

# 孔あき鋼板ジベルを用いたあと施工型定着突起の開発

新井 崇裕\*1・山野辺 慎一\*2・岡本 裕昭\*3・佐藤 忠宏\*4

## 1. はじめに

一般に、PC 鋼材の定着突起は、複雑な補強筋配置となること、また、底版部に定着突起を設ける場合は浮き型枠になる等、施工が煩雑となることが多い。このため、張出し架設のサイクル工程における鉄筋工・型枠工では、定着突起の施工がクリティカルパスになるケースが考えられる。連結ケーブルなどのように、サイクル工程内に PC 鋼材の緊張・定着を行う必要のない定着突起は、あと施工することができれば、サイクル工程の短縮を可能にするものと考えられる。そこで、筆者らは、あと施工が可能な孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造を考案した。

本報告では、考案した定着突起構造の概要、設計方法、および定着突起の耐力、破壊性状など、基本的な性能を確認することを目的に実施した載荷実験について述べる。

## 2. 孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造

### 2.1 概要

孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造の概要を図 - 1 に示す。本定着突起構造は、図 - 1 に示すように、孔あき鋼板ジベルで床版部と定着突起部を一体化し、定着突起部には補強筋 A～C を配置することにより、定着突起をあと施工で構築することを可能にするものである。孔あき鋼板、補強筋 A～C の役割を整理すれば表 - 1 のとおりである。

張出し架設の施工サイクルと本定着突起の施工フローを図 - 2 に、後述する載荷実験に供した試験体の製作状況の写真を写真-1～5 にそれぞれ示す。本定着突起の施工は、図 - 2 に示すように、張出し架設の施工サイクルの中では孔あき鋼板の設置のみで、その他の施工は別サイクルとな

る。これにより、定着突起の鉄筋組立てや型枠セットといった手間のかかる作業を張出し架設の施工サイクルから外すことができ、サイクル工程の短縮を可能とする。施工手順は、以下のとおりである。

- ① 床版の鉄筋組立て時に孔あき鋼板を設置する (写真 - 1, 2)。
- ② 床版コンクリートを打設する。

表 - 1 構成部品の役割

構成部品	役割
孔あき鋼板	床版部と突起部の一体化
補強筋 A	突起部の補強
補強筋 B	突起部の割裂補強 (スパイラル筋の代替)
補強筋 C	孔あき鋼板ジベル用の鉄筋 (貫通鉄筋)



写真 - 1 孔あき鋼板

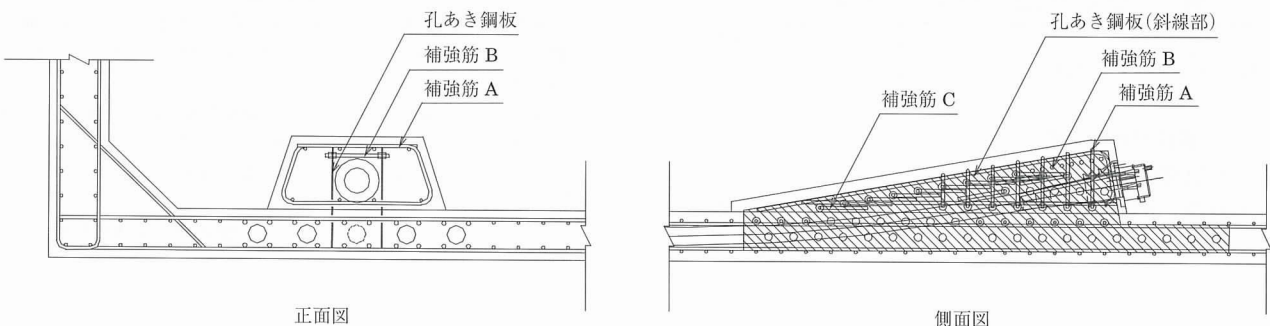


図 - 1 孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造の概要

\*1 Takahiro ARAI : 鹿島建設(株) 研究・技術開発本部技術研究所 主任研究員  
 \*2 Shinichi YAMANOBE : 鹿島建設(株) 研究・技術開発本部技術研究所 上席研究員  
 \*3 Hiroaki OKAMOTO : 鹿島建設(株) 土木設計本部 グループ長  
 \*4 Tadahiyo SATO : 鹿島建設(株) 土木管理本部 次長

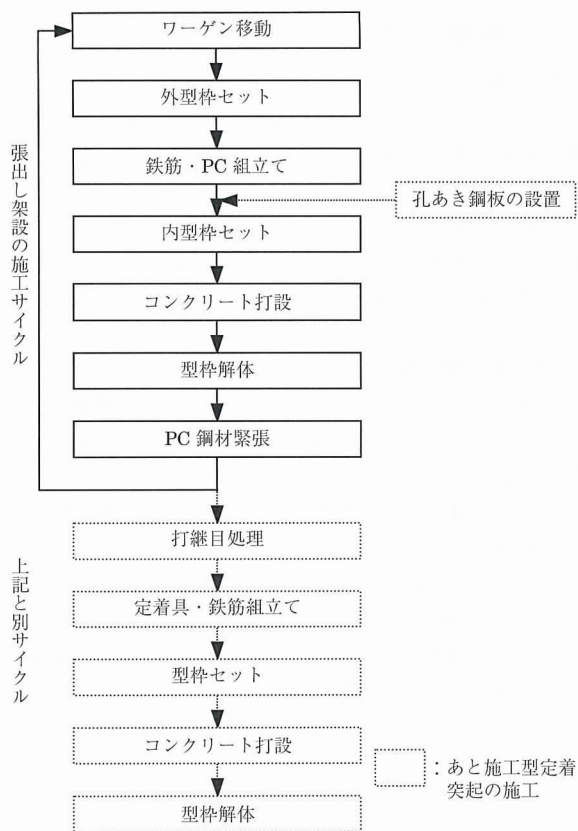


図-2 施工フロー



写真-2 孔あき鋼板の設置

③ 打継目処理をしたあと PC 鋼材定着具・補強筋 A～C を組み立てる (写真-3)。

④ 形枠をセットしコンクリートを打設する (写真-4)。

⑤ 型枠を解体する。施工完了 (写真-5)。

## 2.2 設計方法

孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造の設計は、コンクリート道路橋設計便覧などに示されている突起定着部の設計に準拠して行う。本構造では、上述の設計で示されている引張力に加えて、打継目部におけるせん断力(ずれ力)についての設計が加わることになる。定着突起部の設

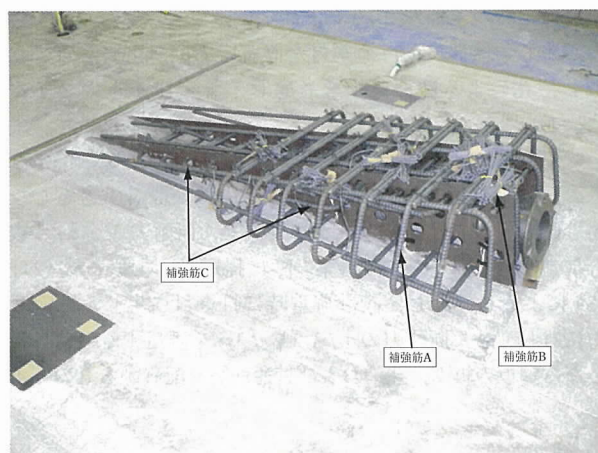


写真-3 PC 鋼材定着具・補強筋の組立



写真-4 型枠セット・コンクリート打設



写真-5 あと施工型定着突起

計に用いる引張力・せん断力を図-3、表-2にそれぞれ示す。

ここでは、本構造特有となる引張力  $T_3$ 、 $T_6$ 、せん断力  $V$  に対する設計の考え方について述べる。

引張力  $T_3$ 、 $T_6$  に対しては、孔あき鋼板が引張鋼材として抵抗するものとする。ここで、鋼板の付着は孔あき鋼板のジベル効果によるものとする。孔あき鋼板の必要鋼材量は、

設計荷重時の緊張力 (0.6  $P_u$ ,  $P_u$  : 引張荷重) に対して引張力が生じる区間における鋼材が許容応力度以下となるようにし、孔による断面欠損を考慮して算定するものとする (式 (1))。

せん断力  $V$  に対しては、孔あき鋼板のジベルが抵抗するものとし、コンクリート打継目の耐力は、設計上考慮しないものとする。孔あき鋼板ジベルのせん断耐力  $V_{ud}$  は、「複合構造物の性能照査指針 (案)」<sup>2)</sup> に提示されている式 (2), (3) によるものとし、設計荷重時に打継目に生じるせん断力に対してせん断耐力の 1/3 ( $V_{ud}/3$ ) を満足するのに必要となる鋼板の板厚、孔、および貫通鉄筋を配置するものとする。

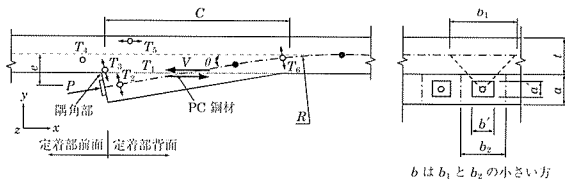


図 - 3 定着突起部の引張力、せん断力

$$A_{sreq} = \frac{T_3}{\sigma_{sa}} \quad (1)$$

ここで、

$A_{sreq}$  : 孔あき鋼板必要鋼材量[mm<sup>2</sup>]

$\sigma_{sa}$  : 許容応力度[N/mm<sup>2</sup>]

$$V_{ud1} = \left\{ 3.38d^2 \left( \frac{t}{d} \right)^{1/2} f'_c - 121 \right\} / \gamma_b \quad (2)$$

$$V_{ud2} = \left[ 1.45 \left\{ \left( d^2 - \phi_{st}^2 \right) f'_c + \phi_{st}^2 f_{st} \right\} - 106.1 \right] / \gamma_b \quad (3)$$

ここで、

$V_{ud1}$  : 孔あき鋼板ジベルの設計せん断耐力 (孔内に貫通鉄筋を有さない場合) [kN]

$V_{ud2}$  : 孔あき鋼板ジベルの設計せん断耐力 (孔内に貫通鉄筋を有する場合) [kN]

$f'_c$  : コンクリートの圧縮強度[N/mm<sup>2</sup>]

$f_{st}$  : 鉄筋の引張強度[N/mm<sup>2</sup>]

$d$  : 孔径[mm]

$t$  : 板厚[mm]

$\phi_{st}$  : 貫通鉄筋径[mm]

$\gamma_b$  : 部材係数

### 3. 載荷実験

#### 3.1 概要

本実験は、考案した孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造の耐荷力、破壊性状等の基本的な性能を確認することを目的として実施したものである。実験は、実物大の試験体を製作して、PC 鋼材を配置し、油圧ジャッキによって定着突起部に緊張力を作用させることにより行った。緊張材は、12S15.2B、PC 鋼材定着具は、リブキャストアンカータイプ (6B12) のものを用いた。

#### 3.2 試験体

試験体の形状を図 - 4 に、実験状況の写真を写真 - 6 にそれぞれ示す。試験体は、幅 3 000mm × 長さ 7 000mm × 厚さ 250 mm の床版に、長さ方向の中心を軸対象として、あと施工型定着突起を 2 個配置し、自締式で PC 鋼材を定着できる形状とした。これは、定着突起周辺の挙動が、実物を可能なかぎり再現できるように配慮したことによる。試験体には、2.2 で述べた方法により設計した孔あき鋼板と補強筋 A ~ C を配置した。孔あき鋼板ジベルは、設計の結果、6 mm 厚の鋼板が 2 枚必要となった。2 つある定着突起のうち、一方には 6 mm 厚の鋼板 2 枚を配置し、他方には安全

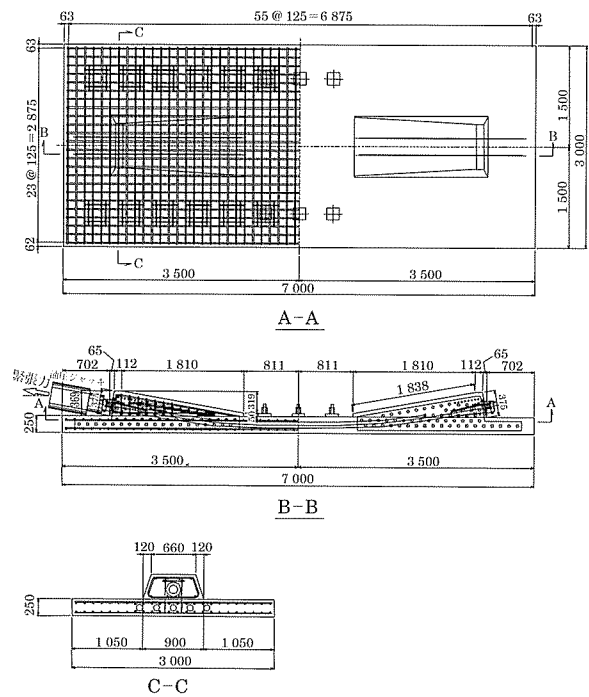


図 - 4 試験体の形状

表 - 2 定着突起部の引張力、せん断力

項目	記号	作用力	設計方法	補強鋼材
定着部背面に生じる引張力 (紙面に直角方向)	$T_1$	$0.25 P (a-a') / a$	従来型に同じ	補強筋 A
定着部背面に生じる引張力	$T_2$	$0.25 P (b-b') / b$	従来型に同じ	補強筋 A
隅各部に生じる引張力	$T_3$	$0.1 P$	式 (1) による	孔あき鋼板
定着部前面に生じる引張力	$T_4$	$0.5 P - \sigma_t (b \cdot t)$	従来型に同じ	従来型に同じ
プレストレスによる曲げモーメントによって生じる引張力	$T_5$	$P \cdot e$ による引張力	従来型に同じ	従来型に同じ
PC 鋼材屈曲部に生じる引張力	$T_6$	$P \cdot e / C$	式 (1) による	孔あき鋼板
打継目に生じるせん断力	$V$	$P \cdot \cos \theta$	式 (2), (3) による	孔あき鋼板

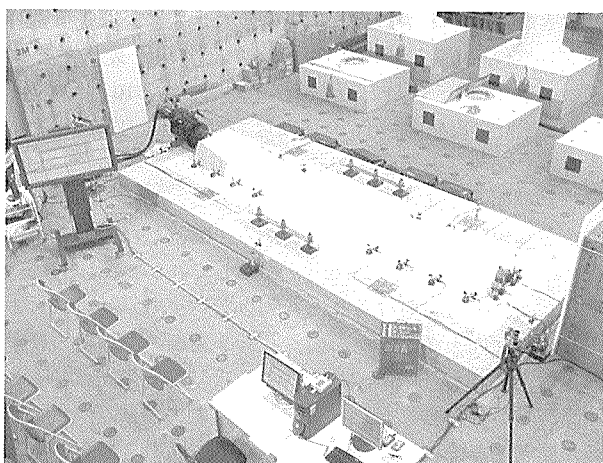


写真-6 実験状況

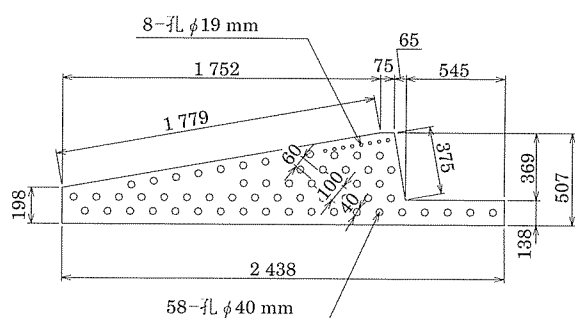


図-5 孔あき鋼板の形状

表-3 鋼材・鉄筋の材料特性

項目	単位	孔あき鋼板		鉄筋	
		SM490		SD345 D16	
		t=6 mm	t=9 mm	異形	ねじ筋
降伏点	N/mm <sup>2</sup>	368.7	356.6	396.4	403.2
引張強さ	N/mm <sup>2</sup>	562.4	535.0	567.2	601.9
弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	188.4	196.3	184.8	194.1

表-4 コンクリートの材料特性

項目	単位	床版部 (先行打設)	定着突起部 (後行打設)
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	53.4	42.9
引張強度	N/mm <sup>2</sup>	4.34	4.07
弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	34.1	31.4

率 1.5 を見込んで 9mm 厚の鋼板 2 枚を配置し、6 mm 厚の鋼板を配置した定着突起を実験対象と位置付けた。孔あき鋼板の形状寸法を図-5 に示す。なお、6 mm 厚の鋼板 1 枚の重量は、33 kg であり取り扱い等、十分な施工性を有するものである。補強筋 A は、D 16 を 7 組、補強筋 B は、D 16 のねじ筋鉄筋を 8 段、補強筋 C は D 16 を 7 箇所配置した。コンクリートは設計基準強度 40 N/mm<sup>2</sup> のものを用いた。鋼材、鉄筋の材料特性を表-3 に、コンクリートの材料特性を表-4 にそれぞれ示す。コンクリートの打継目には、チッピングによる目粗し処理をした。

### 3.3 載荷方法

載荷は、図-4 に示すように片引きで行った。載荷ステ

ップは、図-6 に示すように、設計荷重作用時の 1/3 に相当する荷重 (0.6 P<sub>d</sub>/3) を 3 回繰返し載荷した後、設計荷重作用時 (0.6 P<sub>d</sub>)、プレストレッシング直後 (0.7 P<sub>d</sub>)、プレストレッシング中 (0.9 P<sub>d</sub>)、降伏点荷重 (P<sub>y</sub>)、引張荷重 (P<sub>d</sub>) とし、試験体が耐荷力を失うまで行った。

載荷時には、荷重、孔あき鋼板のひずみ、補強筋 A ~ C のひずみ、ひび割れ状況、ひび割れ幅、底版と定着突起側面のずれ量・前面のめくれ量、リブキャストアンカーのめり込み量を計測した。

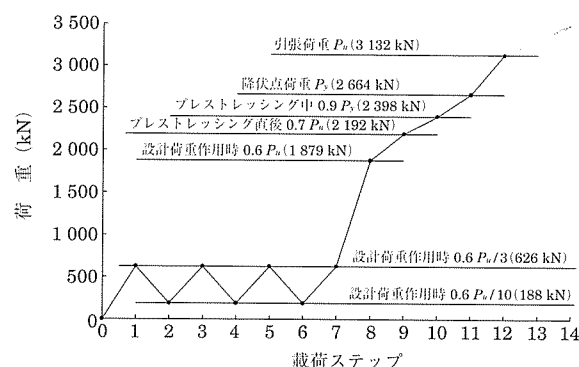


図-6 載荷ステップ

## 4. 実験結果および考察

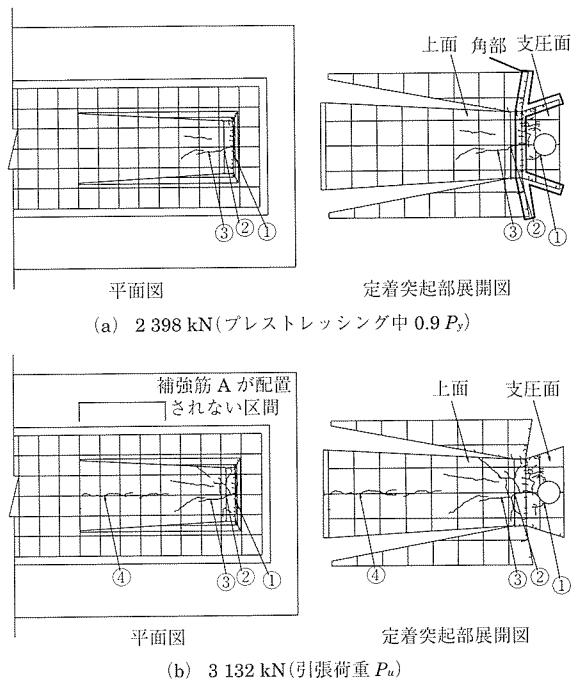
### 4.1 ひび割れ状況

プレストレッシング中 (0.9 P<sub>d</sub>)、引張荷重 (P<sub>d</sub>) 時のひび割れ状況を図-7 に、荷重とひび割れ幅の関係を表-5 にそれぞれ示す。ひび割れは、荷重が 1 400kN のときに定着突起の支圧面の角部 (図-7 参照) にひび割れが発生し、以降、荷重の増加に伴って角部のひび割れが増加・進展し、荷重が 2 192 kN (プレストレッシング直後 0.7 P<sub>d</sub>) のときに支圧面 (ひび割れ①)、および、上面 (ひび割れ②、③) にもひび割れが発生した。施工時に作用する最大荷重である 2 398 kN (プレストレッシング中 0.9 P<sub>d</sub>) のひび割れ状況は、図-7 に示すようなものであり、最大ひび割れ幅は 0.06 mm であった。その後、荷重が 2 664 kN (降伏点荷重 P<sub>y</sub>) のときに、補強筋 A が配置されない区間にひび割れ④が発生した。この時点での最大ひび割れ幅は 0.08 mm であった。荷重が 3 132 kN (引張荷重 P<sub>d</sub>) でのひび割れ状況は図-7 に示すとおりであり、ひび割れ幅の最大値は 0.25 mm であった。

施工時に作用する最大荷重であるプレストレッシング中の荷重における最大ひび割れ幅は 0.06 mm であり、耐久性を確保するうえで必要とされている 0.10 mm 以下<sup>3)</sup> であっ

表-5 各載荷ステップにおけるひび割れ幅

項目	荷重 (kN)	ひび割れ幅 (mm)				
		①	②	③	④	
設計荷重作用時	0.6 P <sub>d</sub>	1 879				
プレストレッシング直後	0.7 P <sub>d</sub>	2 192	0.04	0.04	0.04	
プレストレッシング中	0.9 P <sub>d</sub>	2 398	0.04	0.04	0.06	
降伏点荷重	P <sub>y</sub>	2 664	0.06	0.08	0.08	0.06
引張荷重	P <sub>d</sub>	3 132	0.25	0.25	0.15	0.15



たことから、耐久性上の問題は無いものと判断される。

#### 4.2 めり込み量

荷重とめり込み量の関係を図-8に示す。めり込み量は、プレストレスング中 ( $0.9 P_y$ ) の荷重である 2192 kN までは、荷重に対して線形挙動を示した。その後、降伏点荷重 ( $P_y$ ) まではほぼ線形性を示したが、それ以降は線形性が失われ、引張荷重 ( $P_u$ ) を超えたところから荷重増分に対するめり込み量の増分が大きくなり、めり込み量が 4 mm に達するときに荷重を保持できなくなり、実験を終了した。降伏点荷重 ( $P_y$ ) 後に線形性が失われたのは、ひび割れ幅・本数の増加によるものと考えられる。このことは、表-5に示すひび割れ幅、および後述する補強筋のひずみの結果とほぼ合致する。

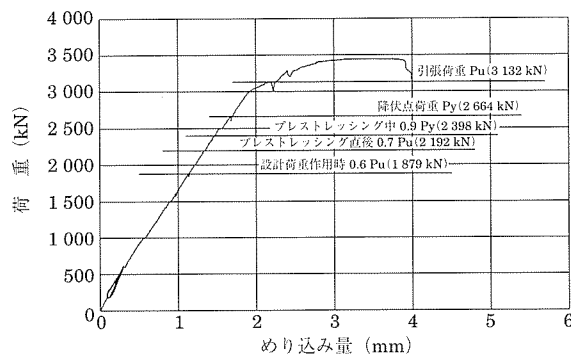


図-8 荷重—めり込み量関係

#### 4.3 孔あき鋼板のひずみ

プレストレスング中 ( $0.9 P_y$ )、引張荷重 ( $P_u$ ) 時に孔あき鋼板に生じている主ひずみとせん断ひずみを図-9に示す。主ひずみおよびせん断ひずみとも、定着突起と床版の打継目よりも図中に□印で示した箇所の方が全般的

に大きなひずみを示した。ひずみの大きさは、引張荷重時においても、最大主ひずみ： $158 \times 10^{-6}$ 、最小主ひずみ： $-260 \times 10^{-6}$ 、最大せん断ひずみ： $377 \times 10^{-6}$ であり、設計荷重時の緊張力 ( $0.6 P_u$ ) に対する許容応力度に相当する許容ひずみ (引張・圧縮許容ひずみ： $925 \times 10^{-6}$ 、せん断許容ひずみ： $1365 \times 10^{-6}$ ) に対して、17～28%程度の小さな値であった。このことから、配置した孔あき鋼板は、設計に対して十分安全な挙動を示していると考えられる。

また、打継目における孔あき鋼板ジベルのずれ力に対する分担の傾向を調べるために、孔あき鋼板の7箇所のみを測定したが (1箇所は測定不能)、特別な傾向は見られず、打継目の全長にわたって同じ程度の主ひずみ、およびせん断ひずみが生じた。このことから、孔あき鋼板ジベルは打継目の全長にわたって有効に機能しているものと考えられる。

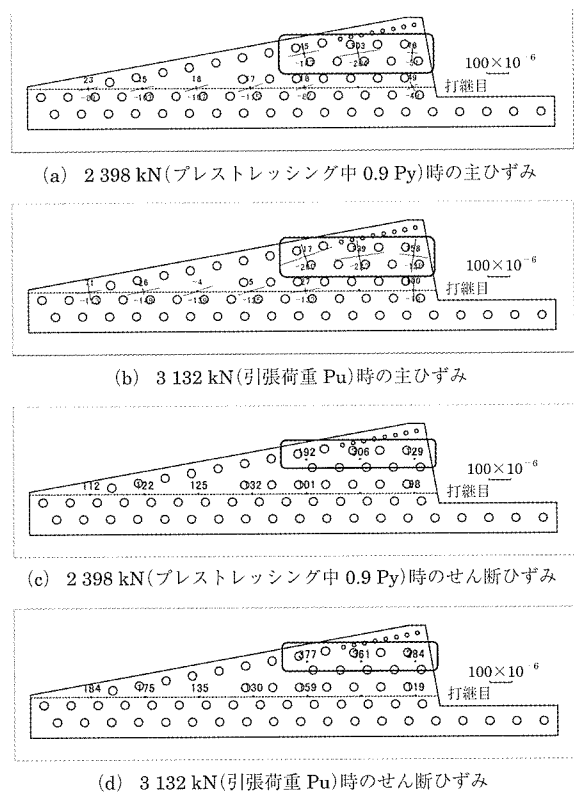


図-9 孔あき鋼板のひずみ

#### 4.4 補強筋のひずみ

荷重と補強筋 A のひずみの関係を図-10に、荷重と補強筋 B のひずみの関係を図-11にそれぞれ示す。補強筋のひずみは、A、Bとも降伏点荷重 ( $P_y$ ) を超えたところから荷重増分に対するひずみの増分が大きくなった。このことは、めり込み量の考察で前述したようにひび割れ幅・本数の挙動とほぼ合致する。ひずみの大きさは、いずれの補強筋のひずみも引張荷重 ( $P_u$ ) 時において、 $400 \times 10^{-6}$  以下であり、設計荷重時の緊張力 ( $0.6 P_u$ ) に対する許容応力度に相当する許容ひずみ ( $900 \times 10^{-6}$ ) に対して、44%程度の小さな値であった。このことから、配置した補強筋は、設計に対して十分安全な挙動を示していると考えられる。

また、補強筋 A では、定着体から離れるに従って ①～③に従って) ひずみ値が大きくなる傾向が見て取れる。それに対して、補強筋 B では、定着体からの距離に関わらず、ほぼ同じひずみ値を示している。より合理的な鉄筋配置を考えた場合、これらの傾向は今後の参考としたいと考えている。

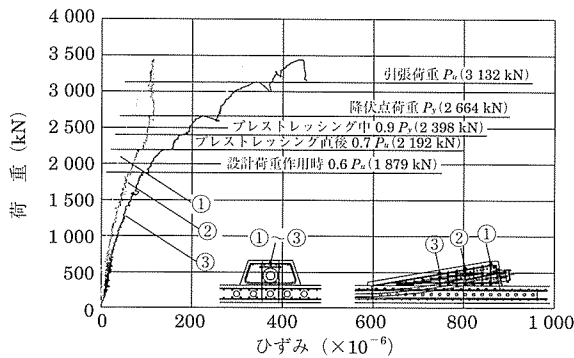


図 - 10 荷重—補強筋 A のひずみ関係

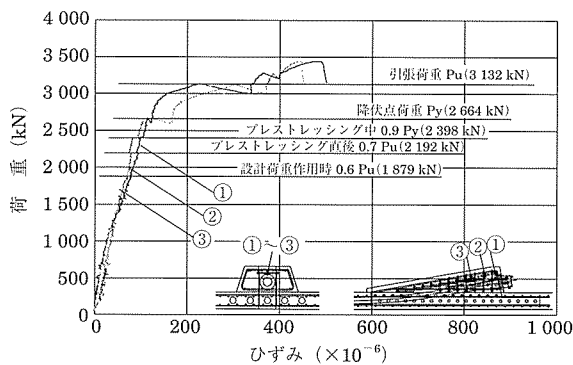


図 - 11 荷重—補強筋 B ひずみ関係

#### 4.5 床版と定着突起のずれ量・めくれ量

荷重と床版、定着突起側面のずれ量・前面のめくれ量の関係を図 - 12 に示す。施工時に作用する最大荷重であるプレストレス中 (0.9  $P_y$ ) の荷重時の最大ずれ量は 0.01 mm、最大めくれ量は 0.02 mm であった。また、引張荷重 ( $P_u$ ) 時における最大ずれ量は 0.02 mm、最大めくれ量は 0.05 mm であった。ずれ量、めくれ量とも小さい値であり、また、引張荷重時まで軟化挙動は見られずほぼ線形性が保たれていることから、床版と定着突起は十分な一体性が確保されているものと考えられる。また、めくれ量について

はひび割れ状況で前述したことと同様に、耐久性上問題のない範囲であるものと判断される。

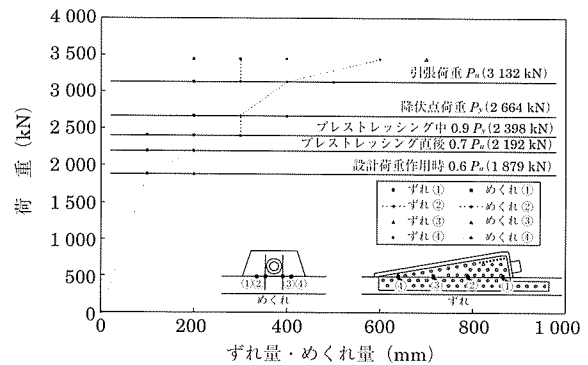


図 - 12 荷重とずれ量・めくれ量の関係

### 5. まとめ

提示した設計方法で設計した実物大の試験体を用いて載荷実験を実施した結果、あと施工が可能な孔あき鋼板ジベルを用いた定着突起構造について、以下の知見が得られた。

- 1) ひび割れ状況、孔あき鋼板のひずみ、補強筋のひずみの結果から定着突起は十分安全側の挙動を示していること、また、床版と定着突起のずれ量・めくれ量の結果から十分な一体性が保たれていることから、構造成立性が確認されたものと考えられる。
- 2) ひび割れ幅、めくれ量が 0.10 mm 以下であったことから、耐久性上の問題はないことが確認された。
- 3) 1), 2) の結果から、提示した設計方法は適用可能であると考えられる。

最後に、試験体製作において、床版製作時における孔あき鋼板設置の容易性、ならびに、定着突起構築時における配筋・型枠設置の容易性が確認され、所期の施工の簡略化が実現できたことを附記する。

#### 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会, コンクリート道路橋設計便覧, 平成 16 年 4 月
- 2) 土木学会, 構造工学シリーズ II 複合構造物の性能照査指針 (案), 平成 14 年 11 月
- 3) (社) 日本コンクリート工学協会, コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, 平成 15 年

【2006 年 3 月 1 日受付】