

正会員 高橋 久雄 (大林組 技術研究所)  
同 武田 寿一 (同 上)

正会員 ○小柳 光生 (大林組 技術研究所)

1. まえがき

R・C部材の変形挙動を把握するためには、鉄筋とコンクリートの付着性状の解明が必要であり、付着性状に関する研究も現在、多くの研究者によっておこなわれている。しかし、付着クリープ性状に関する研究は殆んど見受けられない。R・C部材の長期における変形性状を把握するためには、この方面の研究は重要であると思われる。

今回、R・Cハラブ部材の長期におけるたわみ変形挙動を研究するための一連の実験として、持続载荷における付着性状について実験を実施したので、その約1年間にわたる測定結果について報告する。

2. 実験概要

付着試験体の形状は、両引き試験体 付着長 20cm, 40cmの2種類とし、片引き試験体 付着長 20cm の計3形状とし、荷重レベルとして、2.0 t/cm<sup>2</sup>(鉄筋設計応力)および1.0 t/cm<sup>2</sup>の2種類を考えている。加力状況は、図-1に示しており、この試験機を2機製作し、それぞれ恒温室と地下室で実験を実施した。なお、恒温室は温度20℃、湿度60%R・Hの部屋であり地下室は温度10~20℃、湿度30~90%R・Hの範囲で年間変化をもつ。要因別試験体の一覧を表-1に示す。このうちIV, VIIIはダミー用として無応力状態としている。

両引き試験体は、図-2に示すとおり断面15×15cmで、コンクリート打設は横打ちとし、今回スラブ筋を想定しているため鉄筋はSD30-D10を使用しており、鉄筋埋込み位置はコンクリート打込み面から鉄筋中心位置まで3cmとしている。変形測定法は、アングル材を試験体の両端に溶接して取付けその区間の鉄筋変形量をダイヤルゲージ(1/1000mm精度)で実測する。なお、その区間の距離は、付着長20cm, 40cmに対し、それぞれ22cm, 42cmである。

次に、片引き試験体は、図-3に示すが、断面44×15cmであり両引きと同様に、横打ち打設としコンクリ-

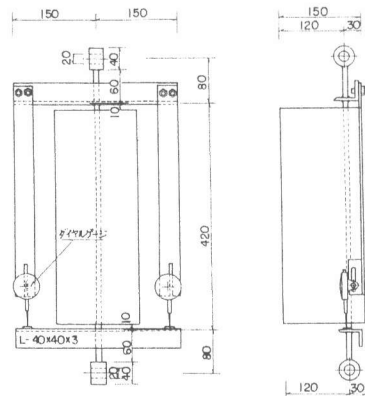


図-2 両引き試験体の様子

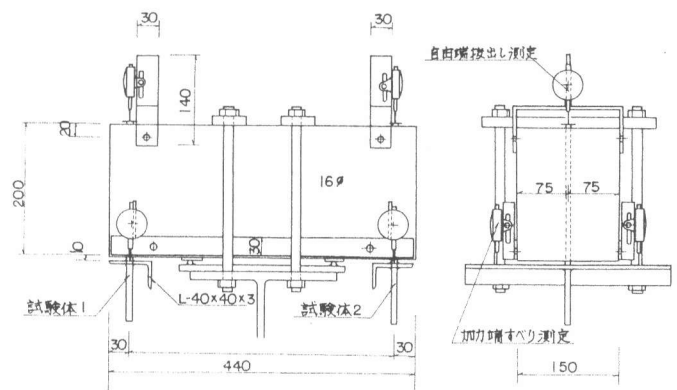


図-3 片引き試験体の様子

表-1 試験体一覧表

グループ	シリーズ	付着長 (cm)	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )	試験場所	グループ	シリーズ	付着長 (cm)	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )	試験場所
I	A	40	2000 (2100)	恒温 恒温室	V	A	40	2000 (2040)	地下室
	B	20				B	20		
	C	20				C	20		
II	A	40	2000 (2110)		VI	A	40	2000 (2040)	
	B	20				B	20		
	C	20				C	20		
III	A	40	1000 (1126)		VII	A	40	1000 (1056)	
	B	20				B	20		
	C	20				C	20		
IV	A	40	0		VIII	A	40	0	
	B	20				B	20		
	C	20				C	20		

( )内の数値は実際に加力した荷重である。

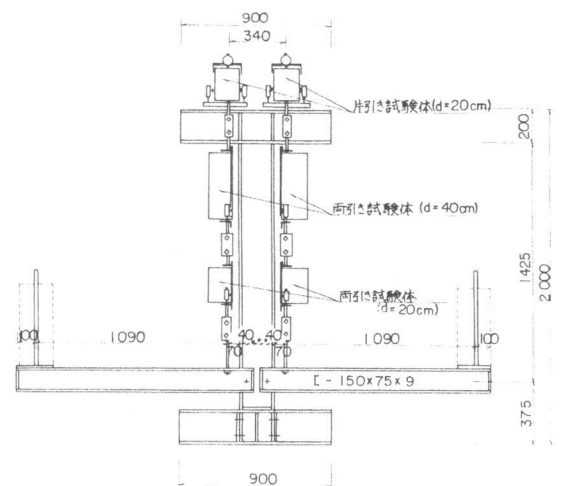


図-1 加力試験機と加力状況

ト面から3 cmの位置に鉄筋を配置している。この片引き試験体の加力方法は、曲げ部材の性状と近似させるため鉄筋界面付近のコンクリートに圧縮力ではなく曲げ引張り力が作用するように工夫したものである。測定方法は、加力端すべり量と自由端拔出し量をダイヤルゲージで実測する。

コンクリートは生コンを使用し、設計強度  $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ 、スランプ18 cmで調合設計し、その調合

表を表-2に示す。生コンの性質を表-3に示す。生コンのスランプは12.5 cmが得られ、やや硬めであった。コンクリート強度は、所要強度よりもかなり高かった。加力方法は、てこの原理を利用してあり、荷重物としてプレート板(1枚14 Kg)を使い、鉄筋が所要応力になるまで重ね合わせて加力を行った。この時、事前に引張ロードセルを使って較正曲線を求めたが、その結果、荷重物の大きさと鉄筋応力はほぼ比例関係であることが判った。なお、測定法の中でコンクリート内部の鉄筋ひずみ挙動を調べるため、表-1のうちIブロック A, B, C形状計3体についてその長さ中央位置にW.S.G(4ゲージ法)を貼り、実測を行っている。

両引き試験体に関連して、コンクリートにおおわれていない鉄筋で、かつ両引き試験体と同じようにはね出しアングルをもつ試験体を製作して、両引きによる加力試験を行い、その変形量を実測した。この試験体を以後「裸鉄筋試験体」と定義するが、これは両引き試験体の完全に付着が失われた場合に相当する。

### 3. 両引き試験体 実験結果

両引き試験体の持続荷重下における鉄筋伸び変形量の経時的な挙動を実測し、その結果を図-4, 5に示す。図-4は鉄筋応力  $2.0 \text{ t/cm}^2$  の場合で、図-5は鉄筋応力  $1.0 \text{ t/cm}^2$  の場合を示す。長期試験であるためコンクリートの収縮、環境条件の影響を受けることが予測されたのでダミー試験体の測定も行ったが、試験体は全体的に加力直後から既に付着性能がかなり低下している様子であり、そのため、ダミーほどにはコンクリートの収縮などの影響を受けないと判断される。そこで今回はダミー補正を行わず、読取り値をそのまま伸び変形量と考える。なおダミー変形量は恒温室で最大  $50 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 、地下室で最大  $80 \times 10^{-3} \text{ mm}$ を示した。付着性能を検討するため、同荷重における「裸鉄筋試験体」の伸び変形量を付着長40 cm, 20 cmについて、同図中に矢印で示している。

実測結果について検討する。付着長40 cm試験体の伸び変形量は、その荷重の大きさにかかわらず、加力直後から1~2日間のうちに加力直後の変形量の約2割以上の急激なクリープ伸び変形量を示し、それ以降緩慢な動きをすることが判った。そして材令336日では加力直後の変形量の約3~4割のクリープ伸び変形量を示した。付着長40 cm,  $\sigma_s = 2.0 \text{ t/cm}^2$  の試験体における付着試験体変形量:  $S_t$  と裸鉄筋試験体変形量:  $S_p$  を比較すると、加力直後の  $S_t/S_p$  は平均0.65であるが、材令336日には平均0.8となっている。 $S_t/S_p$  が1.0の時にはコンクリートの引張り負担分が全く無い、つまり鉄筋との付着効果が全く無い状態であるところから、材令336日には付着効果がかなり小さくなっていると判断される。一方、付着長20 cm試験体の伸び変形量は裸鉄筋試験体の伸び変形に近く、かなり大きい変

表-2 コンクリート調合

水セメント比 w/a	砂率 s/a	調 合 (kg/m <sup>3</sup> )					種 類		
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	細骨材	粗骨材	混和剤
65.0	47.0	277	180	851	985	1.108	秩父産	20mm以下 青楓産	AE減水 剤(マ スクリート)

表-3 コンクリートの性質

生コンの性質				コンクリート(シリンドラ4週圧縮強度)			
スランプ	空気量	単位容積質量	練上り温度	気中養生	標準水中養生	標準水中養生	標準水中養生
12.5 cm	3.6 %	2290 kg/cm <sup>3</sup>	22.0 °C	$F_c = 323$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_c = 255$ $\times 10^5$ kg/cm <sup>2</sup>	$F_c = 317$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_c = 273$ $\times 10^5$ kg/cm <sup>2</sup>

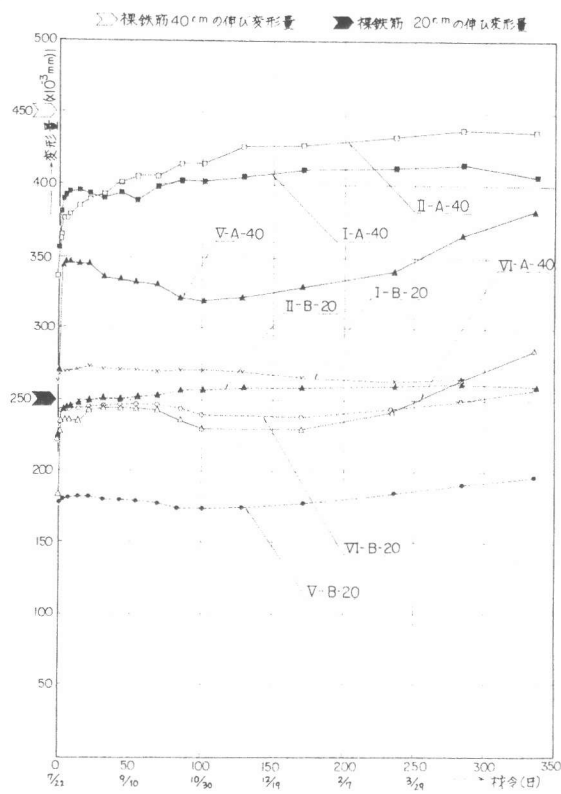


図-4 両引き試験体の伸び変形量 ( $\sigma_s = 2.0 \text{ t/cm}^2$ )

形であり、 $\sigma_t/\sigma_p$ は加力直後で0.85, 材令336日で1.0程度か、もしくは1.0を越えているものもある。このことは加力直後でも既に鉄筋との付着効果が少ないことを意味している。なお、 $\sigma_t/\sigma_p$ が1.0を越えることは、理論的にはあり得ないことであるが、このような現象を生じたことは測定精度に起因するものか、または加力開始までの材令4週の期間中でのコンクリート収縮作用に伴う収縮させられた鉄筋のひずみが、付着効果が無いために解除し、見かけ上の伸び変形が大きくなったことなどに起因するのではないかとと思われる。

付着長40cm,  $\sigma_s=1.0 \text{ t/cm}^2$ の試験体(Ⅲ-A, Ⅶ-A)では図-5からわかるように、付着力による伸び変形抵抗が見られ、材令336日の $\sigma_t/\sigma_p$ でも平均0.63であった。地下室の試験体は、幾分環境の変化を受けているためか、冬季に変形量が減少する傾向が見られたが、その後、再び変形量が増えている。

両引き試験体は、連続スラブにおいて、はり両端に曲げひびわれを生じた場合の上端筋の挙動に近い伸び変形量が判ればそれがはり側からの上端筋伸び変形量として得られると言える。そこでこの伸び変形量実測値を別の観点から整理し、一般的な付着長の形として適用できるように考える。つまり、(伸び変形量/アングル区間距離)を平均伸びひずみ:  $t$ と定義する。そして、このようにして求めた平均伸びひずみ  $t$ を鉄筋応力との関係式として、図-6に示す。なお、この図中は代表的な材令における結果だけを示している。鉄筋応力が大きい程、裸鉄筋の  $t$ に近づいていくことが判る。一般的な試験体付着長は20~40cmの範囲内が多いため、この図-6を用いれば異形筋D10における任意付着長の伸び変形量が予想できる。

試験体の付着長中央鉄筋にW.S.Gを貼り、鉄筋ひずみを実測したものを図-7に示す。この図には、裸鉄筋の鉄筋ひずみも併記した。

#### 4. 片引き試験体 実験結果

片引き試験体の持続載荷における自由端抜き出し、加力端すべり量を実測し、その結果を鉄筋応力 $\sigma_s=2.0 \text{ t/cm}^2$ ,  $1.0 \text{ t/cm}^2$ の場合についてそれぞれ図-8, 9に示す。長期にわたる測定であるためゲージホルダーの固定位置からコンクリート加力端、自由端それぞれまでの距離、つまり15mm(加力端), 20mm(自由端)でのコンクリート収縮などの影響を補正する必要がある。この図はダミーの結果を既に補正している。

なお上記試験と並行して、同一形状、同一コンクリートで試験体をつくりアムスラー試験機を使って材令4週で、静荷重試験を行った。その結果を図-10に示す。試験体数は計3体であり、最終荷重はすべて、鉄筋の降伏で決まった。またこの結果と、長期における試験体の加力直後の結果との対応はほぼ良

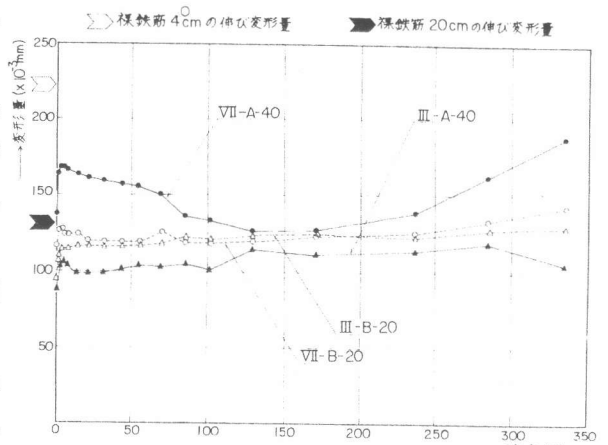


図-5 両引き試験体の伸び変形量 ( $\sigma_s=1.0 \text{ t/cm}^2$ )

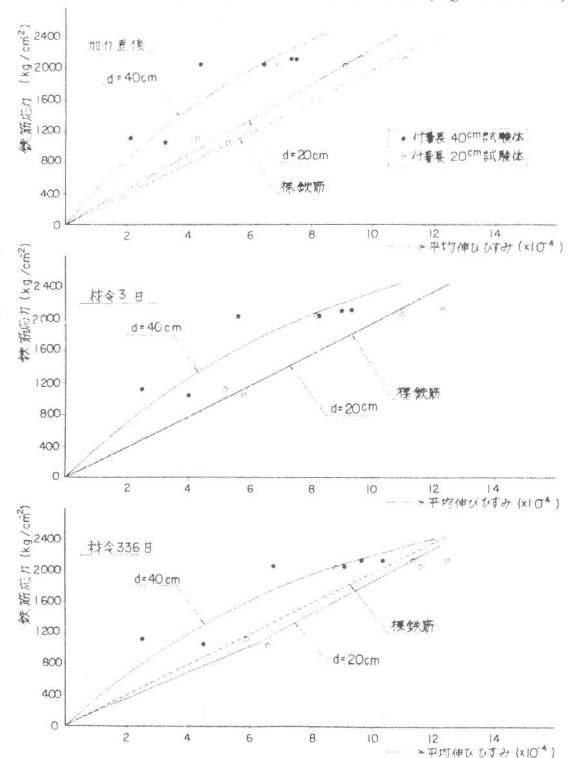


図-6 両引き試験体平均伸びひずみ曲線

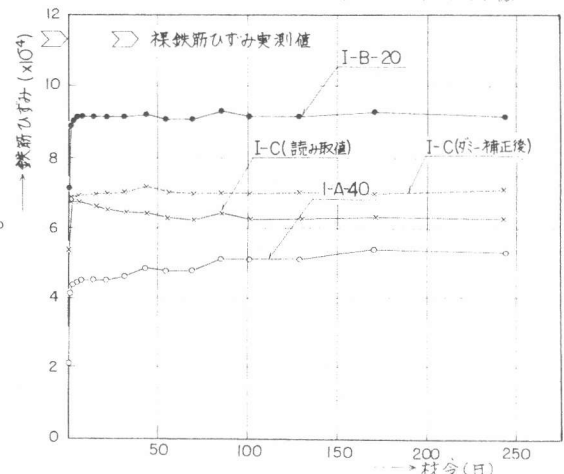


図-7 試験体長さ中央鉄筋ひずみ (W.S.G)

かった。

図-8, 9の結果について検討する。 $\sigma_s = 2.0 \text{ t/cm}^2$ の場合、加力端すべり量の動きは加力直後に平均  $112 \times 10^{-3} \text{ mm}$ のすべりであるのに対し、材令10日で1.5倍、336日で2.0倍を示した。自由端拔出しの動きは加力直後に平均  $9 \times 10^{-3} \text{ mm}$ の拔出しが見られ材令336日には平均  $62 \times 10^{-3} \text{ mm}$ の拔出しを示した。一方、

$\sigma_s = 1.0 \text{ t/cm}^2$ の場合、加力端すべり量の動きは、加力直後に平均  $43 \times 10^{-3} \text{ mm}$ を示し、材令10日で1.3倍、材令336日で2.2倍になった。その後もすべり変形は漸増していくと思われる。自由端拔出しは見られなかった。なお、いずれの場合も、各試験体の

結果に相当のバラツキが見られた。

次に、加力端すべり量の動きを、すべり量増加率 = (増加分すべり量) / (加力直後のすべり量) として整理し、その結果を図-11に示す。この時、加力直後のすべり量として個々の数値でなく、静荷重試験結果(図-10)の平均すべり量を用いている。この結果、荷重レベルに関わりなくすべり量増加率はほぼ同じ値を示した。図-11中に、最少2乗法を使って求めたすべり量増加率曲線提案式を記す。また、地下室試験体の動きは冬季にやや大きい動きを示しており、一般的に付着クリープ性状も多少湿分の影響を受けるものと思われる。

### 5. まとめ

持続荷重における鉄筋とコンクリートの付着性状を調べるため、D10の場合の両引き試験、片引き試験を実施し、その経時的な挙動をほぼ把握することが出来た。両引き試験によれば  $\sigma_s = 2.0 \text{ t/cm}^2$ の場合、付着長40cmであっても、長期的にはかなり付着性能が低下することが判った。

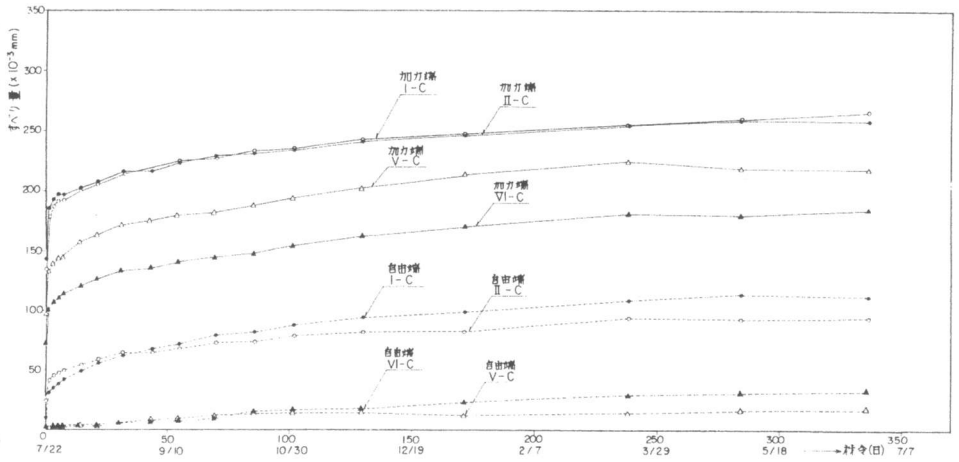


図-8 片引き試験体のすべり変形量 ( $\sigma_s = 2.0 \text{ t/cm}^2$ )

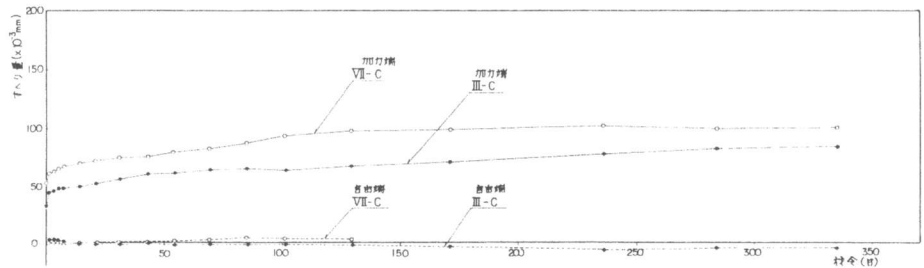


図-9 片引き試験体のすべり変形量 ( $\sigma_s = 1.0 \text{ t/cm}^2$ )

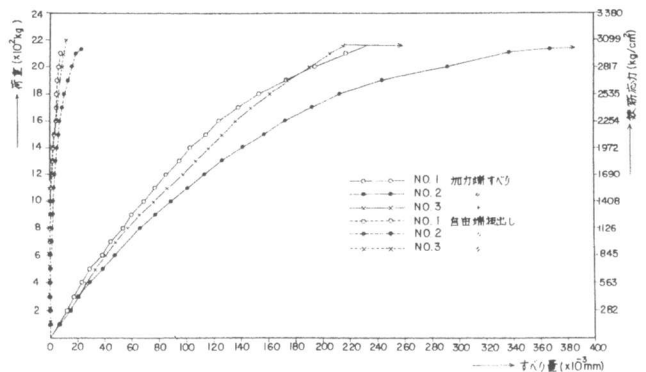


図-10 片引き試験体 静荷重試験結果

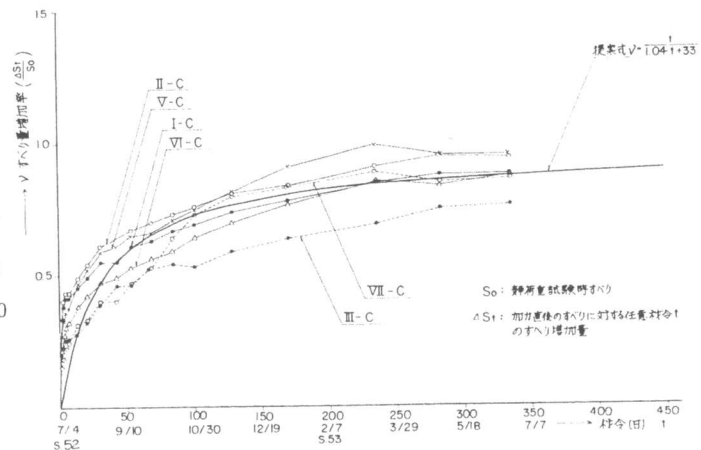


図-11 片引き試験体すべり量増加率の動き