

## [158] 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

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)

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のせん断破壊機構は、曲げ破壊とくらべると非常に複雑であり早くから多くの調査や研究がなされているが、いまだ不明の点も多く体系的なせん断破壊理論が確立されていないのが実情である。<sup>1)</sup>

また、鉄筋コンクリートスラブ(以下スラブという)のせん断破壊は、スラブに柱を通じてあるいは直接に部分的な荷重が作用する場合は、荷重直下のコンクリート部分が押抜きせん断あるいはパンチングシアと呼ばれる局部破壊を生ずることが多い。

スラブの押抜きせん断破壊に関しては種々の実験的研究が進められているが、いわゆるはりのせん断破壊と異なる取扱いをされているのが現状である。

本研究は、スラブの押抜きせん断耐力を破壊面に沿った微小部分のはりのせん断耐力の積分値として求めることにより、スラブの押抜きせん断耐力をはりのせん断耐力算定式で比較的良好に表わすことが出来ることを述べるものである。

## 2. せん断耐力に関する基本的な考え方

## (1) 集中荷重をうけるはりの場合

## a. 既往の提案式について

せん断スパン高さ比(以下 $a/d$ という)が3以上の場合については、多くの実験データを整理した岡村・松貝式(1)<sup>2)</sup>が、せん断補強筋のない部材について比較的精度が良いようである。

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

ここで

$V_u$  : せん断耐力 (kg)

$f_c$  : コンクリートの圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\beta_d$  :  $(100/d)^{(1/4)} - 1 \geq 0$

ただし  $d$  : 部材断面の有効高さ (cm)

$\beta_p$  :  $(100/p_w)^{(1/2)} - 1 \leq 0.73$

$p_w$  : 軸方向引張鉄筋断面積 ( $A_s$ ) の腹部断面積に対する比率:  $A_s / b_w \cdot d$

$b_w$  : 部材腹部の幅 (cm)

また、 $a/d$  が3以下でも多くの実験的研究が報告されており、(1)式で求められる値より大きなせん断耐力を示すことが知られており、これは、支点反力ならびに載荷荷重により腹部コンクリートに発生する圧縮応力の影響であるとされている。

また、 $a/d$  の影響についても Z u t t y らは  $(a/d)^{(-4/3)}$  に、K e n n e d y らは  $(a/d)^{(-1.166)}$  にそれぞれせん断耐力が比例するとしている。<sup>3) - 5)</sup>

また、通常のはりのせん断耐力より大きな耐力を示す  $a/d$  の範囲については、B o r i s B r e s l e r らは、 $a/d$  が2.5より小さい範囲であるとしている。<sup>6)</sup>

筆者らのフーチングでの実験<sup>7)</sup>では、 $a/d$  が2.5で(1)式にそれぞれ交わるとして求めた(2)式が、比較的良い精度を与えるようである。

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

ただし  $a/d \leq 2.5$  ----- (2)

b. 集中荷重を受けるはりのせん断耐力のモデル化について

集中荷重を受けるはりの実験において、その破壊性状が斜めひびわれの発生とほぼ同時にせん断破壊をおこす。いわゆる斜引張破壊となる場合は、その破壊面の中心は、せん断スパンのほぼ  $1/2$  付近であると思われる。a に述べる耐力算定式はせん断スパンの  $1/2$  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。

また、せん断耐力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仮定する。通常の二点対称載荷の場合は支点反力と載荷荷重は等しく、 $V_{us}$  と  $V_{er}$  とは同じ式で表わされる。概念を図-1 に示す。

以上より  $V_{us}$  と  $V_{ur}$  は

$$V_{us} = V_{ur} = V_u / 2 \text{ ----- (3)}$$

$$= 0.47 \cdot f_c^{(1/3)} (0.75 + 1.4d/a) (1 + \beta p + \beta d) \cdot b w \cdot d$$

ただし  $a/d > 2.5$  ----- (3-1)

または

$$= 1.79 \cdot f_c^{(1/3)} (a/d)^{(-1.166)} (1 + \beta p + \beta d) \cdot b w \cdot d$$

ただし  $a/d \leq 2.5$  ----- (3-2)

と表わされる。そして、載荷点より距離  $x$  (支点からは  $a-x$ ) 点のせん断耐力  $V_u(x)$  は、(3-1) (3-2) 式がせん断スパン  $a$  の  $1/2$  点のせん断耐力を示しているとするれば、式中の  $a$  を  $2$  倍の  $X$  (支点からは  $(a-x)$ ) と置換えれば求められる。すなわち、

$$V_u(x) = V_{ur}(x) + V_{us}(a-x) \text{ ----- (4)}$$

ここで

$$V_{ur}(x) = 0.47 \cdot f_c^{(1/3)} (0.75 + 1.4d/(2x)) (1 + \beta p + \beta d) \cdot b w \cdot d$$

ただし  $2x/d > 2.5$  ----- (4-1)

$$\text{または} \quad = 1.79 \cdot f_c^{(1/3)} (2x/d)^{(-1.166)} (1 + \beta p + \beta d) \cdot b w \cdot d$$

ただし  $2x/d \leq 2.5$  ----- (4-2)

$$V_{us}(a-x) = 0.47 \cdot f_c^{(1/3)} (0.75 + 1.4d/(2(a-x))) (1 + \beta p + \beta d) \cdot b w \cdot d$$

ただし  $2(a-x)/d > 2.5$  ----- (4-3)

$$\text{または} \quad = 1.79 \cdot f_c^{(1/3)} (2(a-x)/d)^{(-1.166)} (1 + \beta p + \beta d) \cdot b w \cdot d$$

ただし  $2(a-x)/d \leq 2.5$  ----- (4-4)

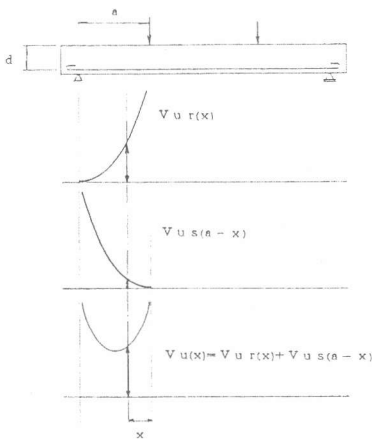


図-1 集中荷重を受けるはりのせん断耐力のモデルの概念図

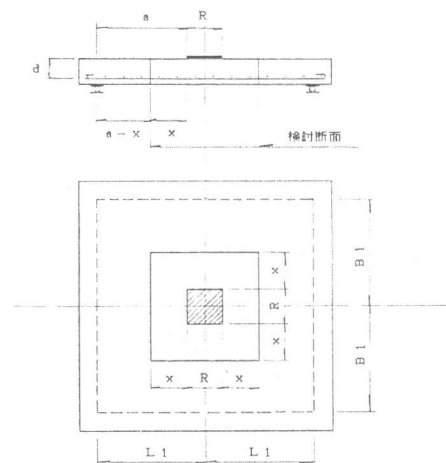


図-2 断面詳図

(2) スラブの押抜きせん断耐力に対するはりのせん断耐力算定式の適用

スラブの押抜きせん断耐力の算定に(4)式を適用する。なおその場合、破壊面を各種仮定し、その仮想破壊面上の微小区間 $\Delta b w$ のせん断耐力を求める場合、(4-1)から(4-4)式におけるパラメーターを次のようにとる。

有効高さ $d$  : 微小区間 $\Delta b w$ の有効高さ                      鉄筋比 $p w$  : 検討断面における鉄筋比

有効幅 $b w$  : せん断耐力算定点の微小区間 $\Delta b w$

そして、仮想破壊面上に沿ってこの微小区間 $\Delta b w$ のせん断耐力を積分することにより、この仮想破壊面のせん断耐力 $V c a l (x)$ を求める。すなわち

$$V c a l (x) = \int V u (x) \dots \dots \dots (5)$$

そして、スラブの押抜きせん断耐力 $V c a l$ は、検討断面を各種変化させた場合の $V c a l (x)$ の最小値と考える。

以上により、スラブの押抜きせん断耐力 $V c a l$ が求められるが、既往の実験結果を用いて上記式の適用についての検討を行ったので、以下にその結果を述べる。

3. 既往の実験結果を用いた検討

(1) 既往の実験結果と耐力算定式との比較

解折に用いた実験は、角田らによって行われたスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究<sup>8)</sup>に報告されている供試体で、2方向スラブ、等方配筋、載荷板及びスラブの形状が正方形、鉄筋比が3%以下、スラブ中央載荷の71体と、秋山らによって行われた円形スラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究<sup>9)</sup>に報告されている円形スラブ供試体24体であり、合計95体について実験値と耐力算定式との比較を行った。

ここで式の適用にあたり図-2に示すように、せん断スパン $a$ は支点中心から載荷板外縁間距離とする。正方形スラブでは、今回の計算では有効高さ $d$ 及び鉄筋比 $p w$ は2方向の平均値を用いて計算した。検討断面は載荷板と相似な形状とし、載荷板外縁から検討断面までの距離を各種変えて検討した。また比較を容易にするために実験耐力( $P t e s t$ )を実験時のコンクリート強度を $f c$ とすると、 $f c$ を $270 kg/cm^2$ としたときの換算耐力( $P t e s t 1$ ) (以下実験耐力という)を $P t e s t \cdot (270/f c)^{(1/3)}$ と換算して求めた値も表-1に示す。

(2) 各種要因の影響について

実験耐力と計算耐力との比と各種要因との関係を調べると、載荷板の辺長と有効高さとの比( $R/d$ )による傾向が認められたため、補正式(6)を考え補正後の値を表-1及び図-3に示す。

$$K = 1 / (1.35 - 0.055 R/d) \quad \text{ただし } R/d < 1.0 \\ = 1 / 0.8 \quad \text{ただし } R/d \geq 1.0 \dots \dots (6)$$

(3) スラブの押抜きせん断耐力の算定式について

実験耐力と(6)式による補正後の計算耐力との比は、全供試体数 $n = 95$ では、平均値 $\bar{x} = 0.985$  標準偏差 $\sigma_n = 0.137$  変動係数 $Cv = 13.9\%$ であり、また、データ中特異値と思われる $NO. 69 \cdot 83$ を除いた93体では、平均値 $\bar{x} = 0.994$  標準偏差 $\sigma_n = 0.126$  変動係数 $Cv = 12.7\%$ となり、上記のはりのせん断耐力式を用いてスラブのせん断耐力を算定するという方法はほぼ妥当な手法と思われる。さらにこの手法の精度をあげてゆきたいと考えている。

4. 結論

はりのせん断耐力は支点反力の影響を示すせん断耐力 $V u s$ と載荷荷重の影響を示すせん断耐力 $V u r$ の和として求められると仮定し、これらの算定式を用い、スラブの押抜きせん断耐力を仮想破壊面に沿った微小部分のはりの断耐力の積分値の最小値として求め、載荷板の辺長と有効高さとの比( $R/d$ )による補正を行えば、はりのせん断耐力算定式により、スラブの押抜きせん断耐力を、比較的精度良く求められることが明らかとなった。

