

# 柱・はり接合部 PC 化工法 (PG コネクション工法) を用いた RC 高層建物の開発 (その 2)

——柱主筋の引抜き実験——

武田 寿一      吉岡 研三  
関根 正孝

## Study on Reinforced Concrete High-rise Building Using Prefabricated Beam-Column Joints (Part 2)

——Pull-out Tests of Column Longitudinal Bars——

Toshikazu Takeda      Kenzoh Yoshioka  
Masataka Sekine

### Abstract

Pull-out tests were carried out to investigate the basic anchoring behaviors of re-bars using the PG Connection Method. This method has the feature that beams and beam-column joints are precast simultaneously. Variables in the tests were anchorage method, location of re-bar, number or diameter of re-bar, transverse restraint of re-bar, and concrete strength.

Test result showed that the specimens made by the PG Connection Method resulted in good performance concerning the relative slip load and ultimate pull-out load of re-bar as well as the ordinary anchorage method customarily used. In addition, the following findings were made: anchorage strength was decreased depending on the bar diameter, anchorage strength of a re-bar located at the edge of a section was slightly higher than that of a corner bar, and an adjacent bar affects the anchorage strength of the pull-out bar.

### 概 要

鉄筋コンクリート骨組構造の柱・はり接合部を、はりと同時にプレキャスト化する工法である PG コネクション工法で用いられる鉄筋定着法に関する基礎的な性状を検討するために、引抜き実験を行なった。実験変数は、鉄筋定着法、定着位置、本数、径、横拘束法、およびコンクリート強度である。その結果、この定着工法による試験体は、鉄筋のすべり開始荷重および最大引抜き荷重に関し、在来定着法以上の値を示すことが確認された。また、鉄筋径が増すほど付着強度は低下する、コーナー筋よりも辺中央筋の付着強度が大きい、群効果により付着強度は低下する、横拘束法としては鉄筋よりも鋼板バンドプレートによる拘束のほうが有効である、などの結果が得られた。

## 1. 序

この報告は、RC 骨組構造における柱・はり接合部をプレキャスト化するために開発された PG コネクション工法<sup>1)</sup>の特徴である、現場建込み柱の主筋がプレキャスト部材へ貫通し、グラウトにより定着される部分、すなわちプレキャスト柱・はり接合部内における柱主筋の定

着部分、の基礎的な定着性状を検討するために行なった引抜き実験の報告である。

## 2. 実験概要

### 2.1. 試験体

図一 1 に試験体形状・寸法、表一 1 に試験体一覧を示す。試験体は、PG コネクション工法における柱・はり

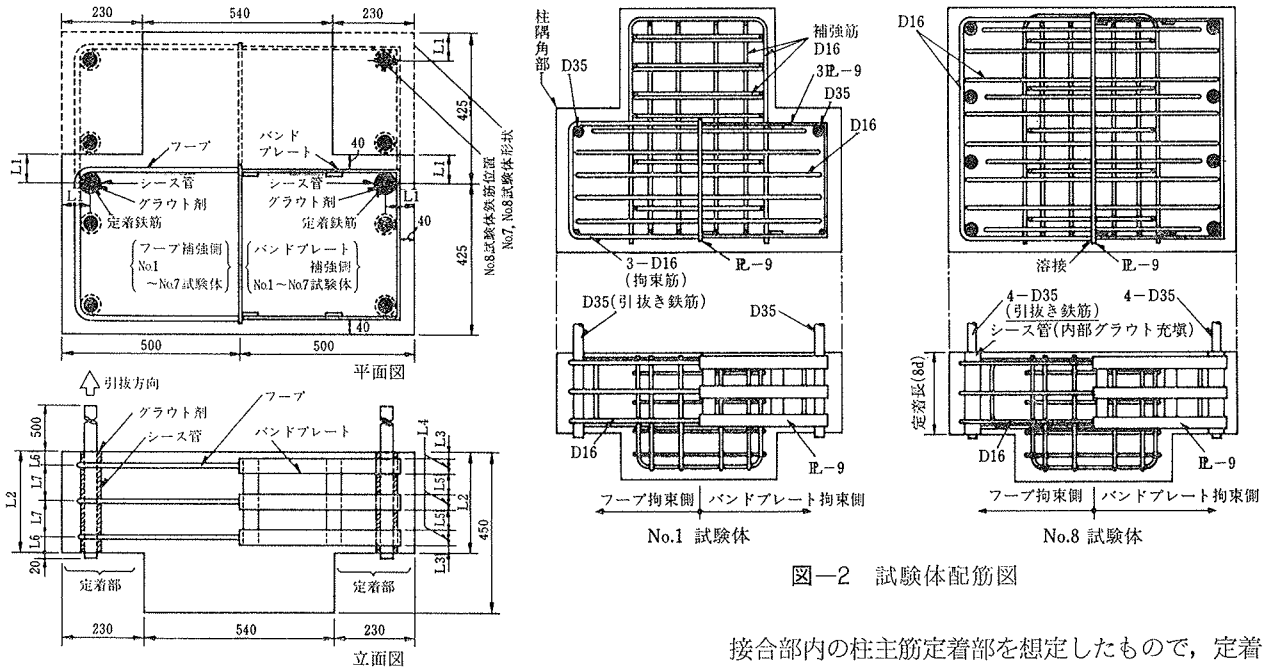


図-1 試験体の形状・寸法

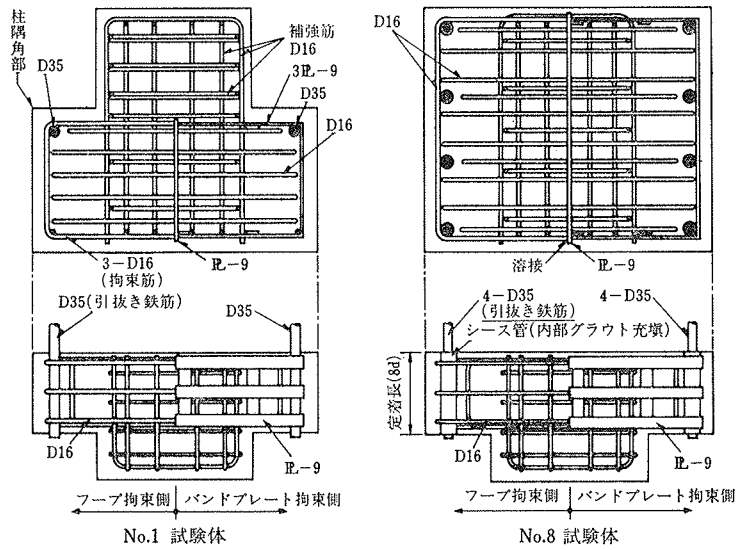


図-2 試験体配筋図

接合部内の柱主筋定着部を想定したもので、定着位置の相違により形状は異なり、計8体である。実験変数は、鉄筋定着位置の他に、鉄筋本数、鉄筋拘束法、コンクリート強度、定着法、鉄筋径である。

鉄筋定着位置は、柱断面の隅部(No.1~No.6 試験体)、辺の中央部(No.7 試験体)、隅部と辺の中央部の複数配筋(No.8 試験体)の3種である。鉄筋本数は、No.1~No.7 試験体が2本(両側1本ずつ)、No.8 試験体は8本(両側4本ずつ)である。各試験体の片側の鉄筋は、柱・はり接合部内の帯筋による拘束を想定した、通常の異形鉄筋により横拘束されており(以後、フープ拘束側と呼ぶ)、片側の鉄筋は鋼板バンドプレート(以後、B・P 拘束側と呼ぶ)により横拘束されている。これら双方は、中央で溶接されている(図-2 参照)。

コンクリート強度は、設計基準強度で 240, 360, 450 kg/cm<sup>2</sup> の3ケースを設定した。No.1 試験体は、コンクリートに鉄筋を直接定着させた在来定着法の試験体で、No.2~No.8 試験体が、PGコネクション工法による定着法の試験体である。鉄筋径は、D29, D35, D41 の3種である。定着長は、共通に 8d とした。

鉄筋芯までのかぶり厚は、各試験体共通に 79 mm とした。シーブ管は、表面に 27 mm ピッチでスパイラル状の突起を有する薄肉スパイラルシーブ管である。D29, D35, D41 の鉄筋に対し、内径 52 mm, 60 mm, 65 mm のシーブを使用した。

2.2. 使用材料

表-2 に、鉄筋、コンクリート、およびグラウト材の

試験体番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	
試験体名	C35MO24	C35PG24	C29PG36	C35PG36	C41PG36	C35PG45	M35PG24	CM35PG24	
実験変数	鉄筋位置	隅筋	隅筋	隅筋	隅筋	隅筋	辺中央筋	隅中央筋	
	鉄筋本数	2本	2本	2本	2本	2本	2本	8本	
	鉄筋径	D35	D35	D29	D35	D41	D35	D35	
	鉄筋拘束法	バンドプレート フープ	3E-9 3-D16	3E-9 3-D16	3E-9 3-D16	3E-9 3-D16	3E-9 3-D16	3E-9 3-D16	3E-9 3-D16
試験体の概要	鉄筋定着法	在来定着法	PGコネクション工法	PGコネクション工法	PGコネクション工法	PGコネクション工法	PGコネクション工法	PGコネクション工法	
	コンクリート強度	308	308	372	372	372	564	308	
試験体の概要	定着長L2(cm)	28.0	28.0	23.0	28.0	33.0	28.0	28.0	
	配筋寸法 (mm)	L1	79	79	76	79	81.5	79	79
		L3	15	15	15	15	15	15	15
		L4	44	44	25	44	44	44	44
		L5	59	59	62.5	59	84	59	59
		L6	37	37	27.5	37	37	37	37
	L7	103	103	87.5	103	128	103	103	

表-1 試験体一覧

注1) 試験体名記号内容  
 C: コンクリート設計強度(240, 360, 450kg/cm<sup>2</sup>の3種設定)  
 MO: 鉄筋定着法(MO:コンクリートに直接定着する在来定着法, PG: PC部材内に埋設されたシーブ管の孔内に、鉄筋を通しグラウトにより一体化する定着法でPGコネクション工法と呼ぶ)  
 29: 鉄筋径(35はD35を示す, 他にD29, D41使用)  
 24: 鉄筋定着位置(C: 断面のコーナー部, M: 辺の中央部, CM: コーナーと中央の両方)

鉄筋					コンクリート			
径	$\sigma_y$	$E_s$	$\sigma_u$	EL.	試験体	$F_c$	$E_c$	$F_t$
D29	4000	1.91	5840	26.2	No. 1	308	2.18	26.2
D35	4290	1.91	6180	21.9	No. 2	308	2.18	26.2
D41	4240	1.89	6250	21.9	No. 3	372	2.32	23.3
					No. 4	372	2.32	23.3
					No. 5	372	2.32	23.3
					No. 6	564	3.03	35.8
					No. 7	308	2.18	26.2
					No. 8	308	2.18	26.2

グラウト剤  $F_c=638\text{kg/cm}^2$   
 $F_c$ : 圧縮強度(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $F_t$ : 引張強度(kg/cm<sup>2</sup>)  
 $E_c$ : ヤング係数( $\times 10^5\text{kg/cm}^2$ )

表-2 材料試験結果

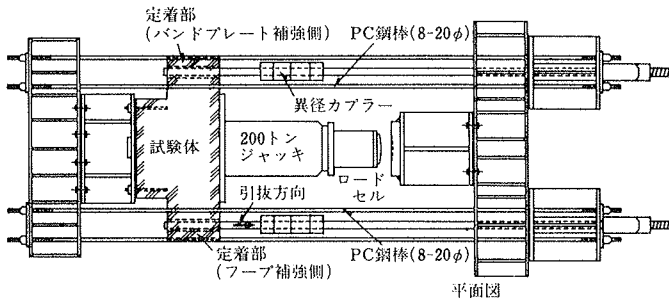


図-3 加力装置

材料試験結果を示す。鉄筋は、加力との関係からネジフシ異形鉄筋を使用した。コンクリートの打設は、引抜き鉄筋が鉛直の状態、引抜き側から自由端側方向への縦打ちで行なった。グラウト材の充填は、コンクリートとは逆に、自由端側から引抜き側への鉛直注入とした。

2.3. 加力および測定装置

図-3に、加力装置を示す。加力装置は、試験体の表面から50cmの長さで突出した定着筋に、加力用の異形鉄筋（定着筋より1サイズ太径のものを使用）を、異径カプラーにより継ぎ、その間に油圧ジャッキを設置し、鉄筋接続部を有する鉄骨を介して、フープ拘束側、B・P拘束側両方の定着筋を同時に引抜く、という形式のものである。同図内のPC鋼棒は、両側定着筋のうち、先に破壊した側の定着筋の損失定着力を負担し、もう一方の定着筋への継続加力を可能とするためのものである。加力は、一方向繰返しとし、短期許容付着応力度（全試験体共通に  $F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$  を使用）相当の引抜き力で2サイクル繰返し、3サイクルに定着破壊させた。

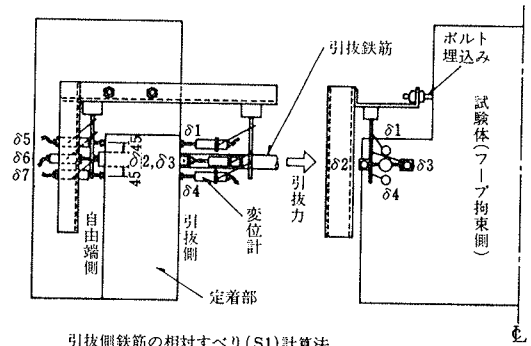
No. 1, No. 2 試験体では、定着部のひずみ分布および局部付着応力度を検討するために、鉄筋のタテリブ上に、幅×深さ=7mm×4mmの溝を掘削し、その底部にひずみゲージを貼り、ひずみを測定した。No. 3~No. 8 試験体では、定着部外の引抜き側鉄筋にのみ、ひずみゲージを貼付した。

図-4に、変位測定方法の概要を示す。コンクリート部に埋込んだボルト部をみかけ上の不動点とみなし、同ボルトに固定した鉄骨治具に高感度変位計をセットして、コンクリート部および鉄筋の引抜き力方向の変位を、引抜き側と自由端側の両側で測定した。これらのコンクリート部および鉄筋の変位を用いて同図内に示した計算法により、定着鉄筋の相対すべりを求めた。

3. 実験結果および検討

以下の検討での各試験体の引用は、実験変数を表記した試験体名により行なう。

3.1. ひび割れおよび破壊状況



引抜側鉄筋の相対すべり(S1)計算法

$$S1 = \frac{\delta 2 + \delta 3 - \delta 1 + \delta 4}{2}$$

自由端側鉄筋の相対すべり(S2)計算法

$$S2 = \delta 6 - \frac{\delta 5 + \delta 7}{2}$$

図-4 変位測定装置

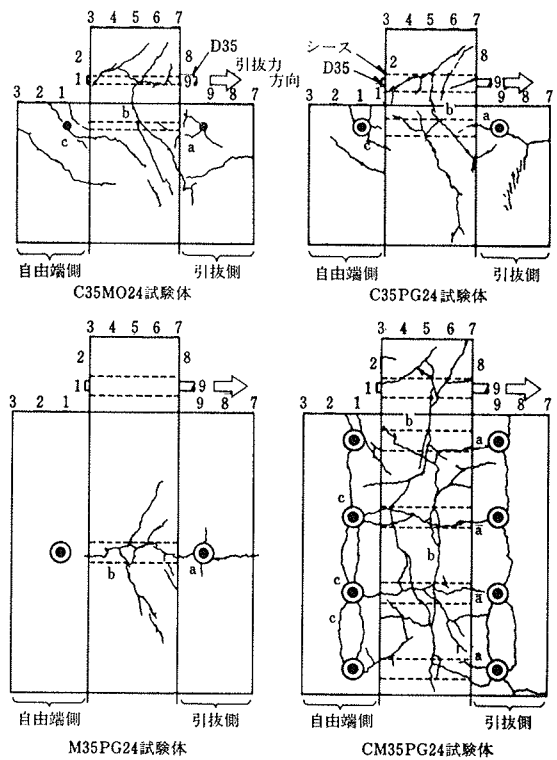
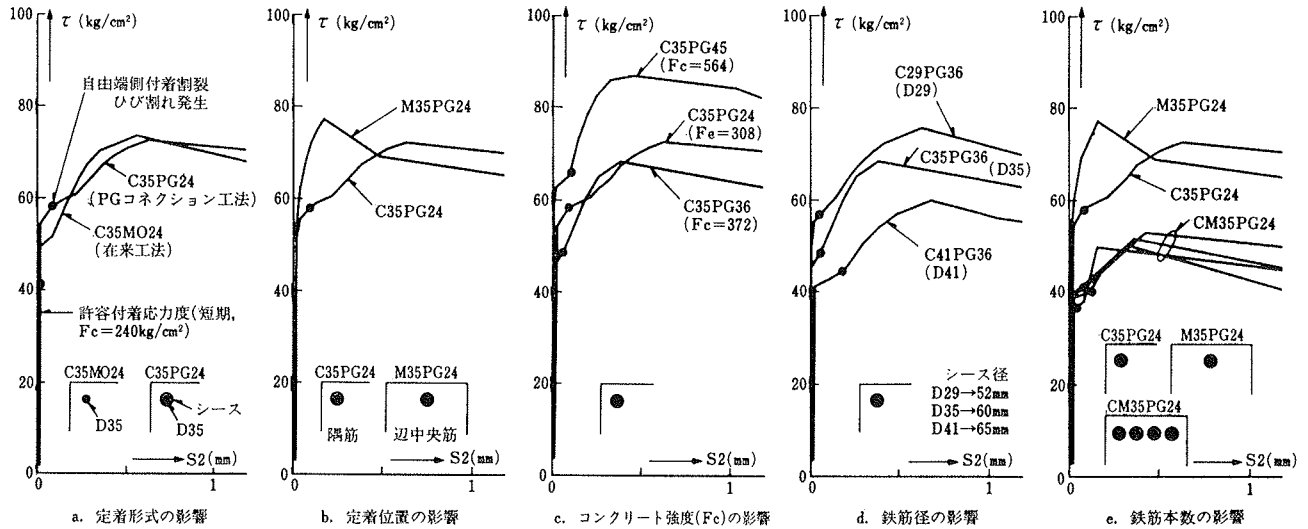


図-5 ひび割れ発生状況(展開図)

図-5に、ひび割れ発生状況の例を、C35MO24, C35PG24, M35PG24, CM35PG24の4試験体について示す。いずれも、フープ拘束側に関するものであり、各図とも展開図として示した。在来定着法のC35MO24とPGコネクショ工法のC35PG24とは、ほぼ同様のひび割れパターンを示し、同図に示すようなa: 引抜き側鉄筋に添った縦ひび割れ、b: 定着中央部での斜めひび割れ、の順に発生した後、荷重の増加と共にbひび割れの開きが増大し、最大引抜き荷重時には図中cの自由端側割裂ひび割れが発生した後に引抜き鉄筋が抜け出した。鉄筋のすべりは、シース管面で生じ、グラウト部と鉄筋表面の



図一六 平均付着応力度(τ)と自由端相対すべり(S2)との関係に及ぼす各種実験変数の影響

すべりはみられなかった。自由端側割裂ひび割れ発生時の鉄筋荷重は、C35PG24がC35MO24を上回った。M35PG24は、かぶりコンクリート部に鉄筋に沿った縦ひび割れ(a)が発生し、荷重の増加と共に自由端方向へ徐々に進展し、途中から枝分かれするような形で、定着長の中間部近くに斜めひび割れ(b)が発生した。縦ひび割れは、破壊時には、自由端にまで進展した。4本同時引抜きCM35PG24は、内側鉄筋2本には、M35PG24と同様の縦ひび割れが発生したが、隅筋側では明瞭な縦ひび割れは発生しなかった。最大引抜き荷重時には、引抜き側と自由端側の両面に、4本の鉄筋を結んだ割裂ひび割れ(図中cひび割れ)が発生し、鉄筋がシース管と一体の状態からコンクリートから抜け出した。

### 3.2. 鉄筋表面の平均付着応力度(τ)と自由端相対すべり(S2)の関係

図一六に、各試験体のフープ拘束側のτ~S2曲線を、実験変数ごとに比較して示す。同曲線には、自由端側に発生した付着割裂ひび割れ発生時期も記号で併記した。

#### (1) 鉄筋定着形式の影響(図一六-a参照)

コンクリート内に直接鉄筋を定着させたC35MO24と、コンクリート内に埋込まれたシース管内にグラウト定着させたC35PG24とでは、τ~S2曲線の勾配が急に低下しS2が急増する時(以後、すべり開始時という)のτは、後者の方が前者をやや上回った。最大引抜き荷重時の平均付着応力度(以後、付着強度と言う)はC35MO24が74 kg/cm<sup>2</sup>、C35PG24が73 kg/cm<sup>2</sup>で、両定着形式ともほとんど等しい値であった。

#### (2) 鉄筋定着位置の影響(図一六-b参照)

一方向コンクリートかぶりであるM35PG24の方が、

二方向かぶりを有するC35PG24の隅筋よりも最大引抜き荷重に至るまでの剛性が高く、付着強度は前者が後者を若干(5%)上回り、77 kg/cm<sup>2</sup>であった。

#### (3) コンクリート強度Fcの影響(図一六-c参照)

τ~S2曲線は、Fcが564 kg/cm<sup>2</sup>の試験体が308, 372 kg/cm<sup>2</sup>の試験体を上回り、すべり開始時のτ、付着強度とも高い値を示した。付着強度は、Fc=564 kg/cm<sup>2</sup>のC35PG45がFc=308 kg/cm<sup>2</sup>のC35PG24を19%上回り、87 kg/cm<sup>2</sup>であった。

#### (4) 鉄筋径の影響(図一六-d参照)

鉄筋径がD29, D35, D41と太くなるにつれて、すべり開始時から最大引抜き荷重に至るまでのτ~S2曲線が、下回る傾向を示した。付着強度は、D29のC29PG36が76 kg/cm<sup>2</sup>で、これを1とした場合のD35, D41試験体の比は、1:0.89:0.79であった。

#### (5) 鉄筋本数の影響(図一六-e参照)

4本の鉄筋を同時に引抜いたCM35PG24のτ~S2曲線は、単筋引抜きのC35PG24, M35PG24を大きく下回り、群効果の影響が認められた。CM35PG24の付着強度(4本の平均)は、51 kg/cm<sup>2</sup>で、単筋引抜き試験体の付着強度(C35PG24とM35PG24の平均)の68%であった。

#### (6) 定着部横拘束法の影響

4本の鉄筋を同時に引抜いたCM35PG24では、B・P拘束側のτ~S2曲線の方が、フープ拘束側を上回った。CM35PG24の付着強度(4本の平均)は、B・P拘束側が、フープ拘束側よりも22%上回り63 kg/cm<sup>2</sup>であった。単筋引抜きの場合は、両拘束法の影響による付着強度差はほとんどの試験体で認められなかった。

### 3.3. 実験結果の検討

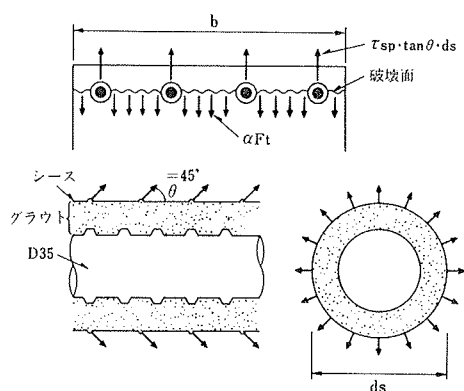


図-7 CM35PG24 試験体の付着割裂モデル

CM35PG24 試験体のフープ拘束側定着筋(4-D35)について、付着割裂ひび割れ発生時の平均付着応力度( $\tau_{sp}$ )に関し、実験値と計算値との比較を行なった。図-7に、付着割裂破壊モデルを示す。計算値は、異形鉄筋の重ね継ぎ手部の割裂破壊を対象とした Ferguson による抵抗モデルを、この実験における定着形式に準用してもとめた<sup>2),3),4)</sup>。 $\tau_{sp}$ は、次式により求められる。

$$\tau_{sp} = \alpha F_t (b/Nd_s - 1)$$

ここに、

$F_t$ : コンクリートの引張強度

$\alpha$ : 破壊面コンクリート割裂強度の  $F_t$  に対する比 (=1/3 使用)<sup>4)</sup>

$b$ : 定着部コンクリートの幅

$N$ : 定着筋本数

$d_s$ : シース管径

上式による  $\tau_{sp}$  の計算値は、22 kg/cm<sup>2</sup> であり、実験値 23 kg/cm<sup>2</sup> (表-3 の鉄筋表面の平均付着応力度をシース管表面の平均付着応力度に換算した値) と良く一致した。

#### 4. まとめ

鉄筋降伏以前の定着破壊型引抜き実験により、PG コネクション工法による定着法と在来型の定着法との比較検討を行なった。その結果、PG コネクション工法の試

試験体番号	試験体名	定着部 横拘束 状態 <sup>2)</sup>	引抜き割裂ひび割れ (a)発生時 <sup>3)</sup>		定着中央部の 斜めひび割れ (b)発生時 <sup>3)</sup>		自由端割裂ひび割れ (c)発生時 <sup>3)</sup>		最大引抜き 耐力時 <sup>3)</sup>			4) 破壊 モード	
			P	$\tau$	P	$\tau$	P	$\tau$	P	$\tau$	S		
No.1	C35MO24	H	10.9	38	17.4	61	11.7	42	19.8	74	0.57	F1	
		B・P	12.8	45	12.8	45	15.3	54	20.2	75	0.51	F1	
No.2	C35PG24	H	13.1	46	13.7	48	16.7	58	19.7	73	0.61	F3	
		B・P	13.6	45	—	—	15.5	54	23.8	85	0.75	F3	
No.3	C29PG36	H	9.3	45	11.9	58	11.9	58	15.6	76	0.61	F2	
		B・P	8.3	40	13.7	66	13.3	64	15.2	74	0.38	F2	
No.4	C35PG36	H	13.0	42	14.8	48	14.8	48	21.0	68	0.38	F3	
		B・P	11.7	38	14.6	48	17.7	57	20.7	67	0.90	F2	
No.5	C41PG36	H	—	—	20.4	44	20.4	44	25.6	60	0.66	F2	
		B・P	13.6	32	20.4	44	20.4	44	25.5	59	0.89	F3	
No.6	C35PG45	H	17.3	56	20.3	66	20.3	66	26.9	87	0.44	F3	
		B・P	16.7	54	17.8	57	18.7	60	24.8	80	0.41	F3	
No.7	M35PG24	H	—	—	20.9	68	—	—	23.8	77	0.16	F3	
		B・P	10.1	33	22.2	72	24.0	78	24.0	78	0.23	F3	
No.8	CM35PG24	H	1	10.5	34	15.3	50	11.8	38	15.3	50	0.16	F2
			2	11.1	36	15.4	50	12.4	40	15.4	50	0.35	
			3	11.4	37	15.9	52	12.8	41	15.9	52	0.37	
			4	11.3	37	16.3	53	12.7	41	16.3	53	0.43	
		B・P	1	10.5	34	13.9	45	13.9	45	20.6	67	1.10	F2
			2	10.7	35	13.7	44	13.7	44	17.1	56	0.71	
			3	11.0	36	14.3	46	14.3	46	18.1	59	0.55	
			4	11.0	36	14.9	48	14.9	48	20.9	68	2.55	

注1) 記号内容は表-1の注参照

2) Hはフープ拘束、B・Pはバンドプレート拘束

3) 各ひび割れ(a)~(c)は、図-5のひび割れに添えた a~c に対応する; P,  $\tau$ , Sはそれぞれ鉄筋の引抜き荷重 (ton)、鉄筋表面の平均付着応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)、自由端鉄筋の相対すべり (mm)。

4) F1: 付着割裂ひび割れ後の鉄筋とコンクリート界面のすべり破壊; F2: 付着割裂ひび割れ後のシース管とコンクリート界面のすべり破壊; F3: 付着ひび割れ後のシース管とグラウト界面のすべり破壊

表-3 実験結果一覧

験体は、鉄筋のすべり開始荷重および最大引抜き荷重に関し、在来型定着法の試験体と同等以上の値を示した。

#### 参考文献

- 1) 武田, 吉岡, 江戸, 他: 超高層鉄筋コンクリート建物の耐震設計法に関する研究(その5), (その6), 大林組技術研究所報, No. 34, (1987), pp. 104~113
- 2) Phil M. Ferguson: Reinforced Concrete Fundamentals, 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., pp. 184~196
- 3) 森田: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料シリーズ13—付着特性(3), 建築雑誌, Vol. 95, No. 1160, (昭和55.2), pp. 61~63
- 4) 武田, 吉岡: 日本建築学会大会梗概集, (昭和51.10), pp. 1423~1424