

立命館大学理工学部 学生員○木村直行 立命館大学大学院 学生員 井上真澄
石川島建材工業(株) 正会員 泉 保彦 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 竹山純徳
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1. はじめに

角型鋼管を地中に推進した後、プレストレスにより一体化したボックスを構築する工法（URT 工法ボックス形式）がある。この工法は特殊工法であるため大規模地震に対する耐震設計を行う上で部材の非線形性を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、ボックス側壁部の実物大模型による正負交番曲げ繰返し載荷試験を行い部材の非線形性について検討した。

2. 実験概要

供試体概要を図 1 に示す。部材の断面寸法は実物大とし 0.6m×0.8m で、載荷位置は、柱基部から 1.8m の位置とした。また、柱基部から 0.4m の位置にエレメントの継手部を設けた。PC 鋼材の力学的特性を表 1 に示す。軸方向に設置する PC 鋼材は SEEE 工法アンボンド PC 鋼材 UF100 とし 2 本設置した。PC 鋼材 1 本当たり 677kN の緊張力を与え、柱全断面に対して 2.8N/mm² の一定軸力を付加し、載荷装置にアクチュエーターを用いて載荷を行った。載荷方法を図 2 に示す。載荷の繰返しは、管理変位ごとに正負一回とし、管理変位はひび割れ発生時変位および継手部回転角が 1/200rad の整数倍の変位とした。載荷は部材のひび割れ発生荷重時までは荷重制御方式で行い、その後は変位制御で行った。エレメントには SS400 を使用し、中詰めコンクリートの設計基準強度は 36N/mm² とした。表 2 に載荷時におけるコンクリートの諸強度を示す。

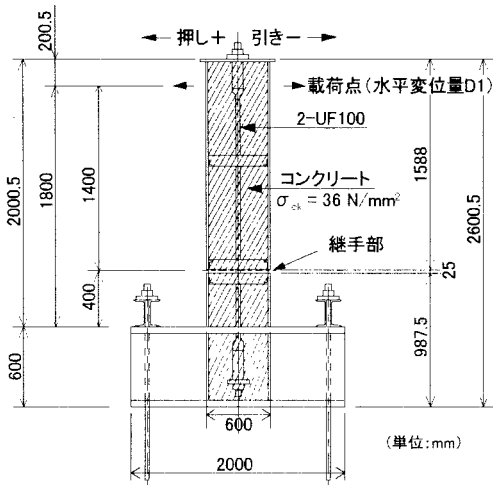


図 1 供試体概要図

表 1 PC 鋼材の力学的特性

SEEE ストランド UF100	線径 (mm)	引張荷重 (kN)	0.2%永久 伸びに対する 荷重(kN)	伸び (%)	ヤング 係数 (kN/mm ²)
試験値	33.3	1015	914	5.6	187
設計値	33.3	968	840	---	200

3. 実験結果および考察

3.1 曲げモーメントと PC 鋼材の緊張力の関係

図 3 に曲げモーメントと PC 鋼材の緊張力（合計）の関係を示す。水平変位量（D1）が 7mm までの継手部の曲げモーメントと PC 鋼材の緊張力の関係では、PC 鋼材の緊張力の低下はほとんど見られなかった。一方、変位 D1 が 70mm においては、塑性変形による PC 鋼材の緊張力の低下率が最大で 33% となった。PC 鋼材の塑性変形により初期緊張時の PC 鋼材のひずみ 0.7% が 0.2% 低下した時、すなわち塑性変形による PC 鋼材の緊張力の低下率が 29% である点を降伏点と考えた場合、残留ひずみ 27~33%(D1=63~70mm)の間で PC 鋼材が降伏したと考えられる。載荷終了までの継手部の曲げモーメントと PC 鋼材の緊張力の関係は、最終段階においては PC 鋼材の緊張力の増加は見られなくなり塑性変形による PC 鋼材の緊張力の低下率

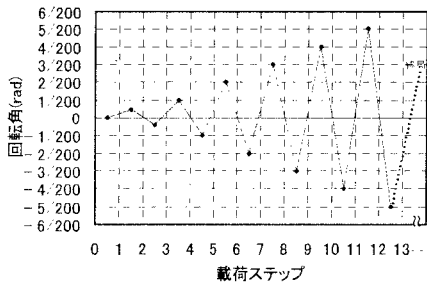


図 2 載荷方法

表 2 コンクリートの諸強度

材齢	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
載荷時	49.5	26.0	3.0

は最大で63%に達した。図4に継手部の曲げモーメントとPC鋼材の緊張力(平均)の関係を示す。曲げモーメントが410kN・m程度でPC鋼材が伸び始め、最大曲げモーメント490kN・m程度で緊張力の増加は観察されなかった。

3.2 M-θ曲線

図5に柱部材における曲げモーメントと回転角のモデルを示す。曲げモーメント分布が直線的に変化する部材は、部材の非線形性を部材の曲げモーメントと回転角の関係により表してよいとされている。図中の各変曲点近傍での現象は、A点は、コンクリートに曲げひび割れ発生時の回転角、B点は、部材の降伏時の回転角、C点は、最大曲げモーメント時の回転角を示している。また、それぞれに応じた損傷レベルが設定されており、降伏曲げモーメントであるB点までの範囲では、損傷レベル1(無損傷)、B点からC点までの範囲では、損傷レベル2(場合によっては補修が必要)、C点からD点までの範囲では、損傷レベル3(補修が必要な損傷)、D点以降の範囲では、損傷レベル4(補修が必要で、場合によっては部材の取り替えが必要)と設定されている[1]。図6にPC鋼材の試験値および設計値に基づく計算値と実験値のM-θ曲線を示す。計算値には、曲げモーメント(M)および回転角(θ)を、①鋼板(エレメント)により囲まれた部分は変形しない② M_y , M_m , M_n の算出にあたり、コンクリートの圧縮応力は等価応力ブロックにモデル化するという仮定および条件を設けている。継手部の降伏曲げモーメント M_y は、PC鋼材の引張強度 P_u の75%程度の時に発生すると仮定し、最大曲げモーメント M_m はPC鋼材が降伏(0.2%の塑性ひずみを生じたとき)した時に発生するとした。今回の実験結果から各M-θ曲線は概ね一致した。しかし、設計値と試験値に基づく降伏点を比較すると、試験値での降伏点が少し大きな値を示した。

図5に柱部材における曲げモーメントと回転角のモデルを示す。曲げモーメント分布が直線的に変化する部材は、部材の非線形性を部材の曲げモーメントと回転角の関係により表してよいとされている。図中の各変曲点近傍での現象は、A点は、コンクリートに曲げひび割れ発生時の回転角、B点は、部材の降伏時の回転角、C点は、最大曲げモーメント時の回転角を示している。また、それぞれに応じた損傷レベルが設定されており、降伏曲げモーメントであるB点までの範囲では、損傷レベル1(無損傷)、B点からC点までの範囲では、損傷レベル2(場合によっては補修が必要)、C点からD点までの範囲では、損傷レベル3(補修が必要な損傷)、D点以降の範囲では、損傷レベル4(補修が必要で、場合によっては部材の取り替えが必要)と設定されている[1]。図6にPC鋼材の試験値および設計値に基づく計算値と実験値のM-θ曲線を示す。計算値には、曲げモーメント(M)および回転角(θ)を、①鋼板(エレメント)により囲まれた部分は変形しない② M_y , M_m , M_n の算出にあたり、コンクリートの圧縮応力は等価応力ブロックにモデル化するという仮定および条件を設けている。継手部の降伏曲げモーメント M_y は、PC鋼材の引張強度 P_u の75%程度の時に発生すると仮定し、最大曲げモーメント M_m はPC鋼材が降伏(0.2%の塑性ひずみを生じたとき)した時に発生するとした。今回の実験結果から各M-θ曲線は概ね一致した。しかし、設計値と試験値に基づく降伏点を比較すると、試験値での降伏点が少し大きな値を示した。

4. まとめ

本研究の範囲において明らかになった点を以下に示す。

- 1) 継手部の降伏曲げモーメントは $M_y = 412 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ($\theta_y = 0.004 \text{ rad}$)、最大曲げモーメントは $M_m = 476 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ($\theta_m = 0.026 \text{ rad}$)であった。
- 2) 継手部の降伏曲げモーメント M_y は、PC鋼材の応力が引張強度 P_u の75%程度のときに、最大曲げモーメント M_m はPC鋼材が降伏したときに発生すると考えられる。
- 3) 今後、PC鋼材の本数、位置、長さ等が変化した場合についても本実験で得られた復元力モデルを修正することにより、L2地震時の損傷レベルを検討できるようにすることが望まれる。

謝辞

本実験を遂行するに当たり、西日本旅客鉄道(株)柏原茂氏、極東貿易(株)行幸孝氏にご協力を頂いた。ここに記して、深く感謝の意を表す。

【参考文献】

- [1] 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計，丸善株式会社，pp143~151，1998.10

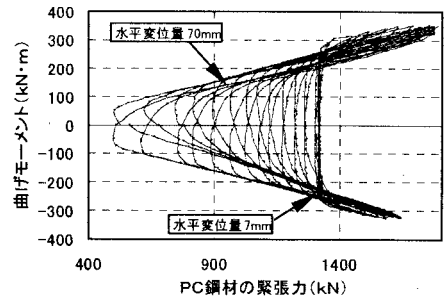


図3 曲げモーメントとPC鋼材緊張力(合計)の関係

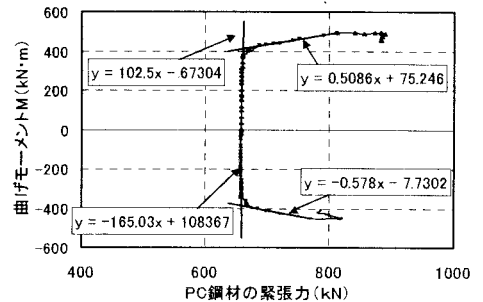


図4 曲げモーメントとPC鋼材緊張力(平均)の関係

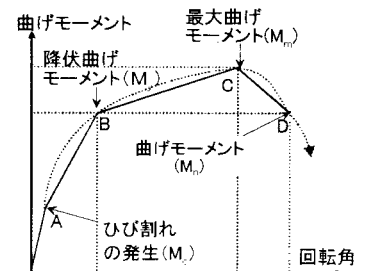
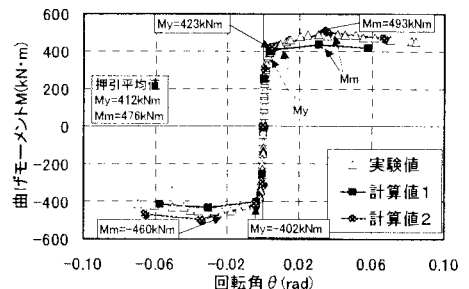


図5 柱部材におけるM-θ曲線



注) 設計値: PC鋼材の設計値に基づく計算値のM-θ曲線
試験値: PC鋼材の試験値に基づく計算値のM-θ曲線

図6 M-θ曲線