

## 2. 少数主桁橋の風洞試験

### 2. 1 目的

建設コスト縮減の流れの中で、経済性に優れる様々な合理化橋梁が建設されてきている。その1つに少数主桁橋があり、80mを超える長支間の橋梁に対しても適用がなされている。本部会でも少数主桁橋を取上げ、耐風性について議論を進めたが、その中で

1. 設計実務で少数主桁橋の固有値解析を行う必要があるが、従来と同様な手法でよいのか？
2. 少数主桁橋はその支間長から耐風設計便覧の守備範囲であるが、これを適用して大丈夫か？
3. 少数主桁橋の対風応答特性は従来の桁橋と同じか？

などの疑問点が挙げられた。しかしながら、少数主桁橋は国内では比較的新しい橋梁形式であり、耐風設計の実績も不十分であるのが現状である。

これを踏まえ、設計実務に資するデータを取得することを目的として、部会で『少数主桁橋の耐風性』をテーマとした風洞試験を実施した。実施にあたっては、試験計画、風洞試験を部会員全員が分担した。

## 2. 2 実橋断面の概略試設計

本検討は、主桁本数と支間長を主なパラメータとし、これらが少数主桁橋の固有振動特性、さらには耐風性に対して、どのような影響を及ぼすかについて風洞実験にて検討を行う。

風洞実験を行う前段階として、検討対象とする橋梁（モデル橋梁）の概略試設計を行った。径間比1：1：1の3径間連続橋を想定し、

- ・支間長が50m, 75m, 100mの3ケース
- ・各支間長に対して主桁本数が2本, 3本, 4本の3ケース

の合計9ケースについて試設計を行った。

設計をするにあたり考慮した荷重は、死荷重および活荷重である。

試設計に際しては、以下に列挙した条件に従った。また、条件を統一して試設計を行ったことにより、道路橋示方書の規定を満足しない箇所があることを付記しておく。

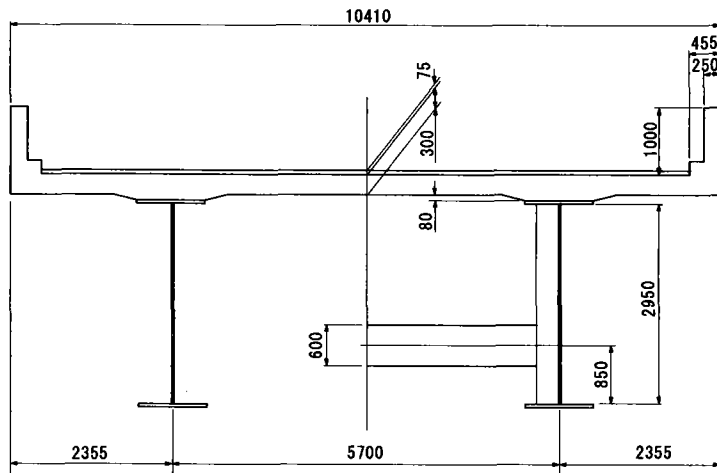
- ①総幅は、2主桁橋, 3主桁橋, 4主桁橋とも、10,410mmで統一した。
- ②ウェブ高さは、支間長, 主桁本数に関係なく、2,950mmで統一した。
- ③床版厚は、床版支間長, 床版型式に関係なく2主桁橋, 3主桁橋, 4主桁橋とも300mmで統一した。
- ④主桁の間隔, 張出し床版長さは、主桁本数により変更した。
- ⑤橋脚と桁の支持条件は、反力分散支承（ゴム支承）による弾性支持とした。
- ⑥材質は、SM570材を基本とした。
- ⑦遮音壁荷重は、3mの標準タイプのもの考慮した。

図-2.2.1, 表-2.2.1に概略設計の結果を示す。図-2.2.1は2主桁橋, 3主桁橋, 4主桁橋の実橋断面, 表-2.2.1は中央径間中央における鋼桁の断面構成と平均死荷重である。

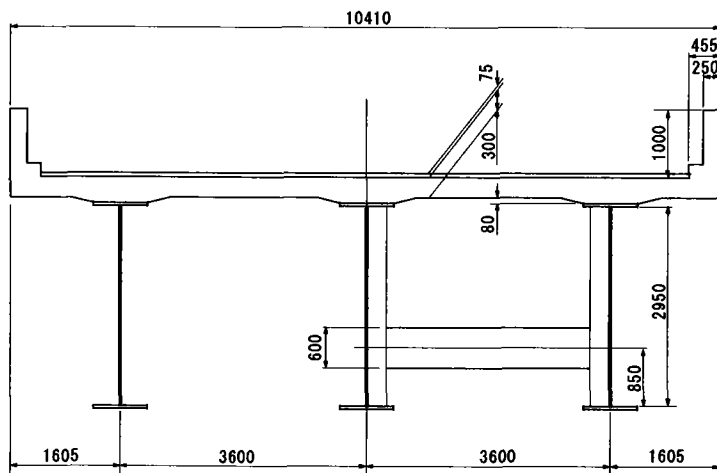
節末に、支間長50m, 2主桁橋の試設計結果を一例として示す。

表-2.2.1 中央径間中央での鋼桁断面構成

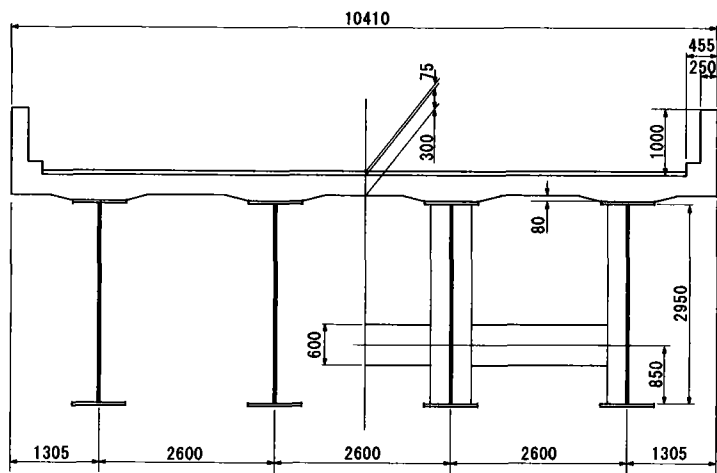
支間長	項目	2主桁橋	3主桁橋	4主桁橋	
50m	鋼桁断面寸法	U-Flange (mm)	440×23	400×20	200×10
		Web (mm)	2950×15	2950×15	2950×16
		L-Flange (mm)	470×40	510×25	250×12
	平均死荷重 (KN/m)	142.5	137.0	144.0	
75m	鋼桁断面寸法	U-Flange (mm)	850×43	530×28	450×25
		Web (mm)	2950×16	2950×16	2950×16
		L-Flange (mm)	920×48	740×39	350×19
	平均死荷重 (KN/m)	154.2	152.0	158.0	
100m	鋼桁断面寸法	U-Flange (mm)	1040×53	750×44	660×36
		Web (mm)	2950×16	2950×16	2950×16
		L-Flange (mm)	1040×53	1040×53	520×32
	平均死荷重 (KN/m)	185.5	172.0	184.7	



(a) 2本主桁



(b) 3本主桁



(c) 4本主桁

図-2.2.1 各主桁本数の断面構成

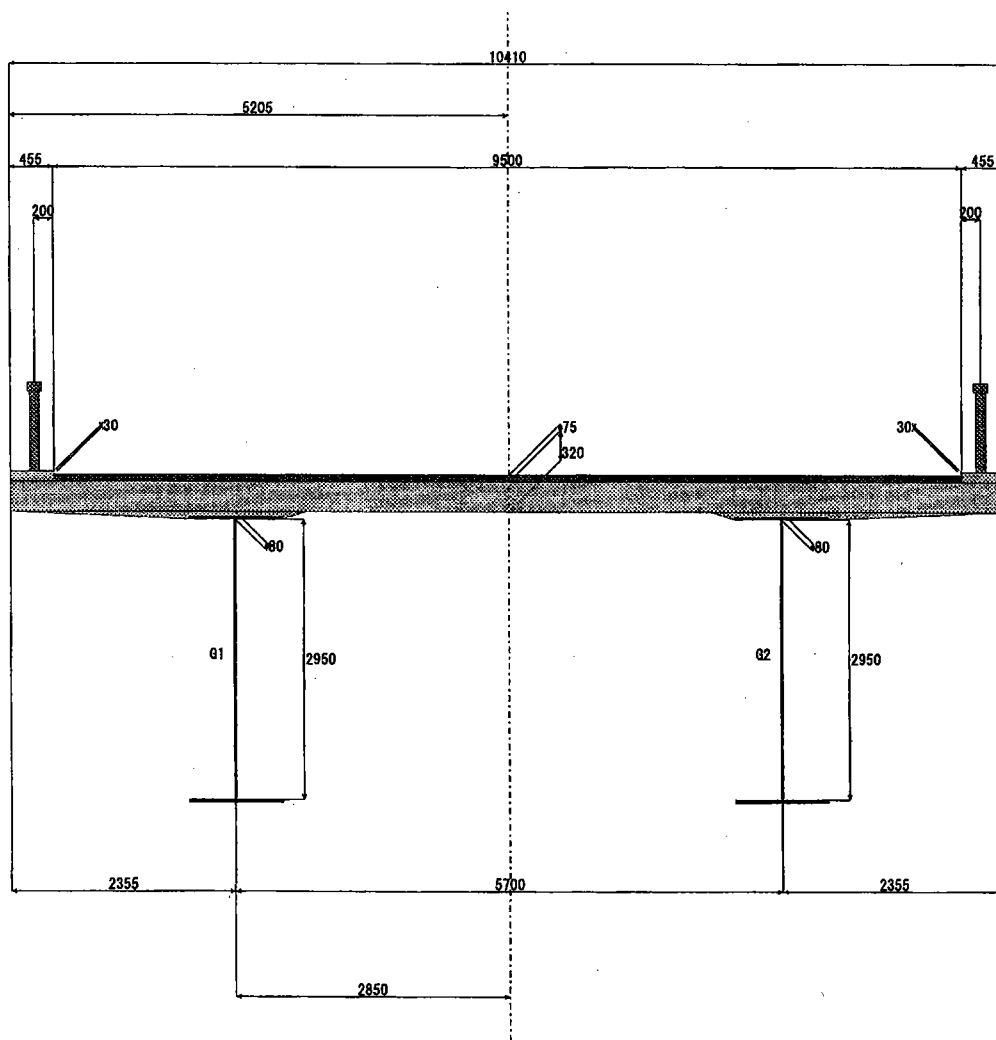
試設計結果の一例の抜粋（2主桁橋：支間長 50m）

設計条件

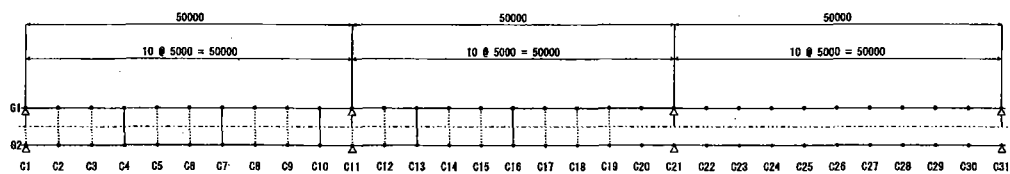
1-1 基本条件

タイトル	2主桁橋-50m
形式	鋼3径間連続非合成2主桁橋
支間長合計	150[m] (構造基本線)
桁高	2950[mm]
床版形式	鉄筋コンクリート床版 t=320[mm]
舗装	アスファルト舗装 t=75[mm]
平面線形	R=∞
横桁斜角	90° 0' 0.0"
活荷重	B活荷重-L
添架物	あり
使用鋼材	JIS規格
鋼種の仕様	道路橋示方書
耐候性鋼材	使用しない

1-2 横断面図

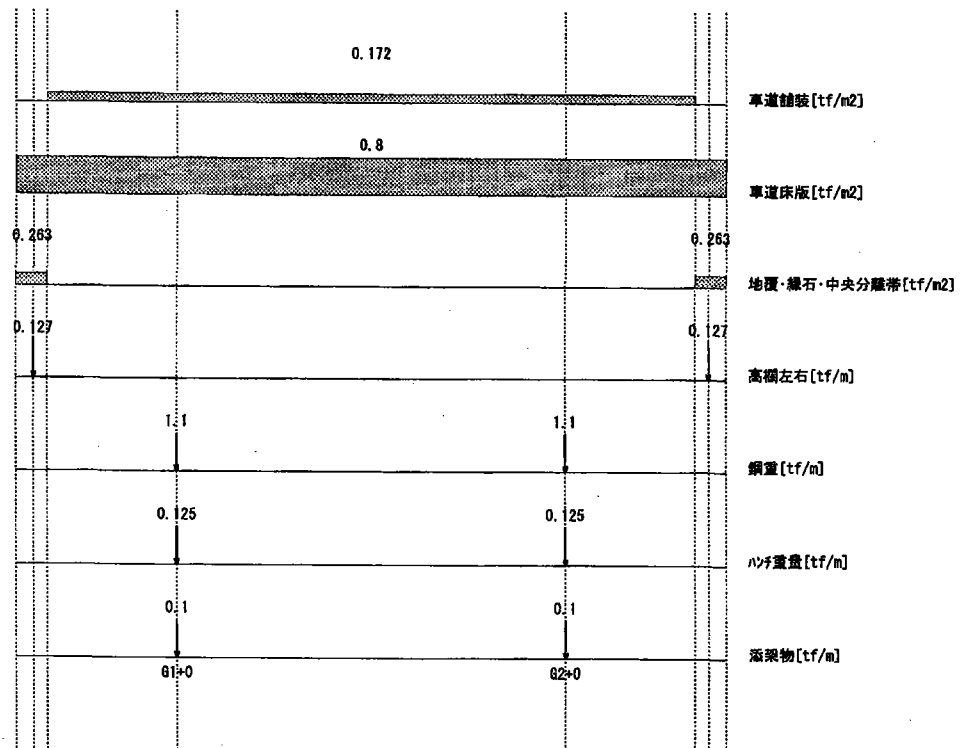
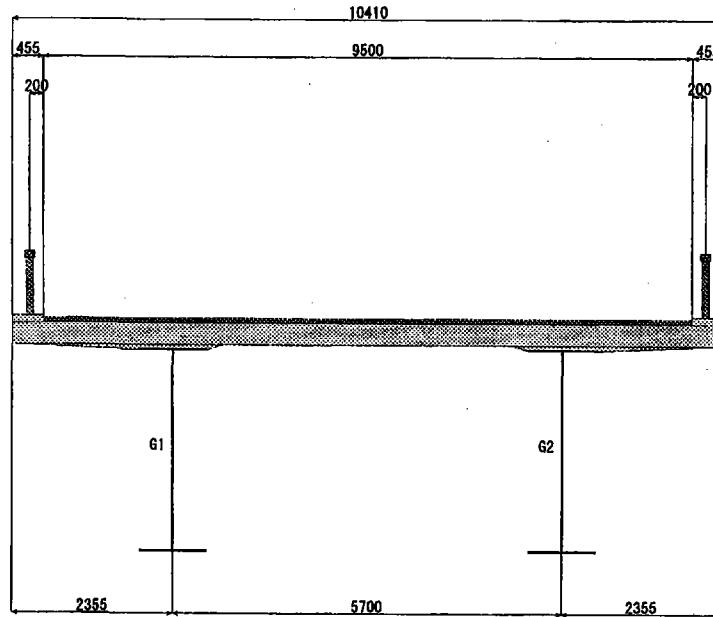


<平面格子図> ※寸法値は構造基本線上の長さ[mm]



# 荷重条件

## 2-1 死荷重



## 2-2 活荷重

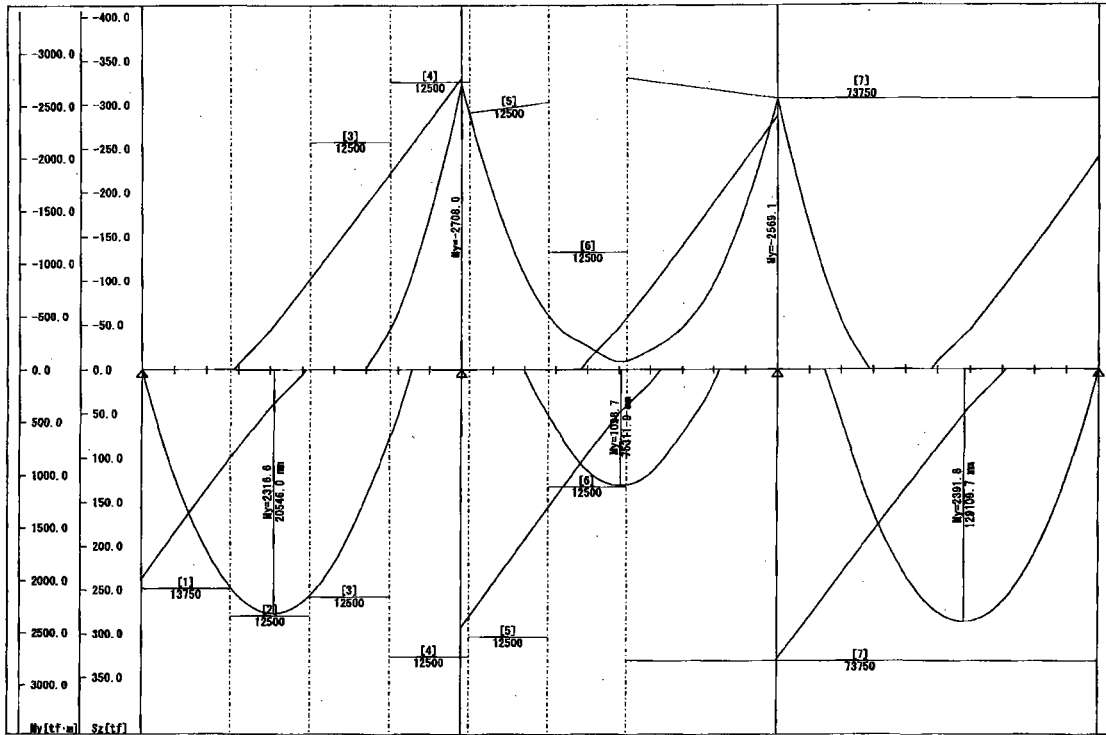
活荷重種類 : B活荷重-L

### (1) L荷重

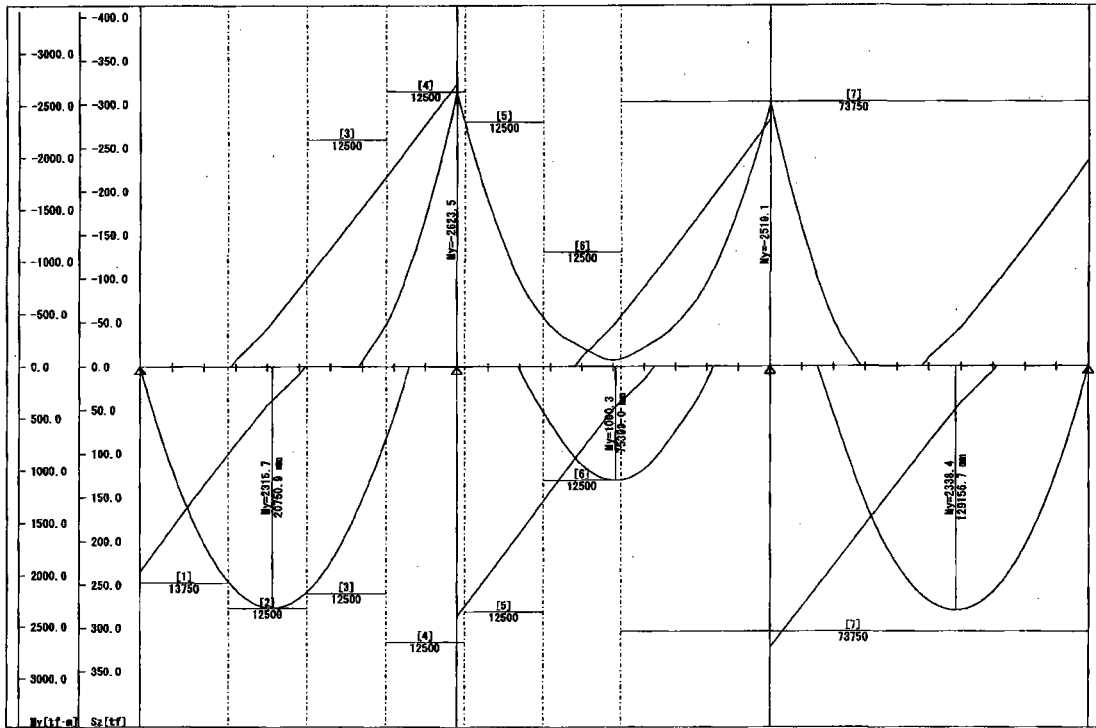
(a) P1活荷重-曲げ着目時主載荷強度	1[tf/m <sup>2</sup> ]
(b) P1活荷重-曲げ着目時從載荷強度	0.5[tf/m <sup>2</sup> ]
(c) P1活荷重-せん断着目時主載荷強度	1.2[tf/m <sup>2</sup> ]
(d) P1活荷重-せん断着目時從載荷強度	0.6[tf/m <sup>2</sup> ]
(e) 橋軸方向載荷長	10[m]
(f) 橋軸直角方向載荷幅	5.5[m]
(g) 橋軸方向移動量	1[m]
<支間-1>	
(h) P2活荷重-主載荷分布活荷重強度	0.35[tf/m <sup>2</sup> ]
(i) P2活荷重-從載荷分布活荷重強度	0.175[tf/m <sup>2</sup> ]
<支間-2>	
(h) P2活荷重-主載荷分布活荷重強度	0.35[tf/m <sup>2</sup> ]
(i) P2活荷重-從載荷分布活荷重強度	0.175[tf/m <sup>2</sup> ]
<支間-3>	
(h) P2活荷重-主載荷分布活荷重強度	0.35[tf/m <sup>2</sup> ]
(i) P2活荷重-從載荷分布活荷重強度	0.175[tf/m <sup>2</sup> ]

# 断面力分布図

曲げモーメント・せん断力 <主桁 G1>



曲げモーメント・せん断力 <主桁 G2>





## 活荷重たわみに関する検討

### ◆ 仮定剛度の活荷重たわみ照査

- 支間長  $L \leq 10$ [m] : たわみ  $\delta a = L / 2000$   
10[m] < 支間長  $L \leq 40$ [m] : たわみ  $\delta a = L / (20000/L)$   
支間長  $L > 40$ [m] : たわみ  $\delta a = L / 500$

#### <主桁G1>

支間	支間長L[m]	$\delta d$ [mm]	$\delta L, \delta a$ [mm]
1	50.0000	89.479	63.799 < 100.000
2	50.0000	8.988	50.518 < 100.000
3	50.0000	69.427	49.320 < 100.000

#### <主桁G2>

支間	支間長L[m]	$\delta d$ [mm]	$\delta L, \delta a$ [mm]
1	50.0000	68.679	51.776 < 100.000
2	50.0000	9.603	46.134 < 100.000
3	50.0000	66.864	48.346 < 100.000

断面計算結果

<主桁 G1>

断面位置	断面1-L	断面1-R	断面2-L
断面長 [mm]	13750.0	13750.0	12500.0
材質 上フランジ	SM570	SM570	SM570
ウェブ	SM570	SM570	SM570
下フランジ	SM570	SM570	SM570
断面力 My(max) [tf・m]	0.0	2066.2	2066.2
My(min) [tf・m]	0.0	957.4	957.4
Sz [tf]	237.0	99.4	99.4
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	590 x 30	590 x 30	600 x 36
ウェブ [mm]	2950 x 16	2950 x 16	2950 x 16
下フランジ [mm]	600 x 47	600 x 47	600 x 48
断面諸量 δ [cm]	17.06	17.06	11.19
Yu [cm]	-167.56	-167.56	-162.29
Yl [cm]	135.14	135.14	141.11
Ag [cm <sup>2</sup> ]	931.00	931.00	976.00
Iy [cm <sup>4</sup> ]	13414504	13414504	14587646
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2600	-2581 < -2600	-2299 < -2600
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2600	<b>2498 &lt; 2500</b>	2398 < 2500
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2600	-1196 < -2600	-1065 < -2600
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2600	1157 < 2500	1111 < 2500
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	502 < 1500	211 < 1500	211 < 1500
合成応力度 Wu	0.112 < 1.2	0.970 < 1.2	0.767 < 1.2
Wl	0.112 < 1.2	0.617 < 1.2	0.571 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2081.5	2081.5	2337.0
Mrl (#) [tf・m]	2481.6	2481.6	2584.5
Mru(min) [tf・m]	2081.5	2081.5	2337.0
Mrl (#) [tf・m]	2481.6	2481.6	2584.5
引張ボルト数 (上・下)		4 4	4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面2-R	断面2-C	断面3-L
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM570	SM570	SM570
ウェブ	SM570	SM570	SM570
下フランジ	SM570	SM570	SM570
断面力 My(max) [tf・m]	2142.4	2316.6	2142.4
My(min) [tf・m]	747.0	970.7	747.0
Sz [tf]	102.7	49.2	102.7
固定間距離 [mm]	2500.0	0.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 36	600 x 36	600 x 31
ウェブ [mm]	2950 x 16	2950 x 16	2950 x 16
下フランジ [mm]	600 x 48	600 x 48	600 x 50
断面諸量 δ [cm]	11.19	11.19	18.03
Yu [cm]	-162.29	-162.29	-168.63
Yl [cm]	141.11	141.11	134.47
Ag [cm <sup>2</sup> ]	976.00	976.00	958.00
Iy [cm <sup>4</sup> ]	14587646	14587646	13994345
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-2383 < -2600	-2577 < -2600	-2582 < -2600
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	<b>2487 &lt; 2500</b>	2241 < 2500	2470 < 2500
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-831 < -2600	-1080 < -2600	-900 < -2600
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	867 < 2500	939 < 2500	861 < 2500
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	218 < 1500	104 < 1500	218 < 1500
合成応力度 Wu	0.825 < 1.2	0.944 < 1.2	0.971 < 1.2
Wl	0.614 < 1.2	0.698 < 1.2	0.602 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2337.0	2337.0	2157.6
Mrl (#) [tf・m]	2584.5	2584.5	2601.8
Mru(min) [tf・m]	2337.0	2337.0	2157.6
Mrl (#) [tf・m]	2584.5	2584.5	2601.8
引張ボルト数 (上・下)	4 4		4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面3-R	断面4-L	断面4-R
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM570	SM570	SM570
ウェブ	SM570	SM570	SM570
下フランジ	SM570	SM570	SM570
断面力 My(max) [tf・m]	650.1	650.1	-1357.3
My(min) [tf・m]	-380.1	-380.1	-2419.8
Sz [tf]	222.4	222.4	279.8
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 31	600 x 54	600 x 54
ウェブ [mm]	2950 x 16	2950 x 16	2950 x 16
下フランジ [mm]	600 x 50	600 x 48	600 x 48
断面諸量 $\delta$ [cm]	18.03	-5.07	-5.07
Yu [cm]	-168.63	-147.83	-147.83
Yl [cm]	134.47	157.37	157.37
Ag [cm <sup>2</sup> ]	958.00	1084.00	1084.00
Iy [cm <sup>4</sup> ]	13994345	17177298	17177298
応力度 $\sigma_u$ (max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-783 < -2600	-559 < -2500	1402 < 2500
$\sigma_L$ (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	750 < 2500	715 < 2500	-1244 < -2500
$\sigma_u$ (min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	550 < 2600	393 < 2500	2499 < 2500
$\sigma_L$ (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-365 < -2500	-348 < -2500	-2217 < -2500
$\tau$	471 < 1500	471 < 1500	593 < 1500
合成応力度 Wu	0.186 < 1.2	0.142 < 1.2	0.752 < 1.2
Wl	0.152 < 1.2	0.148 < 1.2	0.839 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2157.6	2904.9	-2904.9
Mrl (#) [tf・m]	2601.8	2728.8	-2728.8
Mru(min) [tf・m]	-2157.6	-2904.9	-2904.9
Mrl (#) [tf・m]	-2601.8	-2728.8	-2728.8
引張ボルト数(上・下)	4 4	4 4	4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面4-C	断面5-L	断面5-R
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM570	SM570	SM570
ウェブ	SM570	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM570	SM570	SM570
断面力 My(max) [tf・m]	-1537.0	-1357.3	434.6
My(min) [tf・m]	-2708.0	-2419.8	-510.8
Sz [tf]	330.6	279.8	156.7
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 54	600 x 54	600 x 54
ウェブ [mm]	2950 x 16	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	600 x 48	600 x 54	600 x 54
断面諸量 $\delta$ [cm]	-5.07	0.00	0.00
Yu [cm]	-147.83	-152.90	-152.90
Yl [cm]	157.37	152.90	152.90
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1084.00	1090.50	1090.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	17177298	17829527	17829527
応力度 $\sigma_u$ (max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1323 < 2500	1397 < 2500	-360 < -2100
$\sigma_L$ (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-1408 < -2500	-1123 < -2100	447 < 2500
$\sigma_u$ (min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	2331 < 2500	2490 < 2500	526 < 2500
$\sigma_L$ (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-2481 < -2500	-2002 < -2100	-423 < -2100
$\tau$	700 < 1500	632 < 1200	354 < 1200
合成応力度 Wu	0.964 < 1.2	1.186 < 1.2	0.128 < 1.2
Wl	1.074 < 1.2	1.186 < 1.2	0.128 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	-2904.9	-2437.9	2538.4
Mrl (#) [tf・m]	-2728.8	-2437.9	2538.4
Mru(min) [tf・m]	-2904.9	-2437.9	-2538.4
Mrl (#) [tf・m]	-2728.8	-2437.9	-2538.4
引張ボルト数(上・下)		4 4	4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面6-L	断面6-R	断面6-C
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM570	SM570	SM570
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM570	SM570	SM570
断面力 My(max) [tf・m]	434.6	1094.2	1098.7
My(min) [tf・m]	-510.8	-81.4	-74.1
Sz [tf]	156.7	58.2	49.8
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	0.0
断面 上フランジ [mm]	440 x 23	440 x 23	440 x 23
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	470 x 24	470 x 24	470 x 24
断面諸量 δ [cm]	2.64	2.64	2.64
Yu [cm]	-152.44	-152.44	-152.44
Yl [cm]	147.26	147.26	147.26
Ag [cm <sup>2</sup> ]	656.50	656.50	656.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	7934984	7934984	7934984
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-822 < -2100	-2070 < -2100	-2079 < -2100
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1025 < 2600	<b>2580 &lt; 2600</b>	2006 < 2100
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1270 < 2600	202 < 2600	140 < 2100
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-933 < -2100	-149 < -2100	-135 < -2100
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	354 < 1200	132 < 1200	113 < 1200
合成応力度 Wu	0.299 < 1.2	0.984 < 1.2	0.989 < 1.2
Wl	0.284 < 1.2	0.917 < 1.2	0.921 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	1109.9	1109.9	1109.9
Mrl (＃) [tf・m]	1150.3	1150.3	1150.3
Mru(min) [tf・m]	-1109.9	-1109.9	-1109.9
Mrl (＃) [tf・m]	-1150.3	-1150.3	-1150.3
引張ボルト数 (上・下)	4 4	4 4	
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面7-L	断面7-R	断面7-C
断面長 [mm]	73750.0	73750.0	73750.0
材質 上フランジ	SM570	SM570	SM570
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM570	SM570	SM570
断面力 My(max) [tf・m]	1094.2	0.0	-1355.3
My(min) [tf・m]	-81.4	0.0	-2569.1
Sz [tf]	58.2	240.4	328.1
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 59	600 x 59	600 x 59
ウェブ [mm]	2950 x 16	2950 x 16	2950 x 16
下フランジ [mm]	600 x 59	600 x 59	600 x 59
断面諸量 δ [cm]	0.00	0.00	0.00
Yu [cm]	-153.40	-153.40	-153.40
Yl [cm]	153.40	153.40	153.40
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1180.00	1180.00	1180.00
Iy [cm <sup>4</sup> ]	19450760	19450760	19450760
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-830 < -2100	0 < 2100	1028 < 2100
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1036 < 2500	0 < 2100	-1028 < -2100
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	77 < 2500	0 < 2100	1948 < 2100
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-62 < -2100	0 < 2100	-1948 < -2100
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	123 < 1200	509 < 1200	695 < 1200
合成応力度 Wu	0.167 < 1.2	0.180 < 1.2	<b>1.196 &lt; 1.2</b>
Wl	0.167 < 1.2	0.180 < 1.2	1.196 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2769.3	2769.3	-2574.8
Mrl (＃) [tf・m]	2769.3	2769.3	-2574.8
Mru(min) [tf・m]	-2769.3	2769.3	-2574.8
Mrl (＃) [tf・m]	-2769.3	2769.3	-2574.8
引張ボルト数 (上・下)	4 4		
水平補剛材の段数	1	1	1

<主桁 G2>

断面位置	断面1-L	断面1-R	断面2-L
断面長 [mm]	13750.0	13750.0	12500.0
材質 上フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
断面力 My(max) [tf・m]	0.0	2055.1	2055.1
My(min) [tf・m]	0.0	911.9	911.9
Sz [tf]	234.6	100.0	100.0
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 44	600 x 44	600 x 52
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	600 x 62	600 x 62	600 x 64
断面諸量 δ [cm]	15.30	15.30	9.69
Yu [cm]	-167.20	-167.20	-162.39
Yl [cm]	138.40	138.40	144.21
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1078.50	1078.50	1138.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	17311515	17311515	18854244
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2000	-1985 < -2000	-1770 < -2000
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2100	1972 < 2000	1886 < 2000
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2000	-881 < -2000	-785 < -2000
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	0 < 2100	875 < 2000	837 < 2000
τ	530 < 1200	226 < 1200	226 < 1200
合成応力度 Wu	0.195 < 1.2	0.882 < 1.2	0.701 < 1.2
Wl	0.195 < 1.2	0.594 < 1.2	0.547 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2070.7	2070.7	2322.0
Mrl (#) [tf・m]	2501.7	2501.7	2614.9
Mru(min) [tf・m]	2070.7	2070.7	2322.0
Mrl (#) [tf・m]	2501.7	2501.7	2614.9
引張ボルト数 (上・下)		4 4	4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面2-R	断面2-C	断面3-L
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
断面力 My(max) [tf・m]	2157.0	2315.7	2157.0
My(min) [tf・m]	692.9	912.2	692.9
Sz [tf]	100.6	50.2	100.6
固定間距離 [mm]	2500.0	0.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 52	600 x 52	600 x 47
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	600 x 64	600 x 64	600 x 65
断面諸量 δ [cm]	9.69	9.69	14.84
Yu [cm]	-162.39	-162.39	-167.04
Yl [cm]	144.21	144.21	139.16
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1138.50	1138.50	1114.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	18854244	18854244	18160913
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-1858 < -2000	-1995 < -2000	-1984 < -2000
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1980 < 2000	1771 < 2000	1983 < 2000
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-597 < -2000	-786 < -2000	-637 < -2000
σL (#) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	636 < 2000	698 < 2000	637 < 2000
τ	227 < 1200	113 < 1200	227 < 1200
合成応力度 Wu	0.769 < 1.2	0.854 < 1.2	0.879 < 1.2
Wl	0.599 < 1.2	0.659 < 1.2	0.599 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2322.0	2322.0	2174.5
Mrl (#) [tf・m]	2614.9	2614.9	2610.0
Mru(min) [tf・m]	2322.0	2322.0	2174.5
Mrl (#) [tf・m]	2614.9	2614.9	2610.0
引張ボルト数 (上・下)	4 4		4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面3-R	断面4-L	断面4-R
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
断面力 My(max) [tf・m]	690.9	690.9	-1263.5
My(min) [tf・m]	-401.1	-401.1	-2335.0
Sz [tf]	217.5	217.5	274.7
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 47	600 x 69	600 x 69
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	600 x 65	600 x 62	600 x 62
断面諸量 δ [cm]	14.84	-5.27	-5.27
Yu [cm]	-167.04	-149.13	-149.13
Yl [cm]	139.16	158.97	158.97
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1114.50	1228.50	1228.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	18160913	21048263	21048263
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-635 < -2000	-490 < -2000	1074 < 2000
σl (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	635 < 2000	626 < 2000	-954 < -1993
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	443 < 2000	341 < 2000	1985 < 2000
σl (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-307 < -1993	-303 < -1993	-1763 < -1993
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	492 < 1200	492 < 1200	621 < 1200
合成応力度 Wu	0.254 < 1.2	0.217 < 1.2	0.832 < 1.2
Wl	0.226 < 1.2	0.225 < 1.2	0.919 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2174.5	2822.7	-2822.7
Mrl (＃) [tf・m]	2610.0	2648.1	-2638.9
Mru(min) [tf・m]	-2174.5	-2822.7	-2822.7
Mrl (＃) [tf・m]	-2600.9	-2638.9	-2638.9
引張ボルト数(上・下)	4 4	4 4	4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面4-C	断面5-L	断面5-R
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
断面力 My(max) [tf・m]	-1427.8	-1263.5	431.1
My(min) [tf・m]	-2623.5	-2335.0	-471.5
Sz [tf]	323.7	274.7	154.4
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 69	600 x 71	600 x 71
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	600 x 62	600 x 52	600 x 52
断面諸量 δ [cm]	-5.27	-14.84	-14.84
Yu [cm]	-149.13	-139.76	-139.76
Yl [cm]	158.97	167.54	167.54
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1228.50	1180.50	1180.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	21048263	19700661	19700661
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1012 < 2000	1076 < 2000	-306 < -2000
σl (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-1078 < -1993	-1074 < -1993	440 < 2000
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1859 < 2000	1988 < 2000	401 < 2000
σl (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-1981 < -1993	-1986 < -1993	-401 < -1993
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	731 < 1200	621 < 1200	349 < 1200
合成応力度 Wu	1.084 < 1.2	0.828 < 1.2	0.107 < 1.2
Wl	1.194 < 1.2	1.107 < 1.2	0.119 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	-2822.7	-2819.2	2819.2
Mrl (＃) [tf・m]	-2633.5	-2343.6	2351.8
Mru(min) [tf・m]	-2822.7	-2819.2	-2819.2
Mrl (＃) [tf・m]	-2633.5	-2343.6	-2343.6
引張ボルト数(上・下)		4 4	4 4
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面6-L	断面6-R	断面6-C
断面長 [mm]	12500.0	12500.0	12500.0
材質 上フランジ	SM490YB	SM490YB	SM490YB
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM490YB	SM490YB	SM490YB
断面力 My(max) [tf・m]	431.1	1086.6	1090.3
My(min) [tf・m]	-471.5	-69.7	-60.1
Sz [tf]	154.4	56.9	49.4
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	0.0
断面 上フランジ [mm]	430 x 21	430 x 21	430 x 21
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	580 x 27	580 x 27	580 x 27
断面諸量 δ [cm]	14.35	14.35	14.35
Yu [cm]	-163.95	-163.95	-163.95
Yl [cm]	135.85	135.85	135.85
Ag [cm <sup>2</sup> ]	689.40	689.40	689.40
Iy [cm <sup>4</sup> ]	8529467	8529467	8529467
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-829 < -2100	-2089 < -2100	-2096 < -2100
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	830 < 2100	2091 < 2100	1736 < 2100
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1181 < 2100	175 < 2100	116 < 2100
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-751 < -2055	-111 < -2055	-96 < -2100
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	349 < 1200	129 < 1200	112 < 1200
合成応力度 Wu	0.266 < 1.2	0.976 < 1.2	0.979 < 1.2
Wl	0.207 < 1.2	0.664 < 1.2	0.665 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	1092.5	1092.5	1092.5
Mrl (＃) [tf・m]	1318.5	1318.5	1318.5
Mru(min) [tf・m]	-1092.5	-1092.5	-1092.5
Mrl (＃) [tf・m]	-1290.2	-1290.2	-1318.5
引張ボルト数 (上・下)	4 4	4 4	
水平補剛材の段数	1	1	1

断面位置	断面7-L	断面7-R	断面7-C
断面長 [mm]	73750.0	73750.0	73750.0
材質 上フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
ウェブ	SM490YA	SM490YA	SM490YA
下フランジ	SM520C	SM520C	SM520C
断面力 My(max) [tf・m]	1086.6	0.0	-1348.4
My(min) [tf・m]	-69.7	0.0	-2519.1
Sz [tf]	56.9	235.9	322.0
固定間距離 [mm]	2500.0	2500.0	2500.0
断面 上フランジ [mm]	600 x 60	600 x 60	600 x 60
ウェブ [mm]	2950 x 15	2950 x 15	2950 x 15
下フランジ [mm]	600 x 60	600 x 60	600 x 60
断面諸量 δ [cm]	0.00	0.00	0.00
Yu [cm]	-153.50	-153.50	-153.50
Yl [cm]	153.50	153.50	153.50
Ag [cm <sup>2</sup> ]	1162.50	1162.50	1162.50
Iy [cm <sup>4</sup> ]	19519387	19519387	19519387
応力度 σu(max) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-854 < -2000	0 < 2000	1060 < 2000
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	1025 < 2000	0 < 2100	-1060 < -1993
σu(min) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	66 < 2000	0 < 2000	1981 < 2000
σL (＃) [kgf/cm <sup>2</sup> ]	-55 < -1993	0 < 2100	-1981 < -1993
τ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	129 < 1200	533 < 1200	728 < 1200
合成応力度 Wu	0.164 < 1.2	0.197 < 1.2	1.189 < 1.2
Wl	0.164 < 1.2	0.197 < 1.2	1.189 < 1.2
抵抗曲げモーメント			
Mru(max) [tf・m]	2543.2	2543.2	-2535.2
Mrl (＃) [tf・m]	2543.2	2543.2	-2534.3
Mru(min) [tf・m]	-2543.2	2543.2	-2535.2
Mrl (＃) [tf・m]	-2534.3	2543.2	-2534.3
引張ボルト数 (上・下)	4 4		
水平補剛材の段数	1	1	1

## 2.3 固有値解析

風洞試験に先立ち、事前検討として3次元FEMモデルを用いた固有値解析を実施した。本解析は、主として試設計した橋梁の固有振動数を把握するためのものであり、解析により求められた固有振動数は風洞模型の設計やばね支持試験の条件設定等に使用される。

### 2.3.1 解析モデル

固有値解析は、試設計を行った全ての橋梁モデルに対して実施した。FEMモデルの作成に際しては、3径間すべてをソリッド要素、シェル要素で分割し、支点部には試設計時に想定した反力分散支承(ゴム沓)と等価な弾性支持条件を与えている。参考図として2主桁橋のFEMモデルを図-2.3.1に、また、解析条件を表-2.3.1に示す。

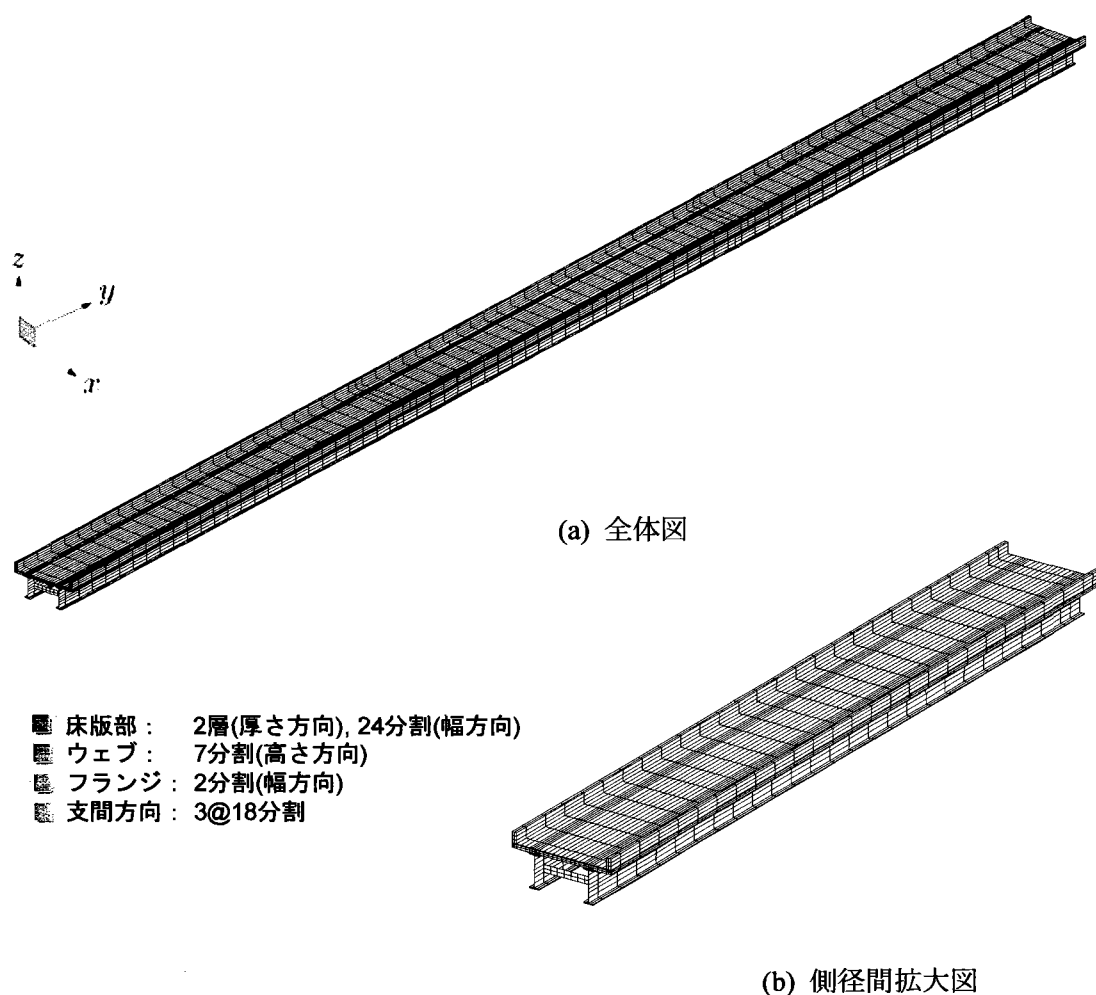


図-2.3.1 3次元FEM解析モデル(2主桁の場合)



表-2.3.1 解析条件

項目	内容
対象橋梁モデル	鋼2主I桁橋： 3@50m, 3@75m, 3@100m 鋼3主I桁橋：                    " 鋼4主I桁橋：                    "
使用要素	鋼部材(主桁, 横桁)： 4節点 シェル 要素 コンクリート部： 8節点ソリッド要素 アスファルト部： 8節点ソリッド要素
ヤング係数	鋼部材(〃)                    : 2.10×10 <sup>7</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) コンクリート(床版)        : 2.95×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) コンクリート(壁高欄)     : 2.50×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) アスファルト                : 2.50×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )
ポアソン比	鋼部材(〃)   : 0.30, コンクリート: 0.17, アスファルト: 0.17
単位重量	道路橋示方書に準ずる.
支点条件	ゴム沓と等価な弾性係数を持つリンク部材で支持.

2.3.2 解析結果

解析により求められたモデル橋梁の固有振動数を表-2.3.2に総括して示す. また, 支間長 75m の2主桁, 3主桁, 4主桁それぞれのモデルに対する固有値解析結果(振動モード形状)をそれぞれ図-2.3.2~2.3.4に示す.

表-2.3.2 固有振動数の解析結果

橋梁形式	最大支間長 (m)	①鉛直たわみ一次 $f_h$ (Hz)	②ねじれ一次 $f_\theta$ (Hz)	振動数比 $\eta$ ②/①
2主桁	50	2.098	2.414	1.15
	75	1.191	1.518	1.27
	100	0.757	1.089	1.44
3主桁	50	2.385	2.515	1.05
	75	1.335	1.543	1.16
	100	0.882	1.111	1.26
4主桁	50	2.251	2.443	1.09
	75	1.090	1.387	1.27
	100	0.683	1.026	1.50

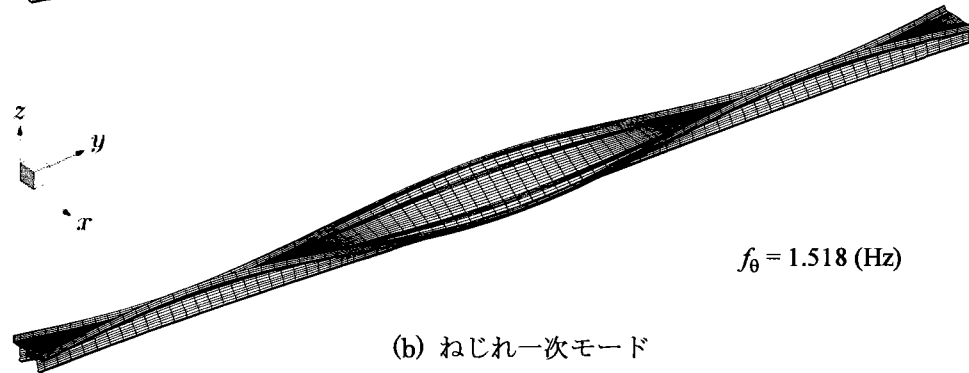
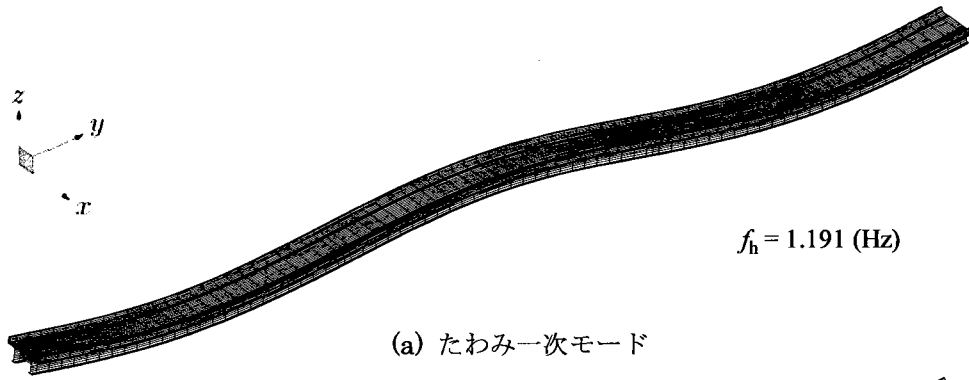


図-2.3.2 2主桁橋(支間長 75m)の固有振動モード

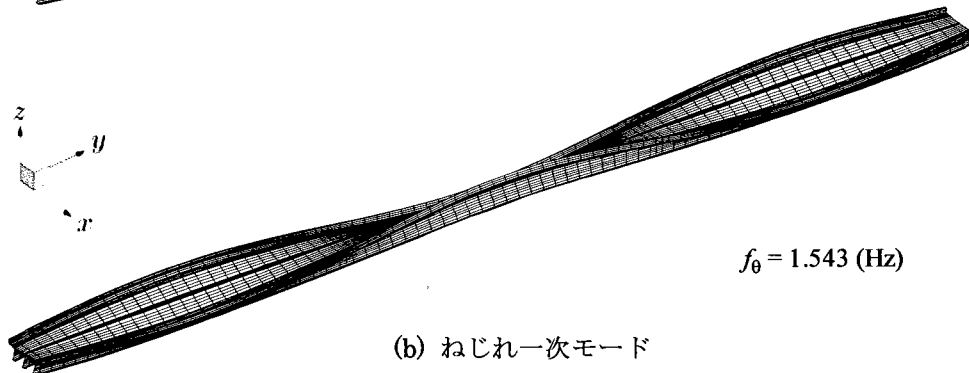
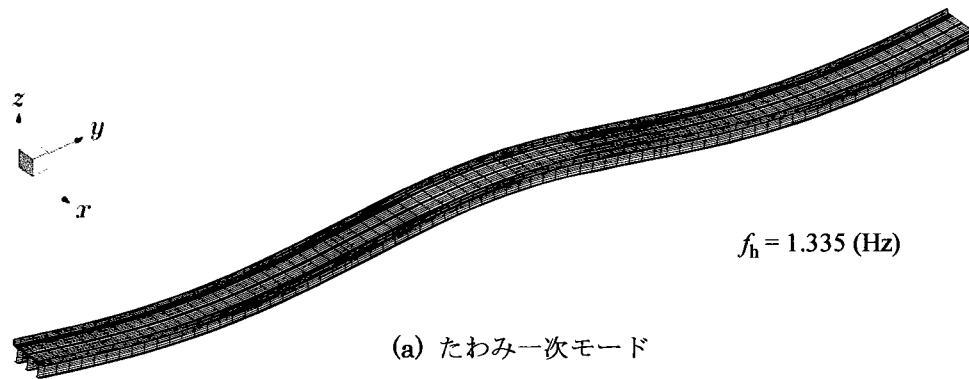


図-2.3.3 3主桁橋(支間長 75m)の固有振動モード

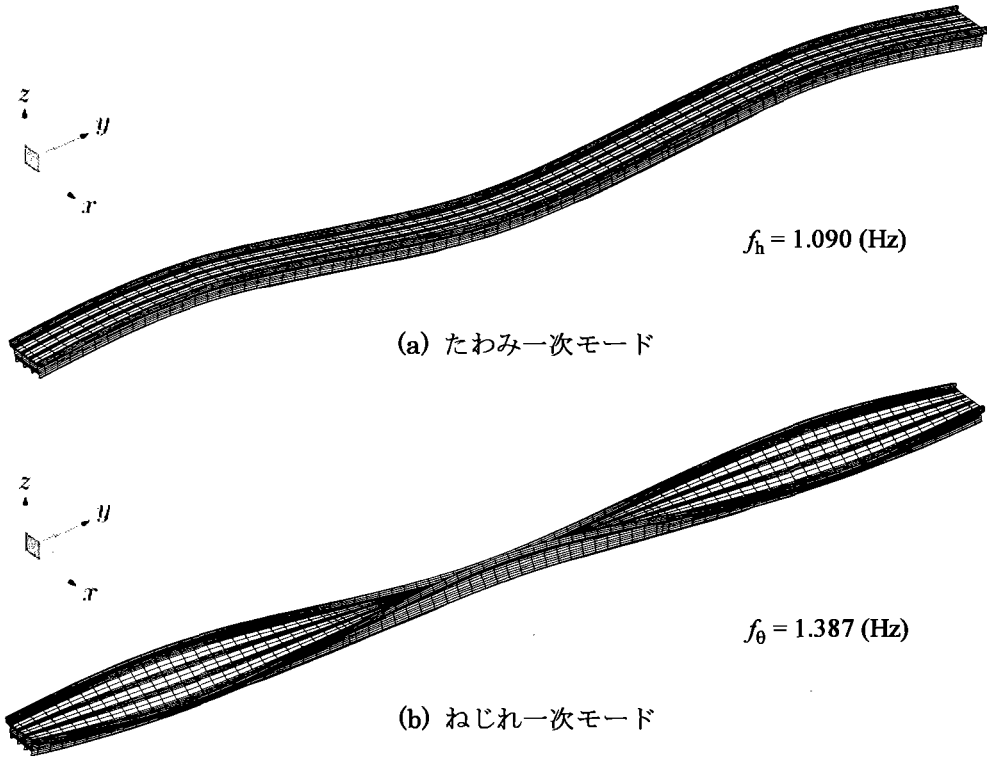


図-2.3.4 4主桁橋(支間長 75m)の固有振動モード

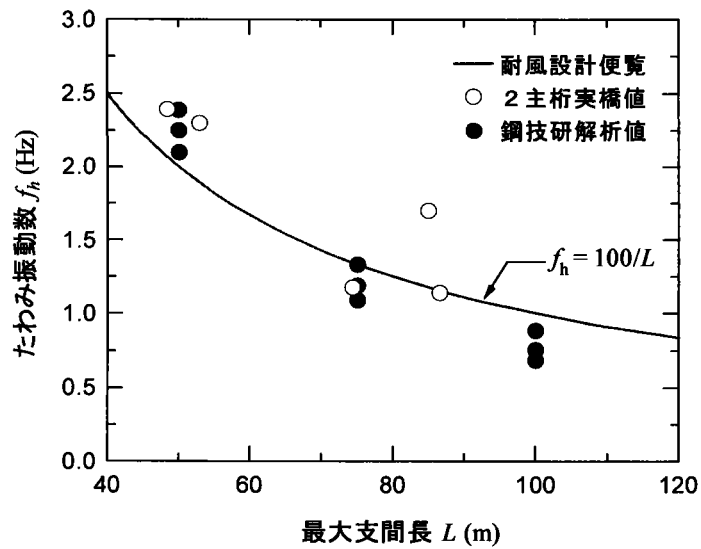


図-2.3.5 鉛直たわみ一次振動数

図-2.3.5は、表-2.3.2に示した鉛直たわみ振動数(解析値)と既往の実橋に関する結果<sup>1)~6)</sup>を支間長に対して整理した結果であるが、同図より、鉛直たわみ一次振動数 $f_h$ は最大支間長に反比例する形で低下し、支間長100mのケースを除いては道路橋耐風設計便覧<sup>7)</sup>に示される以下の経験式、

$$f_h = 100/L \dots\dots\dots (2.3.1)$$

が比較的良い近似を与えることが分かる。なお、 $L$ は対象とする橋梁の最大支間長(m)である。

一方、図-2.3.6は、鉛直たわみ振動数 $f_h$ とねじれ振動数 $f_\theta$ の振動数比 $h$ を図化したものである。前出の表-2.3.2からも明らかなように、振動数比 $h$ は $h=1.1\sim 1.5$ 程度であり、特に50mや75mといった支間長に対して $h$ は1.3以下となる。耐風設計便覧では経験的にねじれ振動数 $f_\theta$ を、

$$f_\theta = 2.0 f_h \dots\dots\dots (2.3.2)$$

すなわち $h=2.0$ としているが、少数主桁橋に対して簡易的な照査を行う場合、式(2.3.2)は高め(危険側)の推定値を与えることになる。このような場合には、図-2.3.6に示すように、

$$f_\theta = 1.1 f_h \dots\dots\dots (2.3.3)$$

とすれば、ねじれ振動数に対しておおむね安全側の推定値が得られると思われる。

なお、固有振動モードに関しては、風洞試験に向けて主桁本数によらず桁高および外側の主桁間隔を一定とした設計を行ったため、図-2.3.2~2.3.4に示したように各モデルとも類似の振動モード形状を呈する結果となった。

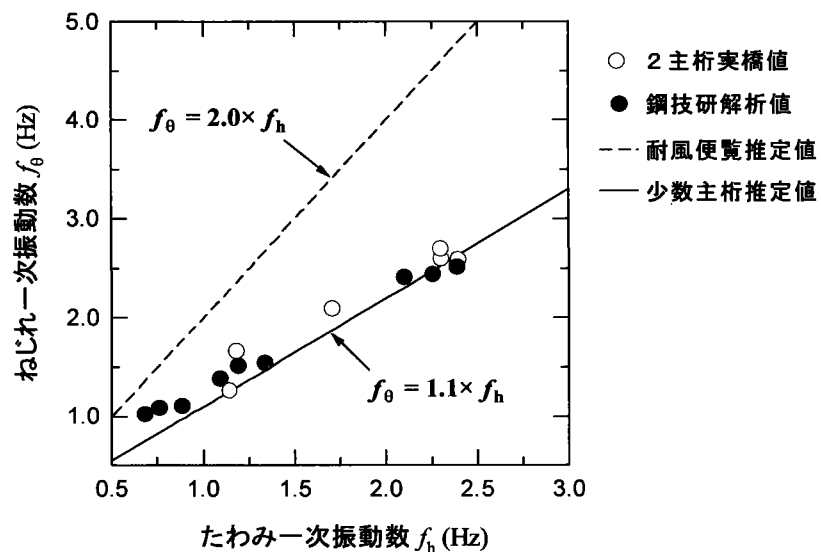


図-2.3.6 鉛直たわみとねじれの振動数比

### 2.3.3 解析手法について

前節までに3次元FEMモデルを使用した固有値解析結果について述べてきた。本節では、FEM以外の固有振動数算出法について述べる。

表-2.3.3 各種の固有振動数算出法

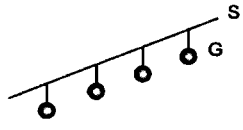
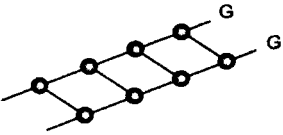
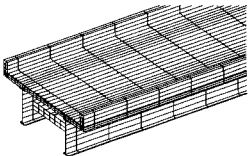
解析手法		長所	短所
理論計算	梁理論に基づく 推定式 <sup>8)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 推定式による代数計算のためモデル化が不要。</li> <li>② 極めて短時間で固有振動数の推定が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 変断面, 不等径間の場合には補正が必要。</li> <li>② 2主桁以外の場合, たわみ剛性とねじれ剛性の評価に調整が必要。</li> </ul>
梁モデル	 <p>S: せん断中心 G: 重心</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① モデルが単純である。</li> <li>② 一次モードを比較的良好な精度で算出することが可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① せん断中心位置の計算は煩雑。</li> <li>② 高次モードの再現性は困難。</li> </ul>
格子モデル	 <p>G: 重心</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 構成部材単位ごとに機械的にモデル化が可能。</li> <li>② 一次モードを比較的高い精度で算出することが可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① せん断中心と重心が大きく異なる場合には誤差が混入。</li> <li>② 局所的な変形モードの再現は困難。</li> </ul>
FEMモデル		<ul style="list-style-type: none"> <li>① 形状のまま直感的にモデル化が可能。</li> <li>② 局所的な変形モードの再現が可能。必要であれば応力評価も容易。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① モデルが大規模になると解析コストが増加。</li> <li>② モデル化の相違により様々な変形モードが出現し, 評価が困難な場合もある。</li> </ul>

表-2.3.3は、一般的に考えられる主な固有振動数算出法の特徴を簡単にまとめたものである。いずれの手法も一長一短あるが、実際に設計者が解析手法を選定するに当たっては、要求される解析精度、解析に要する計算時間とコスト等々をもとに最適な手法を選択することが望ましい。そこで、各手法の精度比較の参考とするため、標準的な支間長 50m, 75m の 2 主桁橋モデルを対象として、理論計算、格子モデル、FEM モデルによる固有振動数算出を試みることにした。格子計算と FEM に関しては市販ソフトウェアの利用が一般的であると考え、以下では理論計算についてのみ概説する。

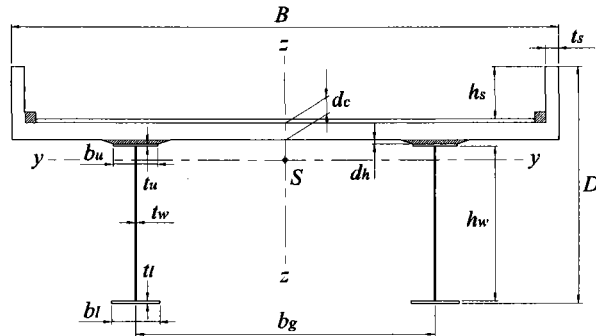


図-2.3.7 標準的な 2 主桁断面の諸元

はじめに、図-2.3.7を参考として、壁高欄を含む床版部材を鋼換算した上で合成断面の中立軸位置  $S$  を求め、以下の式<sup>8)</sup>に従って鉛直たわみ一次振動数  $f_n$  を計算する。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{n\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI_y}{w/g}}, \quad (n=1) \dots\dots\dots (2.3.4)$$

ここに、 $L$  は最大支間長、 $EI_y$  は図-2.3.7に示す  $y$  軸に関する曲げ剛性、 $w$  は桁の単位長さ当りの重量、 $g$  は重力加速度である。なお、計算の簡便化を図るために、床版ハンチと地覆(図のハッチング部分)については質量・剛性ともに考慮しないものとする。

次に、同じく下式に従ってねじれ一次振動数  $f_\theta$  を計算する。

$$f_\theta = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{\kappa GJ'}{(w/g)I_p}}, \quad (n=1) \dots\dots\dots (2.3.5)$$

ここに、 $I_p (=I_y + I_z)$  は断面 2 次極モーメント、 $\kappa$  は補正係数<sup>9)</sup>で  $\kappa = 1.33$ 、また  $GJ'$  は等価ねじれ剛性を表し、以下の式で与えられる。

$$GJ' = GJ + EC_w \times (n\pi/L)^2, \quad (n=1) \dots\dots\dots (2.3.6)$$

ただし、式(2.3.6)において、

$$GJ = G \times \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3 \dots\dots\dots (2.3.7)$$

$$EC_w = EI_y \times (b_g/2)^2 \dots\dots\dots (2.3.8)$$

である。式(2.3.7), (2.3.8)において,  $GJ$ ,  $EC_w$ は桁のねじれ剛性と曲げねじれ剛性,  $b_i$ ,  $t_i$ は断面を構成する各部材の幅と板厚,  $b_g$ は主桁間隔である。

以上の推定式をもとに算出した固有振動数を, 格子計算, FEM 解析の結果と比較して, 表-2.3.4に示す。また, 格子計算, FEM 解析の固有振動モードを比較した結果を図-2.3.8に示す。なお, 表-2.3.4においては, 現状もっとも推定精度が高い値として FEM の解析結果を比較基準(1.00)としている。

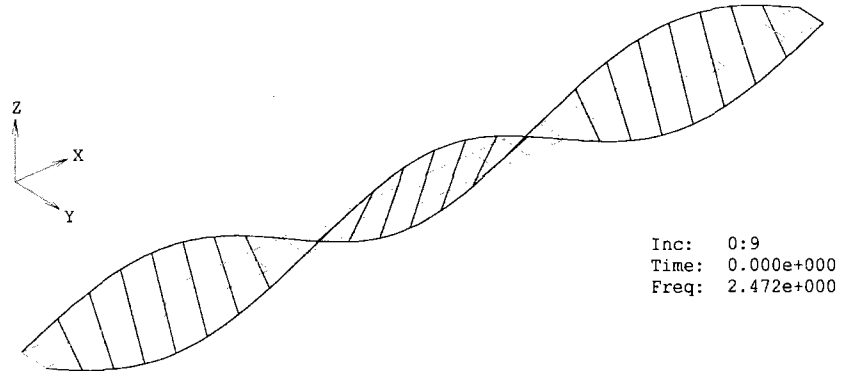
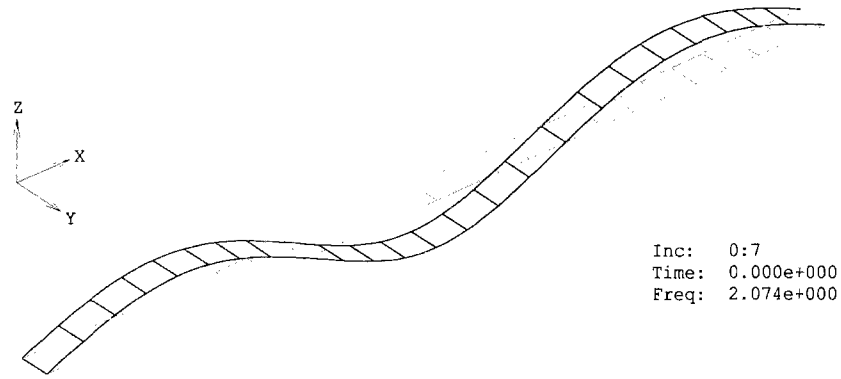
はじめに, 支間長 50m モデルに対する計算結果を比較すると, 鉛直たわみ一次振動数, ねじれ一次振動数ともに, 格子計算の結果は FEM 解析値と同等の推定精度を示している。一方, 理論計算の結果も, たわみ振動数において 9%程度の誤差が生じているものの, ねじれ振動数はほぼ FEM による値と一致しており, 代表一断面の諸元のみから推定した結果としては, 概ね良好な結果であると言える。

次に, 支間長 75m モデルに対する計算結果を比較すると, たわみ振動数, ねじれ振動数ともに, 理論計算の結果は FEM 解析値とおおむね同じ結果となっていることがわかる。これらのことから, 前述の推定式による算定手法は, 机上検討段階などにおいて簡易的に固有振動数を算定する上では実用上十分な推定精度を有すると思われる。

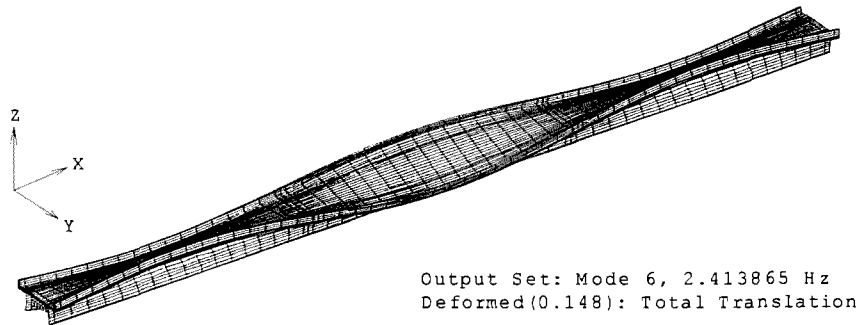
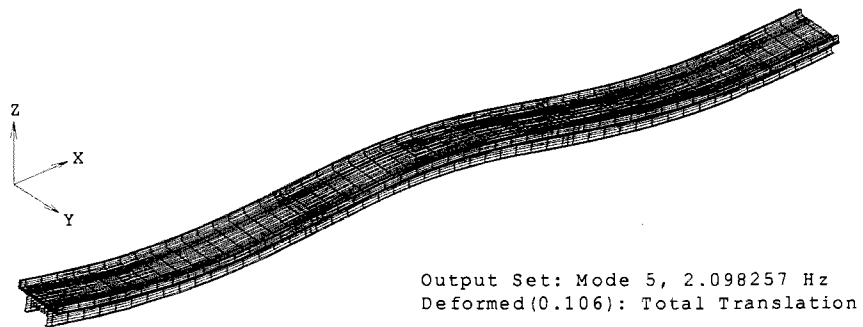
なお, 主桁剛度が支点部と支間中央で大きく異なる場合(例えば変断面桁)や極端な不等径間を有する場合には, 代表一断面(例えば支間中央)のみの諸元から固有振動数を推定すると誤差が大きくなると思われる。このような場合には, いくつかの代表断面における桁剛度を重み付き平均した上で, 固有振動数を算出することが望ましい。

表-2.3.4 各種解析手法による固有振動数の算定値

対象 手法	支間長 50m モデル		支間長 75m モデル	
	たわみ振動数	ねじれ振動数	たわみ振動数	ねじれ振動数
理論計算	1.913 Hz (0.91)	2.368 Hz (0.98)	1.157 Hz (0.97)	1.440 Hz (0.95)
格子計算	2.074 Hz (0.99)	2.472 Hz (1.02)	未実施	
FEM解析	2.098 Hz (1.00)	2.414 Hz (1.00)	1.191 Hz (1.00)	1.518 Hz (1.00)



(a) 格子計算結果



(b) FEM 解析結果

図-2.3.8 格子計算と FEM による固有振動モードの比較



## 参考文献

- 1) 橘, 高橋, 山中, 吉岡, 牛島, 辻角: PC 床版 2 主桁橋「ホロナイ川橋」の載荷試験, 土木学会第 51 回年次学術講演会, I-A341, 1996 年 9 月.
- 2) 大垣, 西尾, 山本, 石毛, 中村, 川尻, 長井: 千鳥の沢川橋—PC 床版連続合成 2 主桁橋—の実橋振動試験, 土木学会第 54 回年次学術講演会, I-B253, 1999 年 9 月.
- 3) 植田, 山口, 猪原: 合理化構造形式 2 主桁橋梁の空力振動特性, 土木学会第 55 回年次学術講演会, I-B61, 2000 年 9 月.
- 4) 水口, 西星: PC 床版連続合成 2 主桁橋(日計平高架橋)の実橋振動試験, 土木学会第 55 回年次学術講演会, I-B103, 2000 年 9 月.
- 5) 中村, 宮越, 藤浪, 橘, 畠中, 枝元: 利別川第一橋(PC 床版連続合成 2 主桁橋)の実橋振動実験, 土木学会第 55 回年次学術講演会, I-B108, 2000 年 9 月.
- 6) 雨森, 中嶋, 岡田: 宿茂高架橋の実橋振動試験, 巴コーポレーション技報, No.14, pp.38~43, 2001 年 3 月.
- 7) 道路橋耐風設計便覧, 日本道路協会, 1991 年 7 月.
- 8) 土木設計便覧(新版), 丸善, pp.228~229, 1998 年 8 月.
- 9) 枝元, 米田: 鋼 2 主 I 桁橋の固有振動数算定法について, 土木学会第 57 回年次学術講演会, I-481, 2002 年 9 月.

## 2. 4 風洞試験

### 2. 4. 1 風洞試験方法

#### (1) 使用風洞設備

風洞試験は横浜国立大学所有の回流型風洞において行った。風洞設備の主要諸元を図-2. 4. 1に示す。

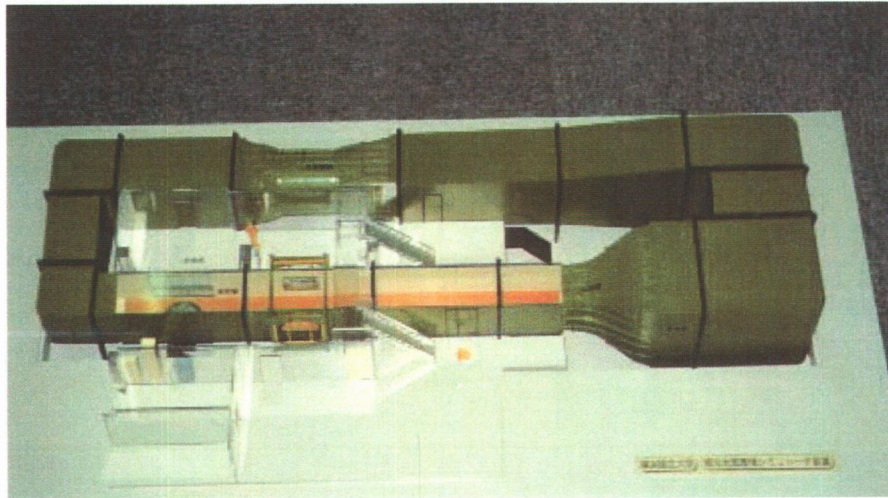


図-2. 4. 1 風洞設備鳥瞰図(模型)

形式 : 回流型風洞  
計測胴断面 : 1.8m(W) x 1.8m(H) x 17m(L)  
最大風速 : 34m/s

(2) 試験ケース

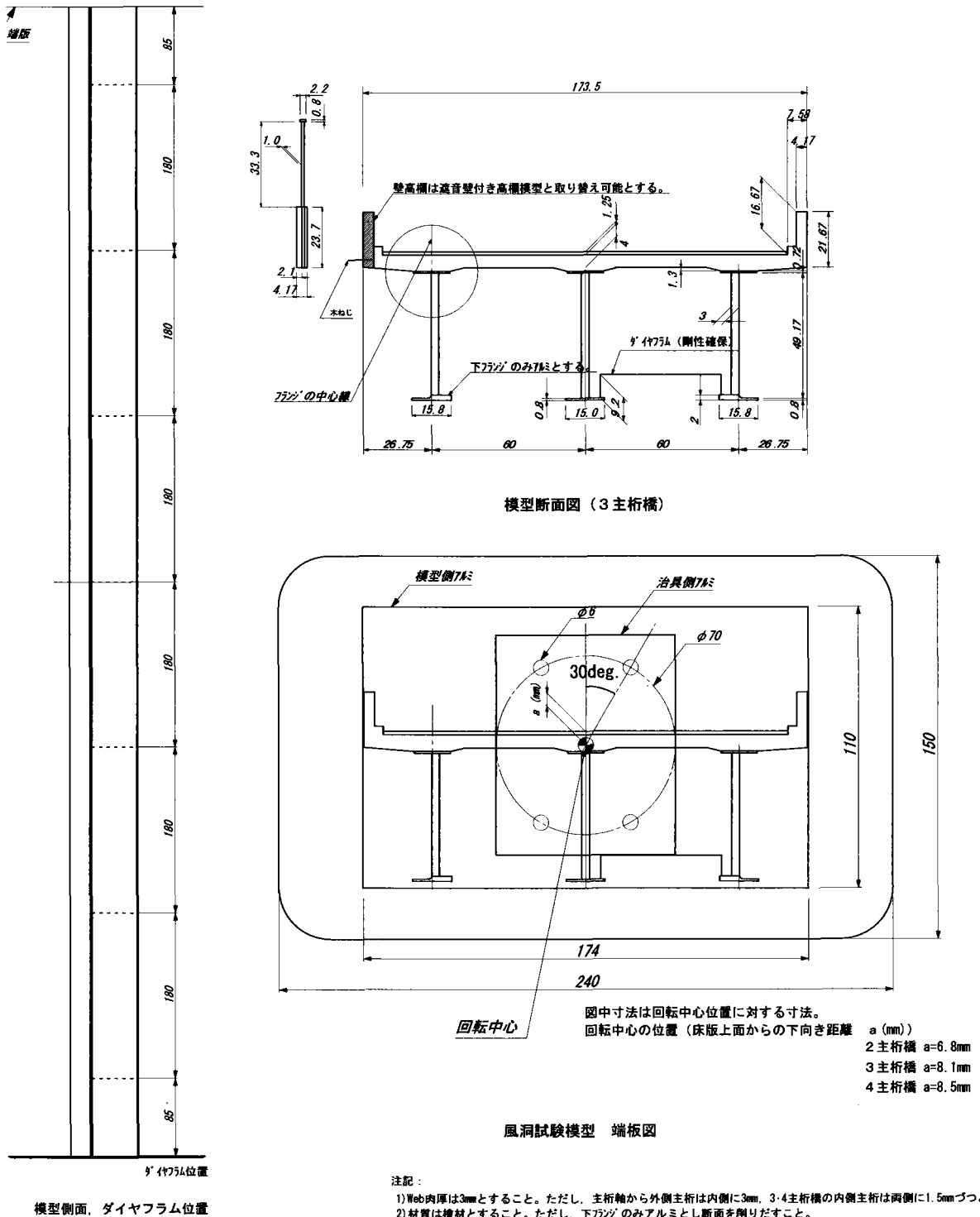
試験ケースを表-2.4.1に総括した。鉛直たわみモードとねじれモードを対象に、それぞれ1自由度系のばね支持応答試験を行った。すべての試験は一様流中において実施した。3主桁橋に関しては、さらに高さ3mの直立型の遮音壁を付設したケースも検討した。

表-2.4.1 風洞試験ケース

振動自由度	形式	遮音壁	対数減衰率	迎角	気流
鉛直たわみ 1自由度	2主桁	なし	0.015 0.050 0.080	0° ±3°	一様流
	3主桁	なし			
		3m遮音壁			
	4主桁	なし			
ねじれ 1自由度	2主桁	なし	0.015 0.050 0.080	0° ±3°	
	3主桁	なし			
		3m遮音壁			
	4主桁	なし			

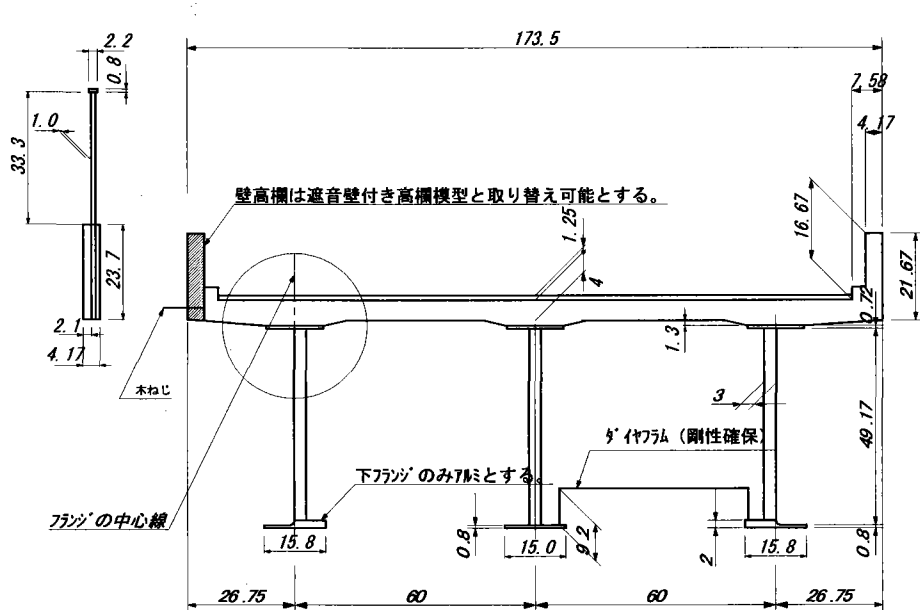
### (3) 風洞試験模型

2. 2節で述べたように試設計を行った2主桁, 3主桁, 4主桁のモデル橋梁に対して, それぞれ縮尺 1/60 の2次元剛体模型を製作した。模型図面を図-2. 4. 2に示す。

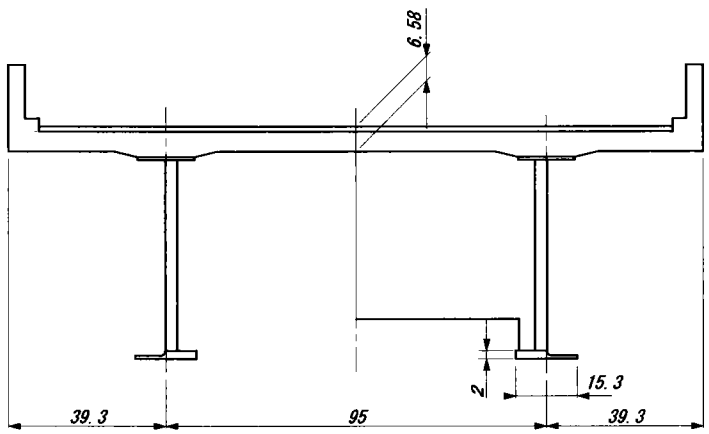


### (1) 2次元模型組立図

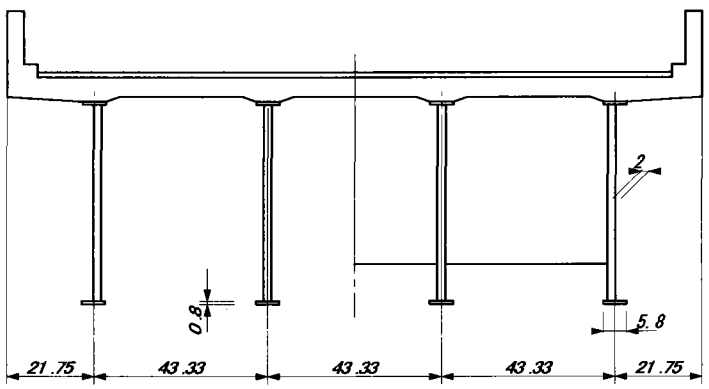
図-2. 4. 2 風洞試験模型



3主桁橋模型 断面図



2主桁橋模型 断面



4主桁橋模型 断面

(2) 2, 3, 4主桁橋 断面図

図一 2. 4. 2 風洞試験模型

#### (4) 振動諸元

詳細の試験条件を表-2.4.2に総括した。実橋の振動諸元として試設計・固有値解析（FEM 解析）で得られた結果（表-2.2.1, 表-2.3.2）を用いた。

試設計の結果，質量，極慣性モーメントは主桁本数に関わらず概ね同値となる。従って，試験条件としては，表に示すとおり 2，3，4 主桁橋の質量，極慣性モーメントは統一した。

少数主桁橋の構造減衰特性については，実測データが蓄積されている段階であり<sup>14)</sup>，十分な量のデータが無い現時点においては，未だ不明な点が多い。本試験では，構造減衰が非常に小さい場合を想定した  $\delta=0.015$  から，制振装置により減衰付加した場合を想定した  $\delta=0.08$  の範囲で変化させた。

表-2. 4. 2 風洞試験条件一覧

			実橋諸元		相似比	所要値	実際値					
構造幅 (m)			10. 41		1/60	0. 173	0. 173					
質量 (Kg/m)	2 主桁橋	50m	4. 039		1/60 <sup>2</sup>	4. 039	4. 454					
		75m	4. 369			4. 369						
		100m	5. 258			5. 258						
	3 主桁橋	50m	4. 564			4. 564	4. 440					
		75m	4. 891			4. 891						
		100m	4. 989			4. 989						
	4 主桁橋	50m	4. 081			4. 081	4. 419					
		75m	4. 481			4. 481						
		100m	5. 233			5. 233						
極慣性 メント kg・m <sup>2</sup> /m	2 主桁橋	50m	0. 0109		1/60 <sup>4</sup>	0. 0109	0. 0120					
		75m	0. 0118			0. 0118						
		100m	0. 0142			0. 0142						
	3 主桁橋	50m	0. 0124			0. 0124	0. 0121					
		75m	0. 0131			0. 0131						
		100m	0. 0135			0. 0135						
	4 主桁橋	50m	0. 0111			0. 0111	0. 0119					
		75m	0. 0121			0. 0121						
		100m	0. 0142			0. 0142						
振動数 (Hz)	2 主桁橋	50m	2. 098 (鉛直たわみ)	2. 414 (ねじれ)	-	-	4. 541 (鉛直たわみ)	8. 203 (ねじれ)				
		75m	1. 191	1. 518			4. 590	8. 203				
		100m	0. 757	1. 089								
	3 主桁橋	50m	2. 385	2. 515					4. 639	8. 154		
		75m	1. 335	1. 543								
		100m	0. 882	1. 111								
	4 主桁橋	50m	2. 251 (鉛直たわみ)	2. 443 (ねじれ)			0. 015	0. 015	0. 013~0. 017			
		75m	1. 090	1. 387						0. 050	0. 050	0. 048~0. 053
		100m	0. 683	1. 026								
構造減衰			0. 015		1	0. 015	0. 013~0. 017					
			0. 050						0. 050	0. 048~0. 053		
			0. 080									0. 080
振動数比			鉛直たわみ・ねじれモードそれぞれの1自由度系による試験									

## 2. 4. 2 風洞試験結果

### (1) 主桁本数が耐風性に及ぼす影響

表-2. 4. 3に遮音壁がない2主桁橋, 3主桁橋, 4主桁橋の応答試験結果を示した。図の横軸には, 支間長 75m の橋梁に対する実橋風速を併記した。図より, 総幅 (B) および有効高 (D) が一定の条件下では, 主桁本数が異なっても基本的な応答特性には際立った変化がないことが分かる。

特に, ねじれモードについては, 2, 3, 4主桁橋の振動の発現風速はほとんど差異が無く, 無次元風速 ( $V/f_n B$ , ここで,  $V$ は風速) =2 付近で振幅の大きいねじれモードの限定振動が発現し, 4 付近で発散振動が発現する。鉛直たわみモードに関しては, 無次元風速 ( $V/f_n B$ ) =1.5 付近で鉛直たわみ限定振動,  $V/f_n B=4$  以上の高風速域において発散振動が発現する。2主桁橋に比べて, 3, 4主桁橋の方が限定振動の振幅が若干大きい傾向にある。一方, 風の迎角の影響に関しては, 負迎角から正迎角, すなわち吹下げ風から吹上げ風となるに従って, 鉛直たわみモードの渦励振振幅が小さくなり, 発散振動の限界風速が低下する傾向がある。

### (2) 構造減衰の影響

無次元風速=2~3.5 で発現するねじれモードの限定振動は構造減衰が  $\delta=0.05$  以上になると, すべて消滅することがわかる。鉛直たわみモードの限定振動も同様,  $\delta=0.05$  以上で消滅する。

鉛直たわみ発散振動については, 2主桁橋のみ  $\delta=0.08$  で,  $+3^\circ \sim -3^\circ$  のすべての迎角で振動が安定化するが, 3, 4主桁橋では構造減衰の影響はほとんど無くなる。一方, ねじれ発散振動については, 2, 3, 4主桁橋すべてにおいて減衰が増加するに従って次第に風速に伴う振幅の立ち上がりが緩やかになる傾向がある。



表-2.4.3 風洞試験結果 (遮音壁なし)

(1) 迎角  $\alpha = -3^\circ$

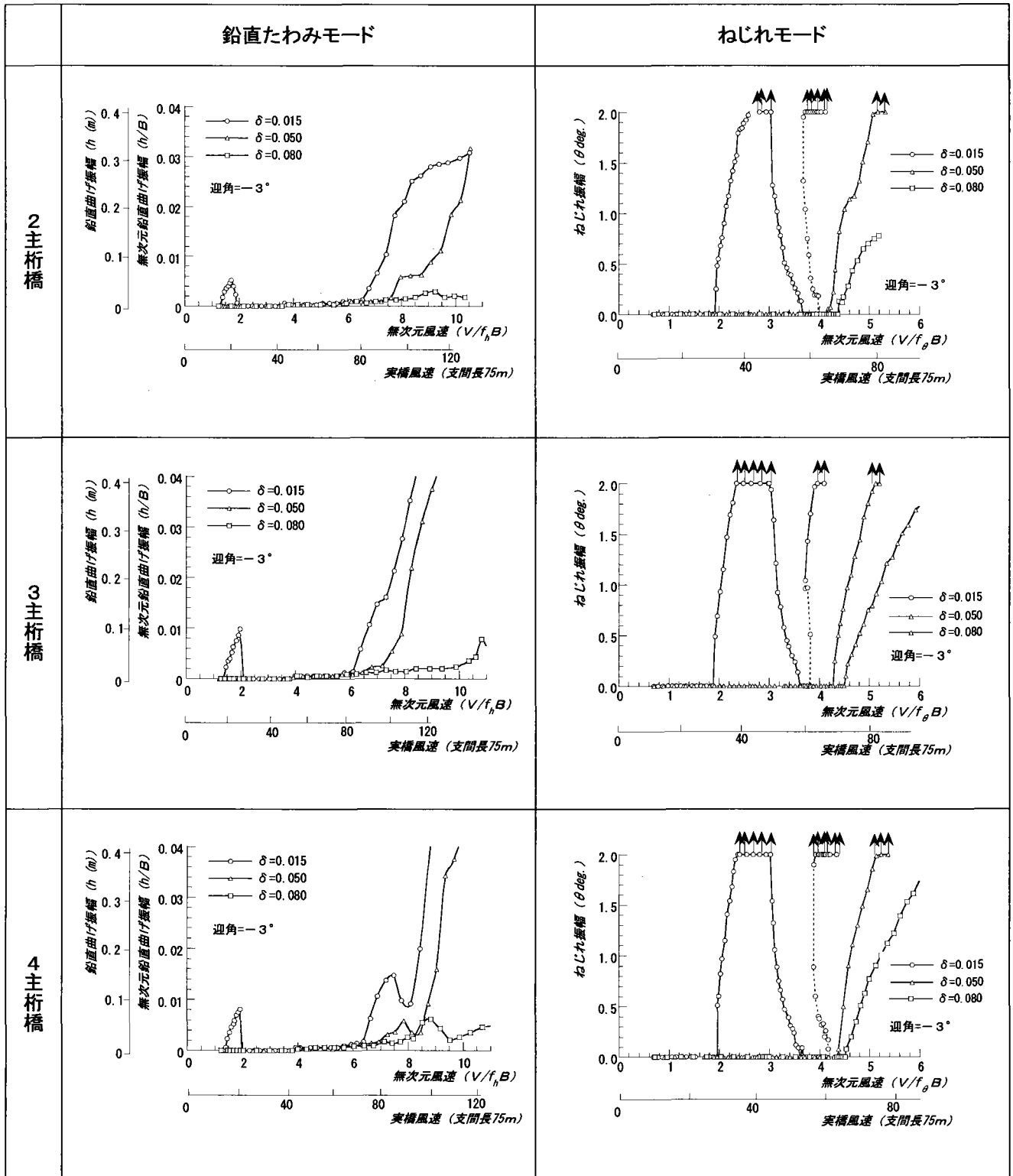


表-2.4.3 風洞試験結果 (遮音壁なし)

(2) 迎角  $\alpha = 0^\circ$

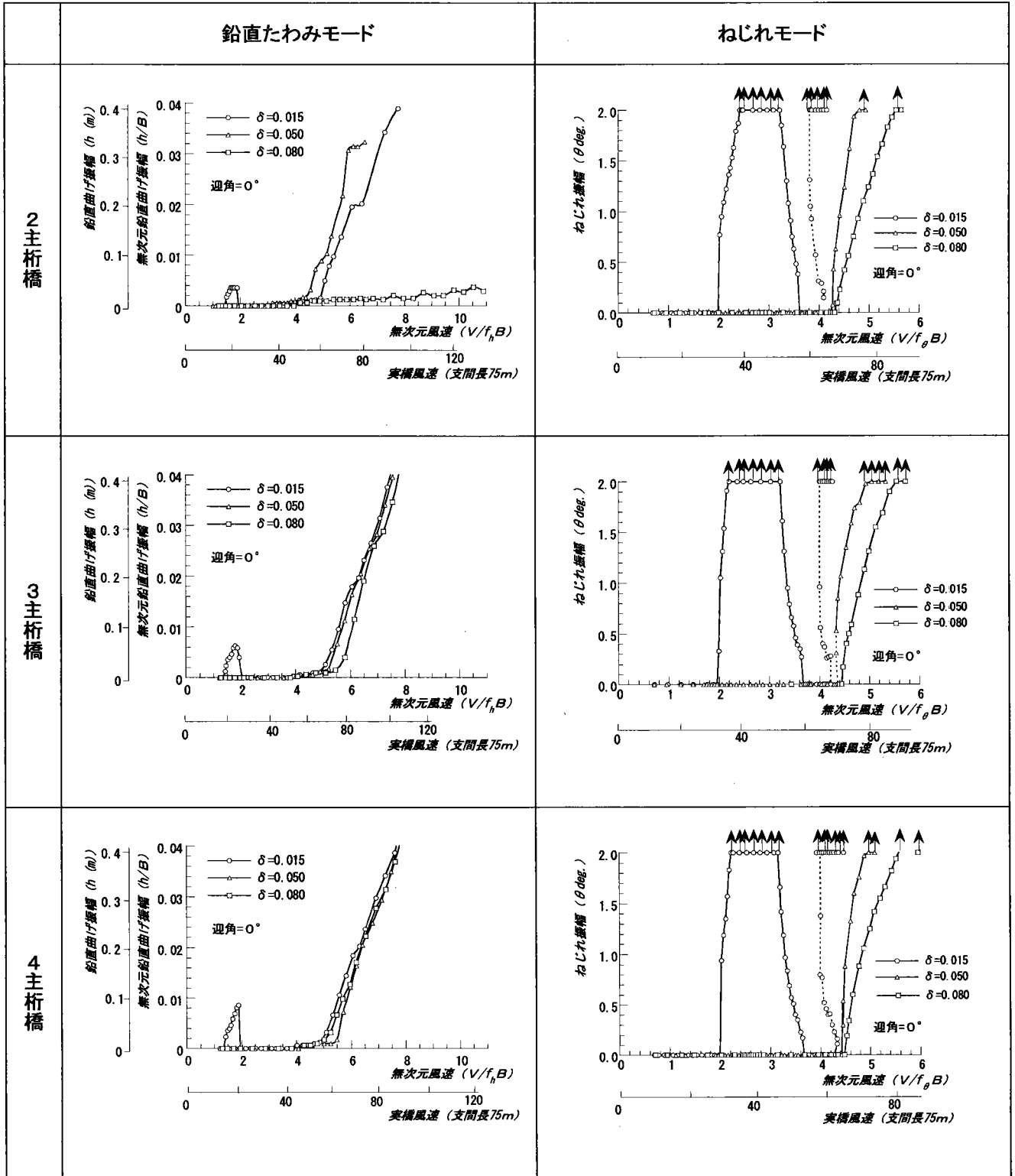
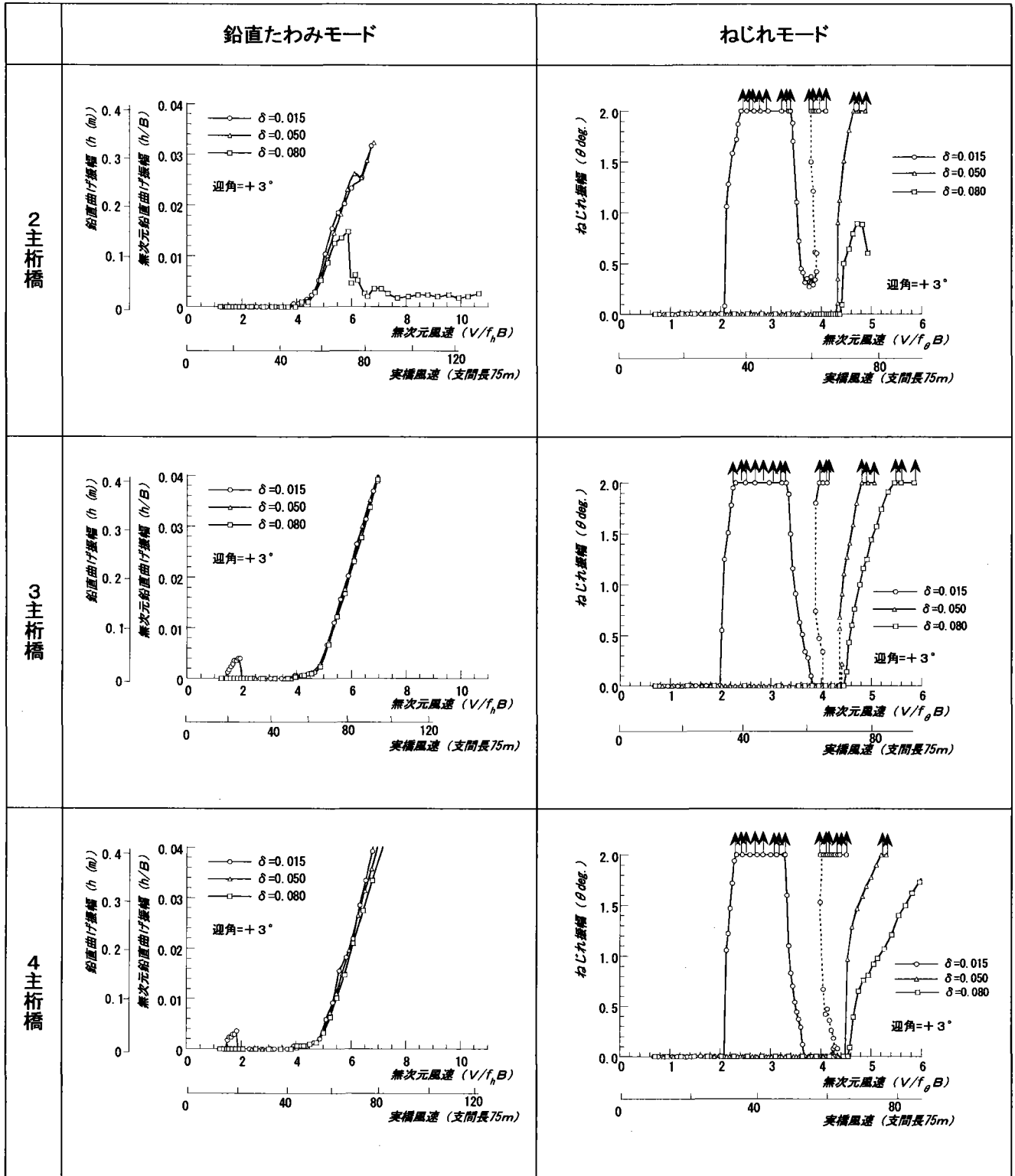


表-2.4.3 風洞試験結果 (遮音壁なし)

(3) 迎角  $\alpha = +3^\circ$



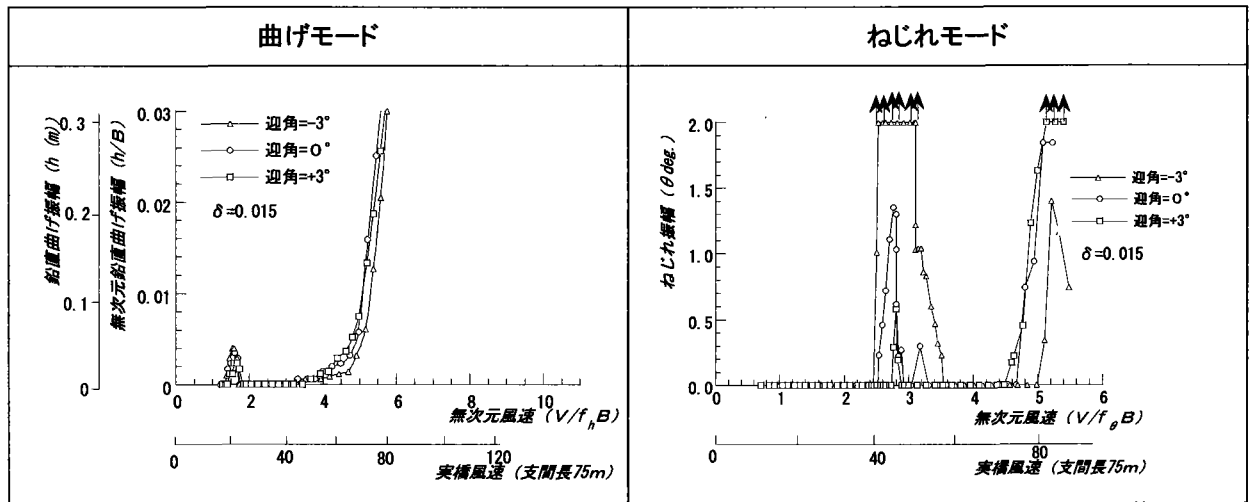
### (3) 遮音壁の影響

表-2. 4. 4に試験結果を示す。遮音壁を設置すると応答特性は大きく変化し、ねじれ振動が安定化する傾向がある。特に、迎角=0°，3°における限定振動の安定化が顕著である。さらに、発散振動についても構造減衰が $\delta=0.05$ 以上のとき、振幅の小さい限定振動に変化していることが分かる。

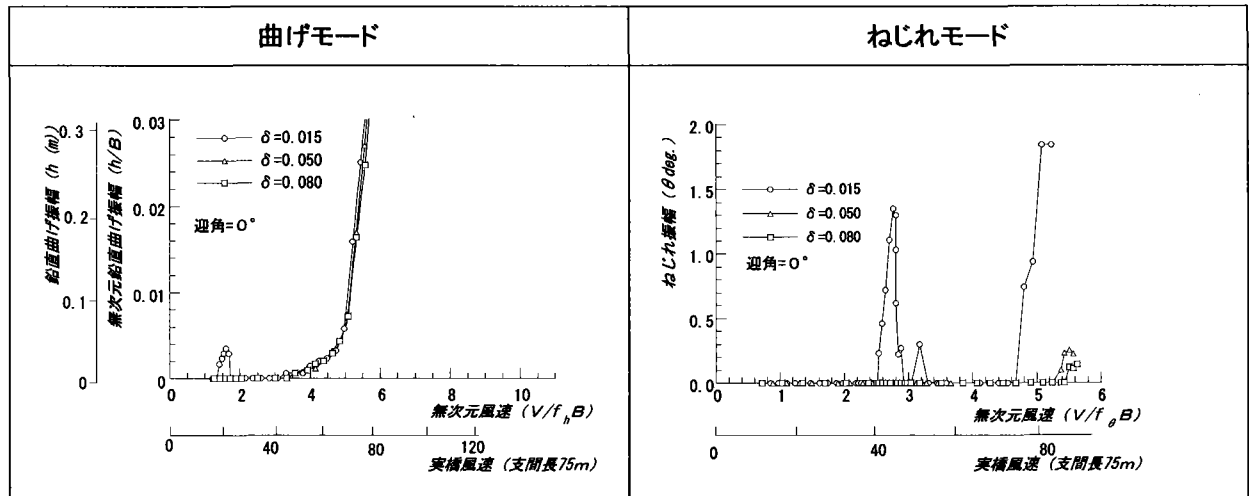
一方、鉛直たわみモードに関しては、遮音壁を設置すると発散振動が若干、不安定化する傾向にある。すわなち、発散振動の発現風速が若干低風速側に移動し、風速増加に伴う振幅の立ち上がりが若干急になる傾向がある。

表-2. 4. 4 風洞試験結果 (3主桁橋, 遮音壁あり)

#### (1) 迎角の影響



#### (2) 構造減衰の影響



### 2. 4. 3 まとめと考察

少数主桁橋の対風応答特性に関して、風洞試験の結果、得られたいくつかの成果をまとめた。

#### (1) 限定振動、発散振動の発現に関して

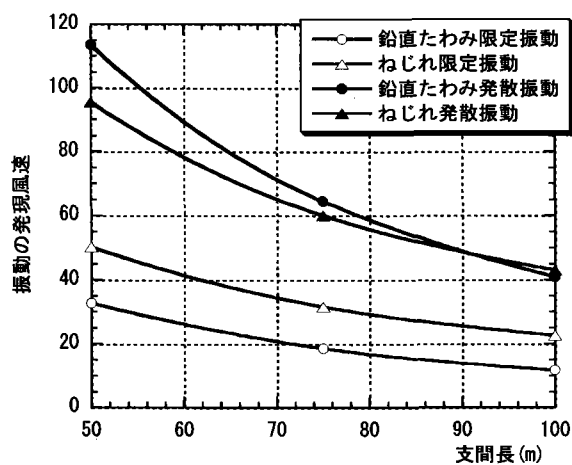
少数主桁橋では、鉛直たわみモードの限定振動および発散振動、ねじれモードの限定振動および発散振動が発現する可能性がある。限定振動については、構造減衰が  $\delta = 0.015$  といった極めて小さい場合において顕在化するが、本検討や既往の研究例<sup>5) 6)</sup>を参照すると、構造減衰が  $\delta = 0.04 \sim 0.05$  程度あれば、限定振動は消滅すると考えられる。

本風洞試験結果に基づき、限定振動と発散振動の発現風速を整理すると表-2.4.5のようになる。従来、桁橋については、ねじれモードの渦励振やフラッターは発現風速が十分高いことから、一般的に問題とならず、ねじれ振動については耐風設計便覧<sup>7)</sup>による動的耐風設計照査フローの中で照査を免除されている。しかしながら、図-2.4.3に示すように、支間長 75m 以上の場合、ねじれモードの限定振動が風速 30m/s 程度において発現する可能性がある。構造減衰が非常に小さい場合、これらの振動が顕在化することが懸念されるので、耐風設計において念頭に置いておく必要がある。

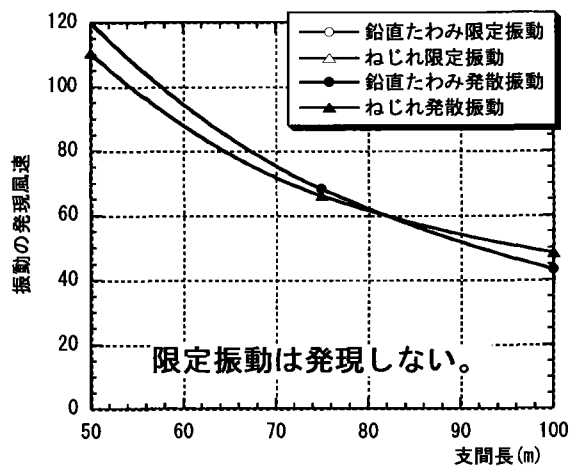
表-2.4.5 応答の発現風速（迎角=0°）

振動現象	構造減衰	鉛直たわみモード $V/f_1B$			ねじれモード $V/f_\theta B$		
		2主桁	3主桁	4主桁	2主桁	3主桁	4主桁
限定振動	$\delta = 0.015$	1.5			2.0		
	$\delta = 0.050$	振動は発現しない			振動は発現しない		
発散振動	$\delta = 0.015$	5.2	5.5	5.5	3.8	4.0	4.0
	$\delta = 0.050$	5.5	5.6	5.8	4.4	4.4	4.5

\*)発散振動の発現風速は鉛直たわみモード： $h/B=0.01$ 、ねじれモード： $\theta=1.0$ の振幅に達する風速で定義した。



(1)  $\delta=0.015$



(2)  $\delta=0.050$

図-2. 4. 3 支間長と振動の発現風速の関係 (2主桁橋, 迎角=0°)

## (2) 今後の課題

本検討は少数主桁橋の耐風性に関する基礎的な検討である。今後、本橋梁形式に対して合理的な耐風性評価手法を確立し、個々の橋梁に耐風設計を行っていくためには未だ残された課題は多い。

以下に列挙したような点について更なる検討が必要であろう。

- 1) 少数主桁橋梁の架設地点、現地の風条件は極めて多様であることを考慮し、幅広い迎角範囲、応答に及ぼす乱れの影響を明らかにする必要がある。
- 2) 本橋梁形式の経済的な優位性を失わないような簡易な制振対策を考案する必要がある。

## 参考文献

- 1) 橘・高橋・山中・吉岡・牛島・辻角：PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の載荷試験，第51回土木学会年次学術講演会論文集，I-A341，平成8年9月
- 2) 大垣・西尾・山本・石毛・中村・川尻・長井：千鳥の沢川橋—PC床版連続合成2主桁橋—の実橋振動試験，第54回土木学会年次学術講演会論文集，I-B253，平成11年9月
- 3) 中村・宮越・藤浪・橘・畠中・枝元：利別川第一橋（PC床版連続合成2主桁橋）の実

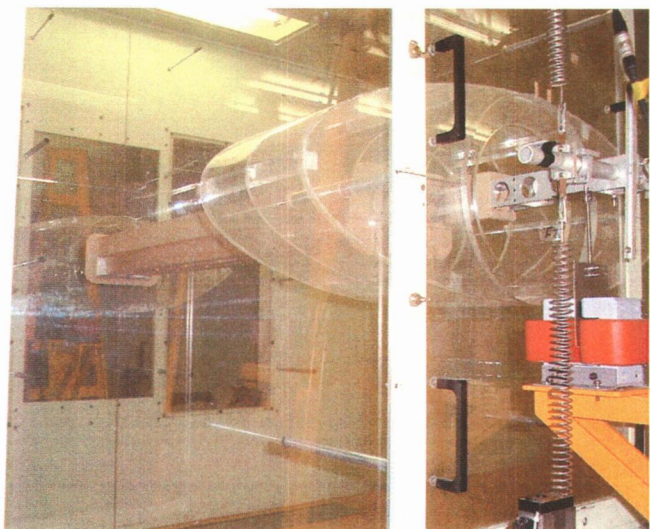
- 橋振動試験，第 55 回土木学会年次学術講演会論文集， I -B108，平成 12 年 9 月
- 4) 水口・西星：PC 床版連続桁合成 2 主桁橋（日計平高架橋）の実橋振動実験，第 55 回土木学会年次学術講演会論文集， I -B103，平成 12 年 9 月
  - 5) 中村・中東・今泉・佐々木・兼重・小川：今別府川橋の設計・施工，橋梁と基礎 2000-12， pp.2-9
  - 6) 植田・山口・猪原：合理化構造形式 2 主桁橋梁の空力振動特性，第 55 回土木学会年次学術講演会論文集， I -B61，平成 12 年 9 月
  - 7) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧，平成 3 年 7 月



計測胴内 模型支持状態



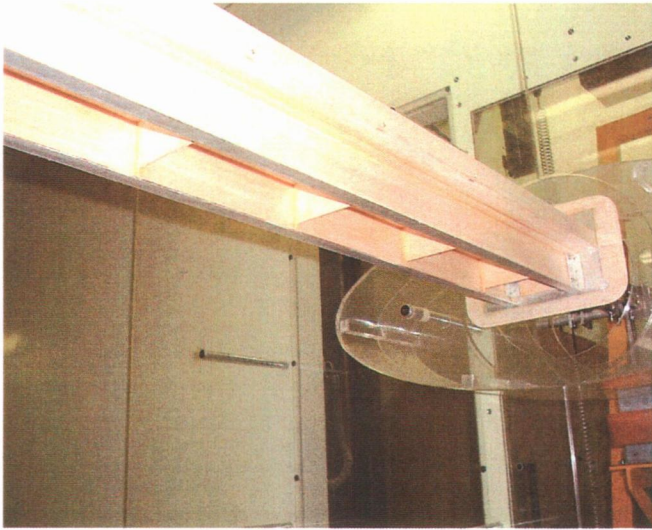
ばね支持装置



ばね支持装置

図-2. 4. 4 風洞試験状況 (その1)





2主桁橋



3主桁橋



4主桁橋

図-2.4.4 風洞試験状況 (その2)