

九州産業大学 正員 山崎 竹博

1. まえがき

近年、コンクリートの高強度化ならびに軽量化が進められる中で、これら相反する性質を同時に満足させ得る材料として、高分子材料が注目されつつある。高分子材料は、その殆んどが嫌水性であることから、一般的な施工方法が確立されておらず、特に練り混ぜ方法については困難を極めている。反面、防水性や耐薬品性に優れており、酸性地盤や火山地域、構造用材料として、また、酸性工業廃液の貯水プールなどに使用される場合、その耐久性はセメントコンクリートに比べ、はるかに優れている。本研究では、不飽和ポリエステル樹脂を使ったレジンコンクリートを構造用部材として用いた場合の基礎資料を得るため、付着特性ならびに硬化収縮特性を対象に実験検討を行ない、RCおよびPC構造物への適用について考察を加えた。

2. 実験概要

レジンコンクリートは硬化初期に大きな収縮ひずみを生じ、これによってコンクリートと鉄筋の機械的付着力は増大する。しかし、初期の付着力が増大すれば、コンクリートは硬化収縮によるひび割れを生じることになる。そこで、不飽和ポリエステル樹脂のみの硬化収縮に伴う体積収縮率を求めた。測定方法として、硬化前と硬化後のレジンペーストの比重を測定し、これより体積収縮率および硬化収縮ひずみを算出した。レジンペーストの収縮ひずみが判れば、レジンコンクリートの硬化収縮ひずみはペースト量の容積配合比から計算される。これらの値を確認するため、レジンコンクリート供試体中に、モールドゲージ(東京測器社製: KM-100)を埋め込み、その測定結果と比較した。付着強度の測定は、レジンモルタルに3本よりPC鋼線を埋め込んだ $\phi 5 \times 5 \text{ cm}$ の供試体を用い、引抜き試験を行なった。次に、図-1に示す $10 \times 10 \text{ cm}$ 断面、長さ70cmの供試体図心に直径13mm, 22mmの丸鋼、および、直径13mm, 19mmの異形鋼を埋め込んだ両引き供試体により、両引き試験を行なった。この場合、供試体中央部の鉄筋およびコンクリートのひずみはストレインゲージで、供試体の全鉄筋変位はダイヤルゲージで測定した。また、両引き供試体の付着強度を求めめるため、鉄筋に貼付したストレインゲージによって、硬化収縮ひずみを測定した。これら供試体のレジンコンクリートおよびモルタル配合を表-1(a)(b)に示す。使用材料の絶乾比重は粗骨材2.98, 細骨材2.55, 炭カル2.69であった。

3. 実験結果および考察

表-2に、レジンコンクリートの硬化収縮ひずみの測定結果を示す。同表から明らかなように、比重から測定した硬化収縮ひずみは、モールドゲージによる測定値と 2000×10^{-6} 程度の差がある。これは、レジンコンクリートの硬化収縮が、硬化初期の流動状態の段階から始まっていることを示している。すなわち、その差がモールドゲージによって測定されない未硬化時の収縮ひずみと考えられる。引抜き試験結果については、引抜き端のすべり始め荷重および自由端すべり量0.1, 0.25mm時の荷重 $P_{0.1}$, $P_{0.25}$ から付着強度を求めた。その結果を表-3に示す。両引き試験については、供試体中央の鉄筋およびコンクリートひずみ ε_s , ε_c と、ダイヤルゲージによる測定値を供試体長さで除した平均ひずみ $\bar{\varepsilon}$ から考察を行なった。測定結果を、図-2に示している。これらの結果では、供試体中央部のひずみに対して、ダイヤルゲージによる平均ひずみは、

表-1-(a) 1 m^3 の配合			
	ペースト kg	粗骨材 kg	細骨材 kg
レジンコンクリート	241	1261	609
レジンモルタル	396	—	1190

表-1-(b) ペースト配合表			
割合	ポリエステル	ステレン	硬化触媒
100	6	0.5	0.7

表-2 硬化収縮量の測定結果			
	1	2	平均
硬化前の比重	1.10	1.11	1.11
硬化後の比重	1.22	1.23	1.23
体積収縮率	0.08		
収縮ひずみ	0.027		
コンクリート体積収縮率	0.017		
コンクリート収縮ひずみ	5870×10^{-6}		
モールドゲージ測定値	3840×10^{-6}		

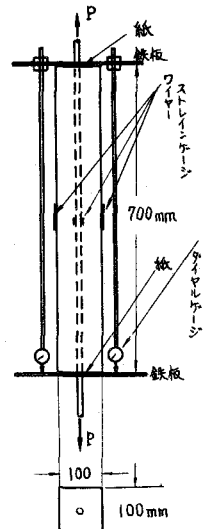


図-1 両引き供試体

2~3倍となり、部材端で応力の伝達が完全でない可能性が生じる。そこで、両引き試験結果より付着強度を求めた場合、供試体中のせん断応力分布をsin関数として計算を行なった。付着強度は、各荷重段階における最大せん断応力の内、最大のものを示す。任意点のせん断応力 τ_s を式①によって仮定する。

$$\tau_s = \tau_{\max} \sin\left(\frac{2\pi x}{l}\right) \text{----①}$$

コンクリート力 C_x^* は次のようになる。*印は理論値を示す。

$$C_x^* = \int_0^x \tau_s U ds = \int_0^x \tau_{\max} \sin\left(\frac{2\pi s}{l}\right) ds \text{----②}$$

式②より、鉄筋のひずみは式③を求められ、全体の伸びは、

$$\epsilon_s = \frac{(P - C_x^*)}{A_s E_s} \text{----③}$$

$$\Delta l^* = 2 \int_0^{l/2} \epsilon_s^* dx = 2 \int_0^{l/2} \frac{1}{A_s E_s} \left\{ P - \frac{U \tau_{\max}}{2\pi} (1 - \cos \frac{2\pi x}{l}) \right\} dx$$

$$= \frac{l}{A_s E_s} \left(P - \frac{U \tau_{\max}}{2\pi} \right) \text{----④}$$

さて $\tau_{\max} = (C_x^*/A_c)_{x=l/2}$ ----⑤ であるから、 $\tau_{\max}$ は式⑤で表わされる。

$$\tau_{\max} = \frac{\pi \cdot A_c \cdot \tau_{c\max}}{U \cdot l} \text{----⑤} \quad \therefore \Delta l^* = \frac{l}{A_s E_s} \left(P - \frac{A_c \tau_{c\max}}{2} \right) \text{----⑥}$$

$\tau_{c\max}$ は、供試体中央のひずみ測定値より求められるので、式⑥より $\epsilon^* = \Delta l^*/l$ として平均ひずみは算定される。理論値と実験値とを比較すると、各荷重段階での値は表-4のようになり、実験値と大きく異なる。特に異形鋼の場合にその差は顕著である。すなわち、初期の荷重に対しせん断応力分布はsin関数では表わせず、レジコンクリートの付着応力分布が、硬化初期の収縮ひずみによって極度に乱されることのないことを示している。よって、次に付着応力分布をn次の多項式を表わすことにする。ここで、次数nは実験値より算定され、荷重の大きさによって逐次変化する。 τ_s を式⑦のように仮定する。

$$\tau_s = m \left(\frac{x}{l} - \frac{1}{2} \right)^n = \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{1/n} \tau_{\max} \left(\frac{x}{l} - \frac{1}{2} \right)^n \text{----⑦}$$

$$\epsilon_s^* = \frac{1}{A_s E_s} \left\{ P - \int_0^x \tau_s U ds \right\} \text{----⑧}$$

$$\Delta l^* = 2 \int_0^{l/2} \epsilon_s^* dx = 2 \int_0^{l/2} \frac{1}{A_s E_s} \left\{ P + \frac{U \tau_{\max}}{n+1} \left(\frac{x}{l} - \frac{1}{2} \right)^{n+1} - \left(\frac{x}{l} \right)^{n+1} \right\} dx$$

$$= \frac{l}{A_s E_s} \left\{ P l - \frac{U \tau_{\max}^2}{2(n+2)} \right\} \text{----⑨}$$

式⑨より平均ひずみは式⑩のように求められる。

$$\epsilon^* = \frac{\Delta l^*}{l} = \frac{1}{A_c (n+1)} U \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{1/n} \tau_{\max} \left\{ \left(\frac{x}{l} \right)^{n+1} - \left(\frac{x}{l} \right)^{n+1} \right\}$$

であるので、 $\tau_{c\max} = \frac{l \cdot U \cdot \tau_{\max}}{2(n+1) A_c}$ ----⑪ となる。式⑪より $\tau_{\max}$ は式⑫のように表わされる。

$$\tau_{\max} = \frac{2(n+1) A_c \tau_{c\max}}{l \cdot U} \text{----⑫}$$

式⑫を式⑨⑩に代入すると次数nは式⑬で求められる。nが求められれば、 $\tau_{\max}$ は式⑫で計算され、付着応力分布

$$n = \frac{P}{A_s E_s} (\epsilon^* - \epsilon_s^*) - \frac{2 \epsilon^* - \epsilon_s^*}{\epsilon^* - \epsilon_s^*} \text{----⑬}$$

は式⑦で求められる。各荷重段階について行なったせん断応力分布の計算結果の一例を図-3に示す。図-3で、上側に付着応力分布、下側にコンクリート応力分布を示す。付着強度は、 $\tau_{\max}$ の最大値にその供試体の硬化収縮によって生じたせん断応力を加えなければならない。これらの計算から得られた付着強度を表-5に示す。表-5の硬化収縮によるせん断応力は、実測硬化収縮力より求めた平均せん断応力である。

4. まとめ レジコンクリートを構造用部材として用いる場合、最も心配されるのが硬化収縮に伴う諸特性の劣化であるが、鉄筋比4%程度の供試体に於ける付着性状には、大きな影響はないようである。付着強度値としては、丸鋼が平均50 kg/cm²、異形鋼を124 kg/cm²が得られた。

表-3 引抜き試験結果

No.	P ₀ Kg	P _{0.1} Kg	P _{0.25} Kg	U l ₀ cm ²	$\tau_{0.1}$ Kg/cm ²	$\tau_{0.25}$ Kg/cm ²
1	1100	1700	1850	14.5	118	123
2	1100	1520	1630	14.2	107	115
3	1500	1920	2120	14.2	135	149
平均	1233	1713	1867		120	131

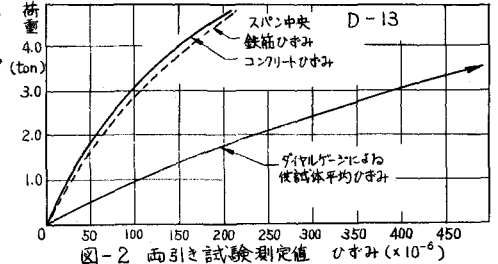


図-2 両引き試験測定値 ひずみ (x 10⁻²)

表-4

	ϵ^*/ϵ
φ-13	1.98 ~ 1.48
D-13	3.26 ~ 1.83
φ-22	1.67 ~ 1.41
D-19	3.47 ~ 1.60

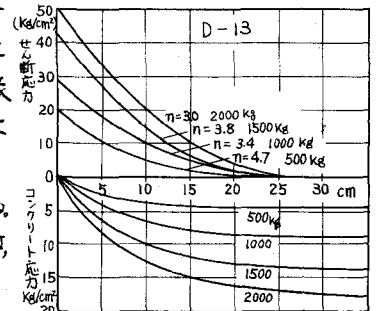


図-3 付着応力分布

表-5 付着強度

		荷重によるせん断応力	硬化収縮によるせん断応力	付着強度
φ-13	1			
	2	29	15	44
	3	42	14	56
D-13	1	58	14	72
	2	97	15	112
	3	77	16	93
φ-22	1	40	11	51
	2	52	10	62
	3	37	11	48
D-19	1	150	13	163
	2	166	14	180
	3	112	14	126