

山 口 県 正員 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：一般に構造物の最適設計は 1) 構造部材断面の最適化(レベル1), 2) 骨組構造物の部材断面配分の最適化(レベル2), および 3) 骨組配置の最適化(レベル3) に分けることができる。レベル1は 構造部材が与えられたときの最適断面形状の決定問題となる。この最適化は 独立変数が少なく数値解析が容易であり, 最適解の汎用性も高いためかなりの成果が得られている。^{1), 2)} レベル2は 荷重および骨組配置が与えられたときの部材断面の最適配分を求める問題である。この場合 独立変数が多く, 最適化計算に当っては 構造解析の繰り返しが必要となり, 計算量が飛躍的に増大する。レベル2の骨組断面配分の最適化に関しては, すでに簡単なトラス構造,³⁾ フレーム構造⁴⁾ について検討されている。ここでは, 橋梁構造に主として用いられる連続桁を対象に, 最大荷重設計による最適化を実施し, その最適特性について考察する。

2. 部材断面配分の最適化：Fig 1 に示す2軸対称I形断面を有する三等径間連続桁の最適断面配分を求める。荷重は等分布荷重 q と考える。独立変数は各径間で等分割された断面積 A_i ($i=1\sim5$) とする。分割点では横補剛されているものとする。計算の効率化, 最適解の汎用性を高めるために次のような無次元量を定義する。

$$\bar{A}_i \equiv A_i / l^2, \quad \bar{l}_i \equiv l_i / l, \quad R \equiv 1 / \sum \bar{A}_i \cdot \bar{l}_i, \quad g_y \equiv \sqrt{E / \sigma_y}, \quad \bar{P}_{\max} \equiv q_{\max} / \sigma_y \cdot l \quad (1)$$

ここで l は径間長, l_i は i 番目の部材長, R は連続桁全体の体積の逆数に比例する無次元量, σ_y , E は材料の降伏応力度, 弾性係数, $q_{\max}$ は適用可能最大等分布荷重である。いま 鋼種 g_y , および各部材長 l_i を与え, 連続桁全体の重量一定($R = \text{一定}$)の条件を導入すれば, 最大荷重設計のアルゴリズムは次のように表わせる。

$$\bar{P}_{\max} = \max_{\bar{A}_i} \{ \min_j \bar{P}_j(\bar{A}_i) \} \quad (2)$$

ここで $\bar{P}_j$ は $\bar{P}_j \equiv C_j / S_j$ で定義された j 番目の部材の無次元化状態能力関数である。 C_j , S_j はそれぞれ j 番目の部材の無次元化規定関数, 構造解析関数である。各部材要素での規定関数および構造解析関数を求めるに必要な断面量は, 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), i (横座屈に対する換算断面2次半径) および A_w (ウェブ断面積) である。構造物の断面配分の最適化では, 各部材要素への断面の最適配分が目的のため, レベル1の最適設計の成果としての最適断面特性は断面積と結びつけて整理されることが必要となる。従って, 次のような断面積を結びつける係数 α , β , γ , ξ , η を定義する。¹⁾

$$A \equiv \alpha I^{1/2}, \quad A \equiv \beta W^{2/3}, \quad I_w \equiv \gamma I, \quad i \equiv \xi \sqrt{I/A}, \quad A_w \equiv \eta A$$

ここでは, レベル1のプレート・ガーダーにおける最適断面特性値を用いることにし, $\alpha = 0.28$, $\beta = 0.49$, $\gamma = 0.015$, $\xi = 1.236$, $\eta = 0.518$ を与える。²⁾

3. 計算結果の考察：鋼種にSS41 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) を選ぶ。構造解析は, 無次元化したマトリックス構造解析を用いる。式(2)

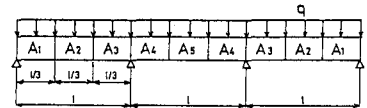


Fig. 1 三径間連続桁

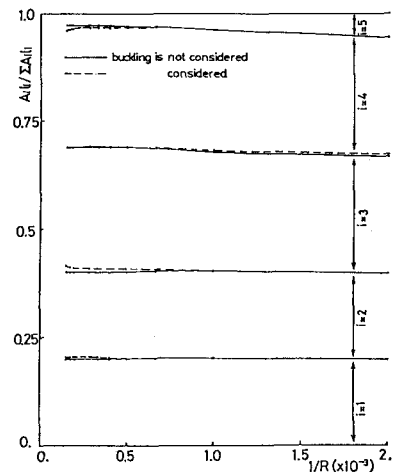


Fig. 2 座屈考慮の有無による最適断面配分の比較（せん断考慮）

に与え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。最大荷重設計の最適化計算により得られる結果は、適用可能最大荷重およびその時の最適断面配分である。ここでは、構造物の最適特性の把握を目的とし、最適断面配分について検討する。Fig. 2 には、設計条件として、許容せん断応力、座屈考慮の有無による許容縁応力を考慮した場合の結果を示す。横軸は式(2)より $1/R = \sum \bar{A}_i \bar{l}_i$ であり、構造物の総体積を表わす。縦軸は i 番目の部材の最適断面配分 $A_i \cdot l_i / \sum A_i \cdot l_i$ である。図より、座屈考慮の有無によらず、最適断面配分の相違はほとんどなく、 $1/R$ に無関係にほぼ一定値をとる。これは、連続桁では多くの部材が曲げ部材であり、各部材とも似た傾向で横座屈による許容応力が低下するためであろう。Fig. 3 には、設計条件として座屈を無視した許容縁応力、許容せん断応力の有無を考慮した場合の結果を示す。最適断面配分は $1/R$ が大きくなる、すなわち構造が massive になると、いくつかの部材が許容せん断応力で支配されるため多少の変動をする。Fig. 4 には、設計条件として、許容たわみ ($u/l \leq 1/1000$)、座屈を無視した許容縁応力を考慮した場合の結果を示す。 $1/R$ が小さい、すなわち構造が slender になると、許容たわみが支配条件となる。最適断面配分は、許容縁応力から許容たわみへと異種の支配条件へ移るため、急激に変化する。Fig. 5 (a)~(c) では設計条件に座屈を無視した許容縁応力および許容せん断応力を考慮し $1/R = 0.001$ における最適状態での断面配分、曲げモーメント ($M/\sigma_y \cdot l^3$) およびせん断力 ($S/\sigma_y \cdot l^2$) を示す。破線は最適化計算とは無関係に全部材要素を等断面として、曲げモーメントおよびせん断力を求めたものである。中央径間の中央部材が他の部材に比較して最適断面配分がかなり小さいことが Fig 5 (a) よりわかる。一般に、曲げモーメントによる縁応力だけを設計条件として最適化計算すると、最適状態における曲げモーメント分布は最大値と最小値の差の小さい緩やかな分布になると考えられる。しかし、ここでは許容せん断応力も設計条件として考慮しているため、せん断応力が支配する中央支点上で、曲げモーメントが予想以上に大きな値を示すという結果が得られた。

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, pp1-10, 1981.2
- 2) 長谷川彰夫, 小桜義隆, 松浦聖: 最大荷重設計による2軸対称プレート・ガーダーの最適化, 土木学会論文報告集, 第310号 pp45-56, 1981.6
- 3) 長谷川彰夫, 阪上精希, 松浦聖: 最大荷重設計による骨組構造の最適化, 土木学会論文報告集, 第321号, 1982.5
- 4) 長谷川彰夫, 阪上精希, 後藤芳顕, 松浦聖: 骨組構造の最適特性に関する一考察, 第28回構造工学シンポジウム講演集, pp19-29, 1982.2

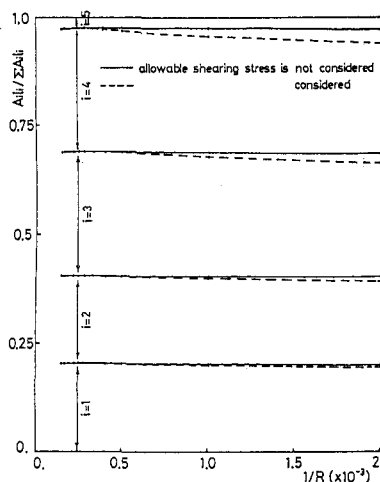


Fig. 3 せん断応力考慮の有無による最適断面配分の比較(座屈無視)

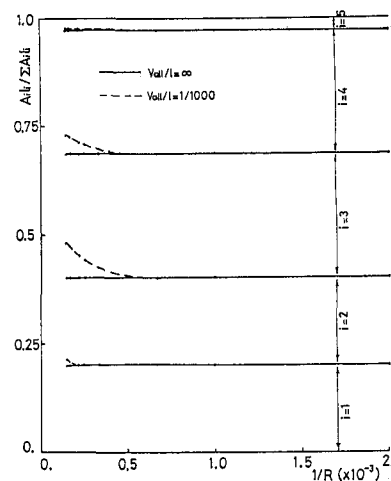


Fig. 4 たわみ考慮の有無による最適断面配分の比較(座屈, せん断無視)

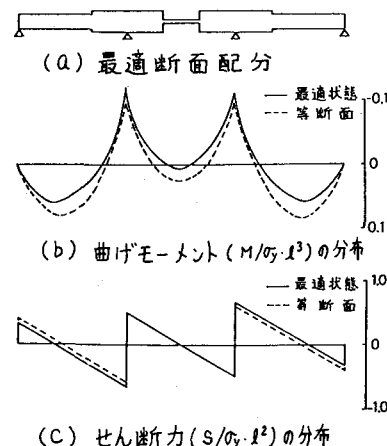


Fig. 5 連続桁の最適特性(座屈無視)