

Title	高力ボルト継手に対する加熱による塗膜剥離の適用に関する研究
Author(s)	中原, 智法
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/96090">https://hdl.handle.net/11094/96090</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 中原智法 )

論文題名 高力ボルト継手に対する加熱による塗膜剥離の適用に関する研究

## 論文内容の要旨

鋼橋に代表される鋼構造物の防食塗装の塗替えに際し、作業効率の向上や廃棄物削減等の観点から、塗膜の除去方法として、高周波誘導加熱（IH）による塗膜剥離の採用が増えつつあるが、高力ボルト継手に対しては適用が避けられている。その理由に、高力ボルトの軸力や継手のすべり耐力に及ぼす加熱の影響が不明確であることが挙げられる。この問題に対し、本研究では、高力ボルト摩擦接合継手の加熱による防食塗膜の剥離を対象として、加熱条件の違いがボルト軸力に及ぼす影響を実験的に明らかにするとともに、熱弾塑性解析によってボルト軸力の変動機構を解明した。また、実施工に向けた安全かつ効率的な施工手順を検証した。論文の構成と内容は、以下のとおりとした。

第1章では、塗膜除去方法の現状や将来需要、加熱による塗膜剥離の問題点を挙げ、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、基本的な現象の把握に主眼を置き、ボルト本数の少ない小型供試体を用いた加熱実験を実施し、加熱によるボルト継手の塗膜剥離性と、加熱がボルト軸力に及ぼす影響を明らかにした。加熱方法として、比較的短時間で加熱が可能なIHに加え、加熱に時間を要するが精度の高い温度管理が可能なセラミックヒーターを用いた。A塗装系とC塗装系を施したボルト継手供試体のナット側を目標温度200℃で加熱し、簡単な手工具による塗膜剥離を実施した結果、いずれの場合も高力ボルトの塗膜を良好に剥離できた。入熱量の大小、加熱時間の長短等の条件を変えたIHを用いた加熱実験では、時間あたりの入熱量が大きく加熱時間が短いほど、冷却後のボルト軸力の低下の度合いが大きくなる傾向を確認した。

第3章では、加熱実験の結果に基づき、加熱条件の違いがボルト軸力に及ぼす影響について、解析的な視点からその要因を検証した。有限要素法による熱弾塑性解析を実施し、加熱条件の違いが高力ボルト継手の温度分布や応力状態に与える影響を検証し、加熱によるボルト軸力の変動機構を解明した。加熱による高力ボルト軸力の低下は、加熱時のねじ嵌合部の開きが主な要因であった。ヒーターを想定した加熱時間30分と60分の場合は軸力への影響は小さかった。一方、数秒から数十秒で加熱するIHを想定した場合は、加熱時間が短いほど加熱時のナット温度と比較してボルト軸の温度が低く、両者の温度差は大きくなり、ナットの熱膨張によるナット内径の拡大でナットのめねじとボルト軸のおねじがずれる結果となった。このため、冷却後も嵌合部のずれが残留し、加熱前と比べてボルト軸が短くなり、ボルト軸力を低下させるものと判断した。

第4章では、加熱が高力ボルト継手のすべり耐力に及ぼす影響について、入熱量の大小と加熱時間の長短の条件が異なる継手供試体を用いた引張実験を実施し、加熱条件とすべり耐力の関係を検証した。加熱なしの場合と比較して、加熱時間の長いヒーターを用いた場合の差は微少であったが、加熱時間の短いIHを用いた場合はすべり耐力の低下量に加熱時間による違いが生じた。加熱時間が短い条件ではすべり耐力が低下しており、すべり耐力の低下は軸力低下が主要因で、加熱による摩擦接合面の状況変化の影響は小さかった。

第5章では、鋼橋などの実構造物を想定した多行多列のボルトを配置した供試体を用いて、同時に加熱するボルト列や加熱作業と並行して剥離作業を行う具体的な施工工程を反映した塗膜剥離実験を実施し、作業効率や安全性を考慮した施工手順を検討した。ここでは、ヒーターを用いてボルト先端部の温度を200℃まで30分で加熱する条件を用いた。加熱作業を幾つかのボルト行ごとに分けて順番に行い、加熱が終了したボルト行の塗膜剥離を次に加熱するボルト行の加熱中に実施することで、加熱と塗膜剥離の並行作業が可能なことを確認した。また、加熱後のボルト軸力を推定した結果、加熱したボルト行と加熱していないボルト行の軸力の差は小さかった。

第6章では、以上の結果を総括した本研究の結論をまとめた。高力ボルト摩擦接合継手に対して、目標加熱温度を200℃とした場合、加熱時間を30秒程度以上とすることで、ボルト軸力の低下量を加熱前の軸力で除した軸力低下率は4.0%程度に抑えられ、加熱による塗膜剥離の適用が可能なことを示した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 中 原 智 法 )	
論文審査担当者	(職) 氏 名
	主 査 准教授 廣畑 幹人
	副 査 教授 鎌田 敏郎
	副 査 教授 乾 徹

## 論文審査の結果の要旨

鋼橋に代表される鋼構造物の防食塗装の塗替えに際し、作業効率の向上や廃棄物削減等の観点から、旧塗膜の除去方法として、高周波誘導加熱（IH）による塗膜剥離の採用が増えつつあるが、高力ボルト継手に対しては適用が避けられている。その理由に、高力ボルトの軸力やすべり耐力に及ぼす加熱の影響が不明確であることが挙げられる。この問題に対し、本研究では、高力ボルト摩擦接合継手の加熱による防食塗膜の剥離を対象として、加熱条件の違いがボルト軸力に及ぼす影響を実験的に明らかにするとともに、熱弾塑性解析によってボルト軸力の変動機構を解明している。また、実施工に向けた安全かつ効率的な施工手順を検証している。論文の構成と内容は、以下のとおりである。

第 1 章では、旧塗膜除去方法の現状や将来需要、加熱による塗膜剥離の問題点を挙げ、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、基本的な現象の把握に主眼を置き、ボルト本数の少ない小型供試体を用いた加熱実験を実施し、加熱によるボルト継手の塗膜剥離性と、加熱がボルト軸力に及ぼす影響を明らかにしている。加熱方法として、比較的短時間で加熱が可能な IH に加え、加熱に時間を要するが精度の高い温度管理が可能なセラミックヒーターを用いている。鋼構造物に一般に使用される A 塗装系と C 塗装系を施したボルト継手供試体のナット側を目標温度 200℃で加熱し、簡単な手工具による塗膜剥離を実施した結果、いずれの場合も高力ボルトの塗膜を良好に剥離できたことを示している。入熱量の大小、加熱時間の長短等の条件を変えた IH を用いた加熱実験では、時間あたりの入熱量が大きく加熱時間が短いほど、冷却後のボルト軸力の低下の度合いが大きくなる傾向を確認している。

第 3 章では、加熱実験の結果に基づき、加熱条件の違いがボルト軸力に及ぼす影響について、解析的な視点からその要因を検証している。有限要素法による熱弾塑性解析を実施し、加熱条件の違いが高力ボルト継手の温度分布や応力状態に与える影響を検証し、加熱によるボルト軸力の変動機構を解明している。その結果、加熱による高力ボルト軸力の低下は、加熱時のねじ嵌合部の開きが主な要因であることを明らかにしている。ヒーターを想定した加熱時間 30 分と 60 分の場合は軸力への影響は小さいが、数秒から数十秒で加熱する IH を想定した場合は、加熱時間が短いほど加熱時のナット温度と比較してボルト軸の温度が低く、両者の温度差は大きくなり、ナットの熱膨張によるナット内径の拡がりによってナットのめねじとボルト軸のおねじがずれる結果となる。このため、冷却後も嵌合部のずれが残留し、加熱前と比べてボルト軸が短くなり、ボルト軸力を低下させることを示している。

第 4 章では、加熱が高力ボルト継手のすべり耐力に及ぼす影響について、入熱量の大小と加熱時間の長短の条件が異なる継手供試体を用いた引張実験を実施し、加熱条件とすべり耐力の関係を検証している。加熱なしの場合と比較して、加熱時間の長いヒーターを用いた場合の差は微少であるが、加熱時間の短い IH を用いた場合はすべり耐力の低下に加熱時間による違いが生じる。加熱時間が短くなるほどすべり耐力が低下しており、すべり耐力の低下は、ボルト軸力の低下が主要因で、加熱による摩擦接合面の状況変化の影響は小さいと推察している。

第 5 章では、鋼橋などの実構造物を想定した多行多列のボルトを配置した供試体を対象に、ヒーターを用いて同時に加熱するボルト列や加熱作業と並行して剥離作業を行う具体的な施工工程を反映した塗膜剥離実験を実施し、作業効率や安全性を考慮した施工手順を検討している。ここでは、ヒーターを用いてボルト先端部の温度を 200℃まで 30 分で加熱する条件を用いている。加熱作業を幾つかのボルト行ごとに分けて順番に行い、加熱が終了したボルト行の塗膜剥離を次に加熱するボルト行の加熱中に実施することで、加熱と塗膜剥離の並行作業が可能であることを確認している。また、加熱後のボルト軸力を推定した結果、加熱したボルト行と加熱していないボルト行の差は小さいことを示している。

第 6 章では、以上の結果を総括した本研究の結論として、高力ボルト摩擦接合継手に対して、IH を用いて目標加熱温度を 200℃とした場合、ボルト 1 本に対する加熱時間を 30 秒程度とすることで、ボルト軸力の低下量を加熱前の軸力で除した軸力低下率は 4.0%程度に抑えられ、加熱による塗膜剥離の適用が可能であることを示している。また、ヒーターを用いて複数のボルトを同時に加熱する場合、6 本のボルト群を同時に 30 分で 200℃まで加熱し、次のボルト群を加熱している間に、加熱を終えたボルト群の塗膜剥離を行うことで、軸力低下の抑制と作業の効率化を両立できることを示している。

以上のように、本論文は鋼構造物の維持管理における重要課題である防食塗装の更新に関して、加熱を利用した塗膜剥離を高力ボルト継手に適用するうえで有用な情報を与えるものである。特に、ボルト継手の力学的性能に影響を及ぼす支配因子として、加熱時間の重要性を明らかにしている点は、学術的に新規性の高い知見と工学的な意義を示しており、今後の社会基盤工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。