

V-91 純曲げRC部材の耐力の信頼性

中部大学 正員 ○ 伊藤和幸

目的 鉄筋とコンクリートの強度の変動を同時に考慮した場合のACI基準に基づくRC純曲げ部材の終局耐力の信頼性を求める方法を提案し、所要の信頼性での適用可能な両材料の品質を明らかにしたものである。

記号 f'_{ck} , f_c : コンクリートの圧縮強度の設計基準強度、その確率変数、 f_y , f_s : 鉄筋の降伏強度、その確率変数、 f_i : 確率変数の個々の値、 μ : f_i の平均値、 S : 標準偏差、 V : 変動係数、 $P(f)$: 確率密度関数、 $Z(f)$: 分布形、 b : はり幅、 d : 有効高さ、 M_u = 曲げ耐力、 A_s : 鉄筋の断面積、 ρ_b : 釣合鉄筋比、(下付符号) c : コンクリート、 s : 鉄筋、 sc : 式(3)により f_s 軸に変換された f_c 値、 j : 式(2)より得た M_u 値。

考え方 ACI-318R, 9.1と10.3.1より、単鉄筋長方形断面ばりの M_u は、

$$M_u \leq \phi b \cdot A_s \cdot f_y \{d - A_s \cdot f_y / (1.7 \cdot b \cdot f'_{ck})\} \quad (1)$$

ACIでは $\phi b = 0.9$, f_y , f'_{ck} を f_{ci} , f_{si} に置きかえ、 f_{si} , f_{sci} とすれば、

$$M_{uj} \leq \phi b \cdot A_s \cdot f_{si} \{d - A_s \cdot f_{si} / (1.7 \cdot b \cdot f_{ci})\} \quad (2)$$

$$\therefore f_{sci} \leq 0.5 \cdot \{A_b \cdot f_{ci} - \sqrt{(A_b \cdot f_{ci})^2 - 4 \cdot B_b \cdot f'_{ci}}\} \quad (3)$$

ここに、 $A_b = 1.7 \cdot b \cdot d / A_s$, $B_b = 1.7 \cdot b \cdot M_{uj} / A_s^2$.

図-1において、 $Z(f_{sc})$ は式(3)により f_s 軸に変換された f_{sci} の分布である。

式(3)の計算により、 $Z(f_c)$ は、平均値を中心にして左右反転して f_s 軸に変換される。よって、図より、 f_s が f_{si} ($=f_{sci}$) であるとき、 $Z(f_{sci})$ のハッチした面積は $Z(f_c)$ のハッチした面積に相応する。式(2)より、 f_c が f_{ci} より小さいとき、 M_{uj} は小さくなって、式(2)の条件を満足しない。 M_{uj} に対して式(2)を満足する確率を Q_f 、満足しない確率を P_f とすれば、 P_f は f_s の全域について積分すれば求められる。

$$\begin{aligned} P_f &= \int_{-\infty}^{+\infty} p(f_{si}) \cdot ds \cdot \int_{-\infty}^{f_{ci}} p(f_c) \cdot df_c \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} p(f_s) \cdot \left[\int_{f_{si}}^{+\infty} p(f_{sc}) \cdot d(f_s) \right] \cdot d(f_s) \end{aligned}$$

(4)

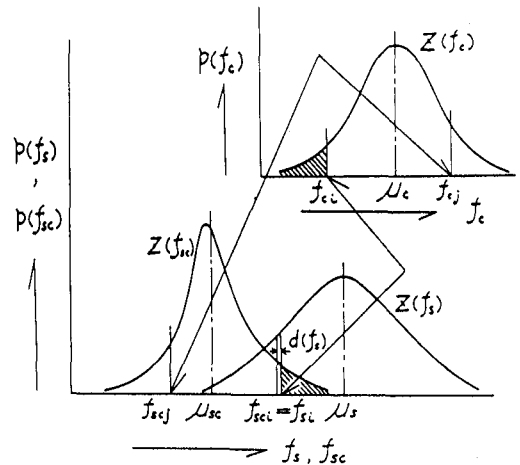


図-1 各分布の関連図

$Z(f_{sc})$ を $N(\mu_{sc}, S_{sc}^2)$ と仮定して S_{sc} を求めた結果、 $\mu_c - S_c$ に対する S_{sc1} と、 $\mu_c + S_c$ に対する S_{sc2} を比較したところ、 S_{sc1} と両者の平均値の比は 12-25% で、釣合鉄筋比(土木学会全国大会第39回、V-136)、最小鉄筋比(同第41回、V-128)の場合の 2-5% に比べて著しく大きい。よって、 $Z(f_{sc})$ は非対象分布として式(4)の計算を実施しなければならない。所定の P_f に対する μ の値は、 ϕb を変化させて、所定の P_f になるまで計算を繰り返せばよい。

計算内容 釣合・最小鉄筋比の場合と同様に、 $t_s = 1.0 - 2.5$, $V_s = 0.04 - 0.12$, $V_c = 0.1 - 0.2$, $N(\mu_c, S_c^2)$, $N(\mu_s, S_s^2)$ とし、コンクリートの割増係数も ACI-318, 4.3.2.1の方法で求める。

一般的な両材料の組合せを表-1に示す。また、具体的なはりの断面を表-2に示す。

表-1 両材料の組合せ

Case 1: Grade 40 (276 MPa), $f'_c = 3$ ksi (21 MPa).
Case 2: Grade 60 (414 MPa), $f'_c = 3$ ksi (21 MPa).
Case 3: Grade 60 (414 MPa), $f'_c = 5$ ksi (35 MPa).
Case 4: Grade 40 (276 MPa), $f'_c = 5$ ksi (35 MPa).

結果は、断面の大小にかかわらず、 P_f に対して鉄筋比が支配的であった。最大鉄筋比は ACI-318, 8.4.3 と 10.3.3 により $0.75 \phi b$ 、最小鉄筋比は ACI-318, 10.5.1 により $200/f_y$ とした。

表-2 計算に適用されたはり

Type	Contents	Steel ratio	b	d	h
1	Standard	0.01667	12	15	18
2	High Steel ratio	$0.75 \times \rho_b$	12	15	18
3	Low Steel ratio	ρ_{min}	12	15	18
4	Large Section	0.01667	22	30	33
5	Deep d	0.01667	12	21	24

Unit = in inch (1 inch = 2.54 cm)
 ρ_{min} & ρ_b are provided in the ACI Code.

一般に P_f は $G \times 10^{-x}$ で示されるので、結果を x 値で示す。所要の信頼性は、Freudenthal, Yao らの報告により、 $P_f \leq 1/1000 = 10^{-3}$ ($x \geq 4$) とした。各 Case のうち、Case 1 が x の最大値を示したので、その結果を表-3に示す。

第1欄は ρ_{max} 、第2欄は ρ_{min} に対する x 値で、第3欄はそれらの何れも $x \geq 4$ を満足する材料の品質に対応するものを+印で示した。

結論

- (1) 純曲げ部材の信頼性は式(3)、(4)から求められる。
- (2) 一般に使用される両部材の組合せのうち、Case 1 では、 $P_f \leq 1/1000$ を満足する材料の適用可能な品質は、著しく制限される。

表-3 所要の信頼性をもつ両材料の品質 ($P_f = G \times 10^{-x}$)

Column		1			2			3		
t_s	V_c (%)	10	15	20	10	15	20	10	15	20
	V_s (%)	x								
1.0	4	4	3	3	4	4	4	+		
	6	4	3	3	3	3	3			
	8	3	3	3	2	2	2			
	10	3	3	3	2	2	2			
	12	2	2	2	2	2	2			
1.5	4	5	3	3	5	5	5	+		
	6	4	3	3	4	4	4	+		
	8	4	3	3	3	3	3			
	10	3	3	3	3	3	3			
	12	3	3	3	2	2	2			
2.0	4	5	4	3	6	6	6	+	+	
	6	5	4	3	4	4	4	+	+	
	8	4	4	3	4	4	4	+	+	
	10	4	4	3	3	3	3			
	12	3	3	3	3	3	3			
2.5	4	5	4	3	7	7	7	+	+	
	6	5	4	3	5	5	5	+	+	
	8	5	4	3	4	4	4	+	+	
	10	4	4	3	4	4	4	+	+	
	12	4	4	3	4	4	4	+	+	