

# 論文 人工軽量粗骨材によるコンクリートの初期養生の合理化に関する実験的研究

清原 千鶴\*1・今本 啓一\*2・山田 宗範\*3・石川 寛範\*4

**要旨：**土間などのスラブを対象とした普通強度のコンクリートの初期養生の簡略化の1つとして、人工軽量粗骨材の内部養生効果に着目し、初期養生方法の違いがその後の圧縮強度、収縮ひずみならびに中性化速度係数に及ぼす影響について実験的に検討を行った。その結果、同一養生条件で行った場合、人工軽量粗骨材を用いると、圧縮強度においては、養生終了時からの強度増加が大きいことや初期の収縮ひずみは著しく低下し、中性化速度係数も小さくなることが確認できた。これらのことから、本実験の範囲内においては、人工軽量粗骨材を用いることによって初期養生を簡略化できることを示唆した。

**キーワード：**人工軽量粗骨材, 初期養生, 圧縮強度, 収縮ひずみ, 中性化速度係数, 含水率

## 1. はじめに

近年、環境負荷の低減などの観点から鉄筋コンクリート構造物の長寿命化が求められている。鉄筋コンクリート工事における初期養生は、その後の鉄筋コンクリート構造物の品質に大きく影響を及ぼすことは周知の事実である。しかしながら、一方で、工期の短縮・コスト削減といった観点から早期脱型が求められているのも現状である。早期に養生を終了すると、コンクリート表面から水分が逸散し、水和が十分に進まないことから、コンクリートの強度発現性および耐久性に影響を及ぼすため、養生方法ならびに養生材齢がコンクリートの品質に及ぼす影響を検討した研究例<sup>例えば 1)~3)</sup>は数多くあり、これらの研究成果は、工事標準仕様書<sup>4)</sup>などに型枠の存置期間や湿潤養生材齢が規定される基礎資料となっている。

人工軽量骨材は高い含水率を有するため、内部養生材として高強度コンクリートの自己収縮低減効果を検討する方法がこれまでも提案されている<sup>5)</sup>。これは、コンクリート内部の湿度勾配を利用してコンクリート中のセメントペーストに人工軽量骨材が蓄えていた水分を供給する手法であり、自己乾燥を抑制することを意図されている。また、この内部養生効果は、暑中コンクリートのように通常より乾燥しやすい条件下で用いられる場合において顕著に発揮されることも示されている<sup>6)</sup>。

以上のような背景を踏まえて、本研究では、人工軽量粗骨材の内部養生効果の利用方法の1つとして、普通強度のコンクリートの初期養生を簡略化する手法として着目した。ここでは、養生方法および養生材齢がコンクリートの質量含水率、圧縮強度、乾燥収縮ひずみおよび中性化速度係数に及ぼす影響について普通骨材を用いたコンクリートと実験的に比較検討を行い、その評価方法について検討した。

## 2. 実験概要

本実験では、床スラブを想定しており、人工軽量粗骨材を用いた場合、養生方法と養生材齢がコンクリート内部の含水率および圧縮強度に及ぼす影響を検討したシリーズ1とコンクリート内部の含水率と耐久性について検討したシリーズ2の2つのシリーズで実験を行った。

### 2.1 使用材料および調合

表-1 および表-2 にコンクリートの調合および使用材料を示す。コンクリートの調合は W/C : 50%、単位水量 175kg/m<sup>3</sup> で一定とし、普通粗骨材を用いた普通コンクリートと人工軽量粗骨材を用いた軽量コンクリート1種の2種類とした。人工軽量骨材は、プレスケーシングを行い、飽和含水状態のものを使用した。コンクリートのフレッシュ性状を表-3 に示す。軽量コンクリート1種の空気量は質量法により算出

表-1 使用材料の一覧

材料	記号	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率	
セメント 普通ポルトランドセメント	C	—	3.16*	—	—	
細骨材 大井川水系陸砂	SS	2.54	2.59	1.92	2.73	
粗骨材	青梅産碎石	CG	2.65	2.66	0.50	6.72
	人工軽量粗骨材	LG	1.26	1.63	29.0	6.53
混和剤	AE 減水剤	変性リグニンスルホン酸化合物				
	空気量調整剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤				

\*密度,

表-2 コンクリートの調合

調合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					AE 減水剤 (C×%)	空気量調整剤
			W	C	SS	CG	LG		
普通	50	46.6	175	350	808	951	0	1.0	0.75A
軽量1種	50	46.6	175	350	808	0	582	0.5	0.5A

表-3 フレッシュ性状

調合	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	単位容積質量 (kg/L)
普通	17.5	5.4	16.0	2.28
軽量1種	22.0	4.5	16.5	1.92

\*1 東京理科大学 工学部建築学科嘱託補手 博士 (工学) (正会員)

\*2 東京理科大学 工学部建築学科教授 博士 (工学) (正会員)

\*3 東京理科大学 工学部建築学科

\*4 人工軽量骨材協会

した。いずれのコンクリートもワーカビリティは良好であった。

## 2.2 実験水準

養生方法は図-1 に示すように散水したあとポリエチレンフィルムで養生した湿潤養生を基準とし、シート養生を模擬した封緘養生について実験を行った。

### (1) シリーズ 1

シリーズ 1 では、床スラブ(厚さ 200mm)を想定し、φ100×200mm の円柱供試体を用い、養生材齢は 1, 3, 5, 7 日間の 4 種類とした。養生終了後は脱型せず、打設面からの 1 面乾燥状態で、各試験時材齢まで温度 20℃、60%R.H.の恒温恒湿室内に存置した。これらを組み合わせて表-4 に示す 6 ケースを対象に、含水率試験、圧縮強度試験を実施した。なお、測定した含水率および圧縮強度の値を評価する指標として、材齢 1 日で脱型し、水中養生(温度 20℃)を行った供試体も同様に実験を実施した。

### (2) シリーズ 2

供試体形状を図-2に示す。供試体は厚さ150mmのスラブを想定し、厚さ150×縦200×横200mmとして、型枠に存置したままとし、型枠側面および底面にプラスチックフィルムを貼付した。試験の要因および水準は、後述するシリーズ1の実験結果より、最も厳しい条件下での比較として、軽量コンクリート1種においては封緘養生を基準とし、普通コンクリートにおいては湿潤養生を基準として、普通コンクリートでは、養生なし、封緘1日、湿潤3日、湿潤5日の4水準、軽量コンクリート1種では、養生なし、封緘1日、封緘3日、封緘5日の4水準の養生を施した合計8体の供試体を作製した。養生終了後は脱型せず、打設面からの1面乾燥状態で、温度20℃、60%R.H.の恒温恒湿室内に存置した。

## 2.3 実験項目および実験方法

### (1) シリーズ 1

含水率測定用の試験体の概要を図-3に示す。試験の簡便さを考慮し、既往の研究<sup>7)</sup>を参考に 50mm 間隔でステンレス網を置いて打設した。打設時には、締め方が不十分にならないように注意して行った。含水率試験開始時には、ステンレス網の位置で 50mm 間隔で割裂して、供試体を分割した。

含水率試験開始材齢は、試験材齢 3,5,7 および 28 日とした。試験開始材齢で脱型し、供試体を割裂後直ちに試験開始時の質量測定を行った。この際、ステンレス網は除去した。105℃の乾燥炉に入れた後は、乾燥開始後 1 日から乾燥材齢 91 日まで順次質量測定を行った。恒量となった供試体質量を「絶乾質量」と定義し、試験開始時の「供試体質量」より下式を用いて試験開始時の質量含水率を求めた。

$$m_a = \frac{M - M_{dry}}{M_{dry}} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 $m_a$  : 質量含水率(%)

$M$  : 105℃乾燥前の供試体質量(g)

$M_{dry}$  : 105℃乾燥後の絶乾質量(g)

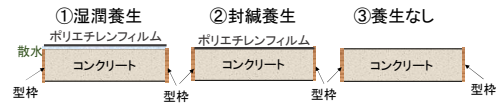


図-1 養生方法

表-4 実験水準(シリーズ 1)

コンクリート	養生方法	養生材齢	供試体寸法	含水率試験開始材齢				強度試験時材齢			
				3日	5日	7日	28日	3日	5日	7日	28日
普通 軽量 1 種	封緘	1日	φ100× 200mm	—	—	—	○	—	—	—	○
	湿潤	3日		○	—	—	○	—	—	—	○
	湿潤	5日		—	○	—	○	—	○	—	○
	封緘	5日		—	○	—	○	—	○	—	○
	湿潤	7日		—	—	○	○	—	—	○	○
	水中	28日		—	—	—	○	—	—	—	○

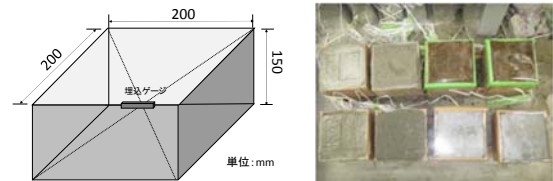


図-2 供試体の概要(シリーズ 2)

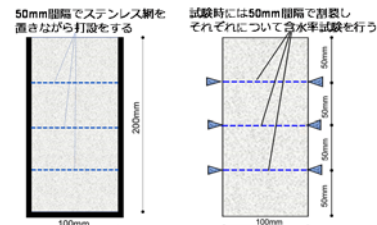


図-3 含水率試験体概要(シリーズ 1)

表-5 試験項目(シリーズ 2)

試験項目	試験方法
自由収縮ひずみ	埋込型ひずみゲージ
表面含水率	押し当て式静電容量法および比抵抗法
透気係数	ダブルチャンバー法
中性化促進試験	JIS A 1152 に準拠
質量含水率	JIS A 1476 に準拠

圧縮強度供試体は、表-4 に示す φ100×200mm の円柱供試体を用い、試験材齢 3,5,7 および 28 日において、JIS A 1108 に準拠して行った。

### (2) シリーズ 2

試験項目を表-5に示す。収縮ひずみは、埋込型ひずみ計を供試体の中心部に設置し測定を行った。透気性は、トレント法により測定した。含水率は、押し当て式静電容量法および比抵抗法を用いて測定を行った。促進中性化試験の促進条件(温度 20℃、R.H.60%、CO<sub>2</sub>濃度 5%)などは JIS A 1152 に準拠したが、実験の都合上、促進試験開始材齢を 120 日とした。中性化深さを測定後、質量含水率の測定を実施した。

## 3. シリーズ 1 (圧縮強度に及ぼす影響)

### 3.1 養生終了時の質量含水率と圧縮強度

養生終了時の質量含水率を図-3 に示す。図中の点線は、水中養生で材齢 28 日の質量含水率平均値を表している

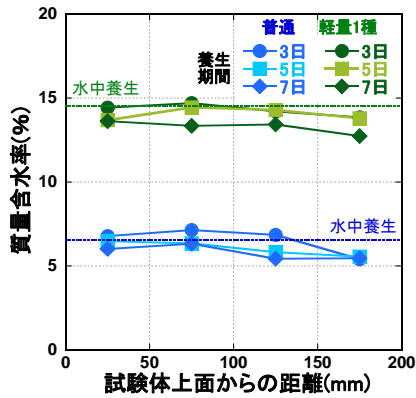


図-3 湿潤養生終了時の質量含水率

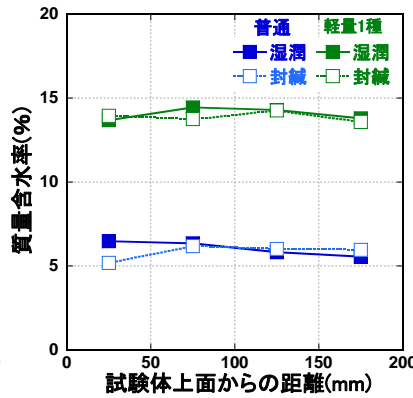


図-4 養生方法の違いの影響 (養生材齢 5 日)

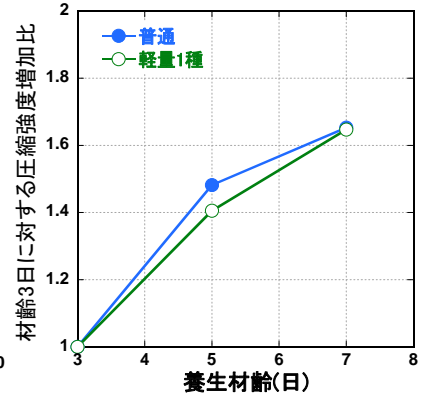


図-5 養生中の圧縮強度増加比

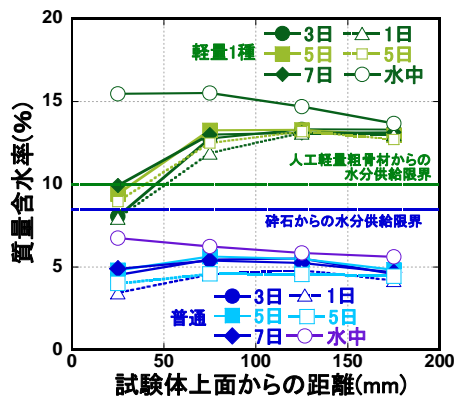


図-6 材齢 28 日における質量含水率

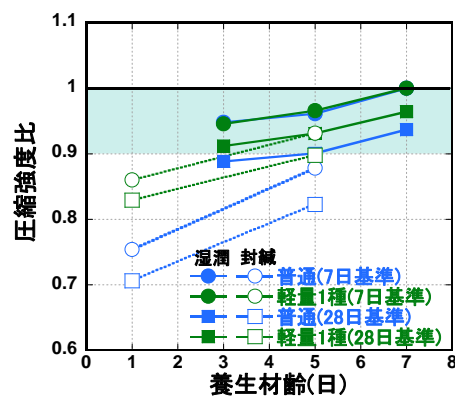


図-7 養生材齢と圧縮強度比

る。この点線を飽和含水率として考えると、コンクリートの種類および養生材齢によらず、養生中に上面から水分が供給されていることが分かる。養生材齢によらず、普通コンクリートの質量含水率は 5.5～7.0%、軽量コンクリート 1 種は 13.0～14.5% の範囲にあり、普通コンクリートよりも軽量コンクリート 1 種の質量含水率がおよそ 2.3 倍高く、人工軽量粗骨材の保水性が確認できた。図-4 に異なる養生方法における質量含水率を示す。普通コンクリートでは封緘養生の場合、湿潤養生に比べて供試体上面の含水率が低く、供試体上面から乾燥している結果となった。一方、軽量コンクリート 1 種では、湿潤養生とほぼ同様の傾向を示しており、供試体上面からの水分逸散が見られず、人工軽量粗骨材からの水分供給が行われていることが考えられる。

表-6 に強度試験結果を示す。図-5 に「湿潤 3 日」からの圧縮強度増加比の関係を示す。湿潤養生中の圧縮強度増加比は普通コンクリートおよび軽量コンクリート 1 種はほぼ同程度であった。一方、表-6 に示す「封緘 5 日」時の圧縮強度を見てみると、普通コンクリートでは「湿潤 3 日」の強度とほぼ同程度であるのに対して、軽量コンクリート 1 種では、1.2 倍程度強度が増加しており、封緘養生において人工軽量粗骨材の内部養生効果が得られているものと考えられる。

表-6 圧縮強度試験結果

養生方法	養生期間	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )							
		普通				軽量 1 種			
		材齢 3 日	材齢 5 日	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 3 日	材齢 5 日	材齢 7 日	材齢 28 日
封緘	1 日	—	—	—	29.1	—	—	—	30.1
湿潤	3 日	—	—	—	36.6	17.0	—	—	33.1
湿潤	5 日	—	28.6	—	37.1	—	23.9	—	33.8
封緘	5 日	—	18.4	—	33.9	—	19.9	—	32.6
湿潤	7 日	—	—	31.9	38.6	—	—	28.0	35.0
水中	28 日	—	—	—	41.2	—	—	—	36.3

(2) 材齢 28 日の質量含水率と圧縮強度

図-6 に材齢 28 日における質量含水率の測定結果を示す。材齢 28 日では、養生終了時からの乾燥によりいずれの養生条件においても供試体上部が最も小さい値を示しており、軽量コンクリート 1 種の方がその傾向が顕著である。しかしながら、軽量コンクリート 1 種において最も値が低い供試体上面の含水率でも普通コンクリートの最も含水率が高い水中養生を行った結果よりも高い値を示しており、養生終了後も保水性が高い。一方、封緘養生を行った結果を見てみると、軽量コンクリート 1 種では湿潤養生を行った結果とほぼ同程度であった。

また、図中には、打設時の調合ならびに骨材の吸水率から供試体 1 体に含有される質量含水率を算出し、その値から供試体 1 体中の粗骨材が含有する質量含水率を除いた粗骨材からの水分供給限界値も示している。この限界値を下

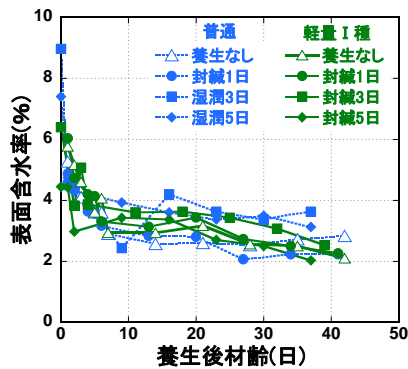


図-8 表面含水率(電気抵抗率)の測定結果

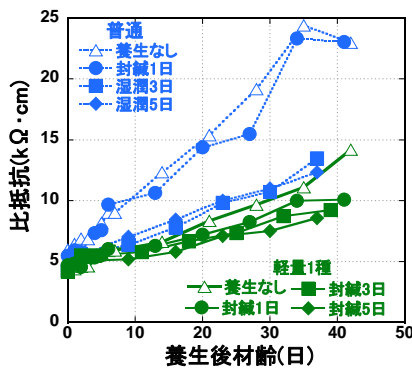


図-9 比抵抗の測定結果

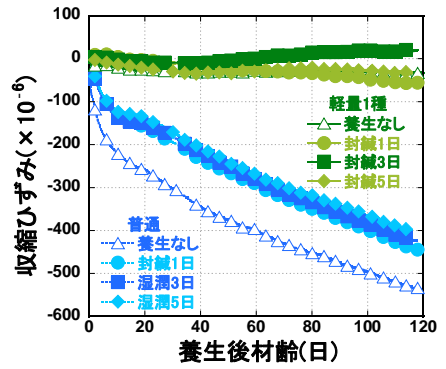


図-10 収縮ひずみの測定結果

回ると骨材からの内部養生効果は期待できないことを示している。これによると、供試体上部においては、軽量コンクリート1種においても人工軽量粗骨材の水分供給限界値を下回っているが、内部においてはいずれの養生方法においても、内部養生効果が持続している結果となった。

図-7 に養生材齢と「湿潤 7 日」を基準とした場合(図中凡例, 7日基準)および材齢 28 日まで水中養生を基準とした場合(図中凡例, 28 日基準)の各養生条件における材齢 28 日の圧縮強度比を示す。和泉らの研究<sup>2)</sup>によると、養生終了時に 10N/mm<sup>2</sup>以上の強度発現があれば、7日養生に対する圧縮強度比(7日基準)は 90%以上が確保できるとされている。本実験では、軽量コンクリート1種では3日以上養生すれば、封緘養生においても 90%以上確保できているのに対し、普通コンクリートにおいては、「封緘 5 日」では 90%に達していない。また、「封緘 1 日」においても、軽量コンクリート1種は 80%以上の強度を確保できていることが分かる。これらのことから、水分の供給が少ない場合において人工軽量粗骨材の内部養生効果が顕著に現れることが確認できた。

以上のことから、同一の養生条件を行った場合、軽量コンクリート1種は養生終了時からの強度増加が大きく、湿潤養生5日と普通コンクリートの湿潤養生7日の強度発現性が同等であることが確認できた。このことから湿潤養生が困難な部位に対して人工軽量粗骨材の内部養生効果が強度発現の上でも有効であることが考えられる。

### 3.2 シリーズ 2

#### (1)表面含水率

各供試体の上面において測定した電気抵抗率を図-8に示す。電気抵抗率より換算した含水率は、図に示されるように、養生終了直後は比較的高く、時間経過とともに漸減する傾向がみられる。ばらつきは大きく、軽量コンクリート1種と普通コンクリートの表面含水率の明確な差が見られなかった。

図-9に各供試体の上面において測定した比抵抗の変化を示す。図に示されるように、養生終了直後より比抵抗は時間経過とともに漸増する傾向がみられる。比抵抗が高いほど供試体上面の乾燥が進行していることを示している。普通コ

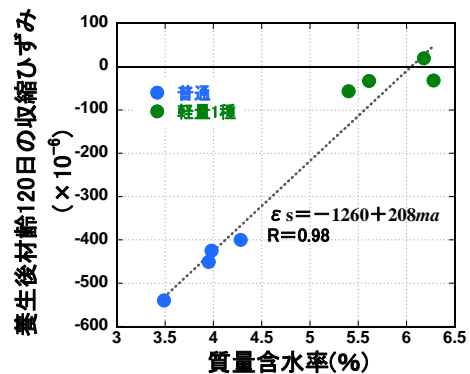


図-11 質量含水率と養生後材齢 120 日の収縮ひずみの関係

ンクリートの「湿潤5日」と軽量1種の「養生なし」がほぼ同様の挙動を示しており、普通コンクリートと軽量コンクリート1種を比較すると、全般に軽量コンクリート1種の比抵抗が低いのは、人工軽量粗骨材の高い保水性によるためと考えられる。

なお、比抵抗の測定値には人工軽量粗骨材の含水率も含めたコンクリート全体の内部養生水としての値が示されている。コンクリート内部の水分挙動を観察する手法としては、質量法やインクで水を着色する方法あるいは含水率センサーを埋設する方法などがあり、今後はこれらの手法によるコンクリート内部の水分挙動と本実験で実施した非破壊試験による測定値との関係性について実験を行い、人工軽量粗骨材を使用したコンクリート表面からの内部養生効果の評価方法について検討する必要がある。

#### (2)収縮ひずみ

各供試体の中心部において測定したひずみの変化を図-10に示す。「養生なし」においては、打設後 12 時間からの測定結果を示している。図に示されるように普通コンクリートの「養生なし」は打設 1 日後より収縮が生じた。その他の養生についても養生終了後より収縮ひずみが発生している。一方、軽量コンクリート1種については全ての養生方法において収縮はほとんど生じていない結果となった。また、養生後材齢 120 日の質量含水率と収縮ひずみの関係を図-11に示す。質量含水率と収縮ひずみの間に高い相関性が認



められた。人工軽量粗骨材の高保水性により、コンクリート内部の水分量が多い軽量コンクリート1種において、乾燥による収縮が抑制されたと考えられる。

### (3)中性化速度係数

促進中性化試験の結果を図-12に示す。これによると、促進期間前の恒温恒湿内での養生期間において中性化が進行している。そこで、既往の研究<sup>9)</sup>を参考に、式(2)に示すように促進試験開始時の中性化深さ $d_{c0}$  (mm)を切片に取り、促進試験期間の平方根の関数とした直線近似式を求め、促進中性化速度係数 $\alpha_a$  (mm/ $\sqrt{\text{day}}$ )を算出した。

$$d_c = \alpha_a \cdot \sqrt{t} + d_{c0} \quad (2)$$

ここに、 $d_c$ : 中性化深さ(mm)

$\alpha_a$ : 中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{day}}$ )

$t$ : 測定材齢(day)

$d_{c0}$ : 促進試験開始時の中性化深さ(mm)

養生材齢と算出した促進開始時の中性化深さ $d_{c0}$ および中性化速度係数 $\alpha_a$ の関係を図-13、14に示す。中性化速度係数 $\alpha_a$ においては、養生材齢の影響が明確には現れていないが、湿潤養生を行った普通コンクリートに対して、封緘養生を行った軽量コンクリート1種の方が低い値を示している。一方、促進開始時の中性化深さ $d_{c0}$ については養生材齢の影響が明確に現れており、養生材齢が長いほど小さく、軽量コンクリート1種の方が小さい。

図-15に促進開始時の透気係数 $kt_{120}$ の値を示す。これによると、養生材齢が長くなるほど透気係数が小さくなっており、また普通コンクリートに比べて軽量コンクリート1種の透気係数が小さい。この値と中性化速度係数 $\alpha_a$ を図-16に、促進試験開始時の中性化深さ $d_{c0}$ との関係を図-17に示す。透気係数と中性化速度係数には相関性が高いことが既往の研究<sup>9)</sup>において示されているが本実験では、明確には現れなかった。一方、促進試験開始時の中性化深さにおいては、透気係数が大きくなるほど大きくなる傾向にあり、両者の間には相関性が見られた。

促進中性化試験期間中のコンクリートの質量含水率の変化を図-18に示す。図中の値は、供試体深さ150mmの平均値を示している。普通コンクリートに比べて軽量コンクリート1種の質量含水率が高くなっており、軽量コンクリート1種は、促進中性化期間4ヶ月においても高い含水率を保持していることが確認できた。既往の研究<sup>10)</sup>において、既存RC構造物の中性化速度係数と質量含水率には定性的な関係があることが報告されていることから、図-18に示す促進試験開始時の質量含水率と中性化速度係数 $\alpha_a$ および促進試験開始時の中性化深さ $d_{c0}$ との関係について検討を行った。その結果を図-19、20に示す。中性化速度係数 $\alpha_a$ は、質量含水率が大きくなるほど小さくなる傾向にあり、両者の間に相関性が見られた。促進試験開始時の中性化深さにおいても質

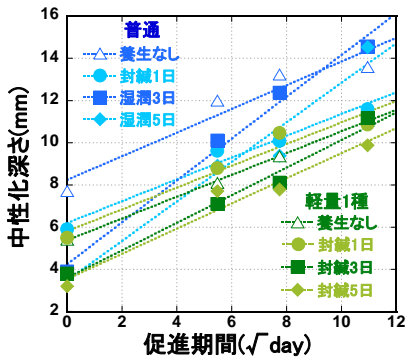


図-12 中性化深さの測定結果

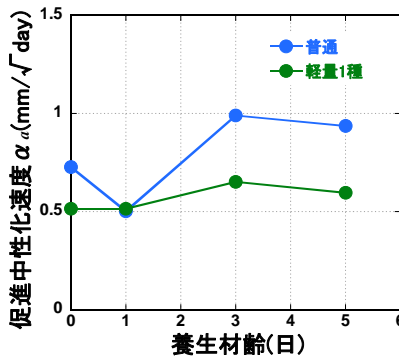


図-13 養生材齢と中性化速度係数

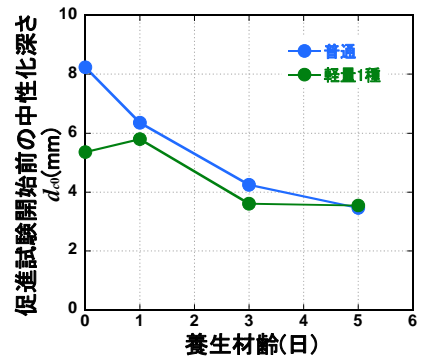


図-14 養生材齢と促進開始前の中性化深さ

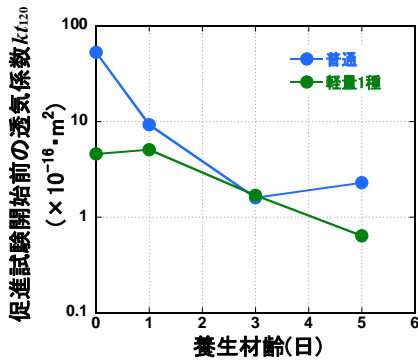


図-15 養生材齢と促進開始前の透気係数

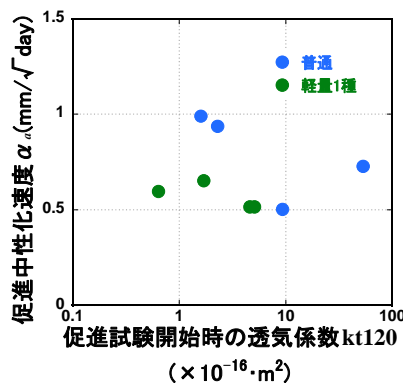


図-16 促進開始時の透気係数と促進中性化速度係数の関係

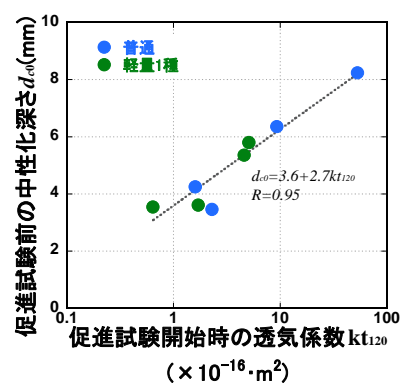


図-17 促進試験開始時の透気係数と促進試験開始時の中性化深さ

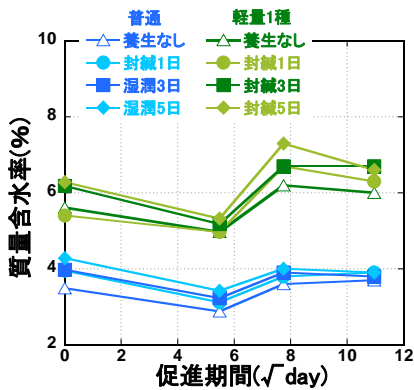


図-18 促進中性化期間中の質量含水率の変化

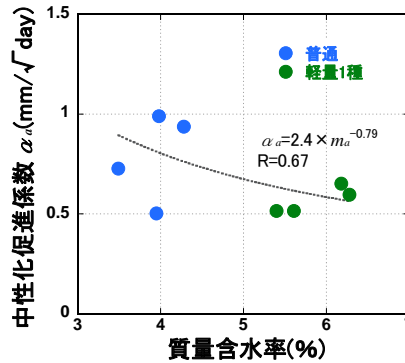


図-19 質量含水率と促進中性化速度係数の関係

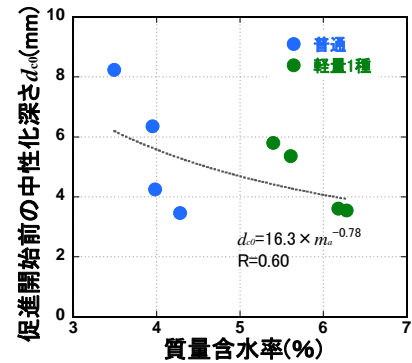


図-20 質量含水率と促進試験開始時の中性化深さ

量含水率が大きいほど小さくなっている。これら図より、軽量コンクリート1種は、人工軽量粗骨材の保水性により質量含水率が高く、そのため中性化の進行が緩やかであることが確認できた。これらのことから、中性化においても人工軽量粗骨材を用いて封緘養生を施すことで、耐中性化性能を確保できることが考えられる。また、人工軽量粗骨材を用いた場合においてもコンクリート内部の質量含水率を把握することにより、中性化速度係数の評価できる可能性が考えられる。

人工軽量粗骨材の中性化性能については、普通骨材を使用したコンクリートよりも劣る報告や本実験と同様に同等あるいは高いなど相反する報告<sup>11)</sup>があるため、骨材種類の違いだけでなく、マトリクス部の水セメント比や環境条件の違いの影響などについて検討し、引き続き引き続きデータを収集する予定である。

#### 4. まとめ

本研究では、人工軽量粗骨材の内部養生効果を普通強度のコンクリートの初期養生を簡略化する一つの手法として着目し、圧縮強度、収縮ひずみおよび中性化に及ぼす影響について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 同一の養生条件を行った場合、軽量コンクリート1種は養生終了時からの強度増加が大きく、湿潤養生5日と普通コンクリートの湿潤養生7日の強度発現性が同等であることが確認できた。
- 2) 軽量1種コンクリートを用いることにより、乾燥による収縮ひずみが抑制されることが確認できた。
- 3) 軽量1種コンクリートは普通骨材を用いたコンクリートと比較して中性化抑制効果が高い。人工軽量粗骨材を用いた場合においてもコンクリート内部の含水率を把握することにより、中性化速度係数の評価の可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 笠井芳夫: 極く早期脱型するコンクリート強度に関する実験研究(その1), 日本建築学会論文報告集, pp.17-23, 1971.1

- 2) 和泉意登志ほか: せき板の存置期間および初期養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第449号, pp.35-45, 1993.7
- 3) 李曉赫, 杉山央, 小野克也, 藤本郷史: コンクリートの初期材齢における温度および湿潤養生条件が中性化進行性に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻, 第703号, pp.1215-1225, 2014.9
- 4) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2015
- 5) 例えば, 五十嵐心一, 川村満紀, 神崎暁史: 軽量骨材の使用による高強度コンクリートの自己収縮の低減効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.339-344, 2002.7
- 6) 松藤泰典, 大久保孝昭, サンペブルピクター, 甲斐智史: 自己養生機能がコンクリートの強度性状に及ぼす影響, 日本建築学会研究報告, 中国・九州支部.1, 構造系, 第8巻, pp.33-36, 1987.3
- 7) 関田徹志ほか: 高炉セメントB種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に及ぼす少量混合成分および初期養生条件の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第80巻, 第718号, pp.1821-1831, 2015.12
- 8) 蔵重勲, 廣永道彦: コンクリートの中性化抵抗性と表層透気係数の関連分析に基づいた品質検査判定基準の提案, コンクリート工学年次論文集, vol.34, No.1, pp.718-723, 2012.7
- 9) 田中章夫, 今本啓一: 表層透気性による既存RC構造物の中性化予測に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.691, pp.1539-1544, 2013.9
- 10) 白石聖ほか: 旧国立霞ヶ丘競技場の建築材料調査 その7: 含水率, 日本建築学会大会学術講演論文集(関東), p.429-430, 2015.8
- 11) 大久保孝昭ほか: 長期間屋外暴露された人工軽量骨材コンクリートの諸性状, 日本建築学会計画系論文集, 第561号, pp.23-29, 2002.11