

自己治癒を目的とした中性化促進養生による修復可能性

金沢大学 学生会員 ○石田 聡史

金沢大学フレスコ壁画研究センター 正会員 五十嵐 心一

1. 序論

コンクリートのひび割れが中性化の進行にともない閉塞する現象は古くから自然治癒として知られている。しかし、それがどの程度の幅のひび割れの閉塞をもたらし、それをどのように評価するかなど、中性化を治癒機構としてとらえるための基本的な知見が十分に得られているとは言い難い。

これまで、著者らは若材齢期に一定の大きさの損傷を与えたコンクリートを対象に、治癒を目的とした中性化促進養生を行ってきた。その結果、中性化の進行が物質透過性の回復に与える影響が大きいことを明らかにした。そこで、本研究においては異なる大きさの損傷を与えた供試体に対して、中性化の進行がコンクリートの自己修復性に与える影響を、物質透過性および強度特性の面から評価することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメント（密度:3.15g/cm³，比表面積：3310cm²/g）を使用した。骨材には手取川産川砂（密度:2.60g/cm³，吸水率:2.03%）および川砂利（密度：2.58g/cm³，吸水率1.98%，G_{max}：25mm）を使用した。また AE 減水剤をセメント質量に対して 0.12%，AE 助剤を 3.3%添加した。JIS A 1138 に準拠し、水セメント比が 0.50 の普通コンクリートを練混ぜ、直径 100mm，高さ 200mm の円柱供試体を作製した。以上のコンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリートは打設後 24 時間にて脱型し、材齢 7 日まで 20°C の水中養生を行った。また、セメントペースト相の中性化による空隙充填の特徴を調べるために、W/C=0.50 のセメントペースト供試体（直径 100mm，高さ 200mm）も作製した。打設後 24 時間にて脱型した後、所定材齢まで中性化促進養生（温度 20°C，湿度 60%，二酸化炭素濃度 5±0.2%）を行った。

2.2 損傷導入および再養生方法

材齢 7 日にて、コンクリート円柱供試体から直径 100mm，高さ 50mm 程度の円盤型試料を切り出した。この試料に対して JIS A 1113 に準じて割裂引張試験を

行い、引張強度($f_t=3.08\text{N/mm}^2$)を決定した。未載荷の円盤型供試体に対して、得られた引張強度の 50%，70% の応力レベルまで載荷した後に除荷を行い、これを力学的な損傷の導入されたコンクリートとした。

損傷の導入後、再び水中養生および中性化促進養生を行った。なお、比較用として損傷を導入せず、水中養生を継続した供試体も作製した。

2.3 電気伝導率の測定

JSCE-G571 および ASTM C 1202 に準拠し、直流電源を用いた電気泳動法による電気伝導率の測定を行った。所定材齢前日にて、3 時間の真空飽水処理を施し、さらに 21 時間水中にて飽水処理を行った。直流電流により 30V の電圧を負荷し、通電開始 15 分後の電流値を測定して、式(1)より電気伝導率 σ を算出した。

$$\sigma = \frac{I \cdot L}{V \cdot A} \quad (1)$$

I は電流値(amperes), L は試料長さ(cm), V は電圧値(Volt), A は試料の投影面積(cm²)を表わす。

2.4 静弾性係数の測定

損傷を導入したコンクリートに対し、所定の再養生期間後、再び割裂引張試験を行い、静弾性係数を求めた。載荷は、損傷導入時と同じ方向に対して行った。

2.5 反射電子像観察

所定材齢にてセメントペースト供試体表面から中性化部の薄片試料を切り出し、エタノールに浸漬後、 t -ブチルアルコールとの置換を行った。その後、凍結真空乾燥を行い、低粘度エポキシ樹脂を含浸させた。硬化後、試料表面を研磨し、反射電子像観察試料を得た。観察倍率 500 倍にて無作為に 10 枚以上の反射電子像(1 画素：0.22 μm)を取得した。取得した反射電子像に対し、グレースケールに基づく 2 値化処理を施し、粗大毛細管空隙を抽出した 2 値化画像を得た。

2.6 2 点間直線経路相関関数

ある一定の長さ r の線分をランダムに落としたときに線分全体が空隙に載る確率を表す。空隙を P とするとき、任意の点 $\mathbf{x}_i(i=1,2)$ に関して次のような指示関数 $I(\mathbf{x}_i)$ を定義し、2 点直線経路相関関数 $L_2^{(P)}(r)$ を定義する。

表-1 コンクリートの示方配合

スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(cc/m ³)	
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE助剤
12±2	50	5±0.5	43	168	336	755	993	403	1108

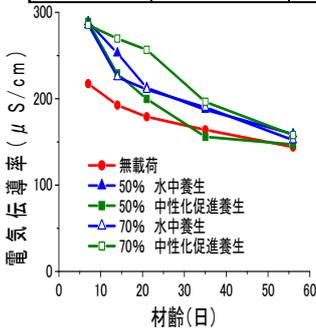


図-1 電気伝導率の経時変化

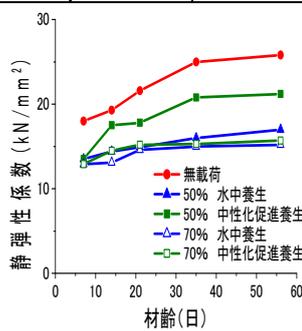


図-2 静弾性係数の経時変化

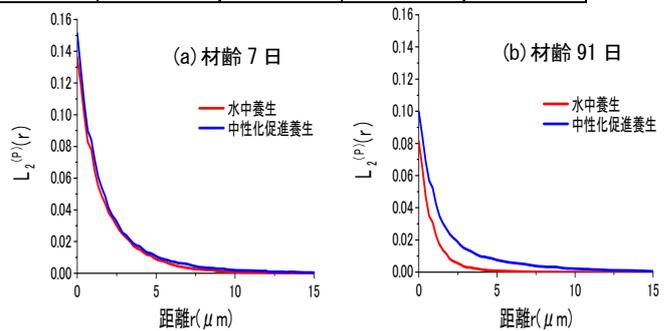


図-3 2点間直線経路相関関数

$$I(x_i) = \begin{cases} 1 & (x_i \in P) \\ 0 & (x_i \notin P) \end{cases}$$

$$L_2^{(P)}(r) = \langle I(x_i) \cdot I(x_j) \cdot I(x_n) \rangle \\ = P\{I(x_i) = 1, \cdot I(x_j) = 1, \cdot I(x_n) = 1\} \quad (2)$$

点 x_j は始点 x_i と終点 x_n を結ぶ直線上の点である。

本研究では、長さ r の半径を持つ放射線テンプレートを置き、その原点と各方向の放射線が着目相に載るか否かを判定し $L_2^{(P)}(r)$ を求めた。

3. 結果および考察

図-1 はそれぞれの条件で再養生を行った場合の電気伝導率の経時変化を示したものである。損傷導入直後の電気伝導率を比較すると、損傷を与えた供試体は無荷重の供試体よりも大きな値を示している。損傷として発生したひび割れによって伝導経路が増加したことが考えられる。その後は再養生条件にかかわらず、電気伝導率は低下しているが、中性化促進養生を行った供試体では、応力強度比 50% の損傷を与えた供試体と比べ、70% の供試体の電気伝導率の低下割合は小さく、伝導経路が多数存在していることがうかがえる。しかし、いずれも材齢 56 日で無荷重の供試体とほぼ同程度の値まで回復している。

図-2 は再養生条件が異なるコンクリートの静弾性係数の経時変化を、無荷重のコンクリートと比較して示したものである。無荷重のコンクリートは材齢の進行にともない静弾性係数は増大する。これに対して、再養生として中性化促進養生を行い、応力強度比 50% の損傷を与えた供試体は、再養生初期に静弾性係数は大きく増加し、その後も材齢が経過するにつれて増加しているが、無荷重のコンクリートよりもその値は小さい。しかし、応力強度比 70% の供試体の回復はかな

り小さく、剛性の回復は認められない。一方、再養生として水中養生を行った供試体は静弾性係数の変化はほとんど確認されず、損傷量による値の差も小さい。

以上の結果から、再養生として中性化促進養生を行った場合、物質透過性の回復は認められるものの、同量の未水和セメントおよび水酸化カルシウムが存在していても、その損傷量によって回復傾向は異なるようであり、特に力学特性の回復は困難であるといえる。

図-3 は脱型直後から中性化促進養生を行ったセメントペーストの粗大毛細管空隙の 2 点間直線経路相関関数を示したものである。水中養生を行った供試体は材齢 7 日 (図-3(a)) では約 12 μ m 程度の空隙が存在していることがわかるが、材齢 91 日 (図-3(b)) では空隙の最大径が約 5 μ m まで小さくなっている。一方、中性化促進養生を行った供試体は、材齢の進行にともない空隙率を表す初期値は低下しているが、最大径は材齢 7 日、91 日ともに 12 μ m 程度の空隙が存在しており、粗大毛細管空隙の中でも大きな空隙は充填されず、残存する。すなわち中性化の影響を強く受ける環境にあつたとしても大きな空隙は残存することがわかる。

したがって、普通コンクリートの中性化の進行ではひび割れは部分的にしか修復されず、閉塞しうるひび割れ幅はかなり限られたものと考えられる。これによって、毛細管空隙の伝導経路が部分的に遮断されるが、損傷回復は初期損傷の程度に強く依存するといえる。

4. 結論

中性化の進行が、異なる程度の損傷を与えたコンクリートの物性回復に及ぼす影響を評価した。その結果、損傷の程度が低い場合に限り、中性化は効果的な治癒機構となりうるということが明らかとなった。