

学 位 論 文 題 名

「赤外線法による外壁剥離診断の精度向上に関する研究」

学位論文内容の要旨

高度経済成長期以降の建築物のスクラップ・アンド・ビルドの時代からストック重視の時代を迎え、既存建築物の維持保全技術が重要視されている。赤外線診断法は、鉄筋コンクリート造の外壁仕上げに用いられるモルタルやタイルの剥離診断の一手法である。この診断法は非接触で高能率、かつ視覚的に結果が得られる点に特長があり、従来の診断法にない有利な点を多々有するが、基礎研究が不十分なまま実務において普及されたため、不適切な診断が多く行われ、その結果、社会的信用度を低めた経緯がある。本研究は、外壁剥離診断における赤外線法をより社会的に認知されるものとするため、診断精度を向上させるとともに、近い将来に標準化された診断法とするための資料を提供とすることを目的としている。

これまで赤外線法に関しては、屋外環境における定性的な傾向を知るための実験的研究や解析的研究が多く、ノイズ等の諸条件を受ける屋外環境において外壁の剥離を検知するために必要な温度差や、診断限界、測定波長と剥離検知精度の関係などについて体系的に研究されるには至っていない。

本研究はモルタル塗り仕上げとタイル貼り仕上げを対象とした広範な実験から、これまで不明確であった剥離状態や診断時の気象条件と赤外線画像特性との関係や、診断限界となる剥離状態、測定波長域によるノイズ特性や赤外線画像の差異を明確化するとともに、剥離部判別に必要な温度差、減算処理や中間波長帯の使用による診断精度向上の方法などを示した。

第1章は序論であり、コンクリート構造物の維持保全技術の必要性の高まりと、その社会的背景を概説し、建築物の非破壊診断技術の現状、赤外線診断法に関する既往の研究を整理した。また、本論文の構成について示した。

第2章では赤外線法による外壁剥離診断の原理と特長について述べた。非接触で物体の温度を測定する原理、赤外線放射温度計で測定される温度の意味、外壁の表面温度分布と仕上げ材の剥離の関係について概説し、現状における赤外線診断法の特長と問題点、外壁診断以外の分野での適用状況について示した。

第3章では、モルタル仕上げ外壁の剥離診断精度に関する実験的検討を行った。人工的な剥離を有する試験壁を用いて、剥離条件（剥離厚、仕上げ厚、剥離面積など）と赤外線画像の現れ方の関係、剥離部と健全部の間の温度差と赤外線画像上での剥離

部の判別しやすさの関係について明らかにし、モルタル仕上げ外壁に対する赤外線診断法の適用性を示した。

第4章では、タイル貼り外壁の剥離診断精度に関する実験的検討を行った。第3章と同様に人工剥離を有する試験壁を用いた実験と、タイル貼り仕上げを有する実在建物により、剥離条件（剥離厚、剥離面積、剥離深さ）と赤外線画像の現われ方の関係、使用する赤外線放射温度計の測定波長と得られる赤外線画像の特性、剥離部と健全部の温度差と赤外線画像上での剥離部の判別しやすさとの関係について明らかにし、タイル貼り外壁に対する赤外線診断法の適用性を示した。

第5章では、赤外線法による外壁剥離診断の診断限界に関する実験的検討を行った。人工剥離を有するモルタル仕上げ試験壁を用いた屋外実験と、室温を任意に制御できる実験室における実験を行った。仕上げ厚が大きい場合や、剥離厚（＝浮きしろ）が小さい場合、外部からの熱供給量が少ない場合など、剥離部と健全部の間に温度差が生じにくい条件下で、どの程度まで剥離部を判別できるか、また判別するのにどの程度の温度差が必要かを示した。また、打音法と赤外線法の診断精度の比較検討も行った。

第6章では、赤外線診断法の診断精度を向上させるため、撮影時刻の異なる複数画像間の減算処理効果について、試験壁と実在建物を用いて検討した。冬期間に室内の暖房熱の影響と剥離による温度差が混在する場合、および北面や天候条件により撮影壁面に当たる日射量が少なく、瞬時画像では剥離部と健全部の間に十分な温度差が得られない場合に、撮影時刻の異なる複数の赤外線画像間で減算処理を行い、二時刻間の温度差画像とすることで、暖房熱の影響を除去したり、剥離部と健全部の温度差を増幅することによって、剥離部をより正確に判別できるようになることを示した。

第7章では、従来の測定波長帯の中間の波長帯を使用した赤外線放射温度計を用いて、ノイズ特性や測定波長による剥離部の判別しやすさの程度を比較検討した。在来の長波長機では天空反射や対面建物からの反射、短波長機では太陽光反射により、反射の大きい仕上げの場合には診断精度が低下するのに対し、中間波長機（Middle wave 機）では、仕上げの種類によらず、ノイズの少ない安定した赤外線画像を撮影することができ、外壁剥離診断に適していることを示した。

第8章は以上の総括であり、本研究で新しく得られた知見、赤外線法による外壁剥離診断の適切な適用方法、今後の展望と課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	友澤	史紀
副査	教授	石山	祐二
副査	教授	大沼	博志
副査	教授	森吉	昭博
副査	助教授	千歩	修

学位論文題名

「赤外線法による外壁剥離診断の精度向上に関する研究」

赤外線診断法による外壁剥離診断は、赤外線放射温度計を用いて鉄筋コンクリート造建物等の外壁を撮影し、モルタルやタイルのような外壁仕上げの剥離を推定するものである。この方法は、非接触で高能率であり、かつ視覚的に結果が表示されることから、従来の診断法にない数多くの長所をもっている。しかしながら、基礎研究が不十分なまま実務において普及したため、不適切な診断が多く行われ、その結果、社会的信用度を低下させた経緯がある。

本論文は、外壁剥離診断における赤外線法の特性および診断限界を様々な実験・検討から明らかにし、診断精度を向上させる方法を提案したものである。実験にあたっては気象条件、測定波長域とノイズ特性、剥離条件(剥離厚・面積)等のような条件について検討し、これらの条件が赤外線画像に及ぼす影響を明確にしている。また、剥離部の検出精度を向上させる方法については新しい画像処理技法を提案し、診断の可能なあるいは最適な条件を明確にし、さらに条件に応じた測定波長域の選定等、実務において利用可能な数多くの成果を得ている。

本論文の成果とその評価を要約すると以下ようになる。

- 1) 赤外線法による外壁剥離診断の原理と特徴、すなわち非接触で物体の温度を測定する原理、赤外線放射温度計で測定される温度の意味、外壁の表面温度分布と仕上げ材の剥離の関係について概説し、現状における赤外線診断法の特徴と問題点を明らかにしている。特に、赤外線法で測定される温度は実際の温度ではなく、便宜上表示される「表示温度」であり、様々な要因がノイズとして影響することを示している。
- 2) これまで実際の剥離状況と赤外線画像の関係は明確にされていなかった。ここでは、モルタル仕上げおよびタイル張り外壁について人工的な剥離を有する数多くの試験壁を用い、剥離状態(剥離厚、仕上げ厚、剥離面積など)と赤外線画像の現れ方の関係、剥離部と健全部の間の温度差と赤外線画像上での剥離部の判別しやすさの関係を明らかにしてい

る。特に、仕上げ厚が大きい場合や、剥離厚（＝浮きしろ）が小さい場合、外部からの熱供給量が少ない場合など、剥離部と健全部の間に温度差が生じにくい条件下で、どの程度まで剥離部を判別できるか、また判別するのにどの程度の温度差が必要かを示している。これにより、赤外線法の診断限界が明確となり、逆に診断条件を限定することによって精度のよい診断が可能であることを示している。また、打音法と赤外線法の診断精度の比較検討も行っており、条件によっては打音法よりも赤外線法の精度がよいこともあることが示されている。

3) 赤外線診断法の診断精度を向上させる方法として、撮影時刻の異なる複数画像間の減算処理によるノイズ処理方法を提案し、この方法の有効性を試験壁と実在建物を用いて示している。この方法は、冬期間に室内の暖房熱の影響と剥離による温度差が混在する場合、あるいは壁面の方位や天候条件により撮影壁面に当たる日射量が少なく、瞬時画像では剥離部と健全部の間に十分な温度差が得られない場合に有効である。すなわち、撮影時刻の異なる複数の赤外線画像間で減算処理を行い、二時刻間の温度差画像とすることで、暖房熱の影響を除去したり、剥離部と健全部の温度差を増幅することによって、剥離部をより正確に判別できるようになることを示している。この方法は最適な条件で診断を行えないような実際の診断において有効な手法であるといえる。

4) 在来の長波長機・短波長機に加え、中間の波長帯を使用した赤外線放射温度計が開発されている。ここではこれらの赤外線放射温度計を使用し、使用する機種の測定波長と得られる赤外線画像の特性について明らかにしている。在来の長波長機では天空反射や対面建物等からの反射、短波長機では太陽光反射により、反射の大きい仕上げの場合には診断精度が低下するのに対し、中間波長機では仕上げの種類によらず、ノイズの少ない安定した赤外線画像を撮影することができ、外壁剥離診断に適していることを示している。診断方法の標準化等、今後検討を続ける課題はあるが、本論文の成果は実際の建築物の外壁剥離診断技術の進展に大きく貢献するものと評価される。

これを要するに著者は赤外線法による剥離診断の影響要因を明確にし、診断精度向上方法を提案し、剥離診断に関する多くの新知見を得たものであり、建築診断工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。