

別添

JMTR（材料試験炉）二次冷却系統の冷却塔倒壊について（第2報）

添付 6 抜粋

令和元年 12 月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

目 次

1. 件名	1
2. 事象発生の日時	1
3. 事象発生の場所	1
4. 状況	1
5. 環境への影響	3
6. 今回の事象に対する対応措置	3
7. 事象発生場所の安全管理	4
8. 原因	5
8.1 原因調査	5
8.2 原因分析	10
9. 対策	10
10. 再発防止に向けた水平展開	11

図 表

図 1	大洗研究所施設配置図	12
図 2	JMTR 施設全体配置図	13
図 3	二次冷却系統冷却塔概略図	14
図 4	二次冷却系統概略図	15
図 5	風速及び風向の時間変化	16
図 6	二次冷却系統冷却塔の倒壊前と倒壊後の状況	19
図 7	破損した二次冷却系配管	23
図 8	線量当量率測定記録	25
図 9	二次冷却系配管フランジ部からの漏えい	26
図 10	二次冷却系統サンプリング水測定記録	28
図 11	排風機室の破損箇所及び措置対応	29
図 12	線量当量率測定記録	31
図 13	表面密度測定記録	32
図 14	モニタリングポストの指示値及び降水量	34
図 15	立入禁止措置の状況	35
図 16	二次冷却系配管の破損箇所の養生	37
図 17	二次冷却系統冷却塔のがれき等の撤去状況	42
図 18	二次冷却系統冷却塔の倒壊要因に係るフォルトツリー図	47
表 1	風向、風速、雨量の観測結果	48
表 2	時系列	51
表 3	二次冷却系統冷却塔の倒壊に係る基本事象の影響度評価	53

添 付 資 料

添付資料 1	材料試験炉（JMTR）の概要	54
添付資料 2	JMTR 原子炉施設施設定期自主検査記録 特定施設 二次冷却系統冷却塔 外観検査（抜粋）	55
添付資料 3	JMTR 特定施設 巡視点検表（原子炉停止中）（抜粋）	59
添付資料 4	二次冷却系統冷却塔の倒壊に係る基本事象ごとの 評価内容詳細	62
添付資料 5	木材の腐朽を考慮した解析検討による倒壊原因の推定	164
添付資料 6	同種の冷却塔への対応	175

同種の冷却塔への対応

1. UCL 系統冷却塔の概要

JMTR には、二次冷却系統冷却塔と同種の冷却塔として、二次冷却系統冷却塔と同時期に設置された木造の冷却塔である UCL (Utility Cooling Loop) 系統冷却塔がある。

UCL 系統は、図 1 に示すとおり、循環ポンプ、揚水ポンプ、高架水槽、冷却塔等の機器から構成され、原子炉付属の次の各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転されている。

- (1) ループの終段冷却系
- (2) 炉外試験設備
- (3) ディーゼル発電機
- (4) 空気圧縮機
- (5) 制御棒駆動装置

各設備を冷却し加熱された水は全て UCL 系ポンドに戻される。UCL 系ポンドと UCL 系統冷却塔との間に水を循環させて必要な除熱を行い、冷却された水は UCL 系ポンドから所定の圧力で各設備へ供給する。このように本系統は冷却塔循環回路と各設備への冷却水補給回路が分離され、圧力調整装置として高架水槽を有している。

二次冷却系統冷却塔とは異なり、UCL 系統冷却塔は 1 基のセルのみで構成されている。一方、二次冷却系統冷却塔及び UCL 系統冷却塔は、JMTR の建設当初の昭和 43 年度に建設され、ほぼ同時期に補修・交換が行われている。現在の UCL 系統冷却塔は、平成 11 年度に、当時主構造材の腐食、アンカーボルトの減肉・腐食が確認されたためセル塔体部、ファンスタック部及びアンカーボルトの更新を行った後、平成 30 年度には耐用年数の長期化を図るためセル塔体部のトップデッキ及びファンスタック部材を木製から FRP 製に更新されている。

UCL 系統冷却塔の概略図を図 2 に示す。また、主な仕様は以下のとおりである。UCL 系統冷却塔は、東西方向で約 10m、南北方向で約 8m となっている。一方、UCL 系統冷却塔は、南側に高さ約 10m のポンプ室建家が配置されている以外は、東側、西側及び北側には高い建家はない。なお、当時の設工認書には、二次冷却系統と同様に建築基準法に基づいた風荷重(200kgf/m²)で評価することが記載されている。ただし、UCL 系統冷却塔は、安全上の機能別重要度分類において対象外とされており、仮に UCL 系統冷却塔が倒壊した場合でも原子力施設の安全上問題はない。

- | | |
|--------|--------------------|
| (1) 構成 | 冷却塔ファン：1 基 |
| | ファンスタック (FRP)：1 基 |
| | セル塔体部主構造 (ダグラスファー) |

- | | |
|----------|--|
| (2) 主要寸法 | 縦：約 9.8m、横：約 7.9m、高さ：約 11.3m |
| (3) 機能 | 交換熱量 : 10 MW
冷却水流量 : 860 m ³ /h |
| (4) 使用状況 | 冷水ポンド水温が 32°C－28°Cの間で冷却塔ファン及び循環ポンプが自動起動・停止する。 |
| (5) 位置づけ | 法規制区分：原子炉施設（地震荷重：水平 0.4G、垂直 0.2G、風荷重：200kgf/m ² ） |

今回の二次冷却系統冷却塔の倒壊事象を受け、UCL 系統冷却塔の健全性調査を実施した。

2. 二次冷却系統の冷却塔倒壊に係る原因分析に基づく調査内容

UCL 系統冷却塔について、本文「8.2 原因分析」に示すとおり、以下の4つの原因について調査を行う。

(1) 冷却塔の特殊な構造について十分把握していなかったこと。

UCL 系統冷却塔は、メーカーと情報を共有し、二次冷却系統冷却塔と同じ設計思想で設計・設置されているものである。当時の構造計算書はメーカーで保管・管理されていないことから、構造計算を行い、その結果に基づき、点検を見直し、点検・保守計画を策定する。

(2) 実施していた点検では、木材内部の腐朽を把握できていなかったこと。

UCL 系統冷却塔の点検は、二次冷却系統冷却塔と同様に巡視及び点検並びに施設定期自主検査において、目視による点検を実施している。現状の UCL 系統冷却塔の健全性調査を行い、木材内部の腐朽状態等の調査を行う。健全性調査の結果をメーカーと共有し、UCL 系統冷却塔の補修、交換、補強等の計画を策定する。

(3) 使用環境が大きく変わったこと。

UCL 系統冷却塔は、平成 11 年に更新された後、約 20 年間経過していること、維持管理経験から約 30 年で更新を行っていること、JMTR 原子炉施設の廃止措置に伴い、廃止する設備に応じて必要な冷却容量は減少していくこと等を考慮して、使用環境の整理を行い、安全確保と合理的な維持管理を踏まえた検討を行う。

(4) 影響が最も大きくなる風向で水平荷重（風荷重）を受けたこと。

二次冷却系統冷却塔で調査した気象観測データ（添付資料 4 「⑫風雨の影響」）に基づき、風向の影響について調査した。また、実際に令和元年 10 月 12 日に関東・東北地方を直撃した台風 19 号では、UCL 系統冷却塔のデッキ部に風速計を設置し、その風速・風向を測定した。その結果を踏まえて、「3.1 UCL 系統冷却塔の構造評価」に示した UCL 系統冷却塔の構造計算においては、東西方向及び南北方向の風による風荷重の影響評価を行う。

3. 調査の進捗状況及び結果

3.1 UCL 系統冷却塔の構造評価

UCL 系統冷却塔の構造計算を開始するに当たり、二次冷却系統冷却塔と同様に、冷却塔の構造、寸法、重量等の基本パラメータを整理した。その結果を表 1 に示す。本情報に基づき、計算モデルを構築し、構造評価を行う。なお、施工図及び現場調査により、接合金物の取付け状態等を確認した。今後、構造計算の結果に基づき、点検を見直し、点検・保守計画を策定する。

3.2 UCL 系統冷却塔の木材健全性調査

(1) 針貫入試験結果

針貫入試験は、UCL 系統冷却塔の主構造部材のうち、二次冷却系統で実施した方法と同様に基礎部筋かいの下端部(接合部)及び中央部で行った。針貫入試験で使用した針直径は約 2mm の治具を用い、その深さを測定し、残存断面積比も算出した。針貫入試験の測定箇所を図 3 に、基礎部筋かいの針貫入試験の結果を表 2 に示す。得られた測定結果により、測定箇所と針貫入深さとの関係、測定箇所と残存断面積比の関係をそれぞれを図 4 及び図 5 に示す。この結果、基礎部筋かいの下端部及び中央部とも針貫入深さが 6mm～16mm の範囲であること、残存断面積比もほとんどの箇所で 7 割以上が維持でき、ほぼ一定であることが確認できた。これにより、二次冷却系統冷却塔の結果と比較して、常時運転状態である UCL 系統冷却塔については劣化の進行度は小さいことを確認した。

(2) 第三者機関による診断

第三者機関による木材の健全性確認を行った。本健全性確認では、1 次診断として視診、打診及び触診、2 次診断として高周波式含水率計、超音波測定器(ウッドポールテスタ)及び穿孔抵抗測定器(レジストグラフ)による計測機器を用いて行った。測定箇所は、主構造部材である筋かい、柱、横材等の一部(基礎部及び天井部)とした。

UCL 系統冷却塔の基礎部筋かい及び柱の診断の結果を図 6 に示す。この結果、常時運転状態であることから、一部の箇所を除き腐朽菌が定着するには至らず、明確に腐朽が進行している状態であることは確認できなかった。一方、UCL 系統冷却塔の上部は、雨水の影響により木材が劣化している部分が確認された。このことは、UCL 系統冷却塔下部と上部でも環境が大きく異なっていることから、点検項目については見直しが必要である。なお、劣化した木材については、早急に補修計画の策定を行う。

2 次診断では、1 次診断の結果に基づいて、測定箇所を選定し、上記の計測機器を用いて測定を行った。

まず、高周波式含水率は、生物劣化そのものを示す指標とはならないが、劣化の危険性(特に腐朽)を把握するために行った。この結果、運転状態である UCL 系統冷却塔内の木材の設置箇所により、水分の分布状態が異なることが分かった。また、超音波測定器による測定では、木材の個体差や環境起因による差異範囲内であり、内部欠陥等における劣化の評価は困難であった。これは、調査日が雨天

であったことから、測定箇所が含水率の高い状態であったことが考えられる。さらに、穿孔抵抗測定器による測定では、筋かいの有効断面積が 20%程度低減していることが示唆された。これは、針貫入試験で評価した残存断面積比とほぼ一致していた。針貫入試験で評価した残存断面積比では、接合部と中央部でほぼ同じであった。これらの結果を踏まえて、今後、点検内容の検討を行う。

3.3 UCL 系統冷却塔の使用環境調査

UCL 系統冷却塔は、平成 18 年 8 月の JMTR 運転停止以降、常時運転状態であり、UCL 冷却系統冷却塔の使用環境に大きな変化はない。廃止措置認可後、廃止措置第 1 段階では工程上、直ちに使用環境が変わることがない。このため、現状の UCL 系統冷却塔の維持管理において、点検の見直し、補修、交換、補強等の計画を策定する。

今後、UCL 系統冷却塔は、平成 11 年の更新後、約 20 年間経過していること、JMTR 原子炉施設の廃止措置に伴い、廃止する設備に応じて必要な冷却容量は減少すること等を考慮し、適切な時期に、UCL 系統冷却塔を小型の設備に置き換える変更計画を策定する。

3.4 気象データの調査

二次冷却系統冷却塔で調査した気象観測データ(添付資料 4 「⑫風雨の影響」)に基づき、風向の影響について調査した。過去 10 年間における各年の最大瞬間風速に係るデータ(表⑫-1 及び表⑫-2)から、各年度における最大瞬間風速 20m/s 以上は 1 回/年あったが、UCL 系統冷却塔については倒壊はしていない。

一方、UCL 系統冷却塔の南側にはポンプ室建家があり、JMTR 敷地内の配置を考慮すると、北方向の風が他施設への影響が最も大きくなる風向となる。気象データの調査の結果、北東もしくは北北東の風は、10 年間で 4 回あり、今回の二次冷却系統冷却塔の真東の風より発生回数が多いことから、調査・評価を行う。

4. 今後の対応

UCL 系統冷却塔について、二次冷却系統冷却塔の原因分析に基づいて、健全性調査を開始した。本健全性調査に基づいて、点検の見直しを行うとともに、補修、交換、補強等を行い、当面の間、設備を維持管理する。なお、これらの対応が完了するまでの間、台風等の強風の対策として行っている 4 方向からのワイヤーロープによる固定は継続し、倒壊した場合の周辺への影響を軽減する(図 7 参照)。

一方、UCL 系統は廃止措置の進捗状況に応じて必要な冷却能力は大幅に減少することも考慮して、適切な時期に、UCL 系統冷却塔を小型の設備に置き換える変更計画を策定する。

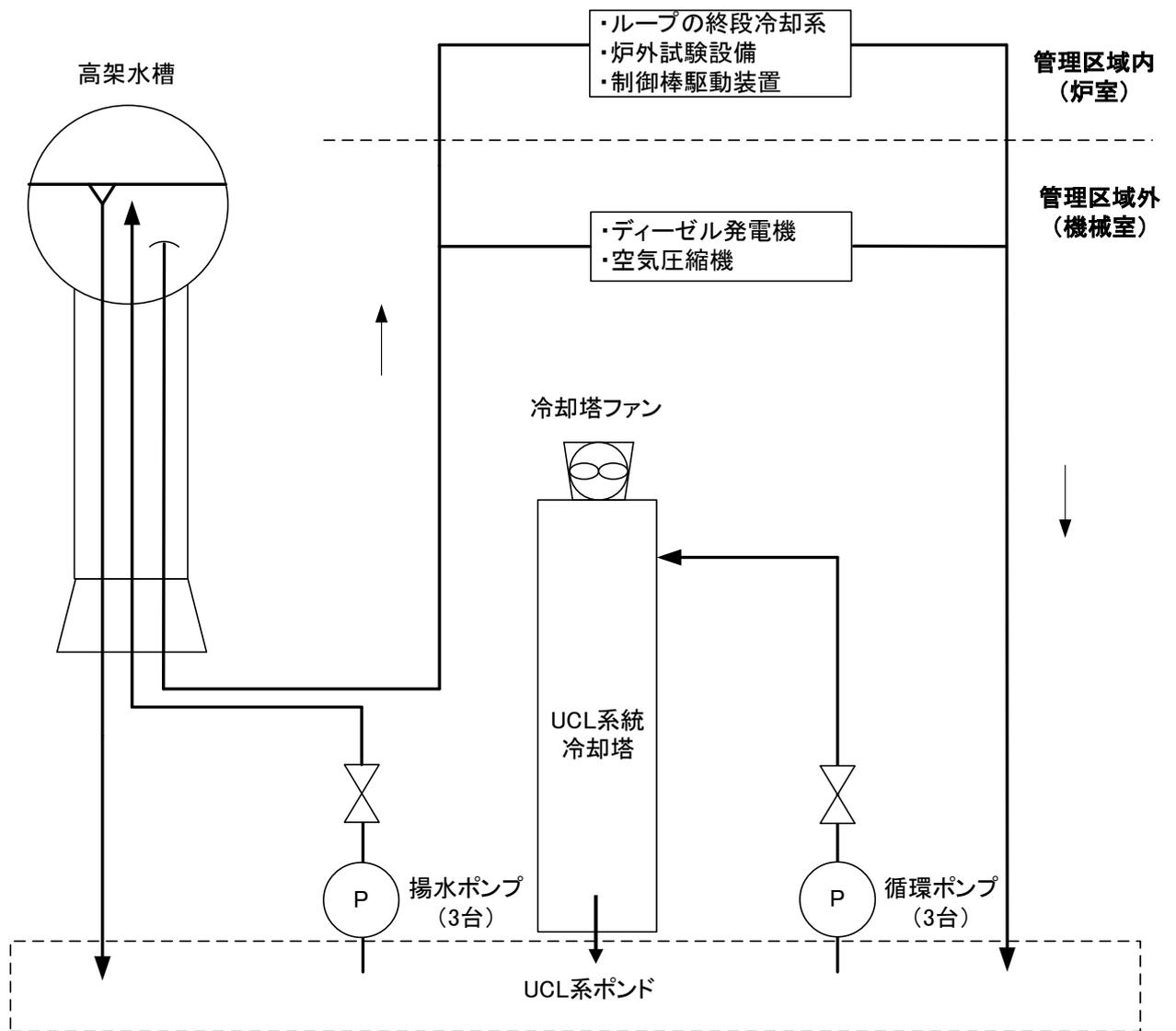


図1 UCL 系統の概略図

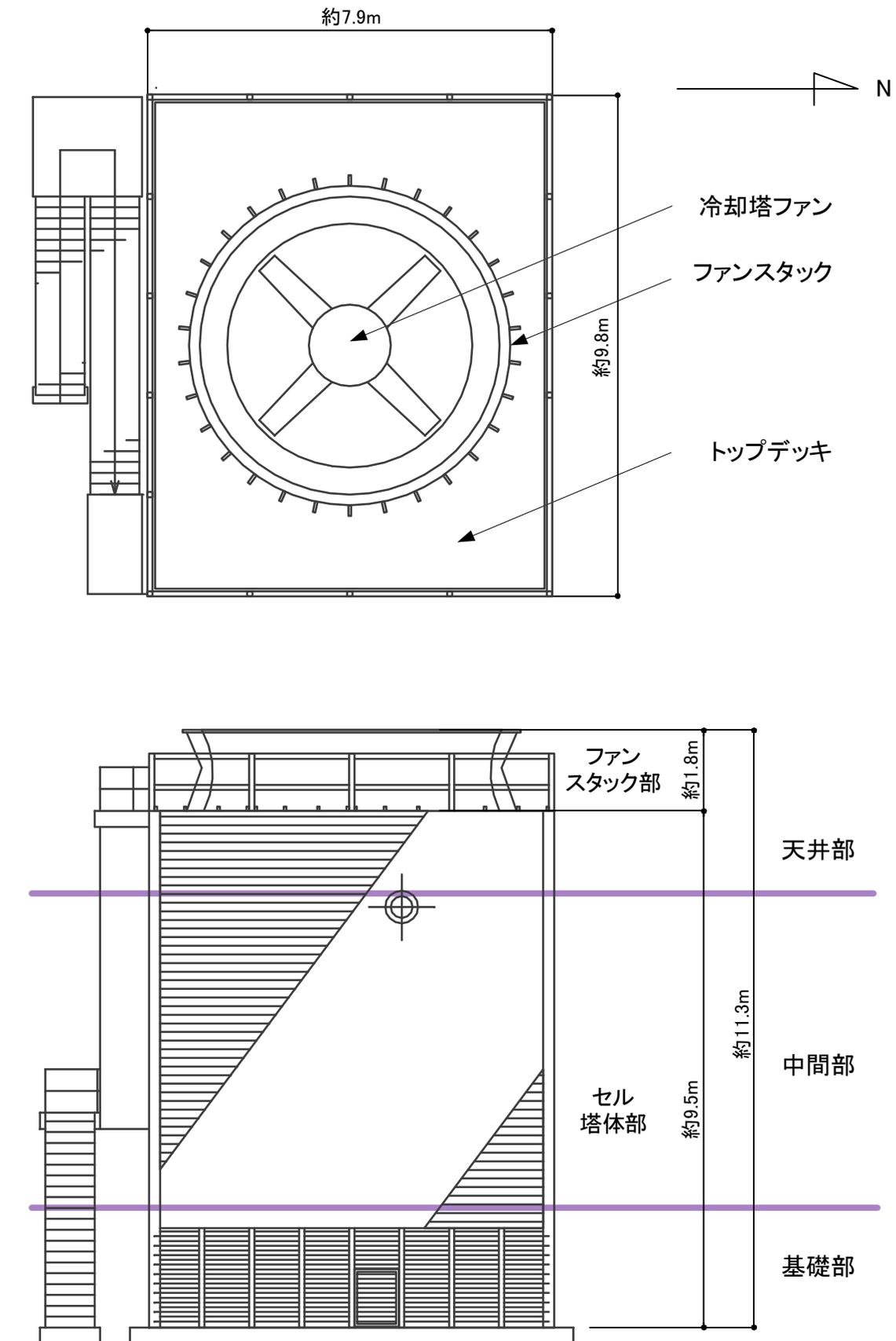
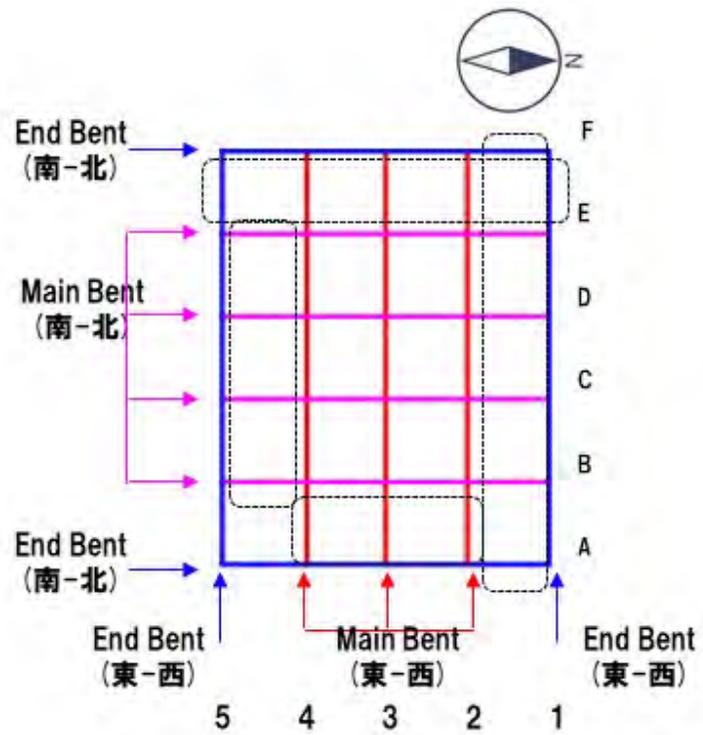


図2 UCL 系統冷却塔の概略図



(a) UCL系統冷却塔 平面図



(b) 針貫入試験の測定箇所

図3 UCL 系統冷却塔・筋かいの測定箇所(針貫入試験)

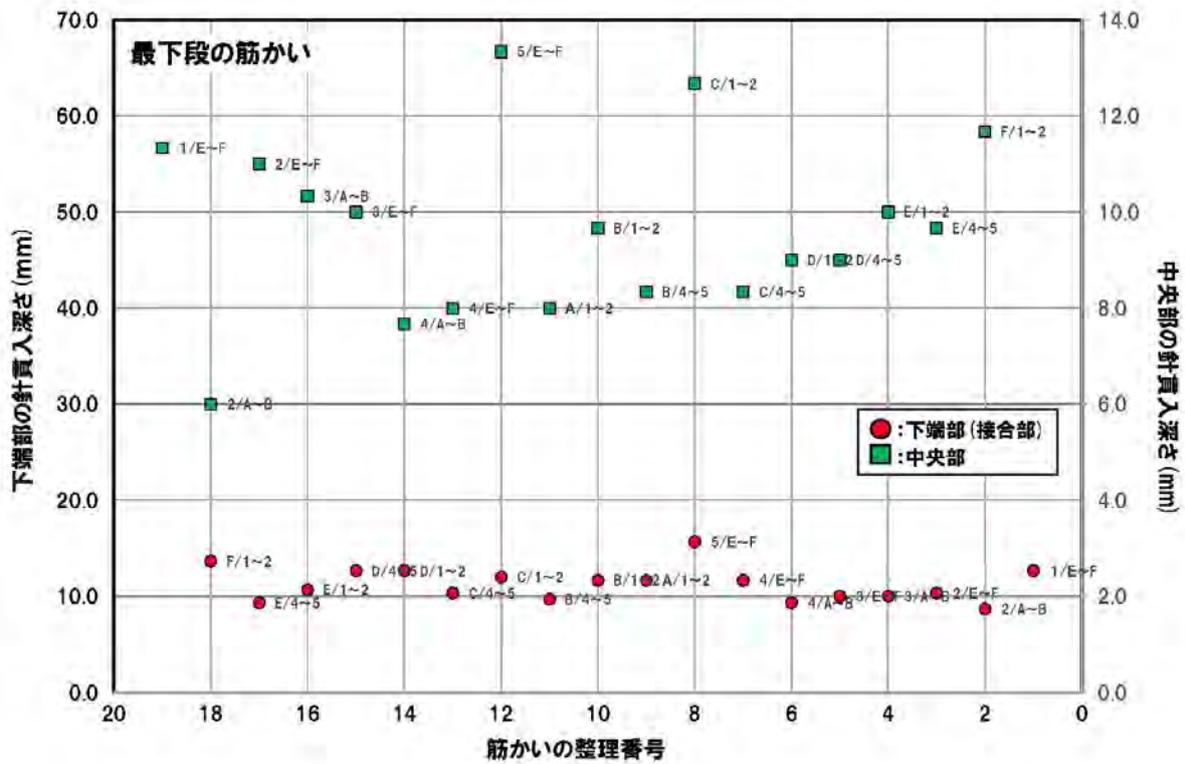


図4 UCL 系統冷却塔の筋かい部の針貫入試験結果

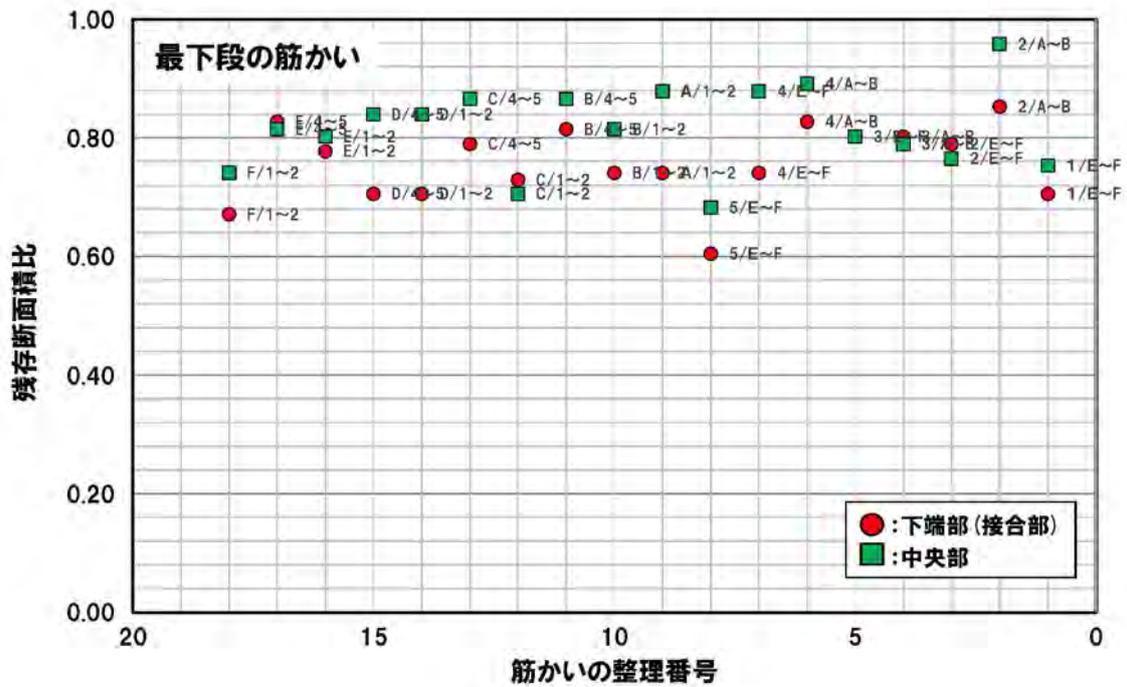
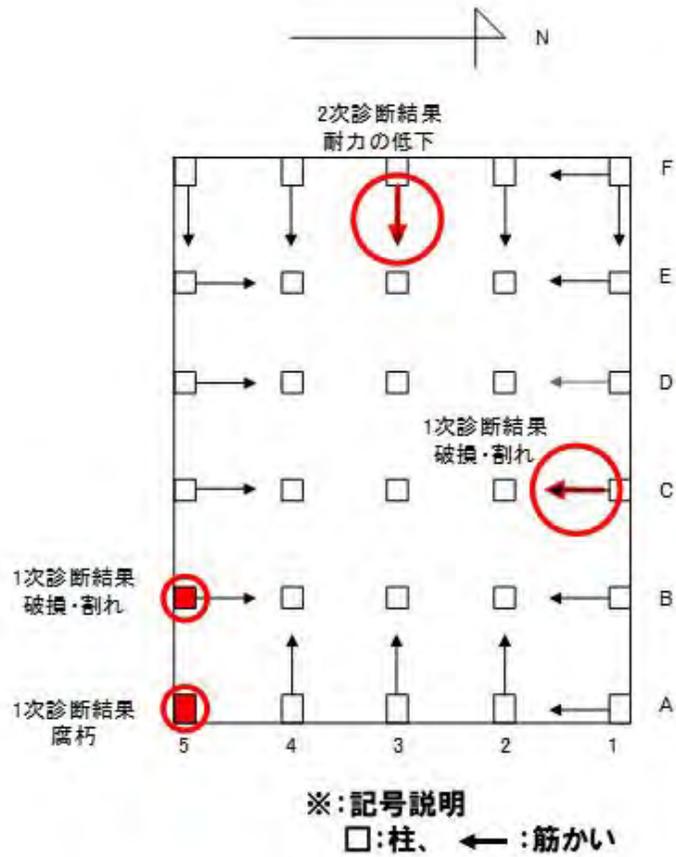


図5 UCL 系統冷却塔の筋かい部の残存断面積比



柱	筋かい
診断箇所: B-5	診断箇所: C-1
診断箇所: A-5	診断箇所: F-3

図6 UCL 系統冷却塔：基礎部の劣化箇所



図7 UCL 系統冷却塔：ワイヤーロープによる固定（令和元年11月25日撮影）

表1 UCL 系統冷却塔の主な仕様

項目	主な仕様
構造	木造軸組み
規模 (外形寸法)	塔高 11,607mm×塔幅 9,750mm×塔長 7,920mm（ファンスタック含む）
材料 (主構造材)	木製（ダグラスファー）、ファンスタック・トップデッキ（FRP 製）、 外壁（FRP 製波板）
重量 (内訳)	冷却塔総重量：18,948kg ファンガード：478kg、ファンスタック（FRP）：782kg、ファン：536kg、 減速機（オイル含む）：811kg、中間軸：77kg、電動機：600kg、 機械台：660kg、塔内散水管：1,600kg、外壁（FRP）：1,200kg、 その他（主に木材）：12,204kg

表2 UCL 系統冷却塔の針貫入試験結果

No	部 材 名 称	部 材 の 位 置		部 材 符 号	現場調査						備 考
					① 損 傷 の 状 態	② 劣 化 の 状 態	③ (3 回 貫 入 の 平 均 値)	1 回 目 (mm)	2 回 目 (mm)	3 回 目 (mm)	
1	筋かい	1/E~F	中央		○※1	○※2	11.3	11.0	12.0	11.0	
	EW		下端		○※1	○※2	12.7	15.0	12.0	11.0	
2	筋かい	2/A~B	中央		○※1	○※2	6.0	7.0	5.0	6.0	
	EW		下端		○※1	○※2	8.7	9.0	9.0	8.0	
3	筋かい	2/E~F	中央		○※1	○※2	11.0	9.0	14.0	10.0	
	EW		下端		○※1	○※2	10.3	11.0	10.0	10.0	
4	筋かい	3/A~B	中央		○※1	○※2	10.3	9.0	10.0	12.0	
	EW		下端		○※1	○※2	10.0	9.0	11.0	10.0	
5	筋かい	3/E~F	中央		○※1	○※2	10.0	8.0	12.0	10.0	
	EW		下端		○※1	○※2	10.0	10.0	10.0	10.0	
6	筋かい	4/A~B	中央		○※1	○※2	7.7	7.0	8.0	8.0	
	EW		下端		○※1	○※2	9.3	9.0	10.0	9.0	
7	筋かい	4/E~F	中央		○※1	○※2	8.0	8.0	8.0	8.0	
	EW		下端		○※1	○※2	11.7	11.0	13.0	11.0	
8	筋かい	5/E~F	中央		○※1	○※2	13.3	13.0	14.0	13.0	
	EW		下端		○※1	○※2	15.7	15.0	17.0	15.0	
9	筋かい	A/1~2	中央		○※1	○※2	8.0	8.0	8.0	8.0	
	NS		下端		○※1	○※2	11.7	11.0	13.0	11.0	
10	筋かい	B/1~2	中央		○※1	○※2	9.7	10.0	10.0	9.0	
	NS		下端		○※1	○※2	11.7	14.0	13.0	8.0	
11	筋かい	B/4~5	中央		○※1	○※2	8.3	8.0	9.0	8.0	
	NS		下端		○※1	○※2	9.7	9.0	11.0	9.0	
12	筋かい	C/1~2	中央		○※1	○※2	12.7	13.0	16.0	9.0	
	NS		下端		○※1	○※2	12.0	15.0	12.0	9.0	
13	筋かい	C/4~5	中央		○※1	○※2	8.3	9.0	8.0	8.0	
	NS		下端		○※1	○※2	10.3	10.0	12.0	9.0	
14	筋かい	D/1~2	中央		○※1	○※2	9.0	9.0	9.0	9.0	
	NS		下端		○※1	○※2	12.7	13.0	12.0	13.0	
15	筋かい	D/4~5	中央		○※1	○※2	9.0	9.0	9.0	9.0	
	NS		下端		○※1	○※2	12.7	13.0	12.0	13.0	
16	筋かい	E/1~2	中央		○※1	○※2	10.0	10.0	10.0	10.0	
	NS		下端		○※1	○※2	10.7	12.0	10.0	10.0	
17	筋かい	E/4~5	中央		○※1	○※2	9.7	8.0	11.0	10.0	
	NS		下端		○※1	○※2	9.3	9.0	10.0	9.0	
18	筋かい	F/1~2	中央		○※1	○※2	11.7	11.0	13.0	11.0	
	NS		下端		○※1	○※2	13.7	13.0	15.0	13.0	
注 記	(1)損傷の状態(○※)：目視点検において木材強度に影響する明らかな損傷が認められない状態を示す。 (2)劣化の状態(○※)：目視点検において木材強度に影響する明らかな劣化が認められない状態を示す。 (3)針貫入試験：針の直径約2mmの治具により貫入深さを計測（貫入寸法はJIS1級孔税巻尺にて計測）										