

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630205

研究課題名(和文) 振動特性計測に基づく新しい覆工コンクリート健全度評価法の提案

研究課題名(英文) Lining concrete healthiness evaluation method based on vibration characteristics measurement

研究代表者

蒋 宇静 (JIANG, Yujing)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：50253498

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：建設後数十年経過しているトンネルの覆工コンクリートには、ひび割れを生じている場合が多いものの、表面スケッチの視覚的評価やレーザー光線計測を主とした健全度評価が実施されているのが現状である。しかし、コンクリート内部の状態まで評価されているとは言い難い。

本研究では、固有振動特性の違いに基づく覆工コンクリート健全性評価手法を独創的に提案し、特に、背面空洞やひび割れの存在により、フーリエスペクトル特性が変化を生じる特徴を利用して、老朽化した覆工コンクリート構造物の健全性(強度や剛性)を、非破壊的で高精度に評価できる手法を確立し、実現場への適用により提案手法の実用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：In the present study, the new healthiness evaluation method for lining concrete was ingeniously proposed based on the difference of the natural vibration characteristics. In particular, due to the presence of the rear cavity and cracks, using the features of Fourier spectral characteristics result in a change, healthiness of lining concrete structure was aging (the strength and rigidity), it can be evaluated in a non-destructive, high-precision. The usefulness of the proposed method was verified by application to the realization field.

研究分野：岩盤工学

キーワード：維持管理 トンネル覆工 非破壊的手法 健全度

1. 研究開始当初の背景

社会基盤維持管理の取組みについて、どちらかと言えば、アメリカの落橋事故を受けて、橋梁の方が先行されている。ところで、2012年12月2日に発生した中央自動車道上り線笹子トンネルの天井板落下事故は、トンネル維持管理のあり方に対しても警鐘を鳴らしてくれた。国内では、高度成長期に作られ供用年数が30年以上のトンネル(道路トンネル、鉄道トンネルと水路トンネル)の総延長は5,000kmを超えている。これらに的確な補修補強を施し延命化させること、および時期を失せず更新することは、まさに国家的課題である。

2. 研究の目的

本研究は、トンネル覆工コンクリートの健全度(強度や剛性低下)を定量的に評価するための新しい非破壊計測手法を開発する。覆工コンクリート内の欠陥の大きさ・分布などを測定する従来技術と異なり、地盤の常時微動が道路面から伝達される際、健全度の変化によって損傷箇所(クラック、背面空洞など)の固有振動特性が明らかに変化することと、損傷の可能性が極めて高いトンネル天井部にも容易に取付けることに着目して、超軽量(200g)で高感度(1mgal加速度分解能)なセンサーによる新しい覆工コンクリート健全度評価手法を確立する。振動状態を計測するだけの簡便操作で、定量的に健全度を評価できる独創的な手法の開発により、数の膨大な国内トンネルの合理的維持管理に貢献する。

3. 研究の方法

本研究開発で計測項目として取り上げている常時微動とは、地盤中を伝播する人工的または自然現象による種々の振動のうち、特定の振動源から直接的に影響を受けない状態で、さまざまな振動によって誘起され

る微小な地盤振動である。地盤中を伝播する振動による構造物の常時微動を測定することにより、覆工コンクリート構造物の健全度(強度や剛性)を定量的に推定する。

所定のトンネルスパンの着目部位(クラック、背面空洞など)において、道路面から伝達される3方向の振動成分を計測し、それをフーリエ変換して振動エネルギーとして捉え、健全度の変化を評価するが、個々の欠陥の種類/大きさ/数などが異なっても、欠陥の総体としての剛性の低下すなわち健全度と道路面から伝達する振動の減衰状態の変化がリンクしている、という独創的な知見に基づくものである。

なお、健全と不健全とそれぞれ評価されたスパンにおいては、その常時微動のフーリエスペクトルに差が生じていることを判明したため、この差を用いて健全度を評価する新しい手法を提案する。

一般的なフーリエスペクトルの評価手法では、卓越周波数やその値の変化に基づいて実施している場合が多い。しかし、測定地点近傍における交通や工事振動の影響、覆工コンクリート物性や剛性の影響を受け、測定地点ごとに違う値となる可能性が高い。基本的には、健全度の違いにより卓越周波数が変化するが、その変化と健全度の関係を定量的に評価することは難しい。

一方、提案手法は卓越周波数ではなく、フーリエスペクトル自体を用いている。フーリエスペクトル値は、対象とする波形の振幅特性を示しているものであり、ある意味では波形のエネルギーとも考えられる。健全および不健全スパンでの天端、側壁および道路面における3成分の代表フーリエスペクトルに対して、健全および不健全スパンにおいて測定された常時微動のフーリエスペクトルの変化(エネルギーの変化)を比較して、健全度の低下率を定量的に算定できる。

本研究で確立するシステムのコストは、現状技術に比べ 1/5 ~ 1/10 以下安価で、それに交通を規制せず短時間に行えるため、特に交通量の多いトンネルの点検にとって画期的な技術になる。

4. 研究成果

本研究の成果については下記のように取り纏められる。

4.1 現地調査に基づく健全度の異なる覆工コンクリートスパンの選定と基礎データの蓄積

長崎県が管轄する複数の道路トンネルにおいて提案手法の検証を考えている。長崎県佐世保市里美トンネルでは、実測した覆工表面クラックと内部空洞との対応も確認したため、健全度の異なる覆工コンクリートスパンを選定し、ひび割れの発生パターンと密度が覆工コンクリート構造物の振動特性に及ぼす影響を詳細に解明した。

4.2 計測評価システムの構築

トンネル天井部にも容易に取り付けられるよう、200g と超軽量のセンサーを選定し、着目スパンの測定部位における 3 方向の振動成分を、1mgal の加速度分解能で同時に計測した実地データをリアルタイムに振動特性と覆工コンクリート健全度との相関関係と照合することにより健全状態を迅速に判断する計測評価システムを構築した。

4.3 健全度の変化によるトンネル覆工コンクリートの振動特性分析

健全と不健全とそれぞれ評価されたスパンにおいては、その常時微動のフーリエスペクトルに差が生じていることを判明したため、この差を用いて健全度を評価する新しい手法を提案した。

一般的なフーリエスペクトルの評価手法では、卓越周波数やその値の変化に基づい

て実施している場合が多い。しかし、測定地点近傍における交通や工事振動の影響、覆工コンクリート物性や剛性の影響を受け、測定地点ごとに違う値となる可能性が高い。基本的には、健全度の違いにより卓越周波数が変化するが、その変化と健全度の関係を定量的に評価することは難しい。

一方、提案手法は、卓越周波数ではなく、フーリエスペクトル自体を用いている。フーリエスペクトル値は、対象とする波形の振幅特性を示しているものであり、ある意味では波形のエネルギーとも考えられる。健全および不健全スパンでの天端、側壁および道路面における 3 成分の代表フーリエスペクトルに対して、健全および不健全スパンにおいて測定された常時微動のフーリエスペクトルの変化（エネルギーの変化）を比較して、健全度の低下率を定量的に算定することが可能となった。

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 1 件)

- 1) Yang Gao, Yujing Jiang, Bo Li : Estimation of effect of voids on frequency response of mountain tunnel lining based on microtremor method, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol.42, No.5, pp.184-194(2014.5)

〔学会発表〕(計 4 件)

- 1) 李博, 蒋宇静, 大嶺聖, 杉本知史: トンネル耐震性向上のための FRP グリッドを用いた覆工内面補強効果の評価, 土木学会第 70 回年次学術講演会, -136, 岡山大学(岡山), 2015.9.16
- 2) 平井光希, 蒋宇静, 大嶺聖, 杉本知史, 李博: トンネル耐震性向上のための

FRP グリッドを用いた覆工内面補強効果の評価,平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-37, pp. 325-326, 琉球大学(沖縄), 2015. 3.7

- 3) K. Hirai, Y. Jiang, B. Li, Y. Higashi : Analytical evaluation of tunnel reinforcement effect using FRP-PCM method, *Proceedings of the 10th Japan-China Joint Seminar for the Graduate Student in Civil Engineering*, Nagasaki University (Nagasaki, Japan), pp.38-43, 2014.11.15
- 4) Y. Gao, Y. Jiang, B. Li : A two-dimensional vibration model for mountain tunnel lining built with poling-board method. *Proceedings of the 2014 ISRM European Rock Mechanics Symposium(EUROCK 2014)*, Spain (Vigo), pp.897-902, 2014.5.28

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

蒋 宇静 (JIANG Yujing)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号 : 50253498