

横河橋梁製作所	正員	小桜 義隆
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. 序

構造要素の最適化を、板要素の局部座屈崩壊を考慮して最大荷重設計により実行すると、制約条件を持たない多変数関数の極値問題となる。この場合の解の収束性から生じる最適断面の特性について報告する。

2. 適用例

Fig. 1 に示す 2 軸対称 I 形プレート・ガーダーの最適化を考える。この場合、フランジとウェブの板要素の最大幅厚比は、道路橋示方書では先行座屈防止の意味で規定されている。本研究では、その規定をはずし、より一般的な板の局部座屈崩壊を考慮して断面の最適化を行なった。

最適設計に必要な設計項目は 1) 圧縮を受けるフランジの板要素、2) 曲げを受けるウェブの板要素、3) 横倒れ座屈、4) せん断を受けるウェブの板要素、5) にわみ である。この中で 1) ~ 4) は基本耐荷力を安全率 1.7 を除いた形で、また 5) は道路橋示方書に準拠して規定関数を与えた。最大荷重設計による最終的な状態能力関数 $\bar{P}_j$ ($j=1, 2, \dots, 5$) と最大荷重 $\bar{P}_{max}$ は次のようになる。

$$\bar{P}_j = \bar{f}_j(R, \bar{Y}) \quad (X) \quad X = (x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

$$\bar{P}_{max} = \text{Max} \{ \text{Min} \bar{P}_j(X) \} \quad (2)$$

ここで $\bar{P} = P / (0.9 \cdot L)$, $R = I^2 / A = I^2 / (2bt_f + htw)$, $\bar{Y} = \sqrt{E / \sigma_y}$, $x_1 = b / t_f$, $x_2 = h / tw$, $x_3 = A_w / A_{cf} = (htw) / (bt_f)$ であり、それぞれ無次元量で定義されたものである。

3. 計算法と結果

最適化計算は式(2)で示すように、3 変数の最大化問題となる。計算を実行する場合の大きな問題は収束判定条件を如何に設定すべきかである。ここでは、最大荷重 $\bar{P}_{max}$ や幾何学的無次元量 X の実用上の近似値を知るという立場から、収束判定条件を非常に緩和させて与え、収束性を良好にして計算させた。解法は、直接探索法の 1 つであるシンプレックス法で、収束判定条件に目的関数の許容誤差 ε_1 、独立変数の許容誤差 ε_2 、許容最大反復回数 N_{max} の 3 条件を設け、これらが全て満たされたとき収束と判定する。計算は 18 ケー

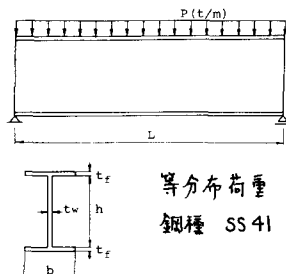


Fig. 1 適用例

スの初期値の組を $R = 1500$ と与え、2000 間隔で $R = 17500$ までの 9 点で収束値を求めた。個々の R の初期値は前の R で収束した独立変数の値とした。その際の収束判定条件の設定評価としては次のように取り扱った。許容誤差 ε_1 は、本来、絶対量で与えられるが、本計算では、独立変数に対しては正規化し、目的関数についての 1 回の試行計算を行なうことにより、おおよその $\bar{P}_{max}$ を推定し、それぞれの許容誤差を許容相対誤差 $\bar{\varepsilon}_1$, $\bar{\varepsilon}_2$ に変換して収束条件を設けた。その値として $\bar{\varepsilon}_1$ を約 2%, $\bar{\varepsilon}_2$ を (1 ~ 4) % とした。(1 ~ 4) % の意味は、最初 $\bar{\varepsilon}_1 = 1$ % を与え、収束しなければ 4 % まで次第に緩和して収束させるということである。また、 N_{max} は実用的な計算時間を考えて 500 回とした。以上の要領で計算した結果が Fig. 2, Fig. 3 である。Fig. 2 は R と最大荷重の関係、Fig. 3 は最大荷重を与える各独立変数 b/t_f , h/tw , A_w/A_{cf} の関係を示したものである。

Fig. 2 では、18 個の収束値による目的関数の最大値 $\bar{P}_{opt max}$, 最小値 $\bar{P}_{opt min}$, 及び平均値 $\bar{P}_{opt av}$ を示した。さらに下に、各 R の値に対して収束値を決定した状態能力関数と初期値の組を () 内に記入した。2 つの状態能力関数の表示はその交点で収束したことを示す。この図から R が小さいときは、収束値の変動が小さくなり、

R が大きくなると変動が大きくなるのが分る。これは R が大きくなるにつれて、 $\bar{E}_2$ が大きくなる(最大4%)で収束したためである。収束値を決定した状態能力関数は、 R が小さいときは板要素の局部座屈特性がある程度支配し、 R が大きくなるとほぼ完全に横倒れ耐力が最大荷重が決まり、ということが分る。

Fig. 3a~cは、Fig. 2に対する図で、独立変数の収束値をa); $\bar{P}_{opt \min}$ に対応する値、b); 18個の収束値の平均値、c); $\bar{P}_{opt \max}$ に対応する値を実線で、収束値の最大値、最小値を連ねる線を一点鎖線で示したものである。また、特定の $R=5500$ と13500の収束値を点でアロットした。

4. 考察

Fig. 2の最大荷重は、初期値の値にかかわらず一定の狭い領域に入り、収束性が安定している。しかも曲線はなめらかである。しかし、Fig. 3の各独立変数の値は初期値の設定によるバラツキが大きく、1点のみの収束値の信頼性は低い。その意味で、18個の独立変数の収束値の平均値曲線bは初期値設定の任意性を除外したものととなり、収束性を安定させた値としては有効なものになり得る。さらに、独立変数の収束値の平均値bを式(2)の目的関数に代入して検算すると、目的関数の収束値自身の平均値 $\bar{P}_{opt \text{ av}}$ に対応することが分った。一方、収束判定条件を厳しくすると、初期値のとり方により収束しない場合が頻繁に現われる。たとえば、 $\bar{E}_1 \approx 0.1\%$ 、 $\bar{E}_2 \approx (0.1 \sim 0.3)\%$ 、 $N_{\max} = 1000$ として、Fig. 2, 3を得たと同様に計算すると、18ケースの初期値の組に対して、全 R に対して収束するケースは全くなく、計算時間は約2倍程度を必要とした。また、 R の値により収束した場合でも最適独立変数の R に対する変化は必ずしもなめらかにならず、その信頼性には限界があった。

確かに、収束判定基準を厳しくとり、それが収束した場合に、目的関数が真の極値に近づくことは事実であるが、最適設計において重要なのは、最適変数の安定性、初期値のとり方によらない一定幅の収束性の保証、計算時間の短縮等を考えると、本研究で採用した収束値の平均値の概念による方法は有効である。

5. 結論

本研究のような多変数関数の最大化問題では、収束判定を厳しくすることの不都合、解の不安定性を克服するために、収束判定条件を緩和して任意の多変数の初期値による収束値の平均値の概念を導入すれば、実用的に適確な最適特性を得ることができる。

ここで扱ったプレート・ガーダーは適用例であり、実際には非対称、かつブレースを持つ場合も多い。今後このような要因も検討する必要がある。(参考文献)

1) 道路協会, “道路橋示方書・同解説”, 昭和48年

2) 長谷川彰夫, 福岡誠司, 松浦聖, “最大荷重設計によるプレートガーダーの最適設計”, 第34回土木学会年次講演概要集 第1部, 昭和54年10月

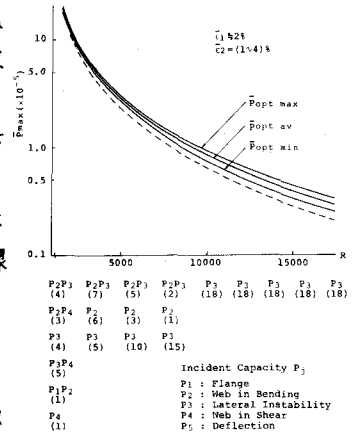


Fig. 2 $\bar{P}_{\max}$ と R の関係

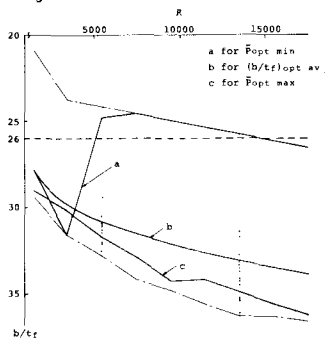


Fig. 3a b/t_f と R の関係

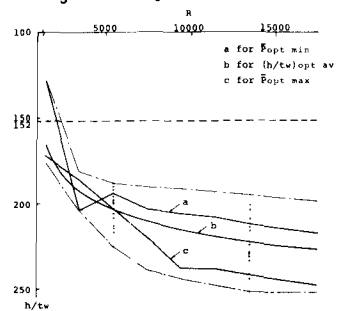


Fig. 3b b/t_w と R の関係

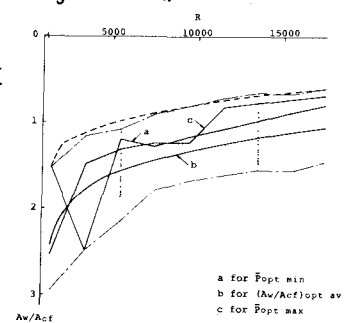


Fig. 3c A_w/A_{cf} と R の関係