

(45) 大偏心外ケーブルを用いたPC桁の曲げ性状に架設方法が与える影響に関する研究

埼玉大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻 ○原 健悟
 埼玉大学教授 工学部建設工学科 工博 正会員 陸好 宏史
 ドービー建設工業(株)技術センター 工博 正会員 Aravinthan, T
 三井建設(株)技術本部技術研究所 篠崎 裕生

1. はじめに

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り、近年、外ケーブル式PC構造が実構造物に適用され、また、新しいPC構造形式の開発も盛んに行われている。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のが、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、一般に終局時において外ケーブルが降伏に至ることはなく、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、大偏心外ケーブル式PC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、大偏心外ケーブルを用いた一体打ちPC桁とプレキャストセグメントPC桁の静的曲げ載荷試験を行い、大偏心外ケーブルを用いたPC桁の曲げ性状に架設方法が与える影響を比較検討した。

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。供試体は支間5.0mの2径間連続桁と、比較のために製作された1径間単純桁から成り、それぞれ一体打ち、プレキャストセグメント方式で製作された。供試体の断面形状は幅400mm、桁高150mmとした。すべての供試体で

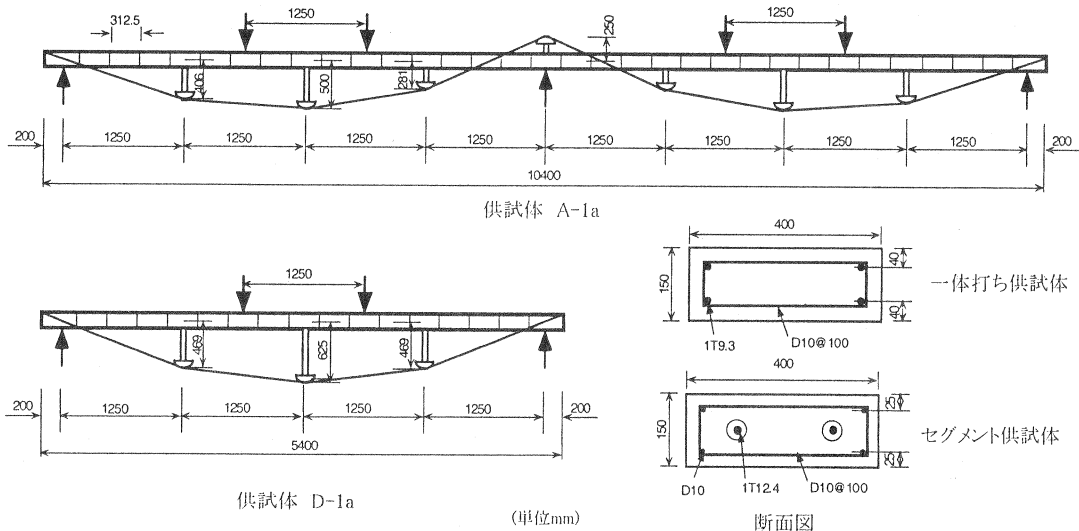


図-1 供試体の形状寸法

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	付着	外ケーブル
A-1	51.9	2×5.00	-	1T9.3mm×4	○	1 T10.8mm×1 25kN
D-1	57.2	5.00	-	4×50kN	○	
A-1a	60.3	2×5.00	312.5	1T12.4mm×2	○	
D-1a	70.1	5.00	312.5	2×100kN	×	

表-2 ケーブルの材料特性

使用鋼材	断面積 (mm ²)	降伏強度 (kN)	引長強度 (kN)	弾性係数 (kN/mm ²)
SMPR7A φ9.3	51.61	76	89	196200
SMPR7A φ10.8	69.68	102	120	196200
SMPR7A φ12.4	92.90	136	160	196200

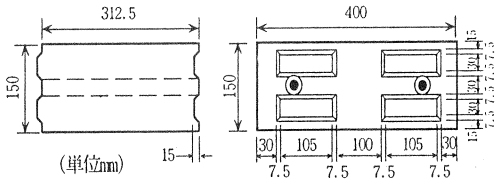


図-2 シアキーの形状寸法

内・外ケーブル併用とし、導入プレストレス量は、内ケーブルには 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。内ケーブルは、一体打ち供試体ではプレテンション方式とし、φ9.3mm を 4 本使用した。プレキャストセグメント供試体では、ポストテンション方式とし、一体打ち供試体とほぼ同じ面積になるように φ12.4mm を 2 本使用した。外ケーブルはポストテンション方式とし、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。使用した PC 鋼より線の材料特性を表-2 に示す。

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、接合面にはシアキーを設置し、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。シアキーの形状寸法を図-2 示す。

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、油圧ジャッキによる静的対称載荷とし、等曲げ区間を 1.25m とした。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

実験結果を表-3 に示す。また、終局時における連続桁のひび割れ状況を図-3 に示す。単純桁ではスパン中央に初期ひび割れが発生し、コンクリートが圧壊した。連続桁では、中間支点上に初期ひび割れが発生し、ついでスパン中央においてもひび割れが発生し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ている。

ひび割れは、一体打ち供試体では載荷点、中間支点到に分布するが、プレキャストセグメント供試体では、載荷点、中間支点到に近い接合面付近にひび割れが集中した。

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

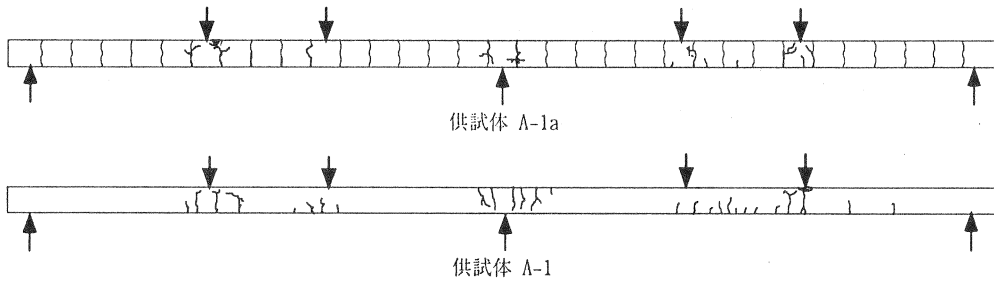


図-3 ひび割れ図(終局時)

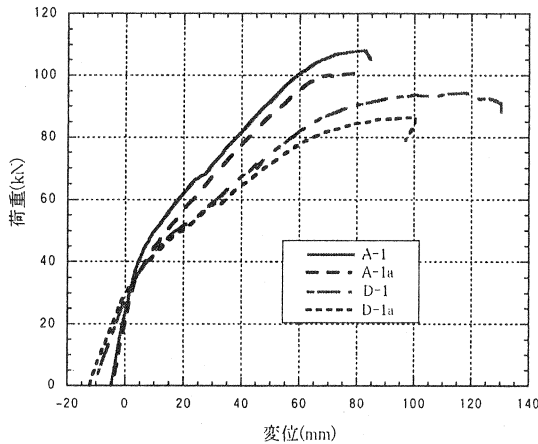


図-4 荷重-変位関係

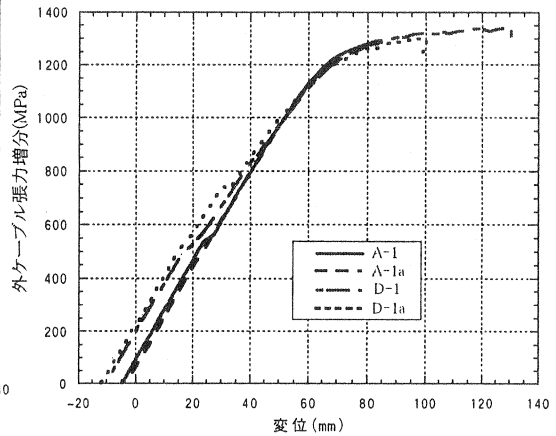


図-5 外ケーブル張力増分-変位関係

3.2 荷重-変位関係

図-4 に荷重-変位関係を示す。プレキャストセグメント供試体での初期ひび割れ発生荷重が、一体打ち供試体よりもやや低くなつたが、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。終局荷重は、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%程度とやや小さくなっている。単純桁では終局変位も小さくなっている。

要因としては、プレキャストセグメント桁の内ケーブルの面積が約 10%小さくなっていることが考えられる。また、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、連続桁よりも終局荷重の低下率が大きくなった。

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。一体打ち供試体とプレキャストセグメント供試体の外ケーブルの張力増加率は、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小さくなり、このことも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 モーメント再分配

図-6 に終局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。

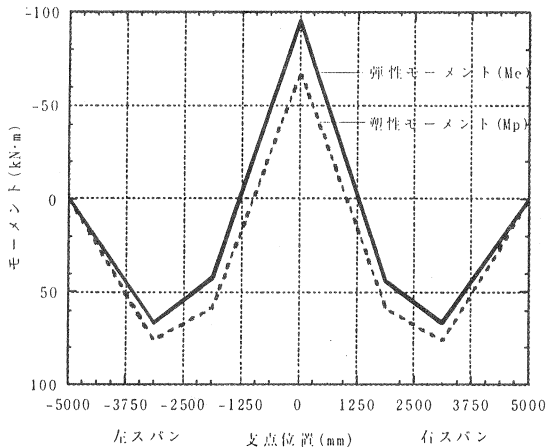


図-6.1 モーメント分布 (A-1)

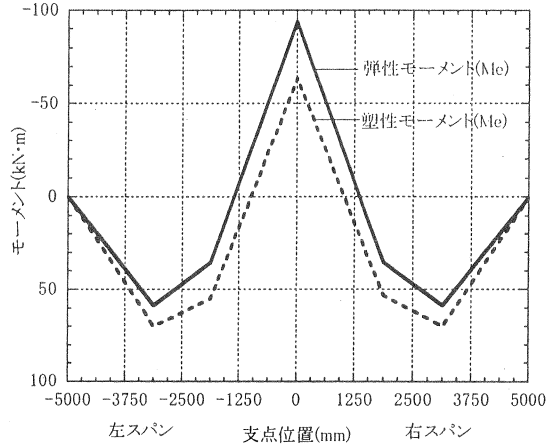


図-6.2 モーメント分布 (A-1a)

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·m)			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

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。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、一体打ち供試体よりも大きい値となったがあまり大きな差は見られなかった。しかし、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状況にあると言える。

4. 解析手法

陸好ら[2]により、ケーブル位置でのコンクリートの全変形量と、ケーブルとの伸びが等しいという変形の適合条件を考慮に入れた解析手法が提案されている。この解析手法はアンボンド式内ケーブル式構造や外ケーブル式構造に適用されている。

解析手法に用いた仮定は、

- ①平面保持の仮定が成り立つ。
 - ②材料と幾何学的非線形性を考慮する。
 - ③せん断変形は無視する。
 - ④付着の無い鋼材の張力はスパン内において一様に分布する。つまり摩擦の影響は無い。
- とするものである。

また、プレキャストセグメントの接合面の開口を考慮に入れ、セグメント方式にも適用されている。

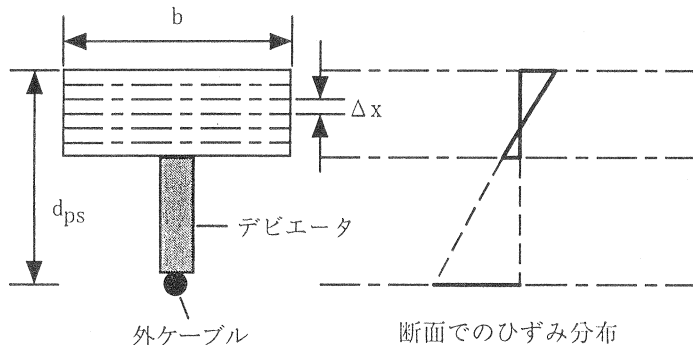


図-7 外ケーブル位置におけるコンクリートひずみの仮定

幾何学的非線形性における単純桁と連続桁の重要な違いは、プレストレスによる2次モーメントとモーメントの再分配が生じることである。モーメントの再分配は、連続桁の終局耐力に影響する。単純桁の解析手法を上述の2つの事項を考慮に入れ、連続桁の解析手法に拡張した。

大偏心外ケーブル式 PC 構造において、外ケーブルは、桁外に配置しているため、変形の適合条件を用いるには、図-7 に示すようなケーブル位置での仮想コンクリートひずみを考える必要がある。また、外ケーブルの応力-ひずみ関係は、実験との適合性から図-8 に示す Menegotto と Pinto[5]により提案された構成則を用いている。

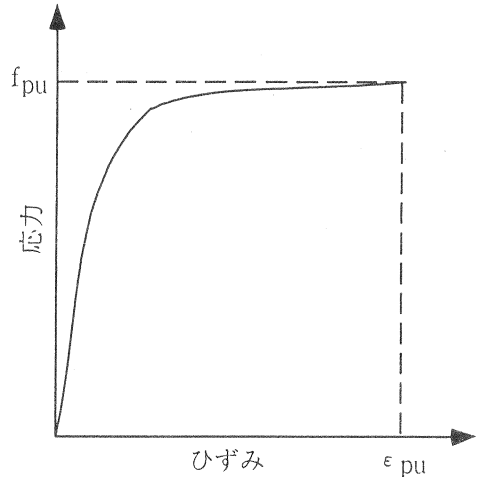


図-8 PC鋼材の応力-ひずみ関係

$$f = E_{ps} \varepsilon_{pv} \left[Q + \frac{1-Q}{\left\{ 1 + \left(\frac{E_{ps} \varepsilon_{pv}}{Kf_{pv}} \right)^N \right\}^{1/K}} \right] \quad \text{ただし} \quad Q = \frac{f_{pu} - Kf_{pv}}{E_{ps} \varepsilon_{pv} - Kf_{pv}}$$

5. 実験結果と解析結果との比較

上述の解析手法を用いて実験結果との比較を行なった。図-9、図-10 は 2 径間連続桁 A-1, A-1a の荷重-変位関係と外ケーブル張力増分-変位関係の実験値と解析値をそれぞれ示したものである。図に示すように、計算値と実験値はよく一致しており、通常の外ケーブル式 PC 桁の解析手法は、鋼材位置での仮想コンクリートひずみを考えることで、大偏心外ケーブル式 PC 桁にも適用できることが明らかとなった。

また、解析手法からも、プレキャ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。

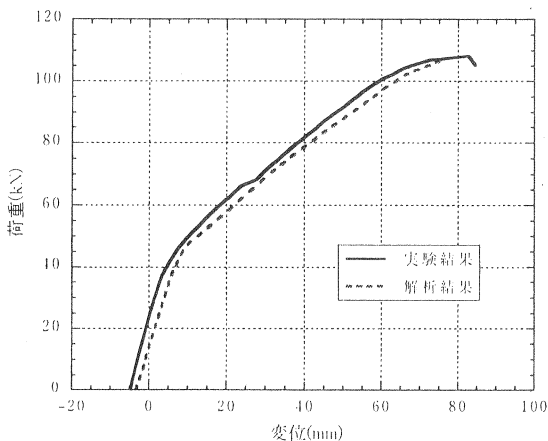


図-9.1 荷重-変位関係(A-1)解析結果

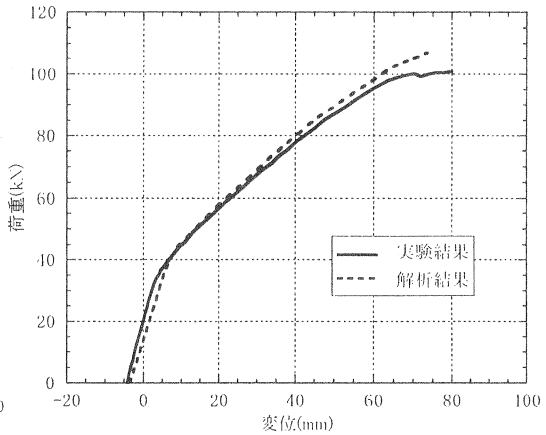


図-9.2 荷重-変位関係(A-1a)解析結果

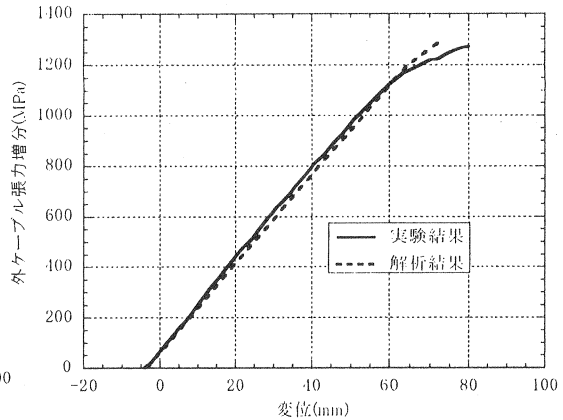
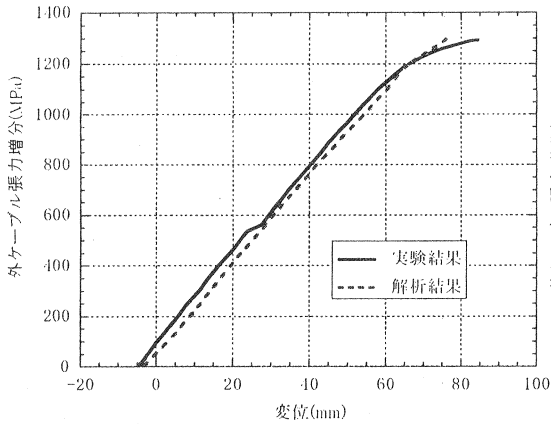


図-10.1 外ケーブル張力増分-変位関係(A-1)解析 図-10.2 外ケーブル張力増分-変位関係(A-1a)解析

6. 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やや大きい値となった。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生じやすい状況にあると言える。
- ③通常の外ケーブル式 PC 桁の解析手法は大偏心外ケーブル式 PC 桁にも適用できることが明らかとなった。

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 Eakarar, 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, プレストレスト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) 睦好宏史, 上田一輝, Matupayont, S, 町田敦彦: 外ケーブル PC 部材の曲げ性状および曲げ耐力算定法に関する研究, 土木学会論文集, No508, Vol.26, pp.67-77, 1995.2
- 3)Aravinthan, T, 睦好宏史, 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
- 4)Aravinthan, T, 睦好宏史, 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
- 5)M. Menegotto and P. E. Pinto: Method of Analysis for Cyclically Loaded RC Plane Frames. Including Changes in Geometry and Non-linear Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending, IASBE Preliminary Report for Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-Defined Repeated Loads, Lisbon, pp.15-22, 1973