

V-351

高炉スラグ系低発熱形セメントを用いたコンクリートの自己収縮

住友セメント㈱ ○流 龍成 山下雄三

池田 明 鈴木康範

1. まえがき

構造物の大規模化により、温度ひび割れ抑制効果を期待した低発熱セメントの使用例が増加している。一方、コンクリートの自己収縮は $200\sim400\times10^{-6}$ に達する場合もあると報告されている¹⁾。これは、コンクリートの温度変化で考えると $20\sim40^{\circ}\text{C}$ の温度降下に相当し、温度応力解析で考慮する必要があると考えられる。しかし、低発熱形セメントを用いたコンクリートの自己収縮に関する報告は少ない。本研究は、高炉スラグ系低発熱形セメントにおいて、ベースセメントの種類および高炉スラグ微粉末(以下スラグ)の混合率と粉末度が自己収縮に及ぼす影響を求めたものである。

2. 実験概要

本実験では普通、低発熱、中庸熱(以下N, L, M)の各ポルトランドセメント(表1)を用いて、表1のスラグ

表1 化学成分及び物理的性状

試料名	化学分析結果				比重	粉末度圧縮強さ kgf/cm ²					水和熱 cal/g			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF		cm ² /g	3日	7日	28日	91日	未水和	7日	28日	91日
普 通	53	22	10	8	3.16	3120	170	270	423	499	613.5	80.2	92.5	98.6
低発熱	32	46	3	12	3.24	3040	49	75	269	492	584.3	48.2	65.6	75.2
中庸熱	45	33	4	11	3.22	3030	110	161	345	517	599.6	64.4	76.9	85.1
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	S	塩基度	湿分	ガラス率	比重	粉末度	cm ² /g			
スラグ4500	1.18	15.03	5.73	0.16	0.75	1.92	0.21	96.8	2.89		4310			
スラグ5500	0.18	14.82	6.23	0.14	0.76	1.85	0.10	97.0	2.92		5340			
スラグ6500	0.15	15.42	5.73	0.10	0.78	1.91	0.12	96.7	2.90		6310			

4500の混合率を0%、

40%、60%の3水準に変化させた。また、Lを用いた場合にはスラグの混合率を60%一定とし、その粉末度を4500、5500および6500 cm^2/g の3水準に変化させた。なお、12種類の試製セメントの SO_3 量は $2.2\pm0.1\%$ に調整した。表2に試製セメントの一覧およびコンクリートの配合を示す。配合は、単位セメント量を 300kg/m^3 、水セメント比を48.7%として、スランパが $18.5\pm2.5\text{cm}$ 、空気量が $4.5\pm1.5\%$ となるように混和剤量を調整して定めた。供試体は $10\times10\times40\text{cm}$ の角柱とし、型枠中央に埋込み型ひずみ計を設置後コンクリートを打設し、終結直後に脱型、直ちにビニルテープおよびシリコン系接着剤で表面被覆し、測定を開始した。供試体重量は、測定開始直前と材齢56、91日で測定した。

表2 コンクリートの配合及び実験結果

コンクリート名	試製セメント		W/C	s/a	単位量 (kg/m^3)					実験結果				
	セメント	スラグ			水	セメント	細骨材	粗骨材	粗骨材	重量変化率(%)		自己収縮量(10^{-6})		
	粉末度	混合比 C:S			W	C	S	G ₂₀₁₃	G ₁₃₀₅	材齢56日	材齢91日	材齢7日	材齢28日	材齢91日
N-1	普通	100:0	48.7	43.5	146	300	826	643	429	-0.20	-0.26	-23	-32	-97
N-2		60:40					822	638	426	-0.14	-0.18	-16	-62	-153
N-3		40:60					820	639	426	-0.19	-0.23	-3	-79	-207
L-1	4500	100:0					828	643	428	-0.18	-0.23	-15	-59	-101
L-2		60:40					823	639	426	-0.16	-0.22	-10	-18	-125
L-3		40:60					821	637	425	-0.08	-0.10	4	-39	-180
L-4	低発熱	100:0					822	638	426	-0.08	-0.18	-15	-74	-200
L-5		60:40					821	637	425	-0.04	-0.11	-24	-115	-254
L-6		40:60					828	643	428	-0.08	-0.11	-6	-37	-50
M-1	中庸熱	100:0					823	639	426	-0.08	-0.11	-3	-40	-116
M-2		60:40					821	637	425	-0.08	-0.11	0	-47	-159
M-3		40:60												

※:測定結果は供試体2本の平均

3. 実験結果および考察

表2に実験結果、表3に各要因が自己収縮に及ぼす影響を調べるために行った分散分析の結果をそれぞれ示す。重量変化率は最も減少したものが材齢91日で0.26%と小さく、供試体外部への水分逸散を完全に防げ

なかったものの、今回採用した試験方法により自己収縮の測定は可能と思われる。また分散分析から、セメントの種類とスラグ混合率および両者の交互作用項が自己収縮に与える影響の大きいことが認められるが、スラグの粉末度の影響は他の要因と比較して小さいようである。なお、このような傾向は若材齢で顕著に現れ、長期材齢では有意性が低くなっている。

3. 1 セメント種類の影響

図1に各ポルトランドセメントの自己収縮の経時変化を示す。各セメント共材齢の経過に伴い収縮量が増加しているが、その収縮過程はセメント毎に異なっている。N, Lは材齢91日の収縮量が 100×10^{-6} と同程度であるが、Nが初期から直線的に収縮が進行するのに対し、Lは材齢20日までに大きく収縮し、一旦安定後再び収縮するといった過程をたどる。一方、MはLと同様な収縮過程をたどるものの収縮量は小さく、材齢91日で 50×10^{-6} とN, Lの半分程度の収縮しか生じなかった。

3. 2 スラグ混合率の影響

図2にLベースでスラグ混合率を変えたコンクリートの自己収縮の経時変化を示す。スラグ混合率の増加に伴い、収縮量は初期材齢で減少し、長期材齢で増加する。材齢91日での収縮量はスラグ無混合で 100×10^{-6} 、60%混合で 180×10^{-6} となり、スラグを60%混合することで約2倍の収縮が生じた。この傾向はベースセメントが異なっても同様で、Nベースで約2倍、Mベースで約3倍の収縮量増加が認められた。このように高炉スラグ系低発熱セメントでは長期材齢での収縮量がかなり大きくなるため、自己収縮を考慮した温度応力解析が必要と考えられる。

3. 3 スラグの粉末度の影響

図3にスラグの粉末度が異なるコンクリートの自己収縮の経時変化を示す。スラグの粉末度の増加に伴い、同一材齢での収縮量は大きくなる。ただし、粉末度 $4500, 5500 \text{ cm}^2/\text{g}$ では収縮量に大差はなく、この範囲では粉末度による影響は比較的小さい。一方、スラグの粉末度が $6500 \text{ cm}^2/\text{g}$ になると、粉末度 $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$ と比較し明らかに収縮量が増加し、材齢91日で約 70×10^{-6} の差が生じる。

4. まとめ

高炉スラグ系低発熱形セメントを用いたコンクリートの自己収縮について以下の結果が得られた。①普通および低発熱ポルトランドセメントでは収縮過程は異なるが、材齢91日の収縮量は約 100×10^{-6} で同程度となる。一方、中庸熱ポルトランドセメントの収縮量は他のセメントの半分程度となる。②高炉スラグ微粉末の混合率の増加により、長期材齢での収縮量は増加する。③高炉スラグ微粉末の粉末度が増すと同一材齢での収縮量は大きくなる。この傾向は粉末度が $6500 \text{ cm}^2/\text{g}$ になると顕著に現れる。

【参考文献】1)宮沢伸吾他:コンクリートの自己収縮, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, p. p. 561~566, 1992

表3 分散分析結果

変動要因	分散比		
	材齢7日	材齢28日	材齢91日
A (セメント種類)	371.704	22.366	28.445
B (スラグ混合率)	206.901	36.286	5.698
A × B	34.455	47.060	0.557
スラグ粉末度	8.478	17.949	1.499

±:有意水準1%, †:有意水準5%

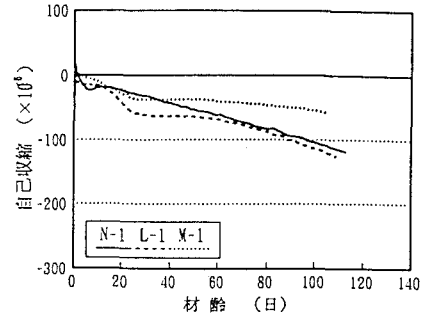


図1 自己収縮の経時変化（セメント種類の違い）

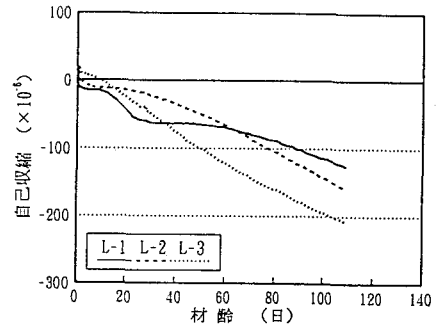


図2 自己収縮の経時変化（Lベース、スラグ混合率の違い）

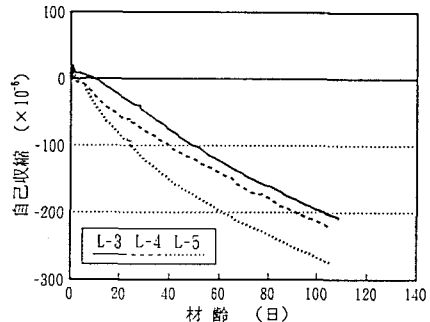


図3 自己収縮の経時変化（スラグ粉末度の違い）