

修成建設専門学校

正会員○堤下 隆司

大阪工業大学

正会員 栗田 章光

トーマンコンストラクション(株)

正会員 徳岡 文明

三菱レイヨン(株)

小西 偉夫

1. まえがき

メタクリル樹脂コンクリート（以下、樹脂コンという）を用いた損傷RC床版の増厚補強工法について著者らは、開発研究を行っている。この樹脂は、熱可塑性樹脂で熱硬化樹脂と同様に硬化に伴い大きな収縮を生じる。本工法では、樹脂コンクリート中にメッシュ筋を配置することにより増厚部の剛性を高める構造を採用しているため、当然ながらメッシュ筋により、その収縮ひずみが拘束され、樹脂コンクリートには引張応力が発生する。本研究では、この樹脂コンの硬化収縮現象を定式化するとともに実験を行って考察を加えた。その結果について本文で発表する。

2. 実験概要

拘束を受ける樹脂コンの硬化収縮現象を解析するためには、樹脂コンの自由硬化収縮ひずみ、弾性係数、クリープ係数などの材令に伴う性質等を明らかにしなければならない。そこで本実験では、先に実施したはり実験の結果¹⁾を基に得られた一配合に的を絞り、図-1に示す供試体を用いて、Aタイプ：自由硬化収縮とBタイプ：メッシュ筋の拘束を受ける2タイプについて硬化収縮に伴う各ひずみ量の測定を行った。

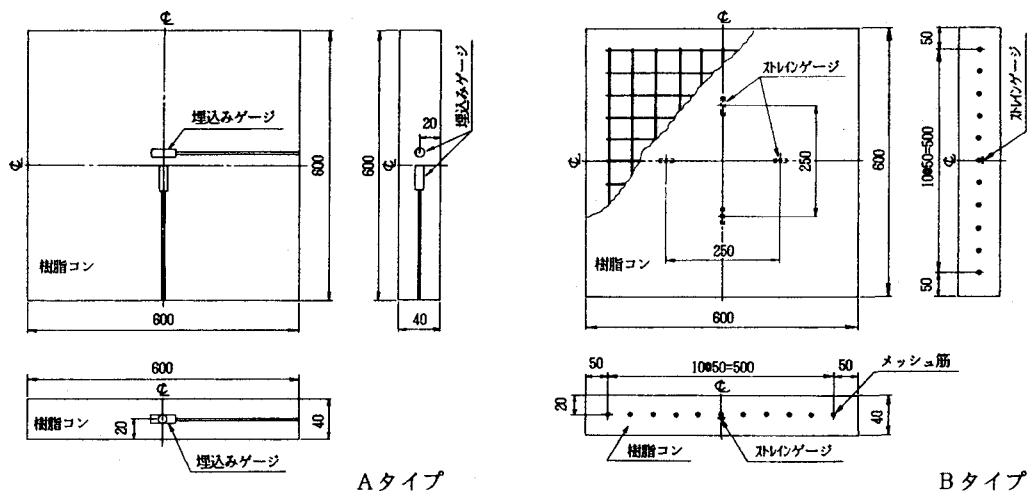


図-1 供試体形状寸法

3. 硬化収縮の解析方法

3.1 メタクリル樹脂コンクリートの硬化収縮現象とその定式化

一般にレジンコンクリートの硬化収縮現象を見た場合、コンクリートの乾燥収縮ひずみの進行の様に経過
Takashi TSUTSUMISHITA, Akimitsu KURITA, Fumiaki TOKUOKA, Hideo KONISHI

時間に伴ってゆっくりしたひずみ増加はせず、硬化剤の量により硬化速度が異なるが、打設後の早期の段階において著しくひずみ変化が生じる。樹脂コンの硬化収縮現象を定式化するにあたり、本研究では硬化収縮ひずみの進行を指数関数を用いて近似することにした。そこで、任意の時刻 t における硬化収縮ひずみは、次のように表される。

$$\varepsilon_{s,t} = \varepsilon_{s,\infty} \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon_{s,t}$: 時刻 t の硬化収縮ひずみ

$\varepsilon_{s,\infty}$: 硬化収縮ひずみの最終値

k : 硬化収縮ひずみの進行過程を表す無次元係数

また、拘束を受ける樹脂コンの硬化収縮に伴うクリープ係数 $\phi_s(t)$ は、コンクリートと同様に収縮の進行と同じ経路をたどるとする仮定を用いると、次式で表すことができる。

$$\phi_s(t) = \phi_s(\infty) (1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

ここに、 $\phi_s(t)$: 時刻 t における硬化収縮に伴うクリープ係数

$\phi_s(\infty)$: 時刻 $t = \infty$ における硬化収縮に伴うクリープ係数

式(1)と式(2)とから、硬化収縮ひずみ $\varepsilon_{s,t}$ は、クリープ係数の関数として表される。

$$\varepsilon_{s,t} = \varepsilon_{s,\infty} \cdot \frac{\phi_s(t)}{\phi_s(\infty)} \quad (3)$$

さらに、時刻 t_1 から t に至るまでの間の硬化収縮ひずみ ($\varepsilon_{s,t-t_1}$) は、次式で表すことができる。

$$\varepsilon_{s,t-t_1} = \varepsilon_{s,\infty} \cdot \frac{\phi_s(t) - \phi_s(t_1)}{\phi_s(\infty)} \quad (4)$$

3. 2 硬化収縮の解析におけるメタクリル樹脂コンクリートの応力-ひずみ関係式

図-2 に示すように時刻 t_1 から t までの硬化収縮による時刻 t での樹脂コンの応力 σ_{t-t_1} (圧縮応力を正) は、初期応力を σ_{t_1} とすれば

$$\sigma_{t-t_1} = \sigma_{t_1} + \Delta \sigma_{t-t_1} \quad (5)$$

で表され、時刻 t_1 から t に至るまでのひずみの変化量 $\Delta \varepsilon_{s,t-t_1}$ は次式で表される。

$$\Delta \varepsilon_{s,t-t_1} = \frac{\sigma_{t_1}}{E_s} \{ \phi_s(t) - \phi_s(t_1) \}$$

$$+ \frac{\Delta \sigma_{t-t_1}}{E_s} + \frac{1}{E_s} \cdot \int_{t_1}^t \frac{d \Delta \sigma_{\tau-t_1}}{d \tau} d \tau$$

$$\cdot \{ \phi_s(t) - \phi_s(\tau) \} d \tau + \varepsilon_{s,\infty} \cdot \frac{\phi_s(t) - \phi_s(t_1)}{\phi_s(\infty)} \quad (6)$$

ここに、 E_s : 樹脂コンの弾性係数 (一定と仮定)

硬化収縮において、初期着目材合は $t_1 = 0$ であるから式(6)は、次のようになる。

$$\Delta \varepsilon_{s,t} = \frac{\Delta \sigma_t}{E_s} + \frac{1}{E_s} \cdot \int_0^t \Delta \sigma_{\tau} \frac{d \phi_s(\tau)}{d \tau} d \tau + \varepsilon_{s,\infty} \cdot \frac{\phi_s(t)}{\phi_s(\infty)} \quad (7)$$

硬化収縮による応力の変動量を、収縮に伴うクリープ係数の進行と相似とみなし、

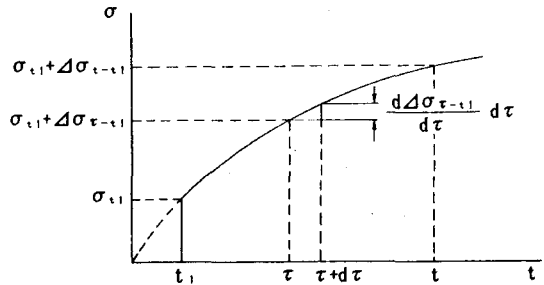


図-2 硬化収縮による応力の変化

$$\Delta \sigma_r = \Delta \sigma_t \cdot \frac{\phi_s(t)}{\phi_s(t)} \quad (8)$$

と仮定する。したがって式(2)と式(8)とを式(7)に代入して整理すれば、硬化収縮解析に用いる樹脂コンの応力-ひずみ関係式は、次のようになる。

$$\Delta \varepsilon_{s,t} = \frac{\Delta \sigma_t}{E_s} \{1 + \frac{1}{2} \phi_s(t)\} + \varepsilon_{s\infty} \cdot \frac{\phi_s(t)}{\phi_s(\infty)} \quad (9)$$

3.3 内部拘束を受けるメタクリル樹脂コンクリートの硬化収縮の解析

プレーン樹脂コンの自由硬化収縮量は、一般に体積変化率で14.5%程度であると言われている。しかし、本工法では樹脂コンの内部にメッシュ筋を配置する構造であるため樹脂コンの硬化収縮量は、メッシュ筋の拘束により減少する。そこで、樹脂コンの硬化収縮に伴うメッシュ筋の影響は、図-3に示す解析モデルを用いて解析することができる。

いま、任意の時刻 t における樹脂コンの自由硬化収縮量を $\varepsilon_{s,t}$ とし、樹脂コン部分およびメッシュ筋に

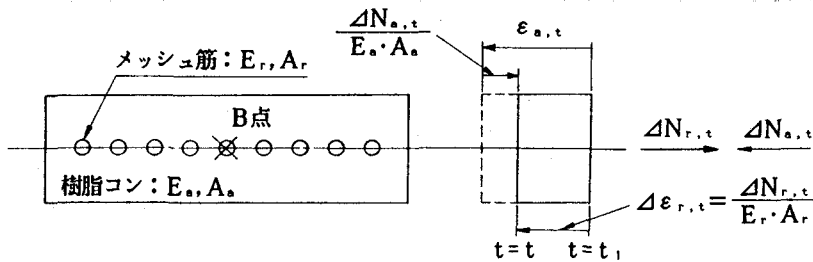


図-3 拘束を受けるメタクリル樹脂コンクリートの硬化収縮解析モデル

作用する軸方向力をそれぞれ $\Delta N_{s,t}$ および $\Delta N_{r,t}$ とする。すると、ひずみの適合条件式、および力のつり合い式から、次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{s\infty} \cdot \frac{\phi_s(t)}{\phi_s(\infty)} - \frac{\Delta N_{s,t}}{E_s \cdot A_s} \{1 + \frac{1}{2} \phi_s(t)\} &= \frac{\Delta N_{r,t}}{E_r \cdot A_r} = \Delta \varepsilon_{r,t} \\ \Delta N_{s,t} &= \Delta N_{r,t} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

そこで、式(10)から、任意の時刻 t におけるメッシュ筋のひずみ、すなわち内部拘束を受けたメタクリル樹脂コンクリートの硬化収縮量を求めると、次式のように与えられる。

$$\Delta \varepsilon_{r,t} = \frac{\varepsilon_{s,t}}{1 + n' \cdot p} \quad (11)$$

ここに、 $n' = E_r / E_s'$: メッシュ筋と樹脂コンとの弾性係数比

$p = A_r / A_s$: 鉄筋比

またクリープ作用を考慮した樹脂コンの弾性係数 E_s' は、次式のように表すことができる。

$$E_s' = \frac{E_s}{1 + \frac{1}{2} \phi_s(t)} \quad (12)$$

3.4 解析値と実験値の比較検討

以上に示した解析法を用いて、図-1に示した供試体を対象に、硬化収縮に伴うメッシュ筋のひずみ変化に着目して、数値解析を行った。解析の際に用いた諸条件を表-3に示す。数値解析は、樹脂コンの弾性係数 E_s (表-3に示す実験値) を一定と仮定し、最終硬化収縮量 $\varepsilon_{s\infty}$ は図-4に示す実験値を用いて行った。

図-5にメッシュ筋のひずみ変化量の理論値と実測値とをプロットした。図から、今回用いた解析法より樹脂コンの硬化収縮に伴うクリープ係数 ϕ_{∞} は、31~34程度であることが推定できた。

4. まとめ

本研究により得られた成果をまとめると次のようなことがいえる。

(1) 拘束をうける樹脂コンの硬化収縮に対する解式を示した。

(2) メタクリル樹脂コンクリート内にメッシュ筋を配置すると、硬化収縮の際にメッシュ筋の拘束により収縮量は、極端に小さくなる。本解析により、硬化収縮における樹脂コンの残留応力を計算すると、使用メッシュ筋径が $\phi 4$ で約 3.4kgf/cm^2 、 $\phi 6$ で約 3.6kgf/cm^2 の引張応力が生じる結果となる。したがって、この程度のメッシュ筋量であればほとんど差異が生じないことがわかった。

(3) 樹脂コンの弾性係数は、硬化収縮する過程において時間経過とともに著しく変化するが、本解析法では樹脂コンの弾性係数を一定値であると仮定している。そこで、今後、弾性係数の時間的変化を考慮した解析を行えば、更に精度よく実現象を評価できるものと思われる。

(4) 本解析より樹脂コンの硬化収縮に伴うクリープ係数 ϕ_{∞} は、約30程度になることが明らかとなった。

表-3 解析条件

項 目	数 値
メタクリル樹脂コンクリートの弾性係数 $E_c(\text{kgf/cm}^2)$	2.3×10^4
最終硬化収縮量 $\varepsilon_{s,\infty}$	2750×10^{-6}
メッシュ筋の弾性係数 $E_s(\text{kgf/cm}^2)$	1.9×10^6
{ $\phi 4 \cdot 50\text{mm}$ 角、 $\phi 6 \cdot 50\text{mm}$ 角 } $A_s(\text{cm}^2)$	1.382, 3.11

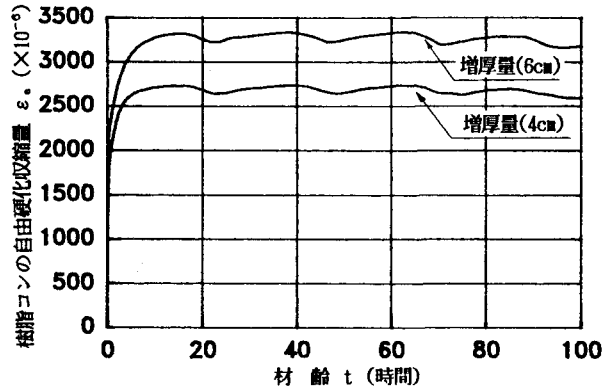


図-4 硬化収縮と材令の関係

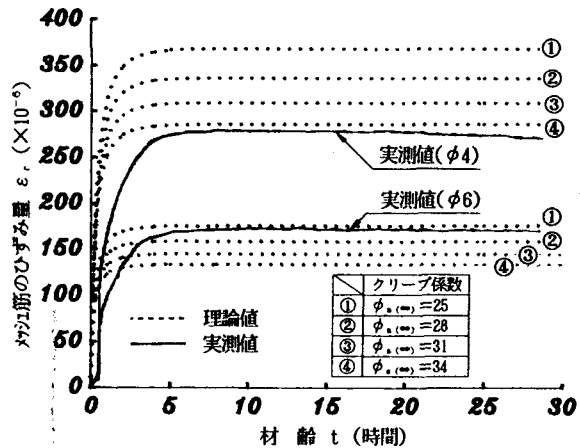


図-5 硬化収縮によるひずみ変化

[謝 辞]

本研究の遂行に関して、大阪工業大学・小林和夫教授から種々の貴重な助言をいただきました。また、実験に際しては、大阪工業大学の橋梁研究室の卒業研究生の多大の協力を得ました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

[参考文献]

1) 堤下隆司・栗田章光・徳岡文明・小西偉夫：アクリル樹脂コンクリートによる道路橋RC床版の増厚補強工法、コンクリート構造物の補修工法に関するシンポジウム、pp.61-68、1992.10