

尾 道 大 橋 実 橋 観 測
報 告 書

昭 和 44 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

ま え が き

尾道大橋は昭和43年3月、日本道路公団の手で完成したもので、現在のところ日本で最も大きな斜張橋型式の橋梁であり、また型式にとらわれなくても日本有数の長大橋梁である。

この尾道大橋は完成前に強風下での耐風安定性を調べるための風洞模型実験が行なわれたが、その結果不幸にも実施断面は耐風性上不安定な要因を残していることが明らかとなった。そこで強風下の橋の挙動を調べるための長期観測計器がとりつけられた。

この長期観測計器は昭和43年4月に設置され今日に至っており、この一年の間に貴重ないくつかの観測記録が得られたが、土木研究所ではこの長期観測計器による尾道大橋の風による振動の観測の指導と記録の解析を日本道路公団大阪支社から依頼された。この一年間の観測結果がまとまったのでここに報告する。

昭和44年3月

構 造 研 究 室

大 久 保 忠 良

榎 波 義 幸

目 次

ま え が き

1. 尾道大橋の実橋観測の目的	1
2. 尾道大橋の観測計器	5
3. 尾道大橋に関する既往の調査研究の概要	13
4. 尾道大橋の長期観測結果	17
5. 実橋の振動と風洞模型実験との比較	34
6. 結 言	36

1. 尾道大橋の実橋観測の目的

尾道大橋は尾道市と僅か200mの尾道水道でへだてられた向島を結ぶ橋梁として計画された我国最初の本格的な斜張橋である(図-1, 2)。斜張橋は桁橋を斜張索で補剛したものであるから桁橋よりも長大橋に適した型式であるが反面従来の橋に較べかなり可撓性に富む構造になっている。長大吊橋のように非常に柔軟な構造物を除けば一般の橋梁においては風の影響はほとんど無視できるほど小さく、従来は僅かに横構の設計に用いられる程度であったが尾道大橋のような長大な斜張橋に対しても同様な取扱いができるか否かについては尾道大橋の設計段階では明らかでなかった。

そこで架設に先立ってその耐風安定性を調べるための風洞模型実験が行なわれることになり、日本道路公団の委託をうけて土木研究所がこの実験を担当して実施することになった。

実験は昭和41年9月に開始され、その結果については詳しく報告されているが、それによれば尾道大橋の原設計断面は予想以上に不安定な性状を示し、したがって斜張橋の耐風設計は普通の桁橋等とは全く異なった観点から行なわねばならぬことが明らかとなった。

その後、尾道大橋はより安定な断面形状を求めて風洞模型実験が続けられたが、工程に関連した時間的な制約もあって十分に満足のゆくものではなかったが現在の断面が採用された。

この実施断面の空力特性については後で詳しくのべるが風洞模型実験の結果から推測すれば完成後の尾道大橋は14m/s前後の風速で橋みの限定振動が、また42m/s前後の風速で振りの限定振動が起るものと予想される。

この限定振動は風琴振動と考えられ、従って出現する風速範囲も狭く風速がある一定値を越せば振動はおさまリ、また振巾も無限に発達するようなものではない。特に尾道大橋の場合には幸いにもこの限定振動が橋の安全性をそこなうほどのものではないことが実験結果から予想された。橋の安全性をあやうくする発散振動は撓み振動については48m/s以上の風速で、また振り振動については80m/s以上の風速で発限するものと予想される。

このように尾道大橋は完成前より耐風性上かなりの問題点を含んでいることが明らかになり、それについての対策もいろいろ考えられたが尾道地方においては過去の観測結果からみてそれほど強い風が吹くとは考えられないことや、風洞実験結果からみて限定振動はかなり低い風速で出現する。橋の安全性をおびやかす発散振動はかなり高い風速でしかあらわれないことおよび完成後の耐風性を向上させる効果的な手段が発見されなかったこともあって、当面は橋に計器をとりつけその挙動を観察し、その結果問題があればその時点で検討することになった。

以上のような経過で尾道大橋に長期観測計器が設置されることになったが今までのことから明らかのようにこの計器は風による橋の振動を観測するのを主目的としている。しかしその他

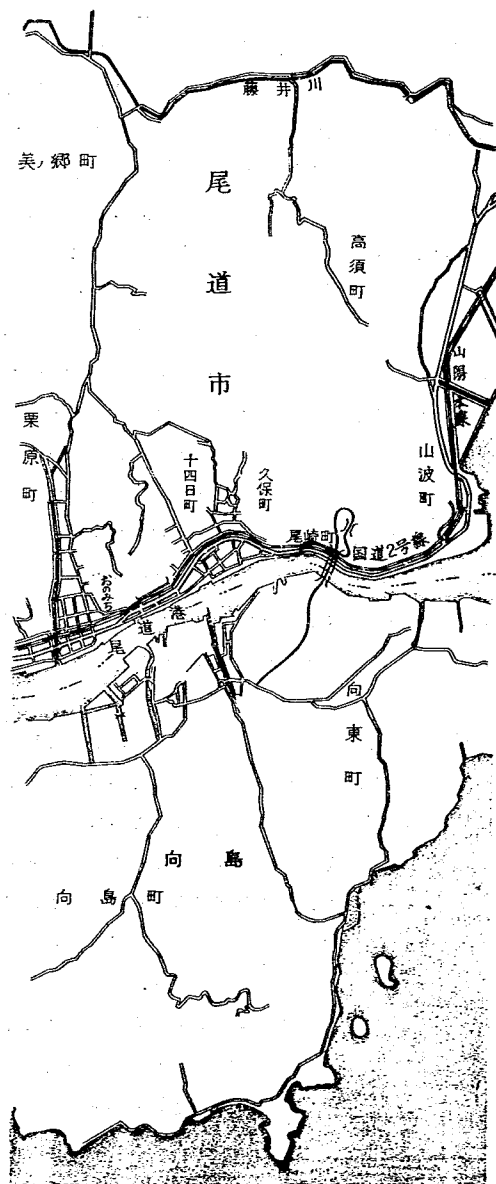


图-1 尾道大橋位置图

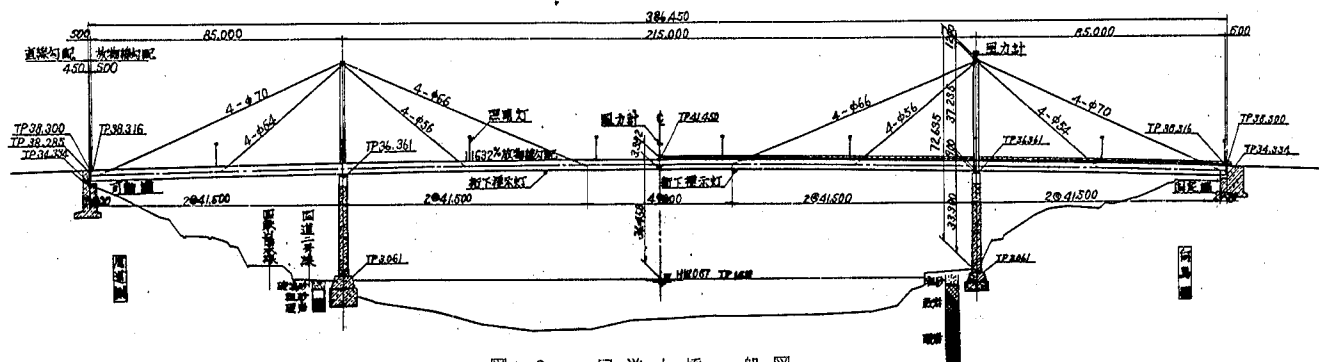


图-2 尾道大橋一般図

にも地震時における橋の応答も記録できるようにつくられている。

今までにも新しくつくられた橋梁に観測計器が取付けられた例は少なくないがその多くは強い地震に対する橋梁の応答、それも特に橋脚に注目したものが多く強風下の橋の挙動を記録する目的で設置されたものは僅かに若戸大橋の長期観測計器があるだけである。風洞模型実験結果からみて若戸大橋は 54 m/s 以下の風速では振動が発現せず、それに対して若戸大橋の完成後架設地点で観測された最大風速は 30 m/s 前後であって、従って完成後現在までに観測計器が風による橋の振動を記録するようなことはなかった。

これに対して尾道大橋は 14.5 m/s 程度の風速で限定振動があらわれることが風洞実験から予想され、またこの程度の風は年に何回か吹くことから模型実験結果と実橋の観測結果との対応が可能であり、このことから尾道大橋の長期観測の場合には風による挙動の実測の他に、この記録をもとに風洞実験の妥当性が判断できるであろうと云う期待がよせられている。

2. 尾道大橋の観測計器

2-1 ま え が き

尾道大橋の長期観測計器は強風時の橋の挙動と地震に対する応答を観測することを目的としており、これらの計器は機能上から次のように大別できる。

1. 風向風速計
2. 振 動 計
3. 地 震 計

以下にその概略について説明する。

2-2 観測計器の配置

尾道大橋は中央径間長 215 m、側径間長 85 m で橋長は 386.45 m の長大橋梁である。風による振動の観測と云うことから考えれば風向風速計および振動計と云った観測計器はできるだけ数多く橋全体に配置することが望ましいが費用その他の理由で風向風速計は 2 ケ所、橋の振動を観測する振動計は 6 ケ所、その他に地震波を観測する振動計とスターター換振器が設置されることになり、結局長期観測計器は図-3 のように配置された。

i 風 速 計

風向風速計は主桁の中央径間の中央点と向島側の主塔の上にとりつけられている。

(写真-1)

これらの変換器および記録器は振動計等の記録器と一緒に管理事務所の計器室に収められている。

ii 振 動 計

振動計は主桁と主塔に合計 8 ケ設置されている。主桁には 6 ケの振動計が取付けられ、

そのうち中央径間の $1/2$ 点の下関側に上下

振動、および橋軸方向の水平振動と橋軸直角方向の水平振動を測定する 3 台の換振器(写真-2)、同じく大阪側には上下振動を測定するための換振器が設置されている。また、中央径間の向島側の $1/4$ 点の両方の主桁に上下方向の換振器がとりつけられている。

この上下方向の換振器は鉛直撓み振動と捩り振動が観測出来るように設置されている。

また向島側主塔々頂の下関側には塔頂の橋軸方向の水平振動をはかる換振器が、同じく

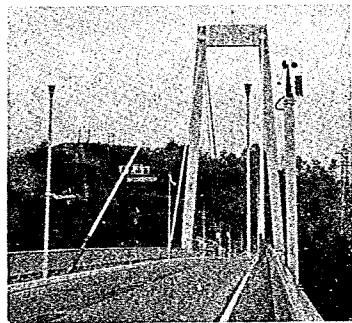


写真-1 風向風速計

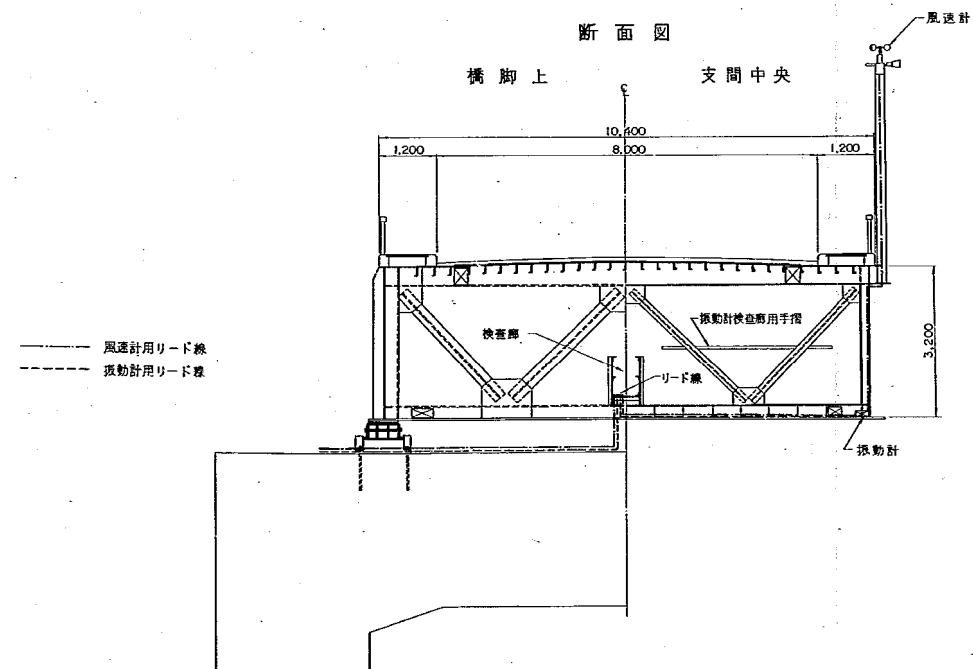
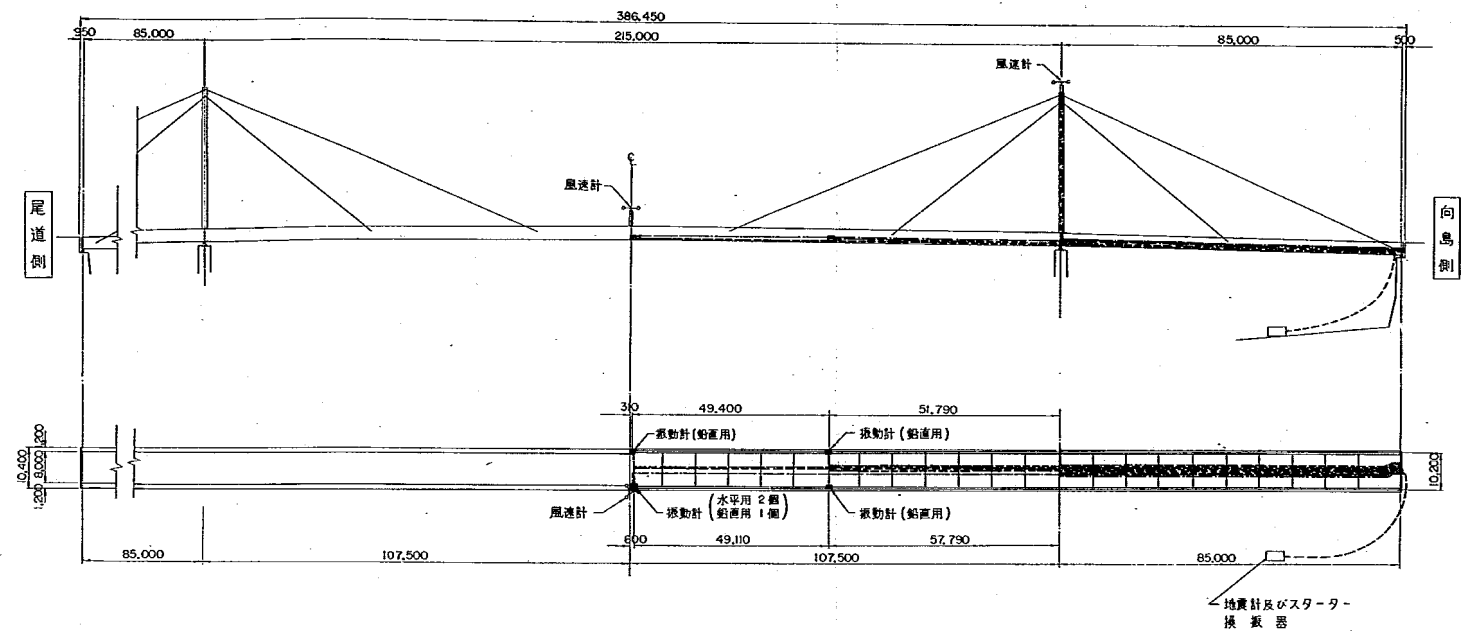
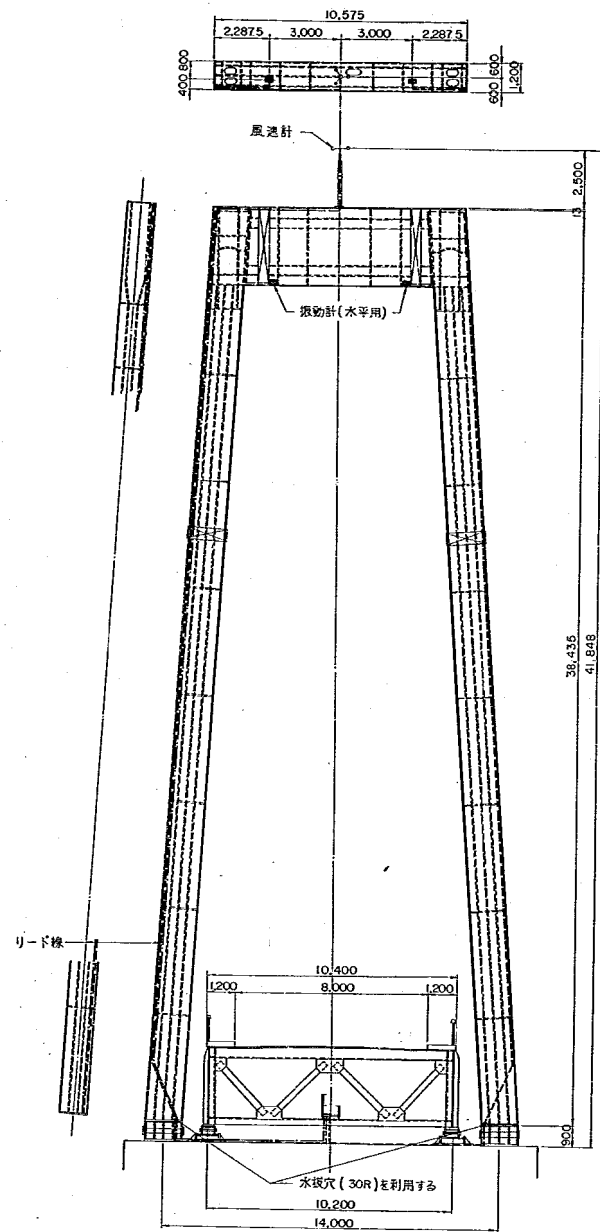


図-3 尾道大橋・長期観測計器配置図

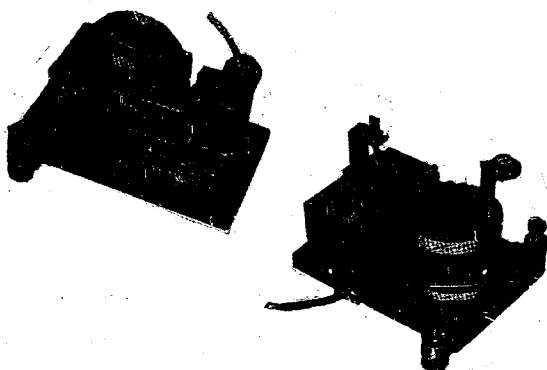


写真-2 振 動 計

塔頂中央には塔頂の橋軸直角方向の水平振動をはかる換振器が配置されている。主桁および塔の水平振動を測定するための換振器は主として、橋の地震応答を目的としたものである。

なお、振動計および次のべる地震計の記録器は風向風速計の記録器と共に管理事務所内におかれていることは前にのべた通りである。

iii 地 震 計

地動を測定するためのスター換振器および地震計付向島側の橋台附近に設置された。

2-3 長期観測計器

次に長期観測に用いられている個々の計器について説明する。

i 風向風速計

尾道大橋にとりつけられた風向風速計は発振器と変換器および記録器からできている。発振器は風杯型発電式の風向風速計(3杯)が採用されたがこの種の風速計は追従性がよく短い周期の風速変動が記録できる。この風速計により $2\sim 60\text{ m/s}$ の風が測定できる。

変換器は発信器から得られた電気信号を風速、風向および風程積算値 $5,000\text{ m}$ 毎にその積算値に比例した直流電圧に変換するものである。

記録器は変換器から得られた風向、風速、風程に関する電気信号の時間的変化を記録するもので自動平衡型のペンレコーダーが使用されている。記録器の紙送り速度は平時は 25 mm/hr に設定されているが風速がある一定値を越えると自動的に 50 mm/min に切換えられ、強風の記録は特に詳しくとれるようになっている。

ii 振 動 計

ここで振動計といっているのは橋にとりつけたものをさしている。振動計としては加速度計や変位計が、また加速度計にしてもいろいろな型式があるが尾道大橋では安定性がよく〔ドリフトが小さい〕長期観測に適している可動線輪型の加速度計が用いられた。この

振動計は換振器、感度調整器および記録器からなっている。換振器は磁界の中でコイルが振動し加速度に比例した電気信号を発生する。感度調整器は換振器と記録器のガルバノメーター間のインピーダンスの整合と記録感度の切換えを行なう。

記録器は地震計の記録器と併用しているので記録信号の数と長期的に使用する自動観測計器と云うことから、現像式の電磁オシログラフが選ばれた。現像式電磁オシログラフは (i)測定周波数範囲が広い、 (ii)記録用光源が白熱灯で安い、 (iii)1台で12 channel までの記録がとれる等の特徴があったので尾道大橋の記録器として採用された。

iii 地 震 計

地震計は地震時の地動の動きを測定する、いわゆる地震計と地震時の初期微動をとらえて記録器を駆動させる自動起動器の2つに分けることができる。尾道大橋では前者は橋にとりつけられた振動計と同様のものが採用されている。また自動起動器はスターター換振器とスターター制御装置からなっている。

スターター換振器は初期微動の上下動をとらえるもので、この信号をうけとってスターター制御装置が規定の加速度に達したとき規定した時間だけ記録器を駆動させるようになっている。またスターター制御装置は風速計からの信号によっても記録器が駆動できるようになっており、現在は風速計の記録器に早廻しがかかると同時に振動計の記録器がスタートするようになっている。

iv そ の 他

以上の機器以外に尾道大橋には記録器が駆動しはじめた時刻を記録する刻時器、および非常用の電源〔バッテリー〕がある。刻時器は電磁オシログラフが時間間隔しか出来ないため、電磁オシログラフの記録紙の紙送りのおわった時間を年月日、時間、分、秒まで記録するものである。また非常用電源はバッテリーと交流-直流変換からなっており、停電のときは自動的にバッテリーからの直流電流を交流に変換して各計器が作動されるようになっている。

2-4 尾道大橋の長期観測体制

尾道大橋の長期計器は一応自動計測が可能のように計画されている。尾道大橋の長期観測の目的は前にも述べているように強風による橋の振動の記録と地震動に対する応答の観測であって個々の計器の性能および配置についてはすべて述べた通りであるが、そのブロック図は図-4のとおりである。この計器で常時観測しているのは主桁位置および塔頂での風向、風速、風程だけである。

この場合でも振動計およびスターター換振器は作動状態にあるが記録器が作動していない

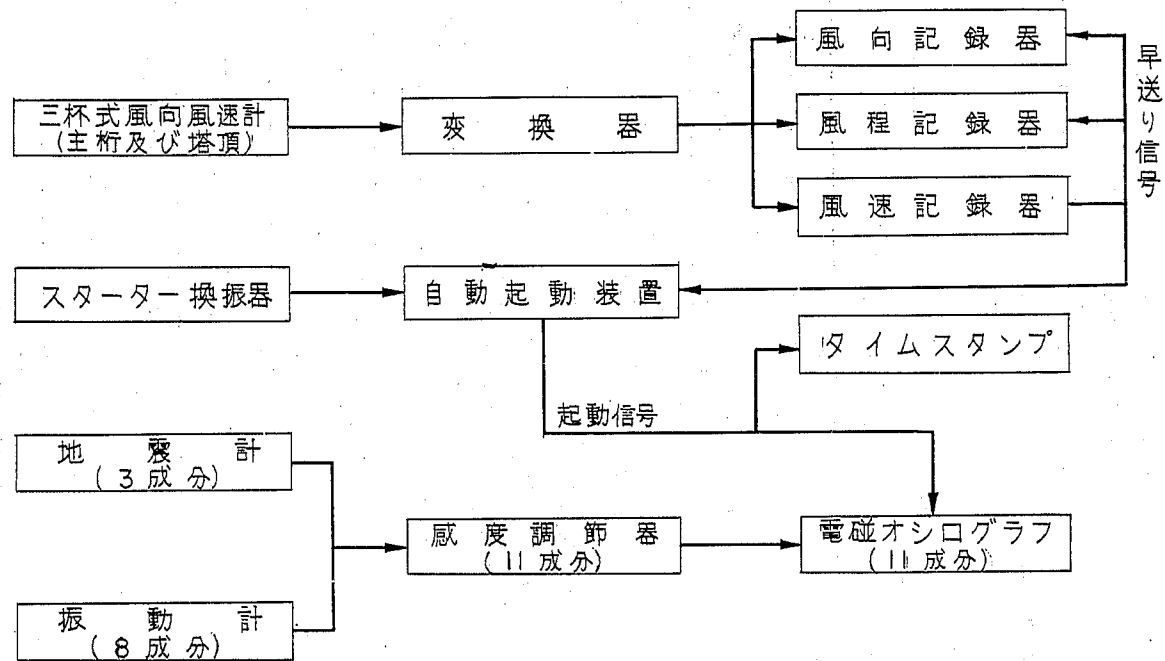


図-4 長期観測計器ブロック図

ため記録はとられていない。風向、風速計の記録器にはリレーが取り付けられており、風速がある一定値を越えると自身の紙送り速度を25mm/hrから50mm/minに自動的に切換え詳細な風速、風向、風程の記録がなされるような信号を発すると同時に、振動計の自動起動装置へも信号を送って振動計の記録器を駆動させるようになっている。

同様なことが地震時の記録にもいえる。地震時にはスターター換振器が初期微動をとらえその加速度が一定値を越えると振動計の自動起動装置へ信号を送り振動計の記録器を駆動させるようになっている。

尾道大橋の長期観測計器の一覧を表-1に示す。

表 - 1 使 用 計 器 一 覧 表

品 名	型 式	数 量	備 考
風 速 記 録 計	ER1-90K12Z-123型 0~60m/s 記録紙送り25mm/h 50mm/minの外部自動切換 タイマーカペン付100V60%	2台	嵯横河電機製
風 向 記 録 計	ERB1-90Z-123型 N.E.S.W.N.E.S.目盛N.S方向自動切 換記録紙送り25mm/h, 50mm/min の外部自動切換, タイマーカペン 付100V60%	2台	"
風 程 記 録 計	ERB1-90Z-123型 0~5,000m 目盛記録紙送り25mm/h 50mm/minの外部自動切換, タイム マーカペン付100V60%	2台	"
風速, 風向, 風程 変換装置	タイマー部分内蔵	2台	嵯小笠原製作所製
風速, 風向, 風程 発信器	三杯式	2台	"
停電用予備電 源装置	入力DC24V, 力AC100V60% 使用可能時間6H	1台	嵯太陽社製
水平加速度計	PK-130H(水平動)	6台	嵯勝島製作所製
鉛直加速度計	PK-130V(上下動)	5台	"
感 度 調 整 器 (11成分)	AA-11C(較正器付)	1台	"
起動用感震器	PK-130	1台	"
起動用増巾器		1台	"
電磁オシログラフ (12成分)	K-300A	1台	"
刻 時 器	NS-F1(タイムスタンプ)	1台	"

3. 尾道大橋における既往の調査研究の概要

3-1 ま え が き

尾道大橋の既往の耐風性の調査は、風洞模型実験については日本道路公団からの依頼で、実橋試験については本四連絡橋調査の一環として土木研究所が担当して行なった。以下にその概要を説明する。

3-2 風洞模型実験の概要

構造物の風による振動に関する実験には橋全体を模型化する全橋模型実験と橋の主桁の2次元性に着目した部分模型実験があるが、風洞の大きさの制約もあって部分模型実験を採用した。今回行なった実験はバネ支持模型実験と呼ばれるもので、補剛桁のある長さを剛体模型としてバネで吊し、風の作用をうけたときの模型の挙動を観察する実験である。模型実験では原型と模型の物理的、力学的現象が共通の方程式を満足するよう模型の諸量を定めなければならないが、このため模型は幾何学的相似の外に次のような物理量を相似させなければならない。

$$\frac{I_y}{fB^4}, \frac{I_z}{fB^2}, \frac{V}{N_y B}, \frac{V}{N_z B}, \delta_z, \delta_\theta$$

ここに

B : 代表長

I_y : 主桁の回転中心について計算した極慣性モーメント

I_z : 主桁の質量

N : 振動数、添字 z および θ はそれぞれ撓み振動、ねじれ振動を表わす

V : 風速

δ : 構造減衰、添字は N の場合と同じ

風による橋の振動は不規則振動を除けば鉛直撓み振動とねじれ振動であり、模型実験もこの二つの振動を対象にしている。実験は模型の種類、迎角、振動の自由度（鉛直撓み振動、ねじれ振動およびその連成振動）をかえて行ない、各風速に対する挙動を調べた。

模型は風洞測定部の大きさから長さ 1,600mm、幅 600mm 程度におさえられるので、1/25 の縮尺でつくった。実験の結果原設計案は設計風速に比べて低い風速で発振したため、後で説明するような 2, 3 の修正断面についても実験を追加した。これらの模型の相似側から要求される諸量と実験に用いた値は表-2のとおりである。

尾道大橋の原設計の風洞模型実験結果を図-5に示す。その結果からも明らかなように原

表 - 2 実 験 条 件

模 型 名		重 量		極慣性モーメント	
		必要諸元	実際諸元	必要諸元	実際諸元
尾 道 大 橋		gr	gr	$\text{gr} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$	$\text{gr} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$
	原 設 計 模 型	7,667	7,648	2,940	2,700
	改 造 模 型 I	"	7,622	"	2,759
	改 造 模 型 II	"	7,899	"	2,740
	実 施 断 面 模 型	"	7,679	"	2,620

模 型 名		構 造 減 衰		振動数比 (振り/撓み)	
		振り振動	撓み振動	実 橋	模 型
尾 道 大 橋	原 設 計 模 型	0.022	0.060	1.66/0.58	2.47/1.55
	改 造 模 型 I	0.008 0.050	0.029 0.065		2.76/1.58
	改 造 模 型 II	0.022	0.080		2.73/1.53
	実 施 断 面 模 型	0.020	0.060		3.27/1.51

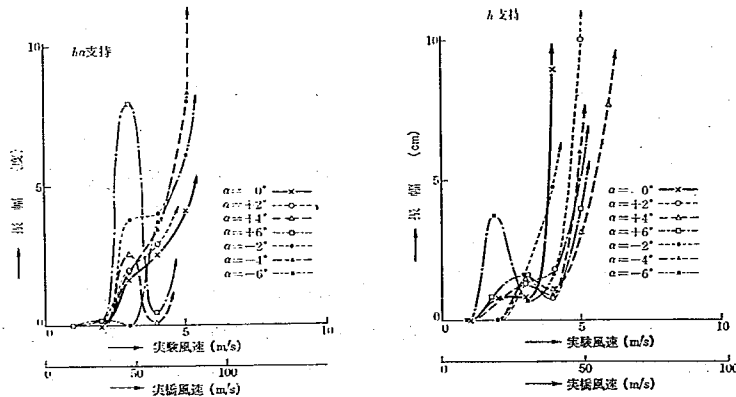


図 - 5 尾道大橋風速振幅曲線

設計断面では撓みとねじれの不安定振動が現われている。撓みとねじれの不安定振動は比較的低い風速であられる限定振動（振動が一定振幅にとどまるゆるやかな振動）と高い風速であられる発散振動（風速の増加に伴って振幅が著しく増加する激しい振動）に分けられるが、耐風安定性上問題になるのは発散振動であって、この点原設計は撓みの発散振動の

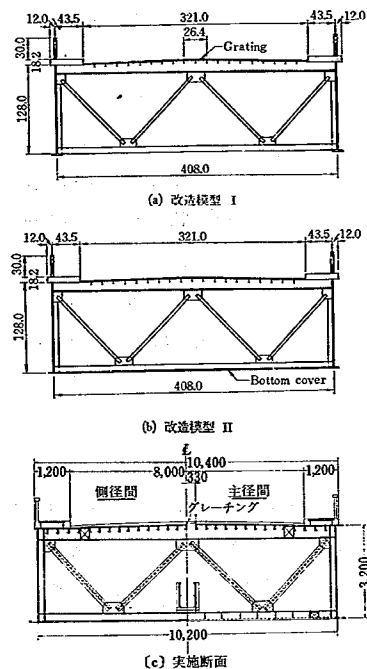


図-6 尾道大橋改造断面

限界風速（設計上許容される振幅の振動を発生する風速）が 40 m/s 以下となり、尾道大橋が本四連絡橋耐風設計指針に準拠して設計されるものとすれば、この風速は設計風速の 1.2 倍と云う許容値を下まわることになり設計断面の変更が必要となった。この時点で尾道大橋の上部工は工場製作の段階にあって大幅な断面形の変更は不可能であったため図-6 (a)（原設計の分離帯に開口部をあげ地覆を高くする）、図-6 (b)（原設計の下面を覆う）の二つの案につき実験を追加したが、その結果改造模型 I の空力特性が一番良好であった。実験結果図-7 から明らかなように、改造模型 I は比較的低い風速で振幅の大きいねじれ限定振動があらわれるが、発散振動の限界風速は原設計に比べかなり高くなっている。以上の結果を検討した結果、実施断面として図-6 (c) が採用された。この断面については迎角 0° についてのみ実験を行なった

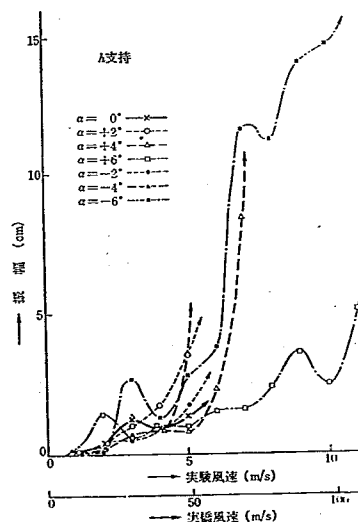
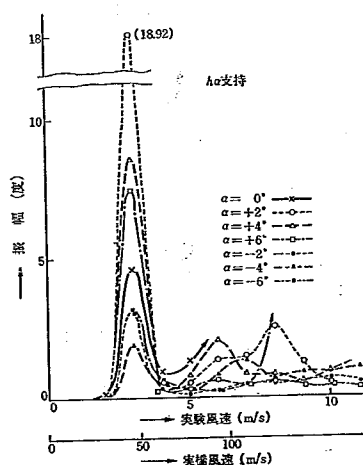


図-7 尾道大橋風速振幅曲線

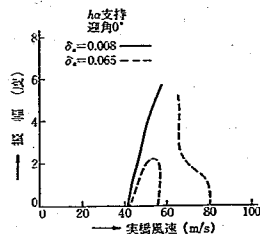
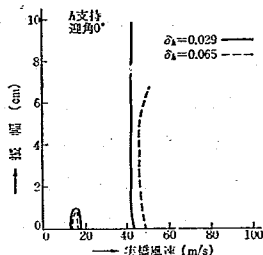


図-8 尾道大橋風速振幅曲線

風速は 80 m/s 、更に撓みとねじれの限定振動（風琴振動）の発振風速はそれぞれ 14 m/s 、 42 m/s 程度となる。

が、その結果を実橋に換算したものを図-8に示す。

結局実橋が $\delta_s = 0.06$ 、 $\delta_a = 0.05$ 程度の構造減衰をもつものと仮定すれば撓み振動（跳躍振動）の限界風速は 48 m/s 、ねじれ振動（失速フラッター）の限界

3-3 実橋試験の概要

尾道大橋の完成後にその振動特性を調べるための実橋試験を実施した。この実験の主たる目的は長大橋の撓みおよび振れ振動の構造減衰の測定であらわして理論的な振動解析結果との比較を行なおうとしたものである。実験は撓み励振と振り励振が可能な起振機を用い振動は電気抵抗線型加速度計を用いて計測した。

それらの実験結果は次のとおりである。

1. 撓み振動の固有振動数および構造減衰

次 数	実測値	計算値	構造減衰（対数減衰率）
対称一次振動	0.58 %	0.581 %	$\delta = 0.05$
対称二次振動	1.38 "	1.385 "	
逆対称一次振動	0.92 "	0.914 "	$\delta = 0.045$
逆対称二次振動	1.62 "	1.562 "	

2. 振り振動の固有振動数および構造減衰

次 数	実測値	理論値	構造減衰（対数減衰率）
対称一次振動	1.66 %	1.706 %	$\delta = 0.035$
逆対称一次振動	2.94 "	3.055 "	$\delta = 0.03$

以上のように実測値は斜張橋の固有振動数についての数値解〔実橋を有限自由度の質点系に分けて解析〕と非常によい一致を示している。

4. 尾道大橋での長期観測結果

4-1 尾道大橋で記録された風による振動

本報告書では昭和43年4月から昭和44年2月までの観測記録が整理してある。

この期間中に記録された尾道大橋の風による振動の概略を表-3にまとめた。

この表に記載されたのは記録器に記録された例の全てであって、実際に尾道大橋に発生した風起因する全ての振動をあらわしているのではない。と云うのは先程も説明したように本観測計器は風速がある一定値を越えると自動的に詳細な風速、風向、風程の記録および橋の振動状態の記録がとれるようになっており、設置当初はこの風速を10m/sとした。しかしこの程度の風は一時強風が吹き始めると連続的にあられ、従って電磁オシログラフの記録回数が非常に多くなったためその後計器管理者が記録の状態をみて記録開始風速を15m/s、20m/s、25m/sなど適宜設定して観測していたため、橋が実際に振動を起すと思われる10~20m/s程度の風速はこの表以外にもかなり多く発現しているものと予想される。従って、尾道大橋に発現した風による振動は表-3の回数を大巾に上回っているものと思われる。なお表中にある風向および平均風速は、早送り記録のある場合には早送り時間中の平均を、早送り記録のない場合には10~20分間の平均をとっている。

記録からの実変位の計算は次のように行なった。

記録紙に書かれた較正值と記録紙上の振巾から振動加速度 $\ddot{y}$ と振動数 f が求まる。橋の振動波形を正弦波と仮定すれば

$$y(x, t) = y(x) \cdot \sin 2\pi f t$$

ここに $y(x)$ は規準振動形

$$\dot{y}(x, t) = y(x) \cdot 2\pi f \cos 2\pi f t$$

$$\ddot{y}(x, t) = -y(x) \cdot (2\pi f)^2 \sin f t$$

$$\therefore y(x, t) = -\frac{\ddot{y}(x, t)}{(2\pi f)^2}$$

表-3の結果からも明らかなように主桁では対称一次の撓み振動が、また主塔では1.2%程度の振動数の橋軸直角方向の振動が卓越している。

風洞模型実験の結果から主桁に撓み振動が起るであろうことは予想されており、実測結果もこの予想どおりのものであったが、主塔の橋軸直角方向の振動が起るとは予想していなかった。従って現在のところこの振動がどういった性格のものであるかは分らず、今後の調査にまたなければならない。

表-3 強風時の観測結果一覧表

日 時		強風の原因	主 桁				主 塔				備 考		
			風 向	平均風速 m/s	最大風速 m/s	振動数 1/s	振巾 cm	風 向	平均風速 m/s	最大風速 m/s		振動数 1/s	振巾 cm
43. 7.28	8:41	台風 4号	E	10.0	16.5	—	—	NEE	—	15.0	1.25	0.83	図9-1
	8:45	"	E	10.5	16.0	—	—	NEE	—	19.0	1.04	0.55	
	9:48	"	E	11.7	15.0	0.58	0.50	NEE	—	15.0	1.15	0.33	
	11:37	"	E	13.3	16.5	0.58	0.25	NEE	—	17.5	1.18	0.38	
	12:36	"	NEE	9.3	15.0	0.58	0.50	NEE	—	19.0	1.25	0.63	
	12:47	"	NEE	10.5	15.5	0.58	0.62	NEE	—	17.0	1.23	0.46	
	12:51	"	NEE	13.3	16.5	—	—	NEE	—	17.5	1.12	1.17	
	13:11	"	NEE	10.0	15.5	—	—	NEE	—	17.0	1.26	0.49	
	13:49	"	NEE	8.3	17.0	—	—	NEE	—	20.0	1.26	0.51	
	13:50	"	NEE	10.0	18.5	0.58	0.68	NEE	11.5	18.0	1.10	0.80	
	13:59	"	NEE	11.0	15.0	—	—	NEE	—	17.0	1.04	0.33	
	14:18	"	NEE	10.0	15.5	0.58	0.82	NE	15.6	17.0	1.20	0.98	
	15:57	"	NEE	7.9	15.0	0.58	0.57	NE	18.3	21.0	1.20	0.38	
	18:59	"	E	11.0	20.0	—	0.34	NEE	?	21.5	1.23	1.60	
	19:17	"	NEE	11.0	20.0	—	—	NEE	—	22.0	1.14	1.29	
	20:33	"	NEE	15.7	20.0	—	0.38	E	—	22.0	1.23	1.12	
	20:46	"	NEE	9.3	20.5	0.58	0.62	E	—	25.0	1.22	0.71	
	20:56	"	NEE	16.7	22.5	—	—	E	—	28.0	1.30	0.58	
	22:19	"	E	23.3	29.5	0.58	2.37	E	19.4	—	1.27	0.90	
	22:20	"	E	16.7	24.5	0.58	1.11	E	—	—	1.23	0.84	
	22:22	"	E	16.7	25.0	0.58	4.10	E	—	29.0	1.25	0.62	
	22:26	"	NEE	16.7	25.0	0.58	3.79	E	—	—	1.47	0.30	
	22:30	"	E	23.3	30.0	0.58	2.28	E	—	30.0	1.22	0.63	
	22:32	"	E	17.5	24.5	0.58	2.20	E	21.0	31.5	1.27	0.73	
	22:34	"	E	16.7	25.5	0.58	1.46	E	23.1	28.0	1.24	0.68	
	22:38	"	E	20.0	26.5	0.58	2.20	E	25.0	29.5	1.27	0.45	
	22:42	"	E	19.2	29.0	0.58	2.69	E	20.0	29.5	1.19	0.45	
	22:45	"	E	18.3	25.0	0.58	0.86	E	28.3	29.5	1.02	0.76	
43.8.29	13:42	台風10号	NWW	8.3	14.0	—	—	—	—	—	1.22	0.37	図9-2
	13:44	"	NWW	10.5	13.5	—	—	—	—	—	—	—	
	13:46	"	NWW	10.5	14.5	—	—	NW	11	18.0	—	—	
	13:48	"	NWW	8.9	12.5	0.57	20.4	—	—	—	1.22	0.36	

日 時		強風の原因	主 桁				主		塔		備 考			
風 向	平均風速 m/s		最大風速 m/s	振動物	振巾	風 向	平均風速 m/s	最大風速 m/s	振動数 1/s	振巾 cm				
43. 9.25	4:26	台風16号	NEE	8.0	12.0	—	—	NEE	9.92	14.0	1.23	0.14		
	4:54	"	NEE	7.0	11.5	—	—		9.92	14.0	1.23	0.12		
	4:56	"	NE	7.0	11.5	—	—		8.68	13.0	—	—		
	7:03	"	E	8.7	12.0	—	—		8.26	12.5	—	—		
	7:55	"	E	10.0	12.0	—	—		—	—	—	—		
43.10.24	20:04		W	13.0	16.0	—	—	SWW	17.7	215	—	—	図10	
	20:24	W	12.9	16.5	—	—	1.23				0.85			
	20:26	W	15.4	18.0	—	—	1.23				0.52			
	20:28	W	16.0	19.6	—	—	1.23				0.42			
	20:30	W	15.4	19.0	—	—	1.23				1.16			
	20:32	W	16.7	20.0	—	—	1.23				0.44			
	20:34	W	15.0	16.5	—	—	1.23				0.17			
	20:36	W	16.0	18.6	0.58 ^{c/s}	0.37 ^{cm}	1.23				0.13			
	20:38	W	13.4	16.0	0.58	1.10	1.23				0.12			
	43.10.25	15:20	SWW	8.6	15.5	0.58	0.59				11.1	18.0		1.23
16:00		SWW	11.7	15.5	0.58	0.98	22.0	1.23	0.26					
43.11.10	7:39	季節風	不明	16.7	23.5	0.56	1.30	W	19.4	27.5	1.10	0.15	図9-4	
	7:40	"		19.2	21.0	0.59	1.58	W			1.25	0.42	図9-5	
	7:41	"		14.4	22.5	—	—	W			—	—	図9-6	
	7:42	"		18.3	21.0	0.59	2.29	W			1.10	0.34		
	7:43	"		13.8	20.0	0.59	3.13	W			1.11	0.22	図9-7	
	7:46	"		15.8	21.0	0.59	2.05	W			1.25	0.571	図9-8	
	7:47	"		15.0	20.0	0.59	4.02	W			1.18	0.29	図9-9	
	7:50	"		15.0	20.5	0.59	1.35	W			23.5	1.10	0.22	図9-10
	7:58	"		15.8	20.5	0.59	0.95	W			1.30	0.27		
	8:08	"		14.9	20.0	0.59	1.32	W			—	—	図9-11	
	8:10	"		13.8	20.5	—	—	W			—	—		

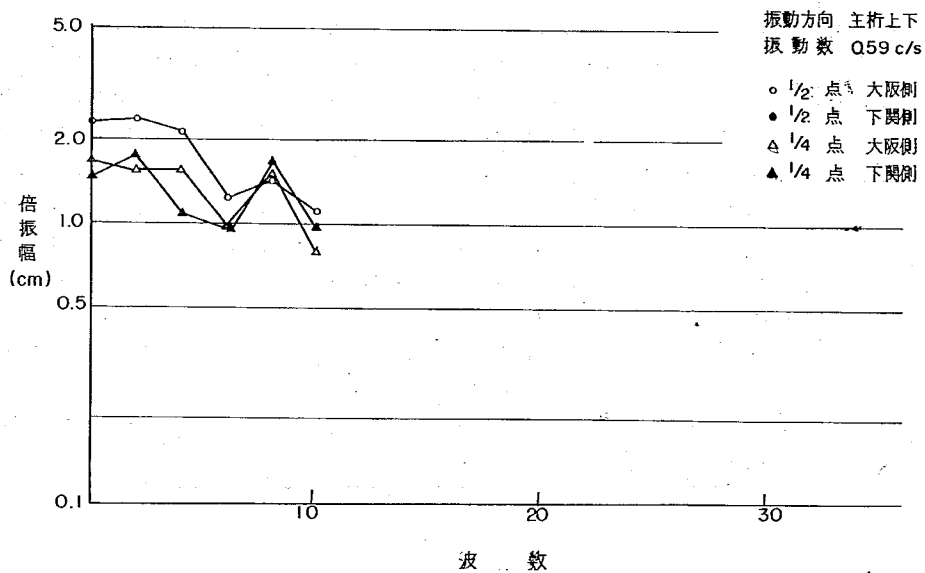
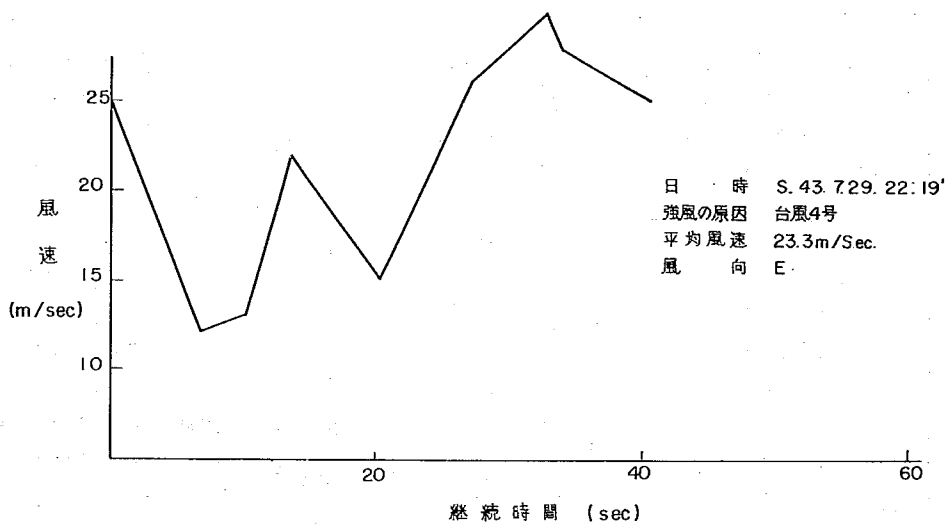


図 9 - 1 風の変動と振動の変化

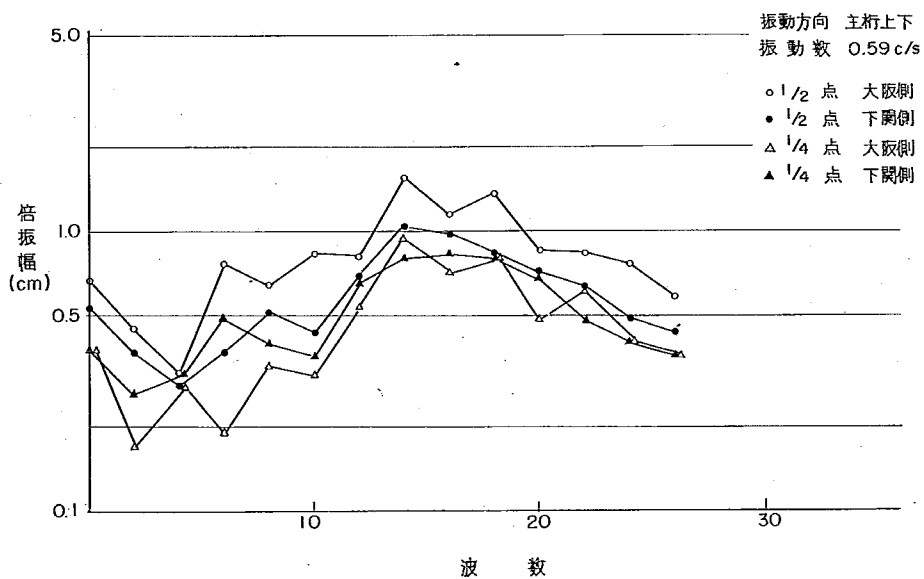
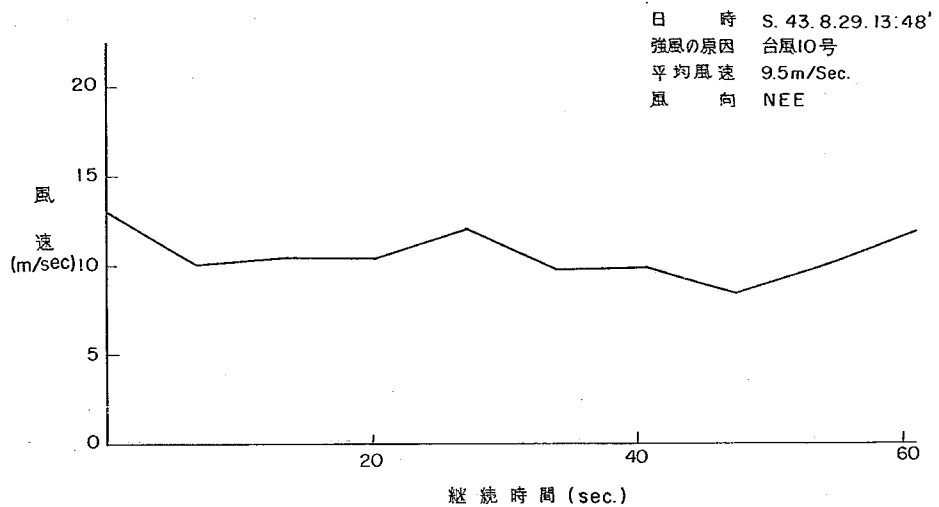


図 9-2 風の変動と振動の変化

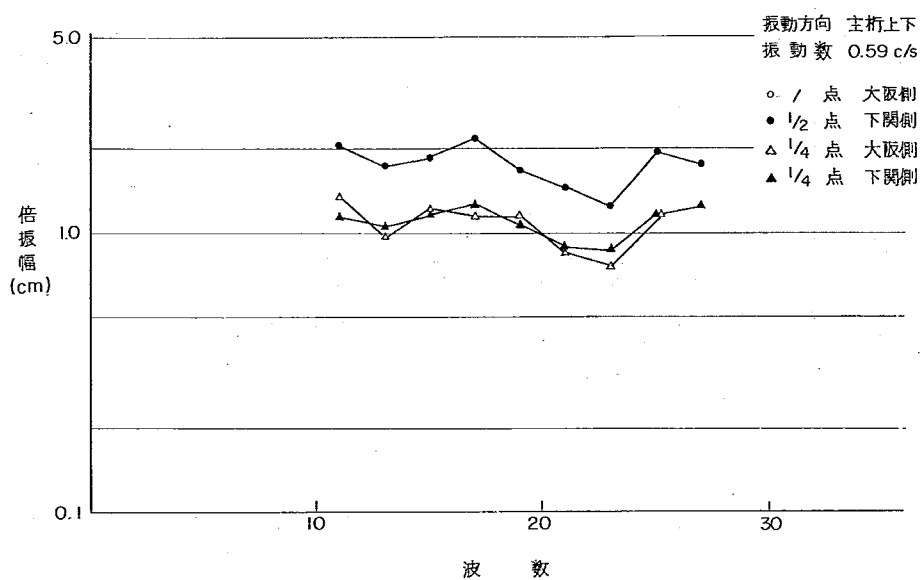
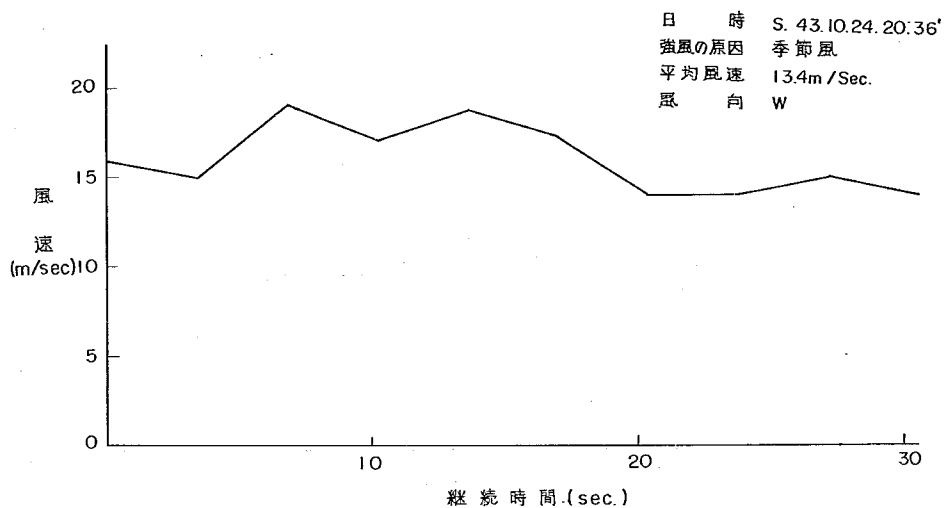


図 9 - 3 風の変動と振動の変化

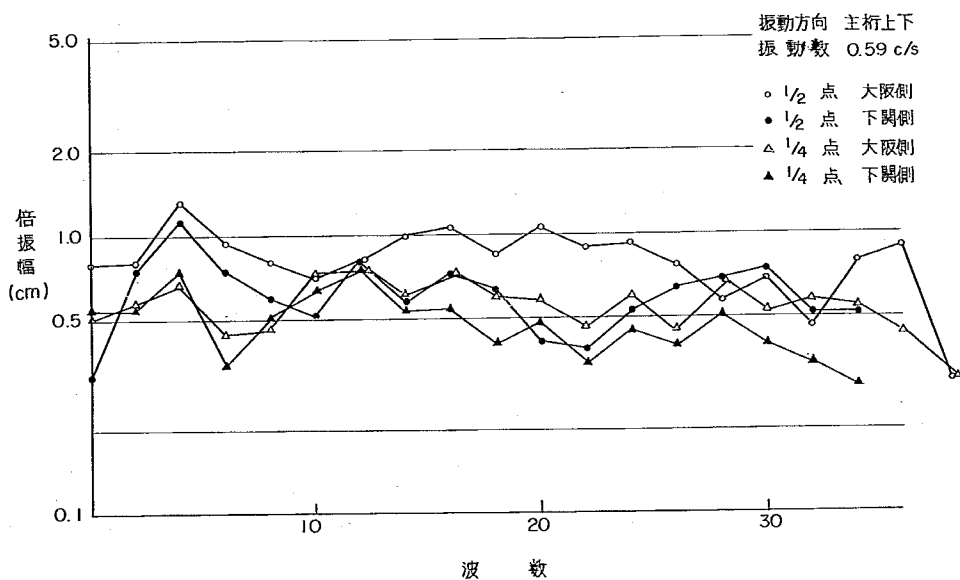
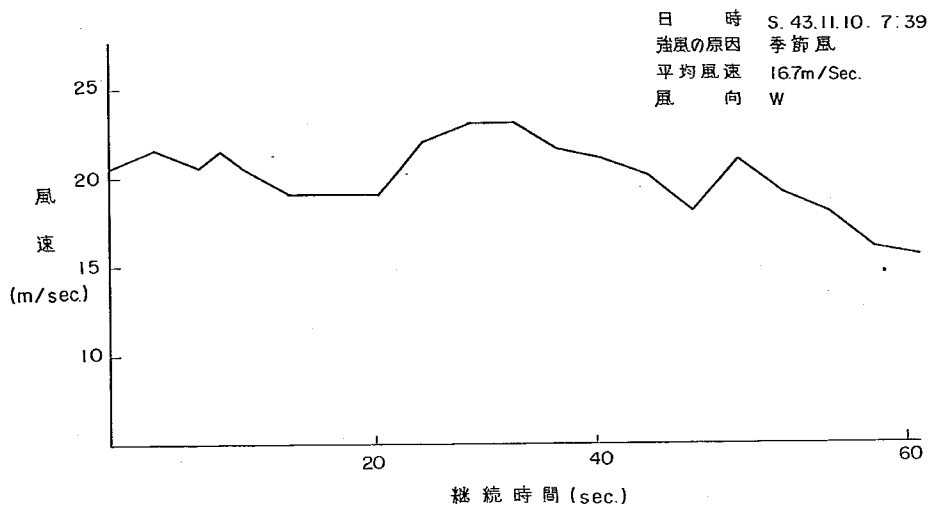


図 9-4 風の変動と振動の変化

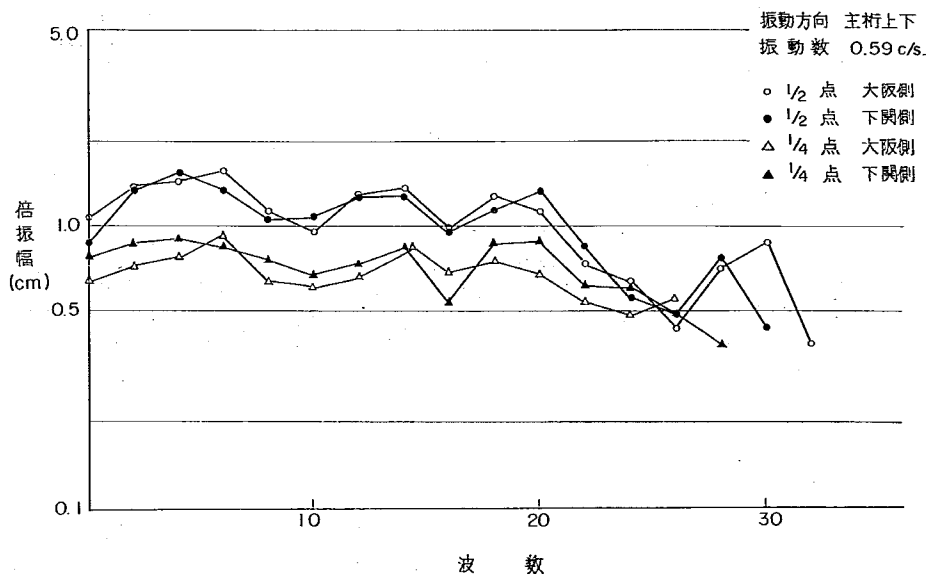
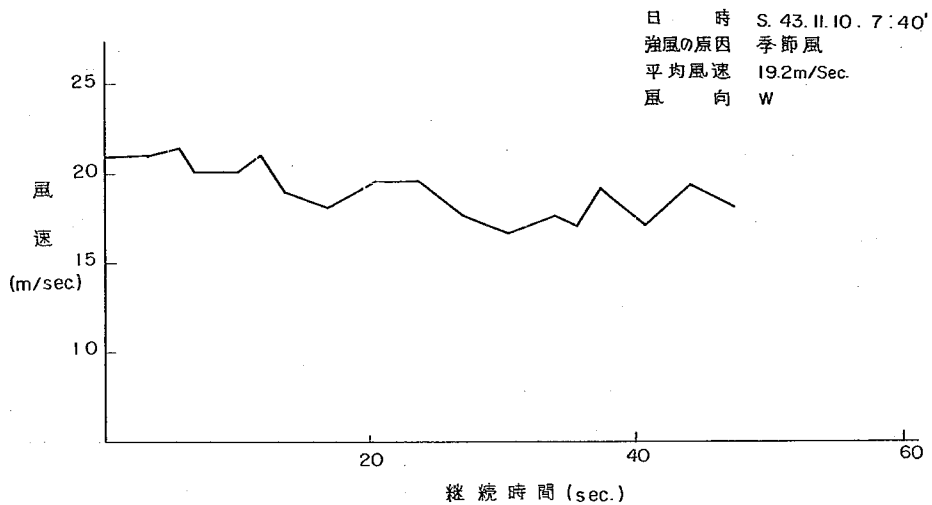


図 9-5 風の変動と振動の変化

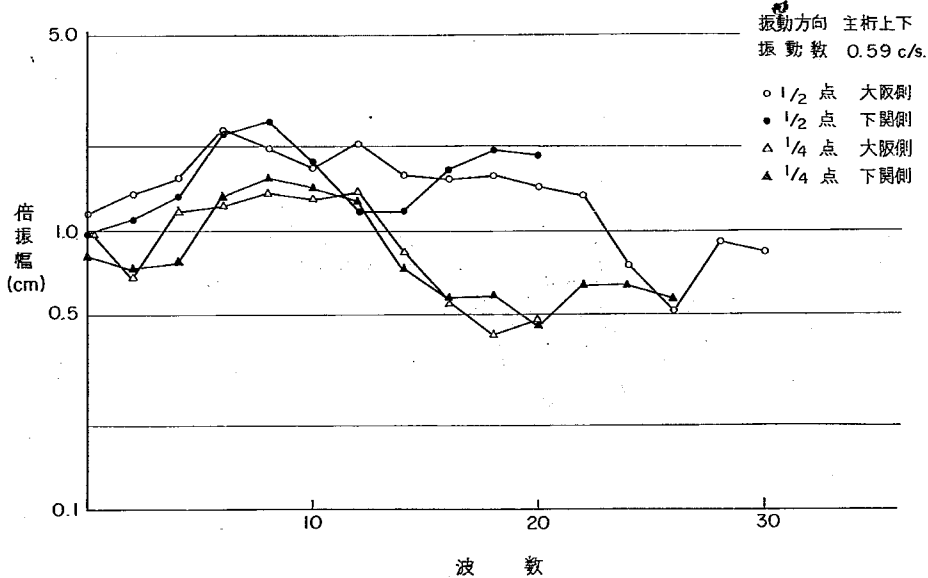
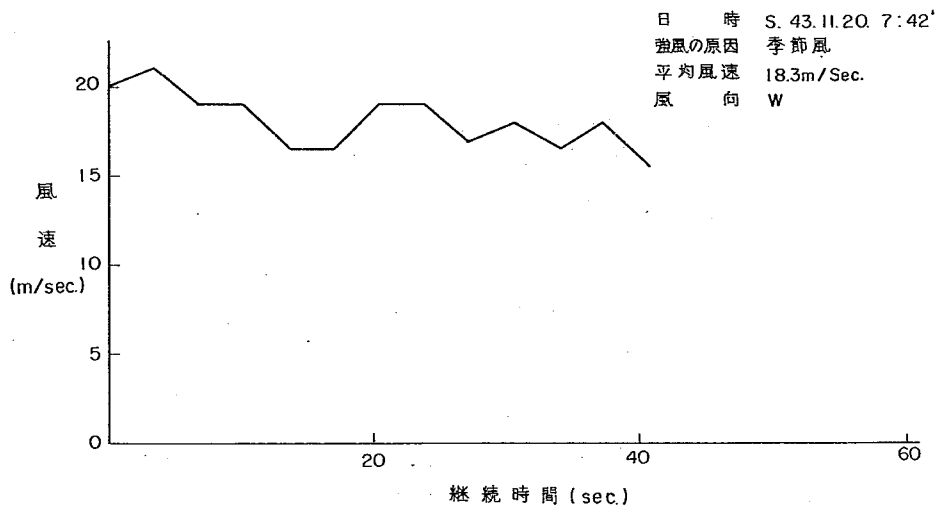


図 9-6 風の変動と振動の変化

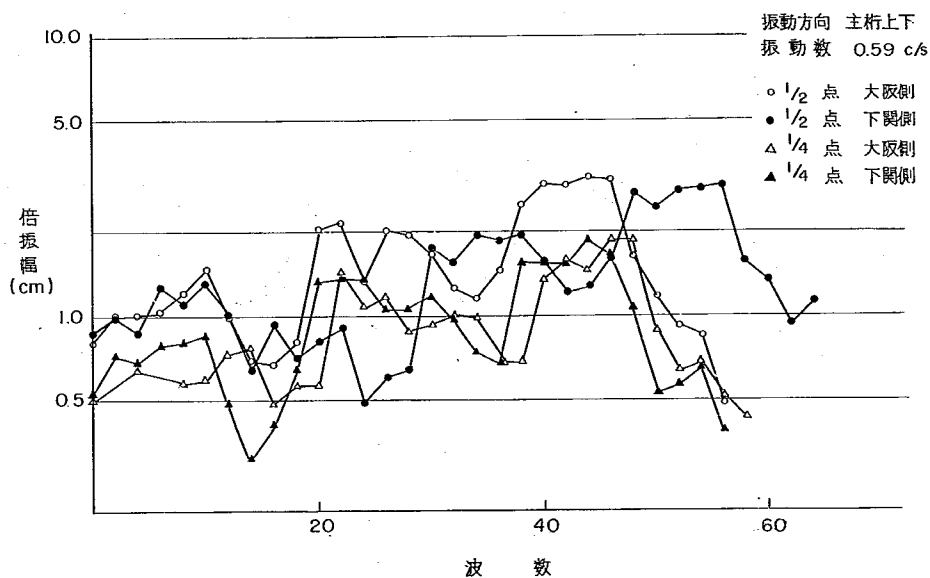
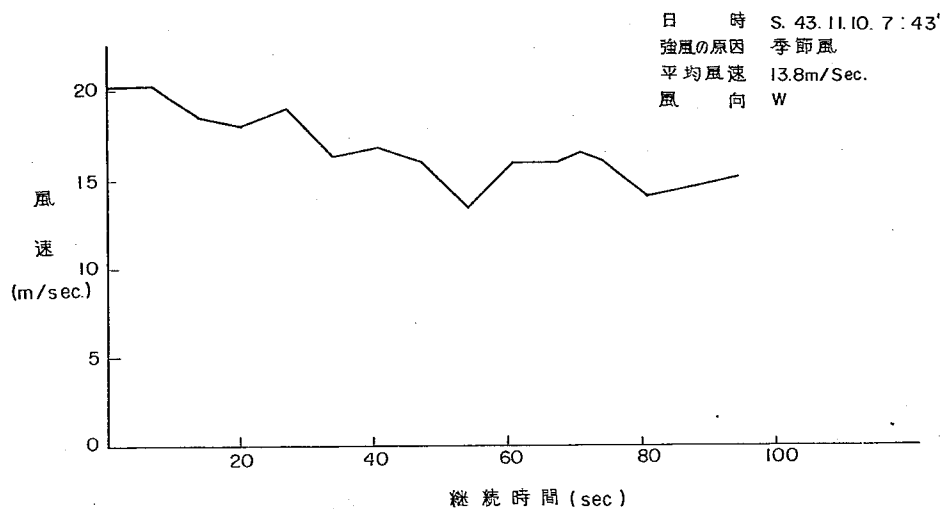


図 9-7 風の変動と振動の変化

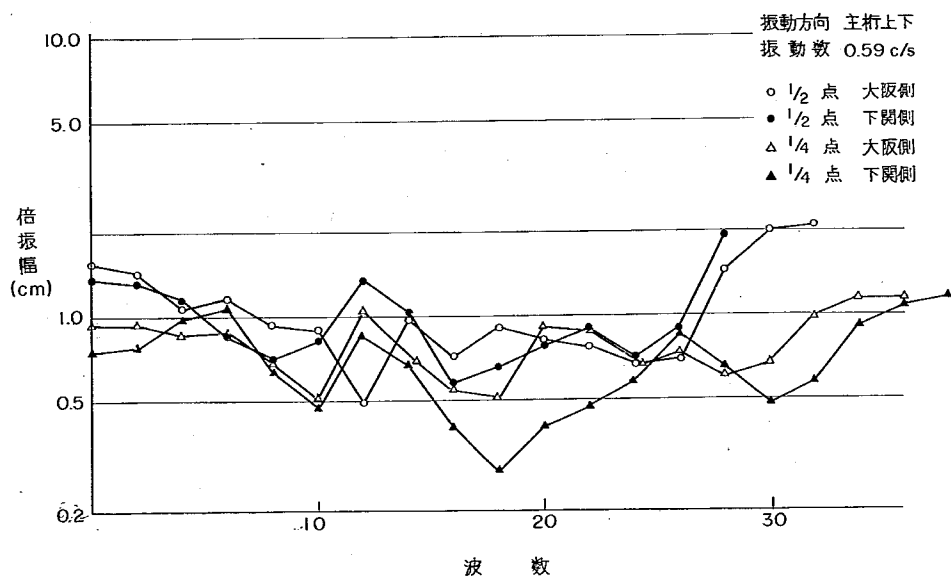
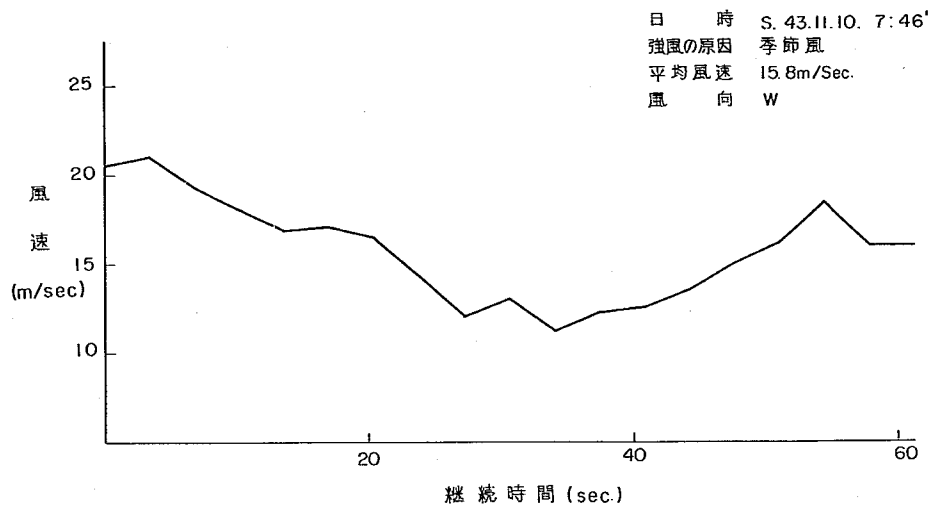


図 9-8 風の変動と振動の変化

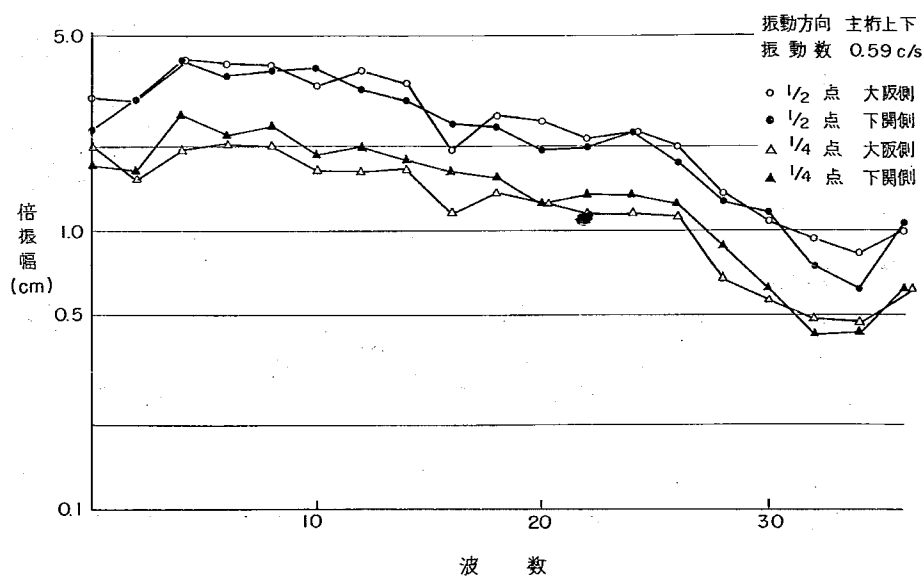
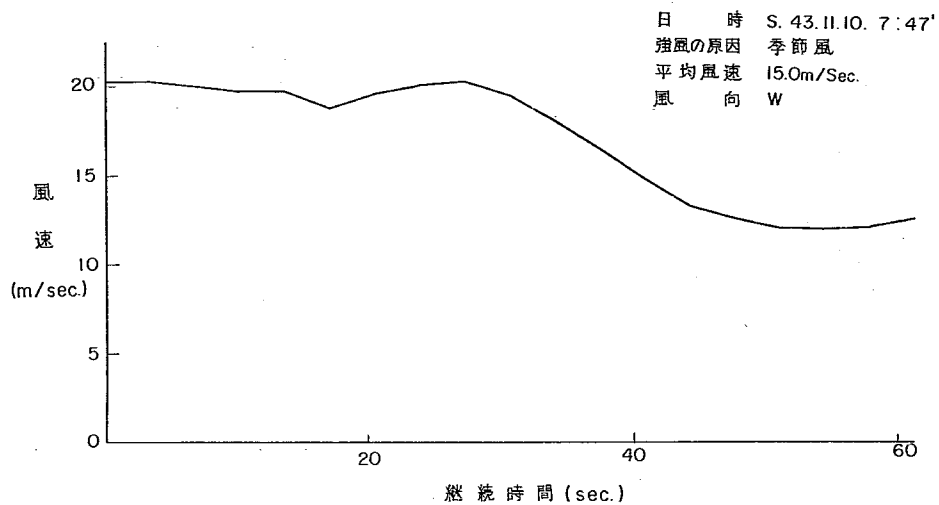


図 9-9 風の変動と振動の変化

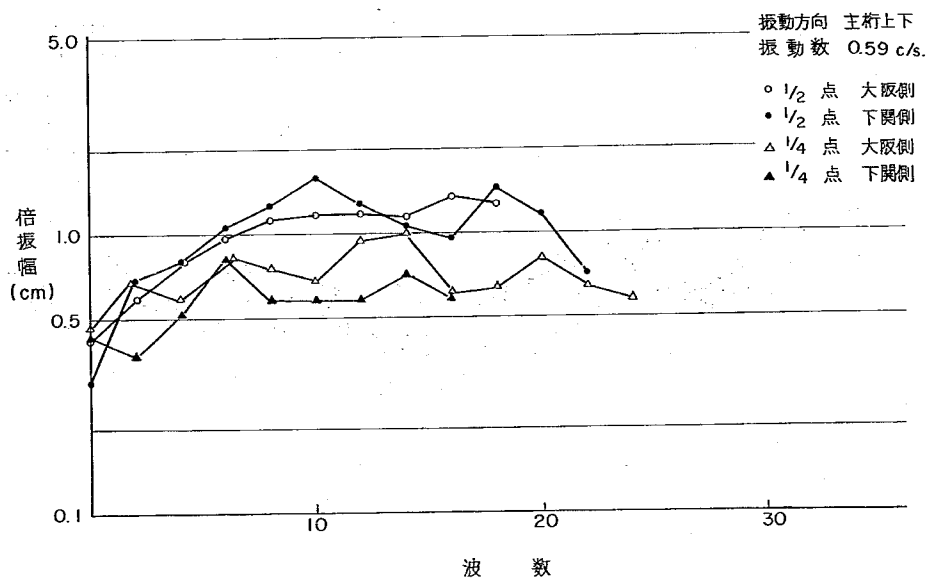
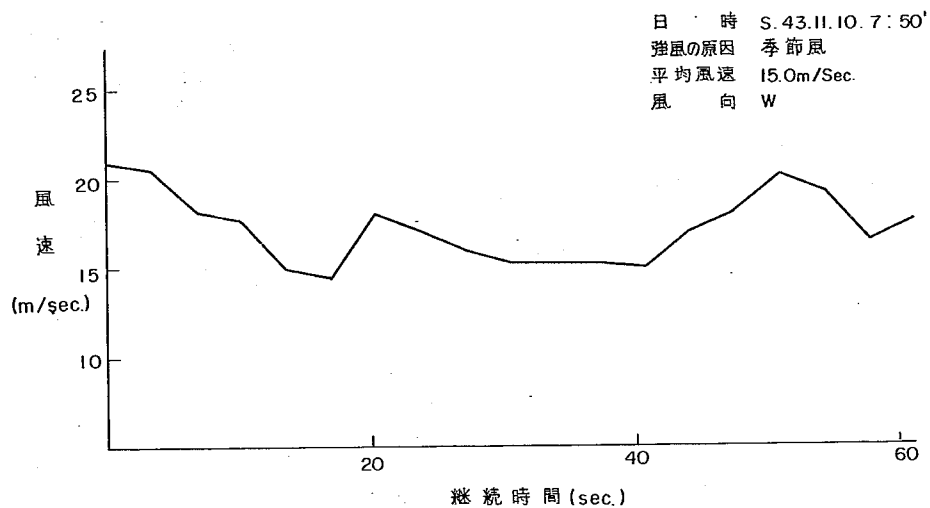


図 9-10 風の変動と振動の変化

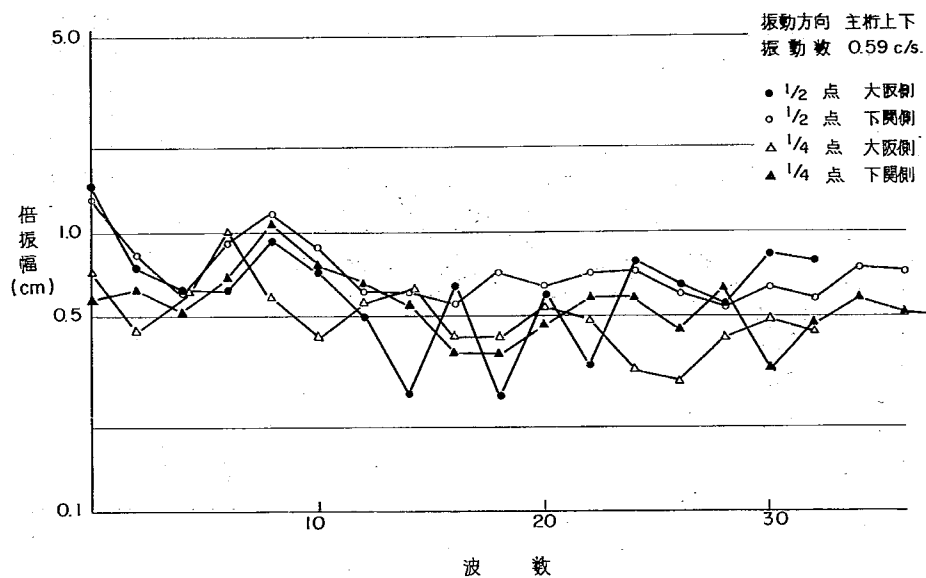
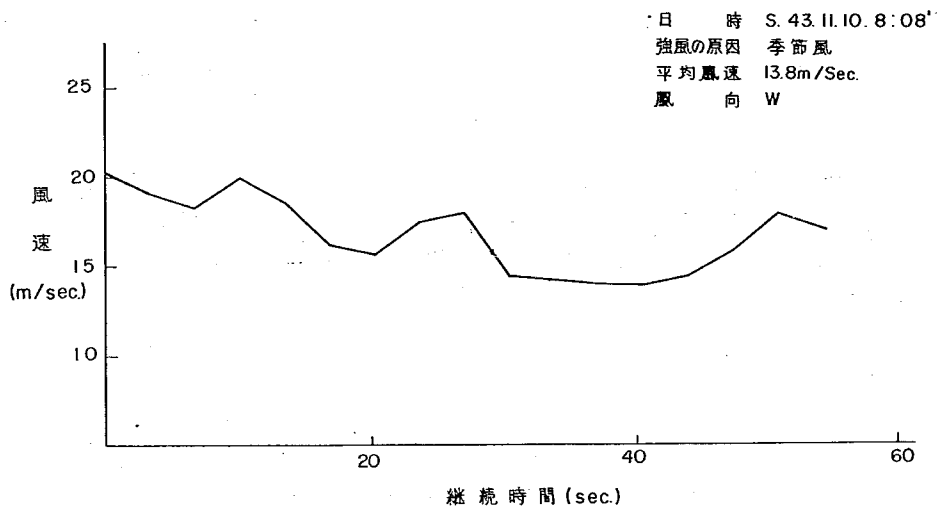


図 9 - 11 風の変動と振動の変化

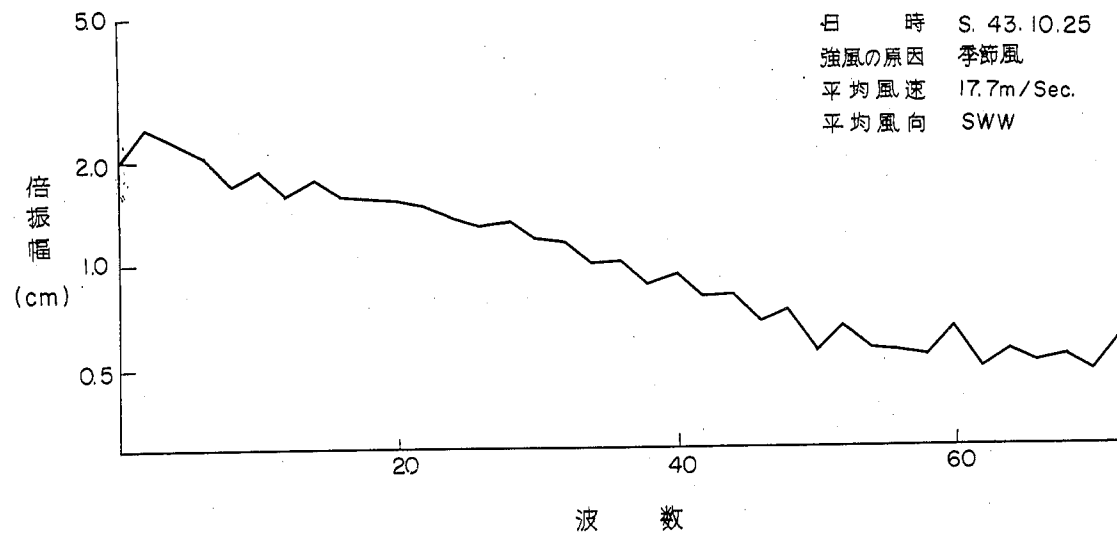


図 - 10 主塔の振風による振動

4-2 尾道大橋で記録された地震記録

この一年間瀬戸内地方にはほとんど地震がなくわずかに昭和43年8月6日1時頃に震度3~5の地震があっただけである。この地震の記録およびそれによる尾道大橋の振動は記録することが出来たが記録振巾が非常に大きかったことおよび記録時間が少し短かったため記録波形と観測点の正確な対応が出来ず、貴重な記録を十分に生かすことの出来ないのは残念である。この地震は尾道大橋の地震計では最大振巾30gal〔倍振巾〕程度にとらえられたがこれに対して上部工の応答は120gal〔倍振巾〕にも及んでいる。この観測結果の詳細については今後の観測記録の蓄積や数値解析による検討をまわって行なわなければならない。

今回の地震記録の一部を図-11に示す。このうち1, 2の記録が地動を示しており、その他が上部構造の応答を示している。先程ものべたように応答記録と測点の対応が不可能であり、貴重な記録であるだけに非常に残念である。

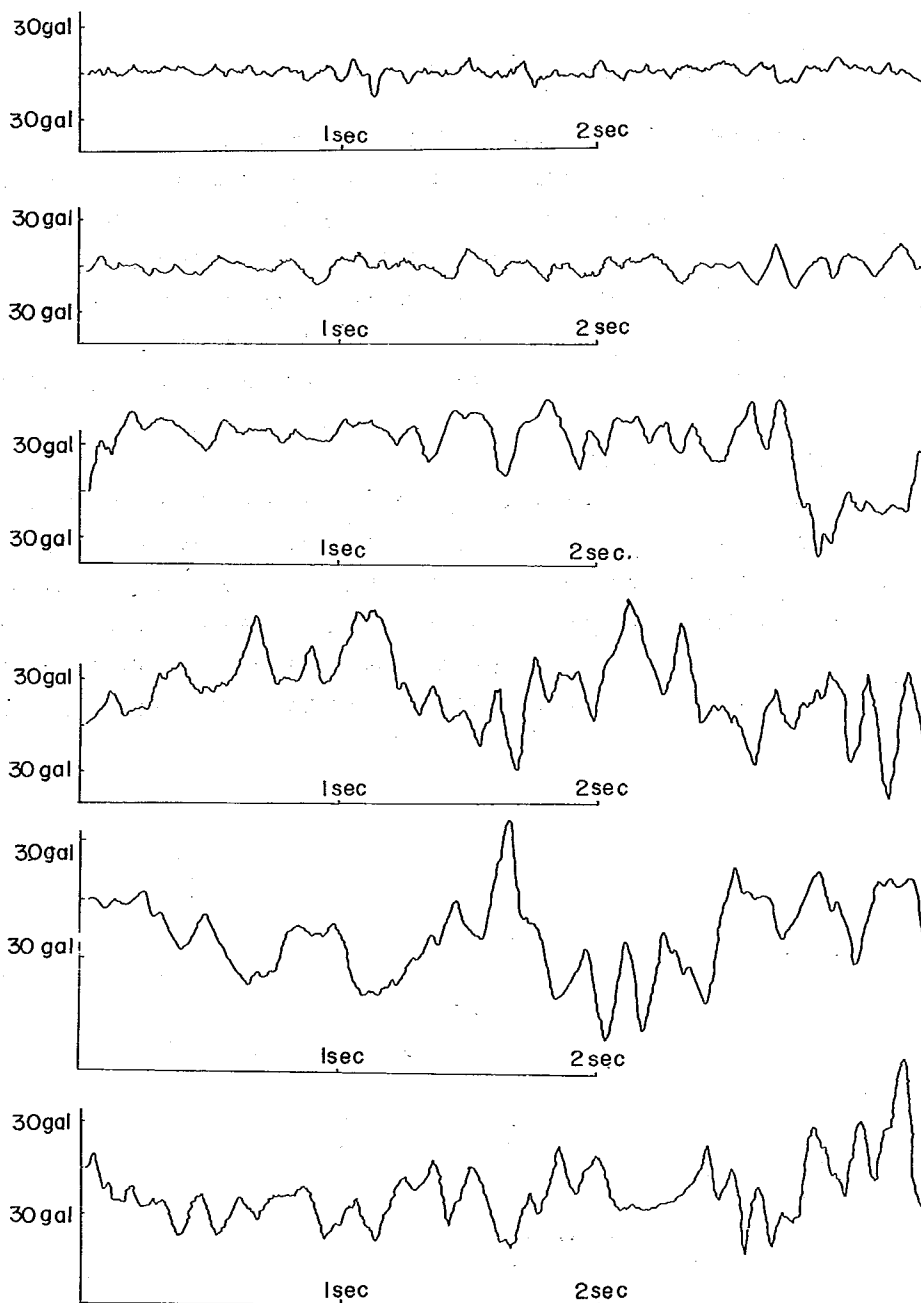


図-11 尾道大橋の地震応答

5. 風洞模型実験との比較

風洞模型実験の結果によれば図-8のように尾道大橋は $14\text{ m/s} \sim 18\text{ m/s}$ の風で 10 cm 程度の撓み振動をひきおこすものと予想される。またこの振動が後流中に生ずる渦による強制振動であるとすれば風速が 30 m/s 前後になれば後流中の渦と共鳴して逆対称一次の撓み振動があらわれるはずである。これと比較するために実橋の振動記録と風速の関係を比較したのが、図-12である。この図では縦軸に一回の記録で観測された最大振巾を、横軸には平均風速をとっている。この場合平均風速は風向を考慮に入れ、橋軸直角方向に換算している。

この結果だけをみると確かに顕微な振動は $10 \sim 20\text{ m/s}$ の風速領域に多いが、そのばらつきはかなり大きい。

また振巾も最大値が 4.0 cm 程度にすぎない。

このように今回までの観測結果から判断して定性的には風洞実験結果と実測結果とは一応の対応が可能だが、定量的には未だ十分の説明ができるまでにはいっていない。その原因としては模型実験における寸法効果や、風洞が非常に乱れの少ない一様流があるのに対して、自然風は時間的にも場所的にも変動していて、平均風速だけではとうていあわせない多くの因子を含んでいること、また風が吹いていても橋梁上は車が通っており、このような外乱の影響等が考えられるがこれらについては今後観測方法を改善しながら資料を収集して問題の解明にあたらねばならない。

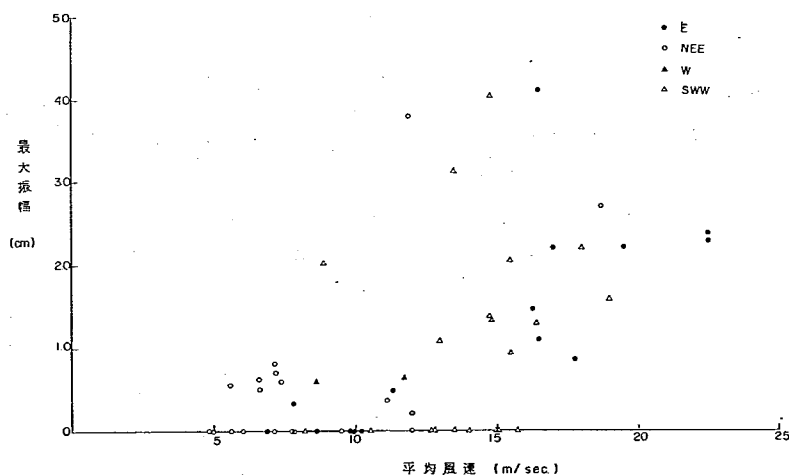
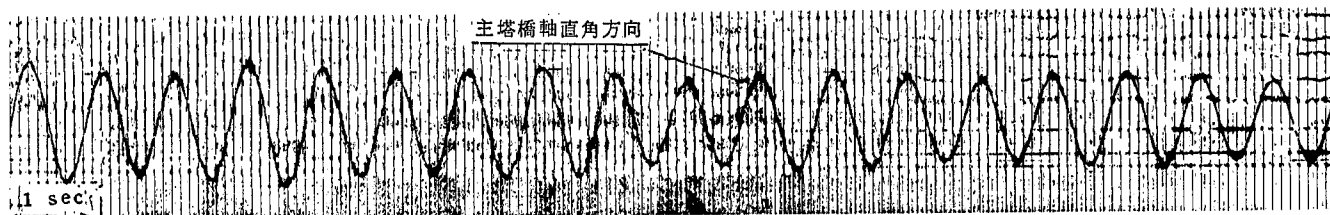
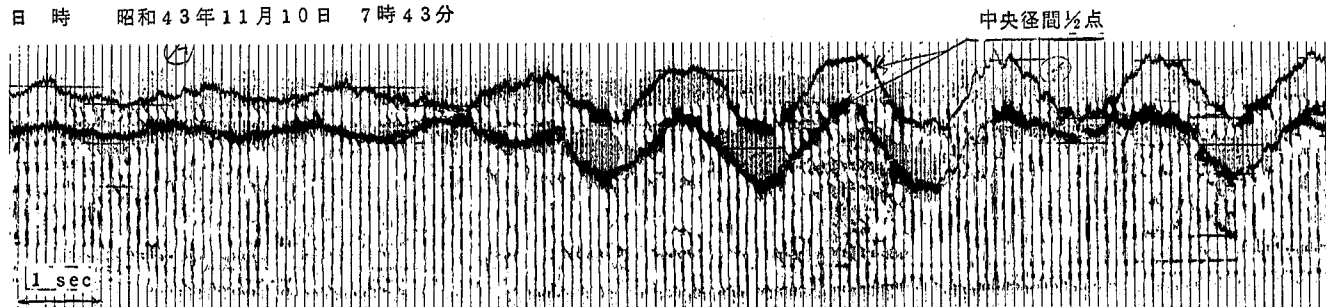


図-12 尾道大橋における平均風速と振巾

日 時 昭和43年10月24日



日 時 昭和43年11月10日 7時43分



昭和43年11月10日 7時47分

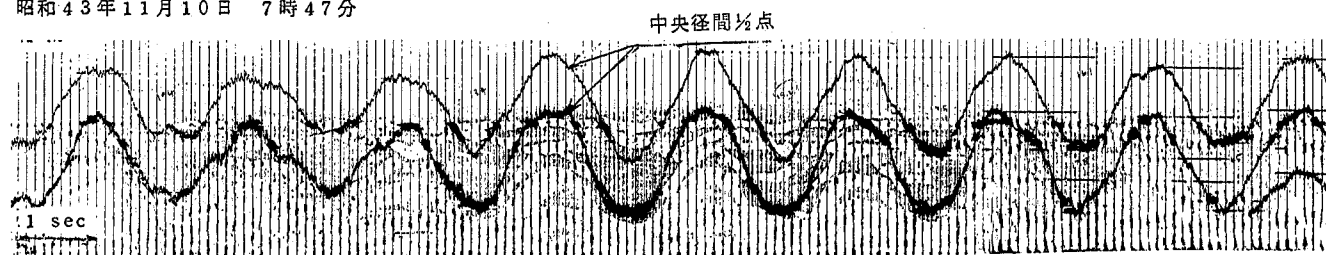


写真-3 尾道大橋の振動記録

6/ む す び

この一年間の尾道大橋の振動観測は年間を通じて大体計器が正常に動いたこと、およびいくつかの貴重なデータの収集が出来たこと等一応成功したと云ってよい。これは現地の管理担当者の日頃の御苦労のたまものである。

しかしながらこの一年間で尾道大橋の風に対する挙動が解明されつくされた訳ではなく、逆に我々はこの一年間で非常に小さな足がかりを得たにすぎず、今後の観測結果によって解明していかなければならない点は非常に多い。例えば風速と主塔の振動の関係および主塔の振動の実態等に関する調達がそれである。そのためには現在の観測方法の中でも改めなければならない点がいくつかある。たとえば

1. 電磁オシログラフの記録時間が短い、そのため風速記録との対応が充分にできない。
2. 風速計の記録紙の早送りが塔頂風速計と主桁風速計で独立に行なわれている。従って塔頂と主桁での風速の対比ができない。

その他に低風速例えば 15 m/s 前後での記録が充分にないことなどがあげられる。今後これらの点を改善して、充実した記録の収集が可能なるよう十分な配慮をお願いしたい。

最後に日本道路公団大阪支社およびこの一年間現地にあって、観測計器の維持管理を担当しておられ、この調査にいろいろ御協力いただいた日本道路公団尾道大橋管理事務所堤技術助役に感謝致します。