

# 端部拡径鉄筋を用いたプレキャスト PC 床版継手構造の研究

## An Experimental Study on the Splice Joint of Precast PC Slab Using Reinforcing Bar with the Expanded Diameter Head

有川 直貴 NAOKI ARIKAWA  
三加 崇 TAKASHI SANGA  
篠崎 裕生 HIROO SHINOZAKI  
浅井 洋 HIROSHI ASAI

我が国では老朽化した鋼橋上の RC 床版の取替えが緊急の課題である。プレキャスト PC 床版の継手には、ループ継手が一般的に用いられるが、床版厚さの制約や、ループ内の鉄筋配置が面倒である、などの欠点を有する。著者らはこれらを改善する方法として、先端を拡径加工した鉄筋を用いた継手構造を開発し、継手部の曲げ試験を実施して、本継手構造がループ継手と同等の性能を有していることを確認した。さらに、実験結果から端部拡径鉄筋の継手長が 12D 以上で十分な性能が得られること、床版厚を 200mm まで薄くしても所要の性能が得られることを明らかとした。

キーワード：端部拡径鉄筋，床版取替え，プレキャスト PC 床版，床版継手

The replacement of the RC slab on deteriorated steel bridge is an urgent issue in Japan. Loop joints are generally used for joints of pre-casted PC slabs, but they still have problems such as required slab thickness or reinforcing bar arrangement in the loop. The authors developed joint structure using reinforcing rods which have expanded tip as an anchorage and conducted bending tests of the joint part and confirmed that this joint had performance that is equal to a loop joint. The test results proved that required performance was obtained even in the case of 12D in splice length of joint and in the case of 200mm in slab thickness.

**Key Words:** Reinforcing bar with the expanded diameter head, Exchange of the slab, Precast PC slab, joint

### 1. はじめに

近年、建設業では、高度経済成長期に建設された構造物の老朽化が問題視されている。その中で特に老朽化が進んでいると言われているのが鋼橋上の RC 床版であり、各事業主体による大規模修繕計画の中で優先的に取替え工事が進められている。

旧基準で設計された RC 床版は現行基準の床版厚よりも薄いため、基準に合致する厚さの RC 床版で取替えを実施すると重量が増加して鋼桁や下部構造の補強が必要になる可能性がある。そこで、取替え後の床版はプレキャストの PC 構造にして床版厚の増加を抑制するとともに、現場における施工期間の短縮や高品質化、省力化を図ることが一般的に行われる。

プレキャスト PC 床版の継手には、重ね継手やループ

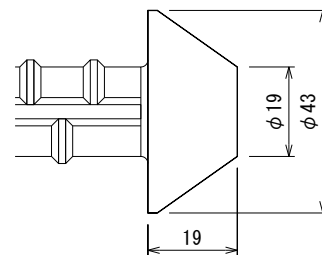


図-1 拡径鉄筋形状

継手が用いられるが、重ね継手では継手長が大きくなること、ループ継手ではループ鉄筋の曲げ内径とかぶり度で床版厚がある程度限定されてしまう欠点がある。そこで、これらの改善を目的とし、図-1 に示すような端部を拡径加工した鉄筋（以下、拡径鉄筋とする）を用いた継手構造（以下、拡径鉄筋継手とする）を開発した。

本論文では、この拡径鉄筋継手の静的曲げ試験を実施し、本継手構造がループ継手と同等の曲げ性能を有していることを確認した。また、実験結果から本継手構造の必要継手長さや、床版厚さの影響などについて考察した。

## 2. 拡径鉄筋を用いた継手の概要

重ね継手とループ継手および拡径鉄筋継手の概要を図-2 に示す。図-2a) の重ね継手は、鉄筋ふしの機械的付着によりコンクリートを介してもう一方の鉄筋に引張力が伝達される。一般的に、重ね継手長は  $25D$  以上とされており、PC床版で一般的な  $D19$  の場合、 $475\text{mm}$  以上の継手長が必要となる。重ね継手よりも継手長を短くできる継手として図-2b) に示すループ継手がある。ループ継手は直線部鉄筋の付着力に加え、曲げ加工部の支圧力を併用できることから、継手長を  $15D$  程度に短くすることができる。しかし、ループ継手はループ鉄筋の曲げ内半径によって床版厚が決まるため、一般的な  $D19$  鉄筋の場合、 $240\text{mm}$  程度以下に床版厚さを小さくすることができない。また、ループ継手は閉じた鉄筋が交差する構造のため、ループ内の橋軸直角方向鉄筋は、あらかじめループ内に配置しておくことができず、PC版敷設後に横から差し込む必要がある。このような点を改善できる工法として開発した継手が図-2c) に示す拡径鉄筋継手である。拡径鉄筋の拡径部は鍛造加工である。拡径鉄筋継手はループ継手と同様に鉄筋の付着力に拡径部の支圧力を併用できる継手である。拡径鉄筋継手を用いることで床版厚の設計自由度が増すとともに橋軸直角方向鉄筋の施工性が向上する。

## 3. 実験概要

図-3 に試験体形状を示す。試験体は2つのプレキャスト部材とこの部材同士の継手部からなる試験体である。試験体形状は全長  $3,530\text{mm}$ 、厚さ  $200\text{mm}\sim 240\text{mm}$ 、幅  $970\text{mm}$  とし、長辺方向中央に継手部を設けた。プレキャスト部の打継目地は遅延剤を用いて洗い出し処理を行った。荷重方法は継手部を含む  $700\text{mm}$  を等曲げ区間とし、支間  $3,100\text{mm}$  の単純支持で、引張鉄筋の設計降伏荷重まで荷重し、一度除荷した後、破壊まで単調荷重し

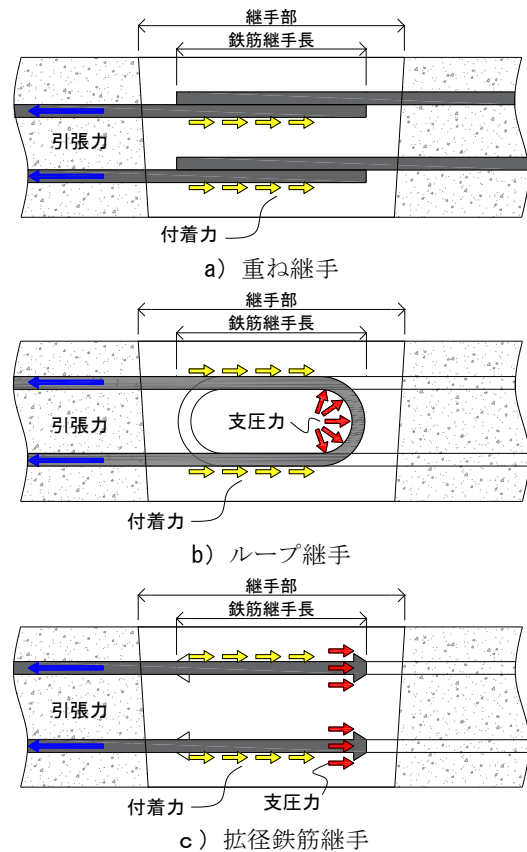


図-2 プレキャストPC床版の継手構造

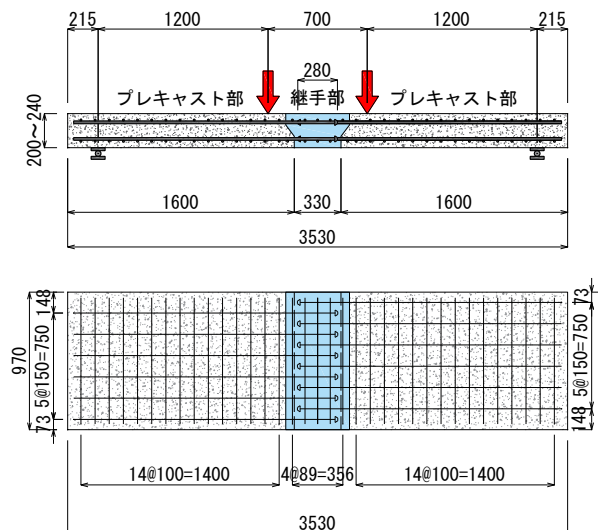


図-3 試験体形状

表-1 試験体種類

試験体	継手形状	床版厚さ	継手長
L-24-15	ループ継手	240mm	15D
K-24-15	拡径鉄筋継手		200mm
K-20-15		15D	
K-20-12		12D	

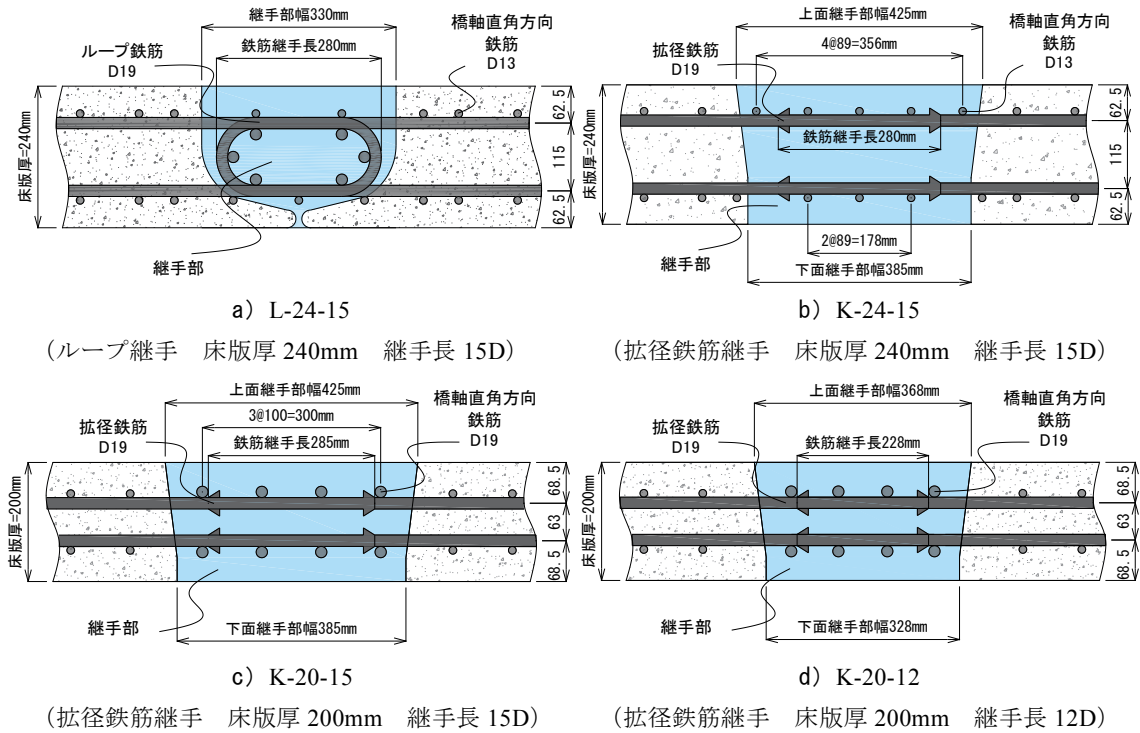


図-4 継手部詳細

た。

表-1 に試験体種類を示す。試験体は基準となるループ継手を用いた L-24-15 と拡張鉄筋継手を用いた K-24-15, K-20-15, K-20-12 の 4 体とした。試験体名の 1 番目の記号はループ継手 (L) と拡張鉄筋継手 (K) の違い, 2 番目の数字は床版厚さ (cm), 3 番目の数字は鉄筋径の倍数で表した継手長, である。

図-4 に継手部詳細を示す。拡張鉄筋継手の曲げ性能がループ継手と同等であることを確認するためループ継手を用いた L-24-15 と拡張鉄筋継手を用いた K-24-15 の試験を実施した。ループ継手は指針<sup>1)</sup>に従って設計した。L-24-15 のループ鉄筋は D19 とし, ループ鉄筋の曲げ内径は 5D (D は鉄筋径) とした。鉄筋継手長は 15D の 280mm とした。橋軸直角方向鉄筋はループ継手内部に D19 を 6 本配置し, 軸方向鉄筋外側に D13 を上側 2 本, 下側 1 本配置した。継手部の上部の幅は 330mm, 下部はループ継手では標準となっているあごを付けており, 隙間は約 10mm である。

K-24-15 はループ継手と曲げ性能を比較するため拡張鉄筋にループ継手と同じ D19 を使い, 上下鉄筋の間隔と鉄筋継手長はループ継手と同寸法となるよう配置した。橋軸直角方向鉄筋は軸方向鉄筋外側にのみ D13 を上側 5 本, 下側 3 本配置した。継手部の上部の幅は 425mm, 下部の幅は 385mm とした。K-20-15 は, 床版厚さを薄くした場合の挙動を検証するため床版厚さを 200mm と

表-2 材料特性

	PCa 部		継手部	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
L-24-15	75.6	32.7	77.0	33.1
K-24-15			75.0	35.1
K-20-15	77.0	35.5	75.0	35.1
K-20-12	79.9	36.9		

表-3 計算耐力と実験結果

	計算耐力 (kN)	実験値 (kN)	実験値/計算値
L-24-15	224.2	224.3	1.00
K-24-15	224.2	232.6	1.03
K-20-15	186.4	188.2	1.01
K-20-12	186.4	186.3	0.99

し, 拡張鉄筋は D19 とし, 鉄筋継手長は 15D とした。軸直角方向鉄筋は, 床版が薄く設計上 D13 では鉄筋量が不足するため D19 を上側 4 本, 下側 4 本配置した。K-20-12 は同じ床版厚さ 200mm で, さらに鉄筋継手長を短くした場合の挙動を検証するため K-20-15 試験体の鉄筋継手長を 12D とした試験体である。

表-2 に載荷試験時でのコンクリート材料特性を示す。

鉄筋の材料特性は降伏強度で 376.9N/mm<sup>2</sup>、弾性係数は 194kN/mm<sup>2</sup>であった。

#### 4. 実験結果と考察

##### (1) ループ継手と拡径鉄筋継手の比較

表-3 に計算耐力と実験における最大荷重を、図-5 にループ継手 L-24-15 と拡径鉄筋継手 K-24-15 の荷重－支間中央変位の関係を示す。計算耐力は、材料の強度試験結果を用いてファイバーモデルにより計算した。鉄筋の応力－ひずみ関係は 2 直線で、コンクリートの応力－ひずみ関係は、3 直線で材料試験結果を近似した。コンクリートの限界圧縮ひずみは 3,500 $\mu$  とした。図-5 より K-24-15 はループ継手の L-24-15 とほぼ同様な挙動を示し、160kN 付近で鉄筋が降伏して勾配が緩やかとなり、その後、両試験体ともコンクリートの圧壊により荷重が低下した。表-3 から拡径鉄筋継手を用いた K-24-15 の最大荷重は 232.6kN であり、ループ継手を用いた L-24-15 の最大荷重 224.3kN と同程度であった。また、計算値とも良く一致していた。

図-6 に各試験体のひび割れ性状を示す。ループ継手における曲げひび割れは、最初に継手下部のあご先端部から生じ、その後、プレキャスト部でも等間隔に生じた。一方、拡径鉄筋継手では、プレキャスト部と継手部の界面で最初の曲げひび割れが生じ、その後、一般部でもひび割れが生じた。ループ継手でのあご先端部のひび割れや、プレキャスト部と継手部の界面でのひび割れは、他の曲げひび割れよりもその幅が大きく推移する傾向が見られた。

破壊は両試験体とも継手部上面コンクリートの圧縮破壊であった。圧縮破壊にともなって、拡径鉄筋継手では、継手下部に水平方向のひび割れが生じていた。これは、拡径鉄筋先端部の引張負担が大きくなり、割裂ひび割れとなったものと考えられる。

以上の結果から、拡径鉄筋継手はループ継手と同等の性能を有しており、継手構造として成立することが確認できた。

##### (2) 床版厚さの検討

K-20-15 は床版厚さを 200mm にしたものである。荷重－支間中央変位の関係を図-7 に示す。荷重が 130kN 程度で鉄筋が降伏し、その後変位が大きく増加して、継手部の圧縮縁コンクリートが圧壊した。破壊時の荷重は 188.2kN で計算値とほぼ一致した。ひび割れの状況は、K-24-15 と同様にプレキャスト部と継手部の界面での曲げひび割れが発生し、圧縮縁コンクリートの圧壊にとも

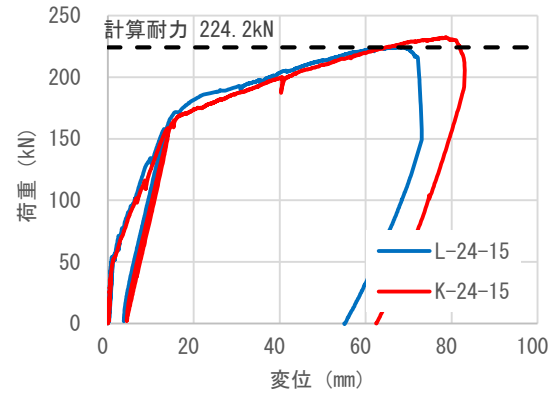


図-5 荷重－支間中央変位比較 (L-24-15, K-24-15)

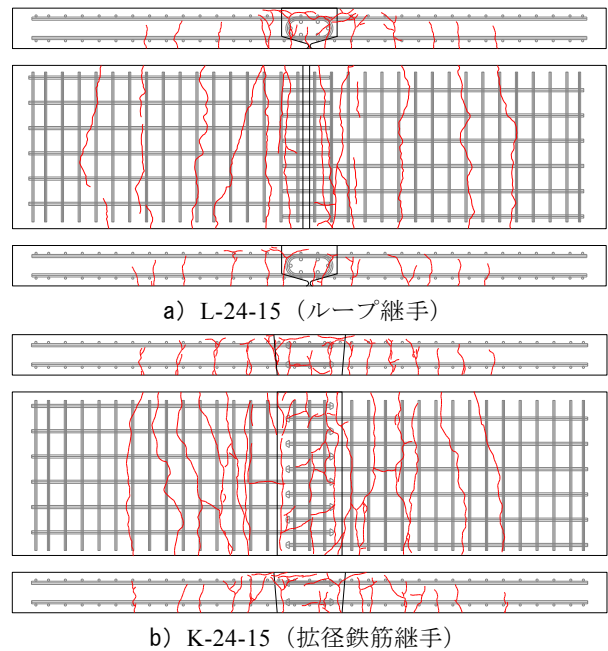


図-6 ひび割れ性状

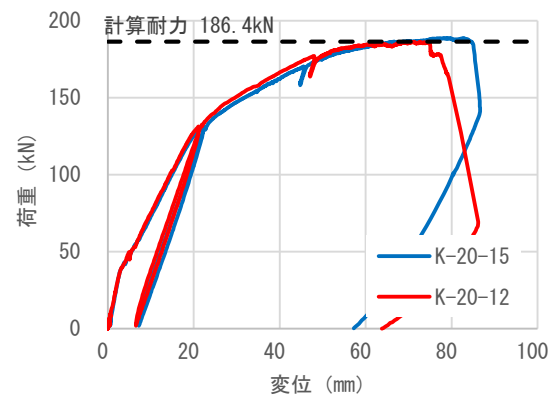


図-7 荷重－支間中央変位比較 (K-20-15, K-20-12)



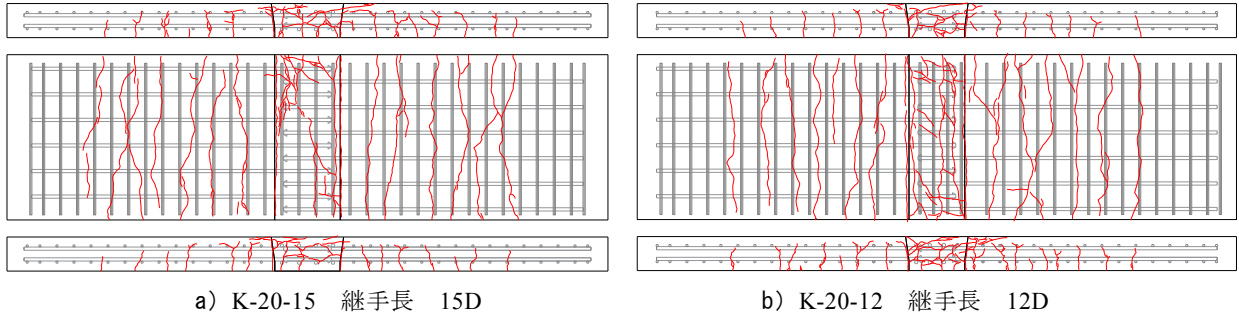
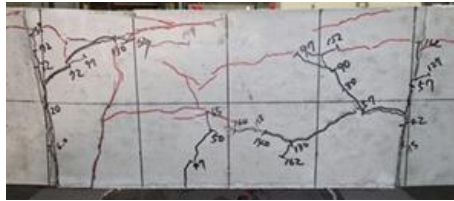
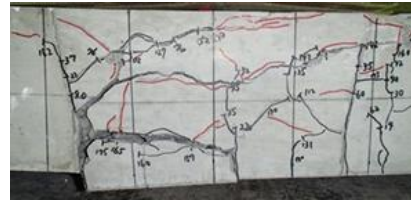


図-8 ひび割れ性状



a) K-20-15



b) K-20-12

写真-2 破壊状況（継手部）

なって、継手部の水平方向のひび割れが生じた。

以上の結果から、床版厚さを 200mm にしても本継手構造は所要の性能を得られることが分かった。

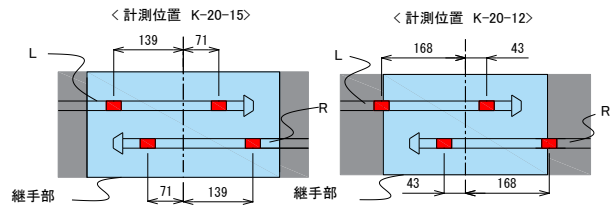
### (3) 鉄筋継手長の検討

鉄筋継手長の影響を検討するため、図-7 に K-20-15（継手長 15D）、K-20-12（継手長 12D）の荷重-支間中央変位の関係を示した。

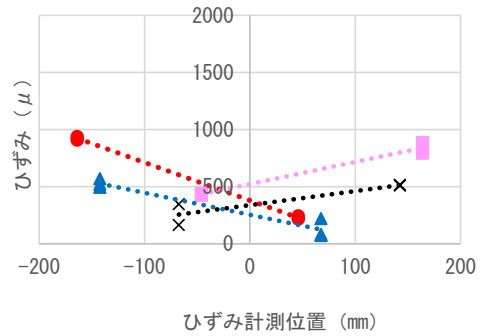
K-20-15 の耐荷挙動については（2）に記述した通りである。K-20-12 についても同様に、130kN 程度で鉄筋が降伏し変位の増大が顕著になり、その後継手面上縁のコンクリートが圧壊した。圧壊時の荷重は、K-20-15 が 188.2kN、K-20-12 が 186.3kN とほぼ同じであった。また、計算値ともほぼ一致していた。

ひび割れ状況を図-8 と写真-2 に示す。これまでの試験体と同様に、継手部界面でのひび割れが先行して発生した。破壊後の継手部のひび割れ（写真-2）については、水平方向のひび割れが継手長の短い K-20-12 の方が多く、拡張部の負担が継手長の長い K-20-15 よりも大きいことが予想される。さらに、K-20-12 では継手側面や下面が一部剥離していた。継手長が短くなり、拡張部の負担が大きくなると、付着割裂による水平ひび割れが生じやすくなるとともに、側面や下面へひび割れを押し広げようとする力が作用するため、剥離が生じたものと考えられる。この剥離は荷重低下の要因にはなっていないが、継手長を短くする場合には注意が必要である。

図-9 に K-20-15 と K-20-12 の引張鉄筋ひずみの分布を示す。鉄筋ひずみの計測位置は拡張部の支圧力による

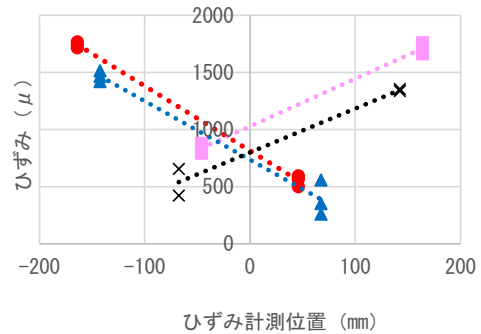


●K-20-12 L ■K-20-12 R ▲K-20-15 L ×K-20-15 R



a) 荷重 50kN 時

●K-20-12 L ■K-20-12 R ▲K-20-15 L ×K-20-15 R



b) 荷重 100kN 時

図-9 K-20-15, K-20-12 引張鉄筋ひずみ分布

引張力負担分と継手部区間における鉄筋の付着力による引張力負担分を確認することとし、鉄筋拡径部近傍と継目部近傍において計測した。

ひずみの分布は載荷荷重 50kN と 100kN での分布を示した。各荷重におけるひずみ分布は K-20-15, K-20-12 とともに継目部近傍ひずみが大きく拡径部近傍ひずみが小さくなる傾向を示した。以下の式(1)で載荷荷重 50kN 時、100kN 時の鉄筋ひずみを計算した。

$$\varepsilon = \frac{M}{7/8 \cdot d \cdot A_s \cdot E_s} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon$ ：鉄筋のひずみ、 $M$ ：作用モーメント (N・mm)、 $d$ ：鉄筋有効高さ、 $A_s$ ：鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)、 $E_s$ ：鉄筋のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

計算ひずみはそれぞれ約 750 $\mu$ 、約 1,500 $\mu$  となり、概ね継ぎ目部近傍のひずみと一致していた。

図-10 は、継手部における引張鉄筋ひずみ分布の概念図を示したものである。比較のため、継手長の長い場合 (15D) と短い場合 (12D) について記載した。本試験では、継手部が等曲げ区間内にあるため、継手なしの場合の引張鉄筋のひずみ分布はほぼ一定となる (図点線)。一方、本継手のように等曲げ区間内で鉄筋先端が解放されている場合、鉄筋ひずみは先端に向かって徐々にひずみが低下する分布となる。図では、簡易的に直線的にひずみが減少するとしているが、実際には付着力に応じた曲線分布となる。仮に、十分長い重ね継手であれば、ひずみ値はいずれゼロとなる。継手は、左右からの 2 本の鉄筋で構成されるため、継手長さが十分長い場合、両者のひずみ値の合計が概ね、図点線で示した曲げひずみと一致することとなる。

拡径鉄筋継手は継手長を短くしており、ひずみ低下曲線の途中で鉄筋がなくなるため、その位置でのひずみは拡径部で受け止めることとなる。この場合、継手長さが短いほど拡径部で負担する引張ひずみは大きくなる。図-9 の実験値は、概ね概念図の通りのひずみ分布となっていることから、このことが裏付けられる。

今回の試験では、鉄筋継手長を 12D と短くしても所要の性能が得られることが分かったが、鉄筋ひずみ分布で示した通り、先端拡径部の引張負担が大きくなることから、その影響については十分に検討されるべきである。

## 5. まとめ

重ね継手やループ継手の課題を克服するため、先端を

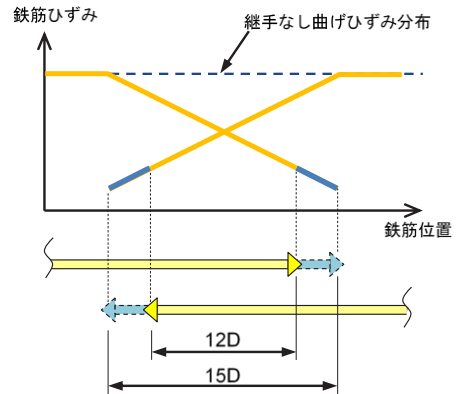


図-10 継手部における引張鉄筋ひずみ分布の概念図

拡径加工した鉄筋を用いた拡径鉄筋継手構造を開発し、継手部の曲げ試験を実施した。本実験の範囲で以下を確認した。

- ① 拡径鉄筋継手は荷重と支間中央変位の関係、引張鉄筋のひずみ挙動、破壊性状の観点からループ継手と同等な曲げ性能を有する。
- ② 拡径鉄筋継手を用いた床版は厚さ 200mm まで小さくしても所要の性能が確保できることが明らかとなった。
- ③ 拡径鉄筋継手の継手長は 12D 以上で所要の性能が得られるが、継手長が短くなることで下面かぶりコンクリートの剥離が発生する。
- ④ 拡径鉄筋継手の継手長を短くすると拡径部における引張力負担が大きくなることを確認した。

本実験により、端部拡径鉄筋を床版継手に用いた場合の、継手の曲げ挙動について検討した。端部拡径部単体の性能 (引張強度、疲労強度など) や、床版継手部の輪荷重繰返し載荷の影響については現在、別途試験を実施しており、実構造への適用を念頭においた検討を進めている。

## 参考文献

- 1) 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC床版設計・施工マニュアル (案)