# 複数配置した孔あき鋼板ジベル押抜き試験体の ずれ性状とせん断力分担特性

宇都宮大学　学生員　○ 渡辺一貴　NGUYEN MINH HAI　橋本昌利
フェロー会員　中島章典　正会員　鈴木康夫

## 1.　はじめに

近年、橋梁などの設計に際して，鋼材とコンクリートを組み合わせ，互いの短所を補完する鋼コンクリート複合構造の構造形式をとる事例が増えている．複合構造では通常，異種材料間の応力伝達のためにずれ止めを用いる．ずれ止めとして頭付きスタッドが一般的であったが，製作時の省力化や頭付きスタッドより高い剛性を有し，疲労特性に優れていることなどから，孔あき鋼板ジベルを用いた複合構造の施工例が増加している．しかし複数の孔を設けた孔あき鋼板ジベルのずれ挙動やせん断耐力，せん断力分担特性はまだ十分には解明されていない．また，せん断分担を確認するために参考となる長手方向ずれ変位分布を計測した研究はない．

そこで，本実験では孔 1 つあたりの最もせん断耐力に影響すると思われるコンクリートブロックの側面積が等しく，1〜5 つのジベル孔を有する試験体を用いた実験を行った．そして，各試験体のせん断耐力，鋼板上部と鋼板下部でのずれ変位の差，せん断力分担特性について検討することを目的とする．

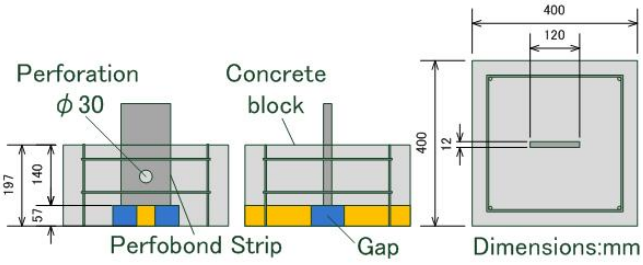
## 2.　実験概要

### (1)　試験体

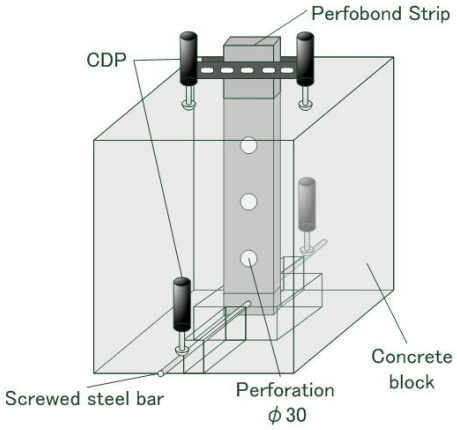
実験に用いた各試験体の詳細を**表–1** に，試験体の概形の例を**図–1** に示す．各試験体の鋼板の幅，板厚，孔径は共通で，それぞれ 120mm，12mm，30mm としており，各 2 体ずつ作製している．試験体名の B はコンクリートブロックの幅を示しており，h は孔数を示している．また，今回の実験では鋼板の下部においても相対ずれ変位を計測するために全ネジを用いる．**図–2** のように，試験体底面に空間を設け，全ネジを通し，コンクリートブロック側面に取り付けた CDP を全ネジに当てることで計測する．B5h1(1) の試験体は押抜き試験時に大きくひび割れが生じてしまったため，ひび割れを起こさないようにコンクリートブロック寸法を変えた B5h1(2) を作製した．他の試験体は既往の研究[3]より，側面積がせん断耐力に大きく影響することが示されていることから，孔 1 つあたりの側面積がほぼ等しくなるようにしている．B5h1(2) の試験体の孔 1 つあたりの側面積は，B5h1(1) で生じたひび割れを起こさぬようにコンクリートブロックを高くしたため，他の試験体に比べると約 1.3 倍大きくなっている．

**表–1**　各試験体の詳細

| 試験体名 | 幅 (mm) | 孔数 | 高さ |
|---|---|---|---|
| B4h1 | 400 | 1 | 197 |
| B5h1(1) | 500 | 1 | 147 |
| B5h1(2) | 500 | 1 | 185 |
| B5h3 | 500 | 3 | 417 |
| B5h5 | 500 | 5 | 697 |




**図–1**　B4h1 試験体概形




**図–2**　試験体立体図

### (2)　試験方法と測定項目

a)　試験方法

今回の実験では，孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を測定するため押抜き試験を行った．試験体底面の摩擦の影響を除去するため，台座に砂を敷き，その上に試験体を設置した．載荷は鋼板上面から行う．鋼板下部での相対ずれ変位が 20mm に達した時点で載荷を終了する．

b)　測定項目

押抜き試験時の測定項目は，載荷荷重，鋼板上部での相対ずれ変位，鋼板下部での相対ずれ変位，鋼板のひずみ，帯鉄筋のひずみである．ずれ変位の計測は，**図–2** のように CDP を設置して行う．鋼板上部では，高感度変位計を試験体上面の鋼板突出し部に 2 つ取り付け鋼板とコンクリートブロックの相対ずれ変位を計測した．鋼板下部では，鋼板下部に孔をあけ全ネジを通し，試験体側面に高感度変位計を設置して相対ずれ変位を計測した．また，試験体下部での相対ずれ変位計測時に生じる全ネジのたわみについても考慮している．全ネジのたわみを考慮する手順は以下の

**Key Words:** 複合構造 孔あき鋼板ジベル 押抜き試験 せん断力分担 複数の孔
〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科　Tel.028-689-6210　Fax.028-689-6210

通りである．

- 計測に用いた CDP の最大変位量を確認する．
- CDP 設置時のダイレクト値から CDP の最大変位量との差分を求める．
- 実測した変位から CDP の変位量を求める．
- 用いる CDP の変位量とばね力の関係式を求め，各計測時に全ネジに作用する力を求める．
- 全ネジの CDP 設置位置のたわみ量を求める．
- CDP で実測した変位と全ネジのたわみ量から，実際の鋼板下部での相対ずれ変位を求める．

なお，鋼板のひずみは B5h3 と B5h5 の試験体で鋼板の孔間中央に 30mm 間隔でひずみゲージを貼り付けている．また，B5h1(2) の試験体に関しては，鋼板下部での相対ずれ変位，帯鉄筋のひずみは測定していない．

**(3)　使用材料**

B4h1，B5h1(1)，B5h3，B5h5 で使用したコンクリートの圧縮強度は 35.0N/mm$^2$ であり，引張強度は 7.6N/mm$^2$ である．静弾性係数は，31.7kN/mm$^2$ である．B5h1(2) では，圧縮強度は 38.1N/mm$^2$，引張強度は 7.9N/mm$^2$，静弾性係数は 31.0kN/mm$^2$ である．

**表–2**　各試験体の実験結果

| 試験体名 | せん断耐力 (kN) | 上下のずれ変位差 (mm) |
|---|---|---|
| B4h1-1 | 68.9 | 0.21 |
| B4h1-2 | 77.8 | 0.19 |
| B5h1(1)-1 | 51.6 | 0.11 |
| B5h1(1)-2 | 51.3 | - |
| B5h1(2)-1 | 44.1 | - |
| B5h1(2)-2 | 33.7 | - |
| B5h3-1 | 263.3 | 0.29 |
| B5h3-2 | 215.6 | 0.42 |
| B5h5-1 | 238.5 | 0.51 |
| B5h5-2 | 284.6 | 0.47 |

**表–3**　各試験体の実験結果

| 試験体名 | せん断耐力 (kN) | 孔 1 つあたりのせん断耐力 (kN) |
|---|---|---|
| B4h1 | 73.4 | 73.4 |
| B5h1(1) | 51.5 | 51.5 |
| B5h1(2) | 38.9 | 38.9 |
| B5h3 | 239.5 | 79.8 |
| B5h5 | 284.6 | 56.9 |

## 3.　試験結果と考察

全試験体の押抜き試験の結果を，縦軸に載荷荷重，横軸にずれ変位をとった**図–3** と**表–2** に示す．また，各試験体のせん断耐力の平均値と，試験体の孔 1 つあたりのせん断耐力を**表–3** に示す．B5h5-1 のせん断耐力は，**図–3** を見るとせん断耐力を示している領域が欠けているような形をしているので，**表–3** の B5h5 のせん断耐力の平均は B5h5-2 の値としている．これらを比べると，孔あき鋼板ジベルの孔数を増やすことでせん断耐力が増加していることが分かる．また，今回孔数 1 つの試験体 B4h1，B5h1(1)，B5h1(2) で実験を行ったが，それぞれせん断耐力が大きく異なっていた．既往の研究[3]でコンクリートブロックの側面積がせん断耐力に最も影響すると示されていたため，B4h1 と B5h1(1) の側面積はほぼ等しくしたが，B5h1(1) は押抜き試験時にコンクリートブロックの下部にひび割れが生じてしまったこと，また，その側面積全体が有効に働いていないために B4h1 よりせん断耐力が小さくなったと考えられる．B5h1(2) は B4h1，B5h1(1) に比べ側面積は約 1.3 倍大きいがせん断耐力は一番小さいという結果になった．これらから，適切なせん断耐力が得られたのは B4h1 のみであると言える．

そこで，**表–3** を見ると，B5h3 のせん断耐力は，B4h1 のほぼ 3 倍となっている．これは，古内らの強度算定式[2]のように孔数に比例していると言える．しかし，B5h5 のせん断耐力は B4h1 の 5 倍には及ばない値となった．この理由は，今回の実験で用いたジベル孔径を 30mm としており，これが小さかったためにコンクリート打設時に孔内に骨材が充填されにくく，せん断耐力にばらつきがでたのではないかと考えられる．

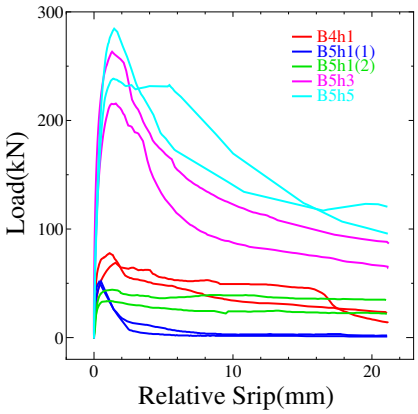
鋼板上部と下部で計測した鋼板とコンクリートブロックとの相対ずれ変位の差については，縦軸に荷重，横軸に変位をとった**図–5** 〜**図–8** にて説明する．**図–4** 〜**図–8** の赤線は鋼板上部と下部でのずれ変位の差，黒線は鋼板上部で計測した相対ずれ変位，青線は鋼板の縮みを示している．これらの図を見ると，どの図においても，載荷直後は鋼板上部で計測したずれ変位は上部と下部の差に一致しており，載荷が進むとある点から鋼板下部でのずれ変位が見られるようになる．このことから，ある点において，鋼板とコンクリートブロック間の付着が完全に切れたのではないかと思われる．また，鋼板上部と下部でのずれ変位の差は，多少のぶれはあるが，鋼板の縮みとほぼ同様な挙動をしていることが分かる．よって，鋼板上部と下部で測定したずれ変位の差は，鋼板の縮みによるものであると言える．

**図–7** 〜**図–12** は B5h3 と B5h5 の鋼板のひずみについて示している．Strain1，Strain3 は鋼板の外側に貼り付けたひずみゲージ，Strain2 は鋼板中央に貼り付けたひずみゲージの値である．なお，鋼板の最も上の孔間を孔間 1 としている．これを見ると，B5h3，B5h5 のどちらにおいても鋼板下方の孔間のひずみほど生じ始めるのが遅くなることが分かる．これは，鋼板とコンクリートブロック間の付着が，鋼板上方から徐々に切れていくために，ひずみの生じ方に差があるのではないかと考えられる．

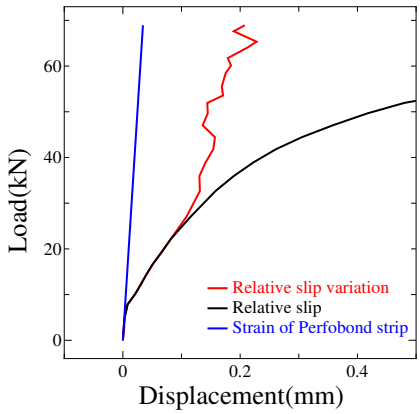
せん断力分担割合は，既往の研究[1]と同様に，押抜き試験から得られた鋼板のひずみから以下の式により求める．

$$1\text{つ目の孔の割合} = \frac{\text{載荷荷重} - \text{孔間 1 に働く軸力}}{\text{載荷荷重}} \quad (1)$$

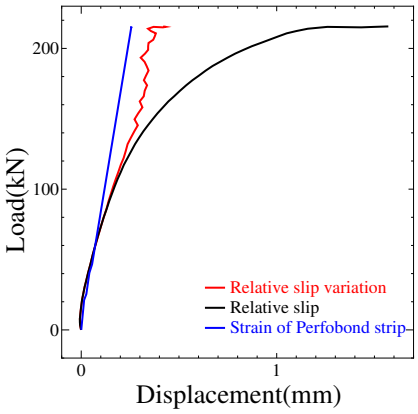
$$2\text{つ目の孔の割合} = \frac{\text{孔間 1 に働く軸力} - \text{孔間 2 に働く軸力}}{\text{載荷荷重}} \quad (2)$$



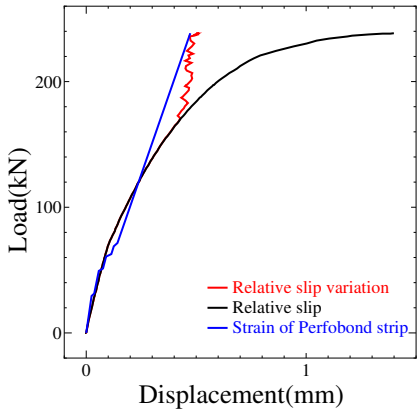

**図–3**　荷重-ずれ変位関係



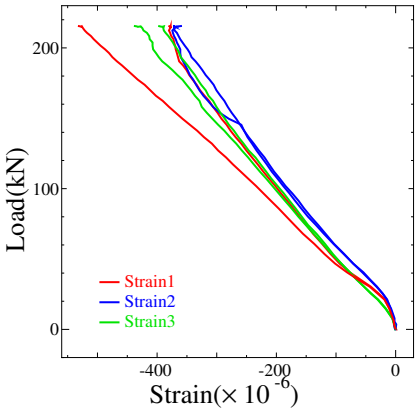

**図–4**　B4h1 荷重-変位関係



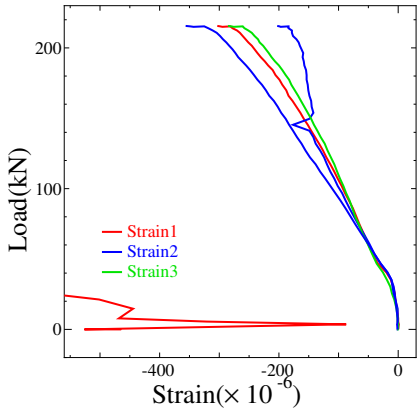

**図–5**　B5h3 荷重-変位関係




**図–6**　B5h5 荷重-変位関係




**図–7**　B5h3 荷重-ひずみ関係 孔間 1




**図–8**　B5h3 荷重-ひずみ関係 孔間 2

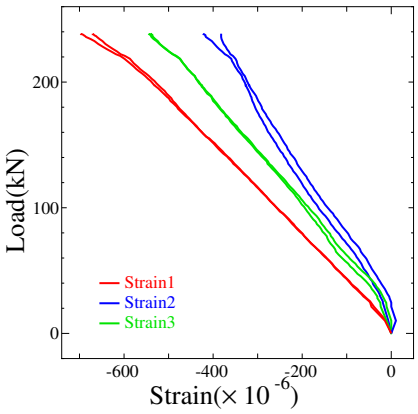
$$3\text{ つ目の孔の割合} = \frac{\text{孔間 2 に働く軸力}}{\text{載荷荷重}} \qquad (3)$$

上記の式は孔数 3 つの場合のせん断力分担割合を求める式であるが，孔数 5 つの場合も同様にして求める．

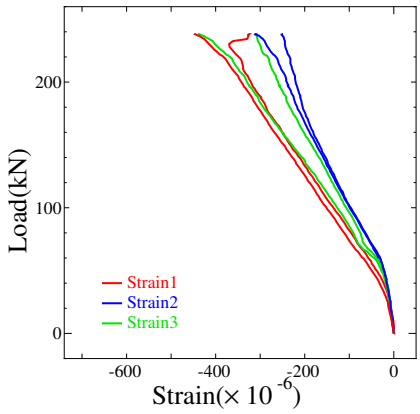
それぞれの試験体のせん断力分担の状況を**図–13**，**図–14**，**図–5**，**図–6** に示す．これらの図では，縦軸にそれぞれの孔のせん断力分担割合，横軸にせん断力をとっている．順に見ると，B5h3 では載荷を始めた直後は試験体上側の孔の担う割合が高く，載荷が進むにつれ全体の約 40%．2 番目の孔のせん断力は 1 番目の孔のせん断力が下がるにつれ高くなり，1 番目の孔のせん断力が安定すると減少していることが分かる．試験体底面側の孔は 2 番目の孔とは逆に 1 番目の孔のせん断力が安定すると上昇していることが分かる．B5h5 においても似たような結果となっているが，どの孔の割合が上昇傾向，または下降傾向にあるのかは 2 体の試験体で異なっている．これらのことから，鋼板上方の孔のせん断力は高いということが言えるが，鋼板下方の孔のせん断力の大きさは明確ではない．

## 4.　まとめ

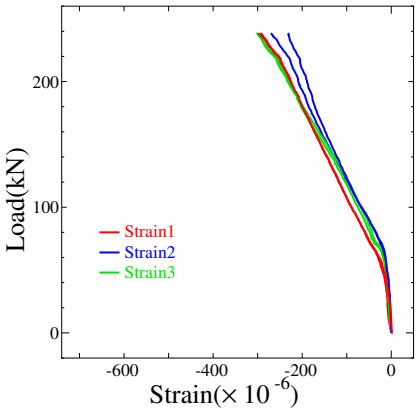
孔あき鋼板ジベルの孔数によるせん断耐力への影響，せん断耐力の増減によるずれ変位の変化やせん断力分担特性の検討を目的として行った実験により得られた結果を以下に示す．



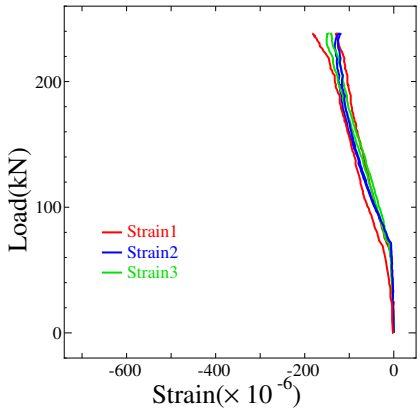

**図–9** B5h5 荷重-ひずみ関係 孔間 1



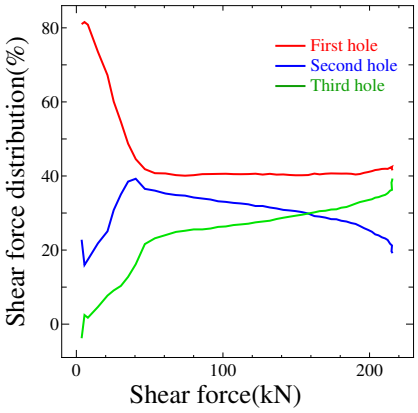

**図–10** B5h5 荷重-ひずみ関係 孔間 2



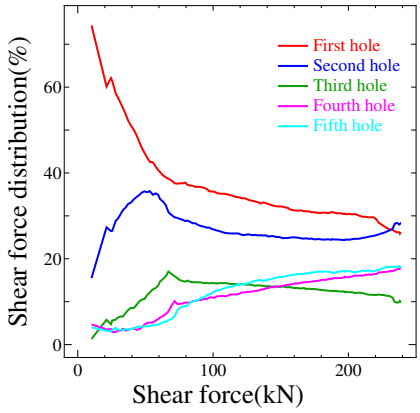

**図–11** B5h5 荷重-ひずみ関係 孔間 3




**図–12** B5h5 荷重-ひずみ関係 孔間 4




**図–13** B5h3 せん断力分担割合




**図–14** B5h5 せん断力分担割合

1. 孔あき鋼板ジベルの孔を増やすとせん断耐力の増加が見られる．しかし，既往の研究のような孔数に比例するような増加は見られない．
2. 鋼板上部で計測したずれ変位と鋼板下部で計測したずれ変位に差が見られるのは，鋼板の縮みによるものが支配的である．
3. ジベル孔数 5 つの場合，孔あき鋼板ジベルのせん断力分担割合は，最も鋼板上方にある孔の分担割合は最も高いが，鋼板下方に位置する孔の割合は明確ではない．

**参考文献**

1) 中島章典，小関聡一郎，内藤雅人，中島絢平，鈴木康夫：長手方向に複数配置した孔あき鋼板ジベルのせん断力分担に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.57A，pp.996-1006，2011. 3.
2) 古内仁，上田多門，鈴木統，田口秀彦：孔あき鋼板ジベルのせん断伝達耐力に関する一考察，第 6 回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，No.26，2005. 11.
3) 中島章典，小関聡一郎，橋本昌利，鈴木康夫，グエンミンハイ：単純な押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価，：土木学会論文集，Vol.68，No.2，pp.495-508，2012. 8.