

[10] 温度応力解析における若材令コンクリートの リラクセーション特性について

正会員 ○平田正成 (岐阜大学大学院)
 正会員 河合 敦 (岐阜大学大学院)
 正会員 森本博昭 (岐阜大学工業短期大学部)
 正会員 小柳 洽 (岐阜大学工学部)

1. はじめに

コンクリート構造物に発生する温度応力を正確に予測するためには、クリープやリラクセーションによる応力の緩和現象に対する考慮が不可欠となる。現在、有限要素法等を用いてこれらの応力の緩和現象を厳密に評価しようとする場合、解析において一定応力下でのコンクリートのクリープ特性をもとに応力緩和量を算出するのが一般的である。しかし温度応力の発生原因を考えるとクリープ特性を用いるよりはむしろ一定ひずみ下でのコンクリートのリラクセーション特性を用いる方がより合理的かつ直接的であると考えられる。一方、コンクリートのリラクセーション特性についての研究例は西林・木山¹⁾やTaylor & Maulrer²⁾等数例しかなく、特に温度応力解析で問題となる若材令下でのリラクセーション特性については野中³⁾⁴⁾等1, 2を数える程度である。本研究は合理的な温度応力解析手法確立のための基礎資料を得ることを目的とし、特に若材令コンクリートのリラクセーション特性について圧縮ひずみ拘束下における応力緩和試験を実施し、これに及ぼすひずみ(応力)レベルおよび載荷材令の影響等を明らかにしたものである。

2. 実験概要

1) 試験条件

本研究では若材令コンクリートのリラクセーション特性に及ぼす材令およびひずみレベルの影響を明らかにするため、試験材令は3日および7日の2種類とした。一方、試験に際してのひずみレベルの設定については圧縮強度に対する一定比率の応力により間接的にこれを規定することとし、その載荷応力レベルはそれぞれの材令について圧縮強度の30%、50%、80%の3レベルとした。また載荷時間は100時間程度を目標とした。

表-1 コンクリートの示方配合

スラブ (cm)	細骨材率 S/a (%)	水セメント比 W/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
			C	W	S	G
2.5	44	50	346	173	793	996

2) 供試体

実験に用いた供試体は10×10×40(cm)の直方体で、長手方向に圧縮ひずみを与えた。養生は恒温室中で20℃、R.H.90%以上の条件下で行い、また載荷中も供試体温度は20±2℃を保ち、乾燥を防ぐため供試体表面をパラフィンで覆った。使用材料としてはセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂(表乾比重2.58, FM2.53)、また粗骨材は玉砕石(表乾比重2.60,最大寸法25mm)を用い、配合は一種類のみとした。

表-2 圧縮強度および弾性係数

材令	圧縮強度 σ_c (kgf/cm ²)	弾性係数 E (x10 ⁵ kgf/cm ²)
3日	186	2.0
7日	263	2.4
28日	388	2.9

表-1にコンクリートの示方配合を示す。また材令3日、7日、28日における平均的な圧縮強度および弾性係数を表-2に示す。

3) 実験方法

実験方法は図-1に示すように電子式負荷制御装置付の大型万能試験機(a)を用い、供試体にセットした変位計(b)により供試体の縦方向変形(ひずみ)を測定しながら目標とする応力レベルまで載荷した。変位計の出力はアンプ(c)で増幅されひず

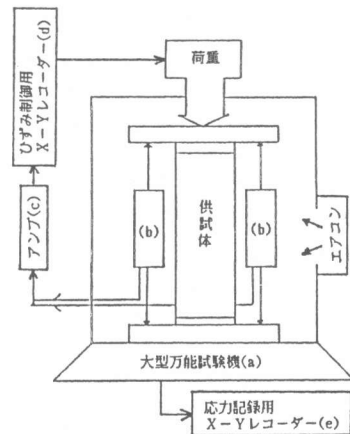


図-1 試験装置

み制御用 X-Yレコーダー(d)により試験機(a)のラム圧制御用信号に変換される。そして目標の載荷応力レベルに達した時点から変位計(b)の出力を試験機(a)にフィードバックすると、この変位計(b)の出力を一定に保つように試験機(a)のラム圧が制御され、これにより供試体のひずみが一定に保たれる。応力の経時変化は試験機(a)からの出力を応力記録用 X-Yレコーダー(e)に直接入力することにより記録した。

3. 結果と考察

1) 応力緩和関数

本研究では西林・木山¹⁾等の研究を参考にして応力緩和関数として次のような関数を用いて実験結果の整理検討を行った。

$$\sigma / \sigma_i = (A + C' t) / (A + t) \quad (1)$$

ここに σ_i は初期設定応力、また A, C' は実験定数であり次に述べるような物理的意味をもつ。

まず式(1)において $t = \infty$ とすると $\sigma_\infty / \sigma_i = C'$ となり、従って定数 C' は無限時間における初期応力に対する残留応力の比率を表す。

さらに式(1)において $t = t_a$ のとき、

$$\sigma = \sigma_a = (\sigma_i + \sigma_\infty) / 2 \quad (2)$$

とおけば、 $t_a = A$ となる。すなわち定数 A は応力緩和が進行し、緩和量が終局緩和量の 1/2 となるのに要する時間を表す。

2) 応力緩和関数の適合性

図-2~4 に材令 3 日における載荷応力レベル 30, 50, 80% の実験結果および最小二乗法により決定した式(1)で表される応力緩和曲線を示す。

図-2~4 より載荷後約 20 時間までの比較的初期を除き、各応力レベルとも応力緩和関数は実験結果に対しおおむね良好な対応を示している。また表-3 は応力緩和関数における 1/2 緩和時間 A と終局残留応力の比率 C'、および実測値から直接求めた 1/2 緩和時間と終局残留応力の比率を示したものであるが、各試験シリーズとも両者は比較的よく合致している。

以上のことから本研究で用いた式(1)の様な形式の応力緩和関数により若材令コンクリートのリラクセーション特性を表すことが可能であると考えられる。

3) 載荷応力レベルの影響

図-5, 6 に材令 3 日, 7 日における各載荷応力レベルでの応力緩和曲線の実測結果を、ま

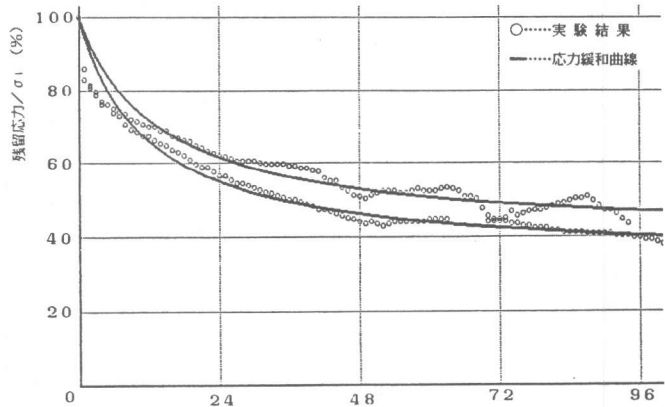


図-2 実験結果および応力緩和曲線 (30%) 時間 (h)

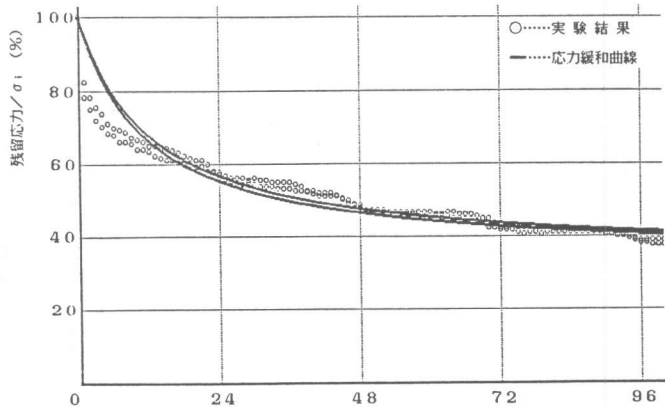


図-3 実験結果および応力緩和曲線 (50%) 時間 (h)

た図-7, 8に各載荷応力レベルでの A, C'の値を示す。

図-7, 8および表-3において各載荷応力レベルにおける A, C'の値に注目すると、終局残留応力の比率 C'は各載荷応力レベル 30, 50, 80%に対し、材令3日で 0.33~ 0.41、材令7日でも 0.48~ 0.62と両材令ともに初期設定応力の10%ほどの幅で載荷応力レベルによらずほぼ同様な値をとり、終局の応力緩和量は初期載荷応力にほぼ比例すると考えられる。一

方、1/2緩和時間 Aについては各載荷応力レベル 30, 50, 80%に対し、材令3日では 8~ 14時間、材令7日では 5~ 14時間とC'に比べると数値的にはややばらつき幅が大きく、載荷応力レベルの1/2緩和時間に与える影響は明確には表れていない。しかし図-5, 6にみられるように各材令における応力緩和曲線そのものは各載荷応力レベルともほぼ同一の曲線で表されている。これらのことから若材令コンクリートのリラクセーション特性について、少なくとも載荷応力レベルが強度の 30~80%の範囲内においては載荷応力レベルによらずほぼ同じ応力緩和曲線がえられ、載荷応力に対する線形則がほぼ成立するものと考えられる。

4) 載荷材令の影響

次に載荷材令に着目すると、表-3より終局残留応力度 C'は材令3日で平均 0.36、7日では平均 0.54となり、材令3日のほうが応力の終局緩和量が大きくなっている。また1/2緩和時間 Aも多少のばらつきがあるものの、平均値で論ずれば材令3日で11.5時間、材令7日で 9.2時間となっており、材令7日のほうが短時間で1/2緩和量に達している。すなわち材令が進行しコンクリートの硬化が進むほど応力の緩和量は減少し、また応力緩和現象も早く終息する傾向にある。

5) 従来の研究との比較

西林・木山¹⁾およびTaylor&Maurer²⁾らの実験結果では1/2緩和時間はそれぞれ 4.5~7.5分、平均では 5.8分(西林・木山¹⁾)、および 0.5~2分、平均 1.1分(Taylor&Maurer²⁾)、また終局残留応力の比率は 93~88%、平均 91.2%(西林・木山¹⁾)、および 93~82%、平均 88.1%(Taylor&Maurer²⁾)となっており、本研究で得られた若材令コンクリートのリラクセーション特性に比べきわめて短時間で1/2緩和量に達し、また応力の終局緩和量も大幅に少ないことが示されている。これは両研究とも本研究より長期材令(西林・木山¹⁾は水中養生1年、Taylor&Maurer²⁾は水中および気中養生40日)の供試体を用いているためコンクリートにおける弾性的性質が粘弾性的性質よりも支配的になったためと考えられる。

4. まとめ

コンクリートの若材令圧縮リラクセーション特性について本研究で得られた主な結論を以下に示す。

1) 若材令(3~7日)コンクリートの応力緩和現象は、式(1)に示す応力緩和関数により表すこ

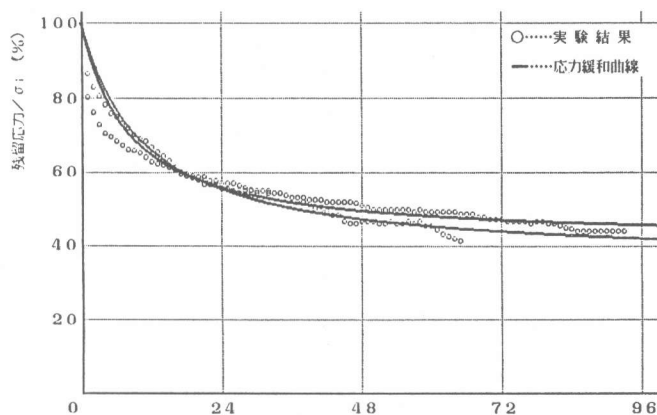


図-4 実験結果および応力緩和曲線(80%)時間(h)

表-3 実験定数A, C'

材令	応力レベル	最小二乗法		実測	
		A (h)	C'	A (h)	C' (%)
3日	30 %	14.0	0.39	9.5	43
		11.7	0.33	11.5	34
	50 %	11.7	0.34	7.5	32
		12.7	0.34	12.0	30
	80 %	10.7	0.36	8.5	41
		8.0	0.41	4.0	44
7日	30 %	8.6	0.55	10.5	52
		14.4	0.48	11.5	52
	50 %	4.5	0.54	3.5	57
		6.8	0.57	6.0	52
	80 %	9.2	0.49	6.0	53
		11.4	0.62	5.0	62

とが可能である。

2) 材令が一定の場合少なくとも初期応力レベルが圧縮強度の30~80%程度の範囲においては、1/2緩和時間、終局残留応力の比率共に荷重応力レベルにはほとんど影響されず、従って荷重応力に対するリラクゼーション特性の線形則がほぼ成立すると考えられる。

3) 荷重材令が増大するにつれ、応力の終局緩和量は減少し、緩和現象の終結時間も短くなる。すなわち材令3日における終局残留応力の比率は約0.36(36%)、1/2緩和時間は約11時間、一方、材令7日ではそれぞれ0.54(54%)、および9時間となった。

参考文献

- 1) 西林新蔵・木山英郎：
コンクリートの応力緩和に関する一研究，土木学会論文報告集241号，pp.145~153(1975)
- 2) Taylor, M.A. and G.K. Maurer：
Short-Term Stress Relaxation of Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.25, No.84, pp.123~135(1973)
- 3) 野中資博：
普通ポルトランドセメントコンクリートの温度ひびわれ発生に
関与する諸物性について，農業
土木学会論文集第91号，pp.51~
58(1981)
- 4) 野中資博：
コンクリートの引張応力緩和に
関する一考察，農業土木学会論
文集第96号，pp.58~63(1981)

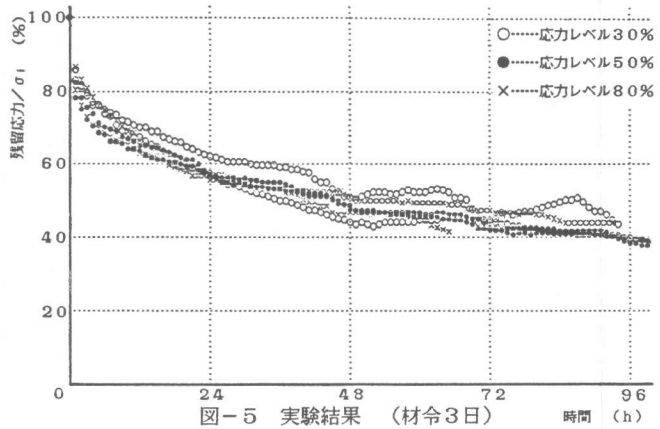


図-5 実験結果 (材令3日)

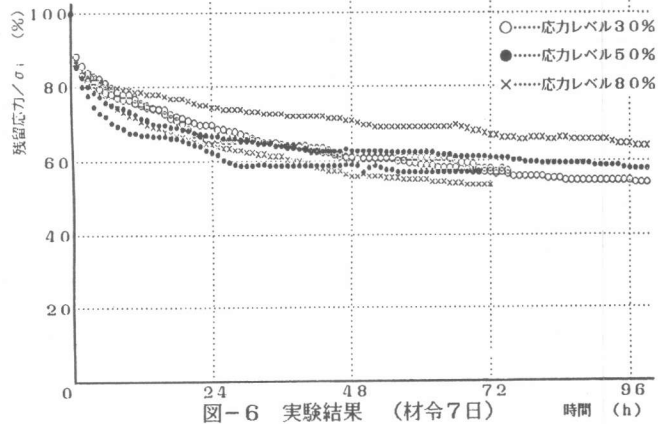


図-6 実験結果 (材令7日)

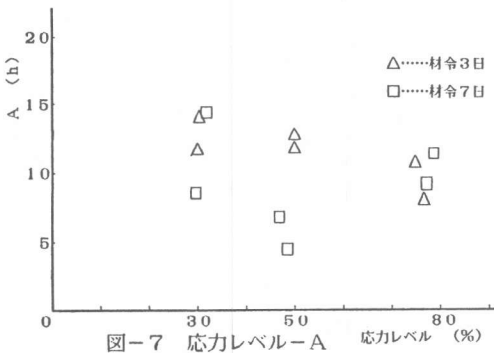


図-7 応力レベル-A

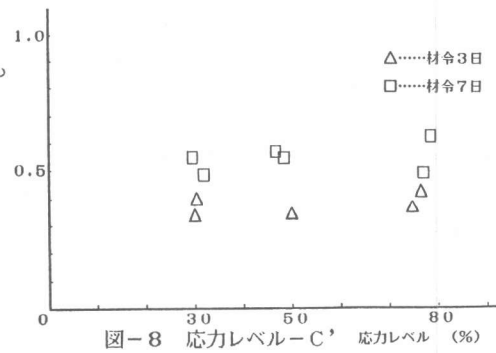


図-8 応力レベル-C'