

軸力とねじり作用を受ける RC 3 室断面の非線形 FEM 解析

長崎大学工学部 ILEM 正会員 ○上阪 康雄, 株式会社ドーユー大地 伊川 嘉昭
西日本高速道路株式会社 正会員 福永 靖雄, 九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚 久哲

1. 目的

高速道路橋などのコンクリートアーチ橋においては、大規模地震発生時に軸方向力を受けるアーチリブ断面に鉄筋降伏をもたらす大きさの曲げ+捩り作用が発生することが、一般的な平面ラーメン構造モデルを用いた動的耐震設計の結果から明らかになっている。しかし、曲げ+捩り作用を受ける場合の鉄筋コンクリート断面の降伏域以降の構造的性状については、これまで少数の研究¹⁾に留まっているのが現状であり、アーチ橋に多い RC 中空断面に対しては明らかにされていない。そこで今回、実在するアーチリブ（3 室断面）を 1/6 縮尺した中空断面 RC 供試体（図 1）を作成したうえで、弾性域・降伏域から断面破壊付近までの実験を行った²⁾。当解析はこのうち、既述の動的耐震設計結果を参考にして、一定の軸方向力を与えたうえで、捩り作用のみを与えたケース①を対象にしている。

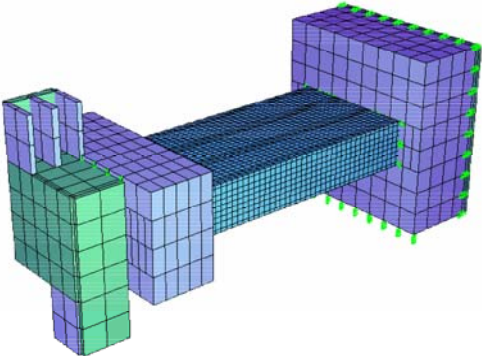
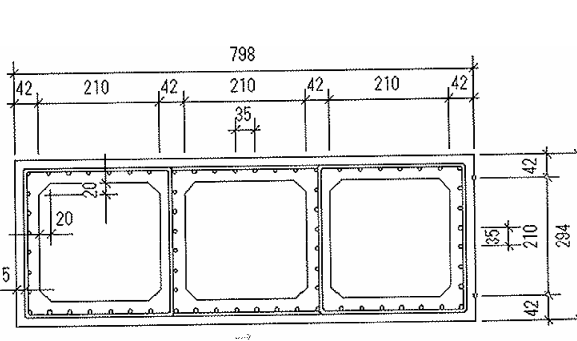


図1 供試体形状 (L=1600) 単位[mm] 図2 FEM 解析モデル, 左が荷重ブロックおよび荷重装置

2. 解析モデル

3次元立体FEMモデルを基本として、アーチリブ中空断面を形成するRC上床版・下床版は2層のシェル要素、両側部ウェブおよび中間部ウェブはそれぞれ1層のシェル要素とし、かぶりを考慮した軸方向鉄筋およびスターラップをこれらシェル要素内に配置した。また供試体の前後に配置された固定ブロックおよび荷重ブロックは、非線形性を考慮しないブロック要素として解析する。供試体固定端部での応力集中を緩和させるため、供試体端部は前後それぞれブロック要素の中に 20mm 食い込ませたうえで、ブロック要素と硬い仮想ジョイントで結合（鉛直・水平・回転方向；完全固定）した(図2)。なお、実験条件に合わせるよう、固定ブロック端は完全固定とし、固定ブロック前面の鉛直変位も拘束した。荷重ブロック端部と鋼製の荷重装置は完全結合させ、荷重ブロック端中心線上には、鉛直固定バネを配置した。荷重装置はフリーに回転できるように設定した。解析に使用した材料を表1に示す。

表1 解析に使用した材料と特性値

使用材料	弾性係数 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]
コンクリート C40	24800	3.20 (2.10)
鉄筋 SD290	200000	290
荷重板 SM490	200000	490

〔 〕 内は引張割裂強度の最小値

キーワード RC 中空断面, アーチリブ, 捩り作用, 非線形 FEM 解析, 捩り剛性
連絡先 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 工学部インフラ長寿命化センター TEL 095-819-2880

3. 解析結果

ケース① 軸方向力 $N=856 \text{ kN} = \text{const}$, スターラップ間隔 60 mm

振り; $M_t=84$ (ステップ 1), $M_t=101$ (ステップ 3), $M_t=119$ (ステップ 5) kNm

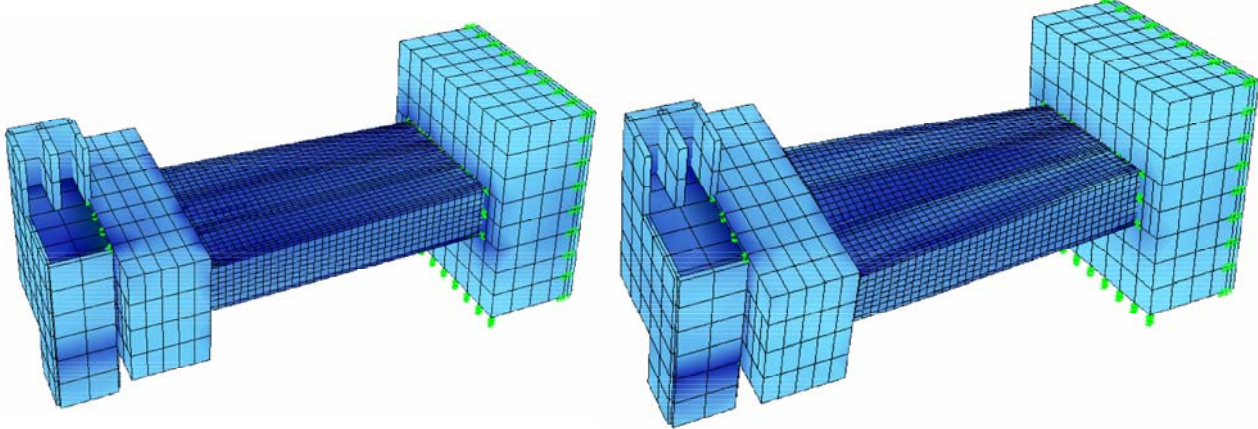


図3 ステップ1 (左) およびステップ5(右)の場合の変形図 (50倍誇張)

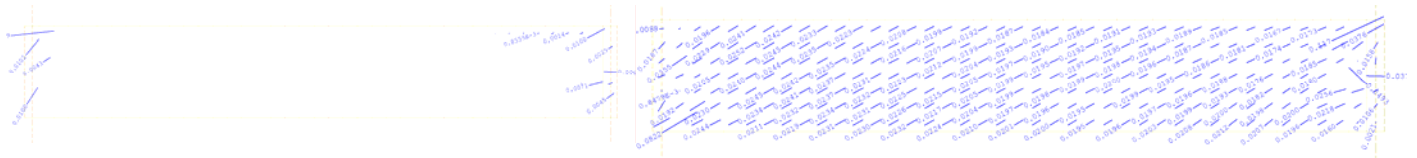


図4 ステップ1 (左) およびステップ5(右)のウェブ側面のひび割れ図

上記の各ステップにおけるひび割れ図は、実験と同じく部材軸に対し斜め方向に生じており、振り作用に伴う斜引張応力に対応している。最大ひび割れ幅に着目してみると、ステップ1が 0.01 mm , ステップ3が 0.16 mm , ステップ5が 0.21 mm となっており、実験結果のステップ1 (0.04 mm), ステップ3 (0.15 mm), ステップ5 (0.25 mm) と比較的良い一致をみせている。解析値がやや小さめなのは、実験が交番荷重を作用させていることに起因する可能性がある。さらに、塑性率 3.3 を対象とした実験ステップ6について、解析では鉄筋の伸びが解析上の許容範囲を超えて計算不可となったが、実際の鉄筋降伏点を用いれば、変形能は満足すると思われる。一方、解析と実験における振り変形の比較をしてみると、ステップ1, 2の解析値・実験値は適合するが、ステップ3の実験値は 0.007 rad (解析値 0.005 rad), ステップ5で 0.014 rad (解析値 0.007 rad) と追従していないことがわかる。これは終局に近づくにつれ、解析での振り剛性が低減不十分となっていることを示している。なお、この解析の結果として、純振りを受ける3室中空断面においては、ステップ1では応力が上下床版ほぼ全面に作用するが、ステップ5では応力集中箇所が床版側部(ウェブ上下付近), および床版中央部(中間ウェブ間)であることが示された(図3)。両者とも、ウェブに作用する応力は、床版部より小さい。

4. 考察と課題

FEM モデルを用いれば、一般の梁理論では捉えることのできない RC 中空断面の振り挙動を比較的精度よく解析できるが、終局付近の変形能に関しては、振り剛性の低減率の把握になお一考を要する。ちなみに、ステップ5における振り剛性低減率は 0.35 であったのに対し、解析値は 0.59 であった。

謝辞; 本実験にあたり九州大学の宇山, 箴島氏らに実験遂行・まとめに感謝いたします。

参考文献

- 1) 宇山, 秦, 大塚; 軸力, 曲げおよびねじりを同時にうける RC 部材の剛性低下率と等価減衰定数の定式化, 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会 V-51, 2008.03
- 2) 陶, 箴島, 大塚, 福永; ねじり変形が生じる3室箱桁断面を有する RC 部材の力学特性, H21 年度年次講演会