

レジンコンクリートとセメントコンクリートの合成構造における収縮応力

秋田大学 正員 川 上 洵

〃 正員 徳 田 弘

〃 学員 佐々木 泰彦

1. まえがき レジンコンクリートはその硬化収縮が大きいことや高価であること等から、構造部材として使用することは困難とされていた。しかし、セメントコンクリートの本質的欠陥である引張強度が小さい、化学抵抗性が期待できない、水密性が良くない等の諸性質を補うためにレジンコンクリートを適宜用いることは、その硬化収縮が大きい等の欠点を十分補ないうるものである。本研究では、レジンモルタルの自由収縮率を実測し、さらにプレキャストセメントコンクリートにレジンコンクリートを打ち継いだ場合の収縮による内部応力、およびクリープによる影響等について解析的に検討・考察を行ない、その合成構造の構造部材としての適否を研究しようとするものである。

2. 自由収縮率 レジンモルタルの硬化収縮率の測定にはオルソフタル酸系の不飽和ポリエステル樹脂を使用し、骨材は豊満産標準砂を樹脂重量1に対して3,4または5の割合で用い、充填材を混入する時は樹脂と同重量用いた。また上記樹脂と比較のため、膨張材を含んだ無収縮タイプレジンの測定も行なった。供試体の作製はセメント用3連型機(JIS R 5201)を用いた。収縮率の測定にはコンタクト型ゲージを用い、その基長5cm、精度1/1000mmで測定した。図-1は、硬化収縮と材令の関係を示したものである。樹脂量の多い高配合のものほど収縮が大きいたことが認められる。図-2は無収縮タイプレジンの硬化収縮と材令の関係を示したものであるが、同配合の場合図-1の樹脂に比べ収縮または膨張率の絶対値はかなり小さいことが認められる。

3. 合成はりにおける収縮応力 図-3はプレキャストセメントコンクリート部材にレジンコンクリート部材を打ち継いだ合成はりの硬化収縮を示したものである。ここで、 ϵ_c :付着がないときのレジン部材の自由収縮率(図-1)、 ϵ_c :セメント部材とレジン部材との打ち継ぎ部でのずれみ、 ϵ_r :レジン部材の打ち継ぎ部でのずれみである。セメント部材には、圧縮力Cと曲げモーメント M_c 、レジン部材には $T=C$ なる引張力と曲げモーメント M_r が作用する。そのときセメントおよびレジン各部材の収縮応力は、釣合い式 $M_c+M_r=C(c+r)$ と変形の適合式 $M_c/E_c I_c = M_r/E_r I_r$ より $\sigma_c = -C/A_c \pm M_c/E_c I_c \times y$ ($-C \leq y \leq C$)、 $\sigma_r = T/A_r \pm M_r/E_r I_r \times y$ ($-r \leq y \leq r$)と決定される。ここで

$$C = T = \frac{\epsilon_r E_c}{\frac{A_r}{A_c} + \frac{(c+r)^2}{I_c + \frac{1}{n} I_r}} \quad \left(\begin{aligned} n &= E_r/E_c \\ A_r &= A_c + \frac{1}{n} A_r \end{aligned} \right)$$

これより、収縮応力は収縮率の関数である。いままた高 $d=15\text{cm}$ 、幅 $b=10\text{cm}$ 、ヤング係数 $n=0.46$ の合成はりで、レジン部材厚を変えたときの収縮応力と図-4のようになる。この合成構造の構造部材としての使用の適否の判定にはレジン部材の部材厚は大きな意味があるといえよう。

4. クリープの影響 本研究では、プレキャストセメント部材が打ち込み後十分な時間を経たものとしてその

図-1 レジンモルタルの自由収縮率

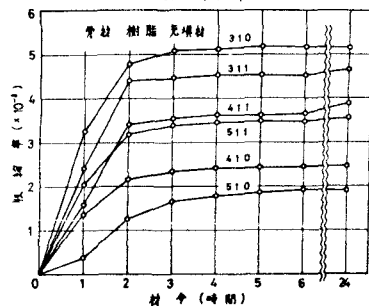


図-2 無収縮タイプレジンの自由収縮率

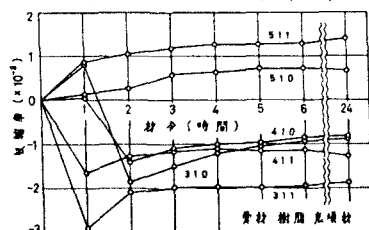
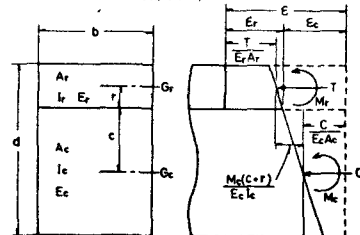


図-3 合成はりの収縮変形



クリープを無視し、レジン部材のクリープによる合成はりへの影響を考える。合成桁におけるクリープの影響に関する理論は2,3あるが、Frolichの厳密解法を用いてこの解析を行なう。時刻 $t=0$ においては合成桁断面内には何も作用力はない。これが時間の進行とともにレジンの硬化収縮クリープにより塑性変形を起し、時刻 t において $M_{rt}, M_{ct}, N_{rt}, N_{ct}$ を及ぼす。さらに時間 dt だけ進めばそれぞれ $M_{rt}+dM_{rt}, M_{ct}+dM_{ct}, N_{rt}+dN_{rt}, N_{ct}+dN_{ct}$ になる。図-5は硬化収縮の場合のクリープによる時間要素 $dt=1$ の間の変形を示したものである。力の釣合いとひずみの平面保持の仮定、さらに $E_{rt}=E_r$ と仮定すると M_{rt} に関する次の2階常微分方程式を得る。

$$\frac{d^2 M_{rt}}{d\vartheta_c^2} + \theta \frac{d M_{rt}}{d\vartheta_c} + 2c M_{rt} = 0 \quad (1)$$

ここに

$$\theta = 1 + 2c + \partial_r, \quad \partial_c = A_c I_c / A_r I_r, \quad \partial_r = A_c \frac{1}{2} I_r / A_r I_r$$

$$A_r = A_c + \frac{1}{2} A_r, \quad I_r = I_c + \frac{1}{2} I_r + A_r S_c S_r$$

$$S_c = A_c \cdot S / n \cdot A_r, \quad S_r = A_c \cdot S / A_r$$

n : カング係数比(E_c/E_r), ϑ_c : クリープ係数

式(1)を解くために $t=0$ すなわち $\vartheta_c=0$ において $M_{ct}=M_{rt}=N_{ct}=N_{rt}=0$ の初期条件を用い次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} M_{rt} &= \frac{A_c \cdot N_{ct} \cdot S_r \cdot I_r}{A_r \cdot g_n \cdot \pi I_c} \left(\frac{e^{X_1 \vartheta_c}}{(X_1 - X_2)} + \frac{e^{X_2 \vartheta_c}}{(X_2 - X_1)} \right) \\ M_{ct} &= \frac{N_{ct} \cdot S}{g_n} \left\{ 1 - \frac{X_1 + \partial_r + 1}{X_1 - X_2} \cdot e^{X_1 \vartheta_c} - \frac{X_2 + \partial_c + 1}{X_2 - X_1} \cdot e^{X_2 \vartheta_c} \right\} \\ N_{rt} &= N_{ct} = \frac{1}{2} (M_{rt} + M_{ct}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{ここで } X_1 = \frac{1}{2}(-\theta + \sqrt{\theta^2 - 4\partial_c}), \quad X_2 = \frac{1}{2}(-\theta - \sqrt{\theta^2 - 4\partial_c})$$

$N_{ct} = \varepsilon E_c A_c$, ε : レジン部材の自由収縮率

g_n : 最終クリープ係数

ここで最終クリープ係数 g_n についてはIVANOV, A.M.の実験結果のクリープ曲線から $g_n=0.5243$ と仮定した。

式(2)において $t=\infty$ において $\vartheta_c = g_n$ とおけばよい。よって各部材の応力は、 $\sigma_r = N_{rt}/A_r + M_{rt}/I_r \cdot X_r$ ($-Y \leq y \leq Y$), $\sigma_c = -N_{ct}/A_c + M_{ct}/I_c \cdot X_c$ ($-C \leq y \leq C$)となる。これを部材厚を変えて応力を求めたものを図に示すと、図-6のようになる。図-6の各線の意味は図-4と同様である。図-6と図-4を比較すると、クリープを考慮することにより最大で2割から3割の応力の減少が認められる。

5. あとがき 本研究はレジンコンクリートの構造部材への適用の可能性について、セメントコンクリートとの合成構造という例で研究したものである。この構造における応力は、収縮率の大きなものはクリープを考慮した場合でもかなり大きなものであり、さらに打ち継ぎ部での軸方向せん断力もかなり大きなものとなろう。このため硬化収縮の小さいレジン樹脂の開発が求められるが、この意味で無収縮タイプレジンが構造物への適用の可能性が大であるといえよう。なお、数値計算は東北大学大型計算機 NEAC 2200を使用した。本研究の一部は、昭和52年度の文部省科学研究費の補助を受けたので記して感謝の意を表します。

参考文献 1) IVANOV, A.M. FURFUROL-ACETONE POLYMER CONCRETE — A STRUCTURAL BUILDING MATERIAL. STRUCTURAL CHEMICALLY STABLE POLYMER CONCRETE. OFFICE OF STATE CONSTRUCTION OF USSR. 1970

図-4 合成はりの収縮応力

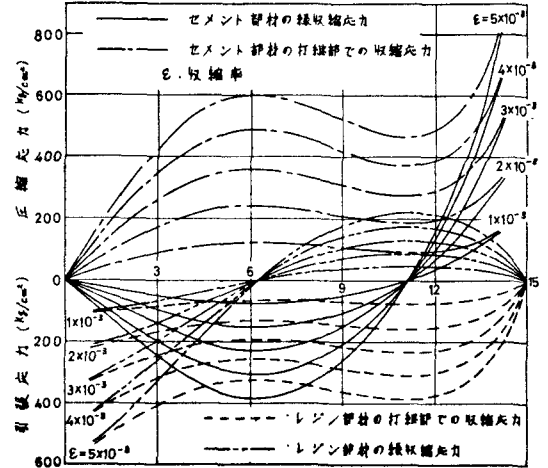


図-5 硬化収縮のクリープによる時間要素 $dt=1$ の間の変形

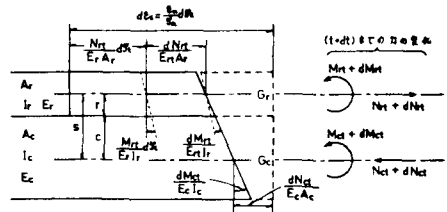


図-6 クリープを考慮した合成はりの収縮応力

