

## エポキシ樹脂塗装鉄筋による機械式定着を併用した プレキャスト床版の重ね継手

オリエンタル白石(株)	正会員	工修	○原	健悟
オリエンタル白石(株)	正会員	博士(環境学)	二井谷	教治
オリエンタル白石(株)			照井	満
オリエンタル白石(株)	正会員	工修	脇坂	英男

Abstract : Loop splice joint is generally used for RC joint of Precast PC slab in direction of bridge axis, but is not applicable when a thickness of slab is thinner than the bending shape of the reinforcing bar. In addition, using lap splice joints, there is a problem of longer joints. To resolve these structures, we developed a new type of joint that is combination of lap splice and mechanical anchorage fixing the steel pipe on the tip of the reinforcing bar. In this report, we investigated the use of epoxy coated reinforcing bar in order to apply in salt-affected areas. The experimental investigation to establish the length of the new joint, it was confirmed to have a necessary performance in the same lap joint length 15D as the normal reinforcing bar. In addition, the precast slab with this new joint has confirmed that sufficient bending strength and fatigue durability.

Key words : Lap Joint , Mechanical Anchorage , Salt-Affected Area

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版とする)は、死荷重による発生曲げモーメントに比べ、活荷重による曲げモーメントの割合が高い部材である。そのため車両の大型化や交通量の増加がみられた昭和40年前後から鋼鈹桁橋のRC床版の損傷が顕在化し、近年、床版取替え工事が増加している。これら損傷を受けた既設の床版厚は、170mm~200mmであり、床版厚の不足もその一因として挙げられる。損傷を受けたRC床版に、現行規準の活荷重を適用し、かつ、死荷重を増加させることなく既設と同等の床版厚で取替えるには、プレストレストコンクリート床版(以下、PC床版とする)とする必要がある。さらに、交通規制の問題から、急速施工が可能なプレキャストPC床版を用いる事例が多い。橋軸方向の接合方法としては、プレストレスを導入するPC接合とRC接合がある。PC接合では、床版の一部が損傷したときに径間全部を対象とした補修が必要となるため、部分取替が可能なRC接合が採用されてきている。RC接合としては、通常の重ね継手では、接合部が長くなることから、一般にループ鉄筋による継手が用いられるが、鉄筋の曲げ加工形状により床版厚が制限される。

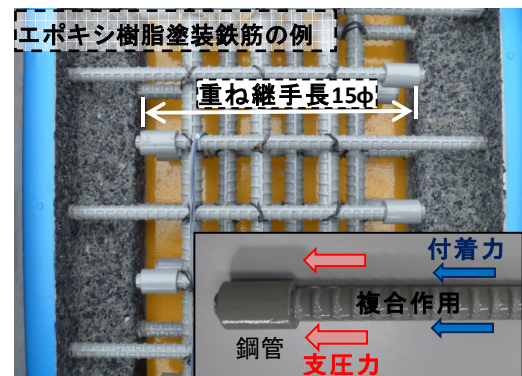


写真-1 機械式定着併用重ね継手

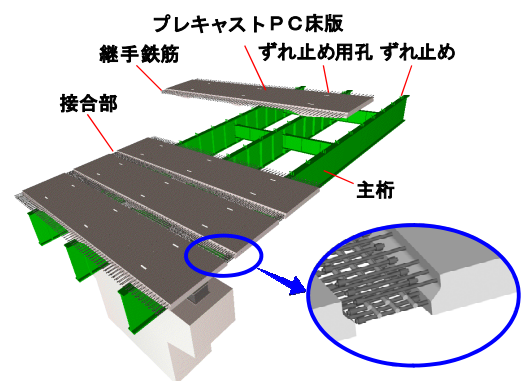


図-1 プレキャストPC床版の概要

そこで、写真-1に示すように接合部の長さが短く、かつ、薄い床版に適用できる継手構造として、鉄筋の先端に鋼管を圧着した機械式定着と重ね継手を併用し（以下、機械式定着併用重ね継手とする）、鉄筋の付着力と鋼管の支圧力の複合作用によって定着力を発揮する構造を開発した。図-1に本接合構造を有するプレキャスト PC 床版の概要を示す。これまでに、静的曲げ性能、押し抜きせん断性能、定点曲げ疲労性能<sup>1)</sup>および輪荷重走行試験による疲労耐久性<sup>2),3)</sup>、負曲げ性能（連続桁橋への適用）<sup>4)</sup>を確認し、実構造物にも採用されている<sup>5)</sup>。

本報告では、塩害地域においても床版取替え工事が増加していることから写真-1に示すように鋼管圧着後にエポキシ樹脂を静電粉体塗装した機械式定着併用重ね継手の性能試験の結果を報告する。

## 2. 定着性能試験

### 2.1 試験概要

機械式定着併用重ね継手の必要重ね継手長を検討するため、定着機構に関する引抜き試験を行った。供試体は、図-2に示すようにエポキシ樹脂を塗装した機械式定着部と鉄筋をコンクリートに埋め込んだ正方形断面を有する角柱状のものとした。試験要因を表-1に示す。鉄筋は、SD345のD19およびD22を対象とし、コンクリートの目標圧縮強度を $50\text{N/mm}^2$ とした。鉄筋に対するかぶり厚は、すべての供試体で $48\text{mm}$ 一定とし、鉄筋の埋込み長は、鉄筋径の約8倍とした。供試体は、機械式定着併用重ね継手の鋼管の支圧耐力を把握するため、鉄筋の付着を全長でなくしたもの、付着機構を把握するため、付着を阻害しないよう鉄筋の縦リブに溝を切り、ひずみゲージを貼り付けたものの2種類とし、各試験水準においてそれぞれ3体製作した。なお、横補強鉄筋の影響を除外するため、補強鋼材は一切配置していない。試験は、JSCE-G 503-2010「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法（案）」を参考に行った。載荷方法は、同規準に従って行い、コンクリートが破壊するか、または、鉄筋の規格引張荷重に達するまで載荷を行った。測定項目は、載荷荷重、自由端のすべり量および鉄筋ひずみとした。

### 2.2 試験結果

試験時のコンクリートの圧縮強度は、ほぼ目標値に近い値であった。図-3は、鉄筋径D19の供試体の鉄筋応力度-すべり量関係の例である。鉄筋応力度は、引抜き荷重を鉄筋の公称断面積で除した値である。鉄筋に付着のある供試体では、規格降伏強度である $345\text{N/mm}^2$ を超えてからすべりが発生し、鉄筋の規格引張強度である $490\text{N/mm}^2$ に近い耐力を示し、脆性的に破壊した。一方、鉄筋に付着のない供試体では、鉄筋の規格降伏強度に達する前にすべりが生じ始め、すべり量が $0.5\text{mm}$ を超えて破壊に至った。最大荷重は、付着のある供試体の6割程度であった。図-4は、図-3に示した鉄筋に付着がある供試体の鉄筋応力度-ひずみ関係である。測点S1~S3は、図-2に示したように、付着区間の3等分点にあたる。付着力の分担が鉄筋の引張端から徐々に機械式定着の方向に進行していることがわかる。

### 2.3 必要重ね継手長の検討

付着試験をもとに機械式定着併用重ね継手の必要重ね継手長を検討する。図-5は、図-4に示した鉄筋に付着がある供試体の各鉄筋応力段階におけるひずみ分布である。X軸は、測点S1（鋼管の付根）からの距離である。150mm位置のひずみは、引抜き荷重をひずみに換算したものである。荷重が

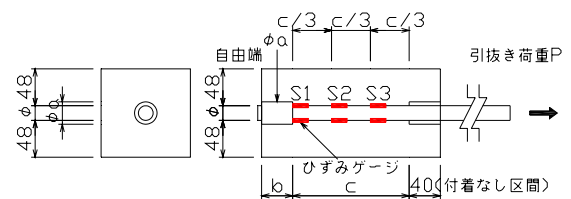


図-2 付着試験の供試体

表-1 付着試験の要因

鉄筋径φ	目標強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	試験時強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	断面	寸法(mm)		
				鋼管径 a	鋼管長 b	鉄筋長 c
D19	50.0	46.1	正方形	29.0	40.0	150.0
D22				34.5	50.0	180.0

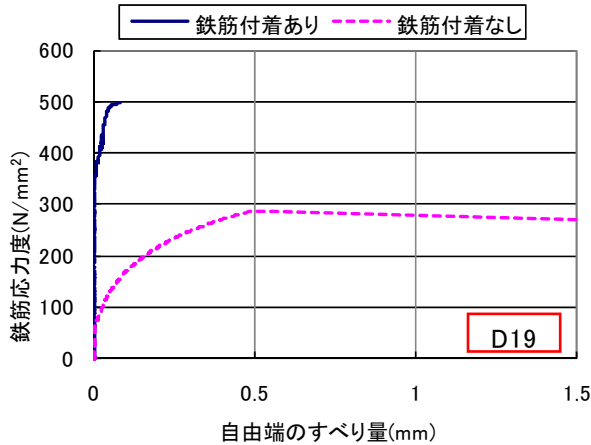


図-3 鉄筋応力度—すべり量の例

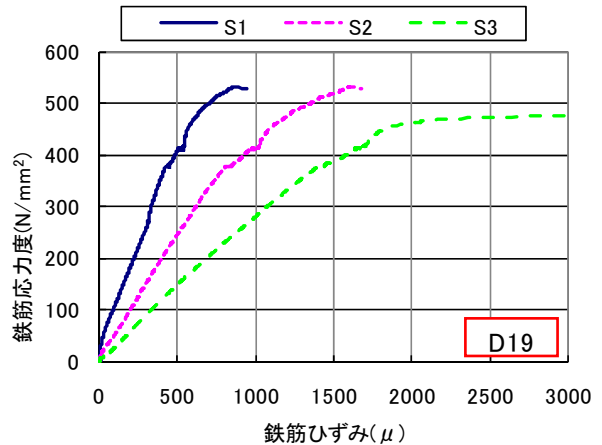


図-4 鉄筋応力度—鉄筋ひずみの例

小さいときは、鉄筋の付着力だけで定着されており、荷重が増加するにしたがって、徐々に端部の機械式定着部に荷重の一部が作用し、鋼管の支圧力によって定着力の一部が負担されていくことがわかる。図-6は、鉄筋の各応力段階における、定着力の分担割合を表したものである。各ひずみ測点間の付着力は(1)式で計算し、引抜き力の合計から鉄筋の付着力の合計を引いた値を機械式定着部の定着力であるとした。また、鉄筋ひずみが降伏ひずみを超えた場合、付着力は増加しないものと仮定した。

$$\Delta P = \Delta \varepsilon_s \cdot E_s \cdot A_s \quad (1)$$

ここに、 $\Delta P$ ：各ひずみ測点間の付着力(kN)、 $\Delta \varepsilon_s$ ：各ひずみ測点間のひずみ差、 $E_s$ ：鉄筋の弾性係数(kN/mm<sup>2</sup>)、 $A_s$ ：鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>)である。

次に付着試験の結果から継手に必要な重ね継手長を検討する。各試験要因における破壊耐力の結果と、必要重ね継手長の算定結果を表-2にあわせて示す。耐力の結果は、3つの供試体の平均値である。必要重ね継手長とは、鉄筋の規格降伏荷重を満足する定着力を得るために、必要となる付着長である。ここでは、重ね継手長は機械式定着部(鋼管)も含んだ長さとする。算定にあたって、機械式定着併用重ね継手の定着力は、鉄筋の付着力と鋼管の支圧力の複合力であり、それぞれの力は、重ね合わせが成り立つと仮定した。まず、鉄筋の規格降伏荷重に対して、付着のない供試体の破壊耐力を差し引いた荷重が、鉄筋の付着力の分担であると考え。次に、この付着力分担荷重に対する鉄筋応力度を計算し、鉄筋応力度相当の定着長を土木学会の基本定着長算定式<sup>6)</sup>、(2)式によって算定する。

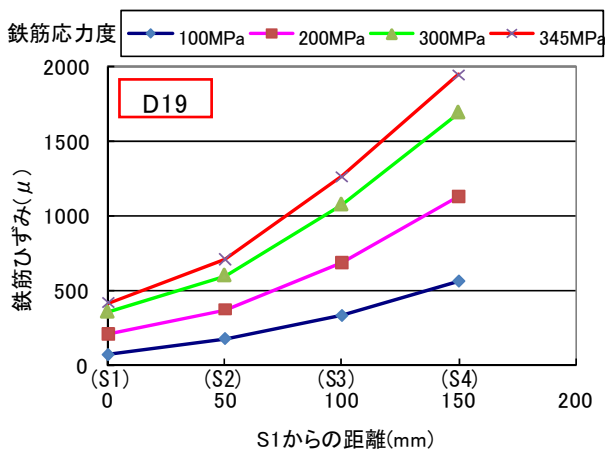


図-5 鉄筋ひずみ分布の例

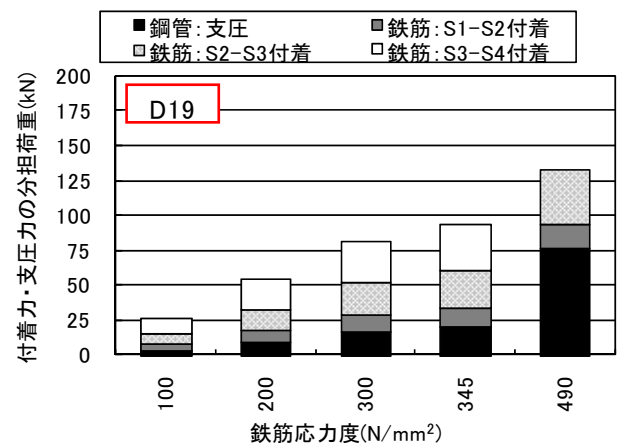


図-6 分担荷重の例

$$l_d = \alpha \frac{f_{yd}}{4f_{bod}} \phi \quad (2), \quad k_c = \frac{c}{\phi} + \frac{15A_t}{s\phi} \quad (3), \quad f_{bok} = 0.28f'_{ck}{}^{2/3} \quad (4)$$

ここに、 $\phi$  : 鉄筋の直径(mm),  $f_{yd}$  : 鉄筋の引張降伏強度(N/mm<sup>2</sup>),  $f_{bod}$  : コンクリートの付着強度(N/mm<sup>2</sup>)で、 $f'_{ck}$  : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)から  $\gamma_c$  : 材料係数を 1.3 とし(4)式より求めてよい ( $f_{bod} \leq 3.2N/mm^2$ ),  $\alpha = 1.0$  ( $k_c \leq 1.0$ ) = 0.9 ( $1.0 < k_c \leq 1.5$ )

= 0.8 ( $1.5 < k_c \leq 2.0$ ) = 0.7 ( $2.0 < k_c \leq 2.5$ )  $\alpha = 0.6$  ( $2.5 < k_c$ ),  $c$  : 鉄筋の下側のかぶりの値と定着する鉄筋のあきの半分の値のうち小さい方(mm),  $A_t$  : 仮定される割裂破断面に垂直な横方向鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>),  $s$  : 横方向鉄筋の中心間隔(mm)である。(2)式の  $f_{yd}$  に付着力分担荷重に対する鉄筋応力度を代入し、必要重ね継手長を算定した。これは、横方向鉄筋による補強のないコンクリートだけによる定着であり、実際の重ね継手では、横方向鉄筋により補強される。過去に実施したエポキシ樹脂塗装を施していない鉄筋(以下、無塗装鉄筋とする)の必要重ね継ぎ手長は、鉄筋径 D19 で 2.1 $\phi$ , D22 で 4.5 $\phi$ であったが、重ね継ぎ手長が短いと鉄筋が床版の変形に追随せずに割裂破壊が生じたため重ね継手長を 15 $\phi$ とした。エポキシ樹脂塗装鉄筋では、無塗装鉄筋と比較して付着強度が低下するため、必要重ね継ぎ手長は、鉄筋径 D19 および D22 とともに 5.7 $\phi$ であったが同様な事由から 15 $\phi$ とし、曲げモーメントに対する性能を確認する。

表-2 必要重ね継手長

鉄筋径 $\phi$	試験時強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破壊耐力(kN)		鉄筋規格降伏荷重 $P_y$ (kN)	付着負担荷重 $P_y - P_n$ (kN)	必要 <sup>*</sup> 重ね継手長
		付着あり $P_b$	付着なし $P_n$			
D19	46.1	137.3	81.7	98.8	17.2	5.7 $\phi$
D22		177.6	114.8	133.5	18.7	5.7 $\phi$

※機械式定着部(鋼管)も含んだ長さ

### 3. 曲げモーメントに対する性能試験

#### 3.1 試験概要

エポキシ樹脂塗装鉄筋による機械式定着併用重ね継手を用いた供試体と無塗装鉄筋による重ね継手を有する供試体の高サイクル繰返し性能および静的曲げ性能試験を実施し、疲労耐久性および静的耐力を検証した。

供試体の概要図と形状寸法表を図-7および表-3に示す。供試体はSD345のD19およびD22についてそれぞれ製作し、コンクリートの目標圧縮強度は50N/mm<sup>2</sup>とした。接合部の詳細を図-8に示す。配筋は、D19およびD22の軸方向筋を150mm間隔で配置し、接合部の横方向筋はD22、

プレキャスト部はD13を配置した。接合部の重ね継手長は、重ね継手供試体は30 $\phi$ (D19:570mm, D22:660mm)とし、機械式定着併用重ね継手供試体は、15 $\phi$ (D19:285mm, D22:330mm)とした。

計測項目は、載荷荷重、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみ、目地開き、変位およびひび割れ性状とし、本報告では、接合部近傍の鉄筋ひずみと支間中央の変位に着目した。

#### 3.2 高サイクル繰返し性能試験

疲労性能確認のため、定点の繰返し載荷試験を実施した。疲労荷重の上限は、引張縁の鉄筋応力度

表-3 試験体形状寸法表

鉄筋径 $\phi$	目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	試験時 <sup>*</sup> 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	形状寸法(mm)				
			床版厚 H	床版幅 B	支間長 L1	せん断支間 L3	等曲げ区間 L2
D19	50.0	54.8	180	900	2300	700	900
D22			190	900	2590	800	990

※接合部コンクリートの試験時の圧縮強度

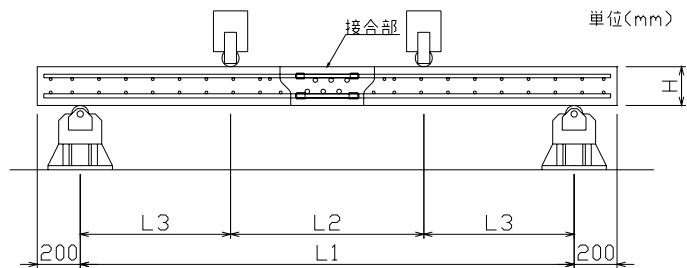


図-7 試験体概要図



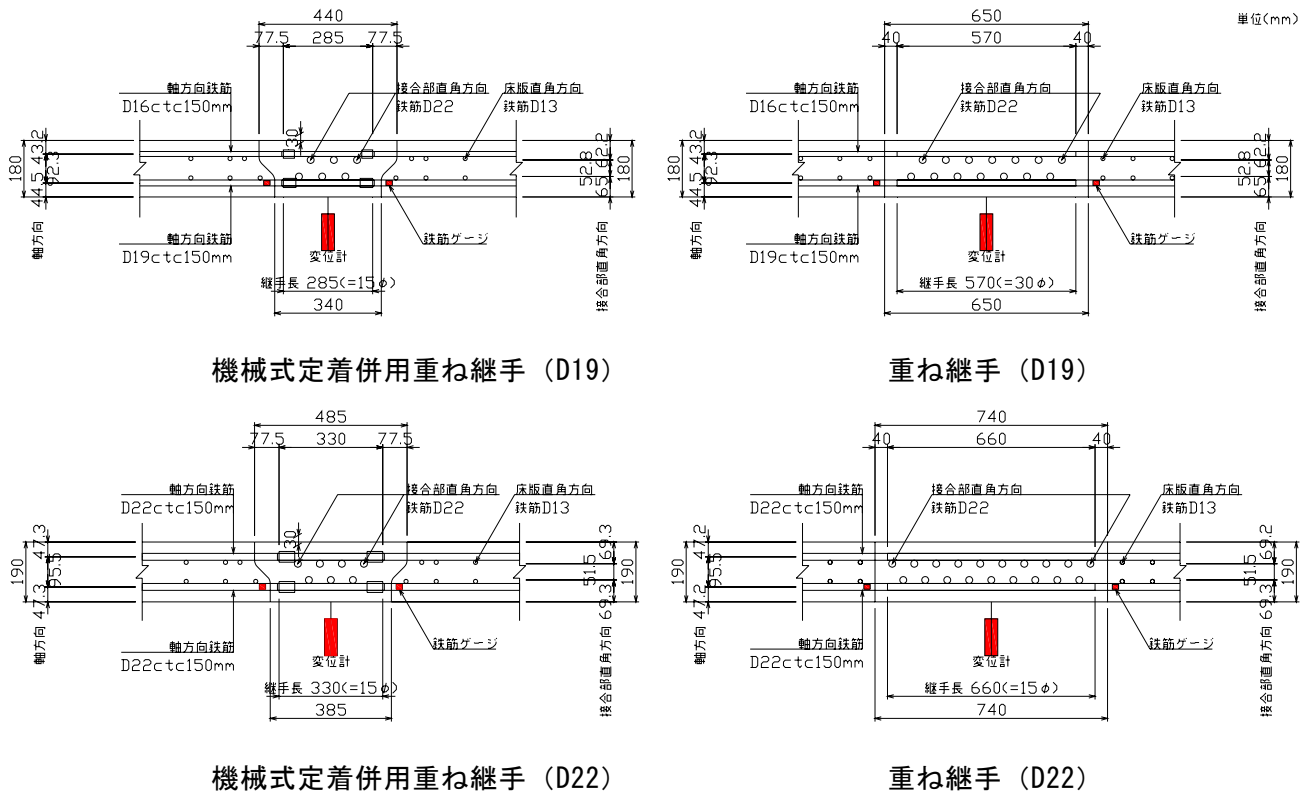


図-8 接合部詳細図

が許容応力度である  $140\text{N/mm}^2$  となる荷重とした。また、応力振幅を  $100\text{N/mm}^2$  に設定し、鉄筋応力度が  $40\text{N/mm}^2$  となる荷重を下限荷重とした。繰返し载荷回数は 200 万回とし、载荷速度は 5Hz にて実施した。図-9 は、高サイクル繰返し载荷における供試体の鉄筋ひずみ-繰返し回数の関係の試験結果である。機械式定着併用重ね継手供試体の高サイクル繰返し载荷による鉄筋ひずみの挙動は、重ね継手を用いた供試体と同様な傾向であった。また、繰返し载荷に伴うたわみおよび鉄筋ひずみの極端な増加もほとんど見られず安定していた。したがって、機械式定着併用重ね継手は、高サイクル繰返しに対して、十分な性能を有していることが確認された。

### 3.3 高サイクル繰返し後の静的曲げ性能試験

静的曲げ性能試験は、繰返し载荷が曲げ耐力に与える影響は小さいとし、高サイクル繰返し試

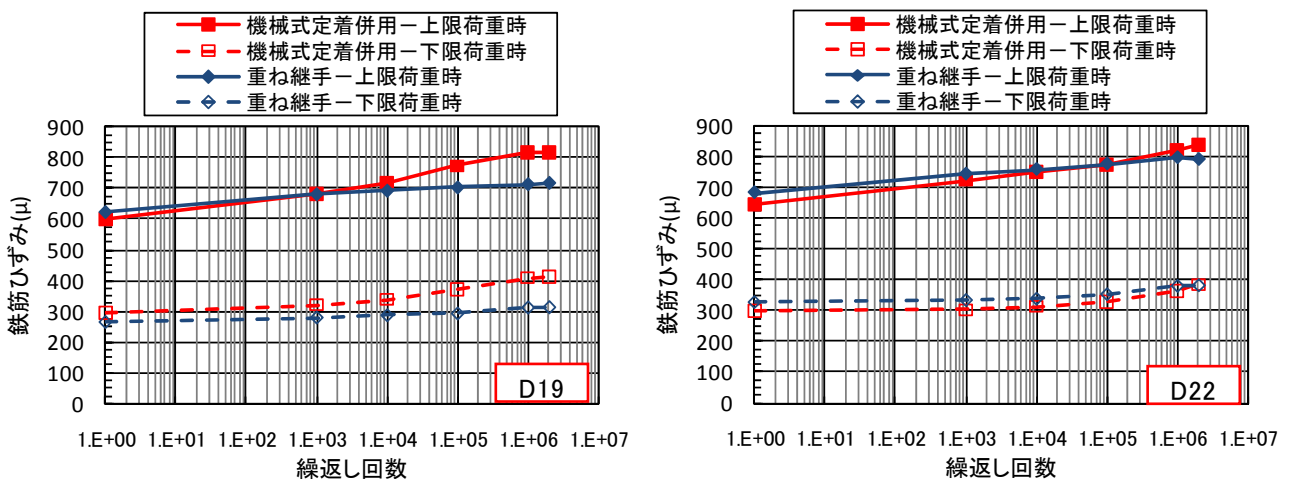


図-9 鉄筋ひずみ

験を終了した試験体により行った。図-10は、高サイクル繰返し载荷後における供試体の荷重-支間中央の変位関係の試験結果である。初期剛性の違いは、重ね継手の長さが異なるため、配置される鉄筋量が影響したと考えられる。しかしながら、機械式定着併用重ね継手を用いた供試体および重ね継手を用いた供試体の最大荷重は、鉄筋径 D19 の供試体でそれぞれ 254.5kN および 271.9kN ，鉄筋径 D22 の供試体でそれぞれ 315.5kN および 324.6kN であり、ほぼ同等の曲げ破壊耐力を有しており、かつ、計算耐力を十分に上回った。したがって、機械式定着併用重ね継手は、曲げモーメントに対する静的耐力に対して、十分な性能を有していることが確認された。

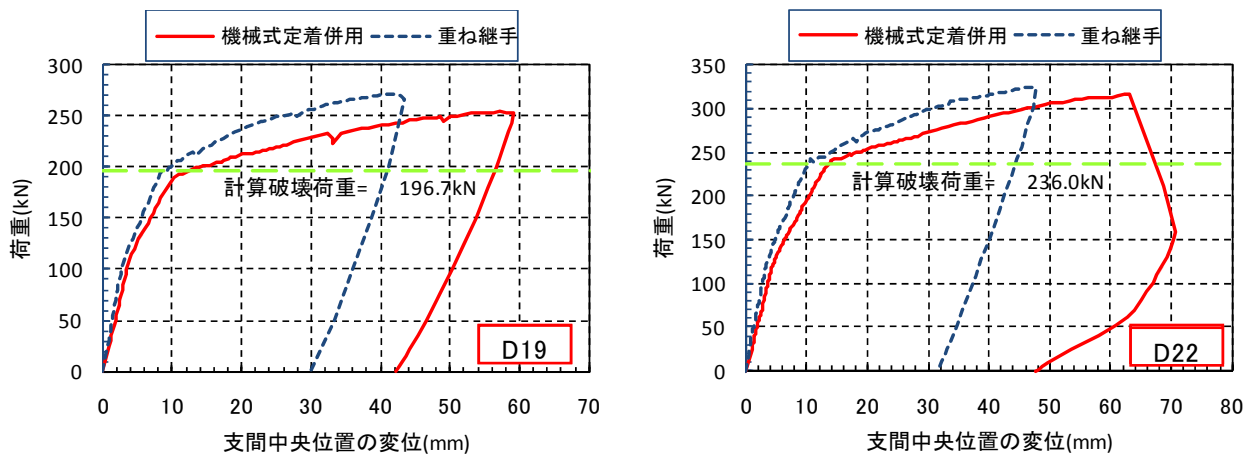


図-10 荷重-変位関係

#### 4. まとめ

エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた機械式定着併用重ね継手を有するプレキャスト床版の基礎的な定着性能試験および曲げ性能試験から、以下のことが明らかとなった。

- (1) 定着性能試験から、荷重が増加するにしたがって、徐々に機械式定着部に荷重の一部が作用し、鋼管の支圧力によって定着力の一部が負担されていく。
- (2) 重ね継手長の検討から、エポキシ樹脂塗装を用いた機械式定着併用重ね継手の必要重ね継ぎ手長は、 $15\phi$  で満足する。
- (3) 高サイクル繰返し性能試験から、エポキシ樹脂塗装を用いた機械式定着併用重ね継手を有するプレキャスト床版は、十分な疲労耐久性を有している。
- (4) 静的曲げ性能試験から、エポキシ樹脂塗装を用いた機械式定着併用重ね継手を有するプレキャスト床版は、十分な静的曲げ性能を有している。

#### 参考文献

- 1) 阿部浩幸, 原健悟, 澤田浩昭, 中村雅之: プレキャストPC床版の新しいRC接合構造に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.493-498, 2007.7
- 2) 大谷悟司, 阿部浩幸, 中村雅之, 原健悟: 新しいRC接合構造を用いたプレキャストPC床版の輪荷重走行試験, 第16回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.191-194, 2007.10
- 3) 原健悟, 福永靖雄, 今村壮宏, 三浦泰博: エンドバンド継手を有するプレキャストPC床版の輪荷重走行疲労試験, 第19回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.61-64, 2010.10
- 4) 渡瀬博, 大谷悟司, 二井谷教治, 阿部浩幸: SLJ スラブの連続桁への適用に関する実験的研究, 第17回プレストレストとコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.271-276, 2008.11
- 5) 山本敏彦, 今村壮宏, 三浦泰博, 藤木慶博: 日交通量10万台区間におけるRC床版取替工事-九州自動車道・向佐野橋-, コンクリート工学, Vol.49, No.3, pp.30-35, 2011.3
- 6) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書【設計編】, pp.195-197, 2007.12