

曲げを受けるRC部材の各種安全係数の評価

東北工業大学 正会員 小出 英夫

【1. 序論】

土木構造物の設計概念は限界状態設計法へ移行しており、各種安全係数が用いられる。その安全係数値の組 γ の与え方として、“ある目標となる安全性(限界状態到達確率、ここでは破壊確率 P_f で評価)を満たす設計が行われるように決定する”ことが本来の設計理念である。著者は既研究¹⁾²⁾において、安全性と経済性を考慮にいれ、同一の γ を用いて設計する設計問題の範囲(以下、設計部分空間と呼ぶ)と、この範囲で用いる共通の γ (以下、 γ_d と呼ぶ)の決定法を提案した。本研究では、そこで提案した手法により導かれる $\gamma=(\text{コンクリート圧縮強度にかかる材料係数 } r_c, \text{鉄筋降伏強度にかかる材料係数 } r_s, \text{荷重係数 } r_f, \text{構造物係数 } r_i)$ を用いてRC部材を設計した場合、どの程度の P_f が確保されるのかを安全性評価を用いて求め、その結果より、各種安全係数の値の妥当性を評価した。本研究で用いる純曲げを受けるRC単鉄筋梁の断面耐力 R に関する設計式を示す。

$$b d^2 p \left\{ \frac{f_{yk}}{r_s} - \frac{p}{1.7} \left(\frac{f_{yk}}{r_s} \right)^2 \frac{r_c}{f'_{ck}} \right\} = r_i r_f r_s S_k \quad (1)$$

f'_{ck} :コンクリート圧縮強度の特性値
 f_{yk} :鉄筋降伏強度の特性値
 S_k :荷重 S の特性値

【2. γ , 設計部分空間, γ_d の決定】

既往の研究²⁾で提案した手法により、表-1で示された目標 $P_f=10^{-5}$ の設計問題NO.1~36に対して、荷重の分布型 I_s 、重要度ごと、 γ が表中のように定まる。 CV_s は荷重の変動係数である。ここでは、 $r_i r_f$ の分布の50%ワカイル値を r_f とし、さらに r_i の50%ワカイル値を“一般”の構造物を設計する場合に使用する r_i 、95%ワカイル値を“重要”な構造物を設計する場合の r_i とした。また、表-1において、より広い設計問題の範囲で同じ安全係数の値が使えるよう設計部分空間への分割とそこで用いる γ_d を、既研究²⁾の手法を用いて定めた結果を表-2に示す。なお、 r_c, r_s, r_i の値は変化しないため、 r_f の結果のみを示す。

【3. 安全性評価による各種安全係数の評価】

3.1 Rの推定 式(1)から $b d^2$ が導かれるため、 R の平均値 m_R は次式で示される。

$$m_R = r_i r_f r_s S_k \frac{m_y (1 - \frac{p m_y}{1.7 m_c})}{f_{yk} (1 - \frac{p f_{yk} r_c}{1.7 f'_{ck} r_s})} \quad (2)$$

$m_c: f'_{ck}$ の平均値, $m_y: f_{yk}$ の平均値
 ここで、現場において指定された f'_{ck}, f_{yk} に対応する材料強度のばらつきは現場ごとに異なる。そこで、式(3)に示すように f'_{ck}, f_{yk} に α_c, α_y をかけたものをそれぞれの現場における材料強度の平均値とし、この係数 α_c, α_y を確率変数として扱う。 α_c, α_y の分布は、各建設現場でのコンクリート圧縮強度と、鉄筋の引張強度の試験結果¹⁾を用いる
 $m_c = \alpha_c f'_{ck} \quad m_y = \alpha_y f_{yk} \quad (3)$
 R の変動係数 CV_R に関しては、 f'_{ck}, f_{yk} の変動係数 CV_c, CV_y は、同一の f'_{ck}, f_{yk} であってもそのばらつきは現場ごと異なる。そこで、 CV_c, CV_y も既往のデータを基に確率変数として取り扱う¹⁾。 CV_R は次式で示される。

$$CV_R = \{ (a-2)^2 CV_y^2 + CV_c^2 \}^{0.5} / (a-1) \quad (4)$$

$$a = (1.7 \alpha_c f'_{ck}) / (p \alpha_y f_{yk})$$

3.2 信頼性解析による安全係数の評価

設計条件より $f'_{ck}, f_{yk}, p, r_c, r_s$ が与えられる。また、 S の平均値 m_s, CV_s, I_s 、構造

表-1 $\gamma=(r_c, r_s, r_f, r_i)$ の結果

① $I_s=$ 正規分布, 重要度=“一般”の構造物 ② $I_s=$ 対数正規分布, 重要度=“一般”の構造物
 ③ $I_s=$ 極値Ⅰ型最大値分布, 重要度=“一般”の構造物 ④ $I_s=$ 極値Ⅱ型最大値分布, 重要度=“一般”の構造物
 ⑤ $I_s=$ 極値Ⅰ型最大値分布, 重要度=“重要”の構造物

NO	CV _s	f'ck	f _{yk}	p	r _s	r _f	r _i	r _i	r _i	r _i	r _i	r _i	r _i	r _i	r _i
1		3000	0.002												
2		3000	0.005												
3		240	0.01												
4		3500	0.002												
5		3500	0.005												
6	0.1		0.01			0.85									
7		3000	0.002				0.88								
8		3000	0.005					1.00							
9		300	0.01						1.16						
10		3500	0.002							1.00					
11		3500	0.005								1.16				
12			0.01									1.00			
13			0.002										1.16		
14		3000	0.005											1.00	
15		240	0.01												1.16
16		3500	0.002												
17		3500	0.005												
18	0.2		0.01		1.17	1.00	0.91	1.00	1.04	1.00	1.17	1.00	1.75	1.00	1.17
19		3000	0.002												
20		3000	0.005												
21		300	0.01												
22		3500	0.002												
23		3500	0.005												
24			0.01												
25			0.002												
26		3000	0.005												
27		240	0.01												
28		3500	0.002												
29		3500	0.005												
30	0.3		0.01				0.98			1.24					
31		3000	0.002								1.29				
32		3000	0.005									2.45			
33		300	0.01										1.29		
34		3500	0.002												
35		3500	0.005												
36			0.01												

物の重要度が決まれば、 S_k, r_f, r_i が与えられる。よって $\alpha_o, \alpha_y, CV_o, CV_y$ の実現値の1つの組により、与えられた S と、 m_R, CV_R をパラメータとする対数正規分布の R より、破壊確率 P_f が算定される。ここで $\alpha_o, \alpha_y, CV_o, CV_y$ は確率変数であるので P_f は確率量となり、確率分布で評価される。このとき、 R の平均値 m_R は、その非超過確率が CV_R のみの関数で与えられる。そこで式(2)より次式で与えられる左辺は、特性安全率となる。

$$m_R/S_k = r_i r_f r_s^2 \{ \alpha_y (1.7 \alpha_o f'_{ok} - p \alpha_y f_{yk}) \} / \{ \alpha_o (1.7 r_s f'_{ok} - p r_o f_{yk}) \} \quad (5)$$

特性安全率の値は、 R, S の分布型、変動係数、特性値を定める非超過確率が与えられる条件において、 P_f と1対1に対応する。このことを用いると、ここでは P_f の算定に m_s が不必要となる。そこで、図-1に示すフローチャートに従うモンテカルロシミュレーションより、 P_f の分布を求める。なお、 I_R は R の分布型を特定する変数である。

3.3 解析結果 表-1に示される各設計問題ごとと定めていた γ (以下, "修正前の γ "と呼ぶ)を用いて設計した場合、及び表-2に示される設計部分空間に分割した後に用いる安全係数 γ_d (以下, "修正後の γ "と呼ぶ)を用いて設計した場合の P_f の分布図の一例を図-2に示す。以下では、本研究全体における結果を記す。

修正前の γ を用い、かつ重要度が"一般"の構造物を設計した場合、以下のことがわかった。

荷重が正規分布の場合、安全性は目標とする 10^{-5} よりもかなり危険側である。よって、 $r_i r_f$ の分布において非超過確率が50%よりも大きくなるような値を r_i とする必要がある。図-2より、荷重が極値I型最大値分布の場合、その安全性は目標とする 10^{-5} より危険側であるが、設計問題間の安全性の差異は小さい。しかし、正規分布と同様の処置が必要である。荷重が極値II型最大値分布の場合、その安全性は目標とする 10^{-5} よわずかに危険側である。また、1つの設計問題に対する安全性のばらつきは平均値近傍に集中しており小さい。しかし、正規分布と同様の処置が必要である。

重要度が"一般"の構造物において、修正後の γ で構造物を設計した場合を修正前と比較すると、以下のことがわかった。

荷重が正規分布の場合、NO.13~24について、 r_f の0.91を0.96に変更したことで、 m_p (P_f の常用対数の平均値)は、-3.4~-3.2が-4.1~-3.9へと変化した。荷重が対数正規分布の場合、NO.1~12について、 r_f の0.88を1.04に変更したことで、 m_p は、-3.3~-3.0が-6.1~-5.7へと変化した。図-2より、荷重が極値I型最大値分布の場合、NO.13~24について、 r_f の1.17を1.29に変更したことで、 m_p は、-4.2~-4.1が-4.9~-4.7へと変化した。荷重が極値II型最大値分布の場合、NO.13~24について、 r_f の1.75を2.45に変更したことで、 m_p は、-4.6~-4.5が-5.7~-5.6へと変化した。

図-2より、修正前の γ を用い、荷重が極値I型最大値分布で、構造物の重要度が"一般"の場合と"重要"な場合とで比較すると、それぞれの m_p は、約-3.5、約-4.9であった。

表-2 設計部分空間、 γ_d の r_i

	①	②	③	④	⑤
NO	r_i	r_i	r_i	r_i	r_i
1	0.85		1.00	1.16	1.00
12		1.04			
13					
24	0.96		1.29	2.45	1.29
25		1.24			
36					

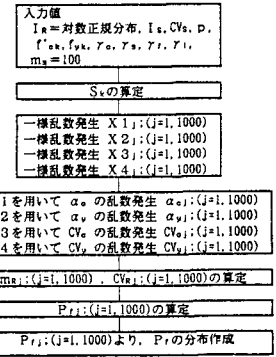


図-1 P_f の分布決定のためのフロー

【4. まとめ】

本研究より、以下のことがわかった。

- (1) r_i, r_f の分布の50%ワイル値を r_i としたが、安全性評価の結果、目標の安全性 10^{-5} よりも危険側な設計となる。
- (2) その危険の度合は、荷重の分布型による影響が大きく、荷重の変動係数などその他の設計変数の変化の影響はあまりない。
- (3) 修正前と修正後ではその安全性に1オーダー程度の変化が生じる。

今後は、これらのことを参考に、 r_i, r_f の分布において、どの程度の非超過確率となる値を r_i とすれば良いのかを検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 小出英夫・尾坂芳夫: コンクリート構造物の部分安全係数の決定に関する研究, 土木学会論文集, No. 422, pp. 245-254, 1990. 10
- 2) 小出英夫・尾坂芳夫: 曲げを受けるRC部材の各種安全係数の決定, コンクリート工学論文集, Vol. 4, No. 2, pp. 23-30, 1993. 7

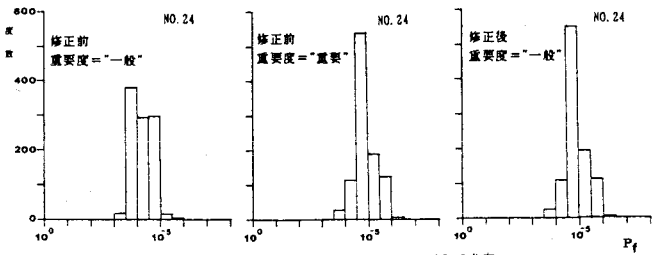


図-2 荷重が極値I型最大値分布における P_f の分布