

重層式冷却塔の紹介

Double-Deck Cooling Tower for DHC.



冷却塔事業部 生産部
小林 敏 晴
Toshiharu Kobayashi

Recently city redevelopment project is booming in Japan for the forthcoming 21st Century, and district heating and cooling systems (DHC) are now being employed in a number of buildings.

DHC of Makuhari New Town, noted for a large-scale DHC, is intended for supply of thermal energy to Makuhari Messe; the site of the largest International Exposition in Japan, hotels, business buildings and the like. We were awarded contracts by Tokyo Gas Co. for double-deck cooling towers for DHC purpose in capacity of 8,000 RT, and delivered them in June, this year. As compared with the conventional air-conditioning cooling towers, demand is increasing rapidly in Japan for DHC cooling towers which could have large capacity in a compact design and in reliable construction as well. The double-deck cooling towers recently delivered not only satisfy these requirements, but also are designed to abate adverse effect on local environment such as noise, visible plume and vibration.

まえがき

21世紀に向け都市再開発が盛んに行われている。これに伴い、地域冷暖房（District Heating and Cooling 以下DHC）が多く採用されている。

その代表的なDHCとして幕張新都心DHCがある。このDHCから、わが国最大の国際展示場である幕張メッセ、ホテル、業務ビルなどへ熱供給を行う。当社は、DHCの事業者である東京ガス（株）より第一期分として8000RTの重層式冷却塔を受注し本年6月に納入した。DHC向け冷却塔は、従来の空調用冷却塔に比べ、大容量のものをコンパクトにし、かつ耐久性に優れた冷却塔が要求される。今回納入した重層式冷却塔は、これらの要求を満足するだけでなく、環境に対する影響も配慮し、騒音、白煙、振動対策を備えたものである。その概要をここに紹介する。

1. 冷却塔の概要

今回納入した冷却塔8000RTのうち、500RT×4基は従来型単一充填層の一体構造になっており、1500RT×4基は重層式の一体構造となっている。写真1、2は重層式冷却塔の全影を示す。第1図に全体図、第2図に断面図を示す。

1.1 設計条件

(1) 容 量

RD : 1 CT 500RT (450 m³/h) × 1 基

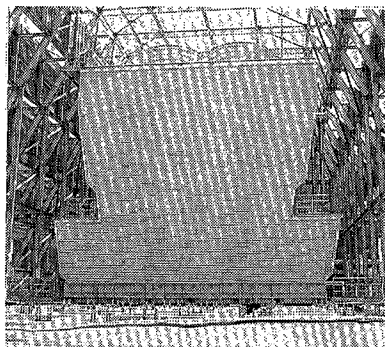
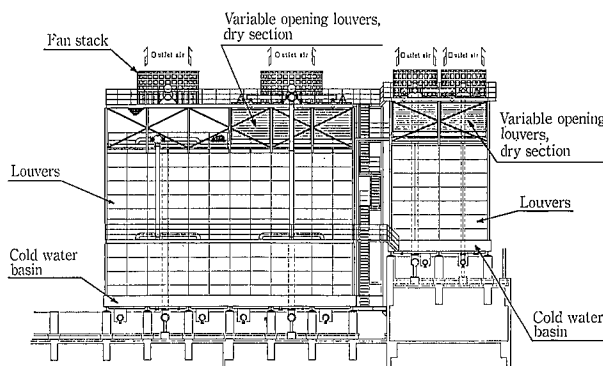
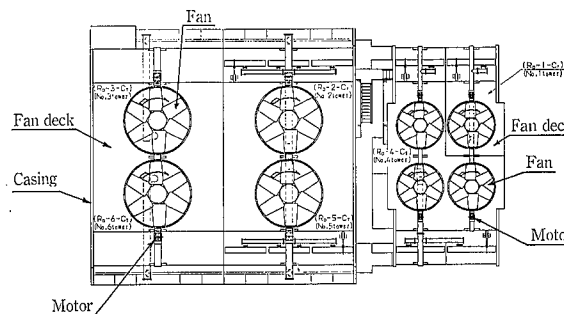


写真1
重層式冷却塔の全影
Photo. 1
Overall view of
double-deck cooling
tower

- RD : 2 ~ 6 CT 1500RT (1400 m³/h) × 5 基
- (2) 温度条件
 入口水温 38 °C
 出口水温 32 °C
 温球温度 27 °C
- (3) 耐 震
 1.0 G (アンカーボルト1.5 G)
- (4) 騒音値
 RD : 1.4 CT 500 RT
 ファスタック天端 45° 1 m点 78 dB(A)
 RD : 2. 3. 5. 6. CT 1500 RT



第1図 全体図
Fig. 1 Schematic drawing

ファンスタック天端 45° 1m点 83 dB(A)

(5) 白煙長さ

条件：外気温度 0°C
 相対湿度 70(%)
 温度差 6°Cの時

RD: 1.4 CT 6m以下

RD: 2.5 CT 9m以下

1.2 冷却塔諸元

RD: 1.4 CT 500 RT × 4基

RD: 2.3.5.6 CT 1500 × 4基

(1) 塔形式 強制通風直交流低騒音白煙対策冷却塔

| | | RD: 1.4 CT 500 RT × 4基 | RD: 2.3.5.6 CT 1500 RT × 4基 |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 塔 寸 法 | 全長 | 7 250 mm | 18 250 mm |
| | 全幅 | 15 000 mm | 17 470 mm |
| | 塔高 | 11 110 mm | 14 610 mm |
| | 全高 | 13 110 mm | 17 010 mm |
| 運 転 重 量 | 108 880 kg | 385 870 kg | |
| 送 風 機 | 型式 | 軸流型低騒音ファン | 軸流型低騒音ファン |
| | 直径 | 3 050 mm | 4 455 mm |
| | 枚数 | 6 枚 | 6 枚 |
| | 台数 | 4 台 | 4 台 |
| 電 動 機 | 型式 | 屋外型全閉外扇三相誘導電動機 | |
| | 定格 | 30 kW 4p 400 V 50 Hz | 100 kW 4p 400 V 50 Hz |
| | 台数 | 4 台 | 4 台(内 1 台は4/8P) |
| 減 速 機 | 形式 | スパイラルベベルギア | スパイラルベベルおよびヘリカルギア |
| | 減速比 | 1/5.12 | 1/7.14 |
| | 台数 | 4 台 | 4 台 |
| 空 気 加 熱 器 (RD: 1.4, 2, 5に取付) | 形式 | L型巻付フィン | L型巻付フィン |
| | ダンパー用モーター | 0.20 kW | 0.20 kW |
| | 台数 | 3 台 | 2 台 |
| 防 振 装 置 | 型式 | 防振パッド | 防振パッド |
| | 台数 | 一式 | 一式 |
| 振 動 監 視 装 置 | (振動速度モニター MODEL-1590-23) | | |
| | 型式 | 動電型速度センサー | |

1.3 冷却塔材質

- (1) 主要構造材 : 溶融亜鉛メッキ鋼
- (2) 外装・ルーバー : ノンアスベストセメント波板
- (3) 充填材 : 硬質塩化ビニール
- (4) エリミネーター : 硬質塩化ビニール
- (5) 上部・下部水槽 : FRP
- (6) ファンスタック : FRP
- (7) 空気加熱器 : フィン — アルミニウム
 チューブ — STB溶融亜鉛メッキ
 ダンパー — アルミニウム

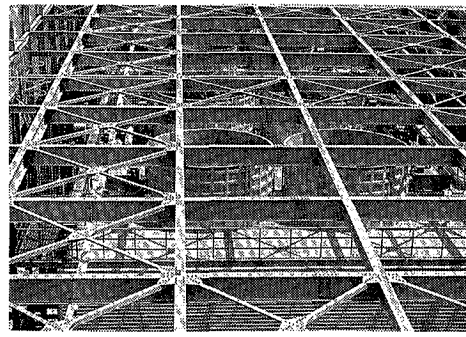
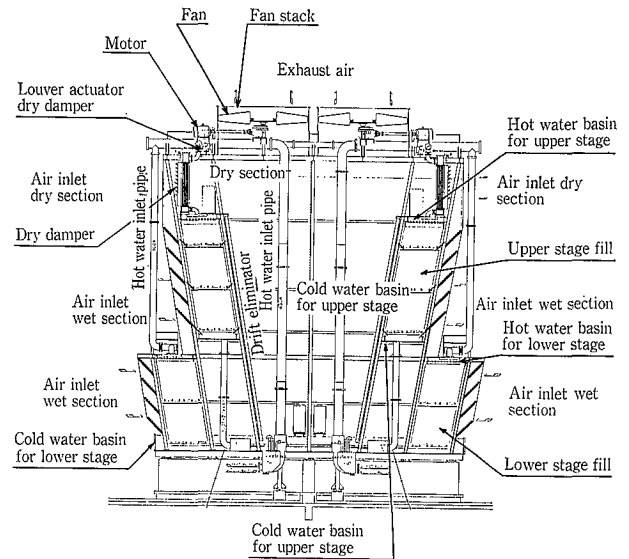


写真 2 重層式冷却塔

Photo. 2 Double-deck cooling tower



第2図 断面構造図

Fig. 2 Sectional drawing

2. 特長

2.1 重層式構造

重層式冷却塔は、設置面積を最小にするため新しく開発した冷却塔である。上層下層に独立した充填層、散水機構を備え、通風は塔上部に設置した送風機単体で上下層を共通に行うものである。今回1500 RT × 4基にこの方式を採用している。水および空気の流れを第3図に示す。

2.2 白煙対策

冬期および中間期に冷却塔から出る白煙(可視ブルーム)を低減するために、空気加熱器が組込まれている。空気加熱の熱源としては冷却水の戻り水(温水)を利用し、新たな熱源を必要としない省エネルギータイプを採用している。通常夏期などの白煙の少ない時期は、ダンパーを閉め従来の湿式運転を行うものである。

当社の白煙対策方式は

CPWD (Cross Path Wet & Dry の略)

第4図と PPWD (Parallel Path Wet & Dry の略)

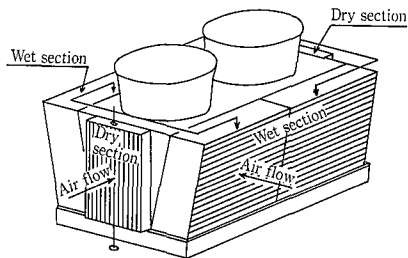
第5図の2種類に大別される。

今回スペース制限もありPPWD方式を採用した。

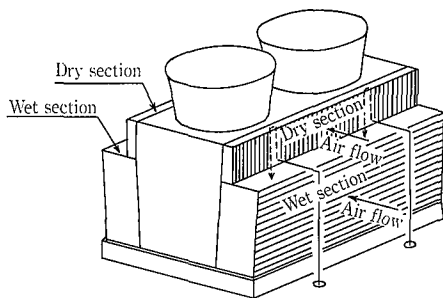
ダンパーの開閉は全てシリンダーモーターにより行っている。写真3は空気加熱器を示す。



写真 3 空気加熱器
Photo. 3 Dry section



第 4 図 交叉流式乾湿併用形冷却塔
Fig. 4 Cross path wet & dry



第 5 図 並流式乾湿併用形冷却塔
Fig. 5 Parallel path wet & dry

2. 3 振動対策

(1) 冷却塔からの振動源は送風機、水の落下音などによるが送風機からの振動が大勢を占める。

防振検討に当たっては、実規模の実績がないため他社納入DHC向冷却塔の加振力測定を実施し、これを冷却塔用加振力に修正した。

防振検討に当たってはスラブの振動応答特性についても重要な要素である。これらは計算値により求められるがより確実性を得るため現地実測を併用することにした。

防振検討フローを第 6 図に示す。

(2) 冷却塔設置直下階の室内環境条件は、第 1 表より求める。

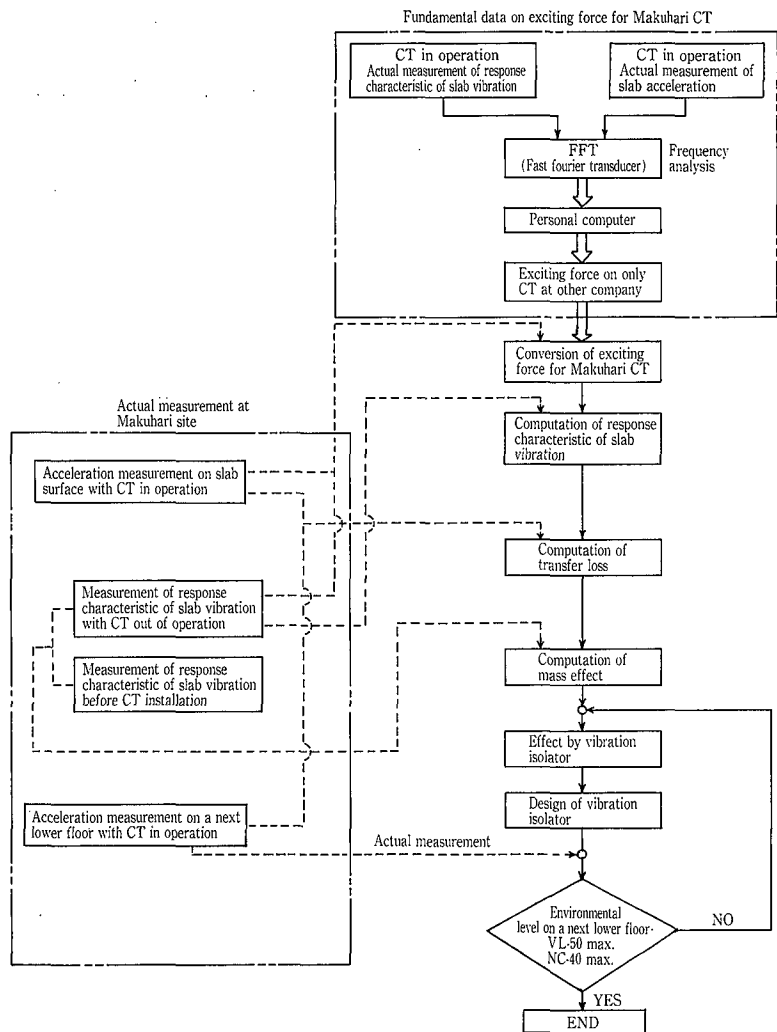
今回冷却塔設置直下階は機械室および中央監視、談話室、控室であることから

VL-50, NC-40 以下とした。

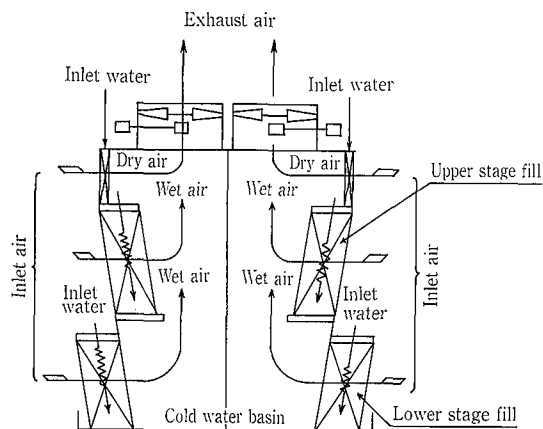
(注) VL=VIBRATION LEVEL

NC=NOISE CRITERION

今回このレベルをクリアーするため防振パッドを採用した。第 7 図に防振した場合としない場合の検討結果を示す。



第 6 図 防振検討フローチャート
Fig. 6 Flow chart of vibration control study



第 3 図 水及び空気の流れ
Fig. 3 Water and air flow

2. 4 振動監視装置

振動監視を実施する場合その発生する振動成分および、周波数帯域により使用するセンサー、またはモードを決定する必要がある。センサーには圧電型加速度センサー、動電型センサーとがある。モードには加速度(G)、速度(mm

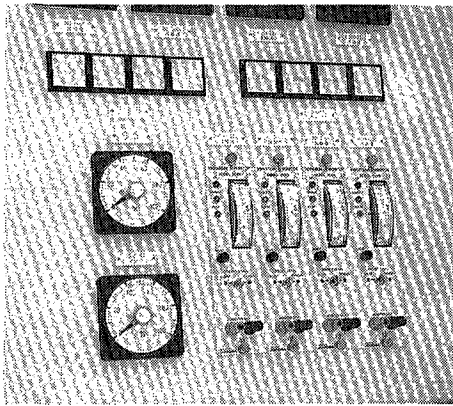
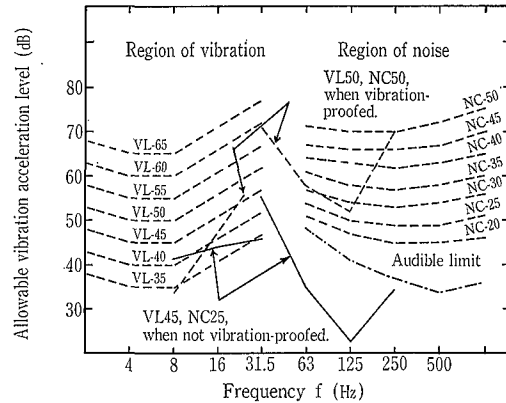


写真 4 振動監視装置
Photo. 4 Vibration monitor



第 7 図 防振検討結果
Fig. 7 Results of vibration control study

第 1 表 室内騒音と振動許容値

Table 1 Room noise and allowable limits of vibration

| Kind of room | NC value | Noise level dB(A) | VL value |
|------------------------------------|----------|-------------------|----------|
| Radio (TV) studio | NC-15~20 | 25~30 | 40 |
| Concert hall | NC-15~20 | 25~30 | |
| Theater (500 people) | NC-20~25 | 30~35 | |
| Music room | NC-25 | 35 | 50 |
| Schoolroom (without loudspeaker) | NC-25 | 35 | |
| Apartment House/Hotel | NC-25~30 | 35~40 | |
| Conference hall (with loudspeaker) | NC-25~30 | 35~40 | 55 |
| Home | NC-30 | 40 | |
| Movie theater | NC-30 | 40 | |
| Hospital | NC-30 | 40 | 60 |
| Library | NC-30 | 40 | |
| Store | NC-35~40 | 45~50 | |
| Restaurant | NC-45 | 55 | |

第 2 表 冷却塔送風装置の基本発生周波数

Table 2 Fundamental generated frequency of mechanical equipment for cooling tower

| RD-1, 4CT | | Generated frequency | RD-1, 4CT motor (30kW) | | | |
|--|---------|---------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|
| Frequency of drive shaft | 25 Hz | Bearing No. | Defective outer race | Defective inner race | Defective rolling element | |
| Frequency of fan shaft | 4.19 Hz | | 6315 | 75.2 Hz | 120 Hz | 100.5 Hz |
| Frequency of spiral gear engagement | 275 Hz | 6212 | 99.6 Hz | 144.5 Hz | 256.2 Hz | |
| Frequency of fan tip passage | 29 Hz | | | | | |
| RD-2, 3, 5, 6CT | | Generated frequency | RD-2, 3, 5, 6CT motor (100kW) | | | |
| Frequency of drive shaft | 25 Hz | Bearing No. | Defective outer race | Defective inner race | Defective rolling element | |
| Frequency of fan shaft | 3.50 Hz | | 6318 | 76.1 Hz | 120.7 Hz | 205.6 Hz |
| Frequency of spiral gear engagement | 525 Hz | 6316 | 75.9 Hz | 120.9 Hz | 203.6 Hz | |
| Frequency of fan tip passage | 20.7 Hz | | | | | |
| Rotational frequency of intermediate shaft | 9.9 Hz | | | | | |
| Frequency of helical gear engagement | 287 Hz | | | | | |

/s), 変位(μ)がある。従来は変位にて送風機の振動管理を実施していたが本装置採用に当り、他社納入冷却塔での調査の結果は次のとおりである。

- (1) 冷却塔のような振動発生周波数の低い帯域では加速度はノイズに埋もれる。
- (2) コンピューター管理を考えた場合、微分、積分することなく信号がとれること。
- (3) 圧電型センサーは加速度モードのため速度モードにて計測する場合積分器が別途必要となる。また、熱、温度、風に影響を受けやすいため冷却塔内部には不適合である。

以上の結果よりモードは速度 mm/s, センサーは動電型センサーを使用した。

メーカー：昭和測器(株) 振動速度モニター
MODEL-1590-23
動電型センサー 2015W
検出器ケーブル

今回の振動監視装置は現場操作盤および中央監視室においてもモニターができるようになっている。

アラーム設定値：9 mm/s

トリップ設定値：12 mm/s で設定

第 2 表に納入冷却塔送風装置の基本発生周波数を示す。写真 4 は振動監視装置を現場操作盤に組込んだ状態を示す。

第 8 図に Wiring diagram を示す。

第 9 図に FFT アナライザにて周波数分析した冷却塔減速機部での速度を示す。

2.5 下部水槽

(1) 耐食性

冷却塔の下部水槽は特に耐食性を考慮し、溶融亜鉛鍍金鋼のフレームに内面 FRP 製の水槽とした。

溶融亜鉛鍍金付着量：550 g/m² 以上

FRP 板厚：6.0 mm

写真 5 は RD-2.3.5.6. CT の下部水槽を示す。

(2) 水槽深さ

大型冷却塔の場合起動時下部水槽から空気の巻込みが心配される。

水位決定は次のように決定した。

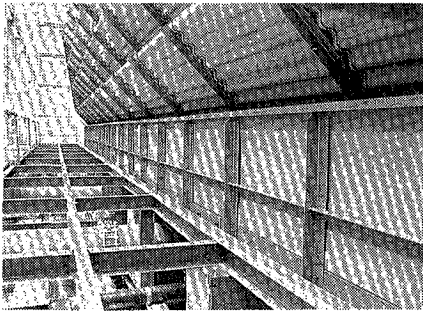


写真 5
下部水槽
Photo. 5
Cold water basin
for lower stage

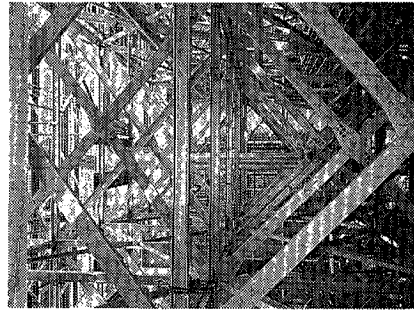
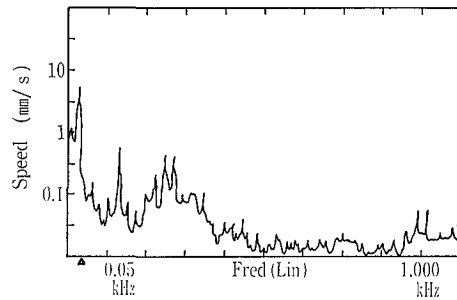
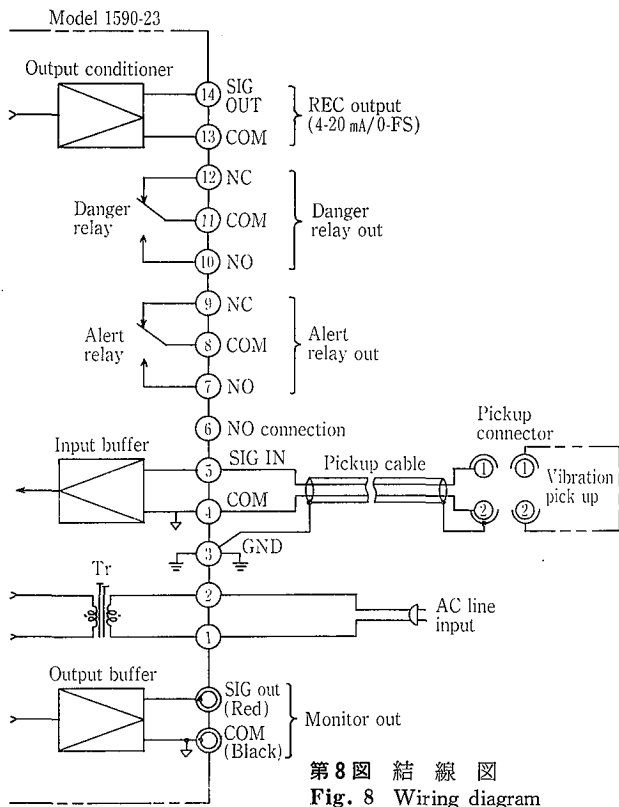


写真 6
骨組ブレース
Photo. 6
Framework braces



第9図 減速機の振動値
Fig. 9 Frequency of speed reducer

3) 構造 : ブレース構造, ピン接合とした。

4) 鋼材表面処理: 熔融亜鉛鍍金 HD Z-55

5) 主構造材

(1) RD-1.4CT

柱 : H125×125×6.5×9

梁 : H248×124×5×8

ブレース : [150×75×9×12.5

アンカーボルト : M30 56本

(寸法)

長さ : 7.25 m

幅 : 15.00 m

高 : 11.11 m

重量 : 108.80 ton

(2) RD-2.3.5.6. CT

柱 : H125×125×6.5×9

梁 : H248×124×5×8

ブレース : [150×75×9×12.5

アンカーボルト : M30 196本

(寸法)

長さ : 18.25 m

幅 : 17.47 m

高 : 14.61 m

重量 : 385.87 ton

むすび

重層式冷却塔は省スペース化を目的として開発されたもので、幕張新都心DHCが実用塔第1号であり、引続き第2号機が新宿DHC(50,000 RT)へ納入することになっている。その他DHCだけではなく工場向なども含め具体的な引合が増えてきている。当社としては、さらに省スペース化を図るため技術開発を進めていきたい。

冷却塔

| 下部水槽寸法 | RD-1.4CT | RD-2.3.5.6C |
|------------|----------|-------------|
| 長さ | 11.76 m | 15.15 m |
| 幅 | 7.40 m | 9.20 m |
| 深さ | 0.80 m | 0.80 m |
| 標準運転水位 | 0.30 m | 0.35 m |
| 停止時の水位上昇 | 0.21 m | 0.24 m |
| オーバーフローレベル | 0.6 m | 0.65 m |

2.6 耐震構造

1) DHC向冷却塔の場合耐震構造が要求される。一般的にはビルの屋上設置が多いため階数に関係なく設計用水平震度(KH)=1.0Gが要求される。本冷却塔についても同様水平震度1.0G(アンカーボルトは1.5G)で設計した。

写真6は骨組ブレースを示す。

2) 適応規準

建築基準法 : 同施行令

日本建築学会 : 鋼構造設計規準