

論文 大偏心外ケーブルを用いたプレキャストセグメント PC 枠の曲げ性状に関する実験的研究

原 健悟^{*1}・睦好 宏史^{*2}・Aravindhan, T^{*3}・渡辺 宗樹^{*4}

要旨: 本研究は、外ケーブル式 PC 枠において外ケーブルを桁高以上に大偏心させ、さらに主桁、外ケーブル、デビエータ(ストラット)から成る擬似トラス構造とした大偏心外ケーブル式 PC 構造とプレキャストセグメント工法を併用した新しい構造形式の曲げ性状を実験的に明らかにしたものである。

実験から、プレキャストセグメントを用いた大偏心外ケーブル式 PC 構造は、一体打ちのものとほぼ同様な曲げ性状を示すこと、モーメントの再分配が生じやすいことが明らかになった。

キーワード: 大偏心、外ケーブル、プレキャストセグメント、モーメント再分配

1. 序論

近年、外ケーブル式 PC 構造が実構造物に適用されつつあり、また新しい PC 構造形式の開発も盛んに行われている。外ケーブル式 PC 構造は、内ケーブル式 PC 構造に比べ、桁の軽量化、施工性の改善、維持管理が容易など多くの利点がある。しかし、コンクリートとケーブルとの間に付着がないため、曲げ終局耐力が内ケーブル式 PC 構造に比べて小さくなることが、一般によく知られている。特に、桁スパン/高さの比が大きい場合には、終局時において外ケーブルの張力増分は小さくなり、一般に降伏に至ることはない。このことは、ケーブルの高強度特性を有効に活用していないことを示唆している。このようなことを改良するために、外ケーブルを桁外に配置して偏心量を増加する方法(以下、大偏心)が提案されており、大偏心外ケーブル式 PC 単純桁に関する曲げ性状はすでに明らかにされている。しかし、大偏心外ケーブル構造を連続

スパンに適用し、プレキャストセグメントと組み合わせた構造形式については、その挙動は解明されていない。本研究は、外ケーブル式 PC 枠において、外ケーブルを桁高以上に偏心させ、主桁、外ケーブル、デビエータ(ストラット)から成る擬似トラス構造とした連続桁にプレキャストセグメント工法を組み合わせた新しい橋梁形式を開発し、その曲げ性状を実験的に明らかにしたものである。

実験では、大偏心外ケーブルを用いた一体打ち PC 枠とプレキャストセグメント PC 枠の静的曲げ載荷試験を行い、その曲げ性状を比較検討した。

2. 実験概要

実験に用いた供試体の形状寸法を図-1 に、また、実験要因を表-1 に示す。供試体は 2 スパン連続桁と、比較のために製作された 1 スパン単純桁から成り、それぞれ一体打ち、プレキ

*1 埼玉大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻

(正会員)

*2 埼玉大学教授 工学部建設工学科

工博 (正会員)

*3 ドーピー建設工業(株)技術センター

工博 (正会員)

*4 三井建設(株)土木本部 PC 技術部

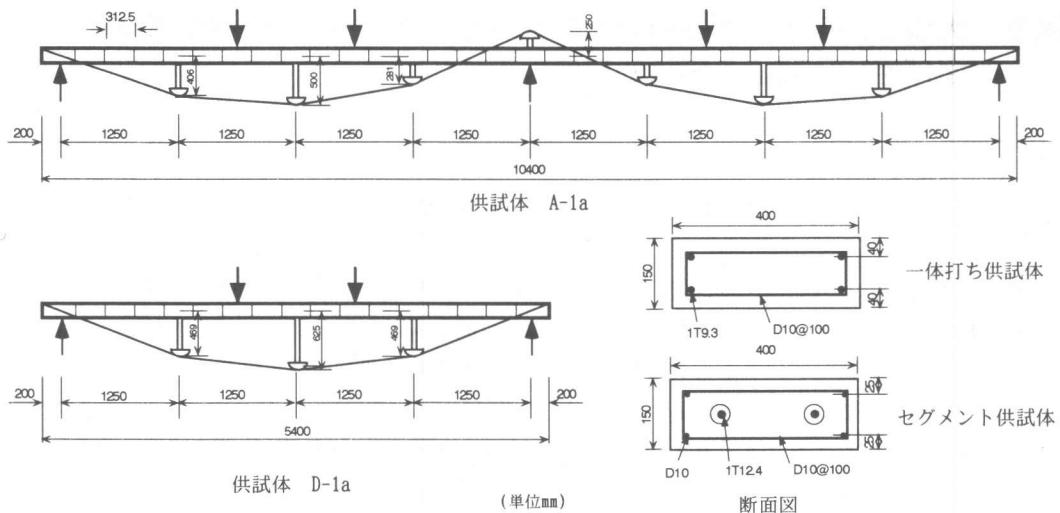


図-1 供試体の形状寸法

表-1 実験要因

供試体	コンクリート 圧縮強度 (MPa)	支間長 (m)	セグメント長 (mm)	プレストレス量	
				内ケーブル	外ケーブル
A-1	51.9	2 × 5.00	-	1T9.3mm × 4 4 × 50kN	
D-1	57.2	5.00	-		
A-1a	60.3	2 × 5.00	312.5	ボンド式 T12.4mm × 2 2 × 100kN	1 T10.8 × 1 25kN
D-1a	70.1	5.00	312.5	アンボンド式 T12.4mm × 2 2 × 100kN	

表-2 ケーブルの材料特性

使用鋼材	断面積 (mm ²)	降伏强度 (kN)	引張强度 (kN)	弾性係数 (kN/mm ²)
SWPR7A φ9.3	51.61	76	89	196200
SWPR7A φ10.8	69.68	102	120	196200
SWPR7A φ12.4	92.90	136	160	196200

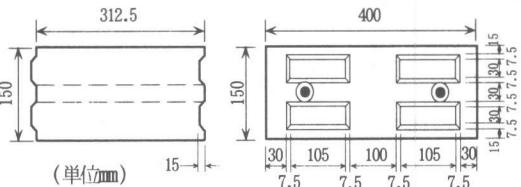


図-2 シアキーの形状寸法

ヤストセグメント方式で製作された。単純桁の支間は 5.0m で、連続桁は支間 5.0m が 2 径間である。供試体の断面形状は幅 400mm, 桁高 150mm とした。一体打ち供試体では、内ケーブル（プレテンション方式）と外ケーブル（ポストテンション方式）を併用した。使用した PC 鋼より線は、内ケーブルには SWPR7A φ9.3mm を 4 本、外ケーブルには SWPR7A φ10.8mm を 1 本使用した。プレキャストセグメント供試体では、内ケーブル（ポストテンション方式）と外ケーブル（ポストテンション方式）を併用した。内ケーブルには一体打ち供試体とほぼ同じ面積になるよう

に SWPR7A φ12.4mm を 2 本使用し、外ケーブルには SWPR7A φ10.8mm を 1 本使用した。また、単純桁では、内ケーブルの付着による影響を明らかにするため、一体打ち供試体ではボンド式、プレキャストセグメント供試体ではアンボンド式とした。

導入プレストレス量はすべての供試体で同じとし、内ケーブルは 200kN、外ケーブルはコンクリート上縁にひび割れが生じないよう 25kN とした。それぞれの PC 鋼より線の材料特性を表-2 に、また、シアキーの形状寸法を図-2 に示す。

表-3 実験結果

供試体	ひび割れ発生荷重(kN)			終局荷重(kN)		終局変位(mm)		終局時外ケーブル張力(kN)	
	左スパン	中間支点	右スパン	左スパン	右スパン	左スパン	右スパン	左側端部	右側端部
A-1	39.2	36.8	39.2	107.9	108.6	82.7	82.6	117.1	116.6
A-1a	38.7	37.7	44.9	97.6	104.0	80.1	80.0	111.8	109.9
D-1		37.0		94.5		130.3		117.9	118.3
D-1a		36.3		86.3		100.2		114.4	114.1

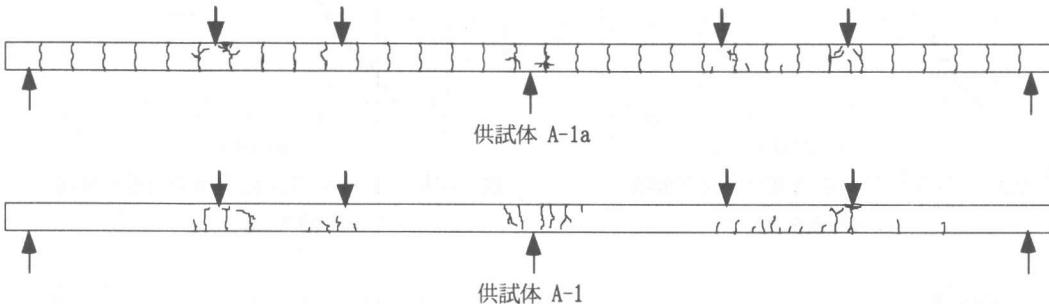


図-3 ひび割れ図(終局時)

スターラップには直径 10mm の異形鉄筋を用い、100mm 間隔で配置した。コンクリートの設計強度は 50MPa とし、実験時におけるコンクリートの圧縮強度は表-1 に示す通りである。

プレキャストセグメント供試体では、セグメント長を 312.5mm とし、偶数番号のブロックを打設し型枠を取り外した後、奇数番号のブロックを打設するロングラインマッチキャスト方式により作製した。また、接合面にはシアキーを設置し、接合面にプレキャストセグメント用のエポキシ樹脂を塗布後、ポストテンション方式でプレストレスを導入してセグメントを一体化した。

デビエータは鋼製とし、供試体作製後ボルトに

より供試体に取り付けた。デビエータの配置間隔はすべての供試体で 1.25m とした。デビエータとケーブルの間には、摩擦を軽減するためにテフロンシートを用いた。

載荷方法は、油圧ジャッキにより、1 スパン静的 2 点載荷とし、等曲げ区間を 1.25m とした。

測定項目は、載荷荷重、スパン中央および、中間支点上でのコンクリート上下縁のひずみ、スパン中央部および各デビエータ位置での変位、また、連続桁では各支点での反力である。外ケーブル張力は、ひずみゲージと両端に設置したロードセルにより測定した。

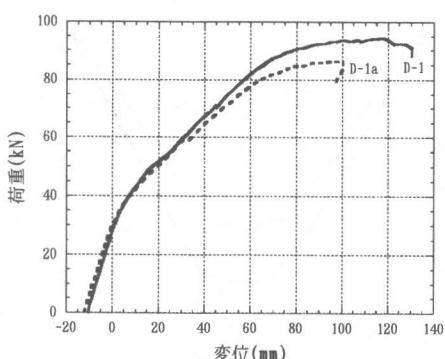


図-4(a) 荷重-変位関係(単純桁)

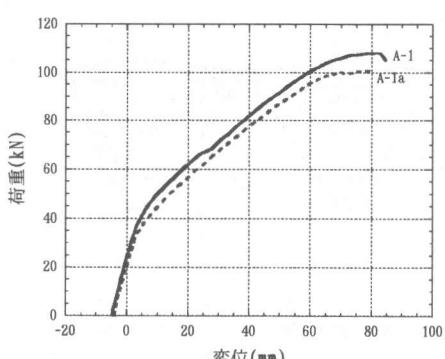


図-4(b) 荷重-変位関係(連続桁)

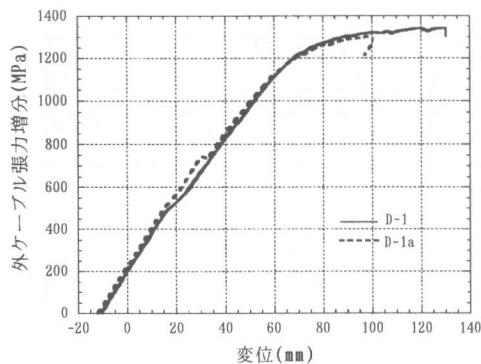


図-5(a) 外ケーブル張力増分-変位関係
(単純桁)

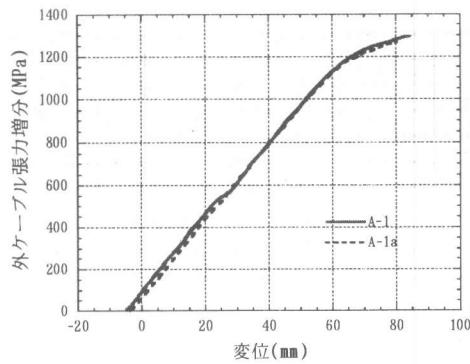


図-5(b) 外ケーブル張力増分-変位関係
(連続桁)

3. 実験結果

3. 1 破壊性状

実験結果を表-3に示す。また、連続桁のひび割れ状況を図-3に示す。TYPE D-1では37.0kNで初期ひび割れが発生し94.5kNでコンクリートが圧壊した。TYPE D-1aでは36.3kNで初期ひび割れが発生し86.3kNでコンクリートが圧壊した。

TYPE A-1では36.8kNで中間支点上に初期ひび割れが発生した後、39.2kNで支間中央においてもひび割れが発生し、108.25kN(平均値)でコンクリートが圧壊した。

TYPE A-1aでは37.7kNで中間支点上に初期ひび割れが発生した後、38.7kNで支間中央においてもひび割れが発生し、100.8kN(平均値)でコンクリートが圧壊した。

すべての供試体において外ケーブルが降伏後、コンクリートが圧壊した。ひび割れは、一体打ち供試体では載荷点、中間支点に一様に分布するが、プレキャストセグメント供試体では、載荷点、中間支点に近い接合面付近にひび割れが集中した。

3. 2 荷重-変位関係

図-4に荷重-変位関係を示す。TYPE D-1a供試体での初期ひび割れ発生荷重がTYPE D-1供試体よりもやや低くなかった。TYPE A-1a供試体での初期ひび割れ発生荷重がTYPE A-1供試体よりもやや小さいがほぼ同じような曲げ挙動を示した。

単純桁では、プレキャストセグメント桁の内ケーブルにアンボンド式を用いており、また、

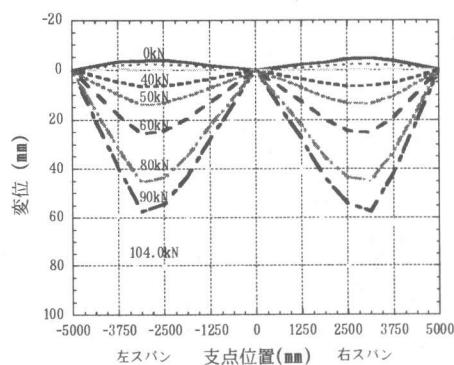


図-6(a) たわみ分布(A-1a)

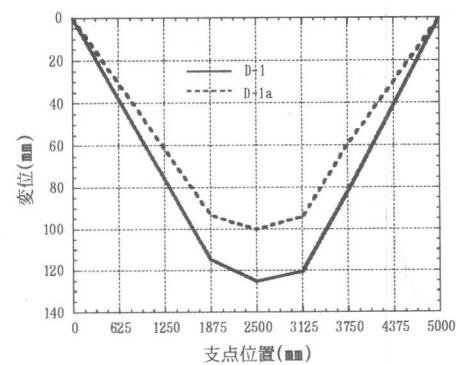


図-6(b) たわみ分布(単純桁)

連続桁で、プレキャストセグメント桁の内ケーブルの面積が約10%小さくなっているため、最大荷重は、プレキャストセグメント桁が一体打ち供試体よりも単純桁では約8.7%程度、連続桁では約7.5%程度、小さくなつた。

大偏心外ケーブル式PC構造において、プレヤストセグメント供試体と、一体打ち供試体は、ほぼ同様な曲げ性状を示すことが確認できた。

3.3 外ケーブルの張力増分

図-5に外ケーブル張力増分-変位関係を示す。すべての供試体で外ケーブルの応力は、降伏にいたるまで直線的に増加している。プレキャストセグメントを用いた場合には、外ケーブルの張力増加率は一体打ちとほぼ同じであるのが分かる。単純桁では、プレキャストセグメン

ト供試体の終局時の変位が小さいため、外ケーブル張力が一体打ちのものよりも小さくなり、これが終局耐力が低くなった原因の1つであると考えられる。

3.4 たわみ性状

終局時における供試体A-1aと単純桁のたわみ分布を図-6に示す。連続桁ではほぼ同じようなたわみ分布が得られた。単純桁においては、プレキャストセグメント供試体では、内ケーブルがアンボンド式のため、韌性が低下し、一体打ち供試体に比べて、同一荷重において変形能が低下していることが図-4からもわかる。

3.5 モーメント再分配

図-7に荷重-支点反力関係を示す。支点反力の値は、ロードセルにより実測された値である。計算値は弾性理論により求められた値を用いている。実測値と計算値の誤差が生じる原因として、モーメントの再分配が考えられる。

図-8に最大荷重時のモーメント分布を示す。また、表-4にモーメント再分配率を示す。塑性モーメント(M_p)は、ロードセルにより測定された支点反力から求められた値を用いている。弾性モーメント(M_e)は実測された終局荷重を用い、はり理論に基づいて算出した。

塑性ヒンジは、中間支点上で発生し中間支点からスパン中央へとモーメントが再分配された。

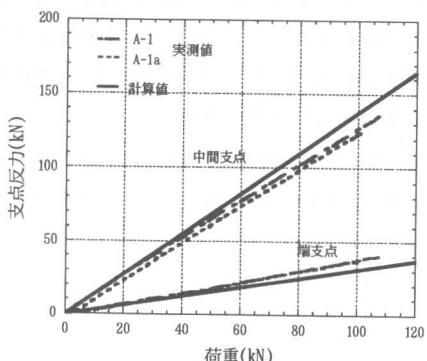


図-7 支点反力-荷重関係

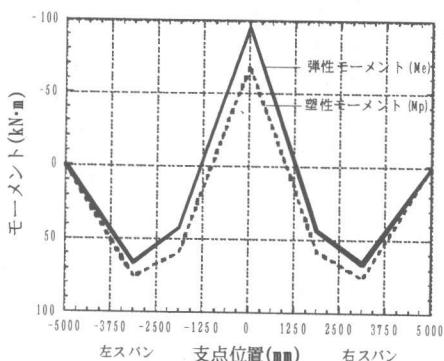


図-8(a) モーメント分布(A-1)

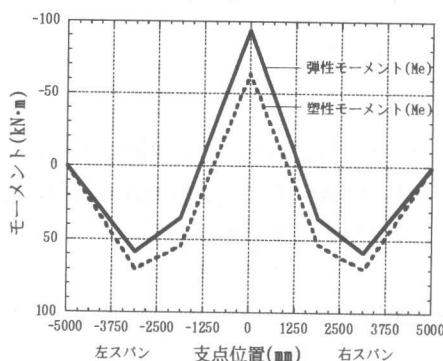


図-8(b) モーメント分布(A-1a)

表-4 モーメント再分配率

供試体	塑性モーメント Mp(kN·m)			弾性モーメント Me(kN·Nm)			モーメント再分配率 [1-Mp/Me](%)		
	左スパン	中間支点	右スパン	左スパン	中間支点	右スパン	左スパン	中間支点	右スパン
A-1	75.8	-68.5	76.2	65.8	-95.2	65.8	-15.2	28.0	-15.7
A-1a	69.9	-63.7	69.8	58.6	-93.8	58.6	-19.3	32.0	-19.1

また、スパン中央での塑性モーメントが、弾性モーメントより大きくなり、モーメントの再分配率は負の値となった。中間支点においては、塑性モーメントが弾性モーメントより小さくなり、モーメントの再分配率は正の値となった。プレキャストセグメント供試体では、セグメント接合面にひび割れが集中し、局所変形が生じたため、モーメントの再分配率は、TYPE A-1a では TYPE A-1 よりも大きい値となった。このことからプレキャストセグメント供試体では、モーメントの再分配が発生しやすいと言える。

4.まとめ

本研究の範囲から以下のことが言える。

①大偏心外ケーブル式 PC 構造において、プレキャストセグメントを用いた場合と、一体打ち供試体では、ほぼ同様な曲げ性状を示すことが明らかとなった。

②プレキャストセグメント供試体では、セグメント接合面にひび割れが集中し、局所変形が生じたため、モーメントの再分配率は、一体打ち供試体よりも大きい値となった。このことからプレキャストセグメント供試体では、モーメントの再分配が発生しやすい。

謝辞

本研究を行うにあたって、当時埼玉大学卒研究生の井上智之氏、大学院生の Eakarat, W 氏の多大なるご協力を頂いた。

参考文献

- 1)濱田 譲、竹本伸一、渡辺宗樹、篠崎裕生：PC ケ

ーブルトラス桁の曲げ性状に関する研究、プレストレスコンクリート技術協会第 7 回シンポジウム論文集, pp.437-442, 1997.10

2)Aravinthan, T, 瞳好宏史, 新津正義, 陳 安:Flexural Behavior of Externally Prestressed Beams with Large Eccentricities, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.673-678, 1998.6

3)Aravinthan, T, 瞳好宏史, 濱田 譲, 渡辺宗樹 : Experimental Investigation on the Flexural Behavior of Two Span Continuous Beams with Large Eccentricities, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.961-966, 1999.6

4)瞳好宏史, 原 健悟, Aravinthan, T, 濱田 譲, 渡辺宗樹 : 大偏心外ケーブル PC トラス連続桁の曲げ性状に関する研究, 土木学会第 54 回年次学術講演概要集第 5 部, pp.656-657, 1999.9

5)細野宏巳他 : PC 張弦桁橋の施工, プレストレストコンクリート技術協会第 8 回シンポジウム論文集, pp.807-812, 1998.10