

名古屋工業大学の学生員 岡崎 光央
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

1. まえがき

構造物の最適設計に関する研究では、最小重量設計をはじめ数多くの手法が開発され、実行されている。しかし、その多くは解析が複雑なため数学的手法が重視され、最適設計の本来の目的を見失う危険性がある。このような現状を踏まえ、本研究では、実用設計に直結した簡易な最適化手法としての最大荷重設計を鋼構造部材に適用し、断面形状の最適化を行なう。数値計算に当ってはパラメーターすべてを無次元化し、解の汎用性を高めた。また、形鋼等のカタログと関連させて、最適断面特性の実用性も検討した。

2. 部材断面の最適化

(1) 最適化計算 Fig 1 に示すような2軸対称H形断面の柱、梁-柱および梁の最適化を行なう。考慮すべき設計条件として 1) 柱の全体座屈崩壊(曲げ座屈及び横倒れ座屈)、2) 板要素(フランジ及びウェブ)の局部座屈崩壊がある。梁の場合には、さらに 3) せん断力による局部座屈崩壊、4) たわみ を追加する必要がある。規定関数は、1)~3) では道路橋示方書の根拠となった基本耐荷力を基本として用い、安全率を1.7として与えた。4) は $l/300$ を用いた。梁-柱では、軸力と曲げに対してFig 1 のように偏心荷重 P を考え、偏心距離 e を $e = Kh$ とし、 K をパラメーターとして最適計算を行なう。偏心比 $K = 0$ は柱を意味する。柱および梁-柱については、すでに一定の成果²⁾が得られているため、ここでは、梁の場合を考える。いま、薄肉断面を仮定し、次のような無次元量を定義する。 $R = l^2/A$, $g_y = \sqrt{E/\sigma_y}$, $\bar{M} = M/(\sigma_y \cdot l^2)$, $x_1 = b/t_f$, $x_2 = h/t_w$, $x_3 = A_w/A_{cf} = (h \cdot t_w)/(b \cdot t_{cf})$. 重量一定のもとでの最大荷重設計の最適化アルゴリズムにより状態能力関数 $\bar{M}_j$ と適用可能最大曲げモーメント $\bar{M}_{max}$ を求めると

$$\bar{M}_j = f(x, g_y, R) \quad (j=1, 2 \cdots 4) \quad (1)$$

$$\bar{M}_{max} = \max_{j} \{ \bar{M}_j(x) \} \quad x = (x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

となる。実際の設計では、一般に柱長 l は与えられるので、 $R = \text{一定}$ は断面積一定 すなわち重量一定と等価になる。また、鋼種 g_y も与えられるので、最適計算において式(2)は R と g_y をパラメーターとする3変数の極値問題に帰着できる。

(2) 結果の考察 鋼種にSS 41 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) を選び、制約条件を持たない多変数関数の最適化手法としてシンプレックス法を用いて計算した結果をFig 2 及びFig 3(a~c)に示す。Fig 2において、一般化細長比 R が増加する即ち部材がスレンダーになるにつれて、適用可能最大荷重 $\bar{P}_{max}$ 及び $\bar{M}_{max}$ は低下している。また、 $R = \text{一定}$ 即ち重量一定のもとで曲げモーメントの比率が大きくなるにつれて、 $\bar{P}_{max}$ は減少している。Fig 3(a~c)は一般化細長比 R に対して適用可能最大荷重 $\bar{P}_{max}$ 及び $\bar{M}_{max}$ を与え

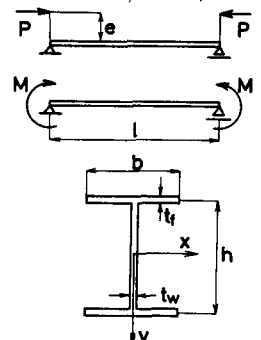


Fig. 1 二軸対称H形断面の梁-柱及び梁

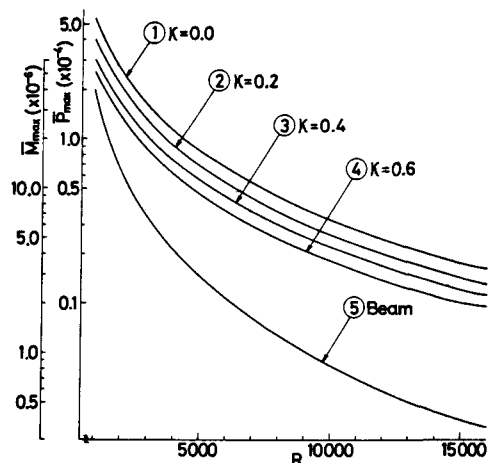


Fig. 2 H形断面梁-柱及び梁の $\bar{P}_{max}$, $\bar{M}_{max}$ と R の関係

る時の最適断面形状をまとめたものである。柱及び偏心比の小さい梁-柱では、フランジとウェブの最適幅厚比 b/t_f , h/t_w が R の増加にしたがい一定値に収束する傾向を持つ。偏心比の大きい梁-柱及び梁では、 R の増加に従い最適幅厚比も増大する。最適面積比 A_w/A_{cf} でも、増加傾向が減少傾向に変わっているもの、変化の特性は相似している。最適幅厚比、面積比ともに梁の結果が柱および梁-柱に対して大きく相違していることは注目される。ただし、ここで取り上げた梁では、補剛材を配するプレート・ガーダを含まないことに注意する必要がある。

3. 部材の最適断面特性

構造物全体の最適設計においては、レベル1（構造要素の最適化）とレベル2（構造系の最適化）との分離、独立が解析上有効である。レベル2では構成部材の断面比率が問題となるため、レベル1での最適断面特性を部材の断面積と結びつけて検討することが好ましい。断面積との間に次のような定数を定義する。

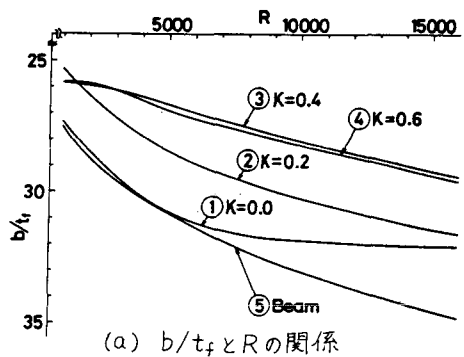
$A = \alpha I^{1/2}$, $A = \beta W^{2/3}$, $I_w = \gamma I$, $i = \xi \sqrt{I_w/A}$, $A_w = \eta A$
 ここで、 A は断面積、 A_w はウェブの断面積、 I は強軸に関する断面2次モーメント、 W はその断面係数、 I_w は弱軸に関する断面2次モーメント、 i は梁の耐力力に関する換算断面2次半径である。例えば、Fig 4 は Fig 3 (a~c) で求めた柱、梁-柱及び梁の最適計算結果より α の値を算出し、一般化細長比 R に対してまとめたものである。 R に対して α の変動は小さく、ほぼ一定値とみなされる。また、一般化細長比 $R = \text{一定}$ のもとでは曲げモーメントの比率が大きくなるにつれて、 α の値は小さくなる。市販されている圧延H形鋼のカタログ³⁾ から α の値を計算すると、平均値として、広幅系列で0.86、中幅系列で0.59、そして細幅系列で0.55という値が得られた。Fig 4の結果によれば、梁では $\alpha = 0.35$ 程度であり、さらに細幅が好ましいと言えるなど、これらの結果とカタログとの比較は検討に値する。

4. 結論

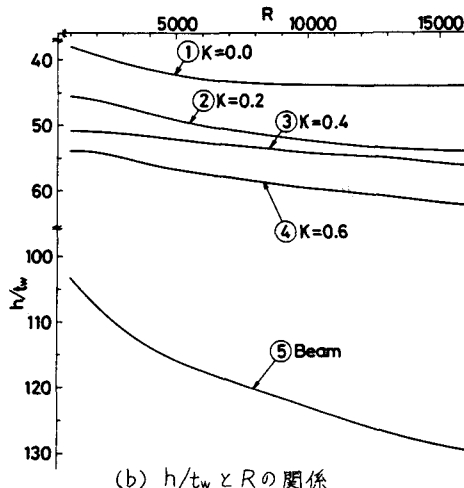
最大荷重設計に基づき柱、梁-柱及び梁に対して、板の幅厚比制限をはずし局部座屈をも考慮した断面の最適化を行なった。レ Fig. 3 ベル1（断面の最適化）とレベル2（構造系の最適化）を結びつけるため、断面積のみで表示される断面諸定数を求めた。

参考文献

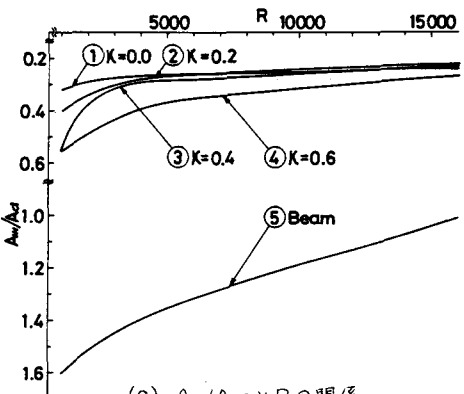
- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編 丸善 昭和55年
- 2) 長谷川 彰夫，岡崎光央，松浦 聖，“最大荷重設計による柱および梁-柱の最適特性”，第27回構造工学シンポジウム講演集，昭和56年2月，P1~10
- 3) 日本鋼構造協会：建設用鋼材資料集1973



(a) b/t_f と R の関係



(b) h/t_w と R の関係



(c) A_w/A_{cf} と R の関係
 H形断面梁-柱及び梁の最適特性

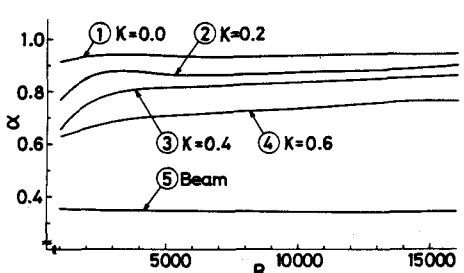


Fig. 4 H形断面梁-柱及び梁の α と R の関係