

V-227 レジンコンクリートの補強について

秋田大学 正 負 の 川 上 洵
秋田大学 正 負 徳 田 弘

1. まえがき

セメントコンクリートの欠陥を補う材料としてレジンコンクリートモルタルの使用量は、年々増加しているがさらに構造部材への適用を考えると、その材料特性やその補強材料の選択等、不明な点が未だ多くある。本報告は、レジンコンクリートの補強に関する研究であり、特に、レジンコンクリートの硬化収縮率が大きいことから構造部材として不適とされていたが、その硬化収縮率の測定を行ない、収縮応力に対する収縮率の許容限界を中心に補強に関して定め、さらに、熱膨張係数の測定結果をもとに補強材料の検討、考察を行ったものである。

2. 自由収縮率

レジンモルタルに用いた樹脂は、オルソフタル酸系の不飽和ポリエステル樹脂であり、その化学成分は不飽和ポリエステル樹脂 76.9%、エポキシ樹脂 18.5%と大部分を占め、その他に触媒としてメチルエチルケトンパーオキサイド、促進剤としてナフテン酸コバルト等から成っている。またその比重は 1.12、ゲル化時間 30分/20℃モノマー量 37%、熱変形温度 70℃、粘度 1000 cps である。自由収縮率の測定には、上記の樹脂と比較のため硬化時の収縮が極めて小さいか、やや膨張するような膨張剤としてポリスチレンを含有し触媒としてベンゾイルパーオキサイドを用いた無収縮タイプの樹脂も使用した。レジンモルタルに充填材を混入する場合、重質炭酸カルシウム粉を使用し、また、骨材は豊浦産標準砂である。配合は、骨材と樹脂の重量比が 3, 4, 5 の 3 種として充填材を使用するときは、樹脂と同重量とし、骨材と樹脂の重量比は同じとした。供試体の作製は、セメントモルタル用三連型わく (JIS R 5201) を用い、供試体に成るべく拘束を与えず脱型を容易にする目的から型わく内面に薄い (0.15mm 厚) セルロイド板を貼り、このセルロイド板に離型剤を塗布しモルタルを打設した。自由収縮率の測定には、コンタクト型ゲージを用いチップの埋め込みは、モルタル打設後 20~50 分であり、その茎長は 5mm 10mm で、その測定精度は、0.001mm である。図-1 は、硬化収縮と材令の関係を示したものであり、収縮率は、2 時間までほぼ一定の増加率で伸び、その後、緩やかに増加し 4~5 時間でほぼ大半が終了すると考えられる。その収縮率の絶対値は、樹脂量の多い富配合のもの程大きく、セメントモルタルの収縮率と比較すると 2 倍以上に達するものもある。一方、無収縮タイプの樹脂を用いたモルタルの硬化収縮-材令の関係を図-2 に示す。充填材を用いないとき、収縮率は、富配合のもので材令 1 時間前後までは、一旦収縮しその後、膨張の傾向を示し、2~3 時間でピークに達した後、徐々に収縮して一定に達するものと、貧配合の場合、最初から低収縮で一定値に達して終了するものがある。これに対し充填材を用いると、富配合では、1 時間前後で膨張量がピークを示し、その後収縮の傾向を示しつゝ一定値に落ちつく。図-1 と比較すると供試体の長さ変化の傾向が異なり、結果として、体積変化があっても小さいから構造部材として有利であると考えられる。

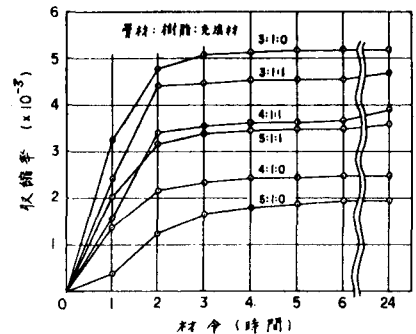


図-1 レジンモルタルの自由収縮

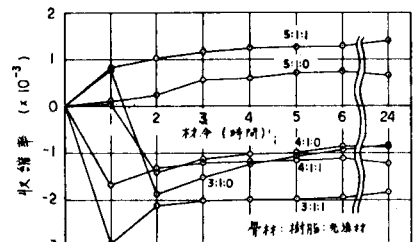


図-2 無収縮タイプレジンモルタルの自由収縮

3. 部材中心補強時の収縮応力

図-3 のように断面の図心に補強材を配置した場合に (a) の変形前後ともに横断面が平面であると仮定するとコンクリートの収縮による補強材およびコンクリート部材に生ずる応力は、それぞれ $\sigma_{s0} = \varepsilon E_s / (1 + \rho_g)$, $\sigma_{r0} = -\rho_g \sigma_{s0}$ である。ここで ε : 自由収縮率, E_s : 補強材の弾性係数, ρ_g : 両部材の弾性係数比, ρ_g : 鉄筋比である。しかし実際には (b) のように変形後には、横断面は平面を保持しない。そこで部材長中心からの距離 x におけるコンクリートおよび補強材の平均変形の差 Δx を、付着応力 σ とおくと収縮応力は釣合式 $\sigma_r A_r + \sigma_s A_s = 0$, 補強材と付着応力の関係 $\frac{d\sigma_s}{dx} = \frac{\sigma}{A_s}$ (σ : 補強材の周長), そして、すべり量と付着強度の関係 $\sigma = \tau l$ (τ : 実験より決まる定数, l : 鉄筋の長さ) より τ に関する微分方程式 $\frac{d^2 \sigma}{dx^2} - \alpha^2 \sigma = 0$ ($\alpha = \sqrt{\frac{\tau l (1 + \rho_g)}{\rho_g A_s E_s}}$, 付着係数) を得る。この解より $\sigma_s = \frac{\varepsilon E_s}{1 + \rho_g} \left(1 - \frac{\cosh \alpha x}{\cosh \alpha X} \right)$, $\sigma_r = -\rho_g \sigma_s$ と決定される。ここで X : 部材長中心から部材端までの距離を示す。一方、実験により α を決める目的から、先ず、 $15 \times 15 \times 30 \text{ cm}$ の供試体の断面軸方向に SD 30, D16 の補強筋を1本配置し両引き試験を行いそのすべり量と付着応力の関係より $\tau = 7 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kg}$ という結果を得た。これより横断面が変形する場合の収縮応力を求め横断面不变の場合のそれを比較したものが図-4である。これより $\sigma_s/\sigma_{s0} = 1$ が横断面不变の場合であるから σ_s/σ_{s0} が過大の収縮応力であり最大応力度との比に於いても 20% 以上の差があることがわかる。一方、図-5は横断面不变の場合について鉄筋比と鉄筋およびコンクリートに生ずる収縮応力を各収縮率に関して示したものである。図-4 を合せて考えると、鉄筋は、せいぜい、収縮率が $1,000 \times 10^{-6}$ 前後でなければ使用に耐えられないし、また、コンクリートも鉄筋比 15% 以下かつ収縮率 $2,000 \times 10^{-6}$ 以下でなければ、ひびわれを生ずることが予測される。従ってレジンコンクリートの部材中心補強に関しては、無収縮タイプの樹脂を使用したとき、膨張ならば、各部材の応力の符号が逆になり、その鉄筋比も 15% 以下であれば、補強が満足なものになろうと考えられる。

4. 熱膨張係数と温度応力

レジンコンクリートを補強する場合やセメントコンクリートとレジンコンクリートの合成構造とする場合において、温度変化に対し内部応力が生じるかを判断するために、その熱膨張係数を明らかにしておく必要がある。実験は、レジンモルタルの供試体 $10 \times 20 \text{ cm}$ の中心軸方向にカーボン型ひずみ計を埋め、材令7日に対して測定した。その温度範囲は、15~50℃である。その結果、レジンモルタルの熱膨張係数は、30~35 $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であり、セメントモルタルや鉄筋のそれが 10~15 $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であるから 2,3 倍、グラスファイバーロッドのそれは、5~8 $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であるから 4~7 倍である。一方、弾性係数は、レジンモルタルが、 $1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 前後であり、セメントコンクリートの約 $\frac{1}{2}$, 鉄筋の $\frac{1}{10}$, グラスファイバーロッドの $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ であるから、温度応力の観点からセメントコンクリートとの合成構造やグラスファイバーロッドによる補強は、実用上問題はないが、鉄筋による補強は、不適当のように思われる。最後に、実験に当り御協力を得たジョイント建設KKに謝意をここに表す。

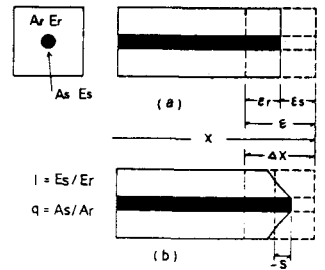


図-3 補強材図心と断面図心が一致する場合の収縮

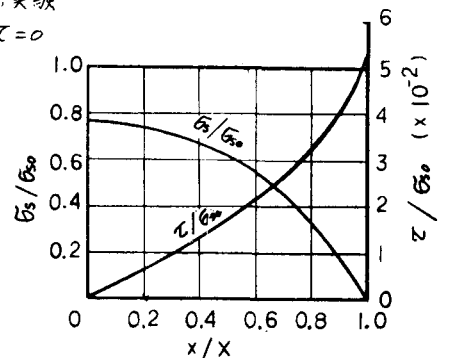


図-4 収縮応力度比

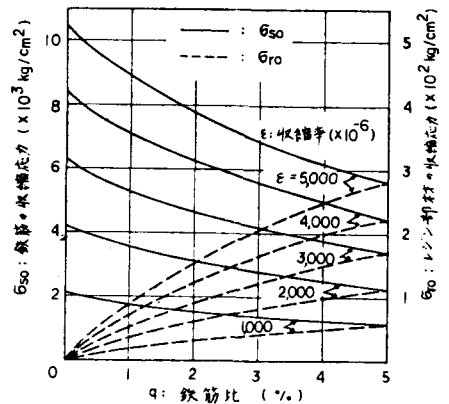


図-5 鉄筋比と鉄筋およびレジン部材の収縮応力