

## 鉄筋コンクリート構造における鉄筋の付着抵抗機構確認実験

Bond stress between steel bar and concrete in reinforced  
concrete structures

勅使川原正臣<sup>1)</sup>、田才晃<sup>2)</sup>、栴山健二<sup>3)</sup>、楠浩一<sup>2)</sup>、真田靖士<sup>4)</sup>、

Masaomi TESHIGAWARA, Akira TASAI, Kenji KABAYAMA, Koichi KUSUNOKI, Yasushi SANADA,

丸山 一平<sup>1)</sup>、向井智久<sup>5)</sup>、畠中雄一<sup>2)</sup>、鈴木 裕士<sup>6)</sup>

Ippei MARUYAMA, Tomohisa Mukai, Yuichi HATANAKA, and Hiroshi SUZUKI

<sup>1)</sup>名古屋大学      <sup>2)</sup>横浜国立大学      <sup>3)</sup>芝浦工業大学      <sup>4)</sup>豊橋技術科学大学、  
<sup>5)</sup>建築研究所      <sup>6)</sup>原子力機構

鉄筋に作用した引張力がコンクリート中に伝達する「付着応力」の分布を計測した。その結果、歪ゲージで計測するよりも定着長さは短い傾向にあることが分かったが、計測精度を高めるために、試験体に工夫が必要であることがわかった。

キーワード : RESA、鉄筋コンクリート、付着応力

### 1. 目的

鉄筋コンクリートは、鉄筋とコンクリートによって構成される。コンクリートは、引張に対しては耐力が非常に低いが、圧縮に対しては、高い強度を有している。一方、鉄筋は圧縮に対しては容易に座屈するが、引張に対しては塑性域を含めて十分な延性を有している。鉄筋コンクリート構造の性能は、この相補完しあう材料によって達成される。各負担する応力は、鉄筋とコンクリートの付着抵抗機構（接触面での応力伝達機構）によって、伝達される。つまり、付着抵抗機構は、鉄筋コンクリート構造の要である。

これまでは、非常に粗いピッチで貼付されたひずみゲージにより、鉄筋のひずみを計測し、そこから応力を推測する方法が取られていた。従来の方法では、鉄筋の数点に貼付したひずみゲージから、鉄筋のひずみが離散的に分かるだけであった。そのため、鉄筋まわりの応力状態は、推定するしかなかった。また、ひずみゲージを表面に貼付すると、鉄筋の付着性能自体に大きな影響を与えてしまう。

鉄筋の引張存在応力を直接計測することが出来れば、鉄筋まわりの応力状態がより精確に把握することが出来、これまでの耐震設計式の検証が可能となり、建築物の耐震性向上に寄与することが出来る。そのため、鉄筋の存在応力の直接計測が望まれており、それを可能にするのは、中性子応力測定のほかには無い。そこで、本研究の目的は、コンクリート中の鉄筋のひずみ分布およびひずみ変化を中性子回折法により直接計測し、ひずみゲージを貼付して行った実験結果と比較することである。

### 2. 方法

試験体は、図-1に示すように、コンクリート内に埋め込んだD10鉄筋を、センターホールジャッキ（SLP-355、OX ジャッキ製）で引抜くことにより行った。鉄筋は、ロードセルを介して反力の耐圧版に固定するため、チャックを端部に設けた。D10は、付着領域外でひずみゲージによりそのひずみを測定した。中性子回折法による計測値と比較するため、コンクリート内で鉄筋との付着を取り除いた区間（図中区間①）を設け、中性子回折法による計測値とひずみゲージによる計測値の比較を行った。また、

鉄筋の伸びと引抜量を変位計により計測した。

定着部外での鉄筋の降伏、定着部での付着破壊の防止を目標として、図-1 に示す試験体の区間②の長さを決定した。試験体は2体とし、区間②に5 cm おきにひずみゲージ (FLA-2-11-3LT) を2面に貼付した試験体を別に用意し、事前に加力を実施した。

中性子回折法により、鉄筋軸方向の  $\alpha$  Fe(110)の格子ひずみ変化を測定した。中性子線の波長は約 0.16nm であり、このときの 110 回折の回折角  $2\theta$  は約  $46^\circ$  である。ひずみ測定点は、図3に示すように15点とした。鉄筋に導入した応力は、 $30\text{N/mm}^2$ 、 $100\text{N/mm}^2$ 、 $150\text{N/mm}^2$ 、 $200\text{N/mm}^2$ 、 $250\text{N/mm}^2$  の5種類である。各計測点は、計測時間を8分とし、各応力度別に、5回、3回、3回、4回、3回の繰り返し計測を行った。

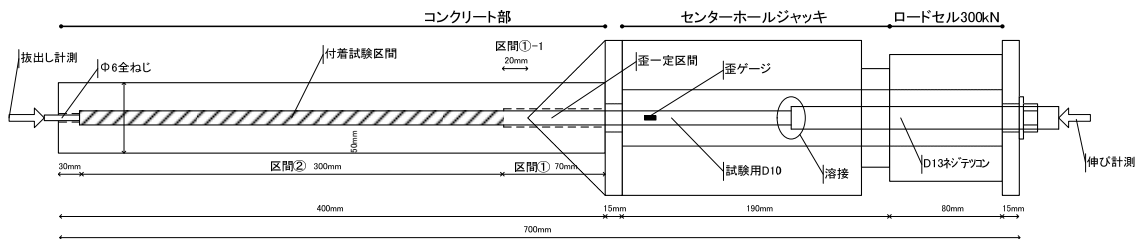


図-1 試験体概要

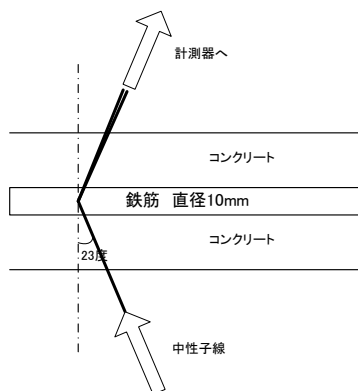


図-2 計測方法

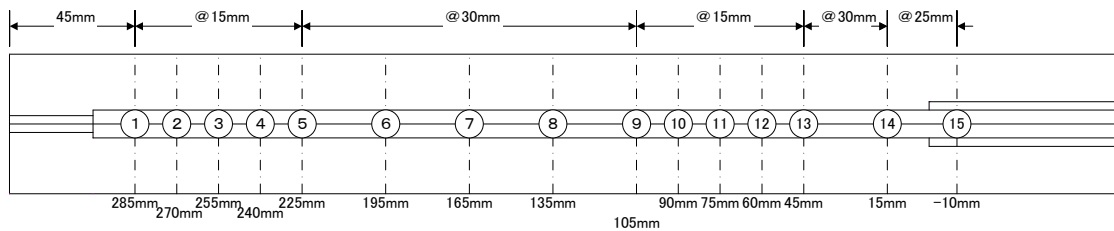


図-3 鉄筋の計測位置

### 3. 研究成果

実験では、図-4 に示すような、回折プロファイルが計測される。しかし、本試験体ではコンクリートによる散乱・吸収の影響が大きいために、図-4 に示すようにバックグラウンドが高いうえに回折ピーク強度も弱い。また、回折プロファイルにノイズの影響が重なるために(図中  $F_0$ )、ピークフィッティング精度が低下する。そこで、Wavelet 変換を用いて、短周期ノイズ成分 ( $G_1$  および  $G_2$ ) を除去した (図中  $F_3$ )。この  $F_3$  に対して、ガウスフィッティングを行い、ピークの  $2\theta$  を算出した。その結果を図-5 に示す。また、式1を用いて求めた弾性ひず

み  $\varepsilon$  に、110 回折のヤング係数  $E (= 2.24 \times 10^5)$  をかけて算出した。ここで、 $2\theta_0$  は、 $30\text{N/mm}^2$  での計測された回折角を用いた。

$$\varepsilon = -\frac{2\theta - 2\theta_0}{2} \frac{1}{\tan(2\theta_0/2)} \quad \text{式 1}$$

図から、ばらつきは大きいものの、左端から 225mm 付近から応力が直線的に増加している傾向が見受けられる。また、端部計測点（左端から 340mm）の応力値はコンクリートによる拘束の影響を受けないため、本来負荷応力と同じになるはずであるが、それよりも半分程度の応力であることが分かる。

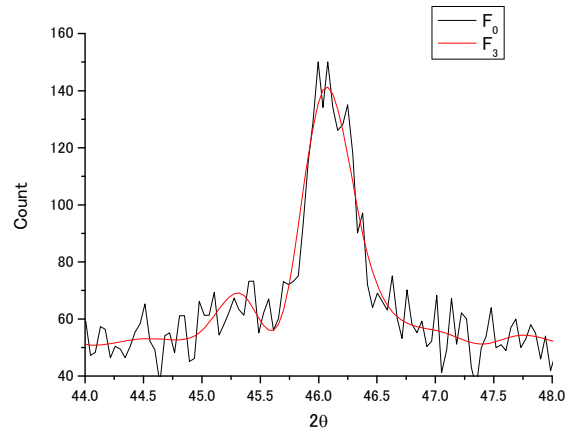


図-4 計測結果の一例

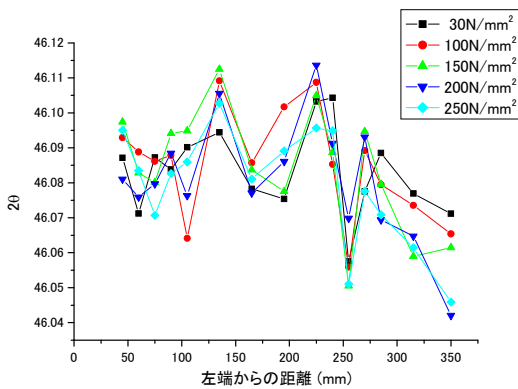


図-5 計測された回折角  $2\theta$  [deg]

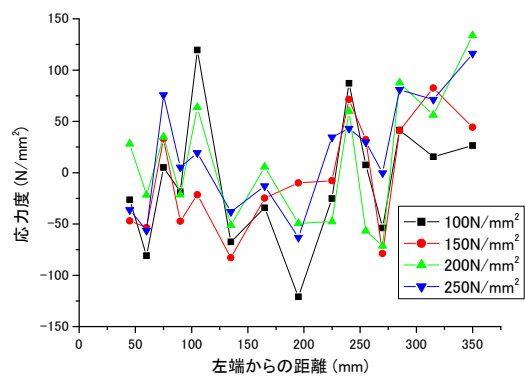


図-6 算出した応力度

#### 4. 結論・考察

図-5 および図-6 に示すように、回折角分布や算出された応力度分布からは、ばらつきの影響が大きく有意な情報を見出しにくい。そこで、表-1 に示すように、各点で計測された全ての回折角  $2\theta$  の平均値と標準偏差を求めた。標準偏差は、左端から 225mm まではおおよそ 0.007 程度となっている。これは、RESA の測定精度程度の誤差と考えられ、逆に言うと引張負荷の影響を受けていないと思われる。一方、図-7 および図-8 に示すように、左端から 225mm 以上では、距離が長くなるに従って標準偏差の値が大きくなっている。平均値についても、図-7 に示すように、225mm の位置から右に行くにしたがって低下している。すなわち、この領域においては、引張負荷の影響を受けていると考えられる。これらのことから、鉄筋の負荷する応力は、弾性の範囲では定着長さ 105mm の範囲のみで負担していると考えられるこのときの平均付着応力度は、

$$\tau = \frac{250 \text{ N/mm}^2 \times 71 \text{ mm}^2}{30 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}} = 5.6 \text{ N/mm}^2$$

となる。一方、図-9 に事前加力で計測されたひずみ分布を示す。ひずみゲージのリード線は、主筋に沿って、試験体のセンターホールジャッキと逆端から取り出した。図-9 から、ひずみゲージで計測した場合、図-7 および図-8 の傾向と異なって、より長い範囲の鉄筋が引張り応力を負担していることが分かる。これは、リード線による鉄筋の付着低下の影響と考えられる。

表-1 各応力度での、各位置での計測された  $2\theta$  [deg]

位置	30 N/mm <sup>2</sup>	100 N/mm <sup>2</sup>	150 N/mm <sup>2</sup>	200 N/mm <sup>2</sup>	250 N/mm <sup>2</sup>	平均値	標準偏差
45	46.0871333	46.0929000	46.0973733	46.0810160	46.0950033	46.09069	0.006603
60	46.0712017	46.0888300	46.0828633	46.0759080	46.0835000	46.08046	0.006919
75	46.0872433	46.0861633	46.0800933	46.0796620	46.0707300	46.08078	0.006586
90	46.0837917	46.0878733	46.0941000	46.0884760	46.0826367	46.08738	0.004527
105	46.0901867	46.0641600	46.0948700	46.0763260	46.0859667	46.0823	0.012231
135	46.094444	46.1091567	46.1124933	46.1055820	46.1027533	46.10489	0.006895
165	46.078268	46.0857200	46.0836933	46.0770620	46.0810933	46.08117	0.003618
195	46.075352	46.1016833	46.0775333	46.0861160	46.0891133	46.08596	0.010497
225	46.103226	46.1087233	46.1049567	46.1136160	46.0956833	46.10524	0.006666
240	46.10428	46.0852967	46.0887300	46.0912420	46.0948867	46.09289	0.00727
255	46.057536	46.0559133	46.0505067	46.0698520	46.0510533	46.05697	0.007813
270	46.077504	46.0892300	46.0946667	46.0930500	46.0775800	46.08641	0.008329
285	46.088498	46.0794800	46.0795800	46.0694140	46.0708733	46.07757	0.007721
315	46.076934	46.0735800	46.0589900	46.0647140	46.0614200	46.06713	0.007785
350	46.071154	46.0653967	46.0614933	46.0420560	46.0458933	46.0572	0.012625

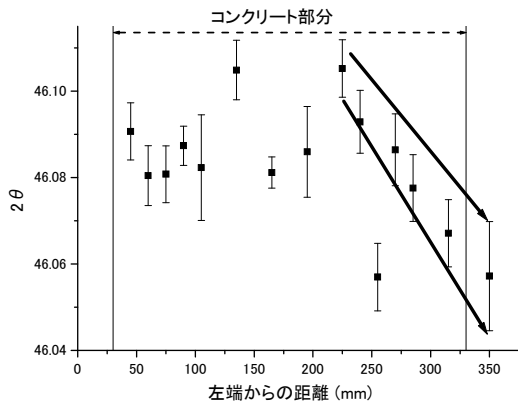


図-7 各点での  $2\theta$  の平均値と標準偏差 [deg]

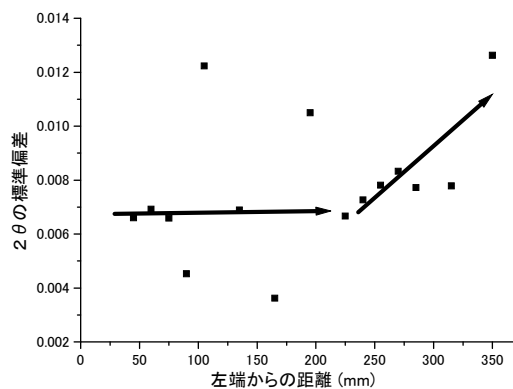


図-8 各点での  $2\theta$  の標準偏差 [deg]

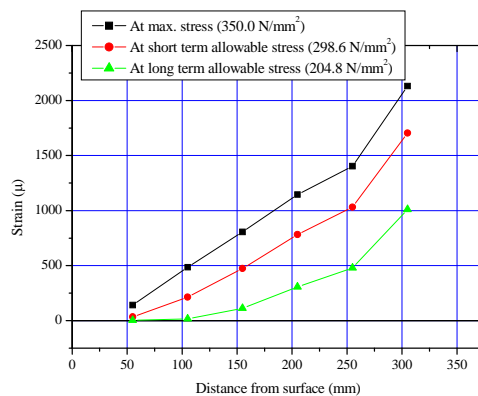


図-9 事前加力で計測されたひずみ

以上のように、コンクリート内の鉄筋の付着応力分布は、その傾向は把握できたものの、計測精度自体に問題があることが分かった。今後、供試体についても改良が必要である。

#### 5. 引用(参照)文献等