

低品質再生骨材を使用した GGBS 硬化体の強度特性に関する検討

芝浦工業大学 工学部土木工学科

○竹入 陽太

石川 英理香

芝浦工業大学 工学部土木工学課程

伊代田 岳史

株式会社竹中工務店 技術研究所

池尾 陽作

1. はじめに

持続可能な社会の実現に向けて、コンクリート分野では、製造時に大量の CO₂ を排出する普通ポルトランドセメントに、高炉スラグ微粉末 (GGBS) などの混和材料を代替することによって、材料由来の CO₂ 排出量削減を目指す取り組みや、構造物の解体・更新に伴って発生したコンクリート塊を、再生骨材として再利用し資源循環を目指す取り組みなどが行われている。

研究室ではこれまで、CO₂ ガスを用いた強制炭酸化による再生骨材の改質技術を提案している。強制炭酸化により、低品質再生細・粗骨材の密度・吸水率を改善することができ、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートでは強度・耐久性を向上できると報告している¹⁾。しかし GGBS を使用した場合については未確認である。そこで本研究では、改質再生骨材を使用した GGBS 硬化体の強度特性について検討を行った。

2. 改質再生骨材×GGBS 硬化体の強度特性の検討

2. 1 使用材料および配合

使用した骨材の物理的性能を表 1 に示す。低品質再生骨材 (R)、改質した低品質再生細・粗骨材 (RC)、普通細・粗骨材 (O) を使用した。R, RC に関しては、十分に吸水させるため 48 時間プレウェッティングを行った。コンクリートの配合を表 2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント (N)、高炉セメント B 種 (BB)・C 種 (BC) を使用し、上記 3 種の骨材を用いた配合を検討した。配合名は「セメント種・骨材種」とする。

2. 2 試験項目および試験方法

(1) 圧縮強度試験

φ100×200mm の円柱供試体を用いて JIS A 1108 に準拠し、材齢 28 日に圧縮強度試験を実施した。なお、供試体は脱型後、温度 20℃で封緘養生を行った。

(2) 空隙率試験

φ100×50mm 程度の供試体を使用し、アルキメデス法により空隙率を算出した。養生条件は (1) と同じである。

2. 3 試験結果および考察

(1) 圧縮強度

図 1 に圧縮強度を示す。N では N-RC が N-R の圧縮

表 1 使用骨材の物理的性能

記号	骨材種類	強制炭酸化	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	空隙率 (%)	CH 量 (%)	CC 量 (%)
OS	普通細骨材	-	2.61	2.57	1.77	3.85	-	-
RS	低品質	なし	2.23	2.00	11.59	23.20	3.04	8.05
RSC	再生細骨材	あり	2.25	2.04	10.29	21.00	2.05	15.05
OG	普通粗骨材	-	2.68	2.67	0.51	1.34	-	-
RG	低品質	なし	2.38	2.22	7.25	16.10	2.80	6.88
RGC	再生粗骨材	あり	2.42	2.28	5.92	13.50	2.20	10.63

表 2 コンクリートの配合表

配合名	セメント種	骨材種		W/B (%)	s/a (%)	air (%)
		細骨材	粗骨材			
N-O, BB-O, BB-O	N, BB, BC	OS	OG	50	48	4.5
N-R, BB-R, BC-R		RS	RG			
N-RC, BB-RC, BC-RC		RSC	RGC			

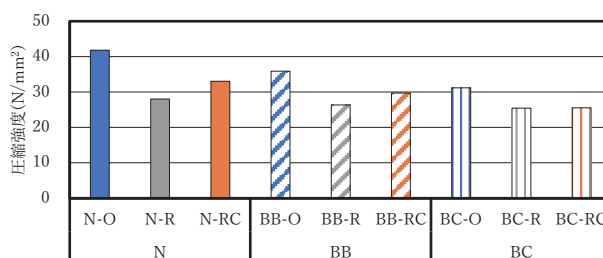


図 1 圧縮強度

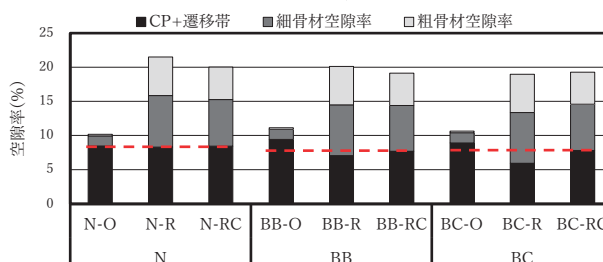


図 2 コンクリートの総空隙率の分類

強度を上回り、骨材の改質による圧縮強度改善効果が確認された。BB でも BB-RC が BB-R の圧縮強度を上回るが、N と比べると圧縮強度改善効果は小さくなる。BC では、BC-R と BC-RC の圧縮強度が同程度となり、圧縮強度改善効果が認められなかった。

(2) 空隙率

図 2 に総空隙率を、細骨材由来、粗骨材由来、セメントペースト (CP) および骨材界面の空隙率に分類して示す。この時、骨材由来の空隙率は、骨材の空隙が、硬化

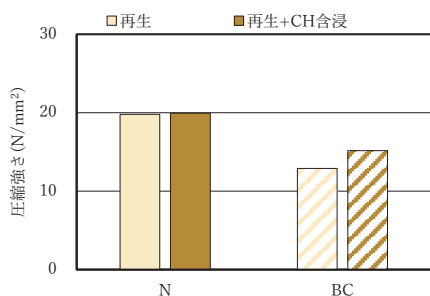


図3 CH含浸の有無が圧縮強さへ及ぼす影響

表3 再生細骨材の含水状態

記号	骨材種類	含水状態	①からの質量変化率(%)	含水率(%)
RS①	再生細骨材	①	-	11.6
RS②		②	-3.5	8.1
RS③		③	-6.6	5.0
RSC①	改質再生細骨材	①	-	10.3
RSC②		②	-3.3	7.0
RSC③		③	-6.3	4.0

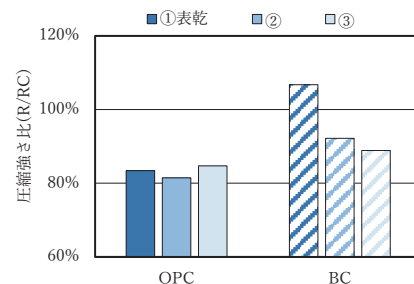


図4 含水状態の違いが圧縮強さへ及ぼす影響

体内でも変化しないと仮定し、骨材の空隙率と単位体積の積から算出した。CPおよび骨材界面の空隙率は、総空隙率から骨材由来の空隙率を引くことにより算出した。まず、総空隙率に着目する。Nでは、N-RCがN-Rの総空隙率を下回る。BBでも、BB-RCがBB-Rの総空隙率を下回るが、Nよりも減少度合いは小さい。BCでは、BC-RCとBC-Rの総空隙率は同程度となった。次にCPおよび骨材界面の空隙率に着目する。Nではいずれの骨材種でも同程度の空隙率であった。これに対し、BB、BCでは共に、普通骨材、改質再生骨材、再生骨材の順に空隙率が減少することが確認された。以上のことから、再生骨材とGGBSを併用することで、CPおよび骨材界面の空隙が緻密化し、圧縮強度が増進しているのではないかと考えられる。

3. GGBS 使用時の強度発現性に関する検討

GGBS 添加時の強度発現性が異なる要因として、改質前後の再生骨材の付着ペースト部分に着目した。表1より、水酸化カルシウム (CH) の割合は再生骨材の改質により減少し、炭酸カルシウム (CC) の割合は改質により増加する。プレウェットングを行ったことで、付着モルタルの空隙内には Ca^{2+} が溶け出していると考えられるが、改質前後で溶け出す量や、硬化体に与える影響が異なると考えられることから、 Ca^{2+} が強度に与える影響を整理するため、2つの検証を行った。

3. 1 Ca^{2+} が硬化体の強度に及ぼす影響の検討

(1) 試験概要

GGBS 使用時に、再生骨材の空隙中の Ca^{2+} が強度に対して影響を及ぼすか否かを確認するため、N、BCそれぞれ、48時間プレウェットングを行った再生細骨材と、飽和CH溶液に真空にて6時間含浸させた再生細骨材を用いて、 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ のモルタル供試体を作製し、JIS R 5201 に準拠し圧縮強さ試験を実施した。モルタルの配合は W/B : 55%, 結合材と砂の質量比を 1:3 とした。供試体は脱型後材齢 7 日まで封緘養生を行った。

(2) 試験結果および考察

図3にCH含浸の有無が圧縮強さに及ぼす影響を示す。Nでは、含浸前後で圧縮強さは同程度だったものの、BC

では含浸によって圧縮強さが向上した。これより、GGBS 硬化体において、 Ca^{2+} が強度に影響を与えている可能性があると考えられる。

3. 2 GGBS 硬化体内での Ca^{2+} の溶出効果の確認

(1) 試験概要

硬化体内で再生骨材内から Ca^{2+} が溶出するには、水分の連続性が必要で、含水状態を調整した骨材を使用することで、 Ca^{2+} の溶出効果が間接的に把握できると考えた。そこで、改質前後の再生骨材で、表3に示す通り含水状態を3種類に調整し、N、BCでこれらの骨材を用いて、 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ のモルタル供試体を作製し、JIS R 5201 に準拠し圧縮強さ試験を実施した。モルタルの配合は W/B : 55%, 結合材と砂の質量比を 1:3 とした。

(2) 試験結果および考察

図4に各含水状態における、改質再生骨材を用いた時に対する再生骨材を用いた時の圧縮強さ比を示す。Nではいずれの状態でも、改質再生骨材に対して8割程度の圧縮強さであったのに対し、BCでは状態①(表乾状態)では1.1倍程度、状態③では9割弱であった。これより、再生骨材が十分に水分を含んでいる表乾状態では、骨材の空隙中から Ca^{2+} が溶出し、GGBS の反応を促進し、骨材界面を緻密にするのではないかと考えられる。

4. まとめ

- (1) 改質再生骨材を使用した硬化体では、GGBS の添加量の増加に伴い、圧縮強度改善度合いが減少する。
- (2) GGBS と再生骨材を併用したとき、骨材の付着ペースト部分の空隙内から Ca^{2+} が溶出し、GGBS の反応を促進することで骨材界面を緻密化し、改質再生骨材を用いた時と同程度の強度となると推察される。

謝辞：本成果は、NEDO の委託業務 (JPN21014) にて得られたものであり、関係各位に感謝する。

【参考文献】

- 1) 松田信広ほか： CO_2 ガスの強制吸着による低エネルギー型再生骨材製造方法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1732-1737，2014