#### 損傷力学を用いた RC はりの弾塑性衝撃応答解析

九州大学 学生会員 星野展洋 九州大学 正会員 園田佳巨 九州大学 正会員 彦坂熙

## 1.目的

落石・土石流などの自然災害や車両の衝突などの人為災害等に起因する衝撃的な外力は、生起確率は小さいが、 一度構造物に作用すると甚大な被害を及ぼすことが多く、被害を受けた構造物を供用し続けるためには、衝撃荷重 により生じた損傷度や構造物の残存耐力の適切な評価を行うことが不可欠である。本研究では RC はりを対象に、 損傷力学を用いた3次元弾塑性衝撃応答解析プログラムを作成し、衝撃荷重の影響による損傷状況や残存耐力の評 価が可能な手法の開発を試みるものである。

### <u>2.内容</u>

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有限要素法に取り入れることにより、損傷の影響を考慮した構造物の弾塑性衝撃応答を予測可能なプログラムを作成し、衝撃荷重が作用したときのRCはりの弾塑性挙動について考察した。

## <u>2.1 損傷力学の導入</u>

コンクリート部材内部の相当ひずみを以下の式(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考慮したうえで、式(2)で示される負荷関数を満足するときにコンクリート内部に損傷が発 生もしくは進展するものとした。

$$\boldsymbol{e}_{eq} = \frac{k-1}{2k(1-2\boldsymbol{n})} \boldsymbol{I}_1 + \frac{1}{2k} \sqrt{\left(\frac{k-1}{1-2\boldsymbol{n}} \boldsymbol{I}_1\right)^2 + \frac{6k}{(1+\boldsymbol{n})^2}} 2\boldsymbol{J}_2 \quad (1) \qquad \qquad f(\boldsymbol{e}_{eq}, \boldsymbol{k}) = \boldsymbol{e}_{eq} - \boldsymbol{k} = 0 \quad (2)$$

ここに、 $I_1$ :ひずみの1次不変量,J<sub>2</sub>:偏差ひずみの2次不変量,k:圧縮強度と引張強度の比,k: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:過去に生じた最大相当ひずみ)

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) の組み合わせにより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。 D13 鉄筋



キーワード:損傷力学、動的応答解析、RC はり

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

各時間ステップで、積分点毎に得られる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応答解析を行った。なお、鉄筋要素について もk = 1 とおくことで、コンクリートと同様の式を用いた評価を行った。

<u>2.3 解析モデル</u>

解析モデルは、図1に示すようなはり高中央部の両端を固 定した RC 単純ばりの1/4 モデルである。荷重条件として、 集中荷重(はり幅方向に等分布)を、図2のような時間軸に 関して二等辺三角形状の荷重 - 時間曲線(継続時間 T、最大荷 重 P)を与えた。式(3)に用いるコンクリート,鉄筋それぞれの 材料定数 , , 0は、各々図3に示すような応力 - ひずみ 曲線を仮定したうえで、単軸圧縮・引張試験の同定解析により 決定した。解析に用いた材料定数を表1に示す。



#### 2.4 数値計算結果および考察

図1のRCはりモデルの載荷部の最大応答変位について、最大衝撃荷重 Pを変えながら、損傷度の影響を考慮した場合としない場合で比較した結 果を図4に示す。図4より、損傷度の増加とともに最大応答変位の増加する 割合が大きくなる傾向が明瞭に表れている。図5は、最大荷重P=530kgf (引張域コンクリートに損傷が発生する程度)の場合のRCはりの応答変位 状況を示したもので、はり内部に損傷が発生することで応答周期が長く なり、最大変位も大きくなることが明瞭に表れている。次に、最大衝撃 責定 荷重をP=5300kgf(圧縮域コンクリートにも損傷が生じるレベル)と 1 したときの応答変位状況を図6に示し、時刻t=6.5ms(最大変位時)にお 1 に示す。最大衝撃荷重を塑性応答レベルまで大きくした結果、時刻 6.5 msで図7に示すように、広範囲にわたる引張側コンクリートの破壊と 載荷部近傍の圧縮側コンクリートの圧壊が認められ、本手法でRCはりの 弾塑性衝撃応答状況が把握できることがわかる。











# <u>3.結果</u>

図 5 P=530kgfの変位応答

本手法を用いることで、RC はりの弾塑性衝撃応答の評価が可能であることが認められた。今後、衝撃荷重により生じた損傷度や構造物の残存耐力の定量的な評価について検討を行う予定である。