

破壊検知センサの開発 -感度測定-

○近藤 司（函館高専）、山田誠（函館高専）、川上健作（函館高専）、松田順治（飛栄建設）

本研究の目的は、建造物の構造用部材の連結・接合部分が「破壊する可能性」を検知するセンサの開発と、それを用いて連結・接合部分の破断の危険性を監視できる技術を開発することである。提案するセンサは、外力がかかっている構造用部材に固定されたセンサ外部部材の変形過程で、脆性破壊した内部部材が、センサの外部に飛び出す構造により容易に視認可能である。引張破壊試験によりセンサの感度測定を行うために、本報告では、破断部分の微小変位を顕微鏡カメラを用いた画像と画像計測手法を明らかにした。

1. はじめに

建築物、橋、トンネルなどの構造用部材の連結・接合には溶接やリベット、ボルト・ナットなど様々な接合技術が用いられている。その接合部分の破壊はその建造物の損壊と密接に繋がっている。そのため、安全性の観点から、傷みを調べる必要があり定期的に検査を行わなければならないが、その検査方法には「打音検査」や「目視検査」がほとんどであり、特に打音検査は測定者のカンや熟練が必要である。さらに、一般に連結部分は高所または人間の目に直接触れにくい場所が多く、高所作業車を使った検査作業は時間と手間のかかる非効率な作業であり、短時間で、接合部分の破断の危険性を検知し報知する技術が求められている。

本研究では、構造用機械材料の弾塑性に着目し、接合部分に働く張力に対して発生する機械的変形を検知し、その部分が破断する前にその可能性を、機械的信号を用いて視覚的に報知するセンサの開発を目的としている。本報告では、センサの検知信号を発するセンサ内部の破断部分の微小変位に対する顕微鏡カメラを用いた画像計測手法について報告した。

2. 破壊検知センサ

図1に破壊検知センサを示す。センサは中空の第1部材とそこに挿入された第2部材および、両者間に嵌入されたばねにより構成されている。第2部材はその一端が第1部材に固定され、他端が固定されていない状態で第1部材と並列に設けられている。第1部材が機械的変形を起こしたときに第2部材には一端から他端に向かう方向の力が働くように構成されている。また、第2部材は、第1部材より脆性材料であり、一端から他端の途中の外周面に切欠きなどの応力集中部位を設けてある。

図2に提案する破壊検知センサの利用形態を示している。構造用部材の連結部に本センサが設置される。地震など突発的、または漸進的な変形力の作用によりセンサに張力が働き、センサの第1部材が引き伸ばされ変形すると、その後、第2部材にも変形力が作用する。第2部

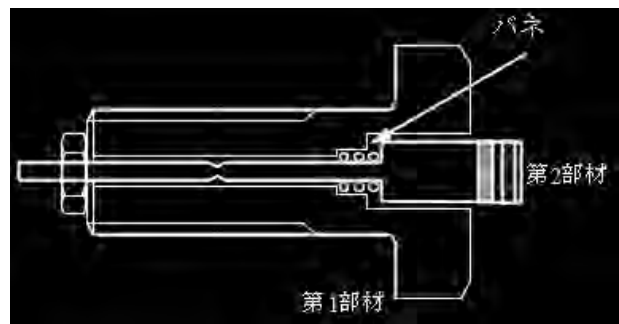


図1 破壊検知センサ

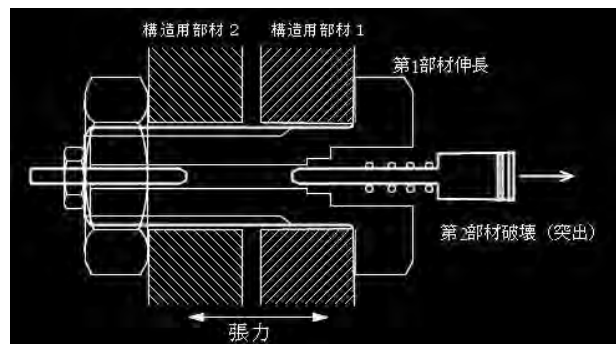


図2 破壊検知の利用形態

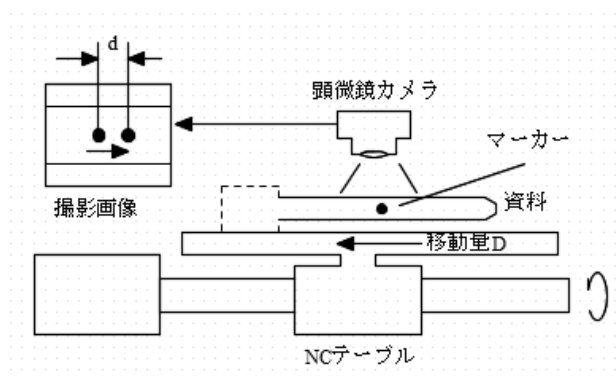


図3 画像計測の基礎実験

材は第1部材より脆性が大きいいため、弾性変形量が少なく、また応力集中により、第一部材より早く破断する。破断した第2部材の一部はバネの反発力により第1部材の外へ飛び出す。このままの変形力が作用する状態が続くと第1部材が設置している連結部が破断に至る。このように、連結部の変形に伴い、第1部材が変形し破壊に至る手前で第2部材が破断し、その連結部が破壊する危険性を検知・報知することが可能である。このセンサの感度は第2部材の切り欠き量に依存するため、切り欠き量に対する第2部材の破断特性を調べる必要がある。

3. 微小変位の画像計測実験

3.1 画像計測の妥当性

実空間での第2部材の変位と顕微鏡カメラの撮影画像空間との関係を明らかにするために、キャリブレーションを行った。図3にその概略を示した。φ2mmボールエンドミルで微小切り込みにより直径約0.2mmのマーカータを付けた試料をNC工作機械テーブル上に配置する。Z軸方向に顕微鏡カメラを取り付け、テーブルの移動量に対する画像上で移動するマーカー位置を測定した。マーカーは画像空間内ではある領域として撮影されているため、画像を2値化したのち、マーカー部分を重心計算し、中心位置をマーカー位置として算出した。図4にその結果を示す。本手法で算出した画像空間内とマーカー位置と実空間の位置は高い線形性を持つことが分かり、実空間のマーカー位置測定に用いることは可能と判断した。

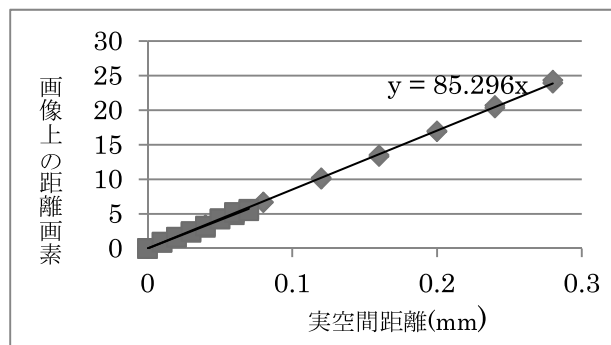


図4 キャリブレーション結果



図5 顕微鏡カメラによる微小変位測定実験

3.2 実験および実験結果

第2部材の切り欠き量と破断時の変位量の関係を探ることでセンサの感度を検証する。その実験状況を図5に示した。第2部材はFC250（引張強さ250N/mm²以上）を想定し、同材質の試験片に対して、円周に3種類の切り欠き（0.5, 1.0, 1.5mm）を設け、また、切り欠き付近に3.1で述べた手法で3mm間隔のマーカーをつけた。その試験片を引っ張り試験機に取り付け、切り欠き部分を顕微鏡カメラ（株）ホーリック社、USBマイクロスコープ）で引っ張り開始から破断までを2秒おきに撮影した。撮影画像と2値化した後のマーカー画像を図6に示した。開始時のマーカー間の距離と破断直前の距離の差から変位量を算出した。その結果を図7に示した。

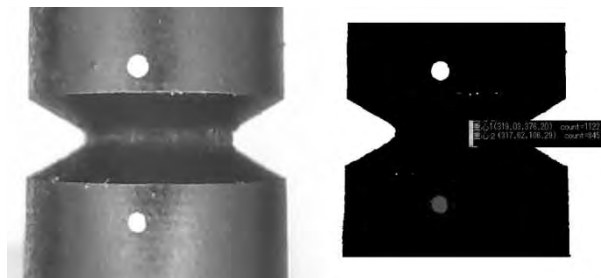


図6 切り欠き量1.5mm試験片
左：実画像、右：2値画像

直径6mmに対する切り欠き量を横軸に、破断時の変位量を縦軸に示した。切り欠き量が少ない程、切り欠き部分の変位量にばらつきが大きくなる傾向が見られるが、その値の平均はほぼ同じで0.01~0.015mmの間に入っているのが分かる。このことから、第2部材をFC250材、その直径を6mmとした場合、0.01~0.015mmの変位でセンサが反応すると言える。また、切り欠き量が多いほどばらつきが少なく、センサの感度は安定するものと言える。

4. 結論

本報告では、破壊検知センサの検知信号を発する第2部材の破断までの微小変位量と切り欠き量の関係を、顕微鏡カメラを用いた画像計測手法について報告した。その結果、切り欠き部分の破断変位量はほぼ一定で、切り欠き量が多い程、ばらつきが少なくなる傾向が明らかとなった。

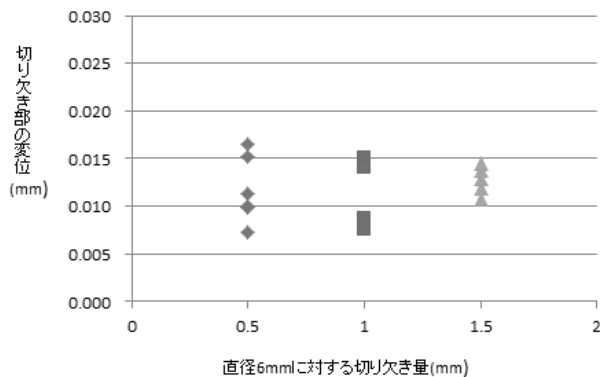


図6 切り欠き量と破断時変位量の関係