

論文

[1047] 乾燥過程における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)
 正会員 〇河辺 伸二 (名古屋工業大学大学院)
 成田 直樹 (積水ハウス建築部)

1. はじめに

常時多軸応力と高温を受ける場所で使用される原子力発電所格納容器のコンクリートに限らず、最近では超高層RCのコンクリートの熱挙動の検討も要求されている。

筆者らは先に、予め105℃加熱乾燥させた供試体を用いて、多軸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検討を行った。(1, 2, 3)

一般に高温下のコンクリートの熱挙動を求め実験は、供試体の安定した条件を得るために、予め供試体を加熱乾燥させる方法や供試体を銅板等でシールする方法、供試体を水中に入れての方法等で行われる。しかし、コンクリートのクリープが供試体の水分に大きく影響されるため、供試体の乾燥過程におけるコンクリートの熱挙動に関する知見が要求されている。

そこで、本研究はコンクリートの乾燥過程における熱膨張(30℃~100℃)を実験的に求め、別に行った一定高温の一軸クリープ実験により、「温度時間換算則」⁴⁾を適用した温度上昇時の予測クリープ量を算出し、熱膨張を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 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ が全て異なる状態にできる。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
- III. 粗骨材：川砂利
- IV. 化学混和剤：AE剤

骨材の物理的性質を表-1に示す。

(3) 調合 表-2にコンクリートの調合を示す。圧縮強度は240kgf/cm²を目標とした。

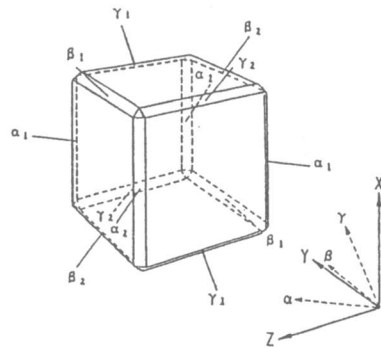


図-1. 面取立方供試体と変位計取り付け方向

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	2.48	2.54	2.24	2.91
粗骨材	2.52	2.56	1.49	----

表-2. コンクリートの調合表

粗骨材の平均粒径 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位重 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材川砂	粗骨材川砂利	化学混和剤
20	15	52	37	4	167	322	631	1100	97g

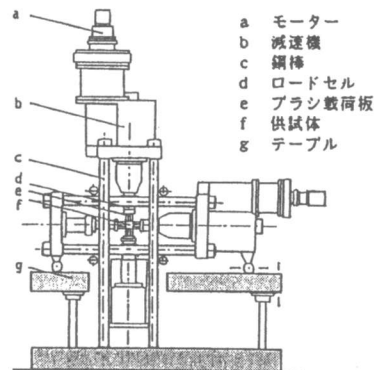


図-2. 三軸圧縮引張試験機

(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3カ月まで水中養生後、1週間空中養生を行なった。

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製ブラシ載荷板を使用した。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・降温速度が毎時10℃になるようヒーター電圧を変圧器で制御した。

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30℃から100℃まで昇温し、続いて100℃から40℃まで降温した。この間、5℃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。(応力度/強度比)

$$\begin{aligned}
 \text{一軸: } \sigma_x - \sigma_y - \sigma_z &= 0 - 0 - 0, & 1/6 - 0 - 0 \\
 & & 1/3 - 0 - 0, & 1/2 - 0 - 0 \\
 \text{二軸: } \sigma_x - \sigma_y - \sigma_z &= 1/3 - 1/6 - 0, & 1/3 - 1/3 - 0 \\
 & = 1/2 - 1/3 - 0 \\
 \text{三軸: } \sigma_x - \sigma_y - \sigma_z &= 1/3 - 1/6 - 1/6, & 1/3 - 1/4 - 1/6 \\
 & = 1/3 - 1/3 - 1/3
 \end{aligned}$$

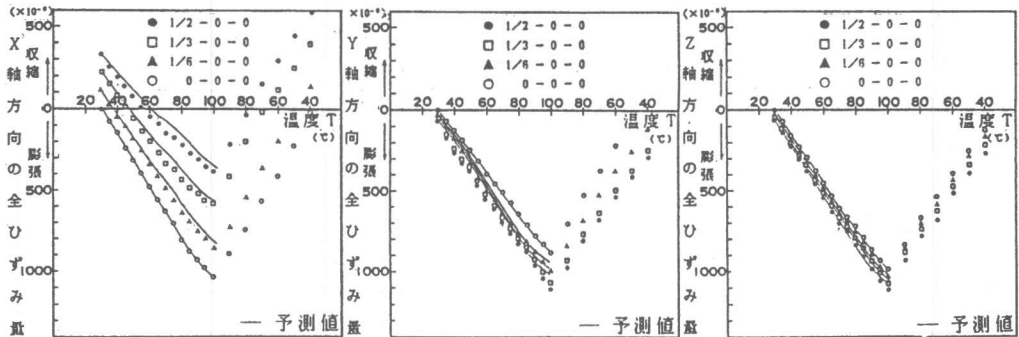


図-3. 一軸定圧縮応力下のひずみ量

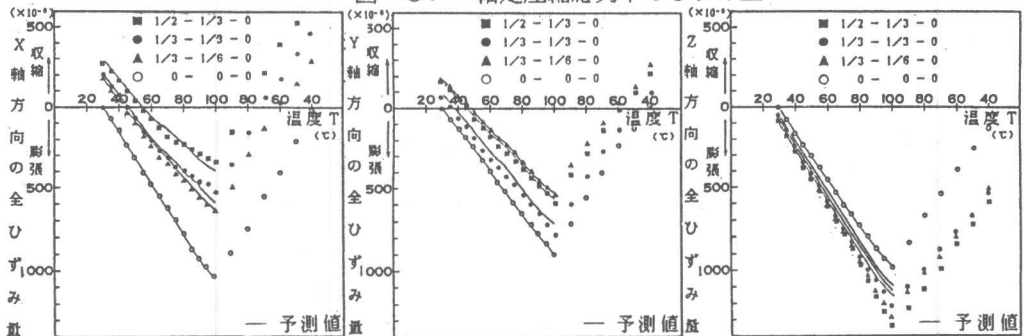


図-4. 二軸定圧縮応力下のひずみ量

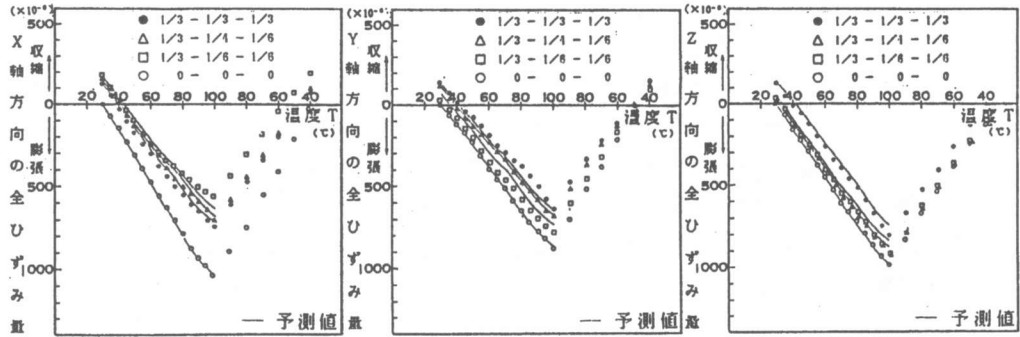


図-5. 三軸定圧縮応力下のひずみ量

2-6. 一軸圧縮クリープの測定

一定温度 20、40、60、70、80、100℃において、それぞれ一軸定圧縮応力(応力度強度比 1/3)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. 熱膨張量の測定結果 図-3、4、5に、多軸応力を受けるコンクリートの乾燥過程の熱膨張量を示す。定圧縮応力が作用する場合の熱膨張の増分は、無応力状態のそれより減少していることが分かる。これは、定圧縮応力に応じたクリープを生じるためと考える。なお、図中の予測値は後述する。

3-2. クリープの合成曲線⁴⁾ 次に、各一定温度における一軸定圧縮応力下のクリープ量を測定し、「温度時間換算則」を適用して30℃から 100℃までの温度上昇時のクリープを考慮し、熱膨張の予測値を算出した。

まず図-6に、一軸定圧縮応力(応力度強度比 1/3)下の20、40、60、70、80、100℃の各温度で行なったクリープ量を示す。温度が高いほどクリープ量も大きいが、70℃付近に温度クリープ関係の変曲点を生じている。

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、時間軸に沿って平行移動させ、図-8の合成曲線を作成した。このとき、図-7の曲線を時間軸に沿って移動させた量 $\log at$ は、図-9のように、絶対温度 T の関係で表わせる。ここで、移動量 at は70℃付近で変曲点がある。これより、任意の温度の移動時間量 at を求められるので、20、40、60、70、80、100℃以外の任意の温度のクリープ曲線も、合成曲線より想定することができる。次に、30℃から100℃までの間を X ℃ごとの70/X本のクリープ曲線を想定する。そして、この曲線上を図-10のようにクリープは X ℃ごとに曲線上を $360 \times X$ 秒進ん

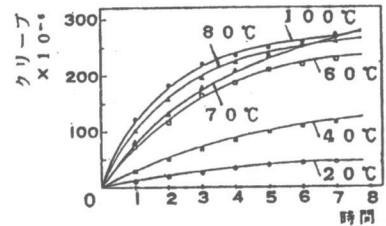


図-6. 一軸定圧縮応力下のクリープ量

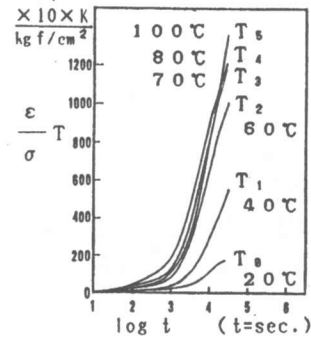


図-7. 変換された曲線

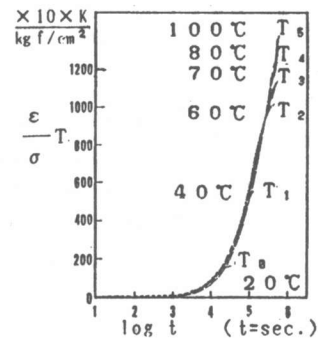


図-8. 合成曲線

で、つぎの曲線上に乗り移ると仮定する ($P_1 \rightarrow P'_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P'_2 \rightarrow P_3 \dots$)。この $360 \times X$ 秒は毎時 10°C の昇温速度による。また、曲線に乗り移る量は、図-9より求められる。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、温度上昇時の予測クリープ量が求められる。2) 表-3は、一軸定圧縮応力(応力度強度比 $1/3$)下の 30°C から 100°C の温度上昇時(毎時 10°C)の予測クリープ量 (ε^c/σ)を示す。また、予測クリープ量は定圧縮応力に比例すると考え、任意の定圧縮応力下の温度上昇時の予測クリープ量も求められる。

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、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、無応力状態の熱膨張量と載荷時の瞬間ひずみから、定圧縮応力下の予測クリープ量を減ずることにより、応力度強度比 $1/2$ 以下の定圧縮応力が作用するコンクリートの熱膨張量の予測値が求められる。

図-3、4、5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る。

4. 結論

1. 乾燥過程における多軸応力下のコンクリートの熱膨張 ($30^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$) の増分は、定圧縮応力が大きくなるほど小さくなる。
2. 一軸定圧縮応力(応力度強度比 $1/3$)を受ける高温下のコンクリートのクリープは、 20°C から 100°C の範囲内では、温度が高いほどクリープ量も大きい。また、 70°C 付近に温度-クリープ関係の変曲点を生じている。
3. 無応力状態の熱膨張量、載荷時の瞬間ひずみ、「温度時間換算則」を用いた予測クリープ量から、応力度強度比 $1/2$ 以下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。今後は、乾燥過程の諸条件(供試体の水分、湿度等)の関係を明らかにして行きたい。

謝辞 本研究の一部は、文部省科学研究費(試験研究・一般研究)により行なったものである。

註 温度時間換算則は、Time Temperature Equivalence Principle の訳である。

- 参考文献
- 1) 岡島 河辺: “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) 岡島 河辺: “多軸応力下のコンクリートの熱膨張とクリープ” 第7回コンクリート工学年次講演会論文集 1985. PP.293~296
 - 3) 岡島 河辺: “高温下のコンクリートの応力緩和” 第8回コンクリート工学年次講演会論文集 1986. PP.309~312
 - 4) 神原 他: “高分子の物性I” 共立出版発行 1958. PP.253~268
 - 5) 佐藤 他: “高温下におけるコンクリートのクリープ” 日本建築学会大会学術講演梗概集 1975. PP.423~424

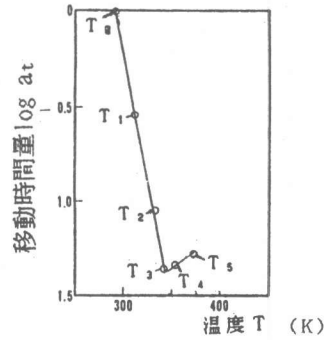


図-9. 移動時間量 $\log at$ と絶対温度 T の関係

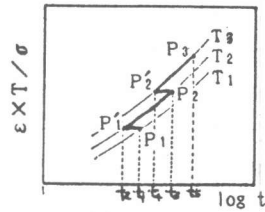


図-10. 昇温時のクリープ予測概念図

表-3. 温度上昇時の予測クリープ量 (ε^c/σ)

温度 ($^\circ\text{C}$)	上 昇							
	30	40	50	60	70	80	90	100
ε^c/σ	0	0.25	0.60	1.13	1.79	2.36	2.75	3.00