

外部拘束を受けるコンクリートの水和熱による温度ひびわれ試験

広島大学 正員 田沢 栄一
〇学生員 森下 全人
熊谷組 米山 謙

1. まえがき

近年鉄筋コンクリート構造物の大型化に伴ない、マスコンクリートとしての取扱いが必要な構造物が増加している。この種のコンクリートに生ずるひびわれは、セメントの水和熱によると思われるものが少なくない。しかしながらセメントの水和熱に起因する温度応力に關する実験方法、ひびわれ発生条件などは明確にされていないのが現状である。本研究では、外部拘束を受けるコンクリートにおいて、水和熱によって生ずる温度ひびわれの試験を行ない、基礎的なデータの取得を目的とし、実験的な検討を加えたものである。

2. 実験概要

拘束供試体は図-1に示すように10×10×50cmの測定区間をもつコンクリートを4本のステンレス製パイプで拘束したものである。拘束パイプ中には20℃の恒温水を循環させて定温に保ち、パイプのひずみよりコンクリートに生じている応力を求めた。

また供試体中央部に温度センサ付埋込式ひずみ計を埋設し、ひずみを測定した。

さらにC-C熱電対を用いて供試体中央部および端部の温度変化を記録した。なお打込直後から連続測定を行なうため、側板の測定区間中央部にスリットを設けた。無拘束供試体はφ15×60cmの銅皿にコンクリートを詰め、縦型に静置し、中央部に温度センサ付埋込式ひずみ計を埋設した。

拘束および無拘束供試体は温度可変装置内に静置し、材令24時間までコンクリートの断熱温度上昇に近い温度に制御しながら養生し、その後約2.7℃/hrの冷却速度で冷却を行なった。打込直後から拘束供試体に生ずる応力を測定するとともに、拘束・無拘束供試体のひずみおよび温度を連続的に測定した。

またφ10×20cmおよびφ15×20cmのシリンダーを同時に製造し、20℃室内で養生し、硬化後脱型し20℃水中養生を行なった。それぞれの供試体は圧縮強度および引張強度試験を3回に分けて行ない、マチュリティーから等価材令のコンクリートの強度および弾性係数を推定した。

コンクリートの配合は同一スランプを目標

表-1 コンクリートの配合

とし、表-1に示すように単位セメント量を4種類に変化させた。骨材として海砂および最大寸法20mmの砕石を用い、セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

単位 セメント量 (kg/m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					養生 温度 (℃)
					水 W	セメント C	砂 S	砕石 G	濃相剤 (ベンゾル)	
270	9.7	8.3	74.1	46	20	270	755.8	965.0	0.095	18.0
320	9.6	6.8	59.4	45	190	320	732.7	974.0	0.096	18.7
370	9.6	6.3	51.4	42	190	370	667.0	1002.0	0.111	18.0
420	10.2	6.3	46.4	40	195	420	614.5	1002.6	0.126	21.4

3. 実験結果

単位セメント量320kg/m³の場合の温度履歴を図-2に示す。また拘束供試体の温度と応力の関係を図-3に示す。拘束供試体は図-2に示す温度履歴に伴ない、図-3に示すように圧縮応力の増加、減少、引張応力の増加と応力が変化している。それぞれの区間においては、打込後数時間を除いて温度と応力はほぼ直線的な関係が認められ、その傾きを温度応力変化率 β (kgf/cm²/℃)と定義する。コンクリートに生ずる最大圧縮応力は最高温度の下で生じ、その後温度を下げると圧縮応力は増加時の β よりかなり大きな変化率 β_2 で減少し、コンクリー

ト温度が17℃程度下降した時点で応力が0となった。この時点でのコンクリート温度は打込温度よりも30℃程度高く、打込温度まで下降する以前にコンクリートは破断した。これは拘束応力発生

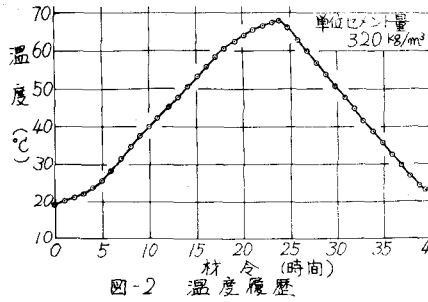


図-2 温度履歴

以前にコンクリート温度が上昇するが、コンクリートはまだ硬化しておらず、流動体であることと、圧縮応力増加区間では圧縮応力減少区間と比べて大きなクリープが生ずるのが原因である。すなわち流動ひずみとクリープひずみの和だけ応力上の原点が移動するためだと思われる。

拘束・無拘束供試体の温度とひずみとの関係を図-4に示す。無拘束供試体の曲線の傾きから熱膨張係数 $\alpha_f (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$ を求めることができる。一方拘束供試体のひずみ変化は材令5時間程度までは膨張を起すが、その後は温度が上昇しているにもかかわらず収縮を示した。さらに材令8時間以降は再び膨張を示し、冷却時には収縮に転じた。材令8時間以降のひずみ変化はほぼ直線的であり、この傾きを $\alpha_r (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$ とした。

表-2は圧縮応力増加区間、圧縮応力減少区間、引張応力増加区間における上述した特性値を各単位セメント量の場合について示したものである。いずれの区間においても α_f および α_r は単位セメント量の違いによる変化は顕著に現われなかった。また圧縮応力増加区間における温度応力変化率 β_1 は単位セメント量の増大とともに大きくなる傾向があり、 β_1 の大きい場合ほど拘束供試体に生ずる最大圧縮応力が大きくなっている。また引張応力増加区間における温度応力変化率 β_3 と温度ひびわれ発生時の応力との関係は図-5に示すように良好な相関関係が認められ、温度ひびわれ発生条件が温度応力変化率の影響を受けることが明らかとなった。

4. まとめ

1) 本研究で用いた試験装置により、比較的簡単に水和熱による温度ひびわれ発生状況を再現することができ、応力・ひずみなどを打込直後から連続的に測定することが可能である。

2) 温度応力変化率と温度ひびわれ発生時の応力とは密接な関係があり、温度応力変化率によって温度ひびわれの評価をすることが可能と思われる。

3) 単位セメント量の低減は温度ひびわれ発生に対して有効である。

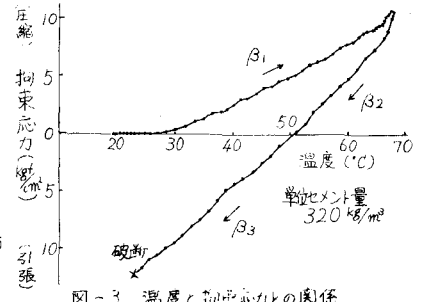


図-3 温度と拘束応力との関係

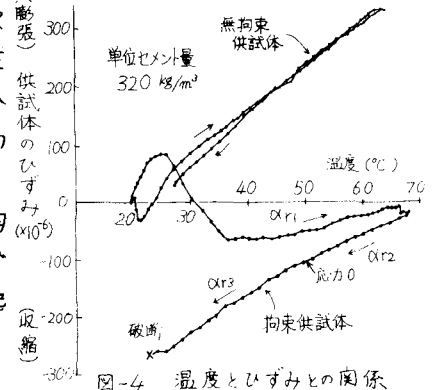


図-4 温度とひずみとの関係

表-2 温度ひびわれ特性値

単位セメント量(kg/m³)	270	320	370	420
圧縮応力増加区間				
$\alpha_f (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	8.17	7.50	8.57	8.57
$\alpha_r (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	1.88	1.80	3.16	1.91
$\beta_1 (\text{kgf/cm}^2/^\circ\text{C})$	0.20	0.28	0.40	0.32
最高温度(°C)	49.9	68.0	70.9	80.3
最大圧縮応力(kgf/cm²)	4.4	10.7	16.6	13.3
圧縮応力減少区間				
$\alpha_f (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	8.70	7.06	9.38	8.33
$\alpha_r (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	2.97	4.42	4.44	3.33
引張応力増加区間				
$\beta_2 (\text{kgf/cm}^2/^\circ\text{C})$	0.42	0.58	0.58	0.60
ひびわれ発生				
材令(時間)	28	30	32	29
温度(°C)	41.4	50.6	48.0	61.6
$\alpha_{f3} (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	10.67	9.23	9.76	10.74
$\alpha_{r3} (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	4.58	6.65	6.07	5.71
$\beta_3 (\text{kgf/cm}^2/^\circ\text{C})$	0.37	0.43	0.48	0.37
ひびわれ発生				
温度(°C)	17.7	23.1	7.5	33.9
応力(kgf/cm²)	8.6	12.1	18.8	10.5
単位セメント量(kg/m³)	5.3	10.6	15.0	19.4

() は拘束パイプ中の水温を上昇させ、破断したときの推定値である。

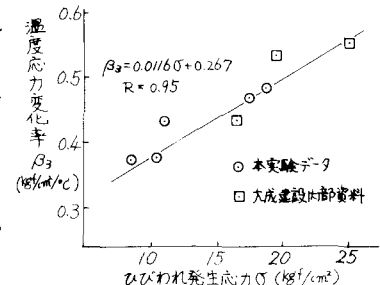


図-5 β_3 とひびわれ発生応力との関係