

静的不安定挙動の解析における効率化に関する研究

京都大学工学部 正員 丹羽義次
 京都大学工学部 正員 渡辺英一
 大成建設 正員 ○立石 章

1. はじめに

離散化手法を用いて幾何学的非線形解析する場合、globalな剛性行列の作成、その逆行列演算が多数回必要となり、多大の記憶容量と計算時間を要する。そこで本研究では、Fig. 1 に示す各手法を施して、平板・リブ付板を対象とした弾性後座屈・有限変位解析の効率化を図った。

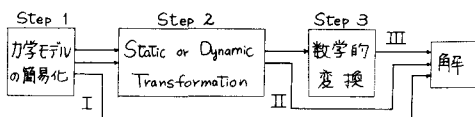


Fig. 1 効率化の手法と手順図

ここに各Stepの簡単な説明をする。

(Step 1) SEM (Simplified Element Method) を用いる。これは板要素の場合、曲げには剛で面内変形・ねじり変形は許すという要素と、曲げに抵抗するためのバネにより表わされたモデルである。

(Step 2) 消去や繰返し演算により低次元化する手法で、本研究では全体自由度から面外自由度へのStatic Trans.を行っている。

(Step 3) 固有値解析の際得られるモードルマトリックス等により線形座標変換を行い、大幅な低次元化が可能となる。

なお問題の定式化は文献[1, 2]に既に発表されているので、ここでは省略する。

2. 解析手法

幾何学的非線形問題における global な

り合式を解くために、線形化手法として自己修正型摂動法を用いる。これにより摂動法では問題のある誤差の伝播を、ある程度解消できる。

また静的不安定挙動解析における境界での載荷条件として次の2方法が考えられる。一つは、等価節点力を与えて非線形解析する方法で、荷重は解析の全過程を通して初期の荷重モードで表現される。以下これを荷重制御方式と呼ぶ。

他の一つは、載荷辺上の節点に載荷方向の面内変位増分を与えて非線形解析する方法で、その面内変位増分は面内圧縮、面内せん断等の各問題に応じたモードで表現する。以下これを変位制御方式と呼ぶ。

3. 解析結果

本研究では、(i)平板の面内圧縮、(ii)平板の面内せん断、(iii)平板の面内曲げ、(iv)リブ付板の面内圧縮について、主にprocedure IIにより解析した。各問題とも周辺単純支持正方形板とし、前述の荷重・変位面制御方式を用いた。なおリブ付板は、載荷方向中央に一本の対称リブを持つ構造である。

(1) 効率化の効果

各Stepによる効果を要約する。

(Step 1) FEMのACMモデルによる解析と比較して、幾何学的非線形剛性行列の要素数は大幅に減少し、たとえば板要素の場合 K_{plate}^{org} の要素数はFEMなら20736個、S

EMなる256個となる。また非線形解析に要する計算時間もSEMなるFEMの約1/10にまで²⁾短縮される。

(Step2) procedure I と procedure II と比較して、計算時間は約1/10にまで短縮される。(Table 1 参)

(Step3) procedure II と procedure III と比較して、剛性行列の並行列演算時間は大幅に短縮されるが、全体の計算時間は約1/10程度の短縮にとどま、ている。(Table 1 参)

(2) 解の精度

(i) 変位制御方式による解を Fig. 2-3 に例示する。以下結果を要約する。

α. (i), (ii), (iii)において、荷重・変位面制御方式とも分割数に対する収束性は良好で、特に(i)ではハ³⁾色の解との比較から十分な精度が得られている。

β. (iv)においては、当然ではあるが、リブの曲げ、ねじり剛性が大幅に、平板の場合より分割・増分ともに細かくとらなければ、精度の良い解は期待できない。

γ. 荷重制御方式による^{SEM}荷重-面外変位関係の曲線は、変位制御方式の curve の下方に位置する。

δ. 不釣り合力は次式で評価した。

$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i|$$

F_i は各自由度の不釣り合力、 N は全自由度。

結果より F が分割に関係なく収束の傾向を示した場合、解も分割数に対する収束性を持つ。また

F に急速かつ 1 オーダーを超える増加が発生した時、誤差、た解を追う可能性が強い。
なお詳細な結果は当日発表する。

4. 参考文献

- 1) 立石・丹羽・渡辺：幾何学的非線形問題における収束性について、土木学会関西支部年講演会-14, 1978.
- 2) 福若・丹羽・渡辺：幾何学的非線形解析における効率におよび精度に関する基礎的研究、土木学会関西支部講演会-7, 1979.
- 3) N. Yamaki: Postbuckling Behavior of Rectangular Plates with Small Initial Curvature Loaded in Edge Compression, Journal of Applied Mech., Vol. 26, 1959, pp. 407-414.

Table 1 Procedure I, II, III における 計算時間

N : 非線形剛性行列の自由度

A : 非線形解析ステップあたりの計算時間 単位 msec

B : 非線形剛性行列の並行列演算時間 単位 msec

全結果は 荷重制御方式による、括弧 () 内は 変位制御方式による

	Procedure I				Procedure II				Procedure III			
	N	A	B	B/A (%)	N	A	B	B/A (%)	N	A	B	B/A (%)
3 x 3	31	34	20	58.8	4	14 (22)	1 (1)	7.1 (4.5)	4	13	1	7.7
4 x 4	53	125	90	72.0	9	40 (69)	1 (1)	2.5 (1.4)	4	37	1	2.7
5 x 5	81	374	304	81.3	16	101 (193)	4 (4)	4.0 (2.1)	4	93	1	1.1
6 x 6	115	973	850	87.4	25	236 (489)	13 (13)	5.5 (2.7)	4	213	1	0.47
7 x 7	155	3050	2848	93.4	36	515 (1136)	34 (35)	6.6 (3.1)	4	474	1	0.21
8 x 8	201	6521	6197	95.0	49	1068 (2435)	80 (87)	7.5 (3.6)	4	973	1	0.10

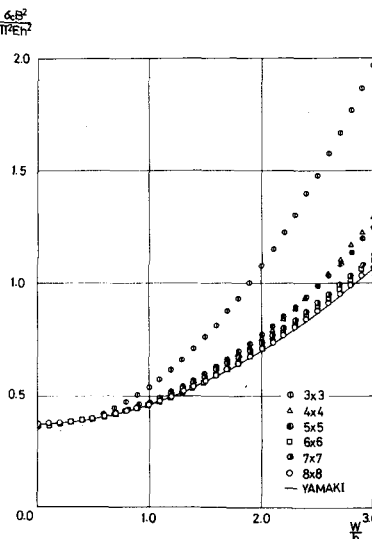


Fig. 2 荷重-面外変位関係

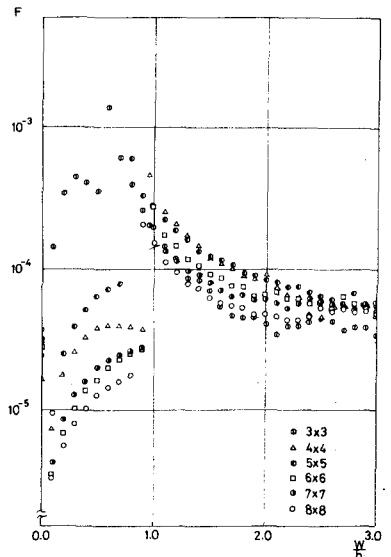


Fig. 3 不釣り合力-面外変位関係