

# [167] アウトケーブルを用いた部材の曲げ載荷実験

正会員 ○柳 沼 善 明 (日本大学理工学部)

正会員 北 田 勇 輔 (日本大学理工学部)

## 1. まえがき

近年、諸外国ではアウトケーブルを用いた構造物(断面の外部にPC鋼材を配置した構造物)が施工されている<sup>1,2)</sup>。一方、コンクリートの劣化が大きな社会問題として取り上げられ、コンクリート構造物の補修や補強が必要となってきた。たとえば、ディビダーク工法によるPC橋梁においては主桁のたれ下がり現象が多く見られ、橋梁の機能に重大な支障をきたしていると言われている。このような構造物の補修や補強には、アウトケーブルの採用が有効であると考えられる<sup>3,4)</sup>。

アウトケーブルの使用には数々の利点<sup>5)</sup>が考えられるため、今後我国においてもその使用が増加するものと予想される。しかしながら、アウトケーブルに関する研究は数少ないため、本実験は構造物へアウトケーブルを採用するにあたっての基礎資料を得ようとするものである。本実験はアウトケーブルを用いた支持点の数の異なるPCばりりと従来工法によるPCばりりととの静的曲げ破壊実験を行い、アウトケーブルの支持点数に着目したPCばりの強度特性、変形状態などについて従来工法のPCばりりと比較検討を試みた。

## 2. 供試体ならびに実験方法

供試体は図-1に示すようなアンボンドのPCばり(幅25cm、高さ40cm、スパン400cm)で、アウトケーブルを用いたPCばり(タイプOPC)と従来工法によるPCばり(タイプNPC)との二種類から構成される。タイプNPCの供試体はPC鋼材を部材断面内に配置したポストテンション方式のPCばりである。タイプOPCの供試体はアウトケーブルの支持点数を表-1のように変化させ、それぞれ支持点の間隔はほぼ等間隔になるように配置した。アウトケーブルの支持方法は図-2のようなボルトを用いてアウトケーブルを部材下部から固定した。供試体の数は合計8体であった。

用いたコンクリートの配合を表-2に示した。供試体の作製は表-1に示すシリーズごとに2回に分けてコンクリートを打設した。供試体の

載荷実験時におけるコンクリートの力学的性質を表-3に示した。

用いたPC鋼材は呼び名φ23mmの丸棒B種1号(SBPR95/110)で、支持用ボルトには呼び名φ11mmの丸棒C種1号(SBPR110/125)を用いた。主鉄筋とスターラップとは呼び名D13mm、組立鉄筋には呼び名D10mmの異形鉄筋を用い、材質はそれぞれSD30であった。

実験方法は一点載荷(スパン400cm)で静的に曲げ破壊させた。加力には油圧ジャッキを用い、ロードセル

表-1 供試体名と支持点数

シリーズ	供試体名	支持点数
A	NPC-1	従来工法 2ヶ所 4ヶ所 支持点なし
	OPC-3	
	OPC-5	
	OPC-7	
B	NPC-2	従来工法 1ヶ所 3ヶ所 5ヶ所
	OPC-2	
	OPC-4	
	OPC-6	

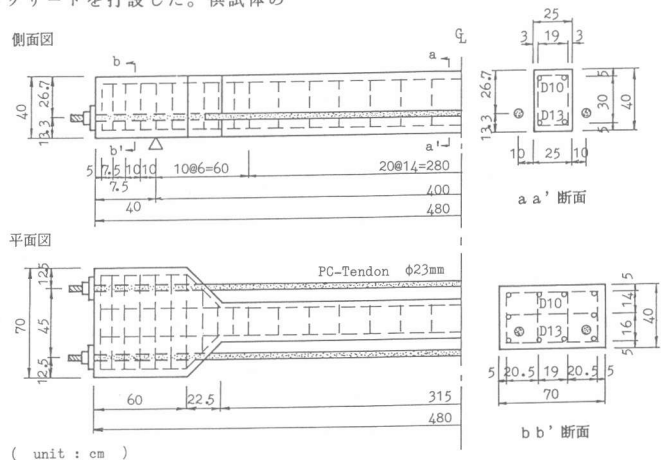


図-1 供試体の形状(タイプOPC)

表-2 コンクリートの示方配合

slump cm	W/C %	S/a %	単位量 kg/m <sup>3</sup>					混和剤
			W	C	S	G		
15.0	42.0	38.4	166	395	666	1079	0.988	

により荷重を検出した。供試体は各荷重ごとにたわみ、ひずみ、ひびわれの状況などを測定し、載荷荷重を漸次増加させて静的に曲げ破壊させた。コンクリートのクリープや乾燥収縮、PC鋼材のリラクゼーションなどによるPC鋼材の応力減少を極力少なくするため、荷重の載荷はプレストレスの導入後ただちに行った。導入プレストレス量は部材下縁のコンクリートの応力が80 kgf/cm<sup>2</sup> となるように定めた。

3. 実験結果と考察

3-1 ひびわれ発生時の曲げモーメント

ひびわれ発生時の曲げモーメント  $M_{cr}$  の実測値と計算値との比較を表-4に示した。表-4によれば、タイプNPC、タイプOPCともに同程度の  $M_{cr}$  を示し従来工法とアウトケーブルによる  $M_{cr}$  の相違はなかった。NPC-2の実測値が小さいのは、プレストレス導入量が他の供試体よりも小さいためであると考えられる。表-4の計算値は、弾性理論<sup>6)</sup>、神山による提案式<sup>6)</sup>、ならびに坂による提案式<sup>7)</sup>を用いて算出した。弾性理論による計算値がタイプNPC、タイプOPCともに実測値と良く一致した。各供試体のひびわれ発生時におけるスパン中央でのたわみは約3.3mmとなりスパン長と比較して極めて小さいため、支持用ボルトの力は約50~150 kgf程度であった。したがって、支持用ボルトの力は小さく支持点の位置や数にあまり影響されないと思われるため、タイプOPCでの  $M_{cr}$  は外部から偏心力が作用した部材と考えると解析できるものと思われる。

3-2 最大曲げモーメント

最大曲げモーメント  $M_{max}$  におよぼす支持点の影響を図-3に示した。図-3によれば、シリーズAにおいては支持点数が多くなれば  $M_{max}$  が増大し、支持点数が4ヶ所の供試体はタイプNPCと比較して  $M_{max}$  が約9.7%増大した。また、支持点がない供試体の  $M_{max}$  はタイプ

表-3 コンクリートの力学的性質

シリーズ	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/cm <sup>2</sup>	曲げ強度 kgf/cm <sup>2</sup>
A	349.2	28.6	43.6
B	373.4	28.0	42.0

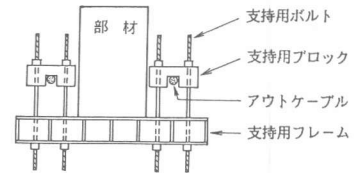


図-2 アウトケーブルの支持方法

表-4 ひびわれ発生における曲げモーメントの実測値と計算値との比較

シリーズ	供試体名	実測値 tf・m	計算値/実測値		
			弾性理論	神山	坂
A	NPC-1	7.98	1.079	1.290	1.199
	OPC-3	7.98	1.037	1.247	1.139
	OPC-5	7.97	1.046	1.258	1.147
	OPC-7	7.95	1.073	1.286	1.175
	B	NPC-2	6.98	1.135	1.368
B	OPC-2	8.00	1.049	1.269	1.158
	OPC-4	7.98	1.019	1.241	1.129
	OPC-6	7.97	1.044	1.266	1.153
	平均		1.060	1.278	1.172

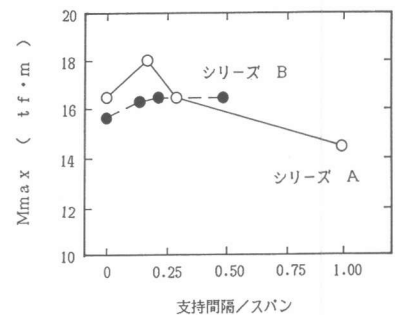


図-3  $M_{max}$  におよぼす支持点数の影響

NPCと比較して約11.9%の減少を示した。シリーズBすなわちスパン中央部を支持している場合では、支持点数によらずタイプNPCとほぼ同程度の $M_{max}$ を示した。

### 3-3 変形曲線とじん性率

曲げモーメント $M$ とスパン中央でのたわみとの関係を図-4に示した。図-4によれば、OPC-7(支持点なし)は $M_{max}$ 以降の $M$ の低下割合が大きい、支持点数を増せばその低下割合が小さくなった。OPC-3(支持点2ヶ所)はNPC-1(従来工法)と同程度の $M_{max}$ を示すが、 $M_{max}$ 以降の $M$ の低下割合がNPC-1よりも大きかった。OPC-5(支持点4ヶ所)はNPC-1と比較して $M$ の低下割合がほぼ同じであった。シリーズBの場合では、タイプOPCはすべてタイプNPCと同様の変形曲線が得られた。

次にエネルギーから求めたじん性率を表-5に示した。エネルギー $U$ は曲げモーメントとスパン中央でのたわみから面積として求めた。ここでは、 $M_{max}$ までのじん性率<sup>8)</sup>と $M_{max}$ を超えて $M$ が $0.85M_{max}$ まで低下した点までのじん性率<sup>9)</sup>とにより、アウトケープルを用いた供試体のじん性を評価した。供試体の降伏点は岡田らの提案<sup>8)</sup>により図-5のように定義した。表-5の $U_y$ は降伏時、 $U_{max}$ は $M_{max}$ 時、 $U_{0.85}$ は $0.85M_{max}$ 時までのエネルギーである。じん性率は $M_{max}$ 時の場合 $U_{max}/U_y$ 、 $0.85M_{max}$ 時の場合 $U_{0.85}/U_y$ として求めた。表-5からシリーズAの $U_{max}/U_y$ については、OPC-7(支持点なし)では9.33となりNPC-1とほぼ同じ値となり、支持点を設けなくとも従来工法と同程度のじん性率が得られた。また、シリーズAの $U_{0.85}/U_y$ については、OPC-7では17.57となりNPC-1と比較して約43.1%の減少となった。

これは、最大曲げモーメント以降の $M$ の低下が従来工法よりも大きいことを示している。また、 $M_{max}$ 時までのじん性率 $U_{max}/U_y$ はOPC-6(支持点5ヶ所)を除きシリーズA、Bともにほぼ同じ値を示した。OPC-6の $U_{max}/U_y$ が他と比較して小さい値を示しているのは、供試体上縁部のコンクリートの圧潰し始める点と $M_{max}$ の点と同じであったが、他のすべての供試体はコンクリートの圧潰後さらに変形が進んだ点で $M_{max}$ となっているためと考えられる。OPC-6の場合 $U_{0.85}/U_y$ はNPC-2と比較して約6.2%の減少となり、従来工法とほぼ同等のじん性率を示していると思われる。スパン中央部を支持したシリーズBの $U_{0.85}/U_y$ は、支持点数による相違は見られず従来工法とほぼ同程度のじん性率を示した。

3-4 PC鋼材のひずみ  
支持点のPC鋼材におよぼす摩擦の影響を調べるため、PC鋼材のスパン方向のひずみ変化を図-6に示した。供試体の端部と中央部とのPC鋼材のひずみを比較すれば、プレストレスの導入時、コンクリートの圧潰時ならびに $M_{max}$ 時においてPC鋼材のひずみはほとんど変

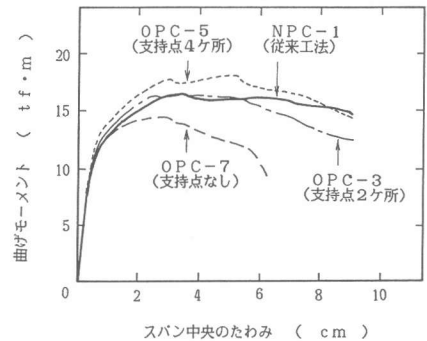


図-4 曲げモーメントとスパン中央のたわみとの関係

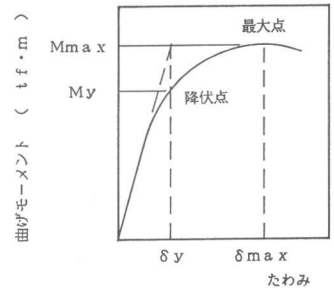


図-5 降伏点の定義<sup>8)</sup>

表-5 エネルギーによるじん性率

シリーズ	供試体名	Yield $U_y$	$M_{max}$		$0.85M_{max}$	
			$U_{max}$	$U_{max}/U_y$	$U_{0.85}$	$U_{0.85}/U_y$
A	NPC-1	44.38	426.6	9.61	1370.9	30.89
	OPC-3	42.27	448.6	10.61	1068.4	25.28
	OPC-5	51.77	738.4	14.26	1310.7	25.32
	OPC-7	36.36	339.2	9.33	639.0	17.57
B	NPC-2	37.33	341.4	9.15	1010.2	27.07
	OPC-2	43.02	427.6	9.94	1179.1	27.41
	OPC-4	47.26	527.5	11.16	1080.0	22.85
	OPC-6	42.52	284.7	6.70	1092.8	25.70

$U_y, U_{max}, U_{0.85}$ の単位は  $tf \cdot mm^2$ である。

化なく一様な引張ひずみとなった。他のタイプNPC, タイプOPCの供試体も同様の傾向を示し端部と中央部とのひずみ変化はほとんどなかった。これは、本実験で使用した支持方法によれば支持点部の摩擦による影響がなかったことを示している。

### 3-5 支持用ボルトの力

支持用ボルトの力とスパン中央でのたわみとの関係を図-7に示した。ここに、支持用ボルトの力とは供試体の変形ともないアウトケーブルを支持するために支持用ボルトに生ずる力であり、図-2の支持用ボルト4本に作用する力の総和とした。図-7によれば、支持点の位置がNo. 2の支持用ボルトの力はたわみが増大すれば増大する傾向にあった。しかし、支持点の位置がNo. 1, 3の支持用ボルトの力はたわみが増大してもあまり大きくならず、たわみが約2cmを越えるとほぼ一定の値を示した。シリーズBにおいてもスパン中央の支持用ボルトの力が大きく、他の支持部における力は小さくなっている傾向にあった。これは、スパン方向のたわみが荷重の小さな段階では曲線を示しているが、荷重が大きくなるにしたがいスパン中央部にヒンジが形成されてたわみ曲線が直線に近づき、ヒンジの回転によりたわみが増大するようになるためと考えられる。このたわみ曲線が直線に近づくのは、たわみの実測結果から確かめられた。

### 4. あとがき

アウトケーブルを用いた供試体の破壊実験を行い、従来工法の供試体と比較した結果得られた結論は次の通りである。

- (1) ひびわれ発生時の曲げモーメント $M_{cr}$ はタイプNPC, タイプOPCともにほぼ同じ値を示した。また、タイプOPCの $M_{cr}$ の計算は各種提案されている従来工法での提案式で算出できるものと思われる。
- (2) シリーズAの $M_{max}$ は支持点を増やせば増加し、支持点数2ヶ所で従来工法と同程度の $M_{max}$ が得られた。シリーズBの $M_{max}$ は支持点数にかかわらずすべて従来工法と同程度の $M_{max}$ が得られた。
- (3) シリーズAの変形曲線は支持点数を増やせば従来工法の変形曲線に近づく傾向にあった。シリーズBの変形曲線は支持点の数にかかわらず従来工法と同程度の変形曲線となった。
- (4)  $M_{max}$ までのじん性率は支持点数にかかわらずシリーズA, Bともに従来工法と同程度のじん性率を示した。また、 $0.85 M_{max}$ までのじん性率はOPC-7(支持点なし)の場合従来工法と比較して約43.1%の減少となった。

最後に、本実験を行うにあたり日本大学 関 慎吾博士より御指導賜り深く感謝致します。また、図表ならびに数値の整理に協力してくれた小丸 登君に感謝致します。

#### <参考文献>

- 1) J. Muller: PCI Journal, Nov.-Dec., pp.97~111, 1980.
- 2) W. Podolny & A.A. Mireles: PCI Journal, Jan.-Feb., pp.68-107, 1983.
- 3) 酒井: 橋梁と基礎, Vol.17, No.8, pp.86~89, 1983.
- 4) フレッシュ-技士海外研修団: プレストレストコンクリート, Vol.25, No.5, pp.41~48, 1983.
- 5) 猪股: プレストレストコンクリート, Vol.25, No.1, pp.8~16, 1983.
- 6) 岡田, 神山: 国民科学社, pp.119~121, 1971.
- 7) 坂, 岡田, 六車: 朝倉書店, pp.329~336, 1961.
- 8) 岡田, 小柳: 土木学会論文集, 第10号, pp.27~35, 1964.
- 9) 柳沼, 関, 北田: 第6回コンクリート工学年講, pp.565~568, 1984.

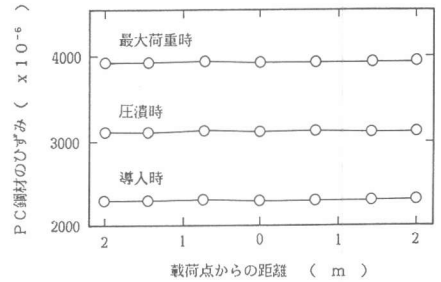


図-6 PC鋼材のひずみ (OPC-5支持点4ヶ所の場合)

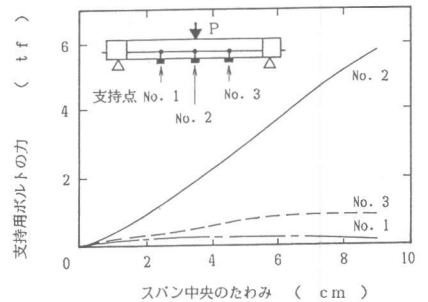


図-7 支持用ボルトの力とたわみとの関係 (OPC-4支持点3ヶ所の場合)