

# 両引き試験による若材齢コンクリートと異形鉄筋間の付着応力-すべり関係の評価

中部大学 学生会員 ○副田 周希  
中部大学 正会員 伊藤 睦

## 1. 目的

Solidification concept を用いた構成モデルでは、材齢によらず応力-ひずみ関係の関数  $F$  を一定とし、時間経過に伴う応力に抵抗する硬化体の体積割合の変化とひずみ増分の制約条件を仮定することで、構成則に時間軸を導入している。本研究では、付着応力-すべり関係にも、材齢によらず同一の関数  $F$  が使用可能か否かを検証することを目的として、材齢を変化させた両引き試験を行った。

## 2. 実験概要

コンクリートの硬化過程が鉄筋とコンクリート間の付着挙動特性に及ぼす影響を探るために、両引き試験を実施した。両引き試験は、山梨大学で実施された実験<sup>1)</sup>を参考に図-1 に示す試験体を使用した。コンクリートは 150mm の立方体であり、その中央に鉄筋を配置した。試験体中央の鉄筋のリブに 2mm の塑性ひずみゲージを 2 枚塗布し、コーティング剤にて表面を保護した。コンクリートの配合には表-1 を使用し、全ての試験体を同一コンクリートで作製したのち、室温 20°C、湿度 80% の恒温恒湿室にて養生した。なお、脱型を試験当日に行った。鉄筋には、付着応力-すべり関係における軟化域までを評価するために、図-2 に示す降伏強度の高い異形 PC 鋼棒 (D22: 公称直径  $D=22.2\text{mm}$ ) を使用した。図中の  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  および  $P$  は、それぞれ 24.8mm, 21.4mm, 20.6mm および 12mm である。また、鉄筋の引張試験の結果、本研究で使用した鋼棒の降伏強度は 1000MPa 以上であり、ヤング係数は 200GPa であった。

計測項目は、コンクリートに埋め込まれた鉄筋中のひずみ  $\varepsilon$ 、引張荷重  $P$  およびコンクリート上下面で計測したコンクリートの伸び量  $\delta$  である。なお、変位計により計測したコンクリートの伸び量は鉄筋近傍の値ではなく、鉄筋表面から 28mm 程度離れた位置を計測している。これらの計測値を使用して、付着応力  $\tau$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) とすべり量  $s$  (mm) を次式にて評価した。

$$\tau = A_s(\sigma_{s1} - \sigma_{s2}) / ul \quad s = \delta - \Delta \quad (1)$$

ここで、 $A_s$ : 鉄筋公称断面積( $\text{mm}^2$ )、 $u$ : 鉄筋公称周長(mm)、 $\sigma_{s1} = P / A_s$ : 試験体の載荷端の応力( $\text{N}/\text{mm}^2$ )、 $\sigma_{s2} = E\varepsilon$ : 試験体中央の鉄筋の応力( $\text{N}/\text{mm}^2$ )、 $\Delta$ : コンクリート表面から変位計が取り付けられている位置までの鉄筋の伸び量(mm)である。本研究により得られる付着応力-すべり関係は、ひび割れ間の挙動を評価するものであり、試験体中央から半分の領域で空間的に平均化された付着応力-すべり関係となる。試験パラメータは載荷材齢であり、本研究では載荷材齢を 1 日、2 日、3 日、8 日および 28 日とし、各材齢においてそれぞれお 3 体の両引き試験およびテストピースの圧縮試験を行った。

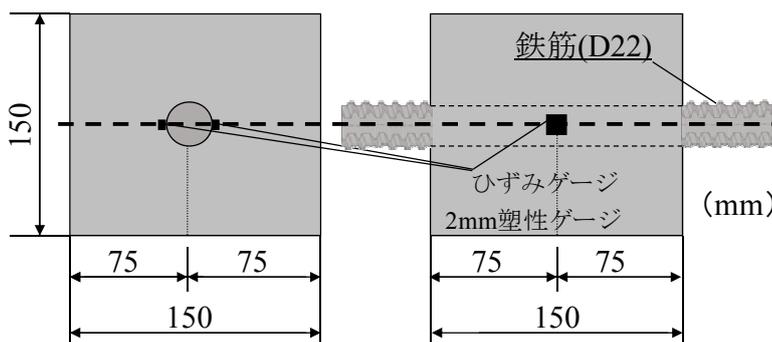


図-1 試験体諸元

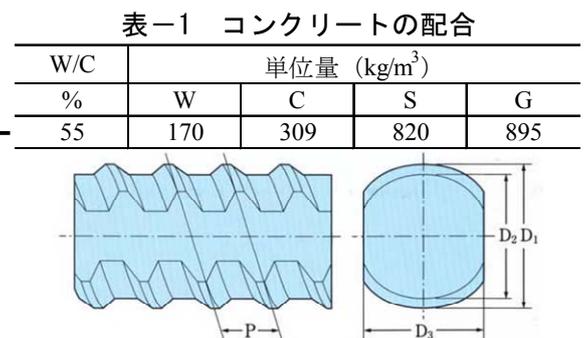


図-2 使用した高強度鉄筋の形状

表-1 コンクリートの配合

W/C	単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )			
	W	C	S	G
%				
55	170	309	820	895

### 3. 実験結果とまとめ

表-2 に試験結果を示す。なお、本試験では、1回の試験により最大8個の付着応力-すべり関係が得られるが、これらの内大きく他の試験結果と剥離しているものを除いた試験結果を平均することにより、各材齢での平均付着応力-平均すべり関係を評価した。表-2 には、各材齢での圧縮強度  $f_c'$ 、付着強度  $\tau_m$  とその材齢ごとの平均値  $\tau_{m,Ave}$  および付着強度時のすべり  $s_m$  とその平均値  $s_{m,Ave}$  を示している。また、図-3 に、各材齢の平均付着応力-平均すべり関係を示す。図では、平均付着応力と平均すべりを表-2 に示す各材齢の  $\tau_{m,Ave}$  と  $s_{m,Ave}$  で無次元化している。

表-2 から、本研究範囲内では、材齢の経過による圧縮強度の発現に伴い、付着強度が増加することが分かるが、図-3 に示すように、得られた平均付着応力と平均すべりを各材齢の  $\tau_{m,Ave}$  と  $s_{m,Ave}$  で無次元化することにより、材齢 08 日までは、ほぼ同一の付着応力-すべり関係となっている。すなわち、 $\tau_{m,Ave}$  の約半分程度で剛性が低下し、 $\tau_{m,Ave}$  到達後は急激に付着応力が低下し、 $s_{m,Ave}$  の 1.5 倍程度で付着応力がゼロになっている。その一方で、材齢 28 日での付着応力-すべり関係では、 $\tau_{m,Ave}$  の約 6 割程度で剛性が低下し、 $\tau_{m,Ave}$  到達後は、 $s_{m,Ave}$  の約 2.3 倍のすべり量で付着応力を失っている。

図-4 に各材齢の付着強度を各材齢の圧縮強度の 1/2 乗と 2/3 乗で除した値と各材齢の圧縮強度の関係を示す。既往の硬化したコンクリートと鉄筋間の付着強度では、 $\tau_m / f_c^{2/3} - f_c'$  関係がほぼ一定になることが報告されている<sup>2)</sup>が、本結果では、 $\tau_m / f_c^{2/3} - f_c'$  関係は緩やかに低下する傾向を示し、 $\tau_m / f_c^{1/2} - f_c'$  関係がほぼ一定となる結果が得られた。図-5 に付着強度時のすべりと材齢の関係を示す。図より、材齢 08 日までは、付着強度時のすべり量はほぼ一定であり、材齢 28 日では、材齢 08 日までの値と比較して約半分のすべり量で強度に達している。材齢 08 日の圧縮強度は、材齢 28 日の圧縮強度に対して約 85%まで強度発現していることから、付着強度時のすべり量は、圧縮強度と相関が弱いものと考えられる。しかしながら、本研究では、材齢 08 日から 28 日までの間に試験を実施していないことから、この点についてさらに検討を要する。以上の試験結果から、材齢 08 日程度までの付着応力-すべり関係は、Solidification concept により表現が可能である傾向が得られたが、材齢 28 日の試験結果から、関数  $F$  を材齢依存型にする必要もあると考えられる。

謝辞：本研究に科学研究費補助金（25820197）の助成を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 寄特隆宏・檜貝 勇・斎藤成彦：異形鉄筋の付着応力-すべり関係に及ぼすかぶり厚と鉄筋直径の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.2, pp.757-762, 2005. 2) 山尾芳秀・周 礼良・二羽 淳一郎：付着応力-すべり関係に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第 343 号，pp.219-228, 1984.3.

表-2 試験結果

材齢 (日)	$f_c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{m,Ave}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$s_m$ (mm)	$s_{m,Ave}$ (mm)
1	6.493	1.550	1.448	0.386	0.389
		1.347		0.392	
2	11.200	2.252	2.248	0.420	0.398
		2.245		0.376	
3	16.487	2.328	2.424	0.420	0.398
		2.520		0.376	
8	25.055	3.187	3.156	0.359	0.394
		3.124		0.429	
28	29.513	2.846	2.902	0.180	0.201
		2.957		0.222	

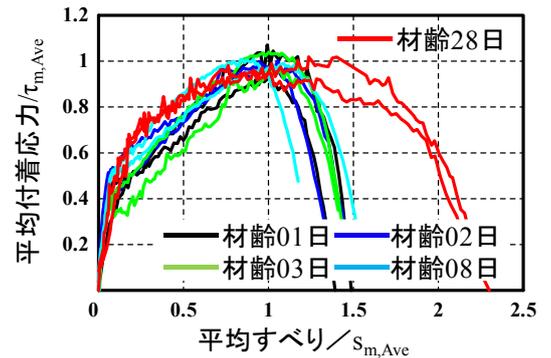


図-3 付着応力-すべり関係の比較

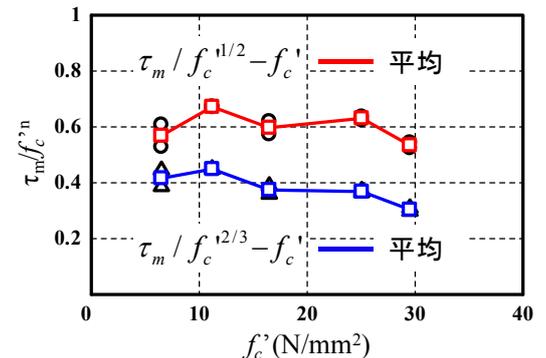


図-4 各材齢の付着強度-圧縮強度関係

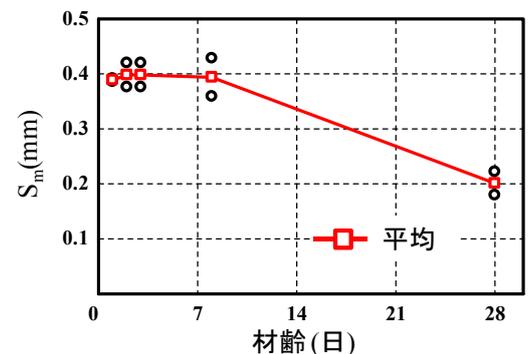


図-5 付着強度時すべり-材齢関係