

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 ○岡田 武司
小中 庸夫

1. まえがき

小断面シールド工法のライニングとして、高速施工の可能な、不飽和ポリエステル樹脂を結合材とするレジンモルタルの適用を検討している。この工法におけるトンネルライニングは、図1に示すように、レジンモルタルを現場に運搬し、混合打設機によって硬化剤と混合しながら型枠内へ打設し、長さ50cmのリングを順次成形していくものである。このような打設法においては、リングの位置によってレジンモルタルの硬化時間が異なり、その硬化挙動が成形性に大きな影響を及ぼす。通常のレジンモルタルは、約1%程度の硬化収縮を伴うため、リング上部に応力が集中してクラックを発生するなどの弊害から、低収縮性樹脂の使用が不可欠である。本報告は、各種の低収縮性レジンモルタルの硬化挙動を供試体を用いてモデル的に検討し、低収縮機構を比較したものである。

2. 実験方法

2.1. 材料 (1) レジン---スチレンをモノマーとするオルソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂を使用した。低収縮性樹脂としては種々のものが開発されているが、基本的には不飽和ポリエステル樹脂に熱可塑性樹脂を添加する方法が一般的である。このような樹脂は、低収縮付与剤である熱可塑性樹脂が不飽和ポリエステルと相溶する一液タイプと、それらが相分離する二液タイプに大別される。ここでは、一液タイプの付与剤として飽和ポリエステル、二液タイプの付与剤としてポリスチレンについて主に検討した。二液タイプについては付与剤の分離安定化をはかるための分離防止剤(倉レ; クラパーレR-15)を添加した。

(2) 増量材---粒径3mm以下の茨城県久慈川産川砂と微粉炭酸カルシウム(CaCO_3)を増量材として使用した。樹脂100部に対して、川砂/ CaCO_3 を7/3とする増量材400部を混合してレジンモルタルを作製した。

(3) 硬化系配合---硬化剤としてメチルエチルケトンパーオキサイド(MEKPO)、硬化促進剤としてオクテン酸コバルト(CoO_c)、 N,N -ジメチルアニリン(DMA)、禁止剤としてp,t-ブチルカテコール(PTBC)等を併用することにより、常温成形における早硬化の達成(30分曲げ強度: 150 kg/cm^2 以上)と硬化時間の調整(5~10分)をはかった。⁽¹⁾

2.2. 硬化挙動測定法 供試体寸法は $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、図2に示すように、供試体の中心位置に高温まで使用可能な埋込至ゲージ(東京測器研究所: KM-50)ならびに熱電対を設置し、寸法変化と硬化発熱温度を連続的に測定した。あわせて供試体端部にゲージプラグを取り付け、マイクロメータによる寸法測定も平行して行ない埋込至ゲージと比較した。

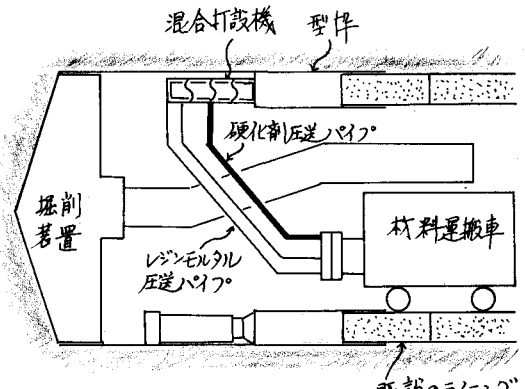


図1. トンネルライニングの概要

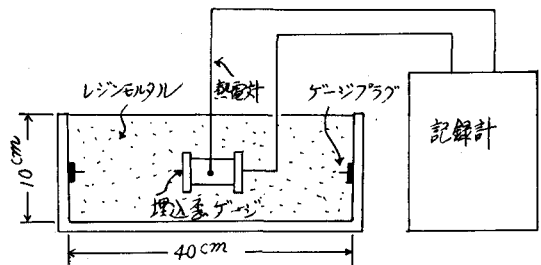


図2. 硬化挙動測定法

なお、レジンモルタルのゲル化後、型枠をゆるめ、供試体が束縛されない状態で硬化挙動を観測した。

埋込歪ゲージとマイクロメータの測定値を比較すると、収縮、膨張にかかわらず埋込歪ゲージによる測定値が約0.1%プラス側になるが、両者、良い相関が得られた。この結果より、埋込歪ゲージを使用してレジンモルタルの硬化挙動をゲル化直後から連続して観測することが可能であることがわかった。

3. 結果と考察

不飽和ポリエステル樹脂の低収縮化に関しては、SMC、BMC等の加熱加圧成形もしくは常温成形において広く検討されている。本検討は、常温成形ではあるが極めて速硬化であるため、この硬化挙動、低収縮性に及ぼす材料や硬化条件の影響などがかならずしも従来の検討結果とは一致しない。

3.1. 硬化挙動

一液タイプならびに二液タイプの低収縮性樹脂についての硬化挙動を比較した代表例を図3に示す。

二液タイプは、ゲル化の初期段階において収縮性樹脂とはほぼ同様の収縮現象をとる。0.2~0.4%の収縮後、徐々に膨張へ転移する。この初期収縮挙動は一般的に常温成形においても観察されている⁽²⁾。また発熱温度の測定結果から、収縮開始数分後に発熱曲線の変曲点があり発熱速度の低下が認められる。この現象は、不飽和ポリエステルマトリックスと低収縮付与剤相の界面においてスチレンモノマが蒸発し、反応熱を奪うことによると考えたと説明できる。このような二液タイプにおいては、収縮から膨張へ転移するタイミングは最高発熱温度に到達する直前、換言すれば、硬化反応がかなり進行した段階となることがわかった。このことは、無収縮性もしくは膨張性へコントロールしても実用上大きなメリットは少ないと考えられる。

これに対して一液タイプでは、ゲル化直後に若干収縮する傾向は認められるが、この収縮ピークは~0.1%と小さく、すぐに膨張して絶対寸法もプラス側となる場合が多い。また、膨張するとほぼ同時に、供試体の白化現象が観察される。

3.2. 各種要因の低収縮性への影響

一液タイプの低収縮性に対する材料温度、硬化系配合等の影響については、すでに報告した⁽³⁾。この場合、これらの要因について、低収縮となる領域は限定され、領域外では、通常の収縮性樹脂と殆んど同程度の硬化収縮を示す。さらに低収縮(無収縮)となる領域では、その条件によらず、ほぼ一定の寸法変化量となる。

これに対して二液タイプでは、低収縮性に影響する要因に対して、収縮~低収縮~膨張へと連続的に移行し、不適合の条件では膨張しすぎて供試体がフラックが発生することもある。

3.3 低収縮機構

これらの低収縮性樹脂の低収縮機構は非常に複雑と考えられ、かならずしも明確ではないが、種々の現象が競合していると推察される。これらの中で、一液タイプではミクロクラックの発生、また二液タイプでは低収縮付与剤相からマトリックスへのモノマ移行が重要な要因であると考えられる。

4. 文献 (1) 松浦: 材料 23, 251 P.660 (1974)

(2) 井原, 鬼塚, 高尾: 第24回FRP学会講演会(1979)

(3) 小中, 田田, 松浦: 第13回材料研究連合講演会(1979)

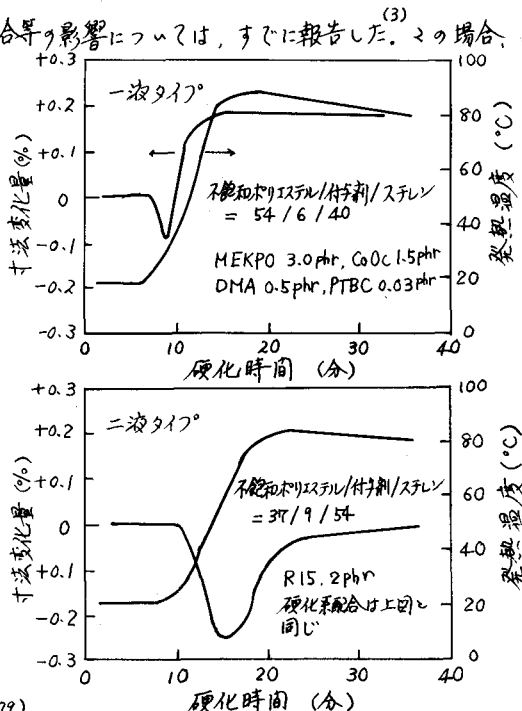


図3. 硬化挙動の比較