

燃料棒貯蔵棚の据付ボルトのナットの緩みについて

令和2年12月22日

(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

1. 発生状況

令和2年7月、第2加工棟[]に設置された燃料棒貯蔵棚(2台)の据付ボルトのナットに計3箇所(タイプA及びタイプB、それぞれ全82箇所中2箇所と全64箇所中1箇所)緩みがあることが確認された。確認された緩みについては、不適合処置として増し締め処置を講じるとともに、ナットの緩みが確認された据付ボルトが機能しなくても、耐震評価上問題のないことを確認した。

2. 燃料棒貯蔵棚の構造

燃料棒貯蔵棚の構造は、柱、梁を溶接接合するラーメン構造の部分と、ブレース等のボルト接合の部分からなる鉄骨造である。また、タイプAとタイプBの2種類があるが、水平方向の棚数が異なるだけで、基本的な構造は同一である(代表してタイプAを図1に示す)。

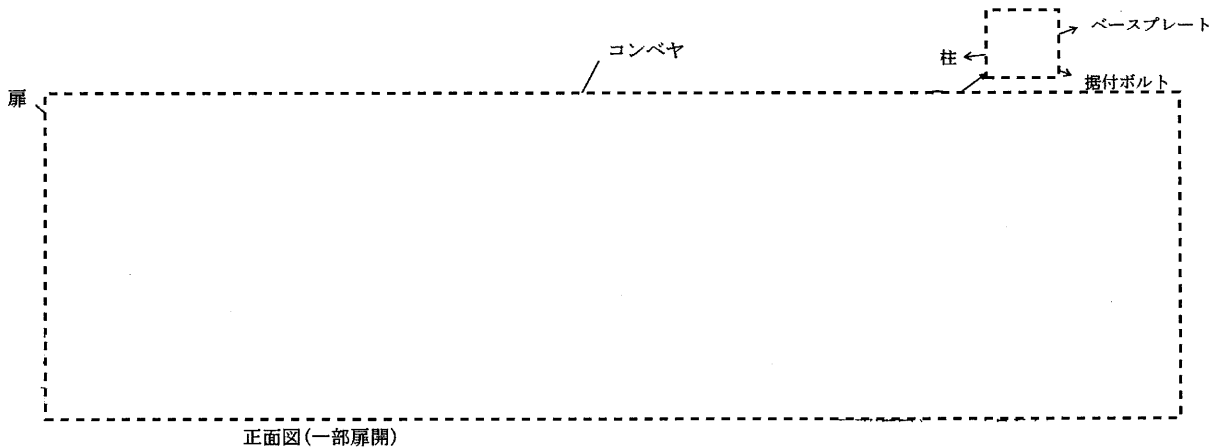


図1 燃料棒貯蔵棚 (タイプA) の構造

3. 原因分析

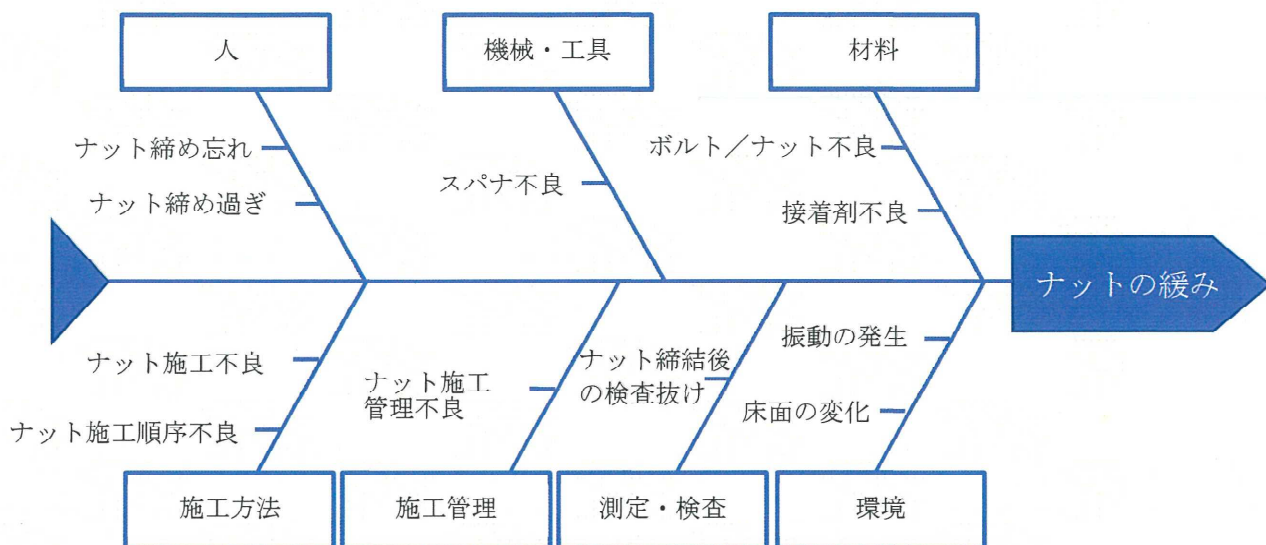
目視によるナットの現状調査では、緩みの発生原因を直接的に特定することができなかつたため、特性要因図(図2)を用いた原因の絞り込みを行い、必要な追加調査(表1)を実施した。

4. 原因と対策

追加調査により特定できた発生原因と対策を表2に示す。

5. まとめ

燃料棒貯蔵棚の据付ボルトで確認されたナットの緩みについて、特性要因図を用いた原因の絞り込みと必要な追加調査を実施し、ナット施工順序不良(直接的な原因)とナット施工管理不良(間接的な原因)に関する4つの発生原因を特定した。それぞれの原因に対し、直接的な原因への対策として、a. ナットの施工順序の変更及びb. ナット締付け状態の再確認を実施し、また、間接的な原因への対策として、c. 調達先及び事業者内の教育と指示、d. ナット施工方法の発注仕様書への記載及びe. 社内手順書への反映を実施する。



項目	推定要因	検討結果
人	ナット締め忘れ	ナットの施工については、調達先において施工後に実施した記録をGNF-Jにて確認し、さらにGNF-J自らも検査を実施しているため、本要因の発生可能性は低い。
	ナット締め過ぎ	追加調査実施（表1）
機械・工具	スパナ不良	規格に適合した工具を使用しているため、当該要因による可能性は低い。
材料	ボルト/ナット不良	規格に適合した材料を使用しているため、当該要因による可能性は低い。
	接着剤不良	メーカー規格製品を使用しているため、当該要因による可能性は低い。
施工方法	ナット施工不良	追加調査実施（表1）
	ナット施工順序不良	追加調査実施（表1）
施工管理	ナット施工管理不良	追加調査実施（表1）
測定・検査	ナット締結後の検査抜け	「ナット締め忘れ」要因に記載の通り、ナット締結後の検査は調達先に加えてGNFJ検査員も検査を実施していたため、本要因の発生可能性は低い。
環境	振動の発生	ナット締結後の工程において、据付ボルトやナットに継続的な振動を与える工事は実施していないため、当該要因による可能性は低い。
	床面の変化	工事期間中に大きな地震等はなく、また、床面の陥没などは確認されていないため、当該要因による可能性は低い。

図2 ナット緩みの特性要因図

表1 ナットの緩みに係る追加調査内容

項目	推定要因 (追加調査項目)	追加調査内容
人	ナット締め過ぎ (ナットの締め過ぎによる据付ボルトの破損の調査)	ナットの締め過ぎによる据付ボルトの破損の有無の確認のため、打音確認を実施した。その結果、不具合は確認されなかったことにより、「ナット締め過ぎ」要因はナット緩みの原因では無いと判断した。
施工 方法	ナット施工不良 (ナットの施工方法の適切性の調査)	ナットの施工法が適切であったかを確認するため、文献等の調査を実施した。その結果、建築物の柱脚のアンカーボルト施工に係る公的基準のダブルナット施工方法を採用し、施工においては当該基準に基づき方法と同等の方法で実施されていたことから、適切であったことが確認された。
施工 方法	ナット施工不良 (ナットの施工状態とナット緩みの関係調査)	締付後の緩みが発生したことについて、その発生メカニズムを確認するための試験を実施した。その結果、ナットが適正に締結されダブルナットによる緩み止めが正常に施工されていても、ベースプレートとナットの間隙が生じるとナットの緩みが発生することが確認されたこと等により、「ナット施工不良」要因はナット緩みの原因では無いと判断した。
施工 方法	ナット施工順序不良 (燃料棒貯蔵棚の施工方法)	ナット施工を全体工程のどの段階で実施したか等について、燃料棒貯蔵棚の施工方法を調査した。その結果、全体を組み上げる途中でナット本締めを行うという工程があったため、ナットの緩みを誘発する柱脚の傾きが発生する可能性があったことが確認された(表2 発生原因①)。また、貯蔵棚全体の施工完了後にナットの締付け状態の確認を行わなかったことも問題と考えられた(表2 発生原因②)。
施工 管理	ナット施工順序不良 (柱脚の傾き及びベースプレートの隙間測定)	柱脚の傾き測定及びベースプレートと床との隙間測定を実施した結果、柱脚にはわずかな傾きが生じたが、また、ベースプレートと床の間には隙間も発生しているが、ナットの緩みが発生した柱脚に特有の現象ではなく複数の柱脚に発生していること、及び柱脚の傾きと隙間の発生に法則性や相関が確認できないことが分かったため、原因の特定には至らなかった。
施工 管理	ナット施工管理不良 (ナットの施工管理についての調査)	調達先で実施したナットの施工を事業者として適切に管理できていたかについて、施工時における管理の実施状況について調査を行った結果、発注仕様書にナット施工方法を具体的に記載しこれに基づいて管理していくという点が不十分であったことが確認された(表2 発生原因④)。また事業者として、ナットの施工順序や締付け状態の確認のタイミングが、ナットの健全性の確保に関して重要であるという認識が不十分であったことも問題と考えられた(表2 発生原因③)。

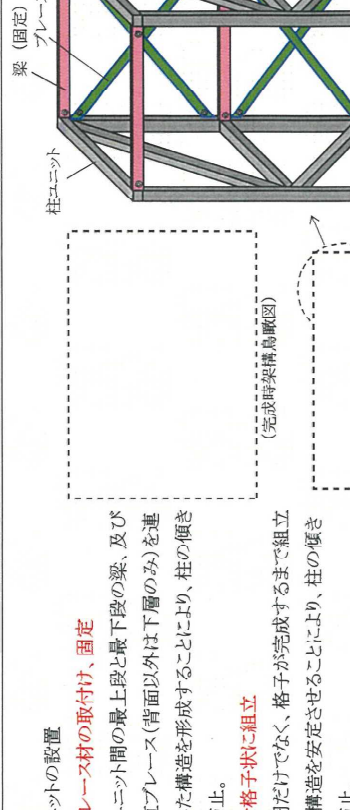
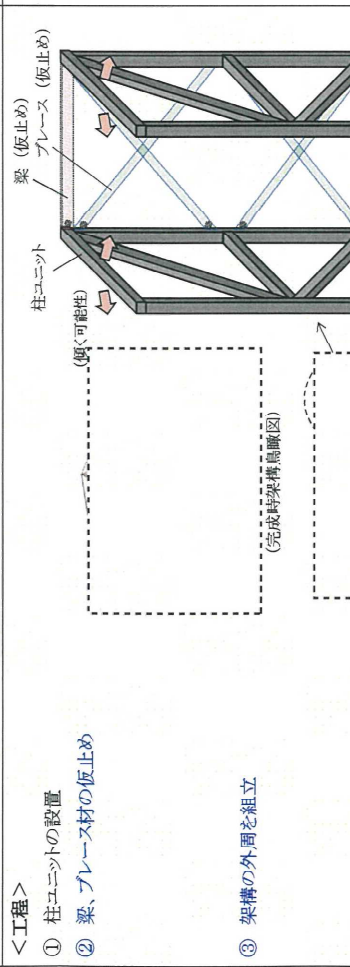
表2 燃料棒貯蔵棚の据付ボルトのナットの緩みに係る発生原因と対策*1

項目	発生原因	対策
<p>ナット施工順序不良 (直接的な原因)</p>	<p>①据付ボルトの最終的な締付け(本締め)を実施した後、梁の取り付け等、柱に水平方向の力が作用する施工を実施したことにより柱脚のベースプレートが傾斜し、ベースプレートを締結しているナットの締結力が消失したこと。 ②貯蔵棚全体が組み上がった後、ナットの締付け状態の再確認を実施しなかったこと。</p>	<p>a. ナット施工順序の変更(事業者の対応) ・表3に示す様に、柱に梁やブレースを取付けた後にナットの本締めを行うよう、施工順序を変更する。また本締め前の下ナットの1次締付け時には、<u>図3</u>・<u>表3</u>以上のトルク管理を実施する。</p> <p>b. ナット締付け状態の再確認(事業者の対応)*2 ・貯蔵棚全体の組立完了後、全ての下ナットの締付状態を再度確認する。確認は、1次締付け時の設定トルクで再度締付けることにより行う。</p>
<p>ナット施工管理不良 (間接的な原因)</p>	<p>③事業者として、ナットの施工及び締付け状態の確認の順序の重要性に関する認識が不十分だったこと。 ④発注段階において、施工方法の仕様を具体的に指定していなかったこと。</p>	<p>c. 調達先及び事業者内の教育と指示(事業者及び調達先の対応) ・今回の事象及び原因と対策の内容を事業者内及び調達先で十分に共有するとともに教育を実施し、貯蔵棚の施工時に柱に加わる力に関する意識を高める。</p> <p>d. ナット施工方法の発注仕様書への記載(事業者の対応) ・ナットの施工方法を重要な項目と位置づけ、①施工の順序、②下ナットの1次締付トルク値、③上ナットの締付方法(下ナットを固定して上ナットを締め付ける)等、その仕様を発注仕様書で具体的に示す。 e. 社内手順書への反映(事業者の対応) ・上記dの水平展開として、ナットの施工方法や締付け状態の確認等に係る留意点をデザインレビュー要領や発注仕様書作成要領に反映する。</p>

*1: 表中には今後設置する設備に対する対策を示す。設置済みのタイプA及びタイプB各1台の燃料棒貯蔵棚については、全てのナットについては再度締め付けの確認を実施した。確認にあたっては、建築構造用アンカーボルトの施工指針を参照し、図3・表3以上のトルク管理を実施した。

*2: 対策実施後は、燃料棒貯蔵棚以外の設備も含む施設全体の保守管理の一環として、社内手順書の「設備管理規程」に定める保全プログラムに基づき、定期的にナットの締付け状態を目視及び触手により確認することを計画している。

表 3 燃料棒貯蔵棚の施工方法の改善

現行	改善
<p><工程></p> <p>① 柱ユニットの設置</p> <p>② 梁、ブレース材の仮止め</p> <p>③ 架構の外周を組立</p> <p>④ 据付ボルトの本締め … 図 3a 参照</p> <p>(架構の外周完成)</p> <p>図 3a 架構の外周完成、据付ボルトの本締め(④の状態)</p> 	<p><工程></p> <p>① 柱ユニットの設置</p> <p>② 梁、ブレース材の取付け、固定 柱ユニット間の最上段と最下段の梁、及び垂直ブレース(背面以外は下層のみ)を連結した構造を形成することにより、柱の傾きを防止。</p> <p>③ 架構を格子状に組立 外周だけでなく、格子が完成するまで組立て、構造を安定させることにより、柱の傾きを防止。</p> <p>④ 据付ボルトの1次締付け … 図 3b 参照 ①～④は、柱ユニットの垂直を維持しながら並行して実施。柱に水平方向の力が作用しないように、偏りなく均等に固定する。</p> <p>(架構の格子完成)</p> <p>⑤ 部品の取付け (コンベヤ、ボロン SUS など) ⑦⑧の作業スペースを確保するため、1段目のコンベヤについては位置決め後に一時取り外し。</p> <p>⑥ 残りの構造部材の取付け (梁、ブレースなど) ⑤⑥を繰り返し、1～9 段目を組立。</p> <p>(架構の完成)</p> <p>⑦ 据付ボルトの1次締付け状態の再確認 ⑧ N・mであることを確認。</p> <p>⑧ 据付ボルトの本締め … 図 4b 参照</p> <p>⑨ 部品の再取付け (1段目コンベヤ)</p> <p>⑩ 化粧板、扉取付け</p> <p>⑪ ナット締付け状態の再確認</p> <p>(完成)</p> <p>図 4b 架構完成後の据付ボルトの本締め(⑧の状態)</p> 
<p><原因></p> <p>(1) 床面のみで支持された片持ち状態の柱ユニットに対して構造部材の取付けを行ったため、柱ユニットが傾く可能性があるがあった。</p> <p>(2) 架構の完成前に据付ボルトを本締めしたため、(1)で柱が傾くことによりナットが緩む可能性があるがあった。</p> <p>青字: 改善前の工程、赤字: 改善後の工程</p>	<p><対策></p> <p>(1) 複数の柱ユニットが梁と垂直ブレースで連結された構造を形成し、架構を格子状に組立ててから構造部材を取付けることにより、柱ユニットが傾くことを防止する。</p> <p>(2) 架構の完成後に据付ボルトを本締めすることにより、ナットの緩みを防止する。さらに全施工が完了した後に再確認する。</p>