

論文

[1025] 高強度鉄筋コンクリート柱のクリープおよび乾燥収縮特性

正会員 山本俊彦（東急建設技術研究所）

1. はじめに

近年、高強度コンクリートを用いた超高層鉄筋コンクリート構造物が数多く建てられるようになってきた。これらの超高層鉄筋コンクリート構造物では床の水平度や外装材の変形の点から、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮が重要な問題となってくる。しかし、これまでのところ高強度コンクリートのクリープや乾燥収縮に関する資料は少なく、実験もほとんど無筋の小型試験体で行なわれており、高強度鉄筋コンクリート部材の長期変形特性を十分解明するには至っていない。一方、超高層鉄筋コンクリート構造物では柱の受ける軸力がかかなり大きく、一旦地震により柱が大きな損傷を受けた場合、柱の軸方向剛性の低下やクリープの増大により構造物全体の長期的な変形が著しく大きくなる恐れがある。

このため、本研究では、3体の高強度鉄筋コンクリート柱試験体を用いて、高強度コンクリートのクリープ、乾燥収縮、および地震により大きな損傷を受けた後の柱のクリープ特性を調べた。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験に用いた試験体を図-1、表-1に示す。試験体は、断面25×25cm、長さ100cm、主筋比2.44%(12-D13)、横補強筋比0.79%(4-U5@40)である。横補強筋には十分なコンクリート拘束効果を得るために高強度鉄筋を用いた。

2.2 使用材料

表-2にコンクリートの配合、表-3に強度試験結果を示す。断面25×25cm、長さ100cmのダミー試験体からの抜き取りコアによる圧縮強度は582kgf/cm²、弾性係数は3.64×10⁵kgf/cm²であった。表-4に鉄筋の機械的性質を示す。

2.3 実験方法

試験体は、コンクリート打設後7日間湿潤養生を行ない、その後型枠を脱型し実験室内に自然

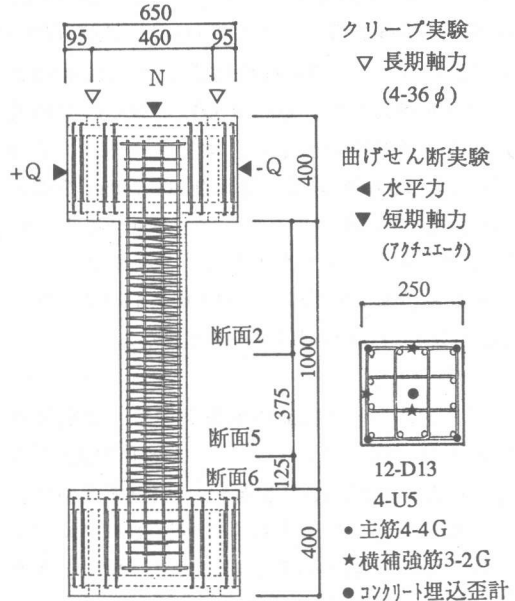


図-1 試験体

表-1 試験体一覧表

試験体	圧縮強度 (kgf/cm ²)	主筋比 (%)	横補強筋比 (%)	クリープ 載荷 軸力比	備考
No.1	600	2.44	0.79	-	乾燥収縮
No.2	600	2.44	0.79	0.33	クリープ
No.3	600	2.44	0.79	0.33	クリープ*

*曲げせん断実験による層間変形1/100経過後

表-2 コンクリートの配合

種類	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	W/C (%)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	スランブ (cm)	粗骨材径 (mm)
普通	434	165	38	798	1036	18	10

表-3 コンクリート強度

供試体	試験材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	比重
標準水中	28	640	3.51×10 ⁵	2.43
抜取コア	31	582	3.64×10 ⁵	2.44

表-4 鉄筋の機械的性質

種類	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	伸び (%)
D13	4,050	6,340	2.11×10 ⁵	25.0
U5	14,000	15,100	2.08×10 ⁵	8.7

放置した。試験体No.1はそのまま乾燥収縮を測定し、No.2は材令33日で 200kgf/cm^2 の長期軸力を導入し以後クリープ変形を測定した。軸力は4本のPC鋼棒によりロードセルを介して均等に導入した。長期軸力は、コンクリートコア強度 582kgf/cm^2 の0.34である。No.3は、材令26日に曲げせん断実験を行ない柱上下の相対変位を1/100まで変形させ、その後材令33日で 200kgf/cm^2 の長期軸力を導入した。曲げせん断実験では変動軸力を受ける外柱を想定し、コンクリートコア強度に対して0.66の短期一定軸力 384kgf/cm^2 を導入した[1]。載荷は、アクチュエータ3台により柱に逆対称モーメントを加えた。載荷履歴は試験体の部材角Rで制御し、1/1000、1/400を各一回、1/200、1/100を各3回繰り返した。

2.4 測定方法

コンクリートと主筋の軸方向歪および横補強筋の歪は、図-1に示すように試験体中央(断面2)、柱脚から12.5cm(断面5)、柱脚(断面6)で行なった。コンクリートの歪は各断面の中央一点で長さ10cmの埋め込み歪計により、また、主筋は各断面の四角で4Gageにより、横補強筋は3点を2Gageにより測定した。柱の全体の変形は、変位計により測定した。

3. 実験結果

3.1 実験室温湿度および試験体温度

図-2に試験体の温度変化を示す。コンクリート打設後約 40°C に達し、その後は実験室内温度と同じ値を示した。実験室の相対湿度は、35%~90%の間で変化し平均65%程度であった。なお、以下に示す各歪は、温度変化による歪は含まれていない。

3.2 No.1試験体の乾燥収縮

図-3に各断面のコンクリート歪の変化を示す。以下各歪は、歪が安定するコンクリート打設後3日を基準にした。収縮歪は断面位置によって異なるが、材令7日の型枠脱型後急速に乾燥収縮歪が増大した。材令170日での乾燥収縮歪は 200μ (断面6)~ 270μ (断面2)、また、クリープ試験を開始した材令33日以降の収縮歪の増加分は $80\sim 100\mu$ であった。同時に測定した10cm角の無筋試験体の材令170日での乾燥収縮歪 480μ に比べればかなり小さな値を示した。なお、CEB/FIP式による最終収縮歪計算値は、No.1試験体各断面で $350\sim 470\mu$ 、10cm角柱で 600μ 程度と予測される。

3.3 No.2試験体のクリープ

図-4に各断面のコンクリート歪の変化を示す。長期軸力 200kgf/cm^2 導入時のコンクリート弾性係数は、断面2および5で $3.0 \times 10^4\text{kgf/cm}^2$ 程度であった。変位計による柱全体の平均歪は断面2および5のコンクリート歪とほとんど同じであった。長期軸力載荷後、材令170日までの断面2および5での歪の増加は 480μ で、乾燥収縮歪 90μ を引くと、クリープ係数は0.57となる。CEB/FIP式によ

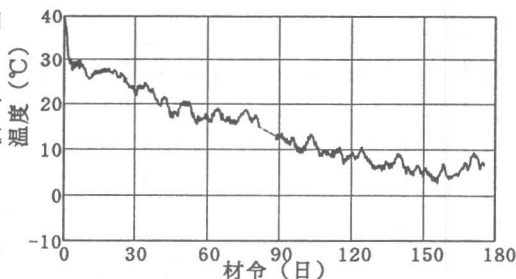


図-2 試験体の温度変化

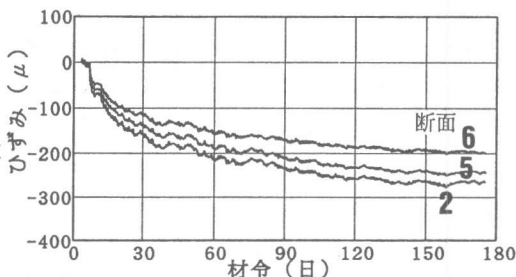


図-3 No.1試験体コンクリート歪の変化

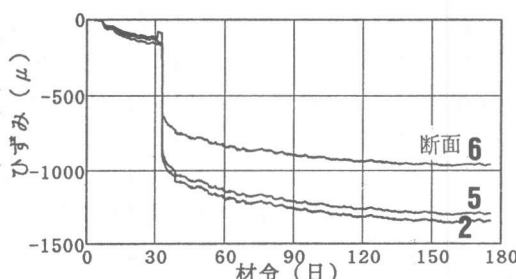


図-4 No.2試験体コンクリート歪の変化

る最終クリープ係数の計算値は、初期急速変形および遅れ弾性変形を無視して1.35となる。弾性変形、クリープおよび乾燥収縮変形を加えた終局変形計算値は、本実験柱では 1800μ 程度、柱長さ3mを想定した場合では5mm程度の変形量になると予測される。

3.4 No.3試験体の曲げせん断実験

図-5に荷重変形曲線、図-6にコンクリートの歪履歴、図-7に断面6の正加力時圧縮側主筋の歪履歴を示す。写真-1にNo.3試験体の最終状況を示す。柱脚、柱頭部分でコンクリートの圧壊が見られる。最大荷重 Q_{max} は36.4 tで、コンクリートの最大せん断応力 τ_{max} は 58.2kgf/cm^2 であった。曲げせん断実験時の最大歪は、コンクリートでは断面5で -5000μ 、主筋では断面2で -1500μ 、断面6で -14000μ 程度となった。また、横補強筋の最大歪は $+1600\mu$ 程度であった。

図-8に柱の相対変位と軸方向変位の関係を示す。短期軸力 384kgf/cm^2 (軸力比0.66)導入時の柱全長の縮みは1.47mmで、鉄筋を無視したコンクリートの弾性係数は $2.6 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ であった。最終軸変形は3.61mmで、軸力解除後の残留軸変形は1.49mmとなった。軸力除荷時のコンクリートの弾性係数は $1.8 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ であった。

3.5 No.3試験体のクリープ

図-9にコンクリート歪の変化を示す。載荷時のコンクリートの弾性係数は、 $2.3 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ (断面2)、 $1.9 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ (断面5)、 $2.8 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ (断面6)となり、断面5での剛性低下が大きい。コンクリートの全歪はかなり大きくなり断面5で 4700μ とNo.2に比して3.6倍となった。しかし、曲げせん断実験時の最大歪には達していない。長期軸力載荷後、材令170日までの歪の増加は、断面5では 580μ とNo.2の1.2倍を示したが、断面2では0.8倍、断面6では1.0倍と同じか小さい値を示した。このため柱全体では歪の増加はNo.2とほとんど変わらない値を示した。

図-10に主筋4点の平均歪(断面6)の変化を、図-11に横補強筋の載荷方向1点の歪(断面5)の変化を示す。主筋の残留歪は -8700μ とコンクリートよりかなり大きい。長期軸力載荷時の歪およびその後の歪の増加はコンクリートよりも小さい値を示した。横補強筋の歪は柱脚部のコンクリート圧壊により引張歪が生じており、長期軸力の

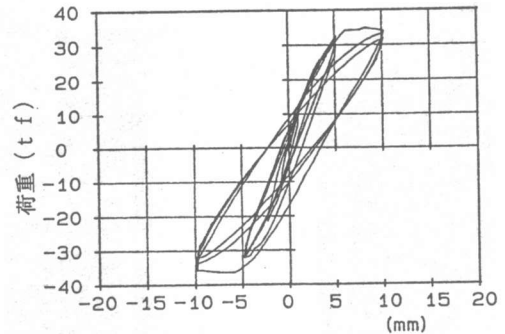


図-5 荷重-変形曲線

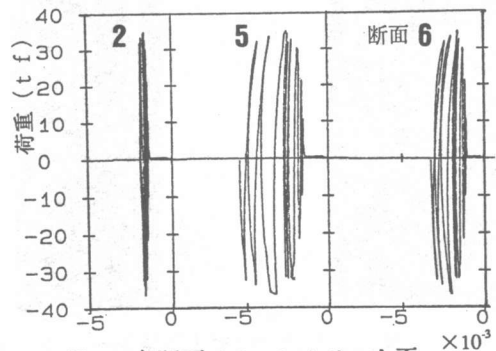


図-6 各断面でのコンクリート歪

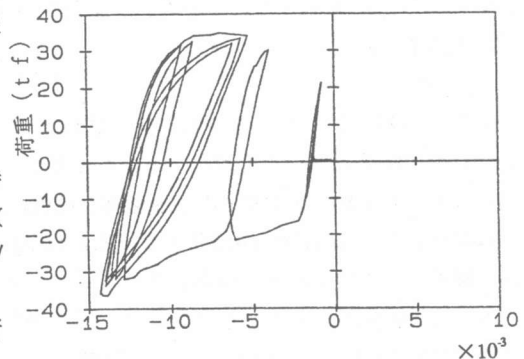


図-7 断面6での鉄筋歪

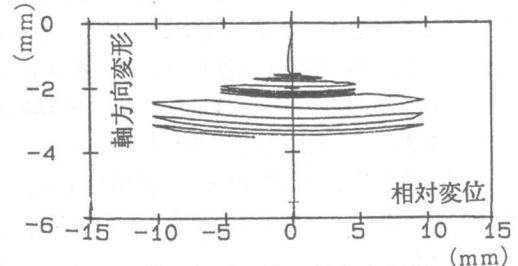


図-8 柱の相対変位と軸方向変形

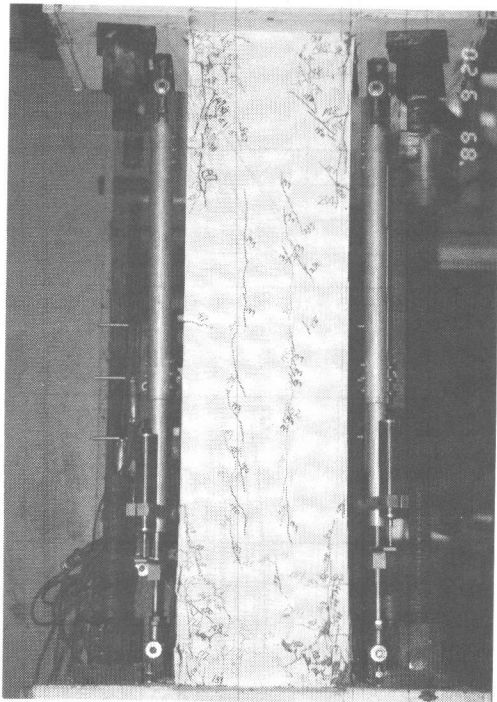


写真-1 No.3試験体曲げせん断実験終了時

載荷により更に増加した。しかし、長期的には減少傾向を示した。

4 まとめ

高強度鉄筋コンクリート柱のクリープおよび乾燥収縮実験で以下のことが明らかになった。

- 1) 高強度鉄筋コンクリート柱試験体の乾燥収縮は材令170日で 250μ 程度で、10cm角の標準乾燥収縮試験体による値の約50%となった。試験体柱の終局乾燥収縮歪は 400μ 前後と予測されるが、実際の柱では断面が試験体よりも大きいことから、これより小さくなると考えられる。
- 2) 高強度鉄筋コンクリートのクリープはかなり小さく、鉄筋コンクリート柱としてのクリープ係数は材令170日で0.57であった。終局時のクリープ係数は1.4程度と予測される。
- 3) 大地震による被害を想定し曲げせん断実験で柱層間変位1/100、軸方向の平均コンクリート歪 3600μ を経験させた高強度コンクリート柱の長期的な歪は、地震荷重を受けない場合に比べ1.2～3.6倍とかなり大きな値を示した。歪の増大は柱脚塑性ヒンジ部で著しいが、歪の増大原因は主に曲げせん断実験時の残留歪と軸方向の剛性低下によるものである。
- 4) 地震により大変形を生じても横補強筋による拘束が十分であれば、クリープ歪はコンクリートの圧壊が生じた柱脚塑性ヒンジ部でも地震荷重を受けない場合の1.2倍程度で、クリープ歪が著しく増大することはないと考えられる。

参考文献

- [1] 山本俊彦、本田義博、白都 滋、大滝 健：高強度鉄筋コンクリート柱に関する実験的研究、日本建築学会大会、1989、pp.739-746
- [2] CEB/FIP Model Code for Concrete Structures, 3rd Edition, 1978

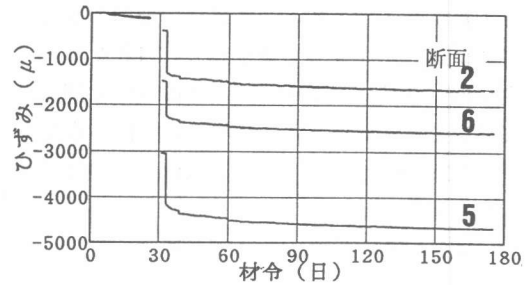


図-9 No.3試験体コンクリート歪変化

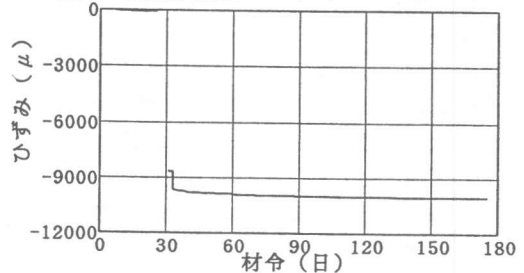


図-10 断面6の鉄筋歪の変化

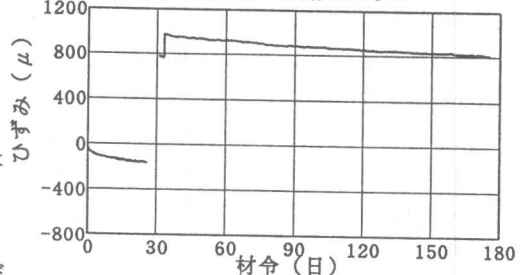


図-11 断面5の横補強筋の歪の変化