

## [34] コンクリートの混練方法と鉄筋の位置とが鉄筋の付着性状に及ぼす影響

正会員 ○一 色 真 人 (東京大学工学部)

正会員 天 野 正 徳 (東京大学大学院)

正会員 樋 口 芳 朗 (東京大学工学部)

### 1. はじめに

鉄筋とコンクリートの付着に関する研究は、従来より数多く行われてきた。しかし、その多くが  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$  の立方体の供試体を使用し、鉄筋の付着長を  $15 \text{ cm}$  とした場合の平均付着応力度、あるいは鉄筋の自由端の滑動量について論じられたもので、鉄筋とコンクリートの付着応力度の分布が、ブリージングの影響を受けて変化することに関する報告は少ない。

本研究では、ブリージングが付着性状に及ぼす影響を調べるために、新しい鉄筋引き抜き試験方法によって、供試体の上部及び下部に埋め込まれた水平鉄筋の引き抜き試験を行い、鉄筋の歪分布より付着性状の変化を調べた。試験を行った供試体は、常法練りコンクリートで作ったものと、同じ配合でもブリージングが減少する S.E.C. コンクリートで作ったものの 2 種類である。

### 2. 実験の概要

#### 2.1. 使用材料

鉄筋は D19 の横ふし異形鉄筋、セメントは早強ボルトランドセメント、粗骨材は最大寸法  $25 \text{ mm}$  の川砂利（比重 2.65）、細骨材は川砂（比重 2.63, F.M. 3.0）をそれぞれ使用した。また、混合剤はナフタリンスルホン酸塩系高性能減水剤をセメント重量の 0.5 % 使用した。

実験に用いたコンクリートは、常法練りコンクリートでスランプ  $15 \text{ cm}$  となるように調整し、S.E.C. コンクリートは常法練りコンクリートと同一配合とした。その配合は、表-1 に示した通りである。また、練り上がり温度は  $20^\circ\text{C}$  となるように調製した。

S.E.C. コンクリートと常法練りコンクリートの練り混ぜ方法は、図-1 に示した通りである。

実験に用いたコンクリートのスランプ、ブリージング率、圧縮強度は表-2 に示した通りである。

#### 2.2. 実験方法

実験に用いた供試体の形状寸法は、図-2 に示す通りである。

載荷は、 $a$ ,  $b$  の 2ヶ所に  $20 \text{ ton}$  油圧ジャッキを設置し、供試体を押し広げるように行った。その際、ジャッキのストローク長を制御することにより、2つのコンクリートブロックが平行に動く状態を保った。また、供試体下面の摩擦を取り除き供試体がスムーズに

表-1 コンクリートの配合

Specimen No.	Gmax (mm)	air (%)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg)
1	25	2	45	47.6	185
2	25	2	60	50.6	185

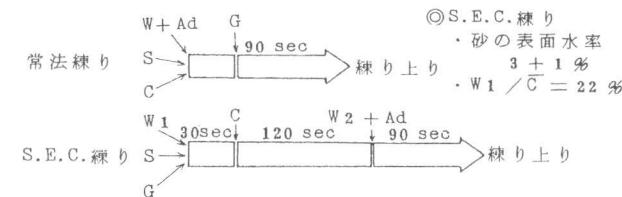


図-1 コンクリート練り混ぜ方法

表-2 コンクリート特性

Specimen No.	スランプ (cm)	ブリージング率 (%)	圧縮強度 (kg/cm²)
1 (S.E.C.)	11.8	0.8	434
1 (CONV.)	15.1	1.9	403
2 (S.E.C.)	9.8	1.4	285
2 (CONV.)	15.0	3.6	268

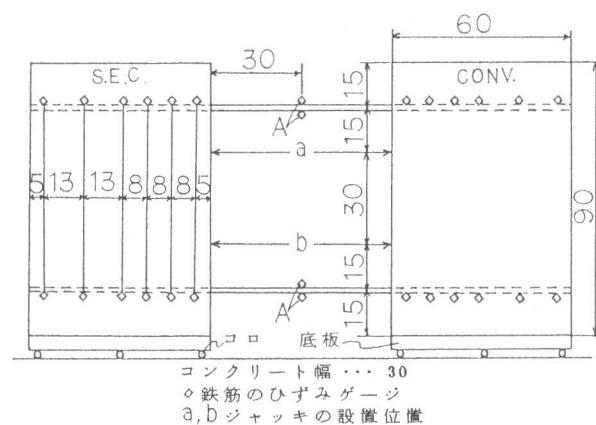


図-2 供試体図 (単位: cm)

動くように、コロを用いた。

鉄筋の歪ゲージは、図-2に示すA点以外ではジャッキに対して対称となるように、上部鉄筋はその上側に、下部鉄筋はその下側に貼付し、A点では鉄筋の上下に貼付した。

測定にあたっては、A点の歪をマイコンのブラウン管で常に監視し、その歪で約 $1 \times 10^{-4}$ おきに測定した。

この実験方法による最大の特長は、1回の実験でS.E.C.コンクリートを用いた供試体と常法練りコンクリートを用いた供試体のそれぞれ、上部・下部の鉄筋、合計4種類の鉄筋データが取れることである。

### 3. 実験結果及び考察

測定された鉄筋の歪より鉄筋の応力を計算した。その一部を図-3、図-4に示す。

下部鉄筋においては、ブリージングの影響を受けにくいため、S.E.C.コンクリートを用いた場合でも常法練りコンクリートを用いた場合でも、鉄筋からコンクリートへ応力を伝達する割合は、ほぼ同じである。しかも、いずれの場合も、鉄筋の埋め込み長さで55cmのゲージ部分までに、鉄筋に与えた応力の全てがコンクリートに伝達されている。

一方上部鉄筋においては、鉄筋からコンクリートへ応力を伝達する割合は、下部鉄筋のそれと比べると著しく低下している。また、鉄筋の埋め込み長さで55cmのゲージ部分までに鉄筋に与えた応力の全てがコンクリートに伝達されているのは、ブリージング率0.85%のS.E.C.コンクリート(Specimen No. 1)を用いた場合だけである。もっともこの場合も、下部鉄筋の応力伝達状況と比べると劣ってはいる。このことより、上部鉄筋においては、鉄筋からコンクリートへの応力の伝達はブリージングの影響を受け著しく低下するが、ブリージング率を1%以内におさえることで、その低下はかなり改善できるものと思われる。

図-5は、ブリージング率がほぼ同程度の常法練りコンクリート(Specimen No. 1,  $f'_c = 403 \text{ kg/cm}^2$ )を用いた場合とS.E.C.コンクリート(Specimen No. 2,  $f'_c = 285 \text{ kg/cm}^2$ )を用いた場合の鉄筋の応力度分布である。これによると、下部鉄筋においては、圧縮強度の大きい常法練りコンクリートの方が鉄筋からコンクリートへの応力の伝達は良い。しかし、上部鉄筋においては、逆にS.E.C.コンクリートを用いた方が良くなっているという興味

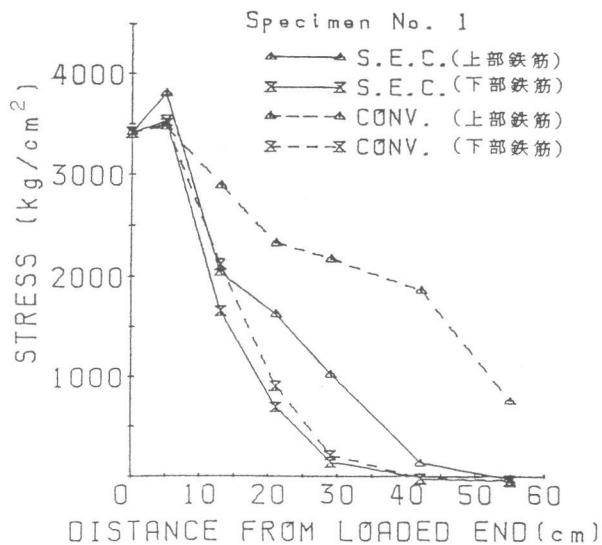


図-3 鉄筋応力度分布 (Specimen No. 1)

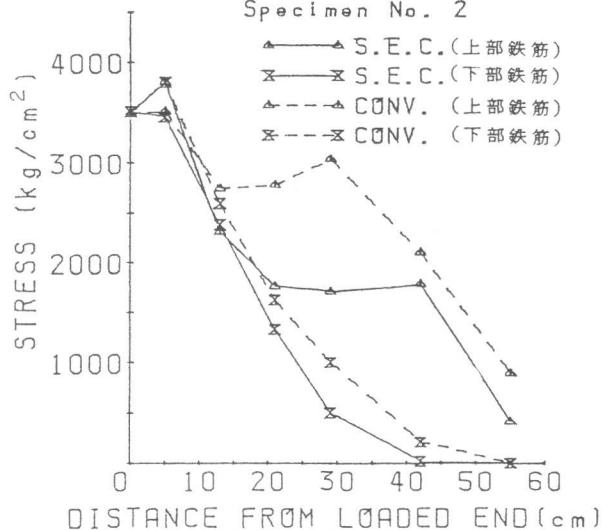


図-4 鉄筋応力度分布 (Specimen No. 2)

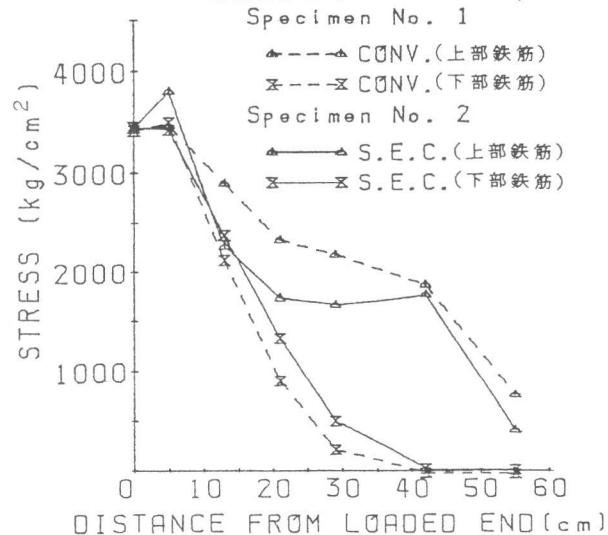


図-5 鉄筋応力度分布

深い結果が得られた。これと同じ事が、ゲージ間の平均付着応力度の最大値についても言える。ここで、ゲージ間の平均付着応力度は下記の式により求め、その最大値を表-3に示す。

$$\tau_0 = \frac{A\epsilon \cdot E \cdot A}{A\ell \cdot U} \quad (1)$$

ここに、  
 $A\epsilon$  : 隣接したゲージ間の歪の差

E : 鉄筋のヤング率

A : 鉄筋の断面積

U : 鉄筋の断面周長

$A\ell$  : 隣接したゲージ間の距離

表-3 ゲージ間平均付着応力度の最大値 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Specimen No.	S.E.C. (下部鉄筋)	S.E.C. (上部鉄筋)	CONV. (下部鉄筋)	CONV. (上部鉄筋)
1	107	80	80	40
2	71	71	60	44

Specimen No. 1 の常法練りコンクリートを用いた場合と Specimen No. 2 の S.E.C.コンクリートを用いた場合では、表-3より、下部鉄筋においてはそれぞれ  $80 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,  $71 \text{ kg}/\text{cm}^2$  と常法練りコンクリートを用いた方が大きいが、上部鉄筋においてはそれぞれ  $40 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,  $71 \text{ kg}/\text{cm}^2$  と S.E.C.コンクリートを用いた方が大きくなっている。

式(1)により、図-2のA点における鉄筋の各応力レベルによるゲージ間の平均付着応力度の最大値を求める上、S.E.C.コンクリートを用いること、常法練りコンクリートを用いた場合に比べ、下部鉄筋で 1.0~1.4 倍に、上部鉄筋で 1.2~2.8 倍になることがわかった。

#### 4. 数値計算による歪分布曲線の推定

コンクリート内部の鉄筋の歪分布は、local bond-local slip 関係式より数値的に求めることが可能である。そこで、鉄筋とコンクリートの各微小区間 ( $\Delta x$ ) において、式(2)で表わされる local bond-local slip 関係式が成り立っているとして、鉄筋の歪分布を数値的に求め実測値との比較を行った。計算のフローチャートは図-6に示す。計算にあたっては、以下の2つの仮定を用いた。

1)  $x \sim (x + \Delta x)$  の  $\Delta x$  区間の付着応力度は、 $x$  断面のそれと等しく、一定。

2)  $(x + \Delta x)$  断面の slip は、鉄筋とコンクリートの相対歪より求める。その時、鉄筋とコンクリートの歪は  $\Delta x$  の区間で一定とし、その歪は  $x$  断面と  $(x + \Delta x)$  断面の平均とする。

$$\tau = K \cdot T \cdot f(S/S_1) \quad (2)$$

$$T = C \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$S_1 = S' \cdot 1000/D$$

$$K = g(x/z_2) \quad 0 \leq x < z_2/2$$

$$(g(0) = 0, g(1) = 1)$$

$$K = 1 \quad z_2/2 \leq x$$

ここに、  
 $\tau$  : local bond

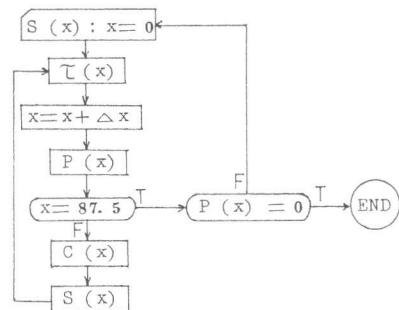
S : local slip

T : 最大付着応力度

$S'$  : 最大付着応力度を生じる slip

D : 鉄筋の直径

$x$  : 鉄筋の埋め込み長さ



P: Strain of Bar  
C: Strain of Concrete  
S: Local slip

図-6 計算のフローチャート

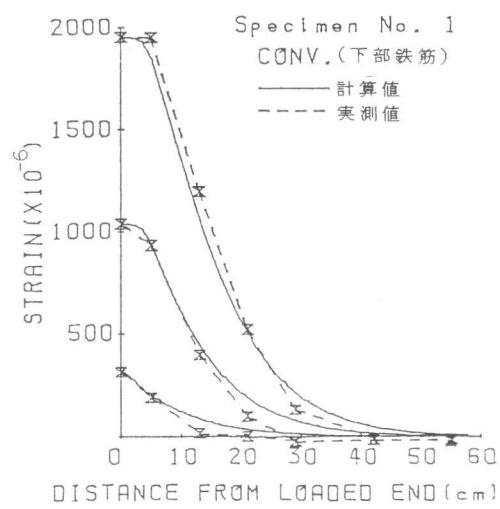


図-7 下部鉄筋のひずみ分布

$z_2/2$  :  $\tau$  の最大値が変化する  $x$  の範囲

C : 定数

式(2)における変数は、S1, C,  $z_2$  の3つである。下部鉄筋においては  $S_1 = 10^{11}$  とし、Cは表-3より求めた。 $x_2$  は供試体形状、コンクリート強度、鉄筋の引張力等に影響される。しかし今回の実験では、供試体形状とコンクリート強度の影響を考慮することは困難なため、鉄筋の引張力による影響だけを考慮して、図-2に示すA点の歪により次のように仮定した。

- i)  $0 \leq \epsilon \leq 3 \times 10^{-4}$        $z_2 = 0$
- ii)  $3 \times 10^{-4} < \epsilon < 1 \times 10^{-3}$        $z_2 = 1.43 \times 10^{-3} \cdot \epsilon - 4.3$
- iii)  $1 \times 10^{-3} \leq \epsilon$        $z_2 = 10$

なお、実験値に合うようCと $z_2$ を多少変化させた結果、表-4に示す値が最適と思われる。下部鉄筋の歪分布曲線の計算値と実測値は、図-7に示す通りである。

一方上部鉄筋においては、S1は下部鉄筋と同じとし、Cは表-3より求めた。 $z_2$ は、 $x=0$ 付近の破壊状況よりその最大値を15程度とした。計算値と実測値は図-8に示したが、計算値の方が傾きが大きくなり、上部鉄筋の歪分布を推定するには至らなかった。原因としては、

- 1) S1の仮定の誤り
- 2) 鉄筋の歪が0に収束するxの仮定の誤り
- 3) 今回用いた実験方法では、2つのコンクリートブロックを完全に平行に保つことは不可能であった。そのため、平行になるよう調整する時に除荷の影響が上部鉄筋に加わった。

の3つが考えられる。しかし、現段階ではデータ不足のため、この原因を究明するには至っていない。

## 5. おわりに

この研究の範囲内で言えることは、

- 1) 供試体の下部に埋め込まれた鉄筋は、材料分離に伴なうブリージング水の付着性状への悪影響を受けにくいため、S.E.C.コンクリートを用いた場合でも常法練りコンクリートを用いた場合でも、ほぼ同程度の付着性状が得られる。
- 2) 供試体の上部に埋め込まれた鉄筋は、材料分離に伴なうブリージング水の付着性状への悪影響を受けやすいが、ブリージング率を1%以内におさえることによって、その付着性状はかなり改善できる。
- 3) 等荷重レベルにおける鉄筋とコンクリートの最大付着応力度は、同一配合のS.E.C.コンクリートと常法練りコンクリートを用いた場合、S.E.C.コンクリートを用いた場合の方が、下部鉄筋で1.0~1.4倍、上部鉄筋で1.2~2.8倍となる。
- 4) 式(2)は、供試体の下部に埋め込まれた鉄筋には適用可能であるが、ブリージング水の影響を受けやすい供試体の上部に埋め込まれた鉄筋に適用するためには、もう少し検討が必要である。

本研究を進めるにあたり、東京大学博士課程周礼良、日本大学博士課程山尾芳秀両氏より多大のご援助を得た。また、本研究は、文部省科学研究費補助金を受けて行った。最後ではありますが、厚くお礼申し上げます。

参考文献 1) 周, 山尾, 岡村: フーチング中に埋め込まれた鉄筋のひずみ分布 (第4回コンクリート工学年次講演会投稿)

表-4 下部鉄筋の係数

Specimen No.	S.E.C.		CONV.	
	C	$Z_2\max$	C	$Z_2\max$
1	4.7	8	4.2	10
2	4.7	12	4.2	15

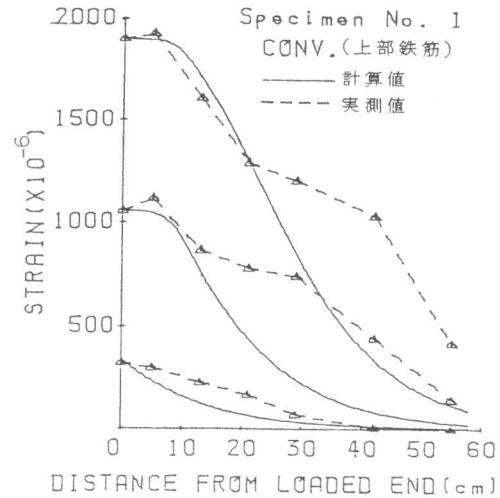


図-8 上部鉄筋のひずみ分布