

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820227

研究課題名(和文)膨張コンクリートの収縮低減予測モデル

研究課題名(英文)Prediction model of shrinkage reduction in expansive concrete

研究代表者

崔 亨吉 (CHOI, Hyeonggil)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20726806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：収縮ひび割れの低減対策として膨張材を適用したコンクリートにおいて、力学的特性、体積変化およびクリープ現象についてモデル化を行い、各モデルの妥当性を検証した。モデルの検証結果、モデルによる予測値は、実測値と良好な関係があり、モデルの妥当性を確認した。一方、モデル化したクリープ現象を拘束状態での応力変化の計算に用いて求めた応力の予測結果と実験結果を比較することでモデルの適用性および応力予測手法の妥当性を確認した。また、膨張コンクリートの収縮低減およびひび割れ制御効果に対するマクロ予測手法の提案は、今後膨張コンクリートの適用および実用化において実証的なデータを提供できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the mechanical properties, volume changes and creep of concrete mixed with expansive additives, which is used as a countermeasure for cracking and shrinkage, were modeled and the model was verified. The results of an experimental verification of the model showed that the values predicted by the model correlated closely with the experimental values. In addition, the generated stress was estimated using the modeled creep phenomenon to calculate changes in the stress under the restraint condition, thus allowing a comparison with experiment to verify the applicability of model and the validation of the stress prediction technique. And suggests the macro prediction method for shrinkage reduction and cracking control effects was can be supply practical data in application of expansive concrete and utility in the future.

研究分野：建築学

キーワード：膨張材 モデル化 収縮ひび割れ

1. 研究開始当初の背景

コンクリートを構造物に使用する際に収縮によるひび割れが発生する現象は、セメントを結合材として使用する限り避けられないものである。コンクリートの収縮現象は、コンクリートが拘束されることにより引張応力を生じさせるため、構造物にひび割れを発生させる原因となる。このようなコンクリートのひび割れは、構造物の安全性、使用性、耐久性や美観に影響を及ぼすため、構造物において有害なひび割れを防止することは、コンクリート構造物の長寿命化や高耐久性および高性能化の観点から重要である。このような状況のもと、日本土木学会のコンクリート標準示方書や日本建築学会の JASS 5 において、設計時に考慮するコンクリートの収縮率に対する見直しおよび乾燥収縮ひずみに関する規定が銘記しているなど、コンクリートの収縮ひび割れ抑制に対する要求が高まっている。コンクリートの収縮によるひび割れを低減する方法として、一般的に石灰石骨材、収縮低減剤および膨張材などを適用することが多い。この中で膨張材とは、コンクリートを初期に膨張させることで、コンクリート部材に圧縮応力を導入し、ひび割れ抵抗性を高めるものであり、体積変化に伴う収縮によるひび割れ抵抗性に対するすぐれた効果がある。しかし、膨張材の収縮低減およびひび割れ抑制効果について、物理・化学的に定量的な観点から検討し、膨張材の効果について明らかにした研究は少ないのが現状である。一方、膨張コンクリートの挙動は、配合、温度、養生や環境条件、さらに、構造物の拘束度などによって大きく影響されるため、それを十分に認識しない状態で構造物に適用し、膨張材の効果を十分に得られなかった事例も報告されている。すなわち、膨張コンクリートを使用する場合には、膨張コンクリートに関する知識や、そこに基づく確かな技術および判断が要求される。最近では、膨張材の水和反応および水合に伴う体積膨張や収縮低減などについて様々な研究および論議がなされているが、膨張コンクリートの適用においては、まだ解決しなければならない問題が多く、膨張コンクリートの普及に対して大きい課題になっている。

2. 研究の目的

ひび割れの低減方案として膨張材を適用する場合、収縮低減効果やひび割れ抑制効果を定量的に評価するため、膨張材を混和したコンクリートに対して微視的な観点から検討し、膨張材を混和したコンクリートの圧縮強度、弾性係数などの力学的特性モデル、収縮、膨張などの体積変化モデルおよびクリープ現象モデルなどの理論的なモデルを構築する。一方、膨張材を混和したコンクリートの初期物性発現と、それに基づく応力の予測および予測した応力と引張強度の大小関係から、膨張材によるコンクリートの収縮低減

およびひび割れ抑制効果に対するマクロ予測手法を提案することを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 膨張材の収縮低減効果およびひび割れ抑制効果に対する実験的検討

各種拘束条件下での膨張材の収縮低減効果およびひび割れ抑制効果などについて定量的な評価を目的として、リングテストおよび可変拘束応力試験機による拘束収縮実験によって膨張材の効果を実験的に検討し、検証を行う。実験は膨張モルタルを対象にして、内・外部拘束条件が異なるリング型拘束収縮実験によって、膨張材の初期圧縮応力の導入およびひび割れ抵抗性について検討し、同時に同一な断面と露出条件を持つ試験体の自由収縮実験および引張強度実験を行い、拘束度および応力弛緩、収縮ひび割れの発生可能性などを複合的に評価する。さらに、膨張コンクリートを対象として、可変拘束応力試験機による擬似完全拘束条件下での若材齢の発生応力の評価および直接引張強度をベースとしたひび割れの発生可能性の検討を行ない、膨張材の有効性およびその効果について定量的に評価する。一方、ここで行った拘束条件下の実験結果は、膨張コンクリートのモデルの検証や構築したモデルによる応力予測においての拘束条件下のデータとして用いている。

(2) 膨張材を混和したコンクリートのモデル化

膨張材の効果について、微視的な観点からアプローチし、膨張材を混和したコンクリートのモデル化を試みる。膨張材を混和したセメント硬化体の圧縮強度および弾性係数発現などの力学的特性、収縮および膨張などの体積変化現象、クリープ現象などについて、モデル化を行ない、コンクリートの複合則モデルによって、膨張材を混和したコンクリートの収縮低減挙動に関する理論的なモデル化を構築することを目標にする。

(3) モデル化の検証

モデル化した膨張材を混和したコンクリートの圧縮強度および弾性係数発現などの力学的特性、収縮および膨張などの体積変化現象、クリープ現象のモデルについて検証を行う。一方、モデル化したクリープ解析によって拘束された状態での発生応力の予測を行う。応力の予測は、リングテストおよび可変拘束応力試験機による実験結果を拘束条件下のデータとして用いて、モデルによって予測した応力の結果と比較、検討することでモデルの適合性を検証する。

(4) 膨張材によるコンクリートの収縮低減および収縮挙動の予測手法の提案

実験およびモデル化を通して得られた結果をもとに解析シミュレーションによって、予測モデルの検証を継続的に実施し、膨張材の収縮低減に関する定量的・理論的な解明を行う。また、それぞれの段階で目標を設定し、

予測モデルについて検証を行い、各レベルで設定された目標を順次満足するように進め、最終的には、膨張材によるコンクリートの収縮低減および収縮挙動の予測手法を開発・提案する。

4. 研究成果

収縮低減対策として膨張材を適用した場合のセメント硬化体の力学的特性、体積変化、クリープについてモデル化を試みた。膨張材を混和したセメント硬化体はセメントと膨張材の水和反応によって生成された水和物がセメント硬化体の空隙を埋め、膨張材粒子とセメント粒子、あるいはセメントおよび膨張材粒子相互間にお互いに接触することによって緻密な組織構造を形成し、強度や弾性係数を発現する。このため、圧縮強度および弾性係数は各粒子間の結合の程度や粒子間の構造形成と大きい関係があることから粒子相互間の接触面積のコンセプトを用いてモデル化を行った。圧縮強度は粒子間連結における最弱点が空間上にどんな確率で存在して破壊に至るかと言う空隙率との関係を考慮してモデル化を行い、弾性係数は応力を伝達する粒子間の空隙構造を考慮し水和生成物が緻密化になる状態を有効半径係数によって表現することでそれぞれについてモデル化を行った。

一方、膨張材を混和したペーストの体積変化は、セメントによる収縮現象と膨張材による膨張現象の均衡によって決定されることで、セメントと膨張材の均衡則を用いてモデル化した。セメントの収縮現象は、収縮現象の起動力として毛細管張力によって収縮が起こると仮定し、空隙径分布と細孔構造内の水分状態の熱力学的平衡を考慮し、細孔構造内の水分の挙動からモデル化した。膨張材の膨張現象は、有効半径係数の概念を用いて、材齢初期に生成される水和生成物の最外粒子半径の増加による膨張材粒子の体積膨張を考慮しモデル化した。

一方、膨張材を混和したペーストのクリープについては、クリープ現象を起こすのは膨張材およびセメントの水和によって生成される水和生成物のみであると仮定し、セメントおよび膨張材の水和生成物のクリープ性能を考慮することで、膨張材を混和したコンクリートのクリープ現象をモデル化した。水和の進行によって、新しく挿入される水和生成物の応力の再分配現象とセメントおよび膨張材の水和生成物の均衡を考慮することでペーストと骨材との粒子状態に即した複合則モデルを構成した。

モデルの検証結果、モデルから求めた予測値と実測値はよい精度で一致し、モデルの適合性が確認できた。また、拘束された状態での水和の進展とともに生ずるクリープ現象を解析することで発生応力をよい精度で予測できた。

以上からの結果をまとめ、ひび割れの抑制

対策として適用性が増加している膨張コンクリートの収縮低減およびひび割れ抑制効果に対するマクロ予測手法を提案した。本研究から行った膨張材の圧縮強度、弾性係数などの力学的特性モデル、収縮、膨張などの体積変化モデルおよびクリープ現象モデルなどの理論的なモデルを適用し、膨張材を混和したコンクリートの初期物性発現と、それに基づくコンクリートの拘束引張応力の予測および予測した応力とコンクリートの引張強度（あるいはひび割れ発生強度）の大小関係から、膨張材によるコンクリートの収縮低減およびひび割れ抑制効果に対するマクロ予測が可能であると考えられる。

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6件)

Hyeonggil Choi, Takahumi Noguchi, Modeling of Mechanical Properties of Concrete Mixed with Expansive Additive, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol.9, No.4, pp.391-399, 2015.12

Hyeonggil Choi, Myungkwan Lim, Ryoma Kitagaki, Takahumi Noguchi, Gyuyong Kim, Restrained shrinkage behavior of expansive mortar at early ages, Construction and Building Materials, 84, pp.468-476, 2015.06

Hyeonggil Choi, Myungkwan Lim, Heesup Choi, Takahumi Noguchi, Ryoma Kitagaki, Modeling of creep of concrete mixed with expansive additives, Magazine of Concrete Research, Vol. 67, No. 7, pp.335-348, 2015.04

Hyeonggil Choi, Heesup Choi, Myungkwan Lim, Takahumi Noguchi, Ryoma Kitagaki, Modeling of volume changes of concrete mixed with expansive additives, Construction and Building Materials, 75, pp.266-274, 2015.01

Hyeong-Gil Choi, Gyu-Yong Kim, Takafumi Noguchi, Study on the Cracking Control Effects of Shrinkage Reduction Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 27, No. 5, pp. 569-577, 2015.10(In Korean)

Hyeong-Gil Choi, Gyu-Yong Kim, Takafumi Noguchi, Yukio Hama, Estimation of Shrinkage Behavior and Stress of Expansive Concrete on Buildings, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 28, No. 1, pp. 23-31, 2016.02 (In Korean)

[学会発表](計3件)

Hyeonggil CHOI, Yukio HAMA, Takafumi NOGUCHI, Cracking control effects of concrete mixed with expansive additives,

Proceedings of 9th International Symposium
between China, Korea and Japan on
Performance Improvement of Concrete for
Long Life Span Structure, China Harbin,
pp.43-49 (2015.7)

Hyeonggil CHOI, Takafumi NOGUCHI,
Ryoma KITAGAKI, Gyuyong KIM, Yukio
HAMA, Modeling of Concrete Mixed with
Expansive Additives, Proceedings of the
Conference of Korean Recycled
Construction Resource Institute, Korea
Dajeon, pp.97-100 (2015.4)

Hyeonggil CHOI, Myungkwon LIM,
Takafumi NOGUCHI, Ryoma KITAGAKI,
Creep behavior of expansive concrete,
Proceedings of ICMMA 2014 (The 8th
international conference on multi-functional
materials and applications), Korea
Chungnam, pp.273-277 (2014.11)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

崔 亨吉 (CHOI, Hyeonggil)

室蘭工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：20726806