

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06792

研究課題名(和文)3次元骨組構造物に対する加速付き勾配法を用いた効率的な非線形解析手法の開発

研究課題名(英文)Development of efficient nonlinear analysis method using accelerated gradient method for three dimensional frame structures

研究代表者

藤田 慎之輔 (Fujita, Shinnosuke)

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：80775958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、適応再スタート付き加速勾配法(以下、加速勾配法)を構造物の非線形解析に応用し、大規模問題に対する計算時間を短縮することで、構造物の設計の質の向上に寄与することを目的とするものである。

まず、弾性解析に対して、剛性方程式を直接解く方法と、ポテンシャルエネルギー最小化問題を加速勾配法で解く方法との比較検証をした。非常に大規模な問題においては、の方法よりもの方法の方が高速に釣合変位を求めることができることが確認された。また、幾何非線形解析への方法の適用にも着手し、非常に大規模な問題に対しては、よりもの方が計算時間が少なくなる傾向にあることが確認され、本手法の有効性が確認された。

研究成果の概要(英文)：The main purpose of this study is that the improvement of the quality of the structural design by applying acceleration gradient method with adaptive restart (hereinafter referred to as acceleration gradient method) to the nonlinear structural analysis and decreasing the calculation time for large scale problem.

First, for elastic analysis, we compared and verified the method (1):directly solving the stiffness equation and (2):solving the potential energy minimization problem with the acceleration gradient method. In the case of a very large problem, it was confirmed that the method (2) can solve the problem with less calculation cost than method (1). In addition, also for geometrically nonlinear analysis, it was confirmed that the calculation time tended to be lower for (2) than (1) for the very large problem.

研究分野：建築構造

キーワード：適応再スタート付き加速勾配法 大規模問題 ポテンシャルエネルギー最小化 幾何学的非線形

1. 研究開始当初の背景

近年、コンピュータによる数値計算を用いて、一定の合理性を持った建築構造形態を創出する研究が発展し、コンピュータシヨナルデザインとして一分野を確立しつつある。ただし、それらの手法は主に静的線形弾性範囲において優良な形態を模索するものであり、実施設計においては、幾何・材料非線形を考慮した解析を行った上でトライアル・アンド・エラーを繰り返すこととなる。コンピュータシヨナルデザインによって得られた形態は、新国立競技場のコンペ案などに代表されるように、古典幾何学にとられない複雑な形態を有するものが多く、そのような建築構造物に対して非線形解析を行うことは膨大な計算負荷を伴うものとなる。建築における構造設計とはトライアル・アンド・エラーの繰り返しによって最適な構造を模索する行為である。解析時間が肥大化することは、トライアル・アンド・エラーの機会を奪ってしまうことに繋がるため、従来の方法に代わる高速な数値計算アルゴリズムの構築が望まれている。

2. 研究の目的

コンピュータシヨナルデザインと呼ばれる形態創生手法の多くには、最適化手法が用いられている。最適化手法には、遺伝的アルゴリズムなどに代表される発見的な手法と、数理計画法に代表される理論的な手法に大別される。後者は汎用性には劣るものの、計算時間が高速であるという利点がある。コンピュータの発展とともに数理計画法は飛躍的な発展を遂げ、様々な分野で利用されている。

その中でも最も古典的な方法である勾配法は、数理計画法の黎明期に考案された手法

であり、アルゴリズムの実装が容易で、汎用性も高いため、様々な分野で古くから用いられてきたが、解の収束速度が遅いため、数理計画法の理論と技術の発展とともに、ほとんど用いられることはなくなった。しかし近年、前述の解の収束速度を大幅に改善した加速付き勾配法が登場し、大規模問題を解く効果的な解法として注目を集めている。事実、建築構造以外の分野においては、例えばビッグデータに対する機械学習で実際に用いられている。

剛性方程式を解いて釣合い経路を求めることは、ポテンシャルエネルギーを最小化することと等価である(図1)。

実務において用いられている構造解析ソフトウェアはすべて図1のAの式に基づいているが、前述の加速付き勾配法は、図1のBの方法を解くツールとして拡張可能であると考えられる。Aの方法は、線形問題の場合には剛性方程式を1度解くだけで解が得られるが、非線形問題の場合には剛性方程式繰り返し解く必要があり、解析規模が増大するに従って解析時間は指数関数的に増大する。一方、Bの方法は、線形問題と非線形問題の違いは剛性行列が定数か否かの違いだけしかなく、線形方程式を直接解く代わりに、行列・ベクトル積の反復によって解が得られ、大規模な非線形問題にも適用可能と考えられる。

最適化手法を用いて、従来の方法に代わる高速な数値計算アルゴリズムを構築することができれば、構造設計実務におけるトライアル・アンド・エラーの機会を増やすことができ、設計の質の向上が期待できる(図2)。また、建築分野に限らず、橋梁設計や機械設計など異分野においても積極的な利用が

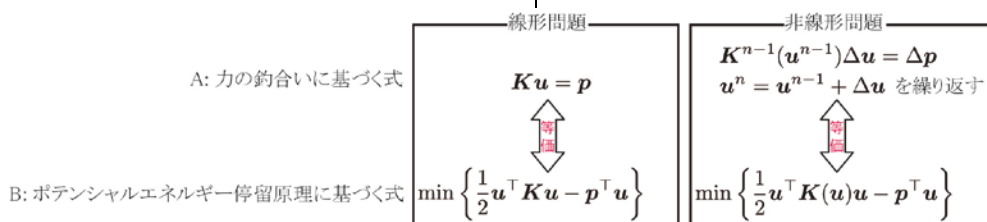


図1: 力の釣合いに基づく方法とポテンシャルエネルギーの停留原理に基づく方法

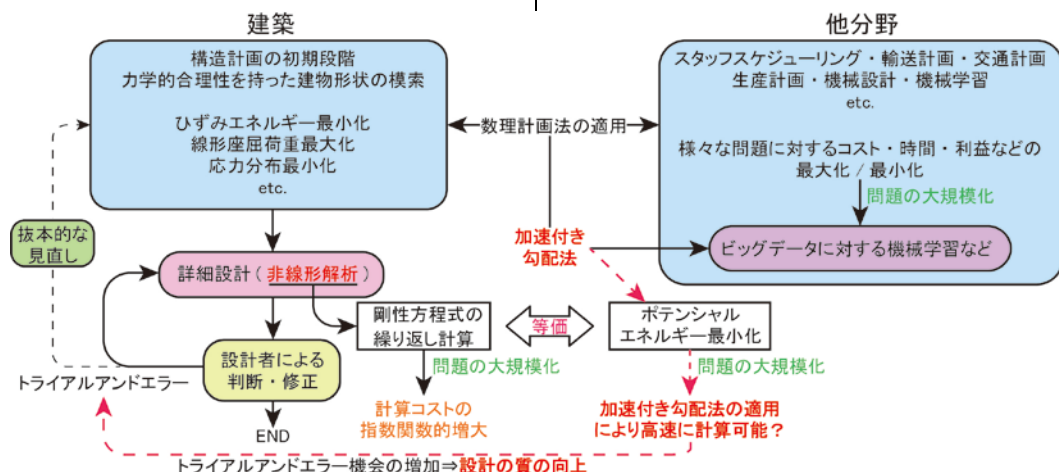


図2: 建築の設計プロセスにおける数理計画法と本研究の位置づけ

期待されるであろう。更に、これまで建築の分野においては、構造計画の初期段階における形態の最適化にのみ専ら利用されていた数理計画法を、全く別の用途に適用する新しい試みであり、建築分野における数理計画法に関わる研究の発展にも大きく寄与するものと期待される。

3. 研究の方法

まず、加速付き勾配法を実装し、ベンチマーク問題を解き、手法の有効性を確認する。その後、線形弾性範囲において、ポテンシャルエネルギー最小化問題を定式化し、加速付き勾配法により解き、結果が、従来の剛性方程式を解いた結果と一致することを確認する。それが達成されたのちに、手法を非線形問題へ拡張する。具体的には、材料非線形性問題、幾何学的非線形性問題、複合非線形問題への適用を試みる。

4. 研究成果

まず、加速付き勾配法を実装し、ベンチマーク問題を解き、手法の有効性を確認した(図3)。

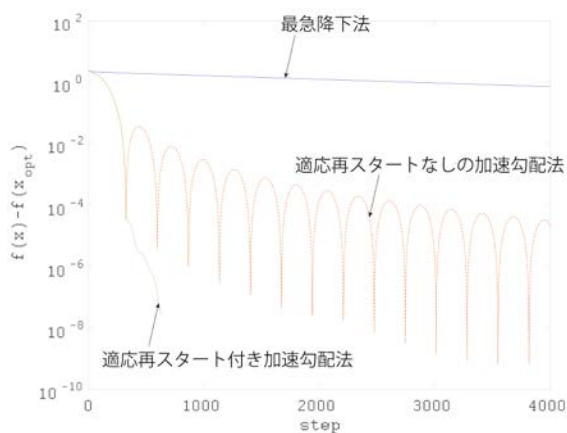


図3：適応再スタート付き加速勾配法とその他の勾配法の収束履歴の比較

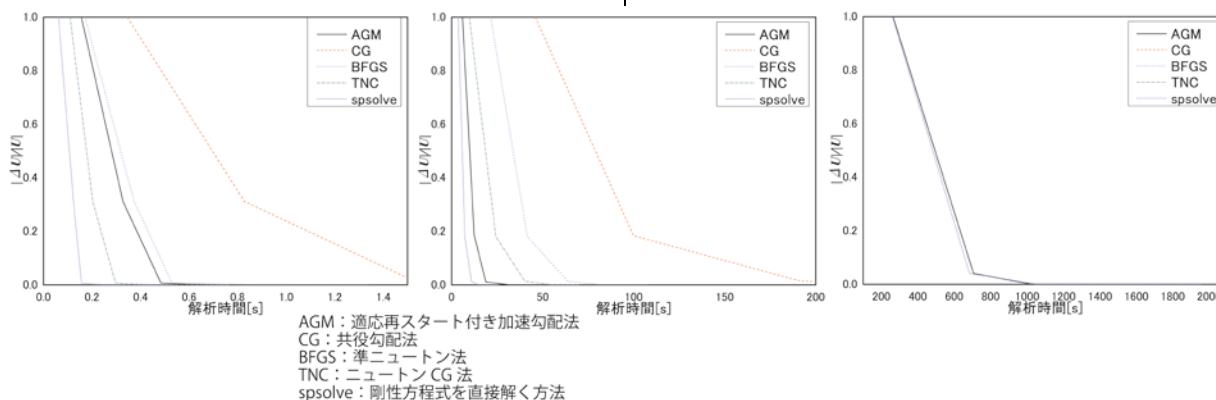


図5：様々な規模の骨組構造物に対する幾何学的非線形解析の収束時間の比較

その後、構造物の弾性解析に同手法を適用した。トラス及び骨組構造物に対して、剛性方程式を直接解く従来の手法と、本研究で提案する加速勾配法による方法との比較検討を行った結果、非常に大規模な問題に対しては、本研究で提案した手法の方が計算時間を短縮できることを確認した(図4)。同成果は2017年度のAIJ学会大会で報告されている他、今年春に修了を迎えた大学院生の修士論文としてまとめられた。

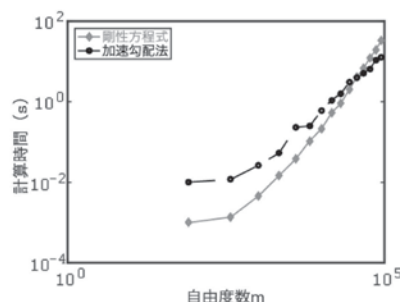


図4：弾性解析における計算時間と問題規模の関係

また、非線形問題に対して、骨組の幾何学的非線形問題に対して同手法を適用することもおこなった。ニュートンラプソン法を用いて剛性方程式を繰り返し解く方法と、本研究で提案する加速勾配法による方法との比較の他、加速勾配法以外の他の勾配法(具体的には共役勾配法、準ニュートン法、ニュートンCG法)との計算時間の比較も行った。傾向としては、小～中規模な問題に対しては加速勾配法の計算コストは他と比較して大きいですが、計算規模が大きくなるにしたがってその差は次第に逆転し、最終的に非常に大規模な問題に対しては剛性方程式を繰り返し解く方法と比べて計算時間の短縮が見込めることが確認された(図5)。同成果はOPTIS2016において報告された。

弾性解析ならびに幾何学的非線形解析に対して、大規模問題に対する本手法の有効性を確認することができた。今後は、本研究の研究期間内に取り組むことができなかった、

材料非線形問題への拡張並びに複合非線形問題への提案手法の適用に着手したい。

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)

[学会発表] (計 2 件)

・ 藤田慎之輔, 寒野善博, 大崎純: 骨組の幾何学的非線形解析に対する加速勾配法, 第12回最適化シンポジウム, 2016.12

・ 山本発, 寒野善博, 藤田慎之輔: 加速勾配法による大規模骨組構造の弾性解析, 日本建築学会大会(中国)構造I, 2017.9

[その他]

・ 山本発: 加速勾配法を用いた弾性・弾塑性建築構造物の微小変形解析法, 東京工業大学平成30年度修士論文

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 慎之輔 (FUJITA Shinnosuke)
東京工業大学 科学技術創成研究院 助教
研究者番号: 80775958

(2) 研究協力者

寒野 善博 (KANNO Yoshihiro)

大崎 純 (OHSAKI Makoto)

山本 発 (YAMAMOTO Hiraku)