

(10) ボンドコントロールPCげたの曲げ挙動と設計

横浜国立大学工学部 正会員 ○池田尚治^{いけだ しょうじ}
横浜国立大学工学部 正会員 山口隆裕

1. はじめに

PC鋼材が直線状に配置されたプレテンションPCげたは、支間中央付近で合理的となるようにPC鋼材を配置すると、げたの支点近傍ではプレストレスによる負の曲げモーメントが過大となって不適当な断面となることが多い。このため支間中央付近および支点近傍の断面を共に満足させる必要から、支間中央付近では一般に最も合理的となるPC鋼材の配置方法を採用することができない。これを避けるためにPC鋼材の一部を支点近傍で曲げ上げて配置する方法も採用されているが、PC鋼材の曲げ上げ作業とそのために装置が必要となり繁雑となる。ここで述べるボンドコントロールげたは、PC鋼材が直線状に配置されたプレテンションPCげたの支点近傍の一部のPC鋼材の付着を切ることにより、その部分に過大な負の曲げモーメントが作用しないように配慮された方式のものである。この方式によって外力による曲げモーメントに対し、直線状に配置されたPC鋼材を持つプレテンションPCげたを合理的、かつ、経済的に製作することができるのである。しかしながら、このボンドコントロール方式によって設計されたPCげたの終局時の挙動、特にせん断に対する耐荷性能についてはほとんど知られていない。また、付着を切るPC鋼材の量や付着を切る部分の長さ、等についても実験的な資料がほとんど得られていない。

一方、JIS A 5313「スラブ橋用プレストレスコンクリート橋げた」、および、同5316「けた橋用プレストレスコンクリート橋げた」の改正に際してはボンドコントロール方式を採用することとしたため設計に当たっての基礎的資料が必要となった。そこで、ボンドコントロール方式を採用したプレテンションPCげたの力学的諸特性および設計に際しての留意事項を得ることを目的として実験的研究を行うこととした。

2. 実験計画と方法

プレテンションPCげたの一部のPC鋼材の付着を切ることによって行うボンドコントロール方式では、付着を切るPC鋼材の割合、付着を切る長さ、PC鋼材の配置方法、などがPCげたの力学的諸性能に影響を与えることが考えられる。そこで、ここでは図-1に示す長さ3.4 mのプレテンションPCげたを9体作製して、2点集中荷重による載荷実験を行うこととした。表-1に示すように下縁側鋼材に対するボンドコントロールする鋼材の割合が1/2の場合、付着を切る区間(ボンドレス区間という)をせん断支間130 cmの1/2に支点中心からけた端までの距離20 cmをくわえた85 cm、これより15 cm短い70 cm、および、さらに短い55 cmの3段階に変化させた。ボンドコントロールする鋼材の割合が2/3の場合には、ボンドレス区間をせん断支間130 cmの1/3に20 cmを加えた63 cmとし、ボンドコントロール開始点の曲げ耐力が支間中央の曲げ耐力とほぼつりあうようにした。ボンドコ

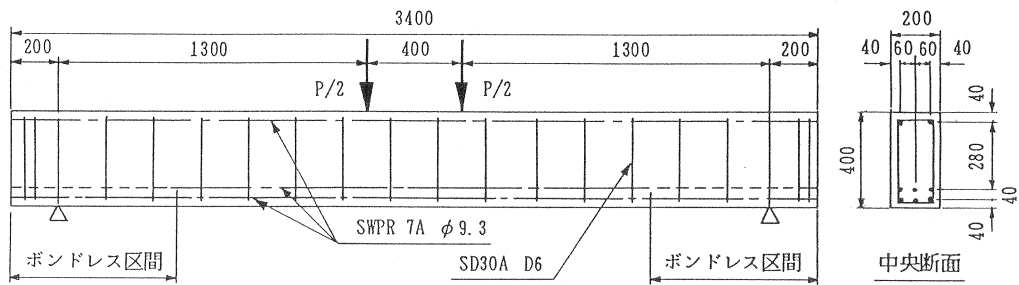


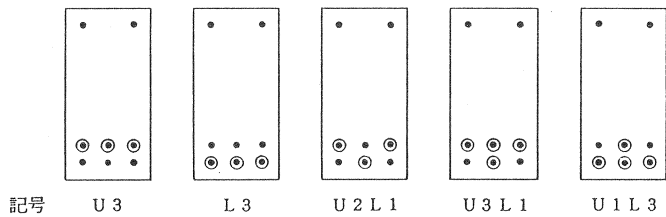
図-1 供試体の一例

ントロールするPC鋼材の配置については図-2に示す通りであって下縁側に2層に配置されたPC鋼材のうちの上層のみをボンドコントロールする場合、下層のみをする場合、および、両者の一部を共にボンドコントロールする場合、とした。また、ボンドコントロール開始点から斜めひびわれが発生することが予想されるためスターラップによるせん断補強の効果を確かめる供試体も含めた。

表-2に実験に用いた材料の諸性能を示す。供試体は同一緊張台上で同時に作製した。荷重は図-1に示すように2点集中荷重とし、支間中央での引張側最外縁のコンクリートの応力度が計算上等となるときの荷重と、実験時においてひびわれの発生が最初に確認されたときにそれぞれ一度除荷し、その後耐力の低下が生じるまで一方向に荷重した。計測はX・Yレコーダーによる支間中央の変位、ひずみゲージによるコンクリート表面のひずみ、および、目視によるひびわれ観察とした。

3. 実験結果

表-3に各供試体の曲げひびわれ発生荷重、ボンドレス区間でのひびわれ



◎：ボンドコントロール処理を行ったPC鋼材を表す

図-2 ボンドコントロールするPC鋼材の配置

表-1 供試体一覧

供試体	せん断支間中のボンドレス区間 (cm)	ボンドレス区間 (cm)	下縁側鋼材に対するボンドコントロールする鋼材の割合
No. 1 C65-U3	65	85	0.5
2 C50-L3	50	70	0.5
3 C35-L3	35	55	0.5
4 C65-L3	65	85	0.5
5 C65-U2L1	65	85	0.5
6 C43-U3L1	43	63	0.67
7 C43-U1L3	43	63	0.67
8 C43-U1L3-SW	43	63	0.67
9 C0	0	0	0

記号の説明

(C0~C65：せん断支間中のボンドレス区間) -

(U3, 等：ボンドコントロールをしたPC鋼材の位置。図-2参照) -

(SW：フープ筋量が他の供試体の2倍の量配置されていることを示す。

このフープ筋間隔は10cmで他の供試体はすべて20cmである。)

表-2 実験に使用した材料の力学的特性

名称	種類	寸法 (mm)	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
PC鋼より線	SWPR 7A	φ9.3	186	203	1.98×10 ⁶
鉄筋	SD 30A	D6	38	54	2.0×10 ⁶
コンクリート	圧縮強度：580kgf/cm ² ヤング係数：3.4×10 ⁵ kgf/cm ² 引張強度：33kgf/cm ² (現場養生)				

発生荷重、斜めひびわれ伸展荷重および最大耐力の実験値を示す。また合わせて計算値も示した。供試体はボンドコントロールによる悪影響を顕在化させるためにボンドレス区間を大きくとった。そのためボンドコントロールを行わないNo.9供試体（基準供試体）を除きすべてせん断破壊となった。

図-3および図-4に荷重と支間中央のたわみの実験結果を示す。供試体No.1(C65-U3)はせん断支間の1/2の位置で引張側の6本のPC鋼材のうちの上側の3本がボンドコントロールされたものであり、その位置で断面の曲げ耐力は近似的に支間中央の曲げ耐力とつり合う状態である。したがって、曲げひびわれは支間中央部分よりやや遅れてほぼ同時にボンドコントロール区間にも発生した。その後は斜めひびわれが成長して最大耐力時にはその幅が8mmにも

表-3 実験結果と計算値

No.	記号	実験値 (tonf)				最大耐力	破壊形態
		曲げひびわれ発生荷重	ボンドコントロール開始点でのひびわれ発生荷重	斜めひびわれが大きく伸展したときの荷重			
1	C65-U3	12~14	14~16	18~20	24.0	せん断	
2	C50-L3	14~16	16~18	16~18	24.8		
3	C35-L3	14~16	22~24	22~24	26.4		
4	C65-L3	12~14	10.6~12	14~16	20.6		
5	C65-U2L1	12~14	12~14	16~17	22.1		
6	C43-U3L1	12~14	1.9付近	1.9付近	20.6		
7	C43-U1L3	12~14	12~14	14~16	18.8		
8	C43-U1L3-SW	12~14	12~14	1.5付近	21.3		
9	C0	14~16	—	—	28.3	曲げ	

備考：支間中央での計算値を示す。

下縁側コンクリートの引張応力が0のときの荷重

$$: P_{c0} = 10.6 \text{ tonf}$$

降伏荷重

$$: P_y = 25.2 \text{ tonf}$$

終局荷重

$$: P_u = 27.6 \text{ tonf} \quad (P_u = 26.6 \text{ tonf})$$

ここで、降伏荷重と終局荷重は材料の非線形特性を考慮したファイバーモデルによって計算したものである。また、終局荷重の()内に示す値は、道路橋示方書に基づいて計算したものである。以下に計算に使用した材料の力学的特性を示す。

コンクリートの圧縮強度: 500 kgf/cm^2

PC鋼材の降伏強度: 18600 kgf/cm^2

“ ヤング率: $4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

“ ヤング率: $2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

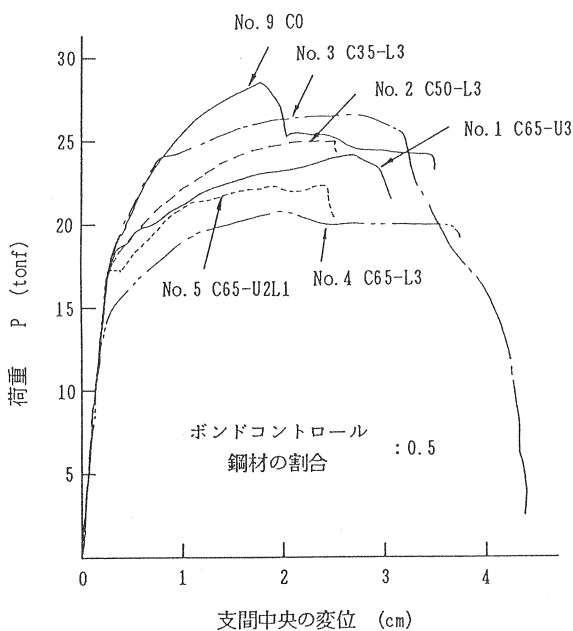


図-3 荷重-支間中央の変位曲線の包絡線

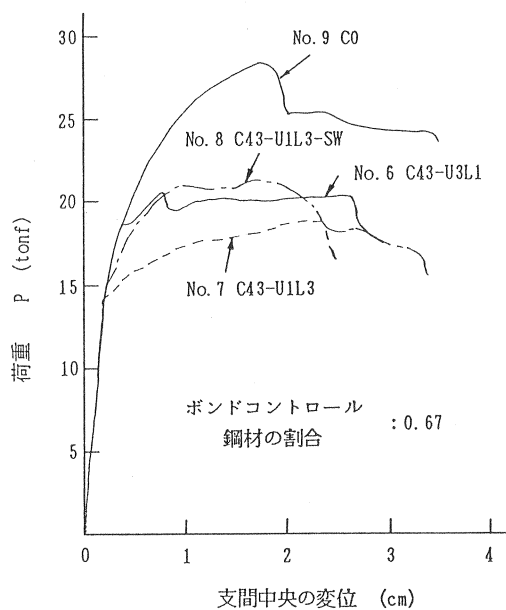


図-4 荷重-支間中央の変位曲線の包絡線

及び、 載荷点付近のせん断支間でコンクリート上縁が圧壊し、 ついでスターラップが破断して耐力が低下した。 この供試体の最大耐力はボンドコントロールしていない基準供試体の最大耐力の約85%であった。 供試体 No.4 (C65-L3)は供試体 No.1とはボンドコントロールするPC鋼材が下側の3本である点のみが異なるものであるが、 ボンドコントロール開始点での曲げ耐力が若干支間中央のそれより小さいため、 その位置での曲げひびわれの発生と斜めひびわれへの伸展が早く、 基準供試体の最大耐力の73%の荷重でせん断破壊した。

供試体 No.2 (C50-L3)および No.3 (C35-L3)は供試体 No.4に比してボンドレス区間を短くしたものでありそのため最大耐力も増大している。 この耐力増加の割合から考えて、 供試体 No.3 (C35-L3)と類似の供試体で上側のPC鋼材をボンドコントロールする供試体 (C35-U3)を想定すればこの耐力はほぼ基準供試体の最大耐力に達するものと思われる。 供試体 No.5 (C65-U2L1)は供試体 No.1と比べて下側の一本のPC鋼材にボンドコントロールを移したものであるが、 ボンドコントロール区間での曲げ耐力が若干低下するため最大耐力も No.1に比して若干低下している。

供試体 No.6 (C43-U3L1)と No.7 (C43-U1L3)は共にせん断支間の1/3の長さをボンドコントロールし、 その位置で支間中央の曲げ耐力とつり合わせたものであるが、 いずれも最大耐力は小さくスターラップの破断を伴ったせん断破壊を生じた。 供試体 No.8 (C43-U1L3-SW)は供試体 No.7を2倍のスターラップでせん断補強したものであるが、 斜めひびわれ開口後のせん断力をすべて負担する程のスターラップ量でないため、 この供試体の最大耐力の増加は13%程度であった。

図-5にボンドレス区間から発生する斜めひびわれの幅の伸展状況を示す。 この図から明らかなように、 この斜めひびわれはいずれも5mm以上の幅に達するものであって、 斜めひびわれ上端部コンクリートの圧壊後はスターラップの鉛直方向の引張抵抗によってほとんどのせん断力が負担されるため、 スターラップ量が少ないとその時点でスターラップの破断が見られるのである。

写真-1と2に供試体のせん断破壊の状況の例を示す。 この写真に見られるように危険側にボンドコントロールを行うと鉄筋コンクリート部材における鉄筋の不適切な引張部定着に起因するせん断破

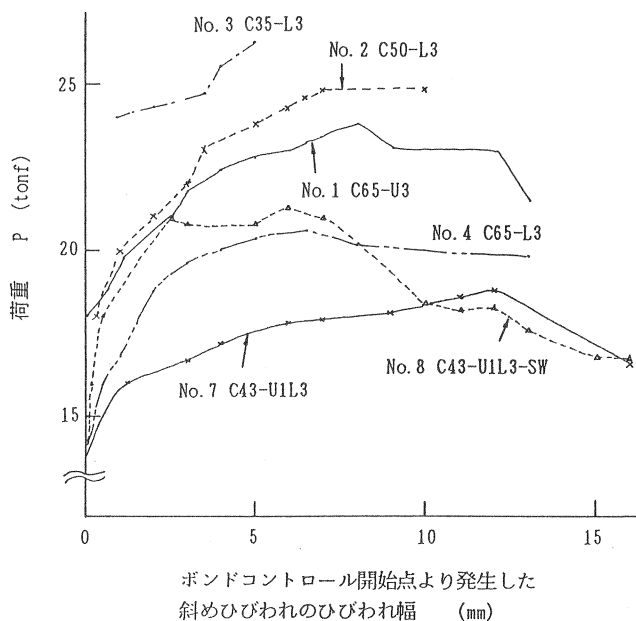


図-5 斜めひびわれの幅の伸展状況

壊と極めて類似な現象が生ずるのである。

4. 設計への適用

プレテンションPCげたに不適切なボンドコントロールを実施すると過早なせん断破壊を誘発する可能性のあることがこの実験によって示された。このことは、プレストレストコンクリートげたの場合でも、ボンドコントロール部分ではボンドのある鋼材の存在によって断面に圧縮応力が生じているにも拘らずその部分での曲げひびわれが斜めひびわれの発生と拡大の起点となり、鉄筋コンクリート部材の場合の不適切な引張部定着と何ら変わらない危険な挙動となることが示されたのである。しかしながら、鉄筋コンクリートの引張部定着の設計法と同様にボンドコントロールについても適切な設計を行えば、十分安全で合理的なものとすることができるのである。この場合、鉄筋コンクリート部材の引張部定着の設計法がよい参考になる筈である。

一般の場合、使用限界状態の範囲ではボンドコントロールによる影響はほとんど現れないので、検討の対象は主として終局限界状態の場合である。終局荷重が作用した状態でボンドレス区間に曲げひびわれの発生がなければボンドコントロールによる斜めひびわれの発生は有り得ないことから、この検討が安全側な検討方法として適当なものと思われる。このことは、本実験における供試体No.4(C65-L3)と供試体No.3(C35-L3)との関係からも言えることである。即ち、供試体No.4のボンドレス区間でのひびわれ発生荷重は表-2より11tonf程度であるが供試体No.3のそれは約23tonfであり、この約2倍の荷重の相違はせん断支間中のボンドレス区間の長さの比とほぼ一致しているのであって、ボンドレス区間での曲げひびわれの発生を抑えることによりせん断耐力を高めることができるのである。また、終局限界状態において、ボンドレス区間の開始点をそのPC鋼材が計算上不要になった点からけた高に等しい長さだけ延長した点とする方法も考えられる。今回の実験ではいずれの供試体もこの条件を満足していないが、これを満足していれば十分安全であることが伺える。

ボンドコントロールするPC鋼材の量の割合はその効果から考えて1/2以下とするのが望ましい。また、ボンドレス区間における曲げ耐力を確保する必要性からも断面の下縁から遠いPC鋼材をボンドレスするのが適当である。

J I S A 5313「スラブ橋用プレストレストコンクリート橋げた」⁽¹⁾ および J I S A 5316「けた橋用プレストレストコンクリート橋げた」⁽²⁾ はいずれも1990年に改正が

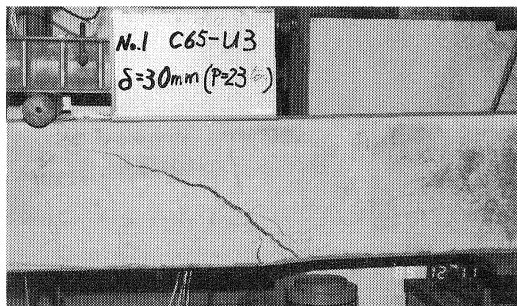


写真-1 せん断破壊の状況の例
(No.1 C65-U3、支間中央変位が30mmのとき)

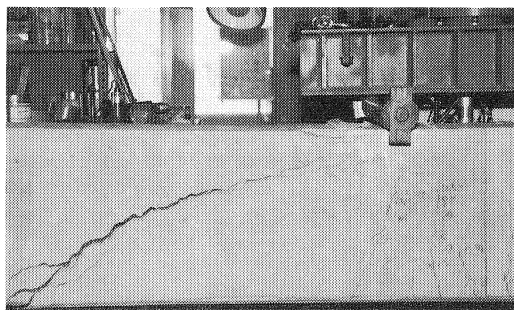


写真-2 せん断破壊の状況の例
(No.2 C50-L3、支間中央変位が25mmのとき)

行われ、本実験の結果を参照してボンドコントロール方式が採用された。また、確認のために18.6mのボンドコントロールPCげた2体を作製して曲げ破壊試験およびせん断破壊試験を行って実寸法でのけたの安全性を検討し、満足な結果を得た⁽³⁾。なお、JIS規格によるボンドコントロールPCげたが道路橋に広く適用できるよう道路橋示方書の中にも解説が述べられている⁽⁴⁾。

5. おわりに

ボンドコントロール方式をJIS規格のPCげたに採用するに当たり、現在までほとんど検討されていなかったボンドコントロールPCげたのせん断耐荷挙動に関する実験を行い、設計のための基礎資料を得た。

本研究の結果得られた結論は次の通りである。

- (1) 不用意にボンドコントロール方式を採用するとボンドレス区間から斜めひびわれが発生し過早なせん断破壊を生ずる場合がある。
- (2) 終局限界状態のもとでボンドレス区間に曲げひびわれを発生させないように配慮すれば安全で合理的なボンドコントロールPCげたを設計することができると思われる。
- (3) ボンドコントロールするPC鋼材の割合はその効果から考えてPC鋼材量の1/2以下とするのが望ましい。また、曲げ耐力を確保することが好ましいので下縁から遠い位置のPC鋼材をボンドレスとするのがよい。

謝 辞

本研究は、JIS A 5313 および 5316の改正原案作成のために行ったものでありプレストレストコンクリート建設業協会の改正原案作成委員会委員の各位には多大のお世話を賜った。また、本実験に用いた供試体はドービー建設工業株式会社掛川工場に依頼して作製した。ここに関係各位に対し厚く御礼を申し上げる。

参考文献

1. 日本工業規格 JIS A 5313「スラブ橋用プレストレストコンクリート橋げた」
1990年
2. 日本工業規格 JIS A 5316「けた橋用プレストレストコンクリート橋げた」
1990年
3. (社)プレストレストコンクリート建設業協会、JIS A 5316-1990 橋げた載荷
試験報告書、1989年12月、(委員会資料)
4. 日本道路協会、道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編、pp.182、1990年2月