

足利工業大学 正員 ○辻 幸 和
佐 藤 喜 悦

1 まえがき

膨張材を高炉セメントと混和したコンクリートの膨張強度特性については、すでにいくつかの実験結果が報告されているが、対象としたコンクリートは、拘束鉄筋比が1%の一軸拘束膨張率で約 300×10^{-6} の範囲までの比較的膨張エネルギーの小さいものに限られている。また、高炉スラグ粉末の使用量の及ぼす影響についてはほとんど言及されていない。

本研究は、すでに提案した¹⁾膨張材と高炉スラグ粉末を予め混合させた“スラグ膨張材”を、セメントと混合させて造った膨張コンクリートの膨張特性および圧縮強度に及ぼすスラグ膨張材の使用量、スラグと膨張材の混合比および膨張材の使用量などの影響を検討した実験結果を報告するものである。

2 実験の概要

膨張材はエトリンガイト系の膨張材Aを主体に用い、一部石灰系の膨張材Bについても検討した。高炉スラグ粉末は新日本製鉄化学工業(株)のエスメントを、また、セメントは秩父セメント(株)製の普通ポルトランドセメントを用いた。それぞれの化学成分、比重等を表-1に示す。骨材は渡良瀬川産の川砂および川砂利を用い、比重は、それぞれ2.48および2.65、粗粒率はそれぞれ2.98および6.94(最大寸法25mm)であった。

大部分のコンクリートの配合は、単位水量を 175 kg/m^3 、単位セメント量と単位スラグ膨張材量との合計で示される単位結合材量を 350 kg/m^3 、水結合材比を50%、細骨材率を40%と一定にし、単位スラグ膨張材量を $30 \sim 300 \text{ kg/m}^3$ まで変化させた。そして、スラグ膨張材中の膨張材の量を単位量にして $30 \sim 70 \text{ kg/m}^3$ まで、また、高炉スラグ粉末と膨張材の混合比(B/E)を0~6まで変化させた。なお、単位水量を 180 kg/m^3 、単位結合材量を 450 kg/m^3 、細骨材率を42%としたコンクリート、および単位水量を 162.5 kg/m^3 、単位結合材量を 250 kg/m^3 、細骨材率を37%にしたコンクリートについても実験を行い、これらの要因の及ぼす効果を検討した。

コンクリートの打込みは温度が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度が80%RH以上の部室で行い、脱型までその部室で養生した。脱型後は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中養生とした。膨張率の測定には、土木学会規準「膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法」に規定するA法およびそれに準ずる一軸拘束供試体を用いた。材令1日で脱型し、ダイヤルゲージ法により測定した3本の供試体の平均値を採った。圧縮強度は $\phi 10 \text{ cm}$ のシリンダーを用い、材令2日で脱型した。同じく3本の平均値から求めた。

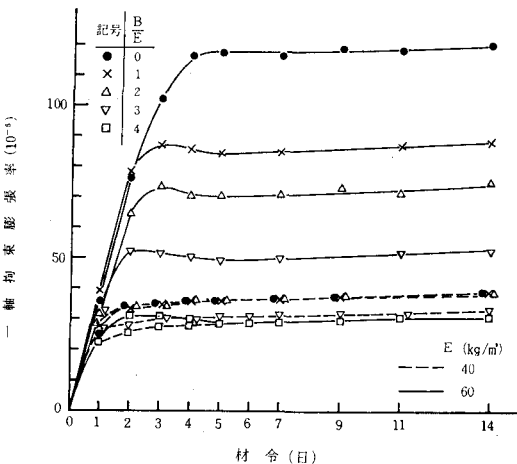


図-1 高炉スラグを併用した膨張コンクリートの膨張特性

表-1 膨張材・高炉スラグ粉末およびセメントの品質

	比 重	比 表面積 (cm^2/gr)	化 学 成 分 (%)								合 計
			強 度	熱 量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	
膨 張 材 A	3.00	2500	0.4	2.4	11.6	0.5	53.5	1.6	30.3	99.5	
膨 張 材 B	3.14	3500	0.4	9.6	2.5	1.3	67.3	0.4	18.0	99.5	
高炉スラグ粉末	2.90	3890		33.0	15.0	0.7	42.1	6.0		96.8	
普通ポルトランドセメント	3.17	3220	0.6	22.0	5.2	3.2	65.1	1.3	1.9	99.3	

3 膨張特性

単位膨張材量Eおよび単位結合材量(C+E)をそれぞれ一定に保ち、高炉スラグ粉末と膨張材の混合比(B/E)を増して、高炉スラグ粉末量を増加させると、図-1に示すように、一般に膨張率は減少するが、膨張材量が少い場合にはこの傾向は小さい。特に、収縮補償コンクリート程度の単位膨張材量を $40\text{kg}/\text{m}^3$ 用いた場合には、混合比が2程度の範囲までは膨張率は減少せずに、むしろ増加することもある。この範囲のスラグ膨張材の利用は一つの有効な方法といえる。

混合比(B/E)が一定のスラグ膨張材を用いたコンクリートの拘束膨張率は、図-2に示すように、単位スラグ膨張材量とはほぼ直線関係を示し、その勾配は混合比が大きいスラグ膨張材ほど緩かになる。また、スラグ膨張材をある量以上に増加させても、一軸拘束膨張率が増加しない限界も認められる。なお、単位膨張材量を $60\text{kg}/\text{m}^3$ と一定にして、水結合材比を40%、50%、65%と増加させると、スラグを併用することによる膨張率の減少の程度は大きくなった。また上記と同様な現象は膨張材Bを用いても認められた。

4 圧縮強度と膨張率

高炉スラグ粉末と膨張材の混合比が4程度までのスラグ膨張材を用いたコンクリートの圧縮強度は、膨張材を用いない普通コンクリートと同様な性状を一般に示したが、同じ単位スラグ膨張材量でも、膨張材が多量に混和されると強度低下を生ずる場合が認められた。

単位膨張材量Eを一定に保ち、混合比(B/E)を増して高炉スラグ粉末を増加された場合の圧縮強度を図-3に示すが、 $E=40\text{kg}/\text{m}^3$ の場合は普通コンクリートと同様な強度性状を示す。すなわち、材令初期には高炉スラグ粉末の置換量が多いほど圧縮強度は小さくなる傾向が認められるが、材令の経過とともに強度が改善され、材令91日においては結合材の86%をセメントから高炉スラグ粉末に置換えてもほぼ等しい圧縮強度を示している。しかしながら、

単位膨張材量が $60\text{kg}/\text{m}^3$ の場合には、単位スラグ膨張材量が小さい範囲の強度が小さく、スラグ膨張材をセメントと等量程度以上置換えた強度は普通コンクリートとほぼ等しい値を示した。この傾向は材令が経過しても変わらない。

図-4には膨張作用により強度低下が生ずることのある単位膨張材量が60と $70\text{kg}/\text{m}^3$ の場合の圧縮強度と一軸拘束膨張率をプロットしている。強度低下は膨張率が大きくなると明瞭である。しかしその場合にも、土木学会規準に準じて測定した膨張率が約 500×10^{-6} 程度までの範囲では、スラグ膨張材を使用したことによる強度低下がほとんど認められない。したがって、十分な拘束の期待ができない場合においても、この範囲の膨張率が生ずるようにスラグ膨張材を併用することが可能となる。

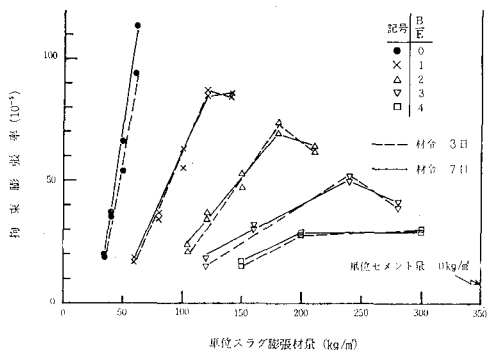


図-2 単位スラグ膨張材量と膨張率

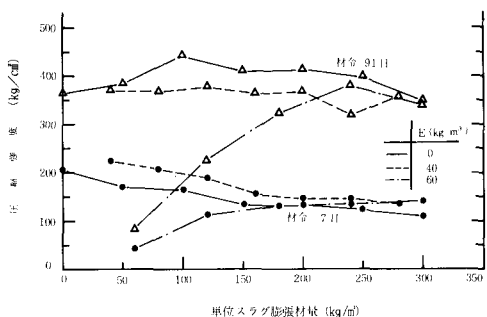


図-3 高炉スラグを併用した膨張コンクリートの圧縮強度

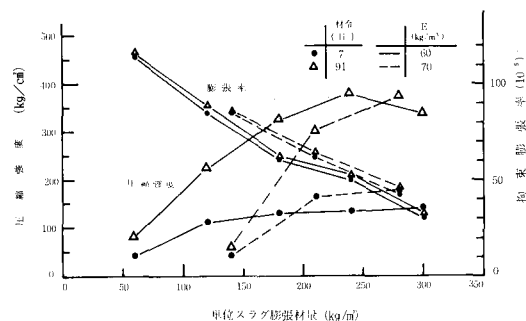


図-4 圧縮強度・膨張率および単位スラグ膨張材量