

論文 ポリマーモルタルの硬化収縮に関する研究

徳重英信^{*1}・小俣 富士夫^{*2}・川上 洵^{*3}・加賀谷 誠^{*4}

要旨：ポリマーモルタルはコンクリート構造物の補修材料として広く用いられるが硬化過程における挙動に関する研究は十分とはいえない。本研究では、新たに提案した非接触変位計を用いた実験装置により、3種類の樹脂を用いたポリマーモルタルの硬化過程における収縮および膨張の測定を行った。また硬化に伴い発生する引張および圧縮応力をロードセルによって測定した。この結果から、各ポリマーモルタルの硬化過程に発生する応力とひずみの関係を明らかにすることができた。

キーワード：ポリマーモルタル, 硬化収縮, 膨張, ひずみ, 応力

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化が注目されており、その対策から断面修復による補修が行われている。ポリマーモルタルは補修材料として広く用いられており、ポリマーコンクリートおよびポリマーモルタルの硬化後の材料特性に関する研究^[1]は数多くなされているが、硬化過程における挙動については若干の研究^[2]があるのが現状である。しかし、主桁、床版などにポリマーモルタルを補修材料として用いる場合、母材であるコンクリート部材に導入される初期応力などの検討を行うことは重要であると考えられる。

本研究では、初期応力を検討する際の基礎的な資料を得ることを目的として、実際に使用されている3種類のポリマーモルタルを選定し、非接触型のひずみ測定装置とロードセルを用いた応力測定装置によって、硬化過程において発生する収縮および膨張ひずみと引張および圧縮応力の測定を行った。さらに、発生した応力とひずみの関係やその経時変化等に対して検討を加えた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

本研究では3種類のポリマーモルタルについて実験を行った。用いた樹脂はグリセロールメタクリレート/スチレン(GM/St)、メチルメタクリレート(MMA)、不飽和ポリエステル(UP)である。比重は各々、0.99、0.99、1.05であり、粘度(mPa・s)は35、200、330である。また、骨材は転炉スラグと珪砂を混合したものを、炭酸カルシウムをフィラーとして使用した。各々の比重は3.00、2.50、2.60であり、粒径(mm)は5-2.5、5-0.3、0.15mm以下である。3種類のポリマーモルタルの配合は、樹脂：転炉スラグ：珪砂：炭酸カルシウム=1:4.74:2.58:1.88(重量比)となっている。また、打込み温度は20℃を標準とした。

2. 2 実験装置

*1 秋田大学助手 鉱山学部土木環境工学科、博士(工学) (正会員)

*2 ショーボンド建設(株) 補修工学研究所課長 (正会員)

*3 秋田大学教授 鉱山学部土木環境工学科、工博 (正会員)

*4 秋田大学助教授 鉱山学部土木環境工学科、工博 (正会員)

コンクリート構造物に用いる材料の硬化収縮に関する実験方法は、膨張コンクリートに対する試験方法^[3]や小柳らが提案している方法^{[4],[5]}などがある。ひずみゲージを貼付した鋼棒を埋め込んだ角柱供試体を用いる方法^{[4],[5]}は、本研究で用いる供試体サイズでは拘束鉄筋比の影響が大きくなり、またコンパレータを用いる方法^[3]は硬化過程における変位の測定に対して反力を与える可能性があると考えられる。また、埋込型ひずみゲージはそれ自体に弾性係数を持つので、早期材齢における変位を感知する事に対し特に初期の段階では限界があると考えられる。さらに円柱供試体を作成し、早期材齢で圧縮試験を行い、硬化過程における材料特性の検討を行うことは非常に困難である。そこで、本研究においては、硬化過程時のひずみを測定するために、図-1に示すように非接触型のレーザー変位計を用いた新たな実験装置を試作した。供試体と型枠の間にはテフロンシートを敷き、供試体周囲と型枠との摩擦を絶縁しており、供試体両端に設置したL字治具にレーザーを照射する事によって変位を測定し、供試体長で除することによりひずみに変換している。L字治具も型枠からは摩擦を絶縁されており、供試体両端に埋め込んだ付着用治具を通して膨張、収縮のどちらにも対応して動くことができる。この測定方法により、測定器具の付着や反力などを考慮することなく、硬化過程の無拘束状態での膨張、収縮のどちらのひずみの測定も行うことが可能となった。

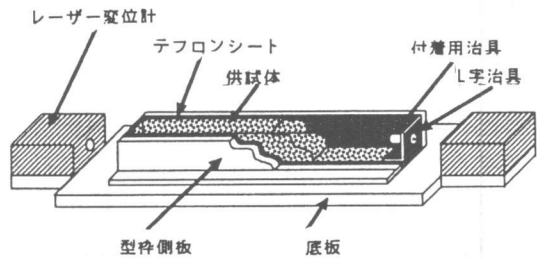


図-1 ひずみ測定装置

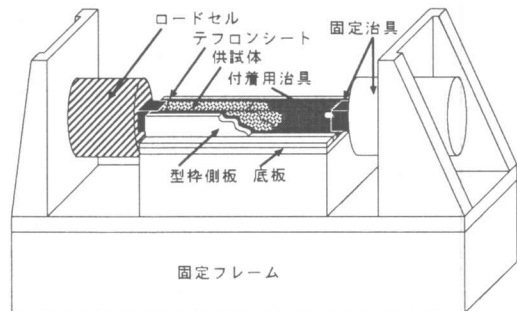


図-2 応力測定装置

一方、硬化過程に発生する応力についての研究は現在までほとんど無い。本研究では図-2に示す実験装置を用いて、引張、圧縮ともに測定可能な新たな方法により応力の測定を行い、供試体一方を付着用治具を通して固定し、もう一方をロードセルに固定しており、付着用治具を通して硬化過程における膨張、収縮によって生じる反力を測定することができる。また変位測定装置と同様に、型枠と供試体の摩擦はテフロンシートにより絶縁されており、測定における反力以外の摩擦を考慮する必要はない。

使用した供試体のサイズは25×25×220(mm)である。従来^{[2],[3],[4]}では測定方法上100×100×400(mm)の供試体を用いているが、本研究では上記の実験方法によって、実際の構造物補修における材料厚に近いサイズの供試体にて実験を行った。

3. 実験結果および考察

図-1と図-2に示した実験装置によって計測を行った。ポリマーモルタルの硬化過程に発生

するひずみならびに応力の測定結果とその考察について述べる。3種類のポリマーモルタルについて、4体～6体の供試体について実験を行い、これらの実験結果を平均した。また、ひずみ、応力などの経時変化については打込み直後からの時間ではなく、応力が発生した時間を原点にとった。なお以降の説明では、グリセロールメタクリレート/スチレンポリマーモルタルを"GM/St"とし、メチルメタクリレートポリマーモルタルを"MMA"、不飽和ポリエステルポリマーモルタルを"UP"として述べる。

打込みから応力発生までにかかった時間は、GM/Stが約40分、MMAが約36分、UPは約9分であった。なお、硬化過程での供試体の最高発熱温度と室温（約20℃）との差は、GM/Stが約3℃、MMAが約10℃、UPは約4℃であった。

3.1 ひずみの経時変化

図-3(a)にGM/St、図-3(b)にMMA、図-3(c)にUPの硬化時に発生するひずみの経時変化を示す。それぞれ膨張側を正にとっている。

GM/Stは膨張側でひずみが増加しており、応力発生後約50分まで膨張を続けている。値がほぼ一定になった時には約3000 μ を計測した。一方MMAおよびUPは収縮する傾向となっている。打込み後に応力が発生するまでの時間は前述のよう

にUPの方がMMAに比べ短い、応力が発生し始めたとき（図中の原点）から値がほぼ一定になるまでの時間はMMAの方が短い。また一定になったときの値はMMAが約4000 μ 、UPが約4200 μ となった。

以上のように、本研究で用いた実験装置により、硬化過程で発生するひずみの値を、膨張、収縮ともに細かい間隔で連続的に測定する事が可能となり、材料による差異を明らかにすることができた。

3.2 応力の経時変化

図-4(a)にGM/St、図-4(b)にMMA、図-4(c)にUPの各々の硬化時に発生した応力の経時変化を示す。図-2で示した実験装置により測定を行った荷重を供試体断面積で除した値を応力として取り扱い、図-3と同様に打込み直後からの経過時間ではなく、応力が発生した時点

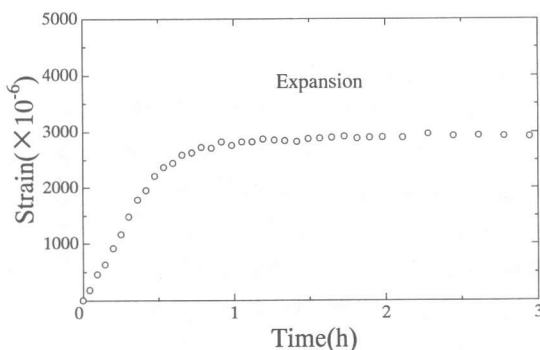


図-3(a) ひずみの変化(GM/St)

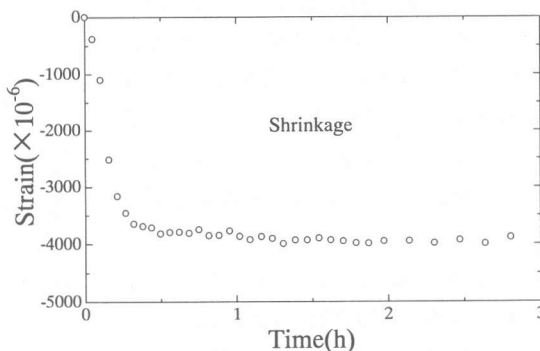


図-3(b) ひずみの変化(MMA)

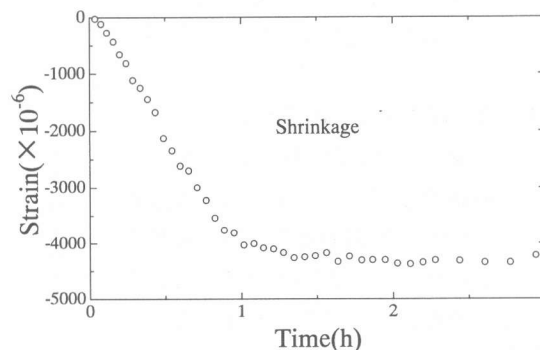


図-3(c) ひずみの変化(UP)

としている。

GM/Stは硬化過程において引張側での応力が発生しており、すなわち膨張の挙動を示している。応力発生後、1時間30分程度まで値は増加しているが、その後約 1.5N/mm^2 の一定値に近づき、硬化による膨張がほぼ終了したと考えられる。一方、MMAとUPは圧縮側で応力が発生しており収縮の性状を呈している。打込みから応力発生までの経過時間はUPの方が短時間であるが、応力が発生したのち値がほぼ一定になるまでの時間は、UPに比べてMMAの方が短い結果となった。また発生した応力はMMAが約 2.0N/mm^2 、UPが約 2.8N/mm^2 と材料特性の差異が認められた。

この応力の測定においても、圧縮、引張ともに連続的に測定が行え、またロードセルで検出する荷重以外に摩擦などの反力を考慮することなく、樹脂によって異なる材料特性を明らかにすることができた。

3.3 応力とひずみの関係

図-3(a)~(c)および図-4(a)~(c)に示した、各種ポリマーモルタルの硬化過程において発生する応力とひずみの関係を示したものが、図-5(a)~(c)である。応力、ひずみの値がそれぞれ一定になった時間以降においてもプロットしており、応力発生から約15時間までのデータである。図-5(a)は引張および膨張側を正にとっており、図-5(b)ならびに(c)は圧縮

および収縮を正にとっている。各々応力とひずみの値が増加するにつれて、一定の値に測定値が集積しており、硬化がほぼ終了していると判断できる。

図-5(a)はGM/Stの硬化過程において発生した応力とひずみの関係を示したものである。応力は約 1.5N/mm^2 まで発生し、それに伴ひひずみの値は約 3200μ まで生じた。同様に図-5(b)はMMA、図-5(c)はUPの硬化過程で生じた応力とひずみの関係である。MMA、UPそれぞれの関係を比較すると、発生した応力とひずみの関係は、図中に示した最小2乗法による近似式に示されるようにあまり相違がない。しかし、応力とひずみの各々の測定値の最大値は、UPの方が大きい値をとり、樹脂の種類による材料特性の差異が明らかになった。また、収縮、膨張いずれの挙

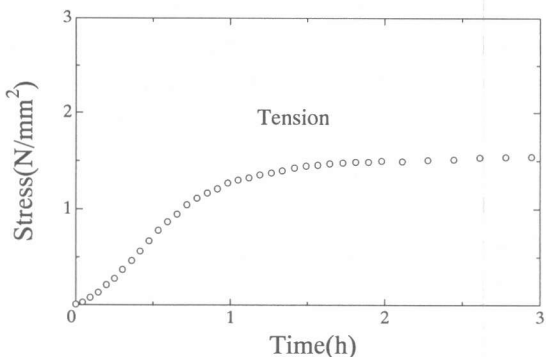


図-4(a) 応力の変化(GM/St)

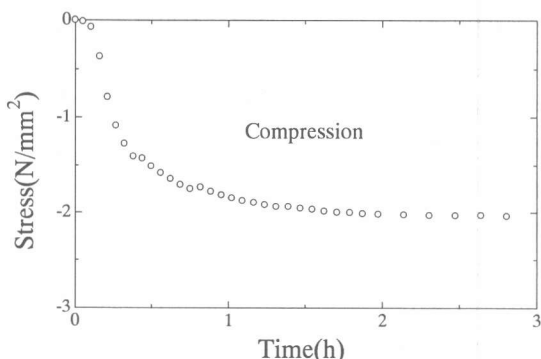


図-4(b) 応力の変化(MMA)

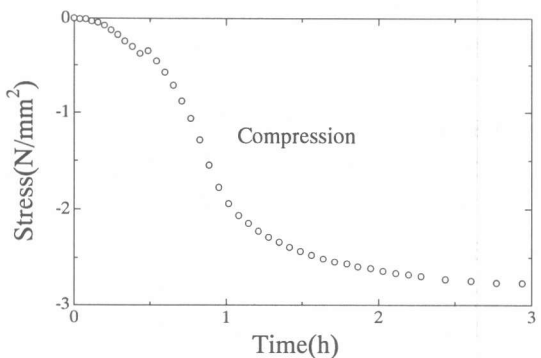


図-4(c) 応力の変化(UP)

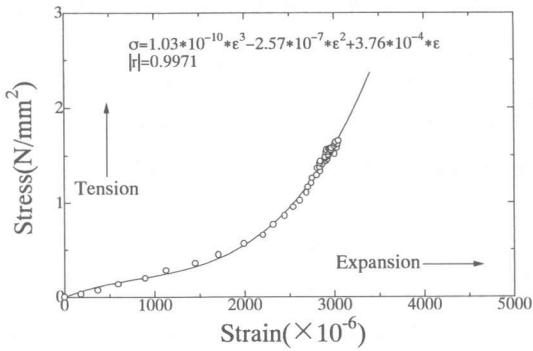


図-5(a) 応力-ひずみ関係(GM/St)

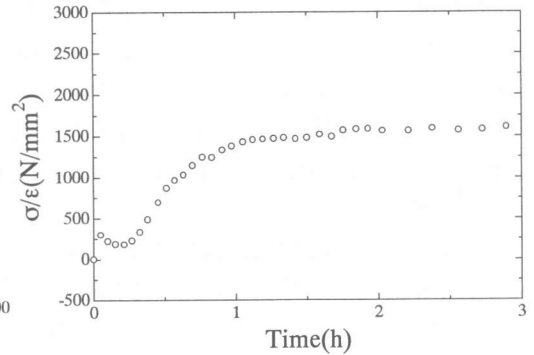


図-6(a) 応力-ひずみ関係の経時変化(GM/St)

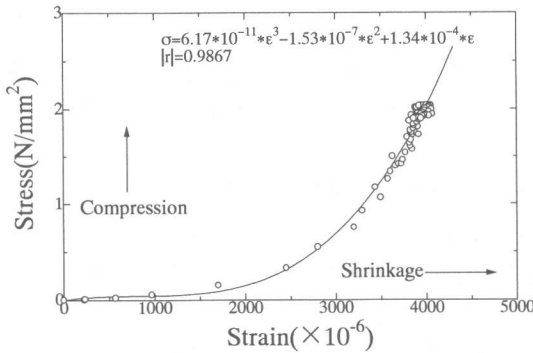


図-5(b) 応力-ひずみ関係(MMA)

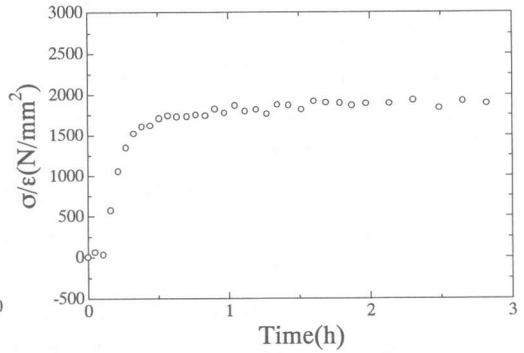


図-6(b) 応力-ひずみ関係の経時変化(MMA)

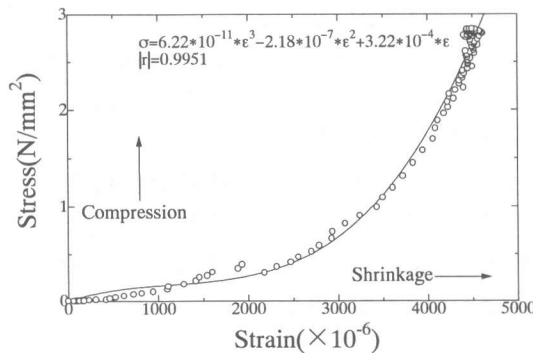


図-5(c) 応力-ひずみ関係(UP)

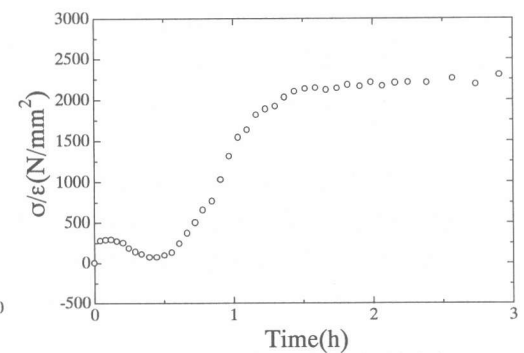


図-6(c) 応力-ひずみ関係の経時変化(UP)

動においても、硬化過程における発生応力とひずみの関係は図中に示した実験式のように表現できることがわかった。

3.4 応力とひずみの関係の経時変化

図-6は図-5で示した応力とひずみの関係を、次式によって応力-ひずみ関係の経時変化で示したものである。

$$[\sigma/\varepsilon]_{i+1} = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

図-6(a)はGM/Stの硬化による膨張に際して発生した応力とひずみの関係の経時変化、図-6

(b)はMMA、図-6(c)はUPの硬化による収縮過程に発生した応力とひずみの関係の経時変化である。すべてのポリマーモルタルにおいて、収縮、膨張にかかわらず時間とともに応力-ひずみ関係(σ/ε)が変化し一定値に近づいていく挙動となっている。しかし、一定値すなわち硬化が終了するまでの挙動は樹脂によって差異があり、MMAは応力発生後約15分程度で約2000N/mm²の一定の値になるが、GM/Stは約1600N/mm²、UPは約2300N/mm²の一定値に落ち着くまでに約1時間かかっている。

以上のように、硬化過程における発生応力とひずみの関係には樹脂によって異なった特性がある事、硬化過程の時間によってこの関係が変化する事は、ポリマーモルタルをコンクリート構造物の補修材料として用いる場合における、コンクリート部材の初期応力などの検討に対して基礎的な資料となる事が考えられる。

4. まとめ

コンクリート構造物の補修材料として使用される、ポリマーモルタルの硬化過程における収縮や膨張の挙動を明らかにするとともに、硬化過程において発生する応力をも測定した。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 新たに提案したひずみ測定装置は、非接触型のレーザー変位計を用いて、ポリマーモルタルの硬化過程において発生するひずみを収縮、膨張ともに測定することが可能である。また摩擦や付着、ならびに測定により供試体を拘束することなく、連続的な測定が可能となった。
- 2) ポリマーモルタルの硬化過程において発生する応力を、提案した装置で連続的に測定を行った。供試体に対する拘束はロードセルが感知する反力においてのみであり、測定反力以外の余分な拘束を考慮せずに、収縮、膨張ともに発生応力の評価が可能である。
- 3) 3種類のポリマーモルタルのうち、グリセロールメタクリレート/スチレンポリマーモルタル(GM/St)は膨張傾向を示した。またメチルメタクリレートポリマーモルタル(MMA)と不飽和ポリエステルポリマーモルタル(UP)は収縮傾向を示し、硬化過程において発生した応力とひずみは不飽和ポリエステルポリマーモルタルの方が大きい値を示した。
- 4) ひずみ測定装置と応力測定装置により得られた、ひずみ-時間と応力-時間の関係より、硬化過程に発生した応力とひずみの関係ならびにその経時変化を明らかにすることができた。これらの結果は、ポリマーモルタルによって補修を行う際に、コンクリート部材に導入される初期応力などに関する検討に対して、基礎的な資料となると考えられる。

[参考文献]

- [1]小柳 洽：レジンコンクリートの現状-とくに構造利用について-、コンクリート工学，Vol.31, No.4, pp.5-13, 1993
- [2]Omata, F., Kawakami, M., Wakayama, S., Yamamura, H. : Thermal Stress and Setting Shrinkage Stress of Concrete Members Repaired by Polymer Mortar, Proc. 8th International Congress on Polymers in Concrete, pp.113-118, 1995
- [3]膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法：コンクリート標準示方書-規準編-（平成8年制定）
- [4]Nguyen Van Loi, 内田裕市, 林富士男, 小柳 洽：ポリエステルRECの硬化収縮と拘束応力，コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.663-668, 1994
- [5]Koyanagi, W., Ucida, Y., Nguyen, L.V. : Internal Stress due to Setting Shrinkage in Polyester Resin Concrete, Proc. 8th International Congress on Polymers in Concrete, pp.435-440, 1995