

【論文・報告】

# 仕口部を有するプレビームの復元力特性に関する実験的研究

Experimental Research on Ultimate Rotation Capacity and Strength of Pre-flection Beams

青木 敬二郎 \*

Keijiro AOKI

石塚 馨 \*\*

Kaoru ISHIZUKA

今仁昌孝 \*\*\*

Masataka IMANI

**[要旨]** 本研究は、建築物のラーメン構造における柱、梁仕口部を有するプレビームの正負繰り返し荷重下における力学的挙動を調べ、地震時における安全性を検討しようとするものである。試験体は TYPE-I, TYPE-II, TYPE-III, TYPE-IV の都合 4 体で、形状はいずれも T 形の柱、梁仕口部を有する実寸法の  $\frac{1}{2}$  モデルである。これらの試験体は、いずれも梁降伏が先行するように設計されている。TYPE-I ~ II は柱内水平スチフナーがすみ肉溶接であるのに対して、TYPE-IV は突合せ溶接が行われている。TYPE-III は引張りボルト接合タイプである。実験方法は、実架構を面内に  $90^\circ$  回転させた形に試験体をセットし加力をを行う方法である。梁先端部の水平力は、鉄骨を介して反力壁に取り付けられた 50 ton 両動ジャッキによって正負繰り返し交番加力とした。

本実験結果として次のことが判明した。

- (1) 曲げ終局強度の推定は、鉄骨鉄筋コンクリート部材と同様、鉄骨部分と鉄筋コンクリート部分の累加則が成立する。
- (2) いずれの試験体についても、エネルギー吸収能力はかなり優れていた。
- (3) TYPE-I ~ II の試験体は鉄骨仕口部の破断によって変形能力が支配され、TYPE-III については鉄骨周辺部のコンクリートを外側に押し開こうとしてコンクリートの劣化を生じ、TYPE-IV は部材角が  $\frac{1}{10}$  に達した時点においても最大強度の 8 割程度の荷重を保持して、変形能力は極めて高いと言える。

## 1. まえがき

本研究は新耐震設計法に基づき、プレビームの塑性域まで含めた終局的な構造設計法の保有水平耐力の新しい概念をふまえ、ラーメン構造における柱、梁仕口部を有するプレビームの正負繰り返し荷重下における力学的挙動を調べて、地震時における安全性を検討しようとするものである。

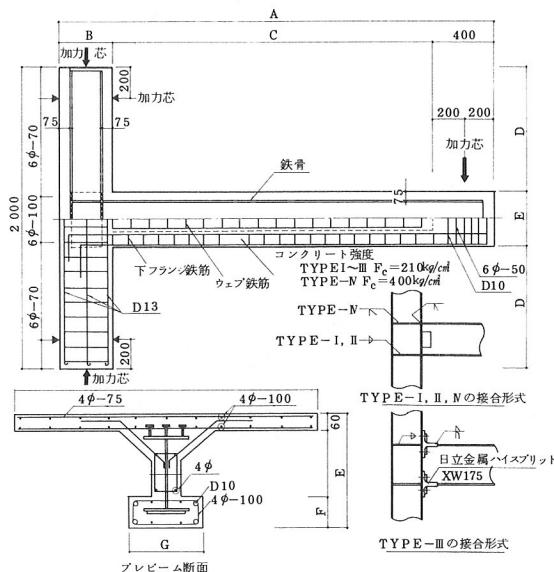
また実験場所は日本大学理工学部、理工学研究所、大型構造物試験棟で、本岡研究室の御指導をいただいた。

### 1-1 実験概要

試験体は TYPE-I, TYPE-II, TYPE-III, TYPE-IV の都合 4 体である。形状は、いずれも T 形で、柱、梁仕口部を有する実寸法の  $\frac{1}{2}$  モデルである。これらの試験体は、いずれも梁降伏が先行するように設計されている。

また、TYPE-I, TYPE-II の柱、梁接合部は、突合せ溶接で、柱内水平スチフナーはすみ肉溶接である。TYPE-IV は TYPE-I, TYPE-II と同様であるが、柱内の水平スチフナーは、突合せ溶接である。TYPE-III については、日立金属㈱が開発した HISPLIT を使用した引張りボルト接合タイプである。図-1 に試験

体の概略図を示す。



|      | TYPE-I           | TYPE-II          | TYPE-III         | TYPE-IV          |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 鉄骨寸法 | BH-250×150×4.5×8 | BH-493×200×4.5×9 | BH-325×175×4.5×8 | BH-250×150×4.5×9 |
| A    | 2875             | 5425             | 2875             | 2875             |
| B    | 350              | 450              | 350              | 350              |
| C    | 2125             | 4575             | 2100             | 2125             |
| D    | 8125             | 700              | 775              | 8125             |
| E    | 375              | 600              | 450              | 375              |
| F    | 100              | 125              | 100              | 100              |
| G    | 250              | 350              | 275              | 250              |

図-1 試験体概略図

## 1-2 材料試験結果

鉄筋は柱、梁主筋にSD30の異形鉄筋D10と柱帶筋にSR24、6φの丸鋼が用いられ、スラブ筋その他の部分には4φの焼きなまし鉄線が用いられている。鉄骨は、フランジ部分にはE-9のSM50A材、ウェブ部分にはE-4.5、E-6のS41材が用いられている。鉄筋、鉄骨の材料試験結果を表-1に示す。また、コンクリートに関しては調合表を表-2に示し、各材料試験結果を表-3に示す。

表-1 鉄筋、鉄骨材料試験結果

| 性状<br>材名 | 径<br>(cm)  | 断面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | 降伏荷重<br>(t) | 降伏応力度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 最大荷重<br>(t) | 最大応力度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 伸び率<br>(%) | ヤング係数<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 降伏点<br>(μ) |
|----------|------------|---------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| φ 4      | 0.39       | 0.119                     | —           | —                              | 0.88        | 7393                           | 13         | 2.1 × 10 <sup>6</sup>          | —          |
| φ 6      | 0.59       | 0.273                     | 1.39        | 5075                           | 1.523       | 5577                           | 18         | 2.1 × 10 <sup>6</sup>          | 2340       |
| D 10     | 0.953      | 0.71                      | 2.47        | 3477                           | 3.7         | 5210                           | 24         | 2.1 × 10 <sup>6</sup>          | 2073       |
| E-4.5    | 2.5 × 0.46 | 1.15                      | 3.45        | 2997                           | 5.31        | 4617                           | 39         | 2.05 × 10 <sup>6</sup>         | 3700       |
| E-6      | 4.0 × 0.59 | 2.36                      | 7.4         | 3133                           | 10.5        | 4463                           | 27         | 2.11 × 10 <sup>6</sup>         | 1863       |
| E-9      | 4.0 × 0.88 | 3.52                      | 12.65       | 3593                           | 18.9        | 5370                           | 24         | 2.13 × 10 <sup>6</sup>         | 2225       |

表-2 コンクリートの調合表

| 性状<br>試験体 | 打設位置        | 設計基準強度<br>F(kg/cm <sup>2</sup> ) | 空気量<br>(%) | 水セメント比<br>W/C(%) | 細骨材比<br>S/A(%) | 水量<br>W(kg/cm <sup>3</sup> ) | セメント量<br>C(kg/cm <sup>3</sup> ) | 細骨材量<br>S(kg/m <sup>3</sup> ) | 粗骨材量<br>G(kg/m <sup>3</sup> ) | 混和剤量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------|----------------------------------|------------|------------------|----------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| TYPE-I    |             |                                  |            |                  |                |                              |                                 |                               |                               |                              |
| TYPE-II   |             |                                  |            |                  |                |                              |                                 |                               |                               |                              |
| TYPE-III  |             |                                  |            |                  |                |                              |                                 |                               |                               |                              |
| TYPE-N    | 柱、スラブその他    | 210                              | 4 ± 1      | 58.5             | 45.4           | 174                          | 297                             | 827                           | 1007                          | 0.743                        |
|           | 下フランジコンクリート | 400                              | 5          | 37.5             | 36.6           | 199                          | 531                             | 558                           | 975                           | 2.12                         |

(注) 混和剤名 TYPE I, TYPE II, TYPE III — ポゾリス70

TYPE N — ダーレックス

表-3 コンクリートの材料試験結果

| 性状<br>試験体 | 位 置    | 最大圧縮荷重<br>(t) | 圧縮強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 割裂荷重<br>(t) | 割裂強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup> ) | 備 考     |
|-----------|--------|---------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|---|---------|
| TYPE-I    | 梁下フランジ | 16.1          | 205.1                         | 5.9         | 18.9                          | 2.14  | 2月23日打設 |
| TYPE-II   | その他    | 17.9          | 228.1                         | 6.7         | 21.4                          | 2.47  | 2月27日打設 |
| TYPE-N    | 梁下フランジ | 29.0          | 369.4                         | 8.6         | 27.3                          | 2.83  | 6月29日打設 |
|           | その他    | 23.9          | 304.4                         | 7.1         | 22.5                          | 2.54  | 7月2日打設  |

って確保した。この反力フレームに加える荷重は、実験中、試験体の浮き上がりが生じないように十分大きな値を保持した。試験体の水平方向反力は、反力床に4本のPC鋼棒で繋結した鉄筋コンクリート製の2個の固定ブロックによって確保した。柱の軸方向力は、上記の固定ブロックに取り付けた100 ton ジャッキによって加力し、実験中は一定値(40 ton)に保持した。

水平力、反力、軸方向力の値は、いずれもロードセルによって検出し、実験中は歪み計でモニターした。なお、上記の加力点、支持点はいずれもピン、ローラー支持とし、Thrust の影響が生じないよう留意した。図-2～3に加力装置図を示す。

水平力の加力は原則として以下のルールに従う。

±0.1サイクル：曲げ初亀裂発生荷重の計算値で正負1回を繰り返す。

±1.1～±1.3サイクル：梁先端部での部材角が $1/100$ の変形レベル(以後 $R_1$ と略称する)で正負3回繰り返す。

±2.1～±2.3サイクル： $2 \times R_1$ の変形レベルで正負3回を繰り返す。

±4.1～±4.3サイクル： $4 \times R_1$ の変形レベルで正負3回を繰り返す。

±6.1～±6.3サイクル： $6 \times R_1$ の変形レベルで正負3回を繰り返す。

±8.1～±8.3サイクル： $8 \times R_1$ の変形レベルで正負3回繰り返す。

±8.3サイクル終了後は破壊するまで行う。なお、荷重一変形サイクルの正負の定義は、上記加力の押し側を+、引き側を-とした。

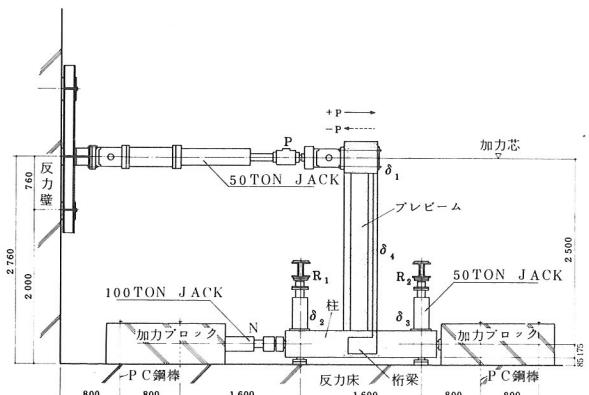


図-2 加力装置図 ( TYPE-I, III, IV )

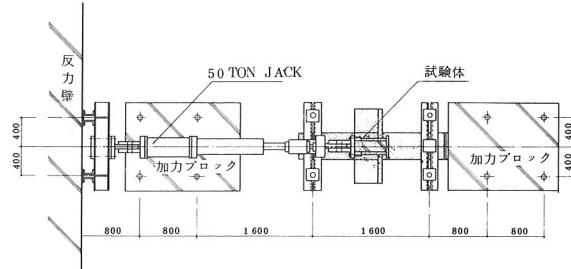


図-3 加力装置図 ( TYPE-I～IV )

### 1-3-2 変位、ひずみ、平均曲率の測定

#### (1) 変位の測定

試験体の変位は梁先端部( $\delta_1$ )と中間部( $\delta_4$ )および柱の左右支持点( $\delta_2$ ,  $\delta_3$ )の合計4箇所で測定した。上記の変位は柱、梁仕口部に取り付けられた鉄骨製のゲージホルダーを不動点とし、このゲージホルダーと試験体間の距離の変化を測定したものである。加構の層間変形は上記の $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ の値を用いて式(1)のように評価する。

$$r\delta = \left(\frac{h}{l}\right) \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (1)$$

変位測定方法の概念図を図-4に示す。

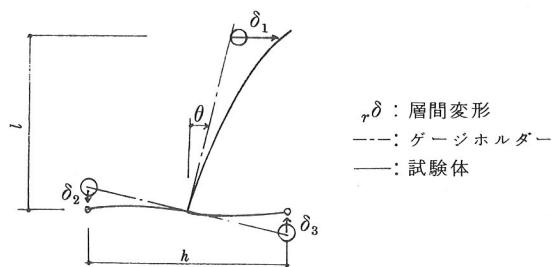


図-4 変位測定方法の概念図

#### (2) 平均曲率( $\bar{\phi}$ )の測定

試験体の平均曲率は、梁のスラブ面および下端フランジ面に、材軸方向に沿って比較的細いピッチでボルトを埋め込み、このボルトの各区間の軸方向変形を測定し、この値を用いて式(2)のように評価する。

$$\bar{\phi}_i = \frac{f\delta_{li} - f\delta_{ui}}{\Delta X_i \cdot j} \quad (2)$$

ここで  $f\delta_{li}$  : 梁のスラブ面の、ある測定区間(ボルトのピッチ)での軸方向変形

$f\delta_{li}$  : 梁の下端フランジ面の、ある測定区間(ボルトピッチ)での軸方向変形  
 $\Delta X_i$  :  $f\delta_{ui}$ ,  $f\delta_{li}$ の測定区間(ボルトの材軸方向ピッチ)  
 $j$  :  $f\delta_{ui}$ ,  $f\delta_{li}$ を測定する変位計の材軸方向間の距離

図-5に平均曲率測定方法の概念図を示す。

## 2. 実験結果と理論値の一覧

### 2-1 各試験体の実験経過一覧

各試験体の破壊経過の一覧を表-4に示す。

### 2-2 実験値と理論値の一覧

本節においては、各試験体の諸限界荷重および初期剛性、降伏剛性の実験値と理論値の一覧を表-5に示す。

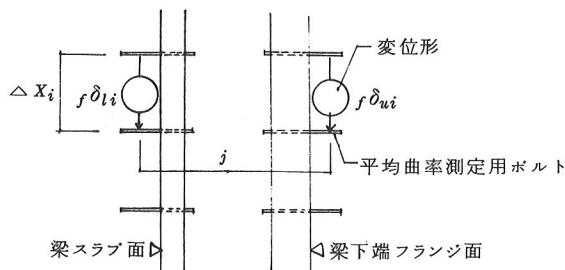


図-5 平均曲率の測定概念図

表-5 実験値と理論値の比較

|                         | 試験体名     | 実験値   |       | 理論値   |       | 実験値/理論値 |      |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|------|
|                         |          | +     | -     | +     | -     | +       | -    |
| 曲げ初きれつ発生荷重<br>Psc (Ton) | TYPE I   | 1.45  | 1.5   | 1.20  | 2.01  | 1.21    | 0.75 |
|                         | TYPE II  | 1.95  | 1.45  | 1.72  | 2.45  | 1.13    | 0.59 |
|                         | TYPE III | 1.48  | 2.98  | 1.50  | 2.60  | 0.99    | 1.15 |
|                         | TYPE IV  | 1.52  | 1.61  | 1.61  | 2.32  | 0.94    | 0.69 |
| 曲げ終曲荷重<br>Pu (Ton)      | TYPE I   | 9.25  | 8.55  | 8.77  | 9.54  | 1.05    | 0.90 |
|                         | TYPE II  | 11.63 | 10.35 | 10.94 | 10.90 | 1.06    | 0.95 |
|                         | TYPE III | 11.83 | 10.73 | 11.40 | 12.30 | 1.04    | 0.87 |
|                         | TYPE IV  | 9.5   | 9.8   | 8.52  | 8.90  | 1.11    | 1.15 |
| 初期剛性<br>Ki(Ton/CM)      | TYPE I   | 6.23  | 8.10  | 13.30 | 13.30 | 0.47    | 0.61 |
|                         | TYPE II  | 9.15  | 9.60  | 15.31 | 15.31 | 0.60    | 0.63 |
|                         | TYPE III | 6.04  | 15.6  | 17.84 | 17.84 | 0.34    | 0.87 |
|                         | TYPE IV  | 9.9   | 10.6  | 13.7  | 13.7  | 0.72    | 0.77 |
| 降伏剛性<br>Ky(Ton/CM)      | TYPE I   | 2.46  | 1.51  | 3.93  | 4.13  | 0.63    | 0.37 |
|                         | TYPE II  | 3.56  | 2.57  | 4.93  | 5.32  | 0.72    | 0.52 |
|                         | TYPE III | 1.63  | 1.85  | 4.65  | 4.76  | 0.35    | 0.40 |
|                         | TYPE IV  | 2.85  | 2.78  | 4.13  | 4.4   | 0.69    | 0.63 |

表-4 各試験体の破壊経過

| 試験体名 | T Y P E I |                |                   | 記事   |
|------|-----------|----------------|-------------------|--|
|      | P (Ton)   | $r\delta$ (MM) | $rR(\times 10^3)$ |  |
| -01  | 1.48      | -1.84          | -1.15             | 梁曲げ初きれつ発生  |
| +11  | -1.45     | 2.61           | 1.63              | 梁曲げ初きれつ発生  |
| +11  | -5.60     | 12.23          | 7.64              | 柱曲げきれつ、梁曲げせん断きれつ発生   |
| +11  | -7.68     | 20.84          | 13.03             |  |
| -11  | +4.98     | -10.94         | -6.84             | 柱初期きれつ   |
| -11  | +5.25     | -13.42         | -8.39             | 梁曲げせん断きれつ発生  |
| -11  | +6.43     | -19.90         | -12.44            |  |
| +21  | -9.25     | 39.16          | 24.48             | 梁圧壊  |
| -21  | +7.73     | -42.60         | -26.63            | 梁圧壊  |
| -41  | +8.55     | -94.40         | -59.00            |  |
| -42  | +6.55     | -88.54         | -55.34            | スラブきれつ開口(1cm)他の部分はほとんど開口なし<br>仕口部スチフナープレート溶接部が破断し、急激な耐力低下を生じた。 |
| +42  | -6.45     | 58.65          | 36.66             |  |

| 試験体名 | T Y P E II |                |                   | 記事                          |
|------|------------|----------------|-------------------|-----------------------------|
|      | P (Ton)    | $r\delta$ (MM) | $rR(\times 10^3)$ |                             |
| +01  | -1.95      | 2.58           | 1.6125            | 梁曲げ初きれつ発生                   |
| -01  | 1.45       | -1.37          | -0.86             | 梁曲げ初きれつ発生                   |
| +11  | -4.93      | 7.83           | 4.89              | 柱初きれつ、柱曲げせん断きれつ             |
| -11  | 5.43       | -10.27         | -6.42             | 梁曲げせん断きれつ                   |
| -11  | 7.35       | -15.83         | -9.90             | 柱曲げ初きれつ                     |
| +41  | -6.50      | 48.13          | 30.08             |                             |
| +41  | -6.43      | 48.15          | 30.09             | 仕口部スチフナー溶接部が破断し、急激な耐力低下を生じる |
| +43  | -4.83      | 62.86          | 39.86             | 梁鉄筋露出及び座屈                   |
| -43  | 0.38       | -18.53         | 1.158             | 柱主筋露出                       |

| 試験体名 | T Y P E III |                |                   | 記事                        |
|------|-------------|----------------|-------------------|---------------------------|
|      | P (Ton)     | $r\delta$ (MM) | $rR(\times 10^3)$ |                           |
| +01  | -1.48       | 0.16           | 0.38              | 梁曲げ初きれつ発生                 |
| -11  | 2.98        | 8.76           | 5.42              | 梁曲げ初きれつ発生                 |
| +11  | -3.95       | 10.52          | 6.58              | 柱曲げ初きれつ                   |
| +11  | -6.68       | 15.85          | 9.91              | 梁曲げせん断きれつ                 |
| -11  | 3.95        | 0.47           | 0.29              | "                         |
| +12  | 7.28        | 20.27          | 12.54             | 柱圧壊                       |
| +21  | -9.5        | 37.66          | 23.53             | 足元のきれつ開かず柱の背の盛り上りによって梁が変形 |
| +43  | -9.88       | 75.48          | 47.17             | 下フランジの主筋露出                |
| -43  | 7.58        | -53.79         | -33.62            | 下フランジの主筋座屈                |
| +61  | -8.48       | 65.12          | 40.70             | 柱鉄骨露出                     |
| +62  | -11.4       | 127.17         | 79.48             | 柱フランジ座屈                   |
| -63  | 7.9         | -97.47         | -60.91            | 仕口パネル内の鉄骨が座屈              |

| 試験体名 | T Y P E IV |                |                   | 記事                    |
|------|------------|----------------|-------------------|-----------------------|
|      | P (Ton)    | $r\delta$ (MM) | $rR(\times 10^3)$ |                       |
| -01  | 1.52       |                |                   | 梁基部に曲げ初きれつ発生(下端フランジ側) |
| +11  | 1.61       |                |                   | "(上端フランジ側)            |
| +11  | 4.45       |                |                   | 梁曲げせん断きれつ発生           |
| -11  | 4.0        |                |                   | 柱頭部に曲げ初きれつ発生          |
| -11  | 5.0        |                |                   | 梁曲げせん断きれつ発生           |
| -12  | 8.3        |                |                   | 柱頭上端斜めのきれつ発生          |
| +21  | 7.5        |                |                   | 柱脚部にせん断きれつ発生          |
| -23  | 8.74       |                |                   | 柱脚部に曲げせん断きれつ発生        |
| +41  | 8.5        |                |                   | 桁梁にせん断きれつ発生           |
| +41  | 9.5        |                |                   | 梁基部下端フランジ側圧壊          |
| -41  | 9.0        |                |                   | 梁基部スラブ側圧壊、柱頭部せん断きれつ発生 |
| -42  | 6.0        |                |                   | 梁基部下端フランジ鉄筋露出         |
| -43  | 6.99       |                |                   | 柱頭鉄筋露出                |
| -61  | 7.87       |                |                   | 梁基部スラブ側鉄筋露出           |

(注) P = 荷重,  $r\delta$  = 層間変形,  $rR$  = 部材角

表-5の理論値は式(3)にて求める。

1) 曲げ初亀裂発生荷重

$$P_{bc} = 1.8 \sqrt{F_c} Z_e / a \quad (3)$$

ここで  $Z_e$  : 鋼材を考慮した等価断面係数

$a$  :せん断スパン

2) 曲げ終局荷重

$$P_u = rP_u + sP_u \quad (4)$$

ここで  $rP_u$  : 鉄筋コンクリート部分の曲げ終局荷重

$sP_u$  : 鉄骨部分の曲げ終局荷重

上記  $rP_u$ ,  $sP_u$  は下式によって求める。

$$rP_u = \left\{ 0.8 r a t_r \sigma_y D + 0.5 N D \left( 1 - \frac{N}{b D F_c} \right) \right\} / a$$

$$sP_u = sZ_s \sigma_u / a$$

ここで  $r a t$  : 軸筋断面積

$r \sigma_y$  : 軸筋降伏応力度

$sZ$  : 鉄骨断面係数 =  $A_f (H - t_f)$

$s \sigma_u$  : 鉄骨引張り強度

$D$  : 材成

$N$  : 作用軸力

$A_f$  : フランジ断面積

$H$  : 鉄骨成

$t_f$  : フランジ厚

3) 初期剛性

図-6は、本実験での変位の測定要領を模式的に示したものである。初期剛性算定にあたって、供試体は図-7のようにモデル化する。

図-6を考慮し、図-7の解析モデルを解くと、梁先端部の変形は式(5), (6)のよう求められる。

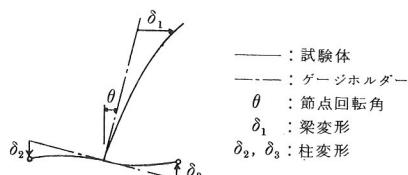


図-6 変形測定要領

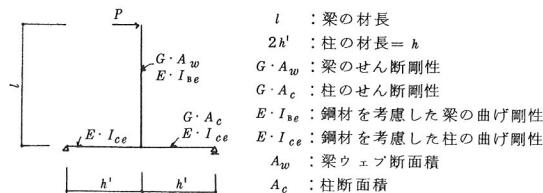


図-7 解析モデル

$$\delta_b = \frac{Pl^3}{3EI_{be}} + \frac{Pl^2 h'}{6EI_{ce}} \quad (5)$$

$$\delta_s = \frac{Pl}{GA_w} + \frac{kPl^2}{2GA_ch'} \quad (6)$$

ここで  $\delta_b$  = 曲げ変形,  $\delta_s$  = せん断変形  
 $k = 1.2$

架構としての層間変形は式(7)によって評価できる。

$$r\delta = \left( \frac{2h'}{l} \right) (\delta_s + \delta_b) \quad (7)$$

架構の初期剛性は式(8)で表わされる。

$$k_i = \frac{P}{r\delta} \quad (8)$$

式(8)に(5), (6), (7)を代入すると

$$k_i = (C_{be} + C_{ce})^{-1}$$

$$C_{be} = \frac{2h'^2}{3EI_{be}} + \frac{2h'}{GA_w}, C_{ce} = \frac{lh'^2}{3EI_{ce}} + \frac{kl}{GA_c}$$

4) 降伏剛性

架構の降伏剛性は式(9)によって算定する。

$$k_y = \left( \frac{C_{be}}{\alpha_{yb}} + \frac{C_{ce}}{\alpha_c} \right)^{-1} \quad (9)$$

ここで  $\alpha_{yb}$  : 梁の降伏剛性低下率

$\alpha_c$  : 梁降伏時の剛性低下率

式(9)における  $\alpha_{yb}$ ,  $\alpha_c$  は式(10), (11)によって評価する。

$$\alpha_{yb} = (0.043 + 1.64n_r P_t + 0.043a/D + 0.33\eta_o) \left( \frac{rd}{D} \right)^2 \quad (10)$$

$$\alpha_c = \left[ 1 + \left( \frac{1}{c\alpha_y} - 1 \right) \frac{1 - \frac{cM_{bc}}{cM}}{1 - \frac{cM_{bc}}{cM_y}} \right]^{-1} \quad (11)$$

ここで  $\eta$  : ヤング係数比

$rP_t$  : 梁軸筋比

$\eta_o$  : 軸応力度比 =  $N/(bDF_c)$

$rd$  : 応力中心距離

$c d_y$  : 柱降伏剛性低下率, 式(10)より求める。

$c M_{bc}$  : 柱の曲げ初亀裂発生モーメント

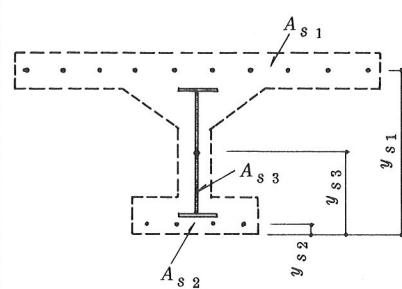
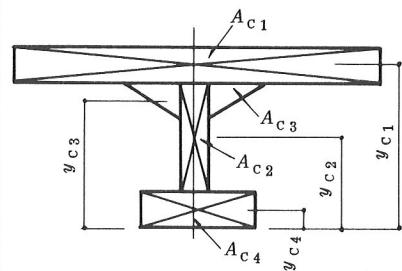
$c M_y$  : 柱の曲げ降伏モーメント

$c M$  : 梁曲げ降伏時の柱曲げモーメント

曲げ初亀裂発生荷重, 曲げ終局荷重, 降伏剛性の計算過程を表-6～表-11に示す。

表-6 梁の断面性能および曲げきれつ発生荷重の計算

| 種類<br>記号  | TYPE I | TYPE II | TYPE III | TYPE IV | 備 考 |
|---|--------|---------|----------|---------|-----|
| $A_{c_1}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 600    | 600     | 600      | 600     |     |
| $y_{c_1}$ (cm)  | 34.5   | 57      | 42       | 34.5    |     |
| $A_{c_2}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 215    | 415     | 290      | 215     |     |
| $y_{c_2}$ (cm)  | 20.75  | 33.25   | 24.5     | 20.75   |     |
| $A_{c_3}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 75     | 200     | 75       | 75      |     |
| $y_{c_3}$ (cm)  | 29     | 50.6    | 36.5     | 29      |     |
| $A_{c_4}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 250    | 437.5   | 225      | 250     |     |
| $y_{c_4}$ (cm)  | 5      | 6.25    | 5        | 5       |     |
| $A_c = \sum A_{ci}$ (cm <sup>2</sup> )                    | 1140   | 1652.5  | 1190     | 1140    |     |
| $S_c = \sum A_{ci} y_{ci} \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> ) | 28.59  | 60.86   | 36.18    | 28.59   |     |
| $A_{s_1}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 2.764  | 2.764   | 2.764    | 2.764   |     |
| $y_{s_1}$ (cm)  | 34.5   | 57      | 42       | 34.5    |     |
| $A_{s_2}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 3.97   | 5.41    | 3.97     | 3.97    |     |
| $y_{s_2}$ (cm)  | 5      | 6.25    | 5        | 5       |     |
| $A_{s_3}$ (cm <sup>2</sup> )                              | 37.55  | 56.56   | 45.4     | 37.55   |     |
| $y_{s_3}$ (cm)  | 18     | 29.25   | 21.75    | 18      |     |
| $A_s = \sum A_{si}$ (cm <sup>2</sup> )                    | 44.17  | 64.73   | 52.13    | 44.17   |     |
| $S_s = \sum A_{si} y_{si} \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> ) | 0.791  | 1.846   | 1.124    | 0.791   |     |
| $A_e = A_c + nA_s$ (cm <sup>2</sup> )                     | 1582   | 2300    | 1711.3   | 1582    |     |
| $S_e = S_c + S_c n (\times 10^3 \text{ cm}^3)$            | 36.5   | 79.32   | 47.42    | 36.58   |     |
| $g = S_e / A_e$ (cm)                                      | 23.0   | 34.5    | 27.7     | 23.0    |     |
| $I_c (\times 10^4 \text{ cm}^4)$                          | 24.9   | 107.8   | 37.73    | 24.9    |     |
| $Z_{e_1} (\times 10^3 \text{ cm}^3)$                      | 10.8   | 31.3    | 13.5     | 10.8    |     |
| $Z_{e_2} (\times 10^3 \text{ cm}^3)$                      | 17.2   | 42.3    | 22.2     | 17.2    |     |
| $P_{B_1}$ (t)   | 1.2    | 1.72    | 1.5      | 1.61    |     |
| $P_{B_2}$ (t)   | 2.01   | 2.45    | 2.6      | 2.32    |     |



$g$  : 梁下端より図心までの距離

$I_e$  : 等価断面二次モーメント

$Z_{e_1}, Z_{e_2}$  : 等価断面係数

$P_{B_1}, P_{B_2}$  : 曲げきれつ発生荷重

$n$  : ヤング係数比 = 1.0

$$Z_{e_1} = J_e / g \quad P_{B_1} = F_{t_1} \cdot Z_{e_1} / (l - \frac{D_c}{2})$$

$$Z_{e_2} = I_e / (D - g) \quad P_{B_2} = F_{t_2} \cdot Z_{e_2} / (l - \frac{D_c}{2})$$

$$F_{t_1} = 25.8 \text{ kg/cm}^2 \quad F_{t_2} = 27.2 \text{ kg/cm}^2$$

表-7 柱の断面性能および曲げきれつ発生荷重の計算

| 試験体名     | $b_c$<br>(cm) | $D_c$<br>(cm) | $D_g$<br>(cm) | $l$<br>(cm) | 鉄筋         |                        | 鉄骨  |   | $I_e$<br>( $\times 10^4$<br>$cm^4$ ) | $Z_e$<br>( $\times 10^3$<br>$cm^3$ ) | $P_{bc}$<br>(t) |
|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|------------|------------------------|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|          |               |               |               |             | $n - \phi$ | $r^{at}$<br>( $cm^2$ ) | $BH - h \times B \times t_w \times t_y$   | $sI \cdot n$<br>( $\times 10^4$<br>$cm^4$ ) |                                      |                                      |                 |
| TYPE-I   | 35            | 35            | 37.5          | 250         | 2-D10      | 1.43                   | $BH - 200 \times 150 \times 4.5 \times 9$ | 2.69  | 15.84                                | 9.05                                 | 5.00            |
| TYPE-II  | 45            | 45            | 60            | 500         | 4-D10      | 2.85                   | $BH - 300 \times 200 \times 6 \times 9$   | 8.75  | 45.43                                | 20.19                                | 5.43            |
| TYPE-III | 35            | 35            | 45            | 250         | 2-D10      | 1.43                   | $BH - 200 \times 150 \times 4.5 \times 9$ | 2.69  | 15.84                                | 9.05                                 | 5.33            |
| TYPE-IV  | 35            | 35            | 37.5          | 250         | 2-D10      | 1.43                   | $BH - 200 \times 150 \times 4.5 \times 9$ | 2.69  | 15.84                                | 9.05                                 | 5.40            |

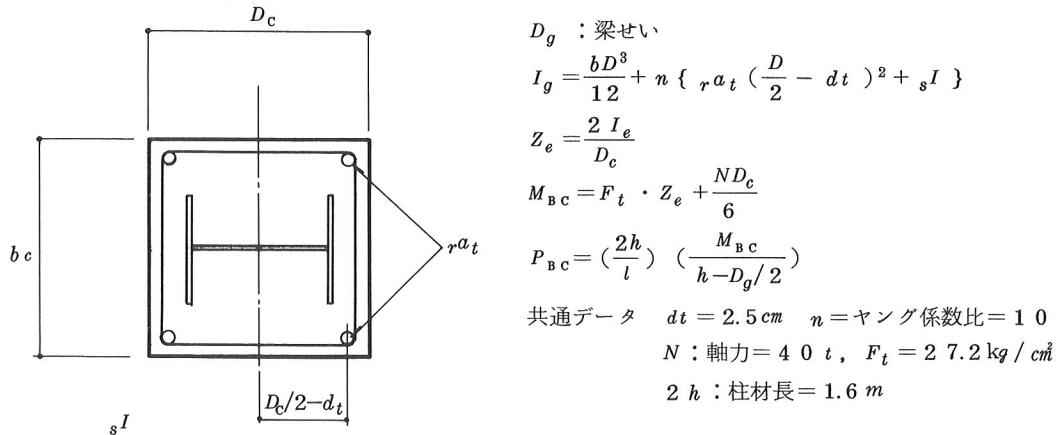


表-8 部材の終局曲げモーメントの計算

| 試験体名     | 部材   | 鉄骨部分        |             |               |                    |                             |                           | RC部分             |                             |                   |                           | $M_u = sM_u + rM_u$<br>( $t \cdot m$ ) |
|----------|------|-------------|-------------|---------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|--|
|          |      | $h$<br>(cm) | $b$<br>(cm) | $t_f$<br>(cm) | $sZ$<br>( $cm^3$ ) | $s\sigma_u$<br>( $t/cm^2$ ) | $sM_u$<br>( $t \cdot m$ ) | $r^{at}$<br>(cm) | $r\sigma_y$<br>( $t/cm^2$ ) | $D_{ord}$<br>(cm) | $rM_u$<br>( $t \cdot m$ ) |  |
| TYPE-I   | 梁(+) | 25          | 15          | 0.9           | 325.3              | 5.37                        | 17.47                     | 2.85             | 3.47                        | 32.5              | 2.91                      | 20.38                                  |
|          | 梁(-) | "           | "           | "             | "                  | "                           | "                         | 2.77             | 4.92                        | 34.5              | 4.70                      | 22.17                                  |
|          | 柱    | 20          | 15          | 0.9           | 257.9              | "                           | 13.85                     | 1.43             | 3.47                        | 35                | 7.39                      | 21.24                                  |
| TYPE-II  | 梁(+) | 47.5        | 20          | 0.9           | 838.8              | "                           | 45.04                     | 4.28             | 3.47                        | 53.75             | 7.18                      | 52.23                                  |
|          | 梁(-) | "           | "           | "             | "                  | "                           | "                         | 2.77             | 4.92                        | 57                | 6.99                      | 52.03                                  |
|          | 柱    | 30          | 20          | 0.9           | 523.8              | "                           | 28.13                     | 2.85             | 3.47                        | 45                | 11.78                     | 39.91                                  |
| TYPE-III | 梁(+) | 32.5        | 15          | 0.9           | 426.6              | "                           | 22.9                      | 2.85             | 3.47                        | 40                | 3.56                      | 26.46                                  |
|          | 梁(-) | "           | "           | "             | "                  | "                           | "                         | 2.77             | 4.92                        | 42                | 5.72                      | 28.62                                  |
|          | 柱    | 20          | 15          | 0.9           | 257.9              | "                           | 13.85                     | 1.43             | 3.47                        | 35                | 7.39                      | 21.24                                  |
| TYPE-IV  | 梁(+) | 25          | 15          | 0.9           | 325.3              | 5.107                       | 16.61                     | 2.85             | 3.81                        | 32.5              | 3.18                      | 19.8                                   |
|          | 梁(-) | "           | "           | "             | "                  | "                           | "                         | 2.77             | 4.76                        | 34.5              | 4.09                      | 20.7                                   |
|          | 柱    | 20          | 15          | 0.9           | 257.9              | "                           | 13.17                     | 1.43             | 3.81                        | 35                | 7.44                      | 20.6                                   |

上表において

$$\begin{aligned}
 sM_u &= sZ \cdot s\sigma_u \\
 sZ &= (h - t_f) b \cdot t_f
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 rM_u &= \text{柱} = 0.8 r^{at} r\sigma_y D + 0.5 N D (1 - N / b D F_c) \\
 &\text{梁} = 0.9 r^{at} r\sigma_y d
 \end{aligned}$$

表-9 初期剛性の計算

| 種類<br>記号            | TYPE I              | TYPE II              | TYPE III            | TYPE IV             |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| $I_{Bc}$ ( $cm^4$ ) | $24.9 \times 10^4$  | $107.82 \times 10^4$ | $37.73 \times 10^4$ | $24.9 \times 10^4$  |
| $I_{Ce}$ ( $cm^4$ ) | $15.64 \times 10^4$ | $47.4 \times 10^4$   | $15.64 \times 10^4$ | $15.84 \times 10^4$ |
| $h^4$ ( $cm$ )      | 80                  | 80                   | 80                  | 80                  |
| $l$ ( $cm$ )        | 250                 | 500                  | 250                 | 250                 |
| $A_c$ ( $cm^2$ )    | $35 cm^2$           | $45 cm^2$            | $35 cm^2$           | $35 cm^2$           |
| $A_w$ ( $cm^2$ )    | $10 \times 37.5$    | $10 \times 60$       | $10 \times 45$      | $10 \times 37.5$    |
| $C_{Be}$ ( $cm/t$ ) | 0.0588              | 0.0530               | 0.0396              | 0.0572              |
| $C_{Ce}$ ( $cm/t$ ) | 0.0164              | 0.0123               | 0.0164              | 0.0159              |
| $K_i$ ( $t/on$ )    | 13.30               | 15.31                | 17.84               | 13.7                |

$$K_i = (C_{Be} + C_{Ce})^{-1}$$

ここで

$$C_{Be} = \frac{2h^4l^2}{3E I_{Be}} + \frac{2h^4}{G \cdot A_w}$$

$$C_{Ce} = \frac{l h^{12}}{3E I_{Ce}} + \frac{K \cdot l}{G \cdot A_c}$$

共通データ  $E = 247 t/cm^2, K = 1.2$ 

$$G = E / 2(1 + \nu) = 92.6$$

$$\nu = \frac{1}{3}$$

表-10 降伏剛性低下率の計算

| 位置 | 方向 | 記号         | TYPE-I                | TYPE-II               | TYPE-III              | TYPE-IV               |
|----|----|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 梁  | +  | $P_t$      | $3.49 \times 10^{-3}$ | $2.62 \times 10^{-3}$ | $3.34 \times 10^{-3}$ | $3.49 \times 10^{-3}$ |
|    |    | $a$        | $25.25 cm$            | $49.75 cm$            | $25.22 cm$            | $25.25 cm$            |
|    |    | $D$        | $37.5 cm$             | $60.0 cm$             | $45.0 cm$             | $37.5 cm$             |
|    |    | $\eta_o$   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
|    |    | $d$        | $32.5 cm$             | $53.75 cm$            | $40.0 cm$             | $32.5 cm$             |
|    |    | $\alpha_y$ | 0.2926                | 0.3475                | 0.268                 | 0.2926                |
| 梁  | -  | $P_t$      | $2.97 \times 10^{-3}$ | $1.64 \times 10^{-3}$ | $2.85 \times 10^{-3}$ | $2.97 \times 10^{-3}$ |
|    |    | $a$        | $25.25 cm$            | $49.75 cm$            | $25.25 cm$            | $25.25 cm$            |
|    |    | $D$        | $37.5 cm$             | $60.0 cm$             | $45.0 cm$             | $37.5 cm$             |
|    |    | $\eta_o$   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
|    |    | $d$        | $34.5 cm$             | $57.0 cm$             | $42.0 cm$             | $34.5 cm$             |
|    |    | $\alpha_y$ | 0.323                 | 0.384                 | 0.277                 | 0.323                 |
| 柱  |    | $P_t$      | $2.07 \times 10^{-3}$ | $2.51 \times 10^{-3}$ | $2.07 \times 10^{-3}$ | $2.07 \times 10^{-3}$ |
|    |    | $a$        | $61.25 cm$            | $50.0 cm$             | $61.25 cm$            | $61.25 cm$            |
|    |    | $D$        | $35 cm$               | $45 cm$               | $35 cm$               | $35 cm$               |
|    |    | $\eta_o$   | 0.143                 | 0.0865                | 0.143                 | 0.146                 |
|    |    | $d$        | $32.5 cm$             | $42.5 cm$             | $32.5 cm$             | $32.5 cm$             |
|    |    | $\alpha_y$ | 0.172                 | 0.143                 | 0.172                 | 0.173                 |

### 3. 実験結果の考察

#### 3-1 諸限界荷重、剛性の実験値と理論値の比較

表-12に各試験体の諸限界荷重と剛性の実験値なら

びに理論値の比を示す。表-12より以下の事が指摘できる。

表-11 降伏変形の計算

| 記号                         | 種類     |       | TYPE I |       | TYPE II |       | TYPE III |        | TYPE IV |     |
|----------------------------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|----------|--------|---------|-----|
|                            | (+)    | (-)   | (+)    | (-)   | (+)     | (-)   | (+)      | (-)    | (+)     | (-) |
| $\alpha_{y_B}$             | 0.2926 | 0.323 | 0.348  | 0.384 | 0.268   | 0.277 | 0.293    | 0.323  |         |     |
| $\alpha_{y_C}$             | 0.172  | 0.172 | 0.143  | 0.143 | 0.172   | 0.172 | 0.173    | 0.173  |         |     |
| $B M_y(t \cdot m)$         | 18.34  | 19.95 | 47.00  | 46.83 | 23.81   | 25.76 | 17.82    | 18.63  |         |     |
| $C M_y(t \cdot m)$         | 19.11  | 19.11 | 35.92  | 35.92 | 19.11   | 19.11 | 18.54    | 18.54  |         |     |
| $C M_B C(t \cdot m)$       | 4.80   | 4.80  | 9.49   | 9.49  | 4.80    | 4.80  | 5.17     | 5.17   |         |     |
| $C M(t \cdot m)$           | 7.53   | 8.20  | 15.37  | 15.31 | 9.19    | 9.94  | 7.34     | 7.67   |         |     |
| $1 - C M_B C / C M_y$      | 0.749  | 0.749 | 0.736  | 0.736 | 0.749   | 0.749 | 0.721    | 0.721  |         |     |
| $1 - C M_B C / C M$        | 0.362  | 0.414 | 0.383  | 0.380 | 0.478   | 0.482 | 0.296    | 0.326  |         |     |
| $1 / \alpha_{y_C} - 1$     | 4.814  | 4.814 | 5.993  | 5.993 | 4.814   | 4.814 | 4.78     | 4.78   |         |     |
| $\alpha_c$                 | 0.301  | 0.273 | 0.243  | 0.244 | 0.246   | 0.244 | 0.337    | 0.316  |         |     |
| K                          | 1.2    | 1.2   | 1.2    | 1.2   | 1.2     | 1.2   | 1.2      | 1.2    |         |     |
| $h'$                       | 80     | 80    | 80     | 80    | 80      | 80    | 80       | 80     |         |     |
| $l(cm)$                    | 250    | 250   | 500    | 500   | 250     | 250   | 250      | 250    |         |     |
| $I_B C (\times 10^4 cm^4)$ | 24.9   | 24.9  | 107.8  | 107.8 | 37.7    | 37.7  | 24.9     | 24.9   |         |     |
| $I_C e (\times 10^4 cm^4)$ | 15.6   | 15.6  | 47.4   | 47.4  | 15.6    | 15.6  | 15.6     | 15.6   |         |     |
| $C_B e / \alpha_{y_B}$     | 0.200  | 0.182 | 0.152  | 0.138 | 0.148   | 0.143 | 0.195    | 0.177  |         |     |
| $C_C e / \alpha_c$         | 0.054  | 0.060 | 0.051  | 0.050 | 0.067   | 0.067 | 0.0472   | 0.0503 |         |     |
| $K_y(t/cm)$                | 3.93   | 4.13  | 4.93   | 5.32  | 4.65    | 4.76  | 4.13     | 4.40   |         |     |

上表において

$$\delta_y = P_y / K_y \quad B M_y = 0.9 B M_u, \quad C M_y = 0.9 C M_u$$

$$\text{但し } P_y = 0.9 P_u \quad C M = B M_y (2h - D_g) l / \{ 2h (2l - D_c) \}$$

表-12 諸限界荷重と剛性の実験値と理論値の比較

| 試験体名                | TYPE-I |      | TYPE-II |      | TYPE-III |      | TYPE-IV |      |
|---------------------|--------|------|---------|------|----------|------|---------|------|
|                     | +      | -    | +       | -    | +        | -    | +       | -    |
| $e P_B C / c P_B C$ | 1.21   | 0.75 | 1.13    | 0.59 | 0.99     | 1.15 | 0.94    | 0.69 |
| $e P_u / c P_u$     | 1.05   | 0.90 | 1.06    | 0.95 | 1.04     | 0.87 | 1.11    | 1.15 |
| $e K_i / c K_i$     | 0.47   | 0.61 | 0.60    | 0.63 | 0.34     | 0.87 | 0.72    | 0.77 |
| $e K_y / c K_y$     | 0.63   | 0.37 | 0.72    | 0.52 | 0.35     | 0.40 | 0.69    | 0.63 |

上表において

 $e P_B C$  : 曲げ初きれつ発生荷重実験値 $e K_i$  : 初期剛性実験値 $c P_B C$  : 同理論値 $c K_i$  : 同理論値 $e P_u$  : 曲げ終局強度実験値 $e K_y$  : 降状剛性実験値 $c P_u$  : 同理論値 $c K_y$  : 同理論値

- (1) 曲げ初亀裂の発生荷重は、一般にバラツキが大きいことが指摘されている。このことを考慮すれば、本実験での実験値と理論値の相関性は比較的良好であると言える。
- (2) 曲げ終局強度の理論値と実験値の相関性は極めて高く、前章の式(4)によると鉄骨と鉄筋コンクリートの累加強度式の実験値への適合性は極めて良好である。
- (3) 初期剛性実験値は、いずれの試験体についても理論値よりかなり低い。いずれの試験体も、実験棟搬入時に亀裂がかなり多数入ったことが試験体の初期剛性を低下させた原因であると考えられる。
- (4) 降伏剛性の実験値も、初期剛性と同様に理論値よりかなり低い。

### 3-2 等価粘性減衰常数、固有ループ形状

各試験体のエネルギー吸収能力は等価粘性減衰常数( $h_{eq}$ )によって評価する。これは図-8のように表わされるものである。

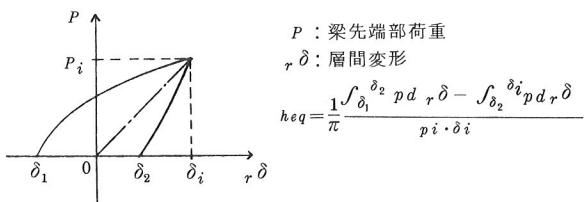


図-8 等価粘性減衰常数の定義

図-9～12はTYPE-I, TYPE-II, TYPE-III, TYPE-IVの各荷重変形サイクルの等価粘性減衰常数とそのループでの部材角ピーク値の関係をプロットしたものである。これらの図より以下のことが指摘できる。

- (1) 等価粘性減衰常数の値は、各試験体とも变形レベルの上昇に伴って顕著に増加し、最大50%近くに達しているものも見られる。これより、プレビームのエネルギー吸収能力はかなり高いことが理解できる。
- (2) 図-13～16は、各試験体の荷重  $p$ -層間変形  $r\delta$  曲線を示したものである。これらの図より各試験体の固有ループ形状は、鉄骨鉄筋コンクリート部材よりむしろ鉄筋コンクリート部材に多く見られる。

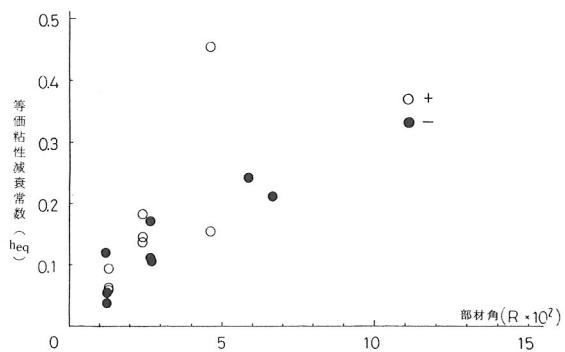


図-9 部材角と等価粘性減衰常数  $h_{eq} - R$  (TYPE-I)

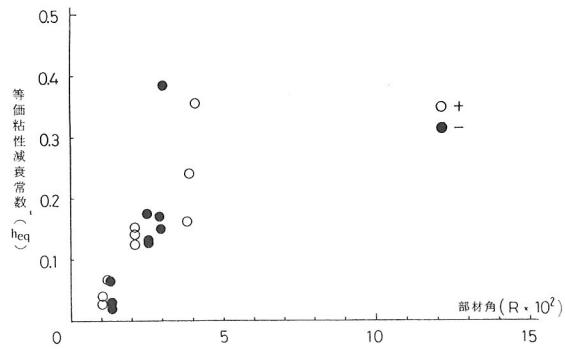


図-10 部材角と等価粘性減衰常数  $h_{eq} - R$  (TYPE-II)

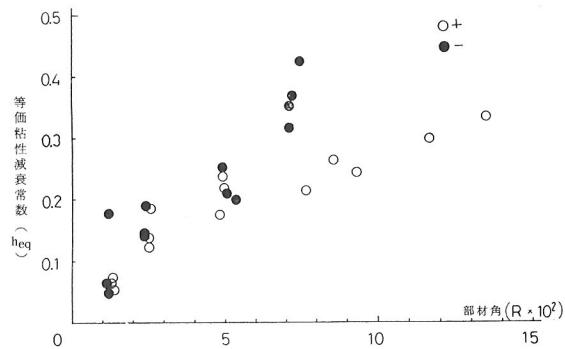


図-11 部材角と等価粘性減衰常数  $h_{eq} - R$  (TYPE-III)

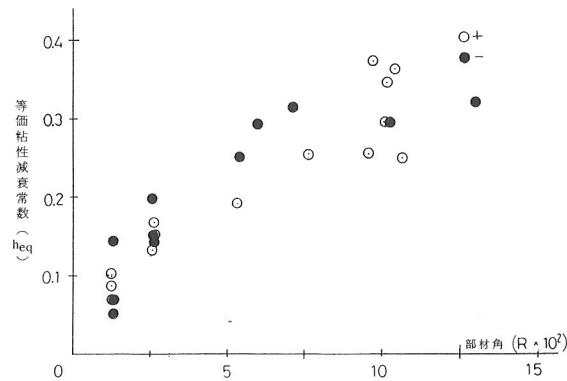


図-12 部材角と等価粘性減衰常数  $h_{eq} - R$  (TYPE-IV)

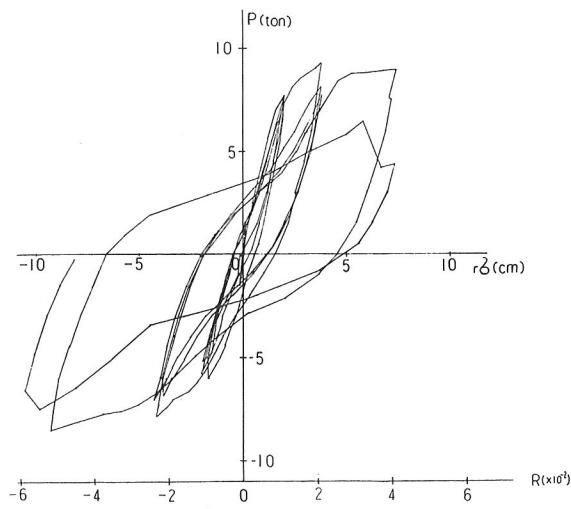


図-13 荷重変形曲線 T Y P E - I

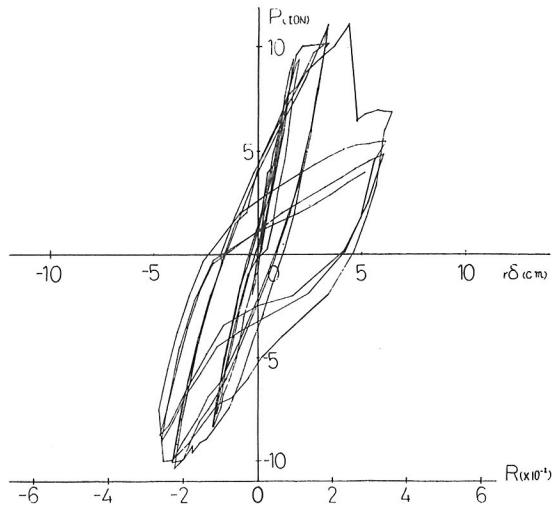


図-14 荷重変形曲線 T Y P E - II

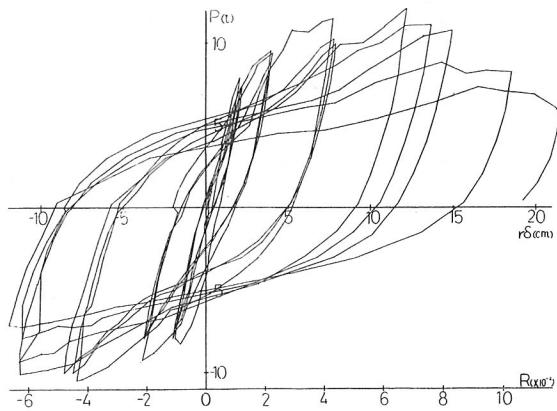


図-15 荷重変形曲線 T Y P E - III

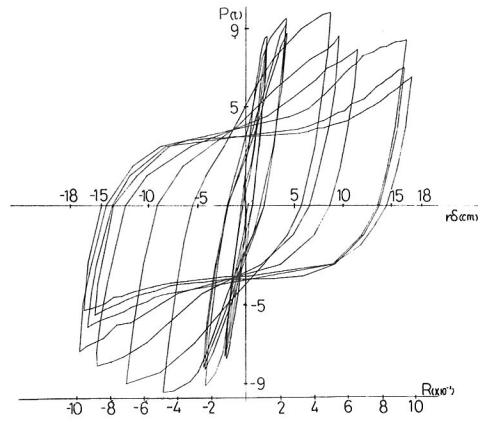


図-16 荷重変形曲線 T Y P E - IV

### 3-3 等価ヒンジ長さ

片持梁の先端に荷重  $P$  が作用し、その結果図-1-7に示すような曲率分布が得られた時、先端部の回転角、曲げ変形は Mohr の定理を用いると下式のように表わすことができる。

$$\theta = \int_0^l \phi \, dx \quad (12)$$

$$\delta = \int_0^l \phi x \, dx \quad (13)$$

曲率分布を図-1-8のような矩形に簡略化し、この時に得られる回転角、曲げ変形が式(12)、(13)と等しくなるよう $l_{h1l}$ を決定すると

$$l_{h1l} = 2 \left( l - \frac{\delta}{\theta} \right) \quad (14)$$

式(14)  $l_{h1l}$  は等価ヒンジ長さで、部材の変形吸収長さとして評価されるものである。

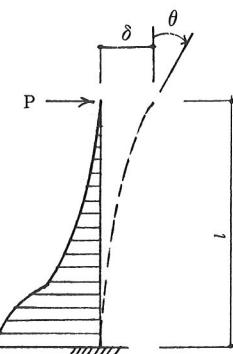


図-17 曲率分布

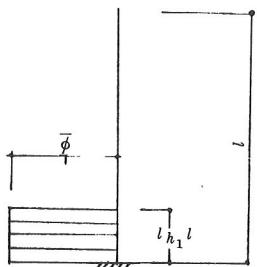


図-18 簡略化した曲率分布

実験によって得られる曲率分布は、当然のことながら discrete(不連続)な値であり、回転角、曲げ変形の算定式は式(12), (13)のような連続関数としての表現ができない。したがって式(12), (13)の積分は式(15), (16)のような Summation の形で表わされる。

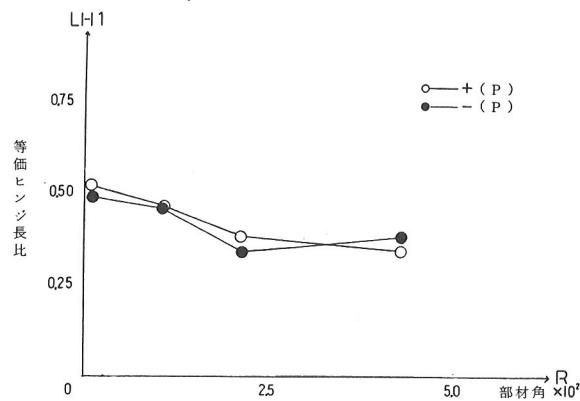


図-19 部材角と等価ヒンジ長比 (TYPE-I)

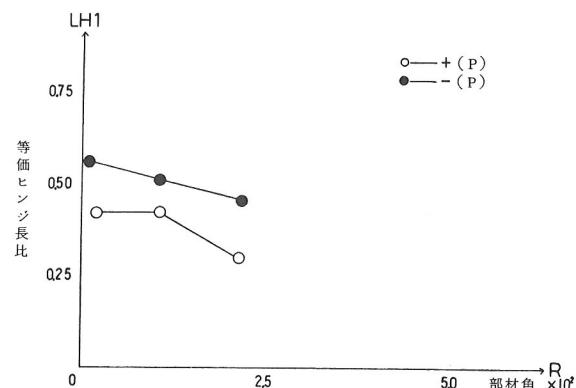


図-20 部材角と等価ヒンジ長比 (TYPE-II)

$$\theta = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^n (f \delta u_i - f \delta l_i) \quad (15)$$

$$\delta = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^n [(f \delta u_i - f \delta l_i) \{ (\sum_{k=1}^i \Delta X_k) - \frac{\Delta X_i}{2} \}] \quad (16)$$

図-19, 20 は縦軸に等価ヒンジ長比 ( $l_{h1}$ ) を、横軸に部材角を取り、TYPE-I, TYPE-IIの各荷重-変形サイクルの第一回目ループの梁部材角のピーク値と、この時の等価ヒンジ長比の相関を調べたものである。なお、TYPE-IIIに関しては次節でも述べるように鉄骨接合部の柱フランジの変形により柱の上端コンクリートが盛り上がってきたため、梁基部の曲率測定が不可能となり、上記の検討データとしては除外した。

図-19, 20 より以下の事が言えよう。

- (1) ある一定の変形レベルまでは、等価ヒンジ長さは部材角の増加に伴って減少する。
- (2) 等価ヒンジ長さは約 0.3 度程度にまで減少するとそれ以後は部材角が上昇してもこの値はあまり変わらない。

#### 3-4 各試験体の破壊経過および破壊モード

図-21～24 に各試験体の各荷重-変形段階における亀裂発生終局状況を示す。これらの図より以下のことが指摘し得よう。

- (1) 梁の亀裂は極めて広い範囲(梁材長の 7 割程度)に渡って生じている。これらの亀裂は、いずれの試験体も ±11 サイクルまでにほぼ総て発生し、それ以後は変形レベルの増大に伴って基部の曲げ亀裂の開口が進行しただけで、新しい亀裂はほとんど生じなかった。
- (2) 柱、梁仕口部の劣化は TYPE-III を除くとあまり顕

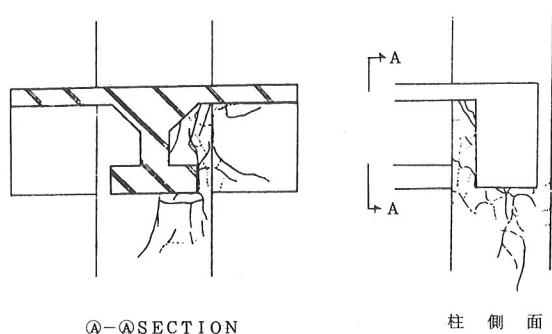


図-21 TYPE-I 終局破壊状況

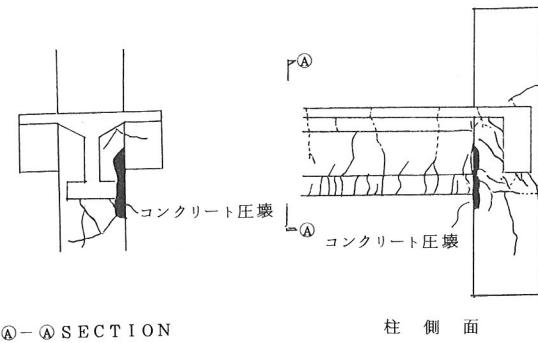


図-22 TYPE-II 終局破壊状況

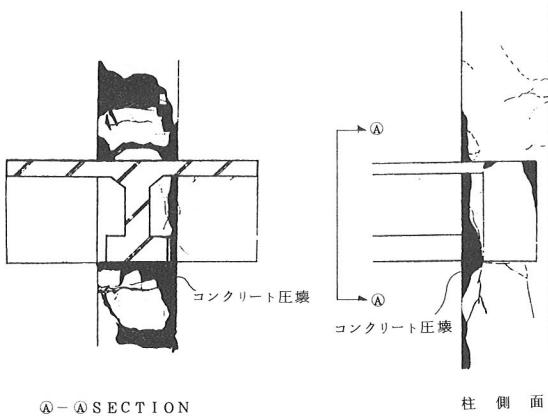


図-23 TYPE-III 終局破壊状況

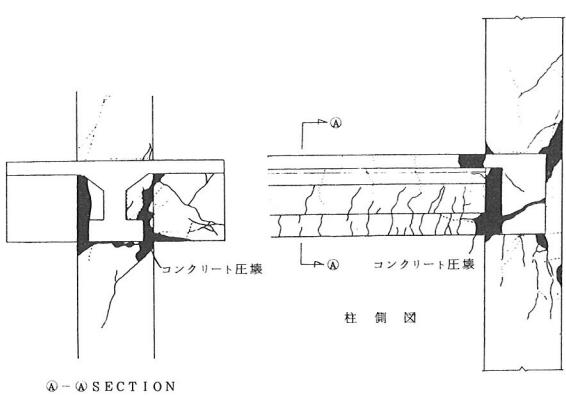


図-24 TYPE-IV 終局破壊状況

著ではなかった。TYPE-IIIは図-25の(a)に示すように鉄骨部の柱、梁接合部ディティールが特殊である。図-25の(b)はこの接合法を用いた柱、梁の応力伝達機構を表わす模式図である。

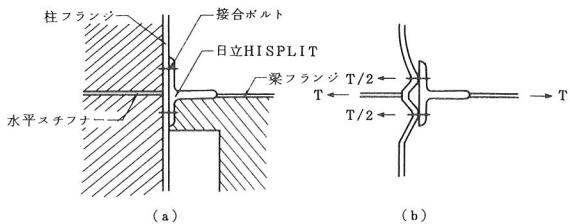


図-25 TYPE-III 柱-梁接合部の応力伝達模式図

図-25を見ても判るように、梁フランジから接合部スチフナーへの引張り応力( $l_h$ )の伝達は、接合ボルトを介して柱フランジプレートの曲げせん断によってなされる。この時、このフランジプレートは図-28の(b)のように変形し、柱および接合部鉄骨周辺のコンクリートを外側に押し開こうとする。柱付け根仕口部のコンクリート劣化は以上述べた機構によって生じたものである。(3) 各試験体の強度支配要因は鉄骨および鉄筋コンクリート部分の曲げ降伏であった。一方、変形能力の支配要因はTYPE-I、TYPE-IIが仕口部スチフナーの溶接箇所の引張り破断であった。これは、仕口部スチフナーと柱フランジプレートがすみ肉溶接されているためにこの部分の引張り力の伝達能力が欠けていたと思われる。TYPE-IIIの変形能力支配要因は、(b)で述べた曲げせん断による柱鉄骨の付け根部分のフランジ破断およびスチフナー部分の溶接破断であった。

(4) TYPE-IVについても、柱部分には亀裂の顕著な進展はほとんど見られなかった。これは柱の曲げ終局強度が、梁のそれを大きく上回っていることに起因するものと考えられる。仕口部の劣化は各試験体の破壊経過一覧にも示したように、41サイクルから始まった。このサイクル以後は柱、梁の劣化はほとんど進行せず、破壊は仕口部のみに集中した。また全層間変形に対しても仕口部回転成分の占める割合が急増し、最大80%近くにも達している。この傾向は、破壊経過によく対応していると言えよう。強度支配要因は梁基部における鉄筋コンクリート造および鉄骨の曲げ降伏であった。

一方、変形能力の支配要因は仕口部パネルのせん断劣化によるものであった。写真-1~4は実験終了後、周辺部コンクリートを研り鉄骨仕口部における劣化状態を撮影したものである。この写真によると、鉄骨仕口部パネルがせん断座屈している模様を明瞭に理解することができ、仕口部の劣化は鉄筋コンクリート部分だけでなく

鉄骨部分にも顕著に現われていることが判る。

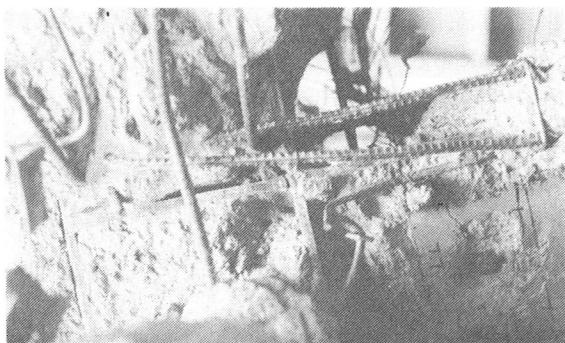


写真-1 TYPE-I 破壊状況

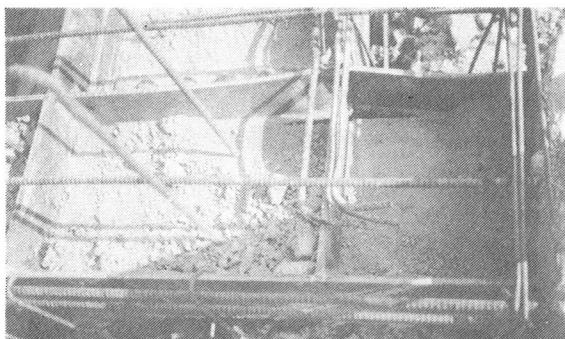


写真-2 TYPE-II 破壊状況

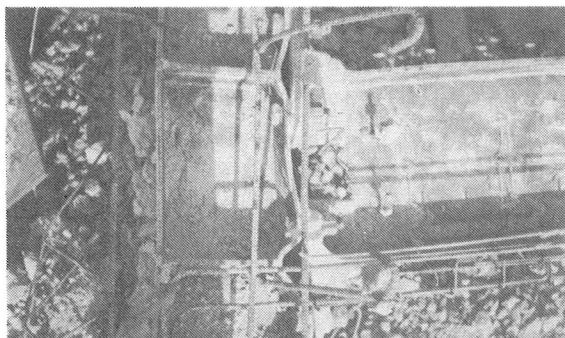


写真-3 TYPE-III 破壊状況

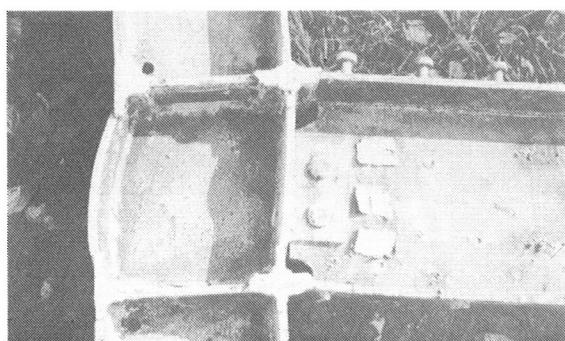


写真-4 TYPE-IV 破壊状況

### 3-5 変形能力

前節でも述べたように、TYPE-I～IIIの実験ではいずれの試験体も柱内鉄骨水平スチフナーのすみ肉溶接部の破断によって変形能力が決まっている。したがって、本実験で得られたデータから各試験体の変形能力について論じることはほとんど不可能であったが、TYPE-IVについては柱内水平スチフナーが突合わせ溶接であり、部材角( $R = \frac{r\delta}{2h}$ )が $\frac{1}{10}$ の変形レベルに達しても最大強度の8割程度の荷重を保持しており、本試験体の変形能力は極めて高いと言える。変形能力の支配要因は仕口部のせん断劣化であった。したがってこの部分を十分補強すれば、変形能力はさらに上昇することが期待できる。

### 3-6 梁の鉄筋および鉄骨のひずみ分布

図-26～28は各試験体の荷重-変形段階における第一回目ループのピーク時における材成方向の鉄筋および鉄骨のひずみ分布を示したものである。図-26～28より以下のことが指摘できる。

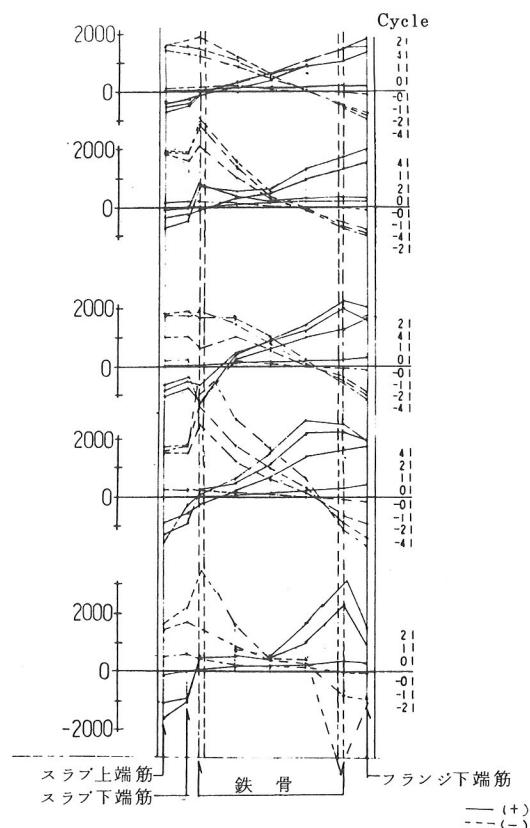


図-26 ひずみ分布 (TYPE-I)

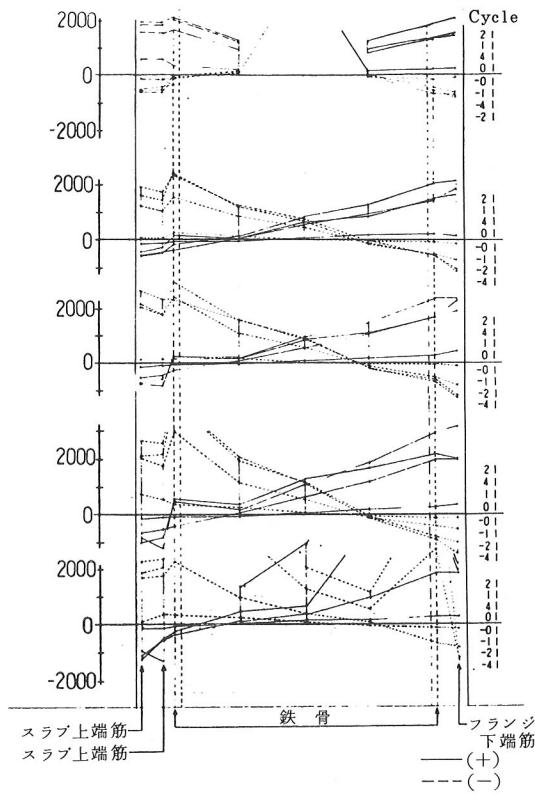


図-27 ひずみ分布( TYPE-II )

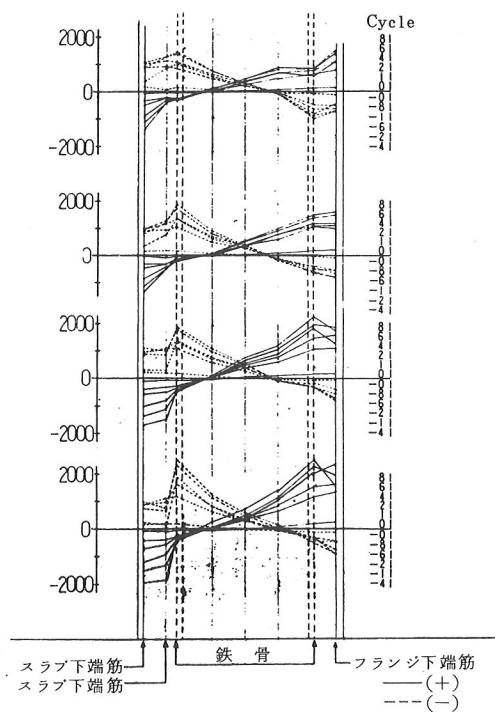


図-28 ひずみ分布( TYPE-III )

(1) 鉄骨部分のひずみはほぼ直線分布しており、鉄骨材としての平面保持はほぼ成立していると言える。

(2) 鉄筋は、スラブ筋、フランジ下端鉄筋とも、鉄骨縁より外側にあるにもかかわらず、曲げ引張りひずみは鉄骨縁ひずみより小さく、鉄骨鉄筋コンクリート材としての平面保持が成立しているとは言い難い。

(1), (2)の原因としては、鉄骨および鉄筋とコンクリート間の付着弛緩が考えられる。特にスラブ筋は丸鋼を用いているため、付着の確保がかなり困難であったと思われる。

#### 4. まとめ

前章の検討より、本実験について以下の事が結論できる。

(1) 曲げ終局強度の推定は、通常の鉄骨鉄筋コンクリート部材と同様、鉄骨部分と鉄筋コンクリート部分の累加則が成立した。

(2) いずれの試験体についても、エネルギー吸収能力は鉄骨鉄筋コンクリート造より優れていた。

(3) 今回の実験では、TYPE-I～IIの試験体は鉄骨仕口部の破断によって変形能力が支配されたため、韌性に関するデータは得ることができなかったが、TYPE-IVについては、部材角が  $\frac{1}{10}$  に達した時点においても最大強度の8割程度の荷重を保持しており、変形能力は極めて高いと言える。

(4) 写真-2～5に各試験体の終局破壊状況を示す。

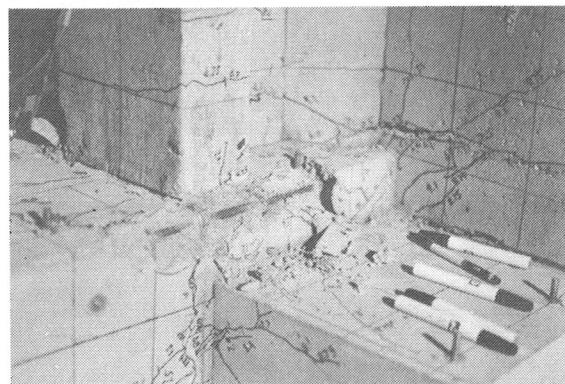


写真-5 TYPE-I 破壊



写真-6 T Y P E - II 破 壊



写真-7 T Y P E - III 破 壊

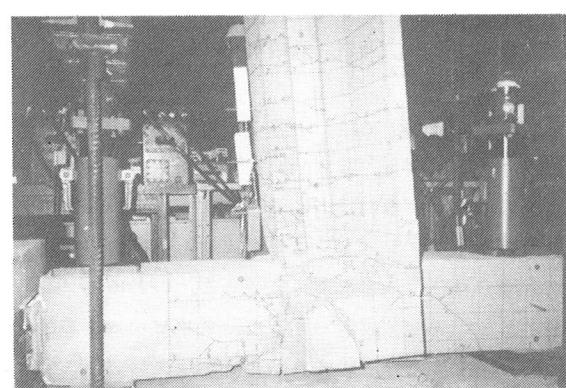


写真-8 T Y P E - IV 破 壊

---

最後に、本実験にあたり長期間にわたり御指導、御協力賜わりました日本大学理工学部教授 工博 本岡順二郎、助手 工博 浜原正行、助手 中山優の皆様に感謝の意を表します。