(I－II) コンクリートの圧縮強度許容限界に関する考察

神戸大学工学部　正員　工博　西　村　　昭
大阪府水道部　正員　　　　佐　藤　壮　夫

§1　緒　　言

極めて厳格な管理を行なつても、得られるコンクリートの供試体強度にばらつきを避けることができないのは周知の事実である。このような強度のばらつきは、コンクリートのみならず他の構造材料にも見られる現象であつて、それらよりなる構造物の耐荷力にばらつきを生ずる従つて構造物に対する信頼度は使用材料の強度分布特性によつて相違し、特にコンクリート構造物においては強度のばらつきが甚だしいため、他の金属材料の場合に比して信頼度が低下することになる。コンクリート構造物の設計安全率がかなり大きく選ばれるのはこのような事情から当然ではあるが、合理的設計、更には構造物の信頼度の向上を得るためには、その安全率に関与する各要因を再検討し、定量的に把握しておくことが必要であろう。

§2　コンクリート構造物の安全率に関係する諸要因

慣用設計法に従うコンクリート構造物の破壊に対する安全率には、大別して次の三要因が関係する。すなわち、

(I)　コンクリート強度の許容限界を目標とした現場での強度割増係数：

(II)　コンクリートの許容応力と実強度との関係：及び

(III)　設計活荷重と実活荷重との関係

である。(I)は無筋、及び鉄筋コンクリート標準示方書９９条などに規定する同時につくつた供試体３個の材令２８日における強度試験値の平均値は、どの平均値も構造物の設計において基準とした材令２８日における強度の８０％を、また引続きとつたどの５回の試験値の平均値も上記の強度を、少なくとも２０回に１回以上の確率で下つてはならないという条件に適するコンクリートを得るために、分布する強度の平均値を設計強度に対して適宜大ならしめるためのものである。この割増係数は現場の各種条件に応じて経験的に推定された強度分布の変動係数を用いて選ばれるべき性質のものであるため、ここに安全側に偏した強度分布を有するコンクリートがつくられる可能性が生ずる。

(II)の許容応力は一般には２８日強度の１/３、あるいはそれ以下に選ばれる。半永久的と考え

られるコンクリート構造物においてはその実強度の推定には相当の困難とかなりの誤差を伴うことを考慮すれば、許容応力と実強度とは特殊な場合を除けば一般には明確に関係づけることは困難で、確率論に基づいて評価されることになる。

(III)は、設計活荷重としてほとんどの場合その構造物が担う実活荷重に比してかなり大きく、確率論的考察からはその耐用年限内での発生がほとんど期待できない程度のものとなる。

このように考えると、コンクリート構造物が実際の作用荷重に対して有する破壊安全率は、上記各要因が相互に関連して、総合的には極めて大きくかつ莫然としたものになつているものと思われる。(II)、(III)に対してはすでに多くの研究成果があるので、ここでは特に(I)の場合を論じた。

§3　強度割増係数

前節で述べたように、この係数は推定した強度分布の変動係数から求められる。いま、設計基準強度をX、現場コンクリート強度の変動係数をV(%)、標本標準偏差s、標本平均値すなわち現場での目標強度を$\bar{x}$とすると、

$$V = 100\,s/\bar{x} \qquad (1)$$

強度xのばらつきを正規分布と仮定すると、示方書条項の前半部は次式で表わされる。

$$0.8\,X = \bar{x} - 1.645\,s \qquad (2)$$

式(1)、(2)より

$$\bar{x} = \frac{0.8}{1 - \dfrac{1.645}{100}V} X = \alpha X \qquad (3)$$

この$\alpha = 0.8/\left(1 - \dfrac{1.645}{100}V\right)$が設計基準強度に対する割増係数で、過去の調査資料を参考にして現場の管理状態の良否に応じて得られるVの推定値から計算される。式(3)から明らかなように、$V < 12.16\,\%$では$\alpha < 1$となり、目標強度を設計基準強度より小さく選び得る不都合を生ずる。示方書規定の後半部がそれに対する制限を与えるもので、式(2)の場合と同様にして次の関係を得る。

$$\bar{x} = \frac{X}{1 - \dfrac{1.645}{100\sqrt{5}}V} = \frac{X}{1 - \dfrac{0.736}{100}V} = \alpha X \qquad (4)$$

式(3)、(4)いずれの場合にも目標強度はVの関数となるから、Vの推定誤差を導入してαを修正し、

発生すべき危険側の誤差に対処することが必要であろう。

§4 変動係数の推定誤差を考慮した割増係数

コンクリート強度x、変動係数Vの分布はそれぞれ正規分：N（m、σ^2）：N（m_V、σ^2_V）に従うものと仮定する。式(1)、(3)より

$$\sigma = mV/100 = \alpha XV/100 \qquad (5)$$

x≦Xとなる確率をF(X)、確率密度関数をf(x)とすると、

$$F(0.8X) \int_{-\infty}^{0.8X} f(x)\,dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma}\int^{0.8X} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\}dx \qquad (6)$$

式(5)を用いて

$$F(0.8X) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}\,\alpha XV}\int_{-\infty}^{0.8X} \exp\left\{-\frac{(x-\alpha X)^2}{2(\alpha XV/100)^2}\right\}dx \qquad (7)$$

仮定によりVはN（mv、σ_V^2）に従うから、x≦ 0・8Xとなる確率は次式で計算される。

$$P_r\{x \leqq 0.8X\} = \int_{-\infty}^{\infty} g(V) \int_{-\infty}^{0.8X} f(x)\,dx\,dV \qquad (8)$$

右辺内部の定積分は式(7)で置き換える。ここにg(V)はVの確率密度関数である。

示方書の規定はV＝Const（＝m_V と考えられよう）としたときのPr{x≦0・8X}＝1/20をみたす平均値を求めたわけであるが、Vのばらつきのために式(8)の値は1/20とはならない。

数値を与えて式(8)を計算すると、σ_V並びにm_Vの増大とともにPr{x≦0・8x}＝1/20とするための割増係数は、規定による場合よりもかなり大きく選ぶ必要のあることがわかる。

V＜10%、δ_V＜3%の範囲になると規定後半部と同様 α＜1となるおそれがあるが、実用上はそこまで必要となることはないと思われる。

§5 結　　語

前節のようにして得られる割増係数を用いれば、従来の1/20なる確率が単なる品質管理上の一数値としての意味だけを有していたのに対しその上さらに強度分布を確率的に明確にすることになろう。それには今後なお強度のばらつきを中心とした統計的研究を発展せしめる必要がある。