

蒸気タービンケーシングのボルト自動締付システム

Automatic Bolt Tightening and Removal System for Steam Turbine Casings

百瀬 勇 岡田 晃 宮部 圭介
I. Momose A. Okada K. Miyabe

高圧・高温蒸気をエネルギー源とする蒸気タービンの上半、下半に二分されたケーシング水平フランジの締結は、蒸気漏洩(えい)防止のためボルトを高軸力で締め付ける必要があり、従来ボルトヒータによりボルトを加熱伸長さセナットを締め付け、また定期点検時などのケーシング開放時もボルトヒータで加熱伸長さセナットを緩める作業をすべて人力で行っていた。

当社は工期の短縮と作業員の負担軽減を目的に、東京電力(株)との共同研究で得られた成果を生かし、自動締付システムを製品化した。ここにこのシステムの構成、機能および効果について紹介する。

Bolts of steam turbine casings that are subjected to steam energy at high pressure and temperature must be tightened by a strong force to prevent steam leakage. So far, we have been performing tightening and removing work by means of elongated bolts using electric heaters.

We have now developed an automatic bolt tightening and removal system based on a cooperative investigation with The Tokyo Electric Power Co., Inc., aimed at saving working hours and reducing the work load of workers.

This paper reports on the structure, functions, and effects of using this system.

1 まえがき

蒸気タービンの高圧、中圧部のケーシング水平フランジは、圧力、温度による大きな開口力が働くため、高強度材のボルトが1ケーシングに60本程度使用され(図1)、各ボルトは約1,961 kNの高軸力で締結される。この締結作業は、従来水平フランジにボルトを組み込み、質量約20 kgあるナットを人力

により運搬し、ボルトにねじ込み、水平フランジ面が密着するまで打撃ハンマによりナットを締め付ける、いわゆる生締め作業を行う。その後、電熱式ボルトヒータを用いてボルトを180℃前後に加熱し、必要な熱膨張状態を得て、ナットを締め付けていた。この作業には工期が掛かるなどの問題と、重い、暑い、汚れる、きついなどの作業員に掛かる負担が大きく、抜本的改善が電力安定供給の面からも要求されていた。

当社は、すでに開発してあった油圧力によりボルトを伸ばす油圧ボルト(図2)を使い、工期の短縮、人手による作業負担が軽減できるボルト自動締付システムを東京電力(株)との共同研究で開発した。この研究成果を生かし、さらに改善を加えたシステムとして製品化した。以下にシステム構成、作業方法、仕様および効果について説明する。

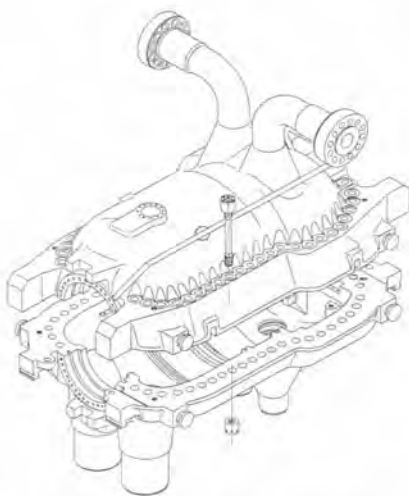


図1. 高圧外部ケーシング 高圧外部ケーシング水平フランジのボルトおよびボルト穴の配列状況。

High-pressure outer casing



図2. 油圧ボルト ボルト中央穴に、油圧力をボルトに伝達するボルトロッドが挿入されている。

Hydraulic bolt

2 システム構成

図3に示すように、このシステムは、①タービンケーシングに取り付けられた油圧ボルトに力を伝達するボルトロッド、②油圧を力に変える油圧シリンダ、③油圧シリンダに油圧を掛ける油圧発生装置、④ボルトの伸び量を計測する超音波伸び計測器、⑤これらの制御、データ処理と作業手順指示をするデータ処理装置、⑥ボルトへのナットおよび油圧シリンダの取付け、取外しをするナット自動締付装置、から構成される。

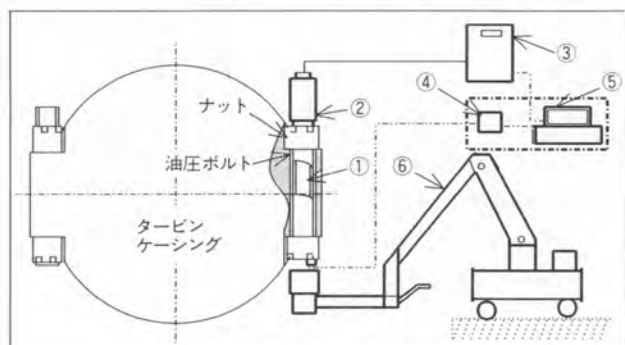


図3. ボルト自動締付システムの構成 下ナットおよび油圧シリンダの取付けと取外し作業は、1台のナット自動締付装置で行われる。
Automatic bolt tightening and removal system

3 作業方法および装置の仕様

このシステムは、水平フランジのボルト径3~4.5インチを使用した高圧、中圧、高中圧外部ケーシング水平フランジのボルト締付け、分解作業に適用される。

ここでは、このシステムを使用した締付作業について説明し、あわせて、装置の機能および仕様を説明する。

3.1 上半ケーシングのつり込み

上半ケーシング水平フランジのボルト穴に、上ナットおよびボルトプラグを取り付けた油圧ボルトを挿入し、ボルト中央穴にボルトロッドを挿入した状態で、クレーンでつり上げ下半ケーシング上にセットする。

3.2 超音波ボルト伸び計測器のキャリブレーションおよび下ナットの取付け

データ処理装置(図4)の筐(きょう)体に組み込まれた超音波ボルト伸び計測器は、ボルト端面に取り付けたトランスデューサから発した超音波が反対端面で反射し戻ってくる往復伝搬時間から伸び量を計測する。超音波の伝搬速度はボルト材、応力および温度に影響を受ける。温度の影響は自動補正回路により、ボルト材、応力の影響は、事前に異なるボルトサイズごとに任意の1本のボルトのキャリブレーションを行い、補正係数としてデータ処理装置に入力する。



図4. データ処理装置と画面例 筐体内にFAパソコン、超音波ボルト伸び計測器、レーザプリンタが組込まれている。

Data processing system and example of screen display

データ処理装置は現場の環境や操作性を配慮し、筐体内にFA(ファクトリオートメーション)パソコン、無停電電源装置、超音波ボルト伸び計測器、レーザプリンタを、そして全面パネルは立ち姿で、すべての操作ができるように操作キーを配置した。また、キャリブレーションを含むすべての作業は、データ処理装置画面の該当メニューを選択することにより表示される手順、操作方法に従って行われる。

ボルトのキャリブレーションと平行し、ナット自動締付装置(図5、表1)により、下ナットをボルトに取り付ける作業が行われる。この装置は自走式の走行台車に搭載した balan

表1. ナット自動締付装置の仕様

Specifications of automatic nut tightening system

寸法	3,500×1,200×4,200 mm	質量	1,500 kg
走行速度	0.25/1.3 km/h	ナットランナ回転数	0.03/0.17/1 s ⁻¹
可搬質量	50 kg(最大)	電源	AC 200 V, 30 A
作業範囲	ストローク 上下1,984 mm, 前後1,355 mm 旋回 半径4,158 mm		



図5. ナット自動締付装置 自走台車にバランスアームとナットランナが設置されている。

Automatic nut tightening system

スアームと、その先端に装備したナットランナ機構で構成される。走行台車は、バッテリー駆動による4車輪台車型構造で、前後・左右・旋回の三つの走行モードをもち、有線式リモコン操作によりタービンプラント上を自在に走行することができる。また、バランスアームは2連の平行リンク構造で、先端にかかる荷重を検出し、つねに平衡状態を保つようにサーボ制御を行っているため、操作員は軽微な力で作業ができる。

3.3 油圧シリンダの取付け、油圧ホースの接続およびボルト伸び計測器のトランスデューサ取付け

データ処理装置の“締付作業メニュー”を選択すると最初に締め付けるボルトが画面表示される。この表示に従って、ナット自動締付装置の操作をし所定のボルトに油圧シリンダを取り付け、油圧発生装置(図6)と高圧ホースで接続する。

また、ボルト下部面に超音波ボルト伸び計測器のトランスデューサを取り付ける。



図6. 油圧発生装置と油圧シリンダ 左側の油圧発生装置と右側の油圧シリンダが高圧ホースで接続される。

Hydraulic pressure unit and hydraulic cylinder

3.4 ボルト伸ばし、締付けおよび伸び計測

データ処理装置の画面を進め、昇圧設定値(235~255 MPa)の確認をし、油圧発生装置を起動する。約5分で設定油圧に昇圧し、所定の6本のボルトを伸長する。この油圧を掛けた状態で、下ナットを手動(軽微な力)でケーシングのナット座面に当たるまで回す。油圧発生装置を停止し、データ処理装置で伸び計測を実行し、画面で規定値内かの確認をする。過不足のボルトがあれば、画面に表示されるので、画面指示に従い再昇圧、再締付けを行う。ボルト伸び量が満たされたら、データファイルへの書込みを実行させることにより、次に締め付けるボルトが画面表示される。以降3.3節および3.4節の操作を繰り返す、全数のボルトの締付けを行う。ボルトの締付順序は、ケーシングの構造、締結理論によってあらかじめ決められ、締付要項としてデータ処理装置にインプットされている。

締付作業は締付記録帳票をプリンタから出力し完了となる。また、フロッピーにすべてのデータが保管されており、必要などきに適宜出力できる。

一方、分解作業はボルトの伸び計測が不要であり、超音波ボルト伸び計測器は使わない。このため作業はさらに簡便化され、データ処理装置画面の分解作業手順表示に従って、油圧シリンダの取付け、昇圧、ナット緩め、そしてナット自動締付装置でナットの取外しの順序で行われる。

4 効果

4.1 作業時間(工期)の短縮

4.5インチのボルト60本使用のケーシングの場合で、次の効果を得た。

新システム：組立作業12時間以下、分解作業8時間以下
従来方法：組立作業48時間、分解作業36時間

4.2 作業負担の軽減

- (1) ナットのハンドリングがほぼ皆無
- (2) 打撃ハンマの使用不要
- (3) 狭あい環境でのナット締付作業排除
- (4) ボルトヒータ不使用のため高温環境なし
- (5) 衣服の汚れ作業なし

5 あとがき

このシステムは、油圧ボルトを使用する外部ケーシング水平フランジの締付け、分解作業に適用される。今後は内部ケーシングの水平フランジ、および従来ボルトを使用するケーシングへの適用拡大が期待されている。このためにケーシングの構造、まわりの配管などの環境を配慮した研究・改善を行い、適用拡大を図る所存である。



百瀬 勇 Isamu Momose

1960年入社。蒸気タービンのフィールド技術に従事。現在、京浜事業所フィールドサービス部主幹。
Keihin Product Operations



岡田 晃 Akira Okada

1970年入社。特殊ロボット、FA機器の開発設計に従事。現在、京浜事業所機器装置部主務。
Keihin Product Operations



宮部 圭介 Keisuke Miyabe

1983年入社。蒸気タービン診断支援システムの開発設計に従事。現在、京浜事業所タービンプラントシステム部主務。
Keihin Product Operations