

# 41. 建設機械用荷重センサの開発と適用例

日立建機(株) 緒方 浩二郎・\*高田 龍二  
成 沢 順 市・大 山 正 三

1. 緒言 建設機械のメカトロ化の進展に伴い、クレーンの吊荷重検出、油圧ショベルの掘削力検出など、機械に加わる外力の検出が必要になるケースが増加している。このようなケースでは、既存の機械に大幅な改造を施さずに装着できる荷重センサであることが望ましい。そこで建設機械に限らず多くの機械がピン結合を用いており、伝達される力はすべてピンを通ることに着目し、ピンそのものを荷重センサとすることを考えた。すなわち、1) 外形は通常のピンと同じで、2) ピンの強度は落とさずに、3) 回転の中心となる、力を伝達する等のピンとしての働きを損なわずに、4) ピンそのものが荷重センサになっている、というものである。これをピン形ロードセルと呼ぶことにする。

従来、ピンに作用する力を検出するには、力の流れる部分の剛性を低くして、ひずみ感度を高くするという方法がとられていた。しかしこれではピンの強度低下という問題点があった。それに対してひずみ増幅機構を内蔵し、ひずみを高感度に検出できる構造を実現して、ピンの強度低下がほとんど問題とならない構造を実現した。この構造は東京大学工学部畑村洋太郎教授の御考案によるもので、著者らが同氏の御指導の下に開発をすすめたものである。

## 2. 基本原理と構造<sup>1)</sup>

ピン形ロードセルは図1のように、機械部品どうしでピンを介して伝達される力の大きさと方向を検出する。ピンが力を受けた時の変形は、剪断力による剪断変形と曲げモーメントによる曲げ変形とがある。荷重状態が図1のような時に、荷重の大きさが一定でも圧力分布が変化すると、剪断変形は変化しないが曲げ変形は変化する。そこでピン形ロードセルは剪断変形のみを検出する構造とした。剪断変形を検出する機構として図2のような直交2軸方向に積層した平行平板構造を利用した。平行平板構造は平板をたわませる方向にのみ剛性が低いので、図2の構造ではXY面内の任意の方向の力をX・Y2方向の分力として検出でき、従って力の大きさおよび方向が検出できる。図3は平行平板構造を利用したピン形ロードセルの基本構造で

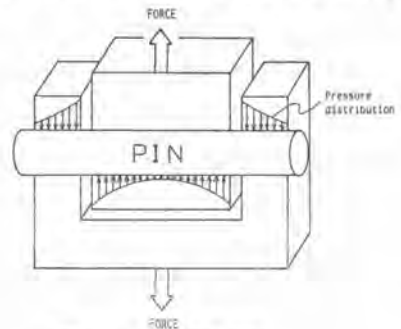


図1 ピンの荷重状態

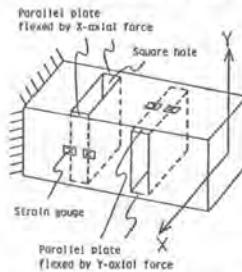


図2 平行平板構造の積層

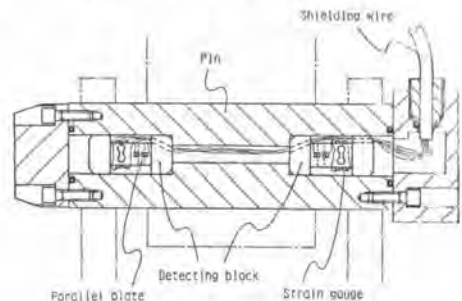


図3 ピン形ロードセルの構造

ある。ピンの軸心に穴を設け、中に検出ブロックを挿入してピンと一体になるように結合させたものである。この構造ではピンの外径はいじらずに、中心部に穴をあけただけなので、ピンの強度低下はほとんど問題にならない。

以上のような構造で剪断変形をいかに増幅して検出するかを図4で説明する。ピンが力を受けて $\delta$ だけ変形したとすると、検出ブロックも $\delta$ だけ変形する。ところがこの変形量 $\delta$ は検出ブロック全体で一様に生じるのではなく、剛性の低い平行平板部に集中して生じる。つまりピンでは幅 $L$ の間で生じた変形が、検出ブロックでは丸穴の径 $d$ の間に集中するのである。従ってピン自体のひずみ量は微小であるにもかかわらず、平行平板部のひずみ量は拡大されており、高精度の検出が可能になる。また曲げ変形に関しては、平行平板が軸心に近いため元々曲げによる影響が小さい。さらに4枚のひずみゲージでブリッジを組むことにより、曲げ変形による出力をキャンセルするようにしている。以上のような原理により曲げ変形を検出せず、剪断変形のみを増幅して高感度で検出することができる。

図3の構造の2方向荷重検出用ピン形ロードセルの仕様を表1に示す。

### 3. 性能試験結果

ピン形ロードセルの性能試験の結果を図5に示す。ピン形ロードセルはX・Y2方向の力を検出するのであるが、a)はX方向に力をかけた時、b)はY方向に力をかけたときのX、Yそれぞれの出力である。たとえばa)では検出方向のX出力が出力し、干渉出力であるY出力はほぼ0である。非直線性1.5% R.O.、ヒステリシス0.7% R.O.の性能を得た。

X・Y2方向の出力を合成することにより、加えられた力の方向と大きさがわかる。検出した力の方向と実際に加えた力の方向が一致するかを試験した方向分離性能試験の結果を図6に示す。図の細線が実際に加えた力の方向、太線がロードセルで検出した力の方向を示す。方向分離の誤差が1.5°以下と極めて良好な結果を得た。

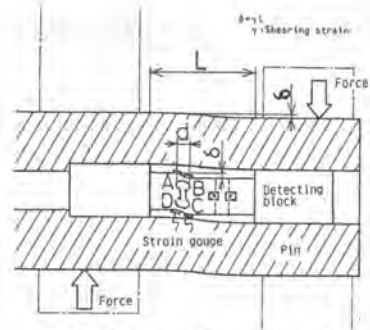


図4 ピン変形の増幅機構

表1 試作ピン形ロードセルの仕様

Pin diameter	50 mm
Detecting block diameter	18 mm
Rated capacity	100 kN (10 tonf)
Rated output	0.75 mV/V

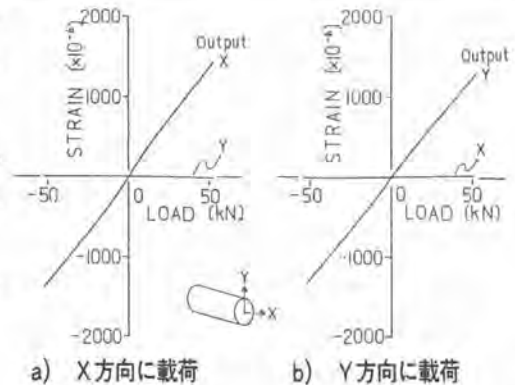


図5 ピン形ロードセルの性能

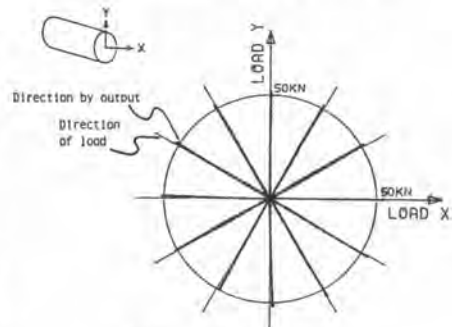


図6 方向分離性能試験

#### 4. 実機への適用例

##### 4.1 クレーン仕様油圧ショベル用荷重計

クレーン仕様油圧ショベルとは、油圧ショベルのバケットの代わりにグラップル、リフマグ等の吊り荷装置を取りつけた機械である。クレーン等安全規則に適合する、過負荷防止装置（モーメントリミッタ）の荷重検出器として、ピン形ロードセルを適用した。図7にクレーン仕様油圧ショベルを示す。グラップルを吊っているピンにピン形ロードセルを適用して吊荷重を検出する。表2に本機に適用したピン形ロードセルの仕様を示す。

従来、油圧シリンダ圧力で吊荷重を検出する方法があった。しかしながら摩擦の影響で精度が悪い。シリンダのストロークエンドでは測定不能等の問題点があった。ピン形ロードセルで荷重をダイレクトに検出することにより、これらの問題点が解決され高精度の過負荷防止装置を実現した。また、ピン形ロードセルはもともと機械構造の一部であったピンそのものがロードセルになっているので、ロードセルを取りつけるための新たなスペースが不要である。本機の場合、その分揚程を高くすることができた。

##### 4.2 超大型クローラクレーン用荷重計

吊り上げ能力8400KN×30mの超大型クローラクレーン（米・ランプソン社製）の過負荷防止装置の荷重検出器として、ピン形ロードセルを適用した。図8にクレーンの概略を示す。ブーム先端のブーム起伏ロープ係合ピンにピン形ロードセルを適用して、ブーム起伏力を検出している。表3に本機に適用したピン形ロードセルの仕様を示す。

本機は日立運輸により国内に導入されたものであるが、国内法規により過負荷防止装置の装備が義務づけられたものである。ロード

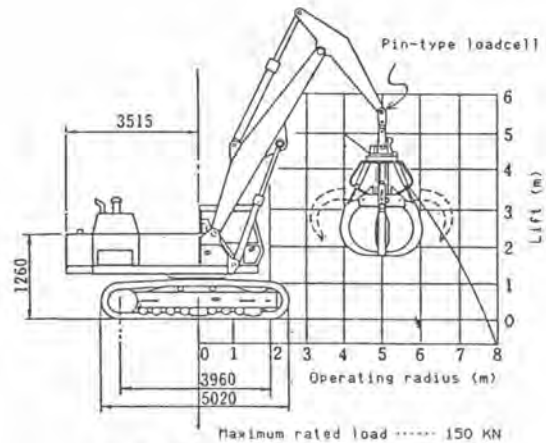


図7 日立UH16アーム型クレーン

表2 アーム型クレーン用ピン形ロードセルの仕様

Pin diameter	80 mm
Detecting block diameter	30 mm
Rated capacity	200 kN (20 tonf)
Rated output	0.75 mV/V

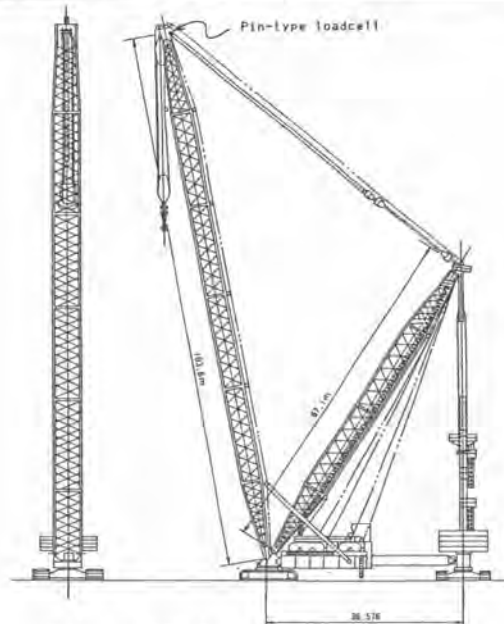


図8 HU46000クローラクレーン（日立運輸）

表3 HU46000用ピン形ロードセルの仕様

Pin diameter	204.4 mm
Detecting block diameter	35 mm
Rated capacity	5000 kN (500 tonf)
Rated output	1.5 mV/V

セルのピンを交替するだけで装着できるという特徴を生かして、本体をほとんど改造せずに過負荷防止装置を装備することができた。

#### 4.4 油圧ショベルの掘削抵抗測定実験

油圧ショベルの掘削バケットの2本のピンにピン形ロードセルを適用して、掘削時にバケットが土から受ける掘削抵抗を測定した。実験の概略を図9に示す。実験には表1のピン形ロードセルを使用した。

一例として、通常のパケットによる掘削と内面にテフロンを貼った低摩擦パケットによる掘削とで、掘削抵抗を比較した結果を図10に示す。これはロームを掘削した時のものである。低摩擦パケットでは掘削抵抗が低減されることがわかる。このようにピン形ロードセルを用いると、今まで容易に測定できなかった力も測定できるようになる。

#### 5. 結言

機械部品のピンとしての、回転の中心となる力を伝達する等の働きを損なわず、ピンの強度低下もほとんどなしに、ピンそのものを2方向ロードセルにしたピン形ロードセルを開発した。従来機械をほとんど改造せずに装着でき、従来容易に測定できなかった力を測定できるようになった。

今後、ピン形ロードセルの既成の機械に適用しやすいという特徴を生かして、建設機械・産業機械・ロボット等多方面での活用が期待される。

おわりに、ピン形ロードセルの開発期間中、熱心に御助言、御指導を賜った東京大学工学部畑村洋太郎教授に、本欄を借りて厚く御礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 畑村, 高田: 機械学会日立地方講演会論文集 (昭59-9), 97.
- 2) 畑村: 機誌, 86-774 (昭58-5), 476.

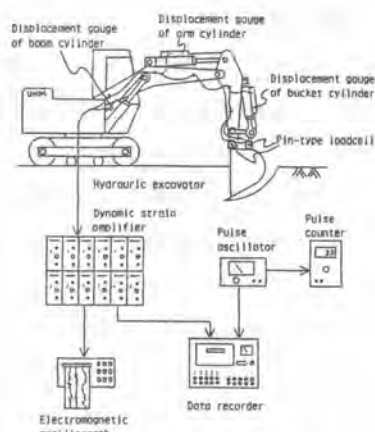


図9 土の掘削実験システム

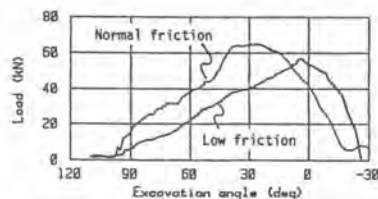


図10 通常バケットと低摩擦バケットの掘削抵抗