

名古屋工業大学 正員 長谷川 彰夫
兵庫県 正員 福岡 誠司
名古屋工業大学 正員 松浦 聖

最適化の手法

最適構造設計の新しい考え方として著者の1人がすでに最大荷重設計を提唱している。¹⁾²⁾

本研究はその有効性をさぐるため、プレート・ガーダーの断面の最適化を取り上げる。対象は単純支持された等分布または中央集中荷重を受ける2軸対称のプレート・ガーダーで、その断面形状パラメーターをFig.1に示す。水平、垂直面補剛材の配置の有無は最適化において考慮する。最大荷重設計の最終的アルゴリズムは¹⁾²⁾

$$\bar{P}_{\max} = \max_{\bar{P}} \{ \min_{\bar{P}_i} \{ \bar{P}_i(\bar{L}_i, \bar{Y}) \} \} \quad (i = 1, n, i = 1, n) \quad (1)$$

ここで $\bar{P}$ は荷重、 $\bar{P}_i$ は状態能力関数で $\bar{P}_i = \bar{C}_i / \bar{A}_i$ ($\bar{C}_i$ =規定関数、 $\bar{A}_i$ =構造解析関数)、 i は考慮する設計項目である。また、 $\bar{L}_i$ は幾何学的パラメーター、 $\bar{Y}$ は材料特性を表わす量である。Fig.1の場合に対しては

$$\bar{P}_i = f_i(b, t_f, r, t_w, l, E, \sigma_f) \quad (2)$$

となるが、重量一定のもとでの最大荷重設計という特質とプレート・ガーダーの断面の力学的特性を考慮した上で変数の無次元化を行う。いま、次の無次元量を定義する。

$$\left. \begin{aligned} R &= l^2 / A = l^2 / (2b t_f + r t_w), \quad \beta = A_w / A_f = r t_w / b t_f, \quad x_1 = b / t_f, \quad x_2 = r / t_w \\ g_y &= \sqrt{E / \sigma_f}, \quad \text{かつ} \quad \bar{P} = P / g_y l \quad (\text{等分布荷重}) \quad \text{または} \quad \bar{P} = P / g_y l^2 \quad (\text{集中荷重}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

この無次元量を用いると無次元化された状態能力関数は次のように与えられる。

$$\bar{P}_i = \bar{f}_i(R, x_1, x_2, \beta, g_y) \quad (4)$$

プレート・ガーダーで代表される鋼集成部材では x_1, x_2 は幅厚比制限により、その上限が与えられるとともに、最適断面ではその上限値をとることが力学的に自明である。また、一般にスパン l が与えられた上で最適断面を求めることから、重量一定の条件は $R = \text{一定}$ と等価である。すなわち、重量一定の拘束条件が独立変数を1つ減らすことに役立つ。使用鋼種を i と与えるものとすれば、結局、式(4)は

$$\bar{P}_i = \bar{f}_i(R, x_1, x_2, g_y) \quad (5)$$

となり、最適計算にかかわるパラメーターを1つにまで落とせ、かつ、式(1)で表わされる拘束条件を持たない関数の最大値を求めるという非常に簡単な問題に帰着することができる。

数値計算例と考察

最適設計をする際に準拠する設計示方書として現行の道路橋示方書³⁾を適用する。考

慮する設計項目は1)許容曲げ圧縮応力度(硬座版を考慮)、2)許容せん断応力度、3)許容たわみ($l/500$)、4)ウェブ幅厚比制限、および5)フランジ幅厚比制限で実用上考慮すべき項目は全て含む。この中で4)、5)の拘束条件は前述の x_1, x_2 を最大値に固定することで実際の最適計算の中では考慮する必要がない。

実用上、有用な情報を得ることを目的として数値計算した最終の結果をFig.2~6に示す。図では適用し得る最大許容荷重 $\bar{P}$ とそのときの最適な一般化細長比 R および最適形状比 β の関係を与えるチャートとして示す。適用にあたっては、荷重とスパンおよび鋼種が与えられると $\bar{P}$ が決まり、チャートから最適な R を求めて最小断面積 A を決め、次に下象限からそのときの最適な β を求めてウェブと圧縮フランジの面積比を決定する。以上の手順で最終的に断面を確定する。Fig.2は垂直あるいは水平補剛材の有無によって適用最大荷重と最適形状比如何に変わるかを示したものである。道路橋示方書では l/b の制限を使用上の配慮から経験的に与えているが、その制限の有無による最適特性の相違も示した。()内の数値は最適断面を与えるときの l/b の値を示す。 R が大きくなるときの実線は $l/b \leq 30$ の条件より最適断面は $l/b = 30$ で決まり、唯一の独立変数である β さえもその制限から決定されることを示す。計算結果の内容から R が小さいときはせん断応力、 R が大きるときは曲げ応力

で最適断面が支配されることがわかるが R が小さい場合の最適値の特性はその支配拘束条件の変化に由来する。

Fig. 3 は鋼種による最適特性の相違を示す。 P_{max} の値としては SM53 の結果が SS41 での値より小さくなっているが、これはそれぞれの降伏応力で無次元化しているためで絶対値としての最大荷重は SM53 の方が高いのは当然である。ただ無次元量としてこれだけの差が出てくるのは、鋼材の単価も考慮した費用設計の立場から検討に値しよう。Fig. 4 は実際の設計と離れて横座層を全く考慮しない場合の結果を考慮した場合と比較したものである。横座層を考慮しない場合、最適断面を与える $\alpha = A_w/A_c$ の値は、曲げ応力で決まる場合、簡単な解析計算でも明らかなように 2.0 となるが、 R が非常に小さい場合はせん断、大きい場合はたわみにより支配され、 α の最適値が変化するのがわかる。参考のため、同図には実際の鉄道橋プレート・ガーダーの標準形の例を示す。

Fig. 5 は等分布荷重と集中荷重の場合を比較したもので、得られる最大荷重に相違はあるが、 R が小さくせん断で決まる場合を除き、最適断面は同一であり、荷重の分布性状には鈍感であることがわかる。Fig. 6 はたわみによって支配される状況を把握するため、たわみ制限を厳しくと、た場合を比較したものである。ケース I がせん断から曲げで支配されているのに対し、ケース II、III でたわみによって支配されることによる最適断面形状の変化の状況が図から読みとれる。

参考文献 1) Hasegawa, A., Hall, W.B. and Lind, N.C., "Maximum Load Design of Cold Formed Steel Channel Beams", Proc. of ASCE, Vol. 104, No. ST7, July 1978 2) 長谷川彰夫, "最適設計手法としての最大荷重設計", 第 33 回土木学会年次講演集第 1 部, 昭和 53 年 9 月 3) 道路協会, "道路橋示方書同解説", 昭和 48 年

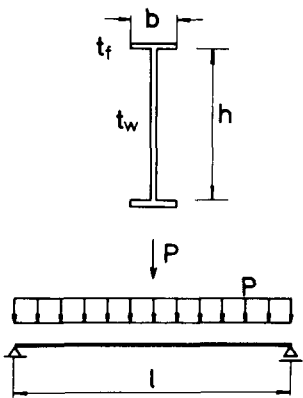


Fig. 1 最適化の対象

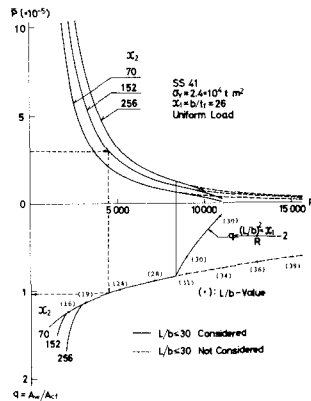


Fig. 2 補剛材の有無による相違

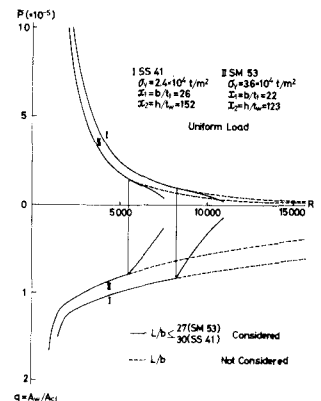


Fig. 3 鋼種による相違

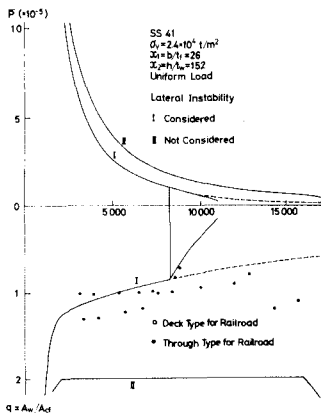


Fig. 4 横座層考慮の有無による相違

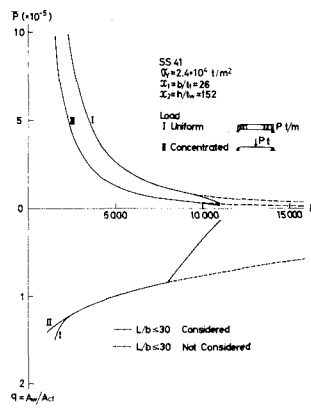


Fig. 5 荷重様式による相違

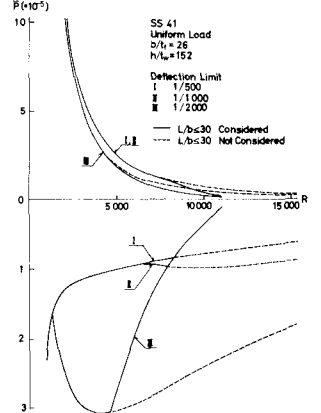


Fig. 6 たわみ制限の卓越