RC 単柱橋脚の DF と SFC の評価

（株）篠塚研究所　正会員　○静間俊郎
武蔵工業大学大学院　学生会員　北本廣平
武蔵工業大学工学部　正会員　吉川弘道

1.はじめに

地震被害推定は，確率統計的な方法と記述統計的な方法に大別できる．前者は信頼性理論に基づき，構造物などの損傷確率を評価し，損失（額）を乗じることで被害推定を行う．損傷確率は地震動の大きさを指標とした関数である Seismic Fragility Curve（SFC）[1)]によって求められる．一方，後者は地震動の大きさに応じた損失率（予想損失額／再調達価格）を求める関数，いわゆる Damage Function（DF）[2)]によって評価する方法である．DF は被害事例に基に，最小二乗法や最尤法で統計的に評価するのが一般的である．

本報では，併報[3)]の観測地震動による応答解析結果から得られた RC 単柱橋脚の被害と地震動の大きさの一対データ（被害データ）を基に，統計的に DF 及び SFC を評価した．さらに，損失率の特性を考慮し，かつその誤差の確率分布の特性値を一括して評価できる本統計解析モデル[4)]についても詳述する．

2.DF と SFC

損失率を直接求める DF に対し，SFC は被害形態（軽微，中破，大破など）を離散的に定義し，排反事象の集合とした上で，各発生確率を評価するものである．図 1 に DF と SFC の関係を示す．DF で得られる損失率は地震動の大きさを条件にばらつきを伴うことになる．DF はその平均値を結んだ曲線である．SFC は被害形態と損失率が一義的に対応するとの前提で，DF の横軸と平行な切片を超える確率として求められる．被害形態を多く設定すれば（離散化を細かくする），結果は DF と一致するが，少ない場合は DF より小さく評価される．SFC の利点は被害の状態が明確に定義されるため，被害に応じた機能損失や波及損失といった施設固有の損失を反映できることなどが挙げられる．一方，修復費など物的損失のみを考える場合では,評価の簡便性から DF を用いるのが合理的である．

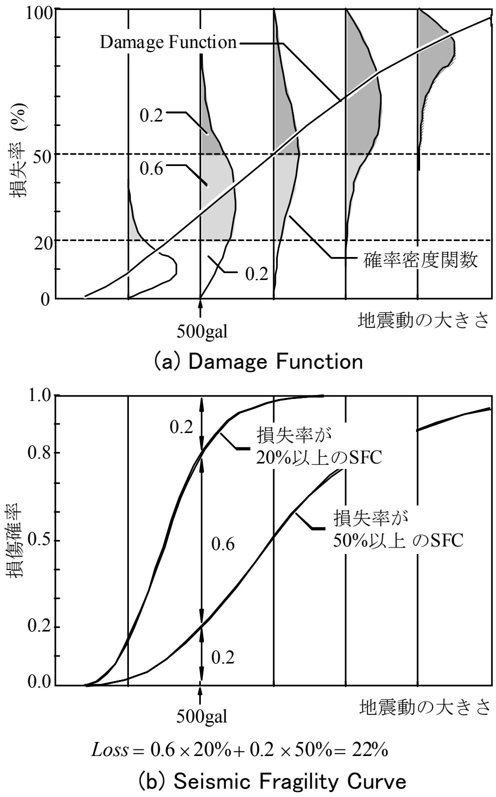

図 1　DF と SFC の関係

3.DF の統計解析手法

DF を統計的に評価する際,最小二乗法を用いると損失率の誤差の分布が正規分布に規定され，地震動の小さい領域では，負の損失率が取り込まれることになる．損失率は上限 0，下限 1 の範囲で分布することから，分布の上下限が設定できるβ分布で近似するのが妥当であり，文献 2）も支持する結果を出している．

損失率を確率変数 c とおくと，標準β分布（下限値 0，上限値 1.0）の密度関数は次式となる．

$$f(c) = \frac{1}{B(q,r)} c^{q-1} (1-c)^{r-1} \qquad (1)$$

B(q,r)はβ関数，q , r はβ分布のパラメータである．ま

Key words : Damage Function , Seismic Fragility Curve , 損失率 , β分布, RC 単柱橋脚
連絡先：東京都新宿区西新宿 4 丁目 5-1 幸伸ビル 3F　TEL : 03-5351-3781　FAX : 03-5351-3783

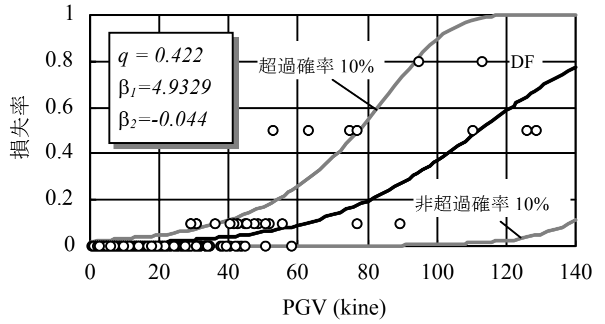

図 2 統計的に評価された DF

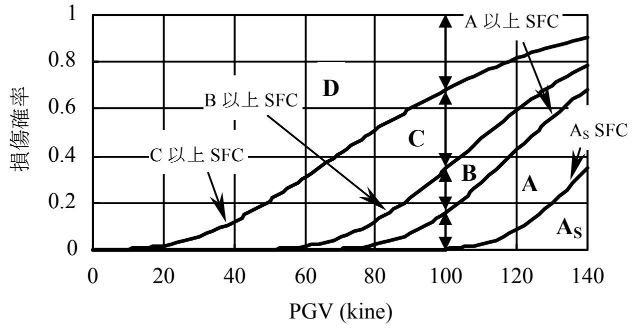

図 3 損傷区分毎の SFC

た，分布の平均値，分散は以下に表される．

$$E(c)=\frac{q}{q+r} \quad ,Var(c)=\frac{qr}{(q+r)^2(q+r+1)} \tag{2}$$

DF は上下限を設定でき 0, 1 に漸近する一価関数として下式を適用する．

$$y^*=\frac{1}{1+\exp(\beta_1+\beta_2 x)} \tag{3}$$

β_1，β_2 は関数の形状を決定する係数で，y^*は損失率の推定値，x は地震動の大きさである。観測された損失率を y とすると，誤差εは以下となる。

$$\varepsilon = y - y^* \tag{4}$$

ここで，式(3)は損失率の分布の平均値を示す関数であることから，式(2)より y^*はβ分布のパラメータと以下のように関係付けることができる．

$$y^*=\frac{q}{q+r} \tag{5}$$

また，誤差の分布をβ分布としたので，c は式(4)を使い，以下のように表される．

$$c = y = y^* + \varepsilon \tag{6}$$

式(3), (5), (6)の関係を式(1)に適用すると，β分布は x と y^*の関数として下式となる．

$$f(x,y)=\frac{1}{B\left(q,\left(\frac{1}{y^*}-1\right)q\right)}y^{q-1}(1-y)^{\left(\frac{1}{y^*}-1\right)q-1} \tag{7}$$

未定係数 q およびβ_1，β_2 の推定では最尤法を使うこととし，尤度関数は下式で表される．

$$L(q\ or\ r,\beta_1,\beta_2;x_i,y_i)=\prod_{i=1}^{n} f(x_i,y_i) \tag{8}$$

x_i，y_i は被害データ，n はデータ総数である。未定係数は式(8)を最大にする値として推定される．

4.DF の推定と SFC の評価

併報[3] の表 1 に示された損傷区分（被害形態）毎の各クライテリア（応答塑性率）と応答値との比較から，全データについて損傷度（D~As）を判定する．そして，その損傷度と損失率を対応させ，地震動の大きさと被害（損失率）の一対データを作成する．全データ数は 594 で損傷度 D が 568，C が 17，B が 7，A が 2，As が 0 である．このデータを基に，最尤法により推定された DF を**図 2** に示す. 横軸は PGV としている．また，同図にはデータの散布状況と推定されたパラメータ，ならびに超過確率 10%と非超過確率 10%のラインを併記する. PGV が大きくなるにつれ，そのばらつきが大きくなっていることがわかる．

図 3 に各損傷度毎（C~As）の SFC を示す．横軸は DF と同様に PGV である．同図に示す SFC は損失率 0.1（C）以上，0.5（B）以上，0.8（A）以上，1.0（As）の 4 種である．100kine を条件とした場合，各損傷区分の発生確率は D が 0.3177，C が 0.3363，B が 0.1842，A が 0.1584，As が 0.0034 となる．

5.まとめ

本報では，損失率の特性を考慮し，かつその誤差の確率分布の特性値を一括して評価できる統計解析モデルを示した．同モデルを用いることで，解析的に求められた被害データから DF を簡便に評価でき，DF から SFC への評価も容易となる．今後，機能損失評価及び，高速道路システムの安全性評価への利用性について検討していきたい．

参考文献

1)中村孝明，長沼敏彦，静間俊郎，篠塚正宣：統計解析による道路橋脚の地震時損傷確率に関する研究，第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp3165-3174，1998.

2)Federal Emergency Management Agency：Earthquake Damage Evaluation Data for California，ATC-13，p.492，1985.

3)北本廣平，吉川弘道，静間俊郎：DF と SFC における地震動指標と構造性能指標に関する考察，第 57 回土木学会年次学術講演会講演概要集，2002.

4)中村孝明，静間俊郎，藤井俊二，飯塚崇文：兵庫県南部地震による上水道停止期間と地震動のマクロ的相関について，第 25 回地震工学研究発表会講演論文集，pp1073-1076，1999.