

[74] 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 (名古屋工業大学工学部)
 河辺 伸二 (名古屋工業大学大学院)
 榎 和伸 (浅沼組建築部)

1. 序

原子力発電所の格納容器などでは、コンクリートは常時多軸応力と高温を受ける場所で使用され、また安全性の面からも高い信頼性が要求されている。この種の構造物の設計に当たっては、多軸応力を含めた熱的性質に関する研究は、必要不可欠なことである。

筆者らは先に、一軸あるいは二軸に 80kgf/cm²以下の定圧縮応力が作用しても、コンクリートの熱(20~100℃)膨張量は、無応力状態の自由膨張量に等しいことを示した。¹⁾

本研究は、さらに80 kgf/cm²以上の多軸を含めた定圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張について実験し、「温度時間換算則」を適用したクリープを考慮に入れ、考察したものである。

2. 実験方法

2-1. 供試体の作成

(1) 供試体の形状 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 $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$ が全て異なる応力状態にできる。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。また、供試体内部に温度分布を測定する Cu-Co熱電対を埋設した。

(2) 使用材料

- I. セメント：普通ポルトランドセメント
- II. 細骨材：川砂 骨材の物理的性質
- III. 粗骨材：川砂利 を表-1に示す。
- IV. 化学混和剤：AE剤

(3) 調合 使用したコンクリートの調合を、表-2に示す。

(4) 養生 コンクリート打設後、6時間でキャッピング、24時間で脱型し、以後材令1週間まで水中養生後、材令7週間まで気中養生を行なった。更に、安定した条件を得るために供試体を予め105℃まで加熱乾燥させ、含有水分を完全に放出させておいた。

2-2. 載荷方法

実験に用いた三軸圧縮引張試験機を図-2に示す。この試験機は、同時に、直交3方向に圧縮力と引張力を独立に作用させることができる。また、荷重が供試体の中心に均一にかかるような調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鋼性プラスチック載荷板を使用した。荷重の値は、ロードセルの出力の値による。

2-3. ひずみ測定方法

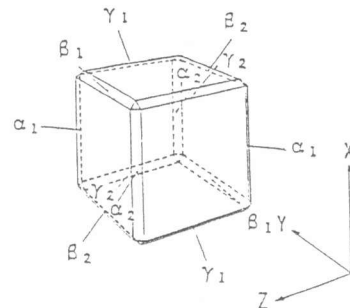


図-1. 面取立方供試体と変位計取り付け方向

表-1. 骨材の物理的性質

	比重		吸水率 (%)	粗粒率
	絶乾状態	表乾状態		
細骨材	2.51	2.55	1.99	2.89
粗骨材	2.64	2.67	0.91	----

表-2. コンクリートの調合表

用骨材の最大径 (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	粗骨材	化学混和剤 (%)
20	18	53	41	4	176	332	698	1058	116

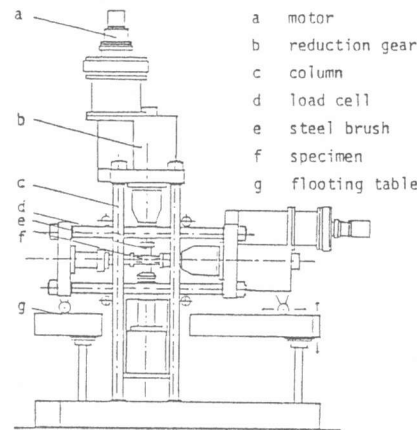


図-2. 三軸圧縮引張試験機

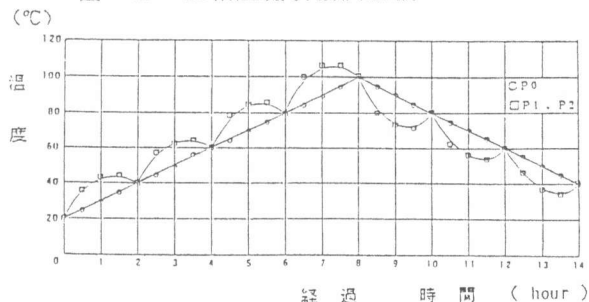


図-3. 各測温点の温度上昇と温度下降 (加熱速度)

図-1に示す供試体の面取り部分に12個の変位計を6方向から対にして取りつける。そして、この変位計の出力の値からx, y, z方向のひずみを測定する。また、変位計を取りつけるひずみ測定用フレームを熱膨張の小さいアンバーで特別作製した。

2-4. 加熱方法

載荷ブラシに取りつ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供試体内部温度を測定し、昇温・降温速度が10℃/時になるようヒーター電圧を変圧器で制御した。図-3に各測温点の温度経時変化を示す。

2-5. 多軸応力を受けるコンクリートの熱膨張の測定

一軸、二軸及び三軸定圧縮応力下において、供試体を20℃から100℃まで昇温し、続いて100℃から40℃まで降温した。この間、20℃ごとに供試体内温度分布一様な場を作り、各温度でのひずみを測定した。実験で用いた各定圧縮応力を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 \text{一軸:} \quad & \sigma_X - \sigma_Y - \sigma_Z = 0 - 0 - 0 \quad (\text{kgf/cm}^2) \\
 & = 80 - 0 - 0 \\
 & = 100 - 0 - 0 \\
 & = 120 - 0 - 0 \\
 \text{二軸:} \quad & \sigma_X - \sigma_Y - \sigma_Z = 120 - 80 - 0 \\
 \text{三軸:} \quad & \sigma_X - \sigma_Y - \sigma_Z = 80 - 40 - 40 \\
 & = 80 - 80 - 60 \\
 & = 80 - 80 - 80
 \end{aligned}$$

2-6. 一軸圧縮クリープの測定

一定温度20, 60, 100℃において、それぞれ一軸定圧縮応力80kgf/cm²を載荷し、8時間ひずみを測定した。

3. 実験結果と考察

3-1. 多軸応力を受けるコンクリートの熱膨張量を示す。80kgf/cm²以上の定圧縮応力が作用する場合、温度上昇時は、定圧縮応力が大きくなるほど温度に対する熱膨張量の増分は小さくなる。温度下降時は、無載荷状態の収縮量と同じである。

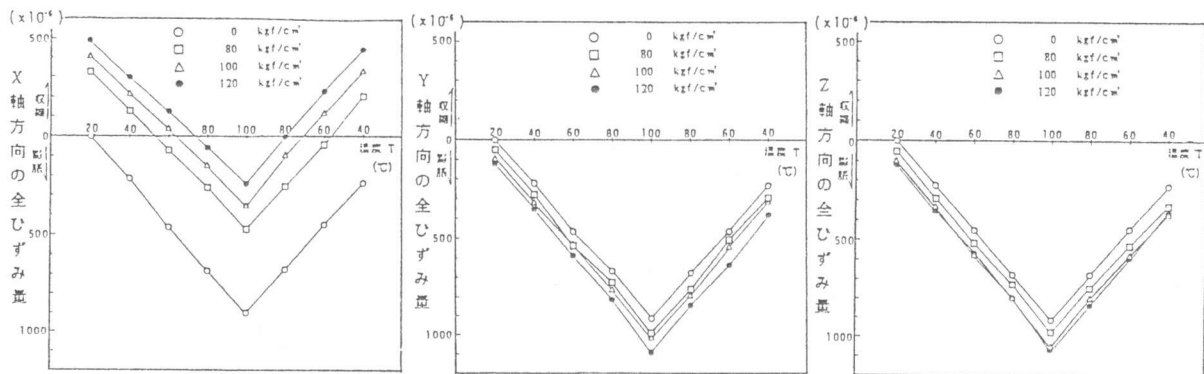


図-4. 一軸定圧縮応力下のひずみ量

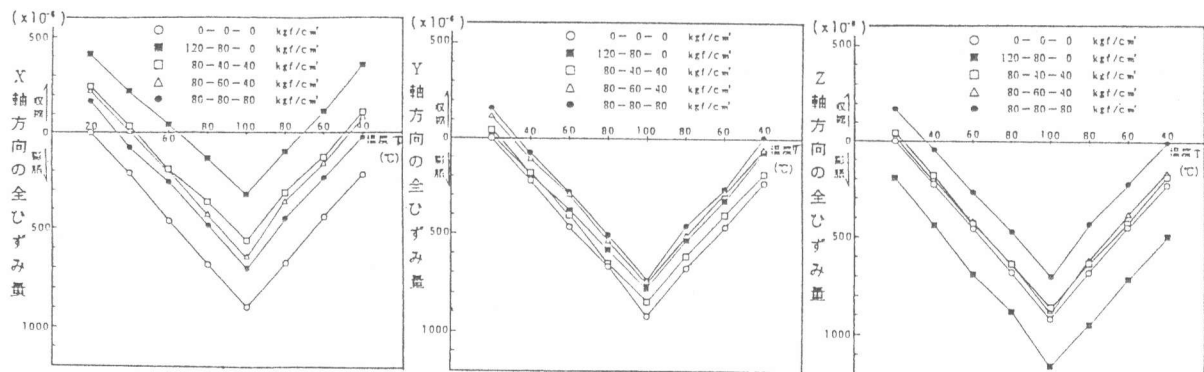


図-5. 二軸、三軸定圧縮応力下のひずみ量

これより、80kgf/cm²以上の定圧縮応力が作用する場合、温度上昇時は、定圧縮応力に応じたクリープを生じ、膨張量は、無載荷状態のそれより減少するのに対し、温度下降時は、クリープが生じにくいので、収縮量は無載荷状態のそれとほぼ同じ値を示すと考える。

3-2. クリープの合成曲線 (Master Curve)

80 kgf/cm²以上の定圧縮応力でコンクリートの熱膨張を測定した結果、定圧縮応力に応じたクリープを生じると仮定した。そこで 20,60,100℃の各温度における一軸定圧縮応力下のクリープを測定し、「温度時間換算則」を適用して、20℃から 100℃までの温度上昇時のクリープを予測した。

図-6に、一軸定圧縮応力(80kgf/cm²)下の 20, 60,100℃の各温度で行なったクリープ量を示す。

ここで、「温度時間換算則」を利用して、図-6の各々のクリープ実験の結果を図-7に変換した。そして、20℃を基準として、図-8のように時間軸に沿って平行移動させ、図-9の合成曲線 (Master Curve) を作成した。このとき、図-7の曲線を時間軸に沿って移動させた量 $\log a_T$ は、図-10のように、絶対温度 T の関係で表わせる。これより、ある温度の移動時間量 a_T を求められるので、20,60,100℃以外のクリープ曲線も、Master Curveより想定することができる。^{2) 3)}

次に、20℃から 100℃までの間を X ℃ごとの $\frac{80}{X}$ 本のクリープ曲線を想定する。そして、この曲線上を図-11のように、 X ℃ごとにクリープが乗り移ると仮定する。(例 $P_1 \rightarrow P_1' \rightarrow P_2 \rightarrow P_2' \rightarrow P_3 \dots$) ただし、クリープは曲線上を $360 \times X$ 秒進んで、次の曲線上に乗り移るとする。(例 $P_1' \rightarrow P_2, P_2' \rightarrow P_3 \dots$) この $360 \times X$ 秒は、実験の昇温速度が10℃/時による。また、次の曲線に乗り移る量は、図-10により求められる。(例 $P_1 \rightarrow P_1', P_2 \rightarrow P_2' \dots$)

そして、 $\lim X \rightarrow 0$ とし、無数のクリープ曲線を想定することにより、Master Curveから、温度が上昇する時のクリープ量が予測できる。

表-3は、一軸下の温度上昇時の予測クリープ量 (ϵ^C / σ) を示す。

さらに、クリープポアソン比は、静弾性ポアソン比に等しいと考え⁴⁾、重ね合わせの原理より、二軸、三軸定圧縮応力下の温度上昇時のクリープ量を求めることができる。

従って、無載荷状態の熱膨張量から、予測した一軸、二軸及び三軸定圧縮応力下のクリープを減ずることにより、80kgf/cm²以上の定圧縮応力が作用するコンクリートの熱膨張量が求められる。図-12、図-13に、この予測値と実験値を示す。この図より、この予想値と実験値は、近似していると認められ、

80kgf/cm²以上の定圧縮応力が作用する場合、定圧縮応力に応じたクリープが生じて、温度に対する熱膨張量の増分が小さくなることが確かめられた。

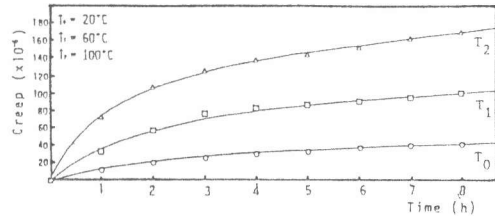


図-6. 20,60,100℃の各温度における一軸圧縮応力下のクリープ量

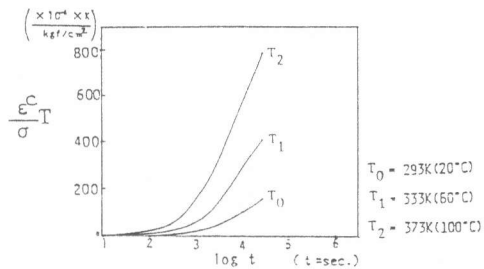


図-7. 変換されたクリープ Curve

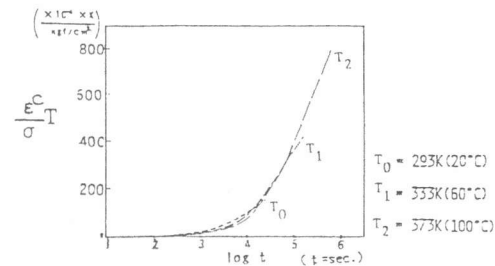


図-8. クリープ Curveの合成

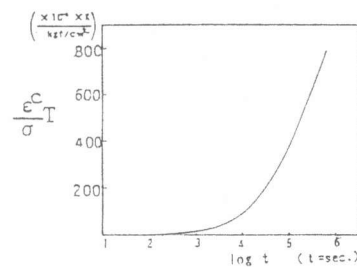


図-9. 合成曲線 (Master Curve)

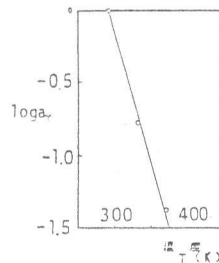


図-10. 移動量 a_T と 絶対温度 T の関係

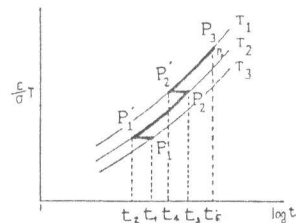


図-11. 昇温時のクリープ予測概念図

表-3. 予測クリープ量 (ϵ^C / σ) と 温度の関係

温度 (℃)	上 昇				
	20	40	60	80	100
$\epsilon^C / \sigma \frac{x 10^4 \times t}{kgf/cm^2}$	0	0.20	0.49	0.91	1.42

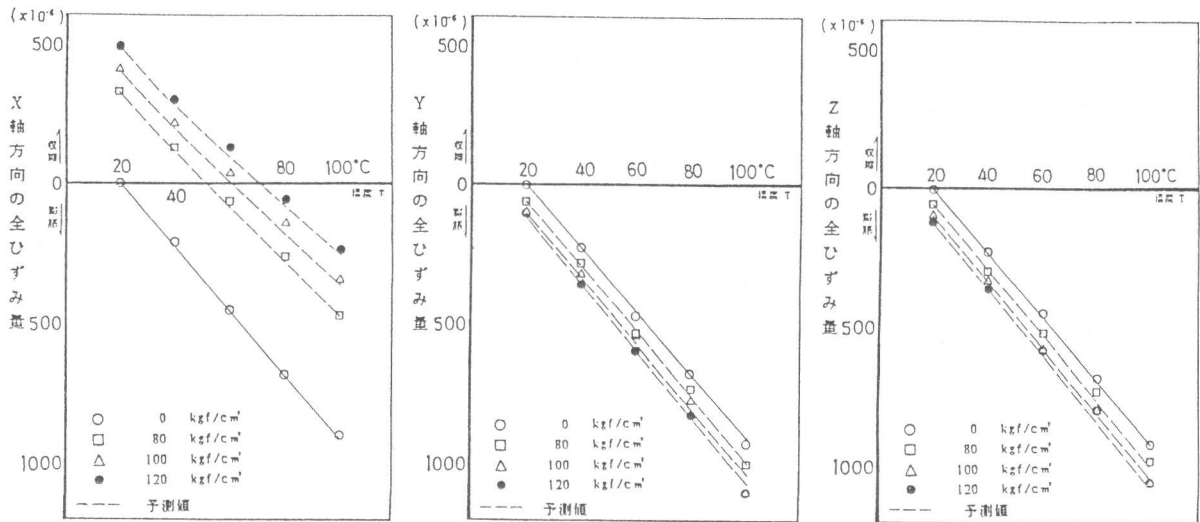


図-12. クリープを考慮した一軸定圧縮応力下の熱膨張の予測値と実験値の比較

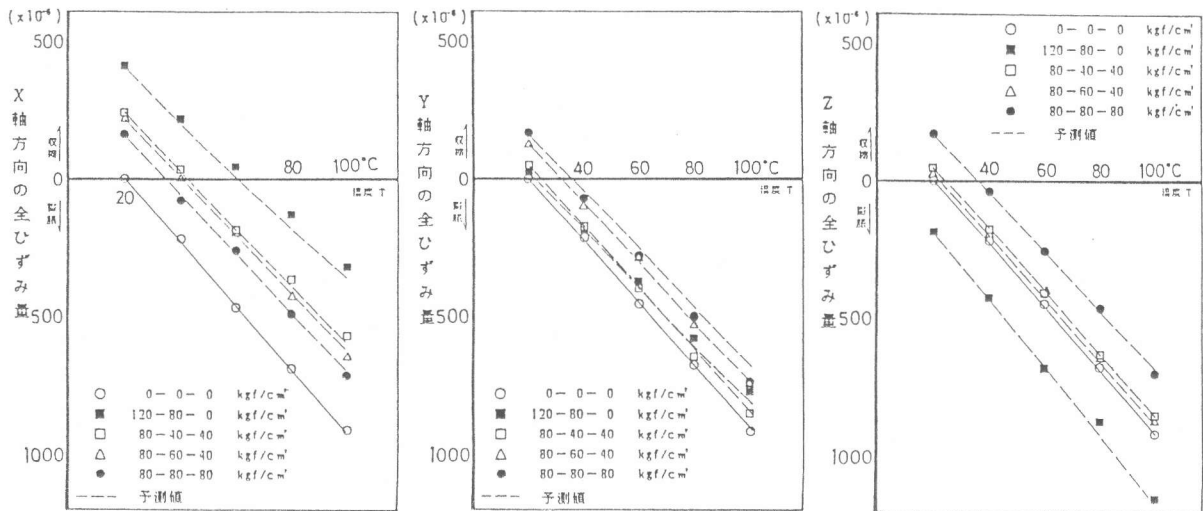


図-13. クリープを考慮した二軸、三軸定圧縮応力下の熱膨張の予測値と実験値の比較

以上より、80kgf/cm²以上の定圧縮応力が作用する場合、温度上昇時のコンクリートの全ひずみ ϵ は、応力による（弾性）ひずみを ϵ^e 、熱によるひずみを ϵ^t 、クリープによるひずみを ϵ^c とすれば、

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^t + \epsilon^c$$
 で示すことができる。

4. 結論

1. 80kgf/cm²以上の一軸、二軸及び三軸定圧縮応力下での温度上昇時（20℃～100℃）の熱膨張は、圧縮応力によって生ずるクリープを無視できない。

2. 多軸圧縮応力下の温度下降時（100℃～20℃）にみられる収縮量は、無載荷状態のそれとほぼ等しい。

今後は、シールしたコンクリート供試体を使用した実験や、塑性域におけるコンクリートの熱的性質についての実験も必要であると考えられる。

謝辞 本研究は、文部省科学研究費補助金（試験研究・一般研究）により行なったものである。

共同研究者の本学 大岸佐吉、棚橋勇両博士、及び東京工業大学 仕入豊和博士に謝意を表す。

参考文献

- 1) 岡島 他：“二軸圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張率”
第6回コンクリート工学年次講演会論文集 1984. PP.293～296
- 2) 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46年12月
- 3) Alfrey, T and E.F.Gurnee, “Organic Polymers,” The Dow Chemical Company. 1967.
- 4) 岡島 他：“複合応力を受けるコンクリートのクリープ”
日本建築学会論文報告集 第242号 昭51年4月