

# 衝撃荷重測定用ロードセルの試作

中野 修\*・岸 徳光\*\*・松岡健一\*\*\*・  
後藤雪夫\*\*\*\*

本研究は土あるいは砂中を伝播してその底部に伝達される衝撃力を合理的に測定することを目的として、衝撃荷重測定用ロードセルの試作とその妥当性について検討を行ったものである。試作は、静的に用いられている土圧計の動的荷重に対する適用性の問題点を検討し、それらを改善する形で行った。検討結果、本文で試作したロードセルは容量  $200 \text{ kgf/cm}^2$  ( $19.6 \text{ MPa}$ )、周波数特性が最大  $1 \text{ kHz}$  を有する衝撃荷重測定用として実務的に利用可能であることが明らかになった。

**Keywords** : load cell, dynamic soil pressure, shock absorber

## 1. はじめに

近年、社会基盤のより一層の整備の為に、厳しい環境条件下での施設構造物の建設が要求されるようになってきた。その一つにロックシェッドあるいはスノウシェッド構造物が上げられる。この種の構造物の設計上の最大の問題点は、効果的な緩衝工の設計および衝突物の規模の評価にある。また、衝撃荷重作用時の構造物の動的性状の把握も合理的設計のためには重要な要素である。

上記等の衝撃的荷重が作用する構造物の合理的な構造設計を推進するために各機関において理論的、実験的な検討が行われている。実験的研究に限定すると、例えば電力関連施設構造物に関しては電力中央研究所における一連の研究<sup>1),2)</sup>があり、砂防関連構造物を対象としては石川を中心とした研究<sup>3)-5)</sup>がある。コンクリート構造部材を対象としては、藤井と宮本の研究<sup>6)</sup>や著者らの研究<sup>7),8)</sup>がある。また、大野を中心とした研究グループはコンクリート部材を対象として高速載荷時の挙動解析や材料特性に関する研究<sup>9),10)</sup>を行っており、藤本等は衝撃荷重の地下構造物への影響について検討を行っている<sup>11),12)</sup>。落石覆工構造物を対象とした実験的研究には、吉田と榎谷等による敷砂の緩衝効果に関する一連の研究<sup>13)-15)</sup>があり、最近では新しい材料を用いた緩衝効果に関する研究について吉田等<sup>16)</sup>や著者等<sup>17)</sup>によって試みられている。

衝撃的荷重載荷に対する構造物の衝撃応答倍率や応答特性、伝達衝撃力の評価に関する検討には、加速度計や

圧力計、歪ゲージ等のセンサーを用い、センサーからの出力を精度良く記録するための高帯域用の増幅器や記録器を用い測定を行っている。しかしながら、センサーは、歪ゲージや圧電素子型の変換器を除き、測定振動数に限界があるため、構造物の応答周波数を考慮して選択しなければならない。また、ロードセルの場合には高出力を得るために構造的な工夫が施されているため、静的載荷用を衝撃載荷用として利用する場合には、動的荷重作用時の応答値、応答周波数についての妥当性検討が必要であるものと考えられる。

一方、落石覆工の緩衝材等を伝播する伝達衝撃力算定のためには、緩衝材底部における作用応力を測定しなければならない。過去の実験結果によれば  $50 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$  ( $4.9 \sim 9.8 \text{ MPa}$ ) 程度の伝達応力が発生しており、このような比較的高い圧力で数百 Hz 程度の応答周波数の波形を効率的に測定できるセンサーは著者等の知る限りでは見あたらない。市販されている土圧計の使用も考えられるが、次章で述べているように静的載荷に対する測定用として設計されており、周波数特性に関する保証がなされていないため、動的載荷時の測定には十分な検定が必要であるものと考えられる。

本文では、このような観点から衝撃的に作用する伝達応力を効率的に測定するために、従来までのロードセル等荷重変換器の構造と異なった考え方に基づいた衝撃荷重測定用ロードセルの製作を試み、数値解析や衝撃実験によってその実用性についての検証を行った。

## 2. 各種荷重変換器の概要

### (1) 荷重計

市販されている歪ゲージタイプの荷重計構造には、容量に応じ Fig.1 に示すような三タイプが有るようである。すなわち、1) 直線梁受感形、2) 曲げ受感形、3) 中空円筒受感形である。前2タイプはいずれも梁の曲げ

\* 正会員 工修 開発土木研究所室長 構造部構造研究室  
(〒062 札幌市豊平区平岸 1-3)

\*\* 正会員 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム  
工学科

\*\*\* 正会員 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工  
学科

\*\*\*\* 正会員 計測技販(株) 代表取締役

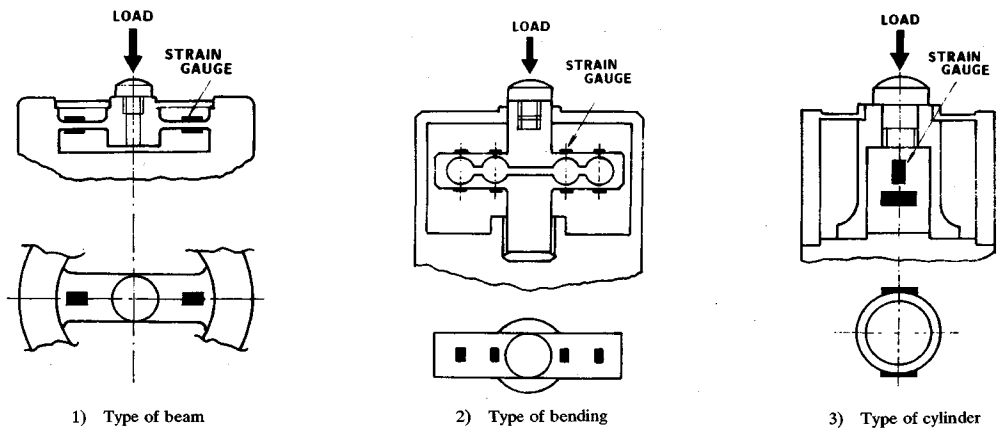


Fig.1 Types of detector of load cell with strain gauge<sup>18)</sup>

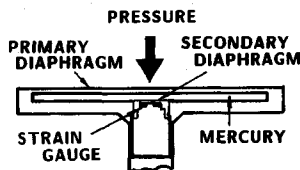


Fig.2 Sectional view of soil pressure meter with strain gauge<sup>18)</sup>

歪より、後者は円筒シェルの軸歪より荷重を算定するものである。すなわち、前者は載荷荷重に対して大きな歪出力を確保するために、載荷荷重を梁に作用させその曲げ歪成分を測定することによって算定するものであり、後者に関しては大容量とするために中空円筒の軸歪成分を測定することによって算定するものである。従って、梁あるいは円筒部の剛性を変化させることによって任意に容量が設定できる構造になっており、固有振動数も容量が増すほど高くなっていく。

衝撃実験への応用としては、これら荷重計を衝突体側に設置することにより受圧部の突起部を利用して衝突衝撃力の測定が可能であるものと考えられる。しかしながら、受圧部が小さく突起状になっていることにより感知荷重も小さくかつ横方向作用力の影響を受けやすい構造となっているため、敷砂中の伝達衝撃力等の応力測定に関しては、たとえ小型のものであっても不向きであると思われる。

## (2) 土圧計

市販の二重ダイヤフラム歪ゲージ型土圧計についてその概要を示す。直径 30 mm 程度の小型土圧計も市販されているようであるが、受感構造が明示されていないためここでは上記土圧計タイプに限定して議論を進めることとする。Fig.2 にその構造図を示す。受感構造は Fig.2 に示されているように、一次ダイヤフラムと二次ダイヤフラムの間に圧力伝達の為に水銀を用い、一次ダイヤフラムから二次ダイヤフラムに伝達された圧力を二

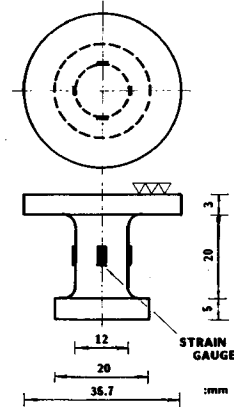


Fig.3 Load cell manufactured on trial basis

次ダイヤフラムの曲げ歪に変換し測定するようになっている。また、形状寸法は小型のタイプで直径 65 mm、厚さが 8 mm 程度、大型のタイプでは直径 200 mm、厚さが 25 mm 程度となっている。

勿論これらの土圧計は静的荷重に対して設計されたものであるが、このような受感構造を有する土圧計を衝撃的な動土圧測定に応用する場合には以下のような点を認識して用いなければならないものと考えられる。

すなわち、

1) 第一次ダイヤフラムから第二次ダイヤフラムへ受圧面からの微小変位を精度よく伝達させるため、第一次ダイヤフラムの剛性(板厚)を小さくしなければならない。しかしながら、その結果碎石等の鋭角部が多い材料や玉砂利等受圧部の径よりも小さい材料が土中に混在している場合には、それらが集中荷重的に作用してダイヤフラムの局部変形が増大するため作用応力が過大に評価される可能性がある。

2) 2つのダイヤフラムと水銀を介するため周波数特性は低いものと予想され、伝達衝撃力の測定等に利用す

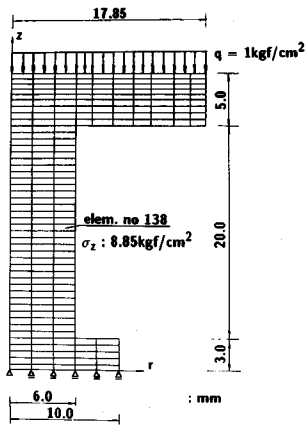


Fig.4 Mesh and loading condition for the load cell

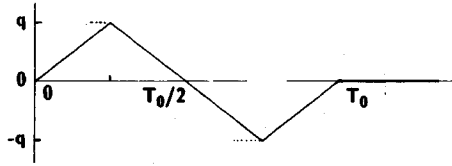


Fig.5 Wave distribution of input load

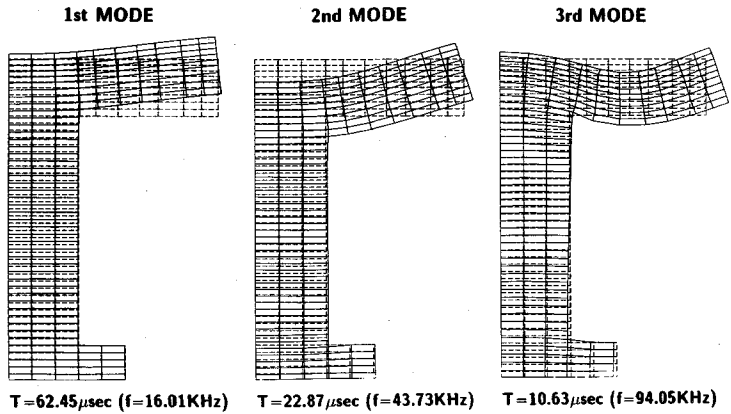


Fig.6 Fundamental natural periods and modes

る場合は、その妥当性を事前に検討することが必要である。

3) 受圧部周辺は受圧部に比して剛な構造になっているため、その剛な部分に応力が集中する可能性がある。

4) 二重ダイヤフラムの場合には、最も小型のタイプでも直径が 65 mm もあり平均土圧的な感を免れない。

5) 測定範囲が最大でも 20 kgf/cm<sup>2</sup> (1.96 MPa) 程度で、室内衝撃载荷実験等における使用性にかなり制約がある。

### 3. 衝撃荷重測定用ロードセルの試作

#### (1) 概要

敷砂等の緩衝材料中を伝播する衝撃的な応力を正確かつ効率的に測定することを目的として、衝撃荷重測定用ロードセルの試作を行った。ここで試作されたロードセルは衝撃的に作用する荷重の測定に際し、上記荷重計や土圧計の短所と思われる点を改善することを主眼にして製作された。すなわち、

1) 受感部の方式を変えることなく設定容量に応じて任意にロードセルの形状寸法を決定可能とする。

2) 受圧面近傍における応力集中を防ぐため、補強材等を設けず全面を受圧部とする。

3) ロードセル内における反射波等の問題を極力抑えるためにできるだけ単純な形状にし、かつ大きな歪出力を得るために受圧部よりなめらかに断面を絞り込み、そ

の絞りこんだ部分(受感部)に歪ゲージを添付する。

4) 支持部への応力伝達部も受感部よりなめらかに断面を広げ、集中化した応力を緩和させかつ安定性を向上させる。

上記考え方に基づいて試作されたロードセルを Fig.3 に示す。本ロードセルは受圧面積が 10 cm<sup>2</sup> となるように受圧部半径を決定しており、受感部の応答最大歪を 850 μ 以下に設定すると容量は 200 kgf/cm<sup>2</sup> (19.6 MPa) 程度確保することが出来る。本ロードセルの使用材料は熱処理なしで耐摩耗性、耐圧性に富みかつ表面と内部間で硬さに差がないプラスチック型用鋼材である。また、歪ゲージの温度保証を確保するためと出力の利得を大きくするために 4 枚ゲージ法を適用している。なお、歪ゲージは衝撃的繰返し载荷に耐え得るように焼き付け処理を施している。較正值は静的な繰返し载荷を行ない応力換算で 200 kgf/cm<sup>2</sup> まで直線性が保証されていることを確認の後決定している。

#### (2) 精度の検討

##### a) 弾性解析による検討

試作したロードセルの実務への応用性を確認するために、断面方向にアイソパラメトリック四辺形要素を用いた軸対称有限プリズム要素法を適用した弾性衝撃応答解析を行い、入力波形と歪ゲージ添付位置における軸方向応力 (Fig.4 の要素番号 138 の z 方向応力  $\sigma_z$ ) 波形を比較する形で検討を行った。ロードセル構造の要素分割、境界条件および载荷状態を Fig.4 に示す。実物では隅角部をなめらかな曲線としているが、有限要素解析では簡素化して直角な要素としている。従って、本解析は実挙動よりも厳しい評価を与えるものと考えられる。本解析では断面を 211 の軸対称プリズム要素に分割し、受圧面に  $q=1 \text{ kgf/cm}^2$  (0.098 MPa) の満載等分布荷重を载荷させ解析を行っている。解析は定常正弦波入力を仮定し強制振動問題として取り扱う方法も考えられるが、ロードセルの動的問題への適用性検討のためには初期条

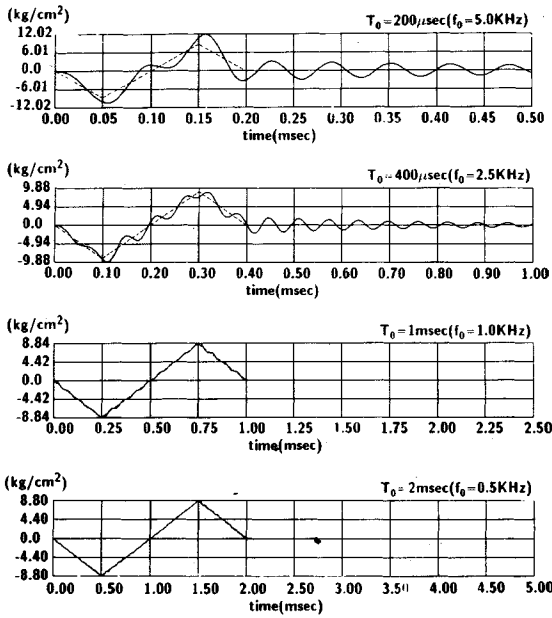


Fig.7 Response of  $\sigma_z$  at the location (elem. no.138) of strain gauge ( $h=0.025$ )

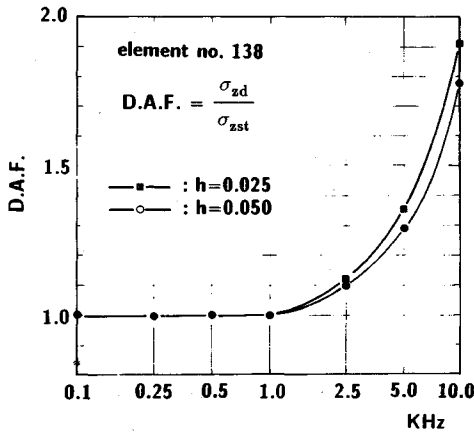


Fig.8 Dynamic amplification factor of  $\sigma_z$

件を考慮した応答解析に基づき最大幅のみならず入力波全体の応答性状も検討しなければならない。入力荷重を要素番号 138 の  $\sigma_z$  の応答波形より推定評価する問題に関しては、入力波として折線分布を仮定する場合は正弦分布仮定よりも精度的に厳しいと考えられるため、本論文では設定周期  $T_0$  に対して Fig.5 に示すような一周分の折線分布をする入力波形を設定している。解析に用いた鋼材の物性値は、弾性係数  $E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$  ( $2.058 \times 10^5 \text{ MPa}$ )、ポアソン比  $\nu=0.30$ 、密度  $\gamma=7.85 \text{ gf/cm}^3$  ( $76.93 \text{ kN/m}^3$ ) としている。応答解析は弾性解析ゆえモード法を適用し、最低次 (固有周期  $T=62.45 \mu\text{sec}$ 、固有振動数  $f=16.01 \text{ kHz}$ ) から 10 次 ( $T=3.67 \mu\text{sec}$ 、 $f=272.3 \text{ kHz}$ ) までの固有値、固有モードを考慮

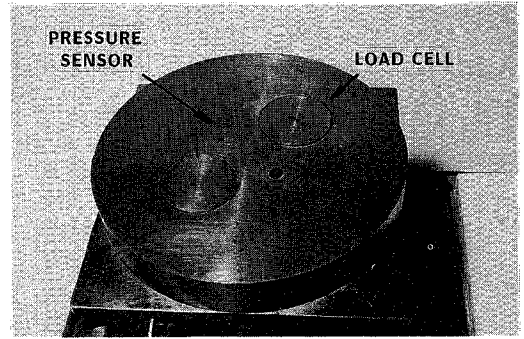


Photo 1 Base mounted with load cells

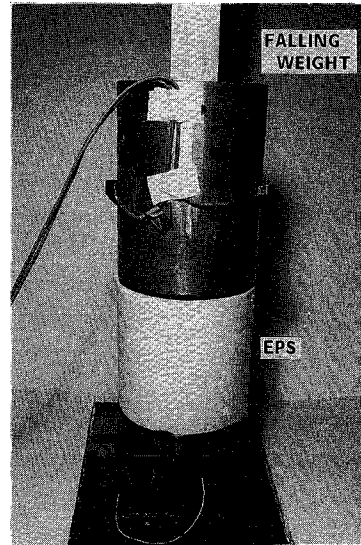


Photo 2 General view of EPS set on the base

して行っている。Fig.6 に最低次より 3 次までの固有モードを示している。なお、考慮する固有値の数に関しては、入力荷重の周波数を本論文で検討している範囲で精度的に最も厳しいと考えられる  $10 \text{ kHz}$  に設定して要素番号 138 の  $\sigma_z$  に関する精度検討を行った。その結果、10 次まで考慮した場合は 20 次まで考慮した場合の結果に対して  $0.02\%$  以下の誤差であることが明らかになったので、ここでは全ての解析ケースについて最低次より 10 次までの固有値および固有モードを考慮することとした。また、減衰定数  $h$  は各モードに対して等しいものと仮定し、 $h=0.025$  と  $0.050$  の 2 ケースを設定した。以下に解析結果について示す。

Fig.7 には  $h=0.025$  として入力波の周期  $T_0$  を  $200 \mu\text{sec}$  から  $2 \text{ msec}$  まで変化させた場合の 5 ケースに関する要素番号 138 (歪ゲージ添付位置) の軸方向応力  $\sigma_z$  分布を示している。Fig.7 の破線は入力波から算定した正解を示す波形分布である。Fig.7 より  $T_0=200 \mu\text{sec}$ 、 $400 \mu\text{sec}$  の場合は未だ最低次固有振動が卓越しているため、最大応答値も入力値より大きく示され、また位相も

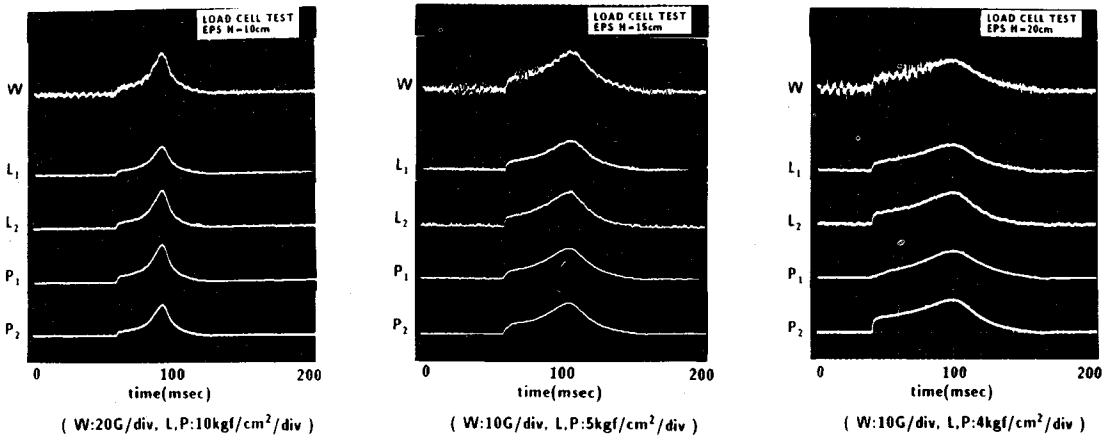


Photo 3 Response of weight acceleration and impact forces from load cells on the base when impact velocity is  $V=4$  m/sec

Table 1 Maximum impact stresses on the base

thickness of EPS H(cm)	maximum stress(kgf/cm <sup>2</sup> )				
	$\sigma_w$	$\bar{L}$	$\bar{P}$	$E_{r1}$	$E_{r2}$
10cm	11.25	11.65	12.25	0.036	0.049
15cm	5.62	5.70	5.60	0.014	0.018
20cm	4.04	4.23	4.30	0.047	0.016

$$E_{r1} = |(\bar{L} - \sigma_w) / \sigma_w|, \quad E_{r2} = |(\bar{L} - \bar{P}) / \bar{P}|$$

(1kgf/cm<sup>2</sup>=0.098MPa)

ずれていることがわかる。一方  $T_0=1$  msec, 2 msec の場合は固有振動も励起されずまた除荷後の応答もほぼ零になっており、入力波を十分推定評価出来るようである。Fig.8には上記軸方向応力に関する動的応答倍率(D.A.F.)について、入力波形の周波数 ( $1/T_0$ ) を 0.1 kHz から 10 kHz まで変化させて整理している。Fig.8 の  $\sigma_{zd}$  は衝撃荷重載荷時の  $\sigma_z$  の動的応答値であり、 $\sigma_{zst}$  は  $q$  を静的に載荷させた場合の  $\sigma_z$  の値を示している。Fig.8 より  $h=0.025, 0.050$  のいずれの場合も 1 kHz 程度までは 1.0 を示しているが、1 kHz 以上の周波数領域では単調増加の状態となっていることがわかる。

以上より、本ロードセルの場合は、受感部に添付した歪ゲージからの出力を用いることにより、減衰定数  $h=0.025$  を仮定した場合でも 1 kHz 前後までは精度良く入力波を推定できることが明らかになった。

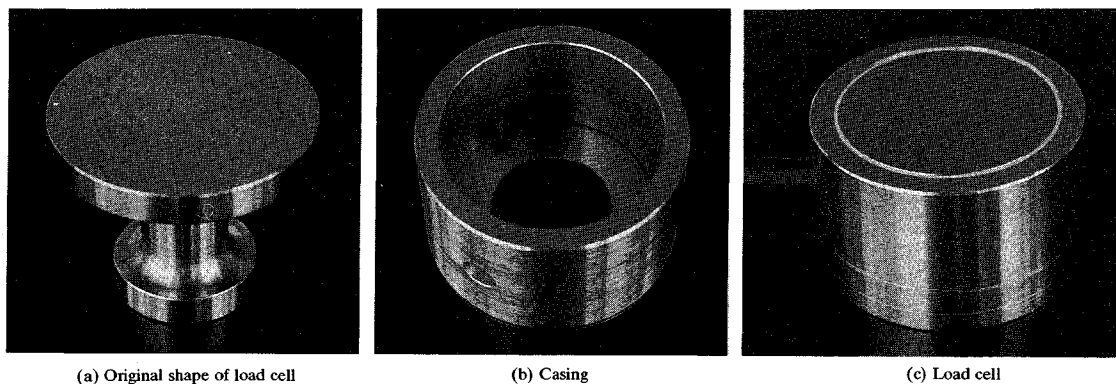
b) 衝撃実験による検討

ここでは試作したロードセルの精確な妥当性を実験的に検討するため、室蘭工業大学に設置されている重錘落下衝撃実験装置を用いた衝撃実験を行った。重錘落下による衝撃荷重は、Photo 1 に示すようなロードセルと容量 10 kgf/cm<sup>2</sup> (0.98 MPa) (許容過負荷 150%)、固有振動数が 40 kHz なる圧力センサーを 2 個ずつ設置した架台上に Expanded Ploy-Styrol 材 (以後簡略化し

て EPS 材と呼ぶ) を介して作用させた。本実験では、重錘は直径 15 cm の平底円筒形で総重量が 70 kgf (686 N) のものを用い、また緩衝材として敷砂の代わりに実験の再現性が良く自立性がある EPS 材を用いている。圧力センサーは応力集中が生じないようにするため架台を掘込み、架台表面が平面になるようにしている。Photo 2 には架台上に EPS 材を設置した状態を示している。重錘の衝突速度は全て 4 m/sec とし、圧力センサーに過度の応力が発生しないように EPS 材の厚さを 20 cm, 15 cm, 10 cm の順に変化させて実験を行った。なお、重錘には容量 100 G の加速度計を取付けている。

Photo 3 に各センサーの応答波形分布を示している。Photo 3 において、 $W$  は重錘に取り付けた加速度計を、 $L_1, L_2$  は試作したロードセルを、 $P_1, P_2$  は圧力センサーを示している。Photo 3 より、加速度波形にはノイズが乗っていることがわかる。これは衝突による応答波形には無関係な、重錘支持金具とリニアウエイ部間の摩擦によって生じたノイズであるものと考えられる。加速度波形のノイズ部を無視して各実験ケースの波形分布を比較すると、 $H=20$  cm における  $P_1$  の立上り部が他センサーと若干異なっている点を除き、他の波形分布は立ち上がり時間、最大応答時間及び継続時間を含めほぼ同一であることがわかる。

Table 1 は最大応力値及び誤差について整理している。表中、 $\sigma_w$  は重錘加速度から算定した平均応力であり、 $\bar{L}, \bar{P}$  はそれぞれロードセル、圧力センサーから得られた平均応力である。また、 $E_{r1}, E_{r2}$  は  $\sigma_w$  および  $\bar{P}$  に対する  $\bar{L}$  の誤差を示している。表より、 $\sigma_w$  は  $\bar{L}, \bar{P}$  に比し若干小さい値を示していることがわかる。 $E_{r1}, E_{r2}$  の各値より、 $\bar{L}$  はいずれの応答値に対しても 5% 以下の誤差であり、特に  $H=15$  cm の場合には両者とも 2% 以下になっている。 $H=10$  cm と  $H=20$  cm の場合を比較すると、 $\sigma_w$  に対しては EPS 材厚が薄いほど、 $\bar{P}$  に対



(a) Original shape of load cell

(b) Casing

(c) Load cell

Photo 4 Load cell encased in casing

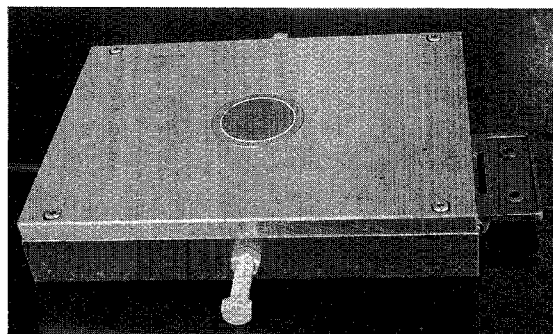


Photo 5 Load cell for measuring impact force on the concrete base

しては厚いほど誤差が小さくなっているようである。本実験の測定範囲における圧力センサーとロードセルの最大出力量は、前者がセンサーの定格容量と同程度であるのに対し、後者は定格容量の1/20程度である。

以上より、本実験の範囲において、試作したロードセルによる測定結果は定格容量の1/20程度でありながら、圧力センサーによる測定結果に対し5%以下の測定誤差内に入っていることが明らかになった。本ロードセルは圧力センサーや土圧計の測定範囲と同程度の応力に対してもほぼ同程度の精度で測定可能であることが明らかになった。また較正值決定のための静的繰返し載荷実験より応力換算で200 kgf/cm<sup>2</sup>までの応力-歪関係の直線性を確認しており、本ロードセルは上記低応力から200 kgf/cm<sup>2</sup>の高応力まで測定可能であるものと考えられる。

#### 4. 応用例

試作されたロードセルの妥当性検討のために、軸対称有限プリズム要素法を用いた弾性解析や圧力センサーと併用した衝撃実験を試みた。検討結果、測定可能な周波数領域や応答波形の妥当性を低応力のレベルで確認できた。ここでは、さらにロードセル設置時の作業効率とロー

ドセルの安定性を向上させるためにケーシングを取り付け、敷砂層からコンクリート基盤上に伝達される衝撃力測定のための治具の作製を試みた。

Photo 4 にケーシングを取り付ける場合の各パーツ及び完成状態を示している。(a)はロードセルの原型、(b)はケーシングである。(c)はロードセル受感部に歪ゲージを焼き付けし、かつロードセル本体をケーシングに納め完成した状態を示している。歪ゲージは温度保証と利得の増大をはかるため4ゲージ法を用いてブリッジを組んでいる。また、ロードセルとケーシング部はお互いの接触によるノイズの発生を防止するためにシリコンにより絶縁している。

Photo 5 は砂層からコンクリート基盤上へ伝達される衝撃力を測定するために、コンクリート基盤上に埋め込むために作製された治具にロードセルを設置した状態である。治具は基礎コンクリート面と同一になるようにし、かつケーブルの配線やロードセルの取り替えを容易にするためにカバープレートの取り外しを可能としている。Photo 5 の手前に見るボルトは治具と基礎コンクリートとの付着の増大をはかるためのものである。

#### 5. まとめ

敷砂中を伝播してその底部に伝達される衝撃力を合理的に測定するために、静的に用いられている土圧計の動的荷重に対する適用性の問題点を検討し、それらを改善する形でロードセルの試作を行った。その精度を確認するために、軸対称有限プリズム要素法を用いた弾性衝撃応答解析と圧力センサーと併用した精度確認のための衝撃実験を行った。

その結果、理論的には減衰定数  $h=0.025$  の場合1 kHz 前後までは入力波を精度良く推定することが可能であることが明らかになった。また圧力センサーとの検定実験より重錘部に取り付けられた加速度計を含め時間的な応答分布は三者ともほぼ同様の結果を示している。最大応答値に関しては、特に圧力センサーとの比較にお

いて、定格容量の1/20程度の入力でありながら圧力センサーから得られる結果に対し5%の誤差内に入っていることが明らかになった。また、較正值決定のための静的繰返し載荷実験より応力換算で200 kgf/cm<sup>2</sup>までの応力-歪関係の直線性を確認している。

以上よりここで試作したロードセルは周波数特性0~1 kHzを有し、圧力センサーや土圧計と同程度の測定域から200 kgf/cm<sup>2</sup> (19.6 MPa) 程度の高応力まで測定可能な衝撃荷重測定用ロードセルとして実務的に利用可能であることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 伊藤千浩・大沼博志・佐藤宏一・高野博：衝撃荷重による鉄筋コンクリート梁部材の動的応答，電中研研究報告書，No. 383046，1984. 4.
- 2) 大沼博志・伊藤千浩・佐藤宏一・高野博：鉄筋コンクリートスラブの衝撃応答特性および有限要素法による解析，電中研研究報告書，No. 384027，1985. 4. その他.
- 3) 斎藤英明・石川信隆・大野友則・水山高久：鋼管片持ちばりの衝撃吸収エネルギーに関する基礎的研究，土木学会論文集，第386号/I-8，pp. 321~328，1987年10月.
- 4) 星川辰雄・石川信隆・香月智・飯田毅：衝撃を受ける鋼管円弧アーチの最適設計に関する一考察，構造工学論文集，Vol. 36 A，pp. 451~458，1990. 3.
- 5) 石川信隆・香月智・星川辰雄・水山高久：鋼管片持ちばりのせん断衝撃応答に関する一考察，構造工学論文集，Vol. 36 A，pp. 1049~1056，1990. 3. その他.
- 6) 藤井学・宮本文徳：衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動，JCI，Vol. 21，No. 9，pp. 25~36，1983. 9.
- 7) 松岡健一・岸徳光・大沼博志・能町純雄：四辺単純支持RC矩形板の重錘落下衝撃実験，機械力学講演論文集，No. 900-44，pp. 108~111，1990.
- 8) 西弘明・松岡健一・大沼博志・能町純雄：重錘落下衝撃を受けるPC床版の実験的研究，第45回年次学術講演会講演概要集，I，pp. 476~477，1990. 9.
- 9) 辻本雅洋・高橋芳彦・大野友則・内田孝：高速載荷を受ける鉄筋コンクリート床版の動力学特性と終局限界性能，構造工学論文集，Vol. 35 A，pp. 1081~1094，1989. 3.
- 10) 高橋芳彦・太田俊昭・大野友則：高速載荷を受ける鋼板・コンクリート合成曲げ部材の力学特性，第45回年次学術講演会講演概要集，pp. 480~481，1990. その他.
- 11) 藤本一男：ショックチューブによる土-構造系の動的相互作用に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 31 A，pp. 439~450，1985. 3.
- 12) 藤本一男・森雅美・石川信隆：衝撃波を受ける粘性土中に埋設されたパイプの動的応答解析，構造工学論文集，Vol. 31 A，pp. 451~464，1985. 3.
- 13) 吉田博・榎谷浩・鈴木哲次：敷き砂上の落石の衝撃加速度と衝撃土圧に関する実験的研究，土木学会論文集，No. 352，pp. 61~70，1984. 12.
- 14) 吉田博・榎谷浩・岡衛：落石覆工屋根上への落石による衝撃荷重特性について，土木学会論文集，No. 362，pp. 461~470，1985. 10.
- 15) 吉田博・榎谷浩・佐藤真・井原朋美：落石実験データベースの作成と落石の衝撃力評価について，構造工学論文集，Vol. 33 A，pp. 571~583，1987. 3. その他.
- 16) 吉田博・松葉美晴・法貴貫志郎・久保田努：発砲スチロールの落石に対する緩衝効果に関する実験的研究，土木学会論文集，No. 427/VI-14，pp. 143~152，1991. 3.
- 17) 佐藤匠之・岸徳光・中野修：重錘落下衝撃に対する砂およびEPS材の緩衝効果，第45回年次学術講演会講演概要集，I，pp. 500~501，1990. 9.
- 18) (株)共和電業，共和・電子計測器総合カタログ，'89~'90. (1991. 9. 27 受付)

## TRIAL MANUFACTURE OF LOAD CELL FOR MEASUREMENT OF IMPACT LOAD

Osamu NAKANO, Norimitsu KISHI, Ken-ichi G. MATSUOKA and Yukio GOTO

In this paper, the load cell for measurement of impact load is made on experimental and theoretical basis, which is to measure impact forces propagating in soil and/or sand layer. Executing dynamic response analysis and making an experiment on impact test, its applicability to practical uses is discussed.

Finally, it is shown that the load cell manufactured here can be used to measure impact load pressure in which the maximum stress and frequency are 19.6 MPa and 1 kHz respectively.