

[130] 多点荷重を受けるはりのせん断耐力に関する一考察

正会員 石橋 忠良 (国鉄構造物設計事務所)
 正会員 ○齊藤 啓一 (国鉄構造物設計事務所)
 正会員 丸山 久一 (長岡技術科学大学建設系)

1. はじめに

せん断補強鉄筋を配置しない鉄筋コンクリートはり (以下、はりという) に、2点集中荷重を載荷させた場合のせん断耐力に関しては、従来から数多くの実験的研究が行なわれ、比較的精度のよいせん断耐力算定式も提案されている。¹⁾

しかし、実構造物における荷重は、多点あるいは分布荷重であることが多く、これらの荷重に対するはりのせん断耐力の算定手法は、非常に重要であるにもかかわらず、必ずしも明確にされているとはいえないのが現状である。

本研究は、同一断面形状・寸法のはりに、4点集中荷重および6点集中荷重を載荷し、それぞれ載荷荷重中心間距離を変化させた場合の実験結果より、多点集中荷重を受けるはりのせん断耐力算定手法を求め、さらに、既往の等分布荷重を受けるはりの実験的研究^{2) 3)} について、本手法を適用することを試み、良好な結果が得られたので報告するものである。

2. はりのせん断耐力に関する基本的な考え方

2.1 2点集中荷重を受けるはりのせん断耐力に関する算定式について

せん断スパン高さ比 (以下 a/d という) が、2.5以上の場合については、岡村・桧貝式(1)¹⁾を、

$$V_u = 0.94 f_c'^{1/3} (0.75 + 1.4 d/a) (1 + \beta_p + \beta_d) b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (1)$$

a/d が 2.5~0.5の場合については、筆者らのフーチングでの実験式(2)⁴⁾

$$V_u = 3.58 f_c'^{1/3} (a/d)^{-1.166} (1 + \beta_p + \beta_d) b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (2)$$

を用いると、比較的良い精度が得られるようである。

a/d の小さな部材については、二羽らの研究⁵⁾ がある。これらの研究を参考とし、設計に用い易いように、図-1に示す載荷板端部と支承板端部間の距離 a_1 をせん断スパンとし、有効高さとの比 a_1/d をパラメータとして、はりのせん断耐力を a/d の小さな領域に対しても、 a/d の大きな領域と連続的に求められるように検討を行った。

その結果、(3)式とすることで、比較的良好的な結果を得ることが出来ることがわかった。

$$V_u = \alpha f_c'^{1/3} (1 + \beta_p + \beta_d) b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\alpha = 0.94 (0.75 + 1.4 d/a_1)$ ただし、 $2.5 \leq a_1/d$
 $\quad = 3.58 (a_1/d)^{-1.166}$ $1.0 \leq a_1/d < 2.5$
 $\quad = 12 / \{1 + 2.35 (a_1/d)^{1.2}\}$ $0 < a_1/d < 1.0$
 $\quad = 12$ $a_1/d \leq 0$

$$\beta_p = \sqrt{P_w} - 1$$

$$\beta_d = (100/d)^{0.25} - 1$$

2.2 集中荷重を受けるはりの任意点におけるせん断耐力について

集中荷重を受けるはりの任意点におけるせん断耐力の概念については、第6回の年講⁶⁾ に既に述べているが、2点集中荷重を受けるはりが、せん断破壊する場合はその破壊面の中心は、せん断スパン a_1 のほぼ $1/2$ 付近であり、(3)式に示されるせん断耐力算定式は、せん断スパン a_1 の $1/2$ 付近におけるせん断耐力を示しているものと考えられる。

従って、載荷板端部から任意の距離 x におけるはりのせん断耐力は(3)式において、式中のせん断スパン a_1 を2倍の x と置換えることで求められる。

また、はりの任意点におけるせん断耐力 V_u は、支点反力の影響を示すせん断耐力 V_{us} と、載荷荷重の影響を示すせん断耐力 V_{ur} の和として示されるとする。そして、 V_{us} は支承板端部から任意点までの距離で、

V_{ur} は載荷板端部から任意点までの距離のそれぞれの関数により表わされるとする。

通常の2点対材載荷の場合は、支点反力と載荷荷重は等しく V_{us} と V_{ur} は同一の関数型で表わされ、

$$V_{ur} = V_{us} = V_u/2 \quad \text{-----} \quad (4)$$

となる。

以上より、載荷板端部から距離 x (支点からは $a_1 - x$) 点におけるはりのせん断耐力 $V_u(x)$ は、(5)式となる。

$$V_u(x) = V_{ur}(x) + V_{us}(a_1 - x) = 1/2 \{V_u(a_1 - 2x) + V_u(a_1 - 2(a_1 - x))\} \quad \text{-----} \quad (5)$$

概念を図-2に示す。

2.3 多点集中荷重を受けるはりのせん断耐力算定手法について

今、図-3に示すように、はりが n 個の集中荷重を受ける場合を考える。 i 番目の集中荷重 $P_{(i)}$ に着目すると、支点より距離 $y_{(j)}$ の検討位置におけるはりのせん断耐力 $V_u(y_{(j)})$ は、

$$V_u(y_{(j)}) = V_{ur}(x_{(i)}) + V_{us}(y_{(j)}) \quad \text{-----} \quad (6)$$

(6)式として求められる。そして、集中荷重 $P_{(i)}$ が $y_{(j)}$ 点のせん断耐力 $V_u(y_{(j)})$ に対して影響を及ぼす比率は、

$$\frac{P_{(i)}}{V_u(y_{(j)},(i)) \times \frac{SPAN}{SPAN - a_{(i)}}} \quad \text{-----} \quad (7)$$

(7)式より求められる。したがって、 n 個の集中荷重が $y_{(j)}$ 点のせん断耐力 $V_u(y_{(j)})$ に対して影響を及ぼす比率の合計は、

$$\sum_{i=1}^n \frac{P_{(i)}}{V_u(y_{(j)},(i)) \times \frac{SPAN}{SPAN - a_{(i)}}} \quad \text{-----} \quad (8)$$

として与えられる。

$y_{(j)}$ を0からSPANまで変化させ、(8)式が最大の値となる点の $y_{(j)}$ が、計算上の破壊位置(以下、 x_{cal} という)となり、計算上の破壊位置 x_{cal} では、

$$\sum_{i=1}^n \frac{P_{(i)}}{V_u(y_{(j)},(i)) \times \frac{SPAN}{SPAN - a_{(i)}}} = 1 \quad \text{-----} \quad (9)$$

(9)式となる。(9)式を解いて計算上の破壊時のはりの載荷荷重 P_{cal} を求めることが出来る。

以上は $y_{(j)} \leq a_{(i)}$ の場合であり、 $y_{(j)} > a_{(i)}$ のときには、(6)

(7)式は、

$$V_u(y_{(j)}) = - \{V_{ur}(y_{(j)} - a_{(i)}) + V_{us}(SPAN - y_{(j)})\} \quad \text{-----} \quad (6')$$

$$\frac{P_{(i)}}{V_u(y_{(j)},(i)) \times \frac{SPAN}{a_{(i)}}} \quad \text{-----} \quad (7')$$

(6')(7')式とする。

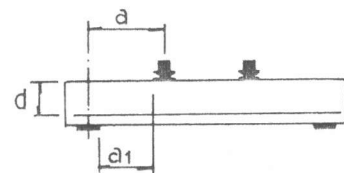


図-1 パラメータについて

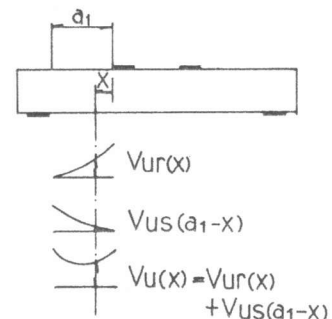


図-2 集中荷重を受けるはりの任意点におけるせん断耐力の概念について

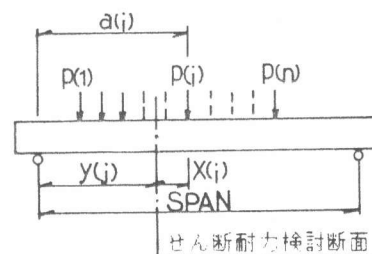


図-3 n 個の集中荷重を受ける場合

3. せん断耐力算定手法の実験による検討

3.1 せん断耐力の実験値と計算値との比較

(a) 多点集中荷重の場合

2で示した考えを、4点集中荷重載荷 13体、及び6点集中荷重載荷 10体の合計 23体の実験を行い検討した。検討に用いた供試体の形状寸法等は、参考文献⁷⁾を参照されたい。実験値と計算値との比較を表-1に示す。全供試体では、実験値/計算値の平均値が 1.09、変動係数が 14.5%となった。載荷荷重中心間距離が 0.5d と小さい。NO.10 とNO.20 の2体を除いた 21供試体では、平均値が 1.06、変動係数 11.8%となり、本手法によって多点集中荷重を受けるはりのせん断耐力を求めることが可能と思われる結果が得られた。

(b) 等分布荷重の場合

既往の等分布荷重を載荷したはりの実験結果に対して、本手法の適用を試みた。計算を行ったのは Leonhardt and Walther²⁾の 12体と、井野ら³⁾の 5体で、いずれもせん断破壊をした供試体であり、合計17体である。検討結果を表-2に示す。これより、全供試体で実験値/計算値の平均値が 1.15、変動係数が 19.6%となる。SPAN/d の値が 10程度以上の 11体では、実験値/計算値の平均値が 1.02、変動係数が 11.1%となることより、本手法が等分布荷重を受けるはりにも適用出来ると思われる結果が得られた。

なお、SPAN/d の小さい部材に対して (3)式による計算値は、実験値に対して低めの値を与え、 a_1/d の小さな領域について、若干、安全すぎるようである。このことは、せん断耐力算定式として、(3)式よりさらに大きな耐力を与えるように検討する必要があることを示している。これは、(3)式を求めるにあたり a_1 を載荷板端部と支承板端部間の距離として、集中荷重の載荷実験よりせん断耐力算定式を求めていることが原因と考えられ、 a_1 をもう少し大きくとることにより、等分布に適合する式が得られるものと思われる。

表-1 実験値と計算値との比較 (多点)

(注) *1: 検討断面は 5cm 毎としている。
*2: 圧:圧縮 引:引張 斜:斜め引張
破壊 破壊 破壊

No	供試体名	実験値		計算値 *1		実験値/計算値 *2		破壊タイプ
		Ptest(t)	Xtest(cm)	Pcal(t)	Xcal(cm)	Ptest/Pcal	A * 3	
1	NO.6	17.95	22.5	15.775	25.5	1.138	-0.111	圧
2	NO.7	11.50	25	10.970	35.5	1.048	-0.389	圧
3	NO.8	9.00	27.5	8.779	40.5	1.025	-0.500	引
4	NO.9	6.70	42.5	8.261	45.5	0.811	-0.111	斜
5	NO.10	16.00	27.5	10.928	25.5	1.464	0.074	圧
6	NO.11	10.36	27.5	9.159	25.5	1.130	0.074	圧
7	NO.12	8.10	40	8.080	40.5	1.002	-0.019	引
8	NO.13	7.25	30	7.683	40.5	0.944	-0.389	斜
9	NO.14	7.80	32.5	7.347	30.5	1.062	0.074	圧
10	NO.15	6.33	37.5	6.605	35.5	0.958	0.074	圧
11	NO.16	6.33	37.5	6.463	35.5	0.979	0.074	斜
12	NO.17	6.60	47.5	5.440	40.5	1.213	0.259	引
13	NO.18	4.25	35	4.964	40.5	0.856	-0.204	斜
14	NO.19	13.42	25	10.563	25.5	1.270	-0.019	圧
15	NO.20	12.50	27.5	8.901	25.5	1.404	0.074	斜
16	NO.21	7.50	25	6.770	30.5	1.108	-0.204	斜
17	NO.22	7.40	30	6.114	35.5	1.210	-0.204	斜
18	NO.23	5.00	30	4.679	40.5	1.069	-0.389	斜
19	NO.24	7.50	27.5	5.903	25.5	1.271	0.074	圧
20	NO.25	5.23	32.5	4.809	35.5	1.088	0.034	斜
21	NO.26	3.98	40	3.962	35.5	1.005	0.167	斜
22	NO.27	4.80	35	4.019	35.5	1.194	-0.019	斜
23	NO.28	2.95	37.5	3.195	40.5	0.923	-0.111	斜

表-2 実験値と計算値との比較 (等分布)

* 検討断面は 0.05 × SPAN 毎としている。

No	供試体名	実験値		計算値 *		実験値/計算値		SPAN/d
		Ptest(t/m)	Xtest(cm)	Pcal(t/m)	Xcal(cm)	Ptest/Pcal	A * 3	
1	11/1	36.73	32	23.845	37.5	1.540	-0.190	5.2
2	11/2	39.75		24.732	+	1.607		+
3	12/1	20.25	33	13.167	40.0	1.538	-0.256	7.3
4	12/2	16.05		13.086	+	1.228		+
5	13/1	11.12	45	9.306	37.5	1.195	0.275	9.2
6	13/2	11.12		9.238	+	1.204		+
7	14/1	7.13	39	6.952	45.0	1.026	-0.220	11.0
8	14/2	7.16		6.952	+	1.030		+
9	15/1	4.77	45	4.667	40.0	1.022	0.184	14.6
10	15/2	5.08		4.662	+	1.090		+
11	16/1	3.85	48	3.350	50.0	1.149	-0.073	18.3
12	16/2	3.83		3.358	+	1.141		+
13	3	3.15	106	3.507	108	0.898	-0.033	12.0
14	4	4.03	166	5.233	180	0.770	-0.140	+
15	5	4.49	187	4.868	+	0.922	0.070	+
16	6	7.85	416	8.007	360	0.980	0.280	+
17	7	10.70	589	9.365	540	1.140	0.163	+

NO.1~12 Leonhardt und Walther 文献²⁾
NO.13~17 井野ら 文献³⁾

$$* 3 A = \frac{(X_{test} - X_{cal})}{d}$$

3.2 破壊面の位置の実験値と計算値との比較

本手法を用いれば、破壊面の位置が計算上求められることになる。多点の実験結果及び等分布の実験報告でひびわれ発生状況が明示されている供試体について、破壊面の位置を破壊面とはりの有効高さの1/2点と交点と定義し、支承板中心から破壊面の位置までの距離を x_{test} とする。なお、せん断圧縮およびせん断引張破壊を生じた供試体については、破壊に結びついたと考えられる斜めひびわれに着目し、同様の整理を行った。

(実験値-計算値)/有効高の値をヒストグラムとしたものを、図-4に示す。斜め引張り破壊のみの場合(図-4-(a))および、さらにせん断圧縮、せん断引張破壊を加えた場合(図-4-(b))とも、いずれも0付近に分布しており、本手法により破壊面の位置についても計算により算定出来ると思われる結果が得られた。

4. まとめ

せん断補強鉄筋を配置しない鉄筋コンクリートはりの多点並びに、分布荷重を受ける場合のせん断耐力算定手法を提案し、4点および6点集中荷重載荷実験、並びに既往の等分布荷重載荷実験によりその妥当性を示した。なお、せん断スパン高さ比の小さい領域でのせん断耐力算定式及びせん断スパンのとり方については、さらに検討を加え精度をあげる必要があると考えている。

最後に、実験の計画並びに本文をまとめるにあたって御指導いただきました東京大学岡村甫教授に深く感謝の意を表します。

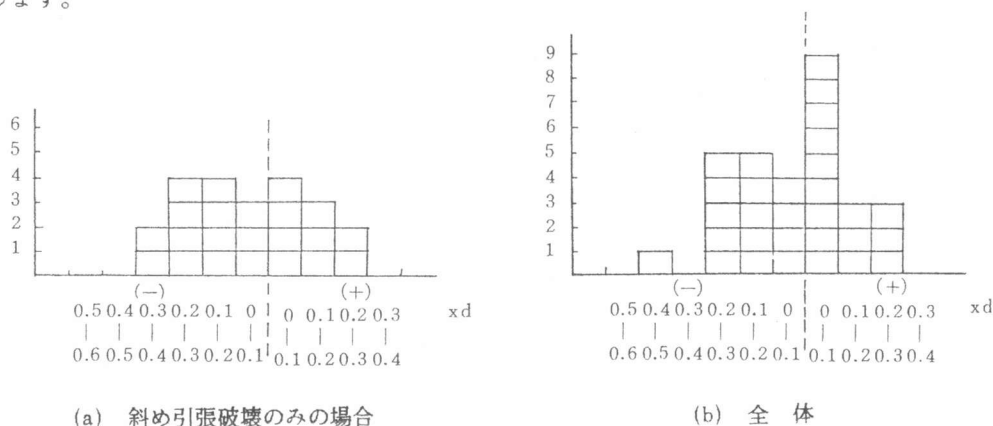


図-4 破壊面の位置の実験値と計算値との比較

参考文献

- 1) Okamura and Higai ; Proposed design equation for shear strength of reinforced concrete beams without web reinforcement. Proc. of JSCE N0.500 Aug. 1980
- 2) F. Leonhardt und R. Walther ; Beiträge zur Behandlung der Schubprobleme im Stahlbetonbau. Beton und Stahlbetonbau 2/1962
- 3) 井畔, 塩屋, 野尻, 秋山 ; 等分布荷重下における大型鉄筋コンクリートはりのせん断強度に関する実験的研究, 土木学会論文集第348号/V-1 (報告) 1984年 8月
- 4) 石橋, 松田, 斉藤 ; 少数本のくいを用いたフォーミングのせん断設計について, 土木学会論文報告集第337号 1983年 9月
- 5) 二羽, 前田, 岡村 ; ディープビーム的なRC部材の設計方法に関する提案, 第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1983年
- 6) 石橋, 斉藤 ; 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する一考察, 第6回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1984年
- 7) 岩崎, 丸山, 吉田, 石橋 ; 多点荷重を受けるRC梁のせん断性状に関する基礎的研究, 第7回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1985年