

地震により被災したRC橋脚の耐震性評価に関する研究

京都大学工学部 正員 山田善一 家村浩和
伊津野和行 井上晋
京都大学大学院 学生 ○大川俊紀

1. はじめに

周知のように橋梁構造物は公共構造物であり、一般的にその重要度は高いと考えられる。その橋梁の下部構造物である橋脚の与える影響は、昨年のロマプリータ地震による被害から明らかなように非常に大きなものといえる。本研究では、地震による被害を受けた既存構造物が、再度訪れる地震時にどのような挙動を示かを時歴応答解析を用いて推定し、その使用の是非を判定する。想定構造物としてはT型橋脚とし、これを1自由度系としてモデル化する。また判定には、剛性劣化、強度劣化、ピンチング効果を考慮した弾塑性応答解析を行ない、応答値の最大値とエネルギー吸収とをもとにした指標を用いて検討した。

2. 既存構造物の耐震性評価

本研究は図1のような流れにある。理論的構造モデルとしては、剛性劣化、強度劣化、ピンチング効果の特徴を、それぞれ α 、 β 、 γ の3つのパラメータで表した3パラメータモデルを用い、評価尺度としては過大な応力と繰り返し応力の両方による損傷を考慮したダメージインデックスD、

$$D = \frac{\delta M}{\delta U} + \frac{\beta}{P_y \cdot \delta U} \int dE \quad (1)$$

(δM : 最大応答変位、 δU : 単一方向による終局変位
 P_y : 降伏強度、 $\int dE$: 履歴エネルギー吸収量、 β : 正の定数)

を用いて表した。

3. 耐震性評価尺度に各因子が与える影響

3-1. 履歴復元力モデルの各パラメータが及ぼす影響

履歴復元力モデルの3つのパラメータ α 、 β 、 γ の値が、評価尺度Dにどの程度の影響を与えるかを調べるため、入力地震動として E1 Centro地震記録の最大値を 200 galとしたもの、以下これをE1. 200とする、を用いて、 α 、 β 、 γ のそれぞれについて他のパラメータの値を固定して、1つのパラメータの値を除々に増加した結果を表1、2、3である。表中、D1、D2はそれぞれ(1)式の右辺第1項、第2項を表す。これらについて回帰分析を行なうと、 β と γ には強い線形性が表われ以下の式のようにになったが、 α には表われなかった。これから、履歴モデルの決定の際に、剛性劣化の数値設定にはそれほど正確な値は必要ないが、強度劣化、ピンチング効果の数値設定には実験結果などから慎重に定めなければならない。

$$D = 1.30700000\beta + 0.35240909$$

$$D = 0.42890909\gamma + 1.27118182$$

3-2. 入力地震動が及ぼす影響 こんどは3つのパラメータ α 、 β 、 γ の値をそれぞれ2.0、0.25、0.8と定めて、図1の流れに沿って入力地震動の値をいろいろ変えてみた結果を表4に示す。また、

Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, Kazuyuki IZUNO, Susumu INOUE, Toshiki OKAWA

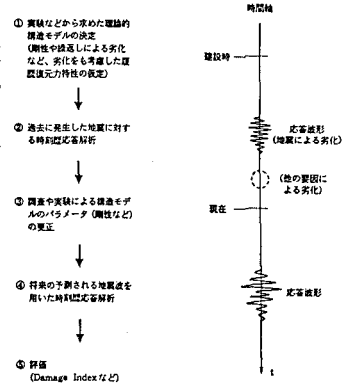


図1 本研究の流れ

表1 ダメージインデックス表 (α 変数)

α	β	γ	Digg. Max	Pogco Max	D	D1	D2
0.0	1.0	1.0	4.852	3.358	0.795	0.454	0.341
1.0	1.0	1.0	4.083	3.116	1.599	0.378	1.222
2.0	1.0	1.0	3.768	3.037	1.659	0.352	1.307
3.0	1.0	1.0	3.623	2.984	1.662	0.339	1.323
4.0	1.0	1.0	3.561	2.977	1.683	0.339	1.350
5.0	1.0	1.0	3.515	2.963	1.683	0.329	1.354
6.0	1.0	1.0	3.486	2.955	1.664	0.326	1.328
7.0	1.0	1.0	3.478	2.953	1.660	0.325	1.335
8.0	1.0	1.0	3.499	2.959	1.657	0.327	1.329
9.0	1.0	1.0	3.503	2.960	1.670	0.328	1.343
10.0	1.0	1.0	3.498	2.958	1.672	0.327	1.345

表2 ダメージインデックス表 (β 変数)

α	β	γ	Digg. Max	Pogco Max	D	D1	D2
2.0	0.0	1.0	3.768	3.037	0.352	0.352	0.0
2.0	0.1	1.0	3.768	3.037	0.489	0.352	0.131
2.0	0.2	1.0	3.768	3.037	0.614	0.352	0.261
2.0	0.3	1.0	3.768	3.037	0.745	0.352	0.392
2.0	0.4	1.0	3.768	3.037	0.875	0.352	0.523
2.0	0.5	1.0	3.768	3.037	1.006	0.352	0.653
2.0	0.6	1.0	3.768	3.037	1.137	0.352	0.784
2.0	0.7	1.0	3.768	3.037	1.267	0.352	0.915
2.0	0.8	1.0	3.768	3.037	1.398	0.352	1.046
2.0	0.9	1.0	3.768	3.037	1.529	0.352	1.176
2.0	1.0	1.0	3.768	3.037	1.659	0.352	1.307

スペクトル強度 S I の値も加えておいた。これから以下のことがわかる。

・一度被災したのちに地震が起こったときのダメージインデックスの値は、過去に地震が起こっていないところに地震が起こったときのダメージインデックスの値よりも大きい。例えば、過去に地震が起こっていないところに E.L. 200 の地震が起こったときの D の値は 0.679 で、過去に E.L. 100 の地震があったのに E.L. 200 の地震が起こったときの D の値 0.770 よりも 0.91 だけ後者の方が大きい。また、過去にうけた地震よりも大きな地震をのちにうける場合の D の値は、その逆の過去にうけた地震よりも小さな地震をのちにうける場合の D の値よりも大きい。例えば、先に E.L. 100 の地震がきたのちに E.L. 200 の地震がくる場合の D の値は 0.770 で、先に E.L. 200 の地震がきたのちに E.L. 100 の地震がくる場合の D の値 0.690 よりも大きい。以上よりかつて小地震とはいえ震災をうけた構造物には大きな注意を払う必要があり、わずかな被害とはいえ修復などの措置をとるべきである。

・ダメージインデックスの値を求めるには時刻歴応答解析を行わなければならないが、それは非常に面倒である。そこで入力地震動を表す指標と、ダメージインデックスの値 D との間に何らかの関係がないか調べてみる。最大加速度と D との関係を見ると、同じ最大加速度でも地震波によって D の値は大きく異なりあまり関係がないことがわかる。例えば、同じ 200 g a l でも E.L. 200 と H.A. 200 とでは、0.679 と 0.810 で大きく異なる。次にスペクトル強度 S I と D の値について回帰分析を行なうと、D、D 1、D 2 すべてにおいて強い線形性がえられ、それぞれ以下の式で示される。

$$D = 0.006488631 S I$$

$$D 1 = 0.003096267 S I$$

$$D 2 = 0.003392792 S I$$

このことから、 α 、 β 、 γ が一定の際にはスペクトル強度 S I を求めることによって耐震性を推定することができる。

表 3 ダメージインデックス表 (γ 変数)

α	β	γ	Disp Max	Force Max	D	D 1	D 2
2.0	1.0	0.0	5.219	3.464	1.212	0.488	0.724
2.0	1.0	0.1	5.015	3.406	1.298	0.439	0.829
2.0	1.0	0.2	4.733	3.320	1.393	0.443	0.952
2.0	1.0	0.3	4.432	3.233	1.430	0.415	1.015
2.0	1.0	0.4	4.248	3.178	1.459	0.397	1.062
2.0	1.0	0.5	4.134	3.145	1.491	0.387	1.104
2.0	1.0	0.6	4.039	3.118	1.526	0.378	1.158
2.0	1.0	0.7	3.967	3.097	1.590	0.371	1.219
2.0	1.0	0.8	3.883	3.072	1.625	0.363	1.262
2.0	1.0	0.9	3.836	3.058	1.647	0.359	1.288
2.0	1.0	1.0	3.768	3.037	1.659	0.352	1.307

表 4 ダメージインデックス表

1st Loading	2nd Loading	DISP. MAX	FORCE MAX	D	D 1	D 2	S I
E.L. 100	H.A. 100	2.338	2.616	0.269 0.451	0.152 0.232	0.117 0.117	75.26
E.L. 150	H.A. 100	2.830	2.761	0.469 0.519	0.255 0.265	0.205 0.254	103.48
E.L. 200	H.A. 100	3.883	3.072	0.679 0.700	0.363 0.363	0.315 0.337	136.37
H.A. 100	H.A. 100	2.318	2.609	0.233 0.428	0.143 0.217	0.090 0.259	67.37
H.A. 150	H.A. 100	3.162	2.859	0.557 0.635	0.296 0.296	0.261 0.339	100.90
H.A. 200	H.A. 100	4.683	3.308	0.810 0.846	0.438 0.438	0.372 0.408	134.53
E.L. 100	H.A. 150	3.562	2.977	0.269 0.658	0.152 0.333	0.117 0.325	101.91
E.L. 150	H.A. 150	3.403	2.930	0.469 0.673	0.265 0.316	0.205 0.355	112.89
E.L. 200	H.A. 150	3.883	3.072	0.679 0.778	0.363 0.363	0.315 0.337	139.31
H.A. 100	H.A. 150	3.557	2.976	0.233 0.660	0.143 0.323	0.090 0.327	100.96
H.A. 150	H.A. 150	3.904	3.075	0.557 0.850	0.296 0.385	0.261 0.465	101.06
H.A. 200	H.A. 150	4.682	3.308	0.810 0.934	0.438 0.438	0.372 0.456	134.53
E.L. 100	H.A. 200	4.855	3.367	0.269 0.911	0.152 0.457	0.117 0.454	134.61
E.L. 150	H.A. 200	4.942	3.383	0.469 0.973	0.265 0.462	0.205 0.511	137.46
E.L. 200	H.A. 200	4.480	3.248	0.679 0.992	0.364 0.364	0.315 0.373	150.52
H.A. 100	H.A. 200	4.850	3.354	0.233 0.858	0.143 0.454	0.090 0.444	134.59
H.A. 150	H.A. 200	5.085	3.427	0.557 1.062	0.296 0.476	0.261 0.587	134.62
H.A. 200	H.A. 200	5.149	3.445	0.810 1.122	0.438 0.482	0.372 0.540	134.74

1st Loading	2nd Loading	DISP. MAX	FORCE MAX	D	D 1	D 2	S I
E.L. 100	E.L. 100	1.714	2.432	0.269 0.366	0.152 0.160	0.117 0.206	68.23
E.L. 150	E.L. 100	2.830	2.761	0.469 0.513	0.265 0.265	0.205 0.248	102.10
E.L. 200	E.L. 100	3.883	3.072	0.679 0.696	0.363 0.363	0.315 0.333	136.14
H.A. 100	E.L. 100	1.759	2.445	0.233 0.357	0.143 0.165	0.090 0.192	75.20
H.A. 150	E.L. 100	3.162	2.859	0.557 0.620	0.296 0.438	0.261 0.372	101.83
H.A. 200	E.L. 100	4.683	3.303	0.810 0.840	0.438 0.438	0.372 0.402	134.53
E.L. 100	E.L. 150	2.768	2.743	0.269 0.550	0.152 0.259	0.117 0.351	102.17
E.L. 150	E.L. 150	2.830	2.761	0.469 0.606	0.265 0.265	0.205 0.341	102.34
E.L. 200	E.L. 150	3.883	3.072	0.679 0.770	0.363 0.363	0.315 0.406	136.14
H.A. 100	E.L. 150	2.675	2.716	0.233 0.523	0.143 0.250	0.090 0.273	103.42
H.A. 150	E.L. 150	3.162	2.859	0.557 0.702	0.296 0.296	0.261 0.406	112.80
H.A. 200	E.L. 150	4.683	3.308	0.810 0.909	0.438 0.438	0.372 0.471	137.31
E.L. 100	E.L. 200	3.890	3.074	0.269 0.770	0.152 0.364	0.117 0.407	136.21
E.L. 150	E.L. 200	3.773	3.040	0.469 0.818	0.265 0.353	0.205 0.465	136.25
E.L. 200	E.L. 200	3.895	3.072	0.679 0.882	0.363 0.363	0.315 0.519	136.46
H.A. 100	E.L. 200	3.891	3.074	0.233 0.754	0.143 0.364	0.090 0.390	136.32
H.A. 150	E.L. 200	3.589	2.985	0.557 0.846	0.296 0.336	0.261 0.510	139.18
H.A. 200	E.L. 200	4.683	3.308	0.810 1.020	0.438 0.438	0.372 0.562	150.40