

實環境を考慮したポーラスコンクリートの耐凍害性の評価

Frost resistance of porous concrete assuming actual environment

中村 拓郎^{*1}・堀口 敬^{*2}・志村 和紀^{*3}・菅原 隆^{*4}

Takuro NAKAMURA^{*1}・Takashi Horiguchi^{*2}・Kazunori Shimura^{*3}・Takashi Sugawara^{*4}

Abstract

Porous concrete has large continuous voids of 20-30 % by volume, and this concrete is attractive as environmental material in Japan i.e. permeable road pavement, river bank protection with vegetation and green roof system which influence thermal environment. It is necessary to confirm the frost resistance when constructing porous concrete structure in cold region. However applicable test method and evaluation criterion of porous concrete has not defined yet. Therefore, the object of this study is to investigate the frost resistance of porous concrete and this investigation attempts to address this concern by comparing 4 kinds of specified freezing and thawing tests methods (JIS A1148 procedure A/B and RILEM CIF/CDF test) in consideration of actual environment. RILEM freeze-thaw tests are different from JIS A1148 freeze-thaw tests, which are widely adopted for evaluating the frost resistance of conventional concrete in Japan, in water absorption, cooling rate, length of freezing and thawing period, and number of freezing and thawing cycles. RILEM CIF test measures internal damage and is primarily applicable for pure frost attack. CDF test is appropriate for freeze-thaw and deicing salt attack. JIS A1148 procedure A/B showed extremely low frost resistance of porous concrete if the large continuous voids were filled with water and the ice expansion in the large continuous voids set in during cooling. Frost resistance of porous concrete was improved by mixing coarse aggregate (G7) which particle size is smaller and fine aggregate in JIS freezing and thawing tests. RILEM CIF/CDF test showed that freeze-thaw and deicing resistance of porous concrete was seems to be superior in that of conventional concrete.

キーワード：ポーラスコンクリート, 凍害, JIS A1148 A法/B法, RILEM CIF/CDF試験

keyword : Porous concrete, Frost resistance, JIS A1148 A/B, RILEM CIF/CDF

1. はじめに

ポーラスコンクリートは全体積の20%から30%を占める連続した粗大空隙を持つ特殊なコンクリートである。土木工学の分野では、舗装材料¹⁾としての排水・透水機能, 吸音機能, 騒音低減, 河川護岸材料^{2,3)}としての自然・生態系の保全, 景観性の向上効果が期待されている。また, 建築工学の分野では, 屋上緑化をはじめとする都市部におけるヒートアイランド現象の緩和を目的とする研究⁴⁾も行われており, 高度化・多様化する社会資本の整備に対し, この粗大空隙を利用した多機能な材料であるポーラスコンクリートに対する期待は大きい。

ポーラスコンクリートはその性能から水際での利用価値が

高く, 寒冷地での凍害が危惧される。しかしながら, ポーラスコンクリートの耐凍害性を評価する試験方法, 評価基準は明確に定められていない。既往の研究によると, 粗大空隙内に飽水された水が氷結する様な環境下では, ポーラスコンクリートの耐凍害性の評価は低い⁵⁾ものの, それ以外の場合であれば, 比較的高い耐凍害性を保有しうる^{6,7)}とされ, 凍結融解試験の違いによって異なった評価が報告されている。ポーラスコンクリートの耐凍害性の評価には, 主として材料, 空隙率などによる影響を1つの凍結融解試験方法による相対評価によって検討している研究が多く, 同配合で複数の凍結融解試験を行った研究は少ない。

本研究ではポーラスコンクリートの耐凍害性の評価を目的として, ポーラスコンクリートが施工される環境を考慮して4種類の凍結融解試験を行った。4種類の凍結融解試験には, 日本国内で広く採用されているJIS A1148⁸⁾ A法(水中凍結水中融解)/B法(気中凍結水中融解)およびRILEM提案のCIF⁹⁾/CDF¹⁰⁾法を採用した。RILEM提案の凍結融解試験方法

*1 北海道大学大学院 工学研究科 環境工学専攻 博士課程 工修

*2 北海道大学大学院 工学研究科 准教授 工博

*3 北海道大学大学院 工学研究科 助教 工博

*4 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 教授 工博

表-1 ポーラスコンクリートの配合

	目標 全空隙率 (%)	W/C (%)	Unit content (kg/m ³)						
			W	C	S	G6	G7	Ad	SP
NR6	20	24	99	413		1550		8.3	3.1
PG6	20	24	80	340	106	1503			3.4
PG7	20	24	80	340	172		1431		3.4

表-2 比較用の普通コンクリートの配合

	目標 空隙率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
N55	4.5	55	43.7	146	266	835	1,102	0.665

表-3 凍結融解試験方法の比較

	JIS A1148		RILEM	
	A法	B法	CIF	CDF
凍結融解サイクル数 (試験期間)	300 6 cycles/day (50 days)	300 6 cycles/day (50 days)	56 2 cycles/day (28 days)	56 2 cycles/day (28 days)
冷却時間	2.75 hr	2.75 hr	7 hr	7 hr
最低温度	18±2 °C	18±2 °C	20±0.5 °C	20±0.5 °C
冷却率	14.4 °C/hr	14.4 °C/hr	10 °C/hr	10 °C/hr
融解時間	1 hr	1 hr	5 hr	5 hr
最高温度	+5±2°C	+5±2°C	20±0.5 °C	20±0.5 °C
吸水条件	供試体全面	供試体全面 (融解時のみ)	下面一面吸水 (蒸留水)	下面一面吸水 (3%のNaCl 水溶液)
評価方法	相対動弾性係数	相対動弾性係数	相対動弾性係数 スケーリング	相対動弾性係数 スケーリング
想定する環境	水中または土中凍結深内の部材で、粗大空隙内が常時、飽水している環境	河川・湖沼の構造物の気中もしくは水際などで粗大空隙が飽水していない状態で凍結を受ける環境	側溝、舗道および歩道など、または河川・湖沼で透水性が確保されている環境	左記と同様の用途で、凍結防止剤や海水など塩分の影響を受ける環境

は、熱力学的な視点から考案され、これまでの凍結融解試験の相対動弾性係数の変化に加え、スケーリング量、吸水量の測定を含み、実環境との対応、再現性の高さ、実験精度などから、コンクリートの耐凍害性をより詳細に検討することが可能と期待されている試験方法である¹¹⁾。

2. 実験概要

2.1 材料及び配合, 供試体寸法

本研究で作製したポーラスコンクリートの配合を表-1に示す。ポーラスコンクリートは3種類とし、W/Cを24%、設計空隙率を20%とした。材料は、普通ポルトランドセメント(密度3.16 g/cm³)、細骨材は川砂(密度2.59 g/cm³)、粗骨材に6号砕石(密度2.63 g/cm³)及び7号砕石(密度2.62 g/cm³)、PG6、PG7では混和剤に高性能AE減水剤を使用し、NR6では増粘剤も併せて混入した。PG6およびPG7は排水性舗装用、

NR6は河川護岸用のポーラスコンクリートの配合を参考にした。また、比較用として表-2に示す様なAEコンクリートを同時に作製した。材料は、普通ポルトランドセメント(密度3.16 g/cm³)、細骨材は丘砂(密度2.66 g/cm³)、粗骨材に砕石(密度2.70 g/cm³)、混和剤にAE減水剤を使用した。

2.2 凍結融解試験

本研究では施工環境を考慮して4種類の凍結融解試験を採用し、それぞれについて耐凍害性の評価および検討を行った。4種類の凍結融解試験方法における試験条件の違いおよび想定する環境を表-3に示す。凍結融解試験として、水中凍結水中融解試験であるJIS A1148 A法、これに準じて、気中凍結水中融解であるJIS A1148 B法、また、JISの凍結融解試験とは異なる温度勾配、凍結融解サイクルのRILEM提案の凍結融解試験を併せて行った。RILEM CIF法は主として純粋な水による内部劣化を、CDF法は凍結融解と融水剤による表面劣化を評価する試験である。RILEM提案の凍結融解試験はJIS

B法と想定する環境が類似しているものの、JISの凍結融解試験は加熱・冷却勾配が急であり、凍結融解サイクル数も多い。それゆえ、JIS試験の方が厳しい凍結融解作用を与えるものと考えられる。それぞれの凍結融解試験の概要を以下に示す。

(1) JIS A 1148 A法およびB法

打設後、湿布養生(24時間)、材齢28日まで水中養生を行い、凍結融解試験を行う。凍結融解1サイクルは+5±2℃から-18±2℃に降下させ、一定時間後-18±2℃から+5±2℃に融解させる。1サイクルを3時間以上4時間以内で行い、300サイクル終了時、または供試体の破壊による測定不能時に試験を終了とする。A法の条件は、凍結・融解行程において常に3mm厚の水で全面を覆われていることとし、B法の条件は、凍結行程は気中、融解行程を水中で行う。凍結融解試験の温度サイクルはA法、B法ともに同様であり、凍結融解試験における劣化評価は相対動弾性係数の変化により評価した。

(2) RILEM CIF/CDF法

凍結融解試験はRILEM提案のCIF/CDF法に準じて行った。恒温室において気中養生を行った後、7日間の前吸水行程を経て凍結融解試験を行った。凍結融解1サイクルは+20±0.5℃から-10℃/時の勾配で-20±0.5℃まで降下させ、-20±0.5℃で3時間保持し、その後+10℃/時の勾配で+20±0.5℃まで融解させ、+20±0.5℃で1時間保持させるものとした。本研究では56サイクルをもって凍結融解試験の終了とした。前吸水及び試験中の吸水は図-1に示すように、試験面である供試体下面からの一面吸水とした。側面からの吸水を防ぐため、供試体側面はブチルゴムとアルミテープにより防水加工を行った。試験液としてCIF試験は蒸留水を使用し、CDF試験は3%濃度の塩化ナトリウム水溶液を使用した。凍結融解試験の劣化評価方法は、表面劣化をスケーリング量によって評価し、内部劣化を相対動弾性係数の変化で評価した。

および圧縮強度、曲げ強度を表-4に示す。なお、普通コンクリートN55に関してはフレッシュ時の空気量を記載している。

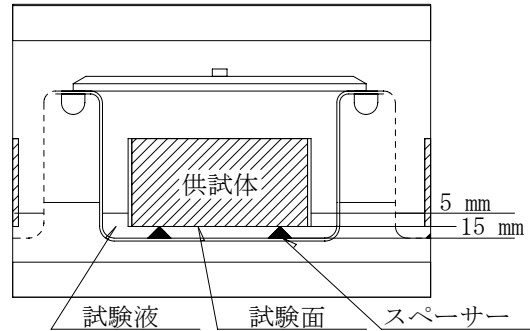


図-1 RILEM試験装置

表-4 空隙および強度試験結果

	全空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
NR6	20.4	21.5	
PG6	18.9	31.7	4.55
PG7	22.1	27.6	4.59
N55	4.3(空気量)	36.9	4.65

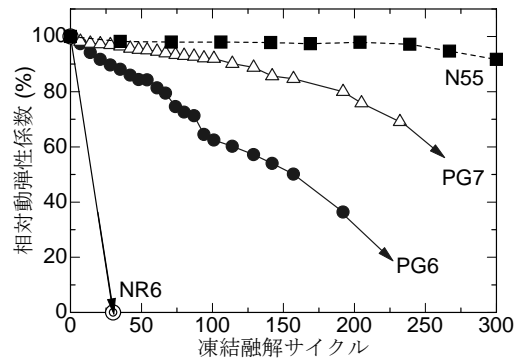


図-2 JIS A法における相対動弾性係数の変化

3. 実験結果

3.1 空隙率および強度試験結果

ポーラスコンクリートの空隙率および圧縮強度はJCIによる「ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書」に記載された試験(案)¹²⁾に準じて測定した。曲げ強度はインターロッキングブロックの試験方法であるJIS A 5371に準拠して行った。N55ではJIS A 1128に従い空気量を、JIS A 1108に準拠して圧縮強度試験を、JIS A 1106に準拠して曲げ強度試験を行った。材齢28日における全空隙率

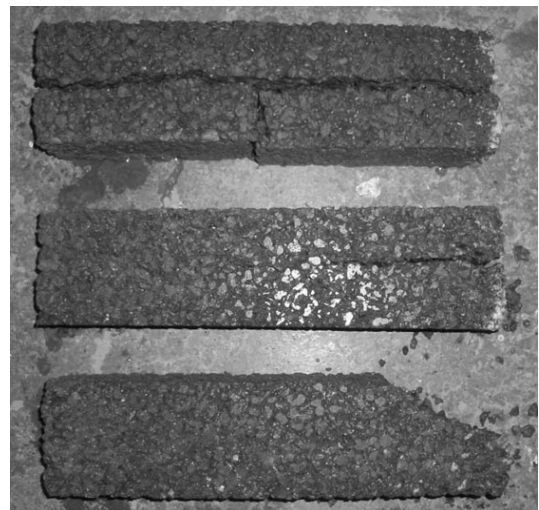


図-3 JIS A法におけるNR6の崩壊

3.2 JIS A1148 A 法(水中凍結融解)における試験結果

JIS A法における凍結融解サイクルと相対動弾性係数の変化を図-2に示す。これによると、耐凍害性が高いとされるAEコンクリートのN55は凍結融解300サイクルでの相対動弾性係数が95%程度と顕著な劣化は確認されなかった。これに対し、ポーラスコンクリートのPG7は80%程度、PG6は50%程度まで相対動弾性係数が減少しており、NR6では30サイクルに満たない少ない凍結融解サイクルで測定不能となっている。これらの結果から、JIS A法によるとポーラスコンクリートの耐凍害性は一般的なAEコンクリートに比べ低いと評価される。図-3はNR6の崩壊の写真であり、ポーラスコンクリートのJIS A法における測定不能時の典型的な例である。JIS A法では、ポーラスコンクリートの粗大空隙内で形成される氷の膨張圧によって発生したと思われる大きなひび割れが、供試体の中央部および端部に発生する。ポーラスコンクリートはその構造的な特徴である粗大空隙が常時飽水され、排水性が失われている状態では、一般的なコンクリートに比べ、深刻な凍害を受けるもの予想され、施工の際には配慮が必要になると考えられる。また、ポーラスコンクリートのNR6はPG6、PG7に比べ耐凍害性が大きく劣っていることが確認された。細骨材の加えることにより圧縮強度に大幅な増加が認められ力学的特性の向上も著しい。NR6とPG6の

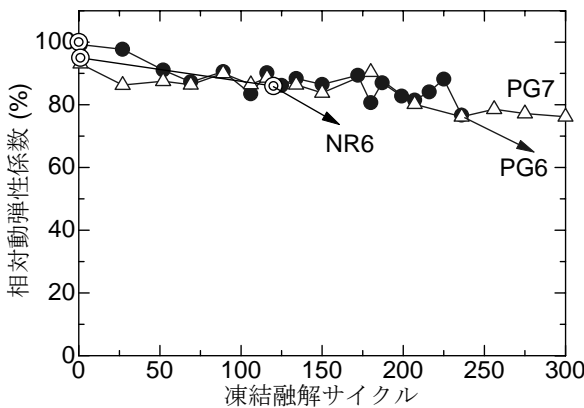


図-4 JIS B法における相対動弾性係数の変化

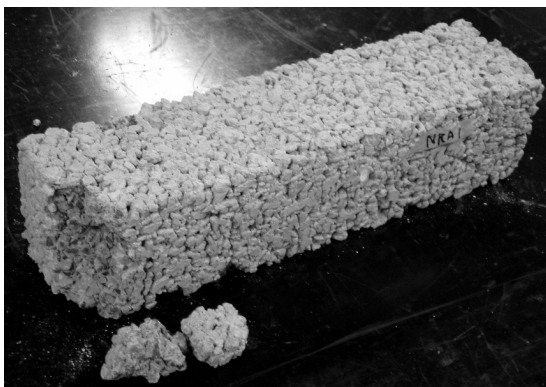


図-5 JIS B法におけるポーラスコンクリートの崩壊

大きな違いは細骨材の混入であり、細骨材を配合することによって、ポーラスコンクリートの耐凍害性が改善されることが確認された。PG6とPG7では粗骨材寸法が異なり、使用する粗骨材寸法が大きい物ほど粗大空隙の径が大きくなり、耐凍害性の低下に影響したと考えられる。

3.3 JIS A1148 B法(氣中凍結水中融解)における試験結果

JIS A 1148 B法における凍結融解サイクルと相対動弾性係数の変化を図-4に示す。ただし、N55に関してはJIS A法において顕著な劣化が確認されなかったことからB法は行わず、図中にはポーラスコンクリートの試験結果のみを示している。JIS A法の試験結果とは異なり、3種のポーラスコンクリートの相対動弾性係数は80%程度まで緩やかに低下していることがわかる。図-5にNR6が測定不能になった状態の写真を示す。この写真では、ポーラスコンクリート供試体の角が欠けているものの、JIS A法にみられるような、供試体中央部での大きなひび割れは確認されなかった。凍結時に粗大空隙内が飽水されていない場合、ポーラスコンクリートの耐凍害性の評価は向上することが確認された。また、材料の違いによる影響として、NR6が凍結融解150サイクル程度、PG6が250サイクル程度で相対動弾性係数が測定不能になり、PG7では300サイクルの時点で相対動弾性係数が80%程度を保持していることから、JIS A法の結果と同様にJIS B法においても、細骨材の使用、粗骨材寸法の減少によってポーラスコンクリートの耐凍害性が向上することを確認した。

3.4 RILEM CIF/CDF法における試験結果

凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係についてCIF法の結果を図-6に、CDF法の結果を図-7に示す。JISの凍結融解試験によるとポーラスコンクリートは一般的なコンクリートに比べ、相対動弾性係数が早期に低下することを前述した。しかしながら、RILEM提案のCIF/CDF法において、AEコンクリートN55が、凍結融解56サイクルにおいて相対動弾性係数が約95%まで低下しているのに対し、ポーラスコンクリートNR6、PG6、PG7では相対動弾性係数の低下は確認されなかった。粗大空隙が飽水されていないJIS B法においても、ポーラスコンクリートでは相対動弾性係数が低下しているのに対し、RILEM提案の凍結融解試験では相対動弾性係数の低下は確認されていない。JIS B法とRILEM提案の凍結融解試験を比較した場合、JIS B法は凍結融解における温度勾配が急で、かつ凍結融解サイクル数も多い。コンクリートの耐凍害性において凍結速度が大きいほど、劣化程度が大きくなると報告^{13,14)}されており、また、凍結融解サイク

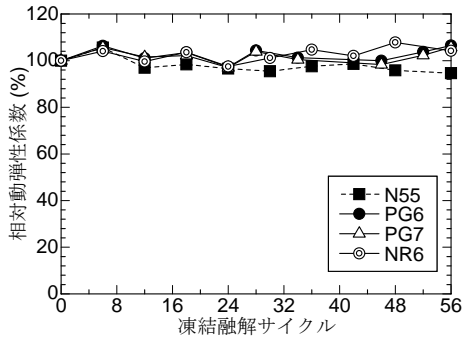


図-6 CIF試験における相対動弾性係数の変化

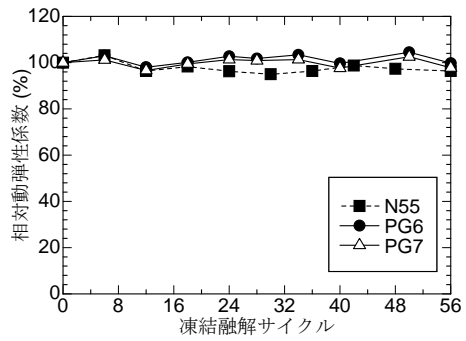


図-7 CDF試験における相対動弾性係数の変化

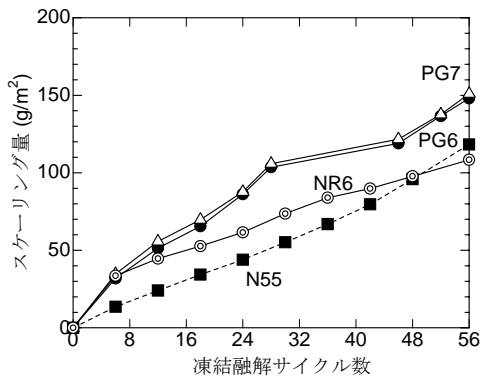


図-8 CIF試験におけるスケーリング量

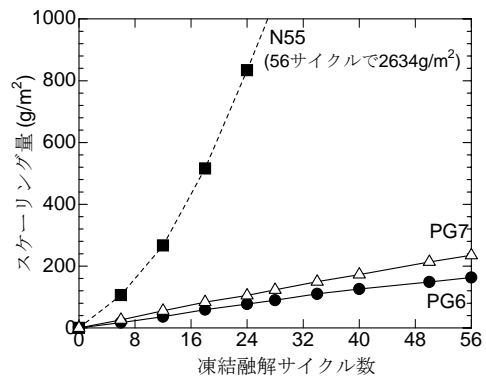


図-9 CDF試験におけるスケーリング量

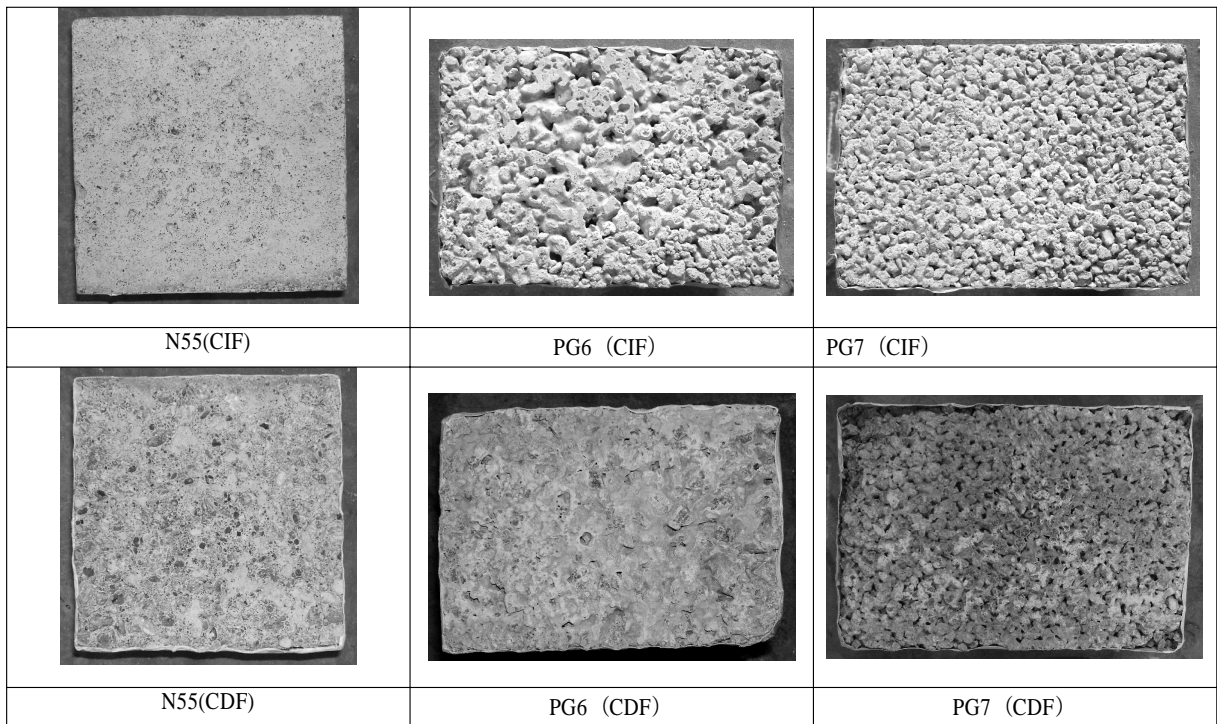


図-10 CIF/CDF試験後の試験面の状態

ル数が多いほどポンプ効果15)によってコンクリートの含水率が上昇し凍害が深刻になるとも考えられている。ポーラスコンクリートは普通コンクリートに比べ、ペースト膜厚が薄く、これらの影響が顕著となり、JIS B法とRILEM提案の凍結融解試験における相対動弾性係数の違いに繋がったものと

考えられる。

また、凍結融解サイクルと単位面積スケーリング量の関係についてCIF法の結果を図-8に、CDF法の結果を図-9に示す。また、56サイクル終了時における試験面の写真を図-10に示す。著者の既往の研究⁶⁾によるとNR6のスケーリン

量はW/C50%のNon-AEコンクリートの半分程度であったことから、本研究におけるいずれの供試体においても、CIF試験におけるスケーリング量は少量であると考えられる。また、塩分環境における凍結融解作用は、淡水環境よりも激しい凍結融解劣化損傷をコンクリートに与えることが報告¹⁶⁾されており、N55は試験液を塩化ナトリウム水溶液にすることによってスケーリング量が20倍以上増加することが確認された。一方、ポーラスコンクリートPG6, PG7ではCDF法におけるスケーリング量は少量であり、N55の様な顕著な表面劣化は確認されなかった。凍結融解試験後の写真(図-10)からも、N55のような激しいスケーリングは確認されず、ポーラスコンクリート独自の余剰ペースト部であるタレ、粗骨材周辺のペーストの剥離を確認できる程度であった。PG7では供試体端部より粗骨材の剥離が確認されたものもあり、スケーリング量がPG6に比べ若干大きくなっている。RILEM CIF/CDF法の結果から、普通コンクリートでは塩分供給下では激しい凍結融解作用を受け、激しい表面劣化に繋がるものの、ポーラスコンクリートではペースト部のW/Cが低いいため、塩分供給下での凍結融解作用による表面劣化に対して高い耐凍害性を有するものと考えられる。

4. 結 論

本研究において得られた成果を以下にまとめる。

- (1) JIS A法のような粗大空隙が強制的に飽水され氷が形成されるような環境では相対弾性係数の低下が顕著であり、大きなひび割れとともに崩壊することを確認した。このような環境では、AEコンクリートに比べ耐凍害性が低く、施工の際には配慮が必要である。
- (2) JIS B法およびRILEM CIF/CDF法のように、凍結時に粗大空隙内で氷が形成されない環境では耐凍害性の評価が大きく向上し、特にRILEM CIF/CDF法では、相対動弾性係数の低下は確認されなかった。
- (3) JIS A/B法において、ポーラスコンクリートの耐凍害性は、細骨材を混入することや粗骨材寸法を小さくするなど、配合を工夫することによって改善され得ることを確認した。
- (4) JIS B法とRILEM CIF法の結果から、ポーラスコンクリートにおいても凍結速度や凍結融解サイクル数が相対動弾性係数の低下に影響し、ペースト膜厚の薄いポーラスコンクリートは普通コンクリートに比べその影響も大きいものと考えられる。
- (5) RILEM CIF/CDF試験の結果から、普通コンクリート

では塩分環境でスケーリングによる表面劣化が激しくなるが、ポーラスコンクリートでは顕著な劣化も認められず、塩分供給下での表面劣化に対し、高い耐凍害性を保持していることを確認した。

参 考 文 献

1. コンクリートの凍結融解試験方法 A1148, 日本工業規格, 2001
2. 社団法人セメント協会 普及部門 編: ポーラスコンクリート舗装データ集, 2005
3. 今井益隆: コンクリート構造物の凍害調査, コンクリート工学, Vol.14, No.11, 1976
4. 小尾稔, 田口史雄: 耐凍害性を有するポーラスコンクリートの配合の検討, 北海道開発土木研究所月報, No612号, 2004.5
5. 水辺のコンクリート性能調査研究小委員会 編: 水辺のコンクリート性能調査研究 報告書, 第6章 施工事例, pp.1-31, 2006
6. 白井和絵, 丹野篤, 三浦尚: 凍結融解作用で劣化したコンクリート内部の強度分布に関する研究, 土木学会年次学術講演概要集, pp.754-755, 2000
7. RILEM Recommendation TC176-IDC, Material and Structures, Vol.34, pp.515-525, 2001
8. RILEM Recommendation TC117-FDC, Material and Structures, Vol.29, pp.523-528, 1996
9. 唐沢明彦, 土田保: 建築物の熱環境に及ぼす軽量ポーラスコンクリート屋上緑化システムの効果, 日本緑化学会誌, Vol.27, No.1, pp.205-208, 2001
10. 中村拓郎, 堀口 敬, 志村和紀: ポーラスコンクリート河川護岸の耐凍害性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol.29, No.2, pp.313-318, 2007
11. 水辺のコンクリート構造物小委員会 編: 土木学会コンクリート技術シリーズ 水辺のコンクリート構造物-コンクリートによる豊かな水辺環境の創造, pp.10-27, 2002
12. 中村拓郎, 堀口敬, 石井剛, 服部健作: 「ポーラスコンクリート舗装における塩分供給下での耐凍害性」, 平成19年度全国大会 第62回年次学術講演会講演概要集, pp.773-774, 2007
13. ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会 編: ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書 ポーラスコンクリートの評価と試験方法, pp.176-193, 2003
14. Jochen Stark and Bernd Whicht (太田利隆, 佐伯昇訳): DAUERHAFTIGKEIT VON BETON (コンクリートの耐久性), セメント技術協会, pp.186-209, 1995
15. Max J. Setzer: Micro-Ice-Lens Formation in Porous Solid, Journal of Colloid and Interface Science 243, 193-201, 2001
16. Max J. Setzer: MODELING AND TESTING THE FREEZE-THAW ATTACK BY MICRO-ICE-LENS MODEL AND CIF/CIF-TEST, Proceedings pro048 Advances in Concrete Through Science and Engineering, 2004

실제 환경을 고려한 다공질 콘크리트의 내동해성(耐凍害性) 평가

콘크리트는 연속공극률이 20%에서30%인 특수한 콘크리트이다. 토목공학 분야에서는, 포장재료¹⁾로써는 배수·투수(透水)기능, 흡음(吸音)기능, 소음감소가 기대되며, 하천 호안(護岸)재료^{2,3)}로써는 자연·생태계 보전, 경관 향상효과가 기대된다. 또한 건축공학 분야에서는 옥상 녹화를 비롯하여 도시의 열섬(heat island)현상의 완화 목적으로도 연구되고 있어, 고도화·다양화되는 사회자본 정비에 대해, 이와 같은 연속공극의 다기능성 재료의 다공질 콘크리트에 대해 많은 기대를 하고 있다. 다공질 콘크리트는 이와 같은 성능으로 인해, 물가에서의 이용가치가 높고, 한랭지에서 동해(凍害, 동결로 인한 파해)가 염려된다. 하지만 다공질 콘크리트의 내동해성을 평가하는 시험방법, 평가기준이 명확하지 않다. 기존 연구에 따르면, 공극 사이에 가득 차 있는 물이 빙결되는 환경 하에서는, 다공질 콘크리트에 대한 내동해성 평가가 낮지만⁵⁾, 그 이외의 경우에는 비교적 내동해성이 높아질 수 있다고 하며, 동결융해 시험의 차이에 따라 평가가 다르게 보고되고 있다. 다공질 콘크리트의 내동해성(耐凍害性)평가에는 주로 재료, 공극률 등에 따른 영향을, 한 가지 동결융해시험방법에 의한 상대평가로 검토하는 연구가 많고, 동일한 배합 시의 복수의 동결융해시험을 실시한 연구는 적다.

본 연구에서는 다공질 콘크리트의 내동해성(耐凍害性) 평가를 목적으로, 다공질 콘크리트가 시공되는 환경을 고려하여 4 종류의 동결융해시험을 실시하였다. 4 종류의 동결융해시험에는, 일본국내에서 폭넓게 채택되고 있는 JIS A1148⁸⁾ A법 (수중동결 수중융해) / B법 (공기중동결 수중융해) 및 RILEM제안의 CIF⁹⁾/CDF¹⁰⁾법을 채용하였다. RILEM제안의 동결융해 시험방법은 열역학적인 관점에서 고안된 것으로, 지금까지의 동결융해시험의 상대동탄성 계수 변화에서 나아가, 스케일링 양, 흡수량 측정을 포함하여, 실제 환경과의 대응, 재현성(再現性) 높이, 실험정밀도 등으로 콘크리트의 내동해성을 더욱 상세하게 검토할 수 있을 것으로 기대되는 시험방법이다¹¹⁾.

본 연구를 통해 얻은 성과를 정리해 보도록 하겠다.

- (6) JIS A법과 같이, 공극이 강제적으로 물이 가득 차게 되어 얼음이 형성되는 환경에서는 상대동탄성 계수 저하가 현저하며, 커다란 균열과 함께 붕괴하는 것을 확인하였다. 이런 환경에서는 AE콘크리트에 비해 내동해성이 낮으므로 시공할 때 이를 고려할 필요가 있다.
- (7) JIS B법 및 RILEM CIF/CDF법과 같이, 동결 시에 공극 내에서 얼음이 형성되지 않는 환경에서는 내동해성 평가가 크게 향상되고, 특히 RILEM CIF/CDF법에서는 상대

동탄성 계수의 저하는 확인되지 않았다.

- (8) JIS A/B법에서, 다공질 콘크리트의 내동해성은 세골재를 혼합하거나, 굵은골재의 치수를 낮게 하는 등, 배합을 조정함으로써 개선이 가능한 것으로 확인되었다.
- (9) JIS B법과 RILEM CIF법의 결과, 다공질 콘크리트에서도 동결속도나 동결융해 사이클 수가 상대동탄성 계수 저하에 영향을 주며, paste막 두께가 얇은 다공질 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 그 영향도 큰 것으로 생각된다.
- (10) RILEM CIF/CDF시험 결과, 일반 콘크리트에서는 염분 환경에서 스케일링에 의한 표면열화가 격렬해지지만, 다공질 콘크리트에서는 현저한 열화가 보이지 않으며, 염분 공급 하에서의 표면열화에 비해 높은 내동해성을 유지하는 것을 확인하였다.