

PC連続ラーメン橋の損傷進展に関する解析的検討

九州大学 学生員 ○佃 友宏
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

九州大学大学院 正会員 松田泰治
パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 濱本朋久

1. はじめに

杭基礎を有する連続ラーメン橋では、地震時保有水平耐力法で設計された静的な耐力設計が安全側の設計手法であるために、そこで得られる全体系の耐力が橋脚の杭基礎に多大な耐力を要求することとなっているのが現状である。また不等橋脚高を有する場合は、水平力を作用させる方向によって降伏過程が異なり、その降伏過程の相違が全体系へ与える影響は未解明である。そこで地震時の損傷の進展を明らかにすることにより、より合理的な耐震設計が提案可能と考えられる。

本研究では地震時保有水平耐力法で設計された一般的な不等橋脚高を有する連続ラーメン橋の橋軸方向を対象に動的応答解析を行い、橋脚の上下端で発生が予想される塑性ヒンジの発生順序と水平力を作用させる方向を考慮して静的解析との比較検討を実施した。

2. 解析条件

対象橋梁は4径間連続ラーメン橋で図-1に対象橋梁全体図を示す。橋長297.10m、支間割54.50+94.00+94.00+54.50m、橋脚高はP1が24.50m、P2が39.00m、P3が30.00mの不等橋脚を有する。高橋脚の応答が卓越するⅡ種地盤上に建設される橋とし、地域区分はA地域（地域別補正係数 $C_z=1.0$ ）、重要度区分はB種の橋とする。

解析モデルでは上部構造は全断面有効時の剛性を有する線形部材で、はり要素とした。橋脚部は降伏剛性を有する線形部材で、はり要素とした。橋脚の上下端に塑性ヒンジを考慮し、塑性ヒンジ領域の中央に非線形回転バネを設けた。履歴特性は完全バイリニア型の $M-\theta$ 特性（武田型）を設定した。橋脚のフーチング下端には線形的地盤バネを設けた。静的解析を行う際には橋脚下端を固定とした。

各部材の減衰はそれぞれ（上部構造：3% 橋脚部：5% 塑性ヒンジ部：2% 地盤バネ：20%）とし、この値から得られるモード減衰を考慮して、動的解析で用いるレーリー減衰を設定した。また解析ソフトには汎用構造解析プログラムTDAPⅢを用いた。

動的解析には共振正弦波とレベル2地震動として道路橋示方書の標準波JR西日本鷹取駅（NS成分）（TYPEⅡ-Ⅱ-1）を入力地震動として用いた。図-2(a)(b)に入力地震動波形を示す。

3. 解析結果

固有値解析結果を表-1に示す。1次モードの橋軸方向の有効質量比が全体の約60%となっており、橋軸方向においては高次モードの影響を無視できないものと考えられる。

TYPEⅡ-Ⅱ-1を入力した時の最大応答塑性率一覧を表-2に示す。塑性ヒンジ部が降伏に至る際の応答を詳細に評

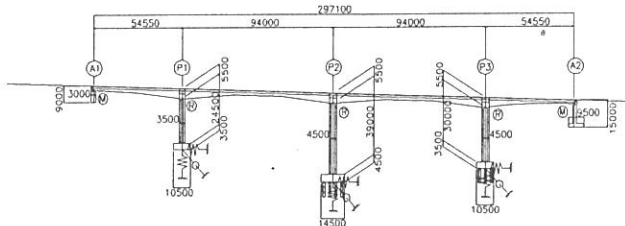
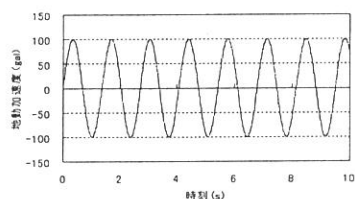
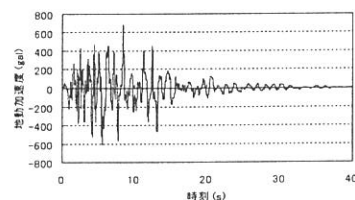


図-1 対称橋梁



(a) 正弦波



(b) TYPEⅡ-Ⅱ-1

図-2 入力地震動波形

表-1 固有値解析結果

次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	橋軸方向有効質量比 (累積%)	減衰比
1	0.7370	1.3569	62	0.066258
2	1.2789	0.7819	63	0.045681
3	1.7708	0.5647	63	0.038465
4	2.6399	0.3788	67	0.044348
5	3.0874	0.3239	67	0.039652
6	3.7184	0.2689	70	0.069779
7	4.3081	0.2321	70	0.061958
8	4.5045	0.2220	75	0.081948
9	4.7133	0.2122	75	0.071737
10	5.5636	0.1797	82	0.105145

価するため最大入力加速度の倍率を0.1倍から1.0倍まで変化させた。ここで最大応答塑性率とは最大応答回転角を降伏回転角で除した値であり、許容塑性率とは道示における照査で用いられる式から算出した。その結果、橋脚高の一番低いP1橋脚基部が最初に降伏した。水平力を作用させる方向の違いにより橋脚にかかる負担が異なり、橋梁全体系として崩壊に至る過程が異なるものと予想される。また、許容塑性率との比較から、十分な耐震性を有していることがわかる。

動的解析と静的解析を比較するにあたって降伏時の橋脚部応答加速度分布が線形的に変化すると仮定した。そこで動的解析で得られた塑性ヒンジ部の降伏時における橋脚上部の応答加速度と橋脚基部の応答加速度から、平均加速度を算出しそれを9.8m/sec²で除した値を換算震度とした。それらの比較を表-3、図-3に示す。動的解析では正弦波、TYPE II-II-1ともに降伏の順序は同じであるが降伏する水平力に相違が見られる個所も存在する。しかし降伏時における上部工変位が近い値を示していることから塑性ヒンジの生じる目安になると考えられる。

静的解析と動的解析では降伏に至る水平力に大きな差が見受けられ、動的解析のほうが小さな水平力で降伏に至っている。また降伏に至る順序も静的解析と動的解析において若干異なっている。これは水平力の作用する方向によって生じており、橋脚高の違いによるものと考えられる。さらに静的解析では橋梁全体に水平力を作用させているのに対し動的解析では表-3に示すように橋脚の上下端で異なる応答加速度が作用しているからである。

表-2 TYPE II-II-1 最大応答塑性率一覧表

(a) P1→P3方向地震波入力

倍率 α	最大入力 加速度(gal)	最大応答塑性率					
		P1上部	P1基部	P2上部	P2基部	P3上部	P3基部
0.1倍	68.683	0.384	0.507	0.168	0.194	0.327	0.387
0.2倍	137.366	0.627	0.809	0.342	0.367	0.524	0.585
0.3倍	206.049	0.865	1.268	0.508	0.532	0.709	0.773
0.4倍	274.732	1.179	2.305	0.642	0.666	0.861	0.926
0.5倍	343.416	1.515	3.418	0.778	0.782	0.999	1.125
0.6倍	412.099	2.810	4.566	0.936	0.893	1.314	1.560
0.7倍	480.782	3.774	5.735	1.189	1.020	1.718	2.015
0.8倍	549.465	4.786	6.923	1.659	1.361	1.998	2.314
0.9倍	618.148	5.803	8.065	2.195	1.794	2.188	2.509
1.0倍	686.831	6.782	8.183	2.730	2.248	2.658	2.658
許容塑性率		14.392	12.155	8.568	7.341	15.030	11.932

(b) P1←P3方向地震波入力

倍率 α	最大入力 加速度(gal)	最大応答塑性率					
		P1上部	P1基部	P2上部	P2基部	P3上部	P3基部
0.1倍	68.683	0.435	0.572	0.181	0.168	0.294	0.353
0.2倍	137.366	0.731	0.839	0.355	0.325	0.459	0.517
0.3倍	206.049	1.005	1.044	0.530	0.497	0.623	0.682
0.4倍	274.732	1.814	1.291	0.709	0.671	0.787	0.846
0.5倍	343.416	2.763	1.457	0.858	0.820	0.952	1.015
0.6倍	412.099	3.515	1.539	0.964	0.929	1.238	1.476
0.7倍	480.782	4.104	1.647	1.099	1.049	1.713	2.046
0.8倍	549.465	4.535	1.641	1.463	1.362	2.241	2.646
0.9倍	618.148	4.888	1.822	1.828	1.738	2.792	3.257
1.0倍	686.831	5.178	2.257	2.346	2.133	3.356	3.895
許容塑性率		14.392	12.155	8.568	7.341	15.030	11.932

表-3 静的解析・動的解析(TYPE II-II-1)

降伏順序・震度一覧表

静的解析				動的解析									
(P1→P3)	降伏順序	上部工変位	震度	降伏時刻 (s)	上部応答 加速度 (m/sec ²)	下部応答 加速度 (m/sec ²)	上部工 応答変位 (m)	加速度 平均 (m/sec ²)	上部工 変位絶対値 (m)	換算震度	降伏時刻 (s)	降伏順序	
P1上部	2	0.185	0.278	6.060	-3.169	-0.332	0.197	1.816	0.197	0.165	1		
P1基部	1	0.129	0.216	7.432	-1.921	-0.102	0.115	1.011	0.115	0.103	2		
P2上部	6	0.512	0.449	6.122	-5.539	1.000	0.369	3.471	0.369	0.354	5		
P2基部	5	0.419	0.440	6.146	-5.850	2.376	0.368	4.113	0.368	0.420	6		
P3上部	3	0.236	0.265	6.768	-5.492	0.186	-0.311	2.653	0.311	0.271	4		
P3基部	4	0.384	0.430	6.774	-4.814	-0.164	-0.274	2.499	0.274	0.254	3		

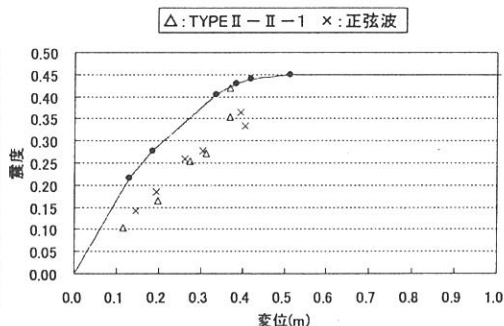
(P1←P3)	降伏順序	上部工変位	震度	降伏時刻 (s)	上部応答 加速度 (m/sec ²)	下部応答 加速度 (m/sec ²)	上部工 応答変位 (m)	加速度 平均 (m/sec ²)	上部工 変位絶対値 (m)	換算震度	降伏時刻 (s)	降伏順序
P1上部	2	0.237	0.373	6.060	-3.116	0.611	0.187	1.864	0.187	0.190	1	
P1基部	1	0.196	0.328	6.660	-2.921	-0.229	0.154	1.345	0.154	0.137	2	
P2上部	6	0.528	0.447	6.132	-5.922	-1.632	-0.359	3.812	0.359	0.389	5	
P2基部	5	0.401	0.435	6.142	-5.956	-2.149	-0.359	4.075	0.359	0.416	6	
P3上部	4	0.265	0.325	6.080	-5.180	0.087	-0.304	2.066	0.304	0.309	4	
P3基部	3	0.258	0.391	6.138	-4.267	-1.619	-0.260	2.943	0.260	0.300	3	

4. まとめ

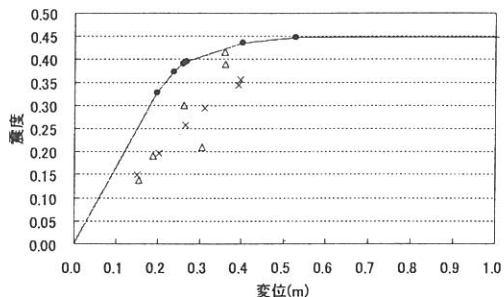
本研究では耐震設計の照査に用いられる動的解析と静的解析において降伏に至る震度に差異が認められることを指摘した。また本橋のような連続ラーメン橋では橋脚高の一番低い橋脚が耐震上の弱点となり、崩壊に至る可能性がある。安全性の判定では最大入力加速度倍率時においても許容塑性率を上回ることはなかった。しかし許容塑性率を超えても橋としての機能を維持できる可能性を確認する必要がある、今後は崩壊に至るまでのメカニズムを検討課題としたい。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 2) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料



(a) P1→P3方向地震波入力



(b) P1←P3方向地震波入力

図-3 震度-変位関係