 - 6 応 答 の 測 定 結 果

日 時			中央 径 間 1/2 点 加 速 度					中 央 径 間 1/4 点 加 速 度					中央 径 間 1/2 点 変 位			デ-タ 数
			鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	水平成分	
53-2-28	13:8:16	1	-0.4	-5.9	-2.6	-3.3	0.2	-5.2	-1.1	-2.7		0.2	-24.2	-29.8	-32.4	1,200
		2	4.2	3.3	3.5	1.3	0.0	4.1	3.8	3.5		0.0	2.7	3.3	15.0	
		3	-10.74	-0.55	-1.31	-0.39	0.01	-0.78	-3.55	-1.32		0.01	-0.11	-0.11	-0.46	
		4	14.7	8.8	10.8	1.0	0.02	8.8	12.7	10.8		0.2	3.9	-21.2	-10.2	
		5	-16.7	-20.6	-18.6	-8.8	0.02	-20.6	-16.7	-16.7		0.2	-33.7	-40.0	-74.5	
53-2-28	13:12:32	1	-0.2	-6.2	-2.7	-3.5	0.2	-5.6	-1.1	-2.9		0.2	-24.5	-30.2	-42.9	2,000
		2	9.4	7.2	6.9	2.9	0.0	5.0	4.9	4.0		0.0	5.4	5.3	8.5	
		3	-44.54	-1.16	-2.53	-0.84	0.02	-0.90	-4.28	-1.39		0.01	-0.22	-0.18	-0.20	
		4	34.3	22.5	16.7	6.9	0.2	12.7	14.7	8.8		0.2	-13.3	-18.0	80.8	
		5	-38.2	-28.4	-24.5	-12.7	0.2	-22.5	-20.6	-18.6		0.2	-101.2	-101.2	-68.2	
53-2-28	13:22:29	1	0.4	-6.3	-2.5	-4.0	0.2	-6.2	-1.2	-3.2		0.2	-22.4	-27.9	-32.4	2,000
		2	4.3	3.3	3.5	1.3	0.0	3.2	3.1	2.8		0.0	2.8	5.9	5.6	
		3	12.33	-0.52	-1.42	-0.32	0.01	-0.52	-2.48	-0.88		0.01	-0.12	-0.21	-0.17	
		4	16.7	2.9	10.8	-1.0	0.2	4.9	8.8	4.9		0.2	-14.9	190.6	-7.1	
		5	-12.7	-18.6	-12.7	-8.8	0.2	-16.7	-12.7	-12.7		0.2	-57.3	-36.9	-198.4	
53-2-28	16:34:06	1	-0.4	-7.0	-3.2	-4.8	0.2	-9.6	-1.6	-5.1		0.2	-20.6	-26.2	-22.4	2,000
		2	3.2	2.5	2.6	1.1	0.0	2.5	2.4	2.2		0.0	2.4	2.5	2.2	
		3	-8.89	-0.35	-0.81	-0.24	0.01	-0.26	-1.49	-0.42		0.01	-0.12	-0.10	-0.10	
		4	10.8	2.9	4.9	1.0	0.2	-1.0	8.8	2.9		0.2	-14.9	-21.2	-16.5	
		5	-12.7	-16.7	-10.8	-8.8	0.2	-20.6	-10.8	-12.7		0.2	-32.2	-38.4	-43.1	
53-2-28	16:42:20	1	-1.1	-7.0	-3.6	-4.9	0.2	-10.0	-1.7	-5.3		0.2	-41.2	-23.0	-11.7	2,000
		2	3.4	2.6	2.5	1.5	0.0	2.8	2.8	2.4		0.0	48.8	70.8	51.9	
		3	-3.22	-0.37	-0.72	-0.30	0.01	-0.28	-1.65	-0.45		0.01	-1.18	-3.08	-4.44	
		4	10.8	1.0	2.9	1.0	0.2	-1.0	6.9	2.9		0.2	162.4	184.3	145.1	
		5	-16.7	-16.7	-12.7	-8.8	0.2	-18.6	-12.7	-12.7		0.2	-129.4	-162.4	-148.2	
53-2-28	17:05:33	1	-1.2	-7.1	-3.7	-5.0	0.2	-10.3	-1.6	-5.5		0.2	-32.3	-69.4	-3.7	2,000
		2	4.5	3.5	3.7	1.6	0.0	3.4	3.4	3.0		0.0	41.1	45.1	65.0	
		3	-3.67	-0.49	-1.00	-0.31	0.01	-0.33	-2.09	-0.54		0.01	-1.27	-0.65	-17.39	
		4	12.7	6.9	8.8	1.0	0.2	2.9	10.8	6.9		0.2	200.0	189.0	157.6	
		5	-16.7	-18.6	-16.7	-10.8	0.2	-24.5	-14.7	-16.7		0.2	-109.0	-168.6	-173.3	

1: 平均値 2: 標準偏差 3: 標準偏差/平均値 4: 最大値 5: 最小値

鉛直たわみ・水平たわみの加速度の単位は gal, ねじれの加速度の単位は rad/s², 変位の単位は cm である。

日	時		中央径間 1/2 点 加 速 度					中央径間 1/4 点 加 速 度					中央径間 1/2 点 変 位			データ 数
			鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	水平成分	
53-2-28	17:27:00	1	-0.9	-7.1	-3.5	-5.1	0.2	-10.8	-1.6	-5.7		0.2	-18.8	-24.5	-26.6	2,000
		2	3.6	2.8	2.9	1.3	0.0	3.2	3.2	2.8		0.0	3.3	3.1	5.3	
		3	-3.97	-0.39	-0.83	-0.25	0.01	-0.30	-1.95	-0.48		0.01	-0.18	-0.13	-0.20	
		4	8.8	1.0	4.9	-1.0	0.2	1.0	8.8	2.9		0.2	-11.8	-16.5	36.9	
		5	-14.7	-16.7	-12.7	-8.8	0.2	-20.6	-10.8	-14.7		0.2	-83.9	-91.8	-41.6	
53-2-28	17:52:38	1	-1.2	-6.7	-3.5	-5.2	0.2	-11.8	-2.1	-6.4		0.2	-17.4	-23.2	-21.6	2,000
		2	2.7	2.0	2.0	1.2	0.0	2.3	2.3	2.0		0.0	2.0	3.3	4.4	
		3	-2.13	-0.30	-0.57	-0.23	0.01	-0.20	-1.12	-0.31		0.01	-0.11	-0.14	-0.20	
		4	6.9	1.0	2.9	-1.0	0.2	-4.9	4.9	-1.0		0.2	-13.3	82.4	-10.2	
		5	-10.8	-12.7	-10.8	-8.8	0.2	-18.6	-8.8	-12.7		0.2	-32.2	-32.2	-124.7	
53-4-6	10:31:01	1	-4.2	-6.4	-4.8	-4.6	0.2	-6.4	-0.8	-3.1		0.2	-25.2	-25.2	-25.2	1,600
		2	2.3	1.8	1.9	0.9	0.0	2.1	1.9	1.7		0.0	1.2	1.2	1.2	
		3	-0.54	-0.28	0.40	-0.20	0.00	-0.32	-2.34	-0.56		0.00	-0.05	-0.05	-0.05	
		4	4.9	2.9	4.9	1.0	0.2	1.0	6.9	2.9		0.2	-22.7	-22.7	-22.7	
		5	-10.8	-12.7	-10.8	-8.8	0.2	-12.7	-6.9	-8.8		0.2	-27.5	-27.5	-27.5	
53-4-6	10:36:37	1	-4.2	-6.3	-4.8	-4.6	0.2	-5.9	-0.8	-2.8		0.2	-18.0	-18.0	-18.0	2,000
		2	2.5	1.9	1.9	1.0	0.0	2.2	2.1	1.9		0.0	5.8	5.8	5.8	
		3	-0.59	-0.30	-0.39	-0.23	0.01	-0.38	-2.63	-0.67		0.00	-0.33	-0.32	-0.32	
		4	4.9	1.0	2.9	-1.0	0.2	2.9	10.8	2.9		0.2	-13.3	-13.3	-13.3	
		5	-14.7	-12.7	-10.8	-8.8	0.2	-12.7	-8.8	-8.8		0.2	-154.5	-154.5	-154.5	
53-4-6	12:13:54	1	-4.2	-6.1	-4.7	-4.7	0.2	-5.8	-1.0	-2.9		0.2	-17.5	-17.5	-17.5	2,000
		2	3.5	2.7	2.9	1.2	0.0	2.9	2.8	2.6		0.0	7.6	7.4	7.4	
		3	-0.83	-0.44	-0.61	-0.25	0.01	-0.50	-2.89	-0.89		0.01	-0.43	-0.42	-0.42	
		4	6.9	2.9	4.9	-1.0	0.2	6.9	8.8	6.9		0.2	143.5	-143.5	143.5	
		5	-14.7	-14.7	-12.7	-8.8	0.2	-14.7	-12.7	-10.8		0.2	-27.5	-27.5	-27.5	
53-4-6	12:49:26	1	-3.8	-6.1	-4.5	-4.8	0.2	-5.7	-0.7	-2.7		0.2	-20.6	-20.6	-20.6	2,000
		2	2.3	1.8	1.9	1.0	0.0	2.2	2.1	2.0		0.0	5.3	5.3	5.3	
		3	-0.61	-0.29	-0.41	-0.20	0.00	-0.39	-3.07	-0.72		0.00	-0.26	-0.26	-0.26	
		4	4.9	1.0	2.9	1.0	0.2	4.9	6.9	2.9		0.2	-16.5	-16.5	-16.5	
		5	-12.7	-12.7	-10.8	-6.9	0.2	-12.7	-8.8	-10.8		0.2	-127.8	-127.8	-127.8	

1: 平均値 2: 標準偏差 3: 標準偏差/平均値 4: 最大値 5: 最小値

鉛直たわみ・水平たわみの加速度の単位は gal, ねじれの加速度の単位は rad/s², 変位の単位は cmである。

日	時		中央径間 2/1 点 加 速 度					中央径間 1/4 点 加 速 度					中央径間 1/2 点 変 位			データ 数
			鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	水平成分	
53-8-2	11:18:57	1	4.2	4.5	4.8	2.5	0.2	2.3	2.2	2.7		0.2	0.8	0.8	-0.8	1,700
		2	3.2	2.3	2.5	1.1	0.0	2.9	2.6	2.4		0.0	0.0	1.0	1.0	
		3	0.76	0.52	0.52	0.43	0.00	1.26	1.17	0.89		0.00	0.05	1.25	-1.30	
		4	16.7	12.7	12.7	6.9	0.2	12.7	12.7	10.8		0.2	2.4	0.8	40.0	
		5	-4.9	-4.9	-2.9	-2.9	0.2	-8.8	-6.9	-4.9		0.2	0.8	-38.4	-0.8	
53-9-15	12:41:10	1	9.0	145.7	77.9	1.4	0.1	0.4	-0.5	0.5		0.2	12.3	13.4	3.8	1,400
		2	2.8	97.3	47.9	1.1	0.0	2.2	1.9	1.9		0.0	23.3	23.8	10.8	
		3	0.31	0.67	0.61	0.79	0.27	5.54	-3.85	4.14		0.00	1.89	1.77	2.80	
		4	18.6	250.0	132.4	4.9	0.2	8.8	4.9	6.9		0.2	131.0	138.8	24.3	
		5	-1.0	-181.4	-85.3	-2.9	0.1	-6.9	-8.8	-4.9		0.2	0.8	2.4	-49.3	
53-9-15	13:56:24	1	9.0	161.9	85.9	1.6	0.1	0.2	-0.5	0.3		0.2	25.7	32.0	5.0	1,100
		2	3.8	95.0	46.7	1.8	0.0	2.4	2.1	1.8		0.0	7.9	6.4	7.4	
		3	0.42	0.59	0.54	1.08	0.27	13.51	-4.03	5.58		0.00	0.31	0.20	1.48	
		4	20.6	250.0	134.3	6.9	0.2	6.9	6.9	6.9		0.2	178.0	179.6	10.2	
		5	-4.9	-118.6	-55.9	-2.9	0.1	-8.8	-6.9	-6.9		0.2	2.4	11.8	-143.5	
53-9-15	14:01:00	1	8.9	164.6	86.4	1.6	0.1	0.2	-0.6	0.3		0.2	87.7	48.8	126.9	2,000
		2	3.1	88.0	43.4	1.8	0.0	2.4	2.2	1.9		0.0	8.9	1.6	6.2	
		3	0.35	0.53	0.50	1.15	0.25	14.76	-3.88	7.14		0.01	0.10	0.03	0.05	
		4	20.6	250.0	134.3	8.8	0.2	8.8	6.9	6.9		0.2	104.3	51.0	137.3	
		5	-4.9	-153.9	-69.6	-4.9	0.1	-8.8	-8.8	-6.9		0.2	72.9	46.3	116.9	
53-9-15	14:10:36	1	8.8	160.4	85.1	1.7	0.1	0.1	-0.6	0.2		0.2	172.2	183.5	-15.3	2,000
		2	3.5	89.3	44.2	1.9	0.0	2.5	2.3	2.0		0.0	9.7	2.3	4.1	
		3	0.39	0.56	0.52	1.13	0.25	17.67	-3.54	7.91		0.01	0.06	0.01	-0.27	
		4	24.5	250.0	136.3	8.8	0.2	8.8	8.8	6.9		0.2	192.2	187.5	55.7	
		5	-4.9	-136.3	-63.7	-4.9	0.1	-8.8	-8.8	-6.9		0.2	156.1	163.9	-21.4	
53-9-15	14:26:13	1	8.9	184.7	97.3	1.7	0.1	0.1	-0.6	0.2		0.2	108.2	97.0	-92.9	1,400
		2	2.1	74.3	36.9	1.3	0.0	1.7	1.5	1.3		0.0	6.6	7.5	3.7	
		3	0.23	0.40	0.38	0.78	0.23	20.68	-2.50	5.53		0.00	0.06	0.08	-0.04	
		4	14.7	250.0	132.4	4.9	0.2	4.9	2.9	4.9		0.2	143.5	123.1	0.8	
		5	2.9	-93.1	-42.8	-1.0	0.1	-4.9	-4.9	-2.9		0.2	96.5	-96.5	-96.5	

1:平均値 2:標準偏差 3:標準偏差/平均値 4:最大値 5:最小値

鉛直たわみ・水平たわみの加速度の単位は gal, ねじれの加速度の単位は rad/s^2 , 変位の単位は cmである。

日	時		中央径間 1/2 点 加 速 度					中央径間 1/4 点 加 速 度					中央径間 1/2 点 変 位			データ 数
			鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分 1	鉛直成分 2	水平成分	
53-9-15	15:29:56	1	8.8	130.0	69.9	1.4	0.1	0.4	-0.5	0.4		0.2	20.5	18.2	-60.5	2,000
		2	10.1	99.4	48.4	3.3	0.0	7.9	7.2	6.5		0.0	10.3	29.0	12.7	
		3	1.15	0.76	0.69	2.34	0.27	20.27	-14.92	14.63		0.01	0.51	1.59	0.21	
		4	46.1	250.0	136.3	12.7	0.2	28.4	24.5	24.5		0.2	189.0	192.2	3.9	
		5	-36.3	-142.2	-65.7	-10.8	0.1	-28.4	-24.5	-20.6		0.2	-162.4	-7.1	-82.4	
53-9-15	15:55:25	1	8.8	137.3	73.6	1.3	0.2	0.3	-0.5	0.4		0.2	95.0	12.9	-55.3	1,700
		2	7.3	88.0	42.6	2.4	0.0	6.4	5.7	5.3		0.0	7.6	3.0	9.8	
		3	0.83	0.64	0.58	1.83	0.24	18.55	-11.58	12.94		0.01	0.08	0.23	-0.18	
		4	34.3	250.0	132.4	10.8	0.2	22.5	22.5	20.6		0.2	109.0	21.2	-35.3	
		5	-16.7	-140.2	-65.7	-8.8	0.1	-22.5	-20.6	-18.6		0.2	82.4	5.5	-79.2	
53-9-15	16:12:53	1	8.9	148.0	79.0	1.7	0.1	0.2	-0.5	0.4		0.2	168.6	18.0	-16.6	1,300
		2	7.2	106.1	50.5	1.5	0.0	4.4	3.9	4.0		0.0	6.5	36.8	37.8	
		3	0.81	0.72	0.64	0.86	0.30	22.35	-8.58	10.58		0.01	0.04	2.04	-2.28	
		4	28.4	250.0	134.3	6.9	0.2	14.7	12.7	14.7		0.2	179.6	173.2	143.5	
		5	-12.7	-159.8	-67.6	-2.9	0.1	-16.7	-12.7	-12.7		0.2	157.6	-2.4	-38.4	
53-9-15	16:17:32	1	8.9	150.2	80.0	1.9	0.1	0.2	-0.5	0.4		0.2	139.4	8.7	-21.7	2,000
		2	6.1	93.0	44.7	1.7	0.0	3.8	3.2	3.1		0.0	9.6	3.0	5.1	
		3	0.68	0.62	0.56	0.88	0.26	17.78	-6.67	8.69		0.01	0.07	0.35	-0.24	
		4	30.4	250.0	134.3	6.9	0.2	12.7	12.7	10.8		0.2	156.1	19.6	-11.8	
		5	-14.7	-171.6	-77.5	-2.9	0.1	-10.8	-10.8	-8.8		0.2	123.1	-2.4	-41.6	
53-9-15	16:25:43	1	8.9	185.1	97.5	1.9	0.1	0.2	-0.5	0.3		0.2	99.9	9.4	-10.3	2,000
		2	2.1	74.7	37.3	1.4	0.0	1.8	1.7	1.5		0.0	9.1	1.5	2.4	
		3	0.24	0.40	0.38	0.75	0.23	11.14	-3.51	4.39		0.00	0.09	0.16	-0.23	
		4	16.7	250.0	134.3	6.9	0.2	6.9	4.9	4.9		0.2	115.3	13.3	-3.9	
		5	1.0	-85.3	-36.3	-2.9	0.1	-4.9	-6.9	-4.9		0.2	83.9	3.9	-16.5	
53-9-15	16:33:51	1	9.0	190.9	100.5	1.8	0.1	0.3	-0.5	0.4		0.2	68.0	9.7	-10.0	1,300
		2	2.8	83.4	41.1	1.5	0.0	1.8	1.8	1.5		0.0	5.6	1.5	2.3	
		3	0.31	0.44	0.41	0.80	0.26	6.55	-4.00	4.05		0.00	0.08	0.15	-0.23	
		4	16.7	250.0	132.4	6.9	0.2	6.9	4.9	4.9		0.2	77.6	13.3	-5.5	
		5	1.0	-132.4	57.8	-2.9	0.1	-6.9	-32.4	-16.7		0.2	57.3	5.5	-16.5	

1: 平均値 2: 標準偏差 3: 標準偏差/平均値 4: 最大値 5: 最小値

鉛直たわみ・水平たわみの加速度の単位は gal, ねじれの加速度の単位は rad/s², 変位の単位は cmである。

日 時			中 央 径 間 1/2 点 加 速 度					中 央 径 間 1/4 点 加 速 度					中央径間 1/2 点 変 位			データ 数
			鉛直成分	鉛直成分	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分	鉛直成分	鉛 直 たわみ	水平成分	ね じ れ	鉛直成分	鉛直成分	水平成分	
53-9-15	16:38:24	1	9.1	180.5	95.3	1.9	0.1	0.2	-0.4	0.4		0.2	30.8	10.3	-10.4	2,000
		2	3.3	86.6	42.6	1.8	0.0	2.5	2.2	1.9		0.0	8.4	3.5	4.2	
		3	0.36	0.48	0.45	0.93	0.26	12.84	-5.85	4.89		0.01	0.27	0.34	-0.40	
		4	16.7	250.0	134.3	6.9	0.2	8.8	6.9	6.9		0.2	57.3	40.0	29.0	
		5	-1.0	-144.1	-67.6	-2.9	0.1	-8.8	-8.8	-6.9		0.2	-60.4	5.5	-40.0	
53-9-15	16:46:31	1	9.1	169.7	89.9	1.9	0.1	0.2	-0.5	0.3		0.2	-2.0	9.7	-10.7	2,000
		2	4.3	92.3	44.9	1.7	0.0	2.6	2.3	2.1		0.0	7.7	2.4	2.9	
		3	0.48	0.54	0.50	0.90	0.27	13.53	-4.67	5.98		0.00	-3.84	0.25	-0.27	
		4	22.5	250.0	132.4	6.9	0.2	8.8	6.9	6.9		0.2	11.8	16.5	-3.9	
		5	-6.9	-120.6	-55.9	-2.9	0.1	-8.8	-8.8	-6.9		0.2	-14.9	2.4	-16.5	
53-9-15	16:54:41	1	9.1	168.9	89.5	1.9	0.1	0.1	-0.5	0.3		0.2	-33.9	9.2	-13.6	2,000
		2	4.0	88.9	43.9	2.2	0.0	3.8	3.4	3.1		0.0	7.3	2.4	4.7	
		3	0.44	0.53	0.49	1.18	0.26	38.74	-6.32	12.18		0.01	-0.22	0.26	-0.34	
		4	26.5	250.0	134.3	8.8	0.2	16.7	10.8	12.7		0.2	-21.2	18.0	-3.9	
		5	-4.9	-175.5	-79.4	-6.9	0.1	-14.7	-12.7	-12.7		0.2	-46.3	0.8	-32.3	
53-9-15	17:02:51	1	9.1	171.9	91.0	1.7	0.1	0.2	-0.5	0.3		0.2	-64.4	9.6	-4.5	2,000
		2	3.7	91.2	45.1	2.0	0.0	2.5	2.3	1.9		0.0	7.0	1.7	2.3	
		3	0.41	0.53	0.50	1.16	0.27	15.72	-4.52	6.02		0.01	-0.11	0.17	-0.51	
		4	22.5	250.0	134.3	8.8	0.2	10.8	6.9	4.9		0.2	-52.5	14.9	2.4	
		5	-2.9	-171.6	-79.4	-4.9	0.1	-6.9	-8.8	-6.9		0.2	-77.6	3.9	-10.2	
		1														
		2														
		3														
		4														
		5														
		1														
		2														
		3														
		4														
		5														

1: 平均値 2: 標準偏差 3: 標準偏差/平均値 4: 最大値 5: 最小値

鉛直たわみ・水平たわみの加速度の単位は gal, ねじれの加速度の単位は rad/s², 変位の単位は cm である。

表-7 関門橋非定常空気力実験ケース

モード	加振振幅	迎角
鉛直たわみ	1.0 mm	-5°, -3°, 0°, 3°, 5°
ねじれ	1.0 deg	-5°, -3°, 0°, 3°, 5°

表-8 計算条件

パラメータ \ No.	1	2	3	4	5	6				
空力アドミッタンス	Sears ; $\frac{a+\pi \xi}{a+(a \pi+1) \xi+2 \pi^2 \xi^2}$ $a=0.1811$ $\xi=f \cdot B / \bar{U}$		Davenport ; 鉛直方向の空間相関を考慮 $\frac{2}{(\lambda \xi)^2}(\lambda \xi-1+\exp (-\lambda \xi))$ $\xi=f \cdot B / \bar{U}$ <table><tr><td>$\lambda=3$</td><td>$\lambda=7$</td><td>$\lambda=10$</td><td>$\lambda=20$</td></tr></table>				$\lambda=3$	$\lambda=7$	$\lambda=10$	$\lambda=20$
$\lambda=3$	$\lambda=7$	$\lambda=10$	$\lambda=20$							
揚力勾配	一様気流中での実測値 (= 3.55)									
空間相関係数	$\exp \left(-\frac{\lambda f\left x-x^{\prime}\right }{\bar{U}}\right), \quad \lambda=7$									
非定常空気力係数	平板空気力	一様気流中での実測値 (図 4.1 ~ 図 4.4)								
構造減衰定数	すべてのモードで 0.005 ($\delta=0.03$)									
振動モード	応答の計算位置を中央径間 1/2 点としたため, 対称モードのみを考慮 鉛直たわみ ; 対称 1 次 ~ 対称 5 次 ねじれ ; 対称 1 次と対称 2 次									
寄与率	一様気流中での実測値 $C_M(0) / C_L(0)$ (= 0.15)									

表 - 9 計算結果 (中央径間 1/2 点における応答の標準偏差)

モード \ f_0	1	2	3	4	5	6
鉛直たわみ (cm)	1.53	2.00	3.79	3.35	3.11	2.59
ねじれ ($\times 10^{-2}$ deg)	0.75	0.78	1.35	1.18	1.11	0.96

表 - 10 実測した応答値および風 の 特 性

日 時	鉛直たわみ 応答の 標準偏差 σ_η (cm)	ねじれ応 答の標準 偏差 σ_φ ($\times 10^{-2}$ deg)	橋軸直角 方向の平 均風速 $\bar{U}$ (m/s)	橋軸直角 方向の変 動風速の 標準偏差 σ_u (m/s)	橋軸直角 方向乱れ 強さ $\sigma_u/\bar{U}$	鉛直方向 乱れ強さ $\sigma_w/\bar{U}$	迎 角 α (deg)	水平偏角 β (deg)
51-9-13 2:00	2.92	1.45	20.4	1.7	0.08	0.05	8.1	55.3
51-9-13 2:40	3.71	1.48	21.0	2.0	0.10	0.07	8.4	58.4
51-9-13 3:40	4.74	2.75	21.9	2.7	0.12	0.08	9.3	65.5
51-9-13 4:00	6.63	2.54	20.9	2.9	0.14	0.11	9.0	64.0
51-9-13 4:20	6.71	2.33	19.6	3.0	0.15	0.11	9.0	67.6
51-9-13 4:30	5.19	1.64	12.1	3.4	0.28	0.25	7.5	78.9

表 - 11 計算結果 (中央径間 1/2 点における応答の標準偏差)

記録開始日時	モード	計算条件 f_2	計算条件 f_4
51-9-13	鉛直たわみ	2.00	3.35
2:00	ねじれ	0.78	1.18
51-9-13	鉛直たわみ	2.39	4.22
2:40	ねじれ	1.14	2.15
51-9-13	鉛直たわみ	2.24	3.86
3:40	ねじれ	1.03	1.88
51-9-13	鉛直たわみ	3.10	5.70
4:00	ねじれ	0.87	1.47
51-9-13	鉛直たわみ	4.83	8.20
4:20	ねじれ	1.80	2.63
51-9-13	鉛直たわみ	2.18	3.73
4:30	ねじれ	0.90	1.46

単位：鉛直たわみモード (cm)

ねじれモード ($\times 10^{-2}$ deg)