

報 告

[2032] 鉄筋コンクリート造梁主筋のプレート定着に関する実験的研究

辻田耕一\*1 山本憲一郎\*2 川崎清彦\*3 成瀬 忠\*4

1. はじめに

高層RC建物では一般的にラーメン構造にする場合が多い。特に、集合住宅では柱梁断面寸法が限られており、鉄筋は高強度太径で高密度配筋となる。側柱、隅柱での柱梁接合部への梁主筋定着筋は非常に錯綜し、従来のL型定着では鉄筋が納まらず配筋が困難となる。また、鉄筋の曲げ加工も太径で高強度のため容易ではない。現在ではネジフシ鉄筋の普及にともない、梁主筋の機械式定着法としてプレート定着の採用が検討されている。本プレート定着法ではプレート両側のナットを締付けることによって定着プレートを鉄筋へ固定している。山口ら[1][2]によって、普通強度(鉄筋:SD345、コンクリート強度 $F_c=240\text{kgf/cm}^2$ )材料を用い、中低層RC造建物を対象としたアンカープレート定着部の力学性状が明らかにされた。また、ネジフシ鉄筋を用いた場合のプレート定着設計式[3]が提案され、プレート定着抵抗機構は「鉄筋の付着力」+「定着板の支圧力(分担力)」と言われている。しかし、定着板の設計は未だ確立されておらず、プレストレストコンクリート構造における設計法[4]に頼っているのが現状である。この設計法では、定着板の形状および厚さが大きくなる傾向にある。

従って、本研究では高層建物を対象とした高強度鉄筋および高強度コンクリートを使用したプレート定着法の合理的な設計法の確立を目指すために、プレート定着抵抗機構の中で主要な鉄筋の付着強度、プレート定着部での応力分担率およびコンクリートの支圧強度(支圧応力度比)について実験的に検討した。

表-1 試験体一覧

タイプ	試験体名	鉄筋径	鉄筋材質	コンクリート目標強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	付着の有無	定着長さ $l=n \times d$	定着プレート(mm)		供試体の寸法 W×D×H(mm)	支持スパン(mm)
							断面積(xrA)*1	厚さ		
B	B416015	D41	SD490	600	有	15d	85φ(3.24)	19	900×900×900	600
	B414815	"	"	480	"	"	"	"	"	"
	B413615	"	"	360	"	"	"	"	"	"
	B414810	"	"	480	"	10d	"	"	"	"
	B353615	D35	"	360	"	15d	85φ(4.93)	"	900×900×800	"
	B353610	"	"	360	"	10d	"	"	900×900×600	"
	B292415	D29	"	240	"	15d	85φ(7.83)	"	900×900×700	"
	B292410	"	"	240	"	10d	"	"	900×900×500	"
U	U414815	D41	SD785	480	無	15d	85φ(3.24)	"	900×1500×900	1000
	U353615	D35	"	360	"	"	85φ(4.93)	"	"	"
	U292415	D29	"	240	"	"	85φ(7.83)	"	"	"
	U414804	D41	"	480	"	4d	85φ(3.24)	"	900×1200×600	800
	U353605	D35	"	360	"	5d	85φ(4.93)	"	"	"
	U292405	D29	"	240	"	"	85φ(7.83)	"	"	"

\*1: 定着プレートの断面積は( )内に鉄筋断面積の倍率を示している

試験体名 B 4.1 6.0 1.5 (試験体名には実験変数を示している)



- \* 1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 建築構造研究室主任研究員 工修 (正会員)
- \* 2 前田建設工業(株) 建築設計本部 構造設計部課長
- \* 3 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 建築構造研究室副室長 (正会員)
- \* 4 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 建築構造研究室研究員 (正会員)

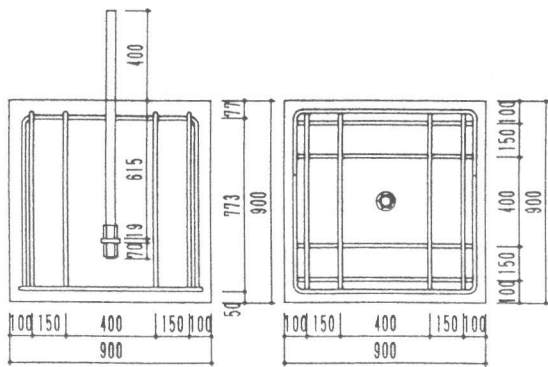
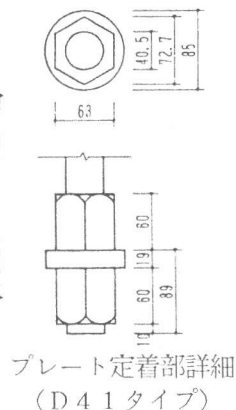


図-1 試験体形状および配筋



プレート定着部詳細 (D41タイプ)

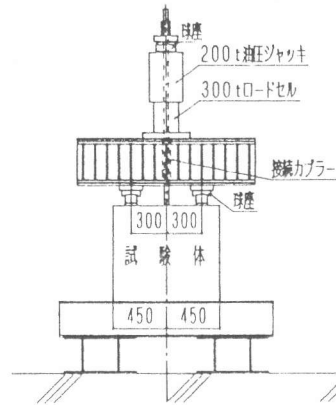


図-2 加力装置 (Bタイプ)

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体一覧を表-1に示す。試験体はBタイプとして、プレート定着部での応力分担率、鉄筋の付着強度を確認する8体、Uタイプとして、鉄筋の付着力を取り除いた試験体で圧縮側鉄筋を模擬した鉄筋の押抜き耐力(定着長が $5d$ 、 $4d$ [ $d$ :鉄筋公称径])、およびプレート定着部でのコンクリートの支圧応力度(定着長が $15d$ )を確認する6体である。実験変数はコンクリート圧縮強度、および鉄筋については、径、降伏強度、定着長、付着の有無を選択した。

代表的な試験体の形状、配筋、およびプレート定着部の詳細を図-1に示す。試験体はプレート定着された梁鉄筋1本をコンクリートに埋込む形式とした。供試体寸法は、 $900 \times 900 \times 900 \text{mm} \sim 900 \times 1500 \times 900 \text{mm}$ である。各試験体に使用した鉄筋はネジ筋鉄筋であり、径はD29、D35、D41の3種類である。BタイプはSD490、Uタイプは熱処理をしたSD785材である。定着プレートは厚さ19mmで $85\phi$ の円形とし、SS400材を使用した。コンクリートは最大粗骨材寸法20mmの碎石を使用したスランプ15cmの普通コンクリートで、実験時の圧縮強度240、360、480、 $600 \text{kgf/cm}^2$ の4種類を目標とした。コンクリート供試体の力学的性質を表-2に示す。コンクリートの実験時圧縮強度は $222 \sim 703 \text{kgf/cm}^2$ の範囲であった。鋼材の力学的性質を表-3に示す。SD490材およびSD785材の鉄筋降伏強度は $5390 \sim 5620$ 、 $8740 \sim 8970 \text{kgf/cm}^2$ の範囲であった。

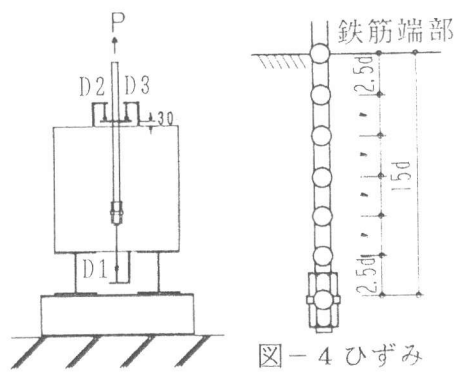


図-3 変位測定位置

図-4 ひずみゲージ貼付位置

表-2 コンクリート供試体の力学的性質

タイプ	試験体名	材令 (日)	圧縮強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	割裂強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	ヤング係数 ( $\times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ )	ポアソン比
B	B416015	16	703	45.0	2.89	0.250
	B414815	61	461	38.5	2.96	0.224
	B413615	68	337	24.6	2.29	0.201
	B414810	63	432	32.8	2.94	0.217
	B353615	70	321	25.4	2.25	0.208
	B353610	72	325	25.9	2.37	0.201
	B292415	46	228	20.3	1.84	0.214
	B292410	54	246	24.3	1.81	0.229
U	U414815	9	501	27.0	2.40	0.218
	U353615	39	351	25.6	2.39	0.222
	U292415	28	222	22.5	1.66	0.217
	U414804	13	541	34.6	2.53	0.232
	U353605	41	355	29.1	2.52	0.221
	U292405	33	238	22.4	1.71	0.213

表-3 鋼材の力学的性質

呼び名 (材種)	降伏強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	引張強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	ヤング係数 ( $\times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ )	降伏ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	伸び率 (%)
D41 (SD785)	8780	10030	2.11	4170	8.71
D35 (SD785)	8970	10200	2.03	4420	8.01
D29 (SD785)	8740	9700	1.97	4490	10.5
D41 (SD490)	5530	7800	2.02	2730	20.2
D35 (SD490)	5390	7310	1.87	2880	17.6
D29 (SD490)	5620	7590	1.96	2870	22.1
PL19 (SS400)	3990	5900	2.01	1985	26.7

## 2. 2 加力および測定方法

代表的なBタイプの加力装置を図-2に示す。加力方法は単純梁形式で反力支持スパンを600~1000mm(表-1参照)とし鉄筋を引抜いた。加力スケジュールは荷重を $2/3\sigma_{y1}$ ,  $\sigma_{y1}$ ( $\sigma_{y1}$ :鉄筋の規格降伏強度)で各5回ずつ荷重制御で片振り繰返した。その後、変位を1.0~20.0 $\delta_y$ ( $\delta_y$ :鉄筋降伏 $\sigma_y$ 時の定着端変位)の範囲の任意量で各2回ずつ変位制御で繰返し、最終破壊まで単調荷重とした。ただし、押抜き耐力を確認する試験体は荷重を $1/3\sigma_{y1}$ で5回繰返した後、最終破壊まで単調荷重とした。

変位測定位置を図-3に示す。測定は鉄筋の引張荷重(P)、ひずみ( $\epsilon$ )、伸び量(D2, D3)、およびプレート定着端変位量(D1)とした。ひずみゲージ貼付位置の一例を図-4に示す。ひずみ測定位置について、Bタイプは端部より2.5dピッチ、Uタイプは端部より5.0dピッチを基本とした。

## 3. 実験結果

### 3. 1 実験経過および破壊形式

代表的なコンクリート供試体の最終破壊状況を図-5に示す。最大荷重、プレートの変位量および最終破壊モード等の実験結果を表-4に示す。

#### (1) Bタイプ試験体

$P=1/2\sigma_{y1} \sim \sigma_{y1}$ 付近でコンクリート

表面より放射線状にひび割れが発生し、プレート変位量が徐々に増加し鉄筋が降伏した。その後、若干鉄筋が抜きコンクリート表面がコーン状に浮き始め、最大荷重に達し鉄筋が破断した。ただし、B292410試験体は鉄筋が破断せず定着破壊した。定着長が10dと短い試験体は鉄筋の抜きが大きくなる傾向にある。

#### (2) Uタイプ試験体

定着長15dの試験体は荷重およびプレート変位量の増加とともに、鉄筋が降伏し最大荷重に達した。その後、U353615、U292415試験体は定着プレート位置でのネジヤマのせん断破壊により鉄筋が抜き、U414815試験体は鉄筋が破断した。ひび割れはほとんど発生しなかった。また、定着長

表-4 実験結果

タイプ	試験体名	最大荷重 P(tf)	最大荷重時のプレート変位量(mm)	最終破壊モード	平均付着応力度(kg/cm <sup>2</sup> )	定着部での応力分担率(%)	支圧 <sup>*1</sup> 応力度比
B	B416015	93.6	1.25	F	85.6	0.05	0.11
	B414815	95.1	2.79	F	82.1	0.09	0.32
	B413615	95.8	7.39	F	73.0	0.21	1.07
	B414810	97.9	4.89	F	65.6	0.51	2.02
	B353615	68.4	4.01	F	56.4	0.37	1.25
	B353610	68.0	7.50	B F	54.1	0.60	2.01
	B292415	47.8	2.50	F	45.9	0.50	1.59
	B292410	42.5	4.11	B	49.7	0.64	1.88
U	U414815	126.8	7.32	F	10.2	0.90	3.51
	U353615	79.1	8.37	N	6.82	0.93	3.13
	U292415	58.4	10.80	N	6.9	0.93	3.13
	U414804	34.0	0.67	C	18.0 <sup>*2</sup>	0.90 <sup>*2</sup>	1.43 <sup>*2</sup>
	U353605	21.9	0.51	C	8.64 <sup>*2</sup>	0.92 <sup>*2</sup>	1.18 <sup>*2</sup>
	U292405	14.8	0.50	C	4.62 <sup>*2</sup>	0.96 <sup>*2</sup>	1.20 <sup>*2</sup>

\*1: 鉄筋が境界断面で降伏した時点  
最終破壊モード

F: 鉄筋の破断

B F: 鉄筋の抜きを伴った鉄筋の破断

B: 鉄筋の定着破壊

\*2: コーン破壊時

N: プレート定着部での

ネジヤマのせん断破壊

C: コーン破壊

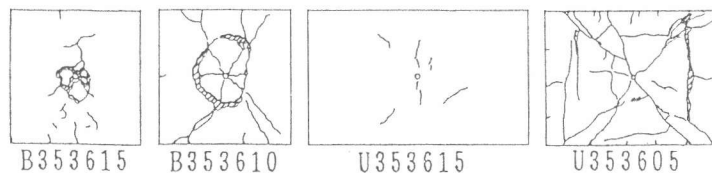


図-5 最終破壊状況

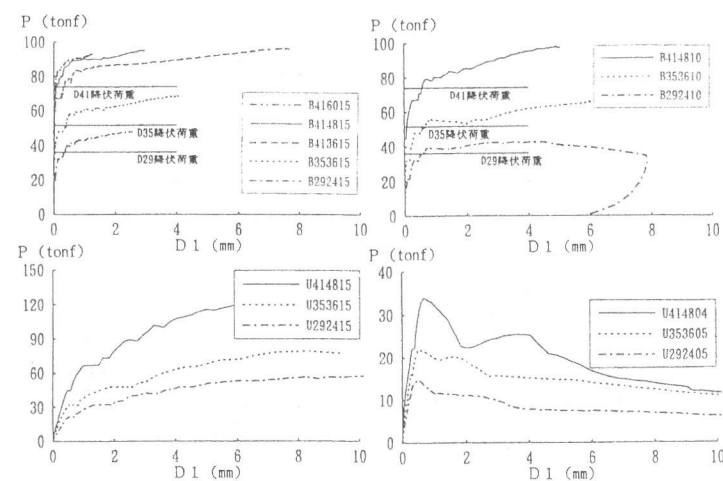


図-6 荷重-定着端変位関係

5d, 4dの試験体は $P=1/2\sigma_{y1}$ 付近で、コンクリート表面より放射線状にひび割れが発生し、最大荷重に達した。その後、コン破壊した。

### 3. 2 荷重変形関係

#### (1) 荷重と定着端変位関係

各試験体の荷重-定着端変位関係の包絡線を図-6に示す。Bタイプ各試験体では、コンクリート強度が高く、定着長が長い試験体ほど定着端に変位が生じる荷重と降伏荷重の比は大きく、また鉄筋降伏時の定着端変位も小さい。Uタイプの各試験体については、太径で、かつコンクリート強度が高くなるほど、定着端変位が小さくなる。

#### (2) プレートの分担定着力と定着端変位の関係

Bタイプ試験体のプレートの分担定着力-定着端変位関係包絡線を図-7に示す。分担定着力 $P_p$ は定着プレート位置に貼付したひずみゲージ値より求めている。同じコンクリート強度の各試験体は定着長さに関係なくほぼ同様な傾向にある。

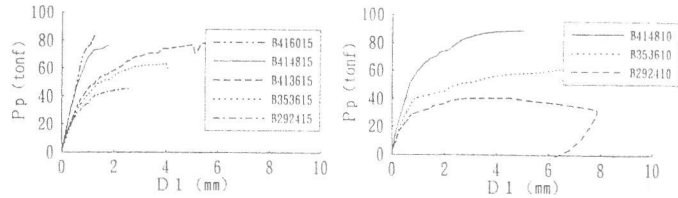


図-7 プレート分担定着力-定着端変位関係

### 4. 実験結果の検討

#### 4. 1 鉄筋の応力度分布

Bタイプ試験体の各加力サイクルピーク時における鉄筋の応力度分布を図-8に示す。Y軸位置が鉄筋のコンクリート表面位置を示している。なお、鉄筋のひずみから応力への変換は、島ら[5]のモデルによる。各試験体とも鉄筋径、コンクリート強度に関係なく、荷重の増加とともに鉄筋の付着応力度（鉄筋応力度勾配）は徐々に増加する。鉄筋応力度勾配が最大値に達した後、プレート定着部での分担力が増加した。この分担力はコンクリート強度が低く、定着長が短いほど大きい。

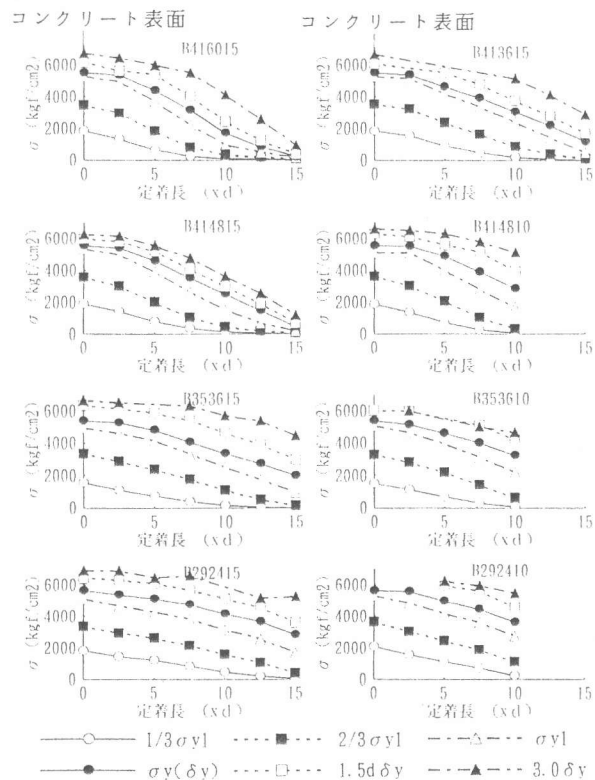


図-8 鉄筋の応力度分布

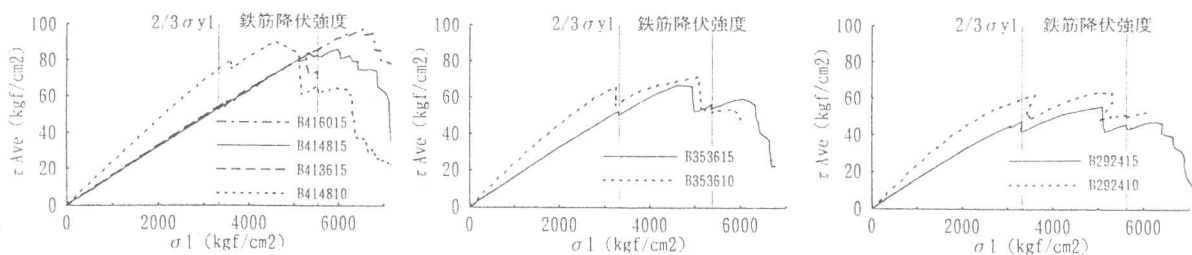


図-9 付着応力度-鉄筋応力度関係

#### 4. 2 付着応力

##### (1) 平均付着応力度－鉄筋応力度関係

Bタイプ試験体の平均付着応力度－載荷端鉄筋応力度関係の包絡線を図－9に示す。縦軸 $\tau_{AVE}$ は端部とプレート定着部間の平均付着応力度を示している。付着応力について、コンクリート強度、鉄筋径に関係なく、定着長15dの各試験体は $\sigma_1=5000\text{kgf/cm}^2$ の規格降伏強度まで、定着長10dの各試験体は $\sigma_1=2/3\sigma_{y1}$ まで、鉄筋の応力に比例して増加する傾向にある。その後、端部鉄筋応力の増加とともに、B416015試験体はまだ若干増加するが、その他の試験体はほぼ横ばいから減少傾向にある。

##### (2) 平均付着応力度－コンクリート強度関係

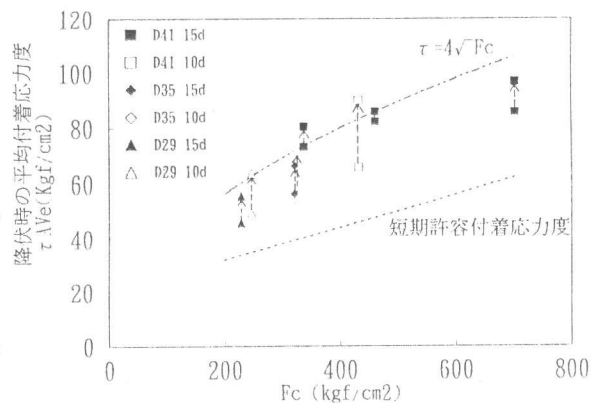
載荷端鉄筋降伏時の平均付着応力度および最大平均付着応力度－コンクリート強度関係を図－10に示す。図中、各点の下のプロット値が鉄筋降伏時の平均付着応力度、上のプロット値が最大平均付着応力度を示す。各試験体ともコンクリート強度が高くなると、付着応力度は高くなる傾向にあり、鉄筋降伏時における平均付着応力度は学会式の短期許容付着強度（その他の鉄筋）[6]を上回っている。また、最大付着応力度はD51を用いた付着実験に基づいた設計指針案[7]に示される $\tau=4\sqrt{F_c}$ 付近にプロットされ、 $\sqrt{F_c}$ にほぼ比例しているものと思われる。

#### 4. 3 プレート定着部での応力分担率

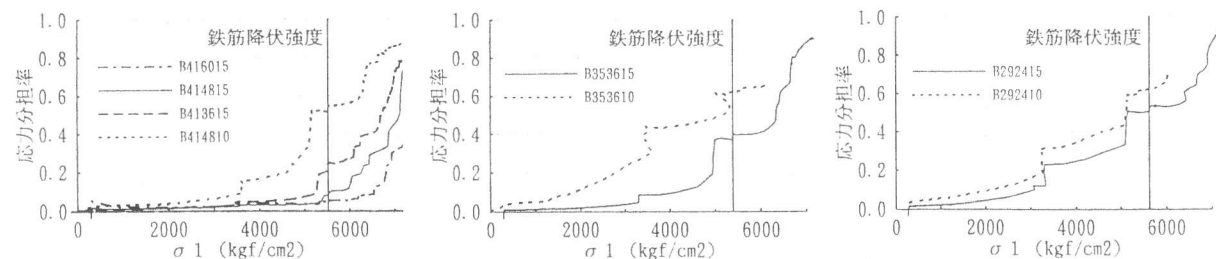
Bタイプ試験体のプレート定着部での応力分担率（プレート分担定着力／載荷端鉄筋引張力）－載荷端鉄筋応力度関係の包絡線を図－11に示す。試験体の鉄筋降伏時におけるプレート定着部の応力分担率について、定着長15dの試験体は0.05～0.50、定着長10dの試験体は0.51～0.64であり、定着長が長くなり高強度コンクリートになるほど小さな値になっている。

#### 4. 4 プレート定着部でのコンクリートの 支圧応力

Bタイプ試験体のプレート定着部での支圧応力度比（プレート分担定着力／コンクリート強度）－載荷端鉄筋応力度関係の包絡線を図－12に示す。ここで、プレート分担定着力とは（プレート分担定着力）／（プレート有効面積 [円形定着板面積から鉄筋の断面積を差し引いたドーナツ形の面積]）である。また、鉄筋降伏時におけるプレート定着部での支圧応力度比－コンクリート強度関係を図－13に示す。Uタイプの試験体のみ支圧応力度



図－10 付着応力度－コンクリート強度



図－11 応力分担率－鉄筋応力度関係

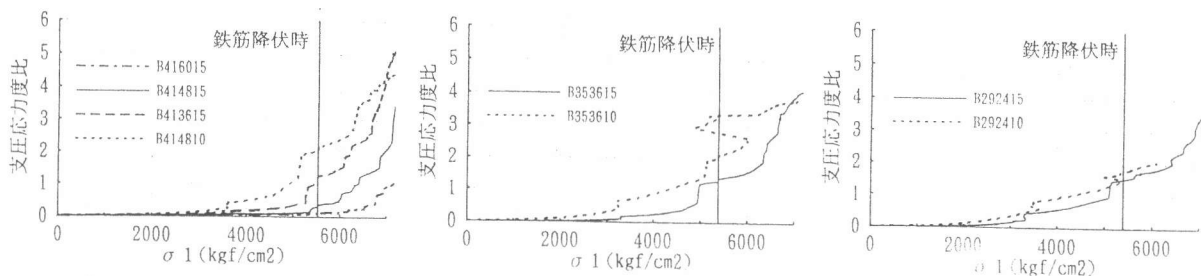


図-12 支圧応力度比-鉄筋応力度関係

比の最大値も示す。支圧応力度比について、Bタイプ試験体の鉄筋降伏時において定着長15dの試験体は0.11~1.59であり、また、定着長10dは1.88~2.02である。コンクリート強度が高く定着長が長くなるほど、プレート定着部での分担率も小さいため、支圧応力度比も小さい。Uタイプについて、定着長が15dの全試験体はSD490の鉄筋降伏荷重時には3以上である。実験での最大値は5.16~5.82まで確認できた。

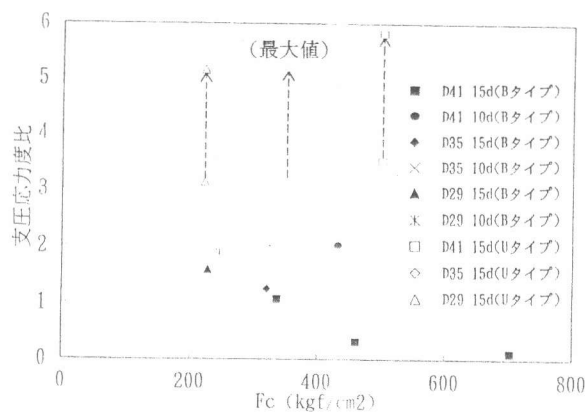


図-13 支圧応力度比-コンクリート強度関係

## 5. まとめ

プレート定着の基本性状を把握する実験の結果、次のような結論が得られた。

(1) 鉄筋の付着応力はプレート定着部に分担力が生じるまで徐々に増加する。各試験体とも荷端鉄筋降伏時における平均付着応力度は建築学会式の短期許容付着強度を上回っている。また、この時点では定着プレートにほとんど変位が生じない。付着応力度は鉄筋径、コンクリート強度によって若干傾向が違いますが定着長による違いはみられない。

(2) 荷端鉄筋降伏時におけるプレート定着部での応力分担率（プレート分担定着力/荷端鉄筋引張力）について、定着長15dの試験体は0.05~0.50、定着長10dの試験体は0.51~0.64である。定着長が長くなり高強度コンクリートになるほど応力分担率は小さな値になっている。

(3) プレート定着部における支圧応力度比（プレート分担応力/コンクリート強度）の最大値は実験結果より5.16~5.82まで確認できた。ただし、実験ではプレート定着部で支圧破壊していないので、実際はこの値より上回るものと考えられる。

以上、プレート定着の基本性状を明らかにしたが、梁主筋が複数に配筋された際の群効果、コンクリートのかぶり厚さ、柱主筋、せん断補強筋の影響、柱梁接合部内の複雑な応力状態を考慮したプレート定着性能について今後検討する。

## 参考文献

- 1) 小川、山口、東端、鶴岡、藤村：RC柱・梁接合部における梁主筋の定着法に関する研究；日本建築学会大会学術講演梗概集 PP1783~1784 1977年10月
- 2) 山口、菅野、東端、長嶋、岸田：RC柱・はり接合部におけるはり主筋の定着法に関する研究-ト型接合部での確認実験-；竹中技術研究報告 第20号 PP18~43 1978年10月
- 3) 神戸製鋼：ネジコン定着工法の設計・施工要領
- 4) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説 1987.1
- 5) 島、周、岡村：異形鉄筋の鉄筋降伏後における付着特性；土木学会論文集 第378号/V-6 PP213~220 1987年2月
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- 7) 鋼材倶楽部：D51を用いた鉄筋コンクリート建築構造物の設計指針案、同解説；1976年9月