

V-7 コンクリートの遅延弾性変形について

九州産業大学 ○正員 宮川 邦彦
九州産業大学 亀井 頼隆

持続荷重を受けていたコンクリート供試体は除荷に際して、瞬間弾性変形と瞬間に伴う回復変形とを生じる。この回復変形は回復クリープとか遅延弾性変形とか呼ばれているが、温度や湿度の影響をあまり受けないこと、および以前の荷重履歴に無関係であることなどを考えると、弾性変形の一部と見なし、遅延弾性変形と呼ぶのが妥当だと考える。そこで本論文ではこの変形を遅延弾性変形と書くことにする。

本実験は遅延弾性変形の性状を実験的に求め、更にこの変形量を算定するための簡単な計算方法を導き出すことを目的として行なった。

以下、実験概要、結果、ならびに理論計算法について報告する。

実験概要

実験に用いた材料の品質を表-1に、圧縮クリープ試験装置を図-1に示す。ヒズミ測定は $\phi 15 \times 30$ 円柱供試体の中央二箇所に粗骨材の最大寸法を考慮して、ゲージ長70mmのセルコンゲージを貼付し、静ヒズミ計で測定した。静ヒズミ計での長期測定には疑向点があるので、一応、無応力の鉄筋に同じゲージを貼付し、零点移動を測定したが、ニヶ月程度の測定期間ではその移動量が 10×10^{-6} 程度であり、問題にはならないと考えた。

なお、実験は恒温室で行なったので、温度は 20°C と一定であったが、湿度は外気の影響を受け、夏期75%、冬期60%程度であった。

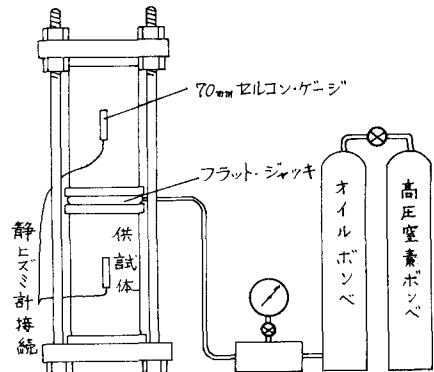


図-1 クリープ試験装置

表-1 材料の品質

ポルトランドセメント		細骨材			粗骨材			
比 重		志留島海砂			久山碎石(最大寸法20mm)			
普通	早強	比重	吸水量	粗粒率	比重	吸水量	粗粒率	弾性係数
3.14	3.11	2.57	1.23	2.84	2.94	0.67	6.61	0.565×10^6

表-2 コンクリート配合、圧縮強度、弾性係数

配合種類	単位水量 kg/m^3	W/C %	S/A %	コンクリートの圧縮強度 kg/cm^2			モルタルの圧縮強度 kg/cm^2		セメントペーストの圧縮強度 kg/cm^2		弾性係数 $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$		
				σ_5	σ_{28}	σ_{91}	σ_5	σ_{28}	σ_5	σ_{28}	コンクリート	モルタル	セメントペースト
I	180	45	37	376	410		414	490	403	591	0.376	0.262	(0.131)
II	192	68.6	42	157	207	233	159	235	114	142	0.226 (0.262)	0.187 (0.209)	(0.072)
III	177	59	39	215	274	311	195	303	180	197	0.243 (0.315)	0.201 (0.224)	(0.089)
IV	202	47	40	360	422		399	461	365	499	0.299 (0.333)	0.226 (0.229)	(0.120)

ただし、I, IV配合……早強セメント、II, III配合……普通セメント

実験はまず、同一配合のコンクリートを用い、供試体材令と遅延弾性変形量との関係、載荷期間と遅延弾性変形量との関係を、次に配合を三種類用いて、コンクリートの配合変化と遅延弾性変形量との関係を調べてみた。また、理論計算にセメントペースト、およびモルタルの弾性係数が必要なので、同配合のセメントペースト(φ5×10)、およびモルタル(φ15×30)の供試体も作製した。セメントペースト、モルタル、ならびにコンクリートの圧縮強度、弾性係数を表-2に示す。

各実験の詳細な内容は表-3に示す。

実験結果

遅延弾性変形量を簡単に現わすため、除荷時の瞬間弾性変形量に対する遅延弾性量の割合を回復率と呼ぶことにする。

実験結果の一例を図-2に示すが、縦軸のヒズミ量は全ヒズミ量から乾燥収縮ヒズミ量だけを差し引いた値である。各実験の回復率を表-3に示す。

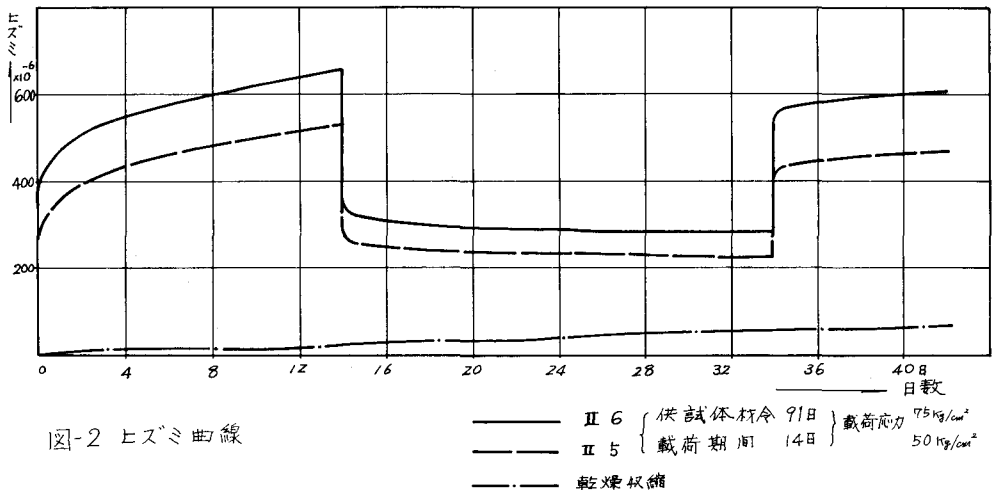


図-2 ヒズミ曲線

本実験から遅延弾性変形に関して、以下の結果を得ることができた。

(I). 遅延弾性変形の安定期間は二、三週間程度である。

安定期間に関しては従来の研究結果と同程度であるが、ただ、コンクリートの配合や供試体材令の変化により多少差がある。すなわち、高配合コンクリートの安定期間は高配合のそれと比較して、また、初期材令の安定期間は長期材令のそれと比較して多少長くなるようである。

(II). 回復率は載荷期間が長くなるに伴って、ある期間までは増大する傾向にあるが、長期間載荷すると供試体材令に依存なく一定値に近づく。

回復率は載荷期間に伴って増大するが、これは載荷期間が短い場合、載荷中に生じる遅延弾性変形が安定する前に除荷することになるので、回復率が少なくなるものと考ええる。また、長期間載荷した場合は、載荷期間中に生じる遅延弾性変形も完全に安定するし、コンクリートの性質も安定するので回復率が一定値に近づくものと考えられる。

(III) 回復率は載荷応力が破壊強度の $\frac{1}{3}$ 以下の場合、載荷応力に関係なく一定値となる。

回復率が載荷応力に無関係であることは、前記したように遅延弾性変形が時間に伴って生じる弾性変形であることを考慮すれば当然のことである。

〔四〕セメントペーストの弾性係数が高くなるほど回復率は減少する。

コンクリートはセメントと骨材との混合体であり、遅延弾性変形が各材料の弾性係数差により生じる現象であるものと推定できる。

表-3 実験内容、回復率

記 合 番 号	載荷応力 (kg/cm ²)	供試体 材 本 (B)	載荷期間 (日)	回 復 率 (%)	理論値 (%)
I 1	100	5	1	14.8	14.8
I 2			3	27.3	29.3
I 3			5	26.5	28.6
I 4			7	29.5	29.2
I 5			14	28.3	—
I 6			28	20.1	—
I 7		28	3	11.1	13.1
I 8			7	14.1	16.0
I 9			14	22.3	—
I 10		395	5	8.3	10.4
I 11			14	11.3	12.3
II 1	25	5	23	51.8	50.6
II 2	50			49.6	50.8
II 3	50	28	14	34.1	35.9
II 4	75			35.4	36.2
II 5	50	91	14	27.3	28.3
II 6	75			26.9	26.5
III 1	50	5	23	42.3	44.0
III 2	75			36.6	37.9
III 3	50	28	14	35.0	31.8
III 4	75			31.6	32.0
III 5	50	91	14	25.6	25.4
III 6	100			26.0	26.6
IV 1	50	5	23	39.2	41.0
IV 2	100			42.2	42.7
IV 3	50	28	14	23.4	22.7
IV 4	100			22.7	23.3
IV 5	50	91	14		
IV 6	100				

理論計算法

以上のことから、回復率を求める簡単な理論計算法を提案する。

コンクリートは巨視的に見ると、弾性係数の異なる粗骨材、細骨材、およびセメントペーストの混合体である。このような混合体に載荷した場合、内部の応力-ヒズミの関係は複雑になるものと考えられる。だが、瞬時的に載荷された状態を考えるならば、コンクリート内部の各材料のヒズミ(ϵ_1)は一部の塑性変形を除けば、一定になるものと見なすことができるだろう。

このことから載荷荷重(P)は

$$P = (E_c \cdot A_c + E_s \cdot A_s + E_p \cdot A_p) \cdot \epsilon_1$$

ただし、 E_c, E_s, E_p ; セメントペースト、細骨材、および粗骨材の初期弾性係数。

A_c, A_s, A_p ; セメントペースト、細骨材、および粗骨材のある断面における面積。

ここに、各材料の弾性係数として初期弾性係数を用いたが、これは破壊強度の1/2応力に対する弾性係数は粘塑性変形の一部を含み、物質本来の弾性係数としては適当でないと考えたからである。

ただし、細骨材の弾性係数はモルタルとセメントペーストとの弾性係数から逆算して求めた。

時間が経過するに伴い、コンクリートは粘塑性変形と粘弾性変形とを生じるだろう。粘塑性変形はクリープの要因になるだろうが、粘弾性変形は可逆変形と見なすことができ、この変形が遅延弾性変形の要因になるものと考えられる。この粘弾性変形の進行に伴い、コンクリートの内部応力は一定になると考えられる。

その時の一定応力 (σ) は

$$\sigma = \frac{P}{A} = (E_c \cdot A_c + E_s \cdot A_s + E_g \cdot A_g) \cdot \frac{\varepsilon_1}{A}$$

ここに, $A = A_c + A_s + A_g$

となる。また, この時の供試体のヒズミ (ε_2) は

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma}{V} \left(\frac{V_c}{E_c} + \frac{V_s}{E_s} + \frac{V_g}{E_g} \right)$$

ここに, V_c, V_s, V_g ; セメントペースト, 細骨材, 粗骨材の容積

$$V = V_c + V_s + V_g$$

となる。

骨材を球形と見なし, 骨材がセメントペースト中に方向性を持たず, 全くランダムに含まれていると考えるならば, 各材料の面積比と容積比とは等しくなる。

遅延弾性変形がこのような内部応力の変化により生じるものと考えれば, 回復率 (C) は

$$C = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1 \times 100 \quad (\%)$$

として求めることが可能である。

ただし, この計算法は載荷時間を無視して考えたものであるが, 載荷には実際, 多少の時間を要するものであり, 実験値と比較する場合はこの計算値に係数 (α) を掛けなければならない。

前記の計算法は載荷時の状態について求めた式であるが, 除荷時の場合も, 載荷時の状態を基準として考えれば, 同様に計算することができる。理論計算から求めた回復率を表-3に示す。ただし, 係数 $\alpha = 0.7$ を用いて計算した。

むすび

理論計算法の仮定には多くの疑点はあるが, このような計算法でも実験結果を十分に説明でき, 数値的にも満足できるものとする。なお, 本実験はコンクリートの一般的な配合について行なったものであり, 骨材量が極端に少ない場合や, 各材料の弾性係数比が極端に異なる場合などにこの計算法が適用できるかどうかは今後の問題である。

最後に, 本実験を行なうにあたり, 九州工業大学 渡辺 明教授の御指導, 御協力に, また, 九州工業大学学生 M.R.カルマチャリヤ 君の御協力に深く感謝の意を表する次第である。

メ モ