

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月19日現在

機関番号：32201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560489

研究課題名（和文）高温条件下における各種セメントの自己収縮の実用評価式

研究課題名（英文）Prediction model for autogenous shrinkage of various type of cement under high-temperature

研究代表者

宮澤 伸吾（MIYAZAWA SHINGO）

足利工業大学・工学部・教授

研究者番号：10157638

研究成果の概要（和文）：

コンクリート構造物の硬化過程におけるひび割れの発生危険度を推定するためには、セメントと水の化学反応によって発生するコンクリートの収縮を推定することが重要である。本研究では、コンクリートの材料、配合、温度条件を要因とした収縮の予測式を構築することを最終的な目標とした研究であり、予測式のベースとなる貴重な収縮データを実験によって取得することができた。

研究成果の概要（英文）：

It is important to predict shrinkage of concrete due to hydration of cement in order to estimate cracking probability of concrete structures on hardening stage. The purpose of this study is to provide a prediction model for shrinkage as a function of materials, mix proportion and temperature history of concrete. Important shrinkage data, on the basis of which a prediction model will be provided, could be obtained from the experiments in this study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：マスコンクリート、温度応力、高炉セメント、温度ひび割れ、水和熱、自己収縮、コンクリートダム

## 1. 研究開始当初の背景

セメントの水和発熱に起因する温度ひび

割れ発生の危険度を予測するために、温度応力解析を行うことが一般的となっている。こ

の際、構造物の温度分布の経時変化を反映したコンクリートの物性値を用いる必要があり、断熱温度上昇特性や強度発現特性については、土木学会標準示方書において設計用値の整備が進められている。しかし、高温条件下における自己収縮については実験データが不足しており、示方書等の自己収縮予測式においても、適用範囲が普通ポルトランドセメントや 20℃一定温度条件に限定されたものとなっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、各種セメントおよび幅広い温度条件(部材寸法および施工時期)に適用可能な自己収縮予測式を構築することを目的とする。

## 3. 研究の方法

各種セメントを用いたコンクリートについて断熱温度上昇試験を実施し、その結果を用いて打込み温度の異なる壁状構造物について FEM 温度解析を行い、壁中心部の温度履歴を推定する。その温度履歴を参考にして、高温履歴条件下で自己収縮試験、一拘束応力試験、力学特性試験を実施する。実験結果に基づいて、自己収縮ひずみを定式化し、温度応力解析を実施して一軸拘束応力試験結果を比較検討する。これらの結果をもとに、自己収縮予測式の妥当性を検証する。

## 4. 研究成果

(1) 普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの自己収縮および温度応力に及ぼす部材寸法および施工時期の影響について実験により検討を行った。すなわち、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート供試体について、種々の打込み温度および最高温度を設定し、高温履歴条件下での自己収縮ひずみを測定し、20℃一定の場合と比較検討を行った。そして、得られた測定値を日本コンクリート工学協会(JCI)「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」の予測式による計算値と比較検討した。また、自己収縮ひずみの測定を簡単に行うために、円柱供試体による縦型供試体を用いる新たな試験方法について、従来の角柱供試体による試験方法

と比較検討を行った。

以上の実験の結果、高温履歴を受けるコンクリートの自己収縮ひずみは、20℃一定条件の場合と比較して、初期材齢における増加速度だけでなく終極値も大きることが分った。また、環境条件によって打込み温度や温度上昇量が異なっても、コンクリートの自己収縮ひずみは温度変化を受けるコンクリートの最高温度によって概ね予測できることが推察された。

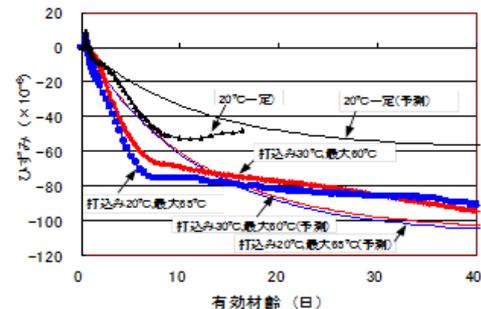


図-1 自己収縮ひずみの経時変化

(2) 普通ポルトランドセメント、高炉セメント B 種及び低発熱・収縮抑制型高炉セメントを用いた場合について、高温履歴条件下で自己収縮ひずみの計測を実施した。自己収縮の試験にあたっては、一般に使用されている 100×100×400mm 角柱供試体のほかに、400×400×400mm 供試体を用いて、供試体の形状寸法が試験結果に及ぼす影響についても検討した。

その結果、初期材齢における膨張過程においては供試体の形状寸法の影響が見られたが、最大膨張時以降の収縮ひずみで比較すると、供試体による差は小さかった。また、実験結果から JCI 指針の自己収縮予測式の妥当

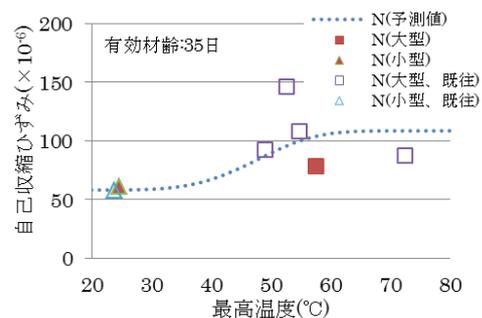


図-2 最高温度と自己収縮の関係

性が概ね確認できた。

(3) 混合セメントの利用を拡大していくことは、資源の有効利用およびセメント製造過程におけるCO<sub>2</sub>削減に極めて有効である。これを実現するためには、混合セメントを建築物に積極的に利用することが重要である。そこで、鉱物組成を調整したクリンカを用いた高炉セメントに着目し、それを用いたコンクリートの自己収縮特性について実験により把握し、既往の自己収縮予測式の適合性について検討を行った。

実験結果から、クリンカー中のエアライト量を58~69%の範囲で増加させた場合、初期の自己収縮量は変化しないが、材齢1ヶ月以降の自己収縮の増加が大きくなった。高炉スラグを20%混入で自己収縮は長期にわたり増加し、最終値は2倍以上となった。一方、エアライト量が多い高炉セメントでは高温条件下で自己収縮がそれほど大きくなり結果となった。

以上の検討結果から、自己収縮ひずみを予測するためには、クリンカの鉱物組成が自己収縮ひずみの経時変化に及ぼす影響を評価する必要がある。特に、クリンカ組成、スラグ分量、温度条件の影響について評価する必要があることが示唆された。

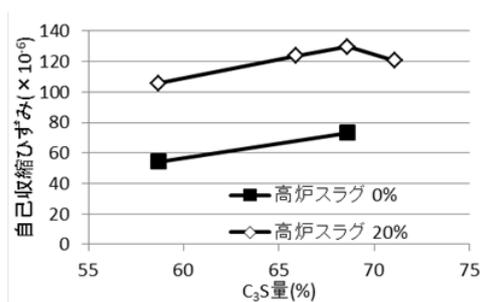


図-3 C<sub>3</sub>S量と自己収縮の関係

## 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4件)

- 1) S. Miyazawa, K. Koibuchi, A. Hiroshima, T. Ohtomo and T. Usui, Control of thermal cracking in mass concrete with

blast-furnace slag cement, Proc. of the 6th International Conference on Concrete under Severe Conditions, pp.1487-1495, 2010.6(査読有り)

- 2) 谷田貝敦・二戸信和・宮澤伸吾、低発熱・収縮抑制型高炉セメントの膨張・収縮挙動の予測に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.33、No.1、pp.497-502、2011(査読有り)
- 3) H. Sato, S. Miyazawa and A. Yatagai, Autogenous shrinkage of dam concrete and its influence on thermal stress, RILEM Conference on Advances in Construction Materials through Science and Engineering, 2011.9(査読有り)
- 4) 谷田貝敦・二戸信和・宮澤伸吾、低発熱・収縮抑制型高炉セメントの膨張・収縮挙動に及ぼす高炉スラグ微粉末の置換率およびSO<sub>3</sub>量の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.34、No.1、pp.382-387、2012(査読有り)

[学会発表] (計9件)

- 1) 栗崎和也、下條あきら、宮澤伸吾、コンクリートの自己収縮予測式と温度応力の評価、JCI 関東支部栃木地区研究発表会、2010.3
- 2) 宮澤伸吾、鯉淵清、廣島明男、大友健、高炉セメントの温度ひび割れ抵抗性の改善に関する研究、第37回セメント・コンクリート研究討論会、2010.11
- 3) 石井雅大、小林正典、宮澤伸吾、鯉淵清、化学組成を調整した高炉セメントA種を用いたコンクリートの特性、JCI 関東支部栃木地区研究発表会、2011.3
- 4) 石川良、吉住啓輔、宮澤伸吾、マスコンクリートの温度応力に関する実験的研究、JCI 関東支部栃木地区研究発表会、2011.3
- 5) 谷田貝敦、二戸信和、宮澤伸吾、低発熱・収縮抑制型高炉セメントにおける初期材齢の膨張を含む自己収縮予測に関する検討、土木学会第65回年次学術講演会、2011.9
- 6) 金田和浩、吉岡拓也、宮澤伸吾、坂井悦

郎、鯉渕清、クリンカー組成の異なる高炉セメントを用いたコンクリートの諸特性、JCI 関東支部栃木地区研究発表会、2012.3

- 7) 垂石裕貴、宮澤伸吾、マスコンクリートの自己収縮ひずみ予測式に関する研究、JCI 関東支部栃木地区研究発表会、2012.3
- 8) 谷田貝敦、二戸信和、宮澤伸吾、坂井悦郎、鉱物組成を調整したクリンカーを用いた高炉セメントの特性、セメント技術大会、2012.5
- 9) 谷田貝敦、二戸信和、宮澤伸吾、高温履歴条件下における高炉セメントの拘束応力に及ぼす自己膨張・収縮の影響、土木学会第65回年次学術講演会、2012.9

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮澤伸吾（足利工業大学工学部教授）

研究者番号：10157638

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし