

コンクリートの圧縮強度に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響について

Effect of Ground Granulated Blast-Furnace Slag on Compressive Strength of Concrete

室蘭工業大学大学院 ○学生員 佐藤透高 (Hidetaka Sato)
 室蘭工業大学大学院 学生員 吉田崇紀 (Takanori Yoshida)
 室蘭工業大学 正員 菅田紀之 (Noriyuki Sugata)

1. はじめに

高炉スラグ微粉末を混和あるいは高炉セメントを用いたコンクリートの初期強度は無混和に対して低下するが長期強度では上回るとされており、ほとんどの教科書に記載されている¹⁾。しかしながら、著者らが行った高炉スラグ微粉末を混和した高強度コンクリートの実験では、長期強度の増加は大きいものの無混和を上回らなかった²⁾。

そこで本研究では、種々の強度レベルのコンクリートについて高炉スラグ微粉末の強度発現に及ぼす影響について検討した。また、影響度合いが異なる要因の1つとして、反応過程における未水和水の存在が考えられることより、残存している未水和水についても検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 使用材料および配合

コンクリートの製造に使用した材料および配合条件を表-1 および表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末を混和する場合には、高炉セメント B 種相当の粉末度になるように、粉末度 4020 cm²/g と 5970 cm²/g のものを 6 : 4 の割合で使用した。水結合材比 (W/B, B=C+BS) は 30 %, 36 %, 42 %, 48 % および 54 %, それぞれの W/B において高炉スラグ微粉末の置換率 (BS/B) を 0 % および 40 % (高炉セメント B 種相当) の 2 種類とした。配合名を BS-W/B-BS/B (例: BS30-40) のように表記する。

2.2 圧縮強度試験

圧縮強度試験は JIS A 1108 に従い行った。試験には直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体を用い、打設後材齢 1 日まで 20 °C 封緘養生、材齢 1 日で脱型したのち試験材齢まで 20 °C で水中養生を行った。試験材齢は 7, 28, 56 および 91 日であり、3 本の平均を圧縮強度とした。

表-1 使用材料

| 材料 | 性質等 |
|-------------------|--|
| セメント(C) | 普通ポルトランドセメント 密度 : 3.16 g/cm ³ |
| 高炉スラグ微粉末 (BS4000) | 比表面積 4,020 cm ² /g 密度 : 2.91 g/cm ³ |
| 高炉スラグ微粉末 (BS6000) | 比表面積 5,970 cm ² /g 密度 : 2.89 g/cm ³ |
| 細骨材(S) | 陸砂 |
| 粗骨材(G) | 碎石 2005 |

2.3 未水和水試験

未水和水試験は、圧縮強度試験用の配合から骨材を除いた配合のセメントペーストを用い、20 g 程度の試料を作製し、材齢 7, 28 および 56 日で行った。試験材齢まで 20 °C で封緘養生を行った試料を 105 °C で 24 時間乾燥させ、質量減少量から未水和水率を算出した。未水和水率算定式は M_{w105} / M_0 (M_{w105} : 乾燥前後の質量減少量 M_0 : 乾燥前の質量) である。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-1 に、各材齢における BS 置換率 0 % の圧縮強度に対する BS 置換率 40 % の強度比を表-3 に示す。材齢 7 日ではすべての W/B において BS 置換率 40 % の強度が 0 % より小さくなり、一般的に言われているように BS 混和によって初期強度が小さくなった。W/B=54 % では材齢 28 日において BS 置換率 40 % の強度が 0 % より大きくなり、W/B=48 % および 36 % では材齢 56 日、W/B=42 % では材齢 91 日において大きくなった。一方で W/B=30 % では BS 置換率 40 % の強度は材齢 91 日でも 0 % より小さいままであり、W/B が大きいほど早い材齢で BS 置換率 40 % の強度が上回る傾向があることがわかった。また、表-3 より、長期材齢 (56 日, 91 日) における BS 置換率 0 % に対する BS 置換率 40 % の強度比は W/B が大きいほど大きくなる傾向があることがわかる。

3.2 未水和水率

未水和水率を図-2 に示す。材齢 0 日における未水和水

表-2 配合条件

| 配合名 | W/B (%) | BS/B (%) |
|---------|---------|----------|
| BS54-00 | 54 | 0 |
| BS48-00 | 48 | |
| BS42-00 | 42 | |
| BS36-00 | 36 | |
| BS30-00 | 30 | |
| BS54-40 | 54 | 40 |
| BS48-40 | 48 | |
| BS42-40 | 42 | |
| BS36-40 | 36 | |
| BS30-40 | 30 | |

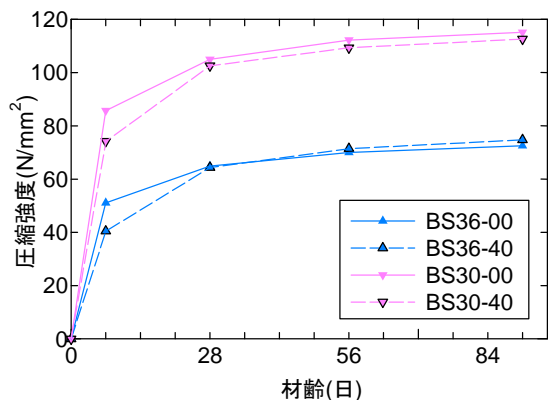
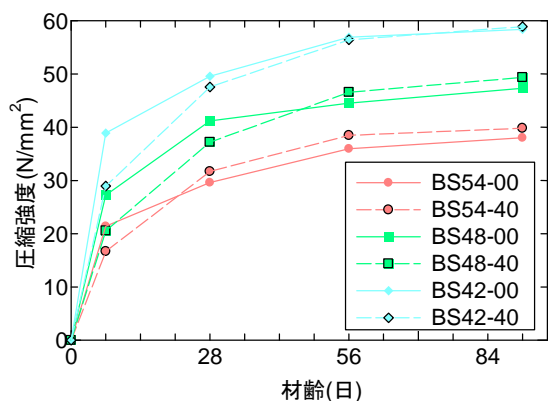


図-1 圧縮強度

表-3 強度比 (%)

| W/B | 7d | 28d | 56d | 91d |
|-----|------|-------|-------|-------|
| 54% | 78.0 | 107.0 | 107.0 | 104.7 |
| 48% | 75.5 | 90.4 | 104.6 | 104.3 |
| 42% | 74.1 | 95.9 | 99.1 | 100.9 |
| 36% | 79.2 | 99.2 | 102.0 | 103.1 |
| 30% | 86.5 | 97.7 | 97.4 | 97.8 |

の減少量を反応水量と考えることができる。材齢7日の未水和水率はBS置換率40%が0%と比べて高くなっている。このことから高炉スラグ微粉末を混和することにより反応量が少なくなり、BS置換率40%の初期強度が低下したと考えられる。材齢7日から56日の未水和水率の減少量を図-3に示す。W/B=54%, 48%, 42%および36%では、BS置換率40%の未水和水率の減少量がBS置換率0%に比べ大きい。W/B=30%では反対に小さい。このことより、W/Bが36%以上では高炉スラグ微粉末の潜在水硬反応がより進み、BS置換率40%の強度が増大し、BS置換率0%を上回ったと考えられる。またW/Bが大きいほど材齢初期の未水和水率が高いため反応性が高く、早い材齢で強度が上回る結果につながっていると考えられる。またW/B=30%では、BS置換率40%の未水和水率減少量がBS置換率0%より少ないが、強度増加量は多くなっている。これは同じ量のC-S-HまたはC-A-Hを生成するための反応では、セメントの水和反応よりも、高炉スラグ微粉末の反応に消費される水の量が少ないため、反応した水の量が少なくても、

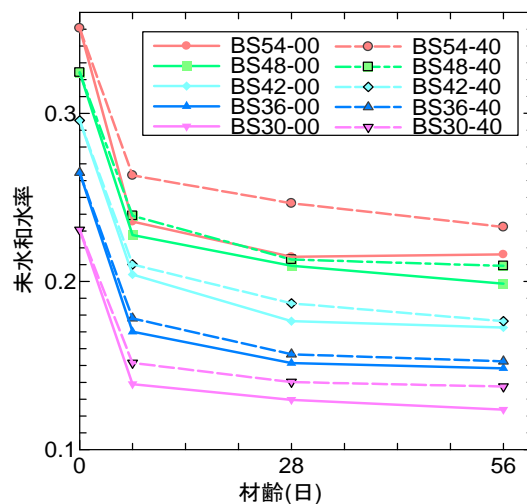


図-2 未水和水率

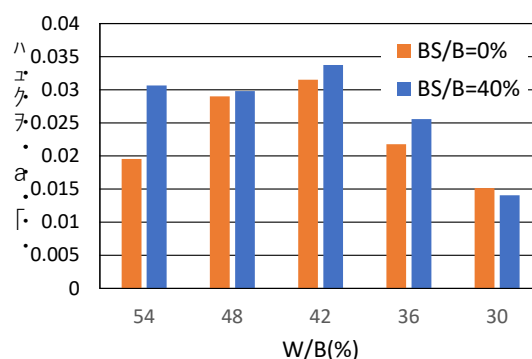


図-3 7-56日の未水和水率の減少量

強度増加が大きくなったと考えられる。またW/Bが大きいほど未水和水率が高いことから、反応に使うことができる水が多くあるため、強度の増加率も大きくなると考えられる。

4. まとめ

本研究では、種々の強度レベルのコンクリートについて高炉スラグ微粉末が強度発現に及ぼす影響について検討を行った。その結果をまとめると次のようになる。

- 1) 高炉スラグ微粉末を混和すると、初期強度が低下するが、W/Bが36%以上では材齢91日までにBS置換率0%の強度を上回る。またW/Bが大きいほど早い材齢で上回る傾向がある。
- 2) W/Bが大きいほど、未水和水が多く残存しており、高炉スラグ微粉末の潜在水硬反応が活発になる。

参考文献

- 1) 例えば 小林一輔, 武若耕司: 最新コンクリート工学 (第6版), 森北出版, pp.25-27, 2021
- 2) 尾久智基, 菅田紀之, 山田浩貴, 岡田雄樹: 高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの強度・乾燥収縮特性に及ぼす水和発熱の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.137-142, 2021.6