

1. はじめに

コンクリート充填鋼管（以下CFT）柱は、鋼管にコンクリートを充填することで構成され、中空鋼管柱に比べて高い剛性と耐力、塑性変形性能を期待できる。日本では、超高層建築物や免震構造において、CFT柱を採用する例が増えている。現状の設計法は、数多くの構造実験や数値解析に基づいて整理されたものである。しかし、施工のノウハウを必要とする、大きな試験機容量を必要とするため実大実験のデータが少ない、などの課題が残されている。

本研究では、CFT柱の現状を把握するために、国内外の設計法を比較し、既往の研究データを整理し、国内の実物件にみられる傾向を調査し、データベースを構築した。

2. 設計指針で規定されたCFT柱の耐力

日本建築学会 (AIJ) の CFT 指針¹⁾では、柱の座屈長さ L_k と鋼管径 D （角形鋼管柱では幅 B に相当）の比 L_k/D でCFT柱を、短柱 ($L_k/D \leq 4$)、中柱 ($4 < L_k/D \leq 12$)、長柱 ($12 < L_k/D$) に分類し、CFT柱の終局圧縮耐力 N_u と終局曲げ耐力 M_u を規定している。短柱の耐力は、コンクリートと鋼管の全塑性状態における累加強度で評価する。中柱、長柱の耐力は、軸力と変形による付加モーメントを考慮して評価する。

米国鋼構造協会 (AISC) の設計指針²⁾では、CFT柱の曲げと圧縮力の連成による公称耐力(Nominal Strength)を計算する4つの方法が紹介されている。これらのうち、図1に示す応力分布を仮定する Plastic Stress Distribution Method が、理論が明快で、簡便である。同手法では、図1に示すような4つの荷重状態を、CFT柱の耐力算定上主要な状態として定義する。図中、寸法 a_p は、純曲げ状態における塑性中立軸の位置を規定する。純圧縮(状態A)、純曲げ(状態B)を含めた荷重状態に対応する荷重点AからDを線形補間して、連成耐力を評価する。

図2に、せいと幅が1000 mm、厚さが36 mm、降伏強度が325 N/mm²の角形鋼管に、強度36 N/mm²のコンクリートを充填したCFTについて、日米の方法で算定した曲げ耐力を3種類の軸力比 N/N_o (N_o は単純累加軸耐力)ごとに示す。AIJ¹⁾の設計式によると、短柱、中柱、長柱それぞれの閾値 ($L_k/D = 4, 12$) 付近において曲げ耐力は、不連続的に評価された。CFT柱に作用する軸力が大きいほど、短柱と中柱の耐力評価は大きく異なる値を示した。一方、AISC²⁾では、 L_k/D が増加すると曲げ耐力は連続的に減少し、AIJ¹⁾よりも合理的にCFT柱の耐力を評価していると考えられる。

3. 既往の研究

既往の研究で蓄積された実験データを整理した。図3から6に、文献1)の第1編2章2節で引用された日米共同研究で実施された短柱中心圧縮実験と、文献3)に記載された多様な目的の実験のデータから得られたCFT柱の寸

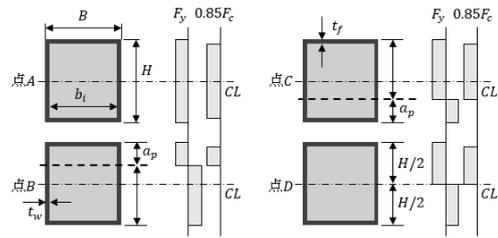


図1 4点の角形断面の寸法表記と応力度分布

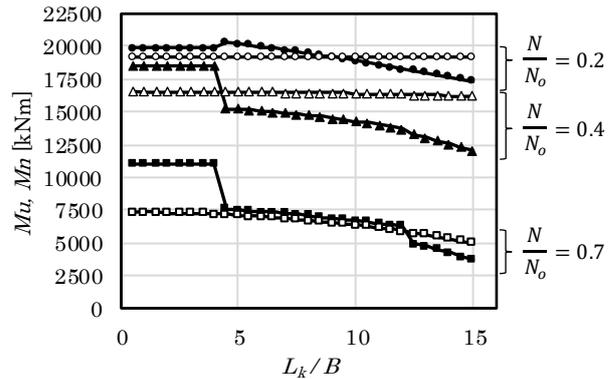


図2 日米の曲げ耐力の比較 (● : AIJ, ○ : AISC)

□ : 角形鋼管 ● : 円形鋼管

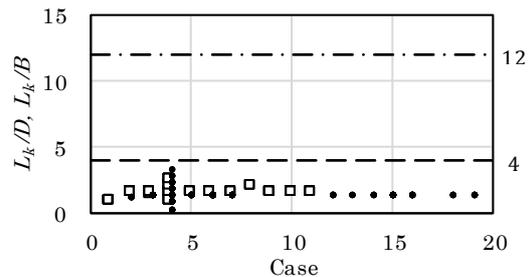


図3 短柱中心圧縮実験の試験体の $L_k/D, L_k/B$

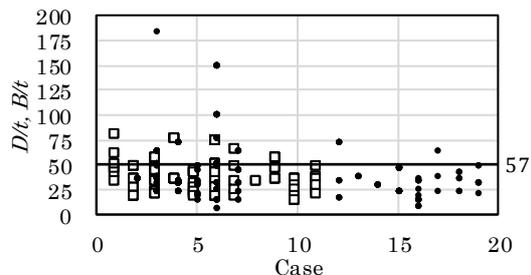


図4 短柱中心圧縮実験の試験体の $D/t, B/t$

法比 L_k/D および径厚比または幅厚比 $D/t, B/t$ を示す。図 3、4 に見るように、文献 1)における短柱中心圧縮実験では、 $L_k/D, L_k/B$ は 4 以下、 $D/t, B/t$ は 57 以下の CFT 柱が多く採用されていた。図 5、6 に見るように、文献 3)で収集された実験では、 $L/D, L/B$ は 1 から 8、 $D/t, B/t$ は 57 の CFT 柱が多く採用されていた。AISC²⁾のコンパクト断面(全塑性モーメントに到達することが出来る断面)とするための幅厚比制限が、図 2 の例の材料強度に対して、角形鋼管で $B/t \leq 57$ 、円形鋼管で $D/t \leq 57$ であるが、特にこの制限値内におさまる試験体が多いことが分かる。

4. 実物件に採用されたCFT柱の仕様

文献 4)に記載された、2008 年 5 月から 2020 年 12 月の性能評価シートから、超高層建築物や免震構造物に用いられた CFT 柱の寸法や材料強度等の情報を整理した。図 7 に、59 物件の建物最高高さを示す。内訳は、免震構造建築が 21 物件(基礎免震 11 件、中間層免震 9 件、基礎免震・中間層免震併用 1 件)、超高層建築が 38 物件であった。図 8 に、 $L/D, L/B$ の分布を示す。ここに、 L は調査した物件の 1 階階高とした。 $L/D, L/B$ は 4 から 12 の範囲が圧倒的に多い。中に、 $L/D = 20$ の円形鋼管 CFT の例もあるが、これは長さ 4200mm に対し、外径 216.3mm というデータである。図 9 に、幅厚比の分布を示す。角形鋼管の場合は $B/t \leq 33$ 、円形鋼管の場合は $D/t \leq 40$ に集中していた。文献 5)による純鋼ラーメンの FA ランクの制限は、角形鋼管で $B/t \leq 33$ 、円形鋼管で $D/t \leq 50$ であり、コンクリートを充填した CFT でも、純鋼構造の規定がほぼ守られている。

5. おわりに

CFT 柱について、国内外の耐力評価式、実験データ、実物件への適用実績を調査し、下記の知見を得た。

- ・ AISC²⁾より AIJ¹⁾の指針の方が、 L_k/D に応じて曲げ耐力を大きく変えている。
- ・ 既往の実験では、 $L_k/D \leq 4$ の範囲の試験体を対象とする実験が最も多いが、実物件で採用例のほとんどを占める $4 < L_k/D \leq 12$ の範囲の試験体は寡少であった。
- ・ 既往の実験では、角形鋼管は $12 \leq B/t \leq 152$ 、円形鋼管は $5 \leq D/t \leq 221$ と広範であるが、日本の実物件は、角形鋼管は $B/t \leq 33$ 、円形鋼管は $D/t \leq 40$ がほとんどであった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，丸善出版，2008
- 2) AISC 360-16 : Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, 2016
- 3) Brett C. Gourley, Cenk Tort, Mark D. Denavit, Paul H. Schiller, Jerome F. Hajjar : A Synopsis of Studies of the Monotonic and Cyclic Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Members, Connections, and Frames, NSEL Report Series Report No. NSEL-008, 2008
- 4) 日本建築センター：ビルディングレター，No.509 (2008.5)～No.660 (2020.12)
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか監修：2015年版建築物の構造関係技術基準解説書，2015

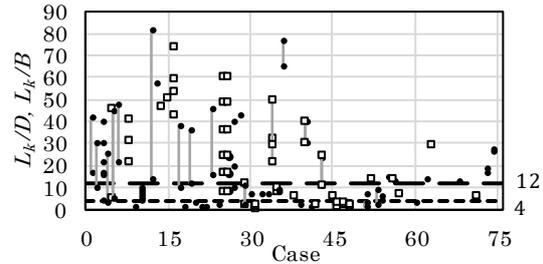


図 5 文献 3 に記載された研究の試験体の $L_k/D, L_k/B$

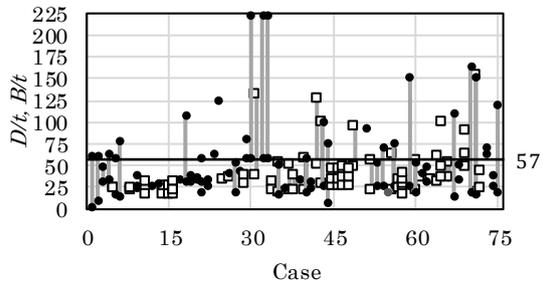


図 6 文献 3 に記載された研究の試験体の $D/t, B/t$

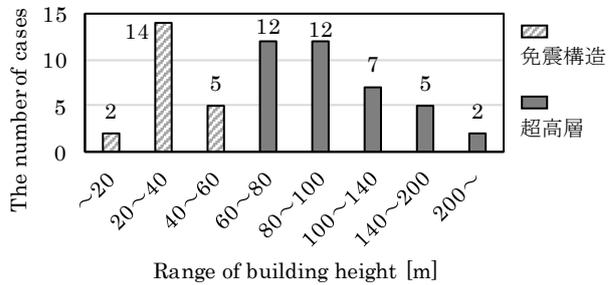


図 7 59 物件の建物最高高さ

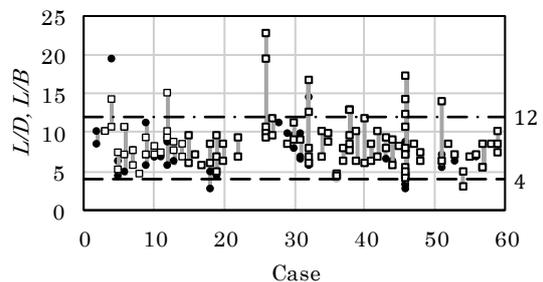


図 8 日本の実物件の CFT 柱の $L/D, L/B$

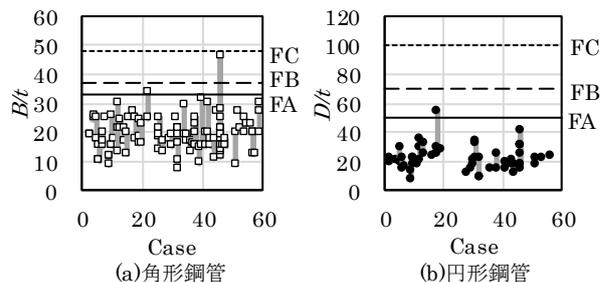


図 9 日本の実物件の CFT 柱の $D/t, B/t$