

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420476

研究課題名(和文) 工期短縮を目指した合成桁RC床版の取替えに関する研究

研究課題名(英文) Study on replacement of RC slab of composite girder focusing on reduction of construction period

研究代表者

中島 章典 (NAKAJIMA, AKINORI)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70164176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、グループスタッドを配置するための箱抜き部の大きさおよびその数を変えたプレキャスト床版を有する合成はりについて、耐荷性および使用性の限界状態に着目して模型試験体の静的載荷実験を行った。その結果、使用性としてのずれ変位あるいは耐荷性の曲げ耐力に着目し、また対応する押抜き試験の結果も考慮し、合成はりとして成立するグループスタッドの配置状況を定量的に検討し、合成桁RC床版取替えに際して必要となる有用な情報を見出した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we carry out the static test of the composite beam specimen with the grouped stud arrangement. In this case, six specimens with the different arrangement of the stud are used. In one of the specimens, studs are arranged at equal intervals and the conventional cast-in-place reinforced concrete slab is used to compare the behavior with the one of the specimens having the precast concrete slab. We discuss the detailed behavior of the composite beam having the precast concrete slab with the grouped stud arrangement. As a result, we investigate the adequate grouped stud arrangement which satisfies with the performance of the composite beam considering the relative slip of the stud at the serviceability limit state and the ultimate moment of resistance. The important findings in replacing RC slab of composite beam can be drawn through the research.

研究分野：土木工学，構造工学

キーワード：合成桁 床版取替え プレキャスト床版 グループスタッド 使用性の限界状態 耐荷性の限界状態  
無収縮モルタル モルタル層

## 1. 研究開始当初の背景

既設道路橋の経年劣化により、橋梁各部の損傷が顕在化してきている。特に、直接車両重量を支える鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）の損傷は大きな社会問題となっており、RC 床版の補修や補強が行われている事例も多い。これに対して、RC 床版の損傷の程度が激しい場合、あるいは、経年劣化が著しい場合には、補修や補強で対応することは難しくなり RC 床版を取替えることが必要となる。その際、交通量の多い路線などにおける通行止めの期間をできるだけ短縮する技術が必要とされている。

このような橋梁が鋼コンクリート合成桁の場合には、設計上 RC 床版も主桁作用に見込み、合成断面として荷重に抵抗することとしているため、RC 床版取替えの前後においても合成桁としての抵抗断面を確保する必要がある。しかし、部分的に RC 床版を取り外した場合、橋梁の床組みとしての抵抗メカニズムの変化の影響はあまり明確に確認されていない。また、既設の RC 床版を取り外す場合、一度、フランジ上の頭付きスタッド（以下、スタッド）などのずれ止めを切断して、再度、ずれ止めを設置しなければならないため、合成桁の RC 床版取替えを一層難しいものとしている。このような背景から、合成桁の RC 床版を取替えるに際して、合成桁に近い挙動を確保し、しかもできるだけ短時間で RC 床版を取替える技術の開発が求められている。

## 2. 研究の目的

本研究では、単純支持合成桁 RC 床版の取替えに着目して以下のような検討を行うことを目的とする。まず、合成桁では、RC 床版取替えに際して、フランジ上のスタッドなどのずれ止めを RC 床版の撤去とともに一度切断する必要がある。しかし、新設 RC 床版の設置に際して、合成桁として必要なずれ止

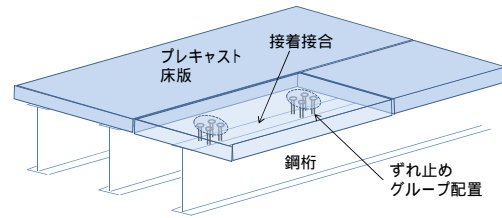


図1 合成桁のRC床版取替え状況

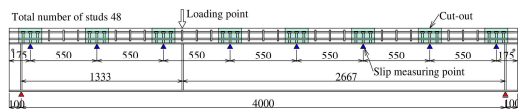
めをフランジ上に再設置するとプレキャスト版の使用が難しくなり、場所打ちRC床版を用いることになれば、結果的に工期も長くなる。そこで、図1にそのイメージを示すように、スタッドなどのずれ止めをグループ配置し、合成桁に近い状態を再現する方法を検討する。ずれ止め本数が十分でない場合、不完全合成桁として使用状態の荷重作用に抵抗できるか、あるいは耐力を確保できるか確認する。つまり、グループ配置されたずれ止め作用するせん断力が疲労強度以下であることおよび不完全合成桁としての耐力を確認する必要がある。これまで、スタッドのせん断耐力や疲労強度はかなり安全側に設定されていることから、不完全合成桁として考える場合、スタッドの強度には余裕があると考えられる。

また、車線片側部分のRC床版取替えに際しては、RC床版が切欠かれた状態から、床版取替え部分のプレキャスト版とフランジ接合部モルタルおよびスタッドグループ配置部の後詰めモルタルの硬化に伴う合成桁各部の応力分担を継時的に確認する。さらに、部分的なRC床版取替えに伴う、合成桁各部の応力分担も実験的に確認し、合成桁RC床版取替えに際して有用なデータを収集する。

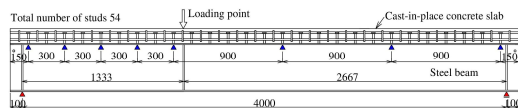
## 3. 研究の方法

### (1) 実験に用いた試験体

本研究に用いた試験体は、図2の上図に示すように、全長4200mm、支間長4000mmの合成はり試験体である。試験体は6体作製し、それぞれ表1に示すような名称を付した。



(a) グループ配置の合成はり



(b) 場所打ち床版を有する合成はり

図2 合成はり試験体

試験体の断面形状を図3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、ずれ止めとして、軸径16mm、全高90mmのスタッドを2列に配置した。なお、試験体の設計にあたっては、コンクリート床版の上縁が圧壊し曲げ耐力に達するように寸法を決定した。また、荷重は、比較的に小さい荷重でスタッドに大きい水平せん断力を作用させることを目的として、支間長の1/3点に載荷するものとした。

表1 合成はり試験体一覧

試験体名	スタッド軸径	スタッド配置	床版	モルタル層
RC-UGS	16mm	等間隔	場所打ち	-
Pca-GS1	16mm	グループ8箇所	プレキャスト	なし
Pca-GS2m	16mm	グループ8箇所	プレキャスト	あり
Pca-GS3m	16mm	グループ6箇所	プレキャスト	あり
Pca-GS4m	16mm	グループ11箇所	プレキャスト	あり
Pca-GS5m	19mm	グループ11箇所	プレキャスト	あり

RC-UGSは図2の下図に示すように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、載荷試験の約2週間前に無収縮モルタルによって鋼はりと一体化させた。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

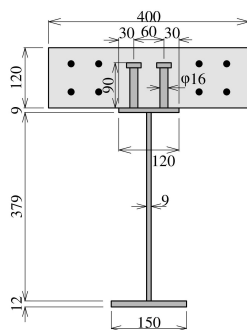


図3 合成はりの断面形状

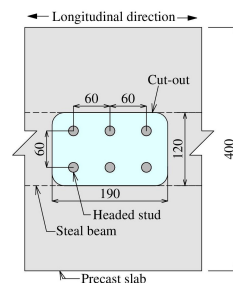


図4 スタッドのグループ配置

に6箇所配置した試験体である。なお、Pca-GS1、Pca-GS2m、Pca-GS3mについては、図4に示すようにグループスタッド1箇所につき、スタッドを6本配置している。これに対して、Pca-GS4mおよびPca-GS5mは、箱抜き部の占める領域を減少させることを目的として、箱抜き部1箇所につきスタッドを4本配置とし、箱抜き部の長手方向長さを150mmと短くして、はり全体に11箇所のグループ配置としている。なお、Pca-GS5mは、スタッド軸径による影響を確認する目的で、他の試験体のスタッド軸径16mmより大きい19mmとした試験体である。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、その他のPca床版の試験体では、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。

## (2)試験方法

載荷試験時には、支点間距離が4000mmとなるように試験体を単純支持し、上述の理由から支点間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載荷除荷を繰返した後、床版コンクリート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、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、載荷点位置など数箇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。

## 4. 研究成果

### (1)荷重 - たわみ関係

載荷点における荷重 - たわみ関係を図 5 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り上フランジの間に 1~2mm 程度の間隙があったため、その部分の床版がせん断破壊した後に間隙が狭まって、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, PCa-GS3m, PCa-GS4m, PCa-GS5m 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 300kN 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。

### (2)降伏荷重および最大荷重

それぞれの試験体鋼はり下縁降伏時の荷重および最大荷重を表 2 に示す。本研究では、鋼はり下縁の降伏時を合成はりの使用性の限界状態とし、最大荷重時を耐荷性の限界状態として考慮するものとする。RC-UGS にお

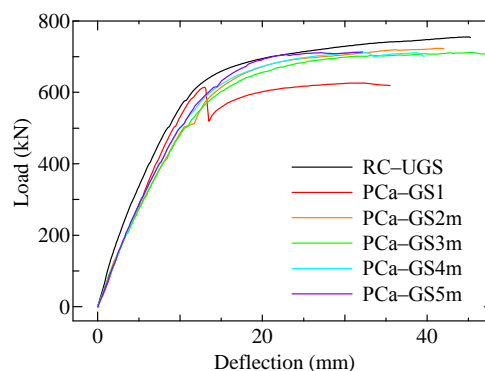


図 5 荷重 - たわみ関係

いて最大荷重が最も大きく、PCa-GS1 を除く PCa 床版の試験体はほぼ同程度の曲げ耐力となった。また、材料強度を考慮した各試験体の全塑性モーメントに対応する荷重の理論値を表 2 に併せて示す。なお、全塑性モーメントは床版内の軸方向鉄筋を無視した場合と、鉄筋の受け持つ圧縮応力を考慮した場合の 2 つの理論値を算定している。

表 2 曲げ耐力などの実験値と理論値の比較

試験体名	鋼はり下縁 降伏荷重	最大荷重	全塑性モーメント理論値	
			鉄筋無視	鉄筋考慮
RC-UGS	453.8kN	755.0kN	743kN	773kN
Pca-GS1	474.7kN	626.3kN	743kN	773kN
Pca-GS2m	402.8kN	723.3kN	696kN	724kN
Pca-GS3m	415.0kN	711.9kN	696kN	724kN
Pca-GS4m	443.7kN	712.5kN	721kN	747kN
Pca-GS5m	463.9kN	713.2kN	721kN	747kN

鉄筋を考慮しない場合には、RC-UGS, PCa-GS2m および PCa-GS3m のみ最大荷重は理論値よりやや大きく、PCa-GS1 を除いて最大荷重は理論値に対して-1.2~3.9%程度の値を示している。しかし、鉄筋を考慮した場合にはいずれの試験体でも最大荷重は理論値より小さく、PCa-GS1 を除き、理論値に対して-4.5~0.1%程度の値を示している。実際には軸方向鉄筋も圧縮応力を受け持つため、鉄筋を考慮した場合のほうが実際に即した値であると考えられる。しかし、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曲げ耐力を期待

できる可能性があると考えられる。また、スタッド軸径を 19mm とした PCa-GS5m は、同様のスタッド配置でスタッド軸径 16mm の PCa-GS4m と比較して合成効果が高まる事が予想されたが、両者の初期勾配はほぼ一致しており、最大荷重もほぼ等しい値となった。

### (3) ずれ変位分布

各試験体の鋼はり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。なお、各試験体の降伏荷重は表 2 示している。試験体ごとに降伏荷重に差異があるが、これは使用した鋼材の降伏強度、コンクリートの圧縮強度および弾性係数の差異によるものである。

図 6 に鋼はり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（土木学会）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 および、配置間隔の異なる PCa-GS4m と PCa-GS5m の最大ずれ変位も他の試験体の結果とほとんど変わらず、0.3mm ~ 0.4mm 程度であり、両者を比較するとスタッド軸径の大きい PCa-GS5m のほうが若干ずれ変位は小さい。

一方、図 7 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い。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

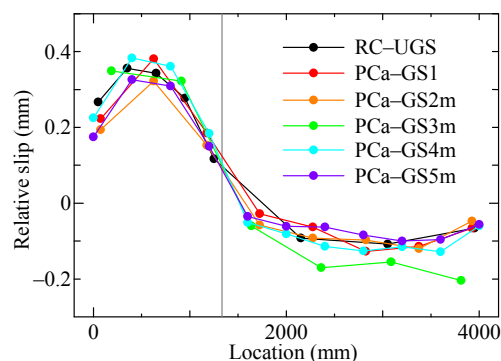


図 6 鋼はり下縁降伏時ずれ変位分布

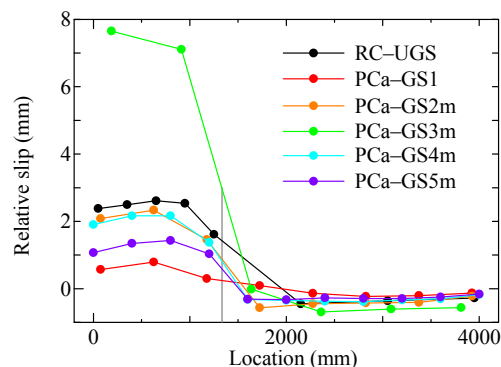


図 7 最大荷重時ずれ変位分布

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。また、PCa-GS4m と PCa-GS5m を比較すると、載荷点の左側において PCa-GS4m で 2mm 程度ずれ変位が生じているのに対し、PCa-GS5m では 1.0 ~ 1.4mm 程度しかずれ変位が生じていない。このことから、スタッド軸径を 16mm から 19mm に大きくしたことで、はりの最大荷重はほとんど変わらないが、耐荷性の限界状態におけるずれ変位は幾分小さくなるのがわかる。また、押抜き試験体のせん断耐力時のずれ変位と対応するはり試験体の最大荷重時ずれ変位分布を比較すると、PCa-GS3m を除くいずれのはり試験体でも耐荷性の限界状態において、押抜き試験体のスタッドのせん断耐力時のずれ変位に達していない。

#### (4)おわりに

本研究では、グループスタッドを配置するための箱抜き部の大きさおよびその数を変えたプレキャスト床版を有する合成はりについて、耐荷性および使用性の限界状態に着目して模型試験体の静的載荷実験を行った。その結果、使用性としてのずれ変位あるいは耐荷性の曲げ耐力に着目し、また対応する押抜き試験の結果も考慮し、合成はりとして成立するグループスタッドの配置状況を定量的に検討し、合成桁RC床版取替えに際して必要となる有用な情報を見出した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

中島章典, 岡崎康幸, ゲエンバンユン: 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

Nakajima, A., Okazaki, Y., Mizoe, Y. and Sato, M.: Study on limit state of composite girder with various stud arrangement in replacing RC slab, Proceedings of The Fourteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, pp.1003-1010, 2016

Mizoe, Y., Nakajima, A., Nguyen Van Duong and Nagao, K.: Fundamental study on load carrying behavior of composite beam focusing on sequence of damage of constitutive materials, Proceedings of The Fourteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, pp.976-985, 2016

溝江慶久, 中島章典, Nguyen Van Duong, 永尾和夫: 材料損傷の発生順序に着目した合成はりの耐荷挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.5 (掲載決定), 2016

〔学会発表〕(計11件)

岡崎康幸, 中島章典, Nguyen Van Duong: 床版取換え時における合成桁の力学的挙動に関する実験的研究, 第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-49, 2014

Nguyen Van Duong, 中島章典, 岡崎康幸: 頭付きスタッドの挙動に着目した合成桁の実験研究, 第41回土木学会関東支部技術研

究発表会講演概要集, I-50, 2014

永尾和夫, 中島章典, Nguyen Van Duong: 頭付きスタッドの挙動に着目した合成桁の基礎的研究, 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, CS3-012, 2014

岡崎康幸, 中島章典, 永尾和夫, Nguyen Van Duong: 床版取換えに伴う合成桁の力学性状に関する実験的研究, 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, CS3-014, 2014

佐藤美乃里, 中島章典, 岡崎康幸, 永尾和夫: グループスタッドの配置数が合成桁の合成効果に及ぼす影響, 第42回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, -05, 2015

岡崎康幸, 中島章典, 溝江慶久, 佐藤美乃里: 床版取換え時のスタッド配置を変化させた合成桁の限界状態に関する検討, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, CS3-025, 2015

岡崎康幸, 中島章典, 溝江慶久, 佐藤美乃里: 床版取換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, 第11回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, pp.44-51, 2015

溝江慶久, 中島章典, Nguyen Van Duong, 永尾和夫: 材料損傷の発生順序に着目した合成はりの耐荷挙動に関する実験的研究, 第11回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, pp.393-402, 2015

菅原健太郎, 岡崎康幸, 中島章典, 溝江慶久: 合成梁の限界状態に着目した実験的検討 - 頭付きスタッドの配置間隔の影響 -, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-77, 2016

岡崎康幸, 中島章典, 溝江慶久, 佐藤美乃里: 床版取換え時における合成はりの合成効果および限界状態に関する研究, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-81, 2016

菅原健太郎, 中島章典, NGUYEN MINH HAI, 溝江慶久: 合成梁の力学性状に及ぼすスタッドの配置間隔の影響に関する実験的研究, 土木学会第71回年次学術講演会(9月発表), 2016

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

中島章典 (NAKAJIMA AKINORI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 70164176