

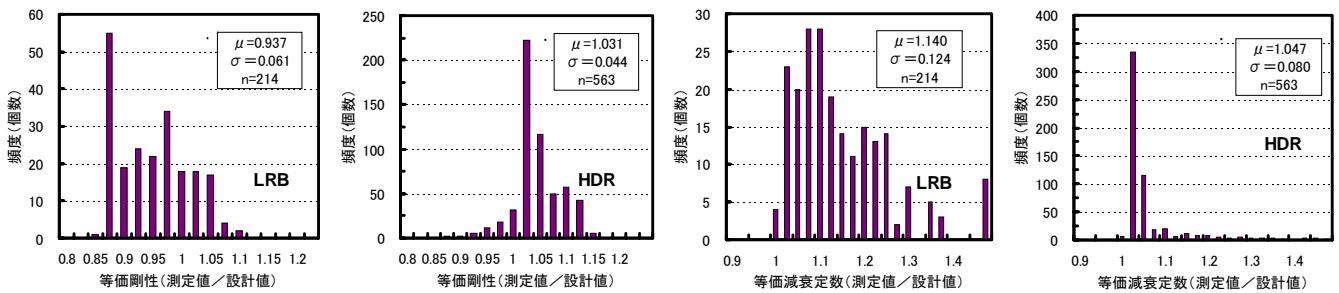
部材耐力・剛性のばらつきが免震橋梁の地震応答特性に及ぼす影響

建設省土木研究所 正会員 足立 幸郎
同上 正会員 運上 茂樹

1 はじめに 大規模地震時における免震橋梁は、免震支承と橋脚と複数箇所で塑性化が生じる可能性がある。このように橋梁の複数箇所で塑性化が生じる場合は、部材の耐力・剛性のばらつきが橋梁全体系の固有周期および減衰特性に影響を及ぼすのみでなく、部材間の耐力バランスが部材個々の非線形性の集中度に影響を及ぼす。本研究では、免震支承および橋脚の耐力・剛性のばらつきを調査し免震支承の動的パラメータの変動特性を明らかにするとともに、モンテカルロシミュレーション手法を用いて、ばらつきを考慮した免震橋梁の地震応答解析を行うことによって、部材耐力・剛性のばらつきが免震橋梁の地震応答特性に及ぼす影響を検討した。

2 免震支承の動的特性のばらつき 兵庫県南部地震における阪神高速道路の復旧に採用された免震支承の性能試験結果を統計解析した結果を図-1 に示す。図-1 は 175%ひずみに相当する変位の 10 回繰返し試験結果のうち、4-10 回目の荷重変形特性の平均値としてまとめている。等価剛性に関しては、LRB は一様分布に近く、HDR は平均値付近にピークを持つ分布形状を持つ。等価減衰定数に関しては、LRB および HDR とともに対数正規分布的な形状を示す。総じて、LRB は等価剛性および等価減衰定数ともに HDR と比較してばらつきが大きい傾向にある。この統計解析結果は、建築分野で得られた傾向¹⁾と一致する。

3 免震橋梁の地震応答解析 本検討では、免震橋梁の部材耐力、剛性等を変動させた時刻歴応答解析を実施した。図-2 に解析対象橋梁の概念図を示し、図-3 に免震支承および橋脚の荷重変形特性を示す。なお、荷重変形曲線の終端点は変動を考慮しない時刻歴応答解析による橋脚および免震支承の応答変位を示した。本橋梁の支承固定時の降伏固有周期は 0.337 秒、免震支承を考慮した場合は 1.048 秒である。各部材の非線形特性には、橋脚は武藤モデル、支承はバイリニアモデルを用い、基礎の並進・回転バネは線形モデルを用いた。入力



(a) LRB - 等価剛性 (b) HDR - 等価剛性 (c) LRB - 等価減衰定数 (d) HDR - 等価減衰定数
図-1 免震支承の動的特性のばらつき

表-1 解析で考慮したばらつき要因とばらつきの設定

変動要因	変動方法	平均値	変動係数	備考
上部構造重量 W_1	$W_1^* = (1 + R \cdot COV(W_1)) \cdot AVE(W_1) \cdot W_1^0$	1.05	0.05	
橋脚重量 W_2	$W_2^* = (1 + R \cdot COV(W_2)) \cdot AVE(W_2) \cdot W_2^0$	1.05	0.05	
免震支承剛性 $K_{s1,2}$	$K_{s1,2}^* = (1 + R \cdot COV(K_{s1,2})) \cdot AVE(K_{s1,2}) \cdot K_{s1,2}^0$	0.93	0.10	LRB
		1.03	0.04	HDR
免震支承降伏強度 $P_{s1,2}$	$P_{s1,2}^* = (1 + R \cdot COV(P_{s1,2})) \cdot AVE(P_{s1,2}) \cdot K_{s1,2}^0$	1.15	0.14	LRB
		1.05	0.08	HDR
橋脚降伏剛性 $K_{p1,2}$	$K_{p1,2}^* = (1 + R \cdot COV(K_{p1,2})) \cdot AVE(K_{p1,2}) \cdot K_{p1,2}^0$	0.96	0.14	
橋脚降伏耐力 $P_{p1,2}$	$P_{p1,2}^* = (1 + R \cdot COV(P_{p1,2})) \cdot AVE(P_{p1,2}) \cdot P_{p1,2}^0$	1.14	0.06	

0 : 公称強度等を用いた基準値、* : ばらつきを考慮した確率量、R : 平均値0、分散1とする正規乱数
AVE() : ばらつきの平均値、COV() : ばらつきの変動係数

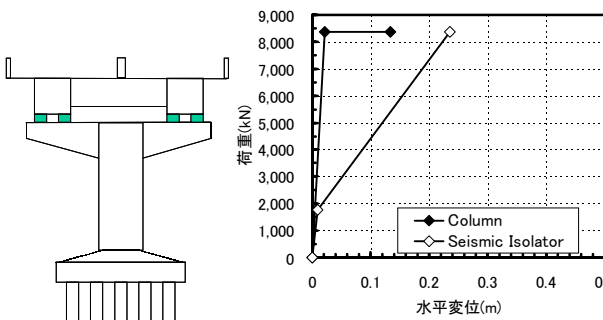


図-2 解析対象橋梁 図-3 免震支承と橋脚の荷重変形特性

キーワード：耐震信頼性、ばらつき、免震橋梁、免震支承、鉄筋コンクリート橋脚

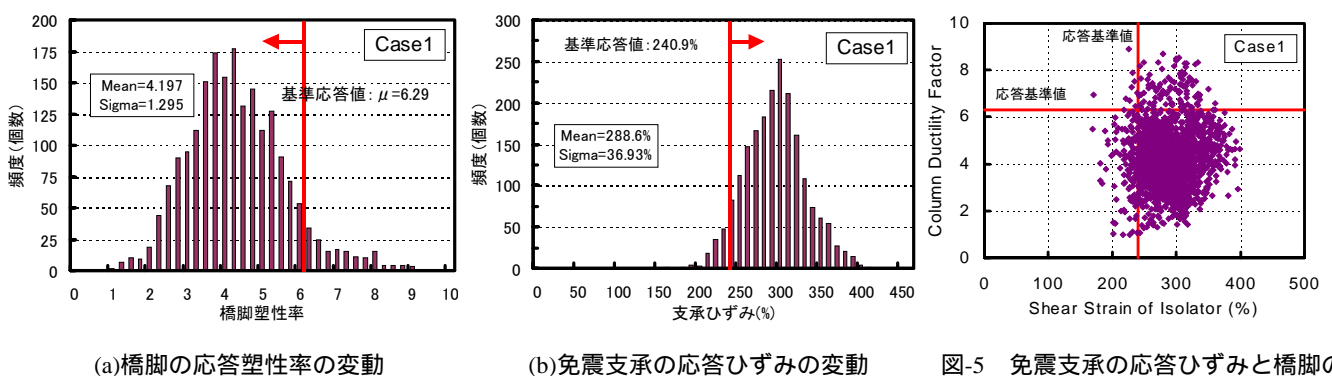
連絡先：茨城県つくば市旭1番地 TEL 0298-64-4966 FAX 0298-64-4424

は道路橋示方書レベル2タイプ 地震動の加速度応答スペクトル適合波(- -1 波)を用いた。表-1 に示す変動要因を考慮した。免震支承の変動は本調査結果、RC 橋脚の変動は既往の研究結果²⁾から仮定し、各ばらつきは正規分布に従いかつ独立であるとした。このような仮定下でモンテカルロシミュレーションを実施し、変動パラメータが免震橋梁の地震応答特性に及ぼす影響について検討した。なお、LRB 及びHDR を用いた解析を実施したが、免震支承の骨格曲線は同一のものと用い、ばらつき特性のみを変化させた。また、免震支承の等価減衰定数のばらつきは、免震支承の降伏耐力のばらつきとして取り扱った。試行回数は 2,000 回とした。

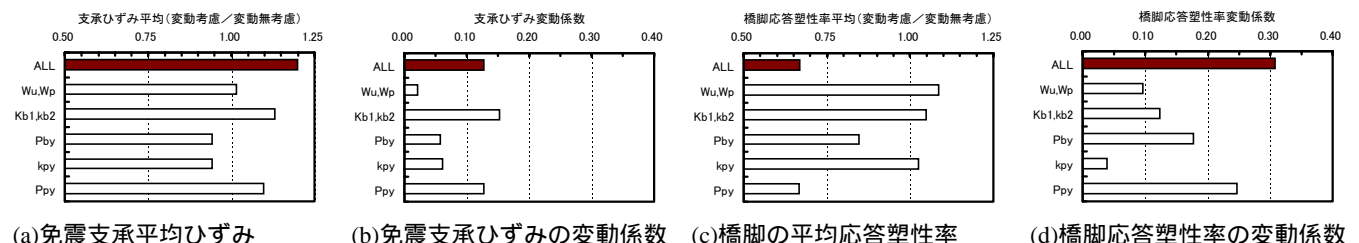
4 . 免震橋梁の地震応答特性 免震支承に LRB を用いた場合、変動を考慮しない時刻歴応答解析結果では、橋脚の応答塑性率は 6.29、免震支承の応答ひずみは 240.9%である。変動を考慮した場合の応答値と、変動を考慮しない基準応答値との比較を図-4 に示す。橋脚の平均応答塑性率は、設計で想定する応答塑性率より小さい。免震支承の平均応答ひずみは、設計で想定する応答ひずみより大きい。図-5 に橋脚の応答塑性率と支承の応答ひずみとの関係を示す。モンテカルロシミュレーションの結果では、橋脚の応答塑性率と免震支承の応答ひずみとは、全体としてみた場合平均値の移動に関しては両者に逆相関が認められるものの、全体的には見かけ上無相関であることがわかる。図-6 に各変動要因が免震支承と橋脚の応答に及ぼす感度分析結果を示す。免震支承の応答に比較的大きく影響を及ぼす変動要因は支承の剛性と橋脚の降伏耐力であり、橋脚の応答に比較的大きく影響を及ぼす変動要因は橋脚の降伏耐力と免震支承の降伏耐力であることがわかる。橋脚の降伏耐力の過強度特性が、免震支承の応答ひずみを増加させ、橋脚の応答塑性率を低下させることがわかる。すなわち、免震橋梁の複数箇所塑性化が生じる場合は、橋脚の過強度特性は免震支承の非線形応答を助長することがわかる。今回の計算では、免震支承の降伏耐力すなわち等価減衰定数、等価剛性さらに橋脚の降伏耐力は、独立なパラメータとして取り扱った。これにより、免震支承および橋脚の応答に影響を及ぼす変動パラメータが独立に変動するため、免震支承と橋脚との応答に相関性が見られなかったと考えられる。なお、免震支承の等価剛性と等価減衰定数とはほぼ無相関であることを別途統計確認している。したがって、実際の応答もほぼ同じ応答特性を有するものと考えられる。なお、免震支承に HDR を用いた計算結果でも、ばらつきは小さくなるものの、ほぼ同様の地震応答傾向が確認されている。

5 .おわりに 橋梁の複数箇所塑性化が生じる場合、一部材の耐力の向上は逆に他部材の非線形性を助長する。免震橋梁の場合、免震支承と橋脚の地震応答に影響を及ぼす変動要因が異なるため、両者の応答は見かけ上独立に変動すると仮定できる。今後、支承のハードニング特性を考慮した解析を実施する予定である。

参考文献 1)日本建築学会：免震構造設計指針、1993
2)足立、運上：じん性設計を行った鉄筋コンクリート橋脚の耐震信頼性評価、構造工学論文集 Vol.46A、2000.3



(a)橋脚の応答塑性率の変動 (b)免震支承の応答ひずみの変動 図-5 免震支承の応答ひずみと橋脚の応答塑性率の関係 (LRB の場合)



(a)免震支承平均ひずみ (b)免震支承ひずみの変動係数 (c)橋脚の平均応答塑性率 (d)橋脚応答塑性率の変動係数 図-6 変動要因が免震支承および橋脚の地震応答に及ぼす影響に関する感度分析 (LRB の場合)