

原子力施設全体規模の地震時挙動解析に向けた要素毎有限要素接触解析手法: 固着問題での検証

An element-by-element Finite Element Contact Analysis Method toward Seismic Behavior Analyses
of an Entire Nuclear Facility: Verification Using a Stick Problem

*鈴木 喜雄¹

¹原子力機構

原子力施設全体規模の地震時挙動解析に向けて実施した、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。構造物に対し部品単位で不整合メッシュを用いてメッシュ生成した場合に、Lagrange 未定乗数法と Multiple Front 法を用いて省メモリかつ並列に解析可能な手法を提案し、提案手法の実装と固着問題での検証を実施した。

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

1. 緒言

原子力施設における地震時の耐震裕度の定量的な把握に貢献するため、原子力施設全体規模の挙動解析（有限要素解析）技術の研究開発を進めている。有限要素法を用いて原子力施設のような複数部品で構成される大規模複雑構造物を解析する場合、一体的よりも部品単位でメッシュを作成の方が容易である。部品間の接触（特にスリップ）を考慮する場合、部品間の接触面でのメッシュ形状が一致している状態を維持したまま解析することは困難であるため、不整合メッシュ（部品間の接触面でのメッシュ形状が一致していないメッシュ）での解析になる。また、もともと各部品のメッシュを不整合メッシュで生成する方が整合メッシュで生成するよりも容易である。本研究開発の目的は、複数部品で構成される大規模複雑構造物の有限要素接触解析を整合メッシュのみならず不整合メッシュに対しても可能とすることである。そのために新たな手法を提案し、提案手法を実装したコードを開発し、第一ステップとして簡単な固着問題に適用してコードを検証する。

2. 提案手法

このような有限要素接触解析を可能とするため、剛体変位の取り扱い、接触拘束の厳密さ、求解の安定性向上、大規模問題への対応（省メモリかつ並列）を満たす手法が必要と考えた。そこで、提案手法では、まず、有限変形理論に基づく有限要素法をベースとし、接触解析には Lagrange 未定乗数法を用いることとした。Lagrange 未定乗数法は、接触拘束を厳密に扱える上、より安定に求解できる。ただし、解くべき方程式の係数行列が不定値になるため、行列解法には直接法を用いるほうがより安定な求解が期待できる。また、大規模問題への対応として、全体剛性行列を作成する必要なく部品単位で並列処理できるようにするため、Multiple Front 法[1]を用いることとし、Lagrange 未定乗数法を用いた場合でも、要素毎かつ並列に方程式を解けるようにすることを目指した。Multiple Front 法は、Frontal 法をベースに並列化された直接法であり、要素剛性行列が生成できれば要素毎かつ並列に方程式を解ける。接触面での節点上の境界変数をインタフェース行列[1]として扱うことでこれを可能としている。しかしながら、Lagrange 未定乗数法を用いると、全体剛性行列に対して新たな行列成分が追加された形の係数行列を用いることになるため、Multiple Front 法を用いるには工夫が必要となる。本研究では、Lagrange 未定乗数法を用いることにより新たに追加される行列成分を要素剛性行列生成と同時に組み入れるとともに、これらの成分を含む行と列をインタフェース行列として扱うことで、これを可能とした。

3. コード開発および検証

コード開発では、Computational Methods for Plasticity[2]に付属の有限要素法コード HYPLAS を 3D に拡張し、Lagrange 未定乗数法のアルゴリズムを追加した。Multiple Front 法には、hsl_mp42-2.0.0[3]を用い、改良した。固着問題には、不整合メッシュで作成された二つの立方体が衝突するモデルを用いた。一方の立方体の上面を押して移動させ、下方に固定されているもう一方の立方体に衝突させる。衝突後は一体の立方体となり、一体となった後も上面を押し続ける。解析の結果、開発したコードにより妥当な解が求まることを確認した。

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] “Computational Methods for Plasticity; Theory and Applications”, E.A. de Souza Neto, D. Peric, and D. R. J. Owen (2008).
- [3] HSL, a collection of Fortran codes for large-scale scientific computation, See <http://www.hsl.rl.ac.uk/>

*Yoshio Suzuki¹

¹JAEA