

V-40

鋼コンクリートオープンサンドイッチスラブの押抜きせん断破壊について

北海道大学工学部 学生員 高橋 良輔
 北海道大学工学部 正 員 古内 仁
 北海道大学工学部 正 員 上田 多門

1. はじめに

近年、鋼コンクリートサンドイッチスラブはRCスラブに比べ施工性の良さやスラブ厚を薄くできるなどのメリットから様々な構造物に適用されている。橋梁の床版やフーチングなど局所的に大きな荷重を受けるスラブではスラブがコーン状に押し抜かれる押抜きせん断破壊を起こすが、鋼コンクリートサンドイッチスラブの押抜きせん断破壊についての実験データは非常に少ない。そこで本研究では、鋼コンクリートサンドイッチスラブの中でもオープンサンドイッチ構造のスラブ(以下オープンサンドイッチスラブ)について、鋼板の厚さが押抜きせん断耐力に与える影響を調べるとともに破壊のメカニズムについても検討する。

表-1 供試体諸元

2. 実験概要

この実験にはずれ止めにスタッドを用いた長方形オープンサンドイッチスラブ(通称 ロビンソンスラブ)を用いた。供試体総数は4体で、それぞれ鋼板の厚さの

	鋼板厚(mm)	引張鋼材比(%)	f'_c (MPa)	ϵ_y (μ)
S1	16	9.1	26.5	1956
S2	9	5.1	26.4	2724
S3	4.5	2.6	18.5	2041
S4	2.3	1.3	22.2	2459

みを、2.3mm、4.5mm、9mm、16mm と変えている。その他、寸法等を表-1に示す。支持条件は図-1のように相対する2辺が支持、他の2辺が自由で、載荷中における支持端部でのスラブの浮き上がりは自由としている。ずれ止めの配置は10cm間隔で、支間方向に12本、支間直角方向に14本、計168本を使用している。ずれ止めは、供試体S1とS2に溶接スタッド、またS3、S4については鋼板が薄く、溶接すると鋼板が変形するためボルト(ナットで固定)を用いた。スタッドおよびボルトの形状、寸法等は図-2に示す。ボルトは実験中にずれないように十分に締めつけている。締めつけるためのトルク値には、ボルトに作用する予想されるせん断力以上の摩擦力が作用するようにあらかじめ実験で確かめた値を用いている。載荷方法は静的載荷で、荷重は床版の中央部表面に10cm×10cmの正方形鋼板を介して作用させた。ひずみの測定は、鋼板とスタッドについて行っている。ひずみを測定するスタッド及び鋼板での測定位置を図-3に示す。供試体にはコンクリート打設時の作業性を考えて支間直角方向に側板をつけているが、この側板により、荷重作用時に端部の定着が大きくなり実験結果に影響を与える恐れがある。このため、厚さ4mmのスチロール製のシートを2枚重ねて側板

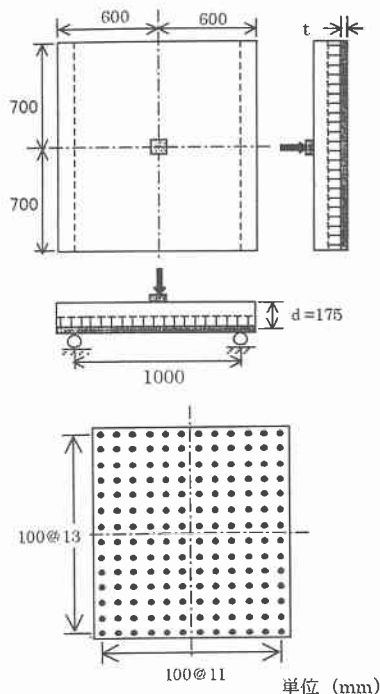


図-1 供試体寸法・スタッド配置図

Punching shear failure of open - sandwichslab

By Ryosuke Takahashi, Hitoshi Furuuchi and Tamon Ueda

の内側に張りつけ、側板に応力を伝えないようにした。

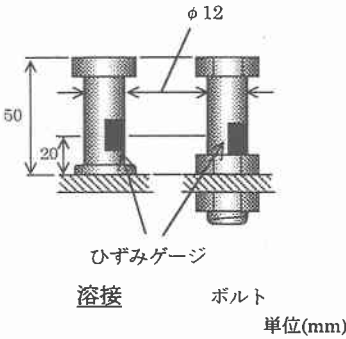


図-2 ずれ止め寸法

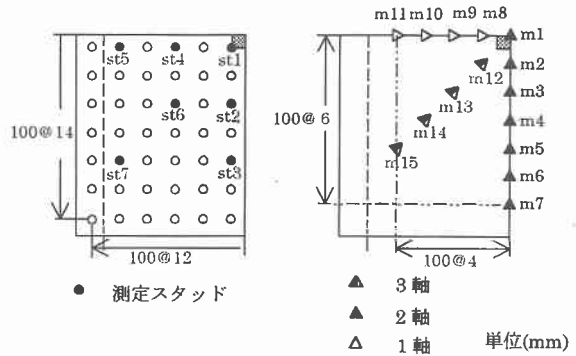


図-3 ひずみ測定位置

3. 実験結果及び考察

この実験によって得られた結果を表-2に示す。表中の P_{test} は破壊荷重で、 P'_{test} はコンクリート圧縮強度 f'_c のばらつき(18.6MPa~26.2MPa)を考慮し、 $\sqrt{25.0/f'_c}$ を P_{test} に乗じてコンクリート圧縮強度25.0MPaに換算した値である。また P_{cal} は、以下に示すコンクリート標準示方書の面部材の押抜きせん断耐力式¹⁾を用いて計算した値である。

表-2 実験結果

	P_{test} (kN)	P'_{test} (kN)	P_{cal} (kN)	P'_{test}/P_{cal}
S1	440	428	581	0.74
S2	423	412	581	0.71
S3	297	346	530	0.65
S4	310	329	424	0.78

$$V = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b$$

$$f_{pcd} = 0.19 \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$\beta_d = \sqrt[3]{100/d} \quad \text{ただし、}\beta_d > 1.5 \text{ のとき } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100/p} \quad \text{ただし、}\beta_p > 1.5 \text{ のとき } \beta_p = 1.5$$

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

f_{cd} : コンクリート設計圧縮強度

u : 載荷周長

u_p : 設計断面の周長

γ_b : 部材係数 (=1.0)

ここでは、この式で用いられている鉄筋比を引張鋼板比(鋼板の厚さを有効高さで除した値)に変えて計算している。実験で用いた供試体は4体全て押抜きせん断破壊であった。押抜きせん断破壊直後は外観上ほとんど変化は見られなかった。押抜きせん断破壊によって荷重が急激に落ちた後も荷重は僅かながら増加傾向にあったため更に載荷を続け、供試体S1、S2、S3についてはしばらく載荷したあと側面に一気にひび割れが入り、その直後に荷重が減少したことにより実験を終了した。

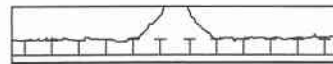


図-4 ひび割れ性状

実験結果によると押抜きせん断耐力はRCスラブとしての計算値よりも約70%前後に減少している。ここでは、ひび割れ性状からその原因を考察する。図-4は実験後にコンクリートを取り除き調べたひび割れ図である。このひび割れは実験終了時のものであるた

め、実際に押抜きせん断破壊が起こったとき(最大荷重時)のひび割れは今回確認できなかった。しかし、スタッドや鋼板の挙動からある程度予測してみた。図-5.1 はスタッドのひずみと、載荷荷重をコンクリート圧縮強度 25Mpa の場合に換算した値 P' の関係である。供試体 S 1、S 2、S 3 ではある荷重付近から、st 3、st 7 を除く全てのスタッドでひずみが大きく変化している。図-5.2 には P' と鋼板のひずみとの関係である。ここでも僅かではあるが、ある荷重付近で正規化荷重とひずみの関係に変化が見られる。図-5.3 はこれらスタッドと鋼板の変化の時期を比較するため、スケールが異なるそれぞれのひずみの値をあえて図-5.1、図-5.2 から抜粋し、同じ図にまとめたものである。ここでは変化をわかりやすくするため、横軸のスケールを大きくしている。この図を見て明らかにようにほぼ同じ時期でひずみの増加のし方に変化が起きている。この変化の原因は、図-5.2 で鋼板が降伏ひずみに至っていないことから、ひび割れによる変化であると思われる。これらのことと、スタッドのひずみの変化が載荷部周辺でまとまって起きているということから、予想される押抜きせん断破壊によるひび割れを図にしたものが図-6.1 である。また、図-6.2 には一般的な RC スラブの押抜きせん断破壊によるひび割れ²⁾を示す。ここで予想されるひび割れは、RC スラブのひび割れに近いことがわかる。RC スラブが鉄筋部で横方向のひび割れが入るのに対し、オープンサンドイッチスラブではスタッドの頭の部分で横方向のひび割れが入る。これらの図から、オープンサンドイッチスラブでは水平方向に位置する破壊面の位置がスタッド長に影響されると思われる。この水平破壊面の位置はスラブの押抜きせん断耐力に大きな影響を与えていると予測できる。

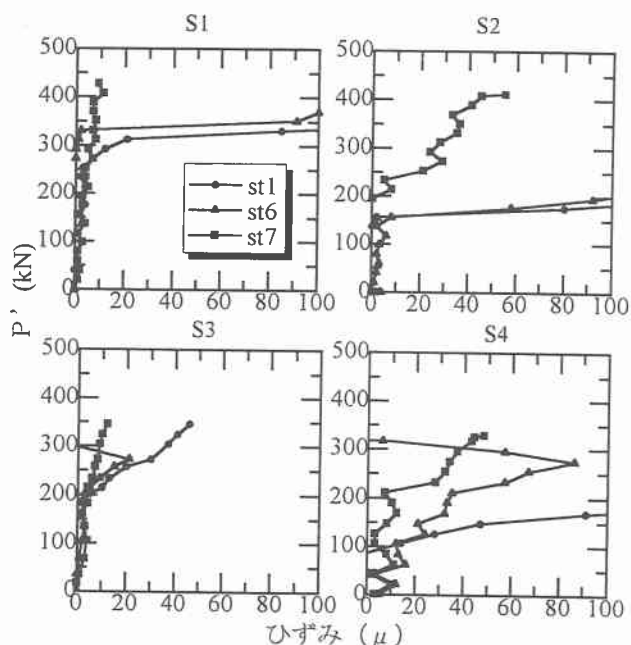


図-5.1

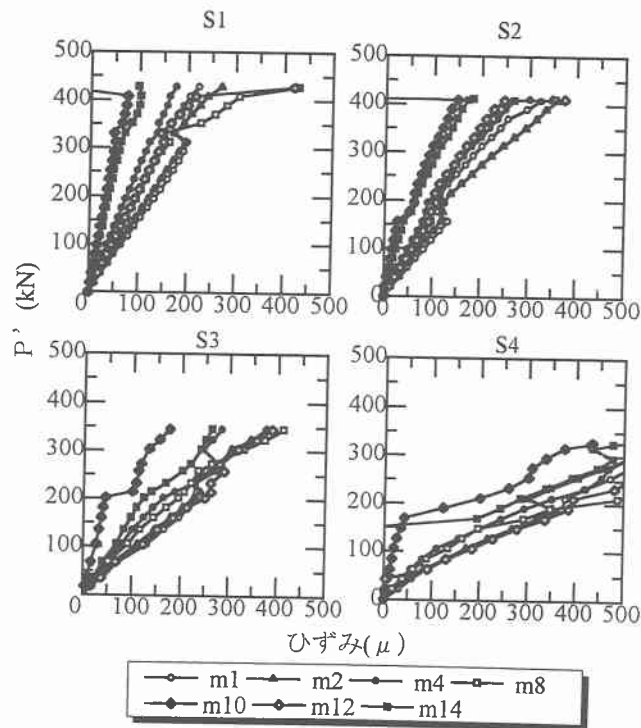


図-5.2

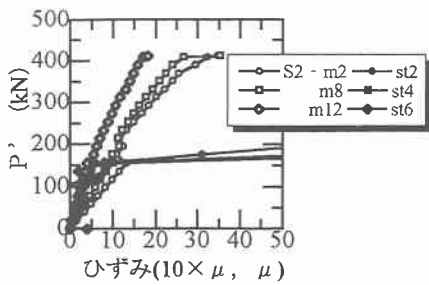


図-5.3

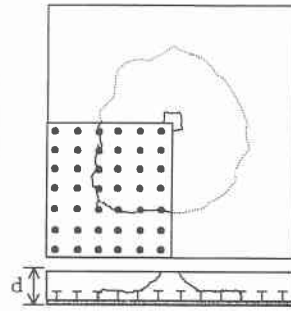


図-6.1 ひび割れ予想図

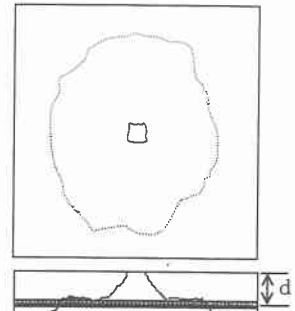


図-6.2 RCスラブのひび割れ

図-7はコンクリート強度 25MPa の場合に換算した破壊荷重 P'_{test} と引張鋼材比および鉄筋比との関係を図にしたものである。引張鋼材比の増加とともに耐力が増加する傾向にあるが、引張鋼材比 5.1% と 9.1% の間での増加率は他の区間に比べ非常に小さく、RCスラブ同様にある程度の引張鋼材比以上では耐力の増加は頭打ちになると言える。また、図中の計算値として示されたRCスラブの場合に比べ増加傾向が小さいことからRCスラブの耐力に鉄筋比が及ぼす影響の度合いよりもオープンサンドイッチスラブの耐力に引張鋼材比が及ぼす影響は少ないと思われる。

図-8に正規化荷重と載荷点直下のたわみの関係を示す。S3を除きほぼ直線関係を示しているが、それぞれの傾きは大きく異なっており鋼板の厚さの違いにより剛性が大きく異なっていることを示している。

尚、図-5.2からどの供試体の鋼板も降伏には至っておらず降伏強度による耐力等への影響は本研究の範囲内ではないと思われる。

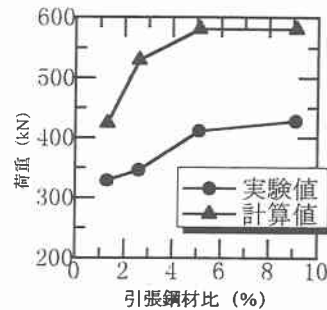


図-7

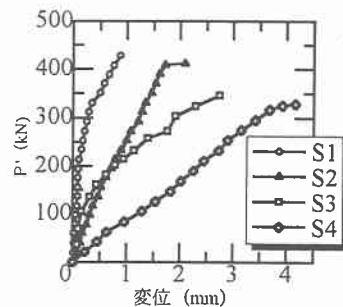


図-8

4. まとめ

本研究において得られた知見を以下にまとめる。

- 1) オープンサンドイッチスラブの押抜きせん断耐力は標準示方書における鉄筋コンクリート面部材の押抜きせん断耐力式から計算される耐力に比べ、70%程度に減少する。
- 2) オープンサンドイッチスラブの有効高さに対するスタッド長の占める割合が、押抜きせん断耐力に何らかの影響を及ぼすと考えられる。
- 3) 押抜きせん断耐力は引張鋼材比の増加とともにある程度まで増加し、ある鋼材比以降は頭打ちの傾向にある。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書【平成8年度版】設計編、土木学会、1996
- 2) 古内仁、高橋義裕、上田多門、角田與史雄：自由縁付近に載荷された一方向RCスラブのせん断耐力について、土木学会北海道支部論文報告集第52号、1996