

I-266

準確率論による構造設計値に対する一考察

東京大学	正員	西野 文雄
関東学院大学	正員	佐藤 尚次
建設省	正員	川原 俊太郎

1. 前書き

近年、土木工学において信頼性理論による設計法の必要性が唱えられ、その研究も盛んになってきている。しかし、現実の設計基準等への適用という意味では、これまでの設計実績において確保されてきた安全性のレベルとの整合をはかる必要がある(コード・キャリブレーション)等の理由から、本格的に信頼性理論を取入れた設計が行われる段階には至っていない。著者らはかねてより既往の鋼構造物の設計を限界状態設計法として位置づけ、かつ設計値の選択に際して用いられる「大きな荷重」「小さな強度」という判断基準を、設計値の超過・非超過確率を安全性の指標にとった準確率論的設計法に対応づけて考えてきた¹⁾。また、既往の設計慣行、設計基準策定過程との整合性の高い信頼性理論の構築を試みてきた^{2), 3)}。

2. 既往の設計と整合する設計値の選択

簡単のため抵抗強度 R 、荷重効果 S の2変数のみのモデルを考える。これは、文献3)の多段階階層モデルの一番上の、安全性照査のレベルを考えていることに対応する。今 R 、 S の平均値を $\bar{R}$ 、 $\bar{S}$ 、変動係数を V_R 、 V_S 、また設計値 R^* 、 S^* が $e_r = P_{rob}(R < R^*)$ 、 $e_s = P_{rob}(S^* < S)$ となるように決められるものとする。 $R^* = S^*$ となるように設計するものとする、 R 、 S に対数正規分布を仮定することにより、目標破壊確率 P_f は

$$P_f = \Phi \left[\frac{\{1/\ln(1+V_R^2)\}^{1/2} \Phi^{-1}(e_r) + \{1/\ln(1+V_S^2)\}^{1/2} \Phi^{-1}(e_s)}{\{1/\ln(1+V_R^2) + 1/\ln(1+V_S^2)\}^{1/2}} \right] \quad (1)$$

のように近似されることが3)によって示される。

この式からわかるように、破壊確率の目標値 P_f を定めたときに、 (e_r, e_s) の値の組合せの選び方には自由度があり、一意には定まらない。この場合信頼性の検討結果を基準の形に表す上で、できるだけ既往の設計慣行と整合するようにするのがよいと思われる。そこで、以下のように条件を考えることとした。

- 1) 一定の材料に対する設計条件式の中で、 R^* (すなわち e_r)は一定にしておきたい。例えば鋼とコンクリートで e_r が異なったり、SM41鋼材とSM58鋼材とで e_r が異なったりすることは、差し支えないが、ひとつの材料の設計に対して複数の荷重の組合せを考慮する際に、荷重の性質(V_S)によって R^* が変わるようなことは好ましくない。
- 2) 同一の荷重(効果)について、対象とする構造物(材料)によって e_s が変わるようなことも基本的には好ましくない。異なる荷重間で e_s が異なることは差障えない。こうした条件を表わしたものが表-1である。

表中の P_{f1j} は各々の材料・荷重の組合せに対応して定められる目標破壊確率である。荷重の種類(例えば活荷重と地震荷重)によって目標破壊確率に違いがあっても良いと思われるので、表中の、例えば P_{f11} と P_{f12} 、 P_{f13} は同一である必要はない。他方同一の荷重に対して、材料によって P_f が異なるのは合理的とはいえないので P_{f11} と P_{f21} 、 P_{f13} は同一にとるのが良いと思われる。なお、ここで R としては各材料の設計を支配する限界状態を想定している。この限界状態に対する P_f が各材料で同一というのは、各種構造物間の品質の統一をはかっていることに対応する。

従来の計算では、こうした点に関する調整をいわゆる安全率の調整（許容応力度の割増し）で行ってきた面がある。いうまでもなくこれは陽な形で信頼性理論は取入れられていないが、経済性も念頭においた安全性確保と最適化を工学的判断を補いつつ行っていたわけである。また、安全率には表-1に対応する P_f の調整の他に、人的過誤差の影響に対処する役割が含まれていたことも付記しておく。

ここでの検討の結果を安全率 ν を介在させて調整することも考えられる。この際、人的過誤に対処するための安全率をまず基本的に確保し、次いで必要な調整を行うことになるが、類似の構造物の間で、安全率が余り異なるのも好ましくないので、 V_R に応じた e_R の調整も並行して行うのがよいであろう。このような試みにより従来あまり議論されることのなかった鋼とコンクリートの e_R のとり方の違いや安全率の違いの比較といった観点を与えることができるのではないかと考えている。

表-1 材料別・荷重別マトリックス

S R	荷 重 1	荷 重 2	荷 重 3	...
	V_{s1}	V_{s2}	V_{s3}	
	.	.	.	
	e_{s1}	e_{s2}	e_{s3}	
材料1 (V_{r1}, e_{r1})	Pf_{11}	Pf_{12}	Pf_{13}	
材料2 (V_{r2}, e_{r2})	Pf_{21}	Pf_{22}	Pf_{23}	
材料3 (V_{r2}, e_{r2})	Pf_{31}	Pf_{32}	Pf_{33}	
		.		.
		.		.
		.		.

1)西野、佐藤、長谷川：「許容応力度の内容と問題点」、橋梁と基礎 Vol.17-12, 18-1。
2)Nishino、Sato、Hasegawa、Inoue:A Probabilistic Basis for Fractile-Based Structural Design, Proc. of JSCE, No.350
3)佐藤、長谷川、西野：「多段階分析による非線形破壊基準関数の処理について」、構造工学論文集、Vol.34A、昭和63年3月。