

鋼管・コンクリート複合はりの曲げ実験

金沢大学 正員 前川幸次 エイ・シー・ディ 正員 吉田博
日本ゼニスパイプ(株) 塩見昌紀 金沢大学大学院 野々山哲治

1. はじめに

地震時や衝撃的な荷重が作用する鉄筋コンクリート構造物においては、せん断破壊を防ぐとともに、曲モーメントに対して十分な強度と靱性を確保しておく必要がある。ところで、鉄筋コンクリートはり（以後、RCはり）の曲げ変形能が十分でない要因は、早期に起こるコンクリートの圧潰とそれに続く圧縮鉄筋の座屈である。そこで本研究では、圧縮鉄筋の代わりにコンクリートを充填した円形鋼管（以後、CFST）を用いることにした。これにより、コンクリートの圧潰領域を小さくすることができ、さらにCFSTは鉄筋のような座屈を起こしにくいために、RCはりに比べて十分に大きな曲げ変形能が期待できる。ここでは、鋼管・コンクリート複合はり（以後、CFST-RCはり）曲げ実験結果について報告する。

2. 実験概要

試験体の設計：試験体の諸元を図-1に示す。CFST-RCはりとはRCはりの違いは圧縮側に用いた鋼材のみであり、断面の決定の制約条件は、①設備の都合上、断面高を30cm以下とする、②CFST-RCはりでは、コンクリートの圧潰領域を小さくするとともに、鋼管にコンクリートを充填するために鋼管径をできるだけ大きくする、③コンクリートの充填および鋼管と外側コンクリートの付着を高めるために、鋼管に複数の孔を開ける、④曲げ変形能に着目するためにせん断スパンを長くするとともに、せん断補強を十分に行う（ただし、スターラップ間隔を密にすると圧縮鉄筋の座屈を妨げるためにRCはりの曲げ変形能に影響すると考えられる）、⑤CFST-RCはりとはRCはりの設計終局曲げ耐力を同程度にする、等である。そして、コンクリート標準示方書に基づいて図-1の断面の曲げ耐力 $M_{u,d}$ を算定すると、 $M_{u,d}=9.80\text{tfm}$ （CFST-RCはり）および $M_{u,d}=9.83\text{tfm}$ （RCはり）を得る。その算定において、材料特性値は鋼材の公称値およびコンクリートの設計基準強度を採用し、断面分割法による計算を行った（等価応力ブロックは用いなかった）。また、図-1に表した鋼管の孔（ $\phi 32$ ）は考慮していない。

なお、上記①、②の制約、および終局状態での中立軸が鋼管をできるだけ通らないようにするために、引張鉄筋は比較的過剰に入っている。

試験体の製作：はりの変形挙動、特にコンクリート部材の挙動はばらつくことが予想されるので、CFST-RCはりを2体（以後、C1、C2とする）、RCはりを2体（以後、D1、D2とする）、および鋼管に孔（ $\phi 30$ ）を設けないCFST-RCはり1体（以後、CNとする）を製作した。載荷試験時のコンクリートの材料特性値は表-1のようであった。また、鋼材の材料試験は行っていないので、メーカーの試験成績表を表-2に示す。

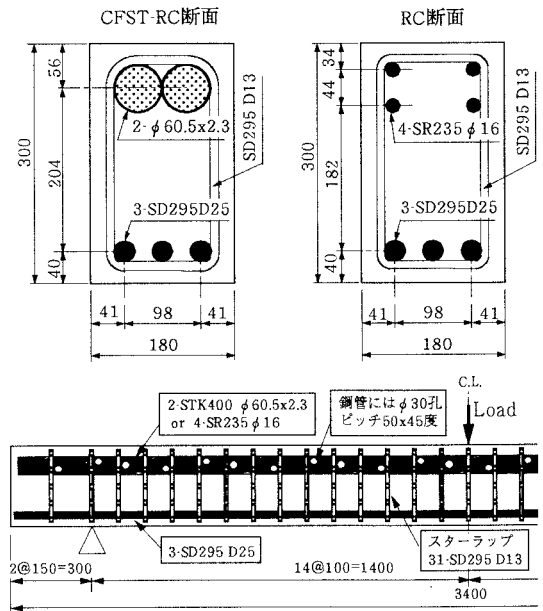


図-1 試験体形状寸法・材料

表-1 コンクリートの特性値 (kgf/cm²)

試験体名	圧縮強度	弾性係数
C1, D1	536	294000
C2, D2	553	315000
CN	539	317000

表-2 鋼材の特性値 (kgf/cm²)

鋼材名	降伏点	引張強さ
鋼管 (STK400)	4040	4969
鉄筋 (SD295)	3626	5378
鉄筋 (SR235)	3391	4655

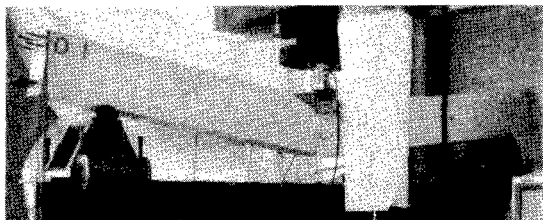


写真-1 載荷方法（試験体D1）

実験方法：終局時には圧潰によるコンクリートの崩落が予想されたので、載荷は写真-1のようにスパン中央で50mm幅の載荷鋼棒を用いた。そして、ラム速度0.5mm/min.（弾性域）と2～4mm/min.（非弾性域）の静的載荷を行った。また、ラムストローク限界時（150mm）には、除荷を行い、試験機のクロスヘッドを盛り替えた後に再載荷を行った。そして、荷重、鋼管・鉄筋のひずみ、およびたわみを計測した。

3. 実験結果

荷重－ひずみ関係：図-2は試験体C1およびD1のスパン中央から150mmの断面における鋼材の軸ひずみと荷重の関係を示している。便宜上、引張側の鉄筋ひずみが急激に増加し始める荷重を降伏荷重 P_y とする（表2の降伏点から算定できる降伏ひずみ 1750μ は使わない）。表3に各試験体の降伏荷重 P_y を示す。RCはりとはCFST-RCはりの降伏荷重の差はない。

荷重－たわみ関係：図-3はスパン中央のたわみと荷重の関係である。同じ種類の試験体のバラツキは少なく、挙動の再現性があると言える。表-3には、降伏たわみ δ_y 、最大耐力 P_u 、その95%耐力におけるたわみ δ_L 、および靱性率を示す。本実験の場合、CFST-RCはりとはRCはりに比べて約2倍の塑性変形性能を示しており、圧縮側に充填鋼管を用いる効果が明らかである。

付着性能の向上とコンクリート充填の容易さのために鋼管に開けた孔のある試験体C1、C2と孔のないCNについて荷重－たわみ関係を図-4に示す。CNにおいては、一旦急激に耐力が低下している。このとき、「ガッン」という音と同時に支点上の上側断面に鉛直なクラックが発生した。その後、耐力は幾分回復しているが、変位の増加に伴ってはり端部に施した仕上げモルタルを押し出すようにして鋼管が突き出てきた。その量は、最終的に約40mmにも達した。

終局時の破壊状況：圧潰によるコンクリートの崩落が著しく

くなると、①RCはりでは、圧縮鉄筋が横補強筋間で座屈を生じて耐力を失う、②CFST-RCはりでは、鋼管が膨れ上がる（局部座屈を生ずる）が、直ちに崩壊には至らず、鋼管の孔が著しく潰れると耐力を失うようである。

終局曲げ耐力の算定：応力－ひずみ関係の詳細は省くが、表1,2の材料特性値を先に記した断面分割法に適用した。はり上縁のコンクリートひずみ0.0035を限界ひずみとすると、 $P_u=18.7\text{tonf}$ （CFST-RCはり）、 $P_u=18.85\text{tonf}$ （RCはり）となる。一方、圧潰状況を参考にして、コンクリート断面の横補強筋内部（14x30cm）は圧潰が起これば、引張鉄筋はひずみが0.2のとき引張強さに達するものとし、これを限界ひずみとすると、 $P_u=24.6\text{tonf}$ （CFST-RCはり）、 $P_u=24.0\text{tonf}$ （RCはり）となった。座屈の影響を受けにくいCFST-RCはりでは実験値に近い耐力が得られた。ただし、鋼管の孔の影響等について検討すべき事項は多い。

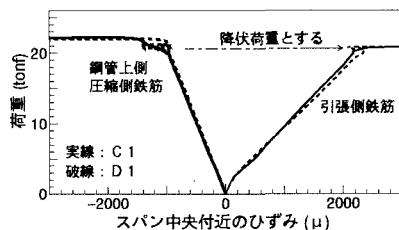


図-2 荷重－ひずみ図

表-3 実験結果（降伏荷重・耐力・靱性率）

試験体	P_y (tonf)	δ_y (mm)	P_u (tonf)	0.95 P_u 時の 変位 δ_L (mm)	靱性率 δ_L/δ_y
C1	20.9	17.5	24.0	292	16.7
C2	20.8	15.4	24.3	278	18.1
D1	20.7	18.5	22.1	143	7.7
D2	20.7	15.0	22.1	132	8.8
CN	21.4	16.4	(21.7)	(340)	(20.7)

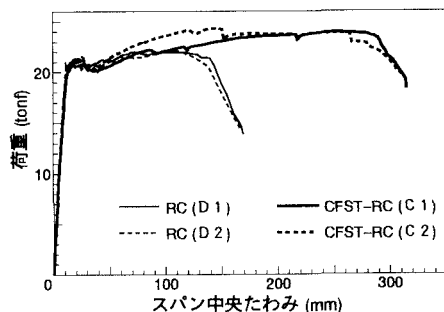


図-3 荷重－変位関係（CFST-RCとRCの比較）

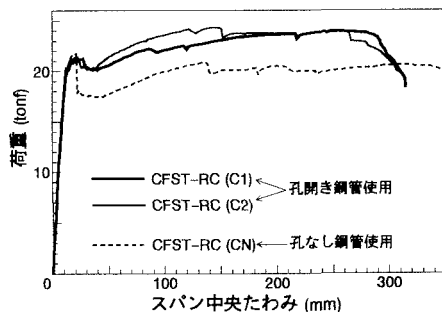


図-4 荷重－変位関係（鋼管の孔の影響）