

限界飽水度法を用いたコンクリートの耐凍害性評価方法の開発

Development of evaluation method of frost resistance of concrete using critical degree of saturation method

北海道大学 教授 千歩 修

(研究計画ないし研究手法の概略)

1. はじめに

コンクリートの耐凍害性を評価する方法に限界飽水度法 (RILEM CDC3) がある。この方法は、①含水状態を変えた試験体を用いて凍結融解試験によって劣化の生ずる限界の飽水度 Scr を求め、②別に行う吸水試験による吸水性状 $Scap$ を把握し、 $Scr < Scap$ となりにくいものほど耐凍害性が高いと評価する。この方法は、各種材料に適用可能、部位条件の評価が容易などの長所がある。しかしながら、各種凍結融解試験時には含水率上昇が認められ、これを考慮する必要があると考えられる。

ここでは、凍結融解時の含水率上昇を考慮した劣凍害化予測手法を提案し、この含水率上昇効果の評価方法について検討してきた。窯業系サイディング材を用いた実験¹⁾では、片面吸水凍結融解試験 (JIS A 1435) を改良して用いることにより、凍結融解時の含水率上昇効果を把握し、 Scr も同時に測定できる可能性が示された。ここでは、コンクリートにこの方法を適用し、新しい耐凍害性評価方法を検討する。

2. 実験概要

図1に実験フローを、表1に実験計画を示す。この実験では、リサイクル粗骨材および通常の粗骨材を使用し、空気量と乾燥程度を変え、異なる耐凍害性のコンクリートを作製し、限界飽水度法とここで提案する試験法を行うものである。粗骨材の基礎性状を表2に示す。表3にコンクリートの調合と基礎性状を示す。コンクリートの水セメント比は50%であり、目標空気含有量は2.0%および4.5%とした。試験体は、2週間水中養生した後、50℃のオーブンで乾燥させ、乾燥条件は水分損失量で0%、2%、3%および4%とした。乾燥後、材齢4週まで再び水中養生を行った。

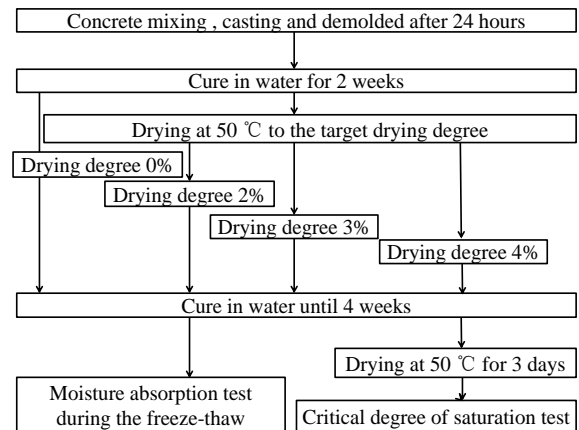


図1 実験のフロー

表1 実験の概要

W/C (%)	Air Content (%)	Aggregate (Symbol)	Experimental Method	Size (mm)	Drying Degree
50	nonAE 2% AE 4.5%	Ordinary aggregate (SZ)	The critical degree of saturation test	Scr: 100φ×200 Scap: 100φ×30	0%
		Recycled aggregate (RM)			2%
			The moisture absorption test by the bottom surface	100φ×30	3% 4%

表2 粗骨材の性状

Symbol	Type	Surface Dry Density (g/cm ³)	Absolute Dry Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)	Attached Mortar Amount (%)	Simple Freeze-thaw Test Mass Loss (%)	Stability Test Mass Loss (%)
SZ	Ordinary aggregate (JIS A 5308)	2.68	2.61	2.61	-	1.5	2.0
RM	Recycled aggregate (JIS A 5022)	2.55	2.47	3.13	20.4	11.9	11.8

表3 コンクリートの調合と基礎性状

Specimen Type	Target Air Content (%)	W/C (%)	Fine Aggregate Ratio (%)	Unit Amount (kg/m ³)				Admixture (g/m ³)	Maximum Size of Coarse Aggregate (mm)	Actual Air Content (%)	Slump (cm)	Compressive Strength (N/mm ²)
				W	C	S	G					
SZ	2	50	49.6	175	351	918	938	0	20	2.4	17.5	47.5
SZ-a	4.5		47.7	175	351	852	938	0.014		4.3	20.5	38.4
RM	2		49.6	175	351	918	893	0	20	2.3	18.5	44.5
RM-a	4.5		47.7	175	351	852	893	0.014		4.1	20.5	41.7

2.1 限界飽水度試験

限界飽水度試験は、RILEM CDC3に基づいて行った。コンクリートは、凍結融解で劣化の生ずる限界飽水度 (Scr) を有すると考えられる。ここでは、φ100×200mmの円柱状試験体を作製し、試験体を真空吸水させてから乾燥させ、異なる含水状態とし、凍結融解試験を行った。劣化は、相対動的弾性率によって評価し、相対動的弾性率が低下した下限の含水状態をScrとした。なお、コンクリートのScrは乾燥によって変化しないと仮定した。

限界飽水度試験で行うもう一つの試験は、下面吸水試験であり、毛管吸水性状 (Scap) を求めることを目的とする。試験体はφ100×30mmであり、温度20℃・相対湿度60%の環境下でトレイにセットして試験体底面から吸水させた。適切な間隔で試験体の質量を測定し、吸水曲線を作成した。

限界飽水度試験では、ScapがScrに到達しやすいものほど耐凍害性に優れると評価される。ここでは、図2に示すようにScapがScrに到達する時間であるT_{p1}を耐凍害性の指標とした。

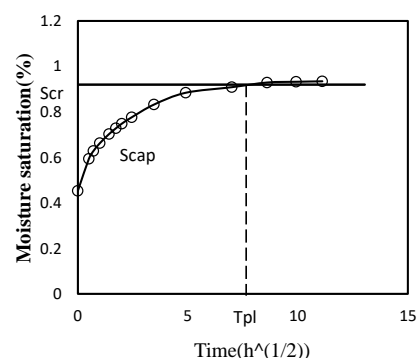


図2 吸水曲線とT_{p1}

2.2 下面吸水凍結融解試験による耐凍害性評価

ここでは、下面吸水凍結融解試験で試験体の含水率が上昇し、劣化が生ずることを想定したものであり、劣化が生じたときの含水状態をScrと考えることができる。この試験体は、円筒状試験体から切り取った100φ×30mmのものとした。試験体は、図3のようにトレイにセットし、乾燥を防ぐためにポリエチレンシートで覆った。この状態でトレイを凍結融解装置入れ、凍結融解を行った。

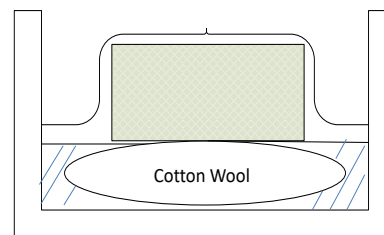


図3 下面吸水凍結融解試験

凍結融解サイクルは槽内温度を最低温度 -25°C ・3時間、最高温度 $+10^{\circ}\text{C}$ ・2時間とした。適切な間隔で試験体を取り出し、 20°C の恒温室に1時間保持した後、超音波速度と質量・水中重量を測定した。劣化は、超音波速度の減少によって評価する。ここでは、図4に示すように、凍結融解試験中の含水率が上昇し、限界飽水度 S_{cr} に達することを想定し、劣化の生じた凍結融解サイクル (C_{p1}) を耐凍害性の指標とする。なお、以下の検討では、王水度の代わりに体積含水率を用いて検討を行う。

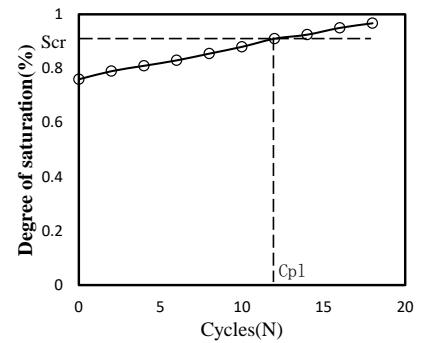


図4 下面吸水凍結融解試験で想定する含水率上昇と劣化指標

(実験調査によって得られた新しい知見)

3. 実験結果の概要

3.1 限界飽水度法試験

乾燥程度と T_{p1} 関係を図5に示す。SZとRMでは T_{p1} の乾燥度0%における顕著な差はなかった。しかしながら、 T_{p1} は乾燥度0%では、SZ-aはSZよりも耐凍害性が大きく向上した。AEコンクリートに含まれる気泡が底面からの吸水を抑制するため、吸水曲線の上昇が抑えられるためと考えられる。

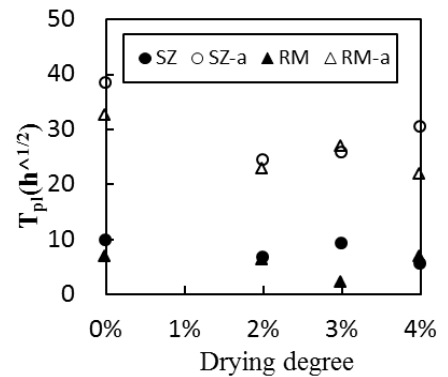


図5 限界飽水度法試験結果 (乾燥程度の影響)

また、図5からわかるように、AEコンクリートの T_{p1} は、2%以上の乾燥で減少している。乾燥によってコンクリート中に微小なひび割れが生じたことが考えられ、このひび割れにによって、吸水量が増加したものと思われる。また、乾燥程度の変化によって、 T_{p1} はAEおよびnonAEコンクリートの両方でわずかに変化した。

3.2 下面吸水凍結融解試験

下面吸水凍結融解試験における体積含水量の変化を図6に示す。なお、図中の破線は、限界体積含水率である。含水率は、nonAEコンクリートはわずかに減少したが、SZ-aおよびRM-a試料では、ほとんど変化がなかった。このため、この試験によって限界体積含水率および C_{p1} は求めることができなかった。なお、nonAEコンクリートでは試験開始時から限界体積含水率を超えているため、劣化が生じており、スケーリングが生じているものと思われる。

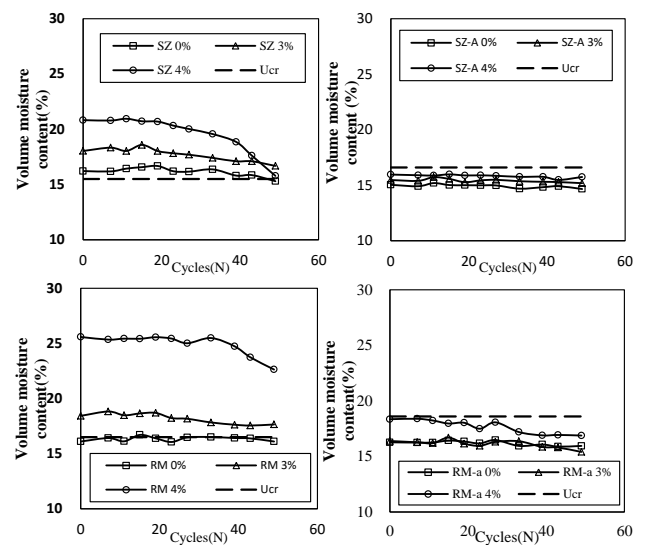


図6 下面吸水凍結融解試験における体積含水率の変化

AEコンクリートは緻密であるため、体積含水率を上昇させることができず、劣化させることもできなかったものと思われる。この凍結融解条件では水分の押し込み力が小さく、コンクリートの含水率を上昇できないものと考えられる。したがって、凍結融解試験で限界飽水度を求めるためには、より強い水分押し込み力を有するより凍結融解条件を

採用する必要があると考えられる。

図7は、片面吸水凍結融解試験における超音波速度の変化を示す。超音波速度は、nonAEコンクリートで減少しているが、AEコンクリートでは低下していない。このことから、AEコンクリートは体積含水率が U_{cr} 未満であったことによって劣化していないといえる。

4. まとめ

ここでは、片面吸水凍結融解試験によってコンクリートの含水率を上昇させ、限界飽水度 Scr および劣化の指標であるそのときの凍結融解サイクル $Cp1$ を求める試験方法を提案した。しかしながら、片面吸水凍結融解試験では凍結融解時の水分押し込み力が弱く、コンクリートの含水率を上昇させることができなかった。この考え方でコンクリートの耐凍害性を評価するためには、より含水率上昇作用の強い凍結融解試験条件を採用する必要がある。

5. 今後の展望

より含水率上昇作用の強い凍結融解試験条件として水中凍結水中融解試験（JIS A 1148 A法）を採用した実験を実施中である。この試験におけるAEコンクリートの相対動弾性係数の変化をみると、明確な劣化を示す凍結融解サイクルを求めることができ、このときの含水状態を Scr 、凍結融解サイクルを劣化の指標 $Cp1$ とした評価法を提案予定である（発表論文（2））。

謝辞

本研究の一部は平成28年度前田記念工学振興財団の研究助成によるのである、ここに記して謝意を表す。

（参考文献）

- 1) 千歩 修・福山智子：凍結融解時の含水率上昇作用を考慮した窯業系サイディング材の耐凍害性評価方法の検討、日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 90、2017

（発表論文）

- (1) MA Dequn, SENBU Osamu and FUKUYAMA Tomoko: Study on the Concrete Frost Evaluation Method Considering Water Absorption by the Bottom Surface Moisture Absorption during Freeze-thaw Cycles、日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 90、2018（投稿済）
- (2) D. Ma, A. Tsudzuki, T. Fukuyama and O. Senbu: A frost resistance evaluation method considering water absorption by freeze-thaw, The 8th International Conference of Asian Concrete Federation, 2018（Abstract提出済、投稿予定）

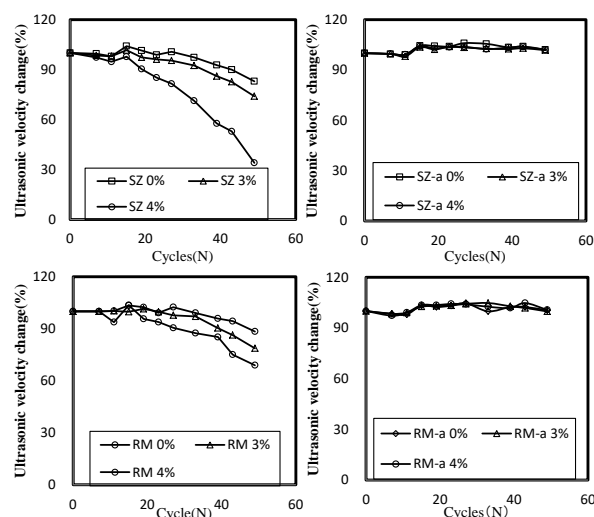


図7 下面吸水凍結融解試験における超音波速度の変化