

### 熱可塑性樹脂被覆鉄筋の重ね継手性能

オリエンタル白石 (株) 正会員 ○前堀 伸平  
 オリエンタル白石 (株) 正会員 二井谷 教治  
 オリエンタル白石 (株) 正会員 阿田 芳久  
 オリエンタル白石 (株) 正会員 大信田 秀治

#### 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐久性が重視されるようになってきた大きな理由として、コンクリート構造物の早期劣化が挙げられる。なかでも劣化の典型的な例として、塩害や中性化に起因する鋼材の腐食がある。現在では、鋼材の腐食への対策として、構造物のかぶりを大きくする方法の他に、耐腐食性に優れた材料を用いる方法がある。鉄筋の場合、一般に表面をエポキシ樹脂で粉体静電塗装したエポキシ樹脂塗装鉄筋が用いられている。しかし、粉体静電塗装した鉄筋は、その品質が完全ではなく、ピンホールと呼ばれる塗膜不完全部分の存在は避けられないのが現状である。

このような課題を解決する目的で、紫外線に強い熱可塑性のナイロン系樹脂を被覆材とした熱可塑性樹脂被覆鉄筋が開発された。ナイロン系樹脂を熔融押出成形して鉄筋に接着させる製造方法により、ピンホールのない完全被覆を実現可能としたものである。熱可塑性樹脂被覆鉄筋を用いてコンクリート付着試験を行ったところ、この鉄筋の付着強度の最大値は、無塗装鉄筋のそれと比較して 90%以上を示した<sup>1)</sup>。また「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針」<sup>2)</sup>には、「エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度は、無塗装鉄筋のそれと比較して 90%程度を確保していることから、付着強度の特性値を無塗装鉄筋の 85%とする」と記述されていることから、熱可塑性樹脂被覆鉄筋においても、エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度と同等以上の性能を有していると考えられる。

そこで、構造物の建設に不可欠で付着性能と密接な関連性のある、鉄筋の重ね継手性能について、その性能を確認するための載荷試験を行い、熱可塑性樹脂被覆鉄筋の重ね継手性能について検討する。

#### 2. 試験方法

##### 2.1 重ね継手長の設定

まず、道路橋示方書<sup>3)</sup>の考え方に基づいて、普通鉄筋の場合の重ね継手長の基準値を算出する。

$$l_a = (\sigma_{sa} / 4 \tau_{0a}) \times \phi \quad (1)$$

$l_a$ : 付着応力度より算出する重ね継手長 (mm)

$\sigma_{sa}$ : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_{0a}$ : コンクリートの許容付着応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\phi$ : 鉄筋の直径 (mm)

本試験の熱可塑性樹脂被覆鉄筋 (SD345) の規格降伏強度は 345 N/mm<sup>2</sup>、コンクリートの設計基準強度は 30N/mm<sup>2</sup>であるから、 $\sigma_{sa}=200$  N/mm<sup>2</sup>、 $\tau_{0a}=1.8$  N/mm<sup>2</sup>となり、これらを式(1)に代入すると、 $l_a=27.8 \phi=28 \phi$ となる。

ここで、これまでに行われた普通鉄筋と熱可塑性樹脂被覆鉄筋の付着強度に関する比較検討試験結果<sup>1)</sup>を表-1に示す。これより、D13 では付着強度の低下率を考慮して、重ね継手長の基準値を  $28 \phi / 0.90=31 \phi$  とした。

表-1 付着試験結果<sup>1)</sup>

|     |        | 最大付着応力度時                   |            | 強度比<br>(防食被覆<br>/無塗装) |
|-----|--------|----------------------------|------------|-----------------------|
|     |        | 応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 変位<br>(mm) |                       |
| D13 | 無塗装鉄筋  | 8.85                       | 0.90       | 0.90                  |
|     | 防食被覆鉄筋 | 7.97                       | 1.07       |                       |
| D19 | 無塗装鉄筋  | 11.72                      | 0.63       | 1.01                  |
|     | 防食被覆鉄筋 | 11.87                      | 0.89       |                       |

### 2.2 試験体の設定

試験体の種類および概要を表-2に示す。また、試験体の形状および配筋を図-1に示す。今回は、支間中央断面で重ね継手としたはり試験体の曲げ載荷試験を行うこととした。引張鉄筋の径はD13およびD19の2種類とし、それぞれ重ね継手長を基準値および基準値 $\pm 5\phi$ とした3タイプを設定した。試験体重ね継手部の配筋状況を写真-1に示す。重ね継手部のスターラップ間隔は、土木学会示方書の構造細目上の許容最大値である100mmに固定した。なお、熱可塑性樹脂被覆鉄筋の端部は、

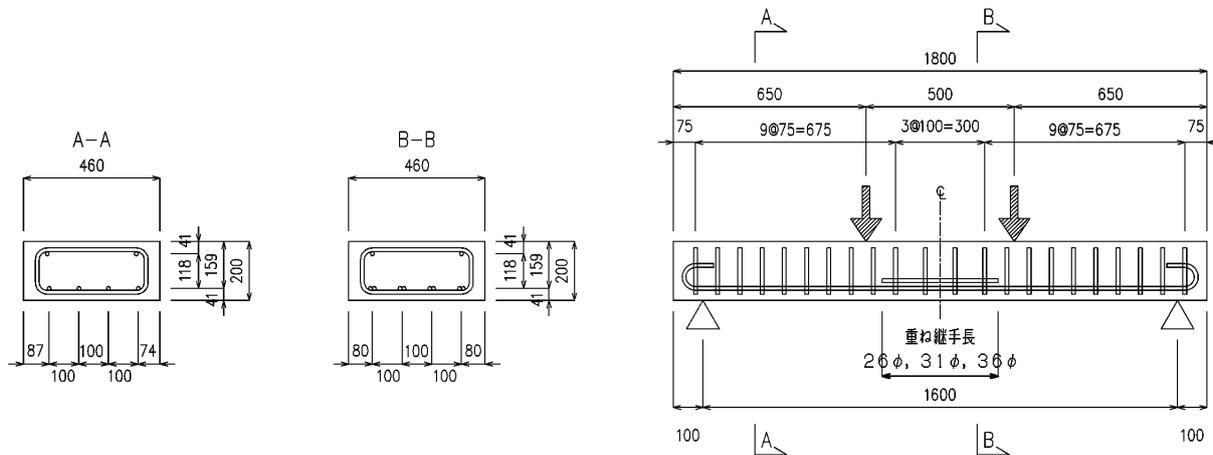


写真-1 重ね継手部の配筋状況

表-2 試験体の種類および概要

| 試験体名称   | 引張鉄筋 | 重ね継手長     |        | スターラップ | 組立筋 | 備考               |
|---------|------|-----------|--------|--------|-----|------------------|
|         |      | 鉄筋径比      | 長さ(mm) |        |     |                  |
| TYPE-11 | D13  | 26 $\phi$ | 338    | D13    | D13 | 基準重ね継手長 $-5\phi$ |
| TYPE-12 |      | 31 $\phi$ | 403    |        |     | 基準重ね継手長          |
| TYPE-13 |      | 36 $\phi$ | 468    |        |     | 基準重ね継手長 $+5\phi$ |
| TYPE-21 | D19  | 23 $\phi$ | 437    | D16    | D16 | 基準重ね継手長 $-5\phi$ |
| TYPE-22 |      | 28 $\phi$ | 532    |        |     | 基準重ね継手長          |
| TYPE-23 |      | 33 $\phi$ | 627    |        |     | 基準重ね継手長 $+5\phi$ |

#### TYPE-1



#### TYPE-2

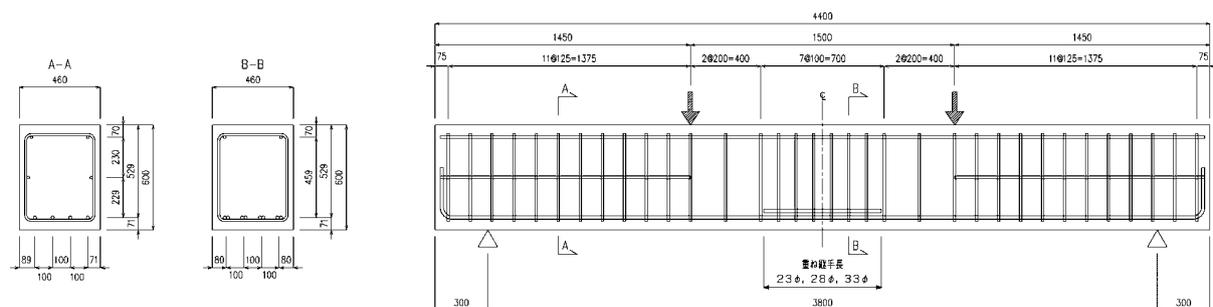


図-1 試験体の形状および配筋図

耐候性、粘着性のある有機系塗料を二度塗りすることにより、コーティング処理をしている。

### 2.3 コンクリート

材料試験の結果より、試験体に使用したコンクリートは、試験時の材齢において圧縮強度 35 N/mm<sup>2</sup>、静弾性係数 25×10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup>であった。

### 2.4 荷重試験方法

荷重試験の状況を写真-2に示す。試験体は単純支持とし、荷重は支間中央部への2点集中荷重とした。



写真-2 荷重試験の状況

荷重の荷重パターンを図-2に示す。荷重は、まず引張鉄筋の曲げモーメントにより生じる引張応力度が、規格降伏強度の 50%となる荷重を荷重した後一旦除荷し、続いて 70%となる荷重を荷重した後一旦除荷する。さらに「鉄筋定着・継手指針」<sup>4)</sup>の高応力繰返し試験を参照して、95%となる荷重の荷重および除荷を 30 回繰り返した後、最後に破壊に至るまで荷重を増加した。

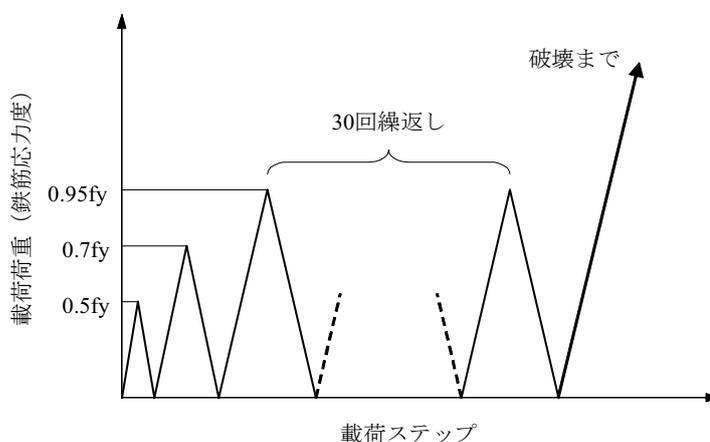


図-2 荷重荷重パターン

荷重および支間中央部のたわみの測定に加えて、支間中央部を含む 3 断面においては、上下縁のコンクリートおよび引張鉄筋にひずみゲージを貼り付け、それぞれのひずみを測定した。また、規格降伏強度の 70%となる荷重荷重除荷後には、等曲げ区間内の主要な曲げひび割れ 4 本程度について、ひずみ計測の対象とした鉄筋直下の下面コンクリートにパイ型変位形を取り付けて、ひび割れ幅の測定も行った。なお、ひび割れ性

表-3 荷重試験結果一覧表

| 試験体名称   | 計算値       |       |        | 曲げ耐力<br>Pud(kN) | 実験結果              |                |                |                            |
|---------|-----------|-------|--------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------------|
|         | 繰返し荷重(kN) |       |        |                 | ひび割れ発生<br>Pcr(kN) | 破壊荷重<br>Pu(kN) | 安全率<br>Pu/Pud  | 破壊形態                       |
|         | 0.5fy     | 0.7fy | 0.95fy |                 |                   |                |                |                            |
| TYPE-11 | 43.7      | 62.1  | 85     | 103.3           | 15                | 119            | 1.15<br>(1.06) | 引張鉄筋降伏後の<br>曲げ圧縮領域の<br>圧壊  |
| TYPE-12 |           |       |        |                 | 20                | 120            | 1.16<br>(1.07) |                            |
| TYPE-13 |           |       |        |                 | 20                | 141            | 1.36<br>(1.26) |                            |
| TYPE-21 | 124.4     | 191.2 | 274.5  | 317.5           | 85                | 358            | 1.13<br>(1.02) | 引張鉄筋降伏後の<br>重ね継手部の<br>付着破壊 |
| TYPE-22 |           |       |        |                 | 85                | 400            | 1.26<br>(1.13) |                            |
| TYPE-23 |           |       |        |                 | 80                | 404            | 1.27<br>(1.15) |                            |

※ ( ) 内の値は、実験に使用した鉄筋の試験成績表での実降伏強度を用いた計算値を示す。

状については、定期的を目視観察を行った。

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 破壊荷重および破壊形態

試験結果を表-3に示す。すべての試験体とも曲げ耐力の計算値を上回り、十分な耐力を有していた。また、TYPE-1 および TYPE-2 とも、重ね継手長が長くなるほど、破壊荷重は大きくなった。なお、曲げ耐力の設計値は、鉄筋の規格降伏強度を用い、重ね継手がない1本ものとして扱ったときの計算値である。さらに、実験に使用した鉄筋の実降伏強度（D13:377N/mm<sup>2</sup>, D19:382N/mm<sup>2</sup>；試験成績表上での値）を用いた計算値も示した。

破壊形態については、引張鉄筋に D13 を用いた TYPE-1 の試験体が、すべて引張鉄筋降伏後の曲げ圧縮領域での圧壊であったのに対して、引張鉄筋に D19 を用いた TYPE-2 の試験体は、すべて引張鉄筋降伏後の重ね継手部での付着破壊であった。破壊形態の違いは、試験体の断面プロポーシヨンの違いに起因するものと考えられる。TYPE-1 は比較的鉄筋比が大きく、断面の高さが低いので、コンクリートの圧縮力の負担が大きく圧壊が先行したのに対して、TYPE-2 は鉄筋比が小さく、断面の高さが高いというコンクリートの圧縮力に余裕のある構造であるので、付着破壊が先行したものと考えられる。

#### 3.2 たわみ性状

TYPE-1 および TYPE-2 の荷重と支間中央のたわみとの関係の比較を図-3および図-4に示す。なお、同図は載荷および除荷の繰返し載荷分を除いた包絡線を示す。

すべての試験体とも、曲げ破壊耐力の設計値を超える破壊耐力を有しており、TYPE-1 および TYPE-2 とも重ね継手長が長くなるほど、破壊時のじん性も大きくなった。

また、規格降伏強度の95%となる荷重の載荷および除荷を30回繰り返した前後において、たわみの増加は1mm未満であり、曲げ剛性の低下率は15%以内であった。

#### 3.3 鉄筋のひずみ

すべての試験体とも、破壊に至る前に、計測を行った3断面のうち最大ひずみの生じた断面のデータにおいて、引張鉄筋が降伏ひずみの計算値である  $1,750 \times 10^{-6}$  に達していた。したがって、D13 および D19 とも、基準長より5φ短い重ね継手長であっても、降伏応力に相当する引張力まで伝達する能力を有していると考えられる。

#### 3.4 上縁コンクリートのひずみ

すべての試験体とも、計測を行った3断面のひずみゲージの値は設計破壊ひずみである  $3,500 \times 10^{-6}$  には達しなかった。しかしながら、TYPE-1 のすべての試験体では、計測断面以外の部

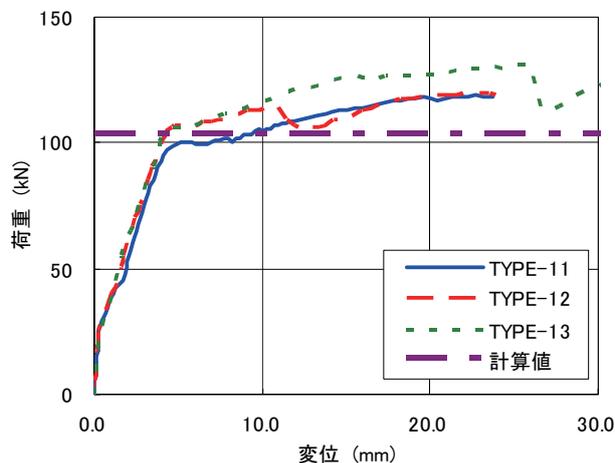


図-3 荷重-たわみ関係 (TYPE-1)

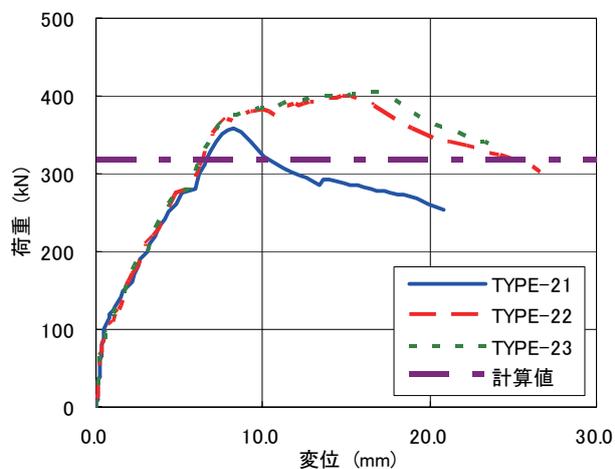


図-4 荷重-たわみ関係 (TYPE-2)

分において、上縁コンクリートの圧壊が目視で確認された。

### 3.5 ひび割れ性状

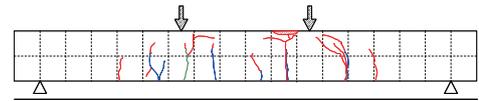
TYPE-1 および TYPE-2 のひび割れ状況を、**図-5**および**図-6**に示す。TYPE-1 および TYPE-2 とも、ひび割れ性状に対する重ね継手長の影響はあまり見られず、全般的によいひび割れ分散性を示した。また、荷重および除荷を30回繰り返した前後においては、ひび割れの数や長さがわずかに増加したものの、ひび割れ性状はほとんど変わらなかった。

### 3.6 ひび割れ幅

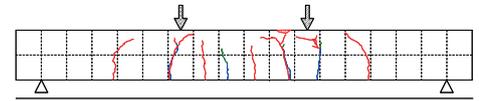
TYPE-1 および TYPE-2 の荷重とひび割れ幅との関係の比較を**図-7**および**図-8**に示す。同図は繰返し荷重分を除いた包絡線を示し、計測上で最大値が生じたデータのみを示した。

同図より、ひび割れ幅はたわみと密接な関係があると考えられる。すなわち、30回繰り返し荷重によるひび割れ幅の増加は

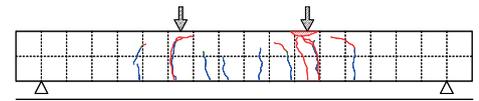
TYPE-11



TYPE-12

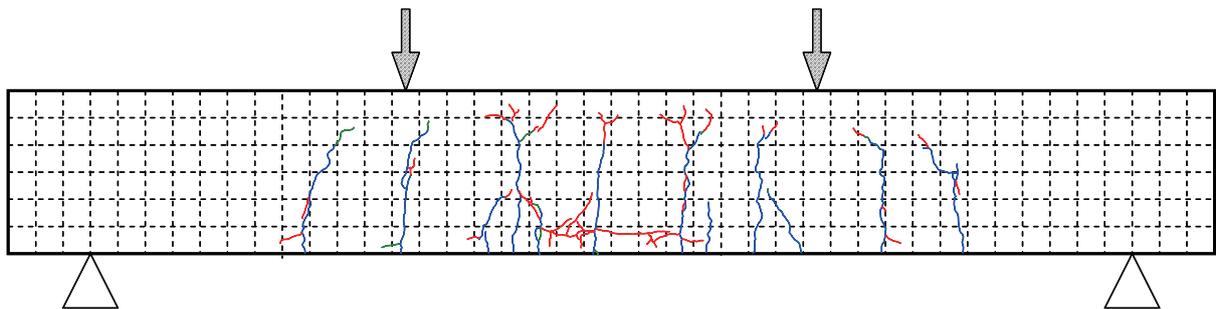


TYPE-13

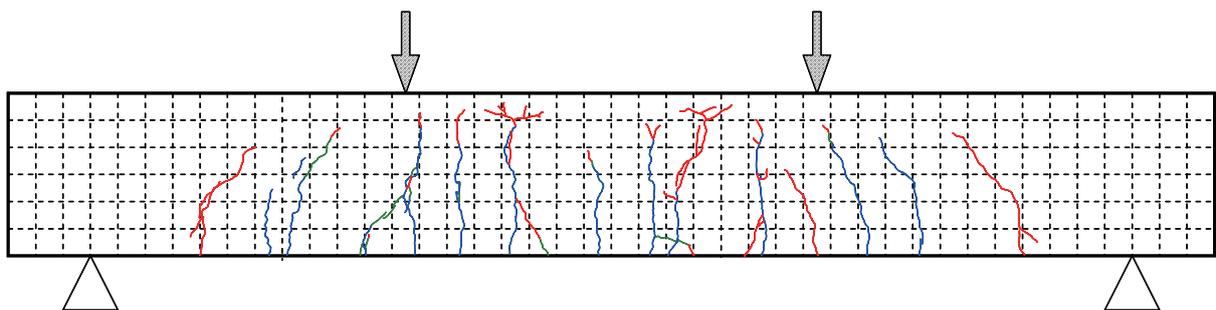


**図-5** 破壊時のひび割れ状況 (TYPE-1)

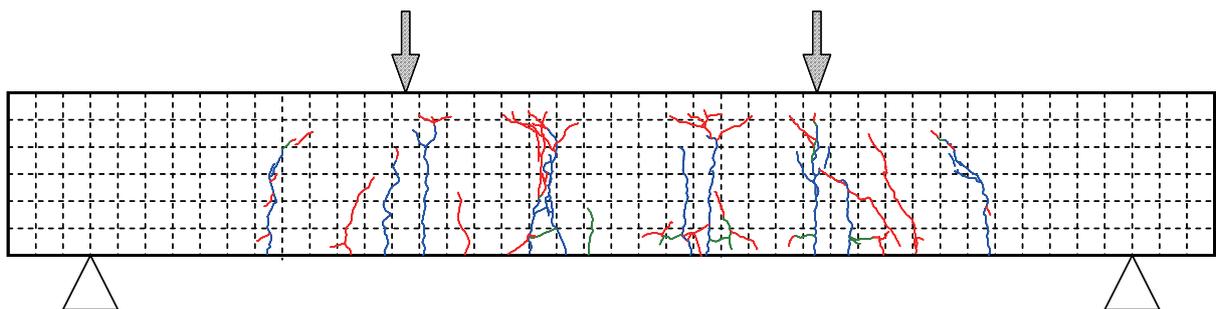
TYPE-21



TYPE-22



TYPE-23



**図-6** 破壊時のひび割れ状況 (TYPE-2)

わずかであるが、鉄筋の降伏後には、たわみと同様にひび割れ幅も急激に増加している。これは、重ね継手部の両端付近において、重ね継手部の付着破壊に伴いひび割れ幅が一気に拡大し、たわみも急激に増加しているためと考えられる。

4. まとめ

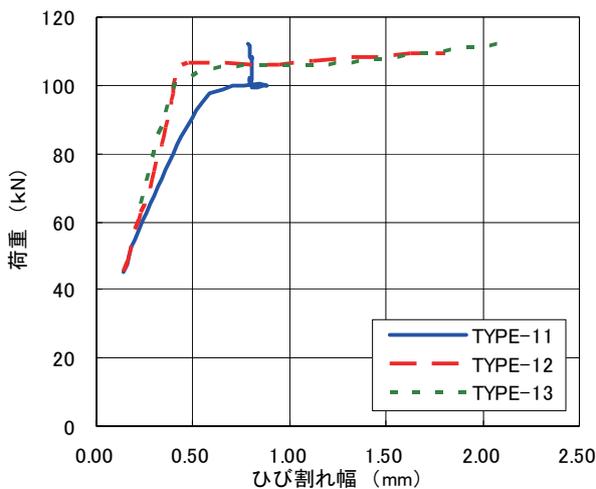
今回の試験より以下のことが確認された。

- (1) すべての試験体とも、曲げ耐力の計算値を上回る十分な耐力を有しており、重ね継手長が長くなるほど、破壊荷重および破壊時のじん性は大きくなる。
- (2) 規格降伏強度の95%となる荷重の30回繰り返し载荷によるひび割れ性状の変化はほとんど見られず、たわみの増加は1mm未滿、曲げ剛性の低下率は15%以下である。
- (3) 上記結果より、熱可塑性樹脂被覆鉄筋においても、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同様に、付着強度の特性値を無塗装鉄筋の85%と考えて重ね継手長を算出すれば、継手として十分な性能を示す。
- (4) ひび割れ性状に対する重ね継手長の影響はあまり見られず、いずれの試験体も全般的によりひび割れ分散性を示す。

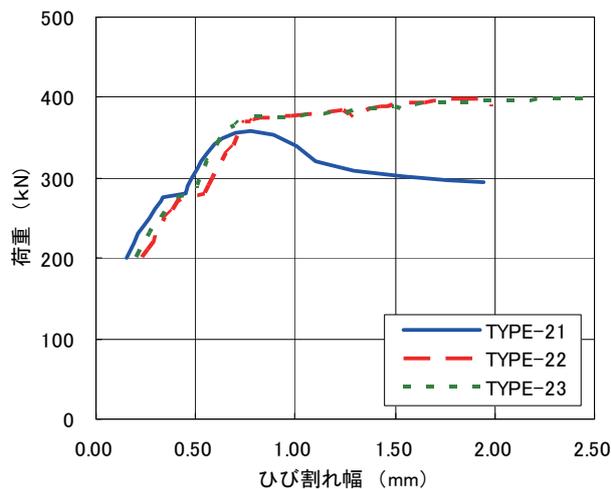
現在、オリエンタル白石㈱とヒエン電工㈱の委託により、日本材料学会において熱可塑性樹脂被覆鉄筋の性能評価委員会が設置されている。そこでは、熱可塑性樹脂被覆鉄筋の各種性能についての評価が行われており、従来からのエポキシ樹脂塗装鉄筋と同様に防錆鋼材として使用できるよう、鋭意検討が進められている。本研究はその一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 阿部浩幸：スープロ鉄筋に関する性能試験，ORIKEN 技報，第22号，pp.8-13，2006.1
- 2) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]，コンクリートライブラリー112，p.7，2003
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 [I 共通編・III コンクリート橋編]，p.194，2002.3
- 4) 土木学会：鉄筋定着・継手指針[2007年版]，コンクリートライブラリー128，p.45，2007
- 5) 阿田芳久，武田祐二，野口宏，関根晃：メンテナンスフリーを目指した高耐久性プレテンションPC橋梁～質場橋における耐久性向上に関する取り組み～，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.195-198，2007.10



図一七 荷重－ひび割れ幅関係 (TYPE-1)



図一八 荷重－ひび割れ幅関係 (TYPE-2)