

[23] ポルトランドセメントレス転炉・高炉スラグ系セメントモルタルの実用化に関する研究

正会員 ○出光 隆 (九州工業大学 工学部)
 正会員 高山俊一 (九州工業大学 工学部)
 岡 智善 (鳥根県庁 土木部)

1 緒言

我国では年間約1000万tの転炉スラグが排出されているが、製鉄所において磁力選鉱の工程を経た転炉スラグは、3mm以下の粉末となっており、これを水砕微粉末、石膏および塩化カルシウムと適当な配合比で混合すれば、水和反応を起こし、凝結・硬化してポルトランドセメントレスのモルタルとなる。筆者らのこれまでの研究結果では、このモルタル(以後、転炉スラグモルタルと略称する)は以下の性質を有することが分っている¹⁾。

(1) 材令4週でC種フライアッシュセメントと同程度の強度を有する。

(2) 強度増加には転炉スラグも寄与している。すなわち、転炉スラグ自身も水和反応を起している。

(3) 反応生成物は膨張性を有するが、モルタルの最終膨張ひずみは $1500 \sim 2000 \times 10^{-6}$ であり、それによる強度低下、ひびわれ発生などの現象は見られない。

この種の結合材の実用化を図る際、常に問題となるのは、原材料の品質のばらつきである。そこで、製鉄所内で排出されたばかりの転炉スラグから資料を採取し、品質のばらつきを調べ、それがモルタルおよびコンクリートに与える影響について検討した。

2 転炉スラグの品質調査

季節的变化を調べる目的で、試料採取は30℃以上の暑期(7月)、約20℃の温暖期(10月)、10℃以下の寒期(1月)の3期に分けて行なった。また、日変化を調べるため、各期とも10日間連続して実施した。

調査結果のうち、物理的性質の変化を図-1に示す。転炉スラグは鉄分を多く含むため、絶乾比重が3.3~3.5、単位容積重量が1800~2150 t/m³といずれも通常の砂よりかなり大きな値を示す。季節的な変化を各項目の平均値に着目して総括すると次の様である。夏から冬へと気温が低下して行くにつれて比重は大きくなり、0.15mm以下の微粒分が少なくなる。また、細骨材のF.M.も大きくなり、粒子は粗目になる。

化学分析結果のうち、温暖期のものを表-1に示す。それらの値と物理的性質との間にはっきりした相関は

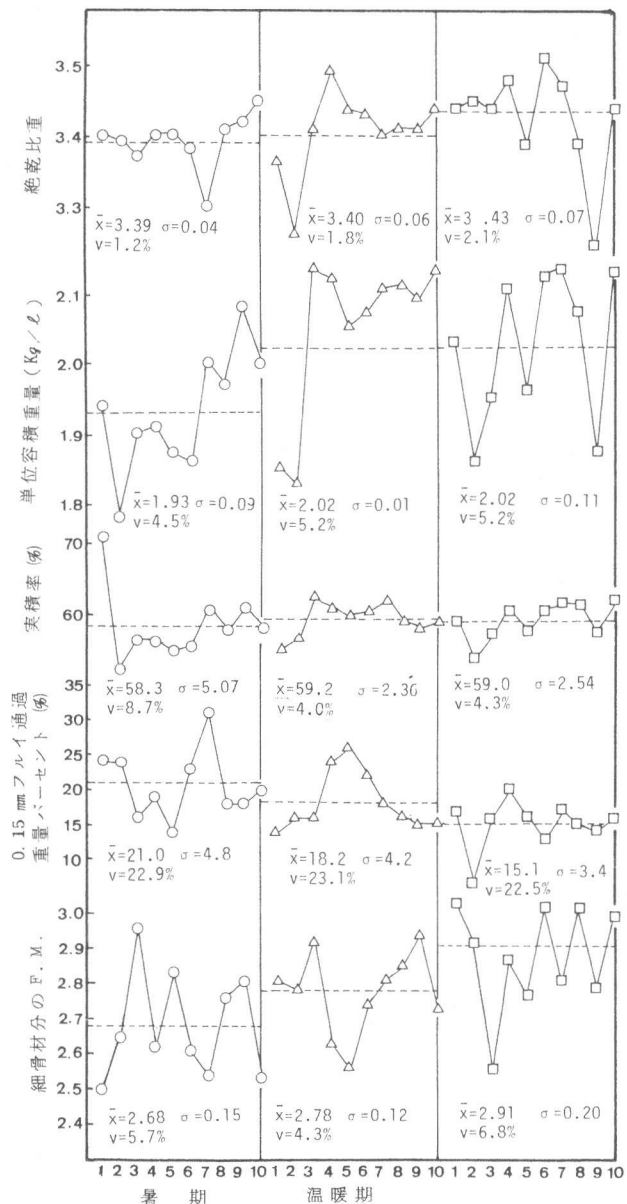


図-1 転炉スラグの品質調査結果 (物理的性質)

認められず、また、モルタルに及ぼす影響も物理的性質ほどはっきりと現われなかった。

物理的性質、化学分析を通して、全般的に日変化が大きい様であるが、実用の段階では、何日分かを混合して用いることになるから、その分だけばらつきは小さくなる。

3 転炉スラグの品質とモルタルの性質

採取後2週間の試料を用いてモルタル試験を実施した。配合比はCS:BS:GY:CL=80:14:3:3(ここに、CS;転炉スラグ、BS;水砕微粉末、GY:石膏、CL;塩化カルシウム)、単位水量はモルタル1.5ℓ当り370gとした。なお、同モルタルでは転炉スラグのうち0.15mmフルイに留るものを細骨材分、残りの0.15mm以下の転炉スラグ、水砕微粉末、石膏および塩化カルシウムの混合物をセメント分とみなしている。図-2はモルタルのフロー値、圧縮強度の変化を示したものである。各期のフロー値の平均値は気温が低くなり、転炉スラグ中の微粉量が少なくなる程大きくなっている。強度の平均値にはフロー値のような差はみられないが、日変化は著しく、変動係数も実験室的な試験であるにもかかわらず10~16%とかなり大きな値となっている。この種のモルタルはセメント分の粉末度が小さいため、ブリージング量は大きいのが普通である。フロー値が極端に小さくなるとブリージング量が減少し、その影響は強度にも及んでくるが、図-2の結果にもその傾向がみられる。

図-3は転炉スラグの放置期間とモルタルの強度との関係を調べたものである。転炉スラグはCaOの析出により、膨張崩壊(フケ)を起すため、通常数ヶ月間放置したのち使用されることが多い。本モルタル中ではフケが生じないため、返って、放置期間のない新鮮なものが大きな強度を示している。また、屋外より屋内でストックした方が転炉スラグ中のセメント分の流失が少なく、強度の低下も小さい。

以上の結果を総合して判断すればモルタルの性質に最も大きな影響を与えるのは、転炉スラグ中のセメント分のばらつきと考えられる。

表-1 転炉スラグの品質調査結果
(化学分析)

NO.	温暖期										
	CaO	SiO ₂	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	T.S	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	f.CaO
1	46.4	13.7	16.2	5.88	12.9	4.24	5.66	0.058	1.87	1.58	6.66
2	46.3	12.9	15.8	5.88	12.1	4.32	5.88	0.051	1.66	1.67	8.48
3	46.1	13.1	17.5	5.73	15.0	4.47	6.32	0.058	1.53	1.72	6.90
4	46.2	13.0	17.7	5.58	15.5	4.32	6.72	0.051	1.82	1.59	6.36
5	45.0	13.9	16.7	5.73	14.2	4.39	6.36	0.051	2.17	1.58	5.71
6	48.0	12.5	16.5	6.33	13.4	4.30	5.92	0.058	1.41	1.67	6.66
7	45.6	14.3	14.9	6.33	11.2	4.40	6.55	0.071	2.77	1.49	7.45
8	44.9	13.2	17.3	6.48	14.7	4.18	6.65	0.064	1.96	1.54	8.09
9	44.9	13.2	17.4	6.48	15.3	4.20	6.75	0.071	1.86	1.53	7.69
10	45.1	13.2	17.3	6.78	14.4	4.32	6.74	0.064	2.00	1.53	7.71
\bar{x}	45.8	13.3	16.7	6.12	13.9	4.31	6.36	0.060	1.91	1.59	7.17

4 転炉スラグの品質変化に対するモルタルの配合修正

これまでの実験では転炉スラグを一括してモルタル材料として取り出して取り扱ってきた。両成分の割合に変化のない場合はそれでも差し支えないが、今回の調査結

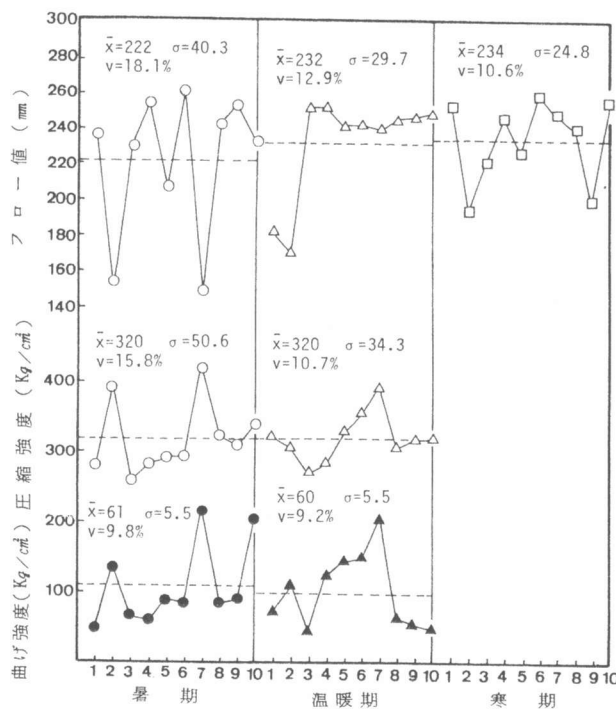


図-2 モルタル試験結果

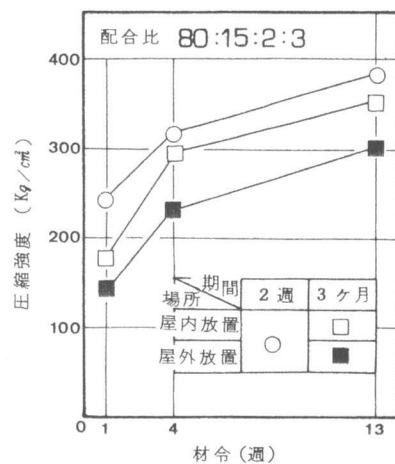


図-3 転炉スラグ放置期間と強度の関係

果が示すように、セメント分の量が変化し、それがモルタルのワーカビリティ、強度に大きく影響する場合は、通常のモルタルのように両成分を区別して配合を定めることが必要となってくる。セメント分と細骨材分がそれぞれ独立に決ってくると、転炉スラグのセメント分が少ない場合はセメント分を、多い場合は細骨材分をそれぞれ転炉スラグとは別に加えなければならない。表-2は寒期の試料で0.15mmフルイ通過量に3%の差がある場合の配合修正例を示したものである。すなわち、セメント分の多い配合BはAと比べてフロー値に約40mmの差がある。セメント分をAと等しくして、細骨材分に砂を加えたC配合のフロー値はその差15mmにまでコンシステンシーが改善されている。

その際、圧縮強度は転炉スラグ量が減少し、またブリージング率も若干多くなるため約13%程度低下している。

以上のことから、転炉スラグの品質が著しく変化した場合でも、その中のセメント分を求め、その変化に見合った配合修正を行えばモルタルの性質への影響を小さくできるものと判断される。

5 転炉スラグモルタルを用いたコンクリートの性質

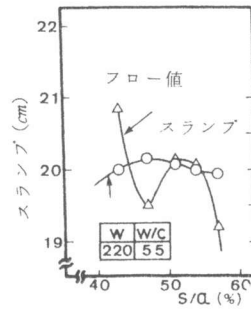
まず初めに、セメント分・細骨材分を別に加えることなく、転炉スラグモルタルに粗骨材を加えるだけの条件で試し練りを行なったところ、配合比CS:BS:GY:CL = 80:15:2:3の場合、 $w/c = 45\% \cdot s/a = 50\%$ ・ $W = 220 \text{ Kg/m}^3$ でスランブ15~20cm・ $\sigma_{28} \div 250 \text{ Kg/cm}^2$ を、CS:BS:GY:CL = 70:24:3:3の場合 $W/C = 35\% \cdot s/a = 40\%$ ・ $W = 190 \text{ Kg/m}^3$ でスランブ15~20cm・ $\sigma_{28} \div 380 \text{ Kg/cm}^2$ のコンクリートをそれぞれ得ることができた。しかしながら、前者はやゝプラスチック不足、後者は逆に過剰気味であった。

そこで、モルタルと同様に砂を加えて最適 s/a を求めたところ、転炉スラグ80%の場合、図-4に示す結果が得られた。同図から最適 s/a を決める場合は単にスランブだけでなく、ブリージング率も考慮して多少大きめのところで決める方がよい。スランブ4cm、20cmに対しそれぞれ最適 $s/a = 45\%$ 、 55% が得られる。図-4(b)の $s/a = 55\%$ に対するブリージング率12%は比較のため行ったポルトランドセメントを用いたコンクリートの試験結果とは一致した。エントラップエアは通常のコンクリートより若干大きめの値を示している。

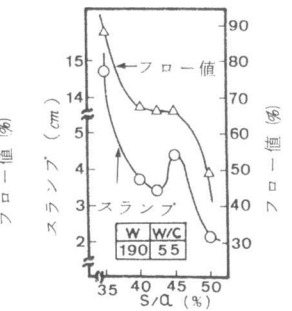
図-5に圧縮強度と材令の関係を示す。強度ののびは初期に著しく1週強度の4週強度に対する比は通常のコンクリートより大きくなる。しかしながら、3ヶ月以後の長期強度ののびはほとんど期待できないようである。 $W/C = 45\%$ で転炉スラグ量80%と70%のものを比較すると4週強度は前者の方が約 60 Kg/cm^2 (20%)大きく

表-2 転炉スラグの品質変化にもなるモルタルの配合修正例

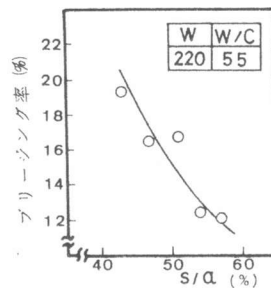
配合	単位量 (g/1.5L)						w/c (%)	s/a (%)	フロー値 (mm)	1週強度 (Kg/cm ²)	0.15mmフルイ通過量 (%)	
	CS (セメント)	BS (砂)	GY	CL	砂	水						
A	133	1667	338	45.0	67.5	0	370	63.4	45.2	260	175	13
B	191	1609	338	45.0	67.5	0	370	57.7	44.2	221	179	16
C	133	1123	338	45.0	67.5	376	370	63.4	45.2	246	155	16



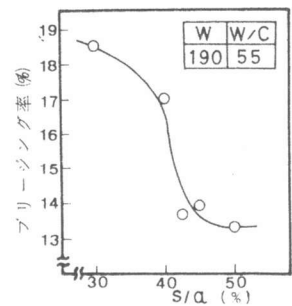
(a) 細骨材率とスランブフロー値の関係



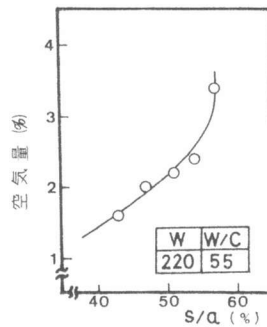
(d) 細骨材率とスランブフロー値の関係



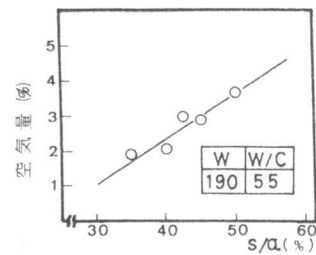
(b) 細骨材率とブリージング率の関係



(c) 細骨材率とブリージング率の関係



(a) 細骨材率と空気量の関係



(d) 細骨材率と空気量の関係

図-4 転炉スラグモルタルを用いたフレッシュコンクリートの最適 s/a の決め方

なっている。このことは転炉スラグ自身が反応し、強度増加に寄与していることを示すものである。次に、転炉スラグ量 80%、W/C=45%で放置期間の異なる場合を比べてみると、モルタルの場合と同様に新鮮なもの程強度が大きくなっている。すなわち、転炉スラグを結合材として用いる場合はフケのためのエージング期間は必要でなく、返って時間をおくことは強度低下を招き望ましくない。

図一六は養成条件の相違による膨張・収縮性状を示したものである。モルタルの膨張試験で大きな膨張ひずみを示した転炉スラグ量 60%、70%の場合について調べた。モルタルの膨張量は約 2000×10^{-6} に達するが、コンクリートは大きくてもその $\frac{1}{3}$ 程度におさまっている。

凍結融解試験結果は普通コンクリートと大差なかったが、A Ⅱ コンクリートの場合はスラグの空気連行性が劣る分だけ不利となる。

転炉スラグモルタルの最も大きな欠点は塩化カルシウムを多く含むため、鉄筋を錆させることにある。そこで市販の防錆剤を用いて、コンクリート中の鉄筋の発錆試験を行なった。図一七にその結果を示す。予測されたように鉄筋の発錆は著しく、防錆剤を入れてもその効果はなく、返って錆を促進させるような結果が得られている。コンクリートを打設してから半年後の錆は、同図に示した約 1 年半海岸に放置された RC 柱の鉄筋より進行している。

6 結言

以上の結果から、転炉スラグを用いたモルタル、コンクリートに関して明らかになった事項を以下にまとめて示す。

(1) 転炉スラグの品質は季節的変動に比べて日変化が大きく、それがモルタルの強度・コンシステンシーに影響を与える。しかしながら、0.15 mm フルイ通過量をセメント分と考えて、従来のモルタル・コンクリートと同様に配合設計を行えば、実用上、差し支えない程度にまで品質のばらつきの影響をなくすることができる。

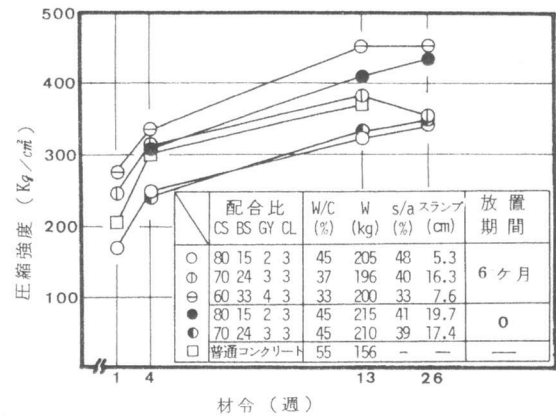
(2) 転炉スラグを結合材として用いることによって、スランブ 5 ~ 20 cm、4 週強度 200 ~ 400 Kg/cm² のコンクリートを得ることができた。また、膨張性を有するがその量は大きいものでも 800×10^{-6} 程度であった。

(3) 結合材に塩化カルシウムが多く含まれるため、鉄筋の発錆は著しい。しかしながら、比重が 2.55 ~ 2.60 と大きいことから、消波ブロック等の重量無筋コンクリート用には適していると考えられる。

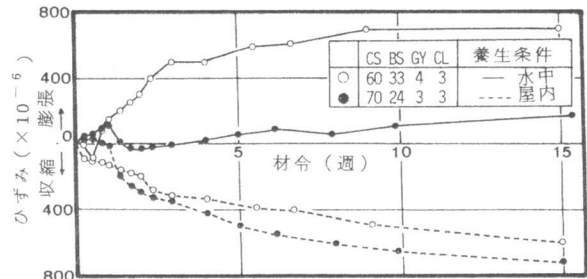
参考文献

参考文献

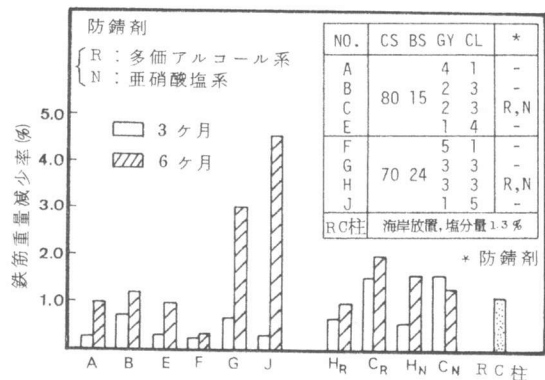
- 1) T. Idemitsu, S. Takayama, A. Watanabe; "Utilization of Converter Slag as a constituent of Slag Cement", Transaction of JCI, Vol. 3, 1981



図一五 圧縮強度と材令との関係



図一六 膨張、収縮性状



図一七 コンクリート中の鉄筋の発錆