

凍結融解作用を受ける軽量コンクリートの表層部の劣化評価

Evaluation of Surface Deterioration of Concrete Using Artificial Lightweight Aggregate Under Freezing and Thawing Conditions

北見工業大学工学部土木開発工学科 ○学生員 佐藤裕也 (Yuhya Satoh)
太平洋セメント株式会社 正 員 森寛晃 (Hiroaki Mori)
太平洋セメント株式会社 児玉明彦 (Akihiko Kodama)
ドーピー建設工業株式会社 正 員 竹本伸一 (Shinichi Takemoto)
ドーピー建設工業株式会社 正 員 松井敏二 (Toshiji Matsui)
北見工業大学工学部土木開発工学科 フェロー 鮎田耕一 (Koichi Ayuta)

1. はじめに

近年の技術の進歩に伴って巨大化、高層化、多様化する構造物に対応するために軽量コンクリートの開発が行われている。軽量コンクリートには、コンクリート構造物のスリム化や耐震性、経済性の向上などが期待されているが、使用される軽量骨材の吸水率が高いため¹⁾、普通コンクリートに比べ一般に耐凍害性は低い²⁾とされている。

そこで本研究では、従来の人工軽量骨材に比べて吸水率の低い軽量粗骨材を用いたコンクリートの凍結融解試験と寒冷環境下での暴露試験からその耐凍害性を検証した。特に、コンクリートの表層部は内部よりも気象作用の影響を大きく受け凍害を受け易いため、表層部と内部の損傷程度の相違を調べた。

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。軽量粗骨材は、①絶乾状態のものと②絶乾状態の骨材を煮沸水中で2時間吸水させた後、表乾状態にしたものの2種類を用いた。表2にコンクリートの配合を示す。AE助剤の添加量は空気量が $5.5 \pm 1.5\%$ 、消泡剤の添加量は空気量が 2.0% 以下になるように、また、高性能AE減水剤はスランプが $8.5 \pm 2.5\text{cm}$ となるように設定した。なお、単位水量と単位粗骨材量は一定とした。

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、水ならびに高性能AE減水剤とAE助剤または消泡剤を投入して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。

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: $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積: $3350\text{cm}^2/\text{g}$)	
細骨材(S)	陸砂(表乾密度: $2.60\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率: 1.86% 、粗粒率: 2.82)	
粗骨材(G)	造粒型軽量骨材(最大寸法: 15mm 、絶乾密度: $1.19\text{g}/\text{cm}^3$ 、24時間吸水率 ^{※1} : 1.9% 、2時間煮沸吸水率 ^{※2} : 4.5% 、粗粒率: 6.48)	
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
	AE助剤	変性アルキルカルボン酸化合物
	消泡剤	ポリエーテル系

※1 24時間吸水率: 絶乾状態の骨材を静水中で24時間吸水させた後、表乾状態にしたときの含水率

※2 2時間煮沸吸水率: 絶乾状態の骨材を煮沸水中で2時間煮沸吸水させた後、表乾状態にしたときの含水率

表2 配合

配合名	粗骨材の含水状態	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)			単位量 (L/m^3)	混和剤 (C×%)		
				水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)		粗骨材 (G)	高性能AE減水剤	AE助剤
ASL-0.4	絶乾	40	46.8	160	400	801	350		0.40	0.20
ASL-Air 少	絶乾		49.6			894			0.80	—
ASL-S0.4	表乾		46.8			801			0.45	0.20
ASL-0.5	絶乾	50	48.8		320	868			0.30	0.20

表3 月最高気温、月最低気温及び凍結融解回数

	1999 年			2000 年					合計
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	
月最高気温(℃)	21.7	16.1	5.8	3.6	3.4	12.0	16.2	27.2	—
月最低気温(℃)	-3.4	-9.6	-20.1	-25.7	-22.0	-18.0	-9.0	-2.4	—
凍結融解回数	7	25	13	7	1	23	23	2	101

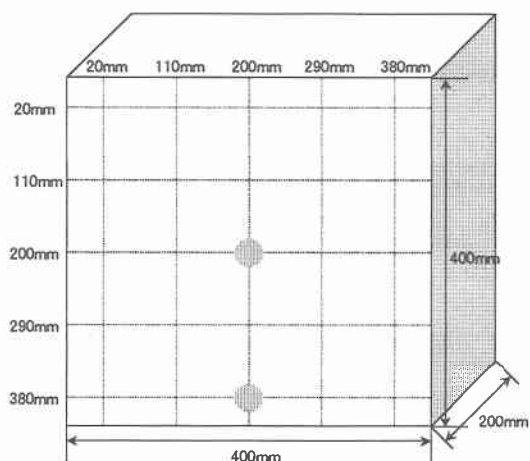


図1 超音波伝播速度の測定箇所

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) 凍結融解試験

40×40×20cm の供試体を用い、試験開始材齢 28 日まで 20℃水中養生をした後、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 1 個である。凍結融解試験は試験室内の水槽に供試体を入れ常時浸水させた状態で行った。凍結融解 1 サイクルに要する時間は、凍結・融解行程それぞれ 12 時間の 24 時間とした。試験室の最高・最低温度は+20±2℃、-20±2℃に設定した。その結果、供試体中心部の最高・最低温度は+3±2℃、-14±2℃となった。

(3) 超音波伝播速度

コンクリート内部と表層部の劣化程度の相違を調べるため、透過法で内部、表面法で表層部の超音波伝播速度を測定した。

(a) 透過法

図1に示す供試体中心部(200-200mm)で測定した。

(b) 表面法

図1に示す供試体中心部(200-200mm)とその下部(200-380mm)で測定した。

(4) 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、φ10×20cm の円柱供試体を用い、試験材齢まで 20℃水中養生を行い、材齢 28 日に試験した。

(5) 暴露試験

冬季間寒冷環境下にある北見工業大学土木開発工学科棟屋上に直接静置し、1999 年 10 月から暴露を開始した。供試体は凍結融解試験に用いたものと同時に作製し、暴露開始時まで 20℃水中養生し、材齢 28 日から暴露した。供試体は 1 条件につき 1 個作製した。暴露期間中は供試体の除雪は行っていない。1999 年 10 月から 2000 年 5 月までの月最高気温と月最低気温及び日最高気温と日最低気温から凍結融解温度を 0℃として求めた推定凍結融解回数を表3に示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状と圧縮強度

表4にスランプ、単位容積質量、空気量及び材齢 28 日の圧縮強度を示す。

3.2 凍結融解試験

表5に凍結融解試験結果を示す。

(1) 超音波伝播速度(透過法)

図2から図5に凍結融解回数と透過法で測定した超音波伝播速度の関係を示す。凍結融解 300 サイクル終了時の超音波伝播速度はいずれも 4×10^3 (m/s) 程度であり、空気量(図2と図3)、軽量骨材の含水状態(図2と図4)、水セメント比(図2と図5)の違いによる劣化の差はみられなかった。

凍結融解試験開始時に比べ凍結融解 300 サイクル終了時点の超音波伝播速度(C/A)は表7に示すように、0.9 倍から 1.1 倍でありほとんど変化しておらず、軽量コンクリートの内部に劣化は生じていないといえる。

(2) 超音波伝播速度(表面法)

図6から図9に凍結融解回数と表面法で測定した超音波伝播速度の関係を示す。凍結融解 300 サイクル終了時の超

表4 フレッシュ性状と圧縮強度

供試体名	スランプ (cm)	単位容積質量 (t/m ³)	空気量(%)		圧縮強度 (N/mm ²)
			圧力方法	重量方法	
ASL-0.4	7.5	1.77	5.0	6.1	35.3
ASL-Air 少	8.5	1.89	1.3	1.4	47.5
ASL-S0.4	7.0	1.78	5.6	6.3	37.7
ASL-0.5	6.5	1.77	5.1	5.4	30.7

音波伝播速度はいずれも 4×10^3 (m/s) 程度であり、空気量 (図 6 と図 7)、軽量骨材の含水状態 (図 6 と図 8)、水セメント比 (図 6 と図 9) の違いによる劣化の差はみられなかった。

凍結融解試験開始時に比べ凍結融解 300 サイクル終了時点の超音波伝播速度 (F/D) は表 7 に示すように、0.8 倍から 1.0 倍であり、空気量の少ない場合 (ASL-Air 少) や水セメント比が大きい場合 (ASL-0.5) に若干低下しており、供試体表面にスケーリングが生じた。しかし、粗骨材が露出しない程度の軽度なものであり、ポップアウトやひび割

れは生じていなかった。

3.3 暴露試験

表 6 に暴露試験結果を示す。

暴露一冬間に供試体を受けた凍結融解回数は表 3 に示したように約 100 回である。暴露開始時に比べ一冬経過後の透過法による超音波伝播速度 (H/G) は、表 7 に示すように 0.8 倍から 1.0 倍であり、どの配合の場合もほとんど変化していない。このことからコンクリートの内部に劣化はほとんど生じていないといえる。また、暴露開始時に比べ暴露一冬経過後の表面法による超音波伝播速度 (J/I) は表

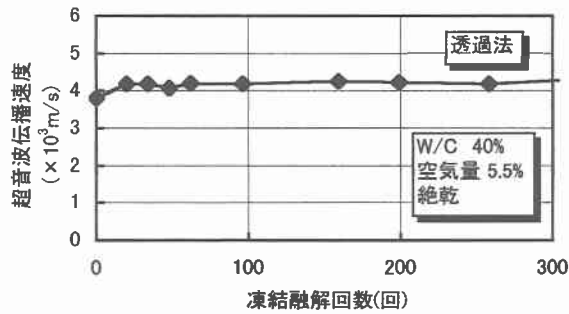


図2 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-0.4)

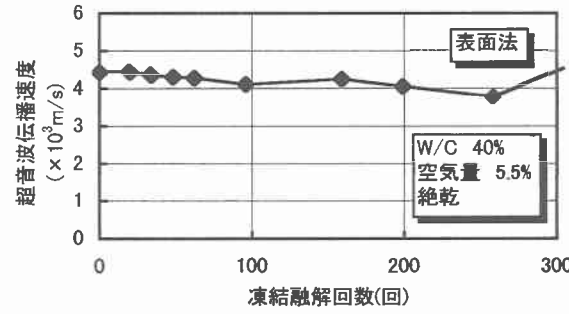


図6 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-0.4)

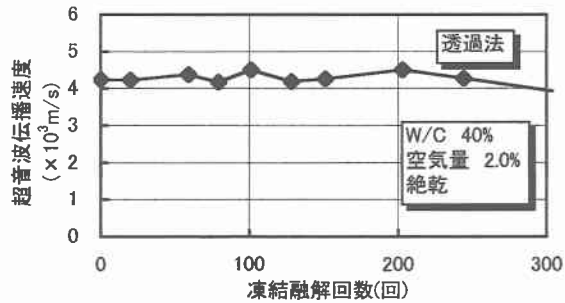


図3 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-Air 少)

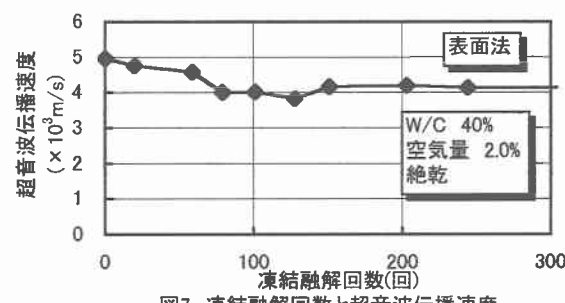


図7 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-Air 少)

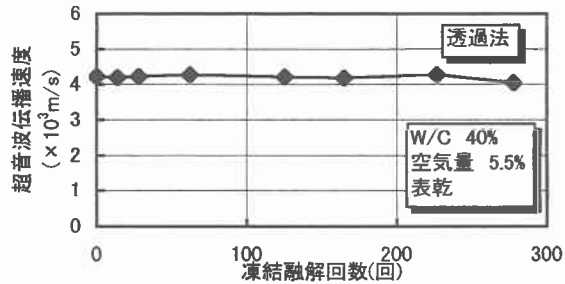


図4 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-S0.4)

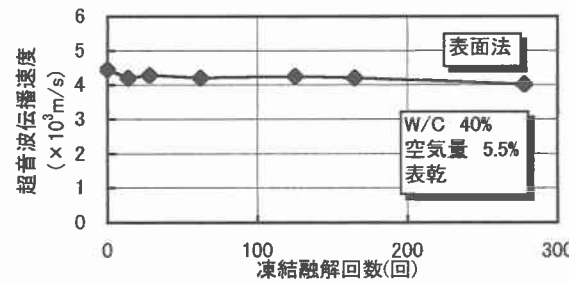


図8 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-S0.4)

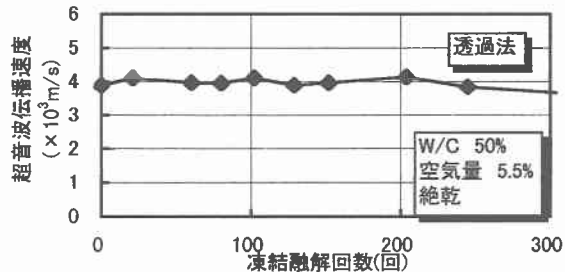


図5 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-0.5)

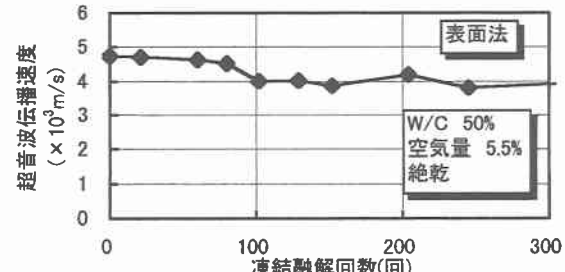


図9 凍結融解回数と超音波伝播速度 (ASL-0.5)

表 5 凍結融解試験結果

供試体名	超音波伝播速度 (m/s) (透過法)			超音波伝播速度 (m/s) (表面法)		
	試験開始時 (A)	約 100 サイクル 終了後 (B)	300 サイクル 終了後 (C)	試験開始時 (D)	約 100 サイクル 終了後 (E)	300 サイクル 終了後 (F)
ASL-0.4	3814	4184	4283	4433	4109	4615
ASL-Air 少	4255	4505	3937	4972	4027	4157
ASL-S0.4	4228	4219	4057*3	4455	4245	4018
ASL-0.5	4057	4115	3650	4737	4018	3939

*3 凍結融解 278 サイクル終了時の数値(実験継続中)

表 6 暴露試験結果

供試体名	超音波伝播速度 (m/s) (透過法)		超音波伝播速度 (m/s) (表面法)	
	暴露開始時 (G) (材齢 28 日)	一冬経過後 (H) (材齢 257 日)	暴露開始時 (I) (材齢 28 日)	一冬経過後 (J) (材齢 257 日)
ASL-0.4	4065	3937	4800	4296
ASL-Air 少	4175	4057	5217	3659
ASL-S0.4	4167	3448	4688	3543
ASL-0.5	3953	3868	4545	3622

表 7 超音波伝播速度の比較

供試体名	透過法			表面法		
	(C)/(A)	(H)/(G)	(H)/(B)	(F)/(D)	(J)/(I)	(J)/(E)
ASL-0.4	1.12	0.97	0.94	1.04	0.90	1.05
ASL-Air 少	0.92	0.97	0.90	0.84	0.70	0.91
ASL-S0.4	0.96	0.83	0.82	0.90	0.76	0.83
ASL-0.5	0.90	0.98	0.94	0.83	0.80	0.90

7に示すように、0.7倍から0.9倍に低下しているものの、供試体表面にスケーリング、ポップアウト、ひび割れは生じていなかった。したがって、超音波伝播速度の低下は暴露による供試体の乾燥などが影響したものと考えられる。

3.4 凍結融解試験と暴露試験の比較

表7に示すように凍結融解試験100サイクル前後の超音波伝播速度に対する凍結融解の繰返しを100回程度受けたと推定される暴露一冬経過後の超音波伝播速度の比は、透過法(H/B)で0.8倍から0.9倍、表面法(J/E)で0.8倍から1.0倍であった。暴露試験後の超音波伝播速度が凍結融解試験のそれより低いのは、凍結融解回数以外に最低温度や凍結持続時間、乾燥などの影響が複雑に作用したためであろう。

4. 結論

軽量コンクリートを用いて凍結融解試験、暴露試験を行った本実験の範囲で、空気量、軽量骨材の含水状態、水セメント比の違いにかかわらずコンクリートの内部に劣化は生じなかった。また、凍結融解試験の結果、空気量の少ない配合や水セメント比が大きい配合の供試体に軽いスケーリングが発生していたが、一冬間の暴露試験の結果では、スケーリングは発生していない。今後も暴露試験を続け、劣化状況を調査検討していく計画である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、北見工業大学土木開発工学科の猪狩平三郎技官に多大な協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

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