


論文審査の結果の要旨

報告番号	博(工)甲第120号	氏名	韓偉
学位審査委員	主査 蔣宇静 副査 大嶺聖 副査 杉本知史		

論文審査の結果の要旨

韓偉氏は、2019年10月に長崎大学大学院工学研究科博士後期課程に入学し、現在に至っている。同氏は、工学研究科博士後期課程に入学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、供用中道路トンネルの健全度評価と覆工内面補強設計に関する研究を行い、その成果を主論文「Study on Influence of Tunnel Quality Defects on Lining Structure and its Reinforcement Design (トンネルの覆工構造に対する欠陥部の影響評価と補強設計に関する研究)」として完成させ、参考論文を付して、2022年7月に博士(工学)の学位を申請した。長崎大学大学院工学研究科教授会は、2022年7月20日の教授会において論文内容等を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を2022年8月17日の工学研究科教授会に、本書面をもって報告することとした。

学位論文の適合性を審査したところ、学位論文の印刷公表論文6編(うち審査付き論文5編)、印刷公表予定論文1編(うち審査付き論文1編)が学位論文を構成していることが認められ、適合性ありと判断した。

交通ネットワークの整備においては、多くの道路トンネルや鉄道トンネルが建設され、覆工はトンネル空間を形成する主な構造体として、その健全状態がトンネル内走行安全の確保において極めて重要である。しかしながら、覆工背面空洞のような欠陥部や施工不良による覆工厚の不足などの問題がしばしば生じているので、トンネル構造の耐久性と安全性が大きく影響されている。特に供用年数の増加に伴い、覆工材料の老朽化が進んでいくので、覆工の欠陥部がトンネルに与える影響を明らかにし、効果的補強技術を確立することは望まれている。本学位論文は、供用中道路トンネルを対象に、トンネル構造の健全性に対する覆工の構造的欠陥の影響について、数値解析モデルの改善とケーススタディに基づき詳しく考察し、供用中トンネルの補強設計のための技術的提案を行うことを目的として、以下のように研究を展開している。

まずは、背面空洞の存在と覆工厚の不足をトンネル覆工の構造的欠陥として捉え、国内外の文献



調査に基づき分析し、その発生要因を客観的に特定する階層構造モデルを示すとともに、地質調査の段階から設計、施工までの各段階における発生防止のポイントを述べた。

次に、構造的欠陥を有する覆工コンクリートの変形挙動と覆工表面クラックの進展メカニズムについて、有限要素法と結合力モデル(CZM)を組み合わせた手法(FEM-CZM)を用いて、詳細な検討を行い、FRP(Fiber Reinforced Plastic)グリッドを用いたPCM(Polymer Cement Mortar)吹付け工法(以降、FRP-PCM工法)による覆工内面補強効果を定量的に評価した。その結果、覆工表面の損傷は、構造的欠陥のタイプや欠陥部の範囲に支配され、覆工厚の不足よりも背面空洞による影響が顕著であることを明らかにした。なお、覆工表面に現れる損傷クラックの形態については、5つのタイプ、つまり、TRCZ(tensile ring cracks zone)、SRCZ(shear ring cracks zone)、SLCZ(shear longitudinal cracks zone)、MLCZ(mixed-failure longitudinal cracks zone)、MCCZ(mixed-failure cross cracks zone)といった分類法を提案し、それらに対するFRP-PCM工法の内面補強効果を考察した。背面空洞が特に覆工の曲げモーメントに対する影響が大であるため、背面空洞の性状に応じてFRP-PCM工法による内面補強設計を行えば、覆工構造の塑性破壊を効果的に低減させることを確認した。

材料特性の経時変化を考慮しない検討に加えて、構造的欠陥を有する覆工コンクリートの強度劣化に対するFRP-PCM工法の補強効果についても解析的検討を行った。構造的欠陥の発生個所や欠陥部の範囲、覆工材料の強度、トンネル周囲の地盤条件によって、トンネル健全度の経年的劣化傾向が変わることに対し、FRP-PCM工法が各段階において異なる補強効果を有することを解明した。ただし、補強効果はFRPグリッドの規格や覆工材料の強度低下具合に支配されるので、内面補強設計に際しては、これらの要素を設計用解析モデルに取り入れるべきことを強調した。

さらに、構造的欠陥を有するトンネル構造の動的応答について、代表的な地震波をトンネルの解析モデルに入力することにより検討を実施した。トンネル構造の動的応答に対する構造的欠陥のタイプや欠陥部の範囲、覆工内面補強工法による影響を、標準応答スペクトル比を用いて詳しく考察した。解析的検討の結果、最大加速度は構造的欠陥のタイプや欠陥部の存在箇所と範囲に大きく影響されるが、標準応答スペクトル比は、構造的欠陥のタイプと背面空洞の範囲に顕著な影響を受けることが分かり、内面補強や背面空洞注入などのトンネル補強工法によっても覆工構造の動的応答が大きく変わることを明らかにした。

最後に、構造的欠陥や覆工表面クラックなどが覆工構造の健全度に対する影響度合いをファジィ総合評価(FCE)手法を用いて評価した上で、トンネル覆工の補強設計の技術的提案を試みた。特に、各要因の影響重みを定めるために、AHPとEWM(エントロピー重み法)の組み合わせにより、定量的考察を可能にした。これらの検討に基づいて、覆工構造の補強工法の選定フローを示した。

以上のように本論文は、トンネルの覆工構造に対する覆工厚や背面空洞の影響とFRP-PCM補強効果の評価に関して、新規性と独創性があり、高い学術的価値を有するものと評価できる。

学位審査委員会は、韓偉氏の研究が供用中道路トンネルの健全度評価と補強対策検討において極めて有益な成果を得るとともに、トンネル工学の進歩発展に貢献するところが大きく、博士(工学)の学位に値するものとして合格と判定した。