

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560674

研究課題名(和文) 限界飽水度法を用いた建築材料の耐凍害性評価方法の開発

研究課題名(英文) Development of frost resistance evaluation method for building materials using the critical degree of saturation method

研究代表者

千歩 修 (SENBU, Osamu)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10236127

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：焼成れんがを用いて各種の耐凍害性評価方法を行い、評価方法の問題点を明らかにした。窯業系サイディング材料を対象とし、凍結融解等によって凍害の生ずる限界の含水率を吸水試験結果や一面凍結試験等から求める方法を検討した。モデル建物の屋外暴露試験を行い、含水状態の把握から部位条件を検討した。窯業系サイディング材を用いた実建物について凍害劣化状況と含水状態を調査し、凍害劣化を生じている部分の含水率が高くなっていることを明らかにした。試験条件を変えた片面吸水凍結融解試験を行い、凍結融解時による含水率上昇効果を確認した。各種の仮定を行い、部位条件を考慮した凍害劣化予測手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Various frost resistance evaluation methods are examined using burnt bricks, and problems of the methods becomes clear.

Estimation methods of the critical degree of saturation were discussed from data of water absorption test or one side water absorption freezing-thawing test using ceramic siding materials. A model building using ceramic siding materials was exposed outdoor and water contents of the materials were measured to determine position conditions. An investigation of actual building using ceramic siding materials was carried out, and it becomes clear that the deteriorated materials show high water content. The one side water absorption freezing-thawing tests with various test conditions were carried out, and it becomes clear that freezing-thawing action increases water content of the materials. Using some assumption, a prediction method of frost deterioration considering site conditions was proposed.

研究分野：建築材料

キーワード：凍害 限界飽水度法 含水率 劣化予測

1. 研究開始当初の背景

寒冷地において外装材の凍害は、大きな問題である。建築材料の耐凍害性の評価方法として JIS A 1148 等に規定される促進凍結融解試験があるが、このような方法は材料の耐凍害性の相対比較を行うためのものである。各種の指針等では、この試験結果を用いて「凍結融解300サイクルにおける相対動弾性係数が85%以上」等の可否の判定基準を設けているものもあるが、この基準に合格するものでも凍害劣化を生ずる場合があり、逆に、不合格のものでも長期間にわたり健全である場合もある。このようなことから実環境に使用した場合の耐凍害性を適切に評価する方法が求められている。

コンクリートや焼成煉瓦のような建築材料は、含水率が低い状態で凍結融解にさらされても劣化は生じないが、ある程度以上の含水状態で凍結融解を受けると劣化が生ずるものと考えられる。この劣化が生ずる限界の含水状態は、「限界飽水度(Scr)」とよばれ、海外では、吸水試験結果と Scr の比較からコンクリートの耐凍害性を評価する方法が RILEM 法として規定されている。この方法は、JIS に規定される促進凍結融解試験と同様に、材料の耐凍害性の相対比較を行うものであり、この試験の結果から実環境で使用した場合の凍害発生の可能性などを評価することは難しい。しかしながら、この方法では、実環境における部材の含水状態を把握することによってその部材の劣化の危険性を評価できる可能性があり、部位条件を考慮した耐用年数を算定するような絶対的評価も可能と考えられる。

2. 研究の目的

ここでは、これまでの耐凍害性評価方法の問題点を明確にし、RILEM 法を発展させた新しい限界飽水度法を用いた耐凍害性評価法を開発する。主要な目的を次に示す。

- (1) これまでの耐凍害性評価方法の問題点を明確にする。
- (2) Scr の値は、乾湿繰返し等の影響を受けて変化すると考えられ、その程度を把握する。
- (3) 実環境における飽水度(Sact)の最大値は、部位で異なり、乾湿繰返し等の影響を受けて変化すると考えられ、その程度を把握する。
- (4) 仕上材料の効果や水のかからないなどの部位条件は、Sact を低く抑えるものとして評価できると考えられ、部位条件として整理する。
- (5) 凍結または凍結融解作用は、材料の含水率を上昇させると考えられ、その程度を把握する。
- (6) 限界飽水度法を発展させた劣化予測手法を提案する。限界飽水度法では、Scap=Scr となったところで凍害が発生すると考え、(2) および(3)の影響を定量的に表現できれば、実環境に使用された部材の凍害劣化予測も可

能となる。また、仕上材による含水率上昇抑制効果、庇や通気工法のディテールの工夫等も評価することが可能になる。

3. 研究の方法

(1) 既往の耐凍害性評価方法の問題点の検討
これまでに行われている耐凍害性評価方法について文献調査、実験的検討等を行い、問題点を明確にする。

(2) 限界飽水度 Scr の評価方法の検討

RILEM の方法では、Scr は、真空吸水によって飽水度を高めた試験体を乾燥させ、飽水度を15段階程度に調整した試験体の凍結融解試験によって求めるものであるが、手間がかかり、結果がばらつく、また、緻密な材料や仕上材のある材料等の飽水度を高めることが難しい等の問題がある。これまでの研究から材料の吸水特性から Scr を予測できる可能性が示され、ここではこの方法の実用化に向けた検討を行う。また、材料の飽水度を上昇させる方法として凍結線の保持、凍結融解作用があり、ここでは、これらの方法を用いて Scr を求める新しい方法を検討する。

(3) 材料および仕上材料の性状変化の把握

Scr および Sact は、暴露条件によって変化すると考えられる。ここでは、材料ごとに屋外暴露による変化を把握し、劣化予測に使用できる形に整理する。また、仕上材の凍害抑制効果についても仕上材料が劣化することを考慮して評価することを検討する。

(4) 部位条件の明確化

モデル建物の屋外暴露試験および実建物の含水状態の測定等を行い、部位条件として取りまとめる。

(5) 凍結融解による含水率上昇効果の明確化

凍結融解や凍結線保持によって含水率が高まるといったデータが得られているが、その程度は明らかになっていない。ここでは、実環境を想定した試験を行い、凍結融解による含水率上昇効果を把握する。

(6) (2)~(5)の結果をもとに部位条件等を考慮した凍害劣化予測手法を検討する。

4. 研究成果

(1) 焼成れんがの耐凍害性評価方法の検討

表1に焼成れんがの各種の耐凍害性評価結果を、図1に気中凍結水中融解試験(一般的なもの・6面露出)終了時の状況(劣化・健全)の例を示す。ここで、NHとNAは同じ材質のものであり、穴の有無によって劣化の有無に大きな差が生じたが、これは凍結時にれんがの表層が凍結し、穴のない場合、凍結層で密閉容器が形成され、内部の未凍結水の凍結時に圧力が生じたものと思われる。メカニズムの面で考えると、このような凍結融解試験では焼成れんがの耐凍害性の評価は難しいと思われる。また、表1をみると、評価方法によって大きく異なる結果となった。焼成れんがの耐凍害性を適切に評価するためには、これらの評価方法による結果と屋外暴

露試験結果および実環境における評価と合わせた検討が必要である。

表 1 れんがの各種評価法の結果

耐凍害性の評価方法	試験体種類				
	AK C ¹	OR C ²	At B ¹	VA	NAc
吸水率(JIS R 1602)	○	○	○	-	-
飽水率と飽水率による方法	×	○	○	-	-
0凍結融解試験 [凍害率の型]	×	×	A	○	×
3凍結融解試験 [凍害率の型]	○	○	○	-	-
2凍結融解試験 [凍害率の型]	○	○	○	-	-
1凍結融解試験 [凍害率の型]	○	○	○	-	-
一面凍結融解試験	○	○	○	-	-
一面凍結融解試験 凍結融解試験	○	○	○	-	-
片面吸水凍結融解試験	○	○	○	○	○
屋外暴露試験	○	○	○	○	○

注：○は1回の試験レベル、×は試験を行っていない

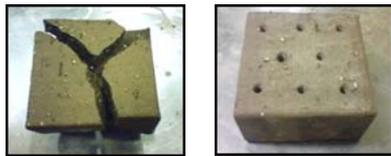


図 1 れんがの促進凍結融解試験による劣化

(2) 限界飽水度 Sc_r の評価方法

窯業系サイディング材を対象とし、下面吸水試験のデータから Sc_r を予測する方法を提案した。今後、この予測法の精度の検討が必要であるが、この方法の提案によって凍結融解試験を行わずに Sc_r (ここでは、限界体積含水率: Ucr) を求めることができる。

$$Ucr = 0.81 \cdot Aw + 0.31 \cdot Ucap_{14} + 28.0$$

ここで、

Aw : 初期吸水速度 (%/hour^{1/2})

$Ucap_{14}$: 14 日体積含水率 (%)

一面凍結試験、凍結融解試験によって劣化が生じた時点の部分含水率から Sc_r を求める方法を検討した。その一例としてを図 2 に示す一面凍結試験を行った。この試験では、試験体に 0°C を含む温度勾配を保持することによって図 3 に示すように 0°C 付近の含水率が上昇し、劣化を発生させる。この試験において微小部分の劣化と含水率を測定できれば、 Sc_r (Ucr) の把握が可能となる。しかしながら、微小部分の劣化の評価が困難であり、実用的な方法の提案はできなかった。

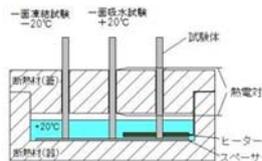


図 2 一面凍結試験

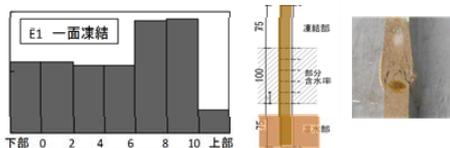


図 3 一面凍結試験結果の例

(3) 材料および仕上材料の性状変化の把握

部材およびモデル建物の屋外暴露によって材料・仕上材料の性状変化を把握した。なお、様々な事情からモデル建物(図 4)の設置が 2014 年秋となったため、また、実建物から採取した試験体の試験が行えなかったため、この研究は継続して行う予定である。



図 4 モデル建物の屋外暴露試験

(4) 部位条件の明確化

窯業系サイディング材を用いた実建物の調査から建物各部位の劣化状況と含水状態のデータを得た(図 5)。この結果、劣化の生じている部位の含水率が高くなっていることが明らかとなった。この成果は、限界飽水度法の考え方と合致するものであり、また、含水率を測定できれば、劣化の把握や予測が可能となることも考えられた。

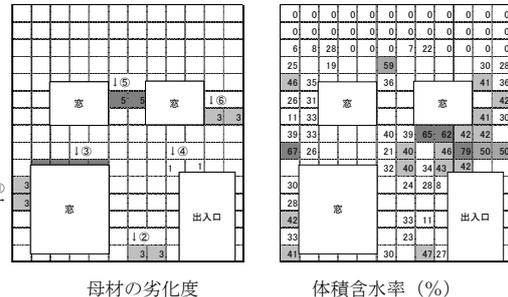
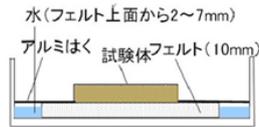


図 5 実建物劣化調査結果の例

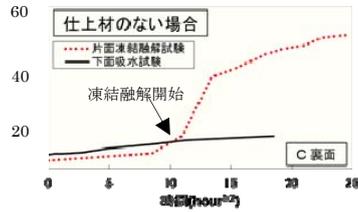
また、窯業系サイディング材を用いたモデル建物の屋外暴露の結果から、材料の含水状態は取付工法の影響が大きいことが明らかとなった。特に、断熱材のない場合、室内の暖房を行わない状態でも結露が生じたと考えられ、冬季に含水率上昇が見られた。この試験は、室内の暖房の有無等の条件を変え、今後も継続する予定である。

(5) 凍結融解による含水率上昇効果の明確化

各種窯業系サイディング材を用いた片面吸水凍結融解試験を行い、凍結融解による含水率上昇効果を確認した。実験のイメージを図 6 に示す。ここでは、材料種別や最低温度、凍結速度等の試験条件を変えてこの試験を行った。この結果、試験中の含水率上昇の程度には仕上材種別、最低温度および材料種別の影響が大きくなった。材料種別の影響については、細孔構造等の面から検討を継続する予定である。



(a)片面吸水（凍結融解）試験の吸水条件



(b)片面吸水(凍結融解)試験における含水率変化

図6 片面吸水凍結融解試験の概要

(6) 部位条件等を考慮した凍害劣化予測手法の検討

限界飽水度法に凍結融解作用による含水率上昇効果、乾湿繰返し等による材質の変化および部位・仕上材の条件を考慮した凍害劣化予測手法を検討した。具体的な手順を以下およびイメージを図7に示す。なお、ここでは体積含水率を用いている。

① 吸水性状の把握

下面吸水試験を行い、吸水曲線を求める。

② 限界体積含水率 (Ucr) の算定

(2)で示した式による。

③ 1年目夏季の各部位の含水率の算定

吸水試験結果、部位条件係数(表3等)を用いて算定する。

④ 2年目の含水率変化の算定

暴露によって吸水しやすくなるとし、これまでの実験結果から仮定した。

⑤ 冬季の含水率の算定

これまでの実験結果から凍結吸水上昇率を仮定した。

⑥ Ucap が Ucr を超えた時点で凍害発生

④および⑤の変化が毎年累加されると仮定し、 $U_{cap} = U_{cr}$ の時の年数を凍害劣化発生年数として算定した。

以上の手順により予測したは、屋外暴露による劣化状況に近い結果となった。なお、仮定の部分については、今後も研究の継続が必要である。

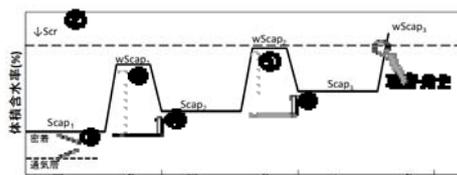


図7 限界飽水度法を用いた凍害劣化予測手法のイメージ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 9 件)

①千歩 修：外壁材料の耐凍害性評価、第12回日本・韓国建築材料施工 Jpint Symposium、2015. 7. 17-18、日本大学生産工学部(習志野)

②伊藤桜子・千歩 修・長谷川拓哉他：窯業系サイディング材の片面吸水凍結融解試験および屋外曝露における含水率変化、第12回日本・韓国建築材料施工 Jpint Symposium、2015. 7. 17-18、日本大学生産工学部(習志野)

③千歩 修・長谷川拓哉他：モデル建物によるサイディング材の屋外曝露試験—実験の概要および2014-15冬季の測定結果—、日本建築学会大会学術講演梗概集、2015. 9. 4-6、東海大学(平塚)

④伊藤桜子・千歩 修・長谷川拓哉他：窯業系サイディング材の片面吸水凍結融解試験結果におよぼす最低温度の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、2015. 9. 4-6、東海大学(平塚)

⑤伊藤桜子・千歩 修・長谷川拓哉他：窯業系サイディング材の片面吸水凍結融解試験および屋外曝露における含水率変化、日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 87、2015. 6. 27、北海学園大学(札幌)

⑥O. Senbu, T. Hasegawa : Comparison of the results from various evaluation methods of frost resistance of burnt bricks, 9th International Masonry Conference、査読有、2014. 7. 7-9、Guimaraes (Portugal)

⑦千歩 修・長谷川拓哉他：寒冷地の建物に使用されたサイディング材の劣化および含水状態、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014. 12-14、神戸大学(神戸)

⑧坂田直子・千歩 修・長谷川拓哉他：片面吸水凍結融解試験におけるサイディング材の含水率変化、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014. 12-14、神戸大学(神戸)

⑨千歩 修・朝倉寅雄・長谷川拓哉他：微小部分の劣化判定による外装材の限界飽水度推定方法の検討、日本建築学会北海道支部研究報告書 No. 86、p. 459-462、2013. 6. 29、北海道工業大学(札幌)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 記載なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千歩 修 (SENBU, Osamu)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10236127

(2) 研究分担者

長谷川 拓哉 (HASEGAWA, Takuya)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30360465