

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630183

研究課題名(和文) ナノスケールの模型流路を用いた収縮機構の検討に基づく無収縮コンクリートの開発

研究課題名(英文) Development of non-shrinkage concrete based on the shrinkage mechanism studied with nano-sized channels

研究代表者

酒井 雄也 (Sakai, Yuya)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：40624531

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：乾燥収縮の機構に基づいて、無収縮コンクリートを開発することを目的として検討を行った。当初は模型流路を用いて機構を検討する予定であったため、まず鏡面を有するセメントペーストを用いて流路を作製した。上記検討において、硬化したセメントペーストやコンクリートは、粉碎しても圧縮成形により再び一体化し、強度を発現することを確認した。セメントペーストを粉碎して圧縮成形した成形体は収縮を示す一方で、成形前に乾燥処理を行ったところ、40℃で24時間乾燥した場合には、気中でやや膨張し、105℃で乾燥した場合には大きく膨張するなど、乾燥処理を組み合わせた圧縮成形により無収縮コンクリートが達成できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to develop non-shrinkage concrete based on the mechanism of drying shrinkage. In the beginning, it was planned to study the mechanism with model channels which represents the pore in concrete, such channels are prepared with hardened-mirrored cement paste. In the above study, it was confirmed that when hardened cement paste or concrete are crushed, they regain the strength by just compaction molding. The compacts of crushed cement paste shrink in the atmosphere, however, the compacts of dried before the compression expanded and the magnitude changed by the drying temperature. The above results indicates that the non-shrinkage concrete can be prepared by the compaction molding of crushed and appropriately dried concrete.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート 無収縮 模型流路 圧縮成形 化学結合

1. 研究開始当初の背景

コンクリートの乾燥収縮は、多くの研究者による長年の議論にもかかわらず、その機構の統一的な解明には至っていない。機構の解明に至らない最大の原因として、収縮要因であるミクロな現象の機構を検討することが困難であることが挙げられる。

近年、ナノテクノロジーの分野において、ナノオーダーのガラス製流路を用いた検討により、乾燥に起因する毛管吸引によりガラス流路が変形し、最終的に壁面同士が接着して乾燥終了後も元に戻らないという現象が報告されている。本研究では乾燥によるコンクリートの収縮が、上記のような毛管吸引による変形およびそれに起因する空隙壁面同士の接着により生じているとの考えに基づいて、無収縮コンクリートの開発を試みる。上記報告では、流路のアスペクト比によっては乾燥が進んでも接着せずにもとの形状に戻ることが報告されており、接着を回避することが無収縮の達成に肝要であると考えている。

2. 研究の目的

コンクリートの乾燥収縮の機構に基づいて、無収縮コンクリートを開発することを目的とする。近年、ガラス製のナノ流路を用いた検討により、乾燥に起因する毛管張力により流路が変形し、最終的に壁面同士が接着するという報告がなされている。本研究では、コンクリートの乾燥収縮が同様の機構により生じているとの考えに基づき、ナノサイズの流路を有するガラス基板を用いて、壁面同士の接着が生じる条件を明らかにする。そして、接着条件を回避する特性をコンクリートに付与することにより、無収縮コンクリートの開発を達成する。

本研究の達成により、これまで議論が続いていた乾燥収縮機構の統一的な理解が可能となるため、学術的な価値は高い。また明らかになった収縮条件を回避することにより、コンクリートにとって不可避とされてきた乾燥収縮の克服が可能となる。これにより、コンクリート構造物の飛躍的な高耐久化およびバリア機能としてのコンクリート材料の一層の活用が期待できる。

本研究のチャレンジ性は、これまでコンクリート分野において長年議論の対象であった乾燥収縮機構に結論を出し、またコンクリートの宿命である乾燥による収縮を克服する手法を提案するという点にある。また本研究のアイデアの斬新さは、これまで想像に留まっていたミクロな空間での現象を、ナノテクノロジーを活用して直接的に観察しようという着眼点ならびにコンクリート分野でナノテクを活用するというアプローチにある。乾燥収縮に関しては現在、毛管張力や表面エネルギー、分離圧など複数の機構を組み合わせて生じるという理解が一般的であるが、毛管吸引による接着という現象に基

づいて、統一的な説明を試みる。また手法に関しても、微小空間における水分移動ならびにそれに起因する体積変化を直接的に観察しようという新しいアプローチであり、コンクリート分野でのマイクロ/ナノテクノロジーの活用という点で先駆的である。

本研究の新規性は、ナノテクノロジーを活用して直接的に微小空間での現象を把握するという新しいアプローチにより、また毛管吸引による変形に加えて壁面同士の接着という新しい概念によりブレイクスルーを達成し、統一的な乾燥収縮機構の解明を試みる点にある。これまで、ミクロな現象の検討により直接的にコンクリートの収縮機構を明らかにすることに成功した研究はない。最大の原因として、検討が非常に困難であることが挙げられる。コンクリートが有する主要な空隙サイズである数十 nm ~ 数百 μm というのは、マイクロテクノロジーとナノテクノロジーの狭間であり、拡張ナノ空間と呼ばれる。拡張ナノ空間の研究の歴史はまだ浅く、現象自体のみならず実験のための拡張ナノ空間の作製方法に関しても、まだ改良が加えられ続けている状況である。この分野の発展にいち早く着目し、コンクリートに活用しようとしているのが本研究である。

本研究の達成により、水分移動による体積変化という、コンクリートという材料の重要な特性の理解が大幅に進むと考えられる。その特性に基づいて収縮しないコンクリートを開発しようというのが本研究の目論見である。また本研究の成果に基づいて水分移動による体積変化のモデル化を行うことで、モデルの汎用性及び精度の飛躍的な向上も期待できる。

3. 研究の方法

本研究はコンクリートの乾燥収縮が、毛管吸引による空隙の収縮および空隙壁面同士の接着に起因するという考えに基づき遂行する。まずマイクロ/ナノオーダーの流路を有するガラス基板を用いて、流路壁面の化学的性状や形状などの物理的性状を変化させて、乾燥による毛管吸引に起因する流路変形および壁面同士の接着挙動を検討する。これにより、収縮が生じる条件を明らかにする。抽出された収縮の条件が同様にコンクリートにも適用可能か否かを確認することで、ガラスとコンクリートとの対応を検証する。そして、混和剤等により空隙の変形や接着を可能にすることで無収縮コンクリートの開発を試みる。

本研究では以下の4段階の検討により、最終目的である無収縮コンクリートの開発を試みる。

(1) 様々な表面特性および形状の壁面を有するマイクロ/ナノオーダーの模型流路の作製

収縮が生じる条件検討のため、種々の特性を有するマイクロ/ナノオーダーの模型流路

を作製する。流路はガラス基板上に作成する。流路作製のパラメータとして、ガラス素材、薬液による流路壁面の処理による化学的性状の変化や、流路断面および直行方向の形状デザインを変化させる。

(2) 様々な性状の壁面を有する模型流路の乾燥に起因する変形および接着挙動の検討
前項目で作製された種々のマイクロ/ナノオーダーの模型流路を用いて、乾燥に起因する挙動を検討する。手順としては、まず作成した模型流路に液状水を導入した後に乾燥させ、流路の変形および壁面同士の接着を観察する。導入する溶液の極性等を変化させることで、液体種類による影響も検討する。変形や接着は光学顕微鏡によりメニスカスの形状を観察することで判定する方法が提案されており、本研究でも上記手法を採用する。

(3) 抽出された乾燥収縮の要因のコンクリートへの付与による対応の検証
ガラス基板上に作製したマイクロ/ナノオーダーの模型流路の挙動が、コンクリート中の空隙の挙動と対応していることを確認する。実験条件を変化させて、模型流路と同様の挙動が得られるかを検討することで上記を達成する。たとえば、導入する溶液の特性が模型流路の変形挙動に影響している場合、コンクリートを同様の溶液中に浸漬した後に乾燥させ、同様に挙動に変化がみられるかを確認する。また模型流路表面の化学的性状の影響が確認された場合、コンクリートへの混和材料の添加や、薬品の含浸などにより空隙表面の性状を変化させることでその対応を見る。ガラスとコンクリートの成分は異なるため、対応に差異が見られる可能性がある。その場合には、素材の異なるガラスを用いた検討における傾向からその原因を類推することで対応する。

(4) 無収縮コンクリートの開発
確認された乾燥による変形、接着条件を回避する特性をコンクリートに与えることで無収縮コンクリートを達成する。手段としては、混和材料の使用および硬化後の含浸処理等の可能性が考えられる。

4. 研究成果

当初の計画ではマイクロ/ナノオーダーのサイズの流路を有するガラス基板を用いて収縮機構の検討を行う予定であったが、コンクリートとガラスでは接触した際に生じる結合や結合に必要なエネルギーが異なるため、まずコンクリートの空隙壁面と同様の性状を有する流路の作製を試みた。流路の作製方法として、表面に空隙のないセメントペーストを作製し、そこに溝を掘り、ガラスと張り合わせるといった方法を試みた。低水セメント比のセメントペーストを打設直後から高圧環境で養生することで、流路作製位置に空隙のないセメントペーストが作製できることを、原子間力顕微鏡で確認した。流路切削は微細加工装置により行った。ガラスとセ

メント硬化体の接着は、両者を接触した状態で水中に浸漬し、界面に水酸化カルシウムを析出させた後にオートクレーブ処理することで行った。以上の、特に接着方法に関する検討において、硬化したセメントペーストやコンクリートは、粉碎しても圧縮成形することで再び一体化して強度を発現することを確認した。乾燥収縮の原因はコンクリート作製の際に練り混ぜられる水分の逸散であるため、上記の圧縮成形によるコンクリートの作製は、乾燥収縮を根本から回避する手段になりうると考えた。ただし、材齢2年程度のコンクリートを粉碎して圧縮成形しても、にじみ出た水が乾燥することによる収縮が生じた。そこで、圧縮成形前に乾燥処理を行ったところ、40℃で24時間乾燥した場合には、気中でやや膨張し、105℃で乾燥した場合には大きく膨張するなど、圧縮成形前の乾燥処理により体積変化挙動を制御し、無収縮コンクリートが作製できることを確認した。

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)

酒井雄也、岸利治、セメント硬化体の力学的性能に支配的な化学結合や相互作用に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No. 68、2014(投稿中)

〔学会発表〕(計 2件)

酒井雄也、岸利治、セメント硬化体の力学的性能に寄与する化学結合に関する研究、セメント技術大会梗概集、Vol. 68、2014.5.14、品川、pp. 246-247

酒井雄也、岸利治、圧縮成形によるコンクリートの再生および体積変化の制御に関する研究、土木学会第69回年次学術講演会、2014.9.11、大阪(発表決定済)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 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 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
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

酒井 雄也 (Sakai Yuya)
東京大学・生産技術研究所・助教
研究者番号：40624531