

暑中環境における軽量コンクリートの諸物性に関する評価

太平洋セメント(株) 正会員 ○当銘 葵
 人工軽量骨材協会 正会員 肥後 康秀
 太平洋セメント(株) 正会員 早川 隆之
 太平洋セメント(株) 正会員 岸森 智佳

1. はじめに

人工軽量骨材は高い保水性を有しており、コンクリートに用いた場合、湿潤状態を維持する養生が困難であっても、骨材から水が供給されることで自己養生効果が生まれ、耐久性の維持・向上に寄与することが確認されている¹⁾。著者らは乾燥の激しい暑中環境下において、実部材レベルで試験体を作製し、様々な性能評価を行ってきた²⁾が、人工軽量骨材の自己養生効果を検証したデータは未だ少ない。そこで本研究では、同一呼び強度で設計された普通コンクリートと軽量コンクリート1種に対して、暑中環境下で気中養生した場合の強度発現性および乾燥収縮によるひび割れ抵抗性について試験し、また反射電子像を用いた画像解析より算出した水和度との関連性から人工軽量粗骨材の自己養生効果に関する評価を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

本実験における使用材料の一覧を表-1に示す。人工軽量骨材は、製造工程において十分にプレソーキングされたものを用いた。コンクリートの配合を表-2に示す。配合は基準となる呼び強度27、スランプ18cmの普通コンクリート(普通)と、普通と同様の設計条件の軽量コンクリート1種(軽量1種)の2配合とした。

2.2 試験体およびコンクリートの養生条件

試験体は、幅756×奥行756×厚さ200mmの床試験体とした。コンクリートの打込みおよび養生は雨のかからない屋内で、環境温度は平均約35℃(最大39.5℃)、湿度は平均約54%RHで行った。養生は打込み後から気中養生とした。

2.3 試験項目

試験項目を表-3に示す。コンクリートの圧縮強度は、標準水中養生を行った管理用供試体と、床試験体から採取したコア供試体を試験に供した。水和度の算出方法については、床試験体のコア供試体の打込み面表層部から約10箇所のモルタル部分の画像(倍率500倍)を抽出し、2値化処理を行い、1画像中に含まれる未水和セメントの面積率を求め、ステレオロジーの法則に基づき、面積率は体積率に等しいとし、セメントペースト部分の水和度 α_{BEI} を以下の式により求めた³⁾。10箇所の画像それぞれの水和度の平均を代表値とした。

$$\alpha_{BEI} = 1 - \frac{V_{unh}}{V_{init}} \quad (1)$$

V_{unh} : 未水和セメント体積率 (cm³/cm³)

V_{init} : 調合上のセメント体積率 (cm³/cm³)

表-1 使用材料

種類	記号	品名および物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm ³)
細骨材	S	玄界灘産海砂 (表乾密度 2.57g/cm ³ , 吸水率 1.80%)
粗骨材	G	古賀市谷山産碎石 (表乾密度 2.72g/cm ³ , 吸水率 0.71%)
	GL	人工軽量骨材 (表乾密度 1.67g/cm ³ , 吸水率 31.4%)
混和剤	AD	AE減水剤(遅延形) リグニンスルホン酸塩ポリカルボン酸系
	AE	AE剤

表-3 試験項目

項目	規格など
圧縮強度	JIS A 1107, JIS A 1108 管理用, 床コア供試体 φ100×200mm 材齢 7, 28, 91 日
拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験	JIS A 1151 気中養生, 脱型時材齢 5 日
自由収縮ひずみ試験	埋め込みゲージによる測定 100×100×400mm
水和度	反射電子像による画像解析 15mm 角

表-2 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					AD (C×%)	AE (C×%)	単位容積質量(kg/m ³)
				W	C	S	G	GL			
普通	53	46.4	4.5	184	348	789	963	—	1.1	0.0042	2,284
軽量1種	47	47.1	5.0	178	379	789	—	576	1.1	0.0042	1,922

キーワード 軽量コンクリート, 暑中環境, 人工軽量骨材, 自己養生, 圧縮強度, 水和度

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL 043-498-3849

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

材齢 28 日における各供試体の圧縮強度を表-4 に、管理用供試体に対するコア供試体の圧縮強度比を図-1 に示す。標準水中養生を行った管理用供試体の圧縮強度は、普通と軽量 1 種いずれも同程度であったがコア供試体の圧縮強度比は普通が 0.72、軽量 1 種が 1.12 であった。軽量 1 種は、35℃以上で気中養生したにもかかわらず管理用供試体よりも 1 割程高い値を示した。これは、高温環境と人工軽量粗骨材からの水分供給の効果が作用しセメントの水和反応が適切に進行したためと考えられる。

3.2 乾燥収縮ひび割れ試験

乾燥収縮ひび割れ試験と並行して、同一環境下で測定した自由収縮ひずみ試験結果を図-2 に示す。ひび割れ発生時の自由収縮ひずみは普通、軽量 1 種ともに約 330×10^{-6} であったが、ひび割れ発生材齢は、普通が 23 日、軽量 1 種が 29 日であった。図-2 より、軽量 1 種の方が普通よりも緩やかな収縮を示しており、普通においてひび割れが発生した 23 日経過時の自由収縮ひずみは、軽量 1 種の方が普通より 35%程度小さかった。これは、人工軽量粗骨材の自己養生効果で乾燥が抑制されるとともにコンクリートの強度が増進したことが影響していると考えられる。

3.3 反射電子像による画像解析

普通と軽量 1 種の材齢 91 日における床試験体の表層から 15mm 部分の反射電子像（観察倍率 100 倍）を写真-1 に示す。普通の場合には、水和生成物（灰色部分）間に空隙（黒色部分）が多く認められ、未水和セメント（白色部分）も多く存在するが、軽量 1 種では、空隙および未水和セメントが少なく、水和生成物も多く認められる。撮影した反射電子像の画像解析から求めた水和度は、普通が 0.38、軽量 1 種が 0.79 であり、普通の水和度が明らかに低くなった。通常、水セメント比が大きくなるほど水和度は高くなる傾向にある⁴⁾が、本実験では普通の水セメント比が軽量 1 種より高いにもかかわらず、水和度が低い結果であった。即ち、暑中環境下における気中養生では、水分の逸散を伴うため、湿潤状態を維持することが困難であり、普通ではセメントの水和反応が阻害された可能性が高い。一方、軽量 1 種においては、人工軽量骨材の自己養生効果によって、水和反応が十分に進行したものと考えられる。

4. まとめ

暑中環境における人工軽量粗骨材の自己養生効果について実部材レベルでの検証を行い以下の知見を得た。35℃以上の環境で気中養生とした場合、軽量 1 種は軽量骨材の自己養生効果によって強度が増進し、ひび割れ抵抗性に対する効果も認められた。また、コンクリート中のセメントの水和度の解析結果から

表-4 材齢 28 日における各供試体の圧縮強度

	圧縮強度 (N/mm ²)	
	管理用供試体	コア供試体
普通	35.2	25.3
軽量 1 種	32.5	36.5

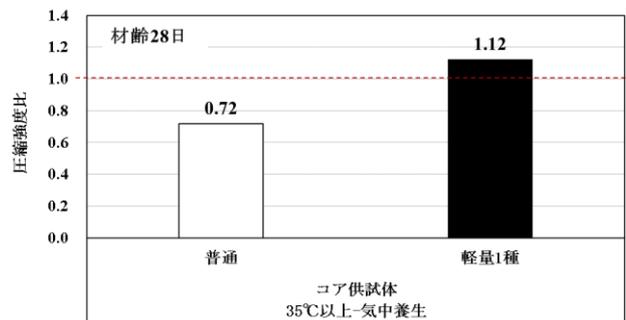


図-1 管理用供試体に対するコア供試体の圧縮強度比

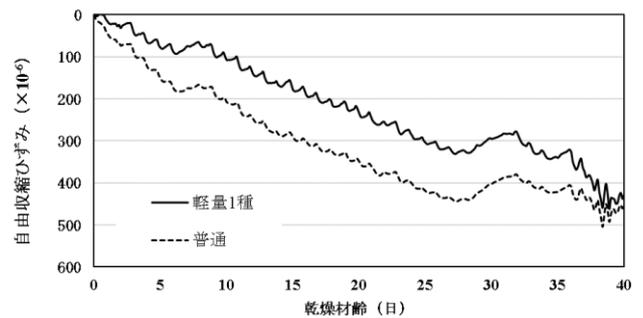


図-2 自由収縮ひずみ

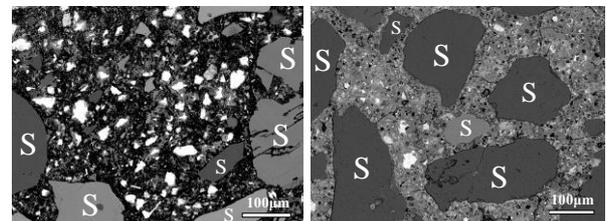


写真-1 材齢 91 日における表層部の反射電子像
(左：普通、右：軽量 1 種)

も軽量 1 種では水和反応が適切に進行していたことが示され、人工軽量粗骨材の自己養生効果の有効性が確認された。

参考文献

- 1) 松藤泰典, 他: 人工軽量骨材コンクリートの自己養生機能に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, Vol.40, pp.173-176, 2001.7
- 2) 申相澈, 他: 人工軽量骨材の自己養生効果による暑中コンクリートの物性向上に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1387-1392, 2017.7
- 3) 井上豪, 他: 2,3 の手法により求めたセメントの水和度の比較, コンクリート工学年次論文集, vol.27, No.1, pp.541-546, 2005.7
- 4) 五十嵐心一, 他: 反射電子像の画像解析によるセメントの水和度の推定と強度に関する一考察, コンクリート工学論文集, 第 14 巻第 2 号, pp.23-29, 2003.5