

V—19 RCスラブの埋込み載荷によるせん断耐力について

北海道大学 正員 角田与史雄

北海学園大学 正員 高橋 義裕

1. まえがき

鉄筋コンクリート(RC)スラブや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、安全性の検討が行われている。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¹⁾らは杭で支持されたフーチングのはり型せん断破壊において、全幅が有効に抵抗できない場合があることを見出し、有効幅を用いる設計法を提案している。また、著者ら²⁾はスラブの自由縁の近くに荷重が作用するときの押抜きせん断破壊では、慣用の臨界面長の減少以上に耐力低下が起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も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得ないが、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基礎的な実験結果について述べたものである。

2. 実験方法

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 $\ell = 70\text{cm}$ および厚さ $h = 15\text{cm}$ は一定とし、供試体幅 B は表1に示すように15~90cm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間隔に配置した。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日に行い、荷重は10cm×10cmの正方形鋼板を介して作用させた。載荷位置は大部分の供試体で中央位置としたが、 $B = 90\text{cm}$ の供試体では自由縁方向へ偏心した位置での載荷試験も行った。また、荷重は供試体上面に作用させる場合($h_e = h = 15\text{cm}$)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。このような埋込み載荷においては、供試体の所定の位置に予め鋼板を埋め込んでおき、その上部に設けておいた円筒の中に鋼棒を挿入して鋼板に荷重を与えた。なお、円筒の直径は約5cmである。

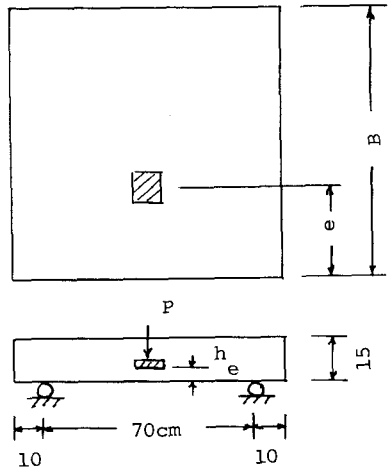


図1 供試体

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に載荷した場合は、幅 B が小さいものでははり型せん断破壊を起したが、 B が大きい場合は外見上押抜きせん断破壊に近い破壊形態を示した。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ような形態で破壊した。一方、厚さの中間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 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 60 cm 以下の場合に P_{test} が 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、 $B \leq 60 \text{ cm}$ では実験値とほぼ一致していることから、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 45 cm 以下の場合、 $h_e = 5 \text{ cm}$ の場合には B が 30 cm 以下の場合に、破壊荷重 P_{test} 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、上面載荷のときと比べて狭く、 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が受ける破壊時の平均せん断応力度 $f = P_{test}/B h_e$ 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してくるため、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 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。

図 4 は、本実験とは別に行った幅 15 cm 、高さ 25 cm 、鉄筋比 3.3% のはり供試体において、全幅に載荷した実験より得られた f と h_e の関係を示したものである。この図では、前述の図 3 におけるほどの強い影響は見られないが、やはり h_e が小さいほど f が大きくなっている。

以上の結果は、埋込み載荷を行う場合、はり型せん断破壊によるときには、通常のはり型せん断耐力 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意味している。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

表 1 破壊荷重

No.	B (cm)	e (cm)	h_e (cm)	P_{test} (tf)
4	90	45	15	28.8
5	90	45	10	16.5
6	90	45	5	7.7
10	90	30	15	26.5
11	90	30	10	15.9
12	90	30	5	8.3
13	90	6	15	11.0
14	90	6	10	11.3
15	90	6	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	15	12.1
20	30	15	10	7.8
21	30	15	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	15	23.2
26	60	30	10	12.9

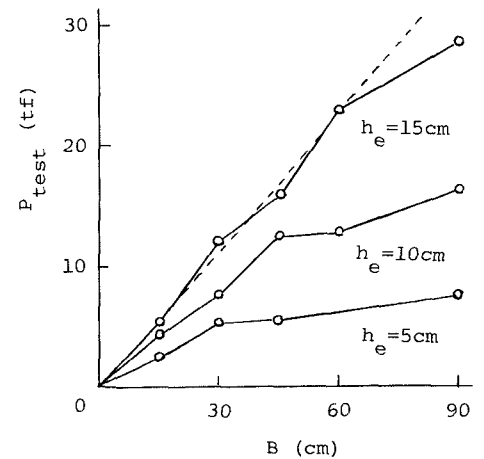


図 2 破壊荷重と供試体幅の関係

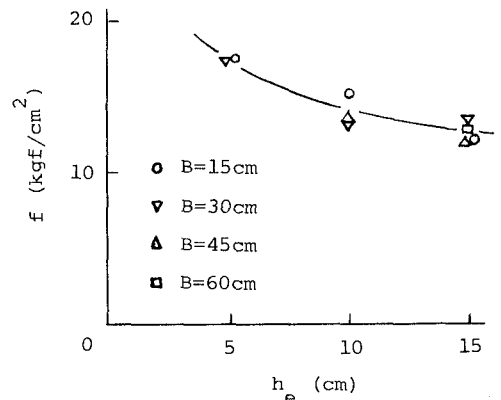


図 3 破壊時の平均せん断応力度

とがわかる。なお、図3および図4の実験結果を直線に近似すれば、係数 α はほぼ次式で表わすことができる。

$$\alpha = 1 + \frac{4}{9} \left(1 - \frac{h_e}{h} \right) \quad (2)$$

(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、 B がある限界値を越えれば破壊荷重 P_{test} と供試体幅 B の間の比例関係が成立たず、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、 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しての観点からと、不完全な押抜きせん断破壊としての観点からの、両面から検討する必要があるように思われる。ここでは、後者の観点からの検討を行うことにする。

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を用いて、有効幅 B_e を求めた結果が図5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づくと考えられるが、 $h_e=5\text{cm}$ に対するデータを見る限りでは、 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見られる。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。

(4) 自由縁の影響

図6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、荷重位置が自由縁に近づ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 $e=6\text{cm}$ の供試体でのみ耐力低下が起っている。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

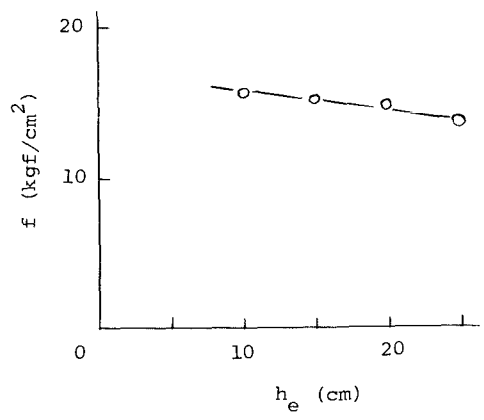


図4 他実験による破壊時平均せん断応力度

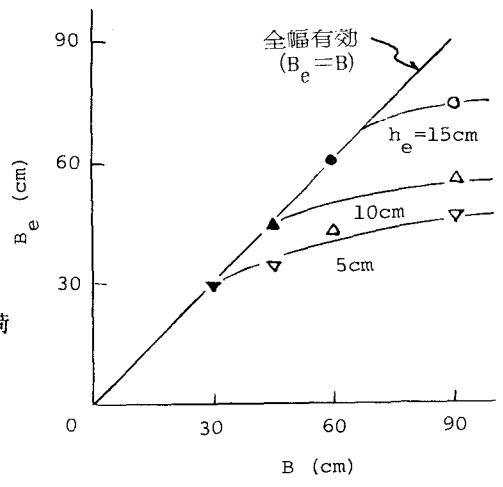


図5 有効幅に対する供試体幅の影響

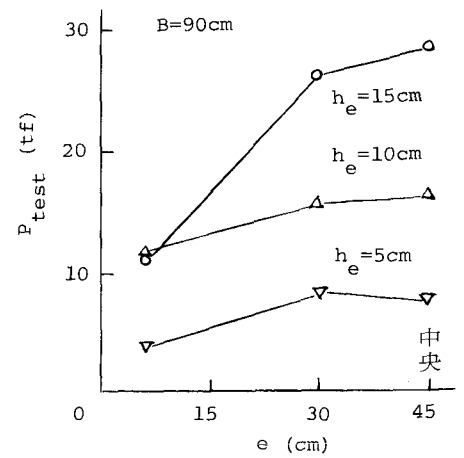


図6 破壊荷重に対する自由縁の影響

とにより、上記の実験結果からははり型せん断耐力に対する有効幅 B_e を求めた結果を図7に示す。ここでもとくに埋込み載荷の場合に果してはり型せん断破壊として取扱ってよいかについての疑問は残るが、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、自由縁附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、荷重が自由縁附近に作用するとき、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⁴⁾。これをはり型せん断破壊に当てはめてみよう。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載荷の場合にそのまま適用できると仮定する。図8はそのときの有効幅の例を示したもので、まず、中央載荷の供試体No.6より $B_{e1} = 46.2\text{cm}$ 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6cmしかないため、 $B_{e1} = 29.1\text{cm}$ 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。

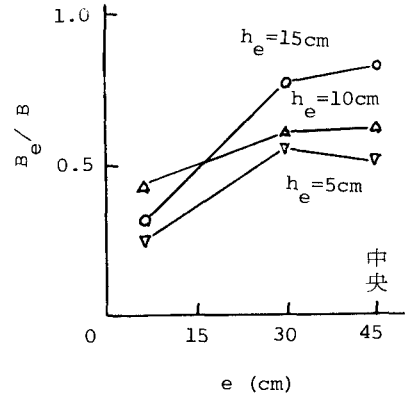


図7 有効幅に対する自由縁の影響

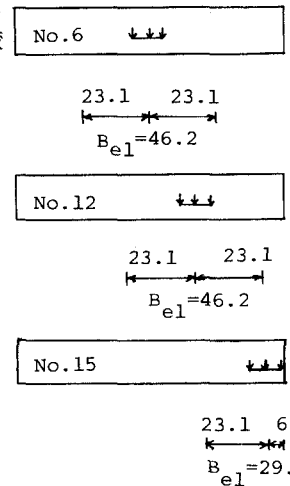


図8 有効幅の例

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、はり型せん断耐力の観点から考察を行ったものである。得られた主な結果を挙げれば

- 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、全幅有効として扱うことができる。そのときの破壊時平均せん断応力度は h_e/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は、有効幅を考慮して耐力評価を行うことができるが、有効幅は部材幅の増化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) 埋込み載荷の場合にも載荷位置が自由縁に近づけば耐力低下が起る。その影響は自由縁による有効幅の短縮によってある程度評価することができる。

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	29.1	0.79

謝辞 本研究の実施に当り、岸野義夫、佐藤由広、高野勝也、松

沢和人の各氏の多大な助力を受けた。また、本研究の一部は文部省科学研究費の補助を受けた。ここに合わせて感謝の意を表する。

文献 1) 石橋、松田、斉藤、土木学会論文報告集No.337、1983

JCI, Vol.5, 1983 3) 前田、土木学会論文集No.360、1985

設計編、土木学会、1986

2) Takahashi, Kakuta, Transactions of

4) 昭和61年制定コンクリート標準示方書