

九州産業大学 正員 宮川 邦彦

1. はしかき

コンクリートの時間依存変形は主に湿度変化により生じる乾燥収縮と持続荷重によるクリープとに大別できる。ところで、これら二変形はセメントペーストに含まれるゲル水やキャピラリー水の拡散や放出に直接関連するであろうが、特にクリープに関してはそれが持続荷重の下で生じる変形であることを考慮すれば、当然、コンクリート内部物質間の応力拡散による変形も含まれるであろう。すなわち、コンクリートは巨視的に見ても、力学的性質の異なる三成分(セメントペースト、細・粗骨材)からなる不連続な粒状複合体と考えることができる。それ故、持続荷重の下での三成分に作用する応力は時間の経過と共に除々に変化し、終局状態では内的安定な応力一定状態になるものと考えられる。以上のことから、コンクリートのクリープは少なくとも変形機構の異なる二成分、すなわち、塑性変形(不可逆クリープ)と遅延弾性変形(可逆、あるいは回復クリープ)とに分離すべきであろう。ただし、この二変形は互に密接な関連性を有し、セメントペーストの水硬現象に伴って、図示するような変形を生じるものと推測できる。

筆者はこのような考えに基づき、コンクリートの遅延弾性変形に関する実験的研究を行ってきたが、本論文は、特に使用粗骨材の力学的性質の相違が遅延弾性変形にどのような影響を及ぼすかを調べるためのものである。以下、簡単に実験概要、および結果を報告する。

2. 実験概要

実験に用いた材料の諸性質を表-1に、コンクリートの配合とその諸性質を表-2に示す。なお、使用粗骨材としてはなるべく性質の相違するものと考え、四種類の砕石と一種類の人工軽量骨材を用いた。実験方法は円柱供試体(φ15×30)二本を一组としてクリープ圧縮装置にセットし、そのひずみ測定には供試体中央対称二ヶ所に貼付したひずみゲージ(ゲージ長さ70mm)を用い、静ひずみ計で実験した。

なお、載荷および除荷後の測定日数としてはそれぞれ21日間としたが、これは遅延弾性変形の要因が載荷期間中に発達することを考慮したためである。また、供試体養生およびクリープ試験は測定方法との関係上、温度20℃と一定、湿度60~80%の恒温室内で行った。

3. 遅延弾性変形の表示法および理論計算法

遅延弾性変形がクリープの一部であることと、更にクリープ計算に応用する場合の便利さを考えて、本論文では除荷後の瞬間弾性変形に対するその後の任意時間(t)までの遅延弾性変形の比を遅延弾性係数(ψ_x)とする。なお、理論計算法としては既に報告したように、ひずみ一定式と応力一定式との差から遅延弾性変形を求めたが更に実験曲線と対応させるため、任意時間後の遅延弾性係数(ψ_x)を次式で求める。

$$\psi_x = A \cdot \left\{ (g_{cp}/E_{cp} + g_s/E_s + g_g/E_g) \cdot E_c \cdot g_c - 1 \right\} \cdot (1 - e^{-\alpha t_1}) \cdot (1 - e^{-\beta t}) \quad \text{---(式-1)}$$

ここに、 A, α, β は実験定数、 t_1 は載荷期間、 t は除荷後の測定期間、 g_c, g_{cp}, g_s, g_g はコンクリート、セメントペースト、細粗骨材の各容積割合であり、 $g_c = g_{cp} + g_s + g_g = 1$ である。また、 E_c, E_{cp} はコンクリートとセメントペーストの除荷時に於ける弾性係数であり、 E_s, E_g は細粗骨材の見掛け弾性係数であり、式-2、-3で求める。

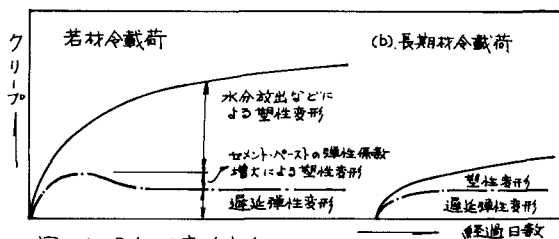


図-1 クリープ変形成分

表-1(a) 使用材料の諸性質

ポルトランドセメント		細骨材 (海砂)		
普通	早強	比重	吸水量	粗粒率
3.17	3.11	2.55	1.32	2.97

表-1(b) 使用粗骨材の諸性質

粗骨材	記号	最大寸法	比重	吸水量	粗粒率
安山岩	A	20mm	2.75	0.69	6.68
角閃岩	B	20	2.94	0.77	6.65
玄武岩	C	20	2.67	1.52	6.31
石灰岩	D	20	2.70	0.24	6.73
人工軽量骨材	E	15	1.29	5.20	6.50

$$E_s = (E_m \cdot g_m - E_{cp} \cdot g_{cp}) / g_s \quad \cdots (式-2)$$

$$E_g = (E_c \cdot g_c - E_m \cdot g_m) / g_g \quad \cdots (式-3)$$

ここに、 g_m, E_m はモルタルの容積割合と除荷時の弾性係数。

4. 実験結果および理論値との比較検討

表-2に示すように実験遅延弾性係数は粗骨材が相違しても同一配合であれば大差なく、ほぼ一定と考えることができる。

また、配合の相違に関しては実験値のばらつきもあり、確言できないが、貧配合で単位粗骨材量の多い配合ほどその係数値は増大するものと考えられる。なお、遅延弾性曲線の安定状態は骨材により多少相違するが、特に吸水量の多い骨材ほど安定状態は遅れるようである。次に、理論遅延弾性係数は表に示すように各材料の初期弾性係数と動弾性係数を用い算出したが、これらの係数値は粗骨材の見掛け弾性係数と密接に関連し、人工軽量骨材を除けば、見掛け弾性係数に比例し増大する。ただし、全般的に、いずれの弾性係数を用いても遅延弾性係数はほぼ近似した値であるが、配合や使用粗骨材の相違により、それらの差は多少異なる。なお、この計算の場合、実験定数Aは初期弾性係数を用いて計算する場合、 $A=1.0$ と、動弾性係数の場合、 $A=0.80$ を用いた。また、 α, β は当然、セメントペーストの硬化速度に関連し、供試体材令や面と面などで多少異なるが、比較検討を簡単にするため、 $\alpha=\beta=0.25$ とした。

上記のように理論値は実測値と相当な差異を有し、満足できる結果ではない。この原因は実験定数の仮定や各材料の実測弾性係数自体の測定誤差などによるものと考えられるが、最も本質的な原因は載荷供試体の全時間依存変形から無載荷供試体の乾燥収縮を差し引いて遅延弾性変形を求めたこと自体に問題があったものと考えらるべきであろう。すなわち、前記したように載荷供試体はその期間中に既にクリープの一部として水分の放出による塑性変形を生じており、それ故、このような載荷供試体の場合、除荷後に生じる乾燥収縮は非常に僅かなものであろう。ところが実際には除荷時の場合も無載荷供試体の乾燥収縮を差し引いて遅延弾性変形を求めるため、常にその値は大きくなり、しかも、その安定期間も長くなるものと考えられる。以上のように、実際の応力拡散による遅延弾性係数は明らかに表-2の値より小さくなり、しかも骨材の吸水量がコンクリートの乾燥収縮に影響するため、使用粗骨材の相違により遅延弾性係数もある程度異なるものと考えられる。

5. おわりに

コンクリートの遅延弾性変形に関しては既に数多くの研究がなされているが、本論文で指摘したように、その変形の求め方自体、疑問であり、この点に関しては今後、更に検討すべきであろう。

【参考文献】

- (1) 宮川, “コンクリートの遅延弾性変形に関する実験的研究” 土木学会 第27回 年次学術講演会論文集.
- (2) “The structure of concrete and its behaviour under load” cement and concrete Association.

表-2 コンクリートの諸性質と遅延弾性係数

配合 記号	単位 水量 (kg/m ³)	W/C (%)	S/a (%)	圧縮強度 σ_{28} (kg/cm ²)	弾性係数 E_{28} (10 ³ kg/cm ²)		遅延弾性係数	
							実測値	理論値
I-A	210	58	45	260	2.89 3.22	0.32 0.25	0.30 0.41	
I-B				235	2.67 3.29	0.29 0.30	0.26 0.43	
I-C				281	2.41 2.86	0.32 0.27	0.22 0.33	
I-D				223	3.43 3.35	0.27 0.26	0.45 0.44	
I-M				329	2.43 2.52	—	—	
I-CP				195	1.21 1.04	—	—	
II-A	177	59	39	233	3.37 3.20	0.59 0.42	0.44 0.40	
II-B				252	3.45 3.33	0.54 0.38	0.47 0.48	
II-C				227	2.47 2.63	0.50 0.40	0.23 0.22	
II-D				221	3.28 3.57	0.47 0.38	0.42 0.49	
II-M				339	2.22 2.37	—	—	
II-CP				220	1.10 0.96	—	—	
III-A	180	45	37	448	3.46 3.77	0.38 0.34	0.27 0.29	
III-B				471	3.49 4.06	0.48 0.32	0.28 0.34	
III-C				448	2.80 3.20	0.10 0.38	0.16 0.22	
III-D				446	3.77 4.11	0.27 0.27	0.34 0.35	
III-M				432	2.55 2.71	—	—	
III-CP				459	1.51 1.44	—	—	
IV-E	174	56	43	148	1.84 2.48	0.37 0.29	0.44 0.35	
IV-M				304	2.48 2.55	—	—	
IV-CP				315	1.20 1.23	—	—	
V-E	190	50	39	213	1.89 1.91	0.26 0.16	0.31 0.28	
V-M				316	2.34 2.49	—	—	
V-CP				319	1.15 1.31	—	—	

注) I, II, IV, V 配合 … 普通ポルトランドセメント.
 III 配合 … 早強ポルトランドセメント.
 載荷応力 I, II, III 配合 $\sigma_c = 7.5 \text{ kg/cm}^2$.
 IV, V 配合 $\sigma_c = 5.0 \text{ kg/cm}^2$.
 弾性係数 上段 … 初期弾性係数.
 下段 … 動弾性係数.
 遅延弾性係数
 (実測値) 上段 … 載荷材令 7 日, 除荷時材令 28 日.
 下段 … 載荷材令 28 日, 除荷時材令 49 日.
 (理論値) … 実測値の上段に対する値.
 上段 … 初期弾性係数の場合.
 下段 … 動弾性係数の場合.