I－5　組合せ荷重の確率論的解析に関する考察

東京大学　学員　○田村敬一
東京大学　正員　伊藤 学
筑波大学　正員　藤野陽三

1．はじめに

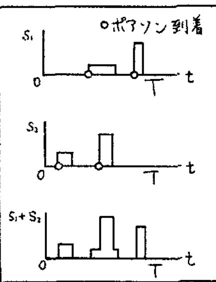
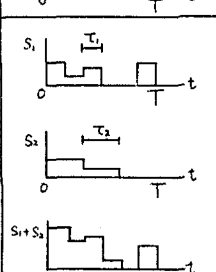
一般に土木構造物には複数の時間的に変動する荷重が作用するため，組合された荷重の評価が重要となる．最近、荷重を時系列モデルに置きかえて，組合せ荷重の値を求める，という確率論的な組合せ荷重の解析手法がいくつか提案されている．　そこで，本研究は，いくつかの代表的な解析手法について，実際に数値計算を行ない，モンテカルロシュミレーションとの適合性および計算の難易に注目して，それらの手法を比較し，若干の考察を加えることを目的としたものである．　なお，ここでは，簡単のために，組合せを考える荷重は2個のみとした．

2．組合せ荷重の解析手法

本研究で用いた解析手法は，表1に示すWenの手法[1]，*Kiureghian* の手法[2]，*Ditlevsen / Skov*（D/S）の手法[3]，*Economic Commission for Europe*（E C E）の手法[4]である．

*Wen*の手法および*Kiureghian*の手法は，ともに荷重の発生時刻がポアソン到着に従うとするが，*Wen*の手法が個々の荷重の確率分布関数$F_i(s)$から組合せ荷重の確率分布関数$F_{S_T}(s_T)$を求めるのに対して，*Kiureghian*の手法は，個々の荷重の平均$\bar{S}_i$，標準偏差σ_{S_i}から組合せ荷重の平均$\bar{S}_T$，標準偏差σ_{S_T}を求めるものである．　一方，D/Sの手法およびＥＣＥの手法は，ともに，基本的には，ポアソン過程を等時間間隔τ_iなる離散過程に置きかえた荷重のモデルを用いて，それぞれ，組合せ荷重の確率分布、統計量を求めるものである．

表1　組合せ荷重の解析手法

解析手法	解析 結果	荷重モデル	備 考
Wen	$F_{S_T}(s_T)=exp[-\nu_1 T\{1-F_1(s_T)\}-\nu_2 T\{1-F_2(s_T)\}$ $-\nu_1\nu_2(\bar{d}_1+\bar{d}_2)T\{1-\int_0^{s_T}F_1(s_T-s)f_2(s)ds\}]$		ν_i:荷重の平均発生率 $\bar{d}_i$: 〃 平均継続時間 $F_i(s)$: 〃 確率分布関数 T: 供用期間
Kiureghian	$\bar{S}_T=\sum_{i=1}^{n}\bar{S}_i+p_T\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sigma_{S_i}^2}$　　$\sigma_{S_T}=q_T\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sigma_{S_i}^2}$		p_T, q_T : $\nu_i, F_i(s), T, \bar{S}_i, \sigma_{S_i}$から定まる定数
D / S	$F_{S_T}(s_T)=\sum_{r=0}^{n_2}\binom{n_2}{r}p_2^r q_2^{n_2-r}\{\int_0^{s_T}F_{X_1}(s_T-s)f_2(s)ds\}^r\{F_{X_1}(s_T)\}^{n_2-r}$ $F_{X_1}(s)=\sum_{r=0}^{n_1}\binom{n_1}{r}p_1^r q_1^{n_1-r}\{F_1(s)\}^r,\ n_1=\frac{\tau_2}{\tau_1},\ n_2=\frac{T}{\tau_2}$		τ_i: 時間間隔 p_i: τ_iにおいて荷重が発生する確率（$=1-q_i$）
ECE	$\bar{S}_T=\bar{S}_1(n_1)+\bar{S}_2(\frac{n_2}{n_1})$ or $\bar{S}_1(1)+\bar{S}_2(n_2)$ $\sigma_{S_T}^2=\sigma_{S_1}^2(n_1)+\sigma_{S_2}^2(\frac{n_2}{n_1})$ or $\sigma_{S_1}^2(1)+\sigma_{S_2}^2(n_2)$ $n_1=\frac{T}{\tau_1},\ n_2=\frac{T}{\tau_2}$		$\bar{S}_i(l), \sigma_{S_i}(l)$: l個の時間間隔における荷重S_iの最大値の平均，標準偏差

3．結論

若干の計算例を図1に示す．　これらの図より以下のことがわかる．

(i) Wenの手法は全般的にシュミレーションとの適合性がよいが，荷重の平均継続時間が長く，平均発生率が大きい場合はいく分過大評価となる．

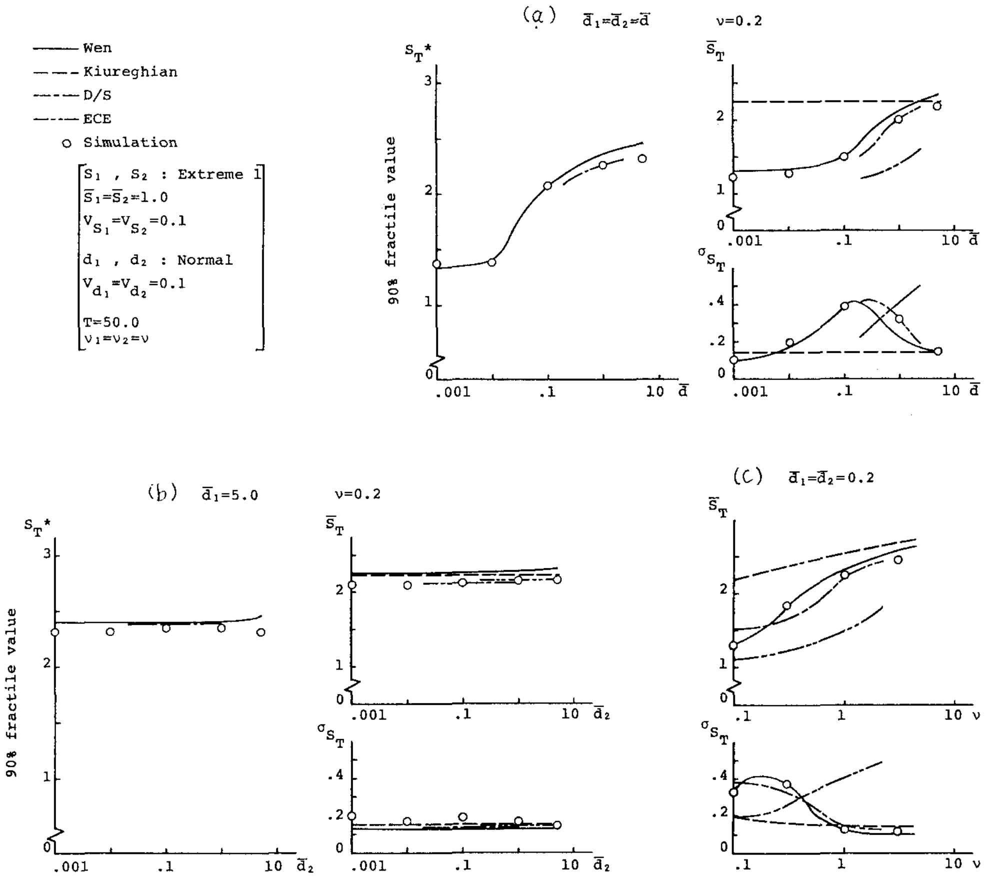
(ii) Kiureghianの手法は荷重の平均継続時間が長く、平均発生率が大きい場合にのみ比較的精度がよい．

(iii) D／Sの手法はWenの手法よりさらにシュミレーションとの適合性がよいが，荷重の継続時間が短い場合には実用上は計算が困難である．

(iv) ECEの手法は2個の荷重のうち少なくとも1個の荷重が常時作用しているような場合以外は精度が悪く，特に荷重の継続時間が短い場合には計算も困難である．

(v) 現状では，シュミレーションがもっともフレキシブルで簡便な方法であるといえよう．

図1　計算例



〈参考文献〉

1) Wen Y.K. : Statistical Combination of Extreme Loads ,ASCE,Vol.103,ST5,May 1977

2) Der Kiureghian A. : Second-Moment Combination of Stochastic Loads ,ASCE,Vol.104,ST10, October 1978

3) Fujino Y.,Lind N.C.,Nowak A. : Risk Analysis Procedures ,Res.Report,Dept. of Civil Engineering,Univ. of Waterloo,March 1977

4) Bredsdorff P.,Kukulski W.,Skov K. : Recommendation on General Principles of Structural Design ,3rd. preliminary draft of a report to ECE,september 1976