



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Experimental and analytical study in meso-scale on internal frost damage of mortar under effects of sodium chloride [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	汪, 毅
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12465号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63429
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	WANG_Yi_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 汪 毅

審査担当者 主 査 教 授 上田 多門
副 査 教 授 杉山 隆文
副 査 准教授 長谷川 拓哉

学位論文題名

Experimental and analytical study in meso-scale on internal frost damage of mortar under effects of sodium chloride

(塩化ナトリウムが存在する場合の凍害に関する準微視的な実験と解析)

寒冷地におけるコンクリート構造物の凍害への対策は、国内外での社会基盤施設の劣化に対する共通課題である。凍害はひび割れや表面の剥離を生じさせ、構造物の美観を損なうだけでなく、耐久性や力学的特性を顕著に低下させる。したがって、構造物の現時点での性能評価や将来の性能予測には、凍害によるコンクリートの特性の変化を明らかにする必要がある。コンクリートは融雪剤や海水を通して塩化ナトリウムに接する。塩化ナトリウムがコンクリート中に存在すると、凍害は促進する(凍害と塩害の複合劣化)ことが知られており、この場合の凍害が与えるコンクリートの特性への影響の解明はさらに重要である。このような背景のもと、本研究は、凍害に影響を与える水の量の推定法、塩化ナトリウムが存在する場合の水分移動特性、複合劣化による力学的特性の劣化とその推定法を、実験および数値モデルを用いて示したもので、以下のような有用かつ新規の知見を得ている。

第1章では、本研究の背景とこの研究の必要性を述べるとともに、本学位論文の章構成を示すことで全体の概要を示している。

第2章では、従来信頼できる方法がなかったことから、凍害に最も重要なコンクリート中の水(凍結水)の量の測定法を独自に提案している。この方法は、モルタル供試体の電気抵抗を測定し、電気抵抗特性に与える温度の影響を活性化エネルギーを通して考慮した上で、電気抵抗から水(不凍結水)の量を求め、残りを氷の量とする方法である。本提案法による氷の量の測定値が供試体間で安定していること、既往の研究成果である熱力学に基づく氷の量の計算値、既往の研究の示差走査熱量計(DSC)に基づく氷の量の測定値と、本提案法に基づく氷の測定値とを比較し妥当な一致を見ることから、その信頼性があることを示している。その上で、本測定法により推定される供試体中の凍結開始点は、凍結融解作用繰り返し数とともに上昇していくが、融解開始点は下降していくこと、同じ温度下では凍結時の方が融解時より氷の量が少ないことを示し、これらは既往の研究結果と一致するとしている。

第3章では、塩化ナトリウムを含む溶液で浸潤されたコンクリート中の氷の量を推定する数値モデルの提案と、第2章で提案した電気抵抗に基づく、純水で浸潤された場合の氷の量の測定法を、塩化ナトリウムを含む溶液で浸潤された場合に拡張する方法を提示している。数値モデルは、既往の(細孔中でない)気中の塩化ナトリウム溶液の濃度と凍結温度との実験結果と、熱力学に基づいた塩化ナトリウム溶液の細孔寸法と凍結温度の関係とを結びつけたものであり、ある温度における氷の量の算定法を示している。一方、電気抵抗に基づく拡張測定法は、活性化エネルギーに基づいた電気

抵抗の温度依存性に、電気抵抗と溶液中のイオン濃度との関係を考慮したものであり、未凍結溶液量を推定するだけでなく、結晶化した塩化ナトリウムの量も合わせて推定できる。水セメント比と塩化ナトリウム濃度を変数とした供試体に凍結融解繰返し作用を与え、電気抵抗を測定し、水の量を推定した。数値モデルによる水の量の推定値と、拡張測定法による測定値とを比較し、適度に合致していることから信頼できる方法であるとしている。

第4章では、凍害に重要な、塩化ナトリウム溶液の吸水特性および水分の再吸水特性を明らかにしている。3次元の吸水特性を表現できるモデル (Two-stage model) を提示し、実験結果がこのモデルによって表現できることを示している。実験結果として、塩化ナトリウム溶液 (0,3,20% 濃度) の吸水特性と、塩化ナトリウム溶液に浸漬し乾燥させた後の純水の吸水特性を比較し、塩化ナトリウムの結晶化、フリーデル氏塩の生成、カルシウム溶脱が、吸水特性に影響を与えているとしている。

第5章では、塩化ナトリウム溶液 (0 から 20%) に浸漬し、凍結融解繰返し作用を与えた準微視的スケールのモルタル供試体の力学特性 (曲げ強度と弾性係数) を実験的に明らかにしている。準微視的スケールとしているのは供試体内部の温度や浸漬状況が一定であると考えられるからである。力学特性が最も劣化したのは濃度 5% の時であり、水セメント比が小さいほど劣化抵抗性が高かったとしている。濃度 20% も劣化が大きくなり、これは塩化ナトリウムの存在が原因であると推定している。化学分析から、凍結融解作用の影響のない場合はカルシウムの溶脱が、凍結融解作用の影響のある場合は塩化ナトリウムの析出が、力学特性の劣化と関係があることを示している。電気抵抗の変化が力学特性の劣化の指標になりうることも示している。

第6章では、既往の準微視的スケールの凍害モデル (凍結融解作用下の内部応力モデル) を凍害と塩害の複合劣化時に拡張したモデルを提示している。このモデルにおいては、塩化ナトリウム溶液の凍結温度の低下、粘性の増大を考慮している。凍結作用下のモルタルの歪み量の推定値が既往の実験結果と適合していることから信頼性が示されている。また、本研究で提示した測定法により求められた電気抵抗を用いて拡張凍害モデルにより歪みを算定し、塩化ナトリウムの濃度が 5% の時に引張歪みが最大となることを示している。

第7章は、第2章から6章までの成果のまとめと、凍害と塩害の複合劣化を受ける構造物の性能予測のために残された研究の課題を示している。

以上のように、著者は、凍害と塩害の複合劣化現象の解明、および、コンクリート材料の力学特性の劣化とその推定モデルを提示し、劣化しているコンクリート構造物の性能予測の合理的な方法の確立に有用な知見を得ており、維持管理工学、コンクリート工学の発展に対して貢献するところが大きい。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があるものと認められる。