

論文 CFT 部材と RC 部材で構成される継手部の応力伝達機構

渡邊 聡^{*1}・西村 泰志^{*2}

要旨 : RC 部材から CFT 部材に切り替わる継手部に関して, 鉄筋に生じる付着力がコンクリート圧縮束を介して鋼管に伝達される応力伝達機構が示され, それに基づいて鋼管内面にリブプレートを取り付ける補強法が示された。この妥当性を継手部に純引張りおよび純曲げモーメントを受ける試験体を用いて検討した結果, リブプレートを取り付けることによって鋼管とコンクリートとの付着強度は増大しその効果は大きいこと, また, CFT に埋込まれる主鉄筋の定着長さを主筋径の 40 倍程度にしておけば, 継手部の応力伝達に支障がないことが示された。

キーワード : CFT-RC 継手部, 応力伝達機構, 圧縮束, リブプレート, 付着強度, 定着長さ

1. はじめに

構造特性および経済性の観点から, 低層部は CFT 構造, 上層部は RC 構造とした高層建物の構造形式が考えられる。しかしながら, この構造形式に対する既往の研究例¹⁾は少なく RC 部材と CFT 部材で構成される継手部の設計法は確立されていない。このような観点から, 本研究は, RC 部材から CFT 部材に切り替わる継手部の応力伝達性能を実験的に検討しようとするものである。

2. 応力伝達機構に関する一考察

図 - 1 に RC 部材と CFT 部材の継手部の応力伝達機構を示す。鉄筋が引張力 T を受けると, 鉄筋には付着力 R が生じる。この付着力 R はコンクリート圧縮束を介して鋼管に伝達される。鋼管に伝達された付着力 R の鉛直成分 R_H は摩擦力として直接鋼管に伝達される。一方, 水平成分 R_V は鋼管を面外方向に押し広げる作用となる。したがって, コンクリートと鋼管の摩擦力を増大させる補強と鋼管の面外方向の変形に対する補強を行えば, 鉄筋から鋼管への応力伝達が支障なく行われると考えられる。

3.1 実験概要

基本的な観点から, 引張力を受ける CFT 部材と RC 部材の継手部の応力伝達機構を実験的に検討する。前述の応力伝達機構に基づいて, 鋼管内面にリブプレートを設置した試験体が計画された。写真 - 1 にリブプレートの設置状況を示す。試験体は, リブプレートを 1 段取り付けた試験体 (CFT1), 2 段取り付けた試験体 (CFT2) および比較の為にリブプレートの無い試験体 (CFT0) の 3 体が計画された。図 - 2 に計画さ

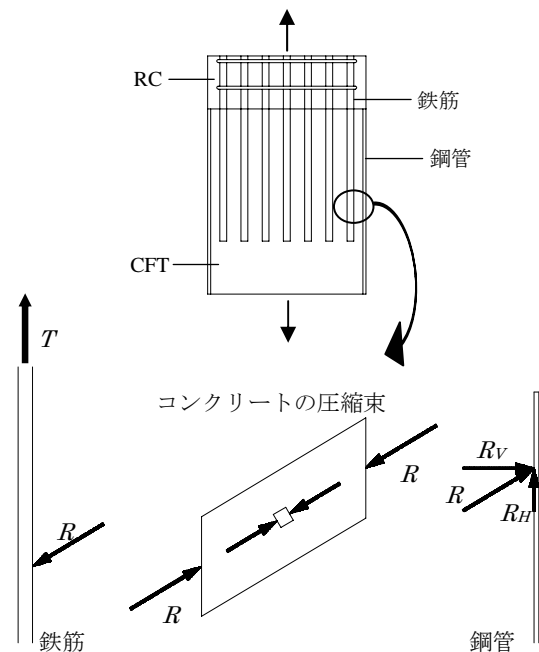


図 - 1 応力伝達機構

3. 実験 1 (引張力を受ける場合)

*1 大阪工業大学大学院 博士前期課程 (正会員)

*2 大阪工業大学教授 工学部建築学科工博 (正会員)

れた試験体の形状寸法、断面および配筋図を示す。RC 部材は断面が $300 \times 300\text{mm}$ 、主筋 (SD295) は D13 が片側に 7 本、計 14 本配筋されている。定着長さは全試験体とも 250mm である。鋼管 (BCR235) は、 $300 \times 300 \times 6\text{mm}$ である。図 - 3 に示すようにリブプレート (SS400) は高さが 15mm 、厚さが 4.5mm で、主鉄筋近傍のフランジ 2 面に取り付けられている。なお、ウェブ部分は、応力伝達の効果を除去するために、発泡スチロールによってコンクリートと鋼管は分離されている。図 - 4 に実験装置を示す。実験は試験体の下端部をピン支持し、上端部に引張力を負荷した。図 - 5 に変位の測定方法を示す。表 - 1 に使用材料の力学的特性を示す。

3.2 実験結果およびその考察

CFT0 試験体は、鋼管からコンクリートが抜け

出した。CFT1 試験体は、まず継手部の鋼管とコンクリートの間に隙間が観察され、次いで写真 - 2 に示すように、変位の増大に伴って、鋼管が徐々に面外にはらみだし鋼管内のコンクリートが徐々に抜け出した。これは、前述のように、応力伝達に伴う付着力の水平成分 R_v の影響と考えられる。一方、CFT2 試験体では、コンクリートの抜け出しは観察されず、鉄筋の抜け出しが見られた。

図 - 6 に各試験体の荷重-変位関係を示す。縦軸は試験体に負荷された引張力 N 、横軸は変位 δ である。リブプレートの無い CFT0 試験体の耐力は、他の試験体の耐力に比較して非常に小さい。CFT1 試験体は、 $\delta=1.29\text{mm}$ で急激な耐力低下が見られる。その後、変位の増大に伴って荷重が増大する。CFT2 試験体は $\delta=1.25\text{mm}$ で鉄

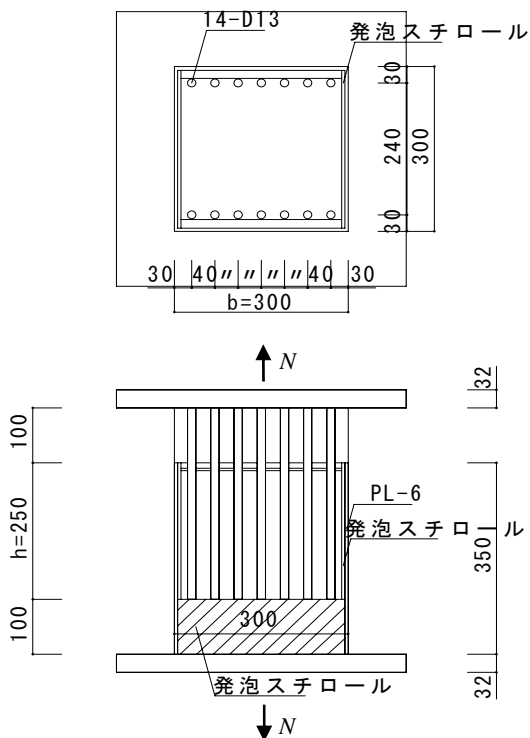


図 - 2 試験体の形状寸法、断面および配筋

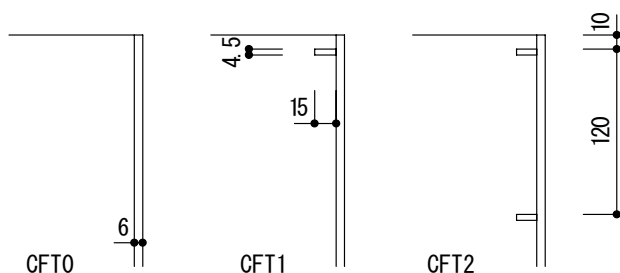


図 - 3 リブ詳細図



写真 - 1 リブプレート取付け状況 (2 段取付けた場合)

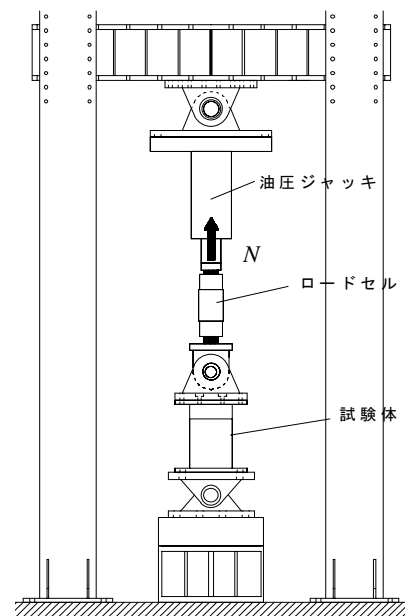


図 - 4 実験装置

筋がコンクリートから抜け出し、急激な耐力低下が見られた。CFT1 の最大荷重は、CFT2 の最大荷重より大きい。これは、CFT1 は RC 部材が徐々に抜け出したのに対して、CFT2 は片側鉄筋のみ抜け出したことが影響していると推察される。なお、CFT2 は $\delta=30\text{mm}$ 程度で実験を終了したが、前述のように、片側鉄筋の抜け出しが顕著になったためである。表 - 2 に、各試験体の最大荷重とその時の付着応力度および破壊形式を示す。表中の τ_b は、最大耐力時における鋼管とコンクリートとの付着応力度 τ_b を示す。() 内の値は、最大耐力時における鋼管に取り付け

られたリブプレートに作用する支圧応力度 σ_b である。なお、支圧応力度は、CFT1 あるいは CFT2 の最大荷重から CFT0 の最大荷重を差し引いた残りの荷重がリブプレートに作用するとしてリブプレートの断面積で除して求めた。

図 - 7 に CFT2 試験体の鋼管および鉄筋の軸ひずみ分布を示す。縦軸は軸ひずみ ε である。いずれの荷重ステップにおいても、鉄筋のひずみは、載荷側から鉄筋端部に進むに従って減少している。一方、鋼管のひずみは増大している。このことから鋼管と鉄筋の間で前述のような応力伝達がなされていることがわかる。

表 - 1 使用材料の力学的特性

材料	降伏応力度 σ_y (N/mm^2)	引張強度 σ_u (N/mm^2)	ヤング係数 E_s (N/mm^2)
鋼管 PL6	347	425	2.03×10^5
リブプレート PL4.5	308	440	2.05×10^5
主筋 D13	355	484	1.75×10^5

材料	圧縮強度 F_c (N/mm^2)	割裂強度 F_t (N/mm^2)	ヤング係数 E_c (N/mm^2)
コンクリート	30.0	2.39	2.49×10^4



写真 - 2 鋼管が面外方向にはらみ出した状況

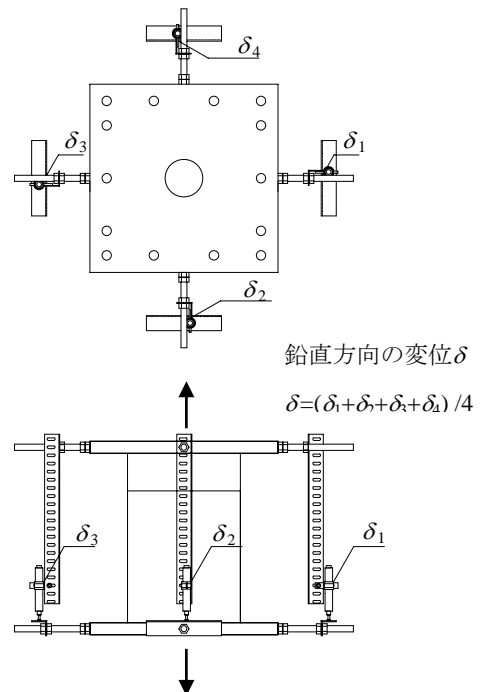


図 - 5 変位の測定

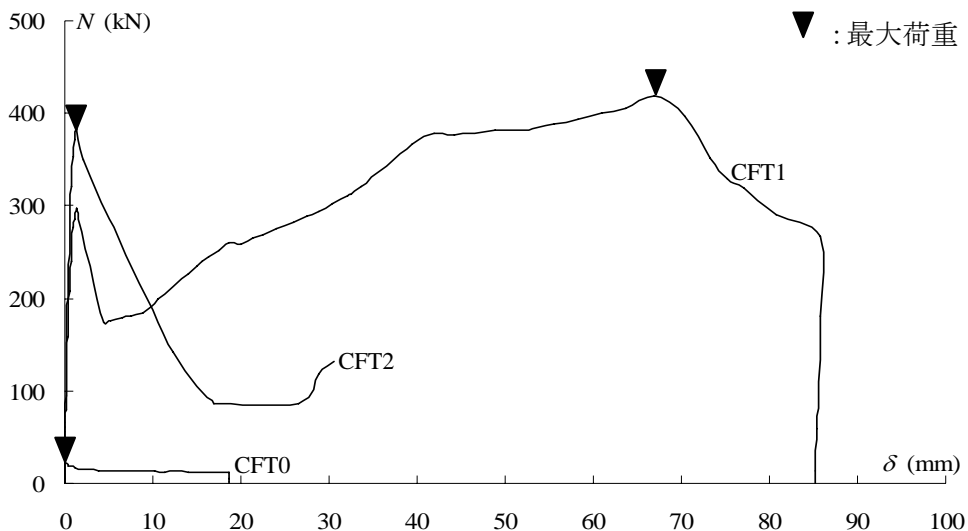


図 - 6 荷重-変位関係

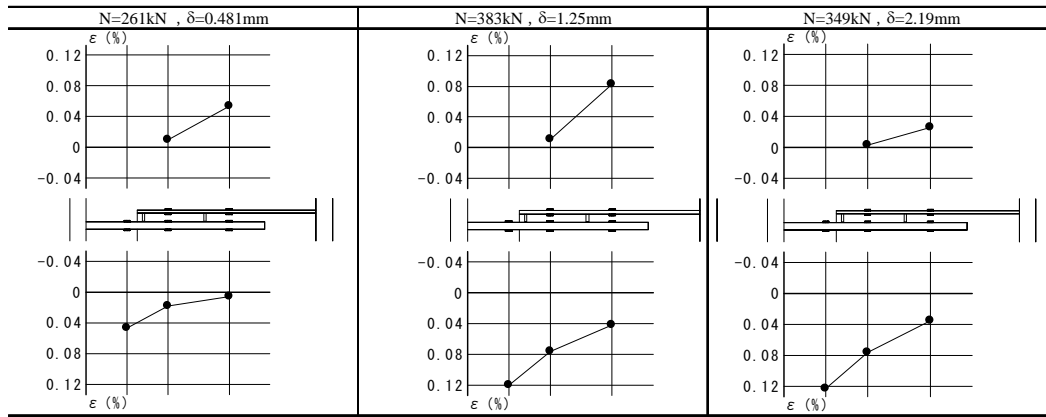


図 - 7 鉄筋と鋼管の軸ひずみ推移状況 (CFT2)

表 - 2 最大耐力, 付着応力度および破壊形式

試験体	N_{max} (kN)	τ_b (N/mm ²)	破壊形式
CFT0	21.6	0.15	コンクリートの抜け出し
CFT1	418.3	2.90(45.9)	コンクリートの抜け出し
CFT2	383.4	2.66(20.9)	鉄筋の抜け出し

N_{max} :最大荷重

τ_b :鋼管とコンクリートの間の付着応力度 $\tau_b = N_{max}/2(b-2t)h$

():リブプレートに作用する支圧応力度 $\sigma_b = (N_{max(i)} - N_{max(0)})/n(b-2t)h_r$

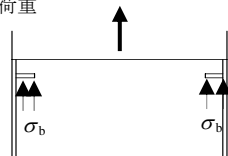
$N_{max(i)}$:CFT1 あるいは CFT2 の最大荷重

$N_{max(0)}$:CFT0 の最大荷重

n : リブの総数 h :埋込み長さ

h_r : リブの高さ t :鋼管の厚さ

b :部材幅



4. 実験 2 (純曲げモーメントを受ける場合)

4.1 実験概要

実験 2 は, 純曲げを受ける継手部の性能を実験的に検討する。図 - 8 に計画された試験体の形状寸法, 断面および配筋図の一例を示す。RC 部材は断面が $300 \times 300\text{mm}$ であり, 主鉄筋は圧縮側および引張側に D13(SD295)が各 7 本配筋されている。せん断補強筋は, D6 (SD295) が 50 mm 間隔で配筋されている。せん断補強筋比 p_w は 0.85 % である。鋼管(BCR235)は, $300 \times 300 \times 6\text{mm}$ である。実験変数は, CFT に埋込まれる主鉄筋の定着長さおよびリブプレートの有無である。定着長さは, 実験 1 の実験結果に基づいて, 400 mm (R シリーズ)と 500mm (RF シリーズ)とした。リブプレートの有無は, フランジあるいはウェブ内面に取り付けたものおよびリブの段数である。これらの実験変数の組合せによって 5 体の試験体が計画された。表 - 3 に各試験体の実験変数の組合せを示す。リブプレート(SS400) は図 - 8 に示すように, 高さが 15 mm, 厚さが 4.5 mm

表 - 3 実験変数の組合せ

試験体名	定着長さ (mm)	リブの段数	リブの有無		
			フランジ	ウェブ	
Rシリーズ	R-00	400	0	無	無
	R-01	400	1	有	無
	R-03	400	3	有	無
RFシリーズ	RF	500	3	有	無
	RF-W	500	3	有	有

である。実験は, 図 - 8 に示すように試験体の両端を単純支持し継手部に純曲げモーメントが作用するように載荷梁を介して 2 点単調載荷とした。表 - 4 に使用材料の力学的特性を示す。

4.2 実験結果およびその考察

図 - 9 に各試験体の荷重-変形曲線を示す。縦軸は, 試験体に負荷された荷重 Q , 横軸は試験体継手部中央に取り付けた変位計から得られたたわみ δ_v である。 rQ_u は, 鉄筋コンクリート断面の曲げ耐力から求められた荷重である。 rQ_u は, $2 \times 0.9a_t\sigma_y d/a$ (a_t :引張側の主鉄筋断面積, σ_y :主鉄筋の降伏応力度, d :有効せい, a :せん断スパン)によって求めた。R-01, R-03, RF および RF-W 試験体は, 部材の曲げ耐力を發揮している。また, R-01 と R-03 の最大荷重がほぼ同じことから, リブプレートは, 1 段取り付ければコンクリートの抜け出しに対して効果的であることがわかる。しかしながら, 最大荷重發揮後の耐力低下が顕著である。これは, 鉄筋がコンクリートから抜け出したためである。R-00 試験体の最大耐力は, rQ_u の 95% 程度である。このことから, リブプレートを取り付けなくても支圧力と摩擦力によって鉄筋コンクリートの応力を鋼管に伝達できることがわかる。この試験体でも最大荷重發揮後の耐力低下が見られた。しかしながら, R-01 お

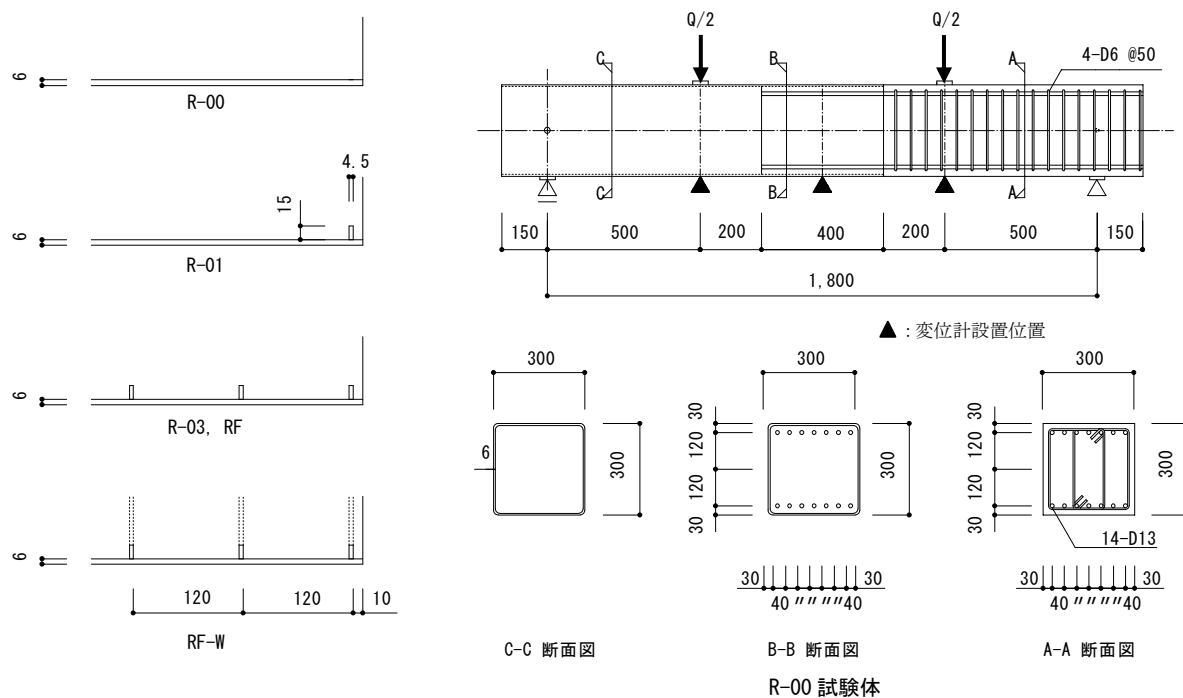


図 - 8 試験体の形状寸法, 断面および配筋図

表 - 4 使用材料の力学的特性

材料	降伏応力度 σ_y (N/mm^2)	引張強度 σ_u (N/mm^2)	ヤング係数 E_s (N/mm^2)
鋼管 PL6	321	439	1.98×10^5
リブプレート PL4.5	274	331	2.07×10^5
主筋 D13	352	486	1.78×10^5
帯筋 D6	300	487	1.84×10^5
材料	圧縮強度 F_c (N/mm^2)	割裂強度 F_t (N/mm^2)	ヤング係数 E_c (N/mm^2)
コンクリート	26.7	2.45	2.26×10^4



写真 - 3 鋼管がはらみ出した状況 (R-00)

および R-03 試験体のような著しい耐力低下は、見られない。これは、写真 - 3 に示すように、鋼管が徐々に面外にはらみだし、前述の R_V の減少に伴い R_H も徐々に減少するためと推察される。

RF と RF-W の変形および破壊性状がほぼ同じであることから、ウェブに取り付けられたリブプレートの効果は小さいと考えられる。このことから、曲げモーメントに対しては、リブプレートは、フランジに取り付ければよいと考えられる。また、R シリーズに比べて RF シリーズの方が最大荷重は大きくなっている。これは、RF シリーズの試験体の方が定着長さが大きいことである。CFT に埋込まれる主鉄筋の定着長さを $40d_b$ (d_b : 主筋径) 程度にすれば、継手部の応力伝達に支障がないことを示していると考えられる。なお、CFT 部材と RC 部材との境界部では、

RC 部の曲げ破壊の様相が顕著でコンクリートの局所的な損傷はみられない。

図 - 10 は CFT 部材と RC 部材の引張側の離間量を示す。縦軸は、試験体に負荷された荷重 Q (kN)、横軸は離間量 δ_h (mm) である。離間量 δ_h は、図 - 10 の付図に示すように、部材側面の下端 50mm の位置で両部材の境界を挟んで 100mm の間隔で測定された値である。この離間量には、コンクリート、鉄筋の抜け出し量および継手部の回転量等の影響が含まれているが、この位置を定めたのは、主鉄筋近傍の挙動を伺う事に主眼をおいたためである。なお、部材側面で離間量を測定したのは、部材側面では鋼管の面外方向の変形がほとんどなく、離間量を測定する為にその影響が小さいと考えたためである。この図から、R-00 試験体に比べ R-01 および R-03 試験

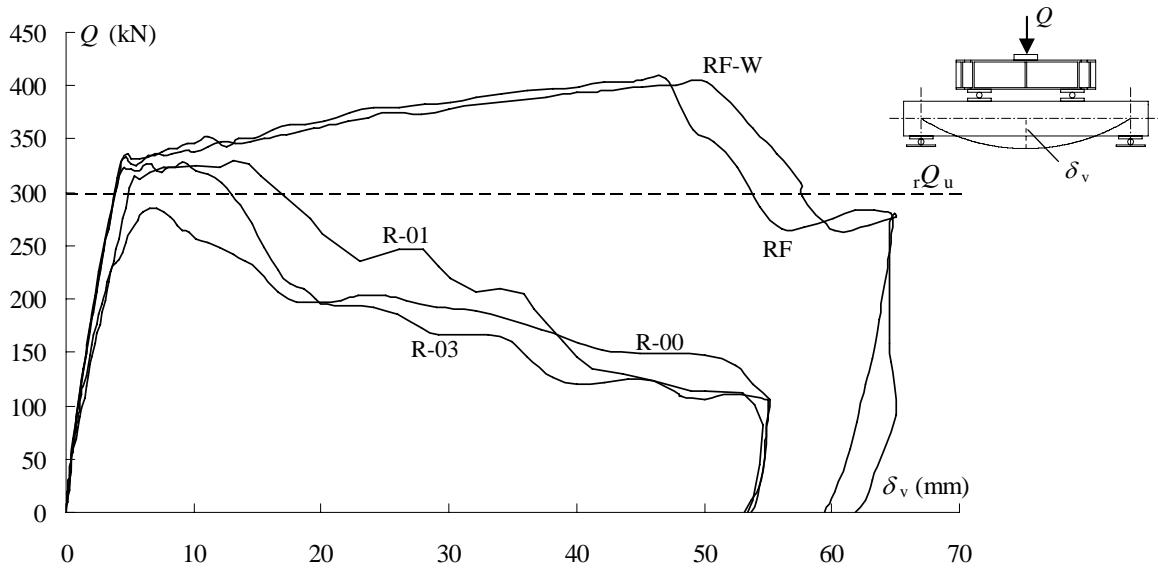


図 - 9 荷重変形曲線

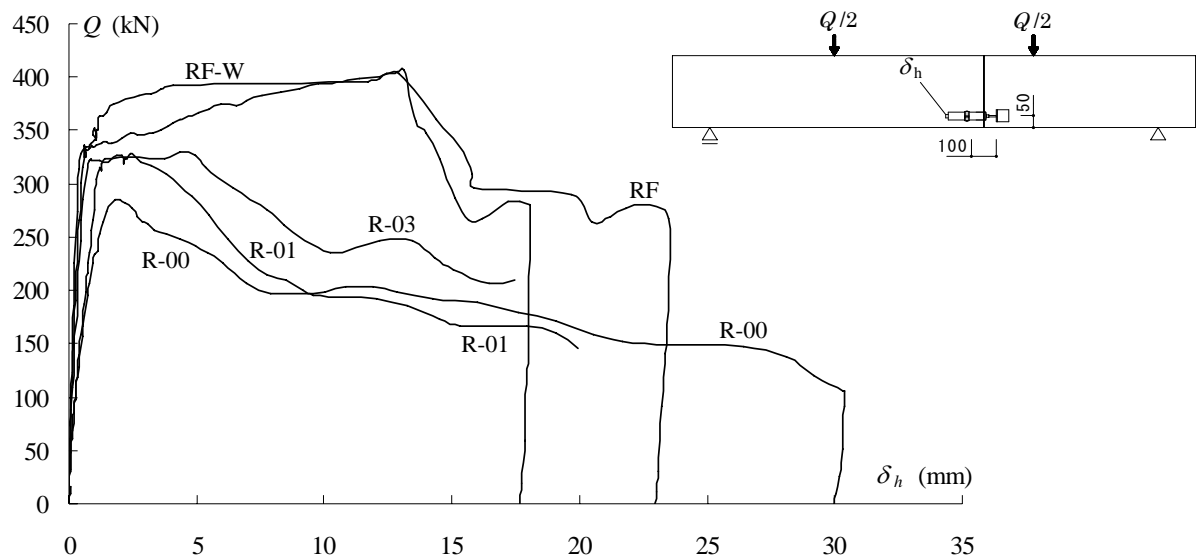


図 - 10 CFT 部材と RC 部材との離間量

体の離間量が少ないことがわかる。このことからリブプレートを取り付けることによって鋼管とコンクリートとの摩擦力が増大したことがわかる。R シリーズに比べて RF シリーズの方が離間量が少ない。これは、定着長さが 500mm であるためコンクリートから鉄筋の抜け出しが生じなかったためである。したがって、主鉄筋の定着長さを $40d_b$ 程度確保すれば、離間量の抑制に効果的であることがわかる。

5. 結論

本実験の範囲では、以下の知見が得られた。

1) 鉄筋から鋼管への応力伝達機構が示され、それに基づいて、鋼管内面にリブプレートを取

り付ける補強法が示された。

2) リブプレートを一段とりつけることにより、鋼管とコンクリートとの付着強度は 20 倍程度に増大する。

3) リブプレートウェブに取り付けても曲げ破壊性状に及ぼす影響は小さい。

4) 定着長さは、主筋径の 40 倍程度にすれば継手部の応力伝達に支障がない。

参考文献

1) 今野・吉村他：引張力を受ける RC 柱から CFT 柱の切り替え部における応力伝達機構 (その 1), (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1271-1274, 1999-9