

例題7

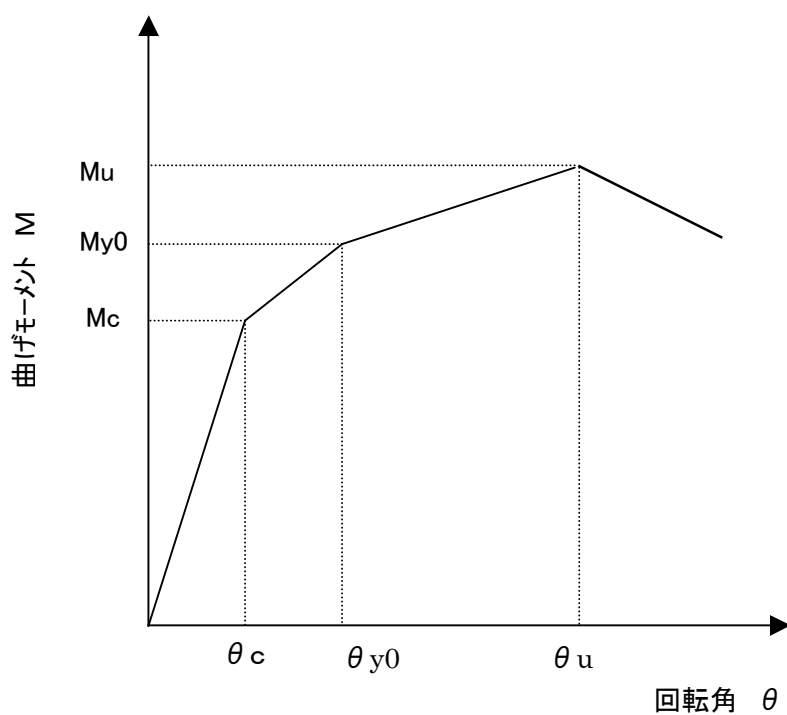
7-1 検討計算

壁式橋脚一杭基礎構造物(テトラリニアモデル)の静的非線形解析の例題である。

検討計算は表7. 1. 1に示すとおりとした。

表7. 1. 1 検討計算

検討計算	検討内容
地震時荷重計算	地震時荷重を節点荷重と強制変位で与えた静的非線形解析(死荷重時の断面力を初期状態とする。)



非線形回転バネ要素の曲げモーメント—回転角の関係
(テトラリニアモデル)

7-2 解析モデル

本例題は、図7. 2. 1に示すような壁式橋脚一杭基礎構造物を、軸力変動(テトラリニア型)を考慮して静的非線形解析を行った例を示す。

橋脚、杭は梁モデルでモデル化し、地盤はばね要素でモデル化した。節点番号および要素番号を図7. 2. 2に示す。

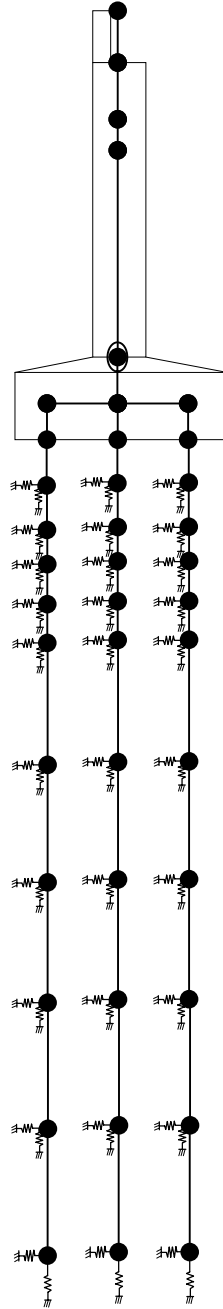


図7. 2. 1 解析モデル

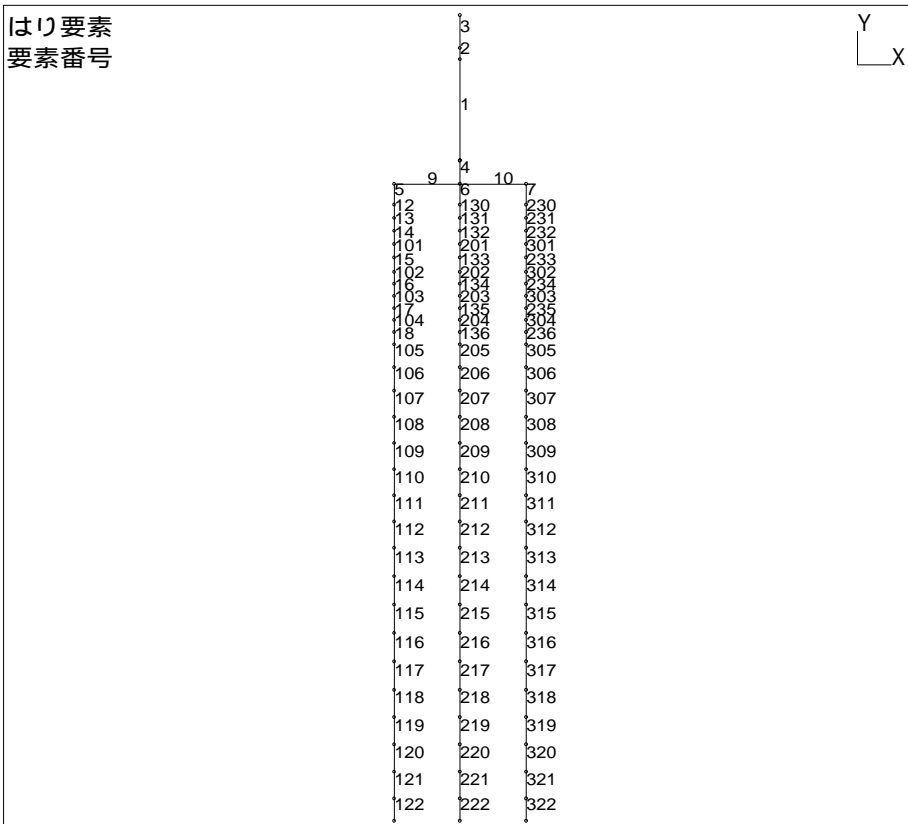
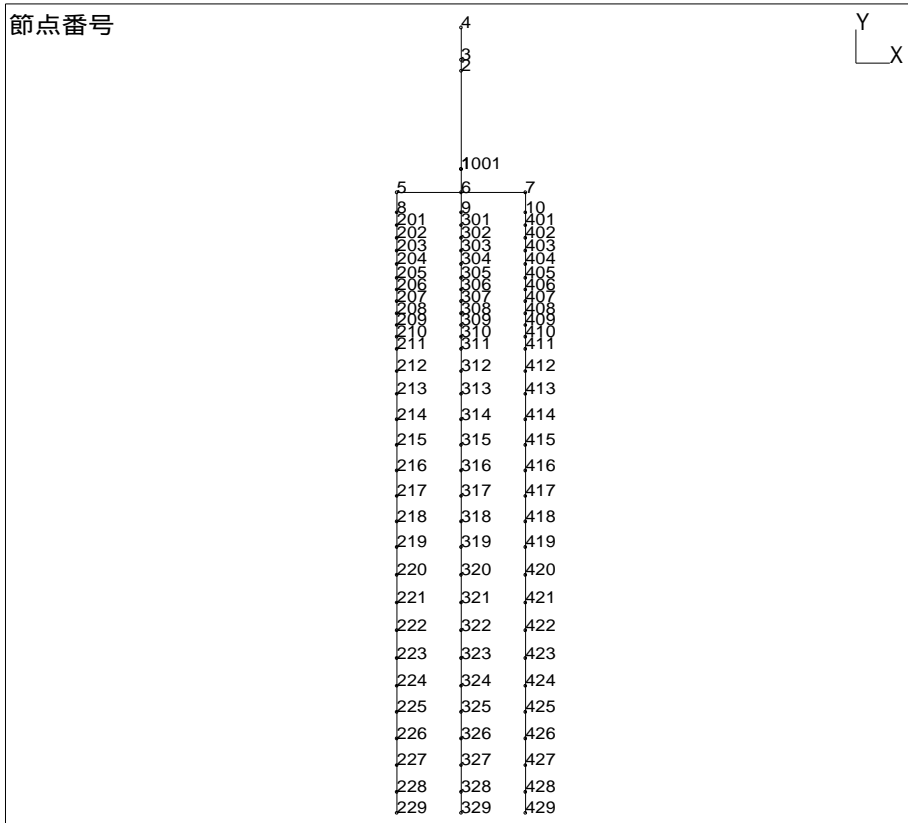


図7. 2. 2 節点・要素番号図

7-3 解析諸元

橋脚躯体 : 弾性なはり要素でモデル化し、橋脚基部に曲げモーメントと回転角(M-θ 曲線)により表現される非線形特性を考慮した回転ばね要素でモデル化した。
非線形特性は軸力変動による影響を考慮した。

(表7.3.1、表7.3.2参照)

杭 : 非線形はり要素でモデル化した。
非線形特性は軸力変動による影響を考慮した。

(表7.3.2参照)

表7.3.1 塑性ヒンジばね要素

要素番号	部材端節点番号		ばね定数 K(tf/cm)
	I 端	J 端	
5001	1001	1	3.93E+08

表7.3.2 非線形特性

橋脚下端塑性ヒンジ

ひび割れ面		
N(tf)	Mz(tfcm)	My(tfcm)
0.0	80079.0	80079.0
-1.00E+15	0.0	0.0

第1勾配率	0.161
-------	-------

降伏曲面		
N(tf)	Mz(tfcm)	My(tfcm)
1.00E+10	0.0	0.0
10000.0	320372.0	320372.0
1000.0	320372.0	320372.0
100.0	320372.0	320372.0
-10000.0	320372.0	320372.0
-1.00E+10	0.0	0.0

第2勾配率	0.0032
-------	--------

終局曲面		
N(tf)	Mz(tfcm)	My(tfcm)
1.00E+10	0.0	0.0
10000.0	356003.0	356003.0
1000.0	356003.0	356003.0
100.0	356003.0	356003.0
-10000.0	356003.0	356003.0
-1.00E+10	0.0	0.0

終局後勾配率	-0.0107
--------	---------

杭

ひび割れ面		
N(tf)	Mz(tfcm)	My(tfcm)
0.0	9729.0	9729.0
-5.78E+02	0.0	0.0

第1勾配率	0.166
-------	-------

降伏曲面		
N(tf)	Mz(tfcm)	My(tfcm)
7.80E+03	0.0	0.0
3468.0	118000.0	118000.0
2388.9	129000.0	129000.0
1849.5	124000.0	124000.0
-39.0	83600.0	83600.0
-2.74E+03	0.0	0.0

第2勾配率	0.009
-------	-------

終局曲面		
N(tf)	Mz(tfcm)	My(tfcm)
7.80E+03	0.0	0.0
3468.0	118000.0	118000.0
2388.9	129000.0	129000.0
1849.5	130000.0	130000.0
-39.0	100000.0	100000.0
-2.74E+03	0.0	0.0

終局後勾配率	-0.0170
--------	---------

表7.3.3 使用材料

場所	ヤング率(tf/cm ²)
構造物	250.0
杭	224.0

表7.3.4 節点座標(1/2)

部材	節点番号	座標		部材	節点番号	座標	
		X	Y			X	Y
		(cm)	(cm)			(cm)	(cm)
橋脚基部	1	0.0	-53.4	引抜き側杭	219	-300.0	-1814.0
塑性ヒンジ2重節点	1001	0.0	-53.4		220	-300.0	-1943.0
橋脚	2	0.0	406.6		221	-300.0	-2072.0
	3	0.0	456.6		222	-300.0	-2201.0
	4	0.0	606.6		223	-300.0	-2330.0
フーチング	5	-300.0	-160.9		224	-300.0	-2459.0
	6	0.0	-160.9		225	-300.0	-2582.8
	7	300.0	-160.9		226	-300.0	-2706.5
	8	-300.0	-253.4		227	-300.0	-2830.3
	9	0.0	-253.4		228	-300.0	-2954.0
	10	300.0	-253.4		229	-300.0	-3053.4
上部工節点	11	0.0	607.5	杭先端バネ用節点	230	-300.0	-3053.4
引抜き側杭	201	-300.0	-313.4				
	202	-300.0	-373.4				
	203	-300.0	-433.4				
	204	-300.0	-493.4				
	205	-300.0	-559.0				
	206	-300.0	-614.0				
	207	-300.0	-669.0				
	208	-300.0	-724.0				
	209	-300.0	-779.0				
	210	-300.0	-834.0				
	211	-300.0	-889.0				
	212	-300.0	-994.0				
	213	-300.0	-1099.0				
	214	-300.0	-1218.2				
	215	-300.0	-1337.3				
	216	-300.0	-1456.5				
	217	-300.0	-1575.7				
	218	-300.0	-1694.8				

表7.3.5 節点座標(2/2)

部材	節点番号	座標		部材	節点番号	座標	
		X	Y			X	Y
		(cm)	(cm)			(cm)	(cm)
中央杭	301	0.0	-313.4	押込み杭	401	300.0	-313.4
	302	0.0	-373.4		402	300.0	-373.4
	303	0.0	-433.4		403	300.0	-433.4
	304	0.0	-493.4		404	300.0	-493.4
	305	0.0	-559.0		405	300.0	-559.0
	306	0.0	-614.0		406	300.0	-614.0
	307	0.0	-669.0		407	300.0	-669.0
	308	0.0	-724.0		408	300.0	-724.0
	309	0.0	-779.0		409	300.0	-779.0
	310	0.0	-834.0		410	300.0	-834.0
	311	0.0	-889.0		411	300.0	-889.0
	312	0.0	-994.0		412	300.0	-994.0
	313	0.0	-1099.0		413	300.0	-1099.0
	314	0.0	-1218.2		414	300.0	-1218.2
	315	0.0	-1337.3		415	300.0	-1337.3
	316	0.0	-1456.5		416	300.0	-1456.5
	317	0.0	-1575.7		417	300.0	-1575.7
	318	0.0	-1694.8		418	300.0	-1694.8
	319	0.0	-1814.0		419	300.0	-1814.0
	320	0.0	-1943.0		420	300.0	-1943.0
	321	0.0	-2072.0		421	300.0	-2072.0
	322	0.0	-2201.0		422	300.0	-2201.0
	323	0.0	-2330.0		423	300.0	-2330.0
	324	0.0	-2459.0		424	300.0	-2459.0
	325	0.0	-2582.8		425	300.0	-2582.8
	326	0.0	-2706.5		426	300.0	-2706.5
	327	0.0	-2830.3		427	300.0	-2830.3
	328	0.0	-2954.0		428	300.0	-2954.0
	329	0.0	-3053.4		429	300.0	-3053.4
杭先端バネ用節点	330	0.0	-3053.4	杭先端バネ用節点	430	300.0	-3053.4

表7.3.6 はり要素物性値(1/3)

部材	要素番号	部材端節点番号		断面積 A(cm ²)	断面2次 モーメント Iz(cm ⁴)
		I 端	J 端		
橋脚	1	1001	2	1.19E+05	3.46E+08
	2	2	3	1.90E+05	6.33E+08
	3	3	4	1.60E+05	5.33E+08
フーチング	4	1	6	∞	∞
	5	5	8	∞	∞
	6	6	9	∞	∞
	7	7	10	∞	∞
	8	4	11	∞	∞
	9	5	6	1.55E+05	4.43E+08
	10	6	7	1.55E+05	4.43E+08
引抜き側杭	12	8	201	3.99E+04	4.03E+07
	13	201	202	3.99E+04	4.03E+07
	14	202	203	3.99E+04	4.03E+07
	15	204	205	3.99E+04	4.03E+07
	16	206	207	3.99E+04	4.03E+07
	17	208	209	3.99E+04	4.03E+07
	18	210	211	3.99E+04	4.03E+07
	101	203	204	3.99E+04	4.03E+07
	102	205	206	3.99E+04	4.03E+07
	103	207	208	3.99E+04	4.03E+07
	104	209	210	3.99E+04	4.03E+07
	105	211	212	3.99E+04	4.03E+07
	106	212	213	3.99E+04	4.03E+07
	107	213	214	3.99E+04	4.03E+07
	108	214	215	3.99E+04	4.03E+07
	109	215	216	3.99E+04	4.03E+07
	110	216	217	3.99E+04	4.03E+07
	111	217	218	3.99E+04	4.03E+07
	112	218	219	3.99E+04	4.03E+07
	113	219	220	3.99E+04	4.03E+07
	114	220	221	3.99E+04	4.03E+07
	115	221	222	3.99E+04	4.03E+07
116	222	223	3.99E+04	4.03E+07	
117	223	224	3.99E+04	4.03E+07	
118	224	225	3.99E+04	4.03E+07	
119	225	226	3.99E+04	4.03E+07	
120	226	227	3.99E+04	4.03E+07	
121	227	228	3.99E+04	4.03E+07	
122	228	229	3.99E+04	4.03E+07	

表7.3.7 はり要素物性値(2/3)

部材	要素番号	部材端節点番号		断面積 A(cm ²)	断面2次 モーメント Iz(cm ⁴)
		I 端	J 端		
中央杭	130	9	301	3.99E+04	4.03E+07
	131	301	302	3.99E+04	4.03E+07
	132	302	303	3.99E+04	4.03E+07
	133	304	305	3.99E+04	4.03E+07
	134	306	307	3.99E+04	4.03E+07
	135	308	309	3.99E+04	4.03E+07
	136	310	311	3.99E+04	4.03E+07
	201	303	304	3.99E+04	4.03E+07
	202	305	306	3.99E+04	4.03E+07
	203	307	308	3.99E+04	4.03E+07
	204	309	310	3.99E+04	4.03E+07
	205	311	312	3.99E+04	4.03E+07
	206	312	313	3.99E+04	4.03E+07
	207	313	314	3.99E+04	4.03E+07
	208	314	315	3.99E+04	4.03E+07
	209	315	316	3.99E+04	4.03E+07
	210	316	317	3.99E+04	4.03E+07
	211	317	318	3.99E+04	4.03E+07
	212	318	319	3.99E+04	4.03E+07
	213	319	320	3.99E+04	4.03E+07
	214	320	321	3.99E+04	4.03E+07
	215	321	322	3.99E+04	4.03E+07
216	322	323	3.99E+04	4.03E+07	
217	323	324	3.99E+04	4.03E+07	
218	324	325	3.99E+04	4.03E+07	
219	325	326	3.99E+04	4.03E+07	
220	326	327	3.99E+04	4.03E+07	
221	327	328	3.99E+04	4.03E+07	
222	328	329	3.99E+04	4.03E+07	

表7.3.8 はり要素物性値(3/3)

部材	要素番号	部材端節点番号		断面積 A(cm ²)	断面2次 モーメント Iz(cm ⁴)
		I 端	J 端		
押込み杭	230	10	401	3.99E+04	4.03E+07
	231	401	402	3.99E+04	4.03E+07
	232	402	403	3.99E+04	4.03E+07
	233	404	405	3.99E+04	4.03E+07
	234	406	407	3.99E+04	4.03E+07
	235	408	409	3.99E+04	4.03E+07
	236	410	411	3.99E+04	4.03E+07
	301	403	404	3.99E+04	4.03E+07
	302	405	406	3.99E+04	4.03E+07
	303	407	408	3.99E+04	4.03E+07
	304	409	410	3.99E+04	4.03E+07
	305	411	412	3.99E+04	4.03E+07
	306	412	413	3.99E+04	4.03E+07
	307	413	414	3.99E+04	4.03E+07
	308	414	415	3.99E+04	4.03E+07
	309	415	416	3.99E+04	4.03E+07
	310	416	417	3.99E+04	4.03E+07
	311	417	418	3.99E+04	4.03E+07
	312	418	419	3.99E+04	4.03E+07
	313	419	420	3.99E+04	4.03E+07
	314	420	421	3.99E+04	4.03E+07
	315	421	422	3.99E+04	4.03E+07
	316	422	423	3.99E+04	4.03E+07
	317	423	424	3.99E+04	4.03E+07
	318	424	425	3.99E+04	4.03E+07
	319	425	426	3.99E+04	4.03E+07
	320	426	427	3.99E+04	4.03E+07
	321	427	428	3.99E+04	4.03E+07
	322	428	429	3.99E+04	4.03E+07

表7.3.9 杭先端の鉛直地盤抵抗特性

要素番号	部材端節点番号		ばね定数 K(tf/cm)	地盤反力 上限値 (tf)
	I 端	J 端		
2200	229	230	468.0	1696.5
2201	329	330	468.0	1696.5
2202	429	430	468.0	1696.5

表7. 3. 10 杭の水平方向地盤抵抗特性

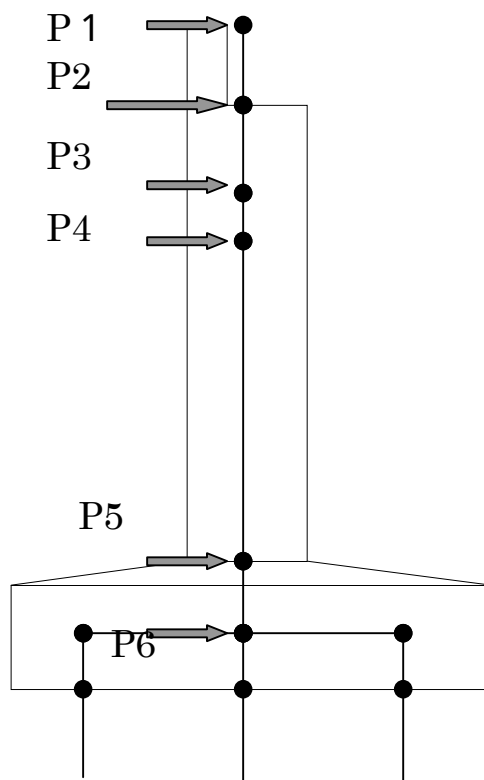
要素番号	部材端節点番号		ばね定数 K(tf/cm)	地盤反力 上限値 (tf)	要素番号	部材端節点番号		ばね定数 K(tf/cm)	地盤反力 上限値 (tf)
	I 端	J 端				I 端	J 端		
1001	8		3.1	14.8	1116	315		15.4	115.8
1002	201		6.1	34.2	1117	316		15.4	115.8
1003	202		6.1	38.9	1118	317		15.4	115.8
1004	203		6.1	38.9	1119	318		15.4	115.8
1005	204		6.4	40.7	1120	319		81.2	162.4
1006	205		5.5	39.1	1121	320		147.0	209.0
1007	206		4.3	35.6	1122	321		147.0	209.0
1008	207		4.3	35.6	1123	322		147.0	209.0
1009	208		4.3	35.6	1124	323		147.0	209.0
1010	209		4.3	44.6	1125	324		225.0	204.7
1011	210		4.3	53.5	1126	325		303.0	200.5
1012	211		8.6	54.5	1127	326		303.0	200.5
1013	212		12.9	63.5	1128	327		303.0	200.5
1014	213		14.1	93.7	1129	328		252.0	264.8
1015	214		15.4	115.8	1130	329		271.0	172.4
1016	215		15.4	115.8	1201	10		3.1	14.8
1017	216		15.4	115.8	1202	401		6.1	34.2
1018	217		15.4	115.8	1203	402		6.1	38.9
1019	218		15.4	115.8	1204	403		6.1	38.9
1020	219		81.2	162.4	1205	404		6.4	40.7
1021	220		147.0	209.0	1206	405		5.5	39.1
1022	221		147.0	209.0	1207	406		4.3	35.6
1023	222		147.0	209.0	1208	407		4.3	35.6
1024	223		147.0	209.0	1209	408		4.3	35.6
1025	224		225.0	204.7	1210	409		4.3	44.6
1026	225		303.0	200.5	1211	410		4.3	53.5
1027	226		303.0	200.5	1212	411		8.6	54.5
1028	227		303.0	200.5	1213	412		12.9	63.5
1029	228		252.0	231.9	1214	413		14.1	93.7
1030	229		271.0	137.9	1215	414		15.4	115.8
1101	9		3.1	14.8	1216	415		15.4	115.8
1102	301		6.1	34.2	1217	416		15.4	115.8
1103	302		6.1	38.9	1218	417		15.4	115.8
1104	303		6.1	38.9	1219	418		15.4	115.8
1105	304		6.4	40.7	1220	419		81.2	162.4
1106	305		5.5	39.1	1221	420		147.0	209.0
1107	306		4.3	35.6	1222	421		147.0	209.0
1108	307		4.3	35.6	1223	422		147.0	209.0
1109	308		4.3	35.6	1224	423		147.0	209.0
1110	309		4.3	44.6	1225	424		225.0	204.7
1111	310		4.3	53.5	1226	425		303.0	200.5
1112	311		8.6	61.3	1227	426		303.0	200.5
1113	312		12.9	79.2	1228	427		303.0	200.5
1114	313		14.1	102.5	1229	428		252.0	231.9
1115	314		15.4	115.8	1230	429		271.0	137.9

表7. 3. 11 杭の鉛直方向地盤抵抗特性

要素番号	部材端節点番号		ばね定数 K(tf/cm)	地盤反力 上限値 (tf)	要素番号	部材端節点番号		ばね定数 K(tf/cm)	地盤反力 上限値 (tf)
	I 端	J 端				I 端	J 端		
2101	8		3.1	1.0	2146	215		17.5	40.4
2102	9		3.1	1.0	2147	315		17.5	40.4
2103	10		3.1	1.0	2148	415		17.5	40.4
2104	201		6.1	1.0	2149	216		17.5	40.4
2105	301		6.1	1.0	2150	316		17.5	40.4
2106	401		6.1	1.0	2151	416		17.5	40.4
2107	202		6.1	1.0	2152	217		17.5	40.4
2108	302		6.1	1.0	2153	317		17.5	40.4
2109	402		6.1	1.0	2154	417		17.5	40.4
2110	203		6.1	1.0	2155	218		17.5	40.4
2111	303		6.1	1.0	2156	318		17.5	40.4
2112	403		6.1	1.0	2157	418		17.5	40.4
2113	204		6.4	1.0	2158	219		93.3	56.7
2114	304		6.4	1.0	2159	319		93.3	56.7
2115	404		6.4	1.0	2160	419		93.3	56.7
2116	205		6.2	1.0	2161	220		169.0	72.9
2117	305		6.2	1.0	2162	320		169.0	72.9
2118	405		6.2	1.0	2163	420		169.0	72.9
2119	206		5.0	1.0	2164	221		169.0	72.9
2120	306		5.0	1.0	2165	321		169.0	72.9
2121	406		5.0	1.0	2166	421		169.0	72.9
2122	207		5.0	1.0	2167	222		169.0	72.9
2123	307		5.0	1.0	2168	322		169.0	72.9
2124	407		5.0	1.0	2169	422		169.0	72.9
2125	208		5.0	1.0	2170	223		169.0	72.9
2126	308		5.0	1.0	2171	323		169.0	72.9
2127	408		5.0	1.0	2172	423		169.0	72.9
2128	209		5.0	1.0	2173	224		258.0	71.5
2129	309		5.0	1.0	2174	324		258.0	71.5
2130	409		5.0	1.0	2175	424		258.0	71.5
2131	210		5.0	1.0	2176	225		347.0	70.0
2132	310		5.0	1.0	2177	325		347.0	70.0
2133	410		5.0	1.0	2178	425		347.0	70.0
2134	211		9.6	1.0	2179	226		347.0	70.0
2135	311		9.6	1.0	2180	326		347.0	70.0
2136	411		9.6	1.0	2181	426		347.0	70.0
2137	212		7.1	9.0	2182	227		347.0	70.0
2138	312		7.1	9.0	2183	327		347.0	70.0
2139	412		7.1	9.0	2184	427		347.0	70.0
2140	213		15.9	29.2	2185	228		290.0	147.4
2141	313		15.9	29.2	2186	328		290.0	147.4
2142	413		15.9	29.2	2187	428		290.0	147.4
2143	214		17.5	40.4	2188	229		116.0	112.4
2144	314		17.5	40.4	2189	329		116.0	112.4
2145	414		17.5	40.4	2190	429		116.0	112.4

荷重

荷重は、震度 0.50 までを節点に荷重を与える荷重増分法とし、それ以降は橋脚天端(節点 4)に増分変位を与えていく変位増分法とした。変位増分時の地震時慣性力の総和は、フーチング部部材のせん断力の和で算出する。



	Kh=1.0 荷重 (tf)	Kh=0.5 荷重 (tf)
P1	84.87	42.43
P2	848.08	424.04
P3	27.97	13.98
P4	73.98	36.99
P5	65.20	32.60
P6	163.73	81.86

7-4 解析結果

解析結果として、橋脚基部塑性ヒンジ終局時の変位図・軸力図・せん断力図・曲げモーメント図、橋脚のP- δ 曲線、橋脚基部塑性ヒンジのM- θ 曲線を示す。

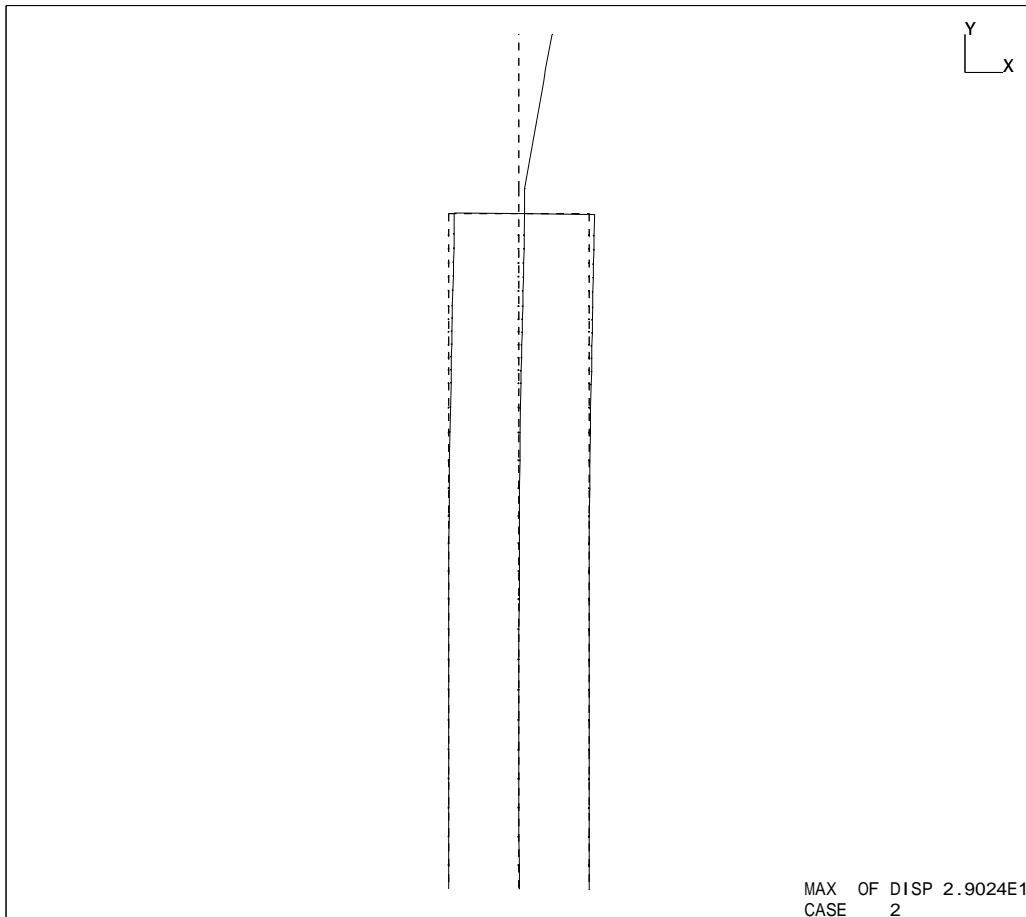


図7. 4. 1 終局時変位図

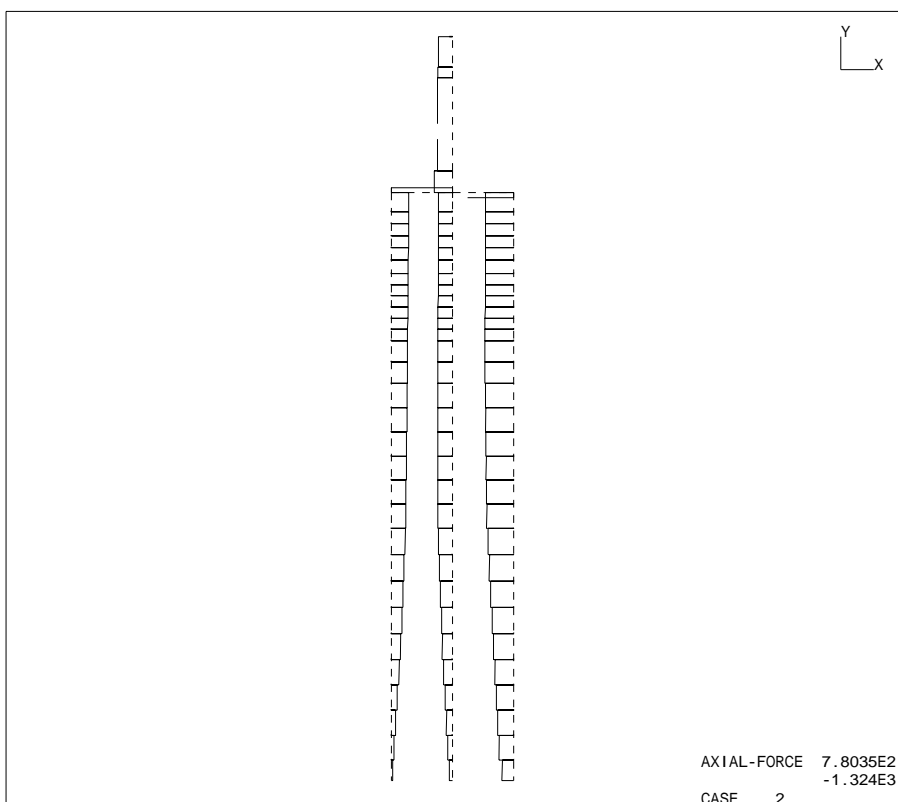


图7.4.2 終局時軸力图

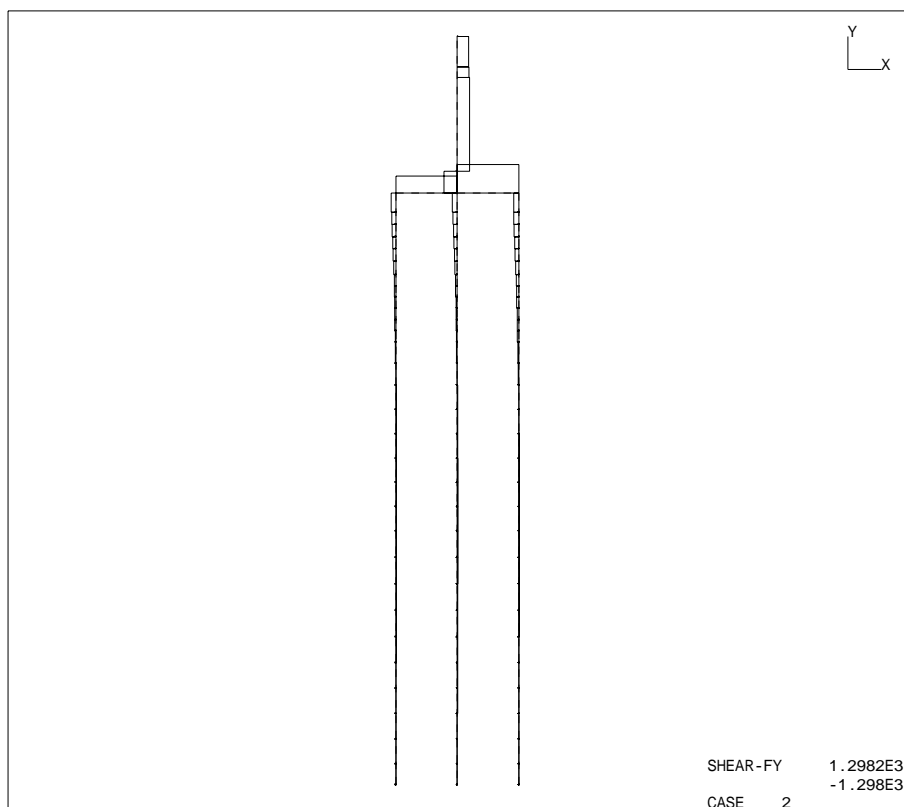


图7.4.3 終局時せん断力图

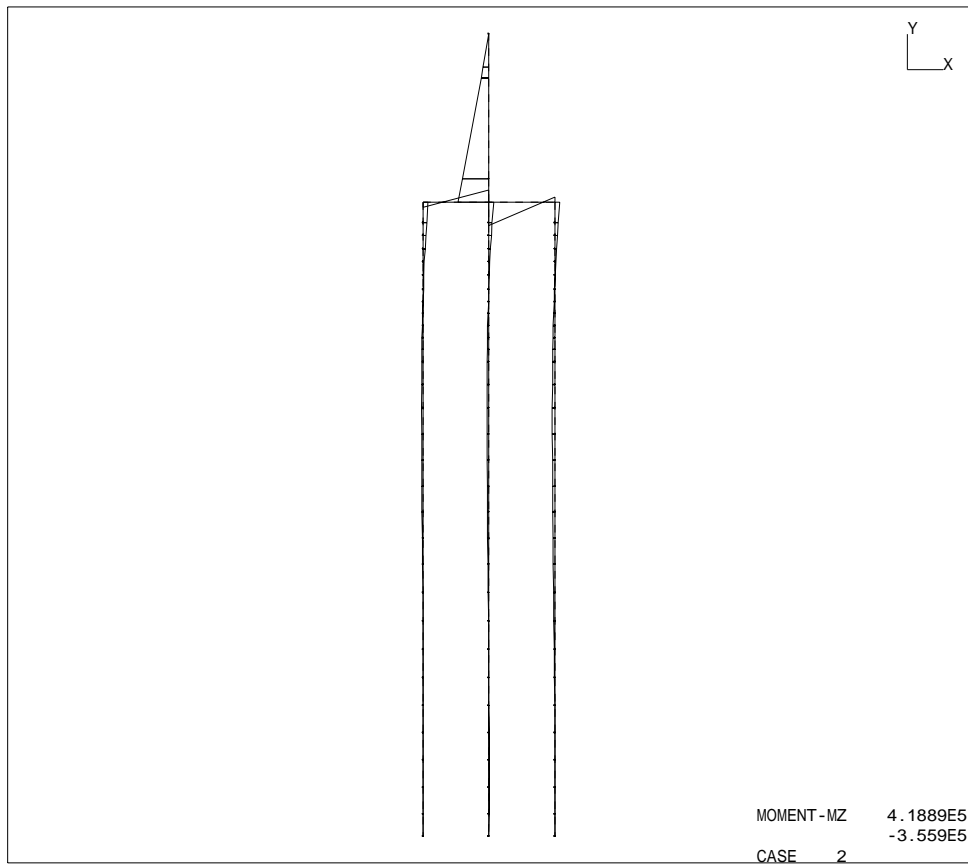


図7.4.4 終局時曲げモーメント図

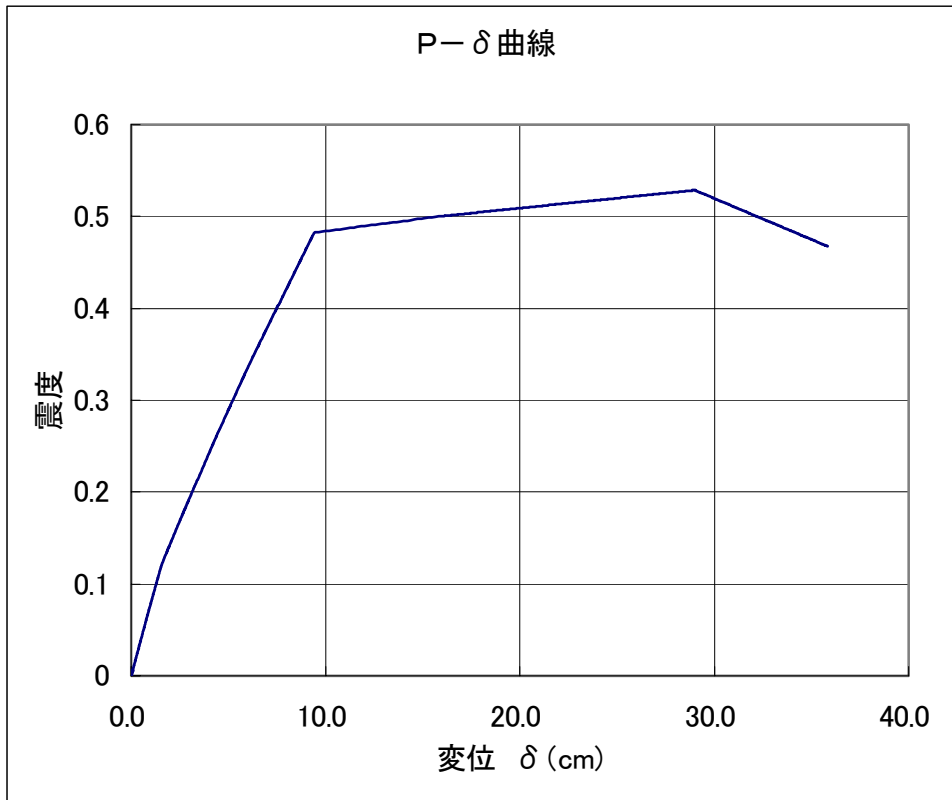


図7. 4. 5 橋脚 P- δ 曲線

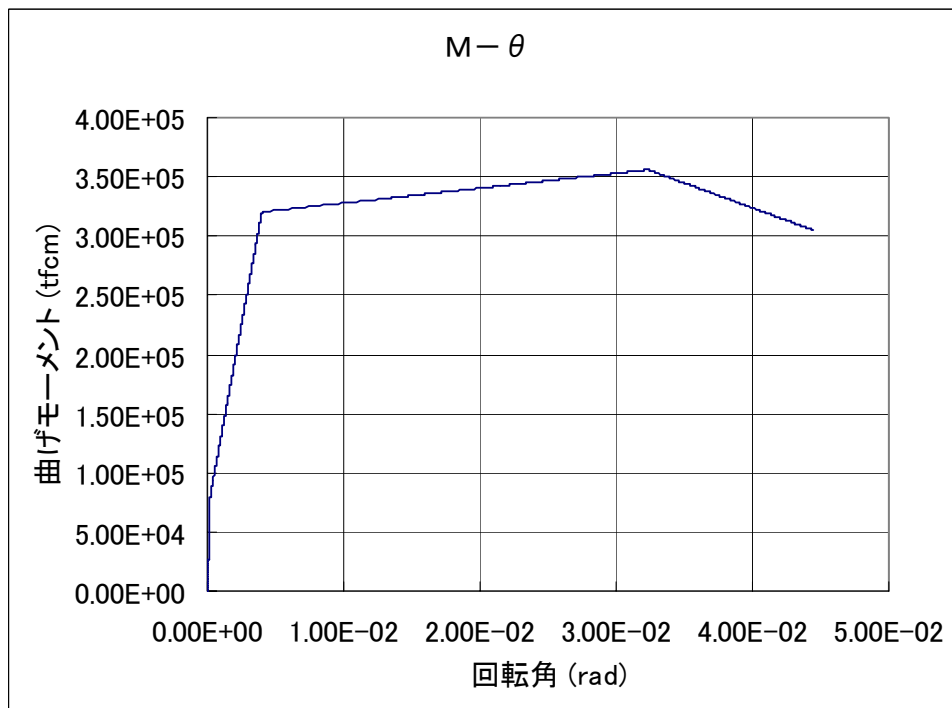


図7. 4. 6 塑性ヒンジ M- θ 曲線