

[56] フレッシュモルタル・コンクリートの性質の経時変化に関する一実験

正会員 水口 裕之 (徳島大学工学部)

1. ま え が き

コンクリートの施工を合理化するためには、フレッシュコンクリートが施工中に受ける流動状態でのコンクリートのマクロな性質を知るとともに、コンクリートの内部構造も明らかにすることが必要である。コンクリートが流動している状態での性質は、コンクリートに大きな変形や流動を与えた時の物性を測定することで知ることができるが、コンクリートの内部構造やその時間的な変化たとえば凝結過程を検討するためには、大きな外乱を与えるとともに形成されている内部構造を破壊するので、大きな外乱を与えることなくその性質を測定しなければならない。

現在、フレッシュコンクリートの流動状態での性質を知るためには、回転粘度計に代表される定常流動を用いた方法、三軸圧縮試験に代表される粉体工学的方法などが多く試みられているが、内部構造や凝結過程を検討するため外乱を小さくした測定方法を用いたものとしては、波動の伝播性状²⁾、角田ら^{3,4)}、王井ら⁵⁾の振動式回転粘度計による研究がなされているが、その成果は少なく未解決のまま残されている。

そこで、本研究では、フレッシュコンクリートの内部構造を検討する基礎資料を得るために、試料に大きな外乱を与えることなくその粘弾性的性質を測定することができる Raised Cosine Pulse 法⁶⁾を用いて、フレッシュモルタル・コンクリートの複素弾性率などの周波数依存性および経時変化を測定し、若干の考察を加える。

2. 実験の概要

2.1 モルタルおよびコンクリートの配合

配合要因は、各材料の体積割合(濃度)で表わすこととし、セメント体積濃度($v_c = c/(w+c)$)、細骨材体積濃度($v_s = s/(w+c+s)$)および粗骨材体積濃度($v_g = g/(w+c+s+g)$)を用いた。測定した配合は、表-1のAシリーズ(モルタル)と粗骨材の影響を調べるために表-2のBシリーズ(コンクリート)に示すものとした。

2.2 使用材料および練りまぜ

セメントは、Aシリーズではフロー250、Bシリーズではフロー253の普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は、5mm以下の川砂を湿潤状態で使用し、粗骨材は、15~13mm、13~10mmおよび10~5mmにふるい分けた砂岩碎石を質量比で2:2:6に再混合し、表乾状態で用いた。

モルタルおよびコンクリートの練りまぜは、容量50ℓの強制練りミキサを用い、全材料投入後3分間で試料40ℓを練りまぜた。試料温度は、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ になるようにし、測定室の温度は $18 \sim 20^\circ\text{C}$ になるようにした。

表-1 Aシリーズ(モルタル)

の測定範囲			
$v_s \backslash v_c$	0.375	0.400	0.425
0.450		●	
0.475		●	
0.500	●	●	●
0.525		●	

注; 測定したものを●で示す。

表-2 Bシリーズ(コンクリート)

の測定範囲			
$v_g \backslash v_s \backslash v_c$	0.375	0.400	0.425
	0.500		
0.10	●	●	●
0.20	●	●	●
0.30	●	●	●

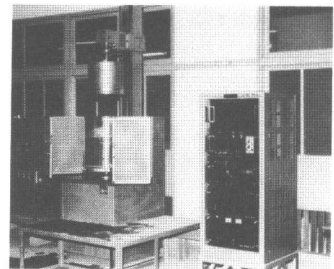


図-1 レオベキシアナライザー

図-2 Raised Cosine Pulse
および応答トルク

表-3 骨材の物理的性質

	細 骨 材		粗 骨 材
	A シリーズ	B シリーズ	B シリーズ
最大寸法 (mm)	—	—	15
比 重	2.57	2.64	2.60
吸 水 率	2.03	1.40	1.74
粗粒率 (F.M.)	2.20	2.90	6.29

2.3 Raised Cosine Pulse 法による測定

測定に用いた装置は、図-1に示すレオベキシーアナライザーA1型で、試料を入れる二重円筒容器と制御部とから成り立っており、二重円筒容器の間に試料を入れ、図-2に示すRaised Cosine Pulse (以下R.C.P.と書く)を外円筒に与え、内円筒の応答トルクを測定し、これらのデータを離散型のフーリエ変換することによって動的弾性率や動的粘性率を求められるものである。

Aシリーズでは、外円筒の内径を20 cm、内円筒の外径を17.5 cm、円筒間距離を2.5 cmおよび有効浸液長を31.7 cm、Bシリーズでは、それらをそれぞれ20 cm、15 cm、5 cmおよび32.0 cmとした。R.C.P.は、周波数(ω) 0.1 Hz、外円筒振幅角0.66度の一種とし、応答トルクは、X-Tレコーダーで図-2に示すように記録した。解析は、磯田らの測定理論を用いて、図上から読み取ったR.C.P.は10秒間の50個、応答トルクは残留応力を考慮して12秒間の60個のデータを用いて、作用させた周波数から3オーダー下位の周波数までの範囲の次の(1)式で定義される複素弾性率を求めた。

$$G^*(i\omega) = G'(\omega) + iG''(\omega) \quad (1)$$

ここで、 $G^*(i\omega)$ は複素弾性率、 $G'(\omega)$ は貯蔵弾性率、 $G''(\omega)$ は損失弾性率、 ω は周波数である。

測定は、円筒間に試料を突き棒などで突き固めながらセットし終わった注水後15分を0分とし、Aシリーズでは、図-6に示す120分までの14回、Bシリーズでは、図-8に示す60分までの7回の経過時間に行った。

2.4 コンシステンシーの測定

コンシステンシー試験としては、JIS R5201のモルタルのフロー試験、コンクリートのスランプ試験を行った。

3. 実験結果および考察

フレッシュコンクリートの性質は、温度や注水後の時間によって変化することが知られているが、本実験では練り上がりの試料温度を $20 \pm 2^\circ\text{C}$ になるようにし、測定開始を注水後15分と一定にしたので、これらの影響は無視して考察する。また、レオベキシーアナライザーは、回転粘度計の一種であり、壁効果についても考慮する必要が考えられるが、本報では無視して整理した。

フレッシュモルタル・コンクリートともに応答トルクは、図-2のようになり、粘塑弾性を示し、降伏値のある物性を示している。

3.1 周波数依存性

フロー値197のモルタルの周波数(以下 ω と書く)と貯蔵弾性率(以下 G' と書く)および損失弾性率(以下 G'' と書く)との関係の1例を示すと図-3のようになる。解析は、 ω が 10^{-4} まで行ったが、図に示されている傾向が外挿されるので、図-3では $\omega = 10^{-3}$ 以下は省略する。

この図に示されているように、低周波領域では、 G' はほぼ一定で、この範囲は、 $t = 0$ 分よりも30、90分の方がわずかではあるが広がっている。一方、 G'' は、全領域において周波数依存性が示されており、これらの傾向は

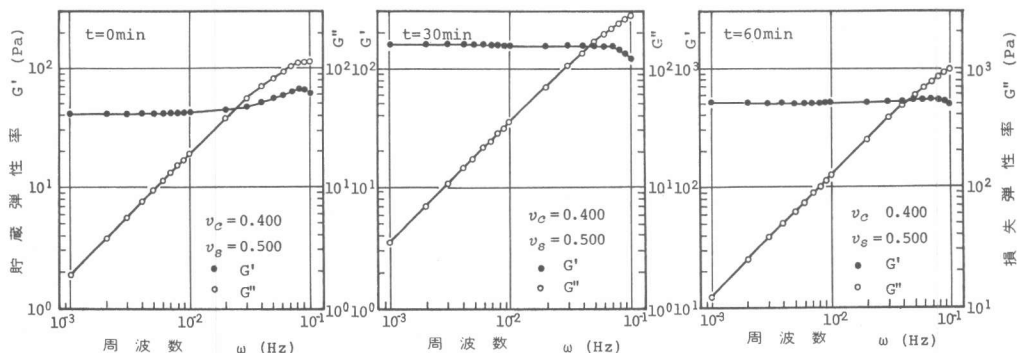


図-3 モルタルの周波数と貯蔵弾性率および損失弾性率との関係

コンクリートの場合も同様である。 ω と G' との関係を詳しくみると、図-3に示されているように、この ω の範囲において G' が最大値を示す ω が存在するようで、コンクリートの場合にも同様のことが認められる。たとえば、図-3の場合、 $\omega = 0.04 \text{ Hz}$ 付近から G' が変化しはじめ $\omega = 0.07 \text{ Hz}$ 付近で最大を示し、 $v_c = 0.400$ 、 $v_s = 0.500$ 、 $v_g = 0.30$ のコンクリートでは、 $\omega = 0.08 \text{ Hz}$ 付近で G' が最大となっている。一方、 $\eta'(\omega) = G''(\omega)/\omega$ なる関係がある動的粘性率（以下 η' と書く）は、図-4に示されているように、 ω が 0.04 Hz 付近まではほぼ同じであるが、これ以上では小さくなっている。

したがって、フレッシュモルタルやコンクリートは、内部構造が構成されており、 ω がある値よりも大きくなると構造破壊が生じ、破壊速度よりも回復速度の方が遅いと考えられる。

3.2 配合要因の影響

配合の異なるモルタルの $t = 0$ 分のときの複素弾性率は、図-5の左側の図のようになり、セメントペーストの性質が一定ならば、細骨材量の多いほど G' 、 G'' ともに大きくなり、セメントペースト量が一定ならば、図-6に示すようにセメント濃度が高いほど G' 、 G'' ともに大きくなっている。

コンクリートについては、 $t = 0$ 分のとき、モルタルの量が一定の場合は、図-8～10、モルタルの品質が一定の場合は、図-11、12に示すように一定の傾向を示していない。しかし、 t が長くなると前者の場合、セメント濃度のうすいすなわち W/C の大きい方が G' や G'' が大きくなり、後者の場合は、粗骨材量の多い方が大きくなっている。

3.3 経過時間の影響

複素弾性率と t との関係を検討するために、 ω をパラメータとして t と G' 、 G'' との関係を求めてみると、モルタルの場合図-5にも示されているように、 ω によって G' 、 G'' ともに変化するので、これらを比較するため、 G' がほぼ一定値を示す $\omega = 0.01 \text{ Hz}$ の値を用いることとする。コンクリートの場合にもほぼ同様の関係が得られるので、 G' については、 $\omega = 0.01 \text{ Hz}$ 、 G'' については、 ω が異なってもこの範囲ではほぼ平行であるので $\omega = 0.1 \text{ Hz}$ の時の値を比較することとする。

モルタルの場合は、図-6,7に示されているように、 G' や η' は、配合によって t に対する変化の傾向が異なり、 v_g が一定のときは、 v_c の大きいすなわち W/C の小さい二つの配合では、 t が15分程度まで G' は低下し、その後 t とともに大きくなっている。また、 v_c 一定のとき細骨材の多い配合でも η' は同様の

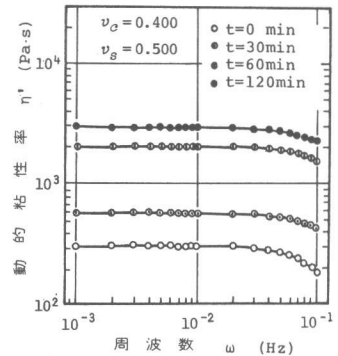


図-4 モルタルの周波数と動的粘性率との関係

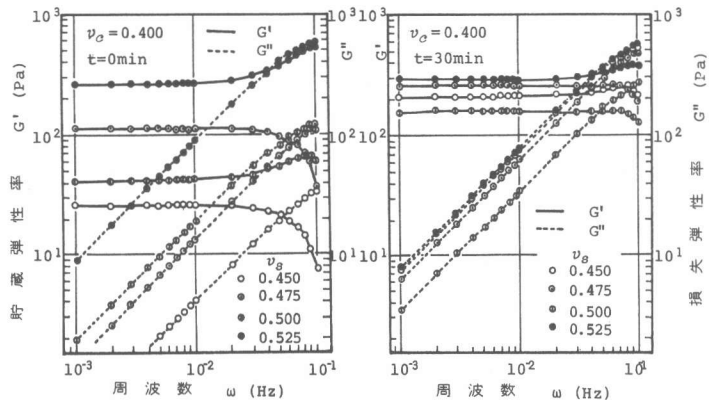


図-5 配合の異なるモルタルの周波数と複素弾性率との関係

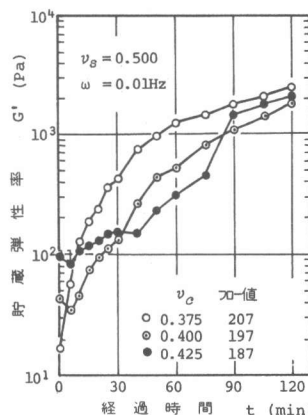


図-6 経過時間とモルタルの貯蔵弾性率の関係

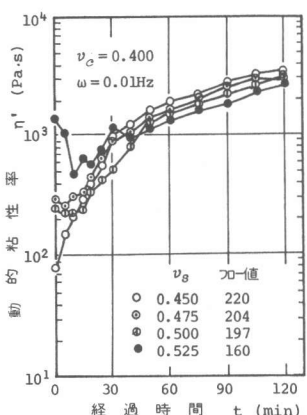


図-7 経過時間とモルタルの損失弾性率の関係

傾向を示している。フロー値を図中に示しているが、フロー値の小さな配合においてこの現象は強く表われており、ブリージングの多い期間でもあり、容器と試料とが接している面にこの時期にブリージング水が一時的に存在することも考えられ、これが原因の一つとも考えられるが、今後の問題点と指摘できる。

図-6と7とを比較すると、 t が長いところでは、配合の違いによる差が小さくなっている。

一方、コンクリートでは、図-8~12に示されているように、 t とともに G' 、 G'' 、 η' はすべて増加しており、モルタルの場合とは初期において異なった傾向を示している。また、 G' などの増加量については、3.2で指摘したとおりである。このように、モルタル量が一定の場合と、モルタルの品質が一定の場合でその増加傾向が異なっており、モルタルの場合にはフロー値の大きい配合が t による増加量は大きくなっているが、コンクリートの場合にはスランプの大小とは一定の相関がない。これらは、少数の実験データではあるが、内部構造を検討する基礎資料となる。

4. ま と め

以上述べてきたことをまとめると次のとおりである。

- (1) フレッシュモルタルやコンクリートは、降伏値を持つ弾塑性体である。
- (2) フレッシュモルタルやコンクリートは、内部構造が存在し、ある周波数で構造破壊速度の方が構造回復速度よりも速いことが考えられる。
- (3) モルタルでは、ペースト量一定の場合はセメント濃度、ペーストの品質が一定の場合は細骨材量が増加するすなわち固体粒子の体積濃度が高くなると複素弾性率は大きくなっている。
- (4) コンクリートでは、経過時間が短い時には、本実験の配合要因の範囲では、(3)のような一定の傾向はなく、経過時間が長くなると配合要因の違いの影響が大きくなっている。
- (5) 経過時間とともにコンクリートの複素弾性率は大きくなるが、モルタルでは、15分程度まで少し低下し、その後増加する配合がある。

参考文献

- 1) 西林新蔵；材料，Vol.24，No.260(1975) pp.358-367.
- 2) 角田忍他；土木学会第28回講演概要集，第5部(1973) pp.144-145.
- 3) 角田忍他；土木学会第34回講演概要集，第5部(1979) pp.61-62.
- 4) 角田忍他；土木学会第35回講演概要集，第5部(1980) pp.309-310.
- 5) 玉井元治他；セメント技術年報，Vol.34(1980) pp.163-167.
- 6) 磯田武信他；日本レオロジー学会誌，Vol.14，No.3(1976) pp.133-136.

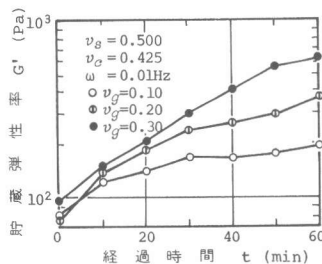


図-11 コンクリートの経過時間と貯蔵弾性率の関係

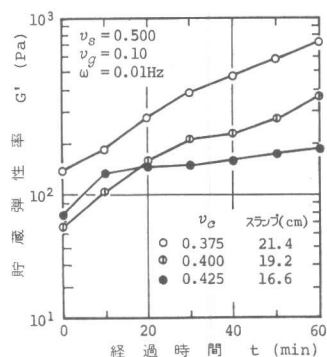


図-8 コンクリートの経過時間と貯蔵弾性率の関係

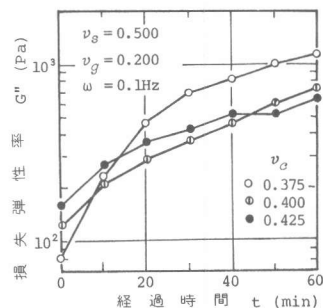


図-9 コンクリートの経過時間と損失弾性率の関係

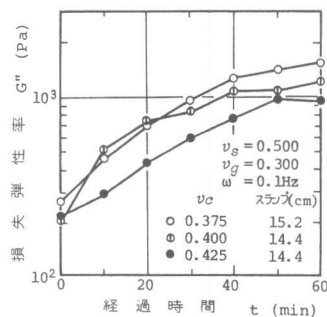


図-10 コンクリートの経過時間と損失弾性率の関係

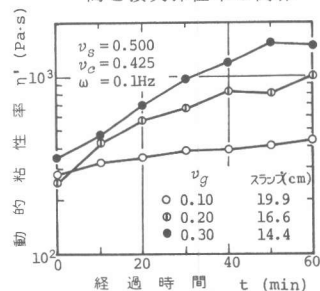


図-12 コンクリートの経過時間と動的粘性率の関係