

## コンクリートの練り混ぜ方法に関する基礎的研究 (6)

### —分割方式によるコンクリートの練り混ぜ機構—

Effect of Mixing Sequence on Properties of Concrete (6)

魚本 健人\*

Taketo UOMOTO

#### 1. は し が き

前報<sup>1)~5)</sup>までの検討結果より、分割方式による練り混ぜを行った場合のコンクリートの品質ならびに混練中のコンクリートの性状が明らかとなった。

そこで、本文ではこれらの結果に基づき、分割方式によるコンクリートの練り混ぜ機構に関し、粉体工学の立場から考察し、その原理について検討を行った。なお、実験については前報<sup>5)</sup>と同じであるので本文では省略した。

#### 2. 分割方式による練り混ぜ方法と造粒現象

前報<sup>1)~5)</sup>までで明らかとなったように、全く同じ材料を同じ配合で練り混ぜても、一括方式と分割方式とは練り混ぜられたコンクリートの品質(特にブリージング)が著しく異なったものとなる。このため、その原因を材料の品質等に求めるのではなく、他に求めなければならない。

一括方式と分割方式の唯一の違いは、水を分割してミキサに投入し、1次練り混ぜと2次練り混ぜを行うか否かである。また、前報で報告したように、コンクリートの単位体積重量やミキサ消費電力等は、2次水添加後はたとえ1次水量が変わってもほとんど変化しないが、1次水のみを添加した1次練り混ぜ時には大きく変動する。以上のことから、分割方式による練り混ぜを行った場合にコンクリート品質が変わる原因は、1次水のみを添加してコンクリートを練り混ぜたことにあると言える。

1次水のみを添加した状態では、その量が少ない場合にはパサパサの状態であり、前報<sup>5)</sup>で報告したように、セメント、砂、砂利等が部分的に付着して大小の塊が生じ、いわゆる造粒現象を示す(写真-1, 2参照)。この造粒現象はコンクリートに特有な現象ではなく、粉体と液体と

が共存し、その液量が少ない場合に一般的に認められるもので、<sup>6)~9)</sup>粉体に添加された液体が均一に分布せず、偏在するために生ずる現象であるとされている。<sup>9)</sup>その原因は、粉体材料間に含まれる液体による結合力にあり、その結合力は粉体の粒子間空きき体積に対する保水液の体積比で表した空きき飽和度とサクシオンポテンシャルによって定まるとされている。<sup>7)</sup>また、この結合力は、粉体の粒子径に逆比例するため、粒子径が小さいほどその結合力は大となる。

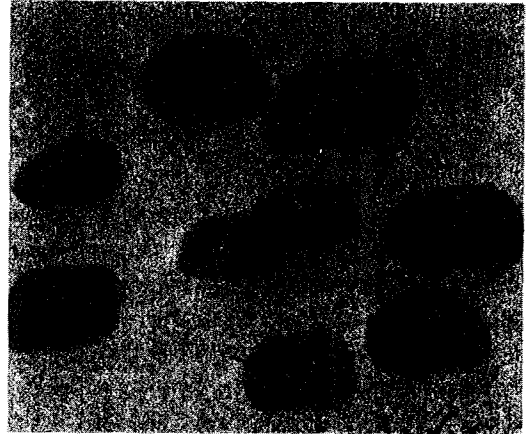


写真-1 造粒されたセメントペースト

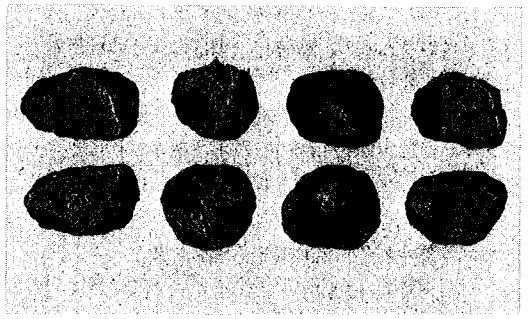


写真-2 スラグ粉末およびセメント粉末を用いて造粒した粒子の断面(白色部分:スラグ粉末、灰色部分:セメント粉末)

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

以上のことを考慮すると、分割方式でコンクリートを練り混ぜた場合には粒子径の小さいものほど早く造粒されるばかりでなく、その結合力も高いため、2次水を投入して練り混ぜを行ってもその水は容易に遊離しにくいと考えられる。また、あらかじめ骨材に1次水を添加した場合に比べ、セメント投入後1次水を加える方法は、最も粒子径の小さいセメント粒子だけによる造粒が生じやすく、骨材との結合力は小さなものになる可能性が高い。

一方、練り混ぜ時におけるミキサ消費電力が最大となる状態は上記の空け飽和度がほぼ100%に近い状態に相当する。<sup>6)7)</sup>すなわち、ミキサの消費電力から造粒物の結合力が最大となる条件を推定することが可能となる。このため、もしセメントと水のみからなるセメントペーストの練り混ぜに分割方式を採用する場合には、ミキサの消費電力から造粒物の結合力が最大となる条件を求めることができ、その条件はブリージングが最小となる条件と一致する。

以上のことから明らかなように、分割方式による練り混ぜを行った場合にコンクリートの品質が変化する原因は、1次水のみを加えて練り混ぜを行った場合に生ずる造粒現象にある。

3. 分割方式によるコンクリートの練り混ぜを行った場合にブリージングおよび圧縮強度が最小・最大となる条件

上述の結果から明らかなように、造粒現象が生じた場合、そこに含まれる粉体粒子の寸法が小さいほど水による結合力は高い。このため、たとえその後2次水を添加して練り混ぜを行っても、その練り混ぜ時間があまり長くなければ、特に粒子寸法の小さな粉体からなる造粒物は破壊されず、水も遊離されにくいことになる。その結果、コンクリートのブリージングは減少するものと考えられる。

一方、コンクリートの各材料はいずれも粉体と見なし得るとはいうものの、粗骨材の場合にはその粒径も大きく、たとえ造粒されたとしてもその結合力は小さい。このため、コンクリート全体が造粒される条件よりも、モルタルが造粒される条件の方が水は遊離されにくく、結果的にブリージングも小さなものとなる可能性がある。そこで、このことを調べるために分割方式により練り混ぜを行ったコンクリートのブリージングと、コンクリートから粗骨材をのぞいたモルタルのミキサ消費電力との関係を調べると図-1のようになる。この図からも明らかなように、コンクリートから粗骨材をのぞいたモルタルのミキサ消費電力が最大となる1次水量のときにコンク

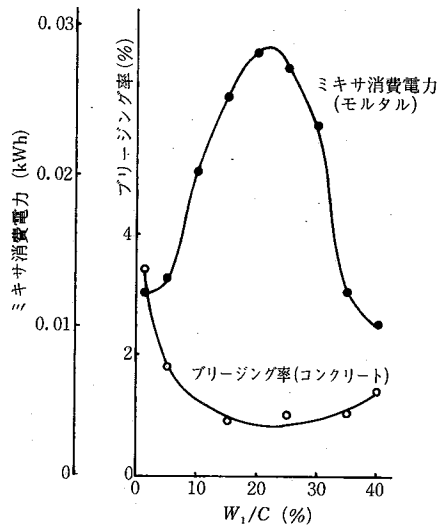


図-1 コンクリートのブリージング率と粗骨材を除いた同一配合のモルタルを練り混ぜた場合のミキサ消費電力との関係 (W/C=40%)

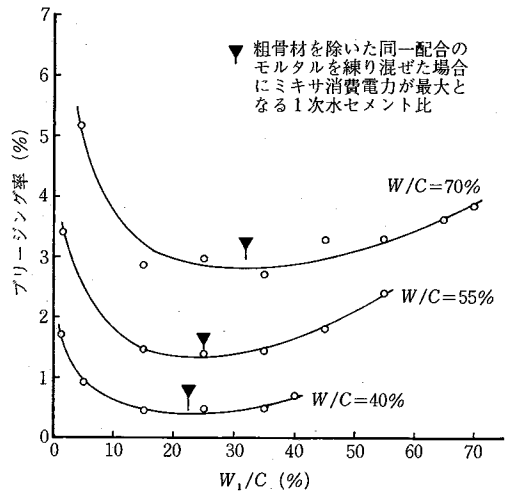


図-2 コンクリートのブリージング率とモルタルのミキサ消費電力が最大となる1次水セメント比との関係

リートのブリージングは最小となっている。また、図-2に示した水セメント比の異なる配合のコンクリートの場合にも同様な結果が得られることから、上記の考え方は妥当なもの判断される。

ブリージングが最小となる条件では必ずしもコンクリートの圧縮強度が最大とはならないことは前報<sup>4),5)</sup>ですでに報告した。その原因として考えられるものとして、i)ブリージングが最小となる条件では水セメント比が20~35%となり、セメントが十分な水和反応を起すには必ずしも水が十分でないこと ii)ブリージングが最小

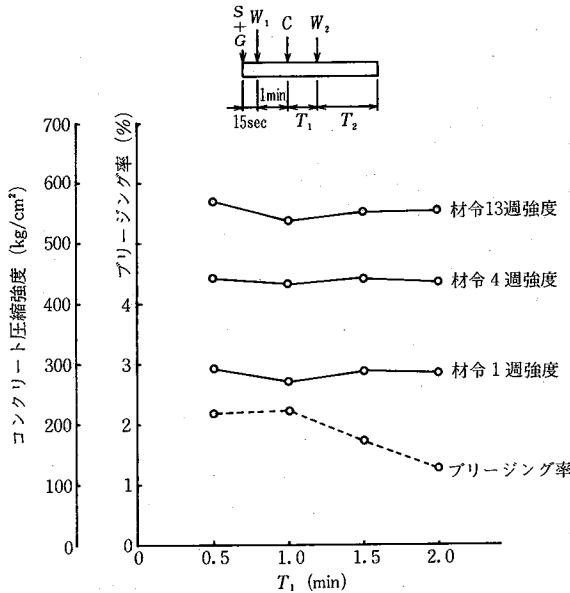


図-3 分割方式による練り混ぜを行った場合のセメント投入後の練り混ぜ時間 ( $T_1$ ) がコンクリート品質に及ぼす影響 ( $W/C=55\%$ )

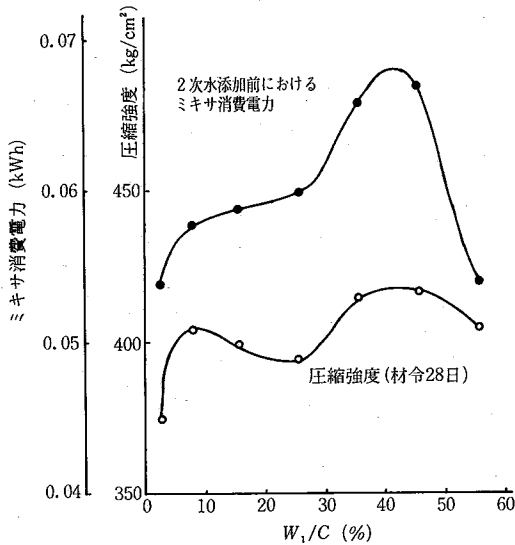


図-4 コンクリート圧縮強度 (材令 28 日) と 2 次水添加前におけるミキサ消費電力との関係 ( $W/C=55\%$ )

となる条件では、主にモルタル分が造粒され、コンクリート全体としての造粒はあまり生じていないため、粗骨材とモルタル分との付着は必ずしも十分とは言えないことなどがあげられる。

この考えは、図-3 に示すように、分割方式で練り混ぜ

を行った場合の 1 次練り混ぜ時間を長くし、2 次練り混ぜ時間を短くした場合にプリージングは減少するにもかかわらず、圧縮強度も若干減少することや、前報<sup>9)</sup>で報告したようにプリージングが最小となる条件ではほとんど粗骨材のまわりにモルタルが付着していないことも一致する。

そこで、もし圧縮強度が最大となる条件があるとするならば、i)セメントの水和反応に十分な水量であること、ii)粗骨材までもを含めた全材料が造粒され、粒子の空けき飽和度が 100% に近い状態であると言えよう。しかし、この条件では前述のように、造粒物の結合力は小さいため、たとえ造粒されてもプリージングが最小となる場合よりもプリージングは増大することになる。

この考えが妥当なものであることは図-4 に示したミキサ消費電力と圧縮強度との関係からも推察できる。しかし、今までの報告からも明らかなように、分割方式で練り混ぜを行った場合の強度増加は約 10% 以下でしかない点に注意する必要がある。

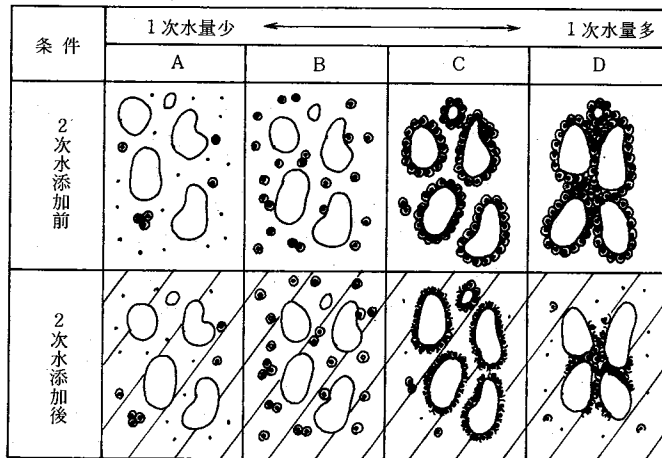
#### 4. 分割方式でコンクリートを練り混ぜた場合のメカニズム

いままでに述べたことから分割方式による練り混ぜの機構は、図-5 に示されるようなモデルにまとめることができる。

骨材の表面水としてであろうと、1 次水としてであろうと混練水が分割投入されて練り混ぜられた場合には、大きくわけて図の A~D の状態となる。A の状態では部分的にセメントおよび砂粒子が造粒され、2 次水投入後のコンクリートは若干プリージングが減少する。B の状態ではほとんどのセメントおよび砂が造粒され、粗骨材に付着し始める場合に相当し、2 次水投入後のコンクリートのプリージングは最小となる。C の状態は粗骨材のまわりにペースト、モルタル分が付着し、粗骨材がたとえ碎石であっても川砂利との区別がなくなるほど造粒され、D の状態では造粒された粗骨材粒子が互いに付着し、より大きな塊へと変化する。2 次水投入後のコンクリートは、いずれも B の状態に比べるとプリージングは大きい、圧縮強度は高く、状態 C および D の中間ぐらいの状態時に圧縮強度は最大となる。

なお、プリージングが最小となる条件は、コンクリート中の粗骨材をのぞいたモルタルのミキサ消費電力が最大となる場合に相当し、コンクリート圧縮強度が最大となる条件は 1 次水のみを添加したコンクリートを練り混ぜた場合にミキサ消費電力が最大となる条件にほぼ一致する。

上述の機構から明らかなように、分割方式でコンクリ



セメントスラリー      ・ 細骨材      ● 造粒された細骨材  
 ○ 粗骨材

図-5 分割方式によるコンクリート練り混ぜ方法のモデル

ートを練り混ぜた場合、水の表面張力を大幅に減少させ、または増大させるような混和剤等を用いた場合には、造粒条件が変化することになり、最終的に得られるコンクリートの品質も異なったものになる。

5. あとがき

本研究で明らかとなったように、分割方式でコンクリートを練り混ぜた場合のコンクリート品質の変化は、1次水のみを投入して練り混ぜた場合に生ずる造粒現象が原因であり、また、そのメカニズムは、ほぼ明らかにされたと考えられる。今後はさらに、コンクリートにとって練り混ぜがどのような意味を持つのか等について、粉体工学の手法を用いて検討する予定である。

最後に、本研究を行うにあたり、終始ご指導いただいた第5部 小林一輔教授に深く感謝すると同時に、実験にご協力いただいた星野富夫技官をはじめ第5部小林研

究室の方々に感謝いたします。(1982年3月15日受理)

参考文献

- 1) 魚本, 小林, 星野, 西村: 生産研究 Vol. 33, No. 8, 1981. 8
- 2) 魚本, 小林, 星野, 西村: 生産研究 Vol. 33, No. 9, 1981. 9
- 3) 魚本, 小林, 星野, 西村: 生産研究 Vol. 33, No. 11, 1981. 11
- 4) 魚本, 星野: 生産研究 Vol. 34, No. 3, 1982. 3
- 5) 魚本, 星野: 生産研究 Vol. 34, No. 4, 1982. 4
- 6) A.S.Michaels and V.Puzinauskas: Chem. Eng. Progress Vol. 50, No. 12, 1954
- 7) D.M. Newitt and J.M. Conway-Jones: Trans. Instn. Chem. Engrs. Vol. 36, 1958
- 8) C.E. Capes and P.V. Danckwerts: Trans. Instn. Chem. Engrs. Vol. 43, 1965
- 9) 梅屋 薫: 化学工業 1961.8