

八幡製鉄株式会社 正員 理博○中村 清
鹿島建設株式会社 正員 荒木義典

まえがき

溶鉱炉のように重心が高く重要な構造物の振動性状を調査することは、耐震設計を行なう上に重要なことであるが、今まで詳細に実験をし検討した例はあまりないようである。今回、図-1に示すような溶鉱炉について常時の微動の実験を行なったので、研究結果について報告する。特に固有振動数について述べる。

図-1 溶鉱炉の構造

1. 溶鉱炉の構造

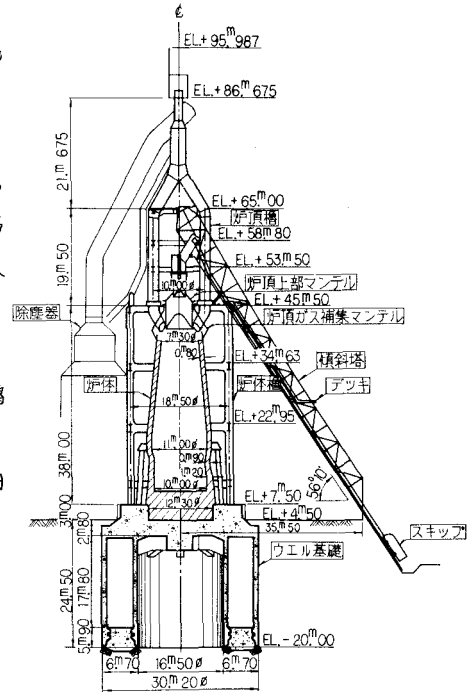
溶鉱炉の構造は、図-1に示すように、上部は円筒形の炉体とラメン構造の炉頂槽および炉体槽からなり、炉頂槽の頂部と除塵器は太いパイプで連結され、また、炉体頂部と炉体槽は連結し炉体槽に傾斜塔が取付けてあり、熱風炉とも簡単な歩廊で結ばれている。下部は鉄筋コンクリートの複断面ウェルで、ウェル内部には水が入れている。

2. 実験方法

水平方向につき操業停止時に測定を行なった。炉頂槽、炉体槽、炉体、基礎および除塵器について少なくとも2つの構造について同時に測定を行ない名々の振動的関係がわかるようにした。同時に風向、風速を記録した。測定には常時微動計(換振器、積分器、DCアンプ付)を使用し、記録器には電磁オシロ(横河EMO-61)データレコーダー(SONY)を使用した。

3. 実験結果と解析結果

測定は、次の5つの場合について行なった。記録の一部を示すと図-2のようである。なお、Xは傾斜塔に直角な方向であり、Yは傾斜塔に平行な方向を示す。



	測定位置	方向
(1)	炉頂槽 (EL.+65m梁上)	X・Y
(2)	炉体槽 (EL.+45m梁上)	X, Y
(3)	炉体槽 (EL.+45m梁上) と炉体 (EL.+13mプレート上)	Y
(4)	炉体頂部 (マンデル上) と基礎 (EL.+75m)	X, Y
(5)	炉頂 (EL.+65m梁上) と除塵器 (EL.+43m管上)	X, Y

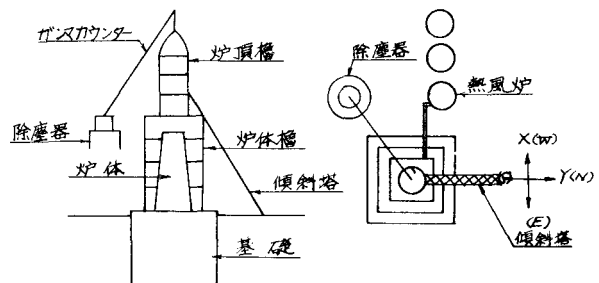


図2-1 (1) 炉頂槽 (EL. +65^m 梁上)

X 方向

Y 方向

風向 WSW, 風速 3.1^{m/sec}

1 sec

図2-2 (2) 炉体槽 (EL. +25.5^m 梁上)

X 方向

Y 方向

風向 WSW, 風速 5.0^{m/sec}

1 sec

図2-3 (3) 炉体槽 (EL. +25.5^m 梁上) と 炉体 (EL. +5.1^m プレート上) の関係 風向 WSW 風速 2.3^{m/sec}

炉体槽 Y 方向

炉体 Y 方向

1 sec

図2-4 (4) 炉体頂部 (マンテル上) と 基礎 (EL. +7.5^m) の関係

炉体頂部 X 方向

基礎 X 方向

炉体頂部 Y 方向

基礎 Y 方向

1 sec

図2-5 (5) 炉頂 (EL. +65^m 梁上) と 除塵器 (EL. +43^m テッキ上) の関係

炉頂槽 X 方向

除塵器 X 方向

炉頂槽 Y 方向

除塵器 Y 方向

風向 W 風速 3.8^{m/sec}

1 sec

風向 WSW 風速 3.3^{m/sec}

これらの記録の中から振幅の比較的大きい部分を30秒間とり出し、その部分について自己相関関数 $\varphi(\tau)$ おおびパワースペクトル $\omega(f)$ を電子計算機によって求め卓越する振動数を見出す。(図3-1~図3-7)

図3-1 炉頂槽の $\varphi(\tau)$ $\omega(f)$

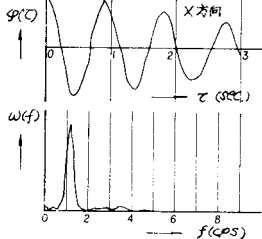


図3-2 炉体槽の $\varphi(\tau)$ $\omega(f)$

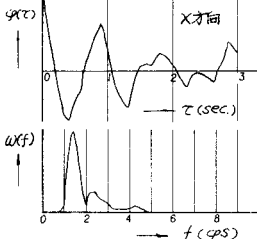


図3-3 炉体槽・炉体 Y 方向の $\varphi(\tau)$ $\omega(f)$

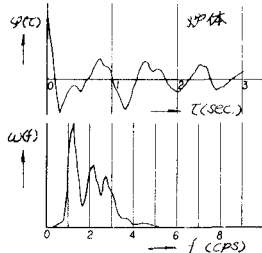
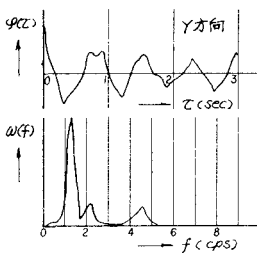
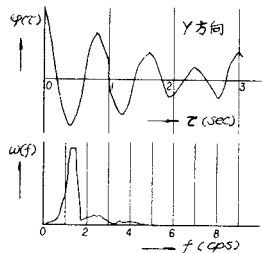
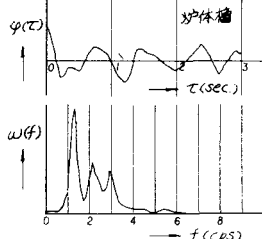


図3-4 炉体頂部・基礎 X 方向の $g(t)$ $\omega(f)$

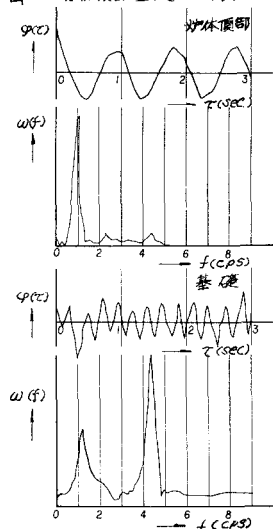


図3-5 炉体頂部・基礎 Y 方向の $g(t)$ $\omega(f)$

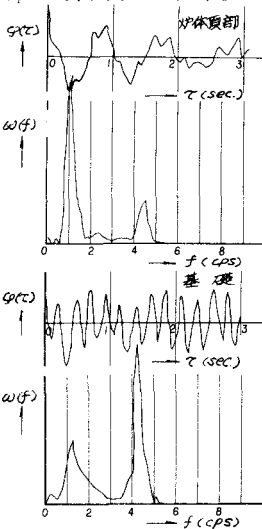


図3-6 炉頂橋・除塵器 X 方向の $g(t)$ $\omega(f)$

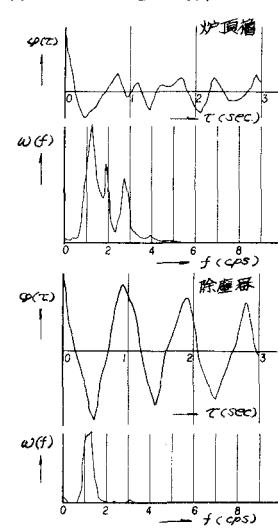


図3-1~7で明らかのように、炉頂橋、炉体橋、炉体、基礎い

ずれにも振動数 $f=1.1 \sim 1.3$ cps が最も卓越しており外部にはこの振動数で振動する振動源はないと考えられるから、この振動数を付属構造物を含めた溶鉱炉の主要な固有振動数とみてよいであろう。また振動数 $f=22 \sim 23$ cps に一つのピークが認められる。これが他の一つの固有振動数と推定される。このことについては、次節で溶鉱炉を2つの系からなるとして説明を試みた。

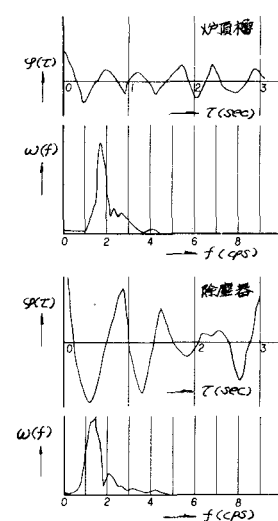
なお、図3-4・5で振動数 $f=4.3$ cps が卓越しているが、これは溶鉱炉より 100^{m} 程度離れた場所にあるクラッシャーの振動による強制振動が現れにのみである。クラッシャー運休時に行なったものではこの影響は出ていない。除塵器と溶鉱炉は、図2-5X、図3-6、よりわかるようにほとんど同じ振動数で振動

しており、密接な関係があるものと考えられる。その他、個々の場合について詳細に検討すれば以上に述べた振動数と異なったところにも、ときどき小さいピークが見られる。その向題については、後日とりあげる予定である。しかし、この溶鉱炉の主要な特性は以上に述べた振動数について検討すれば解明されるものと考えられる。

4. 計算値との比較

溶鉱炉は、1で述べたように複雑な構造であるので、計算によって正確な固有振動数を求め測定値と比較検討することは困難である。したがって次のような便方によって検討した。すなわち、溶鉱炉を2つの主要構造、炉体橋と炉体に分けて、それぞれの固有振動数を別個に算出し、両者の結合状態を検討する。

図3-7 炉頂橋・除塵器 Y 方向の $g(t)$ $\omega(f)$



4-1 炉体櫓の固有振動数

炉体櫓を4質点系と考え、次式に示す運動方程式よりその固有振動数を求める。

$$M_i \ddot{y}_i + \sum C_{ik} \dot{y}_k = 0$$

ただし y_i ; i 点の変位

なお、炉頂櫓関係の荷重は、最上部質点にかかる。

M_i ; i 点の質量

計算の結果、1次固有振動数は $f=0.61 \text{ cps}$ とする。

C_{ik} ; 弾力係数

4-2 炉体の固有振動数

曲げ振動と考えて、Rayleighの方法により近似計算を行なう。原典を塔底にとり塔中心上向に x 軸をとると、1次固有振動数は次式で与えられる。

$$f^2 = \frac{\int_0^L EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx}{4\pi^2 \int_0^L \rho A y^2 dx}$$

上式により、固有振動数として $f=1.9 \text{ cps}$ が得られる。なお、シャフト受支柱も鉄皮と同じように働くものとして計算した。

これらの計算値は、仮定条件にも多少問題があるかもしれないが、炉体櫓、炉体の固有振動数として、ここに述べた値を採用して着しい誤りはないものと思われる。

以上より、測定によって得られた主要な固有振動数 ($f=1.1 \sim 1.3 \text{ cps}$ を参照) は明らかに炉体櫓と炉体を別々に計算した場合の中間にある。このようなことは図-4 のような2つの系が相互に作用をおよぼし合う場合にみられる現象である。実際、構造的にみても炉体頂部マンテルは曲げモーメントが伝わらない構造で、マンテルと炉体櫓はボルトによって結合されており、一応一種のバネで結ばれていると考えてよいと思われる。

他の一つの固有振動数について、図-4 のような系で計算値および測定による主要な固有振動数 ($f=1.1 \sim 1.3 \text{ cps}$) を使用して計算すると $2.2 \sim 2.5 \text{ cps}$ となる。この振動数は、観測と計算の精度を考慮すると測定によって得られた $2.2 \sim 2.3 \text{ cps}$ によく一致しているといえる。

5. 総括

今回、行なった溶鉱炉の常時の微動観測から次のような結果が得られた。

- (1) この溶鉱炉の主要な固有振動数は、付属の構造物も含め $1.1 \sim 1.3 \text{ cps}$ の範囲にあるものと考えられる。傾斜塔に直角および平行な方向で固有振動数は、ほとんど変わらない。
- (2) この溶鉱炉は、図-4のように炉頂櫓を頂部にもつ炉体櫓と炉体がバネで連結された振動系と考えられる。
- (3) 除塵器は、溶鉱炉に比べ剛性の小さいものであり、溶鉱炉の運動にしたがって同周期的に同じ振動をするものと思われる。
- (4) 以上は、溶鉱炉操業停止時について述べたものであるが、操業時についても測定を行なった。操業時にはかなり大きな動的荷重がかかるため、ロッキングが起るものと考え測定を行なったが一見してただろにロッキングと思われるようなデーターは得られなかった。

おとがき

この実験にあたって終始ご指導をいただいた 東京大学地震研究所 吉山良一教授 また現場測定および電子計算機による解析をお願いした 鹿島建設株式会社の方々に深く感謝いたします。