

正会員 岡村 甫 (東京大学)
 正会員 ○古沢 孝男 (日曹マスタービルダーズ)
 正会員 辻 幸和 (足利工業大学)

1. まえがき

膨張コンクリートを鉄筋コンクリート構造物に適用する場合の重要な問題点の一つに、養生温度が膨張性状にどのような影響を及ぼすかを解明することが挙げられる。膨張性状に及ぼす温度の影響は、膨張材の種類、膨張材の使用量およびセメントの種類などによって異なるものと考えられるが、これまで系統立った試験結果は報告されていない。

本研究は、これらの要因を考慮し、打込み時より材令1日まで一定の温度に保ちその後養生温度を変化させた場合および打込み時より温度を変化させた場合について、温度が外的に拘束したモルタルおよびコンクリートの膨張性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的として行った試験結果をとりまとめたものである。

2. 試験の概要

試験は3シリーズに分けて行った(表1参照)。シリーズ1は、現在我が国で市販されている4種類の膨張材を用いたモルタルについて、それぞれの膨張性状に及ぼす打込み温度(20℃と35℃)と材令1日以降の養生温度(5℃, 20℃, 35℃, 50℃)の影響を求めたものである。また、膨張材の使用量を2種類に変化させた。シリーズ2は、併用するセメントに早強ポルトランドセメントを用い、シリーズ3は、コンクリートの拘束膨張供試体を用いて、それぞれの膨張性状に及ぼす養生温度の影響を求めたものである。

用いた膨張材は、昭和52年の春に膨張材協会を通じて提供されたものである。膨張材AおよびBはエトリンサイト系に、また、膨張材CおよびDは石灰系に分類されるものである。セメントは三菱鉱業セメント(株)製の普通および早強ポルトランドセメントを用いた。モルタルに用いた砂は豊浦標準砂であり、コンクリートに用いた骨材は富士川産の良質な川砂、川砂利であって、比重はそれぞれ2.60および2.66、粗粒率はそれぞれ2.87および6.92(最大寸法25mm)、吸水率はそれぞれ2.5%および0.99%であった。

モルタルの配合は、標準試験方法(案)の膨張材の膨張性試験方法(案)¹⁾に示す通りとした。ただし、膨張材の使用量は、標準試験方法(案)に示す標準量(セメントと膨張材との合計量の10%内割使用)と標準量の2/3の2種類とした。コンクリートの配合は、単位水量を172Kg/m³、単位結合材量を382Kg/m³とし、単位膨張材量を30Kg/m³と50Kg/m³に変化した。スランブは約8cmであった。

シリーズ1および3の供試体の作製は、打込み温度が35℃の場合を除き、上記標準試験方法(案)に準じて行った。シリーズ3のコンクリート供試体は、同じく標準試験方法(案)の膨張コンクリートの拘束膨張試験方法(案)¹⁾に準じて行った。

打込み温度が35℃の場合は、砂を50℃に暖め、水を25~35℃として、温度が20℃±2℃、湿度が80%RH以上の部屋で練り混ぜおよび打込みを行った。打込み後、型枠をビニール袋に入れて35℃の水槽に水面と型枠の上面が一

表1 試験の概要

シリーズ	膨張材	膨張材量	打込み温度	養生温度	セメント
1	A	標準量	20℃	5℃	普通
	B			20℃	
	C	標準量× $\frac{2}{3}$	35℃	35℃	
	D			50℃	
2	A	標準量	20℃	5℃	早強
	C			20℃	
3	A	30kg/m ³	20℃	5℃	普通
	C	50kg/m ³		20℃	

致する位の高さに沈め、3～4時間後に上面を削り、再びビニール袋に入れて水槽中で養生を行った。材令24時間において脱枠し、膨張率を測定後、所定の温度の水槽に入れて養生を行った。

養生の温度は、各温度とも±2℃で管理した。また、打込み温度は±1℃とした。養生温度の相違に起因する温度ひずみを補正するため、材令1日における普通モルタルおよびコンクリートの熱膨張係数を求めた結果、それぞれ $1.12 \times 10^{-5}/\text{℃}$ および $1.02 \times 10^{-5}/\text{℃}$ となった。これらの値を用いて測定値を養生温度が20℃の場合に統一して補正した。補正した膨張率を用いて試験結果の検討を行う。

3. 打込み時からの温度の影響

図1は打込み温度およびその後の養生温度を、20℃および35℃に保った場合の各種膨張材を用いたモルタルの拘束膨張率をまとめたものである。この図より、膨張性状が20℃と35℃では異なっていることは明瞭である。すなわち、養生温度が高くなると膨張の速度は大となり、膨張の終了が早くなることは、既に多くの研究で報告されているが、膨張率の値そのものは膨張材の種類によって異なるのである。たとえば、膨張材を標準量使用した材令28日における膨張率は、20℃で養生した場合、膨張材Dが一番大きく、膨張材Aと膨張材Cはほぼ等しく、膨張材Bが一番小さくなっているのに対して、35℃で養生した場合、膨張材Cが一番大きく、膨張材D、膨張材A、膨張材Bの順になった。そして、35℃に温度を増加すると、材令28日における膨張率が、膨張材Cは増加しているのに対して、その他の膨張材を用いた場合には減少しているのである。

膨張材を標準量の2/3に減少した場合には、20℃および35℃の場合とも、材令28日における膨張率の大きさの順序は標準量使用したものと同じだが、膨張材の種類による相違は非常に小さくなっている。なお、この場合には、35℃に養生温度を増加すると、膨張材Bを除き、わずかながら材令28日における膨張率は大きくなっており膨張材Aおよび膨張材Dでは標準量使用した場合と異った膨張性状を示した。

これらの結果から、打込み時より一定の養生温度に保った場合に、膨張材の種類だけでなく、その使用量によっても、養生温度が膨張性状に及ぼす影響の相反することのあることが認められるのである。

4. 材令1日において変化した養生温度の影響

図2は、打込み温度を20℃とし、24時間その温度に保った後、5℃、20℃、35℃または50℃の水中で養生したモルタルの拘束膨張率と材令との関係を示したものであって、膨張材は標準量使用した場合である。温度が変化した直後から、一般に、膨張速度が急変し、高温にするほど速度が大となり、膨張の終了も早くなることが認められる。このことは、既に中原等が膨張材Aを用いた実験で認めているが²⁾、この図に示すように、膨張材の種類にかかわらず、共通に認められたのである。

このような現象は、膨張材を標準量の2/3用いたいずれの膨張材においても、また、膨張材

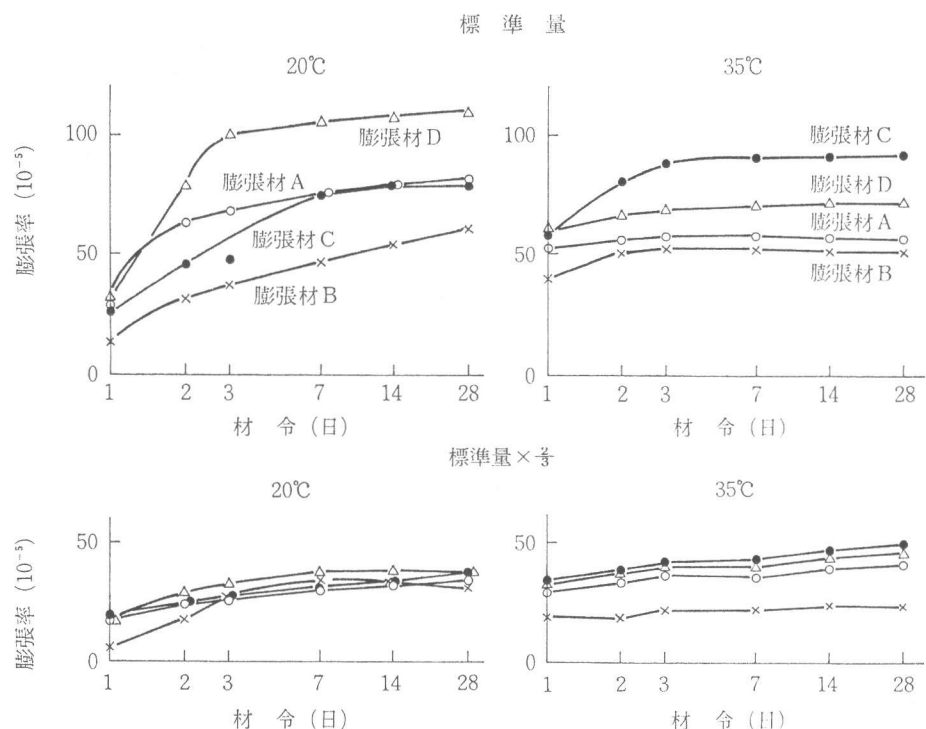


図1 打込み時からの温度が膨張性状に及ぼす影響 (20℃と35℃)

Aと膨張材Cについては、早強ポルトランドセメントを用いた場合および、単位膨張材量を $30\text{Kg}/\text{m}^3$ と $50\text{Kg}/\text{m}^3$ 用いたコンクリートの場合にも等しく認められた。

図3は、図2のデータから、材令2日（すなわち、温度を変えて1日後）と材令28日における各温度の膨張率を、20℃の膨張率との比で表示したものである。材令28日に比べて材令2日の膨張率に及ぼす温度の影響の大きいことが、まず認められる。そして、打込み時より一定に養生温度を保った場合と同様に、膨張材の種類によって養生温度が膨張性状に及ぼす影響の相違することも明瞭である。

膨張材Cは特に高温度に敏感であって、高温とした直後のみならず、最終的にも著しく大きな膨張を示している。膨張材Aと膨張材Dはほぼ同程度の温度の影響を受けるが、幾分膨張材Aの方が敏感である。また、膨張材Bは温度の影響を最も受けにくいようで、特に材令28日においては、他の膨張材と異なり、温度が高くなると膨張率が減少する傾向も認められ、材令2日の場合と相反する温度の影響を示した。

標準量の2/3の膨張材を用いた場合も上記と同様な傾向が認められるが、膨張材Cの50℃の養生温度の場合を除き、材令2日および28日とも標準量使用した場合より温度に対して鈍感となった。

膨張材Aと膨張材Cについて、早強ポルトランドセメントを用いた場合の材令2日における膨張率は、両者ほぼ同じ傾向を示している（図4参照）。これは、図3の普通ポルトランドセメントを用いた場合とは異った膨張性状を示し、早強ポルトランドセメントを用いると、膨張

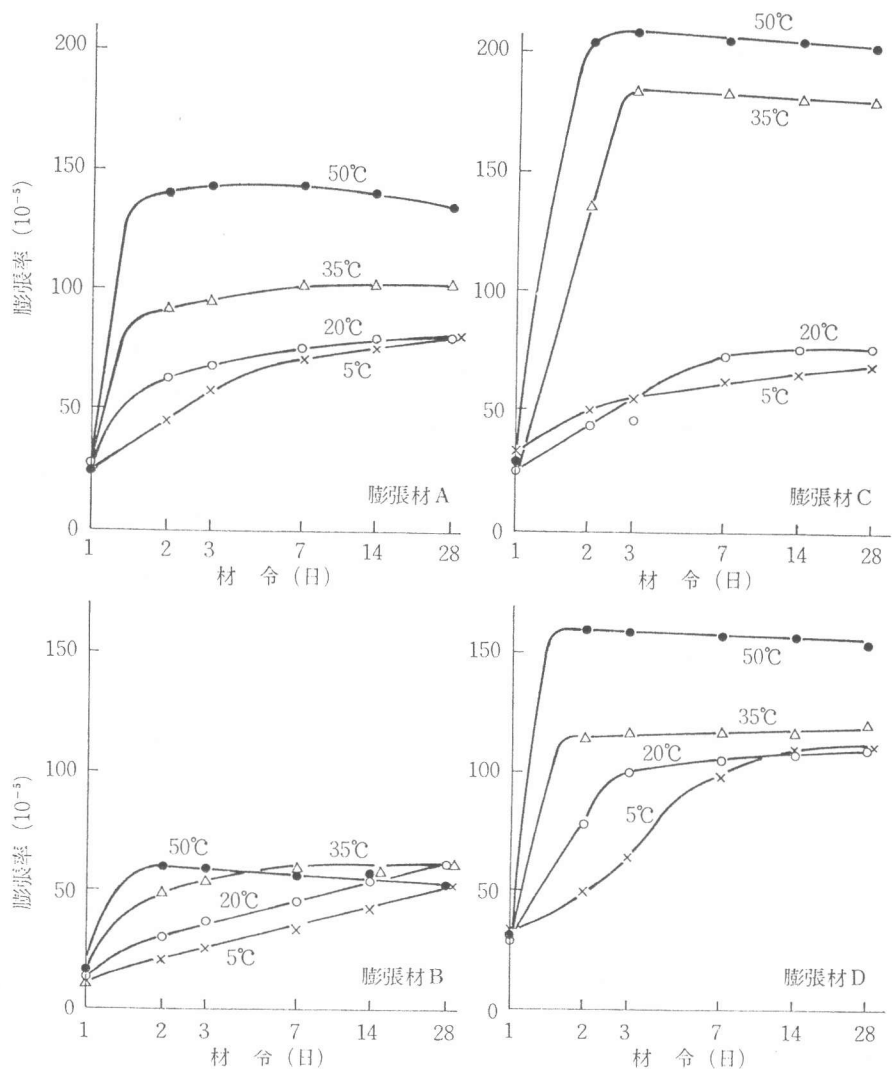


図2 材令1日において変化した養生温度が膨張性状に及ぼす影響

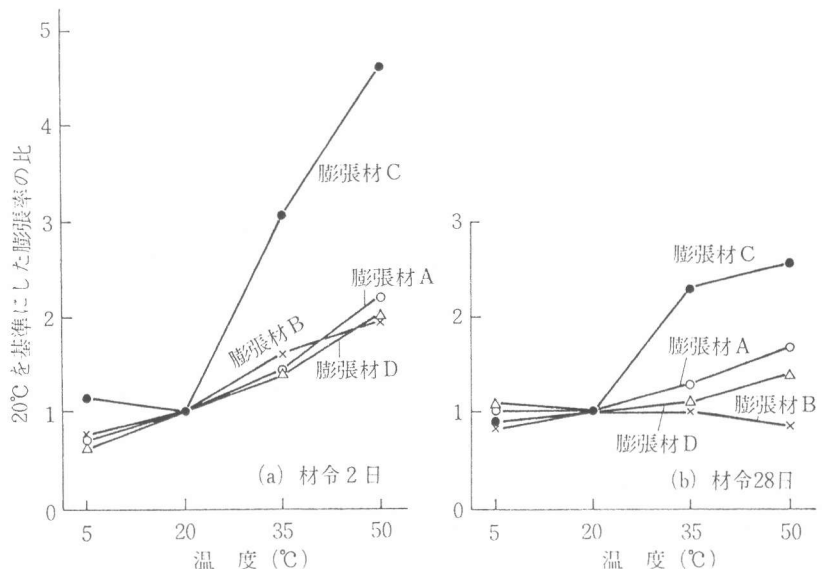


図3 20℃を基準にした各養生温度における膨張率の比（普通ポルトランドセメント）

材 A では温度に対して敏感に、また、膨張材 C では鈍感になる。しかしながら、材令 28 日においては 5℃ から 35℃ まで温度の影響がほとんど現われず、50℃ にすると、膨張材 A で 20℃ の 1.4 倍、膨張材 C で 2.0 倍となり、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりは幾分温度に対して鈍感となるが、同じ傾向を示している。

膨張コンクリートにした場合には、温度の影響はモルタルの場合ほど膨張材の種類によって異なるようである（図 5 参照）。特に膨張材 C では、モルタルにおける高温時の著しい膨張の発現作用がコンクリートにした場合ほとんど現れないといえよう。

5. 材令 1 日までの温度の影響

膨張材 C を用いたモルタルの打込み温度を 35℃ とし、24 時間その温度に保った後に 50℃ に上昇させたものと、そのままの温度で養生したものと、そのままの温度で養生したものと、その拘束膨張率の結果を図 6 に示す。この図には比較のため図 2 に示した打込み温度が 20℃ の場合についても図示している。

膨張材を標準量用いた場合、材令 1 日まで 35℃ で養生した後 50℃ に温度を上げると、その後の膨張速度は急増するが、その場合でも、20℃ より上昇させた場合に比べて小さく、また、膨張率そのものも小さくなっていることが、まず認められる。この現象は、同じ石灰系の膨張材 D を用いた場合にも現われたが、20℃ より上昇させた場合に認められたエトリンナイト系の膨張材 A を用いた場合には現われなかった。なお、20℃ より 35℃ に増加した場合に比べて、35℃ で打込み時より養生した場合の膨張率は、いずれの膨張材を用いた場合にも小さくなった。

膨張材を標準量の 2/3 用いた場合には、35℃ より 50℃ に上昇させた直後の膨張速度の急激な増加もほとんど現われず、材令 28 日の膨張率は 35℃ に保った場合と等しいかむしろ小さくなった。

6. あとがき

膨張コンクリートの膨張性状に及ぼす温度の影響は、打込み時よりの養生温度のみならず、その後の温度変化膨張材の種類とその使用量、および、セメントの種類等によっても著しく異なり、これらの要因の組合せによっては相反する結果が生じることを、実験により明らかにした。

参考文献

- 土木学会コンクリート運営小委員会、日本建築学会材料施工委員会第一分科会；膨張コンクリートの試験方法(案)について、コンクリート工学、Vol. 15, No. 8, Aug. 1977
- 中原、万木、中矢；膨張性混和材のマッシュパコンクリート構造への利用に関する基礎研究、土木学会第 28 回年次学術講演会講演要集、V, 1973 年 10 月

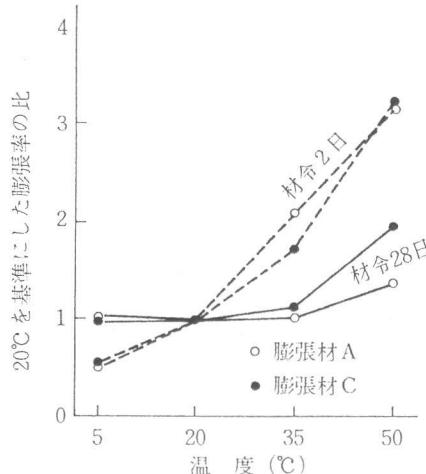


図 4 早強ポルトランドセメントを用いた場合の養生温度が膨張性状に及ぼす影響

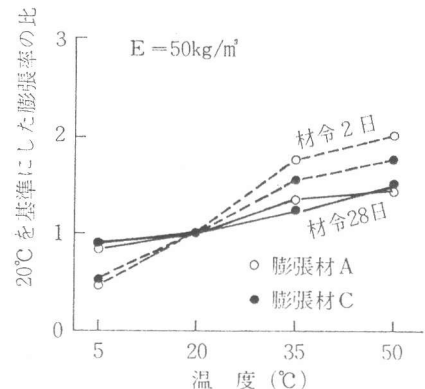


図 5 膨張コンクリートの膨張性状に及ぼす養生温度の影響

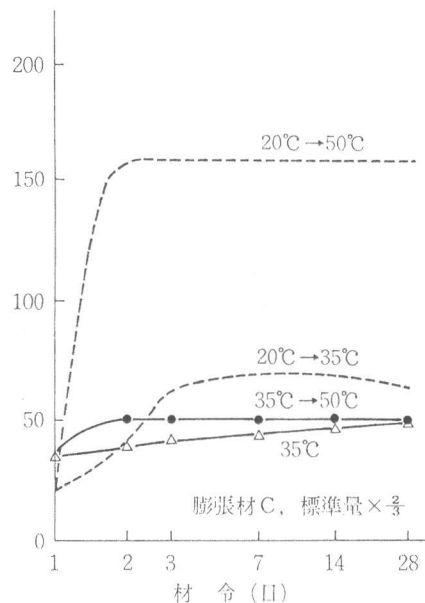
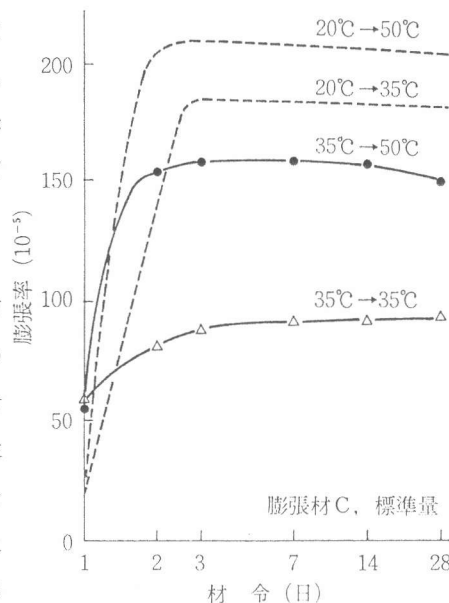


図 6 材令 1 日までの温度が膨張性状に及ぼす影響