

(28) 外ケーブル方式プレキャストブロックPCはりの曲げ性状

日本大学理工学部 正会員 柳沼 善明

1. はじめに

外ケーブル方式によるプレキャストブロック工法は、橋梁の急速施工ならびに省力化を可能にする。しかしながら、外ケーブル方式を用いたプレキャストブロックPCはりの挙動は、まだ明確にされていない。さらに、その最大耐力の解析方法が確立しているとは言い難い。

外ケーブル方式PCはりの最大耐力は、はりの変形にともない外ケーブルとはり部材図心軸との偏心距離が変化することを考慮しなければならない。偏心距離が変化するため、外ケーブル方式の挙動は内ケーブル方式とは異なる特有の挙動を示す。また、外ケーブルと内ケーブルとを併用したケーブル方式(内外併用ケーブル方式)は、外ケーブル方式の曲げ性状を改善する¹⁾。

そこで、本研究は外ケーブル方式を用いたプレキャストブロックPCはりの曲げ載荷実験を行い、その曲げ性状(最大耐力、PC鋼材の引張力、変形性状、目地部の開きなど)について検討したものである。さらに、実験結果は既報の解析方法²⁾を改良した方法³⁾による計算結果と比較した。

2. 供試体と実験方法

実験に用いた供試体はプレキャストブロックPCはり(以下ブロックはり)と一体打ちのPCはり(以下一体はり)で、表-1に示すように外ケーブル方式ならびに内外併用ケーブル方式によるPCはりである。ブロックはりの目地は接着剤を用いていないドライジョイントとした。内外併用ケーブル方式の場合には、内ケーブルと外ケーブルとのプレストレス力の割合はともに50%ずつである。供試体の形状を図-1に示す。一体はりのS-3は、ブロックはりと同一な鉄筋配置で、引張鉄筋は不連続である。

実験方法は二点載荷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、ひびわれ状況、目地の開きなどを測定した。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、供試体の曲げ載荷実験はプレストレス力の導入後ただちに行った。PC鋼材の引張力は、PC鋼材に取り付けたセンターホール型ロードセルにより測定した。

使用したコンクリートの強度を表-2に、使用したPC鋼材と鉄筋の強度を表-3に示す。引張鉄筋、圧

表-1 供試体の種類

はり種類	beam no.	PC鋼材の断面積 (cm ²)	プレストレス力 (tf)	引張鉄筋	ケーブル方式
ブロックはり	B-1	5.307(4-φ13)	13.5	不連続	内外併用ケーブル方式
	B-2	5.307(4-φ13)	27	〃	内外併用ケーブル方式
	B-3	4.537(2-φ17)	13.5	〃	外ケーブル方式
一体はり	S-1	5.307(4-φ13)	13.5	連続	内外併用ケーブル方式
	S-2	4.537(2-φ17)	〃	不連続	外ケーブル方式
	S-3	5.307(4-φ13)	〃	不連続	内外併用ケーブル方式

表-2 コンクリートの強度

圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	曲げ強度 kgf/cm ²
446	31.2	47.2

表-3 PC鋼材と鉄筋の強度

種類	径	降伏点強度 kgf/mm ²	引張強度 kgf/mm ²	弾性係数 kgf/mm ²
PC鋼材	φ13	142.9	149.8	2.039x10 ⁴
	φ17	120.3	130.6	2.039x10 ⁴
鉄筋	D10	34.9	50.4	1.860x10 ⁴

縮鉄筋ならびにスターラップには呼び名D10mmの異形鉄筋を用いた。

3. 実験結果

3.1 最大耐力

外ケーブル方式ならびに内外併用ケーブル方式の最大耐力 P_u を図-2に示す。ブロックはりにおいて、内外併用ケーブル方式の P_u は、外ケーブル方式よりも約16%増加している。一体はりにおいても、内外併用ケーブル方式の P_u は、外ケーブル方式よりも約23%増加している。

これは次のように考えられる。内外併用ケーブル方式は外ケーブル方式

のPCはりに内ケーブルを付加したものである。内ケーブルの偏心距離（ケーブルとはり断面図心軸との距離）は、ケーブルがはり内部に配置されているため、はりがたわむことにより変化しない。しかし、外ケーブルははり断面の外部に配置されているため、はりがたわむことにより偏心距離は変化する。そのため、内ケーブルの引張力は外ケーブルの引張力よりも大きくなる（図-8参照）。したがって、 P_u 時のケーブルの全引張力は、外ケーブル方式よりも内外併用ケーブル方式の方が大きくなるため、内外併用ケーブル方式の P_u が外ケーブル方式よりも増加するものと考えられる。各ケーブル方式ともに、ブロックはりの P_u は一体はりの P_u よりも低下している。ブロックはりの P_u は一体はりと比較して、外ケーブル方式で0.794、内外併用ケーブル方式で0.747となり、約21~25%低下している。これは、一体はりの引張鉄筋は連続して配置されているが、ブロックはりには連続した引張鉄筋がないためである。

次に、内外併用ケーブル方式において、ブロックはりと一体はりとの P_u を図-3に示す。ブロックはりの P_u において、B-2はB-1よりも P_u が約48%増加している。これは、導入プレストレス力の相違によるもので、B-2の導入プレストレス力はB-1の約2倍であるためである。また、ブロックはりのB-2の P_u は、一体はりのS-1（B-1と同量の導入プレストレス力）よりも約11%増加している。一体はりのS-3は、組立鉄筋をブロックはりと同一に配置しているために連続した引張鉄筋がない。そのため、S-3の P_u はS-1よりも著しく約27%低下し、ブロックはりのB-1とほぼ同じ最大耐力を示している。

3.2 変形状

荷重とスパン中央のたわみとの関係を図-4、5に示す。ケーブル方式の相違による変形状を示してい

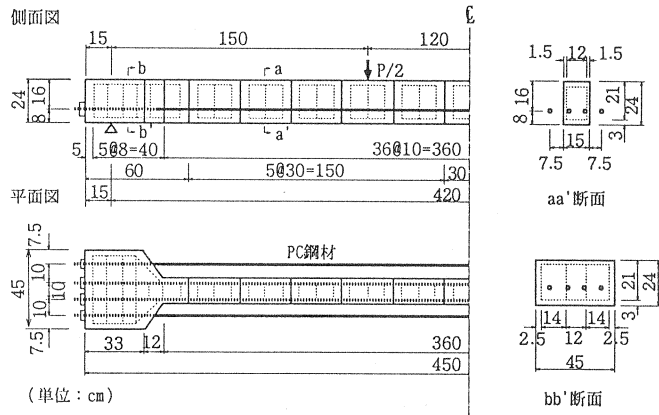


図-1 供試体の形状

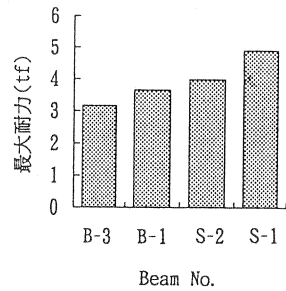


図-2 最大耐力
(ケーブル方式の影響)

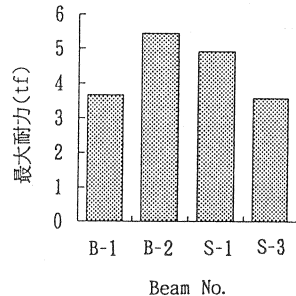


図-3 最大耐力
(内外併用ケーブル方式)

図-4から、ブロックはりにおいて作用する荷重が小さい場合、各ケーブル方式の変形状はほぼ同じである。しかし、荷重が大きくなり、たわみが増加すると、それぞれのケーブル方式の変形状は異なってくる。これは、ケーブルの偏心距離の変化に起因するものと考えられる。また、内外併用ケーブル方式の δu は、外ケーブル方式よりも大きくなっている。以上により、外ケーブル方式に内ケーブルを付加することにより、変形状が改善されることがわかる。ここに、 δu は最大耐力時のスパン中央のたわみである。

さらに、内外併用ケーブル方式の変形状を示している図-5から、ブロックはりにおいて、導入プレストレスの影響が顕著に表れている。導入プレストレスを大きくしたブロックはり(B-2)は、導入プレストレスの小さな一体はり(S-1)よりも、同一たわみにおいて荷重が大きくなっている。ブロックはりの δu は、導入プレストレスの相違にかかわらずほぼ同値である。連続した引張鉄筋のないS-3(一体はり)の変形状は、B-1(ブロックはり)とほぼ同じである。これは、引張鉄筋のない部分からひびわれが発生し、このひびわれがブロックはりの目地と同様な働きをするためであると考えられる(図-6参照)。S-3の配筋はブロックはりとまったく同じであり、ブロックはりの目地にあたる一体はりの部分には引張鉄筋がない。

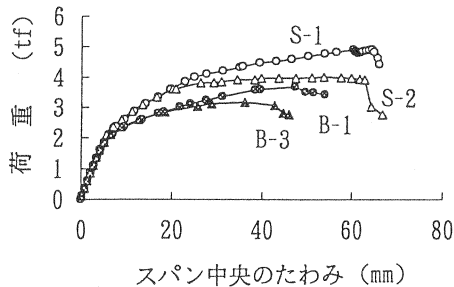


図-4 変形状(ケーブル方式の影響)

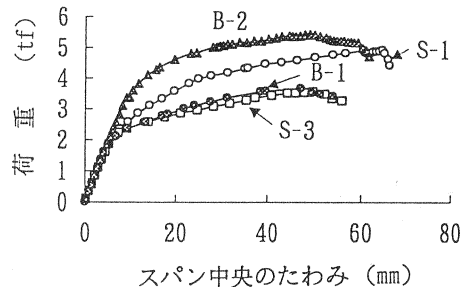


図-5 変形状(内外併用ケーブル方式)

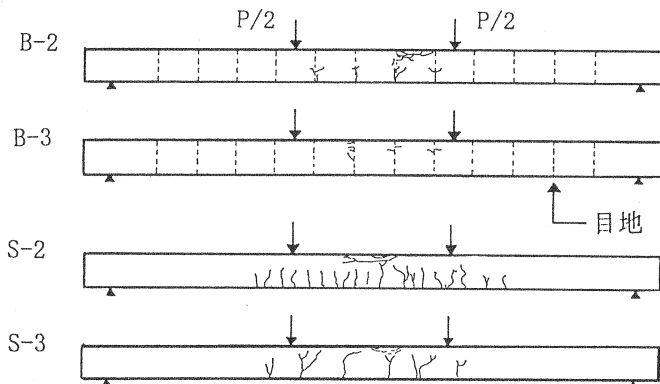


図-6 ひびわれ状況

3.3 PC鋼材の引張力

各ケーブル方式の最大耐力時のPC鋼材の全引張力 F_{up} を図-7に示す。ブロックはりならびに一体はりにおいて、内外併用ケーブル方式の F_{up} が外ケーブル方式より約13~15%増加している。これは、たわみが

増加するにつれて、内外併用ケーブル方式において内ケーブルの増分量が外ケーブルの増分量よりも大きくなるためであると考えられる。内外ケーブルそれぞれの増分量は、ブロックはりとはり一体はりのいずれにおいても、内ケーブルの増分量が外ケーブルの増分量よりも増大している(図-8)。全引張力が最も大きいS-1(内外併用ケーブル方式)の場合、内ケーブルの増分量6.35tf、外ケーブルの増分量は4.82tfで、内ケーブルの増分量は外ケーブルの増分量の1.32倍となっている。これは、ケーブルの偏心距離の変化に起因するものである。

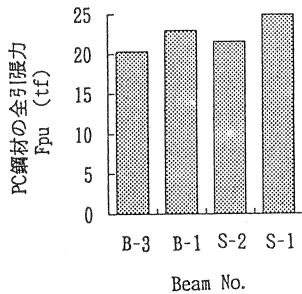


図-7 最大耐力時のPC鋼材の全引張力

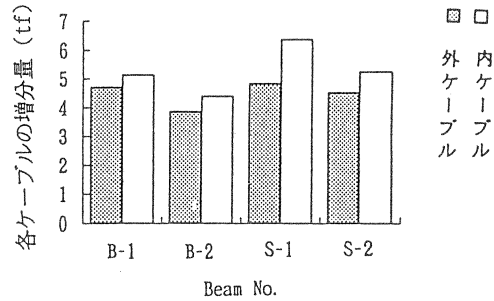


図-8 PC鋼材引張力の各ケーブルの増分量

3.4 目地の開き

ブロックはりにおける目地の開きを図-9に示す。目地の開きは、載荷点間にあるブロック目地4ヶ所の目地の開きの平均値である。目地の開きの測定位置は、はり断面の下縁から0.75cmである。目地が開き始めると、わずかな荷重の増加により、目地の開きは急激に増加している。目地部は、B-1で2.11tf、B-2で2.11tf、B-3で4.11tfのときに開き始めている。図-10のようなひずみ測定位置における目地部のひずみとブロック中央のコンクリートひずみとの関係を図-11に示す。荷重が小さい場合は、目地部のひずみとブロック中央のコンクリートひずみとはほぼ同じ値を示しているが、荷重が大きくなるとそれらの値は異なり、目地部に応力が集中してくることがわかる。ブロックはりの破壊は、すべて目地部上縁コンクリートの圧壊によるものであった(図-6参照)。

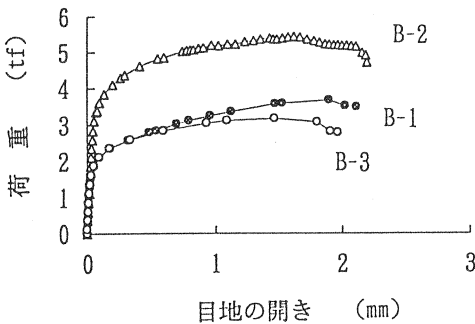


図-9 荷重と目地の開きとの関係 (ブロックはり)

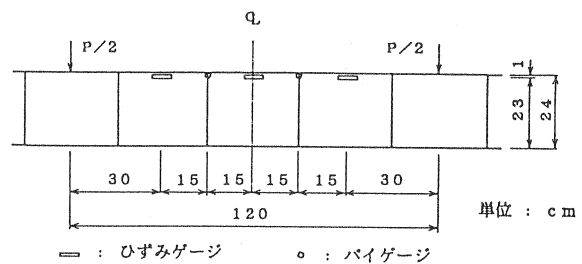


図-10 ひずみ測定位置

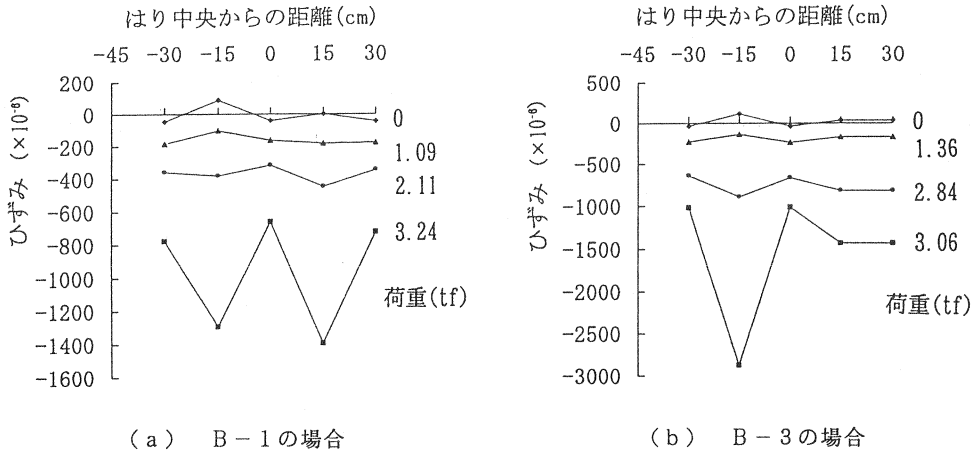


図-1-1 目地部とブロック中央とのひずみ変化

4. 計算結果

外ケーブル方式のPCはりには、材料の非線形と幾何学的な非線形とを考慮した有限要素解析²⁾を改良した解析方法³⁾により行った。はり部材ははり要素として、外ケーブルははり部材図心軸から偏心距離 e だけ離れた位置に棒要素としてモデル化した。導入プレストレス力は、その効果を等価な外力で置き換えるために初期ひずみと外力 N とを外ケーブルの定着位置に与えた。内ケーブルは、両端ピン要素をはり部材と内ケーブルの要素との間に挿入した。本解析で用いた要素分割数は、外ケーブル方式の場合15節点、15要素であり、内外併用ケーブル方式の場合24節点、34要素であった。一体はりの場合はコンクリートの引張抵抗を考慮し、ブロックはりの場合はコンクリートの引張抵抗を無視した。

最大耐力 P_u ならびに最大耐力時のPC鋼材の全引張力 F_{pu} の実験値と計算値との比較を表-4に示す。ブロックはりにおいて、 P_u の計算値は実験値よりも約3%減少し、 F_{up} の計算値は実験値よりも約1%増加している。一体はりにおいて、 P_u の計算値は実験値よりも約1%増加し、 F_{up} の計算値は実験値よりも約5%減少している。ブロックはりならびに一体はりにおいて、 P_u と F_{up} との計算値は、ケーブル方式の相違にかかわらず実験値と良く一致している。

ブロックはりの場合について、スパン中央のたわみの実験値と計算値との比較を図-1-2に示す。PC鋼材の全引張力の実験値と計算値との比較を図-1-3に示す。スパン中央のたわみならびにPC鋼材全引張力

表-4 最大耐力とPC鋼材の全引張力の実験値と計算値との比較

はり種類	Beam No.	最大耐力 (tf)			PC鋼材全引張力 (tf)		
		実験値	計算値	計算値 実験値	実験値	計算値	計算値 実験値
ブロックはり	B-1	3.67	3.558	0.969	22.98	20.47	0.891
	B-2	5.44	5.438	1.000	35.60	38.54	1.083
	B-3	3.17	2.990	0.943	20.36	21.78	1.070
	平均値			0.971	平均値		1.015
一体はり	S-1	4.91	4.928	1.004	24.86	23.87	0.960
	S-2	3.99	4.224	1.059	21.56	19.37	0.898
	S-3	3.57	3.434	0.962	23.38	23.22	0.993
	平均値			1.008	平均値		0.950

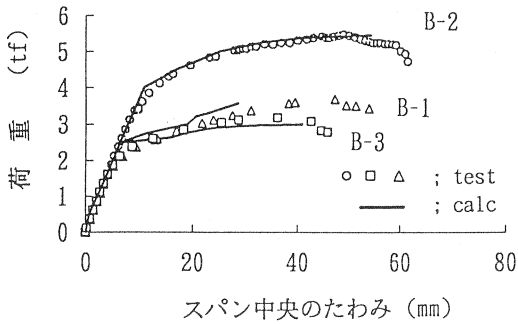


図-12 スパン中央のたわみの実測値と計算値との比較

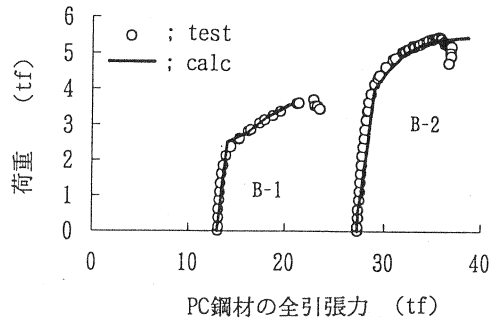


図-13 PC鋼材の全引張力の実験値と計算値との比較

の実験値は計算値と良く一致している。一体はりについても、ブロックはりと同様にスパン中央のたわみならびにPC鋼材全引張力の実験値は計算値と良く一致している。

5. まとめ

外ケーブル方式ならびに内外併用ケーブル方式のプレキャストブロックPCはりの曲げ載荷実験を行い、ブロックはりの曲げ性状について検討した結果をまとめると次の通りである。

- ① 最大耐力について、内外併用ケーブル方式のブロックはりは外ケーブル方式よりも最大耐力が増加する。
- ② 変形性状について、内外併用ケーブル方式のブロックはり内ケーブルの効果により変形性状が改善される。
- ③ 最大耐力時のPC鋼材全引張力について、内外併用ケーブル方式のブロックはり内ケーブルの引張力の増分量が、外ケーブルよりも増加する。
- ④ 連続した引張鉄筋がない一体はりの挙動は、ブロックはりの挙動とほぼ同じである。
- ⑤ 本解析方法による計算値について、最大耐力、最大耐力時のPC鋼材全引張力、荷重とスパン中央のたわみとの関係、荷重とPC鋼材全引張力との関係における計算値は、ブロックはり一体はりで実験値と良く一致する。

以上により、内外併用ケーブル方式ブロックはりの挙動は、内ケーブルの効果により外ケーブル方式ブロックはりの挙動を改善させる。ブロックはりにおいて、コンクリートの引張抵抗を無視した計算値は実験値と良く一致した。したがって、一体はりで提案した本解析方法はブロックはりの挙動においても良く計算できるものと思われる。

最後に、図表の整理に協力してくれた大立昌史、塚西裕之君らに感謝する。

参考文献

- 1) 柳沼善明：外ケーブルと内ケーブルとを用いたPRCはりの曲げ性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.2、pp.1003-1008、1994
- 2) 柳沼善明：アウトケーブルを用いたPRCはりの非線形解析、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.2、pp.689-694、1991
- 3) 柳沼善明：外ケーブル方式を用いたPRC梁の終局曲げ耐力の非線形解析、プレストレストコンクリート、Vol.37、No.3、pp.54-65、1995