

[1029] セメントモルタルの細孔分布に及ぼす初期高温養生の影響

正会員 ○平井和喜(東北大学工学部)

正会員 成田 健(東北大学工学部)

1. 緒言

建築及び土木関連施設に使用されているコンクリート製品は早期強度の増進と生産の効率化を計る目的で、通常蒸気等による高温養生が行われている。セメントの水和反応は温度と共に増進されるが、反応生成物の組織が粗大化する傾向にあることは既に認められており、したがってコンクリート製品の養生に際しては前置時間、昇温速度及び最高温度等に一定の制限を設けて品質の劣化を防ぐ方法が採られている。

しかし寒冷地域で使用されているコンクリート製品の中には凍害現象と推察されるクラックや組織破壊を招いている例がみられ、その発現の特徴的な点は、使用されている製品全体に一樣に損傷が生じているのではなく、損傷の受けている製品単体と全く健全な製品単体が混在していることである。このような損傷の生じ方について高温養生に関する既往の文献と製品の製造工場における蒸気養生の方法を考え合わせると、コンクリート製品の製造時における養生条件の相違—前置時間、昇温速度、最高温度、後養生等—が部分的に生じていることにその原因があるのではないかと推察される。

以上のような観点から、本文はモルタルの細孔分布が養生条件により著しく異なる点に着目しながら、高温養生条件の変化がモルタルの細孔分布に及ぼす影響を明らかにすると共に、細孔分布の形状変化と養生条件との関係をもとに、コンクリート製品の養生条件を推定することの可能性について考察する。

2. 実験計画

2.1 使用材料及びモルタル試料の調査

使用セメントは普通ポルトランドセメントでその物理的諸性質は表1に示す通りである。又細骨材は阿武隈川産川砂で、その諸性状は表2に示す通りである。

モルタル調査は実際にコンクリート製品の製造に用いられているコンクリート調査の中から粗骨材部分を除いたものとし、その調査は表3に示す通りである。モルタルのフロー値 231mmはスランプ 6cmのコンクリート中のモルタル部分の軟度を示している。

2.2 モルタルの養生条件

コンクリートの蒸気養生は通常図1に示すような条件のもとに行われる。その中で特に前置養生時間 T_1 、温度上昇速度にかかわる昇温時間

表-1 使用セメントの物理的性質

材 令 (日)	3	7	28
曲げ強度 (%)	36	47	65
圧縮強度 (%)	150	198	350
比 重	3.15	フロー値	280

表-2 使用細骨材の性状

種類	表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率
川砂	2.54	3.0	3.05

表-3 モルタルの調査

W/C	S/C	フロー値
0.47	2.30	231

T_2 、最高温度 θ 及び後養生時間を主な条件として次のような因子水準を実験条件とする。

前養生時間：10分、30分、1時間、2時間

昇温時間：30分、2時間30分

最高温度：65℃、70℃

後養生時間：3時間（一部試料のみ）、1、

3、7、14、28、42、56日

最高温度の持続時間は3時間とし、後養生は20℃恒温室中に試料を静置して、1日1回10分間程度の散水を行う。昇温時間と最高温度の組み合わせから3種類の試料を作る。モルタル試料

は直径5cm高さ4cmの円柱形で温度調節は温水で行う。3種類の試料の特徴は次の通りであり、併せて標準水中養生試料も参考として成形する。

S6試料：最も標準的な養生方法で、昇温時間2時間30分（昇温速度で14℃/h）、最高温度65℃である。

S7試料：昇温時間はS6と同じで2時間30分、最高温度は70℃である。最高温度が標準以上に高い場合の検討試料である。

R7試料：昇温時間30分（昇温速度で100℃/h）、最高温度70℃に設定したもので、養生条件が両者共標準条件を上まわった場合を想定している。

N2試料：標準水中養生によるもので、3種類の高温養生試料との比較参考用である。

2. 3 細孔容積率測定方法

所定材令に達した試料から細孔容積測定に必要な数グラムの量を取り、乾燥、脱気して測定用試料とする。細孔容積は水銀圧入式ポロシメーターを用い、細孔半径は3.75nmから7500nmの範囲を対象とする。

3. 実験結果と考察

3. 1 養生条件と総細孔容積率

S6、S7、R7及びN2試料の総細孔容積率の材令による変化は図2に示す通りである。S6は前養生時間の影響を大きく受け、時間の長いもの程総細孔量は少ない傾向にある。又前養生の影響はその後の養生によっても回復させることは困難である。S7及びR7は共に前養生時間の影響が材令の増加につれて不明確になる傾向にある。各試料共初期における後養生の効果は顕

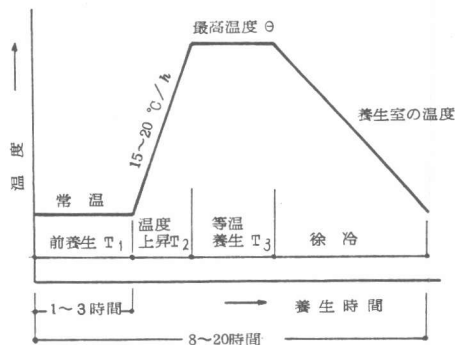


図-1 コンクリートの蒸気養生方法

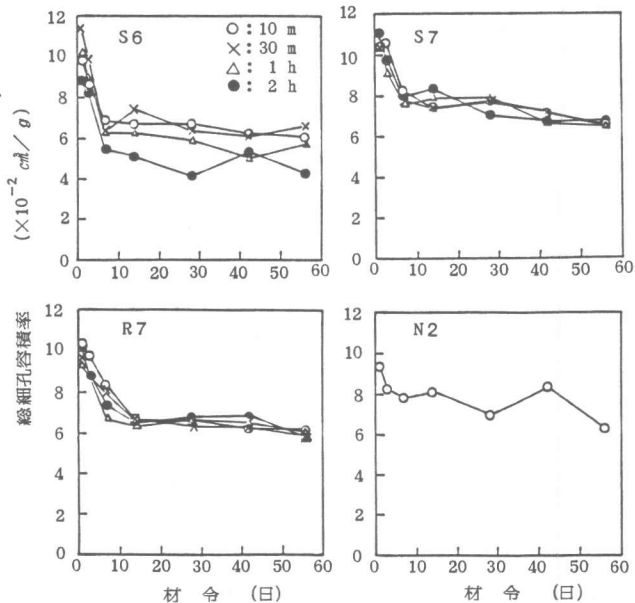


図-2 前養生時間別の総細孔容積率

著に現れており、特に材令7日までの影響が大きい。高温或は高温高速養生による総細孔容積を標準温度養生による容積と比較して、前養生時間毎にそれらの差を求めると図3のようになる。各点は材令1日から56日までの平均値として示している。前養生時間が長い程S7及びR7の相対量が増加傾向にあることが認められる。

3. 2 養生条件と細孔分布形状

各試料について、材令毎に細孔分布図を描き、分布形状の特徴を考察する。その一例として材令3日及び14日の場合を示すと、図4

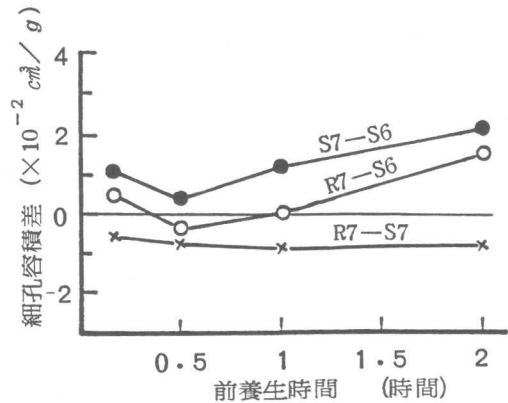


図-3 養生条件別総細孔容積率の差 (平均)

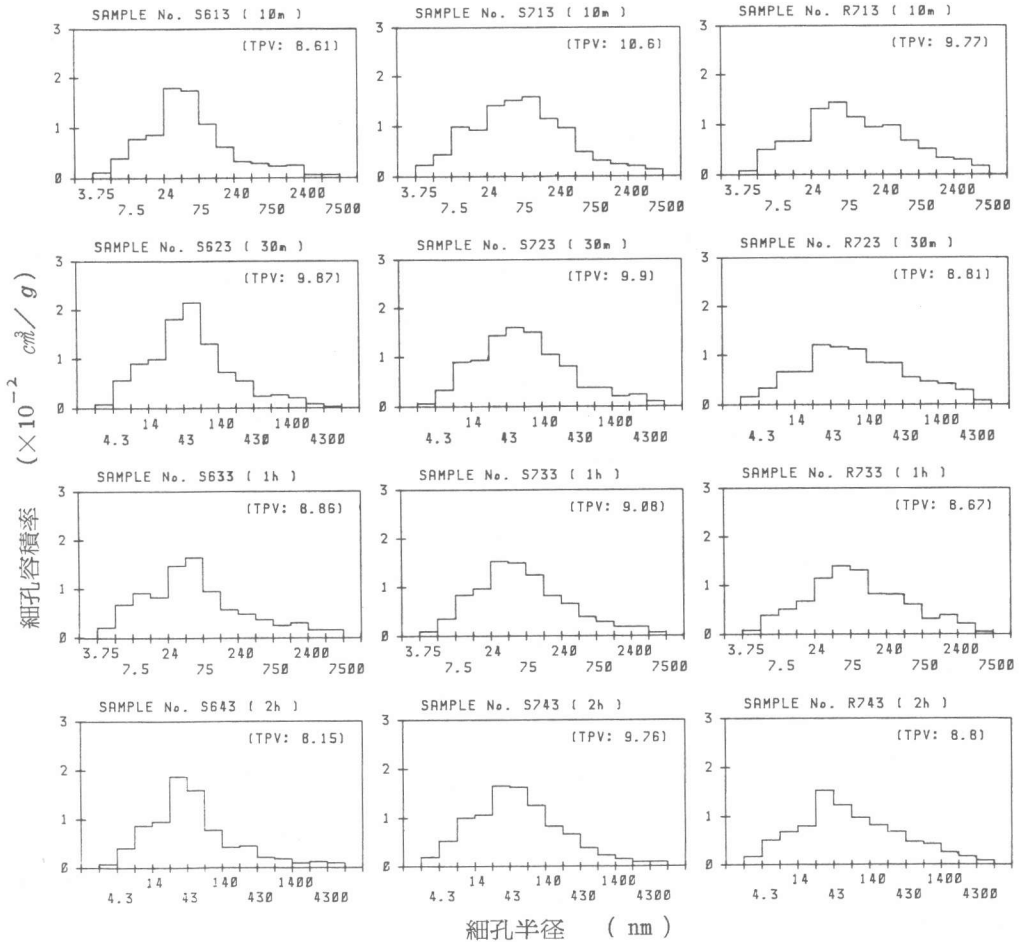


図-4 材令3日におけるS6、S7、R7の細孔分布

及び図5の通りである。材令3日におけるS6では、分布のピークが前養生時間と共に43~75nm（第6レンジ）から24~43nm（第5レンジ）へと移行し、第6レンジ以上では急激に容積が減少して下に凸の分布を示している。S7では前養生時間と共にそのピークが第7から第5レンジの方向に移行し、第6レンジ以上では、ゆるやかな減少性を示している。一方R7も同様にピークの移行があり、第6レンジ以上ではほぼ直線的な減少傾向を示している。材令14日ではS6のピークはほぼ第5レンジに集中している反面、前養生の短いものは140nm以上の部分の減少が少なく、2時間前養生のものとの差は明瞭である。S7の分布形状はS6と異なり第6レンジ以上の分布はほぼ直線的減少を示し、又R7の分布形状は上に凸型で前二者と明らかに異なる。材令28日以後の分布形状は材令14日の場合におおよそ類似の傾向にある。レンジの設定は細孔分布図（図4参照）における最小半径 3.75 ~ 4.3nm を第1レンジとし、順に細孔径の大きい方向に第2レンジ、第3レンジ、・・・第14レンジとする。

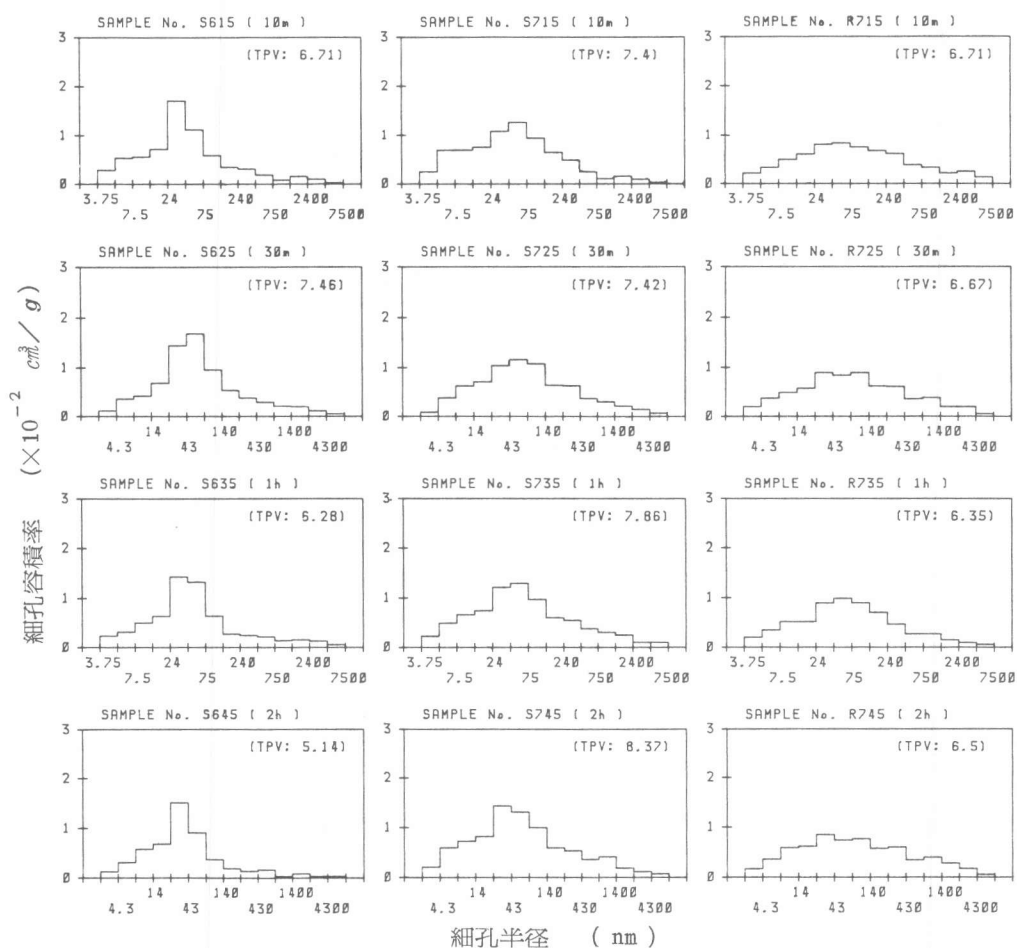


図-5 材令14日におけるS6、S7、R7の細孔分布

3.3 養生条件と細孔分布のピーク位置

材令1日から56日まで7材令における細孔分布形状から細孔容積のピークを示すレンジを求め、前養生時間別にグラフ化して示すと図6のようになる。材令にかかわらずピークが第5レンジにあるのは前養生を2時間行ったもので、養生温度の高温化或は高速化に左右されない。材令28日以前では前養生時間10、30分及び1時間ではすべて不安定で6～7レンジを示すものもあり、材令28日経過後はじめて安定してきている。

前養生時間が極端に短い10分では、S7は長期間にわたりそのピークが不安定であり、大細孔半径範囲にある。

3.4 養生条件と細孔分布のレンジ間勾配

養生条件により細孔分布の形状に特徴のあることを前に示したが、更にこの数値化を試み養生条件の相違による形状的变化をより明確にする。先ず細孔分布の第5レンジから第14レンジまでを3等分し、第5～8、第8～11、第11～14レンジにおける各レンジの細孔容積の値をも

とに線形変化を仮定した勾配を算出する。図7は第5～8レンジにおける細孔分布の勾配を示したものであり、S6、S7、R7間の相違が明らかに生じている。第8～11、第11～14レンジにおける勾配に関しては、S6、S7、R7間の相違は図7程明確ではない。

各材令ともS6の勾配が最大を示し、S7及びR7とは全く区別される。又全体として前養生時間の長い程、勾配の絶対値は大きくなる傾向にある。すなわち養生温度が高い程、養生昇温速度が速い程、第5～第8レンジの勾配の絶対値が小さくなる傾向にあることが明瞭に示されている。その値はS6で0.4前後、S7で0.2前後、R7で0.1～0.7程度である。

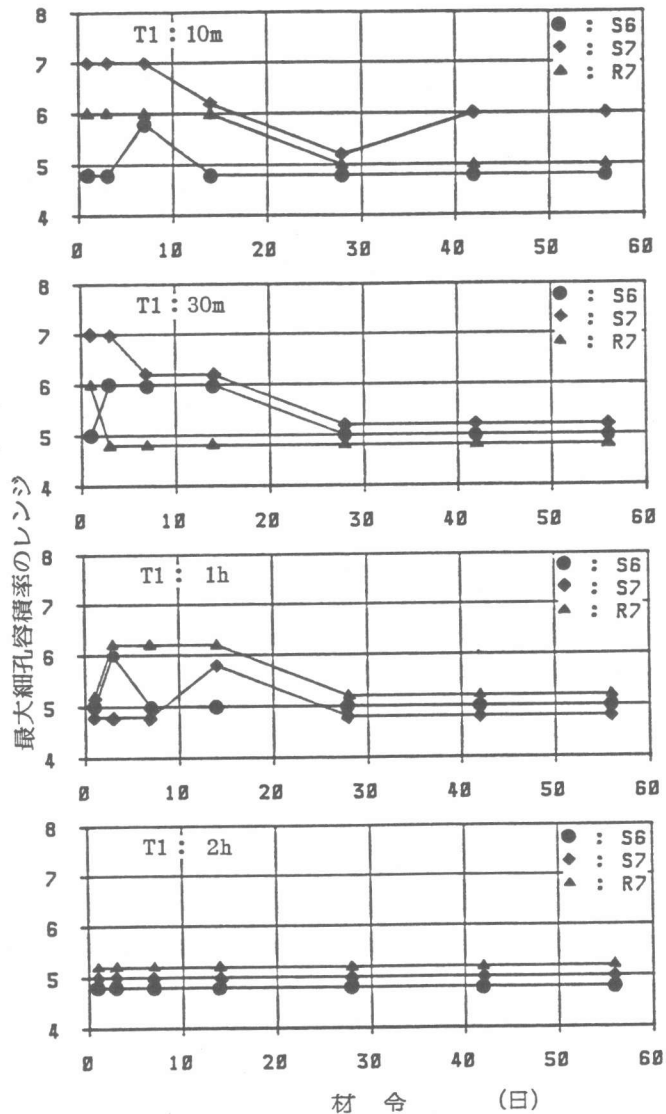


図-6 細孔分布のピークレンジの推移

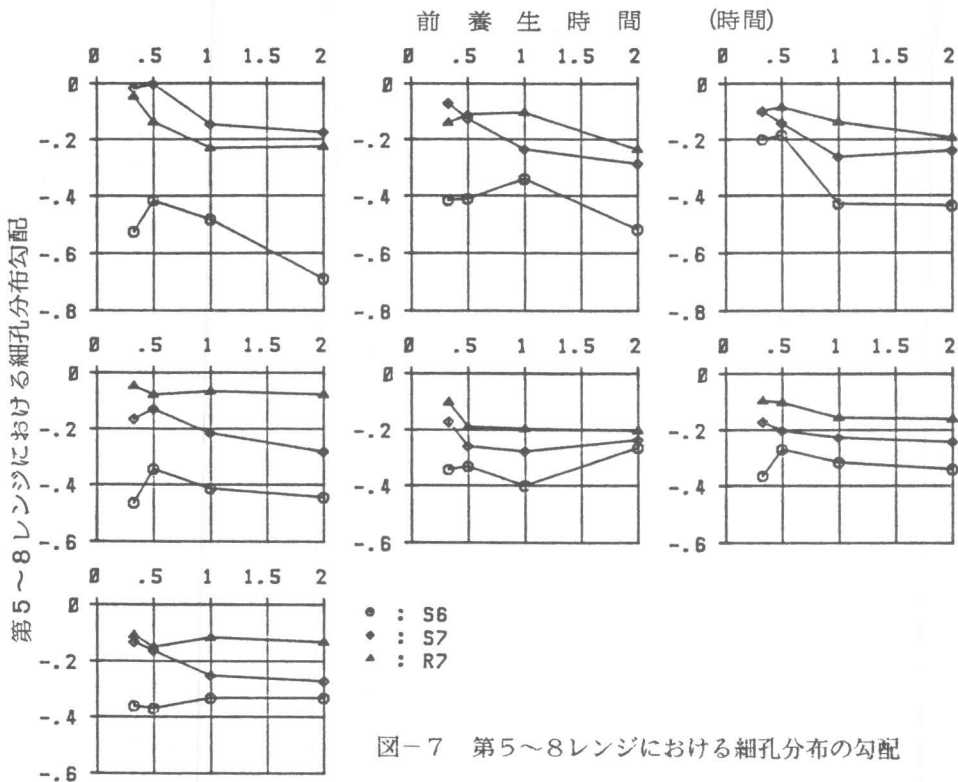


図-7 第5～8レンジにおける細孔分布の勾配

4. 結 語

高温養生条件の相違がモルタルの組織に及ぼす影響を細孔容積及び細孔分布形状をもとに検討した結果をまとめると次のようになる。

- (1) 前養生時間の長短は標準温度養生の場合におけるモルタルの総細孔量の減増に関係する
- (2) 総細孔量の減少を計るためには、いかなる養生条件下で養生したものであっても、材令7日前後までの後養生の効果が非常に大きい。
- (3) 初期養生条件によってモルタルの細孔分布形状が非常に異なる。この事を利用することによっておおよその養生条件を推定することが可能である。
- (4) 細孔分布形状のピークを示すレンジは前養生時間が短い場合、比較的高温或は高速昇温の場合には標準的養生を行ったものよりもより高レンジ側にあり、後養生によって低レンジ側に移行する傾向にある。ただし、前養生時間が2時間の場合は、初期から低レンジを示している。
- (5) 養生温度及び昇温速度の影響は細孔分布の第5～8レンジ(24～240 nm半径)の勾配に明確に現れ、特に標準温度養生と高温或は高速昇温養生の違いは明らかに区別することが可能である。