

I-B 156

3次元有限要素解析によるRC版の衝撃破壊シミュレーションとCGの適用

山口大学大学院 学生会員 松本 剛

山口大学工学部 正会員 宮本 文穂

1. はじめに 本研究は、衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート（以下RC）版の破壊シミュレーションに積層化および3次元弾塑性有限要素解析法を適用し、その解析結果の表示にCGを応用し時間ステップごとに連続的に表示することにより、RC版の衝撃破壊モード、断面内応力分布等の時間的変化を視覚的に捉えることを試みたものである。

2. 衝撃破壊挙動の視覚化の概要 本研究では、RC版の衝撃破壊挙動解析手法として積層化非線形有限要素解析法¹⁾および3次元弾塑性有限要素解析法²⁾を用いる。前者は、RC版を版厚方向に層状に分割し、各層に薄板の有限要素解析法³⁾を適用し、鉄筋層を含む積層化手法を用いて、弾塑性解析を可能にした手法である。一方後者は、コンクリート要素に8節点6面体のアイソパラメトリック要素を用い、鉄筋要素を線材として3次元有限要素法を適用した手法である。両解析手法においてコンクリートの破壊条件にはOttosenにより提案された4パラメータモデルを用い⁴⁾、動的平衡方程式の解法にはNewmark- β 法で $\beta=1/4$ とした一定加速度法を用いる。ただし、RC版モデルの対称性を考慮して1/4部分のみを解析するものとする。

3. 衝撃破壊挙動の視覚化ソフト⁵⁾ 衝撃荷重を受けるRC版では最下層の変形挙動が最も重要視されることから、本研究ではRC版の最下層の変形挙動の視覚化を行い、破壊モードの時間的変化を捉える。RC版の最下層をコンクリート要素を示す四角形の集合により生成される擬似的な3次元曲面として捉え、任意の視点からみたRC版を含む3次元空間に対して3次元平面上への写像を行い、その平面を2次元平面として捉えることによりCG画面を作成する。時間ステップごとに作成されたCG画面を連続的に表示することにより、衝撃荷重下におけるRC版の変形挙動の時間的変化をアニメーション的に視覚化する。本ソフトでは、破壊モードの判定を容易に行うために、破壊状態に対応させて各コンクリート要素を示す箇所を着色し、また、主筋方向および配筋方向断面の断面内応力分布を同一画面上に表す。図1に衝撃荷重作用後1.0msec経過時において作成した画面構成の例を示す。

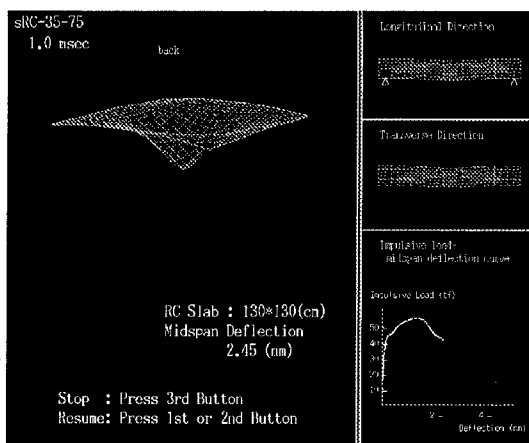
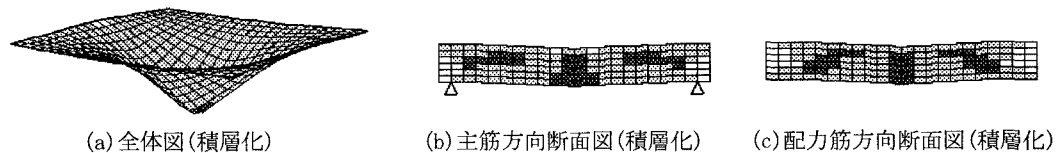
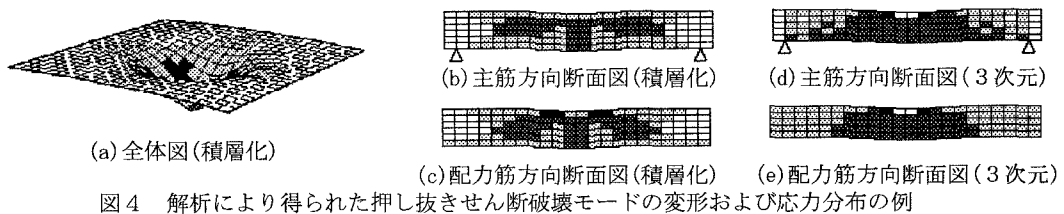
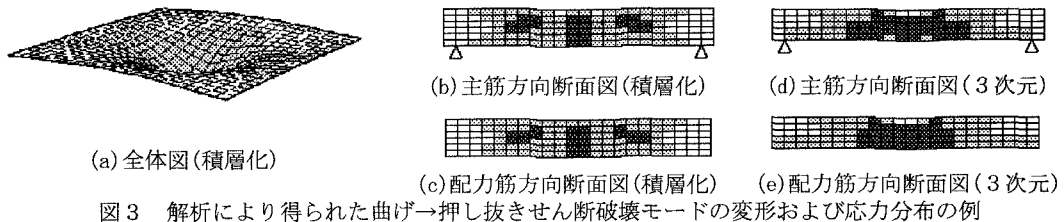
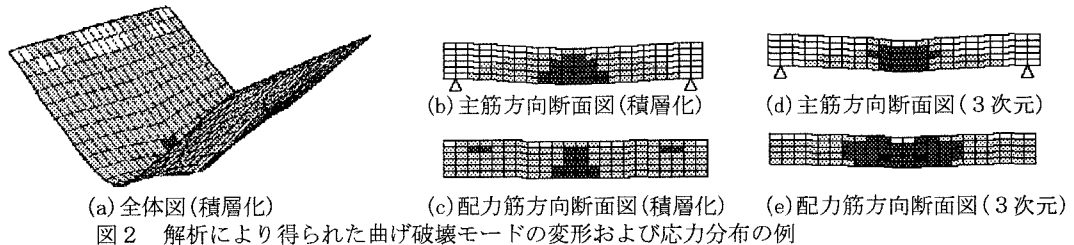


図1 画面構成の例

を同一画面上に表す。図1に衝撃荷重作用後1.0msec経過時において作成した画面構成の例を示す。

4. 衝撃破壊挙動へのCGの適用 普通コンクリートに補強筋として普通鉄筋を組み合わせたRC-35版について、積層化非線形有限要素解析法および3次元弾塑性有限要素解析法を用いて解析を行い、その解析結果に対して視覚化ソフトを利用することによりソフトな衝撃荷重下でのRC版に発生する各破壊モードの視覚化を行った。両解析法による結果の一例を図2～4に示す。ただし、変形状態（図中の全体図）については、両解析法による解析結果はほぼ一致しており、ここでは積層化による解析結果のみを示す。図2～4より積層化非線形有限要素解析法による解析結果を用いた変形状態および断面内応力分布はともによく破壊モードの特徴を視覚化できており、特に断面内応力分布においては、押し抜きせん断コーンの形状変化を予測できるほど視覚化されている。一方、3次元弾塑性有限要素解析法による解析結果では、曲げ→押し抜きせん断破壊モードおよび押し抜きせん断破壊モードにおいては、断面内応力分布の時間的変化の様子は押し抜きせん断破壊に近い挙動を示したものの、図示した静止画像では曲げ破壊モードの特徴とも受け取れるような分布を示しており、解析プログラムの改良を含めた今後の検討もさることながら、連続的な時間的変化の様子

を視覚化することが非常に有効となる．また，図5に一例を示すように曲げに近い曲げ→押し抜きせん断破壊モードを視覚化した場合には，全体図のみからでは破壊モードの判定は容易ではなく（図5(a)），全体図と断面内応力分布図を同時に検討する必要がある．図5(b)，(c)からは，断面内応力分布図からこの場合の破壊モードはせん断破壊が支配的であることが予測され，全体図と併せて検討することにより，曲げ→押し抜きせん断破壊モードとなっていると判定することができる．



5. 結論 本研究はRC版の衝撃破壊挙動視覚化ソフトを開発し，ソフトな衝撃荷重下におけるRC版の代表的な破壊モードの時間的変化を視覚化することにより，ソフトの有用性および解析法の有用性を検討したものである．本研究により得られた主な結果を以下に示す．①本研究で開発した衝撃破壊挙動視覚化ソフトを用い，RC版の変形状態，破壊状態および断面内応力分布の時間的変化をアニメーション的に表示することにより，RC版の衝撃破壊モードの時間的変化を視覚的に捉えることができる．②3次元弾塑性有限要素解析法で解析された断面内応力分布は，静止画像からでは破壊モードの特徴は捉えにくい傾向にあり，分布の時間的変化の様子を連続的に追うことにより破壊モードの判定を行う必要がある．③RC版の衝撃破壊挙動は複雑となるため，RC版の変形状態の表示のみでは破壊モードの正確な判定が容易ではないことも多く，破壊モードの判定を行う際には，断面内応力分布による検討の併用も必要である．

参考文献 1) A. Miyamoto, Michael W. King, M. Fujii: Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slabs under Impulsive Loads, ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 4, pp. 411-419, 1991. 7, 8. 2) 宮本文徳，北山篤，五嶋真澄：3次元有限要素解析によるRC版の衝撃破壊挙動解析と精度の検証，構造工学論文集，Vol. 42A, 1996. 3. 3) Zienkiewicz O. C. 著，吉識雅夫 監訳：マトリクス有限要素法，培風館，1984. 4) W. F. Chen: Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill, 1982. 5) 松本剛，宮本文徳：鉄筋コンクリート版の衝撃破壊挙動とCGの適用，平成8年度土木学会中国支部年講，1996. 5.