

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	岩間 慧大		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	都市博甲第2181号		
学位授与年月日	2020年 9月 30日		
学位授与の根拠	学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項		
学府・専攻名	都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻		
学位論文題目	高温領域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		
論文審査委員	主査	横浜国立大学	教授 前川 宏一
		横浜国立大学	教授 細田 暁
		横浜国立大学	准教授 菊本 統
		横浜国立大学	准教授 藤山 知加子
		横浜国立大学	准教授 田村 洋

論文及び審査結果の要旨

本博士論文は、火災を受けるコンクリート構造の耐火安全性と、火災以後の残存性能評価を解析によって事前予測する方法を開発したものである。1,000 度に至る高温下でのセメント硬化体の微細組織の变成と、気中水蒸気による水分供給に伴う結晶構造の再生を数値モデル化するとともに、ひび割れを含む RC 要素の構成則と連結させることで、高温下の構造耐力と靱性、現存性能を評価可能とするプラットフォームを開発した。ミクロ事象の知見と構造レベルの事象の知見の総合化を図り、これを摂氏 0～1,200 度、相対湿度 0～100%の広帯域環境にまでモデルの適用性を拡張した点に、本研究の独創性が認められる。

セメントの水和反応により硬化体に取り込まれた結晶水が高温下で脱落して液状水に転換、さらに水蒸気に相変化することで、コンクリート複合体中に高圧の水分が発生し、爆裂に至る過程を数値解析で再現することに成功している。圧縮強度が 150MPa を超える超高強度コンクリートでは、連続的に爆裂が発生して圧縮部材の有効体積が減少し、軸圧縮崩壊が発生する。この連続爆裂を数値解析で再現して、崩壊に至るまでの時間と変形をおおよそ予見できることが確認された。一方、普通強度コンクリートでは細孔組織が粗いために容易に水蒸気が外気に排出される。そのため、爆裂リスクが大幅に低減することも解析で再現されており、提案されたシステムが実現象と整合していることが確認された。梁部材では爆裂によりかぶりコンクリートが消失し、鉄筋とコンクリート間の付着が失われて、たわみが急増する。最終的に鉄筋が高温に露され、部材崩壊に至る過程が再現された。矩形断面を有する高強度部材では、高温に晒される表面から数センチの位置に凝縮水が集中するリング状の領域が発生し、それが構造体内部に移動する過程が予見された。そこで、高温下でも結露を検出可能なセンサーを作製し、表面温度が摂氏 400 度程度に至る早期に結露のリングが発生することを実証した。また、結露位置の分布と時間経過が事前予測とほぼ適合していることが示された。この結果は本論文の信頼性を示すものと判断され、今後の爆裂予防策に展開できる発展性を有しているものと認められた。

以上より、本学位論文は既往の基礎研究の総合化と独創性、および今後の発展性を有するものとして、合格と認められた。iThenticate による剽窃チェックでは重複率 13%であり、剽窃盗用に該当するものは無いことを確認した。

2020 年 8 月 18 日 15:00～16:00 に公聴会をオンライン型式で開催し、引き続き 8 月 18 日 16:00 より審査委員会を開催した。高温履歴下におけるセメント硬化体の微視的レベルでの変成と、鉄筋コンクリート構造の巨視的な耐力と靱性を統合した multi-scale モデルに関する研究は、博士学位論文として十分な内容を有しており合格と判定した。コンクリート構造工学並びにセメント系複合材料科学に関して、博士（工学）の学位を得るにふさわしい学力を有していると判定した。なお、修了に必要な単位は取得済である。

英語の学力においては、筆頭著者として既に公表した英文論文 4 編と国際会議における講演発表の実績より、十分な英語の学力を有していることを判定した。

学位取得に必要な対外発表論文は以下の通りである。

- Modeling of Decomposition and Self-healing Processes of Hardened Cement Paste Exposed to High Temperature, Keitai Iwama, Natsumi Ishibashi and Koichi Maekawa, The 8th International Conference of Asian Concrete Federation, 査読有, Vol.1, pp.227-234, 2018
- Multi-scale Modeling of Deteriorating Concrete at Elevated Temperature and Collapse Simulation of Underground Ducts, Keitai Iwama, Kazuaki Higuchi and Koichi Maekawa, 10th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete, 査読有, Vol.8, pp.1-12, 2019.
- Model-based Assessment of Long-Term Serviceability and Fire Resistance for Underground Reinforced Concrete Ducts, Keitai Iwama, Kazuaki Higuchi and Koichi Maekawa, *Structural Engineering International*, 査読有, Published online, International Association of Bridge and Structural Engineering, 2020.11 (in print)  
<https://doi.org/10.1080/10168664.2019.1709607>
- Thermo-Mechanistic Multi-Scale Modeling of Structural Concrete at High Temperature, Keitai Iwama, Kazuaki Higuchi and Koichi Maekawa, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 査読有, Vol.18, pp.272-293, 2020.

以上より、最終試験は合格であると認められた。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。