

氏 名	えの 榎 もと 本 ひで 秀 あき 明
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3938 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	打撃応答分析に基づくトンネル覆工の健全度評価法に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 朝 倉 俊 弘	教 授 宮 川 豊 章	教 授 松 岡 俊 文
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、トンネル覆工の打音検査手法において、検査手法に関する専門的知識の多寡に依存せず、安定した判定結果を得ることを目的に、打撃音の分析方法、打撃方法、打撃音の収録方法、健全度判定基準等に関して進められた研究の成果をまとめたもので、6章からなっている。

第1章は既往の研究成果から打音検査の自動化・機械化において検討すべき技術上の問題点を整理している。既往研究から打撃方法、打撃音の収録方法、打撃音の分析方法の3項目に着目し、打撃装置に関しては、装置からのノイズの抑制、打撃力向上の必要性を示している。収録方法に関しては、覆工面の振動以外の音の遮断、フード装着状態での集音装置の音響特性評価の必要性を示している。分析方法に関しては、時間変化の大きい打撃音分析におけるウェーブレット変換の有効性、巻厚や空洞・剝離といった評価に最適なマザーウェーブレットの検討の必要性を示している。

第2章は既往研究を参考に打撃方法や収録方法等に関して具体的な数種類の方法を選定して行った覆工モデルの打撃実験について述べている。覆工モデルにはコンクリートの厚さや空洞、剝離の位置、規模を変動させ設定しており、これらの相違を表現可能なことを基準に各方法を比較検討している。最初に、ウェーブレット変換に用いるマザーウェーブレットとして、周波数分解能等の面からガボール関数の有利性を示し、この関数を用いウェーブレット変換して得られる定性的なスカログラムの卓越状況を、ピーク周波数や卓越域の面積差を用いて定量的に捉え、これらを判断指標とし打撃方法や収録方法の検討を行っている。打撃方法の検討では、質量の異なる鋼球を用いコンクリート厚の情報を有する周波数帯を発生させるための条件を整理し、打撃方式の基本となるゴム方式を提案している。収録方法の検討では、集音装置に装着するフードによって収録音の周波数特性が変化することを明らかにし、形状、材質等フードの基本構造に関するホワイトノイズを用いた音響特性試験を行い、内部形状として円筒形のフードが有利であることを示している。これらモデル実験と併せて覆工モデルの有限要素法固有値解析を行い、打撃実験で得られる振動特性（ピーク周波数）と実際の振動特性との整合性について検討し、打撃音の周波数特性による覆工厚さ判定の妥当性を示している。

第3章は2章で行った比較検討から打撃方法や収録方法等を数種類選定し、打撃装置や収録装置の仕様に関して詳細に検討した結果について述べている。検討ではフードを壁面に押し付けた実測定と同状態で、収録装置の音響特性を測定可能な試験方法を考案し、各種の材質、内部形状等の影響に関する定量的検討を行っている。また、打撃音だけでなく、打撃対象物の表面振動を加速度計で測定し、その振動特性と打撃音の周波数特性等を比較することで、これまでの検討では不明瞭であったフード固有の卓越周波数域の特性を明らかにし、その後の検討を容易にしている。これらの検討方法を用い、集音装置に装着するフードに関して、円筒形を基本とした内部形状の検討を行い、厚さ判定に有効な形状を決定している。打撃装置の基本仕様である覆工に衝突する半球部の曲率、質量、衝突速度等をパラメータとした打撃実験を行い、各パラメータの変化と発生する振動、打撃音の周波数特性との関係を明らかにし、打撃装置の最適仕様を決定している。

第4章は3章で仕様を確定させた観測機器を用い、覆工モデルの打撃実験を行い、その結果を基にスカログラム上での卓越部の位置、振幅、減衰時間に着目した覆工厚さや欠陥の規模を判定する考え方についてまとめている。覆工厚さに関しては、

板の厚さ方向で発生する縦波共振現象による卓越域と板全体がたわみ振動することで発生する卓越域に着目し、その卓越状況を最大振幅に対する比を用いて判定するアルゴリズムを提案している。次に、その判定方法の妥当性、適用性を確認するために行った現地実験について述べ、これら覆工模型や現地実験結果に基づき、厚さ60 cm 程度を限界として10 cm 単位での覆工厚さの判定方法や空洞や剝離の有無を3段階に分類する判定方法を提案している。

第5章は4章までにコンクリート覆工用として製作した観測機器を煉瓦覆工の目地切れ判定に適用するために行った模型実験、有限要素法解析、現地実験に関して述べている。これらの検討では実態調査から明らかになった目地切れ状態を再現した模擬覆工を製作し、それらを用いた打撃実験から、打撃音の振幅及び卓越周波数と目地切れ状態との関係を明らかにしている。また併せて3次元有限要素法の動的応答解析を行い、打撃実験で得られた打撃音の周波数特性と振動特性との関係を明らかにしている。これらの結果を受け、打撃音の卓越周波数と振幅を指標として煉瓦ブロックの落下の危険度を3段階に分類する判定基準を提案している。

第6章は本論文の全体をまとめて結論を示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、構造上、使用上の安全性を確保する目的で実施されるトンネル覆工の打音検査において、検査手法に関する専門的知識の多寡に依存せず、安定した判定結果を得ることを目的に、打撃音の分析方法、打撃方法、打撃音の収録方法、健全度判定基準等に関して進められた研究の成果をまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 打撃音の分析手法として、時間変化の激しい波形の周波数分析に実績のある連続ウェーブレット変換を採用し、マザーウェーブレットとスカログラム上での周波数分解能および時間分解能の関係を具体例を用いて実証的に明らかにした上で、覆工厚さの分類に有効なマザーウェーブレットを決定している。
2. 打撃方法に関して、打撃音の周波数特性に影響するパラメータを抽出し、パラメータを変動させた実験より厚さと打撃音のスカログラムの関係を実証的に検討した。検討では、定性的なスカログラムの卓越状況をピーク周波数や卓越域の面積差を用いて定量的に捉え、これらを判断基準とし最適仕様を決定している。
3. 覆工にフード付き集音装置を設置して打撃音を収録する方法を採用し、フード構造が収録音の周波数特性に影響があることを明らかにした上で、フード装着状態で適用可能な音響特性試験を考案し、各種の材質、内部形状等の影響に関する定量的検討により最適仕様を示している。
4. 実覆工及び模型覆工に関して3次元の固有値解析を行い、打撃音の卓越周波数と解析上の覆工振動との関係から、打撃音の周波数特性を用いて覆工厚さを判定することの妥当性を示している。
5. 上記成果を踏まえ、厚さや空洞等の欠陥条件が異なる覆工模型を用いた打撃実験を行い、厚さに関連する周波数特性の抽出、空洞等の欠陥規模に関連する振幅特性等の抽出を行った。これらの検討結果に基づき、コンクリート覆工厚さの判定方法や空洞や剝離の有無を3段階に分類する判定方法を提案している。
6. 同測定装置の煉瓦覆工への適用を目指した検討から、目地切れに限定した現象として振幅及び卓越周波数と目地切れ状態との関係を明らかにし、それらを指標とした危険度判定基準を提案している。

以上のとおり、本論文は従来の主観に依存する打音検査に代わる検査手法として、打撃応答特性に基づいて覆工厚、空洞の存在、剝離の危険性等を定量判定する手法を示したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。