

アルカリ刺激剤を用いた高炉スラグ微粉末モルタルの物理的特性に関する研究

九州工業大学 学生会員 中原 晋 九州工業大学 正会員 出光 隆
同上 正会員 山崎竹博 同上 学生会員 俵 道和

1. はじめに

1862年 E.Langens によって高炉スラグ微粉末の潜在水硬性が確認されてから 130 年が経過し、今日では高炉スラグ微粉末はセメント用混和材料として一般的に使用されている。本研究では、セメントの水和反応で生ずる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のアルカリ性を利用せず、高炉スラグに少量のアルカリ刺激剤を用いることでその潜在水硬性を促す方法について検討した。まず、スラグペーストを用いて 18 種のアルカリ刺激剤の効果を調べたところ、珪酸ナトリウム溶液、二珪酸ナトリウム水和物、アルミン酸ナトリウム、炭酸カリウムなど pH12 以上の刺激剤に普通ポルトランドセメントと同程度以上の圧縮強度発現性が見られた。そこで、一般に珪酸ソーダとして市販され入手が容易な数種に限定し、養生方法の違い、刺激剤添加率、水スラグ比などが物理的特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

高炉スラグ微粉末は比重 2.91、比表面積 $5890\text{cm}^2/\text{g}$ 、塩基度 1.86 であり、石膏無添加のものを使用した。アルカリ刺激剤には表 1 に示す珪酸ソーダ 1 から 3 号を使用した。また細骨材には粗粒率 F.M.2.86、比重 2.62 の ISO 標準砂を使用した。スラグペーストの配合は、標準軟度ペーストが得られにくいため、水スラグ比 $W/BS=40\%$ アルカリ刺激剤添加率 $A/BS=20\%$ に固定した。ペーストの練り混ぜ方法はアルカリ刺激剤を溶解させた溶液に高炉スラグ微粉末を投入し、低速で 30 秒間練り混ぜかき落としを行った後、低速で 30 秒間練り混ぜた。供試体は $\phi 5 \times 10\text{ cm}$ の円柱とした。モルタルの配合は JSCE-F505 (試験室におけるモルタルの作り方) に準拠し行った。モルタルの練り混ぜ方法は、アルカリ溶液に高炉スラグ微粉末を投入後低速で 30 秒間練り混ぜた後、次の 30 秒間で規定の標準砂を投入し高速で 30 秒間練り混ぜを行う。90 秒間休止させた後、高速で 60 秒間練り混ぜた。また供試体は $4 \times 4 \times 16\text{ cm}$ の角柱とした。表 2, 3 にペースト、モルタルの配合を示す。

表 1 珪酸ソーダ成分表

成分 (%)	1 号	2 号	3 号
Na_2O	17.58	11.52	9.51
SiO_2	36.90	29.19	29.50

表 2 ペースト配合表

W/BS (%)	A/BS (%)	W (g)	BS (g)	A (g)
40	20	464	1160	232

表 3 モルタル配合表

W/BS (%)	A/BS (%)	W (g)	BS (g)	S (g)	A (g)
50	20	225	450	1350	90

2.2 試験方法

ペースト円柱供試体は、図 1 に示す方法で養生をし、圧縮強度試験を行った。その結果をもとに高強度の得られた刺激剤 1 種を選定し、刺激剤添加率 $A/BS=10, 20, 40\%$ 、水スラグ比 $W/BS=30, 40, 50\%$ の 9 種について湿潤養生を行い材齢 7, 28, 91 日における圧縮強度試験を行った。モルタルは、水スラグ比 $W/BS=40\%$ 刺激剤添加率 $A/BS=20\%$ の角柱供試体を作製し、圧縮強度試験を行った。

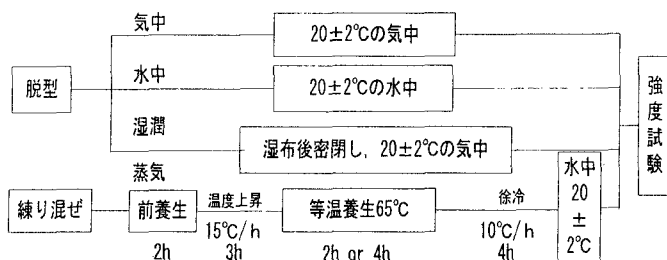


図 1 養生方法のフローチャート

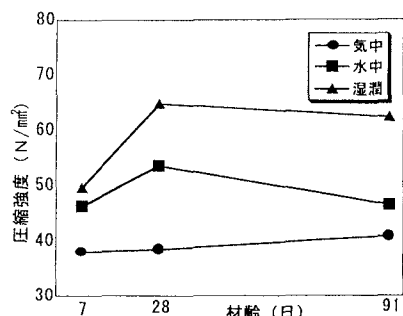


図2 養生方法の違いと圧縮強度の関係（ペースト）

3. 結果及び考察

図 2 に気中、水中、湿潤養生を行ったペースト供試体の圧縮強度試験結果を示す。図 2 から湿潤養生供試体の強度が最も高く、水中養生、気中養生供試体の順に強度は低下した。気中養生供試体は材齢による強度の伸びが小さく、供試体表面に微細なひび割れが無数に生じていた。湿潤養生に比べ水中養生供試体の強度が低かった原因は、養生時に未反応のアルカリ刺激剤が水中に溶出したためと考えられる。蒸気養生供試体は、養生段階でひび割れが生じ、賽子状に崩壊したため強度試験が行えなかった。ひび割れ原因を調べるため材齢 1 日からのペースト供試体収縮量を測定したところ、 5000×10^{-6} 程度のひずみを生じた。蒸気養生では短時間にこれらの収縮が生じるため崩壊に至ったものと考えられる。以降の実験ではすべて湿潤養生とした。図 3 に示す 3 種類の珪酸ソーダを使用したペースト供試体の圧縮強度試験結果から、珪酸ソーダ 1 号の圧縮強度が最も高いことがわかる。これは、珪酸ソーダに含まれる Na_2O 、 SiO_2 が他に比べて多いため、加水分解された OH^- イオン濃度が高くなり、高炉スラグ微粉末の硬化を促進させたためと考えられる。図 4 から、セメント同様スラグペーストにおいても単位水量の少ない方が強度発現がよく、また図 5 から長期においても安定した強度が得られていることが分かる。図 6 はモルタル供試体を用いた粉末度の違いと圧縮強度との関係を示す。いずれの供試体もペーストに比べて初期の強度発現が著しく、91 日強度も安定して得られることが分かった。このとき比表面積が大きいほど高強度が得られるが、B6000 と B8000 では大差は見られない。

4. まとめ

- ・養生方法にはアルカリ刺激剤の溶出が少なく、乾燥しない湿潤養生が最も効果的である。蒸気養生は硬化収縮ひび割れを誘発するため、前養生時期などの検討が必要である。
- ・水スラグ比を小さくすれば高強度となるが、逆に水スラグ比が過大になれば刺激剤の効果が低下するため、水スラグ比には適切な範囲がある。
- ・アルカリ刺激剤添加率を大きくすれば強度は高くなるが、過大になれば強度増進効果は小さくなる。
- ・スラグの粉末度が大きい程高い圧縮強度が得られるが、B6000、B8000 では大差は見られなかった。

【参考文献】

- 1) 蔵重・出光ら:高炉水砕スラグ微粉末のアルカリ刺激に関する基礎的研究, 土木学会西部支部概要集, 1988.3, V-7, pp.816-817
- 2) 呉・長滝ら:アルカリ・スラグコンクリートの強度特性と影響を及ぼす因子, 土木学会論文集, NO.544, V-32, pp.247-256

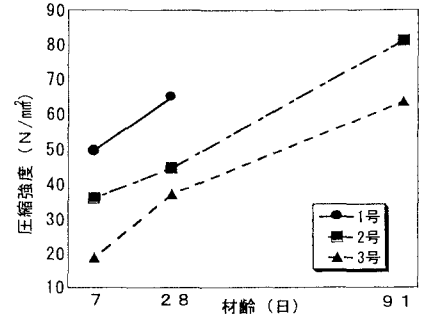


図3 珪酸ソーダの違いと圧縮強度の関係 (ペースト)

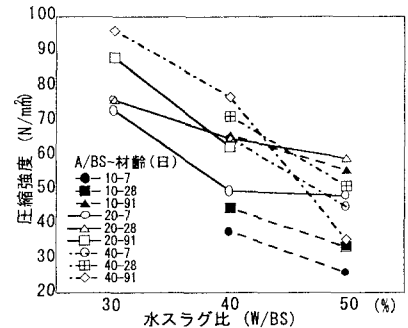


図4 圧縮強度と水スラグ比の関係 (ペースト)

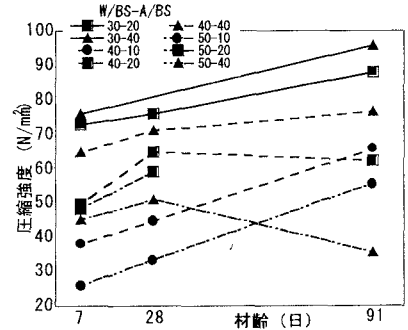


図5 水スラグ比、刺激剤添加率と圧縮強度の関係 (ペースト)

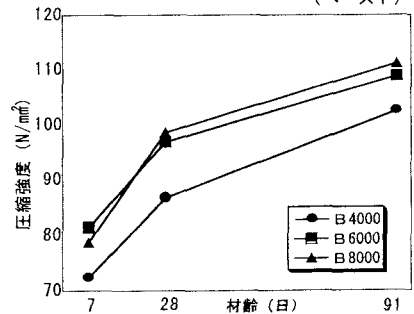


図6 粉末度の違いと圧縮強度の関係 (モルタル)