

CFT造の概要と設計・施工上の留意点

1 CFT造の特徴と効果

(1) 特徴と効果

CFT (Concrete Filled Steel Tube) 造とは鋼管内に、コンクリートを充填した構造形式 (図 1-1 参照) で、主に柱として低層から超高層建物まで幅広く適用できる新しい躯体システムである。鋼管とコンクリートの特性を十分に引き出すことにより、従来のS造や、RC造、SRC造に比べ耐震・耐火性能に優れた特性を発揮する。これにより、平面・立面計画上の自由度が高く、柱断面がコンパクトな構造を可能とする。

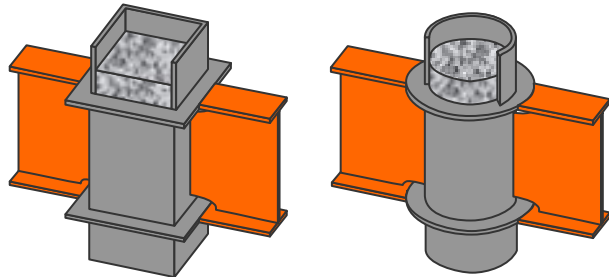


図 1-1 CFT造一般概念図

(2) 相乗効果とその前提条件

鋼管とコンクリートの相互拘束効果 (コンファインド効果) により軸圧縮耐力・曲げ耐力及び変形性能が増大する。コンクリートの均質・密実かつ隙間のない充填と必要な強度発現及び鋼管とコンクリートの一体化を保證することで、相互拘束効果を考慮した設計も可能である。(図 1-2 参照)

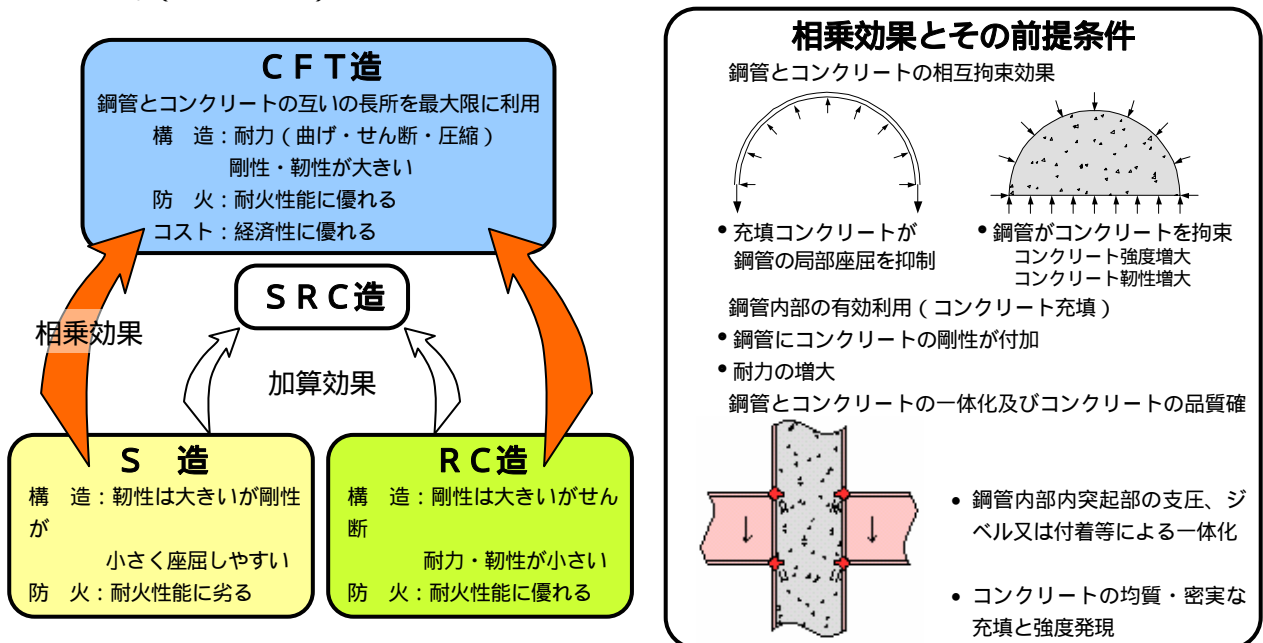


図 1-2 CFT造の相乗効果とその前提条件

(3) CFT造を採用した建物

(社)新都市ハウジング協会にて平成8年11月より平成14年5月までに評価したCFT造

建物（総数 267 件）を建物用途（図 1-3 参照）、建物高さ（図 1-4 参照）、コンクリート強度（図 1-5 参照）及び、スパン長さを類推できる資料として柱 1 本当当たりの負担床面積（図 1-6 参照）ごとに区分して以下に示す。

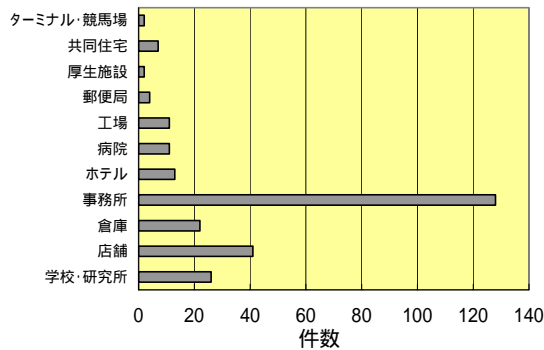


図 1-3 建物の用途

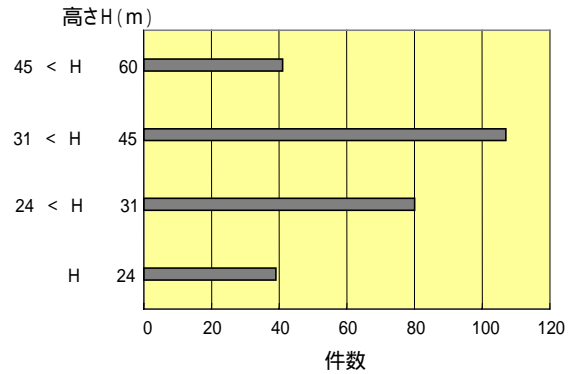


図 1-4 建物の高さ

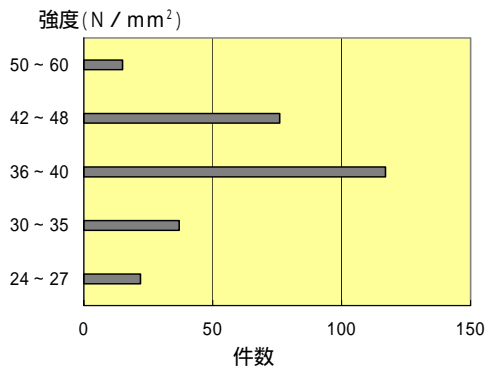


図 1-5 コンクリート設計基準強度

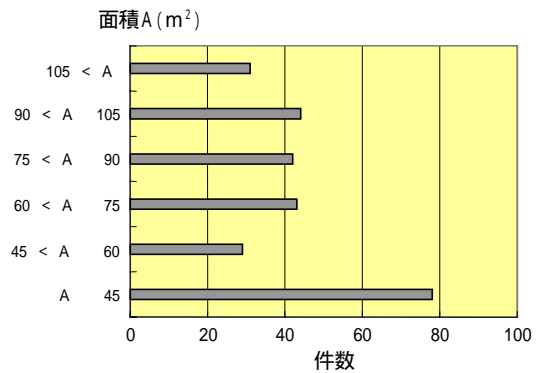


図 1-6 柱1本当当たりの負担床面積

(4) CFT 造と他の構造の比較

CFT 造は、RC 造、S 造及び SRC 造に続く第 4 の構造といわれている。これらの構造と比較して CFT 造には、表 1-1 に示すように、構造性能、耐火性能、施工性及び経済性に優れた点が見い出せる。

表 1-1 CFT 造の特徴

S 造との比較	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管の局部座屈が充填コンクリートにより抑制され靱性が向上する 充填コンクリートの剛性が付加される 充填コンクリートの軸圧縮耐力及び熱容量により耐火性能が向上する 鋼管を充填コンクリートに置き換えることによりコストが低減される 板厚の薄い鋼管が使用できるため施工性・経済性が向上する 充填コンクリートが鋼管内部の防錆効果をもつ
RC、SRC 造との比較	<ul style="list-style-type: none"> 強度及び剛性の大きい鋼材が断面の最外縁にあり合理的である 充填コンクリートが鋼管により拘束されるため耐力及び靱性が向上する 高軸圧縮応力状態での変形性能にも優れている 高強度材料（コンクリート、鋼材）への適用性が高い 煩雑な鉄筋、型枠工事が不要となり、現場作業が省力化され生産性が向上する RC・SRC 造の断面がコンクリート充填性確保のために鉄筋相互又は鉄骨との納まりの関係で大きくなるのに対しコンパクトな断面にできる 大スパン、高階高、超高層等の大規模構造への適用性が高い

2 構造の特徴

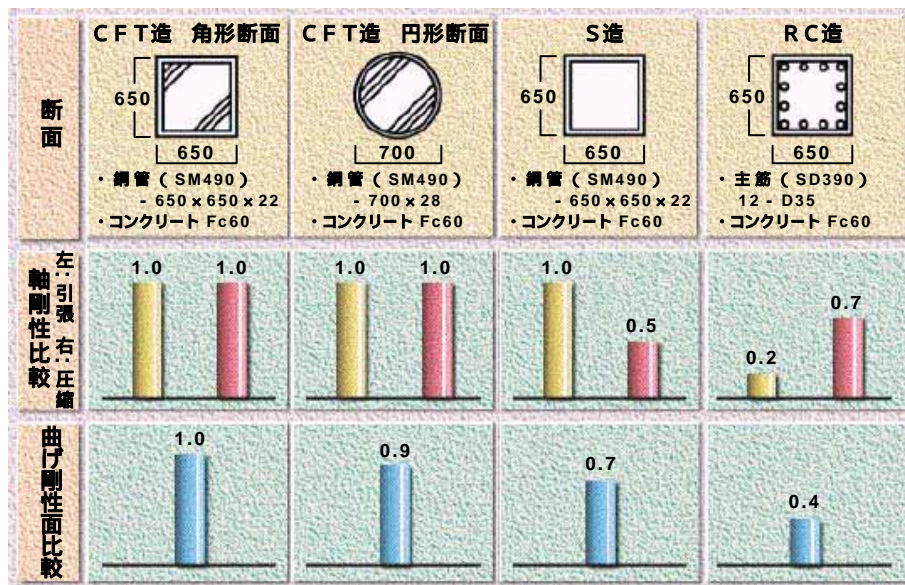
CFT 造の構造性能の評価法としては、(社)新都市ハウジング協会「CFT 造技術指針・同解説」や(社)日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」等による方法がある。ここでは前者の構造性能評価法に基づき、鋼管とコンクリートの相互拘束効果を考慮した場合の構造性能を定量的に評価した計算例により、CFT 造の優れた構造性能について解説する。

(1) 優れた構造性能

1) 大きな部材剛性

同一断面での CFT 造柱と S、RC 造の柱部材の軸剛性及び曲げ剛性を比較して表 2-1 に示す。表から鋼管にコンクリートを充填することによる部材剛性の増加の度合いが判断できる。

表 2-1 CFT 造と他構造の柱剛性比較(等価断面剛性)



*1 同一断面の定義

CFT造とS造の比較 : 同径・同厚の鋼管断面を設定

CFT造とRC造の比較 : 外径が同一となる断面を設定。RC断面の鋼材量は曲げ降伏を保證できるように主筋とフープ筋の組み合わせを考慮した、主筋の最大の鋼材量とする (M/Q・D=1.5, N/No=0.3、せん断耐力余裕率:1.3 とした場合)

2) 大きな部材耐力

図 2-1 に、鋼管とコンクリートの相互拘束効果によるコンクリート部分の耐力上昇を示す。この結果、図 2-2 に示すように軸方向耐力及び曲げ耐力が、同一断面の S 造柱、RC 造柱に比べ (表 2-1 に示す断面で比較) 大幅に増大する。

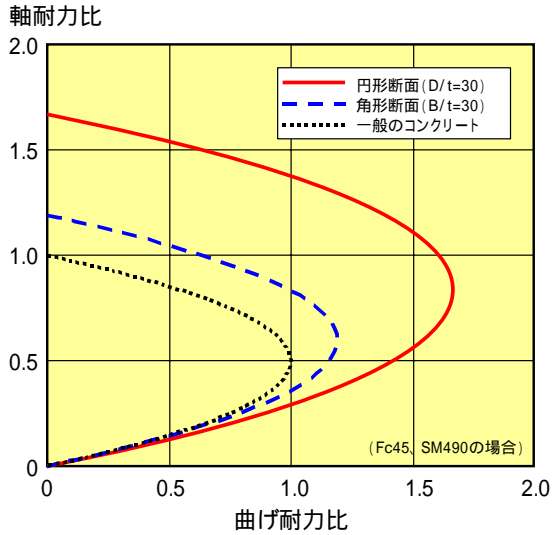


図 2.2-1 充填コンクリート耐力の増大

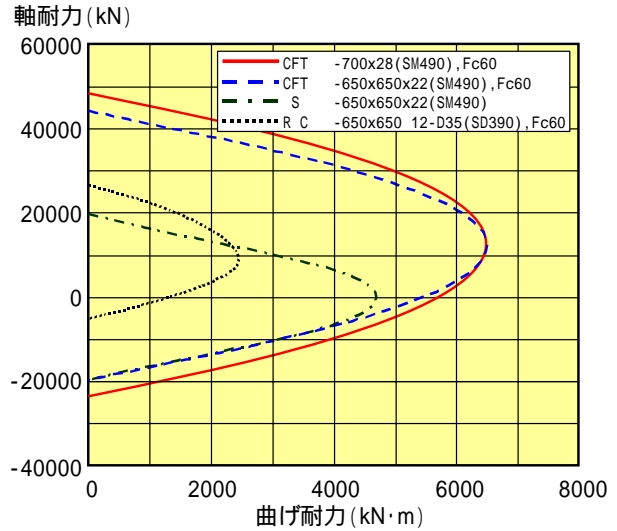


図 2.2-2 軸方向耐力及び曲げ耐力の増大

3) 優れた変形性能

変形性能が RC、SRC 及び S 造と比較して優れているため、軸力比制限（作用軸力 / 軸耐力）や鋼管の幅厚比制限を緩和できる。

【鋼管局部座屈抑制の効果】

S 造では、部材の変形性能を確保するために、鋼管に早期に局部座屈が発生して変形能力が阻害されないように鋼管の幅厚比に制限を設けている。

図 2-3 に同一断面の鋼管に対し充填コンクリートの有無を比較した軸力・曲げせん断実験の結果を示す。これらの試験体には同じ軸力比の軸力を作用させている。また耐力は、日本建築学会「SRC 構造計算規準・同解説」に基づき相互拘束効果を考慮しない場合の耐力で無次元化して示している。鋼管のみの試験体は局部座屈の発生により十分な耐力及び変形性能を発揮できていない。これに対しコンクリートを充填した試験体は耐力及び変形性能が大幅に向上しており、コンクリートを充填することにより鋼管の幅厚比 (D/t) 制限を緩和できることがわかる。

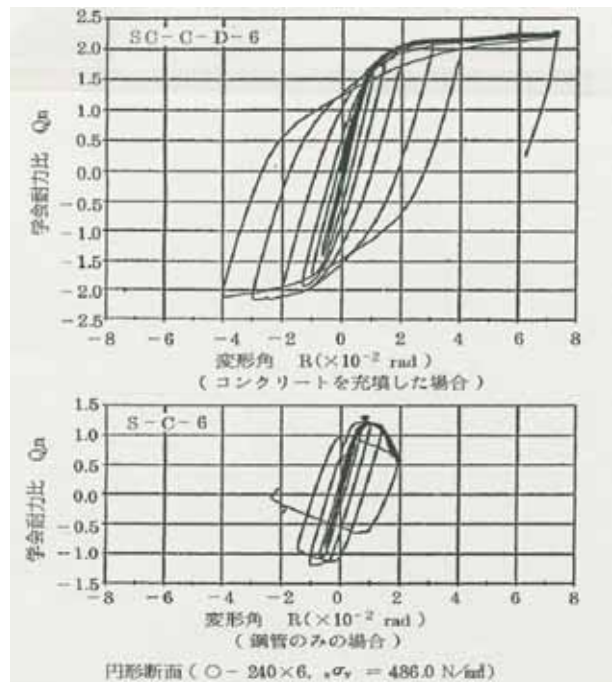


図 2-3 コンクリート充填の有無による比較

【SRC 造及び S 造との比較】

図 2-4 に軸力比と変形性能の関係を CFT 造柱と SRC 造柱で比較して示す。

図に示すように軸力比が高くなると変形性能は低下する。同図より CFT 造柱は高軸圧縮応力状態においても、大変形に至るまで耐力を維持できるため SRC 造に比較して、変形性能に優れ、高い軸力比においても十分に使用できることがわかる。柱の変形性能の程度について、CFT 造柱の変形性能に優れている（FA ランクとなる）範囲を、S 造及び SRC 造と比較して図 2-5 に示す。

なお、図 2-4 及び図 2-5 に示す性能は、CFT 造に対しては（社）新都市ハウジング協会「CFT 造技術指針・同解説」に基づいて鋼管と充填コンクリートの相互拘束効果を考慮した場合の性能である。また、S 造及び SRC 造に対しては、工学図書(株)「2001 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」（以下「構造技術基準解説書」という。）に基づく性能である。

また、表 2-2 に S 造の場合に FA 部材となる幅厚比を示している。この鋼管にコンクリートを充填することにより図 2-5 から板厚の薄い（D/t の大きい）鋼管の場合でも変形性能の良い部材として使用できることがわかる。

4) 容易なせん断に対する設計

M/(Q・D) 1 の CFT 造部材の軸力・曲げせん断実験において、せん断破壊した実験の例は報告されていない。従って充填コンクリート部は、コンクリートの曲げ耐力に対応するせん断力を負担できるものと考え、M/(Q・D) 1 となる柱の場合には、一般的にせん断耐力の検討は不要である。

これは、コンクリート系の構造物でいつも問題となるせん断破壊が CFT 造柱では、耐力及び変形性能の上でほとんど問題にならないということである。

5) 安定した復元力特性

CFT 造柱は、エネルギー吸収能力の大きい紡錘形の安定した復元力特性を示し、繰返し載荷による耐力低下も少ないため、耐震性に優れている（写真 2-1、図 2-6 参照）。

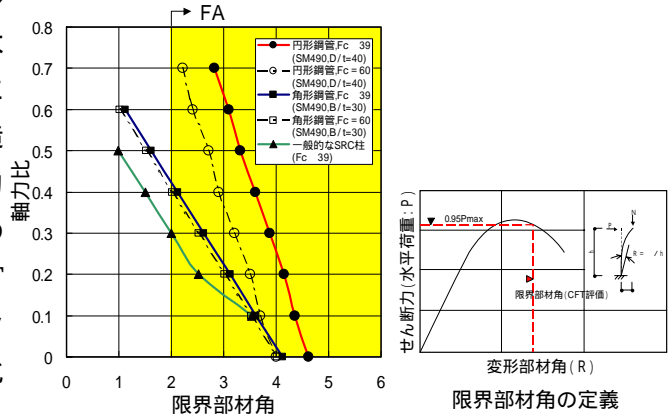


図 2-4 CFT 造柱と SRC 造柱の変形性能の比較

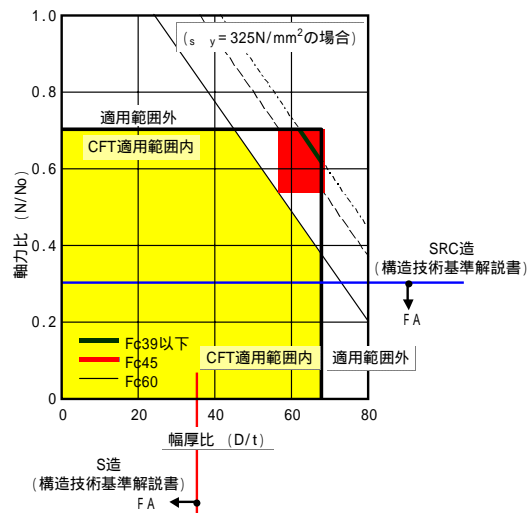


図 2-5 CFT 部材の FA ランク範囲 (円形断面の例)

表 2-2 鋼管柱の FA 部材に対応する幅厚比 (構造技術基準解説書)

鋼材種別	幅厚比	
	円形鋼管(D/t)	角形鋼管(B/t)
400N 級鋼	50	33
490N 級鋼	36	27



写真 2-1 CFT造柱の軸力・曲げせん断実験

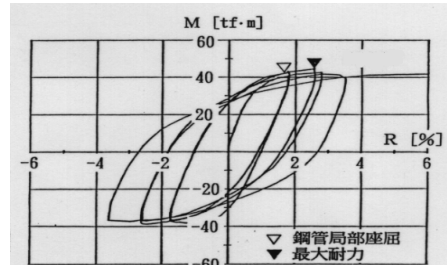


図 2-6 荷重 - 変形関係

6) 検証された地震に対する安全性

都市直下型の阪神・淡路大震災により、多くの建物に被害が発生した。これらは、直下型地震の特徴で建物にはほぼ同時に水平動と上下動が作用したことに起因したと考えられる。CFT造建物は、大きな被害を受けることなく直下型地震への対応性にも優れていることが検証された。

(2) 高強度材料への高い適応性

一般のRC、SRC造部材に高強度材料（コンクリート、鋼材）を使用した場合には、変形が大きくなると鉄筋及び鋼材の付着割裂によりかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋及び鋼材の座屈へと破壊が進行する。またコンクリートは、限界歪を超えると高強度になるほど脆性的な破壊を生じる傾向にある。これに対しCFT造部材では、高強度材料（コンクリート強度： $c_B=87 \text{ N/mm}^2$ 、鋼管降伏応力度： $s_y=480 \text{ N/mm}^2$ ）を使用した場合においても、鋼管とコンクリートの一体性が高く、互いの相乗効果（コンクリート限界歪の増大、鋼管局部座屈の抑制）により耐力及び変形性能に関して問題のないことが実験で確かめられている。

3 耐火の特徴

(1) 耐火性能の特徴

CFT造柱は、一般的には鉄骨造と同様に耐火被覆を施すことになっている。一方で、CFT造柱には内部にコンクリートが充填されているため、火災時の鋼管の温度上昇はコンクリートの熱容量により抑制される。また、図 3-3 に耐火被覆のない柱の複合加熱実験（写真 2.3-1 参照）による軸力と耐火時間の関係を示す。実験により、加熱により鋼管の耐力は低下するが、軸力を充填コンクリートで一定時間保持できることが確認されている。従って、一定の条件下で、耐火被覆の取りやめ（無耐火被覆：図 3-1 参照）又は耐火被覆の軽減が可能となる。

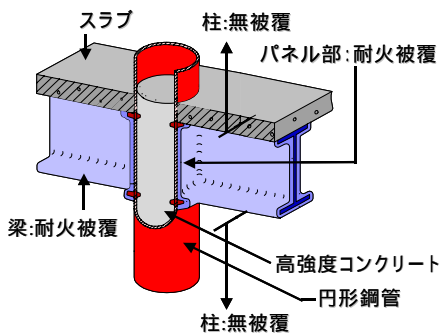


図 3-1 無耐火被覆工法 概念図

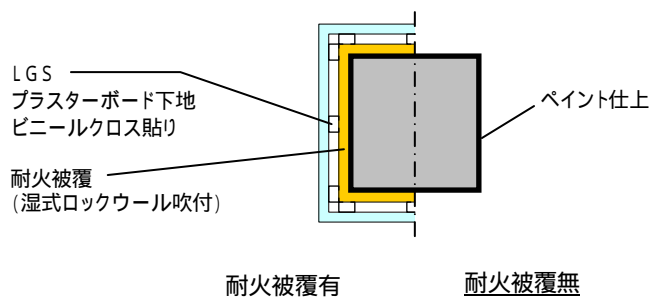


図 3-2 耐火被覆の有無による比較例



写真 3-1 複合載荷耐火実験

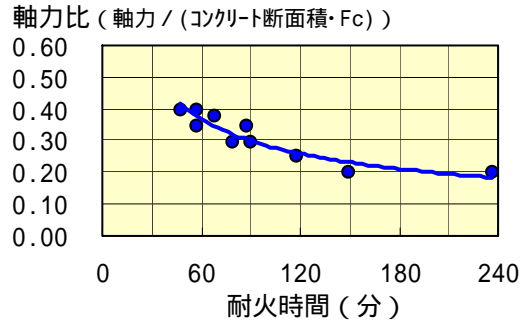


図 3-3 軸力比 - 耐火時間関係の例

(2) 無耐火被覆工法のメリット

無耐火被覆工法を採用することで以下のメリットがある。(図3-2参照)

- 柱断面のコンパクト化による有効床面積の増大
- ペイント塗り等による仕上げ材の合理化
- 耐火被覆の施工及び養生軽減による工期短縮
- 鋼管をあらわにできる等、建築表現の多様性(写真 3-2 参照)
- 上記を統合した建設費の合理化



写真.3-2 無耐火被覆工法の建物例

(3) CFT 造柱を用いた耐火建築物

耐火建築物を設計するためには、建築基準法上、図 3-4 に示すようにルート A、B、C の 3 つの方法がある。

ルート A では、建築基準法施行令第 107 条に定める技術的基準に従い、平成 12 年建設省告示第 1399 号に定めた方法又は大臣認定構造による耐火被覆を施す。

一方、耐火被覆を取り止めるためには、ルート B では、建築基準法施行令第 108 条の 3 に定める技術的基準に従い、平成 12 年建設省告示第 1433 号に定める方法で耐火性能を検証する必要があるが、現段階では告示の中に、CFT 造に対する規定が盛り込まれていない。
但し、CFT 耐火設計法の大員認定を使用すれば建築確認(ルート B)で可能となる。
 ルート C では、建築基準法施行令第 108 条の 3 に定める技術的基準に従い、耐火性能を検証し、国土交通大臣の認定を取得する必要がある。ルート C を適用することにより、より詳細な検討を付加することで合理的な設計が可能である。

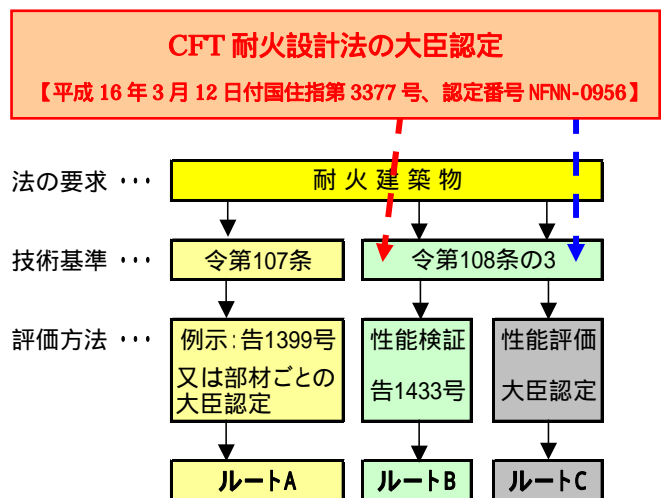


図 3-4 耐火要求と評価ルート

4 施工法の特徴

CFT 造の性能は、鋼管に充填されるコンクリートの品質に大きく左右される。(図 4-1 参照)

コンクリートは、他の構造と比べると 1 回の打設高さが高く、連続的に打設されるため、均質・密実に隙間のない充填(柱 - はり仕口部のダイアフラム下部に空隙を生じさせない)と必要な強度発現(打設部位上部で、強度低下を生じさせない)を保證できる調合・充填工法とする必要がある。

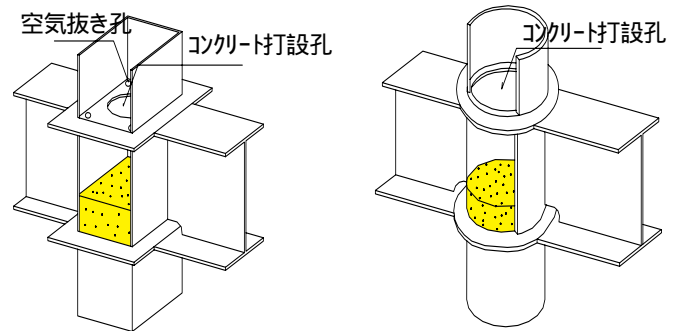


図 4-1 柱 - はり仕口部の例

(1) コンクリートの調合および品質管理

充填コンクリートは、ブリーディング及び沈降を抑え、流動性が高く、分離のない調合とすることが必要。写真 4-1、写真 4-2 に高強度・高流動コンクリートについて良好な状態と分離している状態を比較して示す。

また、所要の品質が得られるように、受入れ検査として通常のフレッシュコンクリート試験の他に、水セメント比を測定し早期に強度の判定をすることも有用な手段である。

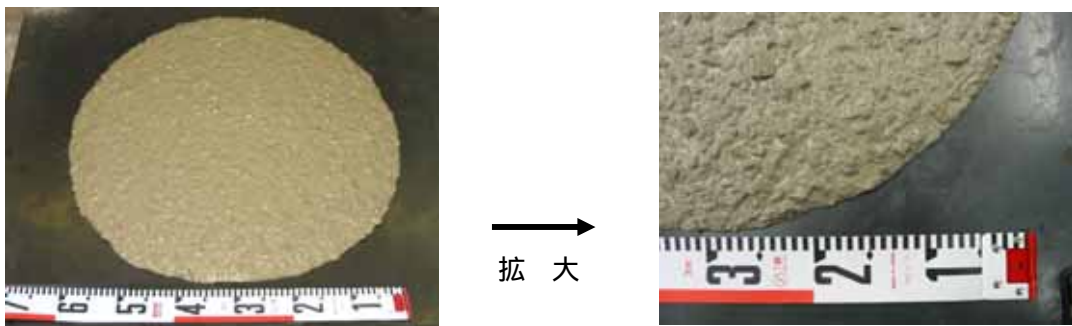


写真 4-1 高強度・高流動コンクリート(良好な状態)

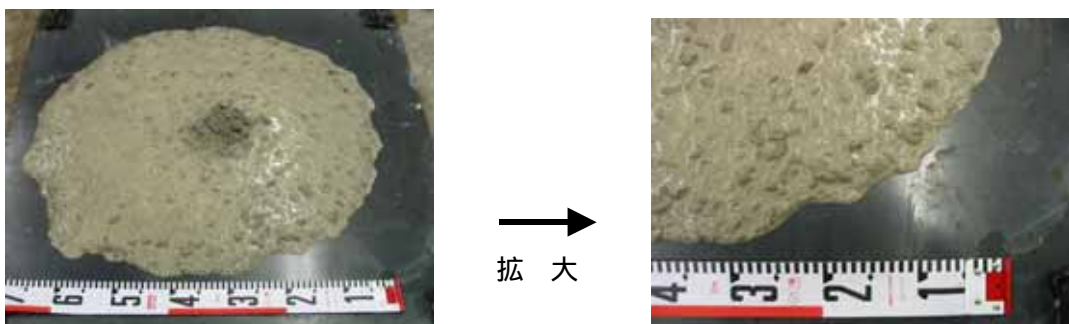


写真 4-2 高強度・高流動コンクリート(分離している状態)

(2) コンクリートの充填工法

1) 落とし込み充填工法

柱頭部より、トレミー管又はフレキシブルホース等を用いてコンクリートを打設する。(図 4-2、写真 4-3 参照)

2) 圧入工法

ポンプ車からの圧送配管を柱脚部の圧入口に接続し、連続的にコンクリートを圧入する。

(図 4-3、写真 4-4 参照)

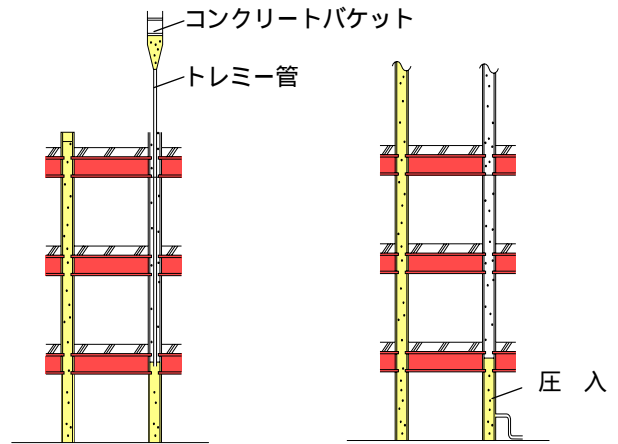


図 4-2 落とし込み充填工法

図 4-3 圧入工法



写真 4-3 落とし込み充填工法の例



写真 4-4 圧入工法の例

(3) 充填コンクリートの品質確認

コンクリート充填性と打ち上がり上部での強度発現及び充填状況に関して、適切な調合法・施工法に基づけば良好な充填性が確保できることが多くの施工実験で確認されている。コンクリートを充填後、鋼管を剥ぎ取り、ダイアフラム近傍のコンクリート充填の状態を確認した写真 4-5、4-6 を以下に示す。



写真 4-5 円形断面の例 (環状ダイアフラム断面)



写真 4-6 角形断面の例 (ダイアフラム下部面)

5 設計・施工上の留意点

CFT 造の設計・施工に際しては、特に以下の項目について十分な配慮が必要となる。

(1) 設計上の留意点

1) 設計時に施工法を決定

柱-はり仕口部の形状等は、充填コンクリートの施工法に大きく左右されるため、充填工法を考慮した設計を行うとともに充填工法を定めることが必要となる。

2) 柱 - はり仕口部等の形状

柱-はり仕口部、柱-はり仕口部とブレース接合部のダイヤフラムの形式・形状に留意する。鋼管内部にダイヤフラムを設ける場合には、コンクリート充填のための打設孔及び空気抜き孔を設けることが必要となり、密実な充填を確保するための大きさ、間隔、配置に留意することが大切である。

(2) 施工上の留意点

1) ブリーディング及び沈降の影響

CFT 柱に充填するコンクリートは、1 回の打設高さが高くなる場合、ブリーディングや沈降の影響を大きく受ける。この結果、打ち上がり上部での強度の低下（ブリーディング水の上昇による）及び沈降によりダイヤフラム下部に空隙が発生する可能性がある。

2) コンクリート調合の適切な選定

原則として試験練りにより、ブリーディングや沈降が少なく、かつ、流動性が高く分離抵抗性に優れたコンクリートの調合を選定する必要がある。一般的には、高性能 AE 減水剤を用いた、高強度（JASS5 第 19 節）・高流動（JASS5 第 18 節）コンクリートの調合となるが、骨材の粒度分布、微粉末量、骨材種類（産地）が全国で異なり、フレッシュコンクリートの品質への影響が大きいことに留意する。また、JIS A5308 規格外品になる場合には、

コンクリート材料について大臣認定を取得する必要がある。

3) 施工計画書に基づく川上管理

図 5-1 に、CFT 造建物の施工工程の例を示す。CFT 造の施工は、充填するコンクリート調合及び充填工法、構造ディテールに大きく左右される。特に、鋼管、レディーミクストコンクリート、コンクリートの打設の作業工程に重点をおき、管理事項を定めて、施工計画書を作成し、実施することが基本となる。

4) 鉄骨の品質管理

CFT 造は、鉄骨造の鋼管にコンクリートを充填した構造を基本としている。従って、鉄骨部の品質管理は、S 造の規定に準拠することになる。

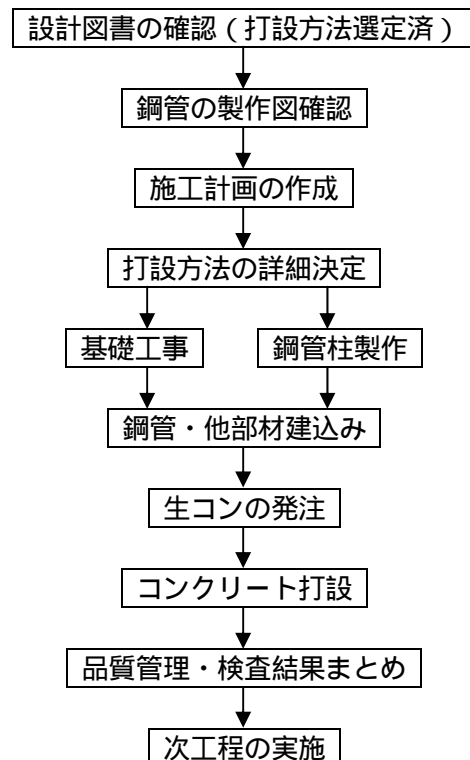


図.5-1 CFT 造建物の施工工程の例

5) 鋼管の膨らみ及び応力状態

1回の打設高さが高くなる場合、コンクリートの側圧（圧入工法の場合には圧送圧）が鋼管に作用するため、鋼管が面外に膨らんだり、鋼管に過度の応力が作用する可能性がある。海外の工事では、側圧により鋼管に亀裂が発生した事例もある。鋼管の膨らみ及び応力状態を充填工法・打設高さに応じて検討する必要がある。

6) 打設速度

写真 5-1 に、鋼管の内側に出幅の少ない環状ダイアフラムを用いた鋼管柱に対して、打設速度による充填状態を比較して示す。打設速度が速いと鋼管の内部に空気だまりが出来やすく、充填コンクリートの強度低下の要因になる。また、鋼管を膨らませたり、鋼管内にコンクリートを閉塞させる可能性がある。このため、流動性の高いコンクリートを適切な速度で打設することが大切である。



打設部位：上部



打設部位：上部



打設部位：中部



打設部位：中部

打設打上げ速度：毎分 1m程度とした場合

打設打上げ速度：毎分 3.9m程度とした場合

写真 5-1 コンクリートの打設速度による充填性比較

7) 鋼管柱 - 柱間の接合

鋼管柱 - 柱間の溶接接合については、溶接時に、充填コンクリートの熱容量が大きいため、鋼管の温度が上昇しにくいこと及び温度上昇によりコンクリートの水分が蒸発することに起因する鉄骨部の溶接不良、コンクリートが高温にさらされることによるコンクリートの強度低下など、鋼管及びコンクリートの品質が損なわれる可能性がある。

このため、鋼管の溶接をコンクリートの充填工事に先行させる必要がある。また、鋼管の溶接部をコンクリート打ち継ぎ位置から離すことも大切になる。

8) 圧入開口部等の断面欠損部の事前（鉄骨加工工場）補強

コンクリートを充填した後の、圧入開口部等の断面欠損部の補強は溶接品質の確保が難しい。このため、鉄骨加工工場に於いて建て方前に事前補強することが望ましい。

9) その他の留意事項

落し込み充填工法の計画と実施

- ・コンクリートの自由落下高さ
- ・鋼管の内部でのコンクリートの締め固め
- ・バケット容量・重量と揚重装置の性能確認
- ・トレミー管の条件と製品性能確認
- ・柱 1 本当りの打設量と打設面上昇時間の把握、確認
- ・鋼管柱脚部：アンカーとの接合方法、水抜き対策
- ・コンクリート打継ぎ面の位置と処理方法の把握と確認
- ・打設コンクリートの品質確認

圧入工法の計画と実施

- ・圧入口位置
- ・圧入 1 回当たりのコンクリート圧入量を確保
- ・ポンプ車から鋼管柱上部までの配管距離と圧送負荷の算定
- ・圧送負荷に耐えられるポンプ車の選定
- ・鋼管柱脚部：アンカーとの接合方法、水抜き対策
- ・圧入用誘導管の取付けと溶接性能の確保
- ・柱 1 本当りの打設量と打設面上昇時間の把握、確認
- ・打設コンクリートの品質確認
- ・圧入順序と打ち止め方法の確認

6 施工管理技術及び技術指導等

CFT 造の品質を確保するためには、これまでに挙げた留意事項について、適切な設計法及び施工法を選定する必要がある。特に施工法については、技術難易度が高く、これらの内容に適切に対応していく必要がある。CFT 造の施工品質を確保するために、(社)新都市ハウジング協会では、以下に示す制度を設けているので参考とされたい。

CFT 造施工管理技術者の試験・登録・育成

施工技術力の審査（施工者の CFT 造施工技術登録制度）

CFT 造の施工技術指導

CFT 造の施工計画の審査

参考文献

- 1) (社)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」(2001 年版)
- 2) (社)日本建築学会：「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針」(1997 年版)
- 3) (社)新都市ハウジング協会：「CFT 構造技術指針・同解説」
- 4) 工学図書(株)：「2001 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」
- 5) (株)鴻池組：「平成 5 年度 技術研究発表会論文集」