

1 はじめに

鉄骨骨組構造物の耐震設計において、梁降伏先行型全体崩壊機構は一般に望ましい崩壊形式である。その崩壊形式を実現するために梁の部材耐力よりも柱の部材耐力を大きくし、梁に塑性ヒンジが出来るように、柱・梁耐力比 (Colum Over-design Factor 以下 COF とする) を決定する。しかし、荷重と部材耐力に大きな不確定性を含んでいるため、確率論的に全体崩壊機構を形成出来るように設計しても、望ましくない崩壊機構として層崩壊機構が出現しないとは限らない。その為、確率論的意味で梁降伏先行型全体崩壊機構を実現する COF の目標値 (以下目標 COF) を設定し、その目標値以上で設計することにより全体崩壊機構の出現確率が一番大きいと保証するという COF 評価法が提案されている¹⁾。確率論的 COF 評価法では一定信頼性レベルで各 COF における全体崩壊機構と層崩壊機構の出現確率を比較しなければならなく一定信頼性レベルを保つ COF の変化に伴う地震荷重の値を算出する必要がある。この地震荷重の算出は信頼性解析の逆問題を解くことになり多大な労力を必要とする。本研究は、このような労力を省く為に一定信頼性レベルにおける鉄骨骨組の地震荷重と COF の関係式を提案することを目的とする。

2 基本仮定

本研究では一定信頼性レベルで設計された鉄骨骨組を対象とし、次の仮定を設ける。

- 1) 全節点において同じ COF 値を用いて構造物全体で一つの COF とする。
- 2) 解析対象骨組はスパン 8m、階層 4m (層数は 1~7、スパン数は 1~5) の鉄骨平面骨組とする。
- 3) 荷重は逆三角形分布とし、対数正規分布に従う。
n 層 m スパンの骨組に対して設計目標とした梁降伏先行型崩壊機構に対応する限界状態関数は次式で表される。

$$G(X) = 2 \sum_{i=1}^m M_{bmi} + 2 \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=1}^m M_{bij} + \sum_{l=1}^2 M_{csl} + \sum_{l=1}^{m-1} M_{cl} - \sum_{j=1}^n jhP_j \quad (1)$$

ただし、 M_{bij} は第 i スパン第 j 層の梁の部材耐力であり、 M_{csl} は外柱の部材耐力、 M_{cl} は中間柱の部材耐力である。 P_j は第 j 層に作用する荷重である。 m はスパン数、 n は層数であり、 h は階高である。 M_{bij} 、 M_{csl} 、 M_{cl} 、 P_j は全て相

互独立な対数正規確率変数であり、それらの平均値と変動係数は次式のように設定する。

$$\mu_{bmi} = \mu_b \quad \mu_{bij} = 2\mu_b \quad \mu_{csl} = C_{of}\mu_b \quad \mu_{cl} = 2C_{of}\mu_b \quad \mu_{pj} = \mu_p \quad (2)$$

$$V_{bmi} = V_{bij} = V_{cl} = V_{csl} = V_1 = 0.1 \quad V_{pj} = V_2 = 0.8 \quad (3)$$

μ_b は梁の部材耐力の平均値で $\mu_b = 106.2 \text{ KN-m}$ とする。

3 荷重と COF との関係式の算出

(3)式より V_2 より V_1 がかなり小さい為に(1)式の限界状態関数に対応する 2 次モーメント信頼性指標は次の式で表される。

$$\beta_{SM} \approx \frac{2m(2n-1)\mu_b + 2mC_{of}\mu_b - \mu_p h \sum_{j=1}^n j^2}{V_2 \mu_p h \sqrt{\sum_{j=1}^n j^4}} \quad (4)$$

即ち、荷重の平均値 μ_p は次式で表される。

$$\mu_p \approx \frac{2m\mu_b(2n-1+C_{of})}{h(\beta_{SM} V_2 \sqrt{\sum_{j=1}^n j^4} + \sum_{j=1}^n j^2)} \quad (5)$$

また β_{SM} は同じ信頼性レベルの下では COF からほぼ影響を受けないので(5)式から μ_p は COF と正比例することがわかる。つまり μ_p は次式で表される²⁾。

$$\mu_p = am\mu_b(1 + \frac{1}{2n-1})C_{of} \quad (6)$$

一次信頼性評価法(FORM)の信頼性解析プログラムを用いて、信頼性指標を一定レベルを保つように μ_p を調整し、得られた a の値を精密値(accurate)とし表 1 に示す。これらの値を回帰することにより a は次式で表すことが出来ることがわかる。

$$a = \frac{3.3\beta^2 - 29.8\beta + 73.5}{n + 0.45} - \frac{n^{1.5} - (n/4)^3}{\beta^4 - \beta} \quad (7)$$

(7)式から得られた a の数値を提案値(present)とし表 1 に示す。表 1 より精密値と精度良く一致することがわかる。提案値、精密値で得られた a 値が層数、信頼性レベルに伴う変化を図 1 に示す。提案値は太い破線、精密値は細い実線とする。以後の図も同様とする。図 1 より、(7)式は精密値に精度良く追従していることがわかる。

FORM 信頼性解析プログラムを用いて信頼性指標を一定レベルに保つように μ_p を調整し、得られた μ_p が COF

表1 変数 α

n	$\beta=2$		$\beta=3$		$\beta=4$	
	accurate	present	accurate	present	accurate	present
2	10.96	10.87	5.59	5.60	2.84	2.89
3	7.54	7.51	3.99	3.94	2.06	2.04
4	5.52	5.59	3.03	3.01	1.59	1.57
5	4.25	4.31	2.40	2.41	1.29	1.27
6	3.38	3.39	1.96	1.99	1.07	1.06
7	2.74	2.70	1.65	1.68	0.91	0.90

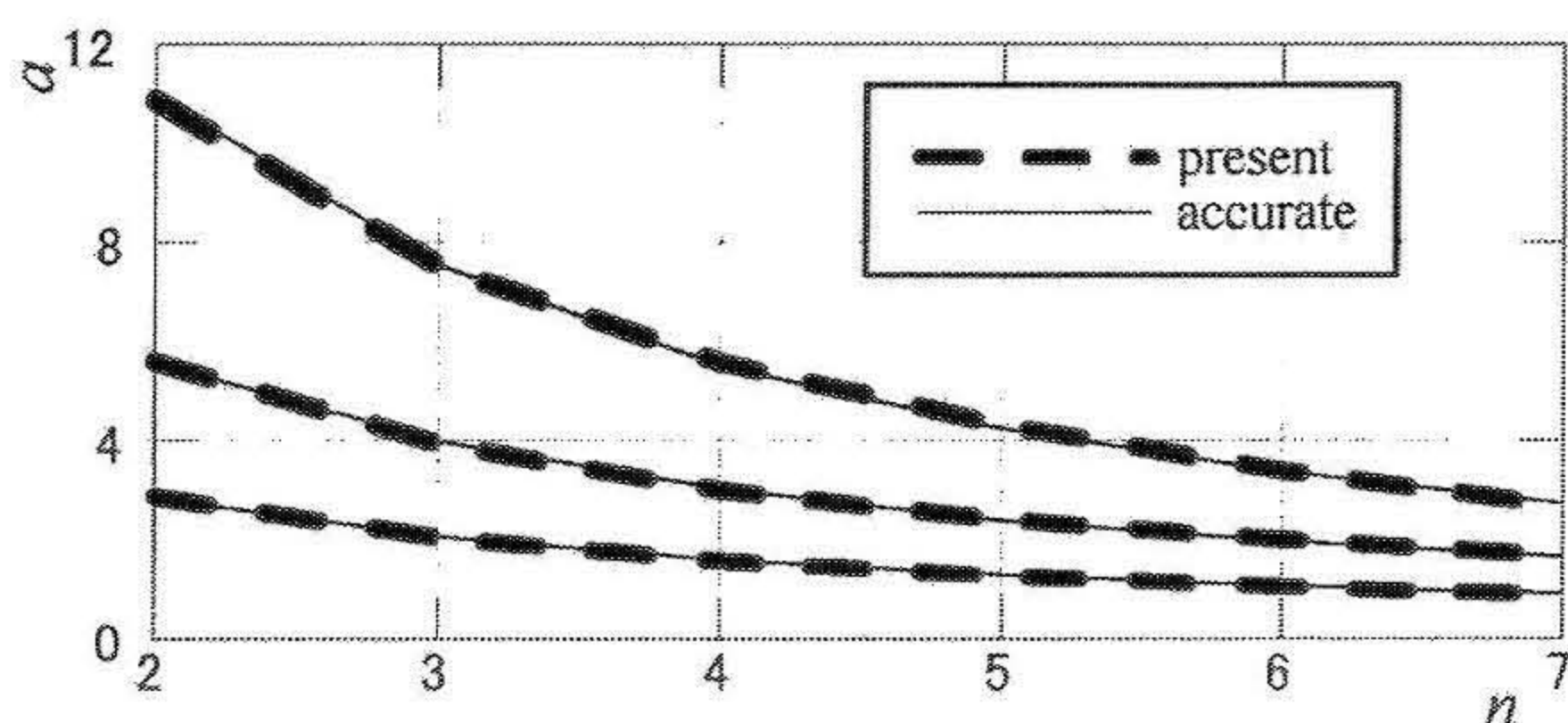


図1 層数と信頼性レベルに従う α の変化

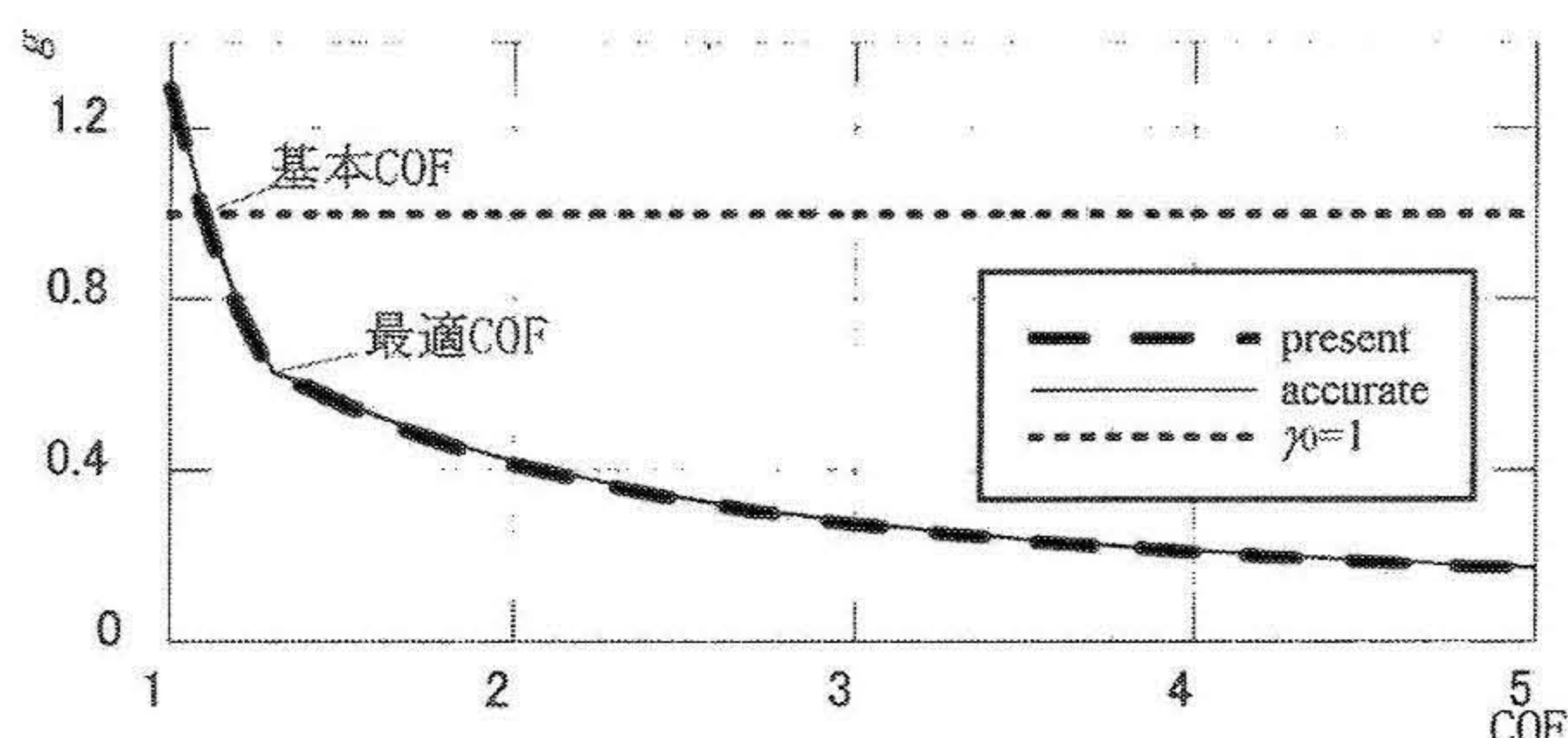


図3 $\beta=2$ 、2層2スパン時の γ -COF 曲線

に伴う変化を図2に示す。図2より、全ての層数、信頼性レベルにおいて μ_p は COF と正比例することがわかる。あらゆるケースで点線と実線はほぼ重なっており、(7)式は精密値に精度良く追従していることがわかる。

4 柱・梁耐力比の評価

柱・梁耐力比を評価する時、梁降伏先行型全体崩壊機構を確率論的意味で保証するために、望ましくない崩壊機構の相対的な出現確率を表す評価指標 γ を次式のように定義する。

$$\gamma = \frac{P_{f2}}{P_{f1}} \quad (8)$$

ただし、 P_{f1} は梁降伏先行型全体崩壊機構（望ましい崩壊）の出現確率、 P_{f2} は層崩壊機構（望ましくない崩壊）の出現確率とする。

(6)式、(7)式で提案された荷重値及び精算値を用いて P_{f1} 、 P_{f2} を計算し得られた COF を伴う γ の変化を図3に示す。今回は2層2スパンの鉄骨骨組の平面モデルを対象とし、 $\beta=2$ を対象とした。また、確率論的な意味で層崩壊機構を回避する最小限の COF を考慮し、評価基準 $\gamma_0=1$ とし、図3に点線で示す。ここで $\gamma_0=1$ に対応する COF を基本目標 COF（以下基本 COF）として定義する。 γ -COF 曲線上に一つの折点が存在している。COF がこの

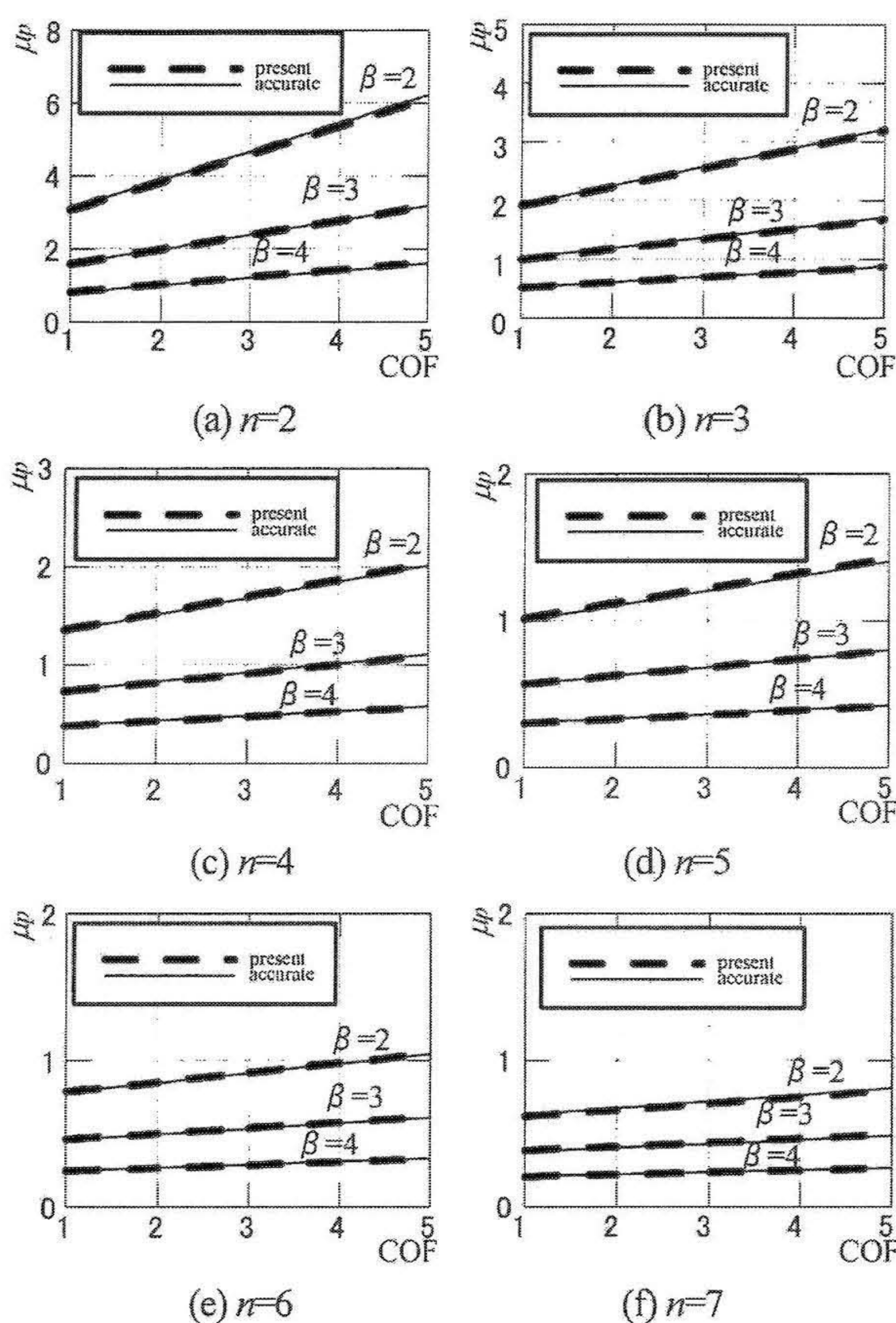


図2 各層の μ_p -COF グラフ

点より小さいとき、COF 値の増加によって γ が急激に減少するが、折点を超えると γ が減少スピードは急に緩やかになる。つまり、COF 値が折点以上の領域は COF の増加に対して効果的に層崩壊機構の出現確率を減少させられる領域である。この折点に対応する COF を最適目標 COF（以下最適 COF）と定義する。計算の結果、提案式での基本 COF は 1.098、最適 COF は 1.279、精密値では基本 COF は 1.102、最適 COF は 1.280 となった。両者は精度良く対応していることがわかる。

5 まとめ

- 1) 一定信頼性レベルで設計された n 階 m スパンの鉄骨骨組に対して、地震荷重の平均値と柱・梁耐力比の関係式を提案した。
- 2) 一定信頼性レベルを保つ為に、地震荷重の平均値はスパン数及び柱・梁耐力比に比例する。
- 3) 提案式で得られた地震荷重の平均値は、精密計算値に精度良く追従している。

参考文献

- 1) 趙衍剛、小野徹郎、石井清、吉原和宏、鉄骨骨組に全体崩壊機構に要求される柱・梁耐力比に関する一考察、日本建築学会構造系論文集、第 558 号、PP61-67、2002.8
- 2) Wu-Chuan Pu and Yan-Gang Zhao, Load Level and Target COF of Frames with Given Reliability Indices, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, PP 347-354, 2007.11