

## PVA繊維補強高強度軽量コンクリートの耐凍害性

(株)ピーエス三菱 正会員 工学修士 ○鈴木 雅博  
 (株)ピーエス三菱 正会員 工学修士 桐川 潔  
 (株)ピーエス三菱 正会員 諸橋 克敏  
 秋田大学工学資源学部 工学博士 加賀谷 誠

## 1. はじめに

経年劣化したPC上部工の掛け替え時に、幅員拡張や活荷重増加による断面増加が伴う場合に生じる上部工重量の増加を小さくするため、軽量コンクリートの適用は有効な手段の一つと考えられる。しかし、軽量コンクリートは耐凍害性が低いことが知られており<sup>1)</sup>、寒冷地で使用する場合に大きな課題となる場合がある。このため、軽量粗骨材の低吸水率化や独立気泡を有する軽量骨材の開発<sup>2)</sup>、あるいは軽量骨材自体へのコーティングを実施する方法<sup>3)</sup>などが提案されているが、品質を向上させた軽量粗骨材においても品質のばらつきが大きい場合には、耐凍害性の低下が懸念される。このため、良質でかつばらつきの小さい軽量粗骨材の選定方法や耐凍害性低下を抑制するためのコンクリートの補強方法が必要となる。

本報告では、良質でかつばらつきの小さい軽量粗骨材を選別するために実施した破砕試験を用いた方法<sup>4)</sup>を参考とした破砕試験後の吸水率試験結果と、この試験方法により選別した軽量粗骨材を用いてポリビニールアルコール繊維(以下PVAと示す)で補強したコンクリートの凍結融解試験結果について述べる。なお、プレキャスト部材として用いることを想定して、製品と同一の蒸気養生の有無を実験要因として取り上げた。

## 2. 軽量粗骨材の基礎物性試験

## 2. 1 基礎物性試験方法

4種類の軽量粗骨材について、密度、吸水率、浮粒率、破砕試験および破砕試験後の吸水率試験を実施した。密度、吸水率試験はJIS A 1100に準拠して実施した。浮粒率試験はJIS A 1143に準拠し、試料を24時間乾燥させ、約2リットルの質量を計り、十分大きなポリバケツにいれ、よく攪拌した。注水してから10分後、水に浮いている粒を採取し、24時間乾燥後に質量を計量して浮粒率を算定した。軽量粗骨材の破砕試験はBS812に準拠し、ブランジャーを毎分40kNで載荷し、400kNまで加えた後に除荷した。その後に2.5mmふるいを用いてこれを通過する質量を求め、破砕値を算出した。破砕試験後の吸水率試験の試料は2.5mmふるいに残留したものをを用いて実施した。

## 2. 2 基礎物性試験結果

軽量粗骨材の試験結果を表-1に示す。表乾密度は軽量粗骨材A、BおよびCはほぼ等しく、軽量粗骨材Dはこれらの結果より小さい結果となった。破砕試験前の吸水率は軽量粗骨材Dが一番小さく、AおよびCはそれより大きくなる結果となった。軽量粗骨材の密度は1.0g/cm<sup>3</sup>以上であることから、浮粒率の大きい軽量粗骨材ほど同一ロットでの不良骨材の混入量が多く含むものと考えられ、本試験では軽量粗骨材Aの浮粒率が最も小さく、Cの浮粒率が最も大きくなる結果となった。破砕試験後の吸水率は破砕により粒子表面にひび割れ等の損傷を受けた軽量粗骨材の試験結果であり、試験前の吸水率との差が

表-1 軽量粗骨材の品質

	A	B	C	D
表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.41	1.41	1.38	1.21
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.31	1.28	1.29	1.20
破砕試験前吸水率(%)	7.4	10.6	7.1	1.2
浮粒率(%)	0.01	0.6	1.68	1.1
破砕値(%)	36.8	38.4	42.7	33.2
破砕試験後吸水率(%)	9.7	13.4	9.9	4.3
吸水率の増加量(%)*	2.3	2.8	2.8	3.2

\*: 吸水率の増加量=破砕試験後吸水率-  
破砕試験前吸水率

表-2 コンクリートの配合表

配合名	スラン プフロ ー (cm)	水結 合材 比 (%)	空気 量 (%)	細骨材 率 $s/a$ (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					水 W	結合材 B		細骨 材 S	軽量 粗骨材 A	軽量 粗骨材 D	PVA
						H	BFS				
A	30±10	32.0	5.0	49.4	155	291	194	819	421	-	-
A-PVA				50.0				827	412	-	1.95
D-PVA	40±10	29.0	6.0	53.1	160(1)*	552	-	825	-	343	1.95

\*配合 D-PVA の単位水量の(1)は補正水を示す

表-3 供試体種別

供試体種別	使用 配合	養生方法	圧縮強度試験 ( $\phi 100 \times 200$ mm)	ヤング係数試験 ( $\phi 100 \times 200$ mm)	凍結融解試験 ( $100 \times 100 \times 400$ mm)
A	A	水中養生	○	○	○
A-PVA	A-PVA	水中養生	○	○	○
A-PVA(蒸)	A-PVA	蒸気+水中*	○	○	○
D-PVA(蒸)	D-PVA	蒸気+水中	○	-	○

\*: 蒸気養生後に水中養生を示す

小さい場合にはポップアウトやコンクリートのひび割れ発生による劣化に対して有利であると考えられる。以上の観点から、試験結果が良好な軽量粗骨材 A を用いた場合について圧縮強度、ヤング係数および凍結融解試験をそれぞれ実施した。また、比較のため、品質のばらつきがあると考えられる軽量粗骨材 D を用いた場合について圧縮強度と凍結融解試験を実施した。

### 3. 硬化コンクリートの試験

#### 3.1 試験方法

##### (1) 使用材料および配合

結合材には早強ポルトランドセメント(記号H, 密度 3.14g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 4480cm<sup>2</sup>/g)と高炉スラグ微粉末(記号 BFS, 密度 2.88g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 6220cm<sup>2</sup>/g)を、繊維にはポリビニールアルコール繊維(記号 PVA, 繊維径 100 $\mu$ m, 繊維長 12mm, 密度 1.30g/cm<sup>3</sup>)をそれぞれ使用した。前述の表-1と同じ品質の軽量粗骨材を使用した。なお、空気量測定に必要な骨材修正係数は軽量粗骨材 A では 2.2%, 軽量粗骨材 B では 0.3%であった。

表-2に配合表を示す。配合 A は軽量粗骨材 A を使用し、配合 A-PVA と D-PVA はそれぞれ軽量粗骨材 A と D を使用した PVA 繊維補強コンクリートである。各配合の単位容積質量は 1880kg/m<sup>3</sup>とした。PVA 繊維を混入した配合の混入量は 1m<sup>3</sup>あたり 1.95kg とした。軽量粗骨材 D は絶乾状態として使用し、単位水量に 30 分吸水率 0.39%にあたる水量 1kg/m<sup>3</sup>を補正水として加えた。

##### (2) 供試体種別および養生方法

供試体種別と養生方法を表-3に示す。供試体寸法は圧縮強度とヤング係数試験では  $\phi 100 \times 200$ mm とし、凍結融解試験では  $100 \times 100 \times 400$ mm とした。各試験の供試体本数は 3 本とした。供試体の養生方法を以下の 2 種類とした。

- 1) 室内で打設後、材齢 1 日まで室内養生後に脱型し、所定の試験材齢まで水中養生する方法(水中養生)
- 2) 蒸気養生を行い、その後脱型し、所定の試験材齢まで水中養生する方法(蒸気+水中)

##### (3) 圧縮強度とヤング係数試験および凍結融解試験方法

圧縮強度とヤング係数試験を JIS A 1108 および JIS A 1149 に準拠して実施した。凍結融解試験を水中凍

結融解試験方法である JIS A 1148 [A 法] に準拠し、材齢 14 日から実施した。試験の終了は 300 サイクルとし、それまでに相対動弾性係数が 60% となった場合や破断した場合は、そのサイクルで終了とした。

### 3. 2 試験結果

#### (1) 圧縮強度およびヤング係数試験結果

コンクリートの材齢と圧縮強度の関係を図-1に、軽量粗骨材 A を用いたコンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係を図-2にそれぞれ示す。凍結融解試験開始材齢での圧縮強度は配合 A で 63N/mm<sup>2</sup>、配合 A-PVA では蒸気養生の実施有無によらず約 65N/mm<sup>2</sup> となり、配合 D-PVA で蒸気養生した供試体は 70 N/mm<sup>2</sup> であった。配合 PVA で蒸気養生を実施した圧縮強度は材齢 1 日で約 45 N/mm<sup>2</sup> となっていることから、導入時強度 35 N/mm<sup>2</sup>、設計基準強度 50 N/mm<sup>2</sup> のプレテンション部材にも適用できると考えられる。ヤング係数は圧縮強度 60 N/mm<sup>2</sup> において 24kN/mm<sup>2</sup> を超える結果となった。ヤング係数 (E) (kN/mm<sup>2</sup>) は圧縮強度 (σ) (N/mm<sup>2</sup>) と単位容積質量 (γ) (g/cm<sup>3</sup>) との関係である式(1)が提案<sup>5)</sup>されている。図-2にはγを 1.88 g/cm<sup>3</sup> とした場合の計算結果もあわせて示す。ヤング係数の実験結果は式(1)を用いて算出したヤング係数より大きくなり、本試験で使用した軽量粗骨材 A の場合には約 1.17 倍となった。

$$E = 33.5 \times (\gamma / 2.4)^2 \times (\sigma / 60)^{1/3} \quad (1)$$

#### (2) 凍結融解試験結果

表-3に繊維補強の有無による凍結融解試験における劣化状況を示す。繊維補強を実施していない供試体はポップアウトに起因すると思われる剥落部分が多く発生し、かつ、破断しているが、繊維補強を行った供試体はほとんど劣化を生じない結果となった。図-3にサイクル数に伴う相対動弾性係数の変化を供試体 3 本の平均値として示す。配合 A と配合 A-PVA の蒸気養生を実施しない供試体を比較すると配合 A はサイクル数 250 回において相対動弾性係数 80% を下回る結果となったのに対して、配合 A-PVA はサイクル数 300 回においても相対動弾性係数の低下はほとんど認められない結果を示した。相対的に良質な軽量粗骨材を選別した場合においても水中凍結融解試験の場合にはコンクリートの劣化が認められたが、PVA 繊維で補強することにより凍結融解抵抗性性の向上が認められた。これは、配合 A ではわずかに混入した品質の劣る軽量粗骨材粒子の寸法の大きいポップアウト発生後にそ

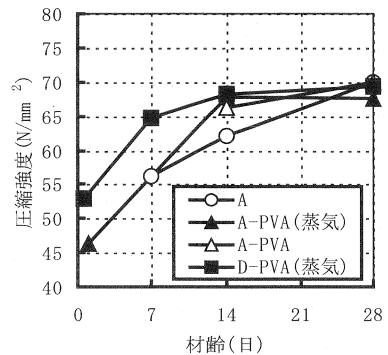


図-1 材齢と圧縮強度の関係

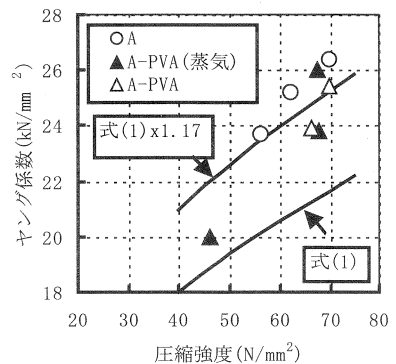


図-2 圧縮強度とヤング係数の関係

表-3 繊維補強の有無による劣化状況

配合名	A			A-PVA(蒸気養生なし)		
最終サイクル数	No. 1-198	No. 2-278	No. 3-300	No. 1-300	No. 2-300	No. 3-300
供試体状						
				ほとんど損傷なし		

ここに残留した軽量粗骨材粒子の吸水と凍結融解による膨張収縮の繰り返しによりモルタル部のひび割れが急激に発生し、破断したのに対して、配合 A-PVA は繊維を混入することにより、ポップアウトの発生数少なく、発生した場合にも寸法が小さく、繊維を混入しない場合と比較してひび割れ幅をかなり抑制することができ、結果として相対動弾性係数の低下を小さくすることができたと考えられる。蒸気養生を実施した供試体においても相対動弾性係数の低下がほとんど認められない結果となり、蒸気養生による耐凍結融解抵抗性の低下は認められなかった。軽量粗骨材の物性試験で軽量粗骨材個々の品質にばらつきがあると考えられた

配合 D-PVA については PVA を混入した場合においてもサイクル数 232 回で破断する結果となった。凍結融解作用によるコンクリートの劣化を防止するためには繊維補強するのみならず、軽量粗骨材粒子個々の品質のばらつきが小さい軽量粗骨材を選定する必要があると考えられる。このためには、浮粒率試験や破砕試験後の吸水率試験は有効であると考えられる。

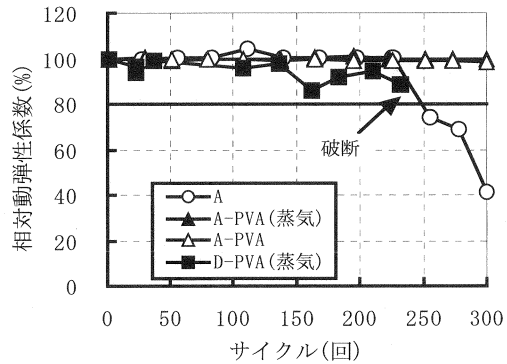


図-3 サイクル数に伴う相対動弾性係数の変化

#### 4. おわりに

PVA 繊維補強軽量コンクリートの凍結融解抵抗性試験、破砕試験後の吸水率試験および圧縮強度試験から以下のことが明らかになった。

- (1) 良質でかつばらつきの小さい軽量コンクリートを PVA 繊維で補強することにより、水中養生および蒸気養生においてサイクル数 300 回においても相対動弾性係数の低下が認められず、凍結融解抵抗性の向上が認められた。
- (2) しかし、軽量粗骨材粒子個々の品質のばらつきが耐凍害性に与える影響が大きく、品質のばらつきが大きい場合には PVA 繊維補強してもコンクリートの劣化が認められた。
- (3) 軽量粗骨材粒子個々の品質のばらつきを判定する試験として、浮粒率試験、破砕試験および破砕試験前後における吸水率の差が有効な手法であることが認められた。
- (4) 本試験で実施した配合 A-PVA は力学的には導入時強度  $35\text{N/mm}^2$ 、設計基準強度  $50\text{N/mm}^2$  とする工場製作のプレテンション部材にも適用することができる。
- (5) ヤング係数は単位容積質量と圧縮強度の関数で示すことができる。

謝辞) 実験を秋田大学の相馬直樹氏(現 JR 北海道)とともに実施しました。ここに厚く御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 村田二郎：人工軽量骨材コンクリート，コンクリートパンフレット第 79 号，1974
- 2) 岡本享久 他：高性能軽量コンクリート，コンクリート工学，Vol. 37, No. 4, pp. 12-18, 1999
- 3) Stefan Linsel：PRODUCTION AND PROPERTIES OF HIGH-PERFORMANCE LIGHTCONCRETE, 5<sup>th</sup>International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, pp. 1210-1218, 1999
- 4) 毛継沢 他：軽量コンクリートの吸水率が耐凍害性に及ぼす影響について，土木学会第 58 回年次学術講演会，pp. 1085-1086, 2003
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，pp. 38-40, 1999