

鋼構造物の弾塑性・大変形解析におけるVPの応用

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
 東京都庁 正員の野邑敏行

1. はじめに

弾塑性大変形解析をおこなうには、記憶容量、計算時間共に大量に必要とする。そこで我々は、昭和59年5月より京都大学大型計算機センタで稼働し始めたFACOM VP-100（以後VPと呼ぶ）を利用して計算時間を大幅に短縮することを試みた。また、対象構造物としては、リブ付板を選び、これにFEMを簡易化した手法（SEM）を適用し、得られた非線形連立方程式を自己修正型摂動法で解析する。

2. VPについて

VP-100はいわゆるスーパーコンピュータと呼ばれる計算機で、CRAY-1, CDC Cyber 205などの米国製が有名である。スーパーコンピュータはパイプライン方式のベクトル計算機で、複数の段階より成る演算を連続的に処理してゆく。⁽¹⁾ (Fig.-1 参照)

また、VP-100ではベクトル計算のためにプログラムの自動ベクトル化をおこなうが、このソフトはまだ完全なものではないため、より効果的な計算をするためにはプログラミング上の工夫も必要である。⁽²⁾

3. 定式化等について

SEMは要素における面外形状関数を線形として1要素あたりの自由度を減らし、曲げとねじりを要素間をつなぐ等価なバネに受け持たせるようにしたモデルである。

また、塑性流れ理論を採用し、降伏関数にはVon-Misesの式を選んだ。そして、構成関係は、弾性域でHookeの法則、塑性域でPrandtl-Reussの式に従うと仮定した。

定式化は次のようにおこなわれる。

- ・仮想仕事の原理をモデルの系に適用する。
- ↓
- ・増分型の式
- ↓
- ・摂動のパラメータで2次まで展開する
- ↓
- ・摂動法による線形連立方程式程式を得る

4. 数値解析例

対称リブを持つ、矩形板の面内圧縮問題について解析をおこない、VPによる効果を調べた。

載荷状態はFig-2に示され、荷重-たわみ曲線はFig-3のようになる。また、Fig-4にはこのときの塑性化の進行の様子（円の大きいものほど塑性化が早い）が描かれている。

5. VPの効果について

まず、プログラミングにあたっては以下の点に留意した。

- ・ベクトル長をなるべく長くする。
- ・多重DOループでは最内ループのベクトル長をもっとも長くするようにする。
- ・VP用にチューニングされたサブルーチンパッケージを積極的に使う。

これらの点を踏まえながら解析した結果

スカラ命令	データ
ロード	1 2 3 100
加算	1 2 3 100
ストア	1 2 3 100
アドレス計算	1 2 3 100
ブランチ	1 2 3 100
ベクトル命令	データ
ロード	1234567.....11 100
加算	1234567.....11 100
ストア	1234567.....11 100

Fig.-1 スカラ計算とベクトル計算

Yoshiji NIWA, Eiichi WATANABE and Toshiyuki NOMURA

をスカラ計算の結果と共に Table-1 に示す。

この表より、弾性域でも、塑性域でもノステップあたりの CPU-Time が大幅に減少していることが認められる。特にサブルーチン NLMAT での効果が著しいが、これはこの中にはベクトル長の長い単純な DO ループが多いためである。また、ALU、LUIV 等の逆行列演算関係のサブルーチンの効果も非常に大きい。Table-2 には、梁の弾性 FEM 解析における VP の効果を示しておく。

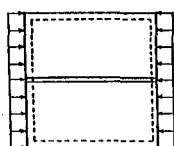
6. 結 語

SEM, FEM 等を用いた鋼構造物の非線形解析においては、逆行列演算、DO ループ演算が多く高いベクトル化率を得やすい。

したがってこのような問題においては、VP を使用することにより大幅に計算時間を低減することが可能であり、今まで不可能であったような長大計算への展望が開けたと言える。

* 参考文献

- (1) FACOM VP システム解説書 79SG-1000-1
- (2) 京都大学大型計算機センター年報 Vol.16, No.6, 1983.



$$\alpha = 1.0$$

$$\gamma/\gamma^* = 0.6$$

Fig-2 載荷状態

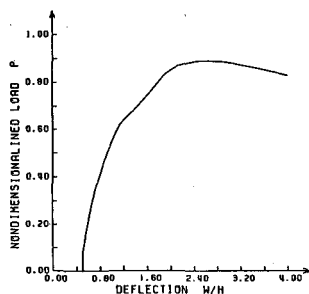


Fig-3 荷重一面外たわみ曲線

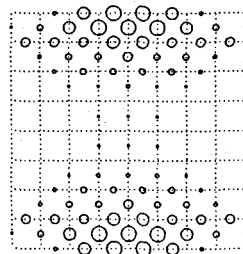


Fig-4 塑性化進行図

Table-1 VP100 の性能比較表 (桁四桁表示)

分割数	6x6	8x8	12x8	12x12
自由度 (面内自由度: 面外自由度)	110 (85; 25)	195 (145; 50)	290 (210; 80)	430 (310; 120)
(弾性) 1ステップ当り CPU (msec) A: M382 B: VP100 A/B	445 68 6.5	1975 159 12.4	6150 323 19.0	20000 720 27.8
(弾塑性) 1ステップ当り CPU (msec) A: M382 B: VP100 A/B	831 123 6.8	3160 300 10.5	9450 628 15.0	29500 1450 20.3
(NLMAT: 弾性)	273 A: M382 B: VP100 A/B	1477 83 17.8	5042 200 25.2	17095 516 33.1
(NLMAT: 弾塑性)	558 A: M382 B: VP100 A/B	2458 203 12.1	8086 476 17.0	26261 1189 22.1
内	---	---	---	---
ALU	---	---	---	---
A: M382	37	268	973	3054
B: VP100	6	9	36	13
A/B	9.5	17.9	27.0	32.8
LUIV	---	---	---	---
A: M382	105	509	1712	5481
B: VP100	23	78	199	514
A/B	4.6	6.5	8.6	10.7
(ALU: 面外)	---	---	---	---
A: M382	3	17	61	212
B: VP100	1	3	10.2	16.3
A/B	3.0	5.7	10.2	16.3
(LUX: 面外)	---	---	---	---
A: M382	0	1	2	5
B: VP100	0	0	0	1
A/B	---	---	---	5.0
(LOOP-F)	---	---	---	---
A: M382	12	39	90	200
B: VP100	0	1	2	4
A/B	---	39.0	45.0	50.0

Table-2 VP100 の性能 (桁2)

要素数	D.O.F.	1ステップ当りのCPU時間			BALU (SSLII/VP) のCPU時間: 式 (2.0)		
		A: M382 (msec)	B: VP100 (msec)	A/B	A: M382 (msec)	B: VP100 (msec)	A/B
20	41	145	108	1.4	11	25	4.4
40	81	295	144	2.0	68	7	9.4
80	161	1074	230	4.7	540	25	21.6
120	241	2540	342	7.4	1650	61	27.0
160	321	5940	800	9.9	4434	123	36.3
200	401	11020	785	14.4	8630	215	40.1
240	481	18230	975	18.7	14811	354	41.8

* Table-1 の解説

- ・NLMAT 部分剛性行列より全体剛性行列を作り、自由度を全体自由度から面外自由度に落とすサブルーチン
- ・ALU 行列を LU 分解するサブルーチン (SSLII: 富士通社)
- ・LUIV LU 分解された行列より逆行列を求めるサブルーチン (SSLII)
- ・LOOP-F 単純で長い DO ループ