

論文 塩化カルシウムによるポーラスコンクリートの劣化とその抑制方法に関する実験的研究

内田 寿久*1・畑中 重光*2・三島 直生*3

要旨：本報では、凍結防止剤の一種である塩化カルシウムの濃度がポーラスコンクリートの劣化に及ぼす影響および混和材料の置換による劣化抑制効果について検討した。その結果、普通ポルトランドセメントで作製したポーラスコンクリートは、高い濃度の水溶液に浸漬すると崩壊し、低い濃度の場合でも、浸漬後の強度増進が望めないことがわかった。また、普通ポルトランドセメントの一部を高炉スラグで置換すると、耐久性が向上し、本報の範囲では、普通ポルトランドセメントの40%を高炉スラグで置換し、材齢7日まで湿潤養生を行うことによって、塩化カルシウム水溶液に対する高い劣化抑制効果が得られることがわかった。

キーワード：ポーラスコンクリート、凍結防止剤、塩化カルシウム、劣化、濃度、混和材料、抑制効果

1. はじめに

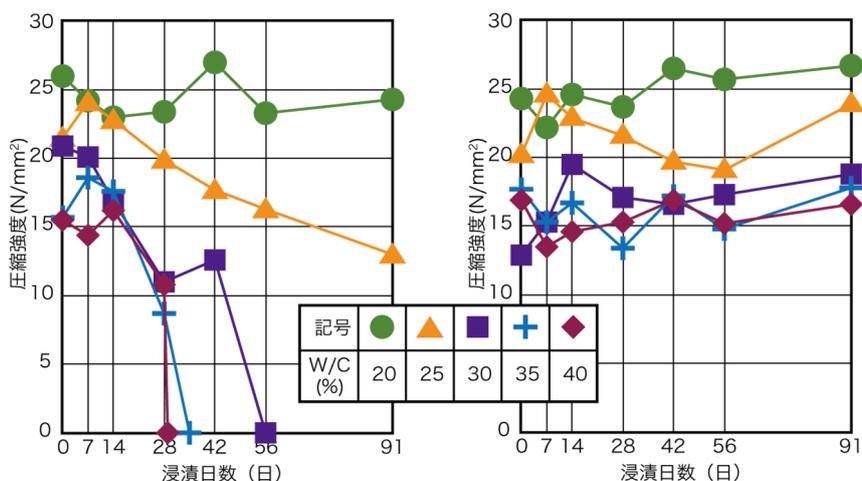
ポーラスコンクリートは、その内包する多くの連続空隙により、透水性や保水性など、普通コンクリートにはない機能を持つこと、およびそれ自体が道路舗装や河川護岸等の構造物となり得ることから、透水性舗装をはじめとした各種インフラへの適用が期待されている^{1,2)}。

実用に際しては、耐久性に関する評価が不可欠であり、凍害^{3,4)}、摩耗^{5,6)}および乾湿繰返し^{7,8)}などに関する研究が報告されているが、ポーラスコンクリートを道路舗装に適用した場合に問題となる、凍結防止剤による化学的劣化については、わずかに筆者らの報告⁹⁻¹²⁾があるだけで、未だ十分に検討されていない。

凍結防止剤は、積雪した後に散布される場合（以下、積雪後散布）と、降雪前に積雪を防ぐ目的で散布する場合（以下、降雪前散布）とがある。積雪後散布の場合は、雪を融かした薄い溶液が内部に浸入し、降雪前散布の場

合では、空気中の水分によって潮解した濃い溶液が内部に浸入すると考えられる。

また既報¹⁰⁾では、凍結防止剤として塩化カルシウム（以下、CaCl₂）を用い、セメントの種類を普通ポルトランドセメント（以下、Opc）および高炉セメントB種（以下、BB）とし、それぞれのセメントペーストの水セメント比を20、25、30、35および40%としたポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響について検討したところ、**図-1(a)**に示すように、Opcで作製した水セメント比30、35、40%のポーラスコンクリートは、圧縮強度が低下し、崩壊した。一方、**図-1(b)**に示すようにBBで作製したものは、この実験の範囲では強度低下することはなかった。この原因として、Opcの場合は、骨材とセメント硬化体膜の界面に膨張性の複塩3CaO・CaCl₂・15H₂O（以下、複塩3-1-15）が析出することによって劣化が進行したこと、一方BBの場合は、混和されている高炉スラグ（以下、



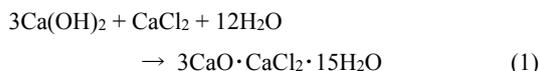
(a) Opcで作製したポーラスコンクリート (b) BBで作製したポーラスコンクリート
図-1 セメントの種類がポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響¹⁰⁾

*1 (株)安芸砂利 品質管理責任者 (正会員)

*2 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 教授・工博 (正会員)

*3 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学) (正会員)

BFS) がCa(OH)₂を消費することによって、CaCl₂による劣化を抑制したと考えられる^{9,10,12,13}。複塩3-1-15の生成反応を式(1)に示す。



そこで本報では、凍結防止剤として多く用いられているCaCl₂の水溶液(以下、CaCl₂aq)の濃度がポーラスコンクリートの劣化に及ぼす影響(実験1)、およびセメントの一部を混和材料で置換した場合の劣化抑制効果(実験2)について実験的検討を行う。

2. 実験概要

2.1 CaCl₂aqの濃度がポーラスコンクリートの劣化に及ぼす影響(実験1)

(1) 要因水準と使用材料および配合

表-1に要因水準を、表-2に使用材料を、表-3にポーラスコンクリートの配合を示す。

セメントの種類は、既報¹⁰の実験で水セメント比による劣化状況が異なったOpcとし、CaCl₂aqの濃度は、Opcで作製したポーラスコンクリートが劣化した30wt.%¹⁰、その半分の15wt.%、および積雪1cmの湿った雪(密度0.1g/cm³と仮定する)に凍結防止剤を規定量(50g/m²)散布した場合に相当する5wt.%、加えて比較用の0wt.%とした。

W/C = 40%のセメントペーストについては、材料分離によるセメント粒子の沈下を防ぐ目的で高機能特殊増粘

表-1 実験の要因と水準(実験1)

要因	水準
ポーラスコンクリートの水セメント比(%)	20, 30, 40
CaCl ₂ aq濃度(wt.%)	0, 5, 15, 30

表-2 使用材料(実験1)

材料	種類	密度(g/cm ³)	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	Opc
水	上水道水	1.00	W
粗骨材	単粒度砕石S-13	2.73	G
化学混和剤	高性能AE減水剤 カルボキシル基含有ポリエーテル	1.07	Hwa
	低W/C用高性能減水剤 ポリカルボン酸系特殊高分子活性剤	1.08	Uwa
	高機能特殊増粘剤 アルキルアシルスルホン酸塩 アルキルアンモニウム塩・特殊ポリマー	1.06	Vt

表-3 ポーラスコンクリートの配合とその記号(実験1)

W/C (%)	空隙率 (%)	単用量(kg/m ³)			化学混和剤		記号
		Opc	W	G	記号	添加率(%)	
20	20	426	85	1552	Uwa	C×0.80	Opc20
30		357	107		Hwa	C×0.10	Opc30
40		307	123		Vt	W×4.00	Opc40

剤Vtを、W/C = 20, 30%のものについては、ペーストフロー値が190±20mmとなるよう低水セメント比用高性能減水剤Uwa、または高性能AE減水剤Hwaを添加した。

(2) 練混ぜおよび供試体の作製

ポーラスコンクリートの練混ぜは、セメントペースト先練りとし、W/C = 40%では、セメントと水を90秒間練り混ぜた後に増粘剤Vtを加えて60秒間、W/C = 30%では、セメントと水と化学混和剤Hwaを90秒間、W/C = 20%では、セメントと水と化学混和剤Uwaを300秒間、それぞれ一軸パン型強制練りミキサで練り混ぜた後、粗骨材を加えて更に90秒間練り混ぜた。

図-2に示すように、下端面のキャッピング用として、あらかじめ練り混ぜたW/C = 25%のBBのセメントペーストをφ100×200mm供試体型枠に100g入れて均した後、練り混ぜたポーラスコンクリートを、事前に計量した所定量を2層に分けて詰め、各層をφ16mmの突き棒で締め固め、ジッキングを行った後、型枠上端に天端を揃えるようにコテで仕上げた。

24時間後に供試体上端面もW/C = 25%のBBのペーストでキャッピングし、圧縮強度試験用ポーラスコンクリート供試体(以下、POC供試体)とした。

(3) 養生

打込みから48時間後に脱型し、材齢7日まで標準養生水槽にて湿潤養生を行った後、表-1に示す各濃度のCaCl₂aq(20℃)に浸漬した。

また、CaCl₂aq(約150L)の均質化のため、1時間当たり15分間、ポンプ(吐出量10L/分)の水流で循環くはんした。

2.2 混和材料の置換がポーラスコンクリートの劣化に及ぼす影響(実験2)

(1) 要因水準と使用材料および配合表

表-4に要因水準を、表-5に使用材料を、表-6にポーラスコンクリートの配合を、表-7にペーストの配合を示す。

湿潤養生期間は、JASS5:2009¹⁴ 8節養生において、計画供用期間の級が短期および標準の場合に、高炉セメントB種(BFS置換率30~60%)やフライアッシュセメントB種(FA置換率10~20%)の湿潤養生期間となる7日、並びに型枠脱型後に48時間の湿潤養生となる4日とした。

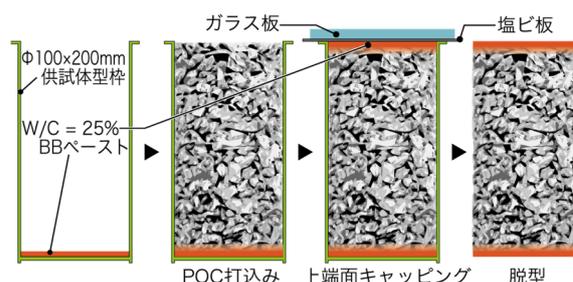


図-2 POC供試体の作製方法(実験1, 2)

ただし、FAのポズランは、長期材齢において反応する¹⁵⁾ため、湿潤養生期間28日も設定した。また、Opcを用いたポーラスコンクリートは、湿潤養生期間7日のみとした（湿潤養生期間28日については既報¹⁰⁾参照）。

更に、湿潤養生期間と劣化抵抗性の関係を検討するために、ペーストのみの圧縮強度も求めた。

(2) 練混ぜおよび供試体の作製

ポーラスコンクリートの練混ぜは、ペースト先練りとし、セメント、混和材料、水および化学混和剤Hwaを90秒間、一軸パン型強制練りミキサーで練り混ぜた後、粗骨材を加えて更に90秒間練り混ぜた。

POC供試体の作製は、実験1と同様に行った。

一方、ペーストのみの練混ぜは、モルタルミキサーを用いて、セメント、混和材料、水および化学混和剤Hwaを、低速で60秒間練り混ぜた後、高速に切り替えて30秒間練り混ぜた。

練り混ぜたペーストをφ50×100mm供試体型枠に2層に分けて詰め、各層に振動を加えて巻き込んだ空気を排出し、圧縮強度試験用ペースト供試体（以下、ペースト供試体）とした。

(3) 養生

POC供試体およびペースト供試体は、打込みから48時間後に脱型し、表-4に示す所定の期間、標準養生水槽にて湿潤養生を行った。その後、POC供試体は、ステン

表-4 実験の要因と水準（実験2）

要因	水準
混和材料の種類 および置換率	プレーン, BFS20%置換, BFS40%置換, FA15%置換
湿潤養生期間（日）	4, 7, 28

表-5 使用材料（実験2）

材料	種類	密度 (g/cm ³)	記号	
結合材B	セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	Opc
	混和材料 Ad	高炉スラグ 比表面積:4240cm ² /g	2.89	BFS
		フライアッシュ 比表面積:3390cm ² /g	2.25	FA
水	上水道水	1.00	W	
粗骨材	単粒度碎石S-13	2.73	G	
化学混和剤	高性能AE減水剤 カルボキシル基含有ポリエーテル	1.07	Hwa	

表-6 ポーラスコンクリートの配合とその記号（実験2）

W/B (%)	混和材料		空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)				Hwa 添加率 (%)	記号
	種類	置換率		Opc	Ad	W	G		
30	---	0%	20	357	0	107	1552	C×0.10	P
	BFS	20%		282	71	106		C×0.08	BFS20
	BFS	40%		210	140	105		C×0.07	BFS40
	FA	15%		295	52	104		C×0.07	FA15

表-7 ペーストの配合とその記号（実験2）

W/B (%)	混和材料		単位量 (kg/m ³)			Hwa 添加率 (%)	記号
	種類	置換率	Opc	Ad	W		
30	---	0%	1622	0	487	C×0.10	CP
	BFS	20%	1286	321	482	C×0.08	CB20
	BFS	40%	954	636	477	C×0.07	CB40
	FA	15%	1337	236	472	C×0.07	CF15

レス製水槽（2.0×0.9×0.5m）内にて、20℃ 30wt.%のCaCl₂aqに浸漬した。なお、CaCl₂aqの均質化のため、12時間当たり15分間、ポンプ（吐出量200L/分）の水流で循環かくはんした。

2.3 実験1および実験2で作製したPOC供試体およびペースト供試体の圧縮強度試験方法

実験1のPOC供試体は、湿潤養生終了後およびCaCl₂aq浸漬後28, 91, 182, 364日目に両端面を、実験2のPOC供試体は、所定の湿潤養生を終えた後およびCaCl₂aq浸漬後28, 91, 182日目に両端面を、実験2のペースト供試体は、湿潤養生を終えた後に打込面を、それぞれ供試体研磨機で研磨した後、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 目視によるPOC供試体の変状観察（実験1, 2）

表-8に、CaCl₂aqに浸漬した実験1および実験2のPOC供試体の外観の変状を示す。また、写真-1に、実験1において30wt.%のCaCl₂aqに浸漬したPOC供試体（Opc20）の表面部の劣化状況の例を、写真-2に、実験2において湿潤養生を7日間行った後、30wt.%のCaCl₂aqに7日間浸漬後に崩壊したPOC供試体（FA15）の例を示す。

実験1では、30wt.%のCaCl₂aqに浸漬した全てのPOC供試体が崩壊したのに対し、他の濃度（15, 5, 0wt.%）に浸漬したPOC供試体（Opc20, Opc30, Opc40）はセメント硬化体の膜の剥離も生じなかった（写真-1）。また、既報¹⁰⁾では、Opc20と同一配合のポーラスコンクリートを、30wt.%のCaCl₂aqに浸漬しても、強度低下しなかったが、本報では、セメント硬化体の膜が剥離し、崩壊に至った。既報¹⁰⁾と本報では、湿潤養生期間が異なる（既報¹⁰⁾：28日、本報：7日）ものの、既往の研究¹³⁾で報告されているように、水セメント比を低くしても、湿潤養生条件やCaCl₂aqへの浸漬日数などによっては、ポーラスコンクリートは劣化し、崩壊する可能性があることがわかった。

実験2では、BFS置換したポーラスコンクリートは、その置換率および湿潤養生の期間に関わらず、外観上の変状は生じなかった。一方、FA置換したポーラスコンクリートは、湿潤養生の期間を28日としても、崩壊に至った。この原因として、BFS置換したものでは、BFSの潜

在水硬性によって、水酸化カルシウムを消費し¹⁶⁾、複塩3-1-15の生成を抑制したと考えられる。一方、FA置換したものは、ポズラン反応によって水酸化カルシウムを消費するよりも早く、セメント硬化体膜と骨材の界面に塩素元素が浸入し、複塩3-1-15が生成したために、劣化を抑制できなかつたと考えられる。

3.2 CaCl₂aqの濃度がポーラスコンクリートの劣化に及ぼす影響（実験1）

図-3に、0, 5, 15, 30wt.%のCaCl₂aqに浸漬したPOC供試体の圧縮強度の推移を示す。

ここで、30wt.%のCaCl₂aqに182日間浸漬したOpc20の内2本、60日間浸漬したOpc30および66日間浸漬したOpc40は、POC供試体の中央付近に亀裂が生じ、水槽が

ら持ち上げると崩壊したため、それらの圧縮強度は0N/mm²とした。

図-3より、CaCl₂aqの濃度が0wt.%、すなわち湿潤養生を継続したものは、材齢の経過とともに圧縮強度が増進しているのに対して、5wt.%や15wt.%のCaCl₂aqに浸漬したものは、浸漬後にほとんど強度が増進しておらず、30wt.%のCaCl₂aqに浸漬したものは、W/C = 20%であ

表-8 CaCl₂aqに浸漬したPOC供試体の外観の変状

POC供試体の種類	CaCl ₂ aqの濃度(%)	湿潤養生の日数(日)	CaCl ₂ aq浸漬日数				
			28	91	182	364	
実験1	Opc20	7	0	◎	◎	◎	◎
			5	◎	◎	◎	◎
			15	◎	◎	◎	◎
			30	◎	△	×	×
	Opc30	7	0	◎	◎	◎	◎
			5	◎	◎	◎	◎
			15	◎	◎	◎	◎
			30	◎	×	×	×
	Opc40	7	0	◎	◎	◎	◎
			5	◎	◎	◎	◎
			15	◎	◎	◎	◎
			30	◎	×	×	×
実験2	P	30	7	◎	×	×	---
			4	◎	◎	◎	---
	BFS20	30	7	◎	◎	◎	---
			4	◎	◎	◎	---
	BFS40	30	7	◎	◎	◎	---
			4	◎	×	×	---
	FA15	30	7	◎	×	×	---
			28	◎	◎	×	---

[注] ◎:変状なし
△:セメント硬化体の膜が剥がれる
×:水槽内で崩壊

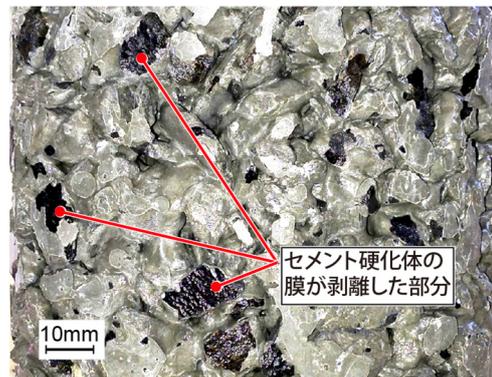


写真-1 30wt.%のCaCl₂aq浸漬によってセメント硬化体膜が剥離したPOC供試体の例（実験1, Opc20, 浸漬91日）



写真-2 30wt.%のCaCl₂aq浸漬によって崩壊したPOC供試体の例（実験2, FA15, 浸漬74日）

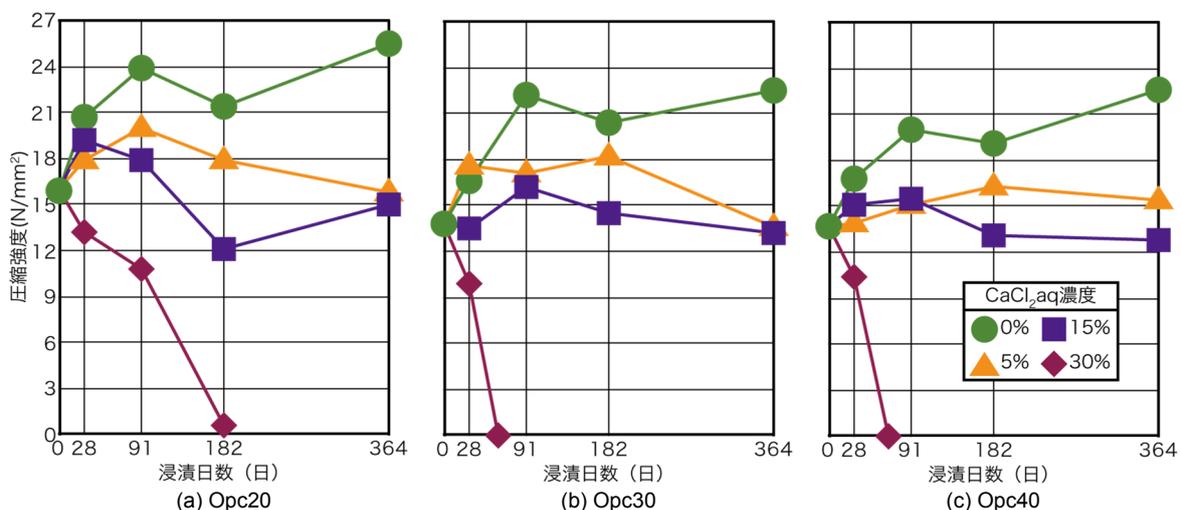


図-3 CaCl₂aqの濃度がポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響（セメントをOpcとした場合）

でも、強度が低下し、崩壊していることから、Opcで作製したポーラスコンクリートは、CaCl₂が散布される環境、特に、高い濃度となる降雪前散布には不適切であると考えられる。また、低い濃度となる積雪後散布の場合でも、浸漬後の強度増進が望めないことから、所定の強度を保証する材齢が経過するまでは、凍結防止剤の散布を控える必要があると考えられる。

3.3 混和材料の置換がポーラスコンクリートの劣化抑制に及ぼす影響

図-4に、セメントの一部を混和材料（BFSおよびFA）で置換したポーラスコンクリートを、30wt.%のCaCl₂aqに浸漬した場合の圧縮強度の推移を示す。

ここで、材齢7日まで湿潤養生後、CaCl₂aqに94日間浸漬したP、材齢4日まで湿潤養生後、CaCl₂aqに60日間浸漬したFA15、材齢7日まで湿潤養生後、CaCl₂aqに74日間浸漬したFA15、および材齢28日まで湿潤養生後、CaCl₂aqに156日間浸漬したFA15は、POC供試体の中央付近に亀裂が生じ、水槽から持ち上げると崩壊したため、それらの圧縮強度は0N/mm²とした。

図-4(a)より、混和材料で置換していないPは、実験1の30wt.%のCaCl₂aqに浸漬したOpc30と同様に、崩壊した。また、FA置換した供試体では、湿潤養生期間にかかわらず、強度が低下し、崩壊した。

図-4(b)より、BFS置換した供試体では、置換率および湿潤養生の期間によって劣化抑制効果が異なる結果となった。すなわち、BFS20では、湿潤養生期間にかかわらず、長期的には圧縮強度が低下した。3.1節では変状を観察できなかったが、これは、水酸化カルシウムの生成量が、潜在水硬性による消費量を超え、セメント硬化体と骨材の界面に複塩3-1-15が生じたためと考えられる。また、湿潤養生を材齢4日までとしたBFS40でも、長期間

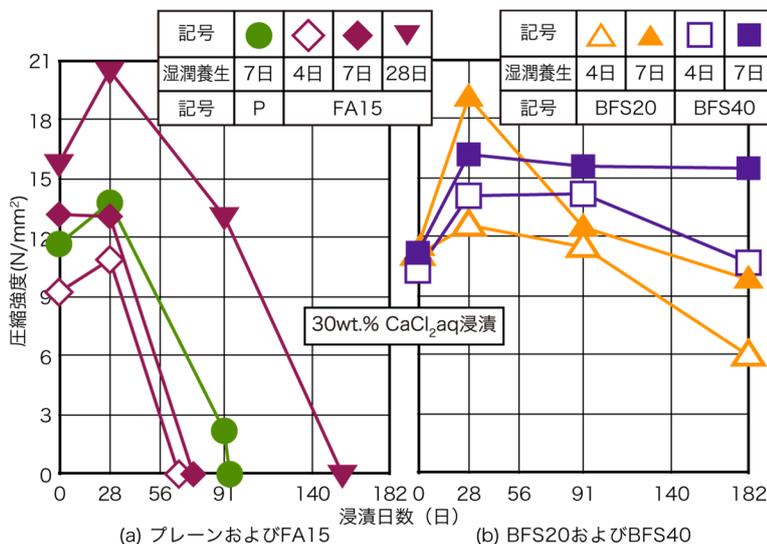


図-4 混和材料の置換がポーラスコンクリートの劣化抑制に及ぼす影響 (普通ポルトランドセメントの一部を混和材料で置換した場合)

CaCl₂aqに浸漬すると圧縮強度が低下した。一方、材齢7日まで湿潤養生を行ったBFS40は、強度低下していないが、実験1の結果と同様に、強度増進もしていないことから、CaCl₂aqに浸漬し続けると、長期の強度増進は望めないと考えられる。

図-5に、材齢4, 7, 28日まで湿潤養生を行ったペーストの圧縮強度を示す。同図より、材齢7日のCB40と材齢28日のCF15は、ほぼ同程度の強度を発現しているにもかかわらず、FA15のPOC供試体は劣化し、崩壊したことから、圧縮強度によって一元的に劣化抵抗性を判断する事はできないことがわかった。

以上の結果から、塩化カルシウムによるポーラスコンクリートの劣化抑制対策として、セメントの40%以上をBFSで置換すること、同時に材齢7日程度まで湿潤養生を行うことが有効であると考えられる。

4. まとめ

セメントの種類を普通ポルトランドセメントとし、水セメント比を20, 30, 40%としたポーラスコンクリートを、20℃ 0, 5, 15, 30wt.%の塩化カルシウム水溶液に浸漬した場合の劣化、およびセメントの一部を混和材料（高炉スラグおよびフライアッシュ）で置換し、水結合材比を30%としたポーラスコンクリートを、20℃ 30wt.%の塩化カルシウム水溶液に浸漬し、劣化について検討したところ、以下のような知見が得られた。ここで、高炉スラグは、既報¹⁰⁾において、塩化カルシウム水溶液に対し高い劣化抵抗性を示した高炉セメントB種に混和されており、フライアッシュは、水酸化カルシウムを消費するポゾラン反応によって、複塩3-1-15の生成を抑制することが期待されたため、混和材料として選定した。

(1) セメントの種類を普通ポルトランドセメントとした

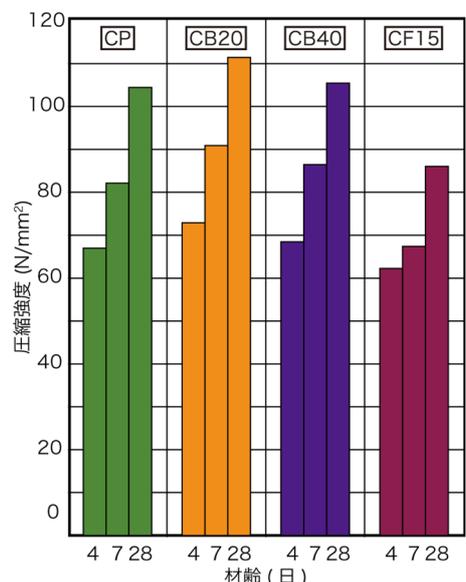


図-5 湿潤養生したペーストの圧縮強度

ポーラスコンクリートは、30wt.%の塩化カルシウム水溶液に浸漬すると、水セメント比を20%としても劣化し、崩壊する可能性がある。また、5, 15wt.%の場合でも、浸漬後の強度増進は望めない。

- (2) 塩化カルシウム水溶液によるポーラスコンクリートの劣化抑制対策として、高炉スラグによるセメントの置換が有効である。特に、セメントの40%を高炉スラグで置換し、湿潤養生を材齢7日以上行うことによって、塩化カルシウム水溶液に対する高い劣化抑制効果が期待できる。
- (3) 本報の範囲では、フライアッシュ置換による有効な劣化抑制効果は得られなかった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、馬永寿君（三重大学大学院修了生）、夏目実穂さん（三重大学大学院生）、関本亮太君、川出未来さん（三重大学4年生）のご協力を得た。本研究費の一部は共同研究経費（株式会社アムラックス）によった。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 畑中重光, 酒井俊典, 中川武志, 三島直生: 都市型水害の減災に資する地盤内の水流制御技術の開発研究, その1 水流の制御に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1, 材料施工, pp.205-206, 2013.8
- 2) 中川武志, 浦山益郎, 畑中重光, 三島直生: 都市型水害の減災に資する地盤内の水流制御技術の開発研究, その2: 水害対策法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1, 材料施工, pp.207-208, 2013.8
- 3) 片平博, 河野広隆: ポーラスコンクリートの凍結融解耐久性, 土木技術資料 41-11, pp.66-71, 1999
- 4) 前川明弘, 三島直生, 畑中重光: 小粒径ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1487-1492, 2011
- 5) 吉田知弘, 国枝稔, 音野琢也, 六郷恵哲: ポーラスコンクリートの空隙分布が曲げ強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1437-1442, 2004
- 6) 中川武志, 畑中重光, 三島直生, 犬飼利嗣: ポーラスコンクリートの耐摩耗・剥脱性評価に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.60, pp.169-176, 2006
- 7) 梶尾聡, 水口裕之, 片平博: ポーラスコンクリートの乾湿繰返し抵抗性に関する研究, ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム, pp.139-142, 2003
- 8) 本田陵二, 水口裕之, 西川浩史, 石丸啓輔: ポーラスコンクリートの乾湿繰返し抵抗性に関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1421-1426, 2006
- 9) 内田寿久, 畑中重光, 三島直生, 前川明弘: 塩化カルシウム水溶液によるセメントペースト硬化体の劣化に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.733-738, 2013
- 10) 内田寿久, 畑中重光, 三島直生: 塩化カルシウム水溶液によるポーラスコンクリートおよびその結合材の劣化に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.697, pp.341-347, 2014.3
- 11) 内田寿久, 畑中重光, 三島直生, 前川明弘: 塩化カルシウム水溶液によるセメントペースト硬化体の劣化とそのメカニズムに関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.802-807, 2014
- 12) 内田寿久, 畑中重光, 三島直生, 前川明弘: 塩化カルシウム水溶液によるポーラスコンクリートの劣化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.706, pp.1709-1715, 2014.12
- 13) 森寛晃, 久我龍一郎, 小川彰一, 久保善司: 塩化カルシウム溶液による各種セメント硬化体の劣化, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.79-86, 2012
- 14) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, pp.26-27, 2009
- 15) コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, pp.40-42, 2009
- 16) コンクリート総覧, 技術書院, pp.68-72, 1998