

多点負荷による鉄筋コンクリートばりの力学的考察*

加賀美 一三三**・二 木 和 夫***

平 野 寛****・三 浦 正 昭****

Study of the Dynamical Properties of Simply Supported Reinforced Concrete Beams subjected to Multiple Loading

—The Second Report, Case of Three Concentrated Loads—

Hifumi KAGAMI, Kazuo FUTATUKI,
Yutaka HIRANO and Masaaki MIURA

Abstract

The authors have undertaken the study of mechanism of shear failure of reinforced concrete beams. This paper contributes test data, analyses, and considerations resulted from this investigation which included the testing of 16 specimens of simply supported beams, subjected to 3 concentrated varying loads.

The objects of this examination are to find some points on which may be occurred maximum value of strain, researches of the strain in terms of the equivalent shear span, to investigate the capabilities of judicatory standards by a/d of the failed boundary and by theoretical equation of the ultimate bending moment, concerning with steel bar, deformed steel bar under and over reinforced concrete beams.

Results of this exploratory test with the above mentioned objects are described in useful data on dynamical property.

1. 緒 言

鉄筋コンクリートばりの力学的性状の研究における、せん断破壊機構に関する一考察として、3点荷重以上の多点負荷の場合について考究しているが、本報告においては前研究に続き、静的に3点載荷した鉄筋コンクリートばりの力学的考察をしたのでその内容を述べることにする。

本実験の目的として、はり供試体における斜最大主応力ひずみの誘起される位置を見出すこととしたが、これは鉄筋コンクリートばりの破壊機構の要素として重要な事項であると思われる。そして、既報¹⁾の a/d による破壊領域判定の基準が、本実験の場合にもほぼ適用されることがわかった。ここに、あらたに等価せん断スパン (Equivalent shear span) の定義にもと

づいての解明と破壊曲げモーメントの理論式²⁾を用いた破壊領域の判定について考察した。既報の多くの研究は、1点および2点載荷の対称荷重の場合のものであり、せん断スパンを、支点とこれに最も近い荷重点との距離としてせん断機構の研究が実施されているが、3点以上の多点荷重、さらには非対称荷重になった場合、既発表のせん断スパンの観念ではせん断機構の考察は不可能となるので、本研究において、等価せん断スパンを定義したものであるが、これはせん断破壊が起こり得る可能性のある領域として、一般のせん断スパンの場合においても力学的解釈ができる。さらに a/d による場合と同様に破壊曲げモーメント式による破壊判定ができることを述べたのである。

以上のような趣旨で実験的研究を行ない、一応満足しうる結果を得たものと思われるので、以下にそれを述べることにする。

2. 実験材料および実験装置

* 岡山市における中国四国支部講演会11月21日, 1967において発表

** 土木工学教室

*** 宇部興産株式会社

**** 大学院工学研究科土木工学専攻

骨材は、細骨材の粗粒率2.69, 細粗骨材の比重は各2.54, 2.69, セメントは普通ポルトランドセメントを

用い, コンクリートの σ_{ck} は 180kg/cm^2 で示方配合は Table 1. のとおりである.

Table 1 Designed proportion of concrete
a. Case of steel bar beam

Maximum Dimension of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit quantity (kg/m ³)			
					W	C	S	G
20	4±1	1	68.6	40	194	283	717	1,139

b. Case of deformed steel bar beam

Maximum Dimension of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit quantity (kg/m ³)			
					W	C	S	G
20	4±1	2	68.4	40	188	275	715	1,135

鉄筋は公称径13mm, その実断面積による平均降伏点応力は, 丸鋼は $2,995\text{kg/cm}^2$, 異形丸鋼は $3,740\text{kg/cm}^2$ である.

はり供試体は, 幅12cm, はり全長2.3mとし, 低鉄筋ばり (Under reinforced concrete beam, URC) は, 丸鋼ばり4供試体, 異形丸鋼ばり4供試体, 過鉄筋ばり (Over reinforced concrete beam, ORC) は前者と同様に各4供試体ずつ計16供試体を造形した. その供試体設計図は Fig. 1 のごとくである.

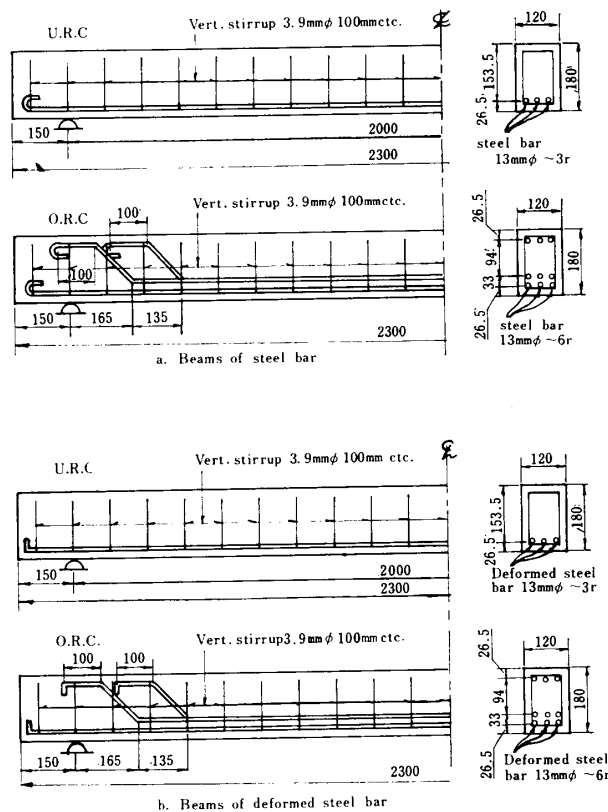


Fig.1 Details of reinforced concrete beam specimen

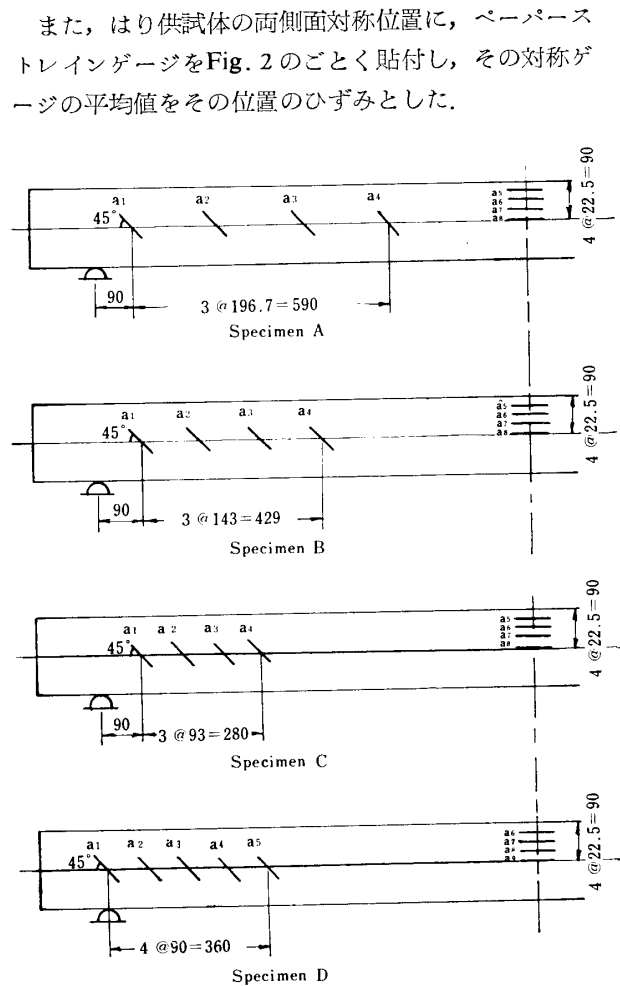


Fig.2 Positions of pasted paper gauges for measured strain of reinforced concrete beams

なお載荷状態はFig. 3のごとく, 供試体A, B, C, Dとし, 3点荷重中の中間荷重の載荷位置を変化せしめ, 油圧ジャッキにて静的に負荷し, ひずみ, たわみおよびひびわれの進行状況について測定した. 実際の

載荷状態は Photo. 1 のごとくである。

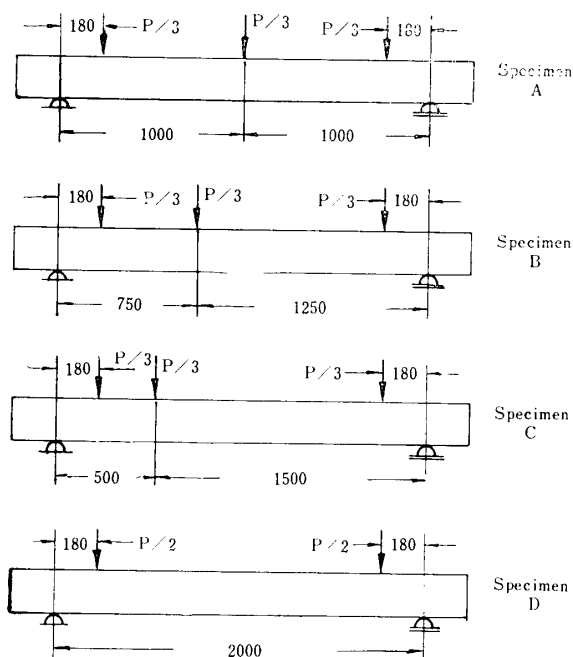


Fig.3 Loaded positions of specimen A, B, C, D

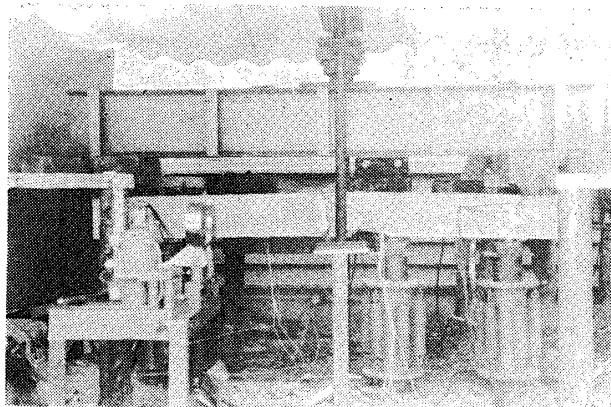


Photo.1 States of loading

3. 実験結果

3.1 供試体用コンクリートの圧縮強度 σ_{cy} とそのひずみ ϵ_u

前節に述べた配合にて打込んだ供試体コンクリートを、平均水中温度22.9°Cで養生した場合の σ_{cy} と ϵ_u は Table 2 のごとくである。

Table 2 σ_{cy} and ϵ_u for concrete specimen

Kinds of specimen	URC(Steel bar)		ORC(Steel bar)		URC(Deform. steel bar)		ORC(Deform. steel bar)	
	A, C	B	A, B	C, D	A, B	C, D	A, B	C, D
σ_{cy} , kg/cm ²	285	260	322	274	271	286	274	279
ϵ_u , 10 ⁻⁴	10.4	15.1	17.9	21.1	18.5	17.4	15.9	15.0

3.2 各はり供試体のひずみ様相

はり供試体の中立軸に対し45°に貼付したゲージと、はりスパン中央に貼付したゲージで測定したひずみ値は低鉄筋、過鉄筋丸鋼ばり、低鉄筋、過鉄筋異形丸鋼ばりともに、ほとんど同一の傾向を示すので、各場合の荷重状態が不規則になつた代表例である供試体Cについて、一例ずつを図示すると Fig. 4, 5, 6, 7 となる。

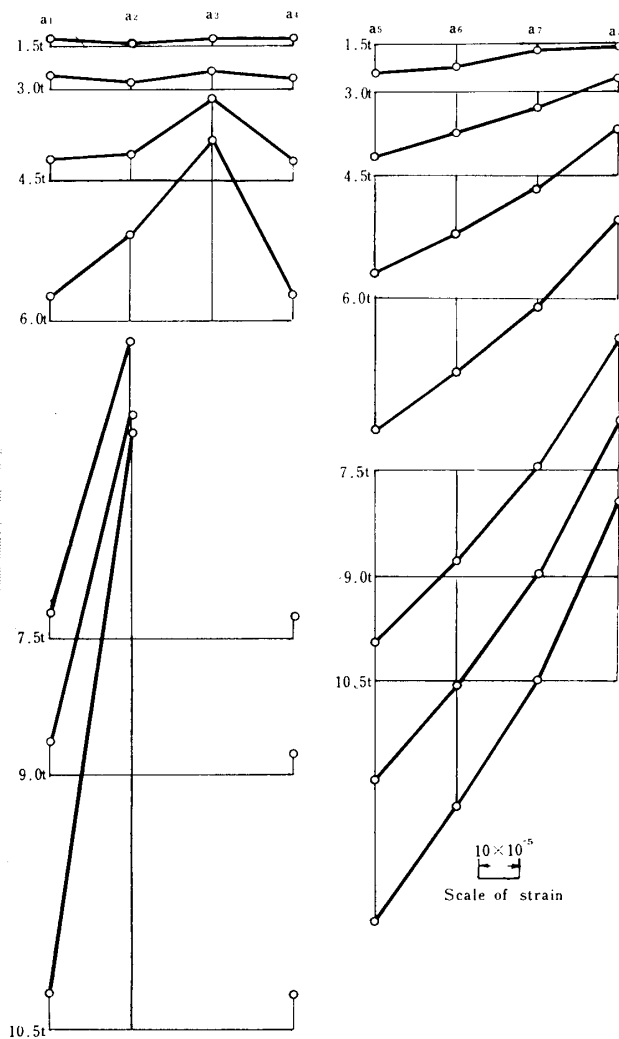


Fig.4 Case of specimen C

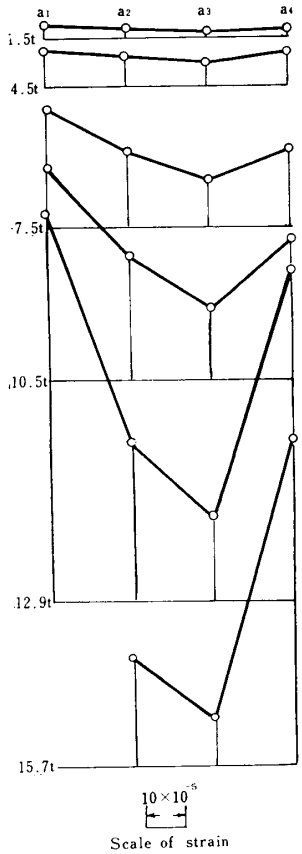


Fig. 5 Case of specimen C

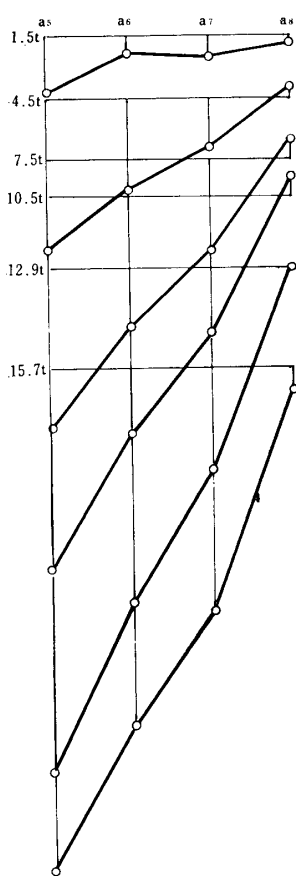


Fig. 6 Case of specimen C

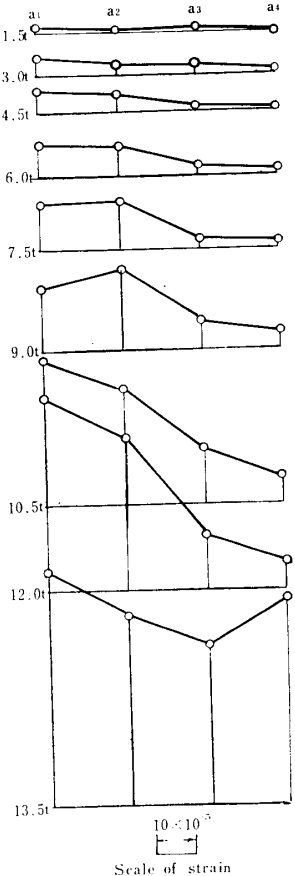
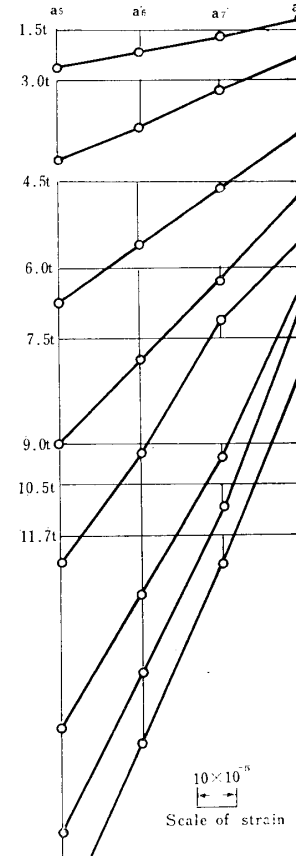
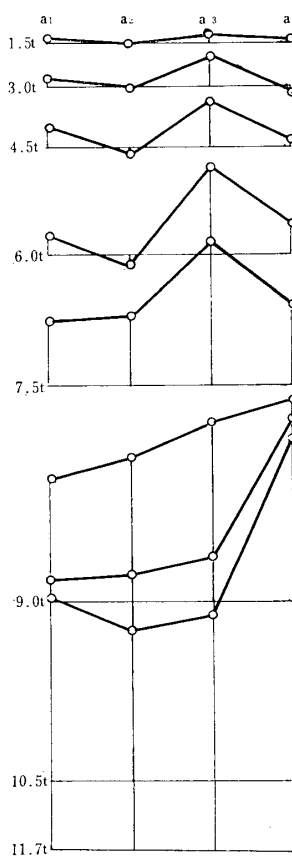


Fig. 7 Case of specimen C



3.3 各はり供試体のたわみ様相

低鉄筋, 過鉄筋丸鋼ばりは Fig. 8, 9, 低鉄筋, 過鉄筋異形丸鋼ばりは Fig. 10, 11 に荷重-たわみの関係を示した。

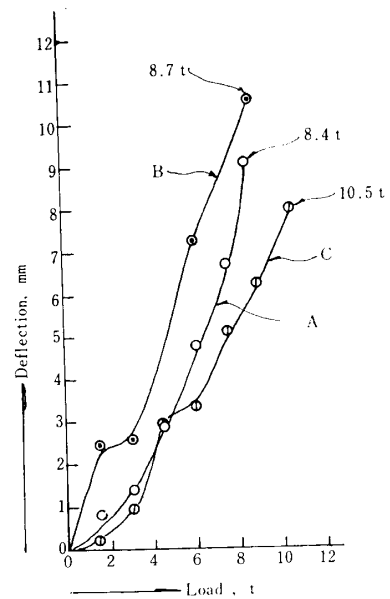


Fig. 8 Load-deflection of URC steel bar beam

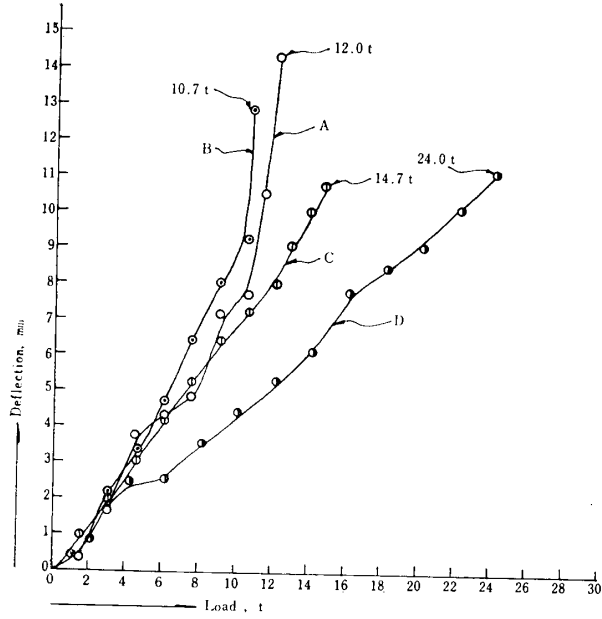


Fig.9 Load-deflection of ORC steel bar beam

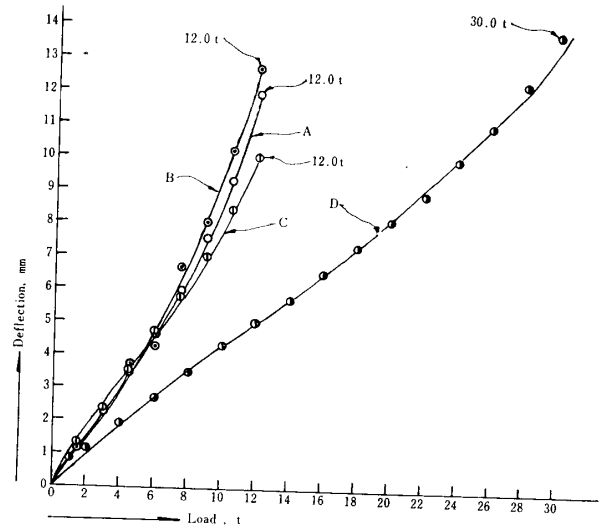


Fig.11 Load-deflection of ORC deformed steel bar beam

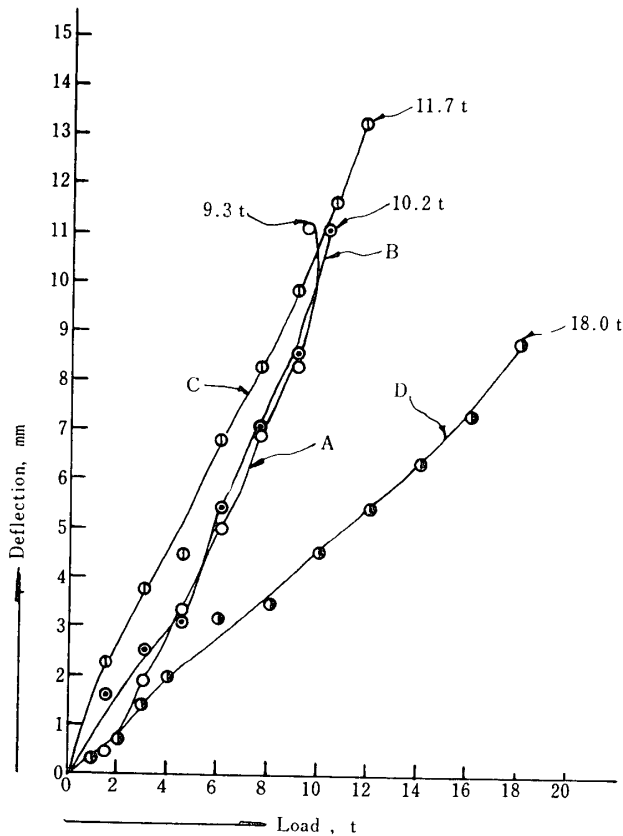


Fig.10 Load-deflection of URC deformed steel bar beam

3.4 破壊供試体のひびわれ様相の写真

荷重増加時に記入したはり供試体のひびわれ様相は、Photo. 2～5に示すごとくである。Photo. 2, a, b中の供試体A'は実験の不備により供試体Aとおきかえる。

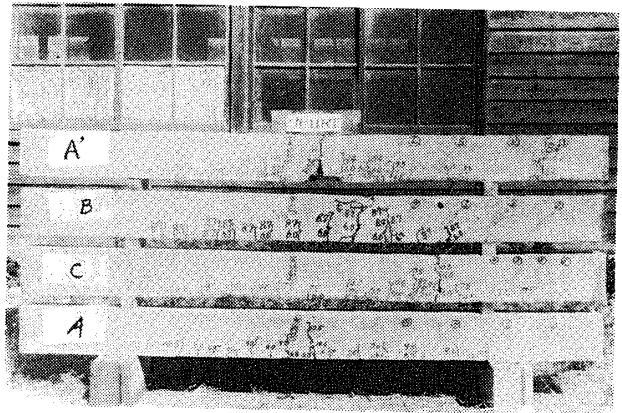


Photo.2 a Left side crack of URC steel bar beam

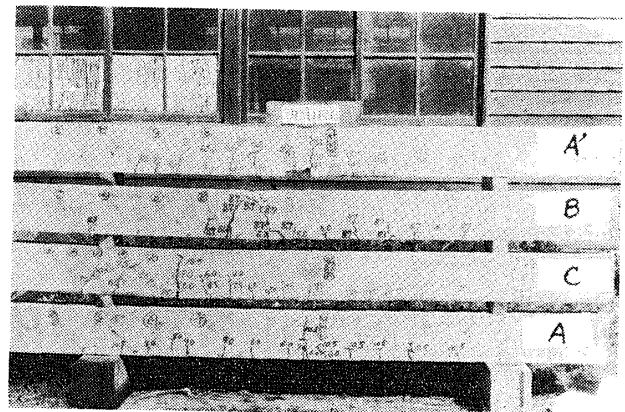


Photo.2 b Right side crack of URC steel bar beam

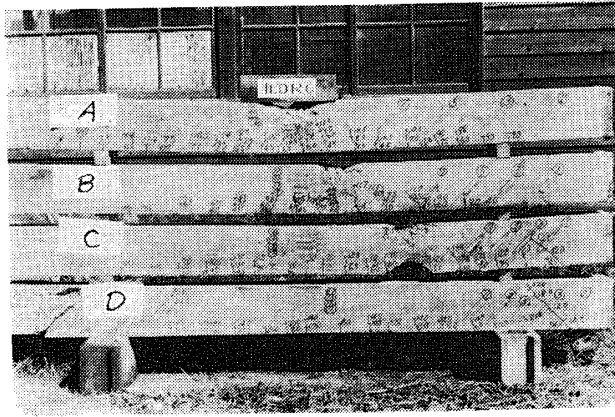


Photo.3 a Left side crack of ORC steel bar beam

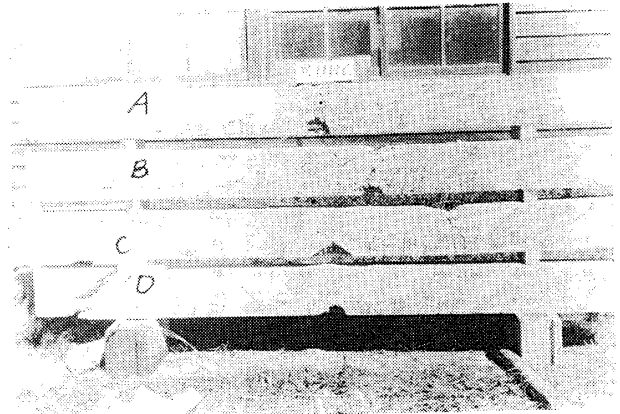


Photo.4 b Right side crack of URC deformed steel bar beam

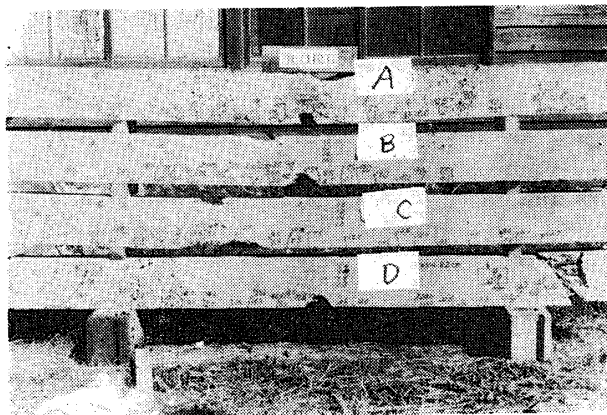


Photo.3 b Right side crack of ORC steel bar beam

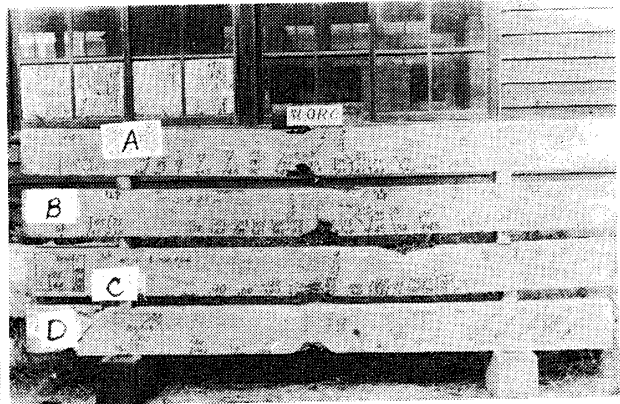


Photo.5 a Left side crack of ORC deformed steel bar beam

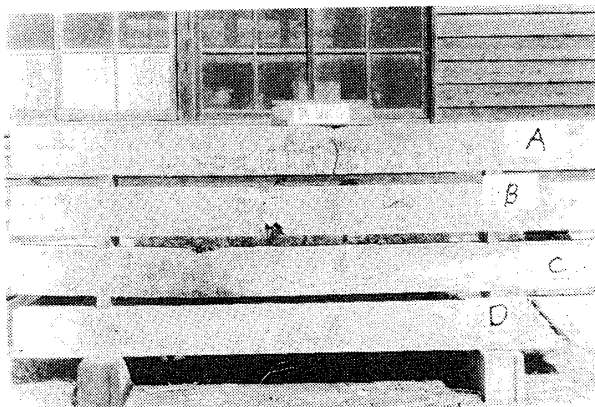


Photo.4 a Left side crack of URC deformed steel bar beam

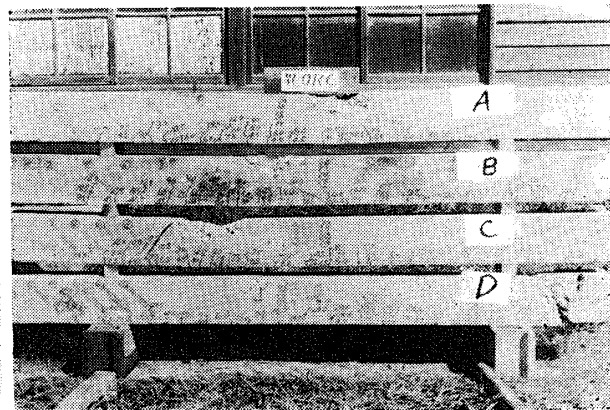


Photo.5 b Right side crack of ORC deformed steel bar beam

4. 実験結果の考察

4.1 低鉄筋ばりと過鉄筋ばりとの比較

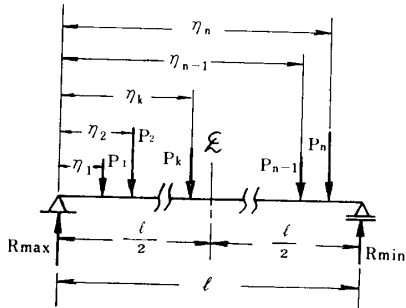
(1) たわみについて

丸鋼ばり, 異形丸鋼ばりともに, 仮鉄筋ばりより過鉄筋ばりの方がたわみは小さく, 鉄筋量が多いほど,

その鉄筋が有効に働いていることがわかる. また丸鋼ばりより異形丸鋼ばりの方がたわみは小さく, 異形鉄筋を使用するため, このはりが完全な付着力を有するはりとなり, はり全体が一樣な弧形にたわむためにたわみ量がはり全スパンに分散されるものと考えられる.

(2) ひずみについて

最大主応力ひずみを等価せん断スパンとともに考察してみることにする。ここに等価せん断スパンを次のように定義する。



$$\sum_{i=1}^k P_i \eta_i = R_{max} \cdot a_0$$

(a_0 : Equivalent shear span)

$$\therefore a_0 = \frac{\sum_{i=1}^k P_i \eta_i}{R_{max}}$$

Fig. 12 Equivalent shear span

Fig.12のごとくはりスパンを二等分し、支点反力の大きなる方のスパンを考え、その半スパン内の各載荷重の、支点反力作用点に関するモーメントの代数和が、その支点反力にある値 a_0 を掛けたものに等しいとおいた場合のこの a_0 を等価せん断スパン (Equivalent shear span) と定義する。

すなわち、 $\sum P_i \eta_i = R_{max} a_0$, a_0 : 等価せん断スパン

$$\therefore a_0 = \frac{\sum P_i \eta_i}{R_{max}} \dots \dots \dots (1)$$

一般のはり上に最も簡単な1点、2点荷重がかかった場合と、最も多くの荷重すなわち極限的な等分布荷重がかかった場合とを考えた結果が、この(1)式の根拠をなすものであり、つまりFig.13, aにおいては、 $P\eta = Ra$ となるようなせん断スパン a は η に等しくなり、

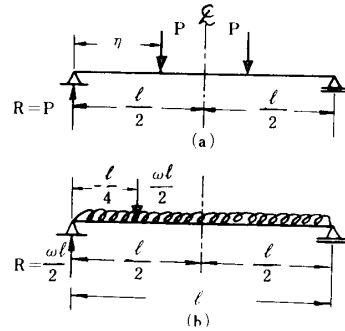


Fig. 13

従来のせん断スパンの考え方も意味づけている。また Fig.13, b の等分布荷重の場合、半スパンにて集中荷重におきかえると、 $\omega l/2 \times l/4 = Ra$ となるようなせん断スパン a は $l/4$ に等しくなる。等分布荷重の場合のせん断力によるひびわれ位置は、ほぼ $l/8$ に起こり Whitney, Bernaert and Siess などの実験による等分布荷重の場合も、ひびわれ限界は約 $l/8$ 、としており以下の考察より最大主応力ひずみはせん断スパンのほぼ $1/2$ の点に起こることなどから(1)式を定義したものである。

以上よりの本実験の3点荷重のせん断スパンを計算すると以下のごとくなる。

供試体 A : $R = P/2 = V$, $M_0 = P/3 \times 18 + P/3 \times 100 = 118P/3$, $a_0 = M_0/V = 78.7cm$

供試体 B : $R = 325P/600 = V$, $M_0 = P/3(18 + 75) = 93P/3$, $a_0 = 57.2cm$

供試体 C : $R = 350P/600 = V$, $M_0 = P/3(18 + 50) = 68P/3$, $a_0 = 38.9cm$

供試体 D : $R = P/2 = V$, $M_0 = P/2 \times 18 = 9P$, $a_0 = 18.0cm$

はり側面において、最大主応力ひずみを生ずる位置を調べてみると、Table 3のごとくであった。

Table 3 Gauge positions of maximum strain value

Steel bar beam							Deformed steel bar beam							
URC			ORC				URC				ORC			
A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
a_4	a_3	a_3	a_3	a_4	a_1	a_2	a_4	a_4	a_4	a_3	a_4	a_1	a_1	a_2

これによると丸鋼ばりでは URC の場合、供試体 B, C はゲージ a_3 が最大となっており、この位置はせん断スパン a_0 の $1/2$ の点である。供試体 A はゲージ a_4 が最大で $a_0/2$ の近傍のゲージである。ORC の場合、供試体は A, D は $a_0/2$ 点のゲージが最大、供試体 B, C は

それぞれ $a_0/2$ 点の近傍および直接せん断区間のゲージ、すなわち支点より 45° の傾きの線上のゲージである。

異形丸鋼ばりでは、URC の場合、供試体 A, B, C は $a_0/2$ 点近傍のゲージ、供試体 D は a_0 点のゲージが最

大となつている。ORCの場合、供試体Aは $a_0/2$ 点近傍のゲージ、供試体B, C, Dはいずれも直接せん断区間のゲージが最大となつている。

これらの内、せん断破壊およびせん断曲げ破壊した供試体は、大体C, Dが多く、これらのはりについて最大主応力ひずみを考察してみると、供試体Cの場合は、支点とこれに最も近い荷重とを結んだ 45° の傾きの線上のゲージ a_1 と、ゲージ a_4 とが一般に大きなひずみを生じており、それらの中間のゲージ a_2, a_3 が小さく、そのひずみ図は両端が高く、中間がくぼんだ形となる。この理由として考えられるのは、Fig.14のごとく、 a_1 では荷重 P_1 による直接せん断の影響を受け、斜めひびわれを生ずる位置ゆえ、そのひずみも大となり、 a_4 では P_2 直下の曲げひびわれを生ずる力 T と、それに共軛な力 C との合力 R の影響を受けるように、 P_2 付近つまり等価せん断スパン a_0 の付近のひずみが大なるものと考えられる。また、せん断破壊した供試体Dでは、等価シャーpspan a_0 の1/2の点在最

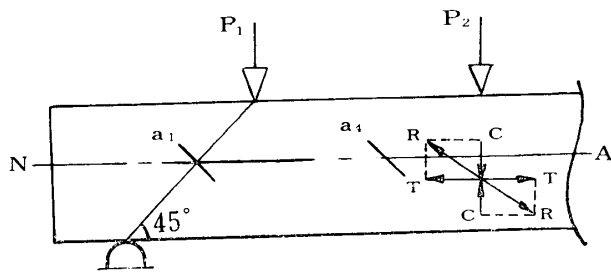


Fig.14

大となつているが、これは斜めひびわれを生ぜしめる主引張り応力 σ_1 により大きなひずみを生ずるものといえる。

はりスパン中央の曲げひずみの分布より、はり供試体の中立軸の位置について検討してみると、既報³⁾の3点載荷実験の場合と同様の傾向が見られた。すなわち丸鋼、異形丸鋼よりも低鉄筋ばりは荷重が増すにつれ中立軸の位置も漸次上昇するが、過鉄筋ばりについては、ほとんど同一高さを保ち、破壊直前に下る結果を示した。

4.2 鉄筋コンクリートばりの破壊領域の判定

本実験においては、以下の2つの判定法によりはりの破壊領域の判定を試みた。

(1) $a/d \geq 10\mu k$ ¹⁾による判定

既報¹⁾の a/d による破壊領域判定の基準に従つて、はり供試体の破壊の判定を行なつた。以下BFは曲げ破壊、B-SFは曲げせん断破壊、SFはせん断破壊を表わす。

a) 丸鋼ばりの場合

Table 4 に示すごとく低鉄筋ばりで、各はり供試体とも実際の破壊状態と良く一致しており、過鉄筋ばりでは供試体A, Dが判定通りの状態を示している。供試体B, Cは a/d の実験値と計算値との比較および実際の破壊供試体のひびわれの状態などより判断して、その判定のごとくB-SFおよびSFとも考えられる。

Table 4 Judgements of modes of failure of steel bar reinforced concrete beams by a/d

Specimens	U R C			O R C			
	A	B	C	A	B	C	D
Each terms							
$As, \text{ cm}^2$	3.93	3.93	3.98	7.96	7.96	7.96	7.96
$b, \text{ cm}$	12.1	12.3	12.0	12.2	12.2	12.1	12.2
$h, \text{ cm}$	18.2	18.4	18.3	18.4	18.3	18.4	18.4
$d, \text{ cm}$	15.4	15.5	15.6	14.1	13.7	14.0	14.0
$bd, \text{ cm}^2$	186	191	187	172	167	169	171
$d', \text{ cm}$	2.8	2.9	2.7	4.3	4.6	4.4	4.4
$p, \%$	2.14	2.08	2.13	4.63	4.77	4.71	4.65
$\sigma_{sy}, \text{ kg/cm}^2$	2,995	2,995	2,995	2,995	2,995	2,995	2,995
$\sigma_{cy}, \text{ kg/cm}^2$	285	260	285	322	322	274	274
γ_y	10.5	11.5	10.5				
$p\gamma_y$	0.225	0.239	0.224				
k	0.270	0.287	0.269	0.601	0.605	0.632	0.630
a/d (Formula)	1.53~2.25	1.62~2.39	1.52~2.24	3.40~5.01	3.42~5.05	3.57~5.26	3.56~5.25
a/d (Experiment)	5.11	3.69	2.49	5.58	4.18	2.78	1.29
Judgement	BF	BF	BF	BF	B-SF	SF	SF
Mode of failure (Experiment)	BF	BF	BF	BF	BF	B-SF	SF

b) 異形丸鋼ばりの場合

この a/d の破壊判定基準が適用できることを立証しており、過鉄筋供試体 B, C も丸鋼ばりでの考察と同じく、その判定のごとく考えることもできる。

Table 5 に示すとおりであるが、丸鋼ばりと同様に低鉄筋各供試体ばり、および過鉄筋供試体 A, D は

Table 5 Judgements of modes of failure of deformed steel bar reinforced concrete beams by a/d

Specimens Each terms	U R C				O R C			
	A	B	C	D	A	B	C	D
A_s , cm ²	3.80	3.80	3.80	3.80	7.60	7.60	7.60	7.60
b , cm	12.1	12.2	12.1	12.1	12.2	12.1	12.1	12.0
h , cm	18.4	18.3	18.3	18.3	18.4	18.4	18.4	18.5
d , cm	15.6	15.5	15.2	15.2	13.8	13.6	13.8	14.1
bd , cm ²	189	189	184	184	168	165	167	169
d' , cm	2.8	2.8	3.1	3.1	4.6	4.8	4.6	4.4
p , %	2.01	2.01	2.07	2.07	4.52	4.61	4.55	4.50
σ_{sy} , kg/cm ²	3,740	3,740	3,740	3,740	3,740	3,740	3,740	3,740
σ_{cy} , kg/cm ²	271	271	286	286	274	274	279	279
γ_y	13.8	13.8	13.1	13.1				
pr_y	0.277	0.277	0.271	0.271				
k	0.333	0.333	0.325	0.325	0.623	0.628	0.623	0.621
a/d (Formula)	1.88~2.77	1.88~2.77	1.84~2.71	1.84~2.71	3.52~5.19	3.55~5.23	3.52~5.19	3.51~5.24
a/d (Experiment)	5.04	3.69	2.56	1.18	5.70	4.21	2.82	1.28
Judgement	BF	BF	B-SF	SF	BF	B-SF	SF	SF
Mode of failure (Experiment)	BF	BF	B-SF	SF	BF	BF	B-SF	SF

丸鋼ばり、異形丸鋼ばりともに a/d の実験値および計算値による比較判定の結果は、実際の破壊の状態ときわめて良い近似を示しており、この a/d による破壊領域判定の基準が本実験の場合にも適用可能であることが立証された。

(2) 破壊曲げモーメント M_u による判定

既報²⁾の破壊曲げモーメントの理論式に基づいて、はり破壊の性状を考察することにする。

いま、供試体 A の荷重状態においては最大曲げモーメントは $M = P/2 \times 100 - P/3 \times 82 = 68P/3$

$$\therefore P = 3M/68$$

これが破壊時には

$$P_o = 3M_u/68$$

ここに P_o : 計算上よりの破壊荷重

M_u : 破壊曲げモーメント

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

ただし、 $\mu = n/n + 1$, $\nu = n/2n + 1$

($n = 5$ のとき、 $\mu = 0.833$, $\nu = 0.455$)

同様にして、

供試体 B : $P_o = 8M_u/173$

供試体 C : $P_o = 6M_u/111$

供試体 D : $P_o = M_u/9$

以上より求めた P_o と、実際の破壊荷重 P_u とを比較し、 P_u が P_o に到達する以前にはりが破壊を起こした場合をせん断破壊、 P_u がほぼ P_o に近い状態での破壊をせん断曲げ破壊、 P_u が P_o を越えた場合での破壊を曲げ破壊として判定を行なった。

すなわち、

$$P_o > P_u \sim \text{せん断破壊}$$

$$P_o \approx P_u \sim \text{曲げせん断破壊}$$

$$P_o < P_u \sim \text{曲げ破壊}$$

a) 丸鋼ばりの場合

Table 6 に示すように、低鉄筋ばりでは、この方法による判定と実際破壊とが良く一致している。過鉄筋供試体ばり A, B では、判定は **B-SF**、実際の破壊は **BF** と両者が異なっているが、その破壊荷重 P_o, P_u を比較すると、ほぼ近似的な値であり、この **B-SF** の判定を **BF** と見なしても良いと思われる。また供試体 C はその判定においては明らかに **BF** であり実際の破壊と異なっている。供試体 D は良く一致している。

b) 異形丸鋼ばりの場合

Table 7 に示す結果となつたが、低鉄筋ばりにおいて供試体 C の判定が実際の破壊様相と異なっているが、これもその破壊荷重 P_o, P_u は近似的な値であり、

Table 6 Judgement of modes of failure of steel bar reinforced concrete beams by M_u

Each terms		k	$\sigma_{cy}, \text{kg/cm}^2$	bd^2, cm^3	$M_u, \text{kg}\cdot\text{cm}$	P_o, t	P_u, t	Judge.	Mode of failure (Experiment)
Specimen									
U	A	0.270	285	2,864	161,000	7.1	8.4	BF	BF
R	B	0.287	260	2,961	160,000	7.4	8.7	BF	BF
C	C	0.269	285	2,917	163,400	8.8	10.5	BF	BF
O	A	0.601	322	2,425	284,000	12.5	12.0	B-SF	BF
R	B	0.606	322	2,288	269,400	12.5	11.7	B-SF	BF
C	C	0.632	274	2,366	243,100	13.1	14.7	BF	B-SF
	D	0.630	274	2,394	245,500	27.3	24.0	SF	SF

Table 7 Judgement of modes of failure of deformed steel bar reinforced concrete beams by M_u

Each terms		k	$\sigma_{cy}, \text{kg/cm}^2$	bd^2, cm^3	$M_u, \text{kg}\cdot\text{cm}$	P_o, t	P_u, t	Judge.	Mode of failure (Experiment)
Specimen									
U	A	0.333	271	2,948	188,000	8.3	9.3	BF	BF
R	B	0.333	271	2,930	187,000	8.6	10.2	BF	BF
C	C	0.325	286	2,797	184,500	10.0	11.7	BF	B-SF
	D	0.325	286	2,797	184,500	20.5	18.0	SF	SF
O	A	0.623	274	2,318	236,100	10.4	12.0	BF	BF
R	B	0.628	274	2,244	229,800	10.6	12.0	BF	BF
C	C	0.623	279	2,305	239,100	12.9	13.5	BF	B-SF
	D	0.621	279	2,383	246,700	27.4	30.0	BF	SF

破壊写真に見るように、その決定的な破壊を考えればBFと判定しても妥当のように思われる。その他の供試体においては、良く一致する結果が得られた。過鉄筋ばかりでは、明らかに異なつた判定は供試体Dの場合であるが、他の供試体A, B, Cでは、ほぼ近似的あるいは良く一致した結果が得られた。

以上のごとく、この破壊曲げモーメント M_u による判定結果が実際のより破壊機構とほぼ合致し、この判定方法を適用してはり破壊領域を推定できるものと思われる。

5. 結 言

1) たわみについて

丸鋼、異形丸鋼ばかりともに、鉄筋量が大きなるほどはりの曲げ剛性の影響によりたわみは小さく、異形丸鋼はその付着効果により理想的弾性線となりたわみを減ずる要素となつている。

2) 等価せん断スパンについて

等価せん断スパン a_0 を本文に示すごとく定義することにより、従来より多く研究されている1点、2点荷重実験の場合をはじめ、3点荷重以上の多点荷重の場合における対称、非対称荷重を問わず、またさらには各載荷重の等、不等を問わず、力学的な意味をもつたせん断スパンを計算することができる。

3) ひずみについて

Vol.19 No.1 (1968)

せん断スパン a_0 において、主応力ひずみが大きく生ずる位置は、本実験結果よりすれば、ほぼ $a_0/2$ および a_0 付近であることがわかつた。ひずみの大なる現象はそれが直接的に、あるいは間接的に破壊へ導く要素であり、最大主応力ひずみについての考察をせん断スパンとともに論ずるのは適切であるように思われる。

4) はりの破壊様相の判定について

a/d による破壊判定の基準に従つた判定が本実験の場合、実際のより破壊機構ときわめて良く一致する結果を得、また破壊曲げモーメント M_u を用いて行なつた判定方法でも、本文に述べたごとく、非常に良い近似を示した。

終りに、本実験にご協力頂いた長谷川博氏(山口大学工業短期大学部)、久保一(神戸市役所)、原暢彦(兵庫県庁)両君に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 加賀美一二三:土木学会論文集, 92 (1963).
- 2) 加賀美一二三:土木学会論文集, 19 (1954).
- 3) 加賀美一二三:山口大学工学部研究報告, 18, No. 1 (1967).
- 4) R. H. Bryant, A. C. Bianchini, J. J. Rodriguey, C. E. Kesler: Shear Strength of Two Span Continuous Reinf. Conc. Beams with Multiple Points Loading, ACI 59, No. 9 (1962).
- 5) W. J. Krefld, C. W. Thurston: Studies of the Shear and Diagonal Tension Strength of Simply Supported Reinf. Conc. Beams, ACI 63, No. 4 (1966).

(昭和43年3月7日受理)