

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¹⁾、田才晃²⁾、椋山健二³⁾、楠浩一²⁾、真田靖士⁴⁾、

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

丸山 一平¹⁾、向井智久⁵⁾、畠中雄一²⁾、鈴木 裕士⁶⁾

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

¹⁾名古屋大学 ²⁾横浜国立大学 ³⁾芝浦工業大学 ⁴⁾豊橋技術科学大学、

⁵⁾建築研究所 ⁶⁾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。試験体の作製においては、コンクリートを中性化後に絶乾状態にすることが有効であることが分かった。また、鉄筋の定着長さは、D10ではおよそ75mmと、一般的に予測されている定着長さよりも短いことが分かった。

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。昨年度実施した RESA による実験結果では、中性子の透過強度が低く、十分な精度を持って計測できなかったため、今回は、試験体の養生方法を変えて実験を試みた。

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。

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の長さを決定した。試験体は2体とし、区間に5cm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Fe(110)の格子ひずみ変化を測定した。中性子線の回折角 2θ は約 56° である。ひずみ測定点は、図3に示すように、付着なし区間10mmと、付着あり区間250mmの計260mmを、1mm刻みで計測した。鉄筋に導入した応力は、 0N/mm^2 、 200N/mm^2 の2種類である。各計測点は、計測時間を10分とした。

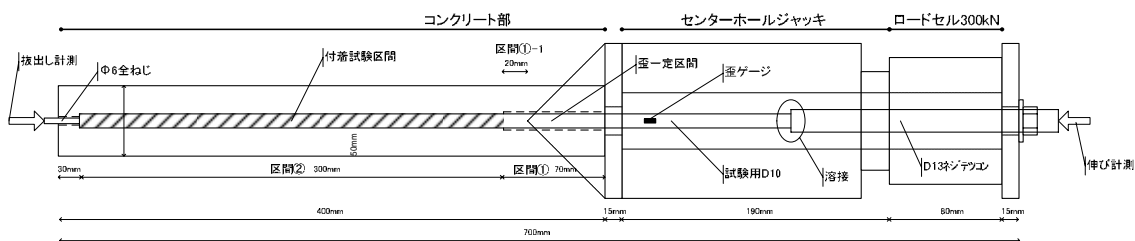


図-1 試験体概要

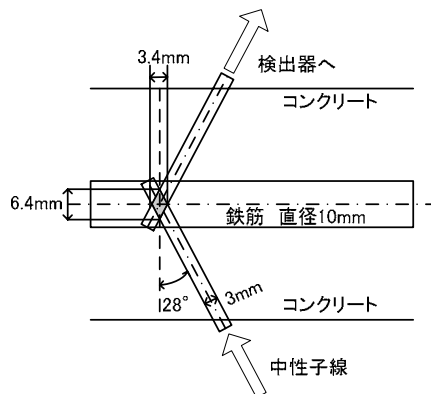


図-2 計測方法

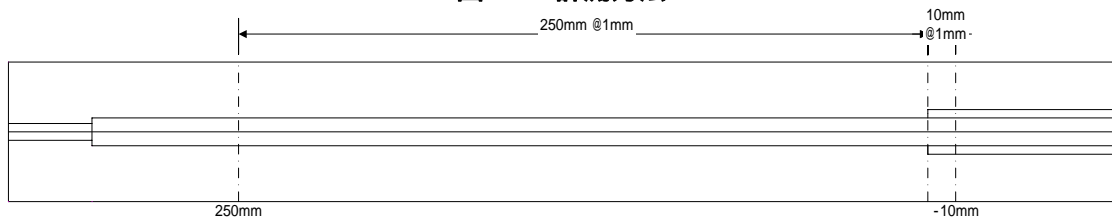


図 3 鉄筋の計測位置

3. 研究成果

実験に先立ち、昨年度用意した試験体を、それぞれ異なる養生を行った後に、中性子の透過強度を計測した。

試験体は、次の4つの方法で養生を行った。

- a) 試験体を2007年11月15日より2008年7月15日まで中性化試験室（気温20度、湿度60%）に保管し、その後2008年7月22日まで絶乾炉に移動し、2008年7月25日まで

恒温恒湿炉（気温 20 度、湿度 60%）に保管したものの

- b) エラー！参照元が見つかりません。章で用いた試験体を、大気中で放置したものの
- c) 試験体を 2007 年 11 月 15 日より 2008 年 7 月 15 日まで中性化試験室（気温 20 度、湿度 60%）に保管し、その後 2008 年 7 月 25 日まで恒温恒湿炉（気温 20 度、湿度 60%）に保管したものの
- d) 試験体を 2007 年 11 月 15 日より 2008 年 7 月 25 日まで恒温恒湿炉（気温 20 度、湿度 60%）に保管したものの

図 - 4 に、各試験体の透過強度を示す。図から、養生方法 a) の試験体は、他の試験体に比べて、5 倍以上の透過強度があることが分かる。また、養生方法 b) ~ d) では、透過強度に大きな差はなかった。よって、試験体は中性化後、絶乾状態にすることが良いといえる。

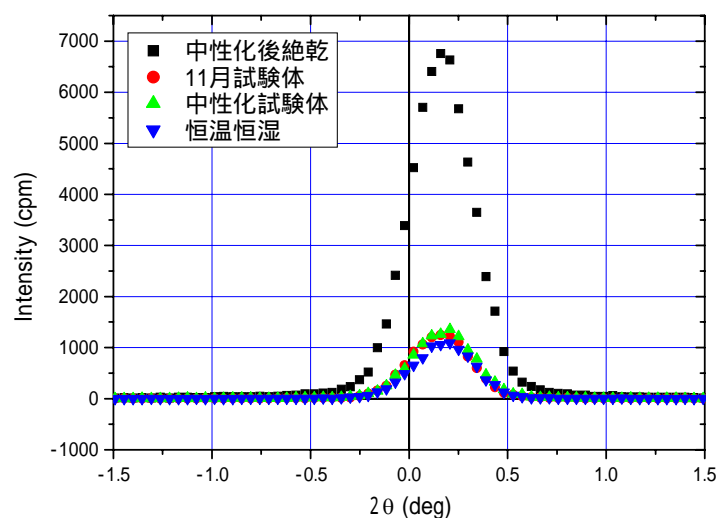


図 - 4 試験体の養生の方法と透過強度の関係

以上の結果から、応力を導入して計測する試験体は、養生方法 a) を用いた絶乾試験体とした。

図 - 5 に RESA による計測結果の一例を示す。ピークの値は高く、また相対的にバックグラウンドも低い。その為、Wavelet 変換等を用いなくとも十分な精度を有していると判断して、全ての点での計測結果を直接 Gauss 分布に近似して、ピークでの 2θ を計測した。

式 1 から、鉄筋の弾性ひずみ分が計算される。ここで、 $2\theta_0$ は無負荷時の回折ピーク強度での回折角である。また、式 1 を用いて求めた弾性ひずみに、110 回折のヤング係数 $E (= 2.25 \times 10^5)$ をかけて算出した応力をエラー！参照元が見つかりません。に示す。ここで、 $2\theta_0$ は、 $0N/mm^2$ で付着なし領域で計測された 3 点の回折角（59.083 度、59.089 度、59.081 度）の平均値 59.08433 度を用いた。

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

式 1

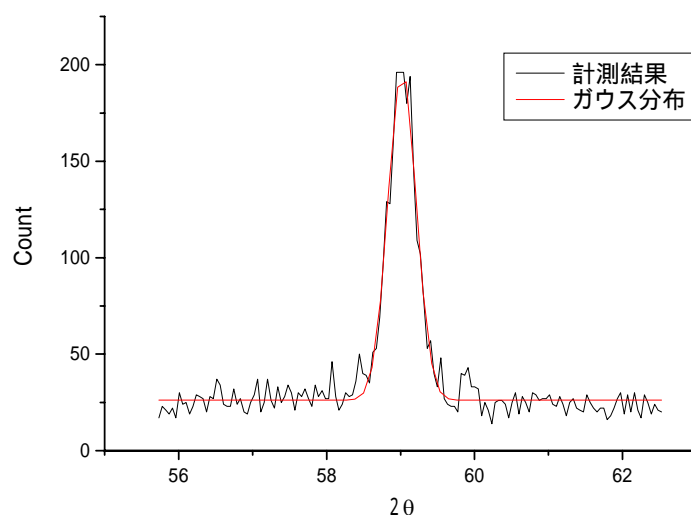


図 - 5 計測結果の一例

図 - 6 に、RESA で計測中に間隔 1 分間でインターバル測定した導入応力の推移を示す。205.876N/mm²の導入力で計測をスタートしたが、クリープにより導入力は低下し、最終的には 154.407N/mm²となった。

図 - 7 および図 - 8 にそれぞれ、200N/mm²および 0N/mm²での計測結果から求めた各地点での鉄筋の応力を示す。図中には、観測されたひび割れ図も併せて示している。鉄筋の付着域で鉄筋の応力が低下していることが分かる。また、40N/mm²程度の幅のふらつきがあることも分かる。

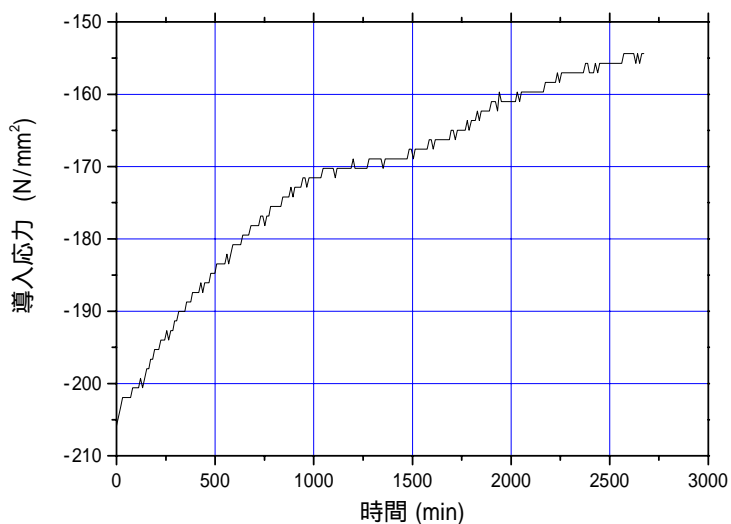


図 - 6 ロードセルによる応力度の推移

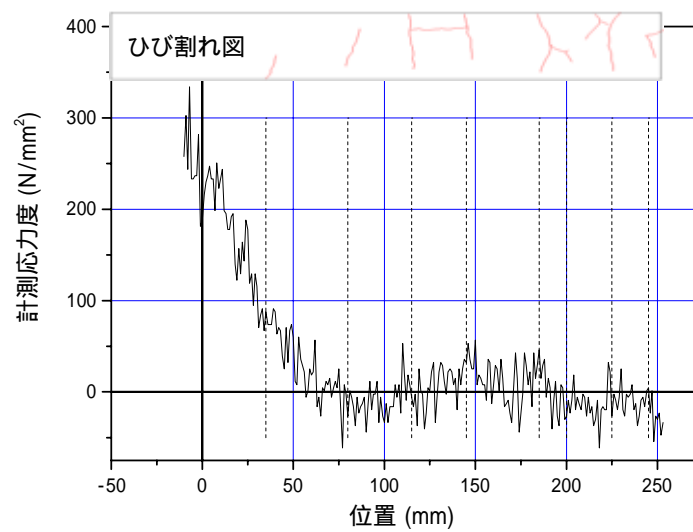


図 - 7 算出した応力度 (200N/mm²)

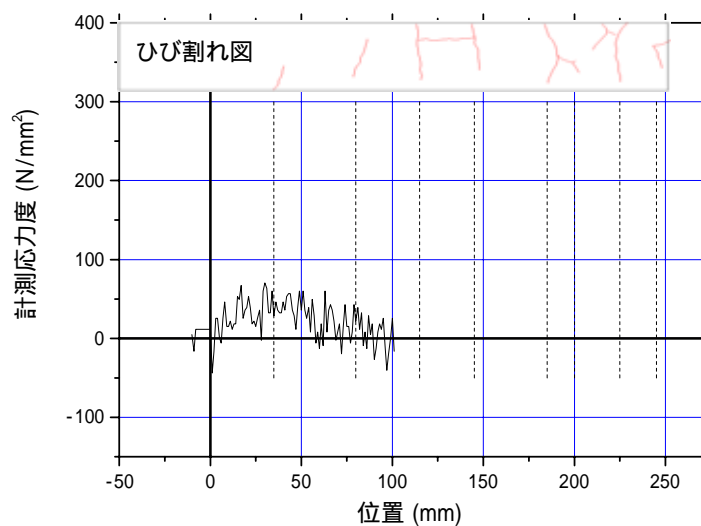


図 - 8 算出した応力度 (0N/mm²)

4. 結論・考察

計測結果から、40N/mm²程度の幅のふらつきを分離して定着長さの傾向を検討するために、計測結果のWavelet変換を試みた。変換では、1mm刻みの計測応力を1sec刻みの時刻歴データと考慮して、Wavelet変換を適用した。観測記録から $g_1 \sim g_3$ 成分 ($T=2 \sim 16$ mm)を除去したF3を図-9に示す。定着長さは75mmであったことが分かる。また、一部圧縮応力が作用しているところがあるが、これは、乾燥収縮の影響と思われる。また、ひび割れ図との比較から、ひび割れ近傍で応力が低下しており、ひび割れ部で応力が解放されていることが分かる。

g_1 、 g_2 、 g_3 成分および g_1 成分と g_2 成分の和を図-10に示す。図から、40N/mm²程度の幅のふらつき部分に有意な周期性は認められなかった。

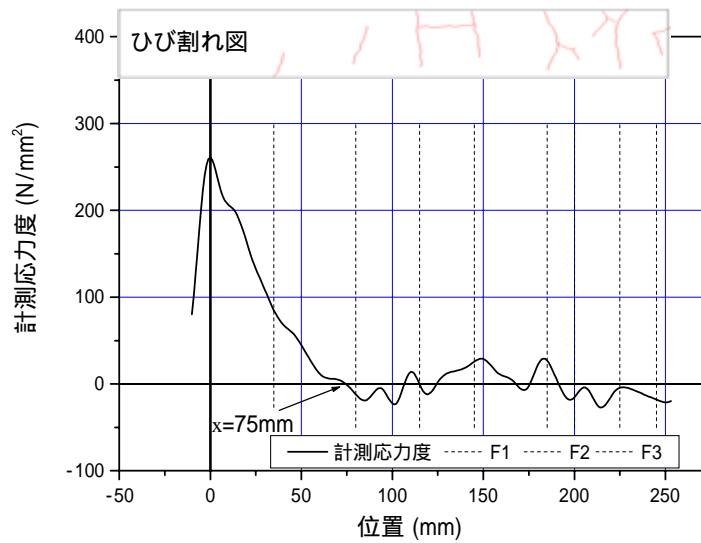


図 - 9 計測された応力とひび割れの関係 (F3 成分のみ)

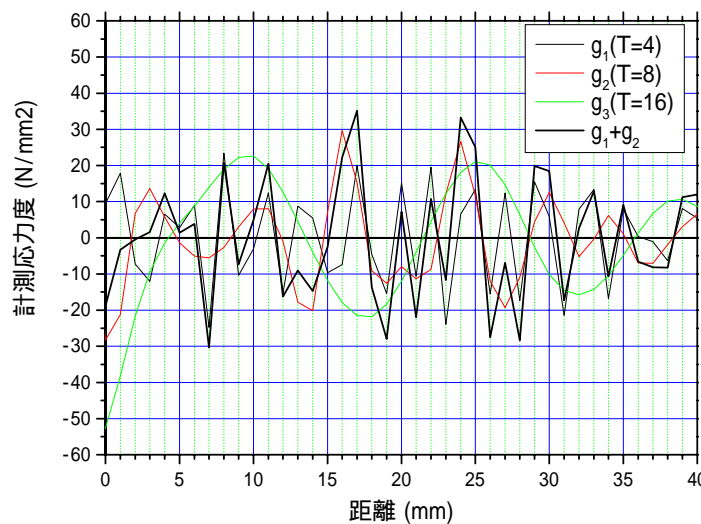


図 - 10 g_1 、 g_2 、 g_3 成分

以上のように、絶乾にした試験体を用いた鉄筋の応力計測から、主筋の応力が 205.876 N/mm^2 では定着長が 75 mm であることが分かった。D10 の公称断面積が 71 mm^2 、周長が 30 mm であることから、鉄筋の付着応力度 τ は、

$$\tau = \frac{205.876 \text{ N/mm}^2 \times 71 \text{ mm}^2}{30 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}} = 6.50 \text{ N/mm}^2$$

であることが分かった。

5. 引用(参照)文献等