

[61] RECの収縮性状と補強筋による拘束応力の発現

正会員 小柳 治 (岐阜大学)
 正会員 大野 定俊 (岐阜大学)
 村井 信夫 (名阪工材)
 正会員 ○林 富士男 (名阪工材)

1. まえがき

REC (レジンコンクリート) は高強度、耐摩耗性、耐食性等の性状に優れた材料で、その高引張強度を利用して、無筋レジンコンクリート曲げ部材として使用されているが、破壊の様相を緩和するため、あるいはその高圧縮強度を有効に利用するためにも、引張補強が行なわれる。しかし、結合材に不飽和ポリエステル樹脂を用いたRECでは、鋼材のような補強筋を入れることによってRECの硬化時収縮が拘束されて、RECに内部引張応力が発生し、かえって曲げひびわれ耐力が減少することが知られており、その推定方法の確立が重要課題となっている。本研究は、断面中央に補強筋を配したREC供試体により、RECの初期硬化時の収縮によって補強筋に導入されるひずみに加え、RECの収縮、更にRECの弾性係数等の特性を経時的に測定し、これらから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と共に、その算定方法の検討をこころみた。

2. 実験の概要

2-1. 使用材料と示方配合

本研究に用いたRECの使用材料を表-1に示す。またRECの示方配合を表-2に示す。なお補強材には高周波熱練社のPC鋼棒を使用した。また本研究では測定の準備時間を考慮して、RECの可使時間を80分に調整した。

2-2. 測定方法

鋼材に導入されるひずみ、REC表面部での収縮、RECの発熱を図-1の供試体Aで測定した。この供試体の種類を表-3に示す。鋼材のひずみは、鋼材表面に貼付したひずみゲージ(ゲージ長2mm)で、またRECの収縮は供試体表面に端子を埋込んで、ホイットモア-ひずみ計(検長10インチ)で測定した。更にRECの発熱は、供試体A内部に感熱部を差し込んでサーミスタ温度計で測定した。RECの収縮の分布を図-2の供試体Bで調べた。収縮分布は供試体Bの端面に埋込んだ端子間距離をマイクロメータ(測定範囲375~400mm、読取精度0.01mm)で測定した。供試体Bの種類を表-4に示す。

次に、供試体C(φ10×200mm円柱)によりRECの変形挙動を調べた。すなわち変形挙動は供試体Cの表面長さ方向に2枚のひずみゲージ(ゲージ長70mm)を貼付し、圧縮荷重を载荷した時の時間-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。载荷時以外には、同供試体により収縮-時間関係が得られた。

表-1 使用材料

樹脂	不飽和ポリエステル (日本触媒社G-103)
粗骨材	木曾川産玉砕石 (最大寸法10mm, FM=5.7)
細骨材	静岡産山砂 (細砂, FM=2.0)
充てん材	美濃赤坂産重質炭酸カルシウム(Dmean ≒40μ)
触媒	メチルエチルケトンパーオキサイド(三建化工社)
促進剤	6%ナフテン酸コバルト(神東塗料社)

表-2 示方配合 (重量百分率)

樹脂 (%)	充てん材 (%)	骨材 (%)		硬化剤(phr)	
		細骨材	粗骨材	触媒	促進剤
9.5	19	19	52.5	3.0	0.17

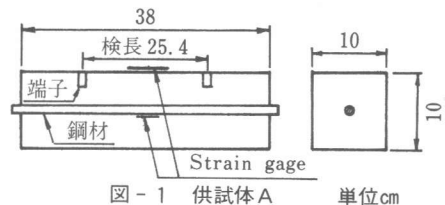


図-1 供試体A

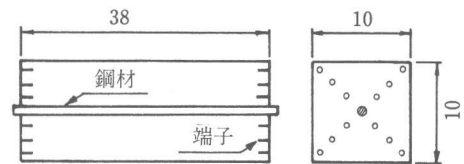


図-2 供試体B

更に、上記測定終了後（混合後48～52時間）に供試体A、供試体Bは曲げ試験を行ない曲げひびわれ耐力を測定した。また供試体Cは圧縮試験を行なった。圧縮強度は1010kg/cm²であった。

なお、本実験は20°Cの条件下で実施した。

3. 実験結果および考察

供試体A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、RECの発熱の経時変化を図

3に示す。

図3の時間はREC混合時（樹脂に硬化剤を加えた時刻）を原点とした値である（以下同じ）。

図3より、RECの温度は1時間位から上昇を始め、5～6時間で8°C上昇し、その後は緩やかに低下している。またRECの収縮は2～3時間の間で生じ始めるが、鋼材ひずみの発生はこれよりやや遅れて始まる。ひずみの増分は10時間程度までは急激であるが、24時間以上では非常に緩やかとなる。鋼材を配置した場合のREC表面ひずみは、鋼材の拘束によって鋼材比に応じて無筋の場合より小さくなっている。

供試体Cで測定したRECの変形挙動の結果の一例を図4に示す。すなわち、一定時間毎に図4Cのように一定荷重で60秒間の保持後急激に除荷を行った場合の応力（荷重）-ひずみ曲線（図4B）と、ひずみ-時間曲線（図4A）を求めた。図4Aの ϵ_1 は載荷時ひずみ、 ϵ_2 は一定応力下のクリープ、 ϵ_3 は除荷時の弾性変形、 ϵ_4 は遅延弾性変形、 ϵ_5 は残留ひずみ、 ϵ_6 はこの間の収縮ひずみである。この結果から各時間における弾性係数を求めた。図4Aの ϵ_3 から求めた弾性係数と、図4Bの除荷時のひずみから求めたものを比較すれば、図5に示すように両者の差は少なく、以後両者の平均をとることとする。

表-3 供試体Aの種類

記号	鉄筋径	n
A-0	—	3
A-9	9	3
A-11	11	3
A-15	15	3
A-19	19	3

表-4 供試体Bの種類

記号	鉄筋径	n
B-0	—	1
B-9	9	1
B-19	19	1

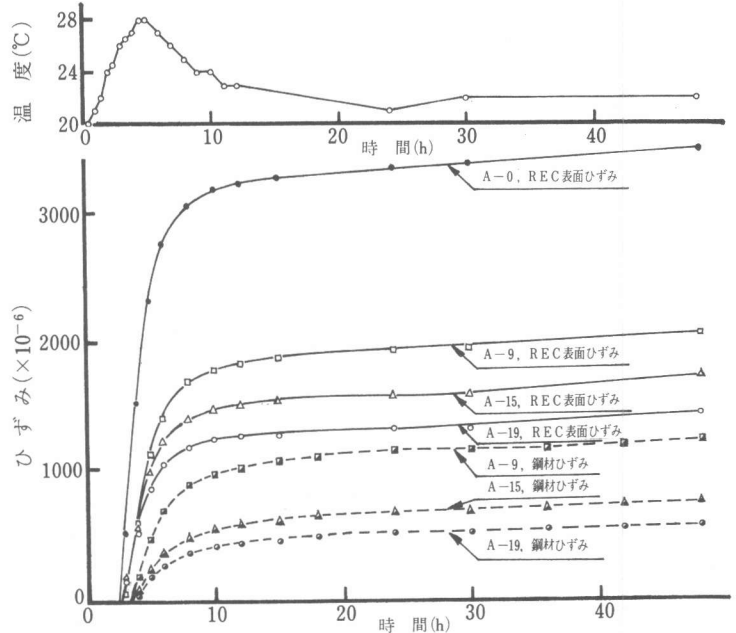


図-3 温度、ひずみの測定結果

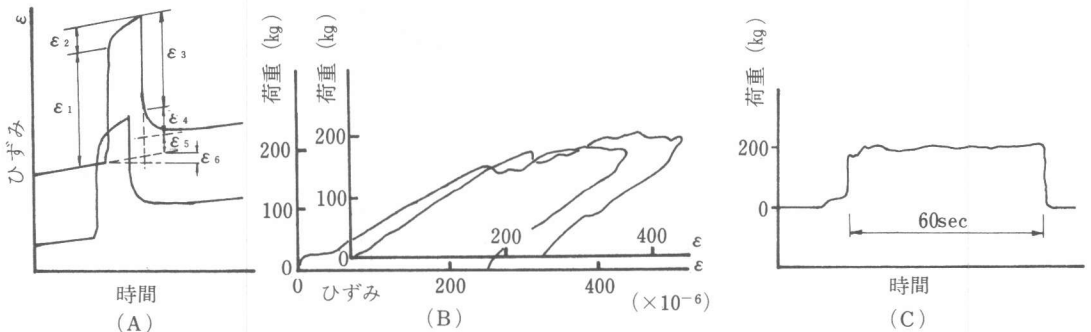


図-4 RECの変形挙動（混合後3時間10分）

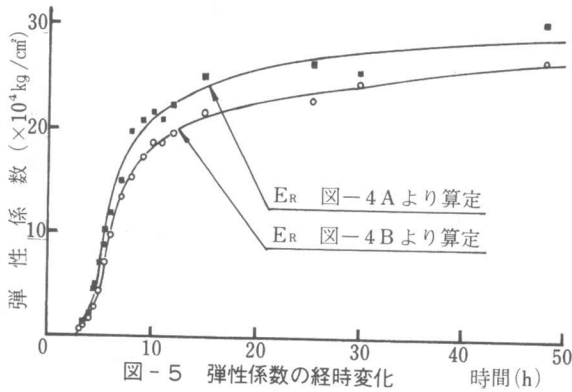


図-5 弾性係数の経時変化

マイクロメータで求めた収縮分布は、図-6に示すように、鋼材の存在により鋼材近傍では小さく、鋼材から離れるに従い大となる。その程度は鋼材量が大きくなるほど大となり、鋼材量の小さい $\phi 9$ では鋼材からある程度離れた領域になると収縮が一樣となっており、鋼材の影響域が存在することがうかがわれる。

収縮ならびに鋼材応力の初期の時間内変化を明確にするため、48時間の測定値を100とした場合の比率を弾性係数を含めて図-7に示す。これよりRECの収縮が最も早くかつ急速に始まり、鋼材ひずみがそれに続き、弾性係数の出現が時間的にも速率的にも最も遅れる。鋼材ひずみの出現は、鋼材比が大きいほど緩慢であり、また拘束応力の50%が出現するのは約6時間、80%が出現するのが約10時間である。

ここで、RECの収縮と鋼材応力の出現とを結びつけるため、 ΔT 時間(=15分)内のREC収縮の増分量 $\Delta \epsilon_R$ 、鋼材ひずみの増分量 $\Delta \epsilon_S$ と時間との関係を図-8に示す。RECと鋼材とのひずみ増分からみて、初期には $\Delta \epsilon_R$ が $\Delta \epsilon_S$ よりはるかに大である

が、10~20hにおいては増分は小さいとは言え、逆に $\Delta \epsilon_R$ が $\Delta \epsilon_S$ より小となり、RECの収縮と鋼材応力の出現の間に時間遅れがあり、拘束応力にはRECの遅延弾性の効果も存在することがうかがわれる。

ここで、 $t = t_i$ より
 $t = t_i + \Delta t$ の
 Δt 時間内にRECに

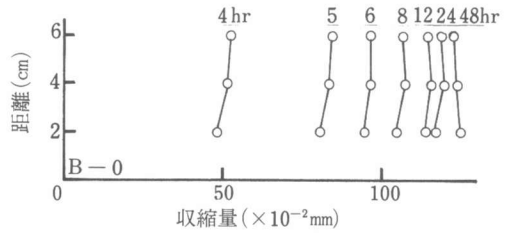
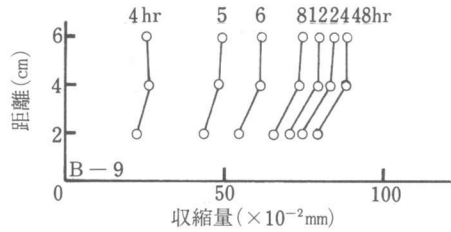
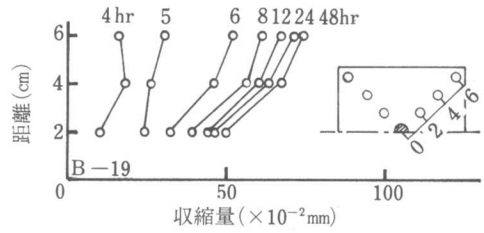


図-6 収縮分布

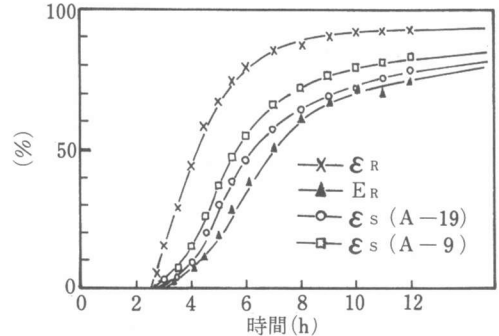


図-7 発現率の経時変化

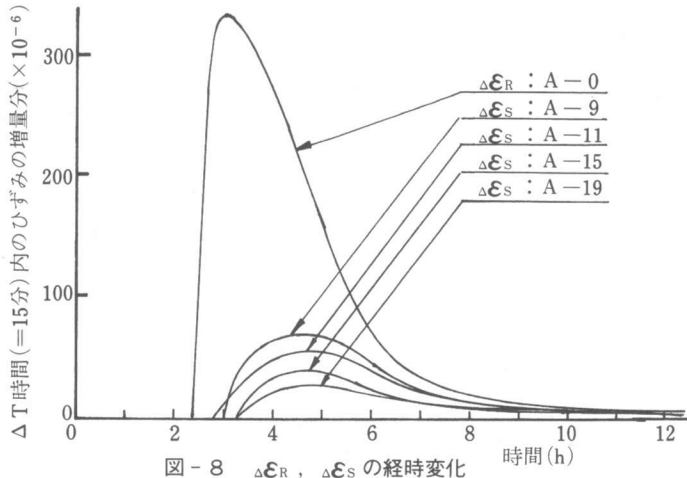


図-8 $\Delta \epsilon_R$ 、 $\Delta \epsilon_S$ の経時変化

生ずる収縮ひずみ $\Delta \epsilon_R$ は、一部は鋼材の拘束応力の増大に寄与し（鋼材ひずみの増分を $\Delta \epsilon_S$ ）、他はフローやクリープで $\Delta \epsilon_S$ には寄与しない。この寄与率を α_1 とし図-9の記号を用いる時、弾性拘束を仮定すれば、鋼材に導入される圧縮力の増分（ $\Delta \epsilon_S \cdot A_S E_S$ ）と REC に導入される引張力の増分（ $\Delta \epsilon_1 \cdot A_R E_R$ ）とは等しくなる。 $\Delta \epsilon_1 = (\alpha_1 \Delta \epsilon_R - \Delta \epsilon_S)$ の関係から

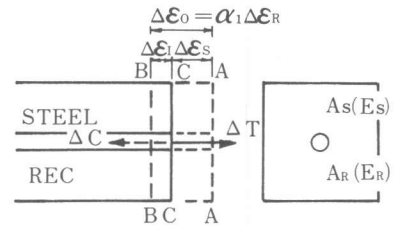


図-9 収縮モデルと記号

$\alpha_1 = (1 + A_S E_S / A_R E_R) \cdot \alpha_2$, $\alpha_2 = (\Delta \epsilon_S / \Delta \epsilon_R)$ (1)
 実測データをもとに α_1 , α_2 を求めて図-10に示す。

RECの収縮は初期には全く鉄筋の拘束に影響しないが、弾性係数が測定可能となる時点から鋼材ひずみへの寄与率が大きくなり、 α が1となるのは10~12時間である。この寄与率の増加は、鉄筋径が大きくなるほど時間的な遅れを示し同一時刻での寄与率は小さい。

材令48時間における測定値をもとにして、鋼材に生じた拘束応力 σ_s 、拘束力 P_s 、平均付着応力 $\tau = P_s / (\pi \phi \ell / 2)$ 、鋼材ひずみと REC のひずみ比 $\gamma = \epsilon_s / \epsilon_R$ 、(1)式と同様の算定を増分ではなく最終値を用いた拘束応力に寄与するみかけのひずみの全ひずみに対する比 $\beta = \epsilon_T / \epsilon_R$ 、REC に導入された平均引張応力 $\sigma_p = E_R (\epsilon_T - \epsilon_S)$ 、曲げ強度 σ_b とその無筋の REC の曲げ強度に対する比 σ_b / σ_{REC} を併せて表-5に示す。

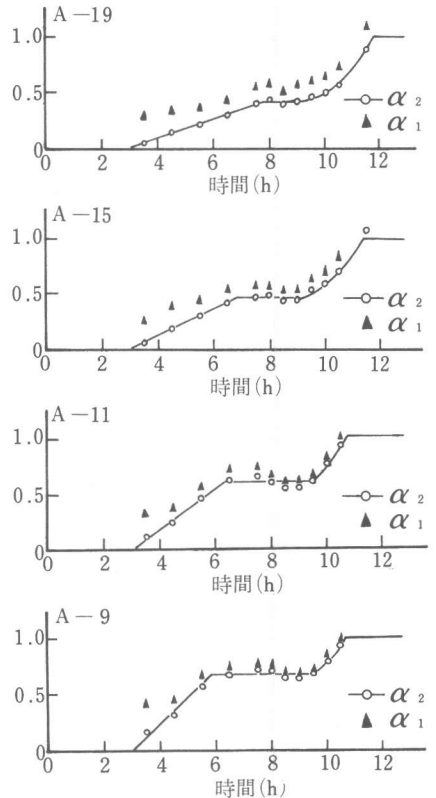


図-10 α_1, α_2 の経時変化

ここで、 $\epsilon_T = \beta \epsilon_R = (1 + A_S E_S / A_R E_R) \cdot \epsilon_S$ (2)

最終値をもとにすれば、鋼材に生ずる応力は鋼材比の増加につれて低下するが、平均付着応力は鋼材径に拘らずほぼ一定であり、導入された拘束力は鋼材径にほぼ比例して増加する。一方 β と γ とは共に REC の全ひずみ中の鋼材の拘束に関する量であるが約 0.1 から 0.4 の間で一定ではなく、鋼材量の増大につれて低下する。鋼材比の増大により REC の曲げ強度は低下するが両者の関係は必ずしも線形ではなく σ_p に加えてかぶりと関係する。

以上のことより、RECの収縮の中で補強材の拘束応力に寄与する割合は補強材量（＝剛性）によって変化すること、補強材に導入される拘束力は鋼材量にはほぼ比例するが、その曲げ強度低下に及ぼす影響はかぶりの影響を含むため必ずしも拘束力と線形関係にはないと考えられる。

従って、補強材の配置により REC に生ずる内部拘束応力の算定には、REC の収縮ひずみの発現と鋼材に導入された応力の発現との間で見られた時間遅れ、寄与率 α の変化が一定でないことなどの REC の粘弾性の効果および REC に存在する補強材の影響域の評価を考慮に入れる必要があるとの結論が得られた。

表-5 計算結果の比較(材令48時間の測定値より)

鋼材径	p (%)	σ_s (kg/cm^2)	P_s (kg)	τ (kg/cm^2)	γ (ϵ_s/ϵ_R)	β (ϵ_T/ϵ_R)	σ_p (kg/cm^2)	σ_b (kg/cm^2)	σ_b/σ_{REC}	
9	(1)	0.66	2300	1472	27.3	0.33	0.34	14.8	197	0.87
	(2)	0.66	2576	1649	30.7	0.37	0.38	16.6	220	0.97
11	(1)	0.96	2030	1929	38.6	0.29	0.31	19.5	231	1.02
	(2)	0.96	2010	1910	29.2	0.29	0.31	19.3	219	0.97
15	(1)	1.80	1318	2323	26.1	0.19	0.21	23.7	209	0.92
	(2)	1.80	1518	2687	30.0	0.22	0.24	27.3	210	0.93
19	(1)	2.92	1236	3510	31.0	0.18	0.21	36.1	174	0.77
	(2)	2.92	968	2749	24.3	0.14	0.17	28.3	189	0.84