

超高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱の 施工過程を考慮したクリープ予測法

今井 和正*¹・小室 努*²・是永 健好*¹・寺嶋 知宏*²・村瀬 正樹*²・渡邊 史夫*³

Keywords : high-strength concrete, compressive creep, modulus of elasticity, CEB-FIP Model Code 1990

超高強度コンクリート, 圧縮クリープ, ヤング係数, CEB-FIP Model Code 1990

1. はじめに

近年, 鉄筋コンクリート構造においては, 高強度材料を使用した構造部材に関する研究・開発¹⁾が多く行われ, 設計基準強度が 100 N/mm² 以上の高強度コンクリート (以下, 100 N/mm² 以上を超高強度コンクリートと称す) が高層建築物に実施適用されている²⁾。これらの適用事例では, 超高強度コンクリートは, 高層部分の下層階柱に使用され, その長期圧縮応力度は中層建築物と比較して高くなっている。この高応力度に対し, 長期的に支障なく, 建築物の健全性を十分に確保するためには, 弾性変形の検討とともに, クリープによる変形を検討することがより重要になっている。

著者らは, これらの検討に必要な超高強度コンクリートの長期圧縮特性を把握するため, 圧縮強度が 100~180 N/mm² のコンクリートを使用した RC 柱の長期圧縮試験を実施し, 圧縮クリープ評価法を提案した³⁾。この試験では, 実際の約 1/3 スケールの試験体を用い, コンクリート材齢 56 日に長期相当の鉛直力を載荷した。ここでの部材寸法や載荷時材齢は, 実際の構造物とは異なっており, この違いがコンクリートの圧縮性状に影響を及ぼす可能性がある。普通強度のコンクリートに対しては, CEB-FIP model code 1990⁴⁾等にこれらの影響を考慮した予測式が示されているが, 超高強度コンクリートに対し, 定量的に評価する方法や資料⁵⁾はほとんど提示されていない。

そこで, 筆者らは, 部材寸法や載荷時材齢の影響を確認するため, 施工過程を考慮した段階的な鉛直荷重

状況を模擬した 1/3 スケールの鉄筋コンクリート柱試験体の長期載荷実験を実施した。また, 地上 45 階建ての鉄筋コンクリート造建築物の低層階柱における軸ひずみを計測して, 部材寸法や載荷時材齢の影響を分析した。本報では, それらの影響を考慮した超高強度鉄筋コンクリート柱のクリープひずみ予測法を検討する。

2. 縮小鉄筋コンクリート柱による試験計画

2.1 試験体

断面が 300 mm 角の鉄筋コンクリート柱試験体 (以下, RC 柱試験体) とコア抜き ϕ 100 mm シリンダー供試体を用いて, 施工過程を考慮した段階載荷のクリープ試験を実施した。コンクリートの目標強度は 150 N/mm² とした。コンクリートの調合および鉄筋の材料試験結果を表-1 および表-2 に, RC 柱試験体詳細を図-1 に, 試験体一覧を表-3 に示す。実際の柱内部は, セメントの水和熱によって打設直後に高温となり, 強度発現に影響を及ぼすことが報告されている⁶⁾。本実験ではこの内部温度の影響を再現するため, 図-2 に示す実柱相当の断面 900 mm 角, 高さ 1650 mm のコンクリート柱を作製し, その内部温度が外気温とほぼ同等になった材齢 1 週に RC 柱試験体およびシリンダー供試体を取り出した。また, 柱内部のコンクリート強度を把握するため, 同一寸法 (900 × 900 × 1650 mm) のコンクリートブロックを別途作製し, コア供試体を抜き出して圧縮強度を確認した。

2.2 載荷および計測方法

載荷・計測方法を図-3 に示す。RC 柱試験体の載荷は, 試験体上に設置した鉄骨梁と反力床の間を試験体

*1 技術センター建築技術研究所建築構工法研究室

*2 設計本部構造グループ

*3 京都大学大学院工学研究科

周囲の4本のPC鋼棒で緊結することにより行った。4面のインサートに設置した変位計により軸縮みを計測したほか、軸方向筋のひずみを初載荷時から計測した。シリンダー供試体の載荷は、JIS原案に準拠して縦に3本重ねて行い、中央4面の長さ変化(測定区間長さ100mm)を計測した^{7,8)}。

載荷履歴を図-4に示す。載荷方法は、一括載荷、段階載荷および無載荷の3通りである。一括載荷の載荷材齢は56日とし、段階載荷は超高層建物の積層サイクルを想定して定めた。

表-1 コンクリートの調査
Table 1 Mix proportion of concrete

| 水結合材比 (%) | 結合材 ^{*1} (kg/m ³) | 水 (kg/m ³) | 粗骨材 ^{*2} (kg/m ³) | 細骨材 ^{*3} (kg/m ³) |
|-----------|--|------------------------|--|--|
| 17.0 | 882 | 150 | 871 | 568 |

*1 普通ポルトランドセメント : スグ石膏 : シリカフェム = 7 : 2 : 1 (質量比)
*2 安山岩系砕石 *3 安山岩系砂

表-2 鉄筋の材料試験結果
Table 2 Mechanical properties of reinforcements

| | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) | 伸び (%) |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------|
| D16 (SD685) | 730 | 944 | 191 | 9.6 |
| U5.1 (SBPD1275/1420) | 1447 | 1473 | 205 | 8.9 |

表-3 試験体一覧
Table 3 List of specimens

| 試験体名 | 断面寸法 (mm) | 載荷方法 | 初載荷材齢 (日) | 軸力比 [*] | 載荷期間 (日) |
|---------|-----------|------|-----------|------------------|----------|
| RC300_1 | □300x300 | 一括 | 56 | 0.298 | 985 |
| RC300_2 | □300x300 | 段階 | 14 | 0.298 | 1027 |
| RC300_3 | □300x300 | 無載荷 | - | 0 | - |
| C100_1 | φ100 | 一括 | 56 | 0.350 | 952 |
| C100_2 | φ100 | 段階 | 14 | 0.350 | 952 |
| C100_3 | φ100 | 無載荷 | - | 0 | 952 |

* $N/(b \cdot D \cdot \sigma_{56})$, N: 載荷軸力, b: 柱幅, D: 柱せい
 σ_{56} : 56日強度 = 179N/mm² (コア抜きシリンダー)

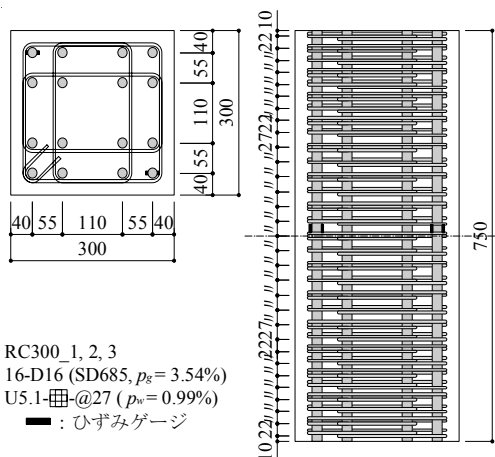


図-1 RC柱試験体
Fig.1 RC column specimen

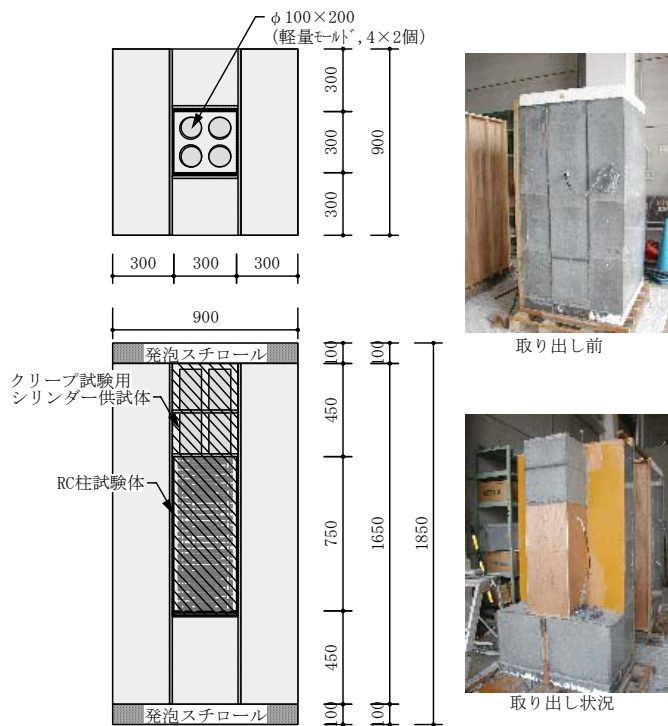
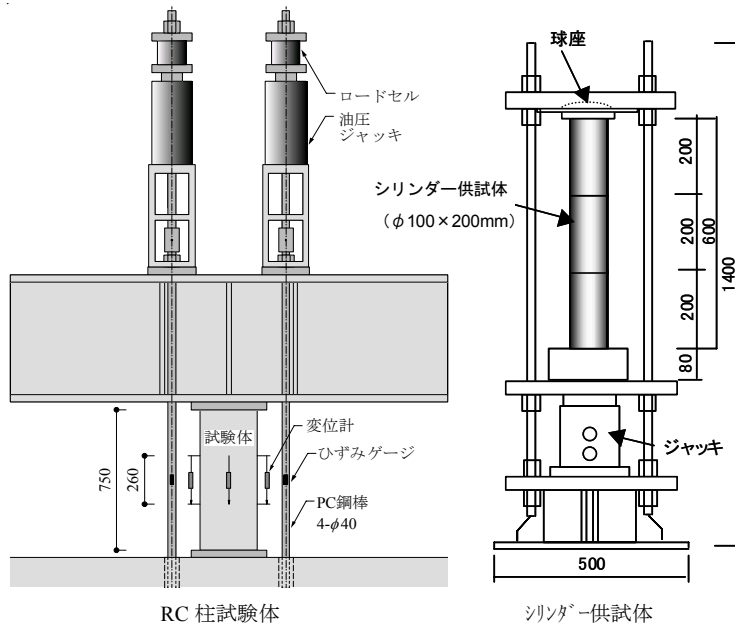


図-2 試験体製作方法
Fig.2 Process of making specimens



RC柱試験室内: 気温 10~30℃ (計測), 湿度 50~75% (気象庁データから推測)
シリンダー試験試験室内: 20℃ 60% で管理

図-3 載荷・計測方法

Fig.3 Loading setup and measurement

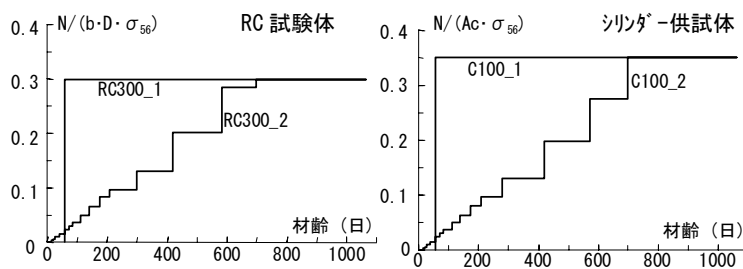


図-4 載荷履歴 (載荷軸力比と材齢の関係)
Fig.4 Loading schedule

3. 縮小鉄筋コンクリート柱の計測結果

3.1 コンクリート強度・ヤング係数の推移

無荷重のコア抜き供試体から得られた材齢56日までの圧縮強度、ヤング係数およびポアソン比の推移を表-4に示す。材齢8日で材齢56日の約90%の圧縮強度に達しており、打設直後の内部温度の影響で強度発現が早いことがわかる。

3.2 軸ひずみの推移

RC柱試験体およびシリンダー供試体とも、荷重終了まで安定して軸力を保持し、ひび割れなどの損傷は観察されなかった。

荷重応力による軸ひずみは、荷重試験体の軸ひずみから無荷重試験体の軸ひずみを差し引いて求めた。材齢56日に一括荷重したRC300_1およびC100_1の荷重応力による軸ひずみについて、弾性ひずみを含む荷重前からの推移を図-5に示す。両試験体は荷重軸力比の違いや軸方向筋の有無によって、試験体寸法の違いによる軸ひずみ増分を直接比較することができない。これらの影響を取り除くため、両試験体のクリープ係数を算定し、その比較を図-6に示す。ここでは弾性ひずみに対する軸ひずみ増分の割合をクリープ係数と定義する。RC柱試験体では、軸方向筋の存在によりコンクリートの軸力負担割合が軽減され、時間経過とともにこの割合が減少する。これを考慮して弾性ひずみ

表-4 コンクリートの圧縮特性
Table 4 Compressive properties of concrete

| 材齢 t (日) | 圧縮強度 (N/mm^2) | ヤング係数 (kN/mm^2) | ポアソン比 | $E(t)/E(28)$ |
|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------|
| 8 | 163 | 45.7 | 0.24 | 0.97 |
| 14 | 173 | 46.0 | 0.24 | 0.97 |
| 28 | 174 | 47.3 | 0.24 | 1.00 |
| 56 | 179 | 47.1 | 0.24 | 1.00 |

* $E(t)$: 材齢 t のヤング係数 (コア抜きシリンダー試験結果)

を逐次求め、クリープ係数を算定した³⁾。図-6から、普通強度コンクリートのクリープ係数が3程度であるのに対し、両試験体とも0.5程度と非常に小さいクリープ係数を示していること、シリンダー供試体に比べRC柱試験体のクリープ係数の方が小さい値を示していることがわかる。超高強度コンクリートはクリープ係数が小さく、断面寸法が大きくなることでそれがさらに小さくなる傾向が現れていると考えられる。

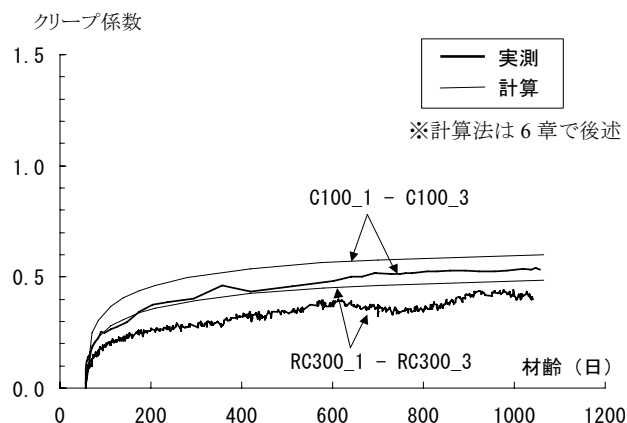


図-6 クリープ係数の推移
Fig.6 Creep coefficient

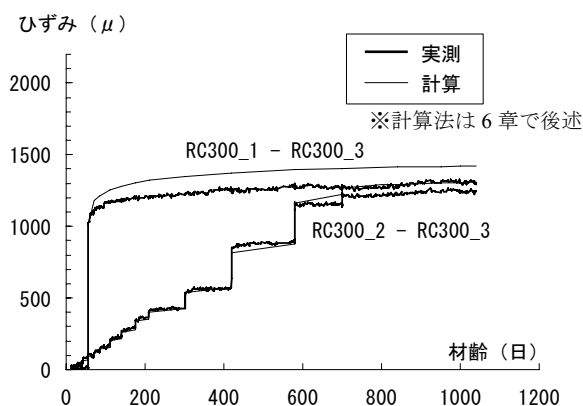


図-7 RC柱試験体の軸ひずみの推移
Fig.7 Axial strain of RC specimens

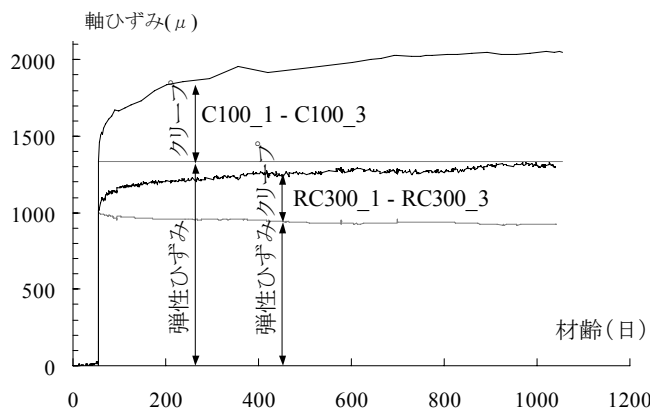


図-5 軸ひずみの推移
Fig.5 Axial strain

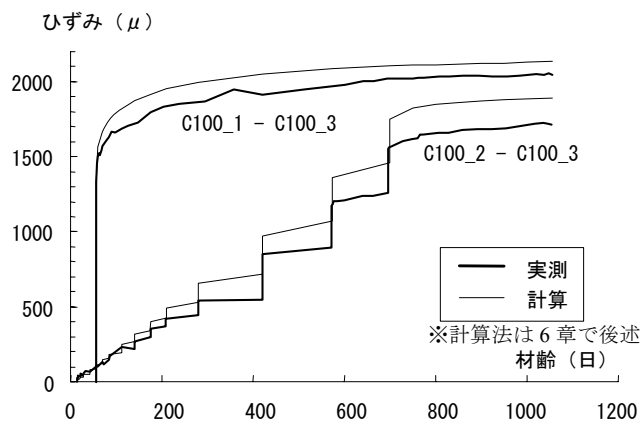


図-8 シリンダー供試体の軸ひずみの推移
Fig.8 Axial strain of concrete specimens

段階荷重を行った RC 柱試験体 RC300_2 およびシリ
ンダー供試体 C100_2 の軸ひずみの推移を、一括荷重
した結果と併せて、図-7および図-8に示す。材齢
14 日から段階荷重した試験体の方が、材齢 56 日に一
括荷重したものより軸ひずみが多少小さい傾向にある。

4. 実建築物の鉄筋コンクリート柱の計測計画

4.1 計測建築物

東京都内に計画された地上 45 階、地下 2 階、最高高
さが 159.4 m の高層集合住宅⁹⁾ の下層階柱を対象とし
て、コンクリート打設から竣工までの長期ひずみ計測

を行った。図-9に基準階構造伏図、図-10に軸組図
を示す。地上階は純ラーメン架構である。

使用コンクリートの中で最高強度の Fc130 は 1~3
階柱に用い、4 階以上の柱は、Fc100 から Fc30 として
いる。4 階までの柱は現場打設とし、5 階からはプレキ
ャスト (PCa) 柱を採用した。全体工事期間は、2002
年 12 月中旬から 2006 年 6 月中旬までの約 42 ヶ月で、
2004 年の 1 月中旬から地上躯体工事が開始された。

表-5 コンクリートの調合
Table 5 Mix proportion of concrete

| 対象部位 | 水結合材 比 (%) | 結合材 ^{*1} (kg/m ³) | 水 (kg/m ³) | 粗骨材 ^{*2} (kg/m ³) | 細骨材 ^{*3} (kg/m ³) | 混和剤 ^{*4} (kg/m ³) |
|-----------|---------------|---|---------------------------|---|---|---|
| 1階柱 Fc130 | 18.0 | 834 | 150 | 835 | 647 | 12.9 |
| 5階柱 Fc100 | 24.0 | 625 | 150 | 864 | 780 | 6.88 |

*1 普通ポルトランドセメント：スラグ石膏：シリカフェム=7：2：1 (質量比)
*2 Fc130: 安山岩系砕石, Fc100: 硬質砂岩系砕石
*3 Fc130: 安山岩系砕石, Fc100: 硬質砂岩系砕石
*4 ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤

表-6 コンクリート打設・荷重時期および計測期間
Table 6 Date of casting concrete and loading
and period of measurement

| 対象部位 [名称] | コンクリート 打設日 | 躯体荷重 初荷重日 | 躯体荷重 最終荷重日 | 軸力比 [*] 軸力(kN) | 計測開始 計測終了 |
|-----------------------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1階柱 Fc130 [RC1060 Fc130] | 2004/1/24 | 2004/4/3 (70) | 2005/5/28 (490) | 0.112 20,718 | 2004/2/17 (24) 2006/5/12 (839) |
| 5階柱 Fc100 [RC950 Fc100] | 2004/3/17 | 2004/5/19 (63) | 2005/5/28 (437) | 0.152 19,284 | 2004/5/12 (56) 2006/5/12 (786) |
| Fc130 シンダー一括 [C100 11] | 2004/1/24 | 2004/2/9 (16) | 2004/2/9 (16) | 0.320 412 | 2004/2/9 (16) 2006/5/12 (839) |
| Fc130 シンダー一括 [C100 12] | 2004/1/24 | 2004/3/22 (58) | 2004/3/22 (58) | 0.320 412 | 2004/3/22 (58) 2006/5/17 (844) |
| Fc130 シンダー段階 [C100 13] | 2004/1/24 | 2004/2/16 (23) | 2005/7/25 (548) | 0.140 180 | 2004/2/16 (23) 2006/5/17 (844) |
| Fc130 シンダー無荷重 [C100 14] | 2004/1/24 | - | - | 0.000 0 | 2004/2/9 (16) 2006/5/17 (844) |

() 内の数値はコンクリート材齢 [日] を示す。
* 軸力比 = $N / (b \cdot D \cdot \sigma_{56})$, N: 軸力 (実柱の場合、躯体および仕上荷重の設計時荷重)
b: 柱幅, D: 柱せい, σ_{56} : 56日強度 (コア抜きシンダー)

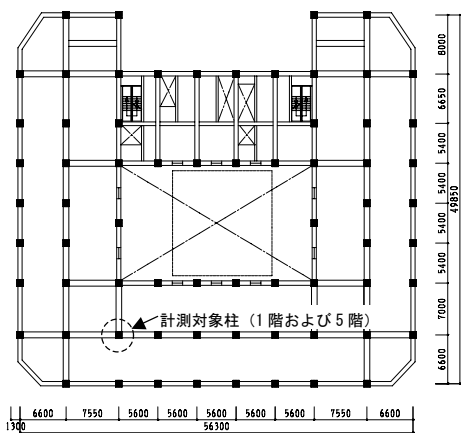


図-9 基準階構造伏図
Fig.9 Plan of a story

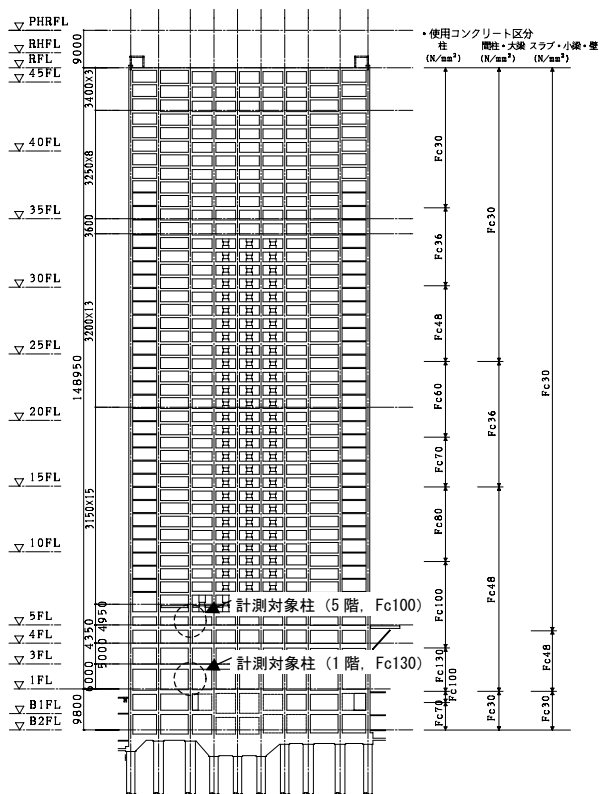


図-10 軸組図およびコンクリート強度区分
Fig.10 Elevation and concrete strength

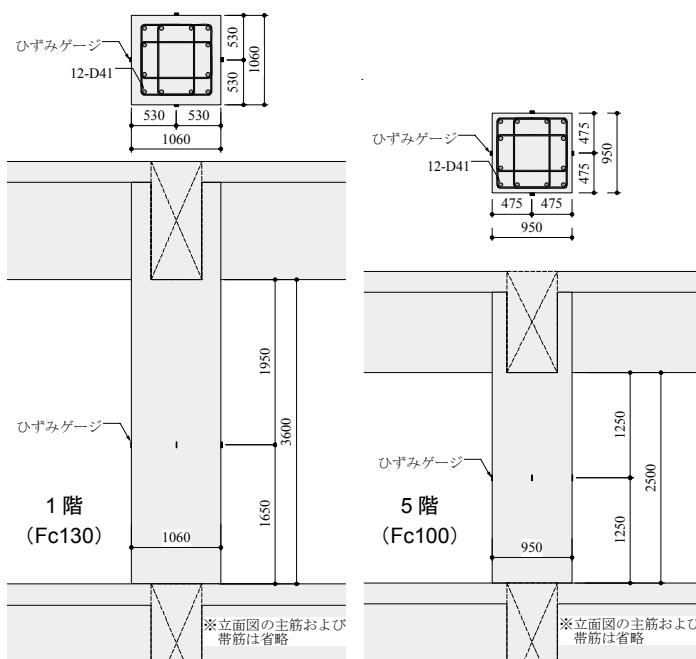


図-11 柱の形状・断面および計測位置
Fig.11 Figuration, cross-section of columns and measurement

4.2 計測対象柱および計測方法

計測対象は、Fc130 のコンクリートを使用した 1 階の現場打設柱、および Fc100 のコンクリートを使用した 5 階の PCa 柱である。計測した柱の位置を図-9 に、コンクリートの調合を表-5 に示す。柱の形状・断面および計測位置を図-11 に示す。また、各柱のコンクリート打設時期、直上階床・梁のサポート撤去時期である初載荷時期、最終載荷時期および計測期間を表-6 に示す。竣工までの約 2 年間、柱躯体外周 4 面に設置したひずみゲージによりコンクリート外面の軸ひずみを計測したほか、材軸方向に埋設した鉄筋 (D16) のひずみを計測することにより、コンクリート硬化直後からの軸ひずみ推移を観測する計画とした。

これと並行して、1 階柱に打設した Fc130 コンクリートを用いてシリンダー供試体を製作し、4 通りの載荷履歴でクリープ試験を行った。供試体は、断面 950 mm 角、高さ 690 mm の無筋模擬柱の中心部から図-2 と同様の方法で取り出した $\phi 100$ mm のシリンダーで、載荷・計測方法は、2.2 節で示した方法と同様とした。載荷履歴は、軸力比 0.32 の軸力を、材齢 16 日に一括載荷した C100_11、材齢 58 日に一括載荷した C100_12、実建築物 1 階柱相当の段階載荷をした C100_13 および無載荷の C100_14 の 4 通りである。打設、載荷日および計測期間を表-6 に示す。

実建物の施工サイクルから想定される載荷履歴およびシリンダー供試体の載荷履歴を図-12 に示す。

5. 実建築物の鉄筋コンクリート柱の圧縮性状計測結果

5.1 コンクリート強度・ヤング係数の推移

無載荷のコア抜き供試体から得られた圧縮強度およびヤング係数の推移を図-13 に示す。Fc130 の材齢 58 日強度および Fc100 の材齢 51 日強度はそれぞれ 164 N/mm^2 および 141 N/mm^2 であり、データ整理上この値を各コンクリートの材齢 56 日強度 (σ_{56}) とした。

5.2 軸ひずみの推移

打設以後の軸方向収縮によって生じた D16 の鉄筋のひずみ推移を図-14 に示す。両柱とも材齢 3 日程度までは収縮が進行しているが、材齢 7 日以降は収縮量の増加は少ない。このことより、実建築物の RC 柱においては、表面ひずみゲージより得られた値を軸ひずみ (弾性ひずみ+クリープひずみ) として扱うこととした。柱 4 面の平均ひずみの推移を図-15 に示す。

Fc130 コンクリートを用いたシリンダー供試体の軸ひずみ推移を図-16 に示す。載荷供試体の軸ひずみは、計測した軸ひずみから無載荷供試体の軸ひずみを引いた値とした。材齢 16 日に載荷した C100_11 と材齢 58 日に載荷した C100_12 の比較から、載荷材齢の違いが載荷後の軸ひずみ増分に影響を及ぼしていることがわかる。また、段階載荷した C100_13 は、軸ひずみがほぼ線形的に増加し、最終的に 700 μ 程度となっている。

6. 長期圧縮性状の算定

6.1 算定モデル

実建築物の施工条件を想定して、直上階の床・梁を支えるサポートが取り除かれる時点以降に生じる RC 柱の圧縮性状を対象に、応力に依存する弾性変形とクリープによる変形の算定法を検討する。

著者らは、圧縮強度が 100~180 N/mm^2 のコンクリートを使用した 1/3 スケールの RC 柱の長期圧縮試験を実施し、圧縮クリープを評価できる算定法を提案した³⁾。この算定法では、CEB-FIP MODEL CODE 1990⁴⁾ に示

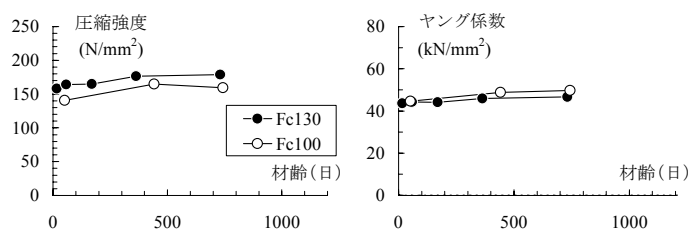


図-13 圧縮強度およびヤング係数の推移
Fig.13 Compressive strength and modulus of elasticity

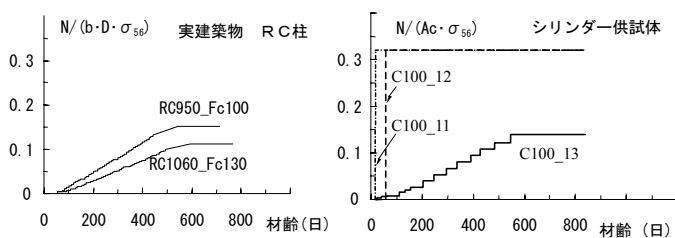


図-12 載荷履歴 (載荷軸力比-コンクリート材齢関係)
Fig.12 Loading schedule

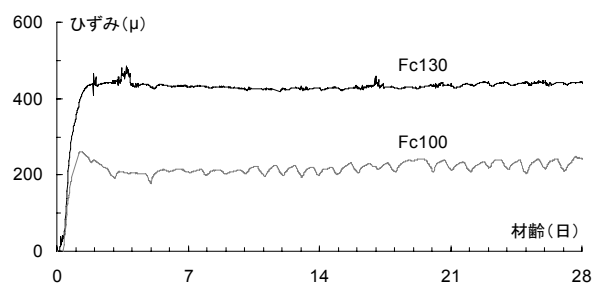


図-14 実建築物 RC 柱の収縮量の推移
Fig.14 Shrinkage of RC columns in the building

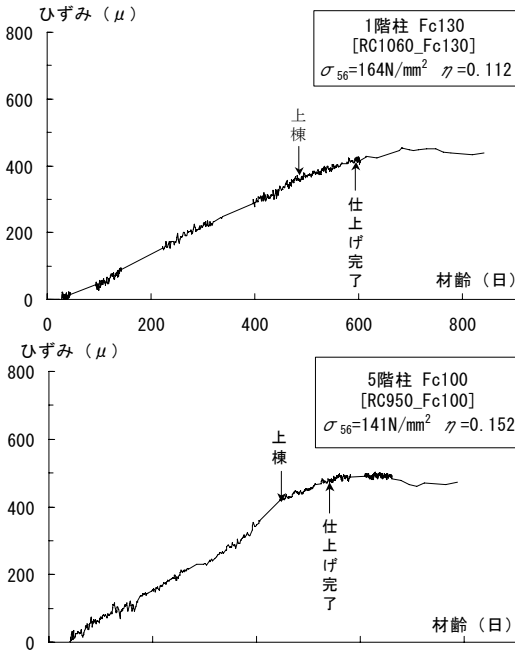


図-15 実建築物 RC 柱の軸ひずみの推移
Fig.15 Axial strain of RC columns in the building

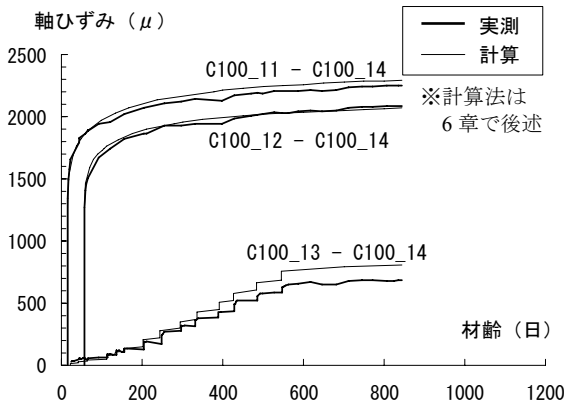


図-16 シリンダー供試体の軸ひずみの推移
Fig.16 Axial strain of concrete

されるモデル (CEB モデル) を用い、終局クリープ係数に対するコンクリート圧縮強度の影響係数 $\beta(f_{cm})$ を、超高強度コンクリートの領域で再評価することで、適切にクリープひずみを追跡できた。同算定法を用いて、段階的の荷重や実大部材断面への適用性を検討する。

式(1)~式(8)に算定法を示す。式(4)が、超高強度コンクリートに対する $\beta(f_{cm})$ の再評価として CEB モデル原式から修正した部分である。式(4)および CEB モデル原式でのそれぞれの $\beta(f_{cm})$ とコンクリート強度 f_{cm} の関係を図-17 に示す。提案した式(4)は文献3)および7)の試験結果から得られた回帰式であるが、今回の試験結果においても適切に評価できていることがわかる。

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_c(t - t_0) \quad (1)$$

$$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (2)$$

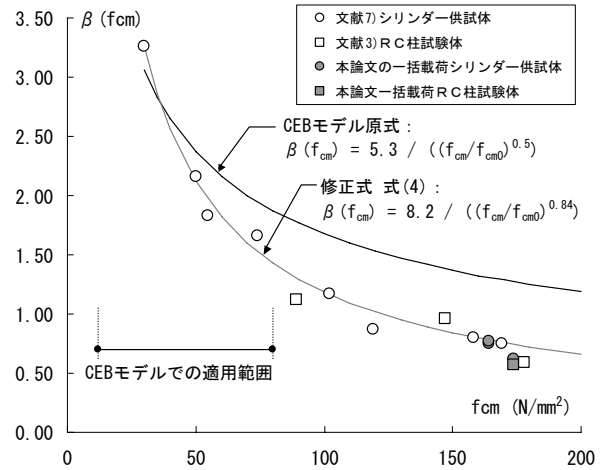


図-17 $\beta(f_{cm})-f_{cm}$ 関係
Fig.17 $\beta(f_{cm})-f_{cm}$ relationships

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/RH_0}{0.46 \cdot (h/h_0)^{1/3}} \quad (3)$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{8.2}{(f_{cm}/f_{cm0})^{0.84}} \quad (4)$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0.1 + (t_0/t_1)^{0.2}} \quad (5)$$

$$\beta_c(t - t_0) = \left[\frac{(t - t_0)/t_1}{\beta_H + (t - t_0)/t_1} \right]^{0.3} \quad (6)$$

$$\beta_H = 150 \cdot \left[1 + \left(1.2 \cdot \frac{RH}{RH_0} \right)^{18} \right] \cdot \frac{h}{h_0} + 250 \quad (7)$$

ただし、 $\beta_H \leq 1500$

$$h = 2A_c/u \quad (8)$$

$\phi(t, t_0)$: 材齢 t_0 日で荷重した材齢 t 日でのクリープ係数

ϕ_0 : 理論 (終局) クリープ係数

$\beta_c(t - t_0)$: 材齢 t に依存するクリープの進行を表す関数

RH : 相対湿度 (%), RH_0 : 100%

f_{cm} : 材齢 28 日圧縮強度 (N/mm²), f_{cm0} : 10 N/mm²

h : 仮想部材厚 (mm), h_0 : 100 mm, A_c : 部材断面積

u : 部材断面の外気に接する部分の長さ, t_1 : 1 日

6.2 段階荷重を考慮した軸方向ひずみの算定方法

長期荷重および収縮による RC 柱の軸方向のひずみ (ϵ_{total}) は式(9)で与えられる。収縮によるひずみ ($\epsilon_{shrinkage}$) は、超高強度コンクリートの場合、図-14 に示すように初期材齢に生じる自己収縮が大きく、調査や収縮低減剤の有無、断面寸法や拘束状態で異なり、これらの影響を定量的に示す資料¹⁰⁾は少ない。本検討では、この収縮によるひずみを別とし、応力に依存するひずみを対象として算定法を検討する。

応力依存ひずみ ($\epsilon_{elastic} + \epsilon_{creep}$) は、クリープを考慮した等価ヤング係数法および重合法により式(10)で得られる¹¹⁾。 i ステップの荷重(軸力 N_i) が、材齢 t_{0_i} 日に加わるとし、各ステップの応力によるクリープひずみは独立として扱い、重ね合わせて評価する。軸方向筋は完全付着とし、 i ステップのクリープを考慮したコンクリートの等価剛性と軸方向筋の剛性の並列和を、荷重ステップ i の剛性として扱う。コンクリートの等価剛性を算定する際のヤング係数は、荷重材齢に関係なく材齢 56 日のヤング係数で一定とした。

$$\epsilon_{total} = \epsilon_{shrinkage} + \epsilon_{elastic} + \epsilon_{creep} \quad (9)$$

ϵ_{total} : 全ひずみ

$\epsilon_{shrinkage}$: 収縮によるひずみ

$\epsilon_{elastic}$: 弾性ひずみ

ϵ_{creep} : クリープによるひずみ

$$\epsilon_{elastic} + \epsilon_{creep} = \sum_i \frac{N_i}{A_s E_s + \frac{A_c E_{c56}}{1 + \phi(t, t_{0_i})}} \quad (10)$$

N_i : i ステップに加わる長期軸力

A_s : 軸方向筋断面積, E_s : 鋼材ヤング係数

A_c : コンクリート断面積

E_{c56} : コンクリートヤング係数 (材齢 56 日)

$\phi(t, t_{0_i})$: i ステップでの t_{0_i} 日荷重による材齢 t 日のクリープ係数

6.3 荷重履歴および断面寸法の影響

6.1 節および 6.2 節に示した軸方向ひずみの算定法(式(1)~式(10))を用い、荷重履歴および断面寸法の違いが軸ひずみに及ぼす影響を検討する。

3.2 節の縮小 RC 柱試験体およびシリンダー供試体の軸ひずみの実測値と本手法による計算結果を前掲の図-7および図-8に、5.2 節で示したシリンダー供試体の軸ひずみの実測値と計算結果を図-16に示す。いずれも計算結果のほうが多少大きな軸ひずみとなっているが、計算結果は一括荷重と段階荷重の違いや荷重材齢の違いを適切に表現できている。つまり、式(5)で示した荷重開始材齢 t_0 の終局クリープ係数への影響係数 $\beta(t_0)$ が適切に評価できていると推測される。

また、断面が異なる一括荷重の RC300_1 と C100_1 のクリープ係数の比較について、実測と計算の結果を前掲の図-6に示す。両試験体は断面寸法が $\square 300\text{mm}$ と $\phi 100\text{mm}$ であり、この違いにより実測での終局クリープ係数の差異が現れている。計算はこれを評価でき

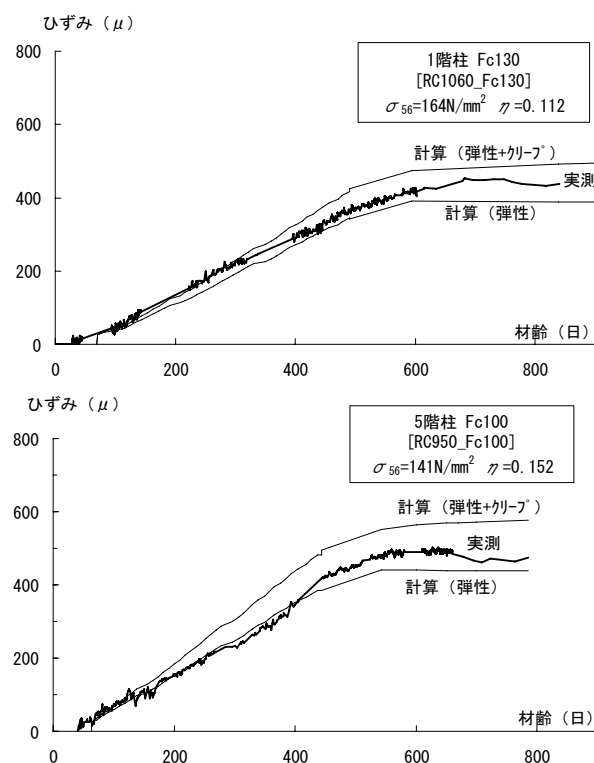


図-18 実建築物 RC 柱軸ひずみの実測結果と計算の比較
Fig.18 Comparison of measured and calculated results of axial strain of RC columns in the building

ており、式(3)で示した ϕ_{RH} が上記の範囲で断面寸法の違いを評価できていると考えられる。

6.4 実建築物の RC 柱の追跡

5.2 節で示した実建築物の RC 柱について、実測と本提案法による計算の結果を図-18に示す。計算結果は、実測と比較し、やや大きい値となっているが、段階荷重によって軸ひずみがほぼ線形的に増加すること、最終的に 500μ 程度のひずみとなることを表現できている。実大の柱についても、断面寸法や荷重履歴の影響を本提案方法で概ね評価できるものと考えられる。

6.5 終局クリープ係数の算定精度

文献 3), 7)および本論文での実測結果を用いて、提案するクリープ算定法の総合的な評価を行う。一括荷重を行った実測結果を用いて、終局クリープ係数の計測値と算定値の比較を図-19に示す。算定値は、測定値の $\pm 20\%$ 以内の範囲で評価できている。

段階荷重を含む全実測結果を用いて、応力依存ひずみの比較を図-20に示す。この比較においても、本算定法は良い精度を示している。ただし、図中の黒塗りのプロットで示す段階荷重は、すべて算定値が高い値を示している。荷重開始材齢の遅い場合(材齢 100 日以降)のクリープを多少大きく評価したためと考えられる。この点は今後の課題と考えている。

7. まとめ

150N/mm²クラスの超高強度コンクリートを用いたシリンダー供試体、1/3スケールRC柱試験体および実建築物RC柱の長期圧縮性状に関して、2年間以上の計測を行い、載荷履歴の影響および実断面レベルでの評価について、クリープ算定法の検討を行った。得られた知見を以下に示す。

1. 試験体および実建築物のRC柱すべてにおいて、安定して軸力を保持し、コンクリートのひび割れなどの損傷はなかった。
2. 目標強度150N/mm²の300mm角のRC柱試験体およびφ100mmのシリンダー供試体のクリープ係数は、0.5程度と非常に小さく、また、前者が相対的に小さい値を示した。

3. 材齢56日で一括載荷した試験体と施工過程を模擬して材齢14日から段階的に載荷した試験体の比較では、後者の軸ひずみが小さい傾向にあった。
4. 終局クリープ係数に及ぼす圧縮強度の影響係数 $\beta(f_{cm})$ を超高強度コンクリート用に再評価したCEBモデルにより、段階載荷のRC柱の軸ひずみを評価できることが分かった。
5. 上記算定法は、載荷履歴、軸方向筋の存在および断面寸法の影響を考慮することができ、クリープ係数や軸ひずみを高精度で推定できることが確認された。

謝辞

実建築物のRC柱の長期計測において、工事作業所の河合邦彦氏と上田大輔氏の多大なご配慮、ご協力のもと、貴重なデータを収集することができました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小室努 ほか：150N/mm²級の超高強度コンクリートを用いたRC柱の実用化研究，コンクリート工学，Vol.39，No.10，pp.9-16，2001.10
- 2) 黒岩秀介 ほか：Fc130N/mm²の高強度コンクリートを用いた超高層集合住宅の施工，コンクリート工学，Vol.42，No.10，pp.44-49，2004.10
- 3) 小室努ほか：超高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱の長期圧縮特性，日本建築学会構造系論文集，第605号，pp.151-158，2006.7
- 4) Comite Euro-International du Beton：CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE)，Thomas Telford，pp.52-65，1998
- 5) 今本啓一ほか：約5年間の実測データに基づくコンクリートのクリープ・収縮寸法効果の評価とクリープ予測方法の提案，日本建築学会構造系論文集，第593号，pp.9-16，2005.7
- 6) 陣内浩ほか：初期に高温履歴を受ける低熱ポルトランドセメント・高強度用結合材を用いた高強度結合材ペーストの強度発現性状と微細構造，日本建築学会構造系論文集，第568号，pp.7-13，2003.6
- 7) 陣内浩 ほか：180N/mm²クラスまでの高強度コンクリートの各種強度と長期力学特性，セメントコンクリート論文集，No.57，pp.428-435，2003
- 8) 特集*標準化を待つ試験方法，JIS 原案，コンクリートの圧縮クリープ試験方法（案），コンクリート工学，Vol.23，No.3，pp.55-56，1985.3
- 9) 河合邦彦 ほか：高強度コンクリートを用いた超高層RC造住宅におけるプレキャスト工法の作業標準時間の試算に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第606号，pp.21-28，2006.8
- 10) 黒岩秀介ほか：150N/mm²級コンクリートの自己収縮と拘束応力について，日本建築学会学術講演梗概集，A-1，pp.389-390，2005
- 11) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料，pp.16-17，1987

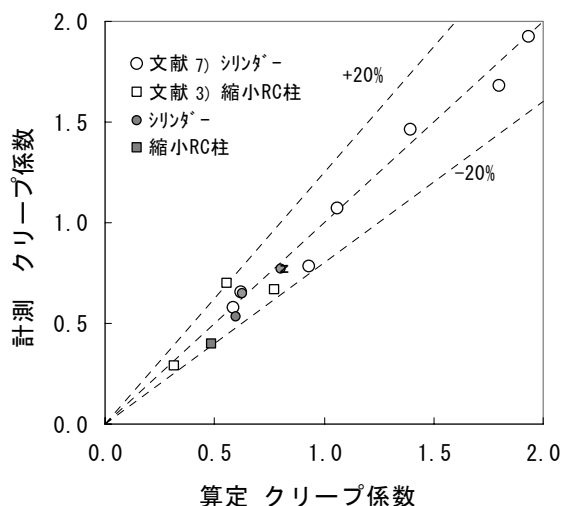


図-19 計測値と算定値の比較（終局クリープ係数）
Fig.19 Comparison of measured and calculated values
(Ultimate creep coefficient)

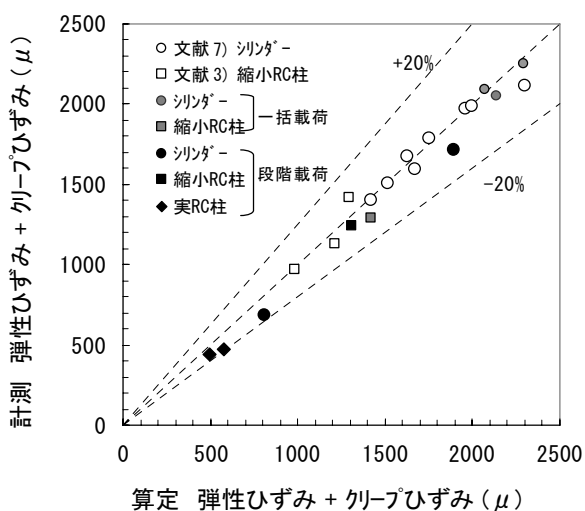


図-20 計測値と算定値の比較（応力に依存する軸ひずみ）
Fig.20 Comparison of measured and calculated values
(Stress dependent axial strain)