I-99 側方拘束のない変断面鋼骨組構造物の最適設計

ミサワホーム岡山 正 員○小郷 昌典
名古屋大学 正 員 宇佐美 勉

1．緒言 著者らは文献1)～2)において，Beam-Columnの最適設計に関する論文を発表してきた．本研究は著者らの研究室で開発した局部座屈を考慮したはり－柱の強度相関式に有効座屈長の概念を導入し最適設計の定式化を行ない，側方拘束のない変断面鋼骨組構造物の最適設計を目的としている．

2．定式化 図１に示すような各要素iで幅b_i，厚さt_iの薄肉正方形箱形断面($t_i < b_i$)の変断面のラーメン構造物を考える．ここで，変断面とは部材を構成する要素ごとに断面形状が異なることを意味する．このような骨組構造物全体の重量を最小にする最適化を次のように定式化した．

目的関数： $F=\sum_{i}^{n}(A_i)\,l_i$ →最小化 （n:要素数） (1)

制約条件 ： $g_1 = R-1.2 \leqq 0$ (2)

（各要素について） $g_2 = L/r-120 \leqq 0$ (3)

$g_3 = 8-t \leqq 0$ （単位：mm） (4)

$g_4,\ g_5 \leqq 0$ (5),(6)

設計変数：$\{X\} = \{b_1, b_2, \cdots b_n, t_1, t_2, \cdots t_n\}$ (7)

関数g_4，g_5は次のように定義する．

$$g_4 = \frac{P}{P_u} + \frac{M_o C_m}{M_u(1-P/P_E)} - 1.0\ ,\quad g_5 = \frac{P}{QP_y} + \frac{M_o}{M_u} - 1.0 \qquad (8),(9)$$

ここで，

$$Q=0.7/R \leqq 1.0\ ,\quad R=\frac{b}{t}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}\cdot\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 \cdot 4}} \qquad (10),(11)$$

$$\frac{P_u}{QP_y} \begin{cases} =1.0 & (\bar{\lambda}' \leqq 0.2) \\ =1.109-0.545\bar{\lambda}' & (0.2<\bar{\lambda}' \leqq 1.0) \\ =\dfrac{1}{0.773+\bar{\lambda}'^2} & (1.0<\bar{\lambda}') \end{cases} \qquad (12)$$

$$\bar{\lambda}'=\sqrt{Q}\,\bar{\lambda},\quad \bar{\lambda}=\frac{KL}{r}\cdot\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \qquad (13),(14)$$

$$P_E=\frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}\ ,\ M_u=(5Q+3)M_y/8\ ,\ M_y=\sigma_y W \qquad (15),(16),(17)$$

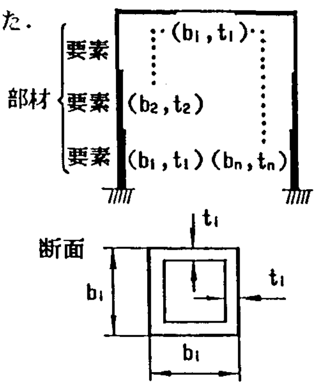

図１ 対象とする構造

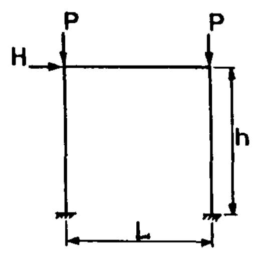

図２ １層のラーメン

ただし，式(1)～(17)に用いられる記号はσ_y=降伏応力,E=弾性係数,ν=ポアソン比，各要素について，b=幅,t=厚さ,A=4bt=断面積，l=要素長,$r=b/\sqrt{6}$=断面２次半径,$W=4b^2t/3$=断面係数，$I=2b^3t/3$=断面２次モーメント,$P_y=\sigma_y A$=降伏軸力，C_m=0.85=材端モーメント補正係数，各部材について，L=部材長,K=有効座屈長係数である．Pは各要素に働く軸圧縮力であり，M_oはその要素の両端の曲げモーメントのうち絶対値の大きい方の値である．制約条件g_1～g_5は各要素について考慮するが，部材長Lはその要素が属する部材の長さであることを注意しなければならない．また，有効座屈長係数Kの計算は文献4)の式により，各柱における平均的な断面２次モーメントを基に計算する．

3．計算法 最適化の計算法として，Backtrack法[2)]による部分構造の逐次最適化手法[3)]を用いた．この方法は構造物を幾つかの部分構造に分割し，部分構造ごとの最適化を逐次繰り返すことにより最適化を行う．この部分構造ごとの最適化をBacktrack法によって行なう．Backtrack法は，各設計変数の最小値，最大値および変化量を設定して得られる離散値の集合について，制約条件を満足しながら目的関数を最小に

する設計変数の値(最適値)を試行錯誤的に求める方法である．また，P, M_Bはマトリクス構造解析法を用いて求めている．

4　数値計算結果　図2のような1層のラーメン構造物に鉛直荷重Pと水平荷重Hとを載荷したときの最適化計算を行った結果を以下に示す．材質はSM50[降伏応力σ_y =3200 (kg/cm^2)]，はりの長さL＝1100cm，柱の長さh=1100cmとし下端は固定である．設計変数選択ケースとして①等断面，②幅一定タイプ，③幅変化タイプの３つの例を挙げる．ケース①～③は設計変数を断面形状が左右対称となるように選び，ケース①は１部材が１つの要素で構成されている場合であり，ケース②，③は柱とはりを各々４分割し，ケース②は部材で幅を一定，ケース③は各要素ごとに幅を変化させる．図３にP=400ton，H=80ton のときの最適解に対する幅厚比パラメータRと断面積の分布を示す．ここでは荷重として１つの組合せのみを挙げたが，他の組合せについても全般的にSM50材に対して得られた最適断面は，柱に対してはほぼ幅厚比パラメータRが0.7近辺にあることが多く，はりに対しては0.7より大きい場合が多くなることが解った．さらに多数の鉛直荷重Pと水平荷重Hとの組合せについて最適化を行ない，その最適解よりなる骨組の水平耐荷力H’を有効座屈長を使用しないP-Δ法[5]で求めた．ただし，照査式として$g_4=g_5=0$，$C_m=0.6+0.4M_2/M_1$を用いた．図４は無次元化によりP/P_yに対するH/H_yとH’/H_yとを示したものである．最適化でのH/H_yの値が同じP/P_yに対するH’/H_yに比べ全般的に小さい値を示していることが解り，最適化により得た断面の大きさは安全側であるといえる．ここでP_yは柱の降伏軸力であり，H_yは鉛直荷重Pがない場合の水平耐荷力である．

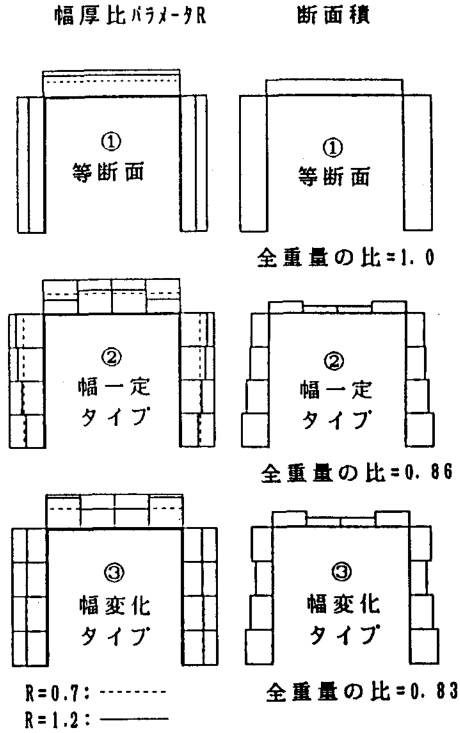

図3　最適解に対する断面寸法

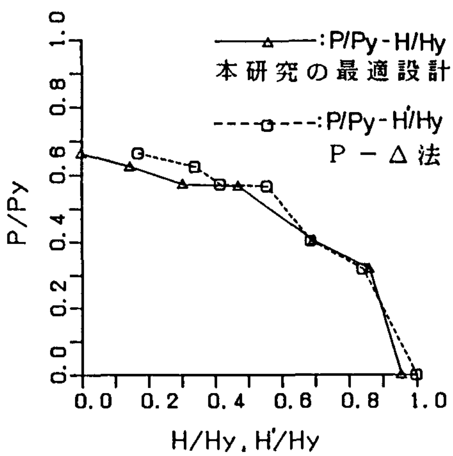

図4　P-Δ法による結果の検討

5．まとめ　骨組み構造を構成する部材を変断面にすることにより，より経済的に設計ができる．P-Δ法との比較により本研究で得られた最適計算アルゴリズムがほぼ妥当であることを確認した．また，文献1)で指摘されているように，高張力鋼になれば局部座屈を許す領域（R＞0.7）に最適断面がある場合が多くなることが解った．

参考文献

1)宇佐美・寺尾：土木学会論文集，第362号/I-4,1986.

2)吉野・寺尾・宇佐美：第41回土木学会年次講演会,1986.

3)浅野・吉野・宇佐美：第42回土木学会年次講演会,1987.

4)垣内・宇佐美：第42回土木学会年次講演会,1987.

5)Bruce G.Johnston : Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, A Wiley-Interscience Publication,1976