

覆工コンクリートの内部湿度と乾燥収縮ひずみの進行の研究

株式会社 奥村組 技術研究所 フェロー会員 ○東 邦和
 株式会社 奥村組 技術研究所 正会員 三澤孝史
 株式会社 奥村組 技術研究所 白石祐彰

1. はじめに

山岳トンネル覆工では、乾燥収縮により覆工コンクリートにひび割れが生じることが懸念される。表面湿潤による内部湿度の変化と乾燥ひずみの進行を測定するため覆工コンクリートの室内模擬試験体を作成した。1面から乾燥させ、内部湿度と湿潤によるひずみの回復状況を調べた。次に湿気移動解析により室内模擬試験体の挙動を表した。また実トンネルの覆工および坑内設置試験体の温度・湿度およびひずみ測定結果を対照した。

2. 室内模擬実験

2-1 模擬試験体

試験体の使用材料と配合を表-1に、試験体の形状と計測器を図-1に示す。覆工(厚さ300mm)を模擬し、乾燥面600×900mmを除いて発泡スチロールで囲って隙間はシールしている。表面から20mm位置に埋設温湿度計を設置し、20, 50, 150mm位置にひずみ計と温度計を設置した。乾燥面は打設翌日に脱型した。

2-2 模擬試験体計測結果

模擬試験体の温度・湿度の経時変化を図-2に示す。試験体の打設温度は21℃、ピーク温度は48℃である。外気温は15℃~30℃で経時変化しており、試験体温度も追隨して変化している。

コンクリートは脱型直後から乾燥を始め、表面から20mm位置の内部相対湿度は、50日経過後に84%になった。経過84日での湿潤マット取付けにより吸水し、表面から20mm位置の相対湿度は100%に回復した。湿潤マットの取外し(110日)後は再び内部湿度が低下し、157日の再湿潤時の湿度回復も同様に観察された。

コンクリートひずみの経時変化を図-3に示す。ひずみは 210×10^{-6} の伸びひずみが温度ピーク時に生じた。乾燥とともに、経過50日で表面20mm位置のひずみは、 -279×10^{-6} の収縮となった。湿潤マット取付けにより、表面20~50mmまでのひずみは 200×10^{-6} まで回復し、試験体全体の収縮も抑制されている。110日での湿潤マット取外し後は再び乾燥により、収縮ひずみが進行した。再湿潤時のひずみ回復も同様に観察された。材齢が進行した時期においても、表面を湿潤に保つことによる収縮ひずみの回復および全体の乾燥収縮が抑制されることが確認された。

表-1 試験体の使用材料と配合

セメント	高炉セメントB種, 密度3.05g/cm ³
細骨材	富津産山砂, 表乾密度2.66g/cm ³ , 吸水率1.95%
粗骨材	桜川産碎石, 表乾密度2.66g/cm ³ , 吸水率0.53%, Gmax20mm
混和剤	リグニンスルホン酸化合物標準形
配合	水結合材比55%, 単位水量156kg/m ³ , 単位セメント量284kg/m ³

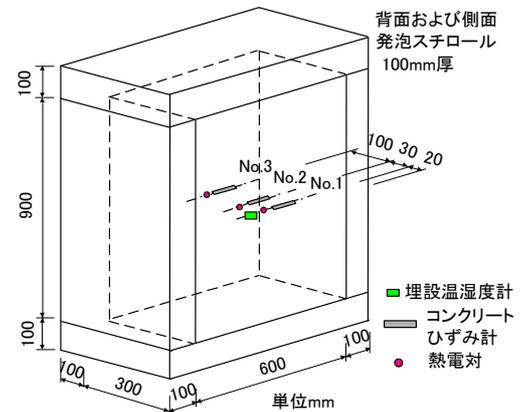


図-1 試験体と計測器

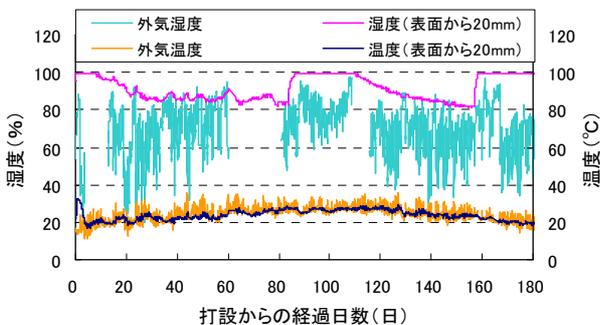


図-2 模擬試験体温度・湿度(表面から20mm)の経時変化

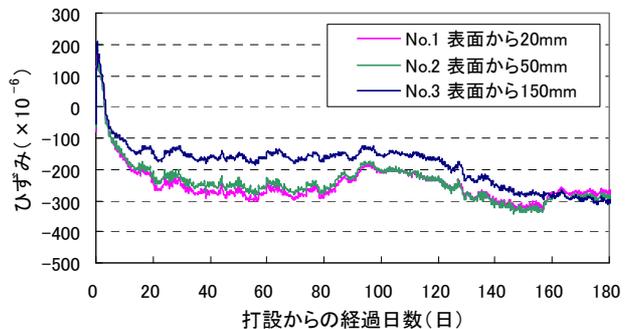


図-3 模擬試験体コンクリートひずみ計(実ひずみ)の経時変化

キーワード: 覆工コンクリート, 乾燥収縮, 湿気移動解析, ひび割れ, 計測

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組 技術研究所 TEL 029-865-1521 FAX 029-865-1522

3. 湿度解析と計測結果の比較

室内模擬試験体の解析モデルを図-4に示す。湿気移動解析は ASTEA MACS を使用した。解析条件を表-2に示す。コンクリート内部相対湿度解析結果を図-5に示す。相対湿度の解析値は 80 日経過後で表面から 20mm 位置で 84%, 30mm 位置で 91%, 150mm 位置で 99%となった。解析から求められた相対湿度は緩やかに低下しており、表面 20mm 位置では測定値と一致している。コンクリートひずみの解析結果を図-6に示す。ひずみの解析値は 80 日経過後で表面から 20mm 位置で -121×10^{-6} , 30mm 位置で -105×10^{-6} , 150mm 位置では -65×10^{-6} となった。測定値と比較して小さい値であるが傾向は一致している。表面湿潤による内部湿度とひずみの回復状況も得られ、本手法により模擬試験体の乾燥収縮挙動を表すことができた。

表-2 解析条件

解析	乾燥収縮, 自己収縮: JCI 式
外気温	20°C一定
表面乾燥	乾燥時: 60%, 湿潤時: 100%
湿気移動	透湿率, 湿気容量, 蒸発率: 標準値

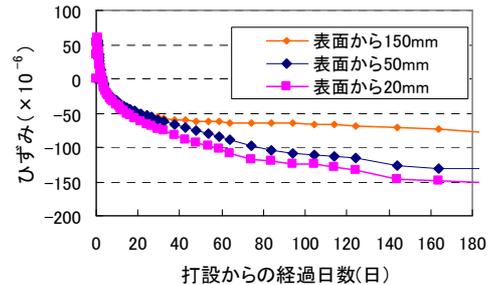
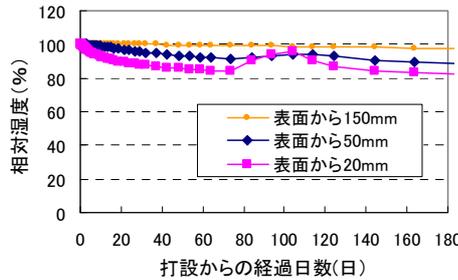
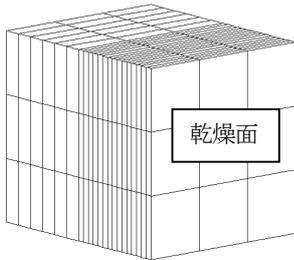


図-4 模擬試験体解析モデル (1/4 モデル)

図-5 コンクリート内部相対湿度解析結果

図-6 コンクリートひずみ解析結果

4. 覆工コンクリート計測結果

工事名称は、「平成 19-22 年度大坂谷トンネル工事」である¹⁾。覆工コンクリートの使用材料と配合を表-3に示す。覆工温度・坑内湿度測定結果を図-7に示す。覆工温度(肩部位置)は打設温度 25°C, ピーク温度 43°Cである。覆工内部温度は, 経過 10 日で 20°Cとなった。坑内湿度は 75%前後である。経過 20 日でトンネルは貫通しているが, 坑内は通風防止シートにより坑内温度・湿度を維持している。

表-3 使用材料と配合

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3
細骨材	四万十産海砂, 表乾密度 2.57g/cm^3 高知産砕砂, 表乾密度 2.58g/cm^3
粗骨材	四万十産砕石, 表乾密度 2.63g/cm^3 高知産砕石, 表乾密度 2.62g/cm^3 Gmax40mm
混和剤	ポリカルボン酸系化合物
配合	水結合材比 59%, 単位水量 160kg/m^3 単位セメント量 271kg/m^3

覆工コンクリート内部および坑内試験体 ($\phi 150 \times 300\text{mm}$) の湿度・水分量測定値を図-8に示す。自由水分量 (105°C 蒸発可能水) は, コンクリート水分センサにより推定して電圧比で示した。覆工内部水分(表面から 20mm)は打設直後を 100%として, 50 日経過で 14.8%まで下がった。同様に坑内試験体の水分(表面から 20mm)は 4.8%まで, 内部湿度(表面から 20mm)は 89.6%まで下がった。湿度と覆工コンクリートのひずみ測定値を図-9に示す。ひずみは周方向では 50 日経過で -300×10^{-6} に収縮したが, 20 日経過以降は坑内湿度の維持により, 乾燥収縮の進行を抑制されている。覆工と試験体の水分計の挙動は類似しており, 室内模擬試験体と同様に湿気移動解析による乾燥収縮挙動の推定が可能である。

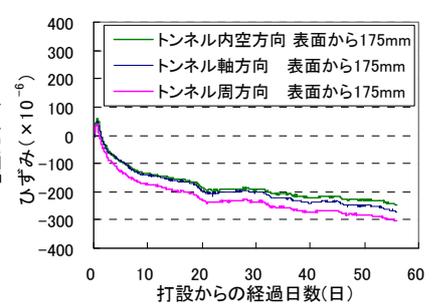
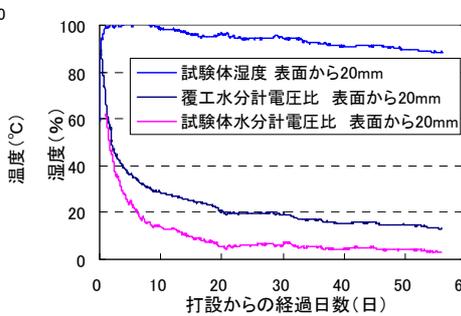
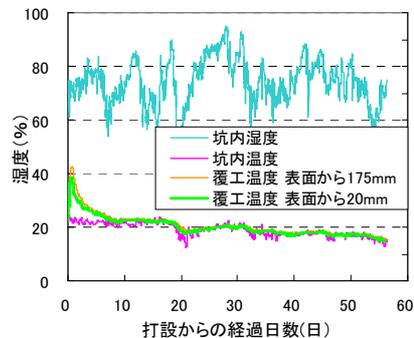


図-7 覆工温度・坑内湿度測定結果

図-8 覆工内部および坑内試験体の湿度・水分量測定値

図-9 覆工ひずみ測定値

5. おわりに

トンネル覆工の乾燥収縮挙動を模擬試験体の計測と解析および実トンネルの計測との比較によって検討できた。本検討を進めるに当たり国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所のご指導を賜ったことに深く感謝致します。

参考文献 1) 三澤孝史, 東 邦和, 倉田桂政: 膨張材による覆工コンクリートのひび割れ抑制効果について, 土木学会大 65 回年次学術講演会講演概要集, V, pp.1329-1330, 2010.9