

近畿大学理工学部 正員 玉井 元治
全上 正員 ○川俣 龍夫

1. まえがき

建設施工の多様化にともない特殊注入工法が多く用いられているが、セメント系を使用する場合には、材料分離の防止や注入特性の改良を目的に鉱物質微粉末のうちベントナイトを混入する傾向がある。

本研究は、ベントナイト—木系、セメント—木系、および、ベントナイト—木—セメント系の定常流におけるレオロジー特性と、それ等の軟硬化過程をR.C.P.法(Raised Cosine Pulse Method)^{*1}により測定した結果につき論じたものである。

2. 実験方法

1) 使用材料 セメントは、大阪セメント製の普通ポルトランドセメントを、ベントナイトは、群馬産、山形産、およびワイオミング産を用いた。

2) 材料の調整 ベントナイトは、110℃で24時間乾燥したものを、その溶解は、GE製M45 WHW型ミキサーにより行い、24時間膨潤させたものを使用した。セメント添加後の攪拌時間は、2分間とした。

3) レオロジー量の測定 供試体の温度は、附属温度調節器により20℃一定とし、RA-101型、レオベキシーアナライザー(岩本製作所製)を用い、定常剪断法(2重円筒型、外筒径φ22mm、内筒径φ18mm、外筒回転0.01~300 rpm)によりコンシステンシー曲線を求め、また、RCP法(外筒回転角; 1°, パルス周期; 10 sec)により軟硬化性を測定した。

3. 実験結果と考察

1) 定常剪断法によるコンシステンシー曲線

a) Fig. 1は、ベントナイトの種類を変えた懸濁系の剪断速度(D)と剪断応力(τ)の関係を示したものである。この結果によれば、ベントナイト—木比(B/W)が8~10%程度の場合、降伏値を持つ擬塑性流(Pseudo Plastic Flow)を示す。

b) Fig. 2は、木—セメント比(W/C)を5~80%に変化したセメントペーストのτ-D曲線であり、(W/C)が小さくなるに従いDに対してτが大きくなり見掛け粘度(η_a)を大きくすることがわかる。またW/Cの低い段階では、降伏値を持つ擬塑性流を示すが、高くなるに従い拡張オストワルド流(Extended Ostwald Flow)^{*2}の下部流動パターンに漸近するようである。

c) W/C=60%を一定とし、(B/W)を2~10%に2%毎に変化すると、Fig. 3のように(B/W)が大きい程(τ)を大きくする。また、(D)が1.0~1.1(sec⁻¹)付近で急激に(τ)を小さくさせるが、この現象は(B/W)に比例するようであり、凝集したフロックの破壊によるものと考えられ、(τ)の減少率の大きいもの程、破壊直後の(D)に対する(τ)の回復は大きく、ダイラタント流(Dilatant Flow)を示す場合もある。これ等の傾向は、(W/C)を極めて大きくした場合(100~500%)においても同様である。

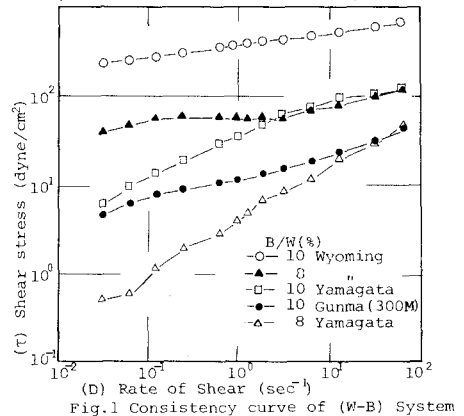


Fig. 1 Consistency curve of (W-B) System

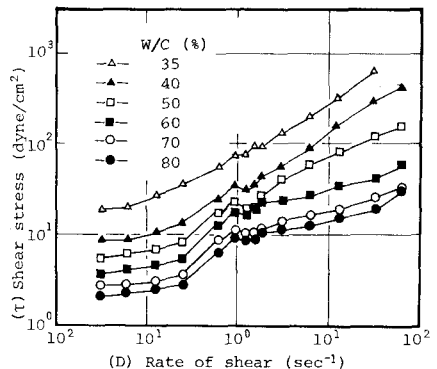


Fig. 2 Consistency Curve of (W-C) System

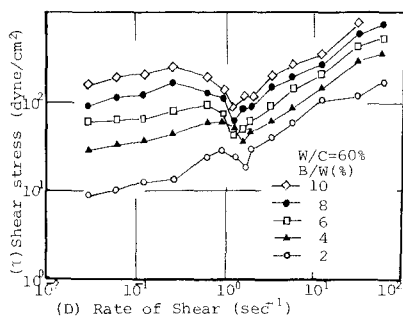


Fig. 3 Consistency Curve of (W-B-C) System

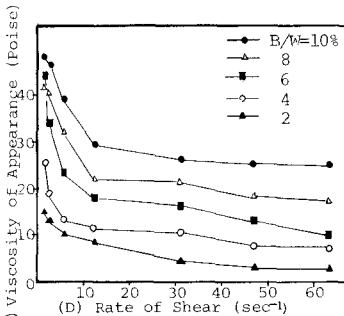


Fig. 4 Yield Value of (W-B-C) System

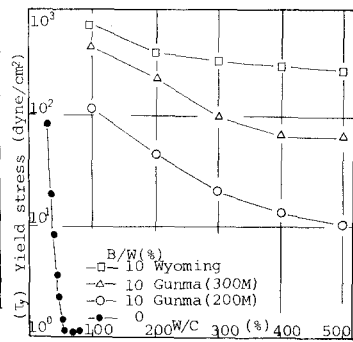


Fig. 5 Yield stress VS. W/C of (W-C) or (W-B-C) system

d) Fig. 4 は, Fig. 3 の値をもとに, 見掛け粘度 (η_a) を算出し示したものであり, それ等の値は, (D) に反比例の関係を示し, (D) が 15 sec^{-1} 以下で変曲点を表わし, その後 (D) を増加しても (η_a) の減少は比較的小さい。従って, これ等の懸濁系においては, (D) が $30 \sim 50 \text{ sec}^{-1}$ 付近の (η_a) を塑性粘度 (η_{pl}) とみなしても差支えないようである。

e) Fig. 5 は, (B/W)=10% を一定とし, ベントナイトの種類と, (W/C) を変化した場合の各系の降伏応力 (τ_y) (近似的に $D=0.006 \text{ sec}^{-1}$ における値) を示したものであり, いずれのベントナイトを用いても $B/W=0$ のものに対し (τ_y) を大きくするが (W/C) の増加は (τ_y) の減少に関与していることを示している。

2) R.C.P 法による軟硬化特性 R.C.P の入力波 (破線) と粘塑弾性を示す出力波 (実線) を Fig. 6 に示す。

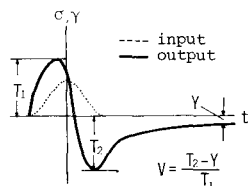


Fig. 6 Wave pattern of R.C.P.

a) Fig. 7 は, W/C=60% および 100% において, B/W を変化した試料の 30 分経過迄の時間依存性につき T_1 の増加状況を測定し, その後, 再攪拌 (200 rpm, 2 分間) により, 各系の変化状態を調査した。その結果, W/C が, 小さくなると時間依存性が大きくなることを示し, B/W の増加も各系の変化に関与していることを示している。時間の経過にともなう T_1 の上昇は, 再攪拌により, ほとんど元の系に近い値に戻り, いずれの系もチキソトロピー性を示すが, ベントナイト混入系の方にその傾向が大きい。

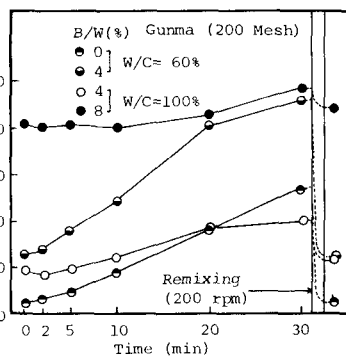


Fig. 7 Thixotropic Properties

b) Fig. 8 は, 化学反応を伴う軟硬化特性を時間的に把握するため, 物性を表わす $V=(T_2-Y)/T_1$ の値 (粘性体=1, 弾性体=0) を求めたものである。この結果, セメントペーストおよび, ベントナイト混入系においても, W/C が小さい程, 物性の変化が早いことを示すが, 後者は, 初期において降伏値を示す Y の増加が顕著であり, また, 物性変化時間も早めるようである。

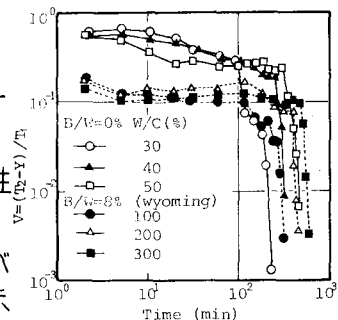


Fig. 8 Hardening Process of (W-C) System or (W-B-C) System

4. 結 び 以上, 主として (W-C) 系および (W-B-C) 系のレオロジー特性に関し概説したが, セメントペーストは, ベントナイトの存在により相互反応を起し, 降伏値および粘性を著しく大きくし分離に対する抵抗性を含む注入特性を大きく改良していることを示した。また, 時間依存性のある軟硬化性状についてもベントナイトが大きく関与していることを示唆するものである。

参考文献 ※1 梅屋, 磯田 日本レオロジー学会誌 Vol. 4 No. 3 p. 133~136

※2 梅屋, 磯田, 小泉 材料科学 Vol. 7 No. 3 p. 20~29