

東海大学大学院 学生会員 ○滝沢 進
 ㈱千代田コンサルタント 正会員 木村修一
 東海大学工学部 正会員 近藤 博

1. はじめに

ロードセルは、荷重測定に手軽に利用されているが、その動的性能は未解明である。ロードセルの規格は計量法で定められており、静的な特性試験は、細かな規格のもとに実施されている。しかし、動的特性は、一般にロードセルを $m-k$ モデルと仮定し、固有振動数の計算が行われている。そして、固有振動数の高いロードセルは動的ロードセルとして販売されている。ロードセルを動的に利用する目安として、固有振動数の $1/10$ の振動数で 1% の誤差、 $1/20$ の振動数で 0.25% の誤差と言われている。

本報告は、ロードセルの固有振動数の求め方と、動的荷重測定に利用する場合の動的応答特性について、基礎的実験と重複反射理論を適用したシミュレーション^{1,2)}等を用いて検討したものである。

2. 現状の固有振動数の求め方

ロードセルの一般的な固有振動数の求め方は、ロードセルを図 1 に示すように、載荷部を質量 m 、受感部をバネ定数 k として式(1)を用いて固有振動数を求められている³⁾。そして、ロードセルに動的な力が作用する場合、その振動数がロードセルの固有振動数に近くなると実際に働いた負荷によるものよりも大きな出力が発生するとされている。この誤差は、式(2)を適用して求めている。

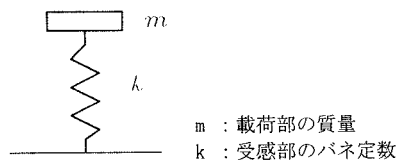


図 1. ロードセルのモデル化

図 2 は、図 3 で示したロードセルモデル(固有振動数 24kHz)での動的応答特性を式(2)を適用して求めたものである。なお出力比は、(出力波の振幅/入力波の振幅)として定義した。図から、周波数が 2.4kHz の場合の誤差が $+1\%$ になっていることがわかる。この値は、ロードセルを動的に用いる目安とされている値と一致している。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{k/m} \quad (1)$$

f_n : 固有振動数

$$\frac{X_0}{X_{st}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{f_n}\right)^2} \quad (2)$$

X_0 : 出力波の振幅
 X_{st} : 入力波の振幅
 ω : 強制振動の振動数
 f_n : 固有振動数

3. ロードセルの受感部での応答特性

ロードセルの過渡応答の検討

ロードセルの受感部の動的応答特性を検討するために、図 4 に示すような段付き棒に大きさ 1 のステップ応力を入射したときの応答を図 5 に示す。このような入力と出力の関係を示すシステムは一次遅れ系⁴⁾と呼ばれ式(3)で表現できる。

$$P_t = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) P_i \quad (3)$$

ここに、 P_i : 測定荷重、 P_t : 入射荷重、 t : 時間、 τ : 時定数

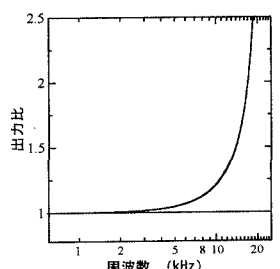


図 2. 周波数特性

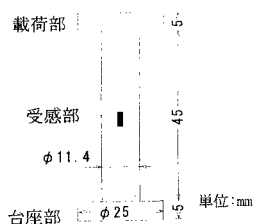


図 3. 供試ロードセル

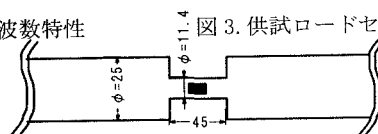


図 4. 段付き棒(受感部モデル)

キーワード：ロードセル、固有振動数、動的

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL・FAX 0463-50-2169

図から、荷重は定常値 1 に指数関数的に近づき、時定数 τ は荷重が定常値の $0.632 (=1-1/e)$ 倍まで近づくのに要する時間であり、応答の遅延を示す値である。また、 $t=0$ での応答曲線の接線は、 $t=\tau$ で定常値を示す直線と交わる。時定数 τ は、受感部の長さで載荷部と受感部の断面積比によって変わり、受感部を長くしたり、感度を上げるために断面積比を大きくすると τ の値は大きくなり、動的応答性は落ちることになる。

図 6 は、段付き棒に段付き棒と同径、同質で長さ 1m の打撃棒を高さ 30cm から自由落下させて打撃したときの実験波形と理論波形を示したものである。実験波形は、計測上の問題から応答速度がやや小さくなるものの、理論波形とよく一致しており、受感部の動的応答特性は、1 次遅れ系で表現できることがわかる。

ロードセルの周波数応答の検討

一次遅れ系に、正弦波が入射されたときの受感部の動的応答特性について重複反射理論を適用したシミュレーションを用いて検討をおこなった。入射パルスは、振幅 1、周波数 1、2、5、10kHz の 4 種を用いた。図 7 は、周波数特性を検討するために、正弦波パルスを入射したときの応答をリサージュ波形で示したものである。図から位相差は、1kHz のときは 6.8° 、2kHz のときは 13.1° 、5kHz のときは 29.5° 、10kHz のときは 46.6° になっている。この結果より、周波数が高くなると位相のずれが大きくなり、特に立ち上がり部が大ききずれることがわかる。また、出力比は、1kHz でほぼ 1 を示すが、2kHz で 0.96、5kHz で 0.79、10kHz で 0.59 の値を示している。

図 8 は、従来法で求めた周波数特性と一次遅れ系で求めた周波数特性を比較したものである。図からわかるように、従来法から求めた周波数特性は、固有振動数に近づくにつれて無限に大きくなっていく。しかし、一次遅れ系から求めた周波数特性は、固有振動数に近づくにつれて小さくなり、従来法より求めた周波数特性と逆になっている。この結果より、ロードセルの動的応答特性を m-k モデルから求める手法には問題があると考えられる。

4. まとめ

本報告は、ロードセルを動的に用いる目安にされている固有振動数の求め方と動的応答特性について重複反射理論を適用したシミュレーションにより検討をおこない、以下のことが明らかになった。

- (1) ロードセルの動的応答特性は、一次遅れ系で表現できる。
- (2) ロードセルの周波数特性は、従来の手法である m-k モデルを用いた傾向とは異なり、固有振動数に近づくとき出力が減少し、ロードセルを m-k モデルで近似して固有振動数を求める手法には問題がある。

参考文献

- 1) 木村修一、滝沢進、近藤博、本間茂雄：ロードセルの動的応答特性、東海大学工学部紀要、Vol40、No. 1、2000、pp. 95～99。
- 2) 滝沢進、木村修一、近藤博：衝撃的上下動を受ける橋脚の応答に関する基礎研究、土木学会第 27 回関東支部技術研究発表会講演概要集、pp. 92～93、2000
- 3) 東藤善三郎、関根守、田中久子、牧志龍男：小型ロードセル(LC_5TV～20TV)について、共和技報、397
- 4) 佐藤朗：計測概論、pp. 109～124、コロナ社

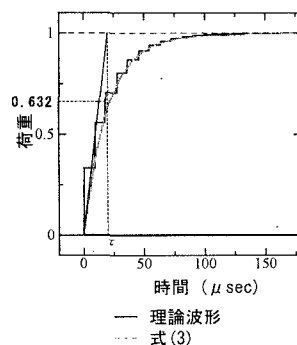


図 5. 理論波形と計算波形

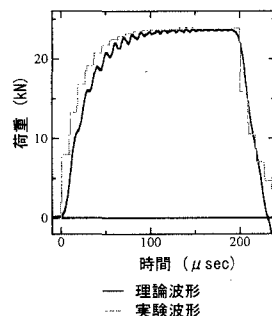


図 6. 理論波形と実験波形

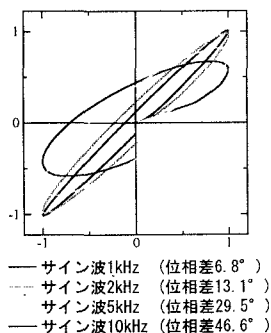


図 7. 周波数応答

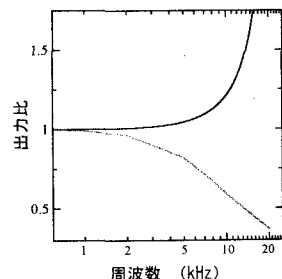


図 8. 周波数特性の比較