

橋梁の使用限界状態に対する MCMC を用いた低損傷確率の算定

東電設計（株） 正会員 兵頭 順一
 東電設計（株） 正会員 吉田 郁政
 岐阜大学 正会員 本城 勇介

1.はじめに 別途，モンテカルロシミュレーション手法を用いて低損傷確率を効率的に算定する方法を紹介した¹⁾．この方法では損傷に対して影響の大きい部分空間を適応的に絞り込み（subset 法），その部分空間内にマルコフチェーンモンテカルロ法（以下，MCMC と記す）を用いてサンプルを発生させて効率的に損傷確率を算定することができる．橋梁を対象として，本手法により使用限界状態を損なう確率の試算を行った．また，不確定変数間に相関がある場合についても試算を行い，上記方法の有効性の確認を行った．

2.対象とした橋梁モデルと限界状態 対象とした橋梁モデルと荷重パターンを図-1 に示す．橋梁モデルは直接基礎（独立フーチング）で支持された全長 40m の 5 径間 R C ラーメン高架橋とし，既往の設計例²⁾を参考に設定した．構造解析を行う際には梁要素でモデル化し，橋梁下端の支持条件は水平固定支持，鉛直及び回転はバネ支持とした．

荷重パターンは死荷重（Dead load）と活荷重（Live load）を考慮し，5 ケース（Case1～Case5）設定した．その際，死荷重は全ケースに，活荷重はケース毎に各径間に作用させた．

橋梁モデルのパラメタとそのばらつきを表-1に示す．不確定性を有するパラメタは死荷重，活荷重，橋梁下端のバネ定数とした．死荷重と活荷重の変動係数はPaikowsky（2002）³⁾に従い，ばね定数の変動係数は洪積層のN値の変動係数を基に設定した．パラメタ間の相関を考慮する場合には式（1）のガウス型自己相関関数を用いた．表-1に示す係数を用いると，回転と鉛直バネの相関係数は0.8，隣接（8mの場合）するバネ定数の相関係数は0.4となる．

$$\rho = \exp \left[- \left\{ \left(\frac{x_i - x_j}{a_1} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_j}{a_2} \right)^2 \right\} \right] \quad (1)$$

ここで， x_i ： i 点の座標， y_i ： K_v と K_r 間の相関を考慮するための仮想的な座標（ K_v で $y_i=0$ ， K_r で $y_i=0.472$ ）， a_1 ， a_2 ：自己相関距離，である．

検討に用いた限界状態と限界値を図-2に示す．本研究では使用限界状態を対象とし，不同沈下による2種類の折れ角⁽¹⁾，⁽²⁾（Vertical Grade Break(1), Vertical Grade Break(2)）の制限値⁴⁾を設定し照査を行った．限界状態関数を次式で示す．

$$z = \min(F_{s1}^{(1)}, F_{s2}^{(1)}, F_{s1}^{(2)}, F_{s2}^{(2)}, \dots, F_{s1}^{(5)}, F_{s2}^{(5)}) \quad (2)$$

$$F_{si}^{(j)} = \theta_r^{(i)} / \theta_s^{(i)} \quad (3)$$

ここで， r ：不同沈下量の制限値
 s ：応答角， (j) ：荷重パターン j

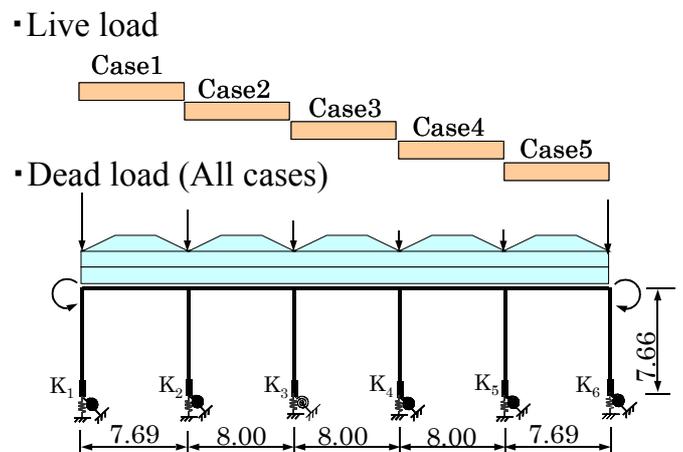


図-1 橋梁モデルと荷重パターン

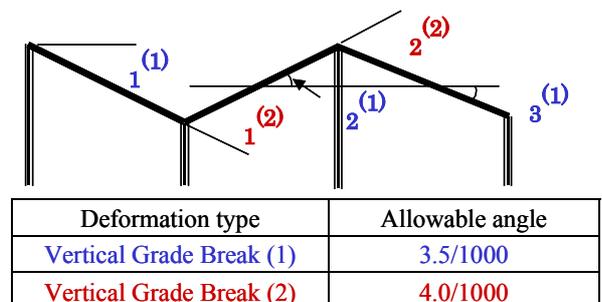


図-2 限界状態と限界値

キーワード 使用限界状態，モンテカルロシミュレーション，低損傷確率，部分空間

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計（株）地盤・構造部 TEL 03-4464-5525

3. 限界状態関数値の累積分布の算定

提案する MCS 手法を用いて限界状態関数値の累積分布を算定した。この累積分布より限界値を変えた場合の損傷確率が直ちに求められる。サンプル数 100000 の通常のモンテカルロ法も実施し、これを真の分布と考えた。

各部分空間についてサンプル数 100 として、最初の空間と 3 つの部分空間に対して MCMC を実施し、図-3 に累積分布を示す。総サンプルは 400 であり計算量は 100000 のケースの 1/400 である。このケースではおおよその傾向はつかめるがやや精度が悪いことがわかる。一方、各部分空間 1000 サンプルで計算すると、図-4 に示すように真の分布とよく一致している。

相関があるケースについても同様に計算を行い、図-5 に示す。一度相関のない基準化した空間で MCMC によるサンプルの発生を行い、その後 cholesky 分解を用いて任意の相関を持つ空間に変換している。計算結果は真の分布と良好に一致しており、相関がある場合にも有効に機能することがわかる。

4. まとめ

subset 法、MCMC 法を用いて橋梁の使用限界状態を対象として低損傷確率の試算を行い、その有効性の確認を行った。各部分空間のサンプル数が 100 の場合にはやや精度が不十分であったが、サンプル数を 1000 とすると一致度は大幅に向上した。また、未知量間に相関がある場合についても有効に機能することが確認された。

参考文献

- 1) 吉田郁政, 佐藤忠信: MCMC を用いた低損傷確率の算定法に関する基礎研究, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004 (投稿中)
- 2) 鉄道総合技術研究所: 限界状態設計法による設計例 RC ラーメン高架橋, 平成 8 年 3 月
- 3) Samuel G. Paikowsky(2002), LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) FOR DEEP FOUNDATION FINAL REPORT, NCHRP 24-17
- 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物, 平成 9 年 3 月

表-1 橋梁モデルのパラメタとそのばらつき

	Mean value(μ)	Coefficient of variation	Correlation	
			Case1	Case2
Dead load	Design value	0.10	No correlation	No correlation
Live load	140.0 (kN/m)	0.20		$a_1=16.935$
K_{v1}, K_{v6}	482000 kN/m	0.82		$a_2=1.0$
K_{r1}, K_{r6}	388000 (kN·m/rad)	0.82		$K_{vi}, K_{ri}=0.8$
$K_{v2} \sim K_{v5}$	473000 (kN/m)	0.82		$K_{i}, K_{i+1}=0.8$
$K_{r2} \sim K_{r5}$	454000 (kN·m/rad)	0.82		

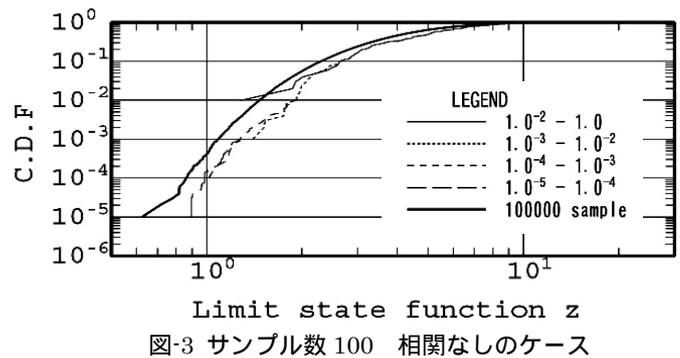


図-3 サンプル数 100 相関なしのケース

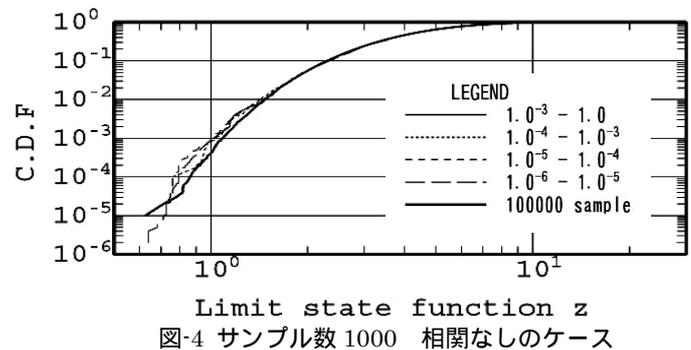


図-4 サンプル数 1000 相関なしのケース

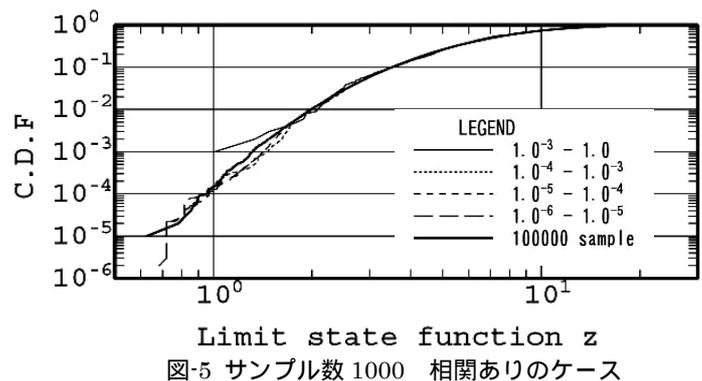


図-5 サンプル数 1000 相関ありのケース