

[18] 高強度人工軽量コンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究

正会員○岩清水隆 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 嵩 英雄 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 吉岡保彦 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 今井豊和 (竹中工務店技術研究所)

1. まえがき

近年、極寒地におけるコンクリート製人工島を対象として、高強度、軽量かつ凍結融解抵抗性に優れたコンクリートが要求されている。しかし一般的に軽量コンクリートは、プレウェッチング時および練りませ時における軽量骨材の吸水により、普通コンクリートに比べ凍結融解抵抗性は大きく劣ると言われている。

コンクリートの凍結融解抵抗性に影響を与える要因として、空気量、水セメント比、骨材及びコンクリート中の水量、養生条件、骨材の種類等が挙げられている。また、過去の文献¹⁾により単位容積重量 1,800 kg/m³前後の1種軽量コンクリートにおいては、骨材の含水率等を調整することにより比較的優れた凍結融解抵抗性を示すことが指摘されているが、本研究においては、コンクリート製人工島の総重量をより小さくするという観点から1種軽量コンクリートの他に単位容積重量 1,600 kg/m³前後の2種軽量コンクリートをも含めて、骨材の種類、水セメント比、養生方法等を変化させて、ASTM C666A法により実験を行い、高強度人工軽量コンクリートの凍結融解抵抗性に関する検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.2 使用材料及び実験条件

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材は膨張性頁岩を主成分とする人工軽量骨材A及びBの2種類、細骨材としては人工軽量細骨材A、B及び大井川産川砂(表乾比重2.60、粗粒率2.80)を使用した。人工軽量骨材の物理的性質を表1に示す。

コンクリートには粗骨材として上記の2種の人工軽量粗骨材を用い、細骨材は人工軽量細骨材、川砂、または人工軽量細骨材と川砂とを体積比で1対1の割合で混合したもの3種類、水セメント比は、27.5、30、33%の3種類とした。また、混和剤としてすべてのコンクリートにおいてAE剤、高性能減水剤を用い空気量6%を目標とした。流動化させるものについては流動化剤により所定のスランプとした。人工軽量骨材は練りませ中の吸水を考慮し、2~4%

表1 使用した人工軽量骨材の性質

種類	項目	粒型	最大寸法 (mm)	乾乾比重	24h吸水率 (%)	粗粒率
A骨材	粗骨材	造粒型	15	1.24	6.4	6.38
	細骨材	非造粒型	2.5	1.61	7.2	2.63
B骨材	粗骨材	非造粒型	15	1.28	6.6	6.49
	細骨材	非造粒型	5	1.65	14.0	2.68

表2 実験条件

No	記号	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	蒸気養生の有無	骨材の種類		軽量骨材の含水状態	混和材料		
						粗骨材	細骨材				
1	AS27-L	27.5	33.0	8 cm ↓ 12 cm	—	鮮量	鮮量	4%	—		
2	AS27-LR						軽量+川砂				
3	AS30-L						鮮量				
4	AS30-LR						軽量+川砂				
5	AS30-R						川砂				
6	AS30-LS						—				
7	AP27-L	27.5	33.0	8 cm	蒸気養生	鮮量	鮮量	—			
8	AP30-L	30.0	35.0								
9	AP33-L	33.0	37.0								
10	BS30-R	30.0	31.0	12 cm ↓ 21 cm	—	鮮量	川砂	2%	シリカフェーム		
11	BS30-RS						軽量+川砂	3%	—		
12	BS30-LR						川砂	2%			
13	BS30-R			川砂	2%						
14	BP30-R			軽量+川砂	—						
15	BP30-LR			川砂	2%						
16	BDS30-R			川砂	2%						
17	BDS30-L			12 cm ↓ 21 cm	—		蒸気養生	鮮量	鮮量	4%	シリカフェーム
18	BS30-L								—		
19	BS30-LS	—									

※ N₁~N₉は人工軽量骨材A, N₁₀~N₁₉は人工軽量骨材Bを使用

のプレウェッチングを行なうことを基本とした。また一部のコンクリートに対して混和材としてシリカフェーム（比重2.02，ブレン57,000 cm^3/g ）をセメントに対して10%の割合で置換した。

以上の実験条件に蒸気養生の有無を加え、コンクリートは表2に示すような19種類とした。

2.2 供試体及び実験方法

供試体は10×10×40 cm とし、コンクリート打設後脱型まで20℃の湿空養生室に放置し、脱型後20±2℃で試験材令14日まで気中養生（60%RH）及び水中養生を行った。蒸気養生を行う供試体については、打設後前置時間を3時間とし、2時間で60℃まで昇温し、材令15時まで加熱を

続け、その後自然冷却させて材冷24時間で脱型するという手順で蒸気養生を行った後試験材令まで他の供試体と同様の養生を行った。

試験はASTM C666A法に基づく急速水中凍結融解試験を行った。凍結融解サイクルは1日6サイクルとし、コンクリートの凍結融解抵抗性は共振装置を用いたたわみ振動方法により測定、算出される相対動弾性係数及び耐久性指数により評価を行った。

3. 実験結果

実験より得られたコンクリートの性質及び耐久性指数を表3に、また相対動弾性係数の経時変化を図1に示す。表3及び図1を見ると、B骨材を用い水中養生を行ったNa15,17,18の供試体以外は、粗骨材，細骨材共に軽量骨材を用いたものにおいても耐久性指数80(%)以上を示しており、優れた凍結融解抵抗性を有していると言える。次に凍結融解抵抗性及び各要因の影響について検討を行った。

3.1 試験開始前の養生の違いによる影響

図2-a)に同一調合のコンクリートに対して気中養生したものと水中養生したものの耐久性指数の違いを示した。全体的に気中養生を行った供試体の方が大きな耐久性指数を示している。しかし図1より40サイクル以降の相対動弾性係数には養生の影響がみられない。前養生として気中養生をしたものは水中養生したものに比べ乾燥により重量及び動弾性係数が試験開始前に小さくなっており、凍結融解試験中の吸水により動弾性係数が増加することが別の測定で認められ、このことがこれらの現象の主な原因であると考えられる。

3.2 蒸気養生の影響

図2-b)に同一調合のコンクリートで蒸気養生を行ったものと常温養生を行ったものの耐久性指数を比較したものを示した。ほとんどの供試体において差はみられず、上記のような蒸気養生を行えば蒸気養生の影響はうけないと考えてよい。1供試体が蒸気養生により大きな凍結融解抵抗性の低下を示したが、これは供試体の製作方法に何らかの欠陥があったものと考えられる。

3.3 細骨材の種類の影響

表3 コンクリートの性質及び実験結果

No.	記号	スランブ (cm)	空気量* (%)	単位容積重量 (kg/m^3)	4週圧縮強度(kg/cm^2)		耐久性指数(%)	
					水中養生	気中養生	水中養生	気中養生
1	AS27-L	9.5	7.8	1565	548	546	91.9	108.3
2	AS27-LR	10.5	7.0	1647	538	575	95.7	108.7
3	AS30-L	10.5	9.0	1543	435	469	94.6	107.2
4	AS30-LR	11.0	7.8	1636	494	551	96.5	107.9
5	AS30-R	12.5	6.8	1764	525	562	99.1	-
6	AS30-LS	8.0	9.0	1517	538	517	94.1	110.0
7	AP27-L	9.0	7.1	1579	(463)	539	94.3	103.8
8	AP30-L	9.5	8.2	1536	529	503	93.6	104.5
9	AP33-L	11.5	8.4	1502	336	(300)	80.3	100.2
10	BS30-R	22.0	6.8	1698	470	538	100.5	112.4
11	BS30-RS	22.0	4.3	1763	602	617	100.3	97.4
12	BS30-LR	23.5	5.9	1634	384	421	92.5	109.7
13	BS30-R	12.0	5.8	1700	495	558	100.4	111.0
14	BP30-R	11.0	5.7	1698	494	553	99.5	99.1
15	BP30-LR	15.7	5.7	1614	548	524	43.4	102.4
16	BDS30-R	23.0	6.1	1709	476	-	99.2	-
17	BDS30-L	23.0	5.3	1552	465	-	57.4	-
18	BS30-L	23.5	5.4	1571	387	-	57.7	-
19	BS30-LS	20.5	6.0	1534	580	-	84.6	-

・ () は2週圧縮強度を示す。

・ * 空気量は圧力法による値を骨材修正係数により補正を行った。

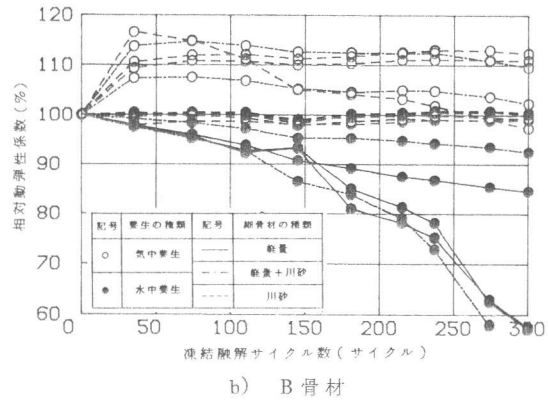
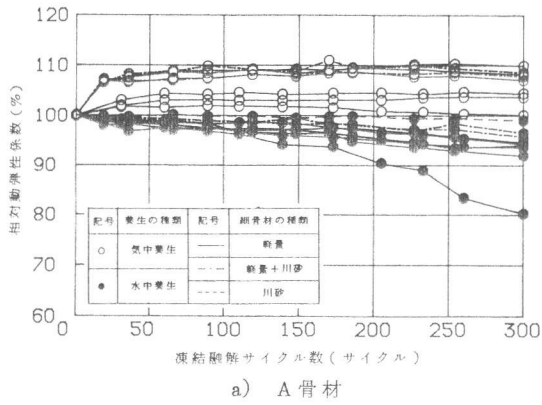


図1 相対動弾性係数の経時変化

図2-c)において細骨材の種類の影響をみると、軽量細骨材の比率が大きくなるほど凍結融解抵抗性は低下する傾向が明らかにみられる。特に吸水率の高いB骨材を用いたコンクリートにおいて耐久性指数の低下が著しい。

3.4 シリカフェーム混入の影響

図2-d)においてシリカフェーム混入の影響をみると、一例を除いて耐久性指数に大きな差はみられない。本実験のように水セメント比の低いコンクリートにおいては、シリカフェームは凍結融解抵抗性に直接影響を与えないものと思われる。

3.5 その他の要因の影響

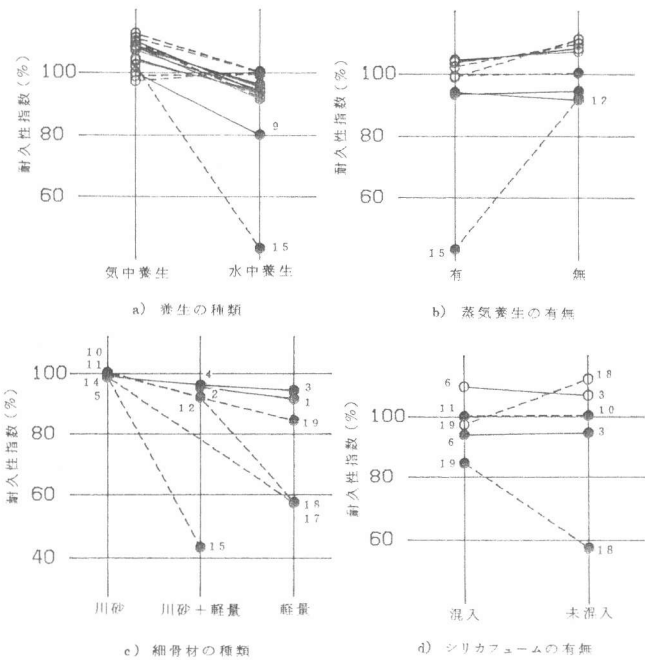
以上の要因に他にコンクリートの凍結融解抵抗性に影響を与える要因として、水セメント比、圧縮強度、流動他の影響をどが考えられる。しかし本実験結果においてはこれらの要因はコンクリートの凍結融解抵抗性に明らかな影響は与えていない。水セメント比の低い、高強度人工軽量コンクリートにおいてはこれらの要因は凍結融解抵抗性に大きな影響は及ぼさないと考えられる。

4. 考察

従来より凍結融解抵抗性は、コンクリート中の空気量、軽量骨材の含水量、コンクリート中の総水量等と密接な関係があると言われている。しかし本実験の限られたデータのみからはその関係は判断しがたいため、以下においては過去の文献による実験データも併せて検討を行った。

図3-a)に空気量と耐久性指数の関係を示した。図によると2種軽量コンクリートについては空気量の増加に伴って耐久性も向上することが明らかに認められるが全体としては耐久性指数は空気量に対して大きなばらつきをみせており、空気量のみで軽量コンクリートの凍結融解抵抗性の判断は困難である。

軽量コンクリートの凍結融解抵抗性は空気量の他に骨材の種類、含水率等にも影響を受けると考えられる。そこで軽量骨材の性質を代表するものとして吸水率を取りあげ、コンクリート中の軽量骨材の含水状態を表わす指標として図3中に示す



記号	養生の種類	記号	骨材の種類
○	気中養生	—	A骨材
●	水中養生	- - -	B骨材

図2 耐久性指数に及ぼす各要因の影響

軽量骨材含水係数というものを考え、その係数と耐久性指数との関係を図3-b)に示した。

図をみると軽量骨材含水係数は耐久性指数にある程度の相関関係を示し、係数が1以上になると耐久性指数80(%)以上を示すことは困難となることがわかる。さらに単位水量と軽量骨材中に含まれる水量を加えたコンクリート中の総水量と耐久性指数の関係を図3-c)に示した。この図をみると、総水量200kg/m³を超えると耐久性指数80(%)以上のコンクリートを得ることが困難になることがわかる。すなわち前述の骨材中の含水を少なくすると共に、練りませ水あるいは水セメント比をできるだけ低減することがコンクリート中の総水量を減少させることになり、高い耐久性を得るためには必要であると言える。

なお、試験方法、空気泡の分布等を考慮する必要があるが、上記の3要因について耐久性指数に対する重相関関係を求めると以下のようになる。

$$\text{耐久性指数}(\%) = 8.96 \times \text{空気量}(\%) - 11.0 \times \text{軽量骨材含水係数} - 0.29 \times \text{総水量} + 68.9 \quad (\text{重相関係数} 0.82)$$

5. 結論

従来人工軽量コンクリートにおいては、凍結融解に対する十分な耐久性を得ることが困難であるとされていたが、本実験で用いた材料、調合、練りませ方法を採用することにより高い耐久性を得られることと共に耐久性が養生条件、圧縮強度レベル、流動化の有無、シリカフェーム混入の影響を基本的に受けないことが明らかとなった。

コンクリートの凍結融解抵抗性に影響を与える主な要因として、凍結融解時においてコンクリートに及ぼす凍結による膨張圧の大きさに直接関係があると考えられる総水量、膨張圧を緩和する役割をはたす空気量、そして軽量コンクリートにおいて耐久性低下の直接の原因となると考えられる軽量骨材の吸水性能及び含水率を考慮した軽量骨材含水係数の3つが挙げられる。これら3つの要因について調整を行なうことにより、単位容積重量1,600 kg/m³程度の2種軽量コンクリートにおいても優れた凍結融解抵抗性を与えることが可能であると考えられる。

なお本研究を行うにあたり、(財)住宅部品開発センター、岐阜大学工学部土木工学教室、(株)竹本油脂の各位の協力と指導を頂いた事を付記し、感謝の意を表します。

(参考文献) 1) 橋, 他 「高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に関する研究」 第6回コンクリート工学年次講演会論文集 1984. 2) 津村, 他 「軽量コンクリートの取縮および凍結融解試験」セメント技術年報 昭和39年 3) 洪, 他 「人工軽量骨材コンクリートについての一実験」セメント技術年報 昭和40年 4) 武田, 他 「軽量コンクリートに関する基礎実験」セメント技術年報 昭和41年 5) 四木, 他 「人工軽量骨材の吸水性と2,3の問題点」セメント技術年報 昭和42年 6) 木村, 他 「人工軽量コンクリートの耐久性について」セメント技術年報 昭和44年 7) 山崎, 他 「人工軽量骨材を用いたコンクリートの諸性質に関する研究」コンクリート ライブラリー第10号

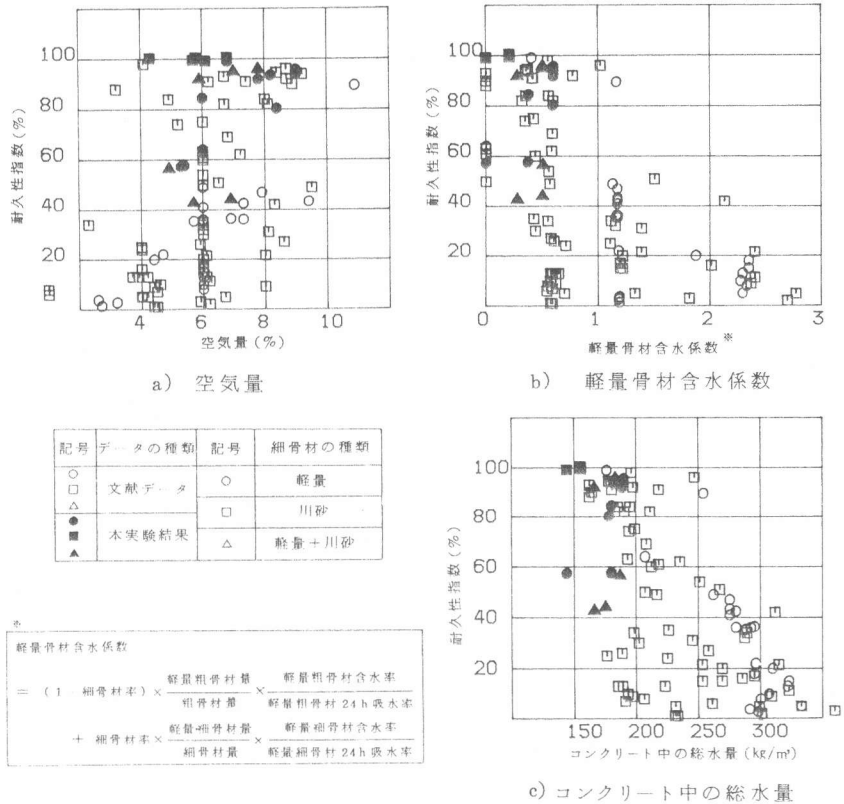


図3 耐久性指数と各要因の関係