

# ひびわれを有する PC 桁中の PC 鋼材の疲労特性について

後 藤 祐 司\*  
猪 熊 康 夫\*\*

## 1. ま え が き

ひびわれの発生を許す PRC 部材においては、従来のひびわれを許さない PC 部材と異なって鉄筋、PC 鋼材の応力変動が大きくなり、鋼材の疲労が設計の重要な検討項目となる。試算<sup>1)</sup>によると、スパン 40 m の単純箱桁（活荷重/全荷重=0.25）でプレストレス導入度（デコンプレッションモーメントの全荷重モーメントに対する比率）を 0.6 としたとき、活荷重満載による鉄筋、PC 鋼材の応力変動は、それぞれ、10 kg/mm<sup>2</sup>、9.2 kg/mm<sup>2</sup> である。

一方、昭和 58 年 11 月に土木学会より発行された「コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）」（以下、指針（案）という）における鋼材の疲労強度算定式によれば繰返し回数 200 万回に対する鉄筋、PC 鋼材の疲労強度は、永久荷重による鋼材の応力度  $\sigma_{sp}$  を鉄筋に対しては 0、PC 鋼材に対しては  $0.6\sigma_{pu}$  ( $\sigma_{pu}$ : PC 鋼材の引張強度) としたとき、それぞれ、14.6 kg/mm<sup>2</sup>、5.1 kg/mm<sup>2</sup> と計算される。この値を使用して設計を行うと、PC 鋼材の応力変動に対する規定がきびしく、PRC 橋の設計が大幅に制限されることになる。ちなみに、ACI の Committee 215 の報告<sup>2)</sup>では、最小応力が  $0.6f_{pu}$  までの PC 鋼材に対する疲労強度として、ストランド・鋼棒に対して  $0.10f_{pu}$ 、鋼線に対して  $0.12f_{pu}$  を与えている。これはストランドの引張強度が 175 kg/mm<sup>2</sup> (SWPR 7A) のとき、疲労強度として 17.5 kg/mm<sup>2</sup> をとっていることに相当している。また FIP Re-

commendations on Practical Design<sup>3)</sup> においては、最大応力が  $0.85f_{py}$  のときの PC 鋼材の疲労強度として、鋼線・より線に対して 200 N/mm<sup>2</sup> (20.4 kg/mm<sup>2</sup>)、異形鋼線に対して 150 N/mm<sup>2</sup> (15.3 kg/mm<sup>2</sup>)、鋼棒に対して 80 N/mm<sup>2</sup> (8.2 kg/mm<sup>2</sup>) をとっている。

このように、諸外国の規準と指針（案）を比較すると指針（案）の与える疲労強度の値はかなり小さい。これは、従来の PC 部材では PC 鋼材の応力変動が小さくて PC 鋼材の疲労に対する関心があまり高くなく、データの蓄積が必ずしも十分ではないこと、指針（案）のもととなったデータが PC 鋼材の定着部での疲労破断の問題を完全には解決していないこと、等のためであるとも考えられる。更に、PC 桁中でグラウトされた PC 鋼材の疲労性状が、PC 鋼材単独の引張疲労試験結果を直接適用できるかどうかについても明らかにされていない。

このような観点より、ひびわれを有する PC 桁中の PC 鋼材の疲労性状を明確にすることを目的として、PC 桁モデル供試体の疲労試験を実施した。桁による試験と同時に PC 鋼材単独の疲労試験を行い、母材部、定着部の疲労強度特性と、桁中の PC 鋼材の疲労強度特性の比較も行った。

## 2. 試験方法

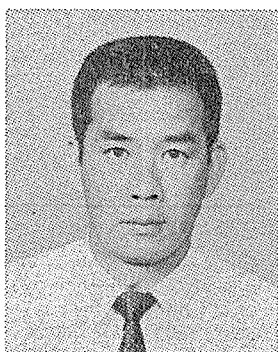
### 2.1 PC 桁の疲労試験

#### 2.1.1 PC 桁の作成

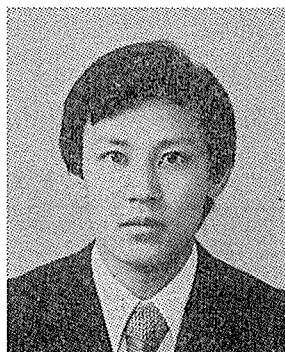
試験に用いた PC 桁の形状を図-1 に、載荷方法を図-2 にそれぞれ示す。PC 桁の断面諸元の決定に際しては、PC 桁に配置した PC 鋼材が疲労破壊をおこし、他の部分は健全であるよう留意した。

今回対象とした PC 鋼材は道路橋において最も使用量の多い、PC 鋼より線 SWPR 7A T12.4 であり、これを PC 桁中に水平に 3 本配置している。また、スパン中央には、コンクリートの引張抵抗の影響を除去するため、上縁から 10 cm の位置まで鉄板 ( $t=1.6$  mm) を挿入して縁切りを行っている。今回の試験では、桁中の PC 鋼材の疲労性状、特に S-N 曲線を求めることを目的としたため、ひびわれ制御用の引張鉄筋は一切配置していない。

使用したコンクリートの配合は、表-1 のとおりであ



\* Yuji GOTO  
日本道路公団試験所コンクリート試験室主任



\*\* Yasuo INOKUMA  
日本道路公団試験所コンクリート試験室

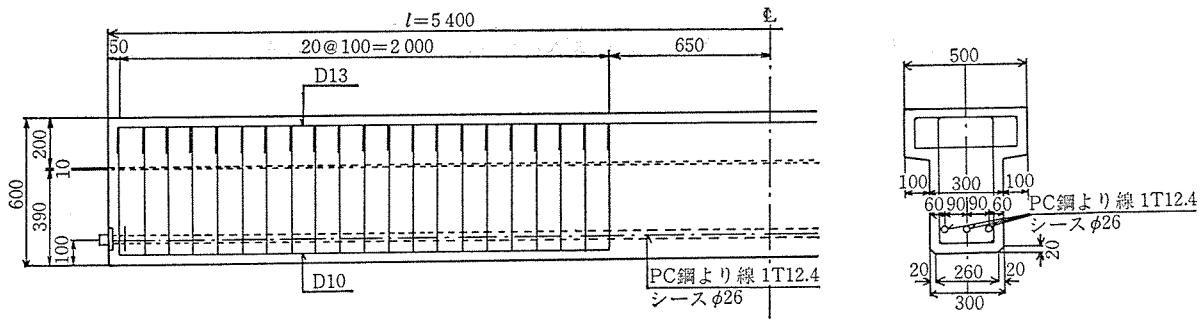


図-1 PC 桁 の 形 状

表-1 コンクリートの配合

設計基準強度 $\sigma_{cb}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
500	20	5±1.5	2±1	38.0	40.0	163	429	719	1081	NL-4000 8.58

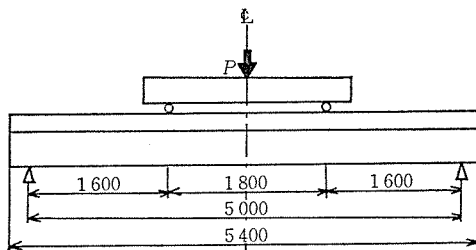


図-2 桁 載 荷 図

る。PC 桁は、コンクリート打設後蒸気養生を行い、コンクリートの圧縮強度が 350 kg/cm<sup>2</sup> 以上になったことを確認した後、プレストレスの導入を行った。プレストレスの導入後、グラウトの注入を注意して行った。標準養生を行ったテストピースの 28 日圧縮強度は、600 kg/cm<sup>2</sup> であり、また、PC 鋼材の引張強度、0.2% 永久伸びに対する応力度、初期弾性係数は、それぞれ、184 kg/mm<sup>2</sup>、168 kg/mm<sup>2</sup>、 $1.96 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> であった。

### 2.1.2 有効緊張力の測定

プレストレス量は、PC 鋼材の応力がデコンプレッションを少し過ぎ、ひびわれが開いたところで、 $0.6 \times \sigma_{pu} = 105$  kg/mm<sup>2</sup> となるよう、初期緊張力を 100 kg/mm<sup>2</sup> とした。

初期緊張力は、道路橋示方書 III コンクリート橋編<sup>4)</sup>に従って算定し、ロードセルによって緊張時の確認を行った。PC 鋼材の緊張力は、クリープ・乾燥収縮の影響により時間の経過とともに減少するので、今回は、有効緊張力の測定を、載荷試験を行う供試体とは別の供試体で測定し、下限荷重を PC 鋼線の応力が 105 kg/mm<sup>2</sup> となるよう調整した。有効緊張力測定用供試体は、載荷試験用の供試体と同一のもので、シース内のグラウトの注入のみ行っていない。鋼材の定着具位置にロードセル

(ストランド 1 本に対して 1 個)をはさみ、有効緊張力を、PC 鋼材に緊張力を導入後、2 週間ごとに測定した。緊張力導入後 10~16 週目の載荷試験時におけるプレストレスのロス、PC 鋼材 3 本合計の初期緊張力 30.554 t に対して、9.1~11.6% であった。

### 2.1.3 載荷荷重の決定

繰返し載荷は、下限荷重をスパン中央ひびわれ断面の計算上の PC 鋼材応力度が 105 kg/mm<sup>2</sup> ( $0.6 \times \sigma_{pu}$ ) となるように、上限荷重を計算上の PC 鋼材の応力度増分が、それぞれ、12, 15, 20, 25, 30, 40 kg/mm<sup>2</sup> となるように決定した。この場合、ひびわれ断面の応力計算は、断面のひずみ分布が平面保持則に従うと考えて、材料(コンクリート、PC 鋼材)の応力-ひずみ関係の非線形性を考慮した電算プログラムによって行った。したがって、PC 鋼材の付着切れによる抜け出しの影響等は考慮されていない。計算に用いたコンクリートの初期弾性係数は、桁と同一養生のテストピースに対して載荷前に測定を行って得た値  $E_c = 3.17 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> である。

このようにして得られた、PC 鋼材の有効緊張力が 27.76 t のときの載荷荷重を表-2 に示す。桁のデコンプレッション・モーメント(計算値)は 9.5 t・m であるので、載荷試験時の桁は、下限荷重においてもひびわれ

表-2 載 荷 荷 重

PC 鋼材応力振幅 (kg/mm <sup>2</sup> )	載 荷 荷 重 (t)	スパン中央曲げモーメント (t・m)
12	16.6~19.1	13.3~15.3
15	16.6~19.6	13.3~15.7
20	16.6~20.6	13.3~16.5
25	16.6~21.5	13.3~17.2
30	16.6~22.4	13.3~17.9
40	16.6~24.0	13.3~19.0

表—3 疲労試験時測定項目

測定項目	測定箇所	測定方法
鉛直変位	スパン中央	変位計
桁上縁の短縮	スパン中央上縁	変位計 (標点距離 20 cm)
PC 鋼材位置の開き	スパン中央鋼材位置	変位計 (標点距離 20 cm)
PC 鋼線の疲労破断	スパン中央下面	AE 計測

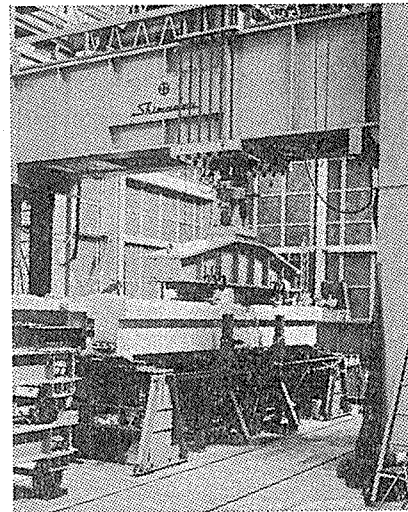
断面となっている。また、載荷荷重は、有効緊張力が1%程度変化するごとに応力計算を行い、再決定することとした。

2.1.4 測定項目

疲労試験時の測定項目は、表—3 のとおりである。桁のたわみ、桁上縁の圧縮量および PC 鋼材位置のひびわれの開きは、繰返し載荷に伴う PC 鋼材の抜け出し等、桁の状況の変化を観察するために測定した。

PC 桁に対して繰返し載荷を行うと、まず始めに、PC 鋼より線のいずれかの素線が疲労破断を起こす。素線が何本か疲労破断した後、残りの PC 鋼材で載荷上限荷重に耐えられなくなると、残りの PC 鋼線は引張破壊を起こし、桁全体が崩壊する。PC 鋼より線の素線が1,2 本疲労破断を起こした段階では、桁のたわみ等の変化は必ずしも顕著でなく、疲労破断の音を現場に居て聞くことができた場合を除いては、外部から素線の疲労破断を判断することはむずかしい。今回は、PC 鋼線の疲労破断による桁の疲労破壊のみならず、PC 鋼より線1本1本の疲労破断を判定するため、アコースティック・エミッション (AE) による自動計測を試行した。

AE の計測は、桁中央下面の PC 鋼線位置のコンクリート表面3箇所に接着した AE センサー (圧電型変換素子) によって行った (図—3)。発生した AE は、センサーによって電気信号に変換され、繰返し載荷等によるノイズを除去するためのハイパスフィルターを経由し、波形記憶装置に送られる。送られてきた AE 信号が定められた電圧を超えると一たんメモリに記憶し、その後、内蔵プリンタにより波形の書出しを行う。更に、AE 波動のスタート位置から、PC 鋼線の破断が鋼より



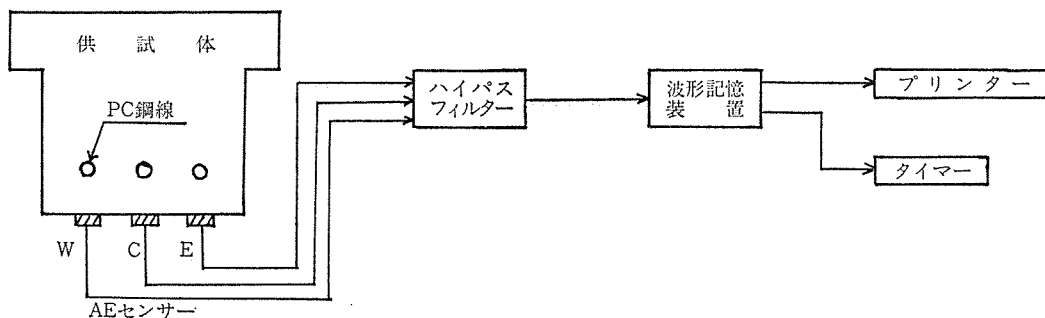
写真—1

線3本のうちのいずれか、すなわち、W (西側), C (中央), E (東側) の判断を試みた。

PC 桁の載荷状況は、写真—1 のとおりである。また、PC 桁の静載荷時および PC 鋼材の応力振幅  $40 \text{ kg/mm}^2$  の疲労試験時に、PC 鋼材の応力振幅の測定を行った。これは、PC 桁のウェブ側面から3本ある鋼材のうちの両端の2本の位置まで、それぞれはつり出し、ひずみゲージを側面の素線 (PC 鋼材1本に対し2箇所) に貼り付けることによって行ったものである。ひずみゲージの値から PC 鋼材応力への換算は、別途、PC 鋼材の応力と素線のひずみ (心線のまわりにある6本の素線のうち3本にひずみゲージを貼付) の関係を求めた結果より行った。PC 鋼材の応力と素線のひずみから求めた見かけのヤング係数は、 $2.0 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$  であった。

2.2 PC 鋼材の疲労試験

PC 桁中の PC 鋼材の疲労特性と比較するため、同一ロットから取った PC 鋼より線を用いて、PC 鋼材単体の引張疲労試験を行った。疲労試験は、下限荷重を鋼材の引張強度の0.6倍 ( $105 \text{ kg/mm}^2$ ) とし、応力振幅  $12.5 \sim 40 \text{ kg/mm}^2$  の範囲で行った。試験は、ウェッジタイプの定着具 (FKK 1 T 13) と、エポキシ樹脂と圧



図—3 AE 計測ダイアグラム

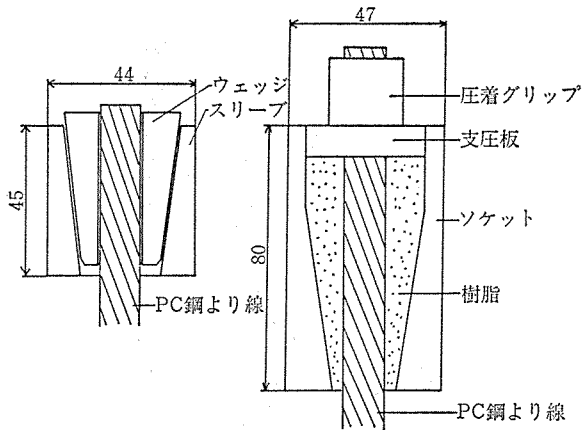


図-4 定着具

着グリップを併用した定着具の2種類を用いて行った(図-4)。ウェッジタイプの定着具は、今回のPC桁に用いた定着具と同一のものであり、通常のPC鋼材の定着に用いられるものであるが、実際には、PC鋼材の応力変動を直接受けるような箇所には配置されない。そのため、ウェッジタイプの定着具を用いてPC鋼材の疲労試験を行うと、ウェッジ部のPC鋼材に応力集中が起こり、PC鋼材は通常、ウェッジ部で疲労破壊を起こす。エポキシ樹脂と圧着グリップを併用した定着具は、定着部の応力集中の影響をなくすべく工夫されたものであり、この定着具を用いてPC鋼材の疲労試験を行うと、通常は、PC鋼材の母材部で疲労破断を起こす。疲労試験は、供試体長をよりピッチの5倍(870mm)以上とし、試験速度500rpmにて行った。試験機は、7本の素線中、1本の破断が生じた時点で自動停止させた。

### 3. 試験結果

#### 3.1 たわみ等の変化

図-5,6にPC鋼材の計算上の応力振幅が12, 40 kg/mm<sup>2</sup>のときの桁支間中央のたわみおよびPC鋼材位置の開きを示す。図から明らかなように、設計計算上の応力振幅が40 kg/mm<sup>2</sup>のときのたわみおよび開きは、荷重回数の増加に伴い、下限荷重時の値および荷重振幅による増分ともに著しい増加を示している。これらの増

加は、繰返し荷重によるPC鋼線の抜け出しによるものであると考えられる。ちなみに、ひびわれの開きの測定値から見掛け上のPC鋼線の付着切れ長さを求めると表-4の値となる。この値は、上限荷重時のひびわれの開きの測定値の半分を、PC鋼材の引張ひずみの増分(有効応力を100 kg/mm<sup>2</sup>とし、下限荷重時には105 kg/mm<sup>2</sup>作用するので、その差5 kg/mm<sup>2</sup>にそれぞれの応力振幅を加算したものをPC鋼線のヤング率で割ったもの)で除して求めた見掛け上の値である。一方、設計計算上の応力振幅が12 kg/mm<sup>2</sup>の場合は、繰返し回数の増加に伴うたわみ、開き等の変化は小さく、見掛け上のPC鋼線の抜け出し量も小さいものとなっている。このような繰返し荷重に伴うたわみ、PC鋼材位置の開きの増加は、いずれの桁の疲労試験においてもみられ、荷重

表-4 付着切れ長さの推定

応力振幅 (kg/mm <sup>2</sup> )	40		12	
繰返し回数 (回)	100	4×10 <sup>6</sup>	100	3×10 <sup>6</sup>
付着切れ長さ (mm)	172	492	115	202

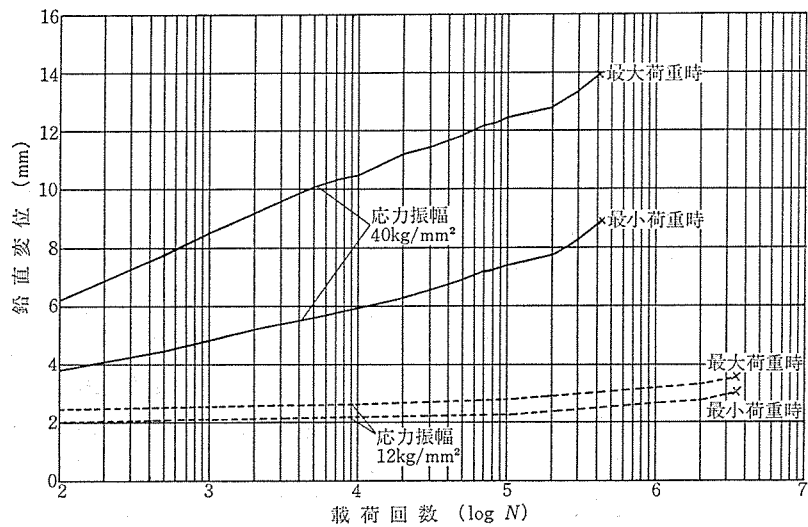


図-5 たわみの変化

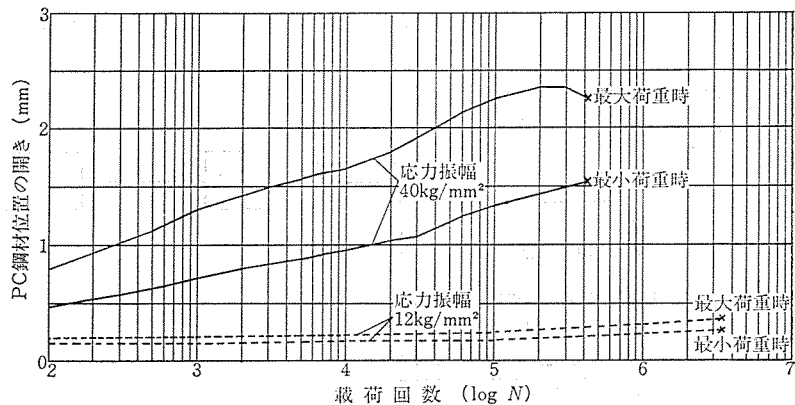


図-6 PC鋼材位置の開きの変化

に伴って PC 鋼材の付着切れ、もしくは 抜け出しが生じ、PC 桁の性状が変化して断面の中立軸も上昇しているものと考えられる。

また、桁の繰返し载荷に伴い、スパン中央の完全ひびわれ断面以外にもひびわれの発生がみられた。このひびわれは、いずれの桁もスパン中央から 5~60 cm の位置(両側)に発生したものであり、ひびわれ幅は、スパン中央断面のひびわれの 1/2 以下であった。PC 鋼材の破断は、すべてスパン中央断面に生じた。

### 3.2 AE による PC 鋼線の断線の推定

表-5 に、AE の計測から判定した PC 鋼線破断時の载荷回数および疲労破断位置を示す。表-5 には、桁

が崩壊した後の PC 鋼線の破断面の観察から判定した、素線の破断原因も同時に示している。黒く示している素線が、疲労破断したと考えられる素線である。AE による疲労破断本数および破断位置の検知結果は、桁崩壊後の破断面観察結果とおおむね一致した。

写真-2 および 図-7 に、応力振幅 12 kg/mm<sup>2</sup> の桁の、中央の鋼材の破断状況およびその模式図を示す。この鋼材は、破断面から判断して 7 本の素線すべてが疲労破断したと考えられるものである。模式図中の黒く示した部分が、破断の起点となった疲労破断面である。この図より、疲労破断はすべてより線中の素線と素線の接触面、すなわち母材の欠陥が発生しやすい面から生じてい

表-5 AE による PC 鋼線の疲労破断の推定

応力振幅 (kg/mm <sup>2</sup> )	AEによる疲労破断 (N×10 <sup>4</sup> 回)	桁破壊 (N×10 <sup>4</sup> 回)	PC鋼線の疲労破断位置と破断数 ( )内はAEによる検知			
			W	C	E	疲労破断数
12	378.6 C 493.8 C 512.3 C 536.6 C 560.1 C 562.3 C 563.3 C 585.7 W 夜間	585.7				9 (8)
15	222.4 E 231.2 E 234.0 E 279.0 E (+1音) 285.2 W 288.7 C	288.7				9 (6+1音)
20	138.5 C 155.5 C 161.6 C (+1音) 163.0 C 163.1 C	163.1				5 (4+1音)
25 (1本目)	103.5 108.6 (+1音) 109.2	109.2				4 (3+1音)
25 (2本目)	89.8 E 夜間 94.2 E " 95.6 E " 97.5 E "	97.5				6 (4)
30	76.2 W 82.3 W 83.5 W (+2音)	83.5				5 (3+2音)
40 (1本目)	43.8 W 48.8 W 49.6 W (+2音)	49.6				5 (3+2音)
40 (2本目)	37.9 C 38.8 C 40.3 C 夜間	40.3				4 (3)

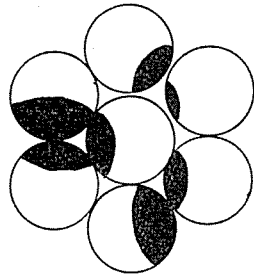


図-7 PC 鋼線破断状況図

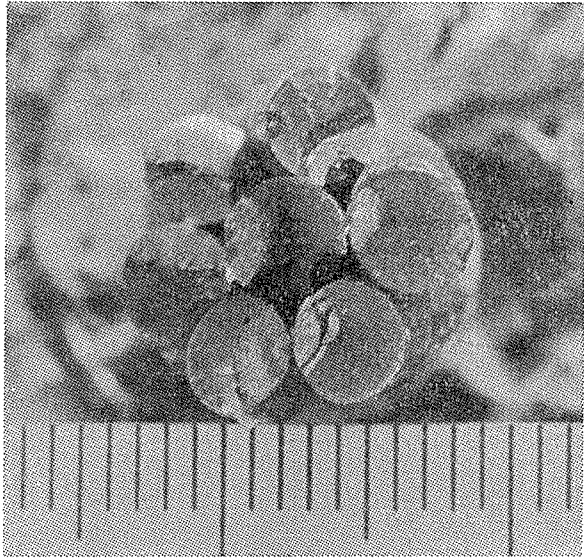


写真-2

ることがわかる。

### 2.3 PC 鋼材の応力測定

図-8 に、有効緊張力が 27.0 t のときに載荷荷重 24.0 t (応力振幅 40 kg/mm<sup>2</sup> に相当) までの静載荷を行い、載荷荷重と鋼材ひずみの関係を測定した結果を示す。図中の W-1, W-2 は西側の鋼材に貼り付けたひずみゲージを、E-1, E-2 は東側の鋼材に貼り付けたひずみゲージを示している。有効緊張力が 27.0 t のとき、PC 鋼材応力 105 kg/mm<sup>2</sup> に相当する下限荷重は 16.6 t であり、これより荷重が大きい範囲においては、載荷荷重とひずみがほぼ比例していることがわかる。PC 鋼材の設計計算上の応力増分が 40 kg/mm<sup>2</sup> である上限荷重 24.0 t と下限荷重 16.6 t のひずみの差を、別途求めた見掛けのヤング係数  $2.0 \times 10^6$  kg/mm<sup>2</sup> を用いて応力に換算すると、平均 30.9 kg/mm<sup>2</sup> となる。また、PC 鋼材の計算上の応力増分が 12 kg/mm<sup>2</sup> である上限荷重 19.1 t と下限荷重 16.6 t のひずみの差を応力に換算すると、平均 9.4 kg/mm<sup>2</sup> となる。このように、PC 鋼線に貼り付けたひずみゲージによって測定した応力増分は、平面保持を仮定して求めた設計計算上の応力増分よ

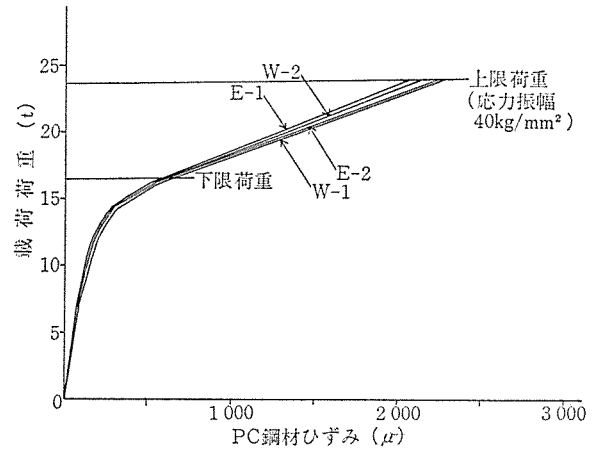


図-8 PC 鋼材ひずみの測定

りも 2 割程度小さくなった。この原因としては、ひずみゲージ貼付けのためにウェブ側面から鋼材位置までコンクリートをはった(鋼材方向の長さ 8 cm, 幅 3 cm 程度)ため、ひびわれ断面の応力が前後に分散されて低減されたこと、およびはつらない残りの 1 本の鋼線に力が集中したこと、が考えられる。ちなみに、鋼材の応力を測定しながら疲労試験を行った応力振幅 40 kg/mm<sup>2</sup> の桁(2 本目)では、鋼材の疲労破断は応力を測定していない中央の鋼材に生じた。また、今回のようにひびわれ幅が大きく、PC 鋼材の抜け出しを伴う場合のひびわれ断面における PC 鋼材の実応力変動が、平面保持を仮定した計算値よりも、もともと小さかったということも一因として考えられる。

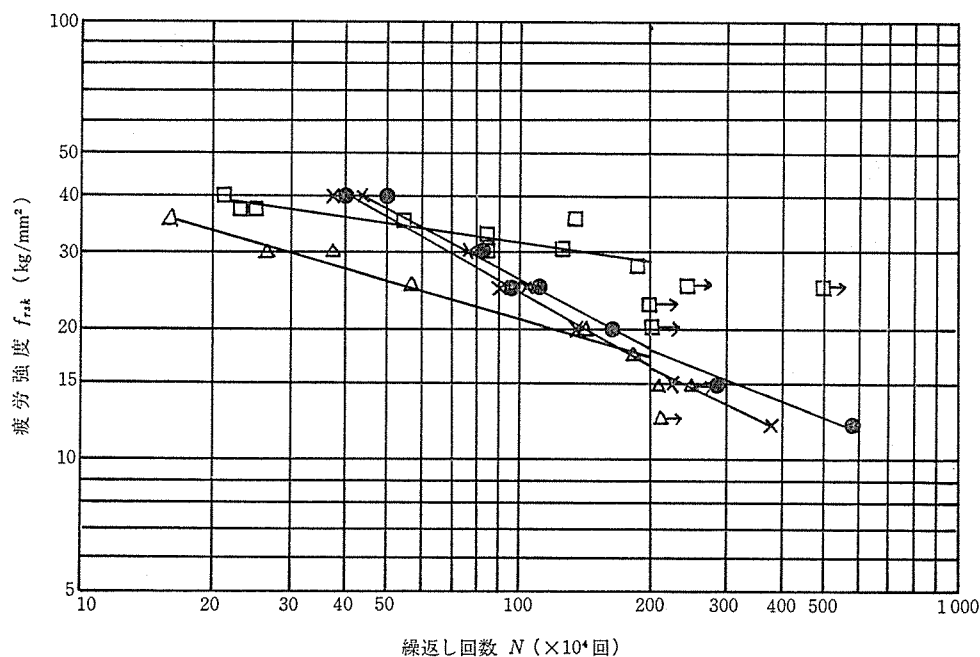
### 3.4 PC 鋼材の S-N 曲線

図-9 に、PC 桁の疲労試験より求めた PC 鋼線の S-N 曲線および PC 鋼線単体の疲労試験から得られた PC 鋼線の S-N 曲線を示す。PC 桁の疲労試験結果は、設計計算上の応力増分と、AE で求めた PC 鋼材の最初の疲労破断時の繰返し載荷回数および PC 桁全体の崩壊までの繰返し載荷回数の両方の値を示している。また、PC 鋼線単体の疲労試験結果は、定着具がウェッジタイプのもので、エポキシ樹脂と圧着グリップ併用のものを示している。

PC 鋼材単体の試験で、定着具が圧着グリップのものは、両対数表示で示した試験値に対する回帰線の傾きが -0.131 となり、定着具がウェッジタイプのは回帰線の傾きが -0.277 となった。予想されたように、回帰線の勾配は、ウェッジタイプのものの方が圧着グリップのものよりも急であり、全般的な疲労強度も、ウェッジタイプのものの方がかなり低い値を示している。ただし、今回、試験期間の都合から、繰返し回数  $2 \times 10^6$  回以上に対する疲労強度は得られていない。

$$f_{rak} = 10^a / N^k \quad (\text{kg/mm}^2)$$

	PC 桁初断線		PC 桁 破 壊		PC 鋼線ウェッジ		PC 鋼線樹脂	
	a	k	a	k	a	k	a	k
$N \leq 2 \times 10^6$	4.680	0.548	4.574	0.527	2.993	0.277	2.284	0.131
$N > 2 \times 10^6$	4.316	0.492	3.572	0.369	-	-	-	-
凡 例	×		●		△		□	



図—9 S-N 曲 線

一方、PC 桁の疲労試験から得た疲労強度（初断線）は、繰返し回数が少ない範囲（ $4 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$  回程度）では、圧着グリップを使用した PC 鋼材の強度、すなわち、PC 鋼材母材部の強度と同等もしくはそれ以上の値を示したが、繰返し回数が多い範囲（ $1 \times 10^6$  回以上）では、ウェッジタイプを使用した PC 鋼材の強度と同等もしくはそれ以下の値を示した。また、桁中の PC 鋼材の疲労強度に対する回帰線の傾きは、PC 鋼材単体の試験に比較してかなり大きい値（ $-0.548$ ）を示し、繰返し回数  $2 \times 10^6$  回以上においても、回帰線の傾きが多少緩やか（ $-0.492$ ）になる傾向はみられたものの、疲労強度は低下していった。この原因としては、PC 鋼材の計算上の応力振幅が大きい場合には、PC 鋼材の付着切れおよび抜け出しが生じ、ひびわれ断面における応力が緩和されたこと、ならびに、PC 鋼材の計算上の応力振幅が小さい場合には、ひびわれ断面の PC 鋼材に対する応力集中が生じ、ウェッジタイプの定着具と同程度もしくはそれ以下の疲労強度を示したことが考えられる。

### 3.5 PRC の設計への適用

今回の PC 鋼材の疲労試験は  $\phi 12.4-7$  本より線のみで未だ本数も少ないこと、引張鉄筋を配していないこと、載荷試験中に作用している PC 鋼材の実際の応力変動の値も未解明の部分が多いこと等、問題は多い。したがって、これらの結果より PRC 構造物の設計に対する PC 鋼材の疲労強度算定式は提案できないが、

- 1) PC 桁中の PC 鋼材の疲労強度特性は、PC 鋼材単体の疲労強度特性とはかなり異なること、
  - 2) 200 万回繰返し回数で比較すると、疲労強度は前述の諸外国の規定値よりもかなり小さいが、指針（案）より求められる値よりは若干大きい値であること、
- 等が判明し、今後 PRC 設計の採用に向けて、この種のデータの蓄積が重要な課題であると思われる。

### 4. ま と め

ひびわれを有する PC 桁中の PC 鋼材の疲労強度を求め、PC 鋼材単体の疲労強度と比較することを目的に試験を行った。試験に用いた桁は、① 桁のスパン中央断

面において完全ひびわれ断面となるようにひびわれを想定した縁切りを行っている、② PC 鋼線のみに着目したため、鉄筋によるひびわれ幅の制御は行っていないなど、実際の桁とは必ずしも条件が同一でない面もあるが、試験の結果から以下のことが明らかになった。

- 1) ひびわれ断面における PC 鋼材の疲労強度は、鋼材単体の母材部、ウェッジタイプの定着部のいずれの疲労強度とも異なる傾向を示し、疲労破壊までの繰返し回数の少ない高応力変動範囲では PC 鋼材単体の母材部に近く、疲労破壊までの繰返し回数の多い低応力変動範囲では PC 鋼材単体の定着部の疲労強度に近い値を示した。
- 2) 繰返し回数 200 万回を超えたところでは、PC 桁中の PC 鋼材の  $S-N$  曲線の傾きは小さくなるが、疲労強度はなお低下する傾向にある。
- 3) 200 万回疲労強度を比べると、PC 桁中の PC 鋼材の値は諸外国の規定値よりも小さく、土木学会の「コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)」に定める値よりもかなり大きい値であった。
- 4) PC 鋼材の計算上の応力振幅  $12 \text{ kg/mm}^2$  の桁では、載荷荷重によるひびわれ幅の動きは、 $N=100$  回のときに  $0.04 \text{ mm}$ 、 $N=3 \times 10^6$  回のときに  $0.09 \text{ mm}$  であったが、 $N=378$  万回において鋼材の疲労破断を起こした。かりに、この桁に鉄筋によるひびわれ幅の制御を行っても、この程度のひびわれ幅の動きは起こりうると思われる。
- 5) AE によって PC 鋼線の素線の初断線をとらえることができたが、これにより PC 桁の全体の疲労破壊の約 97~99% (対数比) あたりで、疲労破壊が開始することが判明した。

## 5. あとがき

今回の試験は、同一水準で 3 本行う予定であるが、未だ完了していない。更に、同一桁で PC 鋼材にグラウトを行っていない桁の疲労試験も予定している。また、鉄筋でひびわれ制御した場合の PC 桁の疲労試験も追加して実施したいと考えている。次の機会には、これらをまとめて発表する予定である。

今回の PC 桁の疲労試験は、日本道路公団が社団法人日本建設機械化協会建設機械化研究所に委託して実施したものである。特に、AE による PC 鋼材素線の初期破断の計測は、同研究所の榎園氏の工夫により、非常に有益な成果が挙げられた。心より感謝します。更に、PC 桁の作成ならびに有効緊張力の測定は興和コンクリート(株)、PC 鋼線単独の疲労試験は極東鋼弦コンクリート振興(株)および鈴木金属工業(株)の御協力のもとに実施されたものです。紙面を借りて感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) プレストレストコンクリート部材の設計法に関する調査研究報告書(日本道路公団委託), 昭和 58 年 3 月, 高速道路調査会
- 2) ACI Committee 215: Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading, ACI Journal, March 1974
- 3) FIP: FIP Recommendations on Practical Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structures Based on the CEB/FIP Model Code (MC 78), Draft, June 1982
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書Ⅲ コンクリート橋編, 昭和 53 年 1 月

### ◀ 刊行物案内 ▶

## PC 定 着 工 法

(1982 年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられている PC 定着工法 19 種についてとりあげ、それぞれの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思えます。

また付録として PC 鋼材一覧表(改訂版)等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え(現金書留かまたは郵便振替東京 7-62774)プレストレストコンクリート技術協会宛(電 03-261-9151)お申し込みください。

体 裁: B5 判 94 頁

定 価: 2,800 円(会員特価 2,500 円)

送 料: 350 円