

硬化促進剤と早強型膨張材を併用したコンクリートの耐久性に関する基礎的検討

太平洋マテリアル（株） 正会員 ○竹下 永造 非会員 村手 三郎  
戸田建設（株） 正会員 土師 康一 正会員 澤村 淳美

1. はじめに

建設産業は、社会資本整備の担い手であると同時に、社会の安全・安心の確保を担う、我が国の守り手であるといえる。しかし近年、少子高齢化が進み、これらの役割を果たすために「生産性向上」が必要不可欠となっている。特にコンクリート工では、1984年時点と比較して、100m<sup>3</sup>あたりに要する作業員数が横ばいとなっていることから、省力化や工期短縮といった「工程改善」は喫緊の課題であるといえる。一方で、コンクリートにおける品質向上の観点で優れた技術を、施工・維持管理段階での効果も見据えて採用する「全体最適設計の導入」が進められている。その技術の中でも、コンクリートの品質・耐久性向上と環境負荷低減が同時に図れる材料として、高炉スラグ微粉末やフライアッシュの使用が注目を集めており、2018年には、「コンクリートライブラリー152 混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」が発刊され、その注目の高さが伺える。しかしながら、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを使用したコンクリートは初期強度発現性が小さく、また、低温時の強度発現性も小さくなることが予想されることから、工期短縮や省力化を図ることは難しくなり、逆に工程数が増加する恐れがある。この課題を解決する手法として、硬化促進剤の使用が挙げられるが、主に、硬化促進剤はプレキャスト製品や低水セメント比のコンクリートに適用されており、高水セメント比のコンクリートに適用した事例は少なく、また、耐久性の検討についても十分ではない。

そこで、本検討は、特に高炉セメントB種に着目し、初期強度発現性を改善するために窒素系無機塩タイプの硬化促進剤と、通常の膨張材よりも反応性が高い早強型膨張材を併用したコンクリートに着目し、その強度発現性および耐久性に関する基礎的検討を実施したものである。

2. 試験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

表-1に使用材料一覧を示す。また、コンクリートの配合を表-2に示す。ここで、使用するセメントは高炉セメントB種を用いた。また、膨張材は石灰系早強型膨張材を細骨材置換にて使用した。さらに、硬化促進剤は窒素系無機塩化合物を後添加にて使用した。その使用量はC×3.0%である。目標フレッシュ性状は、スランプ15±2.5cm、空気量4.5±1.5%とした。

(2) 測定項目および測定方法

表-3に測定項目および測定方法を示す。試験実施は20℃RH.80%の恒温恒湿室にて実施した。気中（乾燥）養生は20℃RH.60%の恒温恒湿室にて実施した。

表-1 使用材料一覧

| 材料名  | 記号  | 備考                                     |
|------|-----|----------------------------------------|
| 水    | W   | 上水道水                                   |
| セメント | C   | 高炉セメントB種、密度3.04g/cm <sup>3</sup>       |
| 膨張材  | EX  | 石灰系早強性膨張材、密度3.19g/cm <sup>3</sup>      |
| 細骨材  | S   | 山砂、密度2.57g/cm <sup>3</sup> 、吸水率2.2%    |
| 粗骨材  | G   | 砂岩碎石、密度2.65g/cm <sup>3</sup> 、吸水率0.67% |
| 混和剤  | F-L | 窒素系無機塩化合物                              |
|      | A1  | AE減水剤 高機能タイプ                           |
|      | A2  | 変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤                    |

表-2 コンクリートの配合

|            | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |    |     |     |          |          |
|------------|------------|------------|-------------------------|-----|-----|----|-----|-----|----------|----------|
|            |            |            | W                       | F-L | C   | EX | S   | G   | A1       | A2       |
| PL         | 50         | 48         | 165                     | —   | 330 | —  | 841 | 940 | 0.5<br>% | 2.5<br>A |
| EX         |            |            |                         | —   |     | 20 | 825 |     |          |          |
| EX<br>+F-L |            |            |                         | 10  |     |    |     |     |          |          |

表-3 測定項目および測定方法

| 測定項目          | 測定方法                                                              |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|
| 圧縮強度          | JIS A 1108 （若材齢：15, 18, 21, 24 時間）<br>（材齢：7 日, 28 日, 91 日, 182 日） |
| 拘束膨張<br>＋収縮試験 | JIS A 6202 および JIS A 1129-2 に準拠<br>（膨張：材齢 7 日, 乾燥収縮：材齢 7 日以降）     |
| 凍結融解試験        | JIS A 1148 準拠（ただし JIS A 6202 試験体）                                 |
| 透気試験          | トレント法による（乾燥材齢 91 日）                                               |
| 透水試験          | JIS A 1404 に準拠（材齢 28 日にて実施）                                       |

3. 試験結果

(1) 圧縮強度試験

図－1に若材齢時の圧縮強度試験結果を示す．また図－2に材齢 182 日までの圧縮強度試験結果を示す．図より，硬化促進剤と早強型膨張材を併用することで，初期強度発現性は向上することが確認され，その数値は，PL と比較して 1.7 倍程度であった．ただし，その後の圧縮強度の経時変化では，材齢 182 日において，すべての水準の強度がほぼ同一となり，硬化促進剤や早強型膨張材の使用は長期にわたって強度発現性を妨げないことが分かった．

(2) 拘束膨張および乾燥収縮試験結果

図－3に拘束膨張および乾燥収縮試験結果を示す．図より，膨張材を使用した水準では，収縮補償の範囲となる膨張量（EX:214×10<sup>-6</sup>，EX+F-L:153×10<sup>-6</sup>）が確認された．また，乾燥収縮試験結果を拘束膨張試験結果と重ね併せて示したところ，PL が-639×10<sup>-6</sup>，EX が-451×10<sup>-6</sup>，EX+F-L が-548×10<sup>-6</sup>となることが分かった．これらの結果より，膨張材を使用した水準において乾燥収縮ひずみの抑制が図られたことが分かる．

(3) 凍結融解試験結果

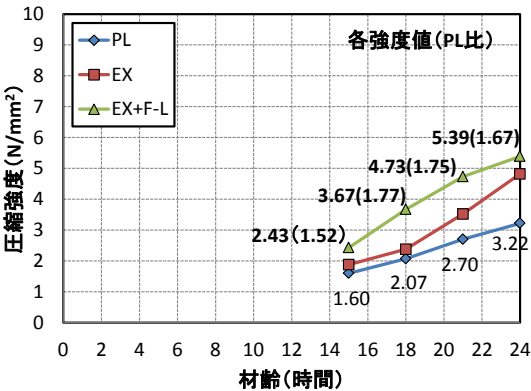
図－4に凍結融解試験結果を示す．図より，全ての水準にて相対動弾性係数 60%以上を満足し，かつ，水準の違いによる大きな違いは見受けられなかった．このことより，硬化促進剤と早強型膨張材を併用したコンクリートの凍結融解抵抗性は，普通コンクリートと同様であった．

(4) 透気および透水試験結果

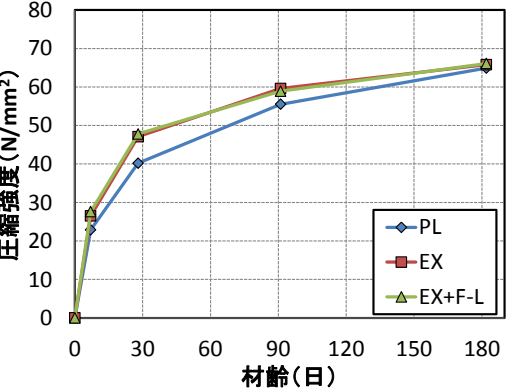
表－4に透気・透水試験結果を示す．表より，硬化促進剤と早強型膨張材の併用により，透気性および透水性が向上することが分かった．透気性については，PL と比較して EX+F-L の透気グレードが「一般」から「良」へと変化した，透水性については，EX+F-L の透水比が PL と比較して 0.63 となった．これらの結果は図－2からも分かるように，材齢初期～中期（1日～91日）にかけての強度発現性が向上した影響であると考えられる．

4. まとめ

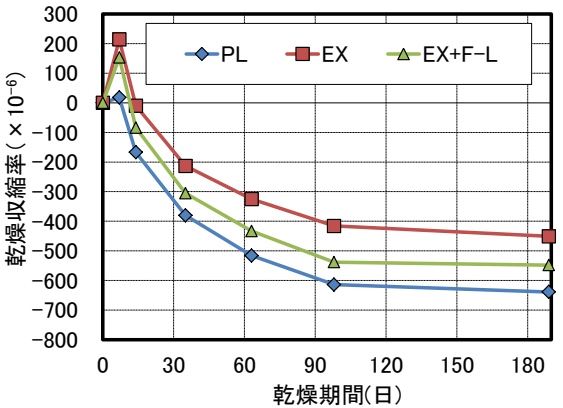
高炉セメント B 種を使用したコンクリートに硬化促進剤と早強型膨張材を併用し，その強度発現性および耐久性に関する基礎的検討を実施した結果，硬化促進剤と早強型膨張材を併用したコンクリートは，強度発現性の観点では，長期にわたり強度発現性を妨げないことが分かった．また，耐久性の観点では，乾燥収縮ひずみが抑制可能である上に，透気性および透水性の向上が図れる可能性を示唆した．



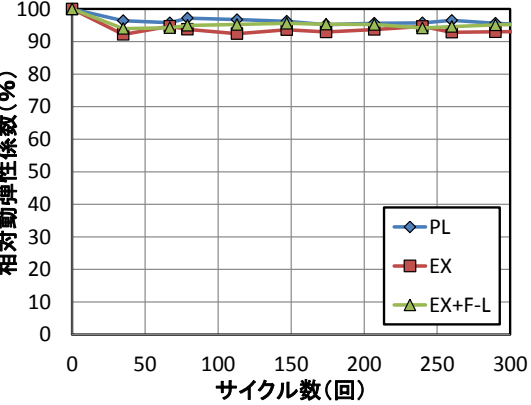
図－1 圧縮強度試験結果（若材齢）



図－2 圧縮強度試験結果（182 日まで）



図－3 拘束膨張・収縮試験結果



図－4 凍結融解試験結果

表－4 透気・透水試験結果

|        | 透気係数<br>(×10 <sup>-6</sup> m²) | 透気<br>グレード | 透水量<br>(g) | 透水比  |
|--------|--------------------------------|------------|------------|------|
| PL     | 0.110                          | 一般         | 86.26      | 1.00 |
| EX     | 0.046                          | 良          | 69.06      | 0.80 |
| EX+F-L | 0.061                          | 良          | 54.55      | 0.63 |