

V-509

細孔構造からみたセメントペーストの自己収縮に関する一考察

大成建設 技術研究所 正会員 岡本修一

大成建設 技術研究所 正会員 松岡康訓

1. はじめに

近年、セメント系材料の自己収縮に関する研究が進み、セメントの種類や配合によってはセメントペーストの自己収縮が極めて大きくなることが明かとなってきている¹⁾。自己収縮のメカニズムとしては、水和の進行に伴う硬化収縮により発生するメニスカスに起因するものであると推察されており²⁾、自己収縮には水和過程における硬化体の内部組織構造が大きく影響を及ぼすものと考えられる。ここでは、低発熱セメントを中心に、セメントペーストの自己収縮測定と同時に細孔径分布を測定し検討を行った。

2. 実験概要

セメントは、自己収縮量が大きくなるとされている¹⁾ 低発熱高炉セメントC種（BC）、最近注目されているビーライト系低発熱ポルトランドセメント（LC）、比較用に普通ポルトランドセメント（NP）を用いた。その物性を表-1に示す。

表-1 材料の物性

材 料	物 性
NP	比重：3.15、比表面積：3310cm ² /g
BC	比重：2.99、比表面積：4060cm ² /g、スラグ置換率：70%
LC	比重：3.15、比表面積：3310cm ² /g、C3S=28%・C2S=56%
石粉	炭酸カルシウム、比重：2.70、比表面積：3800cm ² /g

配合ケースを表-2に示すが、セメントペーストの配合は、実際に低発熱セメントが使用された表-3に示すマスコンクリートの配合³⁾を参考に、W/C=55%、C=260kg/m³、C=260kg/m³、石粉を1m³当り30kg、150kg細骨材と置換した場合を想定し、セメント・水・石粉の単位容積当たりの容積比率が同じになるように設定した。供試体の寸法は4×4×16cmとし、1つの配合につき5体作製した。供試体は、凝結終結後6時間で脱型、アルミ箔粘着テープで封緘した後にコンタクトチップを貼り、凝結終結後12時間で基長の測定を行った。長さ変化の測定はコンタクトゲージによった。

表-2 配合ケース

配合番号	セメントの種類	石粉の量 ^{*1}
1	NP	0
2	NP	30
3	LC	30
4	BC	30
5	BC	150

*1：コンクリート1m³当りの量

表-3 参考配合

G _{max} (mm)	σ _{ck} (kgf/cm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	石粉	S	G	SP
40	240	56.9	43	148	260	30	797	1085	3.6
40	240	55.8	45	145	260	150	709	964	3.4

細孔径分布およびセメントの反応率は、材齢7、14、28日に、自己収縮供試体を1体ずつ2.5～5.0mmに粗粉碎した試料で測定を行った。細孔径分布は、水銀圧入法により測定を行った。またセメントの水和反応率は、まず試料を105±5℃で定常状態まで加熱し、続いて1050±50℃で定常状態まで加熱した場合の強熱減量を結合水量と考え、各構成材料の強熱減量分を補正し、試料中のセメントの重量に対する比率で表すものとし算出した。

3. 実験結果および考察

図-1に自己収縮の測定結果を示す。セメントの種別で見ると、材齢28時点に於て、NPの500μ（配合2）と比較し、LC（配合3）は150μと非常に小さく、BC（配合4）は600μと大きな値となった。また、石粉の自己収縮量への影響はNPでは認められなかったが、BCでコンクリートで150kg/m³相当の添加を行った配合5は、30kg/m³相当の添加を行った配合4に比べ約100μ大きな収縮を示した。

図-2にセメントの反応率と自己収縮の関係を示す。いずれの配合に於ても、セメントの反応が進むにつれ自己収縮量は増加する傾向が認められる。また、石粉を添加することで同一材齢でのセメントの反応率は増加する傾向にあり、特に配合4と配合5の比較に於て顕著であった。しかし、全体としての自己収縮量とセメントの反応率の相関はあまり良くない。図-3にはセメントペーストの全細孔容量と自己収縮の関係を示す。NP、LCを使用した配合1～配合3に関しては、全細孔容量が少なくなるにしたがい自己収縮量は

増加する傾向にある。B Cを使用した配合では、材齢が経過しても全細孔容量はほとんど変化しないが自己収縮量は増加している。また、石粉添加の影響は同一材齢での全細孔容量の減少として現れ、特に配合4と配合5の比較に於て顕著である。

図-4に材齢経過にともなう50nm以上の細孔容量の変化状況を示す。各配合とも材齢が進につれ50nm以上の細孔容量は減少している。絶対値的には材齢初期から配合3は全般的に容量が多く、配合5は最も少い。また、石粉を添加することで50nm以上の細孔容量の絶対値は減少する傾向にある。図-5に50nm以上の細孔容量と自己収縮の関係を示す。セメント硬化体の空隙構造が物性に影響を及ぼすが⁴⁾、自己収縮は50nm以上の細孔容量と良い相関が認められ、50nm以上の細孔容量が少ないほど自己収縮量は大きくなっている。以上のことから図-1に見られた自己収縮量の相違を推察すると、配合3はセメントの反応率が小さいため自己乾燥が少なく、かつ形成される細孔が比較的大いので発生する毛細管張力が小さくなり、結果として自己収縮量が小さくなったものと考えられる。一方、配合4は反応率は小さいものの形成される細孔が小さなものが多いので毛細管張力が大きくなり、自己収縮量も大きくなったと考えられる。また、石粉を添加すると、材齢初期段階から反応率及び形成される小さな細孔の割合の両方が増大するため、配合5が最も大きな自己収縮を示したもののと思われる。

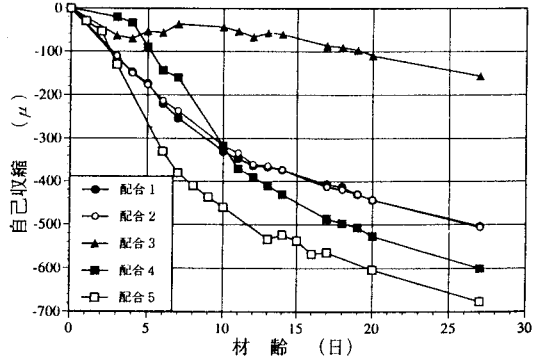


図-1 自己収縮測定結果

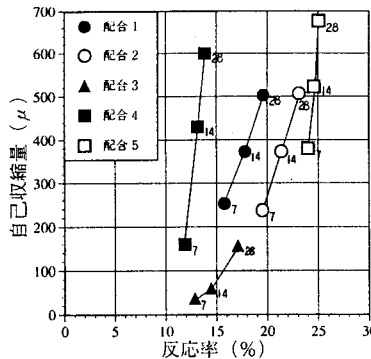


図-2 反応率と自己収縮量

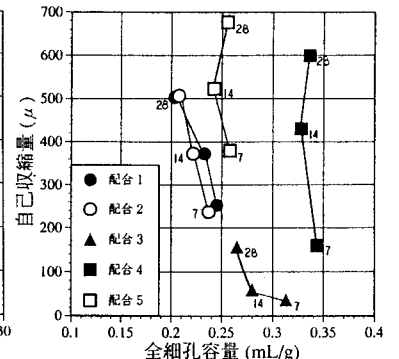


図-3 全細孔容量と自己収縮量

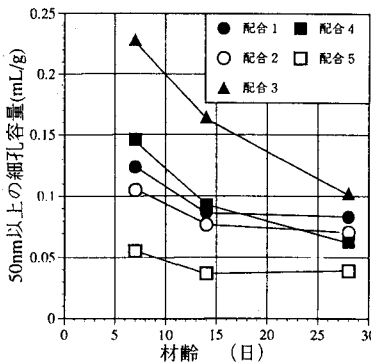


図-4 細孔容量の経時変化

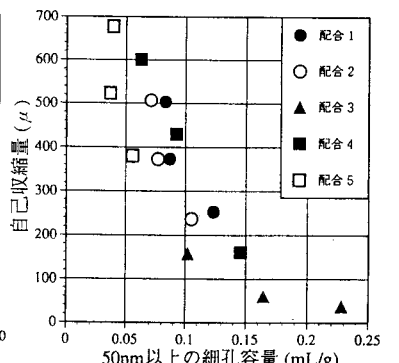


図-5 細孔容量と自己収縮量

4. まとめ

セメントペーストの自己収縮は、セメントの水和の進行につれて生じ、自由水の減少による自己乾燥ならびに細孔容量の減少に見られる組織の緻密化の両方に影響を受けることが明かとなった。今後、自己収縮の発生機構をより明確にして行くには、反応生成相の組成も含め、細孔構造や硬化体中の水の状態を把握して行くことが重要であろう。

[謝 辞]

本研究を行うにあたり、自己収縮測定に関し、広島大学工学部 田沢栄一教授にご指導を頂きました。

[参考文献]

- 1) 田澤他：自己乾燥によるセメントペーストの収縮特性、セメントコンクリート研究討論会、1991
- 2) 田澤、宮沢他：セメントペーストの自己収縮、セメントコンクリート論文集、NO.46、1992
- 3) 糸日谷他：大型橋りょう基礎のコンクリート、コンクリート工学、Vol.31、NO. 3、1993
- 4) 羽原：コンクリートの構造とその物性、わかりやすいセメント科学、(財)セメント協会