

# [146] ASTM型鉄筋付着試験方法の再検討

正会員 ○大井孝和（愛知工業大学工学部）  
奥島則之（愛知工業大学大学院）

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のいわゆるせん断破壊の研究において、鉄筋とコンクリート間の付着応力とすべり量の関係を考慮した解析を行なう場合が多くなっている。この場合、解析方法の非常な進歩にもかかわらず、解析に適用すべき、さまざまな応力状態のもとにおける鉄筋とコンクリートの付着性状について、実験データの蓄積はまだそれほど多いとはいえない。この目的の実験データを多く蓄積するために、簡単に精度の高い試験方法の開発が望まれる。

筆者らは、そのような試験方法に発展させうる高い可能性を持つものとして、ASTM型鉄筋付着試験方法に興味を抱いている。その可能性を追求するためには、種々の検討すべき項目が数多くあるであろうが、ここではまず、原型ともいふべきASTM規定の鉄筋引抜試験を行い、その測定結果から一般化された付着応力-すべり関係を導くことができるかどうか、またそのために必要な測定精度を得られるかなどの点について基礎的な検討を行った。その結果について以下に報告する。

## 2. 実験方法

今回の実験では、ASTM規格 C-234に合致する載荷装置および供試体型枠をそのまま利用した。但し、供試体型枠は、埋め込み鉄筋を固定する部分の金具を取り替えることにより、丸鋼と異形鉄筋の直径 13 mm, 16 mm, 19 mm の各種類に適合できるようになっている。

また、載荷装置には、荷重と変位の測定精度を高めるために、センターホール型ロードセル（容量 10t, 指示精度 5kg, 非直線性 2%FS）および高精度変位計（ストローク10mm, 指示精度 1/1000mm, 非直線性 0.1%FS）を汎用デジタル計測システムに接続して用いた。

載荷装置の概要を 図-1 に示す。今回、供試体の直下に挟む耐圧板は省き、埋め込み鉄筋の変位測定用水平ロッドを通すため、巾 5cmの溝を持つ鋼製ブロックで供試体を直接支持した（両側指示面の間は 5cm）。この鋼製ブロックはまた、変位計取り付けの基盤にもなっている。

変位計による測定位置は、図示の如く、鉄筋引抜き端（端面より約 1cm）、コンクリートブロック下部（端面より 1.5cm）、コンクリートブロック上面、および鉄筋自由端の 4箇所である。これらの位置をそれぞれ L1, L2, L3 および L4 とする。L1 および L2 の測定値は変位計 2 個のデータの平均をとる。

供試体は、鉛直筋（V）、水平上ば筋（HU）、水平下ば筋（HL）の供試体各 1 体をもって 1 組とし、鉄筋種類（丸鋼、異形鉄筋）、鉄筋径（13mm, 16mm, 19mm）、らせん筋比（0%, 0.2%, 0.6%）に関する実験条件の組み合わせを行った 18 組を基本に、丸鋼 R16 と異形鉄筋 D16 についてコンクリート強度を変えた 6 組（低強度シリーズ）と、異形鉄筋 D16 に石膏コンクリートを組み合わせた 3 組を加え、全部で 27 組 81 体である。

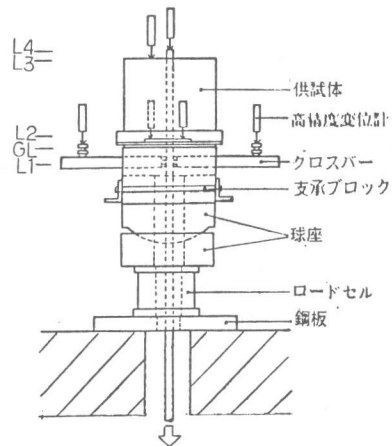


図-1 載荷装置

表-1 供試鉄筋の諸性質

種類	実測直径 (cm)	断面積 (cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/cm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
R 13	1.29	1.31	4470	3170	32.3
R 16	1.56	1.91	4660	3250	32.6
R 19	1.89	2.79	4830	3320	31.8
D 13	—	1.27	5490	3660	25.8
D 16	—	1.97	5440	3500	21.7
D 19	—	2.87	5680	3660	24.9
R 3	0.31	0.08	3570	2400	—
R 4	0.4	0.13	6500	6250	—

埋め込み鉄筋およびらせん筋の品質を表一1に、コンクリートの調合と試験時材令(4週)における諸性質を表一2に示す。供試体は材令2日に脱型し、以後材令4週まで養生室内の湿空養生とした。

引抜試験の載荷は、図一1の装置をアムスラー型試験機(50t)に取り付けて行った。荷重と変位の測定は、荷重増分を50-200kg毎とし、以後の解析および測定精度の検討に必要と思われたデータ数(1載荷あたり約50ステップ)を確保した。また、載荷中は常時供試体の状態を観察し、コンクリートブロックのきれつ発生荷重などを記録した。

### 3. 実験結果

まず、各供試体について、得られた最大荷重から単純に求めた付着強度を表一3に示す。表中で( )を付した値は、埋め込み鉄筋の降伏荷重に近ずいたため、除荷に転じた時のものである。本表は実験結果の概略を示すが目的であるから、ここでこれ以上の考察は行わない。

次に、各荷重段階における、L1からL4レベルの変位測定結果の1例を、グラフにして、図一2に示す。

このような変位の測定データを用いると、各荷重段階について、自由端における鉄筋のすべり量はデータ(L4-L3)から知ることができ、また、載荷端における鉄筋のすべり量は、コンクリートブロック内の鉄筋の伸びに、コンクリートブロックの圧縮変形と、自由端の鉄筋すべり量を加算することにより得られる。

コンクリートブロック内の鉄筋の伸びは、データ(L1-L4)からブロック外の水平ロード位置までの鉄筋の伸びを引き算することで得られ、コンクリートブロックの圧縮変形の一部はデータ(L2-L3)から知ることができる。

今回の実験では、データ(L2-L3)に意味のある傾向をほとんど認めることができなかつたので、とりあえずコンクリートブロックの圧縮変形は無視することとした。

このようにして得られた自由端と載荷端における鉄筋すべり量のデータを図一3に示す。

表一2 コンクリートの調合と試験時材令(4週)における諸性質

コンクリート種類	バッチ番号	W/C (%)	S/A (%)	重量調合表(kg/m <sup>3</sup> )			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
高強度 低強度 石こう	C1-C6	50	38.8	197	390	670	1092
	C7,C8	65	48.8	190	294	890	963
	C9	40.9	24.5	251	614	330	1048

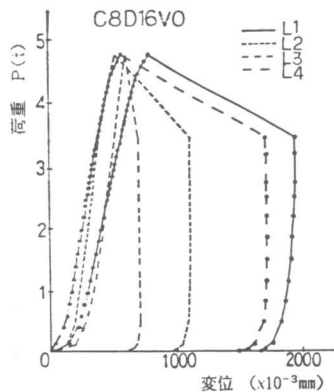
  

バッチ番号	空気量 (%)	スランブ値 (cm)	硬化コンクリートの諸性質(kg/cm <sup>2</sup> )			
			比重	圧縮強度	引張強度	ヤング係数
C1	0.8	20.1	2.40	312	27.3	3.02×10 <sup>9</sup>
C2	0.4	18.9	2.41	295	27.7	3.08×10 <sup>9</sup>
C3	0.4	20.0	2.41	330	31.1	3.11×10 <sup>9</sup>
C4	0.5	19.7	2.40	312	26.2	2.97×10 <sup>9</sup>
C5	0.5	20.1	2.39	336	30.5	2.89×10 <sup>9</sup>
C6	0.6	21.6	2.38	295	30.4	2.88×10 <sup>9</sup>
C7	1.1	16.1	2.35	234	23.8	2.60×10 <sup>9</sup>
C8	1.2	16.8	2.34	270	25.2	2.44×10 <sup>9</sup>
C9	0.7	16.5	2.15	109	11.9	1.14×10 <sup>9</sup>

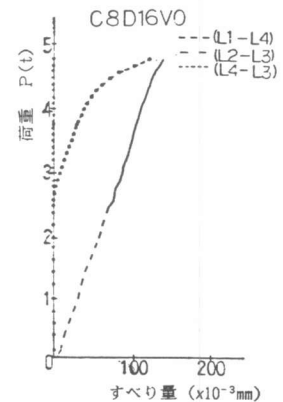
表一3 付着強度実験結果(kg/cm<sup>2</sup>)

鉄筋種類	位置	Psp 0% X	Psp 0.2%	Psp 0.6%
R13	V	63.1	47.5	45.8
	HU	9.6	6.3	4.5
	HL	18.2	15.8	11.5
R16	V	46.2	72.0	62.3
	HU	8.3	6.2	8.0
	HL	25.1	28.4	24.2
R19	V	38.7	27.1	33.6
	HU	10.9	11.7	10.2
	HL	18.2	19.0	13.6
D13	V	(66.1)	(66.4)	(66.4)
	HU	(67.2)	(67.2)	(66.0)
	HL	(67.1)	(67.1)	(65.3)
D16	V	(84.3)	(85.4)	(85.6)
	HU	(72.8)	(86.0)	(85.4)
	HL	(72.9)	(85.9)	(85.9)
D19	V	86.1	(95.8)	(110.4)
	HU	(74.5)	(99.8)	(100.8)
	HL	(72.5)	(105.0)	113.9
R16W	V	47.1	35.5	35.9
	HU	13.4	7.1	4.2
	HL	21.6	10.9	12.3
D16W	V	63.6	(86.0)	(86.0)
	HU	(86.7)	(86.4)	(85.8)
	HL	(86.5)	(86.2)	(85.9)
D16G	V	44.7	(55.3)	(65.1)
	HU	51.3	(58.6)	(66.7)
	HL	52.3	(67.1)	(66.7)

x らせん筋比      xx 低強度シリーズ  
xxx 石こうコンクリート



図一2 変位測定結果の1例



図一3 鉄筋すべり量測定結果の1例

#### 4. 鉄筋のすべり変位と付着応力分布

鉄筋やコンクリートブロックに特別な細工をせず、供試体の外側から測定可能なデータのみを選ぶとすれば、本試験方法の実測データは、上に挙げたように、自由端と荷重端における鉄筋のすべり量、コンクリートブロックの変形、および引張荷重の4項目に集約されるのが適当であろう。

これらの実測データを用い、コンクリートブロックと鉄筋の応力とひずみ、鉄筋に沿って生ずるすべり変位と付着応力の分布を推定する方法には、いくつかの方向が考えられる。しかし、ここでは、その第一歩として、そのような推定の可能性を判断するために、多少風変わりであるが最も簡単な論理に基づき、以下のような方法を試みてみた。

まず、この方法は、次のような基本仮定に立脚している。

(1). 単調に増大する荷重の場合、コンクリートブロック内のどこにあっても、鉄筋のすべり量と付着応力は一意的に対応する。

(2). コンクリートブロック内の鉄筋について、微少区間  $\Delta l_i$  を考えると、その区間内では、付着応力が均等分布すると考えてよい。この仮定は、微少区間内で、鉄筋とコンクリートの、応力とひずみ分布を直線とみなし、微少区間毎に平均付着応力を定義することと対応する。

以上の仮定を用い、まず 最初の荷重段階 ( $i=1$  なる微少区間) について考える。

荷重  $P_1 = \Delta P_1$  のとき、コンクリートブロック内の鉄筋の伸びを  $U_1$ 、コンクリートブロックの変形は無視し、荷重端の鉄筋すべり量を  $SL_1$ 、自由端のすべり量を  $SF_1 (=0)$  とする。鉄筋のヤング係数を  $SE$ 、断面積を  $SA$ 、周長を  $R$  とすれば、

$$\text{荷重端の鉄筋の応力は、 } T_1 = P_1 / SA,$$

$$\text{荷重端の鉄筋ひずみは、 } D_1 = P_1 / (SA \cdot SE), \text{ である。}$$

右図のような直線的ひずみ分布を考えて、

$$(1/2) \cdot (P_1 / (SA \cdot SE)) \cdot \Delta l_1 = U_1,$$

故に、 $\Delta l_1$  は次式で求まる。

$$\Delta l_1 = (2 U_1) \cdot (SA \cdot SE / P_1)$$

最初の荷重段階ですべりを生ずる微少区間  $\Delta l_1$  における平均付着応力度は、

$$\tau_1 = P_1 / (R \cdot \Delta l_1),$$

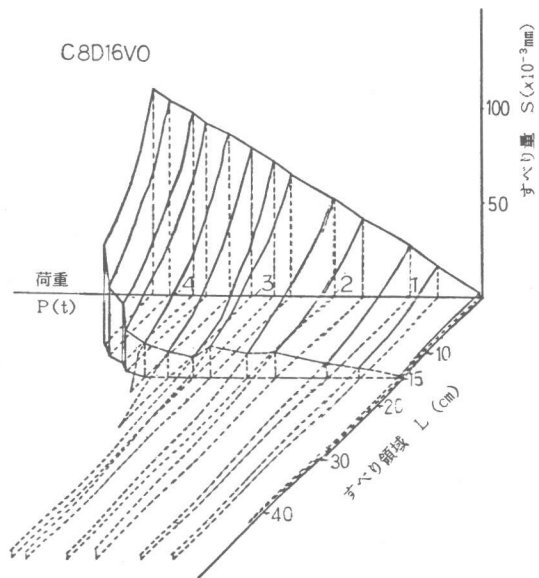
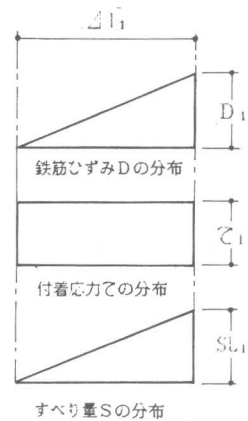
また、この区間の平均すべり量は、

$$S_1 = SL_1 / 2 \text{ である。}$$

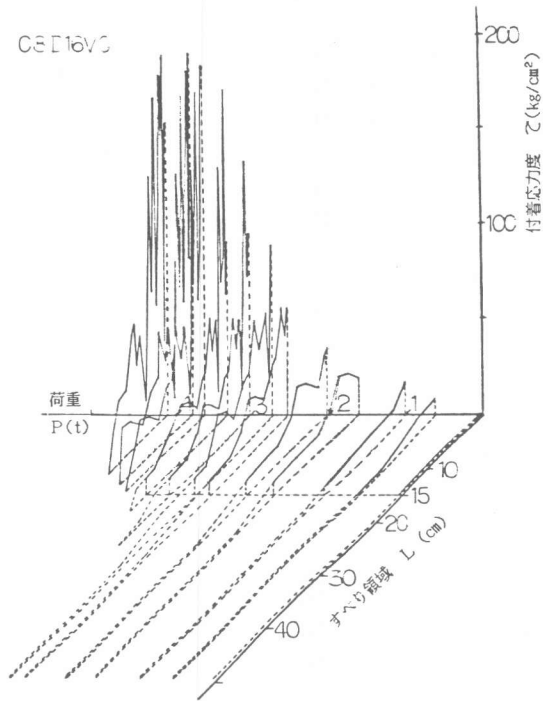
このすべり量に対する付着応力度の関係はこれで定まり、以後の荷重に対して保存されるので、次の荷重段階では、 $\Delta l_1$  区間のすべりと付着応力の関係が新たに計算されることになる。

また、鉄筋の自由端にすべりが生じてから後も、すべり量と付着応力度の関係は変わらないという仮定を基にして、同様の手法により、順次ブロック内の鉄筋の応力とひずみ分布、およびすべりと付着応力関係を求めて行くことができる。

以上のような計算によって得られた、コンクリートブロック内における鉄筋のすべり変位と、付着応力の分布状態の



図一四 鉄筋すべり変位分布状態の1例



図一五 付着応力分布状態の1例

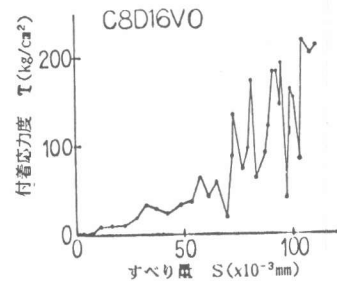
結果が得られた。また、低荷重の段階で比較的大きな載荷端すべりが測定されており、コンクリートブロックおよびコンクリートブロックと鉄筋表面の境界面の变形特性について、更に詳しい検討を要するものと思われる。

## 5. 結び

何ら特別な変更を加えないASTM型鉄筋付着試験方法による測定結果から、一般化された付着応力-すべり関係を求める可能性について調べる目的で、実験と簡単な解析を行い、一応の結果を得た。今後、更に検討を進めて、鉄筋の付着性状を研究するための実験的手法の整備に努めたい。

### 参考文献

- 1) 六車、森田、富田 「鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究 1. 付着応力分布について (1) および (2)」 日本建築学会論文報告集 第131号, 昭和42年 1月 および 第132号, 昭和42年 2月
- 2) 六車、森田 「 同上 3. 引抜試験について」 日本建築学会論文報告集 第139号, 昭和42年 9月



図一六 すべり量-付着応力度関係の1例

1例を 図一四, 五 に、すべり量と付着応力度の関係を示すグラフの1例を 図一六 に示す。

図一四, 五について、得られたすべり領域Lの値がブロックの寸法(15cm)と必ずしも一致しないが、その原因を調べてこれを修正することは可能であると思われる。

図一六について、すべり量と付着応力度の関係は、多くの供試体において、コンクリートブロックに割裂きれつが生じるまで、著しいひずみ硬化型の傾向を示し、予想外の