

PC部材のひびわれ耐力増強法について

九州産業大学 正員 ○宮川 邦彦

同 正員 佐藤 武夫

1. まえがき

PC部材に緊張されていない鋼材（以下、非緊張鋼材と呼ぶ）を配置すると、同鋼材がコンクリートの時間依存ひずみを拘束するため、その影響で部材断面のプレストレス分布が大幅に経時変化することになる。

本報告は、そのような非緊張鋼材の内部拘束力を利用して、使用限界状態の荷重作用時におけるPC部材のひびわれ耐力を増強するための配筋法に関する研究であり、終局耐力の増強を目的としたものではない。

2. PC部材のプレストレス分布

現行のPC構造物の設計では、通常、非緊張鋼材が部材断面のプレストレス分布に及ぼす影響については無視している。しかし、非緊張鋼材がある程度多量に配置されると、その内部拘束力により部材断面のプレストレス分布は大幅に経時変化する。一例として、図-1のような配筋状態の異なる4種類のPC部材に永久荷重による曲げモーメント $M_p=300\text{tfm}$ が作用するときのプレストレス分布の経時変化について、筆者らの提案による力学モデル解析法から求めた解析結果と同部材の変動荷重に対する許容曲げモーメント M_{ra} との関係について比較検討する。図-1のPC部材断面に対する力学モデル解析結果を表-1にまとめて示す。ここに、部材ⅠはPC鋼材だけで補強したもの、部材Ⅱは現行のⅡ種あるいはⅢ種PC部材のように非緊張鋼材を部材引張縁近傍に配置したもの、部材Ⅲおよび部材Ⅳは逆にそれを圧縮縁近傍に配置したものである。同表および図-1に示すように部材断面のプレストレス分布の経時変化は、非緊張鋼材の有無やその配筋位置の違いなどにより、大幅に相違することがわかる。

ここに提案する配筋法（部材Ⅲおよび部材Ⅳ、以下、本配筋法と呼ぶ）のようにある程度多量の非緊張鋼材を荷重作用時の部材圧縮縁近傍に配置すると、その内部拘束力 R により永久荷重や変動荷重の作用による曲げモーメントとは逆向きの付加モーメントが徐々に生じるため、従来の部材（部材Ⅰおよび部材Ⅱ）と比較して、部材下縁のプレストレスの低減割合を少なくでき、また、部材上縁のプレストレスを減少できることがわかる。したがって、本配筋法は、従来の部材よりも使用限界状態時の変動荷重に対する許容曲げモーメントを大幅に増大することができる。なお、本配筋法は永久荷重による曲げモーメントが大きな部材ほど、また、桁高さが高くなるほど有利であり、特に長大橋の桁断面などに適用できるものと考えられる。

表-1 プレストレス分布の経時変化と許容曲げモーメント

部 材 応 力 度	Ⅰ		Ⅱ		Ⅲ		Ⅳ	
	$\sigma' u$	$\sigma' \ell$	$\sigma' u$	$\sigma' \ell$	$\sigma' u$	$\sigma' \ell$	$\sigma' u$	$\sigma' \ell$
導入時	133	56.7	134	49.2	112	65.2	93.3	73.3
10 ⁴ 日後	140	20.1	137	2.8	69	46.2	31.4	61.4
M_{ra}	36.2		5.77		91.5		130	
比	1.00		0.16		2.53		3.59	

（設計条件）全部材： $A_p=50\text{cm}^2$ ，部材Ⅱ： $A_s=35\text{cm}^2$ ， $A's=5\text{cm}^2$ ，部材Ⅲ： $A_s=5\text{cm}^2$ ， $A's=35\text{cm}^2$ ，部材Ⅳ： $A_s=5\text{cm}^2$ ， $A's=75\text{cm}^2$ ， $P_i=500\text{tf}$ ， $\epsilon_{sh}=385 \times 10^{-6}$ ， $\phi=2.04$ ， $\sigma_{ca}=170$ ， $\sigma_{ta}=0\text{kgf/cm}^2$ ， $\sigma' u$ ， $\sigma' \ell$ ：部材上・下縁応力度（ kgf/cm^2 ）， M_{ra} ：（ tfm ）

3. 実験概要および結果

前述の時間依存現象を確認するための検証実験として、本実験では配筋状態の異なるPRC部材2体を作製し、静置期間中の部材各部のひずみ変化や荷重試験時のひびわれ耐力などを調べた。本実験では早強ポルトランドセメントを用い、単位水量 $W=200\text{kg/m}^3$ 、単位セメント量 $C=420\text{kg/m}^3$ 、単位

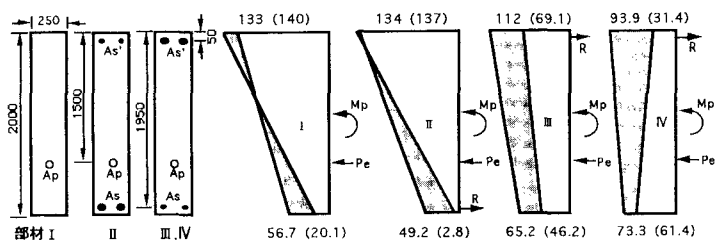


図-1 部材断面(単位:mm)およびプレストレス分布(単位:kgf/cm²)

粗骨材容積 $g=400 \text{ l/m}^3$ のコンクリートを打設した。また、P C 鋼材にはSWPR-7Aを、軸方向鉄筋にはSD295AのD10とD19を、帯鉄筋にはD6を用いた。図-2に部材の断面形状と載荷試験方法を示す。部材はプレテンション方式で作製し、材令3日でプレストレスを導入した後、恒温室内(温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$)に移し、部材表面(上縁と中央部)および軸方向鉄筋(上部、下部)の4箇所に貼付したひずみゲージを用いて載荷試験までの約60日間部材各部のひずみ変化を実測した。なお、P C 鋼材には初期緊張力 $P_i=10 \text{ tf}$ を導入した。

図-3と図-4に静置期間中の実測ひずみ-時間曲線を示す。両図から軸方向鉄筋の配筋状態で部材各部のひずみ-時間曲線が大幅に相違することがわかる。なお、紙面の関係上、力学モデル解析法による解析曲線は割愛するが、同曲線は実測のそれとほぼ一致しており、以下では同解析法から求めた載荷試験時の部材応力度を用いて検討した。

表-2に部材の載荷試験結果および計算結果の一覧を示す。ここに、ひびわれ耐力の実測値は目視または部材に貼付したひずみゲージの値が急変するときの荷重であり、また、曲げひびわれ耐力の計算値はコンクリートの引張強度(f_t)に載荷試験時の部材下縁応力度(σ'_{ℓ})を考慮して弾性式から求め、斜めひびわれ耐力のそれは土木学会コンクリート標準示方書の算定式から求めた値である。ただし、安全係数を1.0とし、係数 β_n は σ'_{ℓ} の値を用いて $\beta_n=1+2M_o/M_u$ から計算した。ここに、 M_o はデコンプレッションモーメント、 M_u は曲げ破壊モーメントである。

表-2のように曲げおよび斜めひびわれ耐力の実測値はいずれの値も部材引張縁近傍に軸方向鉄筋を多量に配置したPRC I部材より圧縮縁近傍にそれを配置したPRC II部材の方が大きくなっており、2で述べた理論の妥当性を立証し得たものと考ええる。また、同表に示す実測値と計算値との比から、曲げひびわれ耐力に関しては、前述の弾性

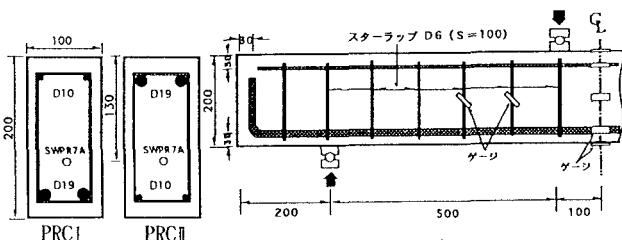


図-2 部材形状および載荷方法(単位:mm)

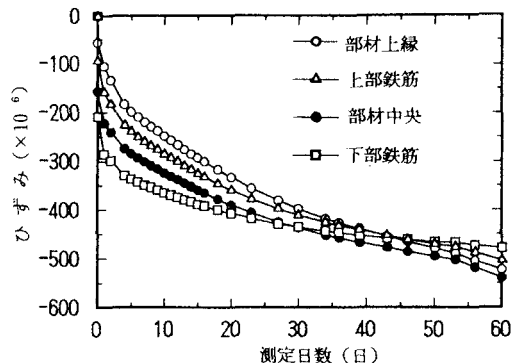


図-3 PRC I部材のひずみ-時間曲線

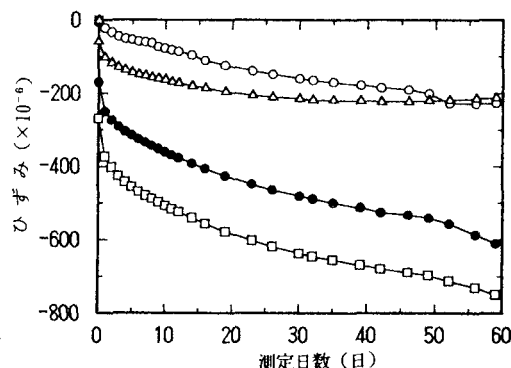


図-4 PRC II部材のひずみ-時間曲線

表-2 部材の破壊試験結果および計算結果(tf)

部材	σ'_{ℓ}	曲げひびわれ			斜めひびわれ			破壊荷重		
		実測	計算	比	実測	計算	比	実測	計算	比
PRC I	5.6	2.21	1.63	1.35	7.30	5.63	1.30	17.0	15.9	1.07
PRC II	60.2	3.80	3.24	1.17	7.40	4.60	1.61	11.3	11.9	0.95

注) 破壊試験時のコンクリート強度: $f'_c=45 \text{ l}$, $f_t=35.2 \text{ kgf/cm}^2$

式からは安全に算定できることがわかるが、斜めひびわれ耐力に関しては、若干安全すぎるようである。これは、現行の斜めひびわれ耐力の算定式が多くのRCはりの実験結果を基に求められた経験式ではあるが、破壊試験までの静置期間中に生じる収縮応力が同式では無視されているために安全側の算定になっていること、および本報告ではP C 鋼材の影響を無視したことなどによるものと考えられる。なお、この点については今後更に検討すべきである。以上、本配筋法はP C 部材のひびわれ耐力増強法として有効であると考えられる。