

プレキャストPC床版の鋼合成桁への新たなずれ止めの適用に関する検討

オリエンタル白石(株)	正会員	工学修士	○原 健悟
宇都宮大学		工学博士	中島 章典
オリエンタル白石(株)	正会員	博士(工学)	角本 周
オリエンタル白石(株)	正会員	博士(環境)	二井谷 教治

Abstract : When using a stud to connect steel girders and precast prestressed concrete slabs in a steel-concrete composite girder, voids for studs are provided on precast prestressed concrete slabs. They are generally filled with non-shrinkage mortar or expansion concrete. Especially in a steel-concrete full-composite girder, many voids are needed. Therefore, arrangement of transversely prestressing steels is difficult, and cover concrete becomes very thin. It may induce degradation of durability, because there is a chance to penetrate rain water along interface of voids. Then prestressing steels may be corroded because of contact of water. In this study, a new type of connecting method for full-composite girders which can reduce voids is introduced.

Key words : steel composite girder, PCaPC slab, stud

1. はじめに

PCa床版でずれ止めに頭付きスタッド（以下、スタッドと記す。）を用いる場合、スタッド用の箱抜きを設け、無収縮モルタルまたは膨張コンクリートにより一体化することが一般的である。合成桁では、写真-1に示すように、ずれ止めの数が必然的に多くなるため、1方向PC床版（橋軸方向RC、橋軸直角方向PC）では、箱抜きによりPC鋼材の配置が困難となる場合がある。また、配置可能であっても箱抜きにPC鋼材が近接することがあり、箱抜きの界面に雨水等が浸透した場合、耐久性に影響を及ぼすことが懸念される。そこで本研究では、合成桁におけるPCa床版と鋼桁の新たな接合方法の開発を目的とするものである。

新たな合成桁の接合方法として、非合成桁におけるずれ止めの機能と合成桁におけるずれ止めの機能を分離した構造とする。前者は、コンクリート床版と鋼桁の密着性を確保するものであり、後者は、前者とともに作用するせん断力に抗するものである。

本研究は、図-1に示すように①一般に用いられているPCa床版に箱抜きを設けてスタッドジベルを配置する構造（ノーマルスタッド）、②モルタル部にショートスタッドを配置し、コッターを設けた構造の複合作用により合成桁の接合方法としての性能を有しているかを検証するものである。なお、図-2に示すように桁端部が場所打ちのものを標準版、桁端部がPCa版のものを端部版とした。違いとしてはPCa床版—無収縮モルタル—鋼主桁間のそれぞれでずれが生じる端部版と、場所打ち接合部に挟



写真-1 箱抜きの例

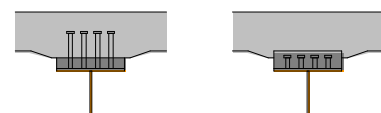
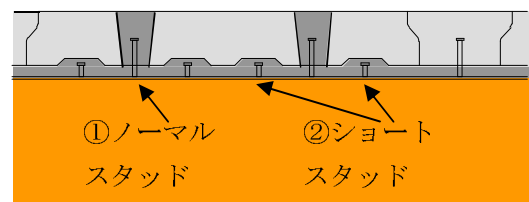


図-1 新たな接合構造

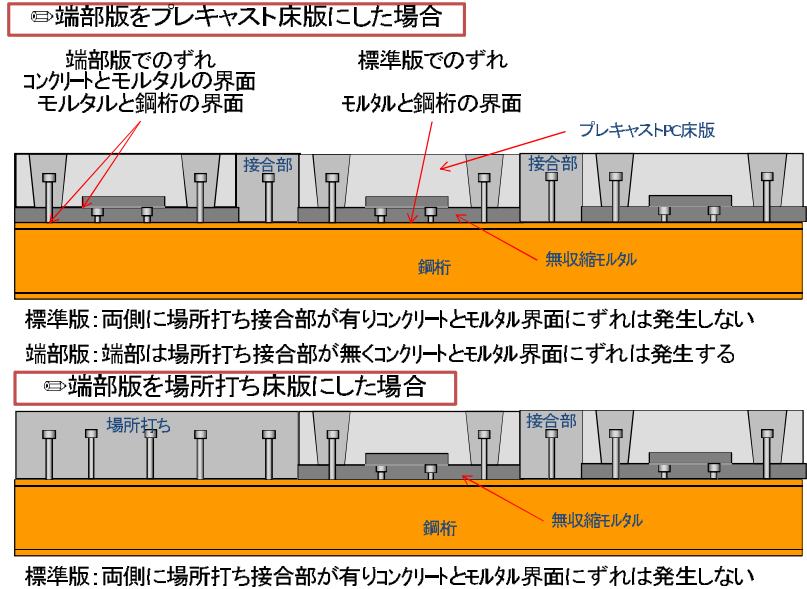
まれ無収縮モルタル—鋼主桁間でのみずれが生じる標準版とに分け考察した。

2. 押抜き試験

2.1 試験体

押抜き試験方法は、頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）とスタッドに関する研究の現状¹⁾に従った。押抜きせん断の実験要因を表-1、試験体の詳細図の一部を図-3に示す。図-3の左側が標準版を模擬した試験体、右側が端部版を模擬した試験体である。端部版では、押

抜き試験時に床版部分だけが試験ベッドに接触し、無収縮モルタル部分は接触していない。試験体の種類は、目標とする新たな合成桁の接合方法をそれぞれ分離または複合した要素試験体とした。スタッドの径は19mmを用い、ノーマルスタッドの高さは150mm、ショートスタッドは60mmとし、H形鋼には350×350mmを使用した。PCa床版は、高さ200mm、幅700mm、長さ1,000mmの試験体とした。なお、鉄筋は井型に組み、材質は全てSD295AD10を用いた。PCa床版高さは、高さ調整用無収縮モルタル厚50mm、ハンチ厚30mm、床版厚120mmを想定している。H形鋼をウェブで半分にしたT形鋼上にPCa版を設置した状態で接合用無収縮モルタルを充填し、箱抜き孔には膨張コンクリートを打設した。そして、T形鋼のウェブ同士を摩擦接合して押抜き試験体を構成した。



標準版: 両側に場所打ち接合部が有りコンクリートとモルタル界面にずれは発生しない
 端部版: 端部は場所打ち接合部が無くコンクリートとモルタル界面にずれは発生する
 標準版: 両側に場所打ち接合部が有りコンクリートとモルタル界面にずれは発生しない

図-2 端部版と標準版

表-1 実験要因

構造形式	スタッド種別		設計基準強度(N/mm ²)	
	ノーマル	ショート	床版部	モルタル
ノーマルスタッド標準版	4段	-	50	50
ショートスタッド標準版	2段	2段	50	50
ノーマルスタッド端部版	4段	-	50	50
ショートスタッド端部版	2段	2段	50	50

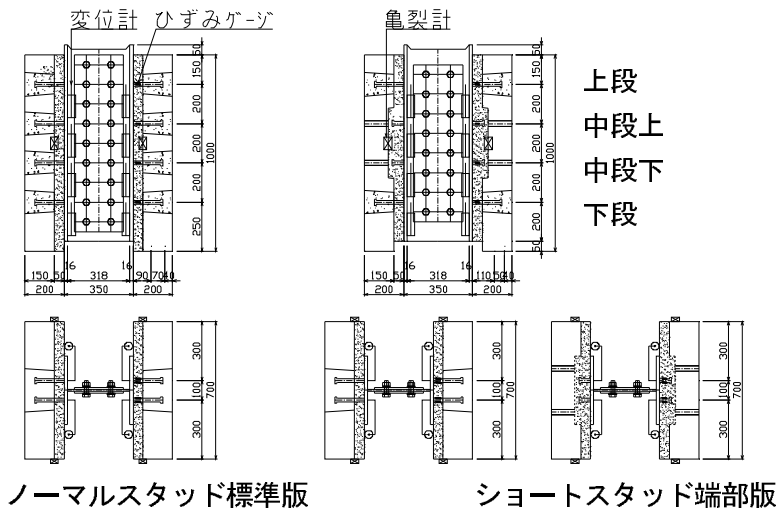


図-3 押抜きせん断試験体詳細図 (一例)

2.2 実験結果

ここでは、漸増繰返し載荷法により変位制御で載荷を行った。計測は、変位計でそれぞれスタッドの位置で鋼桁とPCa床版の相対ずれを測定した。本稿では中段上についてスタッド1本当たりに作用するせん断力との関係を図-4に示す。最大荷重はショートスタッド試験体に比べてノーマルスタッド試験体の方が大きい。これは、載荷荷重の増加に伴いショートスタッド付近のモルタルが破壊されるためである。一方で初期の剛性を見るとショート4段標準版が大きくなっている。その他の初期剛性はほぼ等しい。せん断力-目地ずれ関係を図-5に示す。計測は、二軸の亀裂計を用い、中段のPCa床版と無収縮モルタルのずれを計測した。目地ずれは水平および鉛直ともに、破壊に至るまでほとんど生じていない。せん断力-スタッドひずみを図-6に示す。計測は、ひずみゲージをスタッドの基部から25mmの位置に貼り付けた。ショートスタッド標準版以外ではひずみは降伏ひずみに至っている。これは、ひずみゲージがスタッドの基部に貼られているため、ショートスタッドの方がひずみが小さく、ノーマルスタッド試験体の方が曲げ成分が大きくなったためと考えられる。

次に降伏せん断耐力 Q_y は最大荷重 Q_{max} /3荷重点の割線を0.2mmオフセットし、作用せん断力-相対ずれ関係との交点で決まる。また、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編12.5.5²⁾によるとスタッドの許容せん断力は、次式より求まる。

$$Q_a = 9.4d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d \geq 5.5) \dots \text{式1}, \quad Q_a = 1.72dH \sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d < 5.5) \dots \text{式2}$$

ここに、
 Q_a : スタッドの許容せん断力(N/本)
 d : スタッドの軸径(mm)
 H : スタッドの全高(mm)
 σ_{ck} : 設計基準強度(N/mm²)

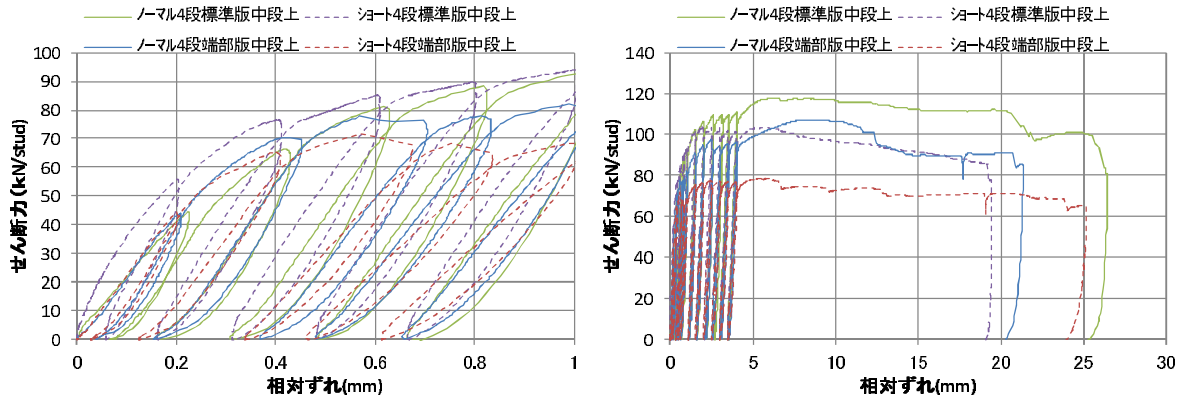


図-4 せん断力-相対ずれ (左：初期剛性 右：破壊まで)

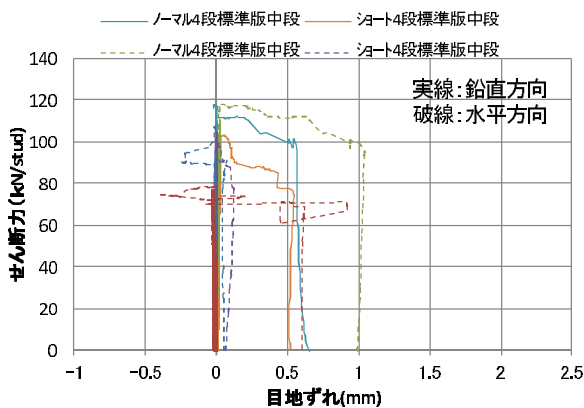


図-5 せん断力-目地ずれ

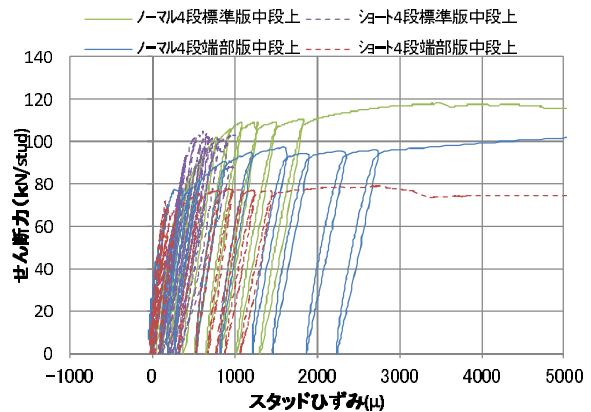


図-6 せん断力-スタッドひずみ

表-2 許容応力度比較

構造形式	降伏せん断耐力 Qy(kN)	道示許容値 (kN)	実験値/道示
ノーマルスタッド標準版	79.50	25.51	3.12
ショートスタッド標準版	77.00	25.51	3.02
ノーマルスタッド端部版	76.00	26.20	2.90
ショートスタッド端部版	68.40	26.20	2.61

この式で設計されたスタッドは、一般的に降伏に対して3以上の安全率を持つと考えて良いとある。そこで本実験から求めた降伏せん断耐力との比較表を表-2に示す。なお、ショートスタッドをノーマルスタッドに置き換える観点から許容値はノーマルスタッドの値を用いた。標準版は安全率3以上あるが、端部版にPCa床版を適用する場合は許容値を低減する必要がある。ノーマルスタッドでは $2.9/3=0.96$ 、ショートスタッドでは $2.61/3=0.87$ 許容値を低減する必要がある。

ただし、通常端部は、場所打ち床版で構成される。よって、本実験からは、標準版でノーマルスタッド：ショートスタッド=1：1の配置になるよう使用した方が良い。

3. 桁試験

3.1 試験体

押抜きせん断で決定した比率で接合面を有する桁（合成桁）の載荷試験を行い、PCa床版と鋼桁の接合面におけるずれ挙動を確認し、押抜きせん断試験の結果との比較を行うとともに、合成桁の接合面におけるずれ破壊の機構を明確にする。供試体の種類と要因を表-3に、桁試験供試体の概要図を図-7に示す。

表-3 実験要因

構造形式	スタッド種別		設計基準強度(N/mm ²)	
	ノーマル	ショート	床版部	モルタル
ノーマルスタッド標準版	4段	-	50	50
ショートスタッド標準版	2段	2段	50	50

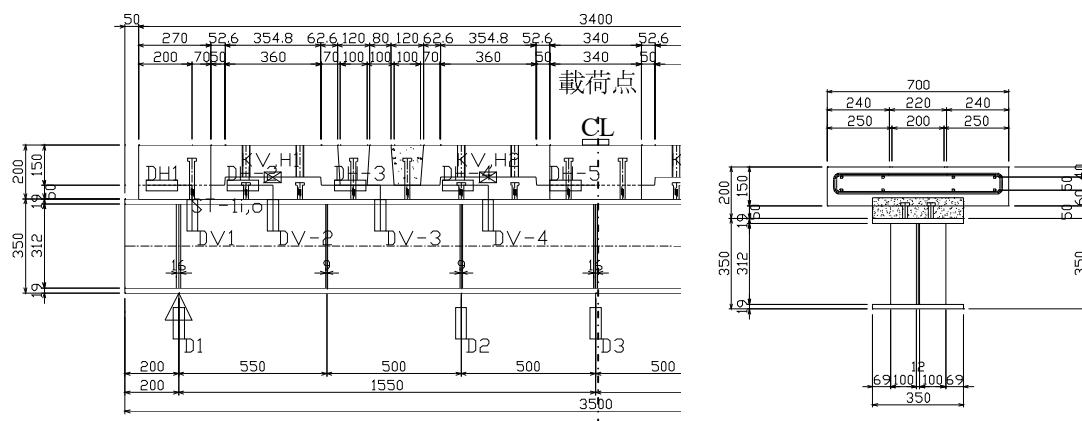


図-7 桁試験体詳細図（標準版ショートスタッド）

3.2 疲労試験結果

荷重は、支間 3,100mm の支間中央に載荷した。載荷速度は原則として 5Hz とし、上限荷重はスタッドに作用するせん断力が道路橋示方書の許容値 24kN/stud（計算より 228.8 kN→230kN とする。）、下限荷重は、5kN/stud（計算より 47.7 kN→50kN とする。）となる荷重とした。また、繰り返し回数が 1, 10³, 10⁴, 10⁵, 10⁶, 2×10⁶回の載荷終了時に静的載荷を行い、データを取得した。

試験時のたわみ振幅を図-8に示す。200万回の疲労载荷中にたわみ振幅に大きな変動もなく、ノーマルスタッド試験体とショートスタッド試験体に大きな差は見られない。相対ずれ振幅、目地ずれ振幅（コンクリートとモルタル間）およびスタッドひずみ振幅を、それぞれ図-9、図-10、図-11に示すが、同様に大きな変動も無く、許容値以下では十分な疲労耐久性を有していると言える。

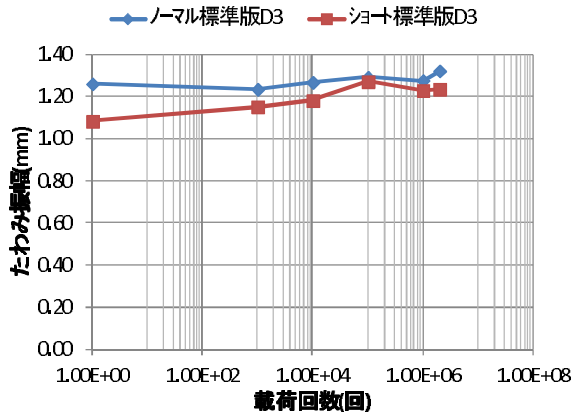


図-8 たわみ振幅

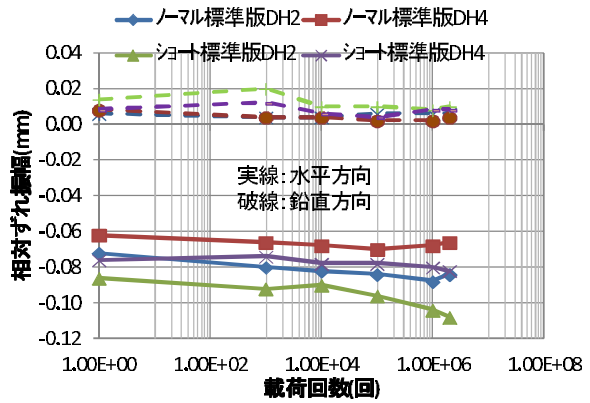


図-9 相対ずれ振幅

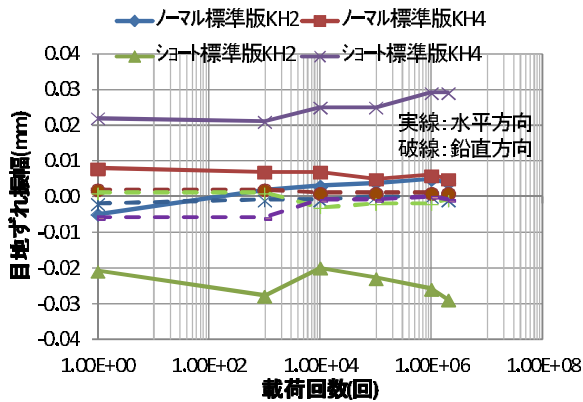


図-10 目地ずれ振幅

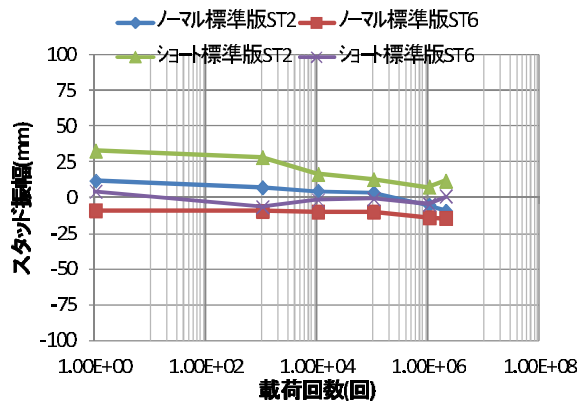


図-11 スタッドひずみ振幅

3.3 破壊载荷試験結果

破壊载荷時の载荷荷重-たわみ関係を図-12に示す。ノーマルスタッド試験体の最大荷重は1657kN、ショートスタッド試験体は1571kNであり、ノーマルスタッド試験体の95%程度とほぼ同程度の耐力を有していると言える。载荷荷重-ずれ変位関係を図-13に示す。水平ずれ変位に関しては、ノ

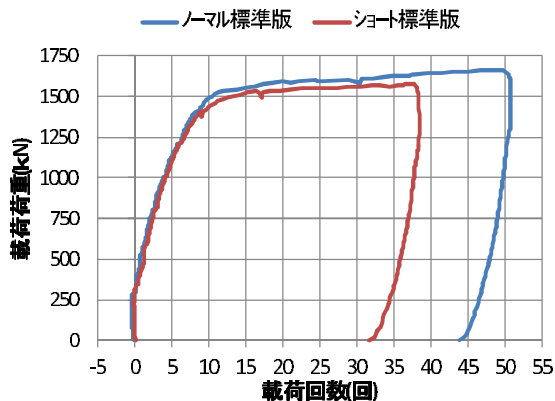


図-12 载荷荷重-支間中央たわみ

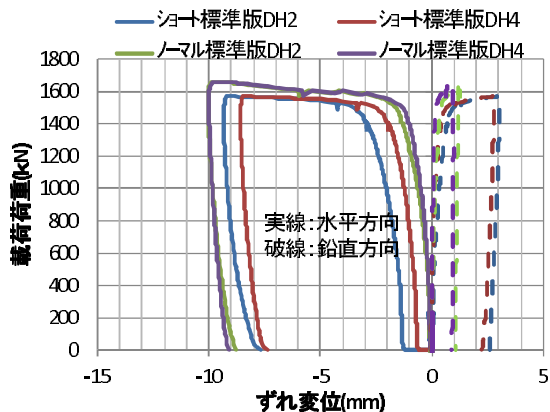


図-13 载荷荷重-相対ずれ変位

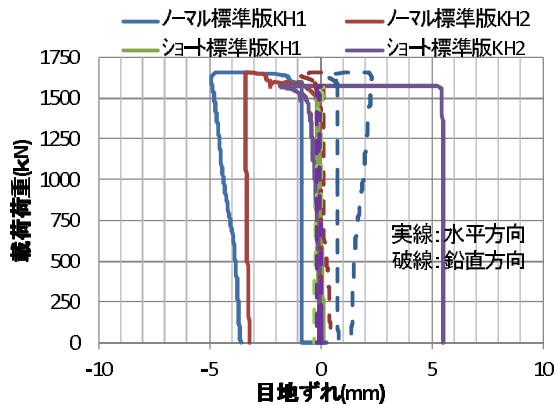


図-14 載荷荷重—目地ずれ

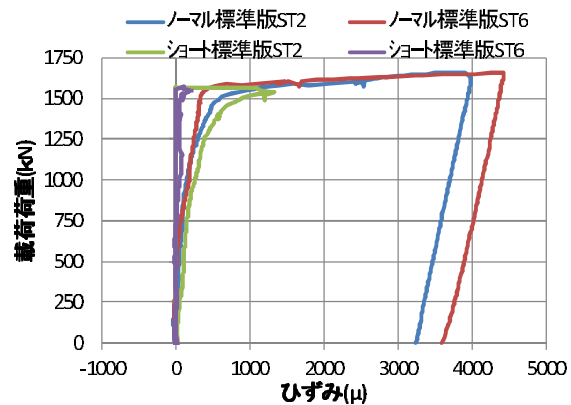


図-15 載荷荷重—スタッドひずみ

ノーマルスタッド試験体とショートスタッド試験体の相対ずれの傾向は同じであった。鉛直ずれに関しては、ノーマルスタッド試験体と比較するとショートスタッド試験体の鉛直ずれは大きい。特にショートスタッドの位置の鉛直変位が大きくなる傾向にある。これは、ショートスタッドの試験体では、スタッドがコンクリートに埋め込まれていないため、鋼桁のたわみに伴いやや浮き上がったと考えられる。載荷荷重—目地ずれ関係を図-14に示す。水平目地ずれ、鉛直目地ずれに関しては、1500kNまでは、ほとんど生じていない。載荷荷重—スタッドひずみ関係を図-15に示す。ノーマルスタッド試験体と比較するとノーマルスタッド試験体のスタッドひずみは大きい。これはショートスタッドよりもノーマルスタッドには、曲げ成分も加わるためと考えられる。

4. 結論

本研究から、以下のことが明らかとなった。

- 1) 押抜きせん断試験から、標準版は降伏せん断耐力に対して許容値は、安全率3以上であるが、端部版にPCa床版を適用する場合は許容値を低減する必要がある。本実験の範囲において、ノーマルスタッドでは $2.9/3=0.96$ 、ショートスタッドでは $2.61/3=0.87$ 許容値を低減する必要がある。
- 2) ただし、通常端部は、場所打ち床版で構成される。よって、本実験からは、標準版でノーマルスタッド：ショートスタッド=1：1の配置になるよう使用した方が良い。
- 3) 200万回の疲労載荷中にたわみ振幅に大きな変動もなく、ノーマルスタッド試験体とショートスタッド試験体に大きな差は見られない。相対ずれ振幅、目地ずれ振幅（コンクリートとモルタル間）およびスタッドひずみ振幅も、同様に大きな変動が無く、許容値以下では十分な疲労耐久性を有していると言える。
- 4) 桁試験においてノーマルスタッド試験体の最大荷重は1657kN、ショートスタッド試験体は1571kNであり、ノーマルスタッド試験体の95%程度とほぼ同等な耐力を有していると言える。

参考文献

- 1) 社) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）とスタッドに関する研究の現状，1996.11
- 2) 社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012.3