

せん断力を受けるRC梁の安全性評価に関する研究

○東北大学 学 戸谷 有一  
東北大学 正 尾坂 芳夫  
東北大学 正 鈴木 基行

1. まえがき

限界状態設計法をレベルIの検証方法によって行なう場合、設計に係わる耐力及び荷重に関する構造変数の確率的情報(分布形, 平均値, 変動性等)を考慮した上で 部分安全係数を合理的に評価することが必要である。

本研究はこの見地からせん断力を受けるRC梁(矩形単鉄筋断面)を対象に、せん断耐力の終局限界状態式に関する全ての構造変数に正規分布を適用し、各構造変数の終局限界状態に及ぼす影響を評価し、さらに破壊確率 $P_f$ を安全性の尺度として設計format式での部分安全係数を算定しようとするものである。また曲げ破壊に対してある安全性のレベル(ここでは $P_f = 10^{-5}$ )で設計された断面について、その部材のせん断破壊に対する安全性を検証した。

2. 理論の展開

詳細については第35回土木学会年講第5部を参照されたい。解析のフローチャートを表-1に示す。(せん断力を受けるRC梁(矩形単鉄筋断面)の部分安全係数評価手順-図1)

3. 関係式及び対象部材

せん断終局限界状態式(関数)は、耐力 $R$ についてはACI-Code式による終局せん断耐力式を用い、荷重については部材に作用するせん断力として与える。

$$R(\cdot) = R - F = (0.504 \sqrt{f_c} b d + 176 A_s (d/a) + \sigma_s A_v d/s) - F \quad (1)$$

- $f_c$ : コンクリート圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)
- $\sigma_s$ : 鉄筋降伏強度 (kg/cm<sup>2</sup>)
- $A_s$ : 引張主鉄筋断面積 (cm<sup>2</sup>)
- $A_v$ : スターラップ断面積 (cm<sup>2</sup>)
- $d$ : 有効高 (cm)
- $b$ : 梁の幅 (cm)
- $s$ : スターラップ間隔 (cm)
- $a$ : せん断スパン比
- $F$ : 部材に作用するせん断力 (kg)
- $R$ : せん断耐力 (kg)

但し、せん断補強鉄筋はスターラップのみとし、引張主鉄筋

とスターラップの降伏強度 $\sigma_s$ は同一値とした。断面諸元については、本概要集「軸力や曲げを受けるRC矩形断面の部分安全係数評価に関する研究(原稿A)」と同一値とした。せん断スパン比 $a$ は2.5, 3, 4, 5の4種とし確定値とした。さらに、本概要集「構造変数のバラツキの実態調査」を参考にし、耐力に関する構造変数の分布は正規分布とし、その平均値, 変動係数についても妥当と思われる値を採用した。また、荷重も正規分布とし変動係数を20%とした。

4. 解析結果及び考察

4-1. 耐力の分布

限界状態式(1)式における耐力 $R$ の確率分布の1例を図-1に示す。この図は累積確率分布を正規確率紙上にプロットしたものである。これより、耐力の分布形はほぼ正規分布をなしていることがわかる。また、その変動係数も約4%と小さい。

4-2.  $P_f - B_{min}$  関係

表-1のフローチャートに示すFOSM法によって $B_{min}$ が算定され、また変数に分布形を与えることにより $f$ の分布を求め、 $P_f$ 及び $B_{min} = m_0 / \sigma$ 。

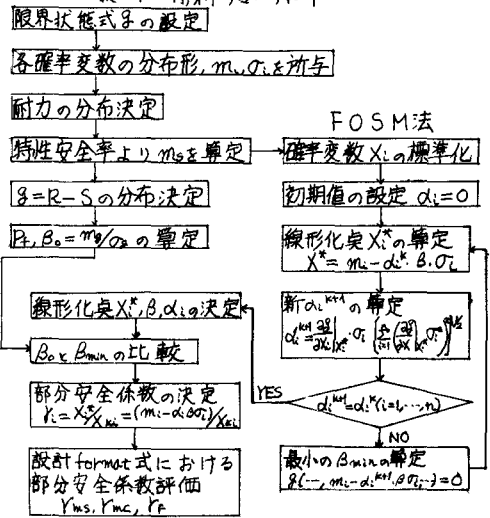


表-2 断面諸元

変数	特性値	平均値	変動係数
$f_c$	240.	250.	10.0%
$\sigma_s$	3000.*	3500.	4.
$A_s$	71.5	71.5	2.
$A_v$	1.4266*	1.4266	2.
$d$	102.	102.	2.
$b$	85.	85.	0.5
$S$	15, 20, 30	15, 20, 30	3.
$a$	2.5, 3, 4, 5	2.5, 3, 4, 5	0. (確定値)
$F$	特性安全率で算定		20.

\* SD30

\*\* D10

( $m_0, \sigma_0$  はそれぞれその平均値、標準偏差)が算定されるが、その1例を表-3に示す。表-3からわかるように、本問題の場合は  $P_f = \phi(-\beta_{min})$  の見積りはかなり良好である。これは4-1で示した通り、 $R, F$ が正規分布のため  $R-F$ の分布もほぼ正規分布をなしているためである。しかし、(原稿A)で示したように荷重の分布が極値タイプあるいは他の分布形をとるならば、 $R$ がたとえ正規分布としても  $R$ の分布は正規分布とはならず、もはや  $P_f = \phi(-\beta_{min})$  の見積りと分布形を考慮して求めた  $\beta$ とは異なったものになることは注意を要し、容易に安全性指標  $\beta$  によってのみで設計の安全性レベルを評価することは危険となる可能性もあると思われる。

4-3 FOSM法による構造変数の  $d_i$  及び部分安全係数  $\gamma_i$  の計算結果の1例を表-4に示す。この表からわかるように、せん断破壊に関してはコンクリート圧縮強度  $\sigma_c$  の方向余弦  $d_i$  すなわち破壊に対する影響度が大きい。一方、 $A_s, A_v, b, s$  の影響は小さい。鉄筋に関する部分安全係数が1以下であるのは、鉄筋降伏強度の公称値(許容値)が3000 kg/cm<sup>2</sup>であるのに対し、その平均値が3500 kg/cm<sup>2</sup>と高く、変動係数も4%と小さいためと思われる。次にせん断破壊確率を一定値 ( $P_f = 10^{-7} \sim 10^{-8}$ ) とした時の設計部分安全係数の算定を行なう。(1)式を変換して設計format式で表わすと次式(2)のようになる。

$$\gamma = \left( \frac{\sigma_{ck}}{\gamma_{mc}} \frac{\gamma_{fk}}{\gamma_{ms}} \right) \cong \gamma_F F_e \quad (2)$$

$\sigma_{ck}$ : コンクリート圧縮強度特性値

$\gamma_{fk}$ : 鉄筋降伏強度特性値  $F_e$ : 荷重特性値

設計部分安全係数  $\gamma_{mc}, \gamma_{ms}, \gamma_F$  の算定結果を  $\gamma_i$  及び  $s$  の値に対し図示すると図-2のようになる。

図のように  $s$  や  $\gamma_i$  の設計部分安全係数に与える影響はほとんどなく、 $P_f = 10^{-7} \sim 10^{-8}$  に対してはほぼ  $\gamma_{mc} = 1.3, \gamma_{ms} = 0.9, \gamma_F = 1.5$  となる。

#### 4-4 曲げ破壊とせん断破壊との関係

(原稿A)に示したように、対象断面の純曲げによる破壊確率  $10^{-5}$  レベルの断面に作用する曲げモーメントの平均値  $M_0$  は  $M_0 = 1.23 \times 10^9$  (kg·cm) である。 $M_0$  が単純梁の中央に生じるように集中荷重を単純梁中央に載荷すると、梁には  $\gamma = 2.5, 3, 4, 5, 6$  の各々について、表-5のようなせん断力が生じる。この値を部材に働くせん断力の平均値とし、変動係数を20%、分布を正規分布として、(1)式の関数に対して破壊確率を求めると、表-6のようになる。但し、スタ-ラップはD10とし、スタ-ラップ間隔を

15, 20, 30 cm について求める。表-6のように、 $\gamma = 4$  以上では、破壊確率はきわめて小さく、確率的にも曲げ破壊が先に生じると考えられる。しかし、 $\gamma$  が2.5ではせん断破壊確率がかなり大きい。 $\gamma$  が小さな部材については、せん断補強筋量を十分配慮しなければならないことがわかる。

図-1 耐力の分布

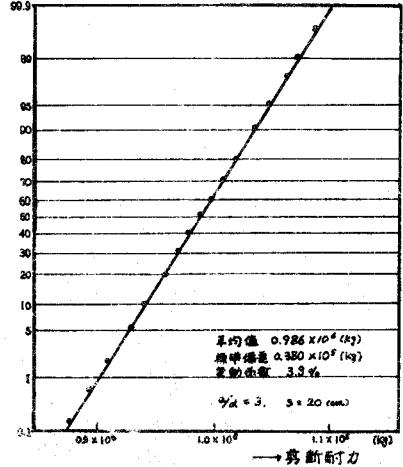


表-3

特性安全率	$P_f$	$\beta_0$	$\beta_{min}$	$\beta = \phi(-\beta_{min})$
1.0	$2.1 \times 10^{-2}$	2.1	2.0	$2.2 \times 10^{-2}$
1.2	$4.1 \times 10^{-3}$	3.4	3.3	$4.5 \times 10^{-3}$
1.4	$1.9 \times 10^{-4}$	4.6	4.6	$2.6 \times 10^{-4}$
1.6	$7.0 \times 10^{-6}$	5.8	5.7	$5.4 \times 10^{-6}$
1.8	$1.8 \times 10^{-8}$	7.0	6.8	$5.2 \times 10^{-8}$

\*  $\phi$ : 標準正規分布 但し、 $\gamma_d = 3, S = 20$  mm

表-4

	方向余弦 $d_i$	部分安全係数 $\gamma_i$
$\sigma_c$	0.395	1.24
$\sigma_s$	0.101	0.88
$A_s$	0.009	1.00
$A_v$	0.049	1.00
$d$	0.174	1.02
$b$	0.031	1.00
$s$	-0.073	0.99
$F$	-0.891	0.65

但し、 $\gamma_d = 3, S = 20$  mm  
特性安全率 1.6  $\beta = 7.0 \times 10^{-8}$

図-2

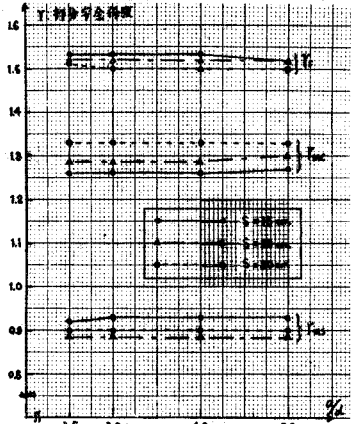


表-5

$\gamma_d$	せん断力 (kg)
2.5	$6.4 \times 10^6$
3.0	$5.3 \times 10^6$
4.0	$4.0 \times 10^6$
5.0	$3.2 \times 10^6$

表-6  $P_f - (\gamma_d, s)$

$\gamma_d \setminus s$	15 cm	20 cm	30 cm
2.5	$9.3 \times 10^{-7}$	$3.2 \times 10^{-7}$	$1.8 \times 10^{-5}$
3.0	$1.9 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-7}$
4.0	0	0	0
5.0	0	0	0