

単鉄筋コンクリート矩形ばりの破壊 曲げモーメントについて

加賀美 一二三

緒 言

鉄筋コンクリートばりの破壊曲げモーメントについての著者の考察は既報^{1),2)} のようであり、一般経済的設計と考えられる実用範囲 $p\gamma_y = 0.03 \sim 0.70$ 程度にては、著者の提案の破壊曲げモーメントの式¹⁾ にて計算することにより良結果が得られている。しかしながら鉄筋コンクリートばりの破壊機構は、実際には鉄筋応力は $\sigma_s \geq \sigma_{sy}$ の何れかを示し、これは低鉄筋が過鉄筋かの性状である。すなわち、著者は本文において鉄筋コンクリートばりの圧縮部のコンクリート応力分布は既報²⁾ の5次放物線形を採用し、過鉄筋の場合の鉄筋応力のみを ACI-ASCE Joint Com.³⁾ のように近似的に直線ひずみ分布を仮定し、はりの破壊機構にもとづき両者の場合の式をたて、実験結果による計算例にて照査した報告である。

1. 単鉄筋コンクリート矩形ばりの破壊曲げモーメント式

(1) 鉄筋コンクリートばりの破壊曲げモーメント式に対する仮定

コンクリートの応力分布については、既報²⁾ にもとづき図-1 a のように5次放物線形を採用し、過鉄筋の場合のみの鉄筋の応力に対しては、図-1 b のように近似的に直線ひずみ分布を仮定する。

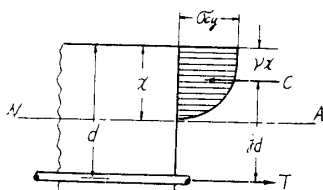


図-1 a はり圧縮部のコンクリートの応力分布の仮定

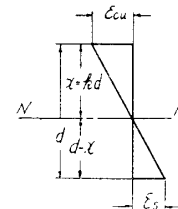


図-1 b 過鉄筋の場合の鉄筋応力に対するひずみ分布の仮定

いま、この過鉄筋の場合の σ_s の吟味に当り、コンクリートの破壊時のひずみ ϵ_{cu} は多くの実験結果から 0.0025 程度と仮定しても差支えないものと考えられる。式示に当り記号を図-1 b のものとし、 σ_s を鉄筋応力、 kg/cm^2 、 E_s を鉄筋の弾性係数 2100000kg/cm^2 とすると、次の関係式が成立する。

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{d-x}{x}$$

$$\sigma_s = \epsilon_s E_s = 5250 \frac{d-x}{x} = 5250 \frac{1-k}{k} \quad (\text{a})$$

ここに、 $x = kd$

(2) 低鉄筋の場合の破壊曲げモーメント式

低鉄筋の場合の破壊時には、はり主鉄筋の応力は $\sigma_s = \sigma_{sy}$ となるものであり既報¹⁾ の場合と同

様となるので、その破壊曲げモーメント式を再記すると

$$M_u = \mu k \sigma_{cy} (1 - \nu k) b d^2 \quad (1)$$

あるいは、

$$M_u = \sigma_{sy} (1 - \nu k) p b d^2 \quad (1)$$

上式中の記号は

k = 中立軸位置係数 = $p\gamma_y/\mu$

$\gamma_y = \sigma_{sy}/\sigma_{cy}$

p = 鉄筋比

σ_{sy} = 鉄筋の降伏点応力, kg/cm^2

σ_{cy} = コンクリートの破壊強度, kg/cm^2

b = はりの巾, cm

d = はりの有効高さ, cm

$\mu = n/(n+1)$

$\nu = n/(2n+1)$

n = コンクリートの応力曲線次数, 5

(3) 過鉄筋の場合の破壊曲げモーメント式

過鉄筋の場合の破壊時における σ_s は (a) 式にて示されるものであり、この場合の中立軸位置係数は部材断面における水平力の釣合条件すなわち $C=T$ の関係より

$$\mu k d b \sigma_c = \sigma_s p b d$$

この式中の σ_s に (a) 式の値を代入し、 σ_c は破壊の場合を考慮することとすると

$$k = \frac{-5250p + \sqrt{5250p^2 + 21000\mu\sigma_{cy}p}}{2\mu\sigma_{cy}} \quad (b)$$

この (b) 式により k 値が求まれば、誘起されている σ_s を (a) 式にて計算し σ_{sy} と比較する。すなわち、

$$\sigma_s = 5250 \frac{1-k}{k} < \sigma_{sy}$$

上式が成立すれば、鉄筋コンクリートばりは過鉄筋の場合となる。

しかるときは、破壊曲げモーメント式は (1)、(1)' 式の場合と同様に次式となる。

$$M_u = \mu k \sigma_{cy} (1 - \nu k) b d^2 \quad (2)$$

あるいは、

$$M_u = 5250 \frac{1-k}{k} (1 - \nu k) p b d^2 \quad (2)$$

以上の (2)、(2)' 式中の k 値は (b) 式による値であり、他の記号は (1)、(1)' 式の場合と同様である。

2. 鉄筋コンクリートばりの破壊実験とその破壊曲げモーメント

(1) 実験供試体材料、供試体および荷重実験

鉄筋は径 9 mm のものにて、その降伏点応力 σ_{sy} は 3071, 3210 kg/cm^2 のものを用い、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材の粗粒率 2.8, 比重は細骨材 2.54, 粗骨材 2.62 のものにて、コンクリートの示方配合は表-1 のものとした。

鉄筋コンクリートばり供試体は、巾 12 cm, 高さ 14 cm, 径間 2.4 m, 供試体全長 3.0 m, 主鉄筋は低筋の場合は 3 本 ~ 9 mm ϕ , 過筋の場合は 8 本 ~ 9 mm ϕ とし、図-2 に示す配筋とした。

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ量 (cm)	単位水量 W (kg)	単位セメント重 c (kg)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)
15	8±1	204	398	51.2	51	865	830

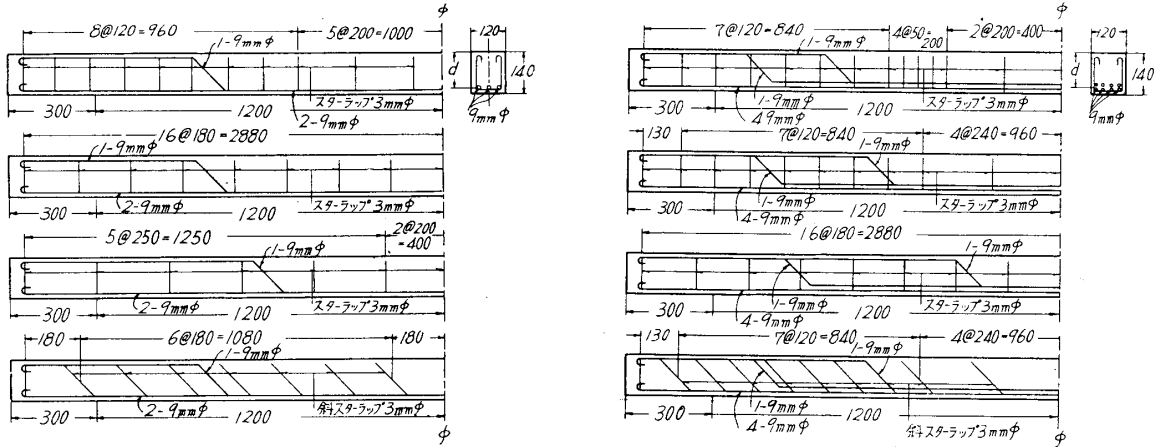


図-2 各種供試体の配筋図

荷重実験は、低筋の No.1, 2, 4 および過筋の No.1', 2', 4' は 3 等分点 (3 @ 80 = 2.4m) 負荷とし、また低筋の No.3, 過筋の No.3' は 径間中央の 1 点負荷とした。

いま、3 等分負荷の場合の例として、写真-1 は荷重直前の状態、写真-2 は負荷が弾塑性領域に入り撓みが相当に大きくなった場合、写真-3 は破壊の状態、写真-4 は破壊供試体の側面および底面のひびわれ状態を示している。

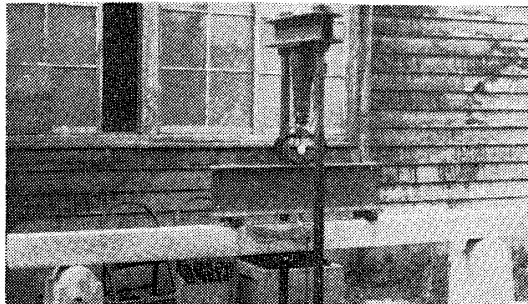


写真-1 荷重直前の状態

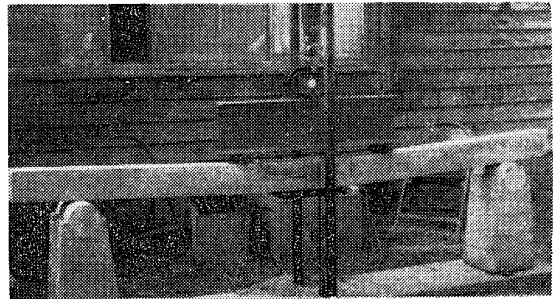


写真-2 大きい撓みを示した状態

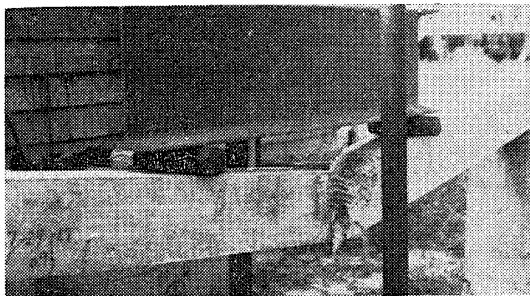


写真-3 破壊後の状態

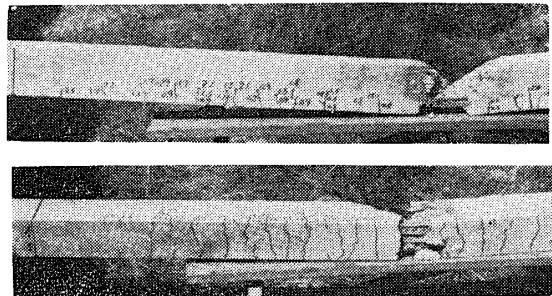


写真-4 供試体の側面および底面ひびわれの状態

(2) 実験結果

本項においては、低および過鉄筋コンクリートばりの負荷時における曲げひずみ分布様相、撓み様相並びに破壊曲げモーメントについての結果を述べることにする。

(a) 曲げひずみ分布の測定値

低および過鉄筋の各供試体とも、3等分点および1点荷重の場合そのひずみ分布様相はほとんど同傾向であるから、No. 1とNo. 1'の場合の測定値を図示することにする。

低鉄筋コンクリートばりの場合；～No. 1 供試体の例にて図-3となる。

過鉄筋コンクリートばりの場合；～No. 1' 供試体の例にて図-4となる。

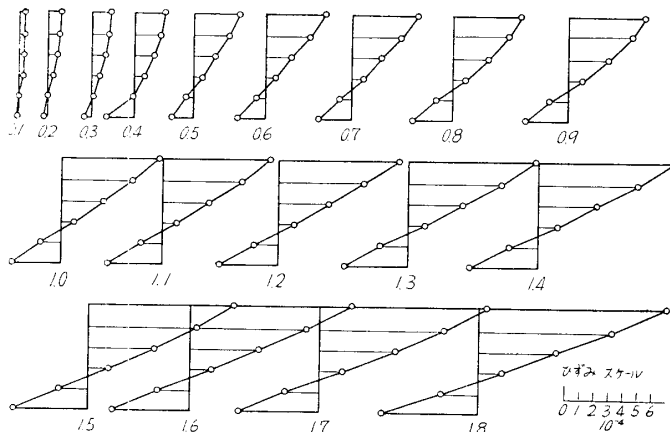


図-3 No. 1 供試体の曲げひずみ分布様相

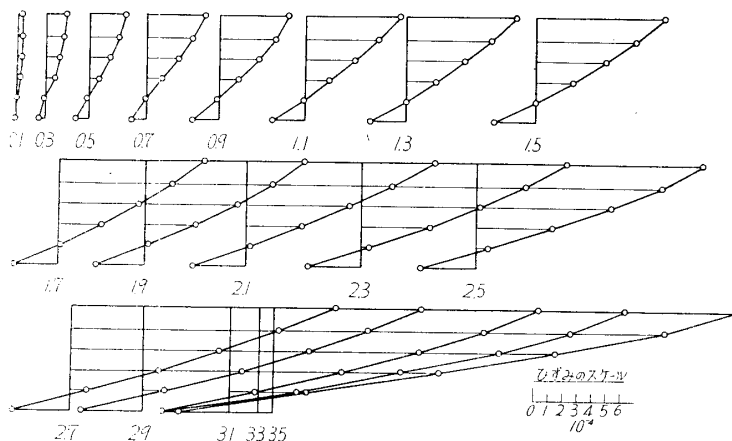


図-4 No. 1' 供試体の曲げひずみ分布様相

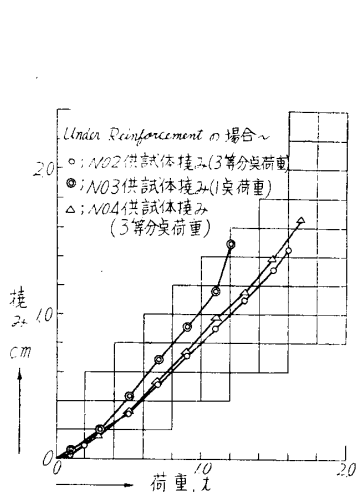


図-5 低鉄筋ばりの場合の撓み

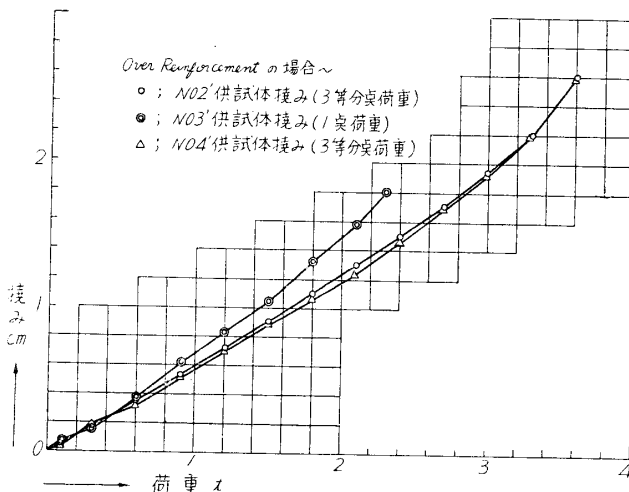


図-6 過鉄筋ばりの場合の撓み

以上の測定結果のように、低および過鉄筋の供試体ともに、曲げひずみ分布様相は曲線状であることがわかる。

(b) 撓み測定値

3等分点荷重と1点荷重の場合の荷重と撓みとの関係を図示すると図-5, 6となる。

図示のように、低および過鉄筋の両場合とも、1点荷重の場合は3等分点荷重に比べて大きい撓みを示して、折れ撓みの傾向を示すものといえる。

(c) 破壊曲げモーメントの計算

実験した各供試体について、前述した式により破壊曲げモーメントを計算した結果は、表-2のごとくである。

表-2 破壊曲げモーメントの計算

供試体	各項目	b (cm)	d (cm)	p (%)	σ_{cy} (kg/cm ²)	σ_{sy} (kg/cm ²)	k	M_u (kg cm)	P_u (t)	P_e (t)	$\frac{P_u}{P_e}$	荷重法
No. 1		12.0	12.1	1.31	317	3210	0.160	69000	1.73	1.80	0.962	3等分点法
No. 2		12.3	12.3	1.26	226	3071	0.205	65200	1.63	1.60	1.02	3等分点法
No. 3		12.0	12.4	1.29	228	3210	0.177	72300	1.21	1.20	1.00	1点荷重
No. 4		12.2	12.1	1.29	237	3210	0.210	67300	1.68	1.70	0.99	3等分点法
No. 1'		12.0	10.8	3.93	314	3210	0.577	156000	3.90	3.60	1.08	3等分点法
No. 2'		12.1	11.1	3.79	273	3071	0.593	147000	3.69	3.60	1.02	3等分点法
No. 3'		12.3	11.2	3.71	246	3210	0.609	138000	2.31	2.30	1.00	1点荷重
No. 4'		12.5	11.2	3.63	237	3210	0.618	138000	3.46	3.60	0.96	3等分点法

表-2の計算結果のように、低鉄筋および過鉄筋供試体ともに前記の破壊曲げモーメント式が、実験値とよく一致することがわかる。本実験においては、スターラップに対する斜スターラップの効果は、曲げ破壊の場合であるから比較できなかった。

結 言

単鉄筋コンクリートばりの低鉄筋および過鉄筋の場合についての破壊曲げモーメントの式について述べ、径間2.4mの数種のはりに関して破壊実験を実施したところ、その曲げひずみ分布様相は誘導式の仮定通り、はり圧縮部に対し曲線状であることを示し、理論式による破壊荷重は実験とよく一致する結果を得て、誘導式の意義が立証できた。また、撓みに関しては3等分点、1点荷重法の関係が、低鉄筋および過鉄筋の場合につき比較できた。

終わりに、本実験にご協力いただいた松井時治、長谷川博氏に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 著者, 土木学会論文集, 第19号, 1954
- 2) 著者, 材料試験, 6巻, 46号, 1957
- 3) Report of ACI-ASCE Joint Committee on Ultimate Strength Design, No. 809, Proc. ASCE, 1955