

(34) 圧縮鋼材を有するPC桁の疲労試験

川田建設(株) 正会員 野田行衛  
 川田建設(株) 正会員 ○新井達夫  
 川田建設(株) 北野勇一

1. はじめに

橋梁の桁高を低くする目的で、圧縮側の上フランジ中に補強材として鋼材(以下、圧縮鋼材)を配置したプレストレストコンクリート(以下、PC)桁を提案し、その静的な挙動に関しては既に報告してきた<sup>1), 2)</sup>。過去の実験では、静的に集中荷重を載荷し、そのたわみおよび発生応力が計算値とほぼ等しいこと、破壊荷重まで圧縮鋼材はコンクリートと一体であること等を明らかにした。

これに対し、今回の試験では本桁の疲労性状をつかむことを目的とした。すなわち、200万回以上の繰り返し載荷を行って桁の剛性の変化、鋼材とコンクリートの一体性等について検討し、本形式の桁が実用に耐える構造であるかを検証した。また破壊性状については、疲労載荷試験を行った桁と、別に静的破壊試験専用の桁を製作し、両者の破壊性状を比較した。

本報告は、桁高を低くするために圧縮鋼材を用いたPC桁の疲労試験結果について述べるものである。

2. 試験概要

(1) 試験体

実験に用いた試験体は桁長6.7m(支間6.4m)、桁高60cmのもので、疲労試験用に3体、静的破壊試験用に2体の計5体製作した。すべて同一断面を有するもので、その断面を図-1に、圧縮鋼材の形状を図-2に示す。

本桁における圧縮鋼材は、プレストレスなどを与えるものではなく、セットしてコンクリートを打設するのみであり、煩雑な施工管理や特別な製作用機材を必要としない。また、圧縮鋼材には図-2に示すように、よりコンクリートとの付着を高めるため鉛直部にφ50mmの丸孔を100mmピッチであけたものを用いた。このため、この鉛直部は設計計算上考慮しないこととした。

本試験における圧縮鋼材量は、全断面の2.3%としたが、この圧縮鋼材により、桁の曲げ剛性を約16%高めている。

プレストレスはコンクリートの硬化後、φ32の鋼棒を1本挿入して緊張するポストテンション方式とした。導入プレストレス力は50tf(0.78σ<sub>py</sub>)とし、支圧板とナットで定着した。

緊張後すぐにグラウトを実施し、実験開始までに硬化時間を確保するよう努めた。

表-1に、使用材料の諸元を

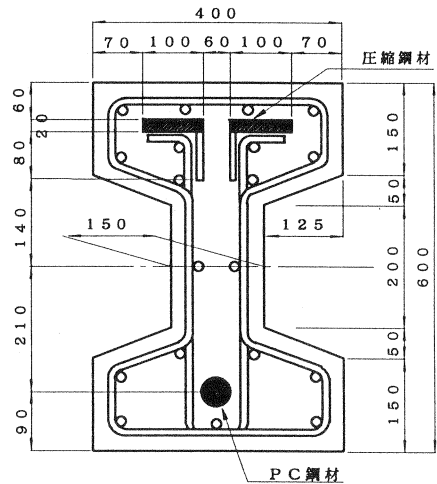


図-1 試験体断面図

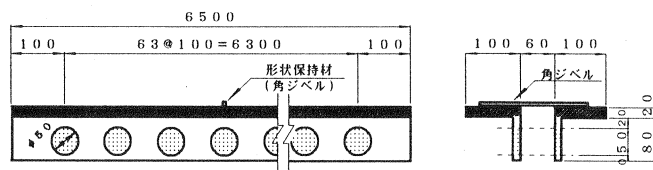


図-2 圧縮鋼材形状図

示す。また、コンクリートと鉄筋の材料強度、弾性係数については試験を実施し、P C鋼棒に関しては試験成績表の値を計算値に用いた。各種材料試験結果を表-2にまとめる。

(2) 試験方法

試験状況を写真-1に示す。疲労試験は動的載荷能力±100tfの電気油圧式サーボ型疲労試験機により行った。載荷方法は、純曲げ区間を1.5m設けた2点集中載荷とした。

疲労試験の荷重条件として、設計荷重相当の荷重を200万回載荷する試験(ステップ1)、ひび割れ発生荷重あるいはそれ以上の荷重を繰り返し載荷する試験(ステップ2)の2ケースに分けた。疲労試験においては、桁のたわみ、ひずみ、およびひび割れ状況等を調べるため、所定の繰り返し回数毎に試験機を一旦停止させて、静的載荷による計測と目視観察を行った。

ステップ1の載荷荷重は、コンクリート下縁の応力振幅が5.0kgf/cm<sup>2</sup>になるように設定した。載荷荷重の決定に際しては、桁下縁応力のみならず、各構成部材の応力振幅が、実橋に適用した場合と同程度発生するよう考慮した。この結果、上限荷重13tf、下限荷重2.6tfの部分片振り載荷とした。また、荷重は一定振幅の正弦波、載荷速度は4Hzとした。

ステップ2は、上限荷重を桁下縁にひび割れが発生する荷重(20tf)、下限荷重はステップ1と同じ(2.6tf)とした。これにより荷重振幅は6.7%増となった。試験体No.②に関しては、上限荷重をさらに4.0%増加(28tf)させて実験を試みた。

疲労破壊に至らなかった場合には、静的に破壊させる残存耐力試験(ステップ3)を行った。この試験は、荷重載荷位置等は疲労試験時と同一とし、桁が破壊するまで順次荷重を上げていき、桁の挙動を計測した。比較用の静的破壊試験も残存耐力試験と全く同じ試験方法とした。

表-3に、今回実施した試験の内容についてまとめた。

表-1 使用材料諸元

材料	規格・記号	備考
圧縮鋼材	SS400	形鋼を使用
鉄筋	D10	SD295A
鉄筋	D13	SD295A
P C鋼棒	SBPR 785/930	φ32

表-2 材料試験結果

	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	備考
コンクリート	55.3	3.7	3.19*10 <sup>5</sup>	No.1桁
	降伏点 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	備考
鉄筋	41.3	59.3	2.07*10 <sup>6</sup>	軸方向筋
P C鋼棒	89.5	105	2.05*10 <sup>6</sup>	試験成績表

※コンクリートは材齢33日、試験開始時の値

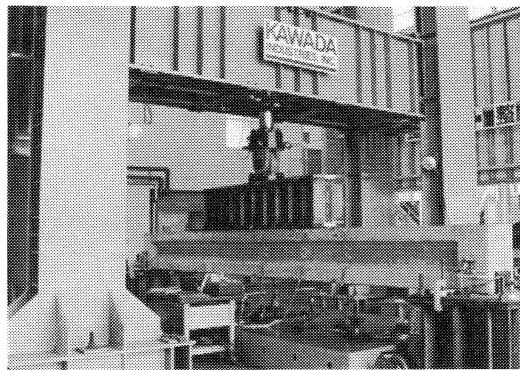


写真-1 疲労試験状況

表-3 実施試験内容

	疲労試験						残存耐力試験
	STEP 1 設計荷重			STEP 2 設計荷重以上の荷重			STEP 3
	荷重	回数	Hz	荷重	回数	Hz	破壊までの静的載荷
試験体 No. ①	2.6tf ~ 13.0tf	200 万回	4	2.6tf ~ 20.0tf	200 万回	3	37.5tfで上縁コンクリート圧壊
試験体 No. ②	2.6tf ~ 13.0tf	200 万回	4	4.0tf ~ 28.0tf	5.9 万回	1	
試験体 No. ③				2.6tf ~ 20.0tf	200 万回	3	36.0tfで上縁コンクリート圧壊

\*No. ②試験体は、5.9万回で鋼棒定着部が疲労破壊した

### 3. 実験結果

#### (1) 疲労試験結果

ステップ1 (設計荷重) 時の、支間中央の鉛直変位と  
 載荷回数の関係を図-3に示す。これは、上限荷重時(P  
 =13tf)と下限荷重時(P=2.6tf)のたわみ量をプロットし  
 たもので、横軸は載荷回数の自然対数をとった。グラフ  
 を見て明らかのように、設計荷重を200万回載荷して  
 も、鉛直変位量にはほとんど変化が見られなかった。目  
 視による桁の観察においてもひび割れの発生は認められ  
 ず、残留たわみもほとんど発生していないことが分か  
 った。このことから、繰り返し載荷後も桁の耐力は低下す  
 ることなく、初期の剛性を保っていることがわかった。

さらに、コンクリートと圧縮鋼材の一体性を検討する  
 ため、繰り返し回数が0回、20万回、200万回時の断  
 面内のひずみ分布を図-4にあらわす。上限荷重時(P=1  
 3tf)におけるコンクリート表面、軸方向鉄筋、圧縮鋼材、  
 PC鋼棒など各構成部材のひずみを計測し、最小二乗法  
 の近似直線を引いたものである。グラフより、圧縮鋼材  
 位置のひずみは近似直線に近い値を示しており、他の構  
 成部材とともに一体となって挙動している事がわかる。  
 一方、中立軸に着目すると、計算値とほぼ等しい桁下縁  
 から約32cmの位置にあり、200万回載荷後もほとんど  
 変化していないことが分かる。

上限荷重をひび割れ発生荷重(20tf)とした場合(ステ  
 ヱップ2)の荷重と支間中央たわみの関係を図-5に示す。  
 載荷回数の増加とともに桁の剛性が低下していることが  
 分かるが、特に40万回から100万回の間で急激にた  
 わみが増加している。これは、25~30kgf/mm<sup>2</sup>の応力振  
 幅で繰り返し載荷を受けていた引張鉄筋が疲労破断した  
 ためである。残留たわみも3mm程度発生し、疲労による  
 損傷が見られるものの、桁はまだ十分に耐力を残して  
 おり、ひび割れ荷重の200万回載荷によっても破壊には  
 至らなかった。

この時の、ひび割れ幅の計測結果を図-6に  
 示す。今回の実験では、ひび割れ発生初期の段  
 階において、各ひび割れ幅に大差はなかったが、  
 次第に1点あるいは2点にひび割れが集中する  
 傾向が見られた。集中点は鉄筋の疲労破断位置  
 であり、ひび割れを許容する構造においては、  
 引張鉄筋量とその疲労特性について充分考慮す  
 る必要がある。

#### (2) 残存耐力試験結果

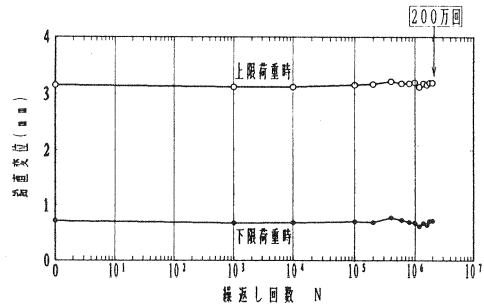


図-3 設計荷重の載荷回数とたわみの関係

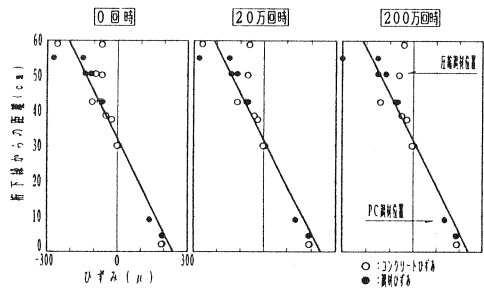


図-4 断面内のひずみ分布の変化

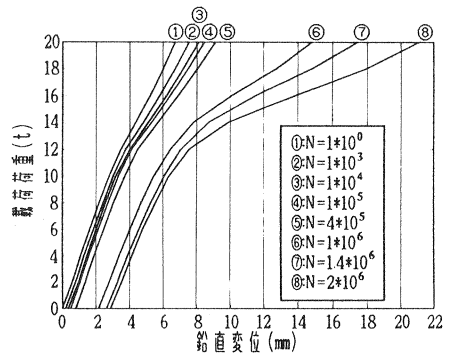


図-5 荷重-たわみ曲線 (ひびわれ荷重時)

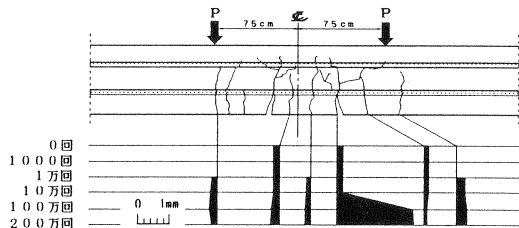


図-6 ひびわれ幅と載荷回数の関係

疲労試験後の桁と、静的破壊試験専用桁(試験No. ④, ⑤)の曲げ破壊性状を比較し、疲労による破壊耐力の低下について検討した。

表-4に圧縮鋼材を考慮した破壊荷重の計算値と実験値を示す。曲げ破壊荷重を求める場合、軸方向鉄筋を考慮しない方法により計算すると、載荷荷重にして約3.2tfとなり、実験値に対し約72%となる。

これに対し、鉄筋を考慮した場合について2ケース破壊荷重の計算を行った。表-4より、鉄筋を全て考慮して計算した場合、実際の曲げ破壊荷重にかなり近似した値となった。

疲労試験後の桁は、静的破壊試験専用桁のおよそ83%の荷重で破壊に至った。これは、既述したように、ステップ2の繰り返し載荷により、引張鉄筋が疲労破壊していた事や、ひび割れが進行していた事などの原因により桁の剛性が低下していたためであると考えられる。図-7に荷重とたわみの関係を示すが、両者を比較すると、設計荷重(1.3tf)以上では疲労試験後の桁が1.5~2.5倍程度のたわみを示していることが分かる。

また、疲労試験後の試験体の曲げ破壊荷重は、圧縮鋼材と圧縮鉄筋を考慮し、疲労損傷を受けた引張鉄筋を無視した計算値(3.4tf)に近いことが分かった。

4. まとめ

今回の疲労試験では、新しく提案した桁高の低いPC桁の使用時における疲労性状を明らかにし、実用が可能な構造であるのか検討することを目的とした。設計荷重相当の200万回繰り返し載荷試験の結果、圧縮鋼材とコンクリートの一体性は保たれており、桁の剛性に変化は見られないことが分かった。このことから、本形式の桁は、充分実用に耐える構造であると思われる。

今回の疲労実験にあたり、中央大学の西澤教授をはじめ、多くの方々に様々な御指導、御助言を頂いた。この場を借りて心から感謝の意を表したいと思います。

参考文献

- 1) 野田・新井・児島：桁高の低いPC桁の開発，プレストレストコンクリート協会第3回シンポジウム論文集，1992.11
- 2) 児島・野田：圧縮側に補強鋼材を用いたPC桁，土木学会第48回年次学術講演会，1993.9
- 3) 岸谷・西澤：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 疲労，1987
- 4) (社)土木学会関西支部，橋の疲労設計に関する研究グループ：橋の疲労設計に関する研究，1993.5

表-4 静的破壊試験の計算値と実験値の比較

		破壊荷重	
計算値	鉄筋を考慮しない場合	3.2(tf)	
	圧縮鉄筋を考慮した場合	3.4(tf)	
	圧縮・引張鉄筋を考慮した場合	4.2(tf)	
実験値	疲労試験後の試験体	No. ①	37.5(tf)
		No. ③	36.0(tf)
	静的破壊専用試験体	No. ④	45.0(tf)
		No. ⑤	44.0(tf)

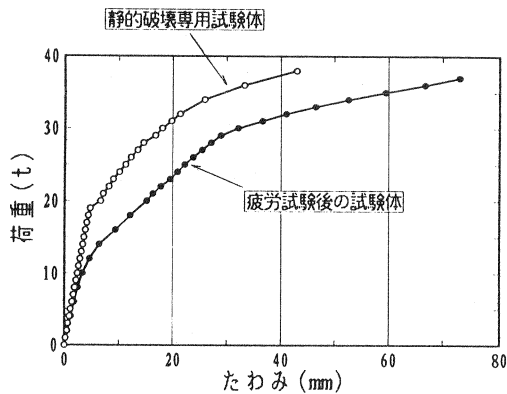


図-7 静的破壊試験時の荷重とたわみの関係