

新日本製鉄 正員 阪上 精希
名古屋工業大学 正員 長谷川 彰夫
名古屋工業大学 正員 松浦 聖

序 レベル1の最適設計(部材断面形状の最適化)については、今までの研究によってある程度の成果が得られ、将来の実務設計への適用の見通しは明るい。一方、レベル2の最適設計(与えられた骨組配置のもとでの構造系の構成部材断面比率の最適化)については、現在においても、新しい最適化手法の紹介や個別的な問題に対する適用例が検討されているに過ぎず、実務設計への適用にはほど遠い状態にある。レベル2の最適設計アルゴリズムを個別的に直接、実務設計の現場に持ち込むことは難しく必ずしも適当でない。レベル2の最適化を実務設計に貢献させるためには、骨組構造の最適断面比率の特性を定性的に把握し、実務設計の合理化および実務設計における初期値設定段階への最適化アルゴリズムの導入等に対する示唆を与えることが重要である。この目的に沿って、Fig. 1に示すフレーム構造に対し、レベル2の最適化を行う。独立断面積成分は4個とする。

最適化計算 最大荷重設計理論を用いて構成部材断面比率の最適化を行う。パラメーターは全て無次元量で評価する。設計項目として部材の全体座屈を含む許容縁応力、許容せん断応力及び許容節点変位を考える。最適化計算に必要な断面量は、 A (断面積)、 I (強軸回りの断面2次モーメント)、 W (断面係数)、 I_w (弱軸回りの断面2次モーメント)、 λ (横座屈に対する換算断面2次半径)及び A_w (ウェブ断面積)の6個である。ここでは、 $A = \alpha I^{\frac{1}{2}}$, $A = \beta W^{\frac{2}{3}}$, $I_w = \gamma I$, $\lambda = \xi \sqrt{I_w/A}$, $A_w = \eta A$, とおき、 I , W , I_w , λ , A_w を断面積 A のみで表現する。したがって最適化計算における部材の独立変数は A のみとなる。ここでは、全部材に2軸対称H形断面を用い、断面形状を与える係数 α , β , γ , ξ , η としては、はり-柱に対するレベル1の最適化の結果を基本におき、 $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.03$, $\gamma = 0.6$, $\xi = 1.05$, $\eta = 0.13$ の値を用いる。 γ , ξ は柱およびはりの全体座屈を考慮した場合に必要なパラメーター、 η はせん断を考慮した場合に必要なパラメーターである。鋼種は降伏応力 $\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ とする。構造解析は、無次元化した通常のマトリックス構造解析を用いるが、計算時間を短縮するため、適宜、断面力や節点変位の近似を工夫する。最大荷重設計理論において、

$$P_{\max} (= \delta_{\max} / \phi_{\ell}) = \max_j (\min_i \bar{P}_j)$$

ここで、 $\delta_{\max}$ = 適用可能最大等分布荷重、 ℓ = 基準長(ここでは部材長、

$$\bar{P}_j = \text{状態能力関数}, \quad A = (A_1/\ell^2, \dots, A_4/\ell^2), \quad j = \text{設計項目}$$

で定義される制約条件のない非線形関数の最大化手法として、Powellの共役方向法を用いる。

結果の考察 最大荷重設計理論では目的関数が適用可能荷重であるが、応用上は、最適解を与える幾何学的変数の値が重要であり、ここでは、最大荷重を与える最適断面比率について検討する。変位制限が最適断面比率に及ぼす影響を調べる。設計項目として変位制限($u/\ell \leq 1/200$)、座屈を考慮しない許容縁応力、を考えた場合の結果をFig. 2に示す。横軸は、

$$1/R = \sum_i A_i \ell_i / \ell^3 \quad (\ell_i \text{は} A_i \text{の独立断面積成分をもつ部材の長さ})$$

であり、構造系の総体積に比例する無次元量である。骨組配置(ℓ_i)が与えられているため、 $1/R$ が小さい領域では構造系はスレンダー、大きい領域ではマッシブである。縦軸 $A_i \ell_i / \sum A_i \ell_i$ は i 番目の独立断面積成分を持つ部材総体積の構造系全体に対する最適比率を示す。 $1/R$ の小さい領域で、変位制限が最適比率を決定する支配要因となる傾向がわかる。全体座屈の考慮による許容縁応力の低下が最適断面比率に及ぼす影響を調べる。設計項目として許容縁応力、許容せん断応力を考えた場合の結果をFig. 3に示す。 $1/R$ の小さい領域では許容縁応力の低下が著しくなり、座屈考慮の有無による最適比率の相違が現われる。計算を行った $1/R$ の領域では、座屈考

慮の有無にかかわらず、最適状態において柱部材 (A_1 と A_2) は縁応力が全応力、はり部材 (A_3 と A_4) はせん断応力が全応力となった。 $1/R$ が大きくなるにつれ、せん断応力に支配される部材の比率は増加し、縁応力に支配される部材の比率は減少する。許容せん断応力と最適断面比率の関連を調べる。設計項目として許容縁応力、許容せん断応力を考えた場合の結果を Fig. 4 に示す。 $1/R$ が非常に小さい領域 ($1/R \leq 0.4 \times 10^{-2}$) では許容せん断応力が支配条件からはずれ、全部材が縁応力によって支配される。図から、せん断応力制限が最適断面比率に大きな影響を与えることがわかる。変位制限のみを設計項目とする場合の結果を Fig. 5 に示す。最適断面比率は $1/R$ の値に関係なくほぼ一定となる。今まで、係数 ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$) を特定した場合の結果を示したが、これらの係数が構造系の最適断面比率に及ぼす影響を調べる。設計項目として許容縁応力、許容せん断応力を考えた場合の結果を Fig. 6 に示す。5 つの係数は互いに独立とはならないが、2 軸対称 H 形断面に適合する 4 つの場合について計算した結果によれば、最適比率の相違は必ずしも大きいものではなく、最適比率は部材断面形状に対して敏感である。

参考文献 1) 長谷川彰夫, 岡崎光央, 松浦聖, “最大荷重設計による柱およびはり柱の最適特性”, 第 27 回構造工学シンポジウム講演集, 昭和 56 年 2 月, P1 ~ 10

