

高温履歴を受ける高炉セメントB種コンクリートの自己収縮および力学特性に 及ぼす廃瓦粗骨材の影響

広島大学 学生会員 ○藤山 堯大
 広島大学 学生会員 Mwangi M. MACHARIA
 広島大学 正会員 小川 由布子
 広島大学 フェロー会員 河合 研至
 フェロー会員 佐藤 良一

1. はじめに

高炉セメントを使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比較して自己収縮が大きくなることが知られており、特に、マスコンクリートに使用すると、高温履歴により 20℃養生と比べて自己収縮が 2 倍程度に増大する場合がある¹⁾。自己収縮は、コンクリート構造物のせん断耐力の低下をもたらすと報告されている²⁾ため、低減することが望まれている。本研究は、自己収縮の低減方法として内部養生に着目した。産業廃棄物であり適度な吸水率と人工軽量骨材の 2 倍程度の破碎強度を有する廃瓦骨材を内部養生材として用い、高温履歴を受ける高炉セメント B 種コンクリートの自己収縮低減を検討すると共に、力学特性への影響を把握することを目的とする。

2. 実験概要

表-1 に使用材料を示す。配合は表-2 に示すとおり、水セメント比を 50%，単位水量を 170kg/m³，細骨材率(s/a)を 44.6%一定とし、廃瓦無置換、廃瓦粗骨材 10vol.%置換(G10)の 2 種類とした。養生条件は、環境槽内でマスコンクリートの内部温度を模擬した高温履歴(最高温度、相対湿度の目標値をそれぞれ 70±1℃、90±5%とした)を与える高温養生、常温養生の 2 条件とした。すべての供試体は打込み直後から封緘状態とした。高温養生では高温履歴後から、常温養生では打込み直後から屋内で養生した。図-1 に、各配合・養生の円柱供試体(φ100×200mm)の温度を示す。

検討項目は、材齢 91 日までの力学特性(圧縮強度、割裂引張強度、ヤング係数)および自己収縮とし、廃瓦粗骨材の内部養生効果を検討した。自己収縮ひずみは、100×100×400mm の角柱供試体の中心部に熱電対内蔵型の埋込みひずみゲージを設置し、打込み直後から測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 力学特性(圧縮強度、割裂引張強度、ヤング係数)

図-2 に圧縮強度試験の結果を有効材齢との関係で示す。有効材齢は 2012 年制定コンクリート標準示方書設計編(以下、示方書)にしたがって求めた。高温養生の圧縮強度は、配合にかかわらず有効材齢初期では常温養生と比べて同程度であるが、それ以降は小さくなっており、高温履歴を受けると長期の強度増進が小さくなる。G10 置換は無置換と比較して、高温養生の場合は同様の強度増進となっている。一方、常温養生の場合は有効材齢 30 日以降、G10 置換の強度増進は大きくなり、内部養生による強度増進がみとめられた。

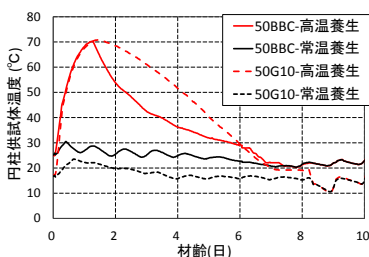


図-1 円柱供試体温度

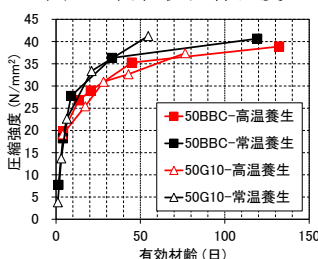


図-2 圧縮強度と有効材齢の関係

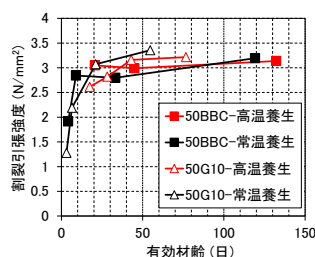


図-3 割裂引張強度と有効材齢の関係

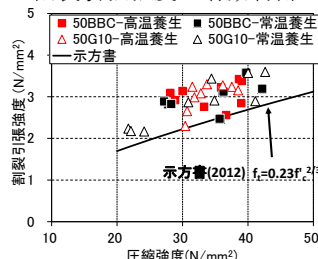


図-4 圧縮強度と割裂引張強度の関係

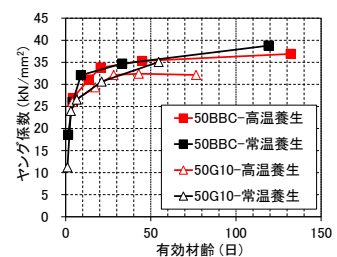


図-5 ヤング係数と有効材齢の関係

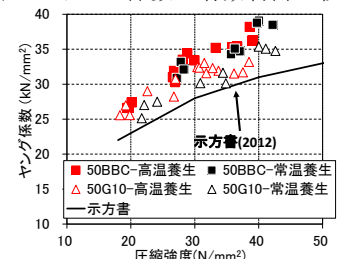


図-6 圧縮強度とヤング係数の関係

キーワード 高温履歴、廃瓦骨材、高炉セメントB種、自己収縮、常温養生

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 構造材料工学研究室 TEL:082-424-7786

図-3 に割裂引張強度と有効材齢の関係を示す。高温養生の割裂引張強度は、無置換の場合、常温養生と比べ違いはみられなかった。一方、G10 置換の場合、有効材齢 40 日までは常温養生と比べて割裂引張強度が小さくなったが、それ以降は同程度となった。G10 置換すると高温養生は有効材齢 40 日以降、常温養生は有効材齢 20 日以降、無置換と比べて割裂引張強度が大きくなった。図-4 に圧縮強度と割裂引張強度の関係を示す。図中の実線は示方書の値を示している。無置換、G10 置換の割裂引張強度はどちらも示方書の値と同等以上であった。

図-5 にヤング係数と有効材齢の関係を示す。有効材齢 40 日以降、高温養生は常温養生と比較してヤング係数が小さくなった。これは、高温履歴を受けると長期の強度増進が小さくなるからである。また、G10 置換は無置換と比較してヤング係数が小さくなった。これは、廃瓦骨材が普通骨材と比較して多孔質であり、ヤング係数が小さいためと考えられる。図-6 に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。図中の実線は示方書の値を示している。無置換、G10 置換のヤング係数はどちらも示方書の値と同等以上であった。

3.2 自己収縮

図-7 に供試体温度、図-8 に自己収縮ひずみの経時変化、表-3 に各有効材齢時で比較したひずみを示す。自己収縮ひずみは実ひずみから温度ひずみを引くことにより算出した。熱膨張係数は高炉セメントを用いたコンクリートの一般的な値 $12\mu/\text{C}^{\circ}$ を用いた。なお、収縮ひずみは同時に作製した RC はり供試体中の鉄筋ひずみが収縮する時点(有効材齢約 0.3 日)を原点とし、膨張を正、収縮を負として整理した。

(1) 高温養生の影響

無置換の場合、高温養生は常温養生と比較して温度上昇時の収縮ひずみが大きくなっているが、温度降下時は収縮から膨張に転じており、高温履歴が終了した有効材齢 20 日では常温養生と同程度の収縮ひずみとなっている。それ以降、高温養生は常温養生と比べて自己収縮ひずみの増加量が大きくなっており、有効材齢 200 日では 72μ の差となった。G10 置換の場合、有効材齢 30 日までは無置換の場合と同様に、高温養生は常温養生と比較して温度上昇時の収縮ひずみが大きくなり、温度降下時は収縮から膨張に転じている。高温履歴が終了した有効材齢 30 日では膨張ひずみが約 80μ であり、常温養生は収縮ひずみが約 20μ である。それ以降、高温養生における自己収縮ひずみの増加は常温養生より若干大きく、材齢 60 日では高温養生は表-3 に示したようにひずみが膨張側であり、常温養生と比べて 77μ の差がある。上記のように、高温養生において供試体温度降下時にひずみが収縮から膨張へ移行している。これは、既往の研究からコンクリートやセメントペーストの熱膨張係数は、若材齢時に経時的に変化する⁴⁾と報告されているが、今回は熱膨張係数 $12\mu/\text{C}^{\circ}$ 一定で温度ひずみを算出しており、温度ひずみを適切に評価できていないためと考えられる。そのため、若材齢時の熱膨張係数を考慮して、温度ひずみを算出する必要があると考えられ、今後の課題とする。

(2) 廃瓦粗骨材の影響

高温養生の場合、G10 置換は無置換と比較して最高温度到達時の収縮ひずみが小さく、温度降下時の膨張が大きくなっている。また、高温履歴後の自己収縮の増加量は同程度であるが、有効材齢 80 日では無置換に比べて 160μ の大きな差があり、内部養生による収縮ひずみ低減効果が十分伺える。常温養生の場合、G10 置換は無置換と比べて自己収縮の増加量が小さく、材齢 60 日では収縮ひずみが 33μ 小さくなり、内部養生による収縮ひずみ低減効果がみられる。このように、廃瓦の内部養生による収縮ひずみ低減効果は確認でき、高温履歴を受ける場合において特に効果が大きい結果となった。

4. 結論

- (1) 廃瓦粗骨材置換した供試体の圧縮強度は、高温養生と常温養生どちらも廃瓦無置換と同等以上であり、常温養生については材齢長期で内部養生による強度増進が認められた。割裂引張強度およびヤング係数は、廃瓦粗骨材置換により高温養生と常温養生どちらも示方書の値を上回った。しかし、廃瓦粗骨材置換した供試体のヤング係数は廃瓦無置換より若干小さくなった。
- (2) 廃瓦粗骨材置換の内部養生効果により、高温養生と常温養生で収縮ひずみが低減された。特に、高温履歴を受ける高温養生において収縮ひずみ低減効果が大きい結果となった。ただし、適切な熱膨張係数を考慮して、温度ひずみを算出する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 河金甲, 佐藤良一: 高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評価, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.2, pp.178-197, 2009
- 3) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編], p.40, 2013.3
- 4) 小山智幸, 松藤泰典: セメントモルタルの硬化初期における線膨張係数の経時変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.16, No.1, 1994

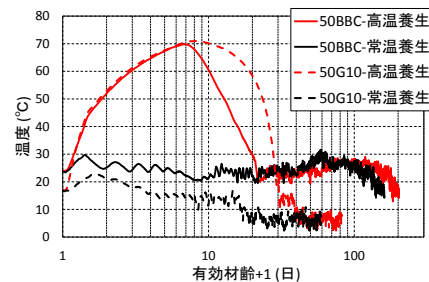


図-7 供試体温度

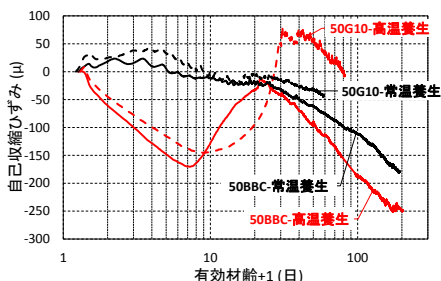


図-8 自己収縮ひずみの経時変化

表-3 各有効材齢時のひずみ

有効材齢 (日)	配合、養生	高温養生の影響		
		高温養生 (μ)	常温養生 (μ)	(高温)-(常温) (μ)
200	50BBC	-251	-179	-72
60	50-G10	33	-44	77

有効材齢 (日)	養生、配合	廃瓦骨材の影響		
		50-G10 (μ)	50BBC (μ)	(50-G10)-(50BBC) (μ)
80	高温養生	7	-152	159
60	常温養生	-44	-77	33