

(4) 圧縮鋼材を有するPC桁のせん断試験

川田建設(株) 開発部 正会員 ○大澤 浩二
 同 上 渡部 寛文
 同 上 北野 勇一

1. はじめに

道路橋において桁高を低く抑えることを目的とし、圧縮フランジ内に補強鋼板を有するプレストレストコンクリート桁を開発した。曲げ挙動に対しては、今までに静的および動的試験^{1)~3)}を行い、たわみや応力度に関して実験値と計算値がほぼ一致すること、曲げ破壊に至るまで圧縮鋼材とコンクリートの一体性が確保されること、設計荷重相当の200万回繰り返し載荷によっても桁の剛性低下は見られないことが確認されている。一方、今回の試験はせん断挙動に対するもので、圧縮鋼材の影響を見るために、鋼板があるもの、鋼板がないもの、それぞれの供試体を作成し、せん断スパン/桁高比(a/h)=3.0の静的載荷により、スターラップ応力度、せん断ひびわれ幅等を計測し、両者を比較することで圧縮鋼材を有するPC桁のせん断に対する安全性を確認するものである。

2. 実験概要

(1) 供試体

実験に用いた供試体は、桁長4.6m、桁高60cmのもので、図-1に示すような2種類の断面を有する桁の比較を行った。すなわち、上フランジに圧縮鋼材を有するもの(タイプT1)と、無いもの(タイプT2)の2種類について、それぞれ1体づつ、合計2体製作して実験を行った。タイプT1の圧縮鋼材には、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10cmピッチで開けたものを用いた。このため、この鉛直部は設計計算上考慮しないものとした。また、圧縮鋼材量は全断面積の2.2%を占めており、桁の曲げ剛性はタイプT2に比べて約13%大きくなっている。なお、スターラップは図-3に示すように供試体中央で配筋ピッチを25cmと12.5cmの2種類に変えている。使用材料諸元を表-1に示す。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材料試験を行い、PC鋼棒については試験成績表の値を計算値に用いた。各材料試験結果を表-2にまとめる。

(2) 試験方法

載荷試験は、200tf油圧ジャッキ(ストローク1m)を用いて、支間を4.3mとし、純曲げ区間が70cmの2点集中載荷とした。載荷サイクルは、①設計荷重まで、②曲げせん断ひびわれ発生荷重まで、③終局荷重まで

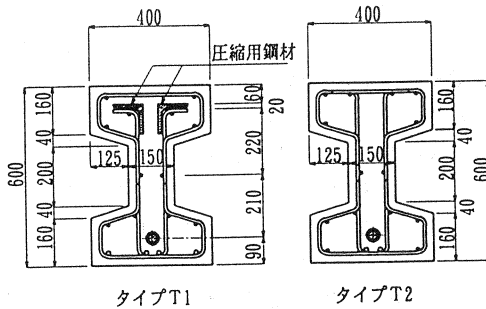


図-1 試験桁断面図

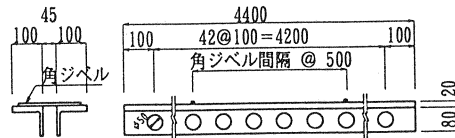


図-2 圧縮鋼材寸法図

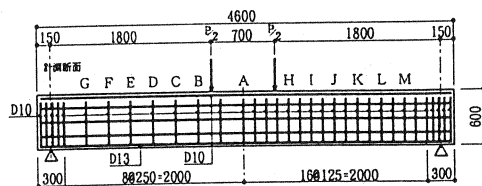


図-3 載荷方法および計測断面

表-1 使用材料

	規格・記号	備考
圧縮鋼材	SS400	形鋼を使用
鉄筋	SD295A(D10)	スターラップ
	SD295A(D13)	軸方向筋
PC鋼棒	SBPR930/1080(φ32)	-

の3つのステップに分け、各ステップごとに載荷と除荷を繰り返すものとした。ここで、設計荷重とは計算上、試験桁コンクリート下縁応力度がゼロとなる荷重とした。荷重管理は、ジャッキと載荷梁の間に200tf用ロードセルを設置して行った。計測断面を図-3に示すが、Aを除く12断面のスターラップのひずみ、ウェブコンクリート表面の3軸ひずみ、およびせん断ひびわれ幅を着目した。なお、せん断ひびわれ幅の測定に用いたパイ型変位計は、せん断ひびわれが発生した時点で一旦除荷し、ひびわれに直交するように取り付けることとした。

3. 実験結果および考察

(1) 結果概要

実験結果の概要を、曲げ挙動について表-3に、せん断挙動について表-4および5にまとめる。また、ひびわれの発生状況を図-4に示す。破壊形態はいずれも桁中央のA断面での曲げ圧縮破壊となったが、載荷点近傍のB、H断面では曲げせん断ひびわれの発生後、スターラップが降伏しており、せん断斜め引張破壊がほぼ同時に起こっている。ただし、せん断スパン中央付近のD、J断面では斜めせん断ひびわれは発生したものの、スターラップの降伏までには至っていない。ここで、計算値は土木学会コンクリート標準示方書の式⁴⁾、およびJR総研報告の式⁵⁾によった。

実測値は、曲げ挙動に対しては土木学会式、せん断挙動に対してはJR総研式によった計算値と良く一致している。また、実際の道路橋の設計計算では両者とも土木学会式を用いていること、曲げ破壊耐力計算時に鉄筋を無視していることを考慮すると、実測耐力は曲げおよびせん断ともに計算耐力の1.5倍程度以上であり、十分安全側の値である。なお、表-4および5に示すように供試体タイプによるせん断挙動の違いはないため、以下、供試体タイプT1に対して記述する。

表-2 材料試験結果 (単位: kgf/cm²)

	圧縮強度	引張強度	弾性係数	備考
コンクリート	567	42	3.54×10 ⁵	材令35日
	降伏点	引張強度	弾性係数	備考
圧縮鋼材	3,530	4,780	2.00×10 ⁶	-
鉄筋 D10	3,950	5,440	2.08×10 ⁶	-
鉄筋 D13	3,670	5,540	2.14×10 ⁶	-
PC鋼棒	10,200	11,500	2.04×10 ⁶	試験成績表

表-3 実験結果/その1 (単位: tf)

タイプ		曲げ ひびわれ 発生荷重	終局耐力		破壊形態
			土木学会		
			鉄筋無視	鉄筋考慮	
T1	実測値	32.0	73.0		曲げ圧縮 破壊
	計算値	30.4	45.6	60.3	
	実/計	1.05	1.60	1.21	
T2	実測値	32.0	71.0		曲げ圧縮 破壊
	計算値	29.2	45.2	60.3	
	実/計	1.10	1.57	1.18	

表-4 実験結果/その2 (単位: tf)

タイプ		B, H断面(曲げせん断ひびわれ)			
		ひびわれ発生荷重		スターラップ降伏荷重	
		土木学会	JR総研	土木学会	JR総研
T1	実測値	39.0		63.0	
	計算値	21.6	40.0	42.6	61.0
	実/計	1.81	0.98	1.48	1.03
T2	実測値	39.0		68.0	
	計算値	21.6	40.0	42.6	61.0
	実/計	1.81	0.98	1.60	1.11

表-5 実験結果/その3 (単位: tf)

タイプ		D, J断面(斜めせん断ひびわれ)			
		ひびわれ発生荷重		スターラップ降伏荷重	
		土木学会	JR総研	土木学会	JR総研
T1	実測値	60.0		-	
	計算値	24.6	51.4	45.6	72.4
	実/計	2.44	1.17	-	-
T2	実測値	63.0		-	
	計算値	24.6	51.4	45.6	72.4
	実/計	2.57	1.26	-	-

(2) スターラップ応力度について

曲げひびわれの延長として曲げせん断ひびわれが発生した載荷点直下付近のB, H断面、および斜めせん断ひびわれが発生したせん断スパン中央付近のD, J断面における荷重～スターラップ応力度の関係を、それぞれ図-5および6に示す。ここで、実測値は測定されたひずみに鉄筋(D10)の弾性係数の実測値を乗じた値である。スターラップの配筋ピッチは、黒丸のプロットで示したBあるいはD断面で25cm、白丸のプロットで示したHあるいはJ断面で12.5cmとしている。

また、計算値は実験結果の概要で述べたように土木学会式とJR総研式の2種類の方法によって求めた。今回、PC鋼材の曲げ上げを行っていないため、せん断耐力 V_y の計算値は[1]式で表される。

$$V_y = V_c + V_s \quad \text{--- [1]}$$

ここで、 V_c : コンクリートが負担するせん断力

V_s : スターラップが負担するせん断力

コンクリートが負担するせん断力は、土木学会式では[2]式で、JR総研式では[3]式で表される。

$$V_c = 0.9 f'c^{1/3} \cdot \beta d \cdot \beta p \cdot \beta n \cdot b_w \cdot d \quad \text{--- [2]}$$

ここで、 $f'c$: コンクリートの圧縮強度

$$\beta d = (100/d)^{1/4}, \beta p = (100p)^{1/3}$$

$$p = (A_s + A_p) / (b_w \cdot d), \beta n = 1 + M_o / M_d$$

b_w : ウェブ幅、 d : 有効高さ、 A_s : 鉄筋断面積、 A_p : PC鋼材断面積、 M_o : 検討断面でのデコンプレッション・モーメント、 M_d : 検討断面での破壊曲げモーメント

$$V_c = 0.94 f'c^{1/3} (0.75 + 1.4d/a) \cdot \beta d \cdot \beta p \cdot b_w \cdot d + V_p \quad \text{--- [3]}$$

ここで、 a : せん断スパン、 V_p : プレストレスの軸方向成分の効果で、着目断面のデコンプレッション・モーメントに相当するせん断力

スターラップが負担するせん断力はいずれも[4]式で表される。

$$V_s = A_w \cdot f_y \cdot d / (1.15s) \quad \text{--- [4]}$$

ここで、 A_w : 1組のスターラップの断面積、 f_y : スターラップの降伏点応力度、 s : スターラップの間隔

曲げひびわれの延長として曲げせん断ひびわれが発生した載荷点直下付近のB, H断面(図-5)において、実測値は荷重が40tf付近(せん断力が20tf付近)に勾配変化点が存在し、この付近の荷重より大きくなるとスターラップ応力度の増加率が大きくなるのがわかる。また、この勾配変化点は曲げせん断ひびわれの

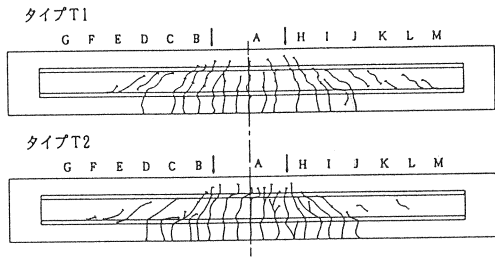


図-4 ひびわれ図

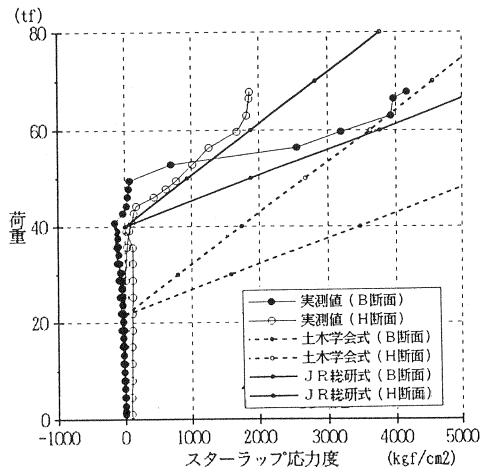


図-5 荷重～スターラップ 応力度の関係/B, H断面

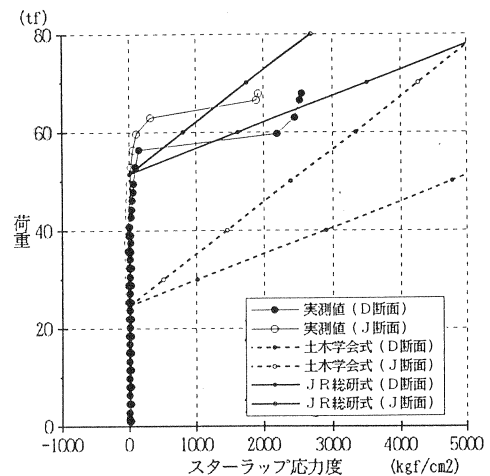


図-6 荷重～スターラップ 応力度の関係/D, J断面

発生が確認された荷重 $P=39\text{tf}$ とほぼ一致する。すなわち、 20tf 位までのせん断力はコンクリートが負担している範囲で、その後のせん断力の増加に対してはスターラップが主として負担しているためと考えられる。実測値と計算値の比率（表-4）は、ひびわれ発生荷重に対して、土木学会式で1.81倍、J R総研式で0.98倍、スターラップ降伏荷重に対して、土木学会式1.48倍、J R総研式で1.03倍となっている。土木学会式が十分安全側の値を示すこと、およびJ R総研式が実測値と良く一致することがわかる。

また、斜めせん断ひびわれが発生した、せん断スパン中央付近のD、J断面（図-6）においても同様の傾向がみられるが、勾配変化点は荷重が 56tf 付近（せん断力が 28tf 付近）まで上昇している。実測値と計算値の比率（表-5）は、ひびわれ発生荷重に対して、土木学会式で2.44倍、J R総研式で1.17倍となり、同様にJ R総研式が実測値と良く一致することがわかる。

（3）せん断ひびわれ幅について

載荷点直下付近のB、H断面の図心付近の荷重～曲げせん断ひびわれ幅の関係を図-7に示す。スターラップの配筋ピッチは、黒丸のプロットで示したB断面で 25cm 、白丸のプロットで示したH断面で 12.5cm としている。また、せん断ひびわれ幅の計算値は上田らのRC長方形断面はりに対する提案式⁶⁾により求めた。

図-7より、スターラップの間隔によるひびわれ幅の違いは、上田らの提案式ほどは生じなかったが、ほぼ鉄筋比に反比例していること、言い換えればスターラップ応力度に比例していることがわかる。

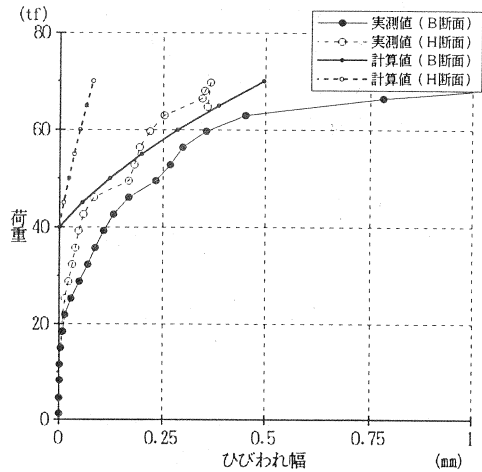


図-7 荷重～曲げせん断ひびわれ幅の関係

4. おわりに

圧縮フランジ内に補強鋼材を有するプレストレストコンクリート桁のせん断に対する安全性を確認する目的で、静的載荷試験を行い、以下の点がわかった。

- ① 全断面積の2%程度の圧縮鋼材の配置は、せん断挙動に対して何ら影響を与えない。
- ② 曲げおよびせん断の実測耐力は、土木学会式を用いた計算耐力の1.5倍程度以上であり、十分安全側の値となる。

よって、今回開発した圧縮鋼材を有するPC桁は、曲げのみならず、せん断に対しても通常のPC桁と同様な設計手法を適用できることが確認できた。

参考文献

- 1)野田, 新井, 児島: 桁高の低いPC桁の開発, PC技術協会第3回シンポジウム論文集, p.147~150, 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, p.30~31, 1993.9
- 3)野田, 新井, 北野: 圧縮鋼材を有するPC桁の疲労試験, PC技術協会第4回シンポジウム論文集, p.181~184, 1994.10
- 4)土木学会: コンクリート標準示方書 設計編, 平成3年版, p.57~61
- 5)佐藤勉, 山住克己, 渡辺忠朋: プレストレストコンクリートはりのせん断強度, 鉄道総研報告 Vol.2, No.8, p.19~24, 1988.8
- 6)土木学会: コンクリート技術の現状と示方書改訂の動向, コンクリートライブラリー-79, p.127