

## 大阪市中浜下水処理場 ポンプ棟雨水ポンプ機械設備工事

庄 司 洋 右\* 伊 藤 亘\* 萩 野 光 俊\*\*

### Runoff Rainwater Pumps and Auxiliary Equipment for the Nakahama Sewage Plant, Osaka City

by Yousuke SHOUJI, Wataru ITOU, & Mitsutoshi HAGINO

Ebara's runoff rainwater pump (ø 1800 mm vertical volute, mixed-flow type) system has been installed 34 m below ground level at Osaka City's Nakahama Sewage Plant to cope with sudden rapid influx of rainwater. This pump is capable of high speed drainage, as well as a low speed standby operation. Its design includes resonance prevention worked out from vibration analysis results, including those on the motor and its reducer, considering the wide range of pump speed control. Noise prevention and reduction has been realized by use of a gas turbine power generator as the motor's power source. Another feature for minimizing the impact on the environment would be the spraying of pure water on the gas turbine engine combustor for inhibiting the generation of nitrogen oxides.

**Keywords:** Drainage pumping station, Vertical volute type mixed flow pump, Speed control, In-pipe heat exchanger, Gas turbine generator

#### 1. はじめに

大阪市は浸水対策事業として、中浜下水処理場内に雨水排水を目的としたポンプ棟を建設した。

当社〔株荏原由倉ハイドロテック〕は、雨水排水の核となる雨水ポンプ設備、電源設備、雨水ポンプ関連の付帯設備について新設工事を請け負い、2006年12月から2011年3月にわたり機械製作及び据付工事、試運転調整を行い無事大阪市への引き渡しを完了した。

ここに当社が納入した雨水ポンプ設備の概要を紹介する。

#### 2. 雨水ポンプ施設の概要

ポンプ棟は、地上6階、地下4階で構成された円形の建築物である。中浜下水処理場内にあり、場内は桜並木やせせらぎが整備されており、市民の憩いの場として開放されている（写真1、図1～4）。

雨水ポンプは雨水幹線からの急激な流入量の変化に対応できるよう先行待機形ポンプが採用された。また、処

理場周辺は住宅地であることから環境への影響を十分考慮する必要があり、雨水ポンプ施設では環境への負荷をできるだけ低減するよう配慮した。

雨水ポンプ設備は、雨水ポンプ、歯車減速機、電動機等で構成され、電源設備としてはガスタービン発電機が採用されている。その他関連付帯設備を含めた基本仕様は次のとおりである（表1）。



11-70 01/233

写真1 ポンプ棟外観

Photo 1 General view of pumping station

\* 株荏原由倉ハイドロテック

\*\* 風水力機械カンパニー カスタムポンプ事業統括 富津工場  
ポンプ技術第一室



表1 雨水ポンプ設備の仕様  
Table 1 Specifications of equipment

機器名 Equipment	形式 Type	数量 Sets	基本仕様 Specifications
雨水ポンプ Rainwater pump	立軸斜流渦巻ポンプ Vertical volute type mixed flow pump	2台	口径1800 mm 吐出し量570 m <sup>3</sup> /min × 全揚程36 m × 出力4330 kW Bore 1800 mm Flow rate 570 m <sup>3</sup> /min × Total head 36 m × Output 4330 kW
歯車減速機 Reduction gear	立軸平行軸歯車減速機 Parallel shaft reduction gear unit	2台	1段減速 減速比 3.613 防音カバー付き Single-stage reduction Reduction gear ratio 3.613 With soundproof cover
電動機 Electric motor	立軸巻線形三相誘導電動機 Vertical three-phase wound-rotor induction motor	2台	電圧 AC 6600 V × 周波数60 Hz × 極数8 P × 出力4700 kW 二次抵抗による回転速度制御 二次抵抗器として液体抵抗器 Voltage AC 6600 V × Frequency 60 Hz × Number of poles 8 × Output 4700 kW Speed control by second resistance Second resistance as liquid resistor
吐出し弁 Discharge valve	電動バタフライ弁 Motor operated butterfly valve	2台	口径1800 mm 弁座はメタルタッチ Bore 1800 mm Metal valve seat type
吐出し管 Discharge pipe	ダクタイル鋳鉄管 Ductile iron pipe	2台分	口径1800 mm ~ 2000 mm Bore 1800 mm ~ 2000 mm
管内クーラ In-pipe heat exchanger	-	2台	口径2000 mm 交換熱量260 kW Bore 2000 mm Heat exchanger capacity 260 kW
フラップ弁 Flap valve	角形 Square type	2台	口径2000 mm × 2900 mm Bore 2000 mm × 2900 mm
冷却塔 Cooling tower	開放式角形冷却塔 Open type corner type cooling tower	1台	交換熱量421 kW Heat exchanger capacity 421 kW
ガスタービン発電機 Gas turbine generator	単純開放サイクル1軸式ガスタービン及び三相交流同期発電機 Simple open-cycle single-shaft gas turbine and three-phase synchronous generator	2台	定格出力6000 kVA 電圧AC 6600V 使用燃料 灯油 純水噴霧式 Output 6000 kVA Voltage AC 6600V Fuel kerosene Pure water atomization type



11-70 02/233

写真2 雨水ポンプ外観  
Photo 2 Main pump at site



11-70 03/233

写真3 電動機外観  
Photo 3 Electric motor at site

ている。

雨水ポンプ設備で特に検討した事項は以下のとおりである。

### 3-1 先行待機運転

雨水ポンプは低速回転による先行待機運転を行う。ポンプ井水位が排水開始水位以下では低速回転とし、雨水

をかくはんしながらの運転で待機する。その際、小水量をポンプ吐出し側からポンプ井に戻すことでポンプ内の温度上昇を抑制している。ポンプ井水位が排水開始水位以上となれば全速回転に移行する。

この回転速度制御によるポンプ特性と運転水位条件から、運転モードは待機運転と排水運転の2モードとし、



待機運転時は回転速度約80%で、最高実揚程にて無排水運転、排水運転時は全速で、計画実揚程にて定格量排水とした(図6)。

また、本ポンプ場の特徴として、吸込側水位の変動が大きく、ポンプとして広い実揚程範囲で定格出力を超えないことが必要である。通常、この程度のNs(比速度)のポンプでは、大水量側で軸動力が増大する場合があるが、本ポンプは軸動力がある値以上にならないリミットロード特性となっている。

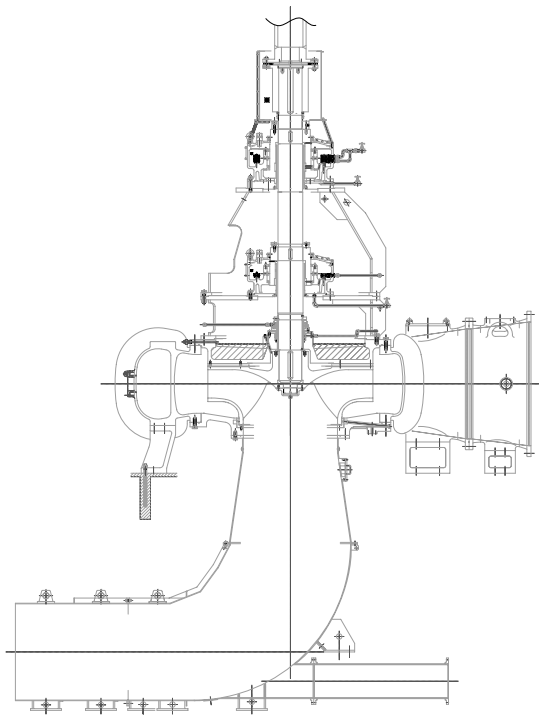


図5 雨水ポンプ断面図  
Fig. 5 Sectional view of main pump

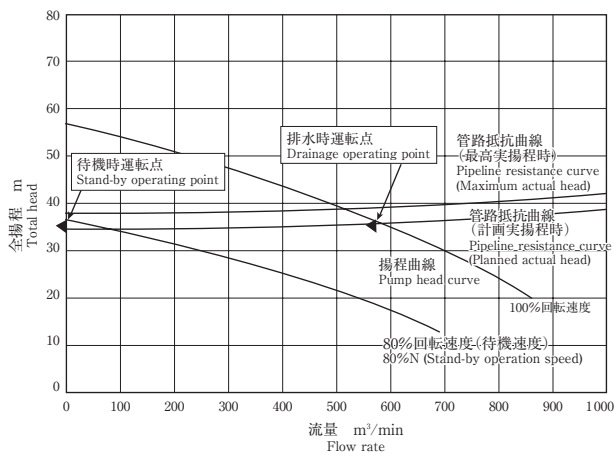


図6 雨水ポンプ運転点(待機運転と排水運転)

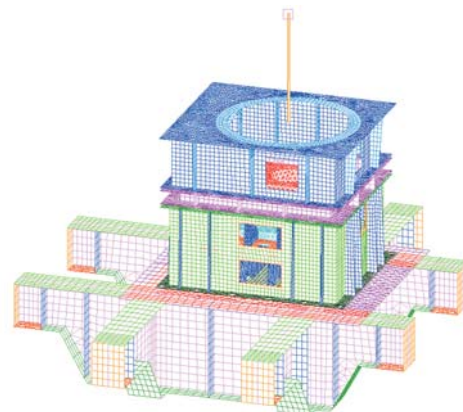
Fig. 6 Main pump operating point (Stand-by operation and drainage operation)

### 3-2 振動解析

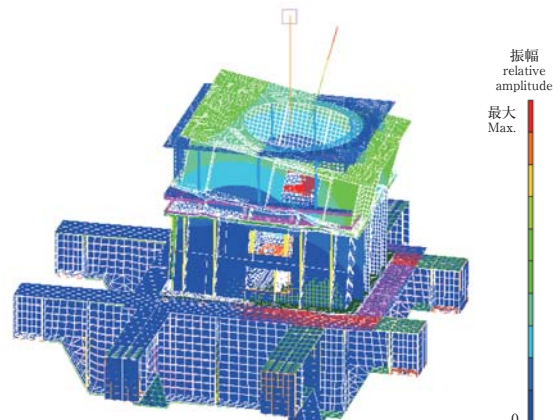
ポンプの回転速度制御範囲が広いこと、歯車減速機、電動機との共振が懸念された。設計段階で有限要素法による振動解析を実施して振動問題の回避方法を検討し、試運転で実際にデータを取り問題が無いことを確認した(図7)。

### 3-3 フラップ弁の高差圧対策

ポンプ棟の建築断面積を縮小するため、雨水ポンプの逆止め弁としてはフラップ弁を採用し、ポンプ吐出し口から口径2000 mmの配管に接続して吐出し槽内に設置した。設置位置は雨水ポンプから約28 m上方であり、最大実揚程は約38 mであることから、ポンプ急停止時にはフラップ弁閉鎖とともに配管内に大きな負圧が生じ、それに伴って弁前後の差圧も過大になることが懸念された。そこで過渡現象解析プログラムを用いてポンプ急停止時の配管内圧力の変動を解析し、急停止時には吐出し管に空気を導入する方法で負圧を低減する方法を採用するとともに、生じる差圧に対応したフラップ弁の強度設計を行っている。



解析モデル  
FEM model for vibration analysis



解析結果  
Mode shape of FEM normal mode analysis result

図7 振動解析結果例

Fig. 7 Example of vibration analysis result



11-70 04/233

写真4 管内クーラ

Photo 4 In-pipe heat exchanger



11-70 05/233

写真5 純水生成装置

Photo 5 Pure water production equipment

### 3-4 冷却システム

雨水ポンプ設備の軸受や液体抵抗器の冷却のため、冷却水循環システムが採用されている。冷却水は高架水槽に貯留されており、各機器の熱を吸収し地下水槽に入る。ここから冷却水ポンプにより次の冷却器に送られ冷却された後、高架水槽に戻る。

冷却器として排水運転時は管内クーラを採用した(写真4)。管内クーラは冷却水が回収した熱量をポンプ吐出し管内の流水により熱交換するもので、ディーゼル機関駆動のポンプシステムに数多く採用され信頼性の高いシステムである。

待機運転時は、無排水運転となり管内クーラによる冷却ができないので、冷却塔による冷却方式を採用している。

## 4. 環境対策

### 4-1 騒音対策

ポンプ棟周辺の騒音規制値は夜間55 dB (A) の準工業地域であることから騒音低減に配慮した。特に運転騒音の大きいガスタービン発電機には二重の防音パッケージを施して騒音の低下を図り、敷地境界上で規制値を満足するものとなっている。

また、雨水ポンプの機側操作場所である地下2階の騒音値を90 dB (A) 以下とするために、歯車減速機には本体をまるごと覆う防音カバーを設けている。

### 4-2 窒素酸化物の抑制

ガスタービンエンジンの運転により窒素酸化物が生成され排気ガスとともに放出される。窒素酸化物量を抑制するために、ガスタービンエンジンの燃焼器に燃料とともに純水を噴霧することで燃焼温度を低下させ、燃焼に

より生成される窒素酸化物量の抑制を図った。純水生成装置は水道水を水源とし、活性炭ろ過器、逆浸透膜、イオン交換樹脂フィルタを用いて純水を生成するものである(写真5)。

## 5. 現地施工技術ほか

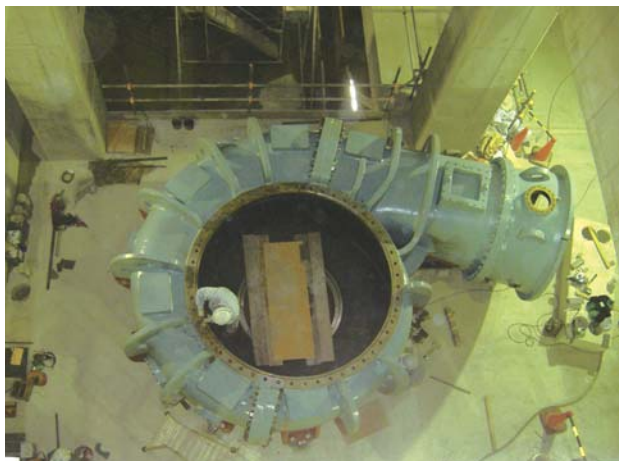
### 5-1 搬入計画と製品の現地組立(写真6, 7)

雨水ポンプ、電動機、ガスタービン発電機は大型であり、一体での輸送はできないので分割搬入となる。輸送上の制限や搬入口の大きさから分割形状を検討した。現場では綿密な仮設計画を行い、適切な搬入機器や資材を配置した。また、製品は搬入後、現地での組み立てとなるため清浄な環境が必要となるので粉塵などを排除するため仮設の排風機、集塵機を設置するなど配慮した。特に電動機は固定子、回転子が現場の環境にさらされるので格段の注意が必要であった。

### 5-2 吐出し管設置の精度確保

雨水ポンプの吐出し管は、鋳鉄管を積み上げ地下3階から地下1階まで約28 m 垂直に立ち上がっている。鋳鉄管個々の面倒れ、面間寸法の公差があるため、単純に積み上げると上端において大きな誤差となり、地下1階で水平配管と接続できなくなることが懸念された。そのため鋳鉄管の加工精度をできる範囲で向上させるとともに、積み上げ配管の下部にメカニカル継手を設け、上端での誤差が大きいときには継手部の裕度により、倒れと高さを調整できるものとした。また、垂直配管とコンクリート躯体の間には鋼製のサポートを取り付けたが、このサポートは垂直配管の温度変化による伸縮に対応できる構造としている。





11-70 06/233

写真6 雨水ポンプ現地組立  
Photo 6 Main pump site assembly



11-70 08/233

写真8 負荷抵抗車  
Photo 8 Load resistance car



11-70 07/233

写真7 電動機現地組立  
Photo 7 Electric moter site assembly

### 5-3 アンカーボルトの設置

機器の設置にあたっては、建築物が既に完成している状況下で行うため、機器固定用のアンカーボルト設置のために建築躯体鉄筋を切断するようなことは避けなければならない。アンカーボルト設置位置には事前に鉄筋探査を行い、干渉しない位置にアンカーボルト設置した。

### 5-4 発電所の使用前自主検査

当ガスタービン発電機は常用発電所として設置されるので、法令に基づき使用前自主検査を行い、経済産業省の認定機関による安全管理審査を受けることとなっている。発電機に定格負荷をかける試験においては、金属抵抗器を多数搭載し、負荷調節可能な負荷抵抗車を使用した(写真8)。

## 6. おわりに

2011年2月から試運転を開始し、その後安全管理審査を終了し運転可能となっている。設備の製作、搬入、据付、保管、試運転について種々現地工事上の制約、課題に対しご協力頂いた協力会社各位、工事全体に対し多大なるご協力とご指導を頂いた大阪市建設局の関係各位に謝意を表す。