



ひび割れ面の摩擦接触を考慮した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

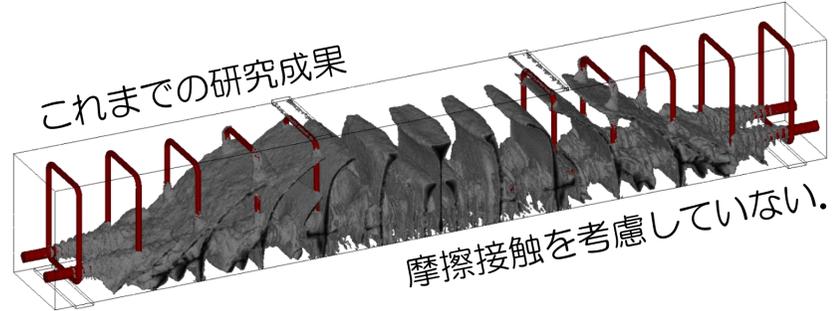
研究の背景と目的

土木構造物の崩壊を防ぐため、建設材料である鉄筋コンクリートのひび割れ進展挙動を定量的かつ詳細に把握し、防災・減災対策を図ることが重要な課題となっている。しかし、ひび割れの開口やひび割れ面の摩擦接触が繰り返し生じながら破壊が進行するため、その挙動を予測することは容易ではない。



目的

ひび割れの開口に加えて、ひび割れ面の摩擦接触を考慮した材料モデルを開発し、鉄筋コンクリートの破壊挙動を再現する。



従来の数値解析手法

コンクリートの材料モデル：等方性損傷モデル

$$\sigma = (1-D)C\varepsilon$$

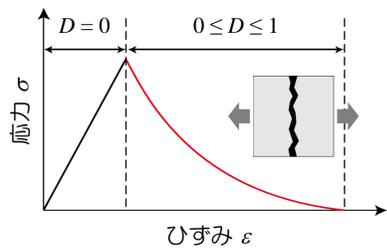
σ : 応力ベクトル C : 弾性係数行列
 ε : ひずみベクトル D : 損傷変数

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-D)C_{11} & (1-D)C_{12} & 0 \\ (1-D)C_{21} & (1-D)C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & (1-D)C_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}$$

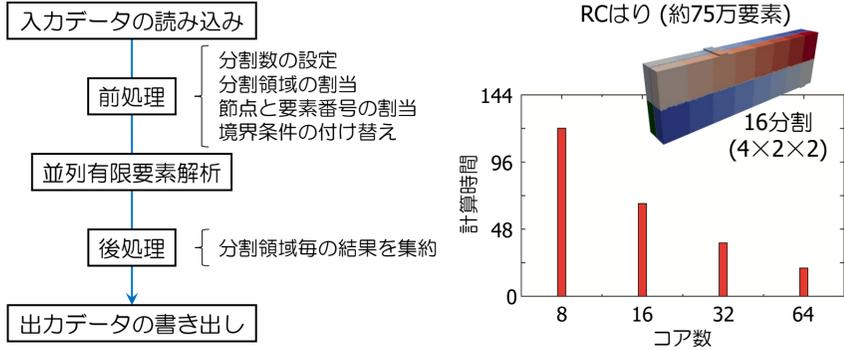
$$D = 1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{eq}} \exp\left(-\frac{E\varepsilon_0 h_e}{G_f}(\varepsilon_{eq} - \varepsilon_0)\right)$$

E : ヤング率
 ε_0 : 破壊発生ひずみ
 ε_{eq} : 等価ひずみ
 G_f : 破壊エネルギー
 h_e : 要素長さ

等方的に剛性を低下させてひび割れを表現。



領域分割法に基づく並列有限要素解析



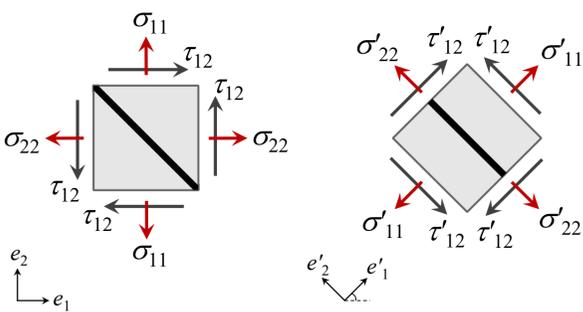
改良

ひび割れ面の摩擦接触を考慮した損傷モデル

局所座標系における構成則に着目し、摩擦接触をモデル化する。

【全体座標系】

【局所座標系】



✓ 接触挙動のモデル化

no contact: $\varepsilon'_{11} > 0$ $\sigma'_{11} = (1-D)C_{11}\varepsilon'_{11} + (1-D)C_{12}\varepsilon'_{22}$

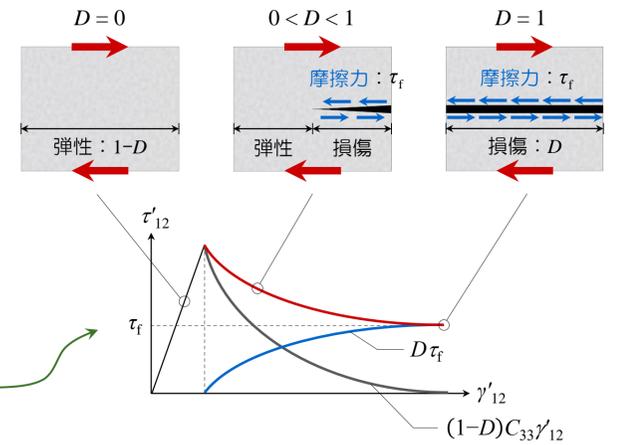
contact: $\varepsilon'_{11} \leq 0$ $\sigma'_{11} = C_{11}\varepsilon'_{11} + (1-D)C_{12}\varepsilon'_{22}$

✓ 摩擦挙動のモデル化

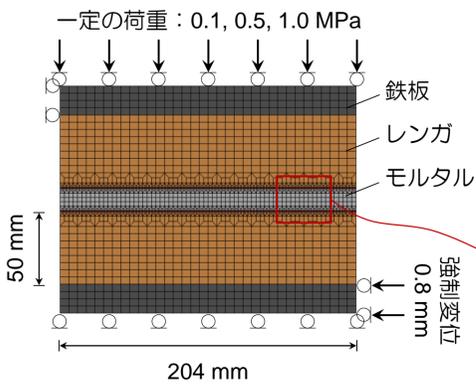
$\tau_f = \mu\sigma_n = \mu|\sigma'_{11}|$ μ : 摩擦係数

no sliding: $\tau_f \geq |\tau'_{12}|$ $\tau'_{12} = C_{33}\gamma'_{12}$

sliding: $\tau_f < |\tau'_{12}|$ $\tau'_{12} = \frac{(1-D)C_{33}\gamma'_{12}}{\text{弾性領域}} + \frac{\text{sgn}(\gamma'_{12})D\tau_f}{\text{損傷領域}}$

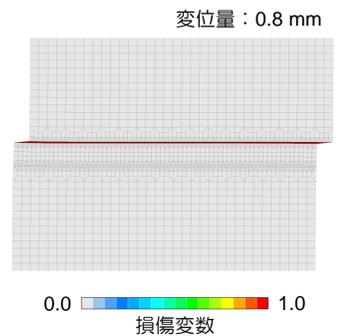
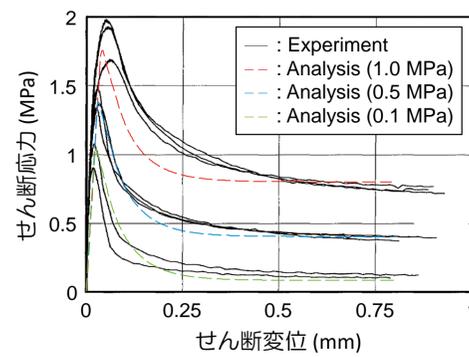


妥当性の検証：一面せん断試験のシミュレーション



《レンガ》		《モルタル》	
ヤング率 E	17 GPa	ヤング率 E	5 GPa
ポアソン比 ν	0.15	ポアソン比 ν	0.2

《界面》	
ヤング率 E	1 GPa
ポアソン比 ν	0.2
圧縮引張強度比 k	10
破壊エネルギー G _f	0.01 N/mm
破壊発生ひずみ ε ₀	0.0006
摩擦係数 μ	0.8



今後の研究計画

鉄筋とコンクリートの境界面などに提案モデルを適用する。

鉄筋の表面形状を考慮した有限要素モデルを用いて、大規模並列計算を実行する。実現現象を高精度に再現するだけでなく、内部のひび割れ進展挙動を明らかにする。

