

損傷力学を用いた鉄筋コンクリートはりの曲げ破壊シミュレーション解析

九州大学 学生員 村戸伸行 九州大学 正会員 園田佳巨 九州大学 正会員 彦坂熙

1. 緒言

近年、ハードなインフラ整備に対する投資を減少させるために、維持・補修等により構造物のライフサイクルにおけるトータルコストを小さくすることが世の中のニーズとして高まっている。そのためには、既存の老朽化した構造物の余剰耐力や余寿命の評価を正確に行うことが必要である。本研究では、疲労等の要因で構造物の耐力が低下することを評価する前の基礎的な考察として、損傷力学を用いた鉄筋コンクリートはり部材の破壊シミュレーション解析を試みた。

2. 解析手法の概要

本研究では、材料内部に生じる損傷の発生・進展を評価する一手法である損傷力学の概念を取り入れた3次元弾塑性解析プログラムを作成し、鉄筋コンクリートはり部材を対象とした曲げ破壊シミュレーション解析を行った。

2.1 損傷力学の導入

コンクリート構造部材内部の相当ひずみ¹⁾を以下の式(1)により評価することで、コンクリートの基本的性質である圧縮強度と引張強度の相違を反映させ、コンクリート構造部材内の損傷は、式(2)で示される負荷関数を満足するときに発生もしくは進展するものとした。

$$\varepsilon_{eq} = \frac{k-1}{2k(1-2\nu)} J_1 + \frac{1}{2k} \sqrt{\left(\frac{k-1}{1-2\nu} J_1\right)^2 + \frac{6k}{(1+\nu)^2} 2J_2} \quad (1)$$

$$f(\varepsilon_{eq}, \kappa) = \varepsilon_{eq} - \kappa_i = 0 \quad (2)$$

ここに、 J_1 、 J_2 ：それぞれ偏差ひずみの1次、2次不変量、 k ：圧縮強度と引張強度の比、 κ_i ：損傷進展条件パラメータ（無損傷時：損傷開始時の相当ひずみ、損傷進展時：過去の最大相当ひずみ）

式(1)の第1項と第2項は、それぞれ静水圧応力と偏差応力の影響を評価したもので、 $k=1$ とおけば式(1)と(2)は、ミーゼスの降伏条件に帰着する。本研究では、コンクリート部材内部に生じる損傷を、以下の式(3)を用いて求められるスカラー変数 D で評価した。

$$D = 1 - \frac{\kappa_0}{\kappa} \left[(1-\alpha) + \alpha e^{-\beta(\kappa-\kappa_0)} \right] \quad (3)$$

ここに、 α 、 β は材料定数で、 κ_0 は損傷発生時の相当ひずみの値である。

式(3)で求めた損傷変数 D を用いて、コンクリート構造部材内の損傷の進展にともなう剛性低下を、以下の式により評価した。

$$\sigma_{ij} = (1-D) E_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (4)$$

σ_{ij} ：応力テンソル ε_{kl} ：ひずみテンソル E_{ijkl} ：ヤング率 D ：損傷変数

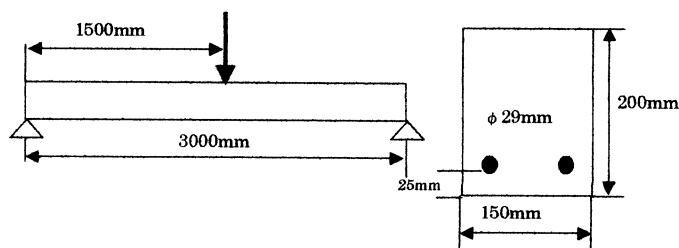


図-1 解析モデル

キーワード：損傷力学、鉄筋コンクリートはり、弾塑性有限要素解析

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学大学院工学研究府建設システム工学専攻 092-642-3261

2.2 RC 単純はりの損傷解析

ここでは、鉄筋コンクリートはり
を三次元有限要素モデルに離散化
し、弾塑性増分解析の各ステップで、
各要素の積分点毎に求めた相当ひ
ずみをもとに、損傷度の評価を式
(3)を用いて行い、得られた損傷変
数値 D を次ステップの構成式(4)に
用いることで、損傷の進展を考慮し
た解析を行った。また、鉄筋要素については、 $k =$
 1 とおくことで、式(1)の第2項のみを考慮した相当
ひずみを与え、鋼材としての損傷度を評価すること
で、鉄筋コンクリートはり部材の曲げ破壊解析を試
みた。

3. 解析結果および考察

3.1 解析モデル

解析モデルは、図-1のような構造寸法の単鉄筋 RC
単純はりとし、荷重条件は支間中央に一点集中荷

重とし、一定の増分荷重を与
えながら解析を行った。な
お、式(3)に用いるコンクリ
ート、鉄筋それぞれの材料
定数 α 、 β 、 κ_0 は、図-2
に示す単軸圧縮・引張試験
の解析により決定した。計
算に用いた材料定数を表-
1に示す。

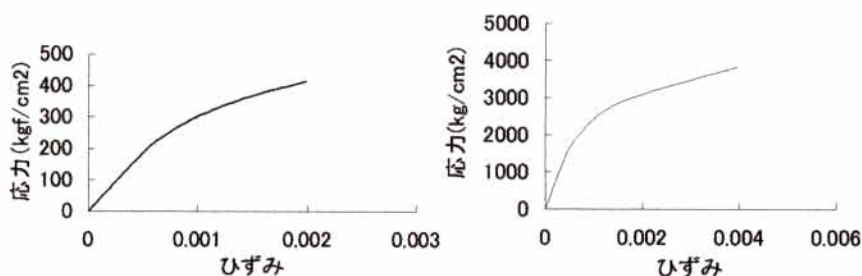
3.2 数値計算結果および考察

図-3は、本手法により RC 単純はりの荷
重-変位関係を示したものである。この図よ
り、本解析モデルは、荷重 8 tf 程度で曲げ剛
性の低下が著しくなり、終局耐力は 18tf 程度
となることが認められる。図-4および図-
5は、このときの損傷の進展状況を把握する
ため、損傷変数値の分布を示したものである。

これらの図より、本 RC はりは、荷重 8.4tf 荷重時に引張鉄筋より下側のコンクリート全域で曲げ引張損傷が
発生しており、16.8tf 荷重時には断面全体に損傷域が広がっていることが認められた。以上の考察より、本手
法を用いれば、鉄筋コンクリート構造物の破壊シミュレーションが容易に行えることが確認された。

参考文献

1) M.G.D.Geers et.al:Damage and crack modeling in single-edge and double-edge notched concrete beams, Engineering Fracture mechanics65,pp.247-261,2000



(a) コンクリート

(b) 鉄筋

図-2 材料の応力-ひずみ特性

表-1 材料定数

	コンクリート	鉄筋
E : ヤング率 (kgf/cm ²)	3.5×10^5	2.1×10^6
ν : ポアソン比	0.20	0.29
α : 材料定数	0.96	0.96
β : 材料定数	100	100
κ_0 : の初期値	3.0×10^{-5}	2.0×10^{-4}
圧縮・引張強度比	15	1

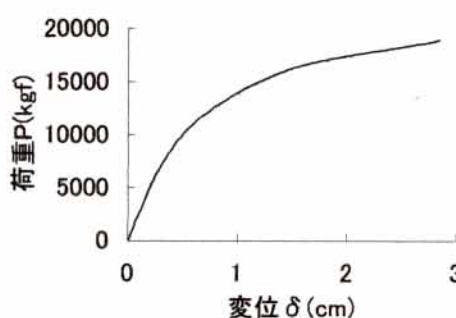
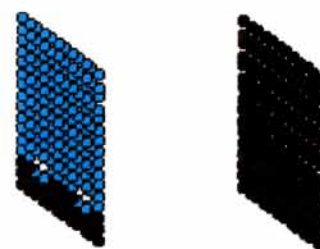


図-3 RC はりの荷重-変位関係



(a) 8.4tf 荷重時 (b) 16.8tf 荷重時

図-4 はり断面内の損傷状況



(a) 8.4tf 荷重時の損傷状況

(b) 16.8tf 荷重時の損傷状況

図-5 RC はりの曲げ破壊の進展状況