

# 論文 レジンコンクリートの曲げクリープの温度依存性

渡辺 聡\*<sup>1</sup>・内田 裕市\*<sup>2</sup>・大島 光晴\*<sup>3</sup>・小柳 洽\*<sup>4</sup>

**要旨**：熱変形温度 (HDT) の異なる 3 種類の不飽和ポリエステル樹脂 (UP) を結合材とするレジンコンクリート (REC) のクリープ特性を、試験温度 10℃から 58℃の曲げ試験によって実験的に求めると共に、樹脂の HDT との関連性を検討した。その結果、REC のクリープは温度依存性が大であり、また樹脂の HDT がクリープに影響する程度や全クリープに対して弾性余効である回復クリープの占める割合が、温度によらずほぼ 7 割と一定であることなどが明らかとなった。

**キーワード**：クリープ、レジンコンクリート (REC)、熱変形温度、弾性余効

## 1. はじめに

新しい建設材料であり、また構造物の補修・補強材料としても用いられるレジンコンクリート (以下 REC と略) は、セメントの代りに結合材として高分子材料を用いているため、セメントコンクリートに比べてその力学性状に温度が及ぼす影響が大きいことが知られている。例えば、REC のクリープ特性に関しては高温において顕著となること<sup>1), 2)</sup>、特にこれは樹脂の熱変形温度 (以下 HDT と略) と関係すること<sup>3)</sup>などが報告されているし、REC の常温時のクリープには、その回復が時間依存性の「弾

性余効」の成分がかなり含まれていることが推測されている<sup>4)</sup>。そこで、本研究ではこれらの確認を目的として、HDT の異なる 3 種類の不飽和ポリエステル樹脂を結合材とする REC のはり供試体を作成し、種々の環境温度下において曲げ試験を行うことによって、これらのクリープ特性を求めると共に、使用する樹脂の HDT との関連性を検討した。

## 2 実験概要

### 2. 1 使用材料および供試体作成

REC の結合材には、HDT の異なる 3 種類の

表-1 樹脂の HDT と T<sub>g</sub> (℃)

供試体	HDT	T <sub>g</sub>
UP-A	73	100
UP-B	88	120
UP-C	110	140

表-3 RECの強度 (20℃)

供試体	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	割裂引張強度 (MPa)
REC-A	136.0	25.1	10.6
REC-B	140.0	24.0	10.4
REC-C	141.0	22.4	10.0

表-2 RECの質量比

材料	樹脂	粗骨材	細骨材	充填材	触媒	促進剤
質量比	10	50	20	20	0.10	0.10

\* 1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

\* 2 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

\* 3 (株) サンレック

\* 4 岐阜大学名誉教授 工博 (正会員)

表-4 動弾性係数測定結果

温度 (°C)	動弾性係数: E0 (GPa)		
	REC-A	REC-B	REC-C
5	35.5	35.5	35.2
20	34.9	35.1	34.7
30	34.3	34.5	34.1
40	33.5	34.0	33.5
50	32.7	33.0	32.9

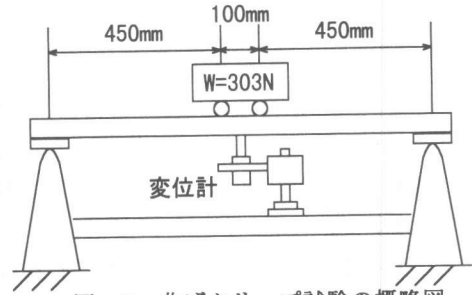


図-1 曲げクリープ試験の概略図

表-5 静弾性係数

温度 (°C)	載荷時弾性係数: E1 (GPa)			除荷時弾性係数: E2 (GPa)		
	REC-A	REC-B	REC-C	REC-A	REC-B	REC-C
10	35.7	35.1	32.4	35.7	34.4	32.8
20	36.6	34.5	34.8	36.9	34.4	35.1
30	33.0	31.8	32.0	34.5	31.9	32.9
40	31.9	33.3	30.0	33.1	34.2	30.9
50	30.4	29.8	30.4	33.0	30.6	31.0
58	28.6	31.4	29.6	30.0	32.3	30.2

オルソフタル酸系の不飽和ポリエステル樹脂 (UP) を用い、幅×厚さ×長さ=60×30×1200 mm のはり供試体 REC-A, REC-B, REC-C を作成した。表-1 に各樹脂の HDT と T<sub>g</sub> (ガラス転移温度) を示す。

RECの充填材としては重質炭酸カルシウムを、粗骨材には最大寸法10mm、F.M.=5.90の碎石を、細骨材には最大寸法0.6mm、F.M.=1.30の山砂を使用した。これらの配合を表-2に示す。なお、触媒にMEKPO、促進剤にナフテン酸コバルトを使用した。RECは常温にて混合後、鋼製型枠に注型することによってはり供試体ならびに強度試験用供試体を作成した。ゲル化時間は45±5minである。脱型後の供試体は、80°Cで15時間の養生を行った。強度試験用供試体(圧縮および曲げ試験: 60×60×240mm、割裂引張試験: φ100×200mm)によって測定したRECの材料強度を表-3に示す。また、曲げ供試体(60×60×240mm)を用いて共振法によって測定した各温度におけるRECの動弾性係数を表-4に示す。

## 2.2 試験方法

クリープ試験は室温 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°Cおよび 58°Cの恒温室内において曲げ载荷によって行った。载荷は図-1のようにスパン1000mmの単純支持で対称2点载荷とし、スパン中央点のたわみを計測した。供試体は試験温度と一致させるため、予め载荷前に24時間以上試験温度状態におき、1時間毎のたわみの読み値が変化しなくなったことを確認した後、はり中央に303Nの重錘を载荷し、瞬間的な弾性変形および曲げクリープとして、たわみを1時間毎に連続的に計測した。更に、载荷後7日間経過した時点で除荷し、弾性的な回復変形および回復クリープによるたわみの変化を、载荷時と同様に1時間毎に7日間計測した。たわみ計測には感度1/500mmの変位計を用いた。なお、供試体数は1試験条件当たりそれぞれ3本とした。

本実験方法によれば、荷重303Nを载荷した時のRECに発生する曲げ応力は $\sigma_0 = 7.57\text{MPa}$ であり、20°Cにおける曲げ強度を $\sigma_b = 24\text{MPa}$ とすると、ここで採用した荷重量

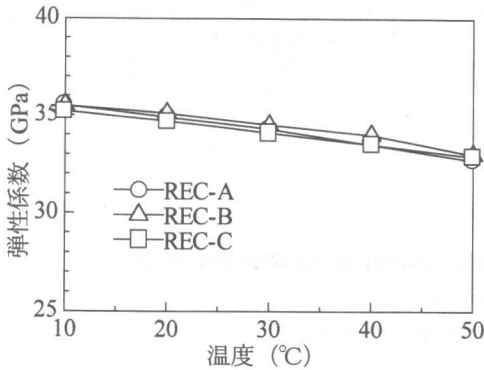


図-2 動弾性係数 (E0)

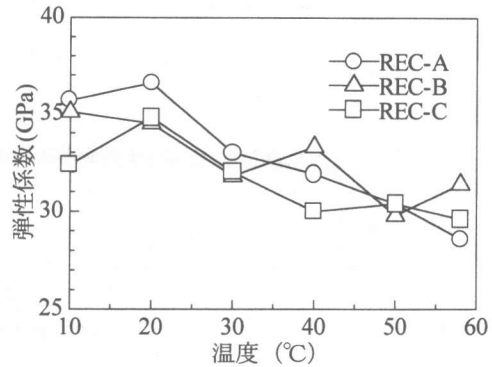


図-3 載荷時弾性係数 (E1)

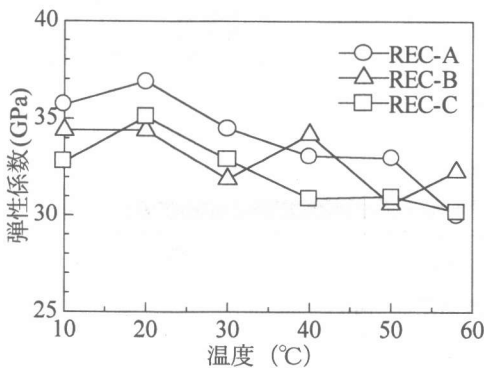


図-4 除荷時弾性係数 (E2)

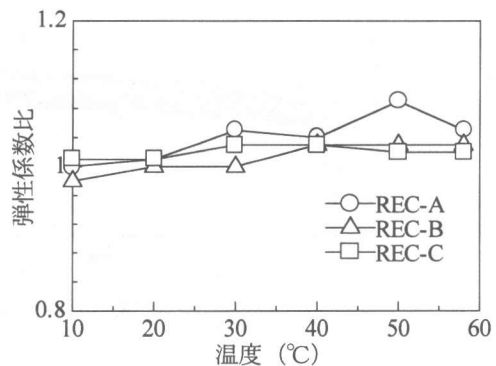


図-5 弾性係数比 (E2/E1)

303N は 20°C における REC の静的曲げ破壊荷重の 30% 強となる。

### 3. 実験および考察結果

表-4 の動弾性係数測定結果 (E0) を図-2 に示す。載荷時の温度が高くなるにつれて動弾性係数は減少している。一方、曲げクリープ試験での各温度における載荷時弾性たわみと除荷時弾性たわみから、それぞれ静弾性係数を求めた結果を表-5 および図-3、図-4 に示す。載荷時の温度が高くなるにつれて両者ともにやや減少している。また、両者を比較するために載荷時弾性係数 (E1) に対する除荷時弾性係数 (E2) の比 (E2/E1) を図-5 に示す。全般的に温度が高くなるにつれて弾性係数比はやや大きくなる傾向にある。これは、供試体は作成時に加熱養生されてはいるが、試験時にも高温に

さらされるにつれてさらに REC の硬化度が進行したためと考えられる。なお、樹脂の HDT の相違による弾性係数の変化は見られず、3 種類ともほぼ同じであった。次に動弾性係数 (E0) に対する載荷時弾性係数 (E1) の比 (E1/E0) および除荷時弾性係数の比 (E2/E0) を各樹脂ごとに比較した。ばらつきはあるが、全体的にみるとそれらの比は REC-A, REC-B, REC-C それぞれ 0.95~1.05, 0.9~1.0, 0.9~1.0 であった。REC-A では載荷時弾性係数の比が除荷時弾性係数の比に比べ、温度が高くなるにつれて全体的にやや小さくなった。なお、静弾性係数の動弾性係数に対する比が 0.73~0.96 であるセメントコンクリート<sup>5)</sup> に比べ、REC では大きくその比は 1.0 に近くなった。

各温度におけるクリープおよび回復クリープの経時変化の代表的な例として 10°C, 40°C,

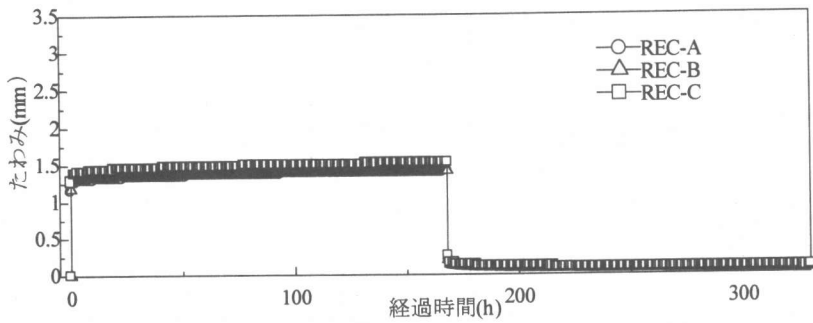


図-6 たわみ-時間関係 (10°C)

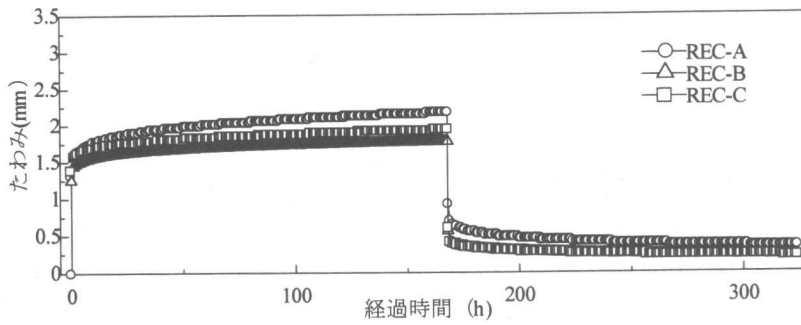


図-7 たわみ-時間関係 (40°C)

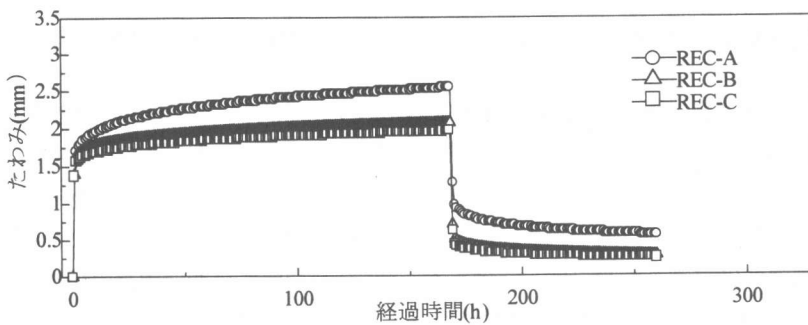


図-8 たわみ-時間関係 (50°C)

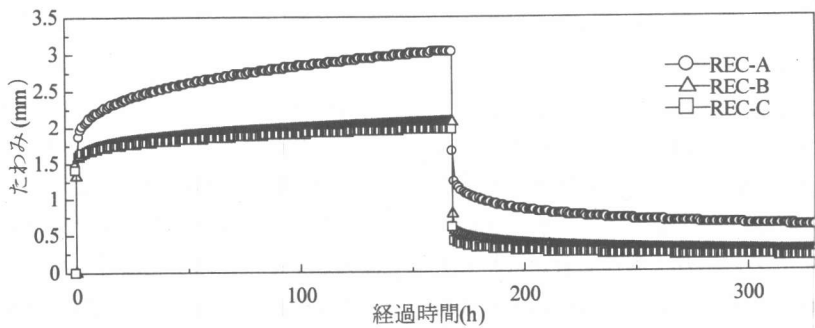


図-9 たわみ-時間関係 (58°C)

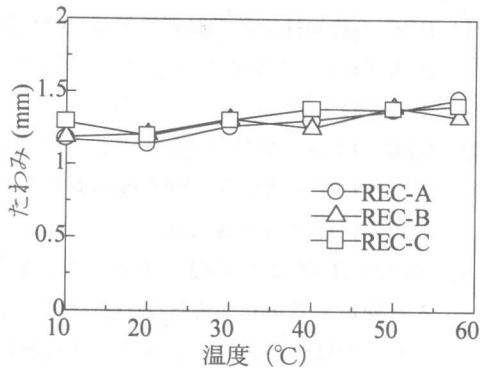


図-10 弾性たわみ ( $\delta_1$ )

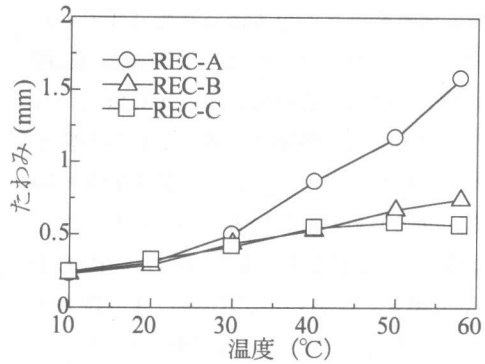


図-11 クリープたわみ ( $\delta_2$ )

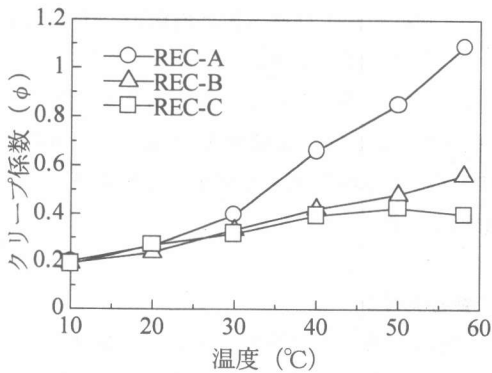


図-12 クリープ係数 ( $\phi$ )

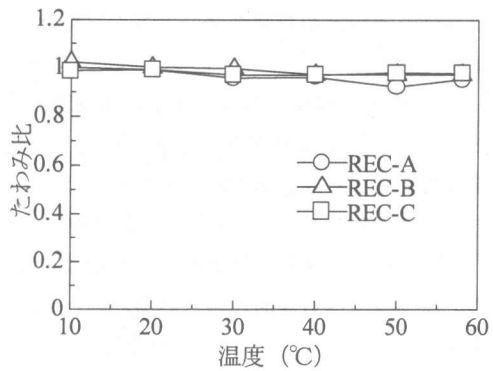


図-13 弾性たわみの比 ( $\delta_3/\delta_1$ )

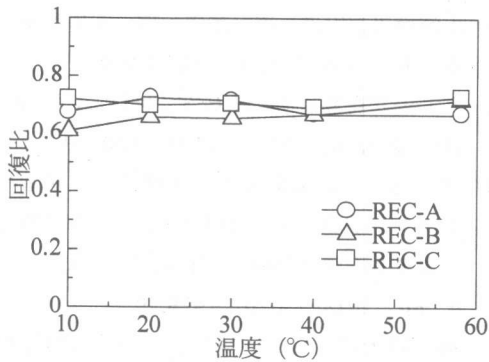


図-14 回復比 ( $\delta_4/\delta_2$ )

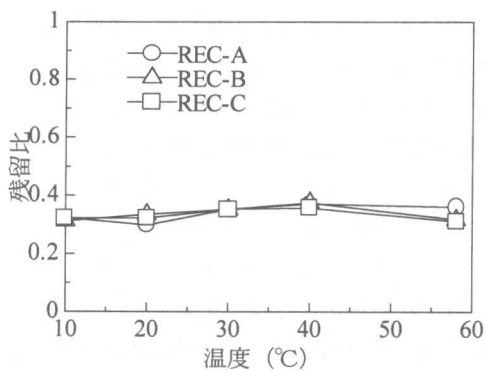


図-15 残留比 ( $\delta_5/\delta_6$ )

50°Cおよび 58°Cの場合を図-6, 図-7, 図-8, 図-9 にそれぞれ示す。また、図-10 に載荷時の弾性たわみ ( $\delta_1$ ) を、図-11 に載荷材令 7 日のクリープたわみ ( $\delta_2$ ) を示す。載荷時の温度が高くなるにつれて弾性たわみは若干増加している。これは表-5 に示されているよ

うに弾性係数の減少によるものである。また、樹脂の HDT の相違によって弾性たわみの増加の傾向に変化はみられていない。一方、クリープたわみは載荷時の温度の増加につれて大きく増大している。載荷材令 7 日時点でのクリープの進行は低温ではほぼゼロであるが、高温では

なお進行している。REC-B, REC-C のクリープたわみは温度が高くなるにつれてほぼ線形的に増大しているが、これに対して樹脂の HDT が 73℃と最も低い REC-A は、30℃以上からのクリープの増加が顕著である。これらの結果をクリープ係数 ( $\phi = \delta_2 / \delta_1$ ) で表すと図-12 となる。HDT が最も低い REC-A は 30℃から急激に増加し 58℃では 1.1 であった。REC-B は 58℃で 0.5 と小さいが、REC-C よりは大であった。REC-C は最も小さく 58℃でも 0.4 であった。図-6~図-9 よりクリープ回復(弾性余効)の存在は明らかであるが、除荷後の回復クリープの進行は載荷時の進行よりも早期終結の傾向にある。

図-13 に除荷時弾性たわみ ( $\delta_3$ ) の載荷時弾性たわみ ( $\delta_1$ ) に対する比 ( $\delta_3 / \delta_1$ ) を示す。除荷時弾性たわみと載荷時弾性たわみは等しくその比は 1.0 と考えられるが、前述の加熱養生の影響があり、全般的に温度が高くなるにつれてやや小さくなる傾向がみられる。図-14 に回復時クリープたわみ ( $\delta_4$ ) の載荷時クリープたわみ ( $\delta_2$ ) に対する比 ( $\delta_4 / \delta_2$ ) を示す。クリープは温度の上昇に伴って増加するが回復時のクリープも温度の上昇に伴って増加した。REC のクリープはセメントコンクリートのクリープと異なり回復性の部分が多く、回復時の載荷時に対する比率は樹脂の HDT によらずほぼ 70%と一定になった。また図-15 に非回復の残留たわみ ( $\delta_5$ ) の非弾性たわみ ( $\delta_6 = \delta_4 + \delta_5$ ) に対する比 ( $\delta_5 / \delta_6$ ) を示す。残留たわみすなわちフローの全非弾性たわみに占める割合も樹脂の HDT によらずほぼ 30%と一定になった。逆に、残りの 70%は回復クリープたわみ ( $\delta_4$ ) の全非弾性たわみ ( $\delta_6$ ) に対する比 ( $\delta_4 / \delta_6$ ) であり、前述の弾性余効(クリープ回復)の存在を明確にすると共に、これもまた樹脂の HDT によらず一定になった。

#### 4. まとめ

温度 10℃~58℃において載・除荷を行った

曲げクリープ試験の結果を以下に示す。

- (1) REC の静弾性係数の動弾性係数に対する比はセメントコンクリートよりも大きく、その比は 1.0 に近い。
- (2) REC のクリープはセメントコンクリートのクリープと異なり、回復性の弾性余効の成分が約 70%と大である。
- (3) 樹脂の HDT が低いほどクリープに及ぼす影響が大であり、また HDT によってクリープ係数が急速に大きくなる温度が存在する。
- (4) 温度が高くなりクリープが大となっても、回復比および残留比は樹脂の HDT によらずほぼ一定であった。

以上より、REC のクリープ特性を設計に反映させる上では、環境温度のみでなく樹脂の HDT による特性差を考慮すべきであることが確認された。

#### <参考文献>

- 1) 岡田 清, 米沢敏男: レジンコンクリートの材料特性の温度依存性について, 材料, Vol. 24, No. 260, pp. 394~400, 1975.5
- 2) 山崎竹男, 出光 隆, 渡辺 明, 宮川邦彦: 不飽和ポリエステルレジンコンクリートのクリープ特性に関する研究, 材料, Vol. 40, No. 456, pp. 1178~1184, 1991.9
- 3) 林 富士男, 大島光晴, 小柳 洽: 構造用レジンコンクリートの熱的特性と力学特性の温度依存性 (1996), 材料, Vol. 45, No. 9, pp. 1014~1020, 1996.9
- 4) 林 富士男: レジンコンクリートの構造利用に関する研究, 岐阜大学博士論文, 1997
- 5) 岡田 清, 明石外世樹, 小柳 洽: 土木材料学, 国民科学社, 1998