

京都大学工学部 正 員 岡田 清
京都大学工学部 学生員 〇米澤敏男

1 まえがき

構造材料としてレジンコンクリートを使用する場合に、そのクリープ性状は、明らかにされなければならないエレメントの一つである事は、いうまでもない。レジンコンクリートのクリープ変形は、セメントコンクリートに比し、変形量そのものとともに、温度依存性が大きいことが指摘されてきたが、その具体的な形態は、ほとんど明らかにされていないと言っていい。本研究では、樹脂量、樹脂の種類、骨材組成、導入応力をパラメーターとして、ポリエステル樹脂を用いたレジンコンクリートのクリープの温度依存性を主要テーマとして考えた。

2 実験概要

(1) 使用材料および実験方法 ポリエステル樹脂としては、武田薬品工業ポリマール3271、およびポリマール6702の二種類を使用した。粗骨材は、最大寸法15mm、FM=6.4、の砕石を絶乾状態で使用した。細骨材は、FM2.89の川砂を絶乾状態で使用した。微粒充填剤としては、炭酸カルシウムを使用した。本研究に用いた供試体名、および配合を表-1に示す。また、使用した供試体の圧縮強度、弾性係数を表-2に示す。供試体は、7cm×7cm×38cmの角柱であり、硬化後、90℃で4時間アフターキュアしたものをを用いた。応力は、高周波PC鋼棒によって、圧縮強度の10%と20%の二段階に導入し、一軸圧縮応力状態で試験した。試験温度は、5℃、20℃、40℃、60℃、の4レベルであり、供試体は、試験開始前24時間から、試験温度に保持した。

(2) クリープ曲線の補正方法 本研究では、圧縮応力をPC鋼棒によって導入しているため、クリープの進行に伴う応力減少を避けることができない。そのため試験時、数度にわたって応力の再導入を行うとともに、ボルツマンの重畳原理を利用して、次の様な補正を行ってある。ボルツマンの重畳原理によれば、クリープ変形 $\epsilon(t)$ と応力 σ との間に線形の関係を仮定すると、 $\epsilon(t)$ は、クリープ関数 $\varphi(t)$ により、 $\epsilon(t) = \int_0^t \varphi(t-\alpha) \frac{d\sigma}{d\alpha} d\alpha$ として表現される。これを積分方程式と考え、筆者は、次の様な数値解法を考えて、 $\varphi(t)$ を求めた。応力の連続的変化過程を、微小時間 Δt で分割された階段状の変化過程で近似し、載荷後 $n\Delta t$ 時間の $\varphi(t)$ を、 $\varphi(n\Delta t) = \epsilon(n\Delta t) / \sigma$ で近似すると、載荷後、 $n\Delta t$ 時間におけるクリープ関数 $\varphi(t)$ は、 $\varphi(n\Delta t) = \frac{1}{\sigma} \left[\epsilon(n\Delta t) - \sum_{k=1}^{n-1} \Delta \sigma_k \varphi(n-k\Delta t) \right]$ として求まる。なお、 $\epsilon(t)$ は、応力減少による弾性変形の回復を補正した至であり、応力再導入時の処理は、計算機プログラムの問題に帰せられる。

3 実験結果および結論

クリープ試験結果のうち、供試体3271-10、3271-12、3271-Cの単位クリープ曲線の温度変化による状態を図-1~図-3に示す。20℃における3271-10、3271-12、6702-10の単位クリープ曲線を図-4に示す。本研究で行った実験の範囲に於て、時間に比例したクリープ歪が観察されたので、それを粘性流動と仮定し、図-7にまとめて、その温度との関係を示した。また、クリープ歪からの粘性流動を除去し、それを真初期クリープと命名し定義した。3271-10、3271-12のそれを図-5、図-6に示す。以下に得られた結論を要約する。

1). 3271-10(樹脂量10%)、3271-12(樹脂量12%)、3271-C(CaCO₃のみ充填、樹脂量50%)を比較すればわかるように、樹脂量の増加とともに、クリープ変形量は、急速に大きくなり、また、その温度依存性

各温度共通に用いた供試体の配合

供試体名	3271-10	3271-12	3271-C	6702-10
樹脂量(%)	10	12	50	10
粗骨材量(%)	10	10	10	10
細骨材量(%)	10	10	10	10
微粒充填剤量(%)	45	45	45	45
圧縮強度(MPa)	35	35	35	35
弾性係数(MPa)	100	100	100	100
計算値	2.30	2.26	1.67	2.29
実験値	2.31	2.29	1.63	2.30
比率	0.99	0.99	—	0.99

20℃で5%を変えて試験した供試体の配合

供試体名	3271-A	3271-B	3271-D	3271-E
樹脂量(%)	10	10	10	15
粗骨材量(%)	10	10	10	10
細骨材量(%)	10	10	10	10
微粒充填剤量(%)	45	45	45	45
圧縮強度(MPa)	45	45	45	45
弾性係数(MPa)	100	100	100	100
計算値	2.25	2.25	2.27	2.07
実験値	—	—	—	—
比率	0.96	0.96	0.98	1.00

硬化触媒 促進剤の使用量(樹脂に対する量%)

硬化触媒 (MEKP)	0.8
硬化促進剤 (V50)	0.4

表-1

供試体の圧縮強度および弾性係数

供試体名	5℃	20℃	40℃	60℃	5℃	20℃	40℃	60℃
3271-10	1350	1240	1200	970	3.20	3.02	2.75	2.34
3271-12	1400	1280	1140	880	2.96	2.61	2.52	2.00
3271-C	1490	1340	1120	1020	0.86	0.80	0.65	0.43
6702-10	1370	1300	1220	1090	3.30	3.32	2.95	2.92

表-2

も強くなる。2). 3271-10, 6702-10 は、同じ配合のレジンコンクリートであるが、各温度にわたって、6702-10 の方が、クリープ変形量が小さく、結合材樹脂の物性の相異が、クリープ変形に因与することがわかる。

3). 先に定義した真初期クリープと温度との関係では、40℃のそれより20℃のそれよりも小さくなる傾向が観察された。この特異な傾向の存在は、必ずしも確定的なものとする訳にはいかないが、内部応力その他のレジンコンクリートの構造そのものに起因する要因が、介在している可能性がある。

4). 5℃, 20℃では、粘性流動と仮定される部分は、ほとんど観察されないが、40℃, 60℃の高温になってくると、それは、急速に大きくなる。5). クリープ曲線は、真初期クリープと粘性流動と仮定される部分の組み合わせによって構成され、温度変化には、必ずしも単純には依存していない。

6). 20℃では、表-1 に示したように $\epsilon_0 = 0.38 \sim 1.0$ の範囲で変化した試験を行ったが、3271-E (レジンモルタル) を除けば、 ϵ_0 の相異が、クリープ曲線に及ぼす影響は、ほとんど観察されなかった。

7). 5℃, 20℃でクリープが収束した供試体では、クリープ係数 ϵ_{90} は、0.3~0.8 であった。また、40日のクリープ歪と応力導入時の弾性歪との比をとって、それを ϵ_{90} とすれば、その値は、60℃においても1.2~2.5 であり、これらの値は、セメントコンクリートと比較して、大差ないが、幾分小さな値と言えよう。

8). 圧縮強度の20%位までの応力レベルでは、5℃, 20℃では、クリープ歪と応力との間に、線形な関係を仮定してもよさそうだが、60℃位の高温では、この関係は、崩れてくるようである。

9). レジンコンクリートのクリープを四要素モデルで近似した場合の遅延時間は、1日~6日であり、高温になるに従って大きくなる傾向が見られる。また、このモデルによる近似式は、セメントコンクリートのクリープを表現するのによく用いられる双曲線関数よりは、よい近似式を与える。

参考文献: R. Bares, "Temperaturbeeinflussung der Elastizität und Festigkeit von Kunststoff-Betonen" Nr.2/1973 Zement-Kalk-Gips

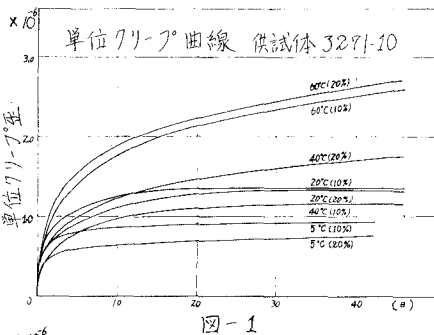


図-1

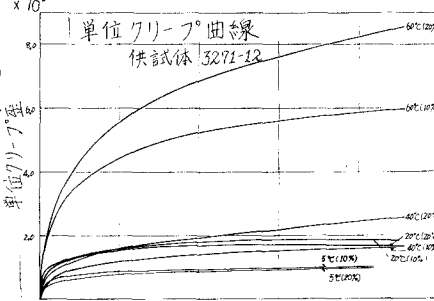


図-2

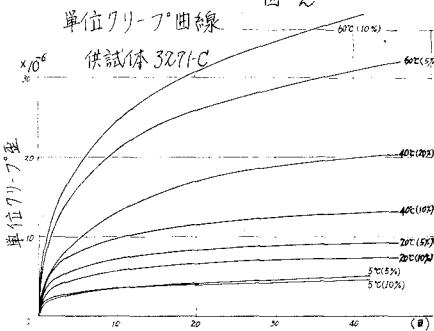


図-3

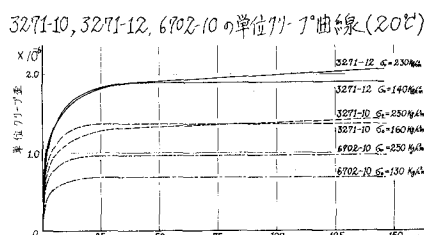


図-4

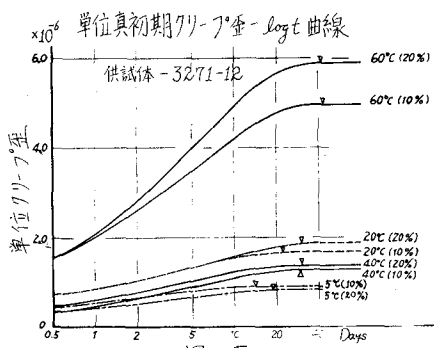


図-5

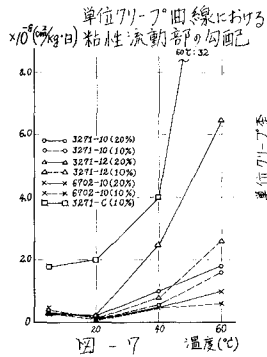


図-7

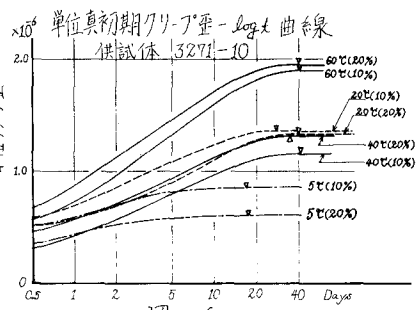


図-6