

I-7

鋼製橋脚モデルの地震時弾塑性応答性状

宇都宮大学 正眞 中島章典
 東北大学 正眞 倉西 茂

1. はじめに

都市内高速道路高架橋などに使用される鋼製橋脚の合理的な終局耐震設計法を確立するためには、実際の諸元を有する鋼製橋脚モデルの地震時弾塑性応答性状を明らかにしておく必要がある。

本研究は、鋼製橋脚を上部構造の死荷重とそれによる質量を頂部に有する片持ち柱にモデル化し、これが地震作用を受ける場合の動的応答性状を、鋼材の降伏および幾何学的非線形性の影響を考慮した弾塑性動的応答解析法を用いて検討した。

2. 解析モデルと解析方法

ここでは、箱型断面の単柱形式の鋼製橋脚を対象とし、これを図1に示すように頂部に上部構造の死荷重とその質量を有する片持ち柱にモデル化し、地震時の動的応答性状を調べる。橋脚高さ $L = 20m$ とし、道路橋示方書・同解説、V耐震設計編（以下、道示V）に基づき、1種地盤に対して概略許容応力度法により設計された図1に示す正方形箱型断面の等断面柱と、柱基部から適当な高さで断面の板厚を変えた変断面柱を用いた。鋼材はSS41材とし、降伏応力度 σ_Y を $2400kgf/cm^2$ としている。

許容応力度法による断面設計は、以下のような条件で行った。ただし、曲げモーメントは1方向にのみ作用する場合を考え、断面は無補剛とする。また、許容応力度の算定に際しては地震時の割り増し係数1.5を考慮する。1) 上部構造の死荷重の大きさは、柱断面（変断面柱の場合は基部断面）の降伏軸力 P_Y に対して、 $P = 0.1P_Y$ の軸力に相当するものとする。2) 死荷重に対応した質量と設計水平震度によって算定される慣性力が、柱頂部に水平に作用した場合に基部で生じる曲げモーメントと軸力による応力度がそれぞれ許容応力度を満足する。3) さらに、軸力と曲げモーメントを同時に受ける場合の安定性の照査式の値がほぼ1.0になる。

ここで採用した弾塑性動的応答解析法は、鋼材の降伏および幾何学的非線形性の影響を考慮したはりの有限要素法とニューマークの β 法および修正ニュートンラフソン法を併用した解析法である。

解析に際しては、鋼材の応力ひずみ関係を完全弾塑性型にモデル化している。また、有限要素解析における柱の要素分割数は10、塑性域の広がりやを考慮するための断面分割数は12である。粘性減衰としてはレーリー減衰を仮定し、1次の固有振動モードに対する減衰定数 $h = 0.02$ を基準とした。表1には、等断面および変断面柱の断面諸元を示している。この表の解析タイプの2つめの数字は、0が等断面柱を表し、3、4、5は、それぞれ $k = 0.3, 0.4, 0.5$ の位置で断面が変化する変断面柱を表している。さらに、基礎地盤の変形が鋼製橋脚の弾塑性応答に及ぼす影響を調べるため、橋脚基部に図1に示す3方向の地盤ばねを考慮したものも検討した。表2には、解析に用いた水平、鉛直、回転の地盤ばね定数を示している。

表1 解析モデルの断面諸元

タイプ	等断面 or 変断面	B (m)	t (mm)	A (m^2)	I (m^4)	T_1 (sec)
SP1-0	等断面	2.0	50	0.39	0.2473	1.423
SP1-3	基部断面 断面変化点	2.0	50	0.39	0.2473	1.567
SP1-4		2.0	30	0.2364	0.1529	1.514
SP1-5		2.0	30	0.2364	0.1529	1.474

表2 地盤ばね定数

ばねの種類	ばね定数
水平ばね	$4.0 \times 10^5 tf/m$
鉛直ばね	$1.6 \times 10^7 tf/m$
回転ばね	$1.0 \times 10^7 tfm$

3. 地震波

入力地震波としては、道示Vに示されている1種地盤用の時刻歴応答解析用標準波形（レベル1）と鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力照査用のレベル2の波形を用い、入力位置は橋脚基部としている。

4. 解析結果

図2は、レベル1および2の地震入力に対する柱頂部の水平方向変位の時刻歴曲線を示している。レベル1に対する変位応答に比べてレベル2に対する変位応答は振幅が大きくなり、また、1方向に残留変位が生じている

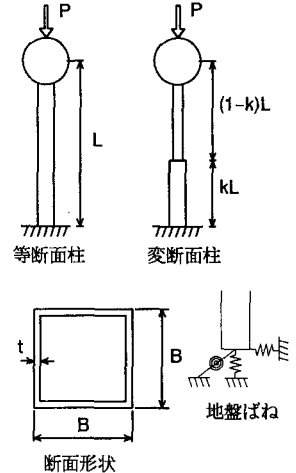


図1 解析モデルと断面形状

ことがわかる。一方、同じ解析結果から得られる入力エネルギーおよび粘性減衰により消費されるエネルギーの累積時刻歴曲線を図3に示す。レベル1の地震入力による累積入力エネルギーと粘性減衰エネルギーは小さく、両者ともほぼ同程度の値である。これに対して、レベル2の地震入力に対する累積入力エネルギーは時間の経過とともにしだいに増大する傾向があり、粘性減衰によるエネルギー吸収も比較的大きいことがわかる。

次に図4は、レベル2の地震入力に対する等断面柱の基部断面の曲げモーメントと曲率の関係を示すが、このモデルの基部断面はかなり大きく塑性化していることがわかる。

等断面と変断面、減衰定数、地盤ばねなどをパラメーターとした解析の結果によって得られた最大応答値を表3にまとめる。この表では、柱頂部の最大水平変位 δ_{max} 、基部および断面変化点の断面の最大曲げモーメント M_{max} と最大曲率 ϕ_{max} 、基部の最大水平反力 H_{max} および最大累積入力エネルギー E_{max} を無次元化して示している。ここに、 M_Y 、 ϕ_Y は軸力の影響を考慮した降伏曲げモーメントと降伏曲率、 $H_Y = M_Y/L$ で表される降伏水平反力、 $E_Y = H_Y \delta_Y / 2$ (δ_Y : 柱頂部に H_Y が作用したときの柱頂部のたわみ) となる降伏ひずみエネルギーである。また、解析タイプのうち、最後に S が付いたものは地盤ばねを考慮した場合であり、変断面柱の M_{max} と ϕ_{max} では、上段が基部断面の最大応答値、下段が断面変化点の最大応答値を示す。

この表から次のようなことがわかる。1) 減衰定数が大きいくほど最大応答値は小さくなる。2) 適切な高さで断面を変化させた変断面柱は、レベル2の地震に対して、基部断面と断面変化点の両方でエネルギー吸収が起こり、結果的に最大応答値は小さくなる。3) 地盤ばねを考慮すると、レベル2の地震に対しては、柱基部の塑性化が低減されるので、最大応答値は小さくなる。

謝辞：本研究の一部は、土木学会鋼構造新技術小委員会耐震設計研究WG(代表：宇佐見 勉先生)および科学研究費総合研究A(代表：山田 善一先生)の補助を受けたことを付記し、関係方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II 鋼橋編，V 耐震設計編，1990.2.

表3 解析において得られた最大応答値

タイプ	入力地震 レベル	h %	δ_{max}/L %	M_{max}/M_Y	ϕ_{max}/ϕ_Y	H_{max}/H_Y	E_{max}/E_Y
SP1-0	レベル1	0	0.508	0.737	0.739	0.723	0.607
SP1-0	レベル1	2	0.461	0.669	0.67	0.656	0.574
SP1-0	レベル1	5	0.4	0.58	0.582	0.569	0.573
SP1-0S	レベル1	2	0.481	0.646	0.648	0.638	0.787
SP1-3	レベル1	2	0.62	0.739	0.74	0.717	1.09
				0.909	0.911		
SP1-4	レベル1	2	0.56	0.715	0.716	0.696	0.895
				0.754	0.755		
SP1-5	レベル1	2	0.468	0.63	0.631	0.615	0.741
				0.553	0.555		
SP1-0	レベル2	0	2.605	1.274	17.37	1.344	16.5
SP1-0	レベル2	2	2.457	1.274	15.84	1.296	16.58
SP1-0	レベル2	5	2.088	1.274	12.27	1.279	15.52
SP1-0S	レベル2	2	2.261	1.274	13.22	1.293	12.69
SP1-3	レベル2	2	3.091	1.143	1.269	1.163	12.8
				1.353	30.05		
SP1-4	レベル2	2	2.138	1.273	9.64	1.267	11.67
				1.337	4.366		
SP1-5	レベル2	2	2.27	1.274	13.26	1.277	12.84
				1.154	1.284		

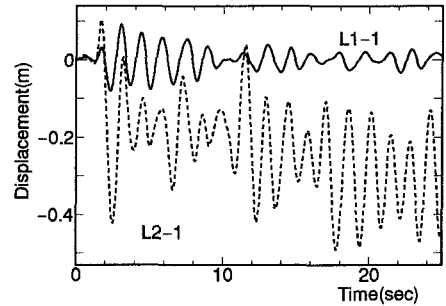


図2 水平変位の時刻歴曲線

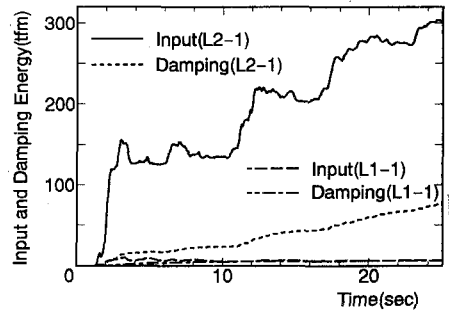


図3 エネルギー累積時刻歴曲線

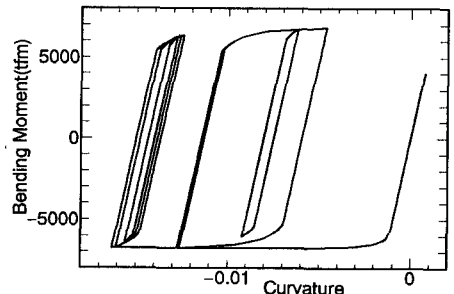


図4 曲げモーメントと曲率の関係