

コンクリートの引張軟化モデルが RC はりの衝撃挙動に与える影響に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 ○宗本 理

九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 諸言

近年, 土木工学の分野において構造設計は性能照査の方向に移行し始めており, 想定外の衝撃力が作用することが想定されるロックシェッドのような防護構造物についてもその耐衝撃性能を明確にする試みがなされている. そのため, ロックシェッドのような土木構造物の衝撃挙動を簡易かつ正確に評価できる解析手法の確立を目的として, RC はりを対象とした衝撃挙動解析が数多く行われている. しかし, RC はりの終局時の挙動を精度良く評価するには, コンクリート材料等の適切なモデル化の設定が必要であるが, それらの影響に関して, 詳細な点については必ずしも共通の見解が得られているわけではない. そこで本研究では, RC はり部材を対象に既往の衝撃実験結果を用いて, コンクリートのモデル化が弾塑性衝撃応答に与える影響について, 定量的な検討を行った. 具体的には, コンクリートの引張破壊の取り扱い(要素寸法と引張軟化勾配の関係)について考察を行い, 簡易なモデル化で精度良い解を得るための留意点について確認した.

2. 内容

2.1 解析対象および解析モデル

本解析では, 過去に土木学会の委員会活動の一環として行われた RC はりのラウンドロビン実験のシミュレーションを行った. 対象とした実験は, 支点治具によって両端を単純支持された矩形断面 RC はりのスパン中央部に, 質量 300kg の重錘を 4m/s の速度で自由落下させる重錘落下実験である. 解析対象となる矩形断面 RC はりの断面形状と配筋状況および重錘先端部の形状寸法を図-1 に示す. 本研究で用いた解析モデルを図-2 に示すが, はり軸方向と断面方向の対称性を考慮した 1/4 モデルを用いた. 今回, 解析モデルの要素分割とコンクリートの引張域における軟化勾配が鉛直変位応答にどのような影響を与えるかを確認するために, 一要素寸法が約 50mm, 25mm (図-2 参照), 12.5mm の 3 種類の解析モデルを使用した. 解析には, コンクリートと重錘には 8 積分点を有するソリッド要素, 鉄筋には 1 積分点を有するトラス要素を適用している. なお, 鉄筋要素とコンクリート要素の間には節点を共有する完全付着条件を仮定した.

2.2 材料特性モデル

重錘および鉄筋の応力-ひずみ関係には, Von Mises の降伏条件をベースとした簡易なバイリニア型の等方硬化則(硬化係数は初期剛性の 1/100)の弾塑性材料特性を仮定した. コンクリートの応力-ひずみ関係には, コンクリートの応力-ひずみ関係には, 圧縮域では圧縮強度を降伏強度とし, 硬化係数を初期剛性の 1/100 とするバイリニア型を適用し, 引張域は最大引張強度に達した後の軟化勾配 E_c' に完全弾塑性, 弾性係数の 1/200, 弾性係数の 1/20, カットオフの 4 種類の異なる値を設定した. これら各材料の応力-ひずみ関係を図-3 に示す. 具体的なコンクリートと鉄筋の材料定数は表-1 に示す.

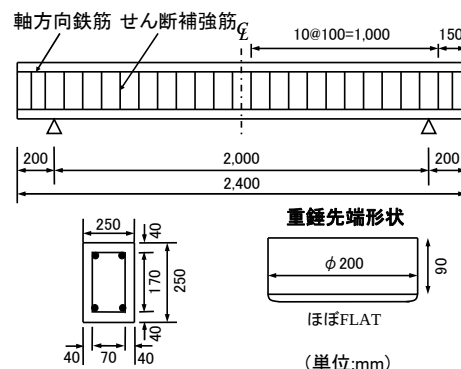


図-1 解析対象

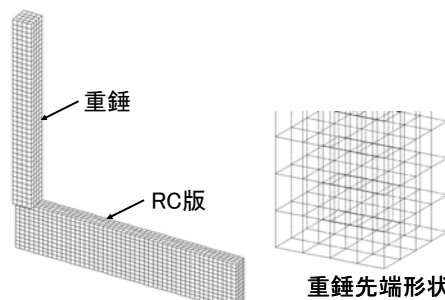
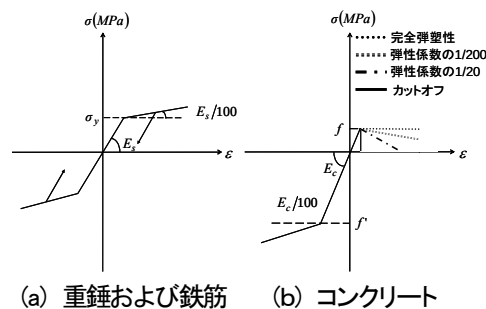


図-2 解析モデル



(a) 重錘および鉄筋 (b) コンクリート

図-3 応力-ひずみ関係

表-1 各種材料定数

	鉄筋	コンクリート
弾性係数 E (GPa)	206	20.9
ポアソン比 ν	0.30	0.17
密度 ρ (g/cm ³)	7.85	2.35
降伏強度 σ_v (MPa)	366	-
圧縮強度 f' (MPa)	-	32
引張強度 f (MPa)	-	3

キーワード 弾塑性衝撃応答, 要素寸法と引張軟化勾配の関係, ひび割れ発生領域

連絡先 〒819-0385 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 11 階 1102 号室

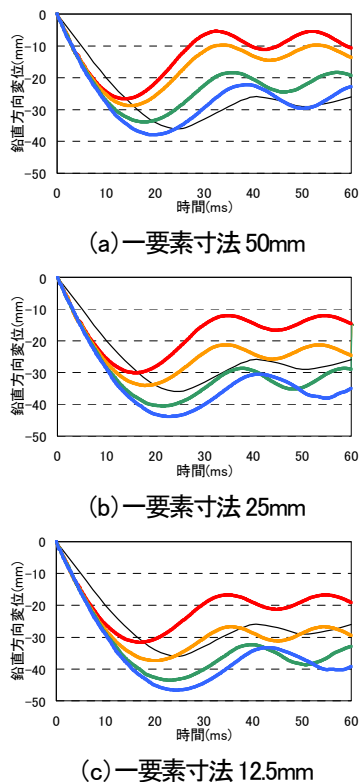


図-4 鉛直変位応答波形

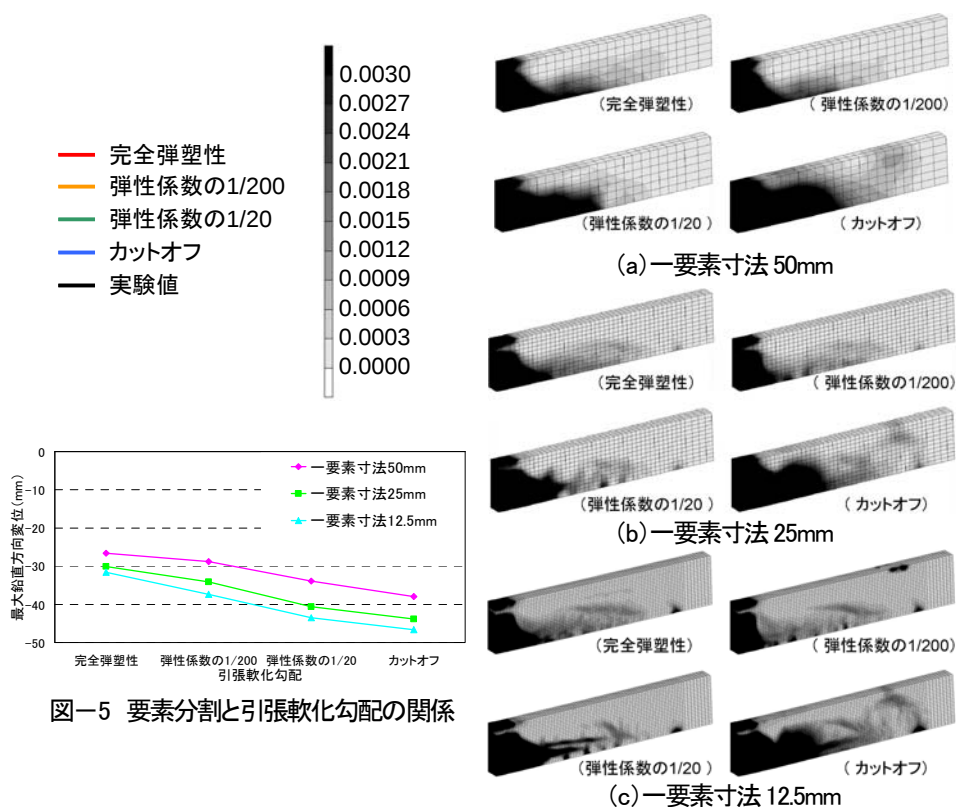


図-5 要素分割と引張軟化勾配の関係

図-6 ひび割れ発生領域

3. 解析結果および考察

3.1 鉛直変位応答の比較

図-4は、3種類の要素寸法で離散化した解析モデルを用いて4種類の軟化勾配の仮定のもとで行った解析で得られた鉛直方向変位波形と実験値を示している。また、要素寸法と引張軟化勾配の両者がRCはりの鉛直変位に与える影響を明確にするために、最大鉛直方向変位を抽出して整理した結果を図-5に示す。引張軟化勾配の影響について図-4の要素寸法モデルで比較すると、引張軟化勾配が大きくなるにつれて、鉛直変位が大きくなることが確認できる。これは、軟化勾配を大きくするほど、コンクリートが引張破壊するために消費されるひずみエネルギー量が小さくなるためである。次に、要素寸法の影響について、図-5より要素寸法が小さくなるにつれて最大鉛直変位が大きくなることが確認できる。これは、要素寸法が小さくなるほど、引張破壊の発生に必要なひずみエネルギーの閾値が小さくなることに起因していると考えられる。このことは、一般に言われる強度の寸法効果(大きな部材ほど耐荷力は低下)とは全く無関係な数値計算上の留意点であると考えられる。これらの解析結果を実験値と比較すると、図-4の(a)はカットオフ、(b)と(c)は弾性係数の1/200で実験時の波形に最も近い結果となった。

3.2 コンクリートの引張軟化勾配とひび割れ発生領域の関係

コンクリートの引張軟化勾配の仮定がひび割れ発生領域に与える影響を把握するため、要素寸法別に4種類の軟化勾配による計算で最大変位発生時の最大主ひずみ分布を図-6にそれぞれ示す。黒色で表示されている箇所は、最大主ひずみが引張強度に達したときのひずみの約2倍である0.003を超える要素で、ひび割れの発生が予想される領域である。これらの図から、一要素寸法が小さくなるにつれてひび割れの発生が予想される領域が詳細に表現されているが、一般的な有限要素解析が分散ひび割れに相当する評価しかできないために、一定のひずみの閾値でひび割れを評価すると広範囲にひび割れが分布する領域しか得られないことがわかる。今回、定性的な傾向しか論じられないが、コンクリートの引張軟化勾配が大きくなるにつれて、はり全体へひび割れ領域が拡大する様子が確認できる。

4. 結言

本研究では、解析モデルの要素分割とコンクリートの引張域における軟化勾配がRCはりの衝撃応答に与える影響について解析的に考察を行った。衝撃解析においてはコンクリートの動的挙動時の材料特性の変化を適切に考慮していく必要がある。そのために具体的には、瞬間的な材料強度に変化をもたらすひずみ速度効果による引張強度の上昇、軟化勾配の増加(静的挙動より脆性的になる)などの検討が挙げられる。