

## ファジィ理論を導入した耐荷力解析に関する一考察

愛媛大学工学部

正 員 大賀 水田生

愛媛大学大学院

学生員 ○植村 亮

アースコンサルタント

大塚 雅史

## 1. はじめに

荷重増分法に基づく F E M を用いて非線形構造解析を行う場合、各荷重段階ごとの荷重増分量が解の精度及び計算時間に大きな影響を及ぼすが、従来、その決定は試行錯誤的に行われている。この問題に対して、ファジィ制御を導入することにより適切な荷重増分量を自動的に決定し、計算効率の向上を計ることが試みられ、応力増分( $\Delta\sigma$ )及び変位増分( $\Delta u$ )を前件として、ファジィ制御を行うことが有効であることが報告されている<sup>1)</sup>。しかしながら、この解析法においても構造モデルごとに $\Delta\sigma$ 及び $\Delta u$ に対する適切なメンバーシップ関数を定義しなければならない問題点を有している。そこで本研究では、このファジィ制御を導入した非線形計算法をより汎用的な方法とするため、2、3の改良を行うとともに、板及び箱形断面部材モデルを用いて簡単な数値計算を行い、本研究で行った改良法の有効性について考察を行った。

## 2. ファジィ制御法

本研究のファジィ制御法で用いた、制御規則、ファジィ変数、ファジィ推論法を以下に示す。

1) ファジィ制御規則 本研究では制御規則に I F ~ T H E N ルールを用いている。

I F 前提( $\Delta\sigma$ ) is  $A_1$  and 前提( $\Delta u$ ) is  $A_2$  THEN 結論(y) is  $B \dots (1)$

A、Bは、前提や結論の程度を表現する曖昧な言語情報からなるファジィ集合(ラベル)で、本研究では、前件ラベルには小さい(S)、ちょうど良い(M)、大きい(B)の3種類を、後件ラベルには小さく(S)、やや小さく(MS)、そのまま(M)、やや大きく(MB)、大きく(B)の5種類を用いた。これらのラベルを用いて、式(1)は、表-1に示す9種類の制御規則で表した。

2) ファジィ変数 ファジィ変数はラベルの度合いを表すメンバーシップ関数によって構成される。本研究では、前件にはファジィ集合を、後件には結論の非ファジィ化を簡素化するため実数値を用いた。

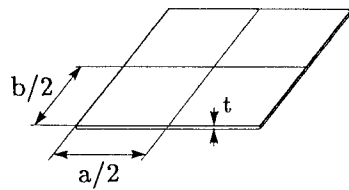
3) ファジィ推論 ファジィ推論には、min-max 重心法の後件部分を実数値にした簡略化法を用いた。まず、前提(入力データ)を前件ファジィ変数と合成し、ラベルとその適合度を求める。次に制御規則に従って後件ラベルのグレードを求める。最後に後件の重心位置を求め、その値を結論(出力データ)、つまり強制変位倍率として出力する。ここで、 $\Delta\sigma$ 、 $\Delta u$ の2つの前提から、2つの前件適合度が求まるが、そのうち小さい方を後件グレードとして採用する。さらに後件で1つのラベルに対して2つのグレードが存在するときにはそのうち大きい方を後件グレードとした。

## 3. 本研究で行った改良法及びその検討

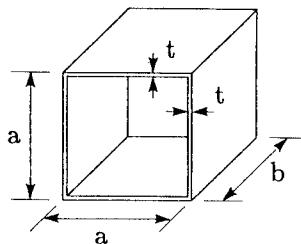
本研究では荷重増分段階1において解が発散し、収束解が得られなかった場合、1)現在のメンバーシップ関数が適切でないと考え、メンバーシップ関数を修正

表-1 制御規則表

|            |   | $\Delta\sigma$ |    |    |
|------------|---|----------------|----|----|
|            |   | S              | M  | B  |
| $\Delta u$ | S | B              | MB | M  |
|            | M | MB             | M  | MS |
|            | B | M              | MS | S  |



(a) 四辺単純支持板



(b) 箱形断面部材

図-1 モデル図

する、2)荷重増分段階 i での収束解を得るため、現在の強制変位量を減少し再計算を行うこととした(修正ファジィ制御法)。次に本法での有効なメンバーシップ関数の修正法を検討するため、(a)応力増分のみ、(b)変位増分のみ、(c)応力及び変位増分、(d)応力及び変位増分のメンバーシップ関数の不適格度を算定し、より不適格度の大きいメンバーシップ関数を修正する方法、を用いて、図-1に示す四辺単純支持正方形板(板幅 $a=b=100\text{cm}$ ,板厚比 $t/b=0.01$ ,初期変位 $w_0=0.01t$ , $\sigma_y=6000\text{kgf/cm}^2$ )及び箱形断面部材( $a=b=100\text{cm}$ , $t/b=0.01$ , $w_0=0.01t$ , $\sigma_y=6000\text{kgf/cm}^2$ )の解析を初期強制変位量を種々変化させて行い( $\Delta_0=\delta_0/b=0.1, 0.3, 0.5, 1.0 \times 10^{-4}$ ;  $\delta_0$ =変位量)、ファジィ制御を用いない一定増分法( $\Delta=0.1 \times 10^{-4}$ )及び従来のファジィ制御法(メンバーシップ関数一定法)による解と比較した。表-2に一定増分法での解に対する誤差及び計算時間の比較を、さらに図-2、3に初期強制変位量 $\Delta_0=0.1 \times 10^{-4}$ の場合の四辺単純支持正方形板での応力及び強制変位量の変化の様子を示している。従来のファジィ制御法においては初期強制変位量の大きさにより解が得られない場合( $\Delta_0=0.1, 0.5 \times 10^{-4}$ )が生じたのに対し、本法では、いずれの修正法を用いた場合も、一定増分法に比較して少ない計算時間(7~11%)で精度の良い解が得られたが、種々の検討を行った結果、修正法(d)が他の修正法に比較して最も汎用的で効率の良い方法であることが明らかになった。なお、修正ファジィ制御法での初期強制変位量については、いずれの変位量を用いた場合においても解の精度及び計算時間に大きな差異は認められないが、解の安定性を考慮すると、小さな値( $\Delta_0=0.1 \times 10^{-4}$ )を用いることが望ましいと考えられる。

#### 4. あとがき

本研究で行った改良により、汎用的な非線形構造解析法を開発することが出来たが、今後より複雑な断面を有する構造モデルでの検討を行うことが必要である。

#### 参考文献

- 1)大賀・藤井;FEM非線形構造解析へのファジィ理論の適用について,第45回土木学会中四支部,1993

表-2 誤差及び計算時間の比較

| Method                | $\Delta_0$             | Error1(%) | Error2(%) | Error3(%) | Error4(%) | Time(%) |
|-----------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Non-Fuzzy             | $0.1 \times 10^{-4}$   | —         | —         | —         | —         | 100.000 |
| Fuzzy                 | $0.1 \times 10^{-4}$   | 0.038     | —         | —         | —         | —       |
|                       | 0.3                    | 0.597     | 1.181     | 0.495     | 0.912     | 5.929   |
|                       | 0.5                    | 0.982     | —         | —         | —         | —       |
|                       | 1.0                    | 0.197     | 1.408     | 0.090     | 0.851     | 5.158   |
| Fuzzy with correction | a $0.1 \times 10^{-4}$ | 0.424     | 0.979     | 0.180     | 0.723     | 7.803   |
|                       | b 0.1                  | 0.211     | 0.675     | 0.135     | 0.461     | 9.367   |
|                       | c 0.1                  | 0.222     | 0.773     | 0.045     | 0.519     | 9.522   |
|                       | d 0.1                  | 0.211     | 0.675     | 0.135     | 0.461     | 9.367   |
| Fuzzy with correction | a $0.5 \times 10^{-4}$ | 1.139     | 0.863     | 1.081     | 0.990     | 7.075   |
|                       | b 0.5                  | 1.653     | 0.707     | 2.252     | 1.143     | 10.778  |
|                       | c 0.5                  | 1.463     | 0.543     | 1.667     | 0.966     | 10.007  |
|                       | d 0.5                  | 1.139     | 0.863     | 1.081     | 0.990     | 7.075   |

Error1: 最大耐力発生前平均誤差 Error2: 最大耐力発生後平均誤差  
Error3: 最大耐力発生点の誤差 Error4: 全平均誤差

$\bar{\sigma}/\sigma_y$

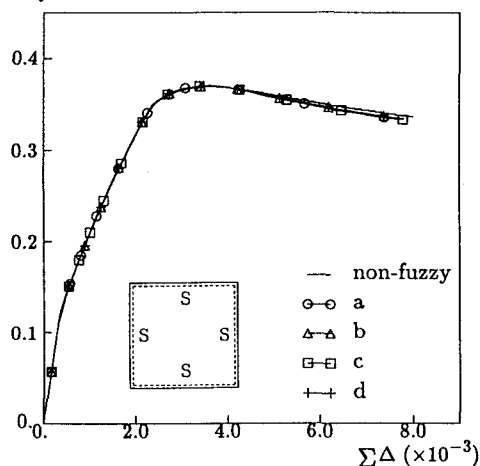


図-2 応力-強制変位曲線

$\Delta (\times 10^{-4})$

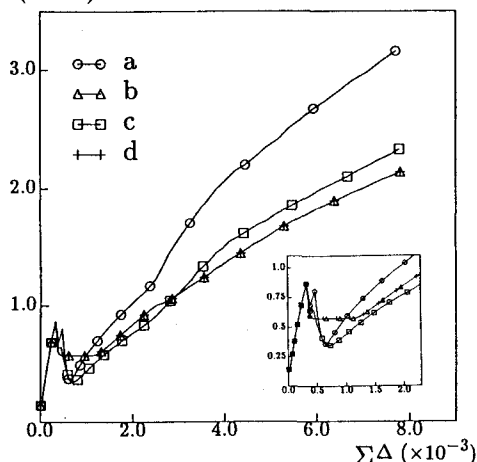


図-3 強制変位量の推移