

[2103] RC スラブの局部せん断破壊に関する基礎実験

正会員 ○高橋 義裕 (北海学園大学工学部)
 正会員 角田与史雄 (北海道大学工学部)

1. まえがき

鉄筋コンクリート (RC) スラブ、フラットスラブ、フーチングなどの面部材のせん断設計では、はりや柱などの棒部材におけると同様に部材幅全長にわたって破壊が生ず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が行われている。これらのせん断破壊形態は理想化したものであるが、実際にはさらに複雑な破壊形態が存在しうる。例えば、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ている。一方、著者らは [2] 自由縁を有する RC スラブにおいて、荷重が自由縁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、従来一般に用いられている慣用の臨界面長の減少以上に耐力低下が起こることを指摘している。また、フーチングの内部に定着力を受けるときの引抜きせん断破壊では、多くの因子が影響を持つ非常に複雑な性質を示すことが知られている [3]。このような各種の問題については、現在のところケーススタディに依存せざるをえないが、もしも共通的な法則性を見出しておくことができれば便利である。本論文は、このような目的で行った RC スラブの局部せん断破壊に関する基礎的な実験結果について述べるものである。

2. 実験方法

実験供試体は図-1 に示すように相対する二辺が単純支持、他の二辺が自由な長方形スラブで、スパン $l = 70\text{cm}$ およびスラブ厚 $h = 15\text{cm}$ は一定とし、供試体幅 B は表-1 に示すように $15 \sim 90\text{cm}$ の間で変化させている。

鉄筋はSD35のD13 を使用し、スパン方向および直角方向ともに 6cm 間隔で配鉄した。それぞれの方向の有効高さは 12.85cm および 11.55cm である。コンクリートは水セメント比 47% 、細骨材率 45% で、早強ポルトランドセメント、海砂および川砂利を使用した。

実験は材令7日で、そのときのコンクリート強度の平均は 285kgf/cm^2 であった。荷重は $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の正方形鋼板を介して作用させた。荷重位置は大部分の供試体で中央位置としたが、 $B = 90\text{cm}$ 、 75cm の供試体では自由縁方向へ偏心した位置での荷重実験も行った。また、荷重は供試体上面に作

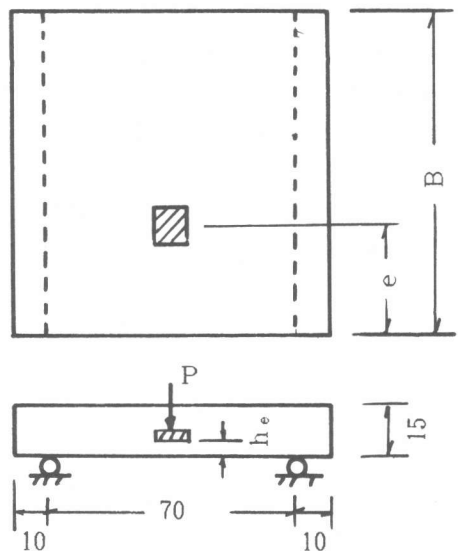


図-1 実験供試体

用させる場合 ($h_e = h = 15\text{cm}$) のみでなく、厚さの中間部に作用させる場合 ($h_e = h/3 = 10\text{cm}$ および $h_e = 2h/3 = 5\text{cm}$) についても実験を行った。このような厚さの中間部に荷重を作用させる載荷 (以下この載荷状態を埋込み載荷と呼ぶ) においては、供試体の所定の位置に予め正方形載荷鋼板を埋込んでおき、その上部を直径約5cmの鋼棒を介して鋼板に荷重を与えた。鋼棒とコンクリートとの付着を除くため鋼棒をビニールフィルムで巻いた状態にして載荷を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 破壊状況

供試体はすべてせん断破壊をした。供試体中央位置の上面載荷した場合は、幅Bが小さいものでは、はり型せん断破壊を起こしたが、幅Bが大きい場合は外見上押抜きせん断破壊形態を示した。それに対して荷重位置が自由縁に近い場合には、押抜きせん断破壊における破壊面の一部が自由縁によって断ち切られる様な形で破壊した。一方、厚さの中間部に載荷した供試体では載荷面から下の部分のコンクリートが局部的に押抜かれる形で破壊が生じた。それは、引抜きせん断破壊のときに見られるものと同様なものである。

(2) はり型せん断破壊における埋込み載荷の影響

各供試体の破壊荷重 P_{test} を表-1に示す。ただしコンクリート強度 f'_c のばらつきの影響をある程度取り除くため、実際の破壊荷重に $\sqrt{285/f'_c}$ を乗ずることにより、 $f'_c = 285\text{kgf/cm}^2$ の場合に換算した値を P_{test} としている。

図-2は、供試体中央位置に載荷した場合の破壊荷重 P_{test} と供試体幅Bとの関係を示したものである。これによれば、上面載荷 ($h_e = 15\text{cm}$) の場合ではBが60cm付近まで P_{test} は供試体幅Bにほぼ比例していることがわかる。これは、はり型せん断破壊の特徴である。また、図中の点線は二羽ら [4] の提案式によるはり型せん断耐力の計算値を示すが、幅Bが60cm付近まで

表-1 破壊荷重

No.	B (cm)	e (cm)	h_e (cm)	P_{test} (tf)
4	90	45.0	15	28.8
5	90	45.0	10	16.5
6	90	45.0	5	7.7
10	90	30.0	15	26.5
11	90	30.0	10	15.9
12	90	30.0	5	8.3
13	90	5.0	15	11.0
14	90	5.0	10	11.3
15	90	5.0	5	3.8
16	15	7.5	15	5.6
17	15	7.5	10	4.6
18	15	7.5	5	2.6
19	30	15.0	15	12.1
20	30	15.0	10	7.8
21	30	15.0	5	5.3
22	45	22.5	15	16.3
23	45	22.5	10	12.4
24	45	22.5	5	5.7
25	60	30.0	15	23.2
26	60	30.0	10	12.9
27	75	37.5	15	25.4
28	75	37.5	10	14.4
29	75	37.5	5	7.4
30	75	18.75	15	22.7
31	75	18.75	10	10.3
32	75	18.75	5	7.6
33	75	5.0	15	21.6
34	75	5.0	10	10.4
35	75	5.0	5	5.8

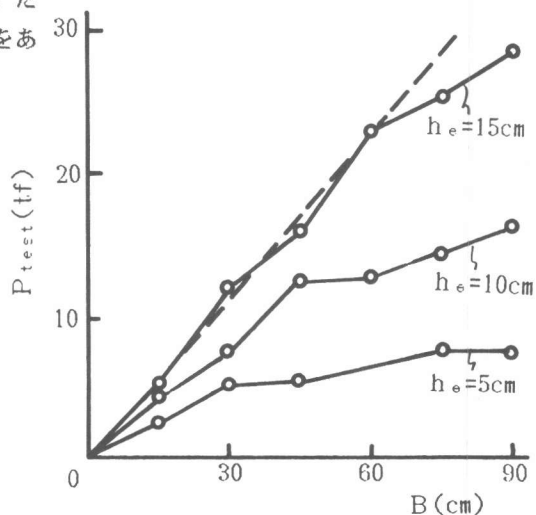


図-2 破壊荷重と供試体幅の関係

は実験値とほぼ一致していることからやはり型せん断破壊を起こしていることがわかる。

一方、埋込み載荷の場合についても、 $h_e = 10\text{cm}$ の場合には B が 45cm 付近まで、 $h_e = 5\text{cm}$ の場合には B が 30cm 付近までは、破壊荷重 $P_{t,est}$ が供試体幅 B にほぼ比例している。このことは埋込み載荷のときにもやはり型せん断破壊とみなせる領域が存在することを意味している。ただしその領域は、上面載荷のときに比べて狭く、 h_e が小さいほど狭くなっている。

いま、上記の比例関係が成立する領域のデータのみについて載荷面より下側のコンクリート受ける破壊時の平均せん断応力度 $f = P_{t,est} / B h_e$ を求め、 h_e との関係で示したのが図-3である。ところで、 h_e が小さくなれば、破壊面は曲げ引張応力度の大きい範囲に限定されてくるため、せん断耐力にとっては不利となるはずである。しかし、図-3は h_e が小さくなるほど平均せん断応力度 f が高くなることを示しており、上記と逆の結果となっている。これは h_e が小さいほど引張鉄筋の寄与率が相対的に高まること、およびコンクリート部材のせん断耐力には寸法効果があることなどによるものと考えられる。

以上の結果は、埋込み載荷を行う場合、やはり型せん断破壊によるときには、通常のやはり型せん断耐力 V_0 に h_e/h を乗じた値よりも一般に高い耐力が期待できることをいみしている。すなわち

$$V = \alpha V_0 \frac{h_e}{h} \quad (1)$$

とおくとき、 $\alpha = 1$ とする仮定は一般に安全側であることがわかる。なお図-3の実験結果を直線に近似すれば、係数 α はほぼ次式で表すことができる。

$$\alpha = 1 + 0.45 (1 - h_e/h) \quad (2)$$

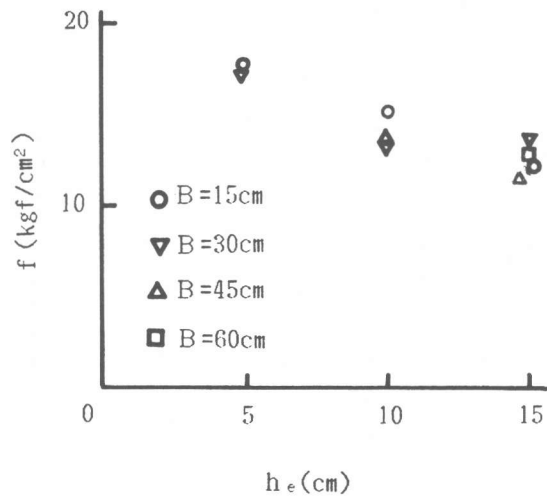


図-3 破壊時の平均せん断応力度

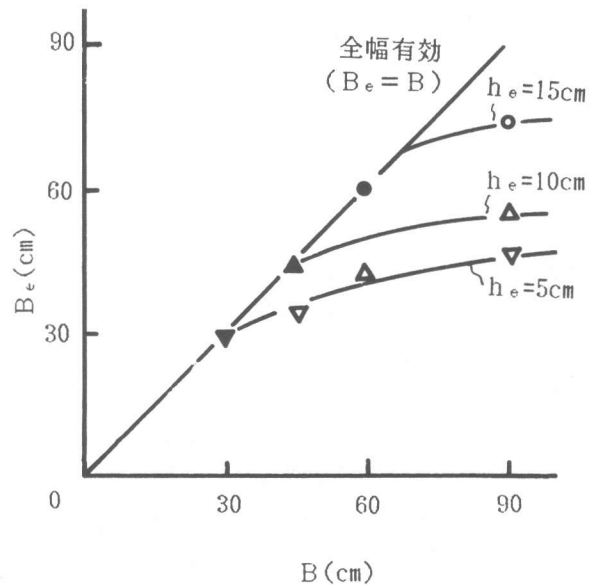


図-4 有効幅に対する供試体幅の影響

(3) 不完全なはり型せん断破壊における耐力

前述の図-2において、供試体幅Bがある限界値を越えれば破壊荷重 P_{test} と幅Bとの比例関係が成立せず、はり型せん断耐力よりも低い耐力となることが示された。その原因として、Bの増加によりはり型せん断破壊から押抜きせん断破壊への移行が考えられるが、本実験の場合に限って言えば、幅Bが最大の90cmの場合でも、上面載荷の場合には計算上の押抜きせん断耐力が35.6tfであるのに対し、計算上のはり型せん断耐力は35.0tfであって、わずかな差ではあるがはり型せん断耐力が下回っている。しかし、このように両者の耐力が近い場合には、不完全なはり型せん断破壊と、不完全な押抜きせん断破壊の両面から検討する必要があるようにおもわれる。前者については別の機会に述べることにし、ここでは後者について検討する。

石橋ら[1]は前述のように、不完全なはり型せん断耐力の評価に有効幅の概念を導入した。そこで、はり型せん断耐力よりも低い耐力となった上述のデータに対して次式

$$B_e = \frac{V}{V_0} B \quad (3)$$

で有効幅 B_e を定義し求めた結果が図-4である。これによれば、埋込み載荷の場合の有効幅は、上面載荷の場合に比べて小さいことがわかる。また、一般的に見てBが大きくなれば有効幅がある一定値に近付くと考えられるが、 $h_e=5\text{cm}$ に対するデータを見る限りでは、幅Bの増加によって全幅有効からはずれるとき、直ちに一定の有効幅に移行するのではなく、ある過渡的な領域が存在する傾向がみられる。しかし、有効幅の大きさを定量的に評価するには本実験のデータのみでは無理であり、今後さらにデータの蓄積が必要である。

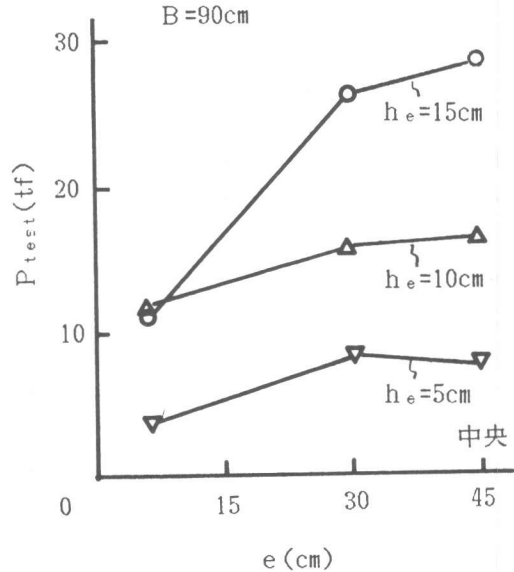


図-5 破壊荷重に対する自由縁の影響

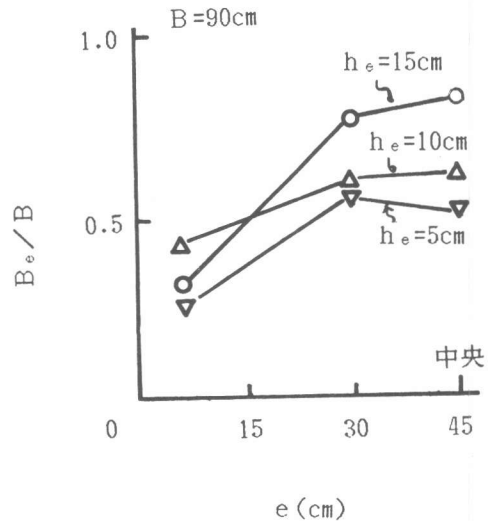


図-6 有効幅に対する自由縁の影響

(4) 自由縁の影響

図-5は、破壊荷重に対する平面的な載荷位置の影響を示したものである。スラブの上面に載荷するときに、載荷位置が自由縁に近付けば押抜きせん断耐力の低下が起こることはすでに知られているが、この図より、埋込み載荷の場合にも自由縁の影響による耐力低下があることがわかる。ただし、上面載荷 ($h_e=15\text{cm}$) の場合には $e=30\text{cm}$ でも多少の耐力低下が見られるのに対し、埋込み載荷では $e=5\text{cm}$ の供試体でのみ耐力低下が起こっている。このことから、 h_e が小さいほど自由縁が影響を及ぼす範囲が狭くなるなると考えられる。いま、埋込み載荷の影響を前述の(2)式により考慮することにより、上記の実験結果からはり型せん断耐力に対する有効幅 B_e を求め供試体幅 B との比 B_e/B を求め自由縁の影響について図-6に示した。このように耐力低下を有効幅 B_e によって評価するとき、上面載荷および埋込み載荷のいずれの場合にも、自由縁付近に荷重が作用するときの有効幅の減少が起こることがわかる。

スラブの押抜きせん断破壊において、荷重が自由縁付近に作用するとき、一般に臨界面を自由縁に短絡することにより耐力低下が考慮されている[5]。いま、 $B=90\text{cm}$ の供試体の中央位置に載荷したときの有効幅が偏心位置での載荷の場合にもそのまま適用できるものと仮定し、有効幅と自由縁との関係を示したのが図-7である。まず、中央載荷の供試体No.6より $B_e=46.2\text{cm}$ が得られる。次に偏心載荷のNo.12では、自由縁に妨げられることなく有効幅 $B_{e1}=46.2\text{cm}$ がとれるが、No.15では荷重中心から自由縁まで 5cm しかないため、 $B_{e1}=28.1\text{cm}$ と短くなる。このようにして得られた有効幅 B_{e1} を、破壊荷重から直接求めた有効幅 B_e と比較したのが表-2である。上面

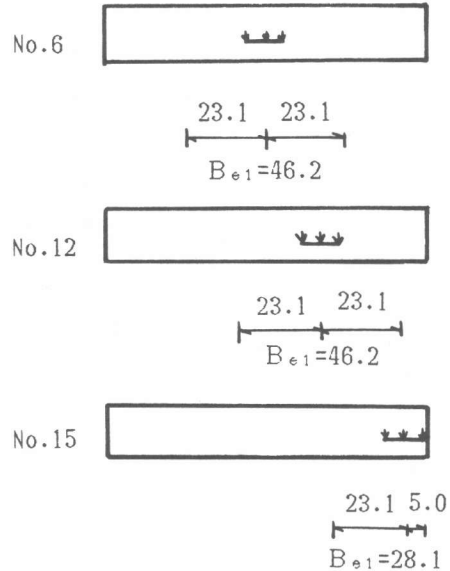


図-7 有効幅の例

表-2 有効幅の比較

No.	B_e (cm)	B_{e1} (cm)	B_e/B_{e1}
10	69.1	67.5	1.02
11	54.1	56.1	0.96
12	50.3	46.2	1.09
13	28.6	43.5	0.66
14	38.5	34.1	1.13
15	23.1	28.1	0.82

載荷の供試体No. 13 より埋込み載荷のNo. 14の方が破壊荷重が低くなるなど実験結果にばらつきがあるため明確なことは言い難いが、埋込み載荷の場合にも有効幅の減少によってある程度自由縁の影響を評価できると言えよう。

4. まとめ

本研究は、RCスラブの引抜きせん断などにおける局部せん断破壊における基本性状を明らかにするため、埋込み載荷実験を行った結果について、はり型せん断耐力を基準とし考察を行ったものである。得られた主な結果を列挙すれば、次の通りである。

1) 上面載荷の場合と同様に埋込み載荷の場合にも、部材幅がある限界値以下ではせん断耐力が部材幅に比例し、全幅有効として取り扱うことができる。そのときの破壊時の平均せん断応力度は h_0/h の減少とともに増加する。

2) 部材幅が上記の限界値を越えるときには、有効幅を考えて耐力評価を行うことができるが、有効幅は部材幅の増加に対して直ちに一定値とはならず、過渡的領域が存在するようである。

3) 埋込み載荷の場合の有効幅 B_0 は、上面載荷に比べて小さくなっている。

4) 埋込み載荷の場合にも載荷位置が自由縁に近付けば、耐力低下が起きる。その影響は自由縁による有効幅の短絡によってある程度評価することができる。

参考文献

- [1] 石橋忠良, 松田好史, 斉藤啓一: 小数本のくいをを用いたフーチングのせん断設計につて, 土木学会論文報告集, 第337号 p.p.197~204, 1983年9月
- [2] Takahashi, Y. and Kakuta, Y.: Effect of Free Edge on Punching Strength of Reinforced Concrete Slabs, Transactions of JCI, Vol.5, p.p.255~260, 1983
- [3] 前田 弘: 送電用鉄塔基礎としての4本杭に支持されたRCスラブの設計法にかんする研究, 土木学会論文集, 第360号/V-3, p.p.101~110, 1985年8月
- [4] 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村 甫: せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, 第372号/V-5, p.p.169~176, 1986年8月
- [5] 昭和61年度制定 コンクリート標準示方書(設計編), 土木学会, 1986