

1. はじめに

鉄骨と内部のコンクリートの相乗効果で、高い圧縮耐力、曲げ耐力が期待できるCFT柱は、超高層建物や免震構造で多用されている。接合部パネルの塑性化が支配的となる崩壊型は、特定層の損傷が少なく、柱や梁の塑性化を抑制できることから、CFT柱を用いた構造でも積極的に取り入れた設計が可能と考えられている。CFT柱梁接合部の耐力は、鋼の接合部パネルと内部に充填されたコンクリートそれぞれの耐力を累加して評価される^{1), 2)}。充填されたコンクリートは水セメント比が小さく高強度なことが多く、大きな自己収縮を生じることが懸念される。収縮により柱と接合部パネルにはコンクリートと鋼管との間の空隙が一樣に生じると考えられる。本論文では、特に接合部パネルの耐力にどのような影響を及ぼすかという点に着目し、CFT柱接合部パネル内のコンクリートの自己収縮によるひずみ量の推移を確認した。strut-and-tieモデルを準用し、CFT柱梁接合部の耐力を算定する既報と異なるモデルを提示したので、ここに報告する。

2. コンクリートの予備試験

CFT柱梁接合部パネルにおけるコンクリートの自己収縮を測定するに先立ち、日本コンクリート工学協会³⁾で規定された手法でコンクリートの自己収縮特性を確認する予備試験を実施した。自己収縮の度合いが異なると予想した、水セメント比26.7%で普通ポルトランドセメントを用いた普通タイプと、水セメント比25.0%で中庸熟ポルトランドセメントを用いた中庸熟タイプを採用した⁴⁾。混和剤には、高性能AE減水剤 1100NTとAE剤 AR50を使用した。圧縮強度試験により両タイプとも材齢28日で、設計基準強度の60 N/mm²を超えたことを確認した。100×100×400 mmの鋼製型枠にコンクリートを3体ずつ打設し、供試体中央に配置した埋込型ひずみ計KM-100BTで、30分おきにひずみと温度の推移を測定した。鋼によるコンクリートの拘束を軽減することを意図し、鋼製型枠の内側にポリエステルフィルムを貼付した。材齢3日まで、ラップと湿布で覆い供試体を湿潤養生し、脱型した後、防水テープで密封した。打設後90日間は室温約20℃の屋内で、それ以降は、断熱性能が低い屋内で供試体を養生した。

図1に、予備試験で測定した自己収縮ひずみを示す。コンクリートの内部温度が上昇し始めた、打設後に10時間経過した時を材齢0日とした。材齢初期は水和反応が活発で、いずれのタイプも材齢1日で130 μの収縮ひずみを示した。材齢2日以降、普通タイプが中庸熟タイプの2倍大きく収縮し、材齢90日における収縮ひずみは普通タイプで378 μ、中庸熟タイプでは266 μとなった。材齢90日以降では、内部温度の低下に伴い、コンクリートは膨張傾向にある。

3. 柱梁接合部パネル内の自己収縮測定実験

図2に示すように、CFT柱梁接合部パネルにおけるコン

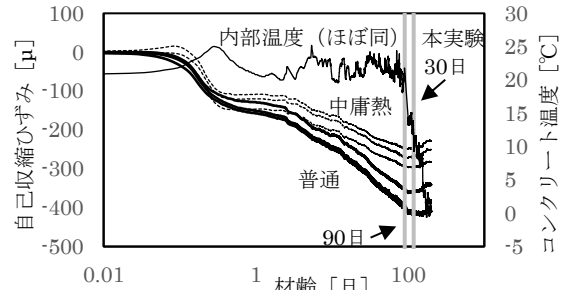


図1 予備実験 自己収縮ひずみ

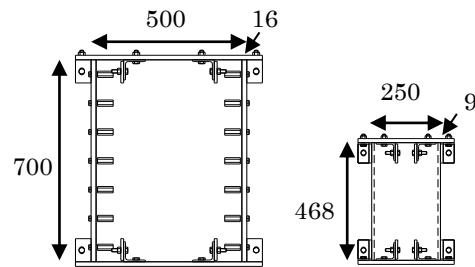


図2 接合部パネル試験体 [単位: mm]

クリートの自己収縮を確認するため、実大サイズと1/2縮小サイズの2種類の試験体を製作した。500×500×16 mmの角形鋼管断面、700 mmのせいで構成された試験体を実大サイズ⁵⁾、別途、CFT柱梁接合部パネルの力学特性を検証する実験で採用した、250×250×9 mmの角形鋼管断面、462 mmのせいで構成された試験体を1/2サイズとした。鋼板を組合せることにより、接合部パネルの形状を模擬した。予備試験で選定した2種のコンクリートを打設し、パネル内部に貼付するポリエステルフィルムの有無で、鋼によるコンクリートの拘束が自己収縮に及ぼす影響の度合いを確認することとした。以上、サイズ、コンクリートの種類、フィルムの有無により、計8体の試験体を製作した。試験体の中央に、埋込型ひずみ計KM-100BTを固定し、30分おきにひずみと温度を測定した。打設した後、1日間はラップと湿布でコンクリートを覆い、その後、アルミ粘着テープとブチルゴムで密封し、実況に近い環境で収縮ひずみを確認するため、断熱性能の低い屋内で供試体を養生した。

図3に、材齢113日までの自己収縮ひずみを、コンクリートの種類ごとに示す。いずれのタイプでも、材齢113日の収縮ひずみは、実大モデルのほうが1/2モデルよりも40から150 μ小さい値を示した。これは実大モデルの方が、水和熱が大きく高温となることで、水和反応が落ち着いた後の収縮ひずみの進行が鈍化したためと考えられる。中庸熟タイプの実大モデルを除き、フィルムを貼付した方が、20から60 μ大きい収縮ひずみを示し、鋼はコンクリートの収縮挙動を拘束していたと考えられる。温度が低いため予備実験ほど収縮しなかったが、温度の上がる夏季に収縮が進むと予想される。自己収縮挙動が落ち着いた材齢30日以

降では、同温度において、接合部パネルにおける収縮ひずみの進展は予備実験の供試体と同程度であり、収縮ひずみに差が表れた主要因は、材齢初期の水和熱による収縮ひずみであった。以上より、接合部パネルの自己収縮は、材齢初期の温度を管理すれば、文献3) の手法で評価できるであろう。

4. パネルのせん断耐力のモデル

図4、図5に示すように、接合部パネルにかかる力を偶力に置換し、CFT柱梁接合部パネルのせん断耐力 pQ を、鋼管部分とコンクリート部分それぞれに作用するせん断力 pQ_s 、 pQ_c の和として式(1)で評価した。

$$pQ = pQ_s + pQ_c \quad (1)$$

1/2縮小サイズの接合部パネルを用いた実験に倣い、軸力は0とし、鋼管の角部の曲率はなく、鋼管部分を2枚の鋼板とみなし、式(2)でせん断耐力を評価した⁶⁾。

$$pQ_s = V_p \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

ここに、 V_p は鋼板2枚の体積、 σ_y は鋼管平板部の降伏強度である。図6に示すように、strut-and-tieモデルを準用し、純圧縮場となるstrutとnodal zoneでコンクリート部分をモデル化した。strutとnodeの応力は等しく、コンクリート部分の水平方向は接合部パネルの鋼管壁と、鉛直方向は鋼管柱と作用・反作用の関係にあり、1) nodal zone、strutの圧壊、もしくは2) 鋼管壁の塑性崩壊に至るときに、接合部パネルは最大耐力を迎えるであろう。幾何条件より、nodal zoneの高さ h を式(3)で算定した。

$$h = \frac{H \tan \theta - B}{\tan^2 \theta - 1} \tan \theta \quad (3)$$

ここに、 θ はstrutの傾斜角、 H 、 B はそれぞれ接合部パネルのせいと幅である。コンクリートのせん断耐力 pQ_c は、strutの水平方向成分より、式(4)で算定した。

$$pQ_c = f \cdot B \cdot h \quad (4)$$

式(5)を満たすとき高さ h は最大となる。

$$\tan \theta = \frac{H - \sqrt{H^2 - B^2}}{B} \quad (5)$$

ただし、 pQ_c は鋼管壁が塑性耐力する荷重を超えない。これより、式(5)を式(4)に代入した pQ_c により算定した、式(1)の pQ を、接合部パネルの最大せん断耐力と評価した。文献2) より、 $200 \times 200 \times 9 \times 6$ mmの角形鋼管断面、281 mmのせいで構成された接合部パネルの層間変形角4%時の最大せん断耐力は1504 kN、モデルによる評価値は1726 kNで、14%の誤差で対応した。自己収縮ひずみが大きくなると、図5で示したnodal zoneの高さが密実な場合より小さく、パネルの耐力は小さくなるであろう。

5. まとめ

文献3)の手法によると、選定した普通タイプのコンクリートは、材齢90日で中庸熱タイプより100 μ 大きい収縮ひずみが生じた。CFT柱梁接合部パネルの材齢初期の温度を管理すれば、コンクリートの自己収縮を文献3) の手法で評価できるであろう。CFT柱接合部パネルにおけるコンクリート部分をstrutとnodal zoneで模擬することで、CFT柱梁接合部パネルの最大せん断耐力を概ね評価できた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造実験設計指針、pp63~108、2008.10
- 2) 福元敏行、澤本佳和、森田耕次：高強度材料を用いたコンクリート充てん角形鋼管柱鉄骨はりの内部補強形式仕口の研究、日本建築学会構造系論文集、第507号、pp171~178、1998.5
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮研究委員会 報告書、2002.9
- 4) 田澤栄一、宮澤伸吾：コンクリートの自己収縮ひずみの予測法に関する研究、土木論文集、第571号、pp211~219、1997.8
- 5) 吉田紘太郎、松井良太、岡崎太郎：コンクリート充填鋼管柱の実験例と実用例に関するデータベース、日本建築学会北海道支部研究報告集、第94号、pp.70-73、2021.6
- 6) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、2021.2

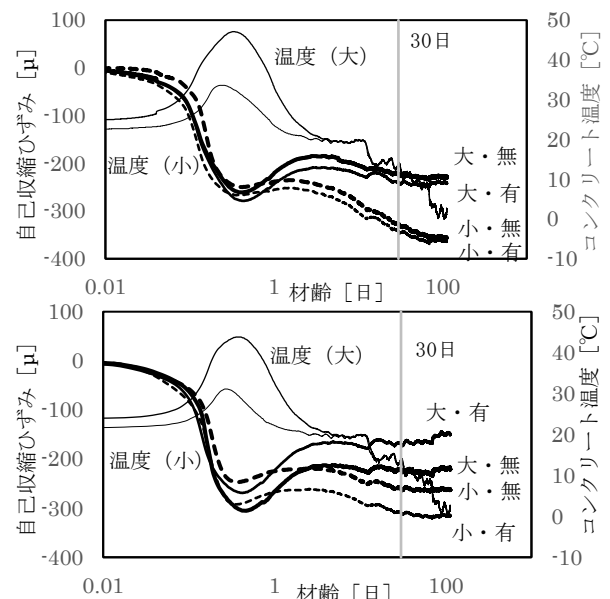


図3 普通(上)と中庸熱(下)の自己収縮ひずみ

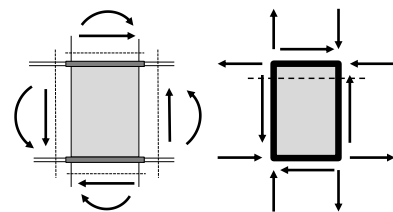


図4 パネルに作用する力と偶力に置換した応力図

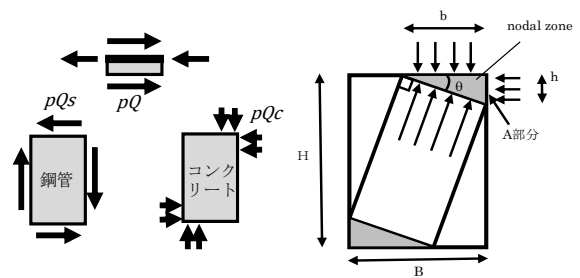


図5 パネルのせん断力

図6 strut-and-tie モデル