

和歌山高専 正員 ○戸川一夫
徳島大学大学院 学員 佐藤 哲
徳島大学 正員 荒木謙一

1. まえがき

近年、我国でも膨張性混和材(カルシュウムサルフェアルミネート系)が市販され、ケミカルプレストレストコンクリートあるいは収縮補償コンクリートの利用がしばしば報告されている。ケミカルプレストレストコンクリートでは膨張によって与えられるプレストレス量を算定する際、膨張セメントコンクリートの圧縮クリープ特性を把握することが大切であり、また収縮補償コンクリートでは、ひびわれ抵抗性を推測するため、引張クリープ特性を究明することは意義がある。膨張作用の主成分であるエトリンジャイトはセメント水和物にくらべて強度、剛性がよいために、^{1,2)} 3の報告によれば膨張セメントコンクリートの圧縮クリープは普通コンクリートのクリープよりも大きくほぼ2倍程度になるといわれている。

本研究では膨張セメントコンクリートのクリープ特性について、レオロジカルモデルをもちいて、膨張セメントコンクリートのクリープの内部機構を解析した。また引張クリープ特性についても実験的に考察した。

2. 実験概要

表-1 コンクリートの配合

コンクリート 種類	粗骨材 の最大径 (mm)	スランプ (mm)	空気量 (%)	水セメント比 w/c	乾燥時 s/a	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	粗骨材 G	細骨材 S	混和材料 CSA	減水剤 AE
CR-0*	20	2.5	4.0	40	38	153	380	1103	690	—	0.95
CR-15*	20	2.5	4.0	40	38	153	380	1103	690	570	0.95
T-0*	40	2.5	4.0	43	37	132	310	1200	703	—	0.775
T-11*	40	2.5	4.0	43	37	132	310	1200	703	341	0.775

* CR: レオロジー解析用, T: 引張クリープ用, 0.15: CSA添加率

セメントは普通ポルトランドセメント(日本セメントK.K製)、粗骨材は碎石(徳島県大麻産)、最大寸法20mm(レオロジー解析の場合)と40mm(引張クリープの場合)を用いた。細骨材は吉野川産川砂を使用した。膨張性混和材は

カルシュウムサルフェアルミネート系のCSA(電気化学工業K.K製)を、AE減水剤としてポゾリスN-5LAを使用した。膨張性混和材CSAの使用量はレオロジー解析を行なう場合、セメント重量の内割15%とし、引張クリープ試験の場合は内割11%とした。コンクリートの配合を表-1に示す。レオロジー定数を求めるためのクリープ回復ほらびに乾燥収縮測定用供試体は10×10×40cmの角柱供試体とし各2本作製した。普通コンクリートのクリープ試験ならびに乾燥収縮試験については一般に行なわれている方法と同じで

図-1 回復性クリープおよび非回復性クリープの求め方

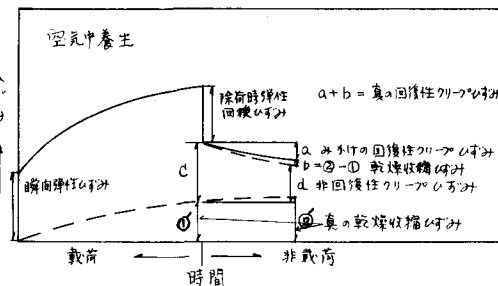
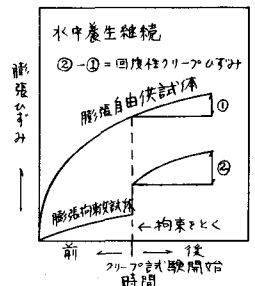


図-2 回復性クリープの求め方(真の乾燥収縮を求めるとき)



ある。膨張セメントコンクリートのクリープ試験は打込み後所定の材令までφ12mm(鉄筋比0.98%)のPC鋼棒で供試体を拘束したままで水中養生し、クリープ試験開始とともに

にPCジャッキで所定の持続応力を与えて空中養生を行なった。持続載荷応力はそのときのそれ
 水の供試体の圧縮強度の25%とし、普通コンクリートで 85 kg/cm^2 、膨張セメントコンクリートで 80 kg/cm^2
 であり、載荷時材令は10日である。クリープ試験開始後3, 7, 14, 20, 56 および120日まで持続載荷
 して、所定の載荷期間をおえた供試体は荷重を除去して各々のクリープ回復量を測定した。長さ変化
 の測定はコンパレータによる。なお持続応力を一定に保つために、クリープ試験開始日から数え
 て、1, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28, 42, 56, 91日においてPC鋼棒の引き直しを行なった。つぎに膨張セメン
 トコンクリートの回復性クリープおよび非回復性クリープは図-1に示すような考え方で算定した。
 すなわち真の回復性クリープ量 = みかけのクリープ回復量 a + 真の乾燥収縮量 b (②'-①'), 非回復
 性クリープ量 = c - 真の回復性クリープ量である。ここで膨張セメントコンクリートの乾燥収縮測定
 用供試体はクリープ試験開始まで水中養生中に膨張拘束圧をうけており、クリープ試験開始とともに
 無拘束にされ空中養生されると、乾燥収縮とクリープ回復とが同時におこることになり、単に乾燥
 収縮測定用供試体で測定された値はみかけの収縮量であり、真の乾燥収縮量を求めるには、空中養
 生で生じるクリープ回復量を求めて、みかけの乾燥収縮量に加算する必要がある。以上より、クリー
 プ回復量の算定を図-2に示す考え方で、実験的に求めた。すなわち、同一配合の膨張自由供試体と
 拘束供試体をつくり、クリープ試験開始時に、水中で拘束供試体の拘束をとって、その後の変形量を
 測定して、②から①を差引いてクリープ回復量を求め、その値にみかけの乾燥収縮量を加えて真の乾
 燥収縮量を算出した。圧縮強度ならびに弾性係数測定用供試体は $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱供試体を各3個つ
 くり、 $\phi 11 \text{ mm}$ (鉄筋比1.1%)のPC鋼棒を挿入してクリープ試験供試体とほぼ同一鉄筋比で拘束し、
 同一養生を行なった。引張クリープ試験は $10 \times 10 \times 70 \text{ cm}$ の角柱供試体を各2個つくり、載荷時材令
 は材令3, 7, 14 および28日の4種であり、導入応力はそのときのコンクリートの引張強度の25%と
 した。

3. レオロジカルモデルによるクリープ解析

コンクリートのクリープの内部機構を説明する場合にレオロジカルモデルを使
 って数多くの研究者がいろいろな組合せを提案しているが、ここでは西村³⁾あとい
 はM. Freudenthal⁴⁾の研究報告にしたがって図-3のようなレオロジカルモデル
 を仮定し、コンクリートのクリープ機構をつぎのように3つに分けて考えた。

- 1) ヘルピン要素 K_1 : 遅延弾性による可逆的変形 (回復性クリープ)
 - 2) ヘルピン要素 K_2 : 局部破壊による非可逆的変形 (非回復性クリープ)
 - 3) ヘルピン要素 K_3 : ラーゲージ効果による非可逆的変形 (非回復性クリープ)
- ここで用いる記号は以下に示すとおりである。

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : 要素 K_1, K_2, K_3 の流動係数。

d_1, d_2, d_3 : 要素 K_1, K_2, K_3 のバネ定数。

t_c : クリープ供試体の軸方向ひずみ。

t_{cr} : クリープ供試体の回復性クリープひずみ。

t_{ci} : クリープ供試体の非回復性クリープひずみ。

σ : クリープ供試体における軸方向定応力。

τ_1, τ_2, τ_3 : 要素 K_1, K_2, K_3 の遅延時間 ($\tau = d/\phi$)

t : 時間

図-3 レオロジカルモデル

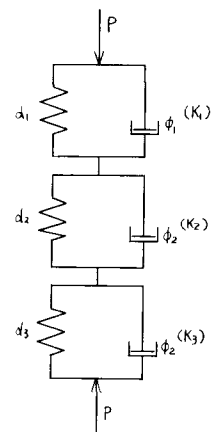


図-3のモデルにおいて、一定持続荷重下の全変形はつぎのような時間の関数として表わすことができる。

$$\dot{f}(d, t) = \sigma d_1 e^{-t/\tau_1} + \sigma d_2 e^{-t/\tau_2} + \sigma d_3 e^{-t/\tau_3} \quad \dots\dots\dots ①$$

$$f_c = \sigma d_1 (1 - e^{-t/\tau_1}) + \sigma d_2 (1 - e^{-t/\tau_2}) + \sigma d_3 (1 - e^{-t/\tau_3}) \quad \dots\dots\dots ②$$

モデル定数 $d_1, \tau_1, d_2, \tau_2, d_3, \tau_3$ の決定には回復性クリープおよび非回復性クリープを用いる。

4. 回復性クリープおよび非回復性クリープ実験結果とその考察

図-4に回復性クリープと
載荷時刻との関係を示す。

回復性クリープは非回復性
クリープと異なり極値をもつ
ている。膨張セメントコンク
リート、普通コンクリートと
もに図より推定して約40日頃
に極値が現われるようである。
これは面材の緩ぎにもあるよ
うに、コンクリートの内部組
織が載荷後初期と長期とで異
なり、さらにクリープ機構の
ものが長期と初期で少々異
なるためと考えられる。また
非回復性クリープは載荷期間
が長いほど大きく、膨張セメ

ントコンクリートの方が普通コンクリートより非回
復性のクリープは大きい。これは膨張性混和材を添
加すると水和にあたりエトリンジャイトが生成され、
エトリンジャイトの強度剛性が小さいためと、さら

に膨張によって多少コンクリートの内部組織がポーラスになってラーページ効果が大きくなるために
非回復性クリープが大きくなったと考えられる。つぎに図-4および図-5より $f_r \sim f_c$ 曲線、 $f_i \sim f_c$
曲線を求めると図-6と図-7に示すようになる。これらの曲線よりえられたモデル定数を表-2に
示す。表-2より普通コンクリート、膨張セメントコンクリートのどちらも非回復性のラーページ効
果が大きいことがうかがえる。要素別に見れば過延時間で決つて非回復性クリープの局部破壊、ラ
ーページ効果は膨張セメントコンクリートが大きく、回復性クリープは普通コンクリートの方が大き
い。一方向は回復クリープ、非回復性クリープの局部破壊、ラーページ効果ともに膨張セメントコン
クリートの方が普通コンクリートより1.2~2.2倍程度大きく、とくに膨張セメントコンクリートは
ラーページ効果が大きいため周囲の環境条件に支配されやすく、逆に環境に順応性があるともいえ
る。

図-4 f_r/E_c (回復性クリープ係数) $\sim t$ (除
荷時刻) 曲線

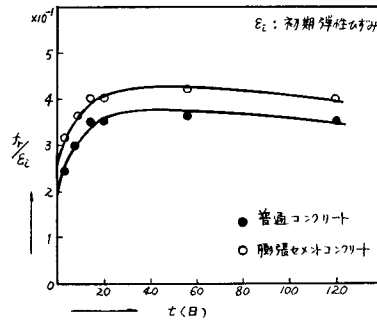


図-6 f_r/E_c と f_i/E_c の関係

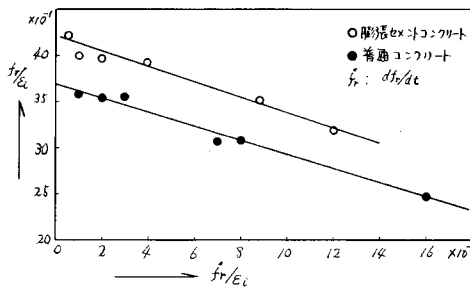


図-5 f_i (非回復性クリープ係数)
 $\sim t$ (除荷時刻) 曲線

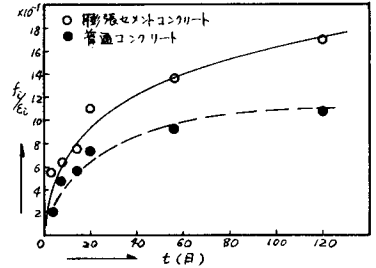


図-7 f_i/E_c と f_i/E_c の関係

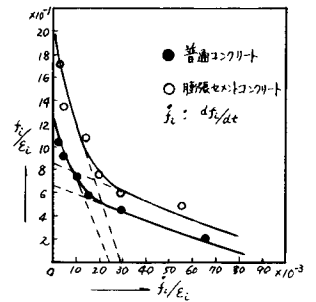


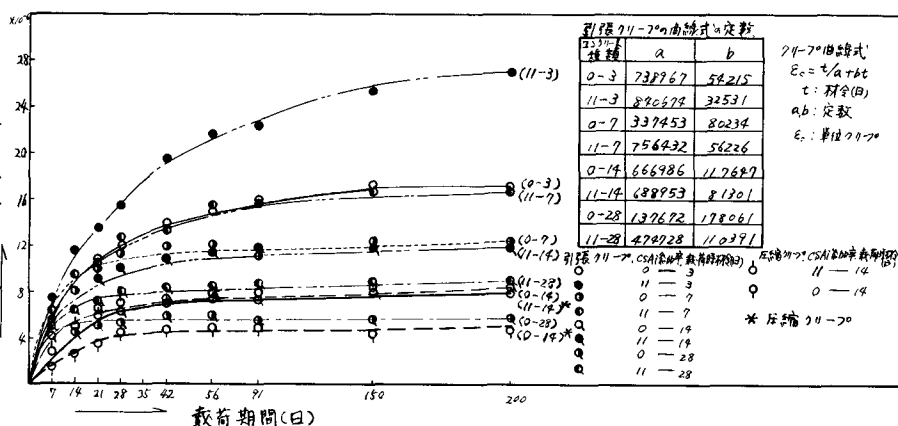
表-2 クリープ・オレオロジー定数

コンクリート種類	ケルゼン要素					
	回復性 $d_1 \times 10^{-2} (\text{cm/kg})$	τ_1 (日)	破壊 $d_2 \times 10^{-3} (\text{cm/kg})$	τ_2 (日)	ラーページ $d_3 \times 10^{-2} (\text{cm/kg})$	τ_3 (日)
普通コンクリート	0.134	31.2	0.250	7.3	0.401	36.7
膨張セメントコンクリート	0.172	20.2	0.375	7.5	0.871	64.7

5. 引張クリープ

図-8 単位クリープひずみと載荷時割合との関係

引張クリープと載荷時割合との関係について膨張セメントコンクリートと普通コンクリートとを比較検討した。図-8は載荷期間200日までの引張クリープ



試験結果を示す。また図-9に推定最終クリープ係数と載荷時割合との関係を示す。いづれの載荷時割合の場合も、膨張セメントコンクリートの引張クリープは普通コンクリートよりも大きく、1.4倍程度になっている。また、膨張セメントコンクリート、普通コンクリートともに載荷時割合14日のコンクリートのクリープひずみについて引張クリープひずみは圧縮クリープひずみの約1.6倍であり、これは一般に報告されている結果とほぼ同様である。圧縮クリープでは膨張セメントコンクリートのクリープ係数は普通コンクリートのクリープ係数の1.8~2.0倍程度が示されたが、引張クリープでは1.4倍程度とその比率は小さくなっている。この理由は膨張セメントコンクリートのクリープは前述したようにシーラー効果が大きく、シーラー効果は圧縮クリープと引張クリープとで同じ挙動をしないと考えられ、引張クリープでは圧縮クリープほどシーラー効果の影響が大きいいためであると推察される。

6. あとがき

膨張セメントコンクリートの圧縮クリープは普通コンクリートにくらべて大きく、とくにシーラー効果が大きいことが注目される。また膨張セメントコンクリートの引張クリープは普通コンクリートのクリープより大きく1.4倍程度であり、膨張セメントコンクリートは普通コンクリートよりも周囲の環境条件に順応して塑性的に挙動し、ひびわれ抵抗性も大きいように推察される。

<参考文献>

- 1) 長 渡 ち : 土木学会年次学術講演会概要集, 才5部, 10月, (1971)
- 2) 戸 川 ち : 土木学会年次学術講演会概要集, 才5部, 10月, (1971)
- 3) 西 林 誠 : コンクリートジャーナル Vol. 7, No. 1, 1月, (1969)
- 4) M. Freudenthal: Journ. of A.C.I. 54, 6月 (1958)

本研究の一部は昭和46年度文部省科学研究費によって行なわれたものである。

図-9 推定最終クリープ係数と載荷時割合との関係

