

[17] 転炉スラグセメントモルタルの配合と強度・膨張特性に関する研究

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)
 正会員 渡辺 明 (九州工業大学 工学部)

1. まえがき

省資源・省エネルギーが叫ばれている今日、材料は付加価値の最も高いものとして利用されなければならない。筆者らは、その大部分が未利用のまゝ投棄されている転炉スラグに着目して、これを高炉水砕、石膏および塩化カルシウムと混合することにより結合材として用いることを考え、数年来実験的研究を行なってきた。

転炉スラグは最大粒径3mmで細骨材分も含むから転炉スラグ結合材はモルタルとなる。したがって、以下のモルタルを転炉スラグセメントモルタル、さらに粗骨材を加えたものを転炉スラグセメントコンクリートと呼ぶこととする。

表-1 転炉スラグ・微粉末水砕の性質

2. 転炉スラグセメントモルタルの原料

転炉スラグセメントモルタルは転炉スラグ(略号:CS)、微粉末水砕(BS)、二水石膏(GY)および塩化カルシウム(CL)と練りませ水からなる。転炉スラグ、微粉末水砕の物理・化学的性質を表-1

スラグの種類	化 学 分 析 (%)							比 重	塩基度	粉 末 度 (d ⁴⁵)	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (FeO)	CaO*(F+CaO)	MgO	MnO	SO ₃ (SO ₄)				
CS	19.7	8.1	43.5 (7.59)	39.1 (5.2)	1.00	5.9	-	1.1	3.46	2.90	651
BS	34.2	13.9	0.06 (0.50)	41.9	7.2	0.7	0.9	0.02	2.90	1.84	3720

* F+CaO:遊離石灰分

** 88μ以下

に、転炉スラグの粒度を表-2にそれぞれ

示す。0.15mmフルイ通過分18%のうち0.088mmフルイに

表-2 転炉スラグの粒度

留まる6%を細骨材、通過する12%をセメントとみなせば、細骨材分の粗粒率は2.92となる。二水石膏、塩化カルシウムの比重はそれぞれ2.31、2.35である。

フルイ目(mm)	0.088	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5
通過重量百分率(%)	12	18	32	45	63	87	100

3. 転炉スラグセメントモルタルの配合と強度

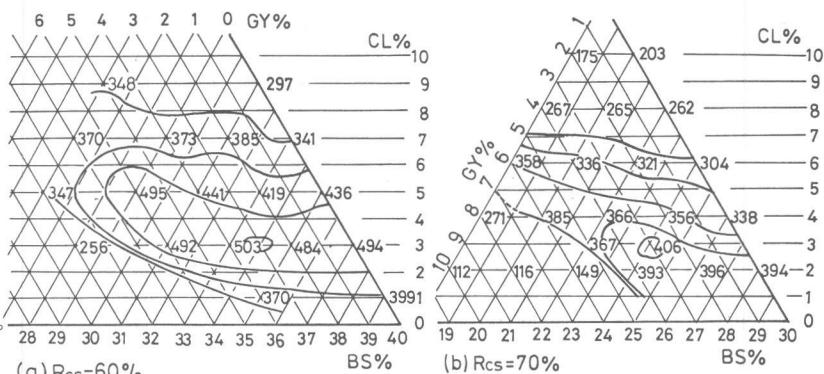
転炉スラグセメントモルタルの配合と強度との関係を調べる目的で、モルタル試験を実施した。転炉スラグの重量パーセント(Rcs)を60, 70, 80, 90%と4種類変え、それぞれ残り40, 30, 20, 10%に微粉末水砕、二水石膏、および塩化カルシウムを適当に混合して、水・結合材比(結合材には細骨材も含む)16.3%で練りませた。モルタルのフロー値はRcs=90%の場合を除けば190~250の値を示し、塩化カルシウムの量が多いものはほど大きくなかった。プラスチシティーはRcs=90%は極めて不十分、80%はやや不足、70%は適当、60%はやや粘性に富むといった感触であった。

図-1は各Rcsについて、転炉スラグを除く他の3成分の配合を三角座標で表わし、その点に4週圧縮強度の実測値を示したものである。コンシスティンシー不足のRcs=90%を除く他の場合は、いずれも塩化カルシウム3%のところで最大強度503, 406, 323kg/cm²が得られた。転炉スラグのうち0.088mmフルイ通過分をセメント分と考えると、Rcs=60, 70, 80, 90%のモルタルの水・セメント比はそれぞれ35, 42, 54, 76%に相当する。最大強度とセメント・水比の関係から、通常のセメントの強さ試験で用いるW/C=65%に相当する転炉スラグセメントモルタルの強度を求める260kg/cm²となる。この値は中庸熱セメント、フライアッシュセメントC種の規格値を越えている。

さて、以上の強度発現に転炉スラグはどのように関与しているかを調べるために、転炉スラグを同じ粒度に粉碎した砂と置換し、さらにアルカリ刺激剤として水酸化カルシウムを適量加えて¹⁾モルタル試験を実施した。一週圧

縮強度試験結果をほどく
配合の等しい転炉スラグセメントモルタルの
結果とともに表-1に示す。転炉スラグを砂と置換したモルタルの強度は転炉スラグモルタルの $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{6}$ の強度しか得られていない。

このことから、図-1



に示した強度は単に微

粉末水砕の水硬性のみによって得られたものではないことが分かる。すなわち、転炉スラグセメントモルタルでは転炉スラグ中の遊離石灰分が水砕粉末をアルカリ刺激するだけでなく、転炉スラグ自身も何らかの反応が生じているものと判断される。

4. 転炉スラグセメントモルタル

の膨張・収縮特性

これまで転炉スラグを建設材料として用いる試みは各地でなされてきたが、常に、遊離石灰分による異常膨張が問題とされてきた。そこで、本転炉スラグセメントモルタルについても、その点について検討すべく、 $R_{CS} = 80\%$ のモルタルを用いて膨

張・収縮ひずみ測定試験を実施した。図-2に実験結果を示す。20℃水中養生を行なった場合、普通セメントモルタルはわずかに膨張の傾向がみられる程度であるが、転炉スラグセメントモルタルには $600 \sim 1000 \times 10^{-6}$ の膨張ひずみが生じている。しかしながら、そのひずみは初期に著しく、4週以後はほとんど一定値に収束している。したがって、今後、異常膨張

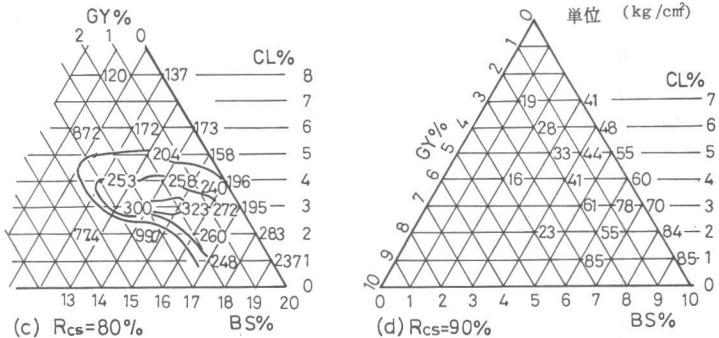


図-1 転炉スラグセメントモルタルの配合と強度の関係

表-3 転炉スラグモルタルと砂モルタルの強度差

転炉スラグモルタル CS:BS:GY:CL (kg/cm ²)	一週強度	砂モルタル		一週強度 (kg/cm ²)
		S:BS:GY:CL:CA (kg/cm ²)	CA:Ca(OH) ₂	
60:33:4:3	373	60:32.97:3.66:3:0.37		105
70:24:3:3	278	70:24.06:2.67:3:0.27		45.6

* S:砂 ** CA:Ca(OH)₂

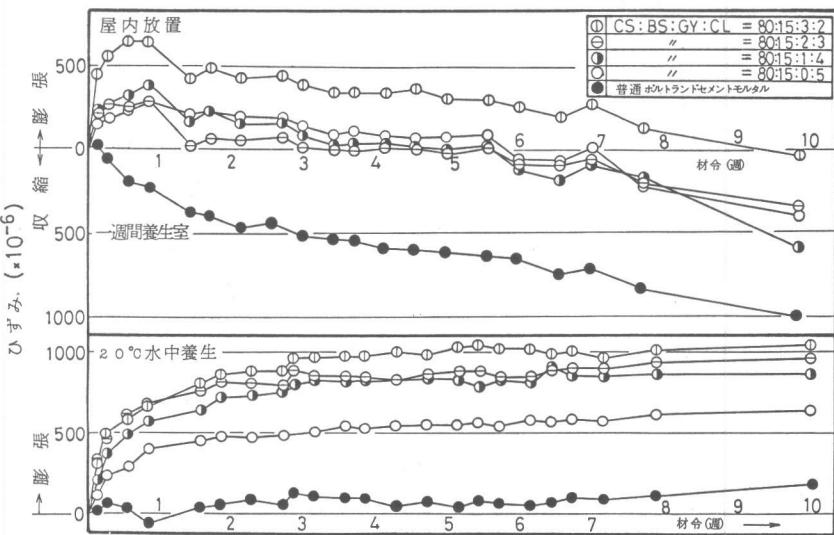


図-2 転炉スラグセメントの膨張・収縮特性

による崩壊の心配はないものと判断される。同図に示した例は塩化カルシウム量を変えた場合であるが、その量が多い程膨張量は小さくなっている。現在、 $R_{CS} = 60, 70\%$ について追加実験を行なっているが、その結果では転炉スラグ量の少ないもの程膨張量の大きくなる傾向がみられる。それらの結果および前述した初期に膨張量が急増することなども考え合せると、転炉スラグセメントモルタルの膨張は水和反応と何らかの関係があるように推察される。すなわち、膨張の主原因是、転炉スラグ自身の膨張よりむしろ反応生成物中に、カルシウムサルホアルミネートに類似した膨張性物質が含まれることにあるのではないかと考えられる。

屋内放置の場合は、当初、養生室内に置いた時点では、水中の場合と同様に膨張するが、養生室からとり出して屋内に放置すると収縮はじめ、以後は普通セメントモルタルとほとんど同様に変化する。したがって、転炉スラグセメントモルタルは、初期養生次第で乾燥収縮ひずみを減じることが可能であり、配合を適当に選びさえすれば無収縮モルタルを得ることもできよう。

5. 転炉スラグセメントコンクリートの諸性質

モルタル試験の結果では、 $R_{CS} = 60 \sim 70\%$ の範囲で良好なコンシステンシーが得られたので、その中で最も強度の高い配合を結合材として選びコンクリートを打設した。転炉スラグ中にはセメント分と細骨材分が含まれているので、セメント量が決まれば細骨材量も自から決まる事になる。したがって、セメント分、細骨材分を別に加えない限り所定の水・セメント比に対する最適配合を求める事は不可能である。しかしながら、本実験は転炉スラグ以外に細骨材を使わない方針で行なったので、多少、細骨材に過不足があってもそのままコンクリートを打設することにした。転炉スラグセメントコンクリートの配合をまとめて表-4に示す。同表にはフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性質に関する諸測定値も併記した。

5・1 フレッシュコンクリートの性質

表-4に示したフレッシュコンクリートに関する試験値の中で目につくのは、ブリージング率が普通コンクリートに比べてかなり大きいことである。転炉スラグ量の最も少ないF、単位水量の最も少ないE: $W/C = 30\%$

表-4 転炉スラグセメントコンクリートの配合と諸性質

結合材 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位重量 (kg/m^3)						スラグ (cm)	air (%)	ブリージ ング率 (%)	コンク リート 温 (°C)	圧縮強度 (kg/cm^2)			弾性係数 ($\times 10^5 kg/cm^2$)			引張 強度 (kg/cm^2)	曲げ 強度 (kg/cm^2)
			W	CS	BS	GY	CL	G					1週	4週	13週	1週	4週	13週		
A	45	53	220	1266	237	32	47	756	17	1.2	-	26	160	236	-	2.4	3.2	-	-	-
		49	210	1209	227	30	45	842	10	1.3	-	27	172	257	-	2.9	3.1	-	-	-
		45	200	1151	216	29	43	926	3.2	1.7	-	26	181	244	-	2.9	3.0	-	-	-
		42	190	1094	205	27	41	1012	1.2	1.8	-	26	156	229	-	2.9	3.0	-	-	-
B	45	48	205	1205	226	45	30	864	5.3	1.6	13.8	26	160	250	342	2.6	3.0	3.8	24	-
C						30	45	864	8.0	1.4	14.9	26	178	252	331	2.9	3.1	3.5	24	-
D						15	60	865	14	0.7	15.2	26	174	245	332	2.6	3.1	3.4	24	-
E	30	46	182	1090	374	47	47	851	10	3.5	2.1	8.8	305	443	-	3.0	3.5	-	32	46
	35	40	190	975	334	42	42	985	18	1.1	12.0	12	188	380	-	2.4	3.1	-	30	48
	40	36	198	889	305	38	38	1047	19	0.9	18.7	12	131	248	-	2.2	3.1	-	27	45
	45	33	206	822	282	35	35	1106	18	0.6	19.4	12	83	170	-	1.9	2.7	-	21	38
	50	33	220	791	271	34	34	1105	14	0.5	10.8	9.8	63	143	-	1.5	2.5	-	21	32
	55	32	235	768	263	33	33	1092	13	0.4	-	9.0	46	124	-	0.9	1.5	-	15	29
	37	40	196	958	331	39	40	969	16	1.5	16.5	27	246	320	393	3.0	3.6	3.1	31	50
F	33	34	200	763	419	51	38	1019	7.6	1.8	3.7	25	277	351	449	3.0	3.1	3.4	27	-

* (CS:BS:GY:CL)=(80:15:2:3),(80:15:3:2),(80:15:2:3),(80:15:1:4),(70:24:3:3),(60:33:4:3)

の両配合が小さなブリージング率を示していることから、粒末度の低い転炉スラグがセメント分に加えられていること、単位水量の大きいことなどがその原因として考えられる。一方、 $R_{CS} = 70\%$ 以上となり微粉末水砕が多くなれば、普通コンクリートに比べて若干粘性が高くなることも認められた。

5・2 硬化したコンクリートの性質

表-4のB、C、およびD配合から圧縮強度と材令の関係を求めてみると1週および13週強度は4週強度のそれぞれ70%，135%となり強度の伸び率は普通ポルトランドセメントと大差ないことが分る。

図-3は水・セメント比を変えた場合の材令と強度の関係を示したものである。(表-4のE配合) このシリーズは冬期に打設したため、コンクリートの打設時温度が低く、強度も低くなっている。しかしながら、水・セメント比の差は明確に表われしており、 σ_{cs} と C/W の関係は図-4に示すように $\sigma_{cs} = A + B \cdot C/W$ の直線式で表わすことができる。

図-5に引張および曲げ強度と圧縮強度の関係を示す。普通コンクリートでは引張強度は圧縮強度の約 $1/10 \sim 1/13$ 、曲げ強度は約 $1/5 \sim 1/7$ と言われているが、転炉スラグセメントコンクリートもほとんどその範囲に入るようである。

弾性係数と圧縮強度の関係を図-6に示す。転炉スラグセメントコンクリートは単位重量が $2.55 \sim 2.60 \text{ t/m}^3$ と普通コンクリートに比べてやゝ大きい²⁾ため、単位重量を考慮した日本建築学会の式を同図に示した。実測値は同式とかなり高い相関を示している。

6.まとめ

1) 転炉スラグは微粉末水砕、二水石膏および塩化カルシウムと混合することにより、セメントとして利用することが可能である。その際、転炉スラグの役割は単にアルカリ刺激剤となる遊離石灰を供給するだけでなく、それ自身反応能力を有するものと推察される。

2) 転炉スラグセメントモルタルは、大気中では普通コンクリートと同様に収縮するが、水中では膨張する。膨張ひずみは大きなもので約 1000×10^{-6} に達する。しかしながら、その量は比較的短期間に一定値に収束するから、異常膨張による崩壊の可能性はほとんどないものと考えられる。

3) 転炉スラグセメントコンクリートは W/C = 30 ~ 55% の範囲で $120 \sim 450 \text{ kg/cm}^2$ の4週強度を得ることができる。また、それらのコンクリートは、ブリージングが大きいことを除けばワーカビリチーの点でも劣ることはない。

参考文献

- 出光隆他：水さいと脱硫石膏を用いたスラグセメントに関する基礎的研究、セメント技術年報、32巻、1978年
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準

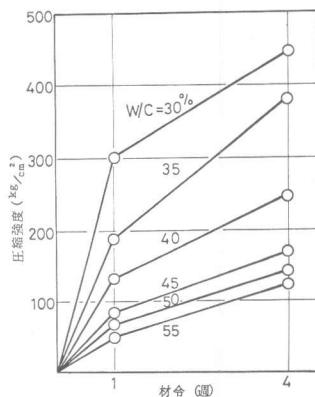


図-3 材令と強度

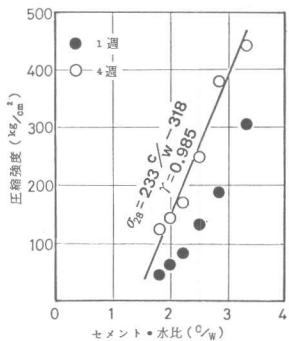


図-4 σ_{cs} と C/W の関係

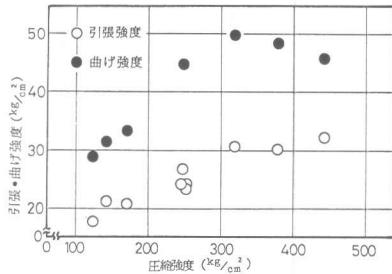


図-5 引張・曲げ強度と圧縮強度の関係

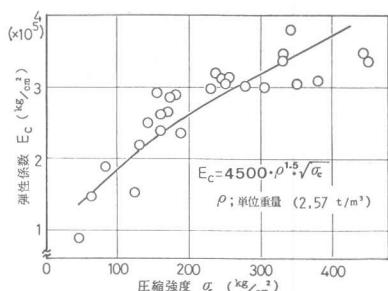


図-6 弾性係数と圧縮強度の関係