

拡張有限要素法を用いた中空断面 RC 橋脚に対する変形解析

京都大学工学部 学生員 ○笠原 然
 京都大学大学院工学研究科 正会員 植村 佳大
 京都大学大学院工学研究科 正会員 高橋 良和

1. 背景・目的

中空断面を有する RC 橋脚(中空断面 RC 橋脚)では、現行設計にて柱基部を中実断面とすることが規定されている¹⁾。しかし、基部を含む柱全域が中空断面の RC 橋脚は多く現存しており、その既存不適格な橋脚の耐震性能把握が急務となっている。特に、現行基準を満たす柱基部が中実断面である中空断面 RC 橋脚と柱基部が中空である RC 橋脚のせん断抵抗特性を比較・検討した事例は少ない。そこで本研究では、基部が中空および中実断面である二種類の中空断面 RC 柱に対して、拡張有限要素法(X-FEM)を用いた耐震性能の評価を行う。

2. 解析概要

(1) 解析対象とする柱構造

本検討では、門谷ら²⁾が正負交番載荷実験を行った中空・中実断面RC橋脚を対象に解析を行った。なお門谷ら²⁾の検討では、基準振幅を $1\delta y(=16\text{mm})$ として、同一振幅3回の繰り返し載荷が行われている。本解析では、実験結果のうち、軸方向鉄筋座屈が確認されるまでの領域(載荷振幅 $6\delta y(=96\text{mm})$)を検討対象とした。

(2) 解析モデル

本解析では、軸方向鉄筋および帯鉄筋は非線形トラス要素でモデル化し(図-1(a))、材料モデルには Menegotto-Pintoモデルを用いた。軸方向鉄筋および帯鉄筋の降伏強度は実強度を用い、それぞれ 396N/mm^2 、 367N/mm^2 とした。コンクリート要素は平面応力状態を仮定して線形ソリッド要素でモデル化した。その際、コンクリート要素のヤング率は 25000N/mm^2 、密度は 2.5kg/mm^3 、ポアソン比は 0.2 とした。また、各構造モデルにおける柱の断面構造の違いは、青色で示すコンクリート要素の奥行きを、中実断面では 800mm とし、中空断面では 300mm としてモデル化した(図-1(b))。

(3) 解析手法および載荷条件

X-FEMでは、不連続性を表す自由度を不連続関数で内挿することで要素内の不連続性を表現できる。本解析では、ランキン型の破壊基準を用いてコンクリートの開口クラックをモデル化した。その際のひび割れの傾斜角は要素の最大主応力方向に従うこととし、クラック先端に関しては、クラックの進展方向に線を延長させ、最初に新たな要素の辺と交わった点(点A)と次に要素の辺と交わった点(点B)の中点をクラック先端とした(図-2)。また、本解析では、コンクリート・鉄筋間を完全固定としてモデル化している。その結果、多数の付着ひび割れ発生により、解析の収束性が低下するという問題が生じた。そのため、一度クラックが発生した要素では破壊判定を行わないという解析上の処理を加え、コンクリート要素の付着ひび割れの発生を抑制した。

載荷条件は、軸力載荷を荷重制御とし、解析モデルの天端の節点に合計が 1190kN となる下向き鉛直力を作用させた。また、実験は正負交番載荷であったが、本解析は中空断面RC橋脚のせん断抵抗特性に関する基礎的検

□ コンクリート要素 (奥行き 300mm) □ コンクリート要素 (奥行き 800mm)
 ■ コンクリート要素 (奥行き 300mm or 800mm) ■ 鉄筋トラス要素

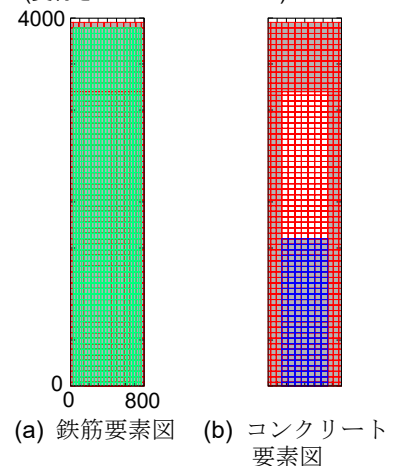


図-1 解析モデル (Unit:mm)

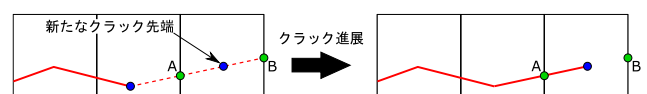


図-2 クラック先端の位置の決め方

キーワード 拡張有限要素法(X-FEM), 鉄筋コンクリート柱, 中空断面, ひび割れ進展解析

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C-1-2-139 TEL:075-383-3246

討とし、プッシュオーバー解析を行った。

3. 解析結果

(1) 荷重－変位関係

図-3に、各供試体の荷重－変位関係を示す。図より、中実断面RC橋脚では降伏後の荷重が概ね再現できているのに対し、中空断面RC橋脚では、降伏後の荷重を実験結果より約20%過大評価する結果となった。これは、本解析モデルにおいてコンクリートの圧縮軟化が適切に再現されておらず、中実断面RC橋脚と比較して柱基部の応力レベルが大きい中空断面RC橋脚において、その影響が顕著に表れたためであると考えられる。

(2) ひび割れ性状

本解析で得られた各橋脚におけるひび割れ図を図-4に示す。中空断面RC橋脚では、フランジ部で発生したひび割れが、ウェブ部に到達すると斜め方向にひび割れが進展しているのに対し、中実断面RC橋脚では、高さ1600mm以下の中実部において比較的 horizontal 方向にひび割れが発生している。さらに、中空断面RC橋脚では、水平変位 $6\delta_y$ において、柱基部の圧縮縁で縦方向のひび割れが発生した。これは、圧縮割裂により発生したひび割れであると考えられる。

(3) 柱の曲げ・せん断変形成分の割合

本検討で得られた柱の曲げ・せん断変形成分の割合を図-5に示す。図から、各载荷ステップにおいて、中空断面RC橋脚のせん断変形成分は、中実断面RC橋脚に比べて10%程度大きいことが確認できる。以上から、中空断面RC橋脚では、中実断面RC橋脚ほどのせん断抵抗力が期待できない可能性があるといえる。

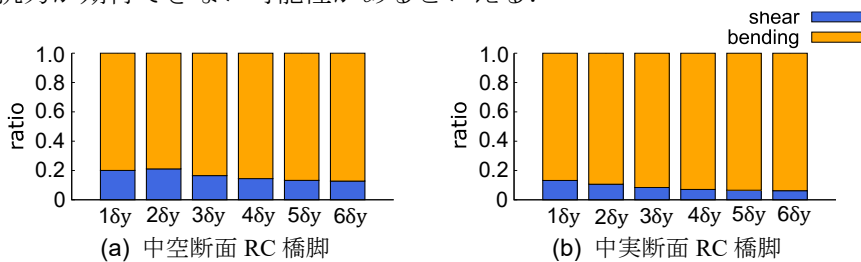


図-5 柱の曲げ・せん断変形成分の割合

4. まとめ

本解析により、中空断面RC橋脚特有のひび割れ性状が再現でき、また、中空断面RC橋脚のせん断抵抗力が中実断面RC橋脚に比べて小さいことを示した。しかし、中空断面RC橋脚では、降伏後の荷重を過大評価する結果となった。今後、コンクリートの圧縮軟化を考慮するために、せん断クラックの発生をモデル化することで、解析結果の更なる精度向上を目指す予定である。

謝辞：本研究の一部は「2020年度京都大学と西日本高速道路株式会社における共同研究」の助成を受けて実施した。謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説－V 耐震設計編，2017.11
- 2) 門谷晃太，高橋良和，植村佳大：柱基部の断面構造が異なる中空断面RC橋脚の正負交番载荷実験，2022年度土木学会関西支部年次学術講演会(投稿中)，2022。

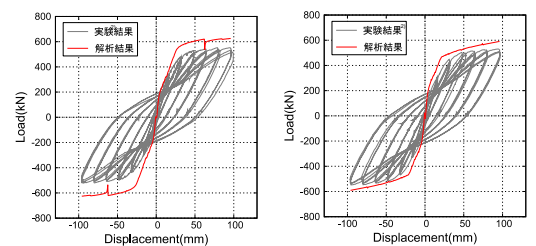


図-3 荷重－変位関係

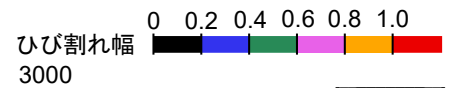


図-4 ひび割れ性状 (Unit:mm)