

浜岡5号機 駿河湾の地震に伴うタービン保全復旧報告

Maintenance Report of Hamaoka Nuclear Power Station Reactor No. 5 Turbine Damaged by Suruga Bay Earthquake

中部電力(株)	長谷川 義朗	Yoshirou HASEGAWA	Member
中部電力(株)	堀井 一明	Kazuaki HORII	Member
(株)日立製作所	青木 薫	Kaoru AOKI	Member
(株)日立製作所	柴下 直昭	Naoaki SHIBASHITA	Member

Hamaoka Nuclear Power Station Reactor No. 5 was automatically shut down when an earthquake occurred in Suruga Bay on August 11, 2009. A special maintenance plan for inspections to verify the soundness of equipment and facilities in Hamaoka Nuclear Power Station was formulated following the earthquake. The main steam turbine in Hamaoka Nuclear Power Station Reactor No. 5 was inspected based on the plan. The middle standard bearing box, which had the thrust bearing of the turbine was found to lift slightly from the turbine base. Deformation of the fixing bolts and keys of the middle standard bearing box was also observed. The phenomena indicated that the turbine rotor remarkably moved along the axial direction relatively to the stationary blades due to the earthquake. In this paper, the results of the inspections conducted on the turbine in Hamaoka Nuclear Power Station Reactor No. 5, especially repair and restoration of the middle standard bearing box are described.

Keywords: steam turbine, earthquake, special maintenance plan, middle standard bearing box, thrust bearing

1. 緒 言

平成21年8月11日、午前5時7分に発生した駿河湾の地震により、定格熱出力一定運転中であった浜岡原子力発電所5号機が「地震加速度大」により自動停止した。これに伴い、浜岡原子力発電所の設備について保全計画を策定し、設備の点検および健全性確認を実施した結果、浜岡5号機の主タービン（以下、「タービン」という。）において、中間軸受箱の損傷を確認した。

本報告では、駿河湾の地震に伴い実施した浜岡5号機のタービンの中間軸受箱の点検復旧結果について述べる。

2. 点検結果

2.1 地震発生直後の状況

地震発生直後、タービンはスラスト保護装置が動作し「タービンスラスト軸受摩耗トリップ」によりトリップした。その後、スラスト軸受摩耗トリップ信号のオン、オフが約2秒間のうちに5回繰り返され、最終的に発電機側スラスト軸受摩耗トリップ信号がオンの状態でタービンは停止した。タービン停止過程における軸振動値、軸受メタル温度等の関連パラメータに異常はなかったが、外観点検の結果、

中間軸受箱取付ボルトの緩み（最大 5.5mm）、中間軸受箱のタービン基礎部からの浮き上がり（最大 1.8mm）が確認された。

これらの状況から、地震により中間軸受箱が損傷したこと、およびタービンロータが静止体に対して相対的に軸方向に移動して、動翼（回転体）とダイヤフラム（静止体）とが接触したことが推定されたため、タービンの開放点検および中間軸受箱の詳細点検を実施した。

2.2 中間軸受箱

2.2.1 中間軸受箱の役割

Fig.1に中間軸受箱の図を示す。中間軸受箱にはスラスト軸受（タービンロータの軸方向に動く力を受け止める軸受）が収納されている。中間軸受箱はタービン基礎部であるソールプレートに取り付けられており、ソールプレートとは、固定キーで水平方向に、取付ボルトで鉛直方向に固定されている。

中間軸受箱はタービンロータの位置決め基準となっているため、中間軸受箱の位置がずれた場合、タービンロータの位置がずれ、動翼（回転体）とダイヤフラム（静止体）との接触が生じる可能性がある。

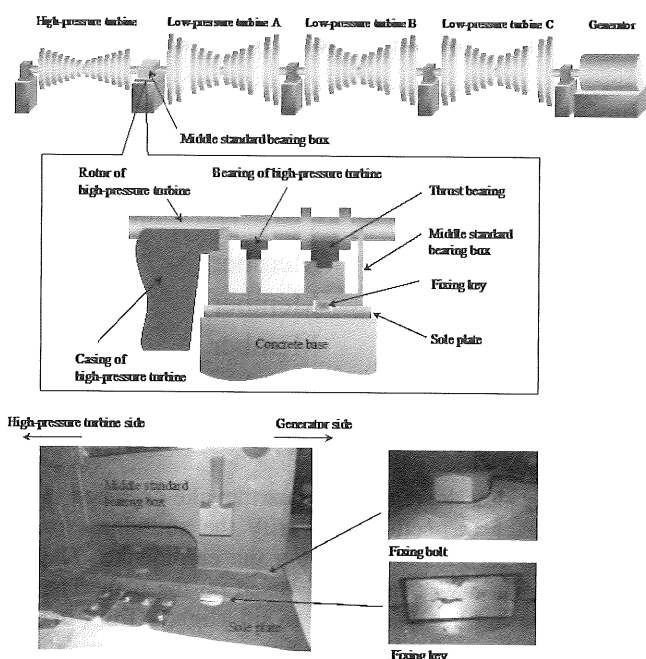


Fig.1 Middle standard bearing box

2.2.2 中間軸受箱の取り外し

中間軸受箱の詳細点検を実施するためには、中間軸受箱をタービン基礎部から取り外す必要がある。中間軸受箱は高圧車室を支持する構造となっているため、中間軸受箱を取り外すためには高圧車室を吊り上げる必要があった。高圧車室には高圧タービンの排気管であるクロスアラウンド管が接続されているため、クロスアラウンド管の支持構造物を取り外したうえで、ジャッキアップ装置により高圧車室をクロスアラウンド管とともに 135mm 吊り上げ、中間軸受箱の取り外しを実施した。Fig.2 にジャッキアップ装置の写真を、Fig.3 に中間軸受箱の取り外し順序を示す。

また、中間軸受箱にはスラスト軸受の給排油管等が接続されているため、これらの配管の切断も実施した。

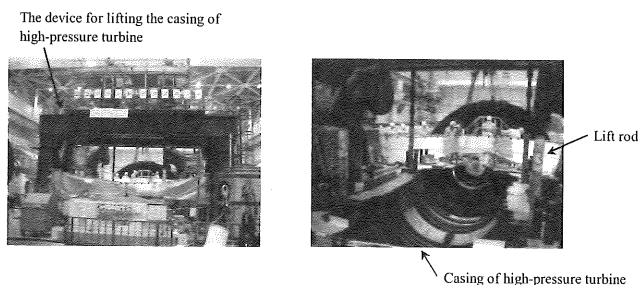


Fig.2 The device for lifting the casing of high-pressure turbine

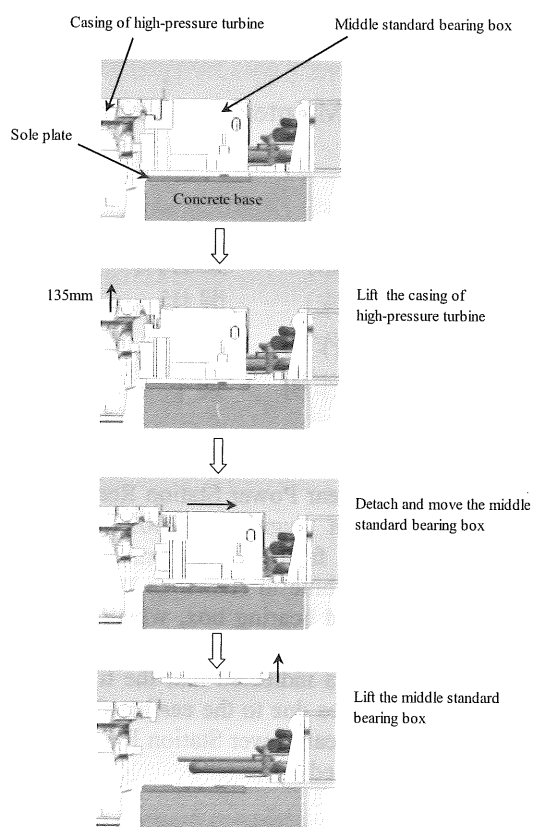


Fig.3 The Process of detaching the middle standard bearing box from the turbine base

2.3 タービンの損傷状況

点検により確認されたタービンの主な損傷状況を以下に示す。

- ・動翼とダイヤフラムとの接触痕
(接触による摩耗深さは最大 2mm 程度)
- ・低圧内部車室スラストキーの変形
(変形量は最大 3.5mm)
- ・中間軸受箱取付ボルトの変形 (伸び)
(伸び量は最大 7.6mm)
- ・中間軸受箱の軸方向固定キーおよびキー溝の変形
(変形量は最大 0.8mm)

スラスト保護装置、非常调速機等のタービンの非常停止機能に影響する異状はなく、また、耐震上重要な部位である「タービン基礎ボルト」(ソールプレートをコンクリート基礎に固定するボルト)にも異状は確認されなかった。

Fig.4 に低圧内部車室スラストキーの図を示す。低圧内部車室は低圧外部車室に収納されており、低圧外部車室はタービン基礎にボルトおよびキーにより固定されている。低圧内部車室スラストキーとは、低圧内部車室の軸方向の移動を拘束するもので、低圧外部車室に取り付けられている。

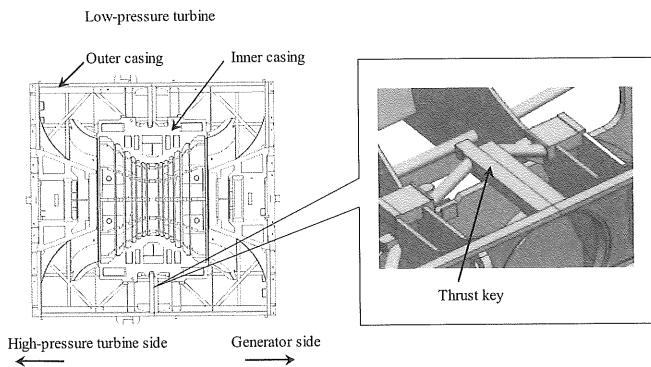


Fig.4 Thrust key of inner casing of low-pressure turbine

2.4 地震発生時のタービンの挙動

点検結果より、地震発生時、タービンが以下の挙動を示し、各部位に変形や移動が生じたものと推定される。

1. 地震によるタービン基礎の揺れに伴い、スラスト軸受が収納されている中間軸受箱が揺れた。同様に、低圧内部車室が収納されている低圧外部車室が揺れた。
2. 中間軸受箱に過大な力が掛かり、中間軸受箱取付ボルトが損傷した。また、低圧外部車室の揺れにより、低圧内部車室スラストキーに過大な力が掛かり、低圧内部車室スラストキーが変形した。
3. 中間軸受箱取付ボルトの損傷により、中間軸受箱が上下に揺動し、スラスト軸受も揺動した。スラスト軸受が揺動することにより、タービンロータが軸方向に移動した。また、低圧内部車室スラストキーの変形により、低圧内部車室が軸方向に移動した。
4. 中間軸受箱の揺動およびタービンロータの軸方向移動により、スラスト保護装置が動作し、スラスト軸受摩耗トリップ信号のオン、オフを繰り返した。同時に、タービンロータおよび低圧内部車室の軸方向移動により、動翼（回転体）とダイヤフラム（静止体）とが接触した。
5. 中間軸受箱の揺動およびタービンロータの軸方向移動が収まった際、タービンロータがスラスト保護装置に対して相対的に発電機側に寄った状態にあったため、発電機側スラスト軸受摩耗トリップ信号がオンのままとなった。

3. 復旧・対策

3.1 タービンの復旧

損傷箇所について、非破壊検査等により健全性の確認を実施し、必要に応じて修正加工、取替等の処置を実施したうえで、タービンの復旧を実施した。

3.2 今後の地震への対策

3.2.1 中間軸受箱取付ボルト等の補強

今回の地震により生じたタービンの損傷は、主に中間軸受箱取付ボルトの損傷および低圧内部車室スラストキーの変形に起因すると推定されたことから、今回と同程度の地震への対策として、中間軸受箱取付ボルトおよび低圧内部車室スラストキーの補強を実施した。

中間軸受箱取付ボルトについては、ボルトの増径（M56→M64）、本数増加（10本→14本）を実施し、せん断、鉛直引張に対するボルトの強度を1.83倍とした。今回、中間軸受箱取付ボルトは、変形（降伏点：280MPa）が確認されたが、破断（引張強さ：459MPa）には至らなかったため、ボルトの強度を1.64（ $=459/280$ ）倍以上にすれば、今回と同程度の地震に対してはボルトの変形を防止することができる。ボルトの強度がメネジの強度を超えると、メネジが損傷してソールプレートの修理を実施する必要があるため、メネジの強度（ボルトの強度の2.69倍）を上限としてボルトの補強を実施した。

低圧内部車室スラストキーについては、固定板を取り付け、曲げに対するキーの強度を3.06倍とした。Fig.5に補強後の低圧内部車室スラストキーを示す。

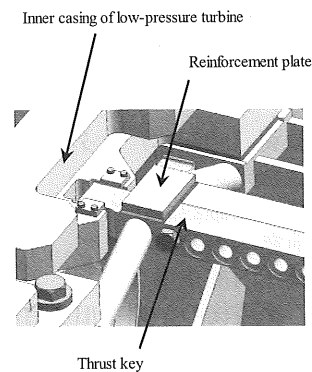


Fig.5 Reinforcement of thrust key of inner casing of low-pressure turbine

3.2.2 中間軸受箱固定キー溝形状の改善

中間軸受箱の吊り上げには、高圧車室の吊り上げや干渉物の撤去が必要となり、準備および復旧を含めて2ヶ月以上の工期を要する。中間軸受箱を吊り上げることなく軸方向固定キーを引き抜いて、キー

の変形の有無を確認できるよう、タービン基礎部のキー溝の形状を改善した。これにより、地震後の早期復旧が可能となる。Fig.6 に改善後のキー溝形状を示す。

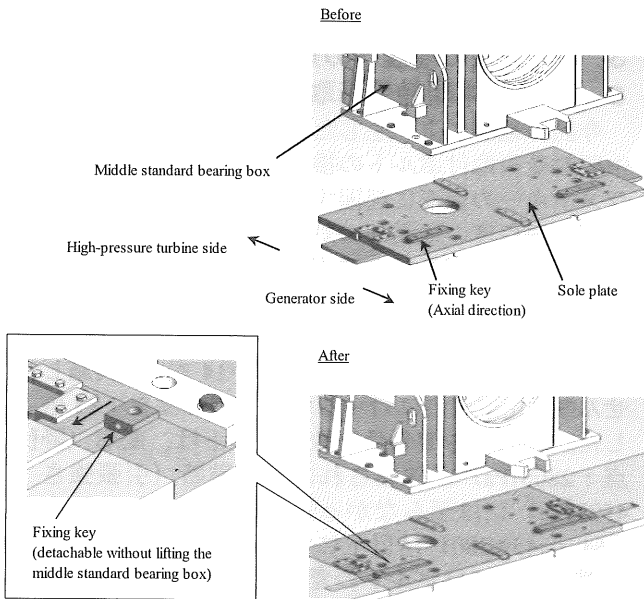


Fig.6 Detachable fixing key of middle standard bearing box

4. 結 言

駿河湾の地震に伴い、浜岡5号機のタービンの開放点検および中間軸受箱の詳細点検を実施した。点検の結果、中間軸受箱取付ボルトの損傷、低圧内部車室スラストキーの変形、およびこれらに起因すると推定される動翼（回転体）とダイヤフラム（静止体）との接触痕を確認した。

損傷箇所の健全性確認および修理を実施するとともに、今後の地震への対策として、中間軸受箱取付ボルトおよび低圧内部車室スラストキーの補強を実施した。また、地震後の早期復旧を目的として、中間軸受箱を吊り上げることなく軸方向固定キーを引き抜いて点検できるよう、タービン基礎部のキー溝の形状を改善した。