

機関番号：10101
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560513
 研究課題名(和文) 強制乾燥による乾燥収縮ひずみに基づくコンクリート系建築物のひび割れ原因推定手法
 研究課題名(英文) Estimation method on causes of crack in concrete used buildings based on drying shrinkage strain by oven drying
 研究代表者
 長谷川 拓哉 (HASEGAWA TAKUYA)
 北海道大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：30360465

研究成果の概要(和文)：本研究は、既存鉄筋コンクリート造建築物から採取した供試体の強制乾燥試験を行って標準乾燥収縮ひずみを推定する方法により、ひび割れの原因を推定する手法の検討を行った。その結果に基づき次の提案を行った。

- (1)標準乾燥収縮ひずみ推定を目的としたコア供試体の強制乾燥試験手法
- (2)仕上材・環境条件を考慮した乾燥収縮ひずみの予測手法
- (3)(1)、(2)をふまえた既存建築物のひび割れ原因の推定手法

研究成果の概要(英文)：In this study, it was estimated the standard drying shrinkage strain of concrete in existing RC buildings based on results of oven dry shrinkage test for the core test pieces. And we studied the estimation method on causes of crack in concrete of buildings. From these results, we proposed the methods as follows;

- (1)The testing methods of oven drying shrinkage stain from core test pieces
- (2)The estimation methods on drying shrinkage stain considering finishing materials and environmental conditions
- (3)The estimation methods on cases of crack in existing RC buildings based on (1) and(2)

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：コンクリート、乾燥収縮ひずみ、ひび割れ、強制乾燥、仕上材、環境条件

1. 研究開始当初の背景

昨今、欠陥住宅問題が大きく報道され、ユーザーの意識が高まる中、鉄筋コンクリート造建築物のひび割れが問題となっている。欠陥建築の裁判では、鉄筋コンクリート造建築物に生じたひび割れが設計・施工者の瑕疵か否かが問われるようになっており、ひび割れ

の原因推定は極めて重要となっている。しかし、ひび割れの原因推定は、ひび割れの状況から専門家の経験的な判断に頼っており、客観的な指標が少ないのが現状である。

ひび割れの原因の一つとして、乾燥収縮があげられる。ひび割れの発生状況等から経験的に乾燥収縮が原因であろうという推定は

可能ではあるが、特定は難しい。ここで、使用されたコンクリートの標準乾燥収縮ひずみ（20℃、60%R.H.環境下で乾燥開始後6ヶ月の乾燥収縮ひずみ）がわかれば、乾燥収縮が原因かどうかの客観的な指標となる。しかし、既存建築物の場合、使用したコンクリートの標準乾燥収縮ひずみが記録されている例は少ない。また、コンクリートの調合が明らかであれば、建築学会式として提案された予測式²⁾によることができるが、既存建築物の場合、情報が残されていないことも多い。また、文献³⁾でも示されている通り、調合による予測式では、高い精度で推定を行うのは難しいのが現状である。このため、既存建築物のコンクリートの乾燥収縮ひずみを高い精度で推定する方法が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、梶田らが提案²⁾、足立らが発展³⁾した80℃強制乾燥による乾燥収縮促進試験（以下「強制乾燥収縮試験」。フローを図1に示す。）を用い、既存コンクリート系構造物のひび割れ原因の推定手法を開発することを目的としている。この方法は、標準乾燥収縮ひずみの早期判定手法として提案されたものであるが、既存構造物におけるコンクリート試験体の標準乾燥収縮ひずみを推定できると考えられる。本研究では、具体的には、次の提案を行うものである。

- (1) 標準乾燥収縮ひずみ推定を目的としたコア供試体の強制乾燥試験手法の提案
- (2) 仕上材・環境条件を考慮した乾燥収縮ひずみの予測手法の提案
- (3) (1)、(2)をふまえた既存建築物のひび割れ原因の推定手法

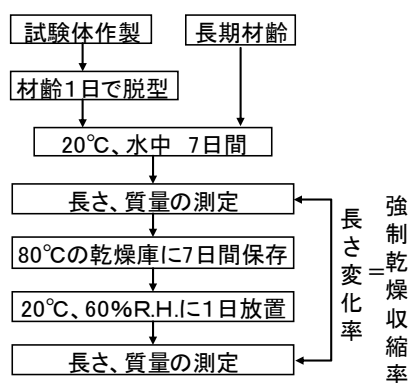


図1 強制乾燥収縮試験のフロー

3. 研究の方法

本研究では、次について検討を行った。

- (1) ひび割れの実態調査
実建築物の内部・外部に発生したコンクリート・モルタルのひび割れについて、その発

生状況とともに、発生部分の周辺環境条件（雨がかりの有無、日射条件など）、仕上げ条件（仕上材種類、劣化状況など）の調査を行った。

(2) 強制乾燥収縮試験の試験方法に関する検討

コア型供試体と通常の梁型供試体に対し、強制乾燥収縮試験を行い、両者の関係から次の点の検討を行った。

- ① コア供試体の寸法（径、高さの影響について、本試験方法が適用できる範囲を検討）
- ② 測定方法（長さ変化について、コンパレータ、ダイヤルゲージ、レーザー変位計による測定を行い、それぞれの測定方法を比較）
- ③ 供試体のばらつき（ばらつきの範囲とともに、有意なデータとするための最低限の供試体数について検討）

(3) 実環境下・仕上材を施工した場合の乾燥収縮ひずみの実測

V（体積）/S（表面積）の条件、仕上材の条件を変えたコンクリート供試体を作製し、温度制御が可能なチャンバー内に存置し、乾燥収縮試験を行った。また屋内・屋外に暴露試験を行い、実環境下・仕上材を施工した場合の乾燥収縮ひずみの実測を行った。

(4) 強制乾燥試験結果を考慮した既存建築物のひび割れ原因推定手法の検討

(2)、(3)の結果に基づき、乾燥収縮ひずみを予測する数値シミュレーションモデルの検討を行い、パラメトリックスタディを行った。その結果に基づき、既存建築物のひび割れ原因推定手法の検討を行った。

(5) 実大壁体供試体による検証実験

模擬壁体を想定した屋内暴露供試体（約300×300×400mm）よりコア供試体を作製し、経年したコンクリートの強制乾燥試験を行った。その結果に基づき、(4)で提案したひび割れ原因推定手法を適用し、その有効性の検証を行った。

4. 研究成果

以下に研究成果を示す。重要と考えられる知見については下線で示す。

(1) ひび割れの実態調査結果

各種RC造建築物に対し、ひび割れ発生箇所の調査を行った。その結果として、仕上材を施工している場合でも施工後1年程度でひび割れが生ずる場合がある等、基礎的なデータを得た。

(2) 強制乾燥試験の試験方法に関する検討

強制乾燥試験のコア供試体への適用を考え、コア供試体の条件についての検討を行った。その基礎的な検討として、コア供試体に相当する10φcmの長さを変えた供試体を作製し、その乾燥収縮ひずみおよび強制乾燥収縮率の測定を行った。その際に、JIS A 1129によるコンパレータ法およびダイヤルゲ-

ジ法による測定とともに、レーザー変位計による測定を行った。

長さの違いについて200mmと100mmの結果を図2に示す。図より寸法が小さすぎると推定が困難になっており、10φのコア供試体では150mm以上が必要と考えられる。

測定方法の比較の一例を図3に示す。レーザー変位計による測定はJIS A 1129による方法と精度としては同等以上であると考えられる。ただし、測定位置が異なると乾燥収縮ひずみが異なるため、位置に関する補正が必要と考えられる。

精度の検討を目的として、乾燥器などの試験条件の検討とともに、乾燥程度の目安となる「乾燥指標体」の検討を行った。なお、乾燥指標体として、標準砂を使用したモルタルを用い、その長さ変化・質量変化に基づき、コンクリート供試体の乾燥収縮ひずみを補正することとした。その結果、強制乾燥収縮試験の同一条件の供試体のばらつきとしては変動係数で15%程度であった。供試体本数としては、一般的に3体以上とすることが考えられる。また、乾燥指標体とコンクリートの強制乾燥収縮率とは図4に示す通り相関があり、乾燥指標体の質量に基づく補正により乾燥程度の異なるコンクリートの乾燥収縮率の比較が可能となると考えられる。ただし、今回用いた乾燥指標体である標準砂モルタルは、作製が容易である反面、十分な精度が得られないことも考えられるため、今後さらなる検討が必要と考えられる。

(3)実環境下・仕上材を施工した場合の乾燥収縮ひずみの実測

W/C、仕上材の条件を変えた供試体の屋外暴露試験を実施し、その温湿度変化の測定を行った。その一例を図5に示す。実験結果から、水セメント比によって湿度の変化が異なること、仕上材種類によって温湿度の変化が異なること等の知見を得た。これらにより、屋外暴露状態におけるコンクリートの温湿度変化の基礎的な情報を得た。

さらに、屋内環境における乾燥収縮ひずみの実測を行った。その結果として、図6に示す通り、長期的な屋外暴露では、標準的な乾燥収縮ひずみよりも大きなひずみとなっており、これは炭酸化収縮の影響によることがわかった。本結果より、長期材齢コンクリートより、標準的な乾燥収縮ひずみを推定する場合、乾燥収縮だけではなく、炭酸化収縮の影響を適切に考慮することが重要であると考えられる。

仕上材を施工した供試体の50ヶ月屋内暴露試験結果を図7に示す。この結果より、最終的な乾燥収縮ひずみは、仕上材の有無・種類によらず、コンクリートの乾燥収縮ひずみに依存すること、北海道における一般的な室内環境下では、恒温恒湿室の条件よりも乾燥

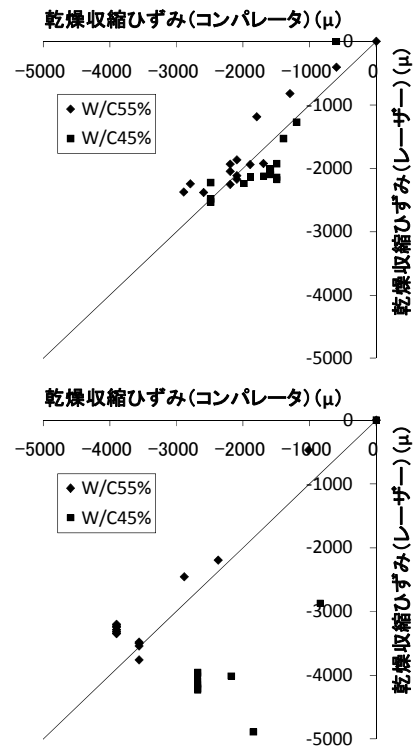


図2 供試体寸法による推定乾燥収縮ひずみの関係の例

[注]コンパレータ：10×10×40cm
レーザー：10φcm×20cm（上図）、10cm（下図）

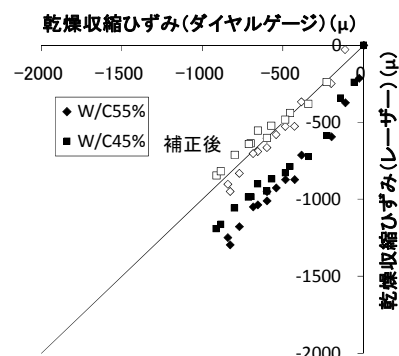


図3 測定方法による乾燥収縮ひずみの関係の例

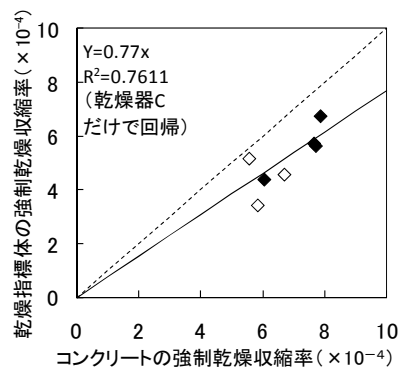


図4 コンクリートと乾燥指標体の乾燥収縮率（ひずみ）の関係例

収縮ひずみが進行しやすい条件となっているが、進行しやすさはコンクリート自体の乾燥収縮ひずみに依存する等の知見を得た。

(4) 強制乾燥試験結果を考慮した既存建築物のひび割れ原因推定手法の検討

これまでの実験結果に基づき、乾燥収縮ひずみを予測する数値シミュレーションモデルの検討を行った。本モデルは、乾燥収縮ひずみがコンクリートからの水分逸散に起因するものとし、コンクリート内部の含水状態を計算し、その結果から乾燥収縮ひずみを算出するものとした。コンクリートの乾燥・吸湿過程における水分移動を主に拡散によるものとし、秋田らの研究⁴⁾を参考にモデルを構築した。なお、本モデルは、コンクリートだけではなく、仕上材を施工した場合でも適用できるものとした。コンクリートの含水率について、数値シミュレーションモデルによる計算結果例を図8に示す。初期は水分移動が抑制されるが、4年程度で仕上材がないものと含水状態が変わらなくなると考えられ、(3)で示した屋内暴露試験の結果を説明するものとなっている。また今までの検討結果をまとめ、既存コンクリート系構造物のひび割れ原因推定手法の検討を行った。概要を図9に示す。

(5) 壁体供試体による検証実験

作製して3年が経過した壁体供試体を用い、コア供試体を採取し、強制乾燥試験を行い、同一調合の梁型供試体の乾燥収縮ひずみと比較した。データの一部を表1に示す。経年したコア供試体においても、強制乾燥試験による標準乾燥収縮ひずみの推定は可能であり、既存コンクリート系構造物でも適用可能であることを確認した。

本研究によって、既存コンクリート系建築物に使用されているコンクリートの標準乾燥収縮ひずみの推定、実構造物の条件における乾燥収縮ひずみの予測、ひび割れ原因の推定について一定の成果を得た。しかし、ここで提案した方法の実用化のためには、実構造物をはじめとするデータの蓄積が必要であり、今後、さらに検討が必要と考えられる。

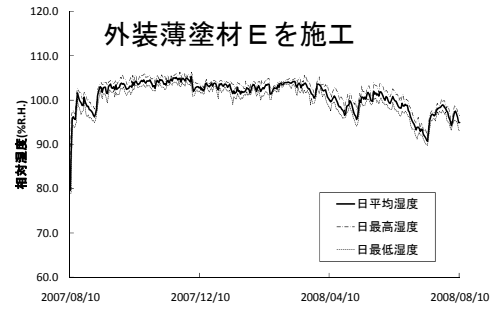
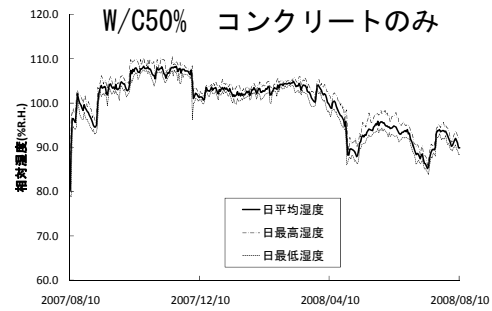


図5 屋外暴露試験におけるコンクリート内部の湿度変化例

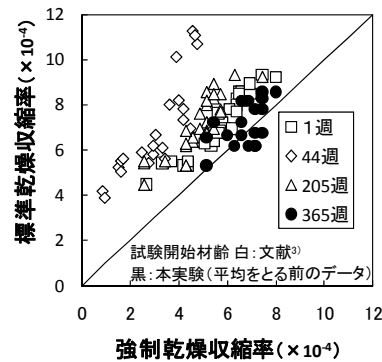


図6 長期材齢コンクリートにおける強制乾燥収縮率と標準乾燥収縮率の関係

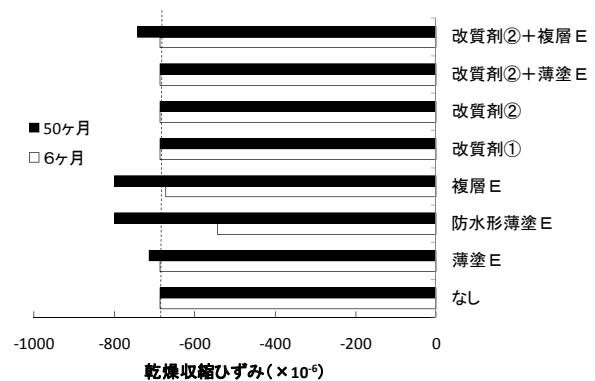


図7 50ヶ月乾燥収縮試験における乾燥収縮ひずみ

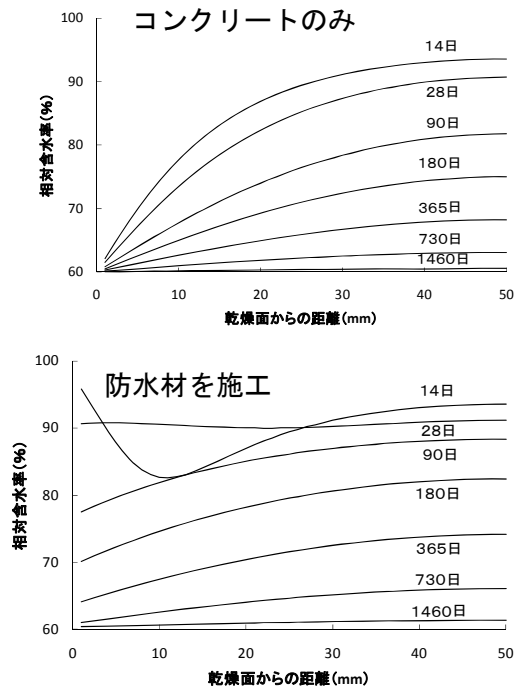


図8 数値シミュレーションによる
コンクリート内部の含水率変化

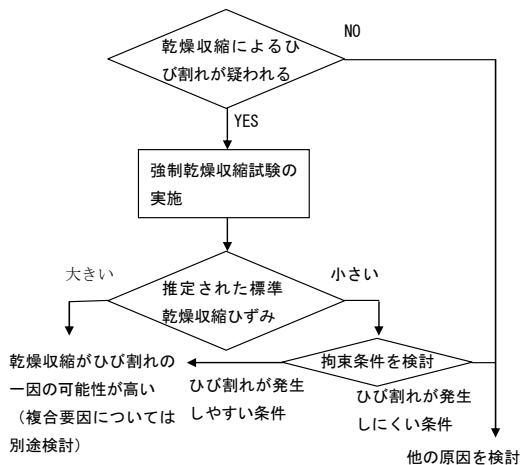


図9 既存コンクリート系建築物の
ひび割れ原因推定手法のフロー
(乾燥収縮関連部分)

表1 梁形供試体の標準乾燥収縮ひずみとコア供試体による推定値の関係

W/C (%)	10×10×40cm 供試体 実測値 (×10 ⁻⁶)	10Φコア 供試体 推定値 (×10 ⁻⁶)
55	-850	-820
45	-870	-900

参考文献

1) 佐藤嘉昭、清原千鶴、寺西浩司他3名：「国内の実験データに基づいたコンクリートの時間依存性ひずみの予測式に関する研究—乾燥収縮ひずみの予測式—」、日本建築学会構造系論文集 No. 597、pp. 9-15、2005. 11
 2) 梶田佳寛、仕入豊和：コンクリートの乾燥収縮の促進試験方法に関する一実験、日本建築学会大会梗概集、pp. 97-98、1984. 10
 3) 足立祐介、千歩修、長谷川拓哉：強制乾燥による長期材齢コンクリートの乾燥収縮率の評価方法の検討、日本コンクリート工学年次論文集 vol. 27、2006. 7
 4) 秋田宏他2名：乾燥を受けるコンクリート中の水分移動を解析する手法、土木学会論文集 No. 490 V-23、pp. 101-110、1994. 5

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2件)

① 長谷川拓哉、千歩修、乾燥開始後50ヶ月のデータに基づく仕上塗材・表面改質材を施工したコンクリートの乾燥収縮性状、日本コンクリート工学協会年次論文集 33-1、査読有、CD-ROM、2011. 7 (採用決定)
 ② 長谷川拓哉、千歩修、乾燥指標体を用いたコンクリートの強制乾燥収縮試験の検討、日本コンクリート工学協会年次論文集 32-1、査読有、CD-ROM、2010. 7

〔学会発表〕(計2件)

① 長谷川拓哉、千歩修、強制乾燥収縮試験に適用できる試験体寸法および長さ変化率測定方法の検討、第83回日本建築学会北海道支部研究発表会、2010. 7. 3、室蘭工業大学、室蘭
 ② 長谷川拓哉、千歩修、札幌市における仕上材・表面改質材を施工したコンクリート表層の温湿度変化、日本建築仕上学会学術講演会、2009. 10. 23、東京大学、東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 拓哉 (HASEGAWA TAKUYA)
 北海道大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：30360465

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし