温湿度履歴が異なる環境に曝露したコンクリートの乾燥収縮および強度発現

(財)電力中央研究所　正会員　○行平 訓規　蔵重 勲　西田 孝弘
(株)セレス　正会員　仲 亮介　下村 和也　石川 弘毅

1. はじめに

近年，コンクリートの収縮やひび割れ発生に及ぼす骨材，セメント，混和材など各種材料の影響が注目され，その評価検討が鋭意実施されている。一方，収縮やひび割れ発生は材料因子のみならず，構造物が置かれる環境の影響にも左右されることが知られている[1)]。本研究では，温湿度が一定ならびに変化する環境を設定し，それらに曝露されたコンクリートの乾燥収縮特性および強度発現性を比較することにより，ひび割れ抵抗性に及ぼす温湿度条件の影響について調べた。

2. 実験概要

表 1 に示す配合の供試体を**図 1** に示す温湿度条件が異なる 2 種類の環境下（標準（温湿度制御），屋内（温湿度変化，冬季））で作製し，曝露した（脱型材齢 7 日，屋内曝露については 28 日も条件設定）。乾燥収縮ひずみ，質量減少率の測定には角柱供試体（10x10x40cm）を，各種強度試験には円柱供試体（Φ10x20cm）をそれぞれ用いた。乾燥収縮ひずみは，埋込み型ひずみ計を用い，全面開放の状態で測定した。同様に，質量減少率測定用供試体も全面を開放し，曝露した。

3. 実験結果および考察

図 2 は脱型後の収縮ひずみ変化を示しており，標準環境では漸次増加するのに対して，屋内環境では温湿度変化による多少の増減を伴いながら増加することが確かめられた。また，標準環境に比べ，屋内環境で収縮ひずみが小さくなる傾向が認められるが，これには温度差異の影響も含まれる。そのため，温度昇降のパルスが存在する時点で見かけの線膨張係数を算出し（**図 3**），各環境の平均温度に補正換算した収縮ひずみを比較した（**図 4**）。屋内環境における線膨張係数は比較的変動が大きいことが分かるが，これは既往の研究で示されているとおり湿度に依存したものである[2)]。**図 4** に示した温度補正ひずみの算定における線膨脹係数は，材齢経過による変化量の小さい 56 日以降の平均値を便宜的に用いた。各環境における収縮ひずみの相互比較には温度の差異を見積もる必要があるが，屋内曝露供試体の収縮ひずみを 20℃に換算すればさらに 90μ 程度小さな値となり，標準環境において収縮ひずみが大きくなったことが確かめられる。一方，温度補正後も認められる屋内環境における収縮ひずみの変動を分析するため，湿度履歴との対応関係を調べた（**図 5**）。その結果，湿度の高低に従ってひずみが減増することが分かったが，この変動幅は，本実験条件において，温度の昇降の場合と比較し，大幅に小さいことが明らかになった。環境による収縮ひずみの差異について前述したがその素因を考察するため，質量減少率の推移を調べた結果（**図 6**），材齢 7 日に脱型した供試体で比較すると同程度であることが分かった。また，屋内環境に曝露した脱型材齢の異なる供試体を比べれば，材齢 91 日における収縮ひずみが同程度であるにも関わらず，質量減少率に大きな差異が認められた。この傾向を整理するため，**図 7** に質量減少率と収縮ひずみの関係をまとめたところ，比較的緻密な硬化体と考えられる材齢 28 日に脱型した屋内曝露供試体で，水分逸散に対する収縮ひずみの増分が最も大きくなり，材齢 7 日に脱型した供試体ではそれが小さいことが分かった。これは，水分逸散時に発生する収縮応力が微細な空隙の構造やその存在量の影響を強く受けているためと考えられる。この傾向は，**図 8** に示すように，材齢 91 日の圧縮強度が“屋内 7 日脱型”，“標準 7 日脱型”，“屋内 28 日脱型”の順に高くなる傾向と一致しており，硬化体の空隙構造と収縮挙動の関連をより詳細に調べる必要がある。他方，**図 9,10** に示す静弾性係数および引張強度を用いて，収縮ひび割れ抵抗性指数（＝引張強度／（収縮ひずみ×静弾性係数））を算出し，ひび割れ発生に対する危険性の簡易評価を行った（**図 11**）。これより，同一配合においても曝露環境によりひび割れ抵抗性は異なり，脱型材齢の影響も明確に認められた。以上，より信頼性の高いひび割れ発生評価には，環境因子を適切に考慮可能なモデルの構築やその礎となる知見が必要と考えられる。

参考文献:
1)浅本晋吾ほか:実環境作用に着目したコンクリートの収縮特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.681-686, 2007.
2)丸山一平ほか:セメント硬化体中の水分と体積変化に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.62, pp.115-121, 2009.

キーワード: 乾燥収縮, 強度発現, 温湿度履歴, ひび割れ抵抗性
連絡先: 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646, (財)電力中央研究所 バックエンド研究センター TEL(04)7182-1181

表 1 コンクリート供試体の配合

配合因子			フレッシュ性状	
W/C (%)	s/a (%)	Ac (C+E)×%	Slump (cm)	Air (%)
48.8	42.2	1.0	10.0	2.0

単位量 (kg/m³)				
W	C	E	S	G
170	319	30	738	1061

Ac:AE 減水剤添加率,C:普通ポルトランドセメント, W:水,E:膨張剤,S:陸砂+砕砂,G:砕石

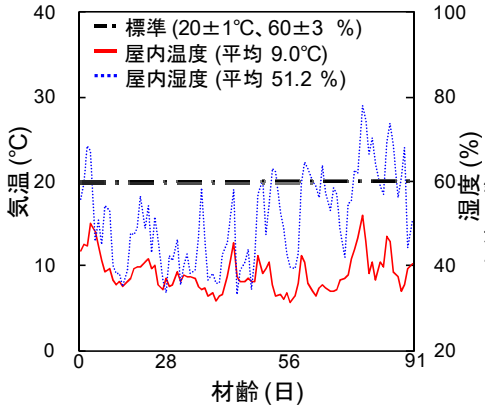

図 1 曝露箇所の温湿度履歴(日平均)

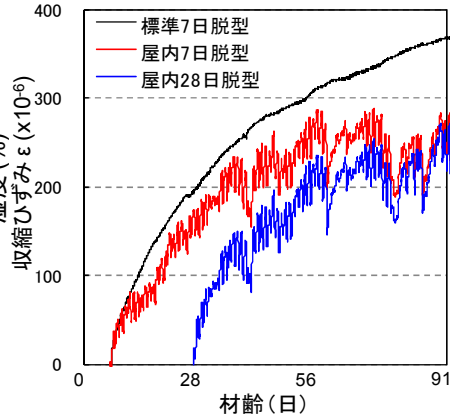

図 2 収縮ひずみの経時変化

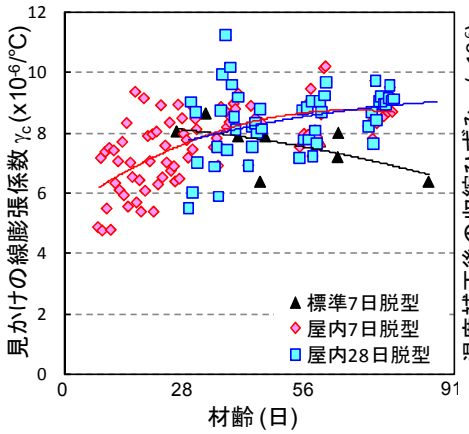

図 3 見かけの線膨張係数の推移

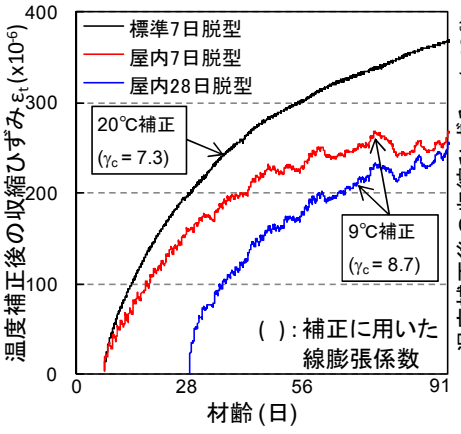

図 4 温度補正収縮ひずみの経時変化

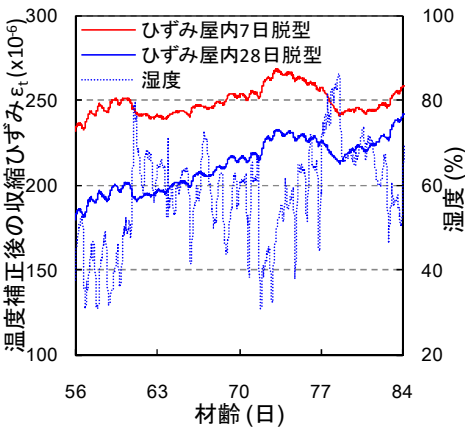

図 5 湿度履歴と収縮ひずみの関係

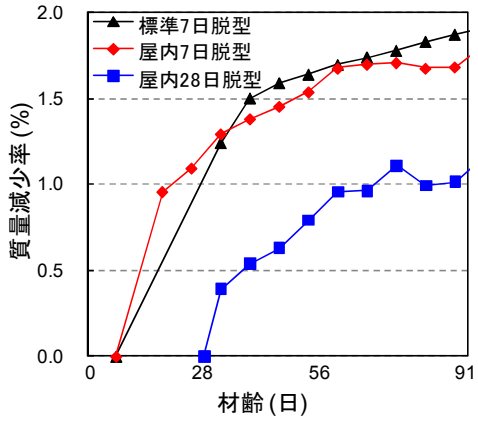

図 6 質量減少率の推移

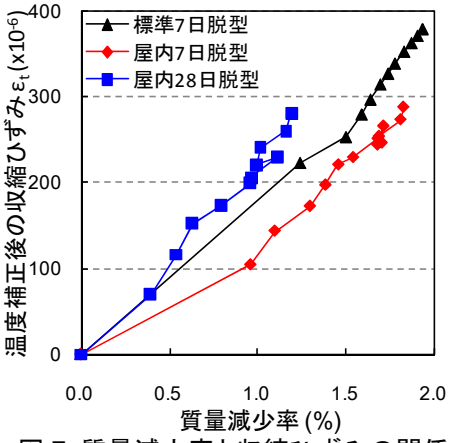

図 7 質量減少率と収縮ひずみの関係

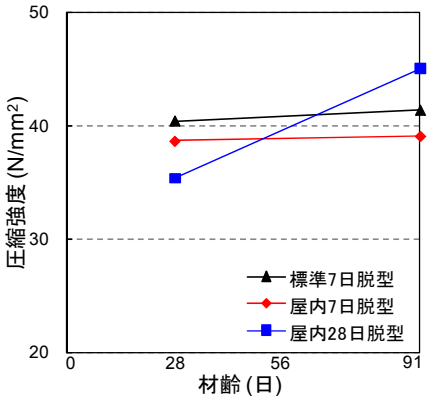

図 8 圧縮強度の経時変化

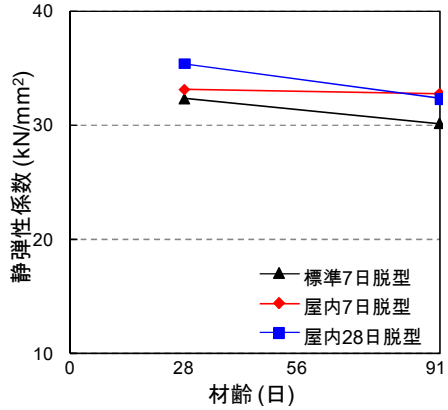

図 9 静弾性係数の経時変化

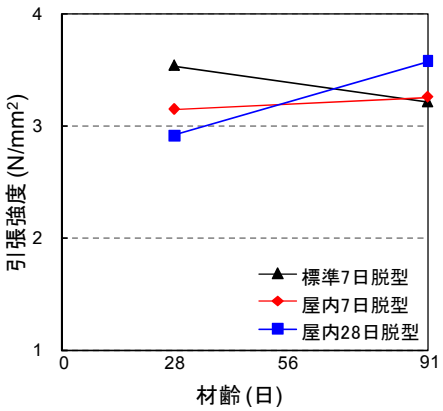

図 10 引張強度の経時変化

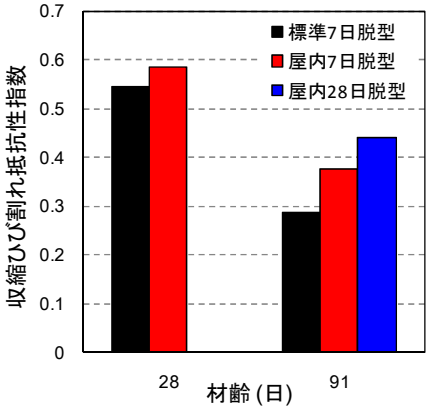

図 11 収縮ひび割れ抵抗性指数の比較

謝辞:本研究の一部は,国土交通省建設技術研究開発補助金(実用化研究開発:コンクリート構造物長寿命化に資する品質保証/性能照査統合システムの開発,代表者:東京大学石田哲也准教授)の助成を得て実施したことを付記致します。