

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06509

研究課題名(和文) コンクリートのソルトスケーリング劣化のメカニズム解明と対策

研究課題名(英文) Mechanism of degradation of concrete by salt scaling and its countermeasures

研究代表者

羽原 俊祐 (HANEHARA, Shunsuke)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：10400178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：簡便かつ省力的に多くの水準の試験が可能である小片凍結融解試験の有用性について確認した。また、ASTM C672などの既存のスケーリング抵抗性評価試験方法とある程度の整合性があることを示した。スケーリング劣化のメカニズムの解明を試み、スケーリングが -5 から塩水の共晶点である -20 の温度域で発生することを明らかにした。スケーリングのメカニズムに関する新しい知見を多くえた。耐久性を向上させる手法として中空微小球混和材の有効性を明らかにした。スケーリングの発生条件に基づき、年間の最低気温及び凍結防止剤の散布量データをもとに、東北における道路構造物のスケーリング劣化危険地域を新たに提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリートのソフトスケーリングの試験方法として、小片凍結融解試験方法を提案し、ASTM C672等の既存の試験方法と間にある程度の整合性があることを示した。この試験方法を活用し、スケーリングが -5 から塩水の共晶点である -20 の温度域で発生することを明らかにした。スケーリングのメカニズムに関する新しい知見を多くえた。耐久性を向上させる手法として中空微小球混和材の有効性を明らかにした。スケーリングの発生条件に基づき、年間の最低気温及び凍結防止剤の散布量データをもとに、東北におけるスケーリング劣化危険地域を新たに提案した。これらは今後のコンクリートのスケーリング劣化対策の基礎技術となる。

研究成果の概要(英文)：I confirmed the usefulness of the small-piece freeze-thaw test, which allows simple and labor-saving testing of many levels. It was also shown that there is some consistency with existing scaling resistance evaluation test methods such as ASTM C672. I attempted to elucidate the mechanism of scaling deterioration and clarified that scaling occurs in the temperature range from -5 to -20, which is the eutectic point of salt water. I got a lot of new knowledge and results about the scaling mechanism. The effectiveness of hollow microsphere admixture was clarified as a method of improving durability. Based on the condition of scaling occurrence, based on the annual minimum temperature and the amount of anti-freezing agent sprayed, I proposed a new scaling deterioration risk area for road structures in Tohoku.

研究分野：土木材料

キーワード：コンクリート耐久性 凍害 スケーリング ソルトスケーリング 劣化メカニズム 凍害リスクマップ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

コンクリートの凍害劣化については、内部崩壊やポップアウトがあり、コンクリート中の水分の凍結にともなう体積膨張、それにともなう応力によるひび割れ発生が生じ、融解により、さらなるコンクリート内部への水の浸透と、この繰り返しにより発生することが知られており、エントレインドエア(微細な気泡)の導入が膨張応力を緩和することで、コンクリートの凍害劣化の防止策として有効となっている。ソルトスケーリングは、新しい凍害劣化である。真水ではほとんどみられないが、塩化ナトリウムなどの凍結防止剤を使用した場合に、コンクリート表層からモルタル部がうるこ状に剥離するスケーリング劣化が著しくなる。それゆえ、ソルトスケーリングと呼ばれている。1991年「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が制定されて以来、道路の安全運行を図るため、凍結防止剤の使用量は年々増大しており、現在、高速道路で国内散布量は多いところでは100トン/kmに上回る。

### 2. 研究の目的

ソルトスケーリングについては、研究が行われているが、未解明な部分が多い。この現象のメカニズム解明が実施する研究の目的である。

(1) 現在のスケーリング抵抗性を評価する試験方法では、劣化した部分の解析例が少なく、どのような解析を適応すべきか不明である。大掛かりな実験となり、多くの条件での評価が困難である。そのため、詳細な劣化メカニズムが解明されていない。

(2) AE剤(界面活性剤)によるエントレインドエアの導入は、スケーリング抵抗性を向上させるが、スケーリング劣化を完全に防止することはできない。

これらを明らかにすることを研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

申請者は(1)への対応としてスケーリング評価試験として、新たに小片凍結融解試験法(以下小片試験法)を提案した。蒸留水の場合は劣化しないが、凍結防止剤溶液を使用した場合劣化が発生している。この試験方法は、欧米の試験方法に比べ、試料サイズが小さく、短期間試験期間で評価することができる。試験後の試料を直接、SEM観察、細孔径分布等の測定や他の分析を行うことができ、ソルトスケーリング現象の解明に向けた大きなツールとなる。小片試験法は、簡便かつ省力的な方法で、スケーリングのし易さを相対的かつ早期的に判定が可能な試験方法である。これにより、多くの実験水準について検討することができる。従来研究は1つの劣化因子について評価する手法であるが、複数の劣化因子(例えば、冷却温度と凍結防止剤溶液の濃度)の関係性について評価できる本研究は、新たな観点で劣化メカニズムの解明にアプローチできる。真水(蒸留水)の場合、冷却温度に関わらず劣化しない。一方、凍結防止剤溶液の場合、-5以上では劣化が起こらず、-5~-10の範囲では、温度によって劣化度が異なり、温度が低いほど劣化が激しくなり、スケーリングが激しくなる。-15以下では温度による差は小さいことがわかる新しい結果を見出した。

(1) ソルトスケーリングの実験室内での再現と小片試験法の検討

(2) 小片試験法と従来の試験方法の整合性の検討

(3) ソルトスケーリングのメカニズムに関する検討

(4) 凍結防止剤水溶液および水の凍結挙動の相違とスケーリングの関係

### 4. 研究成果

(1) 新規のスケーリング抵抗性評価試験の確立：新規に提案するスケーリング抵抗性評価試験である小片凍結融解試験を確立させるため、試験体寸法や評価指標の改良を行った。既存の試験に比べて、簡便かつ省力的に多くの水準の試験が可能である小片凍結融解試験の有用性について確認した。また、ASTM C672などの既存のスケーリング抵抗性評価試験方法とある程度の整合性があることを示した。

(2) 新規のスケーリング抵抗性評価試験による劣化メカニズムの検討：水セメント比等の構造物の耐久性に関連する配合的要因及び、最低気温及び凍結防止剤の濃度等の環境的要因について、小片凍結融解試験により評価し、スケーリング劣化のメカニズムの解明を試み、スケーリングが5から塩水の共晶点である-20の温度域で発生することを明らかにした。スケーリングのメカニズムに関する新しい知見を多くえた。これらの結果をもとに、耐久性を向上させる手法として中空微小球混和材の有効性を明らかにした。(図1及び図2)

(3) 施工による構造物のスケーリング抵抗性の低下についての検討とその対策の提案：構造物の実際の施工を再現した試験により施工による構造物のスケーリング抵抗性の変動について把握し、そのスケーリング抵抗性の変動を引き起こす現象について検証を行い、施工によるスケーリング抵抗性の変動の対策を、実際に実施した検証実験に基づき、その対策案を提案した。

(4) 岩手県および東北地方におけるスケーリング発生危険度マップの提案：これまで得た知見をもとに、スケーリングの発生条件に基づき、岩手県をはじめとする積雪寒冷地域の東北地方におけるスケーリング劣化の危険度を、年間の最低気温及び凍結防止剤の散布量データを参照し評価した。東北における道路構造物のスケーリング劣化危険地域を新たに指摘することができた。(図3)

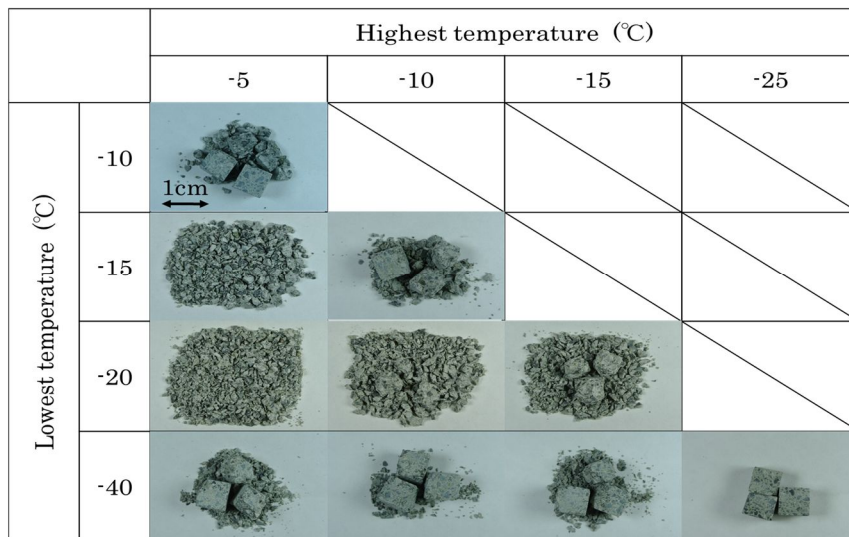


図1 最高温度と最低温度を5サイクル繰り返した供試体 (NaCl)

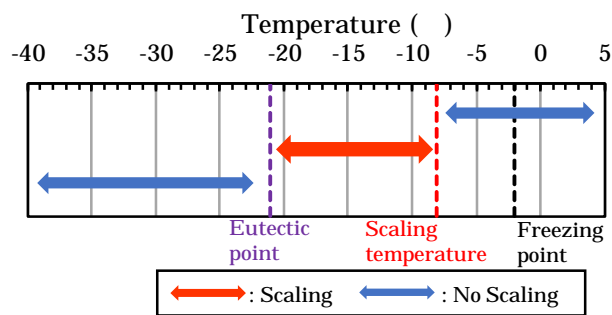


図2 3%NaCl 水溶液におけるスケーリング発生領域

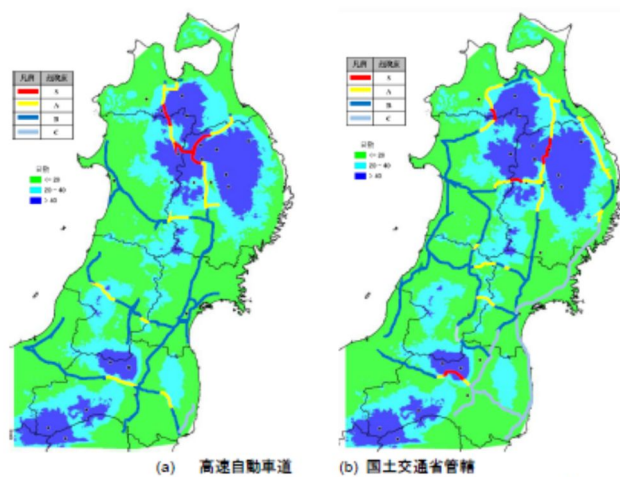


図3 東北地方における道路構造物のスケーリング危険度マップ

以上

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 田中館悠登, 羽原俊祐, 湊 俊顕, 山本 英和	4. 巻 40
2. 論文標題 小片凍結融解試験法による高炉スラグ細骨材 (BFS) のソルトスケーリング抵抗性の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 807-812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 樊小義, 小山田哲也, 羽原俊祐	4. 巻 40
2. 論文標題 スケーリング劣化に及ぼす気泡径分布の影響とその 原因	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 777-782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 田中館悠登, 羽原俊祐	4. 巻 72
2. 論文標題 氷点下における降温と昇温の繰り返しがモルタルのソルトスケーリング抵抗性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 240-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.72.240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 田中館悠登, 羽原俊祐, 小山田哲也, 五十嵐数馬	4. 巻 72
2. 論文標題 フレッシュ時の加圧が硬化モルタルのスケーリング抵抗性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 233-239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.72.233	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中館悠登、羽原俊祐、小山田哲也、林大介	4. 巻 39
2. 論文標題 フレッシュ時に外部からの圧力が硬化コンクリートの気泡組織およびスケーリング抵抗性に及ぼす影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 793-798
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 樊小義, 小山田哲也, 羽原俊祐	4. 巻 39
2. 論文標題 スケーリング劣化に及ぼすコンクリート表面に発生する応力の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 835-840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村大樹、山本英和、羽原俊祐、小山田哲也、田中館悠登、	4. 巻 7
2. 論文標題 凍結融解抵抗性, 硫酸塩抵抗性および硫酸抵抗性に及ぼす高炉スラグ細骨材の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of MMIJ	6. 最初と最後の頁 151-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2473/journalof_mmiij.133.151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中館悠登, 羽原俊祐, 小山田哲也, 五十嵐数馬	4. 巻 71
2. 論文標題 中空微小球を添加したコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす 練混ぜ時間の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 373-378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.71.373	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shunsuke HANEHARA, Yuto TANAKADATE and Tetsuya OYAMADA,
2. 発表標題 Research on Mechanism of Deterioration of Concrete by Salt Scaling by use of New Evaluation Method, International Symposium on Inorganic and Environmental Materials
3. 学会等名 (ISIEM 2018), STRUCT-IL1, Gent(Belgium), June 17-21, 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平戸 謙好, 小山田 哲也, 田中 悠登
2. 発表標題 圧送および振動締めがコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす影響
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山田 哲也, 皆川 翔平, 羽原 俊祐
2. 発表標題 コンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす表面含浸材の影響
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Tanakadate, S. Hanehara, T. Oyamada, K. Igarashi,
2. 発表標題 EXPERIMENTAL STUDY OF ENTRAINED AIR IN CONCRETE
3. 学会等名 International Scientific Symposium, The future of cement 200 years after Louis Vicat, UNESCO, Paris, (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuya OYAMADA, Shunsuke HANEHARA
2. 発表標題 Protection to the salt scaling of the concrete for tunnel lining under severe cold climate
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Cement and Concrete, Wuhan China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----