

高炉スラグ微粉末を用いた再生骨材コンクリートの基礎的性状

正会員 ○依田 和久\*  
 正会員 新谷 彰\*  
 非会員 近藤 真\*\*  
 非会員 金塚 美喜男\*\*\*

高炉スラグ微粉末      再生粗骨材      再生細骨材  
 コンクリート      環境負荷低減      二酸化炭素排出量

1. はじめに

二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量低減の観点からセメントの代替材料として高炉スラグ微粉末がある。セメントに対する置換率は高炉セメント C 種相当の 70%まで高くすることが可能であり、今回の実験に用いた高炉スラグ微粉末は低発熱、収縮抑制型でブレン値 3300cm<sup>2</sup>/g (JIS A 6206 規格品) のものを使用した。また、資源の有効利用の観点から再生骨材の利用が期待されている。杭や基礎などの構造材料として広く使用していくためには JIS A 5021 の高品質再生骨材や JIS A 5022 の中品質再生骨材の規格を満足することが望ましい。品質の高い再生骨材は製造時の CO<sub>2</sub> の排出量の増加が懸念されるが、普通セメントに比べ、高品質再生骨材でさえ 1t 当たり 2%程度と小さく、骨材資源の観点からも再生骨材の使用は趨勢である。これらの材料を用いたコンクリートに関する研究は少なく、特に長期材齢での強度発現や長さ変化率を明らかにした例はほとんど無い。ここでは高炉スラグの (置換率 50%, 70%) と再生粗骨材 (JIS A 5021 の規格を満足)・同細骨材 (JIS A 5022 附属書の規格を満足) を用いたコンクリートのフレッシュ時の性状、圧縮強度、長さ変化率を明らかにするとともに CO<sub>2</sub> 排出量を検討し、環境負荷低減に向けたコンクリートの方向性を示す。

2. 実験計画

コンクリートの種類を表-1 に示す。コンクリートの種類は、高炉スラグ微粉末の普通セメントに対する置換率と、細・粗骨材種類を組み合わせたものである。使用材料とコンクリートの調査を表-2 に示す。

練混ぜは、容量 60L の強制二軸式ミキサを用い、モルタルを 30 秒、粗骨材投入後 60 秒練り混ぜて行った。

養生のうち、圧縮強度試験用の φ10×20cm 供試体は、標準水中 (材齢 7・28・56・91 日) 及び屋外曝露養生 (材齢 91 日, 6 ヶ月, 12 ヶ月) とし、長さ変化用の 10×10×40cm 供試体は材齢 7 日まで標準養生とし、その後、測長期間 75 週まで 20℃・60%RH の条件室に存置した。

試験は、スランブ、空気量、コンクリート温度、目視によるワーカビリティ、圧縮強度 (JIS A 1108)、長さ変化率 (JIS A 1129-1) とした。また、既往の資料<sup>1)</sup>によりセメント、高炉スラグ微粉末、再生骨材の製造時の CO<sub>2</sub> 原単位を用いて各コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量を試算した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 フレッシュ時の性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-3 に示す。コンクリートは全てスランブ 18±2.5cm, 空気量 4.5±1.5%の目標値を満足した。コンクリート温度は 21~22℃であり、ワーカビリティは全体的に良好であった。

表-1 コンクリートの種類

記号	材料の組合せ		
	高炉スラグ置換率 (%)	粗骨材	細骨材
BHM	50	再生H*1	再生M*2
BHN		天然N	天然N
BNM			再生M
BNN			天然N
CHM	70	再生H	再生M
NHN	0 (普通セメントのみ)	再生H	天然N
NHM			再生M

\*1.吸水率3.0%, \*2.同4.4%

表-2 使用材料とコンクリートの調査<sup>\*1</sup>

記号	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
	水	セメント	高炉スラグ	細骨材		粗骨材	
				再生	混合砂*2	再生	碎石*2
密度*3	1	3.15	2.91	2.50	2.63	2.53	2.68
BHM	172	156	157	800	—	908	—
BHN	172	156	157	—	841	908	—
BNM	172	156	157	800	—	—	960
BNN	172	156	157	—	841	—	960
CHM	171	93	218	800	—	908	—
NHN	174	317	—	—	844	908	—
NHM	174	317	—	803	—	908	—

\*1.水結材(セメント+高炉スラグ微粉末)比は55.0%, 細骨材率は47.1%

\*2.陸砂と砕砂を体積比7:3で、石灰岩碎石と砂岩碎石を5:5で混合した

\*3.骨材の密度(g/cm<sup>3</sup>)はのうち、骨材の密度は表乾密度である

表-3 コンクリートのフレッシュ時の性状

記号	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	ワーカビリティ
試験方法	JIS A 1101	JIS A 1128	JIS A 1156	目視
BHM	20.5	5.3	21.5	良
BHN	20.0	4.6	21.5	良
BNM	20.0	5.3	21.5	良
BNN	20.0	5.0	21.5	良
CHM	20.0	5.4	21.0	良
NHN	19.5	4.6	22.0	良
NHM	20.5	5.3	22.0	良

### 3. 2 コンクリートの圧縮強度

標準養生による圧縮強度を図-1に示す。結合材（セメントと高炉スラグ微粉末）種類では、高炉スラグ置換率 50%（以降、スラグ置換率 50%という）と普通セメントを用いた強度は同等であるが、スラグ置換率 70%の強度は低く材齢 91 日では他のものに比べ 20%程度低かった。また、再生粗骨材の強度は普通骨材と同等であるが、再生細骨材を用いたものは低く、材齢 91 日では普通骨材を用いたものに比べ 13~20%程度小さくなった。屋外曝露養生による圧縮強度を図-2に示す。相対的な強度発現の傾向は標準養生のものと同様であった。また、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの強度発現は、標準養生に比べ遅いものの、材齢 1 年において、材齢 91 日の標準養生強度と同等以上となった。これは、高炉スラグの潜在水硬性が強度発現に寄与しているものと考えられた。

### 3. 3 長さ変化率

コンクリートの長さ変化率を図-3に示す。測長期間 75 週の長さ変化率は NHM>BHM≧CHM>BNN の順となった。高炉スラグ微粉末を用いたもの（BHM, CHM, BNN）は未混入のものに比べ 200 μ 程度小さくなる傾向を示した。また、スラグ微粉末の置換率は 75 週の長期材齢ではその差は見られなかった。再生骨材を用いたものは普通骨材を用いたものに比べ大きい収縮率となった。

### 3. 4 環境負荷低減効果

セメント、高炉スラグ微粉末、骨材の製造時における CO<sub>2</sub> 排出量に関する原単位をもとに試算した CO<sub>2</sub> 排出量を図-4に示す。単位結合材量は一定である。試算の結果、骨材種類の影響は小さいが、普通セメントに比べ、スラグ置換率 50%は約 1/2, 同 70%は約 1/3 まで排出量が小さくなるなど、結合材種類で顕著な差が見られた。

### 4. まとめ

本報告の範囲において以下のことが分かった。

- (1) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの強度発現のうち屋外曝露養生のものは遅いが、材齢 1 年では材齢 91 日標準養生強度と同等以上となった。再生細骨材を用いたものは相対的に低かった。
- (2) 長さ変化率は測長期間 75 週において高炉スラグ微粉末を用いたものは未混入のものに比べ 200 μ 程度小さくなる傾向を示した。また、高炉スラグ微粉末の置換率に関わらず同等となった。再生骨材のものは普通骨材に比べ大きい結果となった。
- (3) CO<sub>2</sub> 排出量は高炉スラグ微粉末を多く用いたものほど小さくなった。

今後、基礎などの利用を想定した場合、ひび割れ抵抗性や断熱温度上昇量などの把握を行っていく予定である。

#### 参考文献

1) 土木学会編：コンクリート技術シリーズ・コンクリートの環境負荷評価（その2）, pp. 39, 2004. 9

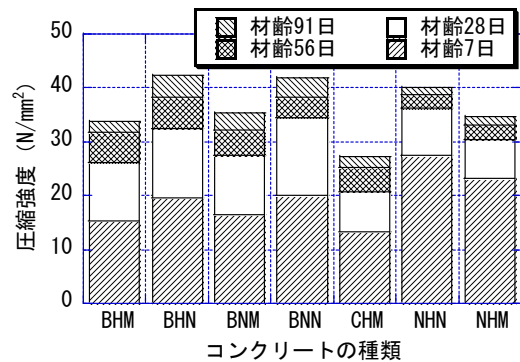


図-1 コンクリートの圧縮強度（標準養生）

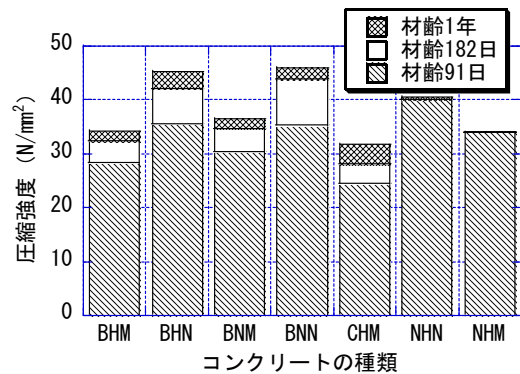


図-2 コンクリートの圧縮強度（屋外曝露養生）

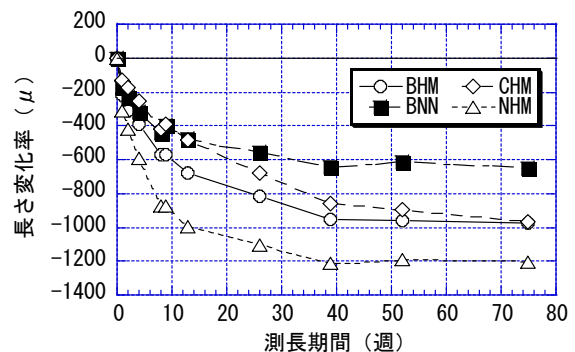


図-3 コンクリートの長さ変化率

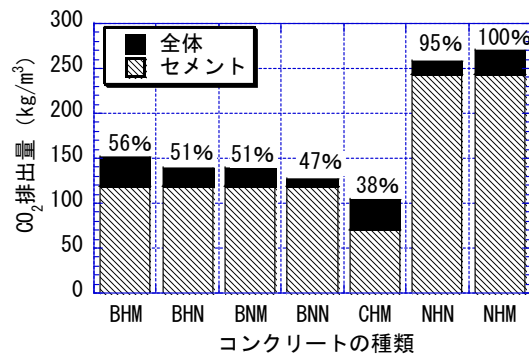


図-4 コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量

\* 鹿島技術研究所  
 \*\* 鹿島道路  
 \*\*\* 佐倉エスオーシー

\* Kajima Technical Research Institute  
 \*\* Kajima Road Corp.  
 \*\*\* Sakura SOC