

## 若材齢期に力学的損傷を受けたコンクリートの自己修復性能評価

金沢大学工学部 ○大地 正紘  
 金沢大学大学院 学生員 内藤 大輔  
 金沢大学大学院 正会員 五十嵐 心一

### 1. 序論

コンクリート中のひび割れは、種々の性能の劣化の指標であると同時に、それを加速させる要因である。よって、その原因を特定し、その重大さの判断をもとに早急に補修や補強を施す必要がある。一方、そのようなひび割れが自然に治癒する現象も古くから知られており、これは自己修復と呼ばれている。自己修復はコンクリート維持管理計画の合理的な策定の上で注目されている現象の一つであるが、現段階ではこれを設計できる機能として技術に取り込むまでには至っていない。

本研究は、若材齢期のコンクリートに力学的な損傷を導入し、その再養生過程での強度および電気伝導率の変化から、コンクリートの自己修復機能の基礎的なデータを把握することを目的とする。

### 2. 実験概要

#### (1) 供試体の作製

セメントには普通ポルトランドセメント(密度：3.15g/cm<sup>3</sup>，比表面積：3310cm<sup>2</sup>/g)を使用し、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り混ぜ、直径100mm、高さ200mmの円柱供試体を作製した。コンクリートの配合を表-1に示す。打設後24時間で脱型し、20℃の標準水中養生を行った。

#### (2) 割裂引張試験

##### (a) 損傷の導入および再養生

材齢3日および材齢7日にて、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、割裂引張試験を行い、引張強度を測定した。得られた引張強度の50%の応力レベルまで載荷することによって、力学的な損傷の導入を試みた。

この損傷の導入後、再び所定材齢まで20℃の標準水中養生を行った。なお、比較用として損傷導入を行わずに、

脱型後そのまま水中養生を継続した供試体も作製した。

##### (b) 引張強度、静弾性係数の測定

材齢3日および材齢7日にて応力/強度比0.5のレベルまで載荷したそれぞれの試料について、再養生期間1,7,14,および28日にて再び割裂引張試験を行い、引張強度および静弾性係数を測定した。載荷は、損傷の導入時と同じ方向に対し行った。なお、損傷を導入していない供試体に対しても同様の測定を行った。

##### (3) 電気伝導率の測定

JSCE-G571 および ASTM C 1202 に準拠して電気泳動法による電気伝導率の測定を行った。所定材齢において、試料の円周面上にエポキシ樹脂を塗布し、樹脂の硬化後、24時間の真空飽水処理を施した。30Vの電圧の下で直流電流を通電して、15分後の電流値を測定し、式[1]より電気伝導率 $\sigma$ を算出した。

$$\text{電気伝導率 } \sigma \left( \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right) = \frac{I \cdot L}{V \cdot A} \quad [1]$$

ここに、Iは電流値(amperes), Lは供試体長さ(cm), Vは電圧値(Volt), Aは供試体の投影面積(cm<sup>2</sup>)である。

##### (4) 蛍光顕微鏡観察

所定材齢にて、全ての試料の中央部から40mm×40mm×10mm程度の供試体を切り出し、これをエタノールに24時間浸漬し、水分とエタノールとの置換を行った。さらに、24時間の真空乾燥によって水分を除去した後、真空樹脂含浸を行い蛍光染料含有エポキシ樹脂を含浸させた。樹脂の硬化後、試料表面を耐水研磨紙を用いて研磨し、蛍光顕微鏡観察試料を得た。落射型蛍光顕微鏡を用い、観察倍率20倍にて表面の観察を行った。

### 3. 結果および考察

図-1は、損傷導入直後および所定期間の再養生を行った後の蛍光顕微鏡像を示したものである。損傷の導入を

表-1 コンクリートの示方配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	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 <sup>3</sup> )				混和剤(cc/m <sup>3</sup> )	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE助剤
25	12±2	0.50	5±0.5	43	168	336	755	993	403	1108

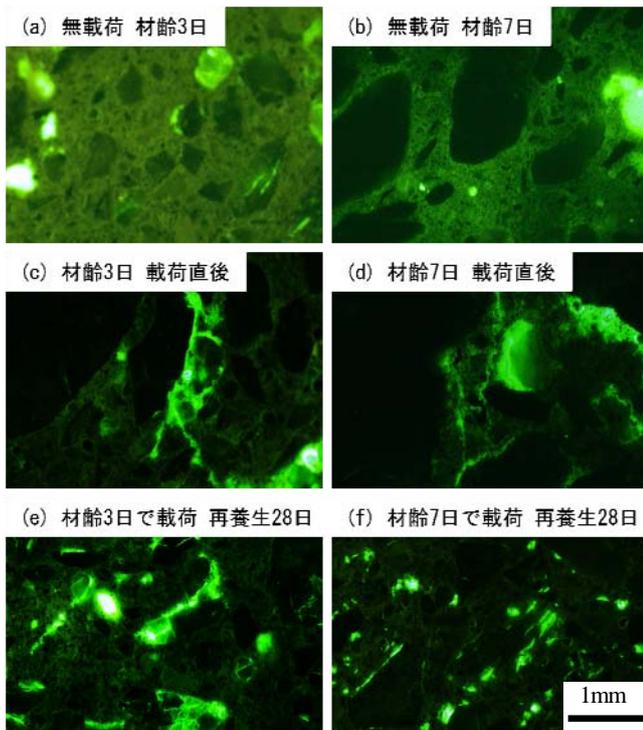


図-1 蛍光顕微鏡像

行わずに水中養生を継続した供試体は(図-1(a)および(b)), ペーストマトリックス中に蛍光領域が存在するが, 明確なひび割れの存在は確認されなかった. 一方, 損傷を導入した直後では(図-1(c)および(d)), いずれの材齢で荷重した供試体についても, モルタル部分あるいは骨材界面領域からひび割れの発生が確認された. しかし, 28 日間の再養生を行うと(図-1(e)および(f)), 荷重直後と同様に空隙周辺と界面領域付近にひび割れの存在が確認されるが, その量および長さは荷重直後に比べて減少している様子が観察された.

図-2 は, 材齢の進行にともなう引張強度の変化を示したものである. いずれの材齢で損傷を導入した場合も, 無荷重の供試体に比べて, 再養生後 1 日程度では引張強度はかなり小さい. しかし, 再養生を継続していくと, 引張強度は増大していき, 再養生 28 日程度が経過すると, 材齢 3 日で荷重した供試体は, ほぼその強度は回復している.

図-3 は材齢の進行にともなう静弾性係数の変化を示したものである. いずれのコンクリートにおいても, 損傷を導入していない供試体と比べて, 損傷を導入した供試体は, 静弾性係数は明らかに小さい. また, それらの供試体を再養生しても, 引張強度とは対照的に静弾性係数が回復する傾向はほとんど認められない.

図-4 は損傷導入の有無による電気伝導率の経時変化

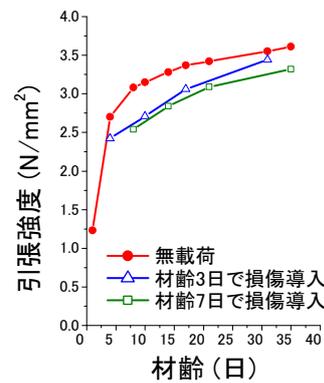


図-2 引張強度の経時変化

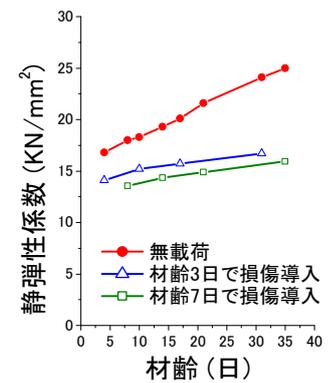


図-3 静弾性係数の経時変化

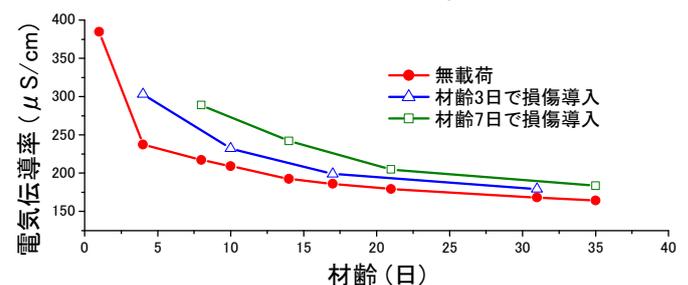


図-4 電気伝導率の経時変化

の相違を示したものである. 損傷を導入した試料は再養生 1 日後において, 損傷を導入していない試料に比べて およそ 1.4 倍の電気伝導率を示している. 損傷を導入する材齢による回復に要する期間の差も大きくはなく, その後の 14 日間の再養生期間中に電気伝導率は単調に減少して, 損傷を加えていない試料とほぼ同程度まで回復している様子が認められる. この再養生に相当する材齢では, 損傷なしの供試体は電気伝導率の変化割合はかなり小さく, 既に空隙の連続性は大きく失われた状態にあり, 水和反応の進行は主に空隙率の低下に寄与していると考えられる. これに対して, 損傷導入供試体では, 水和の進行は同程度であるのも関わらず, 電気伝導率が大きな割合で低下していく. このことは, 少ない反応生成物量であっても物質移動経路を適切に遮断できれば, 物質移動抵抗は適切に改善されることを示している. 換言すれば, 系に残存する未水和セメントの再反応に依存する自己治癒においては, 物質移動特性が損傷箇所すべての治癒に頼らなくとも機能回復を図りうる特性であることを示している.

#### 4. 結論

(1)電気伝導率の測定により, コンクリートの自己治癒特性を評価できる. (2)自然治癒機構においては, 少量の反応生成物で機能回復しうる物質移動抵抗性に着目すべきである.