

# [124] プレストレストコンクリートげたのPC鋼棒によるせん断補強

佐伯 彰 一 (建設省土木研究所)

正会員 〇山 本 善 行 ( " )

正会員 白 浜 浩 ( " )

平 山 伸 司 ( " )

## 1. ま え が き

長大径間のプレストレストコンクリート(以下PCと言う)橋においては、支点付近の大きなせん断力に対処するために、斜引張鉄筋(スターラップおよび折り曲げ鉄筋)の一部をプレストレスを導入したPC鋼棒に置き換えることにより、斜引張ひびわれの発生を抑制したり、鋼材比を少なくしてけたの腹部断面積ひいては死荷重を低減する設計が採用されることがある。

PC橋のせん断に対する現行の設計方法では、斜引張応力度の照査とせん断破壊に対する照査とが必要とされており、せん断破壊としてはウェブコンクリートの圧縮破壊および斜引張鉄筋の降伏に起因する破壊とに着目した照査が行なわれている。昭和53年1月に発刊された道路橋示方書Ⅲ、コンクリート橋編では、上記のようなPC鋼棒によってせん断補強したけたについても斜引張鉄筋だけでせん断補強されたけたと同じような設計方法が用いられているが、PC鋼棒によってせん断補強されたけたの性状に関しては、実験的検討が十分に行なわれていないのが実情である。本研究は、PC鋼棒によってせん断補強されたPC単純げたの載荷試験を行なって、斜引張ひびわれおよび斜引張鋼材の応力度等の基本的な性状を調べるとともに、現行の設計方法の適用性について検討したものである。

## 2. 実験の概要

表-1 供試体の種類と特徴

実験は2シリーズに分けて行った。(表-1参照)シリーズⅠは、コンクリート橋のせん断に関する一般的な傾向を調査しようとしたもので、PCげた3体について載荷試験を行なった。3体のPCげたのせん断補強はそれぞれ異っており、鉄筋のみを配置したもの、PC鋼棒のみを配置したものおよび両者を併用して配置したものに分かれている。シリーズⅡは、PC鋼棒の配置角度が斜引

項目		シリーズⅠ			シリーズⅡ		
		A	B	C	D	E	F
斜引張鋼材	PC鋼棒	SBPR95/110 φ17@500	SBPR95/110 φ17@500	—	SBPR95/110 φ13@400	SBPR95/110 φ13@400	SBPR95/110 φ13@400
	鉄筋	—	SD30 2D13@125	SD30 2D16@125	—	—	—
斜引張鋼材の配置角度		90°	90°	90°	90°	70°	45°
斜引張鋼材比(%)		0.378	(0.378+1.689) 2.067	2.645	0.276	(0.294)	(0.390)
PC鋼棒の有効引張応力度(kg/cm <sup>2</sup> )		4.250 (0.37σ <sub>pu</sub> )	2.475 (0.21σ <sub>pu</sub> )	—	6.510 (0.58σ <sub>pu</sub> )	6.510 (0.58σ <sub>pu</sub> )	6.510 (0.58σ <sub>pu</sub> )
鉛直方向有効プレストレス(kg/cm <sup>2</sup> )		16	9	—	18	16.9	12.7
軸方向鋼材	上側	SBPR 95/110 2φ17			SBPR 95/110 2φ17		
	下側	SBPR 95/110 4φ32			SBPR 95/110 4φ32		
軸方向鋼材の有効引張応力度(kg/cm <sup>2</sup> )	上側	6600 (0.56σ <sub>pu</sub> )			6500 (0.56σ <sub>pu</sub> )		
	下側	4600 (0.41σ <sub>pu</sub> )			5000 (0.43σ <sub>pu</sub> )		
軸方向有効プレストレス(kg/cm <sup>2</sup> )		— 12.6			— 4.2		
コンクリートの強度(kg/cm <sup>2</sup> )		138.2			141.7		
コンクリートの強度(kg/cm <sup>2</sup> )	圧縮	471	381	513	377	385	384
	引張	33.9	31.6	36.9	28.7	31.2	30.1

張ひびわれおよび斜引張鋼材の応力度に及ぼす影響を検討しようとしたもので、斜引張鋼材としては、PC鋼棒のみをけた軸線より90°、70°および45°に配置したPCげたをそれぞれ1体ずつ計3体について載荷試験を行なった。

供試体の断面寸法は図-1に示すとおりであり、供試体に配置した補強鋼材の種類および載荷前のコンクリートの応力状態等は表-1のとおりである。

載荷方法は図-2に示すように、シリーズⅠでは中

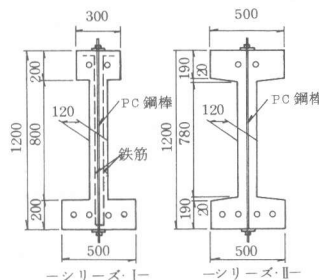


図-1 供試体断面図

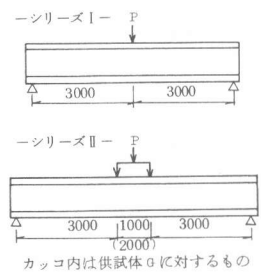


図-2 載荷方法

央1点载荷、シリーズⅡでは2点载荷としており、センドランスパン比 ( $a/d$ ) は両シリーズとも2.73である。また、各供試体とも斜引張ひびわれ発生後に10~20回の繰返し载荷を行なっているが、シリーズⅠの供試体B、Cについては、荷重の増加区分についてのみ計測を行なっている。計測にあたって、斜引張鋼材および軸方向鋼材のひずみについては、電気抵抗式ひずみゲージを用い、斜引張ひびわれの幅については、ウェブに10cm間隔の標点を設け、コンタクトゲージを用いて行なった。

### 3 実験結果

#### 3.1 シリーズⅠ

表-2に供試体のひびわれ発生荷重および破壊荷重を、図-3に破壊時のひびわれ形状を示す。ひびわれ発生荷重の計算値は主引張応力度がコンクリートの引張強度に達した時にひびわれが発生するとして求めており、斜引張ひびわれについてはけたの断面図心位置で計算した値である。表-2から、PC鋼棒を用いて鉛直方向にプレストレスを導入することによって斜引張ひびわれの発生を抑制できることがわかり、ひびわれの発生荷重は上記のような計算方法によって比較的良好に推定できると言える。また図-3から、斜引張ひびわれの角度は、ひびわれ発生荷重の推定に用いた主応力の傾き角に近く、ひびわれ間隔は、斜引張鋼材比が大きい供試体B、Cの方が小さいことがわかる。なお、けたの破壊は、3体とも上フランジの圧壊による曲げ破壊であった。

図-4は、各けたで最大の応力度が生じた斜引張鋼材について、せん断力と応力度との関係を示したものであり、図中の破線は道路橋示方書に規定されている設計方法の考えに基づいて計算した値である。3体とも、実測応力度は計算値を下まわっており、道路橋示方書に規定された斜引張鋼材の設計方法は安全側の値を与えている。特に、供試体Aでは、計算上斜引張鋼材の応力度が降伏点に達するせん断力の2倍近いせん断力においても、実測応力度は降伏点に達していない。また、図-4において、斜引張鋼材として配置した鉄筋とPC鋼棒の応力度を比較すると、鉄筋は計算値に近く、PC鋼棒は計算値よりかなり小さな応力度となる傾向がある。

次に、せん断スパンの中間付近における斜引張ひびわれの幅を斜引張鋼材のひずみとの関係で示すと図-5の

表-2 ひびわれ発生荷重および破壊荷重

項目	供試体			
	A	B	C	
曲げひびわれ発生荷重(t)	実測値	110	110	110
	計算値	103	102	105
斜引張ひびわれ発生荷重(t)	実測値	170	150	130
	計算値	160	144	140
破壊荷重(t)	実測値	229	225	215
	計算値	220	206	224
	*せん断	123	198	229

\*斜引張鋼材が降伏点に達する荷重

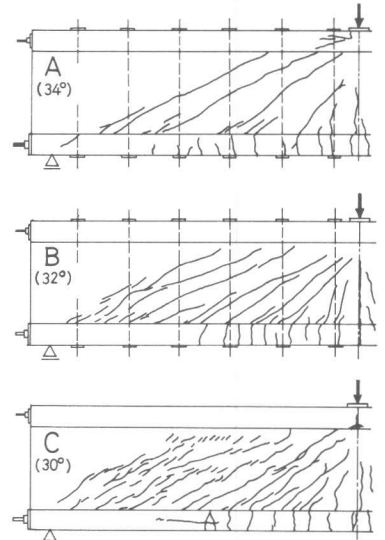


図-3 ひびわれ形状

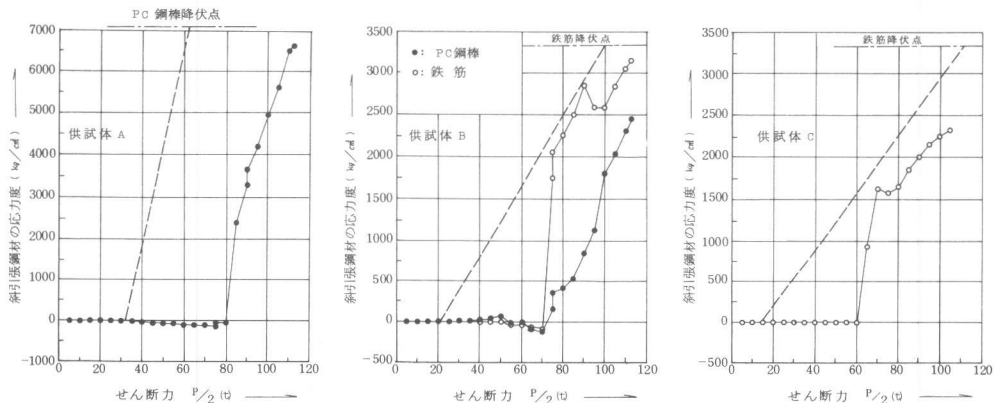


図-4 せん断力と斜引張鋼材の応力度との関係

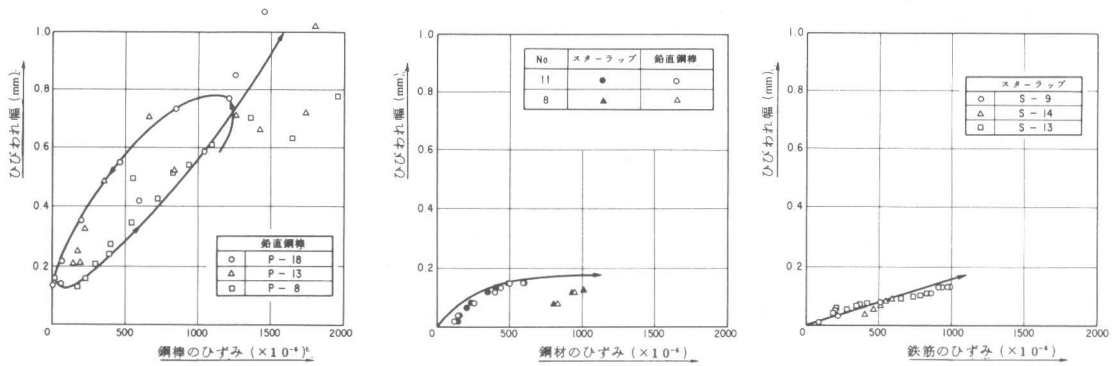


図-5 斜引張鋼材の応力度と斜引張ひびわれ幅との関係

のとおりである。この図から、供試体 A のように斜引張鋼材比が小さく、PC 鋼棒だけでせん断補強したけたでは、一度ひびわれが発生すると、ひびわれ幅が非常に大きくなり、除荷時にも大きなひびわれが残ることがわかる。このため、PC 鋼棒を用いてせん断補強する場合でも、ひびわれ幅を小さくするためにある程度以上の鉄筋を配置する必要があるといえる。

### 3.2 シリーズ II

表-3 に供試体のひびわれ発生荷重および破壊荷重を、図-6 に破壊時のひびわれ形状を示す。ひびわれ発生荷重の計算はシリーズ I と同じ方法で行なっている。けたの破壊は、図-6 に示すように、供試体 D では下フランジ付根のウェブが圧壊し、供試体 E では、上下フランジ付根のウェブに圧壊の徴候が見られたが、最終的には曲破壊であった。供試体 F は、PC 鋼棒の応力測定を行なった側 (図-6 に示す) にウェブコンクリートの施工不良 (豆板) が有り、斜引張ひびわれの発生が早く、けたの破壊も施工不良部に近いウェブ中央の圧壊であった。なお、供試体 F の施工不良が無かった側には、破壊時 (197t) にも斜引張ひびわれが発生しなかった。以上から、PC 鋼棒を斜めに配置した方が斜引張ひびわれの抑制に効果的であると言える。

図-7 にせん断スパン中央に配置した PC 鋼棒 (No. 4) の応力度を示す。図中の破線は、道路橋示方書の設計方法に基づいて計算した値であるが、供試体 D、E、F とともに実測応力度は計算値よりもかなり小さく、道路橋示方書の規定がかなり安全側であることがわかる。なお、PC 鋼棒を斜めに配置した場合には、载荷の初期から PC 鋼棒に応力が生じる点に特徴がある。

図-8 は、PC 鋼棒の配置角度が異なる 3 つの供試体について、PC 鋼棒の応力度が最初に降伏点に達した荷重をプロットしたものである。図-8 には、実測値の他に 3 つの計算値を示しており、破線は、道路橋示方書の規定に従い、斜引張ひびわれの角度を  $45^\circ$  と仮定して算出した値であり、一点破線はひびわれ角度としてひびわれ発生時の主応力の傾き角を用いて算出した値である。また、二点破線は、ひびわれ角度を主応力の傾き角とし、さらに、コンクリー

表-3 ひびわれ発生荷重および破壊荷重

項目	供試体			
	D	E	F	
曲げひびわれ発生荷重 (t)	実測値	120	130	130
	計算値	115	117	116
斜引張ひびわれ発生荷重 (t)	実測値	170	180	** (150)
	計算値	153	174	186
破壊荷重 (t)	実測値	210	238	** (197)
	曲げ	226	227	227
	せん断	92	112	122

\* 斜引張鋼材が降伏点に達する荷重

\*\* ウェブコンクリートの施工不良の影響あり。

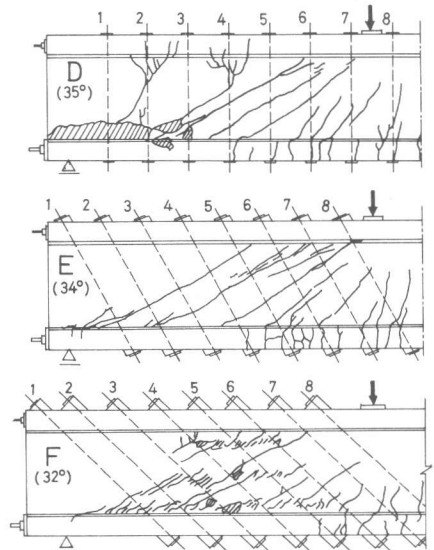


図-6 ひびわれ形状

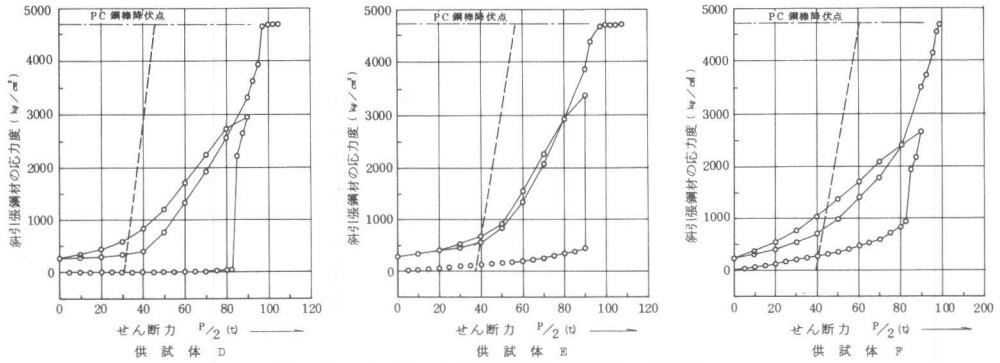


図-7 セン断力と斜引張鋼材の応力度との関係

トの負担するせん断力を CEB-FIP モデルコード 1978<sup>2)</sup>の式 ( $\tau_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1 + 50 \rho_0) \cdot b_w \cdot d$ ,  $\tau_{Rd} = 0.25 \cdot f_{ctd}$ ) を参考にして求めた場合の値である。

図-8 から、PC 鋼棒が降伏点に達する荷重の実測値は 3 体ともほぼ同じであり、せん断破壊に対する PC 鋼棒の配置角度の影響は、計算上考えられるほど大きく現われていない。なお、供試体 F (配置角度 45°) については、ウェブコンクリートの施工不良によって、コンクリートの負担するせん断力が低下していることも考えられ、今後、再確認する必要があると思われる。実測値および 3 つの計算値から見て、道路橋示方書の設計方法は、コンクリートの負担するせん断力の大きさの評価と斜引張ひびわれを 45° に仮定する方法との 2 つの点において、PC げたのせん断破壊に対して安全側の規定となっていることがわかる。

#### 4 まとめ

- (1) PC 鋼棒を用いて鉛直方向にプレストレスを導入することによって斜引張ひびわれの発生を抑制することができ、PC 鋼棒をひびわれに直交するように斜めに配置した方がその効果が大きい。
- (2) セン断補強として PC 鋼棒を用いた場合でも、斜引張鉄筋と同様な考え方による設計方法で斜引張鋼材の降伏に対しては十分安全に設計できる。なお、PC 鋼棒の配置角度による降伏荷重への影響は、計算上考えられるほど大きな値とならなかった。
- (3) PC 斜棒だけでせん断補強した場合には、斜引鋼材比も小さくなり、一度発生したひびわれの幅は非常に大きくなるため、適量量の斜引張鉄筋を併用する必要がある。

2 つのシリーズの実験によって以上のような点が確認されたが、今後さらに、ウェブコンクリートの圧壊に対する検討および斜引張ひびわれの幅を制限するための必要鉄筋量等に関してさらに検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書、同解説Ⅲ コンクリート橋編 1978
- 2) CEB-FIP モデルコード 1978
- 3) 佐伯彰一、山本善行、白浜 浩：PC げたのせん断実験 土木技術資料 21-8 1979

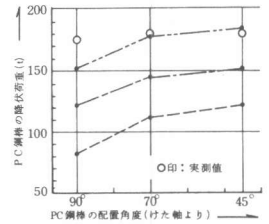


図-8 PC 鋼棒の配置角度と降伏荷重