

[72] 高炉スラグ微粉末を用いた流動化モルタルの諸性状

正会員 ○辻 幸和 (群馬大学工学部)
 正会員 小林 信一 (小野田セメント)
 大塚 義則 (静岡県庁)

1. まえがき

高炉スラグ微粉末の利用に関しては、高炉セメントも含めると、すでに数多くの研究成果が報告されているが、ブレン値が、 $3000\text{cm}^2/\text{g}$ から $4000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのものに限られている。しかしながら、用途の多様化と粉砕技術の進歩により、従来より微粉末なものも製造されるようになってきた。

本研究では、 $8000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのブレン値まで微粉砕したものも含め、高炉スラグ微粉末の粉末度および混入量が、流動化モルタルの流動化効果、フローの経時変化、ブリージング性状および強度特性に及ぼす影響を実験的に検討したものである。

2. 実験の概要

高炉スラグ微粉末および普通ポルトランドセメントの物理的性質を表-1に示す。高炉スラグ微粉末のブレン値は、 $3290\text{cm}^2/\text{g}$ から $7860\text{cm}^2/\text{g}$ まで変化させている。細骨材は渡良瀬川産の川砂を用い、比重は2.60、粗粒率は2.72であった。流動化剤は、変性ナフタリン系のAおよびスルホン酸系のBを用いた。

モルタルの配合は、砂結合材比を2の一定にし、ベースフロー値が 190 ± 10 および 160 ± 10 になるように、水結合材比をそれぞれ4.0%および3.7%に決定した。高炉スラグ微粉末の結合材に対する混和率 $B/(C+B)$ を0、30%、50%および80%の4種類、流動化剤は、結合材重量の1%および1部の配合については、1.3%の添加率 $SP/(C+B)$ とした。

練りませおよび流動化の方法を図-1に示す。流動化剤の添加時期は、練りませ水に混入して用いた同時添加および15分後添加の2種類とした。フロー値は、流動化直前、直後、15分後、30分後、60分後および90分後にそれぞれ測定した。試料は、練りませ終了後、オムニミキサから練りはちに移し、静置期間中はぬれ布で練りはちを覆った。フロー値を測定する際は、手練りで約1分間練り直した後にフロー試験を行った。流動化効果の指標となるフロー増大量は、同時添加の場合、流動化モルタルのフロー値とベースモルタルのフロー値の差とし、15分後添加の場合は、図-1に示す流動化剤添加前後のフロー値の差($F_1 - F_2$)とした。

ブリージング試験は、流動化直後に試料を採取し、JIS A 1104 の容積が2ℓの容器を用いて、JIS A 1123 のコンクリートのブリージング試験方法に準じて行った。

強度試験は、JIS R 5201 の方法とし、3本の平均値をとった。試料は、練りませ後90分経過後採取し、成形した後、材令1日で脱型し、 $20\pm 2^\circ\text{C}$ の水中養生を行った。試験材令は、28日および91日である。

3. 流動化効果

(1) ベースモルタルのフロー値

セメントと高炉スラグ微粉末の和である結合材に対する高炉スラグ微粉末(以下スラグと略称する)の混和率が、ベースモルタルのフロー値に及ぼす影響を図-2に示す。ブレン値が $3000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのB3を使用した場合は、スラグ混和率 $B/(C+B)$ が80%になると、わずかにフロー値は低下するものの、混和率にかかわらず、ほとんど同程度のフロー値を示している。ブレン値が $4000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのB4の場合も、B3の場合とほぼ同様の傾向を示すが、スラグ混和率の増加に伴うフロー値の低下は、B3の場合に比べて少し大きい。

表-1 高炉スラグ微粉末およびセメントの物理的性質

種類	ブレン値 (cm^2/g)	比重	
高炉スラグ 微粉末	B 3	3290	2.89
	B 4	4500	2.89
	B 8	7860	2.90
セメント	3210	3.16	

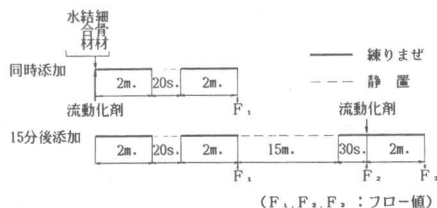


図-1 練りませおよび流動化の方法

ブレン値が $8000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのB8を使用すると、スラグ混和率が30%および50%の場合には、フロー値は若干大きくなり、細かい粉末にもかかわらずB3およびB4より少し大きいフロー値を示している。しかしながら、80%と多量に用いるとフロー値の低下が大きくなる。これらの傾向は、ベースフロー値が 190 ± 10 および 160 ± 10 のいずれの場合も認められた。

(2) フロー増大量

結合材重量の1%の流動化剤をベースモルタル製造後15分後に添加して流動化したモルタルのフロー増大量とスラグ混和率 $B/(C+B)$ の関係を図-3に示す。一般に、スラグ混和率が増加するに従い、スラグの粒度にかかわらず、フロー増大量は増加することが認められる。しかしながら、B8を使用した場合、スラグ混和率が50%までは、混和率の増加に従いフロー増大量は増加するが、80%に混和率を増加しても50%の場合と同程度の値を示した。

同様の傾向が、ベースモルタルのフロー値を 190 ± 10 から 160 ± 10 に低下させた場合、および同時添加により流動化した場合にも認められる。そして、B8を使用した場合、流動化剤の添加率 $SP/(C+B)$ を1.3%に増加すると、スラグ混和率が50%から80%とスラグ量が多くなると、逆にフロー増大量は低下する傾向を示した。また、図-3より、スラグを使用しない場合は、ベースモルタルのフロー値の違いによるフロー増大量の差は小さいが、スラグの混入に伴い、ベースモルタルのフロー値が 190 ± 10 と軟らかくなると、フロー増大量は大きくなった。

4. フローの経時変化

スラグは、一般に反応が遅く、時間経過によるスランブの減少は、スラグを混和しない場合より小さいという報告がされている^{1),2)}。しかしながら、フローの経時変化を示す図-4からは、スラグ混和率が多い80%の場合には、顕著なフローロスがベースモルタルと流動化モルタルのいずれにも等しく認められる。そして、この現象は、スラグの粒度が異なるB3およびB8を用いた場合にも生じている。

スラグ混和率 $B/(C+B)$ を横軸にとり、練りませあるいは流動化後90分経過する間のフローロスを示したのが図-5である。一般に、スラグ混和率の増加に伴い、いずれの粒度のスラグを用いた場合にも、フローロスは大きくなる。そして、そのフローロスの程度は、流動化すると大きくなる傾向も認められた。ほぼ同様の傾向が、ベースフロー値を 190 ± 10 から 160 ± 10 にした硬練りモルタルの場合、および同時添加により流動化した場合についても認められた。

一般に、スラグの混和率が増加するに従い、水和発熱量は減少し、粒子表面に吸着されずに液相に残存する流動化剤の量は増加するという報告³⁾がされている。しかしながら、その報告の中でも高炉スラグ微粉末の混和率の増加に伴い、スランブロスは大きくなることも述べられている。これらの現象より、スラグを用いた場合のコンクリートのスランブロスをセメントの初期水と反応だけで説明することは、多少無理が生じるよう

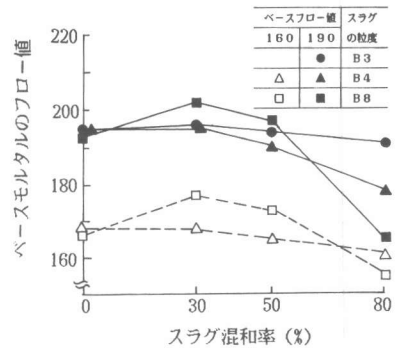


図-2 ベースモルタルのフロー値

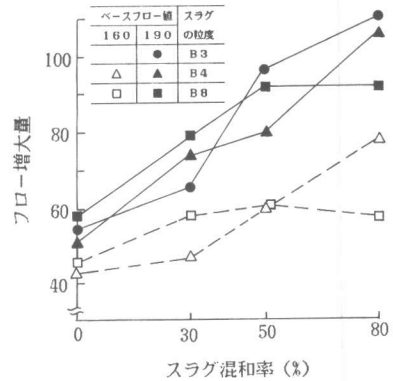


図-3 フロー増大量

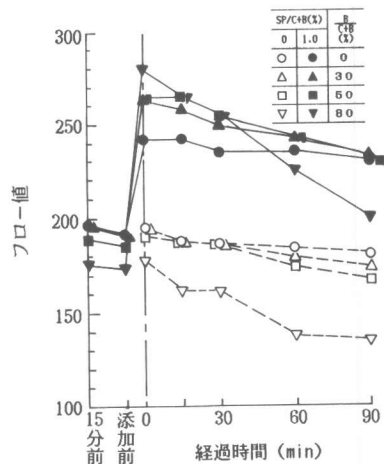


図-4 フローの経時変化の例 (B4)

である。

5. フリージング性状

図-6および図-7は、フリージング率を示している。配合、流動化剤の種類、添加量および添加時期等により、流動化すると一般にフリージング率は増加する場合と減少する場合があるが、図-6は前者を、図-7は後者の例である。いずれの場合とも、スラグの粉末度の違いに

より、スラグ混和率がフリージング率に及ぼす影響は異なる。

ブレン値の小さいB3を用いた場合は、スラグを混和率で30%使用すると、スラグを用いないモルタルより大きいフリージング率を示し、50%、80%と混和率が増加するに従い、フリージング率は低下する傾向が認められた。この傾向は、砂結合材比が同じ2のモルタルにおいて同様に認められている²⁾。B4の場合も、B3とほぼ同様の傾向を示すが、フリージング率はB3に比べ小さい。B8を用いた場合は、スラグ混和率の増加に伴いフリージング率は著しく低下した。そして、80%をスラグに置き換えると、ベースモルタルのフリージングはほとんど生じなかった。このようなスラグ混和率がフリージング率に及ぼす影響は、砂結合材比によっても異なるが²⁾、流動化の有無にかかわらず等しく認められた。

また、図-8より、フリージングの継続時間は、スラグの混入により著しく長くなることはなく、スラグ混和率が及ぼす影響は、フリージング率の場合と同様の傾向を示した。

フリージング率に及ぼす流動化しない普通コンクリートにおけるスラグの影響については、これまでいくつかの実験結果が報告されている。たとえば、高炉セメントを用いたコンクリートの方が普通コンクリートよりもフリージングは小さくなり、かつ、高炉セメントA、B、C種の順に減少の傾向がみられるとの報告²⁾、あるいは、混和率が大きく(60%以下)になると、フリージングは同量か、逆に若干多くなる傾向を示すが、混和率が60%を超え90%にもなると、急激に減少するとの報告⁶⁾がなされている。これらの報告で用いられているスラグのブレン値は約3000cm²/gから4000cm²/gなので、B3およびB4の場合と同様の傾向が得られている。

また、粉末度の大きいものを用いたコンクリートの方が、フリージングは少なくなるとの報告もなされている⁶⁾。今回の実験で、フリージング率に及ぼすスラグの影響は、混和率だけでなく、スラグの粉末度によっても異なること、および、流動化しても変化がないことが明らかになった。

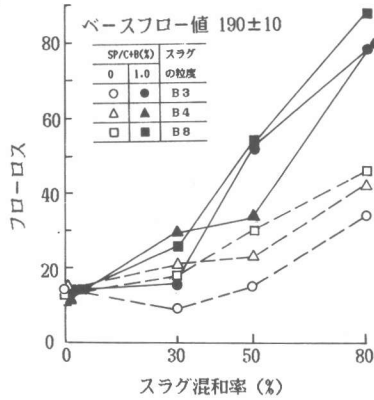


図-5 フローロス (後添加)

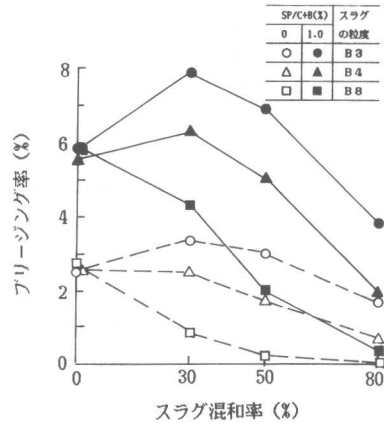


図-6 フリージング率 (後添加)

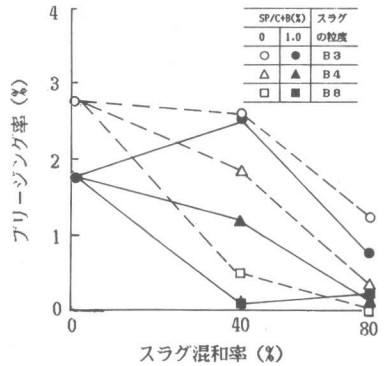


図-7 フリージング率 (同時添加)

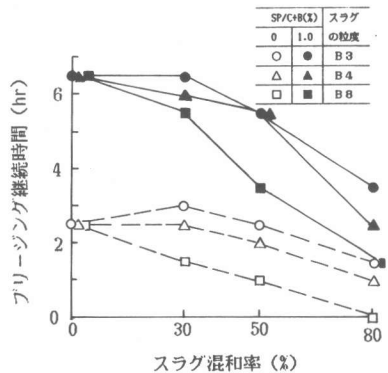


図-8 フリージング継続時間

6. 曲げおよび圧縮強度

材令28日における曲げ強度および圧縮強度を図-9に示す。B3およびB4を使用した場合は、曲げおよび圧縮強度ともに同程度の値を示し、スラグ混和率が増加するに従い、強度は一般に、低下している。しかしながら、粉末度の高いB8をセメントの30%および50%置き換えて用いた場合は、スラグの混入により、曲げおよび圧縮強度ともに強度増加が認められる。なお、80%に混和率を増加すると、材令28日の強度は低下しているが、この場合も、B3およびB4を用いたものほど低下していない。

流動化しても、一般に、スラグを混入したモルタルの強度はほとんど低下せず、スラグ混和率の及ぼす影響もベースモルタルの場合とほぼ同様であることが認められる。しかしながら、B8をスラグ混和率で80%使用した場合には、流動化による強度低下が大きかった。また、ベースフロー値を160±10とした場合も、図-9に示した190±10の場合とほぼ同様の傾向が認められた。

材令91日における圧縮強度を図-10に示す。スラグ混和率が50%までは、スラグの粒度および流動化剤添加率にかかわらず、スラグの混和に伴う強度低下はほとんどなく、材令の経過に伴う強度の回復が認められた。しかしながら、スラグを混和率で80%用いると、一般に強度は低下し、曲げ強度の場合2割程度、圧縮強度の場合は、3割以上の強度低下を示すものもある。この場合も、B8を用いると、B3およびB4を用いた場合に比べ、圧縮強度の強度低下は小さくなった。

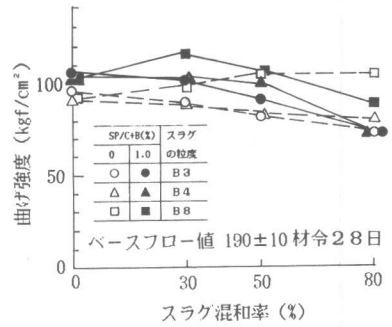
7. 結論

流動化モルタルのフロー増大量、フローの経時変化、ブリー징の量とその継続時間、曲げおよび圧縮強度に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響は、スラグの混和率だけでなく粉末度によっても異なることを、ブレン値で8000cm²/g クラスまで微粉碎したスラグも含め、流動化剤を用いない普通モルタルと対比して明らかにした。

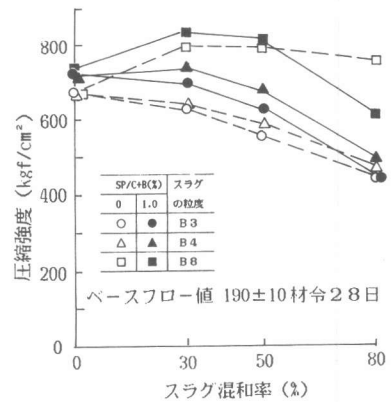
本研究は、土木学会、コンクリート委員会、高炉スラグ混和材研究小委員会の委員会活動の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 坂本好史：高炉水砕スラグ粉末、コンクリート工学、Vol.16、No.3、March 1978
- 2) 鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用について、昭和60年版 鉄鋼スラグ協会
- 3) 長滝、戸矢、竹内：流動化コンクリートのスランプロス、セメント技術年報 37、昭和58年
- 4) 辻、敷佐、福沢：高炉水砕スラグ粉末を用いた流動化モルタルの性状、セメント技術年報 37、昭和58年
- 5) 大下、斎藤：高炉セメントコンクリートの配合と強度およびブリージングについて、セメント技術年報 32、昭和53年
- 6) 依田、枝広：高炉スラグ粉末を混和材として用いたモルタル及びコンクリートの性質について、セメント技術年報 33、昭和54年



(a) 曲げ強度



(b) 圧縮強度

図-9 材令28日における曲げ強度および圧縮強度

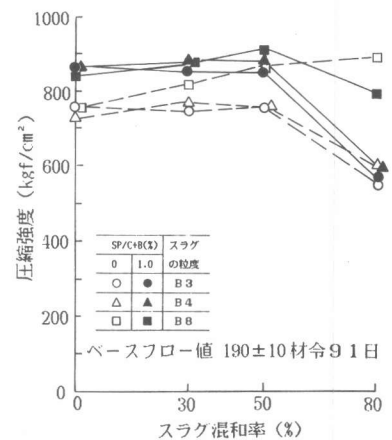


図-10 材令91日における圧縮強度