

報告 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

百瀬 晴基^{*1}・関田 徹志^{*2}・依田 和久^{*3}・笠井 浩^{*3}

要旨: 高炉セメント B 種コンクリートは、環境負荷低減に大きく寄与することから、RC 造建築構造物への適用が期待されているが、高温時の収縮ひび割れ抵抗性が低下するなど課題も指摘されている。本研究では、同コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の改善を目指し、軽量骨材の効果を明らかにすべく拘束ひび割れ試験による検討を行った。実験結果によれば、軽量骨材による自己収縮低減効果が大きく、ひび割れ材齢も長くなる結果となったが、軽量骨材の置換率が大きくなるほど限界応力強度比が低下する現象が認められ、収縮ひび割れ抵抗性の向上を最大化するためには、軽量骨材の最適な置換率があることが示唆された。

キーワード: 高炉セメント, 高炉スラグ微粉末, 収縮, ひび割れ, 軽量骨材

1. はじめに

高炉セメント B 種コンクリート(以下、高炉 B 種コンクリートと称する)は、環境負荷低減に大きく寄与することから、RC 造建築構造物への適用が期待されている。しかしながら、高炉 B 種コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート(以下、普通コンクリートと称する)に比べ中性化抵抗性や収縮ひび割れ抵抗性が劣るとされており、長期にわたり湿潤環境下となる地下躯体への適用に限定されている¹⁾。高炉 B 種コンクリートを上部躯体に適用するためには収縮ひび割れ抵抗性の向上が重要となるが、高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性は、普通コンクリートに比べ、特に高温時に低下する傾向が指摘されている²⁾。

本報では、高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の改善を目指し、軽量骨材を用いた高炉 B 種コンクリートについて、拘束ひび割れ試験による検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験要因と水準の組み合わせ

実験要因と水準の組み合わせを表-1 に示す。本研究における拘束ひび割れ試験は、温度シリーズ²⁾と材料シリーズの2つからなる。本報では温度シリーズで6 調合、材料シリーズで6 調合の全 12 調合を対象とした。温度シリーズでは、高炉セメント B 種に相当する結合材を用いた高炉 B 種コンクリートと普通コンクリートを対象に、それぞれ環境温度を 30℃, 20℃, 10℃に設定して、夏期、標準期、冬期を模擬した拘束ひび割れ試験を実施した。材料シリーズでは、高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性が 30℃において普通コンクリートに対して著しく劣ることが文献 2) で明らかになったことを受け、軽

量骨材が高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に与える影響について検討した。軽量骨材は人工軽量粗骨材を用い、置換率は粗骨材容積比で g×25%, g×50%, g×75%の3 水準とした。

2.2 材料および調査

使用材料の一覧を表-2 に、調合表の一覧を表-3 に示す。高炉 B 種コンクリートは、普通ポルトランドセメントと比表面積 4200cm²/g 程度の高炉スラグ微粉末を用い、高炉セメント B 種相当として高炉スラグ微粉末の添加量は結合材の 42%とした。軽量骨材は絶乾密度 1.32g/cm³ の人工軽量粗骨材を使用した。単位水量は 175kg/m³, 水結合材比は 50.0%とした。軽量骨材は練混ぜ時に表乾状態に調整して用いた。

2.3 試験の項目と方法

(1) フレッシュコンクリートの試験

フレッシュコンクリートの試験として、スランプ(JIS A 1101), 空気量(JIS A 1128), コンクリート温度(JIS A 1156), 単位容積質量(JIS A 1116)の試験を行った。

表-1 実験要因と水準の組み合わせ

実験シリーズ	記号	実験要因		
		コンクリート種類	環境条件	軽量骨材置換率
温度シリーズ (文献2)	B30	高炉B種 コンクリート	30°C CRH60%	-
	B20		20°C CRH60%	-
	B10		10°C CRH40%	-
	N30	普通 コンクリート	30°C CRH60%	-
	N20		20°C CRH60%	-
	N10		10°C CRH40%	-
材料シリーズ	B30-LG25	軽量骨材を用いた 高炉B種 コンクリート	30°C CRH60%	g×25%
	B30-LG50			g×50%
	B20-LG25			g×25%
	B20-LG50		g×50%	
	B20-LG75		g×75%	
	B10-LG50		10°C CRH40%	g×50%

* 軽量骨材置換率: 粗骨材全容積に対する軽量骨材容積の比率

*1 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 博士(工学) (正会員)

*2 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 Ph. D (正会員)

*3 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 博士(工学) (正会員)

(2) 強度試験

1水準につきφ100×200mmの試験体を18体作製した。材齢7日までは各温度条件の封かん養生とし、材齢7日以降は各養生条件の気乾養生とした。材齢3日、7日、28日の時点で3体ずつ、圧縮強度試験(JIS A 1108)および静弾性係数試験(JIS A 1149)を行った。また、材齢3日、7日、28日の時点で3体ずつ割裂引張強度試験(JIS A 1113)を行った。

(3) 拘束ひび割れ試験および自由収縮試験

拘束ひび割れ試験は、文献3)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に準拠し、図-1に示す100mm×100mm×1100mmの試験体を1水準につき2体作製した。拘束体である鉄筋は丸鋼φ32mmとし、定着部をM33相当のネジ加工とし、試験区間の中央部で対称に2枚のひずみゲージを貼付した。拘束ひび割れ試験体は、打込み直後から封かん養生とし、材齢7日の時点で脱型しRH60%の2面気乾養生とした。試験体の底面および打設面にアルミテープを貼付し上下面を封かん養生とすることで2面気乾養生とした。自由収縮試験体として、試験体断面の中心部に埋め込みひずみゲージを設置した100mm×100mm×400mmの試験体を1水準につき2体作製した。自由収縮試験体の養生方法は拘束ひび割れ試験と同じとした。

3. 実験結果と考察

3.1 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果の一覧を表-4に示す。練上がり時のスランブの目標値は19±2.5cm、空気量の目標値は5.0±1.5%とした。軽量骨材を用いた調合の空気量については、骨材修正係数を0.5%と仮定し、空気量の試験結果から0.5%減じて評価した。表-4から、スランブおよび空気量共に許容値内の結果が得られ、ワーカビリティも良く、試験体の打設に支障のない性状であった。

3.2 強度試験結果

強度試験結果の一覧を表-5に、圧縮強度試験結果を図-2に、軽量骨材置換率が圧縮強度に与える影響を図-3に示す。表-5、図-2および図-3から、30℃における軽量骨材を用いたコンクリートは、高炉B種コンク

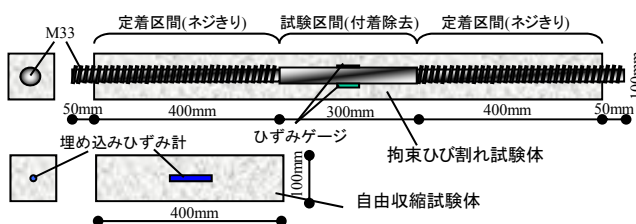


図-1 拘束ひび割れ試験体および自由収縮試験体の詳細

表-2 使用材料の一覧

大項目	小項目	物性値
セメント	普通ポルトランドセメント	表乾密度3.16g/cm ³
混和材	高炉スラグ微粉末4000	表乾密度2.89g/cm ³ 比表面積4170cm ² /g
細骨材	奥多摩産硬質砂岩砕砂	表乾密度2.64g/cm ³
天然粗骨材	奥多摩産硬質砂岩砕石	表乾密度2.66g/cm ³ 、実積率64.3%
軽量骨材	人工軽量粗骨材	絶乾密度1.32g/cm ³ (区分M) 吸水率28.0%、実積率60.0%(区分A)
混和剤	高性能AE減水剤	-

表-3 調合表の一覧

記号	軽量粗骨材置換率	s/a (%)	単位重量(上段: kg/m ³)					
			水	セメント	高炉スラグ	細骨材	天然粗骨材	軽量骨材
B	-	46.3	175	203	147	813	949	-
N	-	46.7	175	350	-	825	949	-
B-LG25	g×25%	48.6	175	203	147	853	681	113
B-LG50	g×50%	49.6	175	203	147	870	446	221
B-LG75	g×75%	50.5	175	203	147	886	219	326

* W/B: 50%、軽量骨材置換率: 粗骨材全容積に対する軽量骨材容積の比率

* 軽量骨材の重量は絶乾重量

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果の一覧

記号	高性能AE減水剤(B×%)	フレッシュコンクリートの試験結果			
		スランブ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	単位容積質量(kg/L)
B	0.63	19.0	4.6	20.3	2.297
N	0.75	19.5	4.9	20.6	2.288
B-LG25	0.58	18.5	4.7	20.0	2.204
B-LG50	0.58	20.5	5.1	20.3	2.120
B-LG75	0.58	19.5	6.1	20.4	2.032

* 軽量骨材を用いた調合の空気量は骨材修正係数0.5%を減じた値

表-5 強度試験結果の一覧

記号	圧縮強度(N/mm ²)			弾性係数(×10 ³ N/mm ²)			割裂引張強度(N/mm ²)		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日
B30	21.4	34.1	41.9	22.1	27.8	28.5	2.09	2.92	3.70
B20	15.4	26.4	40.4	20.5	23.7	28.2	1.64	2.31	3.51
B10	8.7	20.3	37.5	15.6	22.6	28.4	0.98	1.93	3.53
N30	29.0	38.1	48.6	26.0	29.6	30.6	2.83	2.99	4.39
N20	24.8	36.1	47.8	22.9	30.4	29.7	2.62	3.04	4.32
N10	17.3	33.9	44.8	21.0	26.0	29.6	1.80	2.67	3.66
B30-LG25	22.8	37.0	51.3	20.4	25.7	27.9	2.15	2.86	4.10
B30-LG50	19.1	31.1	46.3	17.0	22.4	21.3	1.91	2.58	3.57
B20-LG25	15.8	26.0	39.9	18.3	22.5	25.4	2.11	2.34	4.00
B20-LG50	15.3	23.5	39.7	17.5	19.1	23.4	1.83	2.09	3.64
B20-LG75	12.6	20.5	36.4	14.7	17.0	21.0	1.51	2.17	3.20
B10-LG50	7.4	16.3	32.2	11.8	17.6	21.8	1.03	1.72	3.01

* 環境条件: 7日まで封かん養生、7日以降気乾養生

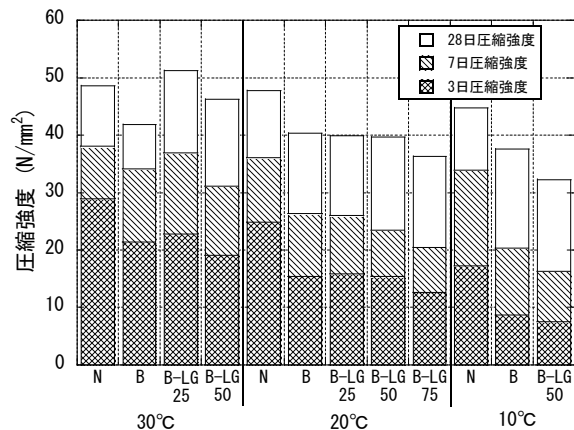


図-2 圧縮強度試験結果

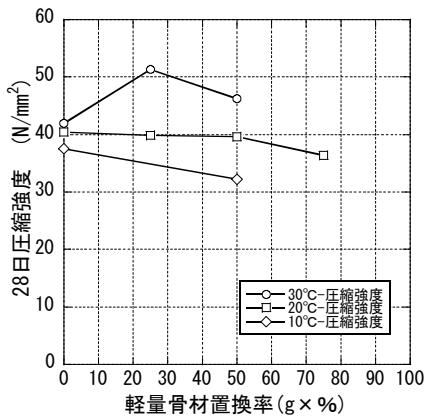


図-3 軽量骨材置換率が圧縮強度に与える影響

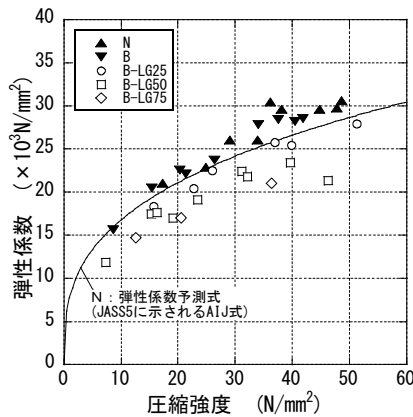


図-4 圧縮強度と弾性係数の関係

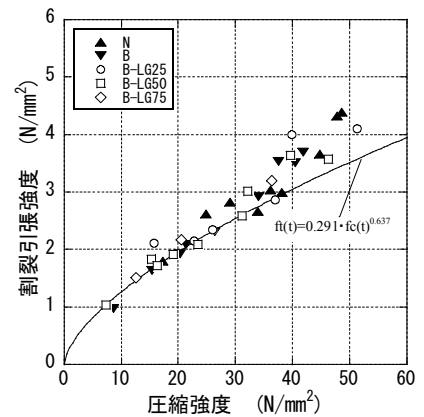


図-5 圧縮強度と割裂引張強度の関係

リートに比べて、圧縮強度が高くなる結果となった。これは、軽量骨材による自己養生効果により乾燥過程に水分を供給するため、強度が増進したことが一因として考えられる。一方で、軽量骨材自体が欠陥となるため、軽量骨材置換率が大きくなると強度低下が生じている。これらの結果から、軽量骨材置換率を検討した 30°C および 20°C の条件では、高炉 B 種コンクリートと同等以上の圧縮強度を確保するために適切な軽量骨材置換率は $g \times 50\%$ 以下が望ましいと考えられる。

圧縮強度と弾性係数の関係を図-4 に示す。図中には、JASS 5 に示される弾性係数予測式により⁴⁾、N の弾性係数を算定した結果も併せて示す。図-4 から、N と B の圧縮強度に対する弾性係数は同程度であり、軽量骨材置換率が大きくなるに従い、圧縮強度に対する弾性係数は小さくなる結果となった。

圧縮強度と割裂引張強度の関係を図-5 に示す。図中には、文献 5) の割裂引張強度予測式による算定結果も併せて示す。図-5 から、圧縮強度に対する割裂引張強度は、コンクリートの調合で大きな差がなく、軽量骨材の影響は認められなかった。

3.3 自由収縮試験結果

30°C 条件下における乾燥開始までの自由ひずみ結果を図-6 に、20°C 条件下における乾燥開始までの自由ひずみ結果を図-7 に、軽量骨材置換率が乾燥開始時点の自由ひずみに与える影響を図-8 に示す。図-6 から、N30 は打込み直後から収縮挙動を示しているのに対し、B30 は 50μ 程度膨張し直ちに収縮側に転じ、乾燥開始時点の自由ひずみは N30 と B30 は同程度の結果となった。一方、軽量骨材を用いた B30-LG25 および B30-LG50 は、打込み直後に 50μ 程度膨張し、乾燥開始時点まで収縮挙動は認められなかった。図-7 から、軽量骨材を用いた B20-LG25, B20-LG50, B20-LG75 においても、打込み直後に $75 \sim 100 \mu$ 程度膨張し乾燥開始までに収縮挙動は認められなかった。図-8 から、N および B の乾燥開始時点の自由ひずみは、 50μ 程度の収縮ひずみであるが、

軽量骨材を用いたコンクリートは 50μ 以上の膨張ひずみが発生しており、N および B に対して 100μ 以上のひずみ差が得られる結果となった。また、軽量骨材置換率が $g \times 25\%$ 以上では、その膨張ひずみの値は大きく変化しないことから、自己収縮の低減を目的とした場合、軽量骨材置換率は $g \times 25\%$ 以上であれば期待する効果が得られると考えられる。

30°C 条件下における乾燥収縮ひずみ結果を図-9 に、20°C 条件下における乾燥収縮ひずみ結果を図-10 に、軽量骨材置換率が乾燥材齢 182 日時点の乾燥収縮ひずみに与える影響を図-11 に示す。ここでは、乾燥開始時点を中心とした自由ひずみを乾燥収縮ひずみと定義した。図-9 および図-10 から、B30 の乾燥収縮ひずみは N30 よりも大きい、B20 の乾燥収縮ひずみは N20 よりも小さい結果となった。文献 6) では高炉 B 種コンクリートは温度が高いほど自己収縮ひずみが大きくなることが報告されており、この影響が乾燥収縮ひずみに反映したことが一因として考えられる。また、普通コンクリートおよび高炉 B 種コンクリートは乾燥開始直後から急激に収縮しているのに対し、軽量骨材を用いたコンクリートは緩やかに収縮しており、その挙動は軽量骨材置換率が高いほど顕著であった。図-11 から、軽量骨材置換率が乾燥材齢 182 日時点の乾燥収縮ひずみに与える顕著な影響は認められなかった。

3.4 拘束ひび割れ試験結果

拘束ひび割れ試験結果を表-6 に、30°C 条件下における収縮拘束応力の経時変化を図-12 に、20°C 条件下における収縮拘束応力の経時変化を図-13 に示す。拘束ひび割れ試験における収縮拘束応力は、測定した鉄筋のひずみ量から力の釣り合い条件により計算して求めた。図-12 から、封かん養生である材齢 7 日までは、B30 および N30 は緩やかに引張側に増大しているのに対し、B30-LG25 および B30-LG50 は緩やかに膨張側に増大する結果となった。図-6 の自由ひずみでは、B30 も材齢 0.5 日程度まで膨張挙動を示していたが、拘束条件下で

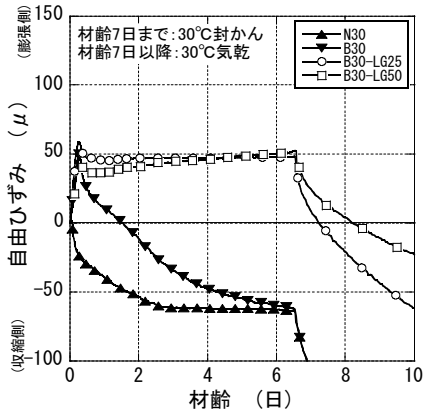


図-6 乾燥開始までの自由ひずみ(30℃)

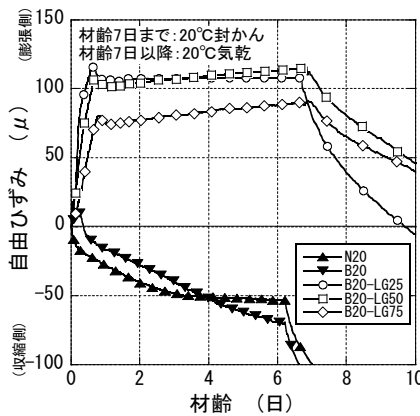


図-7 乾燥開始までの自由ひずみ(20℃)

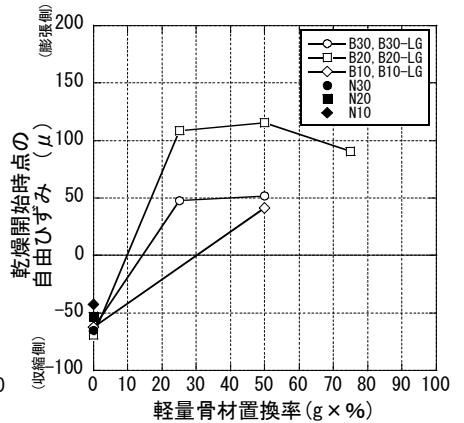


図-8 軽量骨材置換率が自由ひずみに与える影響

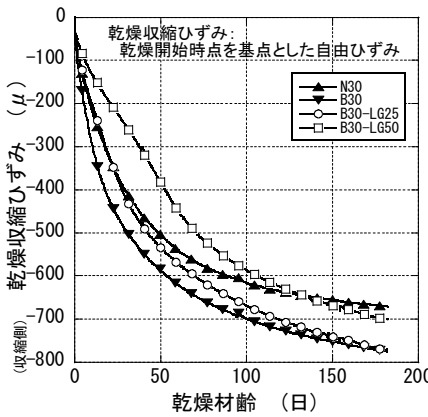


図-9 乾燥収縮ひずみ結果(30℃)

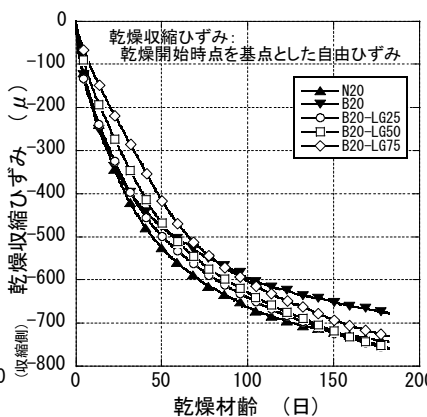


図-10 乾燥収縮ひずみ結果(20℃)

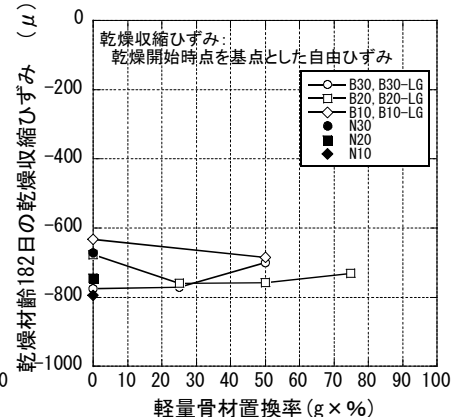


図-11 軽量骨材置換率が乾燥収縮ひずみに与える影響

は圧縮応力の導入は認められなかった。これは弾性係数が十分に発現していない極若材齢で膨張しているため、応力に寄与しなかったことが考えられる。N30 は材齢 36.8 日でひび割れが生じているのに対し、B30 は乾燥開始時点の収縮拘束応力が大きく、材齢 19.2 日でひび割れが生じる結果となった。B30-LG25 は乾燥開始時点で 0.2N/mm² 程度の圧縮応力が導入され、乾燥後の収縮拘束応力の進展は B30 と同程度であり 27.5 日でひび割れが生じた。B30-LG50 は乾燥後の収縮拘束応力の進展が非常に緩やかであり、ひび割れ材齢も 41.5 日と最も長い、ひび割れ時の収縮拘束応力は最も小さい結果となった。図-13 から、20℃封かん養生である材齢 7 日までの挙動は、30℃と同様の挙動であった。軽量骨材置換率が增大するに従い、乾燥後の収縮拘束応力の増進は緩やかであったが、いずれも B20 や N20 に比べて低い収縮拘束応力でひび割れが生じる結果となった。軽量骨材置換率がひび割れ材齢に与える影響を図-14 に示す。図-14 から、軽量骨材置換率が增大するに従い、ひび割れ材齢は長くなる傾向にあり、特に 30℃の条件でその傾向は顕著であった。このことから、軽量骨材により高温時における高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性が向上することが確認された。

軽量骨材置換率が乾燥開始時点の収縮拘束応力に与

える影響を図-15 に示す。図-15 から、N は温度条件によらず 0.3N/mm² 程度の引張応力が発生しているのに対し、B は養生温度で値が異なり、B30 で 0.6 N/mm² 程度の引張応力、B10 で 0.3 N/mm² 程度の引張応力が発生する結果となった。この原因としては、高炉 B 種コンクリートの自己収縮ひずみが高温時に大きくなることが一因として考えられる⁶⁾。軽量骨材を用いたコンクリートは、0.2~0.3 N/mm² 程度の圧縮応力が導入されており、B に対して最大 0.8 N/mm² 程度の差があった。同試験において、膨張材により導入される圧縮応力は 0.5 N/mm² 程度であることを考慮すれば⁷⁾、軽量骨材による自己収縮低減効果は大きいと考えられる。また、図-8 の自由ひずみ結果と同様に、軽量骨材置換率が g×25%以上では、その圧縮応力の値は大きく変化しないことから、自己収縮の低減を目的とした場合、軽量骨材置換率は g×25%以上であれば期待する効果が得られると考えられる。

軽量骨材置換率がひび割れ強度に与える影響を図-16 に示す。ここでは、ひび割れ発生時の収縮拘束応力をひび割れ強度と定義した。軽量骨材置換率が增大するに従い、ひび割れ強度は低下する傾向にあり、高炉 B 種コンクリートのひび割れ強度に対して 50%程度しかない水準も認められた。一方で、表-5 の割裂引張強度結果では、軽量骨材を用いたコンクリートの割裂引張強度は、

高炉 B 種コンクリートと同程度であることから、軽量骨材を用いたコンクリートは、割裂引張強度に対するひび割れ強度、即ち、限界応力強度比が低いと考えられる。

3.5 限界応力強度比の検討

軽量骨材置換率が限界応力強度比に与える影響を定量的に評価するため、本実験結果における限界応力強度比を算定した。限界応力強度比は、ひび割れ強度をひび割れ時の割裂引張強度で除して算定した。ひび割れ時の割裂引張強度を算定するため、実験から得られた割裂引張強度の数式化を行った。割裂引張強度の数式化には式(1)および式(2)を用いることとし、実験結果から最小二乗法により係数を求めた。

$$f_c(t_n) = \alpha_f \cdot f_c(28) \cdot \exp \left\{ S_f \cdot \left[1 - \left(\frac{28 - t_{fs}}{t_n - t_{fs}} \right)^{0.5} \right] \right\} \quad (1)$$

$$f_i(t_n) = \alpha_i \cdot f_c(t_n)^a \quad (2)$$

ここに、 $f_c(t_n)$ ：有効材齢 t_n 日の圧縮強度(N/mm²)

$f_i(t_n)$ ：有効材齢 t_n 日の割裂引張強度(N/mm²)

$\alpha_f, S_f, \alpha_i, t_a$ ：実験結果から最小 2 乗法により求めた係数

t_{fs} ：凝結時間試験により終結となる材齢(日)

本実験において、強度試験は材齢 3, 7, 28 日で行っており、ひび割れ材齢の全水準の平均は 38 日程度で

あることから、割裂引張強度の回帰式はひび割れ材齢において外挿の領域となるが、その材齢の差は 10 日程度と小さく、この影響は軽微であると考えられる。また、本実験では 7 日以降気乾養生としており、7 日以降に強度増進が停滞することも予想されるが、28 日強度結果には、気乾養生の影響が反映されており、今回回帰式には強度増進が停滞する影響が含まれると考えられる。

軽量骨材置換率が限界応力強度比に与える影響を図-17 に示す。図-17 から、B および N の限界応力強度比は 0.6~0.8 の範囲に分布する結果となった。文献 8) では限界応力強度比は 0.5~0.9 程度であるとの報告がある

表-6 拘束ひび割れ試験結果の一覧

記号	乾燥開始時 収縮拘束応力 (N/mm ²)			ひび割れ材齢 (日)			ひび割れ強度 (N/mm ²)		
	①	②	平均	①	②	平均	①	②	平均
B30	0.59	0.60	0.60	21.2	17.2	19.2	2.46	2.22	2.34
B20	0.45	0.45	0.45	37.6	31.9	34.7	2.80	2.87	2.83
B10	0.27	0.23	0.25	57.9	38.2	48.0	2.90	2.56	2.73
N30	0.32	0.39	0.36	40.8	32.8	36.8	2.66	2.51	2.58
N20	0.34	0.37	0.35	42.8	41.2	42.0	3.00	2.99	3.00
N10	0.32	0.33	0.33	56.1	30.9	43.5	3.06	2.32	2.69
B30-LG25	-0.15	-0.06	-0.11	28.2	26.8	27.5	2.27	2.24	2.25
B30-LG50	-0.22	-0.26	-0.24	43.1	39.8	41.5	0.81	0.96	0.88
B20-LG25	-0.10	-0.13	-0.11	31.3	36.8	34.1	2.09	2.31	2.20
B20-LG50	-0.17	-0.19	-0.18	28.9	26.0	27.4	1.56	1.37	1.46
B20-LG75	-0.25	-0.22	-0.23	44.5	46.8	45.6	1.42	1.59	1.50
B10-LG50	-0.10	-0.09	-0.09	55.4	56.1	55.8	2.25	2.27	2.26

* 応力：+側は引張応力、-側は圧縮応力

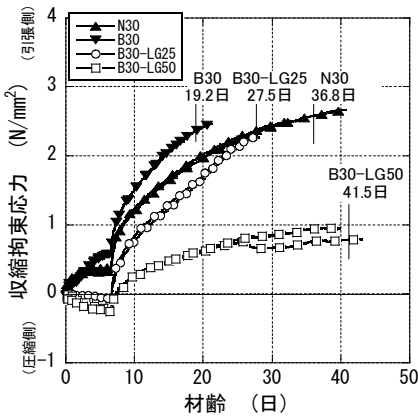


図-12 収縮拘束応力の経時変化 (30°C)

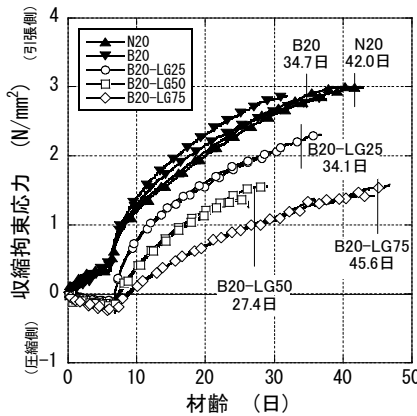


図-13 収縮拘束応力の経時変化 (20°C)

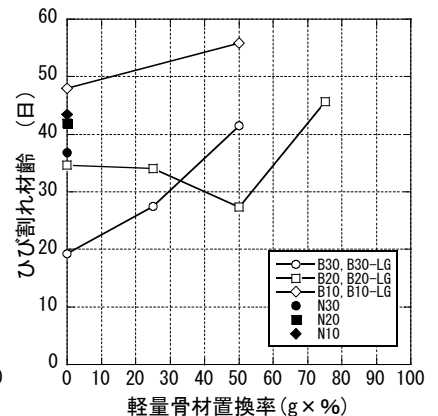


図-14 軽量骨材置換率がひび割れ材齢に与える影響

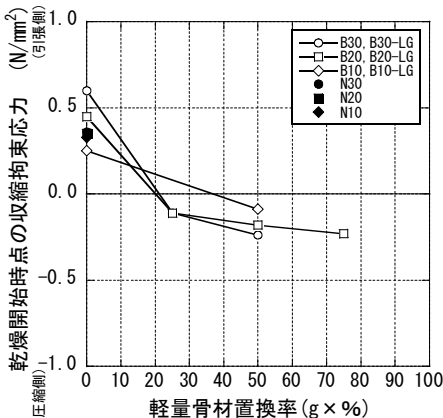


図-15 軽量骨材置換率が乾燥開始時の収縮拘束応力に与える影響

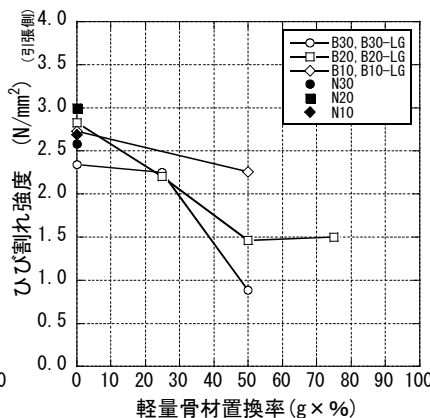


図-16 軽量骨材置換率がひび割れ強度に与える影響

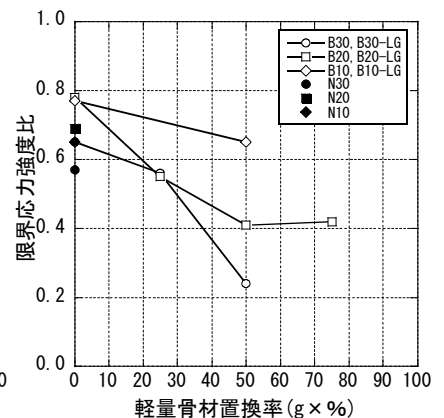


図-17 軽量骨材置換率が限界応力強度比に与える影響

ことから、この値は妥当であると考えられる。一方で、軽量骨材置換率が增大するに従い、限界応力強度比は低下する結果となった。この原因として、軽量骨材を用いたコンクリートは長期に渡り試験体内部の相対湿度が高く保たれていることが挙げられる⁹⁾。試験体表層部の相対湿度は環境湿度と同程度であると仮定すると、試験体表層と内部で大きな相対湿度差が生じることとなり、相対湿度と乾燥収縮ひずみは強い相関があることから、試験体表層部に試験体断面のひずみ差による内部応力に起因する引張応力が加算されたことが考えられる。また、30℃および20℃では軽量骨材置換率 $g \times 25\%$ で限界応力強度比は 0.6、 $g \times 50\%$ 以上で限界応力強度比は 0.4 以下となった。

図-14 から、軽量骨材置換率が增大するに従い、ひび割れ材齢が長くなる傾向にあり、これは収縮ひび割れ抵抗性の向上を意味する。軽量骨材の影響により、収縮拘束応力が低減する効果があるものの、一方でひび割れ強度も減少しており、これらの内、収縮拘束応力が低減する効果の方が大きいため、ひび割れ材齢が長くなっているものと推察される。しかしながら、軽量骨材置換率が大きく、ひび割れ強度や限界応力強度比が著しく低い場合、収縮拘束応力が小さくても、収縮以外の要因に起因する外力が生じた場合には、ひび割れが発生しやすくなることから、限界応力強度比は一般的な 0.5~0.9 程度を確保する必要がある。以上のことから、軽量骨材置換率は、限界応力強度比 0.5~0.9 程度を満足する $g \times 25\%$ 以下とすることが望ましいと考えられる。

4. まとめ

本報では、特に高温時の高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の改善を目指し、軽量骨材を用いた高炉 B 種コンクリートについて、拘束ひび割れ試験による検討を行った。検討の結果、軽量骨材により高温時における高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性が向上することが確認され、実験的に下記の事項が明らかとなり、収縮ひび割れ抵抗性を最大化するためには、軽量骨材の最適な置換率があることが示唆された。

- (1) 軽量骨材置換率が增大するに従い、ひび割れ材齢は長くなる傾向にあり、特に 30℃の条件でその傾向は顕著であったことから、軽量骨材により高温時における高炉 B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性が向上することが確認された。
- (2) 30℃および20℃の条件では、高炉 B 種コンクリートと同等以上の圧縮強度を確保するために適切な軽量骨材置換率は $g \times 50\%$ 以下が望ましいと考えられる。
- (3) 乾燥開始時点の収縮拘束応力は、30℃の高炉 B 種コンクリートで 0.6 N/mm² 程度の引張応力であるのに

対し、軽量骨材を用いたコンクリートは、0.2~0.3 N/mm² 程度の圧縮応力が導入されており、軽量骨材による自己収縮低減効果は大きい。また、軽量骨材置換率が $g \times 25\%$ 以上では、その圧縮応力の値は大きく変化しないことから、自己収縮の低減を目的とした場合、軽量骨材置換率は $g \times 25\%$ 以上であれば期待する効果が得られると考えられる。

- (4) 30℃および 20℃では軽量骨材置換率 $g \times 25\%$ で限界応力強度比は 0.6、 $g \times 50\%$ 以上で限界応力強度比は 0.4 以下となったことから、限界応力強度比を一般的な 0.5~0.9 程度とするためには、軽量骨材置換率 $g \times 25\%$ 以下とすることが望ましいと考えられる。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)「高炉セメントを用いた鉄筋コンクリート躯体の収縮ひび割れ制御設計手法の確立」(課題番号: 23360252, 研究代表者: 閑田徹志)の一環として実施した。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, 1991.7
- 2) 新谷彰, 閑田徹志, 百瀬晴基, 今本啓一, 小川亜希子: 高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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, PP.947-948, 2010.7
- 3) 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
- 4) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5, 2009.2
- 5) 野口貴文, 友澤史紀: 高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, NO.472, pp.11-16, 1995.6
- 6) 宮澤伸吾, 佐藤良一, 杉山淳司: 高温履歴を受ける高炉セメントコンクリートの自己収縮予測式, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.465-470, 2008
- 7) 百瀬晴基, 閑田徹志, 石田雅利, 桜本文敏: 膨張材及び収縮低減剤を併用したコンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.587, pp.7-14, 2005.1
- 8) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ-メカニズムと対策の現状-, 2003.5
- 9) 工藤弘樹, 小山明男, 佐々木哲也, 菊池雅史, 宮井俊章, 本田智明: 常温乾燥形フッ素樹脂塗装を施した PCa 版のひび割れ・膨れの抑制に関する実験的研究(その 1 無塗装 PCa 版の含水状況の把握), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1035-1036, 2010.7