

論文

[1005] 高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの強度と結合材水比との関係

正会員 辻 幸和 (群馬大学 工学部)
 正会員 ○川島 俊美 (群馬大学 工学部)
 正会員 齋藤 等 (群馬大学 大学院)
 宇留野茂雄 (茨城県庁)

1. まえがき

近年その使用量が増加してきた高炉スラグ微粉末(以下スラグと略称する)を用いたコンクリートの各種の性状については、これまで数多くの貴重な研究成果が報告されている。しかしながら、スラグを用いたコンクリートの強度と結合材水比との間には、ポルトランドセメントを用いた場合と同様に直線関係があるとの報告は多いものの、その直線の傾き等については、魚本らのスラグを80%以上用いたいわゆるスラグ石こうセメントの場合¹⁾を除き、ほとんど検討されていない²⁾³⁾。またスラグの適用の多様化に伴い、ブレン値が $5000\text{cm}^2/\text{g}$ 以上といった従来のものに比べて微粉なスラグの使用が有望視されているが、このような微粉なスラグを使用した場合の強度と結合材水比の関係に関する報告は少ない。さらに、コンクリートの製造方法も多様化し、従来の材料を一括して投入し練りませる方法だけでなく、分割して練りませる方法、あるいは流動化コンクリートなどの製造方法も注目されている。

既に著者らはブレン値が $5000\text{cm}^2/\text{g}$ 以上のものも含め、スラグを用いたコンクリートの強度と結合材水比との直線関係の傾きが、スラグを多量に置換するほど小さくなることを報告したが⁴⁾⁵⁾、スラグの種類及び影響を明示するまでには至らなかった。本研究では、スラグの種類をブレン値で $8000\text{cm}^2/\text{g}$ まで変化させ、またスラグ置換率を70%まで変化させたそれぞれのモルタルについて、その圧縮強度および曲げ強度は結合材水比との間に直線関係が存在するか否か、また直線関係が存在するとした場合のその傾きについて実験した結果⁶⁾をとりまとめるとともに、その適用範囲を拡げることを目的に、練りませ方法、ミキサの違いおよび流動化剤を添加した場合についても実験を行った結果を報告するものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料

スラグおよびセメントの物理的性質を表-1に示す。スラグは3銘柄で、その粉末度がセメントと同程度の $3000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのものから $8000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスのものまでの合計6種類を用いた。セメント

表-1 高炉スラグ微粉末及びセメントの物理的性質

種類	粉末度 (cm^2/g)	比重	
高炉スラグ微粉末	A4	4300	2.91
	B3	3290	2.89
	B4	4500	2.89
	B8	7860	2.90
	C6	6200	2.91
	C8	8250	2.90
セメント	3270	3.16	

表-2 基準モルタルの配合

結合材水比 (C/W)	砂結合材比(S/C)	
	軟練り	硬練り
1.7	3.1	3.5
2.0	2.4	2.8
2.3	2.0	2.4
2.6	1.6	2.0



図-1 練りませ方法

は、種類によるばらつきをなくするために、普通ポルトランドセメント1銘柄とした。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、吸水率は2.57%であった。水は、水道水を使用した。流動化剤は、ポリアルキルアリルスルホン酸塩系のものを使用した。

2.2 配合

基準モルタルの配合を表-2に示す。結合材水比を1.7, 2.0, 2.3, 2.6の4種類、スラグ無混和の基準モルタルのフロー値を195±15mmの軟練りと155±15mmの硬練りの2種類の合計8種類を基本とした。従って、各結合材水比に対応する細骨材と結合材の重量比は、表-2に示すように異なっている。また、これらの各結合材水比における細骨材と結合材の重量比の値は、基準モルタルについての試験練りによって定めた。従って、スラグの置換による補正は行っていない。

2.3 練りませ方法

練りませは、容量が約2ℓの強制攪拌式ミキサと容量が約5ℓのオムニミキサを使用した。JIS R 5201「セメントの物理試験方法」による普通練りませ方法を主体としたが、練りませ方法の違いを検討するため、分割練りませ方法および流動化剤を使用した流動化モルタルについても実験した。図-1にこれらの練りませ方法を示す。

2.4 強度試験体

強度試験体は、JIS R 5201に従った4×4×16cmの角柱であり、成形後1日で脱型し、所定の試験材令まで20±2℃の水中養生をした。なお、フロー試験もJIS R 5201により行った。

3. 強度と結合材水比の直線関係

結合材水比と圧縮強度の関係を、スラグ置換率をパラメータにとって図-2に示す。スラグ

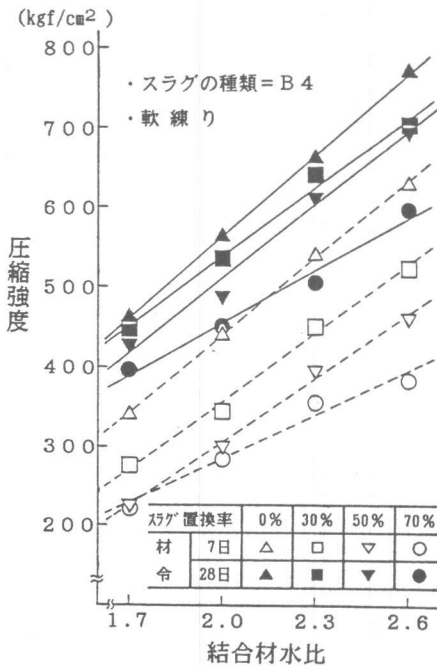


図-2 圧縮強度と結合材水比の関係 (スラグ置換率を変化)

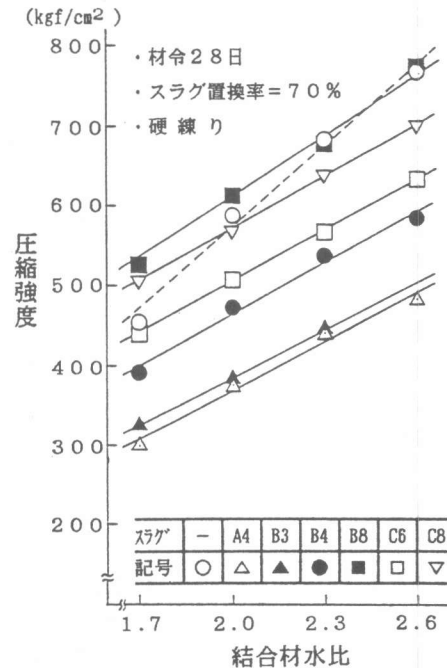


図-3 圧縮強度と結合材水比の関係 (スラグの種類を変化)

を用いてセメントと置換しても、両者の間にほぼ直線関係の成立することが、まず確かめられた。また、既にコンクリートについて指摘したように⁵⁾、若干のばらつきがあるものの、スラグ置換率が大きいほど直線の傾きが小さくなっている。この現象は、材令7日および28日のいずれにおいても認められたが、材令7日におけるほうが顕著である。

図-3にはスラグ置換率を70%と一定にし、異なるスラグを用いたモルタルの結合

材水比と圧縮強度の関係を示す。この図からも、いずれのスラグを用いて大幅にセメントと置換しても、結合材水比と圧縮強度の間には比例関係のあることが認められる。また、直線の傾きは、破線で示すスラグ無混和のものに比べ、緩やかになっている。すなわち、ブレン値が8000cm²/gクラスのB8およびC8のスラグを用いたモルタルの材令28日における圧縮強度は、結合材水比の小さい貧配合の場合には、スラグを用いないモルタルに比べて大きくなっているものの、結合材水比の増加に伴う強度の増加は小さく、富配合の場合には、スラグ無混和に比べて小さくなっているのである。

ブレン値が6000cm²/gクラス以下の粗い粒度のスラグを70%と多量に置き換えると、材令28日までの水中養生でも、スラグの置換による圧縮強度の低下は回復されず、スラグを用いないモルタルに比べて小さい値を示したままである。また直線の傾きも小さくなっている。

また、ブレン値の大きいスラグを用いるほど、一般に直線の傾きは大きくなり、スラグ無混和の基準モルタルの場合の直線の傾きに近づいていることが、いずれのスラグ置換率のモルタルについても認められた(図-4参照)。

図-5は圧縮強度の傾きとスラグ置換率の関係を示したものである。B4のスラグを用い、スラグ置換率が30%から50%に増加した場合には、直線の傾きが若干増加しているが、全体としてはスラグ置換率の増加に伴い直線の傾きは減少しているといえる。C6を用いた場合については、その傾向が特に明確に認められる。曲げ強度についても、圧縮強度ほど明瞭ではないが、多量のスラグを置換すると直線の傾きが減少することが認められた。

4. 分割練りませ方法による関係式

普通練りませ方法よりも十分な練りませが期待できる、図-1(b)に示す分割練りませ方法Aおよび各段階の練りませ時間を2倍にした分割練りませ方法Bの方法により、それぞれ練りませたモルタルの強度と結合材水比の関係を示したのが、図-6および図-7である。なお一次練りませにおける一次水結合材比は20%に統一した。

軟練りおよび硬練りモルタルのいずれとも、分割練りませ方法Aを、普通練りませのものと比較すると、スラグ無混和の場合の圧縮強度は結合材水比が小さい場合は若干高く、結合材水比が大きくなると逆に低くなり、強度と結合材水比の関係を示す直線の傾きが少し小さくなっ

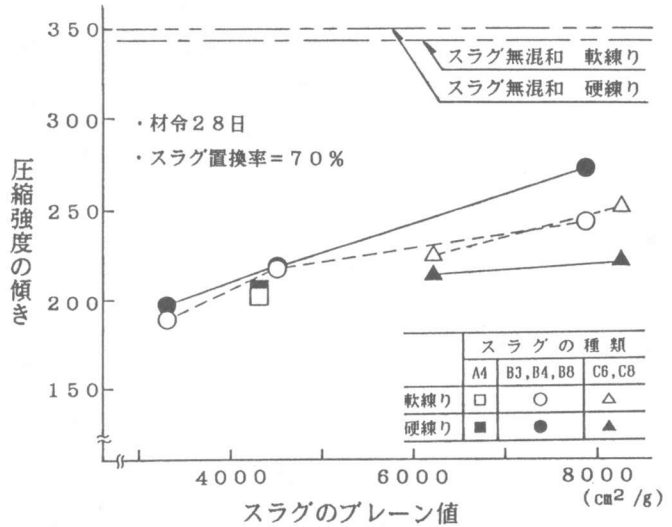


図-4 圧縮強度の傾きとブレン値の関係

ているものの、ほぼ同程度の関係式を示している。スラグを70%置換した場合も、分割練りまぜ方法Aは普通練りまぜと比較して、直線の傾きが硬練りのモルタルで少し大きくなっているもののその差は小さく、ほぼ同じであると考えてよい。そして、練りまぜ時間を2倍に増加した分割練りまぜ方法Bにより製造したモルタルの圧縮強度も、普通練りまぜに比べて結合材水比が小さいときは高く、結合材水比が大きくなるにつれて差がなくなって、直線の傾きがむしろ小さくなっているが、顕著な差は認められない。

一次練りまぜ時の一次水と結合材の重量比の選定、ミキサの種類、練りまぜ時間およびスラグの種類と置換率等により異なることも考えられるが、本実験で採用した分割練りまぜ方法を用いても、モルタルの強度と結合材水比の直線関係は、普通練りまぜの場合に等しいと考えてよいものと思われる。

5. 異なるミキサの使用による関係式

ミキサを変えることによっても練りまぜの程度が変化する。そこで、短繊維を混入したコンクリートに適しているといわれるオムニミキサを使用し、これまで述べた強制攪拌式ミキサを使用して練りまぜた場合と比較した。その結果を図-8および図-9に示す。

図-8に示す圧縮強度と結合材水比の関係からは、オムニミキサを使用したほうが、強制攪拌式ミキサに比べ若干強度が上回っている場合が多いものの、その差は小さく、両者の関係を示す直線式もほぼ等しい。このことは、図-9に示すように、C6の

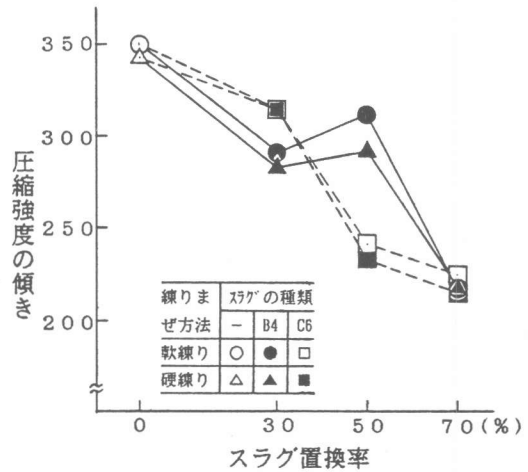


図-5 圧縮強度の傾きとスラグ置換率の関係

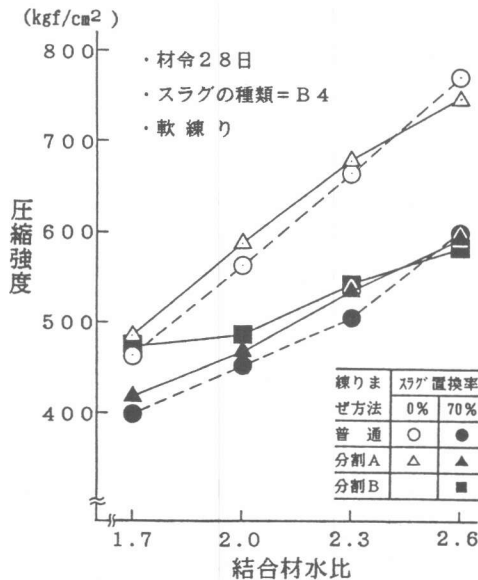


図-6 分割練りまぜ方法による軟練りモルタルの関係式

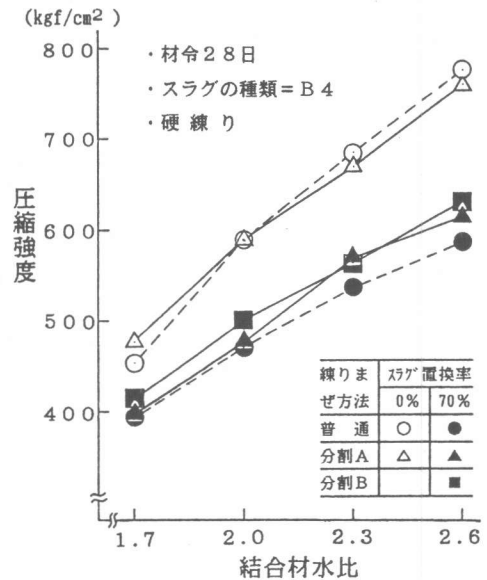


図-7 分割練りまぜ方法による硬練りモルタルの関係式

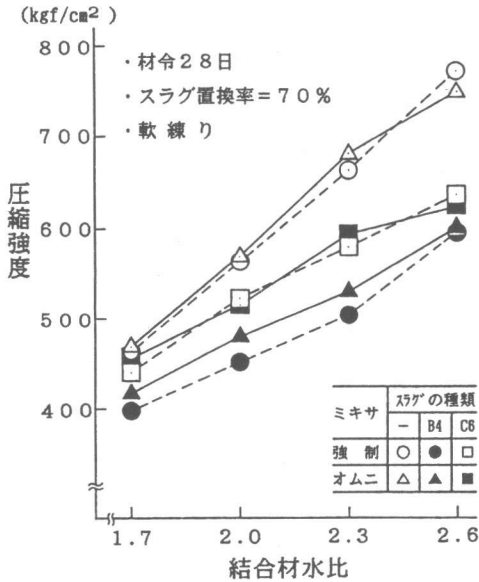


図-8 ミキサが異なる圧縮強度の関係式

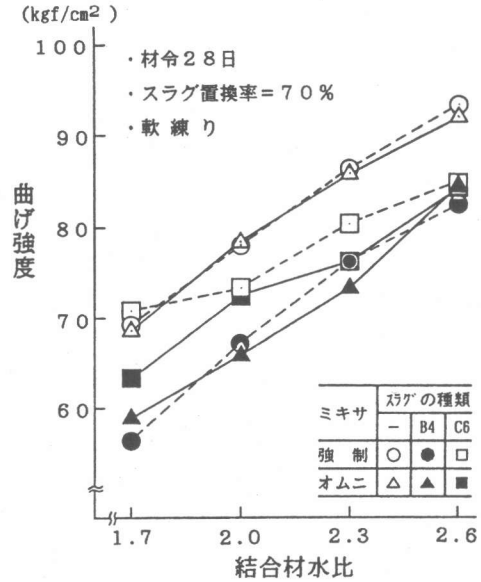


図-9 ミキサが異なる曲げ強度の関係式

ラグを用いた一部分のモルタルを除けば、曲げ強度についても同じく認められる。

オムニミキサの混合速度を変化することにより、異なった結果が得られることも考えられるが、本実験に採用した中速度の混合速度では、JIS R 5201に準じた強制攪拌式ミキサを用いた場合とほぼ同じ強度性状が得られた。

6. 流動化モルタルにおける関係式

図-1(c)に示す方法で流動化したモルタルの結合材水比と圧縮強度の関係を図-10に示す。スラグ無混和も含めて、流動化すると圧縮強度はほとんど同じか少し小さくなっており、結合材水比と圧縮強度の間の直線式の傾きも少し小さくなる場合があるが、その差は小さく、流動化の有無による差はほとんど認められない。従って、流動化することによっても、スラグを置換したモルタルの強度と結合材水比の間の直線式の傾きは同じと考えてよい。

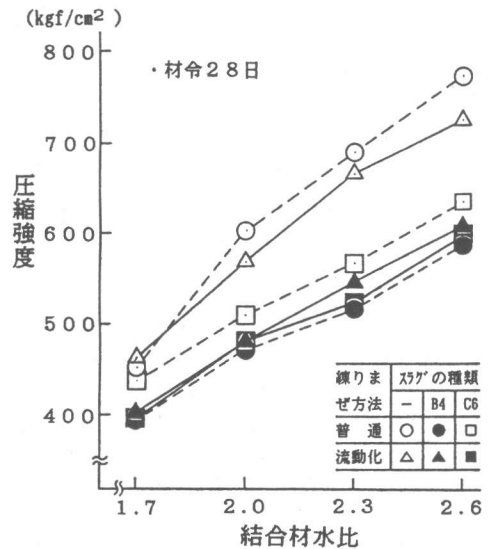


図-10 流動化モルタルの圧縮強度と結合材水比の関係

7. 各種の練りませによる強度の傾き

図-11には、4. 5. 6. に述べた練りませ方法による圧縮強度と結合材水比の直線の傾きを、まとめて示す。ブレン値が8000cm²/gクラスのスラグを用いた場合であるが、材令が28日における強度の傾きは、練りませ方法の影響をほとんど受けないことが認められる。このことは、スラグ置換率が30%~70%の範囲で、いずれのスラグを用いた場合にも等しく認めら

れた。

8. 結論

高炉スラグ微粉末（スラグ）を置換したモルタルの圧縮強度および曲げ強度と結合材水比との関係について、スラグの種類と置換率、練りませ方法とミキサの相違、流動化剤の添加の有無を要因にとり実験した結果を報告した。本実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

①スラグを最大で70%まで置換した場合でも、結合材水比の増加に伴う圧縮強度および曲げ強度の伸びは直線的であることが、ブレン値が8000cm²/gクラスまでのスラグを用いても、また、各種の練りませ方法を用いた場合にもそれぞれ成立することが確かめられた。

②スラグで置換すると、強度と結合材水比の関係を示す直線の傾きは、スラグ置換率が大きいほど、またスラグの粉末度が粗いほど、緩やかになる。そして直線の傾きは、練りませ方法とミキサの相違および流動化剤の添加の有無の影響をほとんど受けない。

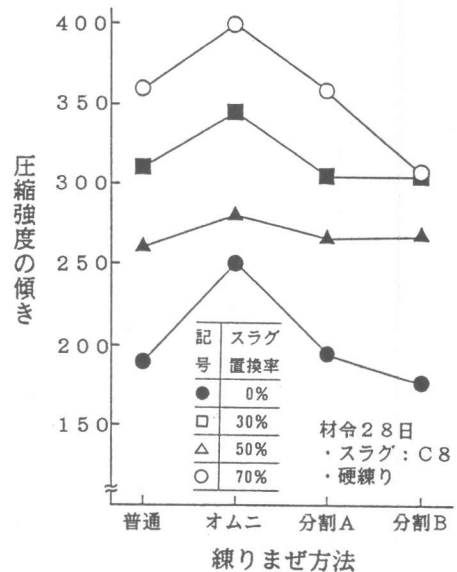


図-11 圧縮強度の傾きと練りませ方法の関係（スラグC8）

参考文献

- 1) 魚本, 小林: 高炉水砕スラグ・排煙脱硫石こう系セメントを用いたコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文報告集, 第302号, pp.125-138, 1980年10月
- 2) 依田彰彦: 産業副産物高炉スラグのコンクリート用セメント、混和材、骨材への有効利用に関する実験研究, 214pp. 1963年 9月
- 3) 土木学会: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案), コンクリート・ライブラリ, 第63号, 1988年 1月
- 4) 辻, 小林, 大塚: 粉末度の異なる高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの性状, 土木学会 第13回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.242-243, 1986
- 5) 辻, 斎藤: 粉末度の異なる高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの諸性状, コンクリート工学年次論文報告集, pp.93-98, 9-1 1987
- 6) 斎藤, 辻, 宇留野: 高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの強度に及ぼす結合材水比の影響, 土木学会 第42回年次学術講演会講演概要集 第5部, 札幌, 1987年 9月