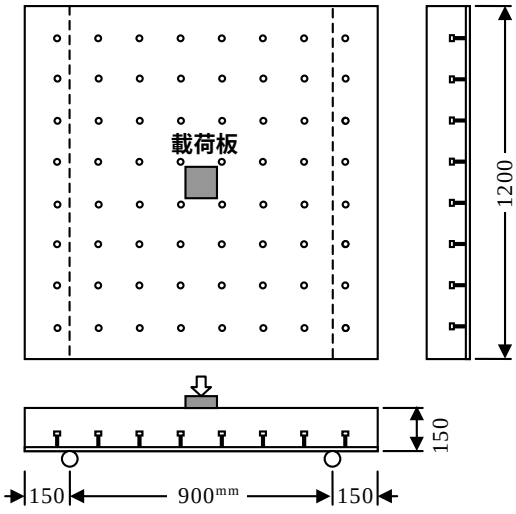
合成版の押抜きせん断耐力に与えるスタッドジベルの影響

北海道大学大学院　正 会 員　古内　　仁
北海道大学工学部　学生会員　中村　琢弥
北海道大学大学院　正 会 員　上田　多門

１．はじめに　鋼コンクリート合成版は、適切なずれ止めを配置することにより鋼板とコンクリートの一体性を確保すれば部材剛性を大きくすることができ、同じ性能を有する鉄筋コンクリート版に比べて版厚を小さくすることが可能である。また、施工時においては、鋼板が型枠の役割を兼ねることから省力化・コストダウンにつながるといった利点を有している。従来、合成版は道路橋床版に多く採用されてきたが、上記のような理由から様々な土木構造物への適用が期待できる。そこで、版厚を小さくしたときに問題の１つとなるのが、局部的な集中荷重を受けるときに生じる押抜きせん断破壊である。本研究では、比較的単純な形状のずれ止めであるスタッドジベルを用いた合成版について載荷試験を行い、スタッドジベルの配置間隔およびスタッドジベルの高さが押抜きせん断破壊に対してどのような影響を与えるか検討したものである。

２．実験概要　本研究で行われた供試体の形状寸法を図－１に示す。実験変数は表－１に示すようにスタッドジベルの配置間隔と高さである。スタッドジベルは軸径 13mm のものを溶接により引張鋼板に取り付けた。表中のスタッド高さは頭頂部までの長さのことである。その他の諸元はすべての供試体で共通である。なお、載荷は供試体上面中央に 100×100mm の矩形状の鋼材を介して行われた。引張鋼板には一般構造用圧延鋼材 SS400（実降伏点強度 294N/mm^2）を、スタッドには SS400 相当のもの（実降伏強度 375N/mm^2）を使用した。コンクリートは、早強ポルトランドセメント、川砂利（最大骨材寸法 20mm）および海砂を用いて作製し、載荷試験は供試体を２週間養生した後に実施した。



図－１　供試体の形状寸法

３．実験結果および考察　供試体は、載荷板の抜け落ちおよび引張鋼板の局部的変形から判断して、すべて押抜きせん断破壊したと考えられる。各供試体の破壊荷重およびコンクリート圧縮強度は、表－１に示すとおりである。本研究では、これらの破壊荷重に対して、土木学会コンクリート標準示方書設計編[1]における面部材の設計押抜きせん断耐力式により評価を行うことを試みた。耐力式は以下に示すとおりである。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \qquad (1)$$

ここに　$f_{pcd} = 0.20\sqrt{f'_{cd}}$

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$　（$\beta_d \le 1.5$）

$\beta_p = \sqrt[3]{100\ p}$　（$\beta_p \le 1.5$）

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

γ_b ：部材係数

f'_{cd} ：コンクリート圧縮強度

u_p ：設計断面，u ：載荷周長

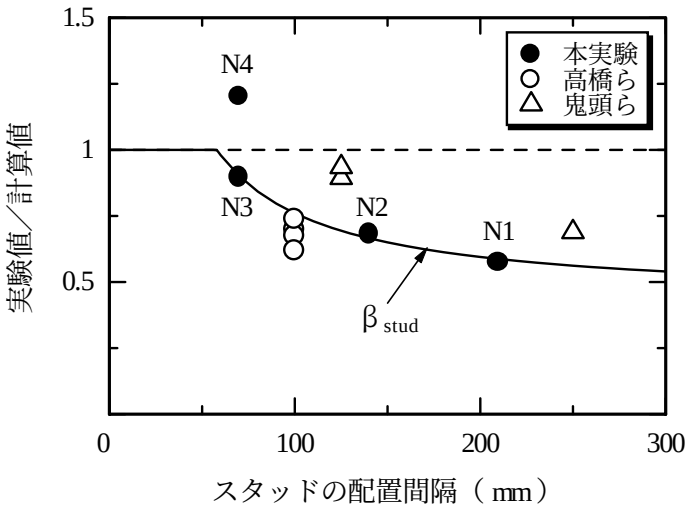
d ：有効高さ，p ：鉄筋比

表－１　供試体諸元および実験結果

供試体	鋼板厚 (mm)	有効高 (mm)	スタッド間隔 (mm)	スタッド高さ (mm)	コンクリート圧縮強度 (N/mm^2)	破壊荷重 (kN)	計算値 (kN)
N1	6	150	210	50	24.0	265	461
N2	〃	〃	140	50	30.4	353	519
N3	〃	〃	70	50	28.5	450	502
N4	〃	〃	70	110	26.1	579	481

キーワード：合成版，スタッドジベル，配置間隔，スタッド高さ，押抜きせん断破壊
連絡先（札幌市北区北 13 条西 8 丁目，電話 011-706-6220，FAX 011-707-6582）

(1)式によって得られた計算値を表－１に示す。各供試体の破壊荷重をこの式による計算値で除した値とスタッドの配置間隔の関係を図－２に示す。この結果によれば、スタッド高さが 50mm の供試体については配置間隔が大きくなるにつれて耐力が低下する傾向がみられ（図中●印）、また計算値を大きく下回ることが明らかとなった。一方、スタッド高さが 110mm（間隔 70mm）の供試体 N4 では、高さ 50mm の供試体 N3 に比べ耐力が大きくなり計算値をも上回ることから、スタッドがせん断補強効果の役割を果たしていたと考えられる。仮にスタッド高さ 50mm の供試体にせん断補強効果がほとんど期待できないと仮定すれば、供試体 N4 と N3 の耐力差が破壊時におけるスタッドのせん断力負担分であると考えることができる。スタッド高さ 50mm の供試体については、スタッド配置間隔の影響による耐力の低減係数を与えるとすれば、次式に示す近似式が実験結果に良い相関を示す。この式による計算値を図中実線であらわした。



図―２ 押抜きせん断耐力とスタッド配置間隔の関係

表－２ 高橋らの研究による実験結果

供試体	鋼板厚 (mm)	有効高 (mm)	スタッド間隔 (mm)	スタッド高さ (mm)	コンクリート圧縮強度 (N/mm²)	破壊荷重 (kN)	計算値 (kN)
S1	16	175	100	50	26.5	440	630
S2	9	〃	〃	〃	26.4	423	629
S3	4.5	〃	〃	〃	18.5	297	481
S4	2.3	〃	〃	〃	22.2	310	421

載荷面積はすべて 100×100mm

表－３ 園田らの研究による実験結果

供試体	鋼板厚 (mm)	有効高 (mm)	スタッド間隔 (mm)	スタッド高さ (mm)	コンクリート圧縮強度 (N/mm²)	破壊荷重 (kN)	計算値 (kN)
D1	6	123	250	80	38.3	313	454
E1	〃	〃	125	〃	38.3	377	454
E2	〃	〃	〃	〃	38.7	757	810

載荷面積は、D1 および E1 は 125×125mm，E2 は 375×375mm

$$\beta_{stud} = 33/s + 0.43 \qquad (2)$$

ここに β_{stud} ：低減係数（$\because \beta_{stud} \leq 1.0$）
s ：スタッドの配置間隔（mm）

この近似によれば本研究における合成版の押抜きせん断耐力は、スタッドの高さが 50mm の場合には配置間隔が 60mm 程度になったときに示方書の耐力式による値と一致することとなる。さらに図－２には、高橋らの研究[2]による実験結果（表―２参照）と園田らの研究[3]による実験結果（表―３参照）を示した。高橋らの実験供試体は、有効高さ 175mm に対してスタッド高さが 50mm であるのでスタッドのせん断補強効果はないと考えられる。一方、園田らの実験供試体では、有効高さ 123mm に対してスタッド高さが 80mm であることから十分なせん断補強効果があると考えられる。園田らの実験による耐力にスタッドのせん断補強効果が含まれているとすれば、スタッドの配置間隔による耐力低下の傾向は、本実験結果の傾向と同じである。また、高橋らの供試体の実験値／計算値が他の実験結果に比べてやや小さくなっている。ＲＣ示方書式では、寸法効果による押抜きせん断強度（単位面積あたりの耐力）の低減として有効高さのパラメータが取り込まれているが、上記３つの実験結果を比較すると有効高さの大きい供試体ほど実験値／計算値が小さくなる傾向にあり、合成版では鉄筋コンクリートスラブに比べて寸法効果による押抜きせん断強度の低下が大きい可能性がある。

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書［平成 8 年制定］設計編，1996
2) 高橋良輔，古内仁，上田多門：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対する引張鋼材比の影響，第 53 回土木学会年次学術講演会講演概要集，CS，pp.330-331，1998
3) K.Sonoda and H.Kitoh: Failure Modes and Loading Capacities of the Steel Plate and Concrete Composite Slabs with Different Composite Slabs with Different Arrangement of Stud Connectors, Proceedings of the 3rd International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, pp.509-514，1991