

火害を受けたセメントペーストのひび割れ性状に及ぼす再養生の影響

北海道大学 学生員 ○原口 雄人
 北海道大学 正会員 マイケル ヘンリー
 北海道大学 イヴァン サンディ ダルマ
 北海道大学 正会員 杉山 隆文

1. 研究背景・目的

火災を受けたコンクリート構造物は、セメント水和物の脱水により収縮し、ひび割れが発生することで強度や耐久性が低下する^{1,2)}。この時、被害状況に応じて補修・補強または取り壊しの判断を行うが、その費用は高く、環境負荷が大きいことが問題となっている。近年、水中再養生による再水和が空隙やひび割れの自己治癒を促し、強度・耐久性を回復させることが報告されている^{3,4)}。この性質を活用することで補修・補強の低コスト化、さらに、環境負荷の軽減が可能であると考えられる。

また、再養生下のひび割れ性状がコンクリートの物性回復に及ぼす影響は大きいと考えられるが、ひび割れの形成や回復については十分に解明されていない。

そこで、本研究ではセメントペースト供試体を用いて X 線 CT 撮影および化学分析を行うことで、水中再養生によるひび割れ性状の変化を観察した。

2. 実験概要

2.1 供試体作製

セメントペーストは高強度コンクリートを想定し水セメント比を 30%とした。普通ポルトランドセメントを使用し、円柱供試体($\phi 20 \times 20\text{mm}$)と板型の供試体($40 \times 40 \times 2\text{mm}$)を作製した。その後、水中養生を 13 週間行った。

2.2 加熱・再養生

供試体の加熱には電気炉を使用し、最高温度を 600°C 、昇温速度を $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 、最高温度保持時間を 1 時間とした。これはセメント水和物の脱水が完了する条件として設定した。加熱後は炉から取り出し、気中で 1 時間程度冷却した。その後、水中の環境で再養生をおこなった。再養生期間は 13 週間とした。

2.3 試験内容

(1) X 線 CT 法

微焦点 X 線 CT はミクロン単位の分解能を持つ X 線 CT 装置である。加熱前、加熱後、再養生 4 週間および 13 週間の時点で撮影を行った。1 つの供試体につき 351 枚の断面画像を撮影し、1pixel のサイズは $22.15\mu\text{m}$ 、1 層の厚さは $33\mu\text{m}$ である。

(2) 化学分析

本研究では、化学分析として、酸化カルシウムの再水和による膨張の影響を確認するために、熱分析試験を行った。試験にはセメントペーストの粉末試料を用い、粉末試料は板型供試体に粉碎処理を行い調製した。加熱前、加熱後、水中再養生 1 週間、4 週間および 13 週間の供試体に対して試験を実施した。

3. 実験結果

3.1 ひび割れ性状に及ぼす再養生期間の影響

撮影した画像を用いて、再養生期間の影響について検討した。写真-1 にその結果を示す。

CT 画像の結果から、加熱前後の画像比較により、加熱によるひび割れが放射状に発生していることが認められた。再養生後の画像によれば、4 週間の時点ではひび割れが大きくなっているようであり、13 週間後ではほとんど変化がみられなかった。

3.2 ひび割れ解析の結果

2 つのひび割れに対し解析を行ったが、ここでは 1 つのひび割れに対する結果のみを図-1 に示す。CT 画像の観察結果と同様に、時間の経過に伴いひび割れ幅は増大する傾向にあることが定量的に確認できた。再養生 4 週間後も養生を行なうことでひび割れ幅は増大したが増大幅はわずかであり、大きいものでは $100\mu\text{m}$ 、小さいものは $20\mu\text{m}$ 程度の増大であった。

キーワード 火害, 再養生, ひび割れ回復, 再水和, 水酸化カルシウム

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目

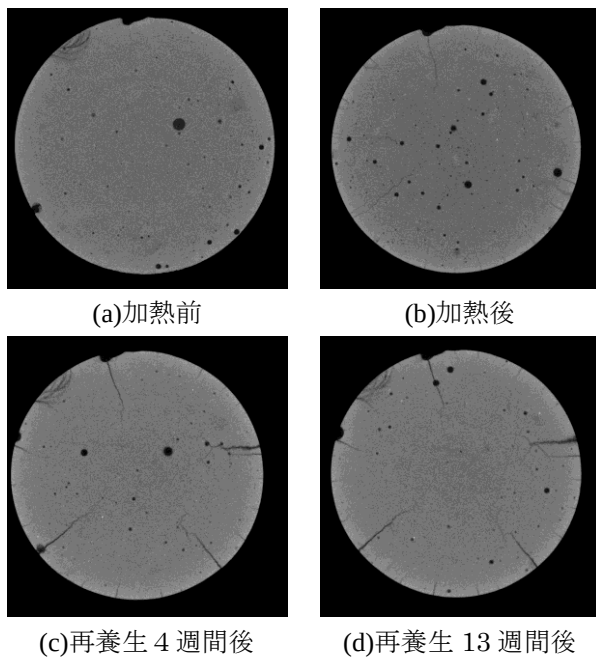


写真-1 セメントペーストの二次元画像

3.3 化学分析の結果

試験の結果から、水酸化カルシウム量を求めた(図-2)。水酸化カルシウム量は加熱後に減少し、加熱による脱水の影響が見られた。再養生では1週間で加熱前の量に戻っており、その後は、4週間後、13週間後どちらも変化が少なくなることがわかった。

4. 考察

本研究は、再養生下におけるひび割れ形成および回復メカニズムの解明を目的とした。画像の観察および画像解析の結果から、ひび割れの増大が確認できた。また、化学分析の結果からは水酸化カルシウムの再水和反応は、再養生1週間のうちにほぼ完了すると推察した。再水和反応によって酸化カルシウムが水酸化カルシウムに変化すると体積が大きくなるため供試体が膨張し、これがひび割れ幅増大の原因であると考えた。

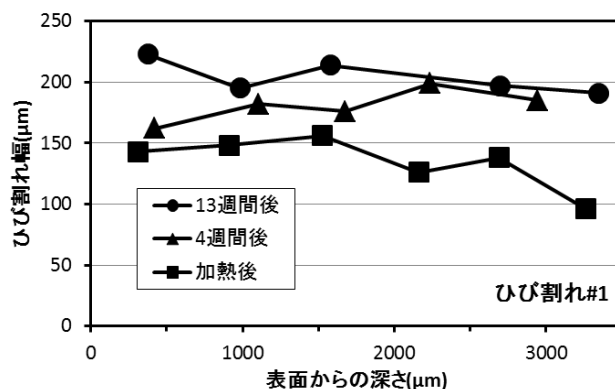
本実験では、再養生による物性あるいはひび割れの回復を確認できなかった。水酸化カルシウムの脱水と再水和については確認することができたが、強度を発揮する主要な化合物であるC-S-Hについては加熱・再養生に伴う挙動が不明であった。今後は、C-S-Hの挙動に焦点を当てて検討する必要がある。

謝辞

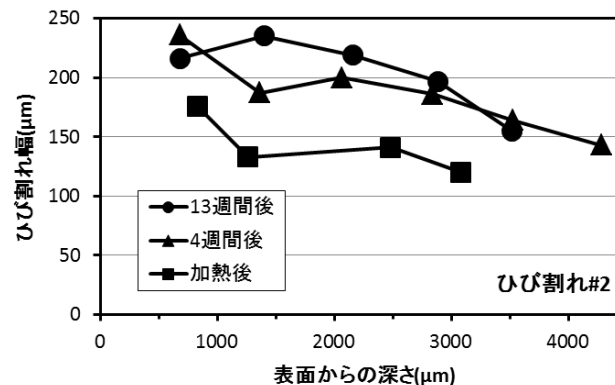
本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究B、研究番号:23360187)を用いて実施しました。ここに明記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Lin, W.M., Lin, T. D., Powers-Couche, L. J.: Microstructure of Fire-Damaged Concrete. ACI Materials Journal, 93(3), pp. 199-205 (1996).
- 2) Taylor, H.F.W.: Cement Chemistry, 2nd ed., Thomas Telford, London (1997)
- 3) Henry, M., Suzuki, M., Kato, Y.: Behavior of fire-damaged mortar under variable re-curing conditions. ACI Materials Journal, 108(3), pp. 281-289 (2011).
- 4) 鈴木将充、Henry, M.、加藤佳孝、勝木太: 高温加熱を受けたモルタルの物理化学的性状に及ぼす再養生条件の影響、セメント・コンクリート論文集 No. 63, pp. 148-154. (2010)



(a) ひび割れ#1



(b) ひび割れ#2

図-1 ひび割れ幅の分布

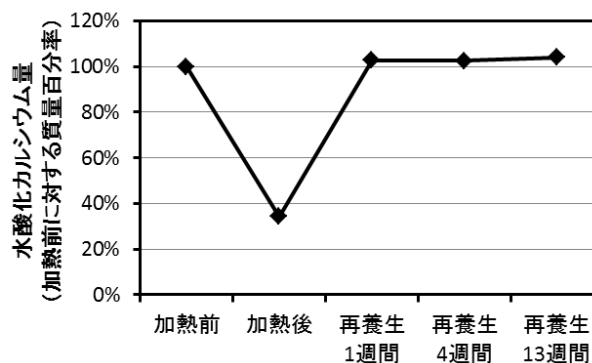


図-2 水酸化カルシウム量の変化