

スーパーコンピュータ S-810 用 7C-3 高速構造解析アルゴリズムの開発

○ 齊藤直人・坂田信二・清水 翼

㈱日立製作所 機械研究所

1 はじめに

スーパーコンピュータが実用計算に用いられるようになり、構造解析の分野でも高速計算プログラムの開発が求められている。高速に計算を行うためにはスーパーコンピュータに適したアルゴリズムを用いる必要があり、既存の汎用プログラムを用いる場合にはプログラムのチューニングを行うことにより高速化される。¹⁾ また、マトリクス演算など構造解析に特有の計算ルーチンの高速化手法も検討されている。^{2),3)} 著者らは、スーパーコンピュータ S-810 の特性を考慮し、新たに高速構造解析プログラム SIMUS を開発しており、弾性解析について試計算を行ったのでその結果を報告する。

2 SIMUS の概要

SIMUS は有限要素法を用いた構造解析プログラムで、スーパーコンピュータ S-810 に適したアルゴリズムを用いて高速化を図っている。特に、ベクトル長(DOループの繰り返し回数)の増加、複数演算器の並列利用を考慮したアルゴリズムとなっている。SIMUS の弾性解析部分の仕様を表1に示すが、3次元専用であること、合理的な数値積分アルゴリズム⁴⁾、大規模構造物に対応するための外部記憶装置を用いたブロックスカイライン法などが特長である。

3 高速化のためのアルゴリズム

3.1 配列の1次元化によるベクトル長の増加

スーパーコンピュータ S-810 は DOループの計算を高速に行うものであり、その計算速度はベクトル長に比例する。⁵⁾ このため、多重ループを一重ループに変更することにより、ベクトル長が増加し高速化が達成される。

図1は、要素剛性マトリクスを作成するための3個の行列の乗算のプログラム例である。図1(a)は定式化通りにコーディングした例で、3重ループになり、最内側 DOループのベクトル長は6である。これに対し、SIMUSでは図1(b)のように、リストベクトルを用いて配列を1次元化し、ベクトル長を大きくしている。さらに、行列の対称性を利用し、非零成分のみの演算を行うことにより、表2に示すようにベクトル長は50倍と305倍になり、乗算の回数は約1/4となっている。

3.2 複数演算器の並列利用

スーパーコンピュータ S-810 は複数の演算器を備えているので、これらを並列に利用することにより高速化できる。そのためには、DOループ内の演算量を多くする必要がある。

表1 SIMUS の仕様

プログラム名称	S I M U S
解 析 の 種 類	3 次 元 熱 弾 性
使 用 要 素	2 0 節 点 6 面 体 アイソパラメトリック要素
一要素当りの 積 分 点 数	8, 14, 27 (入力データにより指定)
異なる材料の数	任 意 (入力データにより指定)
境 界 条 件	・ 節点外力 ・ 強制変位 ・ 一様温度変化
連立一次方程式の 解 法	外部記憶装置を用いた 3 行 3 列 同 時 分 解 ブロックスカイライン法

Development of High-speed Structural Analysis Algorithm for Supercomputer S-810

Naoto SAITO, Shinji SAKATA, Tasuku SHIMIZU

HITACHI, Ltd.

SIMUSでは、計算の大部分を占める連立一次方程式の係数行列(全体剛性マトリクス)の三角分解において3行3列同時分解³⁾を行っている。これは、3次元解析において1節点当りの自由度が3であることから、全体剛性マトリクスが3行×3列の小行列を単位として作られていることに注目し、この9個の行列成分を最内側DOループ内で同時に分解する手法である。この結果、最内側DOループのベクトル長をほとんど減らさずに、演算量を9倍にすることが出来る。同様の手法は、一般の行列に対する2行2列同時分解(ペアドスカイライン法)として報告されている。²⁾なお、SIMUSでは、大規模構造物に対応するために、外部記憶装置を用いたブロックスカイライン法との結合を図っている。

4 解析例

弾性解析の試計算を行い、CPU時間を測定した。1825節点(5475自由度)の問題を従来の汎用計算機M-200Hで解いた場合は386.48秒であったが、S-810を用いた場合には36.66秒となり、10.5倍の加速率を得た。

<謝辞>

本プログラム開発に適切な御助言を賜った東京大学 三好俊郎教授、㈱日立製作所 小国 力副技師長及び 後 保範主任技師に対し深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 鎌田, 宇梶 他, 日立地方講演会論文集, pp82-84 (1985-9)
- 2) 小国 他, 情報処理学会論文誌, vol.27, No.2, pp148-154 (1986-2)
- 3) 三好 他, 機械学会論文集(A編), 52巻, 477号, pp1348-1351 (1986-5)
- 4) B.M.Irons, Int.J.Mech.Eng., pp293-294 (1971-3)
- 5) 村田 他, 「スーパーコンピュータ 科学技術計算への適用」, 丸善 (1985)

```
DO 10 I=1, 6
DO 10 J=1,60
DO 10 K=1, 6
10 DB(I,J)=DB(I,J)+D(I,K)*B(K,J)

DO 20 I=1,60
DO 20 J=1,60
DO 20 K=1, 6
20 BDB(I,J)=BDB(I,J)+B(K,I)*DB(K,J)
```

(a) 定式化通りのコーディング

```
DO 10 I=1,300
10 DB(I)=D(L1(I))*B(L2(I))

DO 20 I=1,1830
20 BDB(I)=BDB(I)+B(L3(I) )*DB(L4(I))
+B(L3(I)+1)*DB(L5(I))
+B(L3(I)+2)*DB(L6(I))
(L1,L2,L3,L4,L5,L6: リストベクトル)
```

(b) SIMUSのコーディング

図1 要素剛性マトリクス作成ルーチン

表2 要素剛性マトリクス作成ルーチンの高速化

項 目	定式化通りの コーディング	S I M U S の コーディング	比 率
乗 算 の 数	23760	5790	0.24倍
ベクトル長	6	300	50倍
	6	1830	305倍