

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

土木構造物の安全性を評価しようとする際に考慮されなければならない、不確定要因の主なものは次のようである。(1)材料強度のばらつき、(2)製作、施工精度のばらつき、(3)作用荷重のばらつき、(4)以上の種々のばらつきに関する統計的データの不完全さ(試験体の強度と構造物の中の材料の強度の差、採取データ数の不足、偏り等による)、(5)強度および荷重もしくは荷重影響等の解析上の不確定要因、(6)設計、施工上の人為的ミスあるいは知識不足。これらのうち(1)～(3)は本来的な統計量なので、ある程度定量的評価が可能であるが、(4)～(6)は単純に確率量として処理することはできないもので、定量的評価が難しい不確定要因である。以下前者を確率量不確定要因、後者を準確率量不確定要因と呼ぶことにする。ところでよく云われているように、地震時のような場合を除き、実在構造物の破壊は、前記要因の(5)もしくは(6)によるものがほとんどである。筆者が最近調査した、異常なひび割れが発生した鉄筋コンクリート共同溝ボックスラーメンにおいても、土圧のかかり方によって発生する断面力がかかなり変化し、設計断面力と相当異なった土圧作用が、ひび割れ発生の原因となった例もあった。したがって「死荷重+活荷重」時のような常時における、土木構造物の安全性は主として(5)、(6)の準確率量不確定要因に左右され、現行設計法においてもこれらの要因による破壊をある程度避けるような安全性のレベルで設計が行なわれているように思われる。勿論前記要因(6)が果して現行設計法で考慮されていることになっているかどうかについては議論のあるところであらうが、非常識な過失や手抜きは別として、結果的には考慮されていることになっていると考えた方が妥当のように思われる。本文ではこのような準確率量不確定要因を考慮に入れた安全性の評価が重要であるという観点から、計算例を示し若干の考察を加える。

2. 準確率量不確定要因の評価

設計、施工上の人為的ミスあるいは知識不足等の要因を考慮に入れた、確率モデルとしてはすでに試みられているものがある¹⁾。しかしここでは、前記の(5)、(6)の準確率量不確定要因の影響が大きさに評価できれば良いという観点から、次のようなごく簡単な確率モデルを設定する。 $Z = f_R(X_R) E_R - f_S(X_S) E_S$ ……(1) ここに、 Z :安全余裕、 $f_R(\cdot)$:強度関数、 X_R :強度に関連する確率変数、 E_R :強度に関する準確率変数変数(平均値 1.0、変動係数 V_{ER})、 $f_S(\cdot)$:荷重影響関数、 X_S :荷重に関する確率変数、 E_S :荷重影響に関する準確率変数変数(平均値 1.0、変動係数 V_{ES})である。すなわち、 X_R 、 X_S によって確率量不確定要因を考慮し、それらの関数である部材の強度および荷重影響に、それぞれ E_R 、 E_S を乗じて、準確率量不確定要因を考慮したものである。ところでこのような E_R 、 E_S の変動係数としてどの程度の値を考えるべきか難しいが、一つの

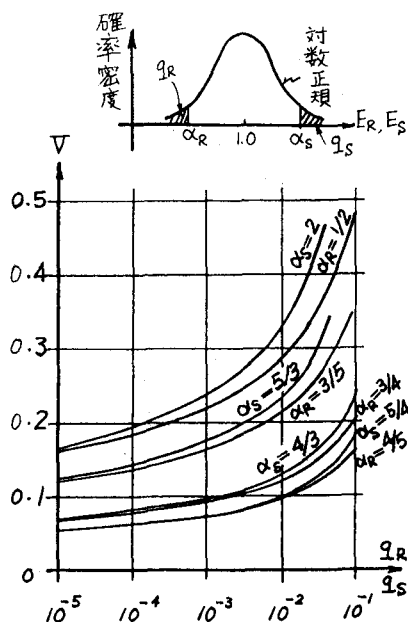


図-1

判断資料として図-1を示す。これは E_R 、 E_S が対数正規分布するものとして、 E_R の値が α_R 以下となる確率が q_R であるときの変動係数 V_{ER} を、又 E_S の値が α_S 以上となる確率が q_S であるときの変動係数 V_{ES}

を表わしたものである。例えば、前述の(5)、(6)の要因によって、強度が $3/5$ 以下となる確率が 10^{-4} 程度と判断される場合には $V_{ER} \approx 0.13$ である。

3. 鉄筋コンクリートはり断面の現行設計法における中央安全率

次節で計算例を示すのに先立って、現行設計法における中央安全率がどの程度であるかを予め知っておく必要がある。鉄筋コンクリートはり断面の現行基準によった場合の中央安全率 ν の計算結果を表-1に示す。この中央安全率は先に発表した文献²⁾を利用して次式から求めた。

$$\nu = \frac{(1 - \frac{\bar{\sigma}_s \cdot P_s}{1.7 \sigma_c}) P_s \bar{\sigma}_s}{(\bar{m}_D + \bar{m}_L) V_E} \quad \text{----- (2)}$$

表-1

ケース	R^n	P^n	P^n	P^n	V_c	V_s	V_D	V_L	ν_{min}	ν_{mean}	ν_{max}
A	0.1	10^{-5}	0.5	0.2	0.15	0.03	0.05	0.25	2.1	2.3	2.6
B	0.1	10^{-5}	0.5	10^{-5}	0.15	0.03	0.05	0.05	2.1	2.4	2.6

式(2)および表-1中の記号の意味

については文献2)を参照のこと。 P^n 、 V_j の値は必ずしも適切でないかも知れないが、現行基準によった場合の鉄筋コンクリートはり断面の中央安全率はほぼ2.5程度と考えて良いように思われる。ただし表-1は現行基準のレベルをみるために許容応力度一杯に設計された場合について求めてあり、実際の設計では多少の余裕が見込まれる上に、断面の破壊が必ずしも構造物の破壊につながらないから、実際の構造物の中央安全率は2.5よりかなり大きい場合もあり得ると考えられる。

4. 計算例および考察

1で述べた要因(5)、(6)などの準確率量不確定要因が、安全性にどのような影響を与えるかを具体的にみるために、次式に示すような簡単な安全余裕関数に関する安全性指標 β を求め、図-2に示す。 $Z = x_1 x_2 E_R - x_3 E_s \dots$ (3) なお x_1, x_2, x_3, E_R, E_s はすべて対数正規分布で、それぞれの平均値および変動係数は表-2に示すものとした。表-2に示した変動係数の値は、まず強度に

表-2

変数	平均値	変 動 係 数				
		I	II	III	IV	V
x_1	1.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
x_2	ν	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
x_3	1.0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
x_4	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
x_5	1.0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25

に関する確率変数は余りばらつきがなく、荷重のばらつきは強度のそれよりやや大きいのが一般的であることを勘案して設定した。 V_{ER} 、 V_{ES} については、これらの程度が結果にどのような影響をもたらすかをみるために、I~Vの5種類のケースを設定した。なお V_{ER} より V_{ES} の方が一般に大きいと考えられるので、いずれの場合も $V_{ER} < V_{ES}$ とした。図-2にみられるように、 V_{ER} 、 V_{ES} の安全性に及ぼす影響が非常に大きいことがわかる。図-1をみて、 $V_{ER} = 0.1$

~ 0.15 、 $V_{ES} = 0.15 \sim 0.2$ と判断し、前述のように現行設計の中央安全率を2.5程度と考えれば、このモデルの安全性指標 β は3.3 ~ 4.3 程度となる。いずれにしても準確率量不確定要因の影響が一般には支配的であるということを含頭においた、コード・キャリブレーションなどの議論が必要であろう。

参考文献 1) 例えば、酒井利夫、杉山俊幸、伊藤学：構造物の信頼性モデルに関する研究、土木学会第36回年次学術講演会講演概要集I、1981。

2) 長尚：限界状態設計法の採用による経済性の改善について、第27回構造工学シンポジウム梗概集、1981。

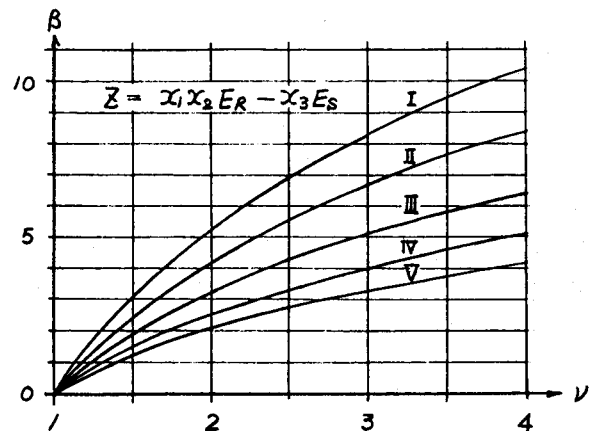


図-2