

コンクリート充填鋼管（CFT）アーチリブの耐荷特性に関する研究

九州大学大学院 正会員 ○山口浩平，日野伸一

九州大学大学院 学生会員 片渕和啓

中国同济大学橋梁工程系 劉玉擎

1. 目的

近年，国内外において，耐力やじん性に優れた構造形式であるコンクリート充填鋼管（CFT）をアーチリブに用いたアーチ橋の建設が次第に増加している．しかし，依然として設計や施工に関する多くの研究課題が残されており，CFT 構造の力学特性を反映した合理的な設計法を導入するまでには至っていない．そこで本研究では，CFT アーチリブの変形挙動および耐荷特性の解明を目的として，模型供試体を用いた面内鉛直載荷実験および 3 次元非線形 FEM 解析による検証を行った．

2. 載荷実験¹⁾

模型供試体の 1 つである支間中央点載荷供試体を図-1 に示す．供試体はスパン $L=4000\text{mm}$ ，ライズ $f=800\text{mm}$ （ライズ比 1/5）の円弧状アーチで，断面 $\phi 139.8\times 4.5\text{mm}$ （径厚比 31）の CFT を用いている．頂部には断面 $\phi 101.3\times 5.7\text{mm}$ の CFT を載荷用の鉛直材として溶接している．鋼管内面には全長を通じて一切の補剛材およびずれ止めを配置していない．

表-1 に鋼管およびコンクリートの材料特性を示す．鋼管は一般構造用炭素鋼 STK400 を用いた．充填コンクリートは早強ポルトランドセメントおよび最大寸法 20mm の骨材を用い，打設時のスランプは 9.6cm である．載荷は荷重制御による面内鉛直載荷とし順次 75kN，150kN および弾性域内の最大荷重まで加力して除荷させた後，終局状態まで載荷した．図-2 に載荷点の荷重-変位関係と鋼管の降伏および局部座屈の発生順序を示す．117kN 時に載荷点上縁側にて初期降伏が生じた後，鋼管全体の塑性化が徐々に進行し，243kN 時に同箇所にて局部座屈が発生した．局部座屈発生後は一時的に荷重が落ちたものの再び上昇し，最大荷重到達後は耐力を保持した状態で変形が進行していった．最大荷重は 258kN であり，載荷点の変位は 52.3mm であった．

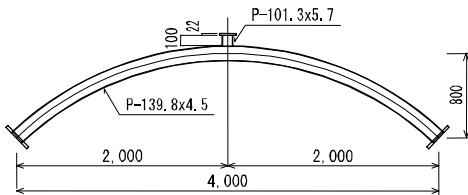


図-1 供試体概略図 (mm)

表-1 材料特性

鋼管	
降伏強度 (N/mm ²)	395
引張強度 (N/mm ²)	443
伸び (%)	32
ヤング率 (kN/mm ²)	205.8
コンクリート	
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

3. 構造諸元のパラメータ解析

実験と平行して 3 次元非線形 FEM 解析を行い，構造諸元およびその影響度について検討した．なお，残留応力および幾何学的初期不整については実態を把握することが難しいこと，終局挙動への影響が小さいことなどの理由から考慮していない．

(1) 鋼管とコンクリート間の合成度の影響

鋼管とコンクリート間の合成度は，3 方向バネ要素を挿入することによりモデル化した．半径方向の圧縮はバネ定数を十分に大きくすることで剛結を再現し，一方，引張方向はバネ定数を十分に小さくすることで鋼管の剥離を再現した．また，橋軸方向は局部的な付着特性が明確でないことから，バネ定数 k をパラメータとした解析を行い接合面の合成度の影響について検討した．図-3 に k 値の最大荷重に及ぼす影響を示す．また， $k=1.0\times 10^{-3}$ （摩擦無し）， $1.0\times 10^{+4}$ （最大荷重が実験値と近似）， $1.0\times 10^{+9}$ （完全合成）の 3 ケースを比較するため，図-4 に載荷点の荷重-変位関係を，図-5 に同点の荷重-軸方

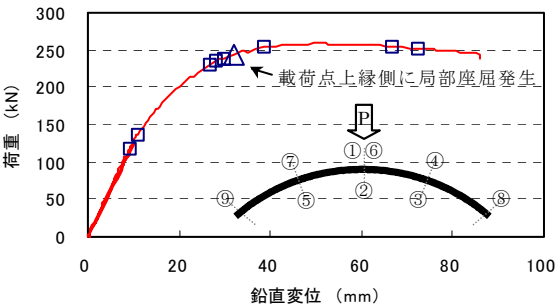


図-2 荷重-変位関係 (実験値)

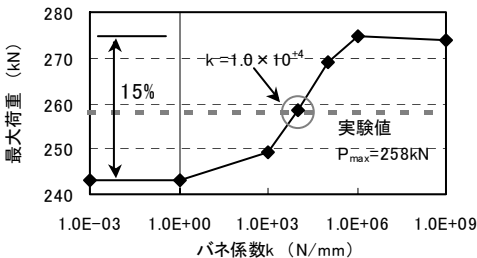


図-3 最大荷重-バネ定数の関係

キーワード コンクリート充填鋼管（CFT），アーチ，局部座屈，径厚比

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL&FAX：092-642-3309

向ひずみ関係を示す．両者ともに $k=1.0\times10^{+4}\text{N/mm}$ の場合に実験結果との良好な一致が得られている．しかし，CFTアーチリブが終局に至るまでの全体的および局所的な変形挙動に対して，鋼管-コンクリート接合面の合成度の影響は顕著には認められない．また，最大耐力に関しても15%程度の差であることから，本実験で使用したCFTアーチリブについては，接合面の合成度の及ぼす影響は顕著ではないと考えられる．

(2) 径厚比の影響

径厚比 D/t の変化による影響を調べるため，鋼管の直径 $D=139.8\text{mm}$ 条件の下 $D/t=20, 30, 31$ （実験供試体），40, 50, 60の6ケースについて検討を行った．さらに，中空鋼管アーチリブについても同様の解析を行いCFTアーチリブの結果との比較検討を行った．図-6に載荷点の荷重-変位関係，図-7に各 D/t の荷重の比較を示す．CFTアーチリブは D/t の値が大きくなるにつれて最大耐力は小さくなるものの，補剛効果や拘束効果による鋼管の局部座屈の抑制と優れた靱性を発揮している．一方，中空鋼管アーチリブは局部座屈が発生すると同時に荷重が減少する結果となった．特に，

D/t が大きくなるにつれて初期降伏発生後，間もなく局部座屈が発生している．

表-2 充填コンクリートの応力

表-2に充填コンクリートの終局時の軸方向圧縮応力を示す．実験では，コンクリートの応力状態を測定できなかったため，解析および拘束効果を考慮した計算式²⁾によりその値を求めた．材料試験による一軸圧縮強度は 46.2N/mm^2 であったことから， $D/t=31$ （実験）の場合，拘束効果により強度は45%程度上昇したことがわかる．

4. 結論

- 1) 鋼管とコンクリート間の付着の程度による最大耐力の差はわずかであり，かつ剛性に大きな差は見られないことから，鋼管-コンクリート接合面の合成度の影響は顕著ではないと考えられる．
- 2) 中空鋼管アーチリブは局部座屈直後に急激に耐力を失うが，CFTアーチリブは充填コンクリートにより局部座屈の発生が抑制され，対象とした $D/t=20\sim60$ の範囲であれば，鋼管の局部座屈発生後，また最大荷重到達後も荷重の急激な低下は見られず，極めて粘りのある耐荷性能を発揮した．
- 3) 対象とした $D/t=20\sim60$ のCFTアーチリブの面内耐力およびその変形性能を評価する際，鋼管-コンクリート接合面の完全合成を仮定し，かつ鋼管の局部座屈の影響を無視した通常のはり・柱曲げモデルとして取り扱うことが可能であると言える．

参考文献

- 1) 日野伸一ほか：コンクリート充填鋼管（CFT）アーチの耐荷特性に関する実験および解析，構造工学論文集，Vol50A，2004
- 2) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，pp.51-53，1997

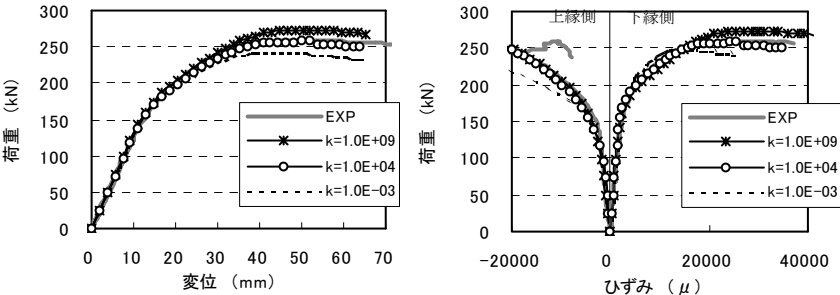


図-4 荷重-変位関係

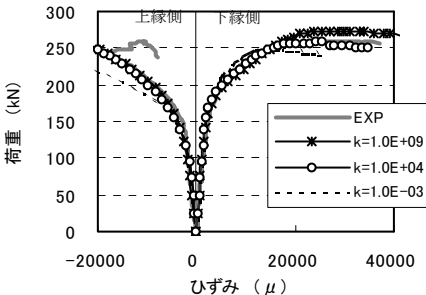
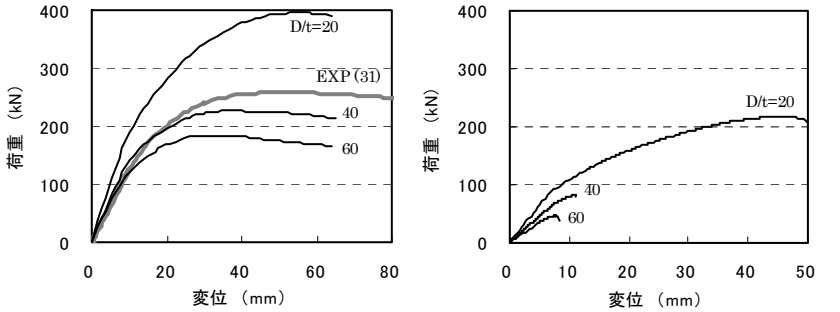


図-5 荷重-ひずみ関係



(a) CFT (b) 中空鋼管

図-6 荷重-変位関係

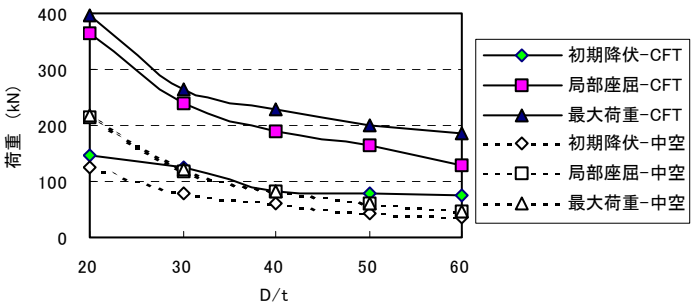


図-7 各荷重の比較