

○ 建設省 近畿地建 正員 名張義昭
 東京大学 工学部 正員 佐藤尚次
 東京大学 工学部 正員 西野文雄

1.はじめに 信頼性にもとづく構造設計論の分野で、Cornellらによって提唱された2次モーメント法の発展は著しく、近年では実際の設計示方書にもとり入れられようとしている¹⁾。一方、従来の設計示方書で用いられる方法に含まれる確率論的な側面を再評価しようとする立場から、西野らは超過・非超過確率を用いて設計値を決める方法を提唱している^{2),3)}。設計に際して当初に目標とした信頼性と、結果的に実現される信頼性の対応をよくすることや設計論の重要な課題であるが、その意味では後者の方法はCornellらによる最も基本的な2次モーメント法よりも優れているといえる。井上ら³⁾はこの方法を展開する上で、設計に関与する変数として荷重・強度の2つのみを著した例を採り上げているが、本報告では更に「人的過誤等」の影響を表す変数も加え、合わせて3変数の場合を添えてみた。

示方書の中には、1)荷重と2)強度の設計値及び3)安全率以規定されてあり、許容耐力度は2)と3)を組合せたものである。しかし、安全率という概念は、本来設計ミス等の人的要因・解析上の誤差・不為要因等に対処するためのものであるが、強度・荷重の統計的なばらつきを処理する量ではないと思われる。こうした要因の扱いについては、Nowak⁴⁾、酒井⁵⁾等の例があり、またArg, Amin⁶⁾は、「主観的不明量」を導入して拡張信頼性理論を展開している。確かにこうした要因は確率論のみでは扱えないが⁷⁾、こうした量を確率変数として扱って本格的な確率計算を試みた例が極めて少ないことは一面の事実である。

2.3変数の場合に於ける破壊確率の対応精度 「人的過誤等」の影響を表す変数をHとおき、強度R・荷重Sと合わせて限界状態は $H - \frac{R}{S} = 1$ (1)と表わされる確率モデルを考える。このとき破壊確率 $p_R = P[R - HS < 0]$ (2)。(1)式を (R^*, S^*, H^*) のまわりで線形化すると、 $\frac{R}{R^*} - \frac{S}{S^*} - \frac{H}{H^*} + 1 = 0$ (3)。この式から井上ら³⁾と同様に p_R の目標値と各変数の超過確率 p_R, p_S, p_H の間の式

$$p_R = \Phi \left[\frac{\frac{\sigma_R}{R^*} \Phi^{-1}(p_R) + \frac{\sigma_S}{S^*} \Phi^{-1}(p_S) + \frac{\sigma_H}{H^*} \Phi^{-1}(p_H)}{\left\{ \left(\frac{\sigma_R}{R^*} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_S}{S^*} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_H}{H^*} \right)^2 \right\}^{1/2}} \right] \quad (4)$$

が導かれる。これらの超過確率と各変数の分布函数から設計値 R^d, S^d, H^d が求まる。この結果 $R^d - S^d H^d = 0$ に対し、3重積分から実際の破壊確率(2)を計算し、目標値と対応させたものを図-1に示す。但し、今右の組合せとして $R/S/H$ に対し、N/N/LN, LN/LN/LN, EX3/EX1/LN, EX3/EX2/LN の4つを採用した。ニニニN:正規, LN:対数正規, EX1:ガンベル, EX2:フレイト, EX3:ワイブル分布である。また変動係数 V_R, V_S, V_H は全2.0とした。3変数式はあっても、概ね1桁程度の誤差の範囲内に収まっている。この誤差は、

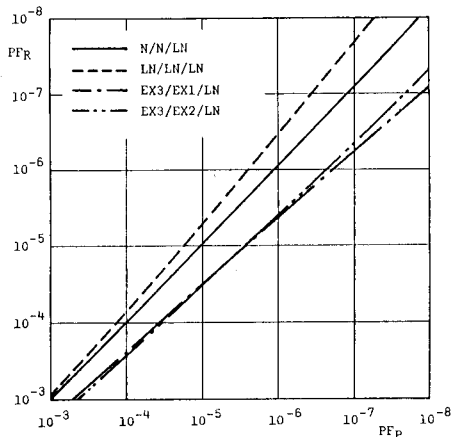


図-1 破壊確率の目標値と実現値

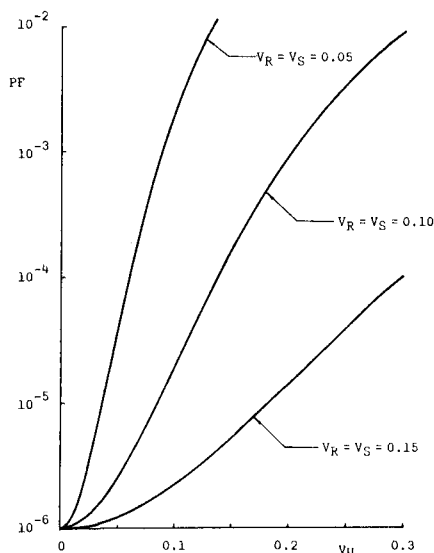


図-2 人的過誤等の影響による破壊確率の増加

繰り直し計算により設計値と線形化を行なうと一致させることで更に縮めることができる。

3. 人的過誤等の影響 前節で井上らの方法が3変数の場合にもある程度の精度を保証することがわかったので、以下(4)式の V_H を真の破壊確率に代用し、変数 H の性質がこの形にどのように影響するかを考察する。

はじめに、 H の効果をも全く考えずに(いわゆる安全率1で)設計した場合、 H の存在が破壊確率がどのように変化するかを、 V_H を横軸にとって考えたものを図-2に示す。ここで、初めに目標とする破壊確率は 10^{-3} とした。図を見ると、 V_H が小さい場合の方が破壊確率の上昇が著しい。一般に強度と荷重のみを考えた設計するとき、ある安全性のレベルのもとでは、変動係数の小さい荷重ほど余裕が少なくてもよいといわれるが、反面、こうした人的過誤等が発生した場合には、このような設計の方が危険が大きめということが指摘づけられるであろう。

次にこれを受けて、変動係数の異なる荷重に対し、人的過誤等の影響までも含めて一定の安全性を保つためには安全率をどのように決めようかを考えよう。1つの例として、破壊確率を 10^{-3} に保つために必要な、安全率に

相当するものを V_H に対して求めたものを図-3(a),(b)に示す。ある破壊確率を与えたとすると、各変数の超過確率 P_E, P_H の組合せは5通りあり、ある2つ、例えば P_E と P_H を任意に決めたとし、それに対して H が H^d が決まる。一方、 $V_H=0$ の場合にも見掛け上は P_E, P_H とともに任意に決め、 H^d を適当に決めれば所与の破壊確率を満足するが、実はこの H^d は強度・荷重の分布に対する補正であって、 H の分布とは無関係である。これより、 $V_H=0$ の場合にも H^d の値にはこの成分が含まれていることになる。そこでこれを除去するために図-3の縦軸には H^d と、等しい P_E に対して $V_H=0$ のとき求めた H_0^d 割ったものを用いた。(a)では $P_E=P_H=10^{-3}$ 、(b)では $P_E=P_H=10^{-1}$ とし、ともに V_H は0.1とした。図から V_H の値によって与えべき安全率にも著しい違いが出るということがわがすが、現実の問題として V_H の値も推定することは困難であるため、安全率としてどの程度の値が妥当かを定めるのも難しいといえる。更に、(a)は超過確率 10^{-3} で、分布のかなり裾の方に設計値を設定しているのに対し、(b)は超過確率 10^{-1} に設計値を定め、これに何らかの係数をかけることで処理していると解釈しようが、これらと比較すると安全率と V_H の対応に著しい差があることがわかる。もとも縦軸の量は H の影響に対処する目的で決められるものであり、荷重 S の統計的な性質とは独立に定めようことが望ましい。その意味で(a)のような挙動の方が望ましいといえる。(a)と(b)のこのような差異は、現在移行が提唱されている部分安全係数法フォーマットの1つの問題点を示すものと考えられる。これらの図の解釈にはまだ不十分な面もあるが、注意を要する問題を含んでおり、今後議論を進展させたいと考えている。

参考文献 1) ISO 2394-1973 (E)等, 2) 安田西野・長谷川, 第34回年講I-310, 3) 井上・佐藤・西野, 超過確率による構造物の信頼性設計, 第37回年講, 4) Nowak, ACI Jour., 1979, 5) 井上・杉山・伊藤, 第36回年講I-316, 6) Ang, Arin, J. Str. Div. Proc. ASCE, 1969, 7) 土木学会誌 1982年増刊, P.6等

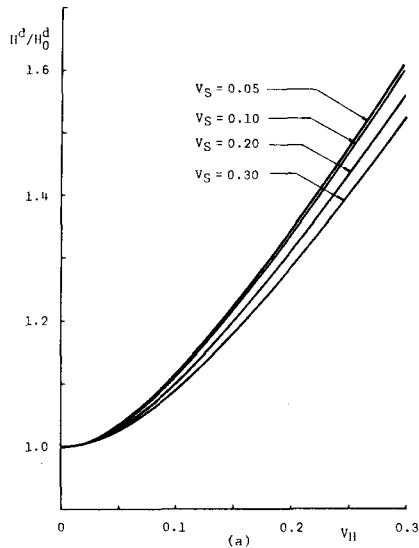


図-3(a) 与えべき安全率, $P_E=P_H=10^{-3}$

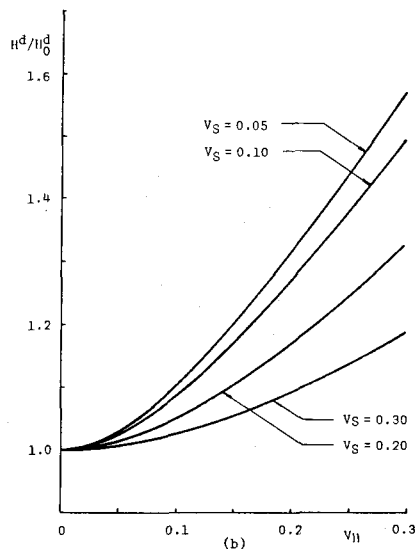


図-3(b) 与えべき安全率, $P_E=P_H=10^{-1}$