

厚生労働科学研究研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

臨海コンビナート設備のねじ接合部の腐食減肉に関する

供用適性評価技術の開発

平成30年度 総括・分担研究年度報告書

研究者代表者 辻 裕一

令和元（2019）年 5月

目 次

I. 総括研究報告		
臨海コンビナート設備のねじ接合部の腐食減肉に関する 供用適性評価技術の開発	-----	1
辻 裕一		
II. 分担研究報告		
1. ねじ部品の減肉許容基準の提案	-----	5
辻 裕一		
2. 腐食解析技術の検討	-----	9
齋藤 博之		
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	12

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総括研究報告書

臨海コンビナート設備のねじ接合部の腐食減肉に関する
供用適性評価技術の開発

研究代表者 辻 裕一 東京電機大学工学部教授

研究要旨 本研究は、臨海コンビナートにおけるフランジ継手、鋼構造物のねじ部品の減肉の実態の把握、減肉速度の予測モデル、減肉許容基準・余寿命評価の開発と減肉評価ガイドライン作成を目的とする。2年目である平成30年度は、ねじ部品の減肉許容基準と締結性能の検討を進めると共に腐食解析技術の検討を進め、以下の成果を得た。ねじ部品の減肉許容基準を現実的な減肉形状について提案するとともに締結性能の評価を行った。ねじ部品の腐食減肉状況の現地調査を複数のコンビナート地区で実施し、腐食が進行しやすい箇所の共通の因子を明らかにした。現地調査で採取した減肉ボルト・ナットのサンプルについて水素分析を行い、水素量と腐食度合いの間に相関性があることを示した。水素分析は腐食の解析に有効である。最終年度は、現地調査を継続すると共に製造現場で容易に適用可能な汎用性のある減肉評価方法の検討、及び腐食解析技術の成果を根拠とする減肉速度の予測モデルを構築し、余寿命評価を可能とするねじ部品減肉評価ガイドラインの作成を目指す。

研究分担者氏名・所属機関名及び所属機関
における職名

齋藤 博之・東京電機大学工学部教授

A. 研究目的

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には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。フランジ継手の締結状態は漏洩に直接影響するが、ねじ部品の減肉に関する合否判定基準が国内のみならず海外にも無い。ねじ部品の減肉は、デッキ、プラットホーム、サポートなどの屋外鋼構造物にも多く見られる。ねじ部品の破壊は直ちに重大な事故・災害に結びつく。

本研究では、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、減肉速度の予測モデル、減肉の許容基準・余寿命評価方法の開発を行う。成果を踏まえ、ねじ締結部の供用適性評価を行える減肉評価ガイドライン作成を最終目標とする。

本年度は、ねじ部品の減肉許容基準の提案と締結性能の定量的評価、ねじ部品の減肉に対する腐食解析技術の検討を行う。並行して、ねじ部品の腐食減肉状況の現地調査を複数のコンビナート地区で実施し、腐食状況の確認、及び立地環境との関連について調査する。

成果は、ボイラー及び圧力容器安全規則、あるいは高圧ガス保安法で規制される設備に係わる事業所の設備の維持管理技術の高度化につながることを期待される。作業員が接近する鋼構造物のねじ部品も対象とするので、労働安全衛生全般にも貢献できる。

B. 研究方法

本研究は3年計画で、東京電機大学で実施する。2年目である平成30年度は、次に示す方法で研究を実施した。

まず、ねじ部品の減肉許容基準については、非線形有限要素解析により得られるボルト・ナット締結モデルの塑性崩壊までの挙動に基づき提案する。解析コードとして

Abaqus R2018 を用い、軸対称要素による弾塑性解析を行った。解析では、ボルト又はナットの塑性崩壊によって解が収束しなくなるまでボルトの引張力を漸増させることによって、塑性崩壊荷重を決定する。ナットの減肉のモデル化は、①高さのみ減肉、②外径のみ減肉、③高さとお径が同時に減肉、④円錐台形状に減肉の3通りである。高さとお径の減肉の影響、及び両者の相互作用を調査する。減肉許容限界を求めるとともに、ボルト・ナット系の剛性低下に伴う締付け力低下を締付け線図に基づき求め、締結性能の評価を試みる。

ねじ部品の腐食減肉状況の現地調査は、国内の代表的なコンビナート地区であり、立地環境が大きく異なる鹿島地区、京葉地区、水島地区の各地区を対象として実施する。減肉したねじ部品について、現地で寸法、形状を測定するとともに、後日、詳細な腐食解析のための試料として入手する。

腐食解析技術の検討については、昇温脱離法 (Thermal Desorption Analysis: TDA) の手法をボルトとナットに対して適用した。

(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。

C. 研究結果

1 : ねじ部品の減肉許容基準の提案

弾塑性有限要素解析により、ボルト又はナットが塑性崩壊せずに、減肉のないボルトの降伏応力の 50%の軸力を負荷できる減肉形状を許容限界と新たに定義した。降伏応力の 50%の軸力は、実際の締付け力のレベルに合わせて設定している。ナットの減肉のモデル化は、前年度の2通り (高さ、あるいは外径の減肉) に加え、高さとお径が同時に減肉する場合、円錐台形状に減肉する場合をを加えた。減肉許容限界を求めるとともに、ボルト・ナット系の荷重一変

位関係、及びボルト・ナット系の剛性と減肉による剛性低下率を求めた。

さらに、ボルト・ナット系の剛性低下が締結性能に及ぼす影響に関し、締付け線図を応用した図式解法を提案し、ボルト・ナットが JPI フランジにおいて使用されることを想定して締結性能の評価を行った。

2 : ねじ部品の腐食減肉状況の現地調査

調査した鹿島地区、京葉地区、水島地区の各コンビナート地区のうち、鹿島地区における腐食減肉の進行が顕著であった。ただし、鹿島地区でも事業所全体でねじ部品の腐食が進行していることはなく、特定の環境下で著しい腐食減肉が認められた。最も腐食減肉が進んでいたのは、冷却塔のボトム配管のフランジ継手であり、常時、霧状の水滴が舞っている環境であり、2003年の設置から 15 年経過している設備である。他に腐食が進んでいたのは、排水設備の配管フランジ継手、鋼製猿梯子などの基礎ボルト、保温材下のバルブのフランジ継手などである。

冷却塔のボトム配管のフランジ継手のボルト・ナットについては、腐食解析のために取り外し、サンプルとした。

3 : 腐食解析技術の検討

現地調査で鹿島地区で採取した減肉ボルト・ナットのサンプルについて、昇温脱離分析法 (TDA) により水素分析を行った。

分析にあたっては、散水配管のフランジに使用されたナット (Test 1)、ボルト (Test 2) の嵌合部、および外部に露出したナット (Test 3)、ボルト (Test 4) を切断して、それぞれ各部を分析して比較する。TDA における真空中での昇温は時間あたり 100°C で行い、この間の放出水素を測定する。この手法で実際に水素分析を行うことにより、次の結果が明確にできた。

嵌合部のナット、ボルトともに水素は微量である。外部露出した部分のナットに関しては水素は微量であるが、ボルトへの水素は多量である。

D. 考察

1：ねじ部品の減肉許容基準の提案

減肉の許容限界をボルトの降伏応力の50%の軸力を負荷できる場合と定義したことにより、より大きな減肉を許容できることが示された。許容限界は、ナット高さが43.12%、ナット二面幅が82.92%までの減肉とする。ボルト頭部についても同一の許容限界とできる。

実地調査で見られるナットの減肉形状に即して円錐台状減肉の許容限界を求めたところ、体積比で75.3%の減肉(24.7%残存)まで許容できることを示した。

ナット高さと同二面幅の同時減肉に対する許容限界の場合について、ボルト・ナット系の剛性率低下率は67.3%となるが、この場合の締付け力低下が22.3%となることを締付け線図に基づき示すことができた。塑性変形を伴う非線形問題に対しても本方法の有用性をしめすことができた。締付け力の22.3%低下は、締付け時の締付け力のばらつきと同程度以下である。フランジ継手の場合に当てはめると、締付け力低下に伴い密封性能が初期組立状態より若干低下するとしても、いわゆる漏洩につながることは無い。一般の締結体においても締結性能に及ぼす影響は小さいと予想される。

2：ねじ部品の腐食減肉状況の現地調査

調査した鹿島地区、京葉地区、水島地区の各コンビナート地区のうち、鹿島地区における腐食減肉の進行が顕著であったが、腐食状況は飛来海塩粒子量と関連づけることができた。鹿島地区は飛来海塩粒子量の年平均量が29 mg NaCl/m²・dであるのに対し、水島地区や京葉地区では6 mg NaCl/m²・d未満である。この飛来海塩粒子量の差により、外面腐食深さの比は4倍になるとされている。

腐食が進行しているねじ部品は、呼び径でM16以下であり、ナットの腐食が進行する一方で、ボルトの軸(おねじ)の減肉は少ない。ナット座面があたる面が水平で上側の場合に腐食が顕著であり、これは雨水等が溜まりやすいためと推測される。基礎

ボルトのナットの腐食も同様の理由と考えられる。

ナットの腐食では、錆の体積は元の10倍に膨らむので、そのままの外観から減肉量を判断することはできない。後日、ケレンで錆を除去して減肉量を確認した。ケレン前のナットには錆の浮き上がりによる特有の外観が見られ、これらは「菊割れ」、「菊開き」、「花咲き現象」と呼ばれている。

3：腐食解析技術の検討

嵌合部のナット、ボルトともに水素は微量である。外部露出した部分のナットに関しては水素は微量であるが、ボルトへの水素は多量である。このように、水素の量は部位によって異なっている。このことから、TDAによる水素分析がナット、ボルトに適用できることが明らかになった。

さらに、この結果を実際の腐食と比較して、水素の多寡と腐食度合いに一定範囲で相関があることを示すことができた。このことから、水素分析は腐食解析に利用できる。

分析した水素量と腐食を比較し、より内側にある部材(ボルト)の水素量が大きくなることが明らかとなった。

E. 結論

平成30年度の研究により、以下の結論を得た。

ねじ部品の減肉許容基準の提案については、実際の締付け力レベルに対応し、また現実的な減肉形状に対する減肉許容限界を示した。締付け線図を用いて、ナット減肉によるボルト・ナット系の剛性低下に伴う締付け力低下を評価する方法を提案した。本方法により減肉許容限界における締付け力低下を求めたが、低下量は、締付け時の締付け力のばらつきと同程度以下であり、締結性能は維持されると考えられる。

ねじ部品の腐食減肉状況の現地調査については、調査した各コンビナート地区のうち、鹿島地区における腐食減肉の進行が顕著であり、腐食状況は飛来海塩粒子量と関

連づけることができた。鹿島地区でも事業所全体でねじ部品の腐食が進行していることはなく、特定の環境下で著しい腐食減肉が認められた。腐食が進行しているねじ部品は、呼び径で M16 以下であり、ナットの腐食が進行する一方で、ボルト側の減肉は軽微である。ナット座面があたる面が水平で上側の場合に腐食が顕著であった。

腐食解析技術の検討については、水素分析が腐食の解析に有効であることがわかった。この手法で分析された水素量と腐食の間に相関性があり、一般に水素が微量のとき腐食は軽微である。また、ボルトとナットの位置関係で、より内側にあるボルト側での水素の発生が優勢に生じることがわかった。

今後は、3D 計測装置の計測ソフトウェアへの減肉評価機能の組み込み、及び日常点検で容易に適用可能な汎用性のある減肉評価方法の検討を進める。また、腐食解析技術の成果を根拠とする減肉速度の予測モデルを構築し、余寿命評価を可能とするねじ部品減肉評価ガイドラインの作成を目指す。

F. 健康危険情報

無し

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

T. Kikuchi, H. Tsuji, D. Tsurumi: Effect of Nut thinning due to Corrosion on the Sealing Performance in Bolted Flange Joints under Internal Pressure, ASME PVP 2018 Conference, PVP2018-85064, 2018.

斉藤翔太, 辻裕一, 菊池務: ねじ部品の減肉許容基準の検討 —ボルト頭部減肉の場合—, 山梨講演会講演論文集, No.180-3, YC2019-088, 2018.

H. 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

令和元年 5月15日

厚生労働大臣
(国立医薬品食品衛生研究所長) 殿
(国立保健医療科学院長)

機関名 東京電機大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 安田 浩

次の職員の平成30年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 労働安全衛生総合研究事業
2. 研究課題名 臨海コンビナート設備のねじ接合部の腐食減肉に関する供用適性評価技術の開発
3. 研究者名 (所属部局・職名) 工学部 教授
(氏名・フリガナ) 辻 裕一 (ツジ ヒロカズ)

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入(※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査(※2)
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針(※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他(特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

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

ねじ部品の減肉許容基準の提案と締結性能の評価

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、実際の締付け力を負荷できることという新たな定義に基づき減肉許容基準を示した。ナットが円錐台状に減肉する現実的な場合について減肉許容基準を示した。減肉の進行に伴うボルト・ナット系の剛性低下が締結性能の低下を招く恐れがあるが、ボルト締付け力の低下を締付け線図を用いて容易に求める方法を示し、締結性能に及ぼす影響を定量的に評価した。

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。ねじ部品が長期間の使用によって腐食し減肉を生じると、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。規格ナットの高さは、はめ合いねじ部においてねじ山がストリッピングを起こさないように、破断はボルト軸部において生じるように決められている。従って、減肉によってナット高さが不足すれば、ストリッピングが生じ、ねじ締結体の負荷能力は減少する。

本研究では、ナット及びボルト頭部の減肉に着目し、非線形有限要素解析により現実的な減肉形状に対する許容基準を明らかにする。さらに、減肉の進行に伴うボルト・ナット系の剛性低下が締結性能に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とする。

B. 研究方法

非線形有限要素解析のためのモデル化は、以下による。JPI フランジに用いられるユニファイ並目めじを対象とし、ねじの呼び 5/8-11 UNC であり、ボルトは材質 SNB7 である。ナットは高さ 10 割、二面幅 26mm、材質は S45C である。ナットはφ26mm の円筒にモデル化する。解析コードとして Abaqus R2018 を用い、軸対称要素による弾塑性解析を行った。

解析により、ボルト又はナットが塑性崩壊せずに、減肉のないボルト・ナットの降伏応力の 50%の軸力を負荷できる減肉形状を許容限界と新たに定義する。降伏応力の 50%の軸力は、実際の締付け力のレベルに合わせて設定した。ナットの減肉のモデル化は、前年度の 2 通り（高さ、あるいは外径の減肉）に加え、高さとお径が同時に減肉する場合、円錐台形状に減肉する場合を加える。減肉許容限界を求めるとともに、ボルト・ナット系の荷重-変位関係を求め、締付け線図へ適用することにより締結性能の評価を試みる。

（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。

C. 研究結果

昨年度は、ナット高さ及びナット外径の減肉により、破壊モードが変化する条件をそれぞれ求め、減肉の許容限界とした。本年度は、ボルトの降伏応力の 50%の軸力を負荷できる減肉形状を許容限界と定義した。

表 1 に減肉の許容限界を示す。ナット高さの単独減肉では 28.75%、ナット二面幅の単独減肉では 82.92%、そして高さとお径の同時減肉ではナット高さ 43.12%、ナツ

表1 ナット減肉の許容限界

Nut Height	Nut Width	Length of Tightening	Elongation	Stiffness
		mm	mm	kN/ μ m
28.75%	100%	24.4823	0.2823	0.173 (75.8%)*
100%	82.92%	24.3895	0.1895	0.258 (64.0%)*
43.12%	82.92%	24.4088	0.2088	0.234 (67.3%)*

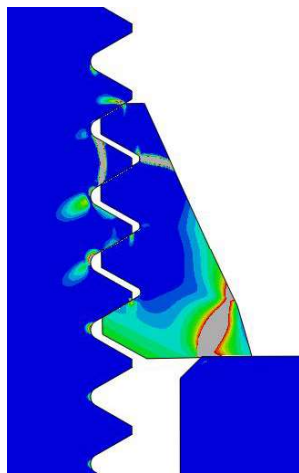


図1 ナットの円錐台減肉の場合

ト二面幅 **82.92%** がそれぞれ許容限界である。ボルト頭部についても同様の方法により、減肉の許容限界を求めた。ボルト頭部の減肉許容基準はナットとほぼ同じ結果となり、詳細に見るとわずかだけ大きな減肉が許容される。従って、ボルト頭部とナットでそれぞれ許容基準を与えるのではなく、保守的なナットの許容基準に一本化することとした。

次に、ナットが円錐台状に減肉する場合について許容限界を求める。図1は、ボルトの降伏応力の50%の軸力を負荷できるという定義により得られた許容限界の減肉形状である。ナット高さは55%、ナット底面外径**91.4%**である。コンターは相当塑性ひずみ分布を示す。

剛性低下に伴い生じる締付け力の低下を締付け線図に基づき求める方法を提案する。図2は、本提案方法の原理を示す。減肉によりボルト・ナット系の剛性が低下すると

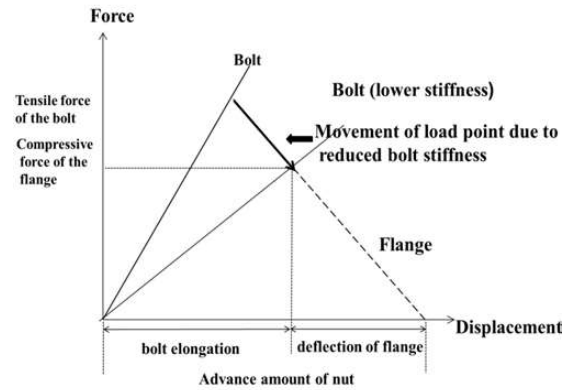


図2 締付け線図による締付け力低下の予測方法

荷重-変位直線の傾きが減少する。ここで、ボルトの伸びと被締結体の圧縮量の和は、初期締付けのナット回転に対応した進み量に等しく、締付け後は不変である。従って、剛性低下によってボルトの伸びが増大すると、被締結体の圧縮量は減少する。以上より、ボルト・ナット系の荷重-変位直線と被締結体の荷重-変位（圧縮量）直線の交点として表示されるボルト荷重（締付け力）は、被締結体の荷重-たわみ直線に沿って新たな交点まで移動する。ボルト・ナット系の剛性低下は締結体に締付け力の低下をもたらすが、ボルト・ナット系の剛性低下率は締付け力の低下率と等しくはならない。

表1のナット高さと同二面幅の同時減肉（ナット高さ**43.12%**、ナット二面幅**82.92%**）における許容限界減肉の場合を評価する。この場合、ナットには無視できない塑性変形が生じるため、ボルト・ナット系の剛性低下は大きく、剛性低下率**67.3%**となる。なお、ボルト・ナット系の荷重-変位関係が塑性変形により非線形となるが、ボルトの伸びと被締結体の圧縮量の和は不変なので、同様の扱いが可能である。図3に、ボルト・ナットがJPI 80A, Class 150フランジ継手において使用されることを想定し作成した締付け線を示す。ナット高さと同二面幅の同時減肉における許容限界の場合の剛性低下による締付け力低下は**22.3%**となる。

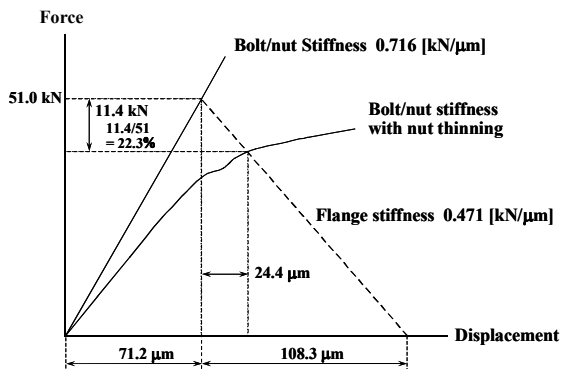


図3 フランジ継手における締付け力低下の予測

D. 考察

減肉の許容限界は、昨年度は減肉により破壊モードが変化する場合としたのに対して、本年度はボルトの降伏応力の50%の軸力を負荷できる場合と定義した。これにより、より大きな減肉を許容できることが示された。なお、表1では、ナット高さの単独減肉、またはナット二面幅の単独減肉についての許容限界が示されているが、実際の減肉で高さ、または二面幅だけが減肉することはないので、結論として、ナット高さが43.12%、ナット二面幅が82.92%まで減肉した場合を許容限界とするのがよい。ボルト頭部についても同一の許容限界とする。

実地調査で見られるナットの減肉形状に即して円錐台状減肉の許容限界を求めることができた。ここでは、ボルトの降伏応力の70%の軸力を負荷できる場合を許容限界と定義した。円錐台状減肉の場合、初期形状のナットを基準にして体積比で75.3%の減肉(24.7%残存)まで許容できることを示した。

ナット高さと同二面幅の同時減肉に対する許容限界の場合について、ボルト・ナット系の剛性率低下67.3%に対する締付け力低下が22.3%となることを締付け線図に基づき示すことができた。塑性変形を伴う非線形問題に対しても本方法の有用性をしめすことができた。締付け力の22.3%低下は、締付け時の締付け力のばらつきと同程度以

下である。フランジ継手の場合に当てはめると、締付け力低下に伴い密封性能が初期組立状態より若干低下するとしても、いわゆる漏洩につながることは無い。一般的にも締結性能に及ぼす影響は小さいと予想される。

今後は、減肉許容基準を3D計測装置の計測ソフトウェアに減肉の評価機能を組み込むことを検討する。並行して、日常点検で容易に適用可能な汎用性のある減肉評価方法の検討を進める予定である。

E. 結論

ねじ部品の減肉の許容限界を明らかにすることを目的に、ナット減肉に対する非線形有限要素解析を行った。以下に得られた成果を示す。

- (1) 実際の締付け力レベルに対応した減肉許容限界を提案した。
- (2) ナット、及びボルト頭部の減肉に対し、高さ43.12%、外径82.92%までの範囲が減肉の許容範囲である。
- (3) 締付け線図を用いて、ナット減肉によるボルト・ナット系の剛性低下に伴う締付け力低下を評価する方法を提案した。塑性変形を伴う大きな減肉を有する場合にも適用できることを示した。
- (4) 減肉許容限界におけるボルト・ナット系の剛性率低下率67.3%に対する締付け力低下は22.3%となる。この低下量は、締付け時の締付け力のばらつきと同程度以下であり、締結性能は維持されると考えられる。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表

T. Kikuchi, H. Tsuji, D. Tsurumi: Effect of Nut thinning due to Corrosion on the Sealing Performance in Bolted Flange Joints under Internal Pressure, ASME PVP 2018

Conference, PVP2018-85064, 2018.

齊藤翔太, 辻裕一, 菊池務:ねじ部品の減肉許容基準の検討 —ボルト頭部減肉の場合—, 山梨講演会講演論文集, No.180-3, YC2019-088, 2018.

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

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

腐食解析技術の検討

研究分担者 齋藤 博之 東京電機大学工学部教授

研究要旨 減肉の主要因となる腐食の発端および進展を明確にすることをめざして、腐食生成物の分析、腐食反応の計測を行っている。現地調査を行った鹿島地区で採取した減肉ボルト・ナットのサンプルについて、TDAによる水素分析を行い、部位ごとの腐食の進展の違いを明らかにした。その結果、ボルトに関して、水素量と腐食度合いの間に相関性があることを示した。

A. 研究目的

臨海コンビナートのプラントでの腐食減肉について、減肉の実態の把握、減肉速度の予測モデル、減肉の許容基準・余寿命評価を行ううえで、腐食生成物の分析と腐食反応（酸化反応・還元反応）の計測を行うことが欠かせない。腐食減肉が発生する発端である腐食の発生、および、その進展を明確にすることは、予測モデルや余寿命評価の確立と不可分だからである。

腐食生成物の分析と腐食反応（酸化反応・還元反応）の計測にはいくつかのものがあるが、本研究の平成30年度の研究では次の手法に着目して検討を行う。

すなわち、腐食反応のうち還元反応で生じる水素を検出することで、ボルト、またはナットの部位による腐食速度の差を解明することを試みた。水素を検出する手法として、昇温脱離法（Thermal Desorption Analysis: TDA）の手法をボルトとナットに対して適用した。このTDAによる手法はボルト、またはナットの分析したい部分を切断して真空中で加熱し、加熱により固体中から脱離して気体として放出される水素ガスをガスクロマトグラフにより検出する手法である。

本研究では、装置に実際に使用されたボルトやナットの各部位に含まれる水素量をTDAにより分析し、部位による水素量の

差からそれぞれの部位での腐食速度の差を推定し、腐食が生じるメカニズムを見出すことを目的とする。

B. 研究方法

現地調査で鹿島地区で採取した減肉ボルト・ナットのサンプルについて、TDAによる分析を行う。分析にあたっては、散水配管のフランジに使用されたナット（Test 1）、ボルト（Test 2）の嵌合部、および外部に露出したナット（Test 3）、ボルト（Test 4）を切断して、それぞれ各部を分析して比較する。TDAにおける真空中での昇温は時間あたり100℃で行い、この間の放出水素を測定する。

（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。

C. 結果

TDAにより得られた各部位の放出水素を図1に、これをもとに整理した結果を表1に示す。

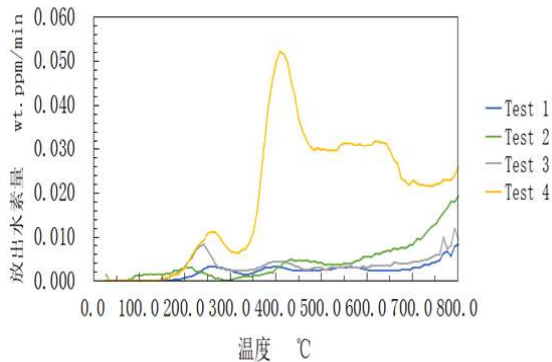


図1 現地調査したボルト・ナットの部位別の水素量 (水素放出プロファイル)

表1 現地調査したボルト・ナットの部位別の水素量

記号	採取部位	水素
Test 1	ナット(嵌合部)	微量
Test 2	ボルト(嵌合部)	微量
Test 3	ナット(外部露出)	微量
Test 4	ボルト(外部露出)	多量

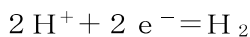
これらの図表、特に表1にみられるように、嵌合部のナット、ボルトともに水素は微量である。外部露出した部分のナットに関しては水素は微量であるが、ボルトへの水素は多量である。このように、水素の量は部位によって異なっている。

なお、肉眼での観察では嵌合部には赤錆はほとんど見られず、外部露出した部分にはボルト、ナットともに赤錆の激しい発生が見られた。

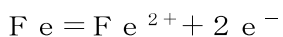
D. 考察

水素の発生は腐食反応のうちの還元反応に対応し、この還元反応がボルト、ナットを構成する鉄鋼の酸化反応による減肉量と対応しながら全体の腐食を進める。この反応は化学式で記せば次のようになる。

(水素の還元反応)



(鉄鋼の主成分である鉄の酸化反応)



ここで、 e^- は電子を示し、消費される電子と生成する電子が釣り合うように化学反応、この場合は腐食反応が進行する。水素の還元反応では水素ガスが発生するが、実際にはボルトやナットの表面で反応が生じるため外部に逃散するのみならずボルトやナットに溶解・侵入して痕跡を残す。この溶解した水素はTDAにおける昇温により温度でエネルギーを上昇させるとボルトやナットに溶解しきれなくなって外部に放出されるから、放出された水素量の分析結果として計測される。

この経緯を考慮すると、図1および表1に整理した水素量が微量であることと、嵌合部のナットおよびボルトに赤錆、すなわち鉄の酸化物(ヘマタイト Fe_2O_3 と推測される)がほとんど存在しないこととは一致する。すなわち、TDAにより分析された水素量が微量であれば腐食は軽微である。

ただし、この点について外部露出したボルトの水素が多量であることと赤錆が激しく発生していることとも一致するが、外部露出したナットについては水素量が微量であるにもかかわらず赤錆が発生している。これは、外部露出した状態においてはボルト、ナットともに鉄の酸化反応が生じるが、ボルトとナットの位置関係で、より内側にあるボルト側での水素の発生が優勢に生じていることを示す。すなわち、構造上で、より内側にある部材は水素発生が優勢となり、より外側にある部材およびその部材自体の外側にある部分を加速的に腐食させるものと考えたと説明できる。このことは、高強度低合金鋼の大気中遅れ破壊に関して水素発生はボルト部が優勢に生じるとした過去の研究(大村朋彦:大阪大学博士論文「高強度低合金鋼の水素脆化挙動とその防止に関する研究」2007年)と一致する。

E. 結論

TDAによる水素の分析に関して、下記の結論が得られた。

(1) TDAにより分析された水素量と腐食の

間に相関性がある。一般に、水素が微量のとき腐食は軽微である。

- (2) ボルトとナットの位置関係で、より内側にあるボルト側での水素の発生が優勢に生じる。
- (3) 上記(2)の結果、ボルト・ナットとも部材の外側では鉄鋼の酸化による腐食が進行して赤錆となると推定される。
- (4) 上記(1)-(3)の結果を勘案し、TDAによる水素分析は腐食の解析に有効な手法として利用できる。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

令和元年 5月15日

厚生労働大臣
(国立医薬品食品衛生研究所長) 殿
(国立保健医療科学院長)

機関名 東京電機大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 安田 浩

次の職員の平成30年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 労働安全衛生総合研究事業
2. 研究課題名 臨海コンビナート設備のねじ接合部の腐食減肉に関する供用適性評価技術の開発
3. 研究者名 (所属部局・職名) 工学部 教授
(氏名・フリガナ) 齋藤 博之 (サイトウ ヒロユキ)

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入(※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査(※2)
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針(※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他(特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
T. Kikuchi, H. Tsuji, D. Tsurumi,	Effect of Nut thinning due to Corrosion on the Sealing Performance in Bolted Flange Joints under Internal Pressure	ASME PVP 2018 Conference	PVP2018-8 5064		2018