

多点負荷による鉄筋コンクリートばりの力学的考察

山口大学工学部 正 員 工博 加賀美一二三

山口大学大学院 学生員 ○平 野 竜

兵 庫 県

原 暢彦

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、本報告においては昨年度に続き静的に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 σ_1 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⁽²⁾の σ_1 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、あらたに等価シアースパン(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⁽¹⁾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、シアースパンを、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、既発表のシアースパンの概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シアー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、一般のシアースパンの場合においても力学的解釈ができる。さらに σ_1 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。

以上のような趣旨にて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、以下にその概要を述べることにする。

表-1 コンクリートの示方配合

各項目 供試体	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 (%)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
丸鋼ばり	20	4±1	1	68.6	4.0	194	283	717	1139
異形丸鋼ばり	20	4±1	2	68.4	4.0	188	275	715	1136

2. 使用材料および試験方法

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、コンクリートの示方配合は表-1 のとおりである。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 2995 kg/cm², 異形丸鋼は 3740 kg/cm² である。

はり供試体は、幅 12cm, はり高さ 18cm, はり全長 2.3m とし、低鉄筋ばりは、丸鋼ばり 4 本, 異形丸鋼ばり 4 本, 過鉄筋ばりは前者と同様に各 4 本ずつ造形した。

図-1 はり供試体構造図

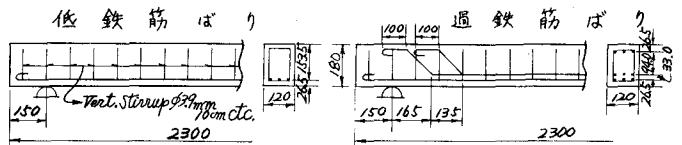
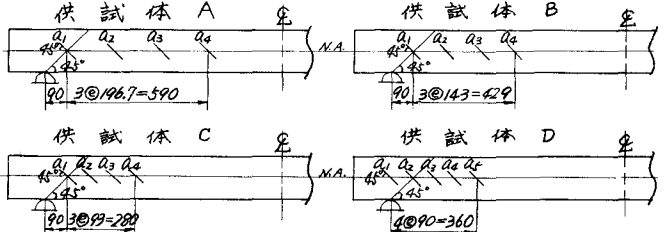


図-2 ペーパーゲージ貼付位置



その構造図は図-1のごとくである。また、はり供試体の両側面対称位置に、ペーパーゲージを図-2のごとく貼付し、その平均値をその位置のひずみとした。なお載荷状態は図-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態について調べた。

(1) 等価シアースパン

はりスパンを2等分し、支点反力の異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、その支点反力に或る値 a_0 を掛けたものに等しいとおいた場合の、この a_0 を等価シアースパン(equivalent shear span)と定義する。

本実験の3点載荷の場合は以下のごとくである。

$$\text{供試体A: } R = \frac{1}{2}P = V, M_0 = \frac{P}{3} \times 18 + \frac{P}{3} \times 100 = \frac{118}{3}P, a_0 = \frac{M_0}{V} = \frac{236}{3} = 78.7\text{cm}$$

$$\text{供試体B: } R = \frac{325}{800}P = V, M_0 = \frac{P}{3}(18+75) = \frac{93}{3}P, a_0 = \frac{M_0}{V} = 57.2\text{cm}$$

$$\text{供試体C: } R = \frac{350}{800}P = V, M_0 = \frac{P}{3}(18+50) = \frac{68}{3}P, a_0 = \frac{M_0}{V} = 38.9\text{cm}$$

$$\text{供試体D: } R = \frac{1}{2}P = V, M_0 = \frac{P}{2} \times 18 = 9P, a_0 = \frac{M_0}{V} = 18.0\text{cm}$$

3. 実験結果および考察

(1) たわみについて。丸鋼はり、異形丸鋼はりともに、低鉄筋はりより過鉄筋は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はたらいっていることがわかる。さらに丸鋼はりより異形丸鋼はりの方がたわみは小さく、異形鉄筋の付着効果を良く示している。

(2) ひずみについて。せん断破壊およびせん断曲げ破壊をしたはり供試体は一般的にC, Dの荷重状態が多く、これらのはり供試体について斜最大ひずみの誘起される位置を考察してみると、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、中間のゲージ a_2, a_3 が小さく、そのひずみ図の形状は、いわゆるお椀形を成している。

この理由としては、図-4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、それと共軌な力 C との合力 R の影響を受けるように P_2 付近つまり等価シアースパン a_0 の付近のひずみが大きく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、等価シアースパン a_0 の $\frac{1}{2}$ の点で最大となっている。これは斜めひびわれを生ぜしめる主引張応力 σ_1 により大きなひずみを生ずるものと考えられる。

以上により、シアースパン a_0 ならびに $\frac{1}{2}a_0$ 付近のひずみについては今後の研究においても一層考慮すべきものと思われる。

4. 鉄筋コンクリートはりの破壊領域の判定

(1) $a/d \leq 10\mu\epsilon$ による判定⁽²⁾

文献(2)による破壊領域判定の結果は表-2のごとくなり、実際の破壊状態と比較すると、丸鋼はりでは、過鉄筋供試体はりCが、また異形丸鋼はりでは過鉄筋供試体はりB, Cが実際とは多少合わない点が見出されたが、その他のはりはずべて一致し、この a/d による破壊領域判定の基準がほぼ適用できるものと思われる。

図-3 載荷状態

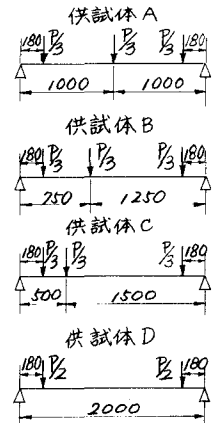


図-4

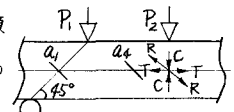


表-2

供試体 各項目	丸 鋼 筋				異 形 丸 鋼 筋										
	低 鉄 筋		過 鉄 筋		低 鉄 筋		過 鉄 筋								
	A	B	C	D	A	B	C	D							
φd(計算値)	153~225	162~239	152~224	340~501	342~505	357~526	356~525	188~277	184~277	184~271	352~519	355~523	352~519	351~514	
φd(実験値)	5.11	3.69	2.49	5.58	4.18	2.78	1.29	5.04	3.69	2.56	1.18	5.70	4.21	2.82	1.28
判定	BF	BF	BF	BF	B-SF	SF	SF	BF	BF	B-SF	SF	BF	B-SF	SF	SF
実際の破壊	BF	BF	BF	BF	BF	B-SF	SF	BF	BF	B-SF	SF	BF	BF	B-SF	SF

(2) 破壊曲げモーメント M_u を用いた判定

図-3より供試体Aの最大曲げモーメントは、 $M = \frac{P}{2} \times 100 - \frac{P}{3} \times 82 = \frac{68}{3} P$

ゆえに、 $P = \frac{3}{68} M$ 。これが破壊時には、 $P_0 = \frac{3}{68} M_u$ とおける。同様に供試体B
; $P_0 = \frac{8}{173} M_u$, 供試体C; $P_0 = \frac{6}{111} M_u$, 供試体D; $P_0 = \frac{1}{9} M_u$ である。ここに M_u は

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

但し、 $\mu = \frac{n}{n+1}$, $\nu = \frac{n}{2n+1}$ ($n=5$ のとき $\mu = 0.833$, $\nu = 0.455$)

以上より求めた P_0 と、実際の破壊荷重 P_u とを比較し

$$P_0 \begin{matrix} > \\ = \\ < \end{matrix} P_u \quad \begin{matrix} \sim \\ \sim \\ \sim \end{matrix} \begin{matrix} \text{せん断破壊} \\ \text{せん断曲げ破壊} \\ \text{曲げ破壊} \end{matrix} \quad \text{----- (b)}$$

により破壊の判定を行なう。

以上の方法での結果が表-3である。これより明らかに実際とくい違

た判定は、丸鋼ばりでは過鉄筋供試体Aおよび異形丸鋼ばりでは過鉄筋供試体Dであり、丸鋼過鉄筋
供試体B、Cは、実際の破壊状態と比較して、その判定は確然としたものではないがほぼ考えられる状
態である。つまり前者はBFに近いB-SFであり、後者はB-SFに近いBFである。以上の考えで、
他の供試体ばりも表-3のごとき結果となった。

5. 結 言

(1) たわみについて。丸鋼、異形丸鋼ばりともに、鉄筋量が異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弾性線となりたわみを減ずる要素となる。

(2) 等価シアースパンについて。等価シアースパン a_0 を本文のごとく定義することにより、1点
2点荷重の場合をはじめ、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ったシアースパンを計算することができる。

(3) ひずみについて。シアースパン a_0 内において、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 および $\frac{1}{2}a_0$ 付近であることがわかった。ひずみが大きいということは、それが
直接的あるいは間接的に破壊へ導く要素であり、最大主応力ひずみの考察はシアースパンとともに
論ずるのが適切であると思われる。

(4) 破壊判定について。丸鋼、異形丸鋼ばりともに、破壊荷重を用いて計算した実験上からのφd
と理論計算によるφdとの比較判定の結果は、実際の破壊状態と良く一致する結果を得、この破壊領域
判定基準の適用が可能であることが立証できたものと思われる。また曲げ理論式による判定も実際の
はり破壊機構とほぼ合致し、この判定方法にてもはりの破壊の領域を推定することができるものと思わ
れる。

終りに、本実験にご協力頂いた長谷川博、三浦正昭、久保一の三氏に感謝する次第である。

参考文献 (1) 加賀美; 土木学会論文集, 19 (1954)

(2) 加賀美; 土木学会論文集, 92 (1963)

表-3

供試体 各項目		$P_0(x)$	$P_u(x)$	判定	実際の破壊		
丸 鋼 ば り	低 鉄 筋	A	2.1	8.4	BF	BF	
	過 鉄 筋	B	2.4	8.7	BF	BF	
		C	8.8	10.5	BF	BF	
		D	12.5	12.0	B-SF	BF	
		低 鉄 筋	A	12.5	11.7	B-SF	BF
	B		13.1	14.7	BF	B-SF	
	C		27.3	24.0	SF	SF	
	D		8.3	9.3	BF	BF	
異 形 丸 鋼 ば り	低 鉄 筋	B	8.6	10.2	BF	BF	
	過 鉄 筋	C	10.0	11.7	BF	B-SF	
		D	20.5	18.0	SF	SF	
		低 鉄 筋	A	10.4	12.0	BF	BF
			B	10.6	12.0	BF	BF
	C		12.9	13.5	BF	B-SF	
	D		27.4	30.0	BF	SF	