

レシプロ型コンプレッサー基礎の防振設計における杭載荷試験の適用事例

千代田化工建設(株) 正 ○岸 直哉 正 田中 洋平
 米倉 誠司 正 松川 圭輔
 国際石油開発帝石(株) 工藤 恭平

1. はじめに

コンプレッサー等の振動機械基礎の設計では、機器から生ずる不平衡力及び不平衡モーメントに対して、機器基礎の振動を許容振幅内に収めることが要求される。その設計過程において、杭基礎では杭の鉛直及び水平ばね定数を算出する必要があるが、その算出方法には、機械基礎の振動計算に実用的に利用される山本による式(以下、山本式)¹⁾や道路橋示方書の式²⁾等がある。杭の鉛直ばね定数に関して、山本の式は地盤の影響を考慮するものであり、道路橋示方書の式のうち一般的に用いられる既往の載荷試験に基づく推定式(以下、道示式)は杭種ごとのパラメーターを考慮しているが、いずれも振動機械基礎で問題となる微小振動を精度良く推定することは難しい。今後、機械振動解析も単に安全側というだけでなく、精度良い振動予測に基づく設計を行う必要があると考えられる。

本稿では、振動機械基礎のフーリエ分析を伴う振動計測を実施し、杭の静的載荷試験に基づく杭の鉛直ばね定数を採用した振動機械基礎の防振設計と、山本式及び道示式等の推定式を用いる設計の、それぞれの解析値と実測値の比較検討を行った。

2. 設計時の振動解析の概要

設計対象は、海岸の埋め立て地に立地するプラント設備内のレシプロ型コンプレッサーの基礎で、概略形状を Fig.1 に示す。地盤は表層から厚さ 8m の埋め立て層を含むシルト層から主に構成され、これに対し、長さ 50 m、径 600mm の PHC 杭 B 種を N 値>50 の支持層までの先端支持杭として基礎を設計した。

本設計では通常の静的荷重による基礎設計と汎用構造解析ソフトを用いた 3D-FEM モデルによる振動解析による照査を行った。杭の鉛直ばね定数には同種の試験杭で実施した静的載荷試験の荷重変位曲線の実荷重における勾配より算出した値, 480,192 (N/mm) を採用し、杭の水平ばね定数に関しては、山本式より算出した値, 435,329 (N/mm) とした。振動が設計の支配条件

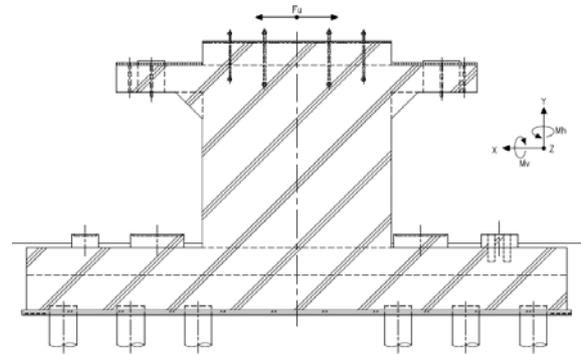


Fig.1 X-方向基礎断面図

Table.1 不平衡力及び不平衡モーメント

	1次振動数 6.15 (Hz)	2次振動数 12.30 (Hz)
Fu (Max)	17.1 (kN)	4.6 (kN)
Mh (Max)	178.0 (kN·m)	2.1 (kN·m)
Mv (Max)	54.6 (kN·m)	-

となったため、機械の往復運動軸方向端部に杭を多く配置して振動の抑制効果を高めるように配慮した。その結果、機器総重量 935 (kN)、基礎総重量 10,257 (kN) に対し、杭 40 本で支持する設計となった。

コンプレッサーからの不平衡力及び不平衡モーメントを Table.1 に示す。これらはコンプレッサーの 1 次および 2 次振動数に対応したものであり、それより高次の振動はこれらに比較して小さいので解析には考慮しない。ここで、Fu: 往復動部分の不釣り合慣性力, Mh: シリンダー軸の相違により発生する水平面上の偶力, Mv: シリンダー軸の相違により発生する垂直面上の偶力である。

本設計での基礎の許容変位振幅は、片振幅で鉛直方向: 7.5(μm)、水平方向: 15(μm)であり、解析結果は最大振幅で、鉛直方向: 5.3(μm)、水平方向: 12.2(μm)であり許容値内に収まった。

3. 振動測定法の概要

振動測定はコンプレッサー100%性能試験時に実施

キーワード: レシプロ型コンプレッサー, 基礎, 杭の鉛直ばね定数, 防振設計, 鉛直載荷試験
 連絡先: 〒220-8765 横浜市西区みなとみらい四丁目 6 番 2 号 みなとみらいグランドセントラルタワー
 土木建築設計ユニット, TEL: 045-225-4395

した。測定器はリオン(株)社製設備診断用バイブレーション・アナライザー (VA-10) を使用した。計測データはフーリエ分析により 1~100Hz の範囲で 1Hz ごとの成分に分離して評価した。測定点は、Fig.2 に示すように、コンプレッサー、モーターを載せるペDESTAL の四隅に近い8点とし、1 測定点について X (往復運動方向), Y (鉛直方向), Z (往復運動垂直方向) 方向で測定を行った。

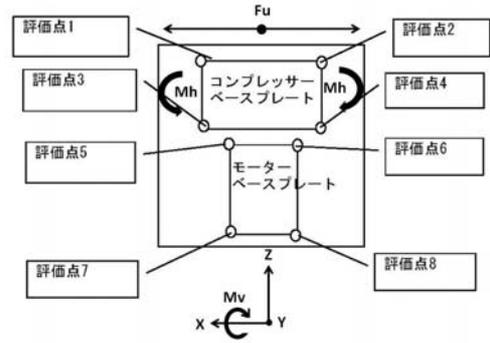


Fig.2 測定点

4. 設計値と実測値の評価

各測定点の変位の解析値と実測値の、機器の 1 次および 2 次振動数に対応する 6Hz と 12Hz の周波数成分を Fig.3 に示す。これら卓越振動が低周波数であることから、評価は変位振幅で行った。参考に 2)山本式と 3)道示式により算出した鉛直ばね定数は、Table.2 に示す通りであり、これらを用いた解析結果も Fig.3 に併記した。Fig.3 から明らかな通り、1) 静的载荷試験により算出した杭の鉛直ばね定数を採用した解析結果が X, Y, Z 方向ともに、より実測値に近い値を示していることがわかる。また 12Hz においては、解析結果が実測値より大きい傾向となっている。これは解析モデルによる基礎の一次固有振動数は 12.9Hz であり共振の影響を含む解析値となっている一方で、実際の基礎の固有振動数は機器との共振域を外れており、静的载荷試験がより近い値を表すものと考えられる。本機器基礎の振動実測値の 6Hz と 12Hz の周波数成分の単純和 (位相差を考慮した場合の最大値) も前述の許容変位振幅内に

Table.2 杭の鉛直ばね定数(N/mm)

No.	杭の鉛直ばね定数 推定法	杭の鉛直ばね定数 (N/mm)
1)	静的载荷試験	480,192
2)	山本式	202,739
3)	道示式	217,645

収まっており、本方法の妥当性が確認された。

5. まとめ

杭基礎の振動解析は、本論文で検討した推定式を用いた場合と比較して、杭の静的载荷試験により算出した杭の鉛直ばね定数を適用することで解析精度の向上が認められる事例を示した。

参考文献

- 1) 土質工学会：土と構造物の動的相互作用，pp.56-58,1973.10
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 下部構造編，pp.406-411, 2012.

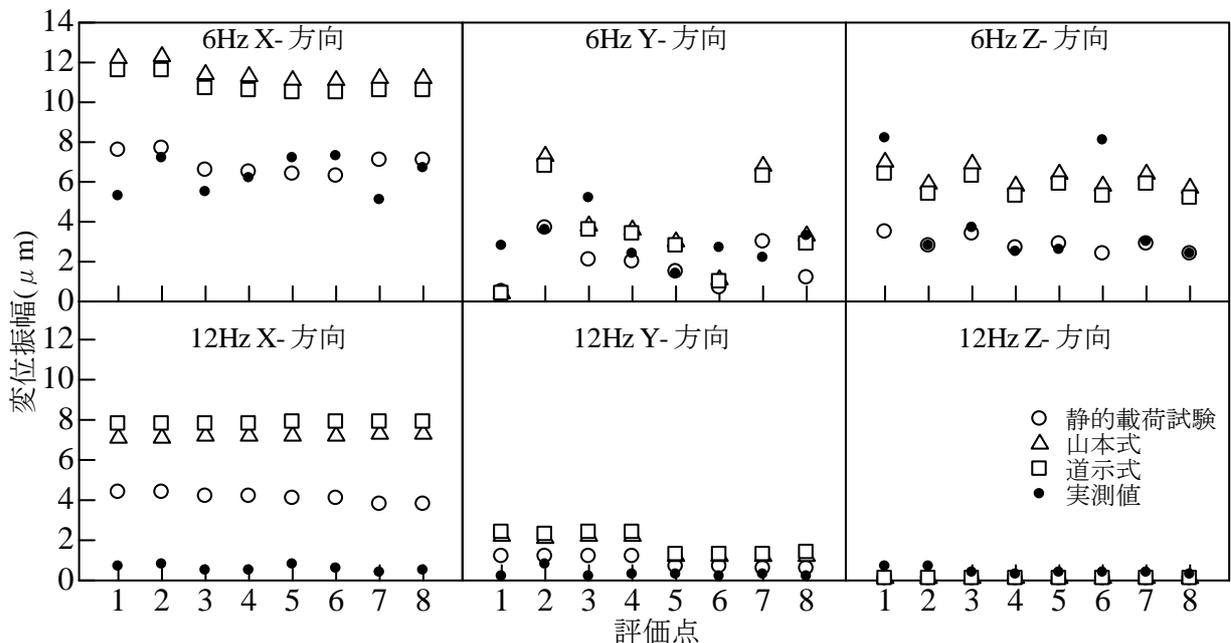


Fig.3 各測定点の解析値と実測値の 6Hz 成分と 12Hz 成分(X, Y, Z 方向)