

(論文内容の要旨)

本論文は、トンネルの覆工コンクリート打設後初期のひび割れ発生メカニズムを解明することを目的として、模型実験および実際の新幹線トンネルを使用した現地計測を実施し、ひび割れ発生の予測方法を確立するために数値解析手法を提案するとともに、さらに、ひび割れの判定基準および抑制対策法を示したもので、8章からなっている。

第1章は「序論」であり、覆工コンクリートに求められる性能や過去のコンクリート片剥落事故を受けて、ひび割れに対する要求が厳しくなっていることを本研究の背景として示し、本研究の目的と構成について記している。

第2章は「覆工コンクリートの初期性状に関する現状と課題」であり、鉄道トンネルを中心として覆工コンクリートの要求性能の推移、既往の研究や現在の覆工に用いられるコンクリートの配合等を整理している。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 現在の初期ひび割れ抑制対策を行なうことにより、既往の指針類で定められる性能を定性的な評価ではあるが満足する。
- 2) 現状では、施工環境の諸要因とコンクリートに発生する水和熱、乾燥収縮、クリープの関係が明確に把握されていないことから、コンクリートの固化段階において有効なひび割れ抑制対策を設定できない。

第3章は「覆工コンクリートのひび割れ実態の分析」であり、現在、供用中のトンネルを対象に行った実態調査をもとに、第2章で既往の研究から整理されたひび割れの発生原因との比較を行い、施工環境によるひび割れ発生原因の考察を行っている。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 初期ひび割れの発生箇所および形状の実態調査を行なった結果、ひび割れ発生箇所全体の50%程度が天端部であり、そのうち80%以上が縦断方向に発生している。
- 2) 施工環境やコンクリートの配合とひび割れ発生との関係について調査した結果、覆工コンクリートの初期ひび割れの発生と坑内湿度、坑内温度との関連性が認められる。

第4章は「覆工コンクリートの初期性状に関する試験」であり、第2章の既往の研究の整理結果および第3章の調査結果を受けて、コンクリートの初期性状に関する主要パラメータ（坑内湿度・脱型時間短縮・打設時コンクリート温度上昇）を設定した模型実験を行い、以下の成果を得た。

- 1) 実際の施工環境を再現したケースでは、内空側に発生したひび割れは浅く、幅も小さく地山側まで貫通していない。
- 2) 厚さ方向のひずみ分布に着目して、覆工表面へのひび割れの入りやすさが定性的に把握できた。

第5章は「覆工コンクリートの初期性状に関する現地計測」であり、第3章での調査結果をより詳細に分析するために、施工中の新幹線トンネルにおいて施工初期段階から覆工コンクリートに発生する応力、ひずみの状況について現地計測を行い、実際の環境条件とコンクリートの初期性状のデータの収集を行った。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 覆工コンクリートにおいて、内部ひずみに地山側と内空側の差が生じており、初期ひび割れ発生はこの断面内のひずみの差に関連があると考えられる。
- 2) 坑内湿度の急激な変化や、一定の坑内湿度を下回った場合にひび割れが発生していることから、坑内湿度とひび割れ発生に関連があると考えられる。

第6章は「覆工コンクリートの初期性状に関する解析」であり、第4章の模型実験に対して温度応力解析を行い、初期ひび割れの発生メカニズムを表現できる解析方法およびパラメータの選定方法を示した。また、現地計測のシミュレーション解析から数値解析による予測手法の妥当性の検討を行なうとともに、実際のトンネルでは検証が困難な施工条件でのパラメータスタディを行い、初期ひび割れの発生因子の関連性を確認し、以下の成果を得ている。

- 1) 乾燥収縮の予測方法に「湿気 - 応力連成解析」を用いることによって、第4章の模型実験および第5章の現地計測の結果を従来の解析手法より精度よく再現することができた。
- 2) この解析手法を使用して、パラメータスタディを行なった結果、現在のひび割れ抑制に最も大きく寄与すると考えられるパラメータは坑内湿度であることが判明した。

第7章は「ひび割れ抑制方法の提案」であり、第2章から第6章までを総括し、コンクリート内部の温度・湿度および坑内の温度・湿度の状態を評価する指標として蒸気圧の概念を導入し、覆工コンクリートのひび割れ抑制案を示した。

第8章は「結論」であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、トンネル覆工コンクリート打設後初期のひび割れ発生メカニズムを解明することを目的として、模型実験および実際の新幹線トンネルを使用した現地計測を実施している。さらに、ひび割れ発生の予測手法を確立するための数値解析手法を提案するとともに、ひび割れの判定基準および抑制対策案を示しており、その結果、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 覆工コンクリートに発生する初期ひび割れについて、現在の抑制対策を行なうことにより既往の指針類で定められる性能は定性的な評価ではあるが満足できるものの、定量的な評価は行えないという現状を実績分析に基づいて指摘している。
2. 模型実験や施工中のトンネルで覆工コンクリートに発生しているひずみおよびひび割れ発生状況を計測し、そこで得られた結果を利用して、従来用いられているひずみの予測手法よりも精度よく予測できる新しい解析モデルを提案している。
3. この新しい解析モデルを用いて、覆工背面のシートが地山からの拘束によるひび割れ発生の抑制に効果があること、および、坑内湿度がひび割れの発生における最大の要因であるということを定量的に示している。
4. 初期ひび割れ発生を抑制するために坑内温度・坑内湿度を指標とした蒸気圧の概念を用いた評価手法を提案している。

以上、本論文は、トンネル覆工コンクリートの内部・表面に発生するひずみ・応力分布を従来の手法より精度よく再現するための解析手法を提案し、また、初期ひび割れ発生の抑制対策案を示すという有用な成果を得ており、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21年7月21日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。