

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00791

研究課題名（和文）RC造建築物の室内乾燥による力学特性変化の実証

研究課題名（英文）Study on the change of structural property of RC building due to drying

研究代表者

勅使川原 正臣（Teshigawara, Masaomi）

中部大学・工学部・教授

研究者番号：50344007

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,300,000円

研究成果の概要（和文）：1/2スケールRC造3層架構試験体の乾燥過程における計測により、乾燥収縮ひずみは、部材の一部を切り出した試験体や、架構試験体内でも拘束の影響が比較的小さい部分では700 $\mu$ 程度に、拘束の影響がある部分ではそれより小さい値に収束することを示した。また、静的載荷実験により得られた湿潤/乾燥両試験体の水平力-水平変位関係の比較により、乾燥により初期剛性は概ね半減し、降伏時変形および降伏時耐力はそれぞれ増大およびやや低下したものの、繰り返し載荷を行う中で、両履歴特性は漸近することを示した。また、床組みを対象にした数値解析により、乾燥による力学特性変化を精度良く再現することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリートの乾燥はRC造建物の経時的な力学特性変化を生じさせ、その変化は建物の耐震安全性を評価する上で重要な地震応答変形量に重大な影響を及ぼしかねない。しかし、その影響に関する定量的なデータの蓄積は極めて乏しく、乾燥による応答変形の変動を陽に評価しない現行の耐震設計法に基づく建物は、想定し得ないリスクを内在している。そのため、本研究において、乾燥がRC造架構の力学特性変化に与える影響を実建物に近い条件で定量的に把握するとともに、その影響を高精度に再現可能な数値解析技術を発展させたことは、将来の地震被害に関するより正確な予測の実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：Measurements of half-scale RC three-story frame specimens during the drying process showed that the drying shrinkage strain converged to about 700  $\mu$  in the frame specimen where the effect of restraint was relatively small, and to smaller values in specimens where the effect of restraint was present. Comparison of the horizontal force-horizontal displacement relationship of the wet and dry specimens obtained by static loading tests showed that the initial stiffness was almost halved by drying, and the deformation at yield and bearing capacity at yield increased and slightly decreased, respectively. Both hysteric curves gradually approached each other during cyclic loading. The results of the numerical analysis based on RBSM for beam-slab specimens showed that the changes in mechanical properties due to drying were reproduced with high accuracy.

研究分野：鉄筋コンクリート構造

キーワード：鉄筋コンクリート 乾燥 力学特性 固有周期 ひび割れ 初期剛性 降伏点 数値解析

## 1. 研究開始当初の背景

地震に対する建物の性能設計においては、損傷との関係が深い「変形」を陽に検討することが肝要である。建物の変形を推定するためには建物を構成する各部材の力学特性（すなわち力と変形の関係）を用いるが、それらは製作後間もなく実施される実験やそれらの実験に基づき開発された数値解析によって評価されることが一般的である。しかし、近年の実構造物を対象にしたヘルスマonitoringでは、鉄筋コンクリート造構造物の固有振動数（すなわち剛性）が、中小地震の影響ではなく、コンクリートの経年乾燥により低下することが明らかになってきている<sup>1)</sup>。さらに、コンクリートの乾燥影響を考慮した数値解析により、地震時の応答変形評価に重要な降伏時耐力および降伏時変形が、コンクリートの乾燥によりそれぞれ低下および増大することが確認されている<sup>2)</sup>。

以上のように、コンクリートの経年乾燥による力学特性変化は、建物の耐震性能評価に重要な「応答変形」に重大な影響を及ぼしかねない。しかし、同影響に関する定量的な知見の蓄積は極めて乏しく、現行の構造設計法にも反映されていない。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では、経年によるコンクリートの乾燥が RC 造構造物の耐震性に及ぼす影響を把握すること、すなわち、乾燥による地震時応答特性への影響と、RC 造部材の力学特性の変化を定量的に評価することを目的とする。RC 造構造物の力学特性評価に関する既往の実験的・解析的研究では、一般的に硬化後間もない（すなわち乾燥による性状変化が大きく生じる前の）構造物を対象としており、乾燥による力学特性変化は考慮されていない。また、経年変化を検討した事例についても、鉄筋の発錆の影響に着目した事例が主であり、上述のようなコンクリートの乾燥による影響を定量的に分析・評価した事例は極めて少ない。本研究の特徴は、実建物に近い条件で乾燥による力学特性の経年変化を計測し、その結果により乾燥の影響を考慮した解析モデルを高精度化することにある。

## 3. 研究の方法

本研究で実施した以下三項目についてそれぞれ記す。

### 1) 骨組み試験体の経年乾燥による状態変化データの計測

本研究では、3層 RC 造の大規模（約 1/2 スケール）架構を 2 体作成し、その直後より状態変化データを計測した。1 体は湿潤養生のみ、もう 1 体は湿潤養生に加えさらに約 1.5 年間の乾燥養生を行った。架構試験体の代表的な伏図および軸組図を図 1 に示す。試験体は、乾燥による影響は面的な広がりをもつ部材で大きいことに着目し、耐震壁および床スラブを有する骨組みとした。両試験体に関し、製作後の養生期間において材料特性および各部の変位・ひずみの時系列データを取得した。

### 2) 骨組み試験体の乾燥による力学特性変化の把握

上記 1) の二体の試験体について、地震時を模擬して静的繰り返し荷重を実施し、試験体への導入力、各部の変位量、内部鉄筋のひずみ量、各部の損傷の進行状況を計測した。得られた計測データに基づき、乾燥を経たことによる力学特性（特に地震応答変形評価に重要な初期剛性および降伏点）の変化を把握した。

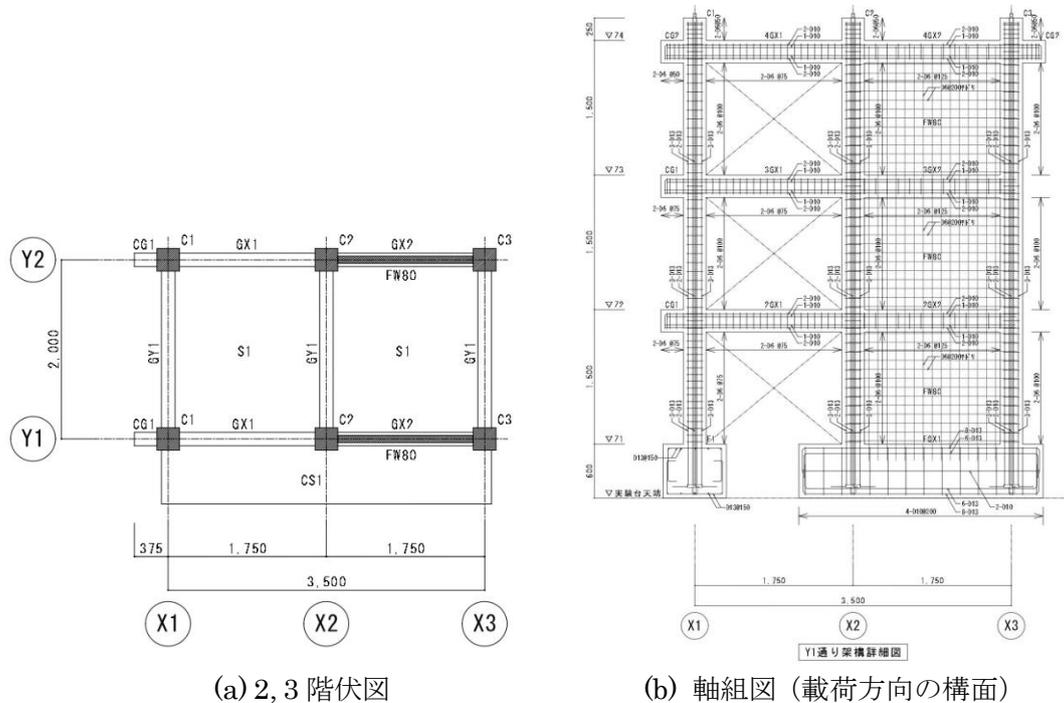


図1 本研究で製作した架構試験体の図面

### 3) 乾燥の影響を考慮した解析モデルの高精度化

乾燥の影響を考慮した RC 造構造物の数値解析モデルは研究分担者の丸山らにより開発が進められており<sup>2)</sup>、それについて、乾燥後の履歴を精度良く再現するための高度化を進める必要がある。本項目では、床組み部材を切り出した部分架構を対象に、乾燥による力学特性変化を解析的に再現した。

## 4. 研究成果

### 1) 骨組み試験体の経年乾燥による状態変化データの計測

材料特性としては、圧縮強度は乾燥/湿潤により顕著な違いは見られなかったものの、ヤング係数は乾燥供試体の方が湿潤供試体より1~2割程度低下した。乾燥収縮によるひずみは、部材の一部を切り出した試験体や、架構試験体内でも鉄筋やスタブによる拘束の影響が小さい部分では700 $\mu$ 程度であり、同拘束の影響がある部分ではそれより小さかった。図2に、計測データの一部として、各階床位置の水平方向の収縮変位の時系列データを示す。収縮量は、基礎スタブによる拘束の影響が比較的大きい2階においてやや小さく、いずれの階も最終的に平均600 $\mu$ 程度の収縮ひずみに収束した。

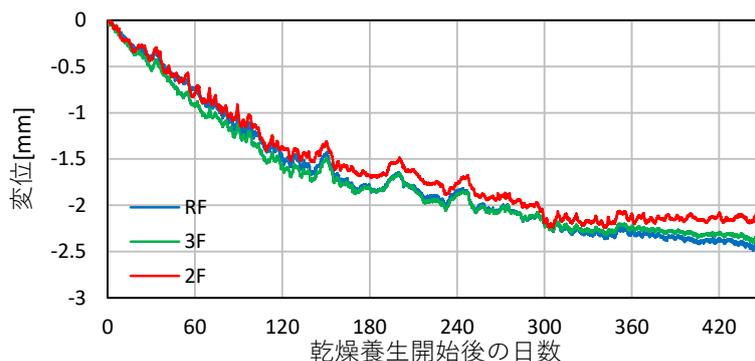


図2 各階床位置の水平方向の収縮変位

## 2) 骨組み試験体の乾燥による力学特性変化の把握

静的載荷実験により得られた湿潤／乾燥両試験体の水平力—水平変位関係を図4に比較する。乾燥により初期剛性は概ね半減し、この結果は常時微動計測結果において架構の卓越振動数が乾燥により7割程度に低下したと整合した。乾燥により壁柱の主筋降伏（同図●プロット）時の変形は増大し、耐力はやや低下した。繰り返し載荷を行う中で、変形の増大と共に両履歴特性は漸近した。



図3 試験体の水平載荷時の様子

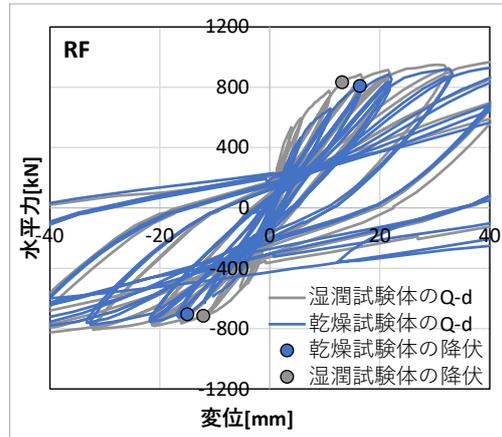


図4 水平力—水平変位関係（RF位置）

## 3) 乾燥の影響を考慮した解析モデルの高精度化

床組みを対象に、剛体要素法（RBSM）によりコンクリート内部の水分移動を考慮することでコンクリートの乾燥に伴う内部応力・ひび割れを再現し、さらにその後に載荷解析を行った。これにより、乾燥による力学特性変化を精度良く再現することを確認した。

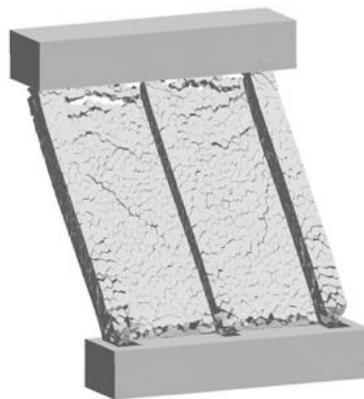


図5 床組みを対象にした数値解析の変形図

### 【参考文献】

- 1) 李立崗, 中村聡宏, 鹿嶋俊英, 勅使川原正臣: SRC建物の建物性能曲線による地震損傷評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol.79, No.702, pp.1107-1115, 2014.8
- 2) H. Sasano, I. Maruyama, A. Nakamura, Y. Yamamoto, M. Teshigawara, Impact of Drying on Structural Performance of Reinforced Concrete Shear Walls, Journal of Advanced Concrete Technology, 16 (2018) 210-232.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野稔久, 勅使川原正臣, 濱本泰輔, 野牧貴行, 浅井竜也
2. 発表標題 鉄筋コンクリート造耐震壁のエLEMENT置換モデルの剛性評価（その1 弾性時）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱本泰輔, 勅使川原正臣, 中野稔久, 野牧貴行, 浅井竜也
2. 発表標題 鉄筋コンクリート造耐震壁のエLEMENT置換モデルの剛性評価（その2 降伏時）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	丸山 一平  (Maruyama Ippei)  (40363030)	名古屋大学・環境学研究科・教授    (13901)	
研究分担者	日比野 陽  (Hibino Yo)  (50456703)	名古屋大学・環境学研究科・准教授    (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	浅井 竜也  (Asai Tatsuya)  (90815846)	名古屋大学・環境学研究科・助教     (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関