

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
分担研究報告書

3D 計測技術を用いるねじ部品の減肉評価

研究代表者 辻 裕一 東京電機大学工学部教授

研究要旨 ナット及びボルト頭部の減肉に対して、3枚のステレオ写真から画像処理により、3D データに変換する手法を確立した。減肉ナットの外形プロファイル、残存体積等を非接触で計測できる。現地調査でサンプリングした減肉ボルト・ナットに対して、3D 計測技術を適用し、減肉ナットサンプルの残存体積を計測し、昨年度の成果である円錐台状減肉の減肉許容基準と比較して合否判定を実施することができた。ねじ部品の減肉評価ガイドラインの骨格となる検査から供用適性評価までの一連の工程の妥当性を検証できた。

A. 研究目的

ボルト、ナット等のねじ部品は、機械、構造物の締結に広く用いられている。設備の高経年化に伴い、ねじ部品に腐食、減肉を生じると、ねじの締結機能が失われ、事故、災害につながる恐れがある。臨海コンビナートのプラントでの腐食減肉では、フランジ継手等に使用されるねじ部品の減肉が現実発生しているにも拘わらず、定量的評価は行われていない。そこで、コンビナートにおけるねじ部品の減肉に着目し、減肉の実態の把握、減肉の許容基準の開発を行ってきた。

本研究では、減肉ねじ部品の非接触 3D 画像計測技術による検査結果に基づく供用適性評価を行い、減肉評価ガイドラインの骨格となる検査から評価までの一連の工程の妥当性を検証する。

B. 研究方法

3D 計測技術の検査への適用では、3次元サーフェイス立体画像 DEM (Digital Elevation Map) 作成ソフトウェア (Mex 6.1) を用い、ねじ部品減肉計測を支援する画像処理手法を検討し、減肉ナットの幅、高さなどの断面プロファイル、残存体積の非接触計測を目指す。

供用適性評価手法の妥当性については、

昨年度、現地調査を行った鹿島地区の冷却塔のボトム配管のフランジ継手（図1）の呼び径 M12 の減肉ボルト・ナット（図2）をサンプルとして減肉評価を試行、検証する。評価には、実際の減肉ナットの形状に近い円錐台状減肉の減肉許容基準を用いる。昨年度までの弾塑性有限要素解析の成果として、許容基準が体積比として与えられている。



図1 現地調査でのフランジ継手



図2 計測対象のボルト・ナット

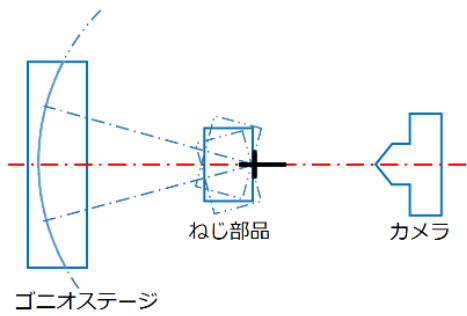


図3 ステレオ写真撮影における配置

(倫理面への配慮)

本研究の実施によって、生体及び環境へ影響を及ぼすことは無いので、倫理面への問題は無いと考える。

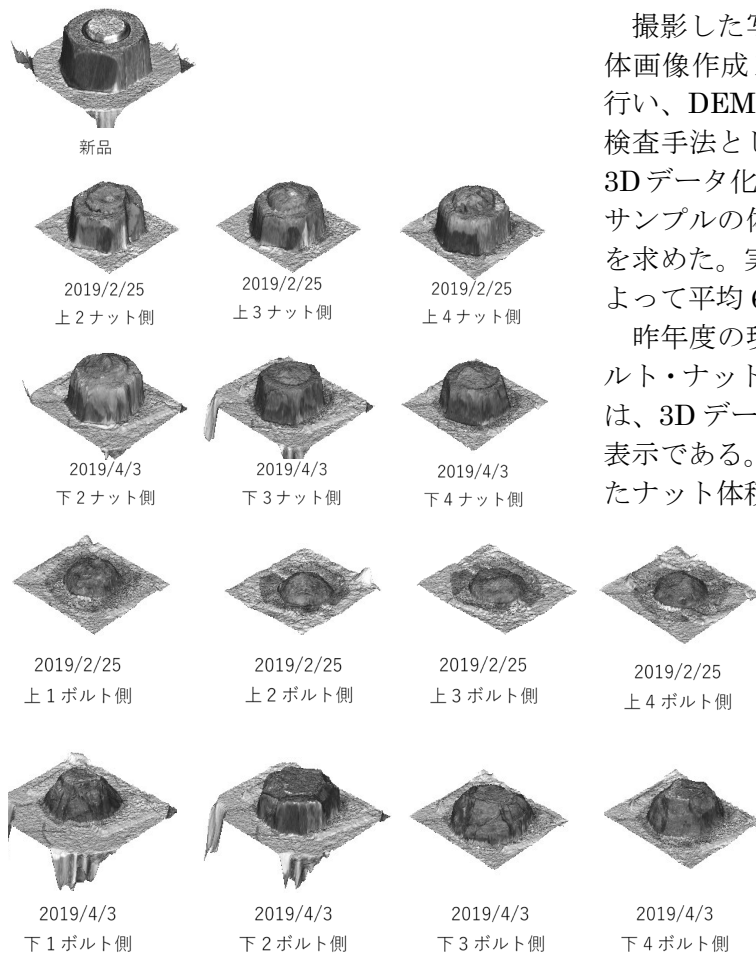


図4 3Dデータ化したボルト・ナットのDEM表示

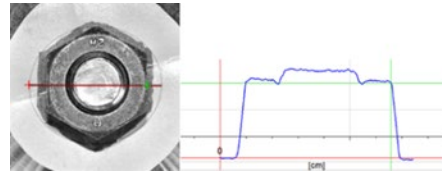


図5 新品のナットの断面プロファイル

C. 研究結果

ねじ部品の 3D データを作成するための画像データを撮影する。図3に示すように、ねじ締結体をゴニオステージにセットし、ねじの軸線方向の 0° 及び $\pm 3^\circ$ の傾斜角から3枚のステレオ写真をデジタルカメラにより撮影する。撮影における傾斜角、ワーキングディスタンスは、計測精度、ステレオ写真の死角領域の縮小などを考慮して決定した。

撮影した写真は、3次元サーフェス立体画像作成ソフト(Mex 6.1)で画像処理を行い、DEM形式による3Dデータとする。検査手法としての実用性の確認のために、3Dデータ化ソフトウェアを起動してから1サンプルの体積計算終了までに要する時間を求めた。実装RAM 8GBのノートPCによって平均6分であった。

昨年度の現地調査でサンプリングしたボルト・ナットの3Dデータ化を行った。図4は、3Dデータ化した減肉ねじ部品のDEM表示である。表1に3Dデータより得られたナット体積(ナット嵌合部のボルト体積を含む)、及びボルト頭部体積の計測結果の一覧を示す。今回の測定ではボルト部を含めた新品のM12、10割ナットの体積は 5768 mm^3 と計測されたが、これはナット相当の六角柱(二面幅 22mm 、高さ 12mm)の体積 5030 mm^3 と比較して大きい。図5に新品のナットの断面プロファイルを示す。ナット側面が鉛直方向からわずかに傾斜し、円錐台となっている。ナット自体によりカメラの死角となって

計測結果の一覧を示す。今回の測定ではボルト部を含めた新品のM12、10割ナットの体積は 5768 mm^3 と計測されたが、これはナット相当の六角柱(二面幅 22mm 、高さ 12mm)の体積 5030 mm^3 と比較して大きい。図5に新品のナットの断面プロファイルを示す。ナット側面が鉛直方向からわずかに傾斜し、円錐台となっている。ナット自体によりカメラの死角となって

表1 減肉ナットの体積比と合否
減肉許容基準：31.1%

名称	体積 mm ³	体積比 %	合 否	注 記
新品	5768	100.0	○	基準
上2ナット	3443	59.7	○	切断痕
上3ナット	3076	53.3	○	切断痕
上4ナット	3241	56.2	○	
下2ナット	3570	61.9	○	
下3ナット	2690	46.6	○	
下4ナット	2578	44.7	○	
上1ボルト	661	11.5	×	
上2ボルト	417	7.2	×	
上3ボルト	439	7.6	×	
上4ボルト	434	7.5	×	
下1ボルト	1540	26.7	×	
下2ボルト	2596	45.0	○	
下3ボルト	2136	37.0	○	
下4ボルト	1614	28.0	×	

いる空間が 3D 計測ソフトウェアによりナットの实体として認識され、実体積より大きい値が算出される。

そこで新品のナットの体積を基準として、これに対する減肉ナットの体積比を算出し、表1に示す。なお、ナット2点は、ボルト・ナットの分解取外しの際の切断痕が残されており、体積比に誤差を与えているが、本質的な問題ではない。

D. 考察

ねじ部品の減肉評価を、昨年度の現地調査でサンプリングしたボルト・ナットを対象として実施する。3D データによる減肉ナット体積（嵌合部ボルト体積を含む）の新品のねじ部品に対する割合が、体積比31.1%という減肉許容基準を満足するかによって減肉評価を行う。

この減肉許容基準は、昨年度までの弾塑性有限要素解析により得られた成果であり、ボルト又はナットが塑性崩壊せずに健全なボルトの降伏軸力の70%の軸力を負荷できるという基準に基づき、実際の減肉ナットの形状に近い円錐台状減肉の減肉許容基準が体積比として与えられている。図5に円錐台状減肉の体積比31.1%の有限要素解

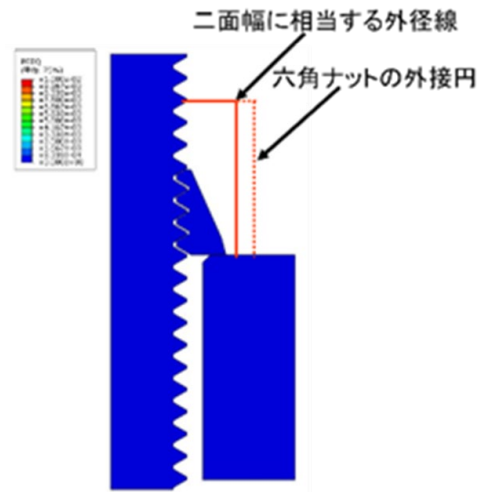


図6 体積比31.1%の有限解析モデル

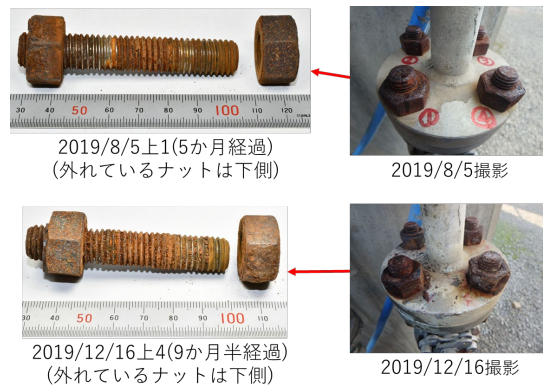


図7 鹿島地区の冷却塔ボトム配管のフランジ継手ボルト・ナットの追跡調査

析モデルを示す。

表1に減肉評価による減肉が許容されるか否か、合否の判定結果を示す。体積比という1つの特徴量によって容易に定量的な合否判定を行うことができる。実際のねじ部品の減肉評価において、様々な減肉形状が想定されるが、ナット高さ、ナット幅（高さの関数）などの多数のパラメータを利用するよりは、実用性に優れている。

現地調査を行ったフランジ継手のボルト・ナット8組は、2019年3月に新品に交換された。その後、定期的にボルト・ナットを1組ずつ抜き取り、減肉の計測、腐食

解析といった追跡調査を実施している。図7は、2019年8月（5ヶ月経過）、2019年12月16日（9ヶ月経過）に取り外したボルト・ナットの取り外し前後の外観を示す。ねじ部品の錆が表面に発生しているが、体積比は、最も低いもので99%である。経過時間が1年未満であることから減肉はほとんど進行していない。昨年度、実態調査において採取した15年経過の減肉ボルト・ナットに対し、TDAによる水素分析を行ったところボルトの非拡散性水素量と腐食度合いに相関性が認められた。追跡調査のボルトについても水素分析を同様に実施し、経過時間が短いにも拘わらず、一部のボルトについては非拡散性水素量が増加していることを確認した。サンプル数と経過時間が少ないことより、信頼性を高めるために、追跡調査を継続する。

E. 結論

本研究で得られた成果を以下に示す。

- (1) ナット及びボルト頭部の減肉に対して、3枚のステレオ写真から画像処理によって、3Dデータに変換する手法を確立した。
- (2) 現地調査でサンプリングした減肉ボルト・ナットに対して、非接触3D計測技術を適用し、減肉ナットサンプルの残存体積を計測した。
- (3) 体積比31.1%という減肉許容基準によって減肉評価を行った。体積比という1

つの特徴量によって容易に定量的な合否判定を行うことができることを示した。

- (4) ねじ部品の減肉評価ガイドラインの骨格となる検査から供用適性評価までの一連の工程の妥当性を検証できた。

F. 研究発表

1. 論文発表

菊池務, 辻裕一, 鶴見大地: ボルト締めフランジ締結体のシール性能に及ぼす限界ナット高さとの評価, 圧力技術, Vol.58, No.2, P.101-109, 2020.

2. 学会発表

菊池務, 新村稔, 辻裕一: 腐食減肉した高力ボルト・ナットの3次元計測と軸力評価に基づく合否判定, 非破壊検査協会2019年度第2回保守検査ミニシンポジウム, 2019.

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し