

論文

[1017] 150MPa 超高強度コンクリートのクリープおよび乾燥収縮

山本俊彦*

1. はじめに

超高層鉄筋コンクリート構造物ではコンクリートのクリープおよび乾燥収縮による柱の軸方向変形が重要な問題となる。100MPaを超える超高強度コンクリートのクリープや乾燥収縮特性に関しては、既にいくつかの研究が行なわれている[1]。しかし、比較的断面の大きい試験体による実験は少なく、実際の構造物に適用するには必ずしも十分ではない。

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歪み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、本実験では実際の柱に近い試験体を用いて超高強度コンクリートのクリープと乾燥収縮特性、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の把握を行なった。なお、本実験は高強度コンクリート[2]、高強度軽量コンクリート[3]の実験に引き続くものである。

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。柱型試験体H1, H2, H3は断面および長さが25×25×100cmで主筋比2.44%(12-D13)、横補強筋比1.20%(4-U6@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高強度鉄筋を用いた。クリープおよび乾燥収縮用の試験体

は、10φ×20cm、50×50×100cmの2種類である。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放置した。

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。コンクリートの圧縮強度は、4週で

*東急建設技術研究所、建築構造研究室長、工博（正会員）

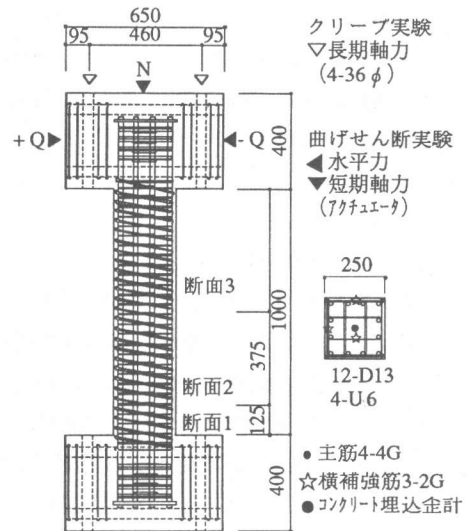


図-1 柱型試験体

表-1 試験体一覧表

実験項目	No.	試験体名称	形状(cm) (B×D×L)	軸方向鉄筋		横補強筋
				軸筋	比(%)	
曲げ* クリープ	1	H-1	25×25×100	12-D13	2.44	4-U6@40
	2	H-2	25×25×100	12-D13	2.44	4-U6@40
	3	H-3	25×25×100	12-D13	2.44	4-U6@40
乾燥 クリープ	4	HC-1	10φ×20	-	0	-
	5	HC-2	10φ×20	-	0	-
	6	HC-3	10φ×20	-	0	-
乾燥 収縮	7	HS-1	10φ×20	-	0	-
	8	HS-2	10φ×20	-	0	-
	9	HS-3	10φ×20	-	0	-
	10	HS-4	50×50×100	-	0	-
	11	HS-5	50×50×100	12-D25	2.44	2-U6@80

*曲げせん断実験後クリープ実験

表-2 コンクリートの配合

セメント (kg/m ³)	シリカフェーム (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	W/C (%)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	スラッグ (cm)	粗骨材径 (mm)
610	152	160	21	610	910	21	10

120MPa、1年で150MPa程度を目標とした。セメントは早強セメントを用い、シリカフュームを内割で20%混入した。粗骨材は青梅産硬質砂岩、細骨材は奥多摩および富津産を用いた。混和剤は、ナフタリン系高性能

AE減水剤を用いた。コンクリートの圧縮強度は試験体と同じ養生条件の10φ×20cm現場気中養生供試体で4週で122MPa、1年で141MPaであった。弾性係数は4週で38.6GPa、1年で41.9GPaであった。表-4に鉄筋の機械的性質を示す。

2.3 実験方法

2.3.1 柱型試験体

実際の柱を約1/3に縮小した柱型試験体H-1,H-2,H-3について、それぞれ曲げせん断実験後クリープ実験、クリープ実験、乾燥収縮実験を行なった。H-1試験体は材令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28日で40MPa[0.33σ_c]の長期軸力を導入した。曲げせん断実験では一定軸力[40MPa]の中柱を想定し、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。H-2試験体のクリープ載荷はPC鋼棒により材令28日で40MPa[0.33σ_c]の長期軸力を導入した。軸力は、荷重変動を3%以内になるよう調整した。H-3試験体は、そのまま実験室内に放置し乾燥収縮実験を測定した。

2.3.2 円柱、角柱試験体

柱型試験体との寸法効果を調べるため、クリープおよび乾燥収縮実験を行なった。円柱試験体のクリープ載荷は、材令28日で50MPa[0.41σ_c=0.33×150MPa]を導入した。乾燥収縮は、試験体をそのまま実験室内に放置し測定した。

2.4 測定方法

柱型試験体の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3)、柱脚から12.5cm(断面2)、柱脚(断面1)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。円柱試験体の歪はコンタクトゲージにより、また、角柱試験体の歪みは長さ10cmの埋め込み歪計二個所に配して測定した。測定歪の測定原点は型枠脱型直前の材令7日とした。

3. 実験結果

3.1 実験室温湿度および試験体温度

実験室の温度は、7.4℃～37.4℃の間で変化し材令286日までの平均は、21.4℃であった。相対湿度は、13%～90%の間で変化し平均63%であった。なお、各歪計の温度変化による影響は小さいので、温度による歪の補正は行なわなかった。

3.2 曲げせん断実験

図-2にH-1試験体の水平力-変形曲線を、図-3に水平力-軸方向変形曲線を示す。また、表-5に実験結果の一覧を示す。曲げせん断実験の部材角1/100までは安定した挙動を示した。実験にともな

表-3 コンクリート強度

養生条件	材令 (日)	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	比重	ポアソン比
標準水中	28	129	40.0	2.44	0.231
現場気中	28	122	38.6	2.43	0.224
	365	141	41.9	2.41	0.217

表-4 鋼材の機械的性質

種類	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	伸び (%)
D13	541	662	180	19.9
D25	375	532	190	-
U6	1,350	1,430	221	9.2

表-5 曲げせん断実験結果一覧表

試験体	載荷時弾性係数[GPa]			除荷時弾性係数[GPa]			残留軸変形 (mm)	コンクリート最大歪(μ)			鋼材最大歪(μ)		
	断面1	断面2	断面3	断面1	断面2	断面3		断面1	断面2	断面3	主筋	スパイラル	中子
H-1	53.8	29.8	32.2	29.7	18.2	31.3	0.59	1,700	3,070	1,580	20,300	1,130	1,400

い柱ヒンジ部分の剛性が低下し、実験終了後0.59mmの軸方向残留変形が生じた。柱中央部の剛性はほとんど変化しなかった。コンクリートの柱芯位置での軸方向最大歪は3,360 μ 、主筋の最大歪は20,300 μ となった。横補強筋の歪みはスパイラル筋で1,130 μ 、中子筋1,400 μ でいずれもそれほど大きくならなかった。

3.3 柱試験体のクリープ実験

実験結果を表-6に、各断面のコンクリート歪の変化を図-4、5に示す。H-1試験体の曲げせん断実験により塑性ヒンジが生じた部分の剛性低下は大きく、長期的な歪の増加も大きくなった。ヒンジ部の歪みは4,740 μ で他の2倍近い値を示した。事前載荷の無いH-2試験体では、スタブに接する断面1の載荷時の弾性係数は高いが、他の断面では円柱供試体による弾性係数よりやや低い値を示した。材令28日から286日までの歪みの増大率は、軸方向長期載荷時の歪みに対していずれも1.0前後であった。H-1試験体とH-2試験体の歪みの違いは、曲げせん断実験時の残留変形と軸方向剛性低下による影響が大きいと考えられる。

3.4 クリープ実験

表-7にクリープ実験結果を示す。円柱試験体の長期軸力50MPa導入時のコンクリート弾性係数は、36.4GPaで材料試験値にほぼ等しい値を示した。乾燥収縮歪みを除いた材令286日でのクリープ係数は1.05となった。通常強度のコンクリートを対象としたCEB-FIP[4]式によるクリープ係数計算値に対し0.42とかなり小さな値を示した。

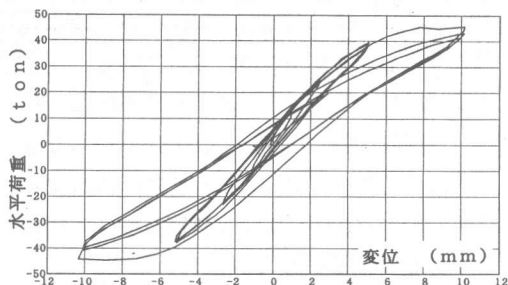


図-2 水平荷重-変形曲線

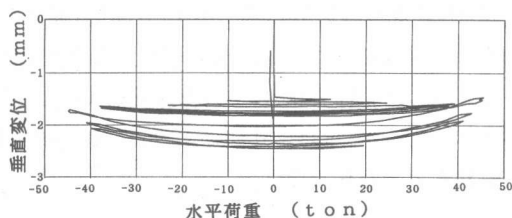


図-3 水平荷重-軸方向変形曲線

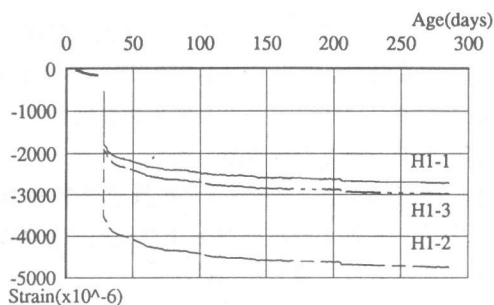


図-4 H-1 試験体歪の変化

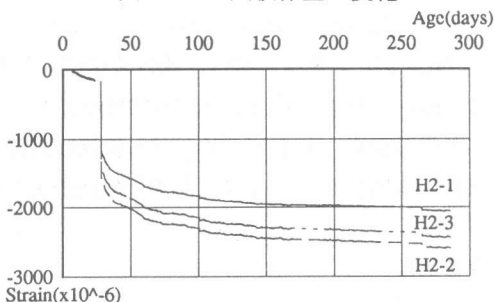


図-5 H-2 試験体歪の変化

表-6 柱型試験体のクリープ実験結果

試験体	載荷時弾性係数(GPa)			載荷時弾性歪(μ)			増加歪(μ :材令28-286日)			歪増大係数		
	断面1	断面2	断面3	断面1	断面2	断面3	断面1	断面2	断面3	断面1	断面2	断面3
H-1	35.4	20.7	33.2	1,130	1,930	1,210	1,050	1,420	1,080	0.93	0.74	0.89
H-2	45.8	33.4	37.2	874	1,200	1,080	1,020	1,190	1,170	1.17	0.99	1.08

表-7 クリープ実験結果

試験体	断面 (cm)	主筋比 (%)	載荷時弾性 係数(GPa)	載荷前 歪(μ)	載荷後 歪(μ)	載荷時 歪(μ)	全歪 (μ)	クリープ 歪(μ)	クリープ 係数	クリープ係数* (CEB-FIP)	実験値 計算値
HC-1	10 ϕ	0	36.1	345	1,730	1,390	3,800	1,440	1.04	2.51	0.41
HC-2	10 ϕ	0	36.7	368	1,730	1,360	3,770	1,410	1.04	2.51	0.41
HC-3	10 ϕ	0	36.4	385	1,760	1,380	3,870	1,480	1.07	2.51	0.43
H-1(断面3)	25	2.44	33.2	574	1,885	1,311	2,971	865	0.66	1.66	0.40
H-2(断面3)	25	2.44	37.2	193	1,268	1,075	2,440	951	0.88	1.66	0.53

*クリープ低減係数(有筋)= $1/(1+\rho\eta(1+\chi\phi))$ $\rho=As/Ac$, $\eta=Es/Ec28$, χ =aging coefficient, $\phi=2.16$

柱型試験体の断面3でのクリープ係数は、H-3による乾燥収縮歪みを除いて0.66～0.88となった。鉄筋の影響を考慮したCEB-FIP[4]式による計算値に対して0.40～0.53と無筋試験体と同様かなり小さな値を示した。

3.5 乾燥収縮実験

表-8に乾燥収縮実験結果を示す。円柱試験体の乾燥収縮は材令286日で630 μ 程度となり通常強度のコンクリートの乾燥収縮とそれほど違わない値を示した。材令286日での乾燥収縮歪みは、柱型試験体で411 μ 、角柱試験体で無筋で365 μ 、有筋で219 μ となった。寸法効果および鉄筋の影響はあるが、CEB-FEP式による計算値(無筋)よりいずれも大きな値を示した。

表-8 乾燥収縮実験結果

試験体	断面 (cm)	主筋比 (%)	28日 歪(μ)	全歪 (μ)	乾燥収縮 (CEB-FIP)	実験値 計算値
HS-1	10 ϕ	0	365	605	459	1.32
HS-2	10 ϕ	0	370	635	459	1.38
HS-3	10 ϕ	0	330	650	459	1.42
H-3	25	2.44	190	411	319	1.29
HS-4	50	0	165	365	204	1.79
HS-5	50	2.44	65	219	204	1.07

4 まとめ

超高強度コンクリート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) 超高強度コンクリートのクリープ係数(材令286日)は、円柱試験体で1.05程度を示し、普通強度コンクリートに比べかなり小さな値を示した。柱型試験体のクリープ係数も塑性ヒンジ部以外は、かなり小さな値を示した。

2) 超高強度コンクリートの乾燥収縮歪(材令286日)は、円柱試験体で630 μ 、50cm角柱で365 μ となった。断面の寸法効果および鉄筋の影響は見られるが、乾燥収縮歪みは通常強度のコンクリートとそれほど違わない値を示した。

3) 柱層間変位1/100を経験した超高強度鉄筋コンクリート柱試験体の長期的な変形は、塑性ヒンジ部での剛性低下と歪みの増大は他に比べて2倍程度となった。横補強筋歪みは小さく、載荷後材令286日までの歪増大率は、載荷時歪に対して1.0程度となり著しい変形の増大はなかった。

4) 損傷の有無を考慮した超高強度鉄筋コンクリート柱の長期的な変形は、地震載荷時の剛性低下と残留変形、およびクリープ・乾燥収縮量を把握することにより推定が可能と考えられる。

なお、本実験を行なうに当り大滝健氏の協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 日本建築学会：高強度コンクリートの技術の現状、1991
- [2] 山本俊彦：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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No1, pp.157-160, 1990.
- [3] 山本俊彦：高強度軽量鉄筋コンクリート柱のクリープおよび乾燥収縮特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No1, pp.955-958, 1992.
- [4] CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, 3rd Edition, 1978