

I-A 433 圧縮側を充填鋼管で補強した複合はりの静的曲げ実験

金沢大学大学院 学生員 野々山 哲治

金沢大学工学部 正会員 前川 幸次

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、曲げ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。試験体の種類は、引張側の鋼材として異径鉄筋を用いたRCタイプと伸び限界を大きくするためにアンボンド型PC鋼材を用いたPCタイプがある。圧縮側の鋼材として鋼管を用いたCFSTタイプと丸鋼を用いたタイプに分けられている。コンクリート充填の容易さ、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、また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、スタースラップを用いてせん断補強を十分に行った。各タイプの設計終局曲げ耐力は同程度になるように設計をし、コンクリート標準示方書に基づいて図-1の断面の曲げ耐力を求めると、 $M_u, d=9.80\text{tfm}$ (CFST-RCはり)、 $M_u, d=9.83\text{tfm}$ (RCはり)、 $M_u, d=10.16\text{tfm}$ (CFST-PCはり)および $M_u, d=10.22\text{tfm}$ (PCはり)であった。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。また、図-1に表した鋼管の孔($\phi 30$)およびPCタイプにおけるアンボンドの影響は考慮していない。

試験体の製作：試験体は、CFST-PCはりを1体(A1とする)、PCはりを1体(B1とする)、CFST-RCはりを2体(C1, C2とする)、RCはりを2体(D1, D2とする)を製作した。ここでPC鋼棒には、プレストレスを降伏応力に対して約59%導入した。荷重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、鋼材の材料特性値を表-2に示す。

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、荷重は写真-1のようにスパン中央で50mm幅の荷重鋼棒を用いた。そして、ラム速度0.5mm/min(弾性域)と2~4mm/min(非弾性域)の静的荷重を行った。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荷重を行った。そして、荷重、鋼管・鉄筋のひずみ、およびたわみを計測した。

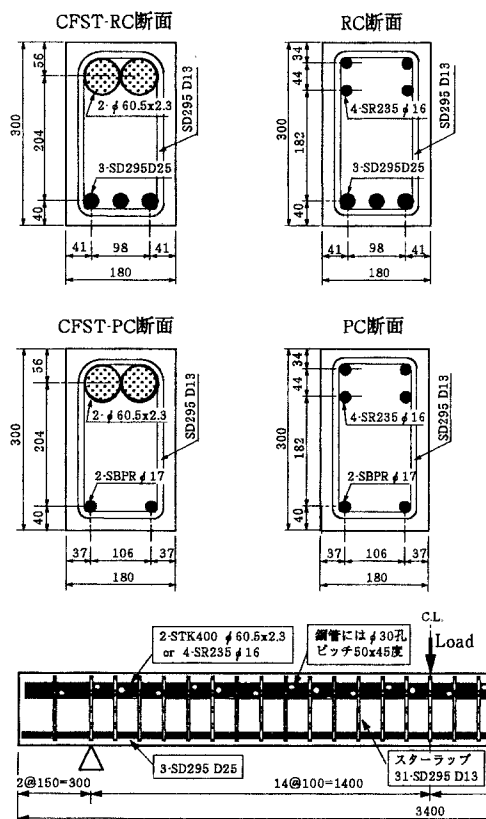


図-1 試験体形状寸法・材料

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
A1, B1	500	333400
C1, D1	536	294000
C2, D2	553	315000

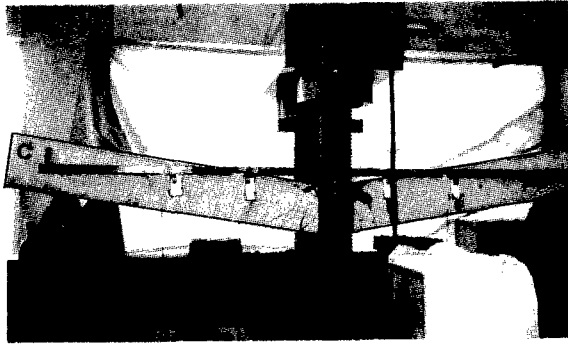


写真-1 載荷方法（試験体C1）

3. 実験結果

荷重－ひずみ関係：各試験体のスパン中央から150mmの断面における引張側鋼材のひずみと荷重の関係から便宜上、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-3に各試験体の降伏荷重 P_y を示す。PCはりとはCFST-PCはりの降伏荷重の差、およびRCはりとはCFST-RCはりの降伏荷重の差はないが、引張側にPC鋼棒を用いた試験体と鉄筋を用いた試験体の降伏荷重の差は明らかにしている。これは各PCタイプのPC鋼棒をアンボンドとしたからである。

荷重－たわみ関係：図-2は、RCはりとはCFST-RCはりのスパン中央で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。図-3は、PCはりとはCFST-PCはりのスパン中央でのたわみと荷重の関係である。PC鋼棒をアンボンドとしたことによりスパン中央の下側断面から上側断面まで鉛直なクラックが入り、たわみ約220mmのところでスパン中央のコンクリートの圧潰が激しくなった。これにより載荷板が傾きロードセルがはずれる状態となり、これ以上の荷重を続けることはできなかった。

表-3には、 P_y に対応するスパン中央での降伏たわみ 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、CFST-PCはりともPCはりに比べて約2倍の塑性変形性能を示していることから、圧縮側に充填鋼管を用いる効果が明らかにしていることがわかる。

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。③PCはりでは、4本の圧縮鉄筋のうち上側2本の鉄筋が横補強筋間で座屈を生じていた。④CFST-PCはりでは、応力がスパン中央に集中するため、CFST-RCはりに見られる鋼管に設けた孔の部分での座屈が見られなかった。

なおPCはり、CFST-PCはりにおいては、載荷点の局所的なコンクリートの圧潰のため静的荷重を続けることができず、最終的な変形能を測定することができなかった。

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
PC鋼棒(SBPR)	12667	13856

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
A1	17.1	24.4	19.2	196	8.0
B1	17.9	33.8	18.7	108	3.2
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

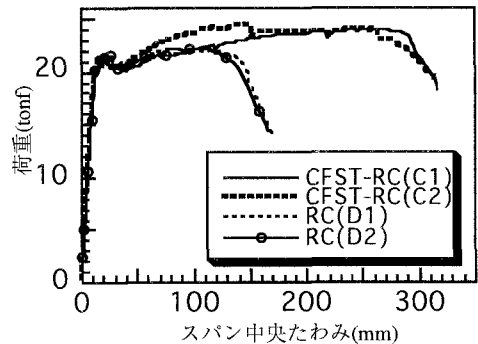


図-2 荷重－変位関係(CFST-RCとRCの比較)

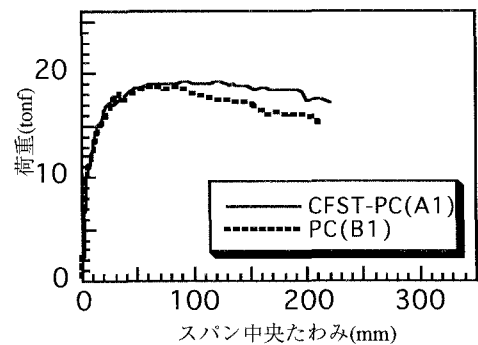


図-3 荷重－変位関係(CFST-PCとPCの比較)