

信州大学工学部 正 員 長 尚

信州大学工学部 正 員 小山 健

1. まえがき 信頼性理論によって評価される構造物の安全性は、強度及び荷重の確率分布形に敏感に影響を受ける。 $Ang^{4)}$ らは破壊基準関数 g が $R-S$ の場合について幾つかの分布形に対する中央安全率 $\bar{r}$ と破壊確率 P_f との関係を示している。ところで一般に破壊基準関数 g の強度項 R 及び荷重項 S はいずれも複数の確率変数の関数である。本文では幾つかの破壊基準関数のモデルを設定し、破壊基準関数の関数形及びそれを構成している個々の確率変数の分布形の違いがどのように安全性に影響を及ぼすかについて検討を加える。なおここでは、安全性を直接破壊確率 P_f ではなく、先に筆者が指摘した、破壊確率 P_f と対応が良く、しかも計算が簡便な、全確率分布安全性指標 β_F で評価するものとする。

表-1

破壊基準関数 ($R-S$)	変動係数 ($V_R=V_S=0.2$)	変 数 の 確 率 分 布	
		r	s
$r-s$	$V=0.2$	N LN B $(r_L^u = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ $(r_L^l = \bar{r} - 5 \sigma)$ W LN	N LN B $(s_L^u = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ EXI LN LN
$r_1 r_2 r_3 - s_1 s_2 s_3$	$V=0.1147$	N LN B $(r_L^u = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ $(r_L^l = \bar{r} \pm 3 \sigma)$ B $(r_L^u = \bar{r} \pm 17 \sigma)$ B $(r_L^l = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ W $(r_L^l = \bar{r} - 5 \sigma)$ LN	N LN B $(s_L^u = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ $(s_L^l = \bar{s} \pm 3 \sigma)$ B $(s_L^u = \bar{s} \pm 17 \sigma)$ B $(s_L^l = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ EXI LN LN
	$V_1=2V_2=2V_3=0.1685$	N LN B $(r_L^u = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ $(r_L^l = \bar{r} - 5 \sigma)$ W LN	N LN B $(s_L^u = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ EXI LN LN
$r_1 + r_2 + r_3 - s_1 - s_2 - s_3$	$V=0.3464$	N LN B $(r_L^u = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ $(r_L^l = \bar{r} \pm 3 \sigma)$ B $(r_L^u = \bar{r} \pm 17 \sigma)$ B $(r_L^l = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ W $(r_L^l = \bar{r} - 5 \sigma)$ LN	N LN B $(s_L^u = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ $(s_L^l = \bar{s} \pm 3 \sigma)$ B $(s_L^u = \bar{s} \pm 17 \sigma)$ B $(s_L^l = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ EXI LN LN
$r_1 r_2 r_3 - s_1 - s_2 - s_3$	$V_r=0.1147$ $V_s=0.3464$	N LN B $(r_L^u = \bar{r} \pm 5 \sigma)$ $(r_L^l = \bar{r} - 5 \sigma)$ W LN	N LN B $(s_L^u = \bar{s} \pm 5 \sigma)$ EXI LN LN

2. 計算モデルの設定 破壊基準関数 g としては、表-1に示すように、比較検討の基準とするための、強度項及び荷重項をそれぞれ1変数とした、 $r-s$ と、それぞれ3個の確率変数とした、 $r_1 r_2 r_3 - s_1 s_2 s_3$ (掛け算型)、 $r_1 + r_2 + r_3 - s_1 - s_2 - s_3$ (足し算型)、 $r_1 r_2 r_3 - s_1 - s_2 - s_3$ (混合型)の計4種類とした。変動係数はいずれの場合も強度項及び荷重項の部分でそれぞれ 0.2 になるように、個々の変数の変動係数を設定した。計算した個々の確率変数の分布形の組み合わせ種別は表-1に示す通りで、各項内では同一の分布形とした。なお表-1において、Nは正規分布、LNは対数正規分布、Bはベータ分布、Wはワイブル分布、EXIは極値工型(最大)、 r_L^u 、 s_L^u は各確率変数の上下限値をそれぞれ示す。

3. 計算結果及び吟味 図-1~8はいずれも中央安全率 $\bar{r} = \bar{R}/\bar{S}$ と全確率分布安全性指標 β_F の関係を図示したものである。図-1~5は色々

な破壊基準関数と確率分布の関係を示す。図-6, 7は確率分布はベータ分布として各確率変数の上下限値の違いの影響を、図-8はワイブル分布として下限値の違いの影響をそれぞれ示したものである。

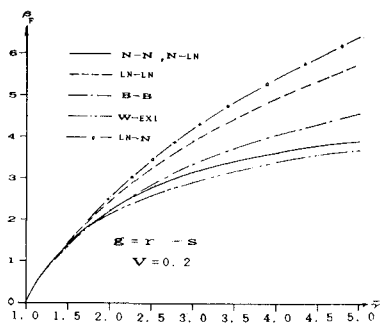


図-1

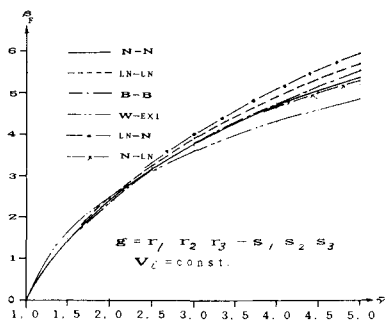


図-2

これらの図から次のことが云える。

(1) 破壊基準関数の強度項及び荷重項を構成している確率変数の数が増えると、個々の確率変数の分布形の違いの安全性に及ぼす影響は鈍化される。(2) 各項が個々の確率変数の積で表わされている場合は、それぞれが1つの対数正規分布する変数で表わされている場合の安全性に近づく傾向にある。(3) 各項が個々の確率変数の和で表わされている場合は、一般にそれぞれが1つの正規分布する変数で表わされている場合の安全性に近づく傾向にある。ただし強度項が対数正規分布する変数で構成されている場合はその傾向はなく、それぞれが1つの対数正規分布する変数で表わされている場合の安全性と大差がない。

(4) 前述の傾向は主として強度項の関数形及び確率分布形によって左右され、荷重項のそれらとは関連が薄い。(5) 各項を構成している確率変数の変動係数の値に偏りがあると、前述の傾向は鈍り、大きい変動係数の確率変数の確率分布に安全性は支配される。(6) 確率分布をベータ分布として、上下限値を、平均値±(√5〜5)σの範囲で変化させても、本計算例では安全性に余り差は生じていない。(7) ワイブル分布において下限値を平均値-5σから0に変化させると安全性はかなりよる。

前述の(1), (2), (3)の前半の部分及び(5)については中心極限定理によって説明できるが、(3)の後半の部分及び(4)についてはその理由がはっきりしない。今後検討を進めるつもりである。

参考文献 1) Ang, A.H.-S and C.A. Cornell, : Reliability Bases of Structural Safety and Design, Proc. of ASCE, Vol. 100, No. ST9, 1974. 2) 長 尚: 安全性指標に関する若干の考察, 土木学会論文報告集, 324号, 1982.

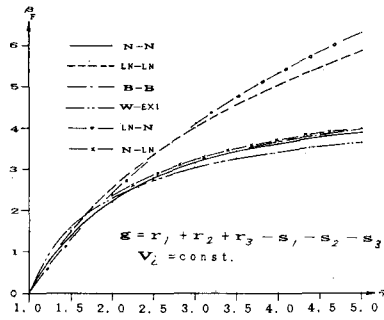


図-3

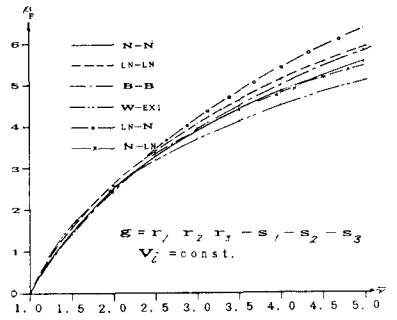


図-4

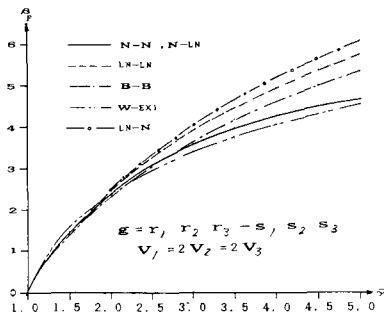


図-5

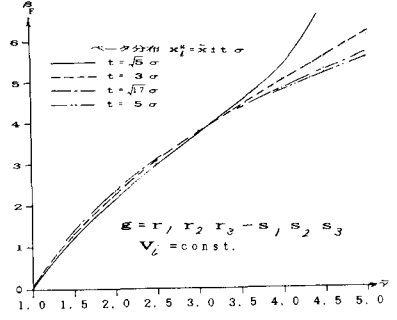


図-6

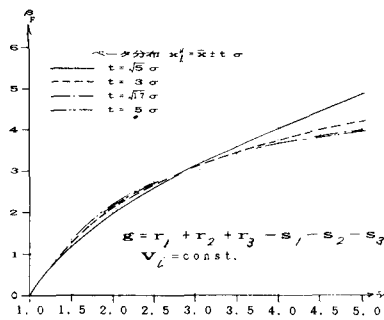


図-7

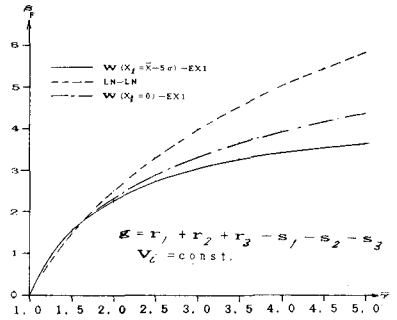


図-8