

(I - 1) 薄板集成構造物とみなした種々の多角形断面柱の幾何学的非線形解析

早稲田大学理工学部 学生員○岸 久嗣
早稲田大学大学院 学生員 白石 哲男
群馬工業高等専門学校 正 員 末武 義崇
早稲田大学理工学部 正 員 平嶋 政治

1 はじめに

土木構造物においては、強度の向上や経済的な設計を目的として、軽重であり、かつ耐荷性能の優れた薄肉断面構造物を使用する機会が多い。従来は、こうした構造物を、一次元の骨組み部材とみなして解析するのが一般的であった。しかしながら、薄肉断面を有する構造物の解析に際しては、断面変形の影響を考慮し、各構成要素の持つ薄板としての変形特性を含めた形で解析することが必要不可欠である。

本報告では、Herrmannの混合型有限要素法を用い、従来から解析が行われてきた矩形断面に限定せず、種々の多角形断面を持つ薄板集成柱の幾何学的非線形解析を行った。解析対象として選んだ断面は正方形、正三角形、台形の3種類である。得られた結果より断面の変化による座屈変形特性の相違について考察する。

2 解析手法及び解析モデル

解析手法としては、薄板の幾何学的非線形性を考慮したHerrmannの混合要素法を用いて解析した。また非線形解析の際には、修正 Newton-Raphson 法と弧長増分法とを組み合わせて収束計算を行った。

解析モデルである柱は、柱長、板厚が同じで断面が正方形、正三角形、台形の薄板集成構造物である3つのモデルを考えた。その断面図を図1に示す。また3つの解析モデルを代表して、正方形断面の柱の全体図を図2に示す。

断面の大きさに関しては、全てのモデルの全部材の量が同じとなるよう、考慮した。

材料定数は、Young 率： $E = 2.1 \times 10^8$ (Kg/cm²)、Poisson 比： $\nu = 0.3$ とし、全モデルに共通して次の境界条件を与える。なお次に示す条件(1)、(2)は端部の境界条件、(3)、(4)は対称性を考慮した条件である。

- (1) 柱端部に位置する各板の境界は、軸方向にのみ自由に動く。
- (2) 柱端部の要素境界上の板としての曲げモーメントは、0である。
- (3) 変形の対称性を考慮し、柱中央に位置する点のX方向変位を拘束。
- (4) 変形の対称性を考慮し、 $Z = 0$ に位置する点のZ方向変位を拘束。

荷重条件は、柱端断面に軸方向圧縮力となる等分布荷重が作用するものとした。

なお、初期たわみは、図1のY方向に $\bar{w}/t = \delta \cos(\pi X/L)$ とし、 $\delta = 0.001$ とした。

また柱の対称性を考えて各柱の鉛直方向の中心より上半分について解析する。

分割数は、各板を軸方向に6分割、軸に垂直な方向に6分割とした。

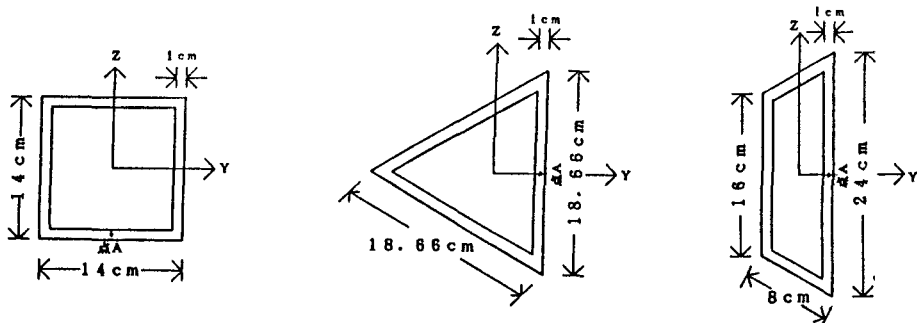


図1 3つのモデルの断面図

3 解析結果及び考察

各柱モデル中央に位置する、ある薄板内部の点A（図1、2）における荷重－変位曲線を図3に示す。

図3において縦軸に荷重を棒理論による座屈荷重で割った無次元化荷重： P/P_{cr} を、横軸に初期たわみを含めた無次元化変位： $(w+\bar{w})/t$ をとった。

図3から、断面が正方形、正三角形の柱の場合、荷重－変位曲線に傾きが急激に変化する部分が認められる。即ち両者の場合、分岐座屈現象を呈している様子が見られる。これに対し、台形断面については、明確な座屈現象が認められず、荷重レベルの低い段階から非線形性の卓越した挙動が観察される。

後座屈領域においては断面が正方形、台形の柱は上に凸なグラフとなり、比較的類似した挙動を示すのに対し、断面が正三角形の柱は、下に凸なグラフとなって全く異なる挙動を示すことが解る。

次に、後座屈領域における断面変形について検討する。ここでは、無次元化変位： $(w+\bar{w})/t = 0.8 \times 10^{-3}$ における各モデルの柱の軸を通る縦断面の断面変形に着目した。断面変形のモードを図4に示す。

図4より正方形断面の柱には、圧縮側、引っ張り側の両方の板に高次の座屈波形が観察されたのに対し、台形の柱には、それぞれの薄板毎には座屈波形がみられず、柱全体として正弦半波の形状で変形していることがわかる。一方、三角形断面柱の場合は、圧縮側と引っ張り側とで座屈波形が異なるが、これは圧縮側が三角柱の稜になっているのに対し、引っ張り側は三角柱の側面に位置する薄板であるためと考えられる。

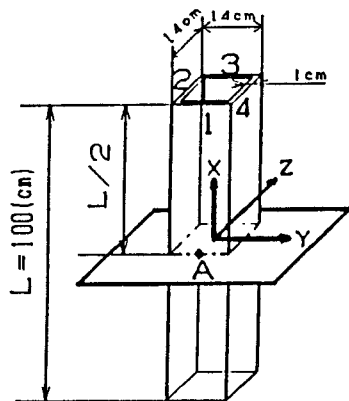


図2 正方形断面柱の全体図

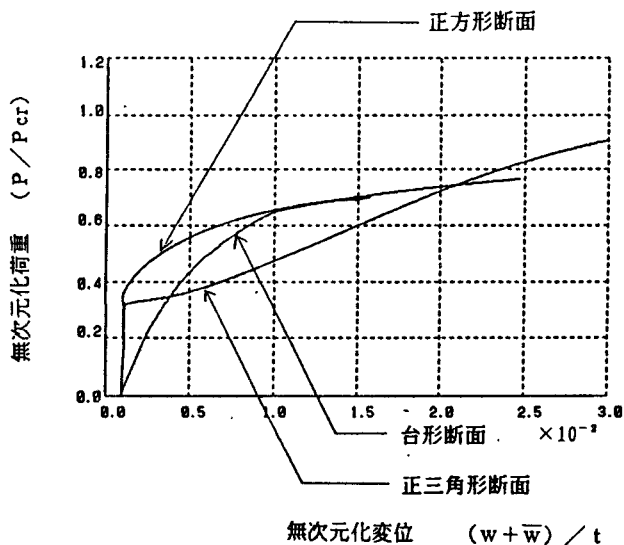


図3 各モデルの荷重－変位曲線図

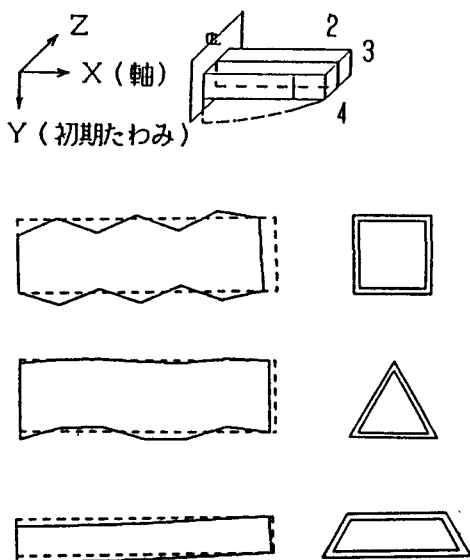


図4 各モデルの断面変形図