

I-221

スーパーコンピュータ利用による三次元有限要素方程式解法の検討

東京工業大学工学部 正員 吉田 裕
東京工業大学大学院 学生員 ○藤原 新
東 亜 建 設 村上 道

1. はじめに コンピュータの性能が向上した現状においても、有限要素法による三次元解析の実用化のためには、有限要素方程式の解法を効率化することが絶対の要件となる。汎用機の自動並列計算が未だ発展途上にあり、直接法による場合には膨大な記憶容量を必要とすることを考えれば、容量の点で圧倒的に有利な反復解法を基礎としてベクトル計算機の効率利用を企めることは、なお相当に有意な方策である。本研究は、六面体固体要素による三次元解析を対象として、著者らの提案してきているSCG法の記憶の仕方[1]を含む各種の連立一次方程式解法の計算効率を比較検討したものである。

2. ベクトル計算機の効率利用を指向したSCG法の記憶の仕方について 通常は係数マトリックス A の対称性を考慮して上三角部分の非零要素だけ記憶するが、この場合にはCG法による計算過程で必要となるマトリックス A とベクトル P との積 AP の計算は、 A の上三角部分と下三角部分に対応する計算を別々に処理することが必要になり（図-1）、ベクトル計算の効率を損う結果につながる。提案する方法は、この欠点を解消するために、要する記憶容量はほぼ倍になるが、係数マトリックス A のすべての非零要素を記憶してベクトル計算の効率を高めようとするものである。この場合には、係数マトリックスの各要素の列番号をリストベクトルに記憶させることによって、積 AP の計算における行方向の乗算を1つのD0ループ内で連続的に処理できるようになる（図-2）。

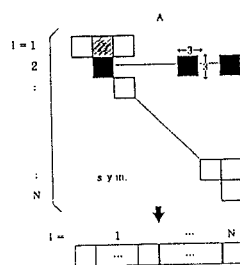


図-1 対称性を考慮した記憶法

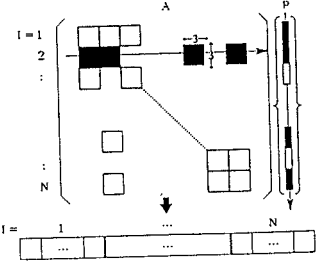


図-2 ベクトル計算の効率化を考慮した記憶法

表-1 使用したコンピュータシステムの概要

CPUの台数	主記憶	拡張記憶	ハードウェアの数
12	512MB	768MB	加算と乗算 2本

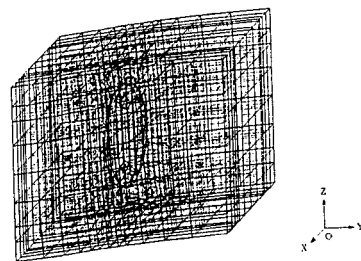
3. 使用した計算機および解析対象について

3-1. 計算機 用いた計算機はスーパーコンピュータCRAY C916/12256（東工大情報処理センター）である（表-1）。

3-2. 解析対象 解析対象は、中央に楕円の空洞を有する直方体であり、要素分割の仕方の違いによる5種類のモデルを設定した（図-3）。

3-3. 対象とした解法 直接法としてスカイライン法およびウェーブフロント法、反復法としてICCG法および前出の記憶の仕方の違いによる2種類のSCG法の計5通りの解法を対象としている。

4. 要した記憶容量 モデル(1)から(4)までは、直接法によっても主記憶内で解析が可能であるが、モデル(5)に関しては、直接法では約4.5GBのメモリーを要することに



【対象の寸法】

X方向全長 100 (cm)
Y方向全長 120 (cm)
Z方向全長 100 (cm)
空洞X方向径 50 (cm)
空洞Y方向径 20 (cm)
空洞Z方向径 60 (cm)

【材料定数】

ヤング率 2.1×10^6 (kg/cm²)
ポアソン比 0.3

【要素】

8 節点アイソプラジック六面体要素

【拘束条件】

Y = 0 (cm)の節点のX,Y,Z方向の変位を拘束
Y = 120 (cm)の節点のX,Y方向の変位を拘束
Z方向に0.1 (cm)の強制変位

図-3 解析対象

	節点数	要素数	各方向の 変位自由度 X Y Z
モデル(1)	1494	1088	12 8 12
モデル(2)	5290	4320	18 14 18
モデル(3)	8918	7488	20 20 20
モデル(4)	12782	11008	24 20 24
モデル(5)	49322	44928	36 36 36

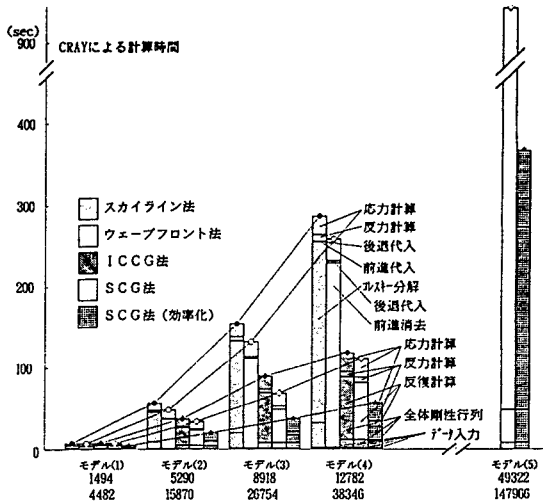


図-5 各解法で解析に要した計算時間の比較

なり、主記憶内では反復法によってのみ解析が可能である。

5. 要した計算時間 各解法によって、モデル(1)から(4)の解析に要した計算時間を比較して図-5に示した。直接法に関しては容量の増加に相応して計算時間が増加している。また、全体を記憶するSCG法の効果が明らかである。記憶方法の違いによる2種類のSCG法によってモデル(5)の解析に要した計算時間を図-5中に並記し、計算時間の内訳を表-2に示した。全ての非零要素を記憶するSCG法においては、反復計算過程での積 AP の計算に要する時間が大幅に短縮されており、この記憶法のベクトル計算における効果が歴然である。

6. 並列化について CRAY C916による計算においてベクトル化と並列化を併用した場合のCPU時間及び経過時間をベクトル化のみを採用した場合と比較したものが表-3であり、CPU時間と経過時間との関係を示したものが表-4である。並列化を実行する際にはタスク分割とタスク待ち合わせに要するOver head CPU time がとられるために、ベクトル化のみを採用する場合に比べて、並列化を併用する場合の方がかえって多くの計算時間を必要とする結果となり、汎用計算機における自動並列計算は未熟であることが分かる。

7. おわりに 以上に、三次元固体問題を対象として、有限要素法による解析に採られる各種の連立一次方程式解法の比較検討を行なった。ベクトル計算の効率利用を指向したSCG法の記憶の仕方の工夫の効果が大きいことを示すことができた。

- 参考文献 1) 吉田 裕, 中川 昌弥, 田中 知足: 共役勾配法のスーパーコンピュータ適合アルゴリズム, 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991年3月
2) 吉田 裕, 清水 純, 内田 洋平: 三次元実用化を指向した連立一次方程式に関する検討, 構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, 第18巻, pp. 199-204, 1994

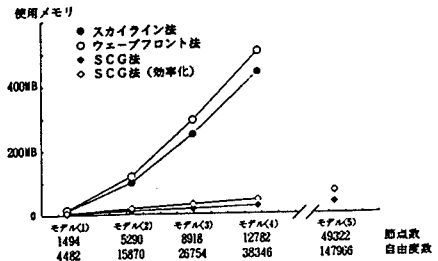


図-4 解析に要した記憶容量

表-2 SCG法によるモデル(5)の解析に要した計算時間内訳 (単位: 秒)

	データ入力	期性行列	スケール	反復回数	AP 1回	反復1回	全過程	応力反力	全計算過程
SCG法	8.16	40.30	5.04	825回	0.89	1.14	740.61	152.15	941.21
SCG法 (効率化)	8.19	39.85	1.19	826回	0.19	0.20	166.56	150.75	365.34

表-3 ベクトル化と並列化を併用した場合のCPU時間と経過時間

	CPU時間 (sec)	経過時間 (sec)
ベクトル化 + 並列化	10.796	5.058
ベクトル化のみ (1cpu)	4.799	—

表-4 CPU時間と経過時間の関係

CPUの数	経過時間 (sec)	-CPU時間 (sec)
1	2.5466	2.5466
2	0.5930	1.1861
3	0.6102	1.8306
4	1.3083	5.2330
平均 2.13	計 5.0581	計 10.7963