

## (6) 床版取替え時のスタッド配置状況が合成はりの 限界状態に及ぼす影響

岡崎 康幸<sup>1</sup>・中島 章典<sup>2</sup>・溝江 慶久<sup>3</sup>・佐藤 美乃里<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科地球環境デザイン学専攻 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

Email: mt146415@cc.utsunomiya-u.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 宇都宮大学大学院教授 工学研究部循環生産研究部門 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

Email: akinorin@cc.utsunomiya-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 川田工業株式会社 鋼構造事業部 (〒 114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

E-mail:y.mizoe@kawada.co.jp

<sup>4</sup>非会員 埼玉県 (元宇都宮大学生)

劣化した RC 床版を取替える際、プレキャスト床版がよく用いられ、スタッドグループ配置も適用されるが、この場合、プレキャスト床版に箱抜き部を設け、無収縮モルタルなどで鋼桁とプレキャスト床版を一体化する。本研究では、スタッド配置間隔などの異なる合成はり試験体の静的載荷試験を行い、スタッドグループ配置を含む 4 つの試験体の挙動を比較した。その結果、各はり試験体の載荷点の下フランジ降伏時に、断面平面保持は成立しないが、この荷重段階において各スタッド位置の相対ずれ変位は使用性の限界状態に達していないことを確認した。また、スタッドの本数を減少させたはり試験体においても、その曲げ耐力は全塑性モーメントの理論値にほぼ一致することから、スタッドグループ配置の合成はりではスタッド本数を減らせる可能性が確認された。

**Key Words** : composite girder, slab replacement, precast slab, grouped stud, limit state

### 1. はじめに

既設道路鋼桁橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）の経年劣化が問題となっており、種々の方法で補修が行われている事例も多い。しかし、RC 床版の劣化損傷が激しい場合には、RC 床版を取替えることが必要となる。既設橋の RC 床版を取替える場合には、高品質で施工期間の短縮が図れることからプレキャストコンクリート床版（以下、PCa 床版）を利用する機会が多い。さらに、鋼桁橋が合成桁の場合には、鋼桁と PCa 床版間の合成効果を確保する必要があるため、ずれ止め配置に対しても配慮しなければならない。この場合、鋼桁と PCa 床版間に十分な合成効果を確保するため、PCa 床版に箱抜き部を設けスタッドをグループ配置する場合もある。

PCa 床版とグループスタッドの配置を有する合成桁あるいは合成はりに関する実験的研究はこれまであまり行われていない。その中で、大久保ら<sup>1)</sup>はスタッドをグループ配置した合成はりの正曲げおよび負曲げ載荷実験を行い、スタッドをグループ配置した合成はりの挙動がスタッドを通常配置した合成はりの挙動と同

等であることを確認している。著者ら<sup>2)</sup>も、箱抜き部を有する PCa 床版とスタッドをグループ配置した鋼はりを無収縮モルタルにより一体化した合成はり試験体、およびスタッドを等間隔に配置した鋼はりに場所打ち床版で一体化した合成はり試験体の静的載荷実験を行い、両者の挙動を詳細に比較した結果を得ている。

しかし、PCa 床版を用いる場合、プレストレストコンクリート床版を用いることが前提であるため、合成はりとして必要なスタッドの本数を考慮して、スタッドのグループ配置に対応した PCa 床版の箱抜き部の大きさと PC 鋼棒の配置間隔を適切に決定することが必要である。さらに、PC 鋼棒の配置の観点からはグループスタッド配置のための箱抜き部をできるだけ減らすことが望ましい。一方、グループスタッド配置のための箱抜き部を減少させることが、合成効果の低下を招き合成はりとして必要な性能を低下させる懸念もある。

そこで本研究では、スタッドが等間隔に配置された場所打ち床版を有する合成はりスタッドグループ配置で PCa 床版を有する合成はりの模型試験体を作製し、静的載荷実験を行った。その結果から、PCa 床版を有

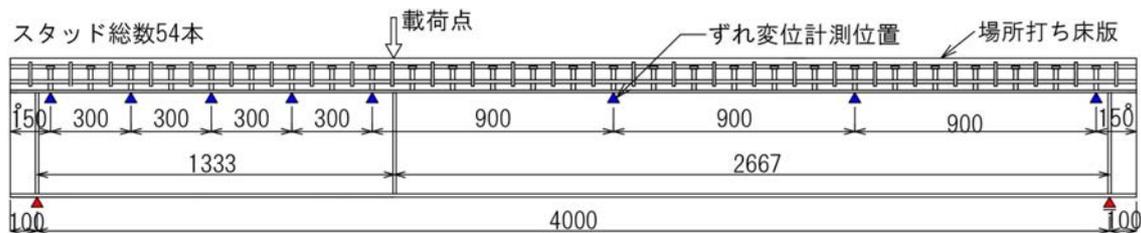


図-1 試験体 RC-UGS 側面図

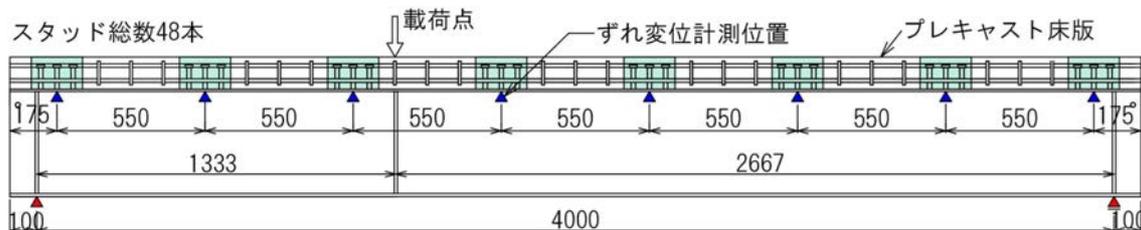


図-2 試験体 PCa-GS1 および PCa-GS2m 側面図

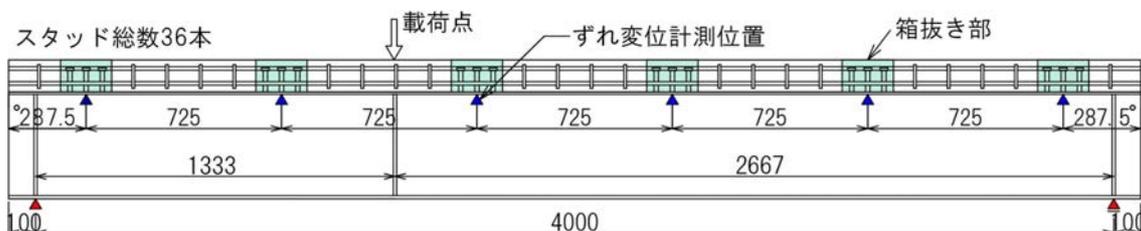


図-3 試験体 PCa-GS3m 側面図

表-1 試験体のスタッド配置，床版作製方法

試験体名	スタッド配置	床版	モルタル層
RC-UGS	等間隔配置	場所打ち	-
PCa-GS1	グループ 8 箇所	プレキャスト	なし
PCa-GS2m	グループ 8 箇所	プレキャスト	あり
PCa-GS3m	グループ 6 箇所	プレキャスト	あり

する合成はりにおいて、グループスタッド配置数を変化させた場合の合成はりの挙動を、耐荷性および使用性の限界状態に着目して検討した。さらに、スタッドを通常の一段に配置した押抜き試験体、およびはり試験体に対応させてスタッドをグループ配置した押抜き試験体の静的荷重試験を行い、合成はり試験体中のスタッドの挙動と押抜き試験体中のスタッドの挙動の比較を試みた。

## 2. 合成はり静的荷重試験

### (1) 概要および試験体の種類

本研究に用いた試験体は、図-1～図-3 に示すように、全長 4200mm、支間長 4000mm の合成はり試験体である。試験体は 4 体作製し、それぞれ表-1 に示すよ

うな名称を付した。RC-UGS はスタッドを等間隔で配置し、鋼はりの上に直接コンクリートを打設した試験体であり、グループスタッド配置の試験体との比較のために作製した。PCa-GS1 および PCa-GS2m はグループスタッドを 6 本ずつ 550mm 間隔で全長に 8 箇所配置した合成はり試験体である。グループスタッド用の箱抜き部を有する PCa 床版は別に作製し、荷重試験の約 2 週間前に無収縮モルタルによって鋼はりとはり一体化させた。また、PCa-GS3m はグループスタッドの配置間隔による影響を確認する目的で、グループスタッドの間隔を 725mm 間隔で全長に 6 箇所配置した試験体である。なお、PCa-GS1 では上フランジと PCa 床版の間にモルタル層は設けていないが、PCa-GS2m および PCa-GS3m では上フランジと PCa 床版の間に厚さ 3mm 程度のモルタル層を設けている。

これらの試験体の断面形状を図-4 に示す。床版は幅 400mm、厚さ 120mm、鋼はりの高さは約 400mm の断面形状で、床版内には D13 の軸方向鉄筋を 8 本配置した。ずれ止めとして、径 16mm、高さ 90mm のスタッドを 2 列に配置した。スタッドを等間隔に配置した場所打ち床版を有する RC-UGS では、全塑性モーメントに達するまで鋼部材は座屈しないように断面諸元などを決定した。したがって、鋼はり下縁が降伏した後に RC 床版上縁がコンクリートの終局ひずみに達して破壊す

表-2 使用材料特性値

合成はり試験体	RC-UGS PCa-GS1	PCa-GS2m PCa-GS3m
鋼はり上フランジ・ウェブ降伏強度	429N/mm <sup>2</sup>	380N/mm <sup>2</sup>
鋼はり下フランジ降伏強度	410N/mm <sup>2</sup>	396N/mm <sup>2</sup>
コンクリート圧縮強度	36.1N/mm <sup>2</sup>	34.9N/mm <sup>2</sup>
コンクリート引張強度	3.3N/mm <sup>2</sup>	3.3N/mm <sup>2</sup>
コンクリート静弾性係数	28.0kN/mm <sup>2</sup>	29.0kN/mm <sup>2</sup>
頭付きスタッド降伏強度	290N/mm <sup>2</sup>	395N/mm <sup>2</sup>
橋軸方向鉄筋降伏強度	353N/mm <sup>2</sup>	343N/mm <sup>2</sup>

表-3 合成はり試験体の無収縮モルタル圧縮強度

試験体名	材齢	圧縮強度
PCa-GS1	17日	72.0N/mm <sup>2</sup>
PCa-GS2m	15日	59.3N/mm <sup>2</sup>
Pca-GS3m	15日	61.9N/mm <sup>2</sup>

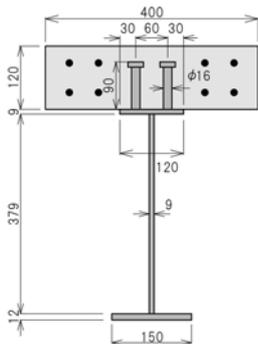


図-4 はり試験体断面

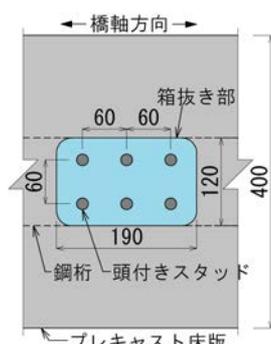


図-5 グループスタッド部上面図

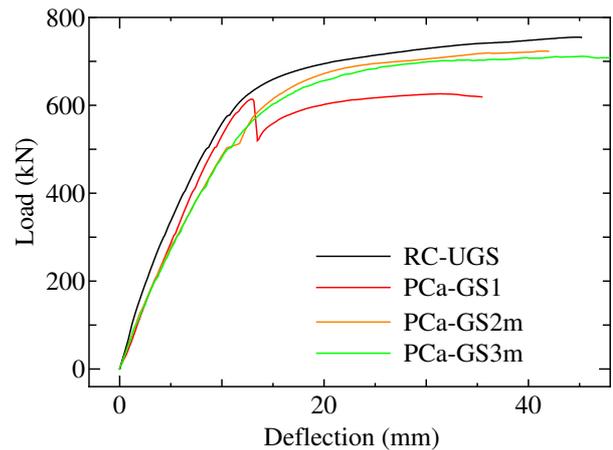


図-6 荷重-たわみ関係

ると予想される。また、合成はりとしてのずれ止め剛度 (490~1960MN/m/m)<sup>4)</sup> を有し、全塑性モーメント時にスタッドに作用するせん断力とそのせん断耐力より小さくなるように、橋軸方向の配置間隔を150mmとした。

これに対して、PCa床版を有するPCa-GS1、PCa-GS2mでは、RC-UGSとスタッドの総数が同程度となるように6本ずつのグループスタッドを550mm間隔で8箇所配置し、PCa-GS3mでは、相対的にスタッドの配置数を減少させる目的で上述のような725mm間隔で6箇所配置とした。PCa床版箱抜き部の詳細を図-5に示す。なお、鋼はりの上フランジ面にはグリース塗布などの処理は行っていない。

4体の試験体に使用した材料の特性値を表-2に示すが、材料の特性値は試験体ごとに異なっている。なお、無収縮モルタルの圧縮強度はそれぞれの荷重試験実施時に確認しており、その結果を表-3に示す。

## (2) 試験方法

荷重試験時には、図-1~図-3に示すように支点間距離が4000mmとなるように試験体を単純支持し、支点間1/3点に集中荷重を載荷した。載荷方法は漸増繰返し載荷とし、それぞれのサイクルのピーク荷重を100, 200, 300, 400, 500kNおよびずれ止め位置で計測したずれ変位の最大値が0.6mm程度となる荷重を目安として荷重除荷を繰り返した後、床版が圧壊し荷重が低

下するまで荷重を増加させた。

## (3) 測定項目

載荷実験では、載荷点におけるたわみ、コンクリート床版と鋼はり間の水平ずれ変位、鋼はりおよび床版内鉄筋のひずみ、スタッド中央高さのひずみなどを測定した。載荷点部たわみはダイヤルゲージ型変位計を用いて測定した。コンクリート床版と鋼はり間の水平ずれ変位は図-1~図-3に示している位置で、各試験体8箇所または6箇所を高感度変位計を用いて計測した。鋼はりおよび床版内鉄筋のひずみは断面平面保持の状況を確認するために、載荷点位置など数か所の断面において鋼はり上下フランジとウェブおよび鉄筋にひずみゲージを貼り付け、ひずみを測定した。また、スタッドの中央高さに橋軸方向で挟み込むようにひずみゲージを2枚貼付し、ひずみを測定した。

## (4) 合成はり試験体の実験結果および考察

### a) 荷重-たわみ関係

載荷点における荷重-たわみ関係を図-6に示す。PCa-GS1では荷重613kN程度で、載荷点付近の床版にせん断斜めひび割れを生じて急激に荷重が低下し、その後載荷を続け、626.3kNで最大荷重となった。この原因として、床版設置時に載荷点付近の床版下縁と鋼は

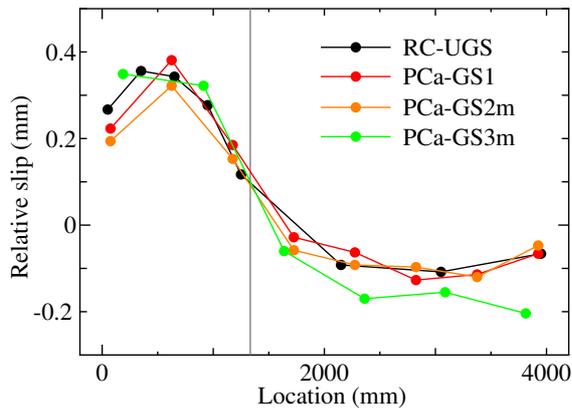


図-7 鋼はり下フランジ降伏時ずれ変位分布

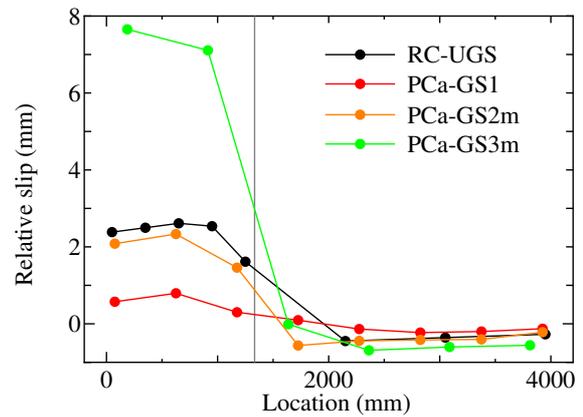


図-8 最大荷重時時ずれ変位分布

り上フランジの間に1~2mm程度の隙間があったため、その部分の床版がせん断破壊した後に隙間が狭まって、その後も荷重が増加したものと考えられる。この対策として後に作製したPCa-GS2mとPCa-GS3mでは前述のようにモルタル層を設けることによって、せん断破壊による急激な荷重低下を防ぐことができた。また、PCa床版を有する試験体では、荷重400kN程度までの初期勾配はほぼ一致しており、同程度の合成効果を有すると言える。しかし、荷重400kN時のたわみをRC-UGSのたわみと比較すると、PCa-GS1、PCa-GS2m、PCa-GS3mにおいて、それぞれ13.9%、26.8%、27.3%大きい。この理由は、場所打ち床版を有する合成はりとはPCa床版を有する合成はりでは、RC床版下面と鋼フランジ上面の間の付着の程度が異なるためと考えられる。

それぞれの試験体の最大荷重は、RC-UGSで755.0kN、PCa-GS1で626.3kN、PCa-GS2mで723.3kN、PCa-GS3mで711.9kNであった。RC-UGSが最も耐力が大きく、PCa-GS2mとPCa-GS3mはほぼ同程度の耐力となった。なお、材料強度を考慮した各試験体の全塑性モーメントの理論値はRC-UGSおよびPCa-GS1で743kN、PCa-GS2mおよびPCa-GS3mで698kNである。PCa-GS1を除き、各試験体の曲げ耐力は理論値より1.6%~3.6%程度大きい。理論値と比較しても極端な強度低下はないことから、グループスタッドの配置数を8箇所から6箇所に低減しても同程度の耐力を期待できる可能性があると考えられる。

#### b) 橋軸方向ずれ変位分布

各試験体の鋼はり下フランジ下縁降伏時および最大荷重時におけるずれ変位分布を比較する。ここでは鋼はりの下フランジ下縁降伏時を使用性の限界状態と考え、また、最大荷重時を耐荷性の限界状態と考え、その時の上述の挙動を確認する。なお、それぞれの試験体の鋼はり下フランジ下縁降伏時の荷重は、RC-UGSで453.8kN、PCa-GS1で474.7kN、PCa-GS2mで402.8kN、PCa-GS3mで415.0kNとなり、前者2体の荷重の方が、後者2体より大きい。これは、おもに表-2に示すように

鋼はりを構成する鋼材の材料強度の差異によるものと思われる。

図-7に鋼はり下フランジ下縁降伏時の橋軸方向の床版と鋼はり間のずれ変位分布を示す。縦軸はずれ変位を表し、横軸は左側支点からずれ変位計測位置までの距離を表している。なお、図において鋼はりに対してコンクリート床版が左側に移動する方向を正の値としている。複合構造標準示方書<sup>3)</sup>によると、ずれ変位0.4mmを使用性の限界状態の目安と考えているが、いずれの試験体においてもこの荷重段階におけるずれ変位は0.4mm以下となっている。また、グループスタッドの配置数を減らしたPCa-GS3mの最大ずれ変位も他の試験体の結果とほとんど変わらない。

一方、図-8に最大荷重時のずれ変位分布を示す。載荷点の左側において、グループスタッドの配置数を減らしたPCa-GS3mのずれ変位は他の試験体より顕著に大きく、後述の対応する押抜き試験時の最大せん断力時のずれ変位に達している。つまり、この試験体においては、はりとしての耐荷性の限界状態とスタッドの耐荷性の限界状態がほぼ同時に生じていると言える。なお、このPCa-GS3m試験体において、実験終了後に載荷点左側の箱抜き部周辺のコンクリート床版に橋軸方向のひび割れが確認された。これに対して、スタッドの総数が同程度であるRC-UGSとPCa-GS2mのずれ変位分布は近似しており、最大ずれ変位は対応する押抜き試験時の最大せん断力時のずれ変位よりも小さい。なお、PCa-GS1では、最大荷重が比較的小さかったため、ずれ変位は他の場合よりも全体的に小さい値である。

#### c) はり高方向ひずみ分布

鋼はり下フランジ降伏時におけるはり高方向ひずみ分布を図-9に示す。計測位置は、PCa-GS2mでは載荷点から右側に134mm位置の断面であり、その他の試験体では載荷点位置である。図の縦軸は下フランジ下縁からの距離、横軸はひずみを表している。鋼はり下縁のひずみは材料の降伏強度に対応した降伏ひずみ約

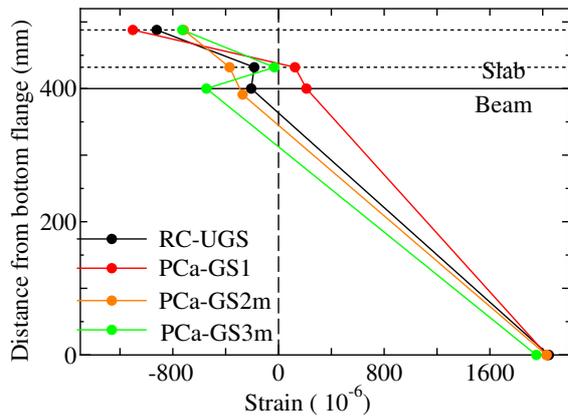


図-9 下フランジ降伏時 はり高方向ひずみ分布

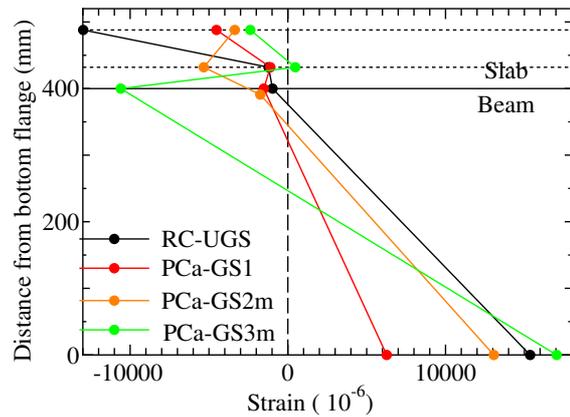


図-10 最大荷重時 はり高方向ひずみ分布

表-4 押抜き試験体の種類およびせん断耐力

試験体名	スタッド配置	コンクリートブロック	モルタル層	モルタル圧縮強度(材齢)	せん断耐力	試験体設置方法
UGS-F	1段配置	場所打ち	—	-	122.8kN	固定支持
UGS-M	1段配置	場所打ち	—	-	91.7kN	可動支持
GS-F	3段配置	プレキャスト	なし	68.2N/mm <sup>2</sup> (15日)	-	固定支持
GS-M	3段配置	プレキャスト	なし	69.7N/mm <sup>2</sup> (16日)	74.7kN	可動支持
GSm-F	3段配置	プレキャスト	あり	60.0N/mm <sup>2</sup> (14日)	84.6kN	固定支持
GSm-M	3段配置	プレキャスト	あり	60.0N/mm <sup>2</sup> (14日)	75.0kN	可動支持

2000×10<sup>-6</sup>に達している。この図から、どの試験体においても鋼はり部分と床版部分の断面平面保持は成立しておらず、不完全合成状態にあるが、特に、スタッドの配置数が少ないPCa-GS3mにおいて、床版部分と鋼はり部分のひずみ分布のずれが最も大きい。このことから、スタッドの配置数が荷重-たわみ関係や同荷重時の長手方向ずれ変位分布に及ぼす影響は小さいが、はり高方向ひずみ分布に及ぼす影響は大きいことがわかる。

一方、最大荷重時における同位置でのはり高方向ひずみ分布を図-10に示す。この場合、PCa-GS1の結果を除いて、鋼はり下縁のひずみは約2000×10<sup>-6</sup>を超えており、また、床版内の上段鉄筋のひずみはコンクリートの圧縮強度に相当する約2000×10<sup>-6</sup>以上となっている。つまり、このはり高方向のひずみ分布は耐荷性の限界状態に対応している。また、使用性の限界状態時に比較して、床版部分と鋼はり部分の断面平面保持のひずみ分布からのずれが大きく、特に、PCa-GS3mでその傾向が顕著に見られる。

### 3. 静的押抜き試験

#### (1) 概要

合成はり試験体に用いたスタッドのせん断耐力やせん断力-ずれ変位関係を確認するためにスタッドの静

的押抜き試験を行った。スタッド等間隔配置とグループ配置の合成はり試験体に対応させて、スタッド1段配置の試験体と3段配置の試験体を作製した。また、モルタル層を有する合成はり試験体に対応したスタッド3段配置でモルタル層を有する押抜き試験体も作製した。試験方法は、日本鋼構造協会より提案されている押抜き試験方法<sup>5)</sup>によるものと、島<sup>6)</sup>が提案する新しい押抜き試験方法によるものの2種類の方法に従った。

#### (2) 試験体の種類

ここでは、RC-UGSに対応させてスタッドを1段に配置した試験体を2体、PCa-GS1に対応させてスタッドを3段に配置しモルタル層のない試験体を2体、PCa-GS2mおよびPCa-GS3mに対応させてスタッドを3段に配置しモルタル層を有する試験体を2体、合計6体の押抜き試験体を作製した。押抜き試験体の種類を表-4に示すが、試験体名については以下の(3)で説明する。押抜き試験体のコンクリートブロックおよびT鋼は、合成はり試験体のコンクリート床版と鋼はり上フランジの寸法に一致させた。スタッド1段配置の試験体では、スタッドが正立した状態でコンクリートを打設した。一方、スタッド3段配置の試験体では、箱抜き部を有するコンクリートブロックを事前に作製し、スタッドを正立させた状態で箱抜き部に無収縮モルタルを打設した。この際、モルタル層を有する試験体では、T鋼とコンクリートブロックの間に3mm程度の無収縮

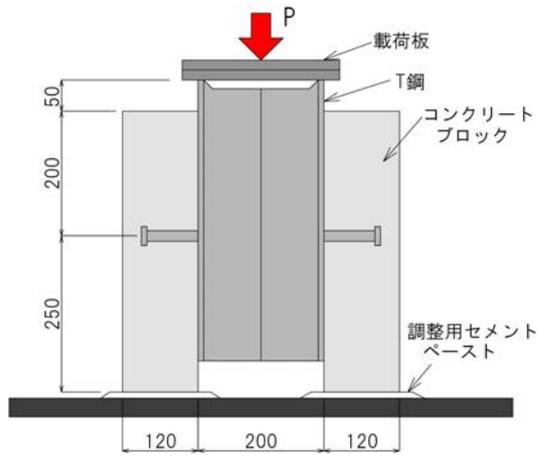


図-11 固定支持試験方法（スタッド一段配置の場合の例）

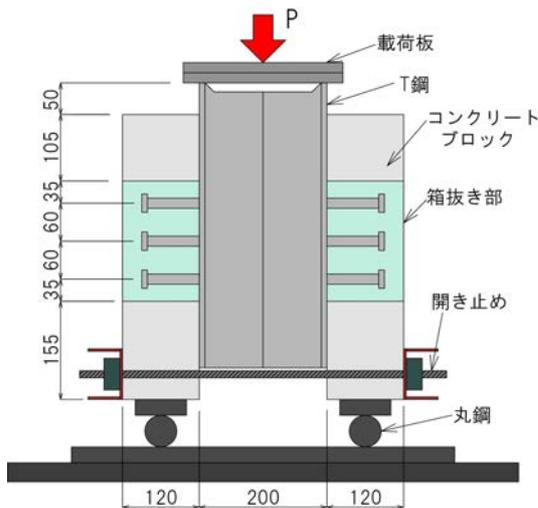


図-12 可動支持試験方法（スタッド3段配置の場合の例）

モルタルの層を設けた。その後、荷重試験前に2つのT鋼のウェブ部分を溶接により一体化して押抜き試験体の形状とした。また、合成はり試験体に対応させてコンクリートと接触する鋼部材フランジ面にはグリースを塗付するなどの処理は行っていない。

スタッド1段配置の試験体の例を図-11に示し、箱抜き部を有しスタッド3段配置の試験体の例を図-12に示す。

### (3) 試験方法

スタッド1段配置のUGS-Fおよびスタッド3段配置のGS-F、GSm-Fは、日本鋼構造協会の頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)<sup>5)</sup>に準拠して行うものとし、図-11に示すように荷重面と支持面が平行になるように、調整用のセメントペーストを敷き、その上に押抜き試験体を載せ水平を確保した。一方、UGS-M、GS-MおよびGSm-Mでは、図-12に示すように島<sup>6)</sup>が提案する回転および水平移動が可能な支承を用いて試験体を単純支持した。このとき、回転支点として丸鋼の上に

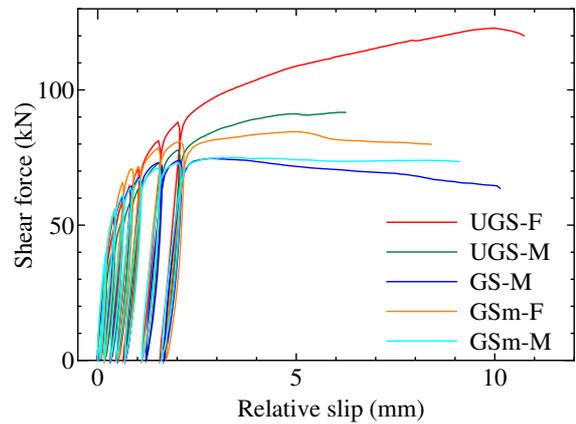


図-13 せん断力-ずれ変位関係

鋼板を載せ、その上に調整用のセメントペーストを敷き、試験体を設置した。また、支承の水平移動によるH鋼部材とコンクリートブロックとの開きを抑制するためにコンクリートブロック下部に全ねじと溝形鋼を用いた開き止めを設けた。荷重実験に際しては、ずれ変位が2mmまでは荷重制御による漸増繰返し荷重とし、それ以降は、変位制御による単調荷重を行った。なお、押抜き試験体を使用した材料の特性値は対応する合成はり試験体の材料特性値と同じであり、表-2に示している。つまり、押抜き試験体UGS-F、UGS-M、GS-Mの特性値はやはり試験体RC-UGS、PCa-GS1の特性値と同じであり、押抜き試験体GSm-F、GSm-Mの特性値はやはり試験体PCa-GS2m、PCa-GS3mの特性値と同じである。また、無収縮モルタルの圧縮強度はそれぞれの押抜き試験実施時に測定しており、その結果は表-4に示している。

### (4) 測定項目

押抜き試験では、荷重荷重、コンクリートブロックと鋼部材フランジ間のずれ変位、スタッドのひずみなどを測定した。コンクリートブロックと鋼部材フランジ間のずれ変位は、スタッド1段配置ではスタッド配置位置で、スタッド3段配置では中央のスタッド配置位置で、高感度変位計を用いて、それぞれのフランジの両側計4箇所測定した。スタッドのひずみは合成はり試験体と同様にずれに伴うスタッドの曲げひずみを測定できるように、スタッド中央高さで挟み込むように2枚のひずみゲージを貼付した。

### (5) 実験結果と考察

押抜き試験時において、GS-Fの試験時に測定器の不調により、荷重荷重以外の測定値が測定できなかった。そのため以下では他の5体の試験体についての結果を示し、考察を行う。

図-13に各試験体のせん断力とずれ変位の関係を示す。縦軸は、荷重荷重をそれぞれ配置したスタッド本数

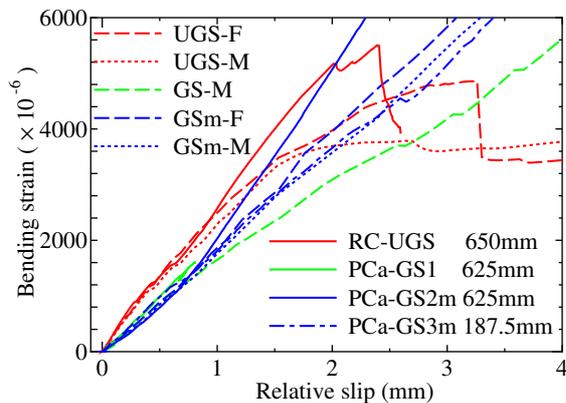


図-14 スタッド曲げひずみ-ずれ変位関係

で除したスタッド1本当りのせん断力を、横軸は4箇所測定したずれ変位の平均値を示している。この図から、せん断耐力はUGS-F, UGS-M, GSm-F, GSm-M, GS-Mの順に小さくなっており、それぞれのせん断耐力も表-4に示した。なお、UGS-FおよびUGS-Mの破壊形態はスタッドのせん断破壊であるが、GS-M, GSm-F, GSm-Mの破壊形態は箱抜き部付近のコンクリートブロックのひび割れによるもので、スタッドのせん断破壊は生じなかった。

以上のように、グループスタッドを有するスタッド3段配置のせん断耐力が、場所打ちコンクリートブロックを有するスタッド一段配置のせん断耐力よりも小さい。この理由は、前者のグループスタッドに作用する総せん断力に対して、コンクリートブロックの寸法が相対的に小さく、ひび割れが生じたためであると考えられる。また、それぞれ同種の試験体では、固定支持の場合のせん断耐力よりも可動支持の場合のせん断耐力のほうが小さい。

図-14には、押抜き試験体に加えて、はり試験体におけるスタッドの曲げひずみとずれ変位の関係を示す。縦軸が曲げひずみを、横軸はずれ変位を表している。押抜き試験では、ずれ変位は4箇所計測した値の平均値であり、曲げひずみは3段配置の2段目のスタッドの曲げひずみの平均値である。一方、はり試験体では、それぞれ左支点から図中に示す数値までの位置のスタッドのずれ変位および同スタッドの曲げひずみである。また、赤線が場所打ち床版を有するはり試験体および1段配置の押抜き試験体の結果を表し、緑線がモルタル層のないPCa床版を有するはり試験体および対応する3段配置の押抜き試験体の結果であり、青線がモルタル層をもつPCa床版を有するはり試験体および対応する3段配置の押抜き試験体の結果である。さらに、実線および青い一点鎖線がはり試験体の結果、点線が固定支持の押抜き試験体の結果、破線が可動支持の押抜き試験体の結果である。なお、PCa-GS1の曲げ耐力は他より小さく、図-8に示すように曲げ耐力時の最大ず

れ変位は1mm以下であるので、緑実線の関係は判読しにくい、1mm弱までは緑破線のGS-Mの関係に近似している。

この図から、ずれ変位が1mm程度までは、赤線の場合所打ち床版に対応する曲げひずみが同じずれ変位に対してPCa床版に対応する曲げひずみよりも値が大きい。これは、箱抜き部モルタルの圧縮強度がコンクリートの圧縮強度よりも大幅に大きく、剛性も高いためと考えられる。また、ずれ変位1.5mm程度までは、赤線および青線同士が同じような挙動を示していることから、押抜き試験体中のスタッドの挙動ははり試験体中のスタッドの挙動をある程度再現していると言える。なお、ここに示したスタッドの曲げひずみとずれ変位の関係においては、押抜き試験体の支持条件の影響はあまり認められない。

#### 4. おわりに

本研究では、場所打ちRC床版を有する合成はり試験体と、グループスタッド配置数やモルタル層の有無などを変化させたPCa床版を有する合成はり試験体の静的載荷試験を行った。そして、それらの結果を使用性、耐荷性の限界状態の観点から、相互に比較して考察を行った。さらに、対応する押抜き試験体を用いた載荷実験を行い、合成はり試験体の結果と比較して考察した。その結果得られた主な知見を以下に示す。

1. 本研究で実験を行った場所打ちRC床版を有する合成はり試験体とPCa床版を有する合成はり試験体において、鋼はり下縁降伏時を使用性の限界状態とした場合、グループスタッド配置数を25
2. 鋼はり下縁降伏時のはり高方向ひずみ分布には不完全合成はりの挙動が認められる。
3. 場所打ちRC床版を有する合成はり試験体はもちろん、PCa床版を有する合成はり試験体でグループスタッド配置数を25
4. 押抜き試験の結果から、スタッドをグループ配置した場合のほうが、スタッドを1段に配置した場合よりも、スタッド1本当たりのせん断耐力は小さい。この理由は、グループスタッドを配置した場合に生じるせん断力に対して用いたコンクリートブロックの寸法が小さく、コンクリートブロックにひび割れが生じたためである。
5. 場所打ちRC床版を有する合成はり試験体およびPCa床版を有する合成はり試験体に対応する押抜き試験体中のスタッドのずれ変位と曲げひずみ関係は、ずれ変位が1.5mm程度までそれぞれ対応するはり試験体中のスタッドのずれ変位と曲げひずみ関係に近似している。  
ただし、グループスタッドを有する合成はりの限

界状態と耐荷挙動の関係は、鋼はりやコンクリート床版の寸法、載荷・支持条件の影響を受けると予想される。したがって、実構造物の諸元を有する合成はりにおける限界状態と耐荷挙動の関係は、数値解析などにより検討したいと考えている。

**謝辞**：本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C)，課題番号 25420476)の補助を受けて実施した。また、太平洋マテリアル株式会社様より無収縮モルタルの材料を提供していただいた。ここに記して関係各位に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 大久保宣人, 栗田章光, 中島星佳, 小松恵一, 端本勝介: 合成桁のスタッドグループ配置に関する実験的研究, 鋼

構造年次論文報告集, 第8巻, pp.493-500, 2000.11.

- 2) 中島章典, 岡崎康幸, グエンバンユン: グループスタッドを配置したプレキャスト床版合成桁の詳細挙動に関する基礎実験, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.788-797, 2015.3.
- 3) 土木学会: 複合構造標準示方書, pp38, 2015.4.
- 4) 中島章典, 溝江慶久: 不完全合成桁の不完全度の簡易推定法, 土木学会論文集, No.537/I-35, pp89-96, 1996.4.
- 5) (社)日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドのに関する研究の現状, JSSC テクニカルレポート No.35, 1996.11
- 6) 島弘: 頭付きスタッドのせん断力とずれ変位およびスタッド軸方向挙動との関係に及ぼす試験方法の影響, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vo.67, pp.307-319. 2011.

## INFLUENCE OF STUD ARRANGEMENT ON LIMIT STATE OF COMPOSITE BEAM IN REPLACING RC SLAB

Yasuyuki OKAZAKI, Akinori NAKAJIMA, Yoshihisa MIZOE, Minoru SATO

In Japan, there are a lot of composite girder that is required to replace the reinforced concrete slab with new one because of deterioration. In replacing the slab of the girder bridge, the precast concrete slab is often used, and grouped stud arrangement is sometimes employed. In this case, the space cut out on the slab is set up and non-shrink mortar or expansive concrete is placed into the space to integrate the steel girder and the precast slab. In this research, we carry out the static test of the composite beam specimen with grouped stud arrangement. As a result, in every girder specimens, the strain distribution along the height does not remain the linear one and the beam behaves as the composite beam with the imperfect interaction between the steel beam and the concrete slab when the yielding occurs in the lower fiber of the steel flange at the loading point. Furthermore, the ultimate moment of resistance of the composite beam with less number of studs is almost equal to the theoretical plastic moment of resistance of the composite beam with the perfect interaction between the steel beam and the concrete slab. Therefore, the number of studs may be reduced in the composite beam having the grouped stud arrangement.