

高炉スラグ微粉末に関する性能評価方法の検討

九州工業大学 学生員 篠原 晃 九州工業大学 正会員 出光 隆  
同上 正会員 山崎 竹博 同上 学生員 俵 道和

1. はじめに

建設用材料の規格試験の国際化に対応し、高炉スラグ微粉末の性能評価試験に使用する細骨材も、新しい基準への移行が検討されている。本研究では、このような高炉スラグ微粉末の性能評価方法の相違による活性度指数・フロー値比等の変化について、実験的考察を行った。現行の試験方法では、3種類の細骨材（表2中の③）を混合して用いることになっている。この細骨材は、旧 JIS R 5201 中のセメント強さ試験で用いる細骨材（表2中の①）や、同 ISO 規格（表2中の②）で用いるものと異なっている。本研究では、細骨材の種類を変えた3つの配合を用い、高炉スラグ微粉末の特性を表す最も実用的な方法について検討した。この比較に関しては、高炉スラグ微粉末に関する土木学会基準「コンクリート用高炉スラグ微粉末（JIS A 6201-1995）」に準じて比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントには比重 3.15 の普通ポルトランドセメントを使用し、高炉スラグ微粉末には比表面積の異なる3種類（B4000, B6000, B8000）を使用した。高炉スラグ微粉末の物理的性質を表1に示す。細骨材には、現行の試験方法として豊浦砂と相馬粗砂、および相馬細砂の三種混合砂、旧 JIS については豊浦標準砂、新 JIS については ISO 標準砂を使用した。これらの細骨材の物理的性質を表2に示す。

2.2 配合、練混ぜならびに養生

実験で使用するモルタルの配合を表3に示す。モルタルの練混ぜ方法については、各 JIS 規格に規定されている方法に準じた。各供試体はすべて、脱型直後より試験時まで 20±1℃ の水中養生とした。

2.3 試験項目

フレッシュ時のモルタルに関しては、フロー試験（JIS R 5201 準拠）を行い、硬化後の各供試体については、圧縮強度試験（JIS R 5201、JIS A 1132 準拠）を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フロー値に関する検討

表4、図1に、各基準に準拠したモルタルのフロー値を示す。図1より、各種の細骨材を用いた基準モルタルのフロー値は、配合①（豊浦砂）で 294、配合②（ISO 標準砂）で 218、配合③（豊浦+相馬砂）で 174 の順に小さくなった。一方、高炉スラグ微粉末を置換した試験モルタルのフロー値は、どの配合

表1 高炉スラグ微粉末

|          |                      | 高炉スラグ微粉末 |       |       |
|----------|----------------------|----------|-------|-------|
|          |                      | B4000    | B6000 | B8000 |
| 比重       | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.91     |       |       |
| 比表面積     | (cm <sup>2</sup> /g) | 4010     | 5890  | 7910  |
| 酸化マグネシウム | (%)                  | 6.4      | 6.3   | 6.1   |
| 三酸化硫黄    | (%)                  | 0.0      | 0.0   | 0.0   |
| 強熱減量     | (%)                  | 0.0      | 0.2   | 0.1   |
| 塩化物イオン   | (%)                  | 0.002    | 0.002 | 0.002 |

表2 細骨材の品質

|   |         | 粗粒率 F.M. | 比重   |
|---|---------|----------|------|
| ① | 豊浦砂     | 0.98     | 2.63 |
| ② | ISO 標準砂 | 2.46     | 2.62 |
| ③ | 豊浦+相馬砂  | 2.03     | 2.62 |

表3 配合表

|   |    | W/B (%) | B    |       | S (g) | W (g) |
|---|----|---------|------|-------|-------|-------|
|   |    |         | C(g) | BS(g) |       |       |
| ① | 基準 | 65      | 520  | 0     | 1040  | 338   |
|   | 試験 |         | 260  | 260   |       |       |
| ② | 基準 | 50      | 450  | 0     | 1350  | 225   |
|   | 試験 |         | 225  | 225   |       |       |
| ③ | 基準 | 50      | 500  | 0     | 1250  | 250   |
|   | 試験 |         | 250  | 250   |       |       |

表4 フロー試験結果

|          |            | ①   |     | ②    |     | ③   |     |
|----------|------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|          |            | 基準  | 試験  | 基準   | 試験  | 基準  | 試験  |
| スラグ 4000 | 平均フロー値(mm) | 294 | 291 | 218  | 243 | 174 | 185 |
|          | フロー値比(%)   | 99  |     | 111  |     | 106 |     |
|          |            | 試験値 |     | 95以上 |     |     |     |
| スラグ 6000 | 平均フロー値(mm) | 294 | 300 | 218  | 199 | 174 | 179 |
|          | フロー値比(%)   | 102 |     | 93   |     | 103 |     |
|          |            | 試験値 |     | 95以上 |     |     |     |
| スラグ 8000 | 平均フロー値(mm) | 294 | 278 | 218  | 189 | 174 | 162 |
|          | フロー値比(%)   | 95  |     | 87   |     | 93  |     |
|          |            | 試験値 |     | 90以上 |     |     |     |

においても、比表面積の大きいもののほど小さくなる傾向があり、図1のように示される。これらの結果から、高炉スラグ微粉末のフロー値比を求めると、表4の様に、配合②における比表面積 6000 と 8000 のフロー値比が規定値を満たさなかった。これは 10 回の試験を行った平均値であり、信頼できるデータと思われる。この様に、新しい規格試験として ISO 対応の細骨材を用いる際には、比表面積 6000 で 90 以上、比表面積 8000 で 85 以上など規定値の変更も必要であると考えられる。

### 3. 2 圧縮強度による検討

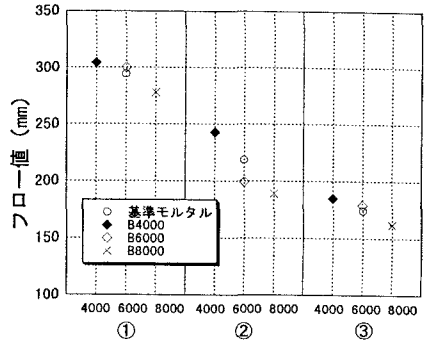


図1 配合別のフロー値

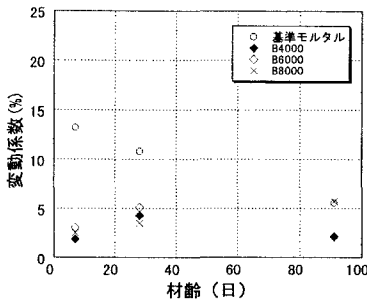


図2 配合①における変動係数

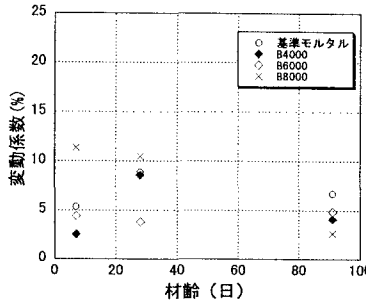


図3 配合②における変動係数

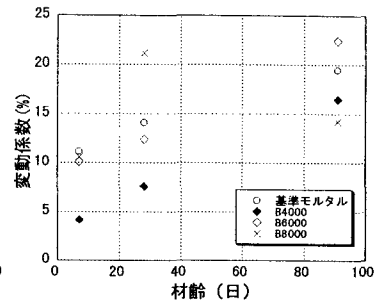


図4 配合③における変動係数

図2～4に配合別の圧縮強度による変動係数を示し、表5に、圧縮試験結果を示す。図2～4をみると、図4の配合③における変動係数が他の配合に比べて明らかに大きいことが分かる。これは配合③では供試体寸法が $\phi 5 \times 10$ の円筒であり、他の2つの配合は、供試体寸法が $4 \times 4 \times 16$ の角柱であるという違いがある。また配合③では図1よりフロー値が最も低いため流動性が小さくなっていると考えられ、締め固め効果が小さいために、圧縮強度のばらつきが大きくなったと考えられる。強度試験のばらつきについては、②のISO標準砂を用い振動締め固めを併用する新JIS規格試験方法が、①と同様に小さく、作業の均一性も考慮して規格試験として適切と考えられる。活性度指数に関しては、表5に示すように、どの細骨材を用いた場合でも規定値を満たしていた。よって、一般に、規格試験は再現性の高いことが望ましいため、細骨材にはISO標準砂を用い、供試体寸法を $4 \times 4 \times 16$ とした配合②の使用は、高炉スラグの品質評価方法としてより適切であると思われる。

### 4. まとめ

それぞれの規格を比較検討した結果、細骨材にはISO標準砂を用い、供試体寸法を $4 \times 4 \times 16$ とした配合②が高炉スラグの品質評価方法として最も適切であると思われる。しかし、フロー値比では比表面積 6000、8000などの種類で従来の規定値から外れることが予想され、規定値の変更などが必要と考えられる。

表5 圧縮試験結果

|             |   | 材齢(日)     |      | 7     |      | 28    |      | 91    |      |
|-------------|---|-----------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|             |   |           |      | 基準    | 試験   | 基準    | 試験   | 基準    | 試験   |
| スラグ<br>4000 | ① | 規定値       | 55以上 |       |      | 75以上  |      | 95以上  |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 29.9  | 21.9 | 47.9  | 53.0 | 58.0  | 67.9 |
|             | ② | 活性度指数(%)  |      | 73.2  |      | 110.6 |      | 117.1 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 47.3  | 33.4 | 67.9  | 68.0 | 76.0  | 83.7 |
|             | ③ | 活性度指数(%)  |      | 70.6  |      | 100.1 |      | 110.1 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 23.3  | 17.6 | 36.4  | 35.7 | 38.3  | 37.5 |
| スラグ<br>6000 | ① | 規定値       | 75以上 |       |      | 95以上  |      | 105以上 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 29.9  | 27.9 | 47.9  | 49.9 | 58.0  | 67.5 |
|             | ② | 活性度指数(%)  |      | 93.3  |      | 104.2 |      | 116.4 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 47.3  | 43.6 | 67.9  | 71.1 | 76.0  | 80.9 |
|             | ③ | 活性度指数(%)  |      | 92.2  |      | 104.7 |      | 106.3 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 23.3  | 21.3 | 36.4  | 35.2 | 38.3  | 40.5 |
| スラグ<br>8000 | ① | 規定値       | 95以上 |       |      | 105以上 |      | 105以上 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 29.9  | 31.8 | 47.9  | 62.9 | 58.0  | 66.1 |
|             | ② | 活性度指数(%)  |      | 106.4 |      | 131.3 |      | 114.0 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 47.3  | 48.9 | 67.9  | 70.4 | 76.0  | 79.4 |
|             | ③ | 活性度指数(%)  |      | 103.4 |      | 103.7 |      | 111.0 |      |
|             |   | 圧縮強度(Mpa) |      | 23.3  | 27.1 | 36.4  | 41.4 | 38.3  | 48.0 |