

不確定性を考慮した免震橋梁の応答評価に関する一考察

熊本大学 学生会員 松尾 龍吾 正会員 松田 泰治

1. はじめに

本研究では、性能照査型設計法への移行を念頭において、免震橋梁の動的特性に影響を及ぼす免震支承および橋脚基部の非線形性を規定する構造パラメータと、入力地震動にばらつきを考慮するための正規乱数を与えて変動させ、それぞれ非線形性解析を行い、免震橋梁における免震支承および橋脚基部の非線形挙動に関する特性を明らかにする。さらに、免震橋梁を構成する各部位の適切な耐力分布の確率論的検討を試みる。

2. 解析条件

検討対象はⅠ種地盤A地域の支承固定の免震条件で断面設計された鋼桁と高減衰積層ゴム支承及び鉄筋コンクリート製の単中式免震橋脚（直接基礎）から構成される構造物（図・1 参照）とした。鋼桁は、桁の重心で1質点にモデル化し（節点12）、フーチングを含むRC橋脚は2次元はり要素でモデル化した。フーチングを除いたRC橋脚全体を7分割し、橋脚基部（要素③）の塑性ヒンジの領域は2次元非線形はり要素により考慮した。非線形部材として、免震支承はバイリニア型の水平ばね、橋脚基部の梁部材は武田モデルを考慮した。解析方法は直接積分法による時刻歴応答解析で、用いた数値計算法はNewmark' β method ($\beta = 0.25$) である。時間刻みは0.01秒とした。解析ケースは表2に示す。なお入力地震動確定時に用いる地震波は道路橋仕方書²⁾の標準波より、表・1に示す2波を用いた。

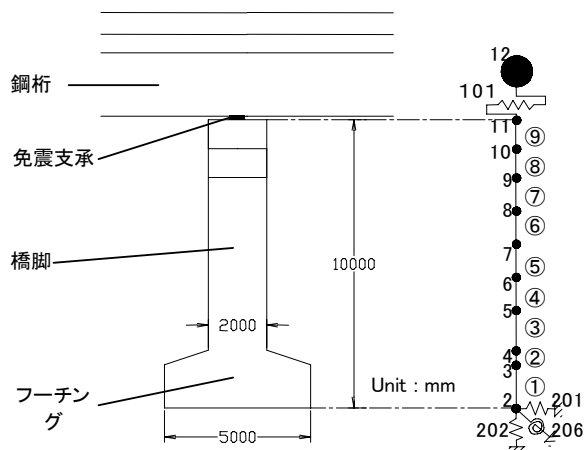


図-1 解析モデル

表-1 入力地震波(確定)

地盤主別	加速度波形名	地震波略名
Ⅰ種	I - I - 1	KAIHOKU BRG.LG
	II - I - 1	JMA KOBE OBS.NS

表-2 解析ケース

	構造パラメータ	入力地震動
Case1	確定	不確定
Case2	不確定	確定
Case3	不確定	不確定

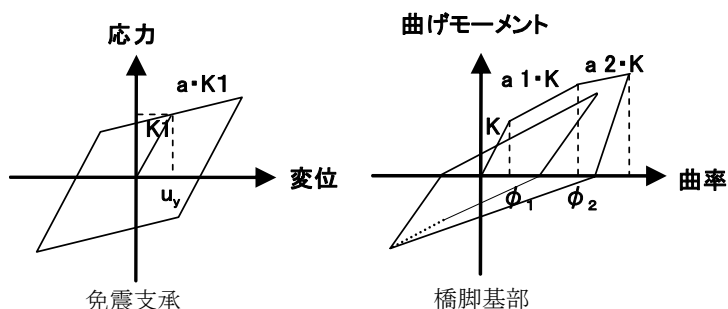


図-2 免震支承と橋脚基部の非線形履歴モデル

3. モンテカルロシミュレーション

不確定性を考慮した構造パラメータは、非線形を考慮する必要のある橋脚基部の梁部材の第一剛性、剛性低下率1、剛性低下率2、ひび割れ曲率、降伏曲率と免震支承の水平ばねの第一剛性、剛性低下率、降伏変位の計8パラメータとした（図2 参照）。不確定性を考慮した入力地震動は、道路示方書²⁾に記載されている標準加速度応答スペクトル（Type I - I - 1）を平均値とし、スペクトルの形を決めるコントロール・ポイントを加速度の軸方向に正規乱数を与え変動係数10%でばらつかせ、目標スペクトルを1000個設定し、それをもとに模擬地震動を1000波作成した（図・3にばらつきを考慮した目標となる加速度応答スペクトルを示す）。これらのばらつきの影響をモンテカルロシミュレーション（試行回数1000回）により検討した。さらに地震波・免震支承の設計変位別に橋脚基部の降伏耐力を1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6と低減させた場合の影響についても検討した。

表-3 各不確定要因とばらつき設定

不確定要因		平均値			変動係数
		20cm	30cm	40cm	
免震支承水平ばね	第一剛性(MN/m)	74.7	37.9	23.3	10%
	剛性低下率	0.0116	0.0154	0.019	10%
	降伏変位(m)	0.21	0.196	0.187	10%
橋脚基部非線形梁	第一剛性(MN・m)	2.35×10^3			10%
	剛性低下率1	0.251			10%
	剛性低下率2	0.000433			10%
	ひび割れ曲率	0.00996			10%
	降伏曲率	0.00109			10%
入力地震動	加速度応答レベル	標準加速度応答スペクトル			10%

4. 結果

解析によって得られた約 1000 サンプルの結果を、健全度レベルと照合し、その存在確率を算定することで梁の耐震安全性の評価を行った。ここで存在確率とは応答値がそれぞれ健全度レベルの範囲に存在するときの確率である。ただし、橋脚基部に関しては、応答曲率に基づき評価・検討を行った。表-3 より Case1 と Case2 を比較すると、免震支承の目標設計変位を 20cm とした場合、応答変位の平均値は、Case1 の値が Case2 の値の 8 割程度となった。これは、比較的支承の第一剛性および降伏変位が大きく、10%程度大きな入力を与えても支承部が弾性挙動の範囲内にとどまり、変形が小さくなったためであると考えられる。逆に、目標設計変位 40cm のモデルの場合、応答変位の平均値は、Case1 の値が Case2 の値の 1.2 倍程度となった。これは比較的 first 剛性および降伏変位が小さいため、大きな入力に対して支承部が塑性化し、変形が大きくなったためであると考えられる。

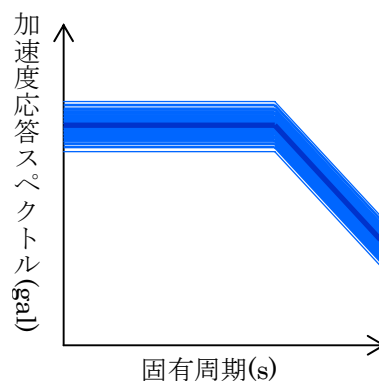


図-3 加速度応答スペクトル

表-4 免震支承変位平均値

Case1	免震支承の目標設計変位	平均値 (m)
	20cm	0.102
	30cm	0.218
	40cm	0.319
Case2	免震支承の目標設計	平均値 (m)
	20cm	0.14
	30cm	0.217
	40cm	0.271
Case3	免震支承の目標設計	平均値 (m)
	20cm	0.104
	30cm	0.219
	40cm	0.323

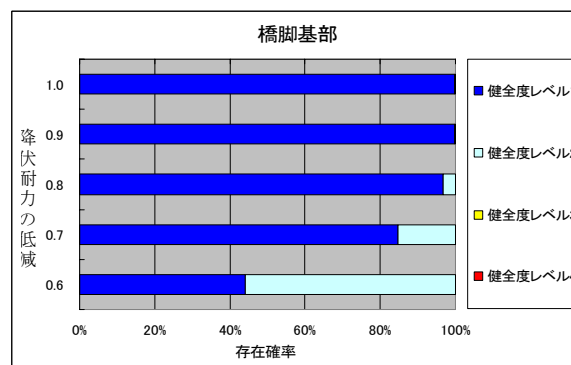
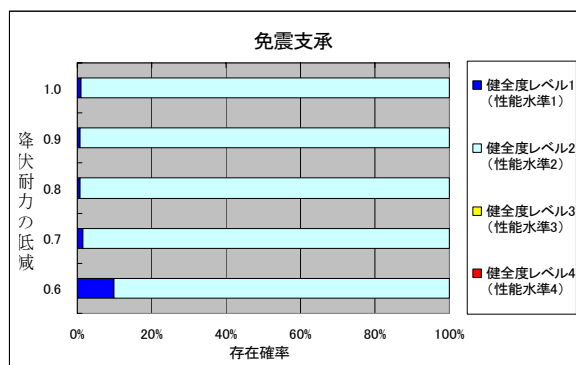


図-4 存在確率

5. まとめ

不確定性を考慮したパラメータの変動係数を 10%と仮定した条件で得られた知見を以下に示す。

- 橋脚基部と免震支承は同様に、免震支承の目標設計変位の大小、つまり免震支承の first 剛性および降伏変位の大小によって応答曲率の平均値が増減する傾向がみられた。
- 橋脚全体における主たる非線形と副次的非線形について確率論的に考察を行った結果、健全度レベル 2 における存在確率の比を 10 分の 1 と仮定すると、より免震支承の設計変位を 30cm とした場合には橋脚基部の降伏耐力の低減率を約 0.8 まで低減できる結果となった。

<参考文献>

- 1) 松田泰治, 高森麻有美, 大塚久哲: 免震支承における橋脚基部の副次的非線形に関する確率論的考察, 構造工学論文集, Vol. 52A, pp. 669-676, 2005
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編(平成 8 年)