

多軸応力下のコンクリートの熱膨張とクリープ

正会員 岡島 達雄¹河辺 伸二²〇 復 和伸³杉坂 正³都築 保壽³

1. 序論

今日、原子力発電所のコンクリート格納容器などの様に、70℃～100℃の高温状態で使用される特殊コンクリート構造物が増えつつある。これに伴い、コンクリートの熱的性質に関する情報も増えている。しかし、多軸応力を含めた熱的性質に関する情報は少ない。

本研究は、多軸応力を受けるコンクリートの熱膨張と「温度時間換算則」を適用したクリープについて考察したものである。

2. 実験方法

2-1. 供試体 供試体は図1に示す。面取立方供試体(113×113×113mm)を使用した。この供試体は、三つの主応力 σ_x , σ_y , σ_z が全て異なる応力状態を作ることができる。その内部に温度分布を測定する熱電対を図1に示す位置に埋め込んだ供試体の仕上げ精度を高くするために、特別の鋼製型枠を用いた。なおコンクリートの調合は、表1に示す。

2-2. 養生 1週間水中養生後、6週間空中養生を行い、実験前日、105℃まで加熱乾燥させ、含有水分を完全に放出しておいた。

2-3. ひずみ測定方法 図2のように供試体の面取り部分に12個の変位計を6方向から対にして、 α , β , γ 方向のひずみを測定した。そして、この α , β , γ 方向のひずみを式-1に代入して、X, Y, Z方向のひずみを求めた。

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_\alpha \\ \epsilon_\beta \\ \epsilon_\gamma \end{pmatrix} \quad \text{式1}$$

※ここに、 ϵ_α , ϵ_β , ϵ_γ はそれぞれの平均を代入した。

考慮すべきコンクリートのひずみは、大きくともせいぜい数%であるので、2次項以下は無視した。

2-4. 実験装置 図3に示す三軸圧縮引張試験機を用いる。この試験機は3方向独立に応力を作用さ

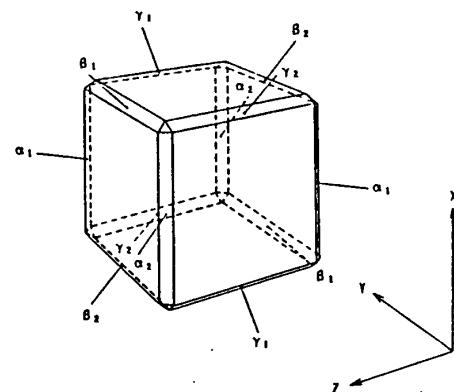


図-1 変位計の取り付け位置

表-1 コンクリートの調合

	比 重		含水率 (%)	積換率
	絶対状態	表乾燥状態		
骨材	2.64	2.67	0.91	2.89
細骨材	2.51	2.55	1.37	2.78

表-2 コンクリートの調合

骨材の最大寸法 mm	スランプ cm	水セメント比 %	細骨材率 %	空気量 %	単位量 (kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	骨材
20	18	55	41	4	114	326	779	1058
								78

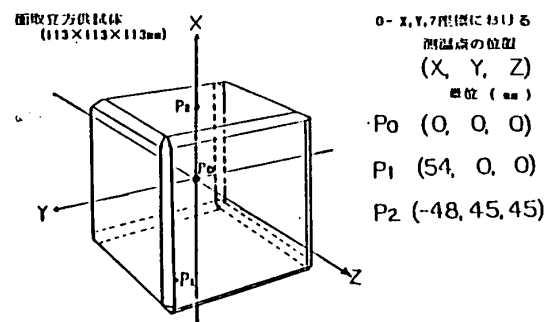


図-2 供試体内の温度測定点の位置

せることができ、荷重が供試体の中心に均一にかかるような鋼心球座を備えている。載荷板は、端面拘束の最も小さいといわれるプラン載荷板を使用した。供試体を加熱した際、熱がロードセルに伝わるのを防ぐために、断熱板を載荷板とロードセルの間に挿入した。荷重の値は、ロードセルの出力の値による。また、ひずみを測定する変位計を取り付ける。ひずみ測定用フレームを熱膨張率の小さいアンバーで特別作成した。

2-5. 加熱方法. 載荷プランに取り付けたバンドヒーター（500W×12）で加熱した。供試体に埋設した熱電対で内部温度を測定し、昇温速度10°C/hourとなるよう加熱した。図4に各測温点の温度経時変化を示す。

2-6. 多軸応力を受けるコンクリートの熱膨張の測定. 一軸定圧縮応力（ $\sigma_x = 0, 80, 100, 120 \text{ kgf/cm}^2$ ）下、二軸定圧縮応力（ $\sigma_x - \sigma_y = 120 - 80 \text{ kgf/cm}^2$ ）下及び三軸定圧縮応力（ $\sigma_x - \sigma_y - \sigma_z = 80 - 40 - 40, 80 - 60 - 40, 80 - 80 - 80$ ）下において、供試体を加熱し、20, 40, 60, 80, 100°Cの温度一様な場をつくる。そして、前述のひずみ測定方法を用い、各温度でのひずみを測定する。

2-7. 一軸圧縮クリープの測定. 一定温度（20, 60, 100°C）下において、それぞれ一軸定圧縮応力（80 kgf/cm²）を作用させ、8時間ひずみを測定した。温度は常に、20°C±1°C, 60°C±2°C, および100°C±3°C以内の差に収まるようコンピュータで制御した。

3. 実験結果と考察

3-1. 一軸圧縮応力下の熱膨張率. 図5に一軸定圧縮応力を受けるX軸方向のコンクリートの熱膨張量を示す。温度上昇時は、X軸方向に定圧縮応力が大きくなるほど、熱膨張量は小さくなる。これは、一軸定圧縮応力によって、クリープが生じていると考えられる。

温度下降時は、X, Y, Z方向すべて無載荷状態のものと、同じ収縮量を示している。これは、初期設定圧縮応力にかかわらず、収縮量が同じであることを示す。

以上より、温度上昇時は、定圧縮応力によってクリープを生じ、膨張量が無載荷状態のそれより減少するのに対し、温度下降時は、クリープが生じないので、収縮量は無載荷のそれと同じ値を示すと考えられる。

3-2. master curve. 一軸定圧縮応力

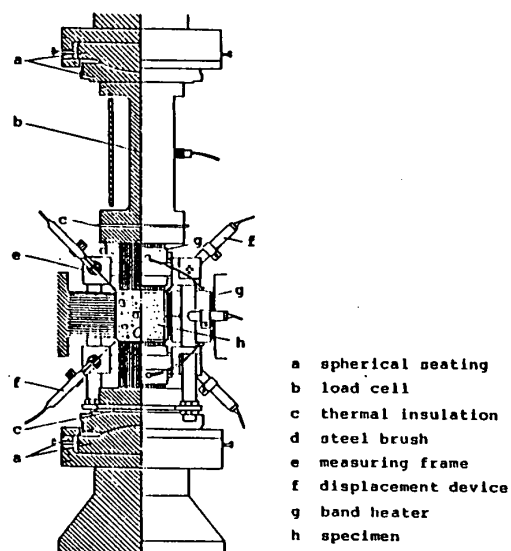


図-3 三軸圧縮引張試験機図

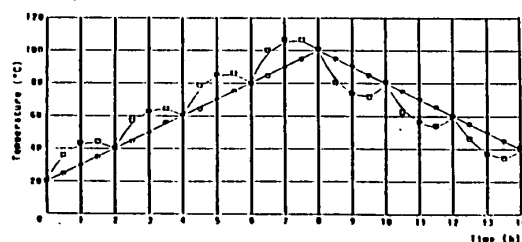


図-4 各測温点の温度上昇と温度下降（加熱速度）

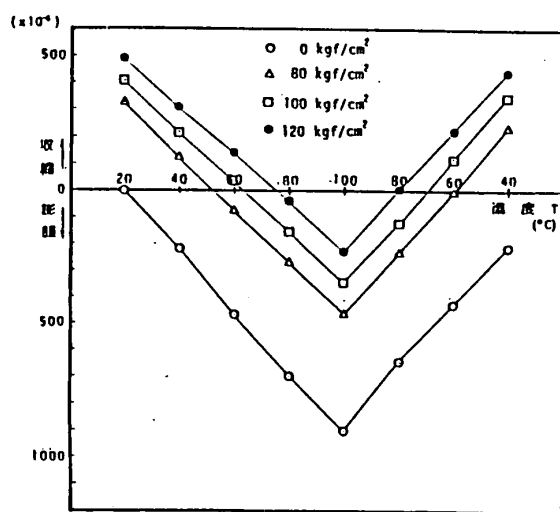


図-5 一軸定圧縮応力下の
X軸方向のひずみ量

$$\delta = (\delta \epsilon_{ti} + \delta \epsilon_{di}) - V_s [(\delta \epsilon_{tm} + \delta \epsilon_{dm}) + (\delta \epsilon_{fn} + \delta \epsilon_{dn})] \quad \text{m.m.i.: 主応力方向}$$

ϵ_c : クリープ

ϵ_f : フロー

ϵ_d : 遅延弾性ひずみ

と一軸のクリープ master curve より算出したクリープ量を合せて算出したクリープ量が、二軸、三軸にあてはまることから分かる。温度下降時にみる熱膨張量は、二、三軸定圧縮応力下にかかわらず、無載荷状態のそれとほぼ等しい。これは、一軸圧縮応力状態と同様に、温度下降時においては、クリープははたらかないためであろうと思われる。

以上、3-1, 3-2, 3-3より、コンクリートのひずみは、全ひずみ ϵ 、瞬間弾性ひずみ ϵ^e 、熱膨張ひずみ ϵ^t 、クリープひずみ ϵ^c とすると以下のような。

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^t + \epsilon^c$$

ただし、 ϵ^e は温度上昇時においては見られるが、温度下降時には0である。

4. 結論

本研究において、次のことが結論できる。

1. 一、二、三軸定圧縮応力(80kgf/cm²以上)下での上昇時(20°C~100°C)の熱膨張量は、圧縮応力によって生じるクリープ量を無視することはできない。
2. 多軸圧縮応力下の温度下降時にみられる収縮量は無応力下の収縮量に等しい。

今後は、シールドしたコンクリート供試体を使った実験や、塑性域におけるコンクリートの熱的性質も明らかにしていきたい。

参考文献

- ・岡島達雄・河辺伸二 「二軸圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張率」(その1, その2)
- 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和59年10月
- ・大岸佐吉 「コンクリートのレオロジー挙動に関する研究」 昭和46年12月

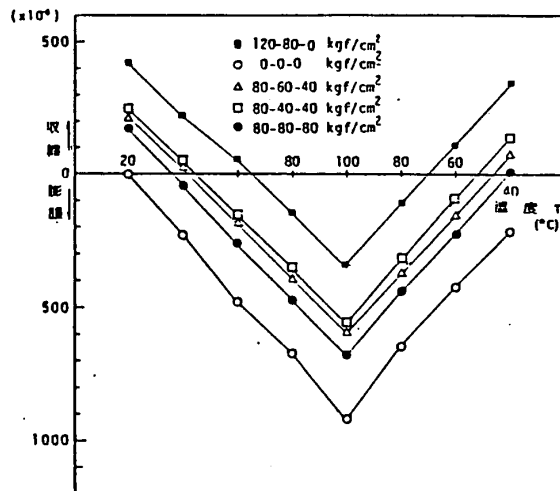


図-11 二軸・三軸定圧縮応力下のX軸方向のひずみ量

表-12 各定圧縮応力における熱収縮量

圧縮応力 kgf/cm ²	熱収縮量 (×10 ⁻⁴ /°C)		
	X	Y	Z
0-0-0	11.4	11.4	11.4
80-0-0	11.2	11.8	11.4
100-0-0	11.2	11.8	11.4
120-0-0	11.4	11.7	11.8
120-80-0	11.3	11.6	11.2
80-40-40	11.3	11.0	11.0
80-60-40	11.3	11.4	11.8
80-80-80	11.3	12.0	11.6

表-13 各定圧縮応力における熱膨張量

圧縮応力 kgf/cm ²	熱膨張量 (×10 ⁻⁴ /°C)		
	X	Y	Z
0-0-0	11.4	11.4	11.4
80-0-0	9.9	11.6	11.5
100-0-0	9.3	11.7	11.6
120-0-0	9.1	11.8	12.0
120-80-0	9.2	10.5	12.0
80-40-40	9.16	11.15	11.0
80-60-40	10.2	10.7	10.9
80-80-80	10.6	10.7	10.4

*1 名古屋工業大学教授 工博

*2 同大学院生 *3 同学生