

# 論文 コンクリート中にグラウトにより定着された鉄筋の付着特性

玉井真一\*1・増田芳久\*2

**要旨：**PC部材のプレキャストブロック工法において、PC鋼材を異形鉄筋に代え、緊張を行わずにグラウトすれば、RC部材となる。この場合、異形鉄筋-グラウト-シーサー-コンクリートから成る系には十分な付着特性が要求される。本研究は上記の系の付着特性を実験により検討したものである。実験パラメータは、シーサー径およびグラウト強度である。実験の結果、小径のシーサーおよび高強度のグラウトを用いた場合には、異形鉄筋-コンクリート間に近い付着特性が得られることがわかった。

**キーワード：**プレキャストブロック工法、グラウト、付着、定着

## 1. はじめに

土木構造物に使用されるプレキャスト部材はRC部材よりもPC部材が多く、特に、1つの部材を途中で分割製作して現場で接合するブロック（セグメント）工法はPC部材のみに適用されている。PCブロック工法の場合、シーサー内にPC鋼材を後挿入し、緊張、グラウトすることで、場所打ちコンクリートを全く必要としない施工が可能である。

しかし、構造物によっては、たとえば橋脚のように、部材の力学的特性上PC部材よりもRC部材の方が適している場合がある。このようなRC部材をブロック（セグメント）工法により施工することを想定すると、PC鋼材の代わりに異形鉄筋を用い、緊張を行わないでグラウトすることが考えられる。

この場合、PC部材の成立には本質的な要素とならない鋼材の付着特性が、RC部材の成立のためには本質的な要素となる違いがある。すなわち、異形鉄筋-グラウト-シーサー-コンクリートから成る系の付着特性が、一般のRC部材における異形鉄筋-コンクリートの付着特性と同等でなければならない。

本研究は、コンクリート中に設けたシーサー孔に異形鉄筋をグラウトにより定着した場合の付着特性と、付着特性に関係すると思われるパラメータの影響を実験により検討したものである。

## 2. 実験の概要

### 2. 1 実験条件および供試体

実験はコンクリートから鉄筋を引き抜いた時の付着応力-すべり関係を調べるものとした。鉄筋のかぶり小さい供試体で引き抜き試験を行うと、鉄筋に沿って縦ひびわれが発生し、付着応力-すべり関係は縦ひび割れの影響を受ける。今回の実験は、定着方法の違いのみが付着応力-すべり関係に影響を与えるように、鉄筋のかぶりが十分大きい条件で行った。

供試体のサイズおよび載荷方法は、島らの実験[1]と同様とした。すなわち、直径50cmのコンクリート円筒の中心に鉄筋を埋め込み、これをセンターホールジャッキで引き抜くものである。鉄筋にはD25のねじふし鉄筋を用いた。鉄筋の定着長は、自由端における鉄筋の応力およびすべ

\* 1 東急建設(株)技術研究所 土木構造研究室、工修（正会員）

\* 2 東急建設(株)技術研究所 土木構造研究室室長（正会員）

りが0となるために十分と考えられる40D（Dは鉄筋の公称直径）=1000mmとした。供試体および載荷装置を図-1に示す。

実験のパラメータは、鉄筋径とシース径の比、および、コンクリート強度とグラウト強度の比とした。鉄筋径とシース径の比を変化させるために、鉄筋径をD25の一定とし、内径38、50、60mmの3種類のシースを用いた。また、コンクリート強度とグラウト強度の比を変化させるために、コンクリートの配合を一定とし、グラウトの配合を変化させた。供試体の一覧を表-1に示す。なお供試体0000は鉄筋をコンクリートに直接定着した基準供試体である。

## 2. 2 使用した材料の特性

### (1) 鉄筋

鉄筋はすべてD25のねじふし鉄筋を用いた。この鉄筋の特性を表-2に示す。鉄筋の平均断面積はサンプルの体積を気中重量と水中重量の差として求め、これをサンプルの長さで割ったものである。付着応力を求める時に用いる鉄筋径は、鉄筋の断面を平均断面積を有する円と

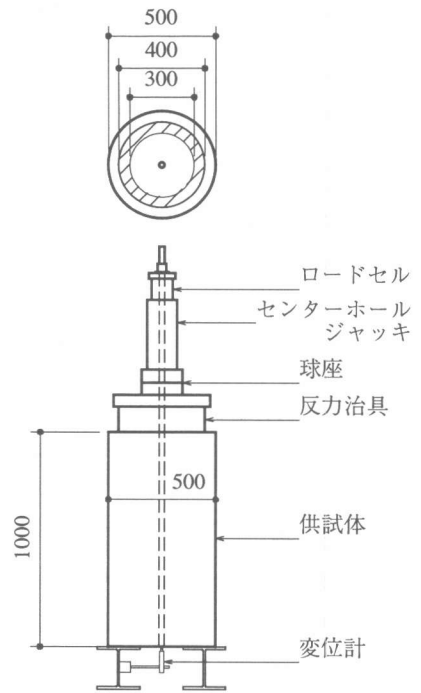


図-1 供試体および載荷装置

表-1 供試体一覧

名称	シース径 (mm)	グラウト			コンクリート	
		種類	圧縮強度(MPa)	ヤング率(GPa)	圧縮強度(MPa)	ヤング率(GPa)
0000	—	なし	—	—	24.8	21.7
3830	38	セメントペースト	29.8 (1.20)	12.8 (0.59)	24.8 (1.00)	21.7 (1.00)
3840			45.2 (1.84)	16.8 (0.81)	24.5 (1.00)	20.8 (1.00)
3850			51.1 (2.06)	18.6 (0.86)	24.8 (1.00)	21.7 (1.00)
5030	50		29.8 (1.20)	12.8 (0.59)	24.8 (1.00)	21.7 (1.00)
5040			45.2 (1.84)	16.8 (0.81)	24.5 (1.00)	20.8 (1.00)
5050			51.1 (2.06)	18.6 (0.86)	24.8 (1.00)	21.7 (1.00)
50PM		モルタル	62.1 (1.95)	19.2 (0.86)	31.9 (1.00)	22.2 (1.00)
6030	60	セメントペースト	29.8 (1.20)	12.8 (0.59)	24.8 (1.00)	21.7 (1.00)
6040			45.2 (1.84)	16.8 (0.81)	24.5 (1.00)	20.8 (1.00)
6050			51.1 (2.06)	18.6 (0.86)	24.8 (1.00)	21.7 (1.00)

( ) 内は同一供試体のコンクリートに対する比率

表-2 鉄筋およびシースの特性

名称	呼び径	降伏強度 (MPa)	破断強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)	平均断面積 (mm <sup>2</sup> )	ふしの形状					公称周長 (mm)	支圧面積係数
						高さ (mm)	純間隔 (mm)	有効高 (mm)	間隔 (mm)	純投影長 (mm)		
SD345	D25	377	580	194	500.0	1.866	4.296	0.86	9.964	48.589	80.00	0.0524
シース	φ38	—	—	—	—	1.565	23.61	1.57	28.65	77.277	121.39	0.0349
	φ50	—	—	—	—	1.944	32.25	1.94	38.84	102.162	160.48	0.0318
	φ60	—	—	—	—	1.787	32.74	1.79	39.23	121.217	190.33	0.0291

みなして算出した。また、ふしの形状は3次元測定器を用いて計測した。

### (2) シース

シースは鋼板をスパイラル状に成形した通常のもので、内径38、50、60mmの3種類を用いた。これらについて、鉄筋と同様に表面形状を測定した。この時、ふしとふしの間にある鋼板の縫い目は無視した。表面形状の測定結果を表-2に示す。シースのふしの支圧面積係数は、鉄筋の56~67%であった。

### (3) コンクリート

コンクリートは呼び強度240kgf/cm<sup>2</sup>のレディーミクストコンクリートを使用した。試験時の圧縮強度およびヤング率を表-1に示す。

### (4) グラウト

グラウトには4種類の材料を用いた。グラウト30は圧縮強度30MPa程度、グラウト40は圧縮強度40MPa程度、グラウト50は圧縮強度50MPa程度を目標として配合したセメントペーストであり、グラウトPMはプレミックスのモルタルである。グラウト40とグラウト50は同一配合であり、載荷時の材齢をそれぞれ7日および28日とすることで強度を変化させた。各グラウトの特性を表-3に、試験時の圧縮強度および弾性係数を表-1に示す。

表-3 グラウトの特性

種類	配合	載荷時材齢(日)
30	W/C=42% <sup>ペ-スト</sup> ,普通グラウト用混和剤 C×1.0%	28
40	W/C=35% <sup>ペ-スト</sup> ,高強度グラウト用混和剤C×1.0%	7
50	W/C=35% <sup>ペ-スト</sup> ,高強度グラウト用混和剤C×1.0%	28
PM	プレミックスモルタル,S:C=1:1,骨材最大径2.5mm	34

## 2. 3 実験方法

鉄筋のひずみ分布を測定するために、ひずみゲージを鉄筋公称直径の5倍(5D)の間隔で鉄筋の両面に貼付した。試験体0000では鉛直に立てた円筒型枠の中心に鉄筋を固定し、コンクリートを打ち込んだ。その他の試験体では、円筒型枠の中心にシースを固定し、コンクリートを打ち込んだ。コンクリート打設23日後にシースの中心に鉄筋を固定し、シース下端からグラウトをポンプで注入した。

載荷は、鉄筋からできるだけ離れたところに反力を取るような載荷板を介したセンターホールジャッキで鉄筋に引張力を加えた。載荷速度は鉄筋のひずみで制御し、約100μ/minとした。載荷端の鉄筋ひずみが500μ、1000μ、1500μまでの載荷、除荷を各3回づつ繰返した。その後鉄筋を降伏させ、載荷端のひずみが2%に達するまで載荷した。

## 2. 4 付着応力およびすべり量の決定方法

鉄筋に沿った各位置における付着応力およびすべり量の決定方法についても、島らの実験[1]と同様とした。すなわち、各位置での鉄筋のひずみは鉄筋の表裏の2つのゲージの測定値の平均とし、隣接する3点のひずみ値を2次曲線で結んで鉄筋のひずみ分布形を求めた。

各位置での付着応力は、その位置でのひずみ分布曲線の傾きから、次式を用いて求めた。

$$\tau = \frac{E \cdot D}{4} \frac{de}{dx} \quad (1)$$

ここで、E:鉄筋のヤング率、D:鉄筋直径、de/dx:ひずみ分布曲線の傾き

各位置でのすべり量は、自由端から着目点までのひずみを積分したものに自由端すべりを加え

たものとした。ただし、すべての供試体で自由端すべりは生じなかった。

### 3. 各供試体の付着応力-すべり関係の比較

#### 3. 1 基準供試体の付着応力-すべり関係

鉄筋をコンクリートに直接定着した供試体0000では図-2のようなひずみ分布および図-3のような付着応力-すべり関係が得られた。鳥らによれば、この供試体のように定着長が十分に長く、自由端における鉄筋の応力およびすべりが0となる条件では、鉄筋に沿った任意の位置での付着応力は、その位置でのすべり量とコンクリート圧縮強度の関数として次式で表される。

$$\tau = 0.9 f_c^{2/3} \left( 1 - e^{-40s/0.6} \right) \quad (2)$$

ここで、 $\tau$  : 付着応力 (MPa)

$f_c$  : コンクリート強度 (MPa)

$s = S/D$  :

$S$  = すべり量、 $D$  = 鉄筋径

これを図-3に重ねて記入した。すべりが小さい範囲の実験結果は提案式と良く一致しているが、すべりが大きい範囲では提案式を下回っている。これは、この範囲のデータが荷端から10Dの位置で得られたものであり、コンクリートのブリージングの影響を受けているためと考えられる。

#### 3. 2 シース径が付着応力-すべり関係に与える影響

図-4は、内径38、50、60mmのシースにグラウトとして圧縮強度51.1MPaのセメントペーストを注入した場合の付着応力-すべり関係を規準供試体と比較したものである。グラフには荷端から10Dの位置のデータを用いている。

付着応力-すべり関係の初期の傾きはグラウトによる定着の方が小さく、シース径が大きくなるほど小さくなる。しかし、規準供試体ではすべりが大きくなると傾きが小さくなるのに対して、グラウトによる定着ではこの傾向は少ない。

規準供試体との違いについては、付着応力が小さい範囲では、鉄筋のふしにより支圧されるコンクリートやグラウトの弾性変形によりすべりが生じる。したがって、相対的にヤング率が低いグラウトではすべりが大きくなる。付着応力が大きい範囲では、コンクリートはふし周囲に微小ひび割れを生じ、付着応力-すべり関係の傾きが低下するのに対し、グラウトは周囲をシースにより拘束されているため微小ひび割れの発生が抑制され、傾きの低下が少ないと考えられる。

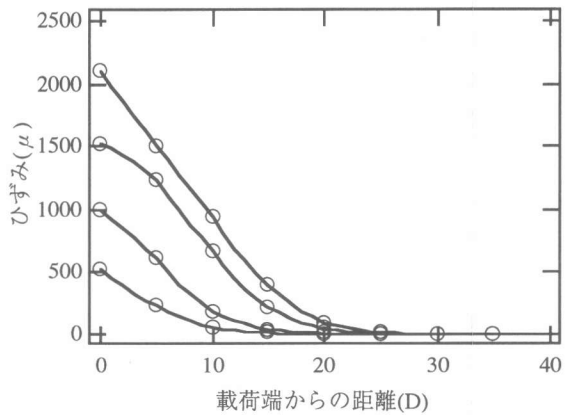


図-2 供試体0000のひずみ分布

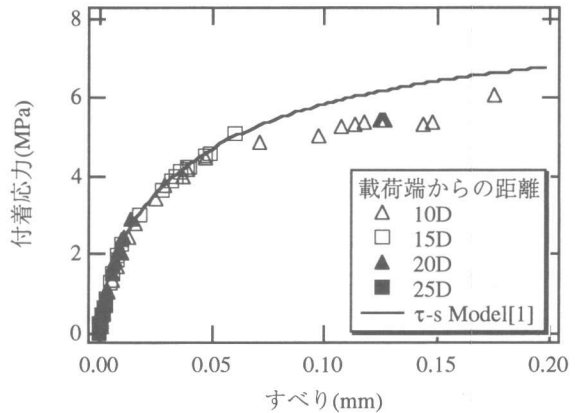


図-3 供試体0000の付着応力-すべり関係

シース径の影響については、シース径が大きいほどグラウトの圧縮やせん断変形が容易であるためすべりが大きくなると考えられる。

### 3. 3 グラウト強度が付着応力-すべり関係に与える影響

図-5は、内径50mmのシースに強度を変化させたセメントペーストをグラウトした場合の付着応力-すべり関係を比較したものである。

実験結果にはグラウト強度の影響はほとんど見られない。これは、どの強度においても、コンクリートとグラウトのヤング率があまり変わらないためと考えられる。さらに、供試体5050について载荷終了後にコンクリートを静的破碎材で解体し、シースを剥がしてグラウトの状態を観察したところ、载荷端から200mm程度の範囲でシース内でふし状に成形されたグラウトがせん断破壊していた。しかし、鉄筋のふし間のグラウトは破壊していなかった。これは、実験に用いたグラウト強度の範囲では、鉄筋とグラウトは一体に挙動し、付着破壊はグラウトとシースの界面で生じることを示している。図示したデータは付着破壊を生じていない位置のものであり、グラウト強度の影響は現れないものと考えられる。

### 3. 4 モルタルグラウトを用いた場合の付着応力-すべり関係

図-6は、グラウトとしてモルタルを用いた供試体50PMの付着応力-すべり関係を、シース径38mmと50mmで最も付着特性が良好であった供試体3840および5030のデータと比較したものである。

モルタルグラウトを用いれば、シース径が50mmであってもシース径38mmにセメントグラウトを注入した場合と同程度の付着特性が得られることがわかる。これは、モルタルはセメントペーストに比べヤング率が高いためと考えられる。

なお、本実験と同様の方法で主鉄筋をグラウト固定したはりの曲げ試験[2]を実施し

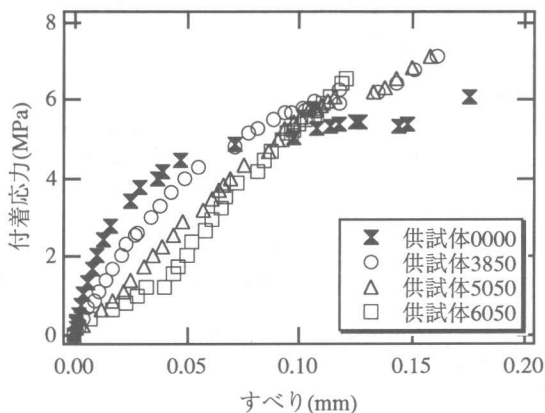


図-4 シース径の影響

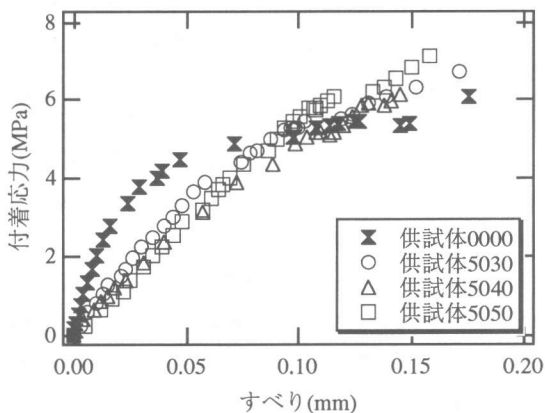


図-5 グラウト強度の影響

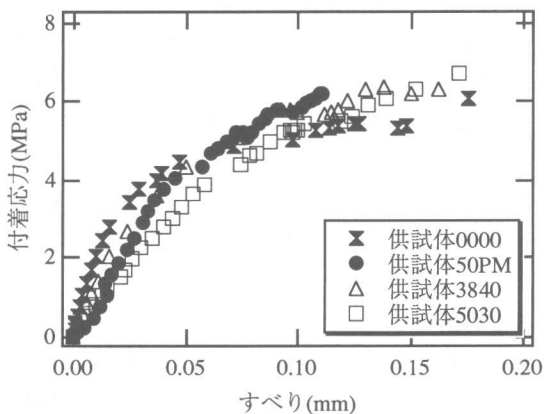


図-6 モルタルグラウトとセメントグラウトの比較

たところ、そのひび割れ状況およびひび割れ幅は通常のRC部材と同様であった。したがって、供試体3840および50PM程度の付着特性が得られれば、RC部材としての実用上十分であると考えられる。

#### 4. グラウトを用いた場合の定着長に関する考察

図-7は、鉄筋が荷端で降伏後、ひずみが1.0%時の、供試体0000、3840、50PMの荷端から5D以下のひずみ分布である。ひずみ値はモルタルグラウトの場合が最小である。コンクリートはブリージングの影響を受けるのに対して、グラウトはブリージングが小さいためと考えられる。

今回の実験は片引き試験であり、また、鉄筋降伏後の多数回繰返し荷も行っていないが、この実験の範囲では、グラウト定着した場合の必要定着長は通常のコンクリート定着の場合と同様で良いと思われる。

#### 5. 結論

今回の実験の範囲で以下の結論が導かれる。

(1)グラウトにより定着した鉄筋の付着応力-すべり関係を、コンクリートに直接定着した通常の鉄筋のものと比較すると、初期の傾きが小さい。これはコンクリートのヤング率に対してグラウトのヤング率が低いためと考えられる。

(2)すべりが0.1mm以上の範囲での付着応力はコンクリートに直接定着した場合を上回る。これは、シースの拘束作用により拘束され、微小ひび割れが抑制されるためと考えられる。

(3)鉄筋径に対するシース径の比が小さいほど、すなわち、細径のシース内に鉄筋を定着するほど良好な付着特性が得られる。

(4)グラウトとして用いるセメントペーストの強度は付着特性にほとんど影響しない。これは強度の比ほどヤング率が増加しないためと考えられる。

(5)グラウトとしてモルタルを用いれば、鉄筋径に対するシース径の比が大きいても良好な付着特性が得られる。これはモルタルのヤング率がセメントペーストより高いためと考えられる。

(6)鉄筋をグラウトにより定着する場合の必要定着長は、鉄筋をコンクリートに直接埋め込む場合と同様である。

謝辞：荷装置をご貸与頂いた岡村甫東京大学教授に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 島弘・周礼良・岡村甫：マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係、土木学会論文集、第378号/V-6、pp.165-174、1987.2
- 2) 増田芳久・玉井真一：プレキャストブロックRCはりの曲げ性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、1995.6（投稿中）

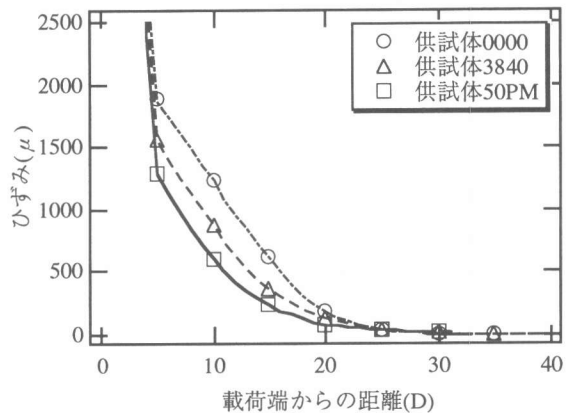


図-7 荷端ひずみ1.0%時のひずみ分布