



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Modeling and Simulation of Frost Damage of Concrete and its Combined Effect with Fatigue Loadings [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	弓, 扶元
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12026号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59943
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Gong_Fuyuan_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 弓 扶元

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 松本 高志

学位論文題名

Modeling and Simulation of Frost Damage of Concrete and its Combined Effect with Fatigue Loadings

(コンクリートの凍害および凍害-疲労複合劣化モデルとシミュレーション)

国内外で社会基盤施設の劣化が社会的な問題となっており, その対策として新設構造物においては環境作用下での種々の劣化, それが構造物の性能に与える影響の予測とそれを抑えるための耐久設計が, 既設構造物においては現時点での劣化の度合い, それが構造物の性能に与える影響の評価と今後の予測とが必要である. 積雪寒冷地においては, 凍害がコンクリート構造物の主要な劣化要因であり, 疲労荷重を含む荷重作用との複合劣化による, 道路橋コンクリート床版の劣化は大きな問題となっている. 凍害に関しては多くの研究がなされ, その劣化機構はかなり解明されていると言えるが, 劣化によりコンクリートの材料特性がどのように変わるかは十分には解明されていない. このような背景の下, 本論文は数値モデルにより凍害によるコンクリートの物性の変化をシミュレートし, さらに同様の数値モデルにより疲労荷重と凍害がともに作用した場合のコンクリートの物性の変化をシミュレートし, これらの劣化により物性が変化するメカニズムを明らかにしたものである. 本文の内容を章ごとに示すと以下ようになる.

1 章では, 関連の既往の研究を概観し, 特に, 凍結融解作用下のコンクリート内部応力, 凍害を受けたコンクリートの準微視的モデルによるシミュレーション, 氷点下でのコンクリート中の氷による物性の変化, 凍結融解作用と疲労作用の複合劣化に関し, これまでの研究成果をまとめている. また, 本論文の各章の内容の概要を示し, 研究の流れを明らかにしている.

2 章においては, ある温度と湿度の条件を与えた時のコンクリート中の水分の 3 相 (水蒸気, 水, 氷) それぞれの量を推定するモデルを化学ポテンシャルの釣合の概念に基づき提示している. オリジナルの成果としては, 通常の相変化図に, コンクリート中の細孔径の逆数を第三の座標軸に加え, 温度と圧力と細孔径とによる 3 次元空間における相変化を示したものがまず挙げられる. この図によれば, コンクリート中の水と水蒸気による水分量は主として相対湿度に, 氷の量は温度に支配されることが明らかとなる. 細孔径分布が与えられれば, 氷の量が推定でき, 実験結果と概ね合致することが示されている.

3 章では, 凍結融解作用時のコンクリート中の内部応力を推定するモデルを提示している. まず, 水から氷に相変化する際の体積膨張による水圧モデルとして, 既往の浸透圧モデルと空隙体の力学モデルとを組み合わせたモデル, 氷の結晶化に伴う圧力モデル, クリオサクシオン (cryosuction) 圧力モデルを提示し, 準微視的モルタル供試体の凍結融解作用時の変形挙動が推測できることを示している. そこでは, 前述の水圧が凍害の進行による浸透圧の減少により減少すること, クリオサク

ション圧力によりモルタル供試体の収縮変形が生じることが説明できている。

4 章においては、多相複合材料理論を適用した飽水状態あるいはそれに近い状態のコンクリートの氷点下での強度と剛性を推定するモデルを提示している。この場合、コンクリートは水、氷、空隙、それ以外の緻密な固相の 4 相からなるので、順に 2 相分、3 相分、4 相分の複合化手順を示している。このモデルにより推定される剛性 (ヤング係数、ポアソン比) を示すとともに、一部は実験結果と比較し、モデルの妥当性を示している。

5 章において、本研究で採用する準微視的アプローチに必要な種々のモルタル、粗骨材とモルタルの界面部 (ITZ) 用の力学モデルを提示している。それらは、凍結融解作用時の水圧とそれに抵抗する力学モデル、この力学モデルと等価な、凍結融解時の内部応力と荷重による外部応力の双方に同時に抵抗するための力学モデル、繰返し作用する荷重に対抗する力学モデル、繰返し荷重下のクリープモデル、内部の氷とモルタル・ITZ とがともに外部応力に抵抗する時の力学モデルであり、6 章のシミュレーションに際し適用されるものである。

6 章では、5 章で示したモデルを適用した準微視的剛体バネモデル (RBSM) による以下のような数値シミュレーション結果を示している。凍結融解繰返し作用下のモルタルとコンクリートの変形挙動として、水分の供給がない場合の膨張から収縮への変化と水分供給がある場合の膨張量、氷点下のコンクリートの強度 (圧縮、引張、割裂) の増加、疲労荷重下のコンクリートの強度の低下と変形の増加、凍結融解作用により劣化したコンクリートの疲労寿命の減少が、実験結果と合致することが示されている。

7 章は、結論として本論文の 2 章から 6 章までの成果をまとめるとともに、今後の課題を示している。

以上のように、著者は、凍害の物理モデルを提示した上で、凍害によるコンクリートの物性変化、凍害と疲労をともに受けた場合のコンクリートの物性変化を数値シミュレーションする手法を確立し、劣化コンクリート構造の性能評価に関し大変有益な知見を得ており、コンクリート工学、維持管理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。