

例題8

8-1 検討計算

反力分散沓つきPC橋の解析例である。

検討計算は表8. 1. 1に示すとおりとした。

表8. 1. 1 検討内容

検討計算	検討内容
動的解析	非線形動的解析(タイプ1、橋軸方向)
	非線形動的解析(タイプ2、橋軸方向)

8-2 解析モデル

本例題は図8. 2. 1～8. 2. 7に示すような仮想橋である。主な仕様を以下に示す。また、節点番号と集中重量を表8. 2. 7、要素番号と断面諸元を表8. 2. 8～8. 2. 10、非線形特性を表8. 2. 11～8. 2. 12に示す。

(1) 構造形式

形式 : 反力分散沓つきPC橋
基礎形式 : 直接基礎
橋長 : 144. 0m
支間 : 48. 0m+48. 0m+48. 0m

(2) 種別等

重要度の区分 : B種の橋(重要)
地域区分 : A地域($C_z=1. 0$)
耐震設計上の地盤種別 : I種地盤

(3) 解析条件

動的解析手法 : 非線形動的解析

入力地震動 : 地盤種別 I 種地盤
T1-I-1、T1-I-2、T1-I-3(タイプ1地震動)及び
T2-I-1、T2-I-2、T2-I-3(タイプ2地震動)

橋脚のモデル化 : 橋脚躯体を非線形部材としてモデル化。
橋脚下端に塑性ヒンジ(非線形回転ばね)を設定し、橋脚柱部分は非線形はり要素でモデル化。履歴特性は剛性低下型トリリニア(修正武田型)。

数値計算法 : 直接積分法
 積分手法 Newmark β 法 ($\beta=1/4$)
 積分時間間隔 0.002 秒
 解析継続時間 標準波形の継続時間 +10.0 秒
 (表8. 2. 1を参考)

表8. 2. 1 解析継続時間(I種地盤;単位:秒)

	TYPE1 地震動			TYPE2 地震動		
	T1-I-1	T1-I-2	T1-I-3	T2-I-1	T2-I-2	T2-I-3
標準波形の継続時間	30.0	30.0	40.0	30.0	30.0	30.0
解析継続時間	40.0	40.0	50.0	40.0	40.0	40.0

減衰 : 主要な振動モードに着目して減衰を決定する Rayleigh(レーリー)減衰を使用。またモード減衰定数をひずみエネルギー比例減衰で計算する際の各部材の減衰定数は、道路橋示方書 V耐震設計編(H8. 12)より以下の通りに設定した。

表8. 2. 2 各部材の減衰定数

構造部材	減衰定数
上部工	0.03
支承	0.02
下部工	0.02
基礎(地盤ばね)	0.10

支承条件 : 道路橋示方書 V耐震設計編(H8. 12)より以下の通り設定した。

表8. 2. 3 橋軸方向支承ばね部の設定内容

水平方向(X軸)	鉛直方向(Y軸)	橋軸直角軸回り(Z軸回り)
支承ばね	拘束	自由

表8. 2. 4 橋軸方向支承ばねのゴム層厚

A1橋台	P1橋脚	P2橋脚	A2橋台
165mm	140mm	140mm	165mm

塑性ヒンジばね条件 : 道路橋示方書 V耐震設計編(H8. 12)より以下の通り設定した。

表8. 2. 5 橋軸方向塑性ヒンジばねの設定内容

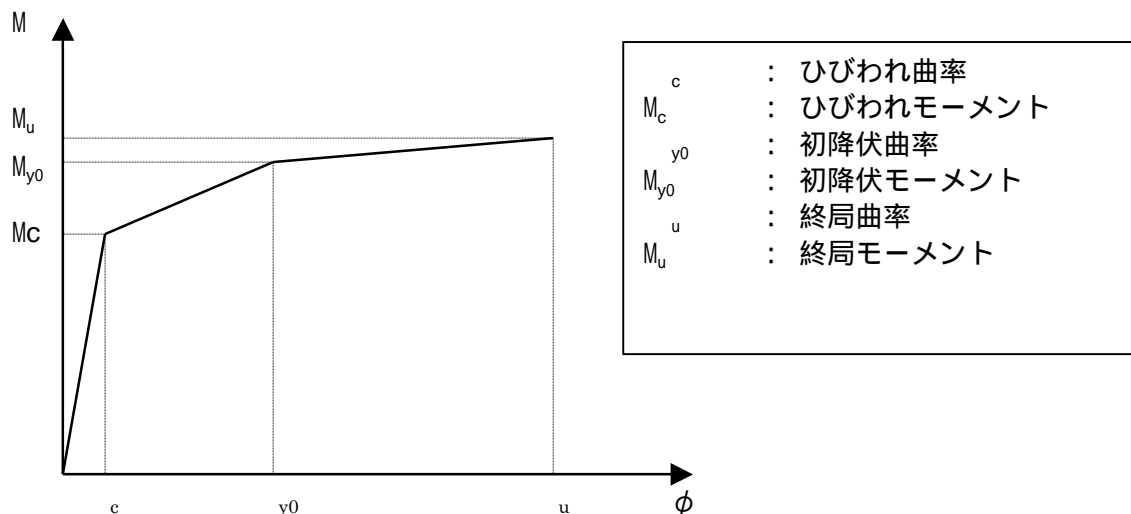
水平方向(X軸)	鉛直方向(Y軸)	橋軸直角軸回り(Z軸回り)
拘束	拘束	塑性ヒンジばね

拘束条件 : 橋台、橋脚下端において地盤ばねを設定。(条件は別表を参考)

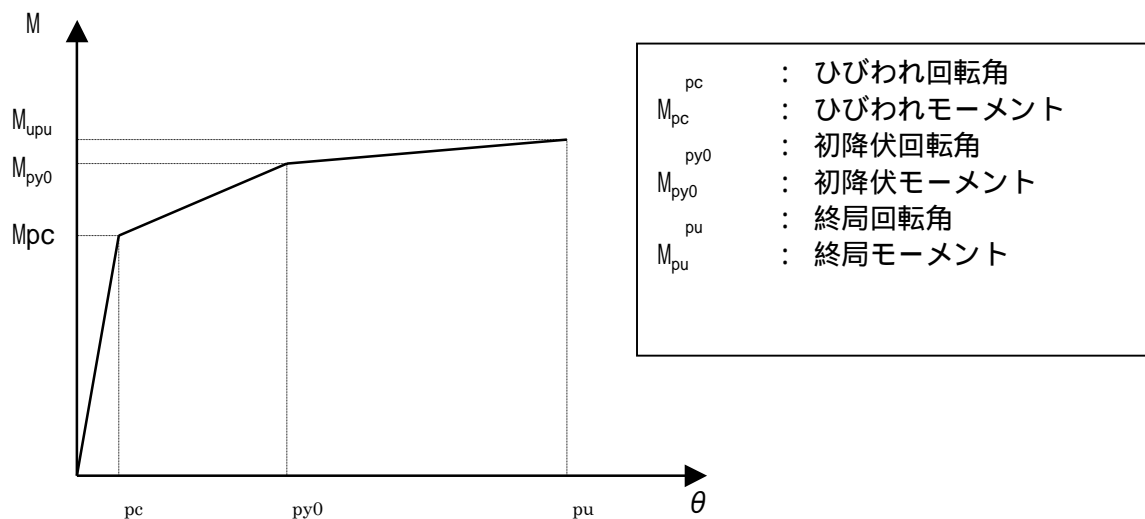
非線形履歴曲線の条件 :

橋脚柱部材の非線形はり要素(M- ϕ モデル)、橋脚下端塑性ヒンジばねの非線形回転ばね(M- θ モデル)の履歴特性は、剛性低下型トリリニアモデル(修正武田型)をもちいた。

M- ϕ モデル(非線形はり要素)



M- θ モデル(非線形回転ばね)



橋脚部の初期剛性について :

橋脚柱部材のうち非線形要素の断面2次モーメントはM- ϕ 曲線の初期勾配をヤング率で割った値、塑性ヒンジばね要素のばね定数はM- θ 曲線の初期勾配の値を用いている。(設定した非線形曲線に合わせるため)

各橋脚の橋脚基部から慣性力作用位置までの距離と塑性ヒンジ長について：
本例題における橋脚基部から慣性力作用位置までの距離と塑性ヒンジ長を表8. 2. 6に示す。

表8. 2. 6 各橋脚の塑性ヒンジ長

橋脚名	橋脚基部から慣性力作用位置までの距離 H(m)	断面高さ D(m)	塑性ヒンジ長 Lp(m)
P1	16.3	2.1	1.05
P2	16.8	2.1	1.05

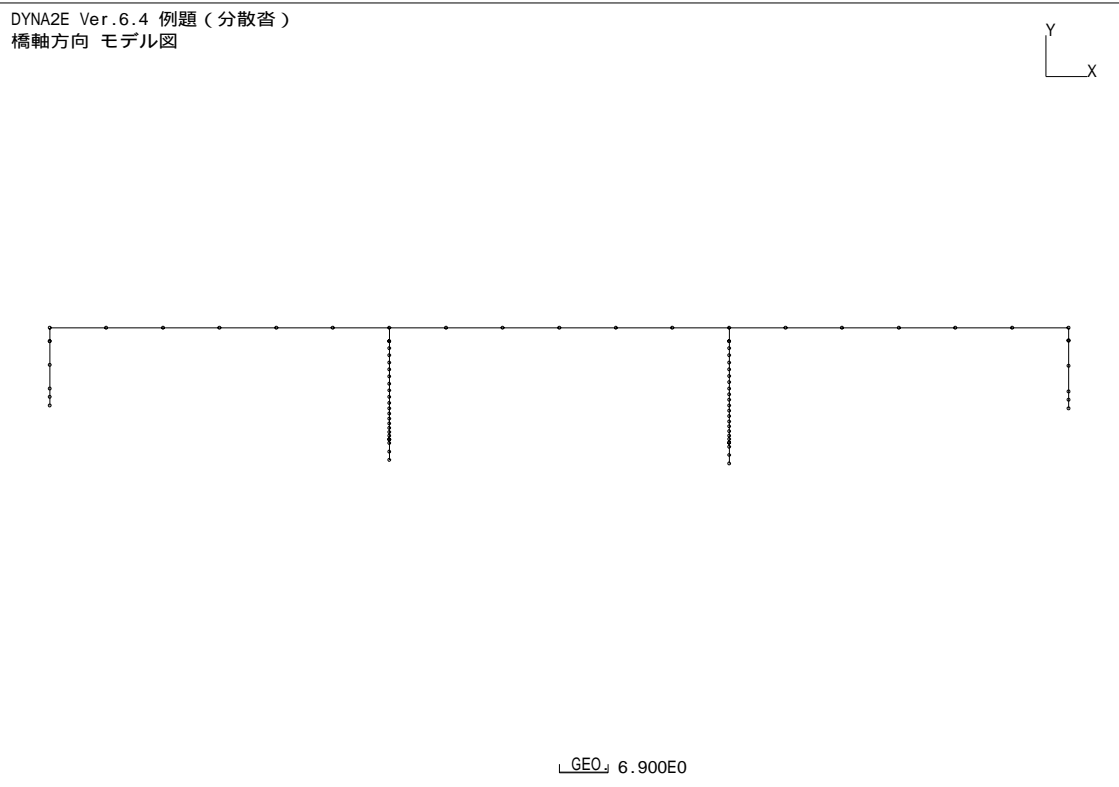


図8. 2. 1 全体図

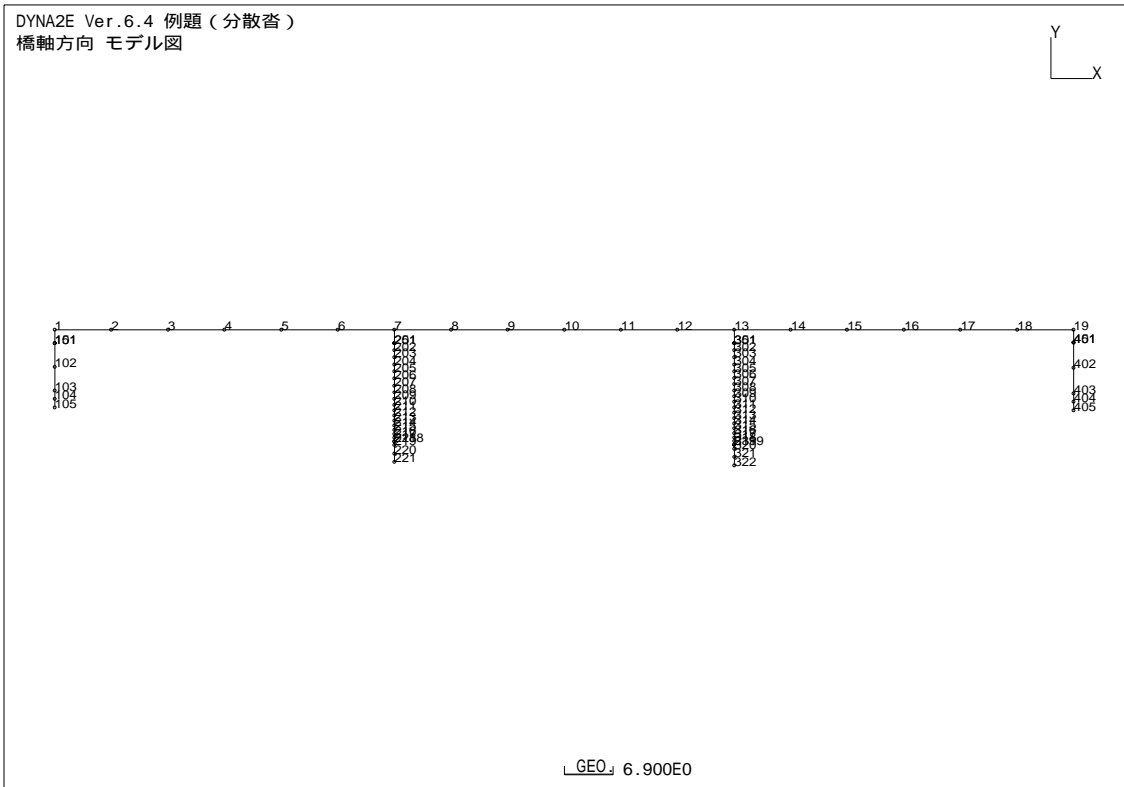


図8. 2. 2 節点番号図(その1)

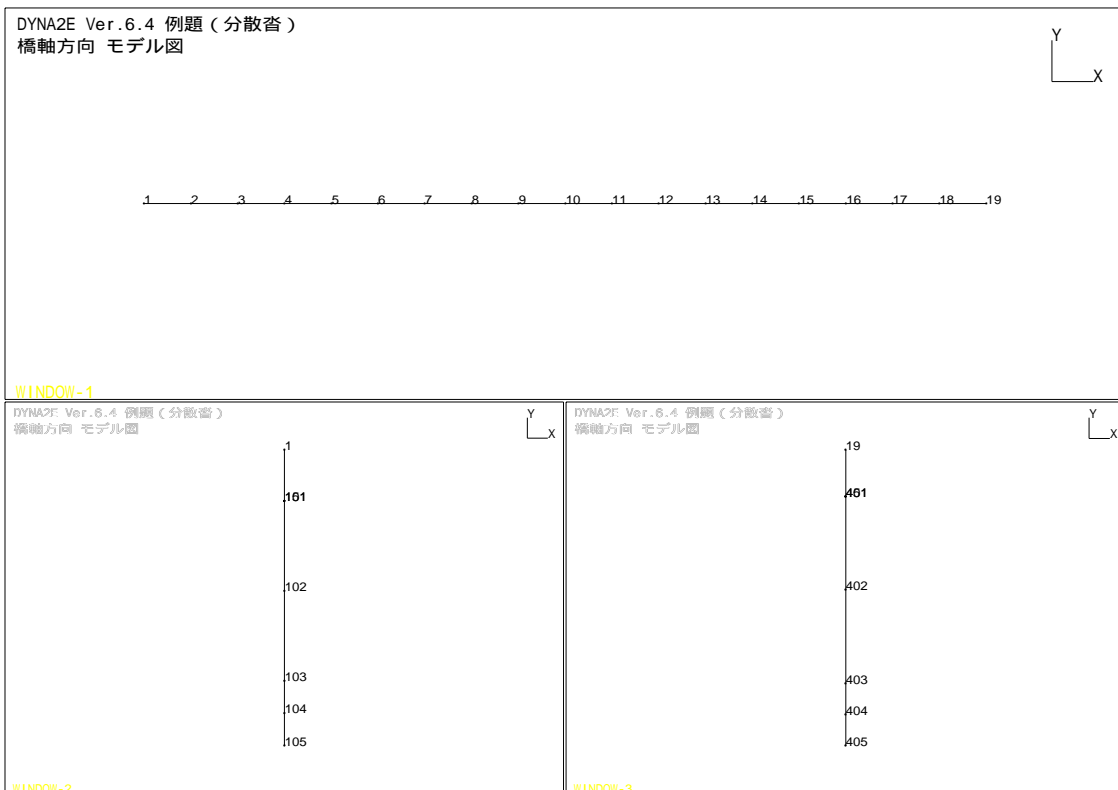


図8. 2. 3 節点番号図(その2;上:上部工, 左下:A1橋台, 右下:A2橋台)

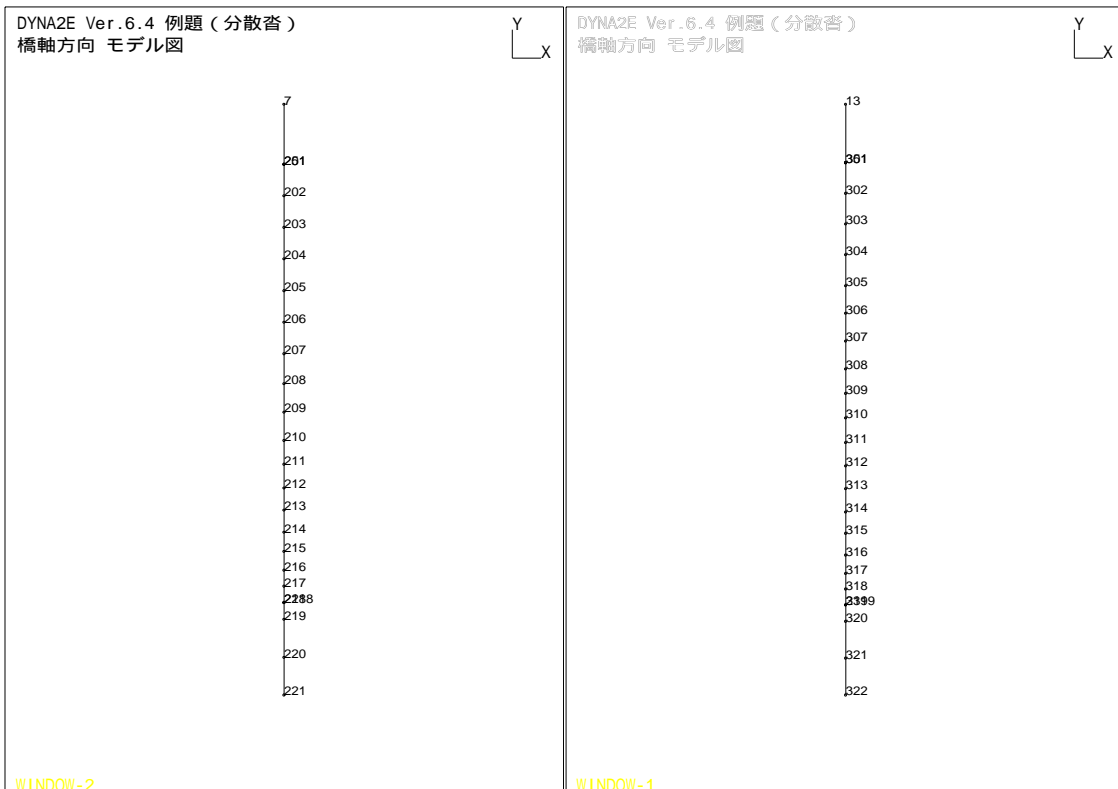


図8. 2. 4 節点番号図(その3;左:P1橋脚, 右:P2橋脚)

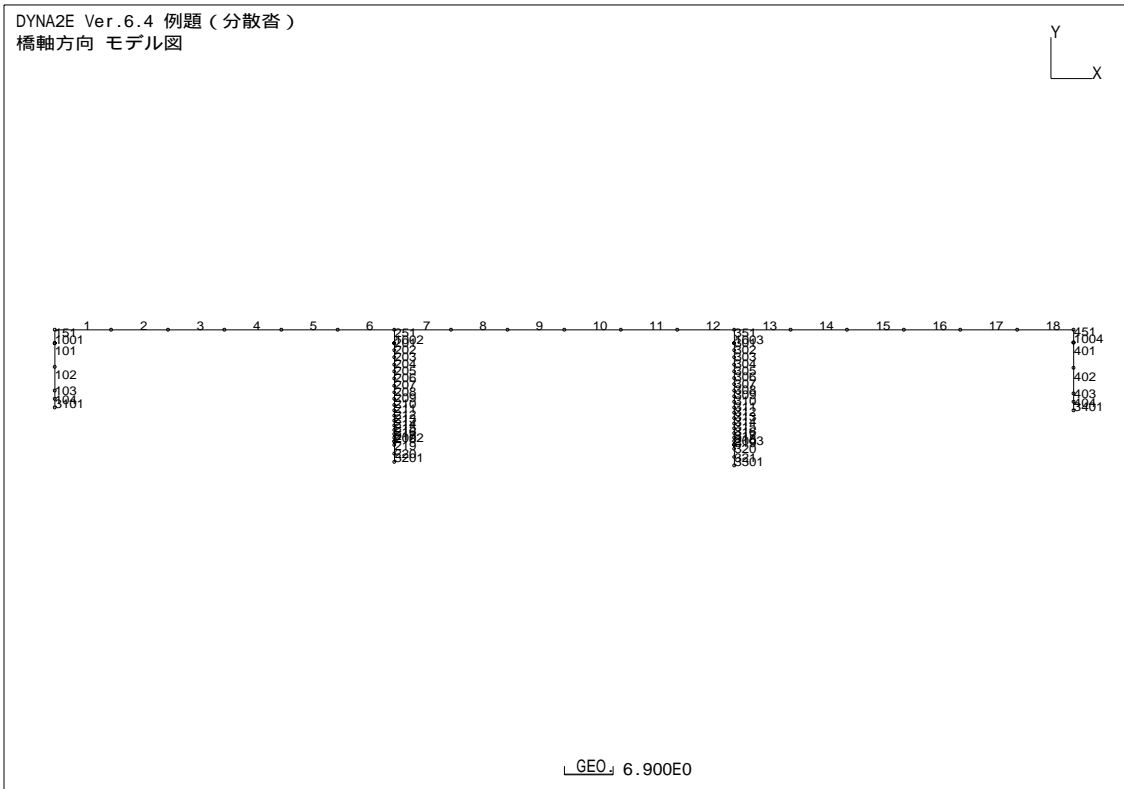


図8. 2. 5 要素番号図(その1)

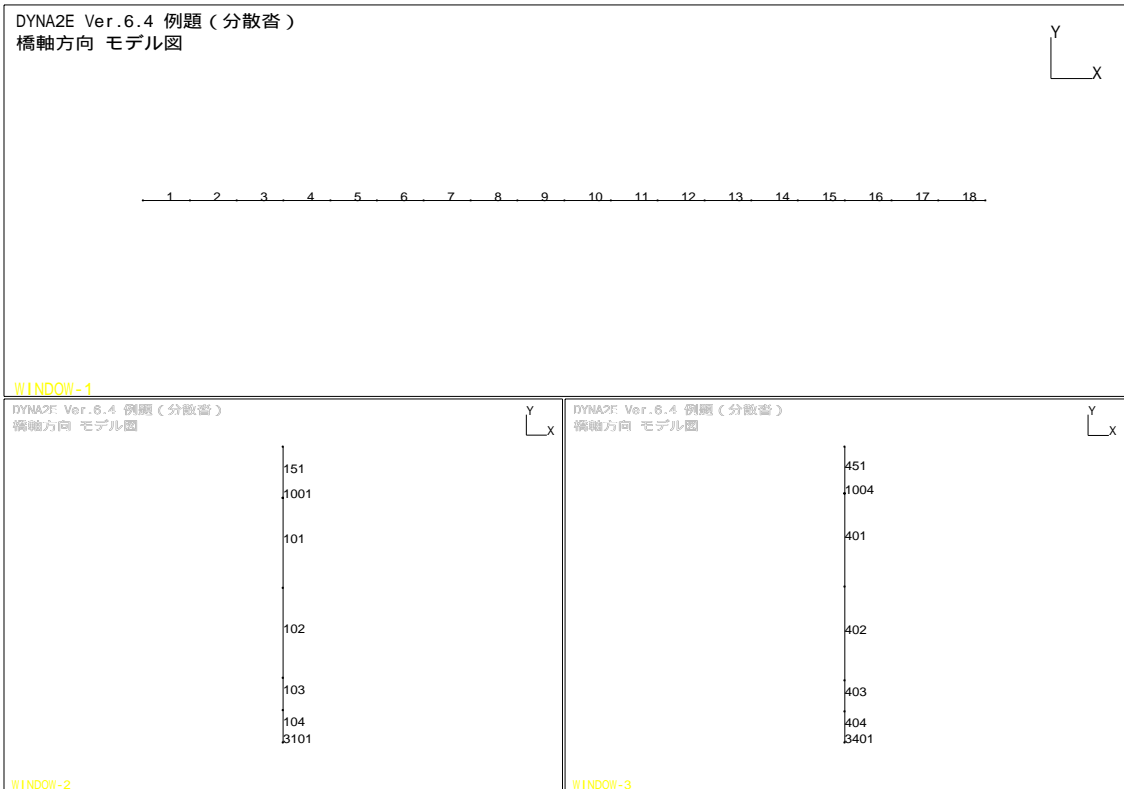


図8. 2. 6 要素番号図(その2;上:上部工, 左下:A1橋台, 右下:A2橋台)

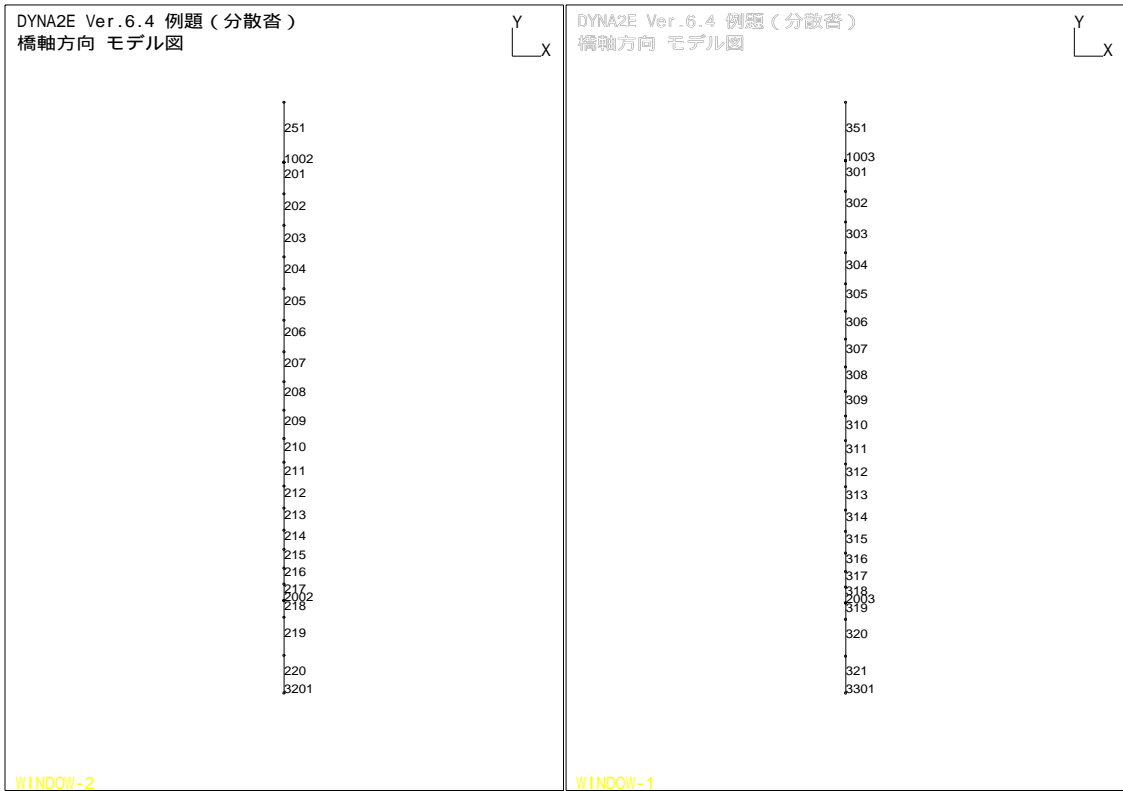


図8. 2. 7 要素番号図(その3;左:P1橋脚, 右:P2橋脚)

表8. 2. 7 節点番号・集中重量

(1) 上部工

節点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	集中重量 (KN)
1	-72.000	0.000	1518.000
2	-64.000	0.000	
3	-56.000	0.000	
4	-48.000	0.000	3036.200
5	-40.000	0.000	
6	-32.000	0.000	
7	-24.000	0.000	4402.500
8	-16.000	0.000	
9	-8.000	0.000	
10	0.000	0.000	4980.000
11	8.000	0.000	
12	16.000	0.000	
13	24.000	0.000	4402.500
14	32.000	0.000	
15	40.000	0.000	
16	48.000	0.000	3036.200
17	56.000	0.000	
18	64.000	0.000	
19	72.000	0.000	1518.000

(2) A1橋台

節点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	集中重量 (KN)
151	-72.000	-1.900	
101	-72.000	-1.900	
102	-72.000	-5.250	4807.880
103	-72.000	-8.600	
104	-72.000	-9.800	5071.500
105	-72.000	-11.000	

(3) P1橋脚

節点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	集中重量 (KN)
251	-24.000	-1.900	
201	-24.000	-1.900	
202	-24.000	-2.900	1080.450
203	-24.000	-3.900	205.800
204	-24.000	-4.900	411.600
205	-24.000	-5.900	411.600
206	-24.000	-6.900	411.600
207	-24.000	-7.900	401.310
208	-24.000	-8.850	380.730
209	-24.000	-9.750	370.440
210	-24.000	-10.650	339.570
211	-24.000	-11.400	308.700
212	-24.000	-12.150	298.410
213	-24.000	-12.850	288.120
214	-24.000	-13.550	267.540
215	-24.000	-14.150	246.960
216	-24.000	-14.750	226.380
217	-24.000	-15.250	318.990
218	-24.000	-15.775	
2218	-24.000	-15.775	
219	-24.000	-16.300	216.090
220	-24.000	-17.500	5409.600
221	-24.000	-18.700	

(4) P2橋脚

節点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	集中重量 (KN)
351	24.000	-1.900	
301	24.000	-1.900	
302	24.000	-2.900	1080.450
303	24.000	-3.900	205.800
304	24.000	-4.900	411.600
305	24.000	-5.900	391.020
306	24.000	-6.800	370.440
307	24.000	-7.700	370.440
308	24.000	-8.600	349.860
309	24.000	-9.400	329.280
310	24.000	-10.200	329.280
311	24.000	-11.000	318.990
312	24.000	-11.750	308.700
313	24.000	-12.500	308.700
314	24.000	-13.250	298.410
315	24.000	-13.950	288.120
316	24.000	-14.650	267.540
317	24.000	-15.250	226.380
318	24.000	-15.750	318.990
319	24.000	-16.275	
2319	24.000	-16.275	
320	24.000	-16.800	216.090
321	24.000	-18.000	5409.600
322	24.000	-19.200	

(5) A2橋台

節点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	集中重量 (KN)
451	72.000	-1.800	
401	72.000	-1.800	
402	72.000	-5.400	5129.280
403	72.000	-9.000	
404	72.000	-10.200	5409.600
405	72.000	-11.400	

(6) 相对変位

節点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	備考
5001	-67.000	5.000	A1橋台
5002	-67.000	5.000	P1橋脚
5003	-67.000	5.000	P2橋脚
5004	-67.000	5.000	A2橋台

表8. 2. 8 要素番号と断面諸元(その1)

● はり要素

(1)上部工

要素番号	部材端節点番号		断面積 A(m ²)	ヤング率 (kN/m ²)	せん断 弾性係数 (kN/m ²)	断面2次 モーメント Iz(m ⁴)	減衰比
	I端	J端					
1	1	2	0.580	2.00E+08	77000000	0.49110	0.03
2	2	3					
3	3	4					
4	4	5					
5	5	6					
6	6	7					
7	7	8	0.643				
8	8	9					
9	9	10					
10	10	11					
11	11	12					
12	12	13					
13	13	14	0.580				
14	14	15					
15	15	16					
16	16	17					
17	17	18					
18	18	19					

(2)A1橋台

要素番号	部材端節点番号		断面積 A(m ²)	ヤング率 (kN/m ²)	せん断 弾性係数 (kN/m ²)	断面2次 モーメント Iz(m ⁴)	減衰比
	I端	J端					
151	1	151	∞	2.50E+07	10869565	∞	0.02
101	101	102	26.40			12.67200	
102	102	103	∞			∞	
103	103	104	∞			∞	
104	104	105	∞			∞	

(3)P1橋脚

要素番号	部材端節点番号		断面積 A(m ²)	ヤング率 (kN/m ²)	せん断 弾性係数 (kN/m ²)	断面2次 モーメント Iz(m ⁴)	減衰比
	I端	J端					
251	7	251	∞	2.50E+07	10869565	∞	0.02
201	201	202	∞			∞	
202	202	203	∞			∞	
203	203	204	16.80			16.47323	
204	204	205				16.47128	
205	205	206				16.46938	
206	206	207				16.46752	
207	207	208				16.46579	
208	208	209				16.46419	
209	209	210				16.46261	
210	210	211				16.46116	
211	211	212				16.45985	
212	212	213				16.45861	
213	213	214				16.45743	
214	214	215				16.45638	
215	215	216				16.45543	
216	216	217				16.46464	
217	217	218	∞			∞	
218	2218	219	∞			∞	
219	219	220	∞			∞	
220	220	221	∞			∞	

表8. 2. 9 要素番号と断面諸元(その2)

● はり要素

(4)P2橋脚

要素 番号	部材端節点番号		断面積 A(m ²)	ヤング率 (kN/m ²)	せん断 弾性係数 (kN/m ²)	断面2次 モーメント Iz(m ⁴)	減衰比
	I端	J端					
351	13	351	∞	2.50E+07	10869565	∞	0.02
301	301	302	∞			∞	
302	302	303	∞			∞	
303	303	304	16.80			16.47384	
304	304	305				16.47190	
305	305	306				16.47001	
306	306	307				16.46825	
307	307	308				16.46661	
308	308	309				16.46501	
309	309	310				16.46352	
310	310	311				16.46214	
311	311	312				16.46084	
312	312	313				16.45959	
313	313	314				16.45836	
314	314	315				16.45723	
315	315	316				16.45624	
316	316	317				16.45530	
317	317	318	16.45317				
318	318	319	∞			∞	
319	2319	320	∞			∞	
320	320	321	∞			∞	
321	321	322	∞	∞			

(5)A2橋台

要素 番号	部材端節点番号		断面積 A(m ²)	ヤング率 (kN/m ²)	せん断 弾性係数 (kN/m ²)	断面2次 モーメント Iz(m ⁴)	減衰比
	I端	J端					
451	19	451	∞	2.50E+07	10869565	∞	0.02
401	401	402	26.40			12.67200	
402	402	403				∞	
403	403	404	∞			∞	
404	404	405	∞			∞	

表8. 2. 10 要素番号と断面諸元(その3)

● ばね要素(1)

要素番号	部材端節点番号		ばね定数	備考
	I端	J端		
1001	1101	101	6880.0	A1 支承ばね(KN/m)
1002	1201	201	19600.0	P1 支承ばね(KN/m)
1003	1301	301	19600.0	P2 支承ばね(KN/m)
1004	1401	401	6880.0	P2 支承ばね(KN/m)
2002	218	2218	3.91739E+8	P1 塑性ヒンジばね(kN・m/rad)
2003	319	2319	3.91270E+8	P2 塑性ヒンジばね(kN・m/rad)

● ばね要素(2)

要素番号	部材端節点番号		ばね定数			備考
	I端	J端	Kx (kN/m)	Ky (kN/m)	Krx (kN・m/rad)	
3101	105		4.7846E+05			A1 地盤ばね(X軸)
3102	105			1.4001E+06		A1 地盤ばね(Y軸)
3106	105				6.5630E+07	A1 地盤ばね(Z軸回り)
3201	223		4.8590E+05			P1 地盤ばね(X軸)
3202	223			1.4025E+06		P1 地盤ばね(Y軸)
3206	223				6.6819E+07	P1 地盤ばね(Z軸回り)
3301	319		4.8590E+05			P2 地盤ばね(X軸)
3302	319			1.4025E+06		P2 地盤ばね(Y軸)
3306	319				6.6819E+07	P2 地盤ばね(Z軸回り)
3401	405		4.8590E+05			A2 地盤ばね(X軸)
3402	405			1.4025E+06		A2 地盤ばね(Y軸)
3406	405				6.6819E+07	A2 地盤ばね(Z軸回り)

表8. 2. 11 橋脚の非線形特性(その1)

○ タイプ I

(1) P1橋脚

要素 番号	スケルトン タイプ	ひびわれ 曲率 $\phi_c(1/m)$	ひびわれ モーメント Mc(kN・m)	初降伏 曲率 $\phi_{yo}(1/m)$	初降伏 モーメント Myo(kN・m)	終局 曲率 $\phi_u(1/m)$	終局 モーメント Mu(kN・m)
203	修正武田型	6.7290E-5	27713.25	1.3892E-3	125191.94	2.1850E-2	143353.85
204	修正武田型	6.8090E-5	28036.43	1.3934E-3	126003.92	2.1660E-2	144185.87
205	修正武田型	6.8880E-5	28359.60	1.3977E-3	126815.89	2.1460E-2	145017.87
206	修正武田型	6.9670E-5	28682.78	1.4019E-3	127627.89	2.1290E-2	145849.90
207	修正武田型	7.0420E-5	28989.80	1.4056E-3	128399.26	2.1110E-2	146640.30
208	修正武田型	7.1140E-5	29280.66	1.4095E-3	129130.04	2.0940E-2	147389.12
209	修正武田型	7.1850E-5	29571.52	1.4133E-3	129860.82	2.0750E-2	148137.93
210	修正武田型	7.2530E-5	29846.23	1.4168E-3	130551.00	2.0590E-2	148845.14
211	修正武田型	7.3140E-5	30096.69	1.4199E-3	131180.28	2.0450E-2	149489.96
212	修正武田型	7.3730E-5	30339.07	1.4231E-3	131789.28	2.0300E-2	150113.96
213	修正武田型	7.4310E-5	30573.38	1.4262E-3	132377.95	2.0160E-2	150717.18
214	修正武田型	7.4820E-5	30783.44	1.4287E-3	132905.72	2.0030E-2	151257.97
215	修正武田型	7.5300E-5	30977.35	1.4314E-3	133392.91	1.9920E-2	151757.19
216	修正武田型	7.5600E-5	31118.16	1.4346E-3	133407.91	1.9830E-2	152216.07

(2) P2橋脚

要素 番号	スケルトン タイプ	ひびわれ 曲率 $\phi_c(1/m)$	ひびわれ モーメント Mc(kN・m)	初降伏 曲率 $\phi_{yo}(1/m)$	初降伏 モーメント Myo(kN・m)	終局 曲率 $\phi_u(1/m)$	終局 モーメント Mu(kN・m)
303	修正武田型	6.7280E-5	27707.51	1.3892E-3	125157.99	2.0810E-2	136494.75
304	修正武田型	6.8040E-5	28019.84	1.3934E-3	125935.04	2.0630E-2	137254.05
305	修正武田型	6.8810E-5	28332.18	1.3977E-3	126712.07	2.0440E-2	138013.35
306	修正武田型	6.9540E-5	28628.89	1.4015E-3	127450.26	2.0280E-2	138734.69
307	修正武田型	7.0230E-5	28909.99	1.4053E-3	128149.61	2.0110E-2	139418.08
308	修正武田型	7.0920E-5	29191.09	1.4090E-3	128848.94	1.9950E-2	140101.45
309	修正武田型	7.1570E-5	29456.57	1.4126E-3	129509.43	1.9790E-2	140746.86
310	修正武田型	7.2180E-5	29706.44	1.4159E-3	130131.06	1.9650E-2	141354.31
311	修正武田型	7.2780E-5	29948.49	1.4193E-3	130733.26	1.9510E-2	141942.77
312	修正武田型	7.3350E-5	30182.74	1.4222E-3	131316.07	1.9370E-2	142512.24
313	修正武田型	7.3920E-5	30416.99	1.4253E-3	131898.82	1.9240E-2	143081.73
314	修正武田型	7.4460E-5	30635.62	1.4283E-3	132442.77	1.9100E-2	143613.25
315	修正武田型	7.4940E-5	30830.83	1.4314E-3	132928.41	1.8970E-2	144087.81
316	修正武田型	7.5400E-5	31018.23	1.4327E-3	133394.65	1.8840E-2	144543.39
317	修正武田型	7.5730E-5	31149.96	1.4356E-3	133567.75	1.8710E-2	144953.47

(3) 塑性ヒンジ

要素 番号	スケルトン タイプ	ひびわれ 回転角 $\theta_{cp}(rad)$	ひびわれ モーメント Mpc(KN・m)	初降伏 回転角 $\theta_{pyo}(rad)$	初降伏 モーメント Mpyo(KN・m)	終局 曲率 $\theta_{pu}(rad)$	終局 モーメント Mpu(KN・m)
2002	修正武田型	7.7315E-5	30287.44	1.4513E-3	129235.60	1.9569E-2	145341.60
2003	修正武田型	7.7570E-5	30350.77	1.4533E-3	129864.95	1.9335E-2	145461.78

表8. 2. 12 橋脚の非線形特性(その2)

○ タイプ II

(1) P1橋脚

要素 番号	スケルトン タイプ	ひびわれ 曲率 $\phi_c(1/m)$	ひびわれ モーメント $M_c(kN\cdot m)$	初降伏 曲率 $\phi_{yo}(1/m)$	初降伏 モーメント $M_{yo}(kN\cdot m)$	終局 曲率 $\phi_u(1/m)$	終局 モーメント $M_u(kN\cdot m)$
203	修正武田型	6.7290E-5	27713.25	1.3892E-3	125191.94	4.102E-2	143642.23
204	修正武田型	6.8090E-5	28036.43	1.3934E-3	126003.92	4.075E-2	144439.66
205	修正武田型	6.8880E-5	28359.60	1.3977E-3	126815.89	4.048E-2	145237.11
206	修正武田型	6.9670E-5	28682.78	1.4019E-3	127627.89	4.018E-2	146034.55
207	修正武田型	7.0420E-5	28989.80	1.4056E-3	128399.26	3.992E-2	146792.12
208	修正武田型	7.1140E-5	29280.66	1.4095E-3	129130.04	3.967E-2	147509.83
209	修正武田型	7.1850E-5	29571.52	1.4133E-3	129860.82	3.943E-2	148227.52
210	修正武田型	7.2530E-5	29846.23	1.4168E-3	130551.00	3.919E-2	148905.35
211	修正武田型	7.3140E-5	30096.69	1.4199E-3	131180.28	3.897E-2	149523.37
212	修正武田型	7.3730E-5	30339.07	1.4231E-3	131789.28	3.877E-2	150121.45
213	修正武田型	7.4310E-5	30573.38	1.4262E-3	132377.95	3.856E-2	150699.60
214	修正武田型	7.4820E-5	30783.44	1.4287E-3	132905.72	3.837E-2	151217.94
215	修正武田型	7.5300E-5	30977.35	1.4314E-3	133392.91	3.821E-2	151696.42
216	修正武田型	7.5600E-5	31118.16	1.4346E-3	133407.91	3.784E-2	152195.46

(2) P2橋脚

要素 番号	スケルトン タイプ	ひびわれ 曲率 $\phi_c(1/m)$	ひびわれ モーメント $M_c(kN\cdot m)$	初降伏 曲率 $\phi_{yo}(1/m)$	初降伏 モーメント $M_{yo}(kN\cdot m)$	終局 曲率 $\phi_u(1/m)$	終局 モーメント $M_u(kN\cdot m)$
303	修正武田型	6.7280E-5	27707.51	1.3892E-3	125157.99	3.9070E-2	136775.76
304	修正武田型	6.8040E-5	28019.84	1.3934E-3	125935.04	3.8810E-2	137503.14
305	修正武田型	6.8810E-5	28332.18	1.3977E-3	126712.07	3.8550E-2	138230.54
306	修正武田型	6.9540E-5	28628.89	1.4015E-3	127450.26	3.8290E-2	138921.55
307	修正武田型	7.0230E-5	28909.99	1.4053E-3	128149.61	3.8040E-2	139576.21
308	修正武田型	7.0920E-5	29191.09	1.4090E-3	128848.94	3.7810E-2	140230.86
309	修正武田型	7.1570E-5	29456.57	1.4126E-3	129509.43	3.7580E-2	140849.13
310	修正武田型	7.2180E-5	29706.44	1.4159E-3	130131.06	3.7380E-2	141431.04
311	修正武田型	7.2780E-5	29948.49	1.4193E-3	130733.26	3.7170E-2	141994.78
312	修正武田型	7.3350E-5	30182.74	1.4222E-3	131316.07	3.6970E-2	142540.31
313	修正武田型	7.3920E-5	30416.99	1.4253E-3	131898.82	3.6760E-2	143085.86
314	修正武田型	7.4460E-5	30635.62	1.4283E-3	132442.77	3.6580E-2	143595.03
315	修正武田型	7.4940E-5	30830.83	1.4314E-3	132928.41	3.6390E-2	144049.65
316	修正武田型	7.5400E-5	31018.23	1.4327E-3	133394.65	3.6180E-2	144486.08
317	修正武田型	7.5730E-5	31149.96	1.4356E-3	133567.75	3.6020E-2	144943.53

(3) 塑性ヒンジ

要素 番号	スケルトン タイプ	ひびわれ 回転角 $\theta_{cp}(rad)$	ひびわれ モーメント $M_{pc}(KN\cdot m)$	初降伏 回転角 $\theta_{pyo}(rad)$	初降伏 モーメント $M_{pyo}(KN\cdot m)$	終局 曲率 $\theta_{pu}(rad)$	終局 モーメント $M_{pu}(KN\cdot m)$
2002	修正武田型	7.7315E-5	30287.44	1.4513E-3	129235.60	3.7303E-2	145435.24
2003	修正武田型	7.7570E-5	30350.77	1.4533E-3	129864.95	3.7417E-2	145329.27

● M-φからM-θへの変換

「道路橋の耐震設計に関する資料 H10. 1 日本道路協会」を参照した。

曲げモーメント-回転角の関係

タイプⅠの地震動

部材端節点番号			218-2218	319-2319		
塑性ヒンジ要素番号			2002	2003		
曲げモーメント -曲率の関係	ひびわれ時	M_c	KN・m	31295.42	31329.83	
		ϕ_c	1/m	7.6000E-05	7.6180E-05	
	初降伏時	M_{y0}	KN・m	133536.63	134054.14	
		ϕ_{y0}	1/m	1.4376E-03	1.4378E-03	
	終局時	M_u	KN・m	145341.60	145461.78	
		ϕ_u	1/m	1.8820E-02	1.8590E-02	
			h	m	16.30	16.80
塑性ヒンジ長			L_p	m	1.05	1.05
補正係数			α_p		0.936	0.938
			β_p		0.968	0.969
			γ_p		0.920	0.923
			L'	m	12.480	12.874
曲げモーメント -回転角の関係	ひびわれ時	M_{pc}	KN・m	30287.439	30350.773	
		θ_{pc}	rad	7.73E-05	7.76E-05	
	初降伏時	M_{py0}	KN・m	129235.604	129864.948	
		θ_{py0}	rad	1.45E-03	1.45E-03	
	終局時	M_{pu}	KN・m	145341.600	145461.780	
		θ_{pu}	rad	1.96E-02	1.93E-02	

タイプⅡの地震動

部材端節点番号			218-2218	319-2319		
塑性ヒンジ要素番号			2002	2003		
曲げモーメント -曲率の関係	ひびわれ時	M_c	KN・m	31295.42	31329.83	
		ϕ_c	1/m	7.6000E-05	7.6180E-05	
	初降伏時	M_{y0}	KN・m	133536.63	134054.14	
		ϕ_{y0}	1/m	1.4376E-03	1.4378E-03	
	終局時	M_u	KN・m	145435.24	145329.27	
		ϕ_u	1/m	3.5710E-02	3.5810E-02	
			h	m	16.30	16.80
塑性ヒンジ長			L_p	m	1.05	1.05
補正係数			α_p		0.936	0.938
			β_p		0.968	0.969
			γ_p		0.920	0.923
			L'	m	12.480	12.874
曲げモーメント -回転角の関係	ひびわれ時	M_{pc}	KN・m	30287.439	30350.773	
		θ_{pc}	rad	7.73E-05	7.76E-05	
	初降伏時	M_{py0}	KN・m	129235.604	129864.948	
		θ_{py0}	rad	1.45E-03	1.45E-03	
	終局時	M_{pu}	KN・m	145435.240	145329.270	
		θ_{pu}	rad	3.73E-02	3.74E-02	

8-3 固有値解析結果とレーリー減衰の設定

固有値解析の結果を表8. 3. 1に示す。また、動的解析に用いるレーリー減衰の採用モードも合わせて示す。固有モード図を図8. 3. 1～8. 3. 2に示す(1～8次)。

表8. 3. 1 固有値解析結果

●橋軸方向

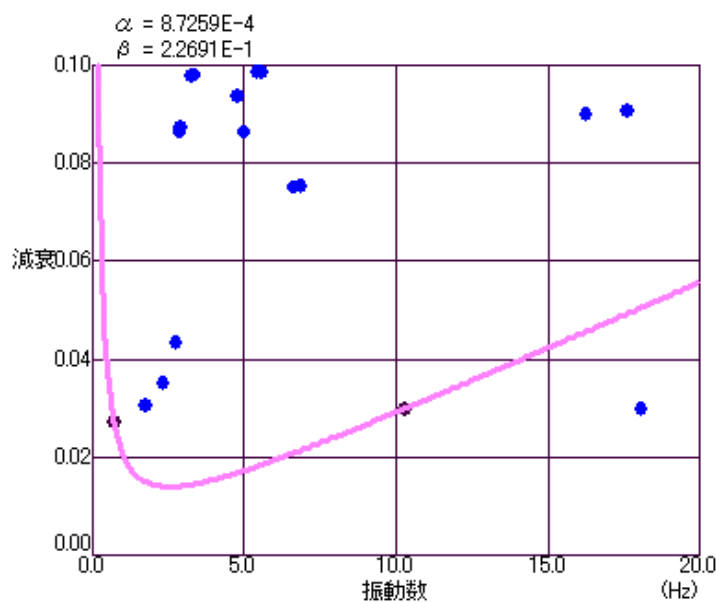
モード 次数	振動数 (1/sec)	固有周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			ひずみ エネルギー 比例減衰
			x方向	y方向	z方向	x方向	y方向	z方向	
1	0.7086	1.4112	-5.26E+01	4.36E-03		0.406	0.000		0.027424
2	1.7309	0.5777	3.15E-02	-5.75E-01		0.000	0.000		0.030690
3	2.3300	0.4292	-7.41E-01	-1.79E-01		0.000	0.000		0.035255
4	2.7476	0.3640	1.64E-01	-4.92E+01		0.000	0.355		0.043337
5	2.8594	0.3497	-2.78E+01	-7.59E-01		0.113	0.000		0.086333
6	2.9141	0.3432	-3.29E+01	4.38E-01		0.159	0.000		0.087211
7	3.2579	0.3069	3.22E+01	4.13E-01		0.152	0.000		0.097907
8	3.3503	0.2985	-3.13E+01	3.77E-01		0.144	0.000		0.098028
9	4.7726	0.2095	1.39E-02	3.04E+00		0.000	0.001		0.093798
10	4.9737	0.2011	1.57E-03	-4.06E+01		0.000	0.242		0.086344
11	5.3962	0.1853	2.33E-04	-3.74E+01		0.000	0.205		0.098478
12	5.5445	0.1804	-9.16E-04	-3.66E+01		0.000	0.196		0.098614
13	6.6163	0.1511	-9.49E+00	-1.21E-02		0.013	0.000		0.075114
14	6.8515	0.1460	-8.89E+00	7.74E-03		0.012	0.000		0.075276
15	10.2837	0.0972	4.17E-03	-6.17E-03		0.000	0.000		0.029947
16	16.2195	0.0617	-2.09E+00	-8.70E-04		0.001	0.000		0.089815
17	17.5796	0.0569	1.84E+00	-6.98E-04		0.001	0.000		0.090759
18	18.0452	0.0554	-5.88E-02	3.80E-05		0.000	0.000		0.030034
19	25.1894	0.0397	-3.20E-04	7.54E-05		0.000	0.000		0.029983
20	30.5135	0.0328	-1.23E-03	-1.83E-06		0.000	0.000		0.029993
合計						1.000	1.000		

●レーリー減衰(1次と15次)

$$C = \alpha K + \beta M$$

$$\alpha = 8.726E-4$$

$$\beta = 2.269E-1$$



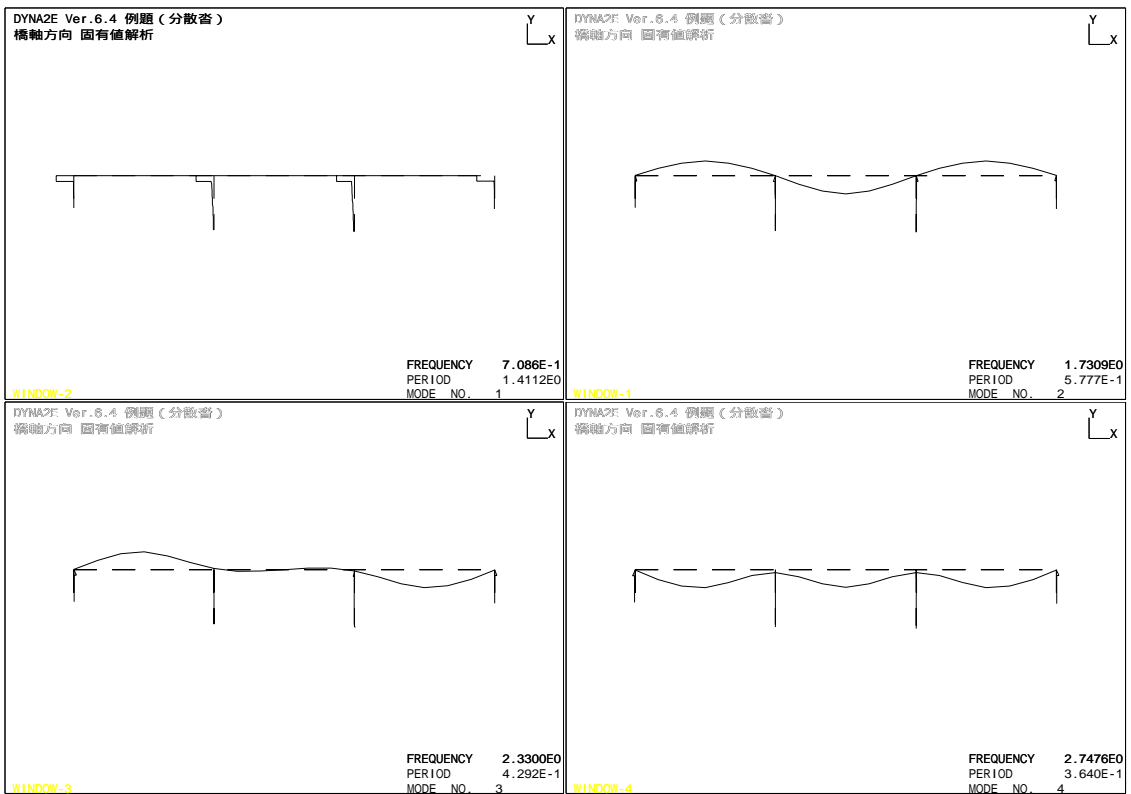


図8. 3. 1 固有モード図(1~4次)

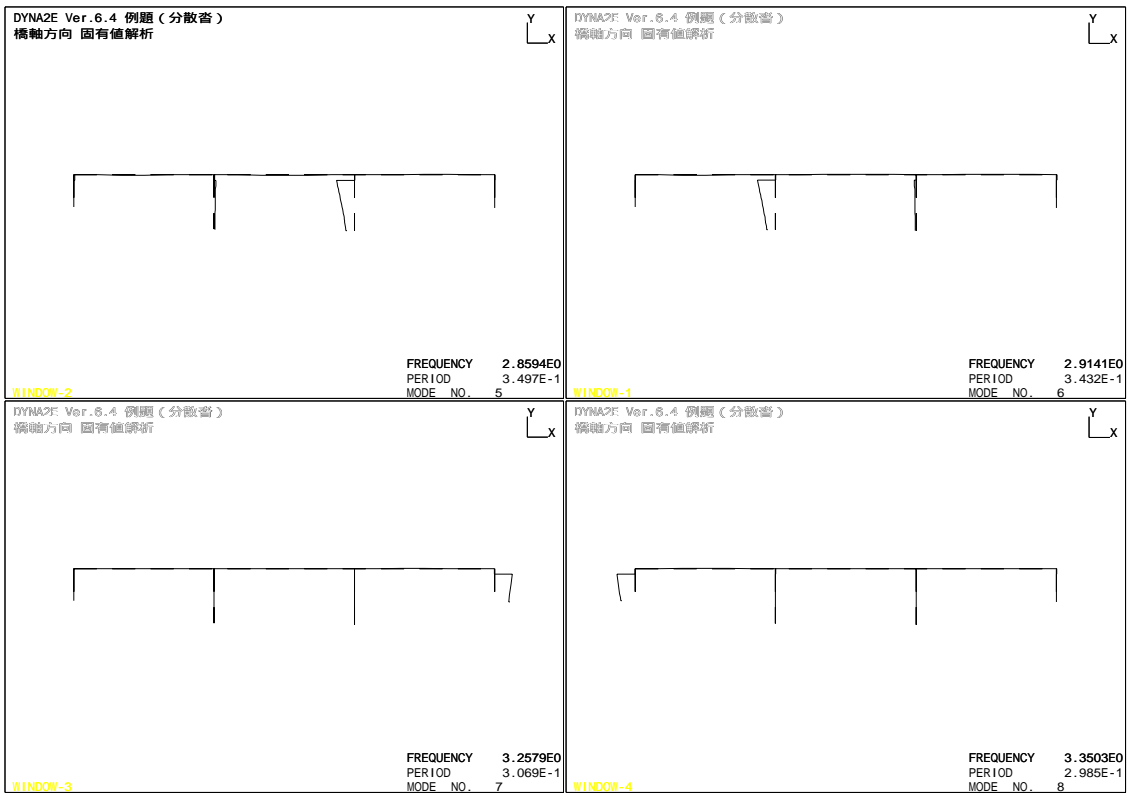


図8. 3. 2 固有モード図(5~8次)

8-4 動的解析結果

本例題では動的照査におこなう以下の地震波を使用した。

T1-I-1、T1-I-2、T1-I-3(タイプ1地震動)及び
T2-I-1、T2-I-2、T2-I-3(タイプ2地震動)

この6ケースのうちTYPE2-I-1地震波(1995年兵庫県南部地震 気象庁神戸海洋気象台地盤上 NS波)を入力した時の変位・断面力図・履歴曲線・最大値等を示す。

入力地震波の時刻歴と加速度応答スペクトルを図8. 4. 1～8. 4. 2に示す。

この地震波を入力したときの最大変位図、せん断力図、曲げモード図を図8. 4. 3～8. 4. 5に、時刻歴変位波形図を図8. 4. 6～8. 4. 17に、応答履歴図を図8. 4. 18～8. 4. 21に示す。

また、各節点の変位の最大値を表8. 4. 1～8. 4. 2に、各要素の最大断面力を表8. 4. 3～8. 4. 6に示す。

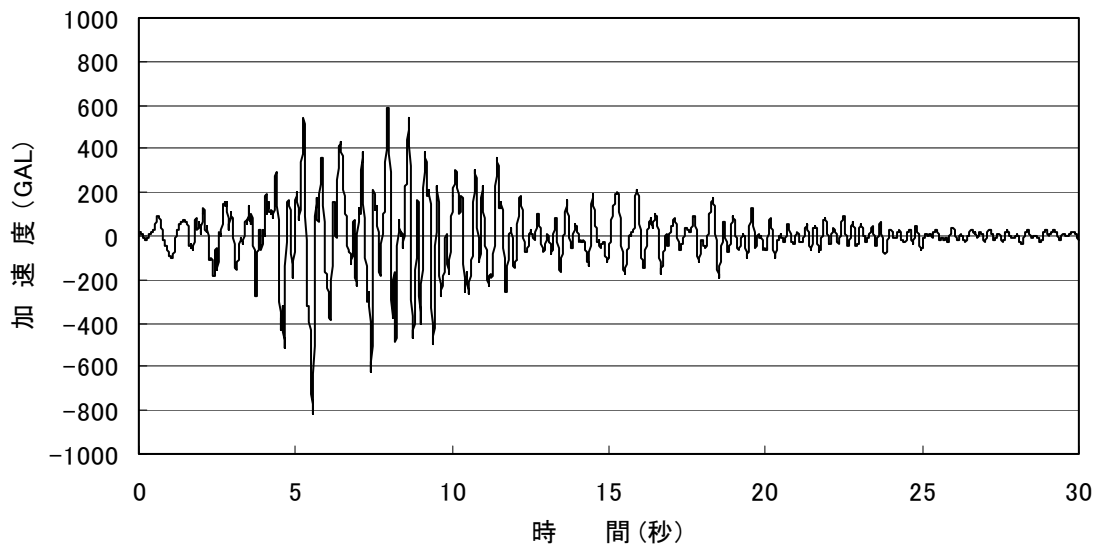


図8. 4. 1 入力波の加速度時刻歴波形(TYPE2-I-1)

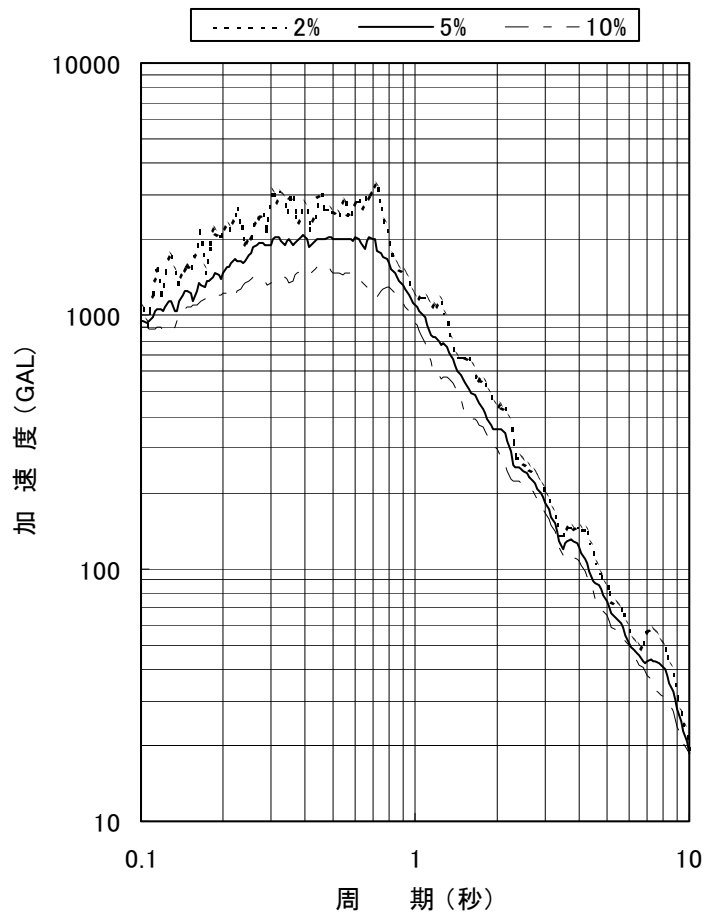


図8. 4. 2 入力波の加速度応答スペクトル(TYPE2-I-1)

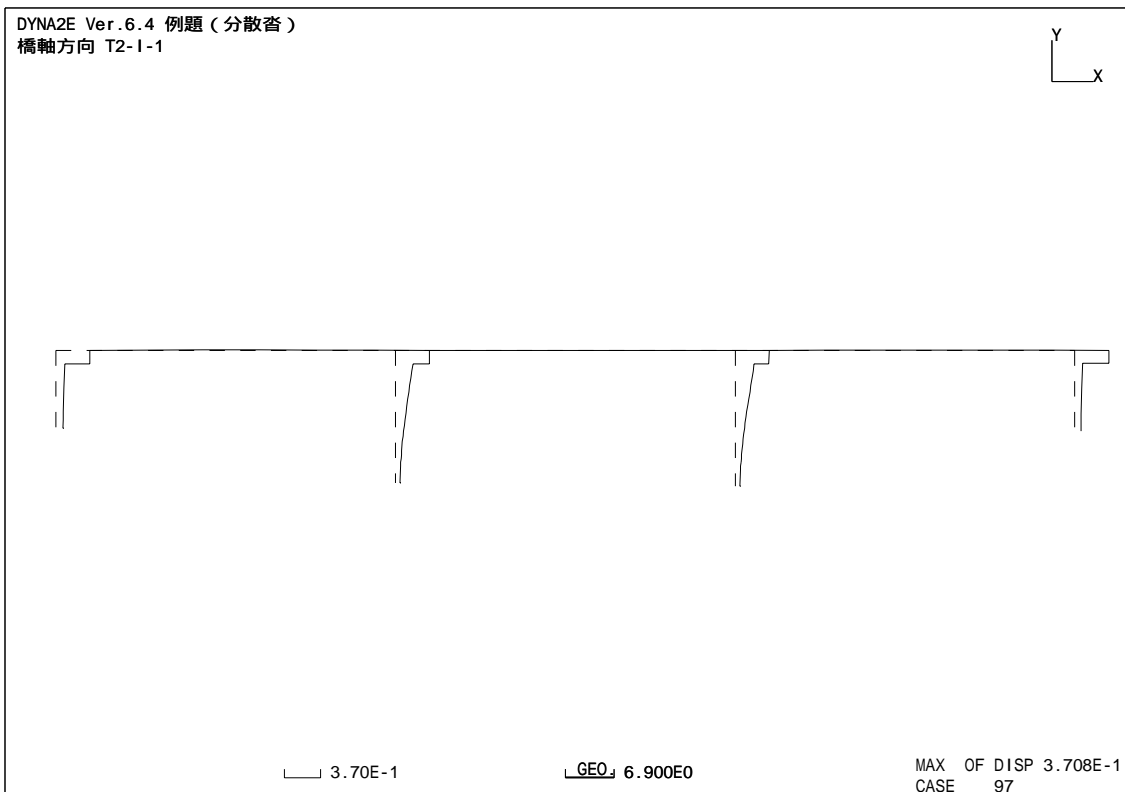


図8. 4. 3 最大応答変位図(TYPE2-I-1入力)

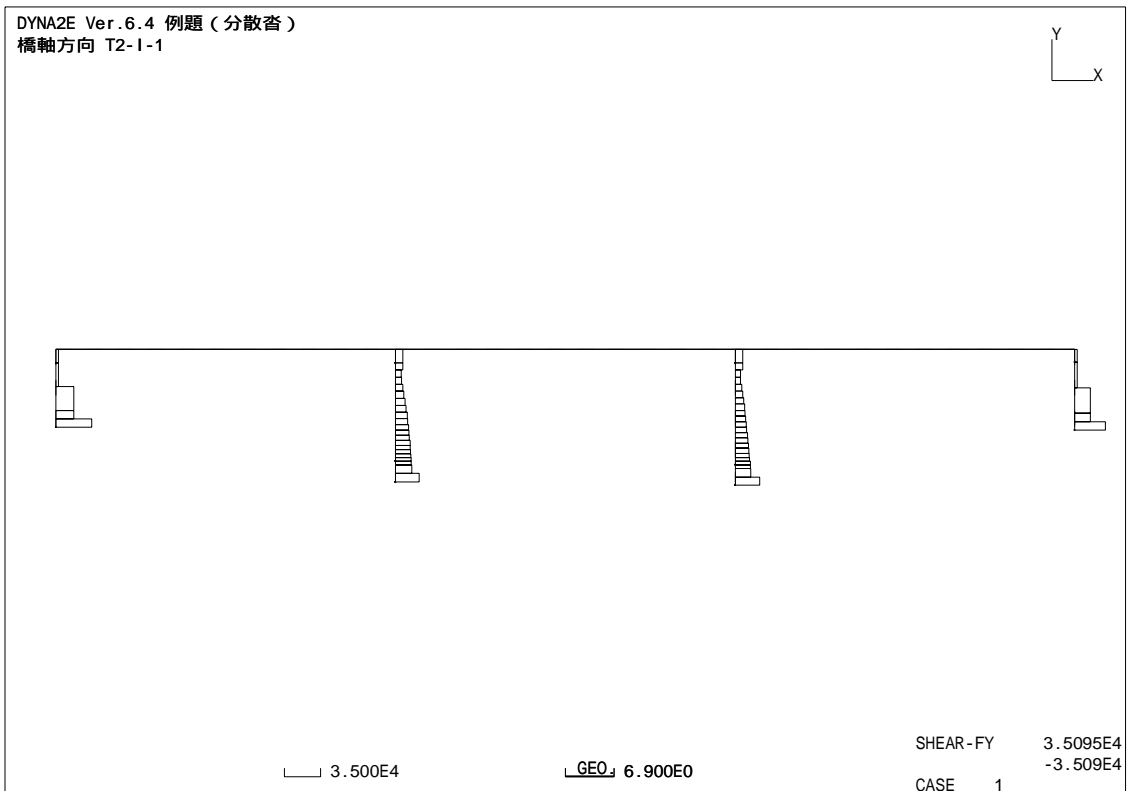


図8. 4. 4 最大応答せん断力図(TYPE2-I-1入力)

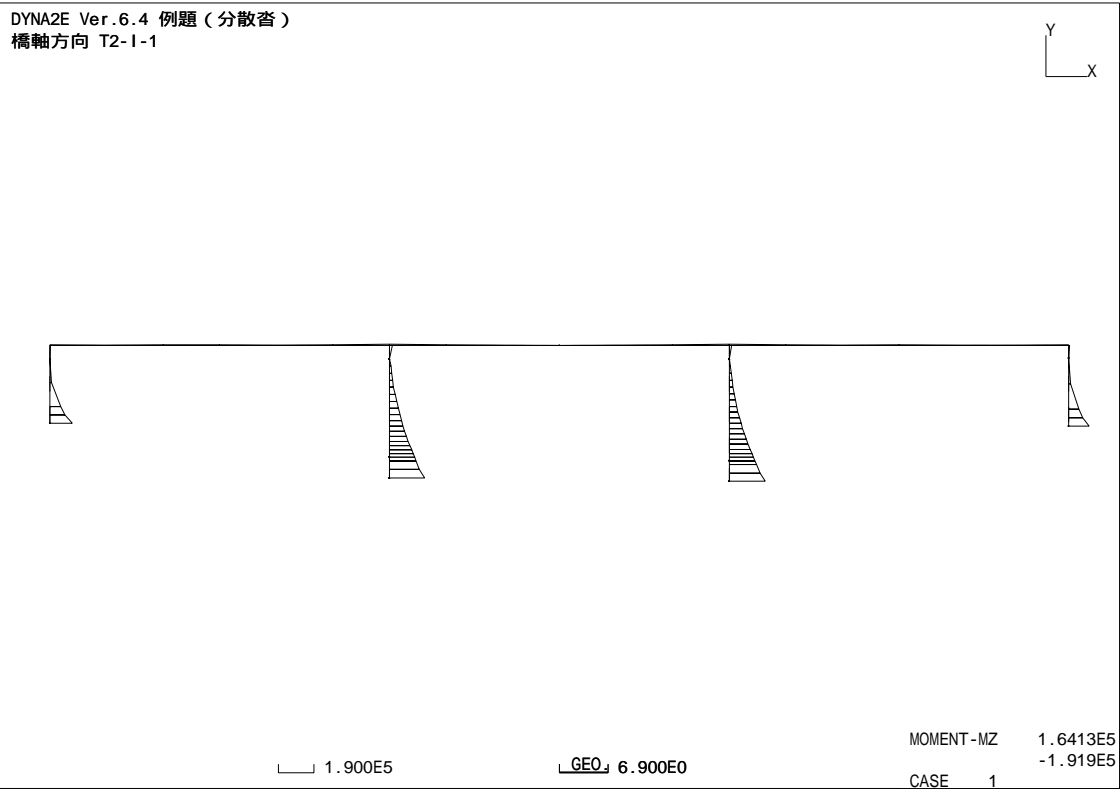


図8. 4. 5 最大応答曲げモーメント図 (TYPE2-I-1入力)

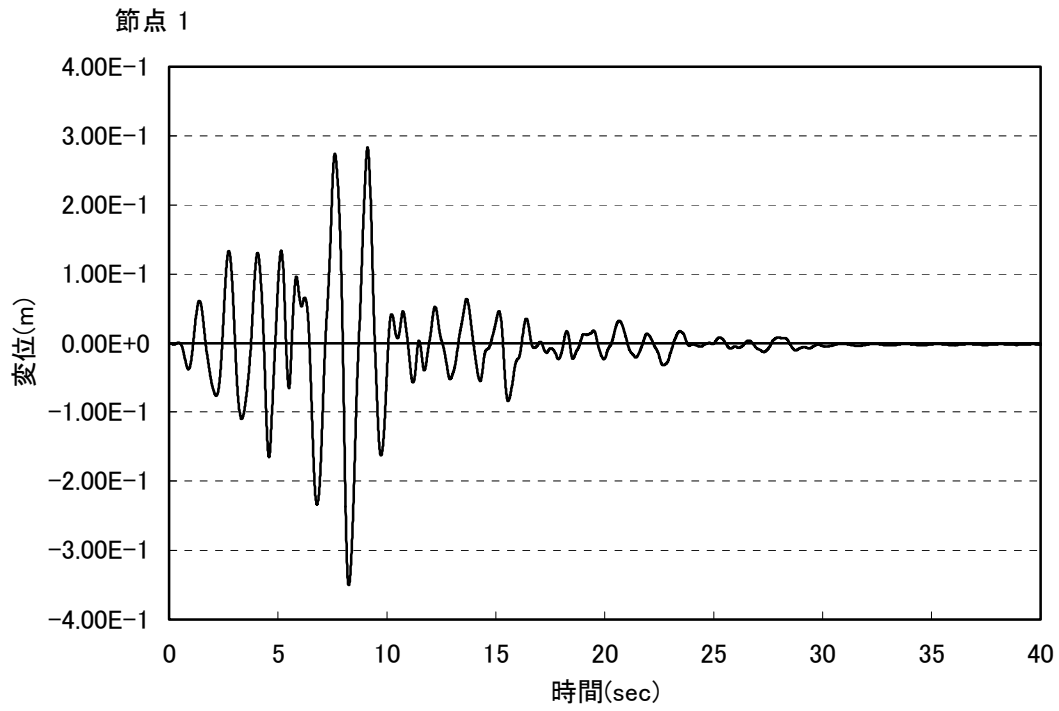


図8. 4. 6 上部工時刻歴変位波形(A1橋台作用位置)

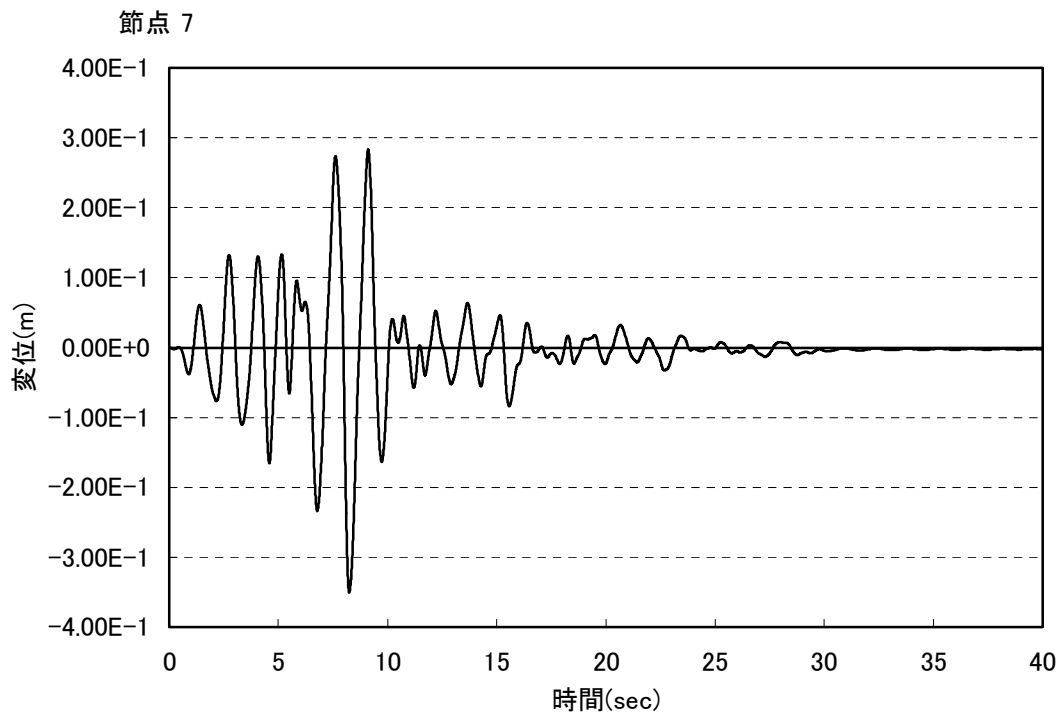


図8. 4. 7 上部工時刻歴変位波形(P1橋脚作用位置)

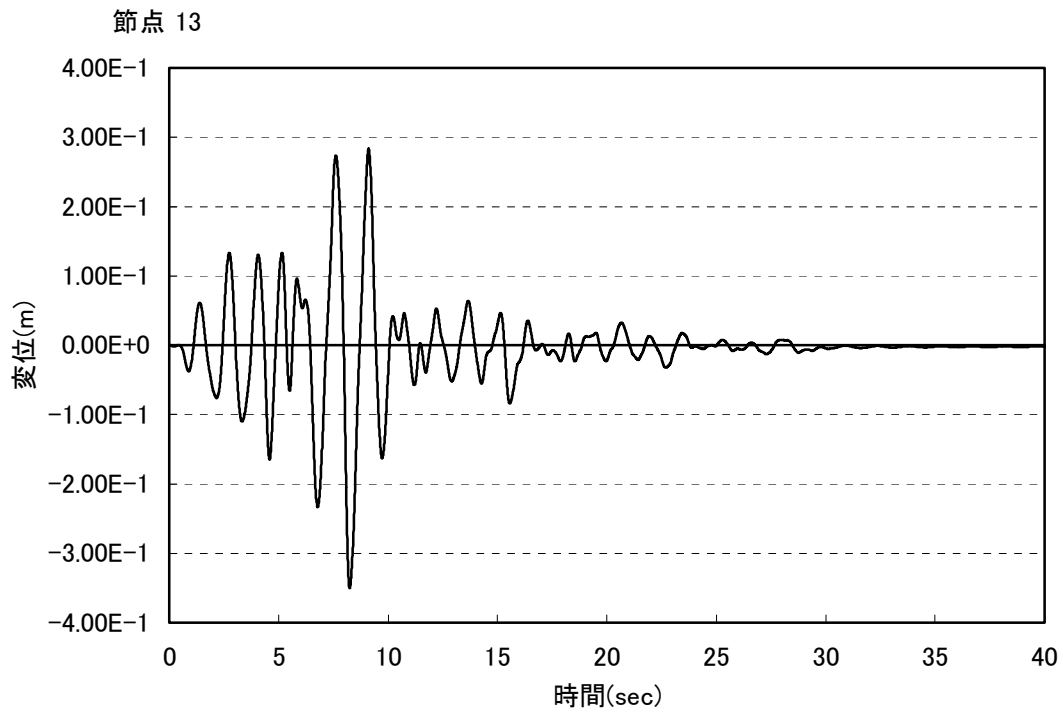


図8. 4. 8 上部工時刻歴変位波形(P2橋脚作用位置)

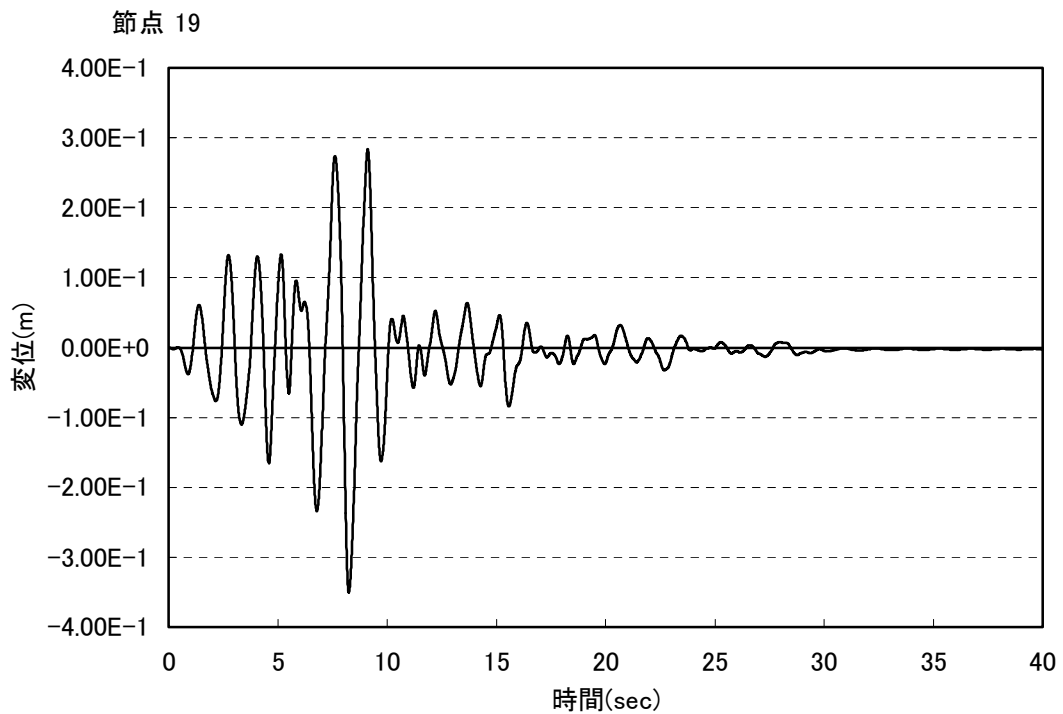


図8. 4. 9 上部工時刻歴変位波形(A2橋台作用位置)

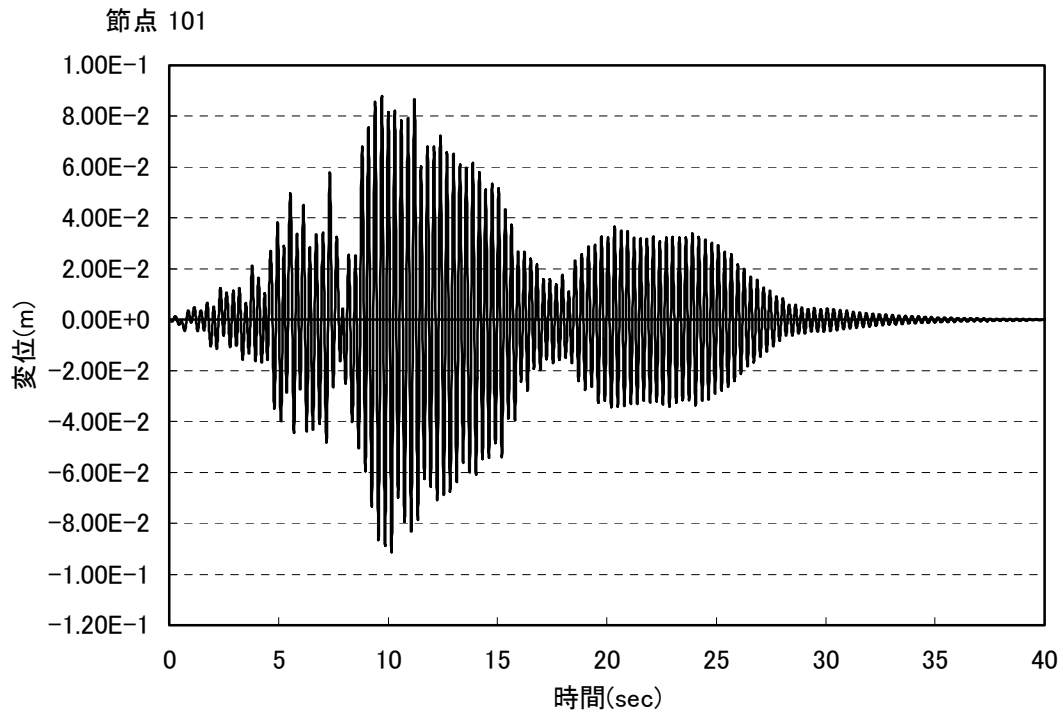


图8. 4. 10 橋台天端部時刻歴変位波形(A1橋台)

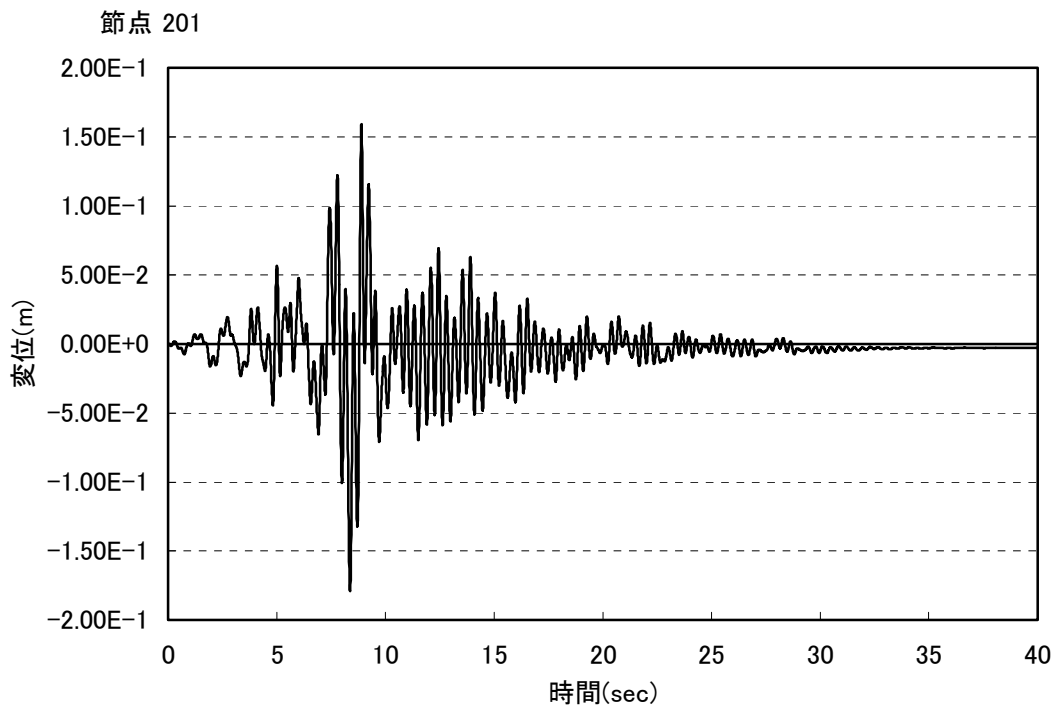


图8. 4. 11 橋脚天端部時刻歴変位波形(P1橋脚)

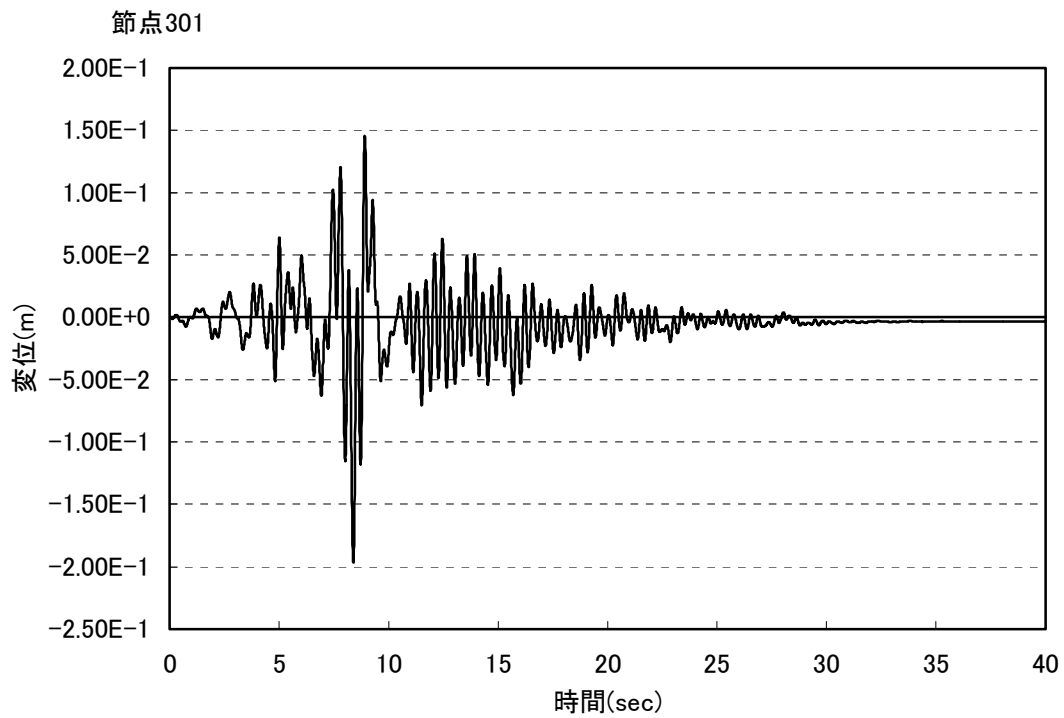


图8. 4. 12 橋脚天端部時刻歴変位波形(P2橋脚)

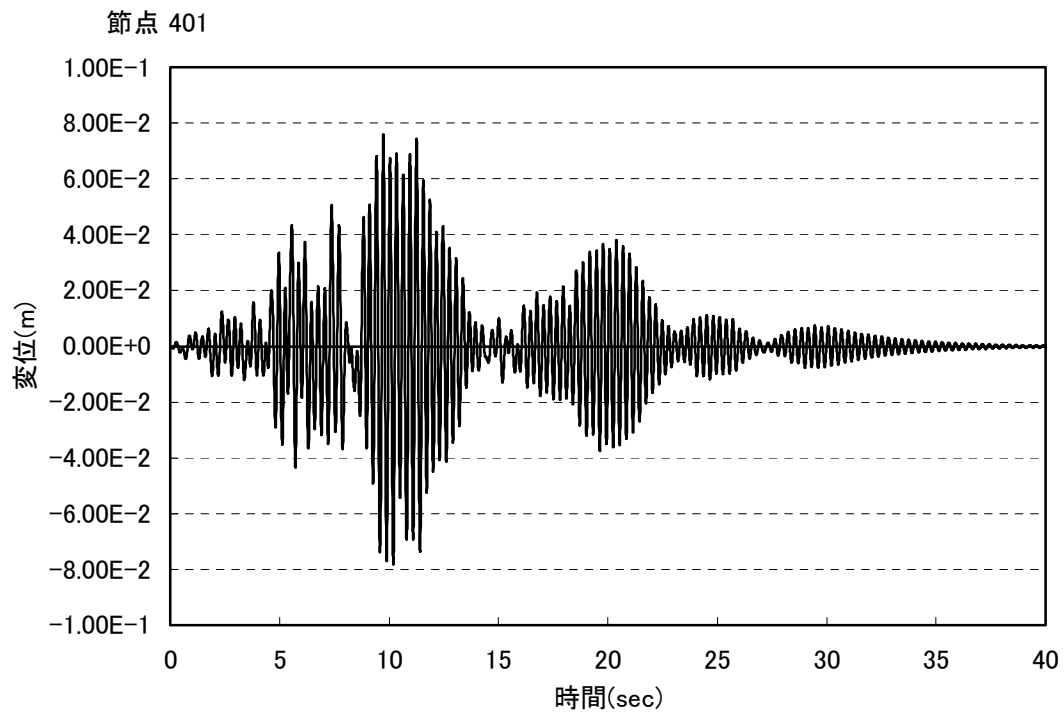


图8. 4. 13 橋台天端部時刻歴変位波形(A2橋台)

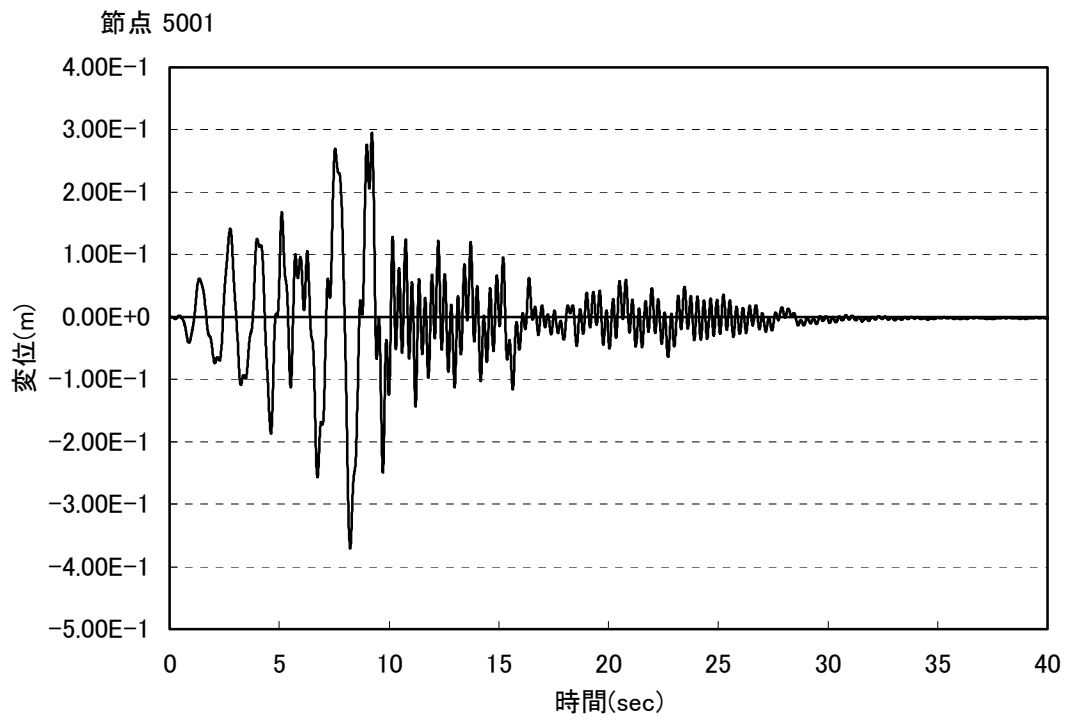


図8. 4. 14 支承ばねの相対変位部時刻歴変位波形(A1橋台)

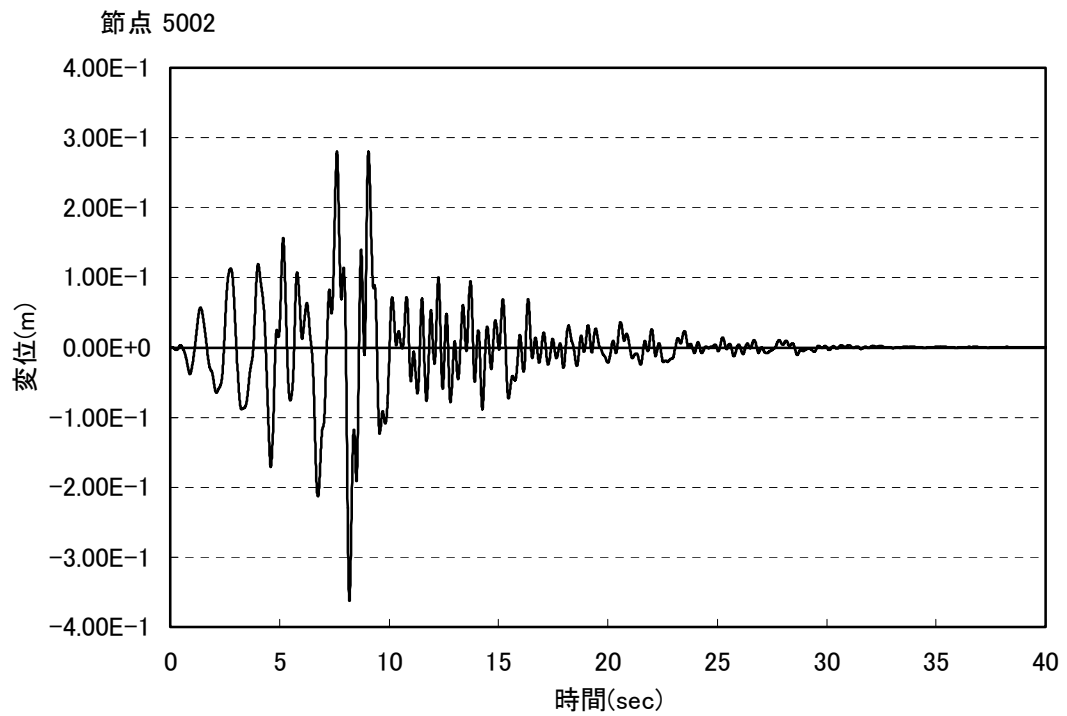


図8. 4. 15 支承ばねの相対変位部時刻歴変位波形(P1橋脚)

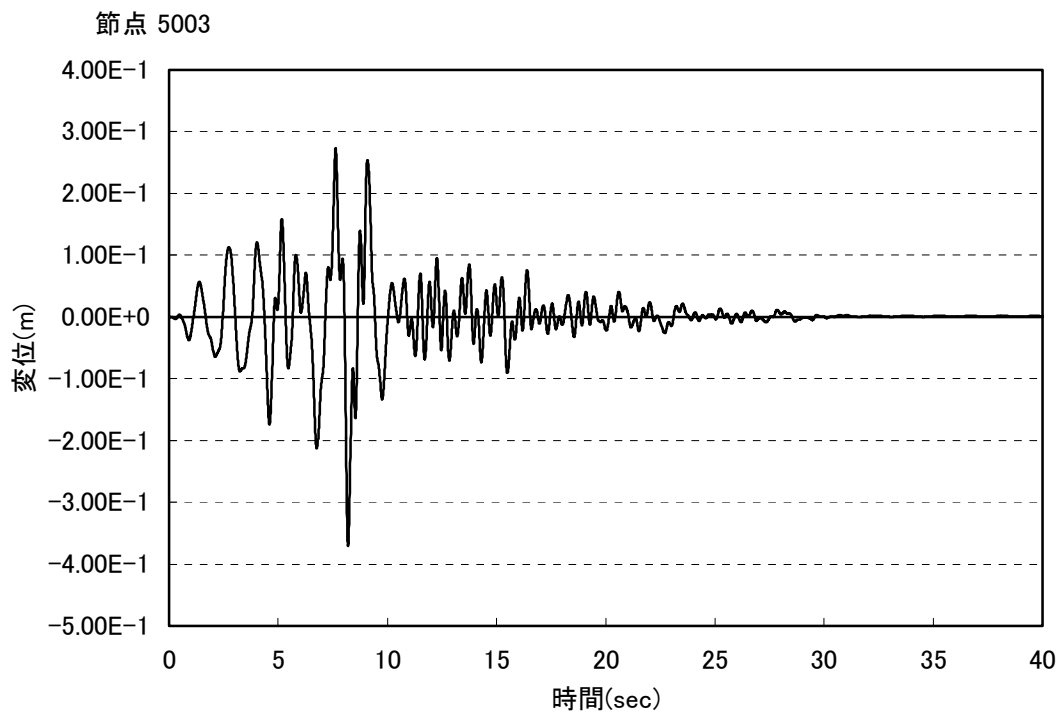


図8. 4. 16 支承ばねの相対変位部時刻歴変位波形(P2橋脚)

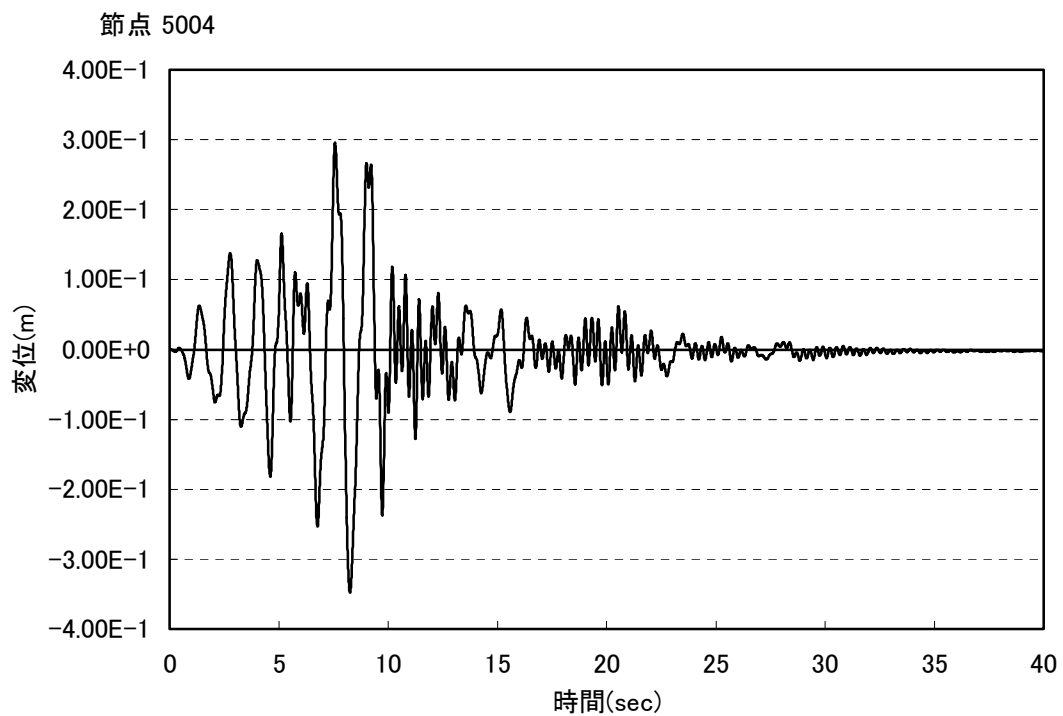


図8. 4. 17 支承ばねの相対変位部時刻歴変位波形(A2橋台)

要素 2002

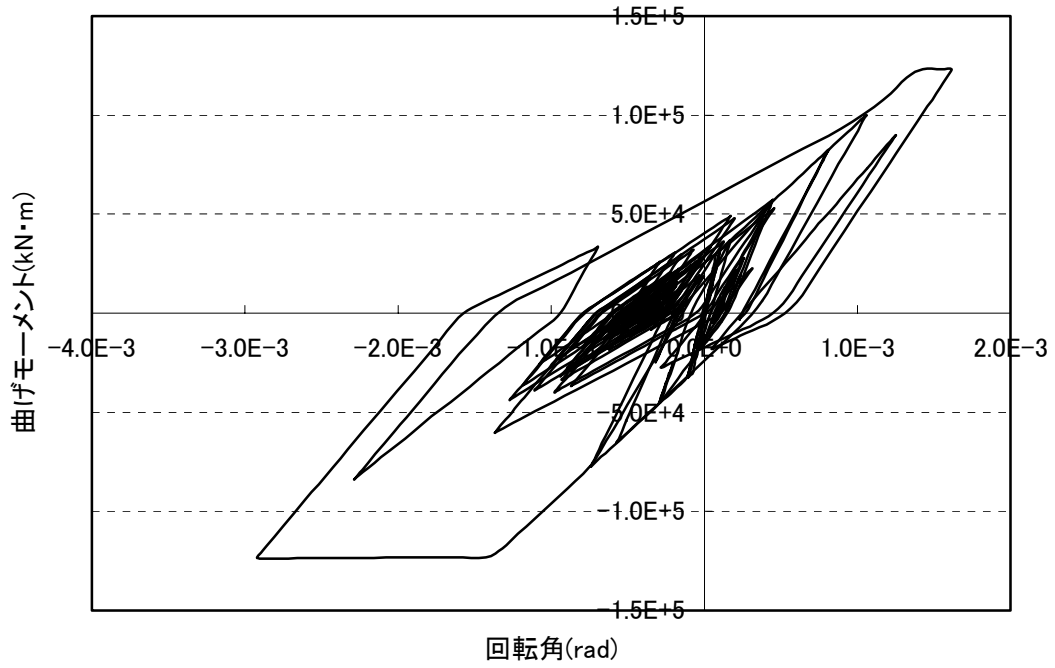


図8. 4. 18 履歴曲線(P1橋脚塑性ヒンジばね)

要素 2003

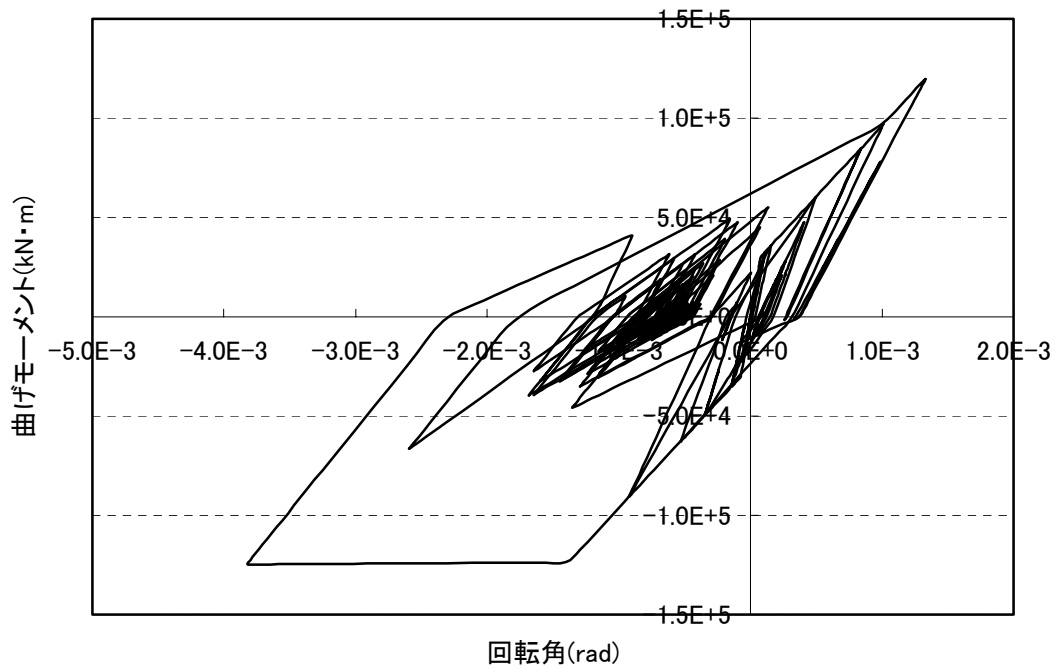


図8. 4. 19 履歴曲線(P2橋脚塑性ヒンジばね)

要素 216

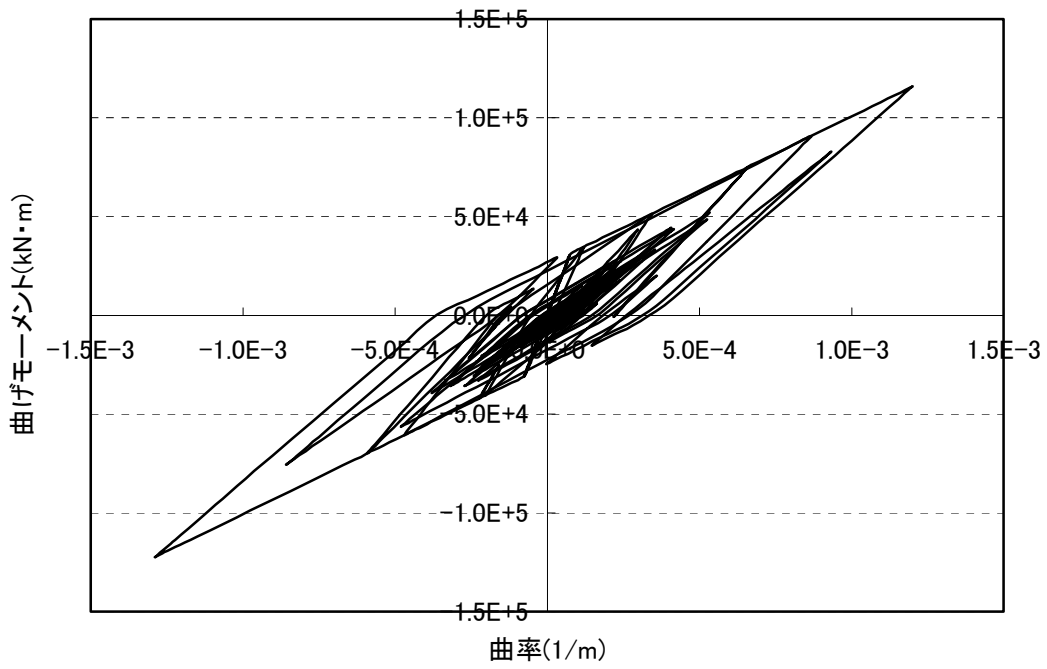


図8. 4. 20 履歴曲線(P1橋脚塑性ヒンジ部直上の非線形部材)

要素 317

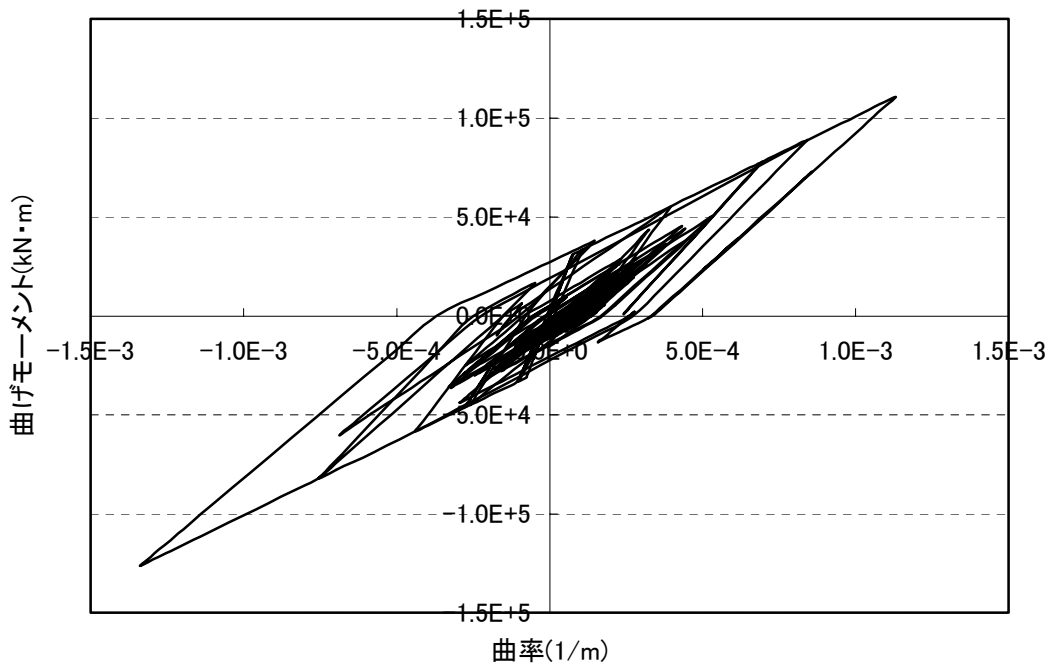


図8. 4. 21 履歴曲線(P2橋脚塑性ヒンジ部直上の非線形部材)

表8. 4. 1 最大変位 (TYPE2-I-1入力; その1)

(1) 上部工

節点番号	X (m)	時刻 (sec)	Y (m)	時刻 (sec)	RZ (rad)	時刻 (sec)
1	-3.5043E-01	8.242	3.0225E-04	8.920	-7.1968E-04	9.088
2	-3.5052E-01	8.242	-4.9158E-03	9.088	-4.7062E-04	9.090
3	-3.5062E-01	8.242	-7.4886E-03	9.090	3.0858E-04	8.910
4	-3.5071E-01	8.242	7.7485E-03	8.900	-2.3173E-04	8.176
5	-3.5064E-01	8.242	6.3050E-03	8.904	4.2859E-04	9.088
6	-3.5058E-01	8.242	-3.4742E-03	8.290	-3.9849E-04	8.902
7	-3.5051E-01	8.242	-5.4179E-04	9.094	5.3487E-04	8.238
8	-3.5062E-01	8.242	2.4655E-03	8.222	1.2541E-04	8.252
9	-3.5073E-01	8.242	2.2893E-03	8.232	-1.4286E-04	8.200
10	-3.5084E-01	8.242	-1.1340E-03	12.372	-2.5033E-04	8.224
11	-3.5071E-01	8.242	1.4419E-03	8.988	-1.9220E-04	8.228
12	-3.5058E-01	8.242	-1.9794E-03	8.206	-8.8760E-05	8.962
13	-3.5045E-01	8.242	-4.6708E-04	10.194	4.8745E-04	8.244
14	-3.5053E-01	8.242	3.2864E-03	8.302	-3.4112E-04	8.910
15	-3.5061E-01	8.242	-5.4202E-03	8.910	3.6598E-04	9.098
16	-3.5068E-01	8.242	-6.7137E-03	8.522	-2.1899E-04	8.180
17	-3.5060E-01	8.242	-6.6086E-03	8.520	-2.6508E-04	8.314
18	-3.5051E-01	8.242	-4.2517E-03	8.518	4.1671E-04	8.520
19	-3.5043E-01	8.242	-2.5185E-04	8.930	-6.4408E-04	9.098

(2) A1橋台

節点番号	X (m)	時刻 (sec)	Y (m)	時刻 (sec)	RZ (rad)	時刻 (sec)
151	-3.5000E-01	8.242	3.0199E-04	8.920	-7.1989E-04	9.088
101	-9.1480E-02	10.156	3.0199E-04	8.920	2.1715E-03	9.860
102	-8.4468E-02	10.156	3.0029E-04	8.920	2.1665E-03	9.860
103	-7.7717E-02	10.156	2.9838E-04	8.920	1.8472E-03	9.860
104	-7.5531E-02	10.156	2.9820E-04	8.920	1.8439E-03	9.860
105	-7.3350E-02	10.156	2.9800E-04	8.920	1.8391E-03	9.860

(3) P1橋脚

節点番号	X (m)	時刻 (sec)	Y (m)	時刻 (sec)	RZ (rad)	時刻 (sec)
251	-3.4949E-01	8.242	-5.4140E-04	9.094	5.3577E-04	8.238
201	-1.7954E-01	8.366	-5.4140E-04	9.094	1.0781E-02	8.382
202	-1.6897E-01	8.364	-5.4119E-04	9.094	1.0781E-02	8.382
203	-1.5842E-01	8.364	-5.4097E-04	9.094	1.0781E-02	8.382
204	-1.4789E-01	8.362	-5.3949E-04	9.094	1.0755E-02	8.382
205	-1.3744E-01	8.362	-5.3798E-04	9.094	1.0714E-02	8.382
206	-1.2706E-01	8.360	-5.3645E-04	9.094	1.0656E-02	8.382
207	-1.1680E-01	8.360	-5.3491E-04	9.094	1.0526E-02	8.382
208	-1.0728E-01	8.358	-5.3342E-04	9.094	1.0294E-02	8.382
209	-9.8550E-02	8.356	-5.3199E-04	9.094	9.9729E-03	8.382
210	-9.0201E-02	8.354	-5.3055E-04	9.094	9.5493E-03	8.382
211	-8.3612E-02	8.352	-5.2933E-04	9.094	9.1160E-03	8.384
212	-7.7425E-02	8.352	-5.2810E-04	9.094	8.6057E-03	8.384
213	-7.2079E-02	8.350	-5.2695E-04	9.094	8.0487E-03	8.384
214	-6.7195E-02	8.348	-5.2578E-04	9.094	7.4032E-03	8.384
215	-6.3423E-02	8.346	-5.2477E-04	9.094	6.7781E-03	8.386
216	-6.0069E-02	8.344	-5.2376E-04	9.094	6.0874E-03	8.386
217	-5.7638E-02	8.344	-5.2291E-04	9.094	5.4574E-03	8.386
218	-5.5258E-02	8.342	-5.2277E-04	9.094	5.4548E-03	8.386
2218	-5.5258E-02	8.342	-5.2277E-04	9.094	2.8074E-03	8.354
219	-5.3798E-02	8.342	-5.2264E-04	9.094	2.8045E-03	8.354
220	-5.0464E-02	8.342	-5.2234E-04	9.094	2.7973E-03	8.354
221	-4.7140E-02	8.342	-5.2199E-04	9.094	2.7890E-03	8.354

表8. 4. 2 最大変位 (TYPE2-I-1入力;その2)

(4) P2橋脚

節点番号	X (m)	時刻 (sec)	Y (m)	時刻 (sec)	RZ (rad)	時刻 (sec)
351	-3.4953E-01	8.242	-4.6671E-04	10.194	4.8839E-04	8.244
301	-1.9677E-01	8.388	-4.6671E-04	10.194	1.1798E-02	8.408
302	-1.8532E-01	8.388	-4.6652E-04	10.194	1.1798E-02	8.408
303	-1.7390E-01	8.386	-4.6632E-04	10.194	1.1797E-02	8.408
304	-1.6252E-01	8.384	-4.6497E-04	10.194	1.1775E-02	8.408
305	-1.5124E-01	8.384	-4.6361E-04	10.194	1.1740E-02	8.408
306	-1.4117E-01	8.382	-4.6237E-04	10.194	1.1693E-02	8.408
307	-1.3119E-01	8.380	-4.6111E-04	10.194	1.1628E-02	8.408
308	-1.2135E-01	8.378	-4.5985E-04	10.194	1.1477E-02	8.410
309	-1.1281E-01	8.378	-4.5872E-04	10.194	1.1265E-02	8.410
310	-1.0453E-01	8.376	-4.5757E-04	10.194	1.0976E-02	8.410
311	-9.6573E-02	8.374	-4.5642E-04	10.194	1.0607E-02	8.410
312	-8.9470E-02	8.372	-4.5533E-04	10.194	1.0186E-02	8.410
313	-8.2783E-02	8.370	-4.5424E-04	10.194	9.6801E-03	8.410
314	-7.6585E-02	8.368	-4.5313E-04	10.194	9.0746E-03	8.410
315	-7.1311E-02	8.366	-4.5210E-04	10.194	8.4177E-03	8.412
316	-6.6592E-02	8.364	-4.5105E-04	10.194	7.6703E-03	8.412
317	-6.3032E-02	8.362	-4.5015E-04	10.194	6.9562E-03	8.412
318	-6.0432E-02	8.362	-4.4940E-04	10.194	6.3088E-03	8.414
2319	-5.7913E-02	8.360	-4.4928E-04	10.194	2.8902E-03	8.372
320	-5.6413E-02	8.360	-4.4916E-04	10.194	2.8872E-03	8.372
320	-5.6413E-02	8.360	-4.4916E-04	10.194	2.8872E-03	8.372
321	-5.2989E-02	8.360	-4.4889E-04	10.194	2.8798E-03	8.372
322	-4.9575E-02	8.360	-4.4859E-04	10.194	2.8713E-03	8.372

(5) A2橋台

節点番号	X (m)	時刻 (sec)	Y (m)	時刻 (sec)	RZ (rad)	時刻 (sec)
451	-3.4998E-01	8.242	-2.5165E-04	8.930	-6.4428E-04	9.098
401	-7.8226E-02	10.190	-2.5165E-04	8.930	1.9552E-03	9.886
402	-7.1602E-02	10.190	-2.5011E-04	8.930	1.9498E-03	9.888
403	-6.5245E-02	10.190	-2.4840E-04	8.930	1.6291E-03	9.888
404	-6.3354E-02	10.190	-2.4825E-04	8.930	1.6260E-03	9.888
405	-6.1466E-02	10.190	-2.4808E-04	8.930	1.6217E-03	9.888

(6) 相対変位

節点番号	X (m)	時刻 (sec)	Y (m)	時刻 (sec)	RZ (rad)	時刻 (sec)
5001	-3.7083E-01	8.222				
5002	-3.6272E-01	8.184				
5003	-3.7079E-01	8.196				
5004	-3.4793E-01	8.252				

表8. 4. 3 最大断面力 (TYPE2-I-1入力; その1)

(1) 上部工

要素番号	部材端 節点番号	軸力 (kN)	時刻 (sec)	せん断力 (kN)	時刻 (sec)	曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
1	1	-1.4451E+03	9.236	-3.2306E+02	8.918	4.8474E+03	8.222
	2	1.4451E+03	9.236	3.2306E+02	8.918	-3.5084E+03	8.170
2	2	-1.4451E+03	9.236	-3.2306E+02	8.918	3.5084E+03	8.170
	3	1.4451E+03	9.236	3.2306E+02	8.918	-4.1397E+03	9.088
3	3	-1.4451E+03	9.236	-3.2306E+02	8.918	-4.1397E+03	9.088
	4	1.4451E+03	9.236	3.2306E+02	8.918	-5.1283E+03	8.902
4	4	-1.3486E+03	8.176	-5.2538E+02	9.086	5.1283E+03	8.902
	5	1.3486E+03	8.176	5.2538E+02	9.086	2.6840E+03	8.284
5	5	-1.3486E+03	8.176	-5.2538E+02	9.086	-2.6840E+03	8.284
	6	1.3486E+03	8.176	5.2538E+02	9.086	4.2416E+03	8.180
6	6	-1.3486E+03	8.176	-5.2538E+02	9.086	-4.2416E+03	8.180
	7	1.3486E+03	8.176	5.2538E+02	9.086	-7.7601E+03	9.082
7	7	2.1359E+03	8.174	2.7332E+02	8.224	7.0743E+03	8.230
	8	-2.1359E+03	8.174	-2.7332E+02	8.224	-4.8903E+03	8.232
8	8	2.1359E+03	8.174	2.7332E+02	8.224	4.8903E+03	8.232
	9	-2.1359E+03	8.174	-2.7332E+02	8.224	-2.7086E+03	8.236
9	9	2.1359E+03	8.174	2.7332E+02	8.224	2.7086E+03	8.236
	10	-2.1359E+03	8.174	-2.7332E+02	8.224	1.0567E+03	12.372
10	10	-2.1162E+03	8.216	3.4139E+02	8.240	-1.0567E+03	12.372
	11	2.1162E+03	8.216	-3.4139E+02	8.240	2.2014E+03	8.232
11	11	-2.1162E+03	8.216	3.4139E+02	8.240	-2.2014E+03	8.232
	12	2.1162E+03	8.216	-3.4139E+02	8.240	4.9303E+03	8.238
12	12	-2.1162E+03	8.216	3.4139E+02	8.240	-4.9303E+03	8.238
	13	2.1162E+03	8.216	-3.4139E+02	8.240	7.6610E+03	8.238
13	13	1.5583E+03	8.180	-4.4442E+02	9.096	6.9709E+03	8.172
	14	-1.5583E+03	8.180	4.4442E+02	9.096	-4.0816E+03	8.184
14	14	1.5583E+03	8.180	-4.4442E+02	9.096	4.0816E+03	8.184
	15	-1.5583E+03	8.180	4.4442E+02	9.096	-2.5001E+03	8.300
15	15	1.5583E+03	8.180	-4.4442E+02	9.096	2.5001E+03	8.300
	16	-1.5583E+03	8.180	4.4442E+02	9.096	4.2602E+03	8.908
16	16	-1.4928E+03	8.336	2.9861E+02	8.318	-4.2602E+03	8.908
	17	1.4928E+03	8.336	-2.9861E+02	8.318	-3.5885E+03	9.098
17	17	-1.4928E+03	8.336	2.9861E+02	8.318	3.5885E+03	9.098
	18	1.4928E+03	8.336	-2.9861E+02	8.318	-3.2396E+03	9.092
18	18	-1.4928E+03	8.336	2.9861E+02	8.318	3.2396E+03	9.092
	19	1.4928E+03	8.336	-2.9861E+02	8.318	4.3088E+03	8.252

(2) A1橋台

要素番号	部材端 節点番号	軸力 (kN)	時刻 (sec)	せん断力 (kN)	時刻 (sec)	曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
151	1	-3.3568E+02	8.918	-2.5513E+03	8.222	-4.8474E+03	8.222
	151	3.3568E+02	8.918	2.5513E+03	8.222	-2.8195E-07	4.474
101	101	-3.3568E+02	8.918	-2.5513E+03	8.222	1.5016E-09	9.990
	102	3.3568E+02	8.918	2.5513E+03	8.222	-8.5468E+03	8.222
103	102	-3.7548E+02	8.920	-1.7575E+04	10.156	8.5468E+03	8.222
	103	3.7548E+02	8.920	1.7575E+04	10.156	-5.9457E+04	9.860
104	103	-3.7548E+02	8.920	-1.7575E+04	10.156	5.9457E+04	9.860
	104	3.7548E+02	8.920	1.7575E+04	10.156	-8.0421E+04	9.860
105	104	-4.1724E+02	8.920	-3.5095E+04	10.156	8.0421E+04	9.860
	105	4.1724E+02	8.920	3.5095E+04	10.156	-1.2070E+05	9.860

表8. 4. 4 最大断面力 (TYPE2-I-1入力; その2)

(3) P1橋脚

要素番号	部材端 節点番号	軸力 (kN)	時刻 (sec)	せん断力 (kN)	時刻 (sec)	曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
251	7	-5.5851E+02	8.912	-7.1093E+03	8.184	-1.3508E+04	8.184
	251	5.5851E+02	8.912	7.1093E+03	8.184	-5.1239E-07	8.114
201	201	-5.5851E+02	8.912	-7.1093E+03	8.184	4.1424E-07	8.114
	202	5.5851E+02	8.912	7.1093E+03	8.184	-7.1093E+03	8.184
202	202	-5.7340E+02	8.912	-5.5433E+03	8.272	7.1093E+03	8.184
	203	5.7340E+02	8.912	5.5433E+03	8.272	-1.1599E+04	8.222
203	203	-5.7623E+02	8.912	-6.0237E+03	8.346	1.1599E+04	8.222
	204	5.7623E+02	8.912	6.0237E+03	8.346	-1.6597E+04	8.254
204	204	-5.8188E+02	8.912	-6.9679E+03	8.348	1.6597E+04	8.254
	205	5.8188E+02	8.912	6.9679E+03	8.348	-2.2038E+04	8.260
205	205	-5.8751E+02	8.912	-8.2630E+03	8.890	2.2038E+04	8.260
	206	5.8751E+02	8.912	-8.2630E+03	8.890	-2.9163E+04	8.344
206	206	-5.9313E+02	8.912	9.4217E+03	8.892	2.9088E+04	8.348
	207	5.9313E+02	8.912	-9.4217E+03	8.892	-3.7712E+04	8.350
207	207	-5.9858E+02	8.912	1.0428E+04	8.892	3.7713E+04	8.350
	208	5.9858E+02	8.912	-1.0428E+04	8.892	-4.6665E+04	8.352
208	208	-6.0374E+02	8.912	1.1292E+04	8.890	4.6666E+04	8.352
	209	6.0374E+02	8.912	-1.1292E+04	8.890	-5.5337E+04	8.352
209	209	-6.0875E+02	8.912	1.2041E+04	8.888	5.5347E+04	8.354
	210	6.0875E+02	8.912	-1.2041E+04	8.888	-6.4293E+04	8.354
210	210	-6.1332E+02	8.912	1.2656E+04	8.886	6.4295E+04	8.356
	211	6.1332E+02	8.912	-1.2656E+04	8.886	-7.2186E+04	8.356
211	211	-6.1748E+02	8.914	1.3174E+04	8.884	7.2186E+04	8.356
	212	6.1748E+02	8.914	-1.3174E+04	8.884	8.0637E+04	8.894
212	212	-6.2151E+02	8.914	1.3647E+04	8.882	-8.0635E+04	8.892
	213	6.2151E+02	8.914	-1.3647E+04	8.882	-9.0414E+04	8.360
213	213	-6.2538E+02	8.914	1.4075E+04	8.880	9.0415E+04	8.360
	214	6.2538E+02	8.914	-1.4075E+04	8.880	-1.0062E+05	8.360
214	214	-6.2898E+02	8.914	1.4442E+04	8.880	1.0062E+05	8.360
	215	6.2898E+02	8.914	-1.4442E+04	8.880	-1.0956E+05	8.362
215	215	-6.3229E+02	8.914	1.4759E+04	8.878	1.0957E+05	8.362
	216	6.3229E+02	8.914	-1.4759E+04	8.878	-1.1878E+05	8.362
216	216	-6.3532E+02	8.914	1.5031E+04	8.878	1.1878E+05	8.362
	217	6.3532E+02	8.914	-1.5031E+04	8.878	-1.2634E+05	8.362
217	217	-6.3957E+02	8.914	1.5467E+04	8.874	1.2650E+05	8.358
	218	6.3957E+02	8.914	-1.5467E+04	8.874	-1.3415E+05	8.358
218	2218	-6.3957E+02	8.914	1.5467E+04	8.874	1.3415E+05	8.358
	219	6.3957E+02	8.914	-1.5467E+04	8.874	-1.4181E+05	8.358
219	219	-6.4246E+02	8.914	1.5682E+04	8.874	1.4181E+05	8.358
	220	6.4246E+02	8.914	-1.5682E+04	8.874	-1.5968E+05	8.360
220	220	7.3209E+02	9.094	-2.2906E+04	8.342	1.5968E+05	8.360
	221	-7.3209E+02	9.094	2.2906E+04	8.342	-1.8636E+05	8.354

表8. 4. 5 最大断面力 (TYPE2-I-1入力; その3)

(4) P2橋脚

要素番号	部材端 節点番号	軸力 (kN)	時刻 (sec)	せん断力 (kN)	時刻 (sec)	曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
351	13	4.8132E+02	10.188	-7.2674E+03	8.196	-1.3808E+04	8.196
	351	-4.8132E+02	10.188	7.2674E+03	8.196	4.4844E-07	10.034
301	301	4.8132E+02	10.188	-7.2674E+03	8.196	-1.3874E-06	8.480
	302	-4.8132E+02	10.188	7.2674E+03	8.196	-7.2674E+03	8.196
302	302	4.9499E+02	10.190	-5.3176E+03	8.280	7.2674E+03	8.196
	303	-4.9499E+02	10.190	5.3176E+03	8.280	-1.1603E+04	8.236
303	303	4.9762E+02	10.190	-5.4353E+03	8.358	1.1603E+04	8.236
	304	-4.9762E+02	10.190	5.4353E+03	8.358	-1.6406E+04	8.248
304	304	5.0285E+02	10.190	6.4660E+03	8.918	1.6406E+04	8.248
	305	-5.0285E+02	10.190	-6.4660E+03	8.918	-2.1261E+04	8.272
305	305	5.0781E+02	10.190	7.2674E+03	8.916	2.1261E+04	8.272
	306	-5.0781E+02	10.190	-7.5018E+03	8.916	-2.6020E+04	8.282
306	306	5.1249E+02	10.190	8.3806E+03	8.916	2.6020E+04	8.282
	307	-5.1249E+02	10.190	-8.3806E+03	8.916	-3.2565E+04	8.362
307	307	5.1717E+02	10.190	9.1186E+03	8.920	3.2548E+04	8.362
	308	-5.1717E+02	10.190	-9.1186E+03	8.920	-4.0243E+04	8.364
308	308	5.2157E+02	10.190	9.7614E+03	8.918	4.0243E+04	8.364
	309	-5.2157E+02	10.190	-9.7614E+03	8.918	-4.7557E+04	8.366
309	309	5.2570E+02	10.190	1.0293E+04	8.916	4.7557E+04	8.366
	310	-5.2570E+02	10.190	-1.0293E+04	8.916	-5.5155E+04	8.368
310	310	5.2982E+02	10.190	-1.0828E+04	8.386	5.5155E+04	8.368
	311	-5.2982E+02	10.190	1.0828E+04	8.386	-6.3052E+04	8.396
311	311	5.3381E+02	10.190	-1.1426E+04	8.384	6.3032E+04	8.396
	312	-5.3381E+02	10.190	1.1426E+04	8.384	7.0879E+04	8.920
312	312	5.3765E+02	10.190	-1.1960E+04	8.384	-7.0880E+04	8.920
	313	-5.3765E+02	10.190	1.1960E+04	8.384	-8.0989E+04	8.392
313	313	5.4153E+02	10.192	-1.2497E+04	8.384	8.0987E+04	8.390
	314	-5.4153E+02	10.192	1.2497E+04	8.384	-9.1713E+04	8.388
314	314	5.4527E+02	10.192	-1.2997E+04	8.384	9.1710E+04	8.388
	315	-5.4527E+02	10.192	1.2997E+04	8.384	-1.0214E+05	8.386
315	315	5.4887E+02	10.192	-1.3468E+04	8.382	1.0214E+05	8.386
	316	-5.4887E+02	10.192	1.3468E+04	8.382	-1.1280E+05	8.384
316	316	5.5221E+02	10.192	-1.3892E+04	8.382	1.1280E+05	8.384
	317	-5.5221E+02	10.192	1.3892E+04	8.382	-1.2229E+05	8.384
317	317	5.5503E+02	10.192	-1.4246E+04	8.380	1.2229E+05	8.384
	318	-5.5503E+02	10.192	1.4246E+04	8.380	-1.3035E+05	8.384
318	318	5.5899E+02	10.192	-1.4786E+04	8.376	1.3049E+05	8.380
	319	-5.5899E+02	10.192	1.4786E+04	8.376	-1.3825E+05	8.378
319	2319	5.5899E+02	10.192	-1.4786E+04	8.376	1.3825E+05	8.378
	320	-5.5899E+02	10.192	1.4786E+04	8.376	-1.4601E+05	8.378
320	320	5.6168E+02	10.192	-1.5114E+04	8.376	1.4601E+05	8.378
	321	-5.6168E+02	10.192	1.5114E+04	8.376	-1.6413E+05	8.378
321	321	6.2915E+02	10.194	-2.4088E+04	8.360	1.6413E+05	8.378
	322	-6.2915E+02	10.194	2.4088E+04	8.360	-1.9186E+05	8.372

表8. 4. 6 最大断面力 (TYPE2-I-1入力; その4)

(5) A1橋台

要素番号	部材端 節点番号	軸力 (kN)	時刻 (sec)	せん断力 (kN)	時刻 (sec)	曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
451	19	-3.0441E+02	8.318	-2.3938E+03	8.252	-4.3088E+03	8.252
	451	3.0441E+02	8.318	2.3938E+03	8.252	5.0874E-07	4.474
401	401	-3.0441E+02	8.318	-2.3938E+03	8.252	1.9203E-09	9.976
	402	3.0441E+02	8.318	2.3938E+03	8.252	-8.6176E+03	8.252
402	402	-3.2395E+02	8.320	-1.5153E+04	9.888	8.6176E+03	8.252
	403	3.2395E+02	8.320	1.5153E+04	9.888	-5.5504E+04	9.886
403	403	-3.2395E+02	8.320	-1.5153E+04	9.888	5.5504E+04	9.886
	404	3.2395E+02	8.320	1.5153E+04	9.888	-7.3682E+04	9.886
404	404	3.4793E+02	8.930	-2.9867E+04	10.190	7.3682E+04	9.886
	405	-3.4793E+02	8.930	2.9867E+04	10.190	-1.0836E+05	9.888

(6) 分散沓(ばね要素)

要素番号	部材端 節点番号	橋軸方向 水平力 (kN)	時刻 (sec)
1001	151	-2.5513E+03	8.222
	101	2.5513E+03	8.222
1002	251	-7.1093E+03	8.184
	201	7.1093E+03	8.184
1003	351	-7.2674E+03	8.196
	301	7.2674E+03	8.196
1004	451	-2.3938E+03	8.252
	401	2.3938E+03	8.252

(7) 塑性ヒンジばね

要素番号	部材端 節点番号	橋軸直角回り 曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
2002	218	1.2381E+05	8.396
	2218	-1.2381E+05	8.396
2003	319	1.2473E+05	8.424
	2319	-1.2473E+05	8.424

(8) 地盤ばね

要素番号	部材端 節点番号	橋軸方向 水平力 (kN)	時刻 (sec)	鉛直力 (kN)	時刻 (sec)	橋軸直角回り 曲げモーメント (kN・m)	時刻 (sec)
3101	105	-3.5095E+04	10.156				
3102	105			4.1724E+02	8.920		
3106	105					1.2070E+05	9.860
3201	221	-2.2906E+04	8.342				
3202	221			-7.3209E+02	9.094		
3206	221					1.8636E+05	8.354
3301	322	-2.4088E+04	8.360				
3302	322			-6.2915E+02	10.194		
3306	322					1.9186E+05	8.372
3401	405	-2.9867E+04	10.190				
3402	405			-3.4793E+02	8.930		
3406	405					1.0836E+05	9.888

8-5 耐震照査

橋脚の耐震照査はTYPE1, TYPE2別に以下のように行う。

照査項目(橋軸方向)

(1) 塑性回転角の3波平均が許容回転角以下であること。

許容回転角の計算

$$\theta_{pa} = \theta_{py0} + \frac{\theta_{pu} - \theta_{py0}}{\alpha}$$

θ_{pa} : 許容回転角(rad)

θ_{pu} : 終局時の回転角(rad)

θ_{py0} : 初降伏時の回転角(rad)

α : 安全係数で、タイプ I の地震動に対する場合は $\alpha=3.0$
タイプ II の地震動に対する場合は $\alpha=1.5$

地震動	初降伏時の回転角		終局時の回転角		安全係数	許容回転角	
	P1橋脚 (rad)	P2橋脚 (rad)	P1橋脚 (rad)	P2橋脚 (rad)		P1橋脚 (rad)	P2橋脚 (rad)
タイプ I	1.451E-3	1.453E-3	1.957E-2	1.934E-2	3.0	7.491E-3	7.414E-3
タイプ II	1.451E-3	1.453E-3	3.730E-2	3.742E-2	1.5	2.535E-2	2.543E-2

(2) 残留変位の3波平均が許容残留変位以下であること

許容残留変位の計算

$$\Delta h = h \times 0.01$$

Δh : 許容残留変位(m)

h : 橋脚下端から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

地震動	橋脚高		許容残留変位	
	P1橋脚 (m)	P2橋脚 (m)	P1橋脚 (m)	P2橋脚 (m)
タイプ I	16.30	16.80	1.630E-1	1.680E-1
タイプ II	16.30	16.80	1.630E-1	1.680E-1

(3) 橋脚のせん断力の3波平均が許容せん断耐力以下であること。

(4) 塑性化を想定していない部材は降伏していないこと

塑性ヒンジばねを指定している部分以外の部材は降伏に対する塑性率の3波平均が1.0以下であること

(5) 沓の相対変位の最大値が許容相対変位内であること(沓の歪みが250%以内であること)。

許容相対変位の計算

地震動	沓高				許容相対変位			
	A1橋台 (m)	P1橋脚 (m)	P2橋脚 (m)	A2橋台 (m)	A1橋台 (m)	P1橋脚 (m)	P2橋脚 (m)	A2橋台 (m)
タイプ I	0.1650	0.1400	0.1400	0.1650	0.4125	0.3500	0.3500	0.4125
タイプ II	0.1650	0.1400	0.1400	0.1650	0.4125	0.3500	0.3500	0.4125

照査(橋軸方向;TYPE I 地震波)

(1) 塑性回転角に対する判定(各橋脚の塑性ヒンジばね)

	計算結果			3波平均 (rad)	許容 回転角 (rad)	判定
	T1-I-1 (rad)	T1-I-2 (rad)	T1-I-3 (rad)			
P1橋脚	9.794E-4	1.112E-3	1.001E-3	1.031E-3	7.491E-3	○
P2橋脚	9.925E-4	9.910E-4	9.912E-4	9.916E-4	7.414E-3	○

(2) 残留変位が許容残留変位以下(橋脚天端の節点)

	計算結果			3波平均 (m)	許容 残留変位 (m)	判定
	T1-I-1 (m)	T1-I-2 (m)	T1-I-3 (m)			
P1橋脚	1.929E-4	2.310E-3	2.470E-4	9.166E-4	1.630E-1	○
P2橋脚	1.451E-4	2.374E-3	3.244E-4	9.478E-4	1.680E-1	○

(3) 橋脚のせん断力が許容せん断耐力以下(各橋脚最下端の要素)

	計算結果			3波平均 せん断耐力 (kN)	許容 せん断耐力 (kN)	判定
	T1-I-1 (kN)	T1-I-2 (kN)	T1-I-3 (kN)			
P1橋脚	7075.89	9138.74	8373.09	8195.91		
P2橋脚	6962.34	8265.83	7895.71	7707.96		

(4) 塑性化を想定していない部材に対する照査(各橋脚の非線形梁要素のうち最下端の要素)

	計算結果			3波平均 塑性率	許容 塑性率	判定
	T1-I-1 塑性率	T1-I-2 塑性率	T1-I-3 塑性率			
P1橋脚	0.6290	0.7060	0.6350	0.6567	1.0000	○
P2橋脚	0.6400	0.6330	0.6370	0.6367	1.0000	○

(5) 沓の相対変位の最大値が許容相対変位内(沓の歪みが250%以内)

	計算結果			3波平均 相対変位 (m)	許容 相対変位 (m)	判定
	T1-I-1 (m)	T1-I-2 (m)	T1-I-3 (m)			
A1橋台	0.4241	0.3878	0.3903	0.4008	0.4125	○
P1橋脚	0.3275	0.3167	0.2964	0.3136	0.3500	○
P2橋脚	0.3279	0.3095	0.2814	0.3063	0.3500	○
A2橋台	0.4182	0.3888	0.3741	0.3937	0.4125	○

照査(橋軸方向;TYPE II 地震波)

(1) 塑性回転角に対する判定(各橋脚の塑性ヒンジばね)

	計算結果			3波平均 (rad)	許容 回転角 (rad)	判定
	T2-I-1 (rad)	T2-I-2 (rad)	T2-I-3 (rad)			
P1橋脚	2.929E-3	2.243E-3	4.394E-3	3.189E-3	2.535E-2	○
P2橋脚	3.826E-3	2.787E-3	2.459E-3	3.024E-3	2.543E-2	○

(2) 残留変位が許容残留変位以下(橋脚天端の節点)

	計算結果			3波平均 (m)	許容 残留変位 (m)	判定
	T2-I-1 (m)	T2-I-2 (m)	T2-I-3 (m)			
P1橋脚	2.690E-3	3.341E-3	5.718E-3	3.916E-3	1.630E-1	○
P2橋脚	3.372E-3	3.600E-3	3.753E-3	3.575E-3	1.680E-1	○

(3) 橋脚のせん断力が許容せん断耐力以下(各橋脚最下端の要素)

	計算結果			3波平均 せん断耐力 (kN)	許容 せん断耐力 (kN)	判定
	T2-I-1 (kN)	T2-I-2 (kN)	T2-I-3 (kN)			
P1橋脚	15467.30	14458.90	16447.80	15458.00		
P2橋脚	14785.80	14091.40	13560.50	14145.90		

(4) 塑性化を想定していない部材に対する照査(各橋脚の非線形梁要素のうち最下端の要素)

	計算結果			3波平均 塑性率	許容 塑性率	判定
	T2-I-1 塑性率	T2-I-2 塑性率	T2-I-3 塑性率			
P1橋脚	0.9000	0.8490	0.9680	0.9057	1.0000	○
P2橋脚	0.9330	0.8750	0.9010	0.9030	1.0000	○

(5) 沓の相対変位の最大値が許容相対変位内(沓の歪みが250%以内)

	計算結果			3波平均 相対変位 (m)	許容 相対変位 (m)	判定
	T2-I-1 (m)	T2-I-2 (m)	T2-I-3 (m)			
A1橋台	0.3708	0.4557	0.3620	0.3962	0.4125	○
P1橋脚	0.3627	0.3738	0.3100	0.3488	0.3500	○
P2橋脚	0.3708	0.3698	0.2977	0.3461	0.3500	○
A2橋台	0.3479	0.4296	0.3696	0.3824	0.4125	○