

# 鉄筋コンクリート充填鋼管(RCFT) の耐震性能に関する試験

毛利栄一郎<sup>1</sup>・塩井幸武<sup>2</sup>・長谷川明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生員 八戸工業大学大学院 (〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

<sup>2</sup>正会員 八戸工業大学構造工学研究所 (〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

<sup>3</sup>正会員 八戸工業大学環境建設工学科 (〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

兵庫県南部地震等で鉄筋コンクリート (RC)、構成構造物に数多くの被害が発生した。その中で RC 構造物の曲げせん断破壊、鋼製構造物の座屈破壊が重大な被害に結びついている。このような被災を避けるために、今後も高密度に集中する都市内構造物は設計荷重を超える地震力に対して十分な変形性能を確保する必要がある。先に RC のせん断に対する変形性能、残留耐荷力を確保するために断面の中心部を補強すればよいことを明らかにしているので、その延長線でコンクリート充填鋼管 (CFT)、鉄筋コンクリート充填鋼管 (RCFT) のせん断破壊、曲げ破壊に対する挙動を繰り返し載荷試験で明らかにした。その試験結果を RC 柱、鋼管柱との比較で報告するものである。

*Key Words : Concrete Filled Tube(CFT), Reinforced Concrete Filled Tube(RCFT)*

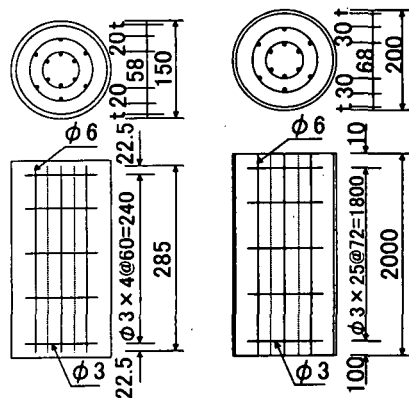
## 1. はじめに

鋼管にコンクリートを充填したコンクリート充填鋼管(CFT)柱は小さい断面寸法に対して大きな耐荷力が得られる。また、充填コンクリートが鋼管の座屈の進行を遅らせることで高い変形性能が期待できる。そこで我々は、更なる変形性能の向上を目指し CFT に鉄筋を配した鉄筋コンクリート充填鋼管(RCFT)についても検討した。試験では、鋼管の厚さ (径厚比)、鋼管形状 (普通鋼管、リップ付鋼管)、配筋方法、コンクリート強度をそれぞれかえた試験体で載荷試験を行った。

## 2. 試験概要

本試験では、せん断試験と曲げ試験を行った。せん断試験は、圧縮破壊時に生じる斜めせん断面について評価した。よって、圧縮せん断試験と呼

ぶ。圧縮せん断試験の試験体の種類は、無筋コンクリート (低強度 21.6N/mm<sup>2</sup>、高強度 42.5 N/mm<sup>2</sup>) と RC (配筋は大リング、小リング、二重リングの 3 種類) のコンクリートグループ 5 種類、鋼管のみのグループ (板厚 3.2mm、4.5mm、6.0mm、リップ付き 6.0mm) 4 種類、CFT グループ 8 種



圧縮せん断試験体 曲げ試験体  
図-1 配筋図

類、RCFT グループ 12 種類の計 29 種類である。載荷方法は  $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$  の柱状の試験体に垂直載荷する。荷重制御方式で、載荷速度  $5.88\text{kN/sec}$ 、載荷ピッチ  $196\text{kN}$  とし、塑性域から 3 回繰り返して載荷した。塑性域は、荷重変位曲線の変位が、 $0\text{mm}$  付近に戻らなくなった時とした。ただし、コンクリートグループは、載荷速度  $2.94\text{kN/sec}$ 、載荷ピッチ  $98\text{kN}$ 、最初から 3 回繰り返してとした。

次に、曲げ試験は、鋼管のみグループ 4 種類、CFT グループ 8 種類、RCFT グループ 12 種類の計 24 種類とした。載荷方法は  $\phi 200\text{mm} \times 2000\text{mm}$  の試験体の両端を回転支承とした 2 点載荷とした。載荷速度  $2.94\text{kN/sec}$ 、載荷ピッチ  $98\text{kN}$  とし、塑性域から 3 回繰り返してとした。鋼管のみグループは載荷ピッチ  $49\text{kN}$  とした。なお、圧縮せん断試験、曲げ試験の RC、RCFT コンクリートは低強度とした。鋼管の材料は

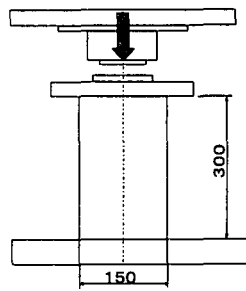


図-2 圧縮せん断試験

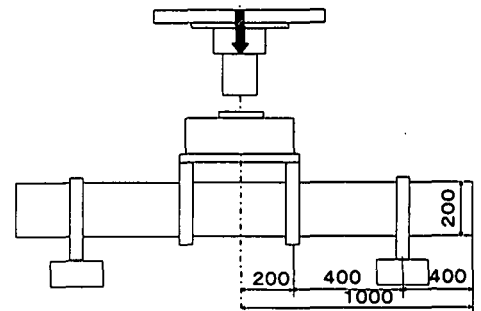


図-3 曲げ試験 (mm)

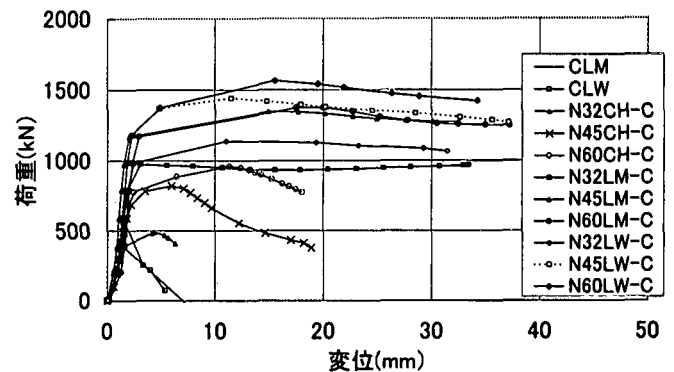


図-4 圧縮せん断試験の荷重変位曲線

表-1 圧縮せん断試験、曲げ試験の試験結果

試験体名	特徴	圧縮せん断試験(C)					曲げ試験(B)		
		耐荷力 (kN)	最大荷重時の の靱性率 ( $\sigma_r/\sigma_y$ )	最大荷重95% 時の靱性率 ( $\sigma_{95}/\sigma_y$ )	初期降伏時 の合成率	最大荷重時 の合成率	最大曲げ モーメント (kN/m)	鋼管との最 大曲げモー メントの比較	最大荷重時 の靱性率 ( $\sigma_r/\sigma_y$ )
N32CH	中空	492.5	2.7	3.3	—	—	36.9	—	2.5
N32HM	高強度CFT	1517.0	1.4	1.6	1.48	1.17	87.3	2.37	8.4
N32LM	低強度CFT	975.4	1.7	9.1	1.24	1.16	80.7	2.19	11.7
N32LB	RCFT(大リング)	1052.6	4.6	11.0	1.05	1.15	82.3	2.23	6.4
N32LS	RCFT(小リング)	1041.6	4.3	8.1	1.3	1.08	80.6	2.18	9.2
N32LW	RCFT(二重リング)	1139.3	4.5	10.1	1.31	1.14	89.9	2.44	8.2
N45CH	中空	821.0	2.7	3.5	—	—	63.2	—	2.0
N45HM	高強度CFT	1965.9	1.5	2.2	1.46	1.23	120.5	1.91	4.3
N45LM	低強度CFT	1347.7	7.5	14.4	1.35	1.17	110.6	1.75	5.8
N45LB	RCFT(大リング)	1374.1	5.6	12.0	1.07	1.12	110.9	1.75	4.7
N45LS	RCFT(小リング)	1369.3	5.2	9.1	1.13	1.07	116.7	1.85	7.6
N45LW	RCFT(二重リング)	1441.6	5.0	9.4	1.14	1.1	118.8	1.88	8.1
N60CH	中空	959.1	8.0	5.5	—	—	92.2	—	4.1
N60HM	高強度CFT	1829.5	1.4	2.8	1.37	1.07	152.6	1.66	8.6
N60LM	低強度CFT	1576.8	6.9	8.8	1.23	1.08	140.1	1.52	5.3
N60LB	RCFT(大リング)	1509.5	9.4	13.1	1.06	1.12	144.4	1.57	5.3
N60LS	RCFT(小リング)	1472.7	7.6	10.6	1.06	1.06	143.3	1.55	6.4
N60LW	RCFT(二重リング)	1565.5	7.1	11.3	1.06	1.1	148.6	1.61	10.3
R60CH	中空	1079.9	8.0	9.7	—	—	80.1	—	5.5
R60HM	高強度CFT	2149.6	1.4	3.6	1.65	1.18	131.0	1.64	6.8
R60LM	低強度CFT	1576.8	8.5	8.9	1.37	1.12	122.9	1.53	7.5
R60LB	RCFT(大リング)	1642.0	10.5	18.4	1.16	1.11	129.2	1.61	5.9
R60LS	RCFT(小リング)	1669.5	5.1	8.4	1.34	1.1	127.4	1.59	7.7
R60LW	RCFT(二重リング)	1813.7	8.2	13.7	1.35	1.17	131.7	1.64	9.8
CHM	高強度コンクリート	878.6	—	—	—	—	—	—	—
CLM	低強度コンクリート	377.7	—	—	—	—	—	—	—
CLB	RC(大リング)	463.4	—	—	—	—	—	—	—
CLS	RC(小リング)	513.2	—	—	—	—	—	—	—
CLW	RC(二重リング)	549.9	—	—	—	—	—	—	—

鋼管試験体の頭文字のNは普通鋼管、Rはリブ付鋼管の意

STK400 (リブ付きは SSK400)、主鉄筋 ( $\phi 6\text{mm}$ ) には SR235、帯鉄筋 ( $\phi 3\text{mm}$ ) には SWRM6TW を使用した。配筋図を図-1 に示す。計測項目は、載荷荷重、変位、歪みを中心に行った。

### 3. 試験結果

#### (1) 圧縮せん断試験

圧縮せん断試験 (図-2) の荷重変位曲線を図-4 に、耐荷力、靱性率および合成効果を表-1 に示す。径厚比、配筋、コンクリート強度の異なる全ての領域で、CFT、RCFT 供試体は、コンクリート供試体、RC 供試体に比べ、耐荷力が大幅に向上した。高強度コンクリート CFT の耐荷力が最も高く、配筋では二重リングが優れていた。RC 供試体では中心を鉄筋で補強した小リングが高いせん断抵抗を有していたが、RCFT で顕著でない理由は、鋼管がコンクリートの外部を拘束するため、鋼管全体の有効断面積が鉄筋量の大小に関係なく、変化しなくなったためと考えられる。すなわち、鋼管内に配置するリングの径の大小による耐荷力への影響は少ないと考えられる。また鋼管の肉厚を厚くすると、耐荷力が高くなる。リブの効果については、リブ付鋼管自体の剛性が高いため耐荷力が高くなっているが、耐荷力に影響を与えているとは言いがたい。

靱性率は、最大荷重時の変位と、最大荷重 95% 時の変位を初期降伏時の変位で除したものとした。最大荷重時の靱性率 ( $\sigma_r/\sigma_y$ ) を鋼管の厚さ別に比較すると、平均で 6.0mm が最も高かった。次いで、4.5mm、3.2mm の順となった。配筋別に見ると、大リングが強いが、低強度 CFT と大きな違いはない。ここで、高強度 CFT の靱性率が低い理由として充填コンクリートの荷重分担分が、鋼管よりも高いため破壊時にコンクリートの破壊が先行したことによると推定される。次に、最大荷重 95% 時の靱性率 ( $\sigma_{95}/\sigma_y$ ) を鋼管の厚さ別に比較すると、平均で 4.5mm が最も高く次いで 6.0mm だった。配筋では大リングが高くなっている。 $\sigma_r/\sigma_y$  と  $\sigma_{95}/\sigma_y$  を比較すると、

4.5mm の靱性率が大きい、大リングの靱性率が大きく伸びている。他の肉厚等でも同様であることから、鉄筋は、終局限界状態で効果が発揮できるものと考えられる。また、リブの効果について 6.0mm 普通鋼管と比較すると最大荷重時、最大荷重 95% 時ともに高い靱性を示している。

以上から、靱性率 ( $\sigma_r/\sigma_y$ ) は、鋼管自体の厚さの順になっているが、靱性率 ( $\sigma_{95}/\sigma_y$ ) は、4.5mm で高く、6.0mm の靱性率の伸びが少ない。すなわち、最大荷重では、鋼管が厚いと、靱性は高いが、最大荷重 95% 時では鋼管が厚いと逆に伸びないという結果になった。また、充填コンクリートの強度が高いと破壊時に高い靱性を発揮しがたいという結果になった。

合成効果は表-1 で示した耐荷力を、コンクリートと鋼管本体の累加強度で除したものである。初期降伏時の合成効果は、リブ付 6.0mm が最も高く、次いで、3.2mm、4.5mm、6.0mm となった。高強度 CFT の合成効果が最も優れていた。次に、最大荷重時の合成効果は、初期降伏時と比べ、ほとんどの項目で低下している。リブの効果も見られなかった。その理由として、初期降伏時までは鋼管とコンクリートが一つの弾

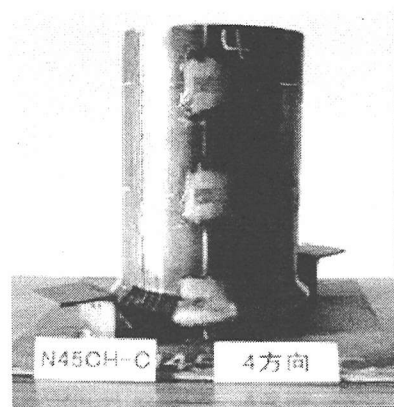


図-5 試験後の中空鋼管

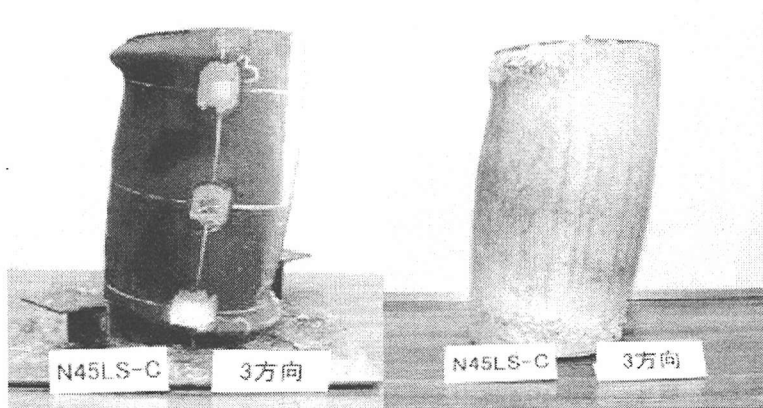


図-6 試験後の RCFT

性体として変形しているのに対し、最大荷重時には鋼管とコンクリートの付着面が剥離し、別々に作用しているためと考えられる。

図-5、図-6は試験後の供試体である。図-5では鋼管下部が提灯座屈している。RCFTでは、内部コンクリートのせん断破壊の影響を受け、鋼管上部と、その対角線上の鋼管下部に局部座屈が生じている。

#### (2) 曲げ試験

曲げ試験(図-3)の結果は、表-1に示す。靱性率は最大荷重95%時までの載荷をできなかつたため、最大荷重時の靱性率のみを算出した。径厚比の異なる全ての鋼管で、コンクリートを内部に充填することで曲げ耐力、変形性能とも大幅に向上した。径厚比の影響は、肉厚を厚くすると曲げ耐力の向上は見られるが、中空鋼管とのモーメント比は小さくなる。配筋による差は、二重リングが最も高い曲げ耐力を示したが、その差は僅かである。各径厚比におけるCFT部材と、RCFT部材を比較すると、曲げ耐力の差は見られなかったが、二重リング、小リングで靱性の向上が見られた。充填コンクリートに、鉄筋を配置することにより、最大荷重までは鉄筋を配した効果は顕著に見られないが、それ以降の載荷では優れた変形性能が期待できる。リブによる曲げ耐力、変形性能に与える影響は、最大曲げ耐力で、リブなしの供試体と比較して、約13%~16%の低下が見られた。靱性率はほとんど変化がなかった。その理由として、リブが引張側のコンクリートのひび割れを早め、鋼管とコンクリートの付着面が剥離し、強度低下となったと考えられる。また、充填した高強度コンクリートと、低強度コンクリートの差は大きく表れず、内部コンクリートの曲げに対する影響は小さいことがわかった。

図-7はリブ付RCFTの試験後の破壊状況である。リブの凹凸部分からひび割れが伸びているのが確認できた。鋼管には載荷点に座屈が生じた。リブ無RCFTでは引張側に細かいひび割れが見られた。またCFTでは、載荷点付近で内部コンクリートに破断が見られた。

## 4. まとめ

### (1) 圧縮せん断試験

a) 鋼管にコンクリートまたは、RCを充填することにより変形性能が大幅に向上する。また、6.0mm鋼管よりも4.5mm鋼管の靱性率が高かったことから、必ずしも厚い方が良いとは言えない。鉄筋の効果は終局限界状態で発揮され耐震性能に優れている。

b) リブの効果については、初期降伏時には発揮されるが、最大荷重時には効果が下がる。

### (2) 曲げ試験

a) RCFTでは、内部コンクリートの破断を抑制することができCFTと比べ曲げ耐力、靱性率の向上が見られる。

b) リブが引張側のひび割れを促進し、曲げ耐力の低下の原因となったので、地震時に起こる曲げせん断破壊には有効ではない。

以上より、RCFTは信頼性と耐震性の高い部材として広く活用できることが判明した。

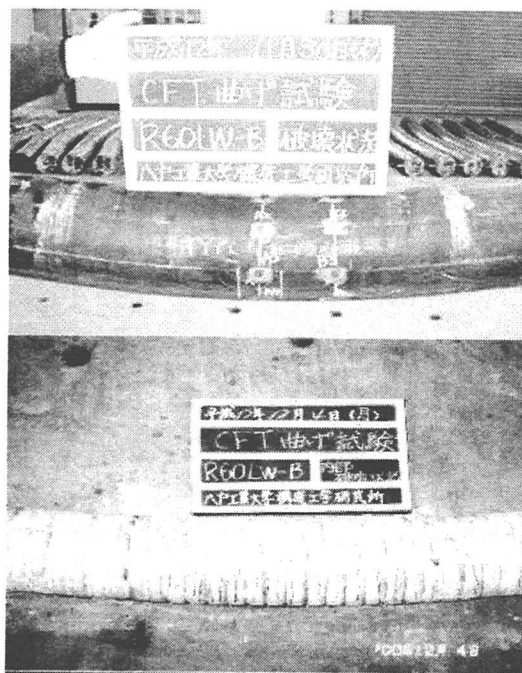


図-7 曲げ試験後のRCFT

### 参考文献

- 1) 三浦晋、塩井幸武、長谷川明：鋼管杭基礎に関する研究。東北支部技術研究発表会講演概要
- 2) 毛利栄一郎、小達亮、斎藤天徳：コンクリート構造物のせん断補強に関する研究。東北支部技術研究発表会講演概要