

1. はじめに

従来の構造物の安全性評価は、抵抗と荷重効果のバラツキをある程度考慮した確定量によってなされてきた。これに対して、バラツキを直接取扱う確率論手法による安全性評価法が、近年求められている。しかし、解析的な破壊確率算定法は破壊モード間に相関がある場合などには真の破壊確率を求めることができないという限界を有し、数値計算ツールの高性能化に伴って Monte Carlo Simulation (以下 MCS) による手法が広く用いられるようになってきた。

一般的な MCS による構造物の破壊確率算出は、バッチ処理で実行されることが多い。破壊確率の収束判定およびそれに必要な試行回数の設定は解析者の判断によるが、バッチ処理ではあらかじめ実行する試行回数を設定する必要がある。得られた破壊確率の収束が甘いと判断される場合には、実行する試行回数を大きく設定しなおして再計算を行うが、それまでの計算過程を引継ぐことはほとんど行われない。試行回数をあらかじめ設定せず、得られた破壊確率が収束したと判断できるときに解析を終了するような対話型システムは、上記問題点に関する対策のひとつである。

本研究では、昨年の単柱の座屈破壊を対象とした対話型システム¹⁾を拡張して、複数の破壊モードが存在する 2 部材静定トラスの破壊確率算定システムを開発し、その適用性について検討する。

2. 実験概要

(1) 実験内容： 実験に使用する 2 部材静定トラス(図 - 1)には、 R_1 、 R_2 のそれぞれが圧縮および引張破壊モードを有するため合計 4 つの破壊モードがあり、その相関も発生する。本研究では、相関を含めた 4 つの破壊モードの破壊確率を算出することを目的としている。ここに、 R は抵抗、 S は荷重効果、 F は荷重で、荷重効果 S_i は式(1)で求められる。

$$S_i = \frac{\sqrt{3}}{4} \{ (-1)^{i+1} F_1 + F_2 \} \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

(2) 手順： 本実験では荷重 F_1 と F_2 の値を表 - 1 のように 5 Case 設定した。各 Case ごとに 10,000 試行を 1 ユニットとして Simulation し、得られた破壊ケース数から破壊確率を算出する。30 ユニットを上限として 1Run とし、10Run の実験を行う。なお、 R_1 、 R_2 、 F_1 および F_2 は正規確率分布に従う確率量とし、 $R_1=R_2=N(40.0, 4.0)$ と固定する。

3. Spread Sheet 上での MCS システムの構築

(1) Simulation Sheet の構築： 1 ユニットの Simulation には、40,000 個の正規乱数が必要となる。ここでは、逆関数法により一様乱数から式(2)を用いて正規乱数を発生させた。ただし、 $x_?$ ($=1, 2$) を $U[0, 1]$ に従う一様乱数である。この式(2)を用いて一度に 10,000 回の試行を実行する Simulation Sheet を図 - 1 のように構築した。セル C8:H8 に抵抗 R および荷重 F の平均値および標準偏差を入力すると、セル C12:H12 では 1 組目の抵抗および荷重の乱数値が算出され、セル I12:J12 では式(1)

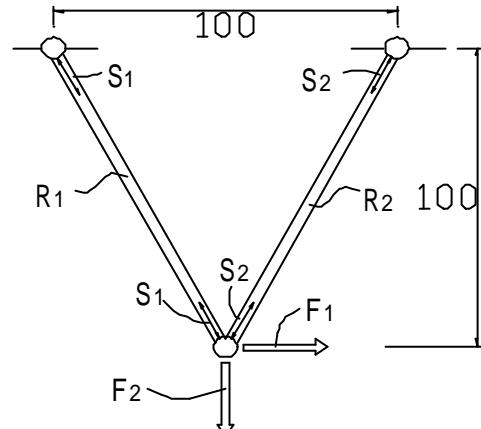


図 - 1 2 部材静定トラス

表 - 1 荷重の平均値・標準偏差

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
F_1 の平均値	26.0	24.0	18.4	10.0	0.0
F_1 の標準偏差	5.2	4.8	3.7	2.0	0.0
F_2 の平均値	0.0	10.0	18.4	24.0	26.0
F_2 の標準偏差	0.0	2.0	3.7	4.8	5.2

$$X = \sqrt{-2 \ln(1 - x_1)} \cdot \cos(2\pi x_2) \quad (2)$$

により荷重効果が算出される。同時に、抵抗と荷重効果により 4 つの破壊モードの性能関数値がセル K12:N12 に算出される。以下、10,000 組の試行がほぼ瞬時に終了すると、負の性能関数値が生じたケース数がカウントされセル K8:N8 に破壊ケース数として表示される。Total が FM1 ~ 4 の和でないのは相関があるからである。ここに、4 つの破壊モードは FM1=抵抗 R₁ の引張、FM2=抵抗 R₁ の圧縮、FM3=抵抗 R₂ の引張、FM4=抵抗 R₂ の圧縮である。

(2)Run Sheet の構築： 対話型の MCS を行う Run Sheet を図 - 2 に示すように構築した。セル B2:F2 は Simulation Sheet のセル K8:N8 を絶対参照しており、その値をセル B6:F6、B7:F7… と順次値のみペーストすると、破壊確率およびその変化率を瞬時に算出する。変化率が 1% 以下の場合には、S 列に * が示される。グラフ画面では、4 つの破壊モードの破壊確率と、相関を含めた破壊確率、相関を含めない破壊確率が 1 ユニットごとに表示される。

4. 結果

表 - 1 に示す Case1 ~ 5 のそれぞれについて、Run1 ~ 10 まで数値計算を行った。Case4、5 は破壊確率が非常に小さく、10000 試行を 1 ユニットとする本システムでは検討に値するデータが得られなかった。

Case1 ~ 3 において、破壊確率の変化率が 1% 以内の状況が n 回続いたとき「* n 」と表現し、Run1 ~ Run10 の「* 1」～「* 4」の平均値と変動係数を Case 別に表 - 2 に示す。いずれの Case でも「* 1」～「* 4」の平均値に大きな差異は認められないが、変動係数は「* 1」から「* 4」へ徐々に小さくなり「* 4」で最小値となっている。このことより本実験例の場合、「* 4」を収束の条件とすることが望ましいことがわかる。

5. まとめ

破壊確率を解析的に解くことができなくても、対話型 MCS システムを用いたことにより相関のある 4 つの破壊確率を近似的に解を求めることができた。また、本対話型 MCS システムによる Simulation 終了条件に関する有用な情報を得ることができた。

参考文献 1) 小路口光久: Spread Sheet によるモンテカルロシミュレーションに関する研究, 平成 15 年度九州共立大学卒業研究論文, 2004.2



図 - 2 Simulation Sheet

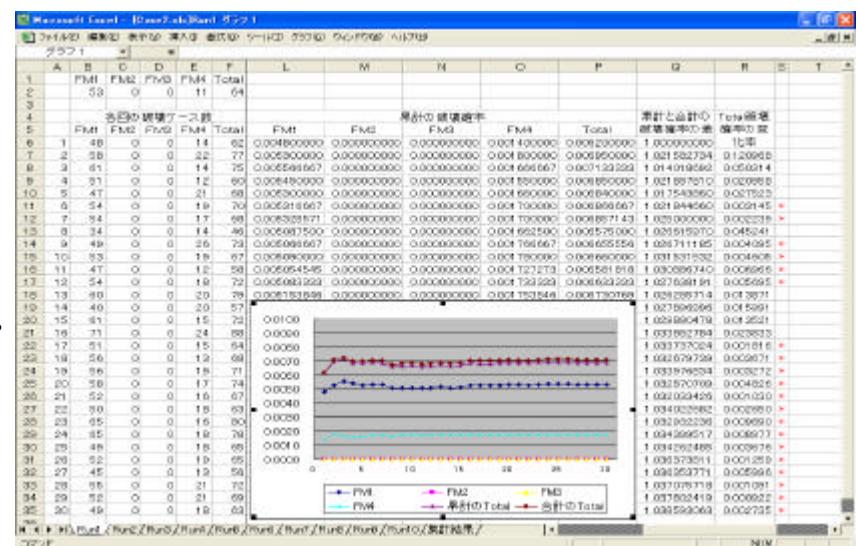


図 - 3 Run Sheet

表 - 2 破壊確率・変動係数

	*1	*2	*3	*4
Case1	平均値	4.39E-02	4.40E-02	4.40E-02
	変動係数	0.0144	0.0114	0.0101
Case2	平均値	6.73E-03	6.88E-03	6.84E-03
	変動係数	0.1099	0.0307	0.0307
Case3	平均値	5.25E-02	5.26E-02	5.25E-02
	変動係数	0.0182	0.0193	0.0176