

京都大学工学部 正員 工博 小西一郎
 京都大学工学部 正員 工博 白石成人
 京都大学工学部 正員 工博 白井勝之

I. まえがき

構造物の設計においては、ランダムな性質を有する外力や、構造物の抵抗に対して、ある定まった設計荷重、保証抵抗とあらかじめ規定し、これらの値のあいまいさや、構造計算の誤差をも考慮して、安全率を適用している。構造物に作用する荷重や抵抗を、統計的な変数として取りあつかえば、構造物の安全性に対する合理的な意味づけが可能となり、従来の値そのものがあいまいな安全率に対し、破壊確率を対応させることができる。ここでは、実際に風荷重の外を受ける塔のリライアビリティを計算し、Freudenthal等の計算結果と比較検討を行なう。

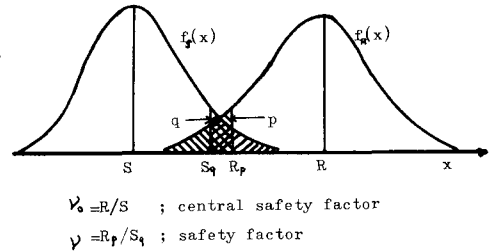
II. 構造物のリライアビリティ解析

1) 単一部材に、単一荷重が作用する時の破壊確率

荷重 S および抵抗 R の確率分布関数、密度関数をそれぞれ、 $F_S(x)$, $f_S(x)$, $F_R(x)$, $f_R(x)$ とすれば

$$P_f = \int_0^{\infty} F_R(s) f_S(s) ds = \int_0^{\infty} [1 - F_S(r)] f_R(r) dr \quad (1)$$

(右図 参照)



2) 複合部材よりなる構造物の、単一荷重による破壊確率

構造物は、外りに耐えるように多くの部材を配置し組み合わせたものであるから、任意の荷重によって多くの考えられる破壊モードを持ち、これらすべてを同時に考えねばならない。破壊モードとして、各部材の破壊を考えれば、各部材の抵抗、各部材に導入される力とともに統計的に独立であると仮定できるなら、 m 部材よりなる構造物の破壊確率 P_{f0} は、各部材の破壊確率の和になる。

$$すなわち、 \quad P_{f0} = \sum_{i=1}^m P_{fi} \quad (2)$$

一方、各部材の抵抗および力が完全に統計的に従属しているなら、すなわち関数関係があるなら、

$$P_{f0} = \max_{i=1}^m P_{fi} \quad (3)$$

式(2)、(3)での各 P_{fi} は、各部材に式(1)を適用して計算でき、真の構造物の破壊確率は、(2)、(3)式の中間にある。

$$\max_{i=1}^m P_{fi} \leq P_{f0} \leq \sum_{i=1}^m P_{fi} \quad (4)$$

一般に、各部材の抵抗は統計的に独立であり、各部材に導入される力は従属していると考えられるから、この場合の構造物の破壊確率は、

$$P_{f0} = 1 - \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^m [1 - F_{R_i}(C_i s)] f_S(s) ds \quad (5)$$

3) くり返し荷重による構造物の破壊確率とリライアビリティ関数

構造物は、幾種類かの荷重のくり返しに耐える事を目的に設計され、荷重の載荷回数 N の関数

として、構造物の破壊確率 $F(n)$ またはリライアビリティ $L(n)$ を表わすことができる。くり返される荷重、および各段階での構造物の全体の抵抗がそれぞれ統計的に独立であると考えられるなら、

$$F(n) = \sum_{j=1}^n P_{f0j} \quad \text{または} \quad L(n) = 1 - \sum_{j=1}^n P_{f0j} \quad (6)$$

一方、各荷重および各荷重段階での抵抗が、それぞれ完全に統計的に従属していると考えられるなら

$$F(n) = \max_{j=1}^n P_{f0j} \quad \text{または} \quad L(n) = 1 - \max_{j=1}^n P_{f0j} \quad (7)$$

(6), (7) 式における各荷重段階での P_{f0j} は、(4) 式の領域にあるから、 $F(n), L(n)$ の真の値は次の領域にある、

$$\max_{j=1}^n P_{f0j} \leq F(n) \leq \sum_{j=1}^n P_{f0j} \quad 1 - \max_{j=1}^n P_{f0j} \geq L(n) \geq 1 - \sum_{j=1}^n P_{f0j} \quad (8)$$

実際の構造物の特性を考えると、各荷重間に統計的な独立性も、各抵抗間に完全な統計的従属性を仮定することが最も実情に即していると考えられる。この様な場合、

$$F(n) = \int_0^n \frac{f_{s^*}(r) \prod_{i=1}^n [F_{s_i}(r)]}{F_{s^*}(r)} \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n [1 - F_{s_i}(r)] \right\} dr \quad (9)$$

Ⅱ. 風荷重による塔のリライアビリティ

許容応力法により設計された 20 部材よりなるトラス構造の塔を考え、次の仮定を設ける。

- ・各部材は、純引張または純圧縮として働き、引張材は降伏により、圧縮材は座屈により破壊する。
- ・強風は一方向に卓越し、この風により 10 部材は引張材として、10 部材は圧縮材として働く。
- ・死荷重によって生ずる応力は無視する。

使用鋼材は SM 50 鋼とし、その降伏点分布は 178 個のデータから、また風速分布は神戸市の最近 30 年間の年間最大風速記録から、それぞれ対数正規および二重指数分布に近似させた。これらの分布をもとにして計算した結果を右表に示し、同時にアメリカでの計算結果を対比させた。また、耐用年数 n と、破壊確率 $F(n)$ との関係をプロットしたのが右図である。以下、結果に対し若干の考案を加えると、

・概して破壊確率は、今回計算した値の方が小さかったが、

これは、二重指数分布の方が指数分布に比してそのすそ部分の収束が急な為と思われる。引張材に対し同じ安全率を適用しても、破壊確率にかなりの相異があり、また圧縮材は、その相異による影響が非常に大きい。

・ $F(1)$ が、単一部材の破壊確率と、order が同じである事から、各破壊モード間になりに大きな統計的従属性が予想される。

* 文献 ① A.M. Freudenthal 等, "The Analysis of Structural Safety", Proc. ASCE, 1966

② 本州・四国連鉄橋, 技術調査報告書, 附属資料 1 および 3, ③ 斎藤等, "日本の強風への研究 II, Ⅲ", 気象庁研究時報 Vol. 9

	SM 50 鋼 神戸風速記録	ASTM A-7 鋼 米國 風速記録
$R(y)$	$\Phi\left(\frac{\log \frac{y}{36.8}}{0.0243}\right)$	$\Phi\left(\frac{\log \frac{y}{41.6}}{0.0416}\right)$
$R(x)$	$\exp[-\exp(-0.32x + 8.31)]$	$\exp[-(x/V)^{1.9}]$
α_{ep}	0.87	0.794
p	0.0156	0.0076
$\beta_{v,b}$	1.38	1.54
q	0.02	0.02
V_c	1.68	1.67
V_{ok}	3.68	5.0
P_{ft}	0.000188	0.000785
V_c	2.88	1.92
V_{ok}	5.45	4.55
P_{fc}	0.000004	0.00116
$F(1)$	0.000392	0.00145

