

# 論文 鋼繊維補強高強度モルタル, H形鋼を用いたプレキャスト コンクリート継手

塩屋俊幸\*1・栗田守朗\*2・別所友宏\*3・辻秀夫\*4

要旨：工期短縮、作業員削減のためケーソンなどの港湾構造物、高橋脚などでプレキャスト化が考えられている。プレキャスト化で一番問題となるのはプレキャスト間の継手であり、今回新しい継手構造を考案したのでその耐力実験を行い、その挙動を調べた結果について報告する。最大荷重は大きい順からC試験体（継手なし）、D,E試験体（鋼繊維補強高強度モルタルを継手部に使用）、B試験体（主筋H鋼連結）、A試験体（主筋H鋼連結）の順であった。A試験体を除く試験体は計算最大耐力をほぼ満足しており、耐力的には十分であることが明かとなった。

キーワード：継手、プレキャストコンクリート、鋼繊維補強高強度モルタル

## 1. はじめに

工期短縮、作業員削減のためケーソンなどの港湾構造物、高橋脚などでプレキャスト化が考えられている。プレキャスト化で一番問題となるのはプレキャストコンクリート間の継手である。そこで今回新しい継手構造を考案したのでその耐力実験を行い、その挙動を調べた結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 形状寸法および鋼材配置

#### (1) 試験体設計の基本

引張鋼材比は曲げ破壊させるためと実際の構造物に近い鋼材比である0.5%とした。部材高さは500mmとし、港湾構造物を想定してかぶりを約60mmとした。また、施工の容易さを考慮して重ね継手部の鉄筋間隔は出来るだけ離し、打設面は目荒し無しとした。

#### (2) 試験体

試験体の形状寸法と鋼材配置を図-1~5に示す。

a) A試験体：プレキャスト部材からループ筋を出しておき、そのループ筋を重ね継ぎ、H鋼をループ筋の間に差し込んだ連結案でH鋼の配置方向は図-1参照。普通強度コンクリート ( $f'_c \approx 27\text{N/mm}^2$ ：表-1) を使用。

b) B試験体：A試験体とほぼ同じ構造であるが、H鋼の向きを90°反転させた試験体。H鋼の配置方向は図-2参照。普通強度コンクリートを使用。

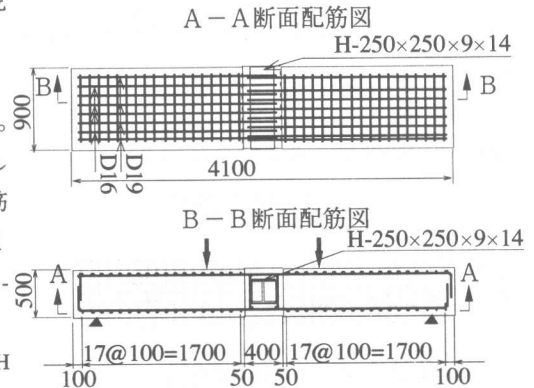


図-1 A試験体配筋図

\*1 清水建設(株)技術研究所構造技術研究部設計理論グループ主任研究員、工博（正会員）

\*2 清水建設(株)技術研究所建設技術研究部土木施工グループ主任研究員、工修（正会員）

\*3 清水建設(株)土木技術第1部港湾・河川グループ課長、工修

\*4 清水建設(株)横浜支店土木技術部部長

c) C 試験体：継手無し。普通強度コンクリートを使用。

d) D 試験体：継手長さを  $10\phi$  ( $\phi$ ：太い方の鉄筋径、D19) とし鋼繊維補強高強度モルタル ( $f'_c = 130\text{N/mm}^2$ ：表-2)[1][2]を継手部に用いた試験体。継手間隔は鉄筋中心間隔で 50mm。

e) E 試験体：D 試験体とはほぼ同じ構造であるが、継手部を横方向鉄筋で補強した試験体。

## 2. 2 使用材料

### (1) 普通強度コンクリート

普通強度コンクリートの配合を表-1に示す。粗骨材は津久井郡城山・八王子美山混合砕石 ( $G_{\max} = 20\text{mm}$ 、比重 2.64、FM6.63) を用い、細骨材は旧相模川水系・千葉県君津砕砂 (比重 2.58、FM2.80) を使用した。また、セメントは早強セメントを用いた。

### (2) 鋼繊維補強高強度モルタル

鋼繊維補強高強度モルタルの配合を表-2に示す。デンマーク製の3種のシリカ質細骨材 Sand1 ( $G=0-0.25\text{mm}$ 、比重 2.64、吸水率 0.21)、Sand2 ( $G=0.25-1\text{mm}$ 、比重 2.64、吸水率 0.23)、Sand3 ( $G=1-4\text{mm}$ 、比重 2.62、吸水率 0.71) を混ぜて用いた。使用した結合材はデンマーク製で白色セメント、マイクロシリカおよびナフタリン系の高性能減水剤 (粉体) がプレミックスされたものである。使用した鋼繊維は直径  $\rho = 0.4\text{mm}$ 、長さ  $L=12\text{mm}$  の真っ直ぐな鋼繊維 (引張強さ  $1350\text{N/mm}^2$ ) であり、鋼繊維の混入率は 6% (容積率) である。練り混ぜにはパン型強制練りミキサーを使用した。練り混ぜ時間は全部で 9分であり、スランプは 14.0cm および 15.6cm であった。

### (3) 鋼材

鋼材の引張試験結果を表-3に示す。

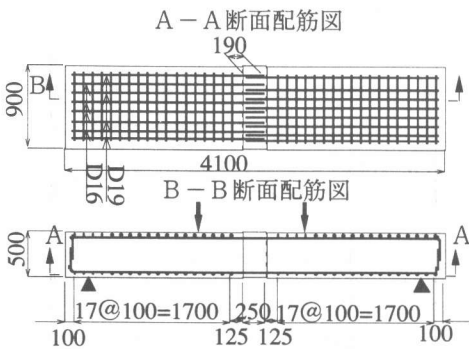


図-4 D 試験体配筋図

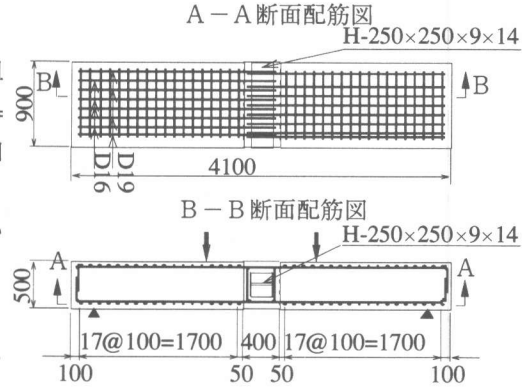


図-2 B 試験体配筋図

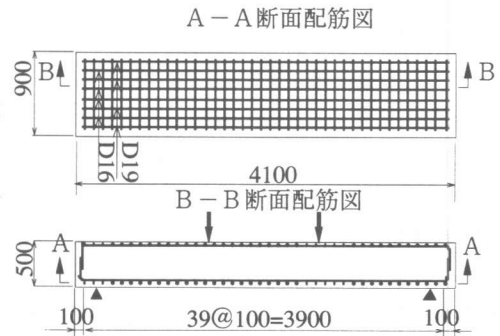


図-3 C 試験体配筋図

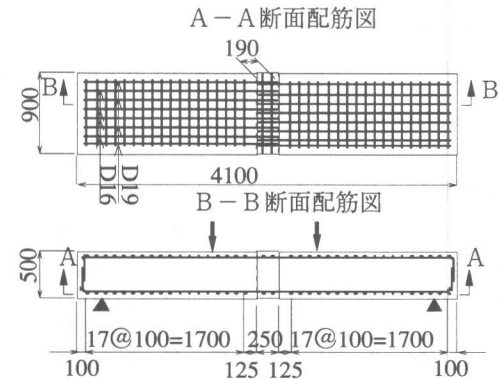


図-5 E 試験体配筋図

表-1 普通強度コンクリートの配合

| 目標圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | スパン <sup>φ</sup><br>(cm) | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単用量 (kg/m <sup>3</sup> ) |           |        |         |       |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|-----------|--------|---------|-------|
|                                |                          |                      |                    | 水<br>W                   | セメント<br>C | 砂<br>S | 砂利<br>G | AE減水剤 |
| 27                             | 12                       | 62.0                 | 44.6               | 166                      | 268       | 810    | 1030    | 0.670 |

表-2 鋼繊維補強高強度モルタルの配合

| 目標圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | スパン <sup>φ</sup><br>(cm) | 水結合材比<br>W/B<br>(%) | 単用量 (kg/m <sup>3</sup> ) |          |         |               |                      |                      |                    |     |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------|---------|---------------|----------------------|----------------------|--------------------|-----|
|                                |                          |                     | 水<br>W                   | 結合材<br>B | マイクロシリカ | 高性能減水剤<br>SPT | Sand 1<br>G=0~0.25mm | Sand 2<br>G=0.25~1mm | S and 3<br>G=1~4mm | 鋼繊維 |
| 130                            | 15                       | 15.7                | 150                      | 925      | 29.0    | 2.8           | 167                  | 339                  | 679                | 477 |

表-3 鋼材引張試験結果

| 鋼材      | 降伏点<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|
| H鋼フランジ部 | 306                         | 444                          |
| H鋼ウェブ部  | 357                         | 469                          |
| D16     | 349                         | 513                          |
| D19     | 371                         | 538                          |

### 2.3 養生方法

試験体は製作後材令2日まで湿布養生とし、材令2日からは現場気中養生とした。テストピースは標準養生とした。

### 2.4 荷重方法

支持条件は単純支持とし、一軸荷重とした。加力方法を図-6に示す。

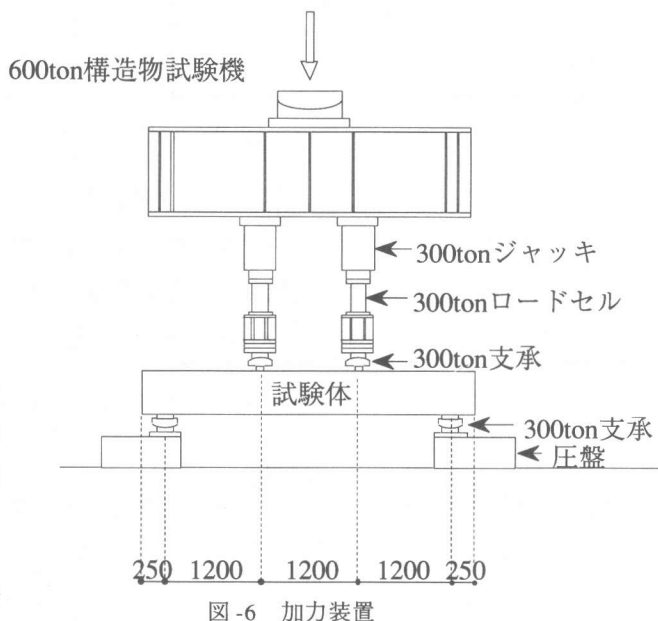


表-4 荷重試験時コンクリート試験結果

## 3. 実験結果

### 3.1 実験結果一覧表

表-4に荷重試験時コンクリート試験結果の一覧を、表-5に実験結果を示す。なお、各実験結果には自重分の荷重は含まれていない。また、ここで言う荷重とは、2点荷重の合計荷重である。

### 3.2 破壊過程

図-7~11にひびわれ状況を示す。主要なひびわれはすべて

| 試験体      | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 曲げ強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|
| A (PCa部) | 27.9                         | 2.39                           | —                            | 2.04  |
| A (継手部)  | 34.1                         | 2.88                           | —                            | 2.22  |
| B (PCa部) | 30.9                         | 2.76                           | —                            | 2.20  |
| B (継手部)  | 30.3                         | 2.66                           | —                            | 2.08  |
| C        | 29.6                         | 2.78                           | —                            | 2.08  |
| D (PCa部) | 29.5                         | 2.66                           | —                            | 2.43  |
| D (継手部)  | 130*                         | —                              | 25.4                         | 4.96  |
| E (PCa部) | 26.3                         | 2.63                           | —                            | 2.26  |
| E (継手部)  | 134*                         | —                              | 23.0                         | 4.81  |

\*：鋼繊維補強高強度モルタル

表-5 実験結果一覧

| 試験体 | 曲げひび割れ荷重<br>(kN) | 降伏荷重<br>(kN) |     | 降伏変位<br>(mm) | 最大荷重<br>(kN) |     | 最大変位<br>(mm) |
|-----|------------------|--------------|-----|--------------|--------------|-----|--------------|
|     | 実験値              | 計算値          | 実験値 | 実験値          | 計算値          | 実験値 | 実験値          |
| A   | 50               | 452          | 405 | 10           | 536          | 501 | 110          |
| B   | 50               | 〃            | 425 | 8            | 〃            | 534 | 134          |
| C   | 100              | 〃            | 510 | 9            | 〃            | 598 | 158          |
| D   | 150              | 〃            | 450 | 9            | 〃            | 567 | 160          |
| E   | 100              | 〃            | —   | 8            | 〃            | 572 | 158          |

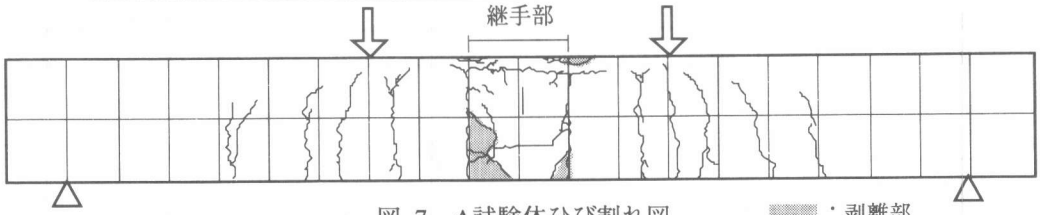


図-7 A試験体ひび割れ図 剥離部

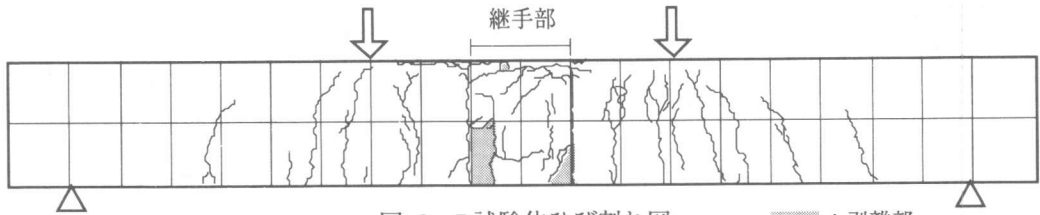


図-8 B試験体ひび割れ図 剥離部

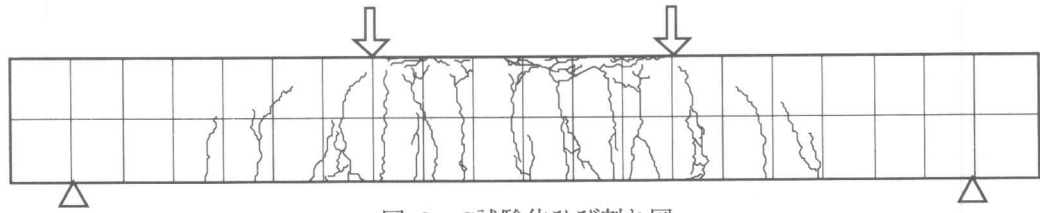


図-9 C試験体ひび割れ図

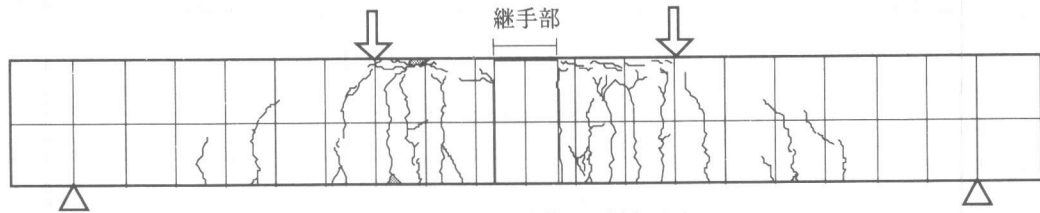


図-10 D試験体ひび割れ図

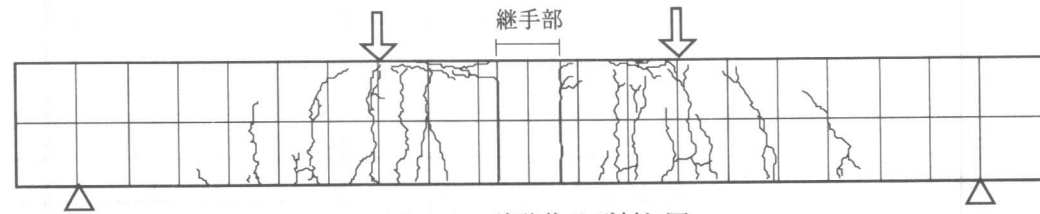


図-11 E試験体ひび割れ図

曲げスパンに生じた。その主要なひびわれは有効高さ  $d$  の約半分の間隔で発生する。ひびわれの発生は継手部のある方が早いが、これは施工の簡便さを考えて打継面の表面処理を全く行わなかったため、加力前からひびわれが発生しているような状況下であったためである。なお、H鋼を継手部に用いたA,B試験体では主筋降伏時変形  $\delta_y$  の  $6 \sim 10 \delta_y$  変形時に継手部引張コンクリートが剥落したが耐力低下は生じなかった。また、全ての試験体で最大耐力時に圧縮縁コンクリートの圧壊が生じている。

### 3. 3 変位挙動

図-12に荷重と中央変位の関係を示す。最大荷重は大きい順からC試験体、D,E試験体、B試験体、A試験体の順であった。A試験体を除く試験体は計算最大耐力をほぼ満足しており、耐力的には問題ないことが明かとなった。部材降伏後の変形はなだらかであり曲げ破壊であることがわかる。実験では最大荷重を確認した後除荷したが除荷時の剛性は全試験体ほぼ同じであった。図-13に各試験体の初期剛性を示す。初期剛性は継手の無いC試験体が最も大きく、継手のある試験体は加力前からひびわれがあるような状況なので初期剛性が小さくなっていく。ただし、設計荷重である300kNぐらいになるとC試験体にもひびわれが発生し剛性は各試験体ともほとんど同じとなる。

### 3. 4 鋼材のひずみ挙動

図-14に荷重と継手部の鉄筋ひずみの関係を示す。鉄筋は打継面近傍で降伏しており、試験体の最大荷重は主鋼材の降伏で決定されているこ

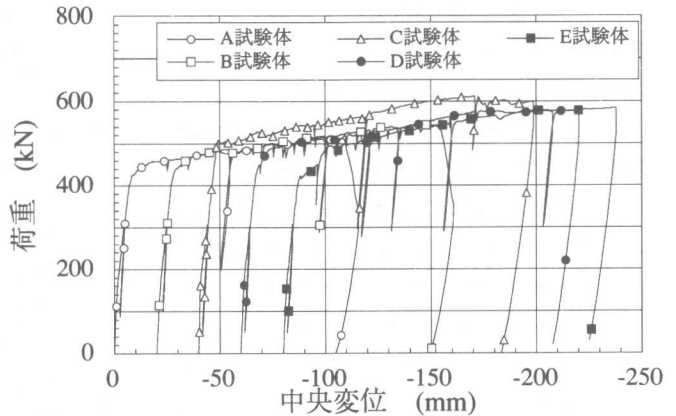


図-12 荷重と中央変位の関係

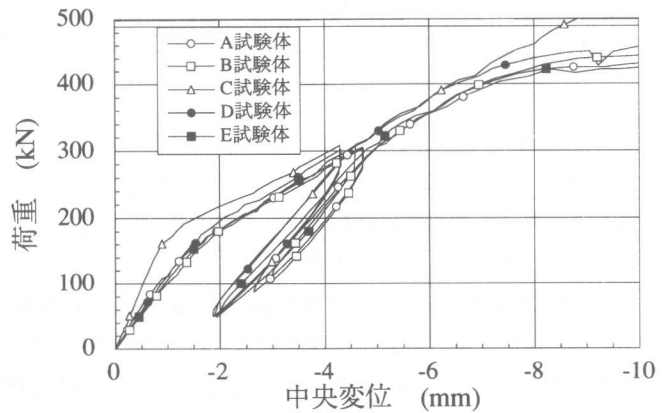


図-13 初期剛性

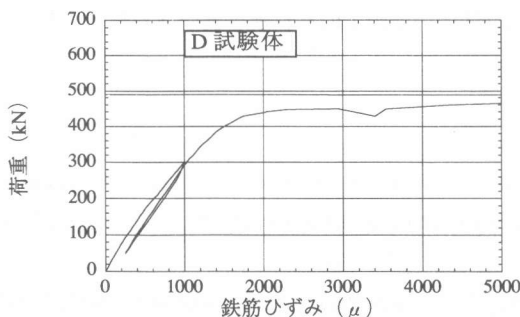


図-14 荷重と鉄筋ひずみの関係(打継面)

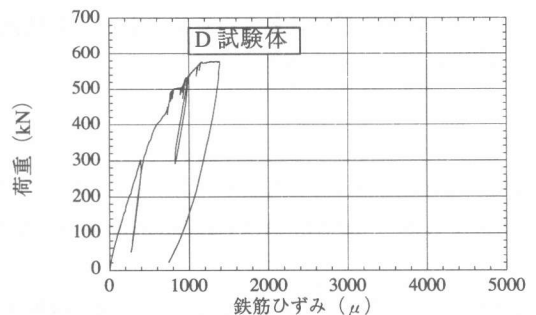


図-15 荷重と鉄筋ひずみの関係(打継部中央)

とが確認された。なお、図-14において最大荷重が490kNと読み取れるが、これは鉄筋降伏後鉄筋ひずみゲージが断線したためである。また、鋼繊維補強高強度モルタルを用いた場合は打継部では鉄筋は降伏しているが、打継部中央の鉄筋位置では最大荷重時においても降伏しておらず（図-15）、10φの重ね継手長があれば耐力的には十分であることが確認された。

### 3.5 普通強度コンクリートおよび鋼繊維補強高強度モルタルのひずみ挙動

図-16にD試験体の普通強度コンクリート部の圧縮縁ひずみを、図-17に同じくD試験体の鋼繊維補強高強度モルタル部の圧縮縁ひずみを示す。普通強度コンクリート部の圧縮縁ひずみは-4000μ~-5000μの値を示し、最終的にこの部分が圧壊した様子がわかる。逆に鋼繊維補強高強度モルタル部の圧縮縁ひずみは-400μ程度にしか達しておらず十分余裕があることがわかる。

## 4. まとめ

- 1) 主要なひびわれはすべて曲げスパンに生じた。ひびわれの発生は継手のある方が早いですが、これは施工の簡便さを考えて打継面の表面処理を全く行わなかったため、加力前からひびわれが発生しているような状況下であったためである。
- 2) 最大荷重は大きい順からC試験体、D,E試験体、B試験体、A試験体の順であった。A試験体を除く試験体は計算最大耐力をほぼ満足しており、耐力的には十分であることが明かとなった。初期剛性は継手の無いC試験体が最も大きく、継手のある試験体は剛性が小さくなっていく。実験は最大荷重を確認した後除荷したが除荷時の剛性は全試験体ほぼ同じであった。
- 3) 鉄筋は打継面近傍で降伏しており、試験体の最大荷重は主鋼材の降伏で決定されていることが確認された。また、鋼繊維補強高強度モルタルを用いた場合は打継部では鉄筋は降伏しているが、打継部中央の鉄筋位置では最大荷重時においても降伏しておらず、10φの重ね継手長があれば耐力的には十分であることが確認された。

## 参考文献

- [1] Nielsen C. V., Olsen J. F. and Aarup B.K. : Effect of Fibres on the Bond Strength of Hi-Strength Concrete, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, 1996, 10p.
- [2] Bache H. H. : Concrete and Concrete Technology in a broad Perspective, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, 1995, 44p.

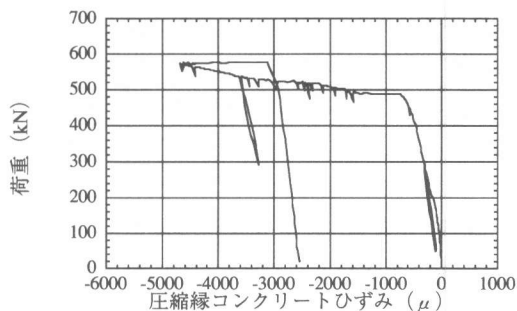


図-16 普通強度コンクリート部（プレキャスト部）の圧縮縁ひずみ

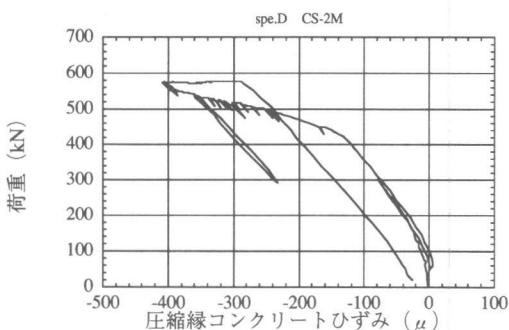


図-17 鋼繊維補強高強度モルタル部（打継部）の圧縮縁ひずみ