

[10] 高性能減水剤を用いたセメントペーストのレオロジー特性

正会員 玉井元治(近畿大学理工学部)

正会員 ○川東龍夫(近畿大学理工学部)

1. まえがき

高性能減水剤を混入したセメントモルタルやコンクリートのまだ固らない状態の挙動は、材料の種類や配合等の内部要因と添加法や環境条件等の外部要因により大きく相違するが、これらの相違はセメントペーストの挙動変化によるものと考えられ、本報告では、主としてセメントペーストのレオロジー的挙動に関し検討したものである。

セメントペーストのような高濃度の懸濁液においては、粒子間の相互作用により凝集が起り、その程度によってレオロジー的性状は著しく変化する。例えば、高性能減水剤が添加されるとセメント粒子界面に浸透して凝集を阻止する効果を発揮し、各種のレオロジー量を低下させ流動形式をも変化させるようである。また、凝集の破壊や形式が、懸濁系のせん断速度や時間に依存し、かつチクソトロピー性および化学反応性をも含んだ軟硬化過程は、内部要因と外部要因に大きく影響されるようであり、本紙面では次の項目に関し論じたものである。

- 1) 市販の高性能減水剤を同時混合し、配合要因の変化による流動形式への影響
- 2) 添加時期の相違がレオロジー特性に与える影響
- 3) ニュートン流の懸濁液に降伏値を与える方法
- 4) 各種配合下におけるせん断速度依存性とせん断時間依存性
- 5) 化学反応性を伴う軟硬化過程を不搅乱の状態で測定する方法

2. 実験概要

1) 実験試料：セメントは○社普通ポルトランドセメント、粘土はベントナイトを、また高性能減水剤は表1に示す三種類の市販品とした。

表1 高性能減水剤の種類

2) 試料の調整：セメントは 88μ フィルに通過したもの用い、同時混合では所定量の水と高性能減水剤を添加し、ハンドミキサーにより2分間攪拌し試料とした。後添加においては、上記と同様の方法で無混入のセメントペーストを作成し、所要時間経過後混和剤を添加し2分間前記手法で攪拌したものを試料とした。

3) レオロジー量の測定：測定に使用した二重円筒型回転粘度計の内外筒にスリップ防止のため、表面に凹凸をつけた(外筒絶： $\phi 22 + 0.5 \text{ mm}$ 、内筒絶： $\phi 18 - 0.5 \text{ mm}$ 、浸液長： 70 mm)。測定法は、定常せん断法(外筒回転：2段切換 $0 \sim 3, 0 \sim 300 \text{ rpm}$)、R.C.P.法(外筒回転角： 1° 、パルス周期： 10 sec)である。

4) 測定機の検定および温度：測定機の検定にはシリコンオイル($10, 20, 50, 500 \text{ poise}$)を用い、測定温度は $20 \pm 0.5^\circ \text{C}$ とした。

3. 実験結果及び考察

1) 配合要因の変化による流動形式への影響

高性能減水剤—セメント—水の分散系は、水—セメント比(W/C)、減水剤—セメント比(A_d/C)の配合によりいくつかの流動形式に分類される。例えば、 W/C を一定とし、 A_d/C を順次増加するとある擬可塑性流(pseud plastic flow)からビンガム流(Bingham flow)を経て、ニュートン流(Newtonian flow)へと移行する。これらは、使用する A_d の種類、 $W/C - A_d/C$ の二次元的な増減あるいはせん断速度の領域により異なるが、全体として上記の傾向を示す。図1は、 $W/C = 40\%$ のセメントペーストにMTを $A_d/C = 0.125, 0.25, 0.5$ 、

1.0%と同時混合したD- τ 曲線であり、流動形式がP.P.流からN流へと移行するのがわかる。図-2はMT, HFおよびNLの添加量とセメントペーストのW/C変化による流動形式を示したものである。

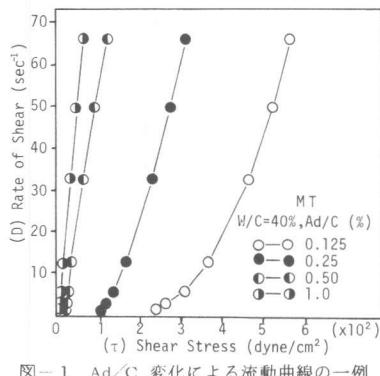


図-1 Ad/C変化による流動曲線の一例

ある。この図から各配合における流動形式の概略がわかり、全体としてMTとHFの流動傾向が類似しており、NLと比較して少ない添加量でN流に移行する。

2) 添加時期の相違がレオロジー特性に与える影響

図-3は、W/C = 30%のニートセメントペーストにAd/C = 1%の混和剤を60分後に添加したD- τ 曲線である。後添加は、同時混合に比較して降伏値および塑性粘度を減少させる効果があり、後添加の時期としては30分にその効果が顕著に現われる結果を得た。添加時期60分では、30分と同程度の効果があり、後添加の時期としては30分～60分が最適であると考えられる。図-3において、MTおよびHFは後添加の効果を発揮しており特にMTにその傾向が見受けられる。

3) ニュートン流の懸濁液に降伏値を与える方法

プレパックドコンクリートの注入時において、セメントモルタルは骨材の空隙へ円滑に流れ込むことを必要とするため、降伏値のないニュートン流が望ましい。これに対して、左官工事への利用や二次製品のうち遠心力管製作工程において、セメントモルタルは落流防止に必要な降伏値を有することが望まれる。図-4はMT混入によりニュートン流に変化したセメントペーストの懸濁液へ、ベントナイトを水との重量比(B/W)で2または3%添加した際のD- τ 曲線である。その結果、Bの混入により、降伏値を含む低せん断領域では τ を大きくさせフィニッシャビリティの改良に寄与し、またDが 10 sec^{-1} 程度の比較的高い領域では、 τ はB無混入と同程度でありワーカビリティを低下させることはない。これは、ベントナイトとセメントの凝集作用等の効果によるものと考えられるが、ベントナイトが有するチクソトロピー性をも含め、上記の施工欠点に対する改良を示唆している。

4) せん断速度依存性とせん断時間依存性

コンクリートのスランプ試験と現場施工時の振動機による型枠への広がり、プレパックドコンクリート用注入モルタルの注入時における流動性等は、 τ によって支配されるDのきわめて低い領域に依存すると考えられる。また、ミキサー車のアジャートやポンピングによる流動現象は、Dの比較的高い領域に属するものと考えられる。例えば、プレパックドコンクリートの注入時における注入モルタルが受けるせん断速度(以下Dと呼ぶ)は 0.05

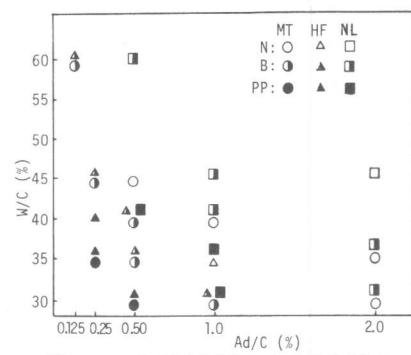


図-2 各配合要因による流動形式

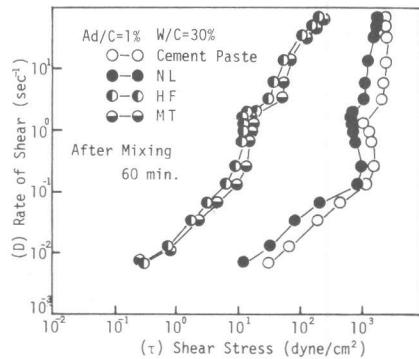


図-3 後添加によるD- τ 曲線

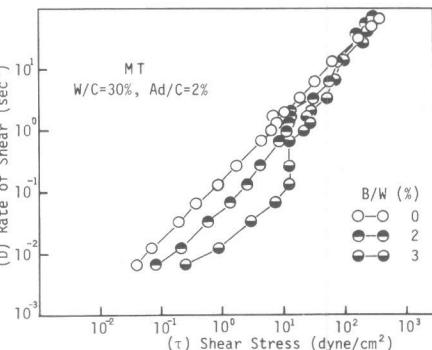


図-4 ベントナイト混入によるD- τ 曲線の変化

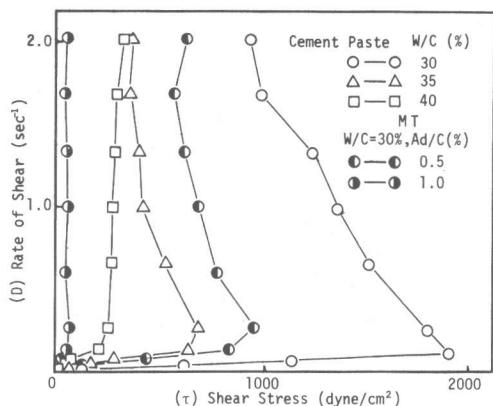


図-5 低せん断領域におけるD- τ 曲線

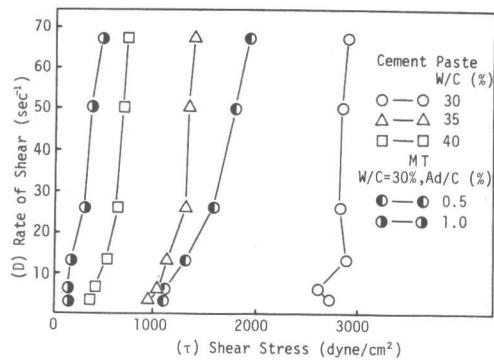


図-6 高せん断領域におけるD- τ 曲線

rad/sec 以下、P ロートで流下時間が 20 秒の場合 100 rad/sec に相当するという報告²があり、試験ならびに施工の種類に基づき D 領域を考慮する必要があるものと考えられる。

図-5, 6 は、低 D および高 D における D- τ 曲線であるが、濃度の高いニートセメントペーストは極めて低い D で大きな応力を有し、D の増加にともない応力が減少する。濃度が低くなると、応力増加に対する減少率は小さくなる。高 D 領域において、全体的に D の増加にともない応力も増加する。また高性能減水剤の混入により応力増加は緩和される。梅屋³によれば、セメント水系を分散系とみなした場合、セメント粒子が第一極小での強い凝集と第二極小での弱い凝集という二種類の構造を成し、流動特性を複雑にしているようである。この第一、第二極小での凝集は、低 D および高 D 領域にかかるようであり、高性能減水剤を添加することによりセメント粒子は一次粒子に分散され凝集による応力増減が少なくなる。この傾向は MT と HF が類似している。

η_{p1} , τ_f は、D- τ 曲線がビンガム流に近似する場合に求められる。図-7 は、セメントペーストの低、高 D 領域における D- τ 曲線でビンガム流に近似すると仮定した範囲から得られたレオロジー量である。この結果によれば、高速による τ_f は従来の結果⁴とほぼ同様であるが、 η_{p1} はかなり低い値となった。また低速における τ_f と η_{p1} は従来の結果に近い値となった。図-8, 9 は、混和剤—セメント—水分散系において、W/C を変化した場合の τ_f ならびに η_{p1} の値であり、W/C の增加とともにその値は減少することがわかる。

つぎに、トラックアジャテーションの時間が材料の物性変化に与える影響に関する検討のため、D = 5, 50 sec^{-1} における η_a の変化状況を時間的に測定した（図-10）。その結果、ニートセメントペーストの η_a は攪拌開始後 10 分で急激に減少し、30~40 分後回復する。また、MT 混入ペーストの η_a は、攪拌時間の経過にともない徐々に増加する。このことは、MT 混入により分散されたセメント粒子の水和状況に相関しているものと考えられ、ニートセメントの水和傾向は大きく相違するものと推察される。

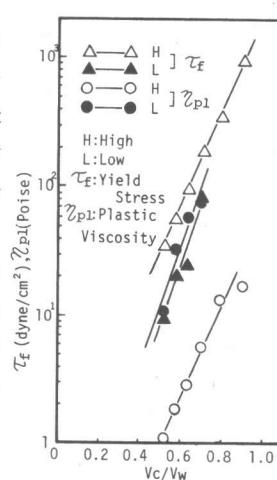


図-7 $V_c/V_w - \eta_{p1}, \tau_f$ の関係

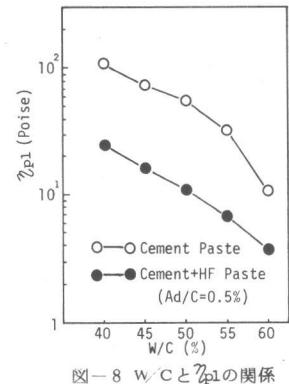


図-8 W/C と η_{p1} の関係

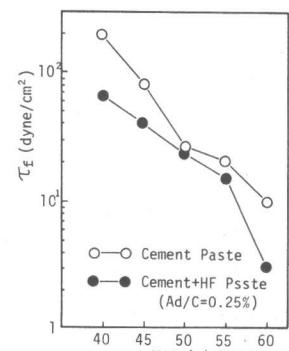


図-9 W/C と τ_f の関係

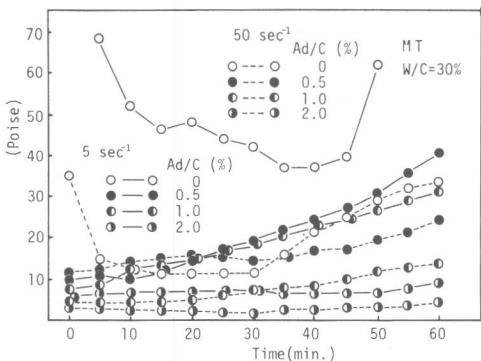


図-10 アジテーション時間と η_a の関係

5) R.C.P. 法による軟硬化特性

化学反応性をともなう

セメントペーストの物性変化を、図-11に示す入力ひずみ（点線）と出力応答（実線）から把握する力ひずみ（点線）と出力応答（実線）から把握する

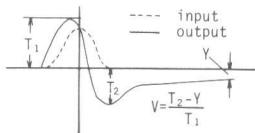


図-11 R.C.P. 法の出力波形

試料を不攪乱の状態で行なえる利点がある。出力波において、 T_1 , T_2 , Y はそれぞれ混合系の強さ、粘性、降伏値を示すようであり、これらの各主要値の時間履歴に対する変化を示したもののが図-12(a), (b), (c)である。(a)と(b)は、セメントペーストと、セメントペーストにHFを同時混合した際の各主要値に関する変化状況である。(b)の混合初期における出力波の T_1 に対する T_2 の割合は(a)に比べて大きく、ニュートン流に類似した波形を示す。また、時間履歴における各主要値の挙動としては、粘弾性体から粘塑弾性体、弾塑性体の段階を経て弾性体になる状況を示すが、(b)は(a)に比べてその変化の遅れることがわかる。さらに、(c)の後添加における状況は(a), (b)よりも遅れる傾向があり、高性能減水剤の同時および後添加による物性変化に対する遅延効果が高いことがわかる。

4. 結び

高性能減水剤を用いたセメントペーストのコンシステンシーおよび初期凝結硬化過程を含むレオロジー的挙動は、本実験の範囲では以下の項目に要約できる。

- 1) Adの添加量に相応して顕著な変化は、 η_a のあるP.P.流からB流を経てN流に移行する。
- 2) Adの種類にもよるが、添加時期を遅らせると、流動化の効果を大きくさせ、30~60分が適当である。
- 3) N流のセメントペーストに η_a を与えるには、ベントナイトの混入が望ましい。
- 4) Adの添加によりセメントペーストのせん断速度依存性を小さくさせ、せん断時間依存性では、凝集状況と分散状況がセメント粒子の水和速度に関与するようである。
- 5) R.C.P. 法における出力波(T_1 , T_2 , Y 値)から化学反応性を含む物性変化をある程度把握することができる。

参考文献

1) 玉井, 権, 川東, セメント技術年報, 33, 1979

3) 梅屋, 土木学会誌, Annual 79, 1979,

2) 長滝, 文, セメント技術年報, XXVIII, 1974

4) 岸谷, 菅原, 間, 第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1980

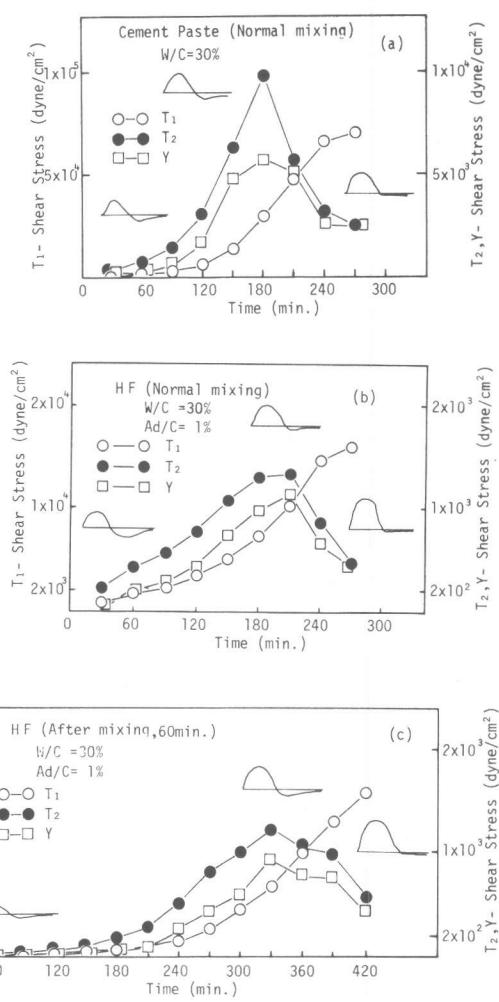


図-12 時間履歴に対する出力要因(T_1 , T_2 , Y)の変化