

令和元年6月19日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06437

研究課題名(和文) リング拘束試験による火災時のコンクリートの耐爆裂性スクリーニング試験法の提案

研究課題名(英文) Behavior of ring-restrained high-performance concrete under extreme heating and development of screening test,

研究代表者

小澤 満津雄 (Ozawa, Mitsuo)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：80313906

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)：本研究では、異なる2種の繊維を用いた高強度コンクリートを対象としてリング拘束供試体加熱試験を実施し、材齢や繊維の混入の有無による影響を検討した。すなわち、繊維はポリプロピレン繊維(以下、PP)とジュート繊維(以下、Jute)繊維を用い、材齢は2ヶ月と14ヶ月とした。加熱曲線はRABT30とし、計測項目は拘束応力および水蒸気圧とした。その結果、繊維無混入のケースでは材齢2ヶ月と比較して14ヶ月は爆裂深さが小さくなった。PP繊維を混入したケースでは14ヶ月で爆裂を生じなかった。Jute繊維を混入したケースでは材齢2ヶ月と14ヶ月ともに爆裂は生じなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果として、リング拘束試験が確立できた。この方法は熱応力と蒸気圧とを合わせて考慮したコンクリートの耐爆裂性を評価できるという特徴がある。すなわち、拘束鋼管の内部にコンクリートを打設し供試体を作製する。供試体下面のコンクリート部分のみを加熱する。加熱には水平炉を用いる。加熱によるコンクリートの膨張を拘束鋼管が拘束することにより、熱応力(圧縮応力)が生じる。コンクリートの膨張により生じる拘束鋼管のひずみを計測し、熱応力を算出できる。併せてコンクリート内部の蒸気圧を計測し、熱応力および蒸気圧を定量的に検討し、爆裂の有無と併せて爆裂判定手法を開発できた。

研究成果の概要(英文)：In this research, ring-restraint heat testing was carried out on various types of fibre-reinforced HSC (HPC, HPC + PP, HPC + Jute), and differences in spalling properties were compared. The relationship linking thermal stress, vapour pressure and temperature was also examined, and the scale of resultant spalling was determined. Curing ages was fourteen months. In a results, the maximum spalling depth of HPC was 12 mm, and spalling occurred over the whole heated surface. While no spalling was observed in the HPC with jute specimen and HPC with PP fiber specimens. This highlighted the spalling prevention effect of Jute fiber.

研究分野：コンクリート工学分野

キーワード：爆裂 火災 コンクリート

リング拘束試験による火災時のコンクリートの耐爆裂性スクリーニング試験法の提案

1. 研究開始当初の背景

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。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。これらのことから、爆裂はコンクリート工学における重要な研究テーマとなっている。既往の研究により、爆裂は熱応力説と蒸気圧応力説によって生じるとされている。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。近年、国内外でコンクリートの耐火性に関する会議が多数開催されている。国内では日本コンクリート工学会が2009年に「コンクリートの高温特性とコンクリートの耐火性能研究委員会」が設置され、調査・研究がなされた。申請者は本委員会の爆裂に関する項目について調査した。2012年10月から、土木学会においても「コンクリートトンネル構造物の耐火技術研究小委員会(207)」が設置され、トンネル耐火工の設計施工指針(案)を取りまとめた。申請者は本委員会で幹事を務めた。以上のように、国内外においてコンクリートの耐火性について精力的な研究がなされている。また、爆裂の抑制方法は蒸気圧低減効果を期待して合成繊維であるポリプロピレン繊維(PP繊維)を混入する方法が一般的に用いられている。しかしながら、熱応力説と蒸気圧説のどちらが支配的であるのか? PP繊維を混入しても爆裂が抑制できない状況ではどうするのか? など、未解明の課題がある。各学会においてコンクリート構造物の耐火設計の基準がある。すなわち、日本建築学会では、設計基準強度80MPa以上の高強度コンクリートを対象として、爆裂対策を設計に反映するよう求めている。加えて、爆裂対策の効果を確認するために実部材レベルの耐火試験を義務付けている。土木学会においても、高強度コンクリート(60MPa以上)において、爆裂対策が必要であるとしている。加えて、両学会ともに高温環境下におけるセメント系材料の爆裂判定手法の標準化は未だになされていない。

2. 研究の目的

研究では、コンクリート構造物の耐火設計のためにコンクリートの耐爆裂性評価手法のスクリーニング試験を提案する。爆裂は、熱応力と水蒸気圧がメカニズムとして考えられ、拘束条件下において規模が大きくなるとされている。本試験方法ではリング拘束条件下での一面加熱を実施し、熱応力と蒸気圧を計測し対象のコンクリート配合の耐爆裂性を評価できるスクリーニング試験の提案を目的とする。本研究では、リング拘束試験を用いて以下の検討を行う。

実RC部材の耐火試験結果のある配合と比較

コンクリートの爆裂解析(引張ひずみ破壊モデルと要素剥離モデル)の提案

異なる短繊維を用いた爆裂抑制効果の検討

3. 研究の方法

図-1 にリング拘束試験方法の概要を示す。この方法は熱応力と蒸気圧とを合わせて考慮したコンクリートの耐爆裂性を評価できるという特徴がある。すなわち、拘束鋼管の内部にコンクリートを打設し供試体を作製する。供試体下面のコンクリート部分のみを加熱する。加熱には水平炉を用いる(図-4)。加熱によるコンクリートの膨張を拘束鋼管が拘束することにより、熱応力(圧縮応力)が生じる。コンクリートの膨張により生じる拘束鋼管のひずみを計測し、熱応力を算出できる。併せてコンクリート内部の蒸気圧を計測し、熱応力および蒸気圧を定量的に検討し、爆裂の有無と併せて爆裂判定手法を開発する。また、爆裂メカニズムとして引張ひずみ破壊モデルを提案し爆裂深さの経時変化を評価できる。爆裂試験の目的により、以下の組み合わせを選択できる。

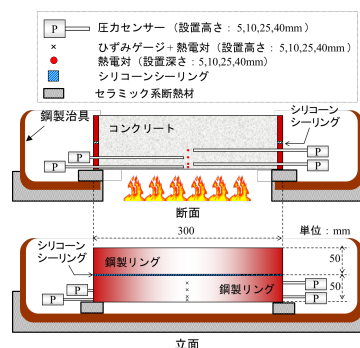


図-1 リング拘束試験方法

- A) 鋼管にコンクリートを充填(爆裂の有無を評価)
- B) A) + 内部温度計測用熱電対を配置(爆裂深さは熱電対で判定)
- C) B) + 鋼管にひずみゲージを設置(熱応力の推定)
- D) C) + 蒸気圧計測用パイプを設置(水蒸気圧の推定)

スクリーニング試験としては、A)B)を用いることで爆裂の有無と規模および爆裂の経時変化を推定できる。更に、爆裂のメカニズムを検討するためには C)D)を組み合わせることで熱応力と蒸気圧の検討が可能となる。加えて、D)は爆裂抑制用に P P 繊維を混入した場合の蒸気圧低減効果と爆裂抑制効果を確認できる。以上のように A)-D)の組み合わせによって、コンクリートの配合レベルにおける耐爆裂性を判断するスクリーニング試験を実施可能である。

4. 研究成果

実 RC 部材の耐火試験結果のある配合と比較、

・トンネルセグメント配合での検討

実大 RC トンネルセグメントの耐火試験実績があるコンクリート配合を対象として、リング拘束供試体を作製し、耐火試験を実施し材齢の影響を検討した。すなわち、材齢は 2 ヶ月と 12 ヶ月とし、加熱曲線は RABT30 を用いた。リング拘束試験において拘束応力と水蒸気圧および内部の温度を計測し爆裂性状を比較した。PP 繊維混入の有無の影響も検討した。その結果、PP 繊維無しのケースで材齢 2 ヶ月のものは爆裂を生じたが、材齢 12 ヶ月では爆裂を生じなかった。また、PP 繊維混入有りのケースでは、材齢 2 ヶ月と 12 ヶ月ともに爆裂を生じなかった。

・RC 柱配合での検討

耐爆裂性のスクリーニング試験に及ぼす供試体種類の影響ならびに鉄筋コンクリート造柱の荷重加熱試験結果との関係を確認するため、荷重加熱試験データを有するコンクリートを適用したリング拘束供試体、角柱拘束供試体および角柱、円柱無拘束供試体の比較試験を実施した。その結果、リング拘束供試体が最も荷重加熱試験に近く安全側の結果を示し、次に角柱拘束供試体の順であった。角柱および円柱の無拘束供試体は、本論文の試験条件の範囲では顕著な爆裂は認められず、荷重加熱試験と異なる結果を示した。リング拘束供試体は、ひずみ破壊指数を適用することで爆裂発生原因の把握も可能となることが確認できた。

コンクリートの爆裂解析

リング拘束供試体の加熱試験を対象として軸対象モデルを用いた 2 次元 FEM による爆裂解析を実施した。すなわち、熱応力説は引張ひずみ破壊を考慮し、水蒸気圧説は飽和水蒸気圧(SVP)の限界水蒸気圧値を組み込んだ。加えて、加熱に伴う水分移動と潜熱の影響を考慮して比熱の変化で組み込んだ。その結果、リング拘束試験における爆裂深さの経時変化を解析で評価できる可能性があることが示唆された。

異なる短繊維を用いた爆裂抑制効果の検討

・異なる 2 種の繊維を用いた高強度コンクリートを対象としてリング拘束供試体の加熱試験を実施し、爆裂抑制効果を検討した。すなわち、爆裂抑制繊維はポリプロピレン繊維と天然の Jute 繊維を用い、加熱曲線は RABT30 加熱曲線とした。計測項目は拘束応力と水蒸気圧および爆裂深さとした。その結果、天然繊維を用いた場合、繊維混入無しと比較して爆裂が生じなかった。また、Jute 繊維を用いた場合、拘束応力の抑制効果が確認できた。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1 . M.Ozawa, T.Tanibe, R.Kamata, Y.Uchida, K.Rokugo, S.S.Parajuli : Behavior of ring-restrained high-performance concrete under extreme heating and development of screening test, Construction and Building Materials,162, pp.215-228, 2018 (査読あり)

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 阿久津裕亮, 小澤満津雄, 明石孝太, 杉野雄亮 : 実 RC セグメントと同配合で作製したリング拘束供試体の爆裂試験における材齢の影響, コンクリート工学年次論文集, pp.1023-1028, Vol.40, No.1, 2018
2. 赤坂春風, 小澤満津雄, Sirjana Subedi Parajuli, 杉野雄亮 : リング拘束供試体加熱試験による天然繊維を混入した高強度コンクリートの爆裂抑制効果の検討, コンクリート工学年次論文集, pp.1029-1034, Vol.40, No.1, 2018
3. 村上真聖, 小澤満津雄, 明石孝太, 杉野雄亮 : 熱応力と水蒸気圧を考慮した高強度コンクリートの爆裂解析, コンクリート工学年次論文集, pp.1047-1052, Vol.40, No.1, 2018
4. 黄義哲, 金圭庸, 南正樹, 小澤満津雄 : 加熱速度によるリング型鋼管拘束コンクリートの水蒸気圧力と拘束応力, コンクリート工学年次論文集, pp.1053-1058, Vol.40, No.1, 2018
5. 谷辺徹, 兼松学, 小澤満津雄, 森田武 : 高強度コンクリートの爆裂性評価に及ぼす供試体種類の影響, コンクリート工学年次論文集, pp.1087-1092, Vol.39, No.1, 2017

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6 . 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者 あり

1) 谷辺徹(Tanibe Toru) 太平洋マテリアル

2) 金圭庸(Kim Gyungyong) 忠南大学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。