

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22560069

研究課題名(和文)メッシュレス三重相反境界要素法の実用化に関する研究

研究課題名(英文)Application of meshless triple-reciprocity BEM to various fields

研究代表者

落合 芳博(OCHIAI, Yoshihiro)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：70268465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：有限要素法を用いてCAE解析を行うには有限要素メッシュが必要になる。また、従来の境界要素法において非線形問題や物体力分布がある場合にはメッシュが必要になる。そこで、メッシュが不要な三重相反境界要素法の有効性および実用性を、種々の分野に活用することにより明らかにした。弾塑性問題、非定常熱伝導問題、不均質問題などに適用し、その成果を論文12報に示し、国際会議発表を7件行った。また、非定常問題に関する成果をWEB上で公開した。

研究成果の概要(英文)：In the finite-element method, a finite-element mesh is necessary. For elastoplastic and nonlinear problems, the conventional boundary-element method (BEM) also requires a mesh for domain integrals. The main advantage of the conventional BEM formulation is decreased for those problems. The meshless triple-reciprocity BEM makes use of internal points instead of a domain mesh. In this research, the meshless triple-reciprocity BEM is applied to various elastoplastic, non-homogenous, and unsteady problems with domain integrals. These results have been presented in 12 papers and 7 international conference proceedings. Using the research results for unsteady problems, one chapter of a free e-book is available for computational engineering researcher.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：シミュレーション工学 計算力学 数理工学

研究者番号: 70268465

1. 研究開始当初の背景

有限要素法では図1のような有限要素分割が必要であり、従来の境界要素法においても物体力がある場合や非線形問題では同様に内部セル分割が必要であった。提案している三重相反境界要素法では、図2に示すように任意の位置にある点群を用いて任意の分布を補間するところ新規性がある。メッシュレスでない通常のCAEでは、データが膨大になり、良いプリプロセッサの開発がCAEの優劣に関わってくる。市販の良く使用されているCAEのプリプロセッサで不均質のデータの入力には多大な時間が必要である。また、市販のプリプロセッサも機能が向上しているが、プリプロセッサの操作が煩雑で、高度な機能を学習するには独学では困難な場合が多い。なお、ユーザは有限要素法のようにメッシュの分割方法により計算精度が異なることを意識してシミュレーションを行う必要である。また、大変形解析においては、再メッシュの過程が容易になる。メッシュレス三重相反境界要素法では内部メッシュデータがないので、トータルのデータ量が激減するなどのメリットがある。

平成16年から17年にかけて基盤研究(C)で“メッシュレス三重相反境界要素法に関する研究”を2年間行ったが、2年間では実用化に不十分であった。一部の分野で有効性を示すことができているが、一般解法であることが、まだ理解されていない。多くの分野で活用可能であることを示すことにより一般解法であること確立し、実用化を目指した。

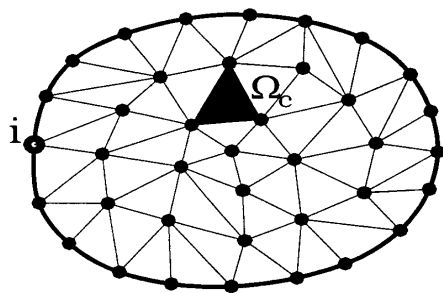


図1 有限要素法

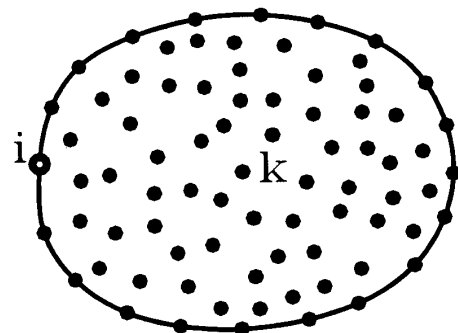


図2 三重相反法

2. 研究の目的

本研究では、申請者が提案しているメッシュレス三重相反境界要素法の有効性を確立する。本手法は、メッシュレスで解析することができ、有効な手法であることは既に示しているが、非線形問題や非均質問題に適した一般解法であることを示すことが目的である。

メッシュレスで解析することができるので、本手法のシステムが完成した場合、シミュレーションを行うCAEユーザに大きな利益を与えることができる。つまり、ユーザは有限要素法のようにメッシュの分割方法により計算精度が異なることを意識してシミュレーションを行う必要がなくなる。

本研究は4年間で行い、メッシュレス三重相反境界要素法の有効性を示すために、非線形問題および非均質問題の解法を確立する。三重相反境界要素法が一般解法であることが、まだ理解されていないので、多くの分野で活用可能であることを示すことにより一般解法であること確立する。また、本手法は解析精度も良い方法であるが、プログラム作成を容易にするため一定要素を用いていたため、精度の良さを示すことが出来ていなかったため、精度の良さを示す。

3. 研究の方法

領域積分を三重相反法により境界積分になるように、境界積分方程式の誘導を行う。また、三重相反境界要素法では、高次基本解が必要となる。この高次基本解の誘導を行う。基本解には特異性を含む場合があり、数値計算の精度が悪くなることがある。そこで、高次基本解の境界積分を解析的に行い場合があるので、そのための式の誘導を行う。これらの理論を使用してプログラム開発を行うことになるが、この開発に一番研究時間が必要になる。また、開発したプログラムと市販のプログラム(Ansys や LS-DYNA)との計算精度に比較およびデータ作成時間の比較を行う。

4. 研究成果

4年間、研究を行い、弾塑性問題、不均質問題、非定常問題などに三重相反境界要素法を適用し、その有効性と実用化の可能性を示した。その成果を年代順に示す。

(1) 平成22年度は定常熱応力を伴う熱弾塑性解析、任意荷重分布を伴う薄板変形解析、非定常熱応力を伴う熱弾塑性解析の研究を主に行った。熱弾塑性解析に関する成果をベルリンで開催された国際会議BETEQ 2010で発表した。また、その論文は“Engineering Analysis with Boundary Elements”に掲載された。平成

22年度は、学術誌に論文4報が掲載され、学会発表は5件発表した。その内容は、遠心力を伴う弾塑性解析、任意の初期温度および熱発生分布を伴う三次元非定常熱応力解析等である。非定常熱応力の計算を高速で行う方法、メッシュレス動弾性解析、メッシュレス凝固解析の研究を行った。また、三重相反境界要素法は理解することが困難であるので、比較的理解し易い1次元非定常熱伝導解析の研究を行った。三重相反境界要素法は、独自の補間手法を使用しており、その補間法は画像処理に活用でき、その成果を学会誌に発表した。

(2) 平成23年度は定常熱応力を伴う熱弾塑性解析、任意荷重分布を伴う薄板変形解析、非定常熱応力を伴う熱弾塑性解析の研究を主に行った。任意荷重分布を伴う薄板変形解析に関する成果をブラジリアで開催された国際会議BETEQ2011で発表した。また、その論文は“Engineering Analysis with Boundary Elements”に2012年5月に掲載された。非定常熱応力を伴う熱弾塑性解析に関する成果はトルコで開催された国際会議ICISS MM11で発表した。また、その論文は“Computer Modeling in Engineering & Sciences”に掲載された。

学術誌に論文3報が掲載された。書籍としてINTECH から出版されたHeat Conduction - Basic Researchの14章 (pp. 325-350) を著した。この書籍は学問的には重要なものではないが、WEB上で無料公開 (ISBN-13: 9789533074047) されておりメッシュレス三重相反境界要素法の普及のためには重要であると思われる。学会発表は4件発表した。その内容は、“三重相反境界要素法による凝固解析”等である。

(3) 平成24年度は三次元非定常熱応力解析、任意荷重分布および熱曲げ荷重を伴う薄板変形解析、傾斜機能材の軸対称定伝導常解析の研究を主に行った。三次元非定常熱応力解析に関する成果をチェコで開催された国際会議BETEQ 2012で発表した。また、遠心力を伴う弾塑性解析に関する研究はウィーンで開催された国際会議ECCO MAS 2012で発表した。不均質材の三次元熱伝導解析に関する研究は、神戸で開催された国際会議ICOMS 2012で発表した。

これらに関する論文は学術誌“Engineering Analysis with Boundary Elements”に3報掲載された。また、非定常熱応力解析に関する論文は国際会議BETEQ 2012のセレクト論文として“Computer Modeling in Engineering & Sciences”に掲載された。国内の学会発表は3件行った。その内容は、“三重相反境界要

素法による遠心力を伴うメッシュレス三次元弾塑性解析”、“三重相反境界要素法による薄板のメッシュレス熱変形解析”、“冷間鍛造用金型設計システムの開発”である。“冷間鍛造用金型設計システムの開発”の研究を、三重相反境界要素法を使用して行った。本研究の目的は、使用者が計算に使用される理論を意識せずに、三重相反境界要素法を使用している実用的システムの開発を行うことである。しかし、三重相反境界要素法においてもプリプロセッサの開発には多大な時間が必要であることが分かり、研究は完成していない。

(4) 平成25年度は不均質材の応力解析、任意荷重分布および熱曲げ荷重を伴う薄板変形解析、三次元移流拡散解析の研究を主に行った。任意荷重分布および熱曲げ荷重を伴う薄板変形解析に関する成果をシンガポールで開催された国際会議APCOM 2013で発表した。これらに関する論文は日本機械学会論文誌に2報掲載された。国内の学会発表は3件行った。その内容は、“三重相反境界要素法によるメッシュレス三次元移流拡散解析”、“三重相反境界要素法による不均質材のメッシュレス応力解析”、“三重相反境界要素法による不均質材のメッシュレス三次元応力解析”である。

不均質材のメッシュレス定常熱伝導解析は、重要な部分は完成しており、日本機械学会論文集に掲載された。本手法の定式化において、複合材は傾斜機能材の定式化の特殊な場合として定式化している。これにより計算のための解くべき行列式が非常に小さくすることができることを示した。この考え方を、複合材および傾斜機能材などの不均質の応力解析に応用するための高次基本解を誘導し、プログラムを作成した。口頭発表を2件行ったが、完成させて論文投稿を行う予定である。

また、未発表であるが、不均質材の熱応力解析がメッシュレスで可能であることが明らかになった。また、メッシュレス大変形解析の理論を作成し、プログラムもほとんど完成しており、LS-DANA との比較を行っている。

以上、メッシュレスで解析できる分野が広がったことが成果であり、特に弾塑性解析の有効性を示すことができた。他のメッシュレス法では、弾塑性解析が効率的に行えていない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

1. 三重相反境界要素法による不均質材料の三次元定常熱伝導解析, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 79, No. 805, pp. 1793-1804, (2013) 落合芳博, 査読有,

- <http://dx.doi.org/10.1299/kikaib.79.1793>
2. 三重相反境界要素法による分布する熱曲げ負荷を受ける薄板の変形解析, 日本機械学会論文集 A編, Vol.79, No.803, pp.976-988, (2013) 落合芳博, 早川雄太, 査読有,
<http://dx.doi.org/10.1299/kikaia.79.976>
 3. Axial Symmetric Stationary Heat Conduction Analysis of Functional Gradient Materials by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, Engineering Analysis with Boundary Elements, Yoshihiro OCHIAI, V. Sladek, J. Sladek, Vol.37, No.2, pp.336-347, (2013-2) ,査読有,
<http://dx/doi.org/10.1016/j.enganabound.2012.10.0006>
 4. Three-Dimensional Unsteady Thermal Stress Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, Engineering Analysis with Boundary Elements, Yoshihiro OCHIAI, Vladimir Sladek, Jan Sladek, Vol.37, No.2, pp.116-127, (2013-2) ,査読有,
<http://dx/doi.org/10.1016/j.enganabound.2012.09.002>
 5. Deformation Analysis of Thin Plate with Distributed Load by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol.36, No.5, pp.772-778, 平成24年5月(2012) Yoshihiro OCHIAI and Tomohiro Shimizu, 査読有,
<http://dx/doi.org/10.1016/j.enganabound.2011.10.0008>
 6. Meshless Unsteady Thermo-Elastoplastic Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, CMES(Computer Modeling in Engineering & Sciences) Vol.79, No.2, pp.83-101 (2011) 落合芳博, 査読有,
doi:10.3970/cmcs.2011.079.083
 7. 三重相反境界要素法による三次元非定常熱応力解析, 日本機械学会論文集 A編, Vol.77, No.778, pp.935-946, (2011) 落合芳博, 阪上智浩, 査読有,
<http://dx.doi.org/10.1299/kikaia.77.935>
 8. 三重相反境界要素法による非定常熱弾塑性解析, 日本機械学会論文集 A編, Vol.77, No.778, pp.925-934, (平成23年6月) (2011) 落合芳博, 西道隆征, 鬼塚宗一郎, 査読有,
<http://dx.doi.org/10.1299/kikaia.77.925>
 9. 三重相反境界要素法による分布荷重を受ける薄板の変形解析, 日本機械学会論文集 A編, Vol.77, No.775, pp.462-471, (2011) 落合芳博, 査読有,
<http://dx.doi.org/10.1299/kikaia.77.462>
 10. Three-Dimensional Thermo-Elastoplastic Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, (2011), Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol.35, No.3, pp.478-488, 落合芳博, 査読有,
doi:10.1016/j.enganabound.2010.08.018
 11. Image Processing by Interpolation Using Polyharmonic Function and Increasing Speed, IEEJ Transaction on Electrical and Electronic Engineering, Vol.6 pp.A1-A6, (2011) Tadashi Kobayashi, Narihei Kawasima, Yoshihiro Ochiai , 査読有 ,
DOI:10.1002/tee.20614
 12. Stress Analysis with Centrifugal Load in Non-Homogeneous Materials by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering, (Communication in Numerical Methods in Engineering) DOI: 10.1002/cnm.1218, Vol.26, No. , pp.1331-1342, 査読有, (平成22年) (2010) 落合芳博
- [学会発表] (計 19 件)
- ① 三重相反境界要素法による不均質材のメッシュレス三次元応力解析, 日本機械学会関西支部講演会 2014.3.18. 落合芳博
 - ② Deformation Analysis of Thin Plate with Distributed Thermal Bending Load by Triple-Reciprocity BEM, APCOM & ISCM, 2013.12.13., シンガポール, Yoshihiro OCHIAI
 - ③ 三重相反境界要素法による不均質材のメッシュレス応力解析, 日本機械学会計算力学講演会 2013.11.4. 落合芳博
 - ④ 三重相反境界要素法によるメッシュレス三次元移流拡散解析, 落合芳博, 村尾祐一, 日本機械学会 2013 年度年次大会 2013.9.11.
 - ⑤ 三重相反境界要素法による薄板のメッシュレス熱変形解析, 日本機械学会関西支部講演会, 2013.3.17., 大阪市, 落合芳博, 早川雄太
 - ⑥ 三重相反境界要素法による遠心力を伴うメッシュレス三次元弾塑性解析, 日本機械学会関西支部講演会, 2013.3.17., 大阪市, 落合芳博, 玉井伸典
 - ⑦ 冷間鍛造用金型設計システムの開発, 日本塑性加工学会, 2012.11.4., 小倉市, 落合芳博
 - ⑧ Three-Dimensional Heat Conduction Analysis of Inhomogeneous Materials by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, Kobe, 2012.10.10., ICMS2012. ,

- Yoshihiro OCHIAI
- ⑨ ANALYSIS OF ELASTOPLASTIC PROBLEMS WITH CENTRIFUGAL LOAD BY TRIPLE - RECIPROCITY BOUNDARY ELEMENT METHOD, ECCOMAS 2012 (2012. 9. 13, ウィーン), 2800, Yoshihiro OCHIAI, Vladimir Sladek
 - ⑩ Three-Dimensional Unsteady Thermal Stress Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, BETEQ 2012 (2012. 9. 3. 3., Chech), Yoshihiro OCHIAI, Vladimir Sladek, Jane Sladek
 - ⑪ 三重相反境界要素法による凝固解析, 日本機械学会関西支部講演会, 2012. 3. 16. 大阪府, 落合芳博, 三井和麻
 - ⑫ 三重相反境界要素法による非定常熱伝導解析, 日本機械学会計算力学講演会, 2011. 10. 9., 岡山市, 落合芳博, 西道隆征
 - ⑬ Unsteady Thermo-Elastoplastic Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, ICESS MM11, (2011. 9. 8., Turkey), Yoshihiro OCHIAI
 - ⑭ Deformation Analysis of Thin Plate with Distributed Load by Triple - Reciprocity Boundary Element Method, BETEQ (2011. 7. 14.) (Brazil) "Advances in Boundary Element Techniques II X", Yoshihiro OCHIAI and Shimizu
 - ⑮ 三重相反境界要素法による三次元非定常熱応力解析, 日本機械学会関西支部第 86 期定時総会講演会, 2011 年 3 月 20 日, 京都市, 落合芳博, 阪上智浩
 - ⑯ 三重相反境界要素法による非定常熱応力を伴う熱弾塑性解析, 日本機械学会九州支部講演会, 2011 年 3 月 17 日, 福岡市, 落合芳博
 - ⑰ 三重相反境界要素法による遠心力を伴う弾塑性解析, 日本機械学会東海支部講演会, 2011 年 3 月 15 日, 豊橋市, 落合芳博
 - ⑱ 三重相反境界要素法による分布荷重を受ける薄板の変形解析, 日本機械学会第 23 回計算力学講演会, 2010 年 9 月 24 日, 北見市, 落合芳博
 - ⑲ Three-dimensional Thermo -Elastoplastic Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method, BETEQ (2010. 7. 12.) (Germany), "Advances in Boundary Element Techniques I X", Y. Ochiai

[図書] (計 1 件)

Heat Conduction - Basic Research, Vyacheslav S. Vikhrenko Ed. (Chapter 14 Meshless Heat Conduction Analysis by Triple-Reciprocity Boundary Element Method) 2011, pp.325-350 INTECH (ISBN-13: 9789533074047)

[その他]

ホームページ等

<http://www.mec.kindai.ac.jp/mech/lab/ochiai/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

落合 芳博 (OCHIAI, Yoshihiro)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：70268465