

論文

[2135] 外ケーブルを用いた PRC ばりの終局耐力

柳沼善明*

1. はじめに

外ケーブル方式のプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) ばりの設計において、終局耐力の算定は重要である。外ケーブル方式の PRC ばりの終局耐力の算定は、内ケーブルとは異なる問題を考慮しなければならない。それは、PC ケーブルがコンクリート断面の外部に配置されているため、外力を受けた部材がたわむことにより、PC 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、外ケーブルの PRC ばりの終局耐力は、この偏心距離の変化を考慮して解析しなければならない。

そこで、本研究は外ケーブルを用いた PRC ばりの終局耐力について、内ケーブルを用いた PRC ばりの終局耐力と比較検討するものである。解析に用いたモデルはりは、鉄筋比 (4 種類)、プレストレス力 (4 種類)、スパン長とはりの高さとの比 (2 種類)、中間支持点の数 (2 種類) をそれぞれ変化させた。外ケーブル方式の解析方法は、はり部材をはり要素、外ケーブルを棒要素とした有限要素解析で、材料の非線形ならびに幾何学的な非線形を考慮した。内ケーブル方式の解析方法は、従来からの解析方法によった。

2. 解析方法とその検証

2.1 外ケーブル方式の解析方法

外ケーブル方式の PRC ばりの解析方法は、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、その基礎方程式は文献 [1] に詳しく述べた。外ケーブルを用いた PRC ばりの有限要素解析を行なうにあたり、はり部材をはり要素として、外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 とを外ケーブルの定着位置に与えた。外ケーブルの PRC ばりの解析に用いた要素分割を図-1 に示した。外ケーブルの途中をはり部材に固定する中間支持点のある場合は、中間支持点の位置に両端ピンの要素を挿入した。本解析で用いた要素分割数は、外ケーブルの中間支持点のない場合は 17 接点、17 要素であった。

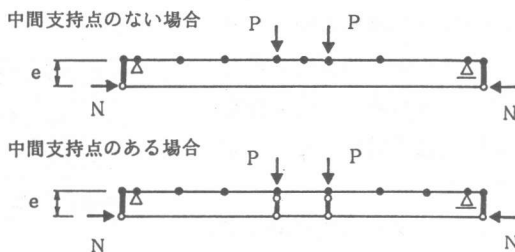


図-1 外ケーブルの PRC ばりの要素分割

2.2 内ケーブル方式の解析方法

内ケーブル方式について、PC 鋼材とコンクリート断面との間に付着のあるボンド PRC ばりと、付着のないアンボンド PRC ばりとの両者について終局耐力の解析を行なった。ボンド PRC ばりの終局耐力 [2] は、図-2 に示すような応力分布形状において終局耐力を求めた。

* 日本大学助教授 理工学部交通土木工学科、工博 (正会員)

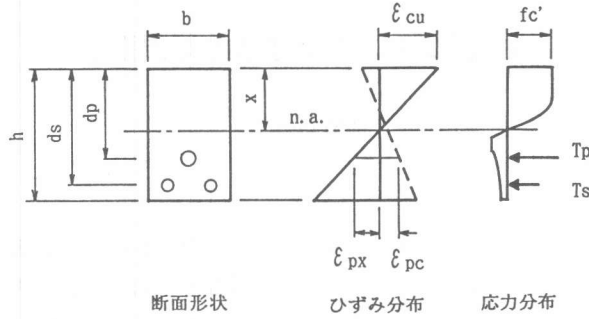


図-2 内ケーブルの付着ある場合

また、アンボンドPRCばりの終局耐力は、Mattock [3]、Baker [4]、Gifford [4]、竹本 [5] の提案により求めた。

2.3 解析に用いた材料の応力-ひずみ関係

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 [6]。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 [7] 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。PC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 [6] にしたがった。

2.4 解析方法の検証

外ケーブル方式に関して、著者が過去に実施した鉄筋比、PC鋼材比、導入プレストレス力を変化させた実験 [8、9、10] に対して、本解析方法により終局耐力を計算し、その解析結果を表-1に示した。表-1によれば、外ケーブル方式に対する本解析方法は、外ケーブルの中間支持点の有無にかかわらず、終局荷重を精度良く計算することができた。

表-1 外ケーブル方式の終局耐力の計算値と実験値との比較

中間支持点の有無	中間支持点なし	中間支持点あり
calc/testの平均値	0.921	0.906
変動係数 (%)	7.6	4.5
dataの個数	11	5

内ケーブル方式に関して、

表-2 内ケーブル方式の終局耐力の計算値と実験値との比較

付着の有無	付着あり	付着なし			
		Mattock	Baker	Gifford	竹本
calc/testの平均値	0.958	0.870	0.878	0.999	0.679
変動係数 (%)	9.9	17.4	13.8	14.2	24.2
dataの個数	12	22	22	22	22

文献 [8、9、10、11、12] により計算した。

各提案式により終局耐力を計算し、実験値と比較した結果を表-2に示した。表-2によれば、ボンドPRCばりの終局耐力の計算値は実験値とよく一致した。また、アンボンドPRCばりの終局耐力は、Giffordによる計算値がよく実験値と一致した。そのため、以下のアンボンドPRCばりの終局耐力はGiffordにより計算を行った。

3. パラメータ解析

3.1 解析用モデルはり

解析に用いたPRCばりは、中間支持点の数を変化させた外ケーブル方式のモデルはりである(表-3)。モデルはりには比較のため、内ケーブル方式のPRCばりならびにプレストレス力のない鉄筋コンクリート(RC)ばりを含めた。内ケーブル方式のPRCばりは付着のあるものとないものとの両者である。解析に用いた荷重はすべて等分布荷重である。

モデルはりの中間支持点の数は、中間支持点のないはりとは3ヶ所配置したはりとの2種類である。中間支持点の間隔はそれぞれ等間隔とした。表-3に示したように、鉄筋量は4種類に変化させ、プレストレス力は4種類に変化させた。スパン長とはりの高さとの比(l/h)は2種類(10、30)に変化させた。解析用モデルはりの断面寸法ならびに材料の力学的性質を図-3に示した。解析に用いたモデルはりの断面寸法はすべて同一である。ここに、表-3と図-3との A_s 、 A_s' 、 A_p はそれぞれ引張鉄筋、圧縮鉄筋、PC鋼材の断面積である。 p は鉄筋比、 p_B はRCばりとしたときのつりあい鉄筋比である。 P_e はプレストレス力である。 f_c' 、 f_{ct} はそれぞれコンクリートの圧縮強度と引張強度である。 E_s 、 E_s' 、 E_p はそれぞれ引張鉄筋、圧縮鉄筋、PC鋼材の弾性係数である。また、使用した鉄筋の材質はSD345、PC鋼材の材質はSBPR930/1080であった。

表-3 解析用モデルはりの諸元

タイプ	A_s cm ²	p/p_B	A_s' cm ²	A_p cm ²	P_e tf
A	10.134	0.240	1.4266	8.31	80
B	"	"	"	"	60
C	"	"	"	"	20
D	"	"	"	"	40
E	5.73	0.136	1.4266	8.31	40
F	19.132	0.453	"	"	"
G	31.768	0.752	"	"	"

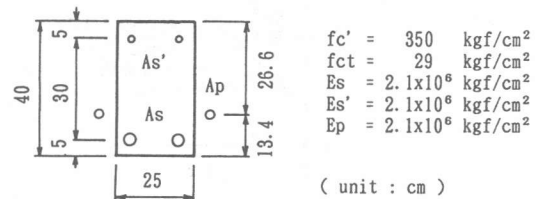


図-3 断面寸法と材料の力学的性質

3.2. 解析結果

(1) 最大等分布荷重に及ぼす影響

最大等分布荷重に及ぼす鉄筋比およびプレストレス力の影響を図-4、5に示した。スパン長とはりの高さとの比(l/h)が10の場合、鉄筋比が増加するにしたがい内ケーブルならびに外ケーブルを用いたモデルはりの最大等分布荷重はともに増加した。また、プレストレス力が増加するにしたがい内ケーブルならびに外ケーブルを用いたモデルはりの最大等分布荷重はともに増加した。

また、 l/h が30の場合、鉄筋比の増加するにしたがい内ケーブルならびに外ケーブルを用いたモデルはりの最大等分布荷重はともに増加した。しかし、外ケーブルの中間支持点のないモデル

ルはりはプレストレスを増加しても最大等分布荷重はほぼ一定値を示した。これは、PC鋼材が降伏しているためである。また、外ケーブルの最大等分布荷重は、中間支持点を3ヶ所設けると内ケーブルの最大等分布荷重の値に近づいた。

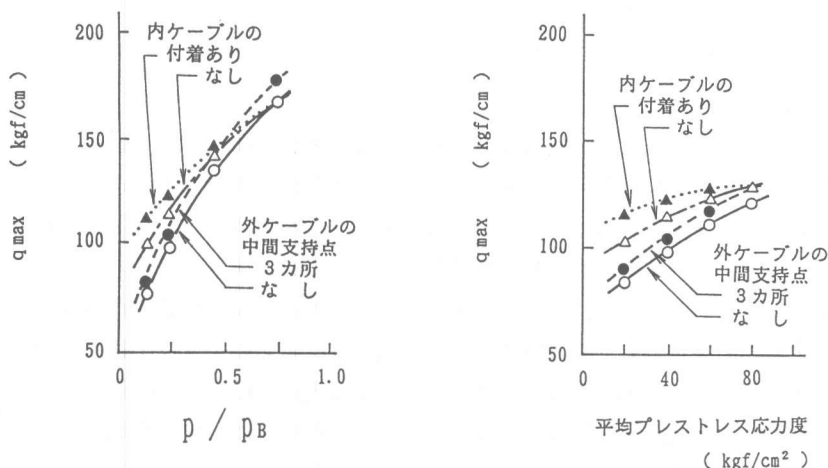


図-4 最大等分布荷重 ($l/h = 10$)

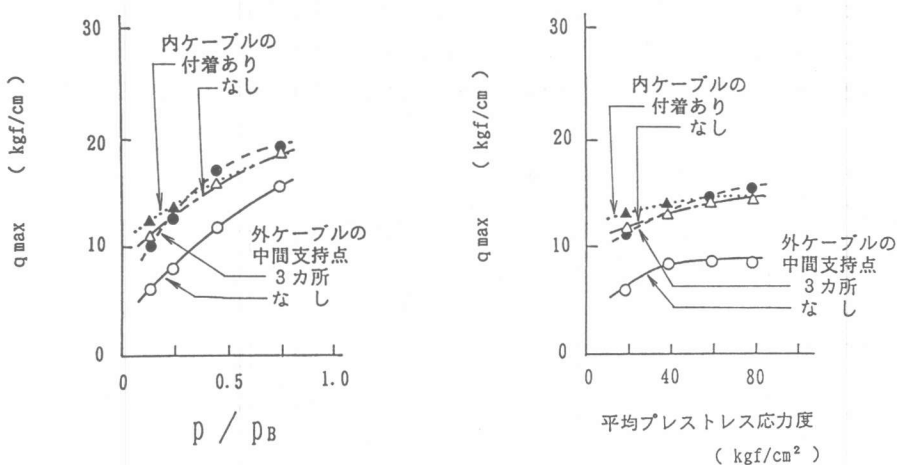


図-5 最大等分布荷重 ($l/h = 30$)

(2) 鉄筋比の影響

最大等分布荷重に及ぼす鉄筋比の影響を図-6に示した。図の縦軸は、外ケーブルのモデルはりならびに内ケーブルのアンボンドモデルはりの最大等分布荷重 (q_{max}) を内ケーブルのボンドモデルはりの最大等分布荷重 ($q_{max,g}$) で除した値である。 $l/h = 10$ の場合、中間支持点の有無にかかわらず外ケーブルの最大等分布荷重はともに同じ傾向を示し、 p/p_B が増大するにしたがい内ケーブルのボンドモデルはりの最大等分布荷重に近づいた。しかし、 $l/h = 30$ の場合、中間支持点の有無により外ケーブルの最大等分布荷重は大きく異なり、中間支持点のある外ケーブルは、 p/p_B が増大するにしたがい内ケーブルのボンドモデルはりの最大等分布荷重と同等あるいはそれ以上の値を示した。

また、外ケーブルの中間支持点のないモデルはりにおいて、 $p/p_B=0.136$ の場合の $q_{max}/q_{max,g}$ の値は、 $l/h=10$ のとき 0.696 となり、 $l/h=30$ のとき 0.501 となった。このことは、外ケーブルの中間支持点のないモデルはりの終局耐力は、内ケーブルのボンドモデルはりの終局耐力の 70% 以下になることを示している。

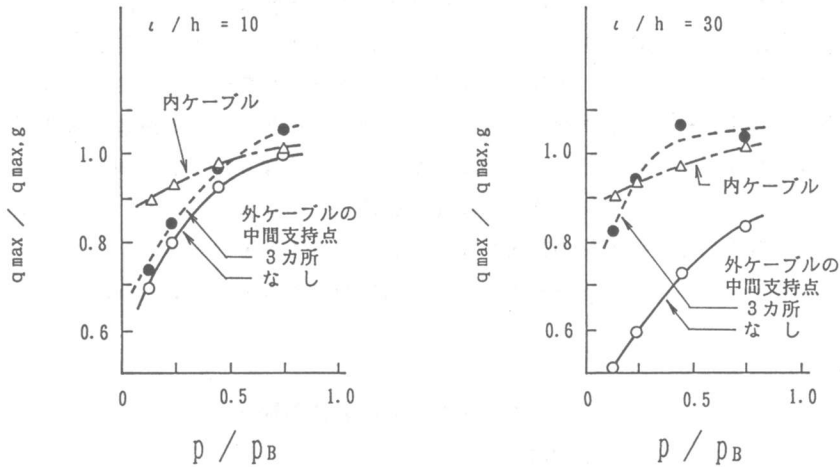


図-6 最大等分布荷重に及ぼす鉄筋比の影響 ($P_e/bh=40\text{kgf/cm}^2$)

(3) プレストレス力の影響

最大等分布荷重に及ぼすプレストレス力の影響を図-7に示した。図の平均プレストレス応力度とはプレストレス力 (P_e) をはり断面 ($b \cdot h$) で除した値である。 $l/h=10$ の場合、平均プレストレス応力度が増加するにしたがい、外ケーブル方式の最大等分布荷重は中間支持点の有無にかかわらず増加した。しかし、 $l/h=30$ の場合、平均プレストレス応力度が増加しても、外ケーブルの中間支持点のない最大等分布荷重は増加せず、ほぼ一定の値を示した。中間支持点のある場合、平均プレストレス応力度が増加するにしたがい最大等分布荷重は増加し、内ケーブル方式の最大等分布荷重に近づいた。

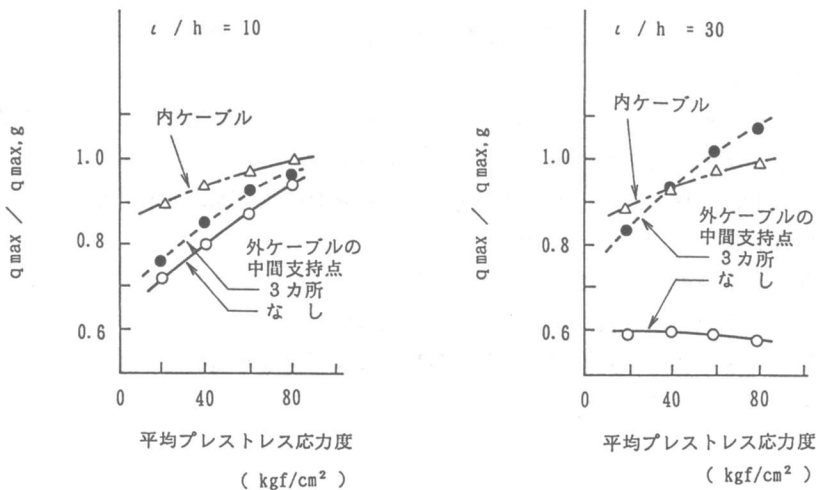


図-7 最大等分布荷重に及ぼすプレストレス力の影響 ($p/p_B=0.24$)

4. ま と め

外ケーブルを用いたP R Cばりの耐力に及ぼす中間支持点の影響について、中間支持点の数、鉄筋比、プレストレス力、スパン長とはりの高さとの比 (l/h) を変化させて、終局耐力の計算を行なった結果をまとめると次の通りである。

外ケーブル方式の最大等分布荷重に及ぼす中間支持点の影響は、 l/h により大きく異なった。 l/h が小さい場合中間支持点の影響は少なく、 l/h が大きくなると中間支持点の数の影響が顕著に表れた。外ケーブル方式の中間支持点のない最大等分布荷重は、鉄筋比ならびにプレストレス力が小さい場合、付着ある内ケーブル方式の最大等分布荷重の70%よりも低下した。特に、 l/h が大きい細長いはりになると、この低下割合は大きくなった。したがって、外ケーブル方式のP R Cばりの終局耐力は中間支持点の有無、鉄筋比、プレストレス力、 l/h などにより相当異なるため、解析によりそれらの影響を調べる必要があると思われる。

最後に、本研究をまとめるに当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。

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) 例えば、岡田 清・藤井 学・小林和夫：プレストレスコンクリート構造学、国民科学社、pp. 100-104、1979
- 3) Mattock, A. H., Yamazaki, J. & Kattula, B. T. : Comparative study of prestressed concrete beams, with and without bond, J. of ACI, Vol. 68, No. 2, pp. 116-12, 1972
- 4) 宮本征夫・岩崎岩夫：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
- 5) 竹本 靖：アンボンドP R C部材の曲げ終局時テンドン応力について、大林組技術研究所報、No. 28, 1984
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕、1986
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 柳沼善明・関 慎吾：高温度下におけるプレストレスコンクリート桁の挙動について、日本大学理工学研究所報、59号、pp. 51-63、1983
- 12) 坂 静雄・六車 熙：付着のないP C梁の亀裂および曲げ破壊耐力、建築学会論文報告集、第60号、pp. 645-648、1958