

V-167 コンクリートの品質管理状態を考慮した安全性評価方法に関する研究

東北大学 学生員 高橋美昭
 東北大学 正 員 鈴木基行
 東北大学 正 員 尾坂芳夫

1. まえがき

コンクリート構造物の安全性を評価するには、現場コンクリートの品質を考慮することが重要である。それは構造物の設計において過去の経験的、実験的知識に基づいたある一定の確信によって、品質保証水準を先験的に評価することであり、この先験的判断により安全係数を評価しなければならない。本研究では、まず、コンクリートの品質を5段階に分け、さらに、検査特性曲線により現場で受け入れられたコンクリートの品質を評価した。これを基に、軸圧縮力に支配されるRC部材断面の破壊確率 P_f を求め、さらに、その値が 10^{-5} となるような特性安全率 γ_n を求めた。

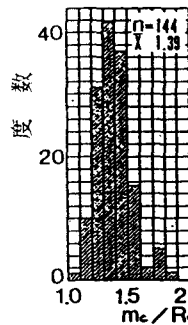


図-1 実平均強度 m_c と設計基準強度 f_{ck} の比

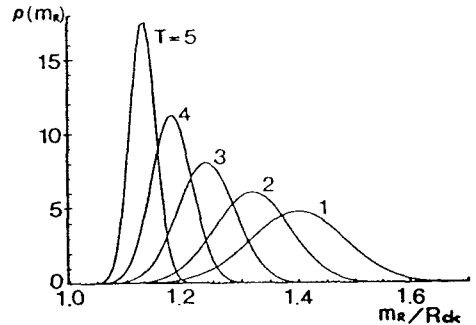


図-2 m_c / f_{ck} による品質の評価

2. 品質保証水準の評価

コンクリートの品質を5段階評価し、それを整数値1～5で表す。5段階評価値をトータルスコア T と呼び、スコア5は最もよい品質を保証できる状態、スコア3は標準的な品質を保証する状態、スコア1は最も悪い品質しか保証できない状態と定める。

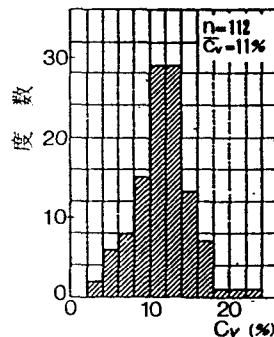


図-3 圧縮強度の変動係数 c_v

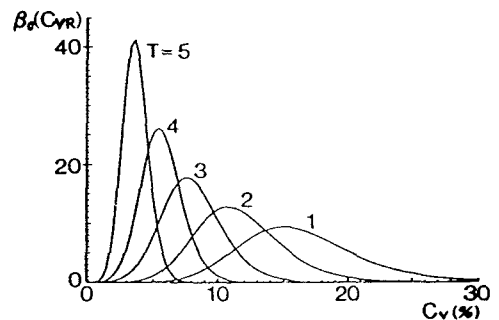


図-4 c_v による品質の評価

3. 破壊確率の計算

耐力の確率密度関数は、平均値 m_R と不良率 p_R をパラメータとする $\xi(\cdot)$ で表す。この時、耐力の不良率 p_R はコンクリート強度の不良率 p と等しいものと仮定した。なお、 $\xi(\cdot)$ は平均値 m_R と変動係数 C_{UR} をパラメータとする $\xi_B(\cdot)$ に変換することができる。

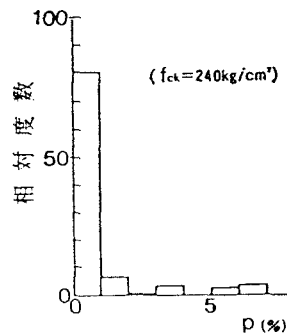


図-5 圧縮強度の f_{ck} に対する不良率 p

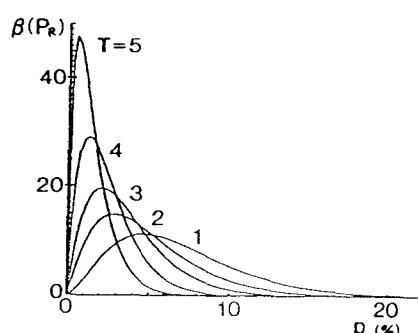


図-6 p による品質の評価

これらのパラメータ m_R 、 p_R 、 C_{UR} には次のような関係がある。

$$P_R = \int_0^{R_{CK}} \xi_{\theta} (R | m_R, C_{UR}) dR$$

$$R_{CK} = m_R (1 - k \cdot C_{UR})$$

R_{CK} ; 耐力の特性値
 k ; ある定数

さらに、これら3つのパラメータが確率密度関数 $\rho(m_R)$ 、 $\beta(p_R)$ 、 $\beta_{\theta}(C_{UR})$ をもつと考えるとこれらは2自由度の関係がある。これらの分布を先に決めたスコア $T=1 \sim 5$ の品質保証水準に応じて評価すると、図-1～図-6のようになる。図-1、図-3および図-5は現場コンクリートの実平均強度と設計基準強度との比、コンクリートの圧縮強度の変動係数、および不良率の分布である。それに対し、5段階評価したシミュレーションカーブを図-2、図-4および図-6に示した。また、荷重作用の確率密度関数は $\eta(\cdot)$ としこのパラメータに平均値 m_s と標準偏差 σ_s をもつものとする。そして、破壊確率の計算には次式を用いた。

$$P_f = \int_0^{\infty} \rho(m_c) \int_0^1 \beta(p) L(p) \int_0^{\infty} \xi(R | m_R, p_R) \int_R^{\infty} \eta(S | m_s, \sigma_s) dS dR dp dm_c$$

ここで、 m_c ; 個々の構造物のコンクリートロットの圧縮強度の平均値。 $\rho(\cdot)$; 個々の構造物のコンクリートロットの圧縮強度の平均値の確率密度関数。 $\beta(\cdot)$; 不良率の確率密度関数。 $L(p)$; 不良率による検査特性曲線。 R ; 断面耐力に相当する物理量。 $\xi(\cdot)$; 平均値と不良率をパラメータとする断面耐力の確率密度関数。 m_R ; 断面耐力に相当する物理量の平均値。 p_R ; 耐力の不良率。 S ; 荷重作用に相当する物理量。 $\eta(\cdot)$; 荷重作用に相当する物理量の確率密度関数。 m_s ; 荷重作用に相当する物理量の平均値。 σ_s ; 荷重作用に相当する物理量の標準偏差

なお、荷重作用に相当する物理量の確率密度関数 $\eta(\cdot)$ としては、正規分布、対数正規分布、極値 I 型最大値分布の3種類、変動係数は20%、40%、および60%の3種類を仮定し、5%特性値が約10MPaとなるような分布形を考えた。さらに、検査特性曲線 $L(p)$ は各国によりかなり異なるが、厳しい品質基準としてフランス、緩い品質基準としてイギリス、そしてさらに緩い J I S (a) の3種類の検査特性曲線（図-7参照）を用いて検討した。

4. 特性安全率 γ_H

先の破壊確率 P_f の計算式により $P_f = 10^{-5}$ になる特性安全率 γ_H を表-1に示す。ここには荷重の変動係数が40%のものを載せた。

表-1 特性安全率 γ_H

検査特性曲線	荷重の分布形	トータルスコア T				
		5	4	3	2	1
フランス	正規分布	1.49	1.49	1.56	1.81	2.49
	対数正規分布	2.35	2.24	2.24	2.27	2.58
	極値 I 型最大値分布	2.22	2.17	2.14	2.20	2.57
イギリス	正規分布	1.50	1.53	1.71	2.99	1.56*
	対数正規分布	2.37	2.36	2.35	3.35	1.66*
	極値 I 型最大値分布	2.26	2.25	2.25	3.34	1.67*
J I S (a)	正規分布	1.50	1.53	1.76	4.92	1.68*
	対数正規分布	2.37	2.36	2.35	3.95	1.75*
	極値 I 型最大値分布	2.23	2.21	2.28	3.95	1.72*

* : $P_f = 10^{-3}$ に相当する値

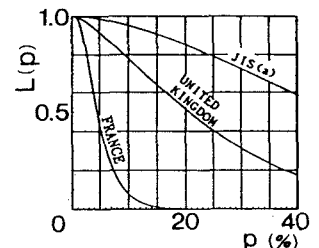


図-7 検査特性曲線

5. まとめ

1) シミュレーションはいくつかの仮定と理想化のうえで行われた訳であるが、計算結果を見る限り、耐力の分布のパラメータの変動の大きさにより特性安全率 γ_H の値を大きくしなければならない。

2) J I S (a) やイギリスの品質基準では、品質保証水準のトータルスコア $T=2$ 及び 1 で、特性安全率 γ_H が非常に大きくなっているが、実際の日本の良心的な業者では、このような品質のものを造ることはほとんどないと思われる。

3) 今後の課題としては、鉄筋の品質についても耐力に及ぼす影響の大きさに応じて考慮しなければならない。