

日本建築総合試験所 正員 ○阪田 憲次  
 鳥取大学 " 西村 新哉  
 " " 木山 英郎

1 まえがき

コンクリートのクリープの内部機構については、従来より多くの研究者によって検討され、シーパーズ理論、遅延弾性説および局部破壊説等によって説明されてきた。また、乾燥収縮の内部機構については、供試体と環境との湿度こう配に起因するシーパーズ効果によるニヒが、明らかになっている。

着目して、コンクリートのこの種の性質を論じる場合の重要な要因であるコンクリート中の水分の挙動に着目し、乾燥収縮およびクリープの内部機構をできる限り定量的に明らかにしようと考え、一連の研究を実施してきた。すでに、乾燥収縮の内部機構については、コンクリートの乾燥にともなう水分の逸散の機構および逸散水量と乾燥収縮ひずみとの関係について検討し、コンクリートの乾燥収縮の機構が、二つの異なる機構からなり、しかもそれがコンクリート中の水分の逸散の機構の相異に起因するニヒ等を明らかにした。

本研究は、コンクリートの乾燥にともなう逸散水量と供試体寸法との関係および逸散水量とクリープひずみとの関係を検討し、クリープの内部機構を定量的に明らかにすることを試みるものである。また、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮および環境の湿度条件の影響についても若干の考察を加えた。

2. 実験概要

本実験に使用した骨材は天然骨材（吸水量；粗骨材1.21，細骨材1.23）、造粒型人工軽量骨材ライオナイト（吸水量；粗骨材2.30，細骨材4.00）および非造粒型人工軽量骨材宇部軽骨（吸水量；粗骨材13.0，細骨材11.5）である。セメントは大阪製普通ポルトランドセメントを用いた。

表-1に本実験に用いたコンクリートの配合を示す。本実験においては、目標強度を定めず、セメント、水、細骨材および粗骨材の容積率が、コンクリートの種類にかかわらず一定となるよう考慮した。乾燥収縮測定用の供試体は、 $10 \times 10^4$  mmの断面を有し、長さ30、40、50、および60 mmの角柱である。クリープ測定用の供試体および荷装置は、図-1に示す通りである。コンクリートの練り混ぜは、4切可撻式ミキサーで行い、締の固めは棒突き法による。供試体は、打設後24時間実験室中（室温）に放置した後脱型し、その後材令28日目まで標準水中養生を施した。乾燥収縮、クリープおよび逸散水量の測定は、材令28日目から開始し、約120日間測定を継続した。なお、クリープ試験においては、除荷後約30日間の回復クリープを測定した。ひずみ測定は、フーケンベルガー型ひずみ計（狭長10インチ）、逸散水量の測定は、卓上台秤（秤量；10kg、感量；1gおよび秤量；20kg、感量；2g）を用いて行われ、表-2に、本実験の条件を一括して示す。

表-1 コンクリートの配合

供試体	水/C (%)	C (%)	W (%)	S/A (%)	S (%)	Cr (%)	容積率 (%)
天然骨材	45	36.0	16.2	4.5	2.25	1.00	2.0
ライオナイト	45	36.0	16.2	4.5	2.25	5.7	2.0
宇部軽骨	45	36.0	16.2	4.5	6.0	6.7	2.0

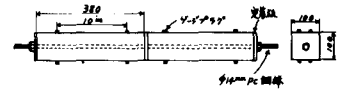


図-1 クリープ供試体および荷装置

表-2 実験条件

コンクリートの種類	逸散体寸法	クリープ	湿度	湿度
天然骨材	$10 \times 10^4$ mm		20°C	50% (L)
ライオナイト	$10 \times 10^4$ mm			50% (L)
宇部軽骨	$10 \times 10^4$ mm	$10 \times 10^3$ mm		50% (L)
	$10 \times 10^4$ mm			100% (W) (水中)

3. 実験結果の考察

図-2に、100日目の乾燥収縮と環境の湿度との関係を示す。図-2によれば、供試体の寸法にかかわらず乾燥収縮ひずみの値は、骨材種別および環境の湿度により、ほぼ一定となる。また、いずれの場合も、環境の湿度が高くなるほど、その乾燥収縮ひずみは小さくなり、両者の間にはほぼ明確な直線関係が成立する。さらに、天然

骨材およびライオナイトを用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、いずれの場合も大差はないが、宇部軽骨を用いたコンクリートのそれは、他に比較して若干小さくなっている。これは、コンクリートの乾燥収縮ひずみが、乾燥とともにセメントペースト中の水分の逸散によるものであるとするならば、吸水量の多い宇部軽骨を用いたコンクリートにおいては、骨材中の遊離水がセメントペースト部へ補給され、その結果セメントペーストの収縮が妨げられたためであると考えられる。

図-3は、寸法10×10×40cmの供試体の逆散水量と時間との関係を示したものである。図-3によれば、乾燥とともに供試体中の水分の逸散は、使用骨材の吸水容量（すなわち、供試体が有する全水量）が多ければ、環境の湿度が低いほど、その逆散水量は多くなる。

図-4は、逆散水量と乾燥収縮ひずみとの関係の一例を示したものである。著者らが以前に行なった研究<sup>1)</sup>によれば、逆散水量と乾燥収縮ひずみの関係は、環境の湿度が低い場合（50% R.H.）には、一つの折線と表わされた。本実験においてもほぼ同様の傾向が見られ、折線はいしは、放物線と表わされる。しかし、吸水量の少ない天然骨材を用いたものでは、ほぼ直線と見えてくる。すなわち、コンクリートが乾燥される場合には、最初の段階においては、逆散水量が多いたるにもかかわらず、乾燥収縮ひずみはそれほど増大しはしないが、つぎの段階に入れば、乾燥収縮ひずみの増加の割合は大となる。これは、コンクリート中の水分の存在形態にもよる逸散の機構の相違によるものと解釈できる。すなわち、コンクリート中の水分はその存在形態によつて、化学的結合水、セメントゲル中のゲル水、毛細管孔径中のキャピラリー水および骨材中の遊離水の4種類に分類され、最初の段階においては、骨材中の水や毛細管孔径中の水の逸散が支配的であるため、乾燥収縮ひずみはそれほど増大しはしないが、つぎの段階に入れば、ゲル孔径中の水の逸散が支配的になり、乾燥収縮ひずみの増加の割合が大となるのではなからと推論される。

以上に述べたことをまとめると、コンクリートの乾燥収縮の内部機構は、従来より述べられているように、シバージ理論によって説明する事ができ、コンクリート中の水分の逸散と密接な関係があることが明らかになった。

表-3は、クリープ試験結果を一括して示したものである。紙面の関係上詳細な検討は割愛するが、結局クリープひずみによれば、天然骨材を用いたコンクリートのクリープひずみが、軽骨材を用いた場合のそれよりも若干大きいこと、骨材の種類にかかわらず、環境の湿度が低いほどクリープひずみは大きくなること、さらに、吸水量の多い骨材を用いたコンクリートほど、クリープひずみの立ち上がりが小さく、ひずみが一定値に収束するのにおよそいことが明らかになった。

一方、持続荷重を載荷した供試体の逆散水量は、乾燥収縮に起因する逆散水量と持続荷重による圧出される逆散水量の和であると見られる。従つて、クリープの内部機構を考える場合には、両者を分離する必要がある。ひずみについても同様に分離しなければならぬが、前述のように乾燥収縮ひずみは供試体の寸法にかか

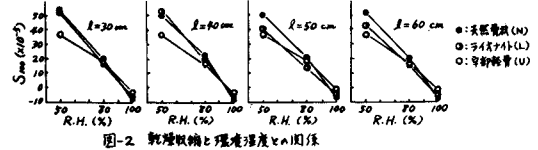


図-2 乾燥収縮と環境湿度との関係

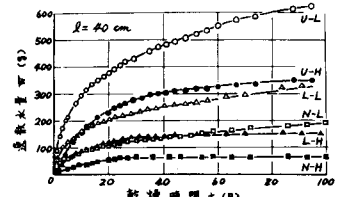


図-3 逆散水量の時間的変化

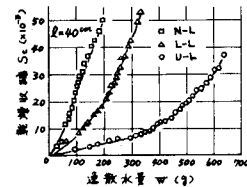


図-4 乾燥収縮と逆散水量との関係

表-3 クリープ試験結果

骨材	湿度	導入	入力	初期	終局	クリープ		終局	試験	n	逆散		
						ひずみ	ひずみ						
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	A	B	(%)	(%)	(%)	(%)		
天然	50	22.0	102.1	30.1	26.3	59.3	59.5	0.282	0.208	59.6	1.82	129	103
軽骨	50	111.5	32.6	30.3	26.1	20.5	0.222	0.236	29.5	0.72	6.1	22	
(N)	100	103.1	31.9	31.0	20.2	15.5	0.467	0.446	21.7	0.62	10.0	0	
軽骨	50	72.8	59.2	50.3	46.4	46.5	6.80	0.320	0.221	49.8	0.76	15.6	225
(L)	50	71.0	52.0	48.3	26.3	39.0	0.282	0.236	29.7	0.63	10.6	189	
(L)	100	72.8	46.4	46.3	19.5	29.0	1.033	0.992	22.9	0.49	26.5	0	
宇部	50	97.5	76.0	56.6	41.0	39.3	0.993	0.221	49.9	0.74	21.0	327	
軽骨	50	93.8	59.9	51.0	31.0	21.0	0.966	0.221	32.4	0.57	18.9	276	
(U)	100	87.6	55.3	47.1	26.4	15.7	0.277	0.235	22.6	0.52	21.5	0	

わらぶが一定であつたため、持続荷重を載荷させた供試体のひずみから無載荷の供試体のひずみを差引くことによつてクリープひずみを算出したことができた。しかし、透散水量の場合、供試体の寸法によつてかなり異なり、持続荷重を載荷させた供試体の透散水量のうち、乾燥収縮によるものがどの程度であるかというのを決定するのは、必ずしも容易ではない。一般に、乾燥収縮によるもの割合は、供試体の体積と露出表面積とを露出してゐる表面積の関数であると考えられる。本研究においては、供試体の体積と露出表面積とを合正変数として換算表面積 $S^*$ なるものを考えた。すなわち、 $S^*$ は供試体と同体積を有する立方体の表面積である。このようにして定められた $S^*$ と透散水量の関係の一例(100日)を図-5に示す。図-5によれば、いずれの骨材を用いた場合にも、両者の関係はほぼ直線で近似できる。したがつて、持続荷重を載荷させた供試体の $S^*$ を計算すれば、図-5より、持続荷重を載荷した供試体の乾燥収縮に起因する透散水量が求まる。このようにして求めた各材令における持続荷重に起因する透散水量とクリープひずみとの関係の一例を図-6に示す。図-6によれば、環境の湿度が低い場合には、コンクリートのクリープはコンクリート中の水分の逸散に起因するところが大きいことがわかる。なお、湿度が高い場合も同様の傾向が見られるが、湿度の低い場合ほど顕著なものではない。

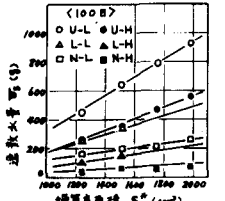


図-5 透散水量と換算表面積の関係

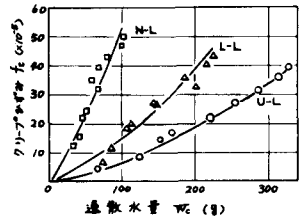


図-6 クリープひずみと透散水量との関係

いま、クリープひずみをシーパーズ効果による非回復性のひずみ( $f_0$ )、遅延弾性による回復性のひずみ( $f_d$ )および局部破壊による非回復性のひずみ( $f_i$ )よりなるものと仮定し、また、湿度が100%の場合には $f_0=0$ としてそれ以外の成分を求めると表-4のようになる。表-4によれば、上述のゴチック、環境の湿度が低い場合にはシーパーズ効果によるクリープひずみの占める割合が大きくなる。また、使用した骨材の種類によりその割合は異なり、一般に骨材の吸水量の大きいものほどその割合が小さくなる。これは、持続荷重による圧出されたセメントゲル中のゲル水が骨材中の水によつて補われたためではないかと思われる。また、回復性のひずみは一般に小さくなる。

表-4 クリープひずみ成分

骨材	N			L			U		
	50%	80%	100%	50%	80%	100%	50%	80%	100%
$f_0$	34.3 (1.00)	26.0 (1.00)	20.2 (1.00)	44.5 (1.00)	26.3 (1.00)	19.5 (1.00)	41.0 (1.00)	31.0 (1.00)	26.4 (1.00)
$f_d$	33.3 (0.61)	5.5 (0.21)	0	21.0 (0.47)	3.1 (0.12)	0	8.9 (0.22)	3.3 (0.11)	0
$f_i$	4.8 (0.07)	4.3 (0.17)	4.2 (0.20)	7.5 (0.17)	7.2 (0.27)	7.5 (0.18)	10.6 (0.26)	6.2 (0.20)	4.9 (0.17)
$f_c$	16.2 (0.30)	16.2 (0.42)	16.2 (0.30)	22.0 (0.36)	22.0 (0.61)	22.0 (0.32)	22.1 (0.52)	22.1 (0.67)	22.1 (0.37)

本研究においては、湿度が100%の場合にはシーパーズ効果がなく、さらに、シーパーズ効果によるクリープひずみは非回復性であると仮定しているが、これらの点についてはさらに詳しく検討し、コンクリートのクリープの内部機構がいかにしているものであるかという問題を明らかにしてゆきたいと思つてゐる。

〈参考文献〉

- 1) 西村新蔵、阪田憲次、コンクリートの乾燥収縮の内部機構に関する一考察、「材料」第22巻、第232号、昭和48年1月、