

# 鋼管で囲んだ高強度鉄筋 コンクリート柱 (RCFT構造) の耐火性能

— 一曲げ圧縮載荷加熱試験 —

馬場 重彰・道越 真太郎・小林 裕・小室 努\*1

Keywords : fire resistance, fire test under loads, RCFT structure  
耐火性能, 載荷加熱実験, RCFT構造

## 1. はじめに

筆者らは、鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱 (RCFT柱; Reinforced Concrete Columns formed in Steel Tube) の開発を行ってきた。既報<sup>1)~2)</sup>では、RCFT柱の中心圧縮載荷加熱実験を実施し、その耐火性能を把握するとともに、RCFT柱の火災時耐力をCFT、主筋および帯筋のそれぞれの耐力の累加で表現できることを示した。

RCFT構造はRCFT柱と鉄骨梁とで構成される架構形式<sup>3)</sup>であることから、火災時には鉄骨梁の熱膨張にともない、RCFT柱は部材角を生じることが想定される。そこで、無耐火被覆RCFT柱の柱頭に水平力を与えた載荷加熱試験を実施した。本報はその概要を報告する。

## 2. 実験計画

### 2.1 試験体

試験体一覧を表-1に示す。実験パラメータは、軸力比 (0.33, 0.40)、部材角量 (1/100, 1/50rad)、幅厚比 (80, 29) および帯筋量 (0.24, 0.47%) とし、5体の試験体を製作した。

実建物の火災時挙動を図-1に示す。火災時にRCFT柱は、鉄骨梁の熱膨張にともない部材角を生じ、また、同図に示すような境界条件を再現する実験をおこなう。試験体配筋図 (No. 1~3試験体; 同図には温度測定位置および載荷加熱方法もあわせて示している) を図-2に示す。試験体の外径は350mmとし、かぶり量は50mm、加熱区間長さは2100mm (径長さ比6) に設定した。コンクリートの調合を表-2に、材料特性を表-3に示す。強度管理は試験体と同一断面寸法の無筋コンクリートから採取したコア供試体の圧縮強度によることとし、載荷荷重は試験開始時材齢114日の圧縮強度105MPaと各試験体毎の想定軸力比に基づき決定した。実験時の含水率は6.07%であった。使用した鋼材の材料特性を表-4に示す。

\*1 設計本部構造グループ

表-1 試験体一覧

List of specimens

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
柱幅D (mm)	350	350	350	350	350
コンクリート強度 (MPa)	105	105	105	105	105
かぶり (mm)	50	50	50	50	50
鋼種	SS400	SS400	SS400	SM490	SS400
鋼管厚 t (mm)	4.39	4.41	4.41	11.91	4.40
幅厚比	80	80	80	29	80
ts/Ds	0.013	0.013	0.013	0.034	0.013
主筋	12-D16 (SD390)				
pg (%)	2.61	2.61	2.61	2.86	2.61
スパイラル筋	U5.1φ50	U5.1φ50	U5.1φ50	U5.1φ50	U6.4φ40
pw (%)	0.24	0.24	0.24	0.25	0.47
加熱区間 (mm)	2100	2100	2100	2100	2100
加熱区間/柱幅	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
部材角 (rad)	1/100	1/100	1/50	1/100	1/50
目標部材角到達時間 (分)	60	60	60	60	60
載荷荷重 (MN)	3.84	3.20	3.20	3.51	3.84
軸力比	0.40	0.33	0.33	0.40	0.40
耐火時間 (分)	171.0	163.5	138.0	213.0	192.0
実験パラメータ					
部材角		○	○		
部材角	○				○
軸力比	○	○			
幅厚比	○			○	
帯筋	○				○

表-2 コンクリート調合表

Mix properties of concrete

実験時目標 圧縮強度 Fc (MPa)	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 S/a (%)	最大粗 骨材径 Gmax (mm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				骨材a		細骨材 S	粗骨材 G
				水 W	結合材 B		
100	33	49.8	20	160	485	863	871

注1) セメントは3成分結合材

注2) 3成分結合材は、普通セメント:スラグ石膏系結合材:シリカヒューム=7:2:1

表-3 コンクリートの材料特性

Material properties of concrete

材齢 (日)	圧縮強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)	ポアソン ン比	備考
114	105	41.5	0.23	No. 2実験日
120	104			No. 3実験日
126	107			No. 1実験日
132	110			No. 5実験日
139	111	44.5	0.24	No. 4実験日

表-4 鋼材の材料特性

Material properties of steel

種別	試験体	使用箇所	降伏点 (Mpa)	ヤング率 (GPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
PL4.5 (SS400)	No. 1~3, 5	鋼管	317	197	452	31.5
PL12 (SS400)	No. 4	鋼管	350	207	535	26.9
D16 (SD390)	No. 1~5	主筋	435	193	631	16.3
U5.1 (SBPD1275/1420)	No. 1~4	帯筋	1462	201	1472	8.71
U6.4 (SBPD1275/1420)	No. 5	帯筋	1458	206	1480	8.71

### 2.2 実験方法

文献4)で示されている実験方法を採用した。実験では、加熱柱（試験体）に複曲率をあたえる加力方式とし、非加熱柱の長さは加熱柱の0.7倍とした。軸力は加熱開始前に非加熱柱の柱頭に与え、加熱中は一定に保持する。载荷プログラムを図-3に示す。同図に示すように、60分で目標部材角に到達するように一定速度で接合部に強制変形をあたえ、60分以降は目標部材角で保持した。部材角は加熱区間長での相対水平変位差を加熱区間で除すことにより求める。ここで、試験体柱頭の鉛直・水平変位量は、図-4中の○印で評価し、接合部が剛体として回転・移動するとして、変位計H1, H2, V1よりもとめた。また、加熱温度はIS0834の標準加熱温度曲線に従った。

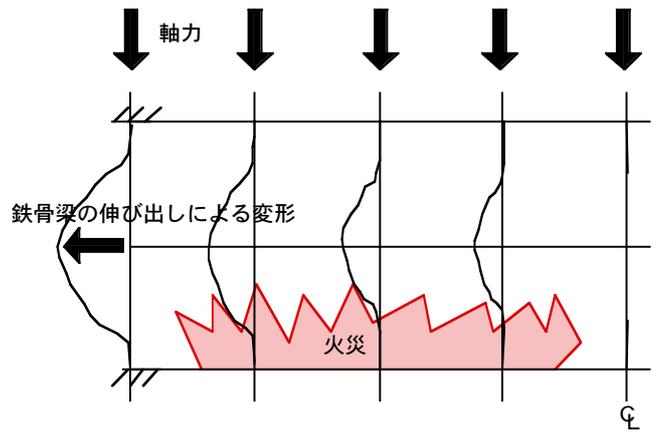


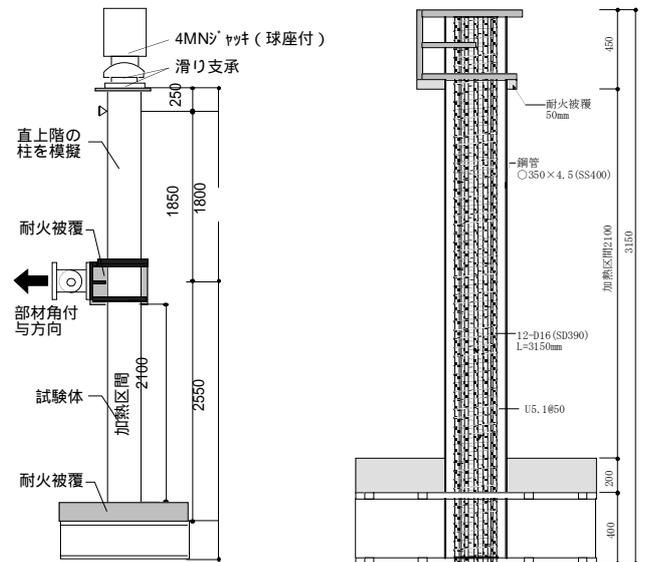
図-1 建物の火災時挙動  
Structural response on fire

### 3. 実験結果

試験体柱頭の水平変形および軸方向変形の経時変化を図-5～図-6に示す。試験体内部温度の一例として、No. 1試験体の温度結果を図-7に示す。図-5より、本一連の実験では、ほぼ想定通りの水平変形を付与することができた。

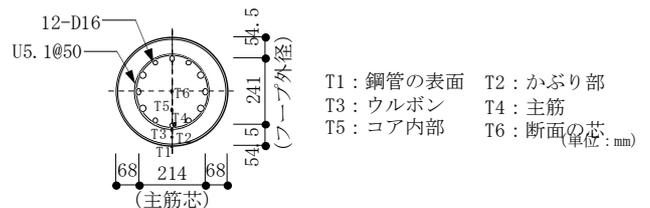
本実験では、軸方向変形がIS0834の軸力を支える部材に関する収縮の規定値 ( $h/100$ ,  $h$ =加熱長さ; 本実験では21mm)に達しても崩壊に至らない試験体 (No. 4およびNo. 5試験体)があったが、ここでは鉛直荷重能力を失った時点を耐火時間と定義した。耐火時間は、138～213分であった。また、試験後の試験体状況を写真-1に示す (No. 3試験体)。

試験体せん断力 (試験体柱頭部位置と非加熱柱の柱頭部位置の水平荷重の差として算出) と水平変形の間係を図-8に示す。加熱当初は全試験体とも同様な関係であるが、水平変形約6mm付近から、目標部材角  $1/100\text{rad}$  と  $1/50\text{rad}$  の試験体で差が生じ始めた。これは、強制変形を与える速度が異なり、同じ水平変形量でも試験体の高温時の剛性が異なるためである。目標部材角  $1/50\text{rad}$  の試



(a) 試験体形状寸法

(b) 試験体配筋図



(c) 断面内温度の測定位置

図-2 試験体配筋図および载荷加熱方法  
Figure of specimen and test set-up

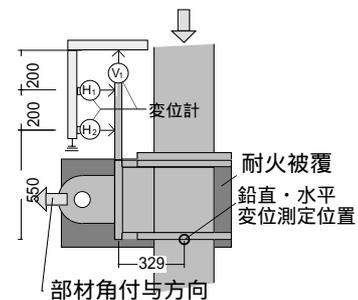


図-4 変形測定位置  
Measured location of displacement

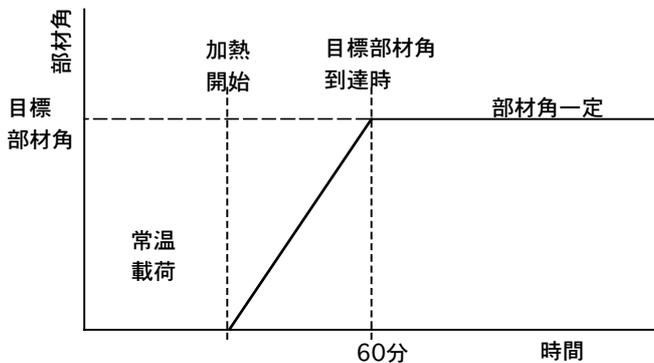


図-3 载荷加熱プログラム  
Loading and heating program

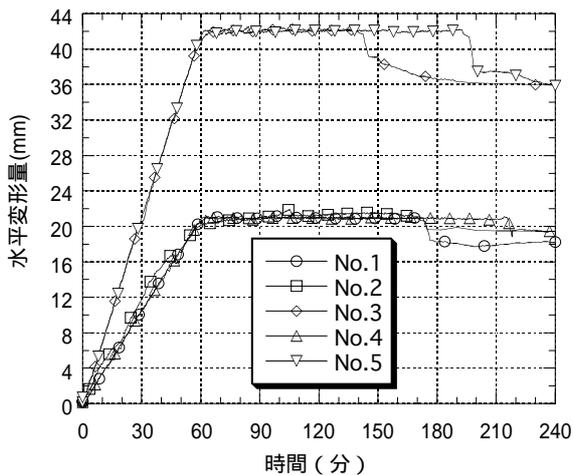


図-5 水平変形の経時変化  
Transverse displacement vs heating time

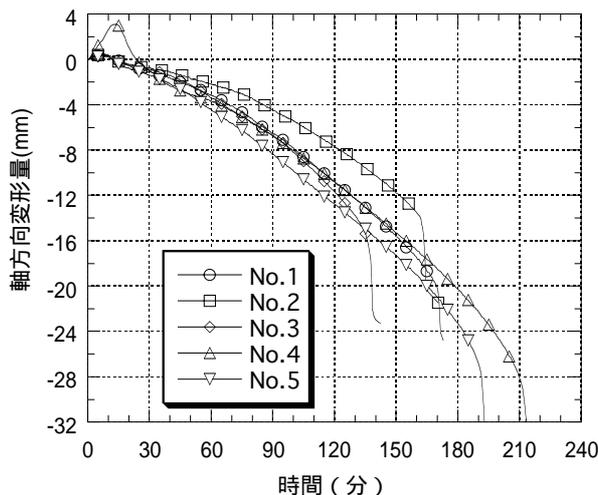


図-6 軸方向変形の経時変化  
Axial displacement vs heating time

験体で最大せん断力約200kN、目標部材角1/100radの試験体で最大せん断力約150kNであった。幅厚比の小さい試験体では、鋼管が局部座屈した際に一旦せん断力が低下し、その後再びせん断力が増加し、最大せん断力は約110kNであった。目標部材角が同一の試験体と比較して、幅厚比の小さい試験体の方が最大せん断力は小さくなっていた。

各軸力比ごとに、部材角量と耐火時間の関係を図-9に示す。同図には、文献1)~2)で示している火災時耐力の推定を本試験体に適用した解析結果もあわせて示している。図-9において、幅厚比の影響を比較すると、幅厚比が小さい試験体の方が約40分耐火時間が長かった。ま

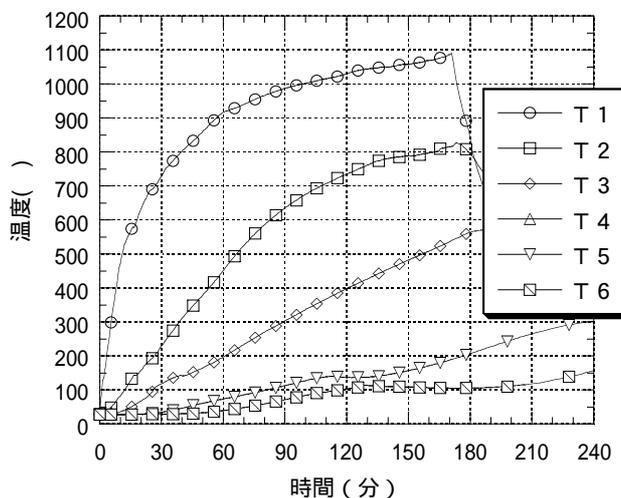


図-7 試験体内部温度の経時変化(No. 1 試験体)  
Internal temperature vs heating time

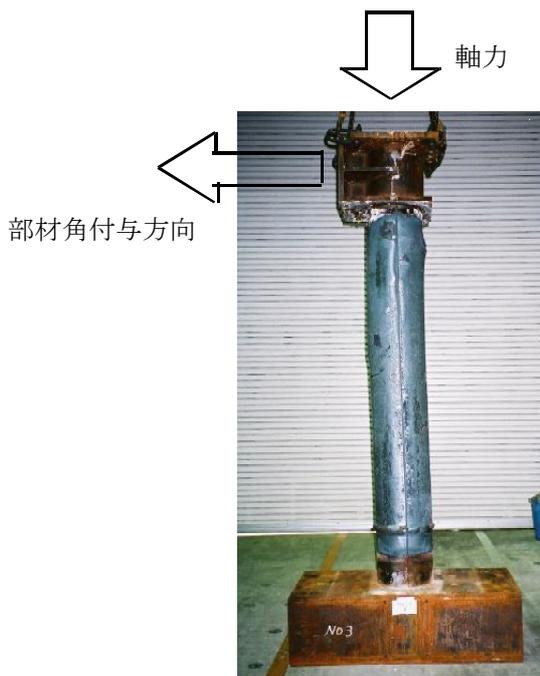


写真-1 試験後の試験体状況 (No. 3 試験体)  
No.3 specimen after heating

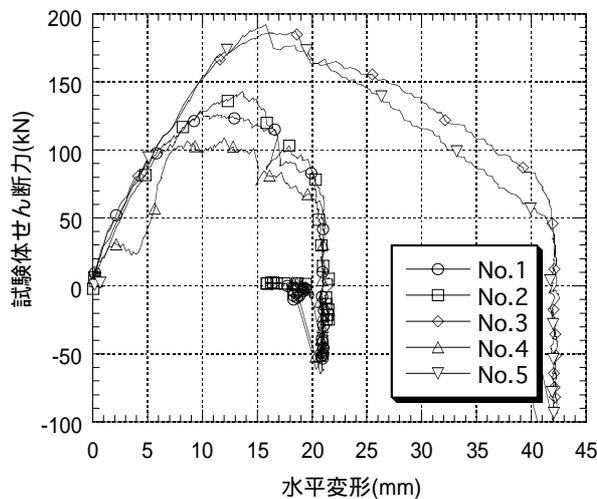


図-8 水平変形と試験体せん断力の関係  
Shearing force vs transverse displacement

た、No. 1 と No. 5 試験体を比較すると、部材角量を 1/100rad から 1/50rad へと 2 倍に増加させたにも関わらず、帯筋量を増やすことで同様な耐火時間が得られることが分かった。

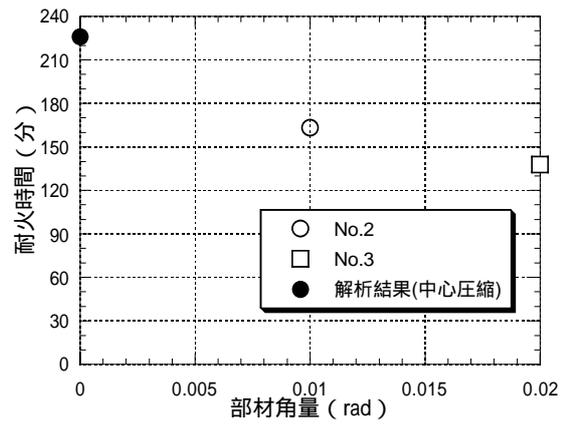
#### 4. まとめ

無耐火被覆 RCFT 柱に部材角を与えた場合の耐火性能（耐火時間は、部材角量 1/100 および 1/50、軸力比 0.33 および 0.40 の範囲で 138 ～ 213 分）を把握した。

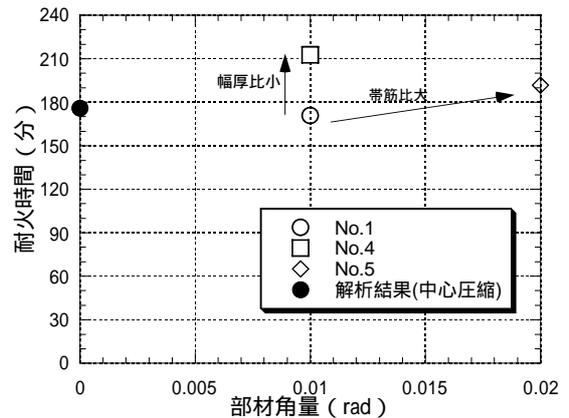
本実験より RCFT 柱の耐火性能を評価することができた。当該室の火災継続時間と比較することにより、耐火被覆の省略が可能となる。

#### 参考文献

- 1) 小林裕・馬場重彰他：鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱（RCFT柱）の耐火性能（その1～2），建築学会大会学術講演梗概集A-2，pp. 103～106，2000年9月
- 2) 小林裕・馬場重彰他：鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱（RCFT柱）の耐火性能（その3～4），建築学会大会学術講演梗概集A-2，pp. 89～92，2001年9月
- 3) 小室努他：鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22，No. 3，pp. 361-366，2000年6月
- 4) 西垣太郎他：無耐火被覆CFT長柱の耐火性能（その1～3），建築学会大会学術講演梗概集A-2，pp. 83～88，2001年9月



(a) 軸力比 0.33



(b) 軸力比 0.40

図-9 部材角量と耐火時間の関係  
Transverse angle vs fire resistance time