

報告 コンクリートのチキソトロピー性の簡易評価方法

細見和広*1・田澤栄一*2・川本秀夫*3・河合研至*4

要旨：コンクリートのチキソトロピー性評価にあたっては、従来レオロジー定数の測定が行われてきた。本報告では、現場においてコンクリートのチキソトロピー性評価が必要となるような際に、簡易に行える試験方法の開発を目指し、その基礎的実験を行った。その結果、本実験で使用した評価方法が有効であることが確認された。

キーワード：コンクリート、チキソトロピー性、簡易試験方法

1. はじめに

一次覆工における従来の吹付け工法、またはNTL工法のひとつであるこて塗り式覆工工法でコンクリートに要求される性質は、吹付け後またはこて塗り後の岩盤との付着がよく、しかもポンプ圧送時には適度な流動性を有することである。このようなコンクリートは、外部から振動が与えられたときには粘性が低く、外部からの振動が取り除かれた時に瞬時にして粘性が高くなることによって得られる。すなわち、チキソトロピー性を有するコンクリートがこの要求を満たすことになる。しかし、このような特性を評価する方法はこれまでに報告がなく、従来はレオロジー定数の測定結果によって評価を行ってきた。本実験では、スランブ試験のような手軽な方法によってコンクリート（あるいはモルタル）のチキソトロピー性の評価を行うことができる方法の開発を目指した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験にはモルタルを用い、チキソトロピー性を付与させるための混和材料として、繊維状微粒子であるセピオライト（比重 2.3、繊維長 $5\mu\text{m}$ × 繊維

表1 セピオライトの化学組成

Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
18.0	53.5	2.0	0.5	2.0	23.0	0.3	0.5	99.8

(%)

径 $0.1\mu\text{m}$ 、比表面積 $280\text{ m}^2/\text{g}$) を使用した。セピオライトの化学組成を表1に示す。セメントには普通ポルトランドセメント（比重 3.16、ブレン値 $3270\text{ cm}^2/\text{g}$ ）、細骨材には風化花崗岩系山砂（比重 2.57、吸水率 1.99%、粗粒率 2.88）を使用した。

2.2 配合及び練混ぜ方法

本実験の配合は、文献[1][2]により吹付けコンクリートおよび吹付けモルタルとして使用されている配合を考慮し、 $S/C=4$ 、 $W/C=55\%$ を基準とした。セピオライトの添加量はセメントに対して外割で5~15%とし、またセピオライトの吸水性を考慮して、セピオライトの添加量に対して重量で300~600%の水を加えた。そのため本実験で用いたモルタルの水粉体比とし

- *1 広島大学大学院 工学研究科構造工学専攻、(正会員)
- *2 広島大学教授 工学部第4類(建設系)、工博(正会員)
- *3 中国電力(株) 土木部水力計画担当
- *4 広島大学助手 工学部第4類(建設系)、工博(正会員)

ては76.1~106.6%となっている。

また練混ぜ方法は、図1に示すようにダブルミキシング (D.M.)、シングルミキシング (S.M.) の2種類で行った。なおシングルミキシングにおいては、水投入後の練混ぜ時間を1~5分の範囲で変化させている。また、ダブルミキシングにおける一次水量は、セピオライトの添加量に応じて最適になるように調整した。

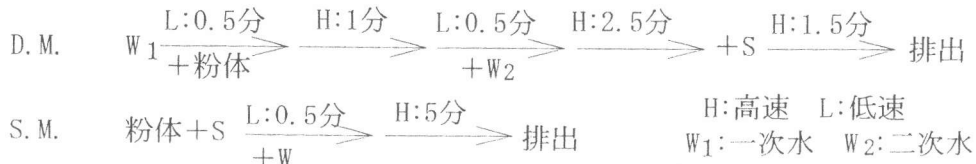


図1 練混ぜ方法

2. 3 実験方法

(1) 供試モルタルの特性

チキソトロピー性評価試験に使用するモルタルの特性を次の2つの物性により把握することとした。

(a) フロー試験

練り上がり直後のモルタルの粘度を測定するためにテーブルフロー試験に用いるコーンを用いてフロー値の測定ならびに1回/秒の振動を15回与えた後のフロー値について測定を行った。

(b) 貫入抵抗値

フロー試験と同様の目的で、プロクター貫入試験装置を用いてモルタルの練上がり直後の貫入抵抗値を測定した。

(2) チキソトロピー性評価試験

本報告で用いたチキソトロピー性評価方法の概略を図2に示す。練上がったモルタルの一定量をはかり取った後球状とし、表面の平滑な岩片に向けてその試料を鉛直に自由落下させる。(図2①) なお、ここで使用した岩片は花崗岩(吸水率0.46%)を切り出したものである。落下直後または一定時間経過した後、岩片を垂直となるまで10秒かけて引き起こす。(図2②~③) そのときのモルタル試料の付着特性の観察ならびに付着したモルタルが滑り落ちる(図2④)までの時間(付着時間)の測定を行った。また測定する付着時間は、10分までとした。これは、本研究の対象が吹付け材料であるため、実際の使用においては急結剤との併用が考えられ、数分後以降の付着特性においてはモルタルのチキソトロピー性のみならず凝結特性が大きく関与すると考え

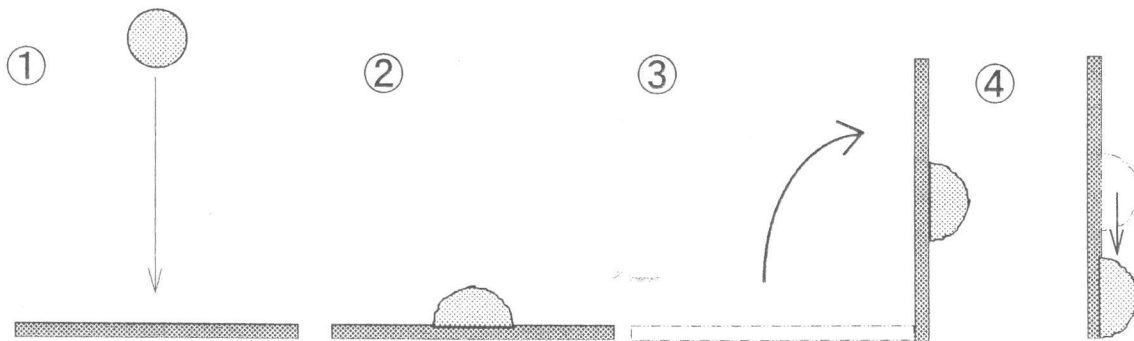


図2 チキソトロピー性評価方法

たためである。

3. 実験結果および考察

3. 1 供試モルタルの特性

本報告で用いたモルタルは、砂が高い比率を占めている。セピオライトの添加量ならびにセピオライトに加える水量を変化させたときのフロー値は、振動前で9.5cm～10.0cm、振動後で9.8cm～13.75cmに範囲にあり、貫入抵抗値は、 $1.54\text{kgf/cm}^2 \sim 15.68\text{kgf/cm}^2$ の値を示した。このなかで付着の良好な配合は、振動前のフロー値が9.5cm～9.6cm、振動後のフロー値が9.65cm～10.0cm、貫入抵抗値については、 $9.52\text{kgf/cm}^2 \sim 14.14\text{kgf/cm}^2$ であった。

セピオライトの添加量ならびにセピオライトに加える水量を変化させたモルタルを用いて行ったチキソトロピー性評価試験の一例を写真1～写真3に示す。

写真1の配合では、モルタル球を岩片上に落下させ垂直に引き起こしたとき、試験終了時まで半円状を保持している。また写真2に示す配合では、試料落下時に盤上で広がり岩片を引き起こしたとき試料が滑り落ちやすくなっている。

さらに写真3の配合では、試料落下時に試料にひび割れが生じ岩片を引き起こす時に試料の多くが落下して、中心部に円錐状の試料が残る。

粘性の変化により、写真2や写真3で示された状態のモルタルでは、リバウンド量が多くなり吹付け材料として不適切であると考えられる。落下時に半円状となる試料が、比較的付着性能に優れ、吹付け材料として適すると判断できる。

以上のことから、セピオライトの添加量またセピオライトに加える水量を変化させることにより、チキソトロピー性評価にあたって必要となるような粘性の異なる供試モルタルの作成が可能であることがわかった。

3. 2 チキソトロピー性評価試験

本報告で用いたチキソトロピー性評価方法実施の一例を写真4に示す。写真4(d)に示される状態が維持される時間(付着時間)により、そのモルタルのチキソトロピー性を評価するものだが、実験を行う際の様々な条件の相違が付着時間に鋭敏に反映されることがわかった。そこで、簡易評価方法として適切な試験条件を設定するため、各要因を変化させて実験を実施した。

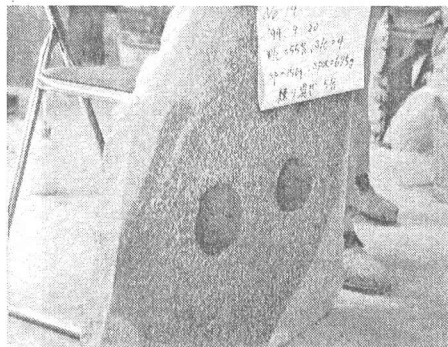


写真1 適度な粘性を持つ配合

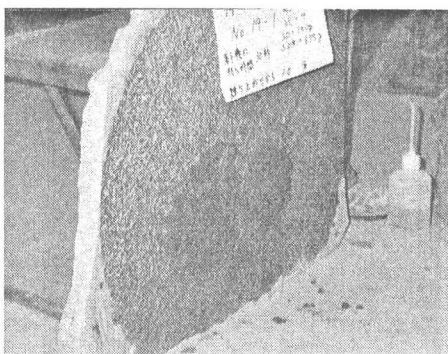


写真2 低い粘性の配合

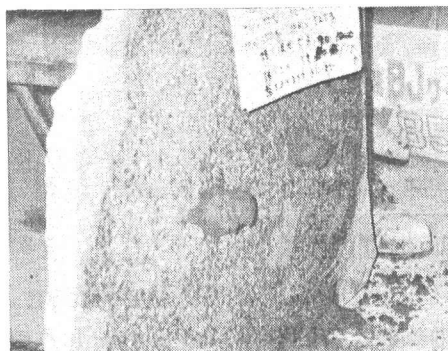
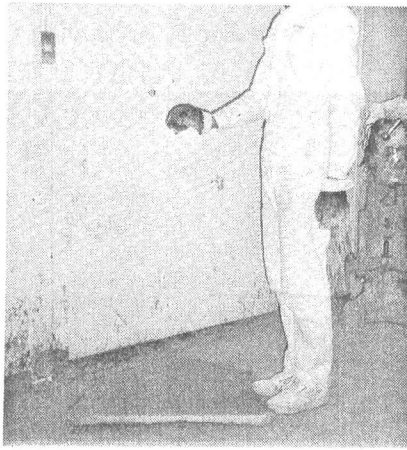
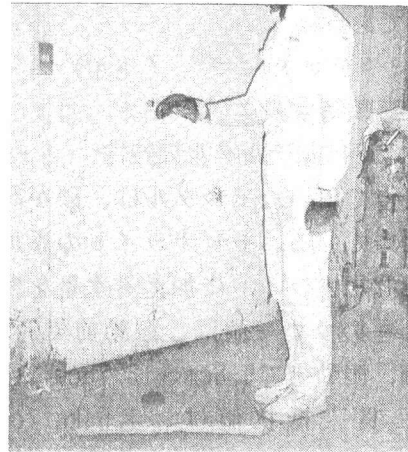


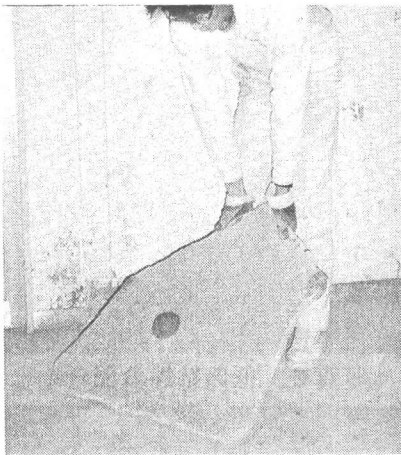
写真3 高い粘性の配合



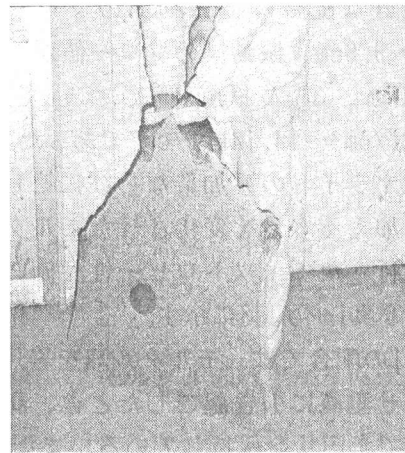
(a)岩片に向けて試料を落下する



(b)試料落下直後の状況



(c)岩片を引き起こす



(d)垂直まで引き起こした状態

写真4 チキソトロピー性評価試験実施の一例

(1)練混ぜ時間の影響

シングルミキシングにて練混ぜを行い、モルタルの練混ぜ時間を1分と5分とした場合の試験結果を図3に示す。セピオライトは、セメント量に対し15%添加した。練混ぜ時間が5分の時には、水粉体比、練置き時間にかかわらず10分間付着した。これに対し練混ぜ時間が1分のときには、練置き時間による相違がみられ、特に水粉体比が100%と106.6%のモルタルにおいては、練置き時間50分を境として付着時間が極端に変化した。

練混ぜ時間と振動後のフロー増加量の関係を図4に示すが水粉体比100%、106.6%のモルタルではセピオライトの吸水が継続的に生

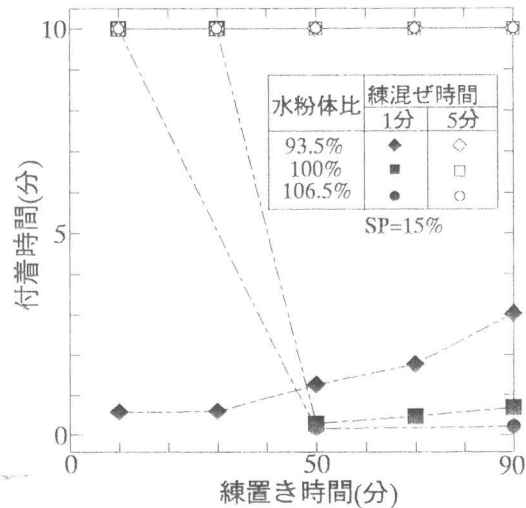


図3 練混ぜ後の経過時間と付着時間の関係

していることが伺われた。すなわち、図3でみられた極端な付着時間の変化は、セピオライトの吸水性状を反映したものであり、モルタルの均一性が本評価方法の評価値に及ぼす影響の大きいことがわかった。なお、上記の点を考慮して、以降の実験ではモルタルの練混ぜ時間を5分とするとともに、セピオライトの分散向上のため、練混ぜはダブルミキシングにて行った。セピオライトは、セメントに対して5%~15%添加した。

(2) 待ち時間の影響

待ち時間を変化させた場合の付着時間測定結果を図5に示す。ここで、待ち時間とは、試料を岩片に落下後、岩片を引き起こすまでの静置時間を指すこととする。すなわち、図2②または、写真4(b)に示される状態を保持する時間である。概して待ち時間が長いものほど付着時間が延びているが、セピオライト(SP)の添加量が15%の場合には、待ち時間が1分のときに極小を示す結果となった。待ち時間の相違による付着時間の変化は、トンネル覆工における吹付けコンクリートの遅れ破壊を判断する指標としての利用も考えられ、今回の実験の範囲では待ち時間が異なる場合に付着時間には大きな差は認められなかったものの、本評価方法においていくつかの待ち時間において測定を行うことは重要な意味を持つものと考えられる。

(3) 試料重量の影響

試料の重量を100gから400gまで変化させた試験結果を図6に示す。この図より、試料重量が付着時間に大きな影響を与えていることがわかる。試料重量の増加は、岩片との接触時における慣性が強く作用するため、その影響を受けて付着特性が変化することが考えられる。したがって、モルタルの持つチキソトロピー性が付着時間に反映させる範囲は、試料重量の相違によって付着時間が大きく変化する範囲にあると考えられ、本評価方法に利用する試料重量としては、約150g~300gが適

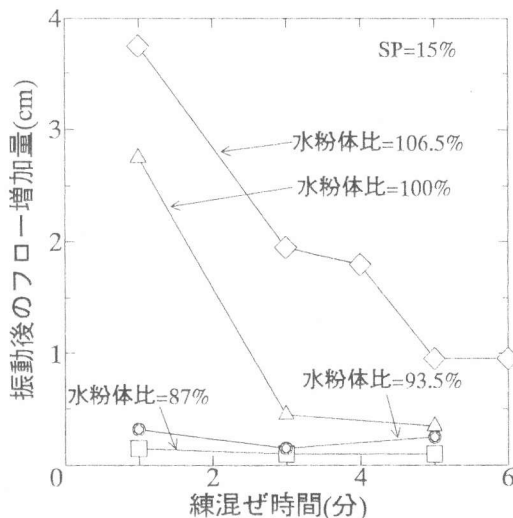


図4 練混ぜ時間とフロー増加量の関係

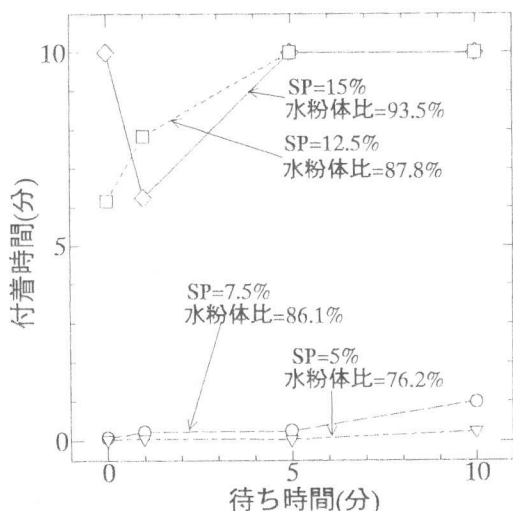


図5 待ち時間と付着時間の関係

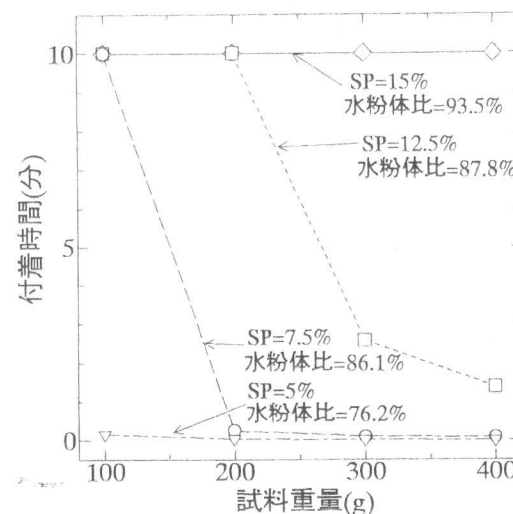


図6 試料重量と付着時間の関係

しているのではないと思われる。

(4) 試料の落下高さの影響

試料の落下高さを0.5m~1.5mの範囲で変化させた試験結果を図7に示す。落下高さが低い場合には、セピオライトの添加量の相違によって付着時間に大きな差が見られず、岩片へのモルタルの付着が不十分なためにモルタルの性質が付着時間に反映されていないものと思われる。ただし、極端に落下高さを高くすることは、(3)における試料重量を増すことと同じ効果であり落下時にひび割れ等も生じやすくなる。このことから、図7の結果を勘案したとき、本評価方法における落下高さとしては、1m前後が最適と考えられる。

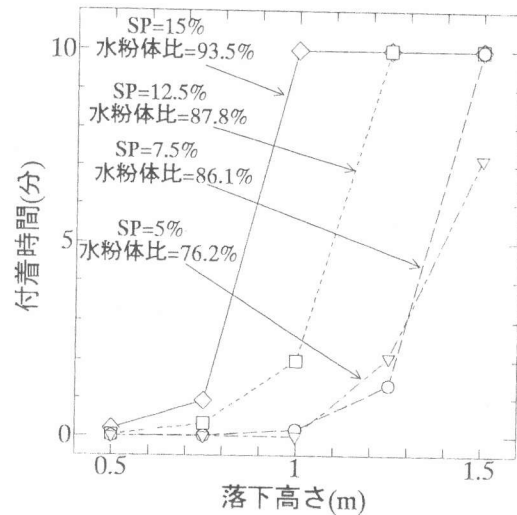


図7 落下高さと付着時間の関係

以上の試験結果より本報告で用いた評価方法において、試料の付着性状を知るための試験条件としては、試料重量については、150g~300g、落下高さについては、0.75m~1.25mが適していることが明らかとなった。今後は試験の再現性等についてさらに詳細に検討を行っていく必要があると思われる。

4. まとめ

本研究では、スランプ試験のような手軽な方法により、コンクリート（またはモルタル）のチキソトロピー性の評価を行うことができる手法の開発を目指し、簡易評価方法の検討を行った。その結果、次のような結論が得られた。

- (1) 吹付けコンクリート（モルタル）のチキソトロピー性を評価する手法として、本研究で用いた評価方法は有効であることがわかった。
- (2) 本研究で用いた評価方法を確立していくためには、再現性を含めた種々の要因の詳細な検討が必要となる。

謝辞

本研究の一部は財団法人中国電力研究財団試験研究助成金により行われたものである。ここに記して感謝の意を表します。

<参考文献>

- [1] AAW協会：AAW工法 KKEフレーム設計施工指針（平成4年度版）、pp104, 建設基礎エンジニアリング株式会社, 1992.7
- [2] 岩崎訓明・中原 康：最新コンクリート技術選書7プレパックドコンクリート吹付けコンクリート、pp134-140, 1981.6