



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Performance Enhancement of Cementitious Materials by Nano-additives : An Experimental and Numerical Study [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Mylvaganam, Nithurshan
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16135号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93456
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Nithurshan_Mylvaganam_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Nithurshan Mylvaganam

審査担当者 主 査 准教授 エラクネス ヨガラジャ
 副 査 教 授 佐藤 努
 副 査 教 授 広吉 直樹
 副 査 教 授 北垣 亮馬

学位論文題名

Performance Enhancement of Cementitious Materials by Nano-additives: An Experimental and Numerical Study

(ナノ添加剤によるセメント系材料の性能向上: 実証実験および数値モデル)

近年、セメント系材料の機械強度や耐久性を向上させるために、ナノシリカや酸化グラフェンのようなナノ材料を添加することが検討されている。しかし、これらのナノ改質セメント系材料の強度発現メカニズムは十分には解明されておらず、その機械的特性を正確に予測する手法は確立していない。このため、目的とする強度を発現させるために必要なナノ材料の添加量を決定するためには、実験による試行錯誤を繰り返すしかなく、現状では多大な時間と労力、コストを要している。セメント系材料の強度発現を予測する手法として、近年発達の著しい機械学習モデルは有望視されているが、ナノ材料などの効果を組み込むためには透明性に欠けている。また、従来提案されてきた解析的なモデルも複雑な影響因子を正確に説明することができていない。特に、コンクリートなどのセメント系材料の発現強度に顕著な影響を及ぼすナノレベルの水和セメントペーストの微細構造と機械強度などのマクロレベルの特性とを橋渡しするために妥当性が十分に検証されていない仮定を用いている点に問題がある。本研究では、ナノ改質セメント系材料の力学特性を予測する実用的な手法を確立することを目的として、セメント鉱物の水和過程や強度発現に及ぼすナノ材料の影響を物理化学的な観点から詳しく検討し、粒子や空隙の充填構造に基づく強度予測モデルを提案・開発している。

第1章では、本研究の目的、範囲、独創性について述べている。

第2章では、包括的な文献レビューを行い、セメント系材料におけるナノ材料添加の効果を水和、微細構造の発達、フレッシュ状態の特性、機械的特性に焦点を当てて議論している。

第3章では、既存のセメント系材料の強度予測モデルをレビューし、その利点と限界を評価している。このレビューでは、より頑健で正確なモデルが必要なことを結論している。

第4章では、所定量のナノシリカを添加したセメントペーストを調合し、その鉱物/化学分析 (TGA、XRD、SEM 分析) と圧縮強度試験を実施し、クリンカ鉱物の水和とナノ改質セメントペーストの機械的特性に及ぼすナノシリカの影響について検討している。

第5章では、クリンカ鉱物の水和と微細構造の変化に対する酸化グラフェンの効果を調べている。また、合成 C-S-H のミクロ構造の変化に及ぼす酸化グラフェンの影響についても検討し、酸化グラフェンの添加に伴う C-S-H の微細構造変化のメカニズムを議論している。

第6章では、第4章で得られた結果に基づいて、ナノ改質セメント系材料の強度の発現挙動を予測

する新しいモデルを提案している。このモデルは、普通ポルトランドセメント (OPC) の水和に対するナノシリカの効果を組み込んでおり、ナノシリカを添加した際の水和物の体積率や空隙率、収縮率を最初に予測する。次に、予測された水和物や空隙、未反応ナノシリカ粒子の体積分率に基づいて代表体積要素 (RVE) を作成し、これを有限要素法により解析して機械的特性を求める。このモデルの予測結果は実験データとよく一致する。

第 7 章では、第 6 章で提案したモデルを拡張し、細骨材を添加した OPC モルタルの機械的特性を、細骨材周辺の遷移帯 (ITZ) の効果も考慮して計算するモデルを開発している。この拡張モデルを用いたパラメトリック研究も実施しており、骨材の形状、サイズ、ランダム配置などの効果を調べ、モデルの汎用性と頑健性を検証している。

第 8 章では、本研究から得られた主要な知見と今後の研究に対する提言をまとめている。

以上、これを要するに、著者はセメント系材料の水和過程に及ぼすナノ材料添加の効果を詳細に調べ、この結果に基づいてナノ改質セメント系材料の力学特性を予測する新しいモデルを提案検証している。これは資源工学およびコンクリート工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。