

四辺支持 RC 版の押し抜きせん断耐荷性状に与える載荷面直径の影響

Effects of loading point in diameter on punching shear behavior for simply supported rectangular RC slabs

三井住友建設 (株) ○フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 床版等の RC 面部材に対して集中荷重が作用する場合には、ほとんどの場合押し抜きせん断破壊を生じて終局に至る。そのため、コンクリート標準示方書¹⁾ (以後、示方書) では、面部材の押し抜きせん断耐力評価のための算定式が示されている。しかしながら、面部材の押し抜きせん断耐力は理論的に求めることが難しいため、示方書では面部材に関する押し抜きせん断耐力算定方法に、RC 梁のせん断耐力算定方法と同様の考え方を適用して定式化している。式 (1) には示方書の面部材の押し抜きせん断耐力算定式を、図-1 にはその算定式に関する押し抜きせん断破壊の破壊モデル概要図を示している。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

ここに、 $f'_{pcd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}}$ (N/mm²),

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d: \text{m}),$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p},$$

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

f'_{cd} : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²),

u : 載荷面の周長,

u_p : 設計断面の周長

d および p : 有効高さおよび鉄筋比

γ_b : 部材係数。一般に 1.3 としよ。

図-1 に示すように、押し抜きせん断ひび割れが集中荷重載荷面の端部より下端鉄筋位置まで斜め 45 度下方に進展すると仮定し、そのひび割れの上面からの投影面積にコンクリートの引張強度や鉄筋比、有効高さなどの影響係数

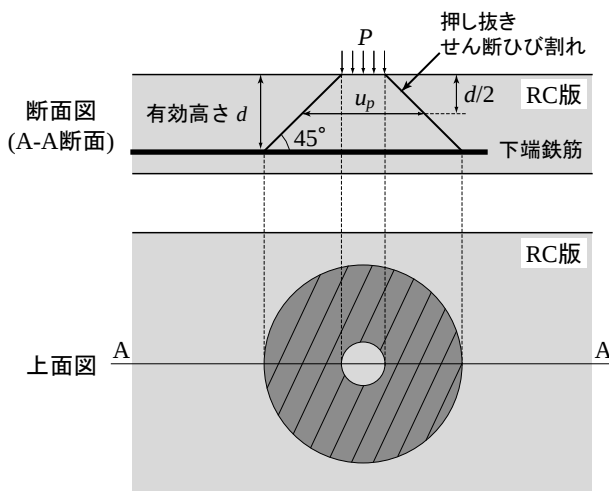


図-1 押し抜きせん断破壊の破壊モデル概要図

を乗じることにより算出している。本研究では、押し抜きせん断破壊で終局に至る RC 版の耐荷性状に与える載荷面直径の影響を詳細に検討するため、四辺支持 RC 版の静的押し抜きせん断実験を実施した。本実験では、同一形状寸法の RC 版に対して載荷面の直径を 4 種類に変化させ、耐荷性状に関する検討を行っている。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

図-2 には、本実験に用いた RC 版試験体の形状寸法を示している。試験体は、2,000 × 2,000 × 180 mm、有効高さ 140 mm となるように下端鉄筋を配筋した単鉄筋 RC 版である。下端鉄筋には D16 を用い、版中央部より 150 mm 間隔で格子状に配筋した。なお、下端鉄筋は定着長を確保するため、RC 版の四辺に設置した溝型鋼に溶接している。

表-1 には、本実験の実験ケースを一覧にして示している。表には、載荷版の直径および周長、鉄筋比、コンクリートの圧縮強度を一覧にして示している。本実験の試験体名は、英文字 P に載荷版の直径 (cm) を組み合わせて示している。なお、コンクリートの圧縮強度は P12 試験体で若干小さく示されているものの、20.2 ~ 27.4 MPa となっている。また、鉄筋の降伏強度は 423 MPa であった。

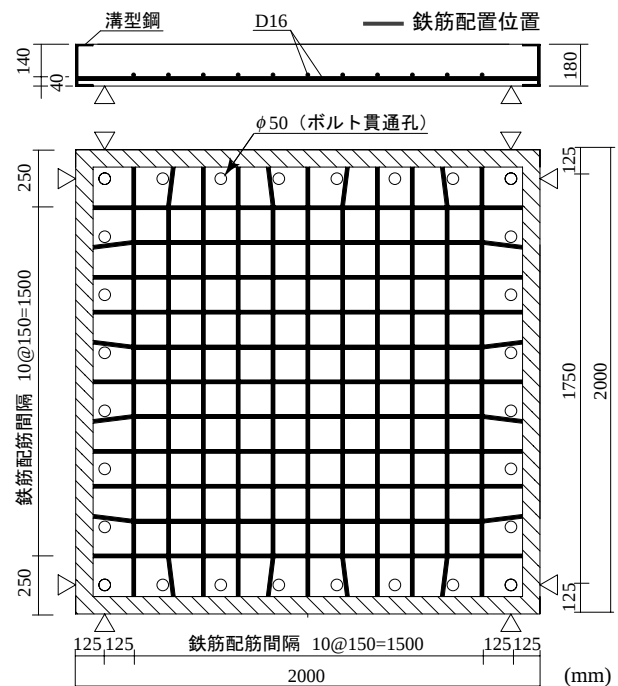


図-2 RC 版の形状寸法および配筋状況

表－1 試験体の一覧

試験体名	載荷版 直径 d (mm)	載荷版 周長 u (mm)	鉄筋比 (%)	コンクリート の圧縮強度 f'_{cd} (MPa)
P6	60	188	1.09	27.2
P9	90	283		27.4
P12	120	378		20.2
P15	150	471		26.3

2.2 実験方法

写真－1には、本実験の実験状況を示している。支持条件は、純スパン長 1.75 m の四辺支持としている。また、支点部は回転を許容し試験体の浮き上がりを拘束するピン支持に近い構造となっている。荷重の載荷位置はいずれの場合も RC 版の中央としている。また、載荷版には鋼製の載荷治具を用いることとし、載荷面は片当たりを防止するため 2 mm のテーパを付けた球面状としている。実験では、RC 版の押し抜きせん断面が明瞭に形成されるまで荷重を載荷した。本実験の測定項目は、載荷荷重、RC 版下面の変位および下端鉄筋に貼り付けたひずみゲージによるひずみである。これらのデータは、アンプ内蔵式デジタルレコーダにより一括収録を行っている。また、実験終了後には、RC 版の裏面のひび割れおよび版中央部を主鉄筋方向に切断して切断面のひび割れをスケッチし、破壊性状の観察を行っている。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重－変位関係

図－3には、載荷荷重－版中央点変位の関係を全試験体を比較して示している。

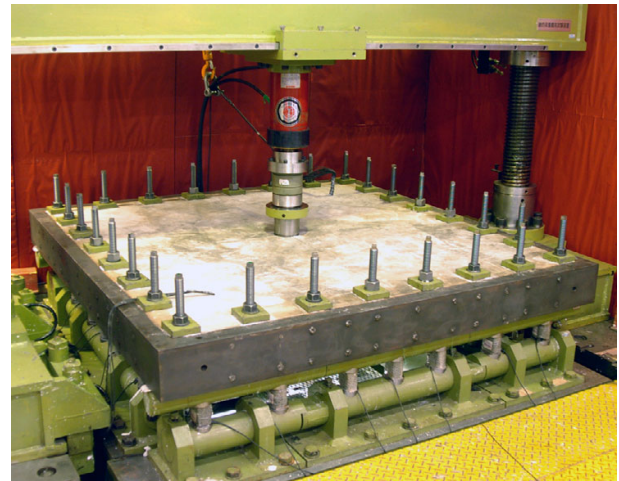
図より、載荷面直径の大きさにかかわらず、いずれの試験体もほぼ同様の剛性勾配を示していることが分かる。P6 試験体では、約 150 kN で剛性勾配が低下し、最大荷重を示した後に急激な荷重低下を伴って終局に至っている。また、P9, P12, P15 試験体では、ほぼ一定の剛性勾配を保ち、最大荷重を示した後に急激に荷重の低下を示して終局に至っている。このことから、いずれの試験体も押し抜きせん断破壊により終局に至ったことが分かる。

表－2には、図－3より得られる最大荷重、最大荷重時変位、示方書式に基づいて算出した計算押し抜きせん断耐力、最大荷重を計算押し抜きせん断耐力で除した耐力比、を一覧にして示している。なお、計算押し抜きせん断耐力は部材係数を 1.0 として算出している。

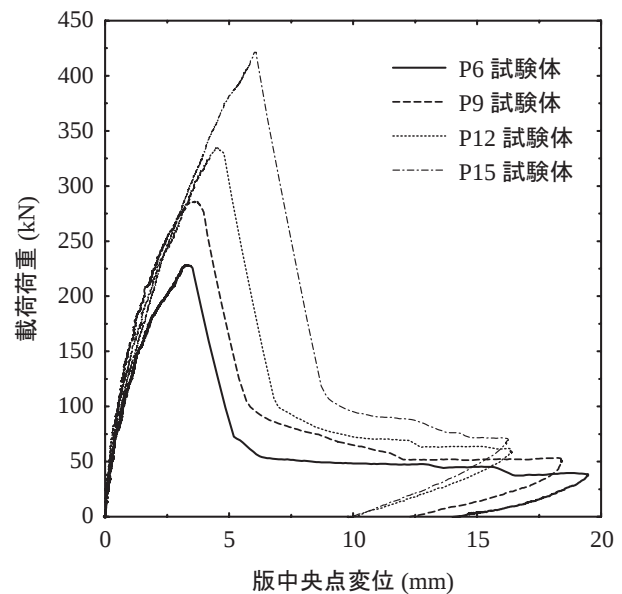
表より、載荷面直径の増大と共に最大荷重および最大荷重時変位が大きく示される傾向にあることが分かる。また、耐力比は、P6, P9 試験体では 0.9～1.1 程度、P12, P15 試験体では 1.3～1.4 程度を示している。このことから、載荷面直径が小さい場合には示方書式によって押し抜きせん断耐力をほぼ適切に評価できることが分かる。一方、載荷面直径が大きい場合には、押し抜きせん断耐力をより安全側に評価する傾向にあることが明らかになった。

3.2 破壊性状

図－4には、実験終了後における RC 版裏面のひび割れ



写真－1 実験状況 (P12 試験体)



図－3 載荷荷重－版中央点変位の関係

表－2 実験結果の一覧

試験体名	最大 荷重 (kN)	最大荷重時 変位 (mm)	計算押し抜き せん断耐力 (kN)	耐力比
P6	229.3	3.3	247.4	0.92
P9	287.5	3.6	271.9	1.06
P12	336.2	4.5	253.3	1.33
P15	422.2	6.2	311.4	1.36

性状、写真－2には、RC 版中央部切断面の破壊性状を示している。

図－4の RC 版裏面のひび割れ性状より、いずれの試験体も押し抜きせん断面が形成されていることが分かる。また、その大きさは、載荷面の直径が最も小さい P6 試験体で最も小さく、載荷面の直径が最も大きい P15 試験体で最も大きいことが分かる。これは、図－1の破壊モデルに示されているように、載荷面の直径が大きいほど押し抜き

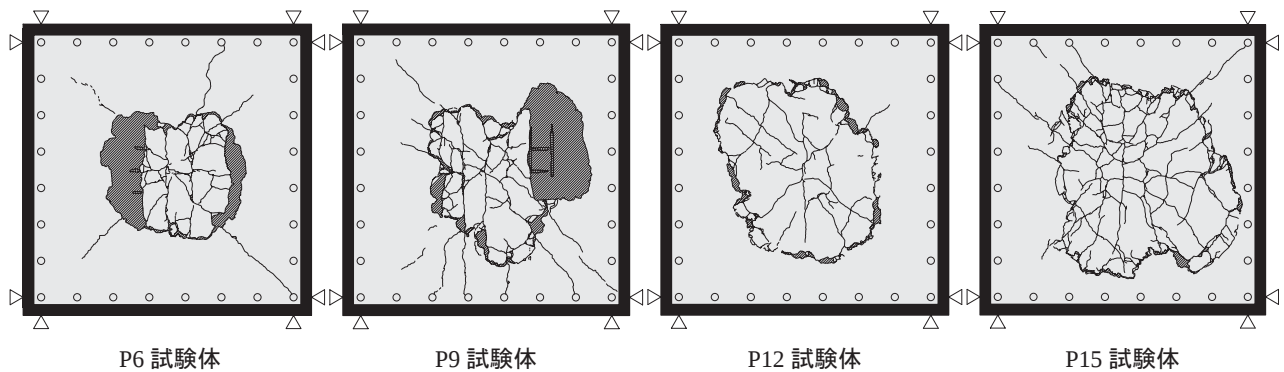


図-4 実験終了後における裏面のひび割れ分布性状

ん断ひび割れの発生位置が外側に移行し、押し抜きせん断コーンが拡大することに起因している。

また、写真-2の中央部切断面を見ると、いずれの試験体も図-1と同様、載荷面の端部より斜め約45度下方にせん断ひび割れが発生しているため、押し抜きせん断コーンが載荷面直径の増加と共に拡大していることが分かる。なお、載荷面の直径が小さいほど押し抜きせん断ひび割れが版上縁より浅部から形成され、みかけ上、有効高さが小さくなる傾向にある。これは、表-2に示すように載荷面の直径が小さいほど耐力比が小さくなることに関連するものと考えられる。またこれは、載荷面の直径が小さいほど破壊時に載荷治具が版内部に貫入する傾向にあることと対応するものと考えられる。

3.3 RC版下面の変位分布性状

図-5には、各試験体の最大荷重時におけるRC版の変位分布性状を比較して示している。

図-5(a)より、P6試験体の最大荷重時($P = 229 \text{ kN}$)では、P6試験体が他の試験体に比較して全体的に変形量が大きく示されている。これは図-3の荷重-変位関係でも見られるように、P6試験体の最大荷重時近傍における剛性勾配の低下に起因するものと考えられる。

一方、P9, P12, P15試験体では、荷重の増加に伴い変形量が大きく示されている。また、荷重が同等の場合の変形量は載荷面の直径にかかわらず、いずれの試験体も同程度であることが分かる。以上のことから、載荷面の直径が著しく小さい場合を除いて、載荷面の直径が同一荷重時におけるRC版の変形性能に及ぼす影響は小さいことが分かる。

3.4 下端鉄筋のひずみ分布性状

図-6には、主鉄筋および配力鉄筋のひずみ分布性状を示す。図-6(a), (b), (c)より、ひずみ分布は、載荷点近傍を頂点とし、版中央から400～600 mmの点を底辺とする三角形形状を示していることが分かる。また、載荷点近傍に発生するひずみは、P6, P9, P12試験体でそれぞれ1,000 μ , 1,500 μ , 1,750 μ 程度であり、載荷面直径の増加に対応して除々に増大している。このことから、載荷面直径の増加に伴うせん断耐力の増加は、載荷面直径が12 cm程度までは、一定の範囲内における下端鉄筋の分担張力の増加に起因するものと考えられる。

図-6(c), (d)より、P12, P15試験体のひずみ分布性状を比較すると、P12試験体では三角形形状を示しているのに対し、P15試験体では台形状を示していることが分かる。ま

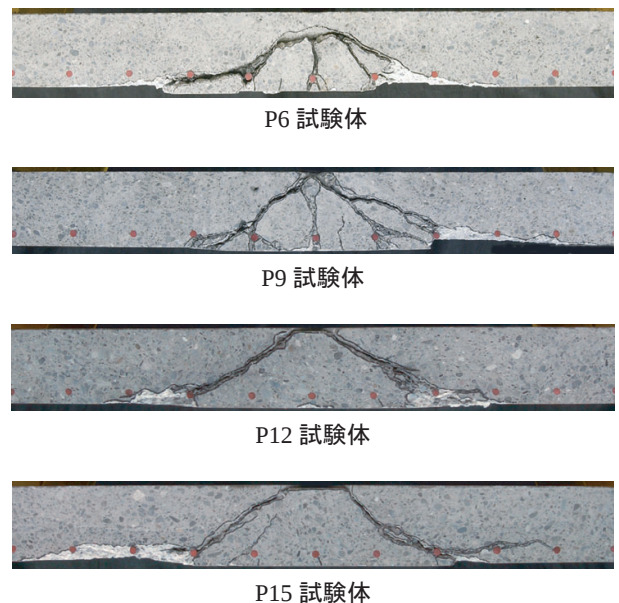


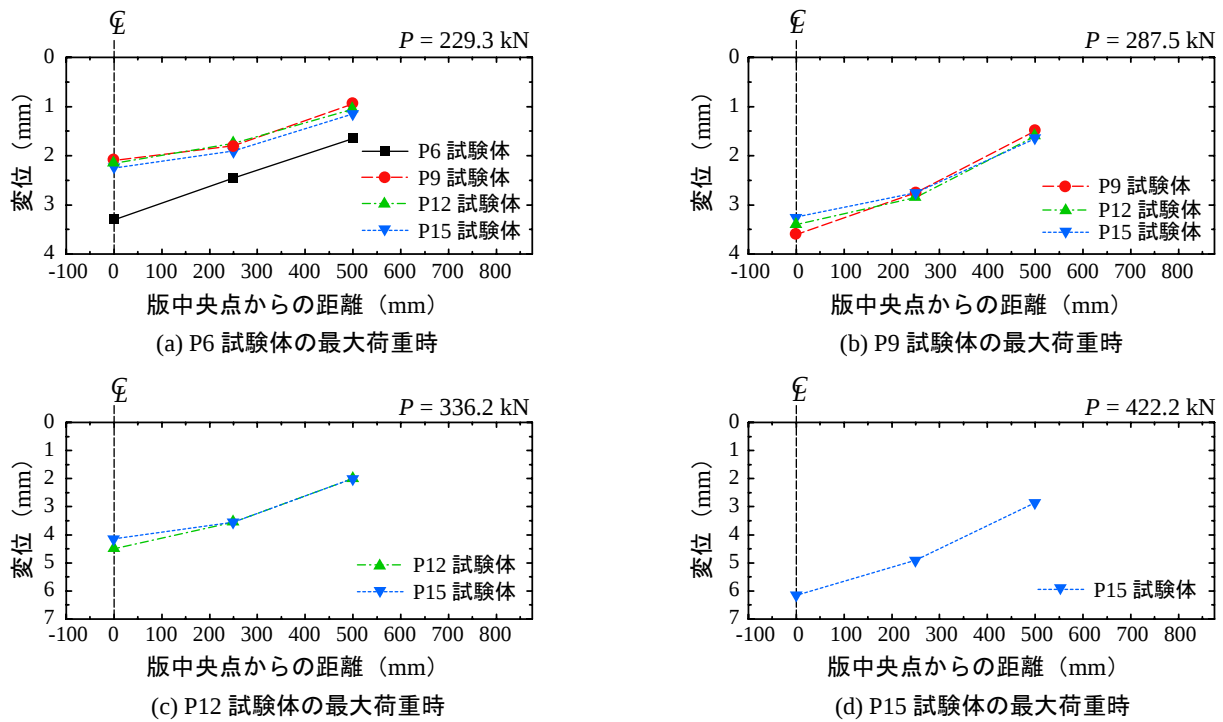
写真-2 実験終了後における中央部切断面の破壊性状

た、最大発生ひずみはいずれの試験体も約1,750 μ であり、降伏ひずみとほぼ同程度の値を示している。このことから、載荷面の直径がある程度以上に大きい場合の押し抜きせん断耐力の増加は、載荷点近傍からの鉄筋の降伏領域拡大に起因するものと推察される。なお、P15試験体でP12試験体よりも最大荷重時変位が大幅に増加したのは、上述したように主・配力鉄筋の降伏領域の拡大に関連するものと考えられる。

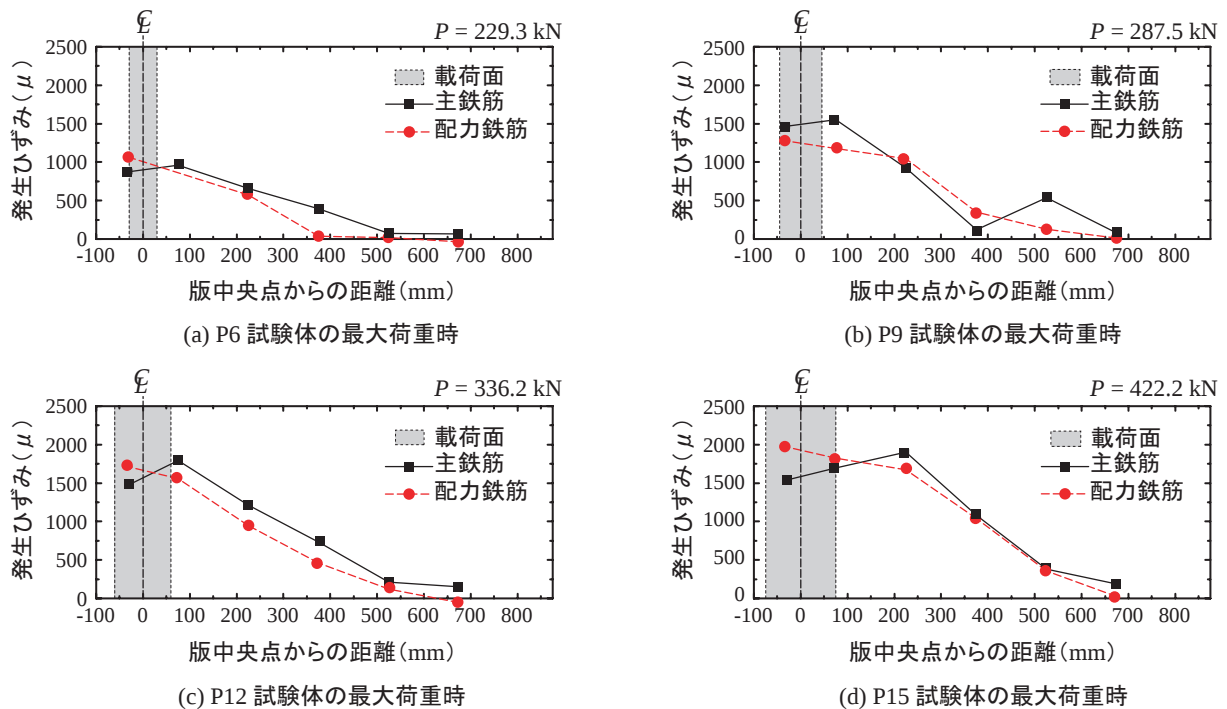
4. まとめ

本研究では、RC版の押し抜きせん断耐荷性状に与える載荷面直径の影響を詳細に検討するため、四辺単純支持条件のもと載荷面の直径を4種類に変化させたRC版の押し抜きせん断実験を実施した。本研究で得られた結果は以下の通りである。

- (1) 載荷面の直径は荷重-変位関係のなす剛性勾配に顕著な影響を与えない。一方、最大荷重および最大荷重時変位は載荷面直径の増加に伴い大きく増大する。示方書式による評価は載荷面直径が大きい場合には、より安全側となる傾向にある。



図－5 各試験体の最大荷重時における変位分布の比較図



図－6 各試験体の最大荷重時における鉄筋の発生ひずみ

- (2) 破壊性状は、コンクリート標準示方書の仮定と同様であり、押し抜きせん断ひび割れは荷重治具の端部より斜め約45度下方に進行する。そのため、押し抜きせん断コーンが載荷面の直径の増加とともに大きくなり、押し抜きせん断耐力が増大する。
- (3) 本研究の範囲内では、載荷面の直径が小さく最大発生ひずみが降伏ひずみより小さい場合には、一定の範囲

内における鉄筋の張力負担増により、また、最大発生ひずみが降伏ひずみに近い場合には、降伏ひずみの発生領域の拡大に起因して、せん断耐力がより増大するものと考えられる。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書（2002年制定）構造性能照査編，土木学会，2002