

## トンネル覆工に発生するひび割れに関する一考察

独立行政法人土木研究所 砂金 伸治 真下 英人 木谷 努 遠藤 拓雄

## 1. はじめに

現在の道路トンネルの覆工には供用性に関する機能、不確定な要素に対する機能、また一部には力学的な機能といった多岐に渡る機能が求められている。また、それらの機能に加え、覆工の剥離・剥落といった問題に対応する必要もあり、耐久性の向上を図った一層適切な覆工構造の提案を行う必要がある。

本研究では、トンネル覆工の長期耐久性を向上させる一方策として、覆工コンクリートのひび割れの発生や進展を抑制することに着目し、特に温度・乾燥収縮に起因するひび割れに関して検討を行った。初めに、覆工コンクリートの乾燥収縮のメカニズムを解明するために、プレーンコンクリートや鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を用いた場合の模型による室内要素実験を実施し、ひび割れの発生メカニズムに関する検討を行った。次に、実施工結果を踏まえ、ひび割れの発生や進展を抑制するための SFRC の適用性を検討した。

## 2. 研究方法

室内要素実験では温度・乾燥収縮の特性を把握するための型枠(拘束供試体)にコンクリートを打設し、恒温恒湿室にて一定温度(20度)と湿度(40%)に保ち、供試体に発生するひずみやひび割れ発生までの材齢を記録した。図-1に実験に用いた拘束供試体を示す。拘束供試体は中央部が凹状となるようにコンクリートを打設し、両端はジベル筋により拘束される構造となっている。その拘束により、コンクリートは収縮によって凹部でひび割れが発生しやすくなっている。コンクリート供試体には凹部の中央と両端にひずみゲージを貼付した。

実験で用いた供試体の配合を表-1に示す。母材コンクリートの配合は2種類あり、配合Aは道路トンネルの覆工に用いられるコンクリートのうち、プレーンコンクリートを用いる場合に採用される配合として多いものである。また、配合Bは鋼繊維長が60mm、混入率が0.5%である場合に採用されることが多い配合を参考としながら、配合Aを用いた場合と比較を行うために、水セメント比を配合Aと同一としたものである。実験では配合Aを用いたプレーンコンクリートのケース、配合Bを用いて鋼繊維長が60mmの場合で混入率がそれぞれ0.3%・0.5%・1.0%のケース、配合Bを用いて鋼繊維長が30mmの場合で混入率がそれぞれ0.3%・0.5%のケース、および、母材コンクリートによる影響を把握するために、配合Bでプレーンコンクリート(以下、ベースコンクリートと称する)とした場合のケースの合計7ケースの供試体を作成して実施した。供試体数はプレーンコンクリートとベースコンクリートで3供試体、鋼繊維を混入した各ケースでそれぞれ2供試体とした。

また、実施工でSFRCがひび割れの発生等に対する効果を確認するため、覆工にプレーンコンクリートを打設した区間とSFRCを打設した区間のひび割れの発生状況とひび割れ幅を計測した。施工を実施したトンネルは延長が約1.5kmであり、試験施工区間での支保パターンはDIパターンであった。施工は坑口側から約60mの位置で、SFRCによる覆工を2スパン(延長20m)、また、比較のために、その区間に隣接してプレーンコンクリートを用いた1スパン(延長10m)において実施し、それらの区間で目視観察により、ひび割れの観察を打設から約20ヶ月間実施した。

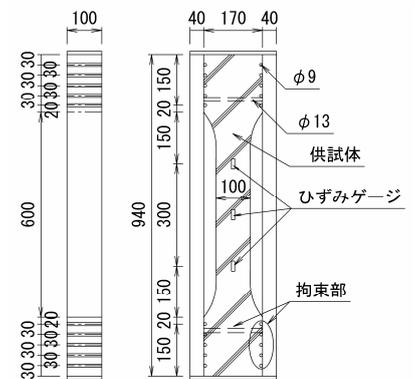


図-1 拘束供試体の概要

表-1 コンクリートの配合

配合名	A	B
設計基準強度	18	18
呼び強度	25.5	25.5
スランブ(cm) (プレーンコンクリートでの状態)	12	15
空気量(%)	4.5	4.5
粗骨材の最大寸法 $G_{max}$ (mm)	20	20
水セメント比(%)	55	55
単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	161	169
セメント(kg/m <sup>3</sup> )	293	308
混和剤(AE減水剤)(kg/m <sup>3</sup> )	3.14	3.30

3. 室内要素実験結果

ひび割れは全ケースで供試体中央部付近に供試体を輪切りにする方向で発生した。図-2 にひび割れが発生した時点でのコンクリートの平均材齢を示す。プレーンコンクリートの配合(A)とベースコンクリートの配合(B)を比較すると、配合(A)の方がひび割れ発生材齢が平均して高く、配合(B)よりもひび割れの発生が遅いことが分かる。また、同一の配合(B)であるベースコンクリートと SFRC の各ケースを比較すると、鋼繊維を混入したケースの方が概してひび割れ発生材齢が高いことが分かる。これより、鋼繊維にはひび割れの発生を遅延させる効果は認められると考えられる。しかし、SFRC どうしについて比較すると、繊維長や混入率によりひび割れの発生材齢に顕著な差が現れているとは言い難い結果が得られた。

図-3 に拘束供試体に発生する配合毎の収縮に伴うひずみの平均の収束値を示す。ひずみは供試体自体が収縮するため、計測値は圧縮ひずみとして現れる。全体的には鋼繊維の混入により、ひずみの収束値が低下する結果が得られた。さらに、繊維長が 60mm で混入率が 1.0%のケースを除けば、繊維長が長い 60mm の方が発生しているひずみは若干小さい傾向がある。また、繊維の混入率についても、混入率が高い方が発生しているひずみは若干小さい傾向があった。このことから、ひび割れ発生後においては、供試体全体のひずみの増加が抑制されていることが推測され、鋼繊維がひび割れの進展を抑制していると考えられる。

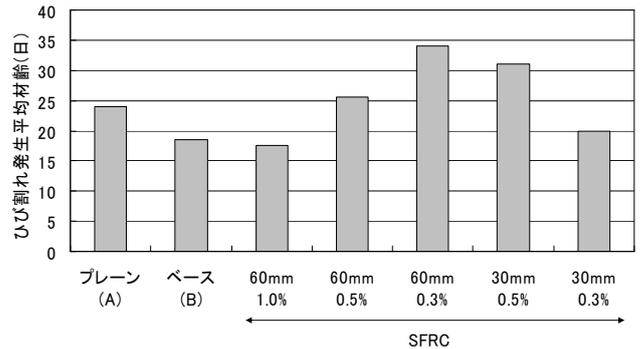


図-2 ひび割れが発生した平均材齢

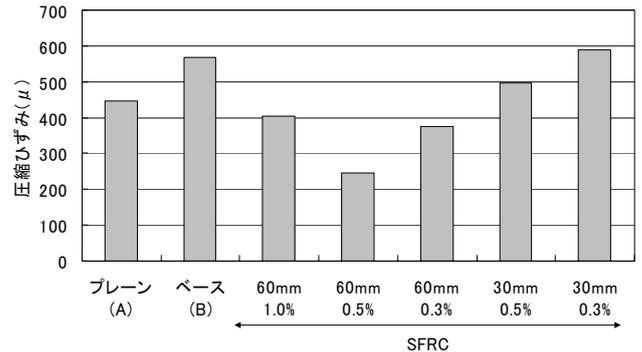


図-3 拘束供試体に発生したひずみの収束値

4. 鋼繊維補強コンクリートを用いた覆工の実施工結果

図-4 に実際の施工によるひび割れの観察結果を示す。これより覆工に SFRC を用いた区間ではプレーンコンクリートを用いた区間よりも先にひび割れが発生したが、打設後 15 ヶ月のひび割れ幅はプレーンコンクリートを用いた覆工では 0.5mm 程度であったのに対し、SFRC を用いた覆工は多くが 0.2mm 程度以下となった。これより、プレーンコンクリートと比較して SFRC を覆工に使用した場合は、母材の違いによりひび割れは若材令で発生するものの、その後のひび割れ幅の進展は小さい傾向にあることが分かった。また、打設後 20 ヶ月後では、全体的にひび割れ幅の拡大が見られたが、プレーンコンクリート部でのひび割れ幅の拡大が著しいのに対し、SFRC 部では局所的なひび割れ幅の拡大にとどまり、新たなひび割れの進展は見受けられなかった。

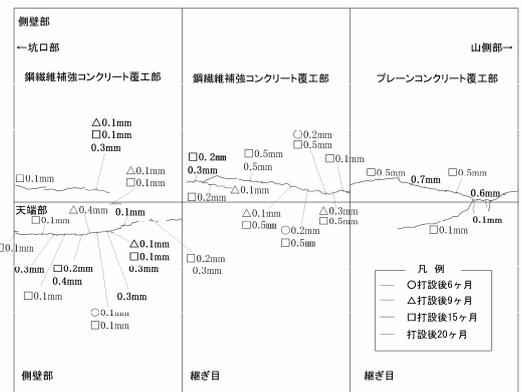


図-4 実際の施工によるひび割れ観察結果

5. まとめと今後の課題

今回の室内要素実験結果より、SFRC を採用した場合の効果として、ひび割れ発生時の遅延効果とともに、ひび割れ発生後のひび割れの進展を抑制する効果が期待できることが推測された。また、試験施工結果より、SFRC はひび割れの発生を完全に抑制することはできないが、ひび割れ発生後の開口幅の抑制効果が認められた。今後は、環境条件の違いやひずみの傾向の分析、施工結果との詳細な比較検討を行い、長期耐久性の向上に対する繊維補強コンクリートの適用に関する検討を行う予定である。