

# 目次

頁

§ 1 . 概要	.....
1.1 設計条件	.....
1.2 解析条件	.....
§ 2 . 解析法および解析モデル	.....
2.1 解析法	.....
2.2 解析モデル (モデル図 / 入力データ)	.....
解析モデル図	.....
節点座標および質量	.....
断面定数	.....
基礎地盤バネ定数	.....
2.3 非線形部材	.....
(1) はり部材の曲げモーメント - 曲率の関係	.....
§ 3 . 固有値解析	.....
3.1 減衰定数	.....
3.2 固有値解析	.....
固有値解析結果 / Rayleigh 減衰	.....
§ 4 . 非線形動的解析	.....
4.1 入力地震動	.....
4.1 非線形動的解析結果	.....
§ 5 . 照査	.....
(1) 曲率に対する照査	.....

## 添付資料

固有値解析 / 振動モード図

1 次 ~ 14 次

時刻歴応答値図 / 履歴図

タイプ およびタイプ / 各 3 波

## § 1 . 概要

当該橋梁は、上部下部が一体となったラーメン橋である。

ラーメン橋は、「道路橋示方書：Ⅴ耐震設計編（平成 14 年 3 月）」により、地震時の挙動が複雑な橋と位置付けされている。

この場合、静的照査法では地震時の挙動を十分に表すことができない場合もあるため道示 7 章に規定されている動的照査法によって耐震性能を照査する。

動的照査法としては、タイプ およびタイプ の地震動に対して、橋脚躯体に材料的非線形性を考慮した非線形時刻歴応答解析を用いた。

### 1.1 設計条件

地盤種別 : 種地盤  
地域区分 : B 地域 ( $C_z=0.85$ )  
使用材料 : 下部工 STK400

### 1.2 解析条件

解析対象 : 橋梁全体  
解析モデル : 立体モデル  
加振方向 : 橋軸・橋軸直角方向  
解析方法 : 直接積分時刻歴応答解析  
非線形モデル : 下部工 バイリニアモデル (M - モデル)  
減衰評価タイプ : Rayleigh 減衰  
使用プログラム : 道路橋示方書対応耐震設計支援システム「EARMEST」

## § 2 . 解析法および解析モデル

### 2.1 解析法

動的照査法は、タイプ およびタイプ の地震動に対して、橋脚躯体の柱部材に材料の非線形性を考慮した直接積分法による時刻歴応答解析法を採用した解析により行った。

積分方法は、最も一般的に使用されている Newmark 法（平均加速度法  $\gamma = 1/4$ ）を採用した。

### 2.2 解析モデル

解析モデルは、橋梁全体系を 3次元の立体解析モデルとしてモデル化し、上部構造および下部構造を棒モデルに置換した骨組モデルである。また、上部構造については線形はり要素、下部構造については橋脚の柱部を非線形はり要素としてモデル化した。支承や基礎地盤バネについては、同一座標に 2つの節点を設け、それらを線形バネ要素で結合しモデル化した。

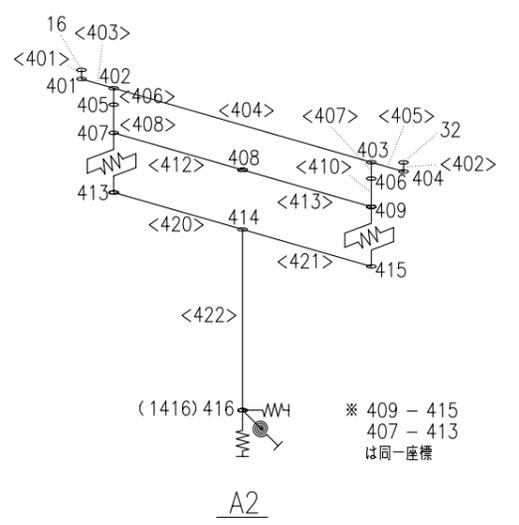
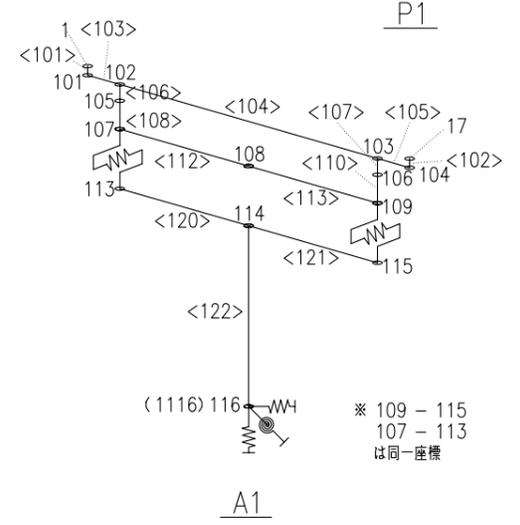
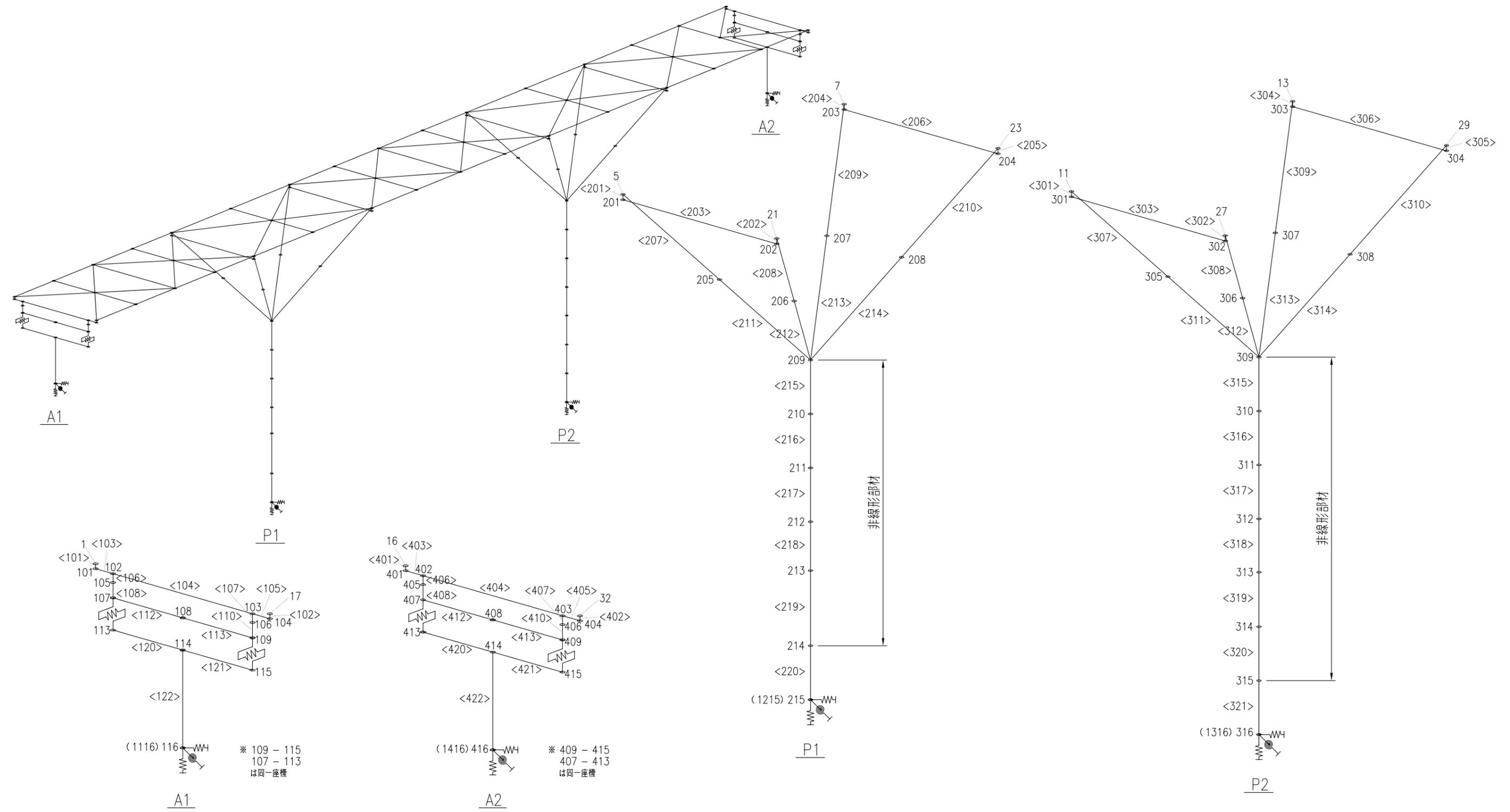
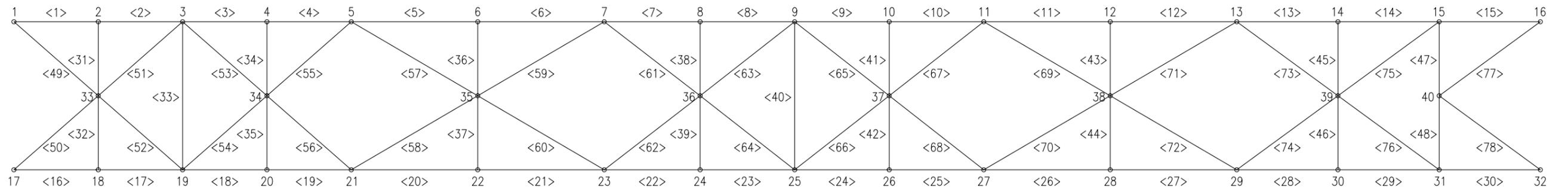
本解析における解析モデルの節点番号および部材番号を次ページのモデル図に示す。また、節点座標および各節点に集中させた質量値を表 - 2.2.1、はり要素の断面定数を表 - 2.2.2~2.2.3、各橋台・橋脚の基礎地盤バネ定数を表 - 2.2.4~表 - 2.2.5 に示す。支承のバネ値を表 - 2.2.6 に示す。

### 2.3 非線形部材

材料の非線形性は、橋脚柱部に考慮した。材料非線形のスケルトン曲線は、曲げモーメント-曲率の関係をを用いた M -  $\phi$  モデルとした。履歴特性においては、圧縮縁降伏と引張縁降伏の数値を算出し小さい方の数値を降伏値としたバイリニア型でモデル化した。

柱部材の曲げモーメントと曲率（M -  $\phi$ ）の関係

	圧縮縁降伏	引張縁降伏	終局
曲げモーメント(kN・m)	434.96	474.92	631.90
曲率(1/m)	0.004484	0.0050143	0.0585699



解析モデル図



表-2.2.3 断面性能

(1/4)

番号	ヤング率 (kN/m <sup>2</sup> )	せん断 弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	断面積 (m <sup>2</sup> )	X軸廻り ねじり定数 (m <sup>4</sup> )	Y軸廻り 断面2次モーメント (m <sup>4</sup> )	Z軸廻り 断面2次モーメント (m <sup>4</sup> )
1	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
2	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
3	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
4	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
5	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
6	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
7	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
8	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
9	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
10	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
11	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
12	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
13	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
14	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
15	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
16	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
17	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
18	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
19	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
20	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
21	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
22	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
23	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
24	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
25	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
26	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
27	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
28	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
29	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
30	2.000E+008	7.700E+007	0.0126000	0.0000010	0.0004170	0.0004440
31	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
32	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
33	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
34	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
35	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
36	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
37	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
38	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
39	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
40	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
41	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
42	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
43	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
44	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
45	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
46	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
47	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
48	2.000E+008	7.700E+007	0.0038110	0.0000010	0.0000050	0.0000260
49	2.000E+008	7.700E+007	0.0017000	0.0000010	0.0000010	0.0000010

表 - 2.2.4 基礎条件 (橋軸方向)

	X方向 (kN/m)	X-Yの連成 (kN/m)	X-Z回転の連成 (kN/rad)
	-----	Y方向(kN/m)	Y-Z回転の連成 (kN/rad)
	-----	-----	Z回転(kN・m/rad)
A1脚	1.0500E+06	0.0000E+00	2.0530E+05
	----	1.2700E+05	0.0000E+00
	----	----	5.6800E+06
P1脚	3.0400E+05	0.0000E+00	0.0000E+00
	----	9.1100E+05	0.0000E+00
	----	----	3.3500E+05
P2脚	3.0400E+05	0.0000E+00	0.0000E+00
	----	9.1100E+05	0.0000E+00
	----	----	3.3500E+05
A2脚	9.9000E+05	0.0000E+00	2.2270E+05
	----	1.8100E+05	0.0000E+00
	----	----	7.4710E+06

表 - 2.2.5 基礎条件 (橋軸直角方向)

	Z方向 (kN/m)	Z-X回転の連成 (kN/rad)	Z-Y回転の連成 (kN/rad)
	-----	X回転 (kN・m/rad)	Y,Z回転の連成 (kN・m/rad)
	-----	-----	Y回転 (kN・m/rad)
A1脚	1.0500E+06	-2.0530E+05	0.0000E+00
	----	5.6800E+06	0.0000E+00
	----	----	1.0000E+10
P1脚	3.0400E+05	0.0000E+00	0.0000E+00
	----	1.7100E+05	0.0000E+00
	----	----	1.0000E+10
P2脚	3.0400E+05	0.0000E+00	0.0000E+00
	----	1.7100E+05	0.0000E+00
	----	----	1.0000E+10
A2脚	9.9000E+05	-2.2270E+05	0.0000E+00
	----	7.4710E+06	0.0000E+00
	----	----	1.0000E+10

### § 3 . 固有値解析

動的解析に先立ち、解析の対象となる橋梁の固有周期や振動モードの把握、および動的解析で用いる減衰項を定義する Rayleigh 減衰を設定することを目的として、固有値解析を行う。

#### 3.1 減衰定数

固有値解析を行う際の各構造要素の減衰定数は、道路橋示方書 V 耐震設計編(平成 14 年 3 月)の表-解 7.3.1 より、表-3.1.1 のように定義した。

表-3.1.1 各構造要素の減衰定数

	減衰定数
上部構造	2 %
支 承	2 %
下部構造	2 %
基 礎	10 %

#### 3.2 固有値解析

固有値解析は、一般的な解析法として使用されている Subspace 法を用いた。固有値解析では、固有周期、振動モード、ひずみエネルギー比例減衰、有効質量等を算出した。算出結果を表 - 3.2.1 ~ 表 - 3.2.2 に示す。ここで算出された固有振動数およびひずみエネルギー比例減衰より、橋軸方向 1 次と 7 次、橋軸直角方向 2 次と 13 次の 2 つのモードを選択し、動的解析で使用する Rayleigh 減衰を図 - 3.2.1 ~ 図 - 3.2.2 のように設定した。

表 - 3.2.1 固有値解析結果 (橋軸方向)

モード次数	振動数 ( 1/s )	固有周期 ( s )	刺激係数 (有効質量比)			ひずみエネルギー 比例減衰
			X軸方向	Y軸方向	Z軸方向	
1 *	2.2833	0.4380	5.2370 (21)	0.0235 (0)	0.0000 (0)	0.04300
2	4.4155	0.2265	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-4.4260 (15)	0.02332
3	6.4795	0.1543	0.1867 (0)	-0.5614 (0)	0.0000 (0)	0.03472
4	6.7522	0.1481	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-2.4810 (5)	0.05573
5	7.6311	0.1310	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.6072 (0)	0.05357
6	8.9559	0.1117	-0.2807 (0)	5.6650 (24)	0.0000 (0)	0.08948
7 *	10.1263	0.0988	-0.6611 (0)	-4.8830 (18)	0.0000 (0)	0.05155
8	11.0620	0.0904	0.3370 (0)	-5.3600 (22)	0.0000 (0)	0.08411
9	12.0037	0.0833	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0957 (0)	0.02578
10	14.9380	0.0669	-0.1988 (0)	-2.1740 (4)	0.0000 (0)	0.02945
11	15.4894	0.0646	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-1.2180 (1)	0.02763
12	17.4192	0.0574	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-1.1930 (1)	0.03123
13	18.8370	0.0531	-0.0003 (0)	0.0001 (0)	4.1660 (13)	0.07538
14	19.5239	0.0512	0.0142 (0)	-0.0038 (0)	2.7370 (6)	0.07573

\* Rayleigh減衰の算定に用いた次数

**Rayleigh減衰**

算定に用いる次数    i = 1    次            hi = 0.0430    i = 14.3462  
                               j = 7    次            hj = 0.0516    j = 63.6256

質量マトリックスの係数    = 0.94849  
 剛性マトリックスの係数    = 0.00139

ここに、

$$= \frac{2h_i \omega_i^2 - \omega_i^4}{\omega_i^2 - \omega_j^2}$$

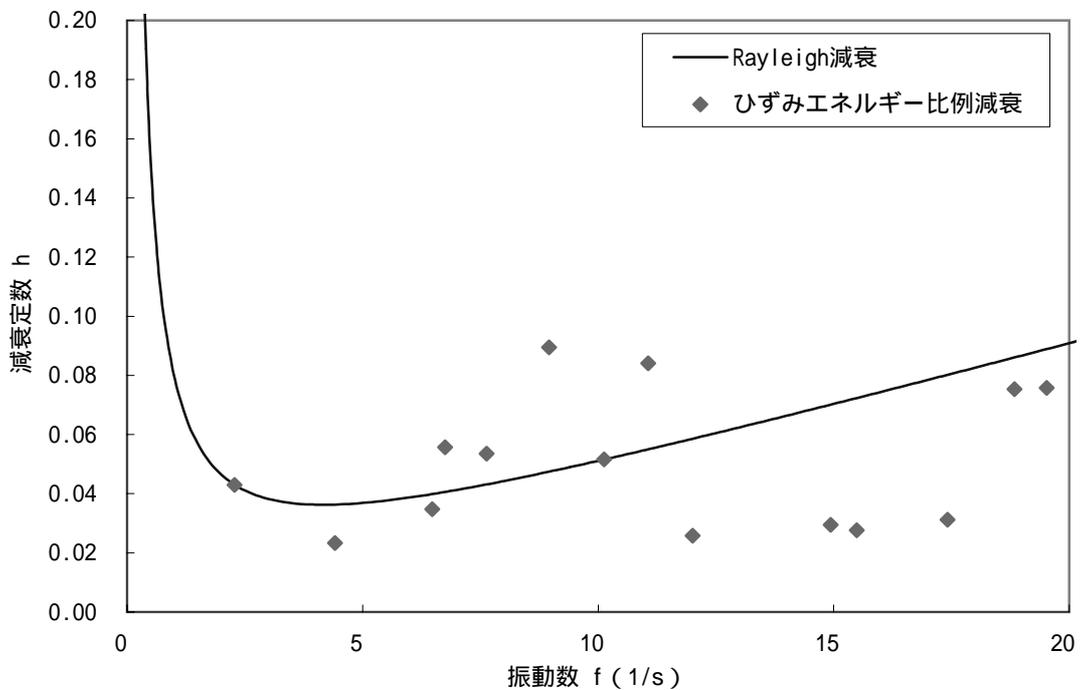


図 - 3.2.1 動的解析に用いた減衰と振動数の関係 (橋軸方向)

表 - 3.2.2 固有値解析結果 (橋軸直角方向)

モード次数	振動数 ( 1/s )	固有周期 ( s )	刺激係数 (有効質量比)			ひずみエネルギー 比例減衰
			X軸方向	Y軸方向	Z軸方向	
1	2.2833	0.4380	5.2370 (21)	0.0235 (0)	0.0000 (0)	0.04300
2 *	4.4155	0.2265	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-4.4260 (15)	0.02332
3	6.4795	0.1543	0.1867 (0)	-0.5614 (0)	0.0000 (0)	0.03472
4	6.7522	0.1481	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-2.4810 (5)	0.05573
5	7.6311	0.1310	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.6072 (0)	0.05357
6	8.9559	0.1117	-0.2807 (0)	5.6650 (24)	0.0000 (0)	0.08948
7	10.1263	0.0988	-0.6611 (0)	-4.8830 (18)	0.0000 (0)	0.05155
8	11.0620	0.0904	0.3370 (0)	-5.3600 (22)	0.0000 (0)	0.08411
9	12.0037	0.0833	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0957 (0)	0.02578
10	14.9380	0.0669	-0.1988 (0)	-2.1740 (4)	0.0000 (0)	0.02945
11	15.4894	0.0646	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-1.2180 (1)	0.02763
12	17.4192	0.0574	0.0000 (0)	0.0000 (0)	-1.1930 (1)	0.03123
13 *	18.8370	0.0531	-0.0003 (0)	0.0001 (0)	4.1660 (13)	0.07538
14	19.5239	0.0512	0.0142 (0)	-0.0038 (0)	2.7370 (6)	0.07573

\* Rayleigh減衰の算定に用いた次数

**Rayleigh減衰**

算定に用いる次数     $i = 2$     次                     $h_i = 0.0233$      $i = 27.7434$   
                                   $j = 13$     次                     $h_j = 0.0754$      $j = 118.3564$

質量マトリックスの係数    =    0.33176  
 剛性マトリックスの係数    =    0.00125

ここに、  

$$= \frac{2h_i \omega_i^2 - \omega_i^4}{\omega_i^2 - \omega_j^2}$$

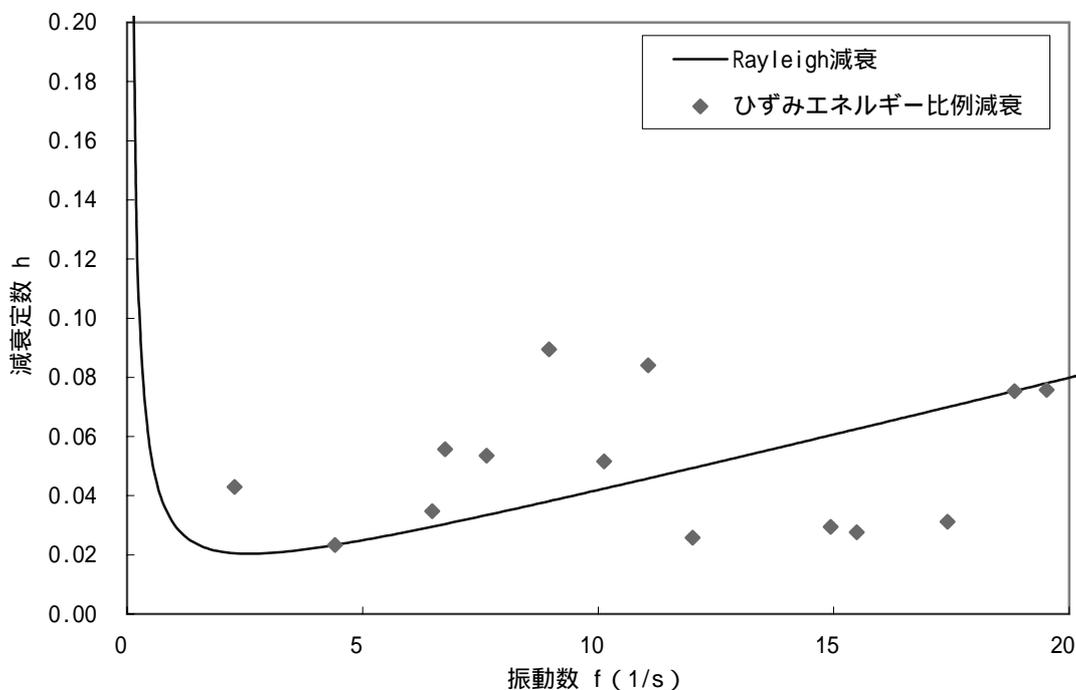


図 - 3.2.2 動的解析に用いた減衰と振動数の関係 (橋軸直角方向)

## § 4 . 非線形動的解析

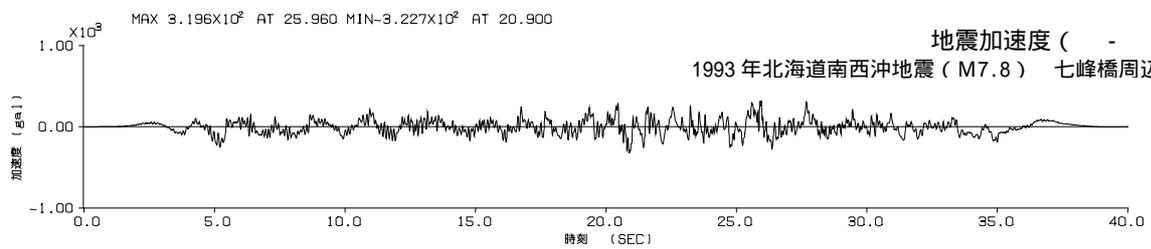
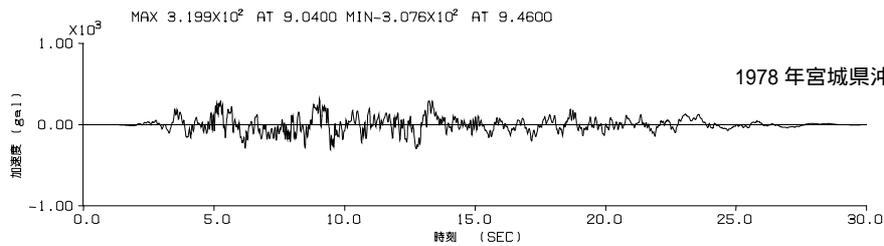
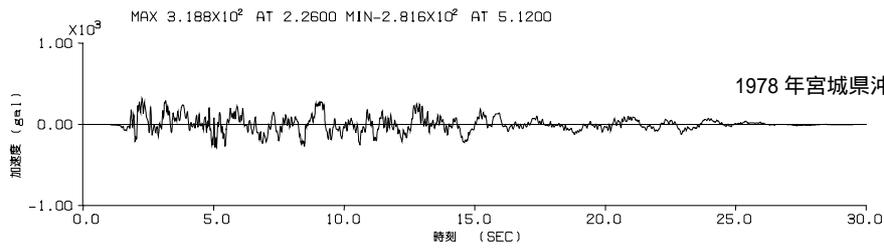
### 4.1 入力地震動

非線形動的解析に考慮した入力地震動は、タイプ とタイプ の 種地盤における加速度波形（各 3 波）を使用する。ここでは、その加速度波形の合計 6 波を橋軸方向に作用させるものとする。使用した強震記録およびその地震加速度波形を次ページに示す。

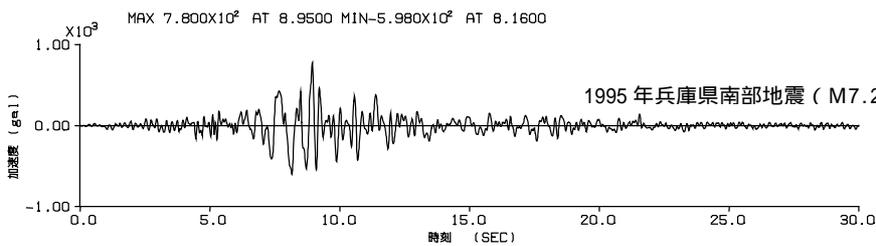
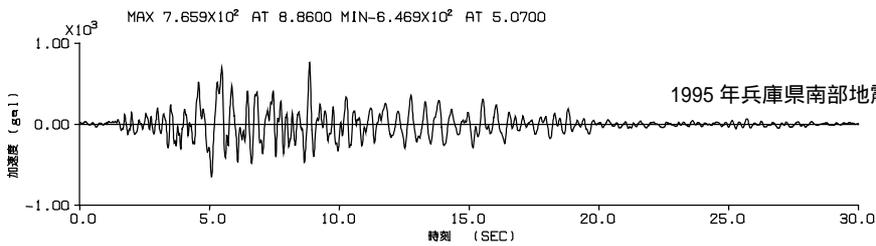
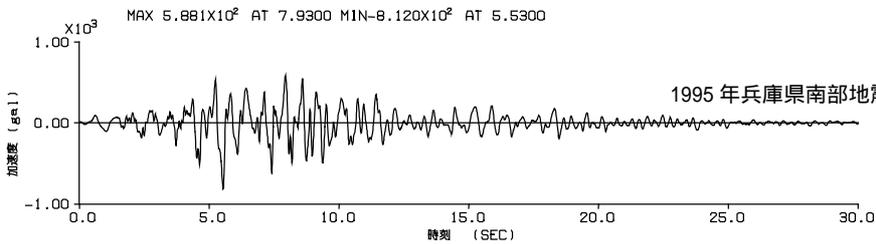
なお、当該地域は B 地域であることから、の加速度波形に地域別補正係数（ $C_z = 0.85$ ）を乗じて作用させた。

### 4.2 非線形動的解析結果

入力地震動による動的解析結果として得られた最大応答値の一覧を表-4.2.1～4.2.2 示す。なお、各橋脚毎の時刻歴図および履歴図については添付資料に示す。



(a) タイプ



(b) タイプ

入力地震加速度波形 ( 種地盤 )





## § 5 . 照査

動的解析による安全性の照査は、橋脚基部の曲率、橋脚柱のせん断力、残留変位、塑対して行った。非線形動的解析結果の照査は、地震動の各タイプに応じた3波の入力地震動を用いて得られた応答値の平均値により行った。ここで、各項目に対する照査は以下のように行った。

本解析の照査結果を表 - 5.1.1 ~ 表 - 5.1.4 に示す。

### ( 1 ) 応答曲率に対する照査

柱部の応答曲率が許容曲率以下であることを照査した。

表-5.1.1 最大応答曲率の照査(橋軸方向)

	タイプ の地震動					
	- - 1	- - 2	- - 3	平均	許容値	判定
	max	max	max	mean	y0	
(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)		
P1-215	0.000652	-0.000591	0.000626	0.000623	0.058570	OK
P1-216	-0.000057	-0.000055	-0.000061	0.000058	0.058570	OK
P1-217	-0.000771	0.000628	-0.000741	0.000713	0.058570	OK
P1-218	-0.001455	0.001215	-0.001395	0.001355	0.058570	OK
P1-219	-0.002284	0.001927	-0.002190	0.002134	0.058570	OK
P2-315	0.000785	-0.000630	0.000741	0.000719	0.058570	OK
P2-316	0.000191	-0.000154	0.000180	0.000175	0.058570	OK
P2-317	-0.000410	0.000335	-0.000397	0.000381	0.058570	OK
P2-318	-0.001012	0.000818	-0.000968	0.000933	0.058570	OK
P2-319	-0.001620	0.001308	-0.001544	0.001491	0.058570	OK
P2-320	-0.002233	0.001807	-0.002127	0.002056	0.058570	OK

表-5.1.2 最大応答曲率の照査(橋軸方向)

	タイプ の地震動					
	- - 1	- - 2	- - 3	平均	許容値	判定
	max	max	max	mean	y0	
(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)		
P1-215	-0.002086	-0.001742	0.001903	0.001910	0.058570	OK
P1-216	-0.000601	-0.000426	0.000526	0.000518	0.058570	OK
P1-217	-0.001904	-0.001738	0.001909	0.001850	0.058570	OK
P1-218	0.003179	0.003111	0.003231	0.003174	0.058570	OK
P1-219	0.008151	0.006703	-0.007712	0.007522	0.058570	OK
P2-315	-0.002117	-0.001873	0.002038	0.002009	0.058570	OK
P2-316	-0.000793	-0.000607	0.000733	0.000711	0.058570	OK
P2-317	-0.001154	-0.001003	0.001109	0.001089	0.058570	OK
P2-318	-0.002338	-0.002217	0.002295	0.002283	0.058570	OK
P2-319	-0.003534	-0.003445	0.003473	0.003484	0.058570	OK
P2-320	0.008363	0.006757	-0.008014	0.007711	0.058570	OK

表-5.1.3 最大応答曲率の照査(橋軸直角方向)

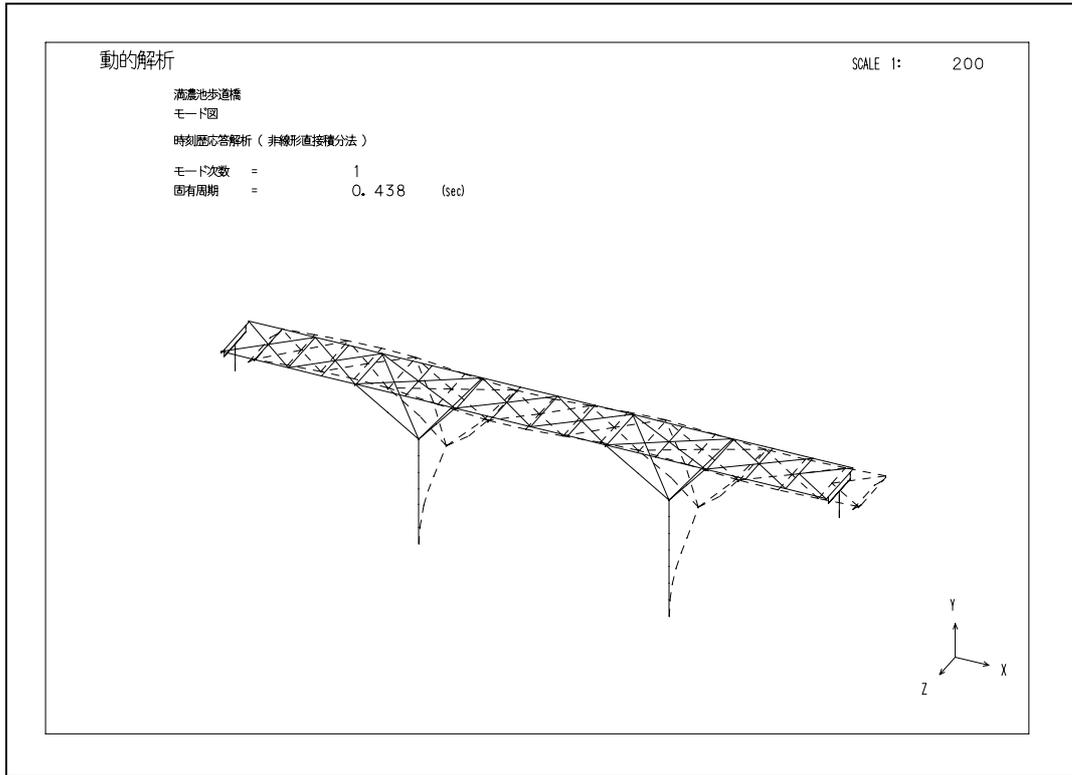
	タイプ の地震動					
	- - 1	- - 2	- - 3	平均	許容値	判定
	max	max	max	mean	y0	
(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)		
P1-215	-0.000304	0.000366	-0.000237	0.000302	0.058570	OK
P1-216	-0.000212	0.000273	-0.000195	0.000227	0.058570	OK
P1-217	-0.000147	-0.000190	-0.000171	0.000169	0.058570	OK
P1-218	0.000157	-0.000198	-0.000181	0.000179	0.058570	OK
P1-219	0.000234	0.000267	-0.000307	0.000269	0.058570	OK
P2-315	-0.000327	0.000391	0.000306	0.000341	0.058570	OK
P2-316	-0.000237	0.000296	0.000214	0.000249	0.058570	OK
P2-317	-0.000155	0.000201	-0.000156	0.000171	0.058570	OK
P2-318	0.000131	-0.000167	-0.000139	0.000146	0.058570	OK
P2-319	0.000205	0.000205	-0.000224	0.000211	0.058570	OK
P2-320	0.000300	-0.000316	-0.000329	0.000315	0.058570	OK

表-5.1.4 最大応答曲率の照査(橋軸直角方向)

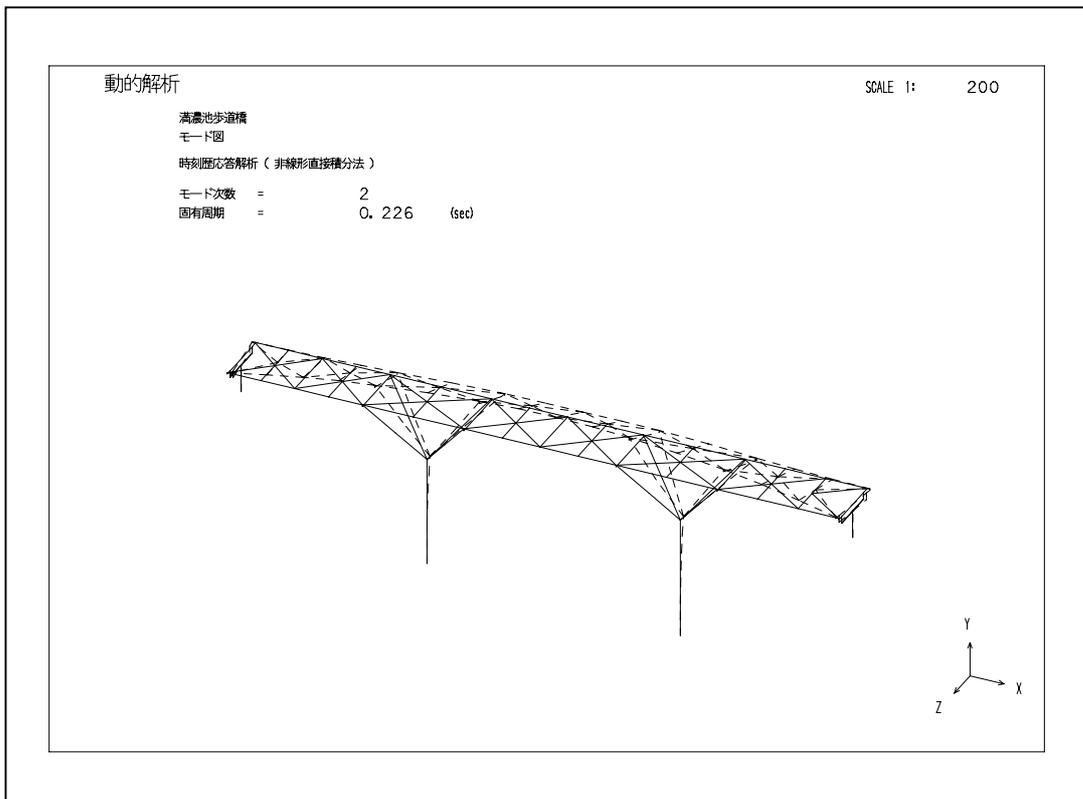
	タイプ の地震動					
	- - 1	- - 2	- - 3	平均	許容値	判定
	max	max	max	mean	y0	
(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)	(1/m)		
P1-215	0.000637	-0.000585	-0.000431	0.000551	0.058570	OK
P1-216	0.000526	-0.000497	0.000355	0.000459	0.058570	OK
P1-217	0.000417	-0.000413	0.000333	0.000388	0.058570	OK
P1-218	-0.000391	0.000423	0.000316	0.000377	0.058570	OK
P1-219	-0.000482	0.000505	0.000419	0.000469	0.058570	OK
P2-315	0.000627	0.000584	-0.000426	0.000546	0.058570	OK
P2-316	0.000507	-0.000459	-0.000328	0.000431	0.058570	OK
P2-317	0.000403	-0.000378	0.000294	0.000358	0.058570	OK
P2-318	-0.000332	0.000338	0.000274	0.000315	0.058570	OK
P2-319	-0.000385	0.000403	0.000362	0.000383	0.058570	OK
P2-320	-0.000470	0.000547	0.000526	0.000514	0.058570	OK

## 固有値解析 / 振動モード図

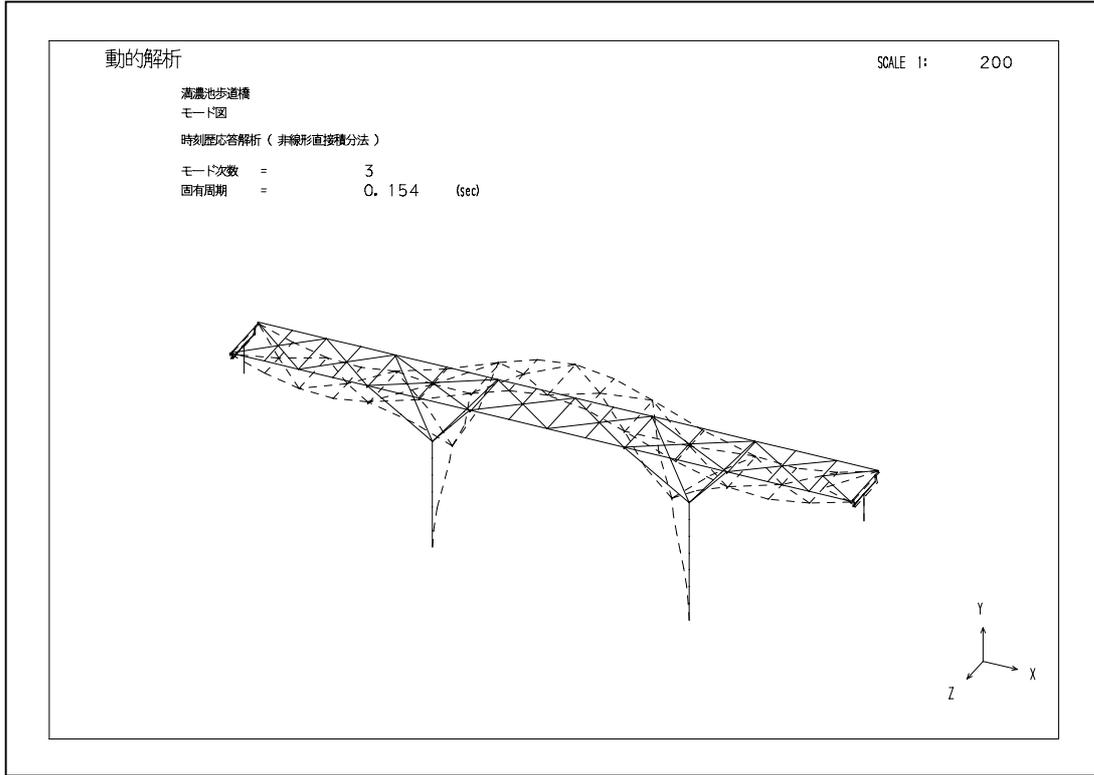
1 ~ 14 次 (7 枚)



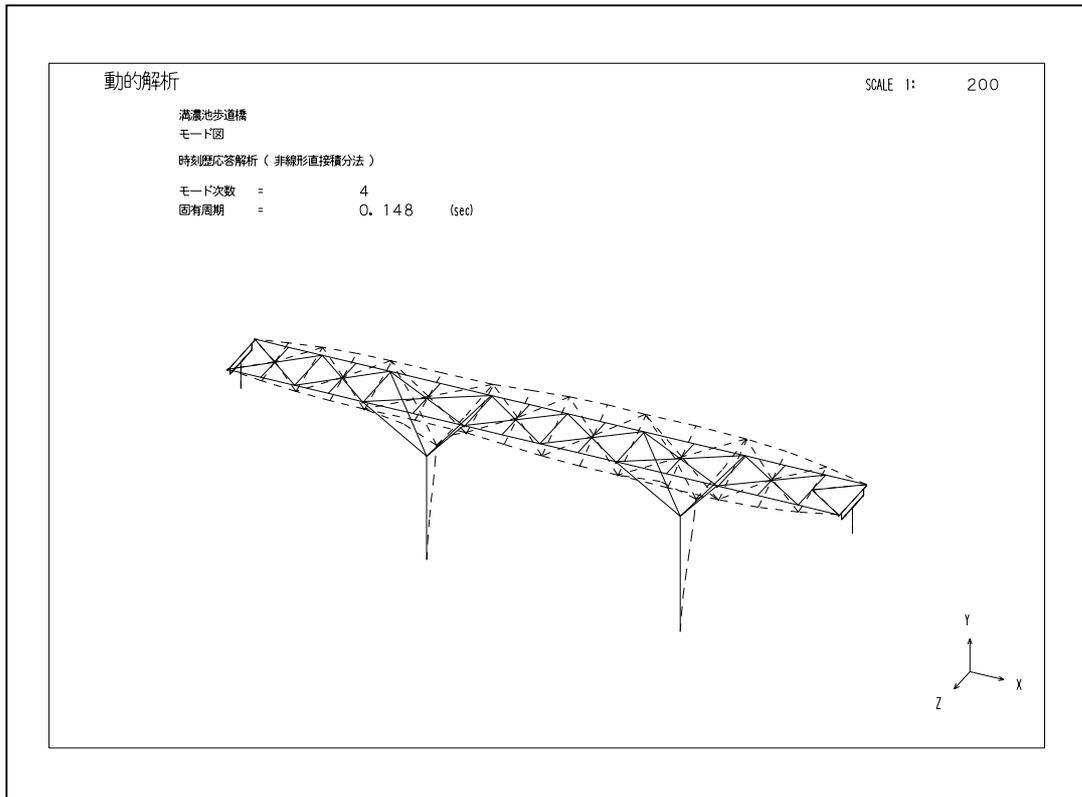
1次モード



2次モード



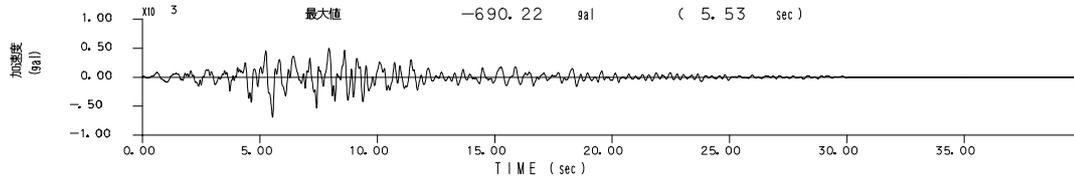
3 次モード



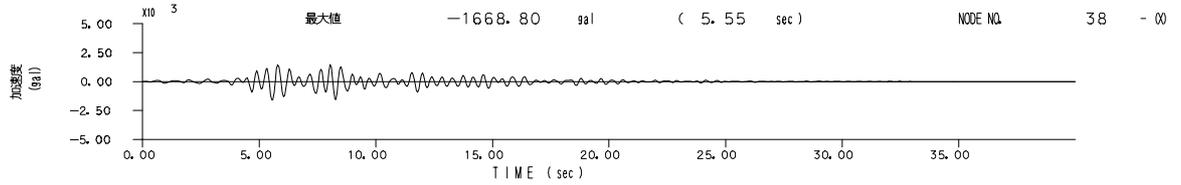
4 次モード

## 時刻歴応答値図 / 履歴図

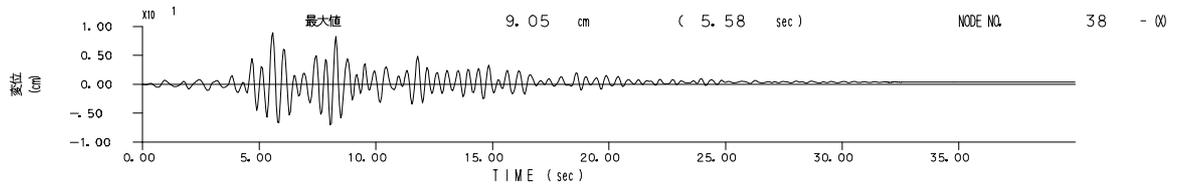
入力地震加速度



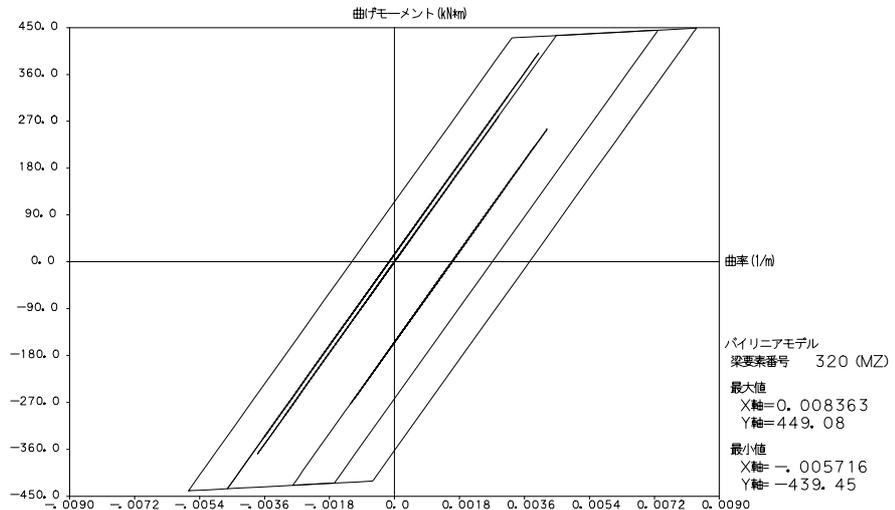
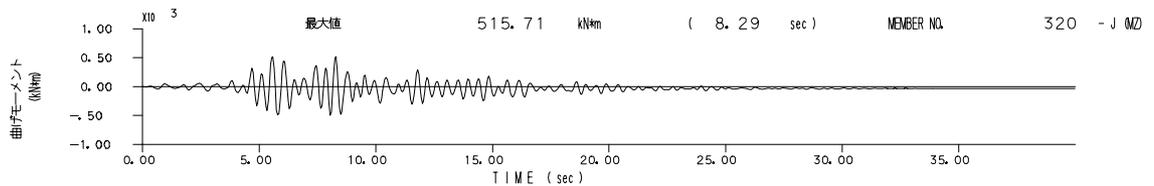
上部構造慣性力作用位置の加速度



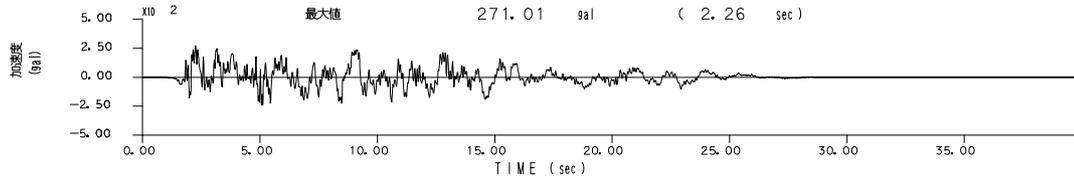
上部構造慣性力作用位置の変位



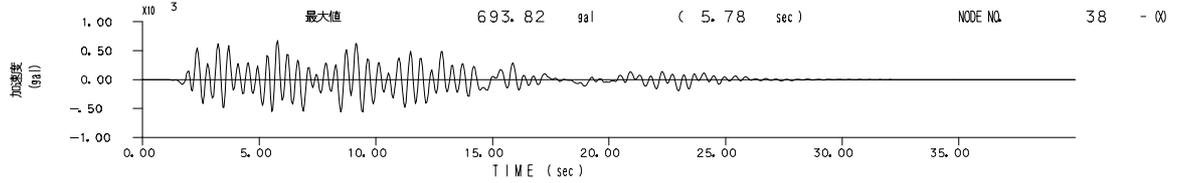
M-φ履歴図



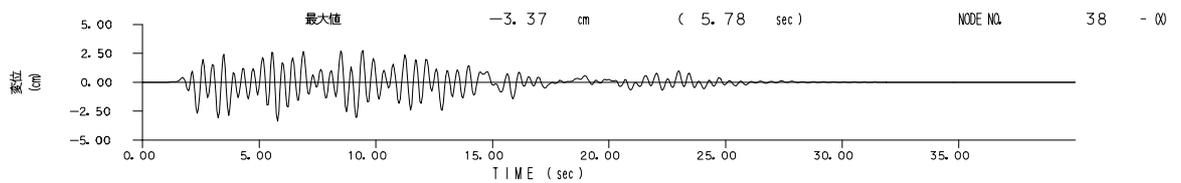
入力地震加速度



上部構造慣性力作用位置の加速度



上部構造慣性力作用位置の変位



M-φ履歴図

