

土木研究所資料
第1015号

関門橋長期観測データ解析 報告書(その1)

昭和50年3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には強風時および地震時の橋の応答を調べるための長期観測システムが取り付けられているが、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、本年度より作業が開始された。

本報告書では、長期観測システムの概要を紹介すると共に、本年度に観測されたデータから得られた風の特徴、橋の応答特性の検討結果について述べている。

昭和 50 年 3 月

構造研究室	室 長	成 田 信 之
	研究員	横 山 功 一
	室 員	野 村 一 夫

目

次

1. ま え が き.....	1
2. 関門橋の概要と耐風性.....	1
3. 長期観測システム.....	2
4. 観測結果の検討.....	4
4.1 得られた強風時の記録と解析方法.....	4
4.2 自然風の特徴.....	5
4.3 補剛ゲタの応答の特徴.....	7
4.4 風と構造物の応答との関係.....	8
4.5 ま と め.....	9
5. あ と が き.....	10
図・表・写真	

1 ま え が き

中小橋梁にとって従荷重にすぎない風荷重も、長大吊橋では設計に及ぼす比重を高め、風荷重により一部の部材が決定されるようになる。更に、風による空力不安定振動が問題になる場合があることはよく知られている。

そこで関門橋についても設計の当初から、後述するような設計風速調査・風洞模型実験が実施され、関門橋架橋地点での風の特性の把握および設計案の耐風安全性の検討が行なわれ、最終的に実施設計案として耐風安全性の良好な設計案が得られた。

しかし、今までに若戸大橋・尾道大橋、その他多くの長大橋が建設されているが、海峡を横断し中央径間長500mを越す本格的長大吊橋は関門橋のみである。従って、長大橋としての実橋の挙動を観測し、行なった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。またこれは将来の長大吊橋の耐風設計にも貴重な資料となるであろう。

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、観測が開始された。

次章以降に、長期観測システムの概要を紹介し、得られた強風時のデータから風の特性・橋の応答の特性について検討を加えた。

2 関門橋の概要と耐風性

関門橋は本州下関市と九州北九州市門司区を結ぶ関門自動車道の一部として、本州と九州を隔てる関門海峡に建設された全長1,068mの我が国最大の長大吊橋であり、中央径間長712mは世界第9位に相当する。その位置図、一般図を図-1、2に、諸元を表-1に示す。道路車線は上下各3車線で、吊構造部には高さ9m、主構間隔29mのトラス型式補剛ゲタを採用し、ゲタ下高は満潮面より61mである。補剛ゲタの形状は後述するように風洞実験結果を参考にして決定されたが、補剛トラス上弦材の高度と路面高がほぼ同一面になっていること、および路面の中央分離帯部と両端部に格子状の風抜き穴(グレーチング)が設けられていることが特徴である。

関門橋の耐風設計調査として、風速調査^{1), 2)}と風洞模型実験³⁾が実施された。設計に先立ち実施された風速調査では、架橋地点の風速の再現期待値、鉛直分布、傾斜角など吊橋の耐風性に及ぼす風の特性についての調査が行なわれた。特に関門海峡の地形が複雑なため、風向によっては海峡における風の収斂の影響が著しいと思われるので、これらに対して詳細な検討が加えられた。その結果、海峡での風の特性が明確になると共に、関門橋の耐風

設計に用いる基本風速としては $35.5m/s$ とすることとし、これを用いて補剛ゲタの設計風速は耐風設計指針により $53.5m/s$ とすることとした。

風洞模型実験では、補剛ゲタおよび主塔に関して空気力測定と空力安定性試験が行なわれた。補剛型式については、トラス補剛と箱桁補剛の2種について計画され比較検討されたが、風洞実験の結果および施工性等の現場条件を考慮して、トラス補剛型式が採用された。図-3は実施設計案のねじれフラッターに対する風洞実験結果を示している。図中横軸は迎角（構造物の水平基準軸と風との角度）であり、縦軸はフラッターの限界風速である。つまり図中実線より低い風速領域では発散振動は生じないことを表わしている。架設時の主塔に関する風洞実験からは、主塔の限定振動発現の可能性が指摘され、現地では制振装置を取りつけ、振動を防止することができた。また、補剛ゲタおよび主塔の空気力測定の結果を参考にして、設計風荷重が決定された。

また関門橋完成時には振動特性を調べるための起振機および走行車輛による振動実験が実施された。⁴⁾ その結果得られた固有振動数と対数減衰率を表-2に示す。風洞実験で用いた振れ固有振動数と比較すると実測値は約4%小さい。従って、風洞実験の結果のみより判断すればねじれフラッターの限界風速もそれに応じて実験値より4%程度低くなると考えられる。

また、構造減衰は従来の値よりやや小さな値が得られたが、微小振幅における値であることから、風洞実験結果を修正することは適当ではないと判断された。

3 長期観測システム

昭和44年から46年まで、日本道路公団の委託により高速道路調査会に設けられた「関門橋観測計画研究班」により、風および地震が作用した時の関門橋の挙動を観測するための長期観測システム全般の検討が行なわれた。^{5)、6)、7)} 検討の対象とした観測が従来の観測と特に異なる点は、遠距離からの変位、長周期振動の測定、同時多点観測等であった。検討した主な問題は次のようなものであった。

- (1) 検討すべき観測事項の選定
- (2) 計器の配置計画
- (3) 使用すべき機器の性能と精度、特に変位に対する測定法と測器、ならびに長周期・高感度振動計の機種選定
- (4) 伝送装置および記録装置の検討

(5) 維持管理体制の検討

これらの検討結果を取り入れて実際に関門橋に設置された長期観測システムの概要を、以下に紹介する。観測項目、観測計器等を表-3に、システム系統図を表-4に、計測器の配置を図-4に示した。

(1) 観 測 計 器

(イ) 風向風速計： 下関側塔頂と補剛ゲタ上の格点134（中央径間1/2点）、格点132（格点134から下関側へ20m）、格点116（中央径間下関側1/4点）に合計4台のプロブラ型風向風速計が、風速の水平分布の測定を主な目的として取り付けられている。

(ロ) 超音波風速計： 超音波パルス時間差（和）測定方式の風速計で、主に傾斜角の測定のために格点134に取りつけられている。

(ハ) サーボ型加速度計： 内部にサーボ機構を有するDCから高周波数領域までの広い周波数特性を有し、高感度のサーボ型加速度計が、格点134と116にそれぞれ水平成分1台、上下成分2台設置されている。

(ニ) 変位計： 変位計はテレビジョン方式で、ターゲットとX-Yアナライザーで構成されている。ターゲットはX-Yアナライザーの視野内の最明点を表示するものであり、格点134と116の2個所に設けられ、X-Yアナライザーは下関側橋台の前面壁の内側に設置されターゲットの振動を検出する。

(ホ) 橋軸方向変位計測装置： ポテンショメータを利用した装置で、下関側主塔と中央径間補剛ゲタとの相対変位を計測する。この装置からの測定値は常時は伝送されず、超音波風速計の1成分と切換えて観測される。

(ヘ) 地中地設計、電磁式加速度計： 省略

(2) 伝送装置

データ伝送装置は、観測計器を設置する関門橋とデータ処理装置を設置する下関インターチェンジ管理棟の間の約1.5kmの測定データおよび制御信号の伝送を行なうものである。観測計器で測定されたデータはアナログ量として4個所のデータ伝送装置へ送り、そこでデジタル量に変換するとともに変調器で直流パルス信号を交流信号（FS信号）に変換し、一旦下関側橋台に伝送する。下関側橋台から下関インターチェンジ内の管理棟までは日本電信電話公社が設置する高速道路専用通信回線を用いる。管理棟のデータ伝送装置は、伝送されてきた交流信号を直流信号に変換し、データ処理装置に送り込む。

(3) データ処理装置

下関インターチェンジの管理棟内に設置された電子計算機を主体とするデータ処理装置は、データの記録および表示などを行なう装置であり、その主な機能は次に示すとおりである。

(イ) 測定データの常時監視および比較判断

(ロ) 磁気テープ、電磁オシログラフ、自動平衡記録器による測定データの記録

(ハ) 観測システムの点検

(ニ) 観測計器、データ伝送装置などシステムの制御

(4) データの記録

データの記録は、地中地震計で測定した9個の加速度および風向風速計で測定した4個の風速についてそれぞれあらかじめ設定した値と常時比較し、設定値を越えた場合に開始される。記録は2台の磁気テープ装置により行なわれる。磁気テープに格納されたデータの内容と書式は表-5.1~5.2に示す通りである。強風時のデータは各チャンネルとも40ms間隔でサンプリングされ、磁気テープ上では1レコードは記録の状況を示すヘッダー部と400ms分のデータ部とで構成されている。データは8ビット（つまり10進法で0~255）で表わされている。

この観測システムの特徴としては(1)計測点が多く、非常に大規模であること、(2)長期間常時観測態勢にあること、(3)精度を高めるために伝送、記録にデジタル方式を用いていることが挙げられる。

また、このシステムによるモニターは管理事務所においてもデジタル表示され、交通管制の資料を提供している。

4 観測結果の検討

4.1 得られた強風時の記録

長期観測システムは昭和48年9月に関門橋に設置され、その後調整が進められ昭和49年春から本格的にデータが得られるようになった。本年度は台風の襲来も少なかったため現在までに得られた強風時の記録は少ないが、その結果を表-6に示す。同時に、強風の原因（台風または低気圧）と、下関气象台における強風の測定結果を示した。主風向は、低気圧による場合はSW~W、台風の場合はEとなっている。

解析に用いたデータは全て40msecでサンプリングし、5個を平均して新しいデータとしている。なお1RUNは400秒とした。パワースペクトルの計算にはBlackman &

Tukey の方法を用い、Window としては hamming を使用している。

4.2 自然風の特徴

関門橋の建設された関門海峡における風の特徴を明らかにし、設計時に想定した風と実際の風の対応を調べる目的で、自然風の特徴について調査した。

図-5 は 4 台の風向風速計の測定値をそのまま図示したものである。表-7 は風向風速の測定値に対し、平均値・標準偏差などの統計量を計算したものであり、この結果を用いて図-6 の風向風速分布と図-7 の風の特徴の時間的変化を求めた。また風速記録の幾つかは、パワースペクトルを求め、図-8 に示した。以下にこれらに対して検討を加えることにする。

(1) 海峡部では地形が複雑なため、収斂効果などにより風の特徴（鉛直分布特性など）が変わってくると考えられる。しかし今回得られたデータによると乱れ強さ・ガストファクター・風速のパワースペクトルなどには従来言われていた値と大きな違いは見られなかった。

(2) 橋軸方向に配置された 4 台の風向風速計のデータより風の水平方向の分布が求められる。補剛ゲタ各位置での風速を比較すると、時には $1 m/s$ 程度の差がある時もあるが、ほぼ等しいといえることができる。また風向については格点 1 3 2 を除きほぼ等しい。格点 1 3 2 については 11 月に行なわれた点検作業で測器に異常がないことが確かめられているので、風速計が周辺にある構造物（ケーブル、ハンガーなど）の存在の影響を受けているのではないかと考えられる。

風洞地形模型実験からは風速の水平分布に関し次のような結果を得た。即ち(1). 風速の水平分布をみると、東および西南の風の場合には風洞風速を上廻り、東北の風の場合は下回る。前者は海峡における風の収束を、後者は下関側火の山の後流効果を示すものと推定される。(2). 東および西南風の場合、水平風速は架橋地点に近づくにつれ大きくなる。海峡中央部に較べると和布刈側の風速増加が著しい。

しかし今回の観測結果からは、3 地点の風向風速に大きな差異は認められなかった。図-5 より 4 台の風速計の記録を比較すると、風速風向に関してそれほど類似していない。今後相互相関関数などを求め、更に検討する予定である。

(3) 風向風速計の海面よりの高さは、塔頂の場合 $14.67m$ 、補剛ゲタの場合およそ $8.21m$ である。このため塔頂での平均風速は補剛ゲタ高さでの風速と比較して $15 \sim 50\%$ 増となっている。しかし、風向に関しては著しい差は認められなかった。これより高さ方向に関しては同質の特性を持っていると考えてもよいであろう。ただし、風速の変化に

伴って、乱れは当然変化する。

また、風洞実験や現地観測より海峡部では風速の鉛直分布はある高度において風速の極大値を持つなど、特異な様相を示す事が指摘されているが、この観測システムのような計測器の配置ではこれを求めることはできない。

- (4) 傾斜角について述べる前に、超音波風速計とプロベラ型風向風速計について対比しておく。プロベラ型風速計の測定値には機械特性が入るため、測定値は真値とは異なる。また超音波風速計は可動部がないため機械特性は入らないとしても、風向により感度が悪くなる場合があることはよく知られている。今回のデータで、パワースペクトルの傾きについて比較してみると、プロベラ型で測定した場合高周波数領域で感度が減じていることが分る。また、超音波風速計は機械の不調のため十分なデータが得られていないが、プロベラ型と比して最大値はもちろん平均値も大きめに与えることがあるようである。このため、今後超音波風速計とプロベラ型風速計の対応づけが必要である。

- (5) 風洞地形模型実験によると、主風向の違いにより海峡部の傾斜角に差が生じることが予測されていた。つまり南西風の場合、全般的に地形の影響はみられないが、北側の火の山(268m)に向って吹き上げ傾向を持ち、下関側で吹き上げ角は3°程度となる。また、北東風の場合火の山に影響されて殆んど点で負の傾斜角を持つと推定された。

今回の観測では超音波風速計を用いて中央径間1/2点で傾斜角の測定を行なっているが、4月26日の強風の風向はW~SSWであり傾斜角は正、7月6日の風向はE~NNEで傾斜角は正となり、風洞模型実験結果とは一致しなかった。

超音波風速計は11月には機械の不調のためほとんどデータが得られていない。従って傾斜角の大きさについては、まだ十分な資料が得られていない。

- (6) 関門橋の設計風速を求める際の基本風速は近隣の気象官署の統計データをもとに、地形因子を用いた重回帰分析法によって決定した。下関気象台もその気象官署のうちの1つであり、統計データは求められた回帰式とよい一致を示している。従って関門橋で観測された風速と下関気象台に於いて観測された風速とを比較することは、設計風速を決定した回帰式の妥当性を検証する上で重要な事であると考えられる。図-9はその結果を示すものであり、図中には設計に用いた風速の高度補正曲線を併記してある。

風向に関して比較すると、両者はほぼ同方向であり、下関気象台と関門橋は同一気象条件下にあると考えてよいと思われる。風速に関しては、観測された風速領域が狭いことから両者の相関について調べるには、データとしては不十分であるが、その平均値はほぼ高度補正曲線と一致するのではないかと考えられる。

4.3 補剛ゲタの応答の特性

関門橋の強風時の応答測定としては、主塔の加速度、補剛ゲタの加速度および変位が測定項目となっている。今回の解析では、応答の顕著な補剛ゲタについて着目することにした。

補剛ゲタの応答測定のために、補剛ゲタ $\frac{1}{2}$ 点と下関側 $\frac{1}{4}$ 点とにサーボ型加速度計と変位計用ターゲットが、また下関側橋台にテレビカメラを利用した変位計が設置されている。各断面には、加速度計は下横構に水平成分1台と橋軸直角方向両端部に鉛直成分2台の構成となっており、変位計用ターゲットは下横構よりやや下側へ2個取りつけられて、各点の鉛直および水平変位が測定できるようになっている。ただし、変位計は $\frac{1}{2}$ 点と $\frac{1}{4}$ 点とは切換えて測定するようになっており、 $\frac{1}{2}$ 点と $\frac{1}{4}$ 点の同時測定はできない。また調整および故障などにより、変位計が正常に作動しデータが得られるようになったのは秋以降であった。

補剛ゲタは鉛直たわみ、水平たわみ、ねじれの三自由度を有しており、水平成分および鉛直成分の応答値には本来の値にねじれのそれぞれの方向成分も含まれていると考えられる。従って測定値から、鉛直・水平たわみ・ねじれの各成分の分離方法について考える必要がある。以下にその方法について述べることにする。

補剛ゲタの運動が正弦振動的で、たわみとねじれの振動数が一致しない場合には、たとえば補剛ゲタ両端部の加速度計の出力の和算および減算を行なうことにより補剛ゲタの鉛直たわみ振動とねじれ振動は分離することができる。しかし、ねじれの中心を決定することができない。特に鉛直方向にはどこにあるのか不明である。更に自然風により不規則振動している場合には、極端な場合ねじれとたわみが同一周波数成分を持ちうることから、たわみとねじれの連成が生じ、ねじれの中心が時間と共に動いてゆくことも考えられ、分離は不可能ではないかと思われる。また水平方向加速度計の出力からねじれの影響を取り除くことも不可能であると思われる。

このような考え方に対し、補剛ゲタの応答を直接視覚的に把握することを目的として映画を製作した。その1コマを写真に示す。映画には超音波風速計の鉛直成分と橋軸直角水平成分をベクトル表示し格点134の変位計出力からの補剛ゲタの運動を求めて表わした。映画の速度は実時間の約3倍、水平・鉛直変位は補剛ゲタに対して20倍に増幅されている。この結果からは、全般に補剛ゲタはたわみ・ねじれの不規則振動をしているが、鉛直たわみ振動が顕著に表われた。水平たわみ振動およびねじれ振動については顕著な振動は表われなかった。従って、ねじれの中心に関しては資料を得ることができなかった。

次に、応答の大きさ、風と応答との関係については次節で述べることにし、ここでは応答の特性について述べることにする。

図-10-1~10-3に補剛ゲタの水平、鉛直、ねじれ振動加速度のパワースペクトルを示した。ねじれと鉛直たわみの分離には上述した加算・減算法を用いた。また図-10-4~10-11に補剛ゲタの1/2点の加速度計・変位計の出力のパワースペクトルを示した。

図-10-1~10-2には昭和48年秋に行なわれた起振機による関門橋振動試験で求められた鉛直たわみおよびねじれ振動の固有振動数が記入されている。この振動数はパワースペクトルのピーク値を与える周波数と完全に一致している。ただし、鉛直たわみとねじれ振動は完全には分離できていないようである。これは2台の加速度計の感度が一致していないためと考えられる。水平振動の図-10-3には計算で求めた水平方向振動の固有振動数が併記されている。ただし、水平成分加速度計にはねじれ振動による水平加速度が含まれている。パワースペクトルのピーク値（≡固有振動数）と計算値を比較すると計算値はやや大きめの値を与える結果になっている。吊橋の横振動のデータは皆無に近い状態であるので、この結果は有益な資料となると考えられる。

加速度のパワースペクトルは変位のパワースペクトルの高周波成分が強調される結果となるが、本来両者は同一のデータを提供してくれるものである。加速度のパワースペクトルから、補剛ゲタは風により同時に鉛直たわみ、水平たわみおよびねじれ振動をしており、その応答は幾つかのモードが組み合わさった不規則な振動とすることができる。ただし、それぞれ最低次の対称モードが卓越するようであるが、逆対称モードもかなり含まれていることが分る。また部材に作用する応力が変位と大きな関係を有していることを考えると、変位のパワースペクトルで最低次の振動が卓越し、高次振動は非常に小さいことから、風により吊橋は不規則応答するけれども最低次の振動が重要であることが分る。

4.4 風と補剛ゲタの応答との関係

風による補剛ゲタの振動としては、自励振動と不規則振動が考えられる。しかし、風洞実験により、関門橋は自励振動に対して安全な断面を採用しており、今回のような低風速の場合には勿論その兆候は見い出せない。そこで、今回は不規則応答に注目することにする。

風と応答の記録をそのまま図示したのが図-11で、応答の標準偏差、最大値を求めたのが表-8である。また図-12には風速と応答の関係を図示した。図-11の応答の波形は階段状に変化しているが、これは振動が微小であったのでプロッターの感度をあげたためである。

図-11より一般的に、風速が高くなると補剛ゲタは鉛直たわみ、水平たわみ振動をはじめる。振動はやや周期的であるが、不規則成分もかなり含まれる。振動の大きさには風速のレベルが影響するようである。

近年、確率統計学的手法の発達に伴い、構造物の不規則応答に対して研究が進められるようになった。現在、本州四国連絡橋耐風設計基準が改訂されつつあるが、⁸⁾ 其中で設計風荷重は A.G.Davenport による吊橋の不規則振動の解析法を用いて決定されることになっている(その方法については既に報告⁹⁾ しているので、ここでは触れないことにする。)。図-11は補剛ゲタ中央径間 $\frac{1}{2}$ 点の変位の平均値および標準偏差と橋軸直角方向平均風速の関係を示しているが、A.G.Davenportによる計算値も併記した。それによると、傾向はほぼ一致するが、絶対値はかなり異なっている。このため計算では風速のパワースペクトルには Davenportの式を用いているので、実測値を用いて再度計算する必要があると思われる。

4.5 ま と め

今年度実施した解析は、長期観測システムの点検などに時間を費したことで、得られた記録が少数であったことなどから、一次解析の域を出ないが、明らかとなった事項を要約すると次のとおりである。

- (1) 架橋地点の風速のパワースペクトル・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。傾斜角については風洞実験と逆の傾向を示した例があった。その絶対値については今後の課題である。
- (2) 補剛ゲタのねじれフラッターに関しては今回の観測結果からは当然のことであるが、何の情報も得られなかった。ただし、補剛ゲタはたわみおよびねじれの不規則振動をしており、加速度のパワースペクトルから、高次の振動成分もかなり含まれていることが分る。しかし、設計に関係すると思われる変位のパワースペクトルでは、最低次の振動が卓越する。
- (3) 補剛ゲタの振動変位を、A.G.Davenportの方法による計算値と比較したが、その傾向は合うが量的な一致はみられなかった。計算方式については今後検討を継続する予定である。次に今年度1年間観測記録の収集および解析を通じて気のついた長期観測システムに関する問題点を指摘し、今後の参考資料としたい。
- (1) 長期観測システムの計測・伝送・記録の各機器は工場検査を済せ、現地での点検調整を完了して計測状態に入ったが、当初測定値に不審な点が多く、結局システムに虫がいた(システムの設計に見落した点があったか、または設計どおりにでき上がっていなかった)ことが原因であった。各機器の初期の調整が完成した段階で、実際に計測しそのデ

ータが正しく記録されているか、測定値の側からシステムを見なおすことが重要である。

また計画段階からシステムの管理（点検、維持）について検討し、その案を作成しておくことが必要である。

(2) 計画では各計測器のフルスケールは、設計風速時を想定し、かなり大きな値をとっており、 25 m/s 程度の強風時には測定値が小さく、有効ケタが小さくなりデータ処理上問題がある。この点に関しては途中からサーボ型加速度計の測定レンジを下げ精度をあげている。

(3) 変位計の問題は、ターゲット光源（ 100 W ）よりも自然光（主として太陽光を関門橋が反射）のレベルが高くなりX-Yアナライザの最明点変動すること、窓ガラスの偏光により最明点がずれること、変位計の零調整はX-Yアナライザのカメラの取り付け角度を変えて行なうのがかなり難しく、また長期間に零点がずれてしまうことなどである。

(4) サーボ型加速度計の問題点は長期間に零点がずれてしまうこと（データ処理上は関係はないが）、現場での検定が難しいことなどである。これは各計測器に共通であるが、計測器が正常に働いているかどうかを調べる較正装置を当初より組み込んでおくべきであることを痛切に感じた。11月に必要に迫られて現場での計測器からデータ処理装置までの一貫した検定を試みたが現場での検定はどうしても正確さに欠けるからである。

5 あ と が き

長期観測システムは昭和48年秋より作動を開始しているが、本格的にデータが得られるようになったのは昭和49年春からである。現在までに得られたデータは 25 m/s 以下のもので、今後台風などの強風のデータを蓄積していく必要があると思われる。

今回行なった検討は時間が短かった関係上、解析の対象としたデータも少数であり、一次解析の域を出ていない。最近、変動風による構造物の不規則応答を考慮した耐風設計法を確立しようとする気運にあるが、ここで観測されたデータは理論計算との対応で重要な位置を占めるものと思われる。今後、関門橋の強風時の安全性について調べると共に、海峡部の風特性、乱れを含んだ自然風とそれによる吊橋の応答との関係について検討を進めて行く予定である。

おわりに、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。下関管

理事務所古道正男氏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ご尽力をいただいた。記して感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 気象庁・建設省；第二関門道路調査、1967.3
- 2) 相馬 清二；関門橋の気流に関する風洞実験一追補、1967.11
- 3) 建設省土木研究所；関門橋設計施工調査報告書、1973.3
- 4) 建設省土木研究所；関門橋振動試験報告書、1974.3
- 5) 高速道路調査会関門橋観測計画研究班；関門橋観測計画に関する研究報告書、
1970.3
- 6) " ; " 1971.3
- 7) " ; " 1972.3
- 8) 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、1975.3
- 9) 建設省土木研究所；耐風調査報告書(Ⅱ)、土木研究所資料第930、1974.3

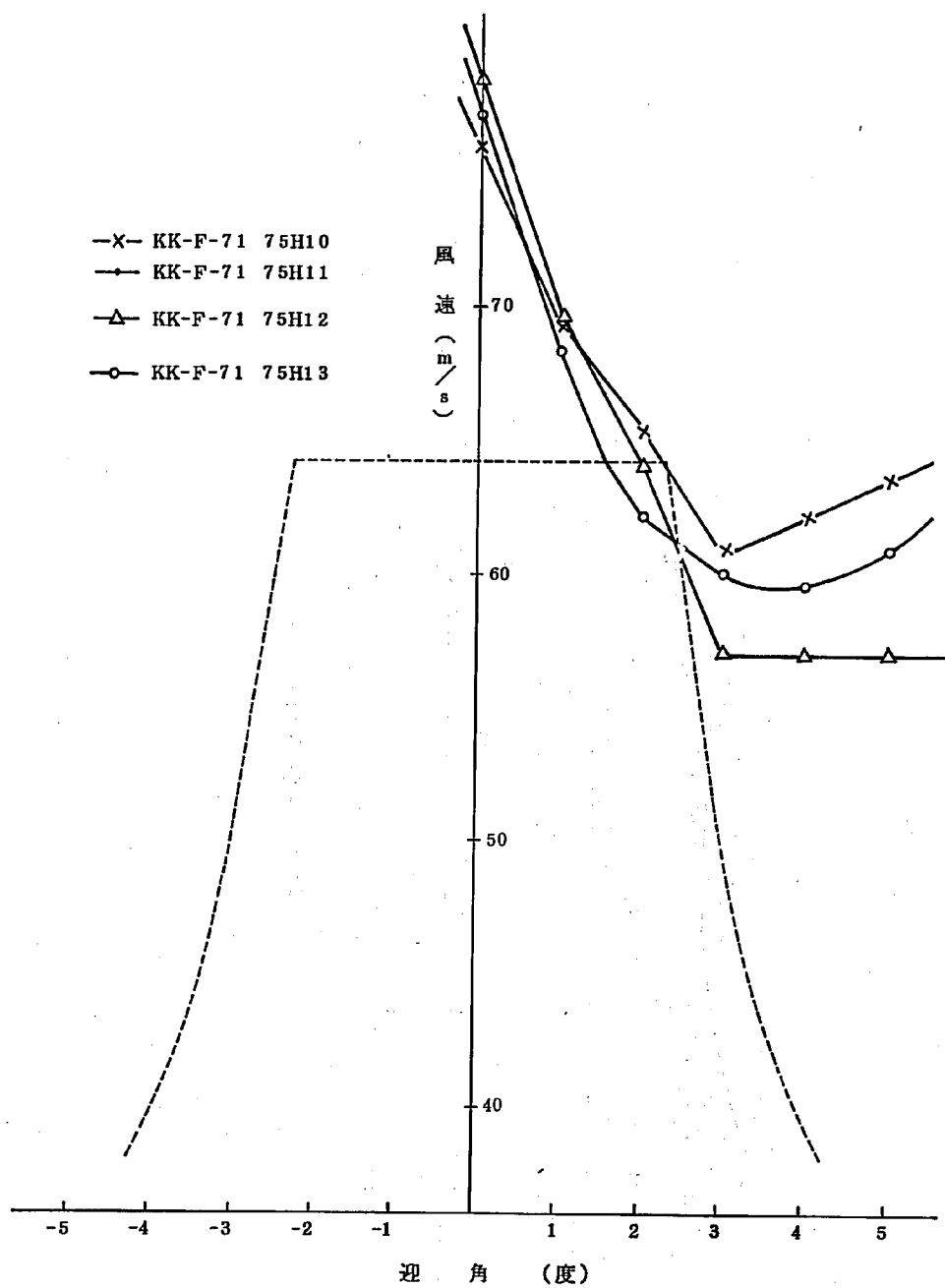


図-3 閘門橋の風洞実験結果

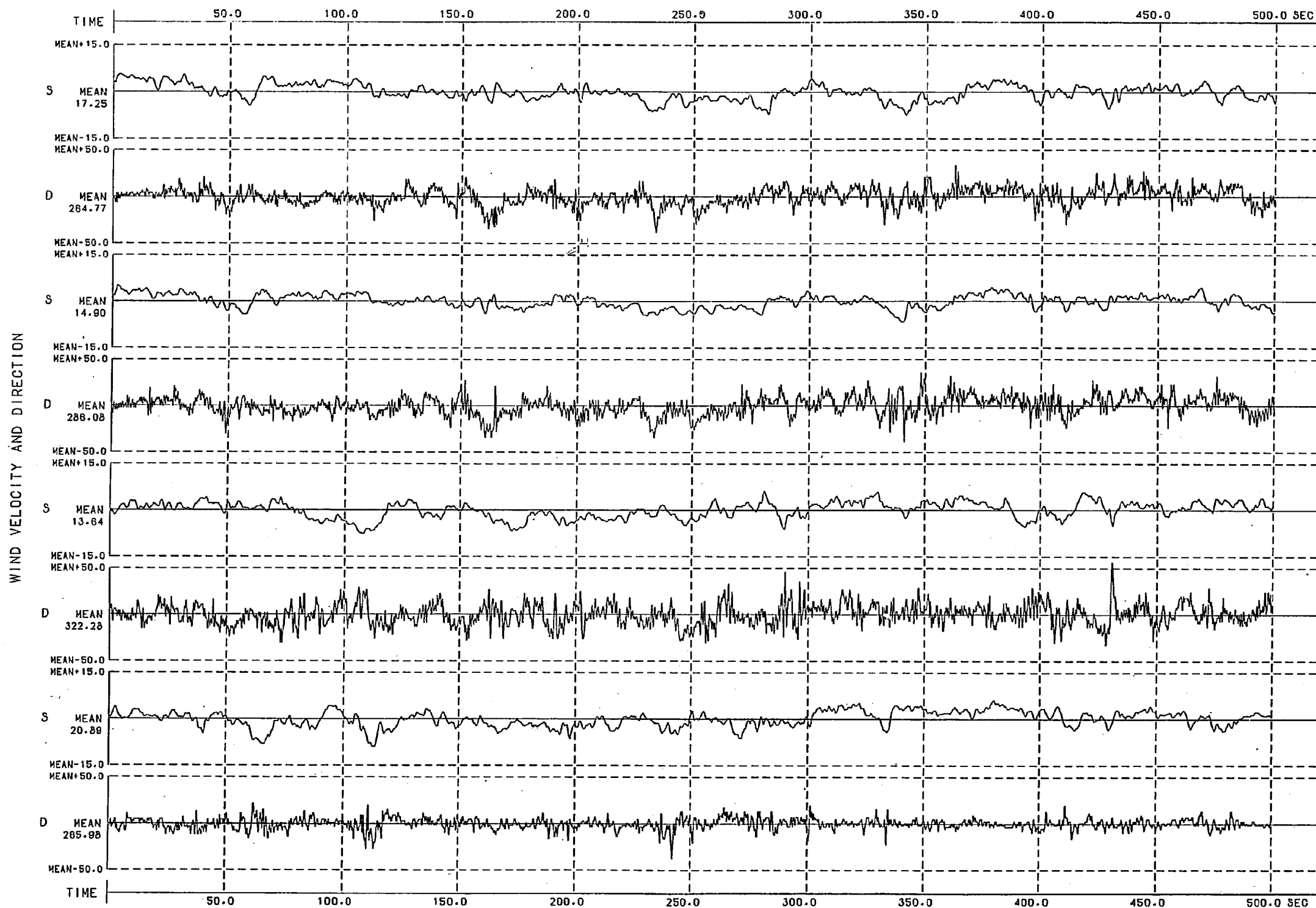


図-5-1 強風の測定記録 (49. 11. 18 8:50:00)

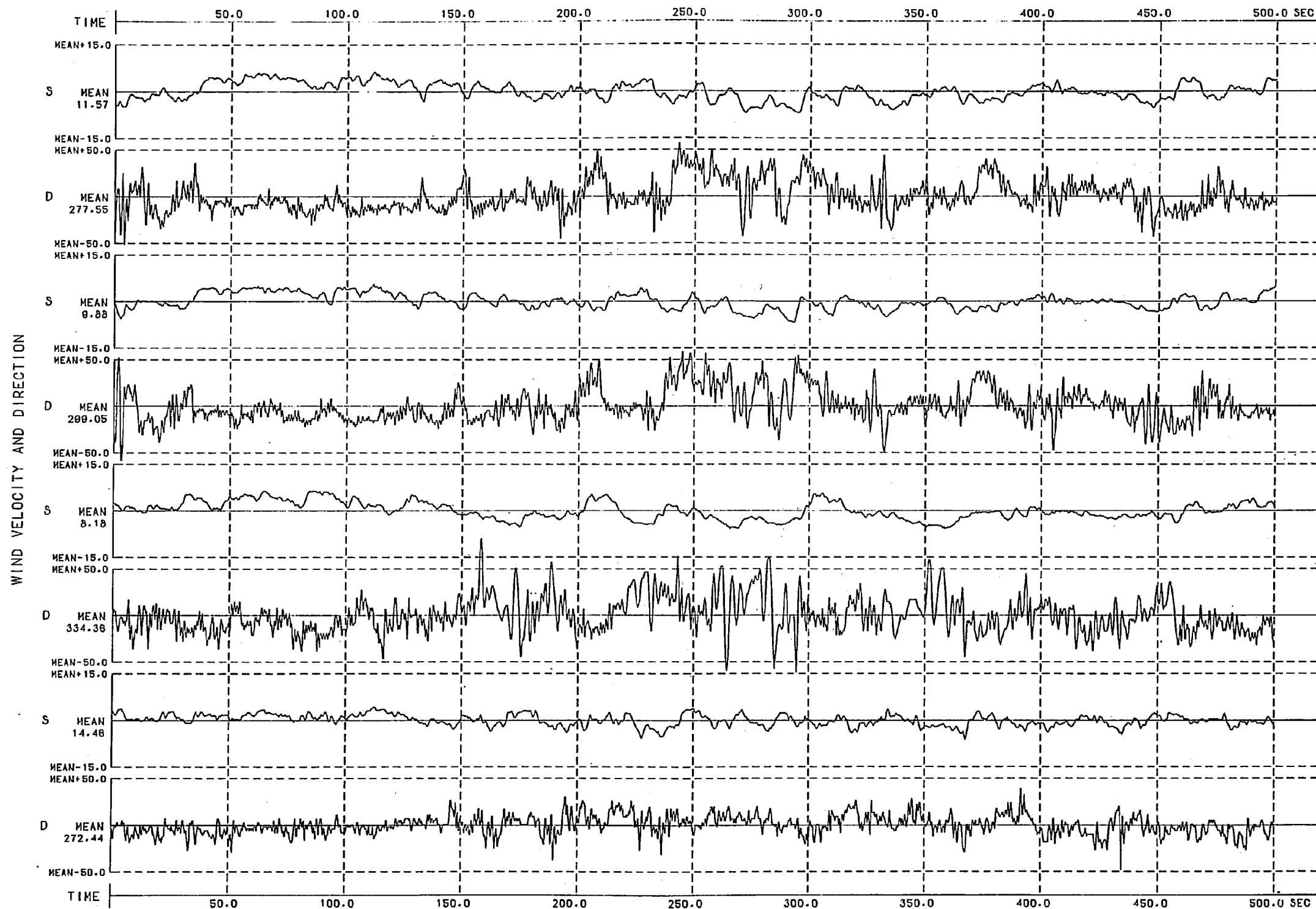


図-5-2 強風の測定記録 (49. 11. 18 12:56:00)

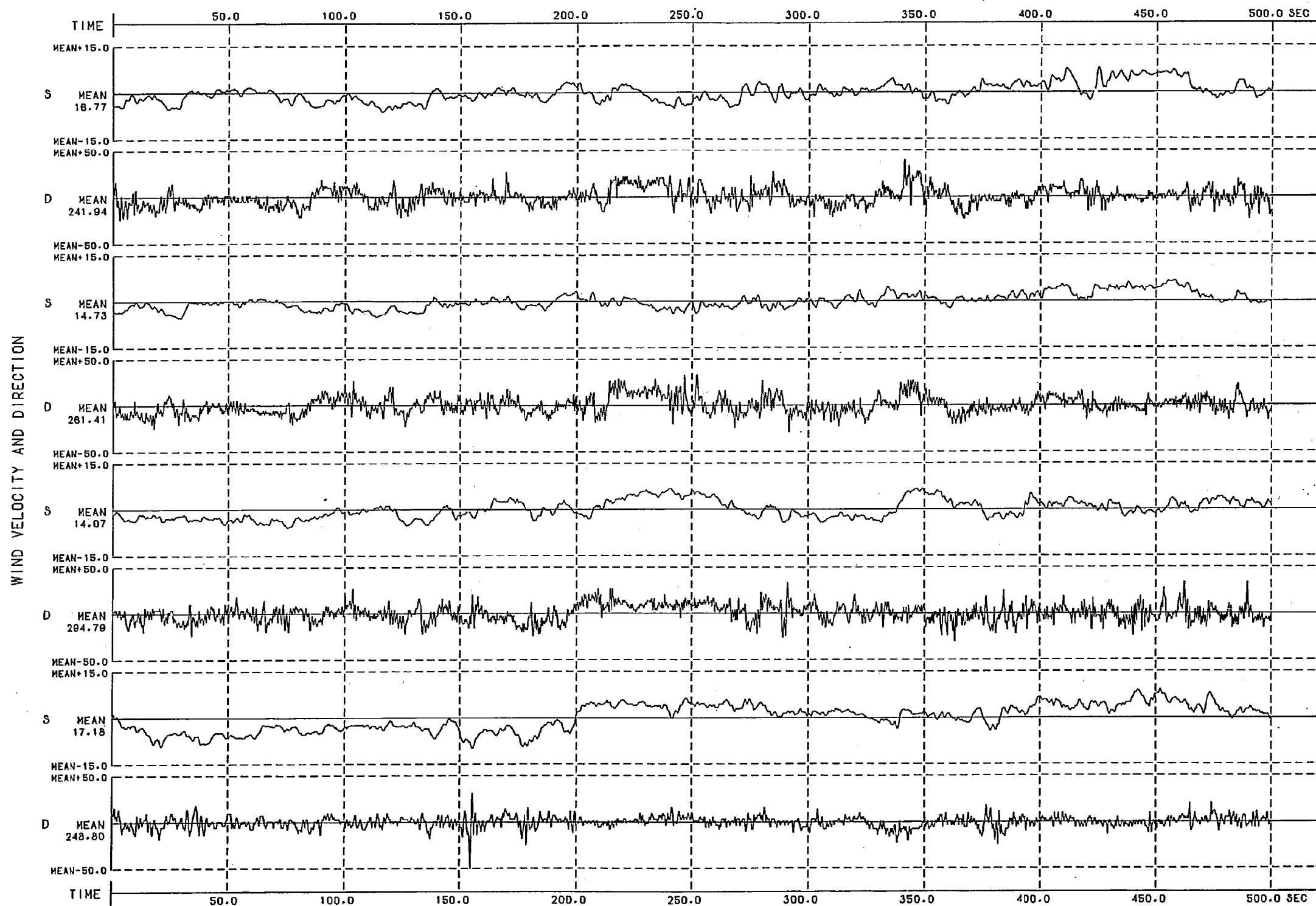


図-5-3 強風の測定記録 (49. 11. 21 1:55:00)

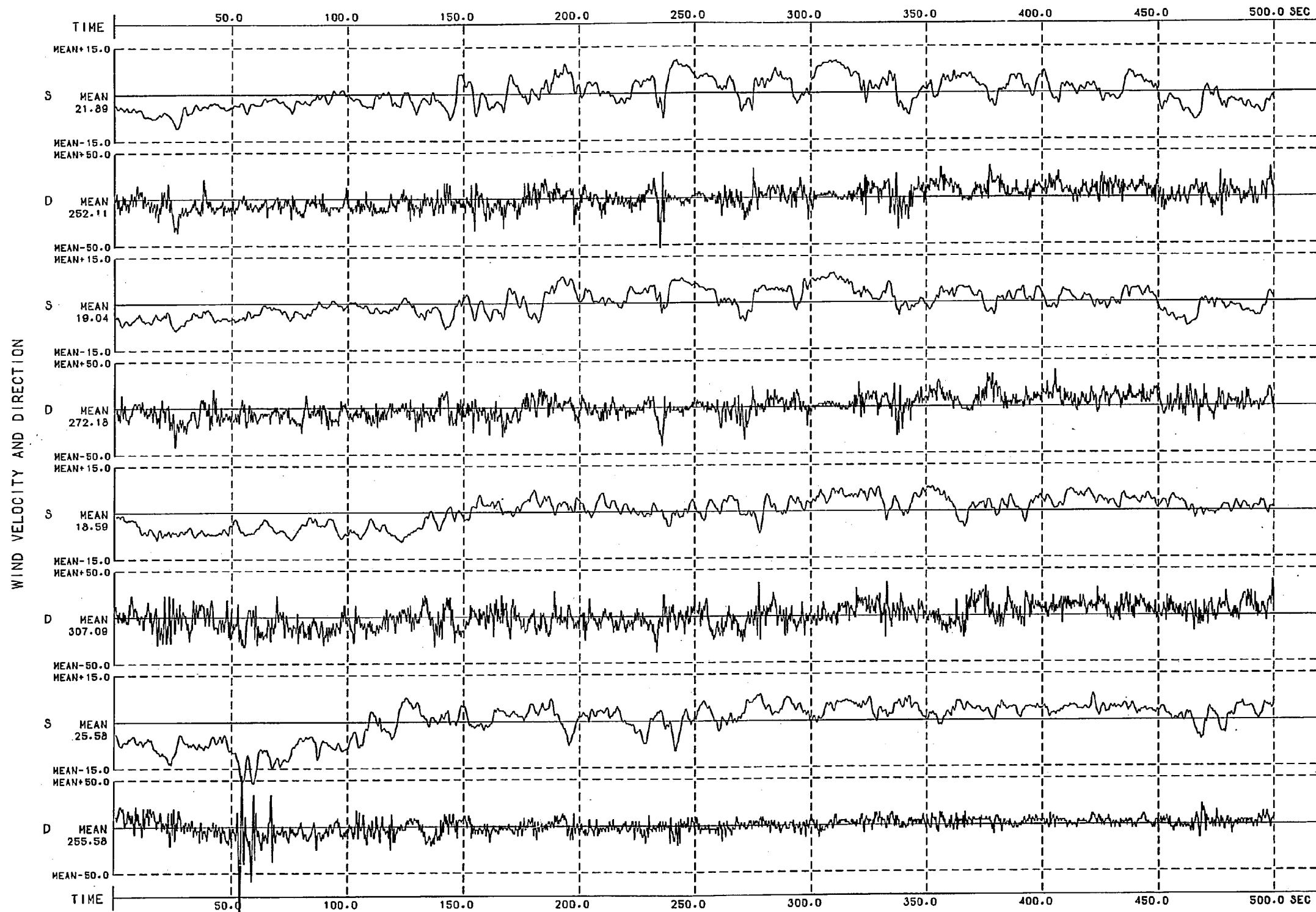
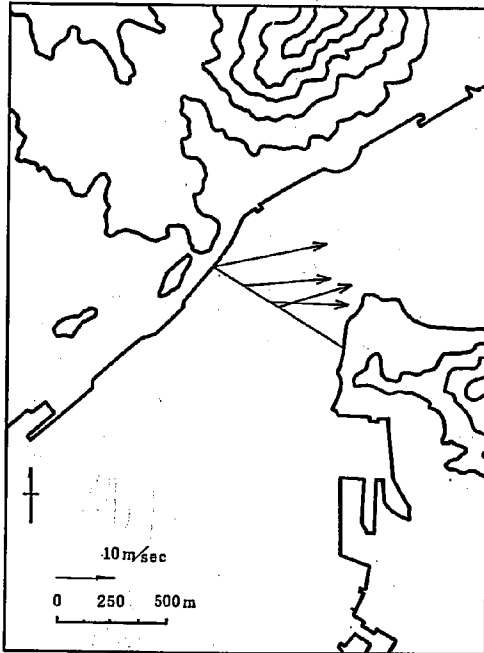
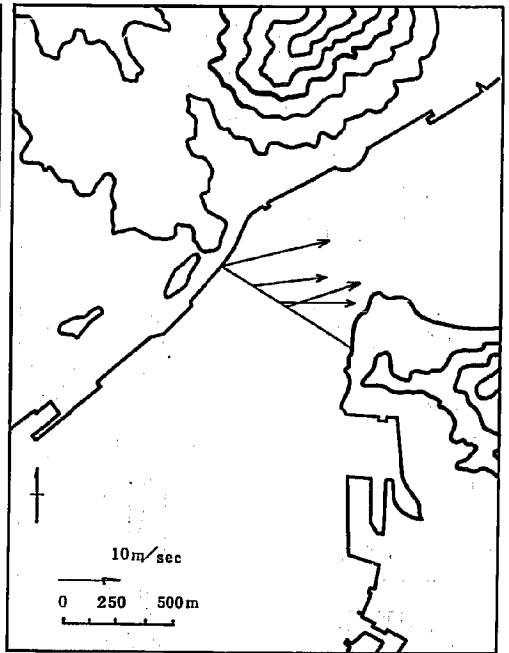


図-5-4 強風の測定記録 (49. 11. 21 4:05:00)

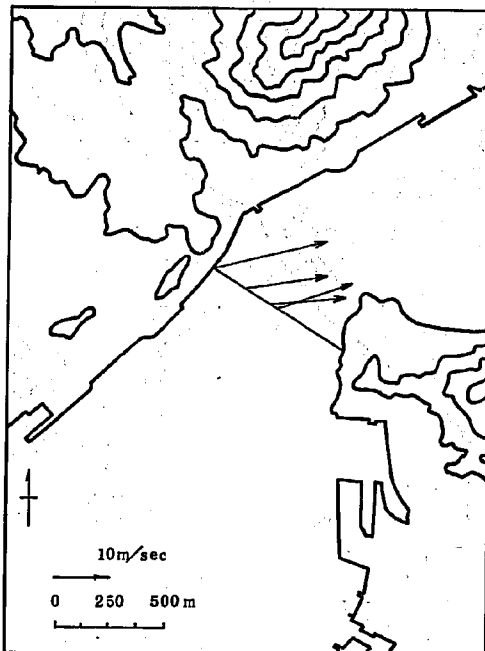
49年4月26日 8:27:50



49年4月26日 9:38:16



49年4月26日 10:15:05



49年4月26日 10:45:43

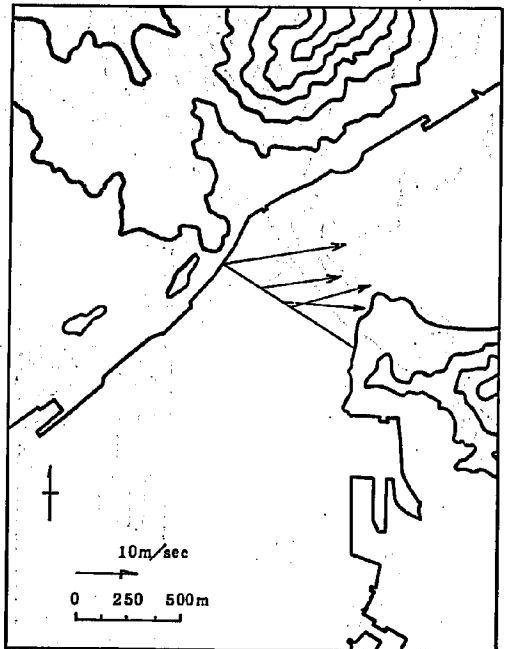
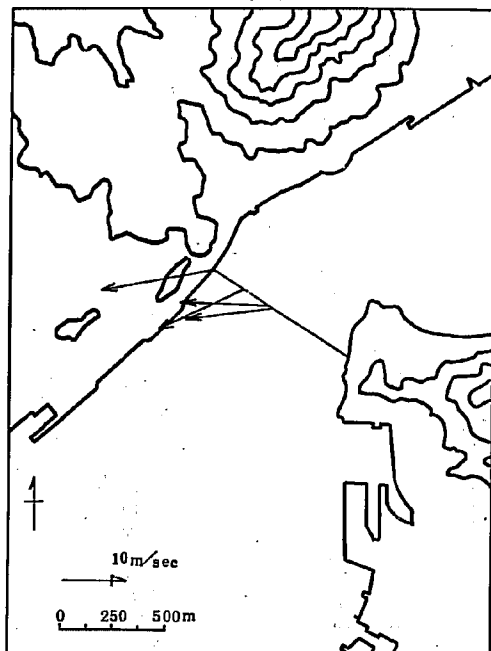
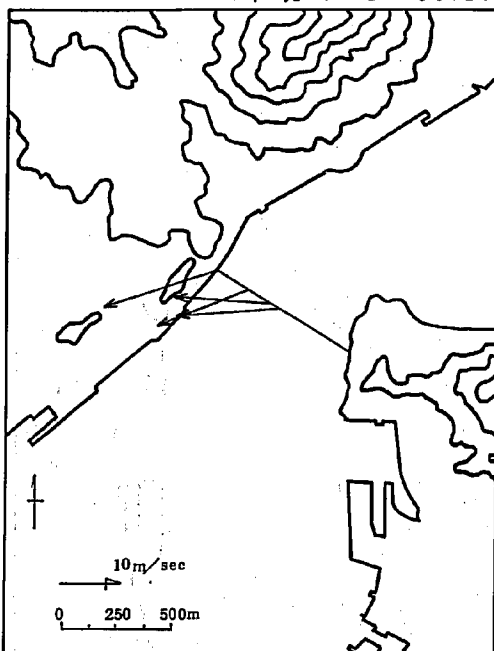


図-6-1 風速の水平分布

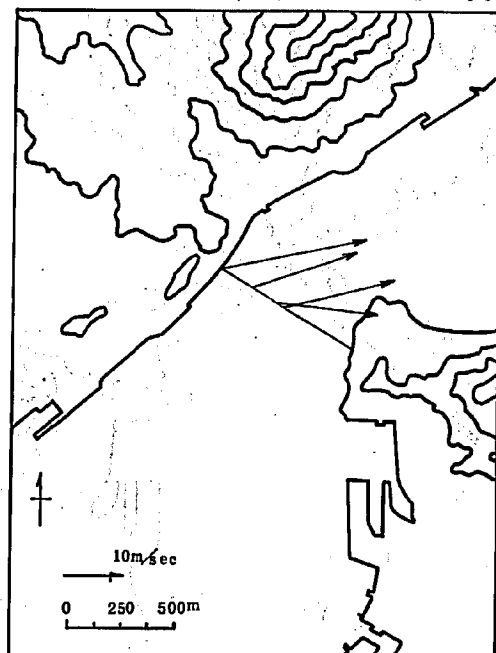
49年7月6日 17:52:04



49年7月6日 18:04:17



49年11月18日 7:05:00



49年11月18日 7:55:00

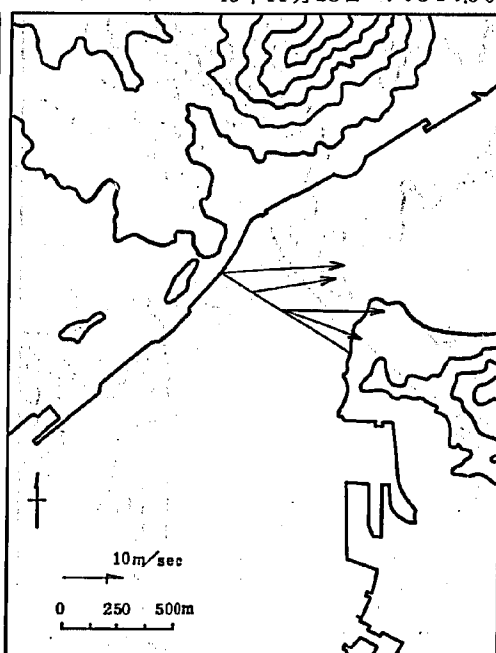


図-6-2 風速の水平分布

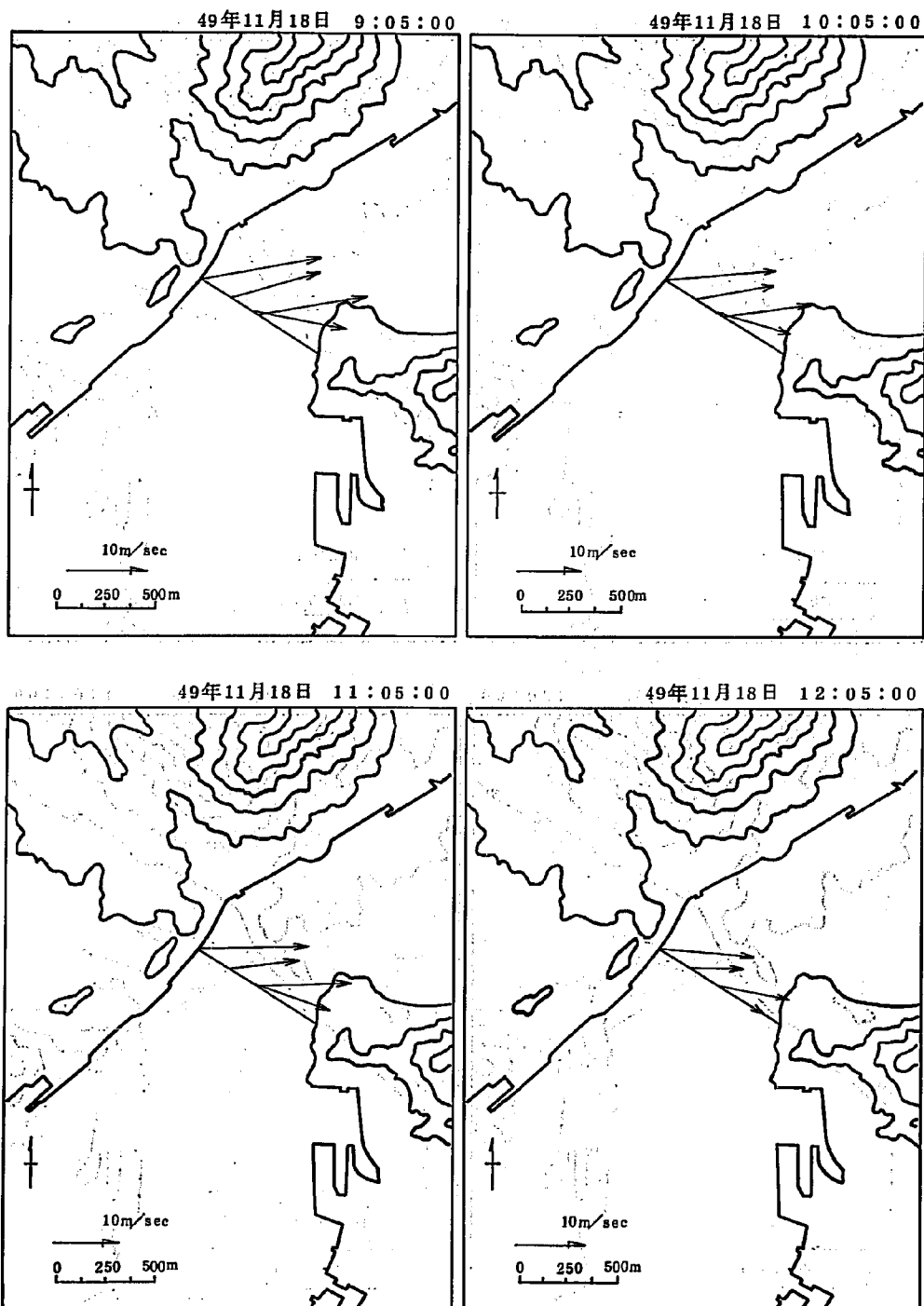
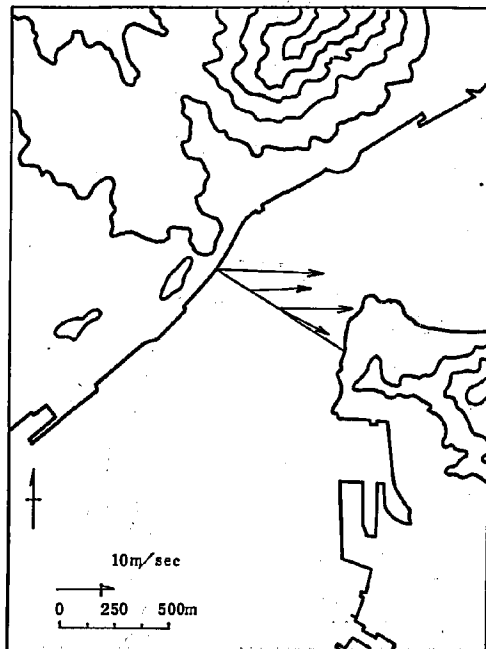
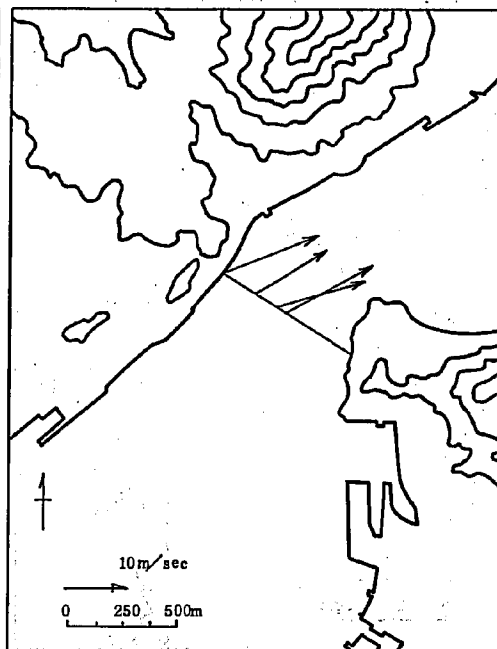


図-6-3 風速の水平分布

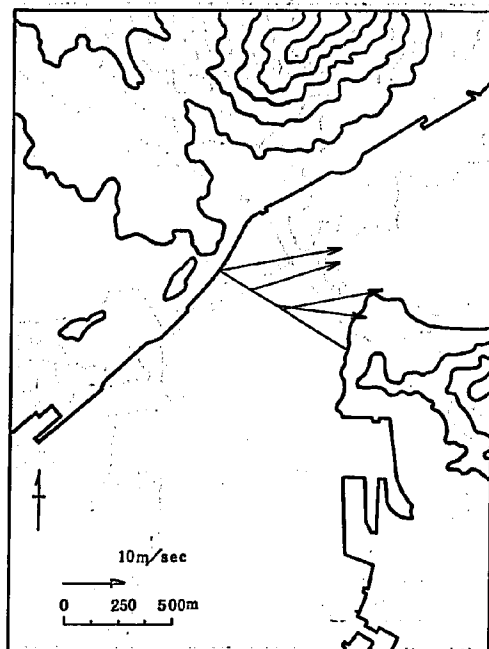
49年11月18日 13:05:00



49年11月21日 1:55:00



49年11月21日 3:00:00



49年11月21日 4:05:00

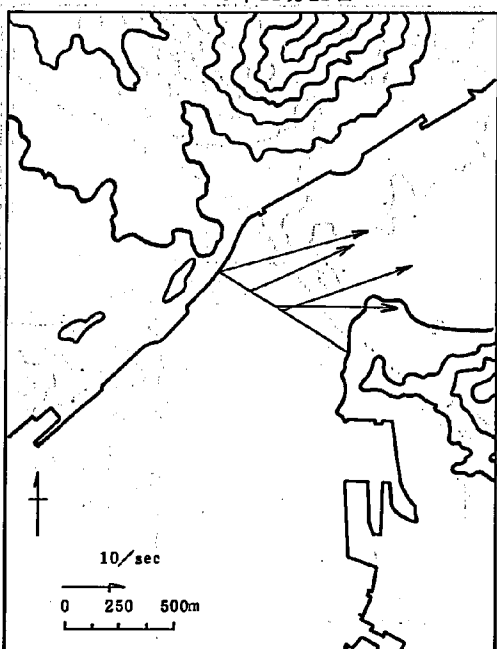
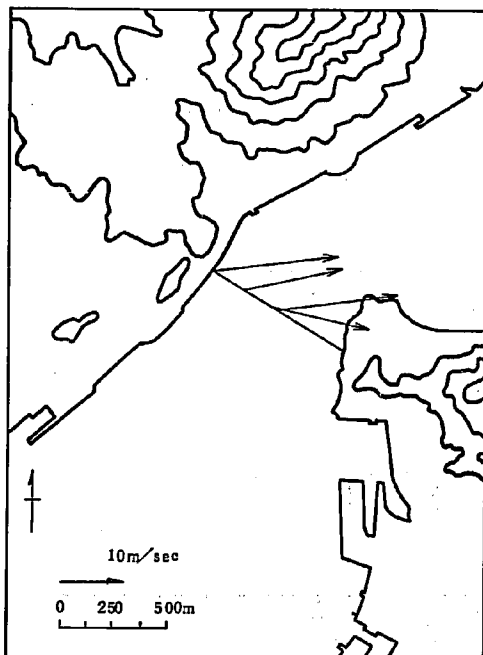
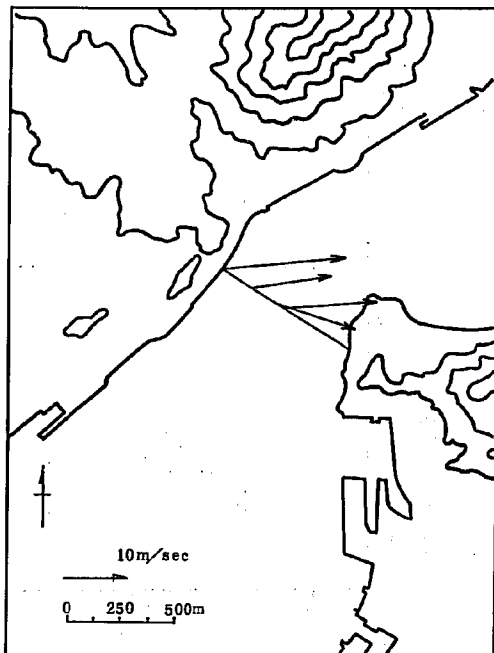


図-6-4 風速の水平分布

49年11月21日 5:15:00



49年11月21日 6:30:00



49年11月21日 7:35:00

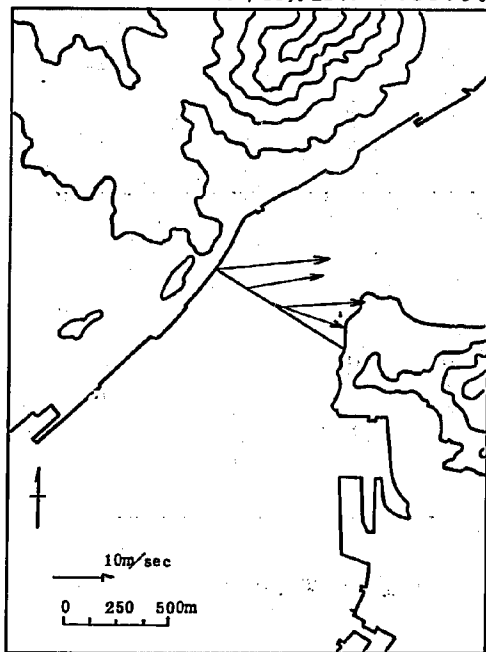


図-6-5 風速の水平分布

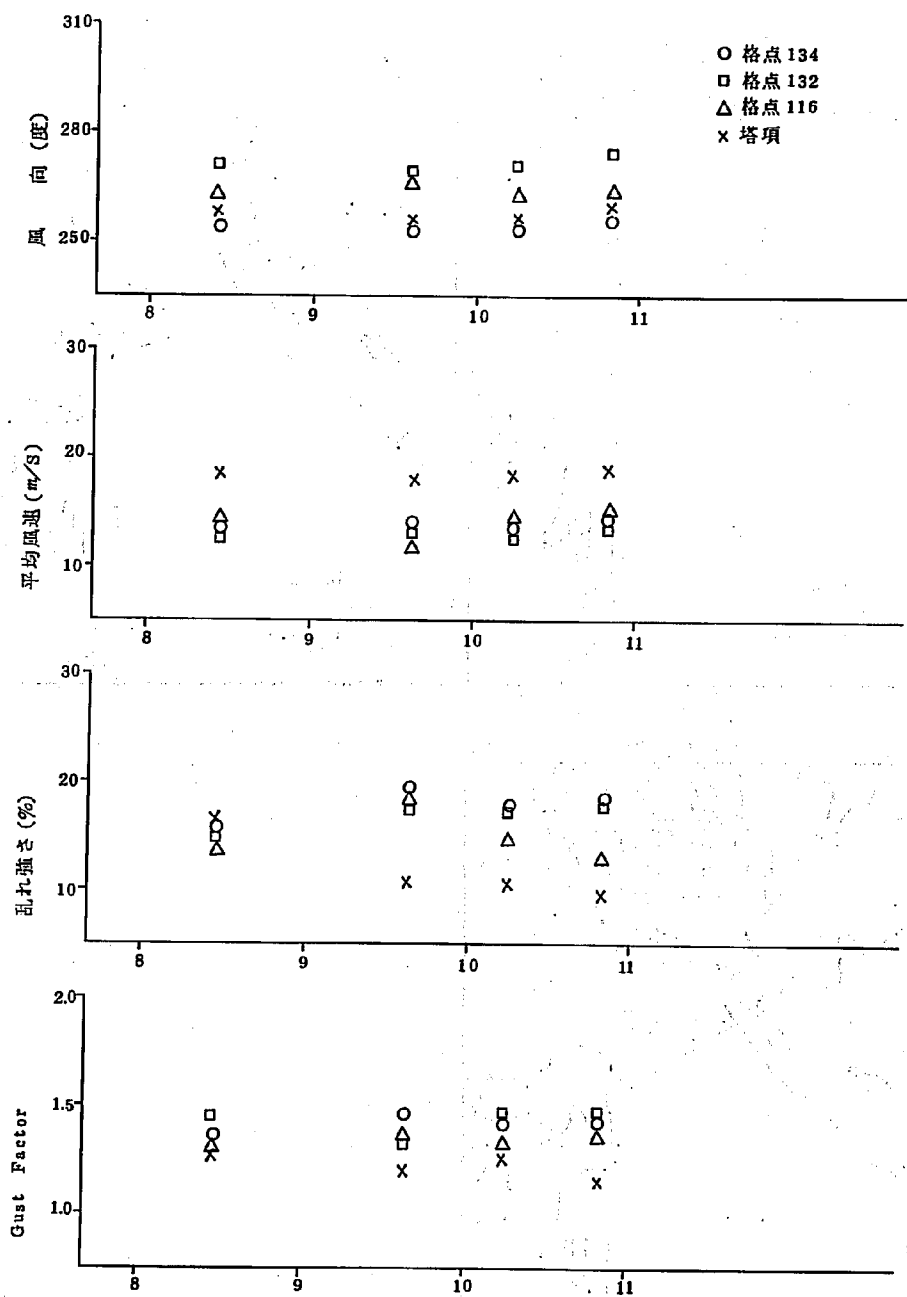


図-7-1 風の特徴の時間変化 (昭和49年4月26日)

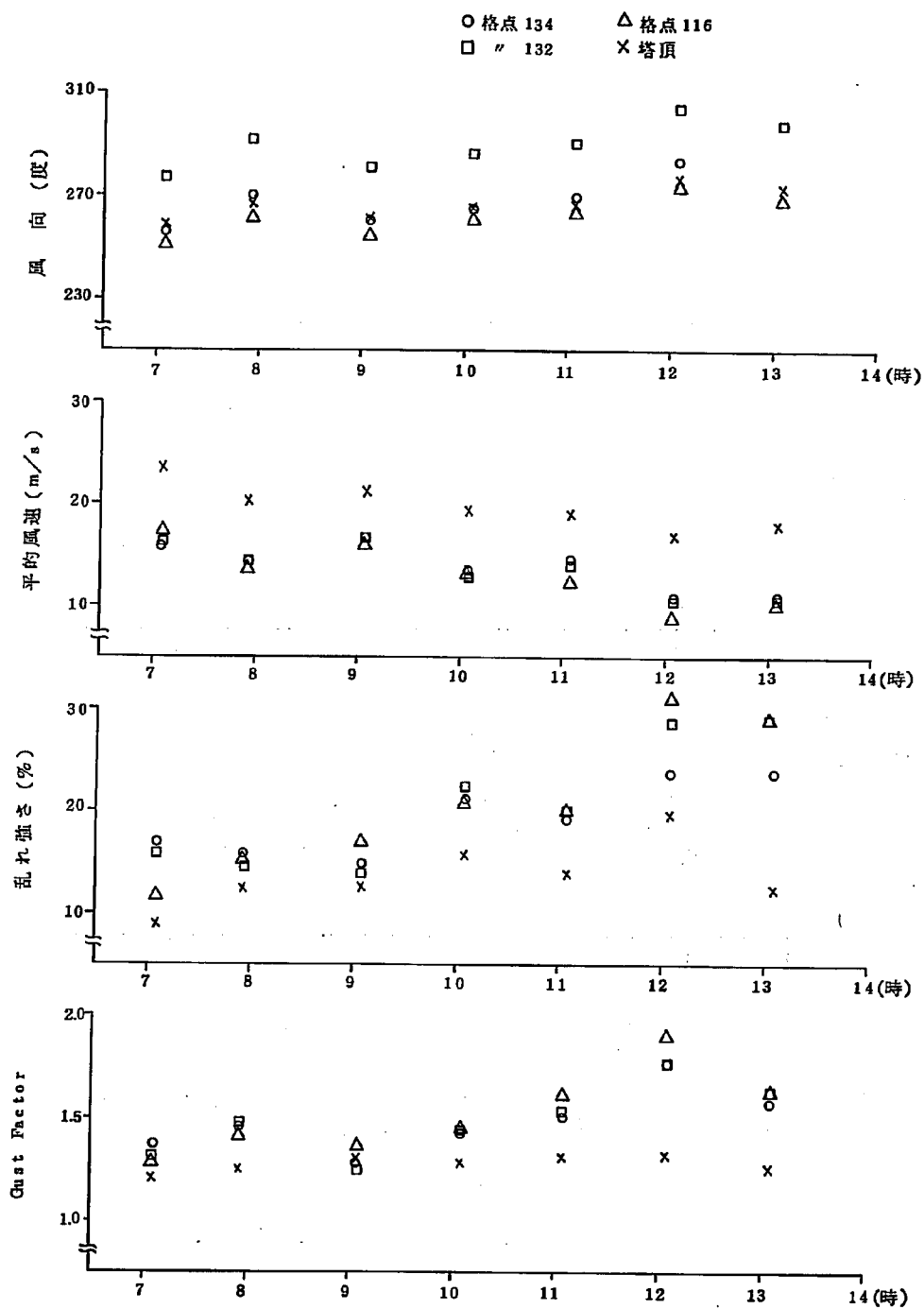


図-7-2 風の特徴の時間変化 (昭和49年11月18日)

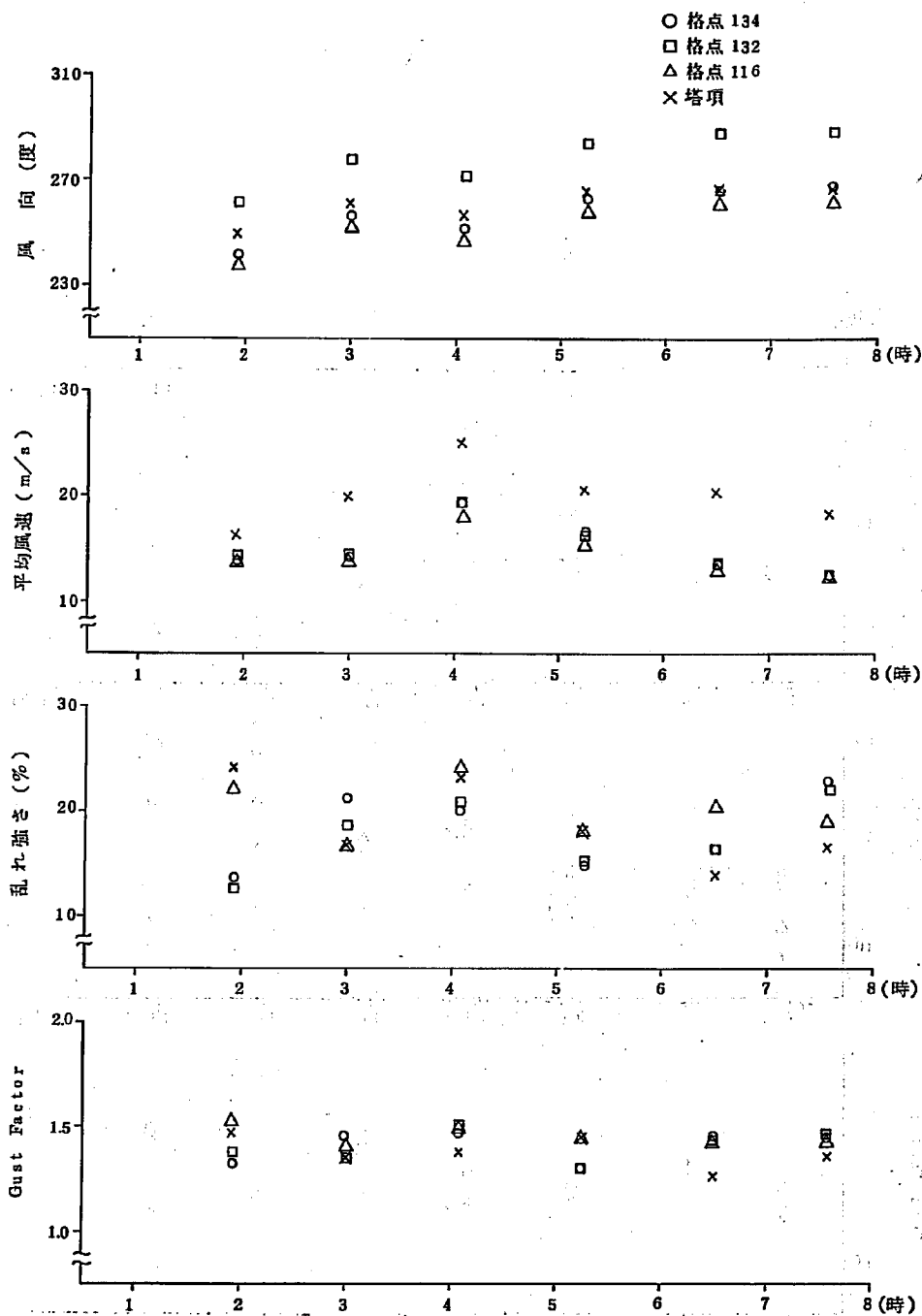


図-7-3 風の特徴の時間変化(昭和49年11月21日)

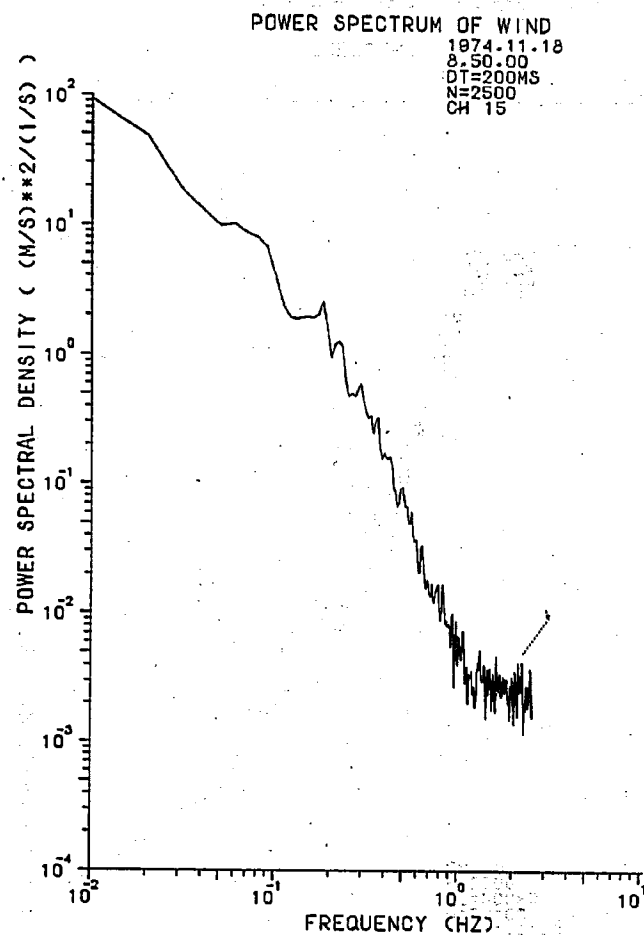


図-8-1 風速のパワースペクトル (格点 1 3 4)

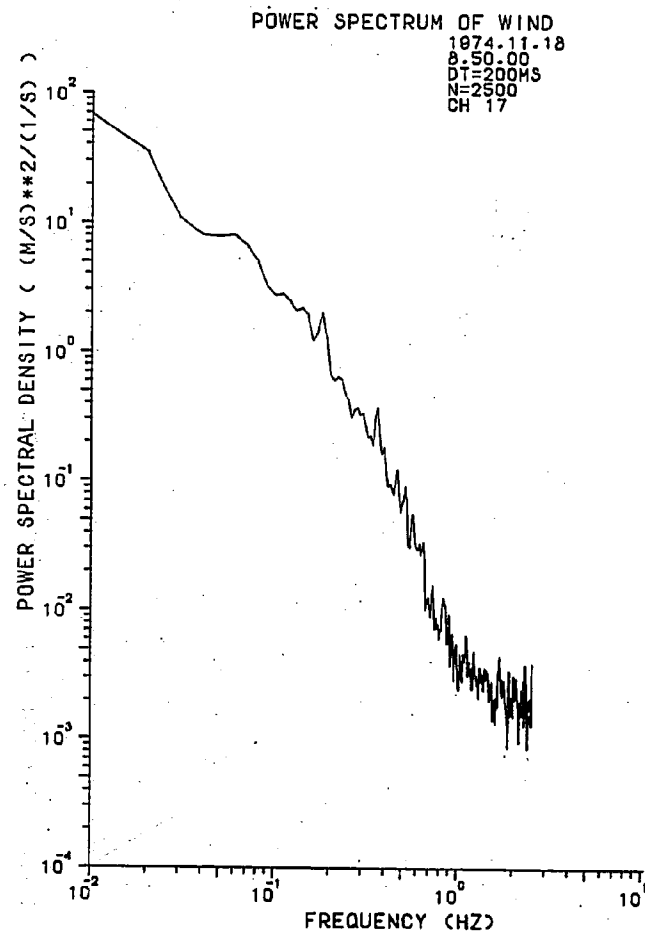


図-8-2 風速のパワースペクトル (格点 1 3 2)

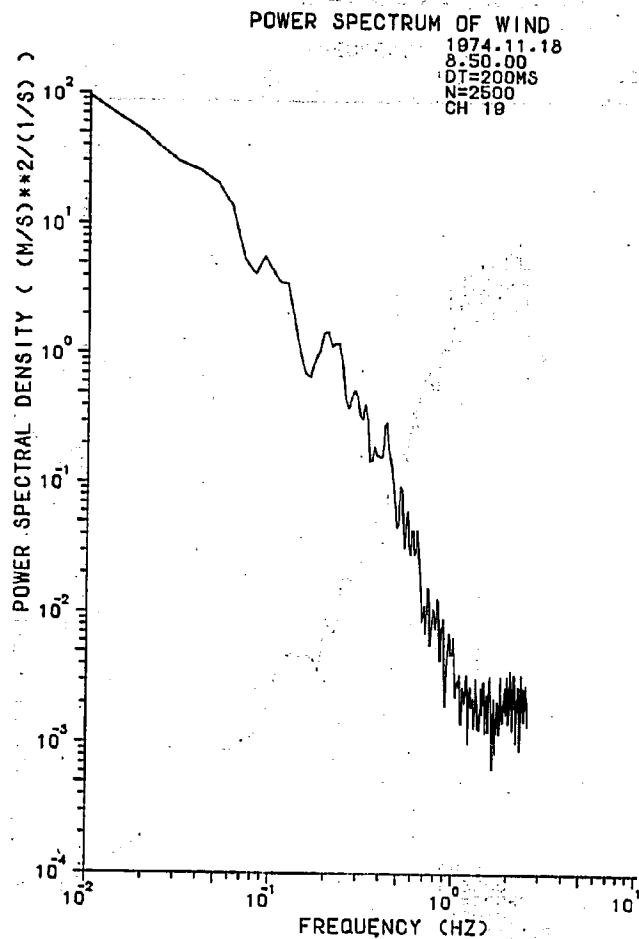


図-8-3 風速のパワースペクトル (格点 1 1 6)

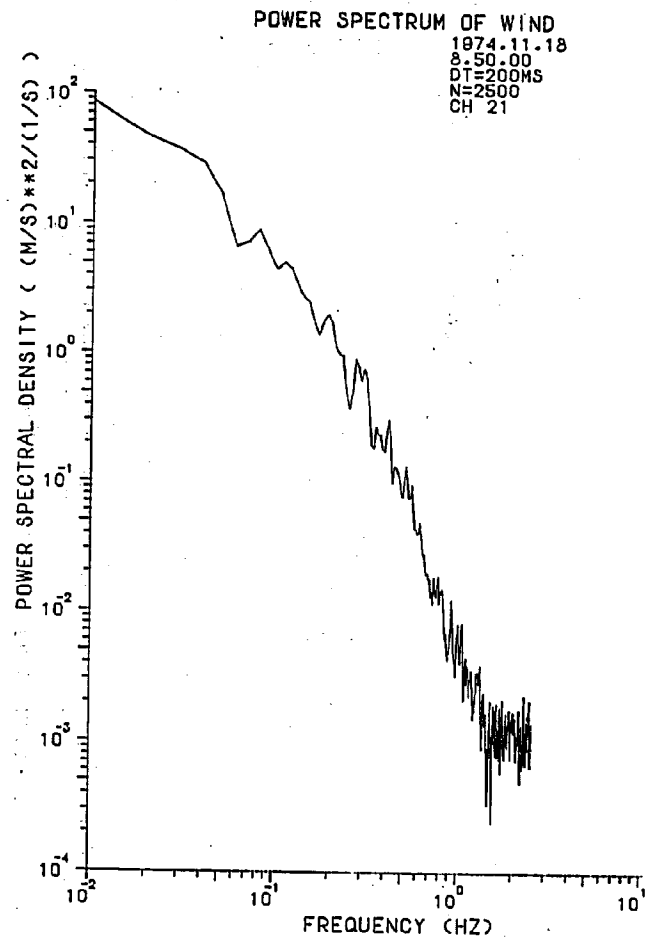


図-8-4 風速のパワースペクトル (塔 頂)

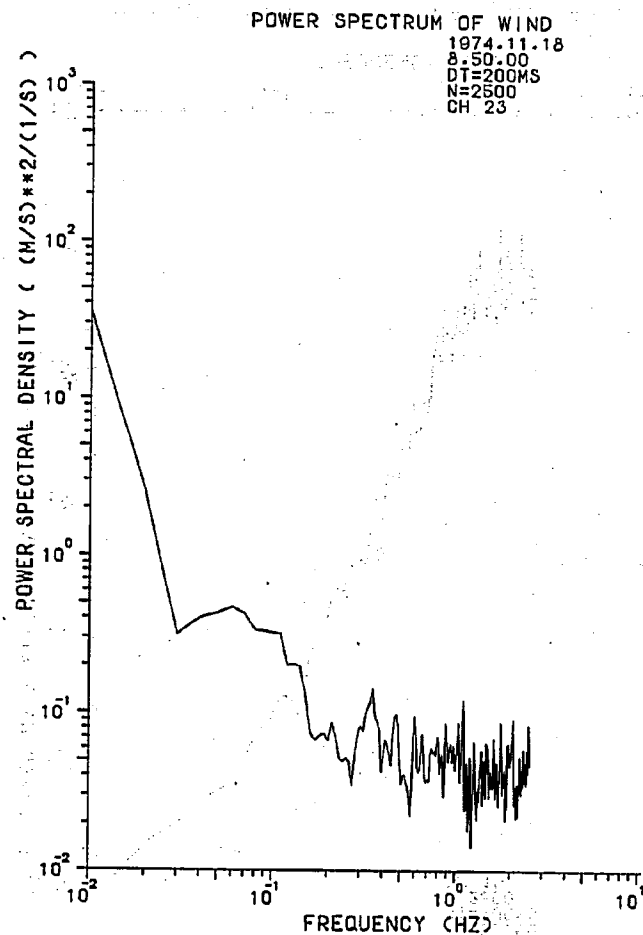


図-8-5 風速のパワースペクトル(格点1 3 4 鉛直方向)

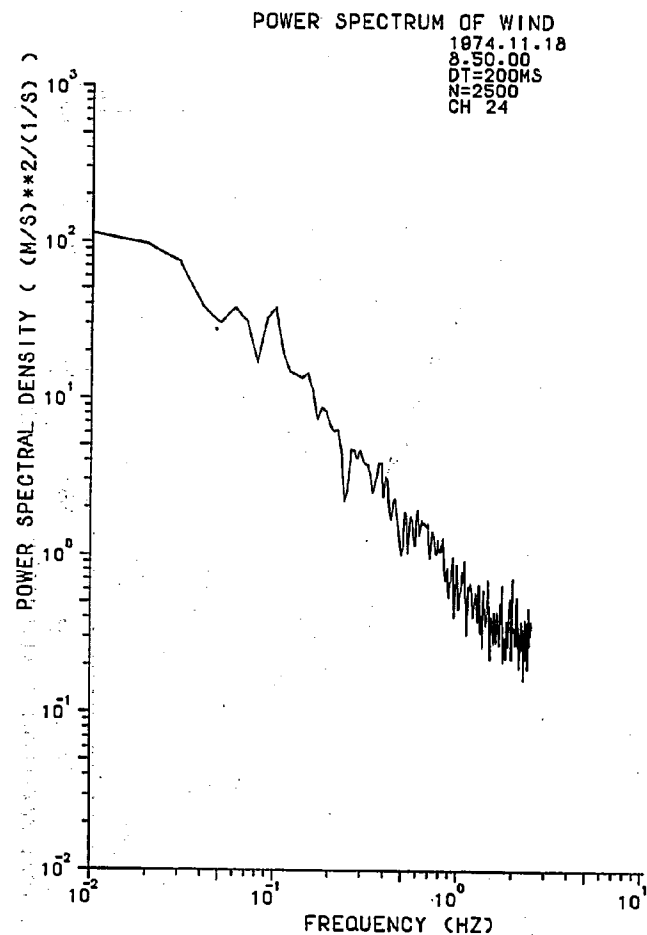


図-8-6 風速のパワースペクトル(格点1 3 4 水平方向)

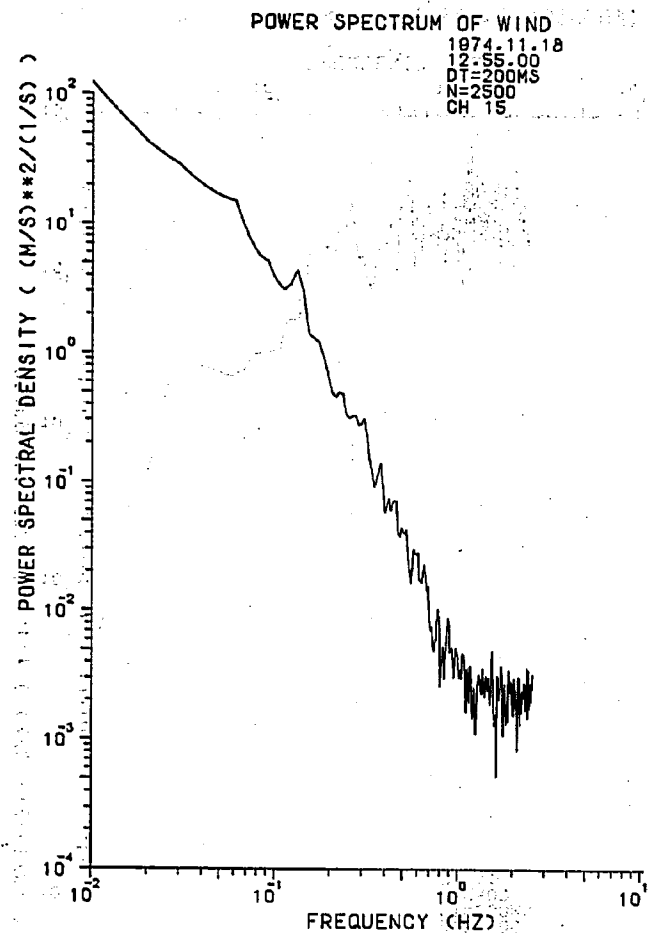


図-8-7 風速のパワースペクトル(格点134)

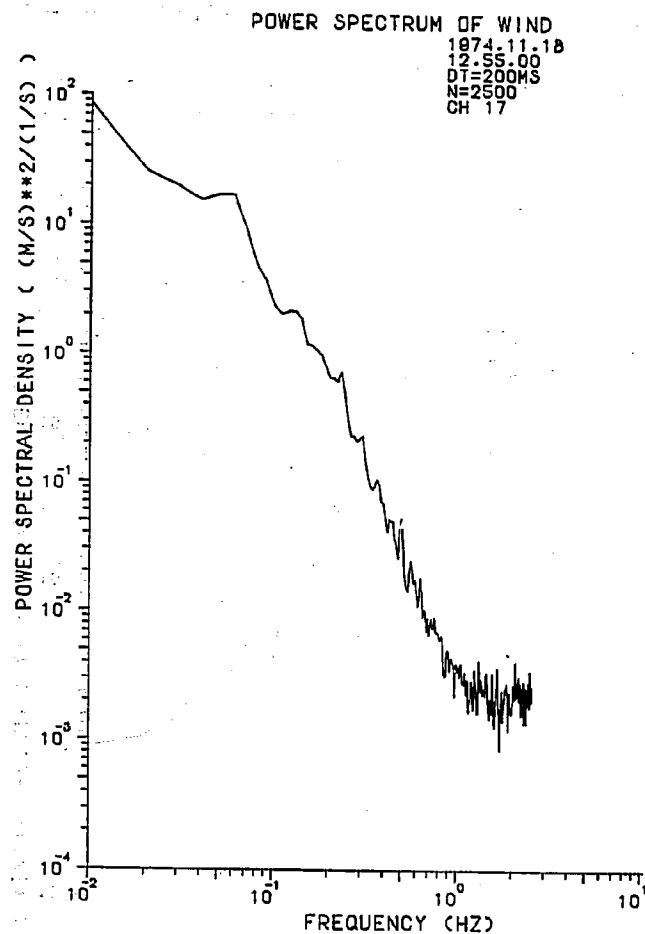


図-8-8 風速のパワースペクトル(格点132)

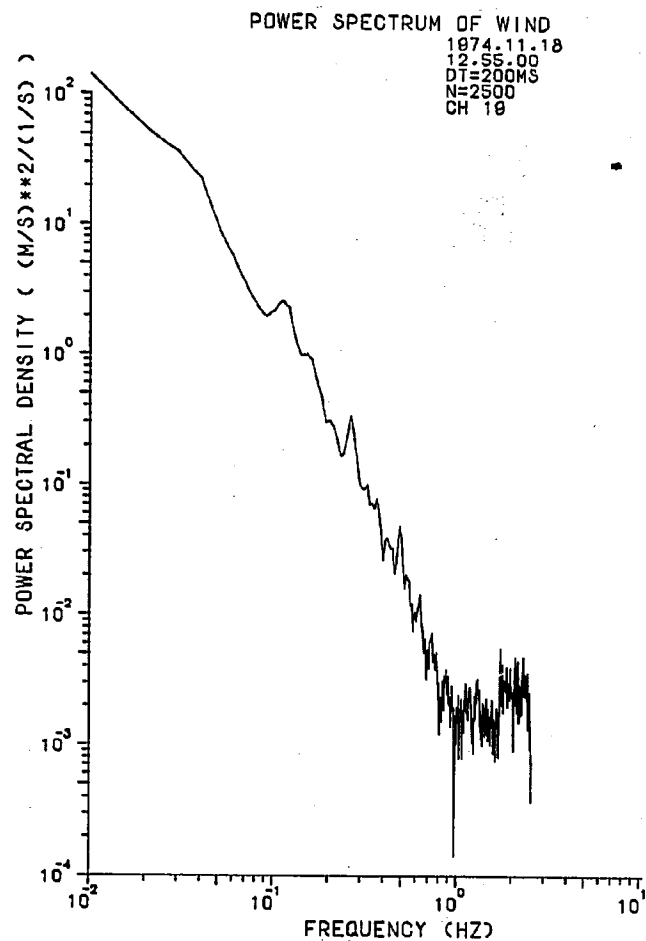


図-8-9 風速のパワースペクトル(格点116)

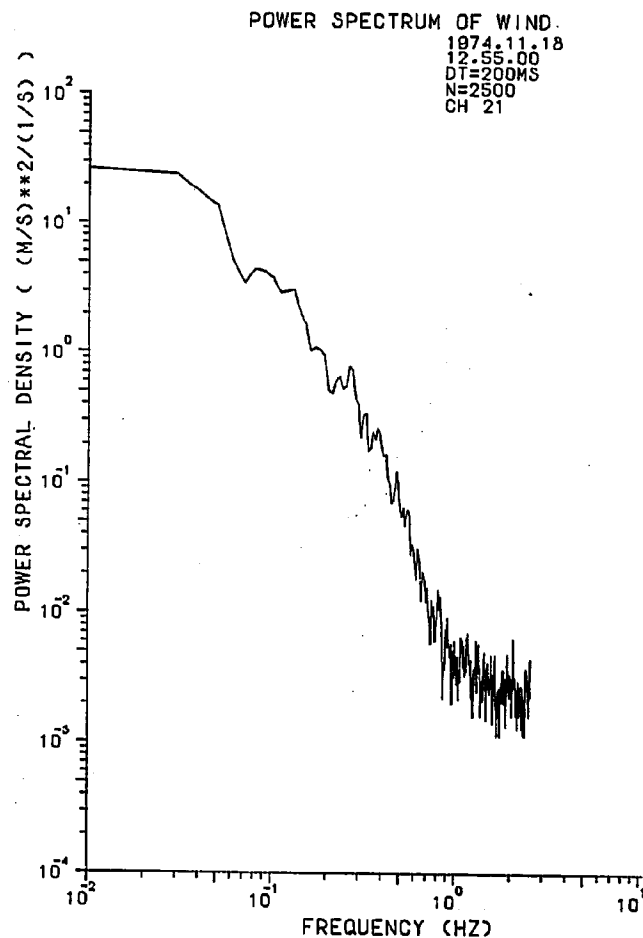


図-8-10 風速のパワースペクトル(塔頂)

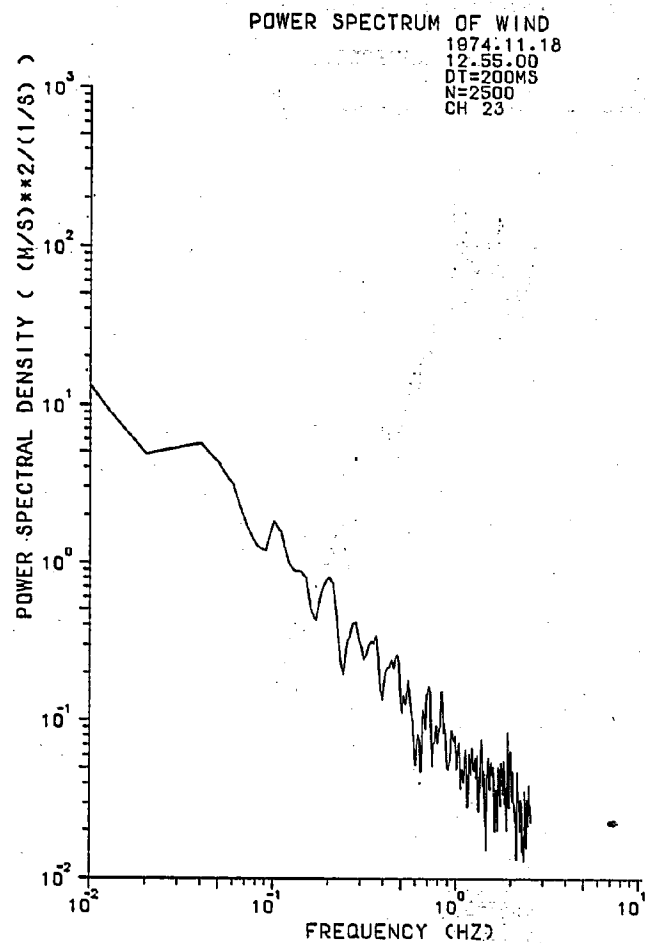


図-8-11 風速のパワースペクトル (格点134鉛直方向)

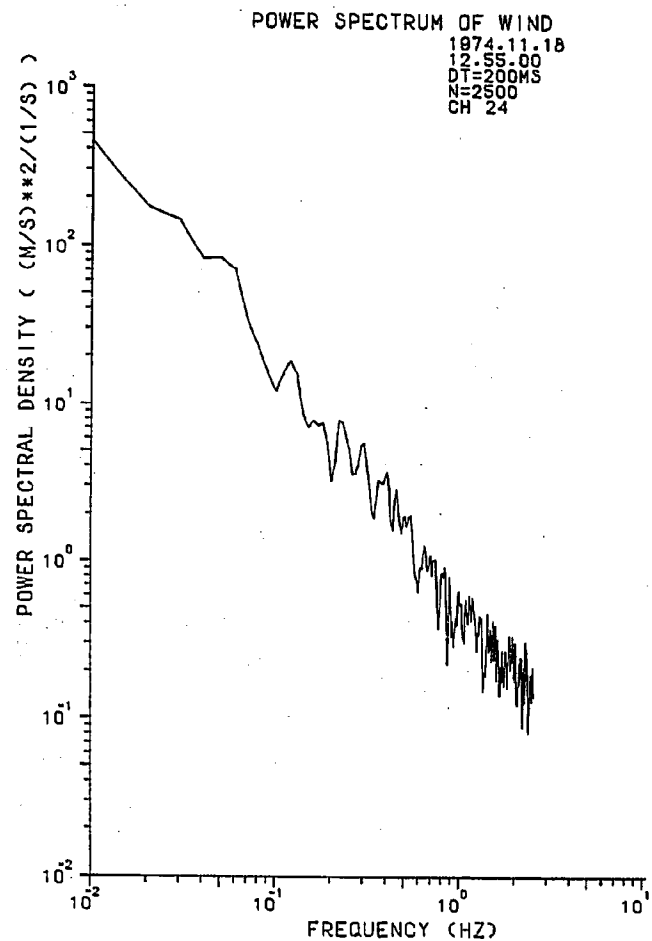


図-8-12 風速のパワースペクトル (格点134水平方向)

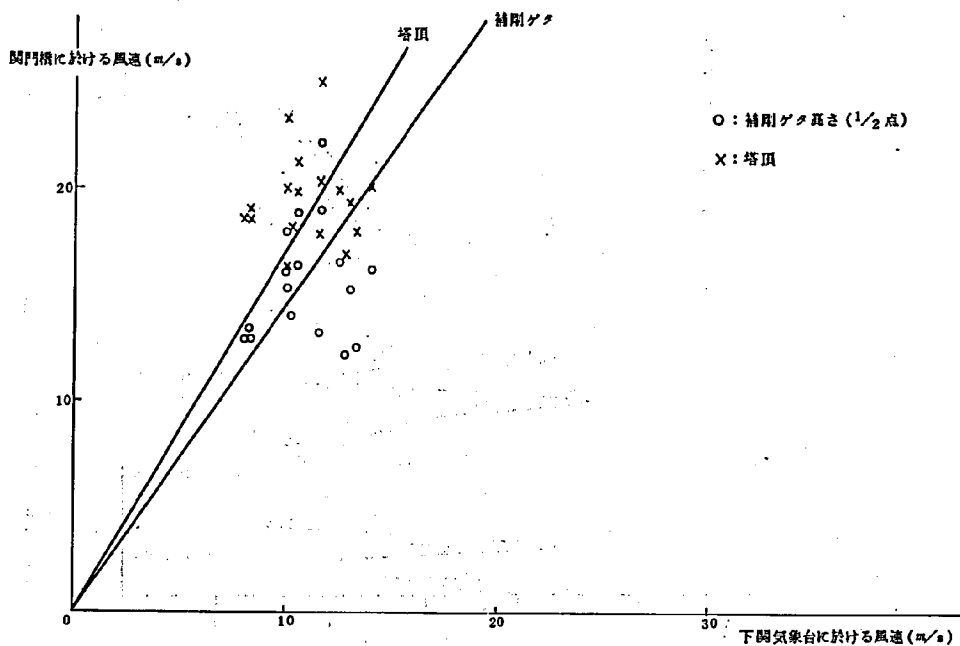


図-9 下関気象台と関門橋との風速の相関

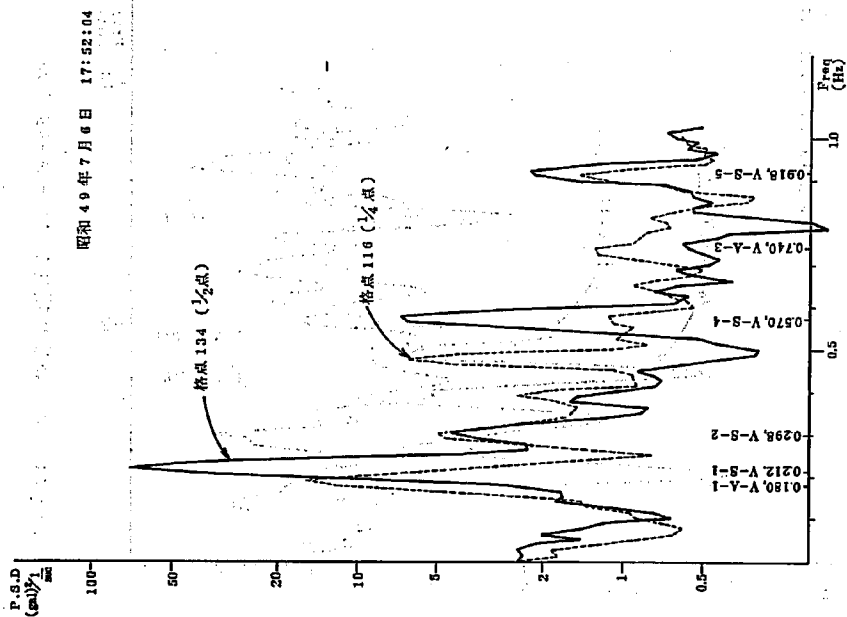


図-10-1 鉛直たわみ振動のパワースペクトル

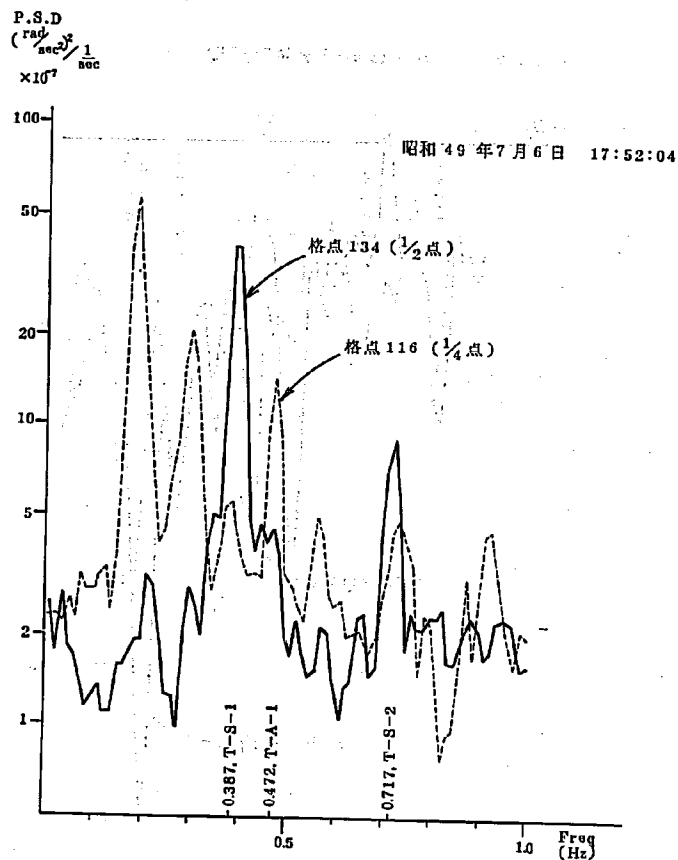


図-10-2 おじれ振動のパワースペクトル

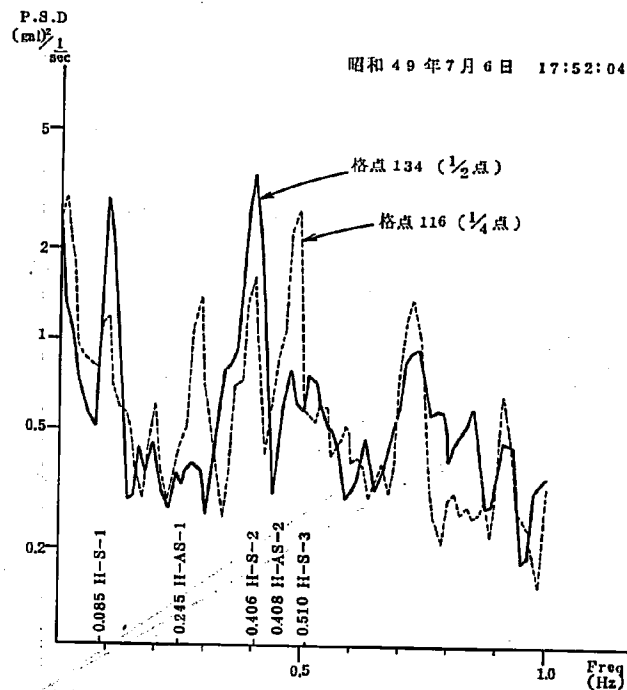


図-10-3 水平たわみ振動のパワースペクトル

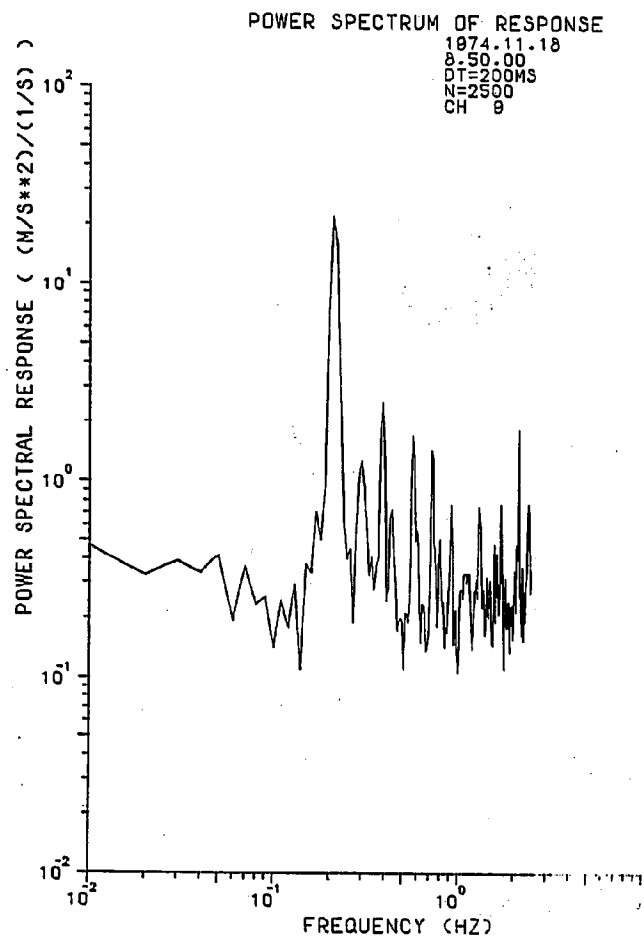


図-10-4 加速度パワースペクトル(1/2点、鉛直方向)

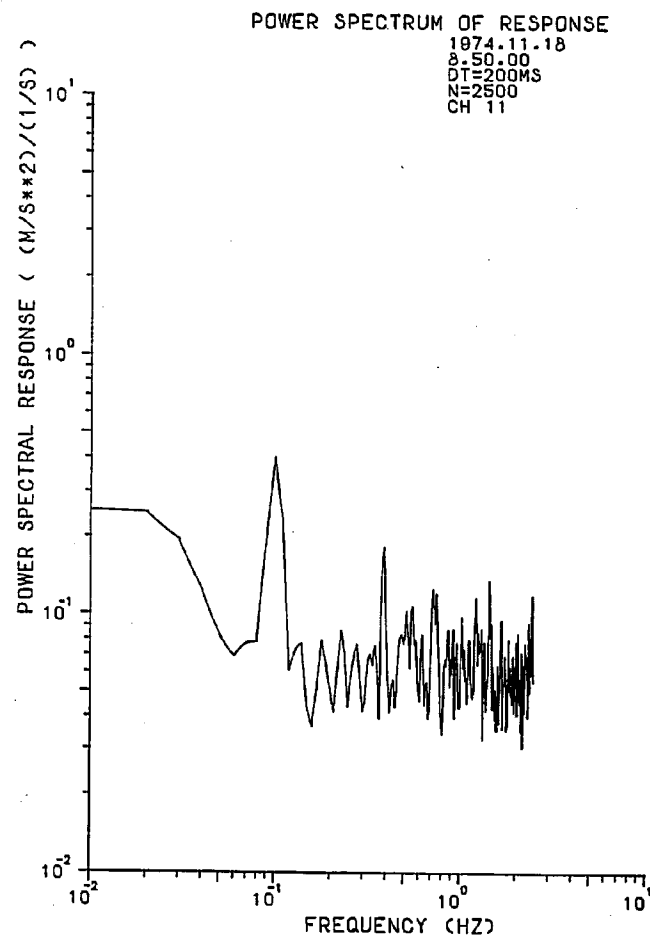


図-10-5 加速度パワースペクトル(1/2点、水平方向)

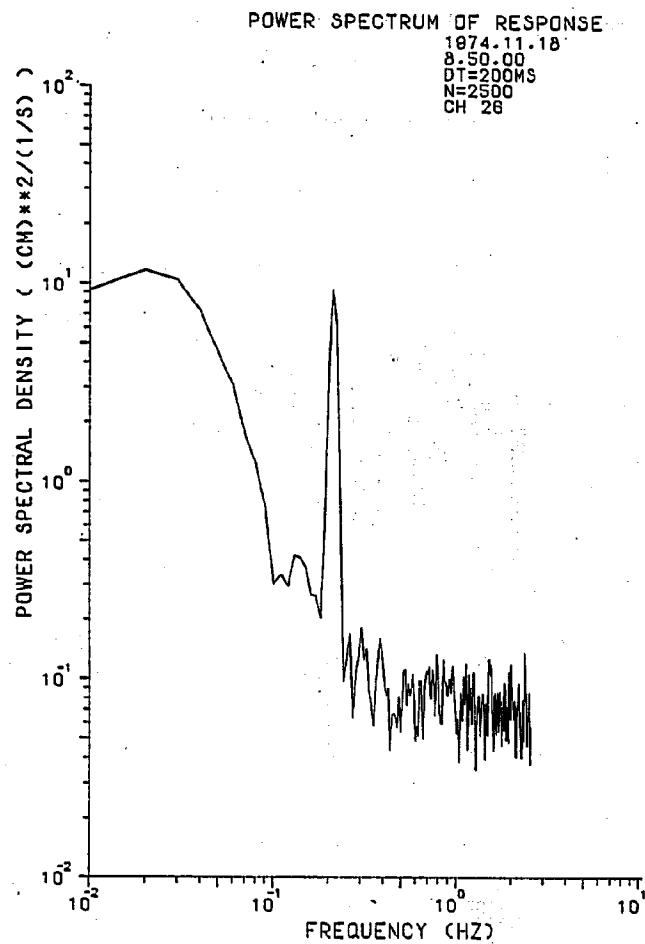


図-10-6 変位パワースペクトル(1/2点、鉛直方向)

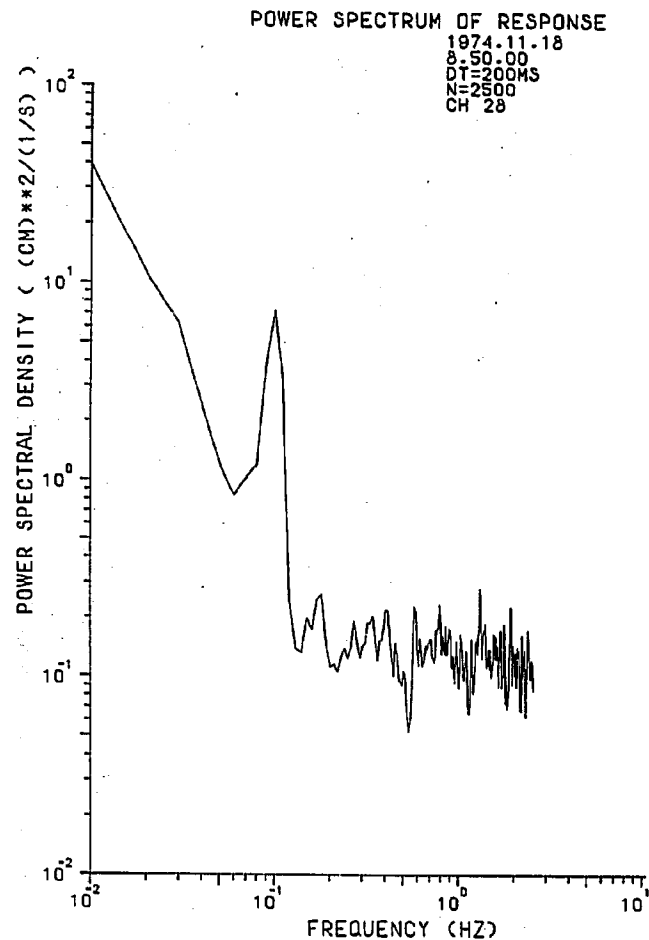


図-10-7 変位パワースペクトル(1/2点、水平方向)

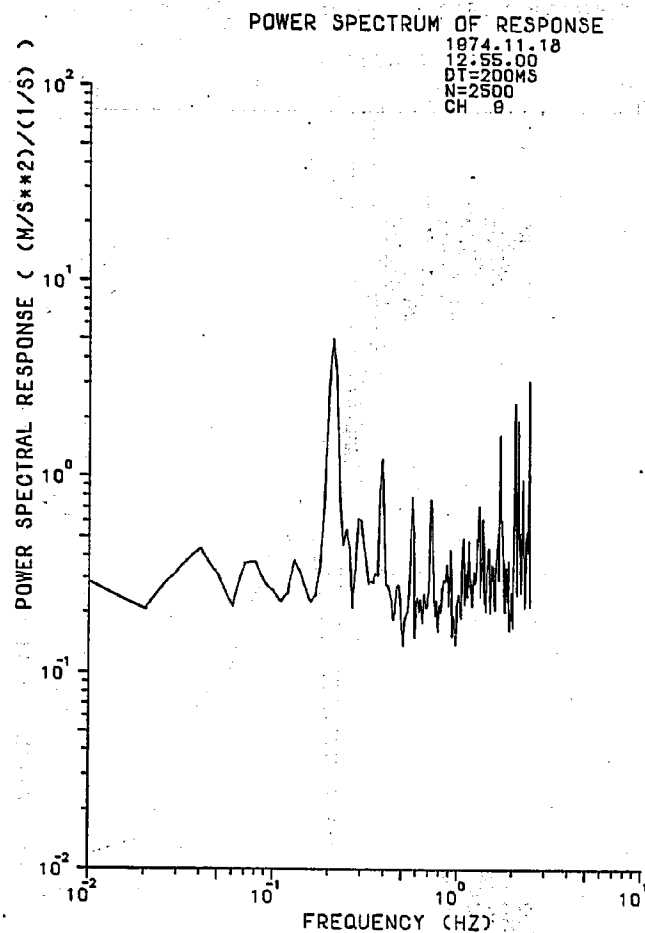


図-10-8 加速度パワースペクトル(1/2点、鉛直)

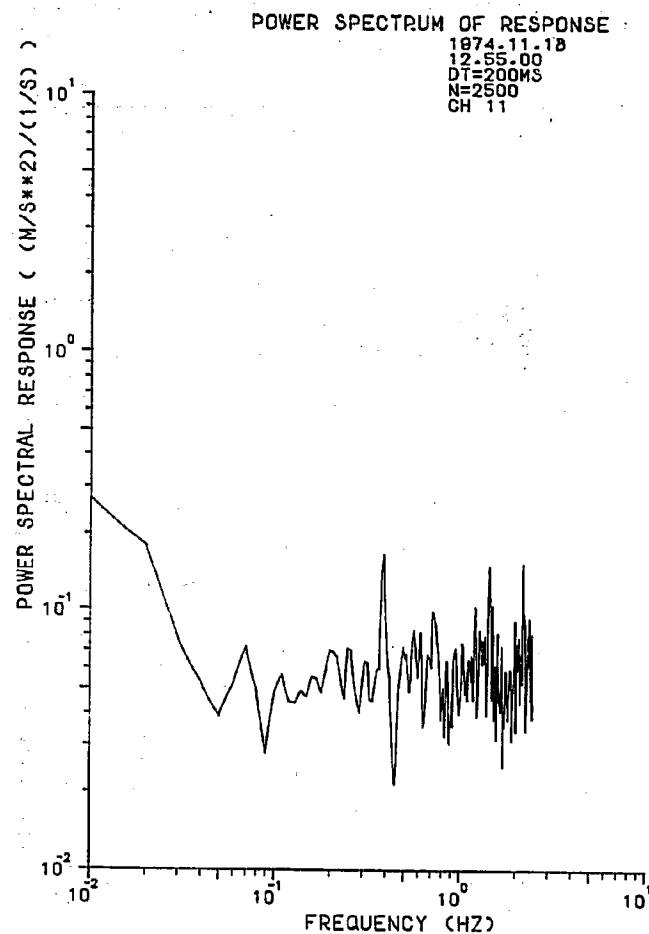


図-10-9 加速度パワースペクトル(1/2点、水平方向)

POWER SPECTRUM OF RESPONSE

1974.11.21
1.55.00
DT=200MS
N=2500
CH 26

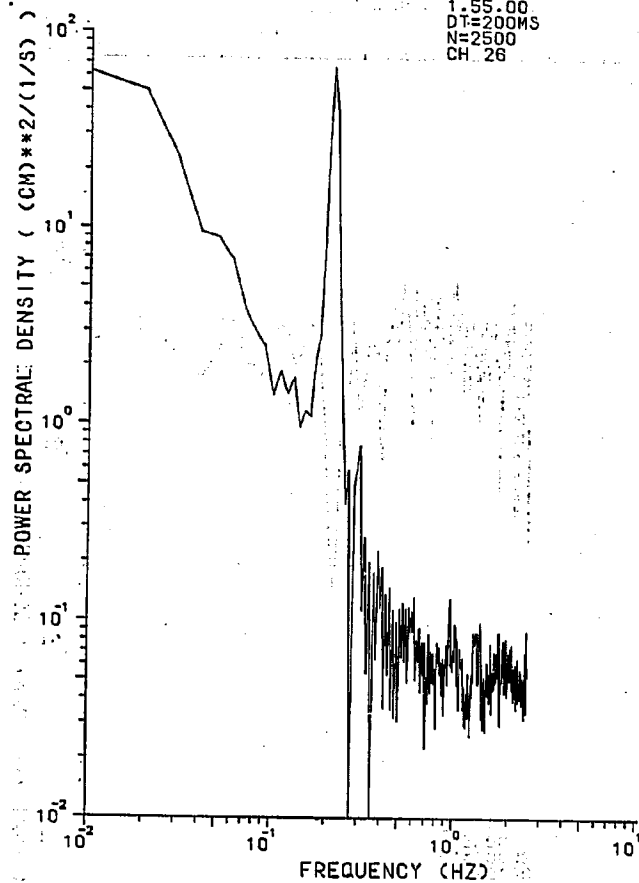


図-10-10 変位パワースペクトル (1/2点、鉛直方向)

POWER SPECTRUM OF RESPONSE

1974.11.21
1.55.00
DT=200MS
N=2500
CH 28

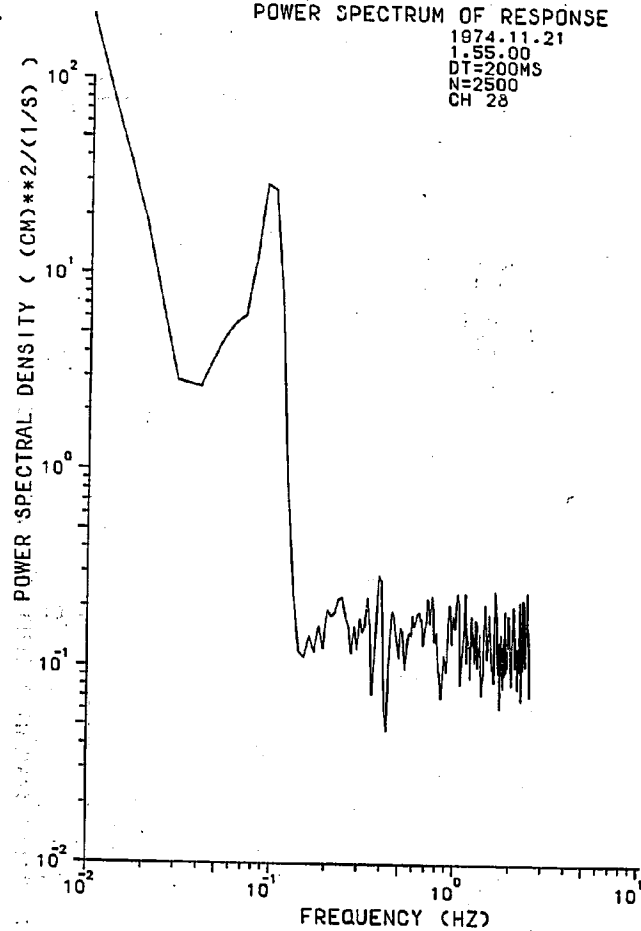


図-10-11 変位パワースペクトル (1/2点、水平方向)

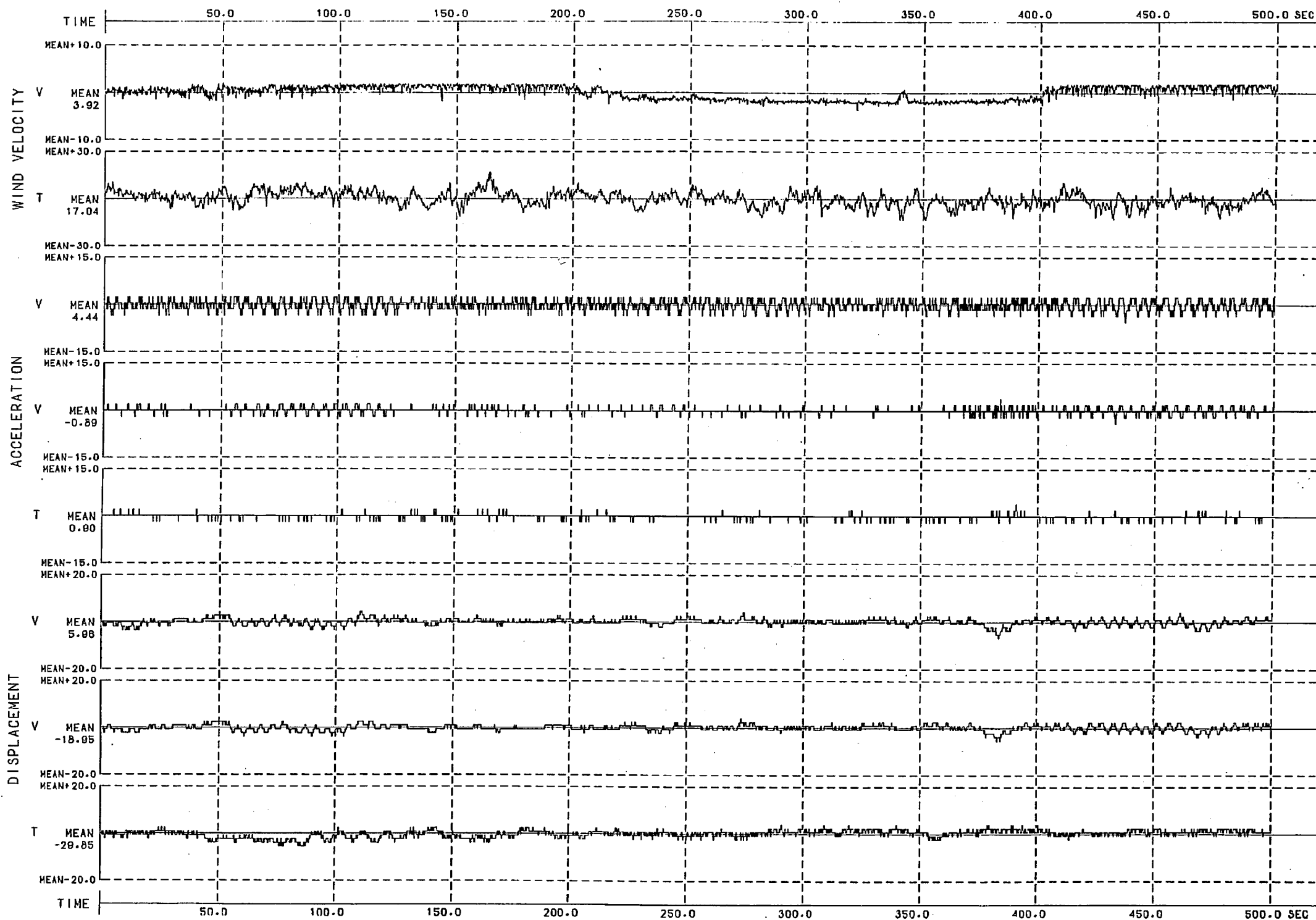


図-11-1 風と補剛ゲタの応答 (49.11.18 8:50:00)

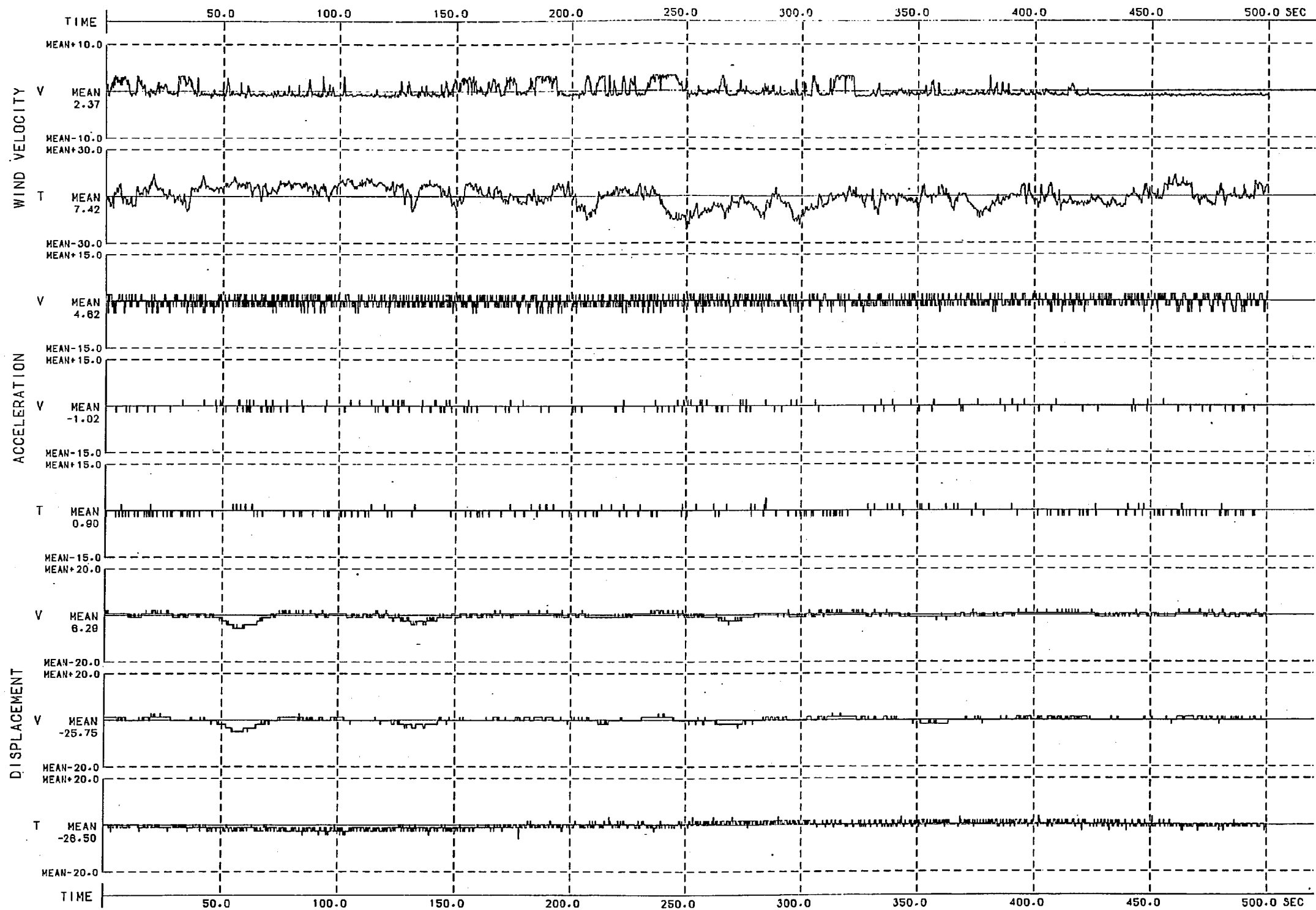


図-11-2 風と補剛ゲタの応答 (49.11.18 12:55:00)

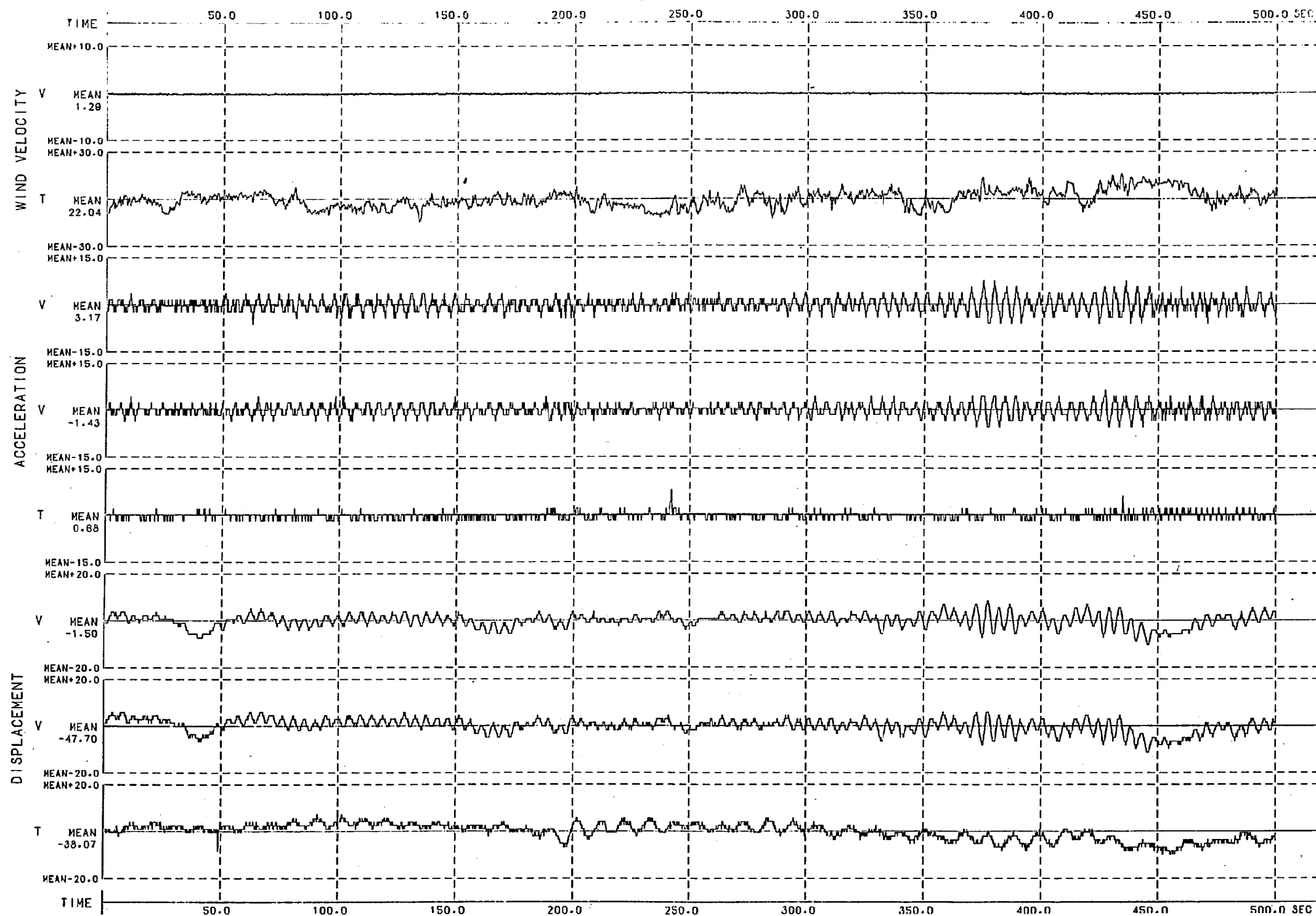


図-11-3 風と補剛ゲタの応答 (49. 11. 21 0:55:00)

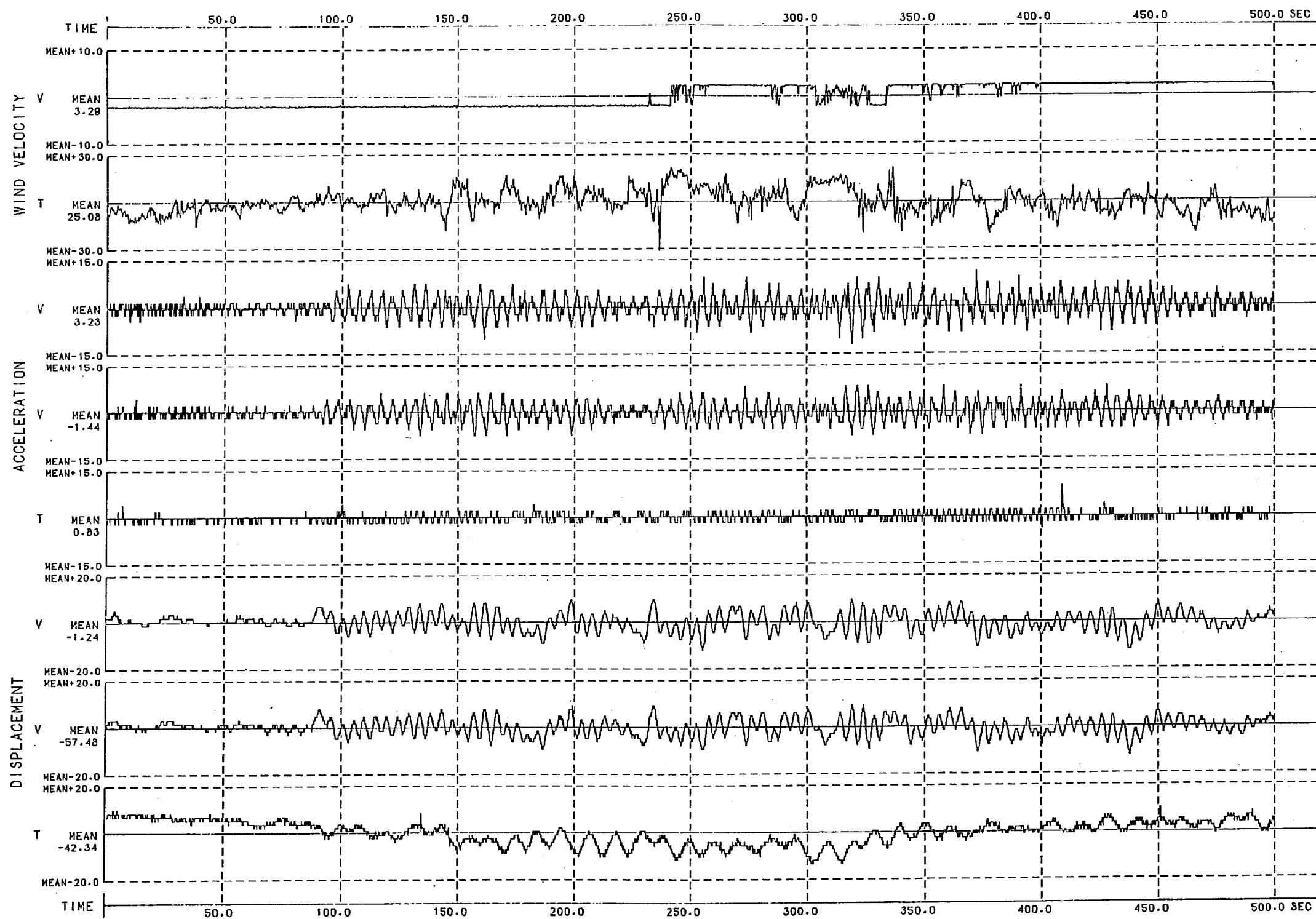


図-11-4 風と補剛ゲタの応答 (49.11.21 4:05:00)

昭和49年11月16日、11月21日

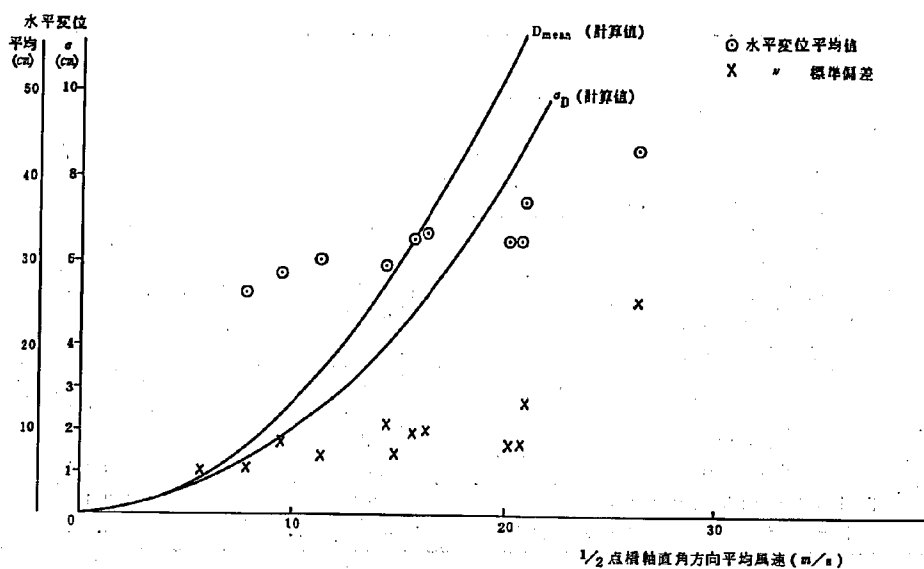


図-12-1 風速～水平変位

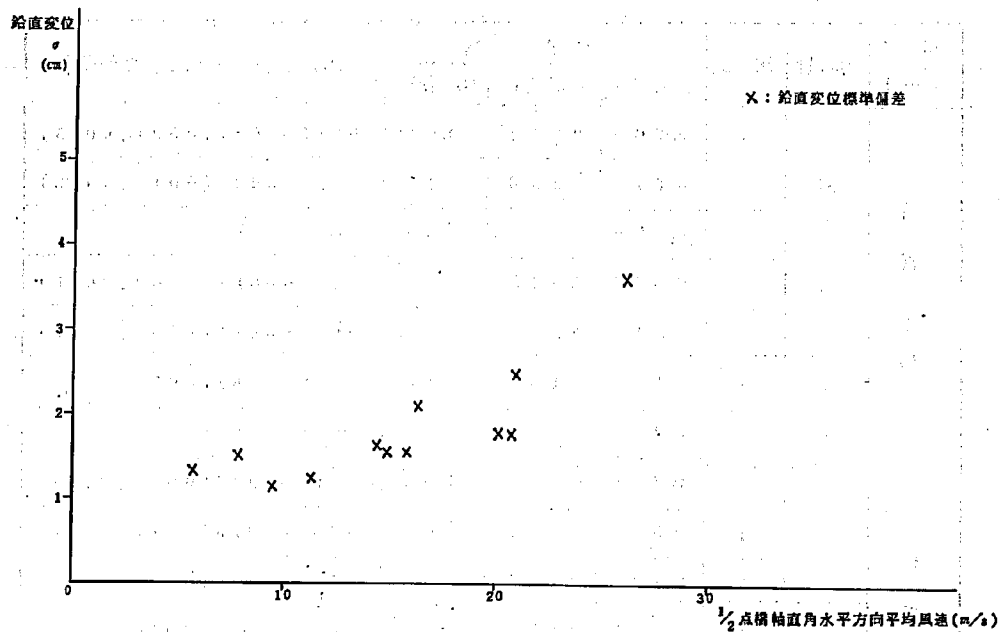


図-12-2 風速～鉛直変位

表-1 関門橋基本諸元表

区 分	単 位	中央径間	側径間
径 間 長	m	712.0	178.0
支 間 長	m	703.5	167.75
垂 距	m	64.0	39.06
補剛トラス高	m	9.0	
トラス間隔(ケーブル間隔)	m	29.0	
補剛トラスパネル長	m	10.35	
上下横構パネル長	m	20.7	
死荷重(全体)	t/m/br.	24.172	25.946
"(ケーブル)	t/m/br.	4.378	
断面積(ケーブル)	m ² /br.	0.559	
"(弦材)	m ²	0.0380	0.0320
"(斜材)	m ²	0.0185	
"(上下横構)	m ²	0.0232	
ケーブルヤング率	t/m ²	2.0 × 10 ⁷	
補剛トラス断面2次モーメント	m ⁴	29.16	
極慣性モーメント(ケーブルを含む)	t · m ² sec ² /m/br.	276.60	

表-2 関門橋の振動特性

振 動 モード	対称性	次 数	固 有 振 動 数			対数減衰率(平均, 標準偏差)
			計算値(A)	実測値(B)	(B)/(A)	
鉛 直 た わ み	対 称	1	0.200	0.212	1.06	0.015~0.037(0.031, 0.005)
		2	0.270	0.298	1.10	0.013~0.028(0.018, 0.003)
		3	0.429	—	—	—
		4	0.528	0.570	1.08	0.008~0.011(0.009, 0.001)
		5	0.914	0.918	1.00	0.007~0.011(0.009, 0.001)
	逆 対 称	1	0.152	0.180	1.18	0.039~0.062(0.050, 0.009)
		2	0.375	—	—	—
		3	0.705	0.740	1.05	0.010~0.023(0.013, 0.003)
振 れ	対 称	1	0.384	0.387	1.01	0.009~0.016(0.013, 0.001)
		2	0.766	0.717	0.94	0.008~0.019(0.013, 0.003)
	逆 対 称	1	0.492	0.472	0.96	0.013~0.025(0.016, 0.003)

表一 3 観測項目，観測計器，観測範囲等

観測項目	観測場所	最大 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	±500Gal	地 中 地 震 計	3台	3	9	100
	橋 台	±500Gal	電 磁 式 加 速 度 計	4台	1	4	50
	橋 脚	±500Gal		8台	1	8	
	塔	±500Gal		4台	1	4	
	補剛桁	±200Gal	サーボ型加速度計	6台	1	6	25
変 位	補剛桁	水平±2m	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
		上下±2m					
		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	2.5
		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-4 観測機器配置図

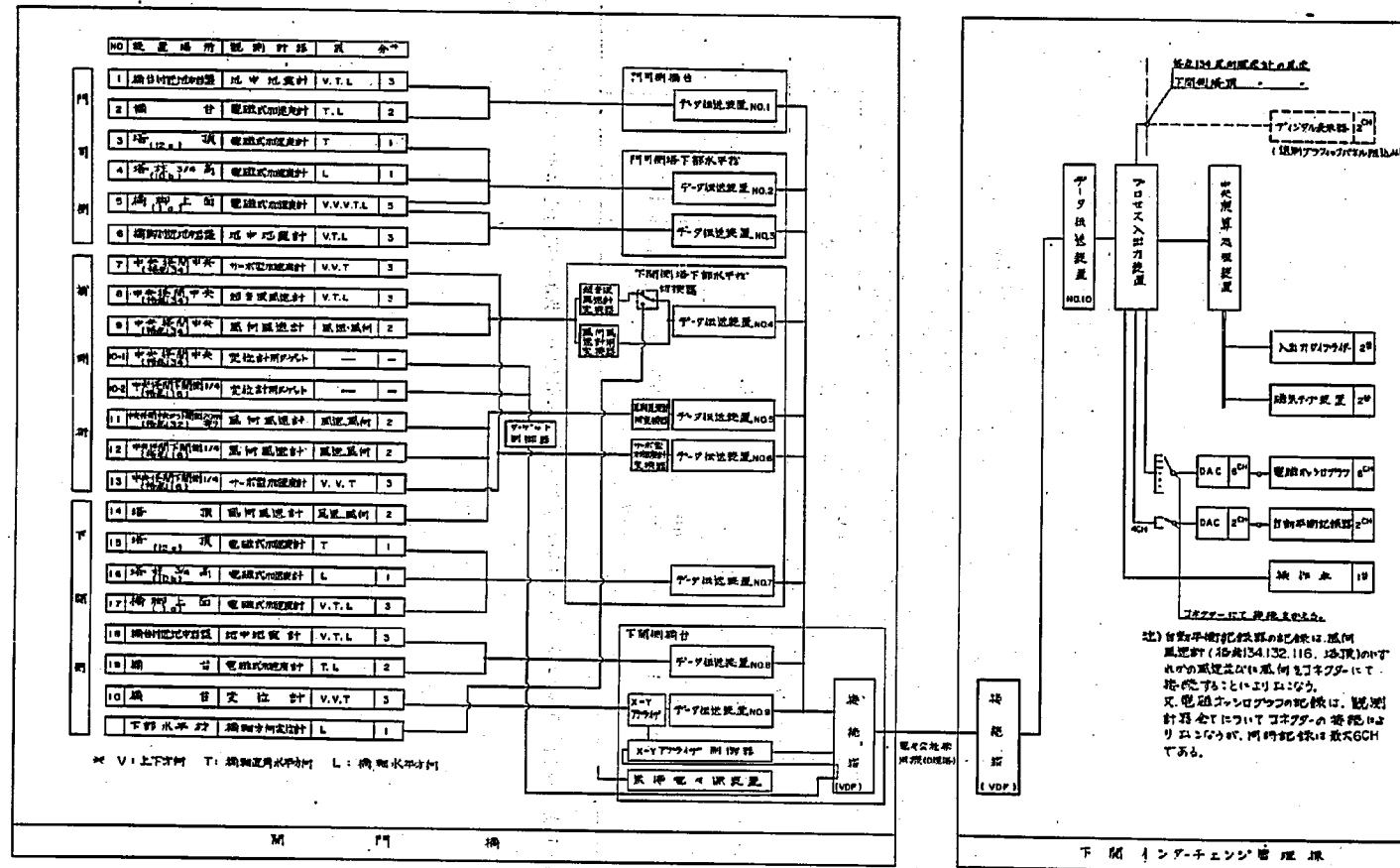
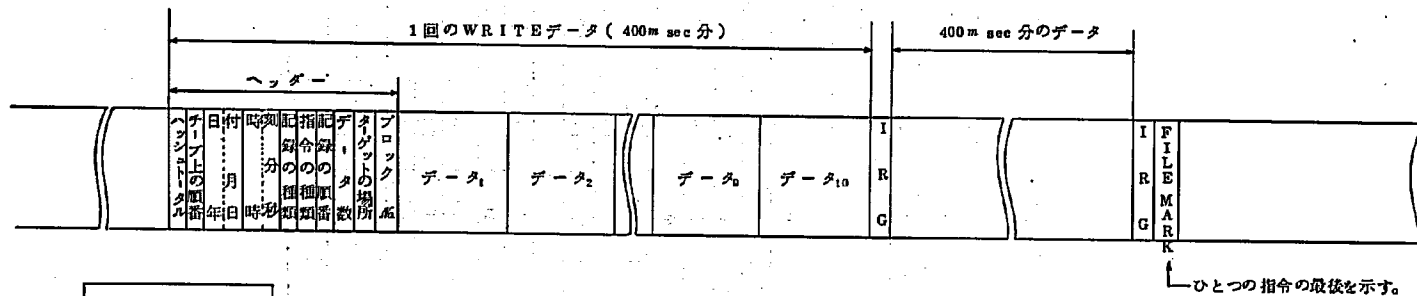


表5-1 強風指令に記録するデータ(40m sec分)

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 1/4 高	M	L	3		
		"	"	4		
	下 関 側 塔 頂	M	T	5		
		"	"	6		
	下 関 側 塔 柱 1/4 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

表 5. 2 磁気テープの内容



0	ヘッジトータル		
1	テープ上の順番		
2	年		
3	月	日	
4	時		分
5	秒		
6			
7			
8			
9			
10			
11			

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		
	2	検定用ターゲッ		
	3	両ターゲッ		

ブロックⅥ 0 点検なし

1 制御ブロック No.1. が点検中

2 " № 2. "

3 " № 3. "

4 " № 4. "

入力データ型式

0	5	6	7	8	15
	同	P	R		デ - タ
	期	A	A		
	み	R	N		
	だ	I	G		
	れ	T	E		

└ひとつの指令の最後を示す。

表一六 得られた強風記録

	昭和49年4月26日	昭和49年7月6日	昭和49年11月18日	昭和49年11月21日
強風の原因	日本海中部に1000mb 関東地方に1007mbの低気圧があって大陸の高気圧から風が2つの低気圧に向かって吹き込んでいる	台風8号 下関では18時25分最低気圧994.7mbを記録	低気圧が北陸地方に大陸に高気圧。西高東低による大陸からの季節風	低気圧が日本海北部に、大陸に高気圧。大陸からの季節風
強風の性質 (下関気象台)	(10分間平均風速) 最大風速 9:20 11.5m/sec NW~SW 最大風速 9:30 11.5m/sec " 9:00 8.0 " 9:00 9.7 " 10:00 8.3 WNW~SW 11:00 8.2 " (瞬間風速) 最大風速 13:30 20.3 m/s W 8:26 19.8 " 9:10 20.2 "	(10分間平均風速) 最大風速 17:10 16.7m/sec SE~NE 17:00 15.8 " 18:00 16.3 " 19:00 15.7 " 20:00 14.2 " 14:30 17.8 " (瞬間風速) 17:00~20:00 15.0m/sを時折越す風 (W) 7月7日 1:30 26.3m/s (WWE)	(10分間平均風速) 最大風速 5:00 14.2m/s WNW 3:00 12.0 " 6:00 10.5 " W 7:00 10.0 " WNW 7:10 10.3 " W 7:50 14.0 " WNW 8:00 13.5 " 9:00 11.2 " 9:10 10.5 " 10:00 9.8 " 10:10 11.5 " 11:00 12.0 " 11:10 12.5 " 12:00 12.8 " 12:10 12.6 " 13:00 12.8 " 13:10 13.3 " 15:00 9.5 " 18:00 8.7 " 21:00 7.5 " 24:00 5.7 "	(10分間平均風速) 最大風速 11:50 14.2m/s W 1:50 10.0 " 2:00 11.0 " 3:00 10.5 " 4:00 11.6 " 4:10 12.1 " 5:10 10.6 " 5:20 10.6 " 6:00 11.2 " WNW 6:30 10.1 " 7:30 10.3 " 7:40 9.5 " 9:00 11.3 " 12:00 13.2 " W 15:00 11.3 " 18:00 9.5 " WNW 21:00 6.0 " 24:00 7.2 "

表-7-1 風速の測定結果

計算項目	測点 米 ¹	記録開始日時		APRIL, 26				JULY, 6	
		記録番号		8: 27:50	9: 38:16	10: 15:05	10: 45:43	17: 52:04	18: 04:17
				№1	№2	№3	№4	№5	№6
平均風速 $\bar{V}$ (m/s)	格点134			12.88	13.24	13.06	13.43	14.89	17.02
	格点132			12.56	12.83	12.72	13.08	14.35	16.24
	格点116			13.29	12.07	13.27	13.68	15.01	16.40
	塔 頂			18.60	17.88	18.50	18.95	18.53	19.58
標準偏差 $\sqrt{\bar{U}^2}$ (m/s)	格点134			1.97	2.61	2.29	2.44	2.36	2.62
	格点132			1.89	2.26	2.23	2.32	2.06	2.51
	格点116			1.81	2.25	1.94	1.74	1.59	3.06
	塔 頂			2.99	1.90	1.90	1.85	1.96	3.03
最大値 V_{max} (m/s)	格点134			17.88	19.53	18.59	19.06	22.59	24.71
	格点132			18.56	17.41	18.35	19.29	22.12	22.82
	格点116			17.88	16.47	17.41	19.06	21.41	24.24
	塔 頂			24.00	21.88	23.06	22.82	25.18	28.00
乱れ強さ $\sqrt{\bar{U}^2}/\bar{V}$	格点134			0.153	0.197	0.176	0.182	0.159	0.154
	格点132			0.150	0.176	0.175	0.178	0.143	0.154
	格点116			0.136	0.186	0.146	0.127	0.106	0.187
	塔 頂			0.161	0.106	0.103	0.098	0.106	0.155
ガスト・ファクター $V_{max}/\bar{V}$	格点134			1.39	1.48	1.42	1.42	1.52	1.45
	格点132			1.48	1.36	1.44	1.48	1.54	1.41
	格点116			1.35	1.37	1.31	1.39	1.43	1.48
	塔 頂			1.29	1.22	1.25	1.21	1.36	1.43
風 向 (deg)	格点134			253.6	252.4	252.6	256.7	84.6	87.0
	格点132			271.1	269.6	270.4	273.9	91.6	94.3
	格点116			263.4	261.3	261.3	264.1	66.2	69.5
	塔 頂			258.3	256.3	256.2	259.3	79.4	72.7
傾 斜 角 (rad)	平 均			0.050	0.030	0.051	0.027	0.099	0.061
	標準偏差			0.148	0.166	0.152	0.163	0.365	0.407
	最大値			0.728	1.418	0.157	1.449	1.526	1.522
	最小値			-0.802	-1.432	-0.514	-1.321	-1.300	-1.534

米¹ 図-4 参照

米² N = 0°, 時計まわり

表-7-2 風速の測定結果

			中央気間%		平均20m間%		中央気間%		下関御塔頂		中央気間%			
			風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	方位	緯度角	経度角	迎角
昭和49年11月18日	7:05	Mean	15.63	255.6	16.08	276.8	17.27	251.2	23.34	258.1		20.69	305	
		σ	2.62	9.5	2.54	9.0	2.07		2.05	5.0		4.44	0.29	
		Max	21.47	281.6	21.18	307.1	22.35	278.4	28.00	279.5		3.271	4.00	
		Min	7.57	211.8	8.94	243.5	12.24	225.4	16.00	239.3		0.23	-3.06	
		G.F.	1.37		1.32		1.29		1.20					
	7:55	Mean	14.10	269.8	14.08	291.0	13.52	261.6	20.11	266.1	26.0	13.31		0.220
		σ	2.46	9.2	2.41	9.7	2.46		2.75	5.5	1.04	4.92		0.138
		Max	20.45	300.7	20.71	326.1	19.53	290.3	24.94	283.8	59.2	3.177		1.499
		Min	7.77	228.7	6.35	256.2	7.53	230.6	12.24	247.8	0.12	-1.64		0.013
		G.F.	1.45		1.47		1.44		1.24					
	9:05	Mean	16.45	259.5	16.56	280.3	16.39	254.4	21.20	260.0	4.32	20.13		0.216
		σ	2.42	8.3	2.32	8.6	2.77		2.64	6.2	0.73	3.58		0.047
		Max	21.06	283.8	20.94	315.5	22.35	286.9	27.53	279.5	58.4	3.224		0.549
		Min	8.99	218.1	9.88	245.7	6.82	232.3	13.88	230.8	1.22	7.76		0.087
		G.F.	1.28		1.26		1.36		1.30					
	10:05	Mean	13.25	264.1	13.07	286.1	13.20	260.3	19.33	265.4	3.62	14.80		0.277
		σ	2.82	9.7	2.91	11.7	2.77		3.01	6.7	0.83	4.60		0.175
		Max	18.81	309.2	18.59	355.8	19.06	312.5	24.71	290.1	58.4	2.753		1.525
		Min	5.32	228.7	5.12	239.3	4.47	208.4	11.06	232.9	0.35	-2.12		0.045
		G.F.	1.42		1.42		1.44		1.28					
	11:05	Mean	14.38	268.6	14.26	290.0	12.27	262.9	18.90	267.6		14.39	3.13	
		σ	2.78	10.4	2.84	11.2	2.44		2.62	9.0		5.43	0.21	
		Max	21.67	300.7	21.88	328.2	19.77	309.1	24.71	296.5		29.88	3.53	
		Min	6.74	228.7	5.88	260.5	7.06	222.0	8.94	216.0		-2.59	0.71	
		G.F.	1.51		1.53		1.61		1.31					
	12:05	Mean	10.62	282.5	10.54	303.6	8.91	273.3	16.78	275.3		5.63	3.06	
		σ	3.25	15.0	3.02	17.8	2.82		3.29	7.6		5.09	0.02	
		Max	18.81	336.7	18.35	355.8	16.94	324.5	22.12	302.8		23.77	3.53	
		Min	2.25	220.2	3.06	203.3	4.00	199.8	8.47	241.4		-12.47	3.06	
		G.F.	1.77		1.74		1.90		1.32					
	13:05	Mean	10.84	27.9	10.7	297.7	10.4	268.4	17.89	272.6		7.81		
		σ	2.57	14.	2.60	14.8	3.03		2.20	6.6		5.38		
		Max	17.17	33.4	16.23	351.5	16.9	314.3	22.35	298.6		23.77		
		Min	4.70	21.1	4.47	247.7	2.82	222.0	11.05	247.8		-9.18		
		G.F.	1.58			1.63			1.25					
昭和49年11月21日	1:55	Mean	13.95	241.7	14.04	261.1	13.78	237.9	16.16	248.6	1.29	20.88		0.065
		σ	1.89	9.5	1.79	9.6	3.03		3.88	6.1	0.12	4.46		0.017
		Max	18.40	281.7	19.29	294.3	20.94	264.7	23.77	279.5	1.76	35.53		0.150
		Min	9.20	218.1	9.41	232.9	8.23	213.5	7.29	199.1	0.98	7.29		0.032
		G.F.	1.32		1.37		1.52		1.47					
	3:00	Mean	14.24	255.9	14.55	276.4	14.39	252.7	19.79	259.8	1.31	16.29		0.090
		σ	3.01	10.9	2.72	10.9	2.42		3.30	7.2	0.11	4.54		0.060
		Max	20.66	292.2	20.00	311.3	20.24	280.1	26.82	288.0	1.69	30.35		1.410
		Min	4.91	211.8	7.53	237.2	8.00	223.7	6.12	205.4	0.98	-2.12		-0.601
		G.F.	1.45		1.37		1.41		1.36					
	4:05	Mean	19.26	250.6	19.23	270.6	17.96	246.0	24.93	254.0		26.17		
		σ	3.83	9.8	3.98	10.0	4.31		5.76	8.7		7.24		
		Max	28.22	285.9	28.71	307.1	26.59	276.7	34.12	311.3		46.82		
		Min	9.61	199.1	10.35	230.8	9.18	216.9	5.82	160.9		-5.88		
		G.F.	1.47		1.49		1.48		1.37					
	5:15	Mean	16.55	262.8	16.32	283.7	15.45	257.7	20.43	263.2		15.76		
		σ	2.42	8.0	2.42	8.7	2.79		3.65	7.9		4.64		
		Max	21.67	309.2	21.41	324.0	22.35	292.0	29.65	288.0		29.41		
		Min	11.24	232.9	9.88	252.0	7.29	230.6	11.53	220.2		-0.23		
		G.F.	1.31		1.31		1.45		1.45					
	6:30	Mean	13.29	265.3	13.22	286.6	12.94	260.6	20.02	265.0		11.32		
		σ	2.18	10.0	2.17	10.5	2.64		2.75	7.1		3.90		
		Max	19.22	304.9	19.06	321.9	18.59	295.5	25.41	309.2		25.18		
		Min	6.74	232.9	7.53	245.7	4.94	232.3	11.29	235.1		-2.59		
		G.F.	1.45		1.44		1.44		1.27					
	7:35	Mean	12.13	266.1	12.27	287.7	12.26	260.6	18.01	265.5		9.54		
		σ	2.76	12.4	2.72	12.8	2.33		2.96	7.4		4.16		
		Max	17.58	317.7	17.88	343.1	17.55	310.8	24.24	294.4		19.53		
		Min	3.88	224.5	3.58	237.2	5.18	222.0	11.06	235.1		-12.47		
		G.F.	1.45		1.46		1.44		1.35					

表-8 応答の測定結果

時刻		中央径間1/4加速度			中央径間1/4加速度			中央径間1/4変位		
		鉛直たわみ	水平たわみ	ねじれ	鉛直たわみ	水平たわみ	ねじれ	鉛直1	鉛直2	水平1
49-4-26	σ	1.71	0.67	0.0934	1.17	1.03	0.126			
8:27:50	Max	5.83	2.12	0.477	4.48	6.94	0.468			
	σ	2.08	0.73	0.109	1.26	0.98	0.144			
9:38:16	Max	9.96	3.96	0.471	4.99	3.11	0.438			
	σ	1.76	0.91	0.123	1.23	1.04	0.149			
10:15:05	Max	7.87	5.98	0.463	4.92	6.67	0.432			
	σ	1.40	0.58	0.800	1.05	0.97	0.140			
10:45:43	Max	4.02	2.03	0.472	3.14	4.67	0.435			
49-7-6	σ	1.51	0.81	0.106	1.18	0.79	0.110			
17:52:04	Max	6.31	2.32	0.487	3.15	3.88	0.523			
	σ	2.58	1.00	0.134	1.39	0.87	0.148			
18:04:17	Max	8.31	3.46	0.530	6.64	3.89	0.732			
49-11-18	σ	1.53	0.85	0.0009	0.97	0.71	0.0005	1.97	1.77	1.66
7:05:00	Max	6.86	2.94	0.18	6.86	-0.98	0.18	11.77	-1.490	-2.745
	σ	1.13	0.72	0.0008	0.87	0.50	0.0005			
7:55:00	Max	4.90	10.78	0.18	8.82	6.86	0.18			
	σ	1.51	0.79	0.0007	0.96	0.74	0.0005	1.97	1.77	1.66
9:05:00	Max	6.86	10.78	0.18	8.82	8.82	0.18	11.77	-1.490	-2.745
	σ	1.19	0.70	0.0009	0.85	0.40	0.0004	1.64	1.55	1.42
10:05:00	Max	4.90	4.90	0.18	4.90	-0.98	0.18	10.20	-1.804	-2.588
	σ	1.09	0.68			0.34		1.68	1.62	2.18
11:05:00	Max	4.90	4.90			-0.98		10.20	-1.961	-2.431
	σ	1.13	0.62	0.0008	0.77	0.34	0.0005	1.42	1.33	1.01
12:05:00	Max	4.90	10.78	0.18	8.82	6.86	0.18	10.20	-2.118	-1.804
	σ	1.17	0.75	0.0008	0.82	0.48	0.0005	1.74	1.50	1.10
13:05:00	Max	6.86	10.78	0.18	8.82	6.86	0.18	10.20	-2.275	-1.961
49-11-21	σ	1.75	0.94	0.0007	0.91	0.73	0.0007	2.42	2.47	2.67
1:55:00	Max	6.86	8.83	0.18	8.82	10.78	0.18	7.06	-4.157	-3.059
	σ	1.24	0.86	0.0007	0.97	0.68	0.0007	2.30	2.06	2.00
3:00:00	Max	6.86	8.82	0.18	10.78	8.82	0.18	3.92	-5.255	-2.745
	σ	2.64	1.16	0.001	1.32	0.88	0.0008	3.84	3.61	5.07
4:05:00	Max	10.78	4.90	0.18	8.82	0.98	0.18	8.63	-4.784	-3.216
	σ	1.11	0.75	0.0007	0.96	0.06	0.0005	1.81	1.64	1.95
5:15:00	Max	4.90	4.90	0.18	6.86	0.98	0.18	5.49	-5.098	-1.961
	σ	0.93	0.79	0.0006	0.99	0.32	0.0005	1.25	1.21	1.36
6:30:00	Max	4.90	4.90	0.18	6.86	2.94	0.18	5.49	-5.098	-2.588
	σ	0.82	0.75	0.0006	0.99	0.28	0.0005	1.24	1.13	1.70
7:35:00	Max	4.90	10.78	0.18	8.82	4.90	0.18	5.49	-4.941	-2.118

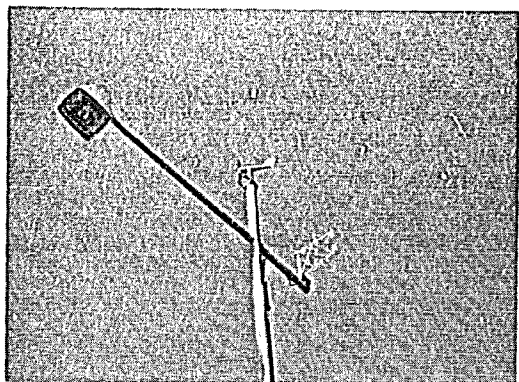


写真-1 風向風速計・超音波風速計（検点134）

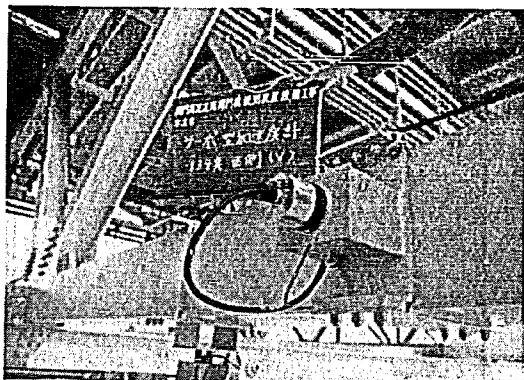


写真-2 サ-ホ型加速度計（検点134 V成分）



写真-3 電磁式加速度計（下関側主塔）

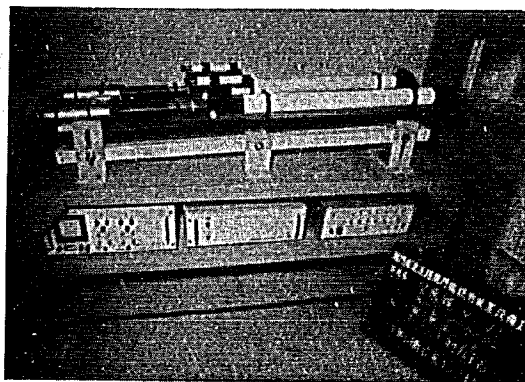


写真-4 変位計（下関側橋台）



写真-5 変換器類（下関側主塔）



写真-6 データ伝送装置

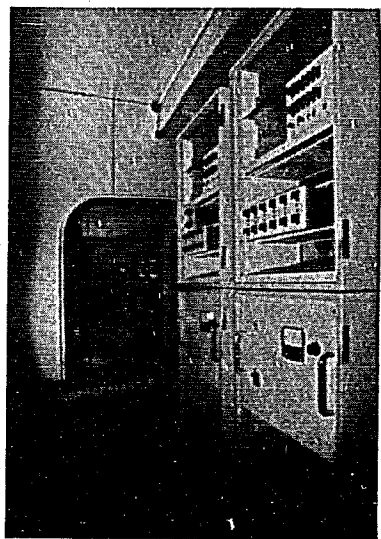


写真-7 データ処理装置

関門橋長期観測データ解析

土木研究所資料第1015号

昭和50年 3 (1975)

成田信之、横山功一、野村一夫

建設省土木研究所道路研究室

キーワード 吊橋、自然風、パワースペクトル、不規則応答

要 旨

関門橋に設置されている長期観測システムを紹介し、得られた強風時のデータを解析して、自然風の特徴・吊橋の応答特性について検討した。



郵便はがき

2 8 0 - □ □

十円切手
をはって
下さい

千葉県千葉市穴川

四丁目十二番五二号

建設省土木研究所

構造研究室

御中

No. 1

No. 1

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1015号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印