

火災時および冷却後の高強度コンクリート部材の挙動に及ぼす炭酸化の影響

横浜国立大学 正会員 ○岩間 慧大
横浜国立大学 正会員 前川 宏一

1. はじめに

火災に晒されたコンクリート構造物には多くの化学的・物理的な変化が生じる¹⁾。炭酸化もその1つであり、冷却後の耐久性の観点からこれまでも検討がなされてきた²⁾。また、火災時にはコンクリート構造物が高濃度の二酸化炭素(CO₂)環境に晒されることから、近年では、高温時における炭酸化の影響も注目されている³⁾。

筆者らは、既存のマルチスケール統合解析システム⁴⁾に対し、1000°Cの高温時にも適用可能となるように拡張を図ってきた(Fig.1)⁵⁾。特に、既存の常温時の炭酸化モデル⁴⁾に追加して、高温加熱時の炭酸化および脱炭酸化モデル、冷却後の再炭酸化モデルを導入した⁶⁾。本研究では、この提案モデル⁶⁾を用いて、火災時および冷却後の高強度コンクリート部材の爆裂および耐荷挙動に対し、炭酸化が及ぼす影響を検討した。

2. マルチスケール統合解析システムの概要

本研究で用いるマルチスケール統合解析システム⁴⁾⁶⁾の概要をFigure 1に示す。コンクリートの空隙構造形成過程と材料品質の変遷を追跡する3次元熱力学解析システムと鉄筋コンクリート(RC)の3次元非線形構造解析システムとを双方向に連成させることで、使用材料やコンクリートの配合、養生条件、構造物の諸元の基本的な情報を入力するのみで、実構造物スケールのためみ等の挙動を追跡できる。このシステムに対し、高温時におけるセメント水和物の分解、かぶりコンクリートの爆裂、微細ひび割れによる剛性低下、鉄筋の物性変化等の性質を統合することで、火災時および冷却後のRC部材の挙動を予測できる(Figure 1)。

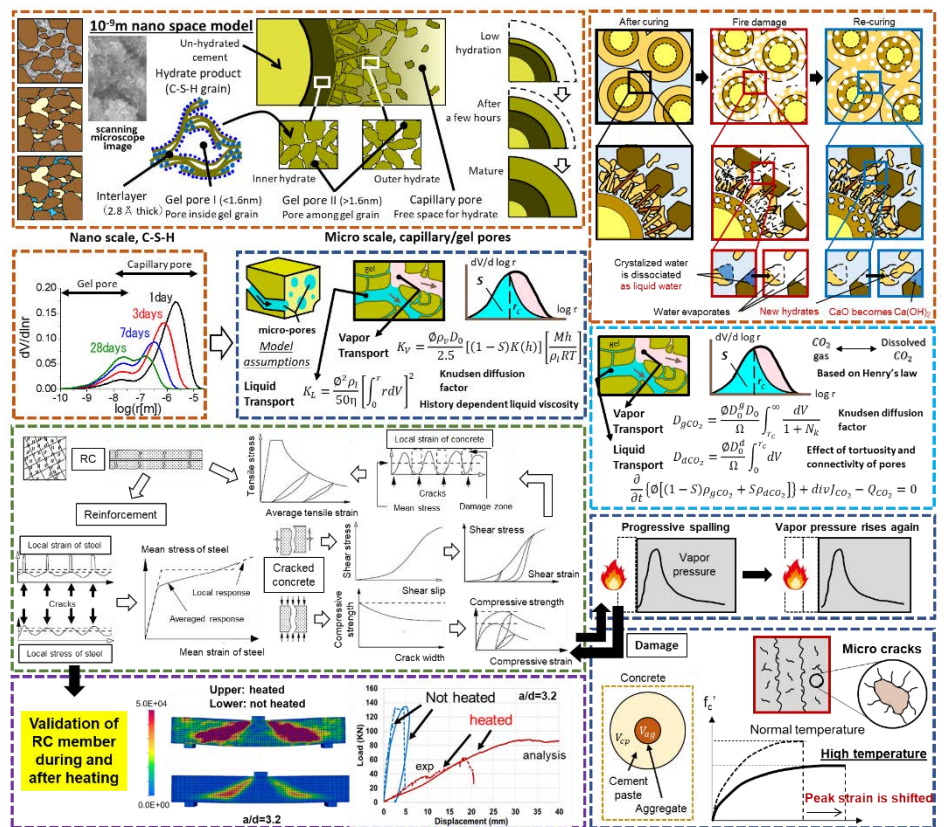


Figure 1. Outline of multi-scale platform considering the characteristics during and after high-temperature⁴⁾⁶⁾.

3. 高温時および冷却後の高強度コンクリート部材の挙動に及ぼす炭酸化の影響

高温加熱時および再養生時にCO₂の作用を受けた際の影響について、セメント硬化体レベルからRC部材レベルまでのマルチスケールで検討を行った。検討に用いたのは、これまで筆者らが拡張を進めてきたマルチスケール統合解析システム⁴⁾⁶⁾である。

Figure 2にCO₂濃度が5%となるように管理した状態における、セメント硬化体の熱重量分析(TG)結果³⁾を示す。高温加熱時にCO₂が存在する場合、400°Cから600°Cの温度帯で質量増加が生じることが、実験結果と解析結果

キーワード マルチスケールモデル、火災、炭酸化、爆裂、高強度コンクリート

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 土木工学棟309室 TEL 045-339-40452

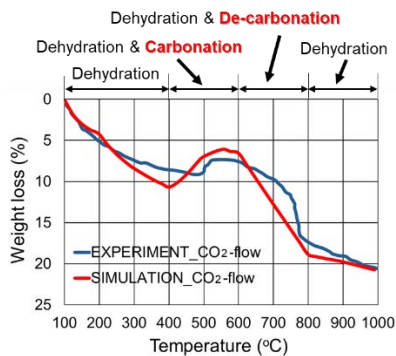


Figure 2. Thermogravimetric analysis (the cases of CO₂ flow).

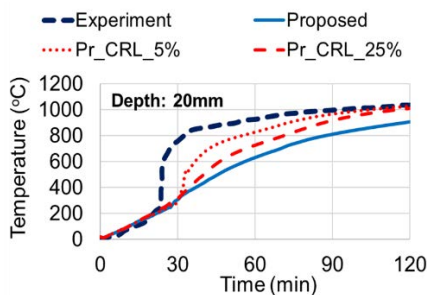


Figure 3. Investigation of the effects of CO₂ for explosive spalling (5% and 25% express the CO₂ concentration during heating).

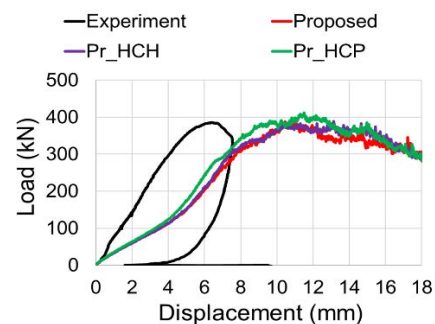


Figure 4. Effects of high CO₂ concentration for shear capacity and deformation of high-strength RC beams

の両者に示されている。これは、水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) の分解によって生じる酸化カルシウム (CaO) が CO₂ と反応し、炭酸カルシウム (CaCO₃) へ変化するためと考えられている。CaCO₃ が生成することでコンクリートの細孔組織が緻密化し、強度や剛性を増加させる効果が期待できる。

一方で、細孔組織の緻密化はコンクリートの透気・透水係数を減少させるため、高温加熱時には爆裂リスクを上昇させる可能性がある。Figure 3 に高強度 RC 短柱の高温加熱時における内部温度変化⁷⁾を示す。検討結果を見ると、提案モデル (Proposed) に対し、加熱時の CO₂ 濃度を 5% (Pr_CRL_5%) と 25% (Pr_CRL_25%) にしたものは、爆裂による温度上昇のタイミングが早まっていることが分かる。

Figure 4 には、高強度 RC 梁の再養生後における耐荷挙動を示す。比較結果を見ると、提案モデル (Proposed) と加熱時の CO₂ 濃度を 10%にしたケース (Pr_HCH) のせん断耐力と剛性にはほとんど差異がなく、再養生時の CO₂ 濃度を 10%にしたケース (Pr_HCP) では、せん断耐力と剛性が上昇していることが分かる。このことから、再養生時の炭酸化はコンクリートの自己治癒効果を増進させることが期待できると言える。

4. おわりに

本研究では、火災時および冷却後の高強度コンクリート部材の爆裂および耐荷挙動に対し、炭酸化が及ぼす影響を検討した。炭酸化には、コンクリートの強度増進と爆裂リスクの上昇というプラスとマイナスのどちらの効果も持ち合わせており、その影響が大きいことが示された。今後、炭酸化の影響を適切に考慮した上で、コンクリート構造物の耐火性能の評価を行っていく必要があると言える。

謝辞

本研究を含む一連の研究は、「火災時および冷却後における鉄筋コンクリート部材の熱特性変化と損傷進展モデルの提案」という題目で土木学会吉田研究奨励賞を授与頂いた。ここに深謝致します。

参考文献

- 1) 高温環境下におけるコンクリートの性能評価に関する研究委員会報告書：日本コンクリート工学会，2017
- 2) Li, Q. et al. 2014, Effects of heating/cooling on recovery of strength and carbonation resistance of fire-damaged concrete. Magazine of Concrete Research, 66(18), 925-936
- 3) 八代・新・吉田・奥村：火災によるセメント硬化体の炭酸化メカニズムに関する研究，コンクリート工学年次論文集，41 巻，1 号，pp.587-592，2019
- 4) Maekawa, K. et al. 2003, Multi-scale modeling of concrete performance -Integrated material and structural mechanics (Invited), Journal of Advanced Concrete Technology, 1(2), 91-126
- 5) Iwama, K. et al. 2020, Thermo-mechanistic multi-scale modeling of structural concrete at high temperature, Journal of Advanced Concrete Technology, 18(5), 272-293
- 6) Iwama, K. et al. 2022, 6. Modeling of carbonation, de-carbonation and re-carbonation processes of structural concrete subjected to high temperature heating, 129, ID:104493
- 7) 梅本・菊田：超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱の耐火性能に関する研究，戸田建設技術研究報告，32 巻，2006