

X 線を使用したセグメントの鉄筋応力測定に関する要素試験（その 1） ～セグメントの鉄筋の応力測定～

東京電力パワーグリッド(株) 正会員 吉本正浩, 非会員 小椋明仁, 正会員○尾崎 潤
東電設計(株) 正会員 阿南健一
パルステック工業(株) 非会員 野末秀和

1. はじめに

近年、シールドトンネルにおいて、荷重の変動や鉄筋の腐食に伴う耐荷性能の低下や補強などの対策の報告が見られるようになっている¹⁾。

既設構造物を効果的に補強するためには、現状の応力状態などを精度良く評価することが重要となる。応力状態の計測方法として、鉄筋にひずみゲージを貼り付けてから切断し、ひずみの変動量を計測する「応力解放法」が挙げられる²⁾。しかし、応力解放法は、鉄筋を切断するため鉄筋の発生応力度が大きい場合、既設構造物の健全性に影響を与えることになり、適用に制約を受ける。

これに対して、近年、鋼材の応力測定方法として適用が広がっている X 線を用いた応力測定方法の適用が考えられた。しかし、X 線を用いた応力測定方法は、鋼板などが主な対象であり、セグメントに使用されている D13 など小さい径への適用性や精度が不明であった。このため、X 線による応力測定方法をセグメントの鉄筋に適用することを目的として、室内の要素試験を行った。

2. 試験方法

2.1 試験供試体

(1) 試験ケース

試験材料は既設のセグメントに使用されている鉄筋径および材料を参考に以下の 2 ケースを設定し各 3 本の供試体に対して実施した。

ケース 1：鉄筋径 $\phi 13$ (丸鋼), 材料 SR235

ケース 2：鉄筋径 D13 (異形鉄筋), 材料 SD295

(2) 供試体の作成

載荷試験装置への設置を考慮し、長さ 100cm の鉄筋を供試体とした。供試体中央付近の X 線による計測位置には、鉄筋表面の防錆材（黒皮）を除去するため、数 cm の範囲の電解研磨を実施する。また、計測結果の確認などのため、X 線の計測位置の近傍にひずみゲージを設置し計測を行った。

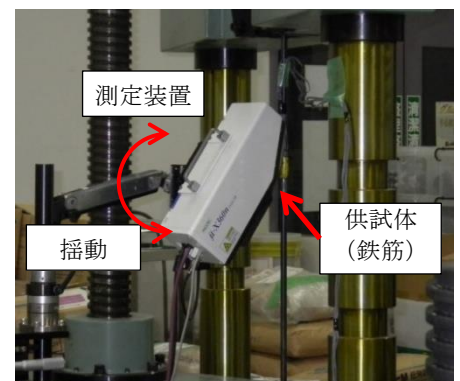


図 1 X 線による鉄筋応力の測定状況

2.2 X 線による応力測定装置について

本検討で用いた X 線による応力測定装置は以下となっている（図 1 参照）。

- ・試験機：[μ-X360 \(パルステック工業\(株\)製\)](#)
- ・測定手法： $\cos\alpha$ 法
- ・計測方法：揺動なし（計測装置固定，X 線露光 17 秒），揺動あり（揺動角 ± 5 度，X 線露光：39 秒）

2.3 試験方法

鉄筋の引張り試験機に供試体を設置し、X 線による応力測定装置を設置した後に、鉄筋の載荷試験を開始する。載荷荷重およびひずみゲージの計測値は、試験時にデータロガーにより連続して記録した。一方、X 線による応力測定は、1 回の計測につき、90 秒程度を要することから、載荷荷重 0 から降伏応力度程度までの所定の計測荷重にて、適宜荷重を保持させて計測を行った。

キーワード：セグメント，鉄筋，X 線応力測定法，非破壊測定

連絡先：〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3

東京電力パワーグリッド(株) 工務部 TEL 03-6373-1111

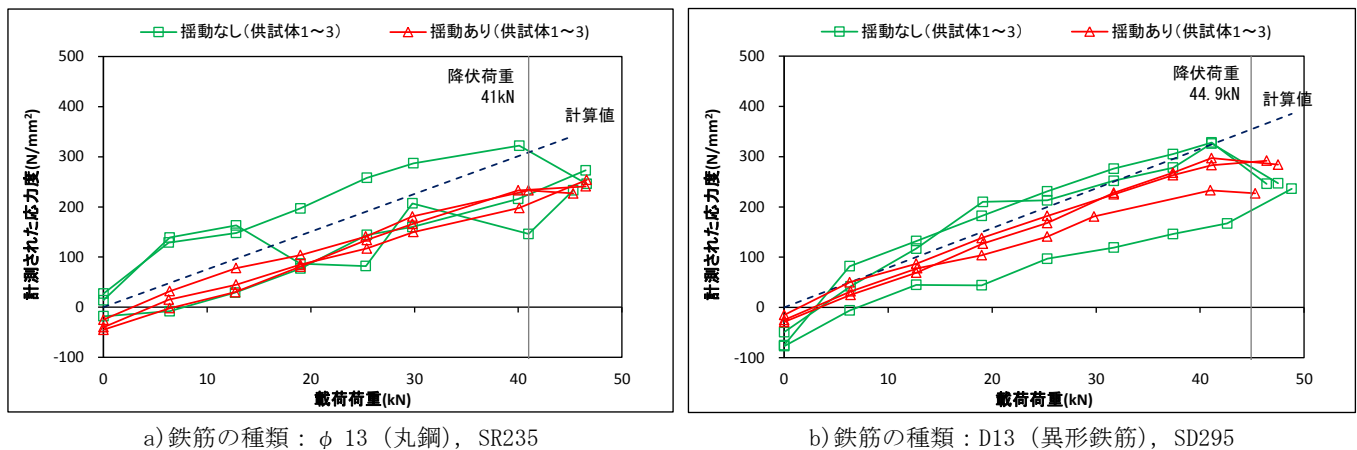


図2 鉄筋の引張り試験のX線による測定結果

cos α 法の特徴は、X線を単一入射により測定する。計測は、計測装置を固定して設置し、計測対象箇所に対して特定の照査角度で行う。しかし、計測対象の結晶構造によっては、特定の照査角度の計測では十分な精度が得られない場合があり、測定点を中心に計測装置を揺動させて計測する方法も実用化されている。この、揺動ありの計測は、計測装置が可動するため、揺動なしの場合より必要なはつり範囲が若干大きくなる。今回の試験は、揺動の有無の2種類の計測を行い、両者の精度の差異を確認した。

3. 試験結果

試験の結果を載荷荷重と応力度の関係として整理したのが図2である。グラフ中に示している計算値は、精度確認の基準値であり、載荷荷重を鉄筋の有効断面積で除した値である。また、降伏応力度は、ひずみゲージによる計測結果から得られた値である。これより、以下のような結果が得られた。

・計測方法による比較

計測装置の揺動の有無を比較すると、揺動なしは大きくばらつき（-68%～+190%）、揺動ありは載荷荷重と応力度にばらつきが少なく（-41%～0%）良好な線形関係が見られる。はつり範囲が若干増えるが、高い計測精度を得るためには、計測は揺動ありとして計測することが必要と考えられる。

・計測値について

計測精度が高い揺動ありの結果を参照すると、計算値に対して同等から若干小さい値となる傾向が見られる。X線による計測は、計測対象の表面の結晶構造に影響を受ける。このため、鉄筋製造時に鉄筋が冷却される過程で、鉄筋表面に若干の圧縮応力度が作用していることなどが原因と推測される。

4. おわりに

本検討の要素試験から、以下の結果が得られた。

- ・X線による応力測定を行う場合、はつり範囲が若干大きくなるが、計測装置を揺動させた計測を行うことで、精度の高い計測結果が得られる。
- ・X線による測定により載荷荷重と計測応力度の関係をほぼ線形関係で得ることができた。しかし、製造時の影響や材料のばらつきなどから、発生応力度に対して、若干小さい値となる傾向が見られる。

これより、計測される応力度に多少の誤差は生じるが、X線による方法は、鉄筋コンクリート部材に使用されている鉄筋種類（径および材料）に対する応力測定方法として適用可能と考えられる。

一方、既設のセグメントへの適用には、曲げ加工に伴う残留ひずみや降伏後の計測への適用性なども検討する必要があることから、「その2」として別途報告する。

[参考文献] 1)岡滋晃ら：シールドトンネルの鉄筋残存量の評価と補強設計に関する研究，土木学会第26回トンネル工学研究発表会，2016． 2)Koichi Maekawa et al.:Mechanism of Long-Term Excessive Deformation and Delayed Shear Failure of Underground RC Box Culverts Journal of Advanced Concrete Technology, volume 14(2016)