

[38] 分割混練したセメントペーストの内部組織

正会員 長 滝 重 義 (東京工業大学工学部)
 正会員○氏 家 勲 (東京工業大学工学部)
 正会員 戸 矢 栄 一 (東京工業大学工学部)

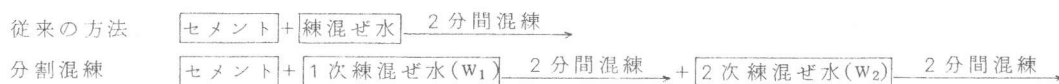
1. まえがき

近年、コンクリートを製造する場合、各材料をほぼ同時にミキサーに投入するのではなく、練混ぜ水を分割して練混ぜる(以下、分割混練と呼ぶ)ことにより従来の方法に比べてコンクリートのブリージングおよび材料分離を減少させ、また硬化後の力学性状も改善することが可能であると報告¹⁾されている。しかし、分割混練したコンクリートは従来の方法によるよりもスランプが低下する欠点も報告²⁾されており、さらに、以上のような特性は練混ぜ水を任意に分割して起こるものではなく、分割混練の効果を発揮する最適条件あるいは逆に従来の方法より悪くなる条件についてなど、多くの検討が行なわれているものの、その機構についての研究は比較的少なく定性的な検討しかされていないと思われる。

そこで、本研究は分割混練がブリージングなどの諸性質を改善する原因は、セメントペーストの内部組織の変化にあると考え、練混ぜ方法の相違がセメントペーストの内部組織に及ぼす影響を従来の方法によるセメントペーストと比較して実験的検討を加えたものである。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.16、ブレン値3350 cm^3/g)を使用した。練混ぜ方法および練混ぜ時間は下に示す通りである。練混ぜにはハンドミキサーを使用し、練上がり容量は10Lとした。基本的には混和剤を用いないで実験を行ない比較のために混和剤を用いる系においては芳香族スルホン酸塩系高性能減水剤をセメント重量の0.3%使用した。



本研究で実施した実験は以下に示す通りである。

1) ブリージング試験 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱型枠を使用し JIS A 1123 に準じて行なった。

<配合> $w/c = 40, 45, 50, 55, 60, 65(\%)$ の6水準

$w_1/c = 0, 15, 20, 25, 30, 35(\%)$ の6水準

2) 流動性試験 図1に示す管式粘度計を用い、適当な時間間隔でデジタル表示の電気秤りの値を読みとり、各々の時間におけるセメントペーストの流出量を測定し流量と圧力勾配を求めた。

<配合> $w/c = 50\%$, $w_1/c = 0, 15, 20, 25, 30, 35(\%)$

3) 結合水量の測定 水和させたセメントペーストを所定時間経過後水和反応を停止させ、105℃および900℃でそれぞれ恒量になるまで乾燥し接水時間ごとに105℃乾燥重量と900℃乾燥重量との重量差を測定した。実験手順は図2に示す。

<配合> $w/c = 50\%$, $w_1/c = 0, 25(\%)$ 高性能減水剤添加

4) 圧密試験 粘土をセメントペーストに置き換えて土質力学の圧密試験を行った。実験方法および実験条件は JIS A 1217 に準じた。ただし各荷重段階の荷重時間は20分間とした。実

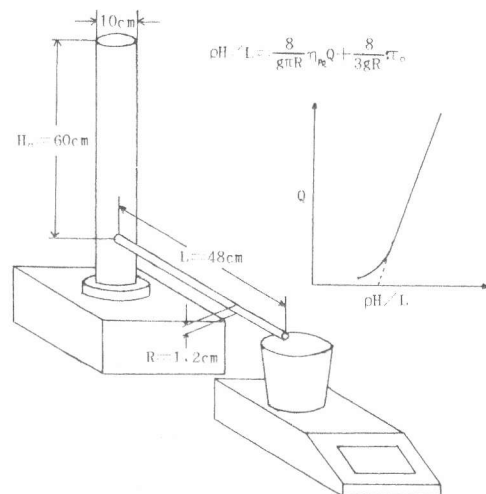


図1 管式粘度計

験装置を図3に示す。

<配合> W/C = 50%、W₁/C = 0、25(%)

3. 実験結果

3.1 分割混練したセメントペーストの性状

図4はセメントペーストのW₁/Cとブリージング率との関係を示す。図4に示す関係はこれまでの研究においても既に報告されているが、本実験の範囲においても分割混練することによりセメントペーストのブリージング率は減少しており、特にW₁/C = 25%で最小となっている。

図5は管式粘度計から求めたセメントペーストの圧力勾配と流量の関係を示す。W₁/Cの変化に伴い流動曲線、特に降伏値が大きく変化していることを示している。このことは分割混練することによりコンクリートのスランプが低下することと対応していると思われる。

3.2 分割混練したセメントペーストの内部組織

3.1の結果より同じ材料、同じ配合を用いても分割混練することによりブリージングが減少したり流動性が変化するのは練上ったセメントペーストの内部組織に違いがあると思われた。そこで分割混練したセメントペーストと従来の方法によるセメントペーストを比較しながら内部組織に着目して検討した。

T. C. Powers⁴⁾によると flocculation によってセメントペーストに Base Structure が形成されるが、それに必要な水以外の水の存在がブリージングの原因として次の式を示している。

$$\Delta H = \frac{\frac{1}{3} [(W_{rw}/C^{r^0c}) - (W_{rw}/C^{r^0c})_B]}{1 + (W_{rw}/C^{r^0c})}$$

ΔH : セメントペーストのブリージング容量 (cm³/cm³)

C^{r⁰c} : セメントペースト中のセメントの絶対容量 (cm³)

W_{rw} : セメントペースト中の水の絶対容量 (cm³)

(W_{rw}/C^{r⁰c})_B : 基本水セメント比 (cm³/cm³)

さらに Powers はブリージング時にセメント粒子表面の形状や化学反応などによって物理化学的に粒子表面に固定される水や、flocculation によって粒子の間隙に保持されて移動できない水がありこれらを非流動水と名付け、セメントペーストの場合この非流動水量とブリージング速度との間に次式の関係があるとしている。

$$Q = A \frac{(\epsilon - W_i)^3}{1 - \epsilon}$$

Q : ブリージング速度 (cm/sec)

ε : セメントペースト単位容積中の液相容積 (cm³/cm³)

W_i : 非流動水量 (cm³/cm³) A : 定数

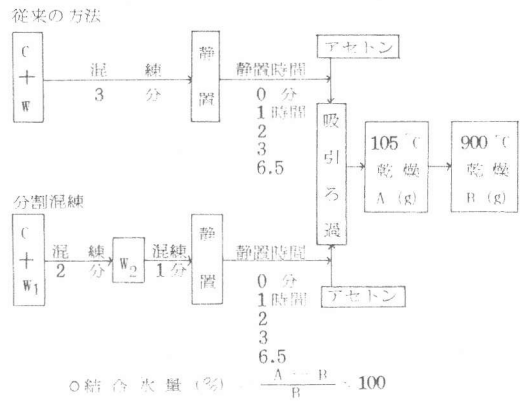


図2 結合水量測定方法

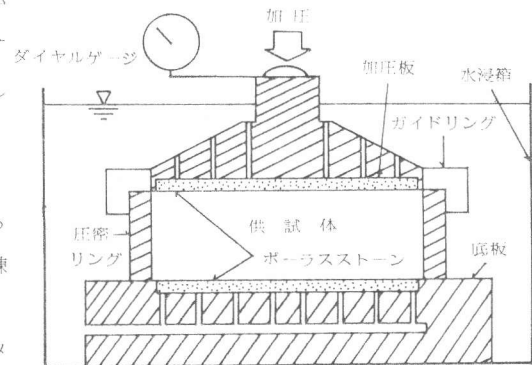


図3 圧密試験装置

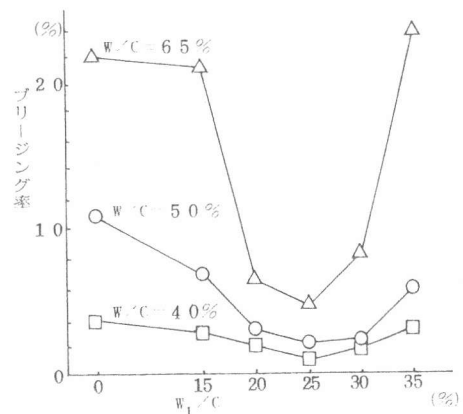


図4 W₁/Cとブリージング率の関係

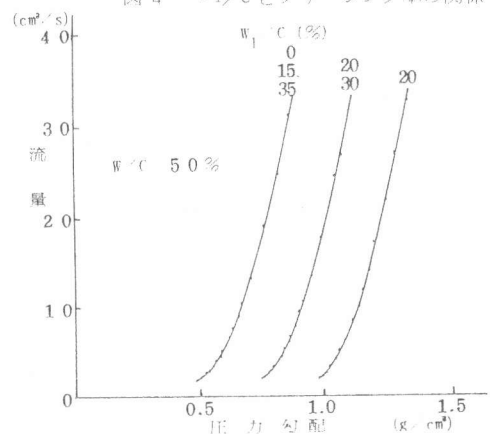


図5 圧力勾配と流量の関係

以上のような考え方に基づいて水セメント比の異なるセメントペーストのブリージング容量と容積単位の水セメント比との関係をプロットしそれらを直線で結んで横軸との交点を求めるとこれが容積単位の基本水セメント比となる。また、非流動水量は基本水セメント比を求める場合と同様に水セメント比の異なるセメントペーストのブリージング速度(Q)を求めて $\sqrt{Q(1-\epsilon)}$ と ϵ との関係をプロットしそれらを直線で結んで横軸との交点を求めることによって得られる。図6に容積単位の水セメント比とブリージング容量の関係を示す。この図より求めた分割混練したセメントペーストの基本水セメント比は従来の方法のものより多くなっている。図7は $\sqrt{Q(1-\epsilon)}$ と ϵ との関係を示す。この図より求めた非流動水量も分割混練したセメントペーストのほうが従来の方法のものより多くなっている。つまり分割混練することによりセメント粒子の分散が計れるため基本水セメント比および非流動水量が多くなったと思われる。

このことについてさらに検討を加えるため、図2に従って結合水量の測定を行なったが、その結果を図8に示す。これより分割混練したセメントペーストは従来の方法のものに比べ結合水量が多くなっている。このことはすでに述べたように分割混練することによってセメント粒子がよく分散したため同一水和時間においてセメント粒子の接水面積が多くなり結合水量が多くなったためと思われる。さらに、高性能減水剤を添加しセメント粒子を分散させて接水面積を広くしてやるとやはり結合水量は多くなっている。

次にセメント粒子あるいはセメントの凝集体の間隙に着目して検討を加えた。フレッシュなセメントペーストの間隙を観察するため土質の圧密試験において粘土をセメントペーストに置き換えて試験を行なった⁵⁾。セメントペーストを構成するセメント粒子の実質部の圧縮性は弾性率が大きいためほぼ非圧縮性とみなしてよい。従ってセメントペーストの圧縮性は主にセメント粒子間の間隙体積の減少すなわち間隙比の減少に基づく。故に、セメントペーストの圧密試験から得られた結果は粘土の場合と同様に取り扱ってもよいと思われる。圧密によって得られた結果はTaylorの \sqrt{e} 法によって整理した。その一例を図9に示す。図10は平均圧密圧力と透水係数の関係を示す。分割混練したセメントペーストの透水係数は圧力の増加に伴ない徐々に透水係数が小さくなっているのに対して従来の方法において最初透水係数は分割混練したものより大きい。そして急激に透水係数が変化した後透水係数がほとんど変化しない区間を経て徐々に小さくなっている。透水係数は一般に、流体の比重、粘性および浸透層を構成する間隙の量、寸法、分布、連続性などによって決定される定数といわれている。

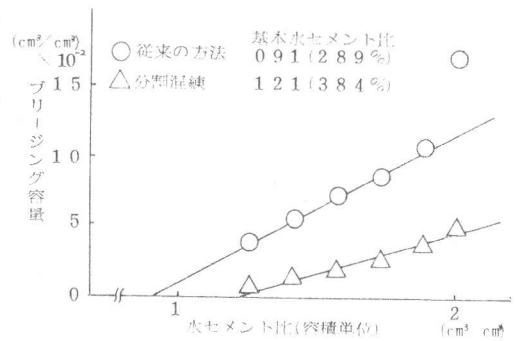


図6 ブリージング容量と水セメント比(容積単位)

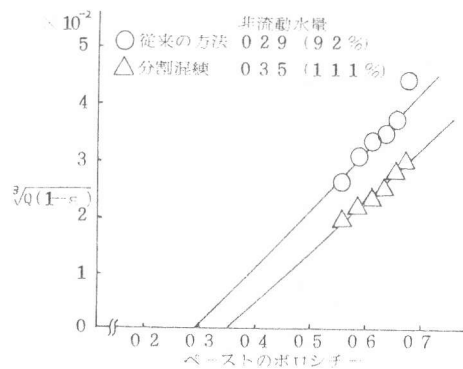


図7 ブリージング速度(Q)とポロシティー(ε)の関係

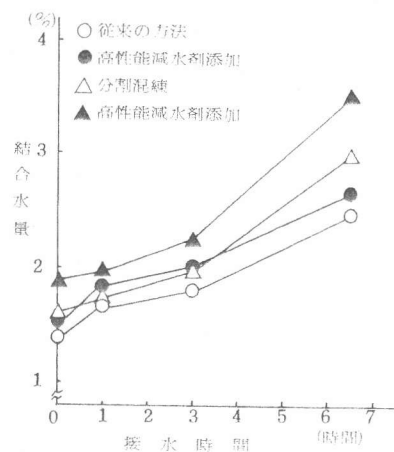


図8 結合水量の経時変化

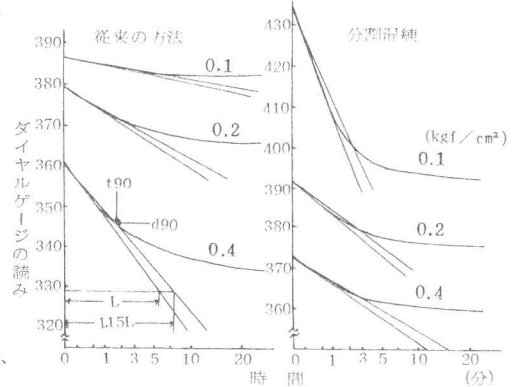


図9 沈下量 - \sqrt{e} 曲線

本実験の場合、水および使用しているセメントは同一であるので分割混練と従来の方法の練混ぜ方法による透水係数の差、あるいは、従来の方法において圧力の変化にともなう透水係数の変化は間隙の変化が大きく影響していると思われる。そこで間隙の変化について検討する。図11は圧密圧力と間隙比の関係を示す。図からわかるように分割混練したセメントペーストは従来の方法のものより間隙比が小さくなっている。また圧密前の間隙比も表1に示すように分割混練したセメントペーストが小さくなっている。さらに分割混練したセメントペーストの間隙比は圧力の増加にともないほぼ直線的に小さな勾配（土質では圧密指数 C_c と呼ぶ）をもって減少している。従来の方法のもの間隙比は圧密圧力 0.2 kgf/cm^2 のところまではあまり変化していないがそれ以上に圧密圧力が増大するにつれて分割混練したものより大きな勾配で減少しており透水係数において得られた結果と対応する傾向を示している。これは圧密圧力が、 0.2 kgf/cm^2 の時セメントペースト中にセメント粒子が形成している骨格あるいは Powers における Base Structure が壊れそのあと骨格がルーズであるため変形する速さすなわち勾配が大きくなったと思われる。分割混練および従来の方法により製造されたセメントペーストの圧密現象は土質力学の分野においてもみられ、土の棉毛構造がねり返され乱されることによって分散構造になった時の圧密試験結果と同様な傾向を示している。このようなことから、分割混練と従来の方法によるセメントペーストの内部組織はモデル的に表わすと図12に示すようになっていると思われる。

4. 結論

本研究はコンクリートの練混ぜ時に、練混ぜ水を2度に分けて練混ぜることによってコンクリートの品質を改善する機構について定量的な検討をするためセメントペーストを用い内部組織に着目して実験を行なった。その結果、練混ぜ水を2度に分けて練混ぜることにより従来の方法によるセメントペーストより自由に動ける水つまりブリッジングとして出てくる水あるいはコンシステンシーに影響を及ぼす水等を取り込むような、間隙の小さな内部組織にセメントペーストが変化していると結論された。本研究の実施に当っては、研究室諸氏、特に柳瀬進氏の協力を頂いた。厚く御礼申し上げます。

— 参考文献 —

- 1) 山本康弘他セメントコンクリート 410、1981
- 2) 魚本健人他第4回コンクリート工学年次講演会論文集
- 3) 長瀧重義他土木学会第37回年次学術講演集
- 4) T.C.Powers "The Properties of Fresh Concrete" 1968
- 5) 土質工学会編 "土質試験法" 第2回改訂版 1979
- 6) 最上武雄 "土質力学" 1966

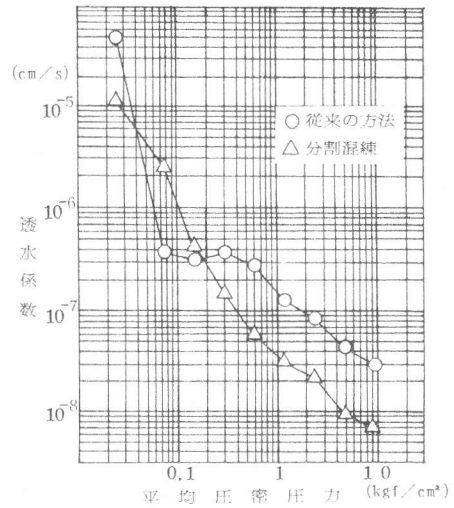


図10 平均圧密圧力と透水係数の関係

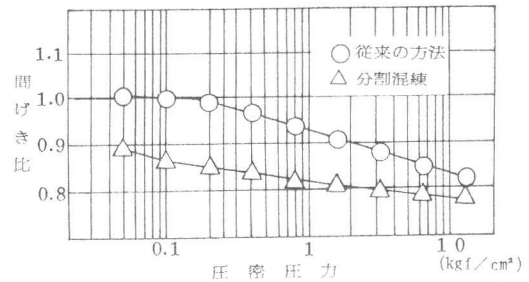


図11 圧密圧力と間隙比の関係

表1 圧密特性

	間隙比	圧密指数
従来の方法	1.297	0.0919
分割混練	1.157	0.0419

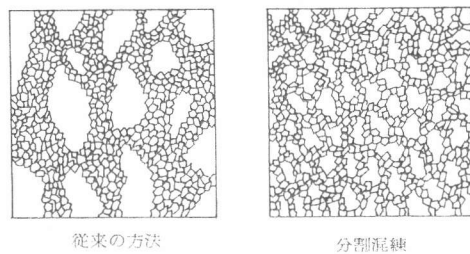


図12 モデル図