

6. コンクリート充填鋼管構造建築物と鋼構造建築物とのコスト比較

Comparing Cost of the Concrete Filled Steel Tubular Building and the Steel Building

橋本 拓* 庭田 政美*²

菊地 克典*³

要 旨

コンクリート充填鋼管（以下CFTと称す）構造建築物と鋼（以下Sと称す）構造建築物との建設コストを比較するために、既存のS造事務所ビル（地上13階建て）の鋼管柱をCFT柱に置き換えて、構造、耐火試設計を行なった。CFT構造とした場合は、S構造の場合に比べ耐震性能や変形性能を低下させることなく柱の鉄骨工事費を20％程度低減でき、全体の90％程度の柱を無耐火被覆にすることができた。その結果、CFT構造にすれば、S構造に比べ躯体工事費を4％程度低減できることがわかった。

キーワード：CFT構造／試設計／コスト比較／コンファインド効果／無耐火被覆

1. はじめに

鋼管柱に高強度コンクリートを充填するCFT柱は、鋼管とコンクリート間の相互拘束効果（以下コンファインド効果と称す）によって耐力、変形性能が向上し、また、熱容量の大きいコンクリートが鋼管柱内に充填されることによって耐火性能が向上するなど、優れた性能を合わせ持つ構造といえる。また、S構造、SRC構造、RC構造などの異種構造との併用も可能なことから、様々な形式の建築物に適用することができる。CFT構造の設計、施工計画に関して、平成8年に(株)新都市ハウジング協会が旧建築基準法38条の規定に基づく一般認定を取得したことから、今日までこの構造形式を採用する建築物が増加してきている。本報では、既存のS造事務所ビルの鋼管柱をCFT柱に置き換えて、構造、耐火試設計を行ない、CFT構造とS構造とのコストおよび性能について、比較検討した結果を報告する。

2. CFT構造の特長

2.1 構造性能

CFT柱では、鋼管にコンクリートを充填することで鋼管の局部座屈が抑制され、座屈後の耐力低下が緩和される。また、高軸力を受けたコンクリートのはらみ出しを鋼管が拘束するため、コンクリートの破壊強度が上昇し耐力が向上する。図-1に、鋼管によるコンファインド効果を考慮した場合と、考慮しない場合のCFT柱（角形）の耐力図を示す。図-1から、コンファインド効果が考慮された場合、柱の圧縮時の耐力が向上することがわかる。

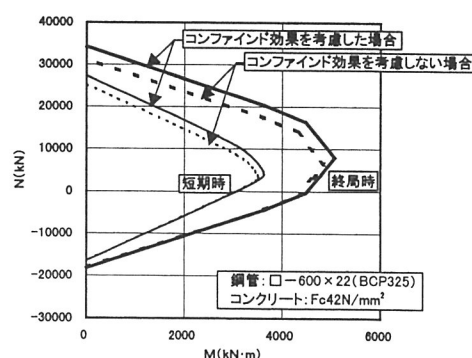


図-1 CFT柱の耐力図

2.2 耐火性能

CFT柱は、内部に充填するコンクリートの熱容量が大きいので、火災時における鋼管の温度上昇を抑えることができる。また、温度が上昇し鋼管の耐力が低下した場合でも、コンクリートが一定時間安定した状態で軸力を保持することができる。これらの特性により、CFT柱は、一定の条件を満たせば無耐火被覆で設計することができる。

3. 試設計方針

3.1 対象建築物

対象とした建築物は、図-2に示す地上13階、地下2階建ての事務所ビルである。柱はCFT構造、梁はS構造とし、鋼管柱は地下1階の梁天端の位置から立ち上げている。

3.2 構造設計

(1) 静的解析

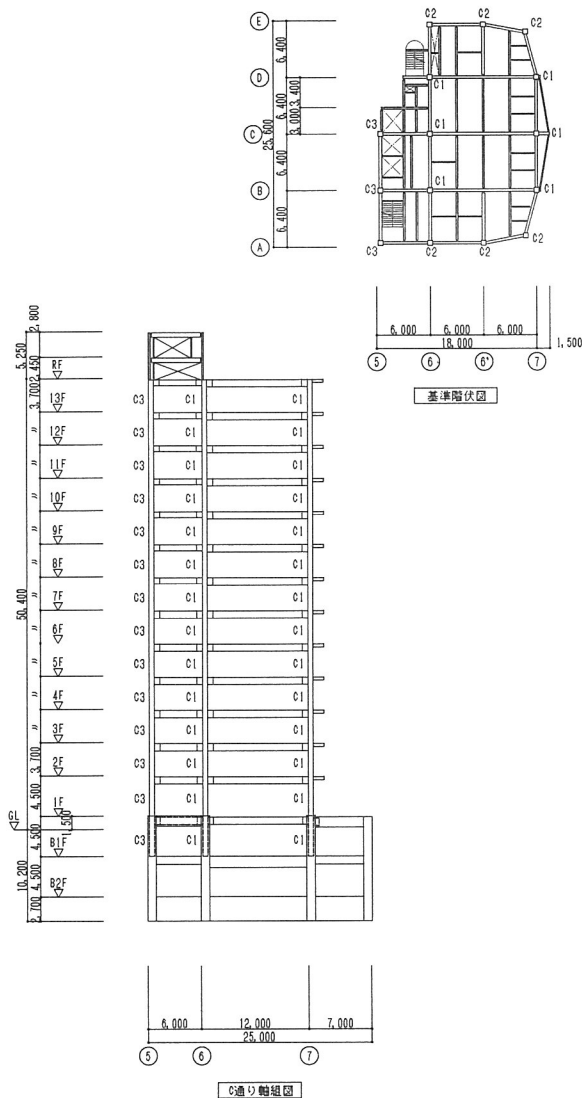
設計用地震荷重は、予備地震応答解析結果より、地震層せん断力係数 C_0 を0.25として算出する。CFT柱は、鋼管

*東京分室 *²東京本店工務部 *³東京本店設計部

と充填コンクリートの剛性を考慮し、鋼管の外径（B）に対する内法階高（ h_o ）の比（ B/h_o ）が6以下の場合には、コンファインド効果を考慮する。終局時の柱部材ランクはFAランクとし、崩壊メカニズムは、梁降伏先行の全体崩壊形とする。

(2) 地震応答解析

動的な挙動を確かめるために、地震応答解析を行なう。解析モデルは、建物の1階床を固定とし、2～R階を質点とする13質点のせん断型モデルとする。骨格曲線は、静的荷重増分解析の結果により得られた各階の荷重－変形関係を用い、Tri-Linear型に置換する。履歴法則はNormal Tri-Linear型とする。採用する地震波は、EL CENTRO NS、TAFT EW、HACHINOHE NSの3波とし、入力地震動は、25cm/s（レベル1）、50cm/s（レベル2）とする。表－1に耐震目標性能を示す。



図－2 対象建築物

3.3 耐火設計

CFT柱の筒体部は、以下の3項目について安全性が確認できた場合に無耐火被覆とする。このときの部材断面の適合条件として、鋼管の外径寸法を20cm以上、外径（B）に対する内法長さ（ L_{kf} ）の比（ L_{kf}/B ）を8以下とする。

(1) 柱頭水平変位

図－3に、梁の伸び出しによって生じるCFT柱の柱頭水平変位を示す。火災時の梁の伸び出し（ δ_x 、 δ_y ）により生じるCFT柱の柱頭水平変位（ δ ）を、階高（ h ）で除した柱の部材角（ R ）が、1/50未満であることを確認する。柱頭水平変位は、梁の自由膨張による略算法を用いて算出する。

(2) 火災時の軸耐力

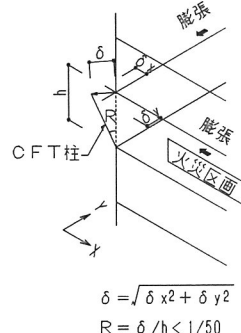
CFT柱の火災時の許容軸耐力が、長期軸力を越えないことを確認する。火災時の許容軸耐力は、コンクリート断面と耐火時間から算定し、火災時の梁の伸び出しによって生じる柱の部材角の有無によりその耐力が異なる。

(3) 構造安定性

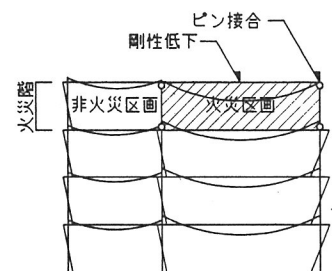
火災を受けたCFT柱は、鋼管の強度が著しく低下するため、曲げモーメントをほとんど負担できなくなる。これにともなう応力の再配分により、周辺架構が崩壊しないことを確認する。具体的には、図－4に示すように、火災区画内のCFT柱の柱頭、柱脚をピン接合とし、梁の剛性を部材温度に応じて低減した架構モデルを用いて長期応力算定を行ない、算出した応力が各部材の終局耐力を超えないことを確認する。また、火災階の構造安定性を確保するために、火災区画内の梁の伸び出しにより生じる柱頭水平力を非火災区画内の柱に与え、これにより生じる応力が柱の終局耐力を超えないことを確認する。

表－1 耐震目標性能

	レベル1	レベル2
応答層せん断力	弾性限耐力以下	保有水平耐力以下
応答層間変形角	1/200以内	1/100以内



図－3 柱頭水平変位



図－4 架構モデル

4. 試設計結果

4.1 構造設計

(1) 柱断面

表-2にCFT柱と鋼管柱の柱断面の例を示す。図-5にCFT柱と鋼管柱の終局時の1階柱脚耐力を示す。図-5より圧縮時の耐力の向上が見られ、CFT柱は、高軸力を受ける柱に使用すると有効であることがわかる。

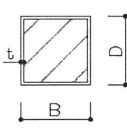
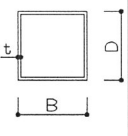
(2) 層間変位および保有水平耐力

表-3に、レベル1 ($C_0=0.25$) 相当の入力地震動における静的解析結果を示す。CFT構造とS構造の最大層間変位はほぼ同等であった。保有水平耐力は、いずれかの層の層間変形角が1/70程度に達した時点のものとした。CFT構造およびS構造の、それぞれの保有水平耐力 (Q_u) の必要保有耐力 (Q_{un}) に対する比率 (Q_u/Q_{un}) は、X、Y方向ともに2.0程度であった。

(3) 地震応答解析

Y方向の地震応答解析結果を図-6、図-7に示す。図中で、EはEL CENTRO NS、TはTAFT EW、HはHACHINOHE NS、Sは耐震目標性能の限界値を示す。CFT構造、S構造とも耐震目標性能を満たしており、その性状もほぼ同等であった。また、表-4の固有周期と刺激係数からも、その同等の性状がわかる。

表-2 柱断面の例

断面	CFT柱		鋼管柱	
				
	$\square-B \times D \times t$	充填コンクリート強度	$\square-B \times D \times t$	
13~9階	$\square-600 \times 600 \times 19$	Fc42	$\square-600 \times 600 \times 25$	
5~1階	$\square-600 \times 600 \times 22$	Fc42	$\square-600 \times 600 \times 28$	

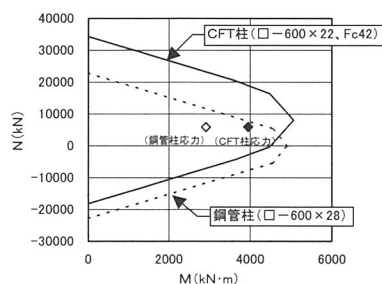


図-5 終局時1階柱脚耐力図

表-3 最大層間変位

	構造	X方向	Y方向
最大層間変位(cm) (最大層間変位角)	CFT構造	1.59(1/232)	1.19(1/312)
	S構造	1.55(1/238)	1.20(1/308)

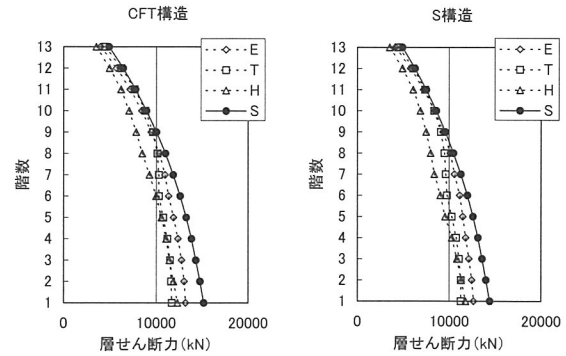


図-6 応答層せん断力 (Y方向レベル2)

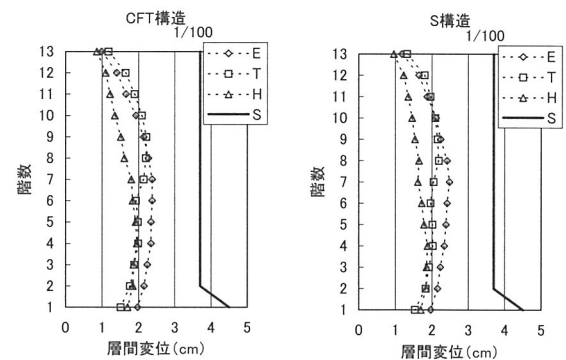


図-7 応答層間変位 (Y方向レベル2)

表-4 固有周期および刺激係数

	X方向			Y方向		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次
固有周期(S)CFT構造	1.360	0.487	0.295	1.173	0.419	0.255
S構造	1.347	0.484	0.292	1.169	0.419	0.255
刺激係数 CFT構造	1.311	-0.467	0.249	1.311	-0.473	0.255
S構造	1.311	-0.463	0.239	1.311	-0.468	0.245

4.2 耐火設計

(1) 耐火被覆

図-8に、耐火設計をした場合の耐火被覆柱の位置を示す。耐火被覆が必要になった理由を以下にあげる。

- 1、2階A-6'、A-7、B-7柱は、吹き抜け部分の影響により適用範囲 ($Lkf/B \leq 8$) を超えた。
- 柱頭水平変位の検討の結果、各階E-7柱は、柱の部材角が1/50を超えた。
- 軸耐力の検討の結果、1階B-6、C-6、C-7、D-6柱、2、3階C-6柱は、作用軸力が大きいいため許容軸耐力を超えた。

検討の結果、195本の柱のうち、170本 (約87%) の柱を無耐火被覆にすることができた。

(2) 構造安定性

構造安定性を検討した結果、周辺架構への影響はほとんどなく、部材断面の変更はなかった。また、火災階の構造安定性も確保されていた。

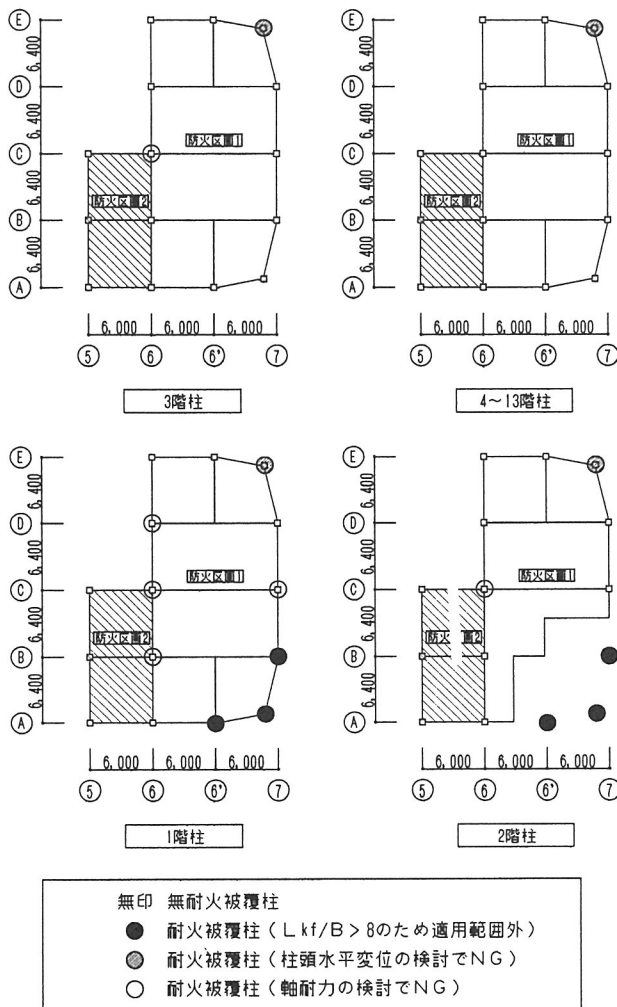


図-8 耐火被覆柱位置図

5. コスト比較

柱の耐火被覆材および仕上材には、表-5に示す材料を使用した。CFT構造とS構造とのコスト比較の結果として、図-9に柱部分の工事費を、図-10に躯体工事費（土工事、杭工事除く）を示す。なお、図-9において、鋼管柱の棒グラフ内のコンクリート工事とは、地下1階部分の鋼管柱に充填したコンクリート工事である。

柱部分の工事費では、CFT構造はS構造と比べると、コンクリート工事費は6.8%増加したが、鉄骨工事費、耐火被覆および仕上材費が、それぞれ24%、5.9%低減したため、全体では23.1%コストが低減した。一方躯体工事費では、CFT構造はS構造と比べると、コンクリート工事費は1.3%増加したが、鉄骨工事費（耐火被覆、柱仕上を含む）が5.7%低減したため、全体では4.4%コストが低減した。

6. まとめ

既存のS造事務所ビルの鋼管柱をCFT柱に置き換えて、

表-5 仕上げ材料および耐火被覆

	階	耐火被覆材 仕上材
鋼管柱 耐火被覆CFT柱	11~13階 (1時間耐火)	耐火被覆パネル厚25 EP
	1~10階 (2時間耐火)	耐火被覆パネル厚40 EP
無耐火被覆CFT柱	1~13階	— PB 厚12.5+EP

※柱・梁接合部はロックウール吹き付けとする（1時間耐火 厚30、2時間耐火 厚45）

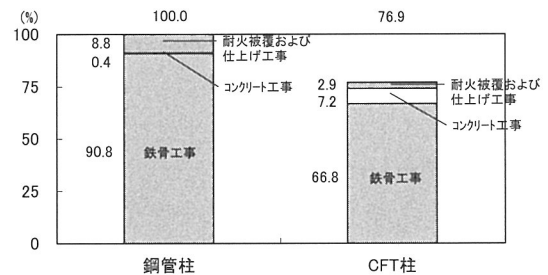


図-9 柱部分の工事費比較

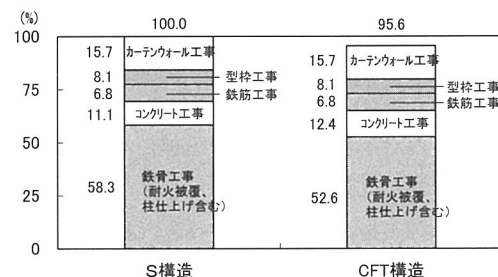


図-10 躯体工事費比較

構造、耐火試設計を行なった結果、以下のことがわかった。

- (1) CFT構造の耐震性能や変形性能がS構造と同程度のとき、柱部分の工事費では、CFT構造はS構造と比べると、コンクリート工事費は6.8%増加するが、鉄骨工事費、耐火被覆を含む仕上材費が、それぞれ24%、5.9%低減する。
- (2) CFT構造はS構造と比べると、躯体工事費が4.4%低減する。

今回は比較的中規模の建築物についての検討ではあったが、CFT構造にすれば十分なコストメリットが得られることがわかった。今後、この結果をもとに、実物件でのCFT構造の採用を図っていきたい。

【参考文献】

- 1) 都市ハウジング協会、CFT構造技術指針・同解説、1999。
- 2) 日本建築学会、鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、1987。
- 3) 日本建築学会、鋼管構造設計施工指針・同解説、1990。