

蒸気養生を施した高炉スラグ配合コンクリートへの早強型膨張材の適用

石川島建材工業(株) 正会員 ○長谷川 聖史
 太平洋マテリアル(株) 正会員 佐久間 隆司
 石川島建材工業(株) 正会員 伊達 重之

1. 目的

グリーン調達法の普及や、コンクリートの耐久性が注目される昨今、コンクリート製品に対しても高炉スラグ微粉末を適用する事例が増えてきている。この傾向は今後ますます増加するものと予想される。高炉スラグ微粉末を配合したコンクリート、とりわけセメント重量の半分を置換する場合などは、初期強度が著しく低い。そのため1日2回転生産を行うためには蒸気養生の温度を通常より高くする必要がある。しかしながら、蒸気養生温度を高くすると、脱型時に内部と表面の温度差に起因するひび割れが懸念される。また、高炉スラグ微粉末配合コンクリートは自己収縮も大きいため、普通コンクリートに比べてひび割れが入る危険性は高くなる。

一方、近年では早強性を付与した膨張材も開発され、ボックスカルバートなどの製品の早期脱型とひび割れ抑制対策として適用されている。そこで本研究では、蒸気養生を施した高炉スラグ微粉末配合コンクリートの品質向上を目的として、圧縮強度に及ぼす早強型膨張材の効果と、さらに硬化促進剤を併用した場合の影響について実験的に検討した。

2. 実験概要

使用材料を表-1に、配合・養生条件を表-2示す。高炉スラグ微粉末の置換率は50%とした。膨張材は石灰系のものを使用し、外割置換した。減水剤の添加率は、スランプが $3 \pm 1.5\text{cm}$ となるように適宜調整した。練混ぜは50リットルのパン型ミキサを使用し、固形材料投入後30秒空練りし、液体材料を30秒かけて投入後、さらに90秒練混ぜた。テーブルバイブレータにて打設後、0.5時間前置きし、その後所定の蒸気養生温度で5.5時間養生し、1.0時間かけて室温まで徐冷した。

試験は圧縮強度と拘束膨張試験を行った。圧縮強度はJIS A 1108に従った。試験体寸法は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ とし、試験材齢は7時間、および14日とした。拘束膨張試験はJIS A 6202 参考1「膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法A法」に準拠した。拘束棒はJIS G 3112の呼び名D13を使用した。所定の蒸気養生を施した後、供試体の温度が 20°C になったことを確認して蒸気養生後の拘束膨張率を測定(試験材齢1, 3, 7, 14日)した。なお、拘束膨張試験は表-2の⑧および⑩の供試体のみ実施した。

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮強度

材齢7時間における圧縮強度と蒸気養生温度の関係を図-1に示す。同一配合において、蒸気養生温度が高くなるほど圧縮強度が増加する傾向にあった。蒸気養生温度が45度の場合に着目すると、膨張材無添加と比較して膨張材を 25kg/m^3 添加すると約1.4倍、 35kg/m^3

表-1 使用材料

| 材料 | 種類 | 備考 | 記号 |
|------|--------------|--|----|
| セメント | 早強ホルトランドセメント | 密度 3.13g/cm^3 | C |
| 混和材 | 高炉スラグ微粉末 | 密度 2.90g/cm^3 , 4000 μm 以下 | Sg |
| | 早強型膨張材 | 石灰系, 密度 3.20g/cm^3 | EX |
| 細骨材 | 陸砂 | 表乾密度 2.63g/cm^3 | S |
| 粗骨材 | 砕石 | 表乾密度 2.65g/cm^3 | G |
| 混和剤 | 高性能減水剤 | ポリカルボン酸系 | Ad |
| | 硬化促進剤 | 無機系窒素化合物 | E |

表-2 配合・養生条件

| | 単位量(kg/m^3) | | | | 促進剤添加率 (%) | 蒸気養生温度 ($^\circ\text{C}$) |
|---|------------------------|-----|-----|----|------------|-----------------------------|
| | W | C | Sg | EX | | |
| ① | 125 | 215 | 215 | 0 | 0 | 55 |
| ② | | | | 45 | 0 | |
| ③ | | | | 0 | 0 | |
| ④ | | | | 25 | 0 | 45 |
| ⑤ | | | | 35 | 0 | |
| ⑥ | | | | 45 | 0 | |
| ⑦ | | | | 0 | 0 | 35 |
| ⑧ | | | | 0 | 1 | |
| ⑨ | | | | 0 | 0 | |
| ⑩ | | | | 45 | 1 | |

キーワード 高炉スラグ微粉末, 膨張材, 硬化促進剤, 蒸気養生, 初期強度, 拘束膨張

連絡先 〒252-1121 神奈川県綾瀬市小園720番地 石川島建材工業(株) TEL0467-77-8554 FAX0467-77-4314

添加すると約 1.5 倍, 45kg/m³ 添加すると約 1.7 倍の圧縮強度を発現しており, 膨張材の添加量が多くなるほど圧縮強度は増加する傾向を示した.

蒸気養生温度が 35℃ の場合の各配合における材齢 7 時間圧縮強度を図-2 に示す. 膨張材と硬化促進剤を添加しない場合, 圧縮強度は 5N/mm² 程度しか発現しなかったが, 硬化促進剤を 1% 添加した場合で約 1.7 倍, 膨張材を 45kg/m³ 添加した場合で約 2.2 倍の強度発現があった. さらに, 膨張材と硬化促進剤を組み合わせ使用した場合, 約 3.4 倍の強度を発現した. これは膨張材と硬化促進剤を併用しない場合の蒸気養生温度 55℃ で養生した場合と同程度の強度であり (図-1), 膨張材と硬化促進剤の併用による初期強度増進効果が確認された.

材齢 14 日における圧縮強度と蒸気養生温度の関係を図-3 に示す. 膨張材と硬化促進剤を添加しない場合, 蒸気養生温度が高くなるほど圧縮強度は低下する傾向にあった. 一方で, 膨張材を 45kg/m³ 添加した場合, 蒸気養生温度が高くなっても強度低下はなかった.

また, 膨張材と硬化促進剤を併用した場合, 膨張材と硬化促進剤を添加しない場合と比較して約 1.4 倍の圧縮強度を示し, 材齢 14 日においても膨張材と硬化促進剤の併用による効果が確認された.

3. 2 拘束膨張ひずみ

膨張材を 45kg/m³ 添加することにより, 材齢 14 日で約 600 × 10⁻⁶ 程度の膨張ひずみが得られた. これによりコンクリート部材へ圧縮応力が導入できると考えられるため, 温度応力ひび割れや乾燥収縮ひび割れを効果的に抑制できると推察される. さらに製品に適用した場合, ケミカルプレストレス効果によりコンクリート自体が緻密となり, 耐久性の向上等が期待できるものと考えられる.

4. まとめ

- 1) 膨張材と硬化促進剤の併用により, 初期圧縮強度の増進効果が確認された.
- 2) 膨張材と硬化促進剤を併用して使用すれば, 蒸気養生温度を大幅に低減できるため, 温度応力ひび割れの抑制に有効である.
- 3) 膨張材の添加により 600 × 10⁻⁶ 程度の膨張ひずみを導入できた.

参考文献

- 1) 三浦智哉ほか: コンクリートの自己収縮に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.359-364, 1995.

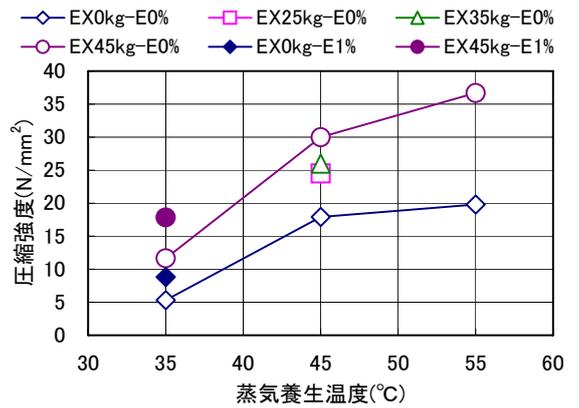


図-1 材齢 7 時間圧縮強度と養生温度の関係

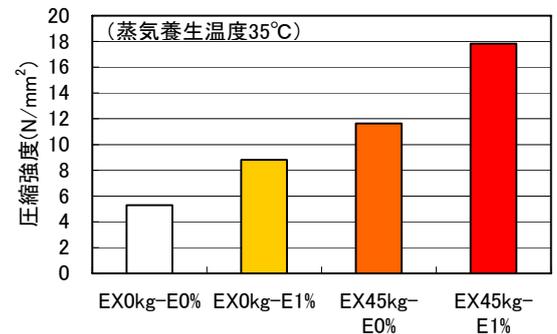


図-2 膨張材と硬化促進剤の併用による効果

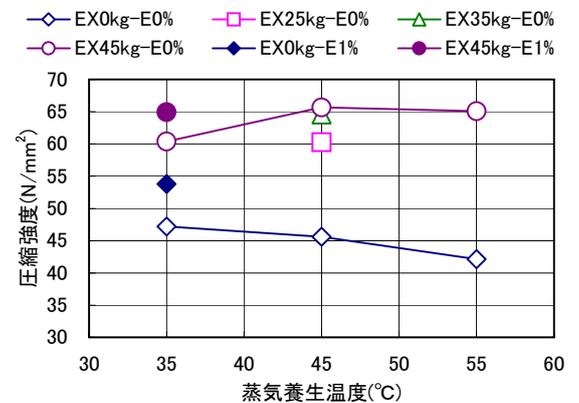


図-3 材齢 14 日圧縮強度と養生温度の関係

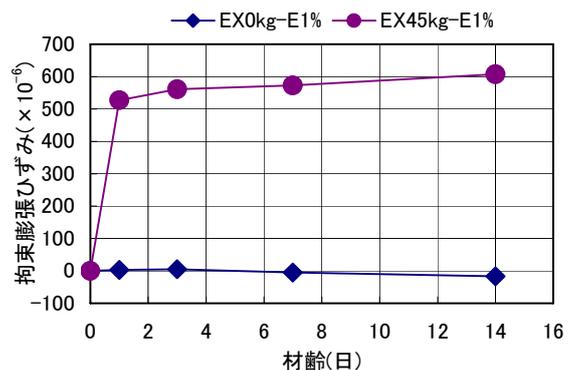


図-4 拘束膨張ひずみの経時変化