

[74] 二軸圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張率

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)
 丹羽一人(大成プレハブ建築部)
 宮地陽司(大林組建築部)

1. 序

従来、高温下で使用される建築用コンクリートは比較的わずかで特殊な部位に限られていたが、最近では、原子力発電所の圧力容器、格納容器など重要構造物がコンクリートで建設され、しかも70~100℃の高温状態で常時使用される場合が多くなってきた。このように、コンクリート構造物の適用範囲が、かつての常温・静的な領域から高温・動的域に広まりつつある。これまで、コンクリートの熱特性に関する研究が内外で数多く行なわれているが、外力荷重による作用を含めたコンクリートの挙動について未解明な部分が多々ある。¹⁻⁴⁾

本研究は、①高温・多軸応力下のコンクリートの熱膨張率の測定方法の開発 ②一軸及び二軸定圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張率について、の2点について、実験を行ない検討したものである。

2. 実験方法

2.1 供試体の製作

(1) 供試体の形状

供試体は、113×113×113mmの立方状コンクリートの稜を5mm面取りした形状の面取立方供試体とした。供試体の仕上げ精度を高くするために、特別の鋼製型わくを用いた。なお、表-1は本実験で用いた面取立方供試体と103mm立方供試体との強度比較を実験的に行なったものである。両者の強度の検定を行なった結果、危険率2%で有意差のないことが判明した。従って、面取立方供試体の有効断面積は、103×103mmとすることができる。また、供試体内部に温度分布を測定するCu-Co熱電対を埋設しておいた。

(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 骨材の物理的性質を
- iii) 粗骨材：川砂利 表-2に示す。
- iv) 混和材：A E剤

(3) 調合

用いたコンクリートの調合を、表-3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6日間材令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。さらに、安定した条

表-1 立方供試体、面取立方供試体、円柱供試体の圧縮強度の比較

名称	番号	比重(g/cm ³)	圧縮強度(kg/cm ²)
立方供試体 103×103×103mm	1	2.29	221
	2	2.27	240
	3	2.28	214
	4	2.27	233
	5	2.25	240
	6	2.26	213
	平均	—	227
標準偏差	—	11	
面取立方供試体 113×113×113mm	1	2.28	226
	2	2.27	232
	3	2.29	203
	4	2.28	215
	平均	—	219
標準偏差	—	11	
円柱供試体 φ100×200mm	1	2.29	226
	2	2.28	199
	3	2.27	205
	4	2.28	214
	5	2.28	183
	6	2.28	237
	7	2.28	203
	8	2.25	214
	9	2.27	179
	10	2.27	196
平均	—	206	
標準偏差	—	17	

表-2 骨材の物理的性質

	比重		吸水率 (%)	粗粒率
	絶乾状態	表乾状態		
粗骨材	2.61	2.64	1.15	7.28
細骨材	2.50	2.56	2.54	2.72

表-3 調合表

粗骨材の最大寸法(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	粗骨材	添加剤(%)
20	15-18	55	43	4-5	180	329	753	1041	138

件を得るため供試体をあらかじめ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-1に示す。供試体に、同時に、直交3方向に圧縮力と引張力を加えることができるシステムである。一方向の反力フレームは直径120mmの4本の鋼棒で構成されており試験機全体の剛性は高い。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。荷重の値は、ロードセルの出力の値による。載荷板は、端面摩擦による拘束を除去するため鋼製ブラシ載荷板を用いた。なお、供試体を加熱した際、熱がロードセルに伝わるを防ぐために、断熱板(メルデン)を載荷板とロードセルの間に挿入した。

2.3 加熱方法

供試体の温度は、図-2に示す位置にあらかじめ埋設しておいたCu-Co熱電対によって測定した。3対6個の載荷ブラシにそれぞれ、バンドヒーター(500W×2)を取り付け加熱した。温度制御は、供試体の中心部の温度に基づき、ヒーター電圧を変圧器で制御することによって調整した。供試体の温度分布の経時変化を図-3に示す。昇温速度は、およそ8℃/hourとなった。

2.4 ひずみ測定方法

立方状コンクリートに3対6個のブラシ載荷板を用いる際、高温用ストレン・ゲージを使用するにも、6面とも載荷板に塞がれているので貼付のスペースがない。高温埋め込みゲージを使用するにもリード線の取り出し口がない。そこで、前述したように立方供試体に面取りを行ない、この面を手がかりにしてひずみを測定することにした。ストレン・ゲージを面取り部分に貼付するにもゲージで測定できるひずみは表面のひずみに関係し、内部のひずみを測定できない。また、表面の局部に亀裂・剝離が生じると異常値を出す。埋め込み型にすれば、剛性の異なる物質を埋め込むこととなり、破壊近くのひずみに大きな誤差を持ち込む。

そこで、変位計を非接着型にするため、図-4に示すように面取立方供試体に3方向3対の変位計を6方から取り付け、その変位を測定することにより3方向のひずみを求める。 α 、 β 、 γ の3方向のひずみを、それぞれ ϵ_α 、 ϵ_β 、 ϵ_γ またX、Y、Zの3方向のひずみをそれぞれ ϵ_x 、 ϵ_y 、 ϵ_z とし、高次の微小項を無視すれば、次式の関係が得られる。

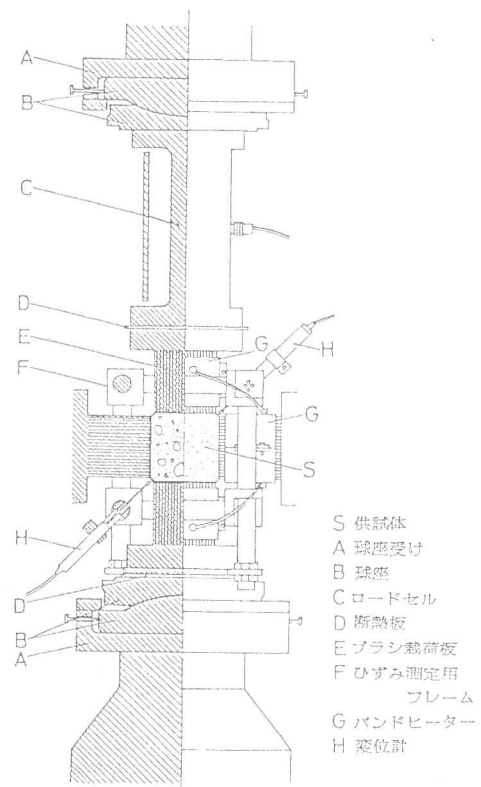


図-1 三軸圧縮引張試験機

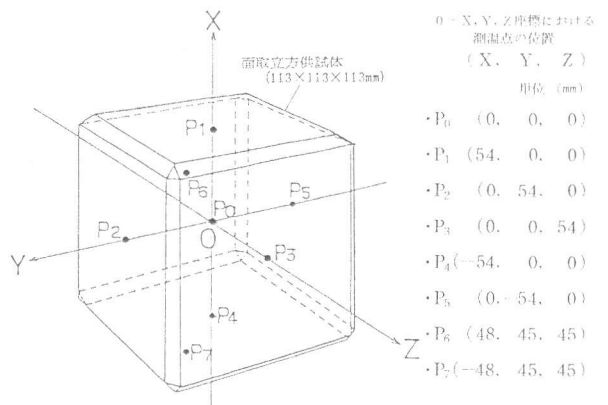


図-2 面取供試体内部における測温点の位置

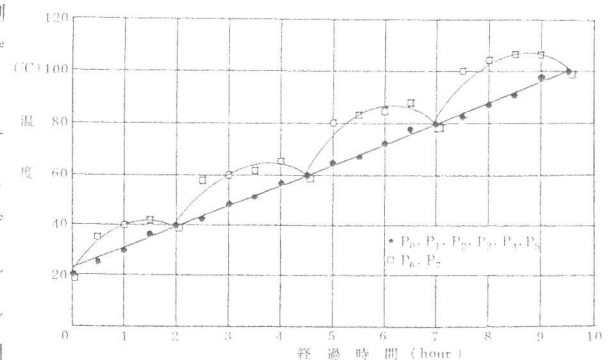


図-3 供試体の温度分布の経時変化

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_a \\ \varepsilon_b \\ \varepsilon_r \end{pmatrix}$$

図-5は、一軸圧縮試験において本法で実験的に求めた ε_x 、 ε_y 、 ε_z とストレン・ゲージを用いて測定した ε_{x-s} 、 ε_{y-s} 、 ε_{z-s} を比較したものである。ただし、 ε_a 、 ε_r は両者の平均を、同様にストレン・ゲージの場合も非載荷面4面に取り付けた4対のストレン・ゲージの縦ひずみと横ひずみをそれぞれ平均したものを示した。図-5によると、本法で測定したひずみと、ストレン・ゲージで測定したひずみの差はほとんど見られず、応力-ひずみ曲線もほぼ同一のものになる。この結果、ストレン・ゲージを貼ったり、ひずみ計を埋め込まずとも木ひずみ測定方法を用いれば、同様のひずみを得ることができる。

2.5 試験

最初に、一軸定圧縮応力 $\sigma_x = 0, 20, 40, 60, 80 \text{ kgf/cm}^2$ および二軸定圧縮応力 $\sigma_x - \sigma_y = 80 - 20, 80 - 40, 80 - 60, 80 - 80 \text{ kgf/cm}^2$ のそれぞれ定応力状態となるように载荷する。このとき、供試体の温度は 20°C である。そして、供試体を加熱し、供試体の中心部に基つきヒーター電圧を制御することによって、目標とする温度 $40, 60, 80, 100^\circ\text{C}$ の温度分布一様な場を作り各温度でのひずみを測定する。なお、試験中、常に一定圧縮応力が供試体に加わるように、コンピューターで自動制御した。

*ここで、考慮すべきコンクリートのひずみは、大きくてもせいぜい数%であるから、2次項以上は省略して良いものと思われる。

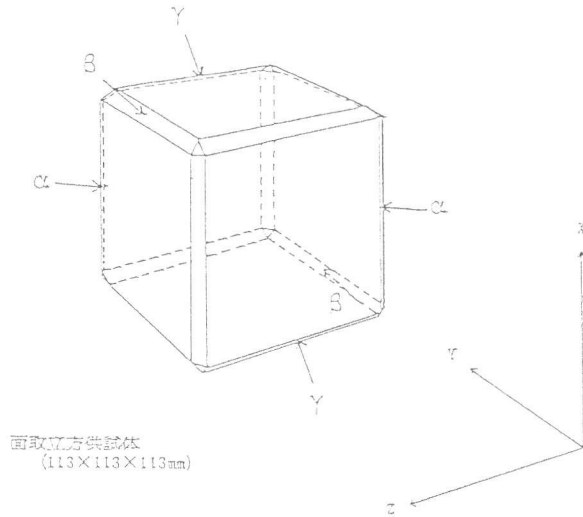


図-4 変位計の取り付け位置

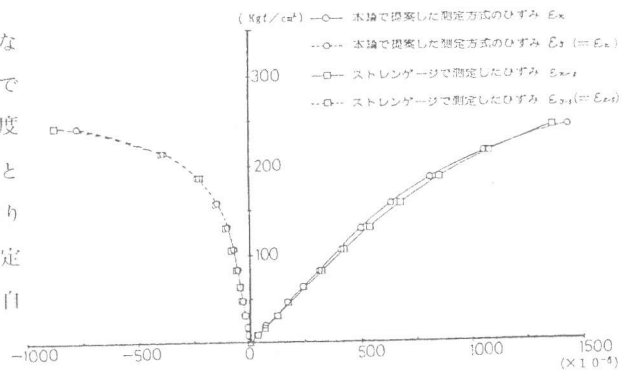


図-5 応力-ひずみ曲線

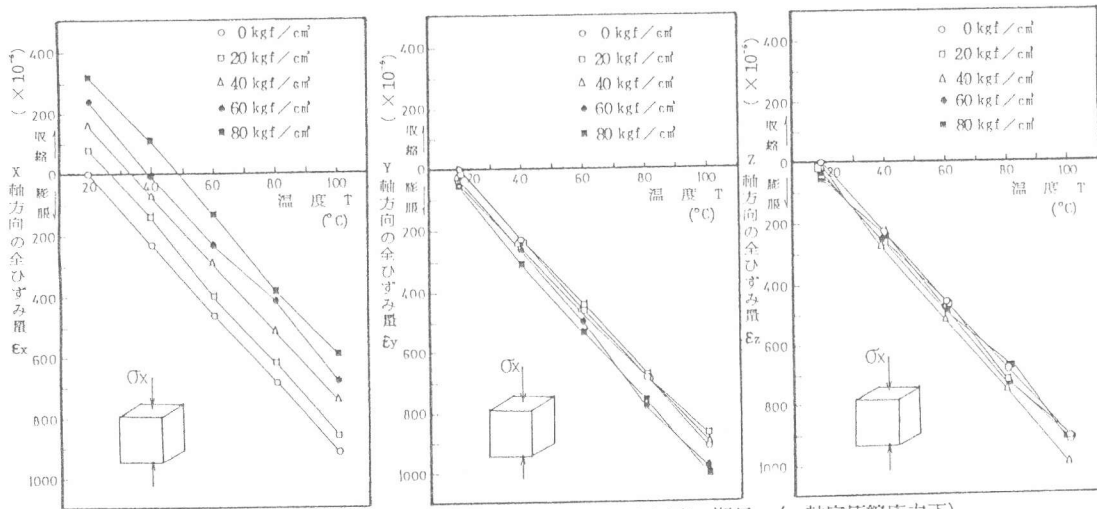


図-6 X, Y, Z 各軸方向の全ひずみ量と温度の関係 (一軸定圧縮応力下)

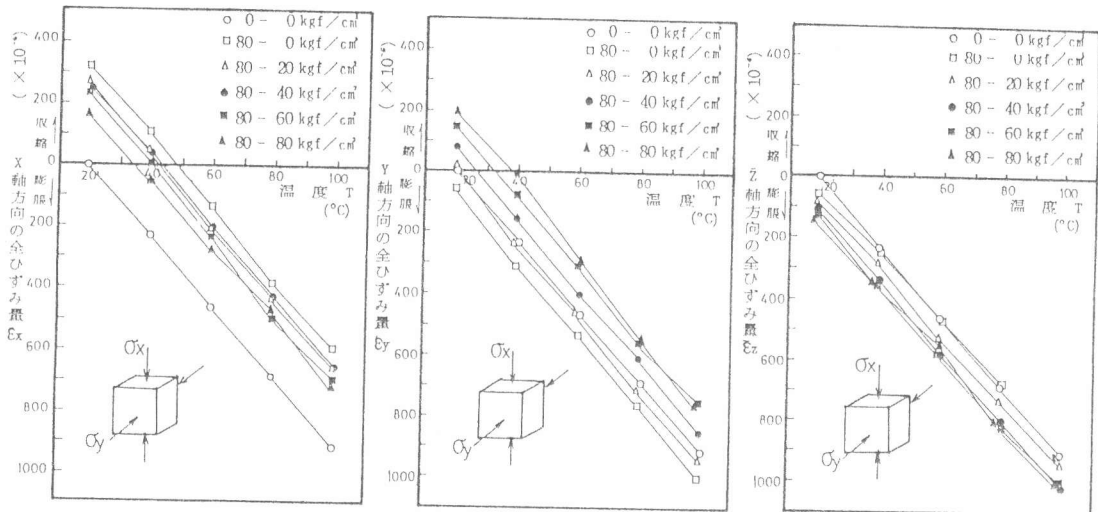


図-7 X,Y,Z 各軸方向の全ひずみ量と温度の関係 (二軸定圧縮応力下)

3. 実験結果とその考察

一軸および二軸定圧縮応力下における X、Y、Z 各軸方向に発生した全ひずみ量と供試体の温度との関係を図-6 および図-7 に示す。図-6、図-7 において、常温 (20°C) のときのひずみは、載荷時の瞬間ひずみである。

ここで、図-6、図-7 の各応力下の 1°C あたりの熱膨張量を最小二乗法によって求めた値を、それぞれ表-4、表-5 に示す。表-4、表-5 は、一軸および二軸において圧縮応力が増加しても熱膨張量は変わらないことを示している。すなわち、80 kgf/cm² 以下の圧縮応力は熱膨張を拘束しないことを意味している。

表-4 一軸定圧縮応力下の 3 方向の熱膨張量

圧縮応力 (kgf/cm ²)	熱膨張量 (×10 ⁻⁴ /°C)		
	X	Y	Z
0	11.4	11.4	11.4
20	11.8	10.8	11.4
40	11.2	10.9	12.2
60	11.2	11.9	11.1
80	11.5	11.7	10.7

表-5 二軸定圧縮応力下の 3 方向の熱膨張量

圧縮応力 (kgf/cm ²)	熱膨張量 (×10 ⁻⁴ /°C)		
	X	Y	Z
0-0	11.4	11.4	11.4
80-0	11.5	11.7	10.7
80-20	11.5	11.9	10.8
80-40	11.1	11.6	11.6
80-60	11.7	11.3	11.3
80-80	11.2	12.3	10.8

以上のことから、一定圧縮応力下で温度を上昇させた場合、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 とすれば、 $\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^t$ で示して良いことがわかる。なお、本実験では短時間準静的に応力を加えたものであるから、長時間応力が作用した際のクリープひずみは無視できるものとした。

4. 結論

一軸、あるいは二軸に 80 kgf/cm² 以下の一定圧縮応力が作用していても、コンクリートの熱 (20~100°C) 膨張の値は、無応力状態のそれ (自由膨張量) に等しい。従って、本実験の範囲内において、高温・定応力を受けるコンクリートのひずみは、応力のみによる (弾性) ひずみと熱のみによる膨張ひずみの和として良い。

今後は、乾燥過程、温度降下時等のコンクリートの熱膨張の測定が必要であると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、文部省科学研究費補助金 (試験研究・一般研究) により行ったものである。共同研究者の本学、岩下恒雄・大岸佐吉・滝口克己・棚橋勇博士、神奈川大学・原田有博士、東京工業大学・仕入豊和博士に篤くお礼申し上げます。

参考文献 1) 原田 有 "建築耐火構法" 工業調査会、1973、pp. 23-29 2) Malhotra, H.L., Report on the work of technical committee 44-PHT, Matériaux et Constructions, Vol. 15 No. 86, 1982, pp. 161-170 3) 川口 徹、コンクリートの熱膨張係数に関する既往の研究、JCエコロキウム、1982、pp. 15-18 4) シュナイダー、U., コンクリートの熱的性質、技報堂