

## 技術ノート

## CGPC梁の開発・設計と押し抜き・曲げ実験

Punching and Bending Test, and Development and Design of Composite Girder Precast Concrete

野田行衛\*  
Yukie NODA児島啓太郎\*\*  
Keitaro KOJIMA大塚功一\*\*\*  
Hiroichi OTSUKA金子由美\*\*\*\*  
Yumi KANEKO富田昭夫\*\*\*\*\*  
Akio TOMITA関口智文\*\*\*\*\*  
Tomofumi SEKIGUCHI

The composite girder precast concrete (CGPC) beam is a hybrid structure in which superstructure is assembled on an economical basis. What is distinctive about the new method for the transverse beam is that beam flange is made of prefabricated reinforced concrete, and the web is of steel frame composite construction. The construction method developed concludes erecting the transverse steel frame, and main girders at the same time, and afterwards setting half finished precast concrete plates before placing concrete. This paper describes the outline of this CGPC beam, its structural design, punching test and bending test done.

*Keywords : precast concrete plates, punching test, bending test*

## 1. まえがき

近年、建設労務者の減少と高齢化による技能労働力の不足は慢性的な傾向にあり、一般に行われている建築施工では、生産性や品質の維持に問題がある。すでに、これらの解決方法としてプレキャスト部材や各種工法の開発がなされているが、いずれも労働生産性の向上を目的としている。

今回、川田工業㈱、川田建設㈱、鹿島建設㈱は、高品質・建築生産の合理化・工期短縮を目的に、工業化工法と従来の現場打ち工法を有機的に結合した複合化工法である、「CGPC(Composite Girder Precast Concrete)梁」を開発した。

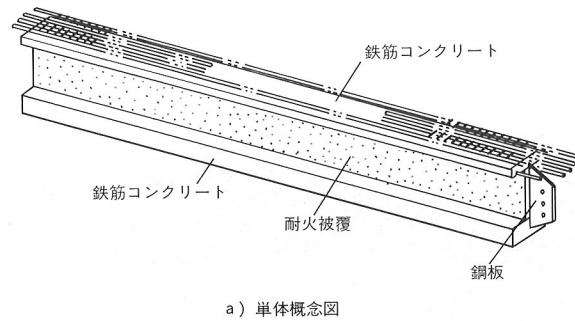
本文では、CGPC小梁の概要、構造設計概要、押し抜き実験ならびに曲げ実験の概要を述べる。

## 2. CGPC小梁の概要

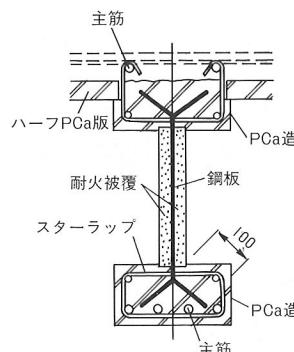
## (1) CGPC小梁の構造システム

CGPC小梁は、図-1に示すようなウェブに鋼板を用い、フランジに主筋を内蔵しているコンクリートを用いた、工場製作による複合プレキャストコンクリート梁である。

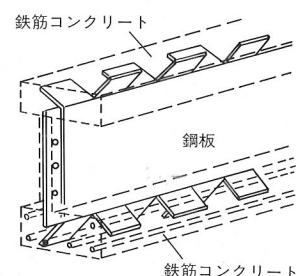
この梁は、現場で上端筋を配筋しコンクリート打設に



a) 單体概念図



b) 標準断面図



c) 透視図(構成)

図-1 CGPC小梁

より完成するプレキャスト梁であり、コンクリートのフランジと鋼板のウェブを一体化するために、ウェブに生ずるせん断力を良好にフランジに伝えるメカニズムがボ

\*川田建設㈱工事本部開発部技術開発課課長 \*\*川田建設㈱工事本部開発部技術開発課 \*\*\*川田工業㈱建築事業部技術部設計課課長 \*\*\*\*川田工業㈱建築事業部技術部設計課 \*\*\*\*鹿島建設㈱設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部技術長 \*\*\*\*\*鹿島建設㈱設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部

イントとなっている。そのため、ウェブ鋼板の上下端に切れ目を入れ交互に折り曲げてフランジに埋め込み、ウェブのせん断力を、折り曲げられた羽根状の鋼板の小口の支圧によって、フランジのコンクリートから主筋に伝達するような構造としている。上下フランジのスターラップは、ウェブ鋼板を貫通して巻いてあり、軸方向のせん断耐力に加算される。

### (2) CGPC小梁の特徴

- ① 従来のコンクリート造に対し、重量を60%程度まで軽減することができる。
- ② 一般のコンクリート梁と同様に、梁の剛性が確保される。
- ③ 大梁との接合は、鋼板のウェブにより容易に行うことができる。
- ④ ウェブの耐火被覆は接合部を除いて、上下フランジのプレキャストを製作する段階で取付けられ、現場での施工は不要である。

### (3) 在来工法との比較およびCGPC小梁の施工順序

従来の鉄骨鉄筋コンクリート造の小梁は、写真-1、2に見られるように鉄骨の建て方が終わった後に、配筋し施工されているが、CGPC小梁は、鉄骨の建て方と一緒に大梁に取付け(図-2)，ハーフPCa版を敷き(図-3)，上端筋およびスラブ筋を配筋し、コンクリートを打設し(図-4) 完成する。

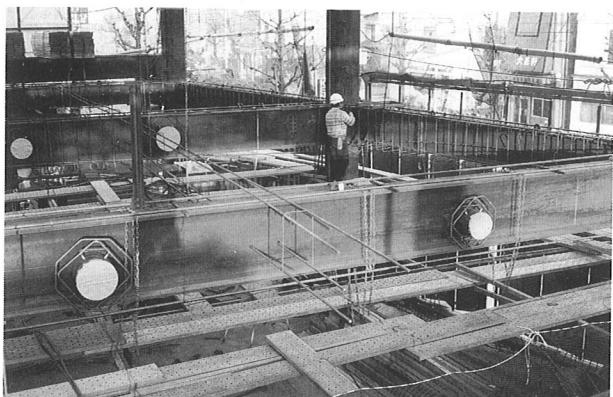


写真-1 従来の鉄骨鉄筋コンクリート造の小梁の配筋時

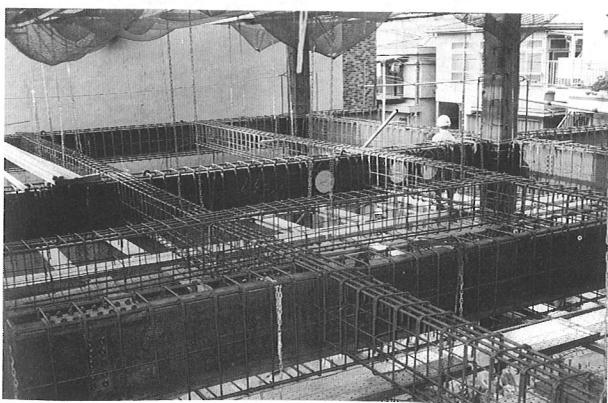


写真-2 従来の鉄骨鉄筋コンクリート造の小梁の配筋時

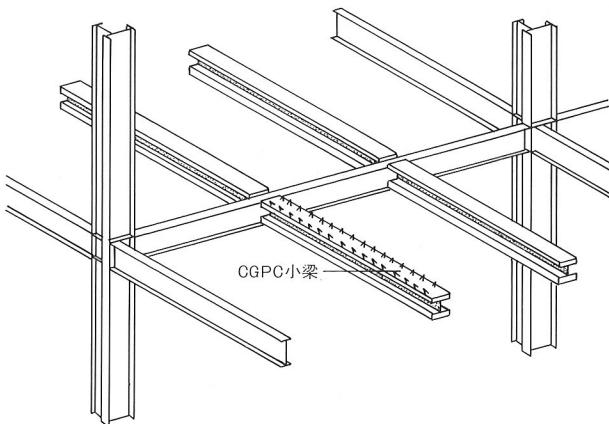


図-2 鉄骨建て方時

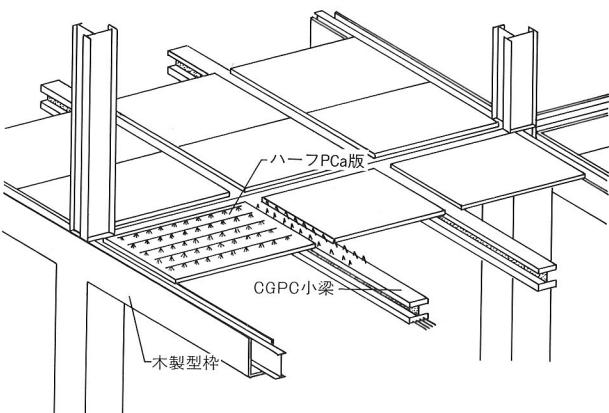


図-3 配筋・型枠時

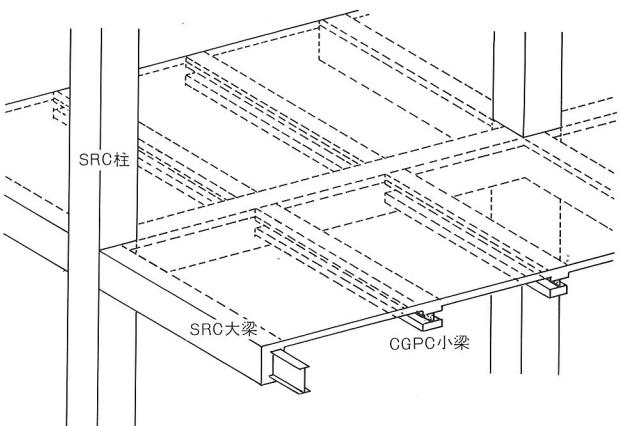


図-4 コンクリート打設後

### 3. CGPC小梁の構造設計概要

#### (1) CGPC小梁の設計フロー

CGPC小梁の設計フローを図-5に示す。

#### (2) 設計内容

##### a) 応力計算

CGPC小梁は、大梁からのガセットプレートで接合さ

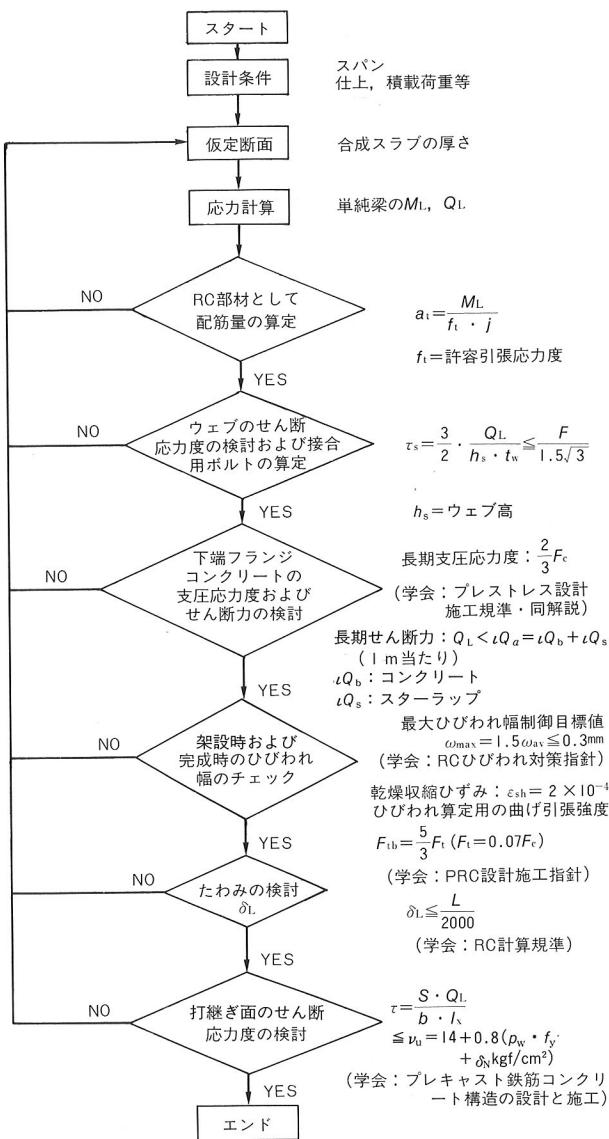


図-5 設計フロー

るので、応力は、単純梁として算定する。

### b) 断面の設計

CGPC小梁の中央の曲げモーメントによる配筋量とウェブプレートのせん断応力度は、次の算定式による。

c) 下端フランジコンクリートの支圧応力度およびせん断力の検討

CGPC小梁は、ウェブを鋼板のみとし、フランジ部のコンクリートの中に鋼板を埋め込んで一体構造とした合成梁である。このような合成構造においては、鋼とコンクリートの合成効果を高めることが不可欠の条件であり、このため鋼とコンクリートの付着力を確保することが最も重要である。

特に、フランジコンクリートにひびわれが入った後に

も付着が十分に確保され、確実にせん断力が伝達されねばならない。曲げによるせん断力は、フランジ部のコンクリートの中に埋め込まれた羽根状の鋼板の支圧により伝達される。

## ① 下端フランジコンクリートの支圧応力度

コンクリートの終局時の支圧に対する許容応力度としては、 $s\sigma_b = 2 \cdot F_c$  とし、この値の  $1/3$  を長期時の許容支圧応力度  $\iota\sigma_b = 2/3 \cdot F_c$  として計算する。

$$\iota Q_b = A_w \cdot \iota \sigma_b \text{ (コンクリート)}$$

$$\iota Q_s = a_0 \cdot {}_W f_s \quad (\text{スター・ラップ})$$

## ② 設計せん断力 (材軸方向)

せん断流れ理論によりせん断応力度を求める。

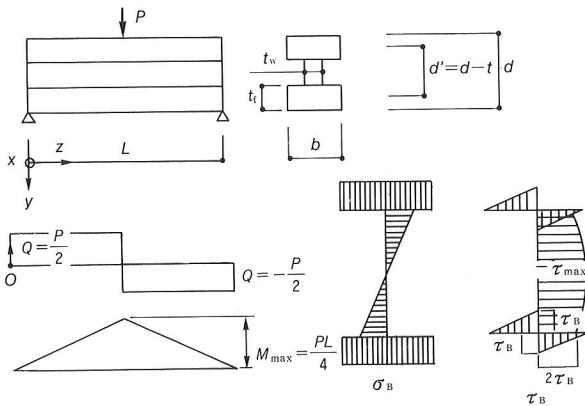


図-6 設計せん断力

図-6 の  $Z=L/2$  の位置における曲げモーメントによる垂直応力およびせん断力は次式で表される。

梁の左半分のせん断応力度は図-7より(5)式で示される

フランジ上のウェブとの交点のせん断応力度は図-7より(6)式となり。

したがって、ウェブ上のフランジとの交点のせん断応力値は(7)式となる

<sup>1</sup> 当よりの以上断り（付註未向）は(7)式より

$$Q_L = \tau_2 \cdot t_w \cdot 100^{\text{cm}} \\ = 25, \dots, d' \cdot b \cdot t / I \quad (\text{t/1m当たり}) \quad \dots \dots (8)$$

(3)式と(8)式より



この鋼板は、コンクリートブロック中に片側3枚の羽根を持ち、これを交互に折り曲げて上2枚のそれぞれに支圧耐力を期待する。また、スリットの折り曲げ側の端部には $\phi 13$ の穴をあけ、これにスターラップ筋を通して固定する構造とした。さらに、鋼板の中央に載荷するため、ウェブ中央部分の座屈に抵抗するための補強材を取付けてある。実験において、適当な鋼材の寸法等を検討するために表-1に示すようなパラメータを設定した。

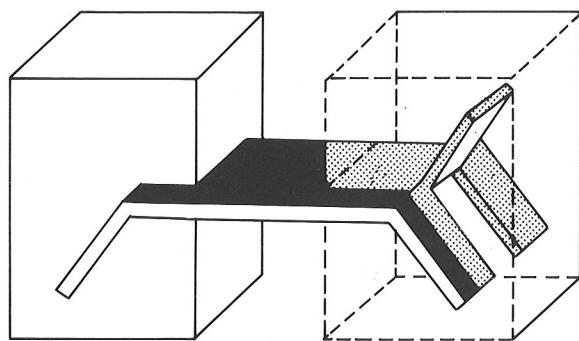


図-10 試験体概念図

表-1 試験体寸法一覧

| 試験体番号 | フランジ厚<br>$t$ (mm) | プレート厚<br>$t_1$ (mm) | 折曲げ部長さ<br>$l$ (mm) | 折曲げ角度<br>$\theta$ (°) | スターラップの寄与 |
|-------|-------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| S-1   | 165<br>(1段筋)      | 9                   | 80                 | 60                    | D10 @ 100 |
| S-2   |                   |                     | 100                |                       |           |
| D-1   | 220               | 12                  | 130                | 50                    | なし        |
| D-2   |                   |                     | 80                 |                       |           |
| D-3   | 220<br>(2段筋)      | 9                   | 130                | 70                    | D10 @ 100 |
| D-4   |                   |                     |                    |                       | D13 @ 100 |
| D-5   |                   |                     |                    |                       |           |
| D-6   |                   |                     |                    |                       |           |

### (3) 実験方法および計測方法

載荷はアムスラー試験機により鋼板のウェブ部分中央に載荷した。計測は、鋼板とコンクリートの鉛直変位をダイヤルゲージで、また、コンクリート内の鋼板表面とコンクリート表面のひずみを抵抗線ひずみゲージでそれぞれ計測した。

### (4) 結果と考察

① それぞれの試験体に対する、長期荷重時、終局荷重時の計算値と、実験結果(最大耐力)とを表-2に示す。この表より、スターラップを鋼板に通さなかった試験体D-4では1.6の安全率を示し、他の試験体については全て2.0以上の安全率を示していることがわかる。

② 各試験体の荷重-たわみ曲線を表-1に示したようなパラメータに沿って比較すると、それらの差はほ

表-2 実験値と計算値の比較

単位(tf)

| 試験体No. | 実験値  | 計算値①(長期) | 実験値          |              | 実験値<br>計算値②(終局) |
|--------|------|----------|--------------|--------------|-----------------|
|        |      |          | 計算値①<br>(長期) | 計算値②<br>(終局) |                 |
| S-1    | 40.0 | 6.2      | 6.45         | 11.5         | 3.48            |
| S-2    | 38.0 | 6.9      | 5.51         | 13.5         | 2.81            |
| D-1    | 44.5 | 9.3      | 4.78         | 20.8         | 2.14            |
| D-2    | 43.5 | 6.2      | 7.02         | 11.5         | 3.78            |
| D-3    | 42.0 | 7.9      | 5.32         | 16.5         | 2.55            |
| D-4    | 21.0 | 4.3      | 4.88         | 12.9         | 1.63            |
| D-5    | 38.0 | 7.9      | 4.81         | 16.5         | 2.30            |
| D-6    | 49.5 | 10.8     | 4.58         | 19.4         | 2.54            |

注) 表中の計算値は、コンクリートの支圧応力度とせん断補強筋のせん断応力度との合計値で示す。

とんど見られなかつたが、スターラップに関するものの大きさがあった。スターラップを鋼板に通していないものは、最大耐力が半分程度しかなく、他はスターラップの径の大小(D-3, D-4, D-6の比較)が最大耐力の大小に等しくなっている。

③ 試験体の破壊性状は、標準試験体(D-3)の例を見ると、30tf前後の荷重で上の鋼板が面外方向に変形するような性状を見せはじめ、最大耐力(43.0tf前後)付近では、鋼板の付け根付近のせん断補強筋がコンクリートを割り裂くようなひびわれが顕著にみられた。しかし、試験体D-4に関しては、ひびわれが羽の方向に発生している。図-11に標準試験体(D-3)のひびわれ図と試験体D-4のひびわれ図を示す。

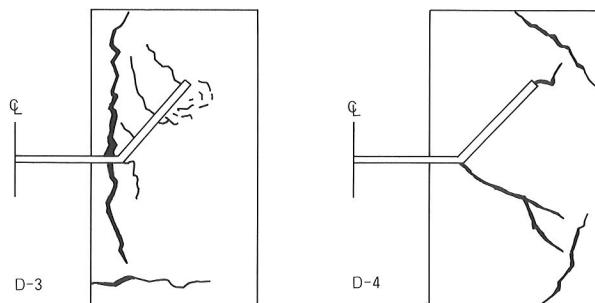


図-11 試験体のひびわれ図

### (5) まとめ

① 設定したパラメータのうち、スターラップ(せん断補強筋)の有無と径による影響は大きいことがわかつたが、その他のパラメータについては、押し抜き実験に関する限り、その影響はほとんど認められなかつた。

② 試験体の耐力については、鋼板の支圧およびせん断補強筋のせん断耐力のほかに、せん断補強筋による支圧または拘束力による影響が認められた。

③ 設計上の計算値としては、終局時の耐力を(2・

$F_c + \text{せん断補強筋のせん断耐力}$ ）として評価（設計）すれば、十分安全側に評価することができる。ただし、せん断補強筋による支圧または拘束力については、これらを余力として、評価式には盛り込まないものとする。

## 5. CGPC梁曲げ試験結果

### (1) はじめに

CGPC小梁に対して、押し抜き試験の結果を踏まえ、実際に使用する梁とほぼ同じ寸法の試験体を製作して、曲げ試験を行った。以下にその結果について述べる。

### (2) 試験体

試験体は、高さ60 cm、幅40 cmの断面で、スパンを600 cmとし、上下のコンクリート製フランジを鋼板でつなぐ形状とする。上下のフランジは、20 cmピッチにスターラップ筋を配し、軸方向鉄筋としてD22を圧縮側に2本、引張側に5本使用する。

このほかに、組立用の鉄筋として、D16を上下にそれぞれ2本ずつ使用した。ウェブには9 mm厚の鉄板を使用し、上下のフランジに埋め込む部分に対して、それぞれ20 cmピッチに10 cmのスリットをいれ、50°の角度をもたせて互い違いに折り曲げるものとした。上下のスリット位置は鋼材の曲げ剛性を高めるために10 cmずらした。また、スリットの折り曲げ側の端部にはφ13の穴をあけ、これにスターラップ筋を固定する構造とした。上記の試験体を3体製作し、実験を行った。図-12に試験体の断面図を示す。

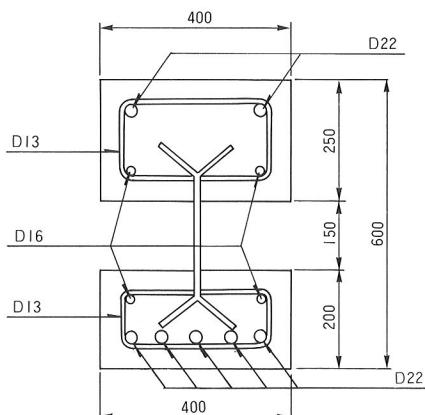


図-12 試験体断面図

### (3) 実験方法および計測方法

載荷は両動型ジャッキによる150 cm幅の2線集中載荷とし、ひびわれ発生荷重、設計荷重、破壊荷重に対する検討を行った。計測は、梁の中央、両支点、1/4点の合計5点のたわみをダイヤルゲージで、また、コンクリート内の鉄筋や鋼材のひずみを抵抗線ひずみゲージでそれぞれ計測した。

### (4) 結果

図-13に試験体の荷重-たわみ曲線を示す。また、この曲線上に、計算で求めたひびわれ発生荷重、長期設計荷重、降伏荷重と、実験による最大耐力を示す。表-3にそれぞれの荷重の計算値と実験値を示し、これらを比較する。

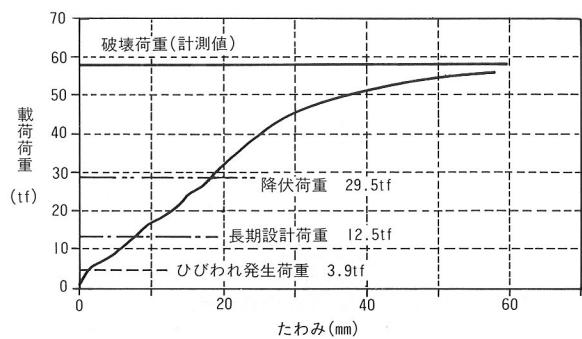


図-13 荷重-たわみ曲線

表-3 計算値と実験値の比較

|       | No.1         | No.2 | No.3 | 平均値  |
|-------|--------------|------|------|------|
| ひびわれ時 | 計算値          |      |      |      |
|       | 3.9 (tf)     |      |      |      |
|       | 実験値          | 3.0  | 4.0  | 5.0  |
|       | 実験値/計算値      | 0.77 | 1.03 | 1.28 |
| 初期剛性時 | 計算値          |      |      |      |
|       | 22.9 (tf/cm) |      |      |      |
|       | 実験値          | 25.0 | 30.0 | 25.0 |
|       | 実験値/計算値      | 1.09 | 1.31 | 1.09 |
| 長期設計時 | 計算値          |      |      |      |
|       | 12.5 (tf)    |      |      |      |
|       | 実験値          | 22.0 | 22.0 | 22.0 |
|       | 実験値/計算値      | 1.76 | 1.76 | 1.76 |
| 終局強度時 | 計算値          |      |      |      |
|       | 29.5 (tf)    |      |      |      |
|       | 実験値          | 60.6 | 57.5 | 53.5 |
|       | 実験値/計算値      | 2.05 | 1.94 | 1.81 |

- ① ひびわれ発生荷重は、計算値が3.9tfであるのに対して、4tf前後の値でそれぞれひびわれが発生しており、ほぼ計算値に近い値かそれ以上であることがわかる。
- ② 初期剛性は、計算値の1.0倍程度で、かつ、計算値以上の値を示しており、良好である。
- ③ 長期設計荷重時 ( $\sigma=2200\text{kgf/cm}^2$ とする)においては計算値以上の値を示しており、かつ、荷重-たわみ曲線が弾性域状態にあり、設計値を十分に満足している。
- ④ 計算における終局荷重 ( $\sigma_y=1.1\times 3500=3850\text{kgf/cm}^2$ とする)と、ジャッキが示す最大荷重とを比較すると、1.9倍程度の荷重で破壊に至っており、梁の強度としては十分な値が得られた。
- ⑤ 試験体の破壊状況は3試験体とも同様の性状を示しており、これらの破壊性状は、上下のフランジともスターラップの位置にひびわれが発生し、最終的

にはコンクリート上縁の載荷位置付近における圧壊に至った。ひびわれの発生状況も、全て同様であるため、図-14に代表的なひびわれ図を示す。

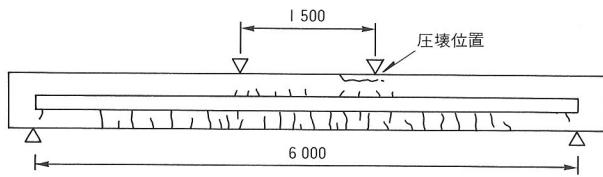


図-14 ひびわれ図 (No.1)

#### (5) まとめ

- ① 荷重-たわみ曲線より、3試験体とも革性のある曲げ性状を示し、コンクリート上縁での圧壊により破壊に至った。
- ② ひびわれ発生荷重および初期剛性は、ほぼ計算値に近い値を示しており、良好である。
- ③ 最終的な破壊荷重値は、いずれも計算値を大きく上回っており、強度は十分に確認され、計算値が安全側にあることがわかった。

また、計算上の最大荷重値での梁性状はたわみ等から、鋼材とコンクリートとの一体性は、十分に保たれていると考えられる。

以上のことより、CGPC梁は最大荷重も十分に大きく、強度、たわみ性状等も良好であることがわかった。

#### 6. あとがき

今回、この複合プレキャスト梁を大日本コンサルタンクト(株)本社ビルに使用するに当たり、財日本建築センターの構造評定を受けており、さらに実験により、設計計算に対する安全性が確認され、十分に使用に耐えられることがわかった。

今後の課題としては、鋼板とコンクリートとの力の伝達メカニズムを明確にするとともに、経済性・施工性についてもさらに研究する必要がある。