

[69] RC スラブの押抜きせん断耐力に対する自由縁の影響について

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

鉄筋コンクリートスラブやフーチングの設計においては、曲げ破壊およびせん断破壊の両者に対して所定の安全性を確保する必要があるが、後者は一般に、はり型せん断と押抜きせん断とに大別して取扱っている。従って各国の示方書ともその各々に対する設計方法を与えているが、その際、荷重がスラブの自由縁付近に作用するときの設計方法を合わせて与えているものもある。例えば A C I 318²⁾では、通常は図-1の(a)に示すように荷重周囲の閉じた線に臨界面をとって耐力を算定するが、荷重がスラブの自由縁付近にあるときは、(b)に示すように自由縁に直結する線を描き、その長さが(a)の閉じた線の長さよりも短かければ、(b)を臨界面にとって設計することになっている。また、図-2は C E B - F I P³⁾の臨界面を示したもので、隅角部を丸くする点で A C I と異なるほか、自由縁から荷重までの距離が有効厚さの5倍以内のときは、(c)の長さとも比較して最も短い長さを用いることにしている。これらの方法は、いずれも、荷重がスラブの自由縁付近に作用して押抜きせん断破壊面が自由縁に直結するため、有効に抵抗できる長さが短くなると考えるものである。しかし、実際の自由縁の影響は、これよりもっと複雑なものであることが想像される。そこで、著者らはさきに、この問題について一組の実験結果の概要を発表したが¹⁾、本研究はそれに引続いて行なった実験結果をまとめたものである。

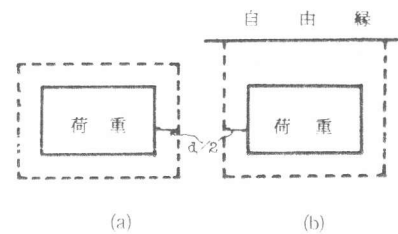


図-1 A C I²⁾の臨界面

2. 供試体および実験方法

本研究で用いた供試体は、図-3に示すように、相対する二辺が支持、他の二辺が自由の長方形スラブで、スパンは100cmの一定としたが、幅Bは変数の一つとし、50~140cmの間に变化させた。鉄筋はSD35のD10を用い、主鉄筋および配力鉄筋ともに5cm間隔に配置した。それぞれの有効厚は8cmおよび7cmである。なお、主鉄筋端部はフック定着とし、配力鉄筋は最も外側にある主鉄筋に引っかけて定着した。

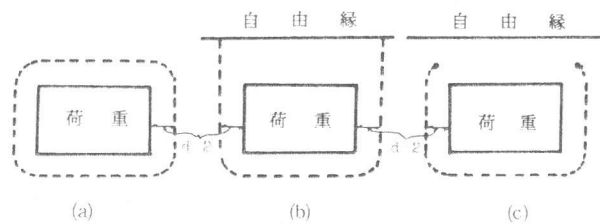


図-2 C E B - F I P³⁾の臨界面

載荷は一点載荷とし、載荷面積は $r_1 \times r_2 = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 、 $7 \text{ cm} \times 14 \text{ cm}$ および $14 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$ の三種とし、

載荷位置はスパンの中心線としたが、スラブ自由縁から荷重中心までの距離 e は変数とした。なお、コンクリートは、正方形載荷のスラブについては単位セメント量 320 Kg/m^3 、水セメント比 50%、長方形載荷のスラブについてはそれぞれ 324 Kg/m^3 および 50% で、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を使用している。実験材令は7日で、そのときのコンクリート圧縮強度は平均 30.7 Kg/cm^2 であった。

なお、支承は鋼丸棒を細長い鋼板で狭んだもので、隅角部の浮上りは自由である。また実験に際しては一部の供試体について主鉄筋または配力鉄筋のひずみを測定した。

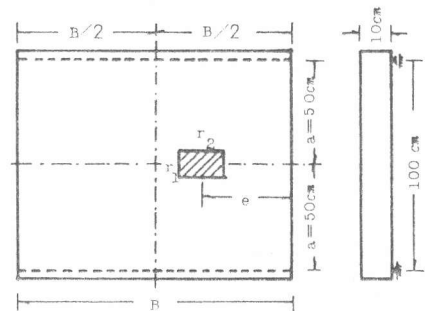


図-3 供試体の概要

3. 実験結果および考察

前に行った実験¹⁾では、供試体幅Bを減少させていくとき、破壊ははりとしてのせん断破壊によって生ずるように計画されたが、本実験の供試体はBを小さくするとき、はりとしての曲げ破壊が生ずるように供試体の形状寸法を選んでいる。実際にB=50cmおよび70cmの場合で、スラブの中心に荷重した供試体では曲げ破壊が生じた。しかし、同じBの値であっても、スラブの自由縁から10cmの位置に荷重したものでは押抜きせん断破壊が生じた。また、Bが100cmおよび140cmの供試体は荷重位置にかかわらず押抜きせん断破壊が生じた。ただしその際、荷重がスラブの自由縁に近い場合には、押抜かれるピラミッド状のコンクリートが自由縁のために途中で断ち切られるような形で破壊が生じた。

図-4は、B=100cmおよび140cmの供試体に正方形荷重したときの押抜きせん断耐力(破壊荷重)を示したものである。

ただし横軸には、自由縁からの荷重位置を表わすパラメーターとして e/a (図-3参照)を用いている。これによれば実測値は e/a が小さくなるにつれて明らかに減少しており、 $e/a=0.2$ のときの破壊荷重は、 e/a が1以上のときの破壊荷重の半分程度しかないことが示されている。この図には、参考としてACI318およびCEB-FIPによる設計耐力も合わせて示してある。これによれば、ACIおよびCEB-FIPのいずれも実験結果に比べて安全側の値を与えている。しかし、それは e/a が十分に大きな場合、すなわち自由縁の影響がない場合にすでにかなり余裕があるからであって、自由縁の影響による耐力の低下率で考えれば、前述のように実測値の低下率は1/2にも及んでおり、ACIおよびCEB-FIPは、ともに押抜きせん断耐力に及ぼすスラブ自由縁の影響を過少評価していることがわかる。

とくにACIによれば自由縁の影響が現われるのは、 e/a が0.3以下の場合に限られることになるが、実験結果は e/a が約1以下の相当広い範囲にわたり自由縁の影響を示している。またCEB-FIPでは本実験の場合、 $e/a \leq 0.85$ では図-2の(c)の臨界断面が適用されるため、設計耐力はこの範囲で一定となるが、実験結果はそのような傾向は示していない。これらのことは、スラブの押抜きせん断耐力に及ぼす自由縁の影響を、臨界断面の長さの減少のみによって考慮するのは不十分であることを意味するものと言うことができる。

次に図-5は、長方形荷重の場合の破壊荷重を、正方形荷重の場合と比較したものである。本実験で用いた長方形荷重と正方形荷重とは面積もほぼ等しく、また、自由縁の影響がない場合の臨界断面の長さ(図-1(a)および図-2(a))もわずかしか違わない。従って自由縁の影響がない場合にはその荷重形状に関係なく計算上の耐力はほぼ等しくなるべきものである。それに対して図-5は、荷重が自由縁付近に作用した場合にも荷重形状の影響がほとんどないことを示している。このことは、自由縁の影響がないときの耐力を基準にとるならば、自由縁

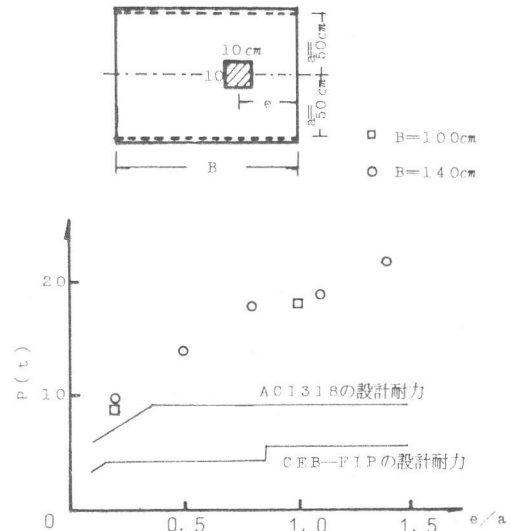


図-4 破壊荷重と荷重位置の関係

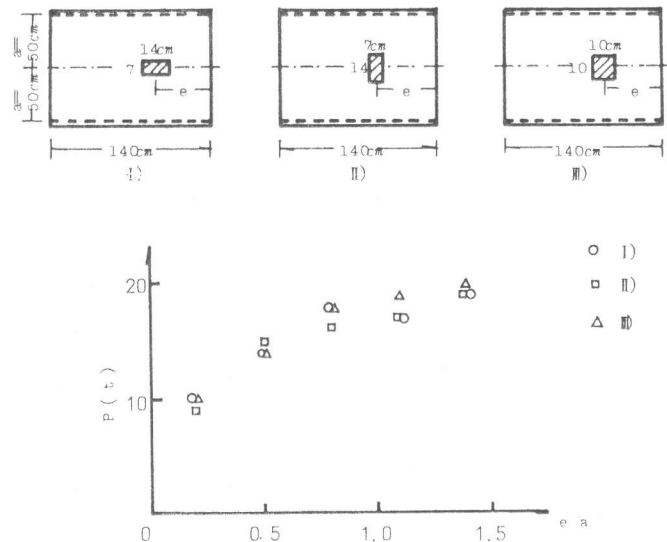


図-5 破壊荷重に対する荷重形状の影響

の影響は、荷重中心までの距離の影響さえ考慮するならば、 r_2/r_1 の影響は少くとも0.5~2程度の範囲では無視できると考えてよいと言えよう。

スラブの押抜きせん断耐力に対する自由縁の影響は、臨界断面の長さの低減のみによって考慮するだけでは不十分であることは、前述のとおりである。図-6は、図-2の(a)または、(b)のうちの短い方を臨界断面に用いることとし、破壊荷重の測定値より、臨界断面の単位長さ当りの押抜きせん断耐力 P/U (U は臨界断面の長さ)を求め、 e/a との関係として示したものである。これによれば、 P/U と e/a とは、ほぼ一直線上に載っていることがわかる。このことは、自由縁のために臨界断面の長さ U が短くなるのは、荷重が自由縁のごく近傍に作用する場合に限られるが、これとは別に、荷重が自由縁からかなり離れた位置からすでに、臨界断面の単位長さ当りの押抜きせん断耐力が低下する形での影響が現れることを意味している。

以上より、押抜きせん断耐力に対するスラブ自由縁の影響は図-7および図-8に示すように三つの領域に分けて考えることができよう。まず、領域Cは自由縁の影響がない通常押抜きせん断耐力が発揮できる範囲である。それに対して領域Bは臨界断面の長さは領域Cと変わりないが、臨界断面の単位長さ当りの押抜きせん断耐力は e/a の減少とともに減少する範囲である。一方領域Aは臨界断面がスラブ自由縁に直結するためその長さが低減するのみでなく、臨界断面の単位長さ当りの耐力低下も重なるため、破壊荷重の減少が著しくなる範囲である。

図-9は、スラブの幅 B を横軸にとったときの破壊荷重を示したものである。スラブの中心に載荷した場合には、 B が70cm以下の場合に曲げ破壊をしており、この領域では破壊荷重が B にはほぼ比例している。このことは、幅70cmのうちのわずか10cmの幅に荷重が作用しただけであっても、降伏線がスラブ全幅を貫通するメカニズムの形成が可能であったことを意味しており、降伏線理論の適用範囲が極めて広いことを示している。このことはまた、現行のフーチングの曲げに対する設計方法の妥当さを示したものとすることができよう。一方、 B がある値を越えれば、破壊形態は押抜きせん断型へと移行しているが、その際スラブの中央載荷の場合に比べて、自由縁近傍載荷時には、自由縁の影響による押抜きせん断耐力の低減のため、 B の値がかなり小さい範囲から(中心載荷の場合には B が約90cm以上であるのに対し、 $e=10cm$ の場合には B が50cm以上で)押抜きせん断破壊に支配されてしまうことがわかる。さらにこの図は、 e の値が一定の場合には、スラブ幅 B の値にはほとんど関係なく、ほぼ一定の押抜きせん断耐力となることが示されている。

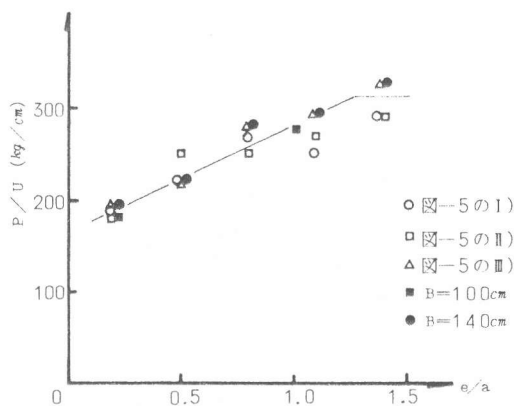


図-6 臨界断面単位長さ当りの押抜きせん断耐力

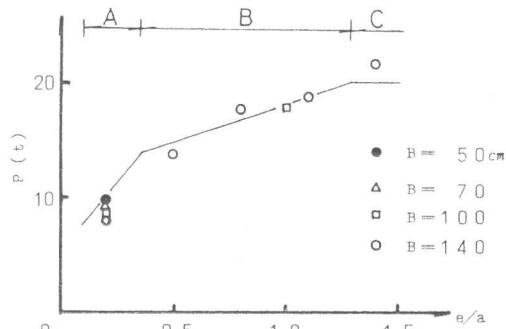


図-7 押抜きせん断耐力に対するスラブ自由縁の影響の分類

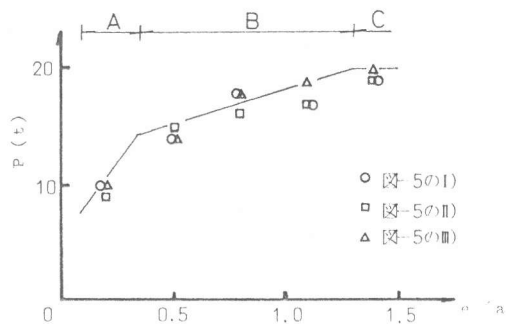


図-8 押抜きせん断耐力に対するスラブ自由縁の影響の分類

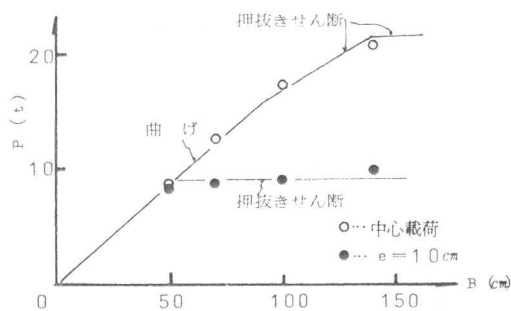


図-9 破壊形態と耐力

次に図-10および11は、 $B=140\text{cm}$ 、 $r_1 \times r_2=1.4\text{cm} \times 7\text{cm}$ の場合につき、中心荷重および $e=25\text{cm}$ の場合の配力鉄筋のひずみ分布を示したもので、横軸はスラブ幅の中央からの距離を表わす。また、図-12は、 $B=100\text{cm}$ 、 $r_1 \times r_2=10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $e=10\text{cm}$ の場合における主鉄筋のひずみ分布を示したものであり、横軸はやはり、スラブ中心から幅方向の距離を表わす。これらの図より、荷重の増加に伴って鉄筋のひずみは増しているが、配力鉄筋についてはそれが有効に働く範囲が徐々に拡大していく傾向が示されている。しかしいずれにせよ、荷重がスラブの自由縁近くに作用するときには、自由縁近くのひずみの急激な変化は避けられない状況になっており、押抜きせん断耐力の低下は止むを得ない性質と言えよう。

4. 結論

本研究はスラブの押抜きせん断耐力に対する自由縁の影響について実験的に調べたものであり、今後さらに解明すべき点が多く残されてはいるが、本研究で得られた結果を列記すれば、次のようになる。

- 1) スラブの自由縁付近に荷重するときの押抜きせん断耐力は、通常の押抜きせん断耐力に比べてかなり低下し、その半分程度あるいはそれ以下になりうる。
- 2) スラブの押抜きせん断耐力に対する自由縁の影響を、押抜きせん断破壊に抵抗する臨界面の長さの減少のみによって考慮するのは不十分であり、臨界面の単位長さ当りの耐力の低減も合わせて考慮する必要がある。その際、前者の影響は荷重位置がスラブの自由縁のごく近傍である場合に限られるのに対し、後者の影響は荷重がスラブ自由縁からかなり離れた位置から生ずる。また、臨界面の単位長さ当りの押抜きせん断耐力は、自由縁からの距離とほぼ直線的な関係にある。
- 3) 荷重形状が長方形の場合であっても、その辺長比が少くとも、 $0.5 \sim 2$ の範囲内の場合には、荷重形状固有の影響としては考慮する必要がない。

謝辞、本研究の一部は文部省科学研究費により行ったものである。また、実験に際しては北海道大学の木村 勉技官および卒業生の諸氏、ならびに北海学園大学の菊地 守氏、卒業生諸氏より多大な協力を得た。ここに合わせて深く感謝の意を表する。

文献 1) 角田・高橋；鉄筋コンクリートスラブの自由縁近傍荷重時の押抜きせん断耐力について、土木学会第36回年次学術講演会講演概要集、昭57.10 2) ACI 318-77. Building Code Requirements for Reinforced Concrete 3) CEB・FIP Model Code for Concrete Structures, 1978

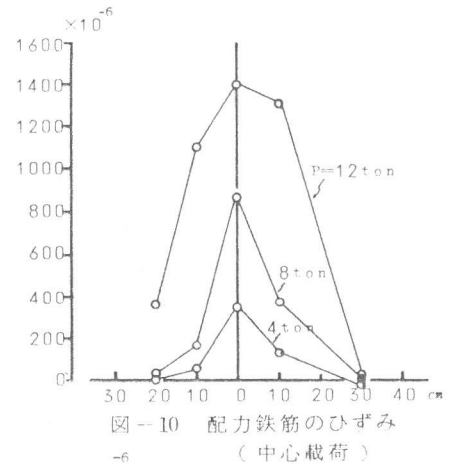


図-10 配力鉄筋のひずみ (中心荷重)

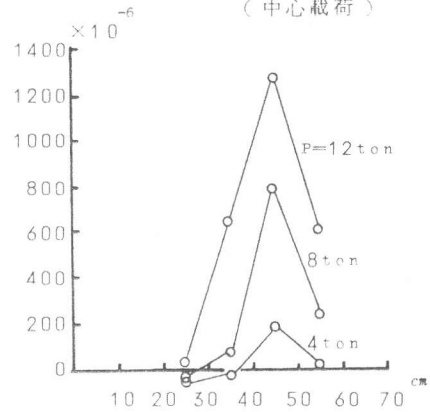


図-11 配力鉄筋のひずみ (e=25cmの場合)

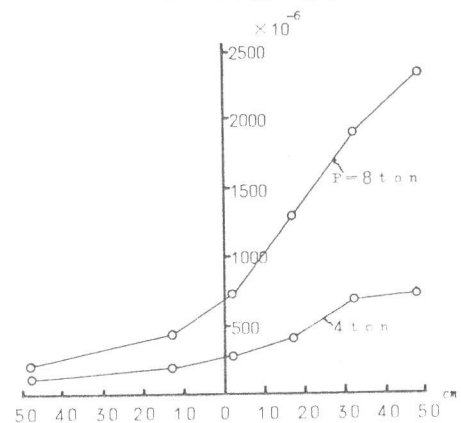


図-12 主鉄筋のひずみ (e=10cmの場合)