

コンクリート中の相対湿度変化が乾燥収縮ひび割れに及ぼす影響

前田建設工業（株） 正会員 ○白根 勇二
 前田建設工業（株） 正会員 松林 卓
 前田建設工業（株） 正会員 舟橋 政司

1. はじめに

コンクリート構造物の周辺環境、特に温湿度の変化がコンクリートの乾燥収縮に与える影響が大きいことは良く知られている。最近では、乾燥収縮によるひび割れ発生を予測する手法として「湿気移動解析」が提案されている¹⁾。また、施工後の雨水などによる水分供給が皆無である山岳トンネルの覆工コンクリートでは、長期経過後にひび割れの発生が確認されることが多い。そこで、本研究ではこのような環境下のコンクリート構造物に発生するひび割れについて、その予測手法を確立することを目的として、コンクリート中の相対湿度に着目した実験を行い、湿気移動解析の結果と比較を行なった。さらに、覆工コンクリートをモデルとして、水和発熱とコンクリート中の相対湿度変化を考慮した応力解析を実施し、実構造物に発生するひび割れの原因について検討を行なった。

2. コンクリート中の相対湿度

2. 1 相対湿度の測定概要

コンクリート中の内部湿度を測定するため、既往の研究²⁾を参考に図-1に示す試験体を作製した。試験体側面4面をアルミ箔テープで封緘し、両端面を乾燥面（養生温度 20℃、相対湿度 60%）とした状態で、アクリルパイプ内に埋設した小型温湿度センサ（Sensirion 社製 SHT75）を用いて、コンクリート中の内部湿度を測定した。コンクリートの配合は表-1に示すとおりである。

2. 2 湿気移動解析の概要¹⁾

湿気移動解析では、コンクリート表面部における湿気伝達境界として式(1)を用いた。

$$-\lambda_p \left(\partial P / \partial n \right) = \alpha (P - P_c) f_w \quad (1)$$

ここで、 λ_p : 透湿率 (g/hr・m・mmHg), P : コンクリート中の蒸気圧 (mmHg), α : 蒸発率 (g/m²・hr・mmHg), P_c : コンクリート周囲の蒸気圧 (mmHg), f_w : 空気流動に関する係数である。各係数は既往の研究データに従った。

2. 3 実験および解析結果

図-2に、コンクリート内部の相対湿度測定結果と湿気移動解析結果を示す。実験結果から、コンクリート表面付近（深さ 25mm および 50mm）は相対湿度の低下が顕著であるのに対して、深部（同 200mm）の変化は緩慢で、乾燥しにくい状態にあることがわかる。また、実験結果では解析結果に比べてコンクリート中の相対湿度の低下が始まる時期が遅くなっているが、これは、解析ではコンクリートの初期相対湿度を 100%と設定したのに対し、実験ではコンクリート中に存在する余剰水分の影響が現れたものと考えられる。しかし、両者の内部相対湿度の変化傾向はほぼ一致しており、長期的なひび割れを推定する上では、実用上問題ないものと思われる。

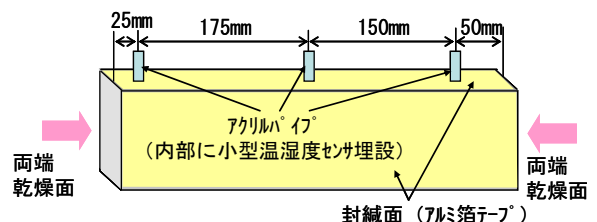


図-1 コンクリート中の相対湿度測定試験体

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	G _{max} (mm)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S1	S2	G	Ad
55	12	4.5	20	165	300	384	384	1096	0.75

使用材料 セメント: 高炉B種セメント
 細骨材 (S1): 砕砂 (密度 2.77g/cm³)
 細骨材 (S2): 粗目砂 (密度 2.56g/cm³)
 粗骨材 (G): 砕石 (密度 2.72g/cm³)
 混和剤: AE減水剤

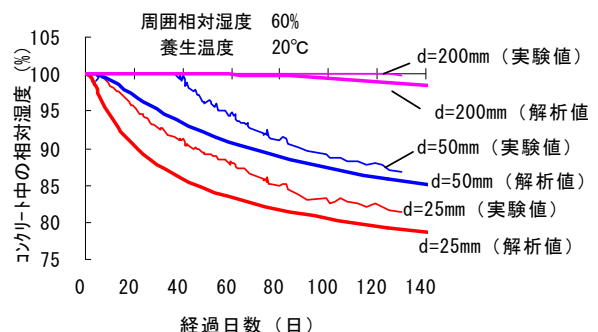


図-2 コンクリート中の相対湿度変化

キーワード: 乾燥収縮, 内部湿度, 湿気移動解析, 温度応力解析, 覆工コンクリート

連絡先: 〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16 前田建設工業（株）技術研究所 TEL 03-3977-2384 FAX 03-3977-2251

3. 覆工コンクリートのひび割れに相対湿度が与える影響

3. 1 解析の概要

周囲の環境条件が覆工コンクリートのひび割れ発生に与える影響を検証するため、図-3 のようなモデルを作成した。検討手順は、まずコンクリートの発熱を考慮した温度解析を実施し、次に湿気移動解析によってコンクリート中の相対湿度を求める。そして、温度分布と相対湿度分布から発生ひずみを算定し、各要素の応力に換算する手法を用いた。検討ケースは、周囲の相対湿度を変化させた7ケース(乾燥なし, 相対湿度90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%)とし、材齢7日から所定の湿気境界条件を与えた。温度応力解析の条件は「マスコンクリートのひび割れ制御指針³⁾」に従い、湿気移動解析は2章と同様とした。また、コンクリートの配合は表-1 のとおりで、外気温は東京の月別年平均気温とし、覆工コンクリートの施工月は6月とした。

3. 2 解析結果および考察

図-4 に外気の相対湿度を60%としたケースの覆工側壁部における相対湿度履歴と分布図を示す。コンクリート表層部の相対湿度は施工後6ヶ月で周囲の相対湿度程度(60%)まで低下しているが、中心部と背面部の湿度低下は緩やかであるため、断面内の湿度勾配が大きくなることが推測できる。図-5 は同ケースにおける施工後3ヶ月の主応力分布図を示す。インバートコンクリートの拘束を受け、側壁部下方の主応力が大きくなっている。また、内部の湿度勾配が影響し、表面部の乾燥収縮による応力増大が顕著となっている。

図-6 に各ケースのコンクリート表面部における主応力履歴を示す。本検討条件は施工月が6月であり、温度応力によるひび割れ発生が顕著な時期とは言えないが、周囲の相対湿度が80%以下になると温度応力よりも乾燥収縮応力が大きくなる傾向となった。実構造物のトンネル坑内は貫通後に相対湿度が低下する傾向にあり、本研究結果は覆工コンクリートに発生するひび割れ原因として、コンクリートの乾燥収縮の影響が大きいことを示したものであると言える。

4. まとめ

(1) コンクリート中の相対湿度変化は、表層部は周囲の相対湿度の影響が顕著であるが、深部は緩慢であることがわかった。

(2) コンクリート中の相対湿度の変化は、実測と湿気移動解析結果の傾向が概ね一致することを確認した。

(3) 覆工コンクリートに発生するひび割れは、その原因として乾燥収縮による影響が大きいことが示された。

謝辞 本研究の実施にあたり、多大なご協力を頂いた長岡技術科学大学の小林孝元君に感謝の意を表します。

参考文献 1) 竜橋ら：コンクリートの乾燥収縮によるひずみと応力の解析，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24，No. 1，pp. 441-446，2002
2) 伊代田ら：養生とその後の環境による内部湿度の相違が乾燥収縮に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 32，No. 1，pp. 425-430，2010
3) (社)日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008. 11

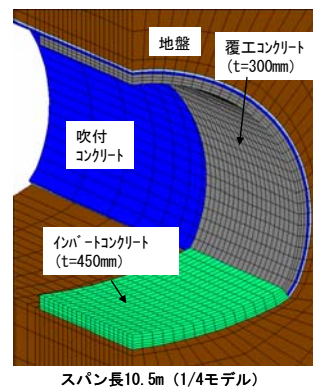


図-3 覆工コンクリートの解析モデル

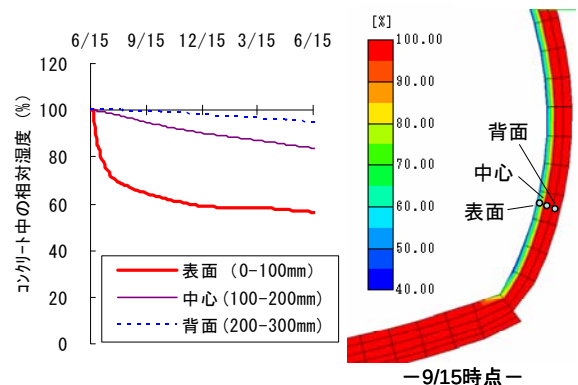


図-4 覆工側壁部の相対湿度 (外気湿度 60%)

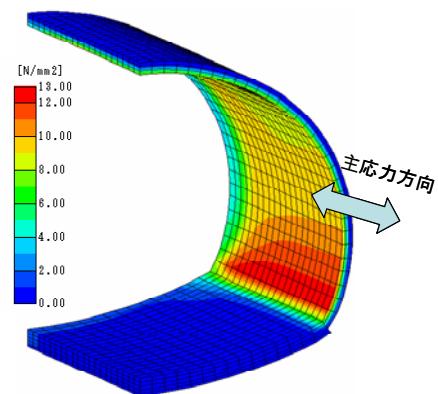


図-5 最大主応力分布 (外気湿度 60%)

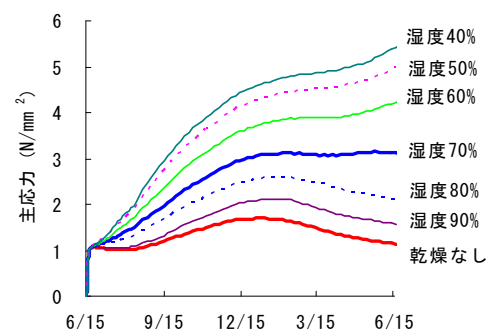


図-6 各ケースの主応力履歴 (表面部)