

矩形RC版の耐衝撃挙動解析における降伏条件式の適用性に関する検討

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○玉木 美帆
寒地土木研究所 正会員 今野 久志

室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光
(株)構研エンジニアリング 正会員 川瀬 良司

1. はじめに

本研究では、RC版の形状寸法を変化させた場合にも適用可能な数値解析手法を確立することを目的に、重錘落下衝撃実験結果との比較のもとに、簡易な材料構成則を適用した場合の三次元弾塑性型有限要素法による数値解析を実施し、その妥当性を検討した。本研究では、特にコンクリート要素に関する降伏条件式に着目して、von Mises と Drucker-Prager の降伏条件式の適用性について検討を行うこととした。なお、本数値解析には、非線形動的応答解析用汎用プログラム LS-DYNA を用いている。

2. 試験体概要

図-1には、本数値解析で対象とした小型RC版（以下、単に小型版）および大型RC版（以下、単に大型版）の形状寸法および配筋状況を示している。小型版の寸法は $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 180\text{ mm}$ であり、下端鉄筋には D16 を 150 mm 間隔で格子状に配置した。一方、大型版の寸法は $5\text{ m} \times 4\text{ m} \times 400\text{ mm}$ であり、上下端鉄筋には D19 を 125 mm 間隔で格子状に配置、スターラップには D13 を用い 250 mm 間隔で千鳥状に配置した。支持条件は、いずれの試験体も二対辺に対し回転のみを許容する単純支持に近い支持状態としている。重錘質量は小型版の場合は 300 kg 、大型版の場合は 2 ton である。衝撃载荷実験は小型、大型版でそれぞれ衝突速度を 4 m/s 、 4.4 m/s とし、一度だけ自由落下させる単一载荷法により行っている。

3. 数値解析概要

3.1 数値解析モデル

図-2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、RC版の対称性を考慮した1/4モデルである。境界条件は実験時と同様に単純支持に近い状態としている。また、コンクリートと重錘および支点治具間には接触面を定義している。減衰定数は、質量比例分のみを考慮し、鉛直方向最低次固有振動数に対して 5.0% と設定している。

3.2 材料物性モデル

コンクリート要素の等価一軸応力-ひずみ関係は、圧縮側に関しては、圧縮ひずみが $1,500\mu$ に達した時点で降伏するバイリニア型とし、引張側には応力が引張強度

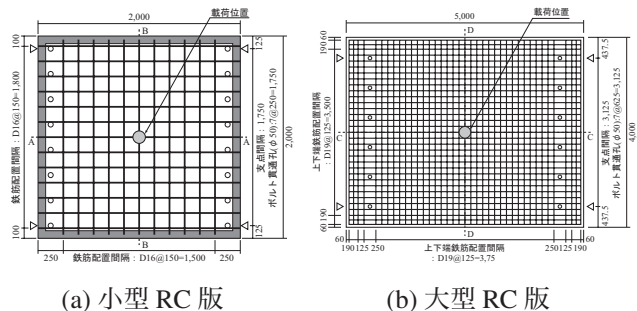


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

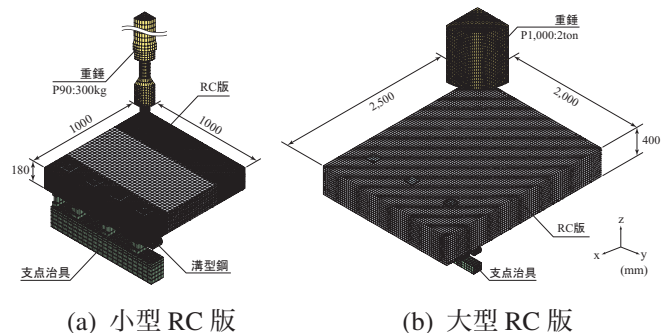


図-2 要素分割状況

に達した時点で引張応力を伝達しないとするカットオフを定義している。圧縮強度は材料試験結果を用い、小型版の場合は 26.6 MPa 、大型版の場合は 34.2 MPa としている。また、引張強度は圧縮側の $1/10$ とした。

鉄筋要素に用いた等価一軸応力-ひずみ関係は、降伏後の塑性硬化係数 H' を弾性係数 E_s の 1% と仮定するバイリニア型の等方便化則を適用している。

4. 実験結果と数値解析結果の比較

4.1 各種応答波形

図-3には、実験結果および数値解析結果の各種応答波形を示している。

図-3(a)に示した重錘衝撃力波形について着目すると、いずれの実験結果も载荷初期の振幅が大きい第1波と、その後の振幅が小さい第2波で構成されている。実験結果と数値解析結果を比較すると、試験体寸法および降伏条件式に関わらず、数値解析結果は実験結果よりも最大重錘衝撃力が小さく、また波形性状が実験結果よりも穏やかな形状を示している。

図-3(b)の支点反力波形について見ると、実験結果に関しては、小型版の場合には低周波成分および高周波成

キーワード：RC版、重錘落下衝撃挙動、降伏条件式、弾塑性衝撃応答解析、三次元有限要素法

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

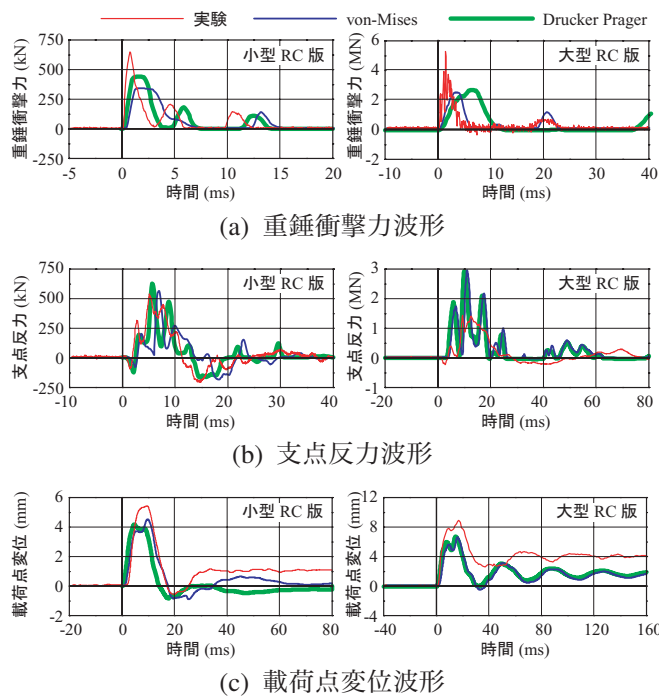


図-3 各種応答波形

分から構成され、大型版の場合には高周波成分は出現していない。次に実験結果と数値解析結果の比較を行うと、小型版については、いずれの降伏条件式を仮定する場合でも、最大値は実験結果と大略対応している。また、Drucker-Prager の降伏条件式を仮定する場合には、荷重載荷以降の波形性状においても実験結果をほぼ適切に再現している。一方、大型版の場合には、両降伏条件式とも最大支点反力および載荷初期波形性状が実験結果とは異なるものの、低周波成分領域は実験結果と類似している。

図-3(c)より、載荷点変位波形に関しては、実験結果はいずれも載荷時に振幅の大きい正弦半波状の分布を示し、その後残留変位を伴って減衰自由振動を呈している。数値解析結果について見ると、小型版における最大変位は降伏条件式に関わらず実験結果よりも小さい値を示している。残留変位に関しては、Drucker-Prager の降伏条件式を仮定する場合には、リバウンドした状態で若干負方向に残留している。また、von Mises の降伏条件式を仮定する場合には正の残留を示すものの、実験結果よりも小さい。一方、大型版の場合には、両降伏条件式において最大変位、残留変位ともに類似の波形分布を示しているが、実験結果を過小に評価している。

4.2 ひび割れ分布性状

図-4には、最大変位時における版裏面の第一主応力分布図とひび割れ分布図を示している。数値解析結果はひび割れ位置を特定できるように、第一主応力が零近傍となる要素を白色として示している。

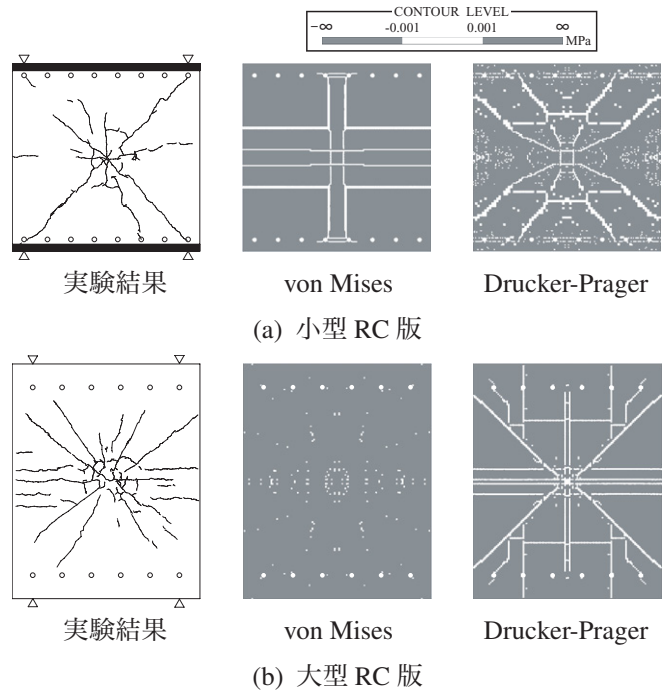


図-4 RC版の裏面ひび割れ分布性状

実験結果について見ると、小型版の場合には載荷点を中心とした対角線状および円形状のひび割れが発生している。大型版の場合には載荷点を中心とした放射状のひび割れに加え、支持方向と平行の曲げひび割れも見られる。図-4(a)に示す小型版について数値解析結果を見ると、von Mises の降伏条件式を仮定する場合には、曲げひび割れが発生しているが円形状のひび割れは出現せず、実験結果を過小評価している。一方、Drucker-Prager の降伏条件式を仮定する場合には、載荷点を中心として対角線状のひび割れおよび円形状のひび割れが発生しており、実験結果と比べ数値解析結果のひび割れは多いものの、実験結果を概ね再現しているものと判断される。図-4(b)に示す大型版に着目すると、von Mises の降伏条件式を仮定する場合には、ほとんどひび割れは見られない。一方、Drucker-Prager の降伏条件式を仮定する場合には、載荷点を中心とした放射状のひび割れおよび曲げひび割れに加え円形状のひび割れも見られ、実験結果を適切に評価していることが分かる。

5. まとめ

本研究より、形状寸法の異なる RC 版に関して、支点反力波形および載荷点変位波形は、いずれの降伏条件式を用いた場合も、実験結果を概ね評価可能であることが明らかになった。また、ひび割れ分布に着目すると、Drucker-Prager の降伏条件式を仮定することで、曲げおよび押し抜き破壊型のせん断ひび割れ分布も適切に評価可能であることが明らかとなった。