

論文

[2099] 外ケーブルを用いた PRC ばりの耐力に及ぼす中間支持点の影響

正会員 柳沼善明 (日本大学交通土木工学科)

1. はじめに

近年、外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。外ケーブル方式とは、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。外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。外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) ばりの耐力ならびに挙動は、外ケーブルの途中を部材に固定する中間支持点の有無により著しく影響される。特に、スパン長とはりの高さとの比が大きな細長いはりほど、その影響は顕著である [1]。これは、P C 鋼材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、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に起因している。

そこで、本研究は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を解析により明らかにするものである。解析に用いたモデルはりは、中間支持点の数 (6 種類)、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 (4 種類) をそれぞれ変化させた。解析方法は、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である。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. 解析方法とその検証

2. 1 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、その基礎方程式は文献 [2] に詳しく述べた。外ケーブルを用いた 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 (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 P C 鋼材の定着位置に与えた。外ケーブルの 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固定する中

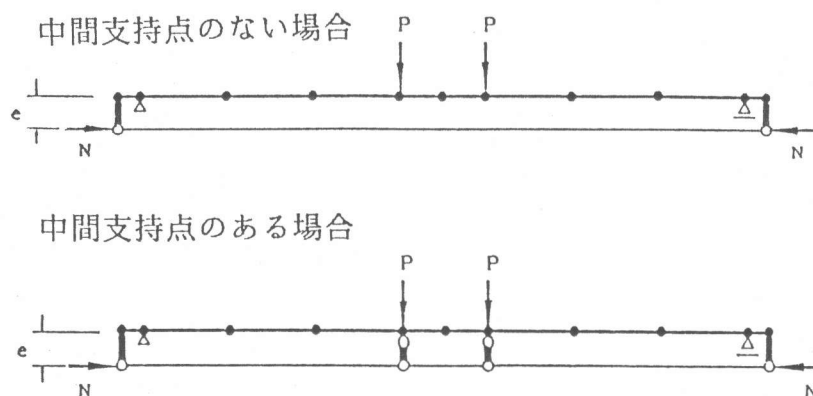


図-1 外ケーブルを用いた P R C ばりの要素分割

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。また、内ケーブルを用いた PRC ばりの場合は、外ケーブルの中間支持点のある場合と同様に、はり部材と内ケーブルとの全ての接点に両端ピンの要素を挿入して部材の接点とケーブルの接点とを連結した。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、内ケーブルの場合は 26 接点、37 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 [3]。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 [4] 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 [3] にしたがった。

2. 2 解析方法の検証

外ケーブルに関して、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に対して、本解析方法により耐力を計算し、その解析の精度を調べた。耐力の計算値と実験値との比の平均値と変動係数とを表-1 に示した。表中、外ケーブルの場合は文献 [2、5] によるものである。表-1 によれば、本解析方法は、外ケーブルの中間支持点の有無ならびにケーブル方式の相違にかかわらず、最大荷重、降伏荷重、ひびわれ発生荷重を精度良く計算することができた。

表-1 本解析方法による耐力の計算値/実験値

種 類	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
外ケーブル方式の 中間支持点なし	0.921	7.59%	1.000	5.01%	1.055	15.1%
外ケーブル方式の 中間支持点あり	0.906	4.53%	0.968	2.37%	1.080	18.9%
内ケーブル方式	0.940	10.9%	1.066	4.12%	1.089	9.65%

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-2)。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。モデルはりの中間支持点の数は、中間支持点のないものから 5 ヶ所配置したものまでの 6 種類である。中間支持点の間隔はそれぞれ等間隔とした。鉄筋量は 4 種類に変化させた。プレストレス力は 4 種類に変化させ、スパン長とはりの高さとの比 (l/h) は 4 種類 (10、20、30、40) 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-2 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。

表-2 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_{eff}	中間支持点数
A	10.134	0.240	1.4266	8.31	80	0, 3, ∞
B	"	"	"	"	60	0, 3, ∞
C	"	"	"	"	20	0, 3, ∞
D	"	"	"	"	40	0, 1, 2, 3, 4, 5, ∞
E	5.73	0.136	1.4266	8.31	40	0, 3, ∞
F	19.132	0.453	"	"	"	0, 3, ∞
G	31.768	0.752	"	"	"	0, 3, ∞

備考) 中間支持点数の ∞ は内ケーブル方式を示す。

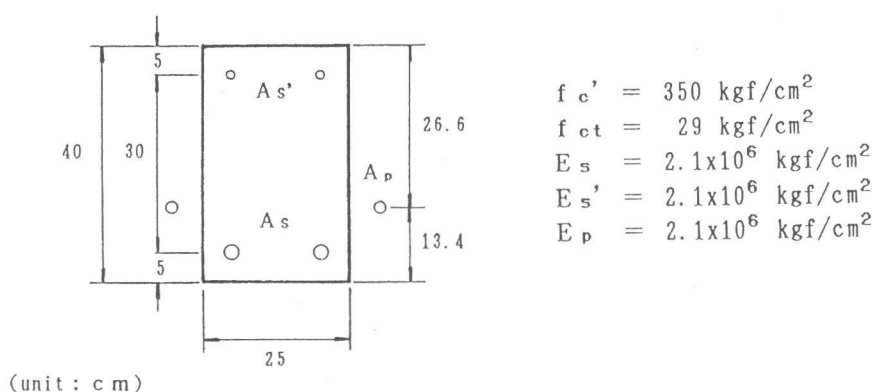


図-2 断面寸法と材料の力学的性質

解析に用いた荷重は、一点集中荷重と等分布荷重との2種類である。一点集中荷重の解析は、タイプDのみ行い、 l/h は4種類について行なった。等分布荷重の解析は、 l/h が10と30とについて行なった。

ここに、表-2と図-2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 はプレストレス力のないRCは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。

3.2. 解析結果

(1) 最大荷重に及ぼす影響

最大荷重に及ぼすスパン長とはりの高さとの比(l/h)を図-3に示した。図は、タイプDのモデルはりに対して中央スパンに一点集中荷重が載荷した場合である。縦軸は、外ケーブルのモデルはりの最大荷重 P_{max} を軸力のないはり(すなわちRCはり)の最大荷重 $P_{\text{max,rc}}$ で除したものである。外ケーブル方式の最大荷重は、 l/h が小さくなると中間支持点数によらずほぼ同じ値を示した。しかし、 l/h が大きくなるにしたがい、最大荷重に及ぼす中間支持点の影響が顕著に表れた。

次に、 l/h が10と30との場合について、タイプDのモデルはりに等分布荷重が作用する場合の解析を行い、最大荷重に及ぼす中間支持点の影響を図-4に示した。 q_{max} は外ケーブル方式のモデルはりに作用する等分布の最大荷重を、 $q_{max,rc}$ は軸力のないRCばりに作用する等分布の最大荷重である。図-4によれば、 l/h が10の場合中間支持点の数を増加しても等分布の最大荷重はあまり増加しなかった。しかし、 l/h が30の場合中間支持点の数の影響が顕著に表れ、中間支持点の数を増加すると内ケーブル方式の値に近づいた。

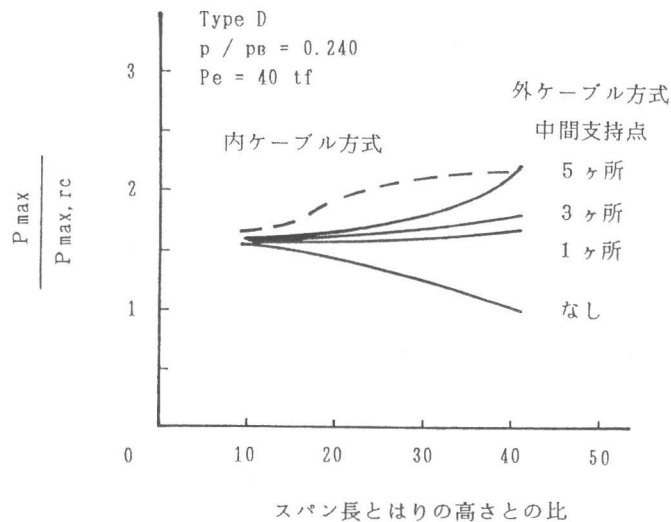


図-3 最大荷重に及ぼすスパン長とはりの高さとの比の影響

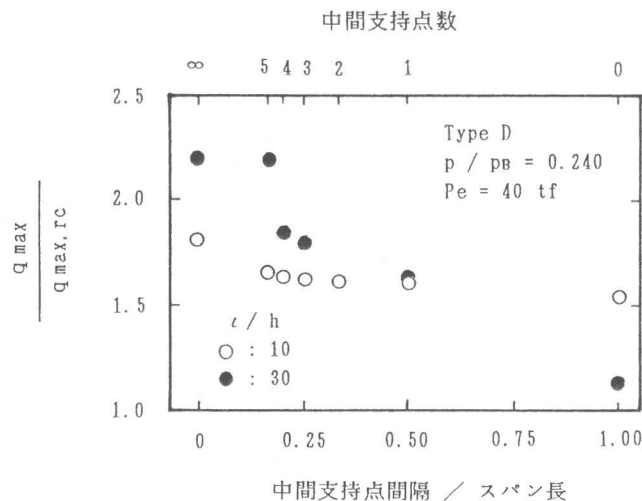


図-4 最大荷重に及ぼす中間支持点間隔とスパン長との比の影響

(2) 鉄筋比の影響

等分布荷重がモデルはりに作用した場合の最大荷重に及ぼす鉄筋比の影響を図-5に示した。ここに、 q_{max} は両ケーブル方式のPRCばりの等分布の最大荷重、 $q_{max,rc}$ は軸力のないR

C ばりとしたときの等分布の最大荷重である。 $l/h = 10$ の場合、中間支持点の有無にかかわらず外ケーブル方式の最大荷重はともにほぼ同じ値を示した。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方式の最大荷重は大きく異なり、 $p/p_B = 0.136$ で中間支持点のある最大荷重は中間支持点のない最大荷重の1.64倍となった。これは、 p/p_B が小さく中間支持点のない外ケーブルのモデルはりは曲げ剛性が小さいため、 l/h が増加するにしたがい、たわみが増加する。このため、はりの断面図心軸とケーブルとの偏心距離が減少することになる。この偏心距離は、同一な鉄筋量の場合、 l/h が増加するにしたがい減少する。そのため、最大荷重が減少したものと考えられる。一方、中間支持点のある外ケーブル方式のモデルはりは、中間支持点の効果により偏心距離の減少が小さくなり、最大荷重が増加したものと考えられる。また、 $p/p_B = 0.136$ の場合、中間支持点のない外ケーブル方式のモデルはりの最大荷重は、内ケーブル方式の最大荷重の $l/h = 10$ のとき0.853 倍となり、 $l/h = 30$ のとき0.507 倍となった。

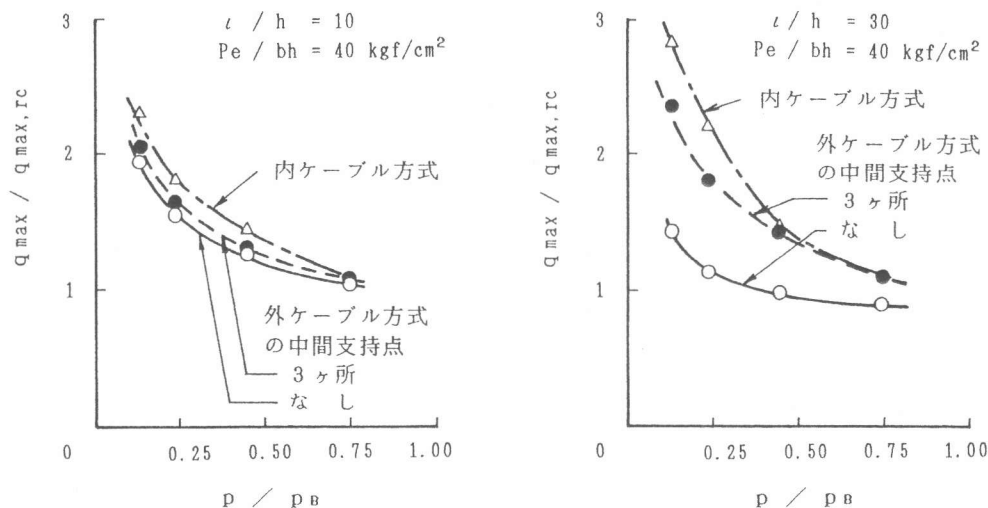


図-5 最大荷重に及ぼす鉄筋比の影響

(3) プレストレス力の影響

等分布荷重が作用した場合の最大荷重に及ぼすプレストレス力の影響を図-6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荷重は増加し、内ケーブル方式の最大荷重に近づいた。これは、はりのたわみが増加するに伴い、中間支持点の位置でケーブルに角度変化が生じる。このため、中間支持点の位置において載荷荷重とは逆方向の力がはりに作用するためと考えられる。スパン中央でのこの逆方向の力は、 $l/h = 30$ で平均プレストレス応力度が 80 kgf/cm^2 のとき、最大荷重時において外ケーブル方式 (中間支持点 3ヶ所) は内ケーブル方式よりも約 1.3倍大きな力が作用すると解析された。

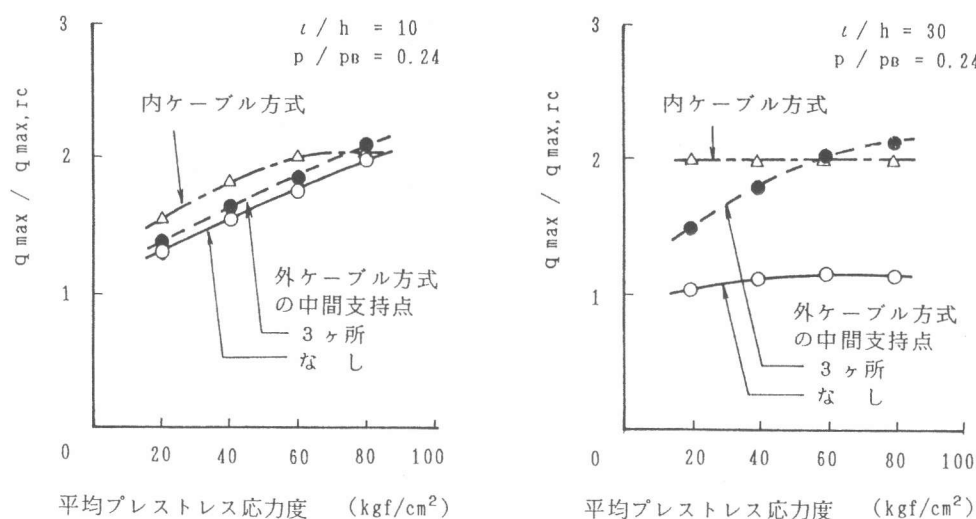


図-6 最大荷重に及ぼすプレストレス力の影響

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) を変化させて有限要素解析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。特に、中間支持点のない外ケーブル方式の場合、 l/h を大きくすると最大荷重が著しく減少するため、中間支持点を設ける必要があると考えられる。外ケーブル方式のP R Cばりの最大荷重は中間支持点の数、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。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・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
- 2) 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
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕、1986
- 4) 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
- 5) 柳沼善明：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、プレストレスコンクリート技術協会、第2回シンポジウム論文集、pp. 5-8、1991.