

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04546

研究課題名(和文) リング拘束供試体を用いた補修用モルタルの火災時の爆裂評価手法の提案

研究課題名(英文) Proposal of fire spalling evaluation method for repair mortar using ring restraint specimen in case of fire

研究代表者

小澤 満津雄 (Ozawa, Mitsuo)

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：80313906

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では補修用モルタル(材料レベル)の爆裂評価手法、および補修されたRC部材(部材レベル)の爆裂評価手法について提案した。リング拘束供試体加熱試験法を用い、補修モルタルの爆裂性状を評価した。ポリマーに酢酸ビニル・ビニルバーサテート樹脂を使用し、爆裂抑制繊維としてナイロン繊維を用いた。その結果、繊維無しでは、最大爆裂深さが69mmとなったが、繊維ありでは爆裂が生じなかった。ポリマーセメントモルタルをRCはりに補修した場合の加熱試験を実施した。その結果、ポリマーセメントモルタルで補修した場合、爆裂は顕著であったが、ナイロン繊維を混入することで、爆裂を抑制することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会資本、特に、鉄筋コンクリート(以下、RC)構造物の補修・補強においては、コンクリート表面から鉄筋までのかぶりをはつりとり、補修モルタルで補修・補強する方法が一般的である。補修用モルタルにはポリマーセメントモルタル(PCM)を使用することが、一般的だが、火災に爆裂を生じやすいことがわかっている。本研究では、PCMの爆裂性状の評価方法として、リング拘束試験を提案した。また、爆裂抑制繊維としてナイロンが有効であることを明らかにした。また、RC部材にPCMを補修したケースでも、ナイロン繊維を混入したPCMで爆裂が抑制できることをあきらかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed a fire spalling evaluation method for repairing mortar (material level) and a fire spalling evaluation method for repaired RC members (member level). (1) The fire spalling properties of the repaired mortar were evaluated using the ring restraint specimen heating test method. Vinyl acetate/vinyl versatile resin was used as the polymer, and nylon fiber was used as the fire spalling suppressing fiber. As a result, the maximum fire spalling depth was 69 mm without fibers, but no explosion occurred with fibers. (2) A heating test was conducted when the polymer cement mortar was repaired on an RC beam. As a result, when repaired with polymer cement mortar, the fire spalling was remarkable, but by mixing nylon fiber, the fire spalling could be suppressed.

研究分野：コンクリート

キーワード：ポリマーセメントモルタル 補修モルタル 火災 爆裂

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に建設された社会資本の維持管理が問題となっている。今後、劣化した社会資本の補修・補強を具体的にどうしていくのかを検討することが重要である。社会資本、特に、鉄筋コンクリート(以下、RC)構造物の補修・補強においては、コンクリート表面から鉄筋までのかぶりをはつりとり、補修モルタルで補修・補強する方法が一般的である。補修モルタルの選定を行う際に、種々の検討が必要であるが、土木・建築分野において、火災に対するリスクがあり、耐火性を検討することは重要な課題である。最近起こったコンクリート構造物の火災事故として、例えば、2008年に起こった首都高速5号池袋線の事故では、復旧工事費用約20億円、損失額が40億円となった。また、2011年起きた東日本大震災では地震後に大規模火災が生じ、土木・建築のRC構造物が被害を受けた。このように、RC構造物の耐火性の検討の必要性はもちろんのこと、今後増加が予想される補修されたRC構造物の耐火性の検討も重要な課題である。

ここで、コンクリート構造物の耐火性に関する現状について説明する。鉄筋コンクリート構造物が火災を受けると、表層部が爆発的に剥離・剥落するいわゆる爆裂現象が生じることがある。コンクリートが剥落すると内部鉄筋は露出し高温により品質は大きく低下する。その結果、構造物の耐荷性能は著しく損なわれ、極めて危険な状態となる。鎮火後の構造物の復旧に際しても、費用の増大は避けることができず、社会的な損失は大きなものとなる。また、火災で劣化したコンクリートかぶりのはつり深さの検討や劣化した母材コンクリートと補修モルタルの付着性状についても検討が必要である。既往の研究より、爆裂は熱応力説(図-1)¹⁾と水蒸気圧説(図-2)²⁾およびその複合説によって生じるとされるが確たる結論には至っていないのが現状である。爆裂を抑制する方法として有機繊維の混入や耐火被覆の使用が挙げられる。有機繊維を混入する方法では、混入した有機繊維が火災時に熔融することで水蒸気圧逸散ネットワークを形成し、水蒸気圧の上昇を抑制し爆裂を防止できるとされている³⁾。しかしながら、火災後にかぶりのバリア機能が低下することを意味し、外部から鉄筋を腐食させる因子である酸素や二酸化炭素、塩化物イオンの侵入が懸念され、補修が必要となるケースがある。

次に、補修用モルタルの火災時における爆裂性状に関する研究の現状を説明する。補修を必要とするRC構造物では補修モルタルが使用されている。特に、セメントモルタルに有機系ポリマーが混入された材料であるポリマーセメントモルタル(以下、PCM)は、付着性に優れ、コンクリートとの一体性を図れることから、既存構造物の補修、補強等に必要不可欠な材料となっている。しかし、混入されるポリマーは合成樹脂系やゴム系の有機材料が使用されており、火災時などの高温状態における性状について、通常コンクリートやモルタルなどの無機系材料とは異なることが懸念される。これまで、PCM高温時の性状について報告がある³⁾。濱崎らは、PCMの爆裂試験として寸法φ50×100mmの円柱供試体を用い、800℃の一定温度で20分加熱する方法を提案している⁴⁾。しかし、この方法では無拘束条件下での爆裂性状を評価することとどまっている。一方、PCMで補修した実大の壁供試体加熱試験を実施した例がある。

次に、補修用モルタルの火災時における爆裂性状に関する研究の現状を説明する。補修を必要とするRC構造物では補修モルタルが使用されている。特に、セメントモルタルに有機系ポリマーが混入された材料であるポリマーセメントモルタル(以下、PCM)は、付着性に優れ、コンクリートとの一体性を図れることから、既存構造物の補修、補強等に必要不可欠な材料となっている。しかし、混入されるポリマーは合成樹脂系やゴム系の有機材料が使用されており、火災時などの高温状態における性状について、通常コンクリートやモルタルなどの無機系材料とは異なることが懸念される。これまで、PCM高温時の性状について報告がある³⁾。濱崎らは、PCMの爆裂試験として寸法φ50×100mmの円柱供試体を用い、800℃の一定温度で20分加熱する方法を提案している⁴⁾。しかし、この方法では無拘束条件下での爆裂性状を評価することとどまっている。一方、PCMで補修した実大の壁供試体加熱試験を実施した例がある。

参考文献：

- 1)Bazant ZP., Proc.of the Int. Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, Gaithersburg, Maryland; 1997, p.155-164.
- 2)Anderberg Y., Proc.of the Int.Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, Gaithersburg, Maryland;1997, p. 69-73.
- 3)日本建築学会, 構造材料の耐火性ガイドブック, 2017, 2月
- 4)濱崎仁ほか:鉄筋コンクリート造建築物のかぶり厚さ確保に関する研究, 建築研究所, No.147, 2013.3

2. 研究の目的

本研究の目的は、補修用モルタル(材料レベル)の爆裂評価手法、および補修されたRC部材(部材レベル)の爆裂評価手法を提案することである。すなわち、①リング拘束供試体加熱試験法を用い、補修モルタルの火災時の内部温度と拘束応力および水蒸気圧を測定し爆裂深さの経時変化を測定する。拘束応力と水蒸気圧を測定することで、補修モルタルの爆裂メカニズムの解明に寄与できる。次に、②リング拘束供試体を用いRC部材を補修モルタルで補修したケースを

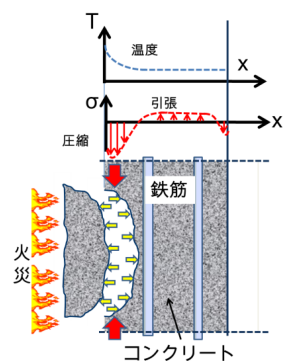


図-1 熱応力説

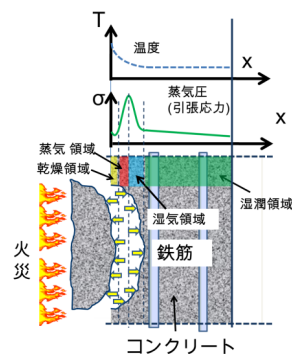


図-2 水蒸気圧説

モデル化し、加熱時の挙動を評価する。

これまで、補修用モルタルの材料レベルにおける火災時の爆裂抵抗性は、 $\phi 50 \times L100$ mmも円柱供試体を 800°C で 20 分加熱する方法が提案されているが、この方法では無拘束条件である。補修用モルタルを使用する場合は種々の拘束条件下で使用されるため、危険側の評価となる。リング拘束供試体を用いることで、拘束条件下における補修モルタルの火災時の挙動を明らかにできる。更に RC 部材を補修したケースの火災時の挙動を明らかにし、数値解析との比較を行うことが独創的な点である。最終ゴールは、爆裂しない耐火性の高い補修モルタルの開発のための基礎資料を得ることである。

3. 研究の方法

3. 1 リング拘束供試体加熱試験法

図-3 にリング拘束加熱試験の概要を示す。補修モルタルの火災時の内部温度と拘束応力および水蒸気圧を測定し爆裂深さの経時変化を測定した。加えて、拘束応力と水蒸気圧を測定した。対象は、ポリマーセメントモルタル(PCM)とした。PCM に混和するポリマーは、セメント混和用ポリマーディスパージョン及び再乳化形粉末樹脂 (JIS A 6203 : 2015) に適合する再乳化形粉末樹脂を対象とし、酢酸ビニル・ビニルパーサテート樹脂(VVA)の既製品を選定した。爆裂抑制繊維は、ナイロン繊維とし混入率は $0.1\% \text{vol}$ とした。

3. 2 補修用モルタルで補修したRCはりの爆裂挙動

図-4 に RC はりの概要を示す。RC はりの寸法は長さ 1500mm 長幅 100mm 高さ 150mm とし、鉄筋比は、 1.7% とした。PCM の補修厚は 50mm とした。補修に使用した PCM は P/C を 10% とし、ナイロン繊維混入の有無とせん断補強筋(以下, ST)の有無の影響を評価した。ナイロン繊維有りは混入率を $0.5\% \text{vol}$ とした。加熱曲線は RABT30 を用いた。

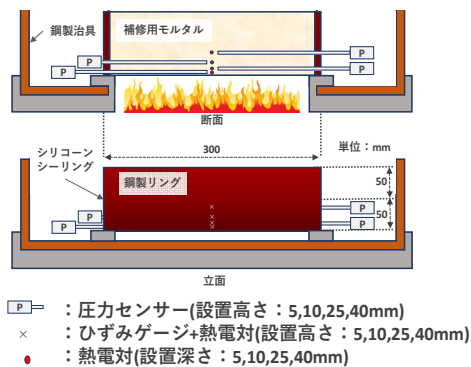


図-3 リング拘束試験

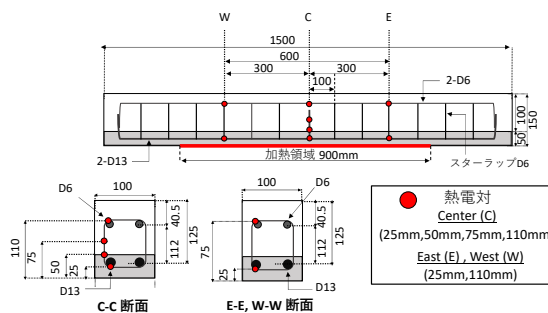


図-4 補修したRCはり

4. 研究成果

4. 1 リング拘束供試体加熱試験法

図-5 に VVA を混入した PCM の加熱試験結果を示す。爆裂は供試体全面で生じた。最大爆裂深さは 69 mm となった。図-6 に VVA にナイロン繊維を $0.1\% \text{vol}$ 混入した加熱試験結果を示す。加熱面は、亀甲状のひび割れは確認できるが、爆裂は生じなかった。これにより、ナイロン繊維を混入することで爆裂が抑制できることを確認した。

4. 2 PCM で補修した RC はりの爆裂挙動

図-7 に PCM で補修した RC はりの加熱後の性状を示す。基準となる RC-N は ST の有無にかかわらず、加熱面で損傷が見られるが、爆裂深さは小さかった。すなわち、最大爆裂深さは ST の有無でそれぞれ、15mm と 17mm であった。次に、RC-PCM-ST 無は、爆裂が生じ中央部の主筋が露出する結果となった。RC-PCM-ST 有は主筋の一部が露出する結果となった。最大爆裂深さは ST の有無でそれぞれ、38mm と 51mm であった。一方、RC-PCM-Ny は ST の有無に関わらず、爆裂損傷は RC-PCM と比較して軽微であった。ST の有無でそれぞれ 16mm と 9mm となった。以上のことから、RC 部材のナイロン繊維を混入した PCM を補修することで、RC 部材についても爆裂を抑制することがわかった。

投稿論文：

1. 杉野 雄亮, 小澤 満津雄, 谷辺 徹, 常藤 光, 祐川 真紀帆：リング拘束供試体法を適用したアクリル系ポリマーセメントモルタルの火災時の爆裂性状と爆裂発生メカニズムに関する検討, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), 第 77 巻 4 号 p.150-163, 2021, 査読有
2. 後藤 悠太, 杉野 雄亮, 祐川 真紀帆, 小澤 満津雄：火災時におけるポリマーセメント

モルタルで補修した RC はりの爆裂性状評価、コンクリート工学年次論文集,Vol.42,2021(査読有、採択決定)

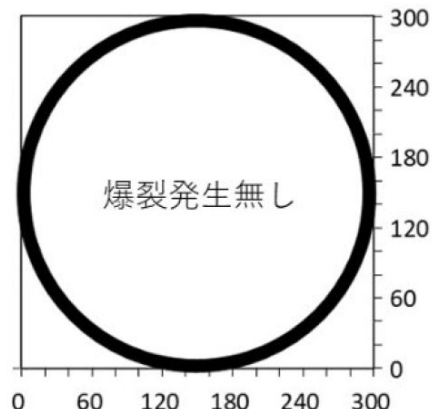
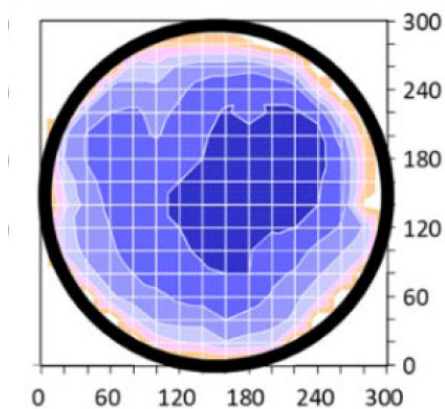


図-5 PCMの爆裂性状(繊維無し)

図-6 PCMの加熱面の性状(ナイロンあり)



a) RC-N-ST 無し



b) RC-N-ST 有り



c) RC-PCM-ST 無し



d) RC-PCM-ST 有り



e) RC-PCM-Ny-ST 無し



f) RC-PCM-Ny-ST 有り

図-7 加熱試験後のRCはり損傷状況

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 祐川 真紀帆、杉野 雄亮、谷辺 徹、小澤 満津雄	4. 巻 42
2. 論文標題 リング拘束供試体を用いたポリマーセメントモルタルで補修したコンクリートの火災時における爆裂性状	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 887-892
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 -

1. 著者名 Mitsuo Ozawa , Faiz Uddin Ahmed Shaikh	4. 巻 279
2. 論文標題 A study on spalling behaviour of geopolymer mortars using ring restraint test	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 122494
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.conbuildmat.2021.122494	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 該当する

1. 著者名 杉野雄亮, 谷辺徹, 六本木日菜子, 小澤満津雄	4. 巻 41
2. 論文標題 リング拘束供試体を適用したアクリル系ポリマーセメントモルタルの火災時の爆裂性状に関する実験的検討,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1001-1006
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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 祐川 真紀帆、杉野 雄亮、谷辺 徹、小澤 満津雄
2. 発表標題 リング拘束加熱試験法によるポリマーセメントモルタルで補修したコンクリートの爆裂性状および拘束応力と水蒸気圧の関係
3. 学会等名 第74回セメント技術大会
4. 発表年 2020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
---------	---------