



した。継手部補強筋は、スリーブ両側に D6 鉄筋を配置した場合と、継手部を囲んで D6 リング筋を配置した場合の 2 種類とした。また、継手のない試験体については、スラブ中央部に厚さ 3.2mm の鋼板を埋設し、スリットを形成した。

図-1 に試験体形状・寸法の一例を示す。試験体はスラブ筋を中心として、上下に等しい厚さを持つスラブの一部と接合部より構成した。スラブ筋種別は SD295、かぶり厚さは 30mm とした。継手部は、加力芯に関して対称に配置し、スラブ内に埋設した加力用鉄筋 (D13, SD345) を両引きすることにより、2 カ所の継手部に均等に引張力を与えた。

図-2 に継手の詳細、表-2 にスリーブの実測寸法を示す。継手部はスリーブ中央の円孔にウェッジを圧入することにより、引張力が伝達される。スリーブの材質は STKM-14A、ウェッジの材質は S45C に焼入れ、焼戻しの熱処理を施したものである。

図-3 に加力および変位計測方法を示す。引張力は、スラブ筋の長期許容荷重、および、短期許容荷重まで各 1 回載荷した後除荷し、3 サイクル目に破壊に至るまで引張力を増大させた。計測項目は、接合部両側の標点距離 250mm 間の伸びと打継ぎ部の目開きとし、目開きは検長 50mm のパイ型変位計で計測した。

### 3. 実験結果

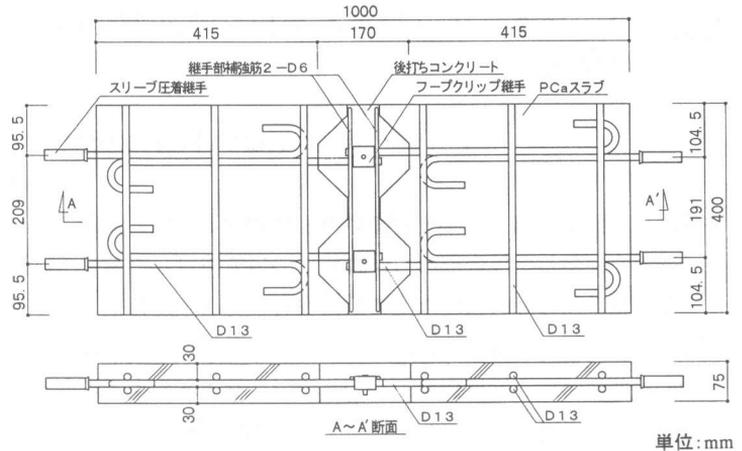


図-1 試験体形状・寸法 (D13S)

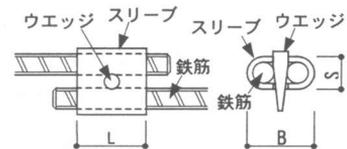


図-2 フープクリップ継手詳細

表-2 スリーブの実測寸法 単位: mm

種類	長さ L	幅 B	厚さ S
D10	36.1	30.6	17.6
D13	41.2	39.7	23.8

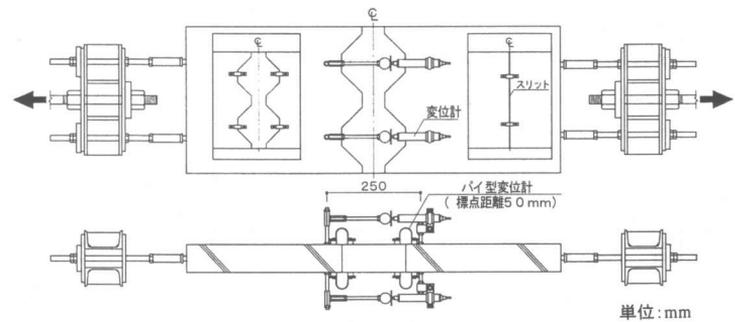


図-3 加力・変位計測方法

表-3 コンクリートの調査

部位	水セメント比 %	細骨材率 %	単位水量 kg/m <sup>3</sup>	質量(kg/m <sup>3</sup> )			
				セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
スラブ	57.0	54.8	177	311	966	396	3.11
接合部	52.1	48.8	175	336	859	918	3.36

- ・スラブは最大寸法 15mm の人工軽量骨材を使用した軽量コンクリート 1 種
- ・接合部は最大寸法 20mm の砕石を使用した普通コンクリート
- ・混和剤種類は AE 減水剤標準形

### 3.1 材料試験結果

表-3にコンクリートの調合を示す。スラブには軽量コンクリート1種、接合部には普通コンクリートを使用した。表-4にコンクリートの圧縮試験結果、表-5に鉄筋の引張試験結果を示す。

### 3.2 破壊状況

表-6に主な実験結果を示す。継手部を有する接合部の初期ひび割れは、いずれも継手部間の平行部に生じた。

継手部の最大耐力は、破断強度まで耐力力を保持したD10Sを除いて、全て継手部に発生した放射状ひび割れで決定した。継手のない試験体の最大耐力は、加力用鉄筋のフック定着部に生じたスラブの引張破壊で決定した。

図-4に最大耐力時の接合部のひび割れ状況を示す。放射状ひび割れは、D13Rの場合には2カ所の継手部に同時に発生したが、他の場合には同時には発生せず、一方に発生した時点で載荷を中止した。

### 3.3 荷重-変形関係

図-5に、表-1に示す試験体および継手単体の引張荷重と標点伸びの関係を示す。いずれも標点距離は250mmである。

接合部における継手部の剛性は、継手単体に比べて著しく増大しており、継手筋が降伏するまで、引張荷重にほぼ比例した標点伸びの増加が認められる。また、継手の有無や補強方法によらず、継手筋降伏後の塑性ひずみの増大による耐力上昇が認められる。

図-6に引張荷重と打継ぎ部の目開きの関係を示す。目開き量はスラブ両面の全測定値の平均値である。打継ぎ部にはだ別れが生じた後、目開き量は引張荷重にほぼ比例して増加するが、これには、継手の有無や補強方法による差はほとんど認められなかった。

なお、継手筋降伏以前において、継手の有無により標点伸びに差が認められるが、これは、標点伸びが打継ぎ部の目開きに支配されているためであり、継手がある場合には、標点間に

表-4 コンクリートの圧縮試験結果

試験体	部位	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>	密度 kg/m <sup>3</sup>
D10H D13H	スラブ	23.5	1.78 x 10 <sup>4</sup>	1.93
D10N D10S	スラブ	23.5	1.78 x 10 <sup>4</sup>	1.93
	接合部	27.2	2.83 x 10 <sup>4</sup>	2.30
D13N D13S D13R	スラブ	25.0	2.13 x 10 <sup>4</sup>	1.91
	接合部	33.1	2.97 x 10 <sup>4</sup>	2.29

・養生条件はすべて現場封かん養生

表-5 鉄筋の引張試験結果

種類	降伏点 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>	伸び %
D10	334	486	18.0 x 10 <sup>4</sup>	25.0
D13	336	477	18.3 x 10 <sup>4</sup>	24.7
D13*	377	522	—	26.8
D6	381	505	19.0 x 10 <sup>4</sup>	30.9

\* 加力用鉄筋 (SD345)

表-6 実験結果一覧

単位: kN

試験体	継手間 平行部 ひび割れ 荷重	継手筋 降伏 荷重	最大 耐力	破壊 箇所
D10H	—	49.4	68.0	スラブ
D10N	48.3	48.3	56.7	継手部
D10S	51.9	49.5	69.1	—
D13H	—	82.4	96.5	スラブ
D13N	57.6	76.4	86.3	継手部
D13S	75.8	80.6	95.6	
D13R	71.9	77.9	89.9	

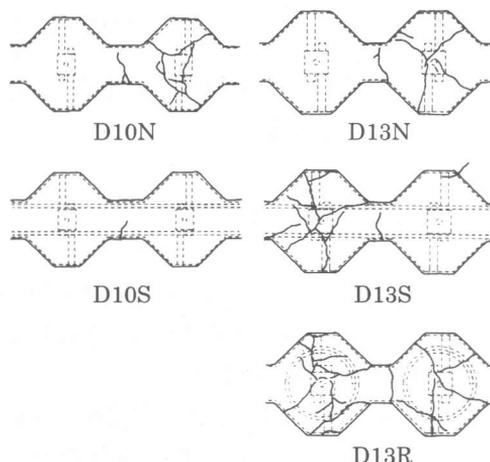
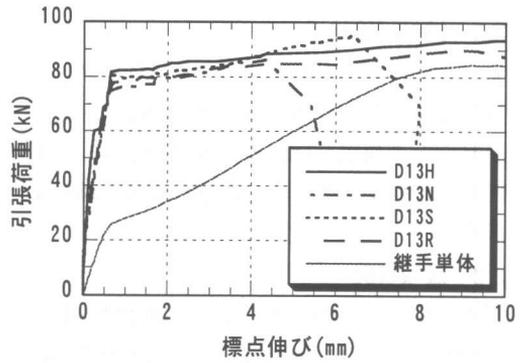
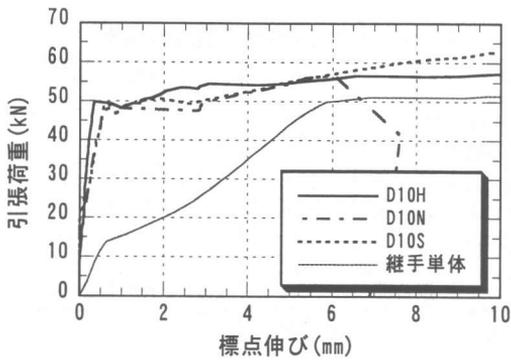
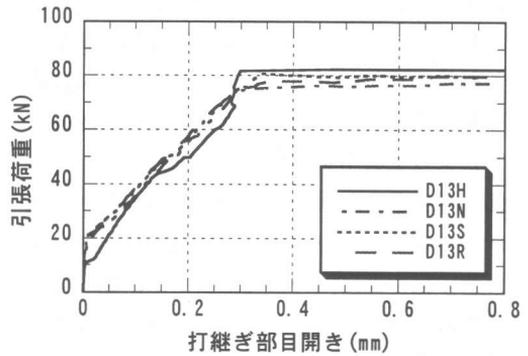
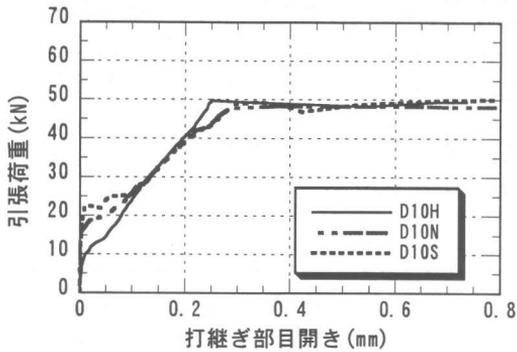


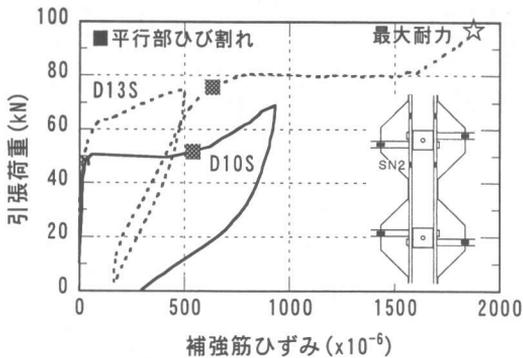
図-4 最大耐力時の接合部のひび割れ



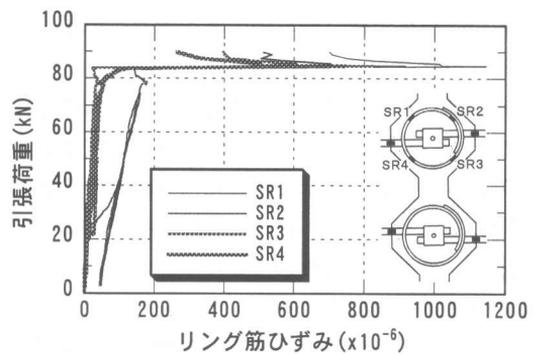
図一五 引張荷重と標点間の伸びの関係



図一六 引張荷重と打継ぎ部の目開きの関係



図一七 直線補強筋のひずみ



図一八 リング筋のひずみ

2カ所の打継ぎ部を含むのに対して、継手がない場合にはスリットが1カ所であることによる。

### 3.4 継手部補強筋のひずみ

図一七に継手部に配置した直線補強筋の引張ひずみとスラブに付与した引張荷重の関係を示す。ひずみは挿入図に示す位置 (SN2) の測定

値であり、ひずみが急増する荷重とひび割れが観察された荷重とが良く対応している。

図一八に継手部の補強に用いたリング筋の引張ひずみと引張荷重の関係を示す。リング筋ひずみは、引張荷重とともにほぼ直線的に増加し、最大耐力をやや下回る荷重で急激な増大を示し

た後、最大耐力時にかけて減少に向かう挙動を示した。

#### 4. 引張力伝達機構

##### 4.1 継手部のトルク

継手部を加力芯に関して対称に配置したため、2カ所の継手部に逆方向のトルクが生じ、これらの間の平行部は、図-9に示すように、純曲げを受けるはり部材と同様な応力状態となった。平行部のひび割れは、このために発生したものと考えられる。

ここでは、継手部に直線補強筋を配置した試験体の補強筋ひずみより、平行部の曲げモーメントを式(1)により評価し、継手部に作用するトルク  $M_T$  を推定する。

$$M_T = a_s E_s \varepsilon_s \times \frac{7}{8} d \quad (1)$$

ここに、 $a_s$ 、 $E_s$ は補強筋の断面積とヤング係数、 $d$ は平行部の有効せい、 $\varepsilon_s$ は補強筋ひずみであり、図-7に示す計測値を用いた。

図-10に、継手部のトルクの評価結果と打継ぎ部における継手筋の引張応力度の関係を示す。継手部のトルクは、最大耐力に達するまで、引張荷重の増大とともに単調に増加した。

##### 4.2 コンクリートの支圧抵抗

継手部のトルクは、継手単体の場合には、スリーブ回転による継手部の付加伸びを生じさせるが、これがコンクリートに埋設された場合には、コンクリートの支圧抵抗等によりスリーブ回転が抑えられる(図-5)。

ここでは、図-11に示すように、スリーブ各辺が、辺に垂直な変位成分に比例した支圧応力を受けるものと仮定し、コンクリートの抵抗機構を考察する。

仮定により、 $x$ 軸および $y$ 軸に平行なスリーブ辺に作用する支圧応力 $\sigma_y$ 、 $\sigma_x$ は、 $k$ を比例定数として下式で算定できる。

$$\begin{aligned} \sigma_y &= kx \\ \sigma_x &= ky \end{aligned} \quad (2)$$

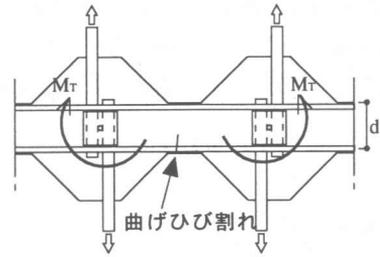


図-9 継手部のトルクによる曲げひび割れ

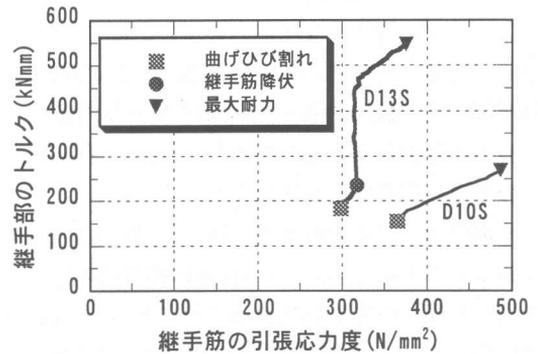


図-10 継手部のトルクの評価結果

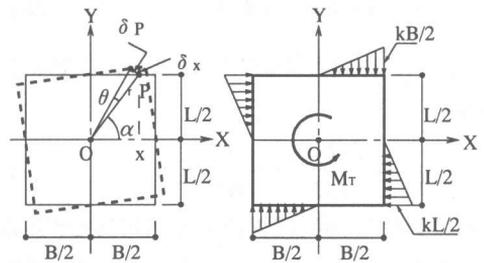


図-11 スリーブ回転と支圧抵抗

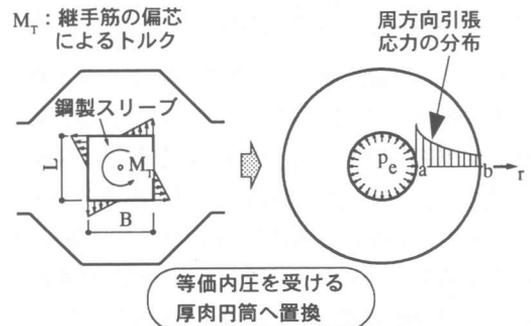


図-12 継手部の抵抗機構

kは継手部のトルク  $M_T$  と、式(3)で表される支圧によるコンクリートの抵抗モーメント  $M_R$  を等値することにより、式(4)のように定まる。

$$M_R = \frac{kS}{12}(B^3 + L^3) \quad (3)$$

$$k = \frac{12M_T}{S(B^3 + L^3)} \quad (4)$$

ここに、B、L、Sは、それぞれ、スリーブの幅、長さ、および、支圧面の厚さである。

### 4.3 継手部の抵抗機構

スリーブに対する支圧応力の反力として、スリーブ周囲に外向きの力が生じる。ここでは、継手部の抵抗機構を図-12に示すような内圧を受ける厚肉円筒にモデル化し、スリーブ周囲に発生する引張応力を検討する。

厚肉円筒モデルの内半径  $a$  は、2辺のスリーブ長さの平均値の1/2、外半径  $b$  は接合部の内接円の半径、長さ  $T$  は接合部の厚さとし、等価内圧の大きさ  $P_e$  は、その合力  $N_T$  が支圧応力の合力  $N_R$  に一致するように定める。

$$N_T = 2\pi a T P_e \quad (5)$$

$$N_R = \frac{k}{4} S (B^2 + L^2) \quad (6)$$

式(4)～式(6)より等価内圧  $P_e$  は、式(7)で表される。

$$P_e = \frac{3M_T}{2\pi a T} \frac{L^2 + B^2}{L^3 + B^3} \quad (7)$$

$P_e$  による周方向引張応力は厚肉円筒モデルの内面で最大となり、その最大値  $\sigma_{\theta \max}$  は、弾性論により式(8)で与えられる。

$$\sigma_{\theta \max} = \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} P_e \quad (8)$$

表-7に、最大耐力時の継手部のトルクより評価した最大支圧応力と、厚肉円筒モデルによる周方向引張応力  $\sigma_{\theta \max}$  を示す。なお、直線補強筋を配置した試験体以外は、継手部のトルクが得られていないため、同一径の継手筋に対し、継手筋応力とトルクとの間に、直線補強筋を配置した試験体で得られた関係(図-10)が成り立つと仮定してトルクを推定した。

表-7 最大耐力時の周方向応力度

試験体	継手筋 応力度 N/mm <sup>2</sup>	継手部 トルク kNmm	最大 支圧 応力度 N/mm <sup>2</sup>	周方向 応力度 N/mm <sup>2</sup>
D10N	399	196	31.9	2.66
D10S	487	268	43.5	3.63
D13N	340	500	39.2	4.46
D13S	376	546	42.8	4.87
D13R	354	517	40.5	4.61

このように、継手部に対する抵抗要素として、コンクリートの支圧応力に着目し、これを等価な内圧に置換した厚肉円筒モデルでスリーブ周囲に発生する応力を計算すると、最大耐力時における周方向引張応力は、2.66N/mm<sup>2</sup>～4.87N/mm<sup>2</sup>となった。これは、ほぼコンクリートの引張強度に相当する値であることから、このモデルにより、放射状ひび割れにより支配される継手部の抵抗機構を説明できるものと思われる。

## 5. まとめ

フルPCaスラブの端部鉄筋相互の継手として、フープクリップ継手を用いた場合の引張力伝達性状についてまとめると下記ようになる。

- ①継手部は継手筋の降伏強度以上の耐力を有しており、打継ぎ部の目開きも継手のない場合と同等であった。
- ②継手部の最大耐力は、接合部に生じた放射状のひび割れにより決定した。
- ③継手部に対する抵抗要素として、鋼製スリーブに対するコンクリートの支圧応力に着目し、これを等価な内圧に置換した厚肉円筒モデルで、継手部の抵抗機構をほぼ説明できた。

今後、さらに接合部のコンクリート強度の影響や、継手鉄筋相互の許容施工誤差について検討を行うとともに、鉄骨ばりとの合成効果についても明らかにする予定である。

## 参考文献

- 1) 宮下昭広ほか:鉄骨造におけるPCa床板の合成効果に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1175-1176, 昭和62年10月