

## 各種圧着ボルト接合を配置した接合部を有する床版の押し抜きせん断耐力

トヨタT&S建設(株)	正会員	工修 (工学)	○伊藤 崇晃
名古屋大学大学院		博士 (工学)	三浦 泰人
名古屋大学大学院	正会員	博士 (工学)	中村 光
トヨタT&S建設(株)			武田 恭典

Abstract : At the joint of a full precast floor slab in a residential precast building, there is a joint technology with many construction results, called "bolt joint" which is joined only with a bolt and a filler. In addition, precast PC slabs on expressways are connected by various joint methods in slab replacement work. Among them, the loop joint has many adoption results as the current main method. In this report, various bolt joints were devised for road floor slab joints and punching shear strength was compared with loop joints. As a result, it was confirmed that a joint method having a large diameter and high adhesive strength and arranged PC steel rod has a punching shear strength equal to that of the loop joint.

Key words : Precast PC slab, Bolt joint, Deformed PC steel rod, Punching Shear strength

## 1. はじめに

我が国では少子高齢化社会に起因するインフラ構造物の建設・維持管理の労働力不足が問題視されており、土木業界の人材確保に向けた生産性向上に関わる取り組みが多方面でなされている。その一つとして、鉄筋コンクリート構造物の建設においてプレキャスト（以下、PCa）部材が用いられる<sup>1)</sup>。PCa部材のメリットは、現場打設コンクリートの作業工程と比して建設現場での作業量の低減が図れるだけでなく、工場で製造されるため品質のばらつきがないことや現場の環境作用を受けないことから高い耐久性が期待されている。その一方で、PCa部材を組み合わせて構造物を構築する際の接合部が、PCa構造物の構造性能や耐久性能を左右する可能性がある。したがって、従来の現場打設コンクリート相当の構造性能や耐久性能を有する接合構造を構築することで、より一層の生産性の向上が期待できる。

PCa部材の接合方法<sup>2)</sup>で一般的なもの、大別して二種類存在する。一つは、従来工法として用いられる接合筋および現場打設コンクリートによる一体化、もう一つはプレストレスによる圧着接合（以下、圧着工法）である。前者の従来工法の代表的なものは、重ね継手やループ継手などの鉄筋と現場打設コンクリートによる接合方法である。そのため、多くの接合筋がPCa床版から突出している。PCaの製造に関して接合筋が突出していることは型枠費および製造工数の観点から生産性を損なうことが多い。また、圧着工法を採用した場合、材料費および工種が増えることになる。ここで、建築分野に目を向けると、昭和40年代以降、量産型のPCa化された住宅が数多く開発・建設されており、簡易な接合方法が開発され、多くの特許も出されてきた<sup>3)</sup>（図-1）。本研究では、その中でもPCボルト接合に着目して道路橋床版に適用するための施工性の高い接合技術を模索した。具体的には、PCボルト接合を改良した圧着ボルト接合工法を開発し、最適な圧着方法を検討した。提案した複数の圧着方法および従来工法のRC床版とループ継手による接合方法に対して、それぞれの接合部を有する床版を作製して押し抜きせん断試験を実施した。この実験結果に基づいて、開発した接合工法がRC床版およびループ継手を有する床版と同等の剛性と押し抜きせん断耐力を有するか否かを検討した。

## 2. 各種圧着ボルト接合工法の概要

開発した圧着ボルト接合の概要を以下に示す。建築分野で開発されたPCボルト接合<sup>3, 4)</sup>は、**図-2**に示すようなPC鋼棒を接合部に配置した接合構造を有している。配置したPC鋼棒端部の穴あき部から現場打設コンクリート目地の接合面に $2.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の圧着力をPC鋼棒のナットを回転させてトルクレンチによって人力で導入する方法であり、簡易な施工でPCa部材を接合できる。切欠き部分は圧着力導入後コンクリートなどにより後埋め処理する。ただし、当該接合部は、接合部に作用する外力によるせん断力を受けもつ構造である。本研究では、この工法をPCa床版の接合部に適用することを考えた。道路橋床版の接合部では、交通荷重を想定した疲労に対する性能および道路上面からの押し抜きせん断に対する性能が求められる<sup>5)</sup>。

本研究で開発した圧着ボルト接合 (**図-3**) は、基本的には建築で実績のある接合構造と同様であるが、接合筋にはアンボンドPC鋼棒あるいは異形PC鋼棒を採用した。后者は、導入する圧着力に加えて、異形PC鋼棒が有する付着力によって接合部近傍のコンクリートとの一層の一体化を図った。本研究では、提案した圧着ボルト接合を有する床版の押し抜きせん断耐力が、接合部のないRC床版ならびにループ継手を有する床版と同等であることを実験的に確認し、必要な接合筋の本数と圧着力について検討を行った。

## 3. 押し抜きせん断破壊実験の概要

### 3.1 試験体概要

本実験では、従来工法として代表的な接合部のないRC床版、接合部にループ継手を有する床版の試験体を、開発した圧着ボルト接合工法としてアンボンドPC鋼棒および異形PC鋼棒による接合部を有する床版の試験体を作製した。一例として、3本の異形PC鋼棒を接合部に配置したケースの試験体の配筋図を**図-4**に示す。試験体は $1500 \times 1200 \times 120\text{mm}$ であり、スパン中央部に接合部を設けた。接合部には所定の間隔で床版厚中心位置にPC鋼棒が配置されており、さらに接合部のせん断抵抗を向上させるためにシアーキーが $200\text{mm}$ 間隔で設けられている。ここで、実験ケースの一覧を表-1に

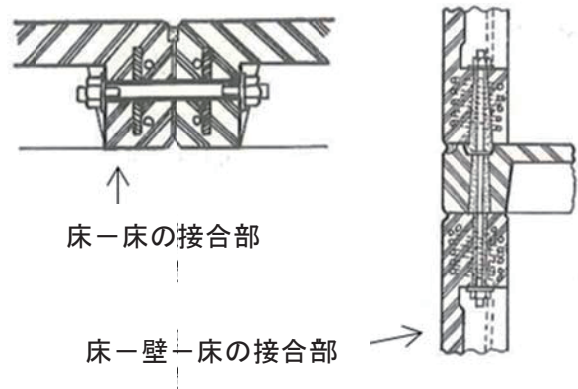


図-1 住宅における接合部の特許一例<sup>3)</sup>

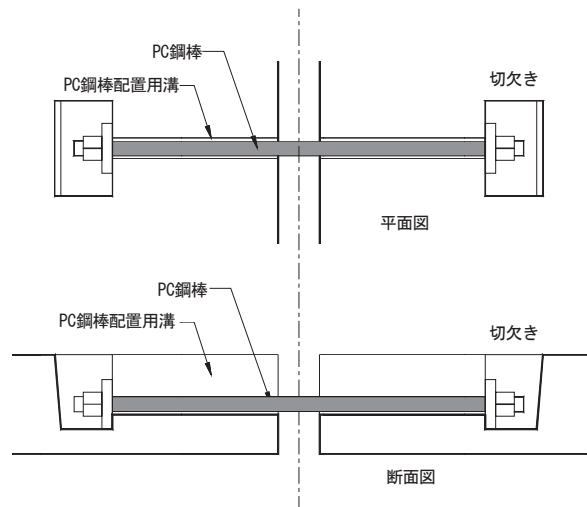


図-2 建築でのボルト接合の一例<sup>4)</sup>

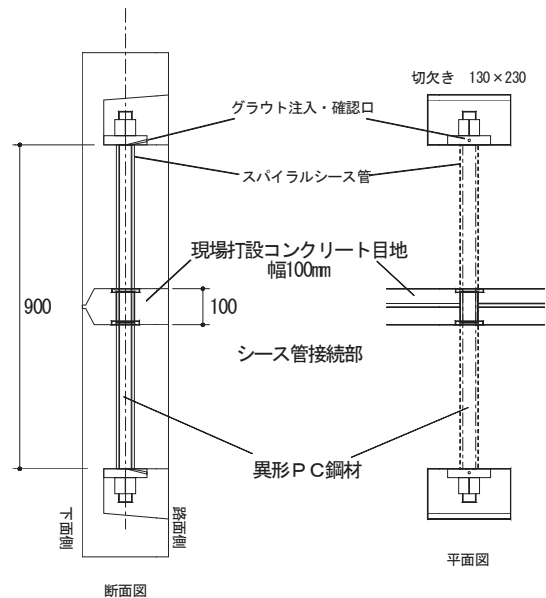


図-3 圧着ボルト接合の一例

表-1 実験ケースの一覧

CASE	接合法	接合筋	接合筋本数	圧着力 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋量 (%)		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
					PCa部	接合部	PCa部	接合部
RC	なし	D10	—	0	2.0 支持方向 配力筋方向	—	51.9	—
L	ループ継手	D10	—	0		4.0	49.4	47.4
U	圧着ボルト	PC鋼棒 φ13	3	2.0		0.15	44.4	64.9
N0		異形PC鋼棒 D22	3	0.0		0.43	75.6	59.5
N1	2		1.0	46.1			82.4	
N2	3			46.1			82.4	

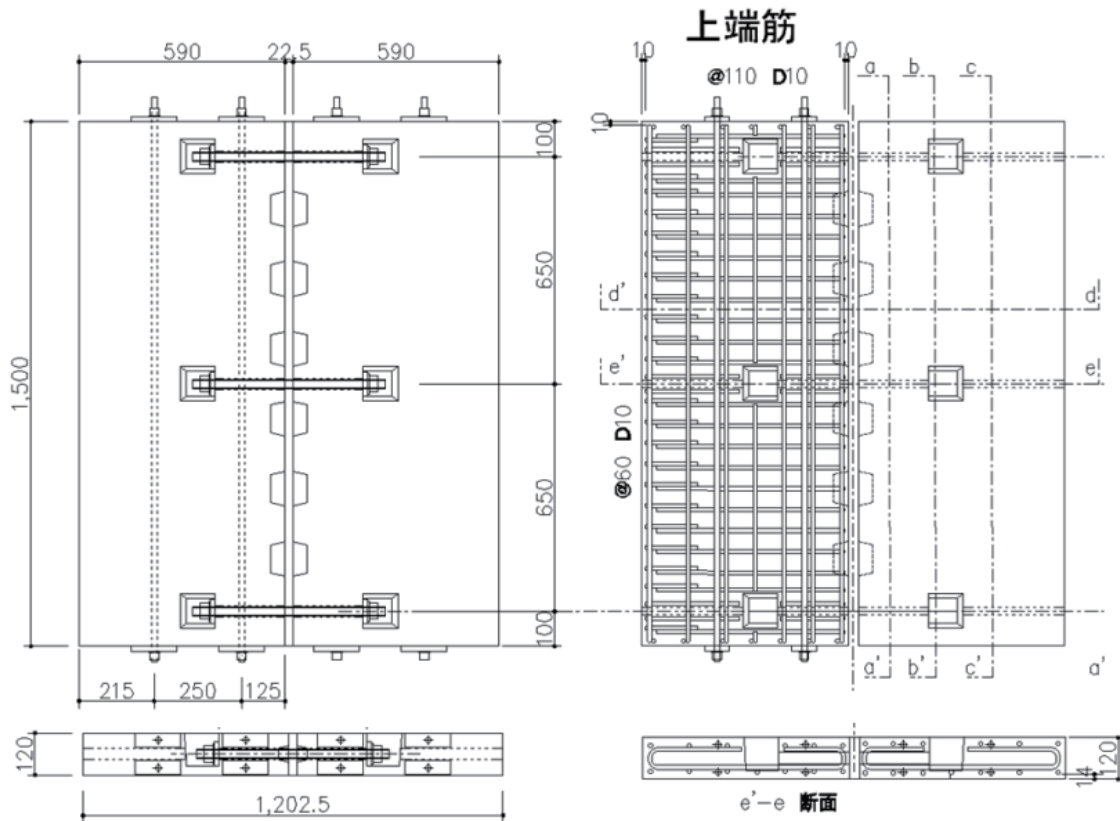


図-4 異形 PC 棒鋼を導入した接合部を有する床版の配筋 (N2)

示す。ケースRCとケースLは、D10(SD295)の鉄筋が床版支持方向と配力筋方向に65mm間隔で配置されており、ケースRCは、接合部の無い一体形成した試験体で、ケースLはループ継手による接合部を配置した試験体である。接合部以外のPCa部と接合部の鉄筋量はそれぞれ2.0, 4.0%である。ケースUではφ13のアンボンドPC鋼棒が3本配置されており、トルクレンチによって2.0N/mm<sup>2</sup>程度の圧着力を導入した。接合部の鉄筋量は0.15%である。Nシリーズは、圧着力および接合筋と載荷位置との関係を実験変数として3種類の試験体を作製した。接合部に導入する圧着力がなく異形PC鋼棒による付着力のみを期待したケースN0と、これに加えて1.0N/mm<sup>2</sup>の圧着力を導入したケースN1, N2を設けた。圧着力を導入したケースでは、載荷位置の違いによる押し抜きせん断抵抗性への影響を検討するために、載荷位置直下に接合筋があるケースN2 (図-5(b))と載荷位置が接合筋間の中間に位置するケースN1 (図-5(a))を設けた。接合筋から離れているためケースN1の方が圧着力の低下が懸念される。これらの事から、実際の床版への適用を考えたときに押し抜きせん断耐力が断面内で不均一になることが想定される。よって、圧

着力の断面内の不均一性が押し抜きせん断抵抗性に及ぼす影響を検討することを目的としている。なお、PCa部にはD10(SD345)の鉄筋が床版支持方向と配力筋方向に同様に配置されており、圧着ボルト接合工法のケースでは横締めPC鋼棒が配置されている。なお、従来工法としたRC床版とループ継手を有する床版は横締めPC鋼棒が配置されていないが、すべてのケースにおいて鉄筋量が2.0%となるように調整している。

### 3.2 荷重方法

押し抜きせん断試験の様子を写真-1に、異形PC鋼棒を2本および3本導入したNシリーズの試験体の支点および荷重点位置と変位計およびパイ型変位計の設置位置を図-5に示す。本実験では、鉄製の丸棒を4辺配置した荷重台の上に床版を設置し、4辺単純支持の荷重条件で押し抜きせん断試験を行った。なお、荷重台の1辺の長さは1000mmである。荷重は、床版中央の接合部の領域をまたぐ100×100mmの荷重版を設置し、油圧ジャッキにて押し抜きせん断破壊に至らした。なお、接合部に曲げひび割れが先行して生じた際に剛性が低下する可能性が危惧されたことから、明らかに曲げひび割れの発生が確認された時点で除荷・再荷重を行って剛性の変化を評価した。また、変位計を図-5に示す位置に設置するほか、支点変位を計測する変位計を支持台の四隅に設置することで、試験体の変位量を算出した。

### 4. 実験結果

破壊後の下面のひび割れ分布を写真-2に、全ケースの荷重変位関係を図-6に、U、N0、N1ケースの荷重ひび割れ幅関係を図-7に示す。まず、写真-2から分かる通り、すべてのケースにおいて最終的な破壊は押し抜きせん断破壊が生じているこ

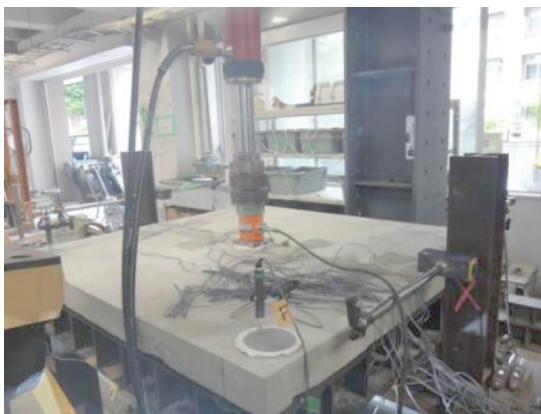
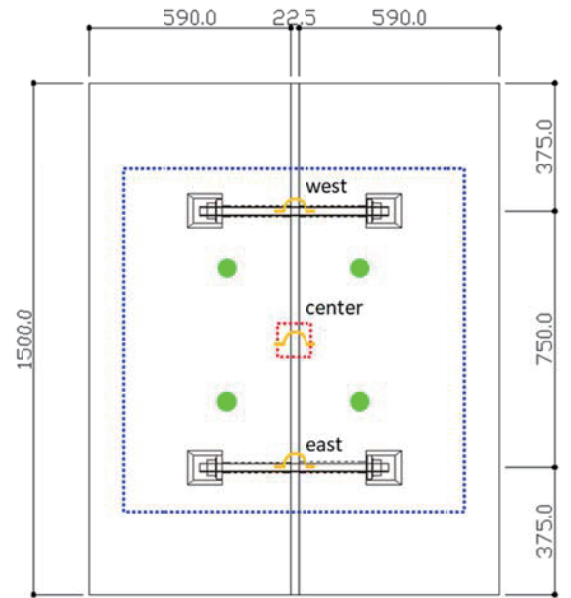
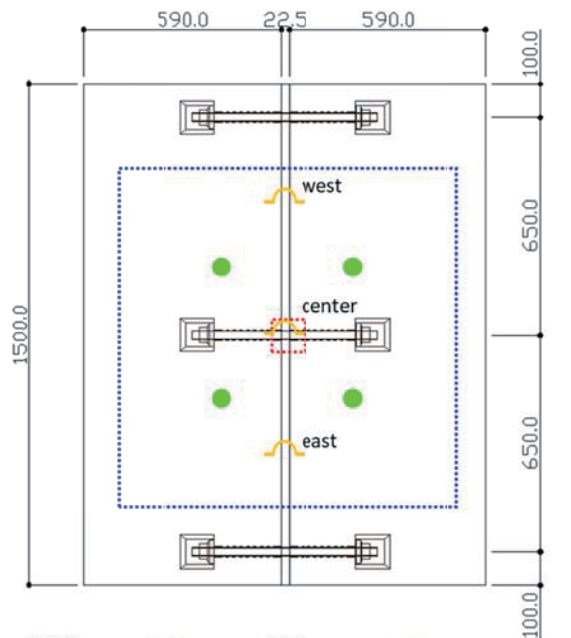


写真-1 押し抜きせん断試験の様子



■ 荷重版 ● 変位計 □ 支持台 〰️ パイ型変位計

(a) N1: ボルト本数 2本



■ 荷重版 ● 変位計 □ 支持台 〰️ パイ型変位計

(b) N0, N2: ボルト本数 3本

図-5 Nシリーズの試験体の荷重位置および変位計の設置位置





(a) L ケース

(b) U ケース

(c) N ケース

写真-2 押し抜きせん断破壊後の様子

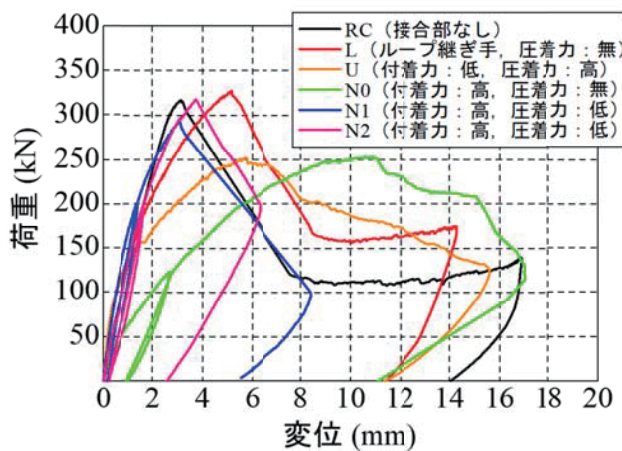
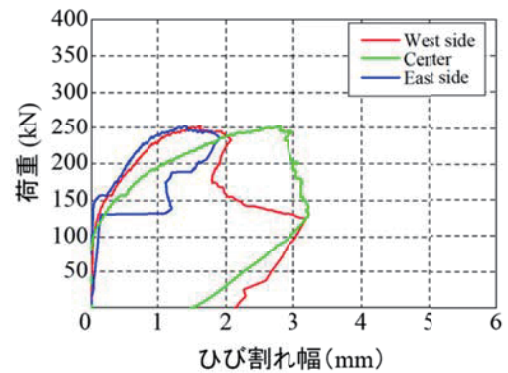
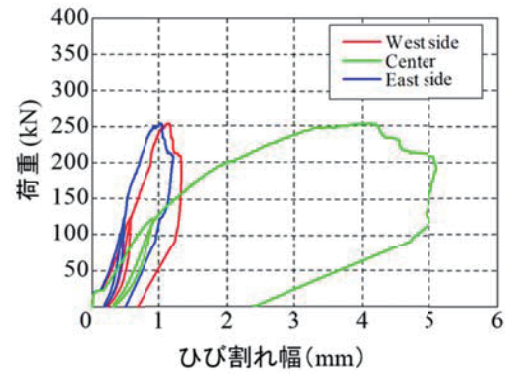


図-6 荷重変位関係

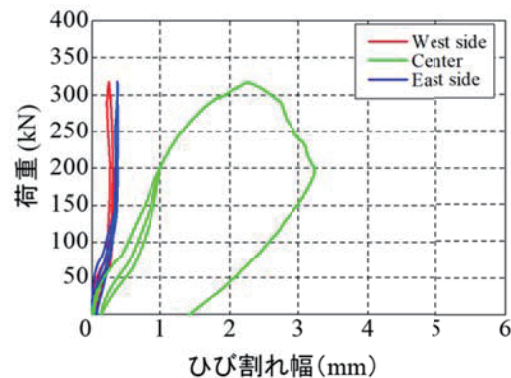
とが確認できる。次に、RC ケースの荷重変位関係をみると、押し抜きせん断耐力は 320kN 程度であり、それ以降大きく荷重が低下するとともに変位量が増大し、変位量が 8.0mm 程度以降になると荷重が概ね一定値となった。L ケースの荷重変位関係も概ね同様の傾向であることが確認できる。なお、載荷中に 30kN 程度で曲げひび割れが接合部に先行して生じたことを確認しており、接合部を有するケースは概ね同様の傾向であった。次に、U ケースに着目すると、押し抜きせん断耐力は 250kN 程度と RC シリーズと比較して 22%程度低下した。また、荷重の増加に伴って剛性が徐々に低下する様子が確認できる。図-7(a)をみると、中央の接合筋位置のひび割れ幅が 100kN 程度で増加し、それ以降荷重の増加に伴ってひび割れ幅が増大していることが確認できる。これは、アンボンド PC 鋼棒を用いていることから、接合部に生じた曲げひび割れからの鉄筋のすべり挙動に



(a) U ケース



(b) N0 ケース



(c) N1 ケース

図-7 荷重ひび割れ幅関係

対する抵抗機構が圧着力のみであるため、曲げひび割れ発生後に急激に剛性が低下したものと考えられる。一方で、ひび割れ後の異形鉄筋の付着力のみを期待した N0 ケースの押し抜きせん断耐力は U ケースと同程度であるが、載荷当初から低い剛性を示した。図-7(b)をみると、25kN 程度でひび割れ幅が増加してそれ以降ひび割れ幅が増大する様子が確認できる。低い剛性の要因は、N0 ケースは圧着力を作用させていないため、接合部において曲げひび割れが比較的早期に生じたためであると考えられる。これらのことから、付着力は接合部にひび割れが生じたのちの剛性低下に影響し、圧着力は接合部に生じる曲げひび割れの発生タイミングに影響すると判断できる。N1 および N2 ケースをみると、いずれも RC ケースおよび L ケースと同程度の力学性能を有していることが確認できる。また、N1 と N2 ケースに明らかな違いが確認されないことから、載荷位置にボルト接合部がない場合においても導入した圧着力が十分に作用していると判断できる。

図-7(c)をみると、接合筋が 2 本配置し、接合筋の中間に載荷を行った N1 ケースでは、50kN 程度で曲げひび割れが発生しひび割れ幅が増大するものの、ひび割れ幅の増加傾向は他のケースと比較して小さいことが確認できる。接合筋位置のひび割れ幅は曲げひび割れ発生以降にひび割れ幅は変化していないことから、異形 PC 鋼棒による付着力によってひび割れの拡大を妨げているものと推察される。U ケースと比較して小さい圧着力であるため曲げひび割れ発生のタイミングは早いものの、異形 PC 鋼棒からコンクリートへと伝わる付着力によって RC ケースおよび L ケース相当の押し抜きせん断耐力を発揮したものと考えられる。以上のことから、接合部を有する床版の構造性能は、圧着力と付着力を発揮できる接合構造にすることで、従来工法相当の構造性能を確保できる可能性を示唆した。また、現段階では PC 鋼棒の中間位置に載荷した際の力学性能によって評価しているが、載荷位置を変化させた場合、とくに、箱抜き部の影響を検討する必要があると考えている。

## 5. まとめ

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- ・ PCa部材の接合部に適用可能な圧着ボルト接合を開発し、異形PC鋼棒を用いた圧着力を導入した N1およびN2ケースにおいて従来工法の押し抜きせん断耐力と同等の性能を有することを確認した。
- ・ N1およびN2ケースの挙動が概ね等しいことから、今回対象とした諸元であれば接合筋と荷重載荷位置の関係にはとくに注意を払う必要がないことを確認した。
- ・ 接合部を有する床版の構造性能は、圧着力と付着力を発揮できる接合構造にすることで、従来工法相当の構造性能を確保できる可能性を示唆した。

## 参考文献

- 1) 万木正弘ら：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1-8，2009
- 2) 土木学会：プレキャストコンクリート部材の力学的特性—現状と課題—，コンクリート技術シリーズ，Vol.43，2001
- 3) 建築技術：建築技術 Building Engineering，No.38 October，pp.47-83，1970
- 4) 日本建築センター：TS壁式工法，BCJ評定-LC0056-03，2015
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1995.3