

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：51601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20449

研究課題名（和文）コンクリート構造物のマルチステージ破壊挙動の再現に向けた材料モデルの開発

研究課題名（英文）Development of a material model for reproducing multi-stage fracture behavior in concrete structures

研究代表者

相馬 悠人（Soma, Yuto）

福島工業高等専門学校・都市システム工学科・助教

研究者番号：50968568

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,100,000 円

研究成果の概要（和文）：コンクリート構造物のマルチステージ破壊挙動を再現するため、コンクリートの圧縮破壊を再現できる損傷モデルを定式化した。側圧を受けるコンクリートの圧縮破壊の再現性を確認した結果、側圧の増加に伴い、圧縮強度が増加し、軟化勾配が緩やかになる実験結果の傾向を概ね再現できることを示した。また、鉄筋とコンクリート間の付着挙動を対象とし、実験結果と解析結果を比較することで、材料界面における摩擦接触を伴う破壊挙動の再現性を確認した。その結果、構成モデルや材料パラメータを変えずに、鉄筋の幾何形状のモデル化の違いのみで、付着挙動の違いを再現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

構造物の防災や減災などの観点から、RC部材の終局に至るまでの力学性能を精度よく評価することは重要である。本研究における解析手法は、少ない材料パラメータで、RC部材の破壊挙動を3次元で詳細に再現できる方法であり、破壊メカニズムの解明や健全性の評価などに貢献することができる。

研究成果の概要（英文）：To simulate multi-stage fracture behavior in concrete structures, a damage model which can reproduce the compressive failure of concrete was developed. Using the proposed method, we demonstrated that it is possible to reproduce the compressive failure behavior of concrete under lateral pressure. In addition, we compared the numerical and experimental results of RC beam with different bond performance of steel. The comparison reveals that the different failure modes of RC beams can be reproduced by changing the geometry of the steel bars without changing the material parameters.

研究分野：計算力学，応用力学

キーワード：有限要素法 損傷モデル 鉄筋コンクリート 圧縮破壊 付着挙動

1. 研究開始当初の背景

構造物の防災や減災などの観点から、鉄筋コンクリート（以下、RC）の終局に至るまでの力学挙動を定量的に評価することは重要である。一般的に、RC 部材の破壊は段階的に進行することが知られている。ステージ 0 を弾性挙動とすると、コンクリートが弾性限界に達し、ひび割れが生じるステージ I、鉄筋が弾性変形に達し、塑性変形が生じるステージ II、鉄筋が座屈して終局に至るステージ III の計 3 つの破壊ステージが存在する。このような RC 部材の破壊挙動を本研究では「マルチステージ破壊挙動」と定義する。

数値シミュレーションにより、RC 部材のマルチステージ破壊挙動をシームレスに再現するためには、初期の破壊ステージから支配的となるコンクリートの力学挙動のモデル化が重要な課題となる。コンクリートの引張破壊挙動を精度よく再現するだけでも容易ではないことから、コンクリートの材料モデルの開発は発展途上の段階にある。先行研究では、RC 部材の平均的な力学挙動をモデル化しているものが多く、巨視的な損傷を評価しており、RC 部材に生じるひび割れの 3 次元幾何形状までを再現できる方法はほとんどない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、RC 部材のマルチステージ破壊挙動をシームレスに再現できる破壊シミュレーション手法を構築するため、RC 部材の初期から終局に至るまでの力学挙動に適用できるコンクリートの材料モデルを開発することである。

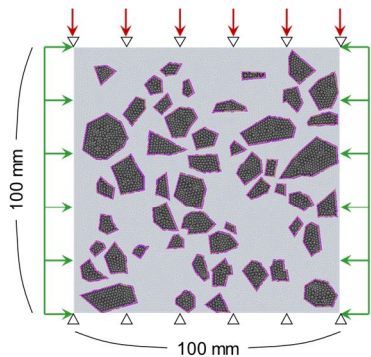
3. 研究の方法

コンクリートのひび割れのモデル化には、既往の研究で提案されたコンクリートの破壊力学に基づく損傷モデルを適用する。この損傷モデルは、破壊エネルギーを導入してエネルギー収支を精度よく解くことができる方法であり、メッシュサイズにほとんど依存することなく、ひび割れの 3 次元幾何形状を詳細に再現することができる。しかしながら、既往の損傷モデルでは、破壊面の再接触挙動までのモデル化は考慮されていない。そこで、破壊面の再接触挙動を考慮して損傷モデルを再定式化することで、コンクリートの引張破壊から圧縮破壊までを精度よく再現できる方法を提案する。さらに、鉄筋とコンクリート間の界面における摩擦接触を伴う破壊挙動の再現性を確認するため、鉄筋とコンクリート間の付着挙動を対象とした実験結果と解析結果の比較も行う。

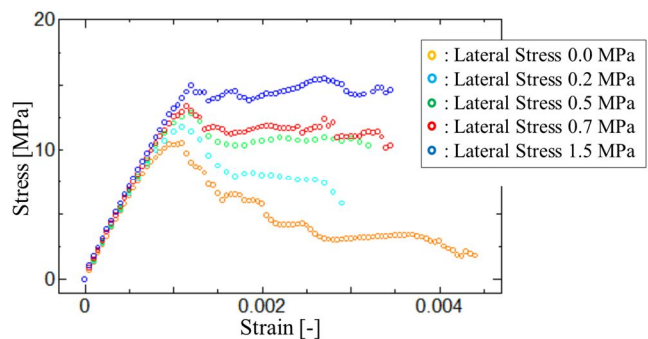
4. 研究成果

弾性体の構成式を体積ひずみで表される体積成分と偏差ひずみで表されるせん断成分に分解し、接触時に体積成分の剛性を保持させることで、破壊面の再接触挙動を考慮した損傷モデルを定式化した。図-1 は、側圧を受けるコンクリートの圧縮破壊シミュレーションの結果である。コンクリートの断面画像に基づき、粗骨材とモルタル、材料界面から成るコンクリートのメゾスケールモデルを作成し、提案手法を適用した。その結果、側圧の増加に伴い、圧縮強度が増加し、軟化勾配が緩やかになる実験で得られている傾向を概ね再現できることを示した。さらに、粗骨材周りから発生した破壊がモルタルへと進展し、巨視的な破壊面が形成されるコンクリートの圧縮破壊メカニズムを詳細に再現できることを示した。

鉄筋とコンクリート間の付着挙動の再現性を確認するため、軸方向鉄筋に丸鋼および異形鉄筋の用いた RC はりの 4 点曲げ試験の実験結果と解析結果を比較した。図-2 に実験結果と解析結果の荷重 - 変位関係を示す。構成モデルや材料パラメータを変えずに、鉄筋の幾何形状のモデル化の違いのみで、付着性能の異なる丸鋼と異形鉄筋を用いた RC はりの力学挙動を精度よく再現できることを確認した。また、図-3 に RC はりの内部の損傷分布を示す。軸方向鉄筋の付着性能の違いによるひび割れ分布の傾向の違いも実験結果と同様に再現できることを確認した。

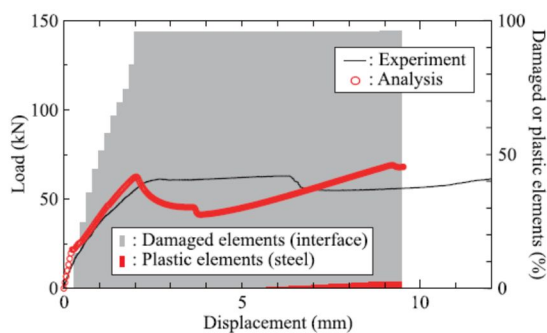


(a) コンクリートのメゾスケールモデル

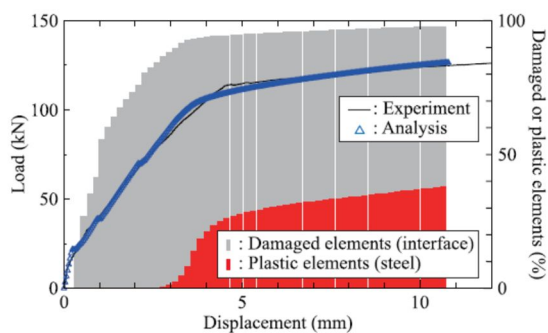


(b) 側圧の異なる解析結果の比較

図-1 側圧を受けるコンクリートの圧縮破壊シミュレーション

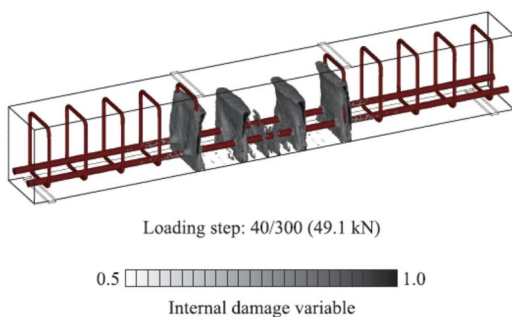


(a) 軸方向鉄筋：丸鋼

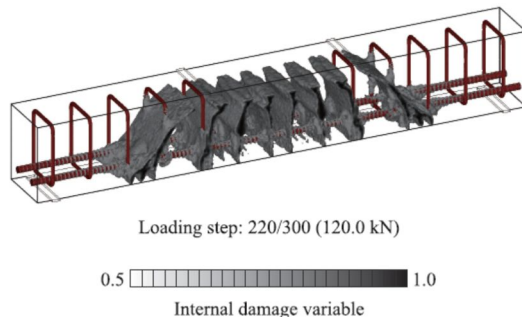


(b) 軸方向鉄筋：異形鉄筋

図-2 軸方向鉄筋に丸鋼および異形鉄筋を用いた RC はりの荷重 - 変位関係



(a) 軸方向鉄筋：丸鋼



(b) 軸方向鉄筋：異形鉄筋

図-3 軸方向鉄筋に丸鋼および異形鉄筋を用いた RC はりの損傷分布

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 1件）

1. 著者名 相馬悠人，車谷麻緒	4. 巻 79
2. 論文標題 損傷モデルによる鉄筋とコンクリート間の付着挙動のシミュレーション	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 n/a～n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.22-00256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 相馬悠人，車谷麻緒
2. 発表標題 打設時の鉄筋方向の影響を考慮した鉄筋コンクリートの破壊シミュレーション
3. 学会等名 第27回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 河内琉生，相馬悠人，車谷麻緒
2. 発表標題 損傷モデルによるコンクリートの圧縮破壊シミュレーションに関する研究
3. 学会等名 第51回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐藤彩那，相馬悠人，車谷麻緒
2. 発表標題 鉄筋とコンクリート間の付着挙動に及ぼす影響に関する研究
3. 学会等名 第51回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2024年

1．発表者名 豊増汰一，相馬悠人，車谷麻緒
2．発表標題 デジタル画像相関法によるコンクリートの圧縮破壊過程の計測および可視化に関する研究
3．学会等名 第51回土木学会関東支部技術研究発表会
4．発表年 2024年

1．発表者名 石井颯太，相馬悠人，車谷麻緒
2．発表標題 画像解析による骨組み構造の応力可視化に関する研究
3．学会等名 第51回土木学会関東支部技術研究発表会
4．発表年 2024年

1．発表者名 相馬悠人，車谷麻緒
2．発表標題 損傷モデルによる鉄筋とコンクリート間の付着挙動のシミュレーション
3．学会等名 第28回計算工学講演会
4．発表年 2023年

1．発表者名 相馬悠人，車谷麻緒
2．発表標題 静水圧の影響を考慮したコンクリートの損傷モデルに関する研究
3．学会等名 第26回応用力学シンポジウム
4．発表年 2023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
研究協力者	車谷 麻緒	茨城大学・理工学研究科 都市システム工学領域・准教授	
	(KURUMATANI Mao)	(12101)	

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