

# 論文 梁主筋定着方法の違いが段差梁を有する RC 造梁・柱接合部の終局強度に与える影響

廣谷 祐貴<sup>\*1</sup>・上村 智彦<sup>\*2</sup>・石橋 一彦<sup>\*3</sup>・林 静雄<sup>\*4</sup>

**要旨：**段差梁試験体（左梁が上側，右梁が下側）の，最大耐力への定着法（U 字形と機械式），芯ずれ量及び載荷方向（正載荷：左梁上端，右梁下端が引張）による違いを抵抗機構から検討した。芯ずれ量が梁せい未満では，芯ずれ量が増すと，接合部終局強度までに大きな接合部水平せん断力を必要とする。正載荷は圧縮ストラットが多数接合部域に分散し，負載荷は左右の梁の重なる領域に圧縮応力が集中する。機械式は，負載荷に梁主筋定着板間が近く直接せん断の状態になる。芯ずれ量が梁せいの場合，正載荷は接合部上部下部で圧縮ストラットが独立する。機械式定着の負載荷時には梁主筋支圧力が定着板間で伝達される。

**キーワード：**段差梁，芯ずれ，載荷方向，U 字形定着，機械式定着，接合部抵抗機構，接合部終局強度

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は，接合部の両側の梁に段差を設けることがある。しかし，梁・柱接合部を設計する際に用いられる鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説<sup>1)</sup>の接合部せん断強度式では段差梁を有する場合の接合部終局強度を評価することができない。なお，このような場合の接合部は，梁及び柱からの応力が伝達される領域と考えている。

本論文は，過去に行った段差梁を有する梁・柱接合部の実験<sup>2) 3)</sup>の結果を用いて，定着方法，芯ずれ量と載荷方向の違いが接合部終局強度に与える影響を接合部抵抗機構から検討を行う。

## 2. 実験概要

### 2. 1 試験体概要

各試験体の形状・寸法を図-1に，また，試験体諸元と材料特性を表-1，2に示す。試験体は定着方法と芯ずれ量を変数とし，U 字形定着を用いた試験体と機械式定着を用いた試験体，芯ずれ量を 100[mm]，200[mm]，400[mm]とした試験体の計6体である。全試験体で接合

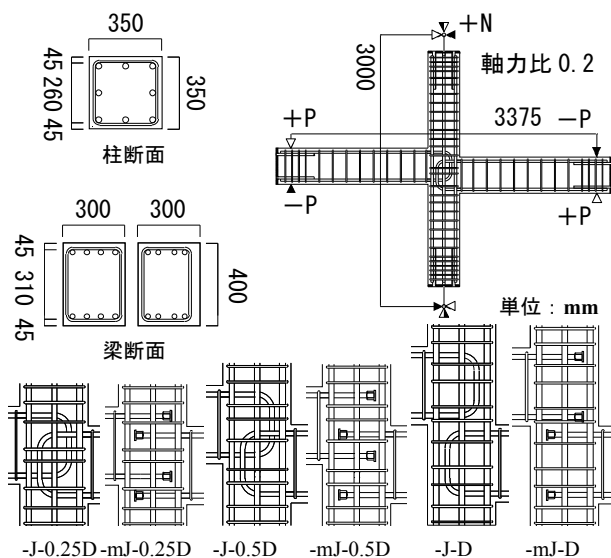


図-1 試験体の形状・寸法

表-1 試験体諸元

| 試験体                          |     | -J-0.25D         | -J-0.5D | -J-D | -mJ-0.25D    | -mJ-0.5D | -mJ-D |
|------------------------------|-----|------------------|---------|------|--------------|----------|-------|
| 定着法                          |     | U 字形             |         |      | 機械式          |          |       |
| 芯ずれ量[mm]                     |     | 100              | 200     | 400  | 100          | 200      | 400   |
| コンクリート強度[N/mm <sup>2</sup> ] |     | 23.0             |         |      | 21.1         |          |       |
| 梁                            | 主筋  | 4-D22(SD390)     |         |      | 4-D22(SD490) |          |       |
|                              | 補強筋 | □-D10@150(SD295) |         |      |              |          |       |
| 柱                            | 主筋  | 8-D25(SD390)     |         |      | 8-D25(SD490) |          |       |
|                              | 補強筋 | □-D10@100(SD295) |         |      |              |          |       |
| 接合部補強筋                       |     | D10(SD295)       |         |      |              |          |       |
| 接合部補強筋本数[本]                  |     | 4                | 5       | 7    | 4            | 5        | 7     |

表-2 材料特性

| 鉄筋種類 | 降伏強度[N/mm <sup>2</sup> ] |     | ヤング係数[×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ] |      |
|------|--------------------------|-----|--------------------------------------------|------|
|      | U 字形                     | 機械式 | U 字形                                       | 機械式  |
| 梁主筋  | 408                      | 538 | 1.83                                       | 1.96 |
| 柱主筋  | 430                      | 539 | 1.81                                       | 1.95 |
| 補強筋  | 446                      | 385 | 1.74                                       | 1.90 |

\*1 (株)竹中工務店 (元 芝浦工業大学大学院) 工修 (正会員)

\*2 芝浦工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

\*3 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科教授 工博 (正会員)

\*4 東京工業大学 環境理工学創造専攻教授 工博 (正会員)

部域の破壊を顕著とする為、鉄筋強度を高強度なものと  
した。梁主筋の定着は、文献1，4を参考に試験体を製  
作した。加力方法は、柱に一定圧縮軸力（軸力比0.2）を  
与え、梁端部に、変位制御により正負交番繰返し荷重を  
与えた。

## 2. 2 実験結果

### (1) 破壊性状と破壊形式

図-2に最大耐力時接合部ひび割れ図、図-3に荷重  
層間部材角曲線を示す。全試験体は、最終変形まで柱、  
梁主筋は降伏せず、接合部内補強筋は最大荷重付近で降  
伏した。また、最大荷重以降、接合部域でコンクリートの  
剥落がみられた。これらの結果から、破壊形式は全試験  
体で接合部破壊型と判断した。

### (2) ひび割れ状況と破砕状況

図-2より、-J-0.25D, -J-0.5D, -mJ-0.25D, -mJ-0.5D 試験  
体は、正載荷では接合部域全体にひび割れが生じた。負  
載荷では左右の梁の重なり合う領域にひび割れが集中し、  
-mJ-0.25D, -mJ-0.5D は、特に接合部内梁主筋定着域を通  
るひび割れが多くみられた。-J-D, -mJ-D 試験体は、正・  
負載荷ともに、上部接合部と下部接合部で独立してひび  
割れが生じ、-J-Dの負載荷では接合部を左梁上部から右  
梁下部へ横断するひび割れもみられた。図-4に接合部  
内部のひび割れ・破砕状況を示す。写真は、加力終了後  
に各試験体接合部域を切り取った後、柱幅の中央の位置  
で柱せい方向に切断した面に蛍光塗料を塗布し、撮影し  
たものである。尚、灰色が梁主筋と破砕域を示す。

-J-0.25D, -J-0.5D (U字形定着) では、接合部全体に破  
砕が見られ、-mJ-0.25D, -mJ-0.5D (機械式定着) では、  
梁主筋の間で定着板同士を結ぶ方向のひび割れが見られ

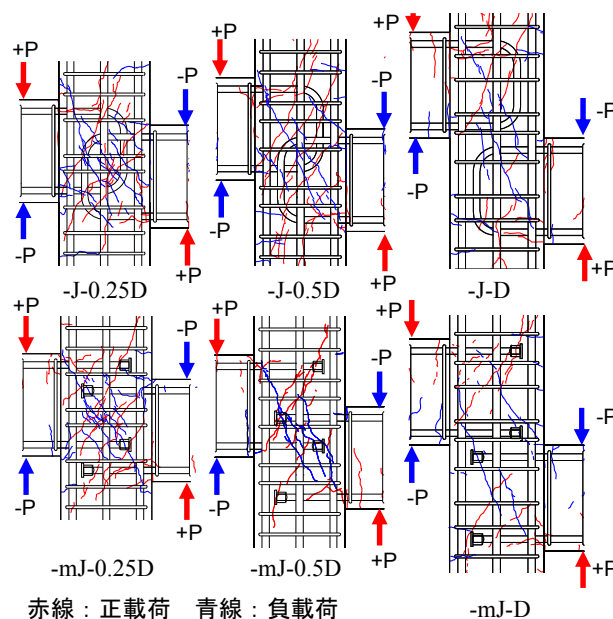


図-2 最大耐力時接合部ひび割れ図

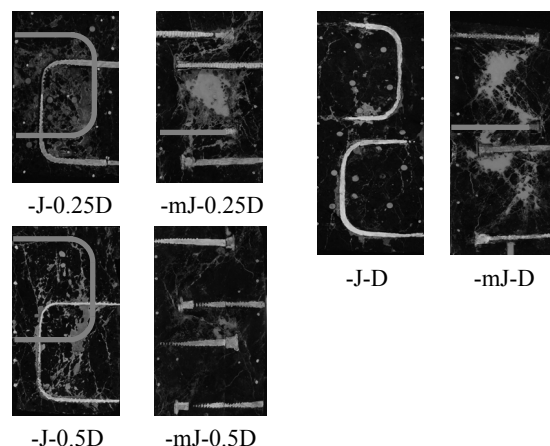
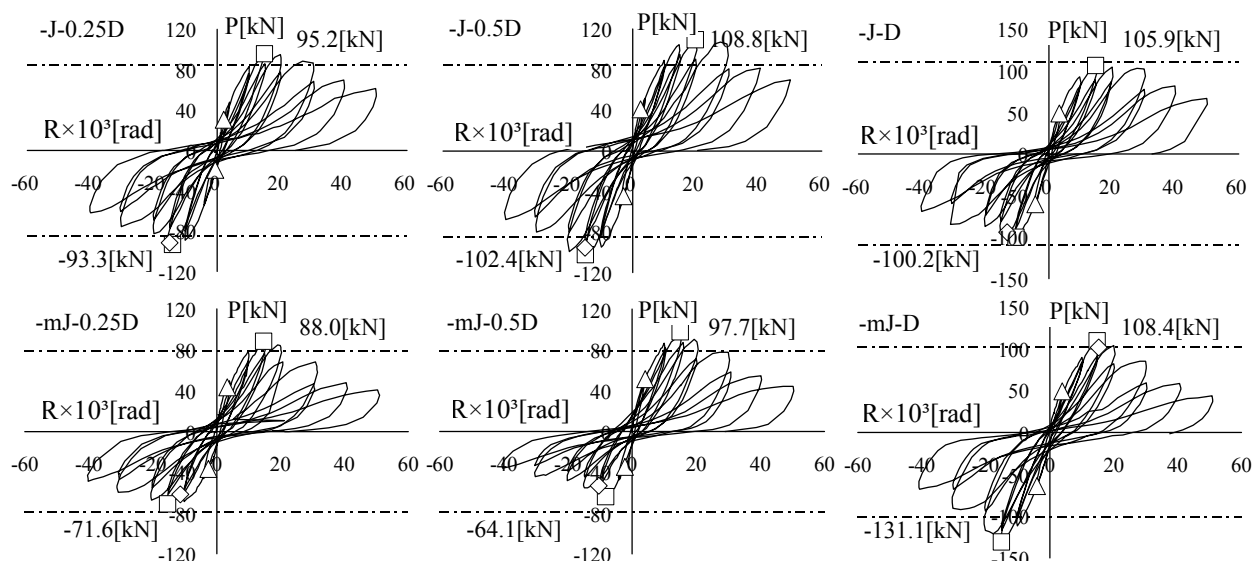


図-4 接合部内部のひび割れ・破砕状況



※梁曲げ理論値はU字形定着法を用いた試験体は133.5[kN]，機械式定着法を用いた試験体は175.8[kN]

図-3 荷重層間部材角曲線

る。-J-D、-mJ-D は、上部接合部と下部接合部に分けて破砕がみられるが、-mJ-D（機械式定着）は、-J-D（U 字形定着）に比べて破砕が激しく、左梁下部と右梁上部の梁主筋間接合部域にも破砕がみられる。

### 3. 接合部終局強度の評価について

#### 3.1 接合部水平せん断力を用いた評価

図－5 に示すように、接合部水平せん断力( $V_j$ )と梁せん断力( $P$ )は比例関係にあり、各領域の接合部水平せん断力は、正・負載荷で同じ値である。図より、接合部内の領域によって水平せん断力が異なっているが、芯ずれ量が梁せい未満の試験体では、左右の梁が重なり合う  $V_{j2}$  の領域で最も大きくなる。また、芯ずれ量が梁せい以上の試験体では、左右の梁の重なりがなく、 $V_{j1}$  が  $V_{j3}$  より大きい。この最も大きい水平せん断力が入力される接合部域と、接合部せん断ひび割れや破砕の進行している領域が対応していることから、最も大きい水平せん断力の領域で耐力を評価する必要があると考えられる。今回の試験体では、-J-0.25D、-J-0.5D、-mJ-0.25D、-mJ-0.5D は  $V_{j2}$ 、-J-D、-mJ-D は  $V_{j1}$  の領域で評価を行う。

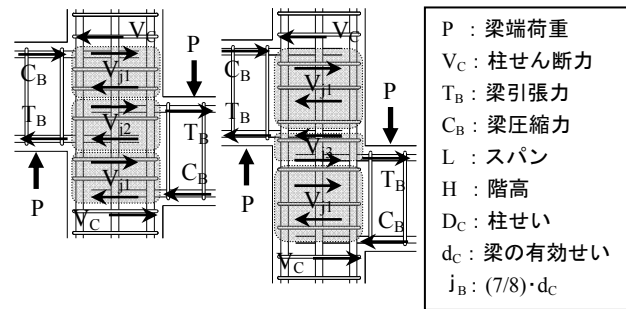
3. 1 で示した評価を用いて表－4 に各試験体の接合部終局強度時の接合部水平せん断力を示す。また、U 字形定着を用いた試験体と機械式定着を用いた試験体のコンクリート強度の違いを無次元化するため、実験値  $V_j$ （-J-0.25D、-J-0.5D、-mJ-0.25D、-mJ-0.5D は  $V_{j2}$ 、-J-D、-mJ-D は  $V_{j1}$ ）を靱性指針値  $V_{ju}$  で除した値  $V_j/V_{ju}$  で検討を行う。靱性指針値  $V_{ju}$  は、芯ずれ量が梁せい未満の試験体及び芯ずれ量が梁せいの試験体の接合部形状が、各々十字形、ト字形接合部の形状に近いことから、芯ずれ量が梁せい未満の試験体は十字形接合部、芯ずれ量が梁せいの試験体はト字形接合部の靱性指針式を用いた。

-J-0.25D、-J-0.5D、-mJ-0.25D、-mJ-0.5D の場合、機械式定着を用いた試験体の負載荷以外は芯ずれ量が大きくなるに従い、接合部終局強度時の接合部水平せん断力が上昇した。また、全試験体で負載荷に比べて正載荷の方で接合部水平せん断力が大きい。-J-D、-mJ-D の場合、-J-D では正載荷、-mJ-D では負載荷の方で接合部終局強度が大きい。以上の傾向について、以下に接合部抵抗機構より考察を行う。

#### 4. -J-0.25D、-J-0.5D（U 字形定着）の接合部終局強度

##### 4.1 接合部終局強度に対する芯ずれ量の影響

図－6 に接合部への作用応力を示す。左右の梁に芯ずれを有する試験体において、同荷重時に、梁から接合部へ入力される接合部水平せん断力 ( $V_j = T_B + C_B - V_C$ ) は芯接合部端の曲げモーメント ( $M_C$ ) が小さくなる。結果として、柱から接合部へ入力される圧縮ストラットに作用する柱接合部端圧縮力 ( $C_C$ ) は小さくなる。このことは、



$$V_{j1} = \frac{(L - D_C)}{2 \cdot j_B} \cdot P - \frac{L}{H} \cdot P = 3.69P \quad (1)$$

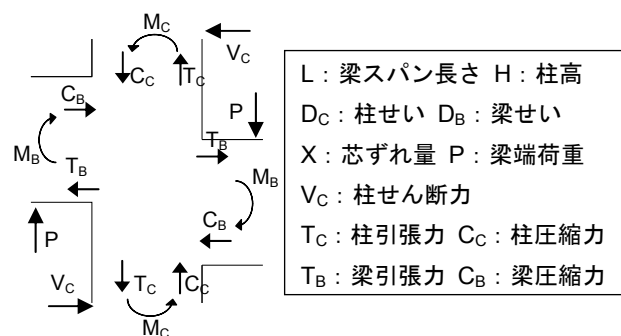
$$V_{j2} = \frac{(L - D_C)}{j_B} \cdot P - \frac{L}{H} \cdot P = 8.50P \quad (2)$$

$$V_{j3} = \frac{L}{H} \cdot P = 1.13P \quad (3)$$

図－5 接合部水平せん断力の算出方法

表－4 接合部終局強度時水平せん断力の比較

| 試験体名      | 載荷方向 | 接合部水平せん断力 [kN] |           | $V_j/V_{ju}$<br>[-] |
|-----------|------|----------------|-----------|---------------------|
|           |      | 計算値 $V_{ju}$   | 実験値 $V_j$ |                     |
| -J-0.25D  | 正    | 720            | 809       | 1.12                |
|           | 負    |                | 793       | 1.10                |
| -J-0.5D   | 正    | 720            | 925       | 1.28                |
|           | 負    |                | 870       | 1.21                |
| -J-D      | 正    | 404            | 391       | 0.97                |
|           | 負    |                | 370       | 0.92                |
| -mJ-0.25D | 正    | 670            | 748       | 1.12                |
|           | 負    |                | 608       | 0.91                |
| -mJ-0.5D  | 正    | 670            | 830       | 1.24                |
|           | 負    |                | 545       | 0.81                |
| -mJ-D     | 正    | 380            | 405       | 1.07                |
|           | 負    |                | 491       | 1.29                |



$$V_C = (L/H) \cdot P \quad (1)$$

$$M_B = P \cdot (L - D_C)/2 \quad (2)$$

$$M_C = V_C \cdot (H - D_B - X)/2 \quad (3)$$

図－6 接合部への作用応力

同荷重時に芯ずれ量が大きくなるにつれ、接合部圧縮ストラットに作用する圧縮合力が小さくなることを意味す

る。

従って、芯ずれ量が大きくなり接合部が破壊するためには、接合部水平せん断力が大きくななければならない。そこでU字形定着の正・負荷荷で、芯ずれ量が大きくなるに従い接合部終局強度が上昇したことを、図-7に示した最大荷重時の梁主筋歪み分布図を用いて以下に示す。-J-0.25Dに比べ、-J-0.5Dの危険断面位置の歪みが大きく、このことは前述した様に、接合部終局強度に達するまでに-J-0.5Dは-J-0.25Dに比べてより大きい接合部水平せん断力を入力されなければならないことを示しており、このことは、最大荷重が上昇したことと対応する。なお、前述したことは、機械式定着の正・負荷荷の場合でも同じである。

#### 4.2 接合部終局強度に対する荷重方向の影響

荷重方向による接合部抵抗機構の違いを柱主筋・補強筋歪みから以下に述べる。図-8に-J-0.5Dの柱主筋・補強筋歪み分布を-mJ-0.5D（機械式定着）とともに示す。図より、柱主筋の歪み勾配は、正・負荷荷で大きく、負荷荷に比べて正・負荷荷の付着力が大きい。結果として接合部に大きい付着力が伝達されていることが考えられる。また、前述の傾向は機械式定着の場合も同じである。補強筋歪みは両定着法ともに、正・負荷荷で接合部全体で補強筋が平均的に歪んでいる傾向が見られ、負荷荷で左右の梁が重なり合う接合部域で歪みが大きくなっている。これはひび割れ図でみられた正・負荷荷では接合部域全体に損傷が進行していること、負荷荷では左右の梁が重なり合う接合部域の損傷が進行していることと対応している。

以上から予測される接合部抵抗機構を示し、接合部終局強度に対する荷重方向の影響を考察する。接合部内梁主筋定着部の支圧力の伝達方向を図-9に、予測される接合部抵抗機構を図-10に示す。接合部内梁主筋定着部（U字形定着）の支圧力は図の様に、梁主筋折り曲げ部内側で支圧力として伝達されと考えられる。このような抵抗機構の場合、正・負荷荷では梁・柱危険断面位置のコンクリート圧縮力が分散して伝達され、圧縮ストラットが多数形成される。負荷荷では梁・柱危険断面位置のコンクリート圧縮力と梁主筋定着部支圧力により、左右の梁の重なり合う接合部中央域に圧縮応力が集中して伝達されるため、正・負荷荷に比べ接合部終局強度が低くなると考えられる。

#### 5. -mJ-0.25D, -mJ-0.5D（機械式定着）の接合部終局強度

##### 5.1 接合部終局強度に対する芯ずれ量の影響

芯ずれ量の接合部終局強度への影響は接合部の作用応力から、先に述べた-J-0.25D, -J-0.5Dと同様の傾向となる。

##### 5.2 接合部終局強度に対する荷重方向の影響

接合部終局強度が負荷荷より正・負荷荷で大きくなって

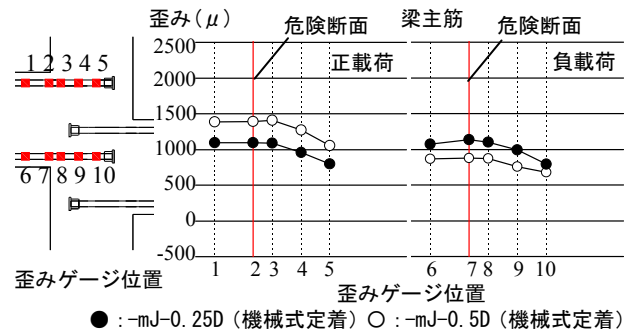
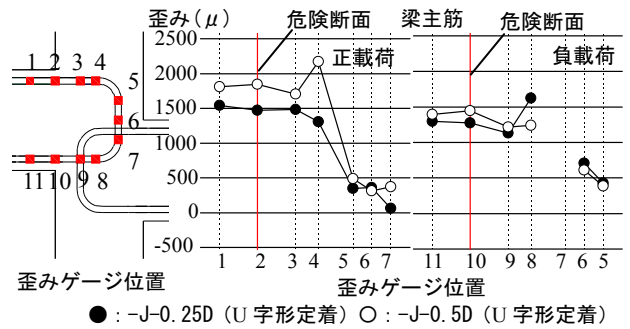


図-7 最大荷重時梁主筋歪み分布図

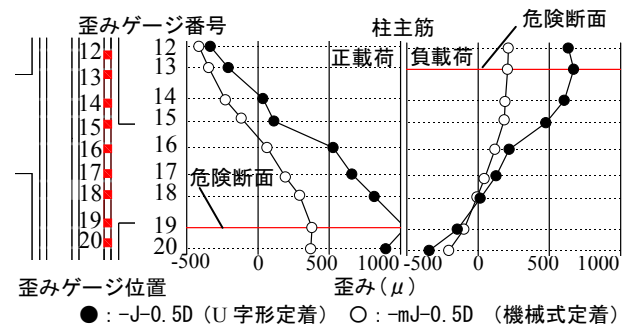


図-8 最大荷重時柱主筋・補強筋歪み分布図

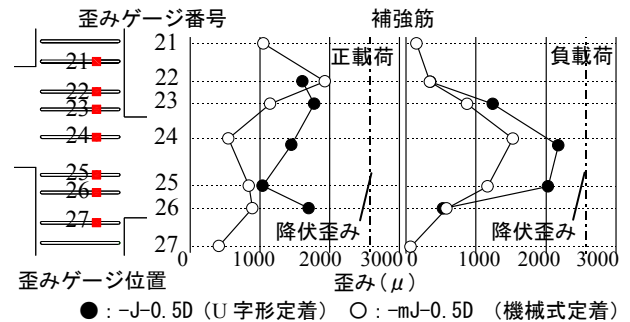


図-8 最大荷重時柱主筋・補強筋歪み分布図

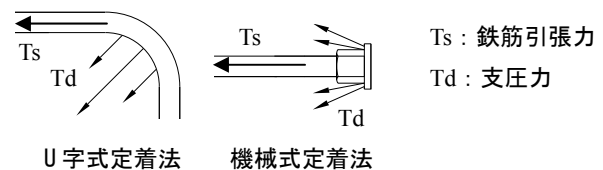


図-9 接合部定着部支圧力

いる。正・負荷荷時は、左梁上部と右梁下部の梁主筋が、引張力を受け定着部の支圧力が伝達される。負・正荷荷時は、左梁下部と右梁上部の梁主筋が引張力を受けて支圧力が

伝達される。定着板間が近く、その区間のコンクリートが定着部の形状からU字形定着に比べ応力伝達領域が狭くなるため、定着板による応力伝達が直接せん断の状態に近くなる。このことは、図-4の接合部内部のひび割れ・破碎状況からも推測できる。

結果として、図-11の-mJ-0.25D,-mJ-0.5Dの接合部抵抗機構に示す様に、正載荷時に、圧縮ストラットが多数接合部域に分散して形成され、負載荷時では、左右の梁の重なり合う領域(Aストラット)に圧縮応力が集中するため、接合部終局強度が負載荷より正載荷で大きくなったと考えられる。

## 6. 芯ずれが梁せいの場合の接合部終局強度について

-J-D (U字形定着) は正載荷が,-mJ-D (機械式定着) は負載荷が一方の載荷に比べ、接合部終局強度が大きくなっていた。

載荷方向による接合部抵抗機構の違いを柱主筋・補強筋歪みから以下に述べる。図-12に-J-D,-mJ-Dの柱主筋・補強筋歪み分布を示す。柱主筋の歪み勾配は、芯ずれが梁せい未満の試験体(-J-0.25D,-J-0.5D,-mJ-0.25D,-mJ-0.5D)と同様に、正載荷で大きく、負載荷に比べて付着力が大きい。補強筋歪みは、正載荷では-J-D,-mJ-Dともに、接合部領域中央の歪みゲージ(26,27,28番)で歪みが小さく、接合部上部と下部で歪みが大きい。これは、芯ずれが梁せいの場合、接合部の上部と下部で独立して破壊が進行していることを予想させる。負載荷では、接合部中央の歪みが、-J-Dは接合部上部下部の歪みに比べて大きい、-mJ-Dは小さい。これは、接合部内梁主筋定着部の支圧力の伝達方向がU字形定着と機械式定着で異なる為(図-9参照)、-J-D(U字形定着)の左梁下部梁主筋と右梁上部梁主筋の支圧力は梁危険断面に伝達されるのに対して、-mJ-D(機械式定着)の支圧力は、梁危険断面への伝達に加え、一方の引張力を受ける定着板に伝達されたからと考えられる。

-J-Dと-mJ-Dの予測される接合部抵抗機構を図-13に示す。-J-Dは、正載荷では接合部破壊の進行が上部と下部で独立して生じ、上部と下部でT字形接合部に類似した接合部抵抗機構となる。一方、負載荷ではBストラットに加え、接合部上部と下部を横断するCストラットが考えられ、この圧縮ストラットにより、破壊の進行が正載荷よりも進み、正載荷の接合部終局強度の方が大きくなったと考えられる。

-mJ-Dは、正・負載荷で-J-Dと類似した抵抗機構が考えられる。しかし、U字形定着とは支圧力の伝達が異なる為(図-9参照)、負載荷時に引張力を受ける左梁の下部梁主筋と右梁の上部梁主筋の支圧力がDストラットで伝達される為、正載荷に比べて定着板から接合部上部と

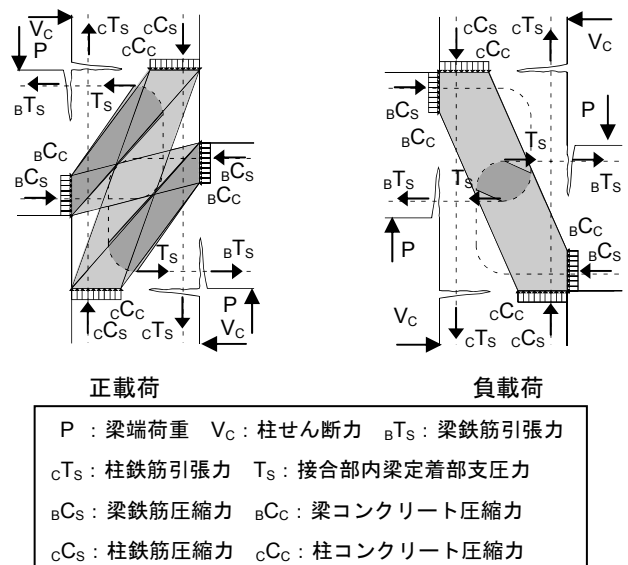


図-10 接合部抵抗機構 (-J-0.25D, -J-0.5D)

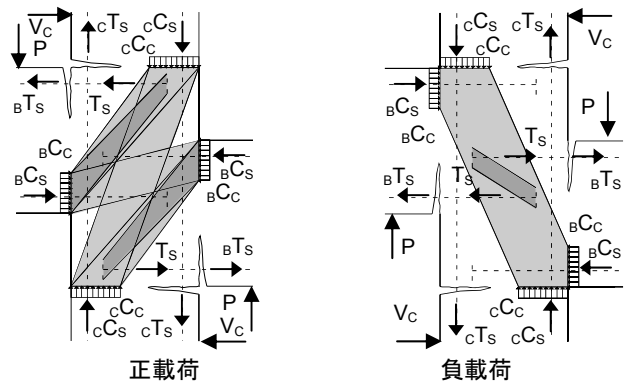


図-11 接合部抵抗機構 (-mJ-0.25D, -mJ-0.5D)

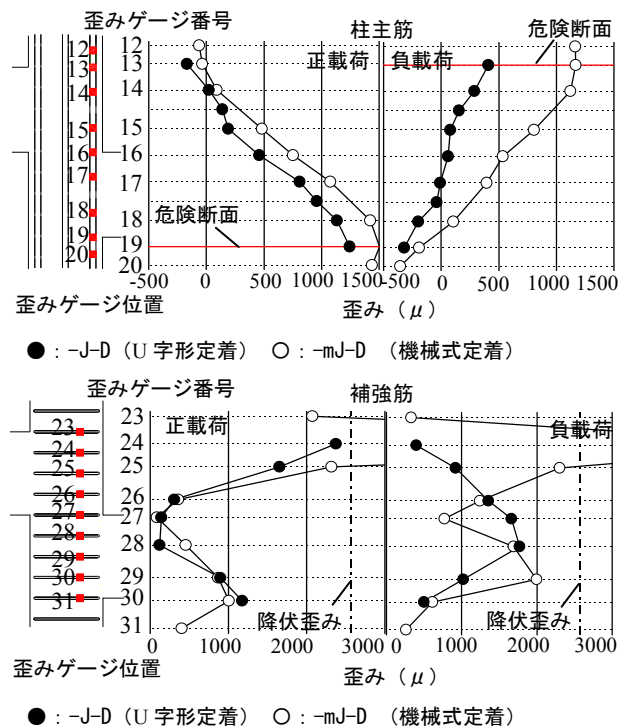


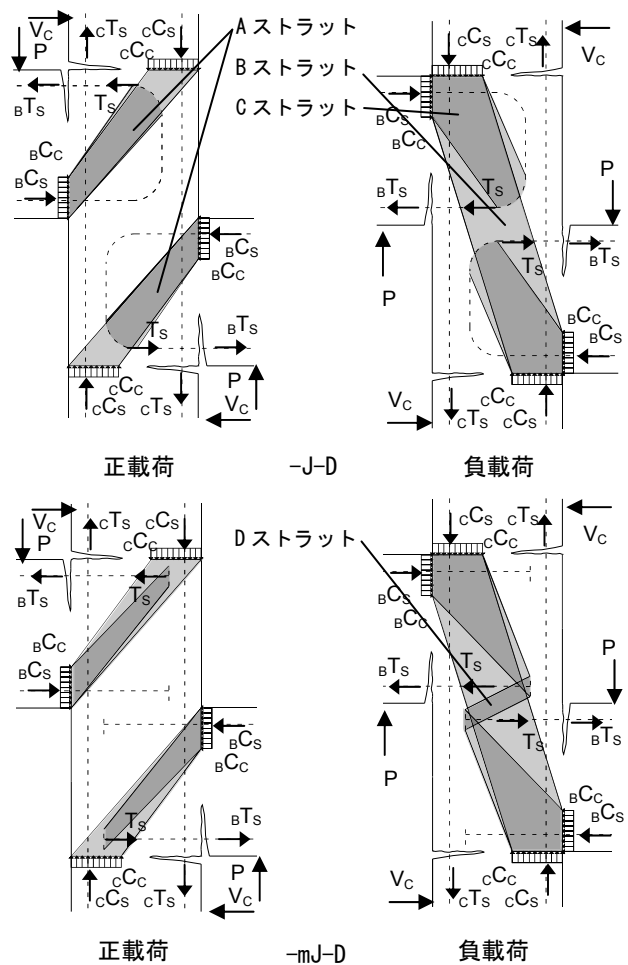
図-12 最大荷重時柱主筋・補強筋歪み分布図

下部の梁・柱危険断面に伝達される応力は小さくなる。  
その為、正載荷に比べ、負載荷の最大荷重が大きくなる。

## 7. まとめ

- 1) 芯ずれ量が梁せい未満の場合、芯ずれ量が大きくなるに従い、柱の反曲点と柱接合部端までの距離が短くなり、柱から接合部へ入力される圧縮ストラットに作用する柱接合部端圧縮力が小さくなる。従って、接合部終局強度に達するまでにより大きな接合部水平せん断力を必要とし、機械式定着の負載荷を除き、芯ずれが大きくなるに従い、接合部終局強度が上昇した。
- 2) 負載荷の接合部内梁主筋支圧力は、機械式定着は応力伝達領域が狭く、定着板間が近くなるにつれ直接せん断の状態に近くなる為、正載荷に比べて終局強度が小さくなる。
- 3) 芯ずれ量が梁せい未満の場合の接合部抵抗機構は、正載荷時は圧縮ストラットが多数接合部域に分散して形成され、負載荷は左右の梁の重なり合う領域に圧縮応力が集中する。
- 4) -J-D (U 字形定着) は、正載荷では接合部上部と下部で独立した圧縮ストラットが形成される。負載荷では、それに加え接合部上部と下部を横断する圧縮ストラットが考えられ、この圧縮ストラットの為、接合部の破壊が正載荷に比べ進行し、正載荷の接合部終局強度が負載荷に比べて大きくなる。
- 5) -mJ-D (機械式定着) は、-J-D (U 字形定着) の抵抗機構に加え、負載荷時に引張力を受ける左梁の下部梁主筋と右梁の上部梁主筋の支圧力が定着板間で伝達される為、正載荷に比べて定着板から梁・柱危険断面に伝達される応力は小さくなった結果、負載荷の接合部終局強度が正載荷に比べて大きくなった。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金(研究代表者、上村智彦)により行ったもので、論文作成にあたり芝浦工業大学の奥井元君、戸谷航大君の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。



図－１３ 接合部抵抗機構（-J-D、-mJ-D）

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999.8
- 2) 藤原将章，上村智彦ほか：段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の終局強度，コンクリート工学年次論文集，pp.367-372，2009.7
- 3) 廣谷祐貴，上村智彦ほか：機械式定着を用いた段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の終局強度，コンクリート工学年次論文集，pp.319-324，2010.7
- 4) 東京鉄鋼株式会社：プレートナット工法 設計施工指針，2007.8