

橋梁システムの地震時損傷遷移過程に関する確率論的考察

東北大学 正会員 ○秋山 充良
 東北大学 学生員 山崎 康紀
 東北大学 正会員 鈴木 基行

1. はじめに

支承－橋脚－杭基礎から構成される橋梁システムを耐震設計する場合には、システム全体が所定の安全性を満足するように、各部位・部材を設計することが望ましい。一方、橋梁システムの安全性照査を地震応答解析などにより実施する場合には、システムに介在する不確定要因の影響を考慮する必要がある。そこで、本研究では、信頼性理論に基づき様々な不確定要因の大きさを考慮し、橋梁系全体の安全性評価を行うことのできる手法を提案した。そして、橋梁系全体を考慮した耐震設計法を構築するための基礎的研究を行った。

2. 破壊確率算定法

本研究では、橋梁システムの限界状態として、免震支承、RC 橋脚、場所打ち杭基礎に関わる限界状態を想定し、まず各限界状態から著者の提案した構造系信頼性評価法¹⁾を用いて破壊確率を算定する。そして、①橋梁システムを免震支承、RC 橋脚、場所打ち杭基礎から構成される直列システムと仮定する、②ある時間 t_i に算定される破壊確率 $P_f(t_i)$ は、時間 t_i まで破壊しておらず、 $t_i + \Delta t$ で破壊する条件付確率であると仮定することで、各時間ステップ毎の各限界状態および橋梁システムに対する破壊確率を式(1)により算定した。

$$P_f = 1 - \exp\left(-\int_0^t P_f(t) dt\right) \dots\dots\dots (1)$$

3. 限界状態式の設定

「耐力項」－「外力項」で表される限界状態式を表-1のように定義した。各限界状態式から破壊確率を算定する際には、各変数は正規分布に従うと仮定し、そのパラメータを表-1のように設定した。なお、この他にも示方書算定式などが持つ不確定性を考慮するための係数なども破壊確率算定時に取り入れた。

表-1 限界状態式および各確率変数の平均値および変動係数

	「耐力項」	「外力項」	式番号
支承	支承受付部ボルトの許容応力度	支承受付部ボルトへの作用応力度 (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(2)
	破断せん断ひずみ (平均値＝400%, 変動係数 10%)	支承部作用せん断ひずみ (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(3)
	桁かかり長 (平均値＝示方書算定式, 変動係数 10%)	上部構造と橋脚天端位置の相対変位 (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(4)
橋脚	橋脚曲げ耐力 (平均値＝示方書算定式, 変動係数 8%)	橋脚作用曲げモーメント (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(5)
	橋脚せん断耐力 (平均値＝示方書算定式, 変動係数 10%)	橋脚作用せん断力 (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(6)
	橋脚変形能 (平均値＝示方書算定式, 変動係数 10%)	橋脚天端とフーチング上面部の相対変位 (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(7)
杭基礎	杭体曲げ降伏耐力 (平均値＝示方書算定式, 変動係数 8%)	杭体作用曲げモーメント (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(8)
	杭体せん断耐力 (平均値＝示方書算定式, 変動係数 10%)	杭体作用せん断力 (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(9)
	極限支持力(平均値＝示方書算定式, 変動係数 58%(杭先端部が受け持つ支持力), 変動係数 41%(杭周面摩擦力が受け持つ支持力))	杭体に作用する押込み力 (平均値＝動的解析結果, 変動係数 30%)	(10)

4. 動的解析法

図-1 に示すベンゼン型モデルにより地震応答解析を実施し、各限界状態式の「外力項」を算出した。橋脚および杭基礎は非線形梁要素でモデル化し、復元力特性としては武田モデルを用いた。基礎-地盤間ばねおよび免震支承の非線形性も考慮した。

5. 解析結果

橋脚と杭基礎の安全性評価を行った。式(1)と表-1 に示した式(5)~(7)から算出される各限界状態に対する破壊確率とそれらを同時に考慮した橋脚としての破壊確率の地震外力作用開始時間 3 秒から 6 秒までの結果を図-2 に示した。同様に、式(1)と式(8)~(10)から算出される杭基礎に対する結果を図-3 に示した。

図-2 より橋脚の破壊確率が、曲げ耐力に対する限界状態から算出される破壊確率にほぼ一致するのに対して、図-3 に示した杭基礎の破壊確率は、式(8)および式(10)で表される杭体の曲げ降伏と押し込み支持力に対する限界状態から算出される破壊確率の影響を受けている。この場所打ち杭基礎は、設計時に杭体の曲げ降伏に対する照査により杭形状が決定されたものであるが、表-1 に示したように押し込み支持力に対する不確実性が大きいために、押し込み支持力に対する安全性が低くなり、結果として杭基礎の安全性に影響を及ぼしている。次に、任意の時間経過時における橋梁システムおよび各部材の破壊確率の相互関係を検討した結果を図-4 に示した。この橋梁システムは、橋脚の曲げ破壊が支配的な限界状態となるように設計されたものであるが、図-4 より橋梁システムと橋脚の破壊確率を同等とみなすことができない。これは、杭基礎に関わる破壊確率が橋梁システムの安全性に影響を与えているためである。結局、確定論的には橋脚の曲げ破壊が支配的な橋梁システムでも、様々な不確実性を考慮した場合には、杭基礎の限界状態である曲げ降伏および押し込み支持力に対する安全性が橋梁システムの地震時安全性に影響を及ぼしていると言える。

このように本研究で提示した手法により、橋梁システムの耐震安全性を定量的に評価でき、効果的に地震時安全性を向上させるための限界状態を把握することができる。

6. 結論

(1)信頼性理論に基づき橋梁システムの地震時安全性評価法を構築した。(2)提案手法を用いることにより、耐力算定式や動的解析法がもつ不確実性を考慮することが可能となり、各部材の安全性が橋梁システムの地震時安全性に及ぼす影響を定量的に把握することができる。

参考文献

- 鈴木基行・秋山充良・山崎康紀：構造系の安全性評価法およびRC橋脚の耐震設計法への適用に関する研究，土木学会論文集，No.578/V-37，pp.71-87，1997.11

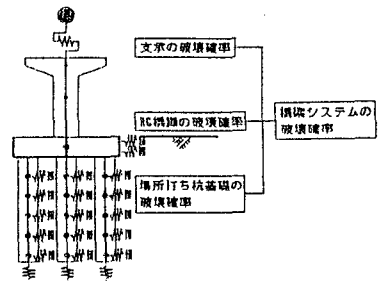


図-1 動的解析モデル

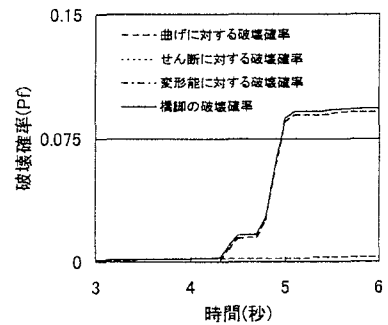


図-2 橋脚の破壊確率の推移

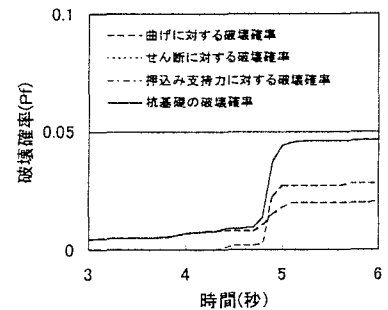


図-3 杭基礎の破壊確率の推移

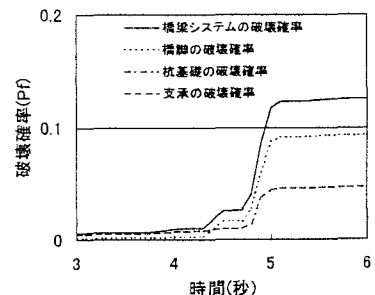


図-4 橋梁システムの破壊確率の推移