

偏心補剛された平鋼圧縮柱の座屈性状

Compressive Buckling Behavior of Plate-Section Columns with Eccentric Lateral Bracing

金箱 温春* 竹内 徹** 小河 利行*** 小形 信太郎****

Yoshiharu KANEBAKO Toru TAKEUCHI Toshiyuki OGAWA Shintaro OGATA

ABSTRACT In recent years, plate-section member is used as the column of small buildings in order to express transparency. The purpose of this paper is to discuss the compressive buckling strength of plate-section columns with eccentric lateral support at the center of their length. This paper proposes the buckling strength of compressive member with eccentric lateral support. It is compared with elastic numerical eigenvalue analyses and inelastic large deformation analyses. The eccentric lateral support is useful for plate-section columns. Also this paper discusses the rigidity of support member and proposes the demand of rigidity, compared with the results obtained by the inelastic large deformation analysis.

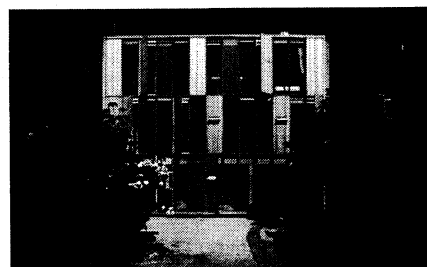
Keywords: 偏心補剛, 平鋼柱, 座屈耐力, 補剛剛性, 小規模鉄骨建物
eccentric lateral bracing, plate-section columns, buckling strength, lateral bracing rigidity, small steel building

1. 序

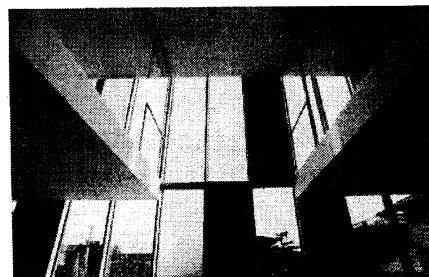
鉄骨構造物の構造設計においては、骨組を構成する部材をどのような断面形状とするかが重要な要素の一つである。部材の選定にあたっては、応力状態、支持状態、加工性、経済性、視覚的要素などが考慮されるが、一般的には経済性が最も重要な要素とされることが多い。しかし、最近では視覚的要素が部材選定の重要な要素となっている建築も増えてきている。住宅を中心とした鉄骨小規模建築の柱材においては、従来、H鋼、鋼管、角型鋼管などが用いられることが多いが、近年ではこれらの建築のファサード回りの柱材には、図1に示すように、外形寸法、見付け幅の小さい平鋼が選択される例が増えている。鋼材重量を少なくする経済性よりも、透明性や開放性を重要視する建築デザインが増えてきている潮流である。

この建物は金沢市に建てられた3階建ての鉄骨造、一部SRC造の住宅で、厚さ40mm、幅100mm

の平鋼を0.8mのピッチで配置した四列の列柱によって建物の床を支えていることが特徴である。平鋼の柱は構造体であるとともにガラスやパネルの取り付け下地のマリオンであり、主体構造と二次構造のヒエラルキーを無くした構造でもある。建物両側のSRC柱を内蔵したRC壁を配して全体の水平力を負担し、平鋼の柱は鉛直荷重と風荷重のみを負担する構造計画とし、繊細な部材断面を実現している(図2、図3)。柱部材の座屈長さは2650mm、細長比は230で、負担



(a) 外観



(b) 内観

図1 平鋼柱を使用した住宅建築

*工修 金箱構造設計事務所

(〒141-0021 品川区上大崎4-5-18)

**博士(工学) 東京工業大学大学院

理工学研究科建築学専攻 助教授

(〒152-8550 目黒区大岡山2-12-1)

***工博 東京工業大学大学院

理工学研究科建築学専攻 教授

(〒152-8550 目黒区大岡山2-12-1)

****東京工業大学 大学院生

(〒152-8550 目黒区大岡山2-12-1)

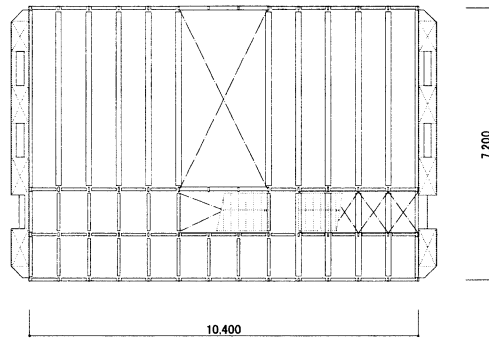


図2 3階伏図

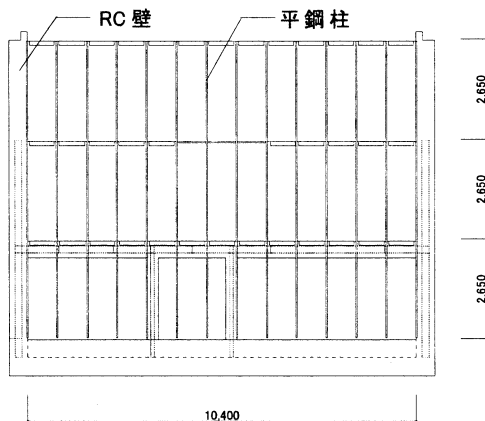
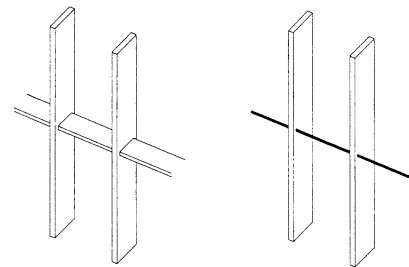


図3 軸組図

している最大軸力約 60kN は長期許容座屈耐力に対して 70% 程度である。

本事例のように平鋼を使用するためには、経済性が必要以上に悪くなるのを防ぐと同時に、細長比が過大とならないようにするため、座屈補剛が重要となってくる。補剛材が圧縮部材の座屈変形を完全に拘束するためには、ある一定以上の補剛剛性、強度を必要とする。これまでに圧縮部材の弾性座屈および弾塑性座屈に関して数多くの研究^{1),3),4),5),6)}がなされており、座屈拘束に必要な補剛剛性、補剛強度が現行の設計規準^{2),8),10)}に明記されている。しかし実構造物において、補剛材が必ずしも部材中央に取り付くとは限らず、材長方向に偏心する場合もある。このような材長方向に偏心して補剛材が取り付けられた場合の研究^{9),11),12)}もなされており、補剛材が座屈変形を拘束するための必要剛性、強度を明らかにしている。これらの研究では、圧縮部材の断面重心に補剛材が取り付けくことを前提とした中心補剛であり、部材中央における捩れ変形は考慮していない。

平鋼柱の使用にあたっては、図4(a)のように断面重心でねじれを含めて拘束する方法ではなく、図4(b)のように部材端部で偏心補剛する使い方が開放性確保のためには有効である。中央補剛にお



(a) 中心補剛 (b) 偏心補剛

図4 座屈補剛の形式

いては、補剛材の剛性が十分であれば、圧縮部材の座屈変形が $\sin$ 半波（一次モード）から $\sin$ 一波（二次モード）のような曲げ変形へと移行するが、偏心補剛の場合においては、十分な剛性を有していても補剛側のみを拘束された曲げ捩れ変形を生じる可能性がある。

本研究では、軸剛性のみを有するつなぎ材により偏心補剛された平鋼を対象として、軸力及び曲げを受けた場合の座屈耐力を、座屈モードを仮定した理論式及び数値解析により把握し、平鋼柱では偏心補剛が有効であることを示すことを目的とする。研究の成果により、座屈補剛材が小さくでき、かつ片側だけの補剛で可能ということが実現できれば、平鋼を使用する本来の目的である透明感、開放感を高める建物の実現に役立つと考えられる。また、目立たない形で座屈補剛が可能となれば中間補剛点を増やし、平鋼をより経済的に使用することにも役立つと考えられる。

2. 偏心補剛された平鋼圧縮柱の座屈耐力

2.1 座屈耐力式の誘導

偏心補剛された平鋼圧縮柱の弾性座屈耐力を、2種類の座屈モードに分類して評価する。補剛材は、部材中央で断面重心から $h/2$ 離れた位置にあり、回転剛性は持たず弱軸方向の変位のみを拘束するものとする。補剛材で部材中央を拘束しているにもかかわらず、補剛材の反対側が大きく $\sin$ 半波で座屈するモードを座屈モード1とし、補剛材により十分な補剛効果が得られ、部材全体が $\sin$ 一波で座屈するモードを座屈モード2とする。

座屈モード1の座屈耐力

図5のように中央拘束点の面外反力を $2F$ とおくと、上下端部の反力は F なので、各方向の力の釣合より以下の方程式が成り立つ。

$$EI_y \frac{d^2 u}{dz^2} + P(u + e\beta) - Fz = 0 \quad (1)$$

$$EI \frac{d^3 \beta}{dz^3} + (P\rho_0^2 - GJ) \frac{d\beta}{dz} + Pe \frac{du}{dz} + \frac{h}{2} F = 0 \quad (2)$$

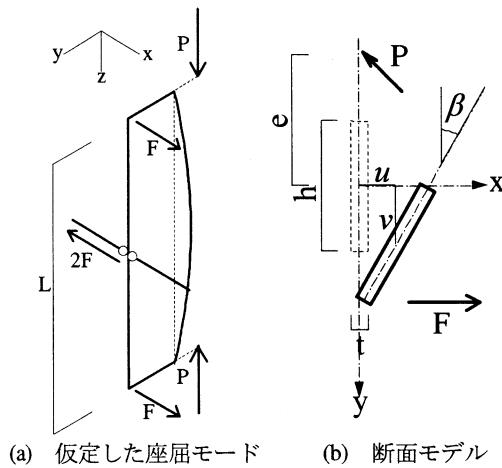


図5 座屈モード1

ここで、 EI_y : y軸まわりの曲げ剛性、 P : 圧縮軸力、 u : 部材中央の水平変形、 β : 部材の回転変形角、 e : 軸力の偏心距離、 EF : 部材の曲げねじり剛性、 GJ : 部材のねじり剛性、 ρ_0^2 : (3)式で表わされる断面係数である。

$$\rho_0^2 = \frac{1}{A} \int_A (x^2 + y^2) dA \quad (3)$$

中央の水平変形と回転変形を以下のように仮定する。

$$u = \frac{h}{2} \beta_0 \sin \frac{\pi z}{L} \quad \beta = \beta_0 \sin \frac{\pi z}{L} \quad (4)$$

(4)式を用い、(1)式を z で微分することにより

$$\left[P - EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \right] \frac{h}{2} \beta_0 + P e \beta_0 = \frac{F}{\frac{\pi}{L} \cos \frac{\pi z}{L}} \quad (5)$$

また、(4)式を用い、(2)式を表記すると

$$P e \frac{h}{2} \beta_0 + \left[P \rho_0^2 - (GJ + EF \frac{\pi^2}{L^2}) \right] \beta_0 = \frac{h}{2} \left(\frac{-F}{\frac{\pi}{L} \cos \frac{\pi z}{L}} \right) \quad (6)$$

(5)(6)式より F を消去すると

$$\left(P e \frac{h}{2} + P \rho_0^2 - GJ - EF \frac{\pi^2}{L^2} \right) = -\frac{h}{2} \left[P - EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \right] \frac{h}{2} - \frac{h}{2} P e \quad (7)$$

$$P_{cr1} = \frac{EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + GJ + EF \left(\frac{\pi}{L} \right)^2}{h e + \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \rho_0^2} \quad (8)$$

(8)式が座屈モード1の座屈耐力 P_{cr1} となる。なお、木村、小河¹³⁾は偏心補剛されたH形鋼圧縮部材の座屈荷重式として下式を示している。

$$P_{cr} = EI_y \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 + \frac{4GK + \frac{8K_\beta}{l} \left(\frac{l}{\pi} \right)^2}{4e_r^2 + d^2} \quad (9)$$

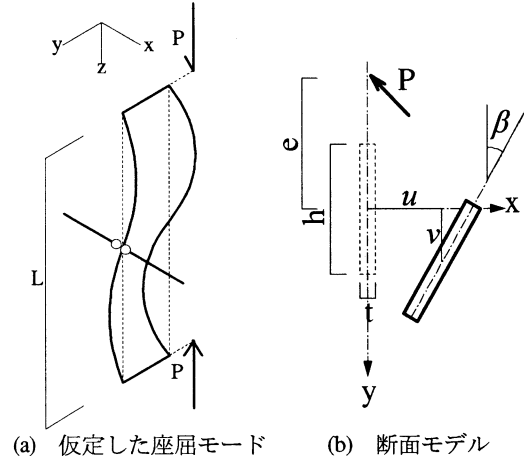


図6 座屈モード2

ここに、 e_r : 補剛材偏心量、 K_β : 回転剛性である。同式はH形断面をダブルフランジ材としてモデル化し、上下フランジの曲げ変形の座屈条件より誘導したものであるため、平鋼断面にそのまま使用することはできない。今回示した式(8)においてH形断面の下記定数、

$$\rho_0^2 = \frac{b^2}{12} + \frac{h^2}{4}, \quad \Gamma = \left(\frac{h}{2} \right)^2 I_y \quad (10)$$

を代入し、 $h \gg b$ として式を近似し、さらに $e_r=0$ 、 $h=b$ 、 $K_\beta=0$ とおくと(9)式と一致することが確認できる。

座屈モード2の座屈耐力

座屈モードを図6のように仮定すると、力の釣合方程式は以下になる。

$$EI_y \frac{d^2 u}{dz^2} + P(u + e\beta) = 0 \quad (11)$$

$$EF \frac{d^3 \beta}{dz^3} + (P \rho_0^2 - GJ) \frac{d\beta}{dz} + P e \frac{du}{dz} = 0 \quad (12)$$

部材中央の水平変形と回転変形を以下のように仮定する。

$$u = u_0 \sin \frac{\pi z}{(L/2)} \quad \beta = \beta_0 \sin \frac{\pi z}{(L/2)} \quad (13)$$

(13)式を用い(11)(12)式に代入すると

$$(P - P_{ey}) u_0 + P e \beta_0 = 0 \quad (14)$$

$$P e u_0 + \rho_0^2 (P - P_w) \beta_0 = 0 \quad (15)$$

ただし

$$P_{ey} = EI_y \frac{\pi^2}{(L/2)^2} \quad (16)$$

$$P_w = \frac{1}{\rho_0^2} \left(GJ + EF \frac{\pi^2}{(L/2)^2} \right) \quad (17)$$

とする。係数行列式を0とすれば、以下の安定条件を得る。

$$\begin{vmatrix} (P-P_{ey}) & Pe \\ Pe & \rho_0^2(P-P_w) \end{vmatrix} = 0 \quad (18)$$

$$\rho_0^2(P-P_{ey})(P-P_w) - P^2 e^2 = 0 \quad (19)$$

以下に示す横座屈モーメントを用い、

$$M_{ex} = \rho_0 \sqrt{P_{ey} P_w} \quad (20)$$

(19) 式を(20)式の二乗で除すると

$$\left(\frac{P}{P_{ey}} - 1 \right) \left(\frac{P}{P_w} - 1 \right) - \left(\frac{Pe}{M_{ex}} \right)^2 = 0 \quad (21)$$

一般的な断面では $P_w > P_{ey} > P$ なので

$$\left(\frac{Pe}{M_{ex}} \right)^2 + \frac{P}{P_{ey}} = 1 \quad (22)$$

これを解くと、座屈モード2の座屈耐力 P_{cr2} を得る。

$$P_{cr2} = \frac{-M_{ex}^2 + \sqrt{M_{ex}^4 + 4(P_{ey} e M_{ex})^2}}{2P_{ey} e^2} \quad (23)$$

ただし $e=0$ のとき、 $P_{cr2} = P_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(L/2)^2}$

非弾性座屈領域の座屈耐力

非弾性座屈領域の座屈耐力に関しては、中心圧縮柱で用いられている Johnson 式に準じて以下の式で評価する。

$$P_{\sigma 3} = N(1 - \alpha \frac{N}{\pi^2 E I}) \quad (24)$$

N は部材断面が全塑性に達するときの軸力で、 MN 相関曲線より求めた値である。 α は断面形状及び圧縮位置に関係する係数で、(8) 式及び(23) 式に接するように設定し、それらにより得られた耐力曲線の内、小さいもので設定する。

2.2 偏心補剛された平鋼圧縮柱の座屈耐力

前節で求めた弾性座屈耐力の妥当性を検証するために数値解析を行う。解析モデルを図7に示す。材長 ($L \leq 4000(\text{mm})$)、断面形状 ($H200 \times 100 \times 5.5 \times 8$, $FB25 \times 250$, $FB15 \times 500$)、圧縮軸力の偏心量 ($e/h=0, 1.0$) をパラメータとして、有限要素法による弾性固有値解析及び弾塑性増分解析を行う。 $FB25 \times 250$ は $4000(\text{mm})$ 程度の階高を有するマリオンを想定した断面であり、 $FB15 \times 500$ は比較のために設定した極端に横座屈しやすい断面である。平鋼との違いを比較するために H 鋼 ($H200 \times 100 \times 5.5 \times 8$) についても解析を行った。

解析プログラムは有限要素法汎用プログラム

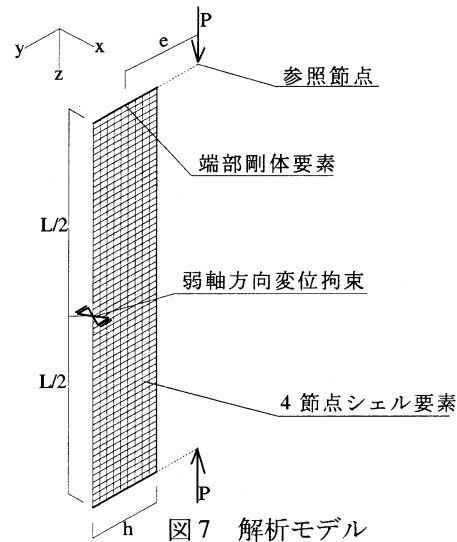


図7 解析モデル

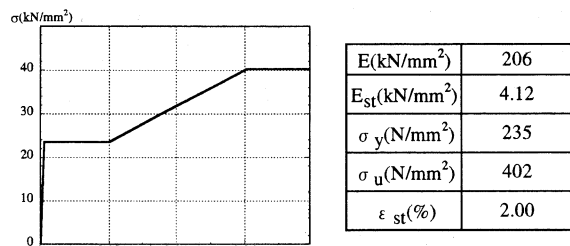


図8 材料特性

ABAQUS6.3-1 を用いている。要素は板部を4節点シェル要素とし、材端部は剛体要素としている。材端支持条件は2.1節と同様、強軸回り、弱軸回りに対して単純支持、材軸周りの振りは固定、そりは自由としている。要素分割は、要素の大きさを一定とし、梁せい方向は梁せいが $250(\text{mm})$ のときに12分割、材長方向は材長が $1000(\text{mm})$ のとき48分割としている。荷重は、材端部剛体要素の参照節点より、両端部から等しく与えている。部材形状初期不整は、弾性固有値解析で得られた一次モードと二次モードの変形を、部材長の $1/2000$ ずつ与えている。鋼種は SS400 を想定し、本解析で用いた圧縮部材の材料特性を図8に示す。

弾性座屈耐力の検証

図9に各断面形状における(8)(23)式と弾性固有値解析結果を示す。H形鋼では、 $L \leq 4000(\text{mm})$ の範囲で座屈モード1の耐力が座屈モード2の耐力を常に下回り、回転剛性のない偏心補剛は有効ではない。これに対し、平鋼 $FB25 \times 250$ の中心圧縮では長さにかかわらず偏心補剛が有効である。1次モードの座屈耐力は、グラフで表記している耐力より大きいいため図中に表現されていない。 $FB25 \times 250$ では $L \geq 1000(\text{mm})$ の範囲、 $FB15 \times 500$ では $L \geq 2000(\text{mm})$ の範囲で、偏心荷

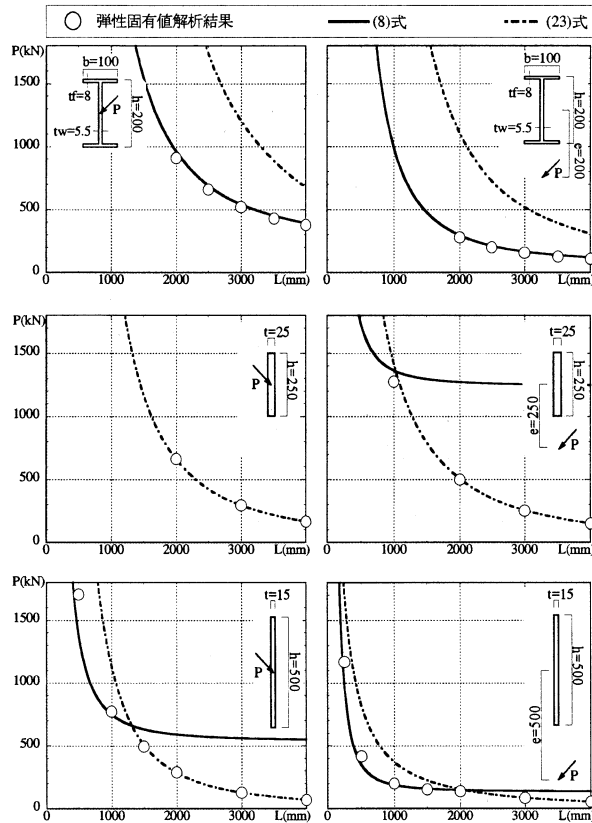
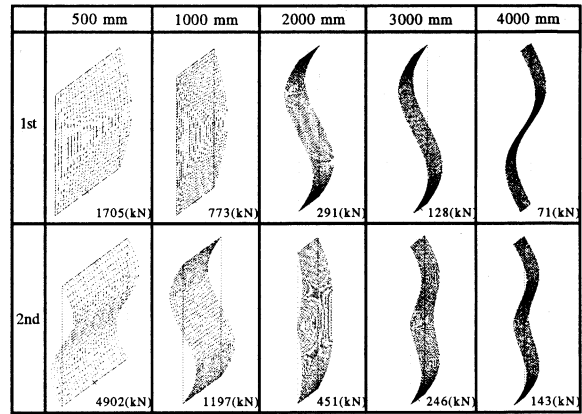


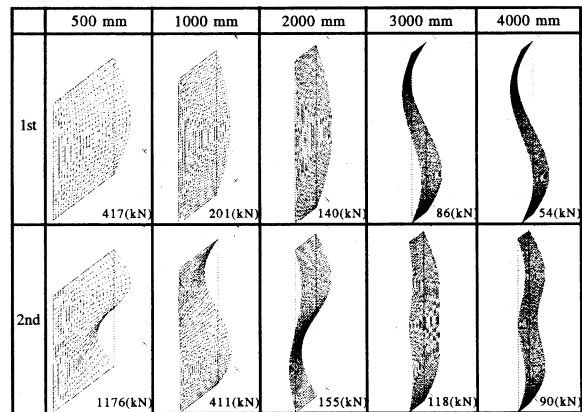
図9 座屈耐力－材長関係(弾性固有値解析)

重下においても回転剛性のない偏心補剛が有効であり、偏心補剛位置で座屈長さを考慮して座屈耐力を計算できる。ただし、平鋼の場合においても荷重の偏心量、幅厚比が増加すると偏心補剛が有効でなくなる。数値解析結果は、(8),(23)式の最小値に対応しており、弾性固有値は(8),(23)式で評価できる。H形鋼では $EI_y \gg GK$ であるため、ねじれ変形は両フランジの独立した曲げ変形が支配的となり、片フランジのみの偏心補剛は有効ではない。これに対して平鋼では $EI_y \ll GK$ であるため、ねじれが拘束されることで面外へ変形するモードが抑制され、端部での偏心補剛でも有効となるものと考えられる。

図10に数値解析で得られたFB15×500の一次座屈モード、二次座屈モードを示す。一次座屈モード、二次座屈モードともに前節で仮定した座屈モードによく対応しており、荷重偏心がゼロの場合では $L=500\text{mm}$ 、荷重偏心がある場合では $L=2000\text{mm}$ 以下の範囲で、一次モードに座屈モード1が対応している。材長が長くなると一次モードに座屈モード2が対応してくる。なお $e/h=1.0$ の L が短い範囲で二次モードに座屈モード2がゆがんだ形のものが現れてきており、(23)式の値と最大2割程度の差が生じている。



(a) FB15×500 $e/h=0$



(b) FB15×500 $e/h=1.0$

図10 座屈モード図(FB15×500)

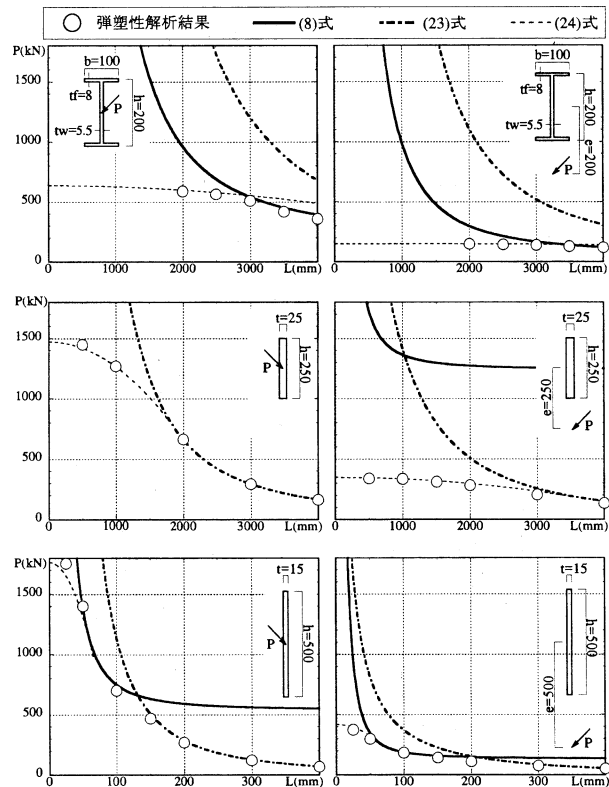


図11 座屈耐力－材長関係(弾塑性解析)

弾塑性座屈耐力の検証

図 11 に (8) 式及び (23), (24) 式と弾塑性解析結果を示す。部材長さが短くなると弾性座屈から弾塑性座屈に移行し、座屈モードに関わらず弾塑性座屈耐力は (24) 式で評価できる。FB15 × 500 の場合には、弾性座屈のモード 1 とモード 2、及び弾塑性座屈の 3 種類の座屈耐力に相当するものが解析結果でも現れている。弾塑性解析結果との対応の結果から、座屈耐力は (8) 式及び (23), (24) 式の最小値により評価できる。

3. 補剛剛性が座屈耐力に及ぼす影響

次に、補剛剛性が 2 種類の座屈モードの座屈耐力に及ぼす影響について検証する。座屈モード 1 の補剛剛性と座屈耐力の関係について、本研究では、以下に示す関係を用いて評価式を提案する。

座屈モード 1 の補剛剛性と座屈耐力関係式

図 12 に示すように中央拘束点の面外反力を $2F$ とおくと、上下端部の反力は F なので、各方向の力の釣合より以下の方程式が成り立つ。

$$EI_y \frac{d^2 u}{dz^2} + P(u + e\beta) - Fz = 0 \quad (25)$$

$$E\Gamma \frac{d^3 \beta}{dz^3} + (P\rho_0^2 - GJ) \frac{d\beta}{dz} + Pe \frac{du}{dz} + \frac{h}{2} F = 0 \quad (26)$$

部材中央の水平変形、回転変形と断面補剛側の水平変形を以下のように仮定する。

$$u = u_0 \sin \frac{\pi z}{L} \quad \beta = \beta_0 \sin \frac{\pi z}{L} \quad \delta = u - \frac{h}{2} \beta \quad (27)$$

部材中央での力の釣合は

$$-EI_y u_0 \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 + P(u_0 + e\beta_0) - \frac{k}{2} \left(u_0 - \frac{h}{2} \beta_0\right) \frac{L}{2} = 0 \quad (28)$$

(25) 式を z で微分して、(27) 式を用いると、

$$-EI_y u_0 \left(\frac{\pi}{L}\right)^3 \cos \frac{\pi z}{L} + P \frac{\pi}{L} \cos \frac{\pi z}{L} (u_0 + e\beta_0) - F = 0 \quad (29)$$

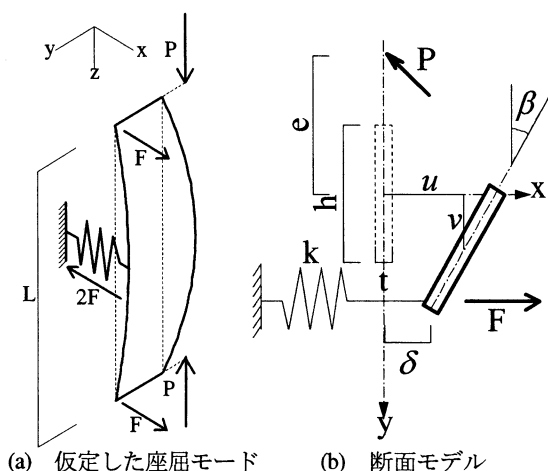


図 12 座屈モード 1

また、(27) 式を用い、(26) 式を表記すると、

$$-E\Gamma \beta_0 \left(\frac{\pi}{L}\right)^3 \cos \frac{\pi z}{L} + (P\rho_0^2 - GJ) \beta_0 \left(\frac{\pi}{L}\right) \cos \frac{\pi z}{L} + Pe u_0 \left(\frac{\pi}{L}\right) \cos \frac{\pi z}{L} + \frac{h}{2} F = 0 \quad (30)$$

(28)(29)(30) 式より u , β , F を消去することにより座屈モード 1 と補剛剛性の関係式が求まる。

$$(e^2 - \rho_0^2) P_{cr4}^2 + \left(\frac{kL}{16} (4he + h^2 + 4\rho_0^2) + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 (E\Gamma + \rho_0^2 EI_y) + GJ \right) P_{cr4} + \left(\frac{hkL}{8} \right)^2 - \left(\frac{h^2 kL}{16} + E\Gamma \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 + GJ \right) \left(EI_y \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 + \frac{kL}{4} \right) = 0 \quad (31)$$

補剛剛性が座屈耐力に及ぼす影響

(31) 式を検証するため図 13 に示す解析モデルにより弾性固有値解析を行った。図 14(a) に (31) 式と弾性固有値解析結果の対応を示す。横軸は補剛剛性

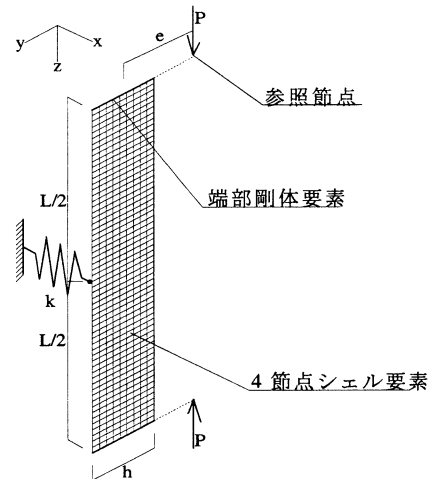
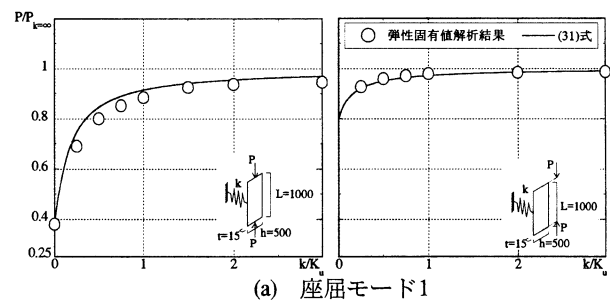
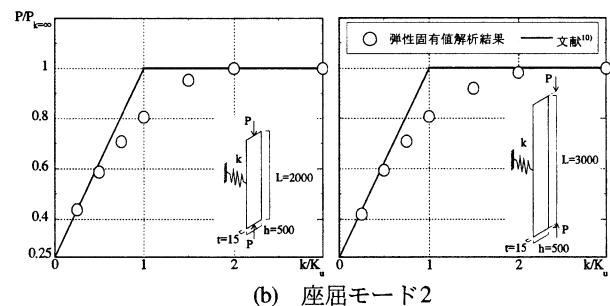


図 13 解析モデル



(a) 座屈モード 1



(b) 座屈モード 2

図 14 座屈耐力-補剛剛性関係

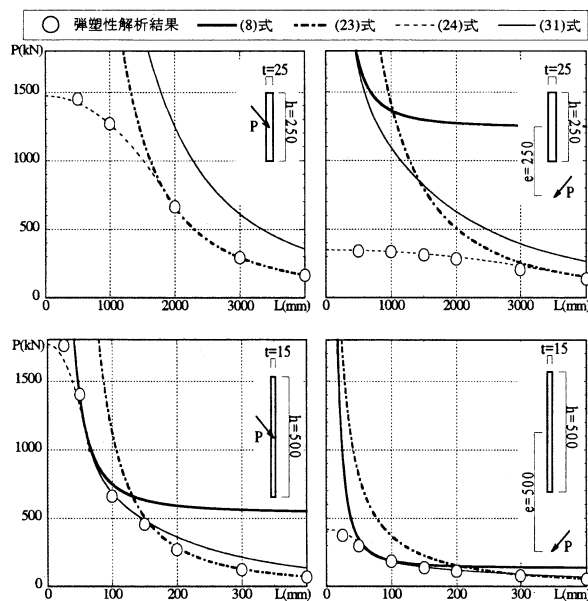


図 15 座屈耐力－材長関係 ($k=2K_u$)

の剛性 k を文献¹⁰⁾にある必要補剛剛性 $K_u=4P_{cr}/L(P_{cr}=4\pi^2 EI/L^2)$ で、縦軸は座屈耐力を補剛剛性無限大としたときの座屈耐力 $P_{k=\infty}$ で無次元化している。(31)式と弾性固有値解析結果の対応は良好である。 $L=1000\text{mm}$ において $k=2K_u$ のとき、座屈耐力は上限値の95%まで達するが、以降の耐力上昇率は低い。一方、座屈モード2の補剛剛性と座屈耐力の関係は、補剛支点が断面中心にある場合は文献¹⁰⁾より図14(b)の実線となる。弾性固有値解析結果と比較すると、 k/K_u が0.5～2.0までの範囲では固有値解析結果の耐力が小さく、すなわち補剛材の偏心により必要剛性は大きくなり、 $k=2K_u$ で座屈耐力は完全補剛と同じ状態に達する。

図15に補剛材の剛性を $2K_u$ としたときの、材長－座屈耐力関係を示す。 L が大きくなると(31)式の座屈耐力と補剛剛性が無限大の(8)式の座屈耐力との差が大きくなるが、他の座屈モードによって耐力が決まるため、(31)式の座屈耐力への影響は少ない。数値解析結果と比較すると、今回検討の事例では、補剛剛性を $2K_u$ 程度確保すれば、座屈耐力は全ての細長比にわたって(8)式と(23),(24),(31)式の最小値により概ね評価できている。

4. 結

本研究では軸剛性のみを有する補剛材により偏心補剛された平鋼圧縮柱について、座屈耐力評価式を提案し、その信頼性を数値解析により検証した。以下に得られた結論を記す。

- 1) 軸剛性のみを有する補剛材により偏心補剛された圧縮材の座屈耐力式を導いた。弾性座屈に対して二つの座屈モードを仮定し、それぞれの耐力式の小さいほうで座屈耐力が評価できることを検証した。さらに、弾塑性座屈耐力式を用いることにより、補剛材の剛性が十分な場合の座屈耐力式は(8),(23),(24)式の最小値として評価できる。
- 2) H形鋼では、回転剛性のない偏心補剛が有効となる範囲が狭いが、平鋼では偏心補剛が有効となる範囲が広く、例えばFB25×250の場合には、中心圧縮の場合、及び部材せいと同じ偏心距離を持つ偏心圧縮の場合のいずれにおいても、部材長さ1000mm以上であれば偏心座屈補剛が有効である。すなわち、一般的な小規模鉄骨建物で使用される平鋼の使用範囲では、偏心補剛で十分に座屈を補剛できる。
- 3) 補剛材の剛性を考慮した弾性座屈耐力式を誘導し、座屈耐力に及ぼす影響を検討した。補剛材剛性無限大の場合の(8)式に対応して、剛性を考慮した弾性座屈耐力は(31)式で評価できる。
- 4) 総合すると、偏心補剛材を有する平鋼の座屈耐力は、(8),(23),(24),(31)式の最小値で精度良く評価できる。なお、今回検討した範囲では、中心補剛で必要とされている補剛剛性に比べて2倍程度の補剛材剛性を確保すれば、(31)式で決定される領域は限定されている。

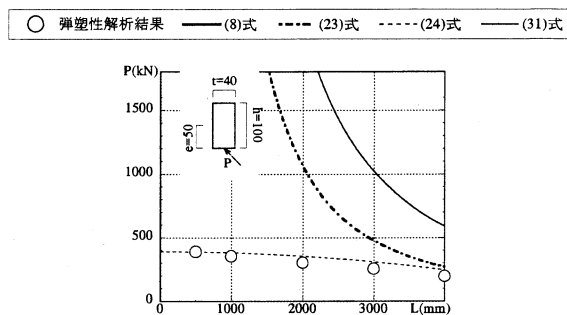
参考文献

- 1) 横尾義貫, 若林実, 上田憲司: 圧縮材の支点の補剛について, 日本建築学会論文報告集, 第89号, pp.105, 1963.9
- 2) 日本建築学会: 鋼構造設計規準・同解説, 1970
- 3) 最相元雄, 田中尚, 高梨晃一, 宇田川邦明: 圧縮材の横補剛について, 日本建築学会論文報告集, 第184号, pp.73～79, 1971.6
- 4) 松井千秋, 村松弘道: 圧縮材の支点補剛に関する研究(その1弾塑性解析), 日本建築学会論文報告集, 第205号, pp.23～29, 1973.3
- 5) 松井千秋, 村松弘道: 圧縮材の支点補剛に関する研究(その2矩形断面材に関する実験的研究), 日本建築学会論文報告集, 第208号, pp.15～21, 1973.6
- 6) 小野徹郎, 石田交広, 下野耕一: 限界状態を考慮した鋼構造圧縮部材及び曲げ材の補剛に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第469号, pp.117～125, 1995.3
- 7) 西野孝仁, 辻文三: 圧縮材の挙動と補剛材の剛性・強度, 日本建築学会構造系論文集, 第483号, pp.157～163, 1996.5

- 8) 日本建築学会：鋼構造座屈設計指針・同解説，1996
- 9) 辻文三，西川大介：圧縮材の構造特性に及ぼす偏心補剛材の剛性・強度，鋼構造論文集，第4巻，第15号，pp.63～70，1997.9
- 10) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計指針・同解説，1998
- 11) 深尾英邦，森野捷輔：中間に座屈補剛支点を有する圧縮材の弾塑性挙動と必要補剛剛性，日本建築学会構造系論文集，第528号，pp.151～157，2000.2
- 12) 深尾英邦，桑田志都子，森野捷輔，川口淳：中間に弾性補剛ばねを持つ圧縮材の弾塑性挙動に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第530号，pp.171～176，2000.4
- 13) 木村祥裕，小河利行：偏心補剛されたH形鋼圧縮部材の座屈荷重と必要補剛剛性，日本建築学会構造系論文集，第574号，pp.213～218，2003.12

付録1

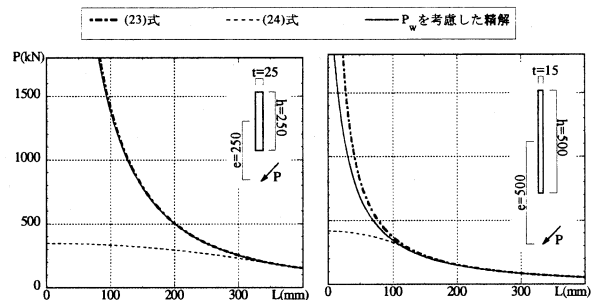
本論で得られた各式を用いて，1. 序で取り上げた実建物の柱FB40×100を偏心座屈補剛した場合の検討例を付図1に示す。同図中には(8)，(23)，(24)，(31)式の結果と合わせて $k=2K_u$ の補剛剛性の条件で座屈耐力の数値解析の結果も示している。但し，(8)式の値は大きいため，曲線はグラフ表示の範囲外である。ここでも数値解析結果は座屈モード2の弾塑性耐力に対応しており，本断面形状においても，平鋼であれば偏心補剛により座屈拘束が可能であることが確認できる。



付図1 FB40×100の座屈耐力－材長関係($k=2K_u$)

付録2

論文中で(21)式から(22)式へは，一般的な断面形状での P_w ， P_{ey} の大小関係を考慮して， P_w を無視して式の展開を行っている。 P_w を考慮した精解値と P_w を無視した(23)式とを比較した例を付図2に示す。FB15×500で部材長さが1000mm以下等，幅広で短柱の場合に差が見られるが，一般的なプロポーションの断面ではその差は小さくなっている。



付図2 P_w の評価による座屈耐力の比較

(2004年7月12日原稿受理)