

東京都立大学 学生員 栗原康行
 東京都立大学 正 員 野上邦榮
 東京都立大学 正 員 成田信之
 北海学園大学 正 員 杉本博之

1. まえがき

近年、構造解析理論および電子計算機が著しく進歩していることから、設計者に非線形解析を委ね、設計基準をわかりやすく、合理的なものに見直し、より自由な設計へと進むことが考えられる。その中で構造物の比較的たわみの有限性が問題となる鋼構造物に対して、著者らは既存の設計法に比べて、有効座屈長を用いないなど大幅に変更した弾性有限変位解析に基づく設計法（等価初期不整を用いる方法、以下、等価初期不整法）を提案している¹⁾²⁾。本研究では、等価初期不整法に基づく断面設計の有効性を明らかにするため、最適化手法として遺伝的アルゴリズム³⁾、数値計画法⁴⁾を用いて、現行設計法（道路橋示方書）との比較を試みた。

2. 等価初期不整を用いる方法（等価初期不整法）

等価初期不整法は、付加曲げモーメントなどの幾何学的非線形性は弾性有限変位解析において含まれる事になるので、解析から求まる設計断面力と設計断面耐力を比較するだけで良く、照査は簡単になる。しかし、実際の耐荷力は残留応力や初期たわみの影響で弾性有限変位解析から求まる耐荷力より小さくなる。そこで等価な初期不整を全体構造に与えることで不整要因の影響を考慮している。また、構造物の施工中および耐用期間中の安全性を保証するために設計荷重に安全係数 ν 倍し、これを載荷荷重とした。この条件の基で応力を照査し制約条件を満足するように最適断面設計を行う方法である。

3. 解析条件

解析モデルは図 1(b),(c) に示す両端ヒンジと両端固定の変断面門型ラーメン構造であり、各値は $l=997.8\text{cm}$ 、 $P1=170\text{tf}$ 、 $P2=680\text{tf}$ 、 $H=11.97\text{tf}$ である。また、それぞれの荷重に安全係数 ν 倍を掛け合わせる。等価初期たわみの大きさは伊藤等⁵⁾の研究から

$$\left. \begin{aligned} w_0/l &= 0.0217 \text{ (両端ヒンジ)} \\ w_0/l &= 0.0275 \text{ (両端固定)} \end{aligned} \right\} (1)$$

の値を使用した。また、その形状は座屈モードとした。断面形状は無補剛正方形箱型断面（図 1(a)）、鋼材は SS400 とした。断面は図 1(d)~(f) の様に変断面、左右対称断面、等断面の 3 ケースについて解析を行った。目的関数は、構造全体

の鋼材総容積 $V (= \sum_{i=1}^n 4(b_i + t_i)t_i l_i)$ である。ここで、 n は部材数、 b_i, t_i 、及び l_i はそれぞれ i 部材の板幅、板厚、部材長である。設計変数は、 $\{b_1, t_1, b_2, t_2, \dots, b_n, t_n\}$ である。制約条件は、JSHB(道路橋示方書、以下道示) により照査する場合、最小板厚制限 (g_1)、最大細長比制限 (g_2)、最大幅厚比制限 (g_3)、安定照査式制限

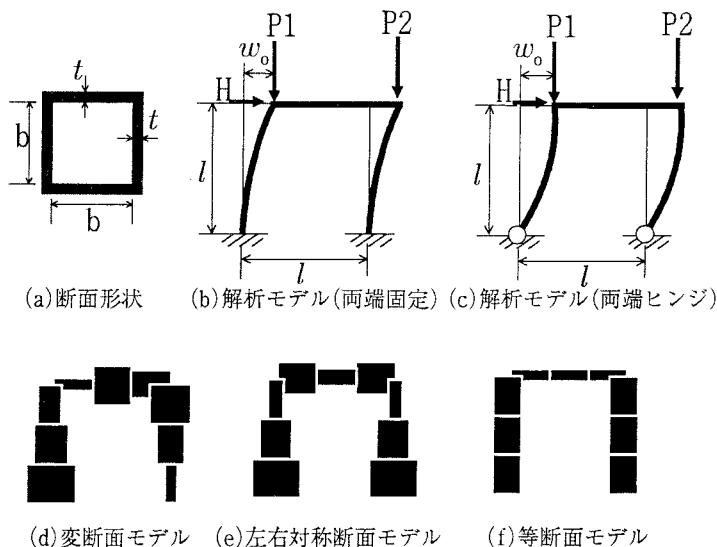


図 1 モデル図

(g_4)、強度照査式制限(g_5)の5式とし、等価初期不整を用いる方法で照査する場合は、 g_4 と g_5 に代わり新強度照査式制限($g_6 = \sigma/\sigma_y - 1 \leq 0$)を加えた4式を制約条件として設計を行った。

4. 計算結果

図2～図7は現行設計法と等価初期不整法に基づく最適断面設計を行い、安全係数($\nu = 1.0, 1.2, 1.4, 1.7$)、目的関数(総体積重量)値の関係を示したものである。全体的に両端ヒンジの総体積重量は、両端固定端に比べて大きくなった。また、断面の制約が大きくなれば総体積重量も増加することから、変断面<左右対称断面<等断面となった。変断面と左右対称断面の総体積重量の変化が左右対称断面と等断面の差に比べ大きくなった。GA法と数理計画法の精度を比較すると数理計画法による総体積重量はGA法による総体積重量に比べ小さい値になったが、両解析とも安全係数の増加に対し、総体積重量も線形的に増加していることから、安定した解が得られている事がわかった。等価初期不整法による総体積重量は道示に比べ安全係数 $\nu = 1.4$ 程度で経済的な断面が得られている。

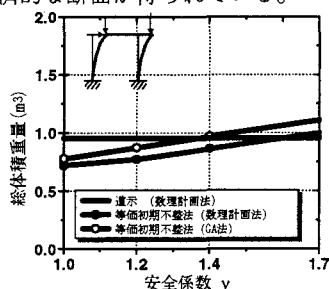


図2 変断面 (両端固定)

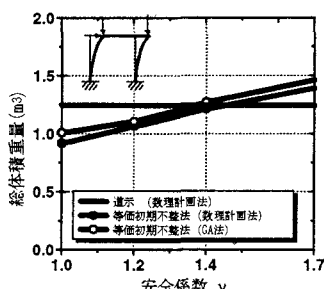


図3 左右対称断面 (両端固定)

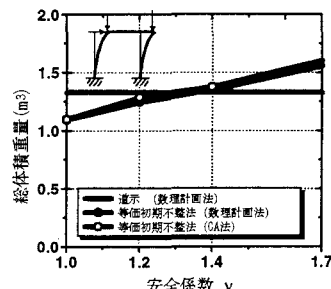


図4 等断面 (両端固定)

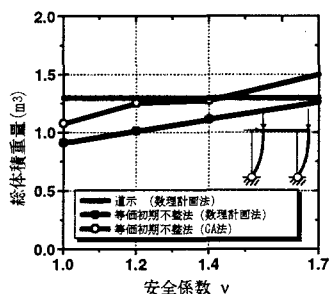


図5 変断面 (両端ヒンジ)

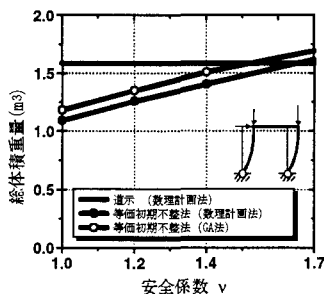


図6 左右対称断面 (両端ヒンジ)

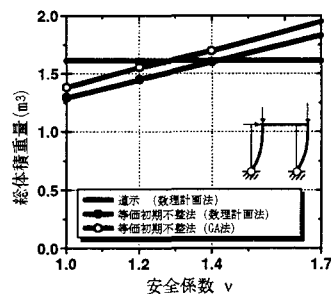


図7 等断面 (両端ヒンジ)

5. まとめ

本研究より得られた結果をまとめると次のようになる

- 総体積重量の大小関係は、端部の条件で、両端固定<両端ヒンジ、断面の条件で、変断面<左右対称断面<等断面となる。
- 数理計画法はGA法に比べて低めの重量を与えるが、両解析とも安定した最適解が得られる。
- 等価初期不整法は安全係数を $\nu = 1.4$ 程度にした場合、道示に比べ経済的な断面が得られる。

ことがわかった。

参考文献

- 1) 野上・成田：はり一柱の等価初期たわみに及ぼす荷重パラメータの影響、構造工学論文集、1997.9
- 2) 栗原・野上・成田・杉本：1層ラーメン構造の終局強度最適断面設計、土木学会第52回年次講演会、1995.3
- 3) 鹿・杉本：組み合わせ問題のための汎用GAシステムの構築に関する基礎的研究、土木学会第51回年次講演会、1996.9
- 4) 山田善一編著：構造工学シリーズ1、構造システムの最適化～理論と応用～土木学会、1988
- 5) 伊藤：鋼骨組構造の終局強度設計における等価初期不整に関する研究、東京都立大学修士論文、1997.3