

論文 超軽量コンクリートの圧縮クリープ性状に関する基礎的研究

稲葉洋平*1 関田徹志*2 桜本文敏*3

要旨:本論文は、比重 1.2 以下、圧縮強度 20N/mm² 以上の超軽量コンクリートに関し、圧縮クリープ実験を行い、クリープ性状の把握を試みたものである。実験は、水結合材比・ペースト中の空気量・粗骨材種類・養生方法・応力強度比などをパラメータとして行った。載荷後 1 年までのデータから、気中養生した超軽量コンクリートの全クリープひずみは、普通および軽量 1 種コンクリートと同程度であることが確認された。

キーワード:超軽量コンクリート、クリープ、乾燥収縮

1.はじめに

人工骨材やコンクリートの高強度化の技術が進み、比重 1.2 程度で圧縮強度が 30N/mm² を超える超軽量コンクリートが開発されている。今後、この超軽量コンクリートを実建物に適用していくためには、その基本的な材料特性を把握し、一般的に使われている普通コンクリートや軽量 1 種コンクリートと比べてどのような違いがあるかを明確にしなければならない。

本論文では、実験により超軽量コンクリートのクリープ性状を確認し、普通・軽量 1 種コンクリートとの比較検討を行った。また、超軽量コンクリートのクリープ性状に影響を与えられうる要因を 5 種

類(水結合材比・空気量・骨材種類・養生方法・応力強度比)挙げ、それらの影響について検討した。

2.実験

2.1.実験概要

超軽量コンクリートのクリープ性状を把握するため、JIS 原案¹⁾に準じクリープ実験を行った。表-1 に今回検討したコンクリート種類および実験条件を示す。実験シリーズは、実験要因の内容によって以下の3つに分けられる。

- a) 調合を要因とした調合シリーズ
- b) 応力強度比を要因とした応力シリーズ
- c) 普通・軽量 1 種コンクリートとの比較検討を要

表-1 コンクリート種類および実験条件

実験 シリーズ	記号	実験要因				
		W/B *1) (%)	ペースト中 空気量(%)	粗骨材 種類*2)	養生 方法	応力強度比 *3) (%)
調合 シリーズ	GS28-10	28	10	S	密封・気中	30
	GS28-20		20			
	GS28-40		40			
応力シリーズ	GS35-20	35	20	G		15,30,45
調合 シリーズ	GS40-20	40				30
	GG40-20					
対照 シリーズ	NC	56.7	－	碎石		
	LC1	53.5	－	M		

*1) 水結合材比 *2) 表2参照 *3) 載荷応力/圧縮強度

*1. 鹿島建設(株) 技術研究所 建築技術研究部 研究員 工修(正会員)
*2. 鹿島建設(株) 技術研究所 建築技術研究部 主任研究員 Ph.D(正会員)
*3. 鹿島建設(株) 技術研究所 建築技術研究部 主管研究員 工修(正会員)

因とした対照シリーズ

ここで応力強度比とは、載荷応力を圧縮強度で除したものである。

実験要因は、表-1にあるように水結合材比(W/B)・空気量・粗骨材種類・養生方法・応力強度比の計5種類とした。水結合材比は28・35・40%の3水準、ペースト中の空気量は10・20・40%の3水準、粗骨材種類はS・Gの2水準、養生方法は気中・密封の2水準、応力強度比は15・30・45%の3水準をそれぞれとっている。細骨材(G)および粗骨材(S,G)の性質を表-2に示す。また、養生方法において密封とは試験体の周囲に銅板を巻いて乾燥を防止したもの、気中とはこの処理を行っていないものである。試験体は全部で9調合、22条件となる。

表-1の記号は、超軽量コンクリートの場合、先頭から細骨材種類(G)、粗骨材種類(S,G)、水結合材比(28,35,40)―ペースト中の空気量(10,20,40)を順次表している。必要に応じ、一養生方法の別(S:密封, A:気中)―応力強度比(15, 30, 45)をさらにつないだ。超軽量コンクリートの中では、GS35-20を標準調合とし、普通・軽量1種コンクリートとの比較を行う。普通コンクリートはNC、軽量1種コンクリートはLC1と表している。

2.2.試験項目

試験項目と方法を一覧にして表-3に示す。同表に示す試験項目のうち、無載荷試験体の収縮ひずみ(以下、無載荷収縮ひずみと呼ぶ)試験では、標準的な試験法(JIS A 1129)で用いられる試験体形状(10×10×40cm)ではなく、10φ×20cmのシリンダーを用いた。これは、クリープ試験と無載荷収縮ひずみ試験で用いる試験体を同一形状とし、乾燥収縮などがクリープに与える影響を直接的に評価するためである。また、計測にはコンタクトゲージを用い、試験体表面に貼布したチップの間隔を計測することにより収縮量を求めた。

2.3.試験体

コンクリートの調合表を表-4に示す。練り混ぜは、容量100リットルの水平2軸型強制攪拌ミキサーによって行った。試験体はすべて10φ×20cmの軽量モールドにコンクリートを詰めて成形し、養生は気

中・密封の2通りで以下のように行った。

気中養生とは、コンクリートを軽量モールドに打設後、48時間で脱型し、温度20℃、相対湿度60%の条件下でクリープ載荷まで養生した。密封養生ではコンクリートを軽量モールドに打設後直ちに上面をビニルフィルムで封緘し、20℃、相対湿度60%の条件で養生し、打設から27日で脱型した。脱型後、試験体側面にエポキシ樹脂接着剤を塗布し、上から銅板を巻きつけて密封状態とした。

試験体数は、クリープ試験、無載荷収縮ひずみ試験とも各条件2体ずつ作製し、実験を行った。

2.4.載荷方法

図-1にクリープ試験機の概略図を示す。試験体は直列に4つつなぎ、上2つを密封養生の試験体、下2つを気中養生の試験体とした。これらの試験体は油圧ジャッキにより載荷され、その荷重はロードセルにより測定される。ひずみの測定には変位計(精度 10×10^{-6} 以上)を用い、その際、偏心をチェックするため1条件につき円周方向に3本を配した。荷重はロードセルの出力値をもとにコンピュータにより一定に制御され、データは1日間隔で自動計測される。試験体の28日圧縮強度を計測し、載荷荷重決定後に載荷を開始した。載荷材齢は表-4

表-2 骨材の性質

種類	骨材	原料・産地	粒径範囲	絶乾比重	吸水率(%)
細骨材	G	廃ガラス	～5	0.71	9.3
	陸砂	新潟産	～5	2.57	1.6
粗骨材	S	膨張頁岩	5～15	0.96	9.0
	G	廃ガラス	5～10	0.58	9.4
	M	膨張頁岩	5～15	0.82	9.6
	碎石	奥多摩産	5～20	2.64	0.6

表-3 試験項目

試験項目	試験方法	備考
スランブ	JIS A 1101	
単位容積質量	JIS A 1116	重量法
空気量	同上	同上
圧縮強度	JIS A 1108	28日
弾性係数	JIS 原案	同上、ポアソン比も算出
クリープ	JIS 原案	
無載荷試験体の収縮ひずみ	JIS A 1129	*10φ×20cmの試験体使用 コンタクトゲージ使用

*規格とは異なる試験体形状とした

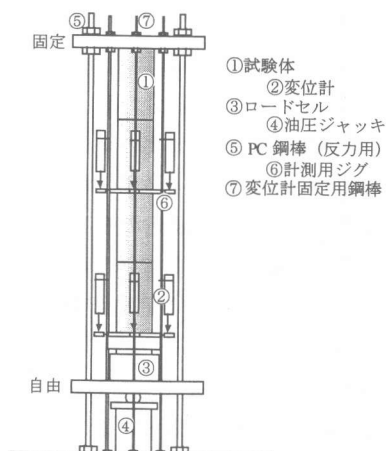


図-1 クリープ試験機

に示すように打設後 30～59 日と調合により異なったが、超軽量コンクリートは7日以降の強度増進が小さく²⁾、クリープ性状への影響は小さいと考えた。また、対照試験としての普通・軽量1種コンクリートは載荷時期が遅れたことにより、クリープが多少小さくなったと考えられるが、超軽量コンクリートとの比較は可能であると判断している。

3.実験結果

3.1.フレッシュおよび材料試験結果

フレッシュ性状・材料試験結果を表-4 に示す。

表中、ペースト中の空気量は重量法で計算しているが、目標に近い値が混入されている。表-4の材料試験結果より、GG 以外の超軽量コンクリートの圧縮強度は25～33 N/mm²、弾性係数は0.9～1.4 × 10⁴N/mm²の範囲にある。超軽量コンクリートの標準調合であるGS35-20は、普通コンクリートに比べ圧縮強度で75%、弾性係数で35%である。

3.2.無載荷収縮ひずみ試験結果

1年経過時点における無載荷収縮ひずみ試験体の重量減少量を図-2(a),(b)に示す。同図より超軽量コンクリートの重量減少量は、普通・軽量1種コンクリートより小さい。また、密封試験体は気中試験体の2割程度の重量変化があり、完全な密封状態にならなかったと考えられる。

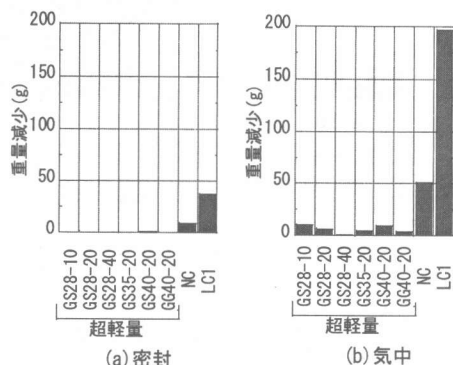


図-2 重量減少一覧

表-4 コンクリートの調合・フレッシュ・材料試験結果一覧

試験体名	調合表				フレッシュ性状		材料特性 (28日)			載荷 材齢 (日)
	単位量 (l/m ³)				スランブ (cm)	ペースト中 空気量 (%)	比重	圧縮強度 N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁴ N/mm ²	
	水	セメント	細骨材	粗骨材						
GS28-10-S							1.31	32.5	1.35	
GS28-10-A	170	173	315	315	21.2	6.6[10]	1.29	32.3	1.21	31
GS28-20-S							1.26	33.4	1.22	
GS28-20-A	170	173	315	315	19.6	20.4[20]	1.25	31.1	1.14	34
GS28-40-S							1.14	26.7	1.04	
GS28-40-A	170	173	315	315	16.5	37.0[40]	1.12	24.6	0.92	34
GS35-20-S-15							1.20	28.0	1.11	
GS35-20-A-15	175	158	333	333	21.6	17.8[20]	1.18	27.7	1.00	31
GS35-20-S-30							1.20	28.0	1.11	
GS35-20-A-30	175	158	333	333	21.6	17.8[20]	1.18	27.7	1.01	30
GS35-20-S-45							1.20	28.0	1.11	
GS35-20-A-45	175	158	333	333	21.6	17.8[20]	1.18	27.7	1.02	59
GS40-20-S							1.16	26.6	1.05	
GS40-20-A	180	142	339	339	23.7	19.9[20]	1.13	26.2	0.92	33
GG40-20-S							1.06	23.1	0.85	
GG40-20-A	180	142	339	339	23.4	18.6[20]	1.04	20.4	0.78	34
NC-S							2.34	38.3	3.22	
NC-A	178	99	325	353	11.0	3.7*	2.29	36.0	2.80	43
LC1-S							1.96	31.2	1.96	
LC1-A	170	98	326	360	10.0	3.5*	1.81	31.7	1.83	43

*は圧力法によって計測したコンクリート中の空気量

[]内は目標値

1年経過時点における無載荷収縮ひずみ一覧を図-3に示す。図-3(a)から密封試験体であっても収縮ひずみを生じていることがわかる。図-2(a)に示したように重量変化が1g以下であった超軽量コンクリートの密封試験体についても収縮ひずみが100~250 μ あり、これは自己収縮に起因するひずみであると考えられる。また、軽量1種コンクリートの密封試験体は、重量が小さくなっているに関わらず膨張しているが、これは骨材に含まれていた大量の余剰水がコンクリート中に拡散し、試験体が膨張したためであると考えられる。

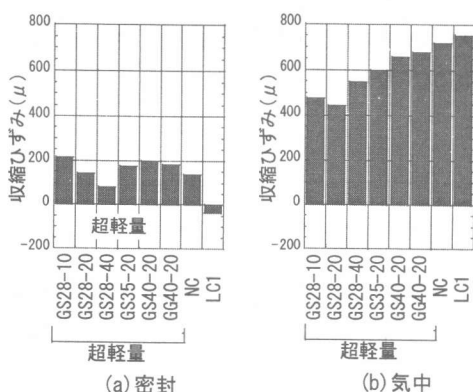


図-3 無載荷収縮ひずみ一覧

3.3.クリープ試験結果

載荷開始から1年経過時点までの全クリープひずみと材齢との関係を図-4に示す。ここでいう全クリープひずみとは、載荷直後から時間とともに徐々に進行した全ひずみのことであり、これにはクリープひずみ、乾燥収縮ひずみ、自己収縮ひずみなどが含まれる。

試験中、空調設備の故障により相対湿度が60%から45%に低下した期間が2ヶ月あったため、図-4(a),(b)で密封試験体の全クリープひずみの勾配には変化がないが、気中試験体では相対湿度が変化した点から大きくなっている。図中、相対湿度が低下した期間を網がけで示した。気中試験体の全クリープひずみを補正するために以下を求め、全ての試験体について検討した。

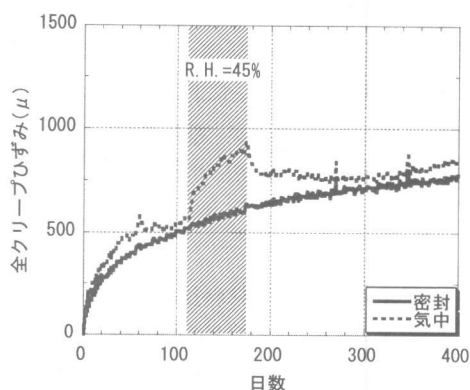
①相対湿度が低下する直前1ヶ月の全クリープ

ひずみ増分勾配

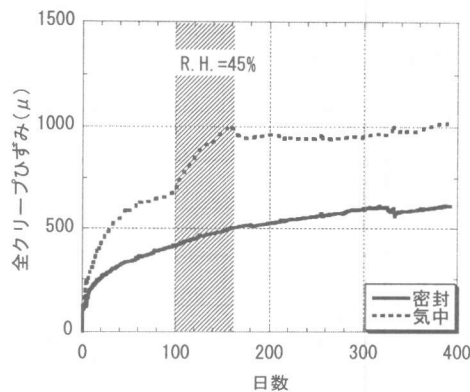
②相対湿度が60%に戻り再び全クリープひずみが増加した1ヶ月のクリープ増分勾配

相対湿度が低下している期間の増分勾配を①と②の平均値であると仮定し、全クリープひずみを補正した。その結果、気中試験体の全クリープひずみは平均して1割程度増加している可能性があったが、実験の成否を左右する値とは考えられず、考察には未補正のデータを用いた。

1年経過時点における全クリープひずみを一覧にして図-5に示す。気中試験体に関して、超軽量コンクリートの全クリープひずみは、普通コンクリートおよび軽量1種コンクリートと同程度か、または小さい値となっている。



(a) GS35-20



(b) NC

図-4 全クリープひずみの経時変化

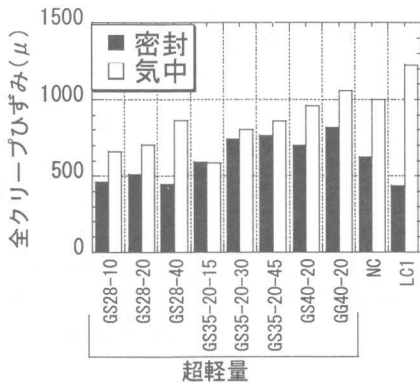


図-5 全クリープひずみ一覧

4. 考察

4.1. 普通・軽量1種コンクリートとの比較

普通コンクリート、軽量1種コンクリートと超軽量コンクリートの標準試験体であるGS35-20の1年経過時点での単位全クリープおよび全クリープ係数を図-6(a),(b)に示す。

一般に単位クリープおよびクリープ係数は、クリープにより生じたひずみから乾燥収縮ひずみを差し引き、その値を載荷応力あるいは載荷時の弾性ひずみで除して求める。これは、以下の累加が成立することを仮定している。

全クリープひずみ＝

クリープひずみ+乾燥収縮ひずみ

しかし、高強度コンクリートではこの累加が成立しないともいわれており³⁾、本論文では無載荷収縮ひずみを差し引かず、全クリープひずみをそれぞれ載荷応力および載荷時の弾性ひずみで除し、単位全クリープおよび全クリープ係数とした。

超軽量コンクリートの単位全クリープは、図-6(a)より密封では普通・軽量1種コンクリートに比べて大きく、気中では普通と同程度、軽量1種より小さくなっている。超軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ、弾性係数が小さく、自己収縮が大きいいため、密封条件ではこれらの影響が顕著に現れ、単位全クリープが大きくなっていると思われる。しかし、乾燥などまで含めた単位全クリープは、普通コンクリートと同程度であり、実構造物が乾燥の影響を受けることを考慮すれば、超軽量コンクリートのクリー

プひずみは、普通・軽量1種コンクリートと同等かそれ以下であると考えられる。

また、図-6(b)より超軽量コンクリートの全クリープ係数は普通コンクリートおよび軽量1種コンクリートに比べて低い傾向があるが、これは超軽量コンクリートの弾性ひずみが大きいためである。

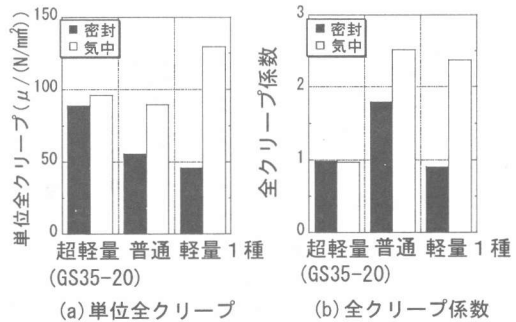


図-6 普通・軽量1種との比較

4.2. 調合条件の検討

水結合材比(W/C=28,35,40%)と単位全クリープおよび全クリープ係数の関係を図-7(a),(b)に示す。同図より水結合材比が小さくなるにつれて単位全クリープおよび全クリープ係数とも小さくなる傾向がある。これは、既往の実験結果と一致している⁴⁾。

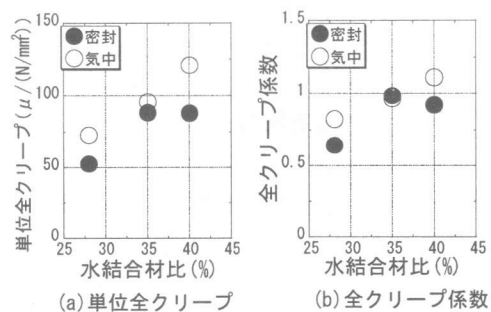


図-7 水結合材比の影響

ペースト中の空気量と単位全クリープおよび全クリープ係数との関係を図-8(a),(b)に示す。図-8(a)より単位全クリープは空気量が多くなるほど大きくなっている。また、図-8(b)の全クリープ係数については密封試験体と気中試験体とで傾向が異なり、空気量の影響に関して明確な傾向を把握することはできなかった。

粗骨材種類が与える単位全クリープおよび全クリープ係数への影響を図-9(a),(b)に示す。同図より、Gを粗骨材に用いたGG40-20は、Sを粗骨材に用いたGS40-20よりも単位全クリープ、全クリープ係数ともに大きい。骨材の強さは、SがGよりも大きい。骨材の強さの大きいほうが単位全クリープ、全クリープ係数ともに小さいことになる。

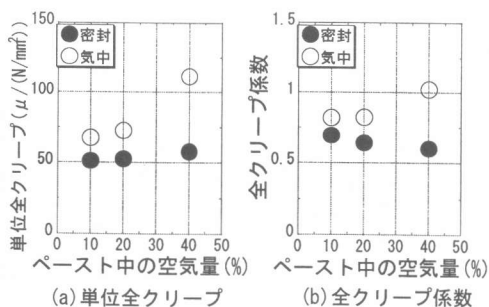


図-8 空気量の影響

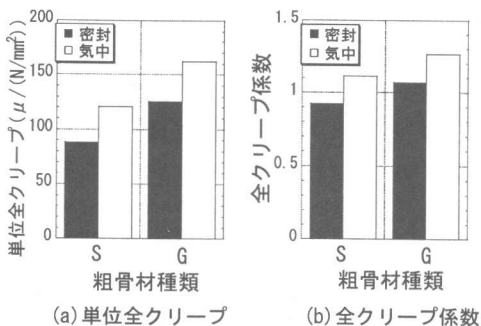


図-9 粗骨材種類の影響

4.3. 応力強度比の影響

応力強度比と単位全クリープおよび全クリープ係数との関係を図-10(a),(b)に示す。同図から応力強度比が大きくなるほど、単位全クリープおよびクリープひずみが小さくなっている。一般に応力強度比が40%程度までは単位全クリープが一定であるといわれており、今回のデータはこれと異なる。これについては、今後検討していきたい。

5. 結論

超軽量コンクリートのクリープ性状を実験により検討した結果、以下の結論を得た。ただし、全クリープひずみとは荷重によらない収縮ひずみを含めたものであり、単位全クリープ、全クリープ係数は全

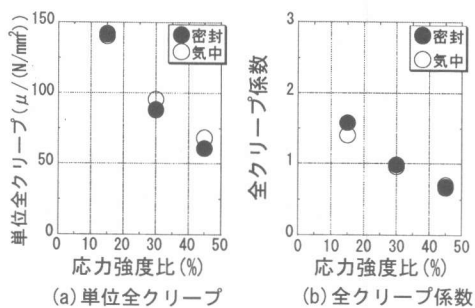


図-10 応力強度比の影響

クリープひずみをそれぞれ載荷応力、弾性ひずみで除したものとした。

(1) 気中の全クリープひずみについては、普通コンクリートや軽量1種コンクリートと同等かそれ以下である。単位全クリープおよび全クリープ係数についても同様のことがいえる。

(2) 水結合材比が大きくなると単位全クリープおよび全クリープ係数は大きくなる傾向がある。

(3) ペースト中の空気量と超軽量コンクリートの全クリープ係数の相関については明確にできなかった。

(4) 粗骨材が異なると全クリープ係数も異なり、粗骨材の強さの高いほうが単位全クリープおよび全クリープ係数は小さくなっている。

(5) 超軽量コンクリートの全クリープ係数および単位全クリープは、応力強度比が大きくなると小さくなる傾向があった。

参考文献

- 1) 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, pp55-56, 1985.3
- 2) 依田和久, 桜本文敏, 有江暢亮: 超軽量骨材の含水状態がコンクリート強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20, No.2, pp529-534, 1998.6
- 3) 長滝重義, 米倉亜州夫: 高強度コンクリートの乾燥収縮及びクリープの特性, コンクリート工学 vol.20 No.4, pp75-87, 1982.4
- 4) 九々, 樹田他: 超軽量骨材を用いた構造用コンクリートの基礎的性質, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp391-392, 1996.9