

F E M非線形構造解析へのファジ理論の適用について

愛媛大学工学部
川田工業(株)正 員 大賀 水田生
正 員 ○藤井 康一

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、その増分量の決定は試行錯誤的に行われているのが現状である。そこで、本研究では強制変位による板構造の耐荷力解析において、ファジ理論を導入することにより、適切な強制変位量を自動的に決定し、計算効率の向上を計ることを試みる。まず、最初に一定の強制変位量を与える従来の解析(一定増分解析)を行い、種々のファクターが解の挙動に及ぼす影響を検討することによりファジ理論の前件となるファクターを選択する。次に選択した前件を用いて、数種類のファジ理論法を作成し、それらを既存のF E M非線形解析プログラムに組み込むことにより、ファジ理論を導入した解析プログラムを開発する。本法を用いて数値計算を行い、有効なファジ制御規則などについての考察を行う。

2.ファジ理論法

本研究のファジ理論法で用いた、制御規則、ファジ変数、ファジ理論法を以下に示す。

1)ファジ制御規則

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(x_1) is A THEN 結論(y) is B ... (1)

I F 前提(x_1) is A_1 and 前提(x_2) is A_2 THEN 結論(y) is B ... (2)

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)で表される前件ラベル及び後件ラベル1種の制御規則を

I F x_1 is S THEN y is B ... (3)
I F x_1 is M THEN y is M ... (4)
I F x_1 is B THEN y is S ... (5)

とした。また、式(2)で表される前件2、後件1の場合については表-1に示す9種類の制御規則とした。

2)ファジ変数

本研究でのファジ変数を図-1に示す。

前件にはファジ集合を、後件には結論の非ファジ化を簡素化するため実数値を用いた。

3)ファジ理論

ファジ理論には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。前件及び後件1種の場合のファジ理論の手順を図-1に示す。まず、前提(入力データ)を前件ファジ変数と合成し、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。

前件が2つの場合は、1つの制御規則で、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ラベルのグレードとする。

3.ファジ制御規則の決定

1)前件の決定

強制変位量が解に及ぼす影響を検討するとともに、ファジ理論の前件を決定するために、一定増分解析を強制変位量(Δ)を種々に変化させ行なった($\Delta=0.025L, 0.05L, 0.075L, 0.1L$)

表-1 制御規則表

	x_1		
	S	M	B
S	B	MB	M
x_2 M	MB	M	MS
B	M	MS	S

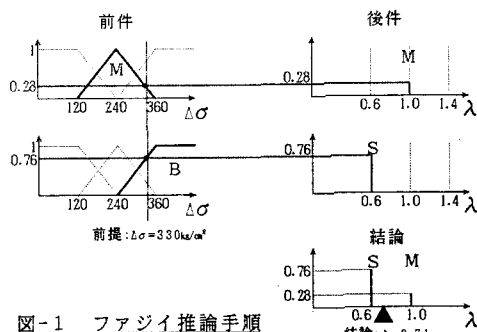


図-1 ファジ理論手順

；L:部材長)。図-2に、得られた応力-変位曲線を示している。強制変位量が大きくなると最初の変曲点($\sigma \approx 2600 \text{ kg/cm}^2$)において、解の精度が著しく低下する場合($\Delta=0.075L$)や解が発散する場合($\Delta=0.1L$)があること、耐荷力発生後は強制変位量の大きさはさほど解の精度に影響を及ぼさないことなどが明らかになった。これらのことから、「強制変位量は耐荷力発生前は小さく、耐荷力発生後は大きく」という強制変位量の制御が有効であること、さらにこのような制御を行うためには応力増分と変位増分をファジィ制御の前件とすることが有効であると判断した。

2) ファジィ推論法の作成

1)で選択した2つの前件を用いて次のような3種類のファジィ推論法を作成した。

前件	後件
(a) 応力増分($\Delta\sigma$)	強制変位倍率(λ)
(b) 変位増分(Δu)	強制変位倍率(λ)
(c) 応力増分($\Delta\sigma$) 変位増分(Δu)	強制変位倍率(λ)

なお、(a)、(b)は前件及び後件1種の制御規則(3)~(5)に基づき、(c)は前件2種、後件1種の制御規則(表-1)に基づいている。

3) 解析結果の検討

作成した3種類のファジィ推論法を用いてファジィ制御を行って得られた応力-変位曲線を図-3に、その場合の強制変位量を図-4に示している。さらに荷重増分回数 $N=40$ (但し $\Delta=0.025L$ の場合は $N=80$)とした場合の解析結果の比較を表-2に示している。なお表-2において、 u/time は計算効率を示している。図-3, 4及び表-2より、本研究での3種類の推論法を考察すると以下のようになる。

- $\Delta\sigma$ のみによる制御
 - Δ は耐荷力発生後、著しく増大する。
 - 計算効率は良いが、耐荷力発生後の精度が悪い。
- Δu のみによる制御
 - Δ は初期段階で急激に増加するが、それ以降の増加の程度は3制御中最も緩やか。
 - 耐荷力発生前の精度が悪く、しかも計算効率が悪い。
- 前件を2つとした制御
 - Δ は変曲点付近で減少の後、緩やかに増加。
 - 制御(a),(b)の中間的な挙動を示し、全体的に精度、計算効率ともに良好。

4. あとがき

本研究の結果から $\Delta\sigma$ と Δu を前件としたファジィ制御を行う事により、効率よく、精度の高い解が得られる事が明らかになった。今後、他の構造モデルでの検討を行うとともに、より有効なファジィ変数、ファジィ推論法等について検討する必要がある。

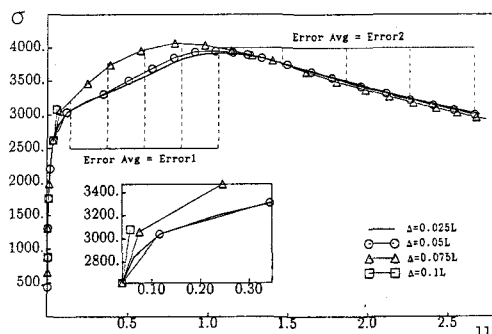


図-2 応力-変位曲線(一定増分解析)

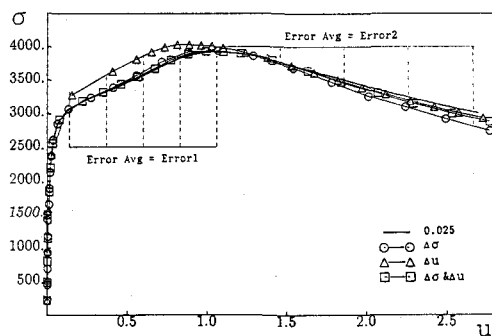


図-3 応力-変位曲線(ファジィ制御)

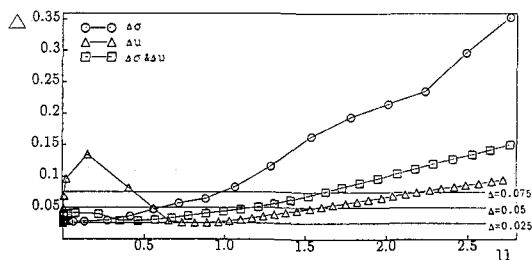


図-4 強制変位量の推移

表-2 解析結果の判定

	time(s)	σ			u (x)	
		Error1(x)	Error2(x)	Error3(x)	u (x)	time (x)
0.025	21833.9	-	-	-	100.00	100.0
0.050	11061.9	0.86	0.60	0.77	98.88	195.2
0.075	12132.2	7.12	1.52	3.83	121.19	218.1
(a) Δσ	11961.9	0.75	3.34	0.51	253.16	462.1
(b) Δu	11733.7	4.63	0.74	2.55	109.67	166.3
(c) Δσ&Δu	10663.1	0.51	1.46	0.26	133.46	273.3

time : 計算時間
u : 最大面外変位
Error1 : 耐荷力発生前応力精度
Error2 : 耐荷力発生後応力精度
Error3 : 耐荷力精度