

## 20. 動的ロードセルの問題点

### 出力値はロードセルの大きさに比例する

東海大学・院  
通信土木コンサルタント(株)  
東海大学工学部

廣川 匠  
木村 修一  
近藤 博

#### 1. はじめに

ロードセルの構造形式は種々あるが、コラムタイプのロードセルは、応答周波数が高いので、一般に衝撃荷重測定用として用いられている<sup>1)</sup>。その応答周波数には、ロードセルの載荷部を質点(m)、受感部をばね(k)と仮定して求めた固有振動数の1/10程度が一般に採用されている。これは、振動論に基づいた解析から、固有振動数の1/10の振動数で共振の影響を受け誤差が+1%生じる<sup>2)</sup>と考えられているからである(この考察に問題があることは既に報告した<sup>3)</sup>)。なお、土木学会で進めている、衝撃試験の標準化のための研究のなかでもコラムタイプのロードセルが利用されている<sup>4)</sup>。

しかし、梅田の調査<sup>5)</sup>によると、センサメーカを含め多くの利用者がロードセルの計測値に疑義を感じ、ロードセルの動的校正法の確立を願っている。いっぽう、藤井ら<sup>6)</sup>はロードセルで動的荷重を測定するのは無理と結論づけ、衝突体の速度計測から動的荷重を求める方法を提案している。しかし、藤井らの方法は被衝突体の剛性が大きいと問題が生じると推察する。また、藤井らは動的ロードセルの問題点については検討していない。

動的試験の速度による分類を表-1に示す<sup>7)</sup>。載荷速度0.5m/sは低速度試験に分類されている。速度0.5m/sは、重錘が1.28cmから落下したときの速度である。この程度の高さから重錘が落下したときの動的荷重も、ロードセルの寸法に計測値が影響を受ける。しかし、低速度試験の場合、大多数の利用者はその問題点に気が付かないで、ロードセルを利用してきたと想像する。

本研究は、ロードセル(コラムタイプ)の寸法や設置台の動的剛性を変化させて、重錘をロードセル上に落下させる実験を行った。その結果、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や設置台の動的剛性に大きく影響を受けることを明らかにした。次に、この原因は、重錘、ロードセル及び設置台に生じる応力波の多重反射の影響であることを、インピーダンス法を採用した数値計算で明らかにした。さらに、多重反射の影響を小さくする

ために、ロードセルの載荷部にゴム製緩衝材を設置して同様な実験を行った。その結果、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や設置台の剛性の影響を受けない出力値になることを明らかにした。ただし、このときの出力値は、緩衝材を設置しないときと比べると非常に小さくなる。すなわち、動的載荷試験でのロードセルでの測定値は、設計等に直接利用できないことを明らかにした。

表-1 載荷試験の速度による分類

区分	載荷実験			
	静的～ 準静的	動的(急速)		
		低速度	中速度	高速度
載荷 速度	0.1m/s 以下	0.1～ 0.5m/s	0.5～ 1.0m/s	1.0m/s 以上
区分	衝撃実験			
	低速度	中速度	高速度	超高速度
載荷 速度	10m/s 以下	10～ 50m/s	50～ 100m/s	数100m/s 以上

#### 2. 動的力とその測定法

物体が衝突する様子を図-1(a)に示した。このときに物体間に生じる力が動的力 $F_L$ である。この力を測定するのに図-1(b)に示した方法が一般的に採用されている。すなわち、重錘にロードセルを設置し動的力 $F_L$ を測る方法や、重錘に加速度計を設置し、衝突時の加速度を測定し動的力 $F_a (=ma)$ を求める方法である。しかし、測定した $F_L$ が $F_L$ と一致するかどうかは議論されていない。また $F_a$ についても同様である。重錘にロードセルを設置する方法は、土木学会で進めている衝撃試験の標準化のための研究でも利用されている。その研究では、ロードセルの先端部の曲率を変化させて実験し、曲率が小さくなる(被衝突体との接触面積が大きくなる)と、動的力が大きくなったと述べているが、この原因については明らかにされていない。

本研究では、図-1(c)に示すように、図-1(b)に示した方法とは異なり、被衝突体にロードセルを

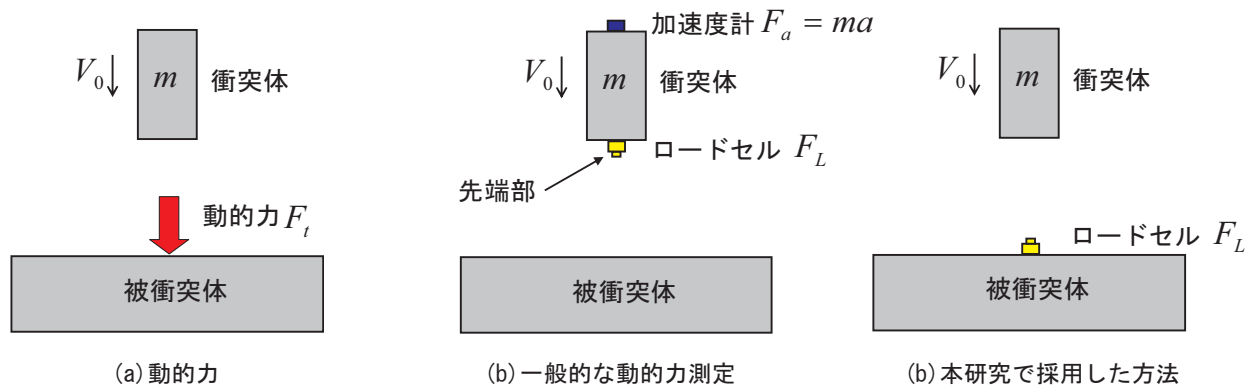
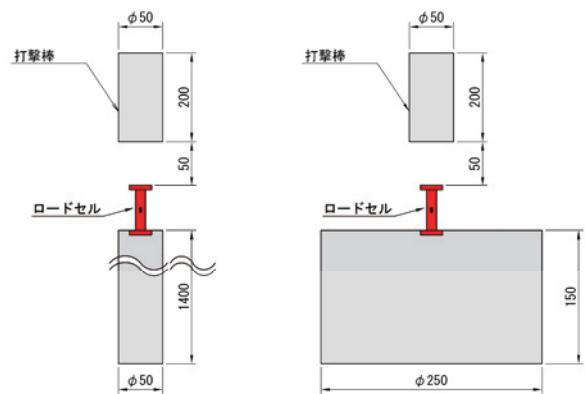


図-1 動的力とその測定法



LC1 LC4  
図-2 供試ロードセルの形状



(a) 設置台 S (b) 設置台 L

図-3 実験装置の概要

設置する方法で動的力を測定した(図(b)と図(c)でのロードセルの測定値は同一になる)。

### 3. 実験装置と方法

#### 3.1 供試ロードセル

図-2に、ひずみゲージ接着前の供試ロードセルの写真を示した。ロードセルの载荷部と設置部の直径は25mm、厚さは5mmである。また、受感部の長さは45mmで、受感部の断面積は、ロードセルの寸法の影響を調べるために、载荷部と設置部の断面積の1/5と4/5になっている。そこで、これらのロードセルを、LC1, LC4と呼ぶことにする。ロードセルの校正値は静的载荷により決定した。

#### 3.2 設置台

図-3に実験装置の概要を示した。図から明らかのように、ロードセルの設置台は、直径50mmで長さ1400mmの鋼棒と、直径250mmで厚さ150mmの鋼製台座の2種を採用した。これらの設置台を、それぞれ、設置台S、設置台Lと呼ぶことにする。設置台Sおよび設置台Lの断面積はロードセル設置部の断面積のそれぞれ4倍、100倍になる。

### 3.3 実験方法

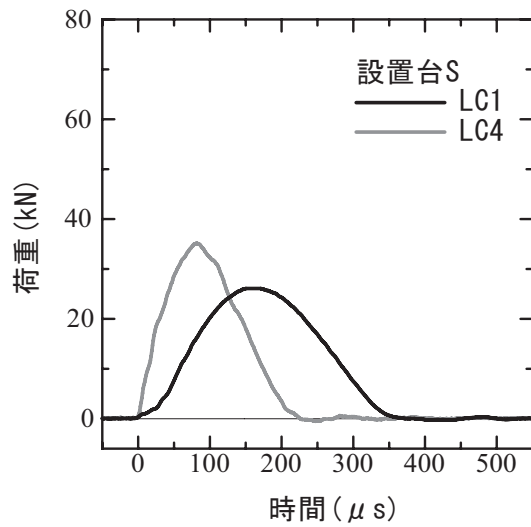
実験は、図-3に示したように、直径50mm、長さ200mmの打撃棒を落下高さ50mmから自由落下させて、ロードセルに载荷した。このときの载荷速度は約1m/sになる。なお、ロードセルに生じる荷重は载荷速度に比例する。

### 4. 実験結果と検討

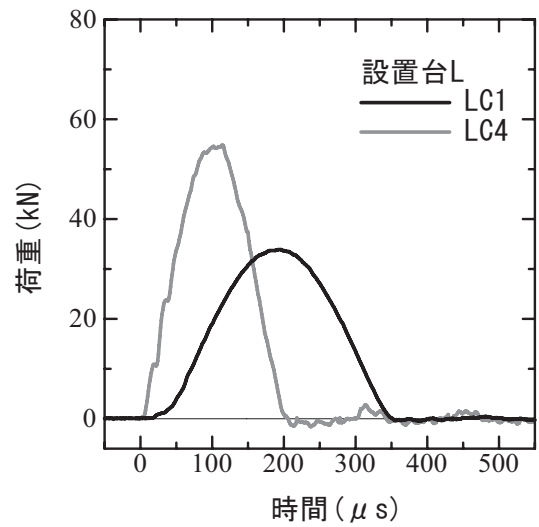
#### 4.1 緩衝材を設置しない場合

図-4に、緩衝材を設置しないで実験したときの、測定荷重を示した。両設置台とも、ロードセルの受感部断面積が大きいLC4の荷重値が、LC1の値より大きくなった。また、大きくなる割合は設置台Lのほうが大きい。さらに、設置台Lでの荷重が設置台Sでの荷重より大きくなっていることもわかる。これから、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や設置場所の動的剛性の影響を受けることが推察される。

図-5は、図-4と同条件での、波動伝播モデルを利用した計算荷重を示したものである。計算荷重は荷重測定システム(打撃棒、ロードセル、設置台の3者からなる)内の応力波の多重反射の重ね合わ

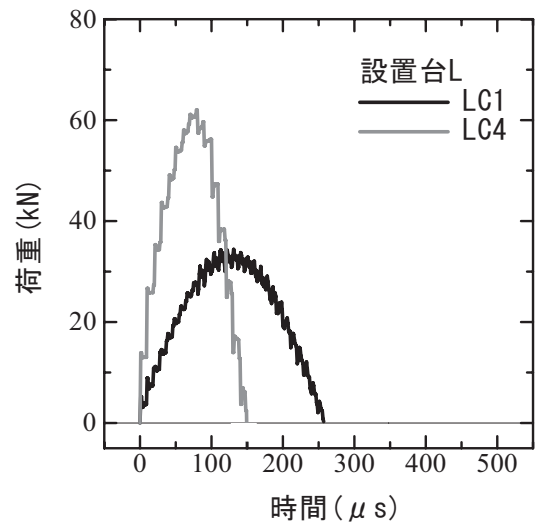
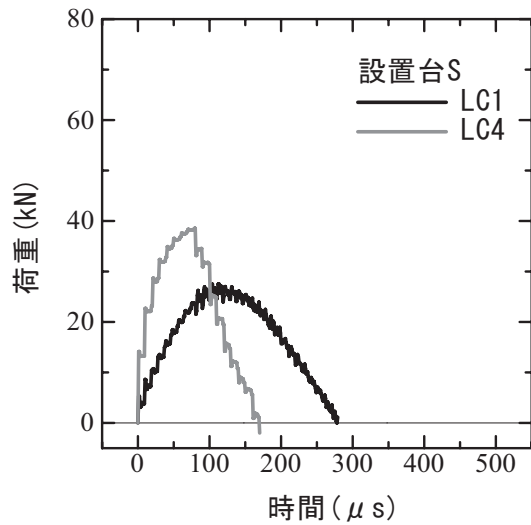


(a) 設置台 S



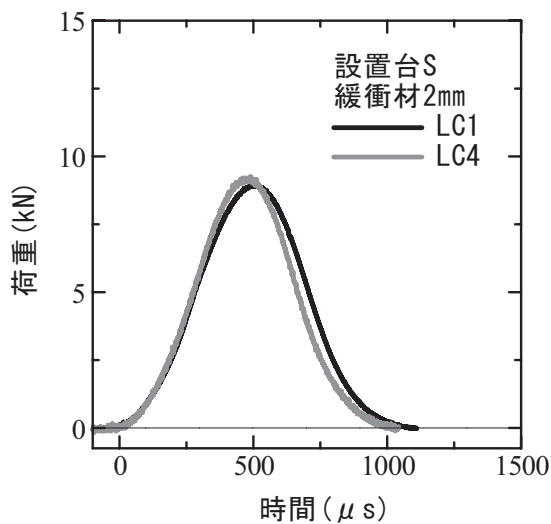
(b) 設置台 L

図-4 緩衝材を設置しないときの測定荷重

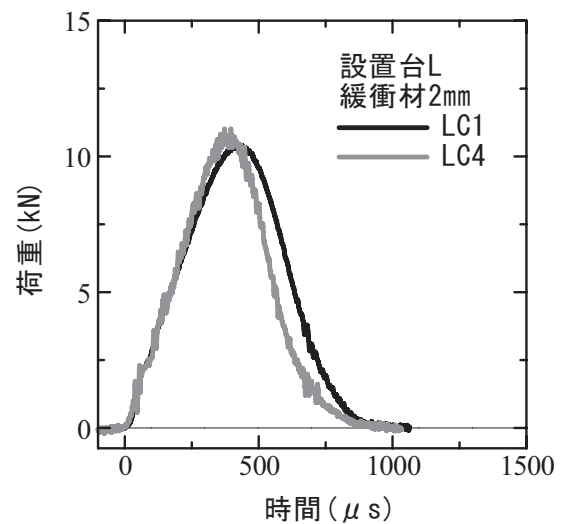


(b) 設置台 L

図-5 緩衝材を設置しないときの計算荷重



(a) 設置台 S



(b) 設置台 L

図-6 緩衝材 2mm を設置したときの測定荷重

せで求めたものである。

図-4と比較すると、立ち上がりが早くなるとともに、最大荷重も少し大きくなった。これは、理想条件での計算のため、計測装置や衝突体と被衝突体の接触状況の影響を受けないからである。すなわち、差異が少々あるものの図-4に示した測定荷重をよくシミュレートしていることがわかる。以上の検討から、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や、ほとんど関心が払われていない、ロードセルの設置場所の動的剛性に比例することがわかる。数値計算によると、打撃棒が大きくなるにつれ、同一ロードセルでの、設置台Sと設置台Lの出力値の差は増大する。

よって、荷重計測システム内に波動が生じる条件では、ロードセルによる測定荷重の利用方法に問題が生じることがわかる。

#### 4.2 緩衝材を設置した場合

図-6は、ロードセルの載荷部に厚さ2mmの緩衝材を設置して実験したときの、測定荷重である。両設置台の実験波形は、ロードセル寸法の影響を受けずほぼ一致した。しかし、動的剛性の大きい設置台Lでの測定荷重は、設置台Sでの測定荷重より大きくなっていることがわかる。これは、波動伝播の影響を緩衝材厚さ2mmでは排除することができず、設置台の剛性が出力値に影響したためである。

図-7は、ロードセルの載荷部に厚さ4mmの緩衝材を設置して実験したときの測定荷重である。灰色線は、緩衝材無しの実験では荷重が最も小さくなる、ロードセルLC1で設置台Sで測定荷重で、黒線は、緩衝材無しの実験では荷重が最も大きくなる、ロードセルLC4で設置台Lでの測定荷重である。図から、両測定荷重がほぼ一致していることがわかる。厚さ2mmの緩衝材では、両設置台での測定荷重に差異があったが、厚さ4mmの緩衝材では差が消滅したことになる。すなわち、今回の実験条件では、厚さ4mmのゴム製緩衝材を設置したときの衝突箇所のインピーダンス以下でロードセルを使用するならば、境界条件等の影響を受けずほぼ同じ荷重値を測定できることになる。しかし、このときの荷重値は、緩衝材を設置しないときの荷重値に比較して非常に小さくなる。

4.1と4.2の検討から、ロードセルは、特別な条件以外では動的荷重の計測に利用できないことがわかる。

#### 5. まとめ

ロードセルの寸法等を変化させての基礎実験を行うとともに、インピーダンス法を採用した波動伝播モデルにより検証し、以下のことが明らかに

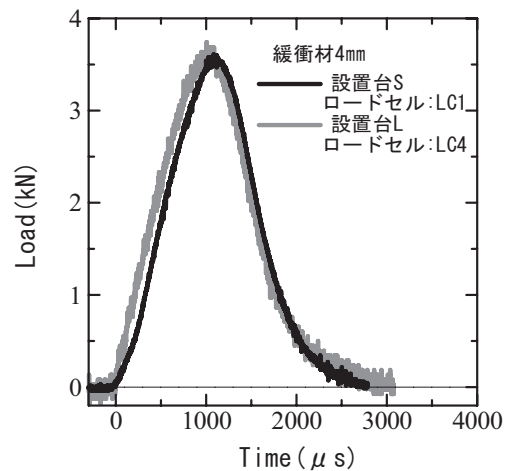


図-7 緩衝材 4mm を設置したときの設置台 S での LC1 と設置台 L での LC4 の測定荷重

なった。

- (1) 動的ロードセルの校正法は静的校正で良いことを明らかにした。
- (2) ロードセルの測定値は、ロードセル寸法に比例するとともに設置場所の動的剛性にも比例する。
- (3) よって、ロードセルは特殊な条件以外では動的荷重の計測には利用できないことが明らかになった。特殊な条件とは、ロードセル内部の波動伝播の影響を無視できる条件のことである。
- (4) インピーダンス法での計算値は、測定値とほぼ一致した。よって、インピーダンス法はロードセルの動的問題を検討するのに有効な手段となる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，pp.17～18，2004。
- 2) 東藤・関根・田中・牧志：小型ロードセルについて，共和技報，397，1991。
- 3) 近藤・木村・本間：ロードセルの動的応答特性，計測自動制御学会論文集，Vol.41，No.10，pp.783～786，2005。
- 4) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，pp.53～71，2004。
- 5) 梅田：動的力計測の現状と問題点，計測と制御，Vol.27，No.6，pp.537-542，1988。
- 6) 磯部・藤井・斎藤：エアスライド型衝突試験機による動的荷重計測値の実験的および解析的評価，機械学会論文集(A編)，67巻，657号，pp.799～806，2001。
- 7) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，p.5，2004。