K3-8

高温ペーストにおけるレオロジーとメモリー効果

Rheology and memory effect of hot paste

○植村千尋[1]，　中原明生[2]，　松尾洋介[3]
*Chihiro Uemura[1], Akio Nakahara[2], Yousuke Matsuo[3]

Abstract: It is found that paste remembers the direction of the applied external force by its plasticity. In this study, we did two experiments. One is the experiment to confirm whether hot paste can show memory effect (experiment 1). As a result of this experiment, memory effect is weakened therefore we wondered yield stress of paste might be increase in hot paste. So, I measured yield stress of hot paste (experiment 2). It is revealed that yield stress of paste is increased in hot paste. I am going to reveal the mechanism of increasing yield stress as a function of temperature and apply the result for engineering.

１．はじめに

粉末と水を混ぜ合わせた固液混合液を容器へ注ぎ，何も操作を加えずに放置すると，等方的な亀裂パターンが現れる．この固液混合液に対し，乾燥前にある種の振動を与えることで，亀裂の方向を制御できることが知られている．これをペーストのメモリー効果と呼ぶ[1].

また，振動を与えたペーストに対し短時間超音波を照射することによって，本来異方的な亀裂パターンが発生するはずのものを等方的な亀裂パターンにできることも発見されている．この技術で材料を物性的に一様で均質な割れにくい素材に仕上げられるなど，工学的な応用も期待されている[2]．本研究ではメモリー効果を残しにくくする手法を見出すことを目的とした．そこで注目したのが，温度の高いペーストを用いることである．

本研究ではメモリー効果を残すことがわかっている炭酸水酸化マグネシウムを用いて実験を行った．ここで，炭酸水酸化マグネシウムにおける乾燥亀裂パターンの形態相図を Fig. 1 に示す．

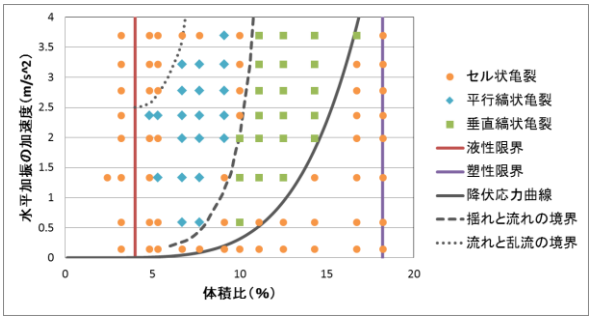


Figure 1. Phase diagram of desication crack pattern (magnesium carbonate hydroxide paste)

この実験ではペーストを容器に入れ，直後に 1 分間水平に振動させてから，室温かつ低湿度の条件でペーストをゆっくり乾燥させ，その後に発生する亀裂パターンを観察した．● は等方的なセル状亀裂パターンを表す．◆ で表した平行縞状亀裂は加振方向に対して平行(流れの記憶)に，■ で示した垂直縞状亀裂は加振方向に対して垂直(揺れの記憶)に表れる亀裂である．実線は振動によってペーストに加えられたせん断応力が降伏応力と等しくなるラインを表す．

この相図より，(1)メモリー効果を残すには降伏応力以上の力を加える必要があること，(2)炭酸水酸化マグネシウムペーストは，我々が「流れ」と「揺れ」の記憶と呼んでいる二つの異なる記憶を残す領域を持つことがわかる．本実験においては揺れの記憶が現れる領域で実験を行った．

２．実験１(高温ペーストにおけるメモリー効果)

高温ペーストにおいてメモリー効果はどのように作用するのか確認するための実験を行った．

２．１．方法

実験方法としては従来のメモリー効果の実験と同じである．詳しい手順を以下に述べる．

(１)ホットプレートにペーストを入れたボールを載せ，温める．この際，加熱により蒸発する分の水を多めに加えておく．

(２)温度と質量を測りながら加熱を続け，目標温度(65℃)かつ，多めに加えた水が全て蒸発した時点で加熱をやめる．

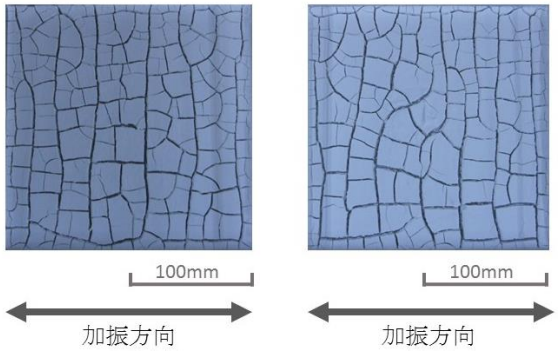
(３)出来上がったペーストを容器に注ぎ，加振する．

(４)数日放置し，乾燥亀裂を観察する．

１：日大理工・学部・航空，　２：日大理工・教員・一般物理　３：日大理工・研究員

２．２．結果

実験結果を以下の Fig. 2 に示す.



(a)25℃　(b)65℃

Figure 2. Crack pattern when temperature of paste is 25℃ and 65℃

この結果より，高温ペーストではメモリー効果が弱まることがわかる．また，実験中，ペーストの温度を上げるにつれて，降伏応力が上がっているように見えた．この結果を受けて次に示す実験２において，降伏応力の変化について定量的に調べることとした.

３．実験２(レオロジーの温度依存性)

実験１の結果を受け，高温ペーストにおける降伏応力の測定を行った.

３．１．方法

レオメータ(Anton Paar 社製/Physica MCR301)を用いて降伏応力の測定を行った．パラレルプレートで測定するペーストを挟み，せん断応力を掛けていく．その際に得られるせん断速度を測定した.

0℃，25℃，50℃，75℃のペーストに対し各 4 回測定を行い，平均値を各降伏応力として求めた.

３．２．結果

得られらたせん断応力とせん断速度のグラフを以下の Fig. 3 に示す.

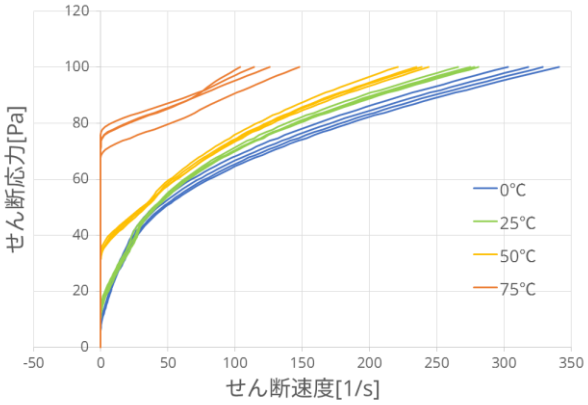


Figure 3. Relation between shear stress and shear velocity

この図においてせん断速度が 0 だったところから値が急に増加を始める時のせん断応力が降伏応力である．4 回の測定から平均値を出し，温度と降伏応力の関係についてまとめた．以下の Fig. 4 に示す.

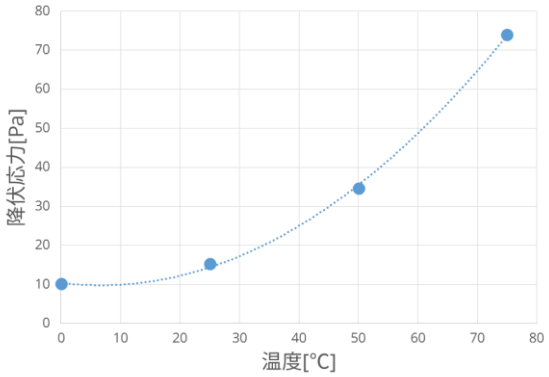


Figure 4. Yield stress as a function of temperature

このグラフからペーストの降伏応力は温度の増加関数となっていることがわかる.

４．考察

実験１より高温ペーストにおいては降伏応力の値が増加することがわかった．このことより，高温ペーストにおいては Fig1 における降伏応力の線が高加速度のほうへずれ，メモリー効果が残る領域が変化していると考えられる．しかし，測定中にペーストが乾燥していると実際の値よりも高い体積比における降伏応力の値が得られるので，降伏応力の値がやや大きくなっている可能性がある.

５．まとめと今後の展望

本実験を通してペーストは温度が高くなると降伏応力も上がることがわかった．また，降伏応力が変化するので，メモリー効果を残す体積比率等も変化する.

今後の展望として，より正確にレオロジー測定を行う必要がある．また，他の粉末，体積比率，液体でも同様な現象が見られるのかを確認し，降伏応力が温度の関数として変化するメカニズムに迫りたい.

６．参考文献

[1] 中原明生，松尾洋介，大信田丈志，「ペーストの記憶効果と破壊の制御への応用」日本物理学会誌 第 **70** 巻（2015 年）第 3 号 179-187

[2]中原明生，松尾洋介，伊藤丸人，米山瞭汰：特願 2014-038777(2014)－超音波照射による個液混合材料の異方構造の消去