

不確定要素を含む構造の信頼性評価と設計への適用に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○内藤 伸幸 九州大学大学院 正会員 松田 泰治
九州大学大学院 フェロー会員 大塚 久哲

1. 研究目的

構造物の設計には様々な不確定要素が含まれているが、従来の仕様規定型の設計法では仕様書にしたがって与えられた安全率を用いることで一律に設計を行ってきた。このため実際にどの程度の安全性が確保されているのかを把握することができず、過剰設計となってきたことが考えられる。これに対して今後移行していくと思われる性能照査型の設計法では、設計の仕様ではなく構造物の満たすべき性能を規定する事でより合理的な設計を行うというものである。しかし現在のところこの構造物の満たすべき性能というものは明確にされていない。そこで本研究は、性能設計の精度の向上を目的とし、構造設計における様々な不確定要素を確率変数として取り扱うことで、その解析結果から新たな設計基準とその評価方法の具体的な提案を行っていくものである。今回はその導入として、単純な一本柱橋脚を解析対象に非線形パラメータと入力地震波の不確定性に着目して解析を行った。

2. 解析条件

2-1. 解析モデル

構造物のモデル化については、確率変数として取り扱うことが難しいので、確定的に取り扱うことにする。解析対象としたのは、I 種地盤 A 地域・支承固定の耐震条件で断面設計された橋脚-基礎系と高減衰積層ゴム支承からなる 3 径間鋼桁免震橋の 1 橋脚で、その解析モデルを図 2-1 に示した。免震橋梁は鋼桁と高減衰積層ゴム支承および鉄筋コンクリート製の単柱式橋脚(直接基礎)から構成される。鋼桁は桁の重心位置で集中質量とし、フーチングを含む RC 橋脚は二次元はり要素でモデル化した。免震支承はバイ

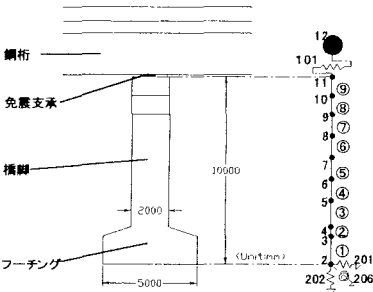


図 2-1 解析モデル

リニア型の水平ばねで置き換え、鉛直方向は剛とした。橋脚基部の二次元はり要素の非線形性は武藤モデルで考慮した。フーチング下端には地盤ばねを考慮し、道路橋示方書に基づき水平ばね・鉛直ばねおよび回転ばねでモデル化した。

2-2. 不確定構造パラメータ

構造パラメータのうち不確定性を考慮したのは、非線形パラメータである橋脚基部の梁部材および免震支承の水平バネの初期剛性、降伏変位、剛性低下率である。ばらつきは、実験データなどから正規分布を仮定し、サンプル数 100、不確定を考慮する各パラメータにそれぞれ変動係数 10% でばらつきを与えたものを表 2、図 2-2 に示した。なお各パラメータ間の相関は考慮していない。

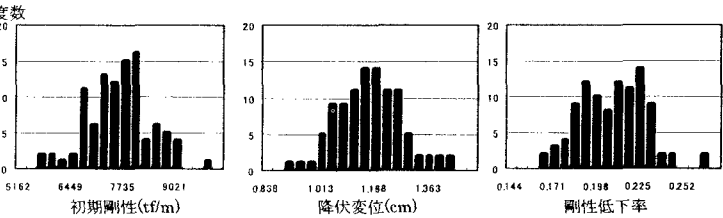


図 2-2 構造パラメータのばらつき「免震支承水平バネ(要素番号 101)」

表 2 不確定パラメータ	
橋脚基部非線形梁(要素番号③)	
初期剛性(tf・m)	7.36E+6 (9.76%)
第 1 降伏曲率	9.77E-5 (9.30%)
第 2 降伏曲率	1.08E-3 (9.91%)
剛性低下率 1	0.2556 (9.93%)
剛性低下率 2	4.29E-4 (9.25%)
免震支承水平バネ(要素番号 101)	
初期剛性(tf/m)	7477 (10.32%)
降伏変位(cm)	1.153 (9.11%)
剛性低下率	0.2047 (9.83%)

*括弧内は変動係数

2-3. 入力地震動

入力地震動のばらつきを考慮するために模擬地震波の作成を図2-3に示すようなスペクトル適合法によって行った。地震規模(マグニチュード:M)と震央距離(Δ)はこれまでに明らかされている国内の活断層のデータから推定する。目標スペクトルはM=8.0、Δ=50.0(km)を基準として上下させ、その形状は道路橋示方書Vに記載されている地震時保有水平耐力法レベルの標準加速度応答スペクトルより求めた擬似速度応答スペクトルを用いた。フーリエ位相を与えるために用いる乱数によって、最大加速度だけでなく周波数領域についてもばらつきを与えることができる。

3. 解析例

2-2 で与えた構造パラメータのばらつきを用いて、入力地震動についてはばらつきを考慮する場合としない場合について解析を行った。入力地震動のばらつきはマグニチュードと震央距離は一定(M=8.0、Δ=50.0(km))として模擬地震波を作成する際の目標スペクトルとの収束誤差(10%)を与えた。解析結果を表3、図3-1.3-2に示す。

構造パラメータのばらつきのみを考慮した場合(不確定構造-確定入力)では、確定的に解析を行った場合(確定構造-確定入力)と比較して各応答値はほぼ確定解析の結果を期待値として上下に同程度のばらつきを示していることが分かる。入力地震動のばらつきも考慮した場合(不確定構造-不確定入力)では、入力地震動の最大加速度の期待値が確定入力の最大加速度より大きくなっている。これは模擬地震波を作成する際、収束判定を短周期側(0.05sec 以下)で行わなかった結果として、確定入力に比べ短周成分が多く含まれたことによる。

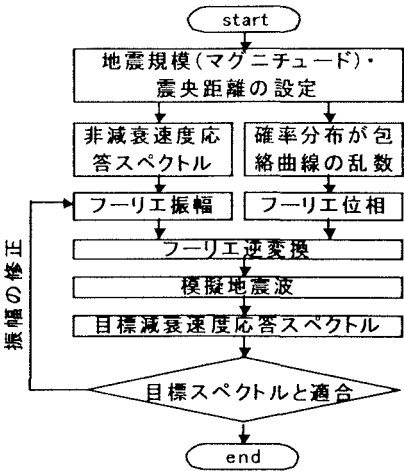


図2-3 模擬地震波の作成手順

表3 解析結果

		確定構造-確定入力	不確定構造-確定入力	不確定構造-不確定入力
最大応答	入力地震動	最大加速度(gal)	318.8	318.8
	免震支承(要素番号101)	せん断力(tf)	294.9	287.2 (5.19%)
		変形量(cm)	14.10	13.89 (14.72%)
	橋脚基部(要素番号③)	曲げモーメント(tf・m)	2232	2169 (6.71%)
		曲率塑性率	9.61	10.31 (40.35%)

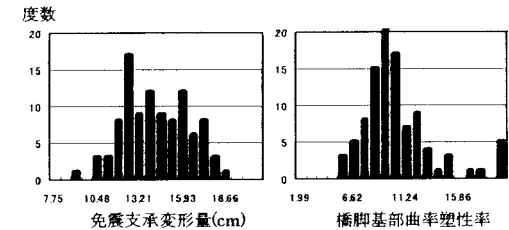


図3-1 不確定構造-確定入力

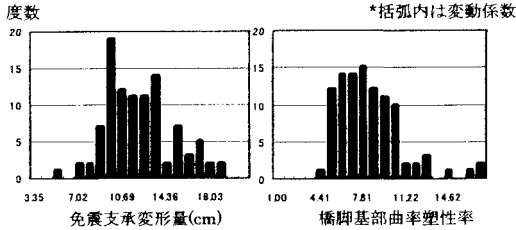


図3-2 不確定構造-不確定入力

4. まとめ

今回はばらつきを考慮するために正規分布を用いた。このため一定の確率で期待値から大きく離れた値をパラメータとして与えてしまうことがある。しかし実際には品質管理された材料を使うのでこのように大きく離れた値が得られることはないものとしてばらつきを与える必要がある。今後サンプル数についても改めて検討し解析を行い、具体的な評価方法の考案を行っていく予定である。