

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510241

研究課題名(和文) コンクリート凍害深さの3次元劣化予測モデルの開発

研究課題名(英文) Development of the three-dimensional deterioration prediction model of the concrete frost damage depth

研究代表者

高科 豊 (Takashina, Yutaka)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：30187950

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：凍害深さ評価の開発として、コンクリート表層部の剥離量や目視評価を改め、劣化部位の非接触デジタル写真による凹凸形状把握、赤外線法(サ-モグラフィ-)、超音波法の結果統合による凍害深さの3次元把握技術を検討した。階層型ニューラルネットワークを利用することから、複合劣化の自然環境下の凍害局所部位を対象とするコンクリート3次元の劣化予測の推論モデル開発の基礎的な素材の各検討が行なわれた。

研究成果の概要(英文)：As development of the frost damage depth evaluation, amount of scaling damage of the concrete surface portion was improved by a visual evaluation system. Surface irregularity figure was grasped with the non-contact digital photography of the frost damage deterioration part. In addition, both infrared ray's thermography method and the ultrasound method are necessary. And then a three-dimensional model was command in the considered technology of the frost damage depth by the unification of the each method result. Because a hierarchical neural network is used, in the frost damage under natural environments of the compound deterioration, that damage inference and evaluation is possible. In this research, each subject matter of concrete frost damage depth is basically needed as three dimensions model of deterioration predictive inference.

研究分野：土木工学

キーワード：凍害深さ 赤外線サ-モグラフィ 超音波測定 3次元デジタル写真計測 ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

(1) コンクリートの凍結融解試験は、試験の結果を得るために、長期間の時間と労力等を要する。また我が国には、スケーリング抵抗性評価の試験規格はなく、海外の試験法等を準用している。また得られた実験室での知見や結果が、実コンクリート構造物の耐久性の評価や診断結果に直接的反映されていない。またコンクリート構造物の凍害の表層剥離(スケーリング)評価は、目視調査等による半定量的なランク付けの外観評点等が現状としてある。

(2) 筆者は、『コンクリート凍結融解抵抗性評価方法に関する委員会報告書』に、「凍結防止剤による劣化形態」に関する論文投稿し、凍結防止剤による劣化形態特性の考察、また、『自然環境とコンクリート性能評価に関するシンポジウム』にて、「融雪剤溶液浸透とスケーリング劣化特性」に関する発表を行い、スケーリング試験結果の促進化の特異性を提唱し、さらに『融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会』において、「凍結防止剤溶液浸漬時のモルタル水分量変化とスケーリング量の関係」を論文発表し、内在水分挙動の重要性を示唆した。

(3) 筆者は、CONSEC'07 において、「A SCALING MECHANISM OF CONCRETE EXPOSED TO DE-ICING CHEMICALS UNDER DILUTION WATER」の題目として、融雪剤試験濃度と稀釈過程が、スケーリングに与える影響と促進的意義を数量的に説明した。また CONSEC'10 にて、「Deteriorate forms and defective events on concrete surface damaged by deicing chemical attacks」として、凍結防止剤・融雪剤の化学的成分と劣化形態、特に、初期兆候の様相が、以後の劣化進行に関わることを説明した。

(4) スカンジナビア・スラブ(SS)試験とLVDT試験、ATOS SYSTEMの協力を得るため、Norwegian University of Science and Technology(NORWAY,NTNU University)のPro. Stefan Jacobsenの下、2009.03,2010.03海外においてスケーリング試験研修をした。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、スケーリング劣化現象の特徴を抽出し、試験方法の促進化、簡易化の提言、実験室レベルの結果とコンクリート構造物レベル診断を連携させる技術を推考し、凍害深さにおける3次元予測モデルとして、開発提案する基礎を検討することを目的とする。

(2) 本研究は、試験体への融雪剤浸透稀釈の飽水度増加の原理を用い、スケーリング試験法における促進試験の準備段階過程の重要性を示すとともに、試験方法のあり方、凍害の劣化形態の重要性を検討する。

(3) 凍害深さ評価を示す3次元形状ソリッドモデルをデジタル写真から点群座標を容易に作成し、結果ポスト処理への対応を試みる。

(4) 凍害劣化要因や空間処理に特徴把握型のニューラルネットワークの適用を検討する。

(5) 強制熱源によるコンクリート表面サーモ挙動指標の検討、超音波伝播特性による内部特性、GWTによるコンクリート表面試験を統一して行い、包括的な非破壊試験の各結果の凍害深さとしての評価の基礎を構築する。

3. 研究の方法

凍害深さ評価の開発として、コンクリート表層部の剥離量や目視評価を改め、劣化部位の非接触デジタル写真による凹凸形状把握、赤外線法(サーモグラフィ)、超音波法の結果統合による凍害深さの3次元把握技術を検討する。階層型ニューラルネットワークを利用することから、複合劣化の自然環境下の凍害損傷部位を対象とするコンクリート3次元劣化予測推論モデル開発の基礎的な素材の各検討を行う。

4. 研究成果

(1) デジタル写真によるコンクリート表面剥離における3次元計測より、コンクリート凍害損傷表面の凹凸形状のデジタル点群の数量把握を試みた。表面の形状は、デジタル写真のステレオマッチングにより、定量化・簡易化ができる。目視写真記録が多い現場において、単に管理としてだけでなく、定量的3次元計測の適用を示した意義は大きい。

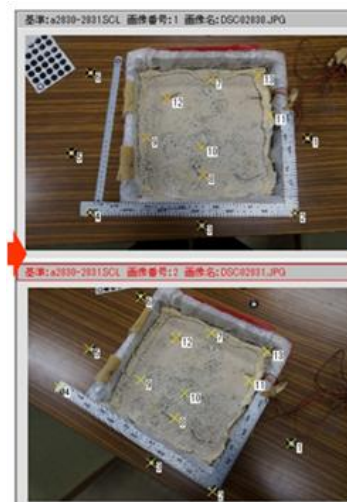


写真1 スケーリング試験 (ASTM C 672) の剥離の定量的検証

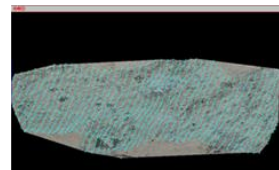


写真2 凹凸形状の点群把握の事例

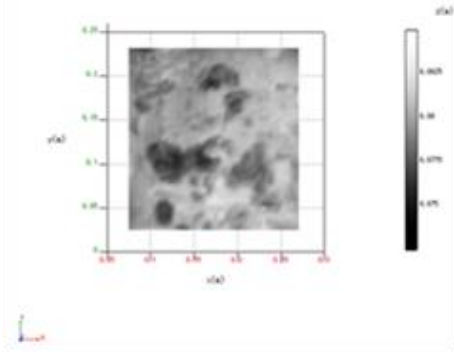


写真3 数値化した表面形状の再現

(2) コンクリートの『凍害深さ』の定義は、スケーリング損傷の深さや微細ひび割れによる劣化程度を深さ方向に評価し、総合判断するものである。構造物の劣化部材・部位を限定的対象とし、非接触かつ遠隔から、容易に形状ソリッドモデルを作成し、評価結果を3次元可視的評価できる表現の構築をした。

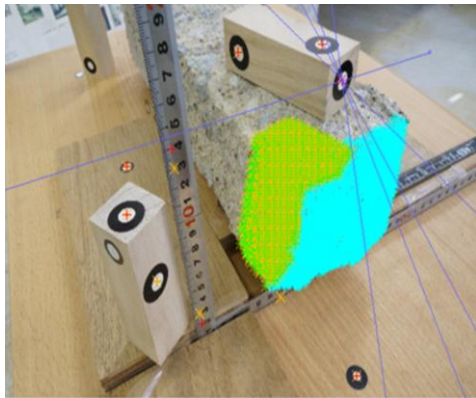


写真4 隅角部部位の点群把握

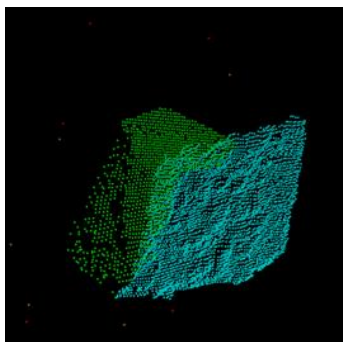


図1 ソリッドモデルの作成過程

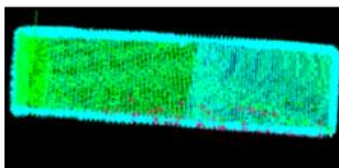


図2 実験供試体の評価メッシュの作成

(3) スケーリング劣化促進性の検証として、融雪剤成分の浸透蓄積後、コンクリート表層水分稀釈促進の評価を、コンクリートの凍結融解試験方法 (JIS A 1148:2001) に準じ、湛水法によるスケーリング試験法 (ASTM C 672 等) との対応関係を検証した。試験法に関わらず、表層品質を促進的に検証できる。



写真5 ASTM C 672 による稀釈促進の検証

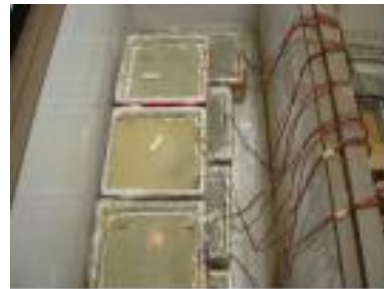


写真6 スケーリング試験 (ASTM C 672) 状況

(4) スケーリングの複合要因をニューラルネットワーク (NN) に学習させ、防水塗布や内部の挿入鉄筋が損傷促進に与える影響等を発表した。凍結融解環境の膨張収縮するコンクリート内の鉄筋は、挙動障害になり、スケーリング劣化を促進する。また防水塗布等は、水分を内部に蓄積し、空間形状を十分考慮しないと、逆にスケーリング劣化を促進する可能性があることを発表した。また空間を持つ評価処理の NN の意義を示した。



写真7 防水層とコンクリート損傷特性

防水面や鉄筋の空間的存在は、評価に大きく関わる実験の結果を得ることができた。凍害深さを検討するとき、表層と内部評価の包括的手法が必要である。また表層から深さ方向への粗骨材、鉄筋は十分に配慮の必要がある。

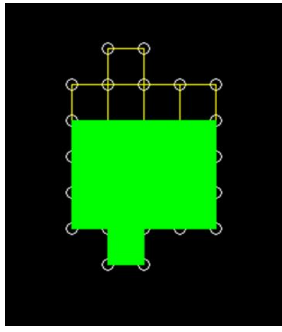


図3 4 * 4 * 16 cm 供試体塗布領域一例



写真8 塗布領域による劣化部進行事例

(5) 表面スケーリング損傷部に強制熱源や散水過程を用い、赤外線サーモグラフィ挙動による表面品質診断法のあり方を検討した。また様々な指標をスケーリング形態かつ様々な試験規格供試体から検討した。表層の温度挙動指標の違いから、その品質を迅速に判定できる。

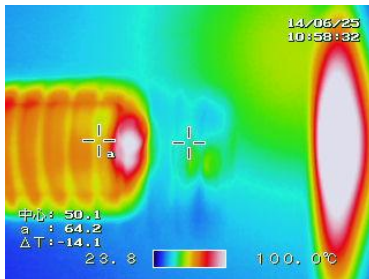


図4 サーモグラフィ検討イメージ

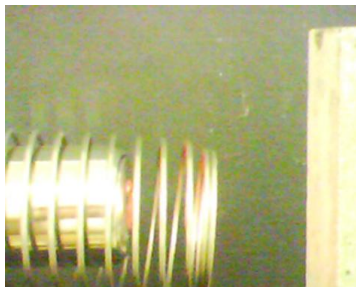


写真9 サーモ調査イメージ (可視画像)

深さ方向のアプローチとして、ダイヤモンドカッターから断面を抜き出し、サーモ挙動の違いから品質の優劣を判断できる。凍結融解劣化による表層や内部の毛細管空隙の組織変化(空疎化)は、水分や熱源によるサーモ挙動として、品質の判定ができる。

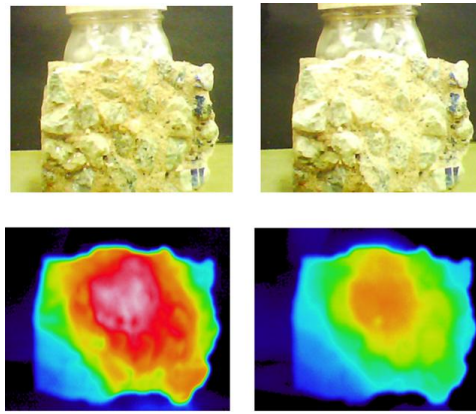


図5 表層部のサーモ挙動の一例

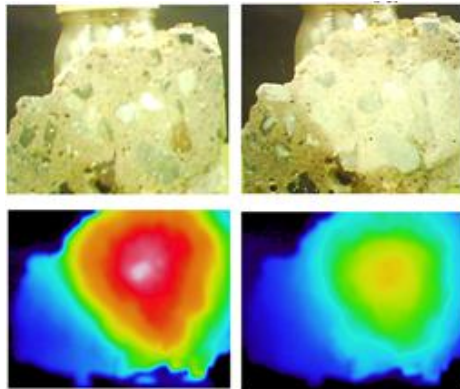


図6 内部切断面のサーモ挙動の一例

(6) GWTによるコンクリート表面試験により、骨材や寸法の影響を表面品質評価する上で、簡易サーモグラフィ評価と透水試験(GWT法)の比較検証をした。両者は表面の品質を計測する共通点を持つが、評価対象面の捉え方が精査された。



写真10 コンクリート透水試験機 GWT-4000



写真11 コンクリート透水試験機 GWT-4000 (その2)

(7) 超音波伝播速度からみたコンクリートの凍害を受けた特性を供試体から検討した。超音波伝播時間に影響を及ぼす諸因子には、粗骨材、セメントマトリックス性状(W/C等)、内部鉄筋等を考慮しなければならない。また、含水状態や供試体乾燥履歴も検討すべきである。さらに、透過法・走査法適用手法区別及び評価空間領域(供試体の大きさや形状)を検討した。超音波伝播速度は、任意形状を計測する場合、縦波は立体的円錐包絡面状に受信間伝播となるので、供試体空間領域を十分に評価への配慮をしなければならない。表面は簡易サーモ評価を行い、内部は超音波伝播速度評価を行い、内外部を同時に包括的にまとめ評価した。(トモグラフィ法の改良)



写真12 スケーリング供試体の表面走査

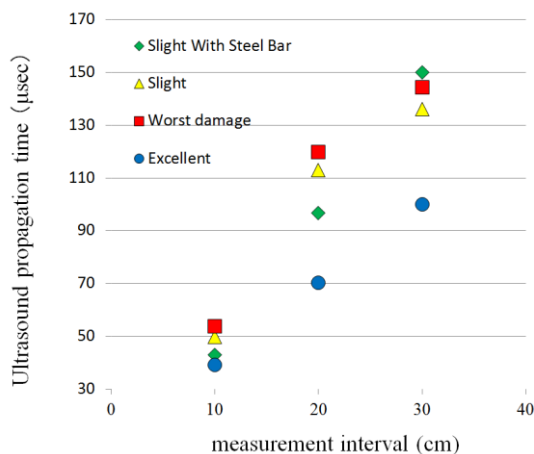


図7 損傷レベルと内部超音波伝播の影響

(8) 表層と内部の統合の検証として、GWT結果、超音波診断結果、サーモ温度変化挙動指標の統合評価を同一測定試験体において試みた。様々な試験体の各結果と評価空間を包括し、かつ整合性を持つ結果が得られた。実験室レベル結果として、凍害深さにおける3次元予測モデル開発する提案基礎は検討できた。今後、各手法がコンクリート構造物診断連携させる技術を事例的構築、かつ推考させる必要がある。

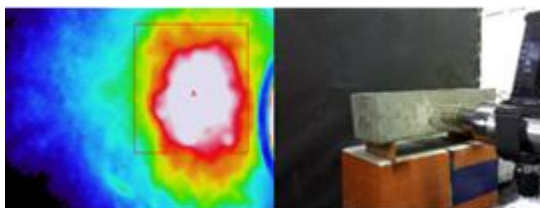


図8 健全部のサーモ挙動の一例

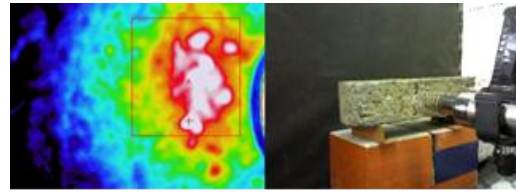


図9 劣化部のサーモ挙動の一例

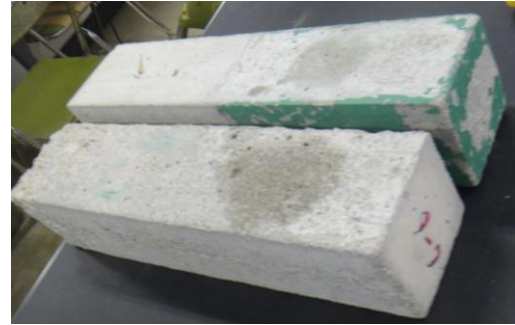


写真13 GWT試験による水跡

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① 高科豊、山本元太、大江啓、『赤外線サーモグラフィを用いたモルタルのスケールング評価』、神戸高専産学官金技術フォーラム'15 講演論文集 H27. 11, pp. 25-26
- ② YUTAKA Takashina, 「PROPOSAL OF SIMPLE DIAGNOSIS FOR CONCRETE SCALING DAMAGE BY INFRARED THERMOGRAPH」 International Congress on Durability of Concrete 2nd ICDC2014, India, New Delhi, 査読有、2014.12、(PDF USB FILE pp.1-15)
- ③ 高科豊、塚崎雄貴、森功隆『コンクリート構造物に関するスケールング感度解析』、神戸高専産学官金技術フォーラム'15 講演論文集、H26. 11, pp57-58
- ④ 高科豊、高田瑞葵『デジタル写真によるコンクリート表面剥離の3次元計測』 Three Dimensions Measurement of Concrete Scaling Surface by Digital Photography 平成24年度神戸高専総合情報センター広報、H25. 3, pp. 1-2
- ⑤ 高科豊、『コンクリートのスケールング損傷の3Dサーモフュージョン評価への取り組み』、平成24年度 高専一長岡技科大共同研究助成 実績報告書、pp1-3、2013.03.31
- ⑥ YUTAKA Takashina, 「QUANTITATIVE CONSIDERATION OF CONCRETE FROST SURFACE DAMAGE'S SCALING BY INFRARED RAYS」 International Congress on Durability of Concrete ICDC'2012, Norway Trondheim, 査読有、2012. 06、(PDF USB FILE pp. 1-15)

[学会発表] (計2件)

- ① 高科豊、『コンクリートのスケーリング劣化に関する要因感度解析』、公益社団法人土木学会、第70回年次学術講演会講演概要集、H27.09、岡山大学
- ② 高科豊、『凍結防止剤や防水層に関するコンクリート損傷の特性』、平成24年度公益社団法人土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集CDH24.06

[図書] (計1件)

- ① 著者名、橋本親典、上野敦、緑川猛彦、高科豊他、公益社団法人土木学会、丸善出版、土木材料実験指導書 [2015年改訂版]、2016.2.5、第2刷発行、pp1-249、(担当：2章骨材～3章コンクリート、各章総論原案)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高科豊 (TAKASHINA, Yutaka)
神戸市立工業高等専門学校・都市工学科・
准教授
研究者番号：30187950

(2) 研究分担者

丸山久一 (MARUYAMA Kyuichi)
元長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号：30126479

(3) 連携研究者

Pro. Stefan Jacobsen 博士
Norwegian University of Science and
Technology