

# 論文 高強度コンクリートの多軸定圧縮応力下の熱膨張に及ぼす含水状態の影響

今泉 大輔\*<sup>1</sup>・河辺 伸二\*<sup>2</sup>・岡島 達雄\*<sup>3</sup>

**要旨:** 本研究は、乾燥、湿潤の含水状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートを、多軸を含む応力度強度比で 1/3 の定圧縮応力状態に保持し、20℃から 100℃まで毎時 10℃で昇温、その後 30℃に毎時 10℃で降温させ、その間のひずみを測定する。その結果、乾燥状態の高強度コンクリートの温度上昇時及び下降時におけるひずみには、クリープの影響は小さく、湿潤状態の高強度コンクリートの温度上昇時及び下降時におけるひずみには、クリープを考慮に入れる必要があることが分かった。

**キーワード:** 含水状態、高強度コンクリート、多軸定圧縮応力、クリープ

## 1. はじめに

近年、高強度コンクリートの開発が盛んになり、これを用いた構造物も増えつつある。高強度コンクリートは、組成や調合が従来の普通コンクリートと異なる。内部組織が緻密であり、水分量も異なるため力学的特性や熱特性が異なると考える。また、コンクリートが温度の上昇・下降の繰り返しを受ける状態で使用される場合、構造物材として拘束を受ける状況で使用され、多軸を含めた外力荷重が作用するコンクリートの熱挙動についての情報は重要であると考えられる。

筆者らは今までに、多軸定圧縮応力を受ける普通コンクリートの熱膨張とクリープに及ぼす含水状態の影響について検討した [1]。さらに、高強度コンクリートについては、気乾状態からの乾燥過程における熱膨張とクリープについて検討した [2]。

そこで本研究は、乾燥状態と湿潤状態からの乾燥過程における多軸定圧縮応力を受ける高強度コンクリートの熱膨張について実験を行う。

これらの研究結果は、各種高強度コンクリート構造物の火災時の熱応力解析や、これらの構造物の合理的な設計に貢献できると考える。また、日射による温度変化を受ける高強度コンクリート構造物の応力解析に活用できると考える。

## 2. 実験方法

### 2. 1 供試体の作製

#### (1) 供試体の形状

供試体は、図-1 に示す 113 mm 角の立方体コンクリートの各稜を、ひずみ測定のために 5 mm 面取りした形状の面取立方供試体とする。また、供試体内部に温度測定用の T 型熱電対を供試体の上、

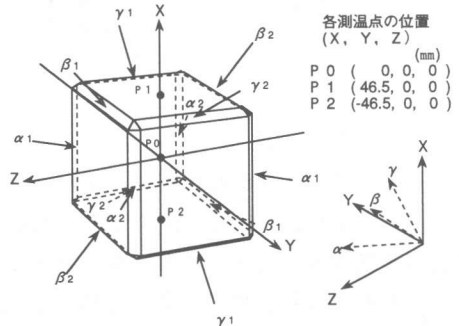


図-1 面取立方供試体と変位計取付け方向及び T 型熱電対埋設位置

\* 1 名古屋工業大学大学院 工学部工学研究科社会開発工学専攻 (正会員)

\* 2 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科、工博 (正会員)

\* 3 名古屋工業大学長 工博 (正会員)

中、下の3ヶ所に埋設する。

(2) 使用材料と調合

セメントは高ビーライト系セメント (HF)・普通ポルトランドセメント (NP)、骨材は木曽川産、混和剤はA E剤・高性能A E減水剤・消泡剤とする。骨材の物理的性質を表-1に、コンクリートの調合を表-2に示す。

(3) 養生

コンクリート打込み後、24時間で脱型し、以下それぞれの含水状態の供試体を作製する。

乾燥状態：3ヶ月水中養生後、24時間60℃の炉に入れ、3日間105℃で乾燥させる。

湿潤状態：3ヶ月水中養生後、表面の水を拭う。

また、供試体作製時のバッチ間のコンクリートの強度のばらつきを補正するため、φ100×200mmの円柱供試体を同時に作製し、1ヶ月間水中養生後に圧縮強度を測定した。その結果を表-3に示す。

2.2 载荷方法

実験に用いた三軸圧縮引張試験機を図-2に示す。この試験機は供試体を同時に直交3方向に圧縮力を加えることができる。载荷板は、端面摩擦による拘束を除くため、鋼製ブラシ载荷板を使用した。

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付ける。そしてα、β、γ方向から求めたひずみεα、εβ、εγを式(1)に代入してX、Y、Z方向のそれぞれのひずみを求める。

$$\begin{bmatrix} \epsilon X \\ \epsilon Y \\ \epsilon Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon \alpha \\ \epsilon \beta \\ \epsilon \gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.4 加熱方法

3方向6個のブラシ载荷板に、それぞれバンドヒーター(500w×2)を取付け加熱した。また供試体に有害な熱応力を生じさせないようにするため、温度制御は供試体に埋設した熱電対の温度に基づき、昇温・降温速度が毎時10℃になるように調節した。

2.5 実験内容

最初に、コンクリートの応力度強度比が表-4の状態になるように载荷する。そして、各々の定

表-1 骨材の物理的性質

	最大寸法 (mm)	吸水率 (%)	絶乾比重	粗粒率	単位容積質量 (kg/m³)
細骨材	5	2.09	2.54	2.73	—
粗骨材	20	0.63	2.60	6.91	1627

表-2 コンクリートの調合表

	セメントの種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材寸法の法 (mm)	粗骨材率 (%)	単位重量 (kg/m³)						
							水	細骨材	粗骨材	AE剤	高性能AE減水剤	消泡剤	
高強度コンクリート	HF	18	3.0	35	20	44.3	170	492	727	936	—	3.94	0.03
普通コンクリート	NP	15	4.0	57	20	42.7	174	305	725	1027	0.06	—	—

表-3 圧縮強度

	圧縮強度 (MPa)	標準偏差 (MPa)
高強度コンクリート	66.4	6.40
普通コンクリート	26.5	1.67

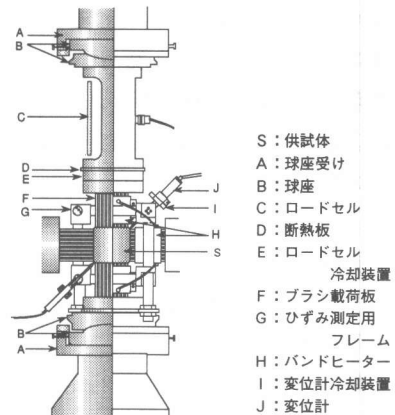


図-2 三軸圧縮引張試験機

表-4 载荷する応力度強度比

	X軸	Y軸	Z軸
無応力状態	0	0	0
一軸定圧縮応力状態	1/3	0	0
二軸定圧縮応力状態	1/3	1/3	0

1/3 : stress/strength

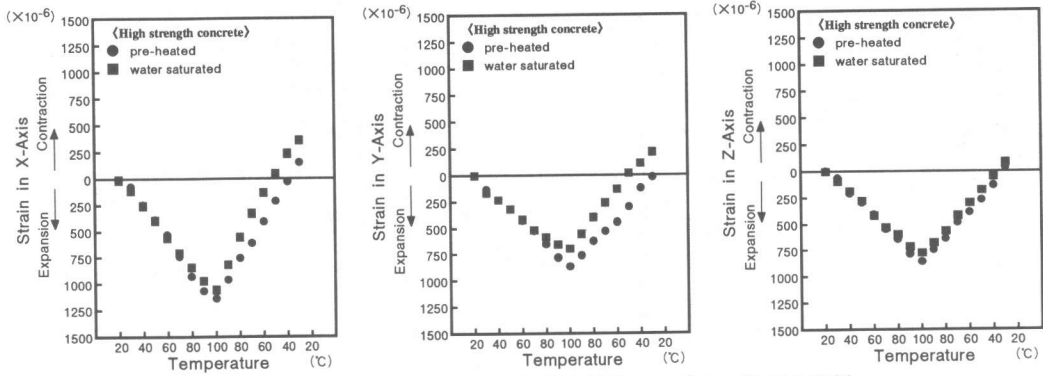


図-3 高強度コンクリートの無応力状態のひずみと温度の関係

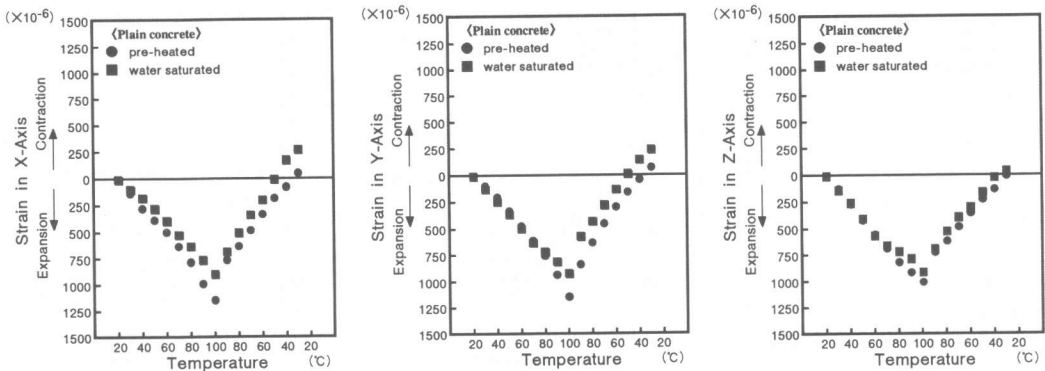


図-4 普通コンクリートの無応力状態のひずみと温度の関係

圧縮応力状態を保ちながらそれぞれの含水状態の供試体を 20℃から 100℃まで昇温し、その後 30℃まで降温させ、この間 10℃おきにひずみを測定する。昇温・降温速度は毎時 10℃とする。応力度強度比は、コンクリートの長期許容圧縮応力度がコンクリートの設計基準強度の 1/3 であることを念頭においた。なお、本研究では供試体をシールしない状態で実験を行う。

### 3. 実験結果及び考察

図-3 から 8 に各応力状態における高強度コンクリート及び普通コンクリートのひずみと温度の関係を示す。20℃のひずみは定圧縮応力載荷時の瞬間弾性ひずみである。

図-3 と 4 より、温度上昇時における湿潤状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートの温度に対するひずみの増分 (20℃から 100℃までの全ひずみ増分量) が、乾燥状態のそれより小さいことが分かる。乾燥状態の場合、あらかじめ乾燥してあるため比較的ひずみの増分が一定となる。これに対し、湿潤状態の場合、温度上昇に伴いコンクリートが乾燥し、乾燥収縮の影響のためひずみの増分が小さくなると思われる。

温度下降時の温度に対するひずみの収縮量の増分 (100℃から 30℃までの全ひずみ収縮量) は、高強度コンクリート及び普通コンクリートのどの含水状態から始めた場合もほぼ同じである。これは、100℃までの昇温により供試体の含有水分が減少するため乾燥収縮の影響は小さいものと思われる。

図-5 から 8 より、定圧縮応力を受ける場合、温度上昇時における湿潤状態の高強度コンク

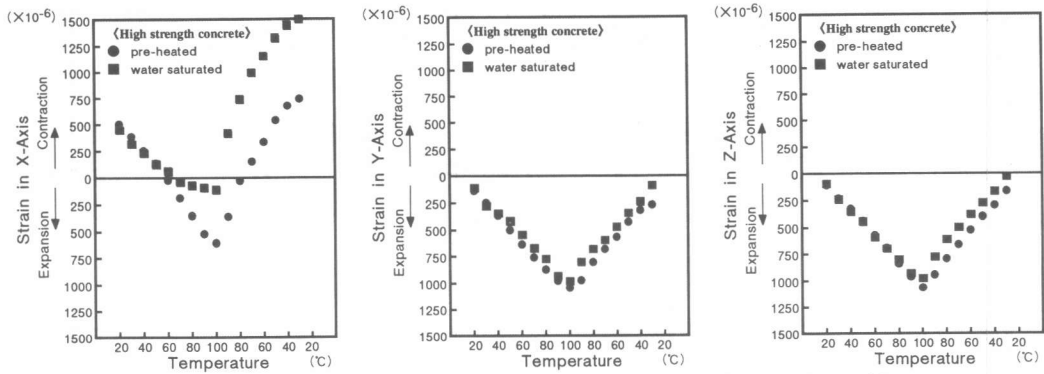


図-5 高強度コンクリートの一軸定圧縮応力下のひずみと温度の関係

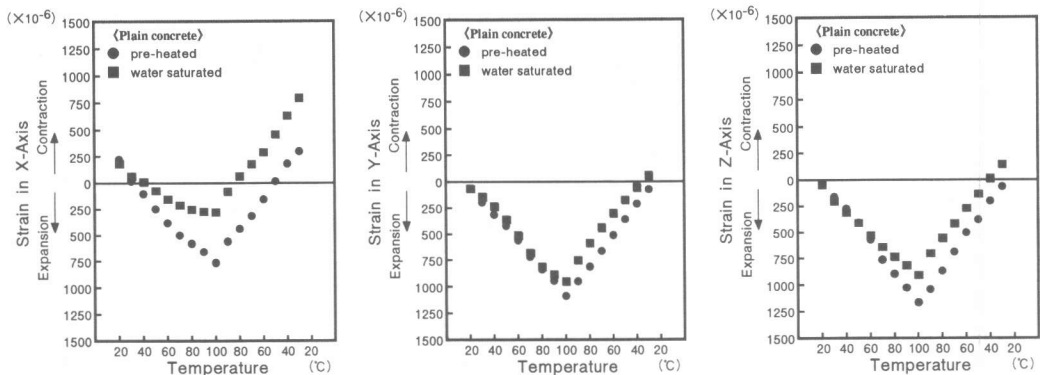


図-6 普通コンクリートの一軸定圧縮応力下のひずみと温度の関係

リート及び普通コンクリートの温度に対するひずみの増分が、乾燥状態のそれより小さいことが分かる。これは、定圧縮応力により生じたクリープと温度上昇により生じた乾燥収縮の影響と思われる。

温度下降時においては、湿潤状態の高強度コンクリートの温度に対するひずみの収縮量の増分が、乾燥状態のそれより大きいことが分かる。これは、定圧縮応力により生じたクリープだけの影響と思われる。これに対し、湿潤状態の普通コンクリートの温度に対するひずみの収縮量の増分が、乾燥状態のそれとさほど変わらないことが分かる。これは、定圧縮応力により生じるクリープの影響が小さいものと思われる。また、100℃までの昇温により供試体の含有水分が減少するため乾燥収縮の影響は小さいものと思われる。

図-3から8を比較すると、定圧縮応力を受ける場合、温度上昇時における乾燥状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートの温度に対するひずみの増分は、無応力状態の乾燥状態のそれとさほど変わらないことが分かる。これに対し、湿潤状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートの温度に対するひずみの増分は、無応力状態の湿潤状態のそれより小さいことが分かる。また、高強度コンクリート及び普通コンクリートの温度の上昇に伴うひずみの増分の低下を比べると、乾燥収縮よりクリープの影響の方が大きいことが分かる。

温度下降時においては、乾燥状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートの温度に対するひずみの収縮量の増分は、無応力状態の乾燥状態のそれとさほど変わらないことが分かる。また、湿潤状態の普通コンクリートの温度に対するひずみの収縮量の増分は、無応力状態の湿潤状

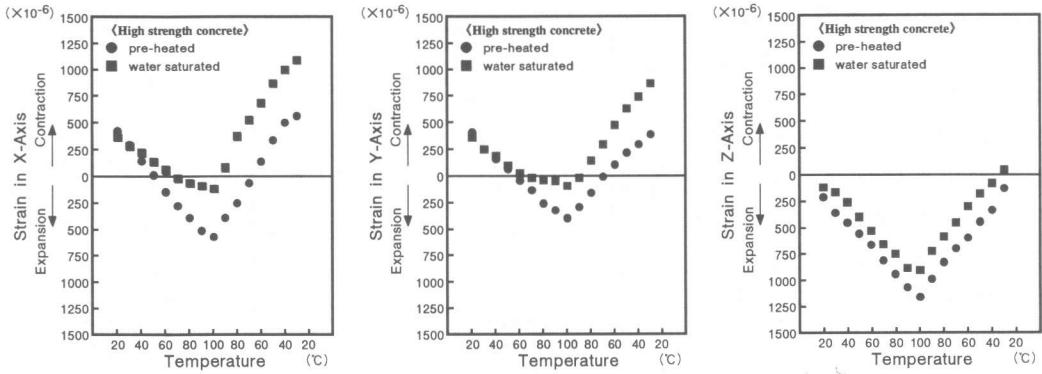


図-7 高強度コンクリートの二軸定圧縮応力下のひずみと温度の関係

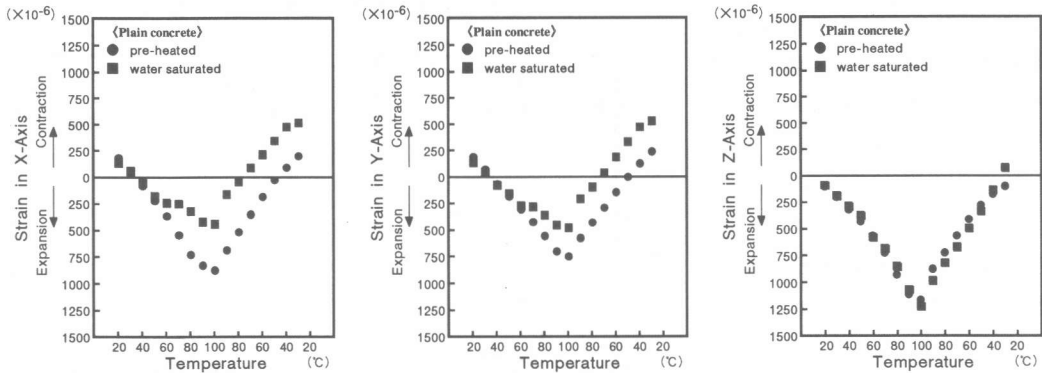


図-8 普通コンクリートの二軸定圧縮応力下のひずみと温度の関係

態のそれとさほど変わらないことが分かる。これに対し、湿潤状態の高強度コンクリートの温度に対するひずみの収縮量の増分は、無応力状態の湿潤状態のそれより大きいことが分かる。

$\epsilon^c$  をクリープひずみ、 $\epsilon$  を定圧縮応力下の全ひずみ、 $\epsilon^e$  を載荷時の瞬間弾性ひずみ、 $\epsilon^t$  を無応力状態の熱膨張ひずみ（乾燥収縮を含む）とし、式(2)よりそれぞれの含水状態における定圧縮応力下の温度上昇時及び下降時のクリープ量を求めることができると考え、図-9に一例として一軸定圧縮応力下のX軸の温度上昇時及び下降時のクリープ量を示す。また、図-10に一軸定圧縮応力下のX軸の温度上昇時及び下降時のクリープ係数を示す。

$$\epsilon^c = \epsilon - \epsilon^e - \epsilon^t \quad (2)$$

図-9より、温度上昇時における乾燥状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートのクリープ量が100 ( $\times 10^{-6}$ ) 以下という小さい値を示していることが分かる。これに対し、湿潤状態の高強度コンクリート及び普通コンクリートのクリープ量は400~500 ( $\times 10^{-6}$ ) 増加していることが分かる。

温度下降時においては、乾燥状態の高強度コンクリートと普通コンクリートのクリープ量及び、湿潤状態の普通コンクリートのクリープ量が急激に増加しない [3] ことが分かる。これに対し、湿潤状態の高強度コンクリートのクリープ量は約200 ( $\times 10^{-6}$ ) 増加していることが分かる。

図-9と図-10より、応力度強度比で1/3の定圧縮応力を受ける場合、クリープ量は高強度

コンクリートの方が普通コンクリートより大きく、乾燥状態より湿潤状態の方が大きいことが分かる。また、クリープ係数においては高強度コンクリートの方が普通コンクリートより小さく、乾燥状態より湿潤状態の方が大きいことが分かる。

#### 4. 結論

(1) 無応力状態及び多軸定圧縮応力下においては、強度レベルに関わらず、含水量の大きいコンクリートほど温度上昇時のひずみの増分が小さくなる。

(2) 応力度強度比で1/3の定圧縮応力を受ける乾燥状態の高強度コンクリートの温度上昇時及び下降時におけるひずみにはクリープの影響は小さく、湿潤状態の高強度コンクリートの温度上昇時及び下降時におけるひずみにはクリープを考慮に入れる必要がある。

(3) 応力度強度比で1/3の定圧縮応力を受ける乾燥状態の普通コンクリートの温度上昇時及び下降時におけるひずみにはクリープの影響は小さく、湿潤状態の普通コンクリートの温度上昇時におけるひずみにはクリープを考慮に入れる必要があり、温度下降時におけるひずみにはクリープの影響は小さい。

謝辞 本研究は、日本スパンクリート協会研究助成金、文部省科学研究費（奨励 A07750659）により行われたものである。また、当時の卒論生堤健氏（現熊谷組）に謝意を表する。

#### 参考文献

- [1] 河辺他：多軸定圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張とクリープに及ぼす含水状態の影響，コンクリート工学年次論文報告集，第16巻，第1号，pp.699～704，1994.6
- [2] 河辺他：多軸定圧縮応力を受ける高強度コンクリートの熱膨張とクリープ，コンクリート工学年次論文報告集，第18巻，第1号，pp.639～644，1996.6
- [3] 倉沢：高温度にさらされるコンクリートのクリープに関する研究，セメントコンクリート，No.236，pp.8～11，1966.10

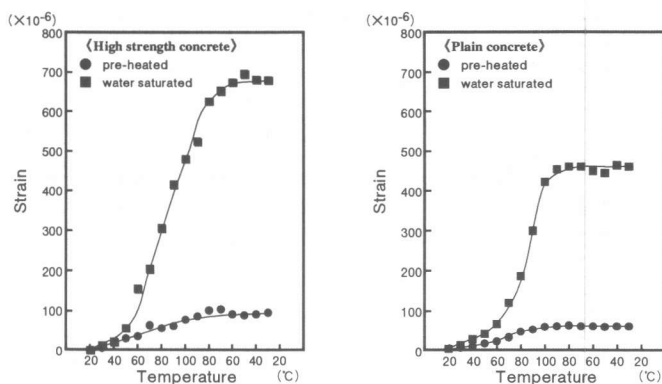


図-9 一軸定圧縮応力下 (X軸) の温度上昇時及び下降時のクリープ量

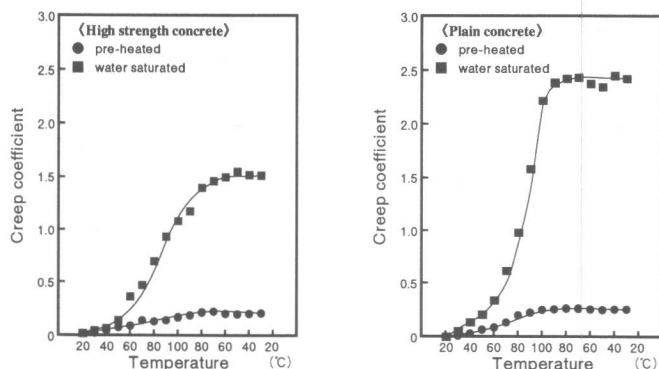


図-10 一軸定圧縮応力下 (X軸) の温度上昇時及び下降時のクリープ係数