

空気系統用冷却設備の 設置について

令和3年10月29日

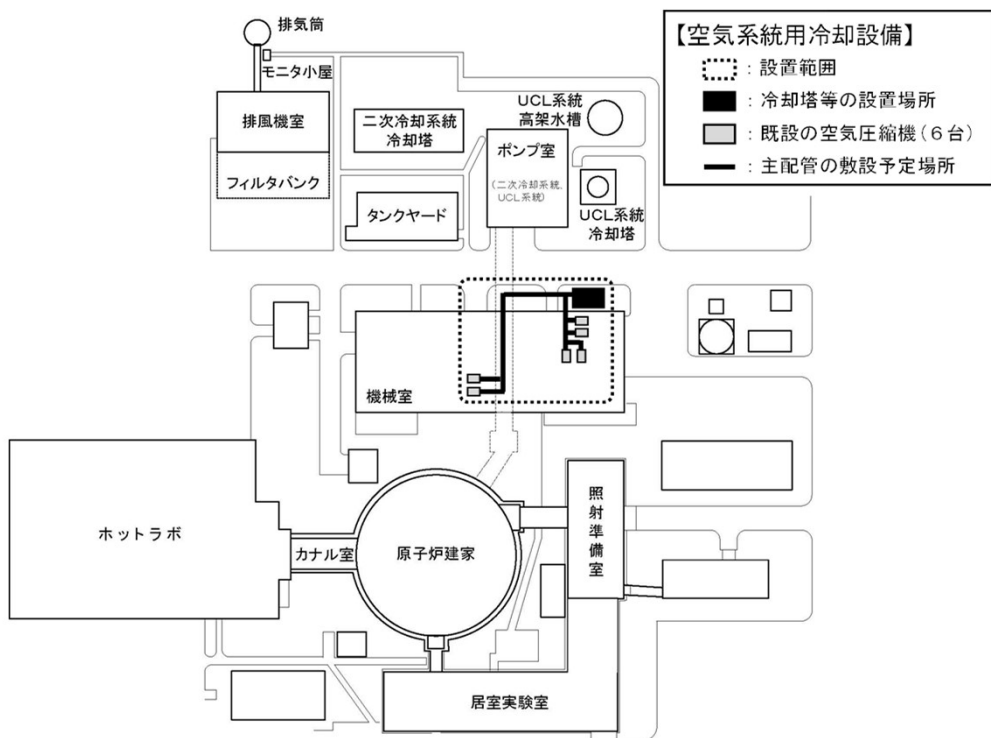
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門
大洗研究所

1. 空気システム用冷却設備の概要

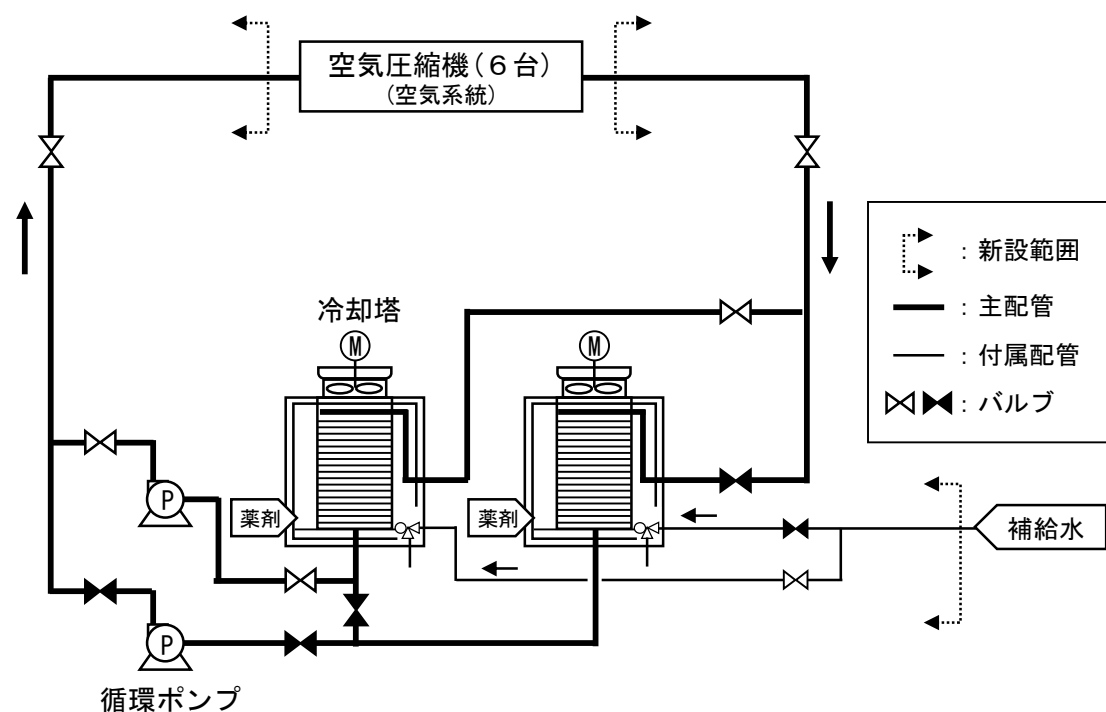
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所にあるJMT-Rでは、令和3年3月17日に廃止措置計画が認可され、廃止措置計画の中で性能維持施設である空気システムを冷却するための冷却設備（空気システム用冷却設備）の設置工事に着手し、令和3年12月までに工事を完了させ、速やかに空気システム用冷却設備の運用を開始する予定としていた。

当該空気システム用冷却設備は、JMT-R施設にある空気作動弁等の駆動源である空気システムを構成する機器である空気圧縮機を冷却するために使用するものである。

a) 空気圧縮機の小型冷却設備の配置



b) 空気圧縮機の小型冷却設備の系統図



2. 空気系統用冷却設備の設計条件

【主要機器の設計条件】

項目	主要機器		
	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℃	—
機器等の区分*1	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)*4		
設計震度*5	水平0.24G		

*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」

3. 空気系統用冷却設備の適合性評価(1/2)



➤ 技術基準との適合性 空気系統用冷却設備の設計及び工事の計画と「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」に掲げる技術上の基準との適合性は以下のとおり。

条項	適合性	
第一条	適用範囲	—
第二条	定義	—
第三条	特殊な方法による施設	—
第四条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持	※1
第五条	試験研究用等原子炉施設の地盤	—
第六条	地震による損傷の防止	※2
第七条	津波による損傷の防止	—
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	※3
第九条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な浸入等の防止	—
第十条	試験研究用原子炉施設の機能	—
第十一条	機能の確認等	—
第十二条	材料、構造等	※4
第十三条	安全弁等	—
第十四条	逆止め弁	—
第十五条	放射性物質による汚染の防止	—
第十六条	遮蔽等	—
第十七条	換気設備	—
第十八条	適用	—
第十九条	溢水による損傷の防止	—
第二十条	安全避難通路等	—
第二十一条	安全設備	—
第二十二条	炉心等	—
第二十三条	熱遮蔽材	—
第二十四条	一次冷却材	—

条項	適合性	
第二十五条	核燃料物質取扱設備	—
第二十六条	核燃料物質貯蔵設備	—
第二十七条	一次冷却材処理装置	—
第二十八条	冷却設備等	—
第二十九条	液位の保持等	—
第三十条	計装設備	—
第三十一条	放射線管理施設	—
第三十二条	安全保護回路	—
第三十三条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	—
第三十四条	原子炉制御室等	—
第三十五条	廃棄物処理設備	—
第三十六条	保管廃棄設備	—
第三十七条	原子炉格納施設	—
第三十八条	実験設備等	—
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	—
第四十条	保安電源設備	—
第四十一条	警報装置	—
第四十二条	通信連絡設備	—

※1: 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。

※2: 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。

※3: 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。

※4: 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)」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。また、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。

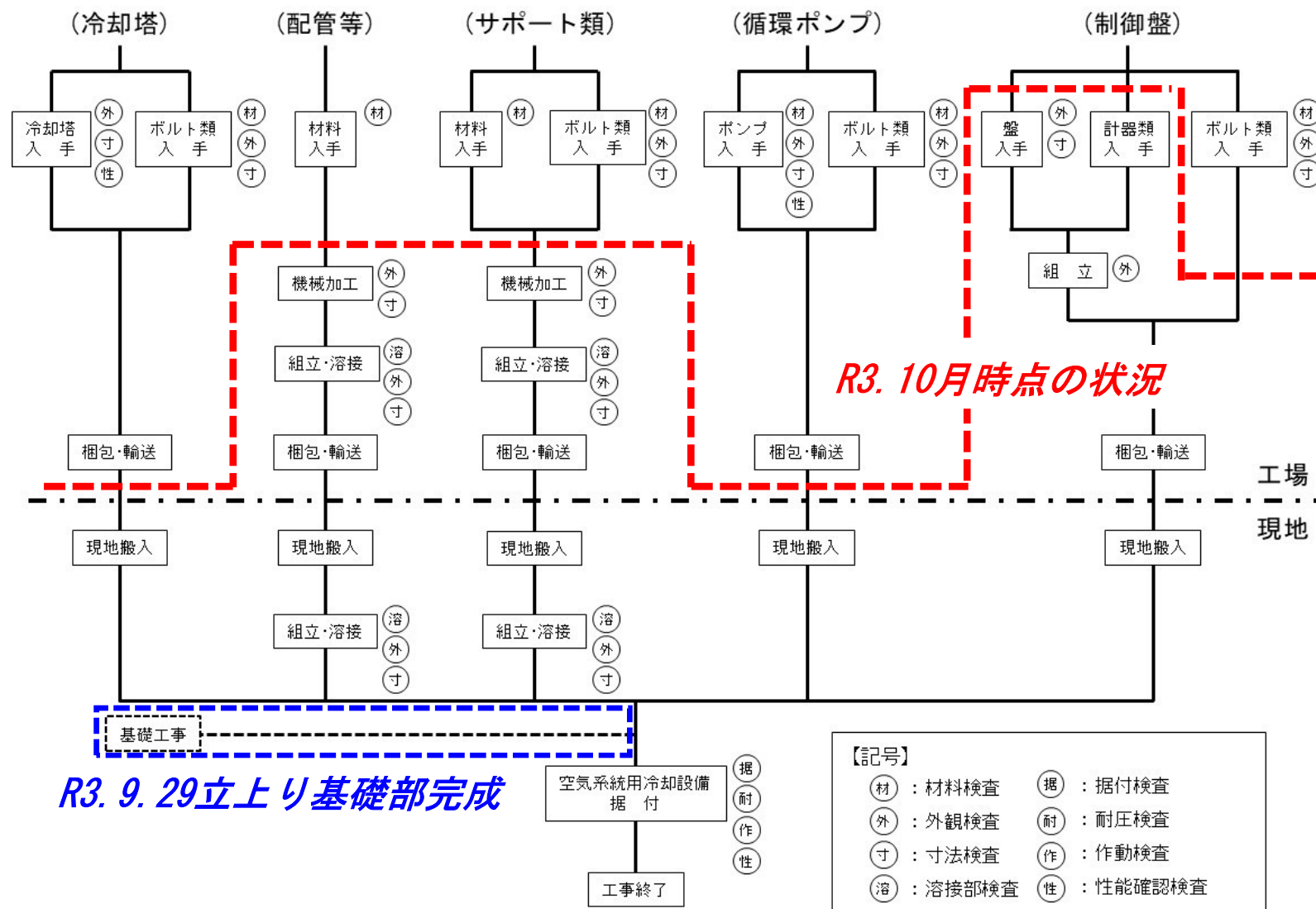
3. 空気系統用冷却設備の適合性評価 (2/2)

条項	評価項目	評価箇所	評価方法	評価結果	
第四条	維持管理	—	—	—	
第六条	耐震評価	基礎ボルト	冷却塔	「原子力発電所耐震設計技術指針」を準用し、地震力により各基礎ボル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。また、応力評価で算出した基礎ボルトに発生する引抜荷重が「建築設備耐震設計・施工指針」に示された許容引抜荷重以下であることを確認する。	構成する機器の基礎ボルトに対し、許容引張応力及び許容せん断応力を算出。発生する引張応力及びせん断応力が、許容値より十分小さいことを確認。
			循環ポンプ		
			制御盤		
			配管サポート		
		配管支持間隔	「原子力発電所耐震設計技術指針」を準用し、振動数基準定ピッチスパン法により、配管の振動数が20Hz以上となる支持間隔を計算により設定する。	主配管 (50A-Sch40及び80A-Sch40) に対し、振動数20Hzを確保する支持間隔を算出。	
		配管サポート	「原子力発電所耐震設計技術指針」を準用し、地震力によ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。	配管サポートの構造 (片持型、門型) の固有振動数を算出し、剛体であることを確認。	
第八条	風荷重	冷却塔	「建築基準法」を準用し、風荷重により冷却塔の基礎ボルトに発生する応力を求め、許容応力との比較を行い、許容値内であることを確認する。	茨城県大洗町の基準風速 (34m/s) に対し、風荷重を算出し、冷却塔の基礎ボルトの許容引張応力及び許容せん断応力を算出。発生する引張応力及びせん断応力が、許容値より十分小さいことを確認。	
	凍結		冬季における冷却水の凍結を防止する設計とする。	配管の保温材装着や一部ヒータの装着により、凍結防止対策を実施。	
第十二条	耐圧評価	配管の必要最小厚さ	「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」に則り、最高使用圧力時における管及びフランジの強度計算を行い、計算上必要厚さを算出し、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。	廃止措置計画認可申請書の添付資料で説明済み。	

4. 空気系統用冷却設備の工事着手

➤ 空気系統用冷却設備の工事フロー

空気系統用冷却設備の設置に関する工事及び検査は、以下工事フローに示す方法、手順、検査項目について実施している。



①材料検査
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

②外観検査
外観に異常のないことを目視で確認

③寸法検査
寸法が所定の値であることを測定又は材料証明書若しくは試験検査成績書により確認

④耐圧検査
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

⑤据付検査
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

⑥作動検査
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

⑦性能確認検査
・交換熱量が0.1MW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
・冷却水流量が10m³/h以上を有することを確認

⑧溶接部検査
各溶接工程において溶接基準における第4種管に適用する試験検査項目を実施

5. 空気システム用冷却設備の構成機器の入荷状況 (1/2)

【構成機器】 入荷完了 (冷却塔、循環ポンプ、基礎ボルト)



冷却塔 (R3. 10. 15入荷)



冷却塔 (薬注装置) (R3. 10. 15入荷)



基礎ボルト (R3. 10. 4入荷)



循環ポンプ (R3. 10. 11入荷)

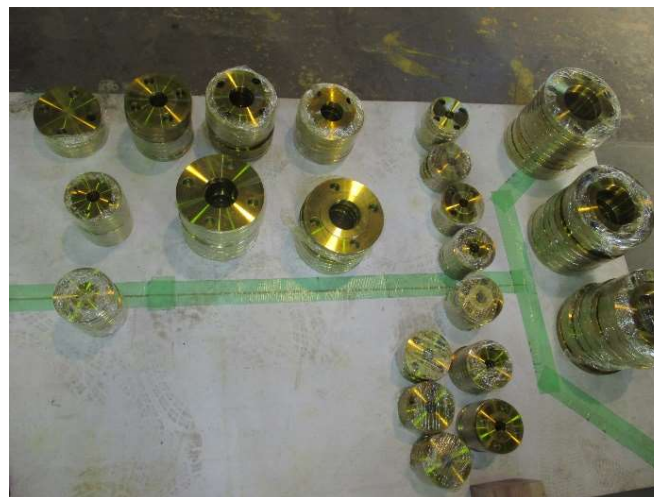
5. 空気系統用冷却設備の構成機器の入荷状況 (2/2)



【構成機器】 入荷中（配管等：一部未納、サポート類：一部（H鋼10/29入荷予定））



配管等 (R3. 9. 4入荷)



配管等 (一部未納)
(配管継手：R3. 10. 11入荷分)



配管等 (一部未納)
(弁：R3. 10. 21入荷分)



サポート類 (山形鋼)
(R3. 10. 12入荷)



サポート類 (板材)
(R3. 10. 4入荷)

制御盤：12月入荷予定

6. 現地工事の状況

【基礎工事】 完了(主な構成機器の設置準備の完了)



床付け (R3. 7. 29)



砕石敷き、転圧 (R3. 7. 29)



捨てコン打設 (R3. 7. 30)



基礎部鉄筋、型枠 (R3. 8. 20)



立上り基礎部コンクリート打設
(R3. 8. 31)

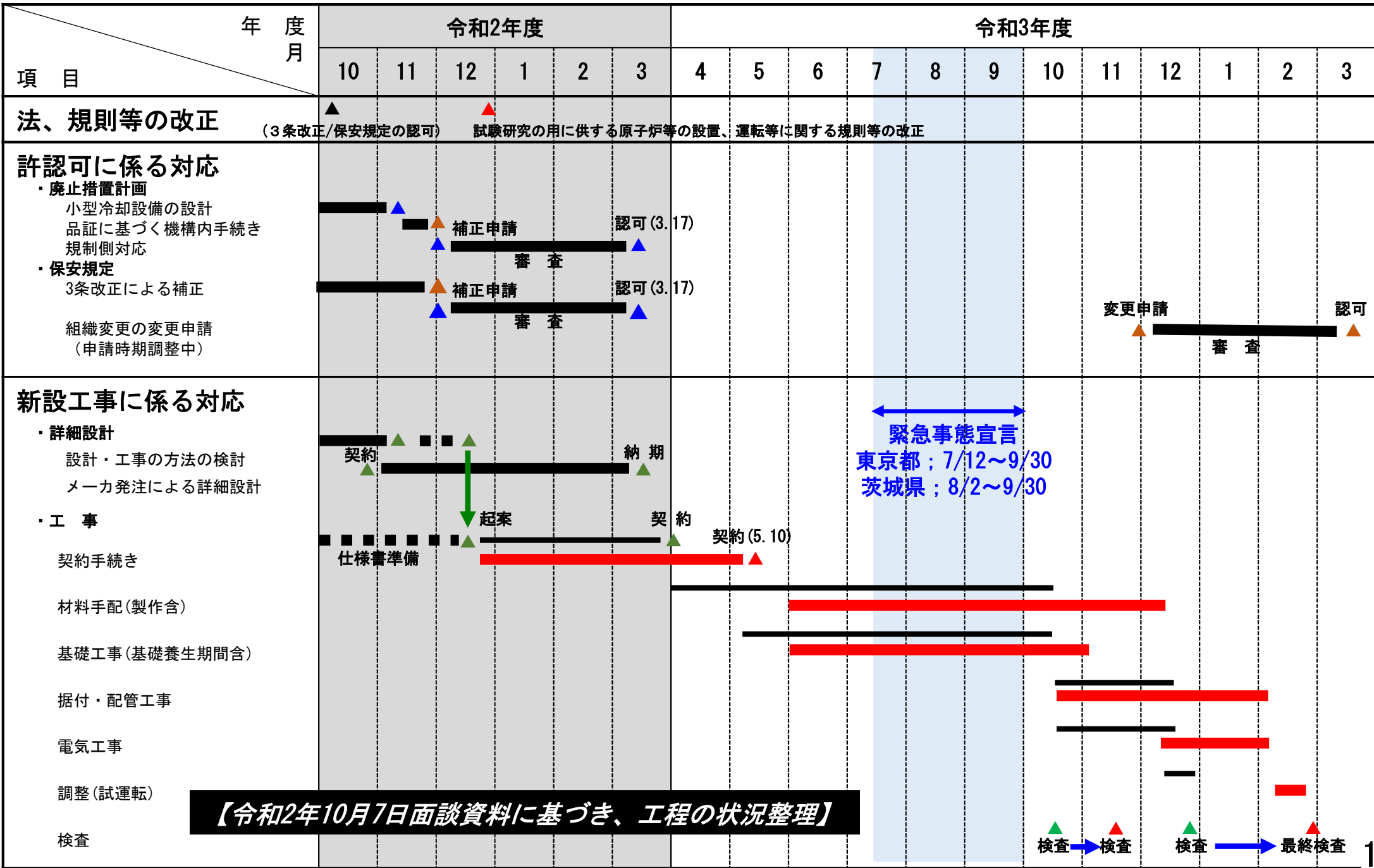


立上り基礎部完成
(R3. 9. 29)

7. 現在までの工事の状況と今後の工事の見通し

- 基礎工事については、概ね工事工程とおりに進んだが、材料入手においては、新型コロナウイルス蔓延防止に係る緊急事態宣言の発出・延長に伴い、工場の生産が縮小され、制御盤は12月上旬納入、配管等（配管継手、弁）は11月中旬～12月上旬納入予定となっている。受注業者の材料入手は工事工程より大幅な遅れが生じている。
- 原子力機構としては、部品メーカー工場での立会検査を予定していたものは全て書類検査とし、受注業者納入後に一部を立会検査として実施することで、工事工程の短縮を図っているが、大幅な遅れを取り戻すには至っていない。
- 検査が終わった部品から随時現地での組立・溶接及び入手できた冷却塔やポンプなどから据付工事（10/29からの予定）を進めていくが、組立・溶接にあたっては部品の現場合せ加工、検査等を行いながらの工事となるため時間を要すると見込んでおり、工事工程の遅れを取り戻すのは難しい状況である。

8. 空気系統用冷却設備の工事期間の再検討



参考資料

【参考①】 第六条の評価結果のまとめ(1/2)



(1) 主要構成機器

(単位：N/mm²)

計算対象		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	接続ボルト	—*	170	6	131
	基礎ボルト	—*	170	6	131
制御盤	接続ボルト	21	170	6	131
	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

*：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。

(2) 配管の最大支持間隔

(単位：mm)

計算対象	直管部	曲り部	分岐部	曲り部と分岐部	集中質量部	
					直管部と集中質量	曲り部と集中質量
主配管 1 (50A-Sch40)	2592	2125	2073	1700	1555	1275
主配管 2 (80A-Sch40)	3138	2573	2510	2058	1569	1286

【参考①】 第六条の評価結果のまとめ (2/2)

(3) サポート

① 固有振動数

(単位 : Hz)

計算対象		固有振動数
主配管 1 (50A-Sch40)	片持型	21
主配管 2 (80A-Sch40)	片持型	20*
	門 型	31

* : 計算値20.104Hzを小数点以下切捨処理した値

② 基礎ボルト

(単位 : N/mm²)

計算対象		引張応力	許容引張応力	せん断応力	許容せん断応力
主配管 1 (50A-Sch40)	片持型	10	170	1	131
主配管 2 (80A-Sch40)	片持型	19	170	2	131
	門 型	16	170	2	131

③ ベースプレート

(単位 : N/mm²)

計算対象		支圧応力	許容圧縮応力	曲げ応力		許容曲げ応力
				圧縮	引張	
主配管 1 (50A-Sch40)	片持型	0.1	13	3	1	261
主配管 2 (80A-Sch40)	片持型	0.1	13	3	2	261
	門 型	0.1	13	3	3	261

① 耐震強度評価のための適用規格・基準、耐震設計区分

- a. 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)
- b. 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1984、1987)(以下「耐震設計指針」という。)
- c. 発電用原子力設備規格 材料規格
- d. 建築設備耐震設計・施工指針 2014年版

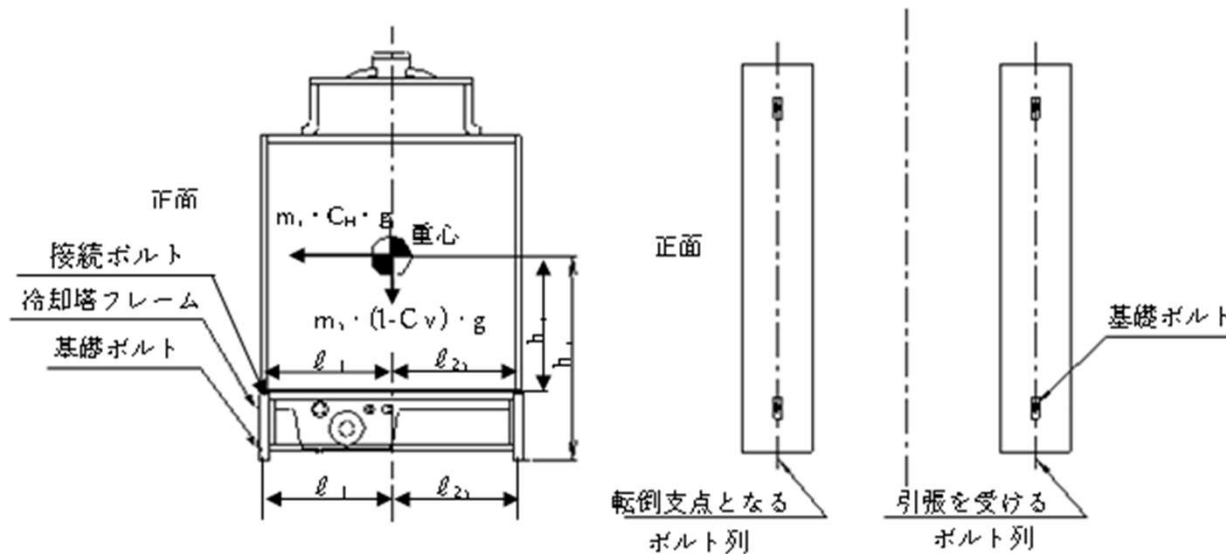
② 耐震強度評価

冷却塔は、チャンネルベースを介して接続ボルト及び基礎ボルトにより基礎床面に固定される。このため、地震力により各ボルトに発生する引張応力並びにせん断応力の算出は、耐震設計指針に則り、次の条件で評価を行う。

なお、本設備は、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)で認可を得ているが、保守的に「Bクラス相当」として、水平方向0.4G、鉛直方向0.2Gの静的地震力を用いる。

- 接続ボルト及び基礎ボルトの引張応力は、片側のボルト列を支点として評価。また、設計裕度から、冷却塔の質量は運転時質量の2割増し($670 \times 1.2 \div 810\text{kg}$)とする。
- 接続ボルト及び基礎ボルトのせん断力は、全数に作用。

【参考②】 第六条：冷却塔の耐震強度評価（例）（2/2）



計算対象	m_i (kg)	C_H (G)	C_V (G)	g (m/s ²)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)	l_{2i} (mm)	n_{fi} (—)
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

③ 第六条に係る評価結果

計算対象	引張応力 (N/mm ²)		せん断応力 (N/mm ²)	
	発生値 σ_b	許容値 f_{to}	発生値 τ_b	許容値 f_{sb}
接続ボルト	—	170	6	131
基礎ボルト	—	170	6	131

- 許容応力以下であり、地震荷重に対する強度は十分に満足。
- 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、本耐震強度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もない。

【参考③】 第六条：配管等の耐震強度評価（例）

① 耐震強度評価のための適用規格・基準

- a. 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）
- b. 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1984、1987）（以下「耐震設計指針」という。）
- c. 発電用原子力設備規格 材料規格

② 耐震評価方法

耐震評価方法は、配管の口径及び使用温度を基に、耐震設計指針におけるB及びCクラス機器の「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」により配管の支持間隔の設定を行う。

直管部：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。

曲り部：耐震設計指針における曲がり角と振動数低下の関係を示したグラフから縮小率を求め、直管部のスパンに縮小率を乗じることにより算出する。

分岐部：耐震設計指針における分岐点の位置に対する縮小率との関係を示したグラフから縮小率を求め、直管部及び曲り部のスパンに縮小率を乗じることにより算出する。

集中荷重部：耐震設計指針における集中荷重の位置に対する縮小率との関係を示したグラフから縮小率を求め、直管部及び曲がり部のスパンに縮小率を乗じることにより算出する。

③ 第六条に係る評価結果

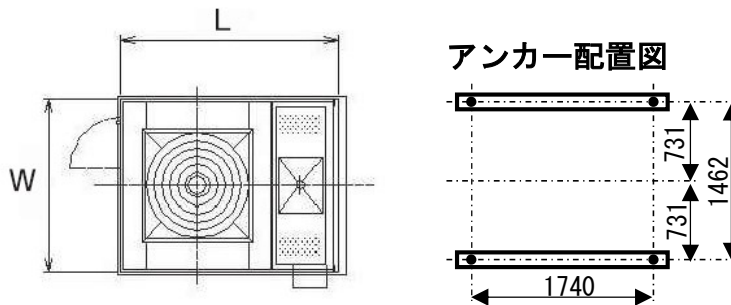
最大支持間隔を以下に示す。なお、実際の施工における支持間隔は、各部の最大支持間隔よりも短尺化し保守側に設定する。

計算対象	各部の最大支持間隔(mm)					
	直管部	曲がり部	分岐部	曲がり部と分岐部	直管部と集中荷重	曲がり部と集中荷重
主配管1 (50A配管)	2592	2125	2073	1700	1555	1275
主配管2 (80A配管)	3138	2573	2510	2058	1569	1286

【参考④】 第八条：冷却塔の風荷重評価

① 風荷重評価のための適用規格・基準

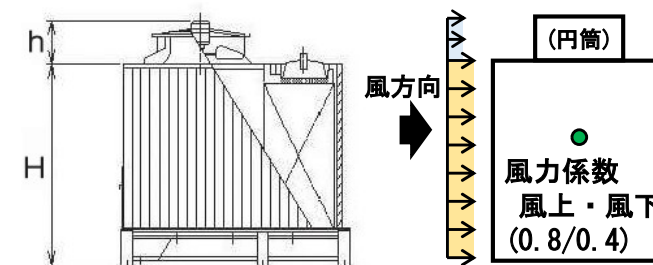
- a. 建築基準法
- b. 建築基準法施行令
- c. 平成12年建設省告示第1458号（計算式）及び同第1454号（各地の基準風速）
- d. 発電用原子力設備規格 材料規格
- e. 建築設備耐震設計・施工指針 2014年版



② 風荷重の計算結果

- 茨城県大洗町の基準風速：34m/s

計算対象	q (N/m ²)	A (m ²)	C (-)	P (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



冷却塔の風荷重評価に係るモデル

③ 冷却塔の基礎ボルトに係る応力

- 基礎ボルトの引張応力は、片側の基礎ボルトを支点として評価。また、設計裕度から、冷却塔の質量は2割増し(810kg)。
- 基礎ボルトのせん断力は、全数に作用。

④ 第八条に係る評価結果

計算対象	引張応力 (N/mm ²)		せん断応力 (N/mm ²)	
	発生値 σ_b	許容値 f_{to}	発生値 τ_b	許容値 f_{sb}
基礎ボルト	—	170	6	131

冷却塔の諸元

		寸法 (mm)
長さ	L	1750
幅	W	1470
高さ	H	1880
送風機高	h	480
		重さ (kg)
製品質量		420
運転質量		670

- 許容応力以下であり、風荷重に対する強度は十分に満足。
- 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もない。

【参考⑤】 既存UCL冷却系統冷却塔の運用状況



年度	項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
令和3年度	運転	冷却塔の連続運転(ポンドの水温が32℃で起動、28℃で停止) 												
	保守運転	保守運転は、原則2回/月で実施。												
		▼ 4/7 ▼ 4/21	▼ 5/12 ▼ 5/26	▼ 6/2 ▼ 6/16	▼ 7/7 ▼ 7/30	▼ 8/11 ▼ 8/25	▼ 9/8 ▼ 9/22	▼ 10/6 ▼ 10/20	▽ 11/10 ▽ 11/24	▽ 12/8 ▽ 12/22	▽ 1/5 ▽ 1/27	▽ 2/9 ▽ 2/23	▽ 3/9 ▽ 3/23	
	点検	巡視点検は土日祝日を除く毎日実施、月例点検は毎月1回実施 												
	定期事業者検査									▽12/6				

【参考⑥】既存UCL系統冷却塔の交換・補修工事(1/2)

【交換・補修工事の進捗状況】

- UCL系統冷却塔の交換・補修工事は今年度2回に分けて実施する。
- 交換・補修工事(前半)は、令和2年9月1～3日に工事を実施し、完了。
- 交換・補修工事(後半)は、令和3年1月7日～2月8日に工事を実施し、完了。

UCL系統冷却塔の交換・補修工事の進捗状況

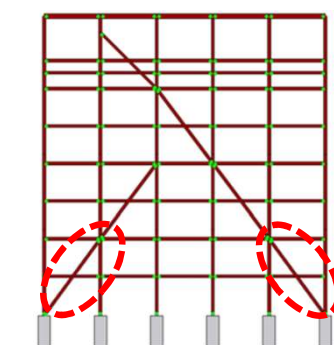
項目	年度/月	令和2年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
UCL系統冷却塔の交換・補修													
① 補修時の構造評価		評価				評価					評価		
② 交換・補修工事													
1) 交換・補修工事(前半)			木材の調達			工事(9/1~3)					木材の調達	工事(1/7~2/8)	
2) 交換・補修工事(後半)													事業者検査(3/30) 

① 交換・補修工事(前半)で行った対象筋かい (東西方向の最下段筋かいを全数交換) : 交換箇所

筋かい位置	対象筋かい	検定比「1」以上の本数	交換本数	交換後の「1」未満の割合
Main Bent	6本	3本	6本	100%
End Bent	2本	1本	2本	100%

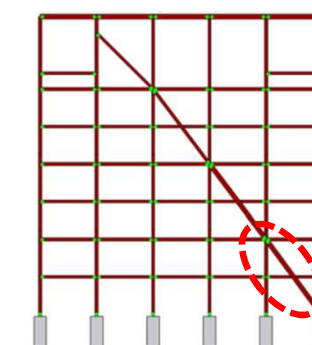
南-北方向 最下段部の筋かいの検定比は全て「0.75未満」
(検定比「1」以上の本数：0本/10本)であり、余裕があることを確認。

(1) Main Bent



2か所×3構面=6本

(2) End Bent

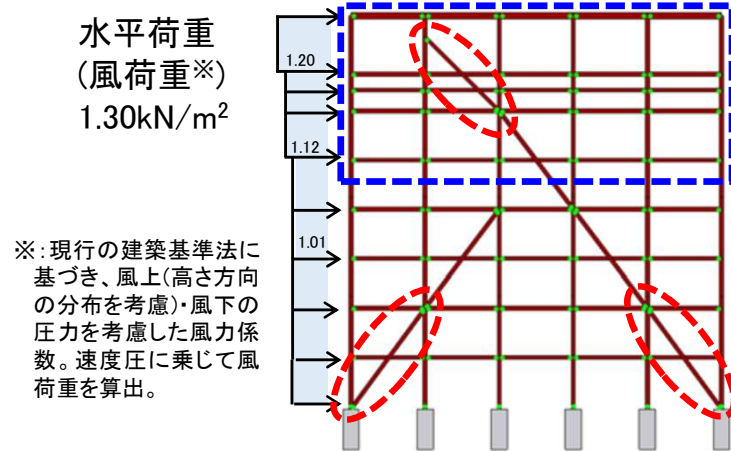


1か所×2構面=2本

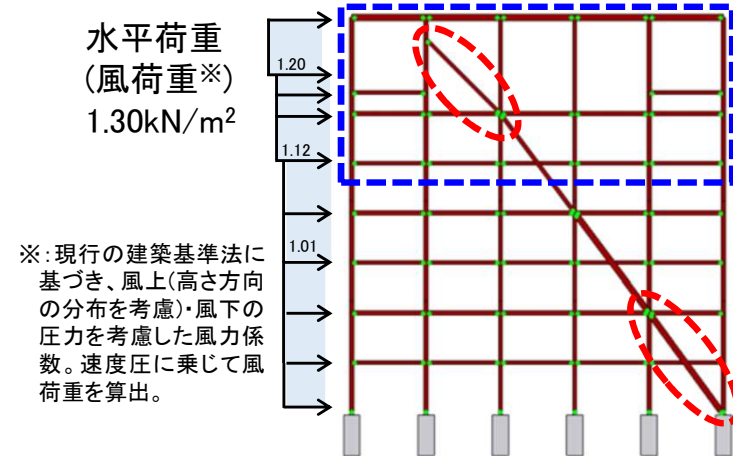
【参考⑥】 既存UCL系統冷却塔の交換・補修工事(2/2)

② 交換・補修工事(前半/後半)で行った交換・補修 : 筋かい交換箇所 : 柱(30本)交換箇所

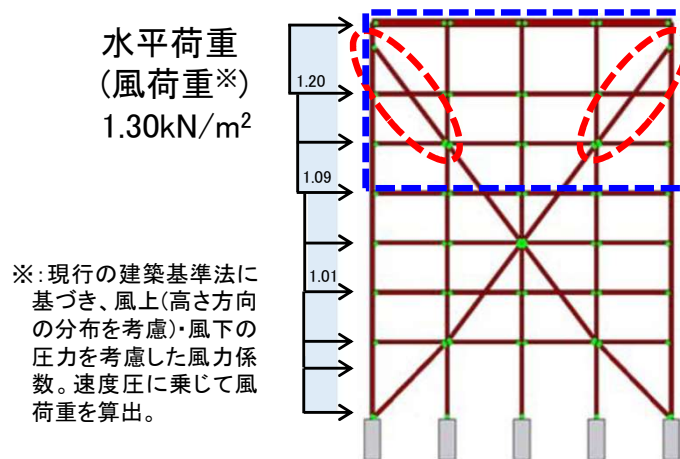
(1) Main Bent(東-西)



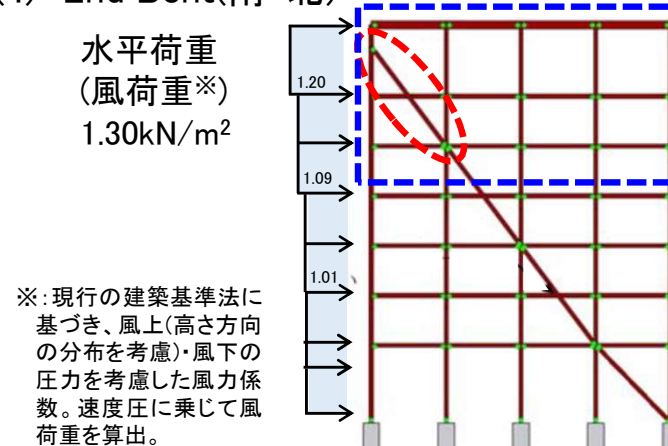
(3) End Bent(東-西)



(2) Main Bent(南-北)



(4) End Bent(南-北)



その他、エリミネーターサポート、階段踊場、塔内ラダー等の交換・補修を実施。
自主検査及び定期事業者検査を行い、合格。