

# 一軸引張実験による若材齢 FA コンクリートと異形鉄筋の局部付着応力-すべり関係

呉工業高等専門学校 学生会員 ○沖本翔平 正会員 三村陽一  
 山口大学大学院 正会員 吉武 勇 張 文博  
 (株)エネルギー・エコ・マテリア 正会員 齊藤 直

## 1. はじめに

コンクリートの過度な初期ひび割れは、構造物の長期的な耐久性や美観を損なう主要な要因となるため、その予測や制御が必要不可欠である。初期ひび割れ対策のひとつに、石炭火力発電所で発生するフライアッシュ（以下、FA）が挙げられる。FAをコンクリートに添加することで、水和熱量を低減でき、ポズラン反応による長期強度発現も期待できる。本研究では、初期ひび割れ幅予測の基礎資料として、若材齢期にあるFAコンクリートと異形鉄筋の局部付着応力-すべり関係を得ることを目的に、RC棒部材の一軸引張実験を種々の材齢で行った。また、ここで得られた局部付着応力-すべり関係を、既報で示された普通コンクリートの結果と比較検討した。

## 2. 実験方法

一軸引張実験に用いた供試体を図-1に示す。コンクリート断面の中央に横ふし型異形鉄筋 (D13, SD345, 以下、鉄筋) を埋設し、図-1に示す位置でひずみを計測した。コンクリートを呼び強度24の配合とし、普通ポルトランドセメントおよびJIS II種相当品のFAを使用した。また本研究は、実機プラントで作製した生コンクリートを使用したことから、用いたコンクリートはすべて同バッチのものである。

実構造物における養生条件を模擬するため、打設直後から材齢7日までは、屋外にて湿潤養生を行い、それ以降は気中養生とした。実験の直前あるいは材齢3日に脱枠を行った。一軸引張実験を行った材齢は1, 2, 3, 5, 7, 28, 91日である。なお実験時に、円柱供試体を用いて圧縮・割裂引張強度試験も行った。

本実験では、データロガーにリアルタイムで表示される荷重を目安に0.1kN/sec程度で載荷を行い、荷重1kN増でひずみを計測した。

## 3. 実験結果および考察

材齢2日の一軸引張実験により得られた鉄筋ひずみの軸方向分布を図-2に示す。図-2に示すように、定着端面からの距離が大きくなるほど鉄筋ひずみは小さくなり、供試体中央付近では同程度のひずみに収束した。この範囲における鉄筋ひずみとコンクリート表面のひずみは、いずれの材齢においても同等であった。したがって、このような範囲では、鉄筋-コンクリート間に相対すべり(すべり)は生じていないと考えられる。

ここで、材齢1, 3, 28日の5Dと10D(D:鉄筋径)の位置における、局部付着応力と相対すべりの関係( $\tau-S'/D$ 関係)を図-3に示す。なお本研究では、局部付着応力 $\tau$ およびすべり $S'$ を、それぞれ式(1)および式(2)を用いて求めた。

$$\tau = \frac{DE_s}{4} \cdot \frac{d\varepsilon_{s-b}}{dx} \quad (1)$$

$$S'(x) = \int_0^x \{\varepsilon_{s-b}(x) - \bar{\varepsilon}_c\} dx \quad (2)$$

ここで、 $\tau$ : 局部付着応力,  $D$ : 鉄筋径,  $x$ : ひび割れ間中央から鉄筋軸に沿った距離,  $E_s$ : 鉄筋のヤング係数,  $\varepsilon_{s-b}$ :

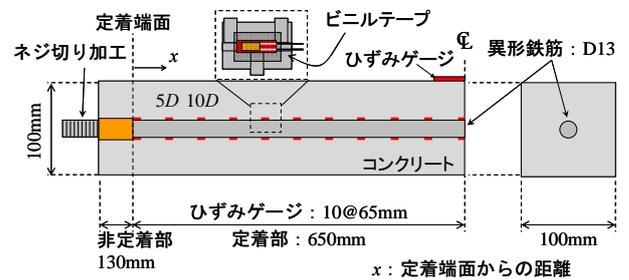


図-1 供試体およびひずみ計測位置

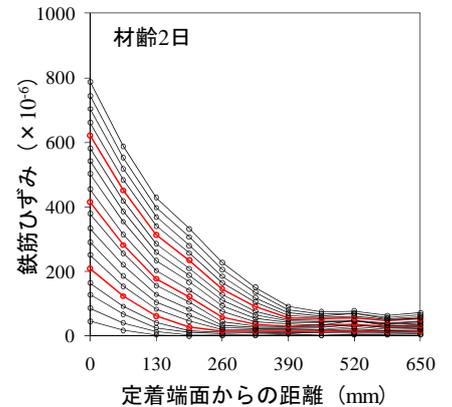


図-2 鉄筋ひずみの軸方向分布

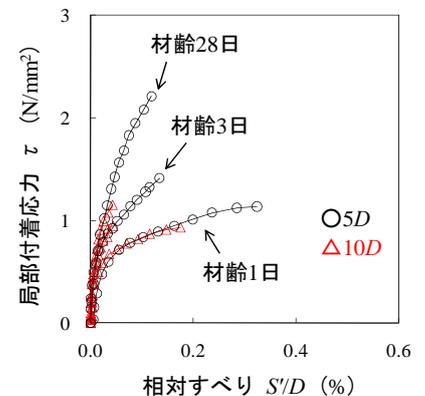


図-3  $\tau-S'/D$  関係

鉄筋ひずみ,  $\bar{\epsilon}_c$ : コンクリートひずみ,  $S'$ : すべりを表す. 図-3に示すように, 各材齢の5Dおよび10Dにおける $\tau-S'/D$ 関係は, 概ね同様の曲線状となったことから, 鉄筋軸に沿った位置にかかわらず,  $\tau-S'/D$ 関係をひとつの式で表現できるものと考えられる. ただし, 各材齢の $\tau-S'/D$ 関係は異なる曲線状となった. ここで, 図-3で示した $\tau-S'/D$ 関係に対し, 局部付着応力 $\tau$ を圧縮強度の2/3乗で正規化した $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係を図-4に示す. 図-4(a)に示すように, 脱枠前における $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係は, 概ね同じ曲線状を呈した. 図-4(b)に示す脱枠後においても,  $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係はほぼ同じ曲線となった. 以上のことから, 鉄筋軸に沿った位置や材齢によらず, FAコンクリートの局部付着特性を1つの予測式で表すことができると考えられる.

ここで, 材齢2日におけるFAコンクリートと三村ら<sup>1)</sup>が報告している普通コンクリートの $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係(式(3))を図-5に併せて示す.

$$\frac{\tau}{f_c'^{2/3}} = \frac{0.88 \cdot S'/D}{S'/D + 0.12} \quad (3)$$

材齢2日におけるFAコンクリートの $\tau/f_c'^{2/3}$ は, 材齢2日以降の普通コンクリートのそれに比べ, 小さいものであった. したがって, FAコンクリートの初期ひび割れ幅予測に, 普通コンクリートの付着特性を準用すると, ひび割れ幅を過小評価する可能性がある. 一方, FAコンクリートと材齢1日の普通コンクリートの $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係は, 同様の曲線状を呈した.

三村ら<sup>2)</sup>は, 普通コンクリートにおける材齢1日と材齢2日以降の $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係について, 鉄筋周辺のコンクリートの損傷の相違と考察している. ここで, コンクリートの圧縮強度の2/3乗( $f_c'^{2/3}$ )と割裂引張強度 $f_t$ の関係を図-6に示す. 普通コンクリートの場合, 材齢1日を除いて, 圧縮強度の2/3乗と割裂引張強度はほぼ比例関係であった. 一方, FAコンクリートの場合, 両者は必ずしも比例関係ではなかった. 図-6の結果から, 両者の $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係における差異は強度特性の違いに起因するものではないと考えられる. なお, コンクリートのヤング係数についても検討を行ったが, 両者の $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係における差異の要因がヤング係数である可能性は低いと考えられる.

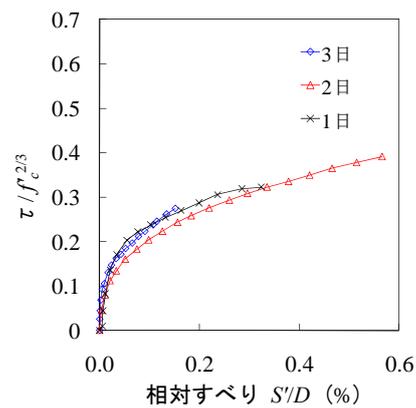
#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を, 以下に要約する.

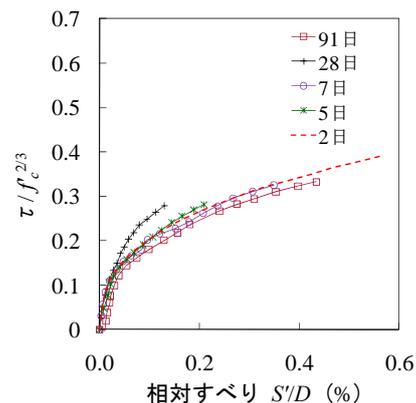
- (1) 鉄筋軸に沿った位置や材齢によらず, FAコンクリートと異型鉄筋の $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$ 関係を1つの予測式で表すことができる.
- (2) 普通コンクリートに比べ, FAコンクリートと異形鉄筋の局部付着応力は小さいことから, FAコンクリートの初期ひび割れ幅予測に, 普通コンクリートの付着特性を準用すると, ひび割れ幅を過小評価する可能性がある.

#### 参考文献

- 1) 三村陽一, 吉武 勇, 森本公典, 浜田純夫: 若材齢コンクリートと異形鉄筋の局部付着特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.3, pp.410-423, 2007.7.
- 2) 三村陽一, 吉武 勇, 辻 和秀, 田中 浩, 浜田純夫: 両引き試験による若材齢コンクリート異形鉄筋の付着特性の評価, 土木学会論文集, No.732/V-59, pp.211-223, 2003.5.



(a) 脱枠前



(b) 脱枠後

図-4  $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$  関係

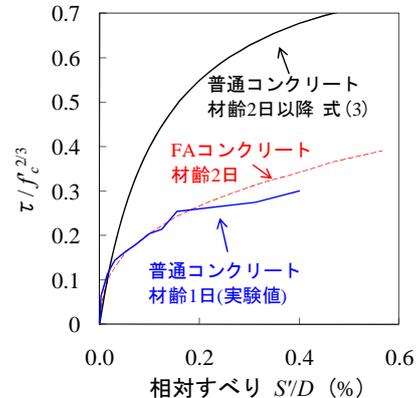


図-5  $\tau/f_c'^{2/3}-S'/D$  関係の比較

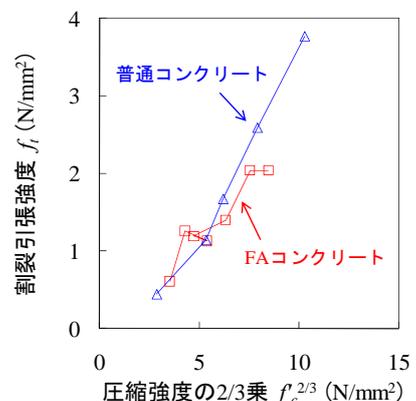


図-6  $f_c'^{2/3}-f_t$  関係