

大阪工業大学 学生会員 小野 由博
 同上 学生会員 小林 和夫
 同上 正会員 井上 晋
 同上 正会員 仁枝 保

1. まえがき

本研究では、高強度コンクリート($f'_c = 800 \text{ kgf/cm}^2$)を適用したPC連続はりに対して曲げ載荷試験を実施し、最大曲げ耐力、変形特性、PC鋼材応力、曲げひび割れ発生以降の曲げモーメント再分配挙動を普通強度コンクリートはり($f'_c = 450 \text{ kgf/cm}^2$)と比較検討するとともに、非線形解析を実施して実験値と比較した。

2. 試験概要

供試体は図-1、2の幅 $\times$ 高さ $\times$ 全長 $=10 \times 16 \times 330 \text{ cm}$ の2スパン連続はりとし、PC鋼棒($\phi 9.2$ 、 $\phi 13$)を断面上下に対称または非対称に配置し、シーす内にセメントグラウト(W/C=35%、NMB社の注入用高性能混和剤ポリスGF-700 使用)を注入した。PC鋼材の緊張応力は全て $0.6f_{py}$ (f_{py} : 実降伏点)とした。コンクリート強度の設計値は 800 kgf/cm^2 (高強度)、 450 kgf/cm^2 (普通強度)とした。ここでは、横拘束筋(D6)のU型スターラップ底部を圧縮域に配置したもののが $\rho_v = 2.5\%$ の場合とせん断補強のみを目的としその底部を引張域に配置した $\rho_v = 0\%$ を比較し、横拘束筋の影響も併せて検討した。載荷は左右スパン各1点の対称2点荷重とし、端支点～載荷点間の距離を $a = 95 \text{ cm}$ (タイプA)、 72.5 cm (タイプB)、 50 cm (タイプC)の3種類とした。タイプA、B、Cの弾性式(全断面有効)による中間支点と載荷点モーメントとの比は $M_A/M_B = 1.81$ 、 1.20 、 0.88 である。一方、上下対称配筋では中間支点と載荷点の終局抵抗モーメントの計算値 M_{UA} と M_{UB} は等しく、上下非対称配筋($\phi 13$ 、 $\phi 9.2$)、($\phi 9.2$ 、 $\phi 13$)の M_{UA}/M_{UB} は各々 1.47 、 0.68 である。供試体種類を表-1に示す。

曲げひび割れ発生以降の曲げモーメント再分配挙動を検討するために3支点位置にロードセルを設置して支点反力を計測し、またスパン中央たわみを測定するとともに、上側PC鋼棒は中間支点位置、下側PC鋼棒は載荷点位置に防水ゲージを貼付してひずみ(応力-ひずみ関係より応力換算)を測定した。

3. 解析方法

応力-ひずみ関係とし、コンクリートは kent /Park モデル(Model-1)、それに断面内でのひずみ勾配の影響を考慮($\Delta \epsilon_0 = 1500 \mu$)したモデル(Model-2)とした(図-3)。PC鋼材は Blakeley モデル、組立筋はバイリニアモデルを用いた。

これらより、まず断面解析を行って曲げモーメント-曲率($M-\phi$)関係などを算定した。

次に、中間支点で切断した単純はりを静定基本系とし、荷重 P に対して中間支点モーメント M_A を仮定しモーメント分布 M_x を与え、対応す

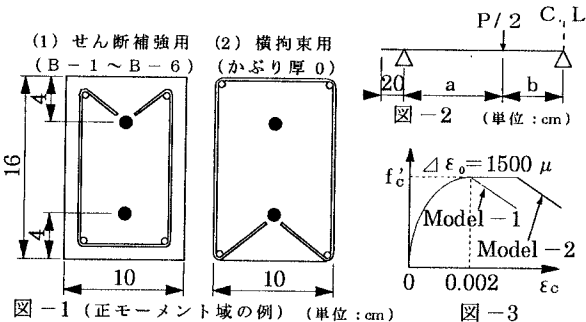


図-1 (正モーメント域の例) (単位: cm)

図-3

表-1 供試体種類と最大耐力の実験値と計算値

供試体 番号	PC 鋼材径 (mm)		載荷 位置	コンクリート 圧縮強度 f'_c (kgf/cm^2) *1)	横拘束 鉄筋比 ρ_v (%) *2)	実験値 P_u (tf)	Model-1		Model-2	
	上 側	下 側					P_{u1}	$\frac{P_{u1}}{P_u}$	P_{u2}	$\frac{P_{u2}}{P_u}$
B-1	ϕ	ϕ	タイプA	450 (504)	0	18.80	16.81	1.12	18.25	1.03
B-2	ϕ	ϕ	タイプA	800 (870)		21.31	20.14	1.06	20.77	1.03
B-3	ϕ	ϕ	タイプA	450 (504)		13.35	13.43	0.99	14.57	0.92
B-4	ϕ	ϕ	タイプB	800 (870)		16.40	16.10	1.02	16.61	0.99
B-5	ϕ	ϕ	タイプA	450 (547)		17.12	16.04	1.07	17.25	0.99
B-6	ϕ	ϕ	タイプC	800 (898)		18.43	18.68	0.99	19.22	0.96
B-7	ϕ	ϕ	タイプA	450 (541)		17.84	16.10	1.11	16.74	1.07
B-8	ϕ	ϕ	タイプA	800 (825)		18.86	17.21	1.10	17.80	1.06
B-9	ϕ	ϕ	タイプA	450 (541)		18.49	16.82	1.10	16.89	1.09
B-10	ϕ	ϕ	タイプA	800 (825)	2.5	19.51	18.10	1.08	18.16	1.07

*1) () 中の数値ははり載荷試験時のコンクリートの実圧縮強度

*2) B-7, B-8は図-1 (2) でU型スターラップの上下を逆に配置

PC連続はり コンクリート強度 横拘束筋 曲げ耐荷特性 非線形解析

〒535 大阪市旭区大宮5-16-1 TEL 06-954-4182 FAX 06-957-2131

る曲率 ϕ_x を $M-\phi$ 関係から定め、弾性荷重法で中間支点位置のたわみ角を求める。計算は左右スパンの連続条件が満足されるまで M_A を変化させ、繰返し行う。 P に対する M_x が定まると、断面解析結果から P と諸量の関係が求まる。

4. 結果と考察

(1) 最大耐力

最大耐力の実験値 P_U を計算値と併せて表-1 に示す。計算値 P_{U1} 、 P_{U2} は、中間支点と載荷点位置に塑性ヒンジを仮定した極限解析法による次式から算定した値である。

$$P_{U1}, P_{U2} = 2 \times \{M_{UA}(1/b) + M_{UB}(1/a + 1/b)\}$$

P_{U1} 、 P_{U2} はコンクリートの応力-ひずみ関係をそれぞれ Model-1、Model-2 として中間支点と載荷点断面の終局抵抗モーメント M_{UA} 、 M_{UB} を算定した場合の値を表す (a 、 b : 載荷点から端支点、中間支点までの距離)。

表-1 のように、高強度コンクリートは普通強度より最大耐力が 6~23% (平均 11%) 大きい。実験値と計算値の比の全平均は、 $P_U/P_{U1} = 1.06$ 、 $P_U/P_{U2} = 1.02$ で、全体的に Model-2 を用いた方がより精度よく最大耐力を推定できる。また、 P_U/P_{U2} の比は普通強度、高強度コンクリートともに 1.02 で、後者でも前者と同様の応力-ひずみ式が適用できるようである。一方、横拘束筋による耐力の増加は、両強度コンクリートはともに 3~4% である。

(2) 荷重-たわみ ($P-\delta$) 関係

$P-\delta$ 関係の例を図-4、5 に示す。高強度コンクリートは普通強度コンクリートに比べてたわみが小さく剛性が大きい反面、最大耐力時のたわみは大きくなる。

横拘束筋による靱性の増大効果は普通強度コンクリートはりの方が顕著であるが、これは高強度コンクリートはりより PC 鋼材指数 (p_{fy}/f'_c 、ただし p : 鋼材比、 f_{py} : 降伏点、 f'_c : コンクリート強度) が大きいためと考えられる。

(3) 荷重-PC 鋼材引張応力 ($P-\sigma_p$) 関係

$P-\sigma_p$ 関係の例を図-6 に示す。曲げひび割れ発生以降、PC 鋼材引張応力は高強度コンクリートはりの方が小さくなる傾向がみられる。しかし、終局域では最大耐力とともに鋼材応力は高強度コンクリートはりの方が大きい。

(4) 荷重-曲げモーメント ($P-M$) 関係

荷重-中間支点、載荷点モーメント関係の例を図-7 に示す。曲げひび割れ発生以降から曲げモーメントの再分配挙動が認められるが、 $P-M$ 関係の増加曲線の形状に関してはコンクリート強度により特に明瞭な差はみられない。

前述の解析法で $P-\delta$ 、 $P-\sigma_p$ 、 $P-M$ 関係をかなりよく推定できるが、最大曲げ耐力も含め、コンクリートの応力-ひずみ関係としては Model-2 の方が良好である。

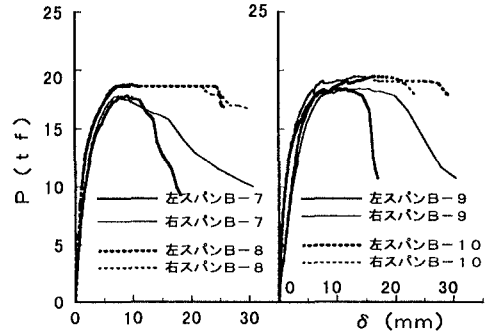


図-4 $P-\delta$ 関係

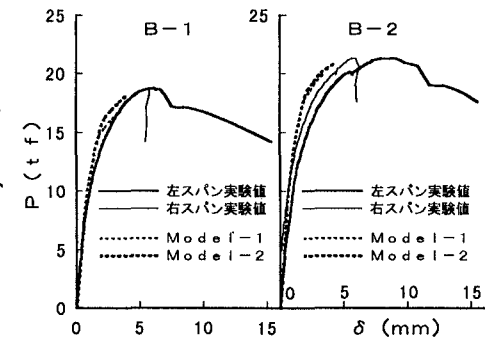


図-5 $P-\delta$ 関係

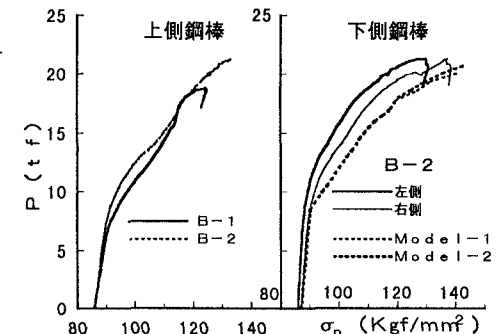


図-6 $P-\sigma_p$ 関係

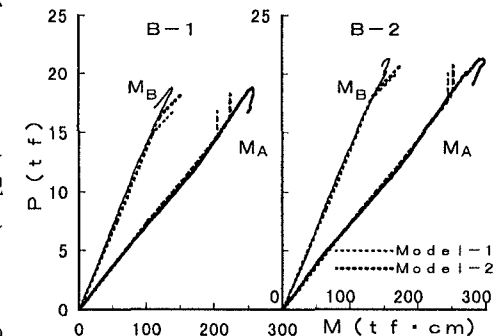


図-7 $P-M$ 関係