

大成建設(株) 土木設計部 正会員 ○ 手島 和文
 “ “ “ 貞光 誠人
 “ “ “ 渡部 昭一

1. まえがき

低温領域で温度勾配を受けるコンクリート部材の温度応力については近年多く研究されているが、その定量的な把握、及び解析方法の検証については決して充分とはいえない。本報告はPC外槽を想定して行なった梁部材の変形拘束試験について数値解析を行ない、実験値との比較により解析方法の妥当性を検討したものである。数値解析は、i)定常状態の部材拘束力についてPRC計算、ii)冷却開始から引張鉄筋降伏までの部材拘束力、変位ひずみについて、ひび割れを考慮した非線形FEM解析の2通り行なった。

2. 実験内容

表-1に今回の解析対象とした供試体の一覧を示す。図-1に示すように供試体の片面を冷却し、これにより生じる曲げ変形、軸変形を両端に設置した油圧ジャッキにより拘束した。断面内温度分布が定常状態になるまで変形拘束試験を行ない、その後油圧ジャッキを更に加力し、部材の曲げ破壊試験を行なった。

3. PRC計算

ここにいうPRC計算とは、プレストレスによる軸圧縮力を外力と考え、温度勾配によるひずみ差と、軸方向力のつりあい式より、RC計算と同様な手法で定常状態の部材拘束力を算定するものである。計算は以下の仮定に基づいて行なった。

- 温度勾配は直線分布とし、これにより生じるひずみも相似な三角形分布とする。(図-2)
- コンクリートの引張応力は無視する。
- 材料定数は常温の値を用いる。(表-2)

計算式の一部を以下に示す。(記号はRC、PC示
 方書に表示してあるもの以外は割愛する。)

上下縁のひずみ差 $\epsilon_0 = \Delta T \times \alpha$, ΔT : 温度差 ($\approx 200^\circ\text{C}$)

軸方向力のつりあい $N_0 = C + C_s' - T_p - T_s$ N_0 : プレストレス

コンクリート圧縮力 $C = \frac{1}{2} B \cdot X \cdot \sigma_c = E_c \cdot \epsilon_0 \cdot B \cdot X^2 / 2H$

圧縮鉄筋圧縮力 $C_s' = A_s' \cdot \sigma_s' = E_c \cdot \epsilon_0 \cdot n_s \cdot A_s' (X - d'') / H$

PC鋼棒引張力増分 $T_p = A_p \cdot \sigma_p = E_c \cdot \epsilon_0 \cdot n_p \cdot A_p (d_p - X) / H$ $n_p = E_p / E_c$

引張鉄筋引張力 $T_s = A_s \cdot \sigma_s = E_c \cdot \epsilon_0 \cdot n_s \cdot A_s (d - X) / H$ $n_s = E_s / E_c$

これより中立軸位置 X が決まり、 C , C_s' , T_p , T_s が求まる。この時拘束モーメントは、 $M_0 = C \cdot (H/2 - X/3) + C_s' (H/2 - d'') + T_p (d_p - H/2) + T_s \cdot (H/2 - d')$ となる。

表-1 供試体一覧

供試体番号	プレストレス量 (kg/cmf)	引張鉄筋比 (%)	配 本 数 一 様	拘束条件	冷却方法	冷却温度
A-3	3.0	1.0	2-D25	曲げ変形	急 冷	-19.6℃
A-4	0	1.0	2-D25	“	“	“
A-5	3.0	0.5	2-D19	“	“	“
A-6	3.0	1.0	4-D19	“	“	“
A-7	3.0	1.5	2-D32	“	“	“
A-8	6.0	1.0	2-D25	“	“	“
A-9	3.0	1.0	2-D25	“	徐 冷	“
A-10	3.0	1.0	2-D25	“	急 冷	-4.5℃
B-2	3.0	1.0	2-D25	曲げ変形 及び軸変形	“	-19.6℃

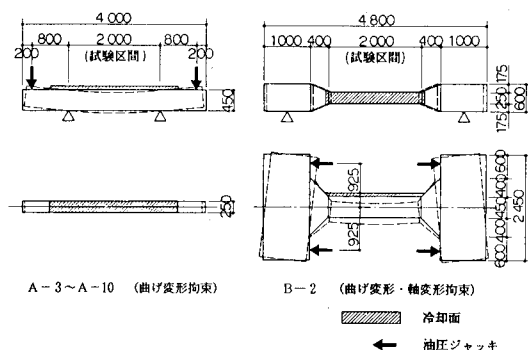


図-1 供試体寸法及び拘束方法

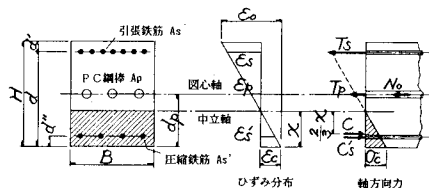


図-2 ひずみ・応力度分布図

表-2 計算に用いた材料定数

コンクリート	$E_c = 2.8 \times 10^5$ kg/cm ²
	$\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$ /℃
鉄 筋	$E_s = 2.1 \times 10^6$ kg/cm ²
PC鋼棒	$E_p = 2.0 \times 10^6$ kg/cm ²

定常状態における部材拘束力の計算結果を表-3に示す。簡易な計算式でありながら、実験値と計算値は比較的よく一致している。計算値の方が若干大きめなのは、温度勾配によるひずみ分布を直線と仮定していること、及び線膨張係数に常温の値を採用しているためと思われる。

4. 非線形FEM解析

解析モデルは図-3に示すように対称性を考慮して1/2とし、鉄筋とPC鋼棒を線要素とした。使用材料の応力-ひずみ曲線は、ひび割れ及び低温による強度増加を考え図-4の通り仮定した。極低温下では鉄筋、PC鋼棒とコンクリートの線膨張係数の違いにより、鉄筋及びPC鋼材には引張力、コンクリートには圧縮力が働く。(プレストレス効果) 予備検討として線膨張係数が等しい場合($\alpha_s = \alpha_p = \alpha_c = 1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)、違う場合($1.2 \times 10^{-5} = \alpha_s = \alpha_p \neq \alpha_c = 0.8 \times 10^{-5}$)を行ない、検討結果及び、ひび割れによる引張力の解放を考えた、温度降下が定常になった後のPC鋼棒についてのみプレストレス効果を考慮した。

解析手順は、実際に断面内温度分布(図-5)を与え、スパン中央の変位が0になるように拘束荷重を逐次増加させながら、定常状態(8時間)迄繰り返し計算を行なった。その後、引張鉄筋が降伏するまで荷重を増加させた。

解析結果の一例(A-3)を図-6~図-10に示す。

拘束荷重(油圧ジャッキ反力)の経時変化は傾向としてよく一致しており、8時間後では実験値(18.5t)と計算値(18.1t)は非常によく一致している。変位については計算値が若干大きめとなっているが、ひずみは降伏状態を含め非常によく一致している。PC鋼棒ひずみの計算値が18t付近で著しく増加しているのは、前述した線膨張係数の違いを考慮したためであるが、よく実験値を表現している。

5. まとめ

今回の解析の結果、低温領域で温度勾配を受けるPC部材の部材拘束力は、常温の材料定数を用いたPRC計算により十分実用的な精度で、また非定常状態を含む部材拘束力、変位、ひずみについては、ひび割れ及び低温による強度増加を考慮した非線形FEM解析により、かなりの精度で解析できることが明らかになった。最後に、本研究を行なうにあたり適切な助言をいただきました東北大学三浦尚教授に深く感謝の意を表します。

表-3 部材拘束力

供試体番号	部材拘束力	
	実験値	計算値
A-3	14.8 t	13.5 t
A-4	9.1 t	10.4 t
A-5	9.0 t	10.5 t
A-6	14.5 t	14.2 t
A-7	13.3 t	16.9 t
A-8	12.2 t	16.1 t
A-9	12.6 t	13.1 t
A-10	4.9 t	5.4 t
B-2	6.3 t 86.9 t	6.1 t 86.9 t

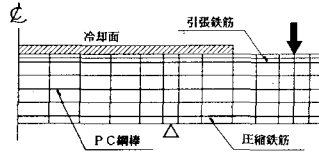


図-3 解析モデル

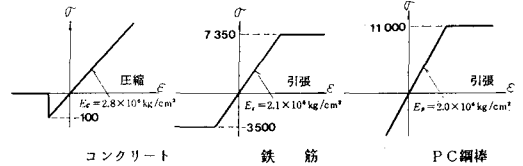


図-4 使用材料の応力-ひずみ曲線

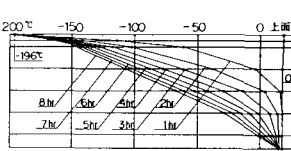


図-5 断面内温度分布図

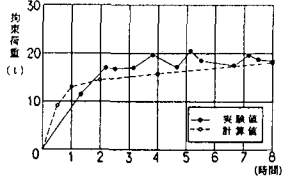


図-6 拘束荷重の経時変化

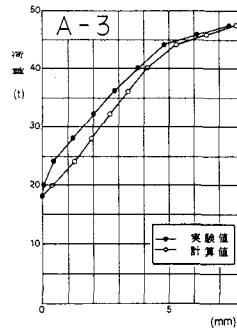


図-7 スパン中央変位

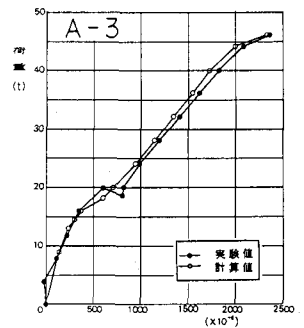


図-8 圧縮線コンクリートひずみ変化

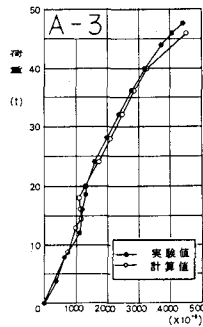


図-9 引張鉄筋ひずみ変化

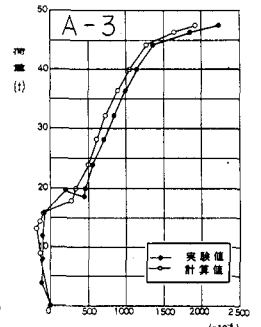


図-10 PC鋼棒ひずみ変化

参考文献 (1)青柳、阿部、金津：低温域下における鉄筋コンクリート曲げ部材の力学的特性、電力中央研究所

報告 3790/5 昭和54年12月