

X線回折法による球状黒鉛鑄鉄の応力測定に関する要素試験

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

1. はじめに

既設構造物の健全性を評価する場合、現状の応力状態を精度よく把握する必要がある。従来、鋼材の応力度の測定には、鋼材の切断を伴う応力解放法が多く用いられてきた。一方、近年、X線回折法による測定器が小型化され、既設の土木構造での現場計測が可能となっている。X線回折法の計測可否や精度は、材料の金属結晶粒の状態に影響を受ける。これまでに、筆者らは、鉄筋コンクリート構造の鉄筋の応力度測定への適用性を評価するため、鉄筋を対象とした要素試験を実施し、計測可能であることを確認した¹⁾。

本検討では、セグメントなどの材料として用いられている球状黒鉛鑄鉄について、X線回折法による応力度測定の可否や精度についての要素試験結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 X線回折法の計測装置

本検討のX線回折法の計測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)、揺動あり(揺動角 ± 5 度)

2.2 試験の種類と方法

(1) 事前計測

X線回折法の計測は、金属表面の数 μm の厚さが対象となる。このため、既設構造の計測では、塗装や表面さびなどを除去し、表面を露出させる必要がある。一方で、金属材料は、切削などの除去加工を行うと、表面付近に加工応力が付加される。この状態で、X線回折法の計測を行うと、加工付加応力の影響を受け、目的としている部材の応力度が得られない。加工付加応力を与えずに供試体を研磨する方法として、電解研磨と呼ばれる手法がある。この手法は供試体に微弱電流を流し、計測箇所を溶解させる方法である。本検討では、電解研磨深さを0,50,100,150 μm と段階的に変えて計測を行い、材料の計測可否や切削による加工付加応力が見られなくなる研磨深さを検討した。なお、電解研磨の条件は研磨深さ50 μm あたり、通電量0.5A、研磨時間2.5分であった。

(2) 2点载荷曲げ試験

発生応力度に対する計測精度の試験として、金属材料などで多く実施されている2点载荷曲げ試験を実施した。2点载荷曲げ試験は、図2のように、供試体にひずみゲージを設置して载荷し、ひずみゲージの設置面とは逆の面でX線回折法による応力度計測を行う。载荷を行うと、供試体中央付近の両面には、圧縮と引張りの方向は逆だが、絶対値は同じ応力度が発生する。そこで、両者の応力度を比較し、X線回折法の計測精度について検討した。

2.3 試験供試体

試験は、以下の材料を使用した。

- ・材料の種類：球状黒鉛鑄鉄 FCD450



図1 計測装置および载荷試験機

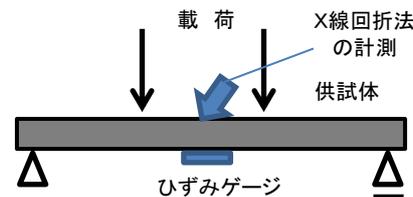


図2 2点载荷曲げ試験の概要

キーワード：X線回折法, 球状黒鉛鑄鉄, セグメント, 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

- ・ 供試体寸法：150mm×15mm×3mm
- ・ 供試体の加工方法：フライス盤により所定の寸法に加工
- ・ 供試体数量：3 供試体

3. 試験結果

(1) 事前計測の結果

既往の検討¹⁾では X 線回折法による鉄筋の応力度測定において、揺動法を用いることで精度が向上することが確認された。本検討においても事前に精度への影響を確認したところ、揺動法を用いない場合は回折 X 線の強度が小さく、ばらつきも大きいため、評価には適さない結果であった。このため球状黒鉛铸铁の測定には揺動法を用いる必要があると評価し以降の計測には揺動法を用いた。

研磨深さを変化させての計測は、供試体を載荷しない状態（無応力）で3回計測し、平均値を算出した。応力度および半価幅²⁾の計測結果を図3に示す。なお、半価幅とは、回折プロファイルがピーク値に対して半分の値になる幅を示しており、結晶に不均一なひずみが生じると値が上昇することが知られている。

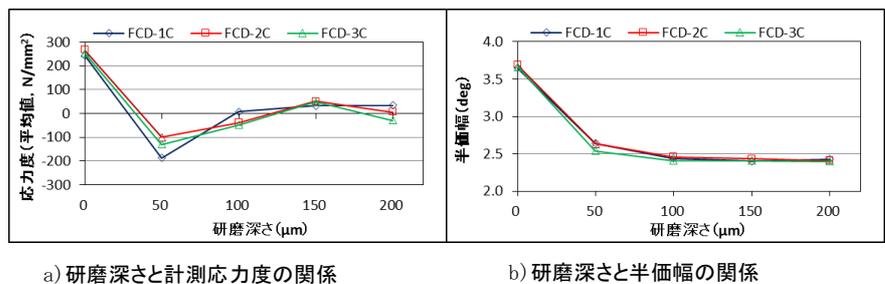


図3 研磨深さを変えた計測結果

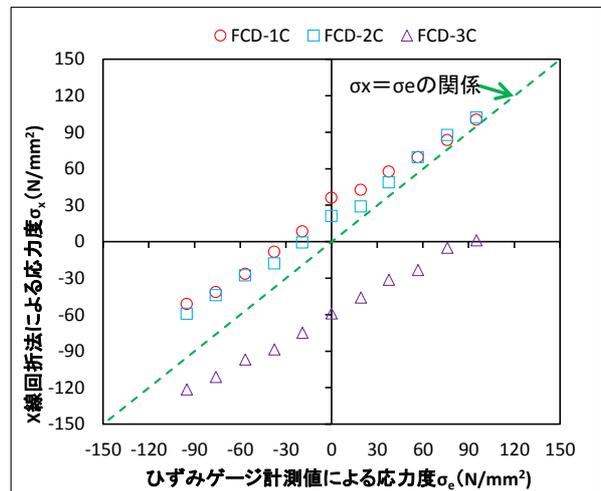


図4 2点載荷曲げ試験のひずみゲージの計測結果と X 線回折法による計測結果の関係

計測された応力度は研磨前（深さ0μm）で250N/mm²程度の引張り応力、研磨深さが50μmになると100～200N/mm²の圧縮応力となった。研磨深さが100μmとなると応力度は0N/mm²に近づき、200μmで0N/mm²前後の応力度となった。半価幅については、表面付近では3.6°の値で、研磨すると2.5°程度の値に収束する傾向が見られる。これより、表面付近にフライス盤による大きな加工付加応力が残留していることが確認できる。現場計測で使用するベルトサンダーなどは、フライス盤に比べて加工付加応力は小さいと考えられ、深さ200μm程度の研磨により、加工付加応力を除去した応力度の計測が可能と考えられる。

(2) 2点載荷曲げ試験の結果

2点載荷曲げ試験のひずみゲージの計測結果と X 線回折法による計測結果の関係を図4に示す。ここで、ひずみゲージによる計測結果は、球状黒鉛铸铁のヤング係数を176kN/mm²として応力度に換算した。この結果、3ケースのうち2ケースは、ひずみゲージと X 線回折法の各計測値が同程度となっている。一方、1ケースの結果は、線形関係ではあるが、ひずみゲージの結果に対して、X 線回折法は小さい値を示す傾向にある。これは、計測場所の球状黒鉛铸铁の結晶状態によるばらつきの影響が考えられる。

4. おわりに

球状黒鉛铸铁に対する X 線回折法による応力度測定の結果は以下となる。

- ・ 揺動法を用いた計測により、電解研磨した球状黒鉛铸铁に対しても X 線回折法による応力度測定が可能。
- ・ 表面の錆等をベルトサンダー等で除去する際の加工付加応力は深さ200μm程度の電解研磨で除去できる。
- ・ X 線回折法により測定された応力度は、ひずみゲージで計測された応力度と良好な線形関係となる。ただし、金属結晶粒の状態などにより、応力度に誤差を生じて計測される可能性がある。

以上から、球状黒鉛铸铁に対しても X 線回折法による応力度測定は可能と判断される。ただし、結晶状態によって誤差を生じる可能性もあるため、現場計測では計測箇所数を増やすなどの対策が必要と考えられる。

[参考文献] 1) 尾崎潤ら：RC セグメントの鉄筋応力計測への X 線回折法の適用に関する要素試験，トンネル工学報告集 第26巻 II-8，2017.11. 2) 日本材料学会：X 線応力測定法，養賢堂，1966.