

コンクリート構造物の信頼性に関する一考察

近畿大学理工学部 正員 水野俊一
熊野工業高等専門学校 正員 柴床征治

近畿大学理工学部 正員 柳下文夫
近畿大学大学院 学生員 関口 司

1. まえがき コンクリート構造物の設計は、従来から許容応力度法により行われている。しかし、欧米諸国ではすでに、終局強度設計法や限界状態設計法が用いられている。土木学会は昭和58年に“コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）”を発表し、“コンクリート標準示方書”も近くこれに沿って全面的に改訂されようとしている。そこでこの案によって設計を行った構造物（部材）と、他の示方書によったものとの間に、安全度にどのような差異があるかを検討することにした。比較のために用いた示方書は、現行のコンクリート標準示方書・日本道路協会の道路橋示方書・ACIの Building Code 318-83・AASHTOの示方書（1983）・BSIの CP110-1972 である。部材の安全性の検討は破壊の確率を尺度として行ったが、これは材料の強度および荷重の分布の形により大きく変化するもので、これを考慮した破壊の確率について提案を行った。また、道路橋示方書に限界状態設計法が取り入れられる場合の荷重係数についても考察を加えた。

2. 破壊の確率のばらつき 抵抗値を R 、荷重を S とするとき、破壊の確率は $P_f = P(R < S)$ で表わされる。 R および S の平均値をそれぞれ R_o および S_o とすると、 $Q_o = R_o / S_o$ は中央安全率と呼ばれる。いま、正規分布を N 、対数正規分布を LN 、Weibull分布を $EX3$ 、Gumbel分布を $EX1$ 、Fréchet分布を $EX2$ で表わしたとき、 R および S の各分布の組み合わせにおける Q_o と P_f との関係を示すと図-1

のようになる。 R と S の確率分布の形の影響を小さくする方法も発表されているが、広く用いられるに至っていない。そこで、 R と S の確率分布の形の組み合わせにより P_f が変化するのであるから、これを確率変数 p と考え、この確率密度関数を $g(p)$ とすれば、破壊の確率は $\bar{P}_f = \int_0^1 g(p) p dp$ となる。いま破壊の確率の性質から $z = \ln p$ とおき、この確率密度関数を $h(z)$ で表わすと、破壊の確率は $\bar{P}_f = \exp \left[\int_{-\infty}^0 h(z) z dz \right]$ により求めることができる。いま図-1において、ある Q_o における P_f の最小値および最大値を、それぞれ1%および99%の限界値と考えたとき、 $h(z)$ の確率密度関数が正規または一様分布のときの $\bar{P}_f$ を図中に示した。

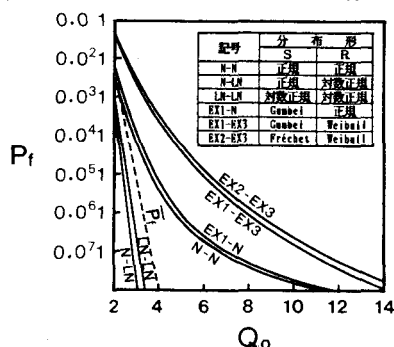


図-1 Q_o と P_f との関係

3. 鉄筋コンクリート部材の破壊の確率の計算 1に示した5種の示方書により設計を行ったはりおよび柱の破壊の確率を求めた。抵抗値のばらつきとしては、コンクリートの強度 x (N , LN , $EX3$, 変動係数 $V = 5, 10, 15\%$, 最大強度を必要とするコンクリートのバッチ数 $n = 2$), 鉄筋の降伏点強度 z (N , $V = 5\%$), 断面の有効高さ y (N

、 $V = 3\%$ ）を考慮し、荷重のばらつきとしては、確率密度分布は $N, LN, EX1, EX2$ の 4 種とし、代表的作用荷重の大きさは、部材に期待する耐用年限中に〔死荷重 D + 活荷重 L 〕以上の荷重が生ずる確率を $\alpha = 0.99$ ，その 1.5 倍以上の荷重が生ずる確率を $\beta = 0.0001$ とした。

はりは鉄筋比が 2 種の単鉄筋長方形断面，柱は対称複鉄筋長方形断面で，偏心の大きさを 2 種用いた。いずれの部材の断面も破壊耐力の計算には図-2 に示す応力-ひずみ曲線を用いた。

破壊の確率 P_f は次式を用いて計算した。

$$P_f = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \Psi \{ f(x, y, z) \} \phi'(x) dx dy dz \quad (1)$$

$$\phi'(x) = n \left\{ \int_x^\infty \phi(x) dx \right\}^{n-1} \phi(x) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで $\Psi(S)$ は部材に期待する耐用年限中に S より大きな荷重の生ずる確率を表わす分布関数， $f(x, y, z)$ は x, y, z を有する断面の耐えうる荷重， n は強度 x を必要とするコンクリートのパッチ数， $\phi(x)$ はパッチ単位のコンクリートの強度の確率密度関数である。

4. 計算結果とその考察 破壊の確率の計算結果を図示すると図-3 のようになる。2 に示したと同じ方法で $\bar{P}_f$ を求め図-4 に示した。ここで、指針(案)においては、構造物係数 $\gamma_i = 1.15$ ，荷重係数 $\gamma_f = 1.15$ ，荷重組合せ係数 $\phi = 1.0$ ，荷重修正係数 ρ_f は死荷重 1.0，活荷重 1.1 を用いた。この結果から，破壊の確率は，指針(案)が A C I とは比較的近いが，最も大なること，日本道路協会は AASHTO より大きいが，両者とも他より比較的小さいこと，許容応力度法は最も小さいことがわかる。

道路橋示方書に指針(案)の設計法を適用した場合，現行の安全度を確保するためには，上記の γ_i を 1.15 とし他の荷重に関する安全係数を現行の 1.3，2.5 のように死荷重および活荷重に乗ずる 2 係数にまとめて 1.1 および 1.7 とすればよい。また，安全度を AASHTO のものに合わせようとする，上記の 2 係数を少し割り増す必要がある。

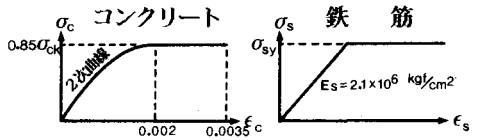


図-2 材料の応力-ひずみ曲線

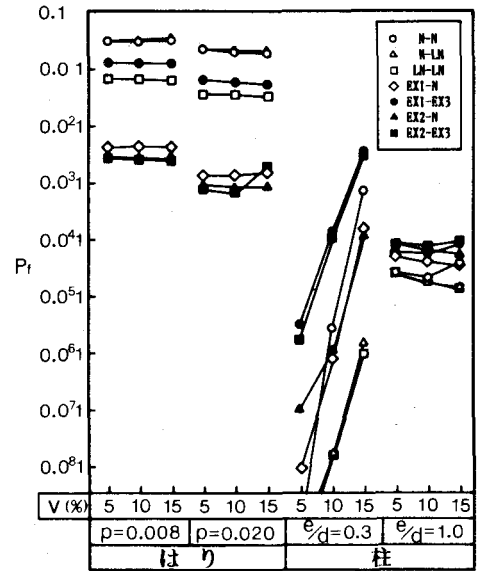


図-3 破壊の確率の計算結果の一例

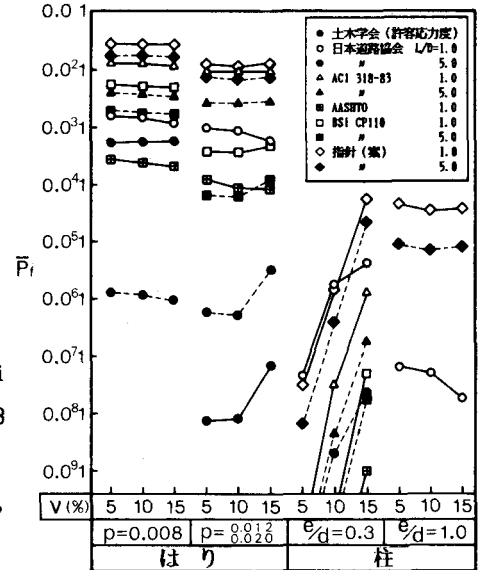


図-4 各示方書で設計した部材の $\bar{P}_f$