

鹿島建設技術研究所 正員 中原 康

〃 正員 〇万木 正弘

〃 正員 中矢 喜章

1. ま え が き

マッシブなコンクリート構造物では材令初期に、セメントの水和熱による温度上昇、その後の温度降下が原因となって有害なひびわれが発生する場合がある。本研究では、この種の温度ひびわれの防止を目的として膨張性混和材（以下膨張材と記す）の使用を検討し、膨張性コンクリートの2, 3の性質について実験検討を行なった。

2. 基本的な考え方

比較的マッシブな壁体構造物などに打込まれたコンクリートは、材令初期の温度上昇、その後の温度降下にしたがって伸縮する。この伸縮は鉄筋や底版などある程度拘束されるため、弾性ひずみが生じるが温度上昇中のコンクリートのクリープは大きく、弾性係数は小さいため、発生する圧縮応力は小さい。温度が降下する際には強度もかなり発現しており、温度降下収縮によって生じる応力は大きくなり、コンクリートには引張応力が作用することとなる。その結果しばしばひびわれが発生する。

膨張材を用いた場合には、コンクリート温度が上昇する間には、温度膨張以上の膨張を示し、その一部はケミカルプレストレスとしてコンクリート内に蓄積される。温度が降下する際の収縮はこのケミカルプレストレスと温度降下中にも継続して生じる膨張によって補償されるため、コンクリートに作用する引張応力は軽減できるものと考えられる。以上のような考えから、温度ひびわれ防止を目的として膨張性コンクリートの利用を検討するには、(i) コンクリート構造物の温度履歴、(ii) 構造物の拘束度、(iii) 高温に曝された膨張性コンクリートの諸性状、(iv) 膨張量、拘束比、強度およびケミカルプレストレスの関係、特に初期材令におけるケミカルプレストレス、(v) 初期材令における引張強度、弾性係数、などを明らかにする必要がある。この研究では、これらの諸項目のうち特に重要と思われる(i), (iii), (iv) について実験的に検討した。

3. 実験計画

実験計画を表-1に示す。使用したコンクリートの配合は、粗骨材最大寸法25mm、スランプ7.5±1.5cm、単位セメント量（膨張材も含む）300kg/m³であり、一般の土木工事において使用される性状のものである。

なお膨張材としてはデンカCSAを、セメントはアサノ普通ポルトランドセメントを使用した。

膨張ひずみ測定用供試体は、15×15×35cmのものを使用し、膨張ひずみの基長としては、材令1日における測定値を用いた。

4. 実験結果および検討

(i) 温度上昇量 膨張材量を多くするにしたがって、コンクリートの最終的な断熱温度上昇量は低くなるが初期において大きくなる傾向を示し、膨張材量40~60kg/m³を使用した場合には材令1日で約5~10℃高くなる。（図-1参照）このような温度特性を示す膨張性コンクリートを厚さ1mの壁体構造物に使用した場合の温度履歴を推定計算すると、最高温度上昇は膨張性コンクリートの方が約5℃高くなり、その後の温度降下も速い。したがってひびわれ発生の危険性は膨張による効果を考えに入れなければ、膨張性コンクリートの方が大きくなる。

表-1 実験計画

実験 番号	目 的	要 因			測 定 項 目		
		CSA量 (kg/m ³)	養生温度 (℃)	拘束比 (%)			
I	膨張材の水和熱発生 におよぼす影響を調べる。	0	300	打設温度 20℃	断熱温度上昇量		
		40					
		60					
II	膨張材量拘束比と膨張量 ケミカルプレストレスにお よぼす影響を調べる。	40	300	20	強 度 自由膨張供試体 拘束供試体 膨張ひずみ 自由膨張ひずみ 拘束膨張ひずみ		
		50				1.09	
		60				1.57	
III	養生温度の膨張性状に およぼす影響を調べる。	40	300	20	強 度 自由膨張供試体 膨張ひずみ 自由膨張ひずみ 拘束膨張ひずみ		
		50				40	0.79
		60				60	1.84

このように膨張材を混入すると温度上昇が速くなることは、膨張反応が材令初期に生じていることと思われ、温度ひびわれの防止を考えると、温度変化にともなう膨張性状の相異とともに重要な問題を提起している。

(2) 強度、膨張性状およびケミカルプレストレス 膨張材量
拘束比を变化させた場合の強度、膨張ひずみおよびケミカルプレストレスの関係を検討するために行なった実験の結果より、次のことが言える。なおこの実験の養生条件は20℃水中養生である。

(i) 膨張ひずみは膨張材量の増加にともなって大きくなり、拘束比約1%で膨張材量40, 50, 60 kg/m³に対し、材令28日でそれぞれ250×10⁻⁶, 1000×10⁻⁶, 2000×10⁻⁶の膨張を示した。

(ii) 膨張性コンクリートの圧縮強度は膨張ひずみが大きくなるに低下する傾向を示し、拘束の有無にかかわらず約400×10⁻⁶膨張すると圧縮強度は20%低下した。

(iii) 拘束膨張供試体に導入されるケミカルプレストレスは、膨張ひずみが大きいほど、拘束比が大きいほど大きくなる傾向を示す。拘束比1~1.5%、材令28日における膨張ひずみ約400×10⁻⁶(圧縮強度の低下率20%)の場合に導入されたケミカルプレストレスは約10 kg/cm²であった。しかし実際の構造物には底版などの外部的拘束も作用している。この拘束は鉄筋などの内部拘束よりもかなり大きいものと思われるため、実際の構造物には、これより大きなケミカルプレストレスが導入される可能性も十分ある。

(3) 高温養生の膨張性状への影響

膨張ひずみは、養生温度が高温になるにしたがって図-2に示すように大きくなり、膨張材量40 kg/m³のものを20, 40, 60℃水中養生した場合、それぞれ200×10⁻⁶, 400×10⁻⁶, 1500×10⁻⁶の膨張を示した(材令7日)。このような膨張ひずみの増大にともない強度は低下するが、この傾向は膨張材量50 kg/m³以上で顕著である。しかし膨張材量が40 kg/m³のものを60℃で養生した場合、膨張ひずみは1500×10⁻⁶であるにもかかわらず、強度低下率は約10%であった。このことは、条件によっては強度低下の小さい範囲で大きなケミカルプレストレスが得られる可能性があることを示している。

以上のように膨張ひずみは養生温度に大きく影響されるため、実際の構造物に膨張材を使用した場合コンクリート各部の温度履歴によって膨張ひずみが異なることが考えられ、それによる応力が発生する可能性もある。

膨張性コンクリートが高温で養生した場合のもう一つの特徴としては、図-3に示すように膨張が初期に終了してしまうことである。単位膨張材量40 kg/m³のものを60℃で養生した場合には、材令2日以後の膨張はほとんど期待できない。一般に厚さ1m程度のコンクリート部材では、材令1~2日で最高温度(40~60℃)を示したが、温度降下時における膨張はあまり期待できず、温度ひびわれ防止に対しては不利な性状であろう。

5. おとぎ

この実験の範囲内においては、所期の目的に膨張性コンクリートを使用することには種々の問題点のあることが分かった。さらに、これらの室内実験の結果と実際の構造物に膨張性コンクリートを用いた場合との関連性について検討する必要がある。今後、現場実験なども積み重ね、有害な温度ひびわれの発生を防止するための研究を進めて行く予定である。

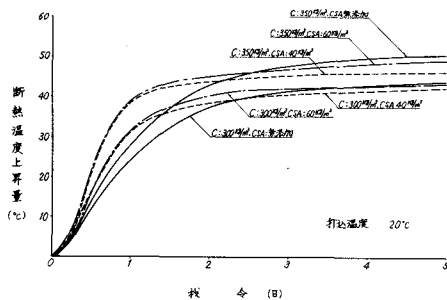


図-1 断熱温度上昇試験結果

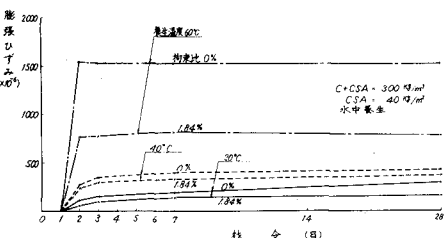


図2 各養生温度における材令と膨張ひずみの関係

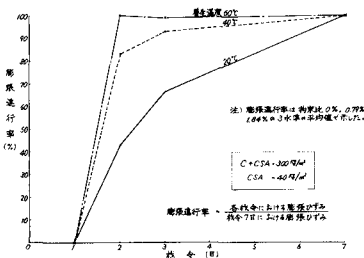


図-3 養生温度と膨張進行率との関係