

V—11 RCスラブの自由縁附近載荷時の押抜きせん断耐力について

北海道大学工学部 正員 角田与史雄

北海学園大学工学部 正員 高橋義裕

北海道大学工学部 木村 勉

1. まえがき

鉄筋コンクリート (RC) スラブ、フラットスラブ、フーチングなど、スラブ系部材には種々あるが、それらの、集中荷重を受ける場合のせん断設計は、部材の全幅で抵抗するはり型せん断破壊を想定した安全性の検討と、荷重の周囲の局部的な破壊を想定した押抜きせん断破壊に対する安全性の検討とを並行して行う方法で統一がとられてきた。しかし最近、石橋らは¹⁾ 大口径杭に支持されるフーチングを対象に、部材の全幅が一様に抵抗できない不完全なはり型せん断破壊が存在することを指摘し、その場合の設計法として、有効幅を用いるせん断設計法を提案した。一方、著者ら²⁾ は自由縁をもつスラブにおいて、荷重が自由縁附近に作用するときの不完全な押抜きせん断破壊について実験を行い、この場合の耐力は、従来一般に考えられているよりも低いことを指摘した。本論文は、この問題についてこれまで行った実験をもとに、スラブの自由縁の影響による押抜きせん断耐力の減少に及ぼす種々の変数の影響について述べるものである。

2. 実験の概要

供試体は、図-1に示すように、一方の相対する二辺が単純支持、他の相対する二辺が自由な長方形スラブで、厚さ h とスパン a の組合せは、 $10\text{cm} \times 50\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 100\text{cm}$ 、 $15\text{cm} \times 100\text{cm}$ 、 $20\text{cm} \times 100\text{cm}$ の4種類について実験した。幅 b は、その影響を調べるための実験では $b = 30 \sim 100\text{cm}$ ($a = 50\text{cm}$ の場合) または $b = 30 \sim 140\text{cm}$ ($a = 100\text{cm}$ の場合) の範囲で変化させたが、他の実験では $b = 140\text{cm}$ ($a = 100\text{cm}$) に固定した。この値は、スラブ中央点に載荷したときに、自由縁の影響がほとんどなくなるように選んだ。

載荷位置は本研究における重要な変数であり、自由縁から荷重中心までの距離 (以下では縁端距離と名付ける) $e_2 = 10\text{cm} \sim b/2$ の範囲で変化させた。一方、支承からの距離 e_1 は大部分の場合に $e_1 = a/2$ の一定としたが、一部では $e_1 / e_1' = 42.5\text{cm} / 57.5\text{cm}$ とした。

荷重は所定の載荷面積をもつ鋼板を通じて作用させた。載荷面積は多くの場合 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の正方形としたが、載荷形状の影響を調べるため $u_1 / u_2 = 7\text{cm} / 14\text{cm}$ および $14\text{cm} / 7\text{cm}$ の長方形も実験した。また、面積の影響を調べるため $u_1 = u_2 = 7.5\text{cm}$ および 15cm の場合も実験した。

スラブの鉄筋は下面側のみの直交二方向配筋とし、大部分の場合に二方向同じ配筋としたが、一部の実験ではスパン方向および直角方向の鉄筋比 $p_1 / p_2 = 1.84\% / 1.00\%$ とした。鉄筋としてはすべて異形棒鋼SD35を用い、D10またはD13とした。

コンクリートは目標強度 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ で、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を用いた。

3. 実験結果および考察

自由縁の影響がないときのスラブの押抜きせん断耐力については過去に多くの研究が行われ、いくつかの耐力算定法が提案されている。その中の一つとして著者らの提案式があり³⁾、平均 (二方向の平均) 有効厚さ d 、平均鉄筋比 p 、荷重の周長 b_0 、コンクリートの圧縮強度 f_c 、鉄筋の降伏強度を f_y とおくと

$$P_{cal} = 0.674 (b_0 + 3\pi d) d \sqrt{f_c} \times (1 + 0.5 \frac{P f_y}{\sqrt{f_c}}) / (1 + \frac{d}{20\text{cm}}) \quad (1)$$

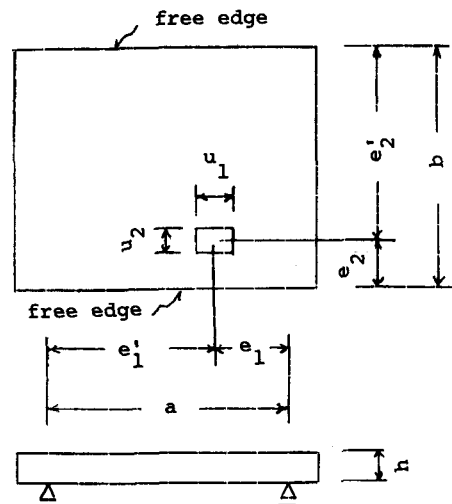


図-1 供試体の諸元

ここに、 $p_{fy}/\sqrt{f_c} > 3.33$ のときは $p_{fy}/\sqrt{f_c} = 3.33$ と置く。

図-2および図-3は、縁端距離 e_2 を変化させた実験で得られた押抜きせん断耐力の測定値 P_u の、上式による計算値 P_{cal} に対する比を示したものである。これらの図は、荷重が自由縁に近づくにつれて耐力が低下することが明確に示されている。その第一の原因は、押抜きせん断破壊の固有のピラミッド状の破壊面が自由縁によって断ち切られるため、抵抗面積が減少することにある。そこで従来一般に用いられている設計法は、押抜きせん断力に抵抗する臨界面断の長さを低減する方法である。すなわち、通常押抜きせん断耐力は、荷重面積の外周からスラブ有効厚さのある倍数の距離 αd だけ離れた位置の周長(図-4の U)をとるのに対し、自由縁附近の荷重に対しては、自由縁に直結する線の長さ(U')と比較し、短い方を選ぶ。ただし、図-4のように臨界面断隅角部をまるくせずに、長方形載荷には長方形臨界面断とする方法も用いられている。

いま、 $\alpha = 0.5$ として本実験結果に適用すれば、図-2および図-3のいずれに対しても、 $e_2 = 15.9\text{cm}$ のときに $U' = U$ となり、これより小さい e_2 の範囲で計算上の耐力低下があることになる。しかし実験結果は、図-2の場合に $r_2 < 24\text{cm}$ 、図-3の場合に $r_2 < 47\text{cm}$ の範囲で耐力低下が起ることを示している。また、 U'/U は計算上の耐力低下率に相当し、例えば $r_2 = 10\text{cm}$ に対しては、0.81である。しかし実験で得られた耐力低下率 P_u/P_{cal} は、図-2および3に対してそれぞれ0.68および0.54である。このように、自由縁の影響による耐力の低下は、その影響範囲から見ても、また影響の度合いから見ても、計算をはるかに上回ることがわかる。このことは、従来一般に用いられている臨界面断長の減少によって自由縁の影響を考慮する方法は、不十分であることを意味する。しかし、観測された破壊面形状は、自由縁による臨界面断長の減少を U'/U によって考慮することは、必ずしも不合理な仮定ではないことを示した。そこで、臨界面断長の減少のみを考慮するときの耐力計算値

$$P'_{cal} = \frac{U'}{U} P_{cal} \leq P_{cal} \quad (2)$$

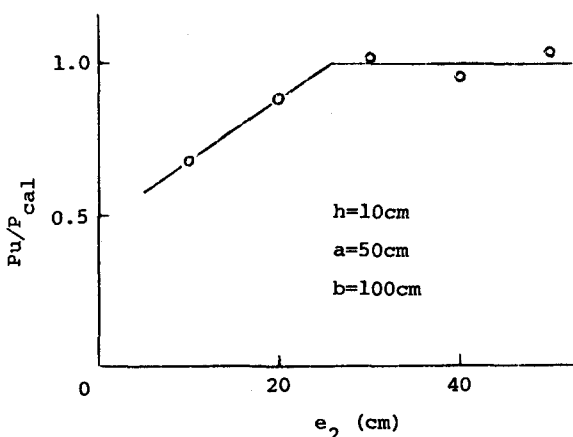


図-2 自由縁による耐力減少

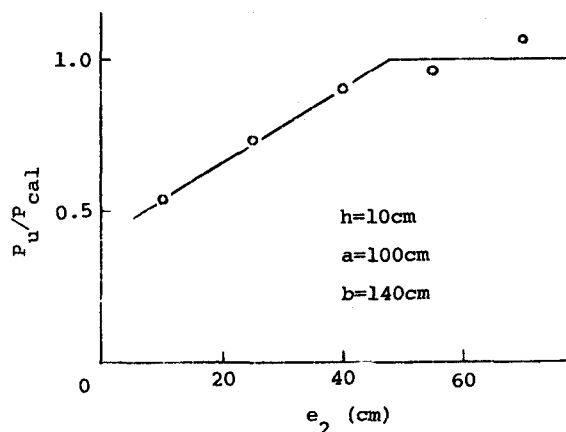


図-3 自由縁による耐力減少

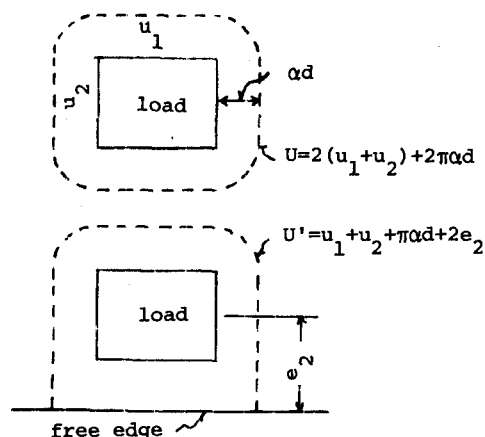


図-4 臨界面断の長さ

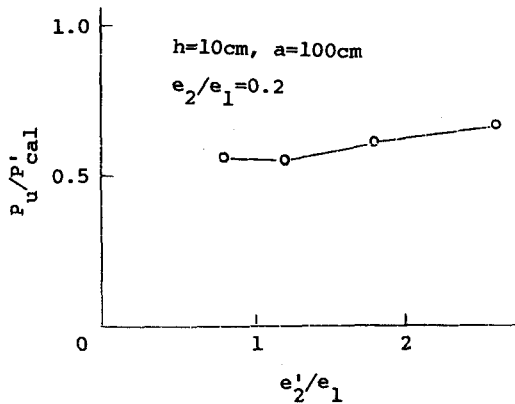


図-5 最大縁端距離の影響

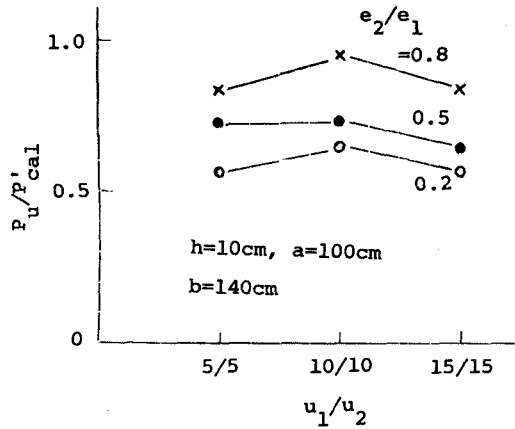


図-6 載荷面積の影響

に対する耐力測定値の比によって、各種変数の影響について調べることにする。

図-5は、相当する二つの縁端距離のうち、小さい方 e_2 を0.2の一定にし、大きい方の e_2' の値を変化させたときの耐力低減率を示している。これによれば、 e_2 が小さい方が耐力が小さくなる傾向が見られるが、その影響度は e_2' の影響度に比べてはるかに小さいことがわかる。すなわち、自由縁の影響は主として小さい方の縁端距離に支配され、大きい方の縁端距離は二次的な影響しかもたず、粗い近似としては無視できる程度のものであるとすることができる。

図-6は、正方形載荷面積の辺長の影響を示したものである。その影響は、すでに P_{cal} の計算において b_0 の影響として考慮に入っているため、この図は、自由縁の影響を考慮する際に改めて載荷辺長の影響を加える必要があるかどうかを調べたものである。結果は、耐力低下率は載荷辺長の値にほとんど問題なく一定となっており、 P_{cal} 中での考慮だけで十分であることが示されている。

図-7は載荷面積の辺長比の影響を示したものである。ここで調べた三種の辺長比では、(1) 式中の b_0 の値はほぼ等しいので、 P_{cal} への影響はほとんど考慮されていない。それに対してこの図は、自由縁の影響を考慮する場合にも載荷辺長比の影響はとくに加える必要がないことを示している。

その他の変数の影響については図は省略するが、まず、二方向鉄筋比の相違による

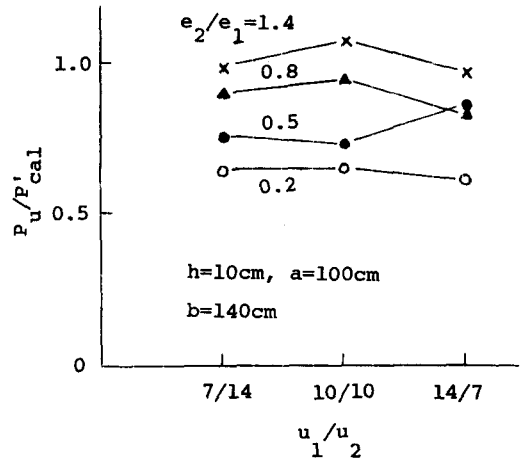


図-7 長方形載荷の影響

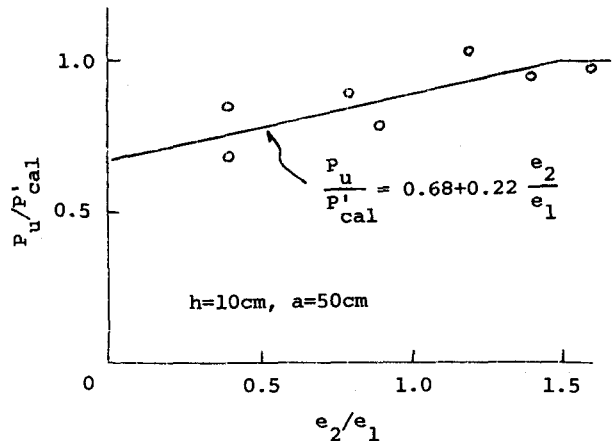


図-8 e_2/e_1 の影響

影響は、自由縁附近に載荷したときのみでなく、縁端距離の大きな場合にも影響が現れた。このことは、(1) 式では二方向の鉄筋比の平均値としてその影響が考慮されるが、二方向の鉄筋比が大きく異なるときはその方法では不十分であることを示唆するものである。実験結果は、各々の方向について $p_{fy} / \sqrt{f_c}$ の上限値(3.33)を適用した後に二方向の平均値をとることにより、上記の影響が取除かれることを示した。(1) 式をそのように修正すれば、それとは別に自由縁の影響として二方向鉄筋比の相違を考慮する必要はないようである。

以上の結果より、自由縁による押抜きせん断耐力の低下は、主として短かい方の縁端距離によって評価することができ、その他の変数の影響は一般の押抜きせん断耐力式の中で考慮すれば十分であることがわかった。図-8～11はスラブ厚とスパンの組合わせの各々に対する $P_u / P'_{cal} - e_2 / e_1$ 関係を示したもので、データ数が少ない図-8の場合を除き、ほぼ似た関係となっている。そこで全体を合わせて回帰直線を求めた結果、次式が得られた。

$$P'_{cal} = 0.54 + 0.37 \frac{U'}{U} P_{cal} \leq P_{cal} \quad (3)$$

4. まとめ

本研究は、RCスラブの自由縁附近に集中荷重が作用するときの押抜きせん断耐力について実験的に検討を行ったものである。得られた主な結果を列挙すれば、次のとおりである。

- 1) 破壊面の観察結果からは、自由縁附近に載荷した場合、破壊面が自由縁により短縮すること明らかであるが、実際の耐力は破壊面の長さの短縮率より大きく減少する。
- 2) 臨界面として荷重周縁から $d/2$ の位置にとるとき単位長さ当り耐力は、縁端距離比 e_2 / e_1 とほぼ直線関係に近似できる。
- 3) 自由縁の影響による耐力減少に対する荷重面積、荷重辺長比、配筋比の影響は無視することができる。

謝辞 本研究の一部は文部省科学研究費によって行われた。また、実験に際し、多くの学生(当時)の協力を受けた。ここに感謝の意を表する。

文献 1) 石橋, 松田, 斉藤, 土木学会論文報告集 No.337, 1983.9 2) Takahashi and Kakuta, Trans. of JCI, V.5, 1983 3) 角田, 井藤, 藤田, 土木学会論文報告集 No.229, 1974.9

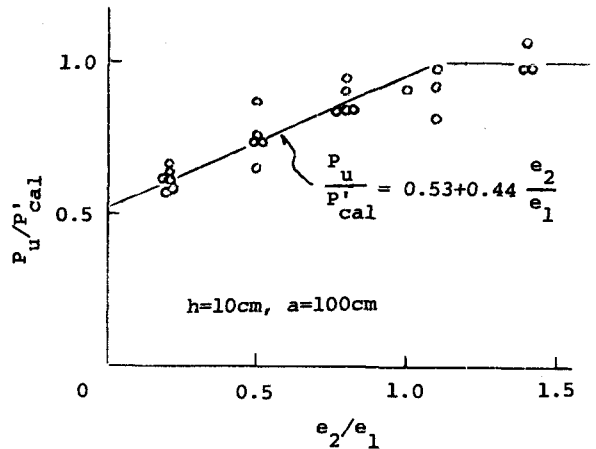


図-9 e_2 / e_1 の影響

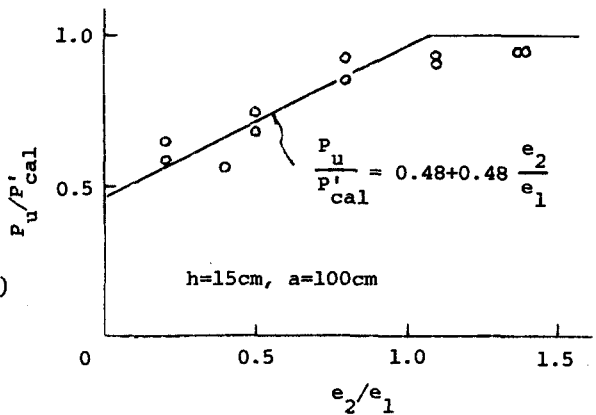


図-10 e_2 / e_1 の影響

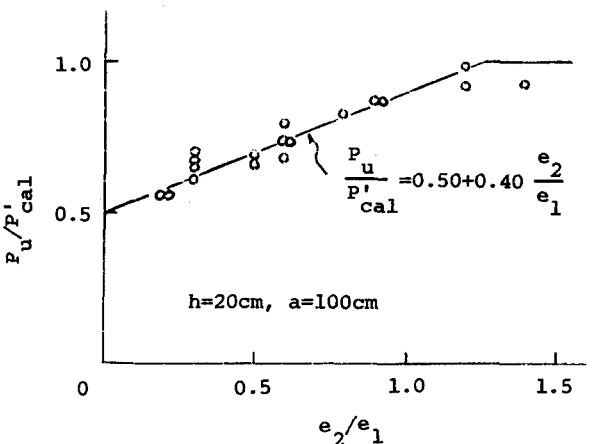


図-11 e_2 / e_1 の影響