

[69] 折り曲げ定着部の耐力と破壊性状

正会員 ○ 藤井 栄 (京都大学工学部)
 正会員 森田 司郎 (京都大学工学部)
 後藤 定己 (京都大学工学部)

1. 研究目的

現行の設計規準では、柱・梁接合部での鉄筋端の定着は90°折り曲げの場合でも直線定着と同様に許容付着応力に基づいて設計されている。しかし、折り曲げ定着と直線定着とは明らかにその応力伝達のメカニズムが異なっており現行の設計法は問題があると思われる。折り曲げ部の複雑な応力状態や、その耐力を支配する拘束程度の要因の多いことから定量的な評価が今までなされておらず、場合によっては柱・梁接合部に非常に過剰な配筋が要求されることもあり、施工上の問題点も露呈している。本研究は折り曲げ定着部の破壊性状を明らかにし、折り曲げ形状、拘束効果の定着耐力に及ぼす影響を調査する為に行なったものであり、接合部に於けるより健全で合理的な鉄筋端の定着設計法確立への出発点をなすものである。

2. 実験の概要

図-1に載荷装置を示す。供試体は、外端柱・梁接合部をモデル化したもので、接合部の応力状態が実部材におけるものと変わらない様に計画した。一定柱軸力(1/10 f_c)を載荷後、柱内に定着された2~4本の梁主筋に引張力をジャッキ④で与え、同時にこれと常に等しい圧縮反力をジャッキ⑤で与えながら載荷した。定着筋の分担引張力は、載荷初期段階で均等になる様に調整を行なった。

○ 供試体……… 図-2に供試体詳細を示す。定着筋が柱軸筋の外側に配された柱断面寸法の小さい“S”タイプの供試体10体と、柱断面寸法の大きい“L”タイプの供試体10体の計20体作成した。折り曲げ定着筋を有する供試体は、折り曲げ部以降の性状を調査する為、柱前面から折り曲げ起点までの直線部は2体を除いて付着を絶縁してある。各供試体毎に折り曲げ内法半径、余長部の長さ、鉄筋径、鉄筋本数、折り曲げ起点位置が異なっており、加えて比較の為、直線定着された供試体も4体ある。これらの諸元及び供試体名称は表-1に示す。

○ 使用材料……… 試験鉄筋は異形ネジふし鉄筋D19, D25の2種類で降伏点強度はそれぞれ3850, 4070 kgf/cm²である。試験材令でのコンクリート圧縮強度は、供試体番号01~05, 11~15の供試体が344 kgf/cm², 06~10, 16~20の供試体が308 kgf/cm²であった。

○ 計測事項……… 引張荷重合力はジャッキヘッドに取付けたロードセルで計測し、試験鉄筋の各分担力は、載荷端に貼付したW.S.G.の出力から比例配分して算出した。図-3に鉄筋引張力、滑り量の計測位置を示す。滑りは、図中矢印の方向の柱背面に対する相対量である。滑り量の計測

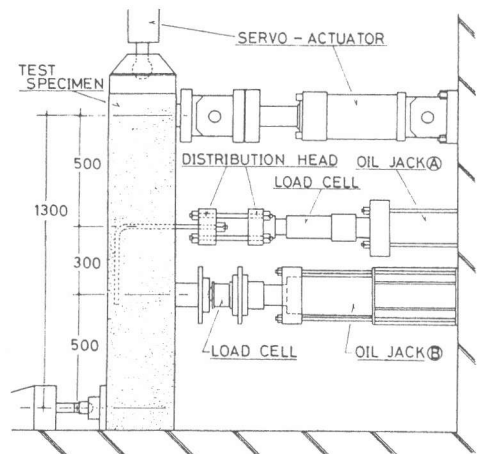


図-1 載荷装置

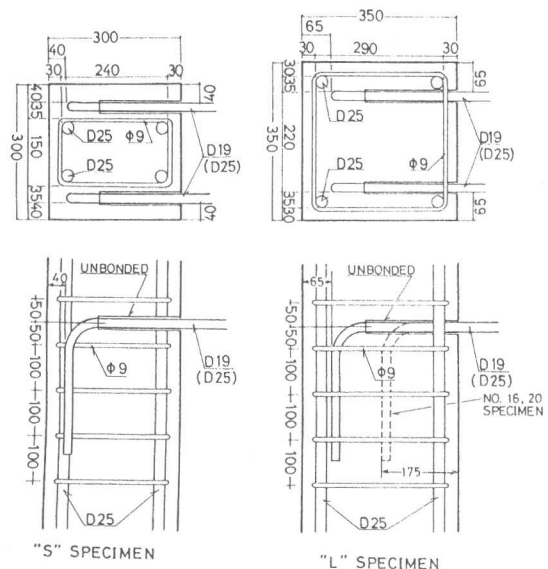


図-2 供試体詳細

は、鉄筋表面に取付けたφ1鋼線をシースでコンクリートから絶縁して柱背面に取り出し、スプリングで固定し、その移動量から求めたものである。直線定着筋では、図中の②の位置に対応する鉄筋引張力、滑り量、及び自由端滑りを計測した。以後、実験結果の整理では、同図に示す柱前面での引張力 P_1 、滑り量 S_1 、折り曲げ起点の引張力 P_2 、滑り量 S_2 、折り曲げ終点の引張力 P_3 、滑り量 S_3 の記号を用いて表現する。

3. 実験結果の概要

○ 破壊モード……… 本実験で見られた破壊モードを図-4に示す。破壊モード“SC”は折り曲げ定着された鉄筋の曲げ部分を中心にして放射状のひびわれが進展し、最終的には接合部側面のかぶり広範囲にわたって剥落する非常に脆性的な破壊モードである。破壊モード“FF”は先と異なり、折り曲げ部と梁圧縮反力とを結びひびわれが生じて柱前面を全幅にわたって破壊するモードであり、折り曲げ起点が、柱前面に近い、鉄筋4本の供試体にみられた。両破壊モードの相異は柱面にとりつく梁筋の折り曲げ起点と圧縮反力位置との相対関係から定まると思われる。破壊モード“BS”は柱、梁クリヤースパンにもみられる付着割裂によるひびわれパターンであり、鉄筋材軸に沿う縦ひびわれが徐々に進展して側面かぶりを割り裂き、耐力を失なう。これは異形鉄筋特有の破壊モードで、直線定着された供試体にみられた。このように90°折り曲げ定着は、明らかに直線定着の場合と異なる破壊モードであり、定着のメカニズムが異なっている。各供試体の破壊モード及び最大耐力を表-1に示す。

○ 折り曲げ定着筋の付着性状……
図-5(a)に柱面から折り曲げ起点までの直線部の付着を絶縁していない“S2-19-3-12-B”の載荷端滑り S_1 と理込部各位置の

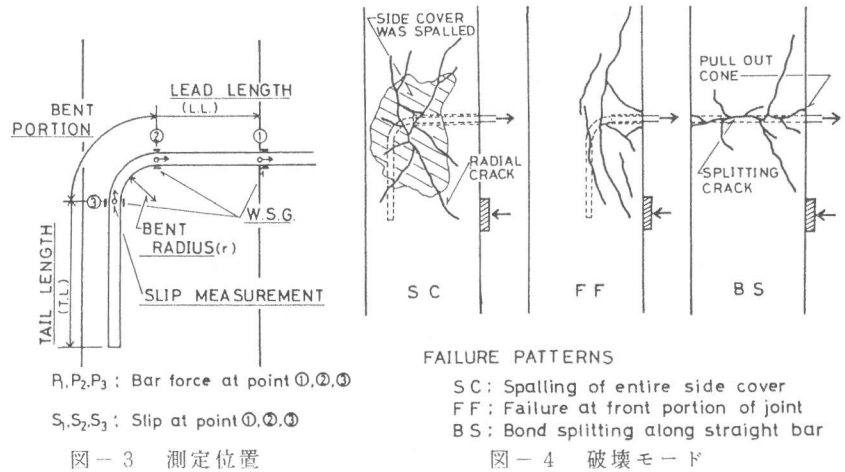


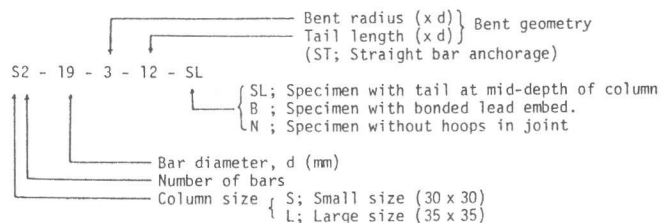
図-3 測定位置
 P_1, P_2, P_3 : Bar force at point ①, ②, ③
 S_1, S_2, S_3 : Slip at point ①, ②, ③

図-4 破壊モード
SC: Spalling of entire side cover
FF: Failure at front portion of joint
BS: Bond splitting along straight bar

表-1 供試体及び実験結果一覧

Specimen No.	Specimen Designation*1	Column size (cm)	Cover (cm)	Test Bars	Bent radius (x d)	Tail length (x d)	Concrete strength (kgf/cm ²)	Maximum load (ton)	Failure*2 mode
01	S2-19-3-8	30 x 30	4.0	2-D19	3	8	344	17.0	SC
02	S2-19-3-12	30 x 30	4.0	2-D19	3	12		19.6	SC
03	S2-19-3-16	30 x 30	4.0	2-D19	3	16		20.4	SC
04	S2-19-3-12-B	30 x 30	4.0	2-D19	3	12		24.9	SC
05	S2-19-2-12	30 x 30	4.0	2-D19	2	12		16.8	SC
06	S2-19-5-12	30 x 30	4.0	2-D19	5	12	308	21.8	SC
07	S2-19-ST	30 x 30	4.0	2-D19	Straight bars			26.4	BS
08	S2-25-3-12	30 x 30	4.0	2-D25	3	12		24.3	SC
09	S2-25-3-12-B	30 x 30	4.0	2-D25	3	12		30.0	SC
10	S2-25-ST	30 x 30	4.0	2-D25	Straight bars			33.9	BS
11	L2-19-3-8	35 x 35	6.5	2-D19	3	8	344	27.6	SC
12	L2-19-3-12	35 x 35	6.5	2-D19	3	12		30.4	SC
13	L2-19-3-16	35 x 35	6.5	2-D19	3	16		29.5	SC
14	L2-19-3-12-N	35 x 35	6.5	2-D19	3	12		28.2	SC
15	L2-19-ST	35 x 35	6.5	2-D19	Straight bars			30.4	BS
16	L2-19-3-12-SL	35 x 35	6.5	2-D19	3	12	308	20.3	SC
17	L2-25-3-12	35 x 35	6.5	2-D25	3	12		34.0	SC
18	L2-25-ST	35 x 35	6.5	2-D25	Straight bars			47.7	BS
19	L4-19-3-12	35 x 35	6.5	4-D19	3	12		48.4	SC
20	L4-19-3-12-SL	35 x 35	6.5	4-D19	3	12		31.9	FF

*1 Specimen Designation



*2; cf. Fig. 4

Note; Column axial loads were 27.5 ton for small size and 37.5 ton for large size column. ($f_c'/10$)

鉄筋引張力の推移を示す。載荷端の鉄筋の抜け出しに伴ない、引張力のコンクリートへの伝達が、折り曲げ起点までの直線部から曲げ部、余長部へと移行することがわかる。終局近くでは折り曲げ起点までの直線部で伝達される引張力はわずかであり、多くを曲げ部、余長部が分担している。同図(b)は等しい拘束条件下にある直線定着筋“S2-19-ST”の載荷端滑りと、対応する位置の引張力推移を示す。載荷端面より等しい長さの直線部であるにも拘らず、直線定着筋では終局近くまでこの領域の付着抵抗が維持されている。また同図(c)には両供試体の載荷端滑りと折り曲げ起点(直線定着筋ではこれと対応する位置)の滑りの関係を示す。この図からも明らかに両者の応力伝達のメカニズムが異なっている事がわかる。折り曲げ定着の場合、その定着耐力はほとんど折り曲げ起点以降が負担しており、曲げ部での局所的な大きい支圧力に対する抵抗の度合に支配されている。これに対し、直線定着では、鉄筋表面のふしによって生ずるかぶりコンクリートの割り裂きに対するコンクリートの抵抗の度合が耐力を支配しており、本実験での拘束状況下では、折り曲げ定着よりむしろ定着長の短い直線定着の方が大きい定着耐力を示す結果を得た。

4. 折り曲げ起点以降の定着耐力

○ 拘束効果と定着耐力……… 表-2 に各折り曲げ形状に対する拘束効果と定着耐力を示す。表中の値は、定着耐力がコンクリート圧縮強度の平方根に比例するとして $f'_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 相当に換算してある。

これより、かぶり厚さ、折り曲げ起点の位置(梁圧縮反力位置との相対関係)が折り曲げ部以降の耐力を決定的に支配しており、さらに横補強筋、鉄筋径等の影響を受けていることがわかる。

○ 折り曲げ形状と定着耐力……… 図-6 に曲げ内法半径、余長と定着耐力の相関を示す。同図(a)より曲げ内法半径の大なる程、定着耐力が向上することがわかる。また同図(b)より、余長部も長い程耐力を向上させるが、拘束程度が大きくなればその影響も小さくなることわかる。本実験では、12d位がその限界と思われ、過剰な余長の延長は耐力向上には有効でない。図には示さないが、折り曲げ終点の滑りも最大耐力近くまでほとんど経験されず、最大耐力時でもその絶対量がわずかである事も余長部の折り曲げ耐力への寄与には限界があることを示唆している。

5. 曲げ部、余長部の分担伝達力

図-7 に最大耐力時の折り曲げ起点及び終点の引張力を示す。本実験の限られた範囲内

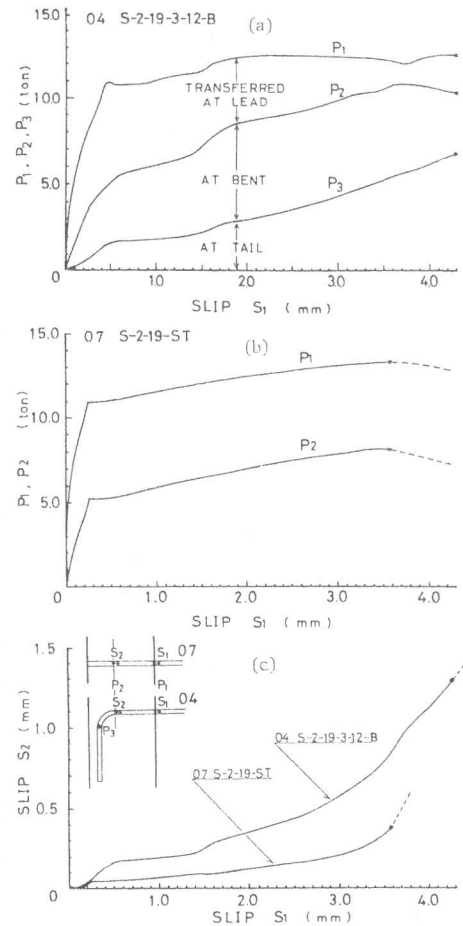


図-5 折り曲げ定着筋の付着性状

表-2 拘束効果と折り曲げ部以降の定着耐力

Bar Diameter and Bent Geometry	S(300 x 300) c = 4.0		L(350 x 350) c = 6.5 (cm)					
	outside of hoops	inside of hoops	without hoops	without hoops	without hoops	Short lead length		
2D19 r = 3d T.L.=12d	02	9.2	12	14.2 (Y*)	14	13.2 (Y)	16	10.0
2D25 r = 3d T.L.=12d	08	12.0	17	16.8				
2D19 r = 3d T.L.=8d	01	7.9	11	12.9 (Y)				
2D19 r = 3d T.L.=16d	03	9.5	13	13.8 (Y)				
4D19 r = 3d T.L.=16d			19	11.9 (Y)			20	7.9

* Specimen failed after bar yielding

Note; These values are the adjusted strengths $P_{adj.}$ for individual bars obtained from following equation.

$$P_{exp.}/P_{adj.} = \sqrt{f'_c}/\sqrt{300}$$

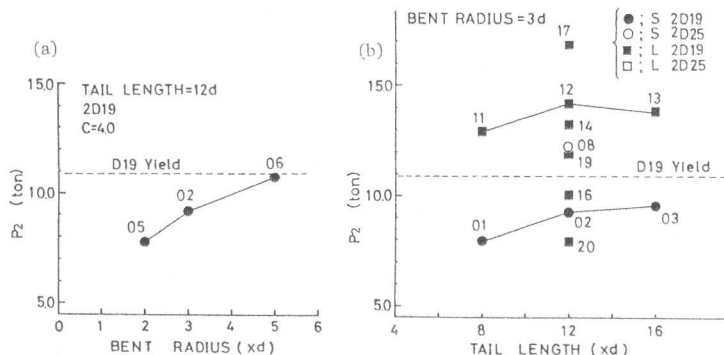


図-6 折り曲げ形状と、折り曲げ部以降の定着耐力

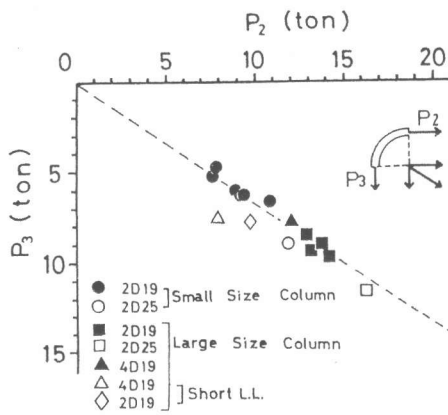


図-7 最大耐力時の折り曲げ起点、
終点の鉄筋引張力

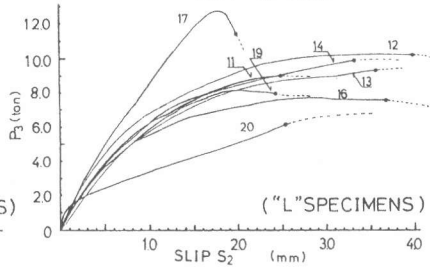
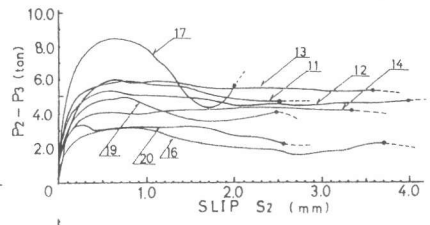
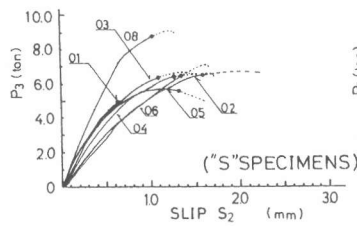
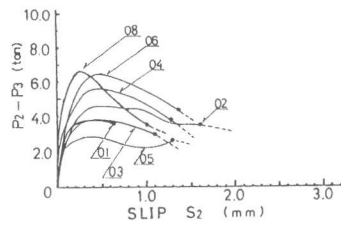


図-8 折り曲げ起点の滑りと各分担伝達力の推移

ではあるが、最大耐力時の折り曲げ部で形式される合力の方向が、いずれの供試体でもほぼ等しい事を示している。図-8は、折り曲げ起点の滑りと曲げ部、余長部の分担伝達力の推移を示す。曲げ部での最大耐力時に於ける分担伝達力は、拘束程度の低い“S”供試体ではピーク以後の分担力であり、拘束程度の高い、“L”供試体ではピークの値を保持している点が異なっている。余長部分担力は鉄筋径、曲げ内法半径の等しい供試体では、折り曲げ起点の滑り S_2 に対して同じ推移を示しており、拘束の度合により最大耐力を与える S_2 の値が異なり耐力差を生じている。

○ 曲げ部の分担耐力……… 図-9に最大耐力時に発揮された曲げ部分担耐力($f_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 相当に補正)と折り曲げ形状との相関を示す。終局時曲げ部の分担耐力は、曲げ内法半径に比例して大きくなるが、余長部の影響は受けていない。また折り曲げ形状、拘束程度が等しければD25, D19の曲げ部分担耐力に差が見られない事、接合部横補強筋は曲げ部分担耐力に影響を与える事、折り曲げ起点の位置が大きくこの耐力を支配している事がわかる。

○ 余長部の分担耐力……… 図-10に最大耐力時に発揮された余長部分担耐力($f_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 相当に補正)と折り曲げ形状との相関を示す。余長部の分担耐力は、周囲の拘束程度に大きく支配されていること、曲げ内法半径の影響を受けること、余長部の延長によるこの分担耐力の向上には限界があること、また横補強筋の効果は曲げ部に対するよりも少ないことがわかる。

6. 結論および折り曲げ定着設計の基本方針

(1) 折り曲げ定着は、直線定着とその応力伝達のメカニズムが異なっており、現行の設計法の許容付着応力度で設計する事は合理性に欠ける。(2) 折り曲げ定着では、折り曲げ起点までの引張力伝達は直線定着の場合より低下する。(3) かぶり厚さ、及び有効せいと関連して与えられる折り曲げ起点位置を主要因として定まる折り曲げ部以降の耐力に基づいて設計するのが合理的である。(4) 折り曲げ部の分担耐力は曲げ内法半径にほぼ比例している。(5) 余長部の効果は10~12dがその限界で、これ以上の延長は効果がない。

【付記】 本研究は、昭和55、56年度文部省科研費(一般(B))により行なったものであり、本学技官、小松勇二郎氏、及び学部四回生 奥地正敏君、栗林博之君との協力により遂行されたことを付記する。

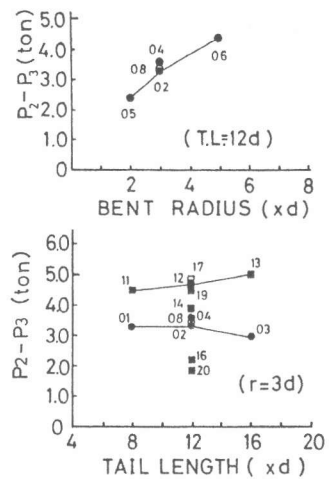


図-9 曲げ部の分担耐力

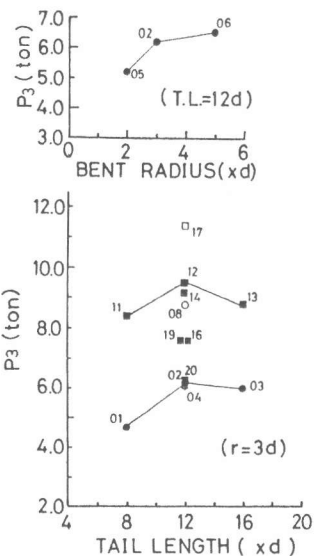


図-10 余長部の分担耐力