

論文 人工軽量骨材を用いた高炉セメントコンクリートの収縮ひび割れ特性に関する実験的研究

清原 千鶴*1・今本 啓一*2・荒井 圭子*3・石川 寛範*4

要旨: 夏期を想定した 30°C の環境下における高炉セメントコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の向上を目的に、人工軽量骨材を細骨材として使用した場合の収縮特性および収縮ひび割れ特性について実験的に検討を行った。その結果、人工軽量細骨材は人工軽量粗骨材よりは収縮低減効果が劣るが、自己収縮低減効果がありひび割れ発生材齢が遅延する傾向が得られた。人工軽量粗骨材を用いた場合に生じる応力強度比の低下も認められず、人工軽量細骨材は高温時における高炉セメントコンクリートの収縮ひび割れ抑制材料として利用可能であることを示した。

キーワード: 人工軽量骨材, 高炉セメント, 収縮ひび割れ, 応力強度比, 拘束ひずみ

1. はじめに

人工軽量骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみが普通骨材を用いたコンクリートと比較して小さくなる結果が得られており、この要因の 1 つに人工軽量骨材の比表面積が小さいことが挙げられる。さらに、人工軽量骨材の高い保水性により、乾燥過程において骨材中の水分をセメントペーストに供給する内部養生効果も期待され、特に低水セメント比のコンクリートにおいて自己収縮ひずみの低減対策としての使用が検討されている²⁾。

一方、高炉セメントを使用したコンクリートは、地球環境保全の観点から積極的な利用が期待されているが、既往の研究³⁾より、高炉セメント B 種を用いたコンクリートは環境温度に強い影響を受け、夏期における収縮ひび割れ抵抗性に劣ることが指摘されている。その対策として人工軽量骨材を粗骨材に用いた研究⁴⁾も行われており、人工軽量骨材による自己収縮低減効果が大きく、ひび割れ発生材齢が遅延する結果が得られているが、軽量骨材の置換率の増加とともに応力強度比が低下する結果も示されている。

これらのことから、本稿では夏期を想定した 30°C の環境下における高炉セメントコンクリートの収縮ひずみに着目し、人工軽量細骨材を用いた場合、収縮低減効果が得られるかどうか把握するとともに、収縮ひび割れ抵抗性について実験的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本稿では、人工軽量細骨材を用いた高炉セメントコンクリートの収縮および収縮ひび割れ特性を明らかにするために、モルタル試験体(シリーズ I)コンクリート試験

表-1 実験計画

実験シリーズ	記号	環境条件	軽量骨材置換率(%)	養生条件
シリーズ I (モルタル)	MN20	20°C	—	材齢 7 日まで 封緘養生
	MBB20		—	
	MBB20-LS25		s × 25	
	MBB20-LS50	30°C	s × 50	
	MN30		—	
	MBB30		—	
	MBB30-LS25		s × 25	
MBB30-LS50	s × 50			
シリーズ II (コンクリート)	CN30	30°C	—	材齢 3 日まで 封緘養生
	CBB30		—	
	CBB30-LS25		s × 25	
	CBB30-LS50		s × 50	
	CBB30-LS50LG50		s × 50 g × 50	

* 軽量骨材置換率は、骨材全容積に対する軽量骨材容積の比

体(シリーズ II)において実験を行った。実験計画を表-1 に示す。モルタル試験体によるシリーズ I では、環境温度を 20°C, 30°C に設定し、人工軽量細骨材の置換率を変化させ、環境温度の違いが収縮や収縮ひび割れ特性に及ぼす影響について検討を行った。コンクリート試験体によるシリーズ II では、環境温度を 30°C に想定した場合、人工軽量骨材の適用が高炉セメント B 種コンクリートの収縮や収縮ひび割れ特性に及ぼす影響について検討を行った。

2.2 使用材料および調合

実験に使用した骨材の基礎性状を表-2 に示す。表中の比表面積の値は相対湿度 32.5% の環境下にある簡易チャンバーを用い、BET 一点法(式(1))にて算出した値(式(2))である。なお、 P/P_0 は相対圧、 V_a は相対圧力の下で吸着されるガスの重量を示す。

$$V_m = V_a \{1 - (P/P_0)\} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{比表面積(m}^2\text{/g)} \\ & = \{V_m / 18.015 \times (6.023 \times 10^{23}) \times 10.8 \text{Å}^2\} / M \quad (2) \end{aligned}$$

*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 嘱託補手 工修 (正会員)

*4 人工軽量骨材協会 (正会員)

表-2 より人工軽量骨材は天然骨材と比較して比表面積が小さく、人工軽量粗骨材は人工軽量細骨材と比較して吸水率が大きく、密度および比表面積が小さい。練り混ぜ時には人工軽量骨材を表乾状態に調整して使用した。

コンクリートの調合表を表-3 に示す。高炉セメント B 種に相当する結合材として、普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm³, 比表面積 3320cm²/g, SO₃ 量 2.12%) と高炉スラグ微粉末 (密度 2.91g/cm³, 比表面積 3970cm²/g, 石膏無添加) を用い、高炉スラグ微粉末の添加量は結合材の 45% とした。

シリーズ I およびシリーズ II ともに水結合材比 W/B:50% とし、シリーズ I におけるモルタルの細骨材容積率はシリーズ II のコンクリート中のモルタルと同等とし 52% とした。

2.3 実験方法

(1) シリーズ I

試験体は各環境条件において全て材齢 7 日まで封緘養生を行い、脱型後は各環境条件において気中養生を行った。材齢 7, 28 日において圧縮強度試験(ヤング係数測定)および割裂引張強度試験を実施した。

自由収縮試験には φ50×100mm の円柱試験体を用い、埋め込みゲージにて測定を行った。乾燥収縮ひび割れ試験は、試験方法の簡便さを優先して、既往の研究⁵⁾ を参考にし、供試体の大きさは 40×40×140mm とした。拘束用の埋設鉄筋には丸鋼 φ13mm を用い、中央の試験区間の長さは 40mm とし、定着区間はねじ加工として、モルタルとの付着を確保するようにした。図-1 に乾燥収縮ひび割れ供試体の形状を示す。鉄筋中央部の 2 箇所にはひずみゲージを貼付け、鉄筋のひずみを測定した。

(2) シリーズ II

試験体はすべて恒温恒湿室内(温度 30℃, 相対湿度 60%)において材齢 3 日まで封緘養生を行い、脱型後気中養生とした。材齢 3, 7, 28, 91 日において圧縮強度試験(ヤング係数測定)および割裂引張強度試験を実施した。

自由収縮試験には 100×100×400mm の角柱試験体を用い、埋め込みゲージにて測定を行った。乾燥収縮ひび割れ試験は、日本コンクリート工学会で提案されているコンクリートの収縮ひび割れ評価試験方法⁹⁾ に準拠し、100mm×100mm×1100mm の試験体を 1 水準につき 2 体作製した。

3. 実験結果および考察

3.1 シリーズ I (モルタル実験)

(1) フレッシュ性状

表-4 にフレッシュ性状試験結果を示す。軽量骨材を用いた場合の空気量は質量法より算出した。高炉スラグ微粉末を用いるとフロー値が大きくなったが、いずれも試験体の打設に支障のない状況であった。

(2) 強度試験

圧縮強度試験および割裂引張強度試験結果を表-5 および図-2 に示す。本実験の範囲内においては、人工軽量細骨材を使用した試験体は陸砂のみを使用している MBB に比べて、圧縮強度が大きくなりその傾向は環境温度が高い 30℃ で顕著に現れた。これは、人工軽量細骨材

表-2 使用した骨材の基礎性状

骨材の種類	記号	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	比表面積 (m ² /g)
細骨材	大井川水系陸砂	SS	2.54	2.59	1.92	2.73
	人工軽量骨材	LS	1.62	1.86	15.0	2.54
粗骨材	青梅産碎石	CG	2.65	2.66	0.50	6.72
	人工軽量骨材	LG	1.26	1.63	29.0	6.53

表-3 コンクリートの調合(シリーズ II)

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							AE 減水剤 (C×%)	空気量調整剤			
			W	C	BS	SS	LS	CG	LG					
CN30	50	46.6	175	350	0	808	—	951	—	0.7	3A			
CBB30						795	—					0.7		
CBB30-LS25						596	143						0.5	
CBB30-LS50						398	286							0.5
CBB30-LS50LG50						475	291							

W:水, C:セメント, BS:高炉スラグ微粉末, A:C×0.001%

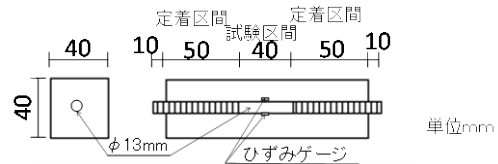


図-1 乾燥収縮ひび割れ試験体概要 (シリーズ I)

表-4 フレッシュ試験結果 (シリーズ I)

記号	フレッシュ試験結果			
	フロー値 (mm)	空気量 (%)	モルタル温度 (°C)	単位容積質量 (kg/L)
MN	195	4.9	21.0	2.30
MBB	225	2.5	20.8	2.34
MBB-LS25	222	2.0	20.5	2.24
MBB-LS50	224	2.4	20.5	2.13

表-5 強度試験結果 (シリーズ I)

記号	圧縮強度 (N/mm ²)		圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)		割裂引張強度 (N/mm ²)	
	7 日	28 日	7 日	28 日	7 日	28 日
MN20	31.3	37.4	21.5	23.5	2.68	2.95
MBB20	25.2	34.6	18.9	19.6	1.98	2.58
MBB20-LS25	23.3	35.4	16.9	18.2	1.79	2.13
MBB20-LS50	23.8	36.3	15.0	15.6	1.85	2.43
MN30	36.4	43.7	22.7	24.6	2.74	3.01
MBB30	37.1	39.7	20.3	21.3	1.97	2.54
MBB30-LS25	37.8	44.8	19.4	20.1	2.14	2.43
MBB30-LS50	37.9	46.9	18.1	18.2	2.26	3.10

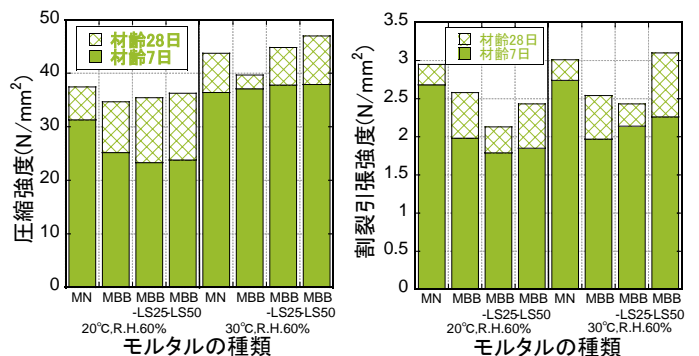


図-2 強度試験結果(シリーズ I)

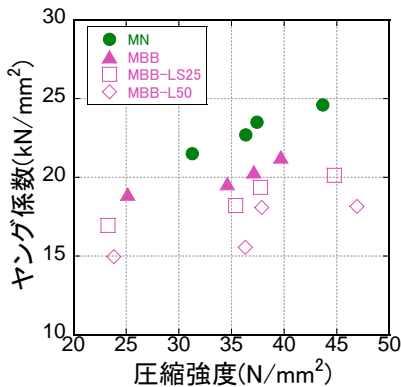


図-3 圧縮強度とヤング係数の関係 (シリーズ I)

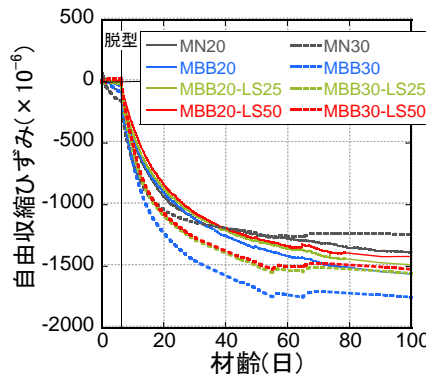


図-4 自由収縮ひずみの経時変化 (シリーズ I)

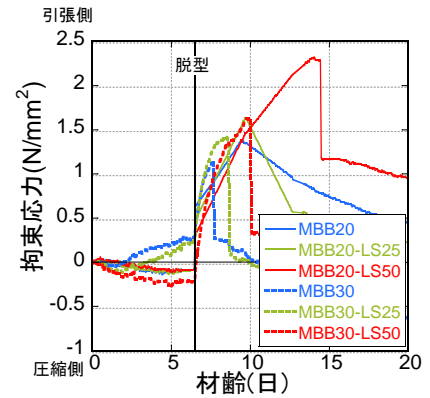


図-5 拘束応力の経時変化 (シリーズ I)

の内部養生効果により骨材中の水分が供給され、セメントペーストの水和反応が促進されたことが要因の1つであると考えられる。一方、割裂引張強度においては内部養生効果が見られず、人工軽量骨材自体が欠陥となり、強度が若干低下している。

圧縮強度とヤング係数の関係を図-3に示す。陸砂のみを使用した MBB よりも同一圧縮強度時のヤング係数は若干小さく、置換率が増加するほどその値が小さくなっている。

(3)自由収縮試験

図-4に各環境温度における自由収縮ひずみの経時変化を示す。同時に計測を行った収縮ひび割れ試験の拘束鉄筋にひずみが生じた時点を経験点としている。

MBB は 20℃と比較して 30℃の環境下においてひずみが顕著に大きくなっているが、人工軽量細骨材の使用により収縮ひずみが約 12%低減し、20℃においても約 5%低減している。人工軽量細骨材の収縮低減効果は 30℃の環境下において高く現われている。なお、置換率の影響は明確には現われなかった。

(4)収縮ひび割れ試験

収縮応力の経時変化を図-5に示す。試験体による差が見られなかったため図中には各調査 1 本の試験体の計測結果を示している。MBB は 20℃と比較して 30℃の環境下において拘束応力が大きくなっているが、人工軽量細骨材を用いることにより拘束応力が低減しており、置換率 50%において低減効果が高くなっている。また、養生期間中の拘束応力について着目してみると MBB30 では引張側に進行しているのに対し、MMB30-LS50 では膨脹側に増大している。図-4に示す養生期間中のひずみ(自己収縮ひずみ)に着目すると人工軽量細骨材を用いると自己収縮ひずみが低減しており、そのため養生期間中の拘束応力が低減したと考えられる。

拘束応力が急激に変化した点をひび割れ発生材齢として測定結果をまとめたものを表-6に示す。人工軽量細骨材を 50%置換することで、ひび割れ発生材齢が若干遅延

表-6 乾燥収縮ひび割れ試験結果(シリーズ I)

	ひび割れ発生材齢(日)	拘束応力(N/mm²)	応力強度比	拘束ひずみ(×10 ⁻⁶)	自由ひずみ(×10 ⁻⁶)	拘束率
MBB20	9.52	1.39	0.67	280	387	0.72
MBB20-LS25	9.72	1.40	0.76	329	387	0.85
MBB20-LS50	11.98	1.84	0.95	354	449	0.79
MBB30	7.64	1.16	0.57	288	349	0.83
MBB30-LS25	8.59	1.26	0.59	286	347	0.82
MBB30-LS50	9.55	1.45	0.60	347	416	0.84

表-7 フレッシュ性状(シリーズ II)

	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	単位容積質量(kg/L)
CN	20.5	6.1	24.5	2.271
CBB	20.5	5.7	24.7	2.294
CBB-LS25	20.5	3.5	26.5	2.239
CBB-LS50	20.5	4.0	26.1	2.170
CBB-LS50LG50	19.0	4.5	25.6	1.973

表-8 強度試験結果(シリーズ II)

	試験材齢(日)	CN	CBB	CBB-LS25	CBB-LS50	CBB-LS25LG50
圧縮強度(N/mm²)	3	25.3	18.6	17.2	16.3	15.3
	7	29.7	23.8	25.0	24.6	24.6
	28	29.9	29.5	30.2	30.1	28.0
	91	29.4	26.9	27.2	28.8	28.6
圧縮ヤング係数(kN/mm²)	3	23.6	20.5	18.6	17.0	14.7
	7	27.0	23.5	23.4	23.4	17.5
	28	30.4	24.3	22.9	27.0	18.6
	91	26.5	27.7	21.9	19.2	17.5
割裂引張強度(N/mm²)	3	2.43	1.49	1.30	1.24	1.89
	7	2.38	2.25	2.43	2.10	2.59
	28	2.39	2.66	2.41	2.60	3.23
	91	2.47	2.23	2.35	2.28	3.08

している。モルタル試験体による実験結果では、既往の研究⁴⁾で指摘されていた拘束応力強度比の低下は見られなかった。なお、ひび割れ発生時の引張強度は、図-2に示す割裂引張強度試験結果を直線補間して求めた。

これらのことから、人工軽量細骨材の使用は 30℃の環境下における高炉セメントコンクリートの収縮低減対策として期待できる。

3.2 シリーズ II (コンクリート実験)

(1)フレッシュ性状

フレッシュ性状試験結果を表-7に示す。人工軽量骨材を使用したコンクリートの空気量は質量法により算出した。目標スランプ 18±2.5cm、目標空気量 4.5±1.5%として練り混ぜを行った。いずれもワーカビリティは良好であった。

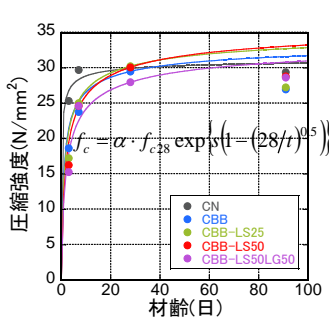


図-6 強度試験結果(シリーズ II)

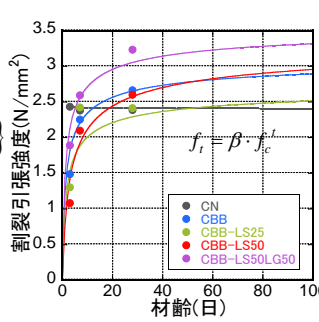


図-7 含水率と強度増加率の関係 (シリーズ II・材齢 28 日)

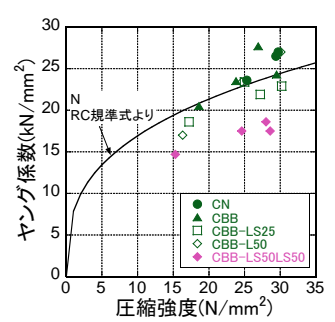


図-8 圧縮強度とヤング係数の関係(シリーズ II)

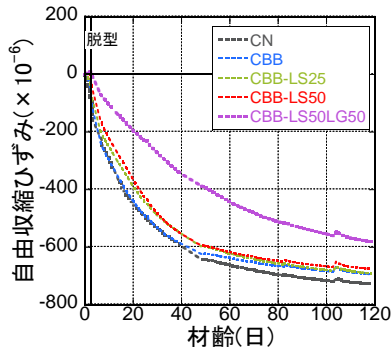


図-9 自由収縮ひずみの経時変化 (シリーズ II)

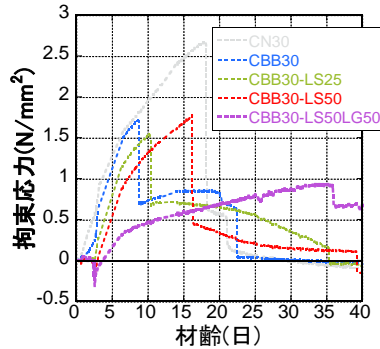


図-10 拘束応力の経時変化 (シリーズ II)

表-9 収縮ひび割れ試験結果(シリーズ II)

	CN	CBB	CBB-LS25	CBB-LS50	CBB-LS50LG50
ひび割れ発生材齢(日)	18.1	9.0	10.9	14.5	37.3
乾燥開始時の拘束応力(N/mm²)	0.69	0.32	-0.09	-0.20	-0.29
拘束応力(N/mm²)	2.61	1.72	1.42	1.63	0.93
応力強度比	1.08	0.75	0.74	0.71	0.30
自由ひずみ(x 10 ⁻⁶)	430	283	255	277	297
拘束ひずみ(x 10 ⁻⁶)	284	187	176	186	245
拘束率	0.66	0.66	0.69	0.67	0.82

(2)強度試験

表-8 および図-6 に強度試験結果を示す。圧縮強度および割裂引張強度は材齢 7 日までは CN に比べて CBB の強度は低いが、材齢 28 日以降は CN と同等以上の強度発現が得られた。人工軽量骨材を用いたコンクリートは材齢 7 日以降において CBB に比べて強度が高くなっている。図-7 に材齢 28 日における含水率と材齢 3 日からの強度増加率の関係を示している。含水率の測定は強度試験と同一の環境条件下に存置した $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱試験体を用い、強度試験時に試験体を 50mm 間隔にカットして質量含水率を求めた。人工軽量骨材を用いたコンクリートは材齢 28 日においても高い含水率を保持しており、ばらつきはあるが含水率が高いものほど強度増加率が高くなっている。このことから、人工軽量骨材の内部養生効果により長期に渡って強度増進が期待できる。また、CN と CBB を比較してみると含水率の差に比べて強度増加率は CBB の方が大きい。これは高炉スラグ微粉末の反応によるものと考えられる。

図-8 に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。人工軽量骨材を用いると同一圧縮強度時のヤング係数は小さくなるが、CBB-LS50 と CBB-LS50LG50 を比較すると人工軽量粗骨材を加えることによりヤング係数の低下が顕著に現われている。

(3)自由収縮試験

図-9 に自由収縮ひずみの経時変化を示す。同時に計測を行った収縮ひび割れ試験の拘束鉄筋にひずみが生じた

時点を原点としている。CBB と比較して人工軽量細骨材を混入することで乾燥初期の収縮ひずみの進行が緩やかになっており、その傾向は人工軽量粗骨材を加えると顕著に現われる。これは、表-2 に示すように人工軽量粗骨材の比表面積が非常に小さいことが影響しているものと考えられる。

(4)収縮ひび割れ試験

拘束応力の経時変化を図-10 に示す。試験体による差が見られなかったため図中には各調合 1 本の計測結果を示している。シリーズ I と同様に人工軽量細骨材を用いることで、CBB の拘束応力が低減している。CBB が乾燥開始時に約 0.3N/mm^2 の引張応力が生じているのに対して、人工軽量細骨材を用いると CBB-LS25 が約 0.1N/mm^2 、CBB-LS50 が約 0.2N/mm^2 の圧縮応力が生じている。乾燥開始後の応力勾配は CBB と同程度であることから、乾燥開始までの自己収縮低減効果が収縮ひび割れ抑制に影響を及ぼしている。人工軽量粗骨材を加えた CBB-LS50LG50 は乾燥後の拘束応力の進展が非常に緩やかで低い値で推移している。

拘束応力が急激に変化している時点をひび割れ発生材齢とした収縮ひび割れ試験結果の一覧を表-9 に示す。人工軽量骨材の置換率とひび割れ発生材齢の関係を図-11 に示す。図中には、人工軽量粗骨材のみを用いた既往の研究結果⁴⁾も併せて示している。人工軽量骨材の置換率が大きいほどひび割れ発生材齢が遅延し、人工軽量粗骨材を用いるとその傾向が顕著になる。このことから、人

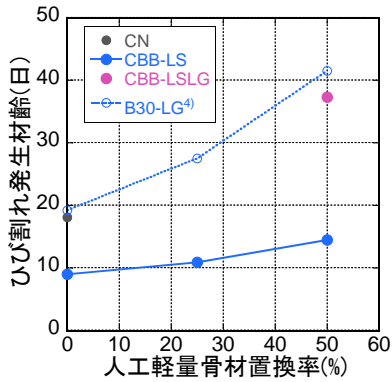


図-11 人工軽量骨材置換率とひび割れ発生材齢の関係(シリーズⅡ)

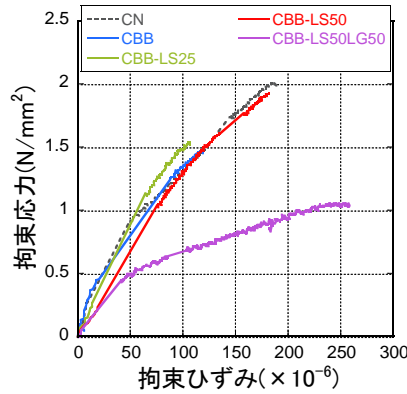


図-12 拘束応力-ひずみ曲線(シリーズⅡ)

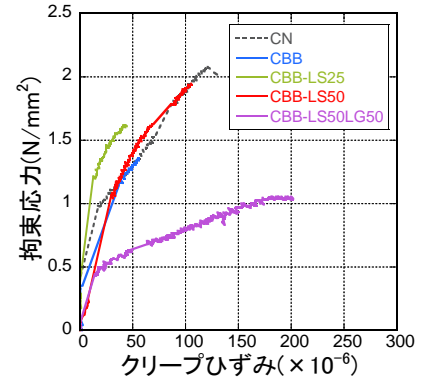


図-13 クリープひずみと拘束応力の関係(シリーズⅡ)

工軽量骨材により 30℃の環境下における高炉セメント B 種コンクリートの収縮ひび割れ発生材齢が若干長くなることを確認できた。

乾燥開始時点をもととした時の拘束応力-拘束ひずみ曲線を図-12 に示す。拘束ひずみは拘束鉄筋のひずみから自由収縮ひずみを除いた値である。表-9 に示すように CBB-LS50LG50 の拘束率が他の試験体よりも高い結果となっているため単純な比較はできないが、人工軽量細骨材の置換率が増えるほど拘束応力-拘束ひずみ曲線の勾配が小さくなっており、人工軽量粗骨材を用いるとその影響が顕著に現われる。この拘束応力-拘束ひずみ曲線には、引張クリープや弾性係数の影響が含まれる。そこで、拘束ひずみから引張クリープひずみの影響について検討を行った。

引張クリープひずみは、式(3)に示すように仮定して、拘束ひずみから弾性ひずみを差し引いた値として表した。

$$\varepsilon_{ic} = (\varepsilon_f - \varepsilon_a) - \varepsilon_e \quad (3)$$

ここに、 ε_{ic} : 引張クリープひずみ、 ε_f : 自由収縮ひずみ
 ε_a : 実ひずみ、 ε_e : 弾性ひずみ、

式(3)中の弾性ひずみには表-8 に示す材齢 28 日のヤング係数の実測値を用いた CEB-FIP 1990 Model Code による計算値を使用した。図-13 に得られたクリープひずみと拘束応力の関係を示す。CBB-LS50LG50 が他の試験体に比べて同一の拘束応力時の引張クリープひずみが大きく、拘束ひずみ中のクリープ成分が占める割合が大きい。筆者らが行った一軸拘束試験機を用いた軽量コンクリート I 種のひび割れ試験結果⁷⁾においても同様な傾向を示している。一方、人工軽量細骨材のみを置換した場合もヤング係数は若干低下しているがクリープひずみが大きくなる傾向は見られなかった。人工軽量粗骨材の併用により、ヤング係数が小さくなり、さらにコンクリートの含水率が高いことなどからクリープひずみが増大したものと考えられる。

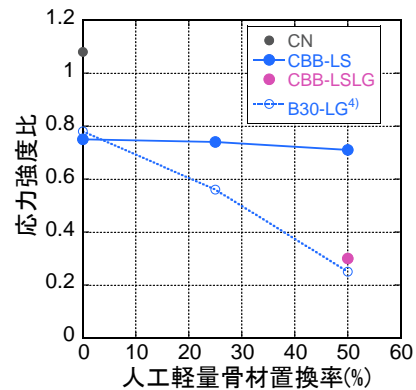


図-14 人工軽量骨材置換率と応力強度比の関係

(5) ひび割れ発生条件

ここでは、ひび割れ発生条件として応力強度比(ひび割れ発生時の拘束応力をその材齢における引張強度で除した値)および伸び能力(ひび割れ発生時の引張ひずみ)について検討を行った。

軽量骨材の置換率と応力強度比の関係を図-14 に示す。算出に必要な割裂引張強度は、図-6 に示した実験から得られた割裂引張強度を CEB-FIP 1990 Model Code により数式化したものを用いた。シリーズ I の結果と同様に人工軽量細骨材を用いた場合は、応力強度比の低下は見られないが、人工軽量粗骨材を用いることで、応力強度比が著しく低下している。既往の研究によると応力強度比が 0.5 以下ではひび割れが発生しないことが指摘されている⁸⁾が、人工軽量粗骨材のように剛性が低く、骨材自体の収縮ひずみも小さい骨材を用いた場合、収縮応力が卓越して小さくなるため低い応力強度比でひび割れが発生したものと考えられる。また、クリープ破壊試験において試験体に水分が多いほどクリープ破壊時の応力レベルは低下することが示されており⁹⁾、試験体の含水率の影響も考えられる。一方、人工軽量細骨材は、ヤング係数低下や収縮低減効果が粗骨材よりも小さいため上記に示した影響が現われなかったためと考えられる。

ひび割れ発生材齢と拘束ひずみの関係を図-15 に示す。

ひび割れ発生材齢が伸びるほど拘束ひずみは大きくなる傾向にある⁸⁾とされているが、人工軽量骨材を用いた場合においても同様な傾向が確認できた。なお、CN は他の試験体に比べて同一のひび割れ発生日に対する拘束ひずみの値が大きくなった。

以上の実験結果より、CBB の材齢 28 日のヤング係数、割裂引張強度、自由収縮ひずみおよび引張クリープひずみを基に人工軽量骨材の置換率の影響を考慮してそれぞれ数式化し、有効ヤング係数法を用いて拘束応力を算出した。なお、拘束率は CBB の実験結果と同一と仮定して算出した。また、ひび割れ発生条件として、算出した拘束ひずみが図-15 に示す近似線を越えた時をひび割れ発生点とした。算出結果を図-16 に示す。点線が実験値、実線が計算値を示す。これによると計算値はほぼ実験値を表しており、人工軽量骨材の置換率を大きくすることで、ひび割れ発生材齢が遅延することが分かった。

4.まとめ

本稿では、人工軽量骨材を用いた高炉セメントコンクリートの収縮ひび割れ特性を明らかにするためにモルタル試験体およびコンクリート試験体を用いた収縮ひび割れ試験により検討を行った。

- 1) 人工軽量細骨材の置換率の増加とともにひび割れ発生材齢が若干長くなる傾向にあり、高温時における高炉セメントコンクリートの収縮ひび割れ抑制効果が期待できる。
- 2) 人工軽量細骨材を用いた場合、自己収縮抑制効果により乾燥開始前に圧縮応力が導入されている。
- 3) 人工軽量細骨材を用いた場合、乾燥開始直後の収縮ひずみの進行が緩やかになり、その傾向は人工軽量粗骨材を用いると顕著に現われる。
- 4) 人工軽量粗骨材を併用すると、収縮ひび割れ抵抗性が大きく向上するが、引張クリープが増大するため低い応力強度比でひび割れが発生する。最適な人工軽量粗骨材の置換率を検討する必要がある。

[謝辞]本研究は鉄鋼スラグ協会の委託により実施されたものであり、鹿島建設株式会社技術研究所:閑田徹志氏、百瀬晴基氏、石関浩輔氏および東京理科大学卒論生:井上朋哉君の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 後藤幸正, 藤原忠司:コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響, 土木学会論文集, 286 号, pp.125-137, 1979.6
- 2) 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
- 3) 新谷彰, 閑田徹志, 百瀬晴基, 今本啓一, 小川亜希子:高

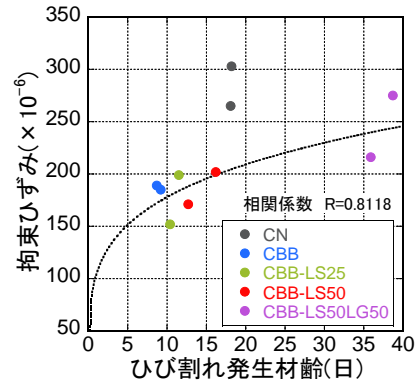


図-15 ひび割れ発生材齢と拘束ひずみの関係 (シリーズ II)

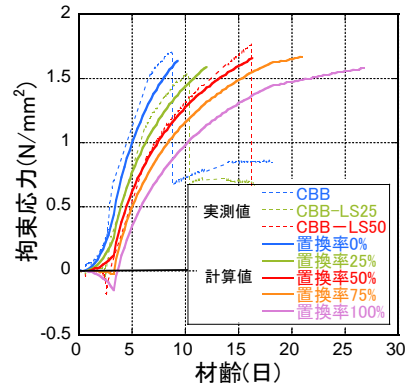


図-16 有効ヤング係数法による拘束応力の算出結果 (シリーズ II)

炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの拘束ひび割れ実験, 学術講演梗概集.A-1, 材料施工 2010, pp947-948, 2010.7

- 4) 百瀬晴基, 閑田徹志, 依田和久, 笠井浩:高炉セメント B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の向上に与える軽量骨材の効果に関する実験検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.589-594, 2003.7
- 5) 蔦海燕, 上田賢司, 佐藤嘉昭, 大谷俊浩, 清原千鶴:モルタルの収縮ひび割れ試験方法に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 分冊, 材料施工, pp.733-734, 2012.9
- 6) 日本コンクリート工学会:混和材料から見た収縮ひび割れ低減と耐久性改善研究委員会, 2010.9
- 7) 本間敏明, 今本啓一, 小川亜希子, 石川寛範:一軸拘束試験によるコンクリートの収縮ひび割れ発生性状の研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.637-642, 2009.7
- 8) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造構造物の収縮ひび割れメカニズムと対策技術の現状, 2003.5
- 9) 永松静也ほか:モルタルのクリープ破壊強度に関する研究ークリープ破壊強度の確率分布と試片の含有水分がそれにおよぼす影響についてー, セメント技術年報 33, pp.413-416, 1979