

論文 持続荷重を経験した高強度鉄筋コンクリートの圧縮特性に関する研究

田畑 健*¹ 松浦恒久*² 角 一行*³

要旨：高強度RC部材の乾燥収縮試験およびクリープ試験を約2年にわたり実施してきた。さらにクリープ試験体については軸力を解放した後中心圧縮実験を行った。これら一連の実験から得られた知見は以下の通りである。①乾燥収縮ひずみは軸筋比の増加により収縮量が低下し、クリープ係数については軸筋比に関係なくほぼ一定であった。②軸力除荷時の回復ひずみは軸筋の増加にともない増大する。③軸力経験と最大荷重および剛性との関係は確認されなかった。④乾燥収縮試験体およびクリープ試験体のコンクリートの剛性は、軸筋比の増加にともない低下する傾向を示した。

キーワード：高強度コンクリート、乾燥収縮、クリープひずみ

1. はじめに

高強度コンクリートの長期性状は、普通コンクリートと比べ未だ解明されていない点が多い。このような現状で高強度RC部材の乾燥収縮試験およびクリープ試験を長期にわたり実施してきた。さらにクリープ試験体については長期荷重を受けた後の圧縮特性を把握する目的で、軸力を解放した後に中心圧縮実験も行った。本論ではこれら一連の試験結果とその考察を述べる。

2. 実験概要

2. 1 試験体

表-1に試験体の一覧を示す。試験体は軸筋比をパラメータとしたRC角柱(15×15×40cm)で、乾燥収縮試験用6体とクリープ試験用6体である。柱頭および柱脚よりそれぞれ10cmの位置まで端部の圧壊を防ぐため補強筋を密に配した。なお横補強筋には高強度鉄筋を用いた(図-1)。

試験体に使用したコンクリートの調合を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川産川砂、粗骨材は秩父産硬質砂岩の碎石(最大粒径13mm)、混和剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤である。なおスランプ、空気量は表-2に併記する。コンクリート打設

表-1 試験体一覧

試験体	軸筋	軸筋比 %	補強筋	補強筋比 %
C-0(1)(2) S-0(1)(2)	0	0	2-4φ @40	0.41
C-4(1)(2) S-4(1)(2)	4-D10	1.26		
C-8(1)(2) S-8(1)(2)	8-D10	2.52		

表-2 調合表

W/C %	S/a %	W kg/m ³	C kg/m ³	S kg/m ³	G kg/m ³	混和剤 kg/m ³	スランプ cm	air %
37.5	49.3	165	440	874	899	7.04	20.5	1.7

表-3 コンクリート試験結果

材令28日		材令2年	
圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 10 ⁵ kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 10 ⁵ kgf/cm ²
916	3.88	987	4.40

表-4 鉄筋の機械的性質

鉄筋	降伏強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	弾性係数 10 ⁵ kgf/cm ²	伸び率 %
D10	3685	5252	2.02	21.6
4φ	15734	17933	2.08	7.5

*1 ハザマ 技術研究所 研究員 (正会員)

*2 同 同 同 (工修) 同

*3 同 同 同 (工博) 同

後28日目と2年経過した後の圧縮強度と弾性係数を表-3に、鉄筋の機械的性質を表-4に示す。

2. 2. 実験方法

2. 2. 1 乾燥収縮およびクリープ試験

試験体は打設後48時間で脱型し、材令28日まで20℃の水中養生を行った。その後温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室に乾燥収縮試験体を設置し、クリープ試験体は同室において長期軸力を導入した（载荷開始は、材令28日）。载荷については油圧ジャッキを用いて、重錘式の定油圧装置により133kgf/cm²の軸力を与えた。载荷応力はコンクリート28日強度の14.5%である。

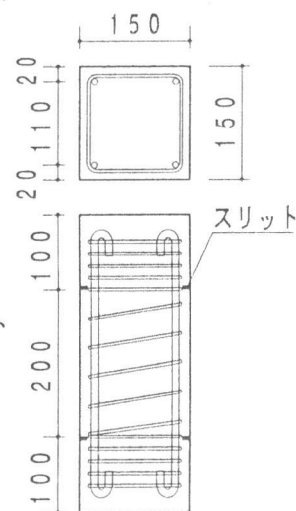


図-1 配筋図およびスリット位置

2. 2. 2 中心圧縮実験

本実験では補強筋で囲まれたコア部分の圧縮特性を検討するため、かぶり部分への軸力伝達をできるだけ防ぐ目的で、長期軸力の除荷後、上下端部よりそれぞれ100mmの位置に、試験体のかぶり厚さに相当する深さ10mmで厚さ5mmのスリットを全周に入れた（図-1）。なおかぶりの影響も比較するために、C-8(2)、S-8(2)についてはスリットを入れずそのまま载荷した。载荷は1000tonfジャッキにより行った。

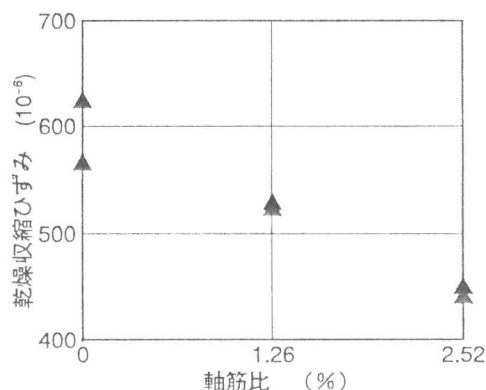


図-2 乾燥収縮ひずみと軸筋比の関係

2. 3 計測方法

計測項目は、载荷荷重、コンクリートひずみ、および鉄筋ひずみである。クリープ試験時の载荷荷重は油圧配管に取り付けた圧力ゲージを用いて、また中心圧縮実験時の载荷荷重は、試験体とジャッキの間に設置したロードセルを用いて計測した。コンクリートひずみは検長100mmの埋め込み型ゲージ（東京測器製KM100B）、鉄筋のひずみは検長2mmのワイヤーストレインゲージで計測した。

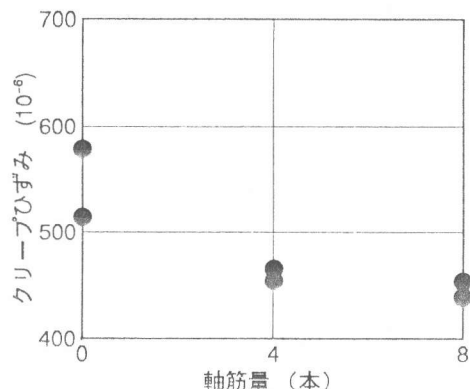


図-3 クリープひずみと軸筋比の関係

表-5 乾燥収縮およびクリープ試験結果

試験体	乾燥収縮ひずみ ϵ_s (10^{-6})		試験体	軸力導入時弾性ひずみ ϵ_e (10^{-6})		全ひずみ ϵ_t (10^{-6})		クリープひずみ ϵ_c (10^{-6})		クリープ係数 c_{ec}	軸力除荷時回復ひずみ ϵ_r (10^{-6})		$\frac{\epsilon_r}{\epsilon_e}$	
	コンクリート c_{es}	鉄筋 s_{es}		コンクリート c_{ee}	鉄筋 s_{ee}	コンクリート c_{et}	鉄筋 s_{et}	コンクリート c_{ec}	鉄筋 s_{ec}		コンクリート c_{er}	鉄筋 s_{er}	コンクリート	鉄筋
S-0(1)	622	—	C-0(1)	355	—	1492	—	515	—	1.45	296	—	0.835	—
S-0(2)	564	—	C-0(2)	345	—	1488	—	579	—	1.68	292	—	0.846	—
S-4(1)	527	559	C-4(1)	326	326	1304	1256	451	371	1.39	299	320	0.917	0.983
S-4(2)	522	511	C-4(2)	321	319	1311	1304	468	474	1.45	294	315	0.916	0.986
S-8(1)	440	443	C-8(1)	295	286	1170	1137	435	408	1.49	312	326	1.058	1.138
S-8(2)	449	424	C-8(2)	322	307	1212	1162	441	431	1.41	—	—	—	—

3. 試験結果

3. 1 乾燥収縮およびクリープ試験

軸力導入から約2年後の乾燥収縮試験およびクリープ試験の結果を表-5に示す。図-2には、埋め込み型ゲージにより得られた乾燥収縮ひずみ($c\epsilon s$)、図-3にはクリープひずみ($c\epsilon c$)を示す。図によると乾燥収縮ひずみは軸筋比の増加とともに減少した。またクリープひずみも同様の傾向を示したが、それぞれの試験体における軸力導入時のコンクリートの弾性ひずみ($c\epsilon e$)を基準としたクリープ係数の比較では(図-4)、軸筋比との明確な関係は見られない。

横軸に埋め込み型ゲージより得られたクリープひずみを取り、鉄筋とコンクリートの軸力負担の遷移を図-5に示す。なお鉄筋に貼付されたひずみゲージにより応力を求め、鉄筋の軸力負担分を求めた。クリープが進行するにつれ、鉄筋の軸力負担分が増加しているのがわかる。表-5によると軸力除荷直前のひずみ値から除荷直後のひずみ値を差し引いた回復ひずみ($c\epsilon r$)は、軸筋比の増加にともない大きくなっている。また $c\epsilon r$ を $c\epsilon e$ で除した値は、軸筋8本を有する試験体では1.0を越え、初期の弾性ひずみより大きくなる結果となった(図-6)。またC-8(2)は試験体中央部に4面全周に軸方向に直交する引張ひび割れを発生するに至った。これらの性状は軸力除荷時の鉄筋の復元力が軸筋比の増加により大きくなり、コンクリートに与える引張応力が大きくなるためと考えられる。

3. 2 クリープ後の中心圧縮実験

実験結果を表-6に示す。最大荷重は鉄筋の負担

表-6 中心圧縮実験結果

試験体	最大荷重 P max tonf	P maxでの ひずみ 10^{-6}	割線剛性 10^5 kgf/cm^2 $1/3P_{\text{max}}$
乾燥 収縮 試験			
S-0(1)	132.7	3071	4.85
S-0(2)	136.7	3794	4.82
S-4(1)	136.4	3650	4.89
S-4(2)	145.8	4411	4.82
S-8(1)	159.6	3676	4.18
S-8(2)	200.5	3786	3.39
ク リ ー プ 試 験			
C-0(1)	134.7	4460	5.00
C-0(2)	135.4	4186	4.82
C-4(1)	146.1	5063	4.41
C-4(2)	148.1	4430	4.79
C-8(1)	150.1	5797	3.67
C-8(2)	208.6	4492	3.60

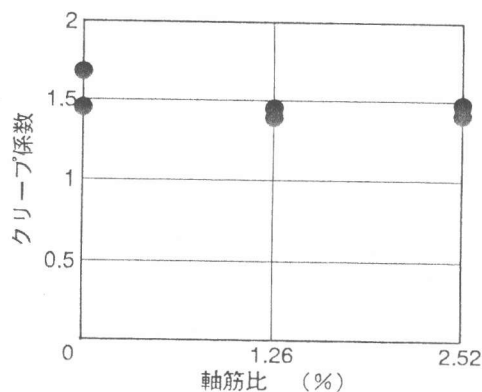


図-4 クリープ係数と軸筋比の関係

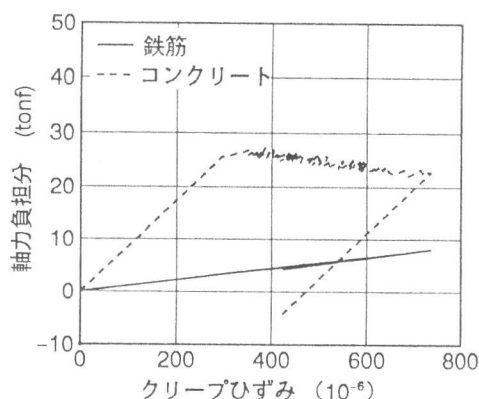


図-5 軸力負担とクリープ量の関係

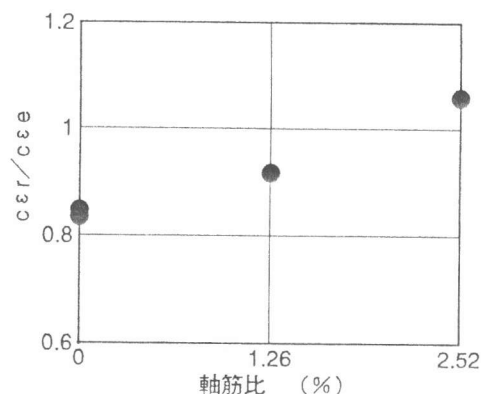


図-6 $c\epsilon r/c\epsilon e$ と軸筋比の関係

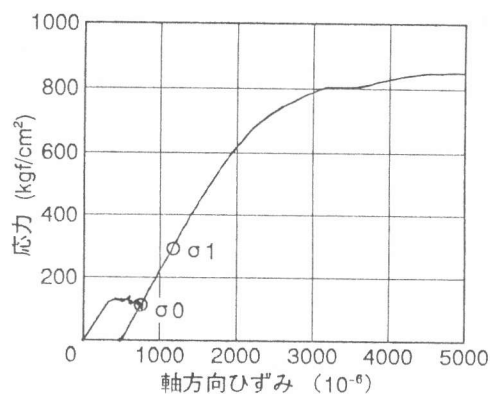


図-7 応力-ひずみ関係

分も含む。割線剛性はクリープ後の圧縮特性を検討するため、クリープ試験時の荷重に相当する応力 (σ_0) と、最大荷重の1/3の時の応力 (σ_1) の2点間により求めた(図-7)。軸力を受けていない試験体については原点と σ_1 の2点で求めた。なお応力および割線剛性は鉄筋の軸力負担分を除いて計算された値である。

スリットの有無による最大荷重の差は、寸法効果を考慮してシリンダー強度から角柱強度に換算した値[1]に、かぶりのコンクリート断面積をかけた値と同程度であった。

図-8, 9に横軸に軸筋比をとり最大荷重、割線剛性について示す。図によると長期軸力の経験の有無による影響は確認できず、また剛性は乾燥収縮試験体およびクリープ試験体とも、軸筋比の増加にともない低下する傾向を示した。

既往の文献[2][3]では軸力の経験による耐力、剛性の上昇、さらにクリープによる耐力変化とコンクリート強度の関係についての報告があり、今後はコンクリート圧縮強度、軸筋および横補強筋比、さらに乾燥収縮、クリープ係数等の総合的な関係を明らかにする必要がある。

4. まとめ

高強度鉄筋コンクリートの乾燥収縮試験、クリープ試験、さらに軸力を解放した後に行った中心圧縮実験では以下のことが明らかになった。

- (1) 高強度コンクリートの乾燥材令2年における乾燥収縮ひずみは、 $440 \sim 623 \times 10^{-6}$ となった。
乾燥収縮ひずみは軸筋比の増加により収縮量の低下が確認されたが、クリープ係数は軸筋比に関係なくほぼ一定であった。
- (2) 軸力除荷時の回復ひずみは軸筋比の増加にともない増大し、軸筋8本を有する試験体については軸力導入時の弾性変形量より大きくなった。
- (3) 軸力経験と最大荷重や剛性との関係は認められなかった。乾燥収縮試験およびクリープ試験後のコンクリートの剛性は、軸筋比の増加にともない低下する傾向を示した。

参考文献

- [1] 小阪善夫、森田司郎：鉄筋コンクリート構造、丸善、1975
- [2] 松浦恒久、角一行：高強度鉄筋コンクリート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. 16、No. 1、1994
- [3] 佐藤孝典、栢田佳寛、川瀬清孝、西田朗：三軸拘束コンクリートのクリープ特性とその後の力学特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 2、1993

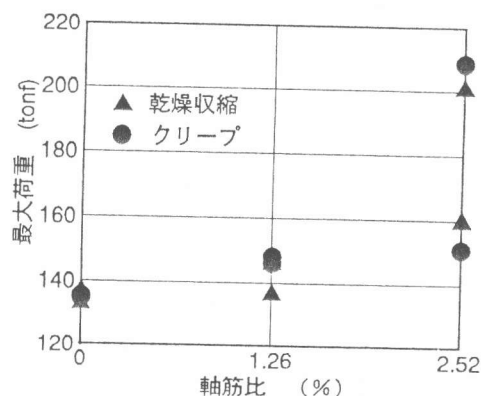


図-8 最大荷重と軸筋比の関係

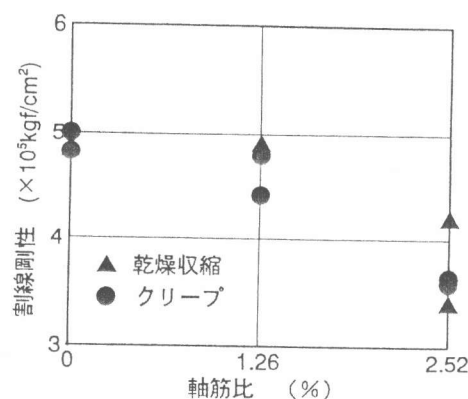


図-9 割線剛性と軸筋比の関係