

I-787

せん断補強筋を用いたRC版の3次元衝撃破壊挙動解析と耐衝撃性評価

建設省 正員 〇三戸雅文
神戸大学大学院 学生員 北山 篤
神戸大学工学部 正員 宮本文穂

1. まえがき 古くからの研究対象となってきた土木構造物における衝撃問題は、発生確率こそ低い但其の挙動の複雑さとともに被害の甚大さから近年注目を集めるようになり、構造物に耐衝撃性を確保することが重要となる場合がある。そこで、本研究では土木構造物に車両、航空機等が衝突する場合を想定したソフトな衝撃問題¹⁾を取り上げ、3次元有限要素解析を用いてRC版の衝撃破壊挙動解析を行うものである。その際、せん断補強筋の有無および配筋量と载荷速度をパラメータとし、種々の指標を用いて各種RC版の耐衝撃性の評価およびせん断補強筋の耐衝撃性への影響の検討を試みるものである。

2. 衝撃破壊挙動解析の概要 RC版の衝撃破壊挙動解析には、6面体要素を用いた3次元有限要素解析法を用いる。動的平衡方程式の解法にはNewmark- β 法($\beta=1/4$)を用い、コンクリート要素の弾塑性および破壊条件にはOttosenモデル²⁾を用いる。また、特に最大衝撃荷重用作用後の実験に対する解析精度の向上を目指して、コンクリートと鉄筋間の付着特性の導入と、Bazant等により提案されたコンクリートの破壊エネルギーを用いた引張軟化特性³⁾の導入を試みている。なお、解析では鉄筋を線材として取り扱う。本解析で対象とするRC版は、縦横130cm、厚さ13cm、スパン長120cmの2辺単純支持複鉄筋コンクリート版である。RC版に組み込むせん断補強筋は、押し抜きせん断破壊等の局所的な破壊を防ぐことを目的としており、その配筋位置はRC版の破壊時の変形状態およびびびわれ分布等から、図-1のRC版1/4部分図に示すように载荷面近傍に鉛直方向(Type-A)および斜め方向(Type-B)とした。斜め方向のせん断補強筋は、落石覆工等の耐衝撃性が要求される構造物では衝撃体の衝突位置の不確定性から配筋位置の設定が困難であるが、本解析ではせん断補強筋位置等の耐衝撃性への影響を検討するために取り上げるものとした。解析を行う各種RC版モデルの名称と、鉄筋の種類および配筋位置の組合わせを表-1に示す。また、入力する衝撃荷重は版中央部に作用させ、衝撃荷重～時間曲線には図-2

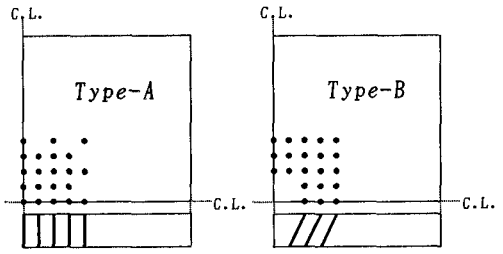


図-1 せん断補強筋配筋図(RC版1/4部分)

表-1 RC版とせん断補強筋の組合わせ

名称	せん断補強筋径	配筋位置
RC-1	なし	なし
RC-2	D6	Type-A
RC-3	D10	Type-A
RC-4	D13	Type-A
RC-5	D6	Type-B

に示すような3角形近似した波形を用いる。また、耐衝撃性の評価は各载荷速度において衝撃荷重のピーク時にちょうど破壊したものに對して行う。ただし、本解析におけるRC版の破壊条件は、コンクリート要素の圧壊もしくは鉄筋要素の破断をRC版の構造的破壊とみなす。なお、コンクリートは、過去の実験結果を参考にして普通コンクリート($f'_c=331\text{kgf/cm}^2$)を用いる。

3. 耐衝撃性評価

(1)破壊時衝撃荷重 図-3に、各種RC版の载荷速度に対する破壊時の衝撃荷重の変化をまとめたものを示す。図より、各種RC版とも破壊時衝撃荷重は载荷速度の増加とともに大きくなっていることがわかる。また、鉛直方向にせん断補強筋を配置したRC版では、いずれの载荷速度においてもせん断補強筋量が多いRC版ほど、破壊時衝撃荷重は大きな値を示している。しかしながら、RC-5版は载荷速度 $V_L=35\text{tf/msec}$ 以上の場合に、5種類の版のうち最も大きな破壊時衝撃荷

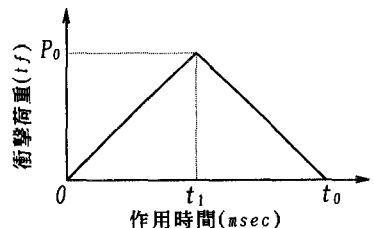


図-2 入力衝撃荷重波形

重を示している。したがって、耐荷力の増大を期待する場合、RC-5版のように押し抜きせん断ひびわれを横切るように斜め方向に設置することがより効率的となると考えられる。

(2) 局変形指数 衝撃荷重を受けるRC版は、局所的な変形をした後に破壊に至りやすい。このようなRC版の破壊時の局所的な変形を表す値として、載荷面近傍における曲率($1/R$)が考えられるが、曲率には破壊時変位(δ_u)の大きさの影響が含まれている。そこで破壊時の曲率を載荷点変位で除した値を局変形指数と定義し、RC版の局所的な変形を定量的に扱う。図-4に各種RC版の破壊時における局変形指数の載荷速度に対する変化をまとめたものを示す。図より各種コンクリート版とも、載荷速度の増加とともに局変形指数も増加しており、載荷面近傍へ変形が集中していることがわかる。局変形指数は、RC-1版が5種類の版のうちで最も大きな値を示しており、載荷面近傍への変形の集中が大きく押し抜きせん断破壊の傾向を示していることがわかる。また、RC-5版はいずれの載荷速度に対しても他の版に比べて値が小さく、RC版破壊時の局所的な変形の集中傾向が大きく改善されていることがわかる。

(3) たわみ体積 たわみ体積は、無載荷の状態でのRC版面を基準とし、破壊時の版全面にわたるたわみ分布を積分し、その変形状態を体積表示したものである。RC版の破壊モードが曲げ破壊モードの場合には版全体が大きく変形するが、押し抜きせん断破壊モードの場合には局所的な変形となりたわみ体積は小さくなると考えられる。したがって、たわみ体積は構造物の破壊モードおよび衝撃吸収エネルギーと相関性が強いと考えられる。図-5に破壊時における各種RC版のたわみ体積の変化をまとめたものを示す。いずれの版とも載荷速度の増加とともにたわみ体積は減少しており、変形能の低下がわかる。また、鉛直方向にせん断補強筋を配置したRC-2版、RC-3版、RC-4版は、載荷速度 $V_L=15\text{tf/msec}$ の場合にはRC-1版に対して比較的大きな値を示しており変形能は比較的大きいと考えられるが、載荷速度が大きくなるに従ってたわみ体積の値は急激に減少しており、RC-1版の値に近づいていることがわかる。一方、RC-5版はいずれの載荷速度においても5種類の版のうちで最も大きな値を示しており、RC版の破壊時における変形能の改善効果の大きいことがわかる。

4. 結論 せん断補強筋を鉛直方向に配置した場合において、せん断補強筋量の増加は載荷速度のおそい衝撃荷重に対して耐衝撃性改善に有効な手段であるが、載荷速度がはやくなると破壊モードの改善効果が小さくなることがわかった。一方、押し抜きせん断ひびわれを効率よく横切るように斜め方向に配筋した場合に、耐衝撃性の改善効果が大きく期待できることがわかった。

【参考文献】 1) 土木学会構造工学委員会、衝撃問題研究小委員会：構造物の衝撃挙動と設計法、構造工学シリーズ6、土木学会、1994。 2) W.F.Chen, D.J.Han :Plasticity for Structural Engineers, Springer-Verlag, New York, 1988。 3) Zdenek P.Bazant, B.H.Oh :Crack band theory for fracture of concrete, Materiaux et Constructions, Vol.16, No.93, pp.155-177, 1983。

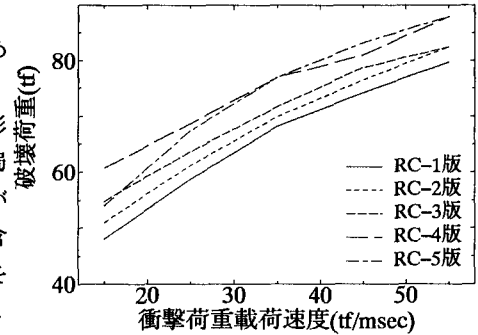


図-3 各種RC版の破壊時衝撃荷重の比較

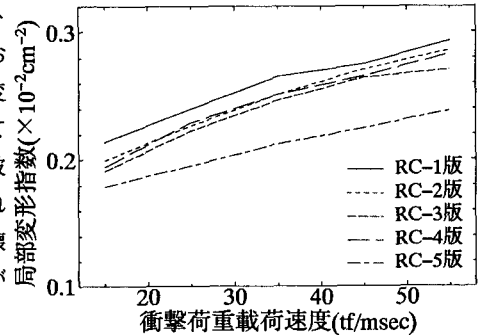


図-4 各種RC版の局変形指数の比較

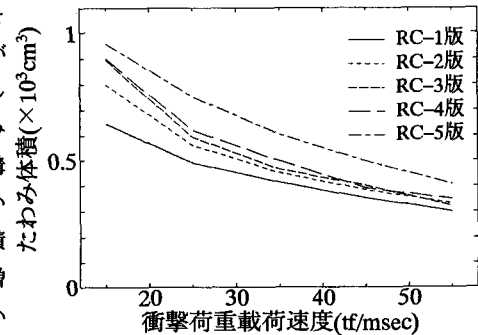


図-5 各種RC版のたわみ体積の比較