

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82113

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14294

研究課題名（和文）コンクリートの含水状態が火災後の鉄筋コンクリートの付着性能に及ぼす影響

研究課題名（英文）Effect of water content of concrete on bond performance of reinforced concrete after fire

研究代表者

西尾 悠平（Nishio, Yuhei）

国立研究開発法人建築研究所・防火研究グループ・主任研究員

研究者番号：20793334

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：鉄筋コンクリート造建築物において、火災中および火災後の性能低下が懸念される。本研究では、コンクリートの含水状態が加熱による鉄筋コンクリートの付着性能の低下に与える影響を明らかにするため、加熱中のコンクリート内部の水分挙動、および加熱後の鉄筋コンクリートの付着性能との関係について検討を行った。中性子ラジオグラフィによる測定より、加熱中のコンクリート内部の水分挙動とそれに伴う水蒸気圧形成を把握し、また、付着性能に関して、初期含水率が低い場合に0.002D時の付着応力が低くなり、加熱前のコンクリートの含水率が付着の初期剛性に影響を与える可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火災後の建築物の耐久性を評価するうえで、付着性能に関する検討を行う必要がある。高温加熱を受けた鉄筋コンクリートの付着性能の低下メカニズムを明らかにするためには、加熱中のコンクリート内部の水分移動および、それに付随するコンクリートの力学特性の変化など、コンクリート中の含水率が加熱後の付着性能に与える影響を明らかにする必要がある。高温加熱中のコンクリート内部の水分挙動とそれに伴う水蒸気圧の形成、およびコンクリートの含水率が加熱後の鉄筋コンクリートの付着性能に及ぼす影響を明らかにした。これにより、火災後の建築物の再利用を行う上で有用な知見となり、火災後の建物の運用が促進されるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：With reinforced concrete buildings, there is a concern about performance degradation during and after fire. In this study, in order to clarify the influence of the moisture content of concrete on the degradation of bond property of reinforced concrete due to heating, (1) the moisture behavior inside the concrete during heating and (2) the relationship with the bond property of reinforced concrete after heating were investigated. From the neutron radiography measurements, the moisture behavior inside the concrete during heating and the resulting water vapor pressure formation were determined, and the bond stress at 0.002D was lower when the initial moisture content was low, suggesting that the moisture content of the concrete before heating may affect the initial stiffness of the bond between concrete and rebar. The results also indicated that the initial stiffness of bond may be affected by the moisture content of concrete before heating.

研究分野：建築防火・建築材料

キーワード：高温特性 鉄筋コンクリート 付着性能 中性子イメージング

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリートは一般的に、耐火構造とされているが、鉄筋コンクリート造建築物が火災に曝されると、コンクリート中の水和物の分解による強度低下や、コンクリートと鉄筋の熱膨張係数差による付着劣化、高強度コンクリートでの爆裂現象など、火災中および火災後の性能低下が懸念される。火災を受けたコンクリート部材の機械的性質を把握することは、火災後のコンクリート造建築物の再利用性を検討するうえで重要であり、高温環境下あるいは加熱後の物性試験が実施されている。火災被害を受けた建築物を利用する上で、建築物の火災後の耐久性を正しく理解する必要がある。火災診断において、コンクリートもしくは鉄筋単体での材料性能によってその再利用の可否を判断するが、コンクリートと鉄筋の付着性能に関しては特に考慮されていない。しかしながら、鉄筋コンクリート造は鉄筋とコンクリートが一体となることによってその力学性能を発揮することから、火災後の建築物の耐久性を評価するうえで、付着性能の劣化についても詳細に検討を行う必要がある。また、コンクリート中の水分が加熱中のコンクリート中の応力分布やひび割れなどに影響を与えることが懸念されるが、加熱によって生じる水分移動や熱応力と火災後の付着性能との関係はまだ明らかとされていない。高温加熱を受けた鉄筋コンクリートの付着性能の低下メカニズムを明らかにするためには、加熱環境下におけるコンクリート中の水分移動および、それに付随するコンクリートの力学特性の変化や損傷（ひび割れ）を把握した上で、コンクリート中の含水率が加熱後の付着性能に与える影響を明らかとする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、加熱中のコンクリート内部の水分状態等を把握するとともに、コンクリートの含水状態と受熱後の付着強度との関係を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、中性子ラジオグラフィを用い、加熱中のコンクリート内部の水分挙動を測定すると同時に水蒸気圧を測定し、内部の水分状態とそれに伴う局所的な圧力状態の変化がコンクリートに与える影響の検討を行った。

次に、含水率を変化させた鉄筋コンクリート試験体に対し、加熱後の付着性能を引抜試験により確認し、含水状態が加熱後の鉄筋コンクリートの付着性能に及ぼす影響の検討を行った。

(1) 加熱中のコンクリート内部の水分挙動の検討

本検討では、含水率を調整した W/B18% の高強度コンクリート (100×70×30mm) を用いて、一面から加熱し、加熱中のコンクリート中の水分挙動を中性子ラジオグラフィにより測定した。10 分間の加熱実験を実施し、一部試験体においては、図 1 に示すように、コンクリート内部の温度と圧力も測定した。図 2 に測定した温度履歴の一例を示す。中性子ラジオグラフィより得られた透過像を解析し、加熱中のコンクリートの含水率を算出した。なお、中性子ラジオグラフィの測定は京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉 (KUR) の B-4 ポートで実施した。

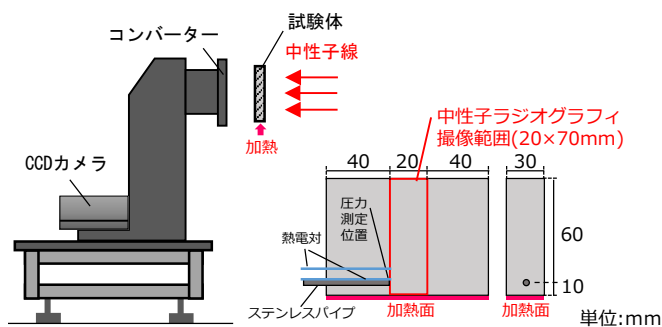


図 1 中性子ラジオグラフィの実験および試験体概要

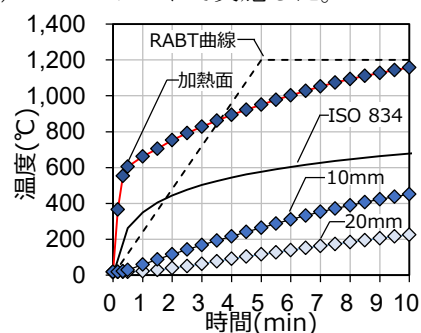


図 2 加熱試験の温度履歴

(2) 含水状態が加熱後の鉄筋コンクリートの付着性能に及ぼす影響

本検討では、JSTM C 2101 を参照し、W/C60% のコンクリートに異形鉄筋を埋め込んだ引抜試験体を用いて、加熱後の付着性能の検討を行った。試験体の含水状態を気乾と絶乾の 2 水準とし、加熱条件は ISO834 に規定する標準加熱曲線に沿って加熱を行った。加熱時間は 60 分と 120 分の 2 水準とした。加熱終了後は室温になるまで放冷し、引抜試験実施まで封緘して保管した。加熱試験実施時の試験体の相対含水率はそれぞれ気乾で 62%、絶乾で 4%、材齢 28 日の圧縮強度は 36 N/mm² であった。図 3 に試験体形状と引抜試験の概要を示す。試験は、鉄筋にカップリングを介してセンターシャフトを接合し、手動式油圧ポンプを用いて加圧を行い、最大荷重と自由端変位を計測し、付着応力を式 (1) より算出した。

$$\tau = P / (4 \pi D^2) \quad (1)$$

ここで、 τ : 付着応力 (N/mm²)、 P : 引張荷重 (N)、 D : 鉄筋径 (mm) である。図 4 に加熱試験の温度

履歴の一例（気乾・120分加熱）を示す。

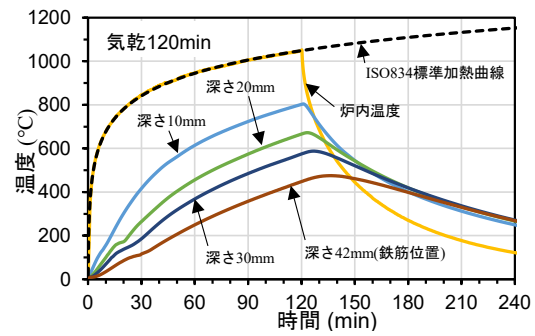
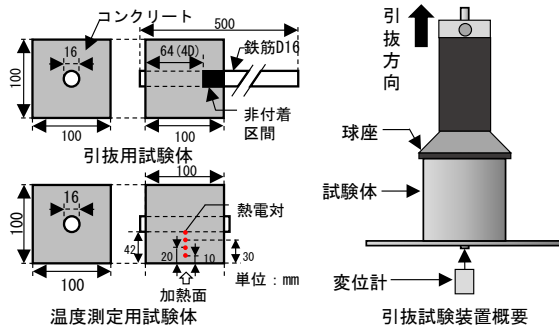


図3 引き抜き試験体および引抜き試験装置概要 図4 加熱試験の温度履歴（気乾 120min）

4. 研究成果

(1) 加熱中のコンクリート内部の水分挙動の検討

図5にコンクリートの初期含水率と、中性子ラジオグラフィの測定結果より算出した加熱から5分経過時のコンクリート内部の水分状態の関係を示す。初期含水率が低い25%の試験体以外で加熱中に爆裂現象が発生したが、含水率が低い試験体で最も乾燥が進み、また、全ての含水条件の試験体で、加熱面より20~30mmの深さで初期含水率よりも高い含水率を示し、加熱によりコンクリート内部で水分が移動していることが確認された。

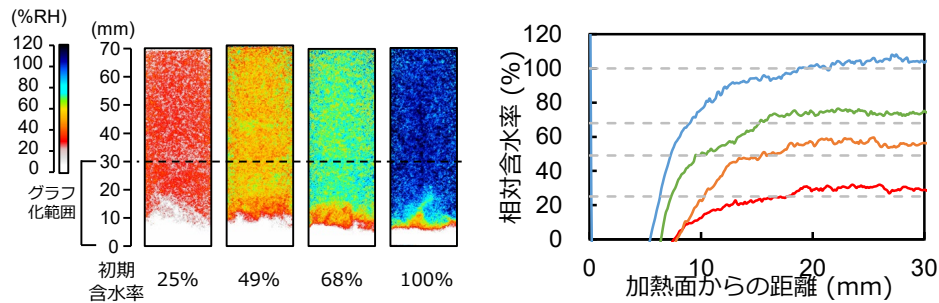


図5 初期含水率と加熱5分経過時の水分状態

図6に加熱面より10mm位置で圧力測定を実施した試験体（初期含水率88%）における中性子ラジオグラフィより算出した相対含水率を、図7に圧力測定結果と圧力測定位置近傍での相対含水率と水蒸気圧の算出結果を示す。本試験体は加熱より5分48秒の段階で比較的大きな爆裂現象が発生し、加熱中に内部の圧力が2.4MPaと高い値を示したものである。なお、図7の圧力測定位置近傍の水蒸気圧 (P_v) は、中性子ラジオグラフィより算出した相対含水率と測定温度を用いて算出した。中性子ラジオグラフィの結果を用いて算出した水蒸気圧が、爆裂前後に、増加と減少の傾向が確認され、コンクリート内部圧力の測定値で同様の傾向を示したことから、爆裂現象にはコンクリート内部の温度と含水率により生じる水蒸気圧が寄与した可能性が示唆された。

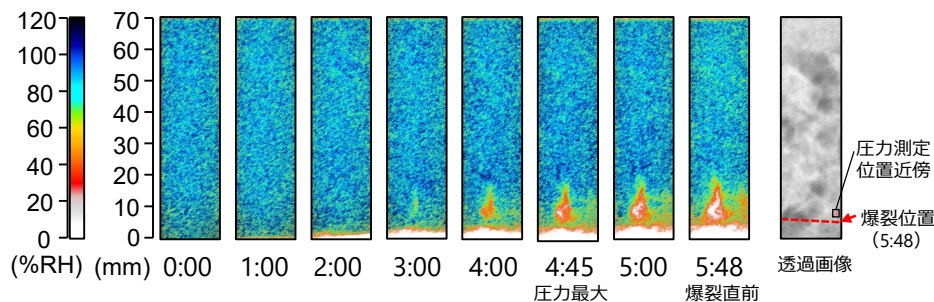


図6 加熱中のコンクリート内部の相対含水率の推移（初期含水率88%RH）

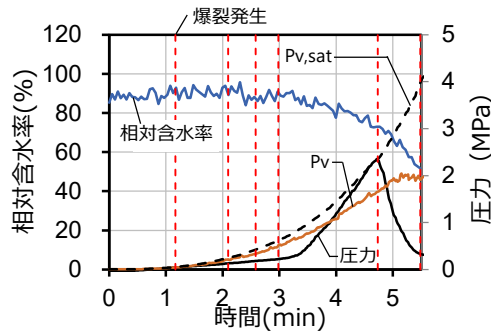


図7 圧力測定位置近傍での相対含水率と圧力の関係

(2) 含水状態が加熱後の鉄筋コンクリートの付着性能に及ぼす影響

図8に引抜試験より得られた加熱後の付着応力—自由端変位の関係を、図9に気乾の未加熱に対する0.002D時の付着応力と付着強さの残存率と鉄筋近傍最高温度との関係をそれぞれ示す。なお、絶乾の未加熱の試験体の鉄筋近傍温度は105℃とした。なお、日本建築学会「建物の火害診断および補修・補強方法 指針・同解説」に記載されている未加熱に対する付着強さの残存率は、200℃で0.75、400℃で0.7程度となっている。本検討においては、60分加熱を行った試験体において、より低い残存率となったが、気乾と絶乾での付着応力の差は確認されなかった。しかしながら、0.002D時の付着応力では、絶乾の方で低い傾向となり、加熱前のコンクリートの含水率が付着の初期剛性に影響を与えている可能性が示唆された。

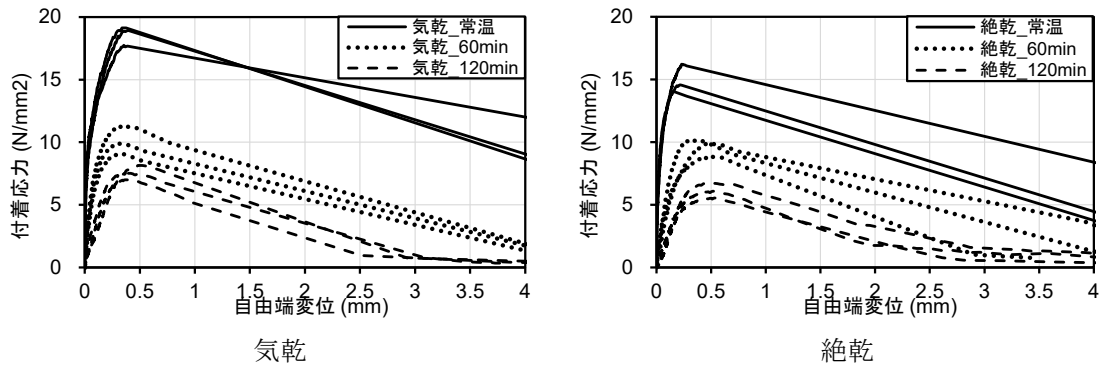


図8 付着応力—自由端変位の関係

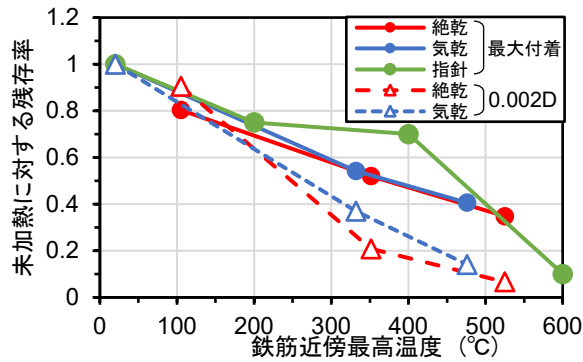


図9 鉄筋近傍最高温度と付着強さの残存率の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 吉岡樹哉、西尾悠平、金準鎬、兼松学	4. 巻 22
2. 論文標題 高強度コンクリートの含水状態が爆裂現象に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 199-202
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉岡樹哉、西尾悠平、金準鎬、兼松学
2. 発表標題 高強度コンクリートの含水状態が爆裂現象に及ぼす影響
3. 学会等名 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾悠平
2. 発表標題 火災を受けた鉄筋コンクリートにおける付着特性に含水率が及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 堀合航太、西尾悠平、金準鎬、兼松学
2. 発表標題 コンクリートの水分状態が爆裂現象に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2024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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------