

I - B382 剛体振り子モデルによる建設用タワークレーンの振動特性

労働省産業安全研究所 正会員 大幢勝利
 労働省産業安全研究所 正会員 河尻義正
 東洋大学工学部 正会員 鈴木崇伸

1. はじめに

阪神・淡路大震災において、建設用タワークレーンが大きな被害を受けた。その中には、ジブの折れ曲がりや建物とのつなぎ材の破損、あるいはマストが転倒したのもあり、この地震が昼間時に発生した場合には作業員の安全が問題となることに加え、現場周辺にも大きな被害を及ぼすものと思われる。しかし、建設用タワークレーンの耐震性についてはあまり検討されていないため、何らかの耐震対策を行う必要がある。

そこで、建設用タワークレーンの耐震設計・免震設計基準を作るための基礎資料を得ることを目的として、タワークレーンを剛体振り子モデルに置き換えて自由振動解析を行い、模型のクレーンに対する振動実験の結果と比較・検討した。

2. 被害状況

阪神・淡路大震災時に、阪神地区では約100台のタワークレーンが使用されていた。そのうち、写真1に示すように転倒・落下したものも含め、約30台のクレーンが何らかの被害を受けていた¹⁾。図1に被災したクレーンの自立方法と損傷の程度を示すが、被災総数は自立の場合に最も多かった。また、損傷の程度でみると、建物との間につなぎ材を取り付けた場合に、被災したクレーンの全てが重大な被害を受けていた。

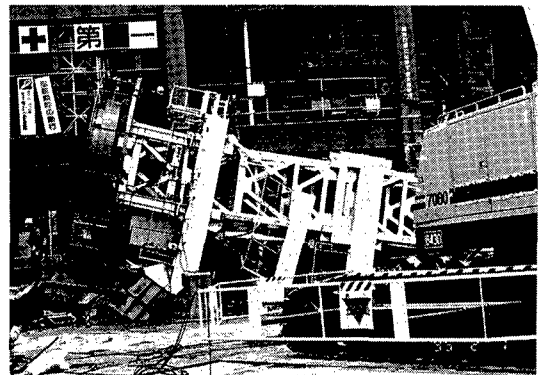


写真1 被災したタワークレーン

3. 解析方法

建設用タワークレーンの構造は、1)スレンダー、2)トップヘビー、3)重心がマストの芯からずれている、4)曲げ変形が主体、5)3次元の運動を行う、などの特徴がある。これを、図2に示すようにクレーン本体を剛体とし、この剛体がマストによりバネ支持されているものとしてモデル化した。この剛体振り子モデルに対し、鉛直面内と水平面内の運動を考える。

3.1 鉛直面内の運動(縦振れ)

図3(a)に示すように剛体支点の座標を (x_0, z_0) 、剛体の回転角を θ 、剛体支点からみた重心座標を (h_x, h_z) とすると、次のラグランジェ関数を用いて導いた運動方程式が求められる。

$$\begin{pmatrix} I_{y_0} + mh_x^2 + mh_z^2 & mh_z \\ mh_z & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{x}_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 4EI/l & -6EI/l^2 \\ -6EI/l^2 & 12EI/l^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ x_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

これより、次の振動数方程式が得られる。式(2)の2つの実根 $\omega_1 < \omega_2$ が、鉛直面内運動の固有振動数である。

$$\omega_\theta^2 = \frac{4EI}{l(I_{y_0} + mh_x^2)}, \quad \omega_x^2 = \frac{12EI}{ml^3} \quad \text{として、} \quad \omega^4 - \left[\omega_\theta^2 + \omega_x^2 \left(1 + \frac{h_z(h_z + l)}{I_{y_0}/m + h_x^2} \right) \right] \omega^2 + \frac{1}{4} \omega_\theta^2 \omega_x^2 = 0 \quad (2)$$

キーワード： 剛体振り子, 阪神・淡路大震災, クレーン, 固有値解析, 耐震設計

〒204 東京都清瀬市梅園1-4-6 TEL 0424-91-4512 FAX 0424-91-7846

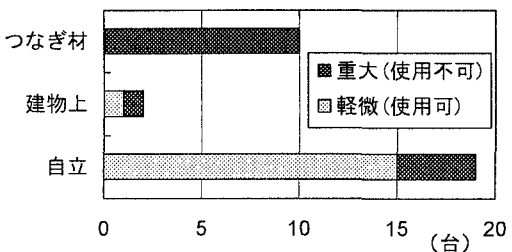


図1 被災したクレーンの自立方法と損傷の程度

3.2 水平面内の運動（横振れ）

図3(b)に示すように剛体支点の座標を (x_0, y_0) 、剛体の回転角を ψ 、剛体の重心位置と支点の距離を h_x とすると、3.1と同様に次のラグランジェ関数を用いて導いた運動方程式が求められる。

$$\begin{pmatrix} I_{z0} + mh_x^2 & mh_x \\ mh_x & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\varphi} \\ \ddot{y}_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} GJ/l & 0 \\ 0 & 3EI/l^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi \\ y_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

これより、次の振動数方程式が得られる。式(4)の2つの実根 $\omega_1 < \omega_2$ が、水平面内運動の固有振動数である。

$$\omega_\varphi^2 = \frac{GJ}{I_{z0}l}, \quad \omega_y^2 = \frac{3EI}{ml^3} \quad \text{として、} \quad \omega^4 - \left\{ \omega_\varphi^2 + \omega_y^2 \left(1 + \frac{mh_x^2}{I_{z0}} \right) \right\} \omega^2 + \omega_\varphi^2 \omega_y^2 = 0 \quad (4)$$

4. 実験方法

実際に転倒したクレーンの寸法比約1/30、振動数比1/6の模型を製作し、これに対し図4に示すように水平方向の振動実験を行い、タワークレーンの鉛直面内と水平面内の運動を調べた。実験では、(a)ジブの向きと同じ方向、(b)ジブと直角方向に、周波数を0.5~20Hzまで等振幅で上昇させながら加振した。その際、クレーン各部に加速度計を設置して測定を行い、卓越する振動数およびクレーンの挙動を調べた。

5. 実験結果と解析結果の比較

クレーン模型に対する実験結果と、式(2)、(4)による解析結果を表1に示す。表1より、実験ではジブ方向に加振した場合に、0.83、5.9、17.7Hzが卓越していた。また、ジブと直角方向に加振した場合には、0.83、3.3、5.9Hzが卓越していた。

鉛直、水平面内とも2次の振動数で若干実験結果の方が大きくなっているが、これは、模型を製作する際に接合部近辺を剛にし過ぎたためと考えられる。この影響を除けば、実験結果と解析結果は固有振動数の点でほぼ一致していると考えられる。なお、共振時の振動モードについては現在分析中である。

6. おわりに

建設用タワークレーンの固有振動数を、剛体振り子モデルを用いて表すことができた。また、本解析結果から、対象としたタワークレーンは阪神・淡路大震災で問題となった1Hz（模型では6Hz）前後の固有振動数を持つと推定され、この影響で転倒したのとも考えられる。このため、現在のクレーンの構造規格で定められている0.2Gより大きな水平荷重を見積もるか、あるいは修正震度法やつなぎ材による免震等の耐震対策を考える必要がある。

参考文献

- 1) 橋内; 兵庫県南部地震によるクレーンの被害状況、クレーン、35-3、pp.7-14、1997.

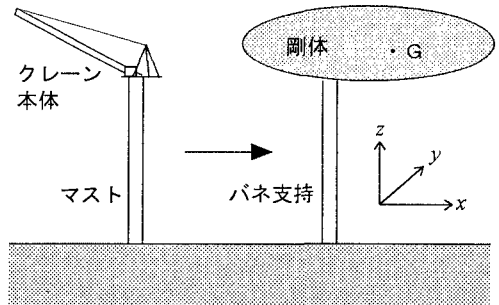
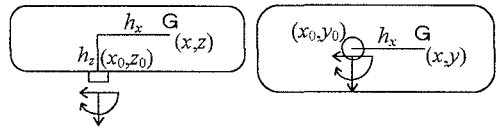
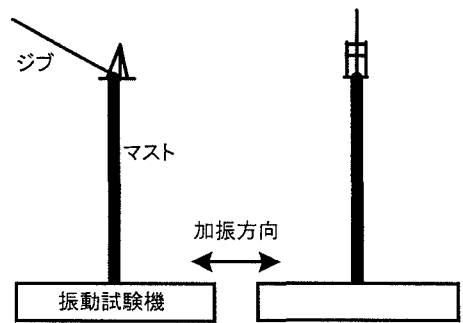


図2 剛体振り子モデル



(a) 鉛直面内の運動 (b) 水平面内の運動

図3 剛体振り子の運動



(a) ジブと同じ方向 (b) ジブと直角方向

図4 実験概要

表1 実験結果と解析結果の比較

| 解析結果 | | Hz | | 実験結果 | | Hz | |
|------------|------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 鉛直面内 | 水平面内 | ジブ方向加振 | 直角方向加振 | ジブ方向加振 | 直角方向加振 | ジブ方向加振 | 直角方向加振 |
| ω_1 | 0.83 | ω_1 | 0.86 | 0.83 | 0.83 | | |
| ω_2 | 5.6 | ω_2 | 2.9 | 5.9 | 3.3 | | |
| | | | | 17.7 | 5.9 | | |