

ベーンせん断試験によるフレッシュモルタルのこわばり評価に関する実験的検討

東海大学大学院 学生会員 ○坊村 侑
フローリック 技術本部 正会員 平野 修也
清水建設 土木技術本部 正会員 根本 浩史
東海大学 正会員 伊達 重之

1. はじめに

初期欠陥発生の要因の一つに、コンクリート特有の性状変化である「こわばり」があると考えられる¹⁾。フレッシュコンクリートが一旦静置状態になるとこわばりが生じ、施工性能が大きく低下することは経験的に知られている。しかし、この現象を実験的に検証した事例は少ない。本研究では、実験室で比較的簡単に混練できるフレッシュモルタルを用いて、静置により生じるこわばりを評価することを目的として、コンシステンシー試験であるミニスランプ試験、回転粘度計を用いたレオロジー試験、さらに既往の研究²⁾を参考にベーンせん断試験を実施した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および試験配合

本実験で使用した材料を表-1に示す。細骨材は山砂と砕砂の2水準、高性能 AE 減水剤は標準的なタイプと増粘剤一液型の2水準設けた。モルタルの配合を表-2に示す。単位水量 175kg/m³ で単位セメント量 500kg/m³ のコンクリート配合を想定した a 配合、同じく、単位水量 165kg/m³ で単位セメント量 270kg/m³ を想定した b 配合とした。また、それぞれの配合に対して細骨材の種類を山砂から砕砂に変更した場合、高性能 AE 減水剤を増粘剤一液タイプに変更した場合についても検証した。目標ミニスランプは、表中の数値とした。

2.2 試験項目

試験項目を表-3に示す。目標ミニスランプが得られた試料を対象に回転粘度計による測定とベーンせん断試験を行った。それぞれの配合に対して、測定前に試料を攪拌する場合と、モルタルのこわばりが評価できるように試料を容器内に静置させた場合の2水準を設けた。どちらの場合も、測定のタイミングは、練上り直後、練上りからの経過時間 30,60,90 分後とした。

回転粘度計のスピンデルは、十字断面の4枚羽(高さ H×幅 D=40×20mm)とした。ベーンせん断試験機は回転粘度計と同一寸法のスピンデルを装着し、一定のせん断速度 6rpm となるよう手動で回転させて、最大トルク値 M_{max} を得た。M_{max} を Cadling の式を簡素化した式(1)に代入し、モルタルの最大せん断応力 τ_v を算出した。

$$\tau_v = M_{max} / \pi(D^2H/2 + D^3/6) \tag{1}$$

キーワード こわばり、ベーンせん断試験、回転粘度計、ミニスランプ、モルタル、経時変化
連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学湘南校舎 TEL 0463-58-1211

表-1 使用材料

材料	記号	概要・品質・主成分
水	W	上水道水(つくば市)
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm ³)
細骨材	S1	山砂(静岡県掛川市 表乾密度:2.56g/cm ³ , F.M.:2.67)
	S2	砕砂(茨城県桜川市 表乾密度:2.61g/cm ³ , F.M.:2.94)
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤(標準形1種)
	VSP	増粘剤一液型高性能 AE 減水剤(標準形1種)

表-2 モルタル配合

No.	W/C (%)	単位量(g/L)				S/C	目標ミニスランプ (cm)	混和剤種別
		W	C	S1	S2			
a	35.0	264	754	1248	-	1.65	12.0	SP
a'				-	1272	1.69		SP
a''				1248	-	1.65		VSP
b	61.1	249	407	1567	-	3.85	4.0	SP
b'				-	1598	3.92		SP
b''				1567	-	3.85		VSP

表-3 試験項目

項目	概要
ミニスランプ試験	ミニスランブコーン(JIS A 1171)を使用して目標ミニスランプが 12 及び 4 cm が得られるように混和剤添加率を調整
回転粘度計による測定	回転粘度計(BROOKFIELD 社製 RST-SST)を用いて、ヒステリシスループで得られる極大せん断応力(見かけの降伏値)を測定
ベーンせん断試験	回転粘度計と並行して最大トルク値を測定



写真-1 ベーンせん断試験



写真-2 回転粘度計

3. 実験結果および考察

3.1 各測定値の経時変化

図-1 に各測定値の経時変化を示す。ミニスランプは、時間の経過と共に低下する傾向を示し、攪拌条件に比べて、静置条件の試料の方が測定値の低下量が大きくなった。これは、静置によってモルタルがこわばったことによるものと考えられる。砕砂を使用すると、山砂を使用した配合よりもミニスランプの低下量は小さくなった。これは、目標スランプを得るのに必要な混和剤使用量(凡例の数値)が、山砂よりも砕砂を使用した方が多くなったことによるものと考えられる。また、SPを使用した場合とVSPを使用した場合では、後者の方が静置条件下でのミニスランプは大きく低下した。

一方、回転粘度計およびベーンせん断試験で得られた最大せん断応力の値は、上述のミニスランプの傾向とは逆に経時的に増加する傾向を示した。中でもVSPの経時的な増加が顕著となり、特に増粘剤を用いると静置時のこわばりが助長されることが示唆された。

3.2 回転粘度計の最大せん断応力と各試験値との関係

図-1 の結果から回転粘度計の最大せん断応力とミニスランプの関係を図-2(凡例は図-1 と共通)に示す。多少のばらつきはあるが最大せん断応力が大きくなるとミニスランプが低下する傾向を示し、ある点を境に低下度合いが頭打ちとなった。この傾向は、細骨材種類やセメント量、混和剤種類、攪拌と静置の違いを問わず同様であった。ミニスランプ 5cm 付近まではミニスランプ試験により最大せん断応力を推定できる可能性があるが、流動性が著しく低くなると、最大せん断応力の違いを判別できないことが示唆された。

回転粘度計とベーンせん断試験の測定結果を図-3(凡例は図-1 と共通)により比較する。両値はせん断応力 3000Pa 程度までは類似した値を示すが、静置した試料では 3000Pa 以上になるとベーンせん断試験の測定値が卓越し、飛躍的に上昇した。これは、ベーンせん断試験における手動測定では加速度を制御するのが難しく、機械測定に比べてせん断応力を高く見積もる可能性を示唆している。この点は今後の課題である。ベーンせん断試験は、ミニスランプ試験では判別できない低スランプ時に生じるこわばりの大きさを数値化する手法として、有効であることが示唆された。

4. まとめ

静置によってモルタルがこわばる現象を見かけの降伏値が増加する現象として仮定し、ベーンせん断試験を用いて数値化することを試みた。ベーンせん断試験の結果は回転粘度計の測定結果と概ね対応し、ミニスランプ試験では判別できない低スランプ領域での見かけの降伏値の差を数値化できた。このことから、フレッシュモルタルに生じるこわばりの大きさを比較的簡便に評価できる可能性が見出された。

参考文献

- 1) 根本浩史, 平野修也, 伊達重之, 橋本紳一郎: コンクリートのこわばりを低減する混和剤, コンクリート工学, Vol.57, No.1, pp.16-19, 2019.1
- 2) 平野修也, 西祐宜: ベーンせん断試験によるフレッシュコンクリートのハンドリングの評価に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol40, No.1, pp.1107-1112, 2018
- 3) 根本浩史, 平野修也, 伊達重之, 橋本紳一郎: フレッシュコンクリートのこわばりが施工性能に与える影響に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, 2019

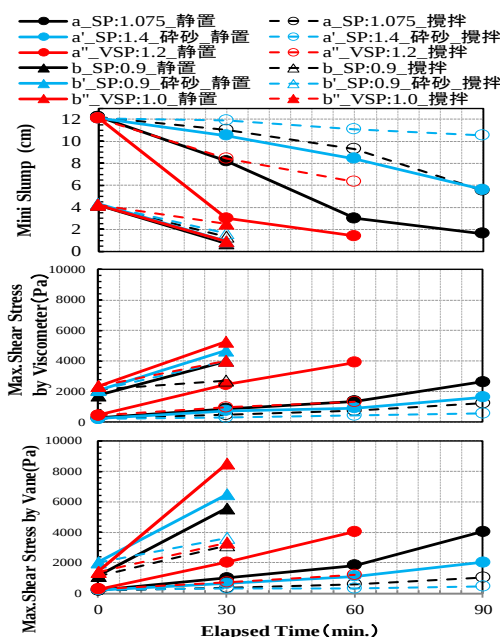


図-1 各測定値の経時変化 (攪拌および静置)

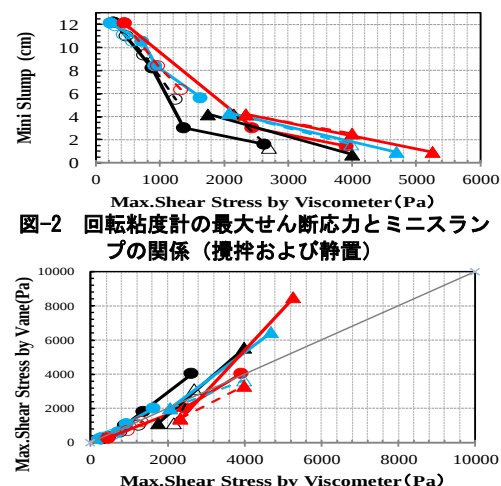


図-2 回転粘度計の最大せん断応力とミニスランプの関係 (攪拌および静置)

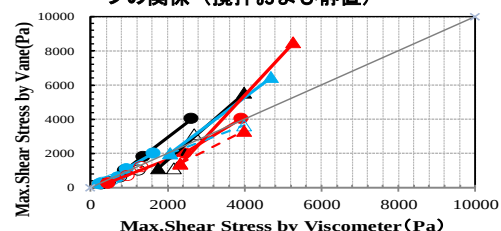


図-3 回転粘度計とベーン試験の測定結果の比較 (攪拌および静置)