

論文

[1091] 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

河辺伸二^{*1}・溝口雄一^{*2}・岡島達雄^{*3}

1. はじめに

最近のコンクリート構造物は高温下で使用される場合も増えてきた。このような常温とは異なった温度で使用されるコンクリートは、温度勾配による内部応力が発生するため、力学的性質だけでなく熱的性質も重要になってくる。筆者らは先に、あらかじめ乾燥したコンクリートにおいて、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とクリープについて考察している [1]。また、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 [2] として、気乾状態のコンクリートから実験を行い考察している。また、コンクリートの諸性質は、その含水状態に影響を受けることが知られている。

そこで本研究では、同時期に打ち込んだコンクリートを乾燥、気乾、湿潤の3種類の含水状態にして、それぞれ一軸定圧縮応力を受ける乾燥過程の熱膨張とクリープを測定する。また、「温度時間換算則」から温度上昇時の予測クリープ量を算出し、定圧縮応力を受ける乾燥過程の熱膨張を予測する。定圧縮応力は、圧縮強度の1/3とする。なお、コンクリートの重量変化についても測定する。

表-1 骨材の物理的性質

	最大寸法 (mm)	吸水率 (%)	飽乾比重	粗粒率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)
細骨材	5	1.60	2.53	2.88	—
粗骨材	20	1.18	2.58	6.87	1573

表-2 コンクリートの調合表

スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	A E 剤
15	4	57	20	42.7	166	291	759	1038	0.06

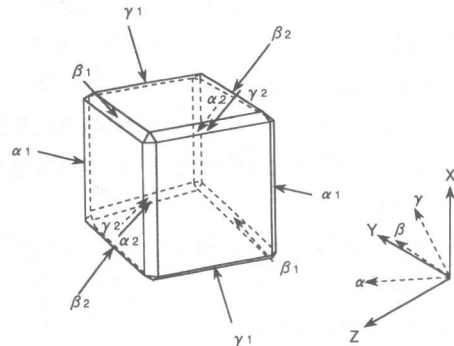


図-1 面取立方供試体と変位計取り付け方向

表-3 実験内容一覧

	応力	0-0-0		1/3-0-0		温度	20℃	60℃	100℃
		乾燥	気乾	乾燥	気乾		乾燥	気乾	湿潤
熱膨張	乾燥	○	○	○	○	クリープ	○	○	○
	気乾	○	○	○	○		○	○	○
	湿潤	○	○	○	○		○	○	○

2. 実験方法

2-1 試験体の作製と養生

2-1-1 使用材料の調合

(a)普通ポルトランドセメント

(b)細骨材：川砂

(c)粗骨材：川砂利

*1 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）

*2 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻

*3 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科、工博（正会員）

(d)化学混和剤：A E剤

骨材の物理的性質を表-1、コンクリートの調合表を表-2に示す。

2-1-2 供試体

稜を5mm面取りした113mm角の面取立方供試体を使用し、その内部に温度測定用の熱電対を3ヶ所に埋没する。これを図-1に示す。

2-1-3 養生

コンクリート打設後24時間で脱型し、以下それぞれの含水状態の作り方を示す。

乾燥：3ヶ月水中養生、1週間気中養生後、3日間105℃乾燥

気乾：3ヶ月水中養生後、1週間気中養生

湿潤：3ヶ月水中養生後、表面の水を拭う

2-2 実験装置

本実験では、図-2、3に示す三軸圧縮試験機及び端面拘束が小さいといわれるブラシ載荷板を使用した。ひずみ測定方法は、供試体の面取り部分(α 、 β 、 γ)に12個6対の変位計を取り付け、X、Y、Z方向のひずみを測定する。また、バンドヒーターをブラシ載荷板に取り付けコンクリート供試体を毎時10℃の昇温速度で加熱する。

なお、今回は一軸定圧縮応力を受ける実験だけを行っているが、ひずみゲージを貼らなくても各軸方向のひずみが測定できること、また、加熱装置を備えていること等により、三軸圧縮試験機を用いた。

2-3 実験内容

2-3-1 自由膨張及び応力度強度比で1/3の一軸定圧縮応力を受けるコンクリートの熱膨張実験

自由膨張と一軸定圧縮応力下において供試体を20℃から100℃まで昇温させ、その後30℃まで降温させる。それぞれ乾燥、気乾、湿潤の3つの含水状態でのひずみ測定を行う。

2-3-2 応力度強度比で1/3の一軸定圧縮応力を受けるコンクリートのクリープ実験

乾燥、気乾、湿潤の3つの含水状態の供試体を、無応力状態で毎時10℃の昇温速度で20℃、60℃、100℃にする。次にその一定温度において一軸定圧縮応力を載荷し8時間のひずみ測定を行った。なお、本実験では一軸定圧縮応力を応力度強度比で1/3とする。実験内容一覧を表-3に示す。

3. 実験結果及び考察

3-1 熱膨張の実験結果及び考察

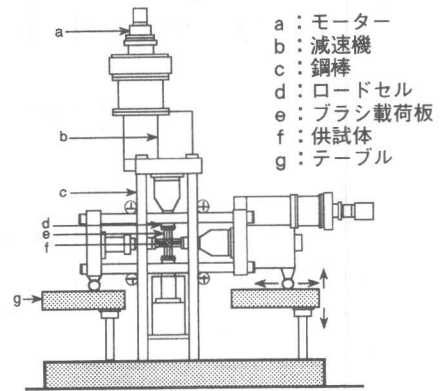


図-2 三軸圧縮試験機

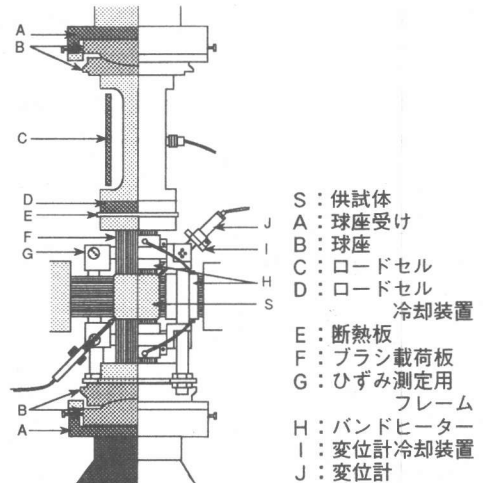


図-3 三軸圧縮試験機 (拡大図)

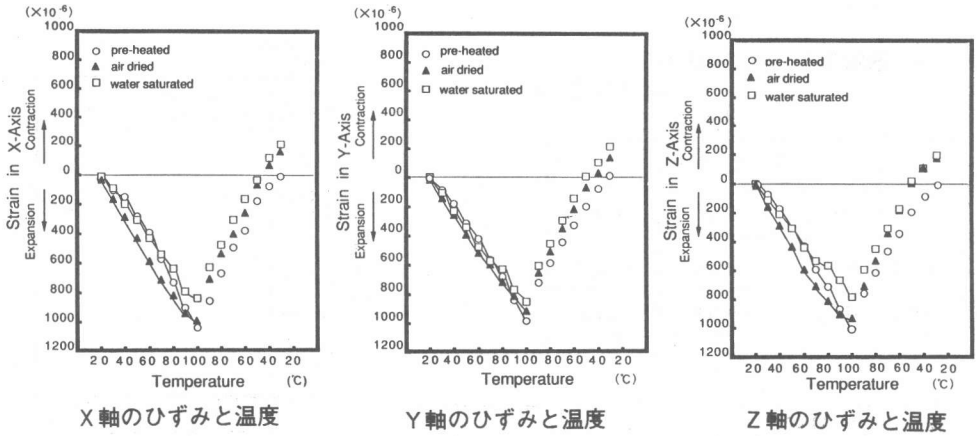


図-4 自由膨張下の全ひずみ量と温度の関係

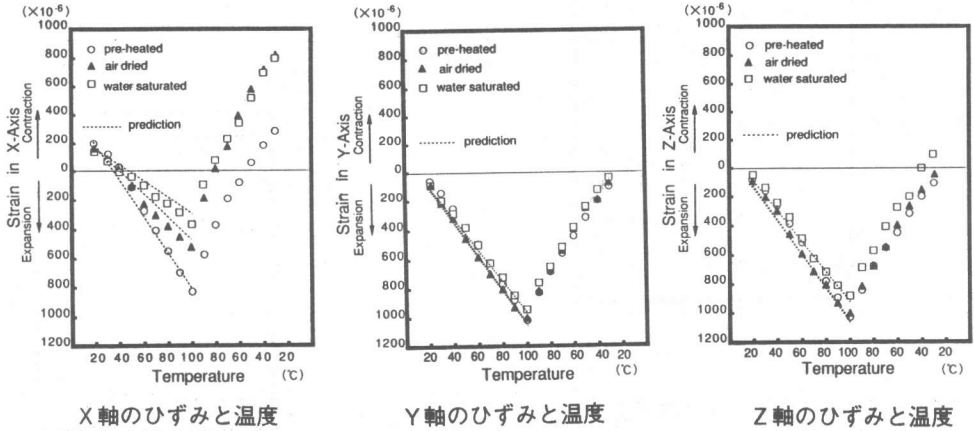


図-5 一軸定圧縮応力下の全ひずみ量と温度の関係

図-4に自由膨張を、
図-5に一軸定圧縮
応力下の熱膨張をそれ
ぞれX軸、Y軸、Z軸の
ひずみで表す。温度上
昇時には定圧縮
応力が大きいほど(0
-0-0より1/3-0-
0の方が)、温度に対

表-4 温度に対するひずみの増分

応力	ひずみの増分 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		
	乾燥	気乾	湿潤
0-0-0	13.5	11.9	10.8
1/3-0-0	13.3	9.1	6.9
差	0.2	2.8	3.8

するひずみの増分は、無応力状態の増分より小さくなる。
これを表-4及び図-6に示す。これは、定圧縮応力に応じたクリープを生じたためであると考えられる。また、同じ応力下では含水率が大きくなるほどひずみの増分は小さくなっているが、0-0-0と1/3-0-0の間ではひずみの増分の差は大きくなる。温度下降時の傾きは、どれもほぼ同じであるところから温度下降時にはクリープは生じにくい。

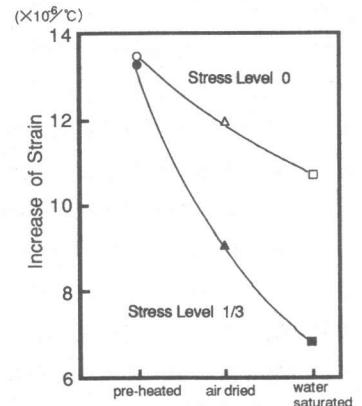
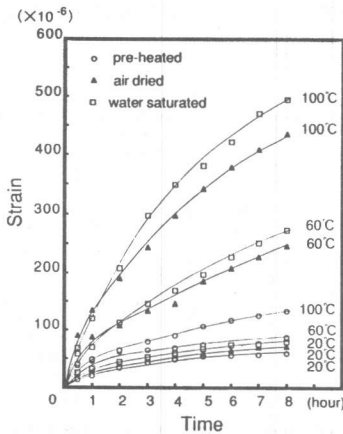


図-6 温度に対するひずみの増分

表一五 熱膨張実験前と実験後の
供試体の重量変化

応力	重量変化 (g)		
	乾燥	気乾	湿潤
0-0-0	+1.2	-63.0	-88.1
1/3-0-0	+0.6	-40.8	-94.0



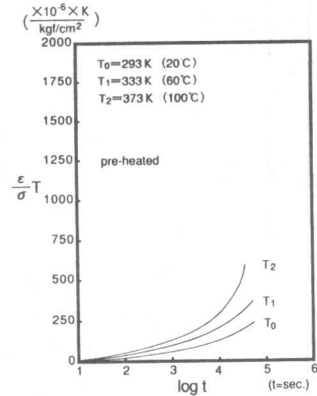
図一七 クリープ-時間曲線

3-2 クリープ実験結果及び考察

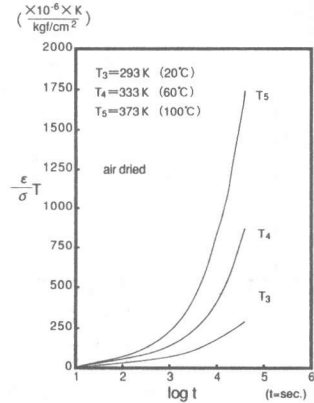
3-2-1 クリープの結果

図一七にクリープ実験の結果を示す。この図より、クリープ量は乾燥、気乾、湿潤の順で含水率が大きいほど大きくなっている。乾燥と気乾・湿潤のクリープ量の差は明かであるが、気乾と湿潤との差は小さくなっている。

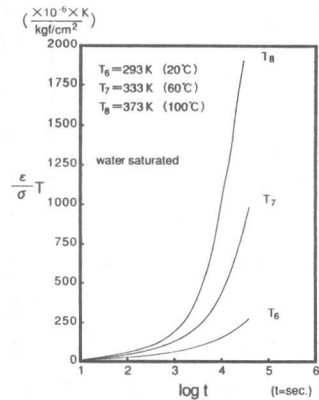
次に、「温度時間換算則」を利用し常温(20℃)から100℃までの温度上昇時の予測クリープ量を求める。クリープ実験の結果から「温度時間換算則」を用い、図一八-1、8-2、8-3の変換された曲線を作り、それを20℃の曲線を基準に時間軸に沿って平行移動させそれぞれの合成曲線を得た。これを図一九に示す。移動させた量 $\log \alpha t$ は、図一十に絶対温度Tとの関係で表せる。



図一八-1 変換された曲線
(乾燥)



図一八-2 変換された曲線
(気乾)



図一八-3 変換された曲線
(湿潤)

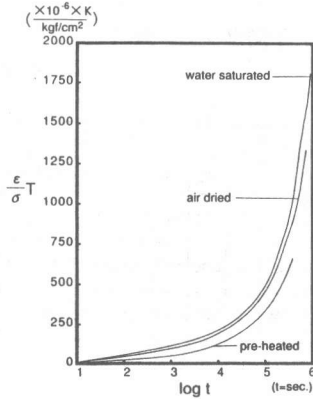


図-9 合成曲線

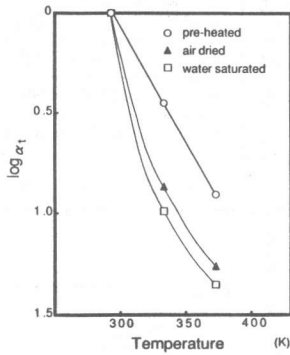


図-10 移動量 αt と絶対温度Tの関係

このことから測定した温度以外の移動量が求められるので、任意の温度のクリープ曲線が合成曲線より推定できる。また、任意の温度（20℃～100℃）のクリープ量を求めるには上述の過程を逆にたどればよい。時間ごとに変化する温度下でのクリープ曲線を得るために、10℃ごとのクリープ曲線を作成する。これを図-11-1、11-2、11-3に点線で示す。各曲線を10℃ごとにクリープが移動すると仮定すると、クリープは3600秒（1時間）進んで次の曲線に移り移るとする。（この3600秒は実験の昇温速度が毎時10℃のため。）こうして得られた曲線を図-11-1、11-2、11-3の太線で示す。

気乾及び湿潤はほぼ似たような曲線を描き、乾燥の予測クリープ量は極めて小さいことが分かる。表-6は一軸定圧縮応力下の温度上昇時

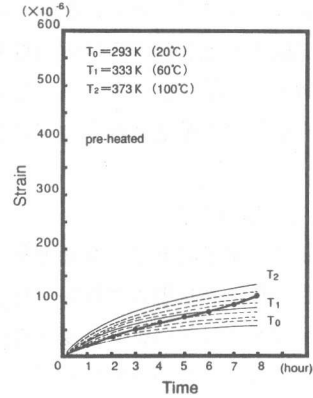


図-11-1 温度上昇時のクリープ予測値（乾燥）

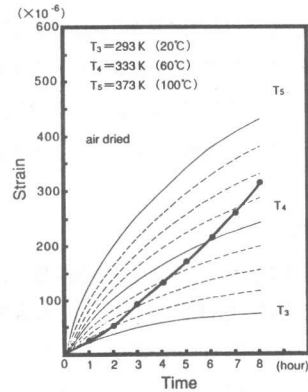


図-11-2 温度上昇時のクリープ予測値（気乾）

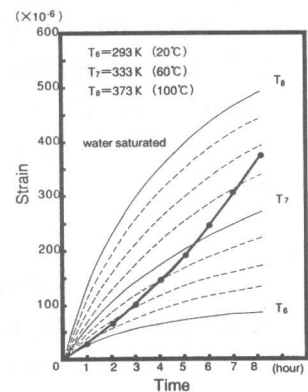


図-11-3 温度上昇時のクリープ予測値（湿潤）

の予測クリープ量 (ϵ/σ) を示す。次にクリープの実験前と実験後の供試体の重量変化を表-7と図-12に示す。これより、含水状態が大きい程、供試体の重量は減少していることが分かる。

3-2-2 熱膨張予測

表-6に示す予測クリープ量と載荷時の弾性変形量を、無応力状態の熱膨張(自由膨張)ひずみから減ずることにより温度上昇時の熱膨張量を予測する。一軸定圧縮応力下の熱膨張量の実験値と予測値との比較を図-5に示す。予測値を点線で示す。この図から予測値と実験値は近似しており、一軸定圧縮応力下の熱膨張量の低下はクリープに原因があることが分かる。応力度強度比で1/3の定圧縮応力下の場合、気乾及び湿潤状態から始めた乾燥過程の熱膨張の予測には、クリープを考慮に入れる方が良く、乾燥状態の予測には考慮しなくても良いと思われる。

4. 結論

- (1) 無応力下と一軸定圧縮応力下においては、気乾及び湿潤状態から始めた乾燥過程のコンクリートの熱膨張量は、乾燥状態から始めたコンクリートの熱膨張量より小さい。
- (2) どの含水状態から始めた場合も、一軸定圧縮応力下の温度下降時における熱収縮量は、無応力状態の熱収縮量にはほぼ等しい。
- (3) 応力度強度比で1/3以下の一軸定圧縮応力が作用する場合、気乾及び湿潤状態から始めた乾燥過程の熱膨張の予測にはクリープを考慮に入れるが、乾燥状態の予測にはクリープを考慮しなくても良い。

参考文献

- 1) 岡島達雄ほか：多軸応力を受ける乾燥コンクリートの熱膨張とクリープ、日本建築学会構造系論文報告集、PP.1-9、1988.9
- 2) 岡島達雄ほか：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、コンクリート工学年次論文報告集、PP.267-270、1988
- 3) 大岸佐吉ほか：立方体コンクリートの高温下(30~200℃)多軸圧縮クリープ特性の研究、日本建築学会東海支部研究報告集、PP.37-40、1983.2

表-6 予測クリープ量 (ϵ/σ) と温度の関係

温度 (℃)	上昇									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
予測 クリープ量 ($\times 10^{-6}$ kgf/cm ²)	乾燥	0	0.22	0.41	0.47	0.69	0.76	0.89	1.07	1.33
	気乾	0	0.40	0.67	1.01	1.45	2.00	2.62	3.40	4.35
	湿潤	0	0.56	0.88	1.32	1.69	2.42	2.97	3.94	4.95

表-7 クリープ実験前と実験後の供試体の重量変化

温度 (℃)	重量変化 (g)		
	乾燥	気乾	湿潤
20	+1.7	-2.8	-3.5
60	+0.5	-25.5	-39.0
100	+0.1	-81.3	-142.5

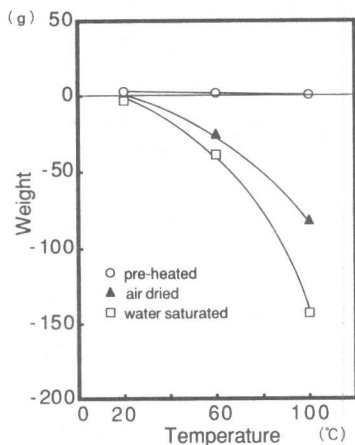


図-12 クリープ実験前と実験後の供試体の重量変化