

PDS-FEM による弾塑性破壊解析

東京大学 学生会員 ○本山 紘希
 慶應義塾大学 正会員 小国 健二
 東京大学 正会員 堀 宗朗

PDS-FEM による弾塑性破壊解析ソフトウェアを作成し、このソフトウェアによる E-Defense の橋脚実験を模した実験例を紹介する。

1. はじめに

コンクリート構造物のような複数材料からなり、かつ各材料が異なる非線形挙動を見せるような複雑な構造物において、破壊現象の解析解は得られない。そのため、数値実験によりその解を議論することになる。これは同時に、解の安定性を議論するのも解析ではなく、数値解を用いることを意味する。土木構造物が計算対象である場合は、大規模構造物での条件を変えた繰り返しの計算を行うことになり、破壊のシミュレーションでは、高速計算がクリティカルな要求となる。また、破壊の計算において FEM は、形状関数が滑らかで重なりを持つという点で、使用が困難である。今回、十分な高速性を備えつつ、破壊を自然に扱えるソフトウェアとして PDS-FEM を用いた。ADVENTURE Cluster と呼ばれる動的解析用 FEM ソフトウェアを用いて PDS-FEM を作成し、数値震動台を作成することが本研究の目的となっている。

2. PDS-FEM と弾塑性解析

PDS-FEM は PDS (Particle Discretization Scheme) という不連続な関数による離散化手法を FEM に実装することで作成できる。弾性解析においては、破壊面では応力を生まないような要素剛性マトリクスが作成される。しかし、弾塑性解析では、応力は増分として計算されるため、蓄積された応力の変化を表現する必要があり、トラクションを適切に除く計算を付け加えなければならない。

3. 破壊面の設定についての改良

これまで、PDS-FEM では 1 つの要素内での破壊を 1 つに制限してきた。しかし、この手法では、破壊した要素が大きな応力を保持しうるという問題が発見された。これを解決するため、1 つの要素内での破壊を 3 回まで可能にし、それぞれの破壊について要素剛性マトリクスと応力の変化を設定し直した。これにより、解析解はより実現象に近いものとなった。

4. 数値解析

数値解析は E-Defense での橋脚実験を模したものを目指した(図-1)。これより、自由度が約 30 万程度になるようにメッシュ分割を行い図-2のようなモデルを作成した。

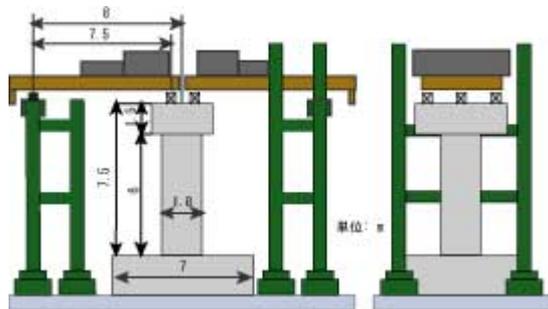


図-1 実験用橋脚の模式図

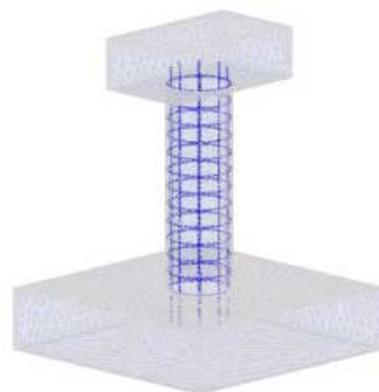


図-2 橋脚モデル

解析は曲げ破壊を目的として、2 通り試した。

一つは準静的解析で、フーチング底面を固定し、境界値として、スラブ上部に横方向の変位を与えて計算を行った。その結果が、図-3 となっている。これは亀裂面と応力を同時にプロットしたものである。フーチングと柱部の境界から亀裂が進展し

キーワード PDS-FEM, 破壊解析, 数値震動台

連絡先 〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大学地震研究所 1-615

ていく様子が分かる。それと同時に、応力集中箇所に向けて亀裂が進展していることも確認できる。二つ目の計算は動的解析で、E-Defenseの実験に用いた入力震動をフーチング底面に与えた。結果は図-4のようになっている。出力において、破壊が起こった要素を赤く着色し、変位は100倍に拡大して表示した。これら二つの数値実験から、

PDS-FEMによる弾塑性解析は破壊の定性的性質がよく表現できていることが分かる。一方、スパン方向に分散したひび割れなど、鉄筋コンクリートの破壊の性質として再現できていないこともあり、要素分割をより密にしたり、鉄筋とコンクリートの定着を表現したりすることで、本手法の再現性については検討していく必要がある。

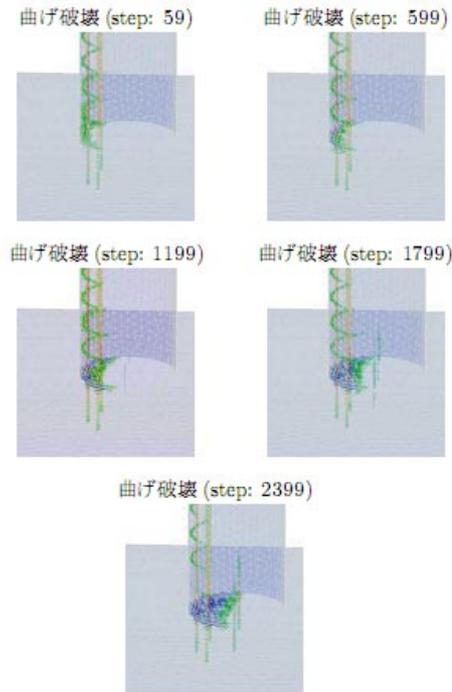


図-3 準静的解析結果



図-4 動的解析結果

5. まとめ

震動に対して、破壊の進展を同時に扱える高速計算ソフトウェア PDS-FEM の作成に成功した。これにより、数値震動台の基礎が完成したといえる。今後の課題としては、鉄筋コンクリートの再現性を高めるためのチューニングが必要となることが分かった。

参考文献

- ・ 本山紘希：修士論文『PDS-FEM を用いた弾塑性破壊解析』 東京大学 2009 年