

高炉スラグ細骨材と低度処理再生粗骨材を用いた コンクリートの耐久性に関する研究

徳島大学大学院 学生会員 ○宮崎優治 五洋建設 非会員 山野裕貴
徳島大学大学院 学生会員 辻本和敬 徳島大学大学院 フェロー 橋本親典

1. はじめに

良質な天然骨材の採取が困難となり、コンクリート廃材を再生利用した構造用コンクリート骨材の利用拡大が急務とされている。著者らはこれまで、高強度コンクリートを原コンクリートとする低度処理再生粗骨材 (RG) を用いたコンクリートの耐久性向上を目指した研究を実施しており、既往の報告では高強度域のコンクリートの配合条件 (W/C=39%) で細骨材に高炉スラグ細骨材 (BFS) を全量置換したところ、凍結融解抵抗性が得られることを示せた¹⁾。しかし、再生骨材を用いる場合、起源となる原コンクリートの骨材を特定できないことが多く、再生骨材のアルカリシリカ反応性の有無は実質的に照査不可能であることから、予防的対策として混合セメントの使用が望ましい。これを踏まえ本報告では、高炉セメント B 種を用い、BFS と RG を併用した普通強度域でのコンクリートの耐久性に関する各種検討結果をまとめた。

2. 実験概要

表-1 に使用材料の物性を示す。セメントは高炉セメント B 種 (BB) を使用した。BFS は 5mm (BFS5) と粒径が小さい 1.2mm (BFS1.2) のものを使用した。RG は、杭基礎を破砕し、鉄くずや木くずなどを取り除いた後にふるい分けをおこなった密度および吸水率は再生骨材 M に相当するものである。表-2 にコンクリートの配合およびフレッシュ性状を示す。水セメント比は 47% と一定とし、目標スランプは 12±1.0cm、目標空気量は 6±1.0% とした。配合名は、普通骨材のみを使用した配合を N、粗骨材に RG を 100% 容積置換した配合を R とした。BFS を使用した配合は BFS の種類・容積置換率で表し、粗骨材に RG を使用した場合は末尾に R を示した。

試験項目は、圧縮強度試験 (JIS A 1108)、乾燥収縮試験 (迅速法)、凍結融解試験 (JIS A 1148 A 法) とした。

表-1 使用材料

| 種類 | 記号 | 産地・物性 |
|------|--------|--|
| セメント | C | 高炉セメントB種 (密度3.04g/cm ³ , 比表面積3810cm ² /g) |
| | S | 阿波産普通砕砂 (表乾密度2.55g/cm ³ , F.M.2.84, 吸水率2.43%, 実積率64.1%) |
| 細骨材 | BFS5 | 福山産高炉スラグ細骨材 (表乾密度2.78g/cm ³ , F.M.2.90, 吸水率0.89%, 実積率54.8%) |
| | BFS1.2 | 倉敷産高炉スラグ細骨材 (表乾密度2.73g/cm ³ , F.M.2.41, 吸水率0.85%, 実積率60.1%) |
| 粗骨材 | G | 鳴門産普通砕石 (表乾密度2.57g/cm ³ , F.M.6.66, 吸水率1.62%, 実積率55.9%) |
| | RG | 再生粗骨材 (表乾密度2.48g/cm ³ , F.M.6.52, 吸水率4.36%, 実積率56.6%) |
| 混和剤 | SP | ポリカルボン酸エーテル系高性能AE減水剤 |
| | AEA | 高アルキルカルボン酸系AE剤 |

表-2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

| 配合名 | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | 混和剤添加量 (C×%) | | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 温度 (°C) | |
|------------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|--------|-----|----|--------------|-----|-----------|---------|---------|------|
| | | | W | C | S | BFS5 | BFS1.2 | G | RG | SP | AEA | | | | |
| N | 47 | 47 | 165 | 350 | 791 | - | - | 899 | - | - | 1.1 | 0.007 | 13.0 | 6.4 | 21.5 |
| BFS5-30 | | | | | 554 | 257 | - | | | | 0.9 | | 12.0 | 6.3 | 19.0 |
| BFS5-50 | | | | | 396 | 428 | - | | | | 0.8 | | 12.0 | 6.6 | 18.8 |
| BFS1.2-30 | | | | | 554 | - | 254 | | | | 1.1 | | 13.0 | 5.7 | 20.5 |
| BFS1.2-50 | | | | | 396 | - | 424 | | | | 1.1 | | 13.0 | 6.1 | 21.8 |
| R | | | | | 791 | - | - | | | | 1.1 | | 11.0 | 5.2 | 20.2 |
| BFS5-30R | | | | | 554 | 257 | - | | | | 1.0 | | 11.0 | 6.6 | 18.9 |
| BFS5-50R | | | | | 396 | 428 | - | | | | 0.9 | | 13.0 | 6.7 | 18.9 |
| BFS1.2-30R | | | | | 554 | - | 254 | | | | 1.1 | | 11.5 | 6.1 | 19.9 |
| BFS1.2-50R | | | | | 396 | - | 424 | | | | 0.9 | | 12.0 | 6.6 | 19.8 |

3. 実験結果および考察

図-1 に圧縮強度試験結果を示す。R は材齢 7 日で N と同等の圧縮強度を示した。これは、RG の原コンクリートが高強度域であったためと考えられる。BFS1.2 と RG を併用した配合は、全材齢を通じて BFS1.2 と普通粗骨材を併用した配合と同程度であった。これに対し、BFS5 を用いた配合の圧縮強度は粗骨材の種類によらずやや高くなった。なかでも RG と併用した配合において、材齢 28 日から 91 日における強度発現が最も顕著であった。図-2 にセメント種類による材齢 28 日圧縮強度の比較を示す。なお、普通ポルトランドセメント (OPC) を使用した圧縮強度データは著者らの研究室における既往の研究成果である。普通粗骨材を使用した配合と R の強度差は大きくなった。また、OPC を使用した普通粗骨材と RG および BFS を併用した配合との圧縮強度を比較した場合、RG と BFS を併用した配合では、15~20N/mm² の低下が見られた。しかし、BB を使用することで、BFS と RG を併用した配合の圧縮強度は OPC 使用時と同程度となった。これは、BB と BFS を併用したことで、セメントペーストおよび RG 表面に付着する旧モルタル中の Ca(OH)₂ との潜在水硬性の効果により、RG および BFS とセメントペーストとの界面の付着性が向上した事が要因であると推察する。

図-3 に乾燥収縮試験結果を示す。R の乾燥収縮ひずみは N よりも若干大きくなる傾向が見られたが、BFS5 を用いた BFS5-50R は N に対して 175×10^{-6} 低減し、収縮低減率で表すと 21.0% の低減効果が得られた。セメントの水和反応により生成する Ca(OH)₂ および RG 表面に付着する旧モルタル中の Ca(OH)₂ が BFS の骨材表面組織を潜在水硬性により緻密化し、乾燥収縮の低減に寄与したと考えられる。

図-4 に凍結融解試験結果を示す。R の相対動弾性係数は N に比べ大幅に低下したが、BFS を用いることにより凍結融解抵抗性は向上する傾向であった。しかし、BFS1.2 の置換率が 50% となると粗骨材の種類によらず大きく低下した。BFS の粒径が小さくなることで細粒分が多くなり、潜在水硬性による緻密化が発揮されやすく凍結融解抵抗性は向上すると推察したが、本研究の範囲内ではその効果は明瞭に現れなかった。

4. まとめ

BB を使用し、BFS5 と RG を併用した再生粗骨材コンクリートにおいて、圧縮強度の増加、乾燥収縮の低減および凍結融解抵抗性の向上が確認できた。

参考文献

1) 平田大希ほか: 多量のフライアッシュおよび高炉スラグ細骨材の使用による低度処理再生粗骨材コンクリートの耐凍害性向上に関する研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.38、No.1、pp.1033-1038 (2016)

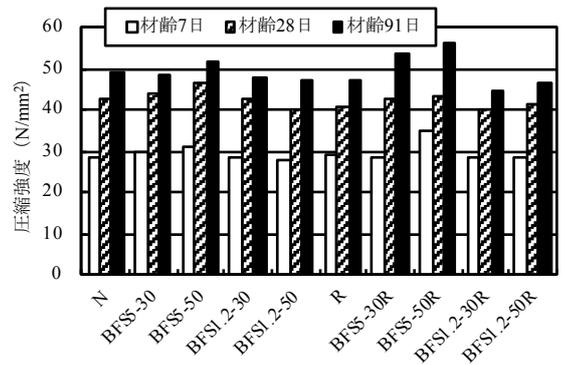


図-1 圧縮強度試験結果

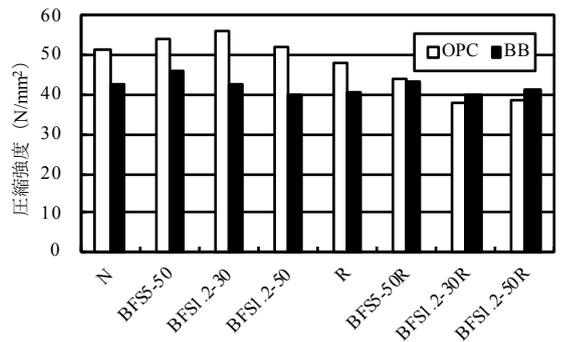


図-2 セメント種類による材齢28日圧縮強度試験結果

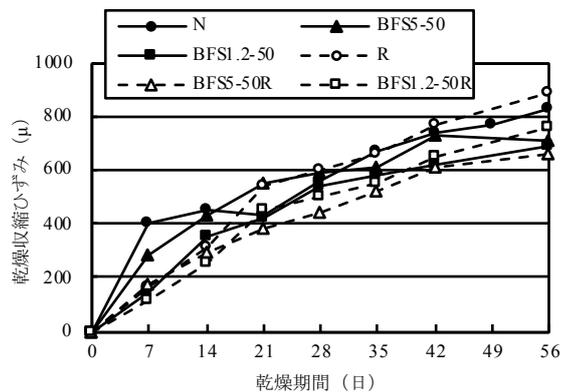


図-3 乾燥収縮試験結果

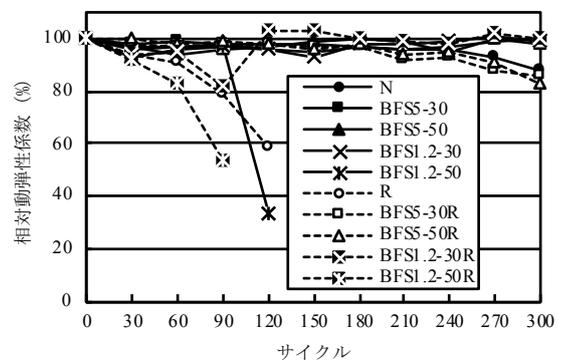


図-4 凍結融解試験結果