

効率化モンテカルロシミュレーション法による防波堤の信頼性評価に関する基礎的研究

広島工業大学大学院 学生員 ○相田 清
 広島工業大学工学部 正 員 中山 隆弘
 東洋建設(株) 今野 光夫

1. まえがき

波力を受ける構造物の信頼性解析に際しては、破壊基準関数を陽形式で表現できないために1次ガウス近似法¹⁾に代表されるような解析の方法を適用できない。その場合、モンテカルロシミュレーション手法の利用が考えられるが、通常のシミュレーション方法では、例え高性能の計算機を用いるにせよ、かなり長時間の計算が必要になる。

そこで、今回は効率化モンテカルロ法^{2)~4)}のひとつであるHarbitz法⁵⁾に注目した。ただし、上述のように、本問題では破壊基準関数を陽形式で表現することができない上に、設計変数に非正規変数を含む。したがって、3. で述べる方法によってその問題を解決し、限られた条件の下ではあるが、波力を受ける直立式防波堤の信頼性評価を試みた。

本報告では、効率化モンテカルロ法を防波堤に適用した場合の同方法の効率性と有用性を通常のシミュレーション法との比較によって示す。

2. Harbitz法

Harbitz法は、(a)各設計変数によって記述された破壊基準関数が明かであり、(b)各設計変数が互いに独立で、 $N(0, 1)$ に従う正規確率変数に変換でき、さらに(c)安全性指標 β が明かである場合に限りその適用が可能である。図-1は設計変数が2個の場合のサンプリング領域を示したもので、半径 β の領域を除外した領域でのみサンプリングを行って、シミュレーションの効率化が達成される。その場合の破壊確率は、次式で与えられる。

$$P_f = P_r \{Z \leq 0 \mid R^2 > \beta^2\} \times P_r \{R^2 > \beta^2\} = P_r \{Z \leq 0 \mid R^2 > \beta^2\} \times \{1 - \Gamma_k(\beta^2)\}$$

ここに、 $\Gamma_k(*)$ は自由度 k の χ^2 分布関数である。また、自由度 k は設計変数の個数に等しい。

さらに、 R は次式で表される様に原点からある1組の設計変数までの距離である。

$$R^2 = X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_k^2$$

3. 本シミュレーション法における破壊点の算定法

(a) β の初期値として、例えば $\beta_0 = 1.0$ を設定する。(b) 確率変数の平均値を破壊点の初期値とする。(c) 破壊点で正規確率変数を正規化近似⁶⁾する。(d) 図-2(a)に示すような $[R_1, R_2]$ 内部でサンプリングを行い、サンプリング点が破壊領域に入っていればその点を破壊点とみなし、新たな β_1 を設定する。ただし、 $R_1 = A \times \beta_0$, $R_2 = \beta_0$ とする。ここに、 $0 < A < 1$ である。(e) β_0 と β_1 を比較し、両者の差異が大きければ図-2(b)の状態が得られるまで(c)~(d)を繰り返す。以上の手順を踏むことによって近似的な破壊点が決定的である。

4. 数値計算例

4. 1 計算モデル

計算の対象とした防波堤の形状を図-3に示す。

4. 2 破壊モードおよび破壊基準関数

破壊モードとしては、現行の基準⁷⁾を参考にして、波圧の作用に対する防波堤の滑動抵抗力の不足

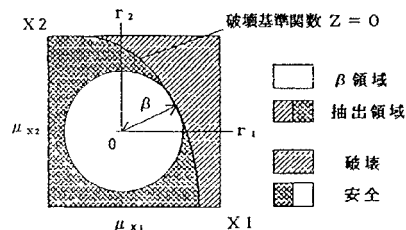


図-1 サンプリング領域

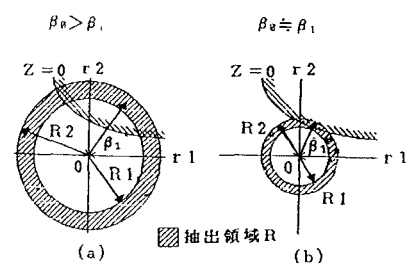


図-2 破壊点の算定法

による滑動破壊を考えた。今回は確率変数として表-1に示すものだけを考慮したが、破壊基準関数は、波圧算定の過程に繰り返し計算が含まれるのでそれらの変数を用いて陽形式で表すことができない。

5. 計算結果

今回は、現行基準⁷⁾で設計され、応答安全性が照査された直立式防波堤を計算の対象とした。表-1と表-2に使用した諸データを示す。なお、確率変数は互いに独立としている。

図-4は単純モンテカルロ法と効率化モンテカルロ法によるシミュレーション結果を示したもので、横軸がCPU時間、縦軸が破壊確率である。なお、使用した計算機はHITAC-M280D、言語はFORTRANである。

図より、限られた計算例ではあるが、破壊確率の収束状況およびCPU時間に関して本シミュレーション法の有効性が理解できる。

6. あとがき

Harbitzによって提案された効率化モンテカルロ法と信頼性理論における正規化近似法を併用すれば、設計変数の中に非正規変数を含み、なおかつ破壊基準関数が陽形式で表せない構造信頼性問題も、シミュレーション法によってかなり効率よく解決できる見通しを得ることができた。

<<参考文献>> 1)星谷・石井：構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、pp.64-80、1986-5。2)白木・Schüller：条件付き破壊確率を用いた繰り返し高速モンテカルロ法とその構造物の動的信頼度評価への応用、構造工学論文集、Vol.35A、pp.467-477、1989-3。3)Csenki, An Improved Monte Carlo Method in Structural Reliability, Reliability Engineering and System Safety 24, pp.275-292, 1989。4)白木・酒井ら：効率化モンテカルロ法とその構造信頼性解析への応用、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、pp.378-379、1989-10。5)Harbitz: An Efficient Sampling Method for Probability of Failure Calculation, Structural Safety, pp.109-115, 1986-3。6)文献1)のpp.73-76。7)岩垣・彦坂：海岸工学(大学講座 土木工学 25)、共立出版、1979-4。

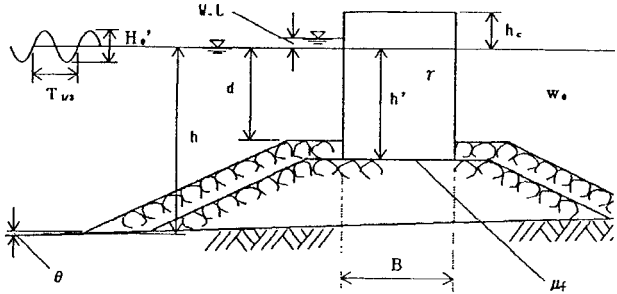


図-3 計算モデル

表-1 確率変数

		単位	分布型	パラメータ
H_s	換算沖波の波高	[m]	レーリー	$\alpha = 1.8351345$
$T_{1/3}$	沖波の有義波周期	[sec]	正規	$\mu = 6.5, \sigma = 0.8$
μ_f	防波堤とマウンドの間の摩擦係数	[-]	正規	$\mu = 0.6, \sigma = 0.06$

ここに、 μ ：正規確率変数の平均値、 σ ：正規確率変数の標準偏差
 α ：レーリー確率変数でのパラメータ

表-2 確定変数

	単位	数値
B	[m]	15.0
h	[m]	6.5
h'	[m]	4.0
d	[m]	5.0
h	[m]	9.5
W.L.	[m]	0.6
θ	[m/m]	1/100
β	[度]	15.0
γ	[tf/m]	2.177
w_s	[tf/m]	1.03

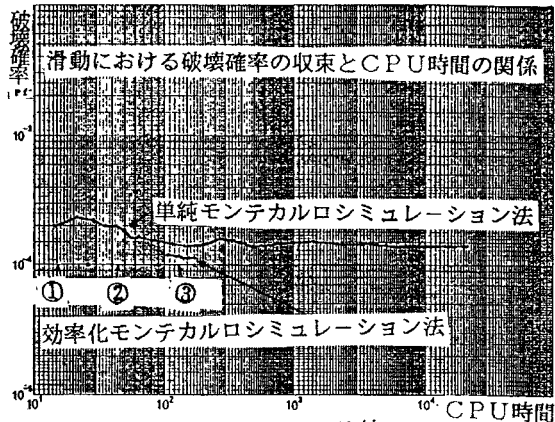


図-4 計算結果の比較

(秒)

ここに、①破壊点の算定② β の概略値の算定③破壊確率の算定