

## 鋼 2 主桁等の風洞試験， 実橋振動試験の実施例

中日本高速道路(株)中央研究所橋梁研究室  
稲葉 尚文

わが国における鋼橋は，製作工数の低減・現場作業の効率化による経済性向上とPC床版を採用することによる床版耐久性の向上等の理由から，鋼2主桁橋が注目を集め，日本道路公団においては鋼I断面プレートガーダーの標準形式として採用され，各機関においても同形式の橋梁が数多く計画・施工されてきている。

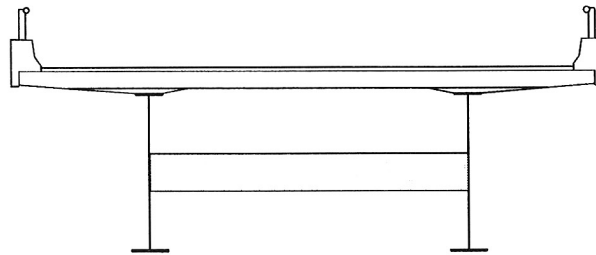
しかし，従来の多主桁に比べ横構が省略されている鋼2主桁橋では，ねじり剛性の低下，振動減衰性の低下にともなう耐風性の低下による問題が発生すると懸念された。

そこで日本道路公団では，耐風特性に着目した鋼2主桁橋のねじり剛度，ねじれ振動数やたわみ振動数を明確にするため，風洞試験や実橋振動試験などを実施したのでその事例について紹介をする。

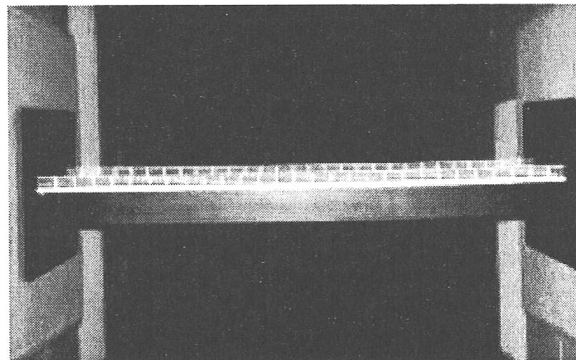
### 【風洞試験】

以下の示す様に，鋼2主桁橋について風洞試験により耐風安定性の検討を実施している。

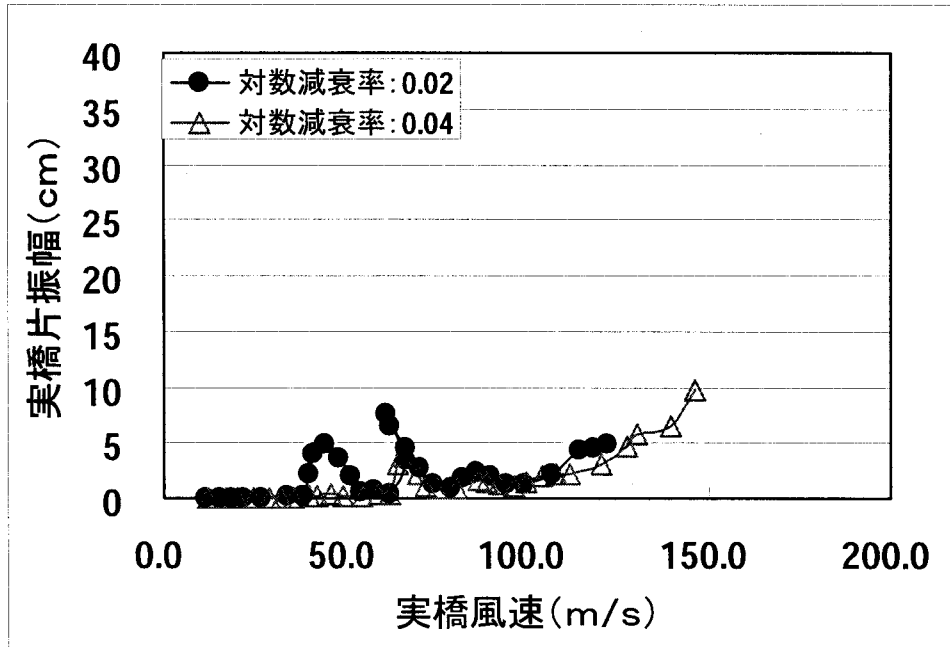
基本断面は，2車線幅員で総幅員が11m程度の断面であり，主桁間隔(6m程度)，主桁高(3m程度)，高欄形状(壁高欄，半鋼製高欄，鋼製高欄)や遮音壁(3m)の有無がそれぞれ異なる断面を対象としている。



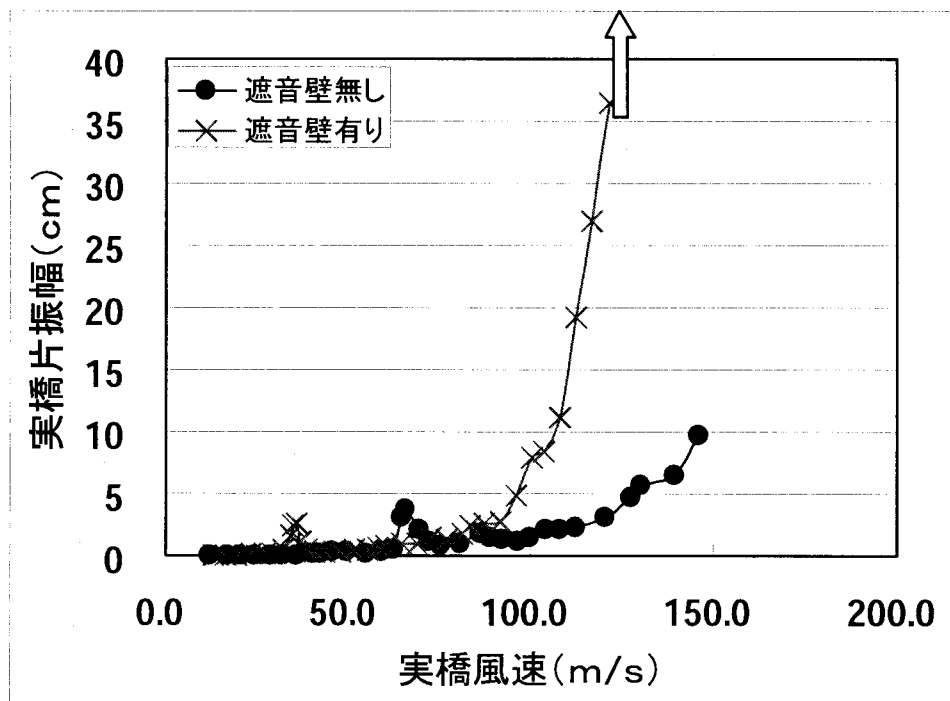
試験は，縮尺1/16(2車線幅員の場合)の二次元部分模型を用いて，たわみ・ねじれ2自由度のバネ支持応答試験で実施した。また，高欄ポスト等の比較的細かな部材についても実橋の部材を忠実に模型化した。実験における気流は一樣流とし，模型に対する風の迎角は便覧に倣って， $0^{\circ}$ (水平)， $+3^{\circ}$ (吹き上げ)， $-3^{\circ}$ (吹き下ろし)の3種類を設定した。



試験結果 (たわみ) (一様流, 迎角 $0^\circ$ , 鋼製高欄, 遮音壁無し)



試験結果 (たわみ) (一様流, 迎角 $0^\circ$ , 鋼製高欄, 対数減衰率 0.04)



上記試験結果のグラフから、以下のことが確認された。

- ① 構造減衰 (対数減衰率) の大小により、大きく耐風安定性に影響する。
- ② 遮音壁の設置の有無により、耐風安定性に影響を与える。

【実橋振動試験】

少数主桁橋の耐風安定性を評価するには、実橋の固有振動数や構造減衰といった振動特性の推定が必要であり、そのためには実橋における振動試験データの蓄積が不可欠であり、こうした少数主桁橋の振動試験の実施例をここで示す。

なお、以下に示す日本道路公団の実橋について、土木研究所と橋建協が共同研究で実施し、各橋の振動特性を把握したのでここに紹介をすることとした。

橋名	A橋	B橋	C橋
形式	4径間連続2主I桁	5径間連続2主I桁	3径間連続細幅箱桁
橋長	225m	325m	224m
最大支間長	60m	70m	110m
幅員(全幅)	10.4m	11.3m	16.15m
主桁間隔	5.5m	6m	8m



(1) 固有振動数

鉛直曲げ1次モードおよびねじれ1次モードの固有振動数の計測結果のまとめを下表に示す。

また固有振動数に関して、簡易式で推定される鉛直曲げ1次の固有振動数は、2主I桁橋の2橋で、計測値に対して10%程度の差となったが、細幅箱桁では2~3%の差で比較的良好な精度で一致した。

橋名	最大支間長(m)	振動数簡易式(Hz)	鉛直曲げ1次振動数(Hz)			ねじれ1次振動数(Hz)			振動数比	
			計測値	解析値	比	計測値	解析値	比	計測値	解析値
A橋	60	1.667	1.878	1.630	1.15	2.168	1.819	1.19	1.15	1.12
B橋	70	1.429	1.308	1.310	1.00	1.497	1.398	1.07	1.14	1.07
C橋	110	0.909	0.886	0.885	1.00	1.704	1.724	0.99	1.92	1.95

簡易式:  $fh = 100 / L$  (L: 最大支間長)

(2) 構造減衰 (対数減衰率)

鉛直曲げ1次モードおよびねじれ1次モードの対数減衰率の計測結果のまとめを下表に示す。

対数減衰率の計測値は3橋ともに  $\delta = 0.04 \sim 0.06$  程度であることが確認され、耐風設計上問題とされるレベルの対数減衰率よりも高い値であることを確認した。

橋名	最大支間長(m)	便覧推定式	鉛直曲げ1次対数減衰率		ねじれ1次対数減衰率	
			計測値	比	計測値	比
A橋	60	0.097	0.058	0.60	0.058	0.60
B橋	70	0.090	0.038	0.42	0.063	0.70
C橋	110	0.072	0.051	0.71	0.056	0.78

推定式:  $\delta = 0.75 / \sqrt{L}$  (L: 最大支間長)

対数減衰率の計測値は振幅100gal時の平均値



## 鋼2主桁等の風洞試験、 実橋振動試験の実施例

中日本高速道路(株)中央研究所  
稲葉尚文

## 風洞試験及び実橋振動試験の目的

- 耐風設計便覧に記載されている橋梁形式、橋梁規模等であれば、便覧等を参考にして照査可能



- 橋梁形式及び橋梁規模が便覧より大幅に異なる場合は、耐風安定性の確認を行う必要がある。

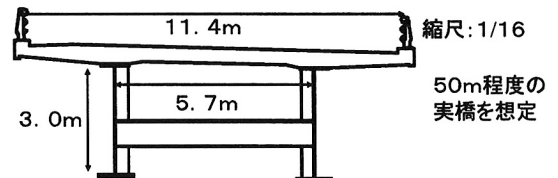
## 風洞試験の目的

新しい形式である鋼2種桁橋は、多主桁に比べ横構が省略されてねじり剛性の低下、振動減衰性の低下にもなる耐風性の低下による問題が発生すると懸念された。



耐風特性に着目した鋼2主桁橋のねじり剛度、ねじれ振動数や曲げ振動数を明確にするため、部分模型を使用した風洞試験を実施

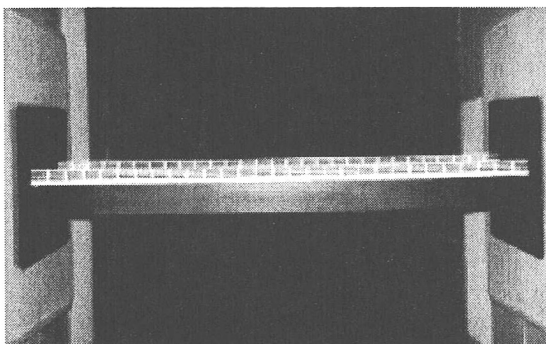
## 試験に用いた模型の基本諸元



単位長さ質量(実橋:模型)	1.614 ton·s <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> :6.304 kg·s <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
単位長さ極慣性(実橋:模型)	19.42 ton·s <sup>2</sup> :0.293 kg·s <sup>2</sup>
曲げ振動数(実橋)	2.00 Hz
ねじれ振動数(実橋)	2.22 Hz
振動数比(ねじれ/たわみ)	1.11

## 風洞試験機に取付けた状態

(ばね支持応答試験)

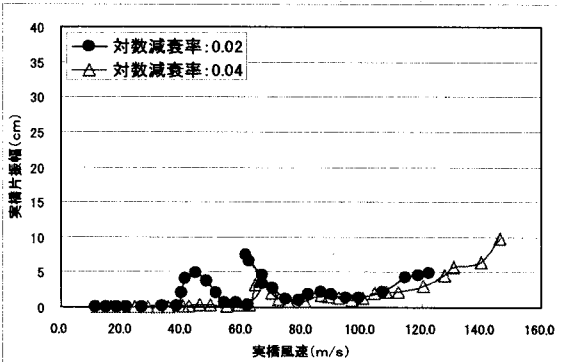


## 試験条件

- 一様流、乱流
- 迎角(-3°、0°、+3°)
- 構造減衰(0.02、0.04)
- 高欄(壁高欄、半鋼製高欄、鋼製高欄)
- 遮音壁(3m)有り、無し

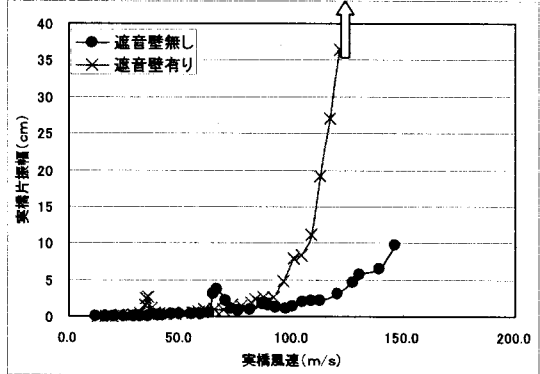
### 試験結果(曲げ)

(一様流、迎角0°、鋼製高欄、遮音壁無し)



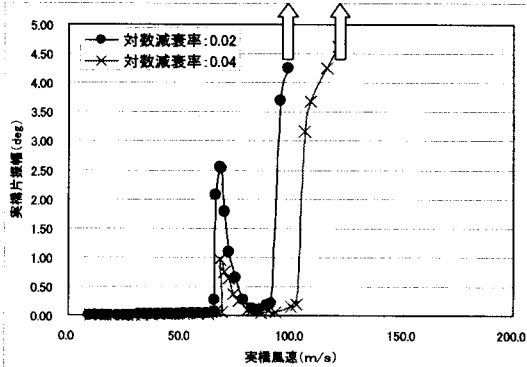
### 試験結果(曲げ)

(一様流、迎角0°、鋼製高欄、対数減衰率0.04)



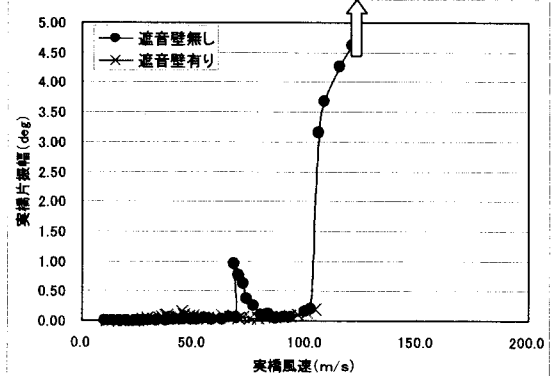
### 試験結果(ねじれ)

(一様流、迎角0°、鋼製高欄、遮音壁無し)



### 試験結果(ねじれ)

(一様流、迎角0°、鋼製高欄、対数減衰率0.04)



### 実橋振動試験目的

上記風洞試験により、風に対する応答状況はある程度把握出来たが、耐風安定性の評価に重要な実橋での振動特性を把握する必要が生じたため、

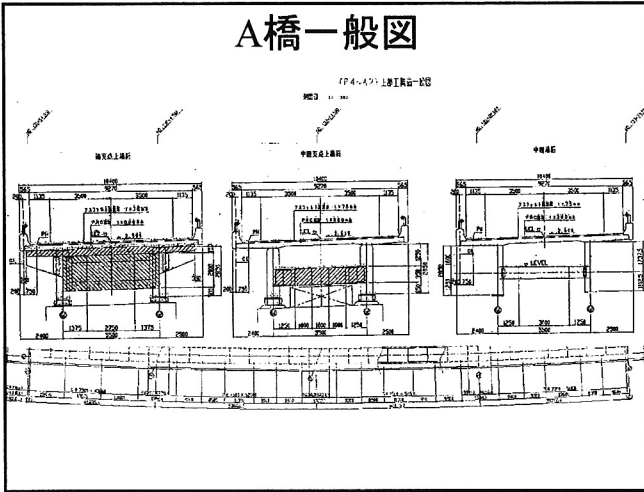
- ◇実橋構造減衰(対数減衰率)の測定
- ◇実橋固有振動数の測定及び解析値との比較

※対象振動モード：曲げ1次とねじれ1次

### 試験橋梁

橋名	A橋	B橋	C橋
形式	4径間連続 2主桁	5径間連続 2主桁	3径間連続 細幅箱桁
橋長	225m	325m	224m
最大支間長	60m	70m	110m
幅員(全幅)	10.4m	11.3m	16.15m
主桁間隔	5.5m	6m	8m

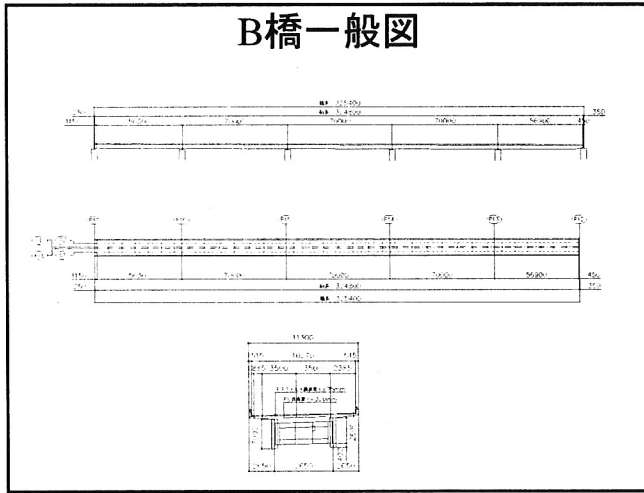
A橋一般図



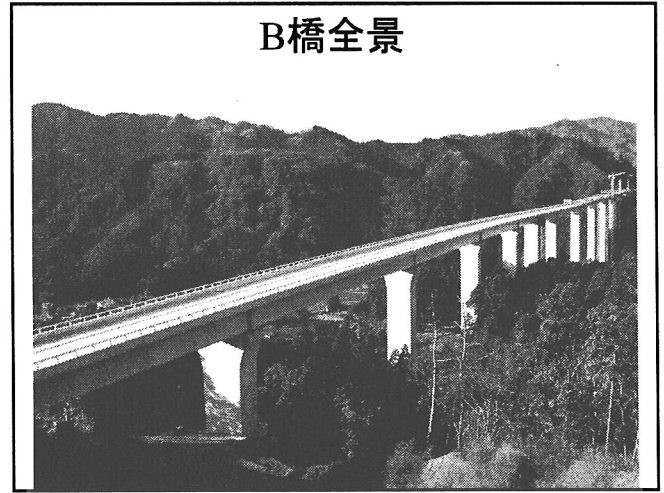
A橋全景



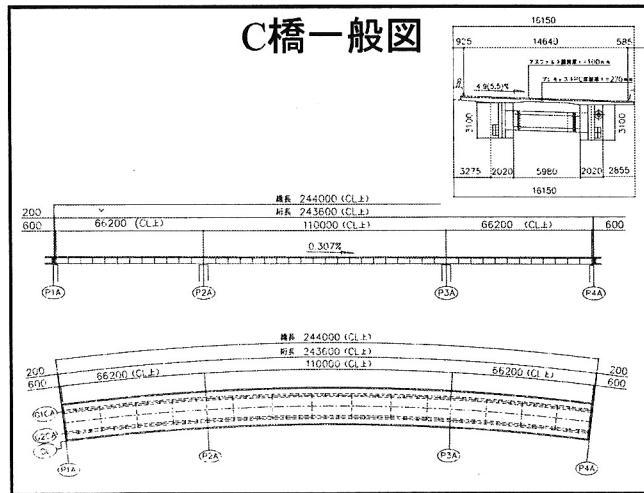
B橋一般図



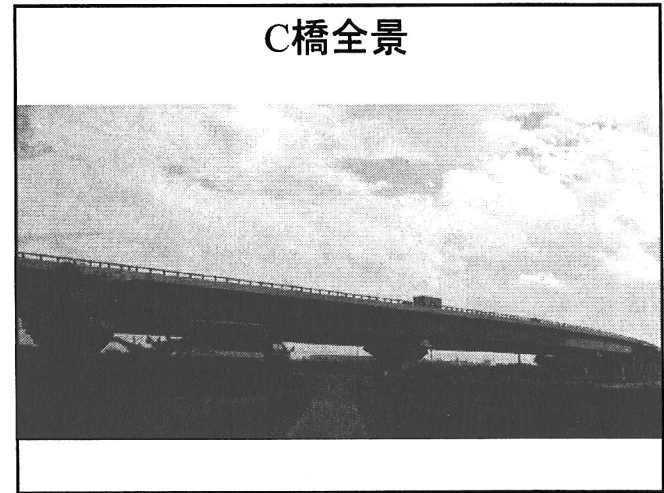
B橋全景

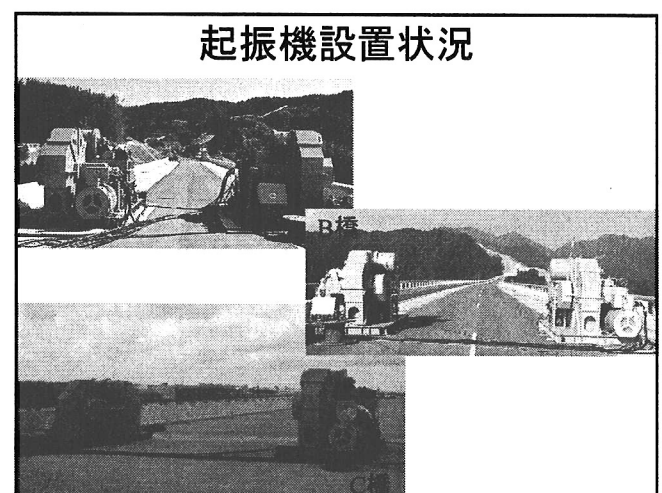
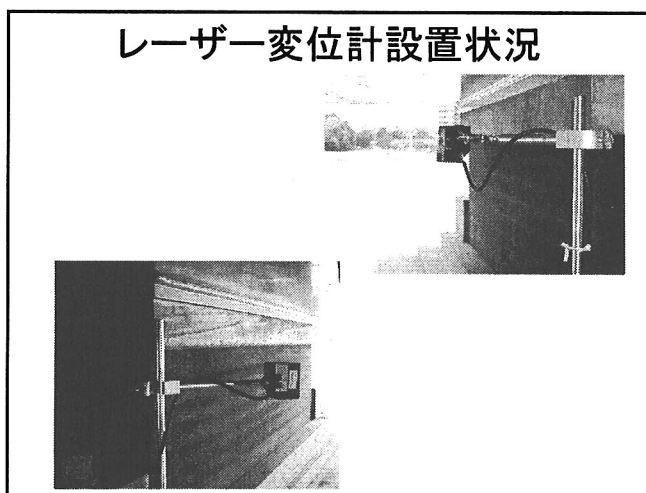
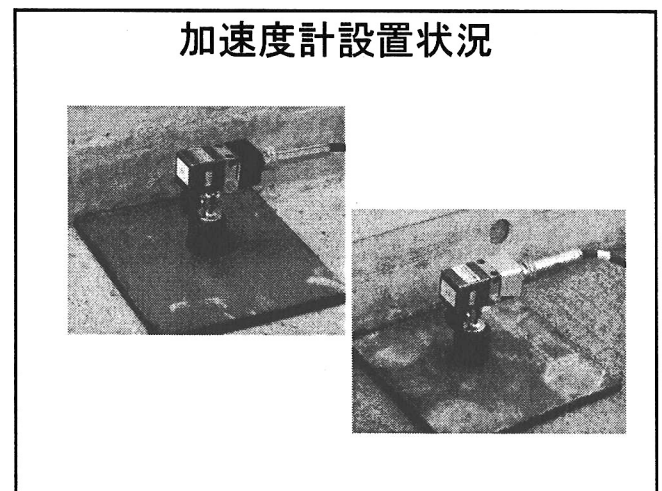
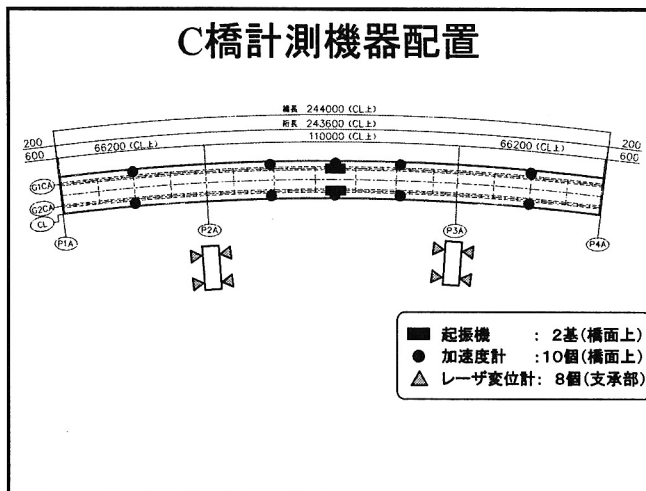
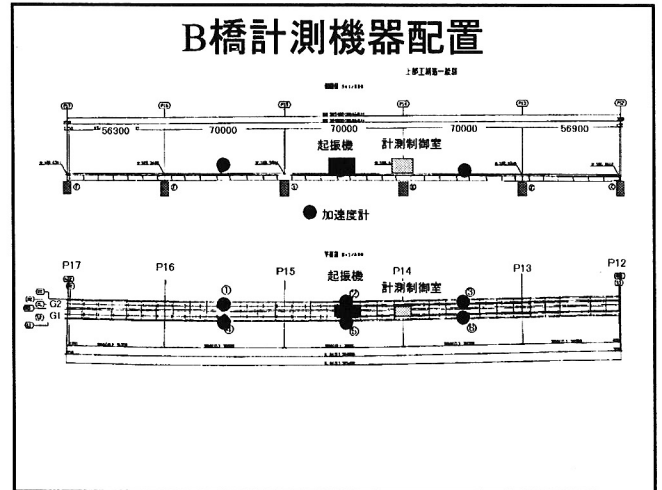
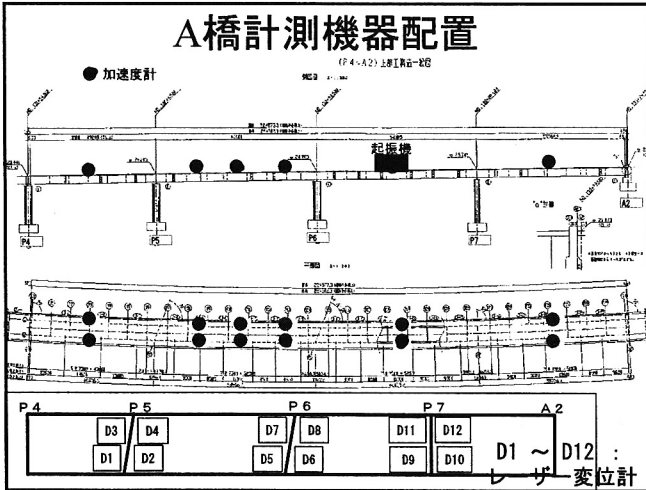


C橋一般図



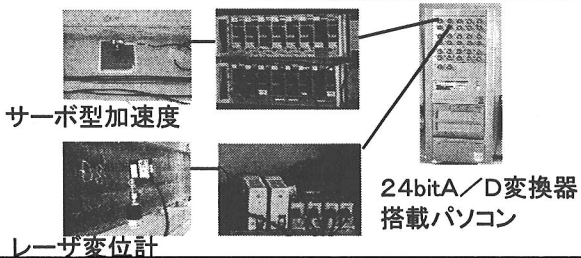
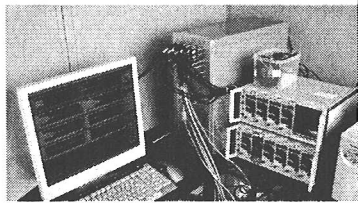
C橋全景







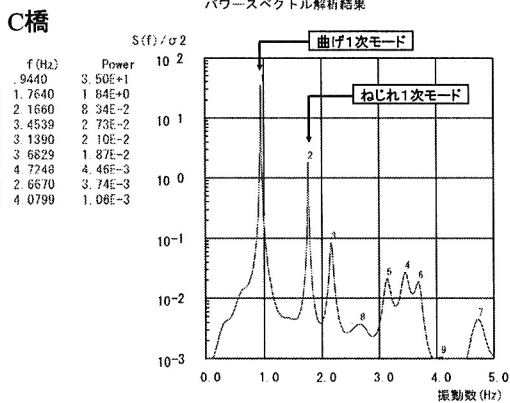
# 計測システム



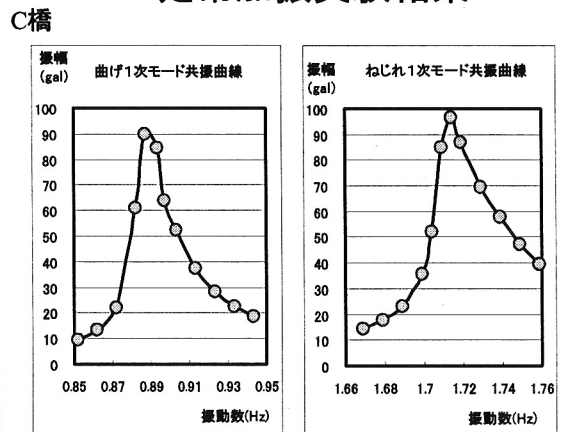
# 試験内容

- ① 常時微動観測 : 固有振動数の推定  
起振機の加振範囲設定
- ↓
- ② 定常加振試験(スイープ試験) : 固有振動数の測定
- ↓
- ③ 自由減衰振動試験 : 固有振動数の測定  
対数減衰率の測定

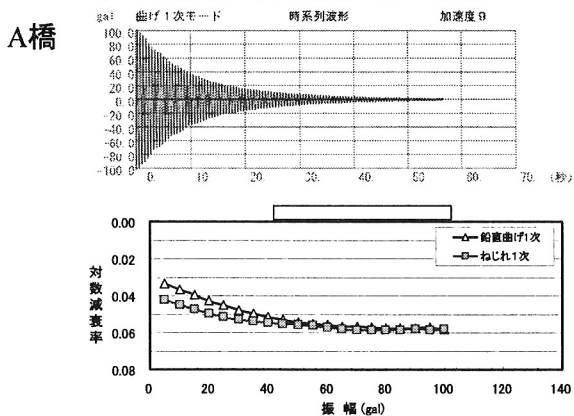
# 常時微動観測結果



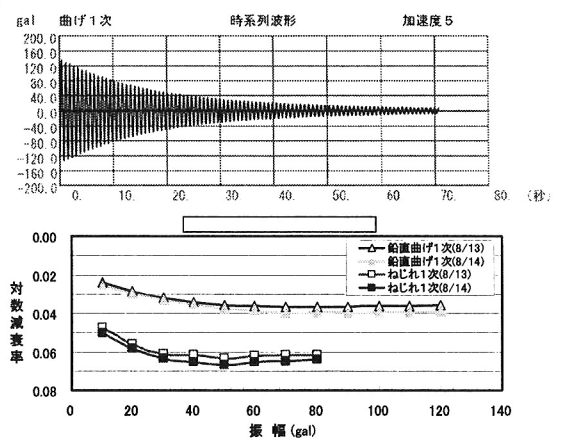
# 定常加振実験結果

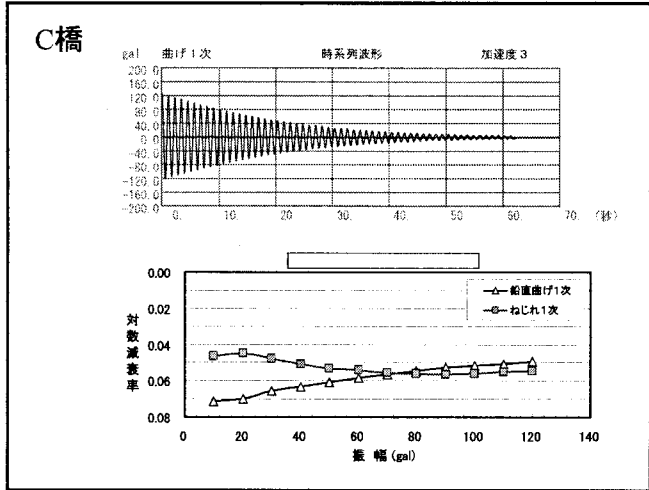


# 自由減衰振動試験結果



# B橋





### 固有振動数

橋名	最大支間長 (m)	振動数簡易式 (Hz)	鉛直曲げ1次振動数 (Hz)		
			計測値	解析値	比
A橋	60	1.667	1.878	1.630	1.15
B橋	70	1.429	1.308	1.310	1.00
C橋	110	0.909	0.886	0.885	1.00

橋名	ねじれ1次振動数 (Hz)			振動数比	
	計測値	解析値	比	計測値	解析値
A橋	2.168	1.819	1.19	1.15	1.12
B橋	1.497	1.398	1.07	1.14	1.07
C橋	1.704	1.724	0.99	1.92	1.95

簡易式:  $f_n = 100/L$  (L: 最大支間長)

### 構造減衰(対数減衰率)

橋名	最大支間長 (m)	便宜推定式	鉛直曲げ1次対数減衰率		ねじれ1次対数減衰率	
			計測値	比	計測値	比
A橋	60	0.097	0.058	0.60	0.058	0.60
B橋	70	0.090	0.038	0.42	0.063	0.70
C橋	110	0.072	0.051	0.71	0.056	0.78

推定式:  $\delta = 0.75/\sqrt{L}$  (L: 最大支間長)  
 対数減衰率の計測値は振幅100gal時の平均値

- ### 振動実験の結果
- 振動数  
 曲げ:  $f_n = 100/L$  (L: 最大支間長)  
 ねじれ:  $f_\theta = 1.1f_n \sim 2.0f_n$
  - 構造減衰  
 $\delta \doteq 0.04 \sim 0.75/\sqrt{L}$   
 (ゴム支承) (鋼製支承)

### 支間長50mの2主桁の耐風安定性は

- 振動数  
 曲げ:  $f_n = 100/L = 2\text{Hz}$   
 ねじれ:  $f_\theta = 1.1f_n = 2.2\text{Hz}$
- 構造減衰  
 $\delta = 0.04$

応答	渦励振		発散振動	
	曲げ	ねじれ	曲げ	ねじれ
振動モード	曲げ	ねじれ	曲げ	ねじれ
開始風速	60m	68m	>146m	>103m
片振幅	3.7cm	1.0°	—	—

一様流、迎角0°、鋼製高欄、対数減衰率0.04

耐風安定性に関しては実験結果を元にした推定では問題無いと考えられる

この実橋振動試験は、旧日本道路公団の橋梁において、(独)土木研究所と(社)日本橋梁建設協会が共同研究にて実施したものである。このデータを提供して頂いた各関係機関の方に感謝いたします。