

信州大学工学部	正員	小山 健
信州大学工学部	正員	長 尚
信州大学工学部	学生員	庭野 隆

1. まえがき

構造物がその耐用期間中に受けるであろう最大の荷重を考慮して設計を行うことが、その構造物の安全性および社会に及ぼす損失の影響等を考える上で重要であることは言うまでもない¹⁾。この場合、将来の現実的な設計への適用という面からみて、これらの荷重に対する構造部材等の安全性も、よく用いられている“安全性指標”といった量で表わす方が、より妥当であろう。ところでこの安全性指標について、Hasofer と Lind によって定義された安全性指標(以下 β_{HL} と書く)^{2),3)}では、時間と共に変化する荷重あるいはくり返し荷重等を受ける構造部材の安全性を表現するには十分でないことが、最近の研究で明らかになってきている⁴⁾。この研究の安全性指標の求め方としては、時間と共に変化するような荷重を確率変数として、その荷重の最大値が強度に関するあるレベルを超過する(又はしない)場合の確率 P_f を求め、正規分布に対応した $-\Phi(P_f) = \beta^*$ をその安全性指標とするものである。しかしこの方法では、確率に対して β^* がかなり精度よく対応がつくのはある条件を必要としているので³⁾、従って非常に簡単な、例えば破壊基準が2変数で表わされるような場合等に限られてくる。一方別に述べた確率分布の形を考慮に入れた方法によれば³⁾、このように超過確率から安全性指標を求める必要はない。しかも多変数で関数形が任意の場合にも、かなり正確な破壊確率に対応した安全性指標を求めることができる。本文ではこの方法を用いて、くり返し荷重を再現期待荷重として考えることで、簡単な例を通して再現期間と安全性指標の関係を調べたので報告する。

2. 再現期待荷重に対する安全性指標

再現期待荷重を考える場合には、荷重の最大値の分布が必要となるのは周知のとおりである。この最大値の分布は次のように表わされる。 $F_{M,n}(x) = P(\max_{1 \leq i \leq n} \{X_i\} < x) = \{F(x)\}^n$ ---- (1) ここで、 $\{X_i\}$: 荷重の実現値、 $F(x)$: その確率分布関数である。いま簡単のために、破壊基準関数を $G(R, S) = R - S_{M,n}$ ---- (2) と定義する。ここで、 R : 強度に関する項、 $S_{M,n}$: $T = n \cdot \Delta t$ 中観測される荷重の最大値、 T : 再現期間、である。ここで、 $S_{M,n}$ の分布関数は式(1)で与えられるものとする。このような破壊基準関数を、それぞれの確率変数が標準正規分布に従うような変数に変換した空間で、Hasofer と Lind による β_{HL} が求める安全性指標である。この変換方法についての詳細は別の報告にあるが³⁾、ここで考えている $S_{M,n}$ のような荷重の変数に対する変換は $z_i = F^{-1}(\Phi^n(Z_i))$ ---- (3) で与えられる。ここで、 $\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数である。実際の計算に必要な $\partial x_i / \partial z_i$ は、式(1)、(3)を用いて $\partial x_i / \partial z_i = 1/n \cdot 1/F(x_i) \cdot \varphi(x_i)/f(x_i)$ ---- (4) となる。なお式(3)において、 x_i がかならずしも $F^{-1}(\cdot)$ の形で陽な形で表現される必要はない。また文献1)には、 $\mu' = x^* - \Phi^{-1}(F(x_i^*)) \cdot \varphi\{\Phi^{-1}(F(x_i^*))\}$ および $\sigma' = \varphi\{\Phi^{-1}(F(x_i^*))\}/f(x_i^*)$ として、平均値 μ' 、標準偏差 σ' を、設計点 x_i^* 付近で正規分布に近似してくり返し計算の過程で求める方法も提案されているが、特別な場合を除いて、くり返しの回数およびその手順のはん雑さから多少問題があるように思われる。なおここで、 $\varphi(\cdot)$ 、 $f(\cdot)$ はそれぞれ、 $\Phi(\cdot)$ 、 $F(\cdot)$ の確率密度関数である。

3. 計算例および考察

ここでは、簡単な計算例を用いて、前述の方法に従って安全性指標を求める若干の考察を加えるものである。

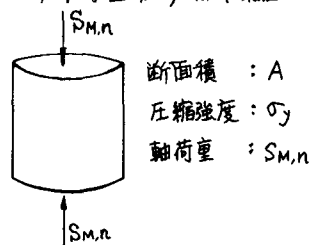


図-1

(a) 円柱部材の例

図-1に示すようなコンクリート円柱部材に、再現期待荷重 $S_{M,n}$ が作用するものとする。破壊基準関数は、 $G(R, S) = A \cdot \sigma_y - S_{M,n} \dots (5)$ で、 $S_{M,n}$ としては正規分布の最大値分布を仮定し、 A 、 σ_y についても正規分布に倣うものと仮定した。図-2には安全性指標 β と、再現期間を示すパラメータ n の関係を、また図-3には、 $\bar{\theta}$ (中央安全率 $= \bar{A} \bar{\sigma}_y / \bar{S}$) が約 4.0 と 2.0 の一定の場合の β と σ_y の変動係数との関係を載せた。図-2 から一定の安全性を保証しようとする、 n の増加と共に、変動係数 V_{σ_y} にも関連して、必要となる断面積がかなり増加することがわかる。ところで現実の設計では、全ての n に対して同じ程度の安全性を要求するのではなく長期に対し

ては、短期に比べて安全性のレベルを、低く指定される。しかし、信頼性理論を適用する場合にこのことを、どの程度設計に考慮してゆくかは、この種の研究の今後の課題となる。また図-3から、強度の変動係数 V_{σ_y} の変化が β にかなり影響しており、しかもその変動係数が、0.15 近辺を境にしてかなり異なる β を与えることがわかる。ただ

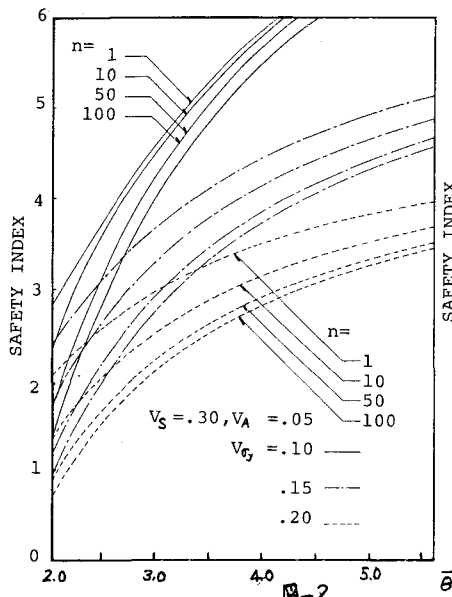


図-2

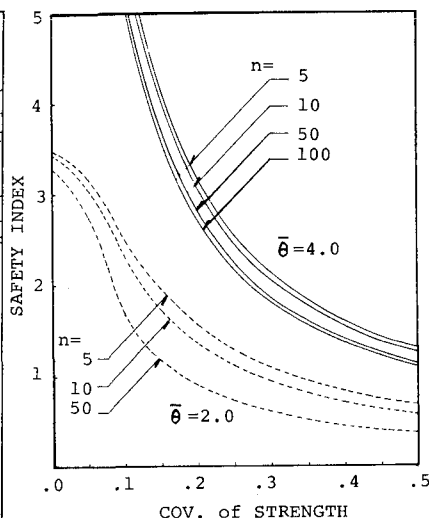


図-3

しこの例では断面積の変動係数 $V_A = 0.05$ 、荷重の変動係数 $V_S = 0.3$ (一定) としてある。

(b) 鉄筋コンクリートはり断面の例

ここでは文献(5)に用いられた鉄筋コンクリート長方形はり断面についての安全性指標を求める。破壊基準関数は $G(X) = \sigma_s A_s (d - \sigma_s A_s / 1.7 \alpha_c b) E_R - (M_D + M_L) E_S$ で定義する。これらの確率変数の特性値および変動係数、荷重の組み合わせとその重み等についての詳細は文献(5)に述べてあるのでそれを参照されたい。各変数の分布形と重みつき平均の β を表にのせる。

表

										Weighted Average of β				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	n = 1	n = 10	n = 100	n = 1000	CASE
変数	σ_s	σ_c	A_s	b	d	E_R	M_D	M_L	E_S	3.77	3.32	2.90	2.53	A
分布形	N	N	N	N	N	N	N	N*	N	4.47	4.13	3.92	3.73	B

ここで、N: 正規分布、N*: 正規分布の最大値分布、である。CASE-A (道路橋) の場合が $n = 1$ に比べ $n = 1000$ では β に約 1.2 の差があるが、B (鉄道橋) の場合は約 0.5 と A に比べて差が小さい。この原因は、 M_L に関する変動係数が 0.35 (A)、0.15 (B) とかなりの差があり、これの影響によるものと思われる。

参考文献 1) Rackwitz, R., "First Order Reliability Methods," Sonderforschungsbereich 96.

"Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke" Technical Univ. of Munich, Apr. 1980. 2) Hasofer, A. M., and Lind, N. C., "Exact and Invariant Second-Moment Code Format," ASCE, EM1, Feb., 1974.

3) 長 尚也: 安全性指標 β の安全性尺度としての有効性について, 才36回土木学会年講概要集, 1981.

4) Grigoriu, A. M., et al., "Structural Safety Indices for Repeated Loads," ASCE, EM, 4, 1976.

5) 長 尚也: 鉄筋コンクリート構造物設計法のコード・キャリブレーション, 土木学会論文報告集, No287, 1979.