

(2) アウトケーブルを用いたP R Cばりの耐力と挙動の非線形解析

日本大学理工学部 正会員 柳沼善明

1. はじめに

近年、アウトケーブル方式による構造物の設計ならびに施工が注目されている。アウトケーブル方式とはコンクリート断面の外部にP C鋼材を配置した構造形式である。アウトケーブル方式の使用には数々の利点があるため、その使用が増加するものと予想される。アウトケーブル方式のプレストレスト鉄筋コンクリート(P R C)ばりは、断面の外部にP C鋼材を配置しているために、インナーケーブル方式とは異なるアウトケーブル方式特有な問題がある。それは、外力を受けた部材がたわむことにより、P C鋼材とはり部材図心軸との偏心距離が変化することである。そのため、アウトケーブル方式の耐力ならびに挙動の解析方法がいまだ確立されていない。そこで、本研究はアウトケーブルを用いたP R Cばりの耐力ならびに挙動の非線形解析を行い、実験結果と解析結果とを比較検討することである。解析方法は有限要素解析で、解析プログラムはパーソナルコンピュータを使用し作成した。

2. 解析方法

解析方法は、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であり、その基礎方程式ならびに解析方法は文献[1]に詳しく述べた。P R Cばりの有限要素解析を行なうにあたり、はり部材ははり要素として、P C鋼材(アウトケーブル)は部材の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P C鋼材の定着位置に与えた。P R Cばりの解析に用いた要素分割を図-1に示した。P C鋼材の途中をはり部材に支持する中間支持点のある場合は、その位置に両端ピンの要素を挿入した。本解析で用いたP R Cばりの要素分割数は、中間支持点のない場合17接点、17要素であった。

圧縮を受けるコンクリートの応力-ひずみ関係は二次式と直線との組合せとして、終局ひずみは0.0035とした²⁾。引張を受けるコンクリートの応力-ひずみ関係は引張剛性を考慮し、岡村、前川モデル³⁾を採用した。鉄筋の応力-ひずみ関係は降伏点以降ただちにひずみ硬化に入るものとし、降伏後は $E_s/100$ の勾配を持つものとした。P C鋼材の応力-ひずみ関係は土木学会コンクリート標準示方書²⁾に従った。

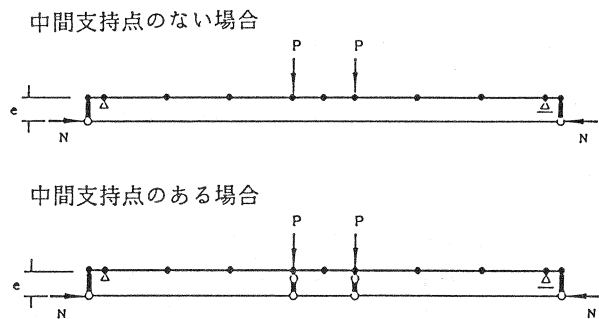


図-1 P R Cばりの要素分割

3. 供試体と実験方法

解析の対象とした実験は、鉄筋係数、P C鋼材係数、導入プレストレス力を変化させて行なったものである。実験Iでは⁴⁾、鉄筋係数を三種類に変化させ、P C鋼材係数と導入プレストレス力は一定として行なった。実験IIでは⁵⁾、鉄筋係数、P C鋼材係数、導入プレストレス力を変化させて行なった。実験IIIでは⁶⁾、スパン長とはりの高さとの比を変化させて行なった。供試体の形状を図-2に、寸法を表-1に示した。

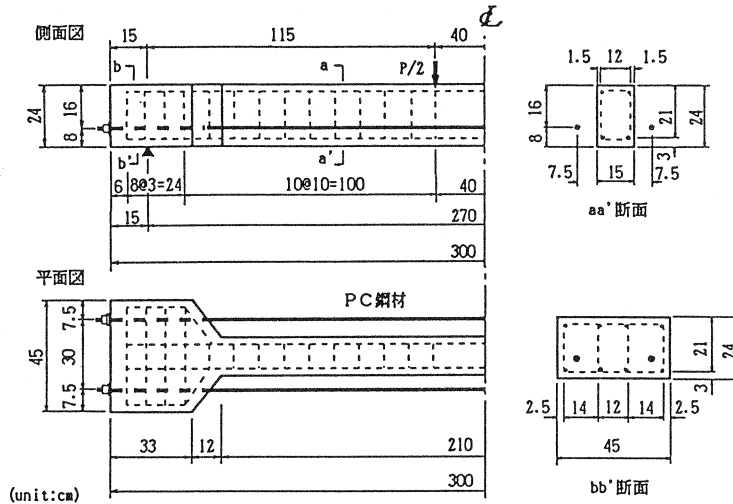


図-2 アウトケーブルを用いたPRCはり(実験II)

ここに、表-1中のbははりの幅、hははりの高さ、dは有効高さ、dpはコンクリート圧縮縁からPC鋼材までの距離、 l はスパン長である。

使用した鉄筋の材質はSD30、PC鋼材の材質はSBPR95/110であった。

実験I、II、IIIの実験方法はともに二点載荷で、各荷重毎にたわみ、ひずみ、ひびわれの状況などを測定し、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に、供試体の曲げ載荷実験はプレストレスの導入後ただちに行なった。

表-1 PRCはりの寸法

実験	b	h	d	dp	l	l/h
I	25	40	35	26.7	400	10
II	15	24	21	16	270	11.3
III	6	10	8.8	6.7	160	16
	6	10	8.8	6.7	280	28

備考) 単位はcmである。

4. 実験結果と解析結果との比較

4.1 最大荷重と降伏荷重とひびわれ発生荷重

断面の内部に配置されたアンボンドPCはりに対して提案されている最大曲げモーメントの算定式を、アウトケーブルを用いたPRCはりに適用して、その計算値と実験値との比較を表-2に示した。計算には

Mattock⁷⁾、Baker⁸⁾、Gifford⁹⁾、ならびに竹本⁹⁾による算定式を用いた。表-2によれば、各計算値は実験値と良く一致しているように見える。しかし、図-3から、スパン長とはりの高さとの比(l/h)が大きくなると、最大曲げモーメントの計算値と実験値との比(calc/test)は大きくなる傾向を示し、実験値と計算値とは一致

表-2 最大曲げモーメントの計算値/実験値

算定式	Mattock	Baker	Gifford	竹本
平均値	1.091	1.087	1.210	1.004
変動係数(%)	22.9	22.1	26.7	15.0

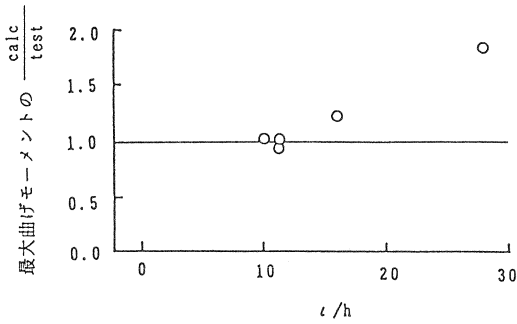


図-3 Mattockによる最大曲げモーメントの計算値と実験値との比較

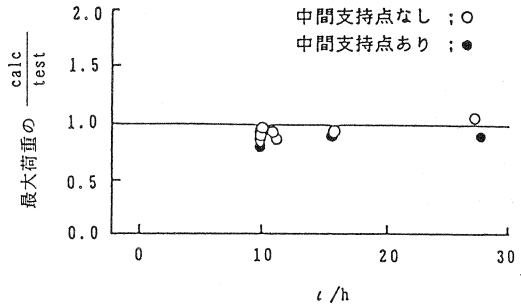


図-4 本解析方法による最大荷重の計算値と実験値との比較

表-3 耐力の本解析方法による計算値/実験値

中間支持点	最大荷重		降伏荷重		ひびわれ発生荷重	
	平均値	変動係数(%)	平均値	変動係数(%)	平均値	変動係数(%)
なし	0.921	7.59	1.000	5.01	1.055	15.1
あり	0.906	4.53	0.968	2.37	1.080	18.9

しない。この傾向は他の算定式についても同様であった。これは、 l/h が大きくなると、部材のたわみが大きくなり、部材の図心軸とアウトケーブルとの偏心距離が変化することに起因していると考えられる。ところで、本解析方法による最大荷重の計算値は、中間支持点の有無にかかわらず、 l/h が大きくなっても精度良く計算された(図-4)。

次に、最大荷重 P_{max} 、降伏荷重 P_y ならびにひびわれ発生荷重 P_c について、本解析方法による各計算値と実験値との比較を表-3に示した。中間支持点の有無にかかわらず、本解析方法による各計算値は実験値と良く一致した。

以上により、本解析方法はアウトケーブルの中間支持点の有無にかかわらず、最大荷重、降伏荷重ならびにひびわれ発生荷重を精度良く計算することができた。

4.2 荷重-たわみ関係と荷重-ひずみ関係

荷重とスパン中央のたわみとの関係を図-5に示した。P R Cばりの降伏

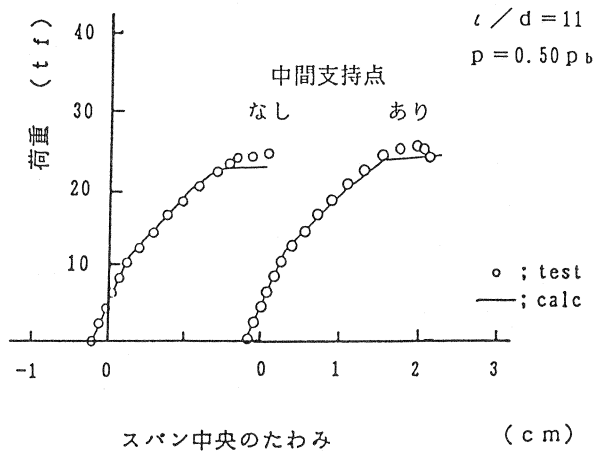


図-5 荷重-たわみ関係

荷重までの計算値は実験値と良く一致した。鉄筋量の少ないP R C ばりの計算値には、降伏荷重以降の荷重増加はあまりなかった。他の実験で得られた荷重-たわみ関係においても図-5と同様な傾向がみられた。

次に、引張鉄筋の荷重-ひずみ関係を図-6に示した。本解析方法による計算値は実験値と良く一致した。

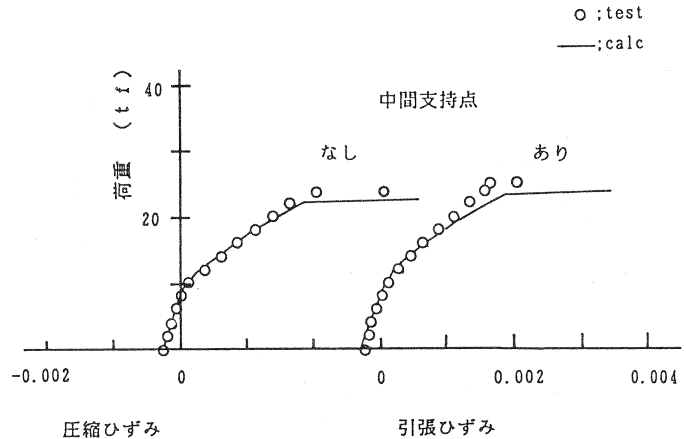


図-6 引張鉄筋の荷重-ひずみ関係

5. おわりに

アウトケーブルを用いたP R C ばりについて、有限要素解析による挙動解析を行なった結果、得られた結論は次の通りである。

- 1) 最大荷重、降伏荷重、ひびわれ発生荷重の計算値は実験値と良く一致した。
- 2) 荷重-たわみ関係、荷重-ひずみ関係について計算値は実験値と良く一致した。

以上により、材料の非線形ならびに幾何学的な非線形を考慮した有限要素解析は、中間支持点の有無にかかわらず、アウトケーブルを用いたP R C ばりの耐力と挙動を精度良く解析できるものと思われる。

最後に、本研究をまとめるに当たり日本大学川口昌宏教授の多大なる御指導に感謝致します。また、図表の整理に与儀友一郎、藪谷 寛、吉川昌孝君たちの協力に感謝致します。

参考文献

- 1) 柳沼善明：アウトケーブルを用いたP R C ばりの非線形解析、コンクリート工学年次論文報告集、13-2、pp.689-694、1991
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕、1986
- 3) 岡村 甫・前川宏一：鉄筋コンクリートにおける非線形有限要素解析、土木学会論文集、No.360/V-3、pp.1-10、1985.8
- 4) 柳沼善明・北田勇輔：アウトケーブルを用いたP R C ばりの力学的挙動、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、pp.495-500、1987
- 5) 柳沼善明・北田勇輔：アウトケーブルを用いたP R C ばりの曲げ性状、コンクリート工学年次論文報告集、11-2、pp.103-108、1989
- 6) 柳沼善明・北田勇輔：アウトケーブルを用いたP R C ばりの挙動に及ぼすスパンの影響、コンクリート工学年次論文報告集、10-3、pp.23-28、1988
- 7) Mattock, A.H., et al. : Comparative Study of Prestressed Concrete Beams, with and without Bond, J. of ACI, Vol.68, No.2, pp.116-125, 1972
- 8) 宮本征夫・岩崎岩雄：アンボンドP C 部材の静的曲げ強度、鉄道技術研究所報告、No.826、pp.1-24、1973
- 9) 建築学会：プレストレス鉄筋コンクリート(Ⅲ種P C)構造設計・施工指針・同解説、1986