

報告 吹付け材料のチキソトロピー性簡易評価方法の適用性

榎畑智之*¹・河合研至*²・細見和広*³・田澤栄一*⁴

要旨: 従来フレッシュコンクリートのチキソトロピー性評価にあたっては、レオロジー定数の測定が行われてきた。昨年度の報告では、現場において簡易に行えるチキソトロピー性に関する試験方法の基礎的実験を行ない、その結果、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。本実験では昨年度の結果を受け、最適試験条件の確立ならびに評価値の設定を行うとともに、本実験で使用した試料のチキソトロピー性を回転粘度計によるレオロジー定数の測定により確認した。

キーワード: チキソトロピー性、簡易評価方法、吹付け材料、セピオライト

1. はじめに

吹付けコンクリートのリバウンドは通常30%~35% [1]、場合によってはさらに増加するとされている。リバウンドの低減は、経済的そして環境的な改善につながる。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粘性が高くなる性質であるチキソトロピー性をコンクリートが有することにより、上記の問題を解決することが可能と考えられる。昨年度の報告 [2] では、スランプ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を提案し、評価試験方法として有効であることを明らかとした。本実験では昨年度において問題点として残された試験の再現性を向上させ、最適な試験条件を確立することを目的として実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験に使用するモルタルの材料は、セメントに普通ポルトランドセメント（比重 3.16、ブレン値 3270 cm²/g）、細骨材に風化花崗岩系山砂（比重 2.57、吸水率 1.99%、粗粒率 2.88）、チキソトロピー性を付与させる混和材料としてセピオライト（比重 2.3、繊維長 5 μm × 繊維径 0.1 μm、比表面積 280 m²/g）を使用した。セピオライトの化学組成を表1に示す。

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
18.0	53.5	2.0	0.5	2.0	23.0	0.3	0.5

2.2 配合および実験方法

2.2.1 供試モルタルの特性

(a) フロー試験

練上がり直後のモルタルの粘性を測定するために、テーブルフロー試験によりコーンを引き上げた直後の0打フロー値ならびに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。

* 1 広島大学 工学部第4類（建設系）、（正会員）

* 2 広島大学助教授 工学部第4類（建設系）、工博（正会員）

* 3 広島大学大学院 工学研究科構造工学専攻

* 4 広島大学教授 工学部第4類（建設系）、工博（正会員）

(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。

2.2.2 チキソトロピー性評価方法

(1) 配合及び練混ぜ方法

表2に使用した配合を示す。本実験の配合は、文献[3]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、 $W/C=55\%$ 、 $S/C=4$ の

表2 用いたモルタルの配合

水粉体比	重量比				1次水粉体比
	W	C	S	セピオライト	
87.7%	0.55+0.437	1	4	0.125	41%
86.0%	0.55+0.375	1	4	0.075	37%

モルタルとした。チキソトロピー性の強さを変化させるため、セピオライト混入率はセメントに対して外割で7.5%ならびに12.5%とした。セピオライトの吸水性を考慮して、セピオライトの混入量に対して重量で350%~500%の水を加えた。練混ぜはダブルミキシングにて行い、練混ぜ時間は5分とした。なおダブルミキシングの1次水粉体比は表2のとおりである。

(2) 実験方法

本報告で用いたチキソトロピー性評価方法の概略を図1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1①)。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(待ち時間)経過した後(図1②)、岩片を垂直となるまで10秒かけて引き起こす(図1③)。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1④)までの時間(付着時間)の測定を行った。そして図1③の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評価を行った。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たためである。

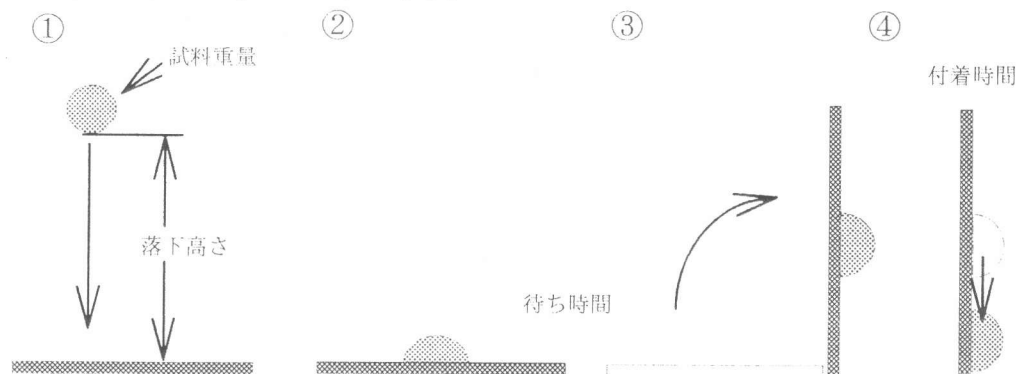


図1 簡易評価試験の手順

2.2.3 回転粘度計による粘度の測定

写真1に示すような同心2重円筒式回転粘度計(内円筒の半径50mm、外円筒の内半径80mm)により粘度の測定を行った。なお、測定にあたっては、外円筒底面と内円筒底面との距離を20mm、内円筒側面と接する試料の深さを120mmとした。試験はペーストにより行い、セピオライト無混入の場合水セメント比を35~45%、セピオライトを7.5%混入した場合水粉体比を50

～60%とした。練上がり温度が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ となるようにし、練上がり後10分で測定を行った。外円筒の回転数は段階的に上昇・下降させ、それぞれの回転数において2分経過後に内円筒に働くトルクを測定した。回転数とトルクの測定結果からコンシステンシー曲線を描くことにより、チキソトロピー性の評価を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 チキソトロピー性評価試験

試験を行う際の条件の相違が付着時間に鋭敏に反映されることが考えられる。試料を岩片に落下後、岩片を引き起こすまでの静置時間（図1②）である待ち時間は、0～1分では付着時間にばらつきが大きく、5～10分ではばらつきが小さいことがわかっている〔2〕。

そこで、短時間で試験を行うことができる最適待ち時間を設定するため、待ち時間を2～5分と変化させて実験を行った。実験では、それぞれの待ち時間において、落下高さを変化させた場合と試料重量を変化させた場合について検討を行った。実験に使用したモルタルの0打フロー値は98～102、フロー値は100～104、貫入抵抗値は $0.96\text{MPa} \sim 1.17\text{MPa}$ （138psi～169psi）であった。

(1) 試料重量を変化させた場合

セピオライトの混入率を12.5%、待ち時間を2分とし、試料重量100g～400gに変化させた試験結果を図2に示す。このときの落下高さは1.0mとした。試料重量100g、200g、300gならびに400gにおいて、8回の測定中それぞれ8回、8回、7回、4回は付着時間が10分となり、チキソトロピー性の強いモルタルでは試料重量の差を受けにくいことが示された。そのため以後の試験については、試験条件確立の観点からチキソトロピー性が弱い配合であるセピオライト混入率7.5%を用いて試験を行った。

待ち時間を2～5分とし、試料重量を100g～400gに変化させた試験結果を図3に示す。このときの落下高さは1.0mとした。待ち時間2～5分では、待ち時間0.5分と比較して付着時間が延びていることがわかる。したがって、待ち時間を延ばすことにより、チキソトロピー性を有するモルタルであるか否かの判断は容易となると考えられる。それぞれの待ち時間における測定結果を図4に示す。

試料重量が200gと300gの場合に概して付着時間の

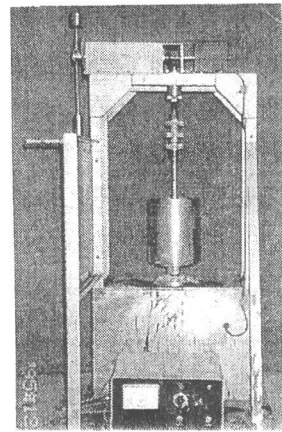


写真1 回転粘度計

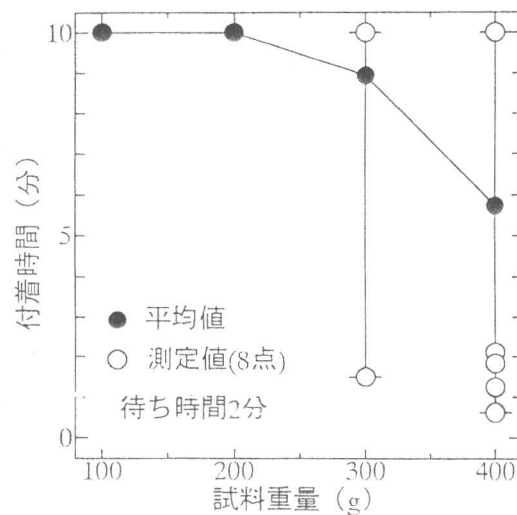


図2 試料重量と付着時間の関係
(セピオライト混入率 12.5%)

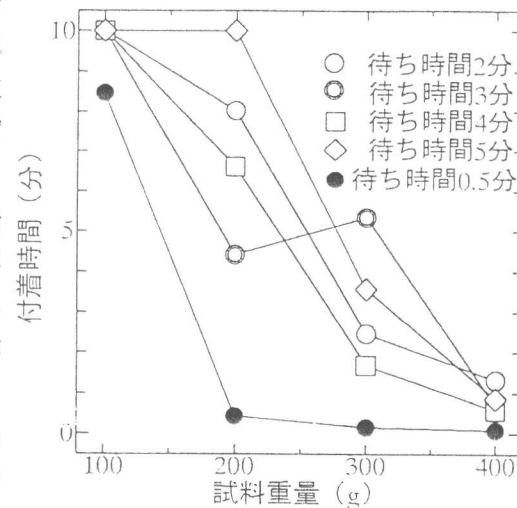


図3 試料重量と付着時間の関係
(セピオライト混入率 7.5%)

変動が大きくなった。昨年度の実験においても、ばらつきが大きくなる試験条件が現れたため、本実験では室温や岩片の表面状態などばらつきを生じさせる原因となる考えられる要因についてさらに注意を払った。にもかかわらず、このようなばらつきが生じたことから、ばらつきを生じさせる原因は常に一定とはしがたい箇所にあることとなる。すなわち、本評価方法の手順の中で球状試料の作成がこれに当たる。個人差が現れないよう、球状試料の作成は常に同一の担当者が行ったが、球状試料の若干の締め固め具合の差がばらつきとなって現れたものと思われる。したがって締め固めが一定となるような試料作成方法を開発することによりこの問題は解決できるものと思われる。

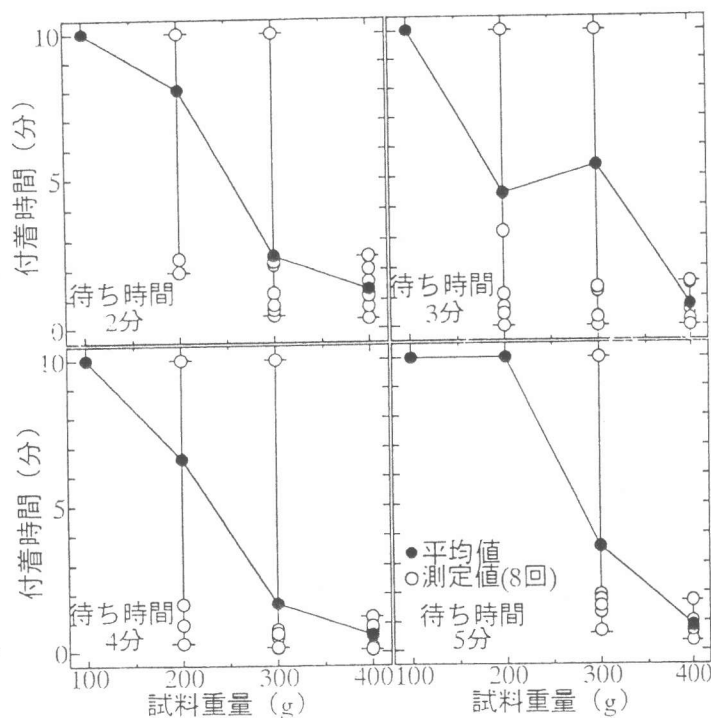


図4 それぞれの待ち時間における試料重量と付着時間の関係

(2) 落下高さを変化させた場合

待ち時間を2~5分とし、落下高さを0.5~1.5mで変化させた評価試験結果を図5に示す。このときの試料重量は300gとした。待ち時間2~5分では、昨年度の研究による待ち時間0.5分と比べ付着時間が長くなっている。そして待ち時間が2~5分の付着時間は、比較的類似した傾向を示した。それぞれの待ち時間における付着時間の測定結果を図6に示す。測定値が大きな幅を持つ結果となった条件が数カ所認められた。ただし、各落下高さについて8回の測定を行ったが、大きなばらつきを生じさせたのは、いずれの場合においても8回のうち1回の測定であった。すなわち、ばらつきを生じた落下高さにおいて、かけ離れた1回の測定値を棄却すると、付着時間と落下高さの関係は、待ち時間によらずほぼ一致する結果となる。このことから、待ち時間を2分以上とすることにより、待ち時間の相違が付着時間に及ぼす影響はないと考えられる。また試験回数に関しては、複数回実施することが望ましいと言える。

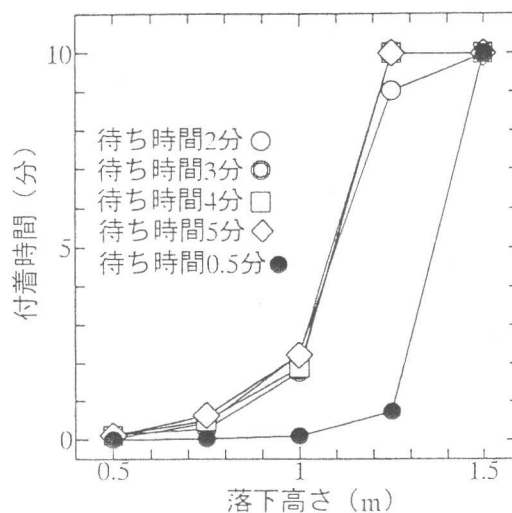


図5 落下高さと付着時間の関係

以上の試験結果より本報告で用いた評価方法において待ち時間としては、試験時間の短縮という点から2分が適当であると考えられる。また、試料のチキソトロピー性を弱くした配合であることを考え合わせたとき、試料重量を300g、落下高さを1.0mとするのが適当であると思われる。

(3) 付着時間

本報告における評価試験を通じて、測定を行った付着時間に関して頻度分布を示したのが図7である。ただし、ここには昨年度の実験結果も含んでいる。この結果より付着時間の大部分が、0~3分そして10分に集中しており、4分~10分未満の付着時間はほとんど存在しないことがわかる。実験実施時の付着状況を勘案すると、付着時間が10分となる配合は、非常に付着性が強く、さらに測定時間を延長したとしても落下しないと思われる。すなわち、付着時間が10分の配合とそれ以外での配合では、モルタルのレオロジー特性に顕著な差がある。一方、付着時間が0分の配合とそれ以外の配合もまた、モルタルのレオロジー特性には大きな相違があるように思われる。

このことは、ばらつきが大きく生じた試験条件の場合であっても、ばらつきを生じさせる測定値として付着時間0分を示すものはほとんど存在しなかったことから裏付けられる。以上のことから、本評価方法を用いたとき、評価値である付着時間はモルタルのレオロジー特性によって次の3つに分類できると思われる。

- ① 付着時間が0分: チキソトロピー性を有しない
- ② 付着時間が0分を越え10分未満: ある程度のチキソトロピー性を有する
- ③ 付着時間が10分: 吹付け材料として十分なチキソトロピー性を有する

ただし、付着時間が4分~10分未満を示すことがほとんど存在しなかったことから、付着時間の測定は4分~10分であり、上記の分類は付着時間4分を判断基準として良いと思われる。

3.2 回転粘度計による粘度の測定

水セメント比を35~45%の範囲で変化させたセメントペーストの試験結果を図8に、水粉体比50~60%、セメントの外割でセピオライトを7.5%混入したペーストの試験結果を図9に示す。なお、水セメント比または水粉体比は、セピオライト無混入と混入の場合に、回転数60rpmにおけるせん断応力がほぼ等しくなるような3つの組み合わせとした。セピオライトを混入した試料は、セピオライト無混入の試料と比較してヒステリシスループ面積が増加しており、セピ

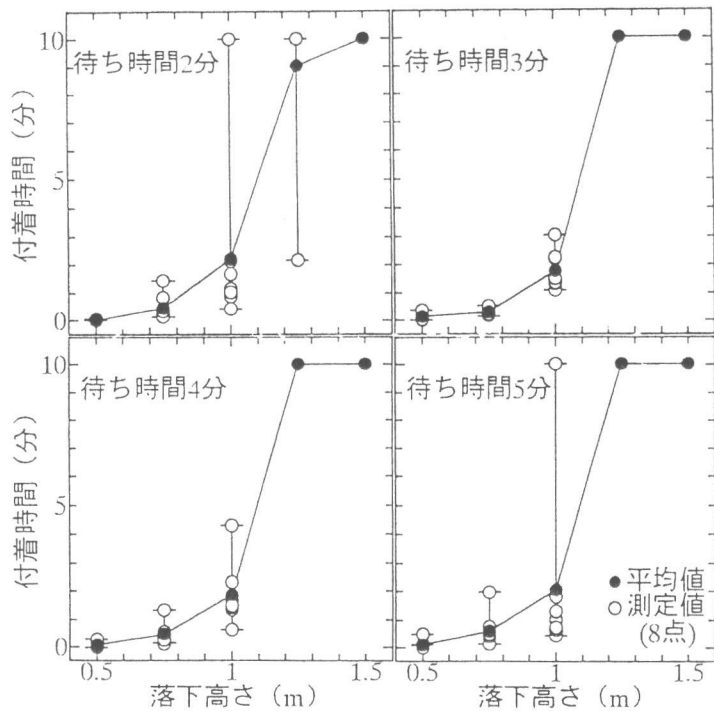


図6 それぞれの待ち時間における落下高さと付着時間の関係

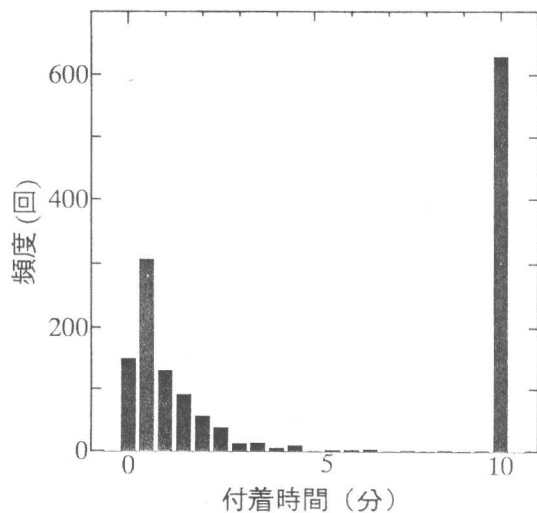


図7 測定結果として表れた付着時間の頻度分布

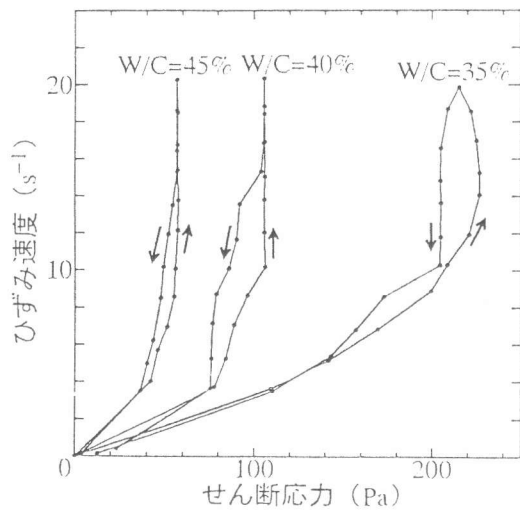


図 8 セピオライト無混入ペーストのコンシステンシー曲線

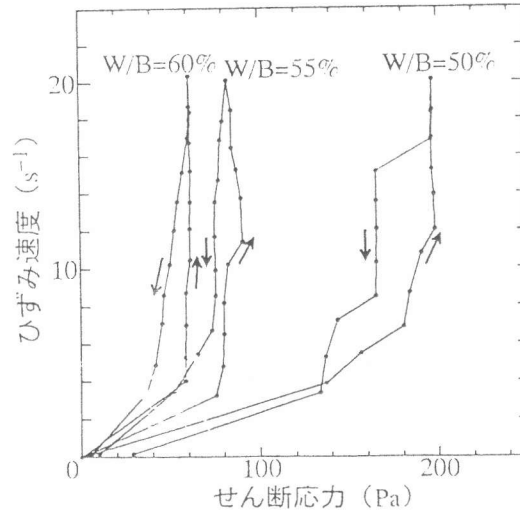


図 9 セピオライト混入ペーストのコンシステンシー曲線

オライトの混入によりチキソトロピー性が向上していることが明らかとなった。

また表2に示すヒステリシスループの面積の計算結果からも、このことは確認できる。今回の測定では、細骨材が測定結果に影響を及ぼすことを避けるため、試料としてセメントペーストを用いたが、この結果より評価

方法で使用したセピオライト混入モルタルのチキソトロピー性がレオロジー特性の面から確認された。

表3 コンシステンシー曲線におけるヒステリシスループの面積

水粉体比	セピオライト無混入			セピオライト7.5%混入		
	35%	40%	45%	50%	55%	60%
ループ面積(Pa/s)	213.1	197.9	56.5	330.2	203.6	189.0

4.まとめ

本研究では、スランブ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適用を目指し、その最適試験条件について検討を行った。その結果、次のような結論が得られた。

- (1) 吹付け材料のチキソトロピー性評価方法における試験条件として、待ち時間は2分、落下高さは1.0m、試料重量は300g、測定時間は4分が最適であることがわかった。
- (2) 上記の測定結果から、吹付け材料のチキソトロピー性を次のように評価できる。
 - ①付着時間が0分:チキソトロピー性を有しない
 - ②付着時間が0分を越え4分未満:ある程度のチキソトロピー性を有する
 - ③付着時間が4分:吹付け材料として十分なチキソトロピー性を有する
- (3) セピオライトを混入することによりチキソトロピー性が向上することが回転粘度計を用いて確認できた。

【参考文献】

- [1]大成建設技術開発部:コンクリートの話,pp57,1995.2
- [2]細見和広,田澤栄一,川本秀夫,河合研至:コンクリートのチキソトロピー性の簡易評価方法,コンクリート工学年次論文報告集,vol.17,No.1,pp683-689,1995
- [3]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