

論文 直角フックで二重に定着した横補強筋端部の定着強度に関する研究

菅原 敬^{*1}・今井 弘^{*2}

要旨：柱の横補強筋に連続した鉄筋を折り曲げ、端部を直角フックで二重に定着する方法を提案し、その定着性能を明らかにし、従来の補強筋の定着強度と比較した。現在使用されている折り曲げフックの定着余長では、SD390とFc24の組合せの場合、母材強度の定着を得ることができないが、余長を規定より長くすることで、母材強度に相当する定着強度を得ることができる。直角フック二重定着法を用いれば、普通強度鉄筋の場合十分な定着強度を得ることができる。超高強度鉄筋の場合でも、規格降伏強度程度の定着強度は期待できる。

キーワード：横補強筋、直角フック二重定着法、余長、定着強度、総定着長さ

1. はじめに

柱の帯筋は外帯筋だけでなく、Fig.1に示すように副帯筋も配することが耐震的に良いことはよく知られている。しかし、135°フックの位置を各段の帯筋ごとにずらすと、定着余長が各曲げ部にくるため、パイプレーターを入れづらく打設性が低下する。

その理由から、Fig.2に示すような溶接閉鎖型筋が高軸力の柱に用いられている。溶接閉鎖型筋を3つ重ねて配筋すれば、定着余長がなくなり打設性は向上するが、溶接点の品質管理上の問題点が残る。

Fig.3に示すようにマルチスパイラル筋を使用すれば、打設性と溶接点の品質管理の問題が解決するが、配筋時、重機を必要とし、スパイラル筋のバネ反力が

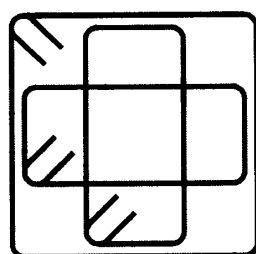


Fig.1 135° フック
(帯筋の一般形状)

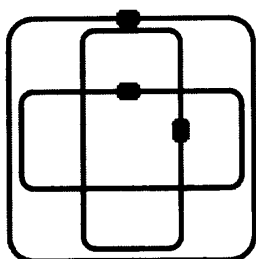


Fig.2 溶接閉鎖型筋

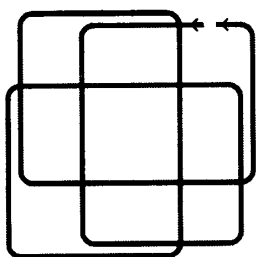
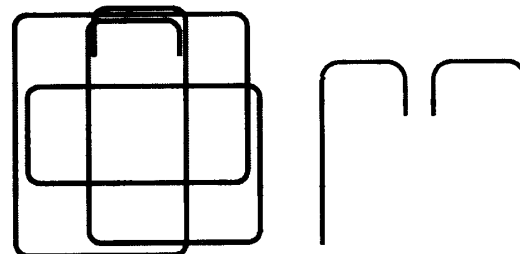


Fig.3 マルチスパイラル筋



(a) 全体形状 (b) 端部形状

Fig.4 直角フック二重定着法

大きく、またねじれることもあり、配筋施工上の別の問題が生じる。

本研究で提案する副帯筋を含む帯筋は、Fig.4(a)の示すように、一筆書き状に連続して折り曲げ、1枚にするものである。両端部は、Fig.4(b)に示すように直角フックが二重に施されている。この定着法を直角フック二重定着法（略して二重定着法と呼ぶ）。二重定着法で定着すれば、直角フックの弱点と135°フックの打設上の問題点は解決し、かつ、無溶接で副帯筋を含む帯筋を製作することができる。しかし、二重定着法の定着性能がまだ不明である。

本研究の目的は、予備実験として二重定着法の定着強度を調べ、135°フック等の従来型定着法の横補強筋の定着強度と比べることである。

*1 筑波大学大学院 理工学研究科 (正会員)

*2 筑波大学教授 機能工学系 (正会員)

2. 試験体

Fig. 5 に試験体の概略図を示す。試験体のコンクリートの形状は巾 780×高 600×長 1680 である。各試験体には試験用の鉄筋が 200mm 間隔で 8 本定着されている。隣接する定着筋のひび割れによる影響を除くため、中間には内側に発砲スチロール(10mm)を入れ、合板(5mm) 2 枚で挟み込み固定した溶接閉鎖型筋(D10)を配し、隣接鉄筋の定着部分のコンクリートを絶縁した。

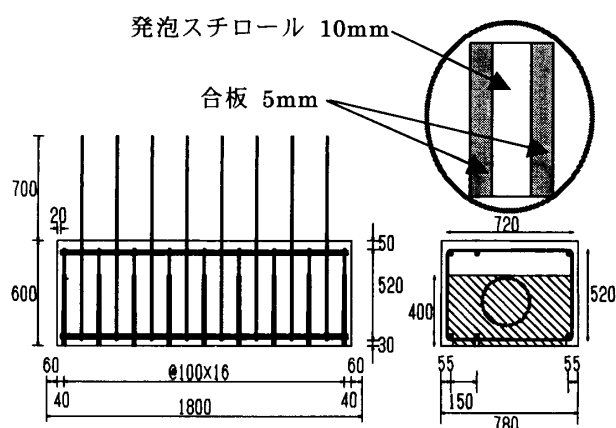


Fig. 5 試験体形状

試験対象とした鉄筋は SD390(D13) と USD1275(U12.7) の 2 種類である。Table 1 に示すように各試験用鉄筋に対し、3 体の試験体を製作した。1 体には従来型定着 (135° フック, 180° フック, 90° フック) を施した 8 本, また 2 体には二重定着を施した 16 本の鉄筋を, Fig. 6 と Table 1 に示すように中間余長と最終余長を変化させて配した。Table 1 の中で太い字で示した余長は, 日本建築学会規準又は, USD1275 の設計指針の規定値である。

SD390 と USD1275 の内法直径はそれぞれ 4d と 5d(d:鉄筋径)とし, かぶり厚を 30 とした。また, 試験曲げ部の内側に配する主筋はそれぞれ D25(SD345)と D32(SD345)とした。各試験鉄筋の曲げ開始部までの直線部にはゴムホースを被せ, 付着を絶縁した。曲げ開始部に樹脂で試験用鉄筋と接着した M6 のねじ棒を変位測定用の基点とした。コンクリートは普通コンクリートとし, 低強度の Fc24 とした。

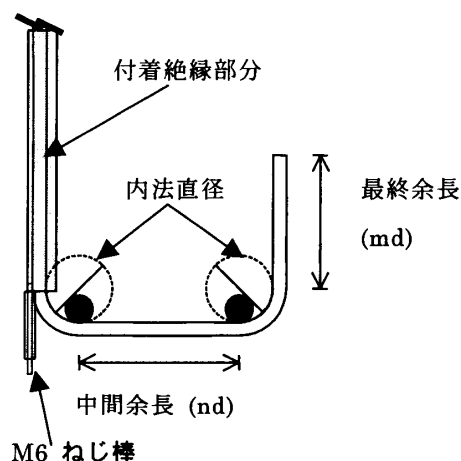


Fig. 6 定着試験片詳細

Table 1. 試験体一覧

(a) SD390

試験体	フック	余長 (nd,md)			
No.1	135°	n=6	n=8		
	180°	n=4	n=6		
	90°	n=4	n=6	n=8	n=10
No.2	90° 二重	n=6 m=4	n=6 m=6	n=6 m=8	n=6 m=10
		n=8 m=4	n=8 m=6	n=8 m=8	n=8 m=10
No.3	90° 二重	n=10 m=4	n=10 m=6	n=10 m=8	n=10 m=10
		n=12 m=4	n=12 m=6	n=12 m=8	n=12 m=10

(b) USD1275

試験体	フック	余長 (nd,md)			
No.4	135°	n=8	n=12		
	180°	n=4	n=8		
	90°	n=8	n=12	n=16	n=20
No.5	90° 二重	n=8 m=4	n=8 m=8	n=8 m=12	n=8 m=16
		n=12 m=4	n=12 m=8	n=12 m=12	n=12 m=16
No.6	90° 二重	n=16 m=4	n=16 m=8	n=16 m=12	n=16 m=16
		n=20 m=4	n=20 m=8	n=20 m=12	n=20 m=16

3. 材料試験結果

材料試験結果を Table 2 に示す。鉄筋とコンクリートの強度は規格値より少し高くなった。

Table 2. 材料試験結果

(a) コンクリート強度

	圧縮強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)	割裂強度 (MPa)
4 週強度	23.6	22.8	2.22
5 週強度	25.4	24.6	2.32

(b) 試験鉄筋強度

径	降伏 強度 (MPa)	降伏 歪 (μ)	引張 強度 (MPa)	ヤング 率 (GPa)	伸び 率 (%)
D13	491	4580	658	193	12.0
U12.7	1410	8310	1490	222	5.31

4. 実験方法

加力装置を Fig. 7 に示す。打設した位置より 90° 回転させ、定着鉄筋を一本ずつセンターホールジャッキで単調に引き抜いた。測定は、荷重、定着鉄筋の第一曲げ部の変位量（背面からのめり込み量）、ひび割れ状況及び曲げ部周辺の歪に関して行った。荷重は、連動した同型のジャッキより測定した。変位量は、付着絶縁部分にエポキシ系樹脂で接着した M6 ねじ棒の先端を背面から測定した。歪は、曲げ部 1ヶ所につき、曲げ始め、曲げの中間（ 45° ）の外側と内側、及び曲げの終わりの部分、計 4ヶ所を測定した。ひび割れ状況は試験体背面から観察した。

5. 最終破壊状況

試験体の最終破壊状況を Fig. 8 に示す。SD390 では、 90° フックにのみ、かぶりコンクリートのコーン破壊がみられた。直角フック二重定着を施した試験体の鉄筋では背面にひび割れが生じなかった。USD1275 ではほとんどすべての鉄筋で背面にひび割れが生じた。

6. 荷重－変位曲線

Fig. 9 と 10 に荷重－変位曲線を示す。荷重 P は引張力であり、変位 δ は背面からのめり込み量である。図中の σ_y と σ_b は直線材の降伏強度と引張強度である。また記号◎は直線部の母材での引張破断、○は曲げ加工部分で曲げ引

張による破断、△は抜け出し破壊、×はかぶりコンクリートのコーン破壊を示す。

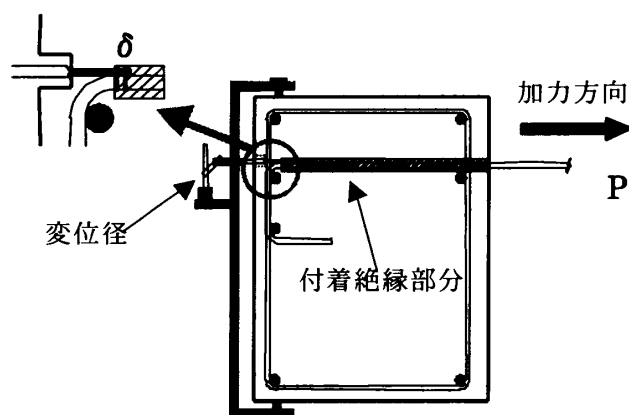
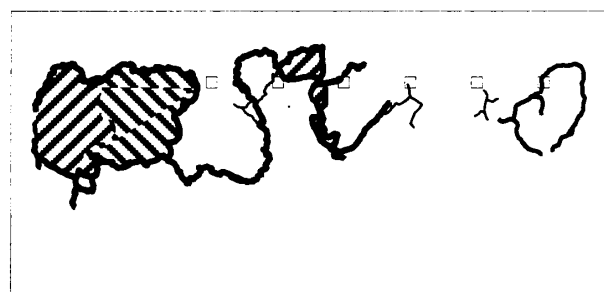
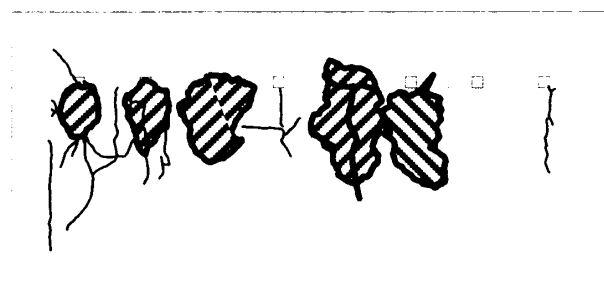


Fig. 7 加力装置



試験体 No.4



試験体 No.5



試験体 No.6

Fig. 8 最終破壊状況

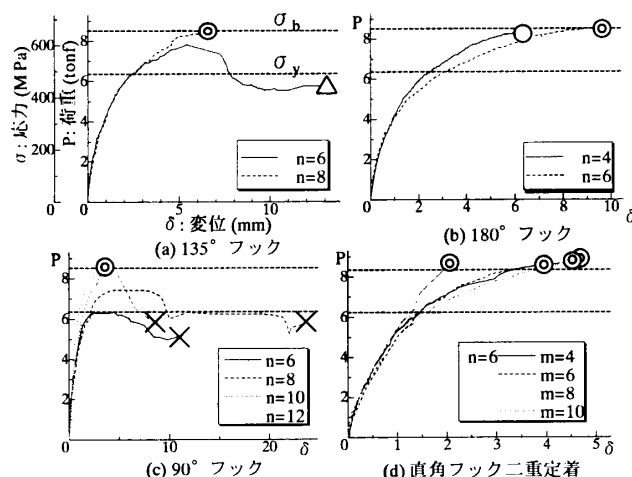


Fig. 9 荷重-変位曲線 (SD390)

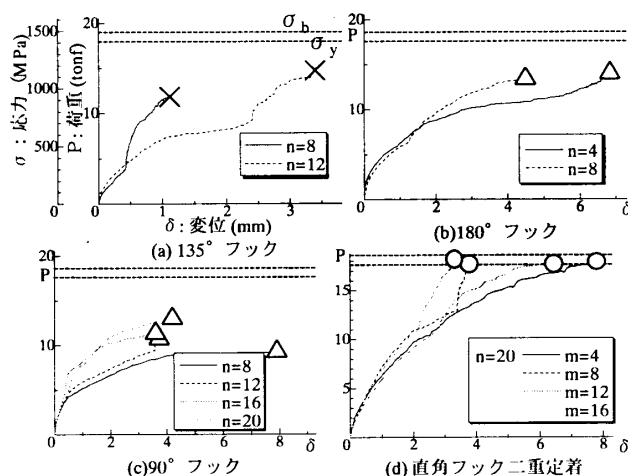


Fig. 10 荷重-変位曲線 (USD1275)

7. 最大耐力

最大耐力と破壊形式を Table 3 に示す。表中の数字は母材鉄筋の材料試験による引張強度の平均値を基準にし、各試験片の最大荷重の増減を百分率(%)で表したものである。記号は Fig. 10 の荷重-変位曲線と同一である。

最大耐力と総定着長さの関係を Fig. 11 に示す。総定着長さは、曲げ部を含む全付着部分の長さの合計である。SD390 では定着形式にかかわらず、総定着長さが 180mm (約 14d) 以上あれば最大耐力はすべて母材強度となった。USD1275 では総定着長さが同じであっても破壊形式と耐力に差が認められる。90° フック型では 135° フックや 180° フックに比べ総定着長さの割には耐力が小さい。直角フック二重定着法は総定着長さが長くなり耐力は大きくなるが、母材破断とならず曲げ部の破断となった。

Table 3. 最大耐力と破壊形式

(a) SD390

従来型

フック	90°	135°	180°
n=4			○ -2.7
n=6	×	-25.2 △	-8.3 ◎ -0.01
n=8	×	-12.9 ◎	-1.0
n=10	×	1.7	
n=12	◎	1.0	

直角フック二重定着

	m=4	m=6	m=8	m=10
n=6	◎ 2.3	◎ 1.3	◎ 1.3	◎ 2.3
n=8	◎ 1.9	◎ 2.3	◎ 0.1	○ 1.4
n=10	◎ 1.7	◎ 1.6	◎ 1.7	◎ 1.0
n=12	◎ 1.3	◎ 0.8	◎ 0.2	◎ 1.0

(b) USD1275

従来型

フック	90°	135°	180°
n=4			△ -26.5
n=8	△ -48.1	×	-37.1 △ -30.0
n=12	△ -42.8	×	-20.7
n=16	△ -40.7		
n=20	△ -31.5		

直角フック二重定着

	m=4	m=8	m=12	m=16
n=8	△ -14.0	△ -19.4	×	-11.3 ○ -10.2
n=12	△ -15.9	×	-9.6 ○ -7.6	○ -7.0
n=16	○ -7.7	○ -6.6	○ -7.3	○ -4.4
n=20	○ -6.1	○ -5.9	○ -7.1	○ -4.9

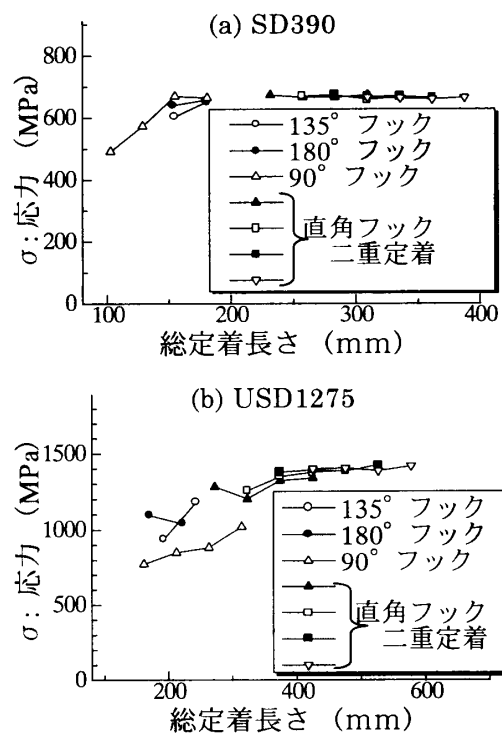


Fig. 11 最大耐力と総定着長さの関係

8. 歪分布

Fig. 12 と 13 に同荷重時における歪の分布を示す。位置は加力点に近い順に、 ε_1 が曲げ開始部を、 $\text{ave } \varepsilon_{2,3}$ (両側の平均) が中間部分を、 ε_3 が終了部分をそれぞれ示す。

SD390 の場合、従来型定着では加力部に近いほど歪が大きく、曲げ部の開始部分から中間部分まで降伏歪に達している。直角フック二重定着では第一曲げ部においては従来型定着と同様の傾向であったが、荷重が 8 tonf ($\sigma \approx 617$ MPa) にまで達すると、第一曲げ部の開始部分から終了部分まで降伏歪に達した。第二曲げ部においては歪が降伏歪の半分に満たない値となっている。

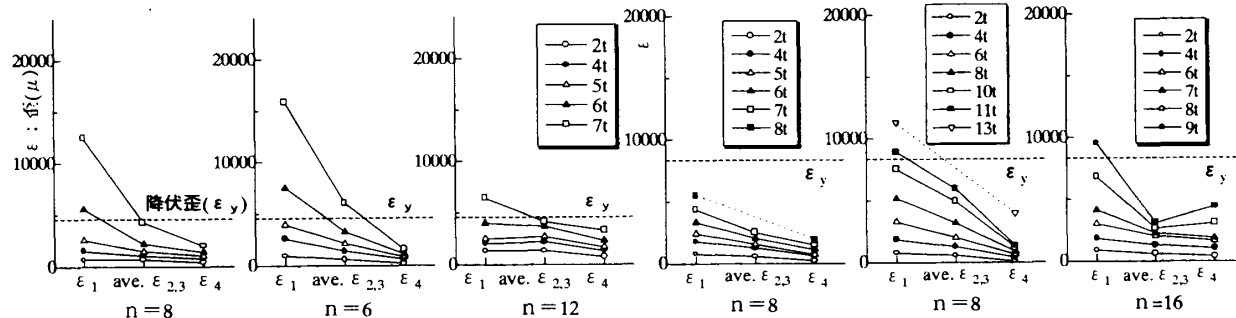
USD1275 の場合、従来型定着では SD390 の場合とほぼ同様であるが、鉄筋の降伏強度よりかなり前に抜け出し破壊、又はコーン破壊に

より最大耐力に達しており、歪が降伏歪まで至っていない。直角フック二重定着では第一曲げ部においては SD390 と同様の傾向であり、曲げ開始部分から曲げ終了部分まで降伏歪に達しているもの多く見られた。第二曲げ部においては歪が SD390 の場合に比べ大きくなっているが、降伏歪には達しない。

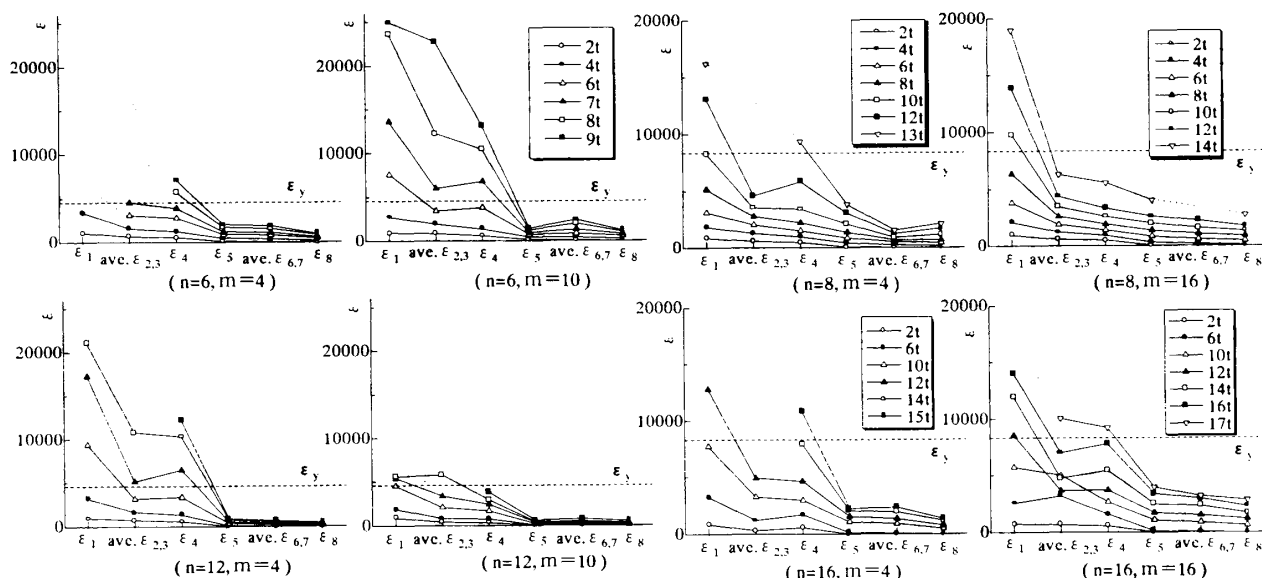
9. 荷重－曲率曲線

Fig. 14 と 15 に荷重と折り曲げ部分の曲率の関係を示す。荷重は鉄筋の応力に換算してある。曲率の値は、 $\Phi = (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)/d$ の値である。実線は第一曲げ部、破線は第二曲げ部の曲率をそれぞれ示し、外側引張を正としている。

SD390 の場合、従来型定着の 135° フックでは曲げ部の外側が引張、内側が圧縮になる曲げが作用していた。二重定着では第一曲げ部に



(a) 135° フック (b) 180° フック (c) 90° フック



(a) 135° フック (b) 180° フック (c) 90° フック

(d) 直角フック二重定着

Fig. 12 歪分布 (SD390)

(d) 直角フック二重定着

Fig. 13 歪分布 (USD1275)

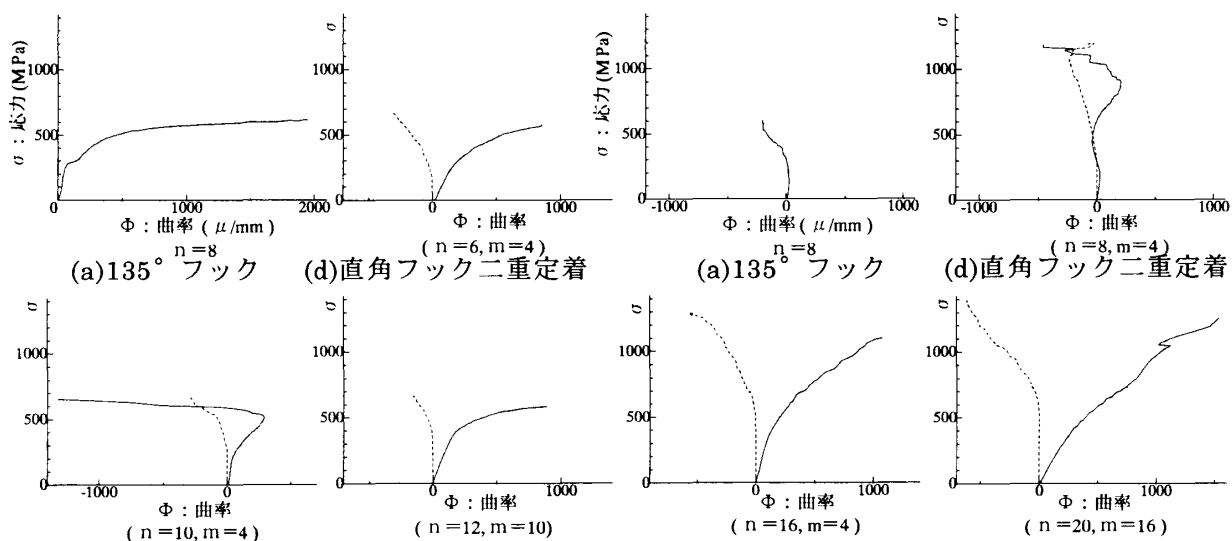


Fig. 14 荷重－曲率関係(SD390)

なった。第二曲げ部においては第一曲げ部よりさらに小さい値となり、逆に内側が引張、外側が圧縮になるような曲げが作用していた。

この理由として、第一曲げ部では主筋を曲げ終了部分に接するように配筋し、第二曲げ部では主筋を曲げ開始部分に接するように配筋したためと思われる。

USD1275 の場合、従来型 135° フック定着では曲率の値は非常に小さくなった。その理由として、超高強度鉄筋であることと定着不足でコーン破壊したためと考えられる。直角フック二重定着では余長（中間余長と最終余長の和）が小さい鉄筋では、曲率の値が非常に小さくなった。

この理由として、定着不足のためコーン破壊や抜け出し破壊を生じ、歪ゲージが早期に壊れたためと思われる。余長が長いものについては、荷重が大きくなるにつれ SD390 の場合と同じ傾向で曲率の値が増えていった。

10. 結論

本研究より以下の結論を得た。

SD390 について

- 1) 日本建築学会の定める従来型の定着法の余長で SD390 と Fc24 の組合せでは、母材

強度の定着を得ることができない。しかし、余長を規定より長くすることで、母材強度に相当する定着強度を得ることができる。

- 2) 直角フック二重定着法を用いれば普通強度鉄筋では十分な定着強度を得ることができる。
- 3) 第一曲げ部では従来型定着とほぼ同様に降伏歪以上を示したが、第二曲げ部では降伏歪の半分以下と小さくなった。
- 4) 第一曲げ部では内側が圧縮、外側が引張となるように曲げが作用していた。第二曲げ部では量は小さいが逆に内側が引張、外側が圧縮になるように曲げが作用していた。

USD1275 について

- 5) 超高強度鉄筋についても、規格降伏強度程度の定着強度は期待できる。
- 6) 多くの鉄筋が第一曲げ部の曲げ開始部から曲げ終了部まで降伏歪以上となった。第二曲げ部の歪も大きい降伏歪には至っていない。
- 7) 余長が小さい鉄筋では曲率の値が非常に小さくなった。
- 8) 余長が長くなるにつれ曲率の値が大きくなっていった。