

コンクリート乾燥収縮低減策のひび割れ抑制効果に関する解析的評価

飛島建設 土木事業本部 正会員 ○田畑 美紀
飛島建設 土木事業本部 正会員 寺澤 正人
飛島建設 土木事業本部 正会員 川里麻莉子

1. はじめに

近年では、コンクリートの乾燥収縮ひび割れ抑制を目的として、種々の乾燥収縮低減策が適用されている。しかし、ひび割れ抑制効果の程度は、一般にその低減策を適用したコンクリートの乾燥収縮量の大小にて評価され、マスコン部材に対する検討で広く用いられる「温度ひび割れ指数」のような解析的指標を用いた評価が実施される事例は少ない。これに対し、乾燥収縮応力解析法の一つとして、湿気移動解析によりコンクリート内部の相対湿度を算定し、次に相対湿度と乾燥収縮歪量の関係（以後「乾燥収縮モデル」と呼ぶ）から部材内部の歪分布を求め、これを用いて収縮応力を算定する手法がある¹⁾。一方、筆者らは H20×B100×L400mm の薄板形状供試体の断面中心に、埋設型の温湿度センサと歪ゲージを配置し、コンクリート内部の相対湿度と収縮歪を測定する試験法（以後「薄板収縮試験」と呼ぶ）を考案し研究を継続している²⁾。本研究では、解析定数となるコンクリートの表面蒸発率（以後「蒸発率」と呼ぶ）と乾燥収縮モデルを、薄板収縮試験結果をもとに設定して、乾燥収縮応力を解析的に求め、これに温度応力と自己収縮応力を加算した合計応力から算定した「ひび割れ指数」を指標として、種々の乾燥収縮低減策のひび割れ抑制効果を評価した。

2. 解析および評価法概要

解析対象は、橋梁張り出し床版上に構築される RC 高欄(W 200mm×H 1500mm×誘発目地間隔 L 5000mm)とした。これに対して本研究では、別途実施した薄板収縮試験結果より前述の解析定数を設定して、3 次元 FEM による収縮応力解析を実施し、種々の乾燥収縮低減策のひび割れ抑制効果を評価した。解析に使用した解析モデルを図-1 に示す。なお、解析には解析コード JCMAC3 Ver2.2.1 を使用した。

2.1 評価対象とする乾燥収縮低減策、コンクリートの配合および使用材料

以下の 4 種を評価対象とした。各々を適用するコンクリートの示方配合および使用材料を表-1 に示す。

- 「N」：無対策 「LS」：粗骨材に石灰石骨材を使用
- 「SR」：収縮低減型 AE 減水剤（高機能タイプ）を使用し、単位水量を「N」より 15kg/m³ 低減
- 「P」：脱枠・養生完了時点(材齢 7 日)で、コンクリート表面に塗布型収縮低減剤を 100g/m² 塗布

2.2 解析定数の設定

2.2.1 蒸発率

薄板形状供試体を 3 次元 FEM モデルにてモデル化して、蒸発率を修正しながら湿気移動解析を繰返し、解析値と薄板収縮試験によるコンクリート内部相対湿度計測値が一致したときの蒸発率(同定値)を解析用蒸発率とした。なお、解析に必要な湿気容量と透湿率は文献 3)によった。得られた解析用蒸発率を図-2 に示す。

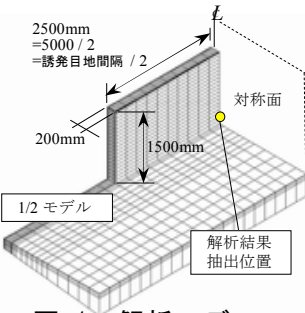


図-1 解析モデル

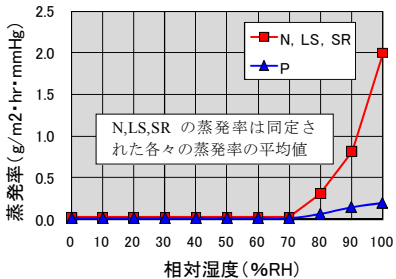


図-2 解析用蒸発率

表-1 コンクリートの示方配合と使用材料

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S	G1	G2	混和剤 (C×%)
N	55	48	165	300	860	579	386	1.0
LS	55		165		860	965	—	1.0
SR	50		150		879	591	394	1.5
P	55		185	336	831	551	367	1.0

セメント：いずれも普通ポルトランドセメント
混和剤：SRは収縮低減型AE減水剤標準形（高機能タイプ）その他はAE減水剤標準形
細骨材S：N、LSおよびSRは鹿児島産砂、Pは君津産砂
粗骨材G：LSは高知県吾川郡産石灰石砕石、その他は八王子産硬質砂岩砕石
Pは塗布型収縮低減剤塗布前の母材コンクリートの配合

キーワード 乾燥収縮、収縮低減剤、石灰石骨材、湿気移動解析、収縮応力解析

連絡先 〒102-8332 東京都千代田区三番町 2 番地 TEL 03-5214-7092

2.2.2 乾燥収縮モデル

薄板収縮試験結果であるコンクリート内部相対湿度と収縮歪の測定値より乾燥収縮モデルを求め、これを解析定数とした。解析用乾燥収縮モデルを図-3に示す。

2.2.3 解析条件とその他解析定数

外環境条件は、外気温 16℃一定、相対湿度 63%RH一定とし、打設温度は 20℃と仮定した。解析に必要なとなる熱特性、強度特性、自己収縮特性などのその他の解析定数には原則的に JCI 指針⁴⁾に示される一般値や推定式を適用するものとした。解析条件と解析において固有に設定した解析定数を表-2に示す。

3. 解析および評価結果

図-4に解析結果(結果抽出位置は図-1参照)を示す。これより以下の知見・評価が得られる。

A)表面部は中心部よりも相対湿度の低下速度が速く、相対湿度は脱枠直後に急激に低下するが、蒸発率を減小させるP(塗布型収縮低減剤)は、脱枠直後の低下量が他に比較して小さく、また以後の低下速度も遅い。

これらよりPには良好な保湿効果があると評価される。
B)脱枠までに発生する温度応力に、内外湿度差による内部拘束応力が加わり、脱枠直後において表面部のひび割れ指数は大きく低下し最小となる。その値は保湿性に優れるPが最も高く、N(無対策)に比較して大きく改善がみられる。また、乾燥収縮応力のみにによる指数も1.11と良好であり、Pは乾燥環境にある部材の初期表面ひび割れ抑制において有効であると評価される。

C)中心部のひび割れ指数は、乾燥、自己収縮の進行による外部拘束応力の増加に伴い徐々に低下する。材齢1年での値は乾燥収縮量が最も小さいLS(石灰石骨材)が最も高い。また、指数が1.0を下回る材齢はN(75日)→SR(95日)→LS(119日)→P(121日)であり、LSにはひび割れ発生時期を遅延させる効果が認められる。以上より、LSは乾燥収縮の影響が大きい部材の外部拘束ひび割れへの抵抗性を高める材料であると評価される。

4. まとめ

乾燥収縮の影響を考慮した収縮応力解析を実施し、ひび割れ指数を用いた評価にて以下の結論を得た。

- 塗布型収縮低減剤は、乾燥環境にある部材の初期表面ひび割れ抑制において有効である。
 - 石灰石骨材は、乾燥収縮の影響が大きい部材の外部拘束ひび割れへの抵抗性を高める材料である。
- 今後は、乾燥収縮を考慮した場合のひび割れ指数とひび割れ発生程度の関係調査等が必要と考えている。

参考文献

- 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートソフト作成委員会報告書，2003.11
- 寺澤正人ほか：薄板形状供試体を用いたコンクリートの収縮特性測定試験の試行，土木学会第64回年次学術講演会概要集，V-444，2009.9
- 西岡栄香ほか：多孔質物質の透湿率および湿気拡散について，セメント技術年報，XV，1961
- 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

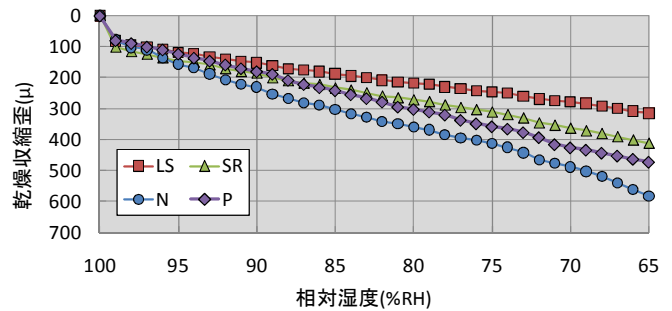
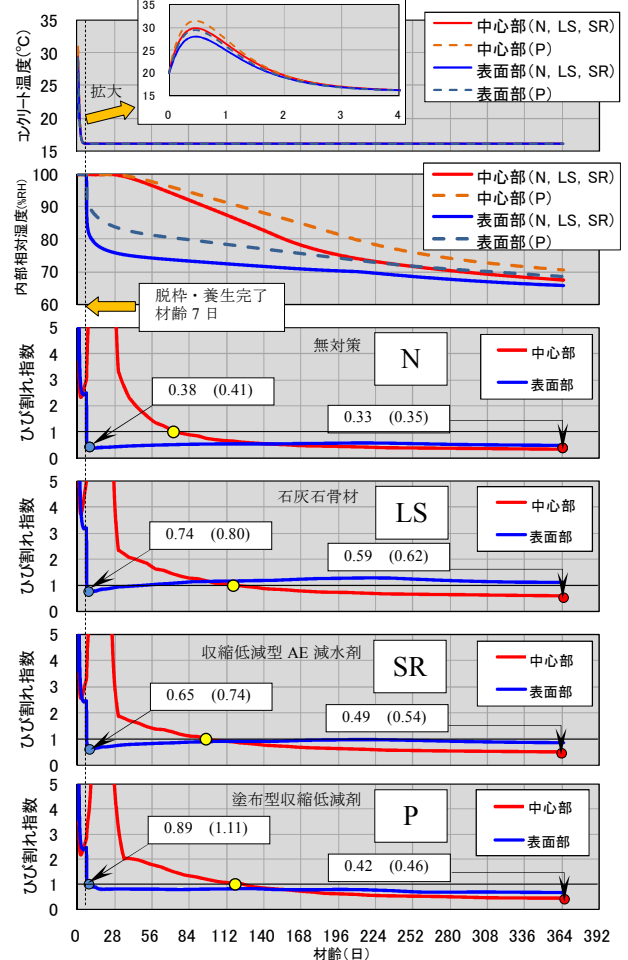


図-3 解析用乾燥収縮モデル

表-2 解析条件と固有に設定した解析定数

検討解析期間	打設から1年
外気温	16℃(東京の年平均気温)一定
外気相対湿度	63%RH(東京の年平均湿度)一定
打設温度	20℃
型枠・養生条件	側面：木製型枠材齢7日まで存置 壁上面：材齢7日まで養生マットで養生
断熱温度上昇量	発熱開始材齢を0日として計算
圧縮強度発現	材齢28日における圧縮強度を、薄板収縮試験に付随して実施した圧縮強度試験結果を基にN：36.59 LS：34.82 SR：46.32 P：40.15 N/mm ² として計算
膨張係数	LS(石灰石使用)：6μ/℃ その他：10μ/℃
自己収縮特性	凝結始発材齢を0日として計算



図中の数値はひび割れ指数。()内数値は乾燥収縮応力のみにによる値

図-4 解析結果