

# せん断スパン比がディープビームに及ぼす破壊性状と耐力評価

九州工業大学大学院 学生会員 芳賀 祥晃 九州工業大学 正会員 幸左 賢二  
 阪神高速道路公団 正会員 西岡 勉 独立行政法人土木研究所 正会員 小林 寛

## 1. はじめに

本研究では、ディープビーム部材の設計法を確立するために、せん断スパン比、補強鉄筋比と有効高さをパラメータとした実験により、 $a/d$ がディープビームに及ぼすせん断抵抗メカニズムと、その耐力評価についての検討を実施した。

## 2. 実験の概要

表-1に実験供試体の諸元及び圧縮試験結果を示す。 $a/d=0.5, 1.0, 1.5$ ,  $P_w=0, 0.4, 0.8\%$ ,  $d=300, 400, 500, 600\text{mm}$ をパラメータとした計16供試体を検討対象とした。供試体名のRは、同一形状の2体目の実験を示している。なお、1体目のB-6,7供試体は供試体下面の不陸により、支承部で局部圧壊を起したため検討対象から除いた。

図-1に、供試体形状と併せて荷重位置、及び配筋状況を示す。また本実験では、供試体変位、鉄筋ひずみ（主鉄筋、ダミー鉄筋、せん断補強筋）、ひび割れ進展状況（ひび割れ幅）、ストラット方向のアクリルひずみ、せん断変形の5項目を主な測定項目とした。

## 3. 実験結果の概要

$a/d \leq 1.0$  供試体はタイドアーチで抵抗し、荷重板、支承板で圧縮力が卓越するせん断圧縮破壊で破壊に至った。一方、 $a/d = 1.5$  供試体は、進展した斜めひび割れの停止後、ひび割れ幅が開き、ダミー鉄筋降伏後、破壊直前までひび割れの進展に差はみられなかったが、図-2に示すように、耐力低下時、進展した斜めひび割れが荷重板外側に貫通する供試体と、進展した斜めひび割れと異なるひび割れがストラットに入り破壊した供試体がみられ、最終的な破壊性状が2パターン確認された。前者を破壊パターン1、後者を破壊パターン2と区別する。図-2に2パターンの破壊性状と、アクリルバーのひずみ分布の比較を示す。図より、最大荷重時に破壊パターン1でアクリルバーのひずみが局所的に進展しているが、破壊パターン2では、ひずみが全体的に分布していることが分かる。

図-3に、実験値と計算値の比較を示す。ここで、データ数増加のため、2003年に土木研究所で実施された実験供試体( $a/d=1.5, d=400 \sim 1400\text{mm}$ )9体の結果も用いた。以下に、計算式の算定に用いた九工大提案式を示す。

$$S = Cdc \cdot 0.82pt^{1/3} \cdot (1/d)^{1/3} \cdot \sigma_{ck}^{1/3} \cdot b \cdot d + \phi Ss \quad (1)$$

$$Cdc = \frac{10.3}{1 + (a/d)^2}$$

$S$  : 部材の有するせん断耐力

$Ss$  : トラス理論より算出される鉄筋の効果

表-1 供試体諸元

| 供試体 No. | せん断スパン比 $a/d$ | 有効高さ $d[\text{mm}]$ | 部材幅 $b[\text{mm}]$ | せん断補強筋比 $P_w[\%]$ | 主鉄筋比 $P_t[\%]$ | 圧縮強度 $\sigma_{ck}[\text{Mpa}]$ |
|---------|---------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------|--------------------------------|
| B-2     | 0.5           | 400                 | 240                | 0.0               | 2.02           | 36.2                           |
| B-3     | 0.5           | 400                 | 240                | 0.4               |                | 36.2                           |
| B-4     | 0.5           | 400                 | 240                | 0.8               |                | 31.3                           |
| B-6R    | 1.0           | 400                 | 240                | 0.0               |                | 31.3                           |
| B-7R    | 1.0           | 400                 | 240                | 0.4               |                | 31.3                           |
| B-8     | 1.0           | 400                 | 240                | 0.8               |                | 37.8                           |
| B-10    | 1.5           | 400                 | 240                | 0.0               |                | 29.2                           |
| B-10R   | 1.5           | 400                 | 240                | 0.0               |                | 37.3                           |
| B-11    | 1.5           | 400                 | 240                | 0.4               |                | 29.2                           |
| B-12    | 1.5           | 400                 | 240                | 0.8               |                | 31.3                           |
| B-10.1  | 1.5           | 300                 | 180                | 0.0               |                | 37.3                           |
| B-10.1R | 1.5           | 300                 | 180                | 0.0               |                | 42.3                           |
| B-10.2  | 1.5           | 500                 | 300                | 0.0               |                | 37.3                           |
| B-10.2R | 1.5           | 500                 | 300                | 0.0               |                | 42.3                           |
| B-10.3  | 1.5           | 600                 | 360                | 0.0               |                | 37.8                           |
| B-10.3R | 1.5           | 600                 | 360                | 0.0               |                | 37.3                           |

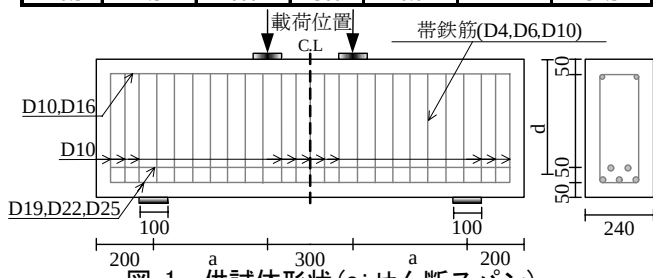


図-1 供試体形状 (a: せん断スパン)

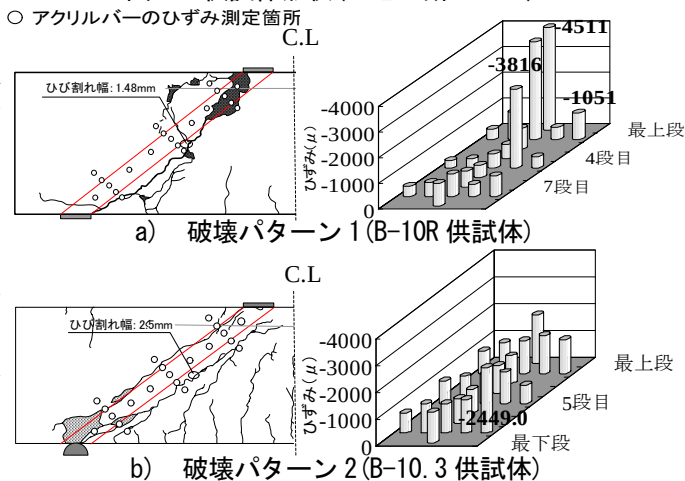


図-2 破壊状況とアクリルバーのひずみ分布

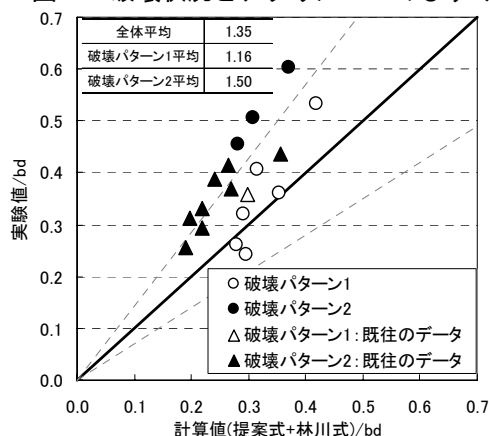


図-3 実験値と計算値の比較

$$\phi : -0.17 + 0.30(a/d) + 0.33/P_w$$

図から、荷重が局所的に作用せず一様に分布した破壊パターン2の方が破壊パターン1と比較して耐力が大きくなっている。また、図中に提案式に対する破壊時の荷重比率を示す。その結果、全体における平均値は1.35だが、破壊パターン1における平均値は1.16と下回り、破壊パターン2においては、平均値が1.50と上回った。これらの原因に、載荷板付近のコンクリートの強度の差異や、載荷板の不陸により局所的に力が作用したことが考えられる。

#### 4. $a/d=1.5$ における破壊性状と耐力評価

図-2に示したひび割れ性状と、当大学で実施された  $a/d=2.5$  ( $P_w=0.0\%$ ) 供試体のデータを比較すると、 $a/d=1.5$  では  $a/d=2.5$  と同様に、ストラット下部で斜めひび割れが進展し、両供試体とも斜めひび割れ進展付近でダミー鉄筋の降伏が起きている。このように、 $a/d=1.5$  は  $a/d=2.5$  と破壊形態に類似点がみられる。相違点としては、図-4に示す  $a/d=1.5, 2.5$  の破壊の模式図とせん断抵抗モデルから、せん断割れが発生後、脆性的な斜め引張破壊で破壊に至る  $a/d=2.5$  の破壊とは異なり、圧縮部コンクリート付近で一旦斜めひび割れの進展が停止する。これは、 $a/d=1.5$  では、模式図に示すようにタイドアーチが形成され、 $a/d=2.5$  のせん断耐力機構と比較してひび割れの進展が一旦停止すると考えられる。

図-4(b)に示したように、骨材の噛み合わせ( $V_a$ )についてはひび割れ幅が大きく開くことからほぼ抵抗していないと考え、ダウエル作用( $V_d$ )については、既往の検討より、せん断耐力の約1割程度を負担するとされているためせん断耐力への影響は少ないと考え、考慮せずに検討を行った。

図-5に、圧縮部コンクリート負担分( $V_c$ )、およびせん断補強筋負担分( $V_s$ )の、耐力算出法の模式図に示す。

図-6に、以上より算出したせん断耐力の負担割合と載荷荷重の比較を示す。ここでは、破壊近傍の  $0.95P_{max}$  で検討を行った。図より、 $P_w=0.0\%$ の供試体においては、圧縮部コンクリートで耐力負担し、載荷荷重と釣り合い、 $P_w=0.4, 0.8\%$ の供試体においては、せん断補強筋がせん断耐力を負担し、載荷荷重と釣り合っていることが分かる。

図-7に、実験値と提案式との適応性を示す。図より、平均値が1.22、変動係数が0.24となった。 $a/d=1.5$ の供試体において差異が大きいが、前述より、破壊パターン2の供試体では実験値が提案式の約1.5倍となるが、破壊パターン1の供試体ではほぼ提案式と一致している。よって、提案式は実験値の下限値に対して妥当に評価できていると考えられる。

#### 5. まとめ

- (1)  $a/d=1.5$  では破壊のパターンが2つあり、破壊パターン2の方が破壊パターン1よりもせん断耐力が大きくなる。
- (2)  $a/d=1.5$  ではせん断補強筋が、引張力の作用によるひび割れ幅進展の抑制に効果を発揮し、せん断耐力負担が圧縮部コンクリート負担分との足し合わせで成り立つと考えられる。
- (3) 九工大提案式は、 $a/d=1.5$  程度の供試体に関しても、下限値に対して比較的精度良くせん断耐力を評価する。

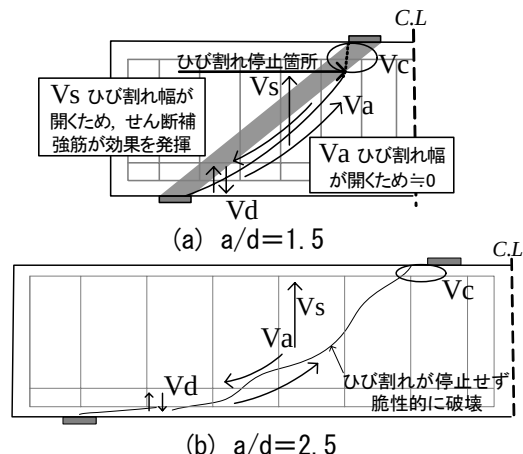


図-4 破壊の模式図とせん断抵抗モデル

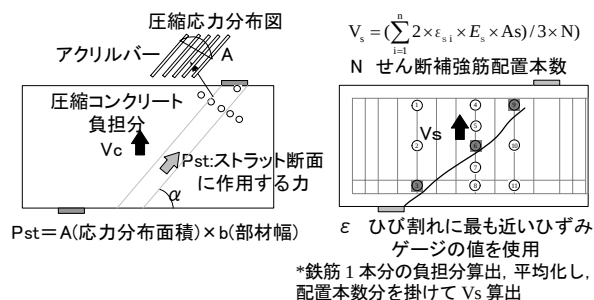


図-5  $V_c$  および  $V_s$  算出法の模式図

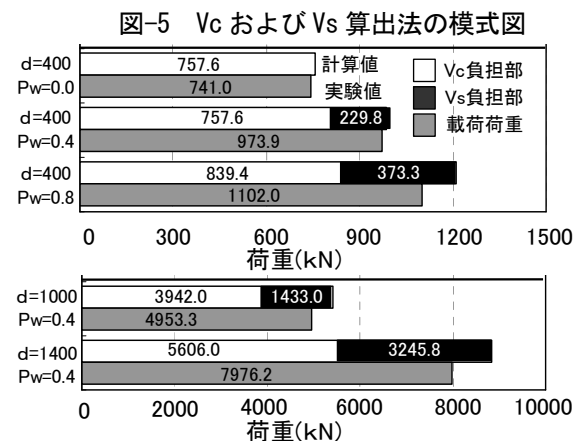


図-6 せん断耐力負担割合

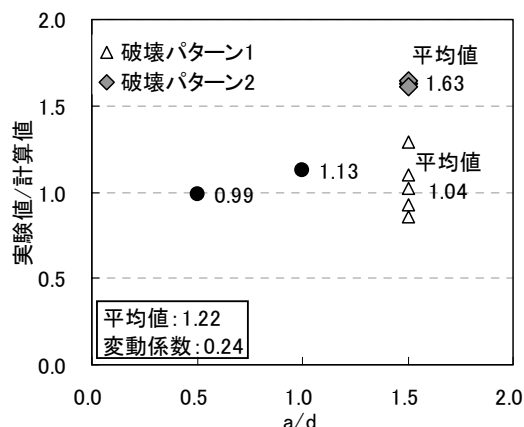


図-7 提案式との適応性