横方向変位を考慮した RC 偏心軸圧縮部材(短柱)の 耐力の逓減係数に関する研究[†]

伊藤 和幸* 伊藤 哲**

Reduction Factor of RC-Member Considering Lateral Deformation under Eccentric Axial Load

by

Kazuyuki ITO* and Satoshi ITO**

It is desirable to examine the validity of a proposed method, if possible, from a different standpoint. In the present study, the strength of RC-member in a short column supported laterally at both ends was calculated under an axial load at a given eccentricity by a simple method of neglecting an effect of lateral deformation of the member, and the result was compared with that by a usual method of considering its effect. Consequently, it is proposed that the reduction factor of the strength by a simple method, in which the variations in strength of both reinforcing bars and concrete were taken into account, is adequate for compressive failure but should be reduced for tensile failure. Also, the upper limit of slender ratio of the member should be reduced to 21 instead of 35 which is provided in the JSCE-Code, if the reduction factor of 1/1.15 provided in the Code is applied in the whole range of eccentricity.

Key words : Compressive strength, Eccentricity, Failure, Reinforced concrete, Yield strength

1 研究の目的

横方向変位の影響を考慮しない場合(以下、簡便法と呼称)の一軸偏心軸圧縮力を受ける RC 部材の設計耐力は、同質のコンクリートと鉄筋を使用したにもかかわらず、ACI Code¹⁾(以下、A-Code と呼称)による場合と土木学会規定²⁾(以下、J-Code と呼称)による場合とではかなりの差が認められる。純曲げ部材では J-Code による同耐力は A-Code によるものよりも若干低くて安全側にあるが、偏心量が減少するに連れてつりあい状態付近で両者の差は最大となり、それ以下の偏心量でもかなりの差を生じ、J-Code による同耐力の方が高く評価されて危険側にある。いずれの規定が妥当であるかを検証するため、先に、簡便法による耐力 N_u' について、コンクリートの圧縮強度 f_c' と鉄筋の降伏強度 f_s の変動を同時に考慮し、常用の両材料の使用の範囲に対し、設計耐力 $N_{u,d}(=N_u'/\gamma_b, \gamma_b$: 部材係数) 以下になる確率 $P_f(=G \times 10^{-x}, G$: 1桁の有効数字) を求め、 $X \geq 4 (P_f < 1/1000)$ となるように逓減係数 $\phi (=1/\gamma_b)$ を求めた。その結果、J-6.2.1.(2) で規定されたように、偏心距離のいかんにかかわらず $\gamma_b=1.15$ として求めた $N_{u,d}$ では不充分で

あり、所要の信頼性 ($X \geq 4$) を充足するためには、Fig. 1 (軸耐力 N_u' と曲げモーメント強度 M_u との相互作用図) の計算点 No. 5 (つりあい状態) では $\gamma_b=1.3$, 等価断面の図心軸圧(以下、中心軸圧と呼称)および純曲げでは $\gamma_b=1.15$ とし、その間は N_u'

Fig. 1. Position of calculation on correlation curve between M_u and N_u' .

[†] 本報を「RC 部材の信頼性に関する研究(第5報)」(Reliability of RC-Member, V)とする。また、前報は材料36巻410号1272頁(1987);38巻435号1434頁(1989);39巻445号1411頁(1990);40巻452号533頁(1991)に掲載済である。

原稿受理 平成3年3月8日 Received Mar. 8, 1991

* 正会員 中部大学工学部土木工学科 〒487 春日井市松本町, Dept. of Civil Eng., Chubu Univ., Matsumoto-cho, Kasugai, 487

** (株)松田・平田 〒107 東京都港区元赤坂, Matsuda-Hirata Arch. Plan. & Eng., Minato-ku, Tokyo, 107

に比例して γ_e を 1.3 から 1.15 に通減することを提案した³⁾。J-13.3.1.(2) によれば細長比 $\lambda=35$ では横方向変位の影響を無視して上記の簡便法に基づいて短柱の設計耐力を求めてよいとしている。しかし、そのような取扱いの妥当性は、 $\lambda=35$ 以下の近傍値で、横方向変位を考慮した方法 (以下、一般的解法と呼称) に両材料の変動を考慮した確率的手法を適用して求めた同耐力に対する信頼性によってはじめて検証される。これにはばう大な計算を要する。ここでは一般的解法による計算結果が所要の精度を保持する範囲での計算の簡略化を行い、次回にこの方法に基づく所定の耐力に対する信頼性を求める方法を報告する。

簡略された一般的解法による検討の結果、J-13.3.1.(2) で規定されたように、部材の横方向の変位を無視してもよい (短柱の場合と呼称) $\lambda \leq 35$ の場合には、つりあい状態以上の N_u' の圧縮破壊領域では前回提案の γ_e 値でよいが、それ以下の引張破壊領域では、特定の軸耐力が N_{bu}' (つりあい状態の軸耐力) 以下の場合に限り、更に γ_e 値を増加しなければならないこと、および、一律に $\gamma_e=1.15$ を適用する場合には J-Code の $\lambda \leq 35$ を $\lambda \leq 21$ に訂正しなければならないこと、等の新知見を得た。これらの妥当性については次回に報告される耐力に対する信頼性の評価によって、再度検証される。

なお、本文で取扱う内容は、長方形断面の複鉄筋部材で帯鉄筋で補強されたものとする。

2 簡便法

簡便法およびその方法に両材料の変動を考慮した場合の確率的手法による所要の信頼性 (X 値) を充足する通減係数 ϕ および設計耐力 N_{ud}' の求め方は文献^{3), 4)}に詳述されているので省略する。

3 一般的解法

ここで適用する部材の横方向変位の影響を考慮した一般的解法⁵⁾は特に目新しいものではない。部材に低い初期荷重 $N_{r=1}$ 、初期偏心量、初期弾性係数を与え、弾性荷重法により部材の各部のたわみを求めてそれらの偏心量を補正し、数回の繰返し計算によってそのたわみが安定 (収れん) すれば、つぎに荷重を増加して再び各部のたわみを求めるといふ、いわゆる、荷重増加法である。軸耐力 N_u' はコンクリートが終局ひずみ $\epsilon_{cu}'=0.0035$ [J-3.2.4.(2)] に達した時の荷重とする。つぎにその要点を述べる。各記号については Fig. 2, Fig. 3 を参照されたい。

3.1 応力・ひずみ関係

部材断面の圧縮領域におけるコンクリートの応力度 σ_c' とひずみ ϵ_c' の関係は、J-3.2.4.(2) により、 $\epsilon_c'=0.002$ までは

$$\sigma_c' = 0.85 f_{cd}' \epsilon_c' (2 - \epsilon_c' / 0.002) / 0.002 \quad (1)$$

Fig. 2. Segment of column.

Fig. 3. Section element and relation between stress and strain.

とし、それ以上、 $\epsilon_{cu}'=0.0035$ までは $0.85 f_{cd}'$ とする。ここに、 f_{ck}' : コンクリートの設計基準強度、 $f_{cd}' = f_{ck}' / 1.3$ 、また、コンクリートの引張強度は零とする。

鉄筋の応力・ひずみ関係は、J-3.3.4.(1).(a) により、設計降伏強度 f_{yd} までは弾性係数 $E_s=2.1 \times 10^6$ kgf/cm² とし、それ以上は ϵ_s のいかににかかわらず f_{yd} とする。

3.2 有効長

ここで取扱う部材の両端部は横方向に支持されている場合とし、J-13.3.2.(1) により、部材長 l をそのまま有効長とする。

3.3 細長比の上限值

ここで取扱う部材の細長比 λ の上限値は、J-13.3.1.(2) に規定された長・短柱の限界値である

$\lambda=35$ を参考とし、次章の試算では $\lambda=34.64$ の部材を適用する。よって、同規準(3)で規定された長柱の場合に考慮すべき諸項目の影響は省略する。

3・4 解析方法

(1) 部材の長さ方向に対して同一断面とし、 $m'=2n_n+1$ のセグメント(長さ $\overline{d\ell}$)に分割し、たわみの算定には弾性荷重法を適用する。

(2) 設定した荷重段階を次第に増加する荷重増加法により ϵ_c' を計算し、 $\epsilon_c'=\epsilon_{cu}'=0.0035$ に達した時の荷重を最大軸耐力 N_u' とする。なお、各荷重段階での変形の決定には n_p 回の繰返し収れん法を適用する。

(3) 部材断面に関する基本式: 断面の引張縁を x 軸に採り、これに垂直な方向を y 軸とし、断面を n_e 個に分割した i 番目の要素の高さを $\overline{dh}_i$ 、その重心位置における応力を σ_i 、面積を A_i とすれば、力のつりあいと x 軸廻りの y 方向のモーメントのつりあいより、

$$\sum_{i=1}^{n_e} \sigma_i A_i + N' = 0, \quad \sum_{i=1}^{n_e} \sigma_i A_i y_i + N' e_y' = 0 \quad (2)$$

ここに、 N' : 作用軸力、 y_i : x 軸から要素 i の重心までの距離、 e_y' : x 軸から N' の作用位置までの距離。

要素 i の重心位置におけるひずみ ϵ_i は、圧縮縁ひずみ ϵ_1 と引張縁ひずみ ϵ_2 、断面高さ h を用い、平面保持の仮定により、

$$\epsilon_i = [1 - (y_i/h)]\epsilon_2 + (y_i/h)\epsilon_1 \quad (3)$$

その位置における応力は、3・1節における割線弾性係数を E_i とすれば、

$$\sigma_i = E_i \epsilon_i \quad (4)$$

式(2)に式(3)、(4)を代入すれば、

$$\sum_{i=1}^{n_e} [1 - (y_i/h)] E_i A_i \epsilon_2 + \sum_{i=1}^{n_e} (y_i/h) E_i A_i \epsilon_1 + N' = 0 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n_e} [1 - (y_i/h)] y_i E_i A_i \epsilon_2 + \sum_{i=1}^{n_e} (y_i^2/h) E_i A_i \epsilon_1 + N' e_y' = 0 \quad (6)$$

式(5)、(6)より ϵ_1 、 ϵ_2 を求めると、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= N'(C - A e_y') / (AD - BC) \\ \epsilon_2 &= N'(B e_y' - D) / (AD - BC) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに、} A &= \sum_{i=1}^{n_e} [1 - (y_i/h)] E_i A_i \\ B &= \sum_{i=1}^{n_e} (y_i/h) E_i A_i \\ C &= \sum_{i=1}^{n_e} [1 - (y_i/h)] y_i E_i A_i \\ D &= \sum_{i=1}^{n_e} (y_i^2/h) E_i A_i \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(4) 部材の長さ方向に分割したセグメントに対する

基本式: 各セグメント中心での弾性荷重を M_i [$=(\epsilon_1 - \epsilon_2)/h$]とすれば、 i 番目のセグメントの中心のたわみ G_i は、

$$G_i = R(i - 0.5)\overline{d\ell} - \sum_{j=1}^i M_j(i - j)\overline{d\ell}^2 - M_i \overline{d\ell}^2 / 8 \quad (9)$$

ここに、 R は弾性荷重による反力で、

$$R = \sum_{i=1}^{n_n} M_i \overline{d\ell} + M_{n_n+1} \overline{d\ell} / 2 \quad (10)$$

3・5 計算の手順

1. 材料および断面の諸定数を与える。
2. 各要素の弾性係数に初期値を与える。
3. 各セグメントの偏心距離に初期値を与える。
4. 初期荷重 N_1' を与える。
5. 以下のa～cの計算をセグメント $i=1 \sim n_n+1$ について実行する。
 - a. 荷重 N' に対する各セグメントのひずみを式(7)により計算する。
 - b. 弾性荷重を求める。
 - c. 各要素のひずみを式(3)により計算し、式(4)により弾性係数を決め直す。
6. 弾性荷重法により各セグメントのたわみを式(9)により計算し、偏心距離の補正を行う。
7. 前項の偏心距離が収れんするまで5～6を繰返す。
8. 次の荷重階に上げて5～7を実行する。
9. 次第に荷重階を上げて $\epsilon_c' \geq 0.0035$ に達すれば計算を中止し、その時の荷重を N_u' とする。

4 試算

4・1 基準断面部材および基準値

試算では部材の基準長(有効長) $\ell=6$ m, 基準断面として部材幅 $b=60$ cm, 部材高 $h=60$ cm, 有効高 $d=54$ cm, $d'=h-d=6$ cm, 部材の上・下側鉄筋の f_{yd} 、 f_{yd}' は等しいとする。この部材の λ は34.64である。

また、試算における諸基準値を下記のように定める。これらの計算結果に対する精度は4・3節で検討する。

(1) 初期載荷重値 N_1' は(簡便法による $N_{ud}'/10$) $\times 0.9$ とし、その荷重での増加回数 n_w は10回とする。ただし、No. 9, 10の計算点(Fig. 1)では、一般的方法による N_u' が上記の N_{ud}' よりもはるかに大きくなるので、計算時間の節約のため、 $n_w=11$ とする。

(2) n_w 終了後の荷重増加段階は1000 kgfとする。

(3) その後の荷重増加は、 $\epsilon_c' \geq 0.002$ 、または、 $\epsilon_y \geq f_{yd}/E_s$ からは100 kgf、 $\epsilon_c' \geq 0.002$ で、かつ、 $\epsilon_y \geq f_{yd}/E_s$ からは10 kgfとする。これは、それぞれの条件値からは両材料ともに完全塑性域(3・1節参照)に入り、部材の変位が顕著に進行し、両条件を満足し

てからは比較的早く ε_{cu} に達するからである。

(4) 各荷重階での繰返し回数 n_p は、No. 1 では 8 回、No. 2 では 7 回、それ以上では 5 回とする。

(5) 部材の長さ方向のセグメントの分割数 m' は、 $m'=2n_n+1=7$ 、 $n_n=3$ とする。

(6) 部材断面の切断数 n_e は、コンクリート部分は 12、鉄筋部分は 2、合計 $n_e=14$ とする。

4・2 材料の組合せ

鉄筋コンクリートに汎用される両材料の範囲は、 $f_{ck}=210\sim350$ kgf/cm²、SD30~40 であるので、試算には Table I の組合せを適用する。

Table I. Combination of materials.

Case	Steel	Concrete
	f_{yk} (kgf/cm ²)	f_{ck} (kgf/cm ²)
1	3000	210
2	4000	210
3	4000	350
4	3000	350

各 Case に対し、基準断面部材について、基準値により、 $\rho=A_s/(b \cdot d)=0.01$ 、 $R=A_s'/A_s=1.0$ （下・上鉄筋断面積比）の場合について、 u 値 [=（簡便法による各計算点の耐力）/（一般的解法による各計算点の耐力）] を求めた結果を Table II に示す。この比は

Table II. Strength ratio u for various Cases.

Case		u-value			
		1	2	3	4
No.	1	1.05	1.05	1.07	1.10
	2	1.11	1.10	1.15	1.17
	3	1.11	1.12	1.18	1.18
	4	1.13	1.11	1.17	1.19
	5	1.15	1.12	1.17	1.19
	6	1.12	1.11	1.14	1.15
	7	1.13	1.12	1.15	1.16
	8	1.13	1.13	1.15	1.16
	9	1.13	1.13	1.13	1.14
	10	1.10	1.09	1.09	1.10

$u=(\text{strength by simple method})/(\text{strength by usual method})$

一般的解法の耐力の部材係数を 1.00 とした場合の簡便法で求めた耐力の所要部材係数を意味する。すなわち、簡便法に対して J-6.2.1.(2) では一律に $\gamma_b=1.15$ としているが、表中の 1.15 を越える場合は、規定の部材係数では不十分なことを示す。各組合せのうち、Case 4 での不十分さが最も大きく、かつ、範囲も広いので、以下の検討はこの場合について行う。

4・3 基準断面および基準値の妥当性

ここでは Case 4、 $\rho=0.01$ 、 $R=1.0$ について、各基準値のうち、一要因のみを変化させた場合の耐力を求め、その変化の程度により精度の妥当性を検証する。

Table III. Effect of section height h on strength ratio u .

h (cm)		u -value		
		60	80	100
No.	1	1.10	1.10	1.10
	2	1.17	1.16	1.15
	3	1.18	1.17	1.17
	4	1.19	1.18	1.17
	5	1.19	1.18	1.18
	6	1.15	1.15	1.14
	7	1.16	1.15	1.15
	8	1.16	1.15	1.15
	9	1.14	1.14	1.14
	10	1.10	1.10	1.10

u : refer to Table II.

(1) 断面の大小による影響： $\lambda=34.64$ 、 $b=60$ cm、 $d'=6$ cm、 $d=h-6$ cm とし、 $h=60, 80, 100$ (cm) に変化させた場合の u 値を Table III に示す。 λ を一定としたため、それぞれ、 $\ell=600, 800, 1000$ (cm) である。表より基準断面 $h=60$ cm の場合の所要部材係数が最も大きく、この場合の検討が妥当である。

(2) 断面の切断数 n_e による影響：下記の n_e に対する $n_e=14$ の場合との耐力比を Table IV に示す。

Table IV. Effect of number n_e of divided section area on strength ratio.

n_e		14	30	60
No.	1	1	1.000	1.000
	2	1	1.000	1.000
	3	1	1.003	1.003
	4	1	1.003	1.003
	5	1	1.003	1.003
	6	1	1.001	1.001
	7	1	1.002	1.002
	8	1	1.002	1.002
	9	1	1.001	1.001
	10	1	1.001	1.001

$n_e=14$, $\overline{dh}_{1-3}=4$ cm, $\overline{dh}_{4-6}=6$ cm

$n_e=30$, $\overline{dh}_{1-2}=2$ cm, $\overline{dh}_3=4$ cm, $\overline{dh}_{4-14}=2$ cm

$n_e=60$, $\overline{dh}_{1-5}=1$ cm, $\overline{dh}_6=2$ cm, $\overline{dh}_{7-29}=1$ cm

いずれも上下対称で、鉄筋の重心位置は上・下面から 6 cm とする。

表より $n_e=14$ の場合との耐力差はわずかに 0.3% であり、これを基準値としても精度は充分である。

(3) 部材の長さ方向のセグメント数 m' による影響：基準値 $m'=7$ に対し、3, 5, 11, 21 の場合の耐力比を Table V に示す。表より $m'=7$ を基準値として採用しても精度は充分である。

(4) 初期荷重重での累加回数 n_w による影響： $n_w=1\sim10$ とした場合の $n_w=10$ に対する耐力比を Table VI に示す。いずれも初期荷重は $[(N_{ud}/10)]$

Table V. Effect of number m' of segment toward the length of member on strength ratio.

m'		3	5	7	11	21
No.	1	1.000	1.000	1	1.000	1.000
	2	1.001	1.000	1	1.000	1.000
	3	1.001	1.000	1	1.000	1.000
	4	1.000	1.000	1	1.000	1.000
	5	1.000	1.000	1	1.000	1.000
	6	1.001	1.000	1	1.000	1.000
	7	1.001	1.000	1	1.000	1.000
	8	1.001	1.000	1	1.000	1.000
	9	1.000	1.000	1	1.000	1.000
	10	1.000	1.000	1	1.000	1.000

Table VI. Effect of number, n_w of increased step load by initial load on strength ratio.

n_w	1	2	4	6	8	10
No.	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	3	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	5	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	6	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	7	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	8	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	9	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1

Initial load: $[(N'_{ud}/10) \times 0.9] \times 10/n_w$.

$\times 0.9] 10/n_w$ とした. n_w までの増加中に f_{yd} または $\varepsilon'_c = 0.002$ の近傍を大きく越えない場合には耐力比にはほとんど影響せず, 表より $n_w = 10$ で充分過ぎることが分かる.

(5) n_w 終了後の荷重段階の影響: 基準値 1000 kgf に対する 500, 3000 (kgf) の場合の耐力比を Table VII に示す. 表より基準値で精度は充分である.

Table VII. Effect of step load after a specified number n_w by initial load on strength ratio.

Step load (kgf)		3000	1000	500
No.	1	1.00	1	1.00
	2	1.00	1	1.00
	3	1.00	1	1.00
	4	1.01	1	1.00
	5	1.00	1	1.00
	6	1.00	1	1.00
	7	1.00	1	1.00
	8	1.00	1	1.00
	9	1.00	1	1.00
	10	1.00	1	1.00

(6) $\varepsilon'_c = 0.002$ or $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ 後の荷重段階の影響: 基準値 100 kgf に対する 10, 1000 (kgf) の場合の耐力比を Table VIII に示す. 表より基準値で精度は充分である.

Table VIII. Effect of load after $\varepsilon'_c \geq 0.002$ or $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ on strength ratio.

Step load (kgf)		1000	100	10
No.	1	1.00	1	0.99
	2	1.00	1	0.99
	3	1.00	1	1.00
	4	1.00	1	1.00
	5	1.00	1	1.00
	6	1.01	1	1.00
	7	1.01	1	1.00
	8	1.01	1	1.00
	9	1.01	1	1.00
	10	1.01	1	1.00

(7) 各荷重段階での試算の繰返し回数 n_p の影響: 計算点 No. 1 で $n_p = 8$, No. 2 で 7, それ以上で各 5 回に対し, $n_p = 2, 4, 5, 6, 7, 8, 14$ (回) の場合との耐力比を Table IX に示す. 表より基準値で充分である.

Table IX. Effect of number n_p of repeated calculation at each step load on strength ratio.

n_p		2	4	5	6	7	8	14
No.	1	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1	1.00
	2	0.99	0.99	1.00	1.00	1	1.00	1.00
	3	0.99	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	6	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	7	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	8	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	9	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00

4.4 試算の範囲

鉄筋量に関する J-Code の規定は次のようである.

- (a) 軸方向最小鉄筋量: $0.008A_c$, J-6.2.3.(1).(i)
- (b) 軸方向最大鉄筋量: $0.06A_c$, J-6.2.3.(2).(i)
- (c) 最小引張鉄筋比: 0.002 , J-6.2.3.(1).(ii)
- (d) 最大引張鉄筋比: $0.75\rho_b$ 以下, J-6.2.3.(2).(ii)

ただし, ρ_b はつりあい鉄筋比で, この規定は曲げモーメントが支配的な場合に適用される.

基準断面部材について, 上記の規定を適用し, Table X に示した ρ (%), R に対して次節の試算を実施した. 表中の各 R に対する $\rho_{\min}$ は (a) により, $\rho_{\max}$ は (b) により求めた. $R = 0.2, 0.4$ では $\rho = 4$ (%) 以上でも許容されるが, ρ が大きい場合は結果に対して安全側 (すなわち, 低い γ_0 で充分) であるので省略した. 規定 (d) は No. 1~5 にのみ適用されるべきものであるが, 参考として掲載した. $\rho \geq 4$ (%) ではないずれの Case も不適である.

4.5 試算の結果

Table X. Range of calculation.

condition		(a) $\rho_{\min}$ (b) $\rho_{\max}$	(d) $\rho \leq 0.75\rho_b$			
			Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
$R = A_s'/A_s$	ρ (%)	min max	1.950	1.334	2.227	3.250
0.2	0.75	0.747	○	○	○	○
	1.00		○	○	○	○
	2.00		—	—	○	○
	3.00	5.24	—	—	—	○
0.4	0.63	0.629	○	○	○	○
	1.00		○	○	○	○
	2.00		—	—	○	○
	3.00	4.49	—	—	—	○
0.6	0.56	0.551	○	○	○	○
	1.00		○	○	○	○
	2.00		—	—	○	○
	3.00	3.93	—	—	—	○
0.8	0.50	0.490	○	○	○	○
	1.00		○	○	○	○
	2.00		—	—	○	○
	3.00	3.49	—	—	—	○
1.0	0.45	0.441	○	○	○	○
	1.00		○	○	○	○
	2.00		—	—	○	○
	3.00	3.14	—	—	—	○

○: Suitable. —: Unsuitable.

基準断面部材に基準値を適用して Case 4 の各 ρ , R について, u 値を求めた結果を Table XI に示す. 表中, 太線枠内で示した箇所が J-6.2.1.(2) で規定された $\gamma_b=1.15$ では不十分な場合である. $R=1.0$, $\rho=0.45$ (%) の No. 2, 3 では所要の部材係数は 1.32 となっている.

5 部材係数の検討

前章では γ_b 値が最も大きくなる Case 4 について検討した. しかし, 一般に, 両材料の使用は, Case 3 のように, f_{yd} が高い鉄筋の場合には f_{ck} が高いコンクリートが, 低い場合には Case 1 の組合せが適用されるのが通例である. よって, 両者のうち, γ_b が大きくなる Case 3 について検討する. $R=1.0$, $\rho=0.45$

(%) について u 値を求めた結果を Table XII の第 1 欄に示す. Table XI に較べてやや γ_b が減少している. つぎに, Case 3 を基準として, 簡便法に適用されるべき部材係数を求めてみる.

5・1 簡便法による耐力に対し, 純曲げおよび中心軸圧の場合の γ_b を 1.15 とし, つりあい状態 (No. 5) では 1.3, その間は軸力に比例して補間する場合: これは先に発表した確率的方法による提案³⁾と同じである. 同表, 第 2 欄にその結果を示す. 第 1 欄と比較すると, No. 2, 3, 4 の引張破壊領域で部材係数が不足し, 不適格である.

5・2 簡便法による耐力に対し, 純曲げおよび中心軸圧の場合の γ_b を 1.15 とし, つりあい状態では 1.25 (Table XII の第 1 欄の No. 5 参照), kA_gf_{cd}' が N_{bu}' より小さい場合には kA_gf_{cd}' で 1.30, その間では軸力に比例して補間する場合 ($A_g=bh$): $k=0.1, 0.15, 0.2$ に変化させた結果を同表の第 3 欄に示す. 表よりすべての k 値に対し, No. 3, 4 において, 第 2 欄に較べて γ_b 値が低く, 不適格である.

5・3 簡便法による耐力に対し, 純曲げおよび中心軸圧の場合は $\gamma_b=1.15$, つりあい状態 (No. 5) で 1.30 とし, それ以上の軸力では 1 項と同様の γ_b とするが, それ以下では, $N_u'/1.3$ が kA_gf_{cd}' または $N_{bu}'/1.3$ のいずれか小さい方から零に減少するに連れて γ_b を 1.30 から 1.15 に減減する場合: $k=0.1, 0.15, 0.2$ とした場合の計算結果を同表第 4 欄に示す. 第 1 欄の γ_b 値に較べ, $k=0.2$ では No. 2, 3 で γ_b 値が不足して不適格であるが, $k=0.1, 0.15$ では, いずれも γ_b 値は大きくて適格である.

以上の検討の結果, J-13.3.1.(2) で規定された $\lambda \leq 35$ の部材では, 上述の第 3 節の方法による $k=0.15$ の場合の部材係数が妥当と結論される.

なお, ACI-9.3.2.2.(b) で規定されている係数は $k=0.1$ であり, 上記の結果より更に安全な係数を適用していることが分かる.

Table XI. Strength ratio u for various $R=A_s'/A_s$ and ρ in Case 4.

R		1.0				0.8				0.6				0.4				0.2			
ρ (%)		0.45	1.00	2.00	3.00	0.50	1.00	2.00	3.00	0.56	1.00	2.00	3.00	0.63	1.00	2.00	3.00	0.75	1.00	2.00	3.00
No.	1	1.19	1.10	1.05	1.04	1.17	1.10	1.05	1.03	1.16	1.10	1.05	1.03	1.14	1.09	1.04	1.03	1.11	1.09	1.04	1.02
	2	1.32	1.17	1.09	1.07	1.28	1.16	1.08	1.06	1.25	1.15	1.08	1.05	1.21	1.14	1.07	1.05	1.18	1.14	1.07	1.04
	3	1.32	1.18	1.11	1.08	1.30	1.17	1.10	1.08	1.26	1.17	1.10	1.07	1.23	1.16	1.09	1.06	1.20	1.16	1.09	1.05
	4	1.28	1.19	1.13	1.10	1.26	1.18	1.12	1.09	1.25	1.18	1.11	1.09	1.23	1.17	1.11	1.08	1.21	1.17	1.10	1.06
	5	1.25	1.19	1.14	1.12	1.24	1.19	1.14	1.11	1.23	1.19	1.13	1.10	1.22	1.18	1.12	1.09	1.21	1.18	1.11	1.07
	6	1.20	1.15	1.13	1.11	1.19	1.15	1.12	1.11	1.18	1.15	1.11	1.10	1.18	1.14	1.11	1.09	1.16	1.14	1.10	1.07
	7	1.18	1.16	1.13	1.12	1.18	1.16	1.13	1.11	1.18	1.16	1.12	1.13	1.17	1.15	1.12	1.09	1.16	1.15	1.10	1.08
	8	1.16	1.16	1.14	1.13	1.16	1.16	1.14	1.13	1.16	1.12	1.14	1.12	1.16	1.16	1.13	1.11	1.16	1.15	1.12	1.09
	9	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.13	1.14	1.14	1.14	1.13	1.14	1.14	1.14	1.12
	10	1.10	1.10	1.11	1.12	1.10	1.10	1.12	1.12	1.10	1.11	1.12	1.13	1.10	1.10	1.12	1.13	1.11	1.11	1.13	1.14

u : refer to Table II.

Table XII. Effect of various k -value on strength ratio u for $R=1$ and $\rho=0.0045$ in Case 3.

column		1	2	3			4		
		u-value							
k		—	—	0.10	0.15	0.20	0.10	0.15	0.20
No.	1	1.14	1.18	1.24	1.23	1.21	1.24	1.21	1.19
	2	1.26	1.21	1.29	1.30	1.27	1.30	1.27	1.24
	3	1.30	1.24	1.28	1.28	1.29	1.30	1.30	1.29
	4	1.28	1.27	1.26	1.27	1.27	1.30	1.30	1.30
	5	1.25	1.30	1.25	1.25	1.25	1.30	1.30	1.30
	6	1.20	1.28	1.24	1.24	1.24	1.28	1.28	1.28
	7	1.19	1.26	1.22	1.22	1.22	1.26	1.26	1.26
	8	1.17	1.23	1.21	1.21	1.21	1.23	1.23	1.23
	9	1.14	1.20	1.18	1.18	1.18	1.20	1.20	1.20
	10	1.09	1.17	1.16	1.16	1.16	1.17	1.17	1.17

 u : refer to Table II.

6 細長比の上限値の検討

ここでは J-6.2.1.(2) で規定された $\gamma_b=1.15$ をすべての計算点で一律に適用した場合, J-13.3.1.(2) で規定された細長比の上限値 $\lambda=35$ をどこまで制限しなければならないかについて検討する. Table XIII は基

Table XIII. Effect of slender ratio λ on strength ratio u for $R=1$ and $\rho=0.0045$ in Case 3.

l (m)		800	600	400	380	360	200	100	50
λ		46.19	34.64	23.09	21.94	20.78	11.55	5.77	2.89
No.	1	1.20	1.14	1.08	1.08	1.07	1.04	1.01	1.01
	2	1.37	1.26	1.17	1.158	1.146	1.06	1.02	1.01
	3	1.42	1.30	1.16	1.15	1.13	1.06	1.03	1.02
	4	1.42	1.28	1.14	1.13	1.12	1.06	1.03	1.03
	5	1.42	1.25	1.13	1.12	1.11	1.05	1.04	1.03
	6	1.35	1.20	1.10	1.09	1.08	1.04	1.03	1.03
	7	1.32	1.19	1.10	1.09	1.08	1.04	1.03	1.03
	8	1.27	1.17	1.09	1.08	1.08	1.04	1.03	1.03
	9	1.22	1.14	1.08	1.07	1.07	1.04	1.03	1.03
	10	1.15	1.09	1.05	1.04	1.04	1.03	1.02	1.02

 l : Length of member. u : Refer to Table II.

準断面部材のうち, 部材長 l のみを変化させ, 基準値により求めた u 値を示したものである. 同表より, すべての計算点に対して $\gamma_b \leq 1.15$ となるのは $l=360$ cm 以下の場合であって, $l=380$ cm の場合の γ_b 値を参照して, λ の上限値は 21 となる.

なお, ACI-10.11.4.2 ではこの値を 22 とし, 横移動を生じさせない荷重による材端モーメントの大小により, $\lambda=34$ まで許容できるものとしている.

7 結 論

簡便法により求めた偏心軸圧縮力を受ける帯鉄筋で補強された複鉄筋長方形断面 RC 部材の耐力に関す

る部材係数は, 一般的解法(部材の横方向変位による影響を考慮)によれば, つぎの様に結論される.

(1) 汎用の材料の範囲($f_{ck}'=210 \sim 350$ kgf/cm², SD30~40)で通常の両材料の組合せ(Case 1, 3)について総括的に安全な部材係数は, J-13.3.1.(2)により細長比の上限値を 35 としたとき,

(a) つりあい状態以上の軸力の圧縮破壊領域では, J-6.2.1.(2)に規定された $\gamma_b=1.15$ を一律に適用することは不適切であり, つりあい状態で $\gamma_b=1.30$, 中心軸圧で 1.15 とし, その間の γ_b は軸耐力に比例して定めることが望ましい.

この結論は, 先に提案した簡便法に両材料の変動を考慮して求めた結果と一致する.

(b) つりあい状態以下の軸力の引張破壊領域では, (a)と同様に一律に $\gamma_b=1.15$ とすることは不適切であり, つりあい状態では $\gamma_b=1.30$ とし, それ以下の軸耐力 N_u' では, $N_u'/1.3$ が $0.15A_g f_{cd}'/1.3$ のいずれか小さい方から零に減少するに連れて γ_b を 1.30 から 1.15 に遞減することが望ましい.

この結論は, $0.15A_g f_{cd}'$ が $N_{bu}'/1.3$ より小さい場合は, 先に提案した結果では不十分なことを示す.

(2) 前述の汎用の材料の範囲で通常の両材料の組合せについて, 一律に $\gamma_b=1.15$ として簡便法により求めた設計耐力に対し, 総括的に安全な部材の細長比は, J-13.3.1.(2)で規定された 35 では不十分で, 21 とすることが望ましい.

(3) 以上のいずれの場合も, 設計耐力 N_{ud}' と設計モーメント強度 M_{ud} の相互作用図の上部は, 多少の偏心を配慮して規定[J-6.2.1.(1)]された中心軸圧の場合の $\gamma_b=1.30$ による N_{oud}' により, M_{ud} 軸と平行な線で制限されなければならない.

おわりに本研究の遂行に当り有益なご助言をいただいた京都大学名誉教授・岡田清博士に深謝します.

(平成 3 年 9 月 18 日 第 46 回土木学会年次学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) ACI Committee, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)" (1982) ACI, Detroit
- 2) 土木学会編, "コンクリート標準示方書(設計篇)" (1986).
- 3) 伊藤和幸, 伊藤 哲, 材料, **39**, 1411 (1990).
- 4) 伊藤和幸, 伊藤 哲, 材料, **38**, 1434 (1989).
- 5) 岡田 清, 伊藤和幸, 平沢征夫, 不破 昭, "鉄筋コンクリート工学演習", p.114 (1988) 鹿島出版会