

論文

[1032] 乾燥コンクリートの高温時の応力緩和

正会員○河辺伸二（名古屋工業大学大学院）

正会員 岡島達雄（名古屋工業大学工学部）

吉口勝史（竹中工務店建築部）

名知博司（名古屋工業大学大学院）

1. はじめに

コンクリートの使用範囲は年ごとに拡大しつつある。近年ではコンクリート構造物の多様化に伴って、常温とは異なった温度下で使用されるものや、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もある。また、構造部材として、拘束を受ける状況下でコンクリートが使用される場合も多い。外力荷重による作用を含めたコンクリートの熱挙動についての情報は、ますます重要になってきている。筆者らは先に「高温下のコンクリートの応力緩和」⁽¹⁾において、温度上昇時（20～100℃）における多軸ひずみ拘束下のコンクリートの熱応力は、緩和剛性率を用いて算出した応力緩和を考慮することにより、ある程度推測できるとした。

熱応力の推定に用いる応力緩和を求めるため、本研究ではさらに応力緩和の初期設定応力レベルを増やし、あらかじめ105℃乾燥で含有水分を放出した面取立方供試体を用いて、次の2点について実験、考察を行った。

1) 温度は20℃、60℃、100℃の3レベル、初期設定応力レベルは応力度／強度比が1／6、2／6、3／6、4／6の4レベルの応力緩和実験を行なう。なお本研究では、ひずみレベルの設定について、間接的に、圧縮強度に対する一定比率の応力度による初期設定応力レベルで規定した。

2) 実験より求めた応力緩和量より、任意温度、任意初期設定応力レベル、任意時間の予測応力緩和量を求める。

2. 実験方法

2.1 供試体の製作

供試体は、図-1に示す一辺が113.0 mmの立方体状コンクリートの稜を5 mm面取りした面取立方供試体とした。製作には普通ポルトランドセメント、川砂、川砂利を使用した。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。

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2ヶ月まで水中養生とした。さらに、安定した条件を得るため、供試体をあらかじめ1週間気中養生後3日間 105℃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⁽²⁾

直交三方向へ独立に載荷できる三軸圧縮引張試験機を用いる。載荷板は端面拘束が少ない鋼製ブ

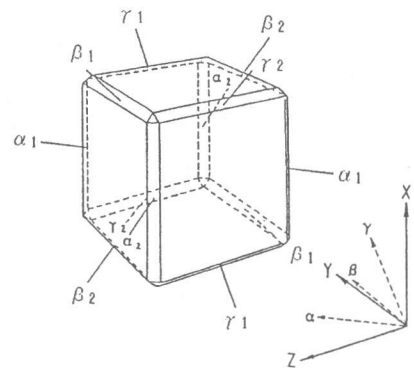


図-1 面取立方供試体と

変位計の取り付け位置

表-1 骨材の物理的性質

	比 重		吸水率 (%)	粗粒率
	絶対状態	表乾状態		
粗骨材	2.43	2.49	1.91	3.00
細骨材	2.51	2.54	1.25	6.87

表-2 コンクリートの調合表

粗骨 材大 の寸 法 (mm)	ス ラ ン プ (cm)	水 セ メ ン ト 比 (%)	細 骨 材 率 (%)	空 気 重 (%)	単 位 量 (Kg/m ³)				
					水	セ メ ン ト	細 骨 材 川 砂	粗 骨 材 川 砂 利	化 学A 混E 和剤 率(%)
20	15	51	36	4	173	333	629	1145	100

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 加熱方法

供試体の温度は、供試体に埋設しておいた熱電対 (Cu-Co) により測定した。そして、3方向6個の鋼製ブラシ載荷板に、それぞれバンドヒーター (500W×2) を取り付け加熱した。なお、供試体に有害な熱応力を生じさせないために、本実験の昇温・降温の速度は毎時10℃を目標とした。

2.4 ひずみ測定方法^{*2)}

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付ける。 α 、 β 、 γ 方向から求めたひずみ ε_α 、 ε_β 、 ε_γ を、式1に代入してX、Y、Z方向のひずみを求めた。

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_\alpha \\ \varepsilon_\beta \\ \varepsilon_\gamma \end{pmatrix} \quad \cdots \text{式1}$$

2.5 応力緩和実験

20℃、60℃、100℃各一定温度下で、供試体を下記の各初期設定応力レベルまでX軸方向に載荷し、その時の瞬間弾性ひずみを設定ひずみとする。載荷方向をひずみ拘束方向とし、設定ひずみを実験中一定に保持し、その間のひずみ拘束方向 (X軸方向) の応力を測定する。応力緩和実験の一定に保持する設定ひずみレベルは、載荷時の初期設定応力レベルで規定した。その初期設定応力レベルは次のように設定する。

温度：初期設定応力レベル (応力度/強度比)

20℃： 1/6、2/6、3/6、4/6

60℃： 2/6、3/6

100℃： 2/6、3/6

一定に保持するひずみレベルを、間接的に規定する初期設定応力レベルは、コンクリートの長期許容圧縮応力度が設計基準強度の1/3であることを念頭に置いた。

また、非拘束方向 (Y、Z軸方向) のひずみを測定する。

3. 実験結果

(1) ひずみ拘束方向の応力の測定

載荷後5時間までの応力緩和の実験結果を、図-2に示す。同一初期設定応力度では、応力緩和量は温度が高いほど大きくなる。図-3、4、5

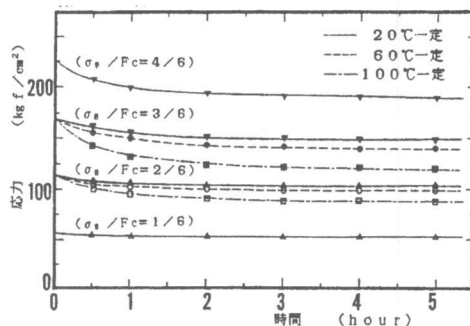


図-2 応力緩和の実験結果

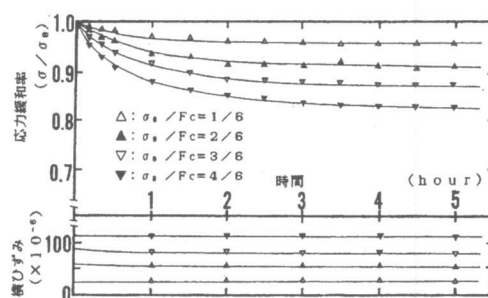


図-3 応力緩和率と非拘束方向のひずみ (20℃)

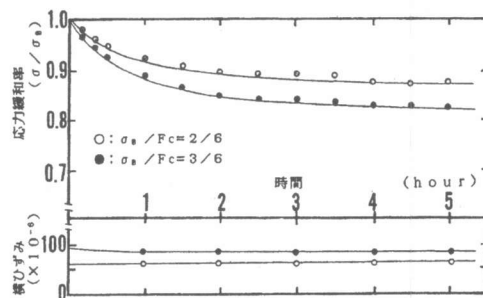


図-4 応力緩和率と非拘束方向のひずみ (60℃)

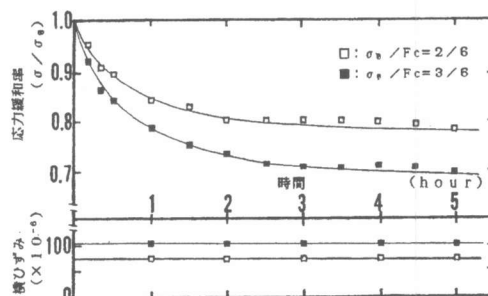


図-5 応力緩和率と非拘束方向のひずみ (100℃)

に 20℃、60℃、100℃の各一定温度での応力緩和率を示す。各温度とも、初期設定応力レベルが大きいほど応力緩和率は大きいことが分かる。

(2) 非拘束方向のひずみの測定

図-3、4、5に応力緩和時の非拘束方向のひずみの挙動を示す。これによると非拘束方向のひずみは、各温度、各初期設定応力レベルとも、ほぼ一定値を示すので、応力緩和時の体積ひずみは変化がないと考えられる。

4. 任意温度、任意初期設定応力レベルの予測応力緩和量

(1) 図-2より求めた5時間後の応力緩和量と、初期設定応力レベルの関係を、各温度毎に図-6に示す。応力緩和量が終局値の1/2に達する時間を基準にする研究も多いが、本研究では5時間目の応力緩和量を基準にした。

次に、図-7に初期設定応力レベルと各温度の5時間後の応力緩和量率の関係を示す。応力緩和量率は、応力緩和量を載荷時の初期設定応力度で除したものとする。これによると、一定温度下での5時間後の応力緩和量率は初期設定応力レベルにほぼ比例している。

この関係より任意温度下での5時間後の応力緩和量率を考えてみる。

(2) 一定初期設定応力レベル(応力度/強度比、2/6)で各一定温度(20℃、60℃、100℃)から「温度時間換算則」を適用して、20℃から100℃までの任意温度の応力緩和量を求める。

図-8に初期設定応力レベル2/6の各温度の5時間までの応力変化を示す。次に、各温度の応力変化を図-9のように、縦軸を緩和剛性率、横軸を時間の対数に変換する。緩和剛性率は応力を、一定に保持した設定ひずみで除したものとする。

緩和剛性率 $E(t) = \sigma(t) / \epsilon_0$ …式2
 ϵ_0 は設定ひずみ、図の対数は常用対数とする。

次に図-9の各曲線を、20℃を基準に時間軸に沿って平行移動させ、図-10の合成曲線を作成する。時間軸に沿って平行移動させた量 $\log a_t$ は、図-11のように絶対温度 T の関数で表せる。これにより任意温度の移動量 $\log a_t$ が求められるので、任意温度の緩和剛性率曲線を求めることより、任意温度の応力緩和曲線を求めることができる。

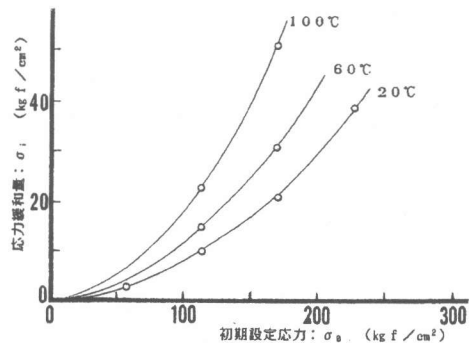


図-6 初期設定応力と5時間後の応力緩和量

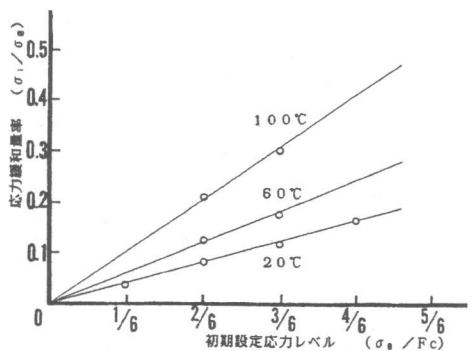


図-7 初期設定応力レベルに対する5時間後の応力緩和量率

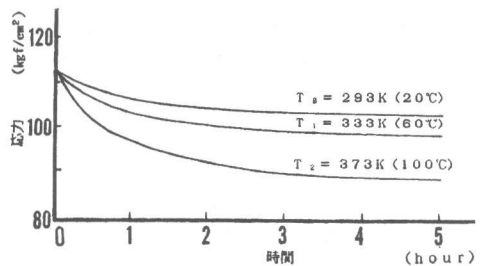


図-8 初期設定応力レベル(2/6)の応力緩和

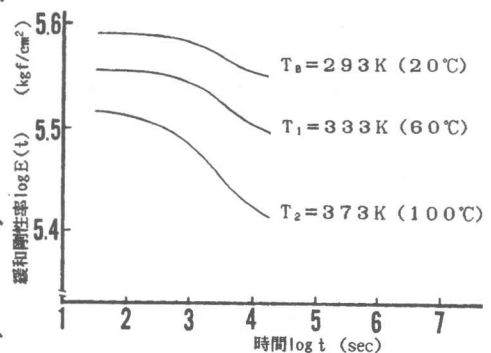


図-9 変換した緩和剛性率曲線

同様に応力度／強度比が1／6、3／6、4／6の初期設定応力レベルの時もそれぞれについて行った。

これより任意温度、任意初期応力レベルの5時間後の応力緩和量率が求められる。図-12に初期設定応力レベルに対する、5℃ごとの各温度における5時間後の応力緩和量率の関係を示す。

(3) 次に、図-2の応力緩和の実験結果より求めた、5時間後の応力緩和量を基準にとった応力緩和の実験値を図-13に示す。これによると5時間後の応力緩和量に対する、5時間までの応力緩和量の進行割合は、初期設定応力レベルや温度により大きな差がみられないので、これを一本の曲線に近似し、応力緩和近似曲線とした。以上より、図-12の5時間後の応力緩和量率と図-13の応力緩和近似曲線を用いることにより、任意温度、任意初期設定応力レベルの5時間までの任意時間の応力緩和量を求めることができる。

5. 結論

本研究の範囲内で以下のことが明らかになった。

(1) 応力緩和量は、応力度／強度比が4／6以下では初期設定応力レベルが大きいほど大きく、20℃から100℃の温度範囲内では、温度が高いほど大きい。また、一定温度下の5時間後の応力緩和量を、載荷時の初期設定応力度で除した応力緩和量率は、応力度／強度比が4／6以下の初期設定応力レベル内においては、初期設定応力レベルに比例する。

(2) 5時間後の応力緩和量率と応力緩和近似曲線を用いることにより、任意温度、任意初期設定応力レベルの5時間までの任意時間の応力緩和量を近似的に求めることができる。

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)により行ったものである。

また、(株)INAX中央研究所に厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) 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、pp.309～312、昭和61年
- 2) 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、pp.293～296、昭和59年
- 3) 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、pp.293～296、昭和60年
- 4) 岡島、河辺：乾燥過程における多軸応力下のコンクリートの熱膨張、第10回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.267～270、昭和63年
- 5) 岡島、河辺：多軸拘束されたコンクリートの熱応力と応力緩和、日本建築学会大会学術講演梗概集(A)、pp.575～576、昭和63年10月

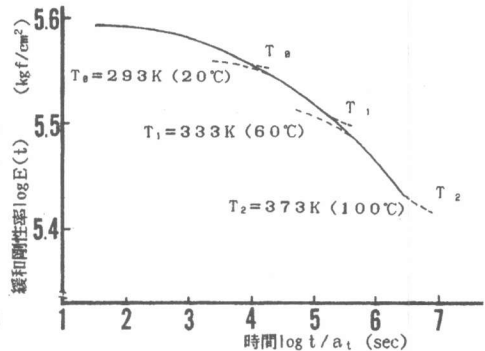


図-10 合成曲線

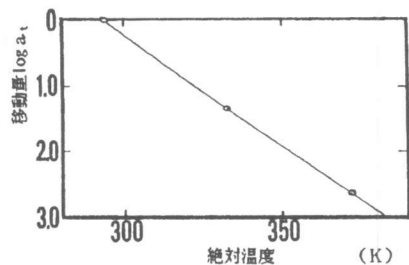


図-11 移動量 a_t と絶対温度 T の関係

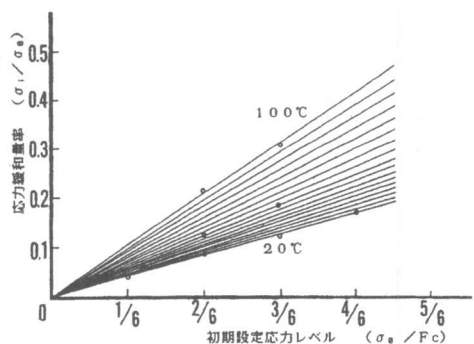


図-12 初期設定応力レベルに対する各温度(5℃ごと)の5時間後の応力緩和量率

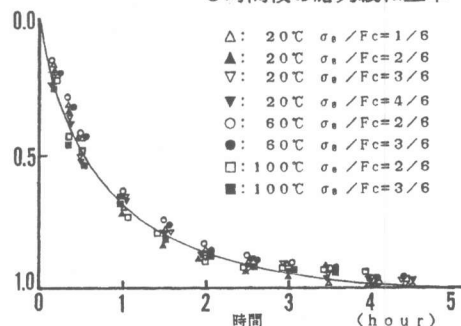


図-13 5時間後の応力緩和量を1.0として得た応力緩和近似曲線