

(50) 鋼管・コンクリート複合はりの耐衝撃性に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON IMPACT PERFORMANCE
OF STEEL TUBE-REINFORCED CONCRETE COMPOSITE BEAM

前川幸次* , 塩見昌紀** , 吉田博***

Koji MAEGAWA, Masanori SHIOMI and Hiroshi YOSHIDA

* 工博 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野 2-40-20)

** 日本ゼネコパイプ株式会社 開発部主任 (〒103 東京都中央区東日本橋 2-24-14)

*** 工博 吉田構造工学研究所代表 (〒932-01 富山県小矢部市水島 561)

キーワード: 鋼管, 衝撃実験, 変形能, 複合はり
(steel tube, impact test, deformation ability, composite beam)

1. はじめに

地震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。一般に、鉄筋コンクリートはり(以後、RC はりとする)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 とする)を用いることにより、CFST の断面領域におけるコンクリートの圧潰を防ぐことができるだけでなく、CFST は剛性が高いために圧縮鉄筋のような座屈を起こしにくい。その結果として、鋼管・コンクリート複合はり(以後、CFST-RC はりとする)の曲げ変形能は、RC へりに比べて十分に大きくなる。

鋼管・コンクリート複合部材に関する最近の研究としては高橋脚の省力化・急速施工を目指して始められ、構造的にも耐震性が期待できることから、軸力と繰返し曲げ載荷による実験が行われている¹⁾。本研究では、横衝撃荷重が作用し変形による高エネルギー吸収能を期待される落石防護構造物のはり部材の開発を目指して、CFST-RC へりの落錘衝撃載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体の設計

試験体の諸元を図-1に示す。CFST-RC へりと RC へりの違いは圧縮側に用いた鋼材のみであり、断面を決定するに当たって次のように配慮した。①設備の都合上、断面高を 30cm 以下とする、② CFST-RC へ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容易さの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 へりの曲げ変形能に影響すると考えられる)、⑤ CFST-RC へりと RC へりの設計終局曲げ耐力を同程度にする、等である。コンクリート標準示方書に基づいた算定により終局曲げ耐力として、 $M_{ud}=9.80\text{tfm}$ (CFST-RC へり) および $M_{ud}=9.83\text{tfm}$ (RC へり) を得た。その算定において、材料特性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。その際に図-1に示した CFST-RC へりの鋼管の孔 ($\phi 32$) は無視した。上記①,②のために終局状態においては中立軸が鋼管内に入ることになり、それをできるだけ避けるために引張鉄筋量はつり合い鉄筋比よりも多量とした。

2.2 試験体の製作

へりの塑性変形挙動、特にコンクリート部材の挙動はバラツクことが予想されるので、衝撃実験用に CFST-RC

表-1 コンクリート配合 (kg/m³)

水	セメント	膨張材	スラグ	砂	粗骨材	混和剤	最大骨材	フー...
166	220	30	280	924	770	5.7	15mm	65cm

表-2 コンクリート特性値

試験体	圧縮強度
C3, D3	54.4 Mpa
C4, D4	49.4 Mpa

表-3 鋼材の特性値

鋼材名	降伏点	引張強度
鋼管(STK400)	396 Mpa	487 Mpa
鉄筋(SD295)	355 Mpa	527 Mpa
鉄筋(SR235)	332 Mpa	456 Mpa

はり2体 (以後, C3, C4 とする) および RC はり2体 (以後, D3, D4 とする) を製作した. 鋼管内へのコンクリートの充填および鋼管とコンクリートの付着を理想的な状態にするために, 型枠を直立させて上方 (はり端部) から高流動コンクリートを打設した. コンクリートの配合, 実験時のコンクリートの特性値および鋼材の特性値を, それぞれ表-1, 表-2 および表-3 に示す.

2.3 実験方法

落錘衝撃載荷実験装置を写真-1 に示す. 重錘 (1.78tf) は鋼塊をボルト絞めにより一体化したもので, φ 50mm の鋼製ガイドパイプに沿って高さ 3.1m からはり中央に自由落下する. はり上には, 重錘下面の突起部を誘導する孔を開けた直撃部とロードセルを一体化させた鋼製載荷治具がガイドパイプで支持され, はりと 50×180mm の面で接するように設置してある. はりのスパンは 2.8m で, 支点は両端共にローラー支持とし跳ね上がり防止の治具は設けていない. 測定項目は, ①上記のロードセルによって衝撃荷重, ②スパン中央の鉄筋・鋼管ひずみ, ③重錘上部に取り付けた加速度計によって重錘加速度, および④エンコーダーによる重錘変位, である. ①~③のデータは, ロードセルの出力レベル (10tf) をプレトリガーとし, DC アンプを経てデジタル変換レコーダーに 10kHz で記録した. 著者らは, 高速ビデオカメラ変位計によりはりの変位を計測してきたが²⁾, 前者は分解能が不十分で, 後者はコンクリートの破壊によりターゲットが飛散する問題がある. 本研究では, エンコーダーにより求めた重錘の移動量をはりの載荷変位とした (重錘がリバウンドするまで, このように考えてもよいであろう). ただし, 使用したエンコーダーのパルスデジタル変換システムは最大 100Hz のサンプリングであったため, データ整理に当たっては補間を行った.

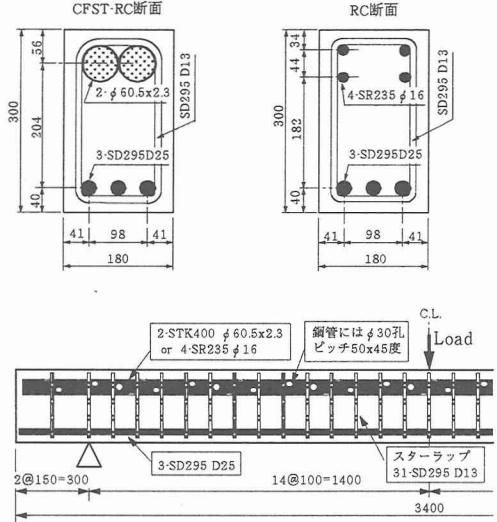


図-1 試験体の諸元

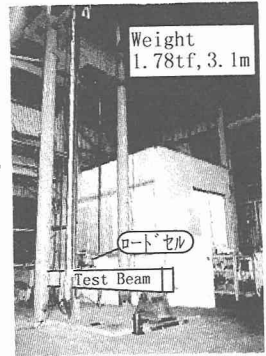


写真-1 落錘衝撃載荷装置

3. 実験結果

3.1 時間-衝撃力・変位・加速度関係

図-2(a),(b)および図-3(a),(b)はそれぞれ CFST-RC はり(C3,C4)および RC はり(D3,D4)について, 時間とロードセルにより測定した衝撃力・重錘変位・重錘加速度の関係を示している. 同一種類の試験体 C3 と C4, あるいは D3 と D4 においては, 測定結果の違いは認められない. ただし, 試験体 C4 においては, 時間ゼロ (トリガー作動時) 以前に小さな衝撃力と加速度を検出している. これは, 重錘下面の突起部が載荷治具の誘導孔へ貫入する際の不具合のためと思われる. 重錘加速度は, 衝突初期に非常に大きく変動しているが, 波形の全体的な形状はロードセルのそれに似ている. 図-2 の CFST-RC はりでは重錘の能力不足により完全破壊に至らなかったため, 約 70msec 以降における衝撃力の減少は, 重錘変位の減少を伴っており, 重錘がリバウンドしたことを表している. 一方, 図-3 の RC はりは完全に破壊したため, 約 30msec で衝撃力は減少しているが重錘変位は増加し, 約 95msec で床に衝突している. なお, 衝撃力がほぼ一定値に収束していると見なせる耐力は両タイプとも約 25tf であり, 衝撃耐荷力としては同程度である.



写真-2 破壊状況 (CFST-RC はり)

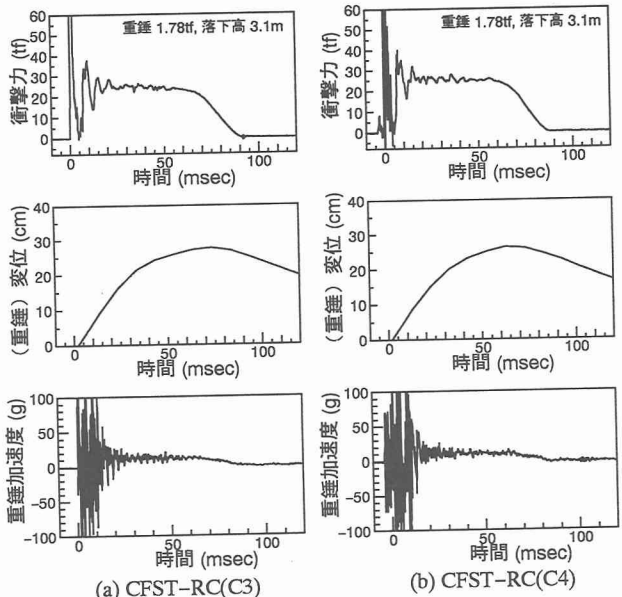


図-2 時間-衝撃力・変位・加速度関係 (CFST-RC はり)



写真-3 破壊状況 (RC はり)

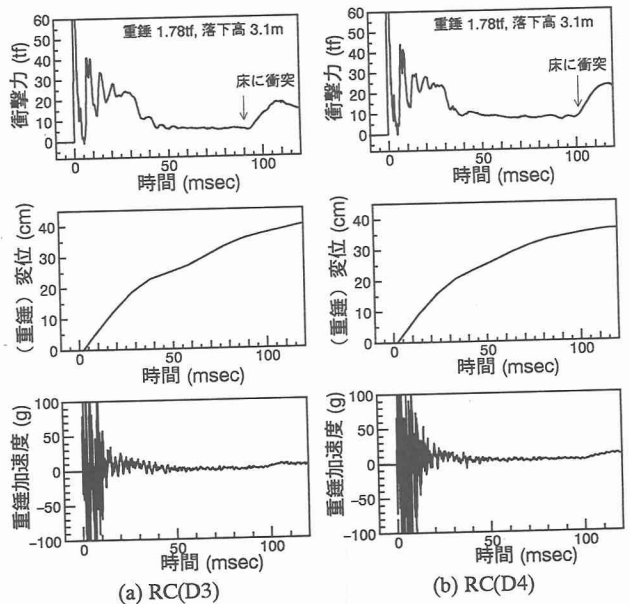


図-3 時間-衝撃力・変位・加速度関係 (RC はり)

写真-2および写真-3にそれぞれCFST-RC はりおよびRC はりの破壊状況を示す。RC はりでは、破壊がはり中央部に集中し、圧縮鉄筋が座屈している。CFST-RC はりでは、引張り側コンクリートの破壊の範囲がRC はりに比べて広いが完全破壊（着地）には至らず、鋼管に開けた孔の一部の潰れた状態（局部座屈）が確認できた。

3. 2 載荷点変位-衝撃力および伝達エネルギー関係

図-4において、実線は各試験体の重錘変位と衝撃力の関係を表し、衝撃力の重錘変位に関する積分値、すなわち重錘からはりに伝達されたエネルギーを破線で表している。CFST-RC はり (C3,C4) では完全破壊に至らなかったの

で最大変位までの積分値を図中に示し、RC はり (D3,D4) では衝撃力が急激に低下する点を限界変位とし、そこまでの積分値を示してある。また、落下高に最大変位または限界変位を考慮して求めた重錘エネルギーも図中に示してある。CFST-RC はりで、伝達エネルギーが重錘エネルギーよりも約4%大きいのは変位計測の精度によるものであり、重錘エネルギーを完全に吸収したと言える。言い換えれば、CFST-RC はりは完全破壊に至るまでにまだ余裕があることを表している。一方、RC はりでは完全破壊したために重錘エネルギーの約75%しか伝達されていない。

CFST-RC はり (C3,C4) は1回の衝撃载荷で完全破壊しなかったため、C4に対して落下高2mの2回目の衝撃载荷を行った。図-5には、1回目および2回目の結果がそれぞれ太線および細線で表されている。1回目の载荷では最終変位が156mmで静止したので、この点までを1回目の荷重-変位関係および吸収エネルギーとし、2回目のデータに対する初期値とした。2回目の载荷においても重錘がリバウンド(変位が戻っている)することによって衝撃力が減少しており完全破壊とは言えないが、スパン中央部は著しい損壊が見られた。この最大変位までの累積伝達(吸収)エネルギーは8.31tfmである。これは図-4のRCはりの限界吸収エネルギーに比べて約1.9倍にもなっており、CFST-RCはりの耐衝撃性が優れていることを示している。

4. 結論

本研究は、鉄筋コンクリートはりの圧縮鉄筋に代えてコンクリート充填鋼管(CFST)を用いたCFST-RCはりおよび通常のRCはりを単純支持し、重錘(1.78tf)を3.1mから自由落下させて衝撃载荷実験を行い、耐衝撃性について実験的に検討した。その結果、以下のようにCFST-RCはりが優れた耐衝撃性を有することがわかった。

- (1) 静的曲げ耐力を同程度に設計した両タイプのはりでは、衝撃耐力もほぼ同じ値(25tf)になった。
- (2) RCはりでは圧縮鉄筋の座屈のために载荷点の狭い範囲で破壊が集中し、変形能が悪い。一方、CFST-RCはりではCFSTの曲げ座屈は起こらず引張り側コンクリートの破壊の範囲は広くなるが、衝撃耐力が低下することもなく変形能が優れている。耐衝撃性を吸収エネルギーで評価するならば、本研究で用いたCFST-RCはりは、RCはりに比べて約2倍の耐衝撃性がある。

参考文献

- 1) 田中浩一, 大内 一: 鋼管・コンクリート複合構造橋脚模型の繰返し曲げ载荷試験, 第50回土木学会年次学術講演会, V-428, 1995.
- 2) 前川幸次, 吉田 博: コンクリート充填鋼管はりの静的および重錘衝撃実験, 土木学会論文集, No.513/I-31, 1995.

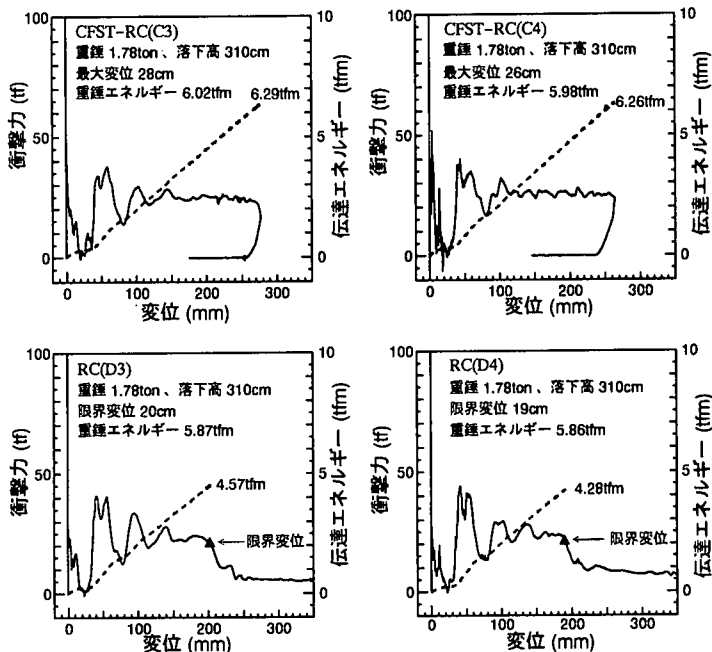


図-4 载荷点変位-衝撃力・伝達エネルギー関係

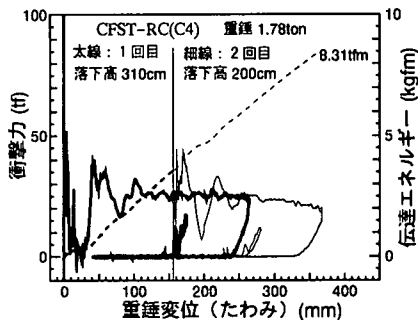


図-5 CFST-RCはり(C4)の伝達エネルギー