

面内荷重を受けるコンクリート充填鋼管アーチリブの弾塑性解析

九州大学大学院 正会員 日野伸一
九州大学大学院 学生会員 杉原大志郎
九州大学大学院 正会員 劉玉擎
九州大学大学院 フェロー会員 彦坂照

1. はじめに

コンクリート充填鋼管(以下 CFT)は、鋼管の局部座屈の防止、拘束効果による強度の増加、施工時に型枠が不要になるなどのメリットがある。CFT 柱材に関しては多数の研究例がみられるが¹⁾、CFT を用いたアーチ橋の研究例はきわめて少なく、設計・施工について研究課題が多く残されている。そこで CFT アーチリブ模型供試体の支間中央及び 1/4 点面内載荷実験を行い、それを基にして耐荷特性及び変形挙動の解明を目的として 3 次元 FEM 解析を行った。

2. 供試体

本研究のために行った CFT アーチリブ載荷実験の供試体の 1 つである支間中央点載荷供試体を図-1, 2 に示す。支間中央及び 1/4 点載荷実験供試体はどちらもスパン $L=4000$ mm, ライズ $f=800$ mm の

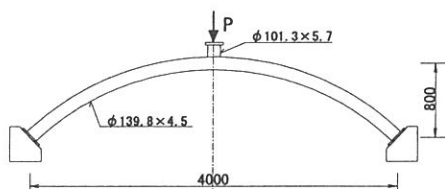


図-1 解析対象: 中央点載荷実験供試体 (mm)

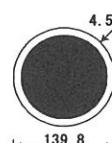


図-2 供試体断面 (mm)

円弧状アーチリブで、断面 $\phi 139.8 \times 4.5$ mm の CFT を用いている。また載荷点位置のアーチリブ上面に載荷用の鉛直材を溶接した。その鉛直材の位置は、支間中央載荷の場合ではクラウン部、1/4 点載荷の場合ではスプリング部から支間 1/4 部である。鉛直材は断面 $\phi 101.3 \times 5.7$ mm の CFT を用いている。鋼管及びコンクリートの材料特性を表-1, 2 に示す。支間中央点載荷を供試体 A、支間 1/4 点載荷供試体を供試体 B とする。

表-1 鋼管材料特性

降伏強度 (N/mm ²)	395
ヤング率 (kN/mm ²)	205.8

表-2 コンクリート材料特性

支間中央点 載荷供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	46.2
	引張強度 (N/mm ²)	4.1
	ヤング率 (kN/mm ²)	33.6
支間 1/4 点 載荷供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	47.2
	引張強度 (N/mm ²)	3.5
	ヤング率 (kN/mm ²)	35.4

3. 解析概要

供試体 A 及び B のメッシュ図を図-3, 4 に示す。載荷点近傍の鋼管には 8 節点シェル要素を用い、そのほかの部分の鋼管及びコンクリートには 4 節点シェル要素を用いた。幾何学的非線形問題としては有限変形を考慮しているが、残留応力及び幾何学的な初期不整については終局挙動への影響は小さく扱っていない。鋼材の降伏判定は Von Mises 降伏条件を、コンクリートの破壊判定には Von Mises 降伏条件を拡張したものを用いた。鋼材及びコンクリートとも等方硬化則により塑性域の硬化を考慮している。また鋼材に関してはバイリニアの完全弾塑性、コンクリートに関しては道路橋示方書²⁾における普通コンクリートの応力-ひずみ関係を用いた。

鋼管-コンクリート間の付着はばね要素を挿入することでモデル化したが、本供試体の場合、スプリング部両端でコンクリートが端部拘束されてい

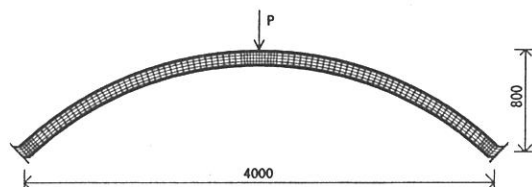


図-3 供試体 A メッシュ図 (mm)

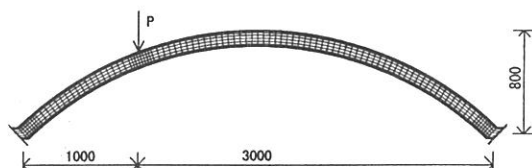


図-4 供試体 B メッシュ図 (mm)

ること、及び鋼管-コンクリートの付着ばね係数が明確でないこと等から、ここでは両者間の完全付着を仮定した。また半径方向のばね要素には、圧縮方向は剛結、引張方向はばね係数を十分小さくすることで鋼管の剥離を考慮することとした。

供試体両スプリング部が実験で橋軸方向

に変位したので、その変位を解析で再現するため、橋軸方向に伸縮するばね要素を用いた。スプリング部の節点に図-5 のようにばね要素を挿入し、各ばね係数は固定アーチの弾性計算によるスプリング部の水平反力と、実験における変位から算出した。供試体 A 及び B のばね係数を表-3 に示す。

4. 解析結果と考察

CFT アーチリブ実験・解析及び CFT 供試体と同一の断面諸元を有する中空鋼管アーチリブ解析の荷重-変位関係を図-6,7 に示す。CFT アーチリブにおいては両供試体とも実験結果と解析結果の良好一致が得られた。供試体 A で

は 195kN、供試体 B では 166kN で鋼管の局部座屈が発生し、実験と同様に局部座屈の発生後も荷重の増加が確認できた。解析結果と実験結果の差は鋼管、コンクリートの材料構成則及び両者間の合成効果の仮定等が原因と考えられる。

一方、同一断面諸元の鋼管アーチリブの場合、供試体 A は 108kN、供試体 B は 97kN で早期に荷重点付近の鋼管に局部座屈が起き、急激に耐力を失うという挙動を示した。CFT アーチリブと中空鋼管アーチリブの終局耐力を比較すると耐力力が 2 倍以上の耐力を保有していることがわかる。

図-8, 9 に解析と実験による変形図を示す。解析による変形図は供試体 A が 230kN における変形図、供試体 B が 208kN における変形図である。実験による変形図は実験後のものである。図から、供試体 A においては実験での鋼管の局部座屈と同じように、解析でも局部座屈が起きることが確認できた。供試体 B においては荷重支柱の両側で局部座屈が起きている。これは鋼管-コンクリート間の相対ずれを考慮していないためであるが、荷重支柱右側の局部座屈は小さく解析結果の精度は高い。

5. まとめ

本解析により、CFT アーチリブは同一断面諸元を有する中空鋼管アーチリブと比較して局部座屈の発生を遅らせることができ、耐力力、変形性能を大幅に向上できることが明らかとなった。

<参考文献>1)日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，1997 年 10 月

2)日本道路協会：道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編，1996 年 12 月

表-3 スプリング部ばね係数

供試体	スプリング部	
	左(kN/cm)	右(kN/cm)
A	29.1	13.4
B	60.7	15.2

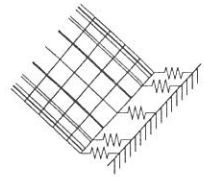


図-5 スプリング部

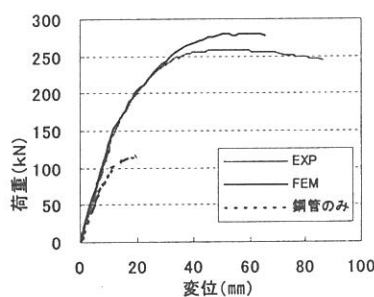


図-6 供試体 A 荷重点の荷重変位関係

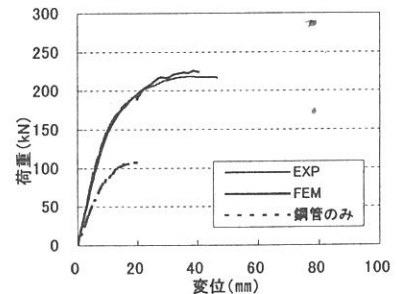


図-7 供試体 B 荷重点の荷重変位関係

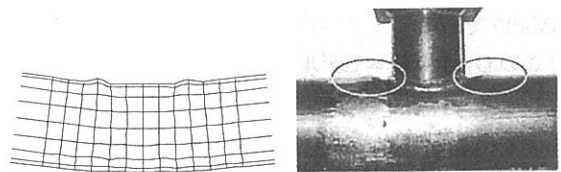


図-8 供試体 A 荷重点変形図 (左図:解析, 右図:実験)

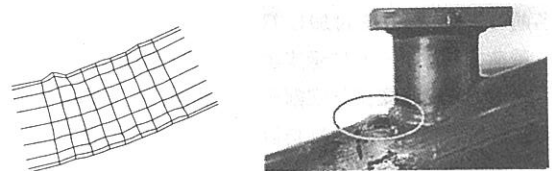


図-9 供試体 B 荷重点変形図 (左図:解析, 右図:実験)