

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：15401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2014

課題番号：26889042

研究課題名(和文)高強度コンクリートのひび割れ抑制技術の高精度化に関する研究

研究課題名(英文) Study on the sophisticated method for controlling the crack behavior in high strength concrete

研究代表者

寺本 篤史 (Teramoto, Atsushi)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30735254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート構造物に生じるひび割れの低減を目的として使用される膨張材や収縮低減剤といった混和材料の最適調合設計方法が求められているという背景のもと、膨張材がセメントペーストの膨張に寄与するメカニズムの解明、収縮低減剤と膨張材を併用した際に生じることがある収縮低減効果の不安定性の原因を明らかにすることを目的として研究を実施した。その結果、膨張材を使用した場合に生じる自己収縮の低減効果のうち、材齢1日以降の膨張効果に寄与しているのは主として水和生成物の一つである水酸化カルシウムであること、収縮低減剤と膨張材の併用によってエトリンガイト等の水和生成物の生成タイミングが変化することが示された。

研究成果の概要(英文)：One of the purpose of this study are to examine the mechanics of expansion which caused by expansion additives on cement paste with very low water to binder ratio, and the other purpose is to discuss the issues that is instability of effectiveness of expansion additives and shrinkage reduce admixtures in the case of used simultaneously.

As a result of our experiment, the expansion of cement paste after 1 day has a connection with production amount of calcium hydroxide. This reveals that calcium hydroxide which caused by expansion additives contribute to the expansion after 1 day. And it was observed that the time dependent change of amount of ettringite was modified by adding shrinkage reduce admixtures to cement paste which including expansion additives.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：高強度コンクリート 自己収縮 ひび割れ 膨張材 収縮低減剤

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物のひび割れは二酸化炭素や塩化物イオンの侵入を容易にさせ、鉄筋腐食による RC 部材の剛性低下など、更なる劣化の進行をもたらすことから、コンクリート構造物の長寿命化を実現するために、調合、施工段階で様々なひび割れ抑制対策がとられている。例えば、乾燥によるコンクリートのひび割れを防止するために、硬化直後からの散水養生、水分一散防止のためのシート養生は一般的に広く実施されている。これらのひび割れを防止するための管理は大変重要な項目であるが、近年の、建設現場における労務の不足、人工の高騰を考慮すると、施工計画段階から実施可能で、極力施工後に手間のかからないひび割れ防止措置が望まれる。

近年、強度及び耐久性の向上を目的として使用が増加している高強度コンクリートにおいて、初期に発生するひび割れの主な原因は、コンクリートが水和反応によって硬化する際に生じる自己収縮によるもので、自己収縮はコンクリートの引張強度が十分に発揮される前に生じるため、施工後にひび割れ防止措置をとることが難しいとされている。

自己収縮ひび割れの抑制手法としては、膨張材や収縮低減剤の使用が一般的だが、調合条件や環境条件によっては効果が安定しない場合があり、また、長期的には膨張材の遅れ膨張によってポップアウトや亀甲状のひび割れが発生する事例が報告されている。以上の観点から、材齢初期から長期にわたり、ひび割れ・劣化を生じさせない調合設計法が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート構造物に生じるひび割れの低減を目的として使用される膨張材や収縮低減剤といった混和材料の最適調合設計方法を提案することを最終目的として、膨張材がセメントペーストの膨張に寄与するメカニズムの解明、収縮低減剤と膨張材を併用した際に生じることがある、収縮低減効果の不安定性の原因を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

膨張材がセメントペーストを膨張させる機構を解明するためには、膨張材の混和によって生成される水和生成物の量と、結果としてセメントペーストに発生した膨張圧を定量する必要がある。

本研究では、水セメント比 16.5%という、自己収縮が顕著に発生するセメントペーストを使用して、膨張材および収縮低減剤を単独で使用した場合、或いは両者を併用した場合における、自己収縮ひずみ挙動を計測すると同時に、所定の材齢において試験体の水和を停止し、XRD/リートベルト解析や、TG-DTA を使用した熱分析に供することで、膨張圧を

有するといわれている水和生成物のうち、水酸化カルシウムとエトリンガイトの生成量の経時変化を実験的に取得した。

また、上記の実験を複数の温度環境下で実施することによって、養生温度が、膨張材や収縮低減剤の自己収縮低減効果に及ぼす影響を調査した。

4. 研究成果

図 1 に示される自己収縮ひずみの測定結果をみると、何も混和していない調合 (PL) に対して、膨張材 (EX3)、収縮低減剤 (SR0.6) の使用、及び両者を併用 (EX3SR0.6) することで、自己収縮ひずみが低減されていることがわかる。

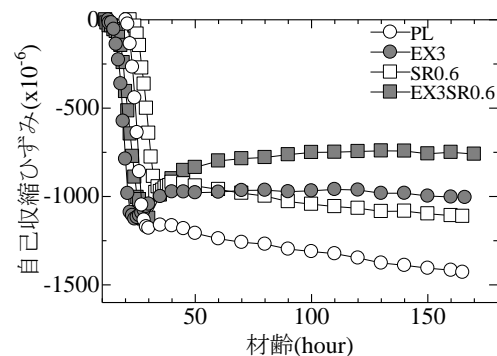


図 1 各調合の自己収縮ひずみの経時変化

ただし、膨張材を使用した環境において、セメントペーストには、①水和による水分消費によって生じる収縮駆動力、②膨張材による膨張性を有する水和生成物による膨張圧、が同時に働いている環境になっているため、図 1 のデータのみから、膨張材の効果を定量的に判別することは難しい。そこで、①収縮駆動力による収縮と②膨張圧による膨張を分離することが必要である。

本研究では、同一の収縮駆動力が働いていると考えられる状況において、膨張材の有無の調合間のひずみ差をとり、膨張材による膨張効果を検証した。

収縮駆動力としては、水和圧理論に基づく Hydration Pressure を想定し、同一の統計的吸着厚さ時のひずみ差を算出した。統計的吸着厚さの導出には質量含水率の経時変化と、比表面積の経時変化を測定する必要があるが、本研究では、比表面積の代わりに、比表面積と高い相関を有している結合水量の値を使用して、「仮想統計的吸着厚さ」という指標を用いた。

質量含水率と結合水量の経時変化を図 2、図 3 に示す。

図より、膨張材の混和によって、EX3、EX3SR0.6 では測定開始材齢から質量含水率は低下し、結合水量が増大していることがわかる。ただし、膨張材の有無による結合水量の差は徐々に小さくなり、材齢 168 時間時点でほとんどその差異がなくなっている。一方、

収縮低減剤の影響は、材齢 24 時間と 36 時間の測定で若干見られるものの、材齢 168 時間以前において、それほど大きくない結果であった。

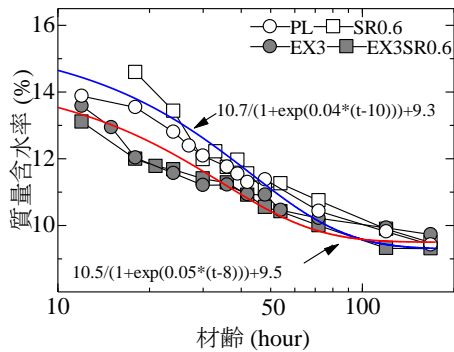


図 2 各調合の質量含水率の経時変化

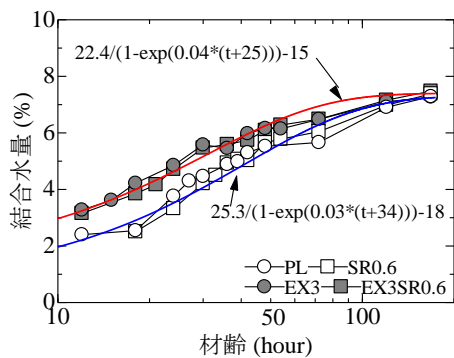


図 3 各調合の結合水量の経時変化

以上の実験結果から、仮想統計的吸着厚さの経時変化を求めたものが図 4 である。

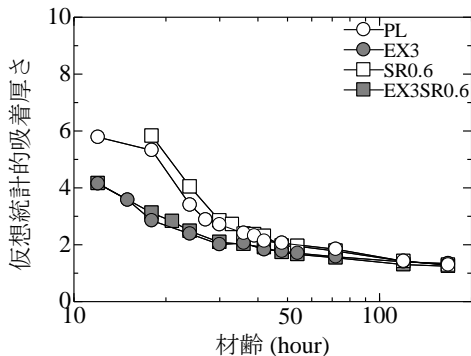


図 4 各調合の仮想統計的吸着厚さの経時変化

図より、材齢 24 時間程度以前までは、膨張材の混和により仮想統計的吸着厚さは未混和のものとは明らかに小さい値を示しており、この期間のセメントペースト表層の水に起因する自己収縮の駆動力だけを考えると、膨張材混和の系のほうがむしろ自己収縮を大きくする要因を有している。一方で、図 1 に示したように、膨張作用を有する水和生成物は、膨張材を混和することによって生成量が增大されており、これらのバランスによって膨張材による自己収縮の低減効果が

が決定されると考えられる。

同一の統計的吸着厚さの状態では、ほぼ同一の収縮駆動力が働いていると考えられるので、仮想統計的吸着厚さが同一の場合の収縮ひずみ量を膨張材の有無で比較したものが図 5 である。図 5 には、併せて、分析によって得られた水酸化カルシウムとエトリンガイトの経時変化も示した。

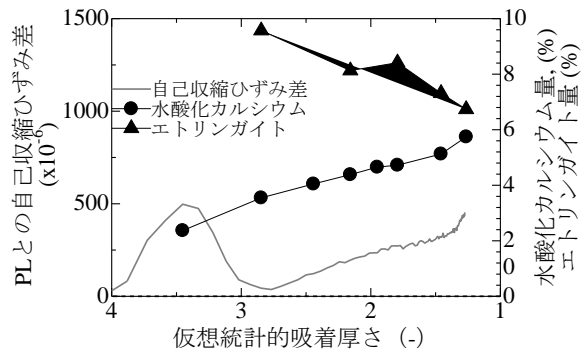


図 5 膨張材の膨張効果の検証

膨張材を混和した調合では、仮想統計的吸着厚さが 2.8 以下の領域において、緩やかに PL との自己収縮ひずみ差が増大していることが確認できる。この間は剛性、仮想統計的吸着厚さが同じであるにもかかわらず膨張が進行していることになる。

当該時期の膨張性物質の推移をみると、水酸化カルシウムが一様に増大を続けていることが分かる。すなわちこの間の膨張の駆動力として水酸化カルシウムが寄与している可能性が考えられる。

以上のことから、材齢 1 日以降の膨張に寄与しているのは主として水酸化カルシウムであることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

①寺本篤史, 堀田和宏, 大久保孝昭, 丸山一平, 膨張材及び収縮低減剤を使用した低水結合材比シリカフェームセメントペーストの若材齢体積変化に関する研究, コンクリート工学年次論文集 (印刷中) (査読あり)

〔学会発表〕(計 2 件)

①堀田和宏, 寺本篤史, 大久保孝昭, 川本彩瑛, 超高強度セメントペーストの若材齢における体積変化に膨張材・収縮低減剤の及ぼす効果, 日本建築学会中国支部研究発表会, 平成 27 年 3 月 8 日, 米子工業高等専門学校, 鳥取

②寺本篤史, 堀田和宏, 大久保孝昭, 超高強度セメントペーストの自己収縮に及ぼす膨

張材・収縮低減剤の影響，日本建築学会大会
(関東)，平成 27 年 9 月 5 日，東海大学，神
奈川

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺本 篤史 (TERAMOTO ATSUSHI)
広島大学大学院工学研究院・助教
研究者番号：30735254

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：