

日本道路公団委託

ISSN 0386—5878²
土研資料 第1970号
Aero.59/ST.Division

土 木 研 究 所 資 料

関門橋長期観測データ解析報告書(その9)

昭和58年2月

建設省土木研究所

構造橋梁部構造研究室

Copyright ©1982 fiscal year by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

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

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長期観測システムがとりつけられている。観測記録のうち風に対する本橋の応答解析は建設省土木研究所構造研究室が受託業務として担当することになり、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、関門橋周辺の自然風の特徴および風に対する補剛桁の応答の基礎的な特性を求めた。また、今年度までに得られたデータの中から比較的高風速のものを4データ選択し、水平たわみガスト応答の評価時間について検討を加えた。以下に内容を取りまとめ報告する。

昭和58年2月

構造研究室	室長	山本邦夫
	研究員	佐藤弘史
	研究員	中神陽一
		湯沢聡
		福田誠

目 次

1. まえがき	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56年度収録データの解析	3
2.1 収録されたデータ	3
2.2 自然風および補剛桁対風応答のデータ整理	3
3. 水平たわみガスト応答の評価時間の検討	4
3.1 ガスト応答倍率の定義	4
3.2 解析方法	5
3.3 解析ケース	6
3.4 解析条件	6
3.5 解析結果	6
3.6 結果の考察	7
付 録	9
4. ま と め	16
5. おわりに	16
参考文献	17
図表	18

1. ま え が き

1.1 長期観測の目的

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。そのため関門橋についても、架橋地点での風の特長調査などの設計風速調査が実施されるとともに風洞模型実験等により設計案の耐風安定性が検討され、最終的に耐風性の良好な実施設計案が決定された。本橋の竣工以前にも、若戸大橋、尾道大橋など多くの長大橋が設計されていたが、海峡を横断し、中央径間長700 mを越す長大吊橋は関門橋のみであり、自然条件下での長大橋の挙動を観測し、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。

また、長大橋梁の耐風性を検討するにあたっては、一様気流のもとで二次元剛体模型を用いて風洞実験を実施するのが現在のところ一般的であるが、実際の構造物は三次元のものであり、乱れを含んだ自然風中にさらされているため、長大橋梁の対風応答におよぼすこれらの影響を把握することが必要であり、その意味でも自然風中での長大橋梁の挙動を観測することは重要である。

以上のような考えに従って、長期観測システムが関門橋に設置され観測が行われている。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⁽¹⁾、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-1-1～1-3にその資料を掲げるにとどめる。

1.2 調査の経緯^{(1)～(8)}

関門橋より得られた長期観測データの解析は昭和49年度より実施されているが、前年度までの調査により明らかとなった事項を要約すると以下のとおりである。

- (1) 昭和55年度までに補剛桁中央径間1/2点において橋軸直角方向水平成分の平均風速26 m/sまでのデータが蓄積されており、同点のガスト応答としては、変位の標準偏差で鉛直たわみモードが7 cmまで、ねじれモードが 7×10^{-4} radまでのデータが蓄積されている。
- (2) 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からいわれている値⁽⁹⁾と大差ない。平均風速および風向は水平方向にほぼ一様な傾向を示しているが、海峡部において風の収束効果があったかどうかは確認されていない。
- (3) 補剛桁の不規則振動が観測され、スペクトル解析を行ったところ、最低次の振動モードの寄与が大きいことが明らかとなった。
- (4) 補剛桁の水平たわみおよび鉛直たわみのガスト応答について、実測値と計算値の比較を行ったところ、入力としての風速データおよびパラメータの値を適切に定めることにより、両者がほぼ一致することが明らかとなった。
- (5) 昭和55年度の加速度データよりパワースペクトルを計算し、固有振動数を求め、本橋竣工直後の実測振動数と比較したが、両者ともほぼ一致しており、本橋の重量および剛性は竣工直後とほぼ同じであると推定される。

(6) 昭和53年度までに得られた強風データ34ケースの水平風速データを用いて、自然風の空間相関特性を示すコヒーレンスの計算を行った。その結果20 m離れた2地点の水平風速のコヒーレンスは、0～0.4 Hzまで、ほぼ指数関数で近似でき、ディケイファクターは、風向が橋軸方向から橋軸直角方向になるに従い3.5から7.0に増加することが明らかとなった。

また、データの解析範囲の差異がコヒーレンス特性におよぼす影響は、風速計の距離が、近い場合や風向がほぼ橋軸直角方向の場合は補正すべき時間差が小さいため、その影響は、小さいが時間差が比較的大きい場合にもコヒーレンスの形状は、若干変化するものの、特性の変化は小さいことが判明した。

また、158 mおよび178 m離れた2地点のコヒーレンス関数は、指数関数で近似できる範囲が高々0～0.05 Hzと小さいことが明らかとなった。

(7) 昭和53年度までに得られた150ケースの自然風データおよびガスト応答データを用いて、提案した鉛直たわみガスト応答の簡単な推定式の妥当性の検証を行った。その結果、推定式中の平均風速として、橋軸直角方向水平成分の平均風速を用いれば、橋軸方向に近い風向を除けば推定式の定数は風向によらずほぼ一定となり、平均値約0.07標準偏差0.02であることが明らかとなった。また、平均風速として、橋軸直角方向成分および橋軸方向成分をベクトル合成して求まる水平風速の平均値を用いると、推定式の定数バラツキは風向によらず一定であるが平均値は風向が橋軸直角方向から橋軸方向になるに従い小さくなるという傾向を示した。

(8) 昭和53年度までに得られた150ケースの強風時の自然風およびガスト応答のデータを用いて水平たわみガスト応答の簡単な推定式の妥当性を検討した。

その結果、平均風速の橋軸直角方向水平成分より求めた推定式の定数は風向が橋軸方向に近い風のデータを除けば、風向の影響をほとんど受けず、平均値約0.7、標準偏差約0.3であることが判った。また、観測風の橋軸方向成分と橋軸直角方向成分の風速をベクトル合成した水平風速から求めた定数は、風向が橋軸直角方向から橋軸方向になるにしたがい小さくなるが、標準偏差は平均値の約1/4であり、一定のバラツキを保つことが明らかになった。従って、両解析結果より求めた推定式の定数は若干のバラツキを含みはするがガスト応答の概略を推定するという目的に対しては、十分な精度を有するといえる。

1.3 今年度の調査の概要

今年度に新たに収録されたデータを用いて、自然風およびそれに起因する補剛桁の応答について基礎的統計量のとりまとめを行った。また水平たわみガスト応答解析の評価時間に関して従来用いられてきた値を再検討した。

2. 昭和57年度収録データの解析

2.1 収録されたデータ

今年度収録されたデータをまとめて表-2に示す。道路公団より送られた磁気テープはチェックデータを含めて6本であり、多少のパリティエラーはあるものの、どのテープも土木研究所の大型電算機で処理することができた。

2.2 自然風および補剛桁対風応答のデータ整理

自然風および補剛桁対風応答に関する基礎的統計量を取りまとめて表-4、表-5に示す。今年度は、昭和55年度以前に得られた強風データより強い風の記録は収録されていない。

昭和56年10月7日以降の超音波風速計のデータ値は異常に小さく、また対風応答データについても、変位計のデータ値は全般に異常であり、一部の加速度計のデータは風速に比べ異常に大きな値を示している。これらのデータを使用する場合には、その取扱いに充分注意する必要がある。

3. 水平たわみガスト応答の評価時間の検討

自然風中におかれた構造物は、風の乱れにより不規則な振動（ガスト応答）をするが、このガスト応答の大きさは、自然風のパワースペクトルを推定式で仮定し、様々なパラメータを規定し、構造物の振動特性に当てはめることによって計算するのが一般的であり、本州四国連絡橋の耐風設計基準に於ける応答倍率も、このようにして求めたものをもとにして決定されている。この際、風速のパワースペクトルは日野の提案式を用い、風速の評価時間を600秒と設定されているが、評価時間の長さは一般的な気象データが10分を一単位としている事情などから決められているが、理論的根拠には、いま一つ乏しいのが現状である。そこで、今年度までに得られた自然風、およびに水平たわみ振動のデータの中から適当なものを4ケース選択し、それぞれについて評価時間を逐次変化させ、実際の水平たわみ振動応答を比較することによって、10分という評価時間を再検討するとともに、より妥当な評価時間の設定を試みた。

3.1 ガスト応答倍率の定義⁽¹⁰⁾

高度 h に於ける風速 V_h は、10mに於ける基準風速 V_{10} と高度による補正係数 ν_1 とにより、次のように表わされる。

$$V_h = V_{10} \nu_1 \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

風速 V_h を持つ自然風は、不規則な乱れを有する変動風であるから、水平方向に長い構造物の場合は、風速 V_h が一様に作用したときとは異なる変動する風圧を受けることになる。

この際、構造物が受ける風圧の総和の最大値を等分布風圧に換算し、この等分布風圧を与える風速を設計風速 V_D とすると、補正係数 ν_2 を次のように定義する。

$$\begin{aligned} V_D / V_h &= \nu_2 \\ \therefore V_D &= V_h \nu_1 \nu_2 \quad \dots\dots\dots (1-2) \end{aligned}$$

一方、設計風荷重 P_D は、 V_D を一様な流れと考えると

$$P_D = \frac{1}{2} \rho V_D^2 A_n \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

（ここに、 ρ ；空気密度、 A_n ；受圧面積）

しかし、構造物の振動特性と空気力学的アドミッタンスを考慮して求めた設計風荷重上に示したものと異なる数値を持つ。そこで、振動特性及びに空力アドミッタンスを考慮した補正項を用い P_D を新たに次のように定義する。

$$\begin{aligned} P_D &= \frac{1}{2} \rho V_D^2 A_n \nu_4 \\ &= \frac{1}{2} \rho (V_h \nu_2)^2 \nu_4 \\ &= \frac{1}{2} \rho (V_h \nu_2 \sqrt{\nu_4})^2 \quad \dots\dots\dots (1-4) \end{aligned}$$

上の式で明らかのように、当初の設計風速であった v_h は、その後補正を加えることにより、 $v_2 \sqrt{v_1}$ 倍されたことになる。

すなわち、この風速の増加率をガスト応答倍率 G_p とするのである。

$$G_p = v_2 \sqrt{v_1} \quad \dots\dots\dots (1-5)$$

3.2 解析方法

水平方向に長い構造物上のある節点の応答値 q のパワースペクトル $S_q(f)$ は解析の為に、構造物上に仮定した節点 h, g に作用する抗力のクロススペクトル $S_{phg}(f)$ を用いて (2-1) のように書ける。

$$S_q(f) = \sum_r \left\{ X_r(f) \cdot \sum_h \sum_g A_h^r A_g^r S_{phg}(f) \right\} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

(ここで、 A_h^r, A_g^r は構造系のマスマトリクス $[M]$ を基準化する基準関数の成分で、基準関数を $[A_{ij}]$ で表わすと、 $A_h^r = A_{rh}, A_g^r = A_{rg}$ である。
 $X_r(f)$ は、構造物の振動特性を示す関数である。

一方、抗力スペクトル $S_{phg}(f)$ は、風速のパワースペクトル $S_u(f)$ を用いて (2-2) のようになる。

$$S_{phg}(f) = Y_{hg}(f) \cdot S_u(f) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

(ここで、 $Y_{hg}(f)$ は、空力アドミッタンス、ジョイントアクセプタンス等の量を考慮した関数である。)

(2-1) と (2-2) から

$$S_q(f) = \sum_r \left\{ X_r(f) \cdot \sum_h \sum_g A_h^r A_g^r Y_{hg} \cdot S_u(f) \right\} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

$X_r(f), Y_{hg}(f)$ は、構造物の振動特性等から既に、求められているので、風速のパワースペクトルを代入してやれば、着目量 q のパワースペクトル $S_q(f)$ は求まる。

着目量 q の平均応答値 $\bar{q}$ は、式 (2-4) によって導くことができる。

$$\bar{q} = \{ \Omega \}^T [\omega^2]^{-1} [A]^T \{ \bar{P} \} \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

(ここに $\{ \Omega \}$ は応答値 q の規準関数 $[\omega^2]$ は規準化された剛性マトリクス $[A]$ は規準関数、 $\{ \bar{P} \}$ は平均風速 U_h による風荷重である。)

着目量 q の変動成分の分散 σ_q^2 は、

$$\sigma_q^2 = \int_0^\infty S_q(f) df \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

着目量 q の最大値の期待値 $E[q_{\max}]$ は式 (2-6) ~ (2-7) で表わされる。

$$E[q_{\max}] = \bar{q} + g \cdot \sigma_q \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

$$g = \sqrt{2 \ell_n(n_0 T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ell_n(n_0 T)}} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

$$n_0 = \sqrt{\frac{\int_0^\infty f^2 S_q(f) df}{\int_0^\infty S_q(f) df}} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

よって応答値 q のガスト応答倍率 G_q は次のようになる。

$$G_q = \sqrt{\frac{E[q_{\max}]}{\bar{q}}} = \sqrt{1 + g \sigma_q / \bar{q}}$$

今、風速のパワースペクトル $S_u(f)$ が決まれば、応答値 q のパワースペクトル $S_q(f)$ が求まり、 n_0 が決定される。評価時間 T を決定してやればガスト応答倍率が求まることになる。

3.3 解析ケース

解析ケースと平均風速は、表-3-1に整理した。今回、関門橋において実際に観測されたデータを用いて水平ガスト応答計算を実施した。なお評価時間がガスト応答に与える影響を検討するため評価時間を900, 600, 400, 200, 100秒の5種類に設定して比較計算を行い、その結果について解析を加えた。尚、風速パワースペクトルは、それぞれの評価時間の長さだけ自然風のデータを抜き取り求めたものを使用した。風のパワースペクトルは、図-4に示した。また、使用したデータの波形を図-3-2に示した。

3.4 解析条件

解析条件を以下に示す。

設計基準風速	$U_{10} = 55 \text{ (m/sec)}$
水平風速のDecay Factor	$k_z = 7$
鉛直風速のDecay Factor	$k_y = 8$
風速の鉛直分布のべき指数	$1/\alpha = 1/7$
構造減衰比	$\eta = 4.8 \times 10^{-3}$
抗力係数	$C_D = 2.082 (\alpha = 0^\circ)$
空気密度	$\rho = 1.25 \times 10^{-4} \text{ (t/m}^3\text{)}$

3.5 解析結果

解析の結果求まった桁横たわみの変動成分の分散 σ_q^2 、応答倍率 g 、ガスト応答 G_q 、平均応答 $\bar{q}$ 及びに平均風速 $\bar{U}$ を求め、表3-2に示した。また、スパン中央に設置してある加速度計によって記録された加

速度データを変位に換算し、変位の変動の標準偏差を求め、解析結果と併せて表-3-2に示した。ガスト応答 G については、図-3-1に示した。

3.6 結果の考察

(1) 横たわみ変動成分の標準偏差 σ_q

表-3-2に示してあるように、解析結果と実橋で観測された σ_q とを比較すると、全てのケースに於て解析による σ_q 値の方が大きくなっている。その差は概ね、 $\infty \sim 50\%$ 程度の相違である。また各ケースともに評価時間 T による前記誤差の変動は少い。

式(2-1)に示したように、着目量 q (この場合は、スパン中央での横たわみ)のスペクトル $S_q(f)$ は、構造系のマスマトリクス成分 $\hat{A}_i^j$ 、構造物の振動特性を表わす関数 $X(f)$ 、および抗力スペクトル $S_{phg}(f)$ によって表わされるが、抗力スペクトル以外は構造物によって一意的に決定される。一方、抗力スペクトルは式(付-24)に示したように空力アドミッタンス、ジョイントアクセプタンス、平均風速、平均風荷重、それに風のパワースペクトルによって表わされる。評価時間 T の変化に伴う σ_q 値の実橋と解析との比の変動は小さいので、風のパワースペクトルが50%もの誤差の発生要因とは考え難い。空力アドミッタンス、ジョイントアクセプタンスは、デイケイファクター k_x, k_y の値に左右されるが、前年度の調査によってデイケイファクターは概ね3.5~7.0の値であることが明らかにされており、式(付-26)と式(付-28)~式(付-30)で判るように、空力アドミッタンス、ジョイントアクセプタンスは、デイケイファクターと反比例する関係にあるので、今、デイケイファクターを昨年度調査による値の最大値を採用していることから、抗力スペクトルはデイケイファクターに着目する限り最小である。従って、 σ_q 値の実橋での結果と解析結果とのギャップは、デイケイファクターを設定する際に生じたものとは考えられない。

平均風荷重は式(付-5)に示してあるように、

$$\bar{P}_h = \frac{1}{2} \rho C_D A_h U_h^2$$

となる。 A_h は受圧面積、 U_h は平均風速、 ρ は空気密度であるから一定である。

抗力係数 C_D は、一様流中での風洞実験によって決定されており、変動風の変動成分 u には無関係と仮定されているが、乱流中では、変動成分 u によってどのように変動するかは定かではないが、 $\frac{\partial C_D}{\partial u} \neq 0$ である可能性はかなり強いと言えよう。従って、 σ_q 値における実橋と解析とのギャップが、抗力係数の変動によるものかどうかは、今後の課題であろう。

(2) ガスト応答 G

評価時間 T によるガスト応答 G は、 g 値が、 T が増大するに従い、 $g \propto (\ln T)^{\frac{1}{2}}$ になることから、次第に一定の値に近づくことが予想される。しかし、本解析では風のデータケース1を除き、現在評価時間として採用されている値、即ち $T=600$ 秒を超えても、ガスト応答 G は評価時間の増大に従って、なおも増大する傾向が見られる。データ後半に、強風のデータが集中していれば、それによって

風のパワーも増大し G の値も大きくなると予想されるが、図-3-2に示した生の波形で、特にピークの大きさに注目すれば、その傾向は認め難い。概して600秒から900秒にかけていずれのケースも、 G の傾きが小さくなってきているので、今後は、データ中でピークが最大の箇所を押え、その周辺でのパワースペクトルを用いて、評価時間を更に大きな値まで解析する必要がある。

付 録 吊橋横たわみのガスト応答解析方法

変動風を受ける構造物の応答を求める解析法のうち、ここでは変形法を用いたマトリックス解法について述べる。一般に吊橋の横たわみに関する運動方程式は、次のように表わすことができる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{Q(t)\} \quad \dots\dots\dots (付-1)$$

ここに、

$\{x\}$: 変位ベクトル, $\{Q(t)\}$: 風荷重ベクトル, $[M]$: マスマトリックス,
 $[C]$: 構造減衰マトリックス, $[K]$: 剛性マトリックス

風荷重としては、抗力、揚力、空力モーメント等があるが、以下の計算では抗力だけを考慮し、桁およびケーブルに作用するものとした。変位ベクトル $\{x\}$ を式 (C-2') で規準化した規準関数 (normal function) $[A]$ と規準座標 (normal coordinate) $\{\phi\}$ で表わすと式 (C-2) のようになる。

$$\{x\} = [A]\{\phi\} \quad \dots\dots\dots (付-2)$$

$$[A]^T [M] [A] = [E] \quad \dots\dots\dots (付-2')$$

$[E]$: 単位マトリックス

式 (C-1) は、両辺に $[A]^T$ を掛けると次のように書ける。

$$\{\ddot{\phi}\} + [2\zeta^m \omega]\{\dot{\phi}\} + [\omega^2]\{\phi\} = [A]^T \{Q(t)\} \quad \dots\dots\dots (付-3)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} [2\zeta^m \omega] &= [A]^T [C] [A] \\ [\omega^2] &= [A]^T [K] [A] \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (付-4)$$

$[\omega^2]$ は対角マトリックスであるが、 $[2\zeta^m \omega]$ は一般には対角マトリックスではない。しかし、減衰定数 $[C]$ の値が小さいこと、表示法がはっきりしていないこと等を考えて、 $[2\zeta^m \omega]$ も対角マトリックスと仮定する。

節点に作用する外力 $\{Q(t)\}$ は風荷重であり、抗力しか考えていないので風向方向の成分のみを持つ荷重ベクトルである。節点 x_k に作用する風荷重 $Q_k(t)$ は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} Q_k(t) &= \frac{1}{2} \rho C_D \int_{A_k} (U_k + u - \dot{x}_k)^2 dA_k \\ &\doteq \frac{1}{2} \rho C_D A_k U_k^2 \left(1 + \frac{1}{A_k} \int_{A_k} 2u/U_k dA_k - 2\dot{x}_k/U_k \right) \end{aligned}$$

$$= \bar{P}_h + \frac{2\bar{P}_h}{U_h A_h} \int_{A_h} u dA_h - \frac{2\bar{P}_h}{U_h} \dot{x}_h \quad \dots\dots\dots (付-5)$$

ここに、 U_h : 節点 h に於ける平均風速

u : 変動風速

$A_h = L_h \cdot D_h$ (L_h : 部材長, D_h : 受圧幅)

$\bar{P}_h$: 節点 h に作用する風荷重

$\bar{P}_h : \frac{1}{2} \rho C_D A_h U_h^2$

なぜならば、

$$\begin{aligned} \int_{A_h} (U_h + u - \dot{x}_h)^2 dA_h &= \int_{A_h} (U_h^2 + u^2 + \dot{x}_h^2 + 2U_h u - 2u\dot{x}_h - 2U_h\dot{x}_h) dA_h \\ &= A_h U_h^2 + \int_{A_h} 2u U_h dA_h - \int_{A_h} 2U_h \dot{x}_h dA_h \\ &= A_h U_h^2 \left(1 + \frac{1}{A_h} \int_{A_h} 2u/U_h dA_h - 2\dot{x}_h/U_h \right) \end{aligned}$$

式(付-5)を全ての節点 h についてまとめてマトリクスにすると、式(付-6)のようになる。

$$\{Q(t)\} = \underbrace{\{\bar{P}\}}_{\text{第1項 平均抗力}} + \underbrace{\left\{ \frac{2\bar{P}}{U} \frac{1}{A} \int_A u dA \right\}}_{\text{第2項 変動抗力}} + \underbrace{\left\{ -\frac{2\bar{P}}{U} \dot{x} \right\}}_{\text{第3項}} \quad \dots\dots\dots (付-6)$$

式(付-3)に式(付-6)を代入する。

$$\{\ddot{\phi}\} + \{2\zeta^m \omega\} \{\dot{\phi}\} + [\omega^2] \{\phi\} = [A]^T \left\{ \underbrace{\{\bar{P}\}}_{\text{①}} + \underbrace{\left\{ \frac{2\bar{P}}{U} \frac{1}{A} \int_A u dA \right\}}_{\text{②}} + \underbrace{\left\{ -\frac{2\bar{P}}{U} \dot{x} \right\}}_{\text{③}} \right\}$$

①より 平均応答 $\{\bar{\phi}\}$ が求まる

$$\{\bar{\phi}\} = [\omega^2]^{-1} [A]^T \{\bar{P}\} \quad \dots\dots\dots (付-7)$$

②③より 変動成分が求まる

$$\begin{aligned} \{\ddot{\phi}\} + \{2\zeta^m \omega\} \{\dot{\phi}\} + [\omega^2] \{\phi\} &= [A]^T \left\{ \frac{2\bar{P}}{U} \frac{1}{A} \int_A u dA \right\} - [A]^T \left[\frac{2\bar{P}}{U} \right] [A] \{\dot{\phi}\} \\ \therefore \{\ddot{\phi}\} + ([2\zeta^m \omega] + [A]^T [2\bar{P}/U] [A]) \{\dot{\phi}\} + [\omega^2] \{\phi\} &= [A]^T \left\{ \frac{2\bar{P}}{U} \frac{1}{A} \int_A u dA \right\} \end{aligned}$$

..... (付-8)

ここで $[2\bar{P}/U]$ は対角マトリクス

よって $[A]^T [2\bar{P}/U] [A]$ は対称マトリクスとなる。

しかしここでは空力減衰のモード間の連成を無視し、次のようにする。

$$\begin{aligned}
[A]^T [2\bar{P}/U] [A] \{\dot{\phi}\} &= \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2\bar{P}_1/U_1 & \phi \\ & \ddots & 2\bar{P}_n/U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\phi}_n \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2\bar{P}_1/U_1 \cdot A_{11} & 2\bar{P}_1/U_1 \cdot A_{12} & \cdots & 2\bar{P}_1/U_1 \cdot A_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 2\bar{P}_n/U_n \cdot A_{n1} & 2\bar{P}_n/U_n \cdot A_{n2} & \cdots & 2\bar{P}_n/U_n \cdot A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\phi}_n \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \sum_i 2\bar{P}_i/U_i \cdot A_{i1}^2 & \sum_i 2\bar{P}_i/U_i \cdot A_{i1} A_{i2} & \cdots & \sum_i 2\bar{P}_i/U_i \cdot A_{i1} A_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_i 2\bar{P}_i/U_i \cdot A_{in} A_{i1} & \cdots & \cdots & \sum_i 2\bar{P}_i/U_i \cdot A_{in}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\phi}_n \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

ここで、連成を無視するので

$$A_n A_m \begin{cases} = 0 & n \neq m \\ \neq 0 & n = m \end{cases}$$

従って

$$[A]^T [2\bar{P}/U] [A] \{\dot{\phi}\} = \begin{bmatrix} \sum_i \frac{2\bar{P}_i}{U_i} \cdot A_{i1}^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & \phi & \sum_i \frac{2\bar{P}_i}{U_i} \cdot A_{in}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\phi}_n \end{bmatrix}$$

$$= \left\{ \sum_i \frac{2\bar{P}_i}{U_i} A_{i1}^2 \dot{\phi}_1 \right\} \cdots \cdots \cdots \quad (\text{付-9})$$

式(付-8)に代入すると

$$\begin{aligned}
\{\ddot{\phi}\} + \underbrace{\left\{ [2\zeta^m \omega] + \left\{ \sum_i \frac{2\bar{P}_i}{U_i} A_{i1}^2 \right\} \right\}}_{\text{対角マトリクス}} \{\dot{\phi}\} + [\omega^2] \{\phi\} &= [A]^T \left\{ \frac{2\bar{P}}{U} \frac{1}{A} \int_A u dA \right\} \\
&\cdots \cdots \cdots \quad (\text{付-10})
\end{aligned}$$

式(付-10)より r 次の運動方程式を取り出すと

$$\ddot{\phi}_r + 2\zeta_r \omega_r \dot{\phi}_r + \omega_r^2 \phi_r = \sum_i \dot{A}_{ir} \frac{2\bar{P}_i}{U_i} \frac{1}{A_i} \int_{A_i} u dA_i \quad (\text{付-11})$$

ここに、 $\zeta_r = \zeta_r^m + \zeta_r^a$

$$\zeta_r^a = \frac{1}{\omega_r} \sum_i \frac{2\bar{P}_i}{U_i} (\dot{A}_{ir})^2$$

ζ_r^m : 構造減衰比

ζ_r^a : 第 r 次の空力減衰比

ある節点の応答値 q (変位 or 断面力) の規準関数を $\{\Omega\}$ とすると

$$q = \{\Omega\}^T \{\phi\} \quad \dots\dots\dots (付-12)$$

一方, パワースペクトル密度 $S_q(f)$ は次式にて示される。

$$S_q(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} |Q(f)|^2 \right] \quad \dots\dots\dots (付-13)$$

$$\text{ここに } q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Q(f) e^{i2\pi f t} df \quad \dots\dots\dots (付-14)$$

$$q(t) = \sum_r^r \Omega_r \phi_r(t) \quad \text{であるから}$$

$$\phi_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_r(f) e^{i2\pi f t} df \quad \text{とおく}$$

式(付-11)に代入し

$$\text{左辺} = \int_{-\infty}^{\infty} [-(2\pi f)^2 + i \cdot 2\pi f \cdot 2\zeta_r \omega_r + \omega_r^2] \Phi_r(f) e^{i2\pi f t} df \quad \dots\dots\dots (付-15)$$

$$\text{変動抗力を } d_i(t) = \frac{2\bar{P}_i}{U_i} \frac{1}{A_i} \int_{A_i} u dA_i \quad \text{とすると}$$

$$d_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} D_i(f) e^{i2\pi f t} df \quad \text{とおける}$$

$$\text{よって 右辺} = \sum_i^i \bar{A}_{ir} \int_{-\infty}^{\infty} D_i(f) e^{i2\pi f t} df \quad \dots\dots\dots (付-16)$$

左辺=右辺 及びに $\omega_r = 2\pi f_r$ より

$$[-(2\pi f)^2 + i \cdot 2\zeta_r \cdot 2\pi f \cdot 2\pi f_r + (2\pi f_r)^2] \Phi_r(f) = \sum_i^i \bar{A}_{ir} D_i(f) \quad (付-17)$$

$$\therefore \Phi_r(f) = \frac{\sum_i^i \bar{A}_{ir} D_i(f)}{4\pi^2(-f^2 + i2\zeta_r f f_r + f_r^2)} \quad \dots\dots\dots (付-18)$$

$$\begin{aligned} \therefore q(t) &= \sum_r^r \Omega_r \phi_r(t) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \sum_r^r \frac{\Omega_r \sum_i^i \bar{A}_{ir} D_i(f)}{4\pi^2(-f^2 + i2\zeta_r f f_r + f_r^2)} e^{i2\pi f t} df \quad \dots\dots\dots (付-19) \end{aligned}$$

式(付-12), (付-19)より

$$\begin{aligned} Q(f) &= \sum_r^r \frac{\Omega_r \sum_i^i \bar{A}_{ir} D_i(f)}{4\pi^2(-f^2 + i2\zeta_r f f_r + f_r^2)} \\ \therefore S_q(f) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} Q(f) Q^*(f) \right] \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left[\sum_r^r \frac{\Omega_r \sum_i^i \bar{A}_{ir} D_i(f)}{4\pi^2(-f^2 + i2\zeta_r f f_r + f_r^2)} \sum_s^s \frac{\Omega_s \sum_j^j \bar{A}_{js} D_j(f)}{4\pi^2(-f^2 - i2\zeta_s f f_s + f_s^2)} \right] \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left[\sum_r^r \sum_s^s \frac{\Omega_r \Omega_s}{16\pi^4(-f^2 + i2\zeta_r f f_r + f_r^2)(-f^2 - i2\zeta_s f f_s + f_s^2)} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \tilde{A}_{ir} \tilde{A}_{js} D_i(f) D_j(f) \Big\} \Big] \\
&= \sum_{r=1}^r \sum_{s=1}^s \left\{ \frac{\Omega_r \Omega_s (f_r^2 - f^2) - i 2 \zeta_r f f_r \{ (f_s^2 - f^2) + i 2 \zeta_s f f_s \}}{16 \pi^4 \{ (f_r^2 - f^2)^2 + 4 \zeta_r^2 f^2 f_r^2 \} \{ (f_s^2 - f^2)^2 + 4 \zeta_s^2 f^2 f_s^2 \}} \cdot \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \tilde{A}_{ir} \tilde{A}_{js} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} [D_i(f) D_j(f)] \right\} \\
&= \sum_{r=1}^r \sum_{s=1}^s \left\{ \frac{\Omega_r \Omega_s (1 - f^2/f_r^2 - i 2 \zeta_r f/f_r) (1 - f^2/f_s^2 + i 2 \zeta_s f/f_s)}{16 \pi^4 f_r^2 f_s^2 \{ (1 - f^2/f_r^2)^2 + 4 \zeta_r^2 f^2/f_r^2 \} \{ (1 - f^2/f_s^2)^2 + 4 \zeta_s^2 f^2/f_s^2 \}} \cdot \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \tilde{A}_{ir} \tilde{A}_{js} S_{pij}(f) \right\} \\
& \dots \dots \dots \quad (\text{付-20})
\end{aligned}$$

$$\text{ここで, } S_{pij}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} [D_i(f) D_j(f)] \quad \text{であり} \quad \dots \dots \dots (\text{付-21})$$

点 i, j に作用する抗力のクロススペクトルである。

振動系の減衰が小さく、各モードの振動数が十分離れていてスペクトル $S_q(f)$ 曲線の各頂点が卓越している時には、式(付-21)は次のように書ける。

$$\begin{aligned}
S_q(f) &= \sum_{r=1}^r \frac{\Omega_r}{4 \pi^2 (f_r^2 - f^2 + i 2 \zeta_r f f_r)} \sum_{s=1}^s \frac{\Omega_s}{4 \pi^2 (f_s^2 - f^2 - i 2 \zeta_s f f_s)} \cdot \\
& \quad \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \tilde{A}_{ir} \tilde{A}_{js} D_i(f) D_j(f) \quad \dots \dots \dots (\text{付-22})
\end{aligned}$$

$i 2 \zeta_r f f_r, i 2 \zeta_s f f_s$ を無視すると $f \div f_r$ 又は $f \div f_s$ のときのみ

$$\begin{aligned}
& \frac{\Omega_{r \text{ or } s}}{4 \pi^2 (f_{r \text{ or } s}^2 - f^2 + i 2 \zeta_{r \text{ or } s} f f_{r \text{ or } s})} \text{ が卓越するから} \\
S_q(f) &= \sum_{r=1}^r \frac{\Omega_r^2}{16 \pi^4 (f_r^2 - f^2 + i 2 \zeta_r f f_r) (f_r^2 - f^2 - i 2 \zeta_r f f_r)} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \tilde{A}_{ir} \tilde{A}_{js} D_i(f) D_j(f)
\end{aligned}$$

と書ける。

$$\text{ゆえに, } S_q(f) = \sum_{r=1}^r \frac{(\Omega_r)^2}{16 \pi^4} \frac{1}{\{ (f_r^2 - f^2)^2 + 4 \zeta_r^2 f^2 f_r^2 \}} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \tilde{A}_{ir} \tilde{A}_{js} S_{pij}(f) \quad \dots \dots (\text{付-23})$$

節点 h, g に作用する抗力のクロススペクトルは、近似的に次のように与えられる。

$$S_{Phg}(f) = \frac{2 \bar{P}_h}{U_h} \frac{2 \bar{P}_g}{U_g} |\chi_{hg}(f)|^2 \cdot |J_{hg}(f)|^2 \cdot S_u(f) \quad \dots \dots \dots (\text{付-24})$$

$S_u(f)$: 風速のパワースペクトル

クロススペクトル $S_{Phg}(f)$ に含まれる空力アドミッタンス $|\chi_{hg}(f)|^2$ は近似的に次のように表わした。

$$|\chi_{hg}(f)|^2 = \{ |\chi_h(f)|^2 |\chi_g(f)|^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (\text{付-25})$$

ここに $|\chi_h(f)|^2, |\chi_g(f)|^2$ は節点 h, g にそれぞれ作用する抗力の空力アドミッタンスであり、桁において式は(付-26)、ケーブルにおいては式(付-27)で与えた。

$$|\chi_s(f)|^2 = \frac{2}{(k_2 \xi_s)^2} (k_2 \xi_s - 1 + e^{-k_2 \xi_s}) \quad \dots\dots\dots (\text{付-26})$$

$$\xi_s = \frac{f \cdot D}{U_h}, \quad D: \text{桁高}$$

k_2 : 変動風速 u における風向直角鉛直方向の空間相関を表わす係数

$$|\chi_c(f)|^2 = 1 \quad \dots\dots\dots (\text{付-27})$$

桁の空力アドミッタンスを表わす式(付-26)は、桁高方向の空間相関を考えたものであり、ケーブルにおいては断面寸法が小さいことを考慮して1としたものである。

式(付-24)の $|J_{hg}(f)|^2$ は、ジョイントアクセプタンスに相当するものであり、橋軸方向の空力アドミッタンスを意味している。

$$|J_{hg}(f)|^2 = \frac{1}{L_h L_g} \int_{L_h} \int_{L_g} \exp \left[-\frac{f}{U_{hg}} (k_1 d_x + k_2 d_z) \right] d\ell_h \cdot d\ell_g$$

$$= \begin{cases} \frac{2}{\gamma_h^2} (\gamma_h - 1 + e^{-\gamma_h}) & (h = g \text{ のとき}) \quad \dots\dots\dots (\text{付-28}) \\ \gamma_{hg} \frac{2}{\gamma_h^2} (\gamma_h - 1 + e^{-\gamma_h}) & (h \neq g) \quad \dots\dots\dots (\text{付-29}) \\ \gamma_{hg} \frac{2 \sinh \gamma_h / 2}{\gamma_h} \frac{2 \sinh \gamma_g / 2}{\gamma_g} & (h \neq g) \quad \dots\dots\dots (\text{付-30}) \end{cases}$$

$$\gamma_h = \frac{f \cdot L_h k_1}{U_h}, \quad \gamma_g = \frac{f \cdot L_g k_1}{U_g}$$

$$\gamma_{hg} = \exp \left[\frac{-f}{U_{hg}} (k_1 d_{x_{hg}} + k_2 d_{z_{hg}}) \right]$$

$$U_{hg} = \frac{U_h + U_g}{2}$$

$d_{x_{hg}}$: 節点 h, g の x 方向(橋軸方向)距離

$d_{z_{hg}}$: 節点 h, g の z 方向(鉛直方向)距離

式(付-28)～(付-30)は、計算を簡略にするためにケーブルの形状を水平(付図-1の点線)として求めた式である。また、式(付-29)は、節点 f と i (付図-1)のように部材長 L のそれぞれの x 軸への投影が重なる場合であり、式(付-30)は、節点 h と g または h と i (付図-1)のように部材長 L のそれぞれの x 軸への投影が重ならない場合である。

次に、今までに求めた規準座標の平均応答式(付-7)、応答値 q 式(付-12.)および応答値 q の変動成分のパワースペクトル式(付-23)を用いて応答値 q のガスト応答倍率 G_q を求める。

着目量 q の平均応答値 $\bar{q}$:

$$\bar{q} = \{ \Omega \}^T [\omega^2]^{-1} [A]^T \{ \bar{P} \} \quad \dots\dots\dots (付-31)$$

着目量 q の変動成分の分散 σ_q^2

$$\sigma_q^2 = \int_0^\infty S_q(f) df \quad \dots\dots\dots (付-32)$$

着目量 q の最大値の期待値 $E[q_{\max}]$:

$$E[q_{\max}] = \bar{q} + g \cdot \sigma_q \quad \dots\dots\dots (付-33)$$

$$g \doteq \sqrt{2 \ell n(n_o T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ell n(n_o T)}} \quad \dots\dots\dots (付-34)$$

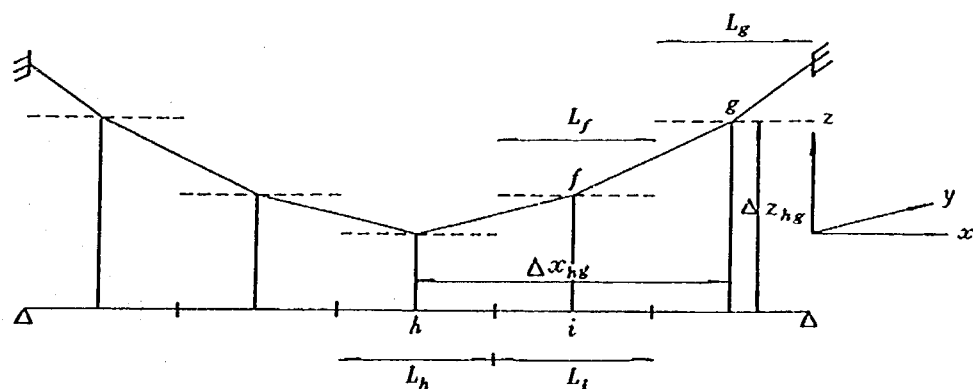
$$n_o = \sqrt{\frac{\int_0^\infty f^2 S_q(f) df}{\int_0^\infty S_q(f) df}} \quad \dots\dots\dots (付-35)$$

応答値 q のガスト応答倍率 G_q は次のようになる。

$$G_q = \sqrt{\frac{E[q_{\max}]}{\bar{q}}} = \sqrt{1 + g \sigma_q / \bar{q}} \quad \dots\dots\dots (付-36)$$

この G_q は風速修正係数の次元になっており、設計基準における ν_2 、 ν_4 とは式 (付-37) で対応がついている。

$$G_q = \nu_2 \sqrt{\nu_4} \quad \dots\dots\dots (付-37)$$



(付図-1)

4. ま と め

本年度の調査成果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 本年度得られた強風時のデータを解析し、資料の蓄積を行った。
- (2) 過去のデータの中から、強風のデータを4ケース選択し、評価時間による水平たわみガスト応答値の変動を調べ、現在使用されている評価時間の妥当性を検討するとともに、解析方法の検討を行った。現在の解析方法では、実橋での挙動と比較すると、50%程度、過大に評価されること、評価時間は、900秒でも、なお、ガスト応答 G は収束しないことが判明した。

5. お わ り に

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、下関管理事務所の方々には、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. 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
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2），土木研究所資料№1128，昭和51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3），土木研究所資料№1214，昭和52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4），土木研究所資料№1347，昭和53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5），土木研究所資料№1470，昭和54年1月
6. 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6），土木研究所資料№1546，昭和55年1月
7. 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7），土木研究所資料№1637，昭和56年3月
8. 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8），土木研究所資料№1781，昭和57年2月
9. たとえば，岡内 功，伊藤 学，宮田利雄：耐風構造，第2章，丸善株式会社，昭和52年4月
10. 本州四国連絡橋公団：耐風設計基準・同解説，昭和51年3月

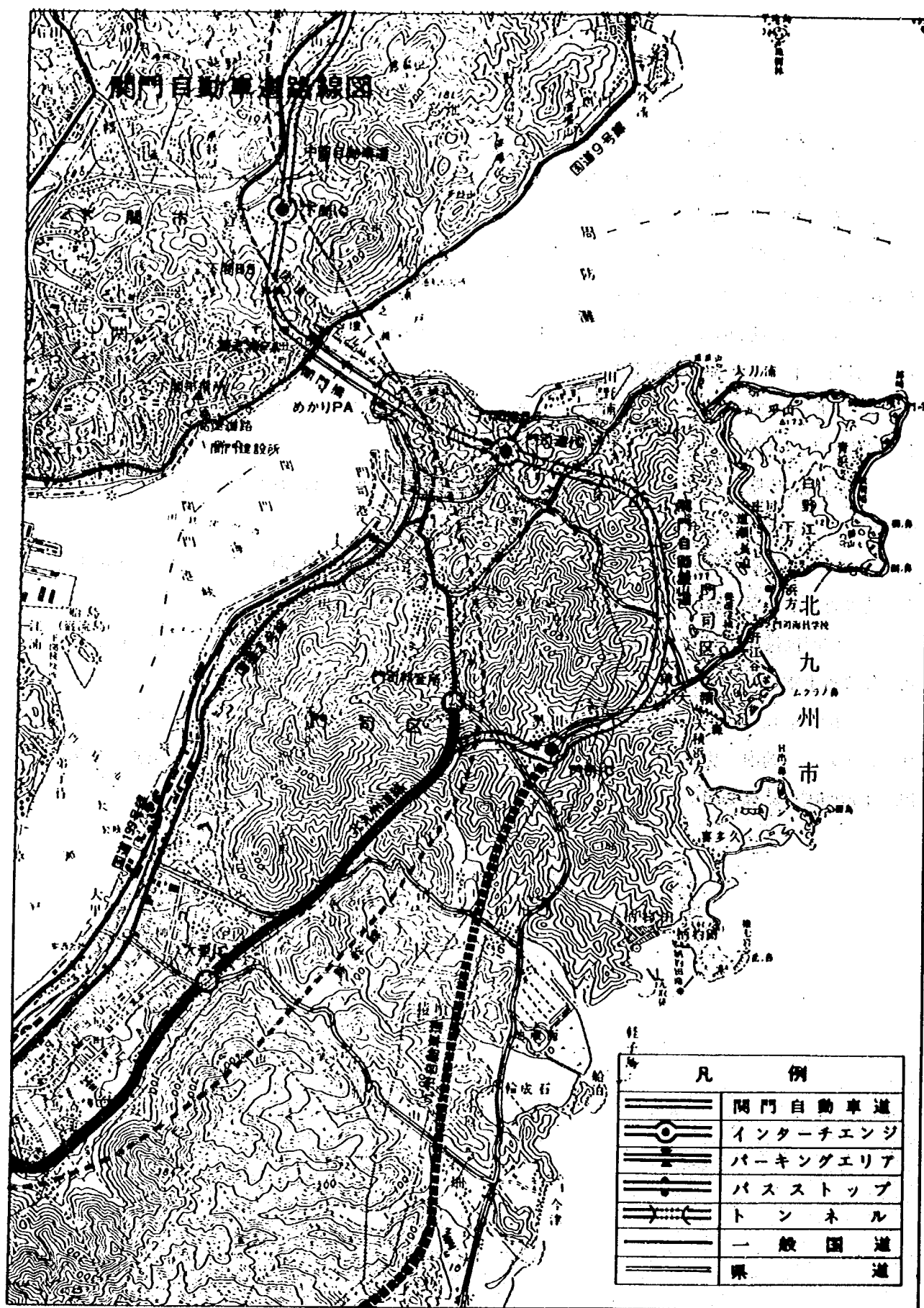


図-1 関門橋位置図

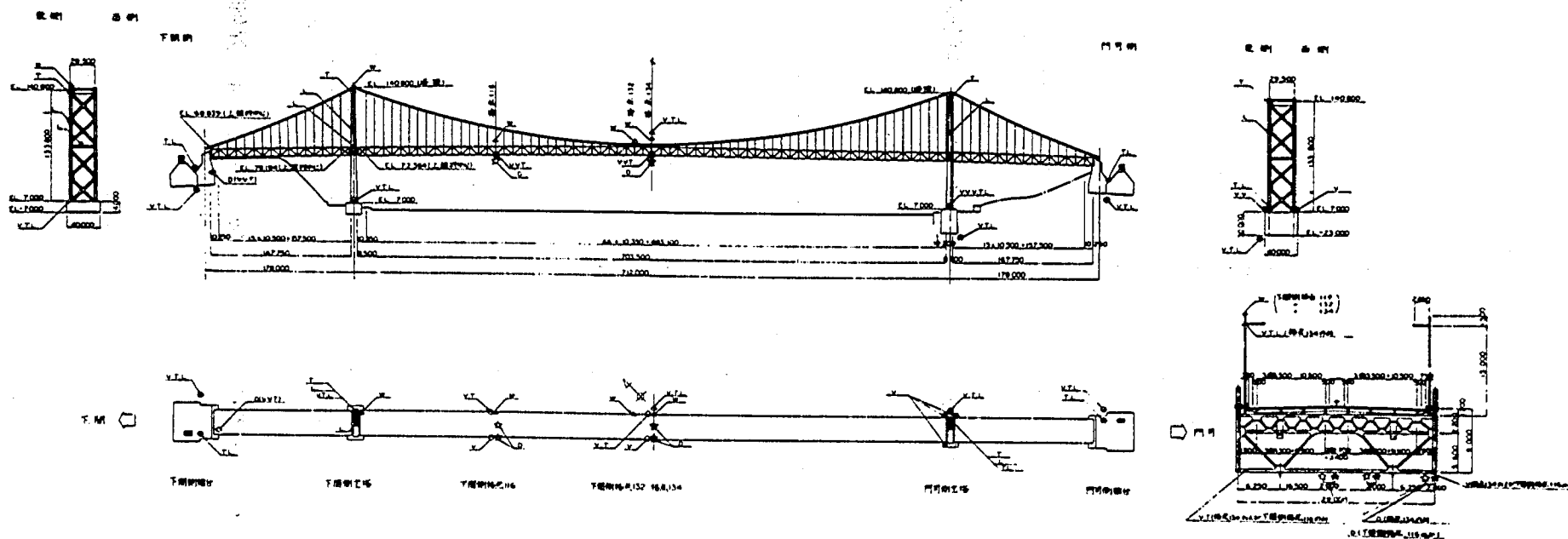


圖-2 觀測機器配置圖

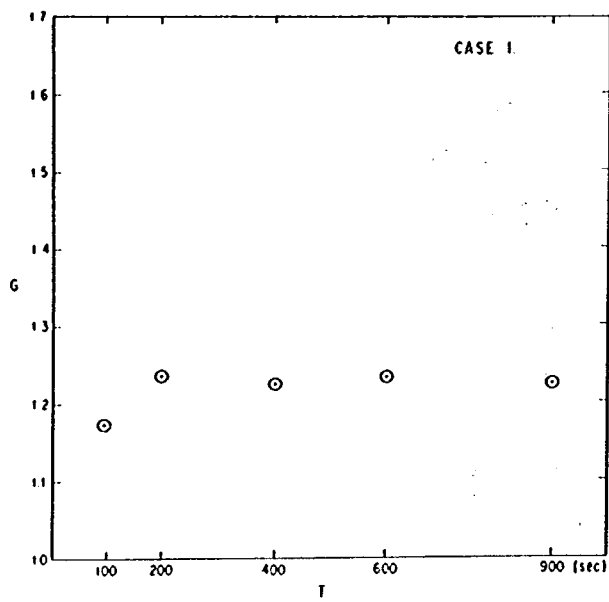


図-3-1-1 評価時間～ガスト応答G

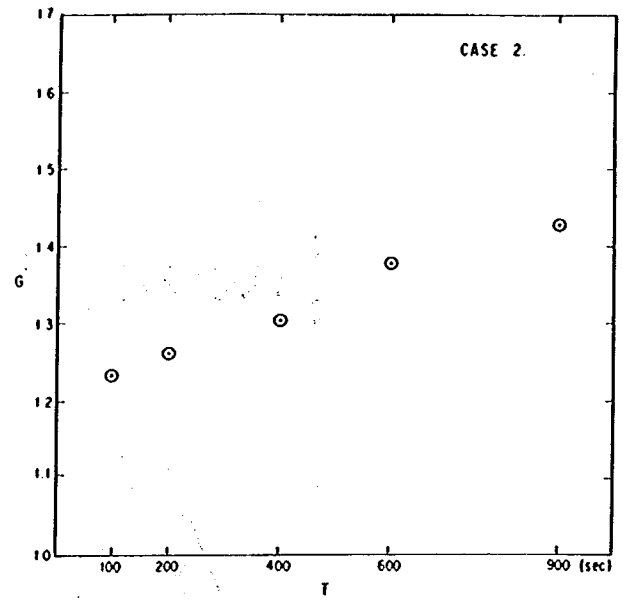


図-3-1-3 評価時間～ガスト応答G

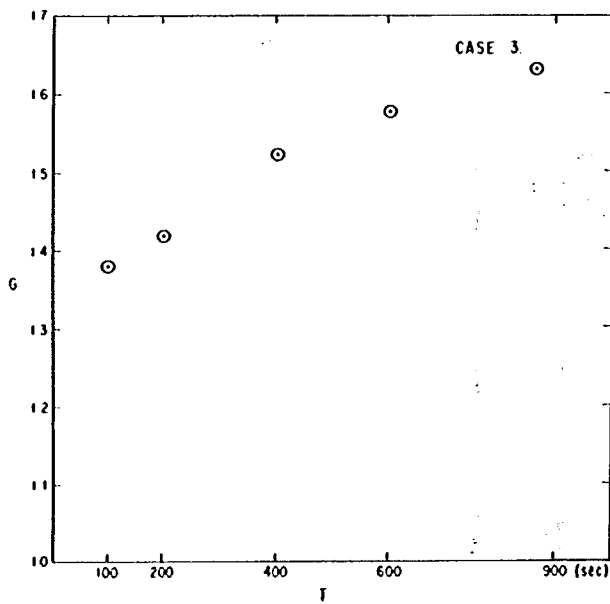


図-3-1-2 評価時間～ガスト応答G

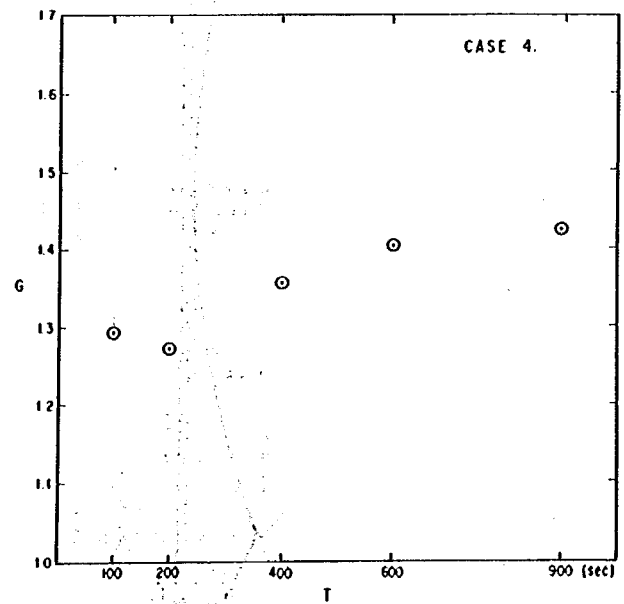


図-3-1-4 評価時間～ガスト応答G

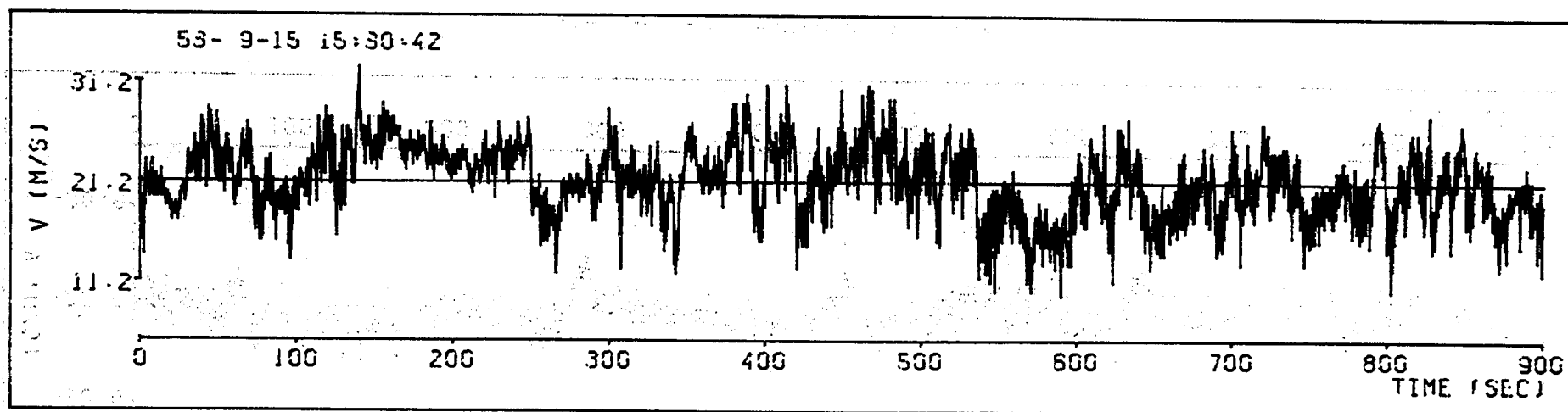


図-3-2-1 使用風速データ(ケース4)

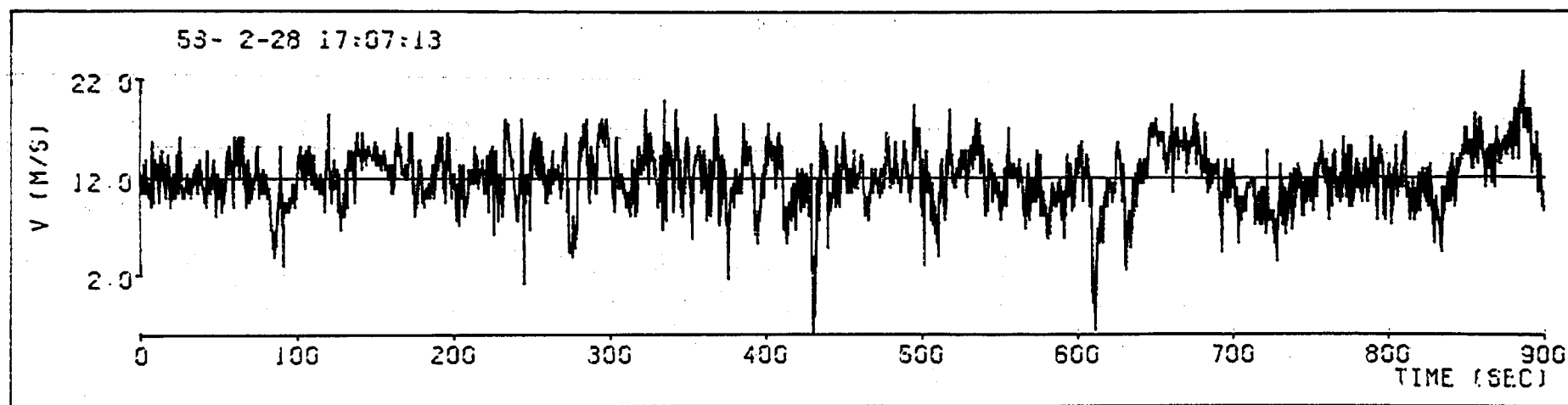


図-3-2-2 使用風速データ(ケース3)

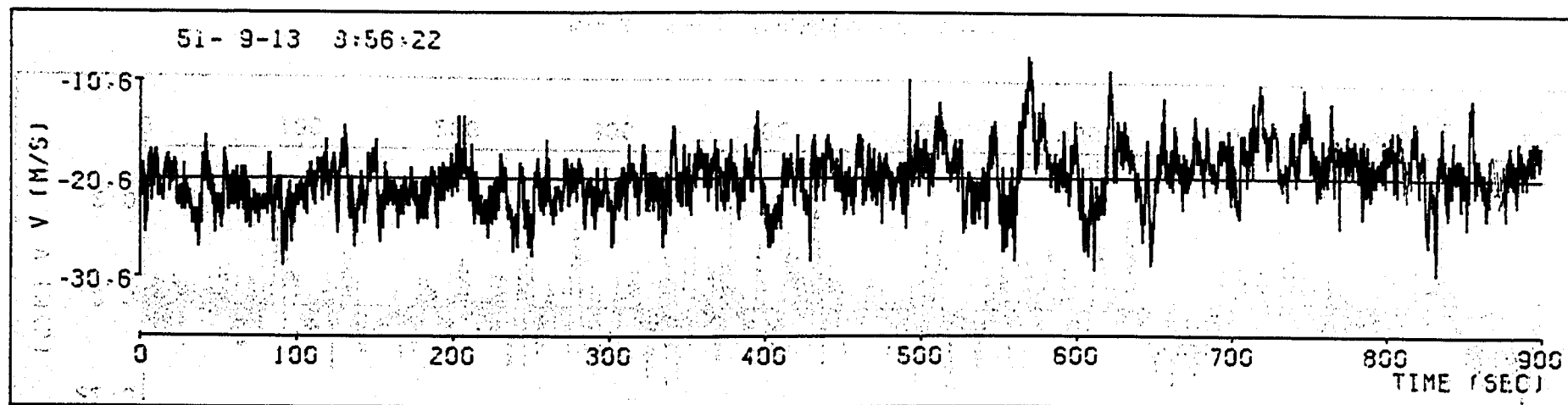


図-3-2-3 使用風速データ(ケース2)

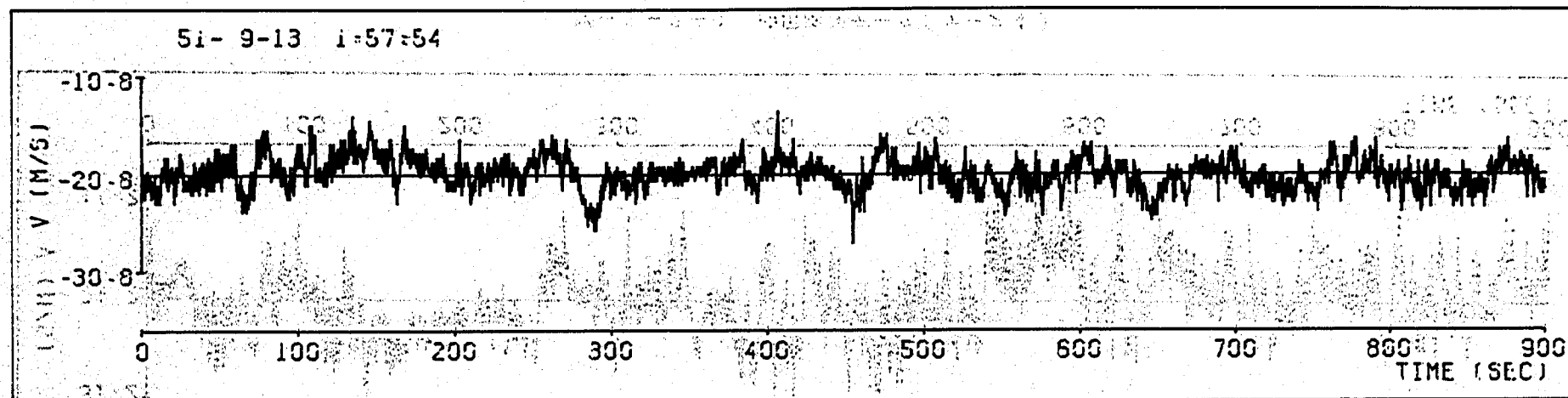


図-3-2-4 使用風速データ(ケース1)

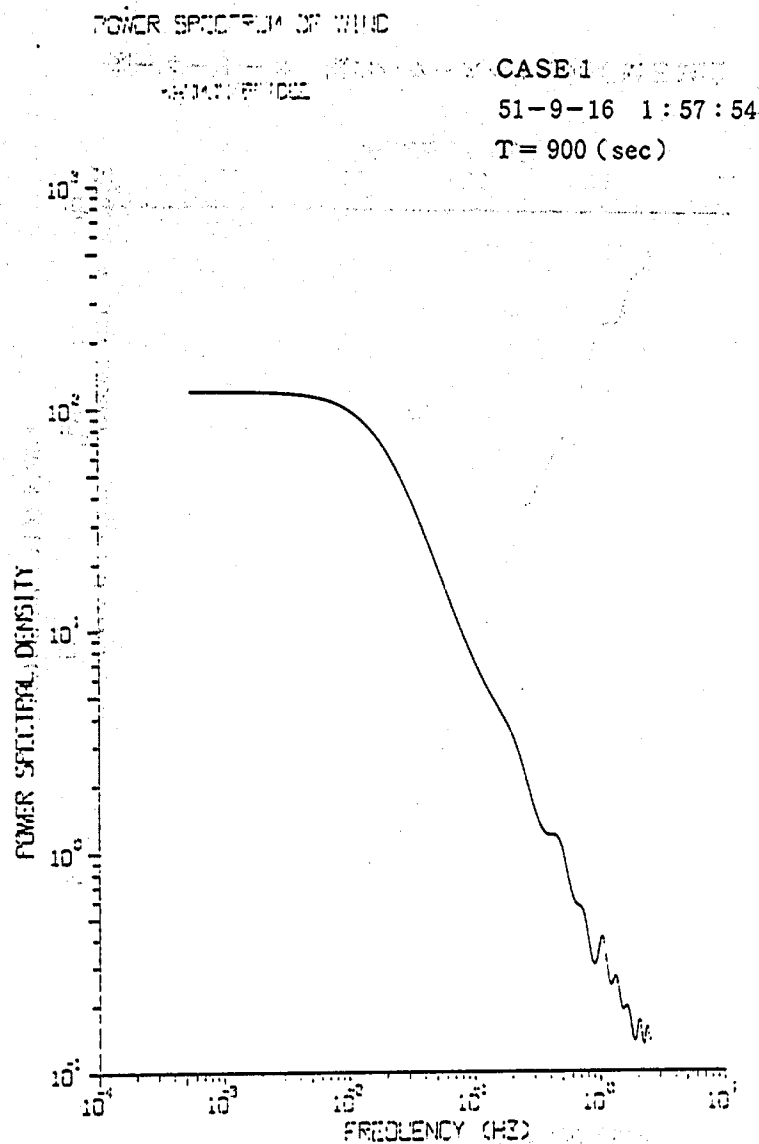


図-4-1-1 風のパワースペクトル(MEM法)

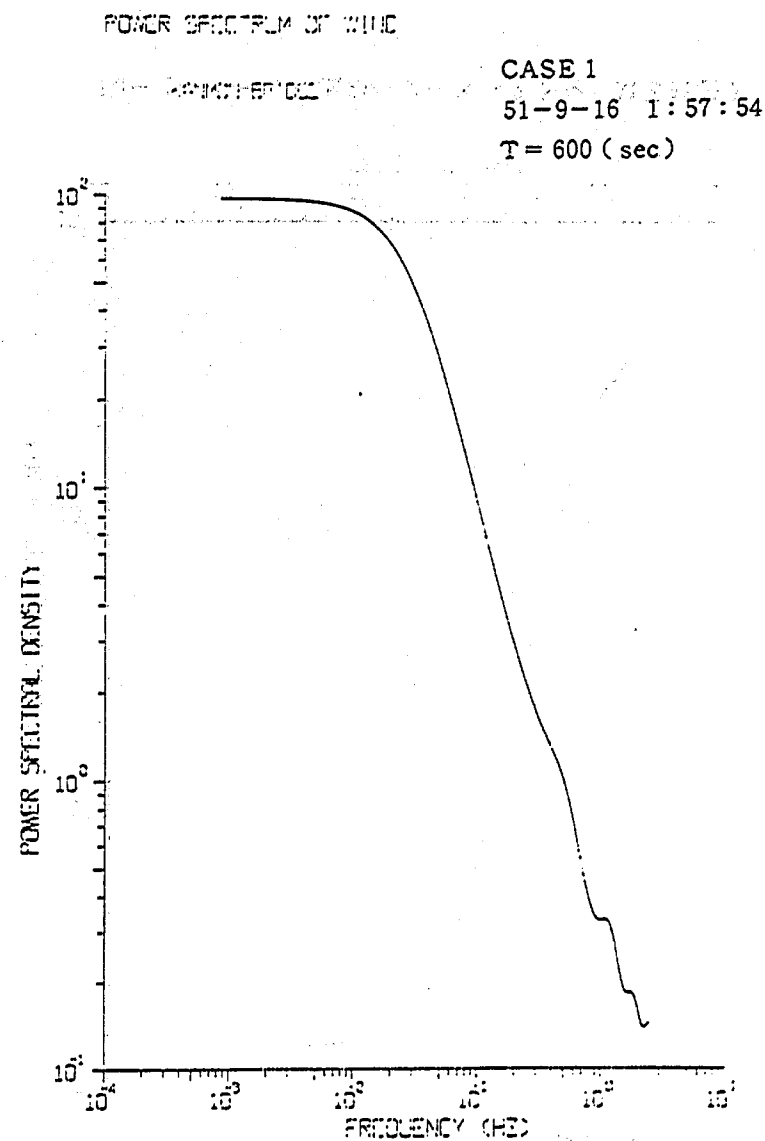


図-4-1-2 風のパワースペクトル(MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

CASE 1

51-9-16 1:57:54

T = 400 (sec)

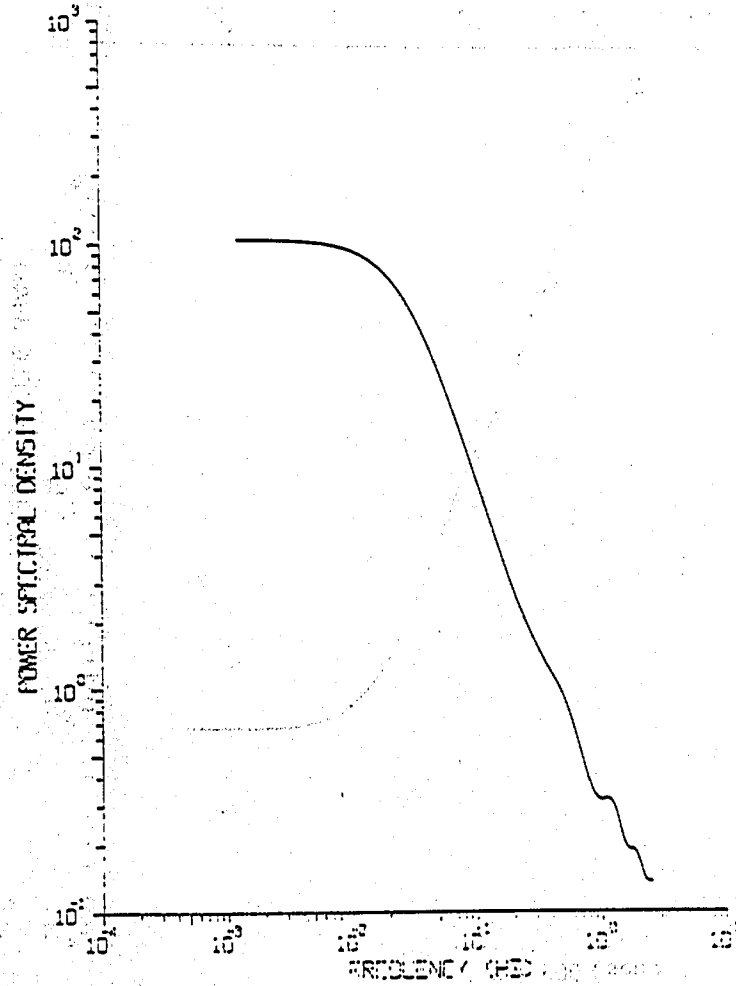


図-4-1-3 風のパワースペクトル(MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

CASE 1

51-9-16 1:57:54

T = 200 (sec)

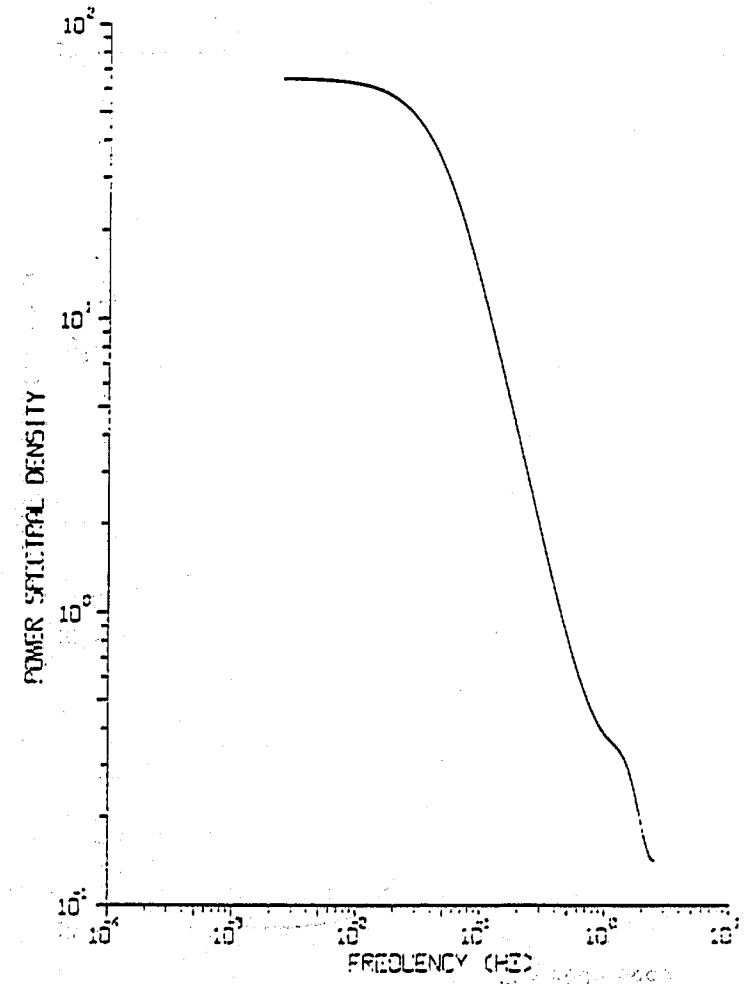


図-4-1-4 風のパワースペクトル(MEM法)

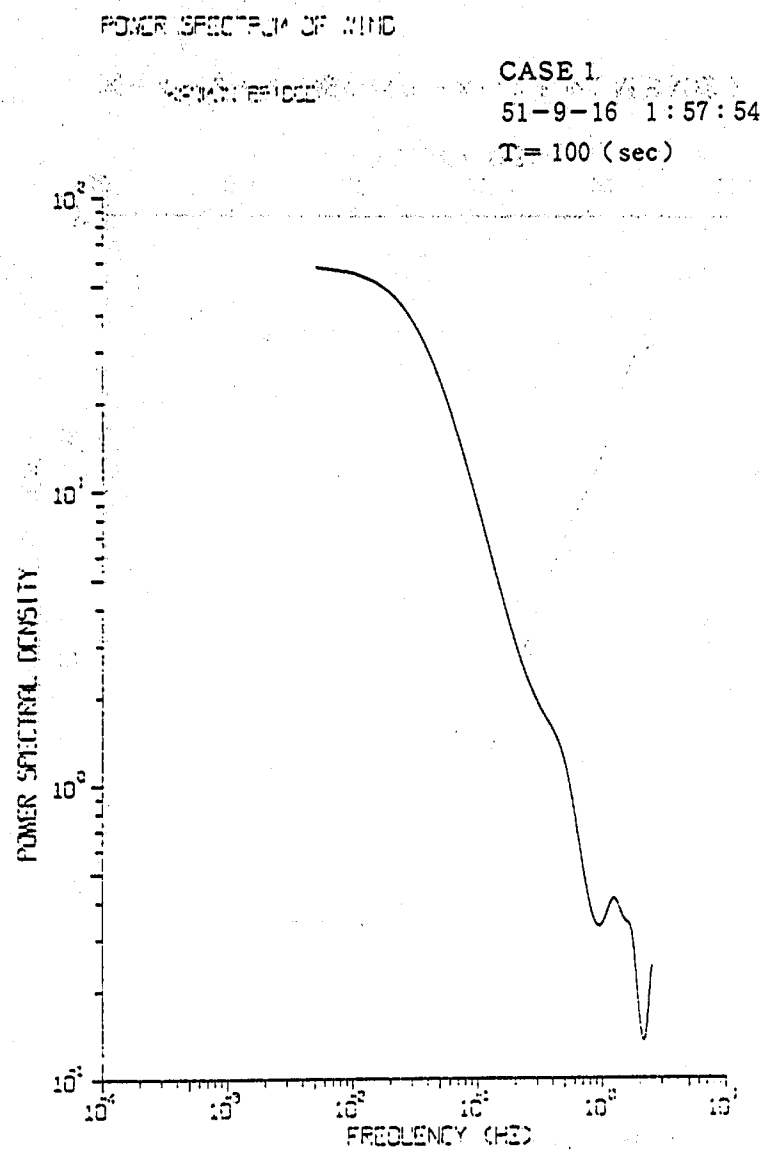


図-4-1-5 風のパワースペクトル(MEM法)

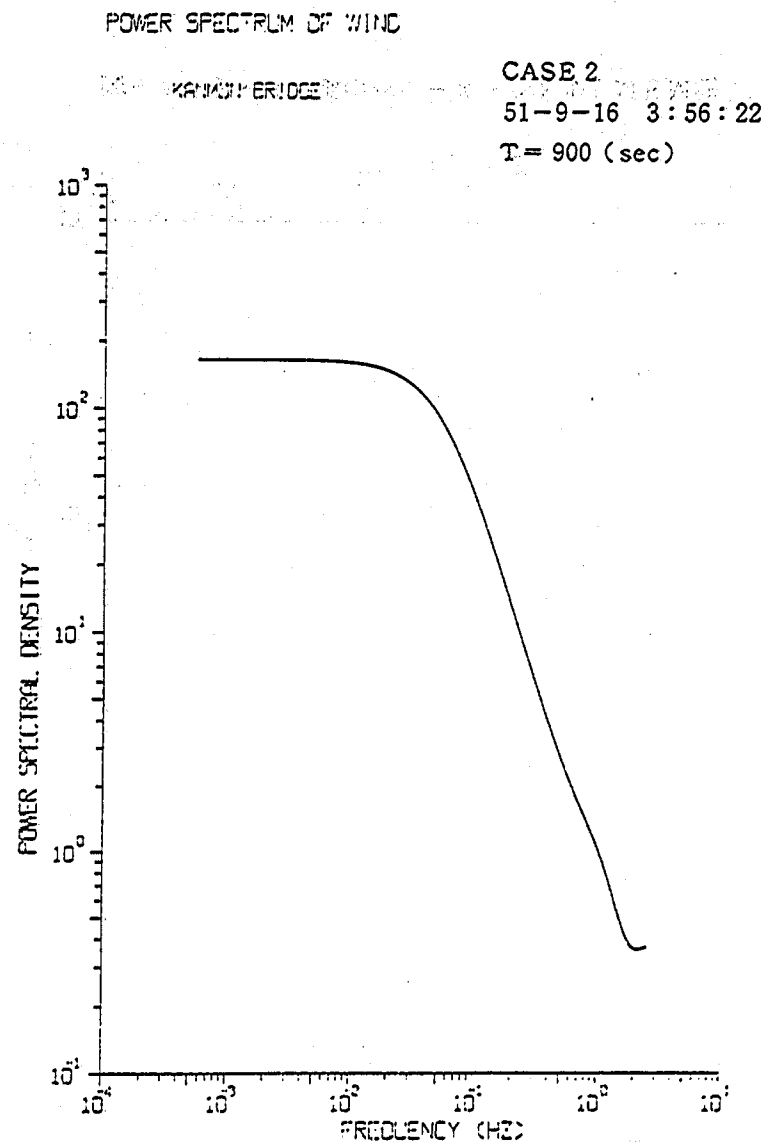


図-4-2-1 風のパワースペクトル(MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

KANAKI BRIDGE

CASE 2

51-9-16 3:56:22

T = 600 (sec)

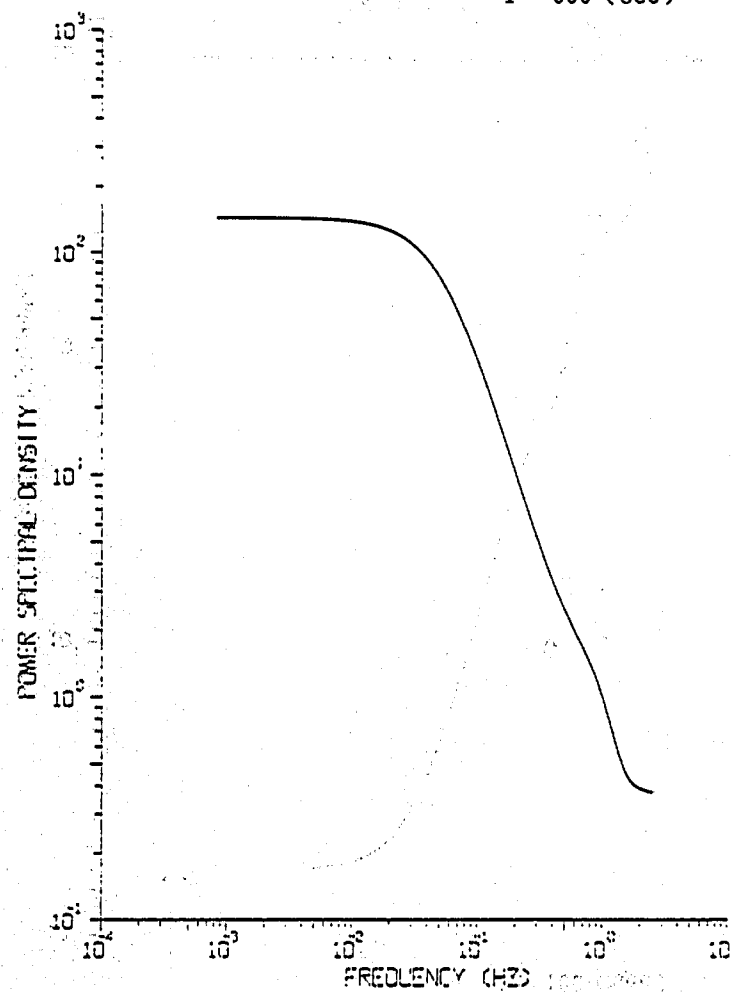


図-4-2-2 風のパワースペクトル (MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

KANAKI BRIDGE

CASE 2

51-9-16 3:56:22

T = 400 (sec)

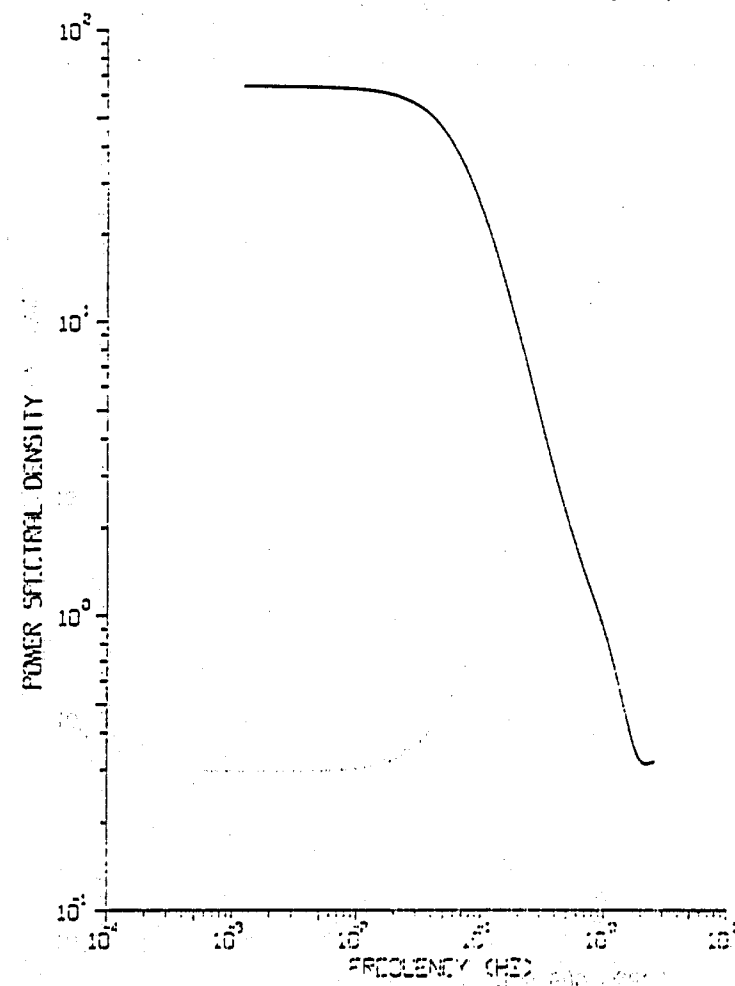


図-4-2-3 風のパワースペクトル (MEM法)

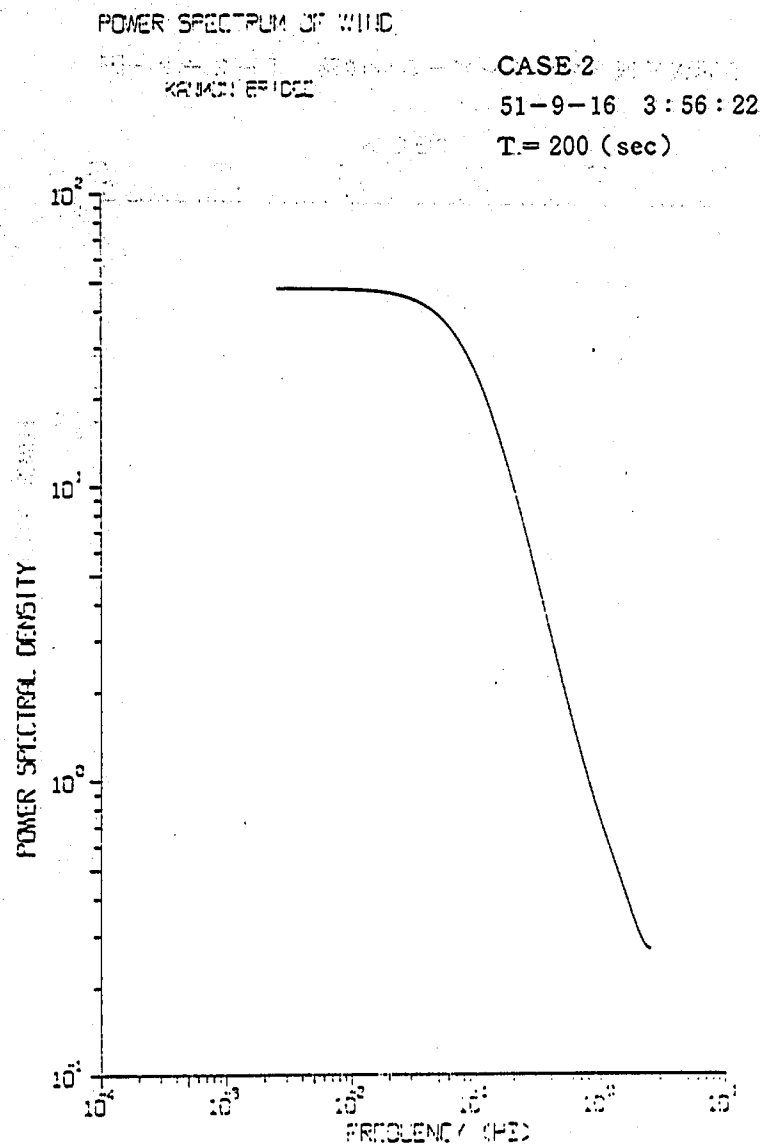


図-4-2-4 風のパワースペクトル (MEM法)

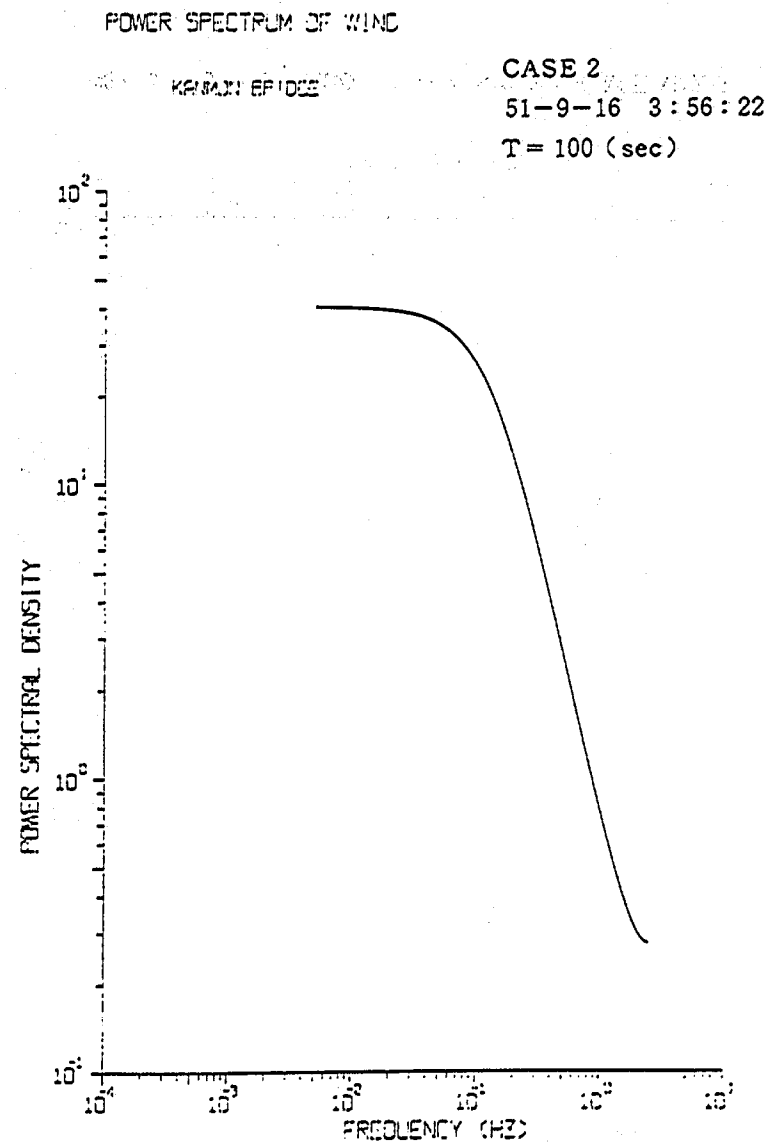


図-4-2-5 風のパワースペクトル (MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

REMARKS

CASE 3

53-2-26 17:07:13

T = 900 (sec)

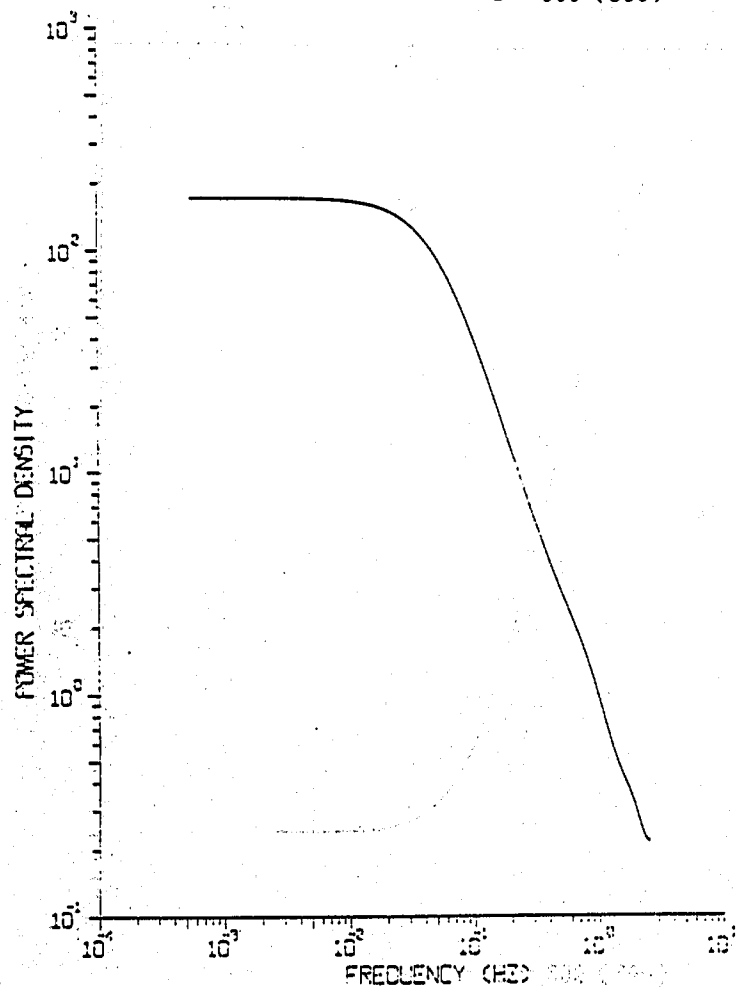


図-4-3-1 風のパワースペクトル(MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

REMARKS

CASE 3

53-2-26 17:07:13

T = 600 (sec)

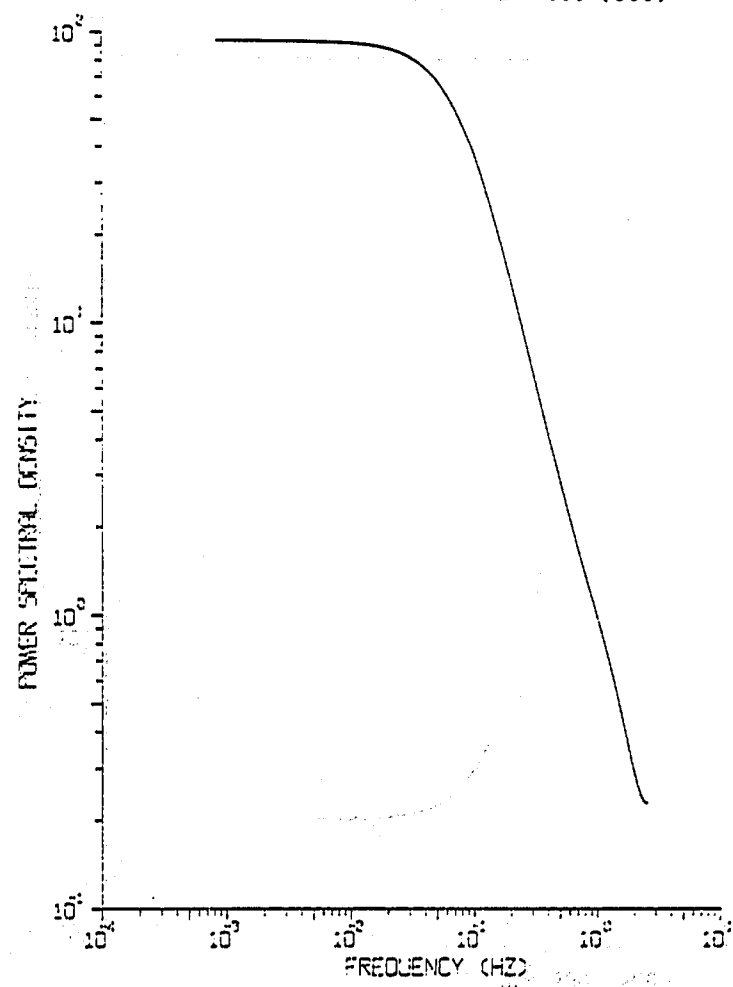


図-4-3-2 風のパワースペクトル(MEM法)

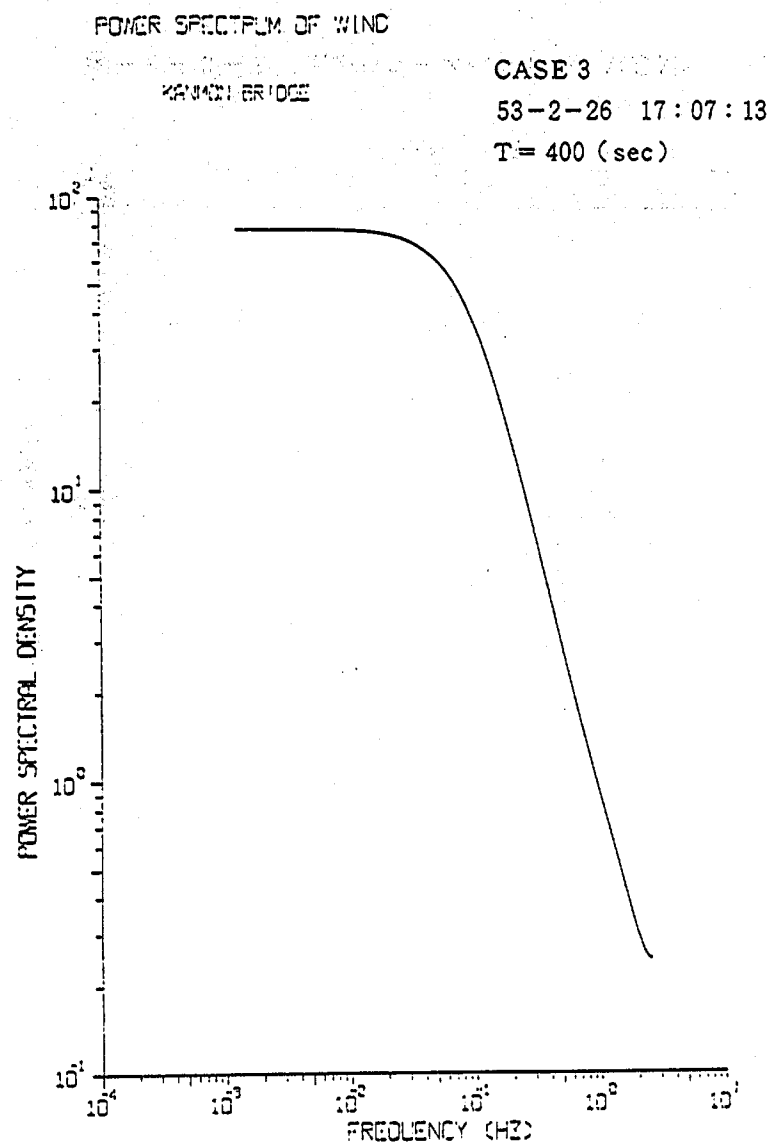


図-4-3-3 風のパワースペクトル(MEM法)

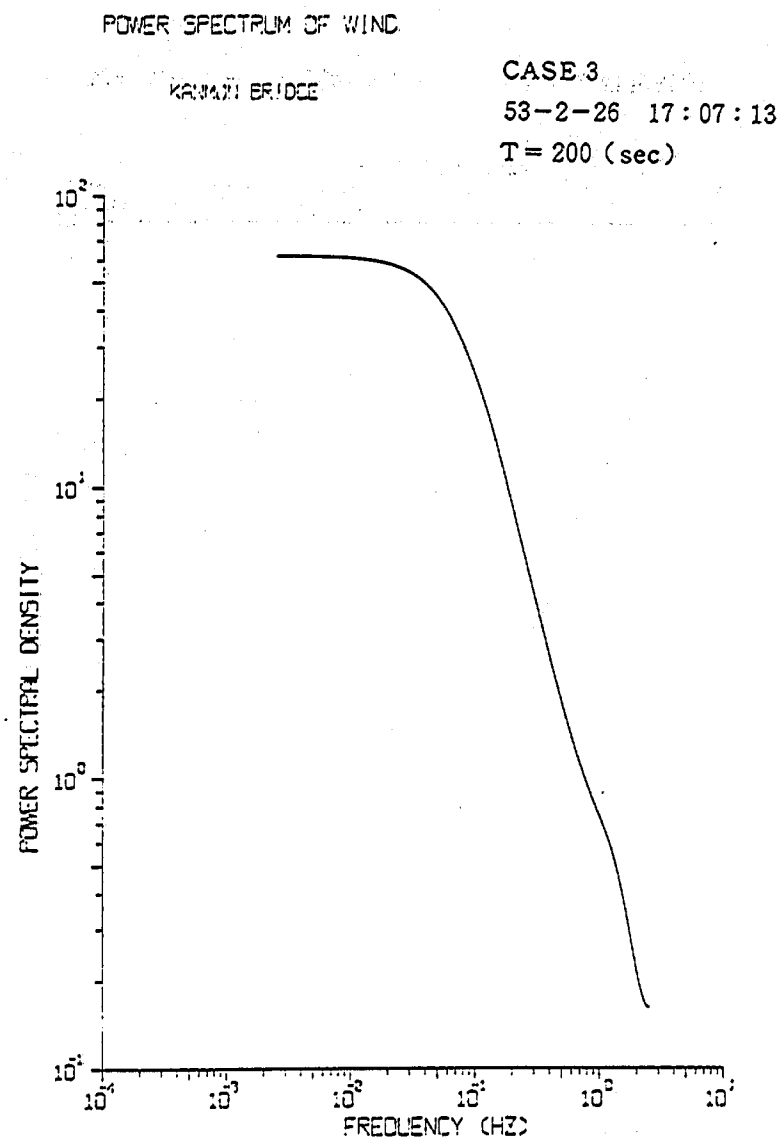


図-4-3-4 風のパワースペクトル(MEM法)

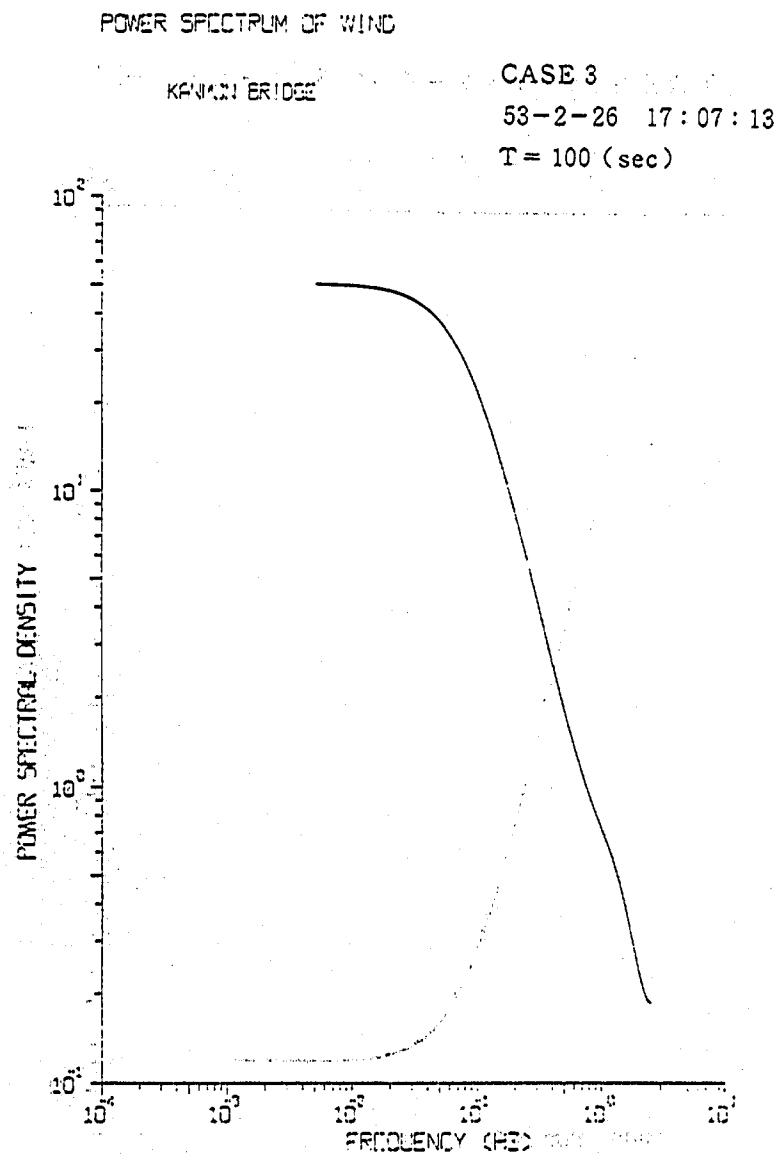


図-4-3-5 風のパワースペクトル(MEM法)

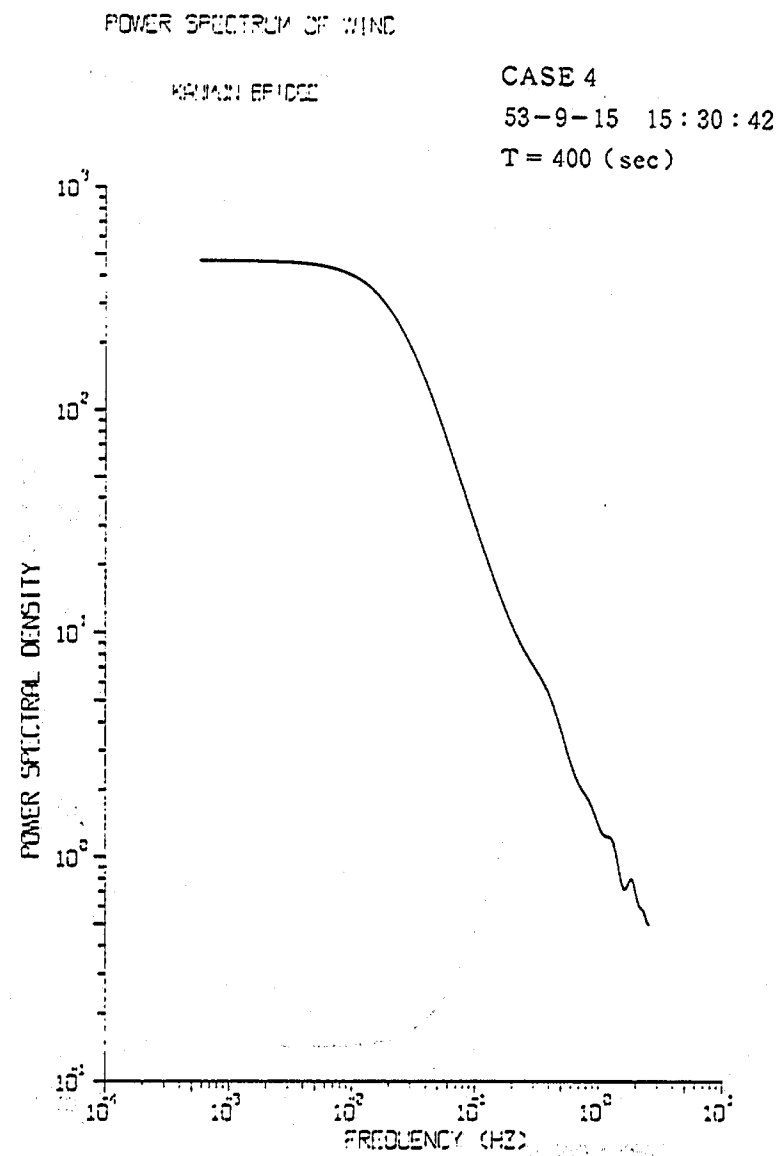


図-4-4-1 風のパワースペクトル(MEM法)

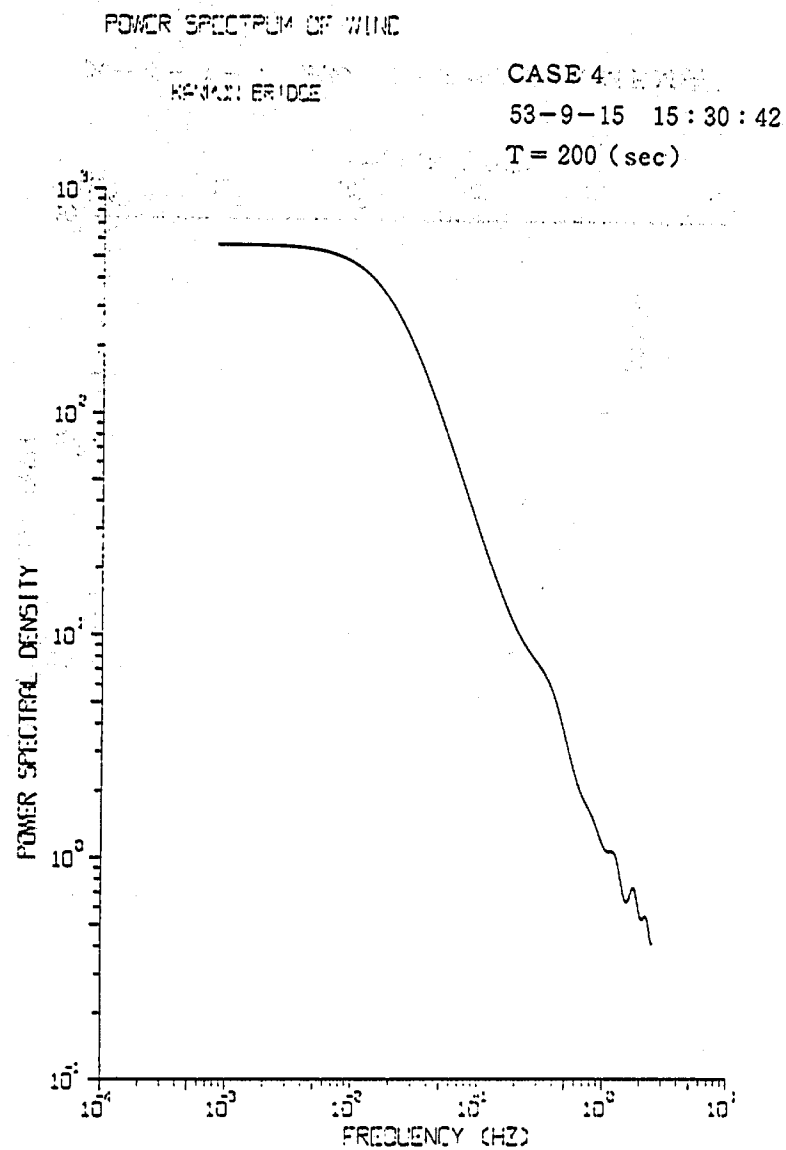


図-4-4-2 風のパワースペクトル(MEM法)

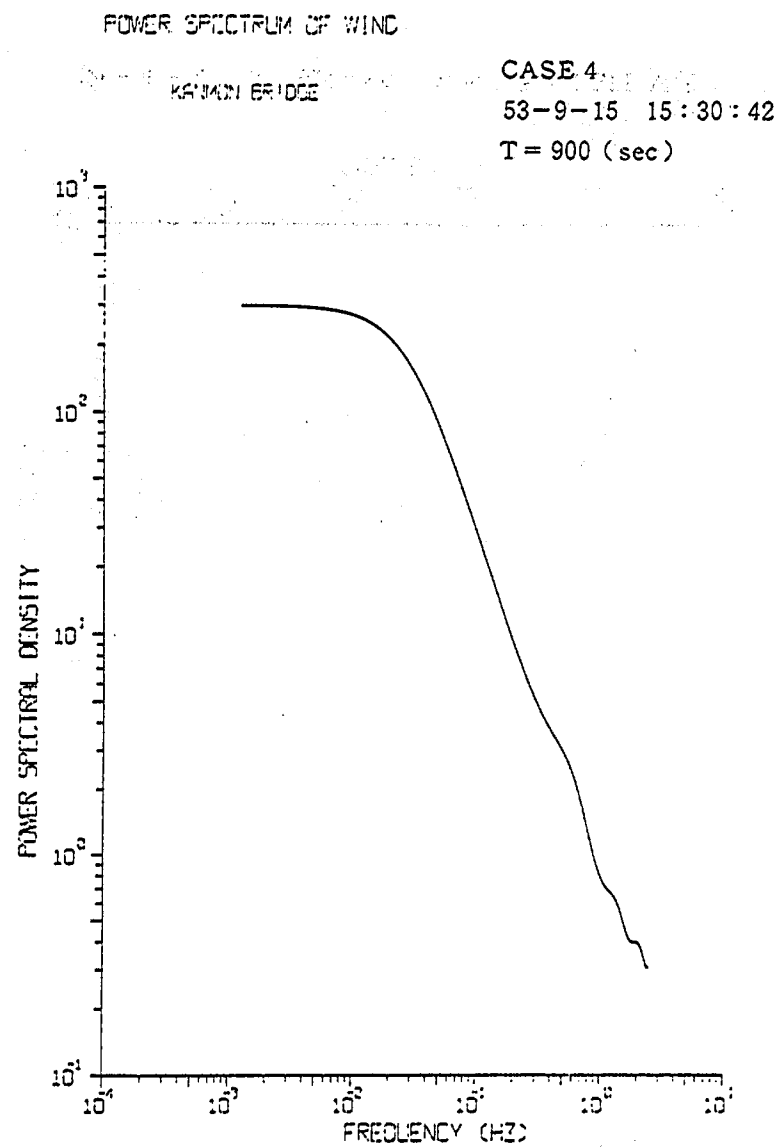


図-4-4-3 風のパワースペクトル(MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

KANMON BRIDGE

CASE 4

53-9-15 15:30:42

T = 600 (sec)

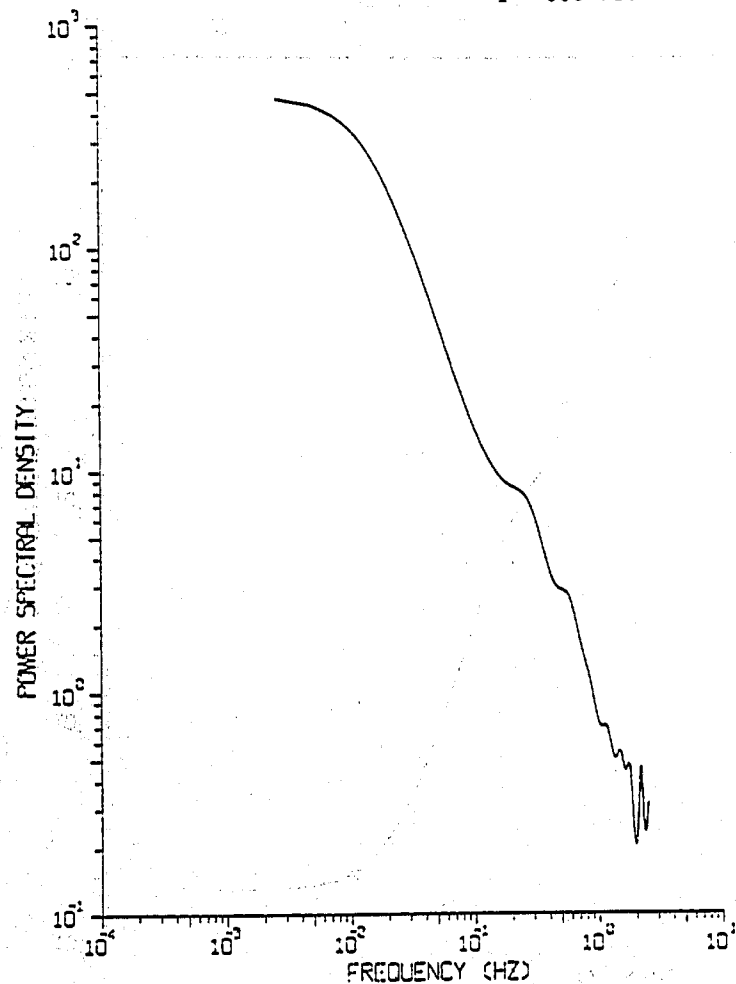


図-4-4-4 風のパワースペクトル(MEM法)

POWER SPECTRUM OF WIND

KANMON BRIDGE

CASE 4

53-9-15 15:30:42

T = 100 (sec)

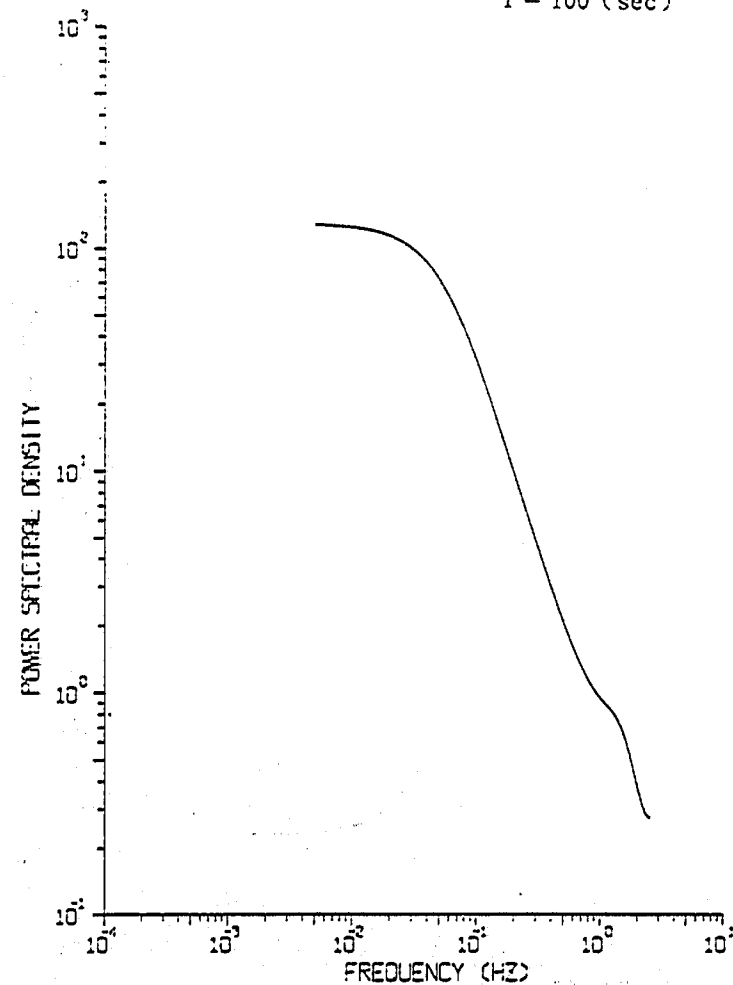


図-4-4-5 風のパワースペクトル(MEM法)

表-1-1 観測項目、観測計器、観測範囲等

観測項目	測定場所	最測定範囲	観測計器	数量	成分数		毎秒当り A/D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 風 速 計	1	2	2	25
		風 向 540°					

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-1-2 観測機器配置図

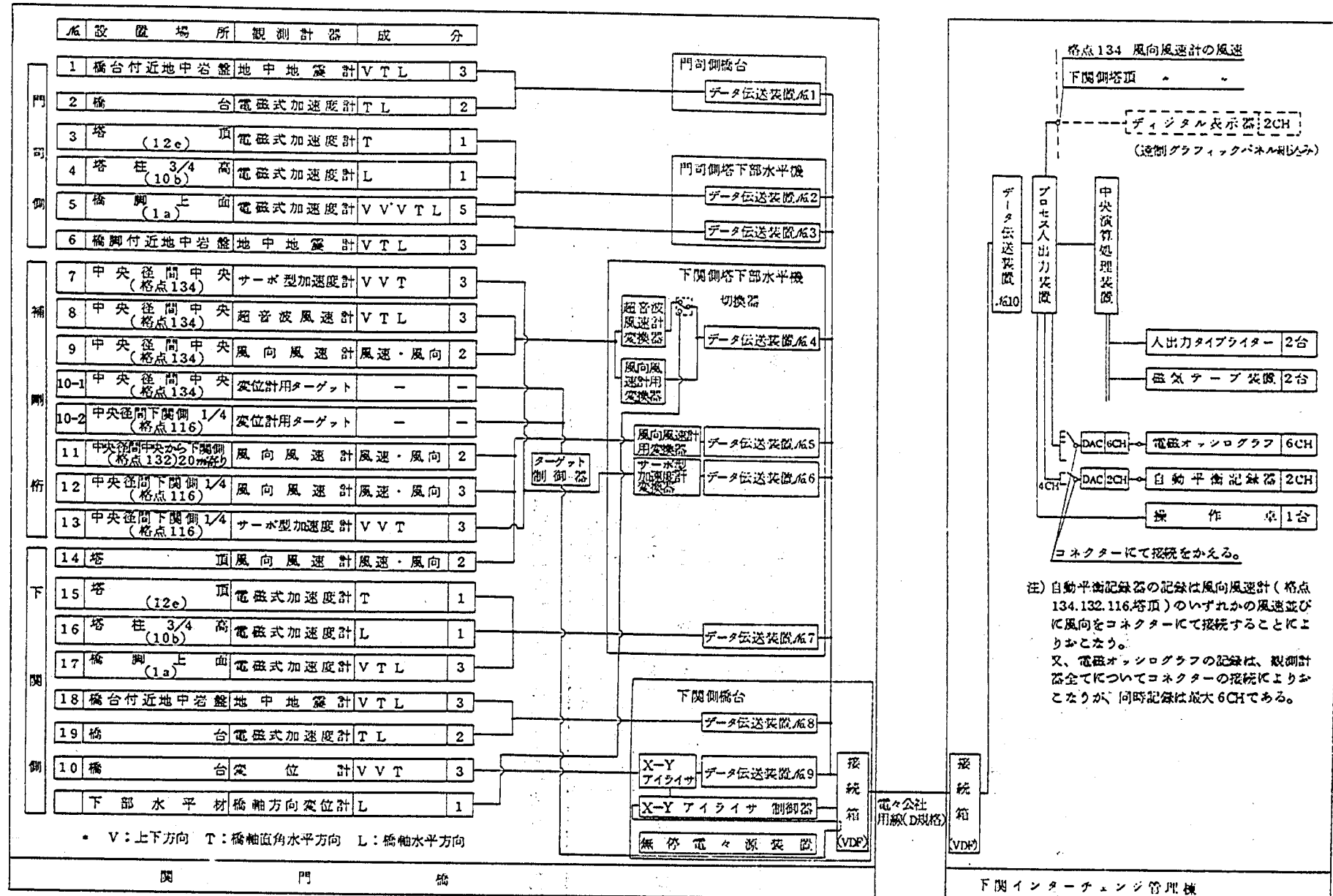
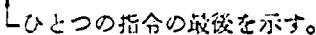


表-1-3 強風指令に記録するデータ (40 m sec 分)

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 3/4 高	M	L	3		
		"	"	4		
	下 関 側 塔 頂	M	T	5		
		"	"	6		
	下 関 側 塔 柱 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 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 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

-36-



0	5	6	7	8	15
同期みだれ		P A R I T Y	R A N G E	テ - タ	

表 - 2 今年度収録されたデータ

MT No	Date		Note
89	57-2-16	9:17:53	チェックデータ
90			読取不能
91	57-7-30	15:55:04	チェックデータ
92	57-8-27	1:44:51	
93	58-2-18	1:50:09	
94	58-2-18	9:25:13	
95	58-2-18	11:56:38	

表 3 - 1 解析ケースと平均風速

解析時間 (秒)	平均風速 (m/s)				
	100	200	400	600	900
ケース 1 (S51-9-13 1:57)	20.89	20.11	20.46	20.61	20.81
ケース 2 (S51-9-13 3:56)	22.09	21.84	21.62	21.12	20.60
ケース 3 (S53-2-28 17:07)	11.41	12.11	12.20	11.99	12.04
ケース 4 (S53-9-15 15:30)	21.16	22.55	22.13	21.69	21.16

表 - 3 - 2 解 析 結 果

Data Number		1					2					3					4				
Date		1976-9-13 1:57:54					1976-9-13 3:56:22					1978-2-28 17:07:13					1978-9-15 15:30:40				
T (sec)		100 200 400 600 900					100 200 400 600 900					100 200 400 600 900					100 200 400 600 900				
σ_g (cm)	Andysis	6.7	7.7	7.1	7.1	6.6	10.2	10.1	10.7	12.6	13.2	4.7	5.3	6.4	6.7	7.2	12.2	11.8	13.7	14.6	14.0
	Prototype	3.5	4.3	4.3	4.4	4.4	6.3	6.6	6.9	7.4	8.2	3.3	3.5	4.0	4.1	4.2	9.1	9.0	8.3	9.2	8.5
g		2.28 2.57 2.80 2.94 3.06					2.32 2.59 2.84 2.97 3.10					2.32 2.59 2.85 2.99 3.11					2.30 2.49 2.80 2.92 3.06				
G		1.17 1.24 1.23 1.24 1.23					1.23 1.26 1.30 1.38 1.43					1.38 1.42 1.52 1.58 1.63					1.29 1.27 1.36 1.41 1.42				
$\bar{U}$ (m/s)		20.9 20.1 20.5 20.6 20.8					22.1 21.8 21.6 21.1 20.6					11.4 12.1 12.2 12.0 12.0					21.2 22.6 22.1 21.7 21.2				
$\bar{g}$ (cm)		40.6 37.6 39.0 39.3 40.3					45.4 44.4 43.5 41.5 39.5					12.1 13.7 13.9 13.4 13.5					41.7 47.3 45.6 43.8 41.7				

表-4-1 風の測定結果

日 時		中央径間 1/2		1/2より20m下間より		中央径間 1/4		下間側塔頂		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	横軸 直角方向	横軸方向	傾斜角	
57- 8-27 1:44:51	1	12.14	368.66	14.11	400.27	11.38	368.99	17.40	357.58					2000
	2	1.48	7.48	1.63	8.47	1.99	8.71	2.38	6.41					
	3	0.12	0.02	0.12	0.02	0.17	0.02	0.14	0.02					
	4	15.76	389.65	18.59	425.65	17.88	398.12	22.59	379.06					
	5	8.00	345.18	10.12	374.82	6.82	336.71	10.59	334.59					
57- 8-27 2:35:30	1	12.22	377.07	14.01	409.60	12.87	378.99	16.51	364.97					2000
	2	1.56	6.02	1.47	7.06	1.37	6.35	1.82	5.79					
	3	0.13	0.02	0.10	0.02	0.11	0.02	0.11	0.02					
	4	15.53	398.12	17.88	434.12	16.71	402.35	22.12	379.06					
	5	7.53	357.88	10.35	387.53	9.41	360.00	9.88	343.06					
57- 8-27 3: 5:22	1	14.95	394.38	16.72	417.33	14.11	384.27	17.17	370.15					2000
	2	1.61	5.49	1.89	6.11	2.03	6.18	2.06	6.54					
	3	0.11	0.01	0.11	0.01	0.14	0.02	0.12	0.02					
	4	18.59	402.35	21.18	438.35	18.35	406.59	23.29	389.65					
	5	10.59	366.35	11.53	398.12	9.18	362.12	9.65	349.41					
57- 8-27 3:17:42	1	17.34	385.90	19.33	419.34	16.83	387.58	18.51	373.74					2000
	2	1.44	5.39	2.09	6.85	1.97	5.84	2.54	6.39					
	3	0.10	0.01	0.11	0.01	0.12	0.02	0.14	0.02					
	4	22.35	402.35	24.00	438.35	22.35	415.06	25.41	393.88					
	5	12.00	370.59	11.53	396.00	11.06	362.12	13.41	351.53					
57- 8-27 3:20: 2	1	14.58	389.10	16.61	422.39	15.70	388.86	17.15	374.65					2000
	2	1.54	6.13	1.69	6.82	2.25	6.31	2.79	7.48					
	3	0.09	0.02	0.09	0.02	0.14	0.02	0.16	0.02					
	4	21.18	406.59	24.00	440.47	20.94	404.47	25.19	393.88					
	5	13.18	366.35	14.12	400.24	9.18	368.47	9.65	338.82					
57- 8-27 3:27:22	1	13.96	381.37	15.79	414.67	12.58	382.76	15.95	368.90					2000
	2	1.31	5.10	1.48	6.03	1.90	6.34	1.51	5.79					
	3	0.09	0.01	0.09	0.01	0.15	0.02	0.09	0.02					
	4	16.94	396.00	18.59	432.00	16.94	404.47	19.29	389.65					
	5	9.88	364.24	11.53	398.12	8.47	357.88	11.53	345.18					
57- 8-27 4:28:19	1	12.64	373.83	14.38	405.17	13.22	374.47	17.07	360.92	0.35	-12.69	-1.47		2000
	2	1.77	6.98	2.07	6.77	2.08	7.75	3.05	7.53	0.55	3.86	1.86	4.30	
	3	0.14	0.02	0.14	0.02	0.16	0.02	0.18	0.02	1.58	-0.30	-1.26	0.93	
	4	18.12	398.12	21.61	434.24	17.65	400.24	24.71	389.65	1.92	-1.18	3.53	54.74	
	5	8.00	349.41	8.47	374.82	6.35	367.29	9.65	336.71	-1.53	-21.41	-6.82	-5.17	
57- 8-27 4:35:38	1	13.14	369.71	15.25	401.43	12.30	371.53	17.10	359.47	0.32	-11.04	-2.69	5.18	2000
	2	2.05	6.78	2.09	7.60	2.03	7.18	2.60	7.97	0.57	5.32	1.93	6.28	
	3	0.16	0.02	0.16	0.02	0.17	0.02	0.15	0.02	1.77	-0.45	-0.72	1.21	
	4	18.82	398.00	21.65	425.65	17.88	396.00	24.47	389.65	1.76	0.24	4.47	63.43	
	5	9.24	351.53	10.35	379.06	9.65	351.53	10.35	334.59	-1.45	-22.82	-8.24	-18.43	
57- 8-27 4:42:58	1	12.38	370.02	14.39	401.67	11.45	370.63	15.17	359.07	0.35	-12.03	-2.68	5.03	1500
	2	2.03	6.01	2.21	6.84	1.78	7.16	1.69	7.49	0.51	4.16	1.58	5.16	
	3	0.14	0.02	0.15	0.02	0.16	0.02	0.11	0.02	1.44	-0.35	-0.59	1.03	
	4	16.47	361.76	17.29	421.41	16.24	399.65	21.41	381.18	1.69	0.24	2.59	54.74	
	5	7.08	345.76	9.65	381.18	7.53	334.59	11.29	330.35	-1.37	-20.94	-6.82	-5.11	
57- 8-27 5:14: 4	1	10.46	371.60	12.83	403.79	10.43	371.56	16.21	355.64	0.39	-4.82	-2.54		2000
	2	1.55	5.79	1.99	7.88	1.70	8.00	2.21	6.94	0.45	4.23	1.47	12.71	
	3	0.14	0.02	0.16	0.02	0.16	0.02	0.14	0.02	1.13	-0.88	-0.58	1.00	
	4	16.00	393.06	18.04	422.00	15.76	396.00	21.41	391.76	1.61	0.71	1.45	63.43	
	5	7.29	349.41	8.47	374.82	6.35	365.18	10.12	321.88	-1.45	-15.29	-8.24	-17.55	

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-4-2 風の測定結果

日 時		中央径間 1/2		1/2より20m下間より		中央径間 1/4		下間側塔頂		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	横断 直方向	横断方向	傾斜角	
58- 2-18 7:29:27	1	15.31	259.60	17.93	292.07	15.95	265.81	22.14	252.70	-0.22	6.54	-16.84	0.97	2000
	2	2.49	0.06	3.06	9.58	2.66	9.04	3.25	6.28	0.48	2.65	3.28	1.92	
	3	0.18	0.03	0.17	0.03	0.17	0.03	0.15	0.02	-2.22	0.41	-0.19	1.97	
	4	21.18	294.35	25.18	332.47	22.82	298.59	28.94	275.29	1.69	14.35	-7.76	9.95	
	5	8.24	218.12	10.82	258.35	8.00	220.24	12.47	220.24	-2.00	-2.12	-25.18	-6.33	
58- 2-18 7:36:23	1	14.56	259.60	17.01	291.73	15.36	266.63	20.58	251.38	-0.16	6.08	-16.10	1.23	2000
	2	2.54	0.95	2.77	11.23	3.16	10.49	2.71	6.48	0.46	2.77	3.08	2.08	
	3	0.17	0.04	0.16	0.04	0.21	0.04	0.13	0.03	-2.91	0.46	-0.19	1.69	
	4	21.41	313.41	23.76	353.65	22.35	328.24	28.71	275.29	1.53	15.76	-6.35	11.31	
	5	7.29	232.94	10.82	249.88	6.59	222.35	11.29	203.29	-1.40	-6.35	-24.71	-5.01	
58- 2-18 9:25:13	1	16.06	249.81	18.60	281.37	18.23	258.85	23.20	246.31	-0.06	9.15	-16.18	1.73	2000
	2	3.53	12.45	3.85	12.73	3.51	9.28	3.40	6.10	0.55	3.12	4.88	2.97	
	3	0.22	0.05	0.21	0.05	0.19	0.04	0.15	0.02	-9.74	0.34	-0.30	1.72	
	4	22.35	307.06	26.82	336.71	25.18	309.18	29.18	271.06	1.61	16.71	-0.24	41.91	
	5	4.71	199.05	7.29	226.59	7.06	228.71	14.35	220.24	-2.00	-3.06	-27.06	-7.13	
58- 2-18 9:30: 2	1	16.52	249.82	19.43	291.12	16.91	259.16	22.11	247.23	-0.05	9.83	-16.99	1.35	2000
	2	2.79	8.44	3.02	8.82	3.08	9.02	2.35	6.69	0.46	2.66	3.36	2.05	
	3	0.17	0.03	0.16	0.03	0.18	0.03	0.11	0.03	-8.83	0.27	-0.20	1.52	
	4	23.53	281.65	25.88	313.41	24.24	298.59	27.76	266.82	1.61	18.59	-2.59	21.80	
	5	4.96	192.71	11.06	232.94	8.94	226.59	15.76	224.47	-2.08	-7.71	-25.18	-4.48	
58- 2-18 9:40:58	1	16.54	247.22	19.23	278.39	19.66	256.88	24.87	244.61	0.02	10.15	-16.33	1.75	1400
	2	2.79	10.41	2.92	10.44	3.20	8.21	3.15	4.54	0.56	2.71	4.04	2.40	
	3	0.17	0.04	0.15	0.04	0.16	0.03	0.13	0.02	32.11	0.27	-0.25	1.37	
	4	23.53	277.41	27.06	304.94	29.88	300.71	32.71	262.59	2.55	18.12	-2.12	22.59	
	5	9.94	194.82	11.29	228.71	12.00	228.71	15.76	228.71	-3.02	0.71	-26.12	-7.06	
58- 2-18 9:55:19	1	16.39	250.78	19.38	282.73	17.88	259.50	22.40	246.77	-0.02	9.27	-16.80	1.51	2000
	2	3.17	9.79	3.43	10.37	3.88	9.28	3.69	7.03	0.57	2.55	4.12	2.31	
	3	0.19	0.04	0.18	0.04	0.22	0.04	0.16	0.03	-32.63	0.29	-0.24	1.53	
	4	27.06	283.76	30.82	313.41	27.76	309.18	31.76	273.18	1.45	16.71	-2.59	17.35	
	5	6.82	205.41	9.18	228.71	8.24	224.47	13.41	216.00	-3.02	-1.18	-32.24	-10.02	
58- 2-18 10: 2:39	1	18.37	254.37	21.54	286.47	19.24	261.77	24.25	248.93	-0.10	10.85	-20.91	1.03	2000
	2	2.88	7.76	3.29	8.25	4.08	8.54	3.90	6.07	0.47	2.79	3.81	1.54	
	3	0.16	0.03	0.15	0.03	0.21	0.03	0.14	0.02	-4.71	0.26	-0.18	1.50	
	4	24.00	281.65	27.76	324.00	28.00	309.18	32.00	271.06	1.53	19.06	-8.71	8.88	
	5	9.18	224.47	12.24	254.12	9.65	230.82	12.94	220.24	-1.69	0.71	-30.35	-3.44	
58- 2-18 10: 9:59	1	18.14	255.58	20.97	287.63	18.51	262.85	22.41	250.03	-0.12	10.20	-20.70	0.97	2000
	2	2.87	9.25	3.16	10.08	3.37	8.69	3.44	7.20	0.47	2.97	4.07	1.56	
	3	0.16	0.04	0.15	0.04	0.18	0.03	0.15	0.03	-3.86	0.29	-0.20	1.61	
	4	24.47	283.76	27.29	319.76	26.59	302.82	30.12	315.53	1.69	19.06	-5.41	7.30	
	5	10.82	216.00	12.71	249.88	9.18	222.35	8.00	216.00	-2.00	-0.24	-30.82	-5.29	
58- 2-18 10:18:31	1	14.72	250.32	17.13	291.59	17.20	260.39	23.45	248.27	0.01	9.22	-15.50	1.74	2000
	2	2.63	12.19	3.29	13.00	4.26	11.59	3.27	7.51	0.56	3.30	3.82	2.53	
	3	0.18	0.05	0.19	0.05	0.25	0.04	0.14	0.03	74.59	0.36	-0.25	1.46	
	4	21.65	255.88	24.94	324.00	30.82	317.65	32.00	275.29	2.08	18.59	-0.24	27.23	
	5	7.06	205.41	8.47	239.29	6.82	230.82	14.35	222.35	-1.76	-0.24	-27.06	-4.25	
58- 2-18 10:26:37	1	17.60	249.73	20.78	279.48	20.70	256.81	27.07	245.48	-0.06	11.60	-19.05	1.38	2000
	2	3.66	12.08	4.28	17.75	3.16	9.51	2.81	5.02	0.54	3.62	5.15	2.84	
	3	0.21	0.05	0.21	0.06	0.15	0.03	0.10	0.02	-9.30	0.31	-0.27	2.05	
	4	25.65	334.50	29.41	374.04	27.76	281.65	34.59	266.82	2.00	20.47	1.65	41.81	
	5	3.76	201.18	2.82	12.71	12.00	229.24	14.59	226.59	-2.31	-5.88	-31.29	-12.60	

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-4-3 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	横軸 直方向	横軸 斜方向	傾斜角	
58- 2-18 10:33:57	1	14.90	245.07	19.32	275.52	19.88	254.62	21.24	243.51	0.02	10.44	-14.98	2.00	1000
	2	2.94	12.10	3.00	12.40	2.35	7.36	3.72	9.85	0.57	3.37	4.33	2.75	
	3	0.20	0.05	0.16	0.05	0.12	0.03	0.18	0.04	25.33	0.32	-0.29	1.38	
	4	20.71	290.12	24.47	311.29	25.18	293.76	28.90	293.76	2.78	18.12	-1.18	25.10	
	5	5.18	190.59	10.12	230.82	12.71	235.06	6.82	144.00	-1.76	-1.65	-25.65	-3.75	
58- 2-18 10:38: 7	1	17.59	250.09	20.80	281.15	20.38	257.58	26.35	246.15	-0.29	11.43	-19.01	1.09	2000
	2	3.24	0.65	3.65	10.21	3.10	8.37	2.53	5.98	0.57	3.31	4.35	1.85	
	3	0.18	0.04	0.18	0.04	0.16	0.03	0.10	0.02	-6.07	0.29	-0.23	1.69	
	4	27.06	298.50	31.29	336.71	28.00	298.00	33.65	266.92	1.84	21.88	-6.82	9.34	
	5	9.98	218.12	0.98	235.06	13.18	230.82	18.12	224.47	-2.55	-3.06	-33.65	-9.40	
58- 2-18 10:45:27	1	18.28	250.27	21.59	281.42	20.74	257.55	24.65	246.38	-0.04	11.50	-19.29	1.29	2000
	2	3.40	4.92	3.90	8.95	2.96	8.02	3.03	5.00	0.57	3.09	4.46	1.91	
	3	0.19	0.04	0.19	0.03	0.14	0.03	0.12	0.02	-12.71	0.27	-0.23	1.48	
	4	25.48	296.47	30.35	315.53	27.76	285.88	32.00	268.04	2.00	19.53	-1.18	15.50	
	5	9.18	203.29	12.24	247.74	11.53	226.59	11.76	207.53	-2.24	-3.06	-30.35	-5.75	
58- 2-18 11:56:38	1	14.68	260.14	19.35	291.44	16.94	265.35	21.79	251.69	-0.16	8.27	-19.61	0.99	1100
	2	3.11	10.93	3.40	11.39	3.28	10.18	4.39	8.49	0.51	4.20	3.77	1.88	
	3	0.19	0.04	0.18	0.04	0.19	0.04	0.20	0.03	-3.25	0.51	-0.19	1.89	
	4	23.29	319.76	28.82	345.18	24.00	294.35	31.29	294.35	2.47	19.53	-7.76	12.53	
	5	7.76	232.94	10.59	260.47	9.88	232.94	8.47	205.41	-2.00	-11.06	-28.47	-6.53	
58- 2-18 12: 3:32	1	16.40	253.92	18.87	285.41	17.99	261.97	22.75	250.95	-0.08	9.42	-18.02	1.33	1100
	2	3.24	11.85	3.73	13.99	3.62	10.06	4.22	7.91	0.60	3.44	4.53	2.10	
	3	0.20	0.05	0.20	0.05	0.20	0.04	0.19	0.03	-7.42	0.37	-0.25	1.58	
	4	24.71	292.24	28.71	330.35	28.82	300.71	31.76	302.82	1.92	19.06	-4.94	11.48	
	5	8.47	218.12	7.53	209.65	9.65	224.47	11.29	274.47	-1.92	-3.53	-28.94	-5.30	
58- 2-18 12: 7:31	1	16.07	255.42	19.05	287.41	16.41	262.81	21.56	251.13	-0.12	8.60	-17.63	1.32	1400
	2	3.28	10.01	3.60	10.14	3.88	10.50	3.70	8.38	0.59	2.90	4.32	2.37	
	3	0.20	0.04	0.19	0.04	0.24	0.04	0.17	0.03	-5.06	0.34	-0.25	1.80	
	4	23.53	281.45	28.59	324.00	27.06	321.83	30.35	292.24	1.61	17.18	-3.53	25.24	
	5	7.36	216.00	10.92	243.53	7.06	228.71	9.65	203.29	-2.08	0.71	-27.53	-5.64	
58- 2-18 12:12:34	1	18.48	254.42	21.52	286.63	20.30	262.82	25.81	250.36	-0.09	10.25	-20.17	1.08	2000
	2	2.41	9.33	2.98	10.42	4.71	8.52	4.27	6.20	0.57	2.81	3.87	1.76	
	3	0.13	0.04	0.13	0.04	0.23	0.03	0.17	0.02	-6.54	0.27	-0.19	1.64	
	4	24.24	279.53	28.71	326.12	30.12	300.71	35.53	277.41	1.69	20.47	-4.94	8.98	
	5	11.76	211.76	14.82	239.29	7.29	235.06	10.82	224.47	-2.30	-0.24	-31.29	-6.45	
58- 2-18 12:19:53	1	16.44	260.13	19.69	292.51	19.25	266.86	26.45	253.10	-0.11	7.52	-18.66	1.25	2000
	2	3.10	11.42	3.17	11.81	3.96	9.57	3.10	5.93	0.58	3.50	4.28	2.17	
	3	0.18	0.04	0.16	0.04	0.21	0.04	0.12	0.02	-5.13	0.47	-0.22	1.73	
	4	24.00	304.94	28.47	336.71	29.18	313.41	33.18	283.76	1.69	20.00	-3.06	17.55	
	5	7.29	207.53	11.06	249.88	10.12	235.06	15.53	211.76	-2.94	-5.41	-29.88	-8.65	
58- 2-18 12:27:13	1	17.22	264.83	19.62	297.77	18.05	270.35	24.41	254.57	-0.24	6.38	-19.54	0.87	1700
	2	3.39	11.38	4.23	13.34	3.53	11.11	4.95	9.84	0.63	3.85	4.54	2.21	
	3	0.20	0.04	0.22	0.04	0.20	0.04	0.20	0.04	-2.61	0.60	-0.23	2.55	
	4	24.71	315.53	28.94	374.82	29.88	317.65	33.18	321.83	2.16	21.88	-7.76	13.34	
	5	9.71	224.47	6.12	239.29	7.06	216.00	5.18	186.35	-3.57	-8.71	-30.35	-8.17	
58- 2-18 12:37:12	1	17.74	250.44	20.15	282.81	18.87	260.49	22.74	249.88	0.03	10.57	-17.98	1.54	1400
	2	3.12	16.72	3.60	11.33	3.29	9.02	3.72	8.58	0.63	3.67	4.03	2.35	
	3	0.19	0.07	0.18	0.04	0.17	0.03	0.16	0.03	20.36	0.35	-0.22	1.53	
	4	25.65	334.59	28.47	357.88	25.65	292.24	31.76	279.53	2.47	21.41	6.35	18.54	
	5	2.82	14.82	6.82	222.35	7.06	228.71	12.71	222.35	-3.25	-8.71	-28.47	-27.23	

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-4-4 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				ブーゲン
		風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	鉛直方向	機軸 直角方向	機軸方向	傾斜角	
58- 2-18 12:42:57	1	16.69	252.73	19.44	284.34	16.86	261.60	21.18	249.26	-0.12	10.59	-18.76	1.15	1100
	2	3.03	0.43	3.32	10.30	3.00	7.70	4.07	9.57	0.58	3.57	3.78	1.96	
	3	0.18	0.04	0.17	0.04	0.18	0.04	0.19	0.03	-4.91	0.34	-0.20	1.70	
	4	23.29	281.65	26.59	319.76	23.53	299.59	28.04	296.47	2.86	20.04	-2.50	16.39	
	5	9.88	201.18	10.12	252.00	9.18	226.59	9.88	203.29	-1.84	1.65	-27.06	-3.75	
58- 2-18 12:54: 6	1	18.59	251.43	22.03	283.97	21.68	261.76	26.81	249.15	-0.01	11.81	-20.52	1.40	1400
	2	3.27	11.20	3.10	11.51	3.47	9.81	4.31	7.31	0.61	3.33	4.04	2.43	
	3	0.17	0.04	0.14	0.04	0.18	0.04	0.16	0.03	-42.76	0.28	-0.24	1.73	
	4	24.94	288.00	29.98	317.65	31.29	311.29	37.18	281.65	2.24	23.29	-2.12	45.00	
	5	8.71	207.53	12.47	237.18	11.53	230.82	12.71	224.47	-2.24	-0.24	-31.76	-10.52	

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-4-5 風の測定結果

日	時	中央径間 1/2		1/2より20m下間より		中央径間 1/4		下間側塔頂		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	横軸 直方向	横軸 斜方向	傾斜角	
58-2-18	1:50:9	13.15	247.65	16.27	278.25	16.91	256.37	21.56	243.99	0.05	7.04	-12.77	2.37	1400
		2.78	9.41	3.15	9.55	2.63	7.74	2.25	4.84	0.46	2.30	3.36	2.78	
		0.21	0.94	0.10	0.03	0.16	0.03	0.10	0.02	9.64	0.33	-0.26	1.17	
		18.82	277.41	22.12	307.06	23.29	285.88	25.41	264.71	1.92	12.94	-2.59	21.80	
		6.12	207.53	9.41	228.71	9.88	228.71	14.12	224.47	-1.29	-0.24	-21.41	-5.01	
58-2-18	1:55:12	13.94	245.34	15.97	274.93	16.10	256.52	21.45	244.41	0.00	8.10	-13.19	2.04	1400
		2.37	10.02	2.77	11.41	2.67	9.03	2.06	5.05	0.49	2.33	3.26	2.44	
		0.17	0.04	0.17	0.04	0.17	0.04	0.10	0.02	115.62	0.29	-0.25	1.20	
		20.00	283.76	23.29	338.82	22.82	307.06	26.12	262.59	1.69	14.82	-4.47	15.79	
		8.00	211.76	6.82	239.29	7.29	230.82	16.00	224.47	-2.09	-2.12	-23.76	-10.02	
58-2-18	2:0:18	15.15	249.08	17.81	279.78	16.95	260.28	22.51	246.91	0.02	8.16	-14.70	1.94	1400
		2.79	8.98	3.22	9.98	2.82	8.17	2.37	5.63	0.44	2.49	3.22	2.06	
		0.18	0.04	0.18	0.04	0.17	0.03	0.11	0.02	24.14	0.31	-0.22	1.07	
		22.82	283.76	26.12	315.53	24.71	300.71	29.41	275.29	1.69	15.29	-4.94	9.40	
		7.53	222.35	8.71	230.82	9.88	226.59	14.82	219.12	-1.69	0.24	-25.18	-4.75	
58-2-18	2:7:8	15.45	247.90	17.83	278.18	17.11	258.84	22.44	246.10	-0.04	8.46	-14.88	1.67	2000
		2.31	9.73	2.83	12.14	2.86	7.48	2.19	5.02	0.40	2.22	3.41	2.42	
		0.15	0.04	0.16	0.04	0.17	0.03	0.10	0.02	-12.85	0.26	-0.23	1.45	
		21.18	295.47	24.00	334.59	22.59	288.00	28.00	268.94	2.16	18.12	-1.65	21.80	
		6.59	203.29	4.74	184.35	9.18	228.71	14.50	224.47	-1.69	-1.65	-23.29	-5.01	
58-2-18	2:52:31	13.75	251.73	16.71	282.62	17.80	261.69	22.17	248.71	-0.07	6.32	-13.63	1.99	1400
		3.75	10.97	3.93	10.86	2.81	7.34	2.26	5.05	0.42	2.19	4.41	3.04	
		0.27	0.04	0.24	0.04	0.16	0.03	0.10	0.02	-5.76	0.35	-0.32	1.53	
		20.00	294.47	24.71	309.18	24.24	290.12	26.82	266.82	1.53	11.53	-2.12	24.09	
		4.71	205.41	8.24	230.82	10.12	232.94	14.24	226.59	-1.69	-1.65	-22.82	-7.44	
58-2-18	3:22:50	13.09	244.61	15.45	279.02	15.28	258.86	21.69	246.26	0.01	8.06	-13.71	2.09	2000
		2.43	11.72	2.77	12.78	3.04	10.02	2.33	6.13	0.52	3.07	3.72	2.99	
		0.19	0.05	0.18	0.05	0.20	0.04	0.11	0.02	55.60	0.34	-0.27	1.43	
		19.53	290.12	22.35	313.41	25.18	292.24	30.59	266.82	3.02	18.12	-1.65	45.00	
		6.82	207.53	7.53	222.35	8.71	232.94	10.82	224.47	-1.76	-2.12	-24.24	-6.38	
58-2-18	3:30:18	14.88	247.54	17.32	278.34	18.06	256.51	22.99	244.37	0.00	8.06	-14.37	2.03	2000
		2.97	11.72	3.35	10.77	2.62	7.53	2.44	4.74	0.40	2.34	3.94	3.44	
		0.20	0.05	0.19	0.04	0.15	0.03	0.11	0.02	826.33	0.29	-0.27	1.70	
		20.71	299.59	24.24	315.53	24.94	283.76	28.00	266.82	2.16	15.76	4.00	54.74	
		5.18	163.06	8.00	207.53	10.59	224.47	14.50	222.35	-1.69	-2.59	-23.76	-8.88	
58-2-18	4:3:47	15.55	256.07	18.01	287.86	15.74	264.51	21.50	251.04	-0.20	6.83	-16.00	0.98	2000
		2.21	9.24	2.51	10.26	2.94	9.34	2.14	6.36	0.40	2.44	3.02	1.85	
		0.14	0.04	0.14	0.04	0.19	0.04	0.10	0.03	-2.05	0.36	-0.19	1.99	
		21.88	281.65	24.71	330.35	23.29	324.12	28.24	294.35	1.61	14.35	-3.53	15.50	
		8.47	218.12	9.88	243.53	7.53	237.18	10.82	207.53	-1.76	-0.71	-24.24	-5.80	
58-2-18	4:30:10	15.71	256.21	18.11	287.61	16.12	263.74	21.53	250.66	-0.19	6.98	-16.33	0.94	2000
		2.66	9.06	3.10	10.89	3.59	10.60	2.84	6.63	0.40	2.68	2.96	1.75	
		0.17	0.04	0.17	0.04	0.22	0.04	0.13	0.03	-2.06	0.38	-0.18	1.87	
		20.94	324.00	26.12	357.84	23.53	296.47	26.82	281.65	1.06	14.82	-6.35	8.48	
		6.82	224.47	8.24	245.65	8.47	226.59	8.04	220.24	-2.00	-1.19	-27.06	-6.68	
58-2-18	6:57:44	15.66	261.59	18.09	294.27	16.33	268.49	22.05	252.43	-0.17	5.67	-16.63	1.09	1100
		2.95	10.50	2.56	11.40	3.06	9.92	2.25	5.60	0.48	2.36	2.90	2.14	
		0.13	0.04	0.14	0.04	0.19	0.04	0.10	0.02	-2.82	0.42	-0.17	1.96	
		17.78	298.59	23.71	334.71	23.06	300.18	27.76	271.06	2.47	12.47	-4.00	15.02	
		8.04	205.61	9.41	230.20	7.06	235.06	16.71	228.71	-1.76	-2.59	-24.24	-4.38	

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-5-1 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		
		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
57- 8-27 1:44:51	1	4.12	3.79	3.96	-40.71	0.00011	5.59	3.20	4.40	8.82	0.00082	13.3	18.4	15.6
	2	3.46	2.55	2.62	1.57	0.00106	3.30	2.58	2.58	0.00	0.00101	14.1	29.3	7.2
	3	0.84	0.67	0.64	-0.04	9.44067	0.59	0.81	0.59	0.00	1.22202	1.1	1.6	0.5
	4	16.67	10.76	12.75	-36.27	0.00338	16.67	12.75	12.75	8.82	0.00406	96.5	184.3	41.6
	5	-6.86	-4.90	-3.92	-46.08	-0.00338	-6.86	-4.90	-4.90	8.82	-0.00270	3.9	7.1	-98.0
57- 8-27 2:35:30	1	3.73	3.98	3.86	-44.93	-0.00009	5.46	3.10	4.28	8.82	0.00081	12.3	19.3	11.0
	2	3.25	2.41	2.54	2.41	0.00091	2.98	2.32	2.47	0.00	0.00070	2.1	30.0	33.5
	3	0.87	0.61	0.66	-0.05	-10.54904	0.55	0.75	0.58	0.00	0.85696	0.2	1.6	3.0
	4	12.75	10.76	11.76	-38.24	0.00338	16.67	10.78	13.73	8.82	0.00338	16.5	182.7	29.0
	5	-4.90	-2.94	-2.94	-50.00	-0.00338	-2.94	-4.90	-2.94	8.82	-0.00135	-46.3	10.2	-181.2
57- 8-27 3: 5:22	1	5.53	4.37	4.95	-31.36	0.00040	6.12	3.32	4.72	8.82	0.00097	13.5	19.7	18.6
	2	7.18	5.93	6.37	2.40	0.00117	4.28	2.73	2.95	0.00	0.00141	7.0	30.1	35.1
	3	1.30	1.36	1.29	-0.08	2.93122	0.70	0.82	0.63	0.00	1.45667	0.5	1.5	1.9
	4	69.61	61.76	65.69	-0.98	0.00406	51.96	14.71	30.39	8.82	0.01487	52.5	185.9	35.3
	5	-12.75	-8.82	-8.82	-36.27	-0.00338	-4.90	-6.86	-3.92	8.82	-0.00270	-18.0	5.5	-178.0
57- 8-27 3:12:42	1	4.65	3.59	4.12	-29.02	0.00037	5.72	3.37	4.54	8.82	0.00081	13.1	14.8	31.6
	2	5.09	3.71	4.06	1.59	0.00126	3.69	2.81	2.82	0.00	0.00115	2.7	2.7	4.3
	3	1.09	1.03	0.98	-0.05	3.45158	0.65	0.83	0.62	0.00	1.42566	0.2	0.2	0.1
	4	20.59	16.67	16.67	-24.51	0.00406	18.63	14.71	16.67	8.82	0.00541	21.2	22.7	41.6
	5	-14.71	-8.82	-10.78	-34.31	-0.00338	-4.90	-6.86	-4.90	8.82	-0.00338	3.9	7.1	19.6
57- 8-27 3:20: 7	1	4.47	3.49	3.98	-27.56	0.00034	5.70	3.34	4.52	8.82	0.00081	13.1	14.4	30.8
	2	4.06	2.98	3.07	1.39	0.00124	3.68	2.79	2.89	0.00	0.00106	2.3	2.4	3.5
	3	0.91	0.85	0.77	-0.05	3.63695	0.65	0.84	0.64	0.00	1.29941	0.2	0.2	0.1
	4	18.63	14.71	14.71	-22.55	0.00473	18.63	14.71	13.73	8.82	0.00541	18.0	19.6	47.8
	5	-10.78	-8.82	-5.88	-32.35	-0.00473	-8.82	-4.90	-6.86	8.82	-0.00338	0.8	0.8	19.6
57- 8-27 3:27:22	1	4.07	3.48	3.77	-29.67	0.00020	5.67	3.33	4.50	8.82	0.00080	12.3	13.8	21.5
	2	3.21	2.41	2.59	1.30	0.00081	3.00	2.32	2.44	0.00	0.00079	2.1	2.1	2.1
	3	0.79	0.69	0.69	-0.04	3.96292	0.53	0.70	0.54	0.00	0.96419	0.2	0.1	0.1
	4	14.71	12.75	13.73	-26.47	0.00338	14.71	12.75	12.75	8.82	0.00338	18.0	19.6	27.5
	5	-6.86	-4.90	-5.88	-34.31	-0.00203	-6.86	-4.90	-4.90	8.82	-0.00203	2.4	3.9	16.5
57- 8-27 4:26:19	1	4.28	3.63	3.95	-30.98	0.00023	5.67	3.36	4.52	8.82	0.00080	15.9	19.1	14.8
	2	3.73	2.76	2.90	1.31	0.00106	3.60	2.74	2.78	0.00	0.00109	20.9	29.9	34.4
	3	0.87	0.76	0.73	-0.04	4.71300	0.63	0.82	0.61	0.00	1.37186	1.3	1.6	2.3
	4	16.67	14.71	15.69	-26.47	0.00406	18.63	14.71	13.73	8.82	0.00473	134.1	184.3	29.0
	5	-6.86	-6.86	-6.86	-36.27	-0.00406	-6.86	-6.86	-6.86	8.82	-0.00406	-25.9	7.1	-178.0
57- 8-27 4:35:38	1	4.25	3.73	3.99	-30.56	0.00018	5.74	3.36	4.55	8.82	0.00082	12.1	14.0	21.0
	2	5.34	3.91	4.39	1.34	0.00112	3.99	3.08	3.20	0.00	0.00104	2.9	2.9	2.6
	3	1.26	1.05	1.10	-0.04	6.27820	0.69	0.92	0.70	0.00	1.31841	0.2	0.2	0.1
	4	20.59	16.67	17.65	-26.47	0.00406	18.63	16.67	17.65	8.82	0.00406	18.0	21.2	29.0
	5	-16.67	-6.86	-11.76	-34.31	-0.00406	-6.86	-6.86	-6.86	8.82	-0.00270	2.4	5.5	14.9
57- 8-27 4:42:58	1	4.24	3.70	3.97	-30.55	0.00019	5.68	3.32	4.50	8.82	0.00082	11.8	13.6	19.0
	2	4.21	3.04	3.22	1.39	0.00122	3.69	2.79	2.93	0.00	0.00109	2.1	2.2	3.0
	3	0.99	0.82	0.81	-0.05	6.52897	0.65	0.84	0.65	0.00	1.22621	0.2	0.2	0.2
	4	18.63	14.71	14.71	-26.47	0.00338	16.67	14.71	13.73	8.82	0.00473	18.0	19.6	40.0
	5	-10.78	-4.90	-6.86	-34.31	-0.00338	-4.90	-2.94	-3.92	8.82	-0.00203	5.5	7.1	11.8
57- 8-27 5:13: 5	1	3.88	3.72	3.80	-37.13	0.00006	5.61	3.24	4.43	8.82	0.00082	14.1	19.3	13.6
	2	4.21	3.16	3.42	1.32	0.00102	3.34	2.55	2.66	0.00	0.00091	21.2	31.1	7.0
	3	1.38	0.85	0.90	-0.04	18.42885	0.59	0.79	0.60	0.00	1.11331	1.3	1.6	0.5
	4	14.71	10.78	12.75	-32.35	0.00270	16.67	10.78	12.75	8.82	0.00338	137.3	184.3	22.7
	5	-8.82	-4.90	-5.88	-40.20	-0.00270	-8.82	-4.90	-4.90	8.82	-0.00270	0.8	3.9	-52.4

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

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

表-5-2 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		
		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
58- 2-18 7:29:27	1	7.76	-1.61	3.08	-36.09	0.00323	-5.70	3.14	-1.28	0.98	-0.00305	48.0	189.0	-17.9
	2	3.18	2.36	2.49	6.03	0.00089	2.80	2.25	2.11	0.00	0.00097	7.8	0.7	5.4
	3	0.41	-1.46	-0.81	-0.17	0.27469	-0.49	0.72	-1.65	0.00	-0.31800	0.2	0.0	-0.3
	4	16.67	4.90	10.78	-22.55	0.00609	2.94	12.75	6.86	0.98	0.0	90.2	189.0	41.6
	5	-4.90	-10.78	-5.88	-44.12	0.0	-16.67	-8.82	-11.76	0.98	-0.00676	35.3	162.4	-142.0
58- 2-18 7:36:23	1	7.88	-1.61	3.14	-40.03	0.00327	-5.52	3.16	-1.18	0.98	-0.00299	43.2	188.6	-56.9
	2	3.07	2.27	2.32	1.50	0.00096	2.63	2.12	1.94	0.00	0.00096	22.6	2.0	64.1
	3	0.39	-1.41	-0.74	-0.04	0.29357	-0.48	0.67	-1.65	0.00	-0.32130	0.5	0.0	-1.1
	4	20.59	6.86	12.75	-26.47	0.00744	2.94	10.78	5.88	0.98	0.0	195.3	189.0	21.2
	5	-2.94	-12.75	-4.90	-46.08	-0.00068	-16.67	-2.94	-8.82	0.98	-0.00811	-85.5	124.7	-179.6
58- 2-18 9:25:13	1	8.09	-2.08	3.01	-37.70	0.00351	-5.34	2.44	-1.45	0.98	-0.00268	48.7	189.0	-17.2
	2	3.34	2.51	2.69	11.74	0.00084	2.89	2.28	2.24	0.00	0.00091	2.5	0.0	3.2
	3	0.41	-1.21	0.90	-0.31	0.23979	-0.54	0.94	-1.55	0.00	-0.33978	0.1	0.0	-0.2
	4	20.59	6.86	13.73	2.94	0.00609	4.90	8.82	5.88	0.98	0.00135	55.7	189.0	-11.8
	5	-4.90	-12.75	-6.86	-46.08	0.0	-16.67	-4.90	-9.80	0.98	-0.00609	40.0	189.0	-47.8
58- 2-18 9:39:2	1	8.04	-1.22	3.41	-26.98	0.00319	-5.84	2.17	-1.83	0.98	-0.00277	49.7	188.9	-21.6
	2	3.68	2.58	2.76	3.03	0.00109	2.87	2.38	2.32	0.00	0.00096	9.2	1.4	26.0
	3	0.46	-2.12	0.81	-0.11	0.34216	-0.49	1.09	-1.26	0.00	-0.31281	0.2	0.0	-1.2
	4	22.55	8.82	14.71	2.94	0.00676	4.90	12.75	6.86	0.98	0.00135	104.3	189.0	19.6
	5	-4.90	-8.82	-5.88	-38.24	-0.00068	-16.67	-6.86	-9.80	0.98	-0.00609	-5.5	129.4	-176.5
58- 2-18 9:49:58	1	8.03	-1.57	3.23	-29.47	0.00331	-5.94	2.18	-1.88	0.98	-0.00280	48.5	189.0	-18.4
	2	4.31	3.17	3.16	5.32	0.00143	3.89	3.48	3.08	0.00	0.00140	2.8	1.1	5.3
	3	0.54	-2.03	0.98	-0.18	0.43291	-0.66	1.60	-1.64	0.00	-0.50156	0.1	0.0	-0.3
	4	20.59	8.82	13.73	-8.82	0.00811	6.86	12.75	8.82	0.98	0.00135	87.1	189.0	-11.8
	5	-4.90	-10.78	-5.88	-48.04	-0.00135	-20.59	-6.86	-10.78	0.98	-0.00676	40.0	148.2	-65.1
58- 2-18 9:55:19	1	7.97	-1.48	3.25	-28.42	0.00326	-5.99	2.22	-1.88	0.98	-0.00283	48.1	189.0	-16.9
	2	3.89	2.84	3.09	5.72	0.00099	2.97	2.45	2.35	0.00	0.00095	3.0	0.6	2.3
	3	0.49	-1.92	0.95	-0.20	0.30480	-0.49	1.10	-1.25	0.00	-0.33469	0.1	0.0	-0.1
	4	18.63	8.82	13.73	2.94	0.00676	4.90	10.78	7.84	0.98	0.00068	55.7	189.0	-11.8
	5	-4.90	-10.78	-6.86	-44.12	0.0	-16.67	-6.86	-9.80	0.98	-0.00676	-3.9	162.4	-44.7
58- 2-18 10: 2:39	1	7.95	-1.60	3.18	-32.45	0.00329	-6.04	2.22	-1.91	0.98	-0.00285	47.7	189.0	-17.5
	2	4.71	3.48	3.72	9.94	0.00126	3.24	2.71	2.62	0.00	0.00098	2.8	0.0	3.8
	3	0.59	-2.18	1.17	-0.31	0.38237	-0.54	1.22	-1.37	0.00	-0.34369	0.1	0.0	-0.2
	4	22.55	8.82	13.73	0.98	0.00811	4.90	10.78	5.98	0.98	0.00068	55.7	189.0	-11.8
	5	-10.78	-14.71	-8.82	-50.00	-0.00135	-22.55	-6.86	-11.76	0.98	-0.00744	36.9	189.0	-47.8
58- 2-18 10: 9:59	1	8.27	-1.29	3.49	-22.34	0.00329	-5.86	2.22	-1.82	0.98	-0.00279	47.7	189.0	-17.2
	2	6.06	4.96	5.17	13.48	0.00136	3.72	2.51	2.60	0.00	0.00125	3.0	0.0	3.1
	3	0.73	-3.85	1.48	-0.60	0.41213	-0.64	1.13	-1.43	0.00	-0.44990	0.1	0.0	-0.2
	4	100.98	89.22	95.10	20.59	0.00911	53.92	10.78	27.45	0.98	0.01826	57.3	189.0	-11.8
	5	-8.82	-14.71	-8.82	-46.08	-0.00135	-14.71	-4.90	-8.82	0.98	-0.00609	38.4	199.0	-43.1
58- 2-18 10:18:31	1	7.96	-1.70	3.13	-27.34	0.00333	-6.26	2.32	-1.97	0.98	-0.00296	52.7	189.0	-23.6
	2	3.73	2.74	2.92	9.21	0.00101	3.36	2.94	2.90	0.00	0.00086	22.3	0.7	27.3
	3	0.47	-1.62	0.93	-0.34	0.30270	-0.54	1.27	-1.47	0.00	-0.29196	0.4	0.0	-1.2
	4	24.51	8.82	15.69	-6.86	0.00676	4.90	10.78	7.84	0.98	0.0	187.5	189.0	-11.8
	5	-6.86	-10.78	-8.82	-40.20	0.0	-18.63	-6.86	-12.75	0.98	-0.00676	41.6	159.2	-176.5
58- 2-18 10:26:37	1	7.93	-1.65	3.14	-24.98	0.00330	-6.40	2.51	-1.95	0.98	-0.00307	47.4	189.0	-19.9
	2	5.70	4.23	4.46	6.28	0.00159	3.51	2.96	2.80	0.00	0.00114	11.1	0.6	9.2
	3	0.72	-2.57	1.42	-0.25	0.48280	-0.55	1.18	-1.44	0.00	-0.37037	0.2	0.0	-0.5
	4	24.51	10.78	14.71	-12.75	0.00811	4.90	10.78	6.86	0.98	0.0	58.8	189.0	-7.1
	5	-8.82	-14.71	-8.82	-46.08	-0.00068	-16.67	-8.82	-10.78	0.98	-0.00744	-41.6	160.8	-88.6

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

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

表-5-3 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		
		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
58- 2-18 10:33:57	1	7.95	-1.56	3.20	-26.84	0.00328	-6.34	2.47	-1.94	0.98	-0.00304	49.2	189.0	-17.8
	2	4.31	3.11	3.25	5.34	0.00131	3.64	3.15	3.05	0.00	0.00104	2.7	0.0	3.9
	3	0.54	-2.00	1.02	-0.20	0.39809	-0.57	1.28	-1.58	0.00	-0.34133	0.1	0.0	-0.2
	4	20.59	6.86	12.75	-14.71	0.00676	2.94	10.78	5.88	0.98	0.0	57.3	189.0	-13.3
	5	-2.94	-10.78	-6.86	-48.04	0.0	-18.63	-6.86	-10.78	0.98	-0.00609	41.6	189.0	-52.5
58- 2-18 10:38: 7	1	7.83	-1.81	3.01	-26.28	0.00333	-6.35	2.40	-1.93	0.98	-0.00305	43.3	188.9	-44.2
	2	5.69	4.14	4.57	9.04	0.00136	4.03	3.55	3.36	0.00	0.00123	29.0	1.2	31.8
	3	0.73	-2.29	1.52	-0.34	0.40846	-0.64	1.42	-1.74	0.00	-0.40216	0.7	0.0	-0.7
	4	28.43	12.75	17.65	-8.82	0.00879	4.90	14.71	8.82	0.98	0.00135	58.8	189.0	-2.4
	5	-10.78	-16.67	-12.75	-48.04	-0.00203	-18.63	-10.78	-11.76	0.98	-0.00744	-146.7	137.3	-101.2
58- 2-18 10:45:27	1	7.91	-1.52	3.20	-31.75	0.00325	-6.16	2.55	-1.80	0.98	-0.00301	48.0	189.0	-24.5
	2	4.99	3.71	4.06	10.44	0.00116	3.71	3.21	3.16	0.00	0.00099	3.3	0.0	15.7
	3	0.63	-2.44	1.27	-0.33	0.35640	-0.60	1.26	-1.75	0.00	-0.32935	0.1	0.0	-0.6
	4	24.51	10.78	16.67	-6.86	0.00676	6.86	14.71	9.80	0.98	0.0	57.3	189.0	-11.8
	5	-10.78	-14.71	-11.76	-48.04	-0.00135	-20.59	-8.82	-14.71	0.98	-0.00676	36.9	187.5	-98.0
58- 2-18 11:56:38	1	8.25	-1.28	3.49	-51.67	0.00329	-5.71	2.41	-1.65	0.98	-0.00280	47.9	186.6	-47.2
	2	2.71	2.04	2.08	1.16	0.00083	2.47	1.93	1.87	0.00	0.00082	2.1	13.3	31.2
	3	0.33	-1.60	0.60	-0.02	0.25117	-0.43	0.80	-1.13	0.00	-0.29299	0.0	0.1	-0.7
	4	18.63	4.90	10.78	-48.04	0.00609	0.98	6.86	2.94	0.98	-0.00068	54.1	190.6	-13.3
	5	-0.98	-6.86	-2.94	-55.88	0.0	-14.71	-2.94	-7.84	0.98	-0.00609	41.6	69.8	-113.7
58- 2-18 12: 3:32	1	8.24	-0.98	3.63	-51.56	0.00318	-5.77	2.39	-1.69	0.98	-0.00281	40.9	188.8	-60.7
	2	4.52	3.49	3.77	1.37	0.00101	2.99	2.32	2.22	0.00	0.00103	30.5	1.6	36.9
	3	0.55	-3.55	1.04	-0.03	0.31616	-0.52	0.97	-1.32	0.00	-0.36631	0.7	0.0	-0.6
	4	24.51	10.78	16.69	-48.04	0.00744	2.94	10.78	5.88	0.98	0.0	55.7	189.0	19.6
	5	-6.86	-14.71	-10.78	-55.88	-0.00068	-16.67	-8.86	-10.78	0.98	-0.00609	-99.6	138.8	-179.6
58- 2-18 12: 7:31	1	8.80	-0.70	4.05	-49.66	0.00327	-6.01	2.34	-1.84	0.98	-0.00288	47.8	189.0	-20.0
	2	5.45	4.65	4.69	2.94	0.00131	3.75	2.58	2.58	0.00	0.00132	3.8	0.8	12.8
	3	0.62	-6.64	1.16	-0.06	0.40152	-0.62	1.10	-1.41	0.00	-0.45883	0.1	0.0	-0.6
	4	108.82	97.06	102.94	-0.98	0.00676	38.24	10.78	20.59	0.98	0.01352	127.8	189.0	21.2
	5	-4.90	-8.82	-6.86	-53.92	-0.00068	-18.63	-6.86	-10.78	0.98	-0.00676	40.0	163.9	-101.2
58- 2-18 12:12:34	1	10.54	0.42	5.48	-46.33	0.00349	-4.86	2.34	-1.26	0.98	-0.00248	47.3	189.0	-31.1
	2	14.73	14.13	13.98	13.78	0.00248	11.31	3.40	6.63	0.00	0.00350	2.9	0.2	22.3
	3	1.40	33.59	2.55	-0.30	0.70936	-2.33	1.46	-5.26	0.00	-1.41229	0.1	0.0	-0.7
	4	206.86	167.65	187.25	197.06	0.02569	179.41	32.35	100.00	0.98	0.05477	55.7	169.0	-11.8
	5	-93.14	-77.45	-85.29	-53.92	-0.04665	-18.63	-8.82	-12.75	0.98	-0.00811	38.4	187.5	-176.5
58- 2-18 12:16:53	1	8.65	-1.40	3.63	-46.36	0.00347	-6.51	2.13	-2.10	0.98	-0.00298	48.0	189.0	-24.2
	2	3.17	2.44	2.51	1.46	0.00090	2.95	2.43	2.28	0.00	0.00100	2.4	0.1	17.2
	3	0.37	-1.74	0.69	-0.03	0.26000	-0.45	1.14	-1.04	0.00	-0.33671	0.0	0.0	-0.7
	4	22.55	8.82	15.69	-42.16	0.00676	2.94	12.75	6.86	0.98	0.0	55.7	189.0	-13.3
	5	-4.90	-10.78	-5.88	-50.00	0.0	-18.63	-8.82	-11.76	0.98	-0.00811	40.0	187.5	-99.6
58- 2-18 12:27:13	1	8.52	-1.22	3.65	-45.05	0.00336	-6.23	2.04	-2.09	0.98	-0.00285	47.7	189.0	-21.7
	2	3.69	2.88	2.73	1.58	0.00130	2.82	2.35	2.17	0.00	0.00098	2.7	0.1	14.9
	3	0.43	-2.36	0.75	-0.04	0.38558	-0.45	1.15	-1.04	0.00	-0.34351	0.1	0.0	-0.7
	4	22.55	16.67	18.63	-32.35	0.00744	8.82	10.78	5.88	0.98	0.00270	55.7	189.0	-11.8
	5	-8.82	-14.71	-7.84	-50.00	-0.00203	-16.67	-6.86	-10.78	0.98	-0.00676	38.4	187.5	-101.2
58- 2-18 12:37:12	1	8.40	-1.36	3.52	-46.50	0.00337	-5.06	2.10	-1.98	0.98	-0.00281	46.4	189.0	-25.4
	2	5.29	3.99	4.42	1.80	0.00107	4.20	3.66	3.51	0.00	0.00124	10.7	0.7	16.3
	3	0.63	-2.93	1.26	-0.04	0.31692	-0.69	1.74	-1.77	0.00	-0.44018	0.2	0.0	-0.6
	4	32.35	12.75	21.57	-42.16	0.00744	8.82	12.75	10.78	0.98	0.00068	79.2	189.0	33.7
	5	-12.75	-16.67	-10.78	-51.96	-0.00203	-20.59	-10.78	-13.73	0.98	-0.00676	-4.6	162.4	-107.5

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, ねじれ加速度の単位は rad/s², 変位の単位は cmである。

表-5-4 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		
		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
58- 2-18 12:42:57	1	8.56	-1.91	3.32	-45.64	0.00361	-6.53	-2.16	-2.19	0.98	-0.00300	52.4	188.9	-40.1
	2	4.65	3.55	3.80	1.52	0.00113	3.40	2.86	2.74	0.00	0.00106	25.2	0.8	37.4
	3	0.54	-1.65	1.14	-0.03	0.31214	-0.52	1.32	-1.25	0.00	-0.35331	0.5	0.0	-0.9
	4	20.50	-6.26	13.73	-40.20	0.00744	4.90	10.78	5.88	0.98	0.00068	168.6	192.2	-13.3
	5	-6.86	-12.75	-9.80	-50.00	0.00068	-18.63	-6.86	-11.76	0.98	-0.00744	-57.3	163.9	-176.5
58- 2-18 12:54: 6	1	8.74	-2.67	3.04	-44.34	0.00393	-6.22	-2.10	-2.06	0.98	-0.00287	49.0	189.0	-22.4
	2	6.64	5.27	5.21	2.75	0.00204	4.84	4.01	3.89	0.00	0.00148	9.5	0.0	9.5
	3	0.76	-1.98	1.72	-0.06	0.51909	-0.78	1.91	-1.88	0.00	-0.51688	0.2	0.0	-0.4
	4	46.08	32.35	39.22	-14.71	0.01149	26.47	14.71	14.71	0.98	0.00879	149.8	190.6	-11.8
	5	-10.78	-20.59	-11.76	-51.96	-0.00270	-22.55	-10.78	-16.67	0.98	-0.00676	14.9	189.0	-72.9

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, ねじれ加速度の単位は rad/s², 変位の単位は cmである。

表-5-5 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		
		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
58- 2-18 1:50: 9	1	8.43	-0.25	4.09	-24.00	0.00299	-1.90	4.56	1.33	0.98	-0.00223	49.2	188.9	-25.4
	2	3.05	2.17	2.23	1.06	0.00098	2.47	2.13	1.97	0.00	0.00083	25.4	1.4	32.6
	3	0.36	-8.79	0.55	-0.04	0.32763	-1.30	0.47	1.48	0.00	-0.37220	0.5	0.0	-1.3
	4	16.67	6.86	10.78	-20.59	0.00676	4.90	10.78	6.86	0.98	0.0	200.0	189.0	-11.8
	5	-0.98	-6.86	-2.94	-26.47	-0.00068	-10.78	-0.98	-3.92	0.98	-0.00541	36.9	146.7	-179.6
58- 2-18 1:55:12	1	8.36	-0.17	4.10	-25.02	0.00294	-1.70	4.49	1.40	0.98	-0.00213	44.0	189.0	-18.6
	2	3.54	2.59	2.85	1.06	0.00085	2.25	1.96	1.86	0.00	0.00069	2.5	0.0	5.5
	3	0.42	-15.69	0.69	-0.04	0.28860	-1.33	0.44	1.33	0.00	-0.32472	0.1	0.0	-0.3
	4	22.55	10.78	16.67	-20.59	0.00676	4.90	10.78	7.84	0.98	0.0	54.1	189.0	-11.8
	5	-4.90	-10.78	-7.84	-28.43	0.0	-10.78	-2.94	-4.90	0.98	-0.00473	36.9	189.0	-49.4
58- 2-18 2: 0:18	1	8.36	0.00	4.19	-26.19	0.00298	-1.80	4.51	1.35	0.98	-0.00218	43.7	189.0	-18.2
	2	2.82	2.09	2.09	1.17	0.00093	2.71	2.33	2.21	0.00	0.00084	1.8	0.0	5.1
	3	0.34	*****	0.50	-0.04	0.32153	-1.50	0.52	1.63	0.00	-0.38691	0.0	0.0	-0.3
	4	18.63	8.82	13.73	-22.55	0.00609	6.86	12.75	8.82	0.98	0.00135	51.0	189.0	-11.8
	5	-0.98	-6.86	-2.94	-28.43	-0.00068	-12.75	-2.94	-6.86	0.98	-0.00541	38.4	189.0	-51.0
58- 2-18 2: 7: 8	1	8.32	-1.29	3.52	-28.07	0.00331	-1.95	4.57	1.31	0.98	-0.00225	39.8	189.0	-22.5
	2	4.32	3.03	3.43	1.24	0.00101	2.83	2.43	2.29	0.00	0.00090	21.4	0.3	26.2
	3	0.52	-2.35	0.98	-0.04	0.30482	-1.45	0.53	1.75	0.00	-0.40253	0.5	0.0	-1.2
	4	20.59	8.82	13.73	-24.51	0.00676	8.82	12.75	10.78	0.98	0.00135	54.1	189.0	-11.8
	5	-4.90	-12.75	-7.84	-32.35	-0.00203	-14.71	-4.90	-6.86	0.98	-0.00744	-90.2	187.5	-179.6
58- 2-18 2:52:31	1	8.50	-1.12	3.69	-31.03	0.00332	-2.45	4.33	0.94	0.98	-0.00234	49.6	189.0	-24.0
	2	2.79	1.91	2.00	1.03	0.00090	2.53	2.14	1.90	0.00	0.00086	29.0	0.3	29.7
	3	0.33	-1.70	0.54	-0.03	0.27030	-1.03	0.49	2.12	0.00	-0.36609	0.6	0.0	-1.2
	4	16.67	4.90	9.80	-28.43	0.00676	6.86	10.78	7.84	0.98	0.00068	198.4	189.0	-11.8
	5	-0.98	-6.86	-2.94	-34.31	0.0	-10.78	-2.94	-4.90	0.98	-0.00676	38.4	187.5	-176.5
58- 2-18 3:22:59	1	8.70	-1.63	3.54	-32.25	0.00356	-2.82	4.02	0.60	0.98	-0.00236	44.4	187.5	-173.8
	2	3.50	2.47	2.56	1.50	0.00111	2.63	2.39	2.24	0.00	0.00079	10.1	0.4	7.1
	3	0.40	-1.52	0.72	-0.05	0.31222	-0.93	0.59	3.73	0.00	-0.33289	0.2	0.0	-0.0
	4	20.59	6.86	11.76	-10.78	0.00676	4.90	12.75	8.82	0.98	0.0	101.2	189.0	-35.3
	5	-4.90	-8.82	-4.90	-34.31	-0.00068	-12.75	-4.90	-7.84	0.98	-0.00609	-123.1	174.9	-179.6
58- 2-18 3:30:18	1	8.76	-1.66	3.55	-33.19	0.00359	-2.91	4.05	0.57	0.98	-0.00240	44.9	187.5	-174.4
	2	3.93	2.73	3.03	1.20	0.00104	2.46	2.21	2.03	0.00	0.00079	2.6	0.2	5.5
	3	0.45	-1.64	0.85	-0.04	0.29067	-0.84	0.55	3.58	0.00	-0.33120	0.1	0.0	-0.0
	4	20.59	6.86	12.75	-16.67	0.00676	4.90	10.78	6.86	0.98	0.0	52.5	189.0	-138.8
	5	-4.90	-10.78	-5.88	-36.27	0.0	-12.75	-2.94	-7.84	0.98	-0.00744	36.9	187.5	-179.6
58- 2-18 4: 3:47	1	8.84	-2.07	3.38	-34.43	0.00376	-3.76	3.91	0.08	0.98	-0.00264	42.7	189.0	-23.2
	2	2.89	2.03	2.16	0.93	0.00086	2.20	1.93	1.74	0.00	0.00077	11.5	0.3	27.4
	3	0.33	-0.98	0.64	-0.03	0.22838	-0.58	0.40	22.93	0.00	-0.29117	0.3	0.0	-1.2
	4	20.59	4.90	11.76	-32.35	0.00676	2.94	8.82	5.88	0.98	0.0	120.0	189.0	-11.8
	5	-0.98	-8.82	-4.90	-38.24	0.00068	-12.75	-2.94	-5.88	0.98	-0.00609	-107.5	187.5	-178.0
58- 2-18 4:30:10	1	8.89	-1.45	3.72	-30.17	0.00356	-3.91	3.93	0.01	0.98	-0.00270	46.7	189.0	-23.5
	2	3.90	2.78	3.13	1.33	0.00091	2.57	2.25	2.06	0.00	0.00087	9.5	0.6	27.8
	3	0.44	-1.93	0.84	-0.04	0.25412	-0.66	0.57	210.19	0.00	-0.32161	0.2	0.0	-1.2
	4	24.51	8.82	16.67	-10.78	0.00609	2.94	12.75	6.86	0.98	0.0	99.6	189.0	-11.8
	5	-4.90	-10.78	-7.84	-32.35	0.00068	-12.75	-4.90	-7.84	0.98	-0.00676	36.9	183.9	-178.0
58- 2-18 6:57:46	1	8.96	-1.20	3.88	-28.98	0.00350	-5.62	3.13	-1.25	0.98	-0.00302	44.2	189.0	-18.6
	2	3.45	2.80	2.89	1.53	0.00086	2.97	2.13	2.09	0.00	0.00105	15.5	0.3	5.5
	3	0.39	-2.34	0.74	-0.05	0.24587	-0.53	0.68	-1.68	0.00	-0.34777	0.4	0.0	-0.3
	4	61.76	48.04	54.90	-6.86	0.00609	24.51	10.78	14.71	0.98	0.00676	88.6	189.0	-11.4
	5	-0.98	-8.82	-4.90	-32.35	0.00068	-16.67	-4.90	-8.82	0.98	-0.00744	-99.2	189.0	-60.4

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

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

関門橋長期観測データ
解析報告書(その9)

ISSN 0386 - 5878
土木研究所資料 第1970号
昭和58年2月(1982)
山本邦夫・佐藤弘史・湯沢 聡

キーワード, 吊橋, 現地観測, 水平たわみガスト応答

要旨

関門橋に設置されている長期観測システムより得られた強風時のデータをを用いて, 自然風の特性と補剛桁の不規則応答特性について調査した。今年度は特に, 水平たわみガスト応答特性, について解析した。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

構造研究室 御中

No. 2

No. 2

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 1970 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

