

耐寒剤コンクリートのスケーリングに及ぼす 影響要因の検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム

○長谷川 諒
島多 昭典

寒中コンクリート工事では、給熱養生を行わず簡易な養生とすることができる耐寒剤が用いられることがあるが、スケーリング抵抗性について明らかになっていない。本研究では耐寒剤の種類や空気量を条件に耐寒剤を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす要因を検討した。その結果、耐寒剤の種類によらず、AE剤を一定量以上添加することでスケーリング抵抗性を確保できることを確認した。

キーワード：耐寒剤、寒中コンクリート、スケーリング、AE剤

1. 背景

耐寒促進剤(以下、耐寒剤とする)は寒中コンクリート工事において、港湾や道路の現場で広く用いられている。耐寒剤は JIS 規格に沿ったコンクリート用混和剤の1つであり、耐寒剤を用いることで仮囲いを設けずに簡易な養生とすることができる。そのため、コスト縮減や作業員の省力化に貢献できる材料である。

コンクリートの耐凍害性は JIS A 1148 A 法によって評価され、耐久性指数 60 以上であれば耐凍害性を有するとされており、耐寒剤を用いたコンクリートにおいても普通コンクリートと同等であることが浜辺らの報告²⁾で示されている。一方で、表面から劣化が進行するスケーリングについては、平成 29 年に国土交通省東北地方整備局の東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)³⁾において、ASTM(米国試験材料協会規格) C672 によるスケーリング試験 50 サイクルに対するスケーリング量 0.3 kg/m²が上限値として示されたのが初めて(平成 31 年改訂版⁴⁾で 0.5 kg/m²へ緩和)であり、耐寒剤の有無に関わらず明確な評価方法や上限値が定まっていない。

本研究では、耐寒剤を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす要因を明らかにするために、既往研究で報告した論文²⁾に新たなデータを加えて考察を行った。

2. 実験計画および試験方法

(1) 実験計画および配合

表-1に実験計画を示す。No.1~7では耐寒剤の種類、空気量、セメントの購入年度の検討を行った。次にNo.8~12では細骨材率(s/a)の検討を行った。No.1~12の結果からAE剤量がスケーリング量に影響していると考え、No.13~19では、耐寒剤の現行指針の配合条件に合わせた範囲で空気量ならびに水セメント比を設定した。また、No.1~12の結果から養生方法がスケーリング量に影響していることが示されたため、Fa5 (No.15)の配合を用いて養生方法がスケーリング抵抗性に及ぼす影響を再度検討した。試料名は耐寒剤を用いない場合は試料名の初めがBL、耐寒剤を用いた場合は試料名の初めを各耐寒剤の記号(A、W、F)として標記している。耐寒剤の添加量はセメント100kgあたり4L(4 L/C=100kg)とした。目標空気量はそれぞれ3、5、7、10 ± 0.5%、スランプは成り行きとした。耐寒剤を用いない配合ではAE剤とAE減水剤で空気量とスランプを調整した。耐寒剤を用いた配合では、耐寒剤がAE減水剤の効果を有しているため、AE剤のみを使用した。

表-2に供試体作製に使用した材料を示す。セメントは、平成30年(c30)と令和2年(c02)に購入した共に密度3.16 g/cm³の普通ポルトランドセメント2種類、骨材はNo.1~12では細骨材は表乾密度2.67 g/cm³、粗骨材は粒径の異なる表乾密度2.67 g/cm³と2.68 g/cm³を用いた。また、No.13~19では細骨材は表乾密度2.65 g/cm³、粗骨材は粒径の異なる表乾密度2.68 g/cm³と2.68 g/cm³の碎石を使用した。耐寒剤は主成分の異なる3種類を用意した。それぞれは無機窒素化合物亜硝酸塩系のA、亜硝酸化合物と硝酸化合物のW、ポリカルボン酸エーテル系化合物と無機系窒素化合物のFであり、3種類とも無塩・無アルカリ型の耐寒剤である。AE剤には変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤を、AE減水剤にはリグニンスルホン酸化合物系を使用した。コンクリートの配合を表-3に示す。

(2) 試験方法

スケーリング試験では□22 × 22 × 10 cm(試験面積

表-1 実験計画

No.	試料名	W/C (%)	s/a (%)	目標空気量 (%)	耐寒剤種類	養生	試験項目
1	BLc30a05	50	49	5	—	2週 20°C水中+ 2週 20°C60%RH 気中	スケーリング試験
2	A4c30a05			5	A		
3	W4c30a05			5	W		
4	F4c02a05			5	F		
5	F4c30a05			5	F		
6	F4c30a07			7	F		
7	F4c30a10			10	F		
8	BLc30a05s44	50	44	5	—	1週 20°C水中+ 3週 20°C60%RH 気中	
9	F4c30a05s44			5	F		
10	F4c30a07s44			7	F		
11	F4c30a10s44			10	F		
12	F4c02a05s44			5	F		
13	BLa5	50	44	5	—	1週 20°C水中+ 3週 20°C60%RH 気中	
14	Fa3			3	F		
15	Fa5			5	F		
16	Fa5R					2週 20°C水中+ 2週 20°C60%RH 気中	
17	Fa7			7	F	1週 20°C水中+ 3週 20°C60%RH 気中	
18	Fwc45a5	45	43	5	F		
19	Fwc40a5	40	42	5	F		

耐寒剤添加量：セメント 100kg あたり 4L 添加

表-2 使用材料

材料	記号	内容
水	W	水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント (H30) ^{*1} 、密度：3.16 g/cm ³
		普通ポルトランドセメント (R2) ^{*1,2} 、密度：3.16 g/cm ³
細骨材	S	川砂、表乾密度：2.67 g/cm ^{3*1} 、2.65 g/cm ^{3*2}
粗骨材	G1	碎石、表乾密度：2.67 g/cm ^{3*1} 、2.68 ^{*2} g/cm ³ 、粒径 5-15 mm
	G2	碎石、表乾密度：2.68 g/cm ^{3*1,2} 、粒径 15-20 mm
耐寒剤	A	AE減水剤促進形 無機窒素化合物
	W	AE減水剤促進形 亜硝酸化合物、硝酸化合物
	F	AE減水剤促進形 ポリカルボン酸エーテル系化合物と無機系窒素化合物
AE剤	—	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤
AE減水剤	—	リグニンスルホン酸化合物系

*1…No.1～12 で使用、*2…No.13～19 で使用

289 cm²) を用いた。養生は、現場での養生を想定した打設後1日で脱型した後、7日まで20°C水中養生を行い、28日まで20°C60%RHで気中養生を行う条件と、ASTM

C672に準じて脱型後2週目まで20°C水中養生を行い、その後4週目まで20°C60%RHで気中養生を行う2条件で行った。試験面は打設面とし、試験開始2日前には試験面に厚さ約2 cmの土手を設置し、側面のみエポキシ樹脂でシーリングした。試験には濃度3 %の塩水を用いて凍結融解を与えた。

3. 実験結果

図-1 (a) (b)に、ASTM C 672に準拠した養生方法 (2週水中+2週気中) を行った供試体のスケーリング量の結果を示す。

図-1 (a)では、耐寒剤の種類 (A、W、F) によらず耐寒剤を用いないコンクリートよりスケーリング量が増大する結果となった。

図-1 (b)では、耐寒剤F空気量5% (F4c30a05) と耐寒剤無空気量5% (BLc30a05) は(a)と同じ供試体の結果である。耐寒剤Fを用いた供試体に着目すると、空気量7%以上であれば耐寒剤を用いないコンクリートと同程度のスケーリング量となった。また、購入時期の異なるセメント (c02) を用いた供試体では、c30のセメントを用いた供試体よりややスケーリング量が増加する結果となり、同じ会社および種別のセメントを用いてもスケーリング量が異なる可能性が示された。

図-2に細骨材率 (s/a) を49 %から44 %へ変更した配合

表-3 コンクリート配合

試料名	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	耐寒剤添加量 (L/C=100kg)	単位量(kg/m ³)					混和剤量(kg/m ³)	
					W	C	S	G1	G2	AE減水剤*	AE剤*
BLc30a05	50	49	5.5	0	151	302	913	479	480	13.3	0.38
A4c30a05	50	49	5.6	4	151	302	913	479	480	0.0	0.11
W4c30a05	50	49	4.9	4	151	302	913	479	480	0.0	0.45
F4c02a05	50	49	5.7	4	151	302	913	479	480	0.0	0.76
F4c30a05	50	49	5.6	4	151	302	913	479	480	0.0	0.76
F4c30a07	50	49	8.0	4	151	302	887	465	467	0.0	1.89
F4c30a10	50	49	9.2	4	151	302	848	445	446	0.0	2.79
BLc30a05s44	50	44	5.5	0	146	292	830	532	534	14.0	0.37
F4c30a05s44	50	44	5.5	4	146	292	830	532	534	0.0	1.17
F4c30a07s44	50	44	7.1	4	146	292	807	517	519	0.0	2.19
F4c30a10s44	50	44	9.5	4	146	292	772	495	497	0.0	4.02
F4c02a05s44	50	44	5.5	4	146	292	830	532	534	0.0	1.17
BLa5	50	44	5.2	0	146	292	830	588	481	3.50	0.37
Fa3	50	44	3.0	4	146	292	854	604	494	0.00	0.07
Fa5、Fa5R	50	44	4.6	4	146	292	830	588	481	0.00	0.66
Fa7	50	44	7.1	4	146	292	807	571	467	0.00	1.83
Fwc45a5	45	43	5.5	4	146	324	799	589	482	0.00	0.73
Fwc40a5	40	42	5.2	4	146	365	766	588	481	0.00	0.73

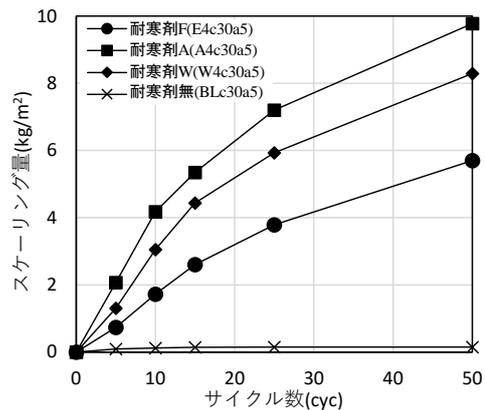
*AE減水剤 10%希釈、AE剤 1%希釈

のスケーリング試験結果を示す。養生方法は1週水中+3週気中とした。耐寒剤を用いたコンクリートのスケーリング量は、s/aを下げることで大幅に小さくなり、セメントの購入時期によらず耐寒剤を用いないコンクリートより僅かに大きい程度となった。また、空気量を多くすることでスケーリング量が減少することを確認した。

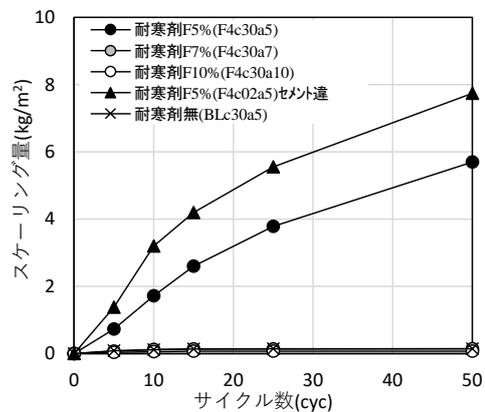
以上の結果から、耐寒剤を用いた場合も、コンクリートの細骨材率および空気量がスケーリング量に影響していると考えられる。しかし、細骨材率を変更した際にはAE剤の添加量が増加していることから、AE剤の添加量が関係していると考えられる。

図-3に空気量、水セメント比および養生方法がスケーリング量に及ぼす影響を検討した結果を示す。空気量の影響では、空気量3%の供試体Fa3が最も多いスケーリング量約2.0 kg/m²となり、空気量が5%ならびに7%では0.2 kg/m²以下となった。水セメント比の影響では、原因は現在不明であるがW/C=40%のFwc40a5がFwc45a5よりスケーリング量が多くなる結果となった。一方で、養生方法を2週水中+2週気中としたFa5Rで約5.0 kg/m²のスケーリング量となり、養生方法の影響があることを確認した。

図-4にAE剤添加量とスケーリング量の結果を示す。空気量の調整にはAE剤に加え、AE減水剤のAE成分と耐寒剤に含まれているAE減水剤のAE成分も作用しているが、それぞれのAE成分の量が計測出来ないため、AE剤添加量のみで傾向を確認した。「耐寒剤有」ではAE剤添加量が1 kg/m³を下回るとスケーリング量が増加する傾



(a) 耐寒剤種類の影響



(b) 空気量、セメントの影響

図-1 スケーリング試験結果 (ASTM規格養生: 2週水中+2週気中)

向が明らかとなった。一方で「耐寒剤無」ではAE剤添加量が同程度 (0.37、0.38 kg/m³) であるため、傾向は確認できないが、AE剤の添加量が同程度の「耐寒剤有」と比較してもスケーリング量は非常に少ない傾向を確認した。これは、耐寒剤とAE剤の組み合わせで確保される空気と、AE減水剤とAE剤の組み合わせで確保される空気との間に相違があることを示唆しており、この原因については今後の検討課題であるが、AE剤の添加量に影響されていることから、気泡や細孔に着目した調査を進め、スケーリング抑制対策を提案していきたい。

一方で、図-1~3の結果から養生方法が異なった場合においても空気量を多めに確保することでスケーリング量を大幅に減らすことが可能であり、図-4の結果からも目標空気量を3~5%とした場合にスケーリング量が0~10 kg/m²の範囲に分布しているのに対し、7%を目標とした場合はスケーリング量がほぼ0 kg/m²であるため耐寒剤を採用する場合は、強度発現を十分に考慮した上で空気量の設計値を高め、空気量の許容値の上限側で作製することでスケーリング抵抗性を確保できる。

4. まとめ

耐寒剤を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす要因について検討を行った。本研究で明らかになった結果を以下に示す。

1. 耐寒剤を用いたコンクリートでは、養生条件等により耐寒剤を用いないコンクリートよりスケーリング抵抗性が低い結果となる場合がある。
2. 耐寒剤を用いたコンクリートにおいても、AE剤を一定量以上混入することで耐寒剤を用いないコンクリートと同程度のスケーリング抵抗性を得ることができる。

AE剤の添加量が増すとスケーリング抵抗性の改善効果が見られることから、設計時の目標空気量を高め、設計における許容値の上限側で搬入するように生コン工場に依頼すると良い。スケーリング抵抗性については引き続き気泡に着目した調査を進めるとともに、スケーリングに対する暴露試験、各種室内試験の結果を踏まえ、効果的なスケーリング抑制対策を提案する予定である。

参考文献

- 1) 通年施工推進協議会：耐寒剤を用いる寒中コンクリート施工指針、1999。
- 2) 浜辺謙吉、植田実、河合延明、山宮浩信：7.耐寒用特殊混和剤ノンフリーズの特性について、エヌエムビー研究所報、No.9、1992。

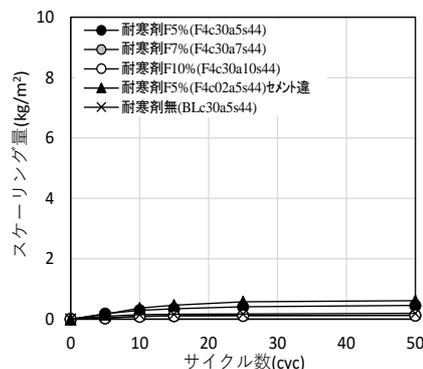


図-2 細骨材率(s/a)44%のスケーリング試験結果 (1週水中+3週気中)

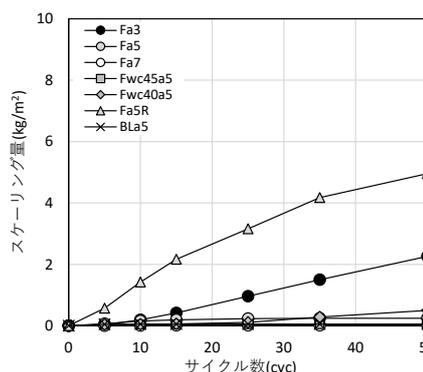


図-3 空気量、水セメント比および養生方法がスケーリング量に及ぼす影響

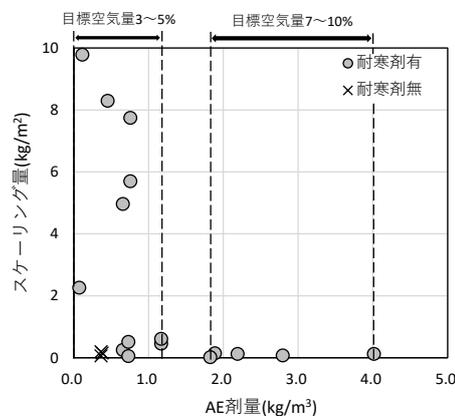


図-4 耐寒剤の有無によるAE剤量とスケーリング量の関係

- 3) 東北地方整備局：東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)、2017。
- 4) 東北地方整備局：東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)、2019。
- 5) 長谷川諒、島多昭典：耐寒剤を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性に関する研究－養生方法、耐寒剤種類、配合に関する検討－、寒地土木研究所月報 第825号、pp.33-36、2021.12