

アンボンドPCはりの変形・強度特性に関する2,3の考察

京都大学 正員 岡田 清
立命館大学 正員 児島孝之
京都大学 学生員 〇大石龍太郎

1. はじめに アンボンドPC鋼材を使用したPC部材が土木構造物にも利用されつつあるが、アンボンドPC部材は従来のグラウトを施したポストテンショニング式のPC部材と比較して、定着部の疲労、曲げ耐力の低下、ひびわれ分散性等に問題があるとされており、変形性状もかなり異なるものと考えられる。本報告はアンボンドPC部材の変形・強度特性について実験および理論の両面から検討したものである。

2. 実験概要 以下に示す4種類のはりについて静的曲げ荷重実験を実施した。

①通常のポストテンショニング式でグラウトを施したはり(BoN)、②①のりでグラウトを施さないもの(UINg)、③ポリマー系樹脂を塗布したアンボンドPC鋼材を用いたはり(UN)、④③のりで中央断面に人エひびわれを有するもの(Ullc)。はりの寸法はいずれも $10 \times 20 \times 160 \text{ cm}$ であり、 $\phi 10 \text{ mm}$ のPC鋼棒(降伏応力 106 kg/mm^2 , 破 応力 114 kg/mm^2)を断面に偏心して配置した($d=13.3 \text{ cm}$)。荷重は対称2点荷重(スパン 140 cm , せん断スパン 55 cm)とし、荷重時には各点のたわみ、回転角、ひびわれ幅、上下縁のひずみ等の測定を行った。荷重時材令におけるコンクリートの圧縮強度、引張強度、ヤング係数はそれぞれ $\sigma_{cu}=57.7 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{tu}=29.4 \text{ kg/cm}^2$, $E_c=3.45 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ であった。各はりの有効緊張力 P_e 、ひびわれ強度 P_{cr} 、最大耐力 P_u を表-1に示す。はり中央のたわみと荷重との関係を図-5に示す。

3. 理論解析 アンボンドPCはりとは付着のあるPCはりとの変形性状の相異は付着性状の相異によるものと考えられる。解析においてはPC鋼棒とコンクリート間の付着に対してボンドリレクの概念を導入し、PCはりの変形解析を行った。すなわちPCはりを用-1, 2に示すようなセグメントに分割する。このセグメントはコンクリート、PC鋼棒、ボンドリレクより成っており、コンクリートとPC鋼棒はセグメント 端部でボンドリレクにより連結されている。コンクリートセグメントには工学的に理論が適用できるものとし、はり断面を図-3のようには要素分割し、図-2, 3の記号を参考にするとコンクリートの剛性マトリックスは式(1)で表わせる。同様にしてPC鋼棒、ボンドリレクの剛性マトリックスは式(2), (3)で表わせることができる。式(1), (2)中右辺第2項は有効プレストレスによる等内力である。図-4は解析に用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線であり、曲線部分は2次放物線とした。PC鋼棒にはbilinear型の応力-ひずみ関係を用いた。ボンドリレクのばね定数は付着なしとアンボンドPCはりの場合には $k_b=0$ とし、付着のある場合には付着応力とすべりの関係をbilinearとし、種々の付着強度について解析を行った。非線形解析法は直接繰返し法によった。この場合荷重点の鉛直変位を漸増させ、各段階で5~10回の繰返しを行った。解析結果の一例として荷重-たわみ曲線を図-5に示す。

4. 実験結果および解析結果の検討 表-1に示したように今回の実験では有効緊張力がかなりばらつき、緊張力の測定方法によっても異なっているために、実験値間の比較は難しいが

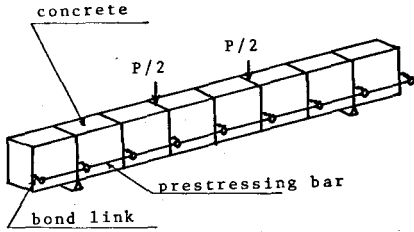


図-1 はりのモデル化

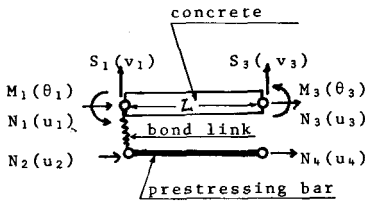


図-2 セグメント

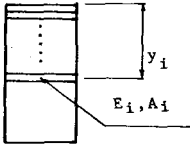


図-3 断面の要素分割

ひびわれ強度はいずれのはりもほぼ等しく、アンボンドはりには付着のあるはりよりも最大耐力がやや低い結果と一致した。一方ひびわれおよび最大耐力の理論値はアンボンドはりでは有効緊張力 \$P_e = 17.0 \sim 21.0^t\$ に対して \$P_{cr} = 5.33 \sim 6.24^t\$、\$P_u = 8.81 \sim 9.39^t\$ となった。付着のあるはりでは \$P_e = 17.34^t\$ とし、付着強度を \$\tau_u = 50, 30, 10, 0 \text{ kg/cm}^2\$ に対する理論値は各々

\$P_{cr} = 5.62, 5.62, 5.62, 5.48^t\$、
\$P_u = 9.43, 9.40, 8.99, 8.92^t\$ となった。荷重～たわみ曲線(図-5)において、アンボンドはりでは \$P_e\$ によって

強度は変化するが、ひびわれ以降の曲線形状はあまり変化しない。一方付着のあるはりでは付着強度によってひびわれ強度はほとんど変化しないが、曲線形状、最大耐力は変化し、実験曲線は \$\tau_u \leq 10 \text{ kg/cm}^2\$ の理論曲線と形状はよく一致するが、最大耐力は \$\tau_u \geq 30 \text{ kg/cm}^2\$ の理論値と一致した。最後に今回提案した解析方法は付着すべきりの関係に検討を要するが、種々の PC はりの変形・強度解析に適用し得るものと考えられる。

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ S_1 \\ M_1 \\ N_3 \\ S_3 \\ M_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{L^3 A_{11}} \begin{pmatrix} L^2 A_{11}^2 & 0 & 12(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & L^2 A_{11}A_{12} & 6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & L^2(4A_{11}A_{22} - 3A_{12}A_{21}) \\ 0 & L^2 A_{11}^2 & 0 & -L^2 A_{11}A_{12} & 0 & -L^2 A_{11}A_{12} \\ L^2 A_{11}A_{12} & -L^2 A_{11}A_{12} & -12(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & -6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & L^2(2A_{11}A_{22} - 3A_{12}A_{21}) & 0 \\ 0 & 0 & 6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & L^2(4A_{11}A_{22} - 3A_{12}A_{21}) & 0 & -6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) \\ -L^2 A_{11}A_{12} & 6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & -6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) & L^2(2A_{11}A_{22} - 3A_{12}A_{21}) & -L^2 A_{11}A_{12} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_3 \\ v_3 \\ \theta_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_{10} \\ S_{10} \\ M_{10} \\ N_{30} \\ S_{30} \\ M_{30} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$L^2 A_{11}^2 \quad 0 \quad 12(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) \quad L^2 A_{11}A_{12} \quad 6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) \quad L^2(4A_{11}A_{22} - 3A_{12}A_{21})$$

$$L^2 A_{11}A_{12} \quad -L^2 A_{11}A_{12} \quad -12(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) \quad -6L(A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}) \quad L^2(2A_{11}A_{22} - 3A_{12}A_{21}) \quad 0$$

$$A_{11} = \sum E_i A_i \quad A_{12} = A_{21} = -\sum E_i A_i (d - y_i) \quad A_{22} = \sum E_i A_i (d - y_i)^2$$

$$\begin{pmatrix} N_2 \\ N_4 \end{pmatrix} = \frac{E_p A_p}{L} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_2 \\ u_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_{20} \\ N_{40} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix} = K_b \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

表-1 \$P_e, P_{cr}\$ および \$P_u\$

	\$P_e\$ (t)		\$P_{cr}\$ (t)	\$P_u\$ (t)
	1	2		
BON-1	17.3	--	6.0	9.65
BON-2	17.3	--	5.8	9.30
UNNG-1	19.6	17.0	5.9	8.95
UNNG-2	20.7	18.0	5.9	8.80
UN-1	21.1	18.3	6.0	9.25
UN-2	19.6	17.2	5.9	9.00
UNC-1	20.8	17.3	(7.4)	9.40
UNC-2	20.0	17.5	(7.1)	9.35

注) 1. コンクリートのひびわれによる。
2. はり端部のロードセルによる。

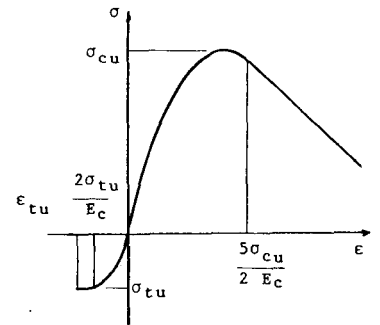


図-4 コンクリートの応力-ひずみ曲線

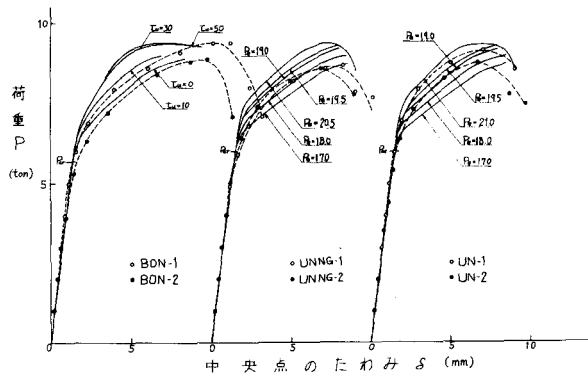


図-5 荷重～たわみ曲線