

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420467

研究課題名(和文) 化学エネルギー的視点に基づいたRC構造の劣化予測に関する研究

研究課題名(英文) Study on evaluation of deterioration for RC structures based on chemical energy

研究代表者

石川 靖晃 (Ishikawa, Yasuaki)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：00257651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、パイプクーリングを考慮したFEM温度解析コードの拡張、若材齢時の乾燥収縮モデルの構築を行うことにより、従来のFEM初期応力解析・耐荷力解析コードの強化を行った。そして、種々の実験結果を基に、強化された解析コードの検証を行った。その結果、強化された温度解析コードは、コンクリート要素内部にパイプレイアウトを施した場合や分岐したパイプレイアウトに対しても適用可能であることが示された。また、応力解析コードは、乾燥収縮で劣化したRCはりの曲げ耐力を比較的正確に捉える可能性があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, FEM thermal analysis code and stress analysis codes for initial stress problem as well as load capacity analysis have been developed and enhanced by improving the existing thermal analysis code for pipe cooling system and refining free strain component due to drying shrinkage at early age in the existing stress analysis. Then, a series of the enhanced FEM analysis codes has been verified based on the various experimental results. After all, it is confirmed that pipe elements can be located in the arbitrary position of concrete elements in the enhanced thermal analysis code. It is also shown that the enhanced thermal analysis code can be applicable to the bifurcated pipe cooling problems. Moreover, it is implied that the enhanced stress analysis code may almost capture flexural behavior of deteriorated RC beams subjected to drying process.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：FEM解析コード パイプクーリング 乾燥収縮 初期応力 メニスカス

1. 研究開始当初の背景

20年後には、竣工後50年以上経過したRC構造物は全体半分近くを占めるといわれている。このような構造物の耐荷性能を事前に精度よく評価する技術が熟望視されている。そのためには劣化したRC構造物に対して耐荷力解析を行う際には、経年劣化による損傷の程度に加えて、補修補強による効果を有機的に反映させる必要がある。従来の研究においては、化学膨張による劣化メカニズムを、単純な初期ひずみ問題として捉えるもの、あるいは初期ひずみ問題と剛性低下の組み合わせにて表現しているものがほとんどであった。一方、研究代表者は、膨張材料が有する全てのエネルギーは、拘束条件の程度に依らず一定であるとした総エネルギー一定則¹⁾を提唱し、総エネルギー一定則に基づいた膨張材料の力学的モデル化を行い、その妥当性について検証している。

2. 研究の目的

本研究では、化学エネルギーの視点を視野に入れながら水和熱や乾燥収縮、あるいはASR等の化学的な体積変化により劣化したRC構造物の耐荷性能を、高精度で予測可能な耐荷力解析コードを確立することを目的とする。まず、既存の水和熱や乾燥収縮などの劣化要因を考慮可能な変形解析コードと、従来のRC構造物の耐荷力解析コードを有機的に結合させることを含めて、これまでの解析コードを強化することを試みた。そして、水和熱測定結果や、劣化させたRC供試体の耐荷力試験結果に基づき強化された解析コードの検証を行った。

3. 研究の方法

(1) パイプクーリングを考慮した温度解析コードの拡張

従来のパイプクーリングを考慮した温度解析コードには改善されるべき問題点が2つあった。一つは、パイプ要素は必ずコンクリート要素を構成する稜線上に配置し、かつパイプ要素節点とコンクリート要素節点は完全に一致させるといった制約である。もう一つは、パイプレイアウトは一本続きであるといった制約である。

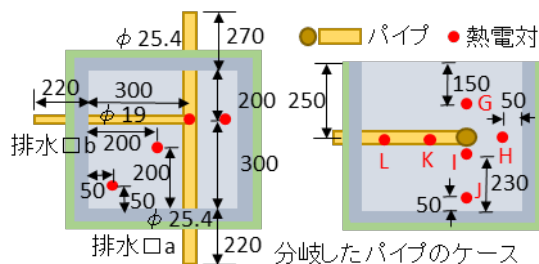


図-1 分岐したパイプレイアウトによる水和熱測定実験の試験体の一例

そこで、上記問題点が解消されるようにFEM温度解析コードの拡張を行った。次にパ

イプクーリングに関する既往の実験結果と拡張された解析コードによる温度解と比較することで、コンクリート要素内の任意位置にパイプ要素を配置可能かについて検討を行った。さらに、図-1に示すような分岐したパイプレイアウトを施したコンクリート水和熱測定実験を実施し、拡張された解析コードによる温度解と比較することで、分岐したパイプレイアウト問題に適用可能かどうかについて検討を行った。

(2) 乾燥収縮モデルの見直し

乾燥収縮によって生じる応力はメニスカスに大きく依存するが、メニスカスの影響の程度は硬化時と若材齢時では異なると思われる。このため、打設直後のコンクリートの力学特性等の変化を乾燥収縮挙動に反映させる必要があると思われる。そこで、材齢極初期におけるコンクリートの乾燥収縮挙動を正確に把握する理論モデルの構築を行った。

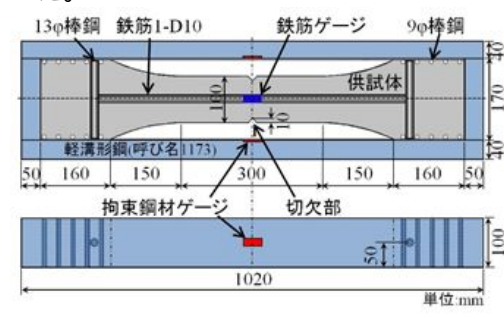


図-2 拘束ひび割れ試験体

そして図-2に示すような拘束ひび割れ試験を実施し、その結果を用いて提案したモデルの検証を行った。通常の拘束ひび割れ試験では乾燥開始材齢は7日であることが多いが、その場合、若材齢時の乾燥収縮挙動を十分把握することは困難である。本研究では、乾燥開始材齢を早めた乾燥収縮による拘束ひび割れ試験を実施した。

(3) 乾燥収縮を受け劣化したRCはりの曲げ耐荷力予測の検証

一定湿度、温度条件下で一定期間乾燥を受けたRC試験体と常に水中にて養生したRC試験の2種類を作製し、両種類の試験体の鉄筋ひずみの経時変化を測定した。その後、両試験体に対して曲げ試験を実施した。最後に、強化された解析コードにより、上記一連の挙動が追従可能かについて検討を行った。

4. 研究成果

(1) パイプクーリングを考慮した温度解析コードの拡張

パイプ要素のガウス点の全体座標をコンクリート要素の局所座標についてTaylor展開しNewton法を適用することにより、コンクリート要素内の任意の位置に配置されたパイプ要素のガウス点位置に対応するコン

クリート要素の局所座標位置を数値的に求める手法を構築した。このことにより任意の位置へのパイプ要素配置が可能となるように温度解析コードを拡張した。

管網解析手法の代表的な手法である節点水頭法をFEM温度解析コードに導入することにより、分岐を考慮したパイプレイアウトに対するパイプクーリング解析が可能となるように温度解析コードを拡張した。

既往のパイプクーリング試験結果²⁾を基に検証した結果、拡張されたFEM温度解析コードは、コンクリート要素内部にパイプレイアウトを施した場合でも、従来のFEM温度解析コードと同等な精度の解を与えることが確認された(図-3)。なお、図中のCase1は要素稜線上にパイプ要素を配置したケース、Case2は、要素稜線上ではない位置にパイプ要素を配置したケースの温度解である。

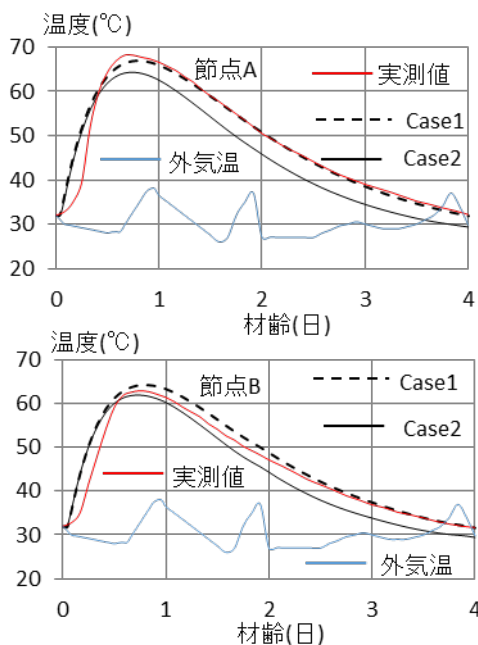


図-3 温度履歴の実測値と解析値の比較の一例

さらに、室内試験レベルかつパイプを水平に配置する範囲においては、拡張されたFEM温度解析コードは、分岐したパイプクーリング問題に概ね適用可能であることが確認された(図-4)。

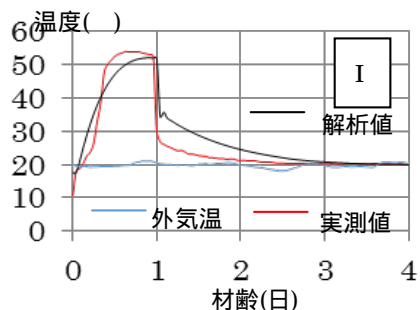


図-4 分岐したパイプレイアウトにおける温度履歴の比較の一例

(2) 乾燥収縮モデルの見直し

メニスカス内に生じる水柱の材齢変化を考慮に入れることにより、若材齢コンクリートの乾燥収縮ひずみ成分を乾燥による最大収縮量増分と、メニスカスを構成する水柱の割合を表す係数との積にて表現することでモデル化した。この係数は、若材齢時では1より小さいが、時間が無限大となった時1に近づく。

上記の方法でメニスカスの影響を乾燥収縮ひずみ成分に反映させることにより、乾燥を受けるコンクリートの拘束ひび割れ試験結果と比較を行った結果、本研究の範囲では、材齢が10日程度までは、乾燥収縮ひび割れ挙動を良く捉えることが確認された(図-5)。

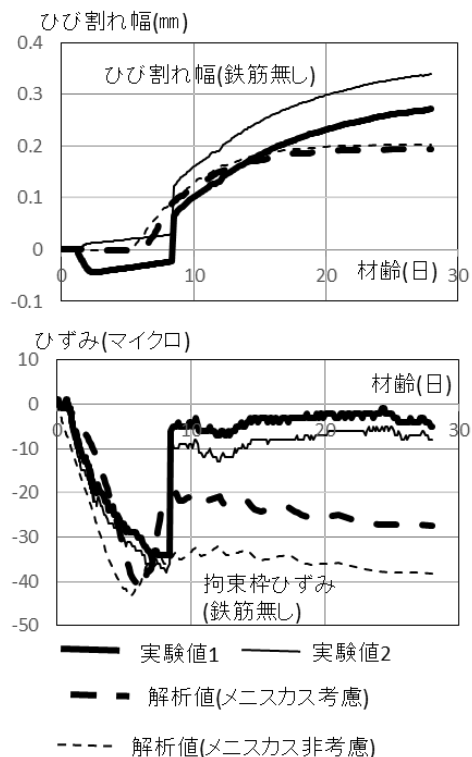


図-5 拘束ひび割れ試験実験値と解析値との比較の一例

一方で、材齢が概ね10日以上の乾燥収縮挙動については、メニスカスの影響のみならず、自由乾燥収縮ひずみ成分を算定する基になっている内部相対湿度履歴を精度よく評価することが肝要であることが示唆された。この点については、今後検討していきたいと考えている。

(3) 乾燥収縮を受け劣化したRCはりの曲げ耐力予測の検証

乾燥収縮を受けた場合と受けない場合におけるRC試験体の荷重変位曲線について検討を行った結果、従来からの知見どおり、乾燥収縮は曲げ耐力にあまり影響を及ぼしていないことがわかった。また、解析と実験を比較すると、メッシュ分割サイズを小さく

するほど、実験値と解析値は類似する傾向にあることが確認された。以上のことから、本研究の範囲では、強化された解析コードは、乾燥収縮で劣化した RC はりの曲げ耐力特性をある程度捉える可能性があることが示された。検討ケースが少ないため、今後継続的に検討していく必要がある。

<引用文献>

- 1) 石川靖晃、柴田要：仕事量一定則に基づく膨張コンクリートの変形挙動に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.1、pp.351-356、2008
- 2) 西岡真帆、井上敏弘、不破崇博、山本康広：マスコンクリート PC 梁のパイプクーリングによる温度ひび割れ制御、コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.1、pp.1067-1072、2003

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 4 件)

- 石川靖晃、池村穰：パイプクーリングを考慮した拡張 FEM 解析コードの検証、コンクリート工学年次論文報告集、査読有、Vol.37-1、pp.1135-1140、2015
- 石川靖晃、伊藤睦、荒畑智志、河合真樹、原健悟：コンクリート構造物建設工程シミュレータの開発、コンクリート工学、査読有、Vol.53-2、pp.172-180、2015
- 石川靖晃、岡田崇宏：若材齢コンクリートの乾燥収縮ひび割れ挙動に関する基礎的研究、第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム、査読有、Vol.23、pp.113-118、2014
- 池村穰、石川靖晃：管網配管レイアウトを考慮できるパイプクーリング解析手法の構築、第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム、査読有、Vol.23、pp.119-124、2014

[学会発表](計 1 件)

- 池村穰、石川靖晃：分岐したパイプレイアウトに対するパイプクーリング解析手法の構築、土木学会第 69 回年次学術講演会、大阪大学豊中キャンパス、2014 年 9 月

6. 研究組織

(1)研究代表者

石川 靖晃 (ISHIKAWA, Yasuaki)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号：00257651