

軽量コンクリートの耐凍害性と凍結速度の関係について

Relationship between Freeze Rate and Freeze-thaw Resistance of Lightweight Concrete

北見工業大学大学院 ○学生員 佐藤裕也 (Yuhya Satoh)
太平洋セメント株式会社 正 員 児玉明彦 (Akihiko Kodama)
ドービー建設工業株式会社 正 員 竹本伸一 (Shinichi Takemoto)
北見工業大学 フェロー 鮎田耕一 (Koichi Ayuta)

1. はじめに

設計・施工技術の進歩に伴い構造物の巨大化、高層化が進み、コンクリート部材の軽量化が望まれ軽量コンクリートの開発が進められている。しかし、コンクリートの軽量化のために用いる軽量骨材は多孔質であるため吸水率が高く、骨材内部の水分が凍結時に膨張することによって骨材が破壊しやすいので、耐凍害性は一般のコンクリートに比べ低いとされている¹⁾²⁾。そこで近年、真珠岩を原料とし従来品より低吸水分かつ高強度な軽量骨材³⁾が開発され、その骨材を用いた軽量コンクリートの耐凍害性改善が期待されている⁴⁾。筆者らはこの軽量骨材(絶乾密度 0.85、1.24g/cm³)を用いた軽量コンクリートの耐凍害性について検討してきているが、寒冷地での暴露実験の結果で一年経過(2000年11月から2001年11月まで)の範囲では劣化は認められなかった。しかし、低密度(絶乾密度 0.85g/cm³)の軽量骨材を用いた場合、水中における急速凍結融解試験の結果では耐凍害性が低かった⁵⁾。この差が生じた原因としてはさまざま考えられるが、要因の1つとして凍結速度が考えられる。

そこで本研究では、1日6サイクルと実環境に近い1日1サイクル、またその間の1日3サイクルで水中における急速凍結融解試験を行い、比較検討を試みた。

2. 実験内容

2.1 使用材料及び配合

表1に使用材料を示す。粗骨材として造粒型軽量骨材(絶乾密度 0.85、1.24g/cm³の2種類、以後 ASL1、ASL2

と表記)を絶乾状態で用いた。表2にコンクリートの配合を示す。AE助剤は空気量が5.5±1.5%になるように、また、高性能AE減水剤はスランプが8.0±2.0cmとなるように添加量を設定した。

2.2 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、容量55リットルの強制パン型ミキサを用いて行った。練混ぜ方法は、セメント、細骨材及び粗骨材を投入し、15秒間空練りし、ミキサを一時停止、水ならびにAE助剤と高性能AE減水剤を投入して45秒間練り混ぜ、再びミキサを停止し掻き落としを行った後、60秒間(計120秒間)練り混ぜた。

2.3 試験方法

(1) 空気量

JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)」とJIS A 1116「まだ固まらないコンクリートの単位容積重量試験方法及び空気量の重量による試験方法(重量方法)」に準拠して、空気量を測定した。2つの方法で測定したのは、フレッシュコンクリートに圧力をかける空気室圧力方法では、吸水率が高い軽量骨材が吸水し、正確な空気量を測定できないおそれがあると考えたためである。

(2) 凍結融解試験

10×10×40cmの供試体を用い、試験開始材齢14日まで20℃水中養生を行った後、凍結融解試験を行い、耐凍害性を評価した。供試体は1条件につき3個である。凍結融解試験はゴム製の供試体容器に供試体を入れ常時浸水させた状態で行った。

表1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm ³ 、比表面積: 3290cm ² /g)		
細骨材(S)	陸砂(表乾密度: 2.60g/cm ³ 、吸水率: 1.86%、粗粒率: 2.82)		
粗骨材(G)	ASL1	造粒型軽量骨材(最大寸法: 15mm、絶乾密度: 0.85g/cm ³ 、24時間吸水率: 2.7%)	
	ASL2	造粒型軽量骨材(最大寸法: 15mm、絶乾密度: 1.24g/cm ³ 、24時間吸水率: 1.9%)	
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸	
	AE助剤	変性アルキルカルボン酸化合物	

表2 配合

配合名	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)			G			高性能AE減水剤(C×%)	AE助剤(C×%)
			W	C	S	単位量(L/m ³)	絶乾密度(g/cm ³)	軽量骨材の含水状態		
ASL1	40	46.8	160	400	807	350	0.85	絶乾	0.85	0.20
ASL2							1.24			

凍結融解1サイクルに要する時間は、4時間(1日6サイクル、凍結速度9.78℃/h)、8時間(1日3サイクル、凍結速度4.67℃/h)、24時間(1日1サイクル、凍結速度1.64℃/h)の3条件とした。いずれも供試体中心の最高温度は+5±2℃、最低温度は-18±2℃に設定した。ここで示した凍結速度は、供試体中心温度が最高温度から最低温度になるまでの時間あたりの平均温度変化量である。図1から図3に各条件の供試体中心温度の変化を示す。

測定は、水中養生終了後の試験開始前及び凍結融解36サイクルを超えない間隔で行い、相対動弾性係数、質量及び長さを測定し耐凍害性を評価した。

(3)圧縮強度

供試体の作製は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準拠した。

圧縮強度は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、円柱供試体を用い、試験材齢まで20℃

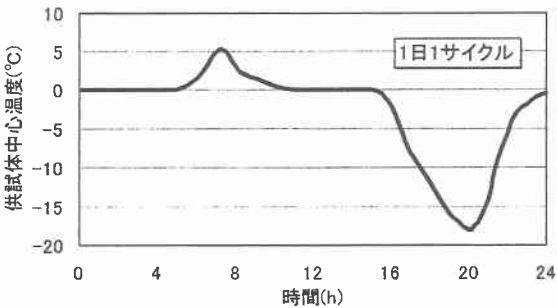


図1 1日1サイクルの供試体中心温度

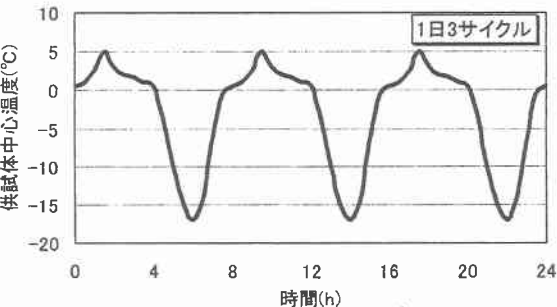


図2 1日3サイクルの供試体中心温度

水中養生を行い、材齢14、28日に試験した。

3.実験結果及び考察

表3にフレッシュコンクリートの性状、耐凍害性及び圧縮強度を示す。表中、種別の欄でASL1、ASL2の後に、凍結融解1日1サイクルの場合は-1、1日3サイクルの場合は-3、1日6サイクルの場合は-6と記している。

空気量は空気室圧力方法と重量方法における2つの測定方法の結果に差はなかった。

凍結融解300サイクルまでの長さ増加比、相対動弾性係数、質量減少率を図4から図6に示す。

ASL1(絶乾密度0.85g/cm³)を用いた場合、1日6サイクルの凍結融解作用を受けると、長さが大幅に増加し、相対動弾性係数が大きく低下し、耐久性指数は27であった。また、ポップアウトが多く発生した結果、質量減少率も大きい。1日1サイクルや1日3サイクルの場合は、長さ増加比や相対動弾性係数の結果からは大きな劣化は認められず、耐久性指数も70以上あった。しかし、ポップアウトは1日1サイクルの場合に多く発生し、表層部分のコンクリート片が剥落したため質量が減少している。一方、1日3サイクルの場合は、ポップアウトはあまり発生しなかった。

ASL2(絶乾密度1.24g/cm³)を用いた場合、1日のサイクル数に関わらず長さの増加や相対動弾性係数の低下はなく、耐久性指数は100前後で劣化はほとんど見られず、ポップアウトもほとんど発生していない。これは、ASL2(絶乾密度1.24g/cm³)の密度が高く高強度で、かつ吸水率も低いためであると考えられる。

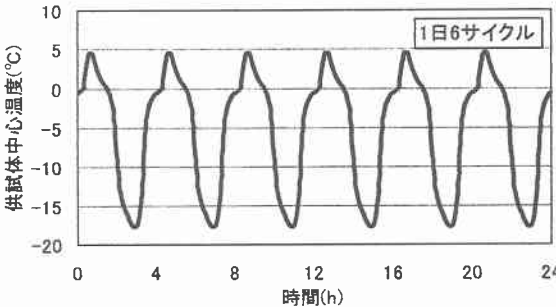


図3 1日6サイクルの供試体中心温度

表3 実験結果

種 別	凍結速度 (℃/h)	スラブ° (cm)	単位容積重量 (t/m³)	空気量 (%)		耐凍害性*1			圧縮強度 (N/mm²)	
				圧力 方法	重量 方法	質量 減少率 (%)	長さ 増加比 (×10⁻³)	耐久性 指数	14 日	28 日
ASL1-1	1.64	8.5	1.65	6.1	6.3	19.05	0.57	73	35.9	39.5
ASL1-3	4.67					2.56	0.40	82		
ASL1-6	9.78					12.04	1.84	27		
ASL2-1	1.64	8.5	1.79	6.0	6.4	-0.05	0.23	102	35.5	44.2
ASL2-3	4.67					-0.25	-0.02	100		
ASL2-6	9.78					0.79	0.09	97		

*1 凍結融解300サイクル終了時の結果

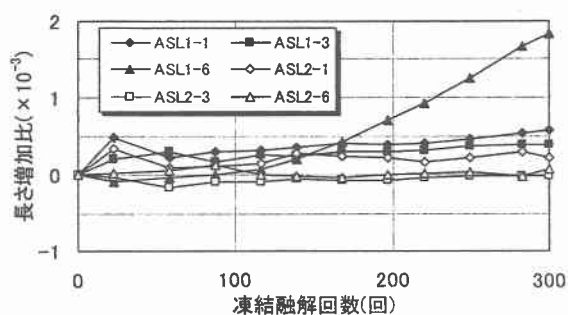


図4 凍結融解回数と長さ増加比

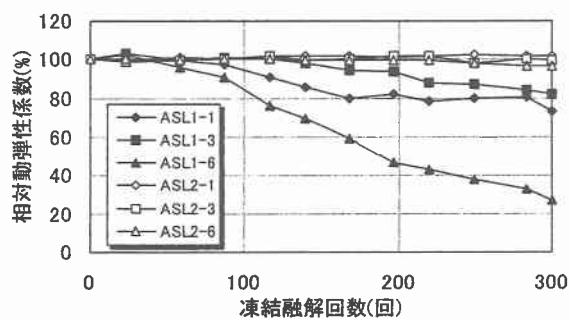


図5 凍結融解回数と相対動弾性係数

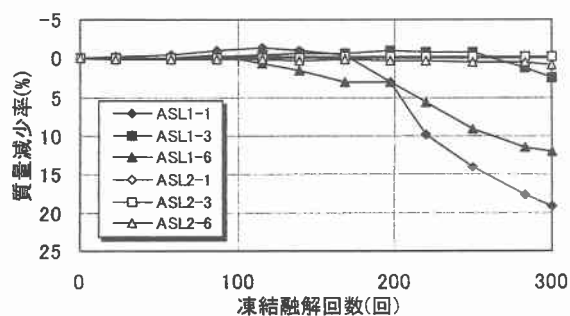


図6 凍結融解回数と質量減少率

以上の結果から次のことがいえる。

- (1) ASL2(絶乾密度 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$)を用いた軽量コンクリートは、凍結速度に関わらず耐凍害性は良好である。
- (2) ASL1(絶乾密度 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$)を用いた軽量コンクリートの耐凍害性は凍結速度が速い場合には劣化する傾向にある。

図7はASL1(絶乾密度 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$)を用いたコンクリートの凍結速度と凍結融解300サイクル終了時の長さ増加比、図8は同じく相対動弾性係数、図9は同じく質量減少率を示したものである。凍結融解作用に伴うコンクリート内部の劣化性状を主として示す指標である長さ増加比や相対動弾性係数の結果では、凍結速度が $10^\circ\text{C}/\text{h}$ 近くになると顕著な劣化を示しているが、凍結速度 $5^\circ\text{C}/\text{h}$ までの範囲ではあまり差がなく劣化を示していない。また、図9によれば主としてポップアウトに起因する質量減少率は、凍結速度との相関が見られない。

ASL1(絶乾密度 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$)を用いたコンクリートの図10は長さ増加比、図11は相対動弾性係数、図12は質量減少率を凍結融解試験日数との関係で示したものであり、図中の白抜きの点は凍結融解300サイクル時の値である。図10から図12を通じて明らかなことは、3つの指標とも凍結速度が速いほど早く劣化が始まり、かつ進行して

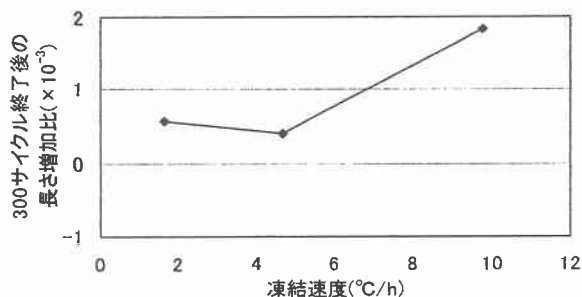


図7 凍結速度と300サイクル終了時の長さ増加比

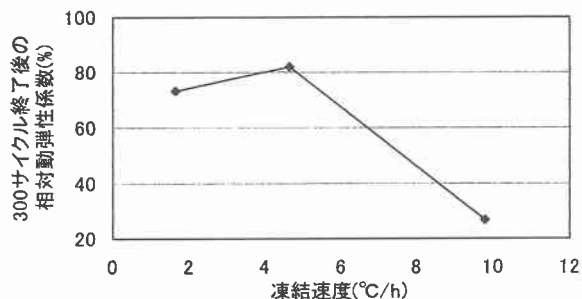


図8 凍結速度と300サイクル終了時の相対動弾性係数

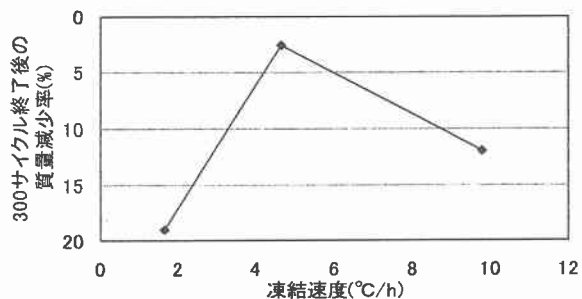


図9 凍結速度と300サイクル終了時の質量減少率

いることである。

図13にASL1(絶乾密度 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$)を用いたコンクリートの凍結速度と相対動弾性係数が80%まで低下したときの試験日数の関係を示す。凍結融解300サイクル終了時の結果をまとめた図8よりも凍結速度が相対動弾性係数の低下に及ぼす影響は顕著に現れている。

図14にASL1(絶乾密度 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$)を用いたコンクリートの凍結速度とポップアウトが発生した試験日数との関係を示す。ここでポップアウトが発生した試験日数とは図12で質量の減少が生じ始めたときの日数である。凍結融解300サイクル終了時の結果をまとめた図9とは異なり、凍結速度が速いほどポップアウトが発生しやすいことを示している。図12から明らかなように、ポップアウトはある一定の日数を経た後発生し、発生するときの日数は凍結速度が速いほど短く、また、一たんポップアウトが発生すると連続して発生している。ポップアウトという劣化形態が卓越しやすい軽量コンクリートの耐凍害性を適切に評価するための凍結融解試験方法を確立するためには、凍結融解日数などこれらの複合する要因を考慮しなければならないこと示している。

4. 結論

2種類の軽量骨材(絶乾密度 0.85 、 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$)を用いたコンクリートで1日1サイクル(凍結速度 $1.64^\circ\text{C}/\text{h}$)、1

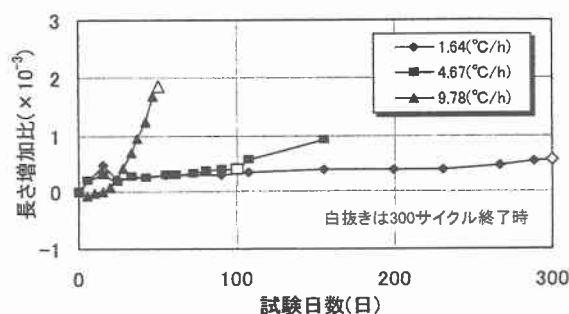


図 10 試験日数と長さ増加比 (ASL1)

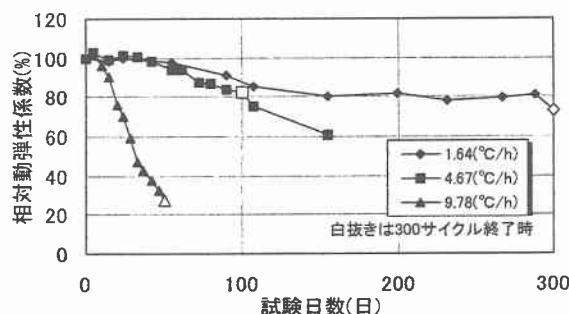


図 11 試験日数と相対動弾性係数 (ASL1)

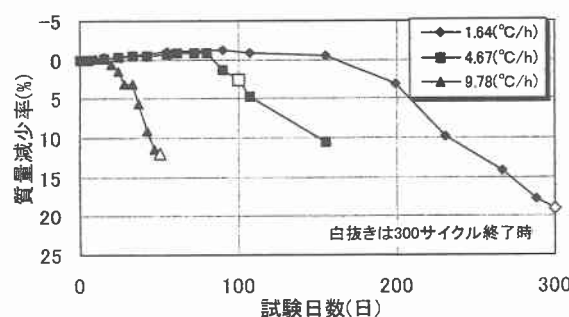


図 12 試験日数と質量減少率 (ASL1)

日 3 サイクル(凍結速度 4.67°C/h)、1 日 6 サイクル(凍結速度 9.78°C/h) の水中における凍結融解試験を行って、耐凍害性と凍結速度の関係について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) ASL2(絶乾密度 1.24g/cm³)を用いた軽量コンクリートは、凍結速度に関わらず耐凍害性は良好である。
- 2) ASL1(絶乾密度 0.85g/cm³)を用いた軽量コンクリートの耐凍害性は凍結速度が 10°C/h 程度するときには劣化が早い時期から始まりポップアウトも発生しやすいが、凍結速度が 5°C/h 程度以下だと劣化の進行が抑制される。

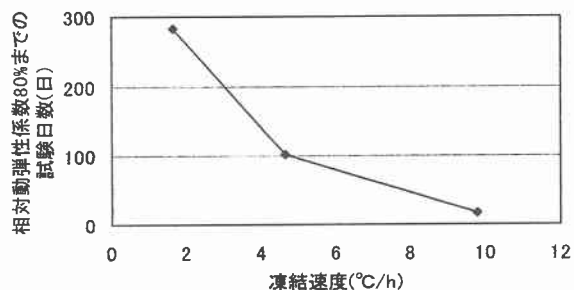


図 13 凍結速度と相対動弾性係数 80%までの試験日数

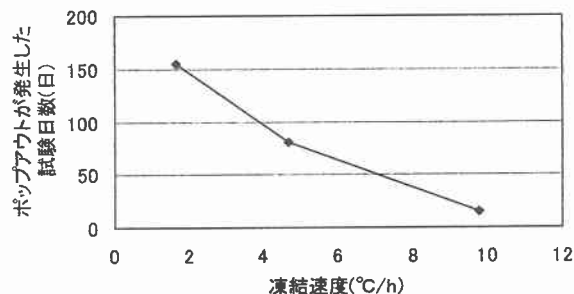


図 14 凍結速度とポップアウトが発生した試験日数

参考文献

- 1) 人工軽量骨材 (ALA) 協会編：ALA および ALA Con (構造用人工軽量骨材および構造用人工軽量骨材コンクリート)、p. 12、1980
- 2) 人工軽量骨材協会：人工軽量骨材コンクリート技術資料 No. 12、pp. 71-72、1997
- 3) 岡本享久、早野博幸、柴田辰正：超軽量コンクリート、コンクリート工学、Vol. 36、No. 1、pp. 48-52、1998
- 4) 森寛晃、岡本享久、柴田辰正、石川雄康：超軽量骨材を用いたコンクリートの耐凍害性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 20、No. 2、pp. 61-66、1998
- 5) 佐藤裕也、児玉明彦、竹本伸一、鮎田耕一：凍結融解前の乾燥が軽量コンクリートの耐凍害性に及ぼす影響について、寒地技術論文・報告集、Vol. 17、pp. 34-38、2001