

# [91] 人工軽量骨材コンクリートの中性化とクリープ性状

正会員 友沢史紀 (建設省建築研究所)  
 正会員 榊田佳寛 (建設省建築研究所)  
 正会員 田中 齊 (建設省建築研究所)  
 正会員 ○安田正雪 (建設省建築研究所)

## 1. まえがき

一般に、軽量コンクリートは多孔質の骨材を使用しているため、その中性化速度は普通コンクリートに比べて早いといわれてきた。しかし、最近になって人工軽量骨材コンクリートの中性化の進行は、普通コンクリートの中性化に比較して必ずしも早くはなく、同じ程度であるというような報告もある<sup>1)</sup>。また、軽量コンクリートのクリープ性状についても、普通コンクリートに比べて大きいという報告と小さいという報告があり、十分に明らかにされているとはいえない<sup>2)</sup>。

表—1 骨材の品質

種類	記号	絶対比重	表乾比重	吸水率(%)	粗粒率	備考
粗骨材	人工 工量骨材	A	1.24	1.59	28.3	6.48 ※1
		F1	1.37	1.63	19.2	— ※3
		F2	1.39	1.70	22.9	— ※2
	砕石	M1	1.28	1.64	28.0	6.34 ※3
		M2	1.27	1.58	26.8	6.29 ※2
		C	2.64	2.65	0.55	6.71 ※3
細骨材	人工 工量骨材	A	1.69	1.95	15.4	2.69 ※1
		M1	1.63	1.83	14.3	2.81 ※3
		M2	1.55	1.80	16.5	2.70 ※2
	川砂	S1	2.56	2.62	2.22	2.76 ※3
		S2	2.56	2.62	2.22	2.86 ※3
		S3	2.58	2.62	1.70	2.76 ※2
	S4	2.54	2.59	1.96	2.64 ※1	

※1促進中性化 ※2クリープ性状 ※3促進中性化およびクリープ性状

本報告は、これら軽量コンクリートの中性化およびクリープに関するデータの蓄積をはかるため、ここ数年来、建築研究所で行ってきた人工軽量骨材コンクリートの促進中性化試験および圧縮クリープ試験の結果をとりまとめたものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および実験計画

使用セメントは普通ポルトランドセメント、使用粗骨材は人工軽量骨材3種類および川砂利、砕石、使用細骨材は人工軽量骨材2種類と川砂である。骨材の品質を表—1に示す。

促進中性化試験の実験条件は表—2に示すとおりであり、コンクリートの調合は、水セメント比が軽量コンクリート1種で35~60%の7種類、軽量コンクリート2種で35~45%の3種類、普通コンクリートで35~65%で6種類の合計16種類である。圧縮クリープ試験の実験条件は表—3に示すとおりであり、コンクリートの調合は、水セメント比が軽量コン

表—2 実験条件 (促進中性化)

記号	コンクリートの種類	粗骨材	細骨材	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	混和剤	促進中性化期間		
A135	軽量 コンクリート 1種	A	S1	35	170	42	AE減水剤 高性能減水剤 流動化剤	1ヶ月		
A140				40		43		2ヶ月		
A145				45		44		8ヶ月		
F140		F1	S2	40	189	42		AE剤	4週 2ヶ月	
F150				50	180	45				
F160				60	184	47				
M150				M1	50	45				
A235	軽量 コンクリート 2種	A	A	35	170	42	AE減水剤 高性能減水剤 流動化剤	1ヶ月		
A240				40		43		2ヶ月		
A245				45		44		4ヶ月		
C35	普通 コンクリート	C	S1	35	170	40	AE減水剤 高性能減水剤 流動化剤	8ヶ月		
C40				40		41		1ヶ月		
C45				45		42			2ヶ月	
R452		R	S4	45	176	38.2				AE剤
R55				55	169	41.2				
R65				65	167	43.6				

表—3 実験条件 (クリープ性状)

記号	コンクリートの種類	粗骨材	細骨材	水セメント比	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	混和剤
M135	軽量 コンクリート 1種	M1	S1	35	170	42	AE減水剤 高性能減水剤 流動化剤
M145				45		44	
M144		M2	S3	43.7	174	42	
M150		M1		50	184	44	
F140				40	189	42	
F1501				50	180	45	
F160		F1	S2	60	184	47	
F1502	F2			50	188	48	
M235	軽量 コンクリート 2種	M1	M1	35	170	42	AE減水剤 高性能減水剤 流動化剤
M245				45		44	
M243		M2	M2	42.8	172	43	
M254				53.7	187	49	
R35	普通 コンクリート	R		35	170	40	AE減水剤 高性能減水剤 流動化剤
R45				45		42	
C35		C		35	170	40	
C45				45		42	

リート1種で35~60%の8種類、軽量コンクリート2種で35~54%の4種類、普通コンクリートで35~45%の4種類の合計16種類である。

### 2.2 促進中性化試験方法

試験体の形状・寸法は、15×15×53cmの角柱型で各調合毎に1体ずつ製作した。養生方法は材令7日まで水中養生した後、材令28日まで室内養生（温度20±1℃、湿度60±3%）とした。中性化の促進試験は、中性化試験室（温度20±1℃、湿度60±3%、炭酸ガス濃度5±1%）の中で行った。中性化深さは試験材令時に試験体を取り出して、端部から約10cmのところを割裂し、割裂面にフェノールフタレイン溶液（JIS K 8006）を噴霧して、12~16箇所測定し、その平均値を求めた。

### 2.3 圧縮クリープ試験方法

試験体の形状・寸法は10φ×20cmの円柱型で各調合毎に2個、ないしは3個ずつ製作した。養生方法は材令28日まで水中養生（温度20±1℃）とし、試験体の側面の2箇所に中央より上下5cmの位置にコンタクトゲージ用チップを取り付けた。試験は恒温恒湿室（温度20±1℃、湿度60±3%）で行った。試験装置は4本支柱の硬質ゴムのもので3本支柱のバネによるものである。載荷荷重は載荷開始時のコンクリートの圧縮強度の1/3であり、ひずみの測定毎に載荷荷重の調整を行った。ひずみの測定は検長100mm、精度1/1000mmのコンタクトゲージを用いた。また、圧縮クリープ試験と同時に、同一形状・寸法の試験体により乾燥収縮ひずみを測定した。

### 3. 試験結果および考察

促進中性化試験および圧縮クリープ試験に用いたコンクリートの性質は、表—4に示すとおりであり、スランブは12.0~21.0cm、圧縮強度は201~600kg/cm<sup>2</sup>の範囲におよんでいる。

#### 3.1 促進中性化試験

中性化深さの平均値の結果を表—5に、促進中性化期間と中性化深さの関係を図—1に示す。既往の文献および本実験の促進中性化期間4ヵ月までの中性化深さの測定結果によると、促進条件下における中性化の進行も、通常的环境条件下と同様に中性化深さは中性化期間の平方根にほぼ比例している。そこで、中性化深さをC（mm）、期間をt（月）、水セメント比をX（%）とし、コンクリートの種類別に水セメント比と単位期間当りの中性化深さ（ $\sqrt{t}$ で割ったもの）の関係を求めると図—2のようになる。これらによれば、中性化がみられない水セメント比は、軽量コンクリートが約35%で、普通コンクリートが約30%である。また、軽量コンクリートの中性化の進行は、普通コンクリートより小さくなっている。一般に、軽量コンクリートの中性化は普通コンクリートより早いとされているが、本実験の範囲では、軽量コンクリートの方が中性化が小さい結果になっている。この理由として、人工軽量骨材は天然軽量骨材と異なり、表層がガラス質で緻密であることが考えられる。更に、軽量コンクリートは、普通コンクリートに比べて湿った状態にあるため、空隙が水で満たされていることが考えられる。例えば、単位水量170kg/m<sup>3</sup>のコンクリートの促進中性化期間4ヵ月の終了後の含水率をみると、軽量コンクリート1種が約6.1%、2種が約9.5%、普通コンクリート約3.6%であり、普通コンクリートに比べて湿った状態にあることがわかる。しかし、軽量コンクリート2種では、細骨材の透気性が川砂より大きいと考えられ、このため、軽量コンクリート1種に比べて中性化が

表—4 コンクリートの性質

記号	フレッシュコンクリートの性質		硬化コンクリートの性質 (材令28日)	
	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング率 (×10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )
A135	13.0	5.7	541	2.10
A140	15.0	6.0	478	1.93
A145	16.5	5.6	457	1.82
F140	15.5	3.6	447	1.96
F150	17.0	3.5	324	1.80
F160	18.5	—	270	1.70
F1502	21.0	5.3	308	1.63
M135	12.0	5.4	481	2.15
M145	12.5	5.1	408	1.88
M143	15.4	5.4	442	2.10
M150	15.5	4.3	341	1.67
A235	12.5	6.8	519	1.65
A240	15.5	5.5	479	1.53
A245	16.0	5.3	449	1.45
M235	16.0	5.1	486	1.73
M245	15.0	5.1	387	1.48
M243	14.6	4.7	429	1.62
M254	20.6	5.4	322	1.48
C35	13.5	4.6	555	2.28
C40	12.5	2.6	485	2.23
C45	16.0	3.3	436	2.12
R35	16.0	4.0	600	3.21
R45	13.5	3.5	443	2.96
R452	18.5	3.4	348	2.92
R55	18.5	2.9	267	2.60
R65	17.5	3.4	201	2.49

表—5 中性化深さの平均値

記号	中性化深さの平均値 (mm)			
	1ヵ月	2ヵ月	4ヵ月	8ヵ月
A135	0.1	0	0.3	0.3
A140	1.5	3.6	4.7	14.3
A145	4.1	5.8	7.7	19.1
F140	0*	0.3	—	—
F150	3.8*	7.1	—	—
F160	11.8*	17.5	—	—
M150	3.7*	6.1	—	—
A235	0	0	2.2	0.3
A240	0	4.3	8.2	10.2
A245	3.5	6.2	11.0	15.3
C35	1.3	2.9	5.3	9.6
C40	6.8	8.6	10.8	15.7
C45	8.6	9.6	14.8	18.0
R452	8.5	11.5	13.0	—
R55	13.0	18.0	20.0	—
R65	18.5	26.0	34.5	—

\*: 4週測定値

若干早くなると思われる。

次に、既往の文献によると、屋内暴露試験における中性化深さは、3年の結果では軽量コンクリートは普通コンクリートと同じであるが、15年の結果では軽量コンクリートは普通コンクリートより大きいことが報告されている。図-1において中性化期間4ヵ月から8ヵ月において、軽量コンクリート1種の中性化深さは普通コンクリートと同じとなっており、長期の中性化試験ではコンクリートが乾燥することにより、透気性の大きい軽量コンクリートは、普通コンクリートの中性化深さを上回ることもあると考えられる。

### 3.2 圧縮クリープ性状

クリープひずみの経時変化を図-3に、クリープ係数の経時変化を図-4に、単位クリープひずみの経時変化を図-5に示す。

図-3において、水セメント比が35%と45%のコンクリートについてひずみの違いを比べると、材令50日では軽量コンクリート1種では $40 \sim 70 \times 10^{-5}$ 、軽量コンクリート2種では $50 \sim 60 \times 10^{-5}$ 、普通コンクリートでは $60 \sim 75 \times 10^{-5}$ となり、また、材令約100日におけるクリープひずみをみると、軽量コンクリート1種では $75 \sim 95 \times 10^{-5}$ 、軽量コンクリート2種では $60 \sim 90 \times 10^{-5}$ 、普通コンクリートでは $70 \sim 90 \times 10^{-5}$ となり、材令約100日までは軽量コンクリート1種が軽量コンクリート2種より若干大きく、軽量コンクリート1種と普通コンクリートとで大差がない。次に材令約200日におけるクリープひずみをみると、軽量コンクリート1種では $90 \sim 120 \times 10^{-5}$ 、軽量コンクリート2種では $80 \sim 110 \times 10^{-5}$ 、普通コンクリートでは $80 \sim 110 \times 10^{-5}$ となり、やはり軽量コンクリート1種が若干大きい傾向にあるが、軽量コンクリート2種は普通コンクリートと大差がないようになる。しかし、材令500日において、軽量コンクリート1種(水セメント比44~60%)と軽量コンクリート2種(水セメント比43~54%)を比べてみると、軽量コンクリート1種と軽量コンクリート2種では大差がないといえる。このことから、軽量コンクリート2種では、載荷初期のクリープでは普通コンクリートや軽量コンクリート1種に比べて小さいが、長期的にはそれらと同じか大きくなることが予想される。また、コンクリートの種類別のクリープひずみをみると、水セメント比が大きくなるとクリープひずみは大きい傾向にある。

クリープ係数は、図-4に示すように軽量コンクリート1種と普通コンクリートを比べると大差がない。しかし、軽量コンクリート2種のクリープ係数は、軽量コンクリート1種や普通コンクリートに比べて小さくなっている。この理由として、軽量コンクリート2種はヤング係数が小さく、載荷時の弾性ひずみは大きいことが考えられる。また、コンクリートの種類別のクリープ係数をみると、水セメント比が大きくなるとクリープ係数は大きくなっている。単位クリープ係数は図-5によると、軽量コンクリート1種の単位クリープひずみは軽量コンクリート2種に比べて若干大きく、軽量コンクリート2種は普通コンクリートと大差がないことがわかる。この理由として、軽量コンクリート2種のクリープひずみおよび載荷応力度が小さいこと、普通コンクリートの載荷応力度が大きいことが考えられる。また、コンクリートの種類別の単位クリープひずみをみると、水セメント比が大きくなると単位クリープひずみは大きくなっている。

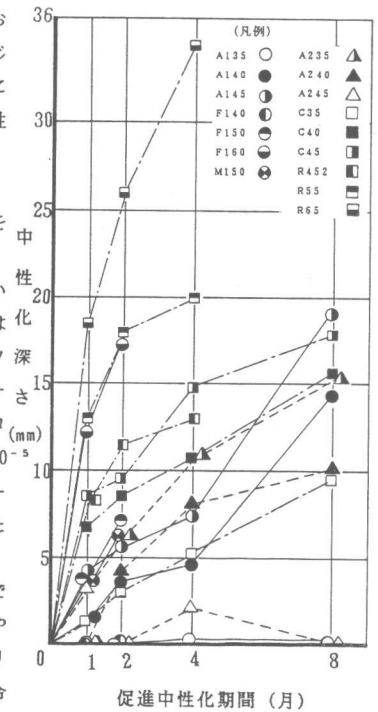


図-1 促進中性化期間と中性化深さの関係

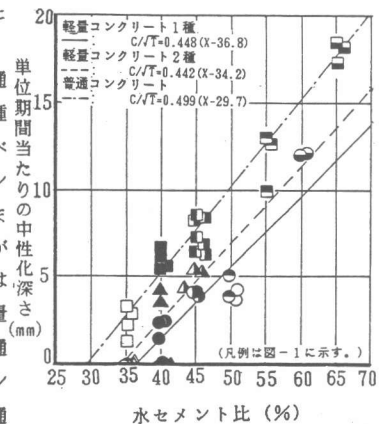


図-2 水セメント比と単位期間当たりの中性化深さの関係

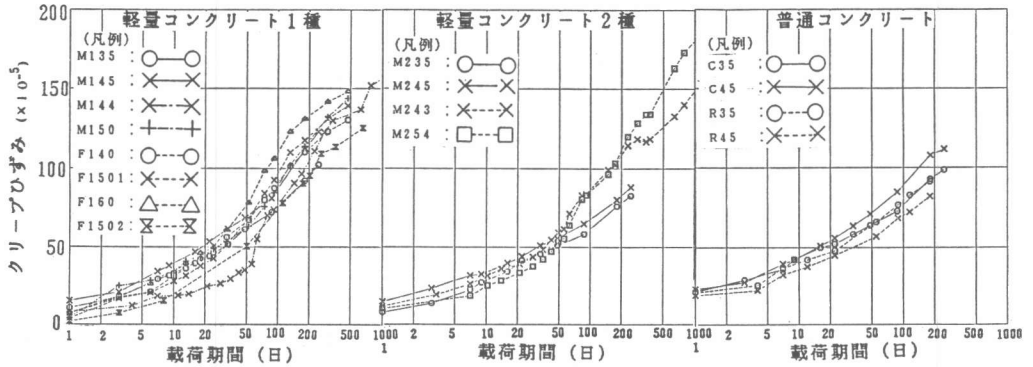


図-3 クリープひずみの経時変化

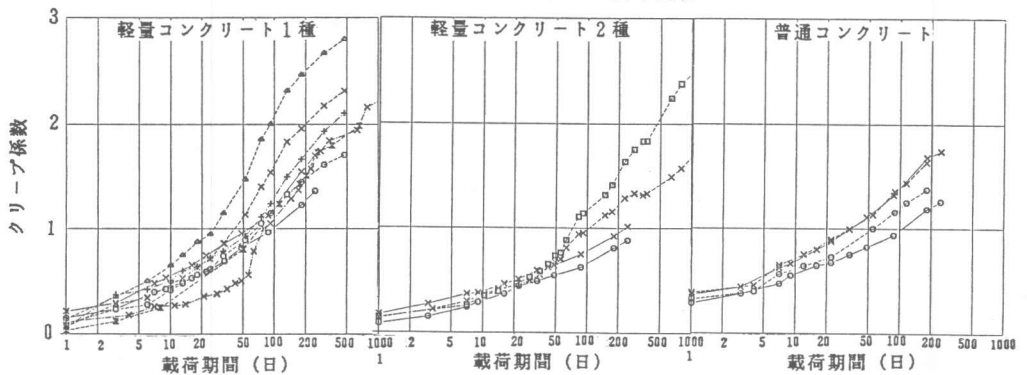


図-4 クリープ係数の経時変化

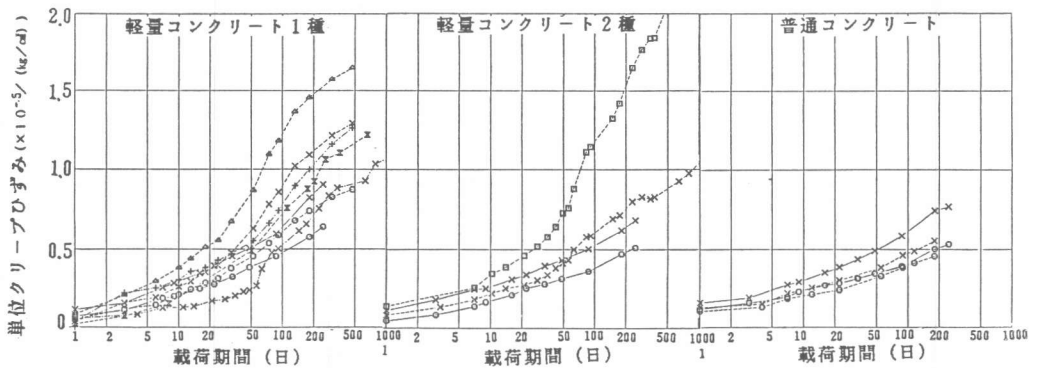


図-5 単位クリープひずみの経時変化

#### 4. まとめ

本実験の範囲においては、促進中性化試験では軽量コンクリートの中性化の速度は、普通コンクリートに比べて小さく、また、軽量コンクリート2種は1種に比べて中性化速度が若干大きい結果となった。

圧縮クリープ試験では、水セメント比が同一であれば、クリープひずみはコンクリートの種類に大差がなく、クリープ係数は、軽量コンクリート1種は普通コンクリートと大差がなく、軽量コンクリート2種は若干小さい傾向にある。また、単位クリープひずみでは、軽量コンクリート1種は普通コンクリートより若干大きく、軽量コンクリート2種は普通コンクリートより若干小さい傾向となった。また、水セメント比が大きい程、クリープひずみおよび単位クリープひずみは大きくなっているが、クリープ係数は逆に小さくなっている。

(参考文献)1) 富田六郎, 城所卓明, 人工軽量骨材コンクリートの中性化 セメント・コンクリート No.458.1985年4月

2) 建築学会, 軽量コンクリート調合設計・施工指針案・同解説