

岐阜大学 正員 大野 定俊
 名阪工材KK 林 富士男
 岐阜大学 正員 小柳 洽

1. まえがき

RECは高強度でかつ耐食性等の性状に優れた材料である。構造部材としてはその大なる曲げ強度を利用して無筋曲げ部材として使用されることが多い。このとき破壊の様相を緩和し、あるいはその高い圧縮強度を有利に利用するために補強材を配することがある。しかし不飽和ポリエステル樹脂を用いたRECでは、硬化時の収縮が大きいため、鋼材のような補強材を配することによってRECの収縮が拘束され、RECに内部引張応力が発生し、かえって曲げひずみ耐力が低下することが知られている。RECを構造部材に利用する上では、そのひずみ耐力の推定方法が設計上の重要課題となるが、収縮の拘束に伴う内部応力の発生には、クリープ、フローといった硬化初期におけるRECの変形特性が関与するため不明確な点が多い。本研究は、RECに補強材を配した際に、RECに発生する初期硬化時の内部拘束応力の発現状況を明確にするために、RECの硬化初期における粘弾性的変形特性、RECの収縮、および導入される鋼材ひずみの経時変化を求めると共に、RECを粘弾性体と考え、その変形特性を4要素レオロジーモデルで表わされるものと仮定して、RECの硬化初期における時間-応力-変形について解析を行なったものである。

2. 実験概要

2-1. 使用材料および示方配合；RECの結合材樹脂としては不飽和ポリエステル（日本触媒社G103）、粗骨材は木曽川産玉砕石（M.S.10mm）、細骨材は静岡産山砂（F.M.2.0）、充てん材として美濃赤坂産重質炭酸カルシウム、また硬化触媒にはM.E.K.P.O.（三建化工社）、硬化促進剤として6%ナフテン酸コバルト（神東塗料社）を使用した。

示方配合は、重量百分率で樹脂9.5%、充てん材19%、粗骨材52.5%、細骨材19%、硬化触媒3%、硬化促進剤0.17%とした。なお、RECの可使用時間は80分に調整した。

2-2. 測定方法； $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体の表面長さ方向に抵抗線ひずみゲージ（検長68mm）を貼付し、圧縮荷重を載荷した時の、時間-ひずみ関係、荷重-ひずみ関係、および時間-荷重関係を測定した。載荷時以外には同供試体により時間-収縮関係が得られた。載荷は供試体が脱型可能となる混合後3時間20分に開始し、6時間後までは30分間隔、その後12時間後まで1時間毎に、その後は15, 25, 30, 48時間後の各時間で測定を行なった。また図-1に示す $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体の中央部に鋼材を配した供試体により、鋼材に導入されるひずみ、REC表面での収縮を測定した。鋼材ひずみは、鋼材表面に貼付した抵抗線ひずみゲージ（検長68mm）でまたRECの収縮ひずみは、供試体表面に端子を埋込んでホイットモアー-ひずみ計（検長10mm）で測定した。

3. 実験結果および考察

角柱供試体（ $10 \times 10 \times 40$ cm）で測定したREC表面部の収縮ひずみ、鋼材に導入されたひずみの経時変化を図-2に示す。時間の原点はREC混合時（樹脂に硬化剤を加えた時刻）とした。

円柱供試体（ $\phi 10 \times 20$ cm）で測定したRECの変形挙動の結果の一例を図-3に示す。載荷は図(C)に示すように約5~10秒間で所定の荷重まで載荷し、一定荷重で60秒間保持したのち急激に除荷した。この場合の応力（荷重）-ひずみ曲線（図(C)）、および時間-ひずみ関係は図(A)の通りである。図-3(A)中の ϵ_1 は載荷時のひずみ、 ϵ_2 は一定応力下のクリープひずみ、 ϵ_3 は除荷時の

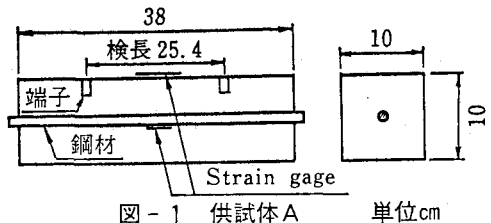


図-1 供試体A 単位cm

弾性ひずみ、 ϵ_4 は遅延弾性ひずみ、 ϵ_5 は残留ひずみ、 ϵ_6 はこの間の収縮ひずみである。RECの収縮ひずみを除いた変形挙動を表わすのに図4に示すようなマクスウェル要素とフォークト要素を直列に結んだ4要素モデルを仮定した。図-3(A)中の弾性ひずみ ϵ_3 は、このモデルの図中②のバネによるひずみ ϵ_b に対応し、同じく残留ひずみ ϵ_5 は③のダッシュポットのひずみ ϵ_c に、また遅延弾性ひずみ ϵ_4 はフォークト要素①のひずみ ϵ_a に対応している。図4中の記号を使用すれば微分方程式として、

$$\frac{\eta_B d\epsilon}{E_B dt} + \frac{d\epsilon}{E_A E_B dt^2} = \frac{\eta_B d\epsilon}{E_A E_B dt^2} + \left(\frac{1}{E_A} + \frac{\eta_B}{E_A E_B} \right) \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta_A} \quad (4)$$

が導かれる。

各要素の係数 E_A, E_B, η_A, η_B をそれぞれに対応する実験値より求め、その経時変化を図-5に示す。また緩和時間 $\tau_A = \eta_A/E_A$ 、および遅延時間 $\tau_B = \eta_B/E_B$ を図-6に示す。

これによると硬化過程においてフロー成分が少なくなっていくこと、遅延時間には変化がないことが判る。なお、これらの変形特性と補強材を配した時に発生する内部拘束応力の発現状況との関係については当日論議する。

図-2 ひずみの測定結果

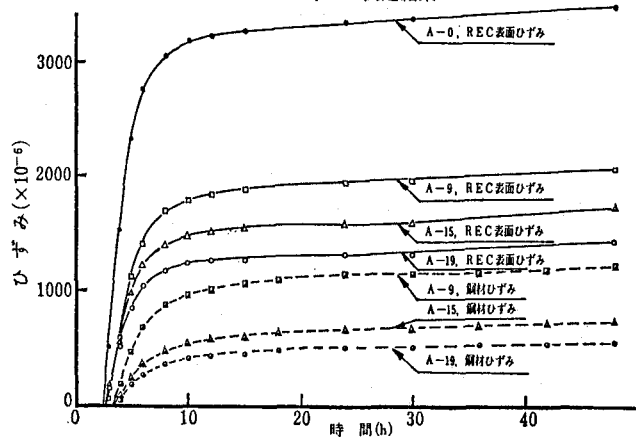


図-5 各要素の係数の経時変化

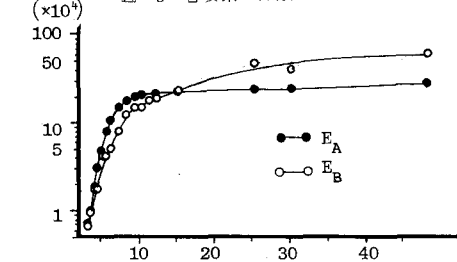


図-4 4要素モデル

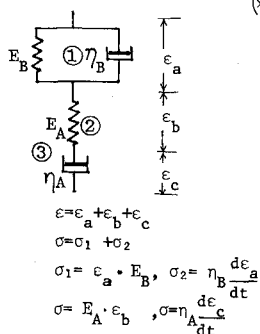


図-6 緩和時間 (τ_A)、遅延時間 (τ_B) の経時変化

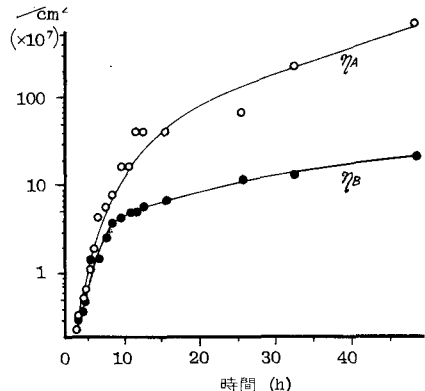
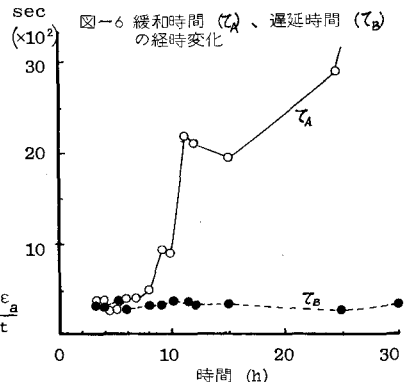


図-3 RECの変形挙動 (混合後3時間20分)

