

東京都庁 正員 ○野邑敏行
 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

1 はじめに

構造物の耐荷力を正確に計算するためには弾塑性・大変形解析を行い、荷重と変位の関係を逐次追跡せねばならない。その場合、問題は非線形となり、現実的な解析には大容量・長時間の計算が要求される。そこで、著者等は昭和59年5月より京都大学大型計算機センターで稼働始めたベクトル計算機（以後VPと呼ぶ）FACOM VP-100を利用して計算時間を大幅に短縮することを試みたのでここにその報告を行いたい。対象構造物としては補剛板を選び、これにFEMを簡易化した手法（SEMと呼ぼう）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を用いたことを付記する。

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あり、CRAY-1、CDC Cyber 205等の米国製のものや日立製作所のS810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あり、複数のステップよりなる演算を図-1に示されるような流れで並列処理していく[1]：

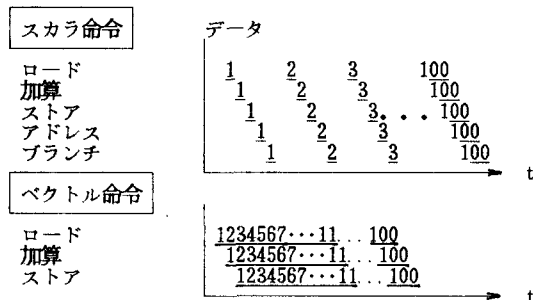


図-1. スカラ計算とベクトル計算の対比

また、VP-100ではベクトル計算のためにプログラムを自動ベクトル化を行なうが、さらに効率向上のため、ユーザー側でもプログラム上の工夫が必要となる[2]。

3. 定式化

SEMは線形の面外形状関数を用いて一要素当りの自由度を低減し、要素間をつなぐ等価バネに曲げとねじりを分担させるようにしたモデルである。また、ここではPrandtl-Reussの塑性流れ理論を採用したがその定式化は以下のとおりである：〈仮想仕事の原理をモデルに適用〉→〈誤差評価を考慮した増分型の式を導く〉→〈2次の摂動方程式に展開する〉→〈線形連立方程式を解く〉

4. 数値計算例

対称補剛材を有する矩形板の面内圧縮問題についての解析例について解析を行い、VPの効果を実証した結果について記述したい。載荷状態は図-2に示されたとおりであり、そのときの荷重-ひずみ曲線の一例が図-3に示されている。また、このときの板の塑性化の様子が図-4に描かれており、大きな円ほど早く塑性化したことを表している。

5. 考察

プログラミングに当たっては以下の点に留意した：

- ◇ ベクトル長をなるべく大きくする。
- ◇ 多重Dループの場合なるべく最内ループのベクトル長を大きくする。
- ◇ IF文はなるべくDループの中に入れない。
- ◇ SSL II/VP（VP用にプログラミングされた科学計算用サブルーチン）を積極的に利用する[3]。

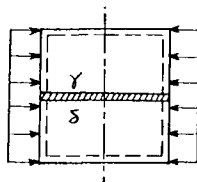


図-2. 補剛板の載荷状態

なお、このほかアンローリング (Unrolling)などの技巧を弄すればさらに効果が上がるが [4]、本研究ではそのようなことはしていない。しかし、VPを使用して計算を行った結果、CPU時間の大幅な低減が達成された。本解析のためのプログラムはループ長の長いDループや逆行行列演算を多数回含むためにある程度効果は期待されていたが、表-1に示されているように実際1ステップ当りの最高速度比 (VP100/M382の値)は自由度 (D.O.F.)が400強のとき約28倍を得た。以前に行った弾性梁柱の幾何学的非線形解析でも、表-2に示されているように、D.O.F.が500弱のとき約19倍を得ている。これらの表には分割数、すなわち、D.O.F.の違いによる速度比の変化も示されている。さらに細かく見ると、表-1に示されるように、要素剛性マトリックスより全体のそれを組み立てるサブルーチンのNLMATの効果が著しい。なお、ALUは行列のLU分解のための、LUXはLU分解された行列を前進-後退計算にて解くための、LUIVはその際得られたLU分解された行列より逆行行列を求めたためのSSL II サブルーチンである。また、Loop-Fと言うのは不釣合力に関係する、単純であるが、かなり長いループ長を持つDループである。

6. 今後の展望

板・補剛板について若干の弾塑性計算を行ってみた。Dループ内にIF文が有る場合は特にスカラー宣言をしてVP化を抑制しても相当の効果が見られた。今後行列の多重積等に関し、記憶のより合理的割り振りが行われるとともに、さらに、バンド型行列を有する連立一次方程式の高速解法が確立されることが望ましい。非線形計算は何といても極めて多数回の連立方程式の解を必要とするので非線形行列の作成・組立をも含め、VPによる効率化は極めて有効と考えられる。

7. 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広報 Vol16. No. 6. 1983
[3] FACOM FORTRAN SSL II使用手引書 99SP-0050-1.
[4] 二宮・秦野:NUMPACスーパー・コンピュータ版、ベクトル計算機応用シンポジウム、京都大学大型計算機センター、昭和60年3月

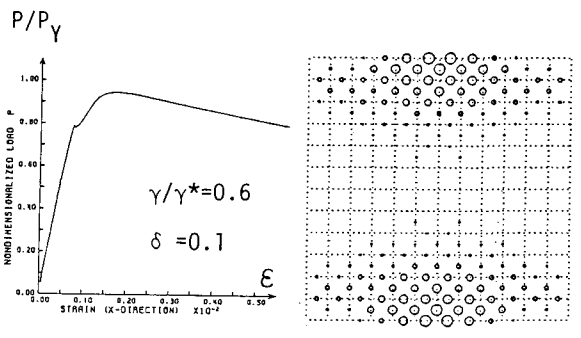


図-3. 荷重-面外たわみ

図-4. 塑性化進行

表-1. VP100の性能比較 (補剛板)

分割数	6 × 6	8 × 8	12 × 8	12 × 12
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 29 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) A: M382 B: VP100 A/B	273 29 9.4	1477 83 17.8	5042 200 25.2	17095 516 33.1
(NLMAT: 弾塑性) A: M382 B: VP100 A/B	558 72 7.8	2458 203 12.1	8088 476 17.0	26261 1189 22.1
内 --ALU-- A: M382 B: VP100 A/B	57 6 9.5	268 15 17.9	973 36 27.0	3054 93 32.8
取 --LUIV-- A: M382 B: VP100 A/B	105 23 4.6	509 78 6.5	1712 199 8.6	5481 514 10.7
(ALU: 面外) A: M382 B: VP100 A/B	3 1 3.0	17 3 5.7	61 6 10.2	212 16 13.3
(LUX: 面外) A: M382 B: VP100 A/B	0 0 ---	1 0 ---	2 0 ---	5 1 5.0
(LOOP-F) A: M382 B: VP100 A/B	12 0 ---	39 1 39.0	90 2 45.0	200 4 50.0

表-2. VP100の性能比較 (柱)

要素数	D.O.F.	1ステップ当りのCPU時間			DALU (SSL II/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	103	1.4	11	2.5	4.4
40	81	295	144	2.0	66	7	9.4
80	161	1074	230	4.7	540	25	21.6
120	241	2540	342	7.4	1650	81	27.0
160	321	5940	600	9.9	4434	123	35.3
200	401	11020	765	14.4	8630	215	40.1
240	481	18230	975	18.7	14811	354	41.8