

# コンクリートの練り混ぜ方法に関する基礎的研究 (5) —ブリージングおよび圧縮強度が最小・最大となる条件—

Effect of Mixing Sequence on Properties of Concrete

魚本 健人\*・星野 富夫\*

Taketo UOMOTO and Tomio HOSHINO

## 1. は し が き

前報<sup>1)</sup>では、分割方式による練り混ぜを行った場合に1次水として骨材に添加する水量がコンクリート品質に及ぼす影響について検討した。その結果、たとえ配合は全く同じであっても、ブリージングやスランプが最小となる1次水量が存在し、またその差はわずかではあっても圧縮強度が最大となる1次水量が存在することが明らかとなった。しかし、ブリージングやスランプが最小となる1次水量と圧縮強度が最大となる1次水量は必ずしも一致しないため、その原因等について検討を加える必要がある。

そこで、本文ではブリージングが最小となる条件および圧縮強度が最大となる条件について、コンクリートの単位体積重量、ミキサ消費電力、練り混ぜ時におけるコンクリートの変化等を考慮した検討を行った。

## 2. 実 験 概 要

実験は、前報<sup>1)</sup>で報告したものの継続であり、コンクリートの配合および練り混ぜ方法は全く同じである。使用材料は、粗骨材として秩父両神産の碎石(最大寸法20mm, 比重2.70, 吸水率0.70%, 粗粒率6.62)を、また細骨材として富士川産の川砂(比重2.62, 吸水率2.24%, 粗粒率3.04)を用いた。また、セメントとしては普通ポルトランドセメントを用いたが、セメントペーストの単位体積重量変化の検討では、セメントとほぼ同じ粉末度(3,500 cm<sup>2</sup>/g)の高炉水砕スラグ粉末(以下スラグと略す)による検討もあわせて行った。

コンクリートの単位体積重量は2次水をミキサに投入する前および、全材料投入し練り混ぜ完了後に測定した。またミキサの消費電力は、2次水投入前およびコンクリート練り混ぜ完了前の10秒間の平均値を求めた。

コンクリートの圧縮強度およびブリージングについては、前報<sup>1)</sup>で報告した結果を検討の対象とした。

なお、セメントペーストの実験では、オムニミキサーを用いて練り混ぜを行い、コンクリートの練り混ぜには

強制攪拌型ミキサを用いた。

## 3. 1次水量と単位体積重量およびミキサ消費電力

コンクリートの単位体積重量が1次水量の変化に伴い、どのように変化するかを示した1例が図1である。この図より明らかなように、2次水添加前におけるコンクリートの単位体積重量は1次水量によって著しく変化するにもかかわらず、2次水添加後においてはほとんど変化しない。

2次水添加前においては、添加水量を増大させるに従い単位体積重量は減少し、さらに水量を増大させると増加へと転じる。単位体積重量はその後急激に増加するが、図1に示すようにある量まで水量を増加させると最大となり、その後減少する。このような現象はコンクリートに特有なものでないことは、図2および図3に示した細骨材およびスラグ粉末の場合と比較すれば明らかである。

また、2次水添加前における単位体積重量を固体材料と水が均等に分散しているものと仮定して、理論単位体積重量を求めると、単位体積重量が最大となる水量以上の水を添加した場合には理論値と実測値はほぼ一致するが、水量がそれ以下の場合には理論値と実測値は大きく異なっている(図3参照)。すなわち、図1に示したコンクリートは、単位体積重量が最大となる水量以上の範囲では、ほとんど空隙のないスラリー状態となるが、逆にそれ以下の水量の場合には非常に空隙の多い状態である

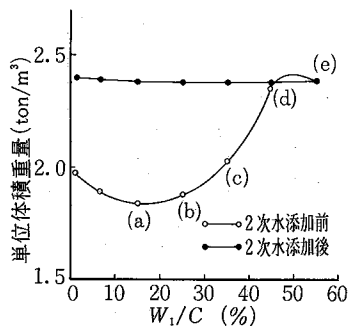


図1 コンクリートの単位体積重量と1次水セメント比(図中の記号は写真1参照)

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

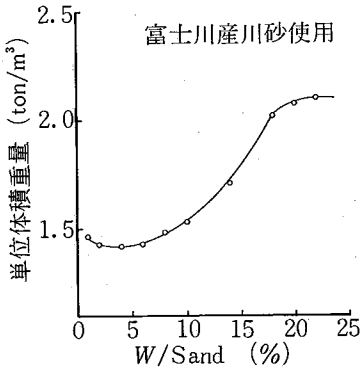


図2 水を添加した場合における細骨材の単位体積

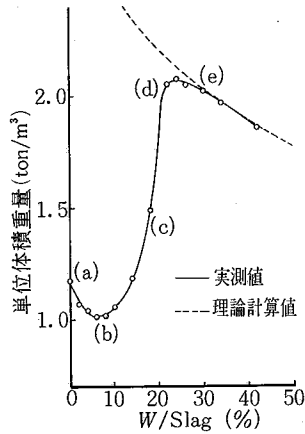


図3 水を添加した場合におけるスラグ粉末の単位体積重量と水スラグ比(図中の記号は写真2参照)

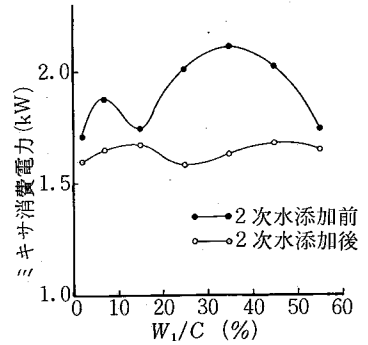


図4 コンクリート練り混ぜ時におけるミキサ消費電力と1次水セメント比

ことを意味している。

コンクリートをミキサで練り混ぜた場合におけるミキサの消費電力が、1次水量の変化に伴いどのように変化するかを図4に示す。この図から明らかなように、1次水量と単位体積重量との関係の場合と同様に、2次水添加前におけるミキサ消費電力は1次水量によって大きく変化するにもかかわらず、2次水添加後はほとんど変化しない。

2次水添加前におけるミキサ消費電力で特徴的なことは、ミキサ消費電力が極大値を示す点が2カ所あることである。また、単位体積重量と1次水量との関係を示した図1と比較すると、ミキサ消費電力が最も大きくなるのは、単位体積重量が急増する範囲である。

以上述べたことを考慮すると、分割方式による練り混ぜでコンクリートの品質が変化する現象は、主に2次水添加前におけるコンクリート品質と関係があるものと推定される。そこで、1次水のみを添加したコンクリートの性状について検討した。

4. 1次水量とコンクリートの性状

1次水のみを添加したコンクリートがどのような状態になっているかを写真1に示す。また、比較のためスラグ粉末の場合についても写真2に示す。なお、これらの写真に示された(a)~(e)は図1および図3中に示された記号と対応している。

図2のスラグ粉末では、(a)水を全く添加しない場合には粉末状態であるが、(b)水を少量添加した水スラグ比(重量比)8~16%程度では、部分的に大きなペレット状の塊ができやすく、粉末と小塊が共存する。さらに水量を増大させてもあまり大きな変化は認められないが、

(c)水スラグ比20%程度になるとほとんどのスラグがペレット状の小塊となり、(d)水スラグ比24%ではこれらのペレット状の塊が互いに付着し、数個の大塊となる。(e)さらに添加水量を増大させた、水スラグ比28%ではペースト状となる。なお、普通ポルトランドセメントを用いた場合にも全く同じ現象が生じる。

コンクリートの場合には、(a)添加水量の少ない、水セメント比15%程度では主に細骨材にセメントが付着し、粗骨材にはわずかな量しか付着しない。しかし、(b)水セメント比が25%程度となると粗骨材のまわりに、セメントおよび細骨材が付着し、(c)水セメント比35%ではその付着量が増大する。その結果、写真からも明らかなように外観では使用粗骨材が碎石であるか否かがわからない状態となる。さらに水量を増すと(d)ペレット状の塊が互いに付着し、(e)についてはコンクリートとなる。

これらの結果から明らかなように、スラグ粉末だけの場合であっても、またコンクリートの場合であっても、添加水量の少ない場合にはほぼ同じ現象が生じている。このような現象は、ペレットを製造する場合等で認められるもので、コンクリート特有の現象ではなく、その原因は過少添加された水が均等に分布せず偏在するためである。

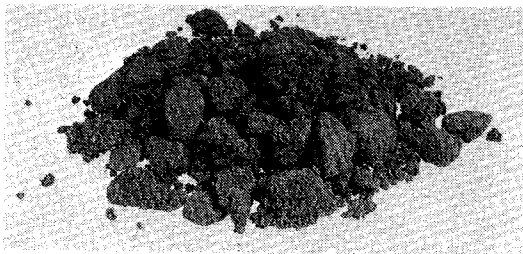
5. フリージングが最小となる場合のコンクリート性状

今までに述べた結果を考慮して、前報<sup>4)</sup>で報告した結果を検討するため、フリージング率と1次水量および単位体積乾燥重量との関係の1例を図5に示す。なお、単位体積乾燥重量は水が均等に分散していると仮定して単位体積重量から求めた計算値である。

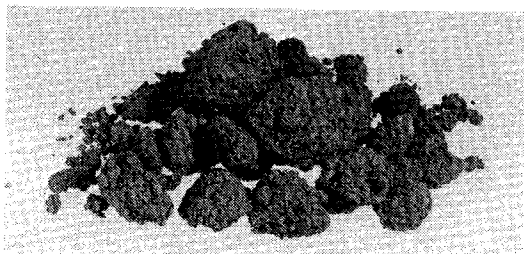
研 究 速 報



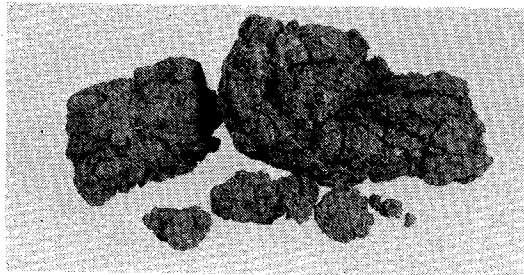
(a)  $W_1/C=15\%$



(b)  $W_1/C=25\%$



(c)  $W_1/C=35\%$



(d)  $W_1/C=45\%$

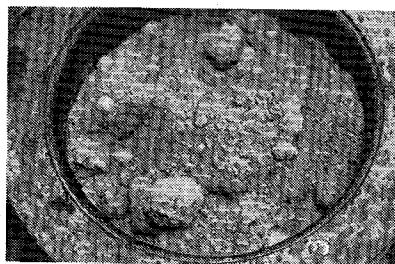


(e)  $W_1/C=55\%$

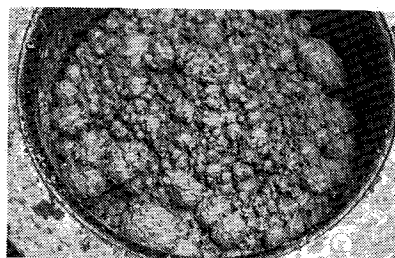
写真1 2次水添加前におけるコンクリートの外観



(a)  $W/Slag=0\%$



(b)  $W/Slag=8\%$



(c)  $W/Slag=20\%$



(d)  $W/Slag=24\%$



(e)  $W/Slag=28\%$

写真2 スラグ粉末に水を添加した場合の外観

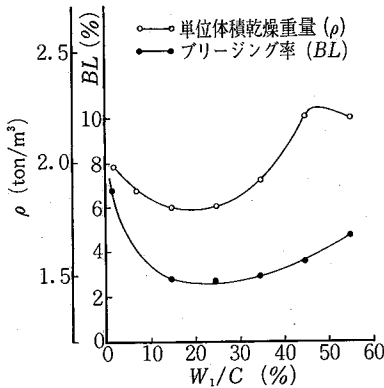


図5 コンクリートのブリージング率および2次水添加前の単位体積乾燥重量と1次水セメント比

この図より明らかなように、コンクリートのブリージングが最小となる1次水量は、単位体積乾燥重量が最小となる水量に近い値である。これは単位体積中にしめるセメント、砂、砂利等の固体材料の体積が最も少なくなる場合に相当している。この条件では前述のようにセメントや細骨材の微粒分が小塊をつくるのみならずセメントが細骨材に付着するが、粗骨材にはほとんどセメントが付着していない。しかし、このような条件ではセメントおよび細骨材からなる小塊に含まれる水は、表面張力等で微粒分を付着せしめるのに最適な量であると推定されたたとえ2次水を添加してもその水は分離しにくく、結果としてブリージングが減少したものと考えられる。

一方、この状態では粗骨材表面にセメントが十分付着しているとは言えず、2次水を添加した場合にはその界面が弱点となるため、ブリージングは減少しても強度増加はあまり生じなかったものと推定される。

6. 圧縮強度が最大となる場合のコンクリート性状

ブリージングの場合と同様に、前報<sup>7)</sup>で報告した結果を検討するため、コンクリート練り混ぜ時における1次水量とミキサ消費電力および単位体積重量増加率との関係の1例を図6に示す。なお、単位体積重量増加率は単位体積重量-1次水セメント比曲線(図1参照)からその勾配として求めたものである。

これらの図より明らかなように、コンクリートの圧縮強度が最も高くなるのはミキサ消費電力または単位体積重量増加率が最も大きくなる場合とほぼ一致する。この条件では、写真2(c)に示すようにペレット状になった小塊が互いに付着し、より大きな塊へと変化する場合(写真2(d))に相当する。すなわち、骨材およびセメントから成るペレット状の塊に含まれる水は飽和状態とな

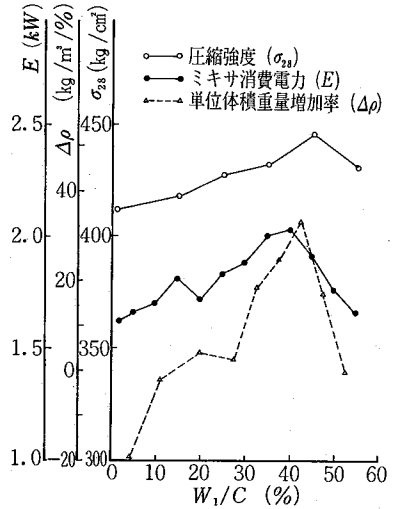


図6 コンクリートの圧縮強度(材令28日)ならびに2次水添加前の単位体積重量増加率およびミキサ消費電力と1次水セメント比

り、余剰水の存在により相互に付着する。この状態では、すでに骨材表面に十分セメントが付着しているため、たとえ2次水を添加しても骨材との付着は良く、強度増に結びついたものと思われる。

これらの結果と、すでに報告した結果<sup>1)~4)</sup>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コンクリート品質が変化する現象は、固体材料に比べ過小添加された1次水が偏在し、コンクリートが一般的な品質とならないことが原因で生じたものといえよう。

7. あとがき

本文で明らかとなったように、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コンクリートの品質が変化するの、固体材料に比べ過小添加された1次水が偏在し、一般的な品質のコンクリートとならないことが原因である。今後は、分割方式によるコンクリートの練り混ぜの原理について検討する予定である。

(1982年2月25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.