

早稲田大学 正会員 神 山 一
(株)間組 〃 〇 陶 山 寿 光

1. 目 的

本報告は、曲げを受ける鉄筋コンクリートはりに形成される、プラスチックヒンジの特徴を理論と実験の両面から検討したものである。

2. 計 算 式

(a) 曲げ引張りひびわれの発生

$$\left. \begin{aligned} k_{cr} &= \frac{2P'd' + 2\eta p h k_1 + 2h\mu - h\mu^2}{2h(P' + \eta p + 1)} \\ \frac{M_{cr}}{b d^2 \sigma_{cu}} &= \left\{ \frac{P'(k_{cr}h - d')^2}{(\mu - k_{cr})h^2} + \frac{k_{cr}^3}{3(\mu - k_{cr})} + \frac{\eta p(k_1 - k_{cr})^2}{\mu - k_{cr}} + \frac{(\mu - k_{cr})^2}{3} + \frac{(1 - \mu)(1 + \mu - 2k_{cr})}{2} \right\}, \phi_r d = \frac{\epsilon_{tu}}{\mu - k_{cr}} \cdot \frac{d}{h} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(b) 引張鉄筋の降伏

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_{sy} & \epsilon_c &= -\frac{k_{sy}}{1 - k_{sy}} \cdot \epsilon_{sy} < \epsilon_{cu} \\ k_{sy}^2 - \frac{P\beta_y + P'\beta_y + C_f}{C_f} k_{sy} + \frac{P\beta_y d + P'\beta_y d'}{d C_f} &= 0 \\ \frac{M_{sy}}{b d^2 \sigma_{co}} &= C_m k_{sy}^2 + P\beta_y(1 - k_{sy}) + P'\beta_y'(k_{sy} - \frac{d'}{d}), \quad \phi_{sy} d = \frac{\epsilon_{sy}}{1 - k_{sy}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(c) 引張鉄筋のひずみ硬化開始

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_{sh} & \epsilon_c &= -\frac{k_{sh}}{1 - k_{sh}} \cdot \epsilon_{sh} \\ k_{sh}^2 - \frac{P\beta_y + P'\beta_y + C_f}{C_f} k_{sh} + \frac{P\beta_y d + P'\beta_y d'}{d C_f} &= 0 \\ \frac{M_{sh}}{b d^2 \sigma_{co}} &= C_m k_{sh}^2 + P\beta_y(1 - k_{sh}) + P'\beta_y'(k_{sh} - \frac{d'}{d}), \quad \phi_{sh} d = \frac{\epsilon_{sh}}{1 - k_{sh}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(d) 圧縮側コンクリートの圧壊

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_c &= \epsilon_{cu} & \epsilon_s &= \frac{1 - k_{cu}}{k_{cu}} \cdot \epsilon_{cu} \\ 1) \epsilon_{sy} < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh} \text{ の場合, } \sigma_s &= \sigma_{sy}, \quad k_{cu}^2 - \frac{P\beta_y + P'\beta_y + C_{fu}}{C_{fu}} k_{cu} + \frac{P\beta_y d + P'\beta_y d'}{d C_{fu}} &= 0 \\ \frac{M_{cu}}{b d^2 \sigma_{co}} &= C_{mu} k_{cu}^2 + P\beta_y(1 - k_{cu}) + P'\beta_y'(k_{cu} - \frac{d'}{d}), \quad \phi_{cu} d = \frac{\epsilon_{cu}}{k_{cu}} \\ 2) \epsilon_s > \epsilon_{sh} \text{ の場合, } \sigma_s &= \sigma_{sy}(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}}) \\ k_{cu}^2 - \frac{P\beta_y(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}}) + P'\beta_y(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}}) + C_{fu}}{C_{fu}} k_{cu} + \frac{P\beta_y d(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}}) + P'\beta_y d'(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}})}{d C_{fu}} &= 0 \\ \frac{M_{cu}}{b d^2 \sigma_{co}} &= C_{mu} k_{cu}^2 + P\beta_y(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}})(1 - k_{cu}) + P'\beta_y'(1 + A \log_e \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}})(k_{cu} - \frac{d'}{d}), \quad \phi_{cu} d = \frac{\epsilon_{cu}}{k_{cu}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、 $P = \frac{A_s}{b d}$ 鉄筋比、 $\beta_y = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{co}}$ 、 σ_{sy} : 鉄筋の降伏点応力度、 σ_{co} : はり圧縮部コンクリートの最大応力度
 k : 中立軸係数、 ϵ_s : 鉄筋のひずみ度、 ϵ_c : コンクリートのひずみ度、 M : 抵抗モーメント、 ϕ : 断面の曲率
 A : 鉄筋の性質による定数、 $C_f = \int_0^{\beta} \eta \cdot d\beta$ 圧縮部コンクリートの圧縮力に関する係数、 $C_m = \int_0^{\beta} \eta \cdot d\beta$ 圧縮部コンクリートの中立軸に関するモーメント係数、 $\eta = \frac{\sigma_c}{\sigma_{co}}$ 、 $\beta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}}$ 、 d : 有効高さ

3. 実 験

表 1. 示方配合表

はり側面に設けたコンタクトゲージの測定値から、各荷重段階における断面の曲率を求めた。鉄筋比は 0.79%、1.58%、2.82% の 3 種類、荷重型式は

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	51	41	195	382	715	1055

中央1点載荷, 中央2点載荷, 9点分散載荷の3種類, 合計9種類の鉄筋コンクリートはりで実験を行った。

4. 実験値及び計算値との比較

図1の試験体の実験値と計算値, 及びその比較を表2に表わした。 M_{sy} の下段はS. D. Lashの式 $M_{sy} = A_s \sigma_{sy} d$ の値である。なお、 ϕ_u は破壊荷重の95%の荷重段階における断面の曲率である。

5. 要約

(イ) 力学的鉄筋比 $P\beta_y = \frac{A_s}{b d} \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{co}}$ が増加するにつれて, 抵抗モーメントは増大するが, 回転能力は減少する。

(ロ) プラスチックヒンジの吸収エネルギーから最適鉄筋比を

決める方法を採用した結果, 力学的鉄筋比で0.14~0.16の範囲の値が最も適当であることがわかった。

(リ) M_{sy} の計算値は実験値よりも約10%程度小さい傾向にある。部材の降伏は圧縮部コンクリートのひずみの再分布も考慮して決めるのがよい。ただ, 力学的鉄筋比が小さい場合, ひびわれ発生によって部材が降伏すると考えてよい。

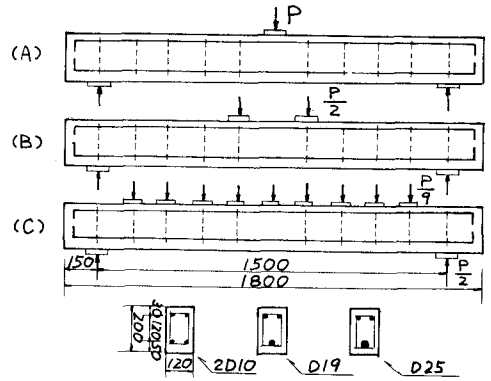


図1. 試験体形状

表2. 実験値と計算値との比較

はりの 種類	ひびわれ発生						鉄筋の降伏						圧縮側コンクリートの圧壊					
	Mer(t・m)			φcrd(×10 ⁻⁶)			Msy(t・m)			φsyd(×10 ⁻⁶)			Mcuc(t・m)			φud(×10 ⁻⁶)		
	実	計	実	計	実	計	実	計	実	計	実	計	実	計	実	計	実	計
2D10-A	0.24	0.33	0.73	186	474	0.39	0.81	0.65 0.74	1.25 1.10	2494	2443	1.02	1.15	0.78	1.47	17325	24180	0.72
2D10-B	0.30	0.35	0.86	185	474	0.39	0.83	0.65 0.74	1.29 1.13	2410	2453	0.98	1.18	0.78	1.52	—	23150	—
2D10-C	0.39	0.39	1.00	457	474	0.96	0.99	0.65 0.74	1.54 1.35	2270	2429	0.94	1.60	0.79	2.03	29250	25150	1.16
D19-A	0.11	0.38	0.30	143	489	0.30	1.28	1.33 1.55	0.96 0.82	3735	2922	1.28	2.07	1.47	1.40	38810	9940	3.90
D19-B	0.24	0.41	0.59	285	489	0.58	1.33	1.33 1.55	1.00 0.86	3780	2913	1.30	2.00	1.48	1.35	15860	10230	1.55
D19-C	0.28	0.43	0.64	218	489	0.45	1.95	1.33 1.55	1.47 1.26	3540	2903	1.22	2.33	1.48	1.57	14890	10515	1.42
D25-A	0.26	0.46	0.58	173	510	0.34	2.51	2.19 2.68	1.15 0.94	3592	3414	1.05	2.98	2.29	1.30	13660	3400	4.01
D25-B	0.26	0.45	0.57	210	510	0.42	2.15	2.19 2.68	0.98 0.80	3495	3390	1.03	2.76	2.30	1.20	6400	3375	1.89
D25-C	0.36	0.44	0.81	188	510	0.37	2.93	2.20 2.68	1.34 1.10	3020	3366	0.90	3.49	2.30	1.51	9160	3350	2.73

表3. 最適鉄筋比

ϕ_c (cm^2)	鉄筋の種類			
	SR 24 SD 24	SR 30 SD 30	SR 35 SD 35	
210	P_{β_y}	11.43	14.29	16.67
	P_{ϕ_u}	1.30	1.05	0.90
240	P_{β_y}	10.00	12.50	14.58
	P_{ϕ_u}	1.50	1.20	1.03
270	P_{β_y}	8.89	11.11	12.96
	P_{ϕ_u}	1.69	1.35	1.16
300	P_{β_y}	8.00	10.00	11.67
	P_{ϕ_u}	1.88	1.50	1.29

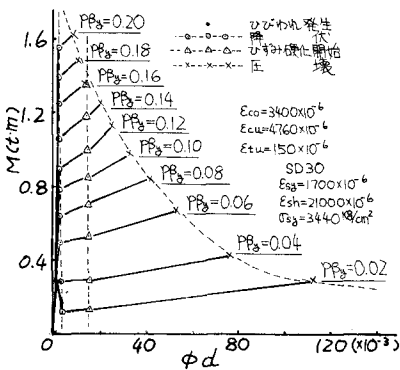


図2. 抵抗モーメントと曲率との関係

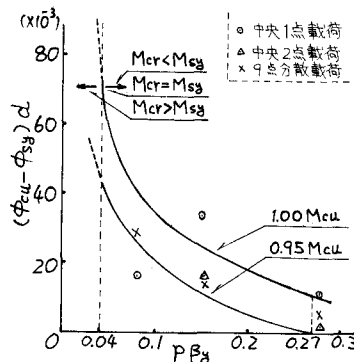


図3. プラスチックヒンジの回転能力

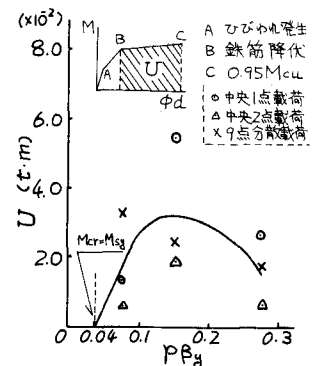


図4. プラスチックヒンジの吸収エネルギー

参考文献 1) 神山一「プレストレストコンクリートはりのプラスチックヒンジの特性」プレストレストコンクリート, Vol.14, No.4 Aug 1972, 2) 神山一「鉄筋コンクリートはりのプラスチックヒンジの長さについて」土木学会, 第27回年次学術講演会概要集