V－77　クリープ試験に基づいた若材齢コンクリートの有効弾性係数の提案

名古屋工業大学　学生員　長谷川　健一
(株)大林組　正会員　入矢　桂史郎
名古屋工業大学　正会員　梅原　秀哲

1. まえがき

本研究は若材齢コンクリートのクリープ挙動を実験により把握し、それに基づいて温度応力の解析に用いる有効弾性係数を提案したものである。解析手法として Compensation Plane 法を用いて温度応力解析を行った後に、クリープ実験より得られたクリープ式[1][2][3]を用いてリラクセーション解析を行い、若材齢コンクリートのクリープを考慮した有効弾性係数を算出した。さらに、温度応力に適用する有効弾性係数式は、土木学会コンクリート標準示方書（以下 RC 示方書と略記する）式が現在広く適用されているが、RC 示方書式と本研究から得たクリープ実験に基づいた有効弾性係数式と比較して、温度応力解析に用いる有効弾性係数について検討した。

2. 配合

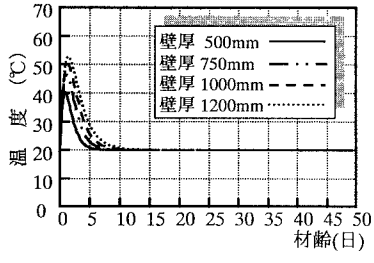
ここで対象としたコンクリートは実験に使用したものと同一のものとし、28 日強度 30N/mm^2 程度の普通コンクリートで、水セメント比 55%、細骨材率 44.6%とした。

3. 温度応力解析手法

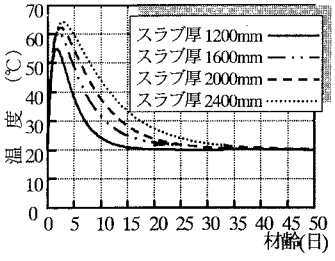
温度応力を算出するために、外部拘束度を 3 種類と壁厚を 4 種類に変化させた壁モデル(外部拘束有り)と、スラブ厚を 4 種類に変化させたマットモデルの合計 16 ケースに対して 2 次元 FEM を用いて温度履歴を算出した。次に、Compensation Plane 法によって温度応力(弾性解)を求め、この値をクリープによるリラクセーションの影響を考慮した値(クリープ解)にするために、クリープ式[1][2][3]を用いた step by step 法により解析を行った。求めたクリープ解の増分応力を弾性解の増分応力で除して、その低減率(弾性係数比)を求め、この値を静弾性係数値に乗ずることにより、温度応力における有効弾性係数を算出した。表－1 に温度応力解析に使用した解析条件を示す。

表－１　解析条件

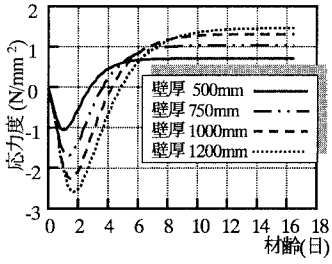
セメント種類		普通
水セメント比	%	55.0
断熱温度上昇式 $Q=Q_\infty(1-\exp(-rt))$	Q_∞(℃)	47.4
	r	1.153
比熱	kJ/kg℃	0.26
熱伝導率	W/mhr℃	2.0
打設温度	℃	20.0
外気温	℃	20.0一定
単位体積質量	Kg/m^3	2400.0
熱膨張係数	$\times10^{-6}$	10.0
圧縮強度	N/mm^2	F'c=8.04ln(M)-47.77
引張強度	N/mm^2	F't=0.49ln(M)-2.05
静弾性係数	N/mm^2	E=(0.512ln(M)-1.33)×10^4
外部拘束度(壁モデル)	RN	0.1　0.2　0.3
	RM1	1.0
	RM2	1.0
外部拘束度(マットモデル)	RN	0
	RM1	1.0
	RM2	1.0



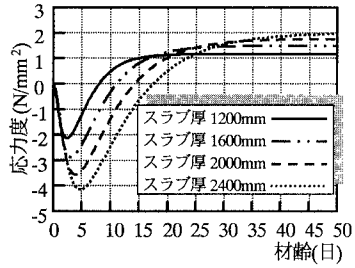
図－１　壁モデル温度履歴



図－２　マットモデル温度履歴



図－３　壁モデル応力履歴



図－４　マットモデル応力履歴

Key word　有効弾性係数、若材齢、クリープ、温度応力
〒466-8555　名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学社会開発工学科　TEL 052-735-5502　Fax052-735-5503

4. 温度および弾性温度応力

温度および弾性温度応力解析結果を図－1～図－4 に示す。応力算出点は、最大温度となる断面中央とした。壁モデルではマットモデルに比べて温度降下速度が速いことが認められる。

温度応力については、壁モデルがマットモデルに比べて、壁厚が大きくなることによる応力の増加が大きいことがわかった。

5. クリープを考慮したリラクセーション解析

クリープを考慮したリラクセーション解析結果を図－5、図－6 に示す。壁モデル、マットモデルともに若材齢の圧縮領域ではクリープにより応力が緩和されているが、引張領域においては初期の応力緩和の影響により、クリープ解の応力の方が大きくなった。これは、クリープによる応力の低減を受けやすい若材齢時に受けた圧縮応力の低減が、引張応力の増加という形で現われたためと考えられる。また、壁モデル、マットモデルともに、引張領域においてクリープ解が RC 示方書式よりも大きな値を示した。

6. 弾性係数比の比較

今回の解析より得られた弾性係数比を図－7、図－8 に示す。壁モデル、マットモデルともに、圧縮、除荷領域では絶対値は異なるがほぼ同等の傾向を得たのに対して、引張領域においては、増分の絶対値が異なることにより、弾性係数比の値が変化した。しかし壁モデルとマットモデルとの間に大きな違いは見られなかった。また、壁モデル、マットモデルともに、引張領域の後半部分において、弾性係数比が次第に大きくなっていくが、これは載荷期間後半で弾性解の応力増分が徐々に 0 に収束していくことによる。

コンクリートの静弾性係数が既知の場合、クリープを考慮した有効弾性係数は次式で定義される。

$E_{eff}(t) = \varphi(t) \cdot E_c(t)$　　$E_{eff}(t)$:有効弾性係数　(N/mm^2)

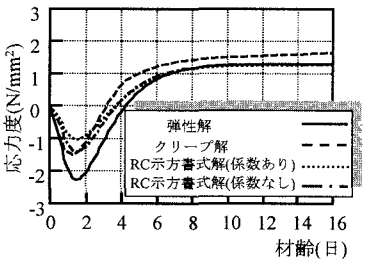
$E_c(t)$:静弾性係数　(N/mm^2)　　$\varphi(t)$:補正係数

有効弾性係数の補正係数は発生応力の状態により異なり、壁モデルでは圧縮域 0.65・除荷域 1.0・引張域 0.5 程度、マットモデルでは圧縮域 0.65・除荷域 1.05・引張域 0.55 程度となった。

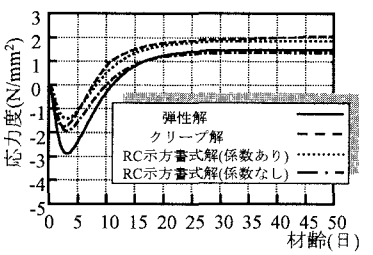
7. まとめ

本研究では、静弾性係数から有効弾性係数を算出する際の補正係数は、応力の発生状態ごとに 1.05～0.5 となった。

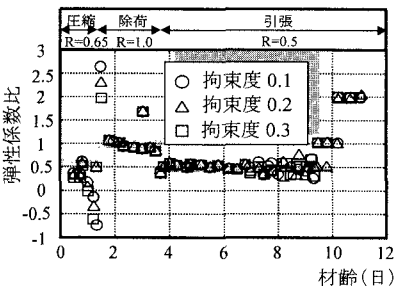
また、クリープ試験結果に基づいて算出した有効弾性係数を用いた場合の温度応力解析結果は、ＲＣ示方書に比べて除荷域でのレラクセーションが小さい結果となった。



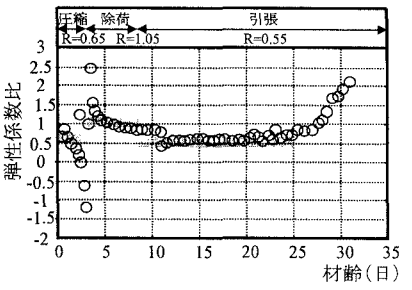
図－５　リラクセーション解析結果 (壁厚 1000mm)



図－６　リラクセーション解析結果 (スラブ厚 1600mm)



図－７　弾性係数比　(壁厚 1000mm)



図－８　弾性係数比　(スラブ厚 1600mm)

参考文献

[1] 入矢桂史郎，平本昌生，服部達也，梅原秀哲：若材齢コンクリートの圧縮クリープに関する研究、土木学会論文集，No. 599/Ⅴ-40，pp. 1-14，1998. 8

[2] 平本昌生，入矢桂史郎，Gupta Spratic，梅原秀哲：若材齢コンクリートのクリープの載荷応力依存性、コンクリート工学論文報告集，Vol. 19，No. 1，pp. 775，1997

[3] 入矢桂史郎，根木崇文，服部達也，梅原秀哲：若材齢コンクリートの除荷過程のモデル化に関する研究、土木学会論文集Ⅴ-42，1999. 2