2,3の信頼性解析手法による基礎構造物破壊確率の比較

岐阜大学　学生　高山智博
岐阜大学　学生　窪田健介
岐阜大学　正員　本城勇介

1. 研究の目的

現在、基礎構造物の設計コードの改訂が進行中である。すなわちAdvanced FORMと呼ばれるレベルⅡの方法により信頼性解析を行い、コードキャリブレーションをすることにより、部分係数を決定し、限界状態設計法、レベルⅠのformatに書き換える事が試みられている。

そこで本研究では、レベルⅢの解析法であるMonte Carlo Simulationのいくつかの方法、Ordinary Monte Carlo Method, Directional Monte Carlo Method, Importance Samplingを用いて信頼性解析を行い、Advanced FORMによる解析結果との比較、また、Monte Carlo Simulationの各方法について比較を行い、Monte Carlo simulationの有用性について検討を行うことを目的とする。

2. Monte Carlo Simulation

2.1 Ordinary Monte Carlo Simulation(OMS)

破壊確率は以下の式で表される。

$$Pf = \int \cdots \int I[Z(x) \le 0] fx(x) dx$$

ここで、I[]はインジケーター関数と呼ばれ、[]の中の条件が満たされた時1、そうでない時は0になる関数である。OMSでは、f_xに従う多数のサンプ

$$Pf = \int \cdots \int I[Z(x) \le 0] h_v(x) \frac{f_x(x)}{h_v(x)} dx$$

ルを発生させ、Pfを求める

2.2 Importance Sampling(ISMS)

破壊確率は以下の式で表される。

ここで、h_vはImportance sampling関数と呼ばれ、この関数にもとづく乱数を、限界状態面に近い所で発生させることにより、より破壊に近い所のsimulationをすることができる。関数h_vとしては、

$$h_v(x) = \frac{I[] f_x(x)}{Pf}$$

をおくとき、最も効率のよいシミュレーションを行うことができる事が知られている。(図1)

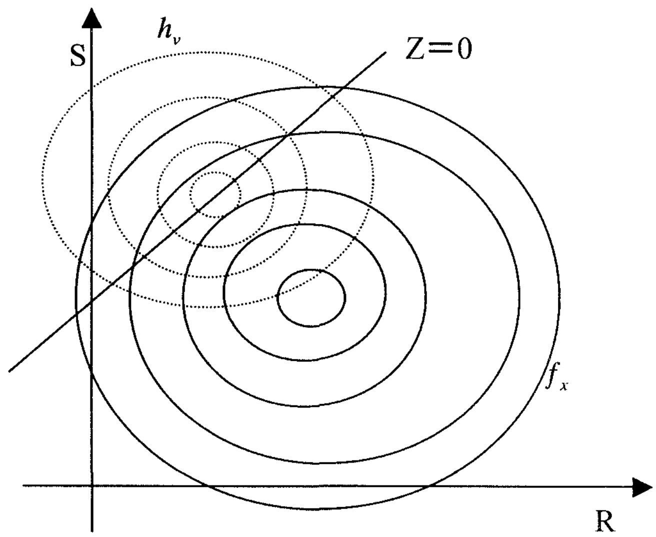

図1　Importance sampling概念図

2.3 Directional Simulation(DS)

破壊確率は以下の式で表される。

$$Pf = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \hat{p}_j$$

この時 $p_j = P\left[Z(r_j \hat{a}_j) \le 0 \right] = 1 - \chi_n^2(r_j)$

ここで、rは超球体の半径、aは標準正規単位ベクトルである。基本変数Xを正規化し、原点周りに放射状にN分割する。そして、限界状態関数Z＝0と交わるポイントまでの距離(半径)をrとし、カイ2乗分布を用いて破壊確率を算定する事により、効率的にsimulationを行うことができる(図2)(香月　智・Frangopol,1998)。

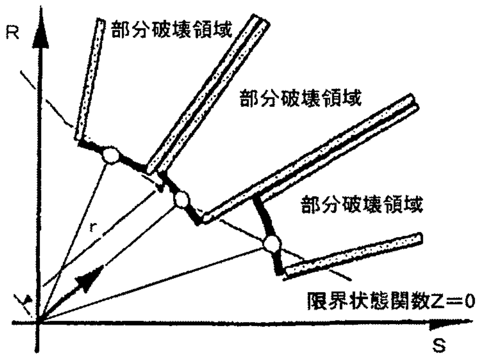

図2 Directional Simulation概念図

3. 計算例と考察

ここでは、2 変数における破壊確率を、それぞれの方法により算定し、比較を行った。

3.1 性能関数

限界状態を基本変数の関数としてあらわしたもの

$$Z = R - S$$

R ：抵抗

S ：荷重

$Z \leq 0$ の時、破壊とする

3.2 設定値

simulation 数 1000 万回

信頼性指標 $\beta = 4.26$ $Pf = 1.0221 * 10^{-5}$

基本変数の不確実性は、抵抗 R は N(10.0 , 1.0)、荷重 S は N(3.975 , 1.0)とする。Importance function の parameter は、抵抗側 G、荷重側 H 両方同じで分布は正規分布、平均は 6.9875 とし、平均を設計点(記号(0,0))と、設計点より 1σずらした 9 つの point で算定した。分散は 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 の場合についてそれぞれ計算し、比較を行った。DS において、空間分割数を、10、50、100、200、300、500、のそれぞれの場合について計算し、比較を行った。

3.3 結果

破壊確率

設定値 pf=1.0221*10-5

OMS pf=1.0500*10-5

ISMS(0,0) σ^2=2.0 pf=1.0199*10-5

DS(100) pf=1.3407*10-5

3.4 考察

図 3 は、ISMS において、Importance function の平均を、設計点から S 軸、R 軸へそれぞれ 1σずらした時の、分散 5 ケースにおける標準偏差比較表である。これをみると、ポイントが設計点から離れると σ^2=0.5, σ^2=1.0 のとき、値がばらつく事が分かる。図 4 は、OMS と ISMS の分散が 2.0 の時、9 ケースの破壊確率の収束の様子を比較したグラフである。これをみると、明らかに ISMS の方が早い段階で設定値に近づき、変動が少ないことが分かる。

表 1 は DS の空間分割数別の比較表である。これをみると、100 までは破壊確率が増え、それ以後減っていることが分かる。

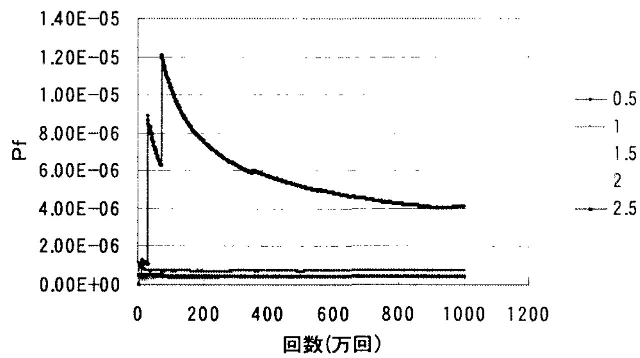

図.3 標準偏差比較図(1.1)

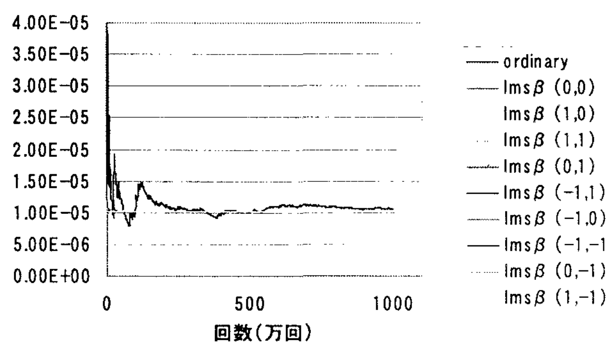

図.4 破壊確率比較図(σ^2=2.0)

表.1 分割数ごとの比較表

空間分割数	破壊確率
10	1.11789*10-5
50	1.26437*10-5
100	1.34073*10-5
200	0.99593*10-5
300	0.90866*10-5
500	0.89537*10-5

4.結論

Importance function の分散は、基本変数の分散の 2 倍ぐらいをとることが望ましい。また、明らかに ISMS は有用性が高い事が分かる。杭基礎、及び浅い基礎へのこれらの適用例については、発表時に譲る。

参考文献

1).Reuven Y. Rubinstein:simulation and the Monte Carlo Method

2).香月 智・Frangopol (1998):修正放射状領域分割法と塑性信頼性解析への応用