原子力施設全体規模の構造解析に向けた要素毎有限要素接触解析手法: 性能向上のための階層化手法の改善

An element-by-element Finite Element Contact Analysis Method toward Structural Analyses of an Entire Nuclear Facility: Improvement of Hierarchy Technique for Performance Improvement

*鈴木 喜雄 [1]

[1] 原子力機構

原子力施設全体規模の構造解析に向けて実施した、並列かつ省メモリに解析可能な要素毎有限要素接触解析手法の研究開発の成果について報告する。本解析手法の性能向上のために提案した並列化手法（階層化手法）に対して更なる性能向上のための改善策を実施し、有効であることを確認した。

キーワード：有限要素法、接触解析、不整合メッシュ、Multiple Front 法

1. 緒言

原子力施設全体規模の構造解析に向けて、大規模複雑構造物を構成している複数部品をそれぞれ個別にメッシュ生成した場合に、整合メッシュのみならず不整合メッシュを用いた場合でも解析可能な、要素毎有限要素接触解析手法の研究開発を進めている。ここで、行列解法には直接法の一種である Multiple Front 法[1]を用いている。Multiple Front 法は、全体剛性行列を作成することなく（部品に対応付けできる）部分剛性行列を並列処理できるが、一方で（部品間の接触面に対応付けできる）インタフェース行列[1]を解く処理（境界求解処理）が並列化されておらず、ボトルネックとなる場合がある。従来手法は、ある一部品の行列に対し他の部品の行列を一つずつ加算しては生成される Frontal 行列[1]を処理するプロセスを繰り返す逐次的な方法である。これまでに、本処理を並列化するために、部品二つずつ行列をそれぞれ加算して生成される Frontal 行列を処理し、さらにその部品の塊二つずつの Frontal 行列をそれぞれ加算して新たに生成される Frontal 行列を処理するプロセスを繰り返す方法（階層化手法）を提案し、性能向上が期待できることを確認した。本研究では、本階層化手法に対して更なる性能向上のための改善を実施した。

2. 改善策

Multiple Front 法では、加算順序の変更等により、加算する度に生成される Frontal 行列のサイズ（wavefront）を小さくできれば、性能向上できる[3]。そこでまず、改善策①として、この wavefront の最大値を事前に求める処理（シンボリック分解）を階層化手法に対して最適化した。その結果、階層化手法では、従来手法と比べ wavefront が小さくなり得ることを確認した。次に、改善策②として、加算順序を階層化手法に対して最適化した（ただし、今回は、複数の異なる加算順序を予め準備してそれぞれを試行するという手動的な方法で実施）。

3. 結果

第一段階として、直方体の下面を固定し上面に荷重するという簡単なモデルを用いて、性能評価を実施している。ここで、直方体を複数の部品に分割し、各部品を各コアに分担させるように並列化している。現状は、2、4、8、16、32 並列の 5 通りを対象としている。図 1 に、従来手法（original）、階層化手法、①を適用した場合、①②の両方を適用した場合の 4 ケースにおける、異なる並列数境界求解処理に要した時間を示す。図 1 から、並列数が増加するにつれて、①及び②の改善策による性能向上が顕著になっていることが分かる。これにより、提案した改善策が、特に並列数が大きくなるとより有効であることを確認できた。

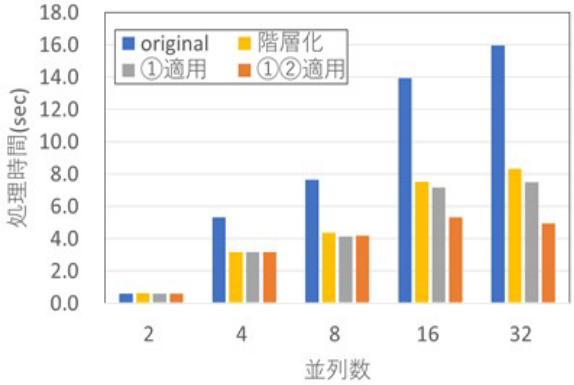

図1：original手法、階層化手法、階層化手法に①の改善策を適用した場合、①②の両方を適用した場合の4ケースにおける、異なる並列数での境界求解処理時間。

参考文献

[1] “The use of multiple front in Gaussian elimination”, I. S. Duff and J.A. Scott, RAL-94-040 (1994).

[2] HSL, a collection of Fortran codes for large-scale scientific computation, See http://www.hsl.rl.ac.jk/

[3] “On ordering elements for a frontal solver”, J. A. Scott, Commun. Numer. Meth. Engng, **15**, 309-323 (1999).

*Yoshio Suzuki[1]

[1]JAEA