

スタッドの降伏が合成スラブの押抜きせん断耐力に与える影響

Effect of Yielding of Stud on Punching Shear Strength for Composite Slab

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 野々山純寛 (Yoshinori Nonoyama)
 北海道大学大学院工学研究科 正員 古内 仁 (Hitoshi Furuuchi)

1. はじめに

鋼コンクリート合成スラブは、鋼板とコンクリートとを適切なずれ止めで結合し一体性を確保するものであり、現在、道路橋床版に多く採用されている。特徴としては、RC スラブに比べ床版厚が薄くでき軽量化が可能であり、大きな曲げ剛性を有するという特性がある。また、施工時において鋼板が型枠の役割を兼ねることから、省力化・コストダウン・工期の短縮が図れるなどの利点をもつことがあげられる。しかし、鋼コンクリート合成スラブを一般構造物として利用した場合、過大な集中荷重が作用する場合もあり、押抜きせん断破壊に対する検討が必要となってくる。

合成スラブが押抜きせん断破壊するとき、部材寸法に比べてずれ止めの径が小さい場合には、ずれ止めが降伏し破壊に至ることが予想される。本研究では、このような破壊に対する終局荷重を調べることを目的とし、ずれ止めにスタッドを用いたロビンソン型合成スラブを対象として静的載荷試験を行った。

2. 実験概要

本研究で用いた供試体の形状寸法を Fig.1 に示す。供試体はずれ止めとしてスタッドジベルを引張補強鋼板(鋼板厚 6mm)に配置したロビンソン型合成スラブで、幅 1200mm、全長 1200mm(支間長 900mm)、スタッド間隔 70mm はすべて共通とした。荷重は、供試体の中央で正方形(100mm×100mm)の鋼版を介して静的に作用させた。また支持条件は相対する 2 辺を支持、他の 2 辺が自由で、載荷中における支持端部での浮き上がりを自由としている。引張補強鋼板には SS400(実降伏強度 281N/mm²)、スタッドには軸径 4mm(実降伏強度 373N/mm²)のものを用了。なお、市販品のスタッドには軸径 4mm のものがないので、φ5.5(AISI-1080 材)を伸線加工後に幹部を焼きなまし熱処理を施し頭付スタッドと同等の規格(引張強さ 520N/mm²)となるようにした。また、スタッドの先端部(焼きなまし熱処理なし：引張強さ 780N/mm²)はねじ加工し M4 ナットを取り付けた。供試体は、Table 1 に示すように 3 体用意し、実験変数をスタッドの高さとし、供試体 Y1 を 50mm、Y2 を 80mm、Y3 を 110mm とした。なお、スタッドの軸ひずみを測定するために、Fig.2 に示すように供試体の 1/4 の範囲(載荷点を中心に 4 等分)にある各スタッドの幹に、載荷点側とその反対側に向かい合わせて 2 枚のワイヤーストレインゲージを貼り付けた。また、1 軸型変位計を用いて、載荷点直下、および支点上の変位を測定した。

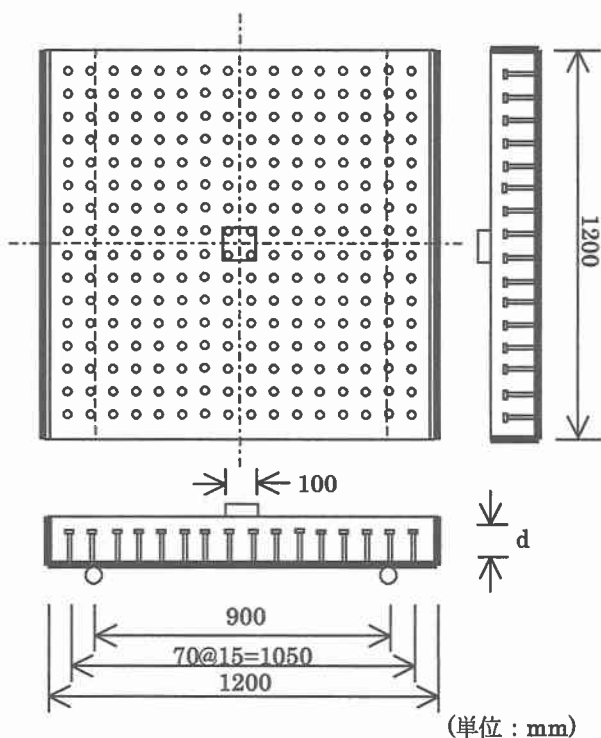


Fig.1 供試体図

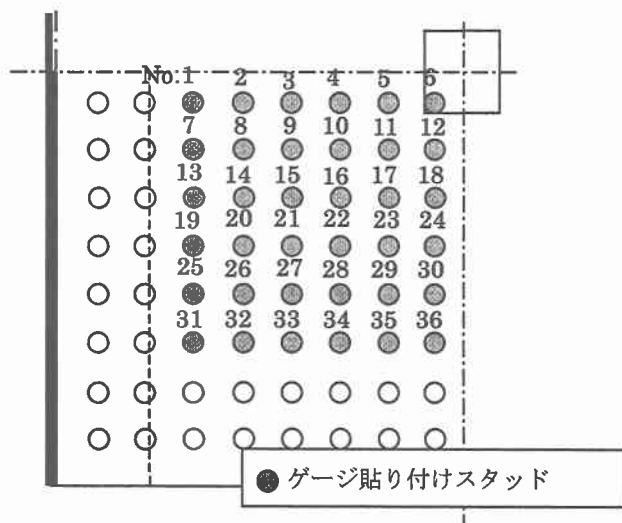


Fig.2 ひずみ測定スタッド

Table1 供試体寸法

	有効高さ d(mm)	スタッド間隔 s(mm)	スタッド高さ h _s (mm)
Y1	150	70	50
Y2	150	70	80
Y3	150	70	110

Table2 実験結果

	コンクリート 圧縮強度 f' _{cd} (N/mm ²)	最大荷重 P _B (kN)	P _B /V _{pcd}
Y1	36.5	431	0.758
Y2	37.5	504	0.875
Y3	39.2	513	0.871

3. 実験結果と考察

3. 1 破壊荷重

すべての供試体は、荷重中における荷重の低下、荷重板の沈み込みの確認より押抜きせん断破壊したと判断した。

本研究の実験より得られた結果を Table2 に示す。破壊荷重は、供試体により圧縮強度に若干の違いがあるため単純には比較できない。そこで、破壊性状が類似している鉄筋コンクリートスラブの設計押抜きせん断耐力式⁹⁾により評価を行い、その設計値(V_{pcd})と最大荷重(P_B)の比を用いることで、終局耐力との比較を行う。スタッド高さと終局耐力の比較を Fig.3 に示す。Fig.3 より、スタッド高さが 50mm の Y1 供試体に比べて、スタッド高さが 80mm、110mm の Y2、Y3 供試体の最大荷重が大きくなる結果が得られた。

3. 2 荷重 - 変位の関係

載荷重と載荷点直下の変位との関係を Fig.4 に示す。この結果によれば、各供試体とも初期たわみ曲線はほぼ同じ曲線をたどるが、Y1 供試体は載荷重が 431kN で脆性的な性状を示して押抜きせん断破壊が生じた。一方で、Y2 と Y3 供試体は荷重がさらに増加するが、Y2 はピーク荷重付近でやや変位の増加傾向が大きくなったところで押抜きせん断破壊が生じた。Y3 は、ピーク荷重を迎えた後、若干荷重が減少したもののほぼ一定の載荷重を保ったまま、載荷点直下の変位が大きく増加した。最終的には変位 4.8mm 付近で荷重が低下した。

以上の荷重 - 変位関係から、Y1 においてはスタッド高さが小さく破壊に起因するひび割れに対してはその補強効果がなく、スタッド高さの大きい Y2 および Y3 については補強効果があるものと思われる。以下では、スタッドの引張力に着目してせん断補強効果について検討を行うことにする。

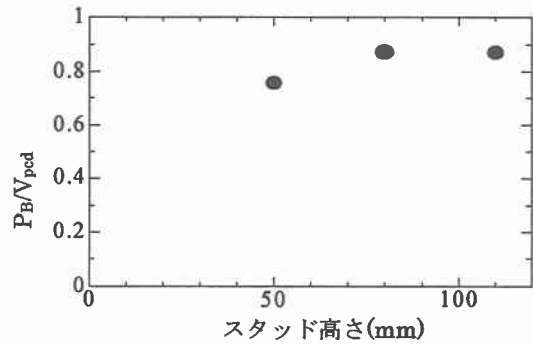


Fig.3 スタッド高さと終局耐力との比較

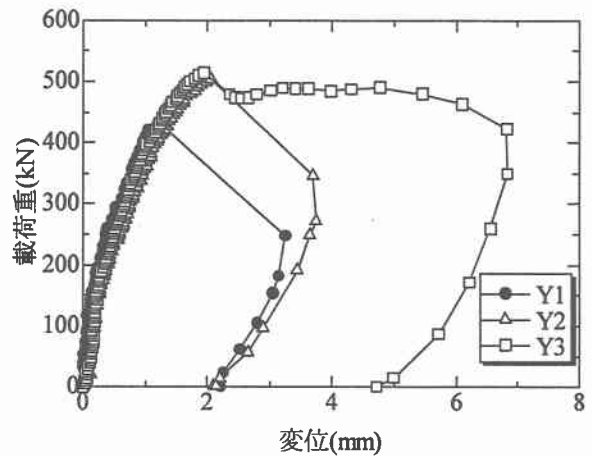


Fig.4 荷重 - 変位曲線

3. 3 スタッドの引張力

スタッドは、本来ずれ止めの機能を期待して配置されているものである。したがって、鋼板から伝達されるせん断力により、コンクリートに埋め込まれているスタッドには曲げモーメントと軸力が生じる。さらに押抜きせん断耐力によるひび割れがスタッドを跨ぐと、部材腹部のせん断変形(ひび割れ面でのずれ)により大きな引張力と局所的な曲げ応力が生じる。本研究では、実測ひずみを基に以下の計算によりスタッドの引張力を算定した。(Fig.5 参照)

スタッドの引張力 $T = \sum \sigma_i \cdot dA_i$

ここに、 σ_i : i 番目の要素の応力

$$\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i \quad (\varepsilon_i \leq \varepsilon_y)$$

$$\sigma_i = f_y \quad (\varepsilon_i > \varepsilon_y)$$

ε_i : i 番目の要素のひずみ

ε_y : 降伏ひずみ

E : スタッドの弾性係数 (=200GPa)

dA_i : i 番目の要素の面積 (=b_i×dx)

Fig.6 は、スタッドのせん断補強効果が最も顕著に現れたと思われる Y3 供試体について、荷重ステップごとに降伏したスタッドの分布を示したものである。ただし、この図ではスタッドの全断面が降伏したものでなく、縁降伏したスタッドも表示している。最初に、載荷点か

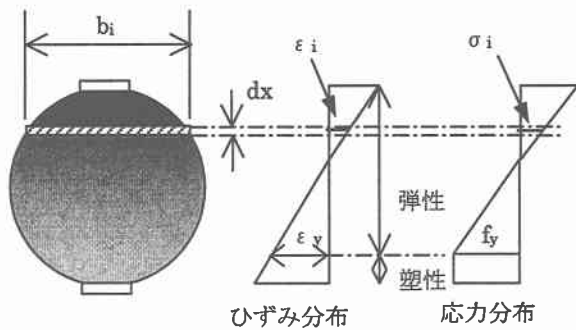


Fig.5 スタッドの引張力の計算における仮定

ら少し離れた位置におけるスタッドの縁降伏が始まり（載荷重 490kN）、最大荷重時ではその範囲を広げて放射状の領域でスタッドの降伏が見られる。この分布は、概ね押抜きせん断破壊に起因するひび割れの拡がりに合致していると考えられる。最大荷重以降では、全断面が降伏したスタッドもいくつか見られ、さらに押抜きせん断による局所的な変形が進行する過程で周辺のスタッドにも負担が大きくなっていくようである。

ここで、No.11 および No.16 のスタッドに着目し、3つの供試体で比較を行う。図-7 は、載荷重とスタッドの引張力の関係を示したものである。最も載荷点に近いスタッド (No.11) では、Y2 と Y3 で同じ様な挙動となっているが、Y3 のスタッドの引張力の増加が著しく大きく、最大荷重を迎えてすぐに全断面降伏となっている。Y1 のスタッドは、引張力が 0.5kN 程度よりも大きくなることなく、最大荷重に達している。No.16 では、Y3 のスタッドのみ降伏に達している。これは、最大荷重時以降でコンクリートが負担しているせん断力が減少していくことにより、周辺のスタッドにその分負担する力が増加するためと考えられる。Y3 供試体においても最終的には載荷重が大きく減少してしまうが、ひび割れ面を

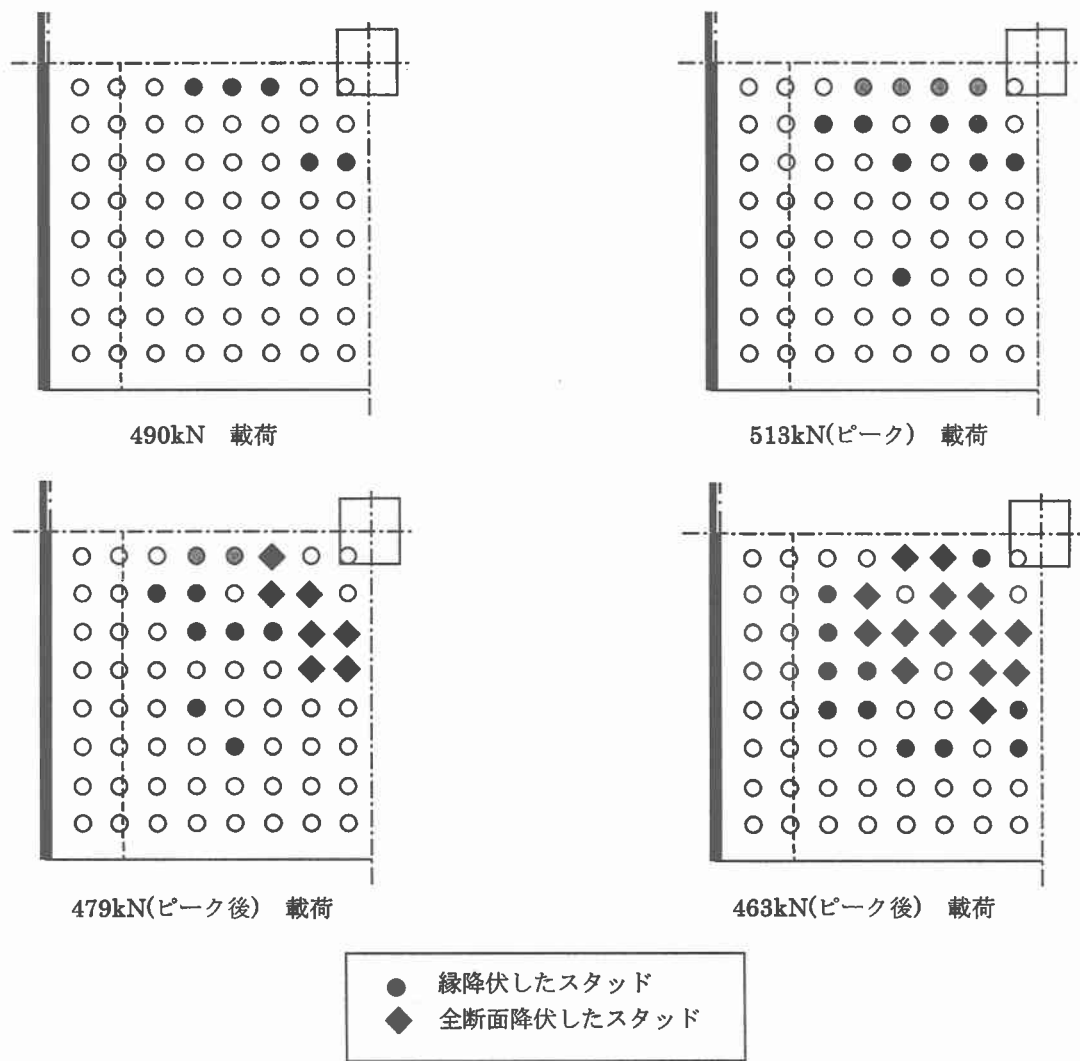


Fig.6 スタッドの降伏分布

拘束していたスタッドが降伏することにより伸びが大きくなるため、押抜きせん断ひび割れが大きく開口していくものと思われる。Y1 供試体は全くその傾向が見られず、Y2 供試体については若干その傾向がうかがえる。

これらの結果より、スタッドがある程度以上の高さになると押抜きせん断に起因するひび割れを横切ることにより、スタッドのせん断補強効果が期待できると考えられる。また、スタッド高さが大きくなるにつれて最大荷重以降の変形性能の向上が期待でき、脆性的な破壊を回避できるものと思われる。

4. まとめ

細径のスタッドを用いたロビンソン型合成スラブについて、静的載荷試験により押抜きせん断破壊を検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 合成スラブにおいて、スタッドの高さがある程度以上大きくなると、スタッドの高さが小さい場合に比べて押抜きせん断耐力が大きくなる。したがって、スタッド高さが大きい場合には、押抜きせん断破壊に対するスタッドのせん断補強効果が期待できる。
- (2) スタッドにせん断補強効果がある場合、最大荷重に近づくときと載荷点周辺のスタッドの降伏が見られる。
- (3) スタッドの高さが最も小さい合成スラブでは脆性的な破壊であったが、スタッドの高さが最も大きい合成スラブでは、最大荷重時以降も同程度の荷重を保持しながら大きな変形をもたらす。

参考文献

- 1) 2002 年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 土木学会

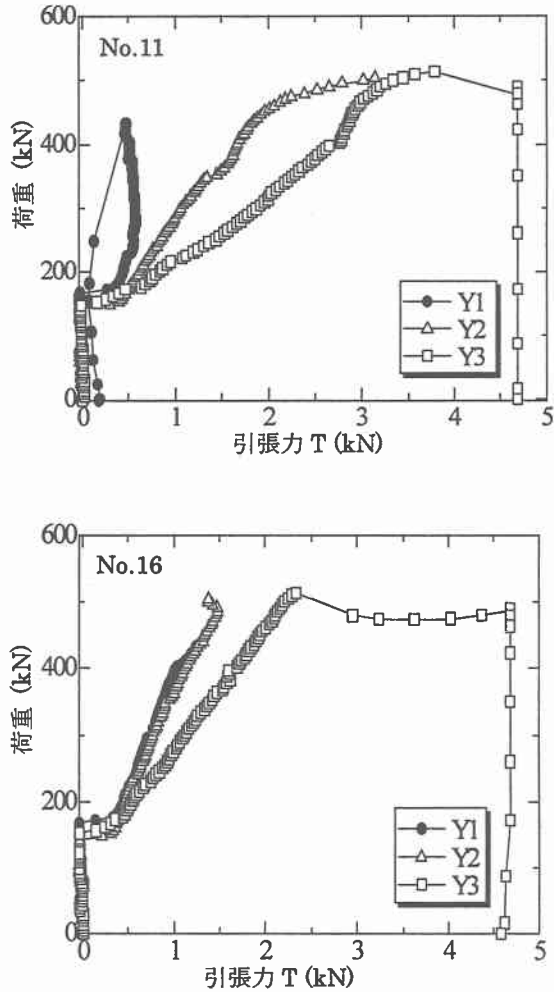


Fig.7 載荷重とスタッドの引張力の関係