

[9] 流動化コンクリートに関するレオロジー的研究

正会員 岸 谷 孝 一 (東京大学工学部)

正会員 友 沢 史 紀 (建設省建築研究所)

正会員 ○岡 成 一 (東京大学工学部)

村 瀬 欣 伸 (住友セメント研究所)

1. まえがき

フレッシュコンクリートが骨材とセメントペーストからなる複合材料と考えられる以上、コンクリートのワーカビリティをセメントペーストのレオロジーから追求するという立場も成立するはずである。⁽¹⁾

著者らは、まず球引き上げ粘度計を用いて普通ポルトランドセメントペーストのレオロジー定数を測定した。これによつて、流動化剤がセメントペーストの流動特性に及ぼす影響をレオロジー的に定義する。さらに測定されたレオロジー定数をパラメータとして、流動化コンクリートにおける減水及びスランブロスのメカニズムを考える。

2. レオロジー定数の測定

測定に用いた機器の構成は図-1の通りである。セメントペースト中で半径1.27cmの鋼球をゆつくり定速で(0.08cm/sec~1.35cm/sec)引き上げ、増大する負荷を引き上げる速度とともにペンレコーダによつて検出した。セメントペーストの流動をビンガムモデルとして考えると、2つのレオロジー定数である降伏値及び塑性粘度は次式によつて示される。⁽²⁾

$$\frac{f}{\left(\frac{7\pi r^2}{2}\right)} = \left(\frac{1.2U}{7\pi r}\right) \eta_{pl} + \tau_f$$

ここに、 f : 球の運動によつて増加する抵抗 (N)

r : 球の半径 (m), U : 球の速度 (m/sec)

η_{pl} : 塑性粘度 (PaS), τ_f : 降伏値 (Pa)

この式をブレンペーストの測定結果に適用し、結果を整理すると、降伏値及び塑性粘度は次式の様に回帰される。⁽³⁾

$$\tau_f = 3.537 \times 10^{-2} \exp(9.044 V_c / V_w)$$

$$R = 0.997$$

$$\eta_{pl} = 2.653 \times 10^{-2} \exp(7.617 V_c / V_w)$$

$$R = 0.983$$

ここに、 V_c : 系中のセメントの体積,

V_w : 系中の水の体積, R : 相関係数

3. 流動化剤のレオロジー的定義

減水作用をもつ混和剤を添加する事によつて、ペーストのレオロジー定数が変化する事は予想される。そこで、従来からワーカビリティ改善用に用いられた混和剤(グループA)、流動化剤(グループB)の2つのグループ

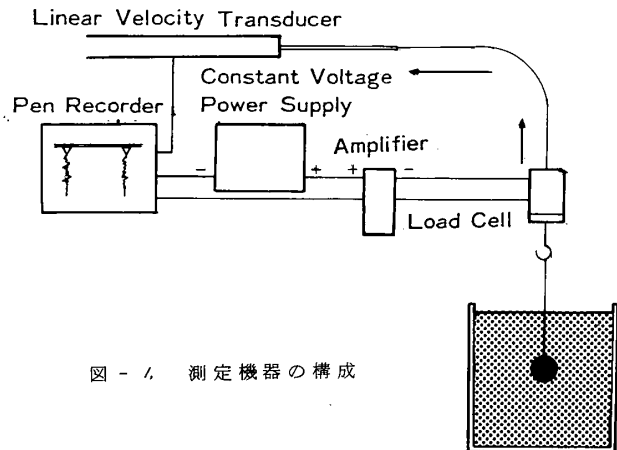


図-1. 測定機器の構成

表-1. 使用した混和剤

分類番号	性能	主成分
A	1	A E 剤 アビエチエイト酸ソーダ
	2	A E 減水剤 リグニンスルホン酸
	3	減水剤 ポリオール
B	1	流動化剤 ナフタリンスルホン酸ホルマリン縮合物
	2	
		メラミンスルホン酸ホルマリン縮合物

に分けて、それぞれの混和剤がペーストのレオロジー定数に与える影響をしらべてみる。これらの混和剤の詳細を表-1に示す。

・グループ A

添加量はセメント100kg当り、A-1が30gr、A-2が250gr、A-3が300ccである。これらの量は一般の建設工事においては標準的な使用量である。グループAの混和剤はすべて、練り混ぜ時に練り混ぜ水に希釈して用いた。同一の水セメント比のブレンペーストを基準として、相対的な降伏値及び塑性粘度を示したものが図-2である。A-1を加えたペーストは降伏値及び塑性粘度ともにブレンペーストに比して大きくなる。A-2を加えると、降伏値は増大するが塑性粘度は減少する。その結果、A-2を添加したペーストの見かけの粘度はブレンペーストのそれより小さくなる事も起こりうる。A-3を添加した場合も、降伏値は上昇する。一方、塑性粘度の相対比は水セメント比が大きくなるにつれて増大する。

・グループ B

流動化剤の添加によつて得られるペーストの流動曲線はグループAの混和剤を添加したペースト及びブレンペーストのそれとはかなり異っている。典型的な例として、メラミン系流動化剤をセメント100kg当り400cc（普通コンクリートのスランブが3~4cm増大する量）を、水セメント比が50%のブレンペーストに30分遅延させて加えた場合の流動曲線を、もとのブレンペーストの流動曲線とともに図-3に示す。流動化剤を加えると降伏値と塑性粘度は205Pa及び210PaSとなり、もとのブレンペーストの降伏値は27%、塑性粘度は64%に迄低下する。特に降伏値の低下が著しい。これはグループAの混和剤には見られない性質である。流動化剤の添加量を増す事によつて、降伏値はさらに低下する。図-4に示す様に、流動化剤の添加量を増すと、降伏値を容易に1/10以下にする事ができる。

4. スランブと降伏値

セメントペーストの降伏値の低下が流動化剤を特徴づける事を前節において示した。しかし、一般にはセメントペースト単味で用いられる事はまずなく、コンクリートという形で用いられているのが普通である。

従つて、セメントペーストの降伏値をパラメーターとしてコンクリートのスランブを考えてみる。まず細骨材

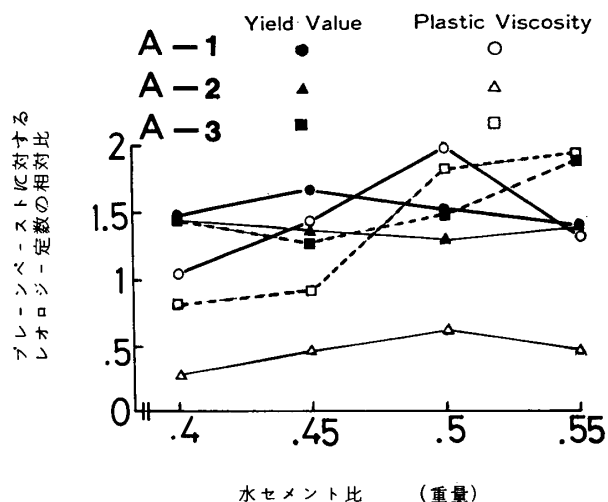


図-2 グループAによるレオロジー定数の変化

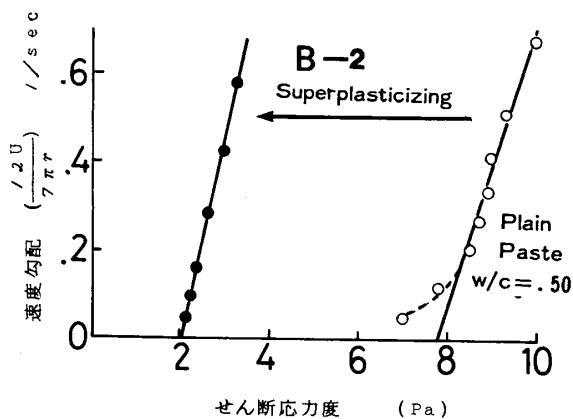


図-3 流動化剤の添加による流動曲線の変化

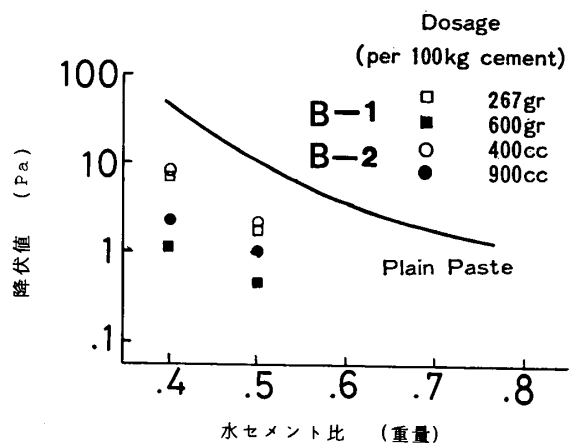


図-4 流動化剤の添加による降伏値の変化

率及び単位粗骨材量を一定（即ち、単位ペースト量一定）として、ブレンコンクリートの水セメント比を 50 ㉪から 110 ㉪まで変動させてそのスランブを測定する。

（配合は表-2に示す）。次にこのシリーズの水セメント比 50 ㉪のコンクリートを、練り混ぜ 30 分で流動化させてスランブを測定する。もしペーストの降伏値がコンクリートのコンシステンシーに対しても有効なパラメータとなるならば、同一の降伏値のペーストを含むブレンコンクリートと流動化コンクリートのコンシステンシーの間には何らかの関係があるはずである。ペーストの降伏値をパラメータとしてスランブの値を示したものが図-5である。流動化剤添加による降伏値の減少がスランブの増大に対応している事を示している。ブレンコンクリートにおいても同様の傾向を示す。従って降伏値は、砂率及び単位粗骨材量一定の条件下でスランブの変動を示すパラメータとなりうる事がわかる。しかし、同一の降伏値では、ブレンコンクリートのスランブは流動化コンクリートのスランブより大きくなっている。このレオロジカルな理由の一つとしては、流動化剤を加えたペーストの塑性粘度は、同一の降伏値をもつブレンペーストの塑性粘度より大きく、従って見かけの粘度が増大する事も考えられるであろう。（図-6）

5・降伏値の経時変化

ここでは、流動化後降伏値の増大する速度が、流動化剤の添加時期の違いにより受ける影響について調べる。ペーストを混練後、底部にプロペラをつけた容器に入れてゆつくりカクハンし、できるだけ沈殿が少なくなるようにして降伏値を測定した（図-7）。水セメント比 50 ㉪のペーストを用い、流動化剤の添加時期は練り混ぜ開始後、15分、30分、60分、90分の4水準とした。ペーストの降伏値が各水準とも 50Pa 程度まで低下する様に流動化剤を加えて、流動化はハンドミキサーで行った。B-1による結果（図-8）から流動化剤の添加時期が遅い程、流動化後の降伏値の増大する速さが大きくなる事がわかる。B-2も同様の傾向を示す。

6・流動化コンクリートのスランブロス

降伏値の増大がスランブの減少を意味するのであるから、流動化剤の添加時期が遅れると、スランブロスの速度は増大するはずである。スランブ 8±cm のコンクリート（表-3）を練り混ぜ開始後 15分、30分、60分、90分の4水準で流動化を行ないスランブを 21±cm とした。

表-2 コンクリートの配合（その1）

W/C	重 量 (kg/m ³)			
	C	W	S	G
.50	342	171	855	1,002
.55	322	177		
.60	304	182		
.65	289	188		
.70	274	192		
.80	250	200		
.90	229	206		
1.10	197	217		

20mm 川砂利、川 砂

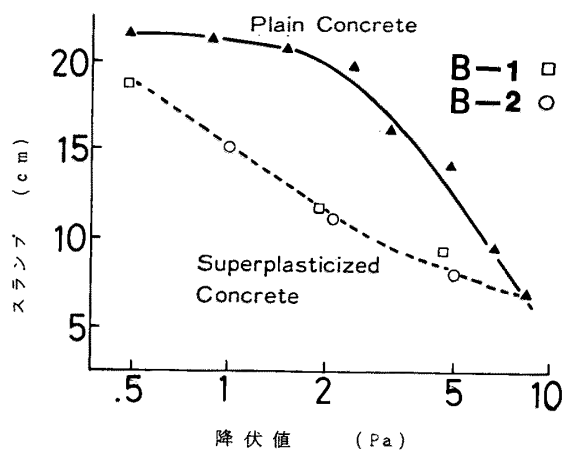


図-5 スランブと降伏値

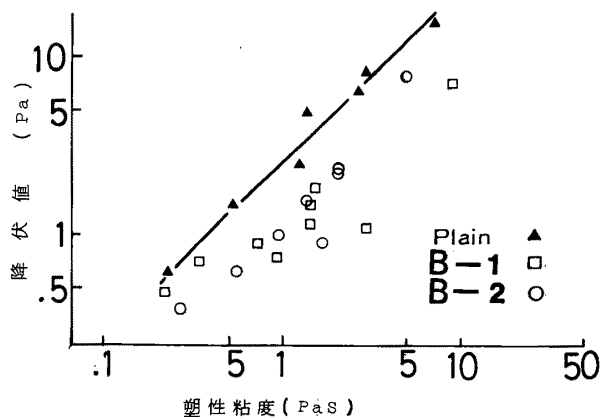


図-6 降伏値と塑性粘度

その後ミキサーでゆっくりアジテートしてスランブロスの様子を調べた。流動化剤 B-1 の添加によるスランブの変化 (図-7) から、流動化後のスランブロスの速度は流動化剤の添加時期が遅れる程大きくなる事がわかる。

B-2 の添加による実験でも同様の結果が得られた。

7. 結論

本研究の範囲内で次の事がいえる。

1) 流動化剤を添加したペーストは降伏値及び塑性粘度が減少する。このうち、降伏値の著しい減少は、従来の AE 剤及び減水剤には見られない点である。従って、流動化剤は、添加されたペーストの降伏値が著しい低下を示す点でレオロジー的に特徴づけられる。

2) ペーストの降伏値とコンクリートのスランブの間には大きな相関があり、同品質の骨材で細骨材率及び単位粗骨材量が一定ならば、降伏値が大きい程スランブは小さくなる。

3) ペーストの降伏値は、一般のフレッシュ状態においても時間とともに増大するが、流動化剤の添加時期が遅れる程、流動化後の降伏値の増大する速度は大きくなる。

4) 上記の 2) 及び 3) より、流動化コンクリートのスランブロスの速度は流動化剤の添加時期が遅れる程大きくなる事が予想される。実際の流動化コンクリートのスランブロスの実験においても同様に、流動化剤の添加時間が遅れる程、流動化後のスランブロスの速度は大きくなった。

8. 参考文献

- 1) Tattersall, G.H. "Present Problems Associated with Study of Cement Paste Rheology" Proc. "Fresh Concrete" RILEM SEMINAR, Leeds, vol. 1, #2. 1; 1973
- 2) 岸谷、菅原、岡、"フレッシュペーストモルタルの流動性に関する研究" 第2回コンクリート工学年次講演会、PP/13-1/6 1980
- 3) Powers, T.C. "The Properties of Fresh Concrete" John Wiley & Sons Inc. New York; 1968

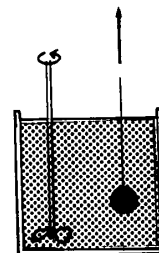


図-7 装置概要

表-3 コンクリートの配合 (その2)

W/C	重 量 (kg/m ³)			
	C	W	S	G
50	348	174	849	995

20 mm 川砂利、川砂
スランブ 8 ± 1 cm

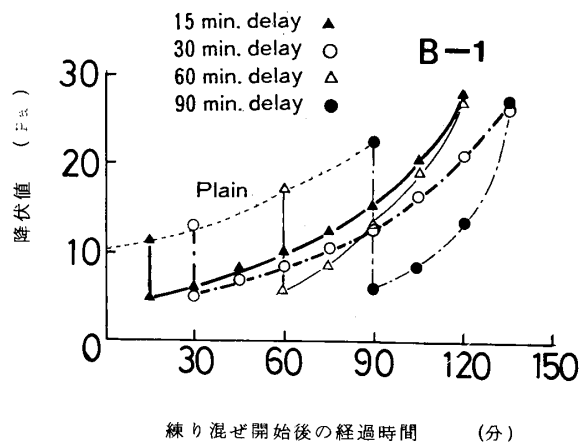


図-8 降伏値の経時変化

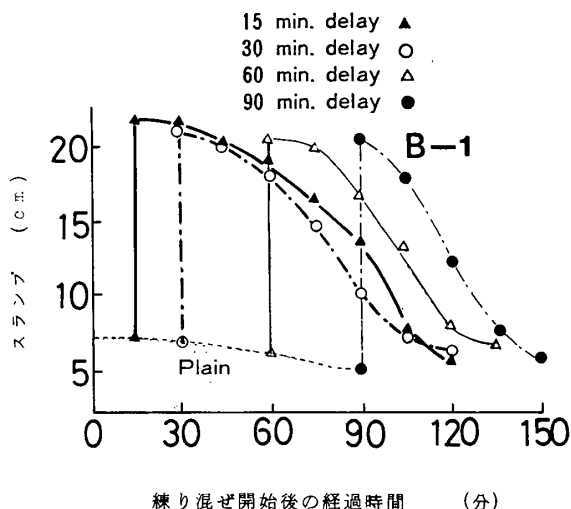


図-9 流動化コンクリートのスランブロス