

偏心補剛された平鋼部材の座屈設計法と構造設計事例

STRUCTURAL DESIGN USING PLATE-SECTION MEMBERS WITH ECCENTRIC LATERAL BRACING

金箱温春 — * 1 竹内 徹 — * 2
小河利行 — * 3

Yoshiharu KANEBAKO — * 1 Toru TAKEUCHI — * 2
Toshiyuki OGAWA — * 3

キーワード：
平鋼部材, 偏心補剛, 座屈耐力, 構造設計

Keywords :
Plate-section members, Eccentric lateral bracing, Buckling strength, Structural design

The authors have clarified the buckling strength of compressive plate section members with eccentric lateral support by theoretical and numerical analyses and loading tests in the previous papers, and suggested that the eccentric lateral support for plate-section column has equal effect to the support along the whole section. This paper discusses the buckling strength of the plate section members with eccentric lateral support under bending. The design method of such members relating bending and compression is suggested, followed by the applications to the plate section columns for actual buildings.

1. はじめに

鉄骨構造の建物において部材の選定にあたっては、応力状態、接合状態、加工性、経済性、視覚的要素などが考慮される。一般的には経済性が重要な要素となることが多く、同じ重量で部材強度、部材剛性が最大となるような部材選定が行なわれるため、軸部材としてはH形鋼、鋼管、角型鋼管などが主要な部材となってきた。しかし、構造部材の選定においては視覚的要素も重要であり、鉄筋コンクリート造や在来木造に比べると、鉄骨造の建物は透明感と開放性を表現できることが特徴であり、この特徴を生かすため、外形寸法、見付け幅の小さい平鋼柱が選択される例が近年は増えてきている。

平鋼は一方の剛性が極端に小さく弱軸方向の座屈により部材の強度が決まるためことが欠点であるが、座屈補剛を用いることで有効な利用が可能となる。座屈補剛の方法として、図1のように断面重心でねじれを含めて拘束する方法が通常の方法として考えられるが、図2のように部材端部で偏心補剛する使い方が可能であれば、平鋼の特徴である扁平さを強調できデザインの可能性を広げることとなる。

筆者らは、軸力と曲げを受ける偏心補剛された平鋼部材の座屈性状に関して、座屈耐力式の誘導や数値解析、実大実験を行い、偏心補剛された平鋼柱の座屈性状について発表している^{1),2)}。本報告では、筆者らが

発表した既往の論文に基づき、偏心補剛された平鋼部材の簡便化した座屈設計法を提示し、それを具現化して新しい建築表現に寄与した事例の報告を行なう。

2. 偏心補剛された平鋼柱の座屈耐力

2.1 座屈耐力式の誘導と載荷実験結果

既報の論文において筆者らが誘導した弾性座屈耐力式の概要を述べる。両端が単純支持され、材長の間が補剛された柱は補剛材により十分な補剛効果が得られれば、部材全体がsin一波で座屈するモードとなるが、偏心補剛された圧縮柱では、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変形してしまう座屈モードも想定される。平鋼柱の座屈を2種類の座屈モードに分類してそれぞれの座屈耐力を評価した。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(図3)。

座屈モード1に対応する座屈耐力は次式で表される。

$$P_{cr1} = \frac{EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + GJ + EI \frac{\pi^2}{L^2}}{he + \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \rho_0^2} \quad (1)$$

これに対して、座屈モード2に対する座屈耐力は下式で表される。

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

ここで、 EI_y : y軸まわりの曲げ剛性、 e : 軸力の偏心距離、 EI : 部材の曲

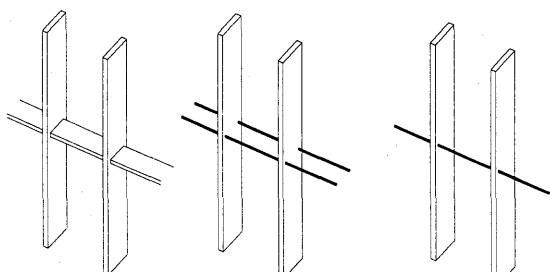


図1 中心補剛

図2 偏心補剛

*1 金箱構造設計事務所 工修
(〒141-0021 東京都品川区上大崎4-5-18日黒オーケービル)

*2 東京工業大学理工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

*3 東京工業大学理工学研究科建築学専攻 教授・工博

*1 Kanebako Structural Engineers, M. Eng.

*2 Assoc. Prof. Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

ねじり剛性, GJ : サンプナンねじり剛性であり, $\rho_0^2, P_{ey}, P_w, M_{ex}$ は以下の式で表わされる断面係数である。

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

$$P_{ey} = EI_y \frac{\pi^2}{(L/2)^2} \quad (4)$$

$$P_w = \frac{1}{\rho_0^2} \left(GJ + EI_y \frac{\pi^2}{(L/2)^2} \right) \quad (5)$$

$$M_{ex} = \rho_0 \sqrt{P_{ey} P_w} \quad (6)$$

(1)式は $e=0$ の時は下記の式となる。

$$P_{cr1} = \frac{EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + GJ + EI_y \frac{\pi^2}{L^2}}{\left(\frac{h}{2} \right)^2 + \rho_0^2} \quad (7)$$

また, (2)式は $e=0$ の時は下記の一般的なオイラー座屈の式となる。

$$P_{cr2} = P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(L/2)^2} \quad (8)$$

H 型鋼, 平鋼について弾性座屈固有値解析を行い, 上記の座屈耐力と比較した結果を図 5 に示している。図中の○印は固有値解析結果であり, H 型鋼, 平鋼とも固有値解析結果は (1), (2) 式の最小値に対応しており, これらの式により弾性座屈耐力を評価できることを示している。

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。

2.2 平鋼柱の圧縮載荷実験

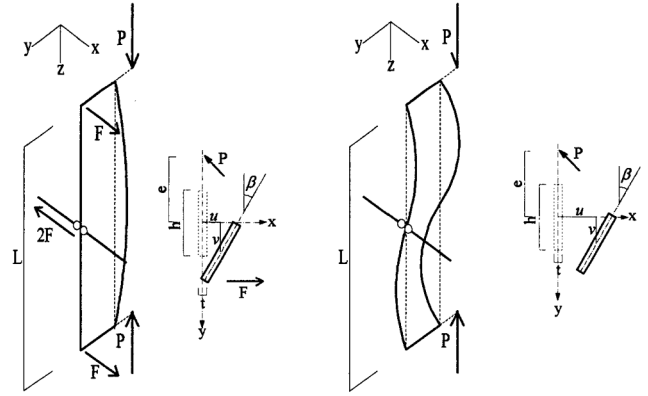
部材中央を偏心補剛された平鋼柱の圧縮載荷実験を行い, その座屈性状を確認することにより, 提案した耐力式の妥当性を検証した。試験体形状は図 5 で検討した平鋼 25mmx250mm を想定し, その半分のスケールの A タイプ (12mmx125mm) と, 比較のため設定した幅広で板厚が薄く座屈モード 1 が発現する B タイプ (6mmx250mm) の 2 種類とし, 長さを 500mm, 1000mm, 2000mm の 3 種類を, また, 軸圧縮力の偏心量を 0mm と 62.5mm の 2 種類として計画した。写真 2 は長さ 500mm の B タイプのものであり, 座屈モード 1 によりねじれるような変形が生じている。写真 3 は A タイプで長さ 2000mm の試験体の座屈時のものであり, 偏心補剛が有効となっていることが分かる。

3. 偏心補剛された曲げモーメントを受ける平鋼部材の座屈耐力

前項の座屈耐力式の誘導は軸力と曲げが同時に作用する場合を対象としているが, 同じ考え方により, 偏心補剛された部材が曲げモーメントを受ける場合の弾性座屈耐力を求めることができる。図 3 の仮定モードによる基本方程式から導くことができるが, 結果的には (1), (2) 式において $Pe = M, P=0$ とおいた式となり, 下記の曲げモーメントに関する弾性座屈耐力式となる。モード 1, モード 2 に対する座屈耐力 M_{cr1}, M_{cr2} と表記する。

$$M_{cr1} = \frac{EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + GJ + EI_y \left(\frac{\pi}{L} \right)^2}{h} \quad (9)$$

$$M_{cr2} = \frac{\pi}{(L/2)} \sqrt{EI_y \cdot GJ \left\{ 1 + \frac{EI_y}{GJ} \cdot \frac{\pi^2}{(L/2)^2} \right\}} \quad (10)$$



(a) 座屈モード 1

(b) 座屈モード 2

図 3 仮定した座屈モードと断面モデル (偏心圧縮)

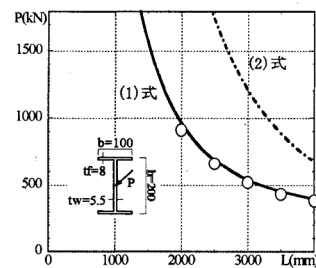


図 4(a) H 型鋼中心圧縮柱の弾性座屈耐力

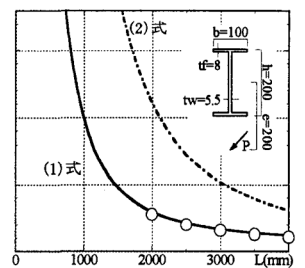


図 4(b) H 型鋼偏心圧縮柱の弾性座屈耐力

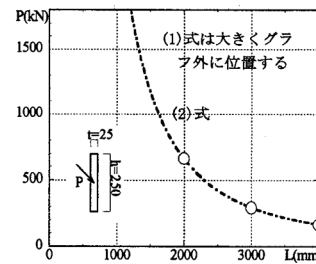


図 5(a) 平鋼中心圧縮柱の弾性座屈耐力

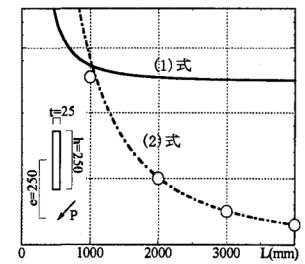


図 5(b) 平鋼偏心圧縮柱の弾性座屈耐力

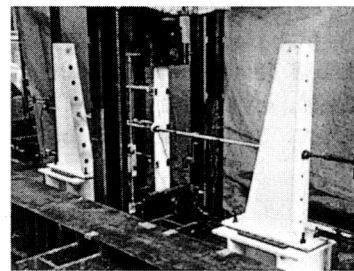


写真 1 実験装置全景

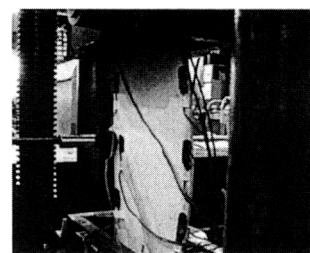


写真 2 B タイプ, 長さ 500mm の試験体座屈性状

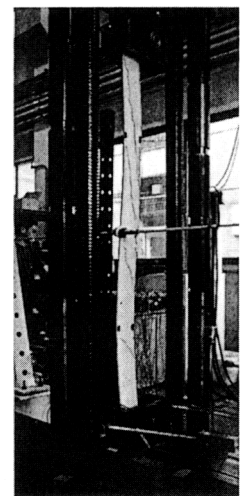


写真 3 A タイプ, 長さ 2000mm の試験体座屈性状

平鋼の2種類の断面について、前項と同様に数値解析による弾性座屈固有値解析を行なった。解析モデルは図6に示すものである。それぞれの代表的な座屈モードを図7に、座屈耐力と上記の座屈耐力式を図8に示している。図中の○印は弾性固有値解析結果であり、FB-16x250ではモード2がモード1を下回り、FB-16x500で $L \leq 2000$ (mm)の範囲で座屈モード1の耐力が座屈モード2の耐力を下回り、これらの式により弾性座屈耐力を評価できることを示している。引張側を偏心補剛された平鋼部材が純曲げを受ける場合も、ある範囲では偏心補剛が有効であり補剛位置で座屈長さを考慮して通常の横座屈耐力式で計算できる。

4. 座屈耐力設計式の提案

4.1 圧縮と曲げを受ける弾性座屈耐力式と座屈モードの判定

(1),(2)式は軸力と曲げを受ける座屈耐力を直接に表現したものである。軸力 P に対して曲げモーメントは荷重偏心距離 e により、 Pe として表現されている。設計では外力として与えられる軸力と曲げに対して P と e を決めることでこの耐力式を用いることができ、純曲げの場合は(7),(8)式によって座屈耐力が得られる。圧縮と曲げを受ける部材の設計法として鋼構造設計規準³⁾では純圧縮の場合の許容応力度 f_c と純曲げの場合の許容応力度 f_b を求め、それらに対して存在応力度の比を求めて足し合わせる下式の方法が示されている。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{e\sigma_b}{f_b} \leq 1 \quad (11)$$

前項までの座屈耐力式を用い、この式の形で部材設計が行うことができれば、従来の方法との整合性が計れる。しかし偏心補剛の場合は二つの座屈モードがあるため、この方法が同様に利用できるかどうかは不明である。またこの略算式はH型鋼などを対象として導かれたものであるため平鋼部材を対象としても成立するかどうかの検証が必要である。以下の検討では座屈モード1, 2の判別式を導き、それぞれの座屈モードについてこの座屈設計式の適用可能性について検討を行なう。

純圧縮の場合

平鋼板厚を t 、せいを h とすればの断面の諸係数として

$\rho_0^2 = \frac{1}{12}(h^2 + t^2)$, $I_y = \frac{ht^3}{3}$, $J \cong \frac{1}{3}ht^3$, $G = \frac{5}{13}E$, $\Gamma \cong 0$ と表現できる。これらを用いると(7),(8)式のモード1, モード2の純圧縮の場合の座屈耐力は下式となる。

$${}_0P_{cr1} = \frac{E \frac{ht^3}{12} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \frac{G}{3} ht^3}{\frac{h^2}{3} + \frac{t^2}{12}} \cong \frac{\left\{ 2.467 \left(\frac{h}{L} \right)^2 + 1.538 \right\}}{4 \left(\frac{h}{t} \right)^2 + 1} \cdot Eht \quad (12)$$

$${}_0P_{cr2} = \frac{\pi^2 E \frac{ht^3}{12}}{\left(\frac{L}{t} \right)^2} \cong 3.29 \left(\frac{t}{L} \right)^2 \cdot Eht \quad (13)$$

モード1とモード2の座屈耐力が等しくなる条件式は下記となる。

$$\frac{\left\{ 2.467 \left(\frac{h}{L} \right)^2 + 1.538 \right\}}{4 \left(\frac{h}{t} \right)^2 + 1} \cdot Eht = 3.29 \left(\frac{t}{L} \right)^2 \cdot Eht \quad (14)$$

式を変形し L/t で書き表すと下式となる。

$$\frac{L}{t} = \sqrt{\left\{ 5.34 \left(\frac{h}{t} \right)^2 + 1.33 \right\} / \left\{ \left(\frac{h}{L} \right)^2 + 0.623 \right\}} \quad (15)$$

(15)式の L/t と h/L , h/t の関係を図9に示している。図中の曲線の下部がモード1, 上部がモード2で座屈耐力が決まる範囲となる。図中には h/L が0, 0.2, 0.5の場合をプロットしているが、0.2以下の実用的な範囲では差が小さく h/L の影響がほとんどない。したがって(15)式は下式で簡略的に近似することができる。

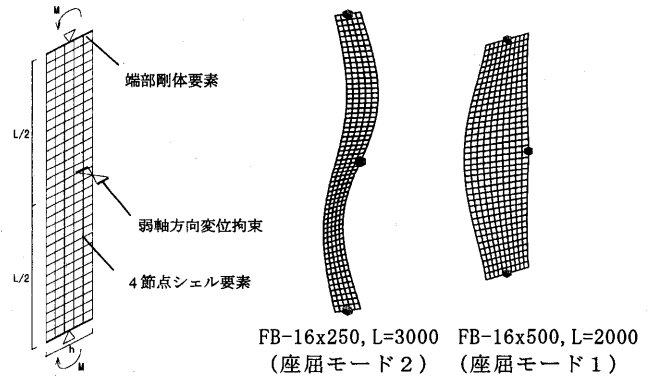


図6 固有値解析モデル

図7 曲げに対する座屈モード

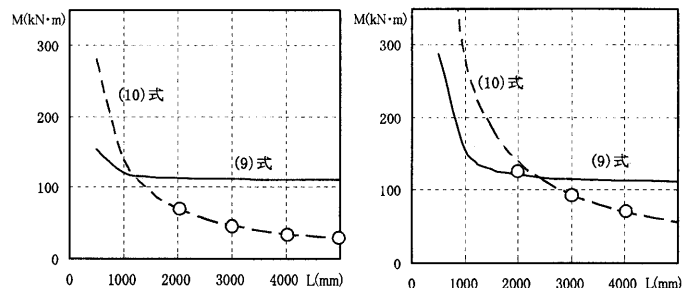


図8(a) FB-16x250の弾性座屈耐力

図8(b) FB-16x500の弾性座屈耐力

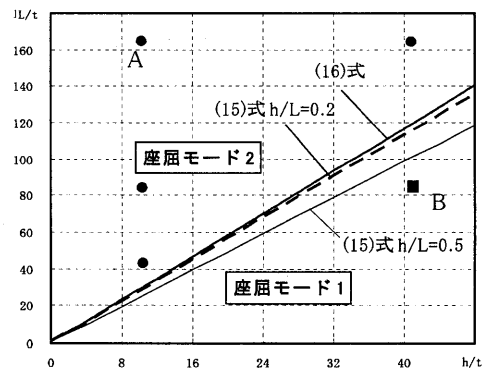


図9 純圧縮の座屈モードの判定

$$\frac{L}{t} = \sqrt{\left\{ 5.34 \left(\frac{h}{t} \right)^2 + 1.33 \right\} / 0.623} \quad (16)$$

前報の実験で用いた5体の試験体の形状を図中に示している。●印がモード2の座屈となったもの、■がモード1の座屈となったものであり、判別式に対応している。A点は写真3の試験体 ($L/t=166, h/t=10.4$) をB点は写真2の試験体 ($L/t=83.3, h/t=41.6$) を示している。

純曲げの場合

(9),(10)式びモード1, モード2の座屈耐力は下式で表される。

$$M_{cr1} = \frac{E \frac{ht^3}{12} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \frac{G}{3} ht^3}{h} \cong \left\{ 2.467 \left(\frac{h}{L} \right)^2 + 0.128 \right\} Et^3 \quad (17)$$

$$M_{cr2} = \frac{\pi}{\left(\frac{L}{2} \right)} \sqrt{E \frac{ht^3}{12} \cdot G \frac{ht^3}{3}} \cong 0.65 E \frac{ht^3}{L} \quad (18)$$

(19)式をさらに応力度で表示すると以下のようになる。

$$\sigma_{cr} = 0.65 E \frac{ht^3}{L} / \frac{th^2}{6} = \frac{0.65 E}{(L/2)h/3t^2} \quad (19)$$

H形鋼で用いられているサンブナンねじり抵抗の座屈応力度式は、

$$\sigma_{\sigma} = \frac{0.65E}{\ell h/A_f} \quad (20)$$

と表される。これらの式を比べると、座屈補剛区間の長さを用い、H形鋼のフランジ面積 A_f に相当する部分が $3t^2$ に置き換わった応力度式となっている。つまり、平鋼幅の3倍のせいの部分をフランジ面積と見なして、座屈耐力式を適用すればよいこととなる。

純圧縮と同様に判別条件を検討する。 $M_{cr1} = M_{cr2}$ となる条件は下式となる。

$$0.206 \left(\frac{h}{L} \right)^2 + 0.128 = 0.65 \left(\frac{h}{L} \right) \quad (21)$$

これは h/L の2次方程式となり、 $h/L = 0.211$ 又は $h/L = 2.99$ の時にこの条件が成立する。一般的には $h/L \leq 1.0$ と考えられるので、 $h/L = 0.211$ が座屈モードの切り替わる条件となる。 L/h で表現すると下記の条件式となり、 L/h が4.74より小さい場合はモード1、大きい場合はモード2となる。

$$\frac{L}{h} = 4.74 \quad (22)$$

L/h は L/t と h/t の関係式で表現できるので、純曲げの座屈モードの判別式を図10のように直線で示される。曲げの場合の判定条件は常に圧縮の座屈モード2の領域にあり、純圧縮と純曲げの座屈モードの組み合わせは3種類となる。純圧縮も純曲げもモード1となる領域、純圧縮も純曲げもモード2となる領域、そして純圧縮がモード2で純曲げがモード1となる領域（図中では混合モードと表記している）であり、それぞれの境界の条件式は(15)もしくは(16)式と(22)式で決定される。

4.2 座屈設計法

軸力と曲げが作用した平鋼部材の座屈設計法として下式の適用を検討する。

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{M}{M_{cr}} \leq 1.0 \quad (23)$$

圧縮、曲げの座屈モードがいずれもモード1の場合

(1)式の座屈耐力により得られる P, Pe を、それぞれ純圧縮の場合の座屈耐力と純曲げの場合の座屈耐力との耐力比として足し合わせた値を検討する。圧縮と曲げが作用した場合の座屈耐力は(1)式で示されるので P に(1)式の P_{cr1} を M に $P_{cr1} \cdot e$ を代入すると下式となり、常に1.0となる。

$$\frac{P_{cr1}}{P_{cr1}} + \frac{P_{cr1} \cdot e}{M_{cr1}} = \frac{\left(\frac{h}{2} \right)^2 + \rho_0^2}{he + \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \rho_0^2} + \frac{h}{he + \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \rho_0^2} \cdot e = 1.0 \quad (24)$$

すなわちモード1の座屈に対しては、純圧縮と純曲げのそれぞれの座屈耐力比を足し合わせた値(23)式と(1)式とは全く同じ値となり、耐力曲線はいずれも直線となる。

圧縮、曲げの座屈モードがいずれもモード2の場合

座屈モード2の場合、(2)式の座屈耐力により得られる P, Pe を、それぞれ純圧縮の場合の座屈耐力と純曲げの場合の座屈耐力との耐力比として足し合わせた値を検討する。図10に示す2点(図11①、図11②)の条件を持つ平鋼について、図11に上記の関係を示しているが、どちらも同じ値となる。曲線で示した耐力線が(2)式から得られる圧縮力と曲げモーメントの関係を示している。軸力ゼロの場合は(10)式を用いる。これに対して、直線が(23)式の等号が成立する場合を示している。これによると、精算による耐力式は常に(23)式の左辺を上回ることになり、式(2)の精算式により検討を行なうこともできるが、簡易法としての下式により検討は安全側となる。

$$\frac{P}{P_{cr2}} + \frac{M}{M_{cr2}} \leq 1.0 \quad (25)$$

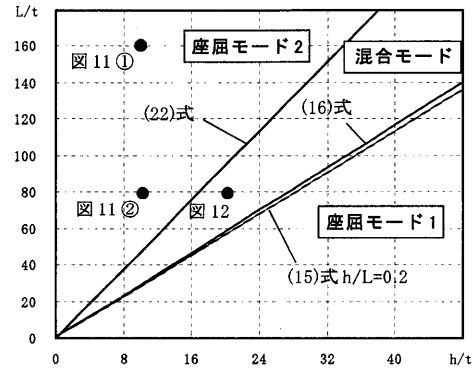


図10 座屈モードの区分

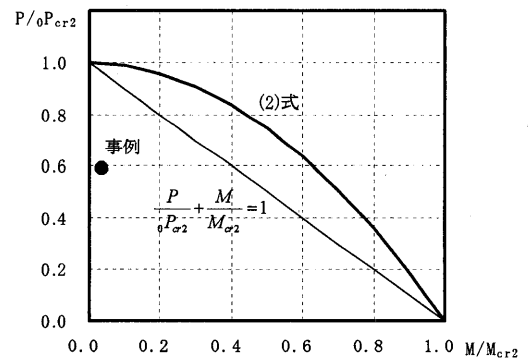


図11 座屈モード2の座屈耐力曲線

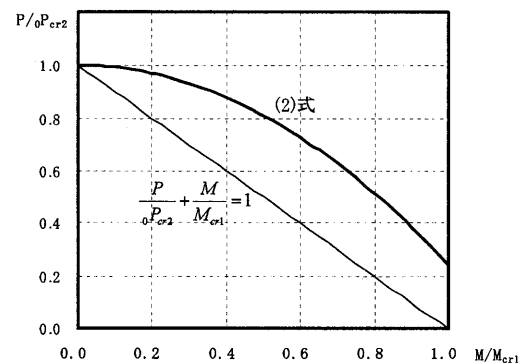


図12 混合モードの座屈耐力曲線

モード2の場合は、座屈補剛区間を座屈長さと考えて、従来の鋼構造設計規準で用いられている耐力式と同じものを用いることができ、さらに組合せ応力の検討方法も従来の方法が適用できる。実用的な平鋼柱やマリオンは L/h が5以上であり、ほとんどがこの範囲に入ると思われる。後述の住宅の事例で使用した平鋼はモード2に属し、その存在応力を図11中に示している。

圧縮がモード2、曲げがモード1の場合

上記同様に簡易法との関係について検討する。図12は $L/h=4$ 、 $h/t=20$ 、 $L/t=80$ の場合（図10中に示した条件）の検討結果である。精算による耐力式は常に(23)式の左辺を上回ることになり、これらについても(1)式又は(2)式の精算式により検討を行なうこともできるが、下式の略算式を用いることも可能である。

$$\frac{P}{P_{cr2}} + \frac{M}{M_{cr1}} \leq 1.0 \quad (26)$$

上記の議論は弾性座屈について行っているが、文献2)では限界細長比以下の場合には、モード1とモード2の小さいほうの耐力曲線に対して

Johnson 式を適用でき、実験結果も対応していることを示している。この考え方と鋼構造設計規準に準ずれば、純圧縮に対しては Johnson 式を適用し、純曲げに対しては座屈耐力が降伏耐力と上回る場合には降伏耐力を上限とすることにより弾塑性域の部材にも対応可能と考える。また、上記の耐力式を許容応力度設計法として用いる場合は所要の安全率を考慮することが必要となる。

5. 平鋼柱を用いた住宅の事例

平鋼部材の視覚的特徴を生かす目的で、偏心補剛された平鋼部材を使用して構造設計を行なった鉄骨造2階建ての住宅について述べる。前項までの検討に基づき、座屈モードの判定を行い座屈に対しての設計を行なったものである。建築設計は城戸崎和佐建築設計事務所、構造設計は金箱構造設計事務所による。

建物は12.6m×6.9mの長方形平面でコーナーは半径580mmのアーチとなっており、外周部は厚さ1.6mmの鉄板、厚さ2.3mmのパunchingメタル及びガラスによって覆われ、ファサードにグラデーションの効果を持たせていることがデザイン的な特徴である(写真4, 図13)。特に外周部の外装材にガラスを用いた箇所では完成後も構造体が見えるため、透明感つまり視覚的要素を考慮して平鋼柱 (FB-28×125) を用いた。大きなガラス面となっているのは南側に面した吹抜けを有するLDKの部屋である(写真5)。平鋼柱は外周の溝形鋼の梁の外側にに取り付けているため、柱が2層に渡って伸びているような印象を与え、特に外部から見た場合にその印象を強く与える(写真6)。平鋼柱は2階床部分で柱の横に取り付けている梁材により偏心して座屈補剛されている。

構造計画としては、内部の柱や梁にはH形鋼を用い、壁面となる部分にブレースをバランスよく配置した耐震計画とし、外周の架構は鉛直荷重と局部的な風荷重を負担させることとした(図14)。耐震設計はルート1の規定に基づいているが、ブレースは平鋼による引張ブレースを用い1次設計の2倍の応力で断面を決定している。内部の柱、梁は経済性を考慮した部材断面の選定、外周の見せる架構は視覚的要素を重視した部材選定を行なった。不透明な外装部の柱は角型鋼管 (125×75) を用いた。

2層分の長さで計算すると $L/t = 210$, $h/t = 4.46$ であるので(16)式の右辺は13.1となり、純圧縮、純曲げいずれに対しても座屈モード2が対応する。したがって、座屈補剛区間を偏心補剛された区間と見なし、通常の設計規準と同じ方法で設計を行なった。図15で l_1 及び l_2 は1階、2階の柱の座屈長さを示している。

柱脚ディテールはベースプレートアンカーボルトで留め付け、2階、R階は平鋼柱の片面にプレートを取り付け、高力ボルトにより梁と緊結している(写真7, 図15)。平鋼柱は柱脚、2階、R階での取り付けは弱軸曲げを拘束するように接合されており、また建物はブレース構造で水平剛性が大きいことを考慮し、支持長さで両端固定として座屈長さを計算すると183となる。平鋼柱が支えている最大の長期時軸力は21kN (圧縮応力度で 6.0N/mm^2) であり、長期許容圧縮応力度 28.6N/mm^2 に対して十分に余

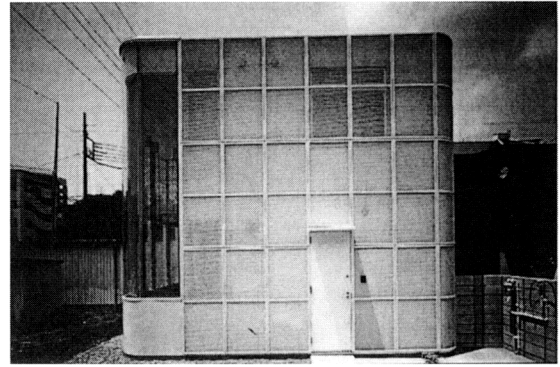


写真4 建物外観 (写真: 上田宏)

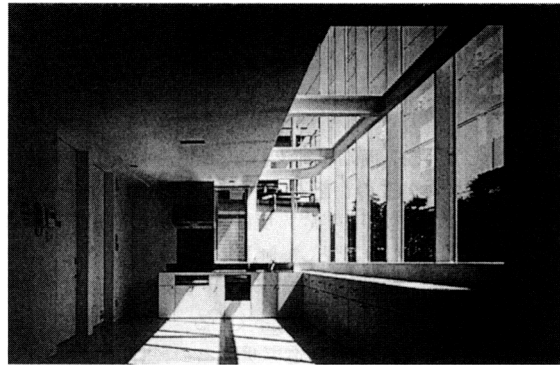


写真5 LDKの内観 (写真: 上田宏)

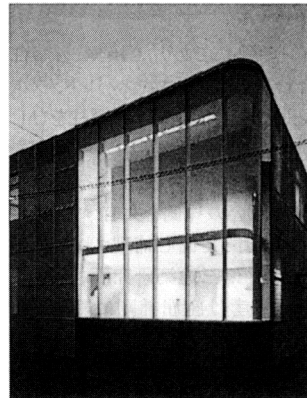


写真6 建物外観の夜景 (写真: 上田宏)

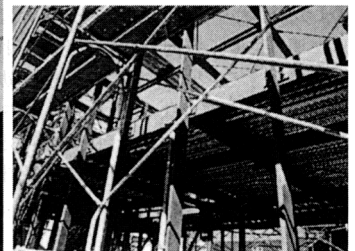


写真7 鉄骨建て方状況

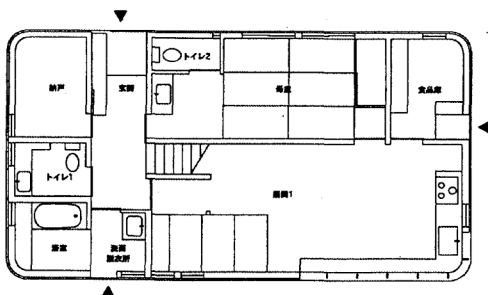


図13 1階平面図(1/200)

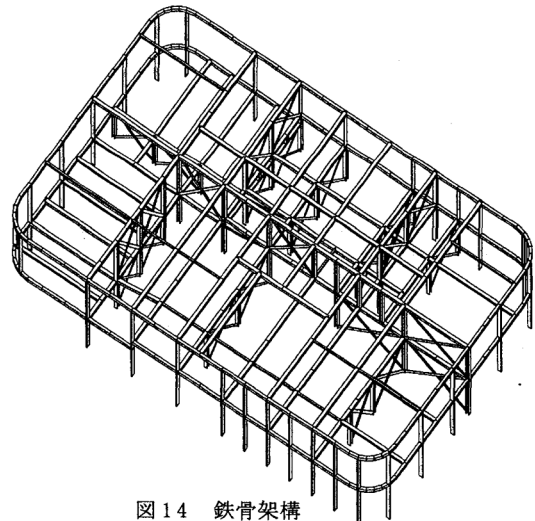


図14 鉄骨架構

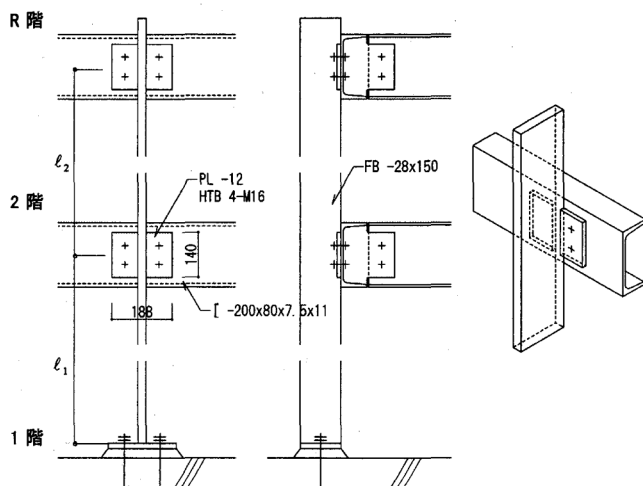


図 15 鉄骨詳細

裕を見て設計している。両端単純支持とした場合の長期許容圧縮応力度は 6.8N/mm^2 であり、この状態でも存在軸力は許容軸力を下回っている。風荷重によって曲げが生じ応力度は 8.1N/mm^2 と小さく、許容曲げ応力度は(21)式により A_f を $3t^2$ として計算した値の 235kN/m^2 に対して 3% 程度の値である。短期応力の組み合わせを図 11 の耐力曲線に示しているが、十分に余裕があるものとなっている。

偏心補剛された平鋼部材の構造デザインの可能性としての他の事例を紹介する⁴⁾。都内に建てられた鉄骨造 3 階建ての建物（地下 1 階は鉄筋コンクリート造）のオフィスビルで、 $10.39\text{m} \times 11.80\text{m}$ の正方形に近い長方形平面である(写真 8)。内部のアクティビティが外部に露出する透過性のある外壁を作ることがデザインの狙いであり、構造は透過性を考慮して平鋼柱を斜め材として組み合わせ、外周をエキスパンドメタルのような網状のベアリングウォール構造としたものである。平鋼柱をひし形に連続させ、方向の異なるそれぞれの部材によりお互いの中間部を座屈補剛することで平鋼の断面を有効に用いている。交差する部材同士は同一平面にはなく、それぞれが中間で互いの片側を共有するような配置となり、力学的にはそれぞれがお互いによって偏心補剛された状態となっている(写真 9、図 16)。建築設計は照井信三建築研究所、構造設計は STR デザイン研究所によるもので、筆者は座屈補剛に関する技術アドバイスをを行った。

6. まとめ

平鋼部材を圧縮力に対して偏心補剛、あるいは曲げモーメントに対して引張側となる部分で偏心補剛した場合には、二つのモードの座屈耐力式が考えられる。純圧縮、純曲げの座屈耐力に分けて考えることにより座屈モードは 3 種類に分類でき、簡易な式で判別することができ、圧縮と曲げの耐力比の和によって座屈設計が行なえることを示した。偏心補剛はある条件下において断面全体を補剛することと同等の効果が得られるが、本報告によれば実用的なほとんどの平鋼部材がこの条件に当てはまり、平鋼部材では偏心補剛が有効であることを示した。

偏心補剛された平鋼柱を用いた構造設計事例において、提案した手法により座屈モード判別、座屈設計を行なった。この事例では耐震要素を持たせず、鉛直荷重と風荷重を負担する柱として用いたものである。偏心補剛の方法を取り入れることにより、平鋼部材の扁平さを際立たせることができ、透明性の確保というデザインテーマの実現に寄与できた。この他に、事務所ビルの事例のように、偏心補剛された平鋼部材を耐震要素として使うことも可能である。

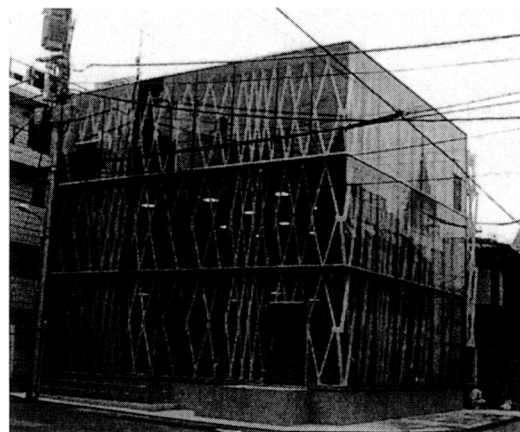


写真 8 建物外観

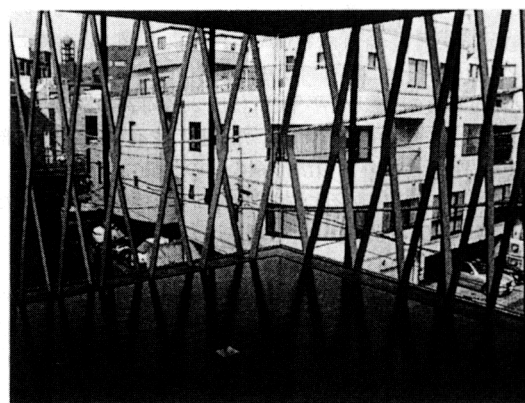


写真 9 平鋼柱の状況

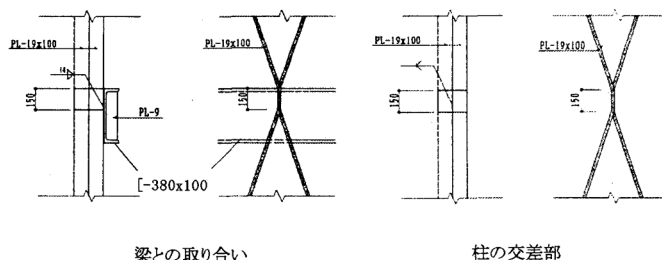


図 16 鉄骨詳細

謝辞

事例紹介にあたり、城戸崎和佐建築設計事務所の城戸崎和佐氏と STR デザイン研究所の橋本和重氏より資料の提供を受けました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 金箱温春, 竹内徹, 小河利行, 小形信太郎: 偏心補剛された平鋼圧縮柱の座屈性状, 鋼構造論文集, Vol.12, No.45, pp.147-153, 2005.3
- 2) 金箱温春, 竹内徹, 小河利行, 熊谷知彦: 偏心補剛された平鋼圧縮柱の座屈性状に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.606, pp.195-201, 2006.8
- 3) 日本建築学会: 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-, 2005
- 4) エキスパンドメタルを構造化する, GA JAPAN, No.81, pp.110, 2006.7

[2007年4月18日原稿受理 2007年7月26日採用決定]