

V-24

RCスラブの押抜きせん断に関するせん断補強について

北海学園大学工学部 正員 高橋 義裕  
 北海道大学工学部 正員 角田與史雄

1. はじめに

橋床板やフーチングなどのように局部的に大きな荷重を受けるRCスラブのせん断破壊は通常、荷重域周辺がピラミッド状に押抜けるようにして破壊に至ることから、押抜きせん断破壊またはパンチング破壊と呼ばれている。また、この場合の耐力は、降伏線理論によって予測される曲げ耐力より低い荷重レベルで破壊し、脆性的な破壊性状を示す。RC部材のせん断挙動は、鉄筋コンクリートの基本をなす複合機構の破壊に結びつき、かつひびわれや破壊状態が鉄筋コンクリートとしての独特の挙動を示す。従って現在まで多くの内外の研究者により様々な角度からの研究が進められその研究成果は示方書、設計規準等に反映されつつある。しかし、これらのせん断挙動は、部材の形状と寸法、鉄筋量、コンクリート強度等の多くの因子に影響され複雑なものとなり不明な点も多い。この様なことより、スラブやフーチングなどの面部材の設計では、部材幅全長にわたって破壊が生ずるはり型せん断と、荷重直下のコンクリートが局部的に破壊する押抜きせん断破壊の両者について検討が行われている。しかし、せん断補強鉄筋の効果については、実験データが少ないことや破壊メカニズムが明かでないことから設計方法の規定にまでには至っていない様である。本論文では、これらの問題についての基礎的情報を得るため、鉛直方向の補強鉄筋（以下、せん断補強鉄筋と呼ぶ）配置を変化させた実験供試体を用いて、静的載荷実験を行い実験的に検討したものである。

2. 実験概要

載荷試験をした供試体は表-1に示す9体である。実験は、IシリーズとIIシリーズとからなる。Iシリーズは、図-1に示す相対する二辺が単純支持、他の二辺が自由の長方形RCスラブでスパン $l=100\text{cm}$ 、幅 $B=100\text{cm}$ 、スラブ厚 $h=15\text{cm}$ である。荷重は、 $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ の正方形鋼板（厚さ $32\text{mm}$ ）を介し、スラブスパン中央点の表面に作用させた。主鉄筋、配力鉄筋ともD10（SD30A）を $5\text{cm}$ ピッチ配置した。かぶり $c=10\text{mm}$ である。せん断補強鉄筋としては、D6を使用し、配置状況は、図-2に示す。

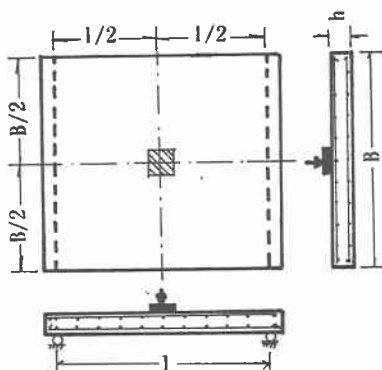


図-1 Iシリーズ供試体

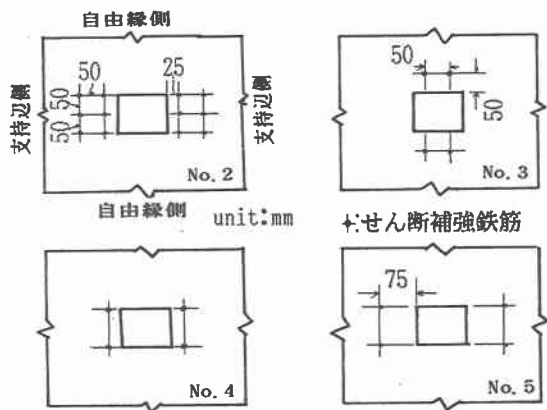


図-2 せん断補強鉄筋配置状況 (Iシリーズ)

Experimental Study on Local Shear Failure of Reinforced Concrete Slabs with Shear Reinforcement  
 by Yoshihiro TAKAHASHI and Yoshio KAKUTA

II シリーズは、図-3に示す両側に対称な張出しをもつRC部材で、荷重は図中に示される方法で載荷し、力学的には片持形式の部材になるようにした。部材厚 $h=15\text{cm}$ 、部材長 $l=40\text{cm}$ は一定とし、幅 $B$ に関しては $90\text{cm}$ と $100\text{cm}$ とした。荷重は、I シリーズと同様に $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ の正方形鋼板を介して部材表面に作用させた。主鉄筋、配力鉄筋ともD10 (SD30A) を $6\text{cm}$ ピッチで配置し、かぶり $c=15\text{mm}$ とした。載荷位置は供試体幅 $B$ の $1/2$ 線上で自由縁より載荷鋼板中心までの距離は $15\text{cm}$ とした。せん断補強鉄筋の配置にさいしては、載荷鋼板下面より $45$ 度に伸びるせん断面を想定し、この面を横切る様に配置した。補強鉄筋としてはD10を2本用いた(図-4参照)。

コンクリートは水セメント比 $50\%$ 、細骨材率 $45\%$ で早強ポルトランドセメント、海砂及び川砂利を使用した。実験は材令7日で行なった。

以上のことより、各スラブの破壊荷重 $P_{test}$ 、ひずみゲージによる補強鉄筋のひずみ、一部の試験供試体での載荷点直下主鉄筋のひずみ及び載荷点のたわみ測定を行った。

### 3. 実験結果及び考察

各供試体の破壊荷重 $P_{test}$ を表-1に示す。ただし、 $P_{test}$ はコンクリートの圧縮強度 $f'_c$ のばらつき ( $23.6\text{MPa}\sim 34.3\text{MPa}$ )の影響がある程度取り除くため、実際の実験で得られた破壊荷重に $\sqrt{30.0/f'_c}$ を乗じ、コンクリートの圧縮強度 $30.0\text{MPa}$ に換算した値である。I シリーズのNo. 2供試体以外は、全て押抜きせん断破壊であった。II シリーズにおいては、斜めひびわれの成長により破壊がみられ外見上押抜きせん断破壊形態を示した。I シリーズでの計算値 $P_{cal}$ は、下記に示すコンクリート標準示方書の面部材の押抜きせん断耐力式を用いた<sup>1)</sup>。

$$V = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b$$

ここに

$$f_{pcd} = 0.188 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa})$$

$$\beta_d = 4\sqrt{100/d} \quad (d: \text{cm})$$

$$\beta_p = 3\sqrt{100p}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$$

$f_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度  
 $u$  : 載荷周長  
 $u_p$  : 設計断面の周長 ( $= 4r + \pi d$ )  
 $\gamma_b$  : 部材係数 ( $= 1.0$ )

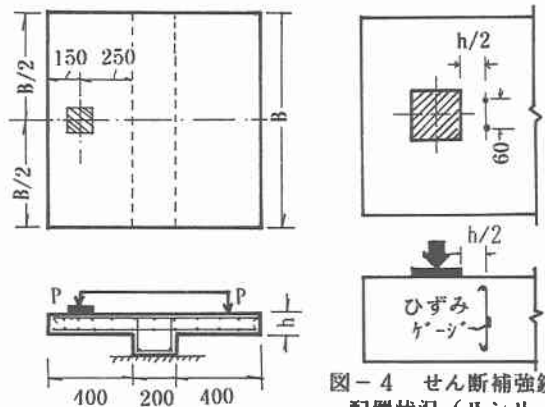


図-3 II シリーズ供試体

図-4 せん断補強鉄筋配置状況 (II シリーズ)

表-1 実験結果一覧

| No | B (cm) | h (cm) | $P_{test}$ (kN) | $P_{cal}$ (kN) | $\frac{P_{test}}{P_{cal}}$ | 備考    |      |
|----|--------|--------|-----------------|----------------|----------------------------|-------|------|
| I  | 1      | 100    | 15              | 273            | 280                        | 1.05  | 補強なし |
|    | 2      | 100    | 15              | 272            | 280                        | 1.05  | 補強あり |
|    | 3      | 100    | 15              | 247            | 280                        | 0.95  | 補強あり |
|    | 4      | 100    | 15              | 230            | 280                        | 0.885 | 補強あり |
|    | 5      | 100    | 15              | 242            | 280                        | 0.931 | 補強あり |
| II | 6      | 90     | 15              | 162            | /                          | /     | 補強なし |
|    | 7      | 100    | 15              | 188            | /                          | /     | 補強なし |
|    | 8      | 90     | 15              | 206            | /                          | /     | 補強あり |
|    | 9      | 100    | 15              | 219            | /                          | /     | 補強あり |

図-5は、Iシリーズにおける補強鉄筋ひずみと載荷荷重との関係を示したものである。同図より載荷荷重の初期の段階においては、それほど大きなひずみの増加は見られないが、ある荷重段階よりその増加率が大きくなる変化点がある。これは、コンクリートの受け持っていた荷重がひびわれ発生を境にせん断補強鉄筋に移行したものであると考えられる。破壊時付近のひずみはすべて降伏点以下である。また、補強鉄筋の配置の違いによる荷重-ひずみ曲線の形状に違いが見られる。即ち、せん断補強鉄筋を配力鉄筋方向に配置をした場合と荷重点に近くせん断補強鉄筋を配置した場合は、ほぼ似たような挙動を示すが、載荷面より $1/2h$  ( $h$  = スラブ厚) 近傍に補強鉄筋を配置した場合のほうがはるかに補強鉄筋の分担割合は、増加している様である。

図-6は、IIシリーズにおける載荷荷重とせん断補強鉄筋ひずみとの関係を示したものである。同図もIシリーズでのせん断補強鉄筋ひずみ挙動と同様にある荷重段階よりひずみの増加率が急に大きくなる変化点が見られる。

図-7は、Iシリーズにおける載荷点たわみと荷重との関係を示したものである。どの供試体ともほぼ直線的にたわみが増加し、せん断補強鉄筋の配置等の違いによる差異はあまりみられない。

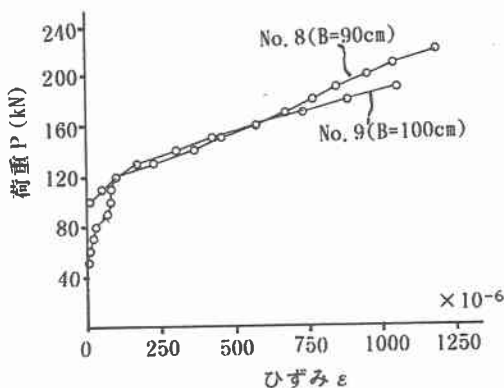
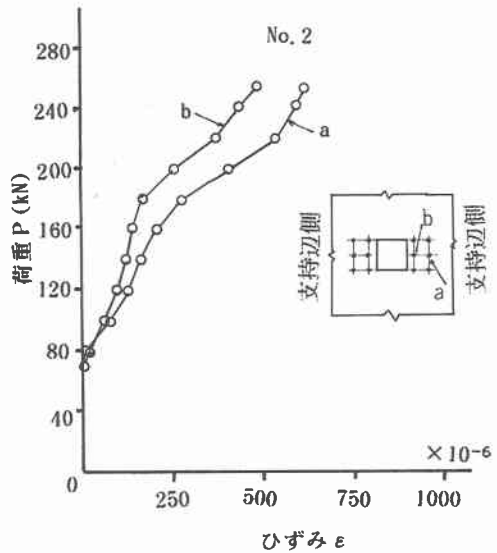
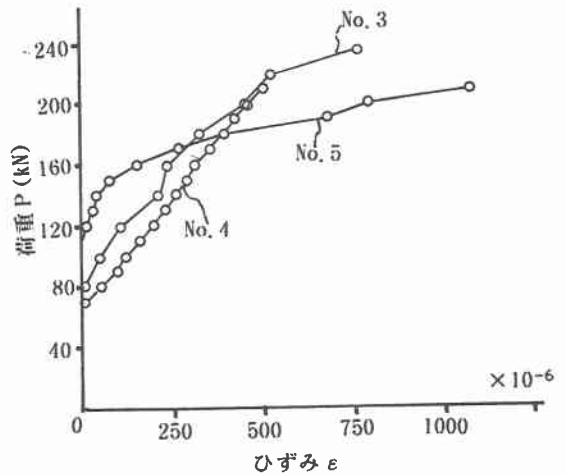


図-6 せん断補強鉄筋ひずみと荷重との関係 (IIシリーズ)



(a)



(b)

図-5 せん断補強鉄筋ひずみと荷重との関係 (Iシリーズ)

図-8は実験終了後の下面のひびわれスケッチを示したものである。補強鉄筋を入れることにより、下面でのひびわれ領域は若干広がっている。

以上よりIIシリーズにおいては、そのせん断補強効果は若干ではあるが期待できるが、Iシリーズにおいては、せん断補強鉄筋による補強効果はなく、逆にせん断耐力が減少する結果となった。このような補強鉄筋配置ではコンクリートのタイドアーチとしての抵抗機構を考えた場合の圧縮部に悪影響を与えているものと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究は、RC部材のせん断破壊についてIシリーズ（相対する二辺が単純支持、他の二辺が自由の長方形RCスラブ）とIIシリーズ（両側に対称な張出しをもつRCスラブ）を用いて、そのせん断挙動についてせん断補強鉄筋の破壊荷重への影響について実験的に検討を行った。今後さらに解明すべき点が多く残されているが、本研究で得られた結果を列記すれば次の通りである。

- 1) 今回のせん断補強鉄筋配置において、IIシリーズ供試体においてはそのせん断補強効果は期待できるが、Iシリーズ供試体においては逆にせん断耐力が減少していた。
- 2) 破壊までたわみは直線的に増加し、最終的には脆性的に破壊した。
- 3) せん断補強鉄筋が降伏までに至らないうちに供試体は破壊している。

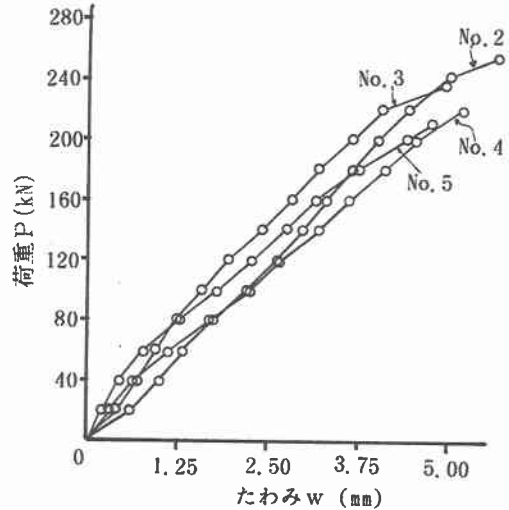


図-7 たわみと荷重との関係 (Iシリーズ)

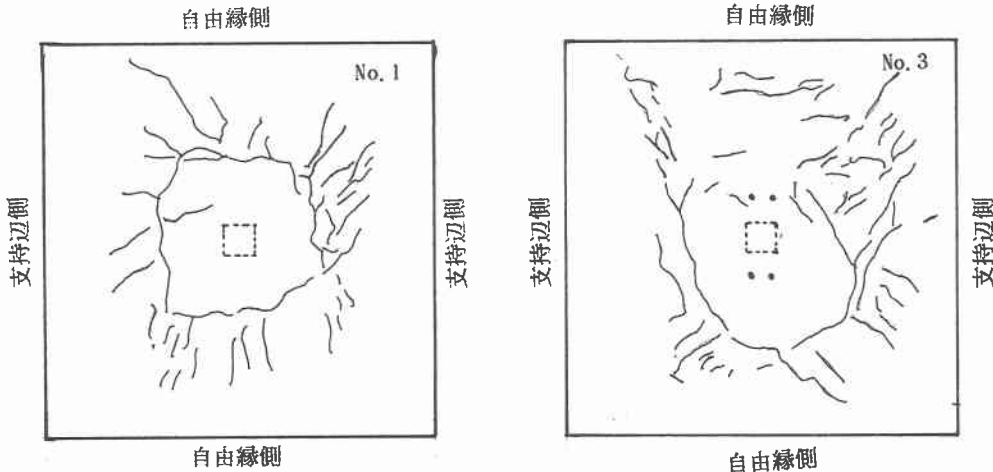


図-8 ひびわれ観察結果の一例

#### 参考文献

- [1] コンクリート標準示方書【平成3年度】  
設計編, 1991