

破壊力学に基づく損傷モデルによる鉄筋コンクリートの3次元破壊シミュレーション



研究の背景と目的

鉄筋コンクリート(RC)は、**大小様々なひび割れ**を伴いながら**複雑に破壊挙動が進展**する。RC部材の破壊は、**構造物の崩壊に直結**するため、**力学挙動の詳細な評価**は重要である。

解析プログラムを並列化して大規模シミュレーションを行うことで、**RC部材の破壊挙動を詳細に再現**できる数値解析手法を開発し、**実験の再現性を検証**する。



数値解析手法

RC部材の数値解析手法

鉄筋：von-Mises塑性モデル

非線形等方硬化則に基づく降伏関数

$$f = \sigma_e - \sigma_{y0} - Q(1 - e^{-bp})$$

σ_e Von-Mises応力
 σ_{y0} 初期降伏応力
 p 相当塑性ひずみ
 Q 硬化パラメータ
 b 硬化パラメータ

コンクリート：破壊力学に基づく損傷モデル

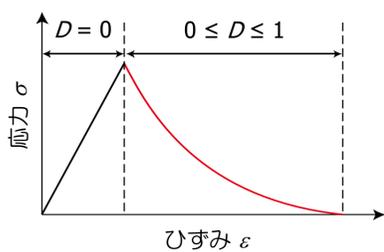
ひび割れは要素の剛性低下により表現

$$\sigma = (1-D)c:\varepsilon$$

σ 応力テンソル
 ε ひずみテンソル
 c 弾性係数テンソル
 D 損傷変数

損傷による応力-ひずみ関係の**軟化挙動**を表現

$$D(\varepsilon) = 1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{E\varepsilon_0 h_e}{G_f}(\varepsilon - \varepsilon_0)\right)$$

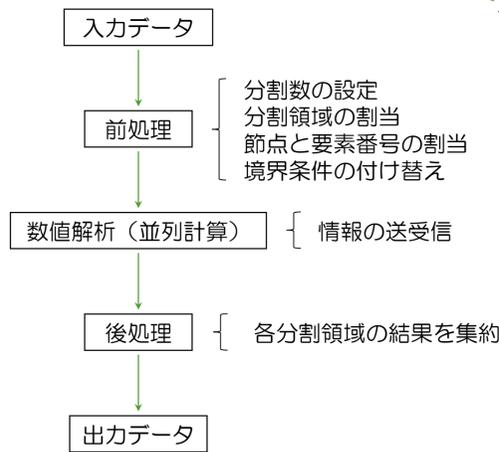


E ヤング率
 ε_0 破壊発生ひずみ
 ε 等価ひずみ
 G_f 破壊エネルギー
 h_e 要素長さ

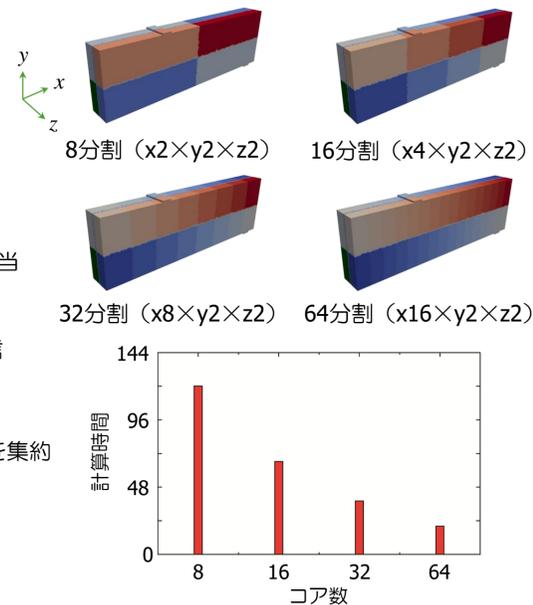
並列化

領域分割法に基づくプロセス並列化を適用

処理手順のフロー



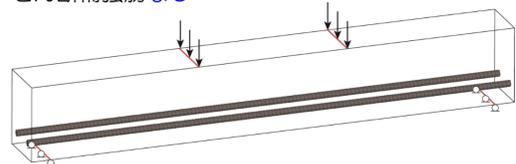
対象：せん断補強筋があるRCはり (約75万要素)



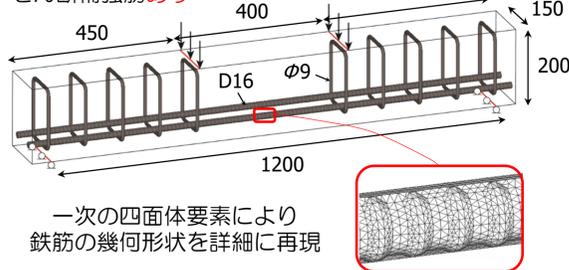
実験と数値解析の比較

対象とする実験概要および解析モデル

せん断補強筋なし



せん断補強筋あり



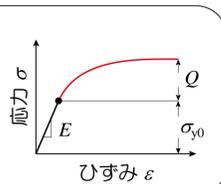
解析条件

使用計算機
京大スパコン システムA

せん断補強筋なし
 節点数：533597
 要素数：2974798
 強制変位量：4 mm
 ステップ数：200
 コア数：108 (分割：x27×y2×z2)

せん断補強筋あり
 節点数：519045
 要素数：2903166
 強制変位量：12 mm
 ステップ数：600
 コア数：112 (分割：x14×y4×z2)

鉄筋
 ヤング率 E 210 GPa
 ポアソン比 ν 0.3
 初期降伏応力 σ_{y0} 400 MPa
 硬化パラメータ Q 180 MPa
 硬化パラメータ b 15

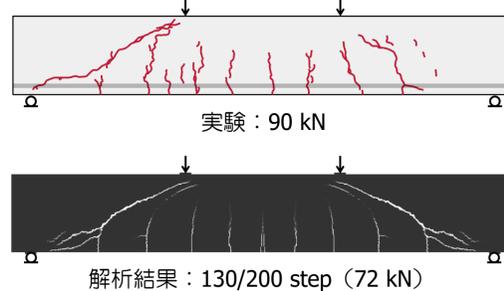
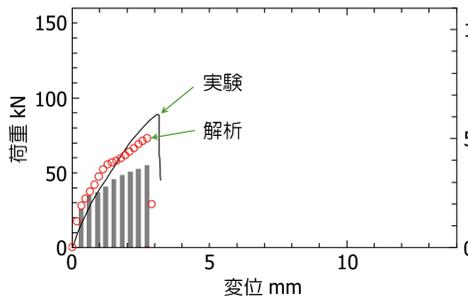


コンクリート
 ヤング率 E 29 GPa
 ポアソン比 ν 0.2
 圧縮引張強度比 k 20
 破壊発生ひずみ κ_0 0.0001
 破壊エネルギー G_f 0.1 N/mm

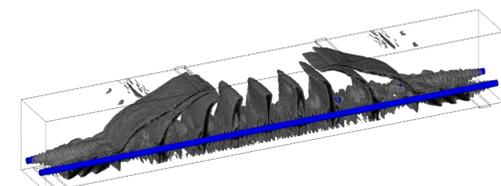
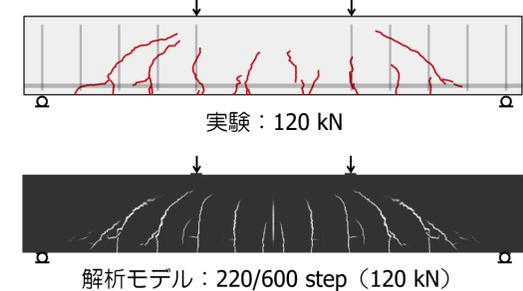
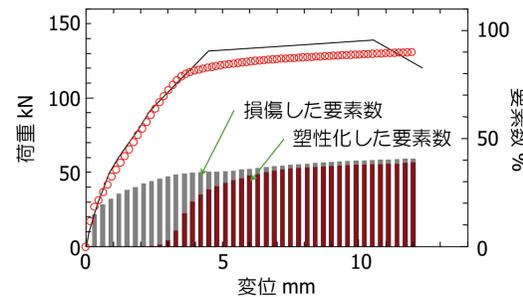
計算時間

せん断補強筋なし：53.6時間 (約2日) せん断補強筋あり：224.4時間 (約9日)

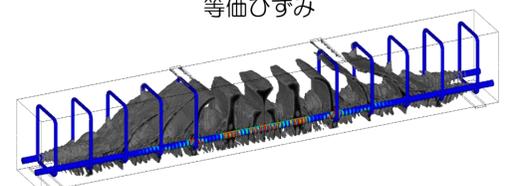
せん断補強筋なし



せん断補強筋あり



内部の破壊挙動を詳細に把握可能



0.5 1.0 0.000 0.001
 損傷変数 相当塑性ひずみ

まとめと今後の予定

解析プログラムに**領域分割法に基づくプロセス並列化**を適用し、**大規模な解析モデルを解析可能な数値解析手法を開発**した。開発した数値解析手法を大規模なRCはりモデルに適用した結果、**破壊挙動を定量的かつ詳細に再現**することができた。今後の予定は、実構造物レベルの大規模なRC部材の解析モデルを対象とし、適用性の検討を行う。