

1. まえがき

高分子材料も、土木材料として用いようとする研究は、石油エネルギー資源の節約という観点から、多少消極的傾向にある。しかし、耐久材としての、これら材料は、エネルギーとしての石油消費量に比較して、使用量が少なく、適所に使用した場合の利用価値は高い。また、レジンコンクリートは、諸特性の温度依存性が高いが、温度20℃～30℃では、強度特性、変形特性ともに安定した結果が得られている。このような視点から、本研究では、不飽和ポリエステルを用いたレジンコンクリートを、土木材料として使用する場合の問題点の一つである硬化収縮による残留応力、および収縮ひび割れ発生について、基礎的実験ならびに考察を行なった。

2. 基礎理論

レジンコンクリートの硬化が進行するにつれて、収縮ひずみおよび弾性係数は増加する。そのため、内部に鉄筋を有するレジンコンクリートには、残留応力が生じる。今、硬化剤混入時からの時間 t における硬化収縮ひずみを $\varepsilon_c(t)$ 、弾性係数を $E_c(t)$ とする。このとき、図-1に示すような、上下面完全拘束供試体の、微小時間 dt に生じる残留応力 $\Delta\sigma_c(t)$ は、式-①のように表わされる。

$$\Delta\sigma_c(t)/\Delta\varepsilon_c(t) = E_c(t) \quad \therefore \Delta\sigma_c(t) = \Delta\varepsilon_c(t) \cdot E_c(t) \quad \therefore \Delta\sigma_c(t)/dt = \{d\varepsilon_c(t)/dt\} \cdot E_c(t)$$

$$\text{よって, } \frac{d\sigma_c(t)}{dt} = \frac{d\varepsilon_c(t)}{dt} \cdot E_c(t) \quad \therefore \sigma_c(t) = \int_a^t \frac{d\varepsilon_c(t)}{dt} \cdot E_c(t) dt \quad \text{----- ①}$$

さて、図-2に示す鉄筋コンクリートが ε_1 なる硬化収縮ひずみを生じた時の鉄筋ひずみを ε_2 、コンクリートひずみを ε_1 とすると、式②の関係が得られる。式②を参照して、式①と同様に $\sigma_c(t)$ の誘導を行なうと、式③のようにならぬ。

$$\sigma_c = \frac{E_c E_s A_s \varepsilon}{E_s A_s + E_c A_c} \quad \text{----- ②} \quad \sigma_c(t) = \int_a^t \frac{E_c(t) E_s A_s \{d\varepsilon_c(t)/dt\}}{E_s A_s + E_c(t) A_c} dt \quad \text{---- ③}$$

式①③に、クリープひずみによる応力減少を考慮すると、残留応力 $\sigma_c(t)$ は、それぞれ、式⑥⑦のようにならぬ。クリープによる応力損失の算定に当っては、 dt 時間に生じる硬化収縮応力 $\Delta\sigma_c(t)$ を、式④の形で表わし、Taylor 展開して得られた2次以降の項を省略して、式⑤の形で用いた。

$$\Delta\sigma_c(t) = \sigma_c(t+dt) - \sigma_c(t) \quad \text{---- ④} \quad \therefore \Delta\sigma_c(t) = dt \{d\sigma_c(t)/dt\} \quad \text{---- ⑤}$$

$$\sigma_c(t) = \int_a^t \left\{ \frac{d\varepsilon_c(\xi)}{d\xi} \cdot E_c(\xi) \right\} e^{-\varphi_{t-\xi}} d\xi \quad \text{----- ⑥}$$

$$\sigma_c(t) = \int_a^t \frac{E_s A_s E_c(\xi) \{d\varepsilon_c(\xi)/d\xi\}}{E_s A_s + E_c(\xi) A_c} e^{-\frac{E_s A_s}{E_s A_s + E_c(\xi) A_c} \varphi_{t-\xi}} d\xi \quad \text{---- ⑦}$$

ただし、 t, ξ : 硬化剤混入からの任意時間、 A : 硬化剤混入から収縮ひずみが測定されるまでの時間、 $\varphi_{t-\xi}$: $\Delta\sigma_c(\xi)$ に対して、硬化剤混入後時間 $(t > \xi)$ までに生じるクリープ係数 (Davis Granvill の仮定は用いぬが、Whitney の仮定は用いない)、 A_c, A_s : コンクリートおよび鉄筋断面積、 E_s : 鉄筋弾性係数

3. 実験方法

硬化収縮応力を測定するため、ワイヤーストレインゲージを鉄筋中央に貼付し、同鉄筋を10×10cm 矩形断面レジンコンクリート供試体図心に配置した。コンクリ

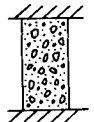


図-1

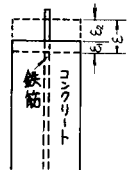


図-2

表-1 供試体の種類

鉄筋断面積	本数	種類	供試体長
3.45cm ²	1	丸鋼	110cm
2.68	1	〃	110
1.09	1	〃	110
1.09	2	〃	110
1.09	4	〃	110
1.09	1	〃	90
1.09	1	〃	70
1.09	1	〃	50
1.09	1	〃	30
2.37cm ²	1	異形	110cm
1.72	1	〃	110
1.01	1	〃	110
1.01	2	〃	110
1.01	4	〃	110
1.01	1	〃	90
1.01	1	〃	70
1.01	1	〃	50
1.01	1	〃	30

ートの配合は、レジン量10%、添加剤配合比100:6:0.5:0.7
 $a/a=36\%$ とした。使用供試体の種類は、表-1に示
 す18種類とし、それぞれ3本づつ計54本を作製した。
 レジンコンクリートの無拘束時の硬化収縮ひずみは、モー
 ルドヤージ(東京測器社製:KM-100)を、 $\phi 15 \times 30$ cm
 円柱供試体中央に埋設し測定した。また、強度および弾性
 係数の経時変化については、打設後2, 3, 6, 12, 24,
 48, 72時間での圧縮試験から求めた。

4. 実験結果および考察

レジンコンクリートの無拘束時の硬化収縮ひずみと、弾性係数
 の経時変化およびクリープ係数が判れば、式⑥⑦を用いて、
 硬化収縮応力を計算することができぬ。平均温度21°Cにおいて、
 実験より得られた硬化収縮ひずみを式⑧、弾性係数値を式⑨、
 クリープ係数値を式⑩に示す。

$$E_c(t) = (t - 0.58) \times 10^{-6} / (0.00016 + 0.00027(t - 0.58)) \text{ --- ⑧}$$

$$E_c(t) = (t - 1.5) \times 10^4 / (0.328 + 0.0362(t - 1.5)) \text{ --- ⑨}$$

$$\varphi_t = t / (1.090 + 1.0468 t) \text{ --- ⑩}$$

ただし、式⑩は、 $\phi 10 \times 20$ cm円柱供試体に、枕金1日で圧縮応
 力200 kg/cm²を載荷した場合のクリープ係数である。

以上の計算結果と、実験ひずみより算出した値とを、図-3, 4
 に示す。また、同一鉄筋比で、供試体長さが変化した場合の測定値
 を、図-5, 6に示す。各供試体3本の変動係数は3~5%であっ
 た。図-3, 4より、レジンコンクリートの鉄筋比が増大しても
 はりには理論的にはひび割れは生じない。また、実験結果から、丸
 鋼、異形鋼ともに鉄筋比約3%以上のコンクリート残留応力は
 25 kg/cm²程度で停まっていぬ。その原因として、鉄筋比3%以上で
 は、打設後6時間までに生じぬ応力は、レジンコンクリート引張強
 度の70%以上にも達しており、鉄筋周辺のコンクリートに大きな
 塑性変形が生じたと考えられぬ。このことは、図-5, 6の結果で
 供試体長さが長くなるとにもかかわらず、残留応力が減少していぬこ
 とからも推察されぬ。このとき、鉄筋とコンクリートとの間の平均
 セン断応力は7 kg/cm²程度である。付着応力については、 $\phi 5 \times 5$ cm
 円柱供試体にPC3本より線を用いて引抜試験を行なった結果、平
 均付着強度162 kg/cm²が得られた。しかし、一方、7本よりPC鋼線を用いたPCおよびRCはり(幅10cm, 高さ
 20cm, 長さ10cm)では、6本中3本が付着破壊を生じ、このときの平均付着強度は52 kg/cm²であった。

5 まとめ

レジンコンクリートの硬化収縮に伴う残留応力は、鉄筋比が3%以上にならなればほぼ一定値とならぬ。このとき
 の平均せん断応力は、7 kg/cm²前後である。補強されたレジンコンクリートの付着強度は、供試体形状、寸法に
 よって異なり、引抜試験結果によって得られた値を用いぬことはできない。

最後に、本研究を行なうに当り御助言を賜りました九州産大等慶治教授、宮川邦彦助教授に深謝致します。

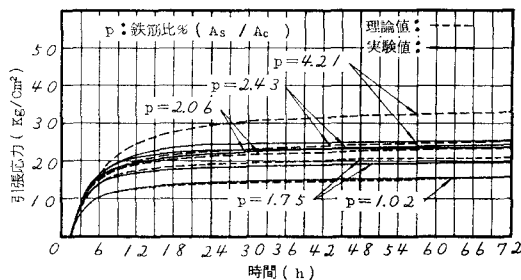


図-3 異形鉄筋使用：供試体長さと残留応力

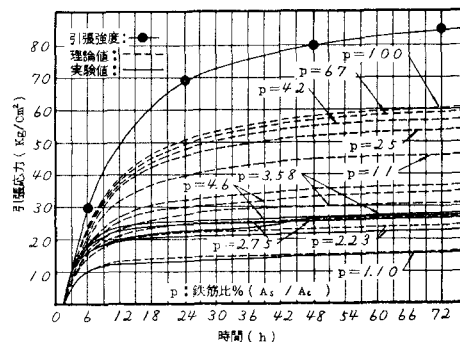


図-4 丸鋼使用：供試体長さと残留応力

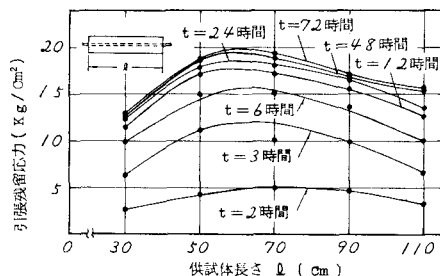


図-5 異形鉄筋使用：供試体長さと残留応力

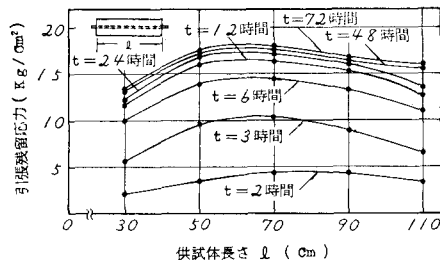


図-6 丸鋼使用：供試体長さと残留応力