

広島大学 学生員○森下全人
正員 田沢栄一
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よる温度応力に関する実験方法、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試験を行ない、基礎的なデータの取得を目的とするとともに、拘束装置の改良を試みた。

2. 実験の概要

拘束供試体は図-1に示すように、 $10 \times 10 \times 50$ cm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°C 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型ひずみ計を埋設するとともに、C-C熱電対を中央部および端部に埋設し、それぞれひずみおよび温度を記録した。なお脱型せずに打込直後から連続測定するため、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 $\phi 15 \times 60$ cmの銅版にコンクリートを詰め、中央部に温度センサ付埋込型ひずみ計を埋設し、縦型に静置した。

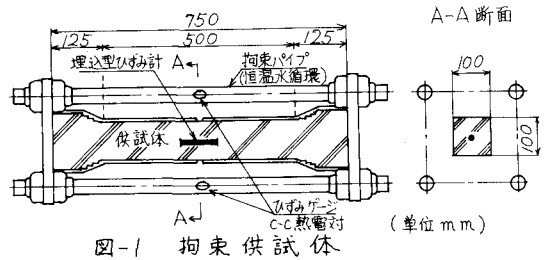


図-1 拘束供試体

拘束・無拘束供試体は温度可変装置内に静置し、枚令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 $2.7^\circ\text{C}/\text{hr}$ の冷却速度に従って冷却を行なった。

また $\phi 10 \times 20$ cmおよび $\phi 15 \times 20$ cmのシリンダーを同時に製造し、 20°C 室内で養生し、硬化後脱型し 20°C 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枚令のコンクリート強度および弾性係数を推定した。

表-1 コンクリートの配合
コンクリートの配合は同一スランプを目標とし、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。骨材は海砂および最大寸法20 mmの碎石を、セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

		単位量 (kg/m ³)				スランプ	空気量	W/C	S/a	練上り
水	セメント	砂	砂利	混和剤		(cm)	(%)	(%)	(%)	温度
W	C	S	G	(ベンゾール)						($^\circ\text{C}$)
200	270	755.8	965.0	0.095	9.7	8.3	74.1	46	18.0	
190	320	732.7	974.0	0.096	9.6	6.8	59.4	45	18.7	
190	370	667.0	1002.0	0.111	9.6	6.3	51.4	42	18.0	
195	420	614.5	1002.6	0.126	10.2	6.3	46.4	40	21.4	

3. 実験結果

単位セメント量 320 kg/m^3 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、圧縮応力の増加、減少、引張応力の増加と応力が変化

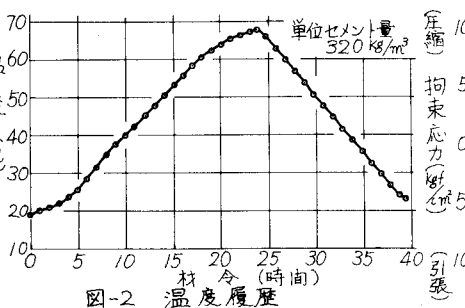


図-2 温度履歴

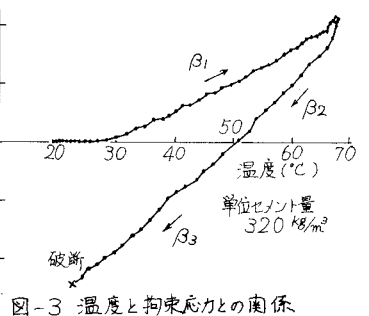


図-3 温度と拘束応力との関係

している。それぞれの区間に(膨張)あるいは打込後数時間を除いて温度と応力の関係はほぼ直線的であり、その傾きを温度応力変化率 β ($\text{kgf/cm}^2/\text{C}^\circ$)と定義する。拘束応力は最高温度の下で最大となり、その後温度を下げると打込温度より30℃も高い温度で0となった。

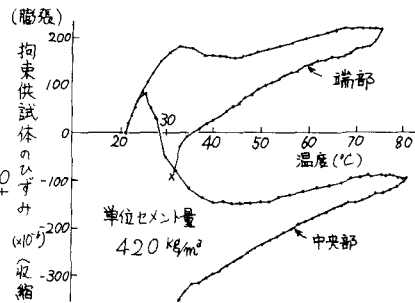
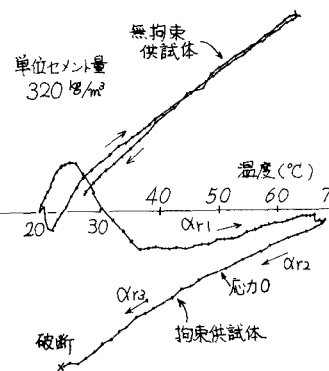


図-5 拘束供試体の温度とひずみの関係

さらに冷却すると、打込温度より高い温度でコンクリートは破断した。これはコンクリートの硬化以前の温度上昇分が流動ひずみとなることと、圧縮応力増加区間では圧縮応力減少区間に比べて大きなクリープひずみが生じ、これらの和だけ応力上の原点が移動するためと思われる。

拘束・無拘束供試体の温度とひずみの関係を図-4に示す。拘束供試体は打込後5時間程度までは膨張しているが、その後8時間程度まで温度上昇時にもかかわらず収縮を示している。一方拘束供試体端部におけるひずみ変化は図-5に示すように中央部と

は異なった挙動を示し、初期材令では供試体内部にひずみの不均一が生じている。この原因として型枠の崩き、供試体中央部の盛り上がり、供試体断面の不均一などを考え、種々の手段を講じたが改善されなかった。しかし、側板および底板を発泡スチロール製とすることにより、図-6に示すように供試体内部のひずみの不均一はみられなくなった。なお、打込後数時間以降のひずみ変化は、拘束・無拘束供試体ともほぼ直線的であり、傾きをそれぞれ α_r および α_f 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ごとに示したものである。いずれの区間においても α_r および α_f は単位セメント量の違いによる相違は顕著でなかった。一方温度応力変化率 β はいずれの区間も単位セメント量の増大と共に大きくなる傾向があり、 β 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 β_3 とひびわれ発生時の応力とは図-7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). 本実験で用いた拘束装置により、比較的簡単に温度ひびわれの再現ができ、応力、ひずみなどを打込直後から連続的に測定できる。
- 2). 側板および底板を発泡スチロール製とすることにより、初期材令におけるひずみの不均一がなくなった。
- 3). 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が可能である。

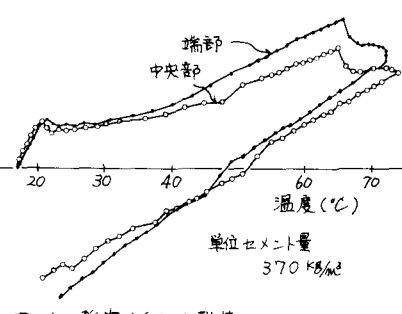


図-6 発泡スチロール型枠の拘束供試体の温度とひずみとの関係

表-2 温度ひびわれ特性値

単位セメント量(kg/m^3)	270	320	370	420
圧縮応力増加区間				
α_{f1} ($\times 10^{-6}/\text{C}^\circ$)	8.17	7.50	8.57	8.57
α_{r1} ($\times 10^{-6}/\text{C}^\circ$)	1.88	1.80	3.16	1.91
β_1 ($\text{kgf/cm}^2/\text{C}^\circ$)	0.20	0.28	0.40	0.32
最高温度($^\circ\text{C}$)	49.9	68.0	70.9	80.3
最大圧縮応力(kgf/cm^2)	4.4	10.7	16.6	13.3
圧縮応力減少区間				
α_{f2} ($\times 10^{-6}/\text{C}^\circ$)	8.70	7.06	9.38	8.33
α_{r2} ($\times 10^{-6}/\text{C}^\circ$)	2.97	4.42	4.44	3.33
β_2 ($\text{kgf/cm}^2/\text{C}^\circ$)	0.42	0.58	0.58	0.60
引張応力増加区間				
ひびわれ発生時の温度($^\circ\text{C}$)	28	30	32	29
ひびわれ発生時の応力(kgf/cm^2)	41.4	50.6	48.0	61.6
ひびわれ発生時のひずみ($\times 10^{-5}$)	10.67	9.23	9.76	10.74
ひびわれ発生時の温度($^\circ\text{C}$)	4.58	6.65	6.07	5.71
β_3 ($\text{kgf/cm}^2/\text{C}^\circ$)	0.37	0.43	0.48	0.37
ひびわれ発生時の温度($^\circ\text{C}$)	17.7	23.1	(7.5)	33.9
ひびわれ発生時のひずみ($\times 10^{-5}$)	8.6	12.1	18.8	10.5
ひびわれ発生時のひずみ($\times 10^{-5}$)	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。

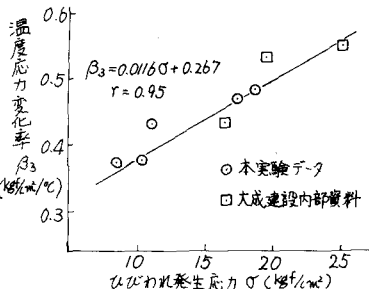


図-7 β_3 とひびわれ発生応力との関係