

[2058] 張出しを有する RC ばりのせん断強度に関する研究

正会員 ○古内 仁 (北海道大学工学部)

正会員 角田与史雄 (北海道大学工学部)

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材のせん断強度および破壊形態に関する研究の発展は目ざましいものがあり、従来に比べて優れた設計法の提案が種々成されている。しかし、実験は主に単純ばりのせん断耐荷挙動などに集中しており、連続ばりのように中間支点到に曲げモーメントが作用する場合のせん断強度などの研究については極めて少なく、なお不明確な点も多い。

本研究は、鉄筋コンクリート連続ばりの様な中間支点到に曲げモーメントが作用する場合のせん断強度を調べるため、鉄筋コンクリート張出しばりを用いて実験を行い、その結果を考察したものである。

2. 実験概要

本研究では、図-1に示すような張出しを有する鉄筋コンクリートばりの供試体を用い、二種類の荷重方法により実験を行った。荷重方法は、図-2に示すように、シリーズIではスパン内1点荷重、シリーズIIではスパン内4点または5点の多点荷重をおこなった。両シリーズとも支点到に曲げモーメントを作用させるため、張り出し端部に荷重を行い、支点到から荷重点までの距離と張り出し端部の荷重の大きさによって、支点到曲げモーメントの大きさを調節した。なお、荷重板の幅はすべて5cmとした。

供試体は、断面の高さ25cm、有効高さ20cm、断面幅15cm、引張鉄筋比3.38%を一定とし、表

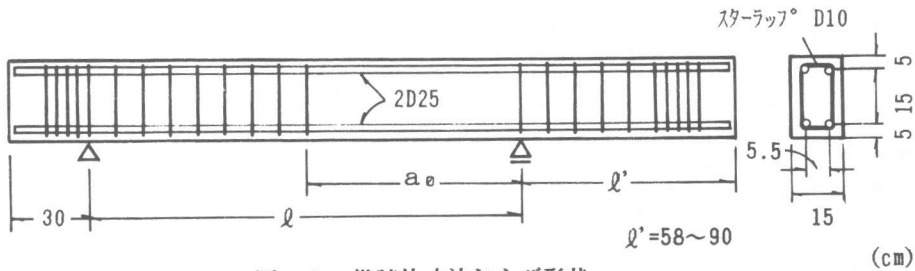


図-1 供試体寸法および形状

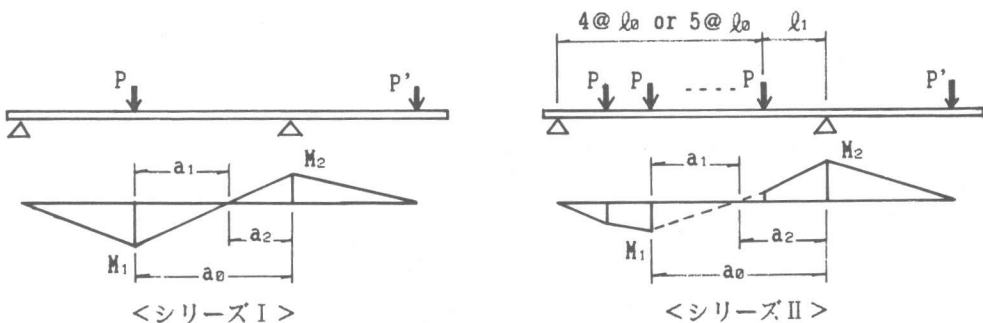


図-2 荷重方法

- 1 および表-2 に示すように、
変数は正曲げモーメントと負曲
げモーメントの最大値の比とし、
さらにシリーズ I ではせん断ス
パン a_0 、シリーズ II では載荷点
間隔および本数などを変数とし
た。ただし、供試体 II-03 のみ
支間 $l=170\text{cm}$ とし、その他のす
べての供試体は $l=160\text{cm}$ とした。
なお、表中の P_u 、 P_u' は破壊時の
 P 、 P' をあらわす。

また、供試体には予め破壊予
定範囲を決め、破壊予定範囲以
外はスターラップにより補強を
行った。

コンクリートは、目標強度 30
 0kgf/cm^2 および 270kgf/cm^2 で早
強ポルトランドセメントおよび
天然骨材を使用した。主鉄筋は
 $2D25$ であり、せん断補強を行
う場合には、 $D10$ スターラッ
プを使用した。これらの鉄筋
はいずれも異形棒鋼SD35であ
る。試験材令は原則として 7
日とし、試験前日まで湿布養
生を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 本研究で使用するせん断耐力算定式

単純ばりのせん断耐力に対する算定式として二羽ら¹⁾²⁾は次式を提案している。

$$V_u = 0.94(p_w \cdot f_c')^{1.03} \cdot (d/100)^{-1.4} \cdot [0.75 + 1.4/(a/d)] b_w d \quad \dots\dots (1)$$

また、ディープビームの場合には次式を提案している。

$$V_u = 0.53(f_c')^{2.3} \cdot (1 + \sqrt{p_w}) (1 + 3.33r/d) b_w d / [1 + (a/d)^2] \quad \dots\dots (2)$$

以上において、
 V_u : 終局せん断耐力(kgf) f_c' : コンクリート圧縮強度(kgf/cm²)
 a : せん断スパン(cm) d : 有効高(cm) b_w : ウェブ幅(cm)
 A_s : 引張鉄筋断面積(cm²) r : 載荷板幅(cm)
 $p_w = 100 \cdot A_s / (b_w d)$

表-1 供試体(シリーズ I)

No.	f_c' (kgf/cm ²)	a_0 (cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)	M_1/M_2	P_u (kgf)	P_u' (kgf)
01	304	128	64.3	63.7	1.01	15990	8010
02	307	128	0.0	128.0	0.0	4250	12740
03	375	96	2.8	93.2	0.03	5350	8650
04	300	96	55.4	40.6	1.36	14000	7000
05	294	64	32.2	31.8	1.01	11000	5500
06	336	128	22.3	105.7	0.21	6460	12940
07	331	128	71.6	56.4	1.27	19290	7710
08	300	96	18.9	77.1	0.25	7720	9280
09	299	96	4.6	91.4	0.05	5070	10130
10	319	64	15.5	48.5	0.32	11100	11100
11	266	64	29.8	34.2	0.88	10900	7100
12	284	80	40.0	40.0	1.00	9200	4600
13	284	80	26.6	53.4	0.50	9821	7379
14	252	80	53.4	26.6	2.00	7614	2293
15	252	96	48.0	48.0	1.00	8667	4333
16	252	96	32.0	64.0	0.50	8618	4819
17	259	64	32.0	32.0	1.00	12059	5441
18	259	64	21.4	42.6	0.50	11474	7526
19	269	96	38.4	57.6	0.67	10150	6850
20	269	64	25.6	38.4	0.67	10430	5370

表-2 供試体(シリーズ II)

No.	f_c' (kgf/cm ²)	支間内 載荷数	l_0 (cm)	l_1 (cm)	a_0 (cm)	M_1/M_2	P_u (kgf)	P_u' (kgf)
01	286	4	32	32	96	0.997	4800	9600
02	280	4	32	32	96	0.495	4600	9200
03	288	5	24	50	122	0.300	2150	6450
04	304	5	24	40	112	0.200	2700	8100

これらの式は実験結果との適合性が良いようであるので、本実験におけるせん断耐力算定の基本式として使用することにする。

3.2 支点モーメントの作用するRCはりのせん断強度

池田ら²⁾は、はりのせん断強度に対する曲げモーメントの影響について研究し、単純ばりのせん断強度に対するせん断スパン比 a/d の影響を、曲げモーメントせん断力比 M/Vd の影響に置きかえることにより、評価できることを示している。

図-3は、シリーズIの実験におけるひびわれ状況と曲げモーメント分布およびせん断力分布の一例を示している。曲げモーメント分布を反曲点を境に左側部分と右側部分に分けて考えると、それぞれが反曲点を支点とみなしたときの単純ばりの曲げモーメント分布に対応している。その際、反曲点は支点に相当しているが間接支持となっている点が単純ばりと異なる。

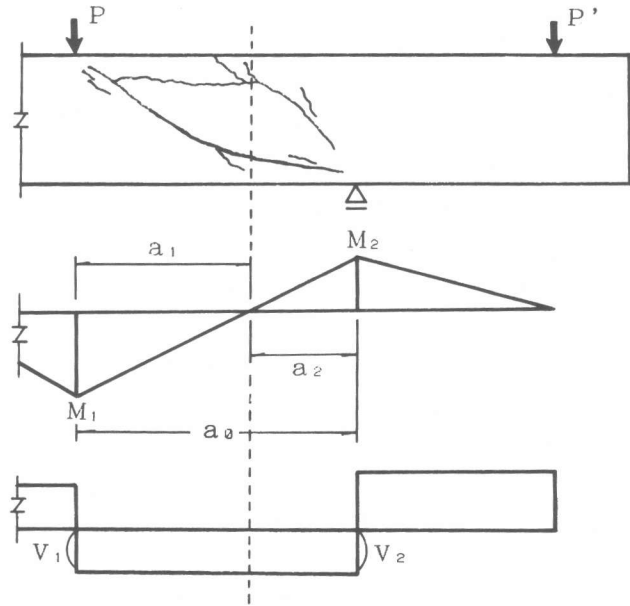


図-3 破壊状況 (シリーズI)

表-3 計算結果 (シリーズI)

No.	Vtest[1] (tonf)	Vucal[2] (tonf)	Vocal[3] (tonf)	[1]/[2]	[1]/[3]
01	5.314	5.043	4.121	1.05	1.29
02	4.260	4.134	4.134	1.03	1.03
03	5.358	4.792	4.752	1.12	1.13
04	7.493	5.316	4.412	1.41	1.70
05	8.241	10.17	5.507	0.81	1.50
06	4.580	4.464	4.261	1.03	1.07
07	5.955	4.994	4.239	1.19	1.40
08	5.958	4.714	4.412	1.26	1.35
09	4.722	4.469	4.407	1.06	1.07
10	9.533	5.738	5.133	1.66	1.86
11	8.315	8.714	4.832	0.95	1.72
12	6.133	7.144	4.574	0.86	1.34
13	7.372	5.299	4.574	1.39	1.61
14	4.596	5.092	4.369	0.90	1.05
15	4.906	5.328	4.162	0.92	1.18
16	5.741	4.745	4.162	1.21	1.38
17	9.052	9.436	4.789	0.96	1.89
18	9.396	6.067	4.789	1.55	1.96
19	6.344	5.048	4.254	1.26	1.49
20	7.953	7.351	4.850	1.08	1.64

ひびわれ図にみられるように、 M_1/M_2 の値が極端に小さな供試体を除けばせん断スパンには通常二本の大きなせん断ひびわれが観察される。これらのひびわれは最終的には反曲点を跨いでいるが、元来は載荷点または支点と反曲点との間で斜めに発達したものであり、各々正曲げモーメントと負曲げモーメントに影響されたものと考えられる。これらのことを考慮すると、破壊に対してのせん断耐力は、その主要因子である a/d を M_1/V_1d または M_2/V_2d に置き換えて算定できる可能性を示している。すなわち、算定式に用いるせん断スパン比 a/d は a_1/d

dおよび a_2/d に置き換えることになる。その場合、はり自体のせん断耐力はこれらの二つの計算結果の小さいほうを選択することによって求めることができる。実験の破壊状況からも、破壊を起こすひびわれは a_1 、 a_2 の大きい方によるひびわれとなっており、その裏付けとなっている。

表-3は、上記の方法によって(1)式または(2)式を用いて行った場合の計算結果と実験値を示したものである。実験値を V_{test} 、上記の方法による計算値を V_{ucal} 、また参考までにせん断スパン a として $a_0 = a_1 + a_2$ を用いた場合の計算値 V_{ocal} も示した。

図-4は、これらの計算結果と実測値を $f_c' = 300 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に換算して比較したものである。実線が(1)式および(2)式を示しており、○印および×印は実測値で前者は a/d を a_1/d または a_2/d の大きい方を選択したもの、後者は a/d を a_0/d としたものである。この図にみられるように、 a/d を a_0/d とした方法は、実測値に対して過小な算定値を与えている。それに対して a/d を a_1/d または a_2/d とするほうが、実測値の適合性が非常に良くなっていることがわかる。

シリーズIIは、シリーズIと同じ断面のはりを用いて、スパン内に数本の荷重を行ったものである。破壊形態は図-5のひびわれ図に示すように数本のひびわれからなっているが、基本的にはシリーズIと同様に反曲点を境に a_1 と a_2 のそれぞれのせん断スパンによって発達したひびわれのいずれかによって破壊が起こったものと考えられる。

最近の研究において、組合せ荷重によるせん断破壊に対して耐力の計算を行う場合、線形被害則の考え方が取り入れられている。それは、ある破壊位置に対して個々の荷重によるせん断力とそれが単独で作用したときのせん断耐力の比(V_i/V_{ui})をとり、すべての荷重によっ

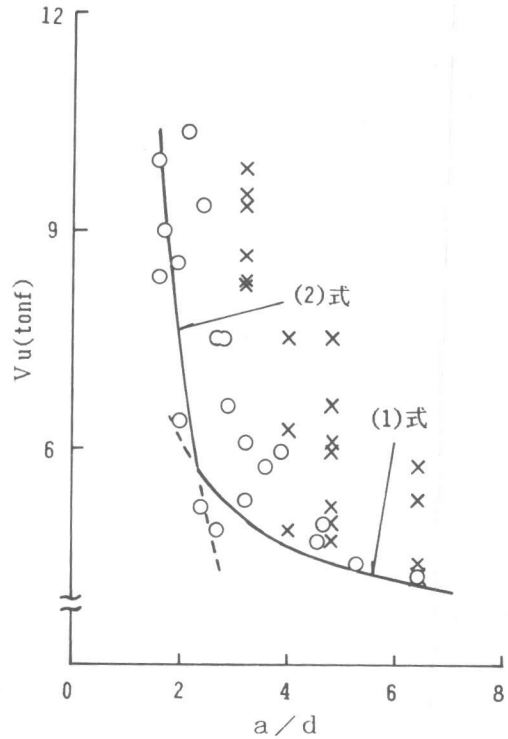


図-4 せん断耐力 (シリーズI)

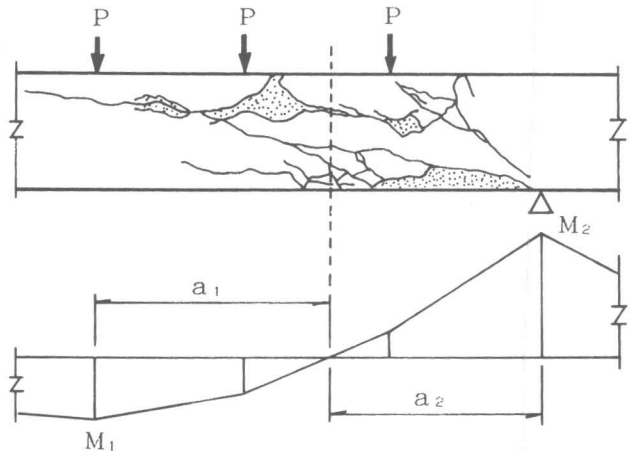


図-5 破壊状況 (シリーズII)

て得られた値を累積するものである。破壊はその累積損傷が1に達したときに起こるとされている。また、せん断強度に及ぼす破壊位置の影響を取り入れた研究¹⁾⁴⁾⁵⁾では、 a/d をとるときのせん断強度はせん断スパン a の中で最も弱い位置で破壊するときに対応しており、 $a/2$ の位置の強度に相当しているという仮定をしている。このとき、破壊位置が a の範囲内で $a/2$ の位置からいずれの方向に対して遠ざかっても強度は増加することになる。石橋らは、この破壊位置の変化に伴う強度の増加に対して次のような方法をとっている。

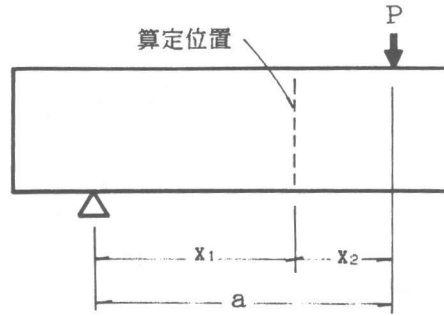


図-6 せん断強度算定位置

例えば、図-6に示すようなせん断スパン a をもつはりにおいて、任意の位置(支点からの距離 x_1)に対するせん断強度を求める場合は、算定式中の a/d を $2x_1/d$ および $2x_2/d$ に置き換えて計算される二つの強度の平均をとる。

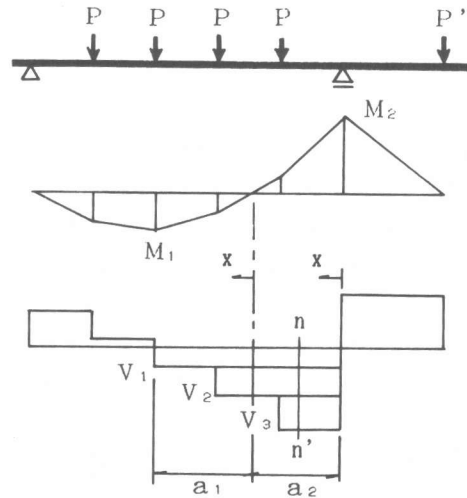


図-7 曲げモーメント分布およびせん断力分布 (シリーズII …… 4点荷重の場合)

シリーズIIでは、以上の手法を参考とし次のような試算を行った。図-7に示すようなモーメント分布、せん断力分布のはりに対して、せん断スパン a_1 、 a_2 の全範囲について計算を行う。各々のせん断スパンにおいて、任意の点 x の累積損傷をとり、その最大値をとる点を破壊位置と仮定した。ただし、任意点に対するせん断力成分は、個々の荷重が単独で作用したときのものとせず、例えば図に示すように破壊点 $n-n'$ に対しては全体の荷重が作用したときのせん断力 V_1 、 V_2 、 V_3 とした。以上の方法により、4本の供試体に対して破壊が生じたときのせん断力を代入して行った計算結果を表-4に示す。この結果、No.01の供試体に対しての累積値は、0.975と妥当な値を得ている。しかし、他の3本の供試体に対しては、いずれも1よりかなり大きな値を示している。それは、累積の方法に起因するものではなく、実際の耐力が計算値よりかなり大きくなってい

表-4 計算結果 (シリーズII)

No.	破壊せん断スパン	破壊位置 x (cm)	V_1/V_{u1}	V_2/V_{u2}	V_3/V_{u3}	V_4/V_{u4}	$\Sigma(V/V_u)$
01	a_2	14	0.172	0.401	0.401	—	0.975
02	a_2	22	0.527	0.787	0.387	—	1.702
03	a_2	27	0.146	0.540	0.540	0.489	1.716
04	a_2	24	0.254	0.423	0.415	0.266	1.359

ると考えられる。これは、計算において各荷重の相互作用などを全く考慮していないことに問題があると思われる。例えば、図-8に示すように4本の供試体の累積損傷の値が最大となった破壊せん断スパン a_0 を抜き取って考えると、No.01以外の供試体には、その a_0 区間に荷重が作用していることがわかる。この荷重によって破壊を起こそうとするひびわれは高さ方向に対して拘束を受け、実際には耐力が増加するものと考えられる。

このように、計算上の破壊位置付近に荷重が作用する場合には、その荷重に対する拘束の影響を何らかのかたちで考慮しなければならないと思われる。

4. まとめ

1) 支点曲げモーメントを有するはりの

スパン内一点荷重の場合のせん断強度算定法として、(1)式および(2)式中の a/d を a_1/d または a_2/d の大きい方に置き換えて算定する方法が有効である。

2) スパン内多点荷重のせん断耐力算定法の一例として、線形被害則の考えに従った計算を示した。基本的にはこの方法による計算は有効と思われるが、破壊ひびわれが荷重の拘束を受ける場合には、実際のせん断耐力が上回ると考えられる。

謝辞：本研究は、北海道大学の木村 勉技官の多大な助力を得た。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 二羽淳一郎、山田一字、横沢和夫、岡村 甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集 第372号/V-5、p.p.167-176、1986.
- [2] 二羽淳一郎：FEM解析に基づくディープビームのせん断耐荷力算定式、第2回せん断コロキウム論文集、p.p.119-126、1983.
- [3] 池田尚治、山口隆裕、野川和宏：鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗に対する曲げモーメントの影響について、第39回 土木学会年次学術講演会講演概要集、p.p.393-394、1984.
- [4] 石橋忠良、斉藤啓一、丸山久一：多点荷重を受けるはりのせん断耐力に関する一考察、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、p.p.517-520、1985.
- [5] 松貝 勇：等分布荷重を受ける鉄筋コンクリートはりのせん断強度の解析、第39回土木学会年次学術講演会講演概要集、p.p.399-400、1984.

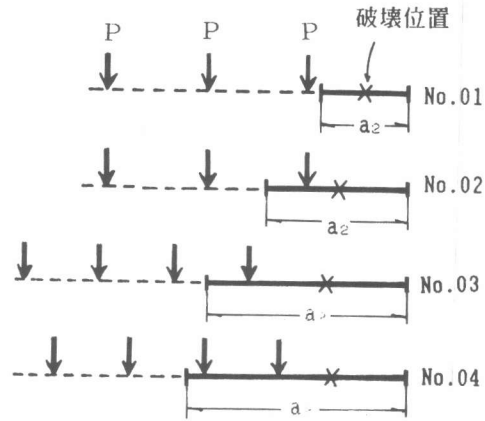


図-8 破壊せん断スパン (シリーズII)