

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、昨年のロム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刻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す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、

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

(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、 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が表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

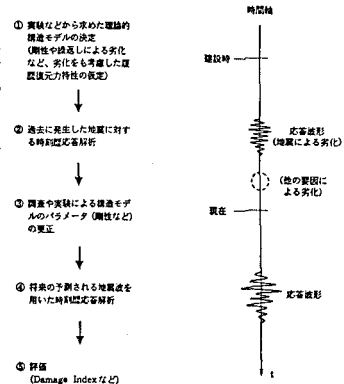


図1 本研究の流れ

表1 ダメージインデックス表 (α 変数)

α	β	γ	Disp. Max	Fogee 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	1.859	0.352	1.307
3.0	1.0	1.0	3.623	2.934	1.862	0.339	1.323
4.0	1.0	1.0	3.561	2.917	1.683	0.339	1.350
5.0	1.0	1.0	3.515	2.963	1.683	0.328	1.354
6.0	1.0	1.0	3.486	2.955	1.664	0.326	1.338
7.0	1.0	1.0	3.478	2.953	1.660	0.325	1.335
8.0	1.0	1.0	3.493	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	Disp. Max	Fogee 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	0.483	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 gal でも $E.L. 200$ と $HA 200$ 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 、 $D1$ 、 $D2$ 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。

$$D = 0.006488631 S_I$$

$$D1 = 0.003096267 S_I$$

$$D2 = 0.003392792 S_I$$

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	D1	D2
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	D1	D2	S_I
E1 100	HA 100	2.338	2.615	0.269 0.451	0.152 0.219	0.117 0.232	75.26
E1 150	HA 100	2.830	2.761	0.469 0.519	0.255 0.265	0.205 0.254	103.48
E1 200	HA 100	3.883	3.072	0.679 0.705	0.363 0.363	0.315 0.337	136.37
HA 100	HA 100	2.318	2.609	0.233 0.428	0.143 0.217	0.090 0.209	67.37
HA 150	HA 100	3.162	2.859	0.557 0.635	0.296 0.296	0.261 0.339	100.90
HA 200	HA 100	4.683	3.308	0.810 0.846	0.438 0.438	0.372 0.408	134.53
E1 100	HA 150	3.562	2.977	0.269 0.658	0.152 0.333	0.117 0.325	101.91
E1 150	HA 150	3.403	2.930	0.469 0.673	0.265 0.316	0.205 0.355	112.89
E1 200	HA 150	3.883	3.072	0.679 0.778	0.363 0.363	0.315 0.337	136.31
HA 100	HA 150	3.557	2.976	0.233 0.650	0.143 0.333	0.090 0.327	100.96
HA 150	HA 150	3.975	3.075	0.557 0.850	0.296 0.365	0.261 0.445	101.06
HA 200	HA 150	4.682	3.308	0.810 0.934	0.438 0.438	0.372 0.456	134.53
E1 100	HA 200	4.855	3.367	0.269 0.911	0.152 0.457	0.117 0.454	134.61
E1 150	HA 200	4.942	3.383	0.469 0.973	0.265 0.462	0.205 0.511	137.46
E1 200	HA 200	4.480	3.248	0.679 0.992	0.364 0.419	0.315 0.573	150.52
HA 100	HA 200	4.850	3.354	0.233 0.858	0.143 0.454	0.090 0.444	134.59
HA 150	HA 200	5.085	3.427	0.557 1.062	0.296 0.476	0.261 0.587	134.62
HA 200	HA 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	D1	D2	S_I
E1 100	E1 100	1.714	2.432	0.269 0.366	0.152 0.160	0.117 0.206	68.23
E1 150	E1 100	2.830	2.761	0.469 0.513	0.265 0.265	0.205 0.248	102.10
E1 200	E1 100	3.883	3.072	0.679 0.696	0.363 0.363	0.315 0.333	136.14
HA 100	E1 100	1.759	2.445	0.233 0.357	0.143 0.165	0.090 0.192	75.20
HA 150	E1 100	3.162	2.859	0.557 0.620	0.296 0.236	0.261 0.314	101.83
HA 200	E1 100	4.683	3.303	0.810 0.840	0.438 0.438	0.372 0.402	134.53
E1 100	E1 150	2.768	2.743	0.269 0.550	0.152 0.259	0.117 0.251	102.17
E1 150	E1 150	2.830	2.761	0.469 0.606	0.265 0.265	0.205 0.341	102.34
E1 200	E1 150	3.883	3.072	0.679 0.770	0.363 0.363	0.315 0.406	136.14
HA 100	E1 150	2.675	2.716	0.233 0.523	0.143 0.250	0.090 0.273	103.42
HA 150	E1 150	3.162	2.859	0.557 0.702	0.296 0.296	0.261 0.406	112.80
HA 200	E1 150	4.683	3.308	0.810 0.909	0.438 0.438	0.372 0.471	137.31
E1 100	E1 200	3.890	3.074	0.269 0.770	0.152 0.364	0.117 0.407	136.21
E1 150	E1 200	3.773	3.040	0.469 0.818	0.265 0.353	0.205 0.465	136.25
E1 200	E1 200	3.883	3.072	0.679 0.882	0.363 0.363	0.315 0.519	136.46
HA 100	E1 200	3.891	3.074	0.233 0.754	0.143 0.364	0.090 0.390	136.32
HA 150	E1 200	3.589	2.985	0.557 0.846	0.296 0.336	0.261 0.510	135.18
HA 200	E1 200	4.683	3.308	0.810 1.000	0.438 0.438	0.372 0.562	150.40