

四辺支持 RC 版の衝撃応答解析における破壊エネルギー等価の概念の適用性検討

北海道経済産業局 正会員 ○ 鈴木 健之 室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光
 三井住友建設(株) フェロー 三上 浩 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人

1. はじめに

本研究では、RC 版の耐衝撃挙動を適切に評価可能な数値解析手法の確立を目的に、破壊エネルギー等価の概念(以後、 G_f)を適用した RC 版の三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。ここでは、 G_f を適用しない場合、および適用する場合における換算引張強度を算出するための基準要素長を変化させた場合について、数値解析結果を実験結果と比較することにより、 G_f の RC 版への適用性について検討した。なお、本数値解析には非線形動的構造解析用汎用コード LS-DYNA を用いている。

2. 実験概要

試験体は寸法が 2,000 × 2,000 × 180 mm の単鉄筋 RC 版である。下端鉄筋には D16 を用い、平均かぶり 40 mm の位置として 150 mm 間隔で格子状に配筋している。試験体の支持条件は、支持間隔を 1,750 mm とした四辺支持とし、支点部は単純支持に近い支持状態となっている。重錘には質量 300 kg、载荷盤直径 60 mm の鋼製円柱を用い、RC 版中央部に衝突速度 3 ~ 5 m/s で一度だけ落下させる単一载荷として実験を行っている。

3. 数値解析概要

3.1 数値解析モデル

図-1には、本数値解析で用いた RC 版の要素分割状況を示している。数値解析モデルは、構造および荷重条件の対称性を考慮した 1/4 モデルとし、コンクリートの要素分割は、軸対称となるように同心円状にモデル化している。鉄筋のモデル化には、コンクリートの要素分割の影響が生じないように、固体要素を用いた鉄板要素にモデル化している。鉄板要素の要素厚は鉄筋径 D_n と等しく取り、曲げ剛性が等価となるように次式により換算弾性係数 E_m を設定している。

$$E_m = \frac{3 \cdot E_s \cdot \pi \cdot D_n}{16 \cdot l_p} \quad (1)$$

ここで、 E_s は鉄筋の弾性係数、 l_p は鉄筋間隔である。

境界条件は、支点治具底部の鋼棒において実験時と同様に、上下方向への変位を抑え回転のみを許容している。対称面にはシンメトリー条件を入力し、コンクリート-重錘間、コンクリート-支点治具間には、面と面との接

触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している。コンクリートと下端鉄筋および溝型鋼の間は完全付着としている。減衰定数は、質量比例分のみを考慮し、構造の最低次固有振動数に対して 1.5 % と設定した。表-1には、本数値解析で対象とした数値解析ケース一覧および各解析ケースにおける換算引張強度を示している。

3.2 材料物性モデル

コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮強度を降伏強度とする完全弾塑性のバイリニア型にモデル化し、ひずみが 1,500 μ に達した時点で降伏すると仮定している。引張側に関しては応力が引張強度に達した時点で応力を伝達しないとすの cutoff を定義している。なお、引張強度は圧縮強度の 1/10 と仮定し、本研究では、一要素の軸方向に一個の曲げひび割れが発生するものと仮定し、軸方向要素長が異なる場合においても等しいひずみエネルギーでひび割れが発生するように、各コンクリート要素に対して換算引張強度を設定した。また、降伏の判定

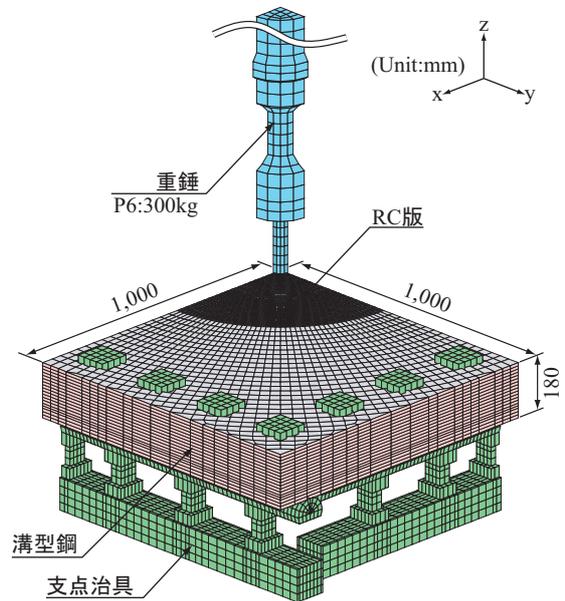


図-1 要素分割状況

表-1 数値解析ケース一覧

ケース名	基準要素長 (mm)	換算引張強度 (MPa)	
		中央部 (7.5mm)	外側 (35mm)
Gf-35	35	5.88	2.72
Gf-25	25	4.97	2.30
Gf-n	-	2.72	2.72

キーワード：四辺支持 RC 版、弾塑性衝撃応答解析、破壊エネルギー等価の概念

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 工学研究科 くらし環境系領域 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

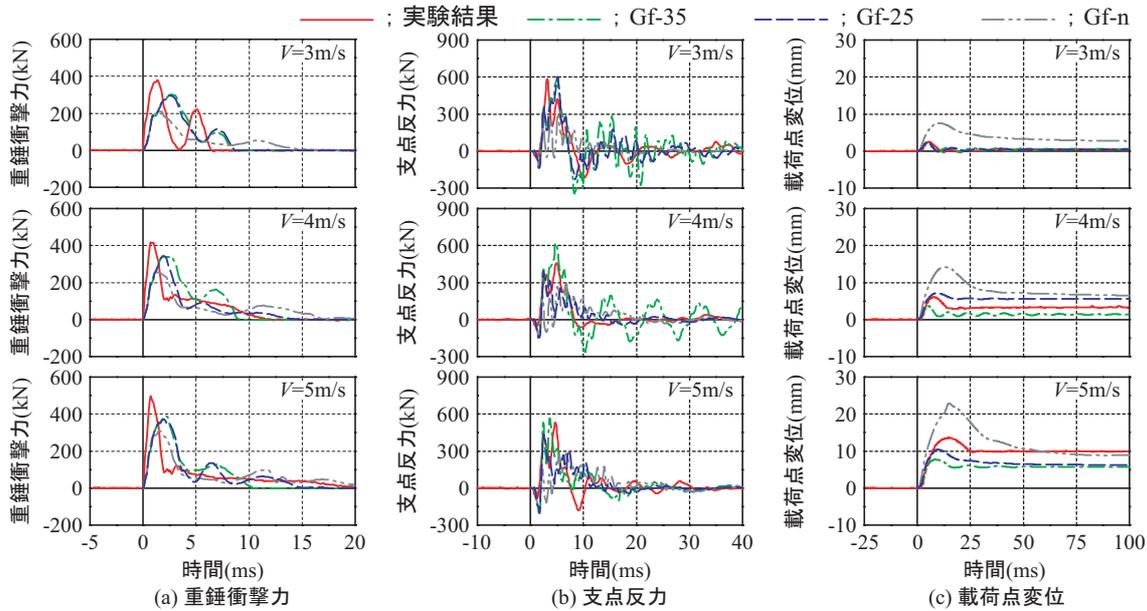


図-2 各種応答波形

には Dracker-Prager の降伏条件式を採用している。

鉄筋の応力-ひずみ関係は、塑性硬化係数 $H' (= E_s/100)$ を考慮したバイリニア型の等方弾塑性体モデルである。降伏の判定には、von Mises の降伏条件を採用している。

4. 解析結果に関する検討

図-2には、各種応答波形を実験結果と比較して示している。図-2(a)より、重錘衝撃力に関しては G_f を適用しない場合は適用した場合に比べ、最大値は小さく波動継続時間は長くなる傾向がある。また、 G_f を適用した Gf-35 と Gf-25 を比較すると、後者の方が波動継続時間が長いことが分かる。基準要素長を短くする場合も同様の傾向が見られる。なお、いずれのケースにおいても、最大値は実験結果の7~8割程度である。図-2(b)より、支点反力に関しても重錘衝撃力と同様の傾向が見られる。図-2(c)より、載荷点変位に関しては G_f を適用しない場合は適用した場合に比べ、最大値・残留変位ともに過大に評価していることが分かる。また、 G_f を適用した場合について、基準要素長を変化させた場合の比較を行うと、短く評価することによって損傷が大きくなる傾向にある。なお、本研究の範囲内では、基準要素長を 25 mm とする場合が最も実験結果を再現できるものと考えられる。

図-3には、衝突速度 4 m/s における実験結果のひび割れ分布図と、数値解析結果から得られる載荷点の最大変位時における RC 版の裏面および切断面の第一主応力分布図を示している。図より、全ての解析ケースにおいて、切断面には実験結果と同様に載荷点から進展する斜めひび割れが発生し、裏面には放射状のひび割れが確認できる。裏面の放射状ひび割れの発生量は、基準要素長を短くすると少なくなる。これは、コンクリートの引張強度が低下し、載荷点近傍におけるコンクリートの損

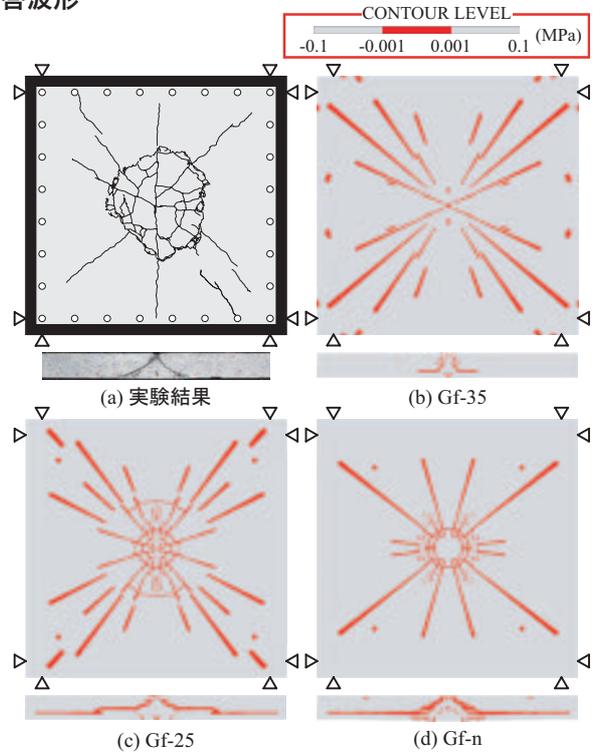


図-3 ひび割れ分布性状

傷が大きくなることで、エネルギーが吸収されるためであると考えられる。また、基準要素長を 25 mm とした場合にのみ、実験結果の裏面に見られる円形の押し抜きせん断破壊によるひび割れと類似のひび割れの発生が確認できる。

5. まとめ

本研究より、四辺支持 RC 版の三次元弾塑性衝撃応答解析において、破壊エネルギー等価の概念を適用することにより、その耐衝撃挙動を適切に評価可能である。本検討の範囲内では、換算引張強度を算定する際の基準要素長を 25 mm とすることで、実験結果を大略再現可能であることが明らかとなった。