

第61回 学位取得者 ・ 第18回 学術奨励賞

学位取得者・学術奨励賞受賞者の紹介

東京理科大学 工学部 建築学科 助教

さきやま なつひこ
崎山 夏彦

東京理科大学 工学部 建築学科 (2014年度入学)
工学研究科 建築学専攻 (2019年度修士課程修了)
工学研究科 建築学専攻 (2022年度博士課程修了)

建物の構造ヘルスマニタリングに対する 温度計測によるアプローチ

◆はじめに

第18回学術奨励賞および本稿執筆の機会をいただき、誠にありがとうございます。私は2014年に東京理科大学工学部建築学科に入学し、2017年に同学科の伊藤拓海研究室に配属されました。卒論テーマで機械学習を使った建物の構造解析の分析などを扱い、修士課程、博士課程では環境発電と機械学習などを活用した建物のヘルスマニタリングに取り組みました。2023年には「震災時の鋼部材の発熱特性と温度計測による損傷評価法に関する研究」という研究テーマで博士号を取得しました。本稿では、上記のテーマについてお話させていただきたいと思います。

大地震が発生した直後、被災地ではすぐに建物の安全性を確認し、継続して使用可能か判断する必要があります。現行の診断方法としては応急危険度判定や被災度区分判定、被害認定調査などがありますが、いずれも専門家などが現地に赴き、目視や簡易的な計測などによって判定する人的調査であるのが実情です。しかしこの方法だと、専門家の数が限られることやインフラへの被害などのため、判定には時間がかかります。また、目視では確認しにくい内部の損傷や、非構造部材に隠れている部材の状態を判断するのは難しく、経験や勘に頼る部分も大きくなります。

こうした問題を解決する新たなアプローチが、「構造ヘルスマニタリング (SHM)」です。これは、建物の構造的健全性を、センサーなどを使って自動的かつ定量的に把握する技術です。

今回紹介するのは、建築物の構造部材の温度変化から、その損傷度を推定するという手法です。私たちが提案するこの方法は、温度から損傷を判断できるとい

う点で非常に特徴的です。

センサーをあらかじめ柱や梁などの重要な部材に取り付けておくことで、地震時に自動的に温度を計測し、損傷の有無を即座に判断できるようになります。

さらに、温度は熱伝導によって周囲に広がるため、センサーが損傷箇所に直に触れていなくても検知が可能という利点もあります。

◆なぜ「熱くなる」のか？

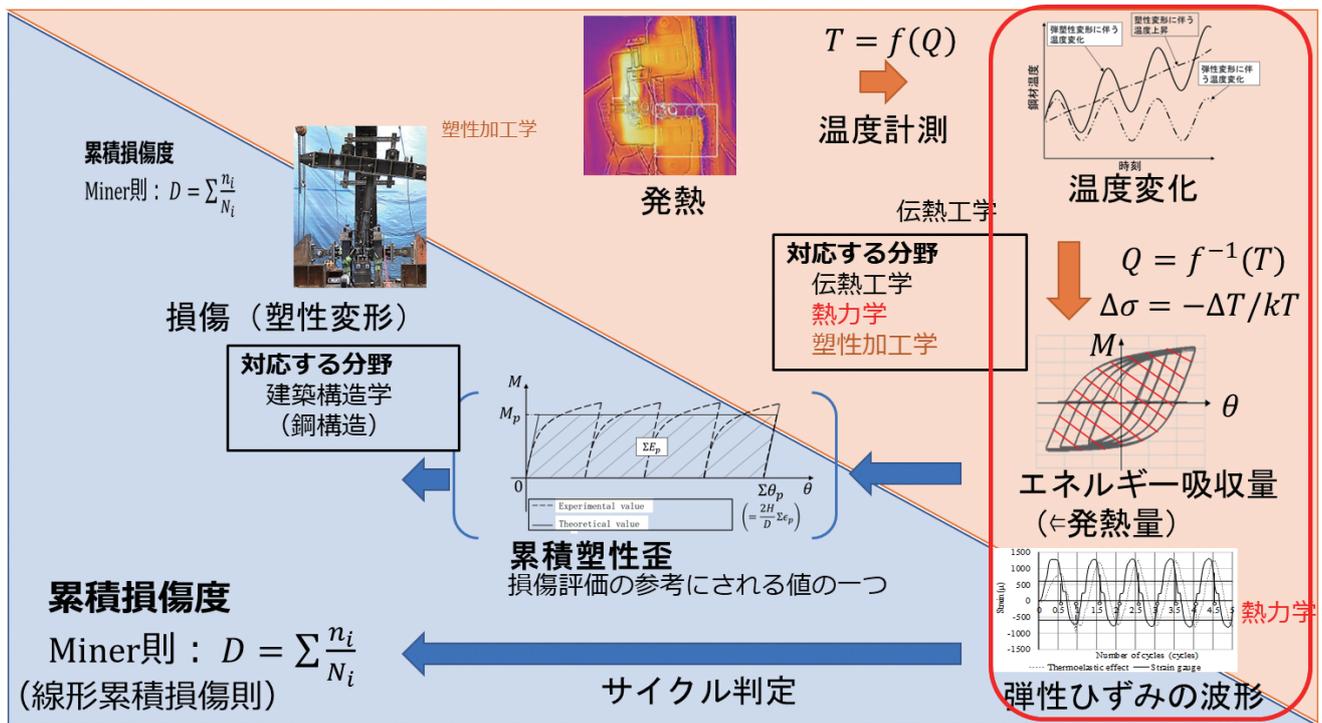
—— 塑性発熱と熱弾性効果

この研究の基礎にあるのが、物体が変形したときに生じる発熱現象です。大きく曲げたり引っ張ったりすると、塑性変形（元に戻らない変形）に伴って熱が発生します。これは「塑性発熱」と呼ばれ、塑性変形に要したエネルギーが変換されて熱になる現象です。塑性発熱は塑性変形量に比例するため、変形の大きさを推定することができます。また、「熱弾性効果」という性質もあります。これは、物体が引っ張られると温度が下がり、圧縮されると温度が上がるという、弾性変形（元に戻る変形）に伴う温度変化のことです。これをセンサーで検出できれば、力の方向（引張or圧縮）や、そのサイクル数（何回繰り返されたか）も分かるのです。

この2つの性質を組み合わせることで、「どのくらい変形したか」「何回繰り返されたか」を温度の履歴から読み取ることができるようになります。

◆温度計測による損傷評価のしくみ

以下は、提案する損傷評価法の流れです。



【図】 温度計測による損傷評価の流れ

温度の測定: センサー（熱電対・熱電素子）で、鋼材の表面温度をリアルタイムで計測します。適切にセンサーを設置することで、温度変化を弾性変形によるものと塑性変形によるものに分離することができます。

逆解析による発熱推定: 熱伝導解析は発熱から温度を計算する解析ですが、ここでは、測定された温度変化から、どのくらいの熱が内部で発生したかを熱伝導解析の「逆解析」で計算します。

エネルギー吸収量の算出: 部材が吸収したエネルギー量を、発熱量から求めます。

累積塑性ひずみの推定: エネルギー吸収量から、事前に実験で確認した荷重—最大ひずみの関係も参考にし、どれだけ塑性変形したかを計算します。

ひずみ振幅とサイクル数の推定: 熱弾性効果による温度の上下動から、力の向きの反転（1サイクル）を判定します。

Miner 則による損傷評価: 上記から得られたサイクル数とひずみ振幅をもとに、Miner 則という一般的な線形累積損傷則により、損傷度を数値化します。

●疲労試験機を使った動的実験による検証

研究では、SS400 という一般的な鋼種の鋼材を使用し、コの字形の試験体を複数体用意しました。これを疲労試験機に取り付け、さまざまなパターンで繰り返し曲げ応力を加えました。試験体には、熱電対、熱

電素子、ひずみゲージを取り付け、試験中の温度とひずみの履歴を詳細に記録しました。

実験中、ゆるやかな温度の上昇と上下に波打つ温度の変化が確認されました。この温度履歴をもとに、熱伝導解析の逆解析を使って内部で発生した熱量を計算し、その熱量からエネルギー吸収量を推定、さらに荷重—変形関係を完全弾塑性モデルと仮定して塑性ひずみに変換しました。この解析結果を、実際の変形量から算出された塑性ひずみと比較すると、非常に高い一致度を示しました。さらに、弾性変形による波形も精度よく推定することができました。

●おわりに

博士課程では、構造力学や伝熱工学、材料工学といった理工系のさまざまな知見についてご助言をいただき、新たな損傷評価法を提示することができました。同時に、博士課程として研究を遂行することは、自身にとっての研究という行為の意味を問うことでもあったと感じています。私にとって、社会のさまざまな課題に対して、研究者に限らず多くの人々がそれぞれ取り組んでいる中、自身の言葉を発していくことは、科学的手法という共通の作法に従いながら、自身の社会や物事に対する姿勢をおのずと問いつける「哲学」でもあると思います。今後も研究活動に向き合っていきたいと考えています。