

サンプリングモアレカメラによる金属材料の疲労破断兆候の把握

実使用環境でのカメラ画像による疲労破断評価を目指して

Grasping signs of a fatigue fracture in metallic materials using a Sampling Moire Camera

Aiming to evaluate fatigue failure on site using camera images

(エネルギー応用研究所 ネットワークG 配電T)

本取り組みは、これまで困難であった金属材料の疲労破断評価を可能にするための検討であり、応力が加わった際の金属材料の変位を測定することで、疲労破断兆候の把握に成功した。

(Distribution Team, Network Group, Energy and Applications Research & Development Center)

This approach aims to enable the evaluation of fatigue fractures in metallic materials, which is something that has been difficult to do so far. We measured the displacement of metallic materials when a stress was applied, and succeeded in grasping signs of a fatigue fracture.

1 検討の背景

金属材料については、配管や構造物等の電力設備に大量に用いられており、過去より応力が繰り返し加わる(以下、「繰り返し応力」という。)ことによる金属疲労が起因の不具合事象が多数報告されている。金属材料の劣化は、主に「錆腐食」と「金属疲労」に大別される。錆腐食は表面の腐食状態を監視することで劣化傾向を把握できるものの、金属疲労は目視での把握が困難である。

金属疲労の評価は、対象のひずみを測定することが一般的であり、従来手法には対象を加工し測定する方法やひずみゲージ等を取付けし測定する方法がある。しかし、対象を加工する必要があるとともに、装置の制約から金属材料の実使用環境での測定が困難な場合もあることから、より簡便に金属疲労を評価できる手法が望まれている。

金属材料に応力が繰り返し加わり、繰り返し数が一定回数以上となると亀裂が発生(変形)する。さらに応力が繰り返し加わると亀裂が徐々に進展し、変形量が大きくなり破断に至る。よって、金属疲労により破断(以下、「疲労破断」という。)に至る際の変形量(以下、「変位」という。)を評価することで、疲労破断の兆候を把握できる可能性がある。今回、簡便に実施可能な変位測定技術としてサンプリングモアレカメラ(以下、「モアレカメラ」という。)に着目し、配電設備の中で疲労破断が確認されている装柱用の金属製バンドに対し、変位を測定することで疲労破断の兆候を把握することができるか検証を行った。

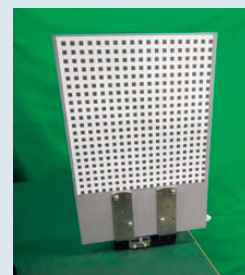
2 モアレカメラによる変位測定

モアレカメラ(第1図(1))は、サンプリングモアレ法を用いた1台のカメラで対象を撮影することで、変位を多点同時測定できる装置であり、橋脚等の構造物の診断に関して検証が行われている。変位を測定する箇所に格子が印刷されたシール(第1図(2))を貼り付けしカメラで撮影することで、遠隔・非接触で動的な変位を測定することができる。ここで、モアレとは、規則正しい繰り返し模様の周期がずれることで視覚的に発生する縞模様

のことである。モアレカメラでは、対象に張り付けた格子模様とカメラ内に持つ参照格子を重ね合わせることでモアレを発生させている。対象が応力により変形すると、張り付けた格子模様も変化し、発生するモアレも変化する(第2図)。発生したモアレの濃淡の変化から、位相の変化を算出し、対象の変位に変換することができる。

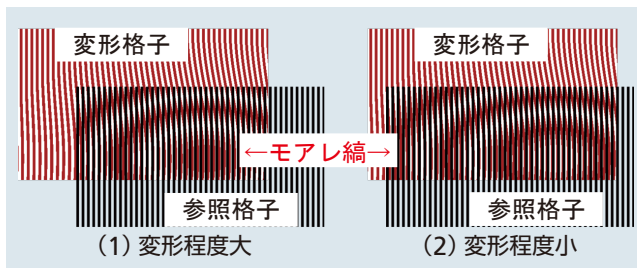


(1) モアレカメラ



(2) 格子ターゲット
(10mmピッチ)

第1図 モアレカメラおよびターゲット



第2図 格子が変化した際のモアレイメージ

3 変位測定による金属材料の疲労破断兆候の把握

3.1 検証モデル

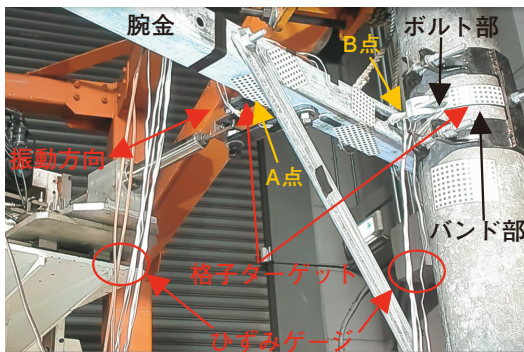
本検証では、配電設備で使用される金属材料の内、破断事例が報告されている可変型Uバンド(電線や変圧器等を電柱に取付する際に使用する金属製のバンド(第3図))を試料として用いた。第3図より、可変型Uバンドはボルト部での疲労破断が報告されており、本検証ではボルト部の疲労破断を再現し、破断に至るまでの兆候を把握することを目標とした。

検証モデルは第4図に示すとおりであり、試験用の電

柱に長さ1,500mmの腕金を可変型Uバンドで固定し、腕金に電線による不平均張力を想定した繰り返し応力を加振試験機で与えた。与える振動の周期は約1 Hz、荷重は約2,500Nで試験を行った。また、モアレカメラで変位を測定するにあたり、ボルトは面積が小さく直接格子ターゲットの貼付けが困難であるため、腕金やバンド部に格子ターゲットを貼り付けし、それぞれの変位を測定した。今回、変位測定に加え、ボルト部やバンド部にひずみゲージを取付けし応力測定した他、試験中の動画から各部の挙動を確認した。



第3図 装柱例と可変型Uバンドの破断例



第4図 加振試験状況

3.2 変位による疲労破断兆候

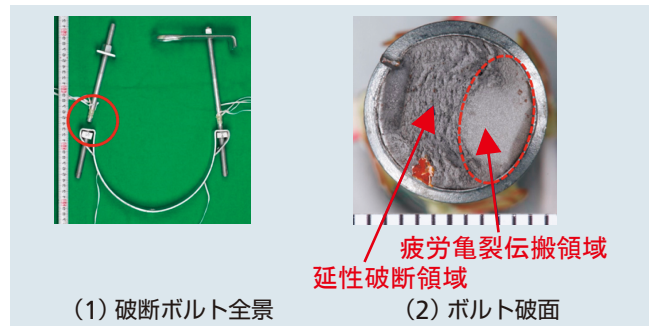
検証の結果、可変型Uバンドのボルトはバンド部端部付近で破断した（第5図）。これは、過去報告されているボルト破断事例と同様の位置であるとともに、第5図に示すようにボルト破面に亀裂伝搬領域が確認されていることから、破断事例のボルト疲労破断を再現できていることが分かる。

第6図に、腕金の振動サイクル数に対する腕金下面（第4図A点）の変位および破断ボルト（第4図B点）のひずみ振幅の測定結果を示す。同図より、腕金の変位は、サイクル数が152千回までは変位の最大値と最小値がほぼ一定（変位2.6mm～6.2mm）で振動しているのに対し、152千回を超えると変位の最大値と最小値が増加し始め、155千回を超えると著しく大きくなり（変位5.9mm～12.2mm）破断に至ることが分かる。これは、ボルトに亀裂が入り徐々に進展することで、腕金の可動域が大き

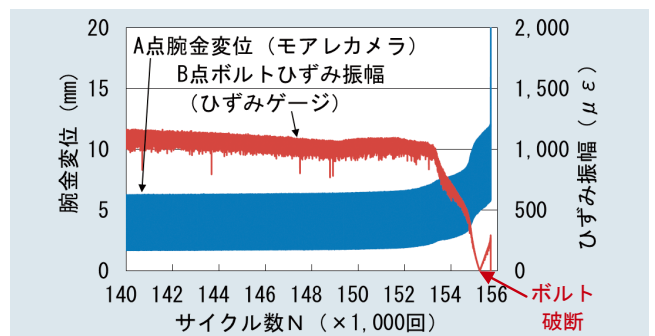
くなったためである。

一方、ボルトのひずみ振幅については、サイクル数が145千回まではほぼ一定値（約 $1,100 \mu\epsilon$ ）であるのに対し、145千回以降徐々に低下し、153千回以降著しく低下し破断に至っていることが分かる。これは、ボルトの亀裂の発生および進展に伴い応力が解放されたためである。

以上より、モアレカメラで腕金の変位を測定した場合とひずみゲージでボルトのひずみ振幅を測定した場合のいずれも、ボルトが疲労破断する直前（サイクル数約152千回以降）において特徴的な変化を示すことが分かった。また、ひずみゲージ等で直接ボルトのひずみを評価する他に、モアレカメラで対象の変位を測定することにより、非接触で破断兆候を評価可能であることが明らかになった。一方、腕金変位の変化量が最大でも6mm程度と小さいため、加振試験の動画からは疲労破断の兆候の目視での把握はできなかった。



第5図 加振試験により破断したボルト



第6図 腕金の変位およびボルトのひずみ振幅の測定結果

4 今後の展望

今回、配電設備に使用される金属材料を一例とし、モアレカメラを用いた疲労破断評価について検討し、変位を測定することでこれまで目視等では評価が困難であった疲労破断の兆候を把握できることを明らかにした。変位の測定結果から、変位に閾値を設けることで、疲労破断に至る前に設備を更新できる可能性がある。

今後は、①実使用環境における応力の把握、②疲労破断評価のための変位閾値、③屋外におけるノイズ（振動、光等）の影響について検討を進める。



執筆者／松尾 顕守