

JAEA-Technology 2021-045 DOI:10.11484/jaea-technology-2021-045

## 空気系統用冷却設備の設計及び安全評価

Design and Safety Assessment of Cooling Facilities for Air System

浅野 典一 西村 嵐 高部 湧吾 荒木 大輔 箭内 智博 海老沢 博幸 小笠原 靖史 大戸 勤 大塚 薫 大塚 紀彰 飯村 光一 遠藤 泰一 谷本 政隆

Norikazu ASANO, Arashi NISHIMURA, Yugo TAKABE, Daisuke ARAKI Tomohiro YANAI, Hiroyuki EBISAWA, Yasushi OGASAWARA, Tsutomu OHTO Kaoru OHTSUKA, Noriaki OHTSUKA, Koichi IIMURA, Yasuichi ENDO and Masataka TANIMOTO

> 高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部

Department of JMTR Waste Management and Decommissioning Technology Development Center Oarai Research and Development Institute Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development

June 2022

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

C 

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。 本レポートの成果(データを含む)に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の 条件で利用してください。(<u>https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja</u>) なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト(<u>https://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課 〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4 電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<u>https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en</u>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2022

#### 空気系統用冷却設備の設計及び安全評価

### 日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部

浅野 典一、西村 嵐、高部 湧吾、荒木 大輔、箭内 智博、海老沢 博幸 小笠原 靖史、大戸 勤、大塚 薫、大塚 紀彰、飯村 光一、遠藤 泰一、谷本 政隆

#### (2021年12月24日受理)

令和元年9月9日の台風15号の強風により、JMTR(材料試験炉)にある二次冷却系統冷却塔 の倒壊事象が発生した。これを受け、材料試験炉部内にUCL系統冷却塔更新検討ワーキンググ ループを設置し、JMTR内にある二次冷却系統冷却塔と同種の木造の冷却塔であるUCL(Utility Cooling Loop)系統冷却塔の健全性調査を行うとともに、UCL系統冷却塔の構造材料である木材 の交換・補修計画及び工事の実施、使用計画、既設UCL系統冷却塔に代わる冷却設備の更新の検 討を進めた。

その検討の結果、既設 UCL 系統冷却塔については、木材の腐朽による倒壊のリスクを低減する ため、廃止措置後も性能維持施設として管理する空気系統を構成する冷却設備として、新規設置 することとした。新規設置に伴い、新たな冷却設備を設計する上での方針と廃止措置計画の認可 に必要な設計及びその評価を行い、廃止措置計画認可申請書に反映した。

本報告書は、これらの新規空気系統用冷却設備の方針及び設計の評価結果をまとめたものである。

JAEA-Technology 2021-045

Design and Safety Assessment of Cooling Facilities for Air System

Norikazu ASANO, Arashi NISHIMURA, Yugo TAKABE, Daisuke ARAKI, Tomohiro YANAI, Hiroyuki EBISAWA, Yasushi OGASAWARA, Tsutomu OHTO, Kaoru OHTSUKA, Noriaki OHTSUKA, Koichi IIMURA, Yasuichi ENDO and Masataka TANIMOTO

Department of JMTR

Waste Management and Decommissioning Technology Development Center Oarai Research and Development Institute Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development Japan Atomic Energy Agency Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received December 24, 2021)

A collapse event of a cooling tower for secondary cooling system in the Japan Materials Testing Reactor (JMTR) was caused by the strong winds of Typhoon No. 15 on September 9, 2019.

As measures against the event, the working group for the renewal of the UCL (Utility Cooling Loop) cooling tower was established in the department of JMTR, and the integrity of the UCL cooling tower, which is the same type of wooden cooling tower as the secondary cooling tower in the JMTR, was investigated. As a result of this investigation, we have decided to replace the existing UCL cooling tower with a new cooling system.

After investigations, in order to reduce the risk of collapse due to wood decay, the new cooling system was installed as a component of the air system to be managed as a performance maintenance facility after decommissioning.

This report describes the design of and the evaluation results of the facility.

Keywords : Cooling Tower, Utility Cooling Loop(UCL), JMTR

目 次

1.	はじ	めに1
2.	既設	: UCL 系統設備の更新の考え方1
3.	空気	系統用冷却設備の整備に係る設計
	3.1	設計方針
	3.2	設計
	3.3	主要機器4
4.	設計	・に必要な要求事項の検討
	4.1	地震による損傷の防止(第六条)
	4.2	外部からの衝撃による損傷防止(第八条)
	4.3	材料及び構造(第十二条)
	4.4	溶接施工法に係る検討
5.	技術	基準への適合性評価
	5.1	耐震評価
	5.2	風荷重評価
	5.3	耐圧強度評価
	5.4	溶接施工法の対応
6.	空気	系統用冷却設備の設置工事に係る検討
7.	おわ	りに
謝話	滓 …	
参え	考文献	t ······17
付銷		
	泳 1	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」
	录 1	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明
付銷	录 $1$ 录 $2$	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明
付釒 付釒	禄 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明 ····································
付銀 付銀	禄 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付銀	录 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付銀	录 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付金	<b>禄</b> 1 禄 2 禄 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付金	录 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付金	录 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付金	录 1 录 2 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
付針	录 1 录 2 录 3 录 4	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明
付 付 街 釿 釿	<b>禄</b> 禄 录 录 录 录 录 录 录 录 录 录 录 录 录 3	「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」 との適合性に係る説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

## Contents

1. Introduction
2. Concept of upgrading existing UCL system equipment
3. Design for development of cooling facility for air system
3.1 Design policy
3.2 Design ······
3.3 Main equipment
4. Essential requirements for design
4.1 Prevention of damage by earthquake (Article 6)
4.2 Prevention of damage due to external impact (Article 8)
4.3 Materials and Structure (Article 12)
4.4 Examination of welding construction method
5. Conformity assessment to technical standards1
5.1 Earthquake resistance evaluation10
5.2 Wind load evaluation1
5.3 Pressure resistant strength evaluation1
5.4 Correspondence of welding construction methods
6. Investigation on the installation of cooling system for air system1
7. Conclusion
Acknowledgments ····································
References ······1′
Appendix 1 Explanation of compliance with "Regulations Concerning
Technical Standards for Nuclear Reactors Used for Testing
and Research" ·····1
Appendix 2    Design drawing of cooling system for air system
Appendix 3 Seismic strength calculation sheet for air system equipment2
Calculation sheet-1 Basic policy for seismic strength calculation2'
Calculation sheet-2 Seismic strength calculation of cooling tower
Calculation sheet-3 Seismic strength calculation of control panel4
Calculation sheet-4 Seismic strength calculation of circulation pump5
Calculation sheet-5 Seismic strength calculation of drug injection
equipment ······66
Calculation sheet-6 Seismic strength calculation of piping, etc7
Calculation sheet-7 Seismic strength calculation of support
Appendix 4 Wind load calculation sheet of cooling system for air system10
Appendix 5 Pressure resistant strength evaluation of cooling system for air system …12
Appendix 6 Strength calculation sheet for corner-welded part of portal support12

#### 1. はじめに

令和元年9月9日の台風15号の強風により、JMTR(材料試験炉)にある二次冷却系統冷却塔の倒壊事象が発生した。その倒壊に至った原因調査及び原因分析を行い、4 つの原因が重なって起こったことが特定された<sup>(1)</sup>。これを受け、材料試験炉部内にUCL系統冷却塔更新検討ワーキンググループを設置し、JMTR内にある二次冷却系統冷却塔と同種の木造の冷却塔であるUCL

(Utility Cooling Loop)系統冷却塔の健全性調査<sup>(2)</sup>を行うとともに、UCL系統冷却塔の構造材料である木材の交換・補修計画及び工事の実施、既設UCL系統冷却塔に代わる冷却設備の更新の検討を進めた。

既設 UCL 系統冷却塔の構成部材である木材の腐朽による倒壊のリスクを低減する必要があり、 JMTR の廃止措置計画の認可後、既設 UCL 系統冷却塔の使用を停止し、撤去することが望まし い。しかしながら、既設 UCL 系統冷却塔に接続・冷却されている設備の一部は、廃止措置計画の 認可後も性能維持施設である空気系統を構成している設備を冷却する必要がある。このため、性 能維持施設にある設備を冷却するための冷却容量を評価し、新たな冷却設備の設計検討を開始し た。一方、令和元年 12 月 25 日の第 50 回原子力規制委員会において、「資料 7 試験研究用等原 子炉施設の審査の改善策等について」<sup>(3)</sup>の中で、廃止措置中の試験研究用等原子炉施設における 施設の維持管理目的の機器の交換に係る手続きの合理化が示された。この中で、廃止措置中の試 験研究用等原子炉施設の維持管理の目的から既設機器等の交換を行う場合については、あらかじ め、保安規定に、既設機器の同等品もしくは同等品以上の性能を有するものへ交換する旨の施設 の維持管理方針を規定し、その認可を受けておくことと決まった。

このため、更新する冷却設備の設計検討にあたっては、「設計及び工事の計画の認可」(以下「設 工認」という。)相当の設計を行い、廃止措置計画認可申請書に反映する必要があり、原子力規制 庁との面談<sup>(4)</sup>や原子力規制委員会での審査会合<sup>(5)</sup>の中で冷却設備の更新の考え方を説明したう えで進めた。

本報告書は、新たな冷却設備を設計する上での方針と廃止措置計画の認可に必要な設計及びその評価の結果をまとめたものである。

#### 2. 既設 UCL 系統設備の更新の考え方

JMTRのUCL系統は、Fig.1に示すとおり、循環ポンプ、高架水槽及び冷却塔から構成され、 原子炉運転中には、原子炉付属の設備(ループの終段冷却系、炉外試験設備、ディーゼル発電機、 空気圧縮機及び制御棒駆動装置)の他、原子炉建家内の冷房・除湿のためのターボ冷凍機が接続 され、これらの設備から熱を冷却水にとり、この熱を冷却塔を用いて大気に放散するために運用 している。このUCL系統設備には、二次冷却系統冷却塔と同類かつ同時期に設置された木造の冷 却塔であるUCL系統冷却塔が使用されている。

一方、廃止措置が認可された後、原子炉付属の設備を全て冷却する必要がないことから、必要 な冷却能力は減少する。このため、UCL系統に接続されている原子炉附属の設備の調査を行った。 その調査結果をTable1にまとめた。この結果、廃止措置認可後、UCL系統に接続される原子炉 附属の設備のうち、冷却が必要な設備は、空気圧縮機とターボ冷凍機のみとなった。特に、廃止 措置計画の認可後、性能維持設備は空気系統(空気圧縮機)のみとなり、小型の冷却設備に更新 することが妥当であることが分かった。

このため、木造である UCL 系統の冷却塔については、木材の腐朽による倒壊のリスクを低減す

るため、使用計画を見直し、空気系統用(空気圧縮機)として、空気系統用の冷却塔を新規設置 し、空気系統用冷却設備として UCL系統に代わる冷却設備を更新することとした。また、当該冷 却設備が運用した時点で、既存 UCL系統設備は性能維持施設から除外する方針とした。



Table 1 UCL 系統に接続されている原子炉附属の設備の調査結果

	UCL系統に接続さ	れている設備・機器	必要流量	維持管理	維持期間	
	現在(廃止措置計画認可前)	廃止措置計画認可後	(m³/h)	対象設備		
(1)	ループの終段冷却系※1	—	(200)	-	-	
(2)	炉外試験設備※1	—	(120)	—	-	
(3)	ディーゼル発電機**1	—	(50)	—	-	
(4)	空気圧縮機	空気圧縮機	10	0	管理区域解除まで	
(5)	制御棒駆動装置※1	—	(5)	-	-	
(6)	ターボ冷凍機※2	(ターボ冷凍機)	(450)	×	(管理区域解除まで)	

※1:廃止措置計画認可後、UCL冷却系統から切り離す。 ※2:原子炉建家内の冷房・除湿のために使用している機器。

#### 3. 空気系統用冷却設備の整備に係る設計

#### 3.1 設計方針

既設 UCL 系統に接続されている設備のうち、廃止措置期間中の性能維持施設は空気系統(空気 圧縮機)のみになる。空気系統は、原子炉建家の換気及び負圧の維持に使用する換気設備の運転 に必要な空気作動弁を駆動させるための圧縮空気を供給する系統である。圧縮空気は、空気系統 を構成する機器である空気圧縮機により供給される。このため、空気系統の構成機器として維持 管理を行うことから、空気圧縮機を冷却するための冷却設備(以下「空気系統用冷却設備」とい う。)は廃止措置計画で認可が必要なことから、設工認相当の設計検討を行った。既設 UCL 系統 から冷却設備への更新に係る概要を Fig. 2 に、空気系統用冷却設備と換気設備の関係を Fig. 3 に 示す。

#### 3.2 設計

空気系統用冷却設備は、設工認相当として設計することから、「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」との技術基準の適合性を確認した。Table 2 に示すとおり、空気系統用 冷却設備の設計にあたっては、第六条「地震による損傷の防止」、第八条「外部からの衝撃による 損傷の防止」及び第十二条「材料及び構造」の評価が必要である。

なお、第四条「廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持」については、空気系統用冷却設備が性能維持施設である空気系統の構成機器として維持管理を行うこととし、UCL系統の供用終 了における処置については、廃止措置計画認可申請書本文の「五 廃止措置対象施設 のうち解体 の対象となる施設及びその解体の方法」に示すこととした。

第六条については、空気系統用冷却設備の主要機器に係る耐震評価であり、耐震重要度を一般 機器(Cクラス相当)とし、原子炉設置変更許可申請書に記載された一般機器の設計震度 0.2 G に、原子力発電所耐震設計技術指針<sup>(6)(7)</sup>から要求される割増係数 1.2 を乗じた震度 0.24 G によ り算定した地震力に対して損壊しないように設計することとした。

第八条については、廃止措置期間中に想定される自然現象を検討し、主な設置場所が屋外とな るため台風及び凍結を想定した。空気系統用冷却設備に使用する冷却塔は、二次冷却系統冷却塔 の倒壊事象を踏まえ、建築基準法に基づいて風荷重の評価を行い、倒壊しない設計とすることと した。また、冬季における冷却水の凍結を防止する設計とすることとした。

第十二条については、空気系統用冷却設備の配管は、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の 技術基準(平成15年5月30日(15科原安第13号))」(以下「研究炉技術基準」という。)に基 づいて耐圧強度評価を行い、十分な耐圧強度を有するものとするものとした。

空気系統用冷却設備は、冷却塔、配管等(継手、フランジ及び弁類を含む。)、サポート類、循環 ポンプ、制御盤(以下「主要機器」と総称する。)から構成される。空気系統用冷却設備の系統図 を Fig. 4 に示す。適合性確認に基づいて、空気系統用冷却設備を構成する主な機器の設計条件を 決定した。空気系統用冷却設備の主要機器の設計条件を Table 3 に、主要機器の評価の考え方を Table 4 に示す。

なお、冷却塔は、既製品(カタログ品)を用いるものとし、同一規格品又は同等以上の性能を 有するものと交換できるものとした。また、配管経路を構成するために用いるバルブ及び循環ポ ンプについては、日本産業規格(以下「JIS」という。)等の検査に合格した規格品を用いるもの とし、同一規格品又は同等以上の性能を有するものと交換できるものとした。

#### 3.3 主要機器

空気系統用冷却設備が冷却する空気系統の空気圧縮機は6台であり、必要な冷却能力は交換熱量0.1 MW、冷却水流量10m<sup>3</sup>/hである。空気系統用冷却設備で使用する流体は、工業用水とする。構成する主要機器の仕様を以下に示す。

① 冷却塔

冷却塔は製造メーカにおける既製品とし、冷却能力が交換熱量 0.1 MW 以上、型式が開放式 冷却塔 2 台とする。

2 配管等

空気系統用冷却設備の冷却水が循環する系統(以下「冷却水系統」という。)に用いる配管(以下「主配管」という。)は、JISG3454:2017「圧力配管用炭素鋼鋼管」<sup>(8)</sup>のSTPG370を用いる。主配管は、50A-Sch40及び80A-Sch40とする。また、冷却水系統は、配管の他、JISの継 手又はフランジ、JIS等の検査に合格した既製品の弁類により構成する。

③ サポート

主配管等のサポートに用いる材料は、JISの形鋼及び板材を用いる。

④ 循環ポンプ

循環ポンプは、JIS 等の検査に合格した既製品を用いる。循環ポンプは 2 台とし、各々の冷却水流量が 10 m<sup>3</sup>/h 以上の能力を有するものとする。

⑤ 制御盤

制御盤は、幅 700 mm × 奥行 400 mm × 高さ 1800 mm のユニット型に収納できるように し、垂直自立型とする。

⑥ 基礎ボルト

冷却塔、制御盤、循環ポンプ、薬液注入装置及びサポート類の固定に使用する基礎ボルトの 材質は、JISG 3101:2020「一般構造用圧延鋼材」<sup>(9)</sup>のSS400を用いる。



Fig. 2 既設 UCL 系統から冷却設備への更新に係る概要



### Fig. 3 空気系統用冷却設備と換気設備の関係



Fig. 4 空気系統用冷却設備の系統図

北佐甘滩のタ西			評価の必要性の有無		
	技術基準00余頃	有・無	項・号	週合性	
第一条	適用範囲	—	_	_	
第二条	定義	_			
第三条	特殊な設計による試験研究用等原子炉施設	無	_	_	
第四条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維 持	有	第1項	付録1	
第五条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	_	_	
第六条	地震による損傷の防止	有	第1項	付録1	
第七条	津波による損傷の防止	無	_	_	
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	第1項	付録1	
第九条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無		_	
第十条	試験研究用原子炉施設の機能	無	_	_	
第十一条	機能の確認等	無	—		
第十二条	材料及び構造	有	第1項第1号 第2項	付録1	
第十三条	安全弁等	無	_		
第十四条	逆止め弁	無	_	_	
第十五条	放射性物質による汚染の防止	無	_	_	
第十六条	遮蔽等	無	_	_	
第十七条	換気設備	無		_	
第十八条	適用	無		_	
第十九条	<u> 淡水によろ損傷の防止</u>	無			
第一九条 第一十条	安全避難通路等	無			
第二十八 第二十一条	安全設備	無			
第二十一条	<u>「</u> 」「「」」(「」)」(「」)(「」)(「」)(「」)(「」)(「」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」)(」	無			
第二十二个	執. 冲 茹 壮	価			
<i> </i>		無			
- 第二十四末 - 第二十工冬	达/// 小/// 技// 状/// // // // // // // // // // // //	無			
第一 □ ⊥木		無			
用二十八余	核燃料物具灯廠設備 %加速力++++加速扩展	無			
<u> </u>	一次行却材処理装直	無			
<u> </u>	行却設備寺	無			
<u> </u>	液位の保持等 =>> はました	無	_		
	計装設備	無			
第三十一条	放射線管埋施設	無			
第三十二条	安全保護回路	無	—	_	
第三十三条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無	—	_	
第三十四条	原子炉制御室等	無	—	—	
第三十五条	廃棄物処理設備	無	_	_	
第三十六条	保管廃棄設備	無	_	—	
第三十七条	原子炉格納施設	無		_	
第三十八条	実験設備等	無	_	_	
第三十九条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大 の防止	無	_	_	
第四十条	保安電源設備	無			
第四十一条	警報装置	無	_	_	
第四十二条	通信連絡設備等	無		_	

Table 2 「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」との適合性の確認

主要機器					
項目	冷却塔	配管等※6	サポート類		
最高使用圧力	—	0.5 MPa (gage)	—		
最高使用温度	—	60 °C	—		
機器等の区分 <sup>*1</sup>	機器区分外 第4種管		機器区分外		
流体の種類	水 水		—		
耐震設計の区分※2	一般機器				
耐震重要度分類※3	C クラス(相当) <sup>※4</sup>				
設計震度※5	水平 0.24 G				

Table 3 空気系統用冷却設備の設計条件

※1:試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準における機器区分

※2: JMTR の「原子炉設置変更許可申請書」における耐震設計の区分

※3:原子力発電所耐震設計技術指針における耐震重要度分類

- ※4:空気圧縮機の耐震重要度分類は、原子炉運転中において非常用排気設備及び破損燃料検出 系に供給する機能についてはSクラス(相当)とし、これ以外の機器へ供給する機能につ いてはCクラス(相当)としていた。廃止措置段階では原子炉の運転はないため、空気圧 縮機の耐震重要度分類はCクラス(相当)のみとなる。このため、空気系統用冷却設備の 耐震重要度分類をCクラス(相当)とする。
- ※5: JMTR の「原子炉設置変更許可申請書」本文に記載された一般機器の設計震度に原子力 発電所耐震設計技術指針から要求される割増係数 1.2 を乗じた震度
- ※6:継手及びフランジは「第4種管」、弁類は「機器区分外」。

評価項目	評価箇所	評価に係る考え方				
	基礎ボルト	「原子力発電所耐震設計技術指針」を準用し、地震力に。				
	・冷却塔	り各基礎ボルトに発生する応力を求め、許容応力との比				
	・ポンプ	較を行い、全て許容値内であることを確認する。また、応				
	・制御盤	力評価で算出した基礎ボルトに発生する引抜荷重が「建				
	・薬液注入装置	築設備耐震設計・施工指針」に示された許容引抜荷重以下				
耐電証価	・配管サポート	であることを確認する。				
顺辰矸佃		「原子力発電所耐震設計技術指針」を準用し、振動数基準				
	配管支持間隔	定ピッチスパン法により、配管の振動数が 20 Hz 以上と				
		なる支持間隔を計算により設定する。				
		「原子力発電所耐震設計技術指針」を準用し、地震力によ				
	配管サポート	り配管サポートに発生する応力を求め、許容応力との比				
		較を行い、全て許容値内であることを確認する。				
		「研究炉技術基準」に則り、最高使用圧力時における管及				
耐口莎伊	配答の立西昌小国を	びフランジの強度計算を行い、計算上必要厚さを算出し、				
11]/工 〒十/  11	1111日の必要最小学さ	実際に使用する配管の厚さが必要厚さ以上であることを				
		確認する。				

Table 4 主要機器の評価の考え方

#### 4. 設計に必要な要求事項の検討

#### 4.1 地震による損傷の防止(第六条)

JMTR 原子炉施設の廃止措置計画認可申請書のうち、「七 性能維持施設の位置、構造及び設備 並びにその性能並びにその維持すべき期間」の「2. 空気系統用冷却設備の配置」で示した主要機 器の設置に先立ち実施する空気系統用冷却設備の耐震評価を行った。

評価対象は、①冷却塔、②制御盤、③循環ポンプ、④薬液注入装置、⑤配管等(継手、フランジ 及び弁類を含む。)、⑥サポートとした。耐震重要度については、一般機器(Cクラス相当)とし、 原子炉設置変更許可申請書に記載された一般機器の設計水平震度 0.2 G に、原子力発電所耐震設 計技術指針から要求される割増係数 1.2 を乗じた水平震度 0.24 G により算定した地震力に対して 損壊しないように設計することとした。一方で、本設備は、現在稼働中の UCL 冷却系統と同様な 機能が要求されるため、本評価においては、運転段階時において適用した UCL 冷却系統の耐震設 計の区分を用いるものとし、原子炉設置変更許可申請書に記載されている水平方向設計震度 0.4 G、鉛直方向設計震度 0.2 G に設定し、保守的に「一般機器」(B クラス相当)として評価した。 以下に評価内容を示す。

- (1)冷却塔、制御盤、循環ポンプ及び薬液注入装置は、据え付け状態において構造的に1個の大きなブロック状の形状であり、床面に基礎ボルトにより固定される。このため、機器を固定する接続ボルト又は基礎ボルトに対し、地震により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について評価した。
- (2)配管は、原子力発電所耐震設計技術指針における「配管の標準的設計手法」に従い、「振動 数基準定ピッチスパン法により、直管部、曲がり部、分岐部、集中荷重部について最大支持 間隔の設定を行った。
- (3) サポートは、固有振動数が剛体とみなせる 20 Hz 以上の確認及び基礎ボルトの引張応力と せん断応力について評価した。

#### 4.2 外部からの衝撃による損傷の防止(第八条)

JMTR 原子炉施設の廃止措置計画認可申請書のうち、「七 性能維持施設の位置、構造及び設備 並びにその性能並びにその維持すべき期間」の「2. 空気系統用冷却設備の配置」で示した主要機 器の設置に先立ち実施する冷却塔の風荷重評価を行った。

冷却塔については、廃止措置期間中に自然現象である台風及び凍結を想定し、建築基準法に基 づいた冷却塔の風荷重の評価を行った。評価内容は、冷却塔が風による水平荷重が発生した場合 の基礎ボルトに発生する引張応力とせん断応力の評価を行い、基礎ボルトに発生する引張応力は 最も厳しい条件として、基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受ける ものとしして評価し、倒壊の有無を確認した。

#### 4.3 材料及び構造(第十二条)

JMTR 原子炉施設の廃止措置計画認可申請書のうち、「七 性能維持施設の位置、構造及び設備 並びにその性能並びにその維持すべき期間」の「2. 空気系統用冷却設備の配置」で示した主要機 器の設置に先立ち実施する配管等の耐圧強度計算を行った。

空気系統用冷却設備に用いる主配管(50A-Sch40、80A-Sch40)の耐圧強度計算を研究炉技術基準に基づいて計算を行い、管の外径に応じた配管の必要最小厚さ及び十分な強度を有することを確認した。また、主配管の他に付属配管(8A-Sch40~50A-Sch40)についても確認を行った。

#### 4.4 溶接施工法に係る検討

空気系統用冷却設備の設置における配管等の溶接については、廃止措置認可申請書において、 「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則(令和2年原子力規制委員会規則第七 号)」の第12条「材料及び構造」で定める「容器等の主要な耐圧部の溶接部」に該当するもので はないため、溶接の管理等については同規則の解釈で定められている基準等(以下「溶接基準」 という。)を参考に実施することで認可を得ている。このため、溶接基準を参考に、本設備で用 いる溶接施工法、溶接設計及び溶接検査に適用する規格等の選定を行った。

溶接基準の適用の確認のため、溶接基準の別記「試験研究の用に供する原子炉等に係る施設の 溶接の方法等について」を参照することにより、溶接の方法、溶接施工法、溶接設備及び溶接を 行う者について定められていた。これらは、設置する機器等が主要な溶接部に該当する場合、準 拠しなければならない項目である。このことから、本冷却設備は工業用水を用いた冷却を行うも ので、据付ける機器は一般的な産業機器であることから、溶接基準適用及び代替え規格について 下記のとおり整理した。

(1) 溶接の方法

溶接基準における溶接の方法については、同別記の別紙「試験研究の用に供する原子炉等に 係る施設の溶接の方法」に定められた「第4種管」に対して要求される溶接の方法(溶接設計 及び溶接検査等を含む)を準用する。

(2) 溶接施工法

溶接基準における溶接施工法の要求は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に 関する規則」(以下「実用炉技術基準規則」という。)の第17条第15号の規定により確認さ れたもの又はこれと同等のものとあり、同等のものとは、新検査制度導入(令和2年4月1日) 前の「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則」(以下「試験炉規則」とい

- う。)第3条の11における溶接の方法の認可を受けたもの等とされている。 本設備は、上記のとおり一般産業機器の据付け工事であることから、溶接基準の適用としないで、JISで定められた以下の溶接施工法に則るものとする。
- (3) JISZ 3420:2003「金属材料の溶接施工要領及びその承認-一般原則」<sup>(10)</sup>では、工事に対して適用する溶接施工法の承認の方法等が規定されており、その方法は同規格の「5. 溶接施工法の確立と承認」によると、次のとおりである。
  - 溶接施工法試験による方法
  - ② 承認された溶接材料の使用による方法
  - 過去の溶接実績による方法
  - ④ 標準溶接施工法による方法
  - ⑤ 製造前溶接試験による方法

本工事においては「③ 過去の溶接実績による方法」を採用するものとし、本項で要求される 過去の実績の確認については、(1)溶接の方法で用いる「第2種継手」、「第3種継手」及び 「第4種継手」の施工実績を確認し、本工事で用いる溶接施工要領書を作成する。

(4) 溶接設備

溶接基準における溶接設備の要求については、その溶接の方法に適したものであることとされている。従って、(2)溶接施工法で定めた方法に適した溶接設備を溶接施工要領書に反映する。

(5) 溶接を行う者

溶接基準における溶接を行う者(以下「溶接士」という。)に関する要求事項は、実用炉技術 基準規則第17条第15号の規定にする技能を有する溶接士であること又はこれと同等のものと あり、同等のものとは、溶接士技能の確認又は実用炉技術基準規則の解釈の別記-5「日本機械学 会「溶接規格」等の適用に当たって」のうち「3. 第3部溶接士技能認証標準(3)溶接士技能 認証標準への適合確認」(以下「技能標準」という。)より同等と認められた者とされている。

技能標準で同等と認められる溶接士のうち、「イ自動溶接機を用いない溶接士」では、b) JIS Z 3801:1997「手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」<sup>(11)</sup>に準拠して、社団法人日 本溶接協会が行う評価試験に合格し、技能標準別表第4「溶接規格と JIS 資格区分の対応」の JIS 資格区分に規定する技能認証を受けているものが認められている。

本工事においては、上記の規定に適合した溶接士により溶接施工要領書に定めて、行うものとする。

#### 5. 技術基準への適合性評価

#### 5.1 耐震評価

空気系統用冷却設備の主要機器への地震による発生応力と許容応力の結果を Table 5 に示す。 この結果、冷却塔、制御盤、循環ポンプ及び薬液注入装置の接続ボルト及び基礎ボルトに発生す る引張応力並びにせん断応力は許容応力以下であることを確認した。また、基礎ボルトとして使 用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指針(2014年版)」(12)に基づき 評価した場合、あと施工接着系アンカーの短期許容引抜荷重は冷却塔 (12 kN)、制御盤 (12 kN)、 循環ポンプ(9.2kN)、薬液注入装置(7.6kN)であり、本耐震計算における冷却塔の基礎ボルト 1本に作用する引張力(Fb)は冷却塔(-0.3553 kN)、制御盤(1.820 kN)、循環ポンプ(0.3249 kN)、薬液注入装置(0.0807 kN)と計算値の方が小さい値のため、基礎ボルトが引き抜けること はないことを確認した。付録2で示した空気系統用冷却設備の設計図に基づいて、配管等の直管 部、曲がり部、分岐部及び集中質量部について、剛体とみなせる固有振動数 20 Hz を確保する配 管の最大支持間隔を決定した。この結果を Table 6 に示す。この結果、配管等の支持形状におけ る最大支持間隔は、すべて剛体とみなせる固有振動数 20 Hz を満足していることを確認した。サ ポートの固有振動数の評価した結果を Table 7 に示す。サポートの固有振動数については 20Hz 以上の剛体とするため、使用する部材の全長及び質量に制限を設けた構造とした。地震による配 管のサポートへの発生応力と許容応力の結果を Table 8 に示す。この結果、サポートの基礎ボル トに発生する引張応力、せん断応力並びにベースプレートと取り合うコンクリート部に発生する 支圧応力及びベースプレートに発生する曲げ応力は、許容応力以下であり、配管系の支持におい て耐震強度は十分であることを確認した。地震によるサポートのベースプレート及びコンクリー ト部への発生応力と許容応力を評価した結果を Table 9 に示す。この結果、サポートの基礎ボル トに発生する引張応力及びせん断応力は許容応力以下であることを確認した。また、基礎ボルト として使用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指針(2014 年版)」に 基づき評価した場合、壁打となるサポートの短期許容引抜荷重は 6.1 kN であり、本耐震計算にお ける片持型サポートの基礎ボルト1本に作用する引張力(Fb)は最大で1.428 kNと計算値の方 が小さいため、基礎ボルトが引き抜けることはない。また、床打となるサポートの短期許容引抜 荷重は 9.2 kN であり、本耐震計算における片持型サポート及び門型サポートの基礎ボルト 1本 に作用する引張力(Fb)は最大で1.424 kNと計算値の方が小さいため、基礎ボルトが引き抜ける ことはない。

以上の評価から、地震による損傷の防止における耐震強度は十分であることを確認した。 なお、空気系統用冷却設備の耐震評価の計算書を付録3に示す。

#### JAEA-Technology 2021-045

計算社会		発生応力及び許容応力(N/mm²)					
司 异	X] 3K	引張応力	許容引張応力	せん断応力	許容せん断応力		
必出哄	接続ボルト	*	170	6	131		
行却哈	基礎ボルト	*	170	6	131		
开口公司内卫	接続ボルト	21	170	6	131		
前仰盛	基礎ボルト	13	170	3	131		
循環ポンプ	基礎ボルト	5	170	3	131		
薬液注入装置	基礎ボルト	2	170	4	131		

Table 5 空気系統用冷却設備の主要構成機器への発生応力と許容応力の結果

\*:引張力がマイナス側になったため、引張応力の発生はない。

Table 6 空気系統用冷却設備の配管の最大支持間隔の結果

	最大支持間隔 (mm)							
計算対象				曲ぶり如	集中荷重部			
	直管部 曲がり部	分岐部	田かり司	直管部及び	曲がり部及び	分岐部及び		
				及い力岐即	集中質量	集中質量	集中質量	
50A-Sch40	2592	2125	2073	1700	1555	1275	1243	
80A-Sch40	3138	2573	2510	2058	1569	1286	1255	

Table 7 至风示机用印动成值的扩张。下仍固有派到级仍相未	Table 7	空気系統用冷却設備の配管のサポートの固有振動数の結果
---------------------------------	---------	----------------------------

計算対象			サポート全長	集中質量	固有振動数
			(mm)	(kg)	(Hz)
		FOA-Sab 40	800	_	21.3
	V_1	50A-Sch40	750	9	21.3
	$\mathbf{v}_{-1}$	801-Sab 40	650		21.6
		00A-501140	600	31	20.6
		504-Sah 40	1000	_	23.2
	K-2	50A-5ch40	1000	9	21.4
		80A-Sch40	900	_	20.9
上达刑			800	31	21.5
7 行空	K-3	50A-Sch40	900		23.6
			850	9	23.9
		80A-Sch40	800		21.8
			750	31	20.6
		<b>FOA</b> C.1.40	1200	_	20.2
	<b>K</b> – 1	50A-Scn40	1100	9	22.0
	11 4	801-Sab 40	1000	_	21.8
		00A-SCI140	950	31	20.5
日日 开山	M-1	50A-Sch40	1200×360×1200	_	21.6
	M-2	80A-Sch40	1550×700×1550	50	21.1

			発生応力及び許容応力(N/mm <sup>2</sup> )				
計算対象			口毛合力	許容引張	せん断	許容せん断	
			51張応刀	応力	応力	応力	
片持型	K-1	基礎ボルト	15	170	4	131	
	K-2	基礎ボルト	18	170	5	131	
	K-3	基礎ボルト	10	170	2	131	
	K-4	基礎ボルト	16	170	2	131	
門 型	M-1	基礎ボルト	8	170	1	131	
	M-2	基礎ボルト	18	170	2	131	

Table 8 地震によるサポートへの発生応力と許容応力の結果

Table 9 ベースプレート及びコンクリート部への発生応力と許容応力の結果

計算対象		発生応力及び許容応力(N/mm <sup>2</sup> )				
		古口でも		曲げ応力		学会生えたも
		又庄吣刀 计谷庄啪心		圧縮	引張	計谷田り応力
片持型	K-1	0.1	13	33	20	261
	K-2	0.1	13	33	25	261
	K-3	0.1	13	33	14	261
	K-4	0.1	13	33	21	261
門 型	M - 1	0.1	13	25	3	261
	M-2	0.1	13	33	$\overline{25}$	261

#### 5.2 風荷重評価

風荷重による冷却塔基礎ボルトの発生応力と許容応力の結果を Table 10 に示す。風荷重による 冷却塔基礎ボルトの発生応力は許容応力以下であり、風荷重に対する強度は十分に満足している ことを確認した。また、基礎ボルトとして使用する「あと施工接着系アンカー」を「建築設備耐 震設計・施工指針(2014 年版)」に基づき評価した場合、あと施工接着系アンカーの短期許容引 抜荷重は 12 kN である。一方、風荷重評価における冷却塔の基礎ボルト1本に作用する発生応力 は圧縮応力のため、基礎ボルトに引張応力は生じない。よって、基礎ボルトが引き抜けることは なく、外部からの衝撃による損傷の防止(第八条)について倒壊することはないことを確認した。

なお、空気系統用冷却設備の風荷重評価の計算書を付録4に示す。

Table 10 冷却塔基礎ボルトの発生応力と許容応力の結果

計算対象		発生応力及び許容応力(N/mm <sup>2</sup> )				
		引張応力	許容引張応力	せん断応力	許容せん断 応力	
冷却塔	基礎ボルト	*	170	6	131	

\*: 引張力がマイナス側になったため、引張応力の発生はない。

#### 5.3 耐圧強度評価

研究炉技術基準における管の外径に応じた配管厚さと比較した結果を主配管 Table 11 に、付属 配管(補給水配管等) Table 12 に示す。主配管及び付属配管(補給水配管等)についての呼び径 における厚さが、研究炉技術基準における炭素鋼鋼管の必要厚さ以上であることを確認した。こ れらの結果から、材料及び構造(第十二条)における耐圧強度は十分であることを確認した。

	管の内面に		許容引張 応力 (N/mm <sup>2</sup> )	長手継手の 効率 (-)	評価		
計算対象	受ける最高	管の外径			計算上必要	管の外径に	主配管の
	の圧力	(mm)			な厚さ	応じた厚さ	厚さ*
	(mm)		(1\/111112)		(mm)	(mm)	(mm)
50A-Sch $40$	0.5	60.5	93	1	0.2	2.4	3.4
80A-Sch40	0.5	89.1	93	1	0.3	3.0	4.8

Table 11 主配管の外径に応じた配管厚さと比較した結果

\*: 主配管の厚さは、JISG 3454:2017「圧力配管用炭素鋼鋼管」の厚さの許容差におけるマイ ナス側の公差を差し引いた値

Table 12	付属配管	(補給水配管等)	管の外径に応じた厚さと比較した結果

1	研究炉技術基準	JIS G 3454		
第40条第1項	第 40 条第 1 5	頁第三号	「圧力配管用炭素鋼鋼管」	
第一号	管の外径	管の厚さ	呼び径	厚さ*
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0.1		1.4	8A (φ13.8)	1.7
0.1	25 未満		10A (φ17.3)	1.8
0.1			15A (φ21.7)	2.3
0.1	25 以上 38 未満	1 7	20A (φ27.2)	2.4
0.1		1.7	25A (φ34.0)	2.9
0.2	38以上 45 未満	1.9	32A (φ42.7)	3.1
0.2	45 以上 57 未満	2.2	40A (φ48.6)	3.2
0.2	57 以上 64 未満	2.4	50A (\$\varphi 60.5)	3.4

\*: 主配管の厚さは、JISG 3454:2017「圧力配管用炭素鋼鋼管」の厚さの許容差におけるマイ ナス側の公差を差し引いた値

#### 5.4 溶接施工法の対応

空気系統用冷却設備の設置における配管等の溶接については、次の規格等に則り施行することとした。

- 溶接の方法 :溶接基準における溶接の方法(溶接設計及び溶接検査等を含む)を準用 する。
- ② 溶接施工法 : JIS Z 3420:2003「金属材料の溶接施工要領及びその承認-一般原則」 のうち、「③ 過去の溶接実績による方法」に則った溶接施工法を用いる。
- ③ 溶接設備 : 上記溶接施工法を満足する設備を溶接施工要領書に定める。

 ④ 溶接士:溶接基準における溶接士の技能標準を準用し、JISZ 3801:1997「手溶 接技術検定における試験方法及び判定基準」に則った一般社団法人日本 溶接協会が行う評価試験に合格し、JIS 資格区分に規定する技量認定を 受けているものによる溶接士とする。

#### 6. 空気系統用冷却設備の設置工事に係る検討

空気系統用冷却設備の設置に関する工事は、Fig. 5 に示す方法及び手順で行い、その他の安全 機能を有する施設等に影響を及ぼさないように行うこととする。また、工事の保安については、 原子力機構大洗研究所(北地区)原子炉施設保安規定及び廃止措置計画の本文の「十二 廃止措 置に係る品質マネジメントシステム」等を遵守し、労働安全衛生法に従い作業者に係る労働災害 の防止に努めることとする。設置工事における検査は、Fig. 5 に示す工事の各工程に従い、以下 の項目について実施する計画とした。

#### ①材料検査

- 検査方法:設計仕様で示した材料について、JIS 認証取得者等が発行した材料証明書等に より確認する。
- 判定基準:化学成分及び機械的性質が対応する JIS 規格値を満足していること。
- ②外観検査
  - 検査方法:空気系統用冷却設備の主要機器について、外観に異常のないことを目視で確認 する。
  - 判定基準:主要機器の外観に異常がないこと。
- ③寸法検査
  - 検査方法:空気系統用冷却設備の主要機器の寸法が所定の値であることを測定又は材料証 明書等若しくは試験検査成績書により確認する。
  - 判定基準:主要機器の主要寸法が所定の値であること。
- ④耐圧検査
  - 検査方法:空気系統用冷却設備の系統構成が完了した配管系について、水圧又は気圧によ り所定の圧力を負荷した後、検査圧力に耐え、かつ、漏えいのないことを目視 あるいは発泡剤により確認する。
- 判定基準:所定の検査圧力に耐え、かつ、漏えいのないこと。
- ⑤据付検査
- 検査方法:空気系統用冷却設備の主要機器が所定の位置に適切に据え付けられていること を目視又は測定器により確認する。
- 判定基準:主要機器が所定の位置に適切に据え付けられていること。
- ⑥作動検査
  - 検査方法:空気系統用冷却設備を運転し、主要機器である冷却塔及び循環ポンプの作動中 に異音、異常な振動の発生がなく円滑に動作することを確認する。
- 判定基準:運転中に異音、異常な振動の発生がなく円滑に動作すること。
- ⑦性能確認検査
  - 検査方法:冷却塔の交換熱量が 0.1 MW 以上を有する型式が選定されていることを銘板等 により確認する。また、空気系統用冷却設備の冷却水流量が 10 m<sup>3</sup>/h 以上を有

することを確認する。

- 判定基準:冷却塔の交換熱量が 0.1 MW 以上を有すること。また、冷却水流量が 10 m<sup>3</sup>/h 以上であること。
- ⑧溶接部検査

溶接部検査は、各溶接工程において溶接基準における第4種管に適用する以下の試験検 査項目を実施する。

- (a) 溶接作業を行うとき
- 材料確認検査 検査方法:材料証明書等により、適切な材料であることを確認する。
   判定基準:化学成分及び機械的性質が対応する JIS 規格値を満足していること並び に材料証明書等と実機材が合致していること。
- 2)開先検査 検査方法:開先及び開先面の状態に異常がないことを開先ゲージ又は目視にて確認 する。

判定基準:開先及び開先面の状態に異常がないこと。

- 3) 溶接作業検査
  - 検査方法:溶接作業の記録により、当該溶接に使用する溶接設備等が適切であるこ と、溶接条件が信頼性のある方法により行われ、溶接士の技能について 必要な資格等が取得され、維持されていることを確認する。

判定基準:溶接作業が適切に行われていること。

- (b) 非破壊試験が行える状態になったとき
- 1) 非破壊試験
  - 検査方法:溶接部表面に割れ及び有害な欠陥がないことを浸透探傷試験により確認 する。

判定基準:溶接部表面に割れ及び有害な欠陥がないこと。

- (c) 耐圧試験が行える状態になったとき
- 1) 耐圧試験

検査方法:水圧又は気圧により所定の圧力を負荷した後、検査圧力に耐え、かつ、 漏えいのないことを目視又は発泡剤により確認する。

判定基準:所定の検査圧力に耐え、かつ、溶接部に変形及び漏えいがないこと。

2) 仕上がり検査

検査方法:目視確認等で溶接部の外観や仕上がり状態を確認する。 判定基準:溶接部の外観及び仕上がりが良好であること。



Fig. 5 空気系統用冷却設備の工事フロー図

#### 7. おわりに

空気系統用冷却設備は、廃止措置移行後も性能維持設備としての重要な設備であるため、最新 の知見を反映し設計及び評価を行うとともに、廃止措置計画認可申請書に記載した。その後、令 和3年3月に廃止措置計画認可申請書が認可され、令和3年5月から工事に着手し、本年度中の 工事完了及び運用を開始する。一方、既存 UCL系統設備は空気系統用冷却設備の運用開始後から 性能維持施設から除外することとする。

本設計・評価に関しては、要員の知識向上を図ることができ、同様な冷却設備を有する冷凍機の更新等、今後の廃止措置作業や後継炉の検討に向けて、非常に有意義な経験であった。

#### 謝辞

本報告書をまとめるあたり、大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部 土谷邦彦氏、 楢葉遠隔技術開発センター 遠隔機材整備運用課 根本浩喜氏に有意義なご指導及びご助言を頂 きましたこと深く感謝いたします。また、材料試験炉部 廃止措置準備室 井手広史氏、永田寛 氏及び大森崇純氏から、廃止措置計画認可申請書への反映にあたり、原子力規制庁からの適確な 指示・情報を頂きました。さらに、材料試験炉部 原子炉課各位にも多大なご協力を頂きました。 本報告書をまとめるにあたりここに明記し、謝意を表します。

#### 参考文献

- (1) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構,「JMTR(材料試験炉)二次冷却系統の冷却塔 倒壊について」,令01原機(環材)007,令和元年9月19日,https://www.jaea.go.jp/02 /press2019/p19091901/s01.pdf(参照:2022年4月1日).
- (2) 大戸勤,浅野典一,川俣貴則,箭内智博,西村嵐,他,「JMTR・UCL系統冷却塔の健全 性調査」, JAEA-Review 2020-018, 2020, 66p.
- (3) 原子力規制庁,第50回原子力規制委員会,「資料7 試験研究用等原子炉施設の審査の改善策等について」,令和元年12月25日,https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/ki sei/00000480.html(参照:2022年4月1日).
- (4) 原子力規制庁,被規制者等との面談概要・資料 試験研究炉に関するもの,「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所のJMTR及びTCAに係る廃止措置計画の認可申請に関する事業者ヒアリング(24)」,令和2年12月8日,https://www2.nsr.go.jp/disclosure/meeting/TNR/202011.html(参照:2022年4月1日).
- (5) 原子力規制委員会,第22回核燃料施設等の廃止措置計画に係る審査会合,「日本原子力研 究開発機構大洗研究所(北地区)JMTR 原子炉施設の廃止措置計画認可申請及び保安規定 変更認可申請について」、令和2年12月14日、https://www.nsr.go.jp/disclosure/commi ttee/yuushikisya/haishisochi\_nuclear\_facilities/170000064.html(参照:2022年4月1 日).
- (6) 日本電気協会,原子力発電所耐震設計技術指針・重要度分類・許容応力編,JEAG4601・補-1984,224p.
- (7) 日本電気協会, 原子力発電所耐震設計技術指針, JEAG4601-1987, 896p.

- (8) 日本工業規格, JIS G 3454:2017, 圧力配管用炭素鋼鋼管.
- (9) 日本産業規格, JIS G 3101: 2020, 一般構造用圧延鋼材.
- (10) 日本工業規格, JIS Z 3420: 2003, 金属材料の溶接施工要領及びその承認-一般原則.
- (11) 日本工業規格, JIS Z 3801: 1997, 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準.
- (12) 建築研究所(監修),建築設備耐震設計・施工指針2014年版,建築設備耐震設計・施工指 針2014年版編集委員会(編集),日本建築センター,336p.

#### 付録1 「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」との適合性に係る説明

(廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持)

第四条 法第四十三条の三の二第二項の認可を受けた場合には、当該認可に係る廃止措置計画 (同条第三項において準用する法第十二条の六第三項又は第五項の規定による変更の認可又 は届出があったときは、その変更後のもの。以下この条において同じ。)で定める性能維持施 設(試験炉規則第十六条の五の二第十一号の性能維持施設をいう。)については、この規則の 規定にかかわらず、当該認可に係る廃止措置計画に定めるところにより、当該施設を維持し なければならない。

適合性の説明

 空気系統用冷却設備は、性能維持施設である空気系統の構成機器として維持管理を行う。 なお、UCL系統の供用終了における処置については、本文の「五 廃止措置対象施設のう ち解体の対象となる施設及びその解体の方法」に示す。

(地震による損傷の防止)

- 第六条 試験研究用等原子炉施設は、これに作用する地震力(試験炉許可基準規則第四条第二 項の規定により算定する地震力をいう。)による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことが ないものでなければならない。
- 2 耐震重要施設(試験炉許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下この条において同じ。)は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある 地震による加速度によって作用する地震力(試験炉許可基準規則第四条第三項に規定する地 震力をいう。)に対してその安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。
- 3 耐震重要施設は、試験炉許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊により その安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合性の説明

 空気系統用冷却設備の主要機器(冷却塔、配管等、サポート類、循環ポンプ、制御盤)は、 耐震重要度を一般機器(Cクラス相当)とし、原子炉設置変更許可申請書に記載された一般機 器の設計震度 0.2G に、原子力発電所耐震設計技術指針から要求される割増係数 1.2 を乗じた 震度 0.24G により算定した地震力に対して損壊しないように設計する。

なお、自主検査において、材料検査、外観検査、寸法検査及び据付検査を行い、耐震性が確 保されていることを確認する。

- 2. 耐震重要施設ではないため適用外
- 3. 耐震重要施設ではないため適用外

(外部からの衝撃による損傷の防止)

- 第八条 試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)によりその 安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置 が講じられたものでなければならない。
- 2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の 外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は 爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況 から想定される事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)により試験研究用等 原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたもので なければならない。
- 3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあっては、原子炉格納容器に近接する船体の 部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でな ければならない。
- 4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損な うおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければな らない。

適合性の説明

1. 廃止措置期間中に想定される自然現象は、主な設置場所が屋外となるため台風及び凍結を想 定する。

空気系統用冷却設備に使用する冷却塔は、二次冷却系統冷却塔の倒壊事象を踏まえ、建築基準法に基づいて風荷重の評価を行い、倒壊しない設計とする。また、冬季における冷却水の凍結を防止する設計とする。

なお、自主検査において、外観検査、寸法検査及び据付検査を行い、台風及び凍結による損 傷を防止する構造であることを確認する。

- 2. 本申請の範囲外
- 3. 本申請の範囲外
- 4. 本申請の範囲外

(材料及び構造)

- 第十二条 試験研究用等原子炉施設に属する容器、管、弁及びポンプ並びにこれらを支持する 構造物並びに炉心支持構造物のうち、試験研究用等原子炉施設の安全性を確保する上で重要 なもの(以下この項において「容器等」という。)の材料及び構造は、次に掲げるところによ らなければならない。この場合において、第一号(容器等の材料に係る部分に限る。)及び第 二号の規定については、法第二十八条第二項に規定する使用前事業者検査の確認を行うまで の間適用する。
- 一 容器等がその設計上要求される強度及び耐食性を確保できるものであること。
- 二 容器等の主要な耐圧部の溶接部(溶接金属部及び熱影響部をいう。以下この号において同 じ。)は、次に掲げるところによるものであること。
  - イ 不連続で特異な形状でないものであること。
  - ロ 溶接による割れが生ずるおそれがなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良 その他の欠陥がないことを非破壊試験により確認したものであること。
  - ハ 適切な強度を有するものであること。
  - ニ 機械試験その他の評価方法により適切な溶接施工法及び溶接設備並びに適切な技能を有 する溶接士であることをあらかじめ確認したものにより溶接したものであること。
- 2 試験研究用等原子炉施設に属する機器は、その安全機能の重要度に応じて、適切な耐圧試験又は漏えい試験を行ったとき、これに耐え、かつ、著しい漏えいがないものでなければならない。
- 3 試験研究用等原子炉施設に属する容器であって、その材料が中性子照射を受けることにより著しく劣化するおそれがあるものの内部は、監視試験片を備えたものでなければならない。

適合性の説明

1. 一 空気系統用冷却設備の配管は、「研究炉技術基準」に基づいて耐圧強度評価を行い、十 分な耐圧強度を有するものとする。

なお、自主検査において、材料検査、外観検査及び寸法検査を行い、必要な強度、耐食 性を確保していることを確認する。

- 二 容器等の主要な耐圧部に該当しないため適用外
- 2. 自主検査において、耐圧検査を行い、これに耐え、かつ、著しい漏えいがないことを確認す る。
- 3. 試験研究用等原子炉施設に属する容器ではないため適用外





- 22 -



This is a blank page.

#### 付録3 空気系統用冷却設備の耐震強度評価

付録1の第六条(地震による損傷の防止)に係る空気系統用冷却設備の主要機器(冷却塔、 制御盤、循環ポンプ、薬液注入装置、配管等、サポート)の耐震評価の計算書を以下に示す。

計算書-1 耐震強度計算基本方針
計算書-2 冷却塔の耐震強度計算
計算書-3 制御盤の耐震強度計算
計算書-4 循環ポンプの耐震強度計算
計算書-5 薬液注入装置の耐震強度計算
計算書-6 配管等の耐震強度計算
計算書-7 サポートの耐震強度計算

This is a blank page.

# 計算書-1

## 耐震強度計算基本方針

This is a blank page.

1. 概 要

本書は、原子力規制委員会に申請した JMTR 原子炉施設の廃止措置認可申請書のうち、「七 性 能維持施設の位置、構造及び設備並びにその性能並びにその性能を維持すべき期間」の「2. 空気 系統用冷却設備の設置」で示した主要機器の設置に先立ち実施する耐震強度計算に関する基本方 針を示すものである。

#### 2. 計算対象

計算対象は、空気系統用冷却設備を構成する以下の主要機器に対して実施する。また、計算は 「3. 適用規格・基準」の規格等に則るものとし、各機器の主要な要目等については、各機器の耐 震強度計算書で示す。

- (1) 冷却塔
- (2) 制御盤
- (3) 循環ポンプ
- (4) 薬液注入装置
- (5) 配管等(継手、フランジ及び弁類を含む。)
- (6) サポート
- 3. 適用規格·基準
  - (1) 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準「平成 15 年 5 月 30 日 (15 科原安第 13 号)」(以下「研究炉技術基準」という。)
  - (2) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601 補-1984)(以下「耐震技術指針補」という。)
  - (3) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)(以下「耐震設計指針」という。)
  - (4)発電用原子力設備規格 材料規格(2012 年版)JSMES NJ1-2012 日本機械学会(以下「JSME」 という。)
  - (5) 日本産業規格(以下「JIS 規格」という。)
  - (6) 建築設備耐震設計・施工指針 2014 年版 日本建築センター
  - (7) 機械工学便覧 α.基礎編 2007 (以下「機械工学便覧」という。)
  - (8) 各種合成構造設計指針 2010 日本建築学会(以下「合成構造指針」という。)

#### 4. 耐震設計の区分

空気系統用冷却設備の耐震設計の区分は、廃止措置計画認可申請書において「一般機器」(Cク ラス相当)としている。一方、本設備は、現在稼働中の UCL 冷却系統と同様な機能が要求され る。このため本評価においては、運転段階時において適用した UCL 冷却系統の耐震設計の区分を 用いるものとし、保守的に JMTR 原子炉設置変更許可申請書の添付書類八の 1.4 耐震設計に記載 する「一般機器」の静的に水平方向 0.4G、垂直方向 0.2G の地震力(Bクラス相当)として評価 する。

5. 静的設計震度の設定

静的設計震度については、耐震設計指針の「B クラス」に示されている機器配管系の静的設計 震度(20%増)と原子炉設置変更許可申請書の耐震設計における一般機器の静的設計震度とを比 較し、大きい方を静的設計震度に設定する。

(1) 耐震技術指針における「Bクラス」の静的設計震度
 水平方向:1.5×CI×1.2 = 0.36 G (CI = 0.2)

鉛直方向: 0.36×0.5 = 0.18 G

- (2) 原子炉設置変更許可申請書の耐震設計における一般機器の静的設計震度
  - 水平方向: 0.4 G 鉛直方向: 0.2 G

上記から、原子炉設置変更許可書の耐震設計における一般機器の静的設計震度は、耐震設計指 針による静的設計震度より大きい。このため、耐震強度計算に用いる静的設計震度は、原子炉設 置変更許可申請書に記載されている水平方向設計震度 0.4 G 、鉛直方向設計震度 0.2 G に設定 する。

6. 計算条件及び計算項目

6.1 冷却塔、制御盤、循環ポンプ及び薬液注入装置

本計算における冷却塔、制御盤、循環ポンプ及び薬液注入装置(以下「計算対象」という。)は、 据え付け状態において構造的に1個の大きなブロック状の形状であり、床面に基礎ボルトにより 固定される。このため、計算条件、計算項目並びに許容応力の算出方法については共通とし、次 に示す事項により実施する。

- 6.1.1 計算条件
- (1) 計算対象の重心位置は、ブロック状のほぼ中央にあるものと仮定し、質量は重心に集中する ものとする。
- (2) 地震力は計算対象に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計算対象のうち、制御盤の下面については接続ボルトでチャンネルベースに固定され、チャンネルベースは基礎ボルトで床面に固定された固定端とする。また冷却塔及び循環ポンプについては基礎ボルトで床面に固定された固定端とする。
- 6.1.2 計算項目
  - (1) 固有周期の計算

計算対象は構造的に1個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中 心にあるものとし、かつ、盤については接続ボルトでチャンネルベースに固定され、チャンネ ルベースは基礎ボルトで床面に固定、冷却塔及び循環ポンプは基礎ボルトで床面に固定されて いる。

従って、全体的に一つの剛体とみなせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は 省略する。

(2) 応力計算

応力計算は、計算対象が剛体であることから、機器を固定する接続ボルト又は基礎ボルトに 対し、地震により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。

- 6.1.3 許容応力の算出方法
  - (1) 許容引張応力

許容引張応力は、次の2式により求めた値のうち、小さい方を適用する。

 $f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$
$$f_{to} = 1.5 \cdot \frac{F}{2}$$

$f_{ts}:\vec{5}$	張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	$(N/mm^2)$
$\mathbf{f}_{to}: \mathbf{\vec{5}}$	張力のみを受けるボルトの許容引張応力	$(N/mm^2)$
$\tau_b$ : $\overline{\lambda}$	ボルトのせん断応力	$(N/mm^2)$
F :≸	発電用原子力設備規格 材料規格(JSMESNJ1-2012)付録	
杉	オ料図表 Part3 第1章表6(Sy)に定める値、付録材料図	
表	長 Part3 第 1 章表 7(Su)に定める値の 0.7 倍の値のいず	
X	いか小さい方の値	$(N/mm^2)$
	(合成構造指針より、SS400の降伏点又は耐力の区分は 235	(N/mm <sup>2</sup> ) とする。)

(2) 許容せん断応力

許容せん断応力は、次式により求めた値とする。

$$f_{sb} = 1.5 \cdot \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$$

**F**:許容引張応力のFと同一

fsb: せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力

 $(N/mm^2)$ 

6.2 配管等

配管等の評価は、耐震設計指針の配管に関する基本手順に則り実施する。

6.2.1 設計手法

設計手法は、配管の口径及び使用温度を基に、以下に示す耐震設計指針における「配管の標準 的設計手法」に従い実施する。

本配管系の設計における最高使用温度は 60 ℃、最高使用圧力は 0.5 MPa であり、低温低圧の 配管系である。また、本配管系は、配管ピット及びトレンチを利用することにより、容易に敷設 が可能である。従って、同表における「簡易設計法」により実施する。

配管	分類	標準的設計手法		
使用温度	口径	動的解析法	簡易設計法	
古い	大口径	$\bigtriangleup$	0	
「」、 、	小口径	$\bigtriangleup$	0	
低い	—	_	0	

配管の標準的設計手法

○:原則として適用する設計手法

△: 簡易設計手法が適用し難い場合について動的解析を行う。(C クラス配管は除く)

6.2.2 支持点の設定

簡易設計法には、「振動数基準定ピッチスパン法」及び「応力基準定ピッチスパン法」がある。

これらは、基準振動数あるいは配管の許容応力に対して定められた支持間隔で支持点を設定する ものである。

本配管系の敷設は、配管ピット並びにトレンチ内において実施するものであり、支持点となる サポートの据え付け位置の設定が容易にできることから、上記設計法のうち、「振動数基準定ピッ チスパン法」を選択し、剛領域(20 Hz)となる支持間隔を設定する。

また、設計手順は、以下に示す耐震設計指針における設計手順図に基づき、手法-1により実施 する。



耐震設計指針における設計手順図

6.2.3 計算項目

振動数基準定ピッチスパン法による計算項目を次に示す。

(1) 直管部

直管部は、両端単純支持にモデル化し、1次固有振動数が基準振動数(20Hz)となる最大支 持間隔を算出する。

(2) 曲がり部

曲がり部は、以下に示す耐震設計指針における曲がり角と振動数低下の関係の一例から、振動数係数が最も小さくなる曲げ位置1:1の曲線を用いるものとし、直管の振動数係数(4.73)と90°曲げの振動数係数(3.9)の比から縮小率を0.82に設定し、直管部の最大支持間隔に縮小率を乗じることにより、曲がり部の最大支持間隔を算出する。



(3) 分岐部

分岐部は、以下に示す耐震設計指針におけるスパン縮小率の例から、縮小率が最小となる分 岐位置がスパンの中間の場合の縮小率 0.8 を設定し、直管部の最大支持間隔に縮小率を乗じる ことにより、分岐部の最大支持間隔を算出する。



(4) 集中質量部

本配管系のサイズは、大別すると 50A-Sch40 及び 80A-Sch40 から構成される。また、これ らの配管系において集中質量となる機器は、自動弁、逆止弁、ストレーナ、手動弁及びフラン ジがあり、このうち、50A-Sch40 系統については「手動弁+フランジ(30 kg)」、80A-Sch40 系 統に用いる「自動弁+逆止弁(フランジ込 100 kg)」の組み合わせが最大質量となる。

従って、集中質量部については、以下に示す耐震設計指針におけるスパン縮小率の例から、 縮小率が最小となる中間で集中質量うける場合の k = 0.5 の曲線を用いるものとし、集中質量 と直管部の定ピッチスパン長さの質量の比 1.5 (50A-Sch40)、2.0 (80A-Sch40) から縮小率を 保守的に 0.6 並びに 0.5 に設定し、前述(1)から(2)で求めた最大支持間隔に縮小率を乗じ ることにより、集中質量部の最大支持間隔を算出する。



k =支持点間における集中荷重の位置(中間の場合k=0.5 1/4の場合k=0.25とする。)

6.3 サポート

サポートは、大別すると片持ち支持(以下「片持型」という。)又は両端支持(以下「門型」という。)の状態に分類される。また、これらのサポートは、床面、壁面又は天井面に基礎ボルトにより据え付けられる。このため、本計算においては、片持型及び門型について荷重条件が最も厳しくなるケースを選定し計算を実施する。

なお、本サポートは、耐震設計指針における「その他の支持構造物」に分類されるものであり、 伝達荷重に対して適切な強度を保持できることを確認する。

- 6.3.1 計算項目
- (1) 固有周期の計算

サポートの固有振動数が剛体とみなせる 20 Hz 以上であることを確認する。

(2) 応力計算

応力計算は、サポートを構成する支持部材、ベースプレート及び基礎ボルトについて、地震 荷重によって生じる発生応力の算出を行う。

なお、上記固有振動数の計算において、20 Hz 以上が確認された場合は、剛構造となるため、 アンカー部の評価を行うものとする。

- 6.3.2 計算条件
  - (1) 片持型サポート
    - ① 片持型サポートは、基礎ボルトにより壁面に固定された形状とする。
    - ② 配管材の支持点は U ボルトにより軸直方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。
    - ③ 固有振動数の計算にあたっては、片持ち梁にモデル化し、配管材、弁及びサポートの部材 質量(内包する水の質量を含む。)が負荷された状態とする。
    - ④ 発生応力の計算は、上記のモデルを用いるものとし、配管材、弁及びサポートの部材荷重 (内包する水の質量を含む。)が梁の先端に負荷されるものとして行う。
  - (2) 門型サポート

    - ② 配管材の支持点は U ボルトにより軸直方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。
    - ③ 固有振動数の計算は、等価なばね定数を有する1質点系にモデル化し、配管材、弁及びサポートの部材質量(内包する水の質量を含む。)が負荷された状態とする。
    - ④ 支柱の応力計算は、支柱単体に分割し、片持ち梁モデルとして計算する。支持部材の応力 計算は両端支持梁モデルとして計算する。支柱及び支持部材の水平方向の曲げ応力度については、ラーメン構造として計算する。
    - ⑤ 負荷される荷重は、配管材、弁及びサポートの部材荷重(内包する水の質量を含む。)が 片持ち梁モデルについては梁の先端に、両端支持梁モデルについては梁の中央に負荷され るものとして行う。

6.3.3 許容応力

サポートの許容応力については、耐震技術指針補の「3.6.1 その他の支持構造物の許容応力」 に従って設定する。 7. 計算精度

計算過程における精度は、6 桁以上を確保するものとし、記載する数値の丸め方は次に示すと おりとする。

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	S	小数点以下第1位	切捨て	整数位
設計震度	G	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位*1
温度*2	°C	_	_	整数位
質量*2	kg	_	—	整数位
回転数*2	$\min^{-1}$	—	_	整数位
床面高さ*2	mm	_	_	小数点以下第1位
ボルトスパン*2	mm	_	—	小数点以下第1位
モーメント	N·mm	小数点以下第1位	切上げ	整数位
最大支持間隔	mm	小数点以下第1位	切捨て	整数位
ボルト断面積*3	$\mathrm{mm}^2$	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
降伏点*4	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数位
引張強さ*3	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数位
縦弾性係数 <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数位
断面二次モーメント	$\mathrm{mm}^4$	小数点以下第1位	切捨て	整数位
配管材の質量	kg	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*5
F值	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数位
力	Ν	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
等分布荷重	N/mm	小数点以下第1位	切上げ	整数位
算出応力*6	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数位

\*1:原子炉設置変更許可書記載値を除く。

\*2:設計図書記載値とする。

\*3:断面積の計算に用いるボルト谷径については、JIS 規格値を用いる。

\*4: JSME に記載された温度の中間における降伏点および引張強さは、比例法により補間した 値の小数点以下第1位を切捨て、整数位までの値とする。

\*5:指数表記とする。

\*6:算出応力のうち、支圧応力については、小数点以下第2位を切上げ、小数点以下第1位の数値とする。

# 計算書-2

## 冷却塔の耐震強度計算

This is a blank page.

1. 概要

本計算書は、冷却塔に加わる地震力による応力計算を行い、構造上の健全性を評価したものである。

2. 設計条件

設計条件は次のとおり。

桃田女女	静的設 ( <b>(</b>	計震度 G)	材質及び呼び径		使用温度	設計 降伏点*1	設計 引張強さ <sup>*2</sup>
機畚名杯	水平	鉛直	接続ボルト	基礎ボルト	(°C)	${ m S_y} \ ({ m N/mm^2})$	Su (N/mm²)
冷却塔	0.4	0.2	${ m SS400} { m M10^{*3}}$	${ m SS400} { m M16^{*3}}$	60	227	389

\*1:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1 章 表6に定める材料の各温度における設計降伏点

\*2:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSMESNC1-2012)付録材料図表 Part3 第1 章 表7に定める材料の各温度における設計引張強さ

\*3: 断面積の計算においては、JISB0205-4「一般用メートルねじ第4部:基準寸法」に示さ れた谷の径を用いる。

3. 耐震計算

耐震計算は、重心が盤のほぼ中心にあるものとし、地震力により基礎ボルトに発生する引張応力とせん断応力について行う。

3.1 計算モデル

計算モデルを以下に示す。



基礎ボルト計算モデル

### 3.2 記号説明

記 号		号	Ø	説	明	単 位
Abi	ボルトの断面積	$mm^2$				
Сн	水平方向設計震	震度				_
$C_{\rm v}$	鉛直方向設計創	震度				_
d	ボルトの谷径					mm
F	研究炉技術基準	售 第 72 条	第1項第2	2号イに定め	らる値	N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{F}_{bi}$	ボルトに作用す	る引張力	(1本当た	り)		Ν
$\mathbf{f}_{\mathrm{sbi}}$	せん断力のみを	受けるボノ	ルトの許容す	せん断応力		N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{toi}}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力					N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{tsi}}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力					N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度(=9.80665)					$m/s^2$
hi	据付面から重心	mm				
l <sub>1i</sub>	重心とボルト間	司の水平方向	句距離*			mm
$\ell_{2i}$	重心とボルト間	司の水平方向	句距離*			mm
mi	運転時質量					kg
ni	ボルトの本数					_
nfi	引張力の作用す	_				
$\mathbf{Q}_{\mathrm{bi}}$	ボルトに作用するせん断力					Ν
π	円周率					
Obi	ボルトに生じる	N/mm <sup>2</sup>				
Tbi	ボルトに生じる	らせん断応ス	力			N/mm <sup>2</sup>

 $*: \ \ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$ 

注記:記号の添字iの意味は、以下のとおりとする。

i=1 接続ボルト

i=2 基礎ボルト

3.3 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として基礎ボルトを支点とする転倒を考え、こ れを片側の基礎ボルトで受けるものとする。

(1) 引張力

引張力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-513)から導出した次式により求める。

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot g \cdot h_i \cdot m_i \cdot (1 \cdot C_V) \cdot g \cdot \boldsymbol{\ell}_{1i}}{n_{fi} \cdot (\boldsymbol{\ell}_{1i} + \boldsymbol{\ell}_{2i})}$$

引張力は次のとおり。

計算対象	F <sub>bi</sub> (N)
接続ボルト (i=1)	-303.7
基礎ボルト (i=2)	-355.3

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	$m_i$ (kg)	Сн (G)	Cv (G)	${f g}$ $(m/s^2)$	hi (mm)	$\ell_{1i}$ (mm)	$\ell_{2i}$ (mm)	${n_{\mathrm{fi}} \over (-)}$
接続ボルト (i=1)	785	0.4	0.2	9.80665	745	735.0	735.0	5
基礎ボルト (i=2)	810	0.4	0.2	9.80665	1135	731.0	731.0	2

(2) 引張応力

引張応力は、引張力が接続ボルトで-303.7 (N)、基礎ボルトで-355.3 (N) と負側になった ため、計算を省略する。

3.4 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとする。

(1) せん断力

せん断力は耐震設計指針の(6.6.3-510)の計算式から導出した次式により求める。

 $Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g$ 

せん断力は次のとおり。

計算対象	Q <sub>bi</sub> (N)
接続ボルト (i=1)	3080
基礎ボルト (i=2)	3178

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	${f m_i}\ ({f kg})$	C <sub>H</sub> (G)	g (m/s <sup>2</sup> )
接続ボルト (i=1)	785	0.4	9.80665
基礎ボルト (i=2)	810	0.4	9.80665

(2) せん断応力

せん断応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-511)により求める。

$$\tau_{\rm bi} = \frac{\rm Q_{\rm bi}}{\rm n \cdot A_{\rm bi}}$$

基礎ボルト断面積 Abは、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2$$

せん断応力は次のとおり。

計算対象	$ au_{ m bi} \ ({ m N/mm^2})$
接続ボルト (i=1)	6
基礎ボルト (i=2)	6

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	Q <sub>bi</sub> (N)	${ m A_{bi}}\ ({ m mm^2})$	n (—)	di (mm)
接続ボルト (i=1)	3080	55.10 (M10)	10	8.376
基礎ボルト (i=2)	3178	150.3 (M16)	4	13.835

4. 許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.1.3 許容応力 の算出方法」に則り設定する。

(1) 使用温度における材料の許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力の算出に用いる材料の使用温度における許容応力は次に示 す値のうち小さいほうを用いる。

計質計句	F (N/mm <sup>2</sup> )		
司 异 刈 豕	Sy	0.7 <b>·</b> Su	
接続ボルト (i=1)			
 基礎ボルト (i=2)	227	$389 \times 0.7 = 272$	

上記より、許容引張応力及び許容せん断応力の算出には、Sy 値を用いる。

(2) 許容引張応力

許容引張応力の算出結果を次に示す。また、評価で用いる許容引張応力には次に示す値のうち、小さいほうを設定する。

計算対象	許容引張応力(N/mm <sup>2</sup> )			
	${ m f}_{ m tsi}$	${ m f}_{ m toi}$		
接続ボルト (i=1)	200	170		
基礎ボルト (i=2)	220	170		

上記より、許容引張応力は、ftoiを設定する。

### (3) 許容せん断応力

許容せん断応力は、次の値を設定する。

	許容せん断応力(N/mm <sup>2</sup> )
計算対象	${ m f}_{ m sbi}$
接続ボルト	
(i=1)	101
基礎ボルト	131
(i=2)	

### 5. 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

司答母色	引張応力	(N/mm <sup>2</sup> )	せん断応力 ( <b>N/mm</b> <sup>2</sup> )		
計 昇 刈 家	発生値	許容引張応力	発生値	許容せん断応力	
	Obi	$\mathbf{f}_{\mathrm{toi}}$	Tbi	${ m f}_{ m sbi}$	
接続ボルト	_	170	6	131	
基礎ボルト	_	170	6	131	

### 6. 評価結果

冷却塔の接続ボルト及び基礎ボルトに発生する引張応力並びにせん断応力は、許容応力以下で あり耐震強度は十分である。

また、基礎ボルトとして使用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指 針」2014 年版に基づき評価した場合、あと施工接着系アンカーの短期許容引抜荷重は 12 kN で あり、本耐震計算における冷却塔の基礎ボルト1本に作用する引張力(Fb)は-0.3553 kN と負側 であるため、基礎ボルトが引き抜けることはない。

# 計算書-3

## 制御盤の耐震強度計算

This is a blank page.

1. 概要

本計算書は、制御盤に加わる地震力による応力計算を行い、構造上の健全性を評価したものである。

2. 設計条件

設計条件は次のとおり。

松兕々折	静的設計震度 (G) 材質及び呼び径		材質及び呼び径		使用温度	設 計 降伏点*1	設計 引張強さ*2	
陇碚石小	水平	鉛直	基礎ボルト	接続ボルト	(°C)	${ m S_y} \ ({ m N/mm^2})$	S <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
制御盤	0.4	0.2	$SS400 M16^{*3}$	$SS400 M10^{*3}$	60	227	389	

\*1:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1 章 表6に定める材料の各温度における設計降伏点

\*2:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSMESNC1-2012)付録材料図表 Part3 第1 章 表7に定める材料の各温度における設計引張強さ

\*3: 断面積の計算においては、JISB0205-4「一般用メートルねじ第4部:基準寸法」に示さ れた谷の径を用いる。

3. 耐震計算

耐震計算は、重心が盤のほぼ中心にあるものとし、計算条件において不利になる奥行き側の基礎ボルト及び接続ボルトに発生する引張応力及びせん断応力について行う。

3.1 計算モデル





### 3.2 記号説明

記 号	記	号	Ø	説	明	単 位			
Abi	ボルトの断面積	mm <sup>2</sup>							
Сн	水平方向設計震	_							
$C_{v}$	鉛直方向設計震	_							
d	ボルトの谷径					mm			
F	研究炉技術基準	售 第 72 条	第1項第2	2号イに定め	うる値	N/mm <sup>2</sup>			
$\mathbf{F}_{\mathrm{bi}}$	ボルトに作用す	「る引張力	(1本当たり	))		N			
$\mathbf{f}_{\mathrm{sbi}}$	せん断力のみを	受けるボ	ルトの許容	せん断応力		N/mm <sup>2</sup>			
$\mathbf{f}_{\mathrm{toi}}$	引張力のみを受	N/mm <sup>2</sup>							
$\mathbf{f}_{\mathrm{tsi}}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力					N/mm <sup>2</sup>			
g	重力加速度 (=9.80665)					$m/s^2$			
hi	据付面から重心	mm							
l <sub>1i</sub>	重心とボルト間	mm							
$\ell_{2i}$	重心とボルト間	周の水平方∣	句距離*			mm			
mi	運転時質量					kg			
ni	ボルトの本数	_							
nfi	引張力の作用す	_							
$\mathbf{Q}_{\mathrm{bi}}$	ボルトに作用するせん断力					N			
π	円周率								
Obi	ボルトに生じる	N/mm <sup>2</sup>							
Tbi	ボルトに生じる	らせん断応	 力	ボルトに生じるせん断応力					

 $*: \ \ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$ 

注記:記号の添字iの意味は、以下のとおりとする。

i=1 接続ボルト

i=2 基礎ボルト

3.3 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として基礎ボルトを支点とする転倒を考え、こ れを片側の基礎ボルトで受けるものとする。

(1) 引張力

引張力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-513)から導出した次式により求める。

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot g \cdot h_i \cdot m_i \cdot (1 \cdot C_V) \cdot g \cdot \boldsymbol{\ell}_{1i}}{n_{fi} \cdot (\boldsymbol{\ell}_{1i} + \boldsymbol{\ell}_{2i})}$$

引張力は次のとおり。

計算対象	F <sub>bi</sub> (N)
接続ボルト (i=1)	1132
基礎ボルト (i=2)	1820

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	$m_i$ $(kg)$	Сн (G)	C <sub>v</sub> (G)	${f g}$ $({f m}/{f s}^2)$	hi (mm)	lıi (mm)	$\ell_{2i}$ (mm)	$n_{ m fi}$ $(-)$
接続ボルト (i=1)	320	0.4	0.2	9.80665	900.0	160.5	160.5	2
基礎ボルト (i=2)	340	0.4	0.2	9.80665	1100.0	147.5	147.5	2

(2) 引張応力

引張応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-515)により求める。

$$\sigma_{\rm bi} = \frac{\rm F_{bi}}{\rm A_{bi}}$$

接続ボルト及び基礎ボルト断面積Abは、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2$$

引張応力は次のとおり。

計算対象	$\sigma_{ m bi} \ ({ m N/mm^2})$
接続ボルト (i=1)	21
基礎ボルト (i=2)	13

計算に用いた要目は次のとおり。

斗笛分免	$\mathrm{F}_{\mathrm{bi}}$	$A_{bi}$	$d_{\mathrm{i}}$
口异八豕	(N)	$(mm^2)$	(mm)
接続ボルト	1100	55.10	0.050
(i=1)	1132	(M10)	8.376
基礎ボルト	1990	150.3	10.005
(i=2)	1820	(M16)	19.999

3.4 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとする。

(1) せん断力

せん断力は耐震設計指針の(6.6.3-510)の計算式から導出した次式により求める。

 $\mathbf{Q}_{bi} = \mathbf{m}_i {\cdot} \mathbf{C}_H {\cdot} \mathbf{g}$ 

せん断力は次のとおり。

計算対象	Q <sub>bi</sub> (N)
接続ボルト (i=1)	1255
基礎ボルト (i=2)	1334

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	$rac{m_{ m i}}{( m kg)}$	Сн (G)	${ m g} \ ({ m m/s^2})$
接続ボルト (i=1)	320	0.4	9.80665
基礎ボルト (i=2)	340	0.4	9.80665

### (2) せん断応力

せん断応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-511)により求める。

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n \cdot A_{bi}}$$

接続ボルト及び基礎ボルト断面積A<sub>b</sub>は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2$$

せん断応力は次のとおり。

計算対象	$ au_{ m bi} \ ({ m N/mm^2})$
接続ボルト (i=1)	6
基礎ボルト (i=2)	3

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	Q <sub>bi</sub> (N)	$egin{array}{c} A_{ m bi}\ (mm^2) \end{array}$	n (—)	di (mm)
接続ボルト (i=1)	1255	55.10 (M10)	4	8.376
基礎ボルト (i=2)	1334	150.3 (M16)	4	13.835

4. 許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.1.3 許容応力 の算出方法」に則り設定する。

(1) 使用温度における材料の許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力の算出に用いる材料の使用温度における許容応力は次に示 す値のうち小さいほうを用いる。

計算対象	F (N/mm <sup>2</sup> )			
	Sy	0.7 <b>·</b> Su		
接続ボルト				
(i=1)	997	$280\times0.7 - 272$		
基礎ボルト	221	$309 \times 0.1 - 212$		
(i=2)				

上記より、許容引張応力及び許容せん断応力の算出には、Sy 値を用いる。

(2) 許容引張応力

許容引張応力の算出結果を次に示す。また、評価で用いる許容引張応力には次に示す値のう ち、小さいほうを設定する。

制質対布	許容引張応力(N/mm <sup>2</sup> )			
訂昇刈家	${ m f}_{ m tsi}$	$\mathbf{f}_{\mathrm{toi}}$		
接続ボルト (i=1)	228	170		
基礎ボルト (i=2)	233	170		

上記より、許容引張応力は、ftoiを設定する。

(3) 許容せん断応力

許容せん断応力は、次の値を設定する。

	許容せん断応力(N/mm <sup>2</sup> )
計算対象	${ m f}_{ m sbi}$
接続ボルト	
(i=1)	191
基礎ボルト	131
(i=2)	

### 5. 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

司体山舟	引張応力	(N/mm <sup>2</sup> )	せん断応力 ( <b>N/mm</b> <sup>2</sup> )		
<b>訂</b> 昇刈家	発生値	許容引張応力	発生値	許容せん断応力	
	Obi	$\mathbf{f}_{\mathrm{toi}}$	Tbi	${f f_{ m sbi}}$	
接続ボルト (i=1)	21	170	6	131	
基礎ボルト (i=2)	13	170	3	131	

6. 評価結果

制御盤の基礎ボルトに発生する引張応力並びにせん断応力は、許容応力以下であり耐震強度は十分である。

また、基礎ボルトとして使用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指 針」2014 年版に基づき評価した場合、あと施工接着系アンカーの短期許容引抜荷重は 12 kN で あり、本耐震計算における制御盤の基礎ボルト 1 本に作用する引張力(Fb)は 1.820 kN である ことから、基礎ボルトが引き抜けることはない。

なお、本工事においては、動力盤の設置も実施するが、動力盤の設計条件、設計寸法及び運転 時質量は、制御盤と同一であるため、計算結果も同一であり、耐震強度は十分である。 This is a blank page.

## 計算書-4

### 循環ポンプの耐震強度計算

This is a blank page.

#### 1. 概要

本計算書は、循環ポンプに加わる地震力による応力計算を行い、構造上の健全性を評価したものである。

#### 2. 設計条件

設計条件は次のとおり。

燃聖々称	静的設 ((	計震度 3)	材質及び 呼び径	使用温度	設 計 降伏点 <sup>*1</sup>	設 計 引張強さ <sup>*2</sup>	回転数	振動 垢峘*3
機奋名 仦	水平	鉛直	基礎ボルト	(°C)	Sy (N/mm²)	${ m S_u} \ ({ m N/mm^2})$	(min <sup>-1</sup> )	<sub>1政中田</sub> 。 (mm)
循環ポンプ	0.4	0.2	${ m SS400} { m M12^{*4}}$	60	227	389	3000	0.032

\*1:発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1章 表6に定める材料の各温度における設計降伏点

\*2:発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1章 表7に定める材料の各温度における設計引張強さ

\*3: JIS B 8307「遠心ポンプの技術仕様-クラス I」 振動シビアリティ 7.1 mm/s 時の片振幅

\*4: 断面積の計算においては、JIS B 0205-4「一般用メートルねじ第4部: 基準寸法」に示され た谷の径を用いる。

3. 耐震計算

耐震計算は、重心がポンプのほぼ中心にあるものと仮定し、地震力により基礎ボルトに発生す る引張応力とせん断応力について行う。

3.1 計算モデル

計算モデルを以下に示す。





### 3.2 記号説明

記号	記号	Ø	説	明	単 位
Ab	ボルトの断面積				mm <sup>2</sup>
Сн	水平方向設計震度				_
$C_{v}$	鉛直方向設計震度				_
$C_P$	ポンプの振動による震度				_
a	ポンプの振動振幅				mm
d	ボルトの谷径				mm
F	研究炉技術基準 第72条	≨第1項第2	号イに定め	る値	N/mm <sup>2</sup>
$\mathrm{F}_{\mathrm{b}}$	ボルトに作用する引張力	(1本当たり	))		N
$\mathbf{f}_{\mathrm{sb}}$	せん断力のみを受けるボ	ルトの許容も	せん断応力		N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	引張力のみを受けるボル	トの許容引引	長応力		N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{ts}}$	引張力とせん断力を同時	に受けるボノ	レトの許容引	目張応力	N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度( = 9.80665)	)			$mm/s^2$
h	据付面から重心までの距	雜			mm
$M_{\mathrm{P}}$	ポンプの回転により働く	モーメント			(N·mm)
$\ell_1$	重心とボルト間の水平方	句距離*			mm
$\ell_2$	重心とボルト間の水平方	句距離*			mm
W	運転時における荷重				N
n	ボルトの本数	_			
$n_{\mathrm{f}}$	引張力の作用するボルト	—			
$\mathbf{Q}_{\mathbf{b}}$	ボルトに作用するせん断	N			
π	円周率				
σ <sub>b</sub>	ボルトに生じる引張応力				N/mm <sup>2</sup>
$ au_{ m b}$	ボルトに生じるせん断応	力			N/mm <sup>2</sup>

\*:  $\ell_1 \leq \ell_2$ 

3.3 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として基礎ボルトを支点とする転倒を考え、こ れを片側の基礎ボルトで受けるものとする。

(1) ポンプの振動による震度

ポンプの振動による震度は、「機械工学便覧 α8 編」に示された電動機基本式から導出した計 算式により計算する。

$$C_{\rm P} = a \cdot \frac{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60}\right)^2}{g}$$

ポンプの振動による震度は次のとおり。

 $C_P = 0.33$  (G)

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	N (min <sup>-1</sup> )	a (mm)	${ m g} \ ({ m mm/s^2})$
基礎ボルト	3000	0.032	9.80665

(2) 引張力

引張力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-519)から導出した次式により求める。

$$F_{b} = \frac{W\{(C_{H}+C_{P})\cdot h\cdot (1\cdot C_{V}+C_{P})\cdot \ell_{1}\}+M_{P}}{n_{f}\cdot \ (\ell_{1}+\ell_{2})}$$

引張力は次のとおり。

$$F_{\rm b} = 324.9$$
 (N)

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	W (N)	Сн (G)	Cv (G)	C <sub>P</sub> (G)	$M_{P}$ $(N \cdot mm)$	h (mm)	$\ell_1$ (mm)	$\ell_2$ (mm)	${n_{ m f}} (-)$
基礎ボルト	1275	0.4	0.2	0.33	*	255.0	125.0	125.0	2

<sup>\*:</sup>耐震設計指針の「ポンプとモータのベースが共通」である場合に該当するため、ポンプ回転により働くモーメントは基礎ボルトに作用しないものとする。

(3) 引張応力

引張応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-520)により求める。

$$\sigma_{\rm b} = \frac{\rm F_{\rm b}}{\rm A_{\rm b}}$$

基礎ボルト断面積Abは、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

引張応力は次のとおり。

$$\sigma_{\rm b} = 5 \ (\rm N/mm^2)$$

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	象	F <sub>b</sub> (N)	$egin{array}{c} A_b \ (mm^2) \end{array}$	d (mm)
基礎ボル	۲.	324.9	80.21 (M12)	10.106

3.4 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとする。

(1) せん断力

せん断力は耐震設計指針の計算式(6.6.3-516)により求める。

$$\mathbf{Q}_{\mathrm{b}} = \mathbf{W} \cdot (\mathbf{C}_{\mathrm{H}} + \mathbf{C}_{\mathrm{P}})$$

せん断力は次のとおり。

 $Q_{b} = 930.8$  (N)

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	W	Сн	C <sub>P</sub>
	(N)	(G)	(G)
基礎ボルト	1275	0.4	0.33

(2) せん断応力

せん断応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-517)により求める。

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

基礎ボルト断面積Abは、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d^{2}$$

せん断応力は次のとおり。

 $\tau_{\rm b} = 3 \, ({\rm N/mm^2})$ 

計算に用いた要目は次のとおり。

計質対象	$\mathbf{Q}_{\mathbf{b}}$	Ab	n	d
11 <del>31</del> 71 37	(N)	$(mm^2)$	(-)	(mm)
基礎ボルト	930.8	80.21 (M12)	4	10.106

4. 許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.1.3 許容応力 の算出方法」に則り設定する。

(1) 使用温度における材料の許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力の算出に用いる材料の使用温度における許容応力は次に示 す値のうち小さいほうを用いる。

	F		
計算対象	(N/mm <sup>2</sup> )		
	$\mathbf{S}\mathbf{y}$	$0.7 \cdot Su$	
基礎ボルト	227	$389 \times 0.7 = 272$	

上記より、許容引張応力及び許容せん断応力の算出には、Sy 値を用いる。

(2) 許容引張応力

許容引張応力の算出結果を次に示す。また、評価で用いる許容引張応力には次に示す値のう ち、小さいほうを設定する。

	許容引張応力(N/mm <sup>2</sup> )			
計算対象	${ m f}_{ m ts}$	$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$		
基礎ボルト	233	170		

上記より、許容引張応力は、ftoを設定する。

(3) 許容せん断応力

許容せん断応力は、次の値を設定する。

許容せん断応力 (fsb): 131 (N/mm<sup>2</sup>)

5. 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

	引張応力	(N/mm <sup>2</sup> )	せん断応力 ( <b>N/mm</b> ²)		
計异对家	発生値	許容引張応力	発生値	許容せん断応力	
	σ <sub>b</sub>	$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	$ au_{ m b}$	${ m f_{sb}}$	
基礎ボルト	5	170	3	131	

6. 評価結果

循環ポンプの基礎ボルトに発生する引張応力並びにせん断応力は、許容応力以下であり耐震強 度は十分である。

また、基礎ボルトとして使用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指 針」2014年版に基づき評価した場合、あと施工接着系アンカーの短期許容引抜荷重は 9.2 kN で あり、本耐震計算における循環ポンプの基礎ボルト1本に作用する引張力(F<sub>b</sub>)は 0.3249 kN で あることから、基礎ボルトが引き抜けることはない。

# 計算書-5

## 薬液注入装置の耐震強度計算

This is a blank page.

#### 1. 概要

本計算書は、薬液注入装置に加わる地震力による応力計算を行い、構造上の健全性を評価したものである。

### 2. 設計条件

設計条件は次のとおり。

機器名称	静的設計震度 (G)		材質及び呼び径	使用温度	設計 降伏点*1	設計 引張強さ <sup>*2</sup>
	水平	鉛直	基礎ボルト	$(^{\circ}C)$	Sy (N/mm <sup>2</sup> )	${ m S_u} \ ({ m N/mm^2})$
薬液注入装置	0.4	0.2	${ m SS400} { m M10^{*3}}$	60	227	389

\*1:発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1章 表6に定める材料の各温度における設計降伏点

\*2:発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1章 表7に定める材料の各温度における設計引張強さ

\*3: 断面積の計算においては、JIS B 0205-4「一般用メートルねじ第4部: 基準寸法」に示され た谷の径を用いる。

#### 3. 耐震計算

耐震計算は、重心が盤のほぼ中心にあるものとし、地震力により基礎ボルトに発生する引張応力とせん断応力について行う。

3.1 計算モデル

計算モデルを以下に示す。



基礎ボルト計算モデル

### 3.2 記号説明

記 号	記	号	Ø	説	明	単 位
Ab	ボルトの断面積	生				$mm^2$
Сн	水平方向設計震	震度				_
$C_{\rm v}$	鉛直方向設計創	震度				_
d	ボルトの谷径					mm
F	研究炉技術基準	售 第 72 条	第1項第2	2号イに定め	らる値	N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{F}_{\mathbf{b}}$	ボルトに作用す	「る引張力	(1本当たり	))		Ν
$\mathbf{f}_{\mathrm{sb}}$	せん断力のみを	受けるボル	レトの許容+	せん断応力		N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	引張力のみを受	をけるボル	トの許容引引	脹応力		N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{ts}}$	引張力とせん勝	「力を同時」	こ受けるボル	ルトの許容	引張応力	N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度(	= 9.80665)				$m/s^2$
h	据付面から重心	いまでの距離	雏			mm
$\ell_1$	重心とボルト間	mm				
$\ell_2$	重心とボルト間の水平方向距離*					mm
m	運転時質量					kg
n	ボルトの本数					_
nf	引張力の作用す	「るボルトロ	の評価本数			
$\mathbf{Q}_{\mathrm{b}}$	ボルトに作用す	るせん断	力			N
π	円周率					—
σb	ボルトに生じる	5引張応力				N/mm <sup>2</sup>
$ au_{ m b}$	ボルトに生じる	らせん断応	力 一			N/mm <sup>2</sup>

 $*: \quad \ell_1 \leqq \ell_2$
3.3 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として基礎ボルトを支点とする転倒を考え、こ れを片側の基礎ボルトで受けるものとする。

(1) 引張力

引張力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-513)から導出した次式により求める。

$$F_{b} = \frac{m \cdot C_{H} \cdot g \cdot h \cdot m \cdot (1 \cdot C_{V}) \cdot g \cdot \ell_{1}}{n_{f} \cdot (\ell_{1} + \ell_{2})}$$

引張力は次のとおり。

 $F_{b} = 80.74$  (N)

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	m	Сн	$\mathbf{C}_{\mathbf{v}}$	g	h	$\ell_1$	$\ell_2$	$n_{\rm f}$
	(kg)	(G)	(G)	$(m/s^2)$	(mm)	(mm)	(mm)	(-)
基礎ボルト	190	0.4	0.2	9.80665	365.0	150.0	150.0	2

(2) 引張応力

引張応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-515)により求める。

$$\sigma_{\rm b} = \frac{\rm F_{\rm b}}{\rm A_{\rm b}}$$

接続ボルト及び基礎ボルト断面積 Abは、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d^{2}$$

引張応力は次のとおり。

$$\sigma_b = 2 (N/mm^2)$$

計算対象	F <sub>b</sub>	Ab	d
	(N)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)
基礎ボルト	80.74	55.10 (M10)	8.376

### 3.4 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとする。

(1) せん断力

せん断力は耐震設計指針の(6.6.3-510)の計算式から導出した次式により求める。

 $Q_{\rm b} = m \cdot C_{\rm H} \cdot g$ 

せん断力は次のとおり。

$$Q_b = 745.3$$
 (N)

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	m	Сн	g
	(kg)	(G)	(m/s²)
基礎ボルト	190	0.4	9.80665

(2) せん断応力

せん断応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-511)により求める。

$$\tau_{b} = \frac{Q_{b}}{n \cdot A_{b}}$$

基礎ボルト断面積Abは、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d^{2}$$

せん断応力は次のとおり。

 $\tau_b = 4 (N/mm^2)$ 

計算対象	$egin{array}{c} \mathbf{Q}_{\mathrm{b}} \ (\mathbf{N}) \end{array}$	Ab (mm <sup>2</sup> )	n (—)	d (mm)
接続ボルト	745.3	55.10 (M10)	10	8.376

4. 許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.1.3 許容応力の 算出方法」に則り設定する。

(1) 使用温度における材料の許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力の算出に用いる材料の使用温度における許容応力は次に示 す値のうち小さいほうを用いる。

	F		
計算対象	(N/mm <sup>2</sup> )		
	$\mathbf{S}\mathbf{y}$	$0.7 \cdot Su$	
基礎ボルト	227	$389 \times 0.7 = 272$	

上記より、許容引張応力及び許容せん断応力の算出には、Sy 値を用いる。

(2) 許容引張応力

許容引張応力の算出結果を次に示す。また、評価で用いる許容引張応力には次に示す値のうち、小さいほうを設定する。

	許容引張応力(N/mm <sup>2</sup> )		
計算对象	$\mathbf{f}_{\mathrm{ts}}$	${f f}_{ m to}$	
基礎ボルト	231	170	

上記より、許容引張応力は、ftoを設定する。

(3) 許容せん断応力

許容せん断応力は、次の値を設定する。

許容せん断応力 (f<sub>sb</sub>):131 (N/mm<sup>2</sup>)

## 5. 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )			せん断応力 (N/mm <sup>2</sup> )		
<b>訂</b> 昇刈家	発生値	許容引張応力	発生値	許容せん断応力	
	$\sigma_{\rm b}$	$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	$ au_{ m b}$	${ m f_{sb}}$	
基礎ボルト	2	170	4	131	

### 6. 評価結果

薬液注入装置の基礎ボルトに発生する引張応力並びにせん断応力は、許容応力以下であり耐震 強度は十分である。

また、基礎ボルトとして使用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指 針」2014年版に基づき評価した場合、あと施工接着系アンカーの短期許容引抜荷重は7.6 kN で あり、本耐震計算における薬液注入装置の基礎ボルト1本に作用する引張力(Fb)は0.08074 kN であるため、基礎ボルトが引き抜けることはない。

# 計算書-6

## 配管等の耐震強度計算

This is a blank page.

#### 1. 概要

本計算書は、地震時における配管系の支持状態が健全であることを評価したものである。

#### 2. 設計条件

設計条件は次のとおり。

機器名称	材 質*	仕 様*	最高使用温度 (℃)	流体の種類
主配管1	STPG370	50A-Sch40	60	工業用水
主配管 2	STPG370	80A-Sch40	60	工業用水

\*: JIS G 3454「圧力配管用炭素鋼鋼管」による。

#### 3. 耐震計算

配管等の耐震計算は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.2 配管等」で示した振動数 基準定ピッチスパン法により、直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量部について、剛体とみな せる固有振動数 20 Hz を確保する間隔を計算により求める。

#### 3.1 記号説明

記号	記号の説明	単位
f	固有振動数(20 Hz)	Hz
π	円周率(3.141592654)	—
λ	振動数係数	—
$L_1$	直管部の最大支持間隔	mm
$L_2$	曲がり部の最大支持間隔	mm
$L_3$	分岐部の最大支持間隔	mm
$L_4$	曲がり部と分岐部の最大支持間隔(組合せ)	mm
$L_5$	直管部と集中質量部の最大支持間隔(組合せ)	mm
$L_6$	曲がり部と集中質量部の最大支持間隔(組合せ)	mm
Е	縦弾性係数*1	N/mm <sup>2</sup>
Ι	断面二次モーメント	$\mathrm{mm}^4$
ρ	単位体積当たりの質量(ρ1:炭素鋼)(ρ2:内包水)	kg/mm <sup>3</sup>
W	単位長さ当たりの質量	kg/mm
$d_1$	管の外径*2	mm
$d_2$	管の内径*2	mm

\*1:発電用原子力設備規格 材料規格 「Part3 第2章 表1 材料の各温度における縦弾性係 数」による。

\*2: JIS G 3454「圧力配管用炭素鋼鋼管」による。

3.2 配管材の質量

配管材の質量は、炭素鋼部と内包水部の質量を合わせたものとし、単位長さあたりの質量を耐 震設計指針の計算式(6.6.3-512)から導出した次式により求める。

炭素鋼部

$$\mathbf{W}_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \mathbf{d}_1^2 \cdot \mathbf{d}_2^2 \right) \cdot \rho_1$$

内包水部

$$W_2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot \rho_2$$

配管材の荷重は次のとおり。

	炭素鋼部	内包水部	合計
計算対象	$\mathbf{W}_1$	$\mathbf{W}_2$	W
	(kg/mm)	(kg/mm)	(kg/mm)
主配管 1	$5.444 \times 10^{-3}$	$2.181 \times 10^{-3}$	$7.625 \times 10^{-3}$
主配管2	$1.134 \times 10^{-2}$	4.791×10 <sup>-3</sup>	$1.613 \times 10^{-2}$

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	d1 (mm)	$d_2$ (mm)	ρ <sub>1</sub> (kg/mm <sup>3</sup> )	ρ <sub>2</sub> (kg/mm <sup>3</sup> )
主配管1	60.5	52.7	$7.85 \times 10^{-6}$	$1.00 \times 10^{-6}$
主配管2	89.1	78.1	$7.85 \times 10^{-6}$	$1.00 \times 10^{-6}$

#### 3.3 直管部の最大支持間隔

直管部の最大支持間隔は、「機械工学便覧 α2 編 機械力学 第 12 章 12・2 弦・棒・はりの振動」に示された計算式から導出した次式により求める。直管部の最大支持間隔は次のとおり。 なお、両端単純支持の1次振動数係数λはπである。

$$L_{1} \leq \sqrt{\frac{\lambda^{2}}{2 \cdot \pi \cdot f} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^{3}}{W}}}$$

ここで、断面二次モーメントIは、「機械工学便覧 a3編 材料力学 第3章 3・2 断面二次モー メントおよび断面係数」に示されている次式により求める。

$$I = \frac{\pi (d_1^{4} - d_2^{4})}{64}$$

直管部の最大支持間隔L1は次のとおり。

	直管部の最大支持間隔
計算対象	$L_1$
	(mm)
主配管 1	2592
主配管 2	3138

計算に用いた要目は次のとおり。

計算対象	d1 (mm)	d2 (mm)	W (kg/mm)	E (N/mm <sup>2</sup> )	I (mm <sup>4</sup> )
主配管1	60.5	52.7	$7.625 \times 10^{-3}$	200133	279017
主配管 2	89.1	78.1	$1.613 \times 10^{-2}$	200133	1267409

## 3.4 曲がり部の最大支持間隔

曲がり部の最大支持間隔は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.2 配管等」で求めた 縮小率 0.82 を、「3.2 直管部の最大支持間隔」で示した計算式の λ に乗じて求める。曲がり部の 最大支持間隔は次のとおり。

	曲がり部の最大支持間隔
計算対象	$L_2$
	(mm)
主配管1	2125
主配管 2	2573

### 3.5 分岐部の最大支持間隔

分岐部の最大支持間隔は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.2 配管等」で示した縮 小率 80%を直管部の最大支持間隔に乗じて求める。分岐部の最大支持間隔は次のとおり。

	分岐部の最大支持間隔
計算対象	$L_3$
	(mm)
主配管1	2073
主配管 2	2510

3.6 曲がり部と分岐部の最大支持間隔

曲がり部と分岐部の最大支持間隔(組合せ)は、分岐部の縮小率 80 %を曲がり部の最大支持間隔に乗じて求める。曲がり部と分岐部の最大支持間隔は次のとおり。

	曲がり部と分岐部の最大支持間隔
計算対象	$L_4$
	(mm)
主配管 1	1700
主配管 2	2058

3.7 集中質量部の最大支持間隔

集中質量部の最大支持間隔は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.2 配管等」で求め た縮小率(主配管1=0.6、主配管2=0.5)を直管部及び曲がり部の最大支持間隔に乗じて求める。 集中質量部の最大支持間隔は次のとおり。

	集中質量部の最大支持間隔					
計算計句	$L_5$	$L_6$	$L_7$			
計 <b>昇</b> 刈家	(mm)	(mm)	(mm)			
	直管部	曲がり部	分岐部			
主配管 1	1555	1275	1243			
主配管 2	1569	1286	1255			

## 4. 評価結果

配管等の支持形状における最大支持間隔は、すべて固有振動数 20 Hz を満足することを確認した。以下にすべての計算結果を示す。

なお、実際の施工における支持間隔は、各部の最大支持間隔よりも短尺化し保守側に設定する。

	各部の最大支持間隔 (mm)							
計算対象	直管部	曲がり部	分岐部	曲がり部	直管部と	曲がり部と	分岐部と	
				と分岐部	集中荷重	集中荷重	集中荷重	
	$L_1$ $L_2$ $L_3$ $L_4$ $L_5$ $L_6$						$L_7$	
主配管1	2592	2125	2073	1700	1555	1275	1243	
主配管2	3138	2573	2510	2058	1569	1286	1255	

This is a blank page.

計算書-7 サポートの耐震強度計算

This is a blank page.

1. 概 要

本計算書は、サポートに加わる地震力に対し、構造上の健全性を評価したものである。

2. 設計条件

(1) 設計条件

系統	サポート 形状	構成部材 材質*1	最高 使用温度 (℃)	設計 降伏点*2 Sy (N/mm <sup>2</sup> )	設計 引張強さ*3 Su (N/mm <sup>2</sup> )
主配管系	片持型	SS400	60	227	389
	門 型	SS400	60	227	389

\*1: JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」による。

\*2:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSMESNC1-2012) 付録材料図表 Part3 第1 章 表6に定める材料の各温度における設計降伏点

\*3:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSMESNC1-2012)付録材料図表 Part3 第1 章 表7に定める材料の各温度における設計引張強さ

(2)	設計	仕様
-----	----	----

灭姑	サポート	仕様					
术和	形状	形状区分	構成部構	才 (mm)	員数*2		
			山形鋼*1	$75\! imes\!75\! imes\!9$	1		
		K-1	基礎ボルト	$M12^{*3}$	4		
			ベースプレート	$250\! imes\!250\! imes\!12$	1		
			山形鋼*1	$100 \times 100 \times 10$	1		
		K-2	基礎ボルト	$M12^{*3}$	4		
	上坛刑		ベースプレート	$250{ imes}250{ imes}12$	1		
	<b>万 村</b> 空	K-3	H 鋼*1	$100 \times 100 \times 6 \times 8$	1		
			基礎ボルト	$M12^{*3}$	4		
十副签文			ベースプレート	$250\! imes\!250\! imes\!12$	1		
土阳百术		K-4	H 鋼*1	$125{ imes}125{ imes}6.5{ imes}9$	1		
			基礎ボルト	$M12^{*3}$	4		
			ベースプレート	$250\! imes\!250\! imes\!12$	1		
			山形鋼*1	$75\! imes\!75\! imes\!9$	3		
		M - 1	基礎ボルト	$M12^{*3}$	6		
	田开		ベースプレート	$525{ imes}250{ imes}12$	1		
			H 鋼*1	$12\overline{5 imes125 imes6.5 imes9}$	3		
		M-2	基礎ボルト	$M12^{*3}$	8		
			ベースプレート	$250{ imes}250{ imes}12$	2		

\*1: JIS G 3192「熱間圧延形鋼の形状、寸法、質量及びその許容差」による。

\*2: サポート1台分の員数

<sup>\*3:</sup> 断面積の計算においては、JIS B 0205-4「一般用メートルねじ第4部:基準寸法」に示さ れた谷の径を用いる。

3. 質量設定

サポートの固有振動数計算及び強度計算に用いる質量は、主配管系を構成する 50A-Sch40 配管 (以下「主配管 1」という。)及び 80A-Sch40 配管(以下「主配管 2」という。)の直管部最大支 持間隔における配管質量、サポート部材並びに集中質量とする。

(1) 配管部

機器名称		最大支持間隔 (mm)	単位長さ質量 (kg/mm)	質量 (kg)
主配管	主配管1	2592	$7.625  imes 10^{-3}$	$28^{*1}$
	主配管 2	3138	$1.613  imes 10^{-2}$	$63^{*2}$

\*1:フランジ質量(4 kg×2 枚)を含む。

\*2:フランジ質量(6kg×2枚)を含む。

(2) サポート部材

サポート部材の質量については、別添「サポート形状及び固有振動数」を参照。

(3) 集中質量

機器名称         サポート           形状		集	中質量(kg	負荷質量*		
		機器	質量	合計	(kg)	
主配管1	片持型	手動弁	18	18	9	
	世時刑	手動弁	28	C1	01	
<b>十</b> 司符 9	刀竹空	ストレーナ	33	01	51	
土旺官名	田田山	自動弁	50	100	50	
	口 空	ストレーナ	50	100	50	

\*:集中質量部の支持間隔の評価において、中央に質量を負荷しているため、サポートへの負荷は、支持点となる両端のサポートで受けるものとし、集中質量の1/2とする。

#### 4. 固有振動数計算

固有振動数計算では、形状区分において 20Hz 以上となる最大寸法を算出するものである。

4.1 計算モデル



片持型サポート計算モデル



門型サポート計算モデル

4.2 記号説明

記号	記	号	の	説	明	単 位
f	固有振動数					Hz
π	円周率(3.141	592654)				_
$L_1$	支持部寸法(片	†持型)				mm
h	門型サポートの	つ高さ				mm
Е	縦弾性係数*1					N/mm <sup>2</sup>
J	断面二次モーノ	$\checkmark \succ  angle^{*2}$				mm <sup>4</sup>
m	質量					kg
k	バネ定数					N/mm

\*1:JSME「Part3 第2章 表1 材料の各温度における縦弾性係数」による。

\*2: JIS G 3192「熱間圧延形鋼の形状、寸法、質量及びその許容差」による。

## 4.3 固有振動数計算

固有振動数及びバネ定数は、「機械工学便覧 a2編 機械工学 第6章 6・21自由度系の振動」 に示されている式から導出した計算式により計算する。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m} \cdot 10^3}$$

ここで、k は次式による。

片持型

$$\mathbf{k} = \frac{3 \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{J}}{{\mathbf{L}_1}^3}$$

門 型

$$\mathbf{k} = \frac{\mathbf{24} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{J}}{\mathbf{h}^3}$$

形出区八	Е	J		
形状区分	$(N/mm^2)$	$(mm^4)$		
K-1, M-1	200133	644000		
K-2	200133	1750000		
K-3	200133	1340000		
K-4, M-2	200133	2930000		

4.4 計算結果

片持型及び門型サポートの固有振動数が20Hz以上となる寸法を別添「サポート形状及び固有 振動数」に示す。また、実際の施行においては、本計算結果よりも保守側の寸法を設定する。

なお、すべて 20 Hz 以上となる寸法を設定したことから、応力計算は、「計算書-1 耐震強度 計算基本方針」の「6.3 サポート」に則り、アンカー部の評価を行う。 5. 基礎ボルト評価

基礎ボルト評価は、地震力により基礎ボルトに発生する引張応力とせん断応力について行う。 なお、本サポートのうち、片持型の形状区分 K-1 及び K-2 の据付は、床配置のほかに壁側 配置を計画しているため、本計算においては、保守的に鉛直荷重を負荷するものとして計算を実 施する。

5.1 記号説明

記 号	記	号	$\mathcal{O}$	説	明	単 位
Ab	ボルトの断面積	書具				mm <sup>2</sup>
Сн	水平方向設計震	<b>夏</b> 度				_
$\mathrm{C}_{\mathrm{v}}$	鉛直方向設計創					
d	ボルトの谷径					mm
F	研究炉技術基準	售 第 72 条	≦第1項第2	2号イに定め	っる値	N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{F}_{\mathbf{b}}$	ボルトに作用す	トる引張力	(1本当たり	))		N
$\mathbf{f}_{\mathrm{sb}}$	せん断力のみを	を受けるボ	ルトの許容+	せん断応力		N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力					N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{ts}}$	引張力とせん関	所力を同時に	に受けるボル	レトの許容良	川張応力	N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度(	= 9.80665)	)			$m/s^2$
h	据付面から重応	いまでの距離	雜			mm
$\ell_1$	重心とボルト間	間の水平方	句距離*			mm
$\ell_2$	重心とボルト間	間の水平方	句距離*			mm
m	運転時質量					kg
n	ボルトの本数					_
$n_{\mathrm{f}}$	引張力の作用す	トるボルトの	の評価本数			—
$\mathbf{Q}_{\mathbf{b}}$	ボルトに作用す	トるせん断	力			N
π	円周率					
σb	ボルトに生じる	N/mm <sup>2</sup>				
$ au_{ m b}$	ボルトに生じる	らせん断応	 力			N/mm <sup>2</sup>

\*:  $\ell_1 \leq \ell_2$ 

5.2 片持型サポート

片持型サポートの計算モデルを以下に示す。

- 5.2.1 計算モデル
  - (1) 形状区分: K-1 及び K-2



(2) 形状区分: K-3 及び K-4



5.2.2 計算条件

サポートに用いる型鋼については、集中荷重の有無を考慮し、固有振動数が 20Hz を超える寸 法を設定している。このため、本計算では、別添「サポート形状及び固有振動数」から形状区分 ごとに部材の最大寸法及び最大質量を選定し、これらを組合せた状態で計算を行う。また、計算 に用いる組合せを以下に示す。

<b>玉</b> 中区〇	最大質量	最大寸法	
加州四万	(kg)	(mm)	
K-1	106	800	
K-2	112	1000	
K-3	113	900	
K-4	123	1200	

5.2.3 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として基礎ボルトを支点とする転倒を考え、こ れを片側の基礎ボルトで受けるものとする。

(1) 引張力

引張力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-513)から導出した次式により求める。

形状区分:K-1及びK-2

$$\mathbf{F}_{\mathrm{b}} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{C}_{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{m} \cdot (1 - \mathbf{C}_{\mathrm{V}}) \cdot \mathbf{g} \cdot \boldsymbol{\ell}_{1}}{\mathbf{n}_{\mathrm{f}} \cdot (\boldsymbol{\ell}_{1} + \boldsymbol{\ell}_{2})}$$

② 形状区分:K-3及びK-4

$$\mathbf{F}_{\mathrm{b}} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{C}_{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{h} + \mathbf{m} \cdot (\mathbf{1} + \mathbf{C}_{\mathrm{V}}) \cdot \mathbf{g} \cdot \boldsymbol{\ell}_{1}}{\mathbf{n}_{\mathrm{f}} \cdot (\boldsymbol{\ell}_{1} + \boldsymbol{\ell}_{2})}$$

引張力は次のとおり。

系統	Fb					
	(N)					
	K-1	K-2	K-3	K-4		
主配管	1144	1428	775.7	1207		

計算に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	m (kg)	Сн (G)	Cv (G)	${f g}$ (m/s <sup>2</sup> )	h (mm)	$\ell_1$ (mm)	$\ell_2$ (mm)	${\mathop{\mathrm{n_f}}\limits_{(-)}}$
主配管	K-1	106	0.4	0.2	9.80665	800	100	100	2
	K-2	112	0.4	0.2	9.80665	1000	100	100	2
	K-3	113	0.4	0.2	9.80665	900	100	100	2
	K-4	123	0.4	0.2	9.80665	1200	100	100	2

② 引張応力

引張応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-515)により求める。

$$\sigma_{\rm b} = \frac{\rm F_b}{\rm A_b}$$

基礎ボルト断面積は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d^{2}$$

計算に用いた要目は次のとおり。

なお、基礎ボルトは形状区分 K-1 から形状区分 K-4 まで共通のサイズ (M12) を用いる。

対象機器	$egin{array}{c} A_b \ (mm^2) \end{array}$	d (mm)	
基礎ボルト	80.21 (M12)	10.106	

引張応力は次のとおり。

系統	Ob					
	$(N/mm^2)$					
	K-1	K-2	K-3	K-4		
主配管	15	18	10	16		

5.2.4 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとする。

(1) せん断力

せん断力は耐震設計指針の(6.6.3-510)の計算式から導出した次式により求める。

形状区分:K-1及びK-2

$$Q_b = m \cdot (1+C_V) \cdot g$$

② 形状区分:K-3及びK-4

 $Q_{b} = m \cdot C_{H} \cdot g$ 

せん断力は次のとおり。

系統	$egin{array}{c} Q_b \ (N) \end{array}$					
	形状区分					
	K-1	K-2	K-3	K-4		
主配管	1247.4	1318	443.3	482.5		

計算に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	m (kg)	Cv (G)	Сн (G)	${f g}$ $({f m}/{f s}^2)$
	K-1	106	0.2	_	9.80665
十三体	K-2	112	0.2	_	9.80665
土땁官	K-3	113	_	0.4	9.80665
	K-4	123	_	0.4	9.80665

(2) せん断応力

せん断応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-511)により求める。

$$\tau_{\rm b} = \frac{\rm Q_{\rm b}}{\rm n \cdot A_{\rm b}}$$

ここで、nは全ボルト数で4本、基礎ボルト断面積Abは、「5.2.3 引張応力」で算出した値 と同一である。 せん断応力は次のとおり。

	$ au_b$ $(N/mm^2)$					
系統						
	K-1	K-2	K-3	K-4		
主配管	4	5	2	2		

#### 5.3 門型サポート

基礎ボルト評価は、床面に設置する門型サポートに対し、地震力により基礎ボルトに発生する 引張応力とせん断応力について行う。

5.3.1 計算モデル

計算モデルを以下に示す。



## 門型サポート (M-1) 基礎ボルト計算モデル



## <u>門型サポート(M-2)基礎ボルト計算モデル</u>

5.3.2 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として基礎ボルトを支点とする転倒を考え、こ れを片側の基礎ボルトで受けるものとする。また、計算に用いる質量は、「3. 質量設定」におい て設定した質量を用いる。

(1) 引張力

引張力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-513)から導出した次式により求める。

$$\mathbf{F}_{\mathrm{b}} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{C}_{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{m} \cdot (1 \cdot \mathbf{C}_{\mathrm{V}}) \cdot \mathbf{g} \cdot \boldsymbol{\ell}_{1}}{\mathbf{n}_{\mathrm{f}} \cdot (\boldsymbol{\ell}_{1} + \boldsymbol{\ell}_{2})}$$

引張力は次のとおり。

系統	形状区分	$F_b$ (N)
主配管	M - 1	634.2
	M-2	1424

計算に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	m (1)	C <sub>H</sub>	$C_v$	g	h	$\ell_1$	$\ell_2$	nf
		(kg)	(G)	(G)	$(m/s^2)$	(mm)	(mm)	(mm)	(-)
主配管	M-1	97	0.4	0.2	9.80665	1200	100	100	3
	M-2	215	0.4	0.2	9.80665	1550	100	100	4

(2) 引張応力

引張応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-515)により求める。

$$\sigma_{\rm b} = \frac{\rm F_{\rm b}}{\rm A_{\rm b}}$$

接続ボルト及び基礎ボルト断面積は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-512)により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

対象機器	${ m A_b} \ (mm^2)$	d (mm)
基礎ボルト	80.21 (M12)	10.106

引張応力は次のとおり。

系統	形状区分	$\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>子</b> 司傑	M - 1	8
	M-2	18

5.3.3 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとする。

(1) せん断力

せん断力は耐震設計指針の(6.6.3-510)の計算式から導出した次式により求める。

 $Q_{h} = m \cdot C_{H} \cdot g$ 

せん断力は次のとおり。

系統	形状区分	Qb (N)
主配管	M-1	380.5
	M-2	843.4

計算に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	m (kg)	Сн (G)	$egin{array}{c} \mathbf{g} \ (\mathbf{m/s}^2) \end{array}$
主配管	M-1	97	0.4	9.80665
	M-2	215	0.4	9.80665

(2) せん断応力

せん断応力は、耐震設計指針の計算式(6.6.3-511)により求める。

$$\tau_{\rm b} = \frac{\rm Q_{\rm b}}{\rm n \cdot A_{\rm b}}$$

ここで、nは全ボルト数で4本、基礎ボルト断面積Abは、「5.3.2 引張応力」で算出した値 と同一である。

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d^{2}$$

せん断応力は次のとおり。

系統	形状区分	$ au_{ m b} \ ({ m N/mm^2})$
主配管	M-1	1
	M-2	2

#### 5.4 許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力は、「計算書-1 耐震強度計算基本方針」の「6.1.3 許容応力 の算出方法」に則り設定する。

(1) 使用温度における材料の許容応力

許容引張応力及び許容せん断応力の算出に用いる材料の使用温度における許容応力は次に示 す値のうち小さいほうを用いる。

		F		
系統	形状区分	(N/mm <sup>2</sup> )		
		Sy	$0.7 \cdot Su$	
主配管	K-1		$389 \times 0.7 = 272$	
	K-2	227		
	K-3			
	K-4	221		
	M - 1			
	M-2			

上記より、許容引張応力及び許容せん断応力の算出には、Sy 値を用いる。

## (2) 許容引張応力

許容引張応力の算出結果を次に示す。また、評価で用いる許容引張応力には次に示す値のう ち、小さいほうを設定する。

文练	形状区分	許容引張応力(N/mm <sup>2</sup> )		
不加		$\mathbf{f}_{\mathrm{ts}}$	${ m f}_{ m to}$	
	K-1	234	170	
主配管	K-2	234	170	
	K-3	234	170	
	K-4	234	170	
	M - 1	236	170	
	M-2	235	170	

上記より、許容引張応力は、ftoを設定する。

#### (3) 許容せん断応力

許容せん断応力は、次の値を設定する。

系統	形状区分	許容せん断応力(N/mm <sup>2</sup> )
		${ m f_{sb}}$
	K-1	
	K-2	
亡司答	K-3	191
于局C, 邑,	K-4	131
	M - 1	
	M-2	

#### 5.5 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

		引張応力		せん断応力	
灭法	形坐区公	(N/mm <sup>2</sup> )		$(N/mm^2)$	
不机	形朳凶刀	発生値	許容引張応力	発生値	許容せん断応力
		σ <sub>b</sub>	$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	$ au_{ m b}$	${ m f_{sb}}$
	K-1	15	170	4	131
	K-2	18	170	5	131
主配管	K-3	10	170	2	131
	K-4	16	170	2	131
	M-1	8	170	1	131
	M-2	18	170	2	131

#### 5.6 評価結果

サポートの基礎ボルトに発生する引張応力及びせん断応力は、許容応力以下であり耐震強度は +分である。

基礎ボルトとして使用する「あと施工接着系アンカー」を、「建築設備耐震設計・施工指針」2014 年版の「あと施工接着系アンカー」基づき評価した場合、壁打となる片持型の短期許容引抜荷重 は 6.1 kN であり、K-1 及び K-2 の基礎ボルト 1 本に作用する引張力(Fb)のうち、最大で 1.428 kN であることから、基礎ボルトが引き抜けることはない。

また、床打となる短期許容引抜荷重は 9.2 kN であり、K-3、K-4、M-1 並びに M-2 の基礎ボルト1本に作用する引張力(Fb)のうち、最大で 1.424 kN であることから、基礎ボルトが引き抜けることはない。

6. ベースプレート評価

支持部材の安定性を確認するため、コンクリートに発生する支圧応力及びベースプレートに発 生する曲げ応力を計算する。

6.1 記号説明

記 号	記号の説明	単 位
Ac	ベースプレートの断面積	mm <sup>2</sup>
<b>b</b> 1	ベースプレート軸方方向幅	mm
$b_2$	ベースプレート鉛直方向幅	mm
b <sub>3</sub>	ベースプレート評価断面幅	mm
$C_{v}$	鉛直方向設計震度(1-C <sub>v</sub> )C <sub>v</sub> = 0.2	_
F	研究炉技術基準 第72条第1項第2号イに定める値	N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{F}_{\mathbf{b}}$	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
$\mathbf{F}_{b\alpha}$	ボルト列に作用する総引張力	N
$\mathbf{F}_{\mathbf{C}}$	コンクリート設計基準強度	N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度( = 9.80665)	m/s <sup>2</sup>
h	ベースプレート厚さ	mm
$L_1$	ベースプレート中心からベースプレート端部までの長さ	mm
$L_2$	基礎ボルトピッチ	mm
m	運転時質量	kg
$M_{a}$	圧縮力によるモーメント	N∙mm
$M_{b}$	引張力によるモーメント	N∙mm
n	基礎ボルトの本数	_
Rc	<b>王縮力</b>	N
$S_u$	設計引張強	N/mm <sup>2</sup>
$S_y$	設計降伏点	N/mm <sup>2</sup>
w	等分布荷重	N/mm
Z	断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_{\rm C}$	支圧応力	N/mm <sup>2</sup>
σa	圧縮力による曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\rm b}$	引張力による曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>
fc	許容圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>
$\mathbf{f}_{\mathrm{b}}$	許容曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>

6.2 荷重設定

ベースプレートには、「5.2 片持型サポート」及び「5.3 門型サポート」の評価において算出 した基礎ボルトに発生する引張力及び自重(鉛直方向地震荷重を含む。)による圧縮力が作用する ものとする。

(1) 圧縮力

圧縮力は、自重及び鉛直方向地震荷重の総和とし、次のとおり。

なお、M-2については、2脚に対し独立したベースプレートを取り付け、荷重を 1/2 ずつ分 散させるため、評価は1脚分に対して実施する。

			圧縮力 I	R <sub>C</sub> (N)		
系統	形状区分					
	K-1	K-2	K-3	K-4	M-1	M-2
主配管	1871	1977	1995	2171	1713	1907

設定に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	m (kg)	${f g}$ $({f m}/{f s}^2)$	Cv*1 (G)
	K-1	106	9.80665	0.8
	K-2	112	9.80665	0.8
	K-3	113	9.80665	0.8
于旧口目	K-4	123	9.80665	0.8
	M-1	97	9.80665	0.8
	M-2	$108^{*2}$	9.80665	0.8

\*1: 鉛直方向震度は、「1-0.2」とし、0.8 とした。

\*2:1脚分として、215/2=108 (kg) とした。

(2) 引張力

基礎ボルト評価で算出した引張力を、保守的にボルト列に作用する総引張力に換算する。

 $F_{ba} = F_b \cdot n$ 

総引張力は次のとおり。

系統	形状区分	総引張力 Fba(N)
主配管	K-1	4576
	K-2	5712
	K-3	3103
	K-4	4828
	M - 1	3806
	M-2	5696

計算に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	F <sub>b</sub> (N)	n (-)
	K-1	1144	4
主配管	K-2	1428	4
	K-3	775.7	4
	K-4	1207	4
	M - 1	634.2	6
	M-2	1424	4

6.3 支圧応力

圧縮力により発生するコンクリート支圧応力 oc は、「機械工学便覧 a3 編 材料力学 第2章 2・ 1 棒の引張り・圧縮」に示されている式から導出した計算式により計算する。

$$\sigma_{\rm C} = \frac{\rm R_{\rm C}}{\rm A_{\rm C}}$$

ここで、ベースプレート面積 Ac は次式による。

$$A_{C} = b_1 \cdot b_2$$

系統	形状区分	Ac (mm <sup>2</sup> )
	K-1	62500
	K-2	62500
主配管	K-3	62500
	K-4	62500
	M - 1	131250
	M-2	62500

文法	武帝区之	bı	$b_2$
术观	形状区方	(mm)	(mm)
	K-1	250	250
	K-2	250	250
主配管	K-3	250	250
	K-4	250	250
	M - 1	525	250
	M-2	250	250

## 支圧応力は次のとおり

		支圧応力
系統	形状区分	σc
		(N/mm²)
主配管	K-1	0.1
	K-2	0.1
	K-3	0.1
	K-4	0.1
	M-1	0.1
	M-2	0.1

6.4 曲げ応力

(1) 圧縮力による曲げ応力

ベースプレートが中心で固定された状態(両端固定なし)とし、中心からベースプレート端 面までの片持梁に支圧応力が等分布するものとして計算する。



① 等分布荷重

等分布荷重は、支圧応力をベースプレート幅(bi)に乗じることにより算出する。

 $\mathbf{w} = \sigma_{\mathrm{C}} \cdot \mathbf{b}_{1}$ 

等分布荷重は次のとおり。

		等分布荷重
系統	形状区分	W
		(N/mm)
主配管	K-1	25
	K-2	25
	K-3	25
	K-4	25
	M - 1	53
	M-2	25

計算に用いた要目は次のとおり。

系統	形状区分	σc (N/mm²)	b1 (mm)
	K-1	0.1	250
主配管	K-2	0.1	250
	K-3	0.1	250
	K-4	0.1	250
	M-1	0.1	525
	M-2	0.1	250

② モーメント

ベースプレートに作用するモーメントは「機械工学便覧 a3 編 材料力学 第3章 3・5 せん断力、曲げモーメント、たわみ、傾斜の図表」に示された片持支持の式から導出した次式 により計算する。

$$M_a = \frac{w \cdot {L_1}^2}{2}$$

モーメントは次のとおり。

系統	形状区分	モーメント Ma (N・mm)
	K-1	195313
	K-2	195313
	K-3	195313
上配官	K-4	195313
	M - 1	1832979
	M-2	195313

系統	形状区分	w (N/mm)	L <sub>1</sub> (mm)
	K-1	25	125
主配管	K-2	25	125
	K-3	25	125
	K-4	25	125
	M - 1	53	263
	M-2	25	125

## ③ 圧縮力による曲げ応力

ベースプレートに発生する曲げ応力  $\sigma_a$ は、「機械工学便覧  $\alpha$ 3 編 材料力学 第3章 3・3 は りの曲げモーメントによる応力」に示されている式から導出した計算式により計算する。

$$\sigma_a = \frac{M_a}{Z}$$

断面係数 Z は、「機械工学便覧 α3 編 材料力学 第3章 3・2 断面二次モーメントおよび 断面係数」に示されている計算式により計算する。

$$Z = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

曲げ応力は次のとおり。

		曲げ応力
系統	形状区分	σ <sub>a</sub>
		(N/mm²)
主配管	K-1	33
	K-2	33
	K-3	33
	K-4	33
	M-1	25
	M-2	33

灭姑	形中立人	$M_{a}$	Z	b	h
	形状区方	(N•mm)	$(mm^3)$	(mm)	(mm)
	K-1	195313	6000	250	12
	K-2	195313	6000	250	12
十副答	K-3	195313	6000	250	12
土印口日	K-4	195313	6000	250	12
Γ	M - 1	1832979	75600	525	12
	M-2	195313	6000	250	12

(2) 引張力による曲げ応力

引張力による曲げ応力は、両端を基礎ボルトで固定された単純梁に引張力が等分するものと して計算する。



## ① 等分布荷重

等分布荷重は、引張力を基礎ボルトピッチで除することにより算出する。

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{F}_{\mathbf{b}\alpha}}{\mathbf{L}_2}$$

等分布荷重は、次のとおり。

系統	形状区分	w (N/mm)
	K-1	23
主配管	K-2	29
	K-3	16
	K-4	25
	M - 1	8
	M-2	29

系統	形状区分	F <sub>ba</sub>	L <sub>2</sub>
		(1N)	(mm)
主配管	K-1	4576	200
	K-2	5712	200
	K-3	3103	200
	K-4	4828	200
	M-1	3806	475
	M-2	5696	200

## ② モーメント

ベースプレートに作用するモーメントは「機械工学便覧 a3 編 材料力学 第3章 3・5 せん断力、曲げモーメント、たわみ、傾斜の図表」に示された両端支持の式から導出した次式 により計算する。

$$M_{b} = \frac{w \cdot L_{2}^{2}}{8}$$

モーメントは次のとおり。

	形状区分	モーメント	
系統		$M_{b}$	
		(N·mm)	
主配管	K-1	115000	
	K-2	145000	
	K-3	80000	
	K-4	125000	
	M-1	225625	
	M-2	145000	

系統	形状区分	w (N/mm)	L <sub>2</sub> (mm)
主配管	K-1	23	200
	K-2	29	200
	K-3	16	200
	K-4	25	200
	M-1	8	475
	M-2	29	200
#### ③引張力による曲げ応力

ベースプレートに発生する曲げ応力度 obは、「機械工学便覧 a3編 材料力学 第3章 3・3 はりの曲げモーメントによる応力」に示されている式から導出した計算式により計算する。

$$\sigma_{\rm b} = \frac{M_{\rm b}}{Z}$$

断面係数 Z は、「機械工学便覧 a3 編 材料力学 第 3 章 3・2 断面二次モーメントおよび断面係数」に示されている計算式により計算する。

$$Z = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

曲げ応力は次のとおり。

		曲げ応力
系統	形状区分	Ob
		(N/mm²)
	K-1	20
	K-2	25
	K-3	14
王配官	K-4	21
	M-1	3
	M-2	25

計算に用いた要目は次のとおり。

灭姑	影作区八	$\mathbf{M}_{\mathbf{b}}$	Z	b	h
术机	形状区方	(N·mm)	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)
	K-1	115000	6000	250	12
	K-2	145000	6000	250	12
<b>-</b> 十 司 答	K-3	80000	6000	250	12
土配官	K-4	125000	6000	250	12
	M - 1	225625	75600	525	12
	M-2	145000	6000	250	12

6.5 許容応力

(1) コンクリート許容圧縮応力

コンクリートの許容圧縮応力 fc は、「コンクリート計算規準 第6条 許容応力 表 6.1 コンク リートの許容応力」の式により計算する。

なお、JMTR におけるコンクリートの設計基準強度 Fc は 20.59 N/mm<sup>2</sup>である。

$$f_C = 2 \cdot \frac{F_C}{3}$$

許容圧縮応力は次のとおり。

系統	形状区分	許容圧縮応力 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			
	K-1				
	K-2	10			
十三年	K-3				
土阳语	K-4	13			
	M - 1				
	M-2				

(2) 許容曲げ応力

ベースプレートの許容曲げ応力 fb は、「研究炉技術基準 第72条 第1項 第一号イの(ニ)の(4)」の計算式に、耐震技術指針から要求される1.5を乗じた計算式で計算する。

$$f_b = 1.5 \cdot \frac{F}{1.3}$$

許容曲げ応力の算出に用いる材料の使用温度における許容応力 F は次に示す値のうち小さい ほうを用いる。

		F				
系統	形状区分	(N/mm <sup>2</sup> )				
		Sy	0.7 • Su			
	K-1					
	K-2					
十三次	K-3	997	$220\times0.7 - 272$			
土配官	K-4	221	569×0.7-272			
	M-1					
	M-2					

上記より、許容引張応力及び許容せん断応力の算出には、Sy 値を用いる。

許容曲げ応力は次のとおり。

系統	形状区分	許容圧縮応力 f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		
	K-1			
	K-2			
十司体	K-3	261		
土配官	K-4			
	M - 1			
	M-2			

6.6 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

(1) コンクリート部

		支圧応力	許容圧縮応力
系統	形状区分	σc	$\mathbf{f_c}$
		$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$
	K-1	0.1	
	K-2	0.1	
<del>- ) · </del> <b>王</b> ] 左右	K-3	0.1	10
土配官	K-4	0.1	13
	M-1	0.1	
	M-2	0.1	

(2) ベースプレート部

系統	彩带区分	曲げ (N/n	応力 nm <sup>2</sup> )	許容曲げ応力	
	形状区力	σa (圧縮応力)	₀₀ (引張応力)	$(N/mm^2)$	
	K-1	33	20		
	K-2	33	25		
十副答	K-3	33	14	901	
于吧语	K-4	33	21	261	
	M-1	25	3		
	M-2	33	25		

#### 6.7 評価結果

サポートのベースプレートと取合うコンクリート部に発生する支圧応力及びベースプレートに 発生する曲げ応力は、許容応力以下であり耐震強度は十分である。

#### 7. 総合評価

サポートの耐震計算の結果、固有振動数については、20 Hz 以上の剛体とするため、使用する 部材の全長及び質量に制限を設けた構造とした。

また、サポートの基礎ボルトに発生する引張応力、せん断応力並びにベースプレートと取り合 うコンクリート部に発生する支圧応力及びベースプレートに発生する曲げ応力は、許容応力以下 であり、配管系の支持において耐震強度は十分であることを確認した。 쟋

-	_
다	2

Г

固	振動数	$(\mathbf{H}\mathbf{z})$		21.3	21.3	21.6	20.6	23.2	21.4	20.9	21.5	23.6	23.9	21.8	20.6	20.2	22.0	21.8	20.5	21.6	21.1
合計	質量	(kg)	(1+2+3+4)	42	51	76	106	49	58	83	112	50	58	83	113	63	69	93	123	26	215
集中	質量	(kg)	4		6		31		9		31		6		31		9		31	I	50
ズーベ	プレート 留 量	(kg)	0	6	9	6	6	6	6	9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	13	12
ズーベ	プレー イ 小 上	(mm)		$250 \times 250 \times 12$	250×250×12	$250 \times 250 \times 12$	$250 \times 250 \times 12$	$250 \times 250 \times 12$	250×250×12	250×250×12	$250 \times 250 \times 12$	525×250×12	$250 \times 250 \times 12$ (2 $t \chi$ )								
支持部材	質量	(kg)	0	8	8	7	6	15	15	14	12	16	15	14	13	29	26	24	23	28	90
支持部	技長	(mm)		788	738	638	588	988	988	888	788	888	838	788	738	1188	1088	988	938	1200×360 ×1200	1538×700 ×1538
支持部材单	位質量	(kg/m)		9.96	9.96	9.96	9.96	14.9	14.9	14.9	14.9	16.9	16.9	16.9	16.9	23.6	23.6	23.6	23.6	9.96	23.6
配管	質量	(kg)	$\Theta$	28	28	63	63	28	28	63	63	28	28	63	63	28	28	63	63	56	63
サポート	全長 (ベース 厚さ含む。)	(mm)		800	750	650	600	1000	1000	006	800	006	850	800	750	1200	1100	1000	950	1200×360 ×1200	1550×700 ×1550
	形式	区分			17 - 1	T V			$\rho = T$	7_V		K-3					K-4		$\mathrm{M}-\mathrm{1}$	M-2	
	支持	彩式		봐	Ч Т	井	71 FT	井	л <del>1</del>	Ŧ Ŧ	71 FT	井	71 FT	山	л <del>1</del> 7	山	TE 17	다 슈	LT FF	問型	月型
	A	1)		EOA 夜盆	OUA 示呢	200 次续	OUA ARAUL	EOA 衣 弦	<b>JUA</b> 开示形L	779 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	OUA ARAUL	EOA 夜ば	JUA ARAVI	2014 灭丝	OUA JRANL	EOA 反结	DULY TRAVL	907 反结	OUA ARAUL	50A 系統	80A 系統
	御	(mm				L/0×/0×9			L100×100	×10			H100×100	×6×8			H125×125	×6.5×9		L75×75×9	H125×125 ×6.5×9

サポート形状及び固有振動数

- 107 -

### JAEA-Technology 2021-045

#### 付録4 空気系統用冷却設備の風荷重評価

付録1の第八条(外部からの衝撃による損傷の防止)のうち、二次冷却系統冷却塔の倒壊事象 を踏まえ、建築基準法に基づいて、空気系統用冷却設備の冷却塔の風荷重の評価を示す。

# 計算書

## 空気系統用冷却設備の風荷重計算書

1. 概要

本書は、原子力規制委員会に申請した JMTR 原子炉施設の廃止措置計画認可申請書のうち、「七 性能維持施設の位置、構造及び設備並びにその性能並びにその維持すべき期間」の「2. 空気系統 用冷却設備の配置」で示した主要機器の設置に先立ち実施する冷却塔の風荷重評価に関する基本 方針及び評価結果を示すものである。

2. 評価対象

評価対象は、空気系統用冷却設備を構成する以下の主要機器に対して実施する。また、評価は、 「3. 適用規格・基準」の規格に則るものとし、各機器の主要な要目について、風荷重計算書で示 す。

(1) 冷却塔

3. 適用規格·基準

- (1) 建築基準法
- (2) 建築基準法施行令
- (3) 平成12年建設省告示第1458号(計算式)及び同第1454号(各地の基準風速)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格
- (5) 建築設備耐震設計・施工指針 2014 年版
- 4. 風荷重の評価式

風荷重は、式(1)により算出する。

 $P = C \cdot q \cdot A$ 

Р	: 風荷重	(N)
С	: 風力係数	(-)
q	: 速度圧	$(N/m^2)$
А	: 見付面積	$(m^2)$

速度圧は、建築基準法施行令により定められた式(2)による。この式において q、E 及び Vo は、それぞれ以下の数値を表すものとする。

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$$

(2)

- q :速度圧  $(N/m^2)$
- :地盤面からの高さ及び周辺の地域に存する建築物その他の工作物、樹木 E その他の風速に影響を与えるものの情況に応じて国土交通大臣が定める 方法により算出した数値(参考:建設省告示第1454号)(-)
- $V_{0}^{2}$ :その地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度その他の風の 性状に応じて 30 m/s から 46 m/s までの範囲内において国土交通大臣が 定める風速 (m/s)

(1)

Eの数値は、建設省告示第1454号から、式(3)によって算出するものとする。この式において、Er及びGfは、それぞれ次の数値を表すものとする。

$$E = Er^2 \cdot Gf$$
 (3)  
Er : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 (-)

Gf :ガスト影響係数

Er は、平成 12 年建設省告示第 1454 に基づき算出するものとする。ただし、局地的な地形や 地物の影響により平均風速が割り増されるおそれのある場合においては、その影響を考慮しなけ ればならない。Gf は、平成 12 年建設省告示第 1454 の地表面粗度区分及び H に応じて同告示に 掲げる数値とする。

なお、V<sub>0</sub>は34 m/s である。

5. 空気系統用冷却設備の冷却塔 空気系統用冷却設備の冷却塔の概略図を図1に示す。





(-)





図1 空気系統用冷却設備の冷却塔の概略図

#### 6. 強度計算

空気系統用冷却設備の冷却塔の風荷重算出に用いるモデル図を図2に示す。



図2 空気系統用冷却設備の冷却塔の風荷重算出に用いるモデル図

6.1 速度圧

表1より、空気系統用冷却設備の冷却塔の高さは5m以下でEr(平均風速の高さ方向の分布 を表す係数)を決定し、表2より地表面粗度区分に応じたガスト影響係数により、速度圧を算出 した。その結果を表3に示す。

Er	Gf	E	V	q
(-)	(-)	(-)	(m/s)	(N/m <sup>2</sup> )
0.70	2.5	1.23	34	853.13

表3 空気系統用冷却設備の冷却塔に負荷される速度圧 q

#### 6.2 風荷重

空気系統用冷却設備の冷却塔は、冷却塔本体と送風機スタックに負荷を受けたことから、風荷 重はこれらの合計値が最大である。その結果を表4に示す。

計算対象	q	А	С	Р					
	$(N/m^2)$	$(m^2)$	(-)	(N)					
冷却塔本体	853.13	3.29	1.2	3369					
送風機スタック	853.13	0.39	0.7	233					
			合 計	3602					

表4 空気系統用冷却設備の冷却塔の風荷重 P

6.3 基礎ボルトの評価

空気系統用冷却設備の冷却塔に風による水平荷重が発生した場合の基礎ボルトに発生する引張 応力とせん断応力の評価を行い、倒壊の有無を確認した。基礎ボルトに発生する引張応力は最も 厳しい条件として、基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるもの として計算する。ボルトに作用する引張力は、式(4)で示される。

$$R_b = (P \cdot h_1 \cdot m \cdot g \cdot \ell_1) / n_f \cdot \ell_2$$

(4)

$\mathbf{R}_{\mathbf{b}}$	: 基礎ボルト1本あたりの引張力	(N)
Р	: 風荷重	(N)
$\mathbf{h}_1$	: 地面からの高さ(中心位置)	(mm)
m	: 冷却塔の質量	(kg)
g	: 重力加速度	$(m/s^2)$
$\ell_1$	: 中心位置から基礎ボルトまでの距離	(mm)
$\ell_2$	: 中心位置から基礎ボルトまでの距離	(mm)
$n_{\mathrm{f}}$	: 引張力を受けるボルトの評価本数	(-)

表5 空気系統用冷却設備の冷却塔の基礎ボルト1本あたりに負荷される引張力 Rb

Р	m	g	$h_1$	$\ell_1$	$\ell_2$	$n_{\rm f}$	$\mathbf{R}_{\mathbf{b}}$
(N)	(kg)	$(m/s^2)$	(mm)	(mm)	(mm)	(-)	(N)
3602	810	9.80665	1180	731	1462	2	-532

ここで、図1より冷却塔の運転質量は670 kg であるが、設計裕度から冷却塔の質量 m は、運転質量の2割増しとし、810 kg とする。その結果を表5に示す。引張応力は、引張力が負側になったため、計算は省略する。

基礎ボルトのせん断応力は、表4に示す風荷重を基礎ボルトの全本数で受けるものとして、次 式により算出する。

$$\tau_{\rm b} = P/n \cdot A_{\rm b} \tag{5}$$

$$A_{\rm b} = \pi \cdot d^2 / 4 \tag{6}$$

$\tau_b$	: せん断応力	$(N/mm^2)$
$A_{b}$	: ボルトの断面積	$(mm^2)$
n	: ボルトの本数	(-)
d	: ボルトの谷径	(mm)

表6 風荷重に対する基礎ボルトのせん断応力

Р	d	Ab	n	$ au_{ m b}$
(N)	(mm)	$(mm^2)$	(-)	$(N/mm^2)$
3602	13.835	150.3	4	6

7. 基礎ボルトの許容応力

#### 7.1 許容応力の算出方法

基礎ボルトの許容引張応力及び許容せん断応力は、次式により求める。基礎ボルトの許容引張応力については、式(7)及び式(8)により求めた値のうち、引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力(fts)または、引張力のみを受けるボルトの許容引張応力(fto)のうち小さい方の値を適用する。また、許容せん断応力(fsb)は、式(9)で求める。

【許容引張応力】

$$\mathbf{f}_{\rm ts} = 1.4 \cdot \mathbf{f}_{\rm t0} \cdot 1.6 \cdot \tau_{\rm b} \tag{7}$$

$$f_{to} = 1.5 \cdot F/2 \tag{8}$$

fts :引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力(N/mm<sup>2</sup>)

fto:引張力のみを受けるボルトの許容引張応力(N/mm<sup>2</sup>)

 F :発電用原子力設備規格 材料規格 (JSMESNJ1-2013) Part3 第 1章 表 6 (Sy) に定める値または、同 Part3 第1章 表 7 (Su) に定める値に 0.7 倍した値のいずれか小さい方の値 (N/mm<sup>2</sup>)

【許容せん断応力】

$$f_{sb} = 1.5 \cdot F/1.5\sqrt{3}$$
 (9)

$\mathbf{F}$	:許容引張応力のFと同一	$(N/mm^2)$
$\mathrm{F}_{\mathrm{sb}}$	: せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	(N/mm <sup>2</sup> )

本評価で用いる基礎ボルトの許容引張応力及び許容せん断応力は、表7で示す値のうち小さい 方を用い、表8の計算結果から、ftoを用いることとする。許容せん断力 fsb については、式(9) より算出した値を用いる。

計算計句	F (N	I/mm <sup>2</sup> )
司异刈豕	Sy	Su×0.7
基礎ボルト	227	272

表7 発電用原子力設備規格から引用した基礎ボルトのF値

表8 基礎ボルトの許容引張応力及び許容せん断応力の評価値

	許容引 (N/)	許容引張応力     許容せん断応       (N/mm <sup>2</sup> )     (N/mm <sup>2</sup> )		
計昇对象	fts	fto	fsb	
基礎ボルト	228	170	131	

#### 7.2 評価結果

風荷重による基礎ボルトの発生応力と許容応力の計算結果を表9に示す。この結果から、許容 応力以下であり、風荷重に対する強度は十分に満足している。また、基礎ボルトとして使用する 「あと施工接着系アンカー」を「建築設備耐震設計・施工指針」2014年版に基づき評価した場合、 あと施工接着系アンカーの短期許容引抜荷重は12kNであり、本風荷重評価における冷却塔の基 礎ボルト1本に作用する引張力は負側であることから、基礎ボルトが引き抜けることはない。

	引張応力(N/mm <sup>2</sup> )		許容せん断応力(N/mm <sup>2</sup> )	
計算対象	発生値	許容値	発生値	発生値
	бр	$\mathbf{f}_{\mathrm{to}}$	$ au_{ m b}$	${ m f_{sb}}$
基礎ボルト	—	170	6	131

表9 基礎ボルトの許容引張応力及び許容せん断応力の評価値

以上のとおり、空気系統用冷却設備に使用する冷却塔は既製品のものとし、主な部材として、 骨材が鋼材(溶融亜鉛めっき)、外板、ルーバ等が硬質塩化ビニル樹脂から構成されている機器と することから、第八条 外部からの衝撃による損傷防止に係る対策に対して、倒壊しない設計と した。

### 8. 計算精度

記載する数値の丸め方は次に示すとおりとする。

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
平均風速の高さ方向		小粉占凹下笠9位	打ちげ	小粉占凹下笠9位
の分布を示す係数		小致尽以下免り位	911.()	小数点以下第五位
ガスト影響係数	_	_	_	
速度圧の高さを示す		小粉占凹下笠り位	打しげ	小粉占凹下笠9位
係数		小数点以下第3位	901.()	小数总以下第2位
基準風速	m/s	—	_	_
速度圧	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
長さ	mm	—	_	—
面積	$mm^2$	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
風力係数	_	—	_	—
風荷重	N	小数点以下第1位	切上げ	整数位
質量	kg	—	_	—
重力加速度	$m/s^2$	—	_	—
引張力	Ν	小数点以下第1位	切上げ	整数位
ボルト軸断面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
F 値	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切上げ	整数 位
許容応力	N/mm <sup>2</sup>	小数点以下第1位	切捨て	整数 位

\*1:原子炉設置変更許可書記載値を除く。

\*2: JSME に記載された温度の中間における降伏点および引張強さは、比例法により補間した 値の小数点以下第1位を切捨て、整数位までの値とする。

#### 付録5 空気系統用冷却設備の耐圧強度評価

付録1の第十二条(材料及び構造)のうち、空気系統用冷却設備の配管について、「研究炉技術基準」に基づいた耐圧強度評価の計算書を示す。

# 計算書

## 空気系統用冷却設備の耐圧強度計算書

1. 評価方針

空気系統用冷却設備に用いる配管の耐圧強度計算は、試験研究用原子炉施設に関する構造等の 技術基準「平成15年5月30日(15科原安第13号)」(以下「研究炉技術基準」という。)に基づ いて計算を行い、十分な強度を有することを確認する。

2. 設計条件

(1) 主配管

計算対象	泉及び評価形状	材料	最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (℃)	機器区分
十司答	50A-Sch40	STDC 970*	05 (内正)	CO	当 4 番答
土印己日	80A-Sch40	511.0910	0.3 (四)工)	60	牙 4 俚官

\*: JIS G 3454「圧力配管用炭素鋼鋼管」

(2) フランジ

フランジについては、研究炉基準第56条第1項第五号のフランジへの要求事項に従い、JIS規格品を用いるものとする。

(3) 配管継手

配管継手については、研究炉基準第56条第1項第七号の管継手への要求事項に従い、JIS 規格 品を用いるものとする。

3. 評価方法

実際に使用する主配管の厚さが、研究炉技術基準の第40条第1項第一号及び三号から要求される厚さ以上であること確認する。以下に研究炉技術基準からの要求事項を示す。

(1) 第40条第1項第一号

内圧を受ける管にあっては、次の計算式により計算した値。

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S_\eta + 0.8 \cdot P}$$

ここで、

$\mathbf{t}$	: 管の計算上必要な厚さ	(mm)
Р	: 管の内面に受ける最高の圧力	(MPa)
D	: 管の外径	(mm)
$\mathbf{S}$	: 発電用原子力設備規格 材料規格(JSME	$(N/mm^2)$
	SNJ1-2012) Part 3 第 1 章表 3 材料の各	
	温度における許容引張応力	
η	:長手継手の効率	(-)

(2) 第40条第1項第三号

熱交換器用の管以外の管で炭素鋼にあっては、次の表の左欄に掲げる管の外径に応じ、それぞ れ同表の右欄に掲げる値である。

管の	外径	管の厚さ
(m:	m)	(mm)
	25 未満	1.4
25 以上	38 未満	1.7
38 以上	45 未満	1.9
45 以上	57 未満	2.2
57 以上	64 未満	2.4
64 以上	82 未満	2.7
82 以上	101 未満	3.0
101 以上	127 未満	3.4
127 以上		3.8

#### 4. 評価結果

研究炉技術基準における管の外径に応じた厚さと比較した結果を次表に示す。この結果、主配 管の呼び径における厚さが、研究炉基準における炭素鋼鋼管の必要厚さ以上であり、耐圧強度は 十分であることを確認した。

						評 価	
	р	D	C		計算上必要	管の外径に	主配管の
主配管	r (MPa)	$D_0$	$(\mathbf{N}/\mathbf{mm}^2)$	(-)	な厚さ	応じた厚さ	厚さ*
	(IVII a)	(111111)	(11/111112)		t		
					(mm)	(mm)	(mm)
50A-Sch40	0.5	60.5	93	1	0.2	2.4	3.4
80A-Sch40	0.5	89.1	93	1	0.3	3.0	4.8

\*: 主配管の厚さは、JISG 3454:2017「圧力配管用炭素鋼鋼管」の厚さの許容差におけるマイ ナス側の公差を差し引いた値 空気系統用冷却設備は、主配管の他に付属配管(補給水及び薬剤注入配管等)については、JIS G 3454「圧力配管用炭素鋼鋼管」のうち、呼び径 8A-Sch40 から 50A-Sch40 の範囲で適宜使用す るものとし、「3.評価方法」により評価した結果、すべて研究炉基準で示された必要厚さ以上で あることを確認した。以下に評価結果を示す。

	研究炉技術基準	JIS G 3454		
第40条第1項	第 40 条第 1 項	〔第三号	「圧力配管用炭素鋼鋼管」	
第一号	管の外径	管の厚さ	呼び径	厚さ*
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0.1			8A (φ13.8)	1.7
0.1	25 未満	1.4	10A (φ17.3)	1.8
0.1			15A (φ21.7)	2.3
0.1	요리가 나 20 土洪	1 7	20A (φ27.2)	2.4
0.1	20以上 30 木個	1.1	25A (φ34.0)	2.9
0.2	38以上 45未満	1.9	32A (φ42.7)	3.1
0.2	45 以上 57 未満	2.2	40A (φ48.6)	3.2
0.2	57 以上 64 未満	2.4	50A (φ60.5)	3.4

\*: 主配管の厚さは、JISG 3454:2017「圧力配管用炭素鋼鋼管」の厚さの許容差におけるマイ ナス側の公差を差し引いた値

### 付録6 門型サポートの隅肉溶接部に関する強度計算書

付録1の第十二条(材料及び構造)のうち、空気系統用冷却設備のサポート溶接部について、「研究炉技術基準」に基づいた耐震強度評価の計算書を示す。

## 計算書

# 門型サポートの隅肉溶接部に関する 強度計算書

1. はじめに

空気系統用冷却設備の配管施行に用いるサポート No.40 から No.44 については、最大質量 177 kg が高さ 1068 mm の位置に負荷されていること及び支持部材である H 鋼とベースプレートとの接続が隅肉溶接であることから、地震荷重に対する隅肉溶接部の健全性について確認する。

2. 適用規格·基準

- (1) 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準「平成 15 年 5 月 30 日 (15 科原安第 13 号)」(以下「研究炉技術基準」という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)(以下「耐震設計指針」という。)
- (3)発電用原子力設備規格 材料規格(2012 年版)JSMES NJ1-2012 日本機械学会(以下「JSME」 という。)
- (4) 日本産業規格
- (5) 機械工学便覧 α.基礎編 2007 (以下「機械工学便覧」という。)
- (6) 各種合成構造設計指針 日本建築学会 2010

3. 計算条件及び計算モデル

(1) 計算条件

計算条件は、次のとおり。また評価に用いる最大質量及び負荷位置は「計算書-7 サポートの耐震強度計算」で示した門型サポート(M-2)の20Hz以上となる最大値を用いるものとする。

最大質量	負荷位置	設計温度	水平地震力	材質	波埣糾手
(kg)	(mm)	(°C)	(G)	(溶接部)	俗1女松于
215	1550	<u> </u>	0.4	22400 扫光	匯内公国涼坛
(177) *	(1068) *	60	0.4	55400 作日 ヨ	柄肉生用俗按

\*:実際の据付状態における最大質量及び負荷位置の公称値

(2) 計算モデル

計算対象は、門型のサポートであり最上段の部材で荷重を支持しているが、本評価において は、2本の柱材で最大質量を保持するものとし、以下に示す片持ち梁にモデル化し計算を実施 する。 W=215kg W/2=107.5kg W=107.5kg



4. 強度計算

強度計算は、溶接部に作用する曲げ応力及び溶接方向に作用するせん断応力を組合せた「等価 せん断応力」を算出する。

4.1 溶接部形状

隅肉全周溶接部の仕様を以下に示す。また、溶接部の評価モデル図を別添に示す。

脚長	$\mathbf{S}$	= 6  mm
のど厚	$\mathbf{a}_{\mathrm{t}}$	$=$ S / $\sqrt{2}$ = 4.2 mm
溶接長	$L_1$	= 754  mm
溶接部有効長	$L_2$	= 653  mm
低減係数	$L_2/L_1$	= 0.8

4.2 応力計算

(1) 曲げ応力

溶接部に作用する曲げ応力は、「機械工学便覧 a3 編 材料力学 第3章 3・3 はりの曲げモー メントによる応力」に示された次式により計算する。

$$\sigma_M = \frac{M \cdot y}{I}$$

ここで、y は溶接部の中立軸であり荷重位置における中立軸は次式による。

$$y = \frac{d_1}{2} = 66.7 \text{ mm}$$

また、Iは断面2次モーメントであり次式による。

$$I = \frac{\left(a_1 \cdot d_1^{3} \cdot (a_1 \cdot t_1) \cdot h_1^{3}\right)}{12} \cdot \frac{\left(a_2 \cdot d_2^{3} \cdot (a_2 \cdot t_2) \cdot h_2^{3}\right)}{12} = 8676381 \text{ mm}^4$$

ここで、溶接長における低減を考慮した断面2次モーメントは次のとおり。

 $8676381 \times 0.8 = 6941104 \text{ mm}^4$ 

曲げ応力は次のとおり。

計算対象	ом (N/mm²)
隅肉溶接部	7

計算に用いた要目等は次のとおり。

記号	記号説明	数值	単位
Μ	曲げモーメント	$653614^{*}$	N·mm
$a_1$	全幅(溶接部含む)	133.4	mm
$d_1$	全高(溶接部含む)	133.4	mm
$\mathbf{t}_1$	ウェーブ部厚さ(溶接部含む)	14.9	mm
$h_1$	ウェーブ部高さ(溶接部含む)	98.6	mm
$\mathbf{a}_2$	全幅(H 鋼部)	125	mm
$d_2$	全高(H 鋼部)	125	mm
$t_2$	ウェーブ部厚さ(H 鋼部)	6.5	mm
$h_2$	ウェーブ部高さ(H 鋼部)	107	mm

\* : M = W · g · C<sub>h</sub> · L = 107.5 × 9.80665 × 0.4 × 1550 = 653614 N · mm

(2) せん断応力

溶接方向に作用するせん断応力は耐震設計指針に示された次式による。

せん断力

$$Q_{ty} = W \cdot g \cdot Ch = 107.5 \times 9.80665 \times 0.4 = 422 N$$

2 せん断応力

$$\sigma_{ty} = \frac{Q_{ty}}{a_t \cdot L_2} = 0.2 \text{ N/mm}^2$$

(3) 等価せん断応力

曲げ方向及び溶接方向を組み合わせた等価せん断応力は次式により算出する。

$$\sigma\tau=\sqrt{{\sigma_{tx}}^2{+}{\sigma_{ty}}^2}$$

計算対象	$\sigma \tau$ $(N/mm^2)$
隅肉溶接部	8

4.3 許容せん断応力

許容せん断応力は、耐震設計指針に示された次式に、研究炉基準による隅肉溶接部の継手効率 を用いて算出する。

$$f_t = 1.5 \cdot \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 0.45$$

溶接部の主要材質は、SS400相当である。また、F値における降伏点又は耐力の区分は、各種 合成構造設計指針「3.3.1 梁用構造の許容応力度」から 235 N/mm<sup>2</sup> とし、JSME 付録材料図表 Part3 第1章表6(Sy)に定める値、付録材料図表 Part3 第1章表7(Su)に定める値の0.7倍 の値のいずれか小さい方の値をF値に設定する。

> Sy @= 2270.7 · Su  $@= 389 \times 0.7 = 272 \text{ N/mm}^2$

従って、F値はSy値とし、許容せん断応力は次のとおり。

	ft
許容せん断応力	$(N/mm^2)$
町谷ビル御心/)	58

5. 評価方法

発生応力と許容応力との比較を行う。比較した結果を以下に示す。

	等価せん断応力	許容せん断応力
計算対象	στ	${ m ft}$
	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$
隅肉溶接部	8	58

#### 6. 評価結果

門型サポート No.40 から No.44 の隅肉溶接部に発生する等価せん断応力は、許容せん断応力以 内であり、耐震強度は十分である。

以 上



溶接部の評価モデル図
