

V-247

鉄筋コンクリート版の衝撃破壊挙動の解析

京都大学工学部 正会員 藤井 学
 神戸大学工学部 正会員 宮本 文穂
 住友電工(株) 正会員 ○鮎子多浩一
 神戸大学大学院 張 永吉

1. まえがき

本研究は、従来よりRC版に対して適用していた2次元動的非線形有限要素解析¹⁾を、3次元的な考慮が必要なRC版の衝撃挙動解析に適用するために、積層化手法を用いて板の曲げ有限要素解析²⁾に拡張したものである。このようにして得られたRC版に対する解析結果を各種RC版の衝撃破壊実験結果³⁾と比較することにより、その解析精度の検討を行うとともに各種RC版の衝撃破壊挙動の解明を試みたものである。

2. RC版の積層化有限要素モデル及び解析方法

本解析におけるRC版に対する積層化有限要素モデルを図1に示す。このモデルは2辺単純支持RC版の1/4部分を対象としており、板の曲げ要素には非適合長方形要素を用いている。積層数は、線材として取扱う2層の鉄筋層と仮想のコンクリート層の合計8層で、各層は平面応力場にあるものとみなす。RC版の形状・寸法は、130×130×13cmの正方形版とし、スパンは120cmで版中央部分等分布(パッチ)载荷とした。解析精度の確認実験における衝撃入力、重錘の自由落下により与えられ、衝撃力は重錘加速度に重錘質量を乗じて算出した。

解析においては、法線保持の仮定が成立し、微小変形理論が適用できるものとする。入力データとして用いる各材料特性は、静的実験による一軸特性を用いる。ひびわれ発生後のコンクリートモデルは直交異方性体と仮定し、各積層要素の破断及び破壊現象の取扱いは、その部分に蓄積されていた弾性ひずみエネルギーを内部応力に等価な要素節点力に置換する方法を用いる。

版の面内軸力の影響は無視できるものとし、積層化モデルにおける各層のひずみを図2のように仮定する。また、断面内の中立軸位置は次式で求めるものとする。

$$e_x = \frac{1/2 E_c \cdot t^2 + E_s \cdot \sum A_{sxi} \cdot Z_{sxi}}{E_c \cdot t + E_s \cdot \sum A_{sxi}}, \quad e_y = \frac{1/2 E_c \cdot t^2 + E_s \cdot \sum A_{syi} \cdot Z_{syi}}{E_c \cdot t + E_s \cdot \sum A_{syi}} \quad (1)$$

ここで、 e_x 、 e_y は、x及びy方向それぞれの弾性部分の中心、 E_c 、 E_s は、それぞれコンクリート及び鉄筋の弾性係数、 A_{sxi} 、 A_{syi} は、x及びy方向それぞれの鉄筋層iの単位長さ当たりの平均断面積、 Z_{sxi} 、 Z_{syi} は、xおよびy方向それぞれのi層中心の版上縁からの距離、 t は版厚である。

動的平衡方程式の解法は、Newmark- β 法($\beta=1/4$)を用い¹⁾、質量モデルとしては、非適合長方形板曲げ要素の整合質量マトリックスで表示したものを用いた。また、入力する衝撃力データは、衝撃実験によって得られる衝撃力～時間関係を用い、衝撃力データの作成に当たっては、時間増分(Δt)に対する解

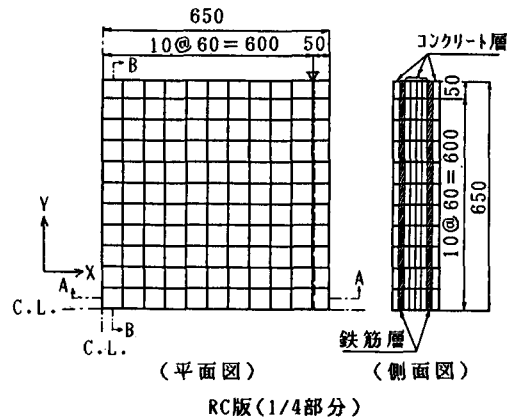


図1 積層化有限要素モデル(単位:mm)

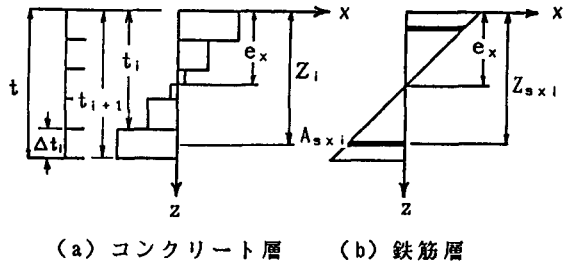


図2 コンクリート層及び鉄筋層のひずみ

の安定性を検討した結果、弾性解析で0.2ms、破壊解析で0.05msと決定した。

3. 解析精度の確認及び各種RC版の解析

本解析では、普通強度RC版、高強度RC版、鋼繊維補強RC版(以下、RC版、HRC版、FRC版と呼ぶ)の3種類のRC版について、実験より得られたコンクリートの材料一軸特性をパラメータとして解析し、実験結果と比較する。ここで、コンクリートの引張り破壊(ひびわれ)については、弾性限界として引張り限界ひずみを設定する。なお、鋼繊維補強コンクリートの引張り一軸特性は、弾塑性型としてモデル化する。また、軽量コンクリートRC版(LRC版)についても、材料特性を適当に設定し、単位体積重量を1.5 tf/m³として解析した。

図3、4は、それぞれ弾性範囲内におけるRC版の衝撃力～変位履歴及び応答加速度波形を解析と実験と比較した一例であり、比較的良い一致を示していることがわかる。

図5(a)、(b)は、実験及び解析における各種版の衝撃力～変位関係を示したものである。これより、解析結果は実験結果と良い対応を示しており、解析においても実験で得られる各種版の特徴が現れている。これらをRC版を基準に比較すると、HRC版、FRC版ともに剛性が大きく、FRC版はひびわれ発生以後の剛性低下が小さく、その傾向は高衝撃力域まで及んでいることがわかる。また、LRC版は低衝撃力域から剛性が小さくなっている。なお、解析においては、約3倍の載荷速度の衝撃力波形を入力した場合についても併記している。これより、載荷速度が大きくなると、各種版共通に慣性力が大きく作用し剛性が大きくなることが明かとなる。

図6(a)、(b)は、RC版、FRC版の解析(1/4 部分)及び実験における破壊状況(裏面)を示したものである。実験においては、RC版は、繰り返し衝撃作用を受けると局所的な押し抜きせん断破壊に至るが、FRC版は卓越した降伏線を形成し最後まで曲げて破壊に至る。解析結果においては、FRC版の引張りひびわれ(実線)の方向は降伏線に沿う傾向を示しており、実験における破壊性状の特徴を良く表していることがわかる。

5. 結論 (1)積層化有限要素法を用いた本衝撃解析は、各種RC版の実験結果を比較的高精度で推定可能なことが明らかになった。(2)本解析における入力データとして材料一軸特性及び載荷速度を変化させることにより、各種RC版の衝撃破壊挙動特性の変化を明確に解析できた。

参考文献 1) 藤井、ほか：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの力学的挙動に関する基礎的研究、土木学会論文集 第360,1985.2 2) 内山 ほか：鉄筋コンクリート床版の弾塑性解析、建築学会論文集、1979.2 3) 藤井、ほか：RC版の衝撃破壊挙動に関する基礎的研究、土木学会第41回年次講演集、V、1986

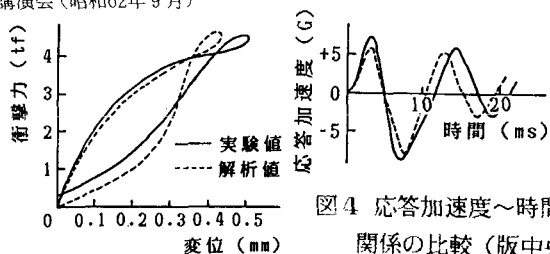


図3 弾性履歴曲線の比較
(版中央)

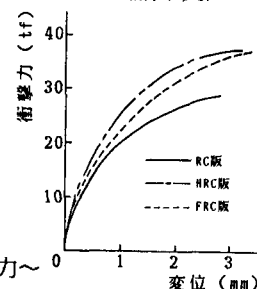


図4 応答加速度～時間
関係の比較(版中央)

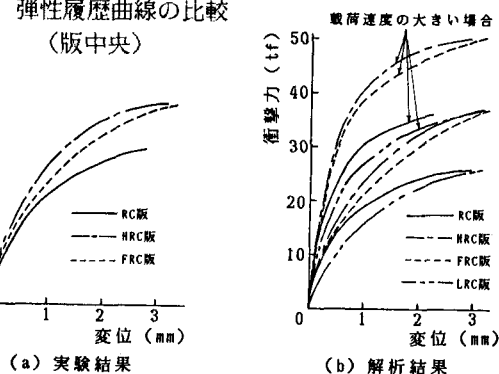


図5 各種版の衝撃力～変位関係(版中央)

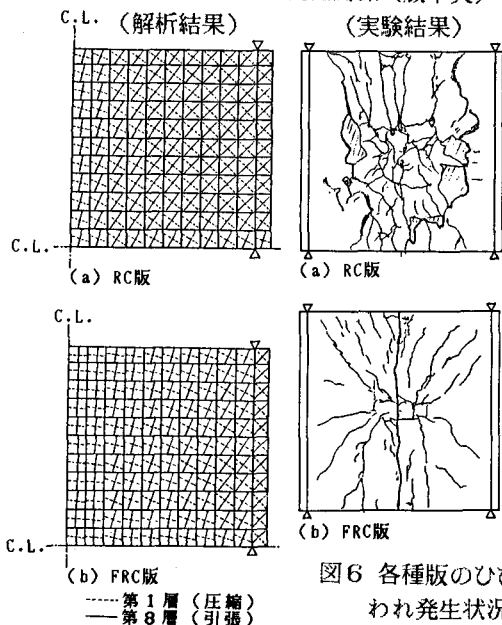


図6 各種版のひび
われ発生状況