

## (25) 衝撃荷重載荷用ロードセルの試作

室蘭工業大学 ○岸 徳 光  
室蘭工業大学 松 岡 健 一  
北海道開発局開土研 中 野 修  
計測技販(株) 後 藤 雪 夫

### 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とその効果を考慮した構造物に作用する落石あるいは落雪の適切な規模、衝撃力の評価にある。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ものと考えられる。

このような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研における一連の研究<sup>1)</sup>があり、砂防関連構造物を対象としては防衛大の石川を中心とした研究<sup>2)</sup>がある。コンクリート構造部材を対象としては、神戸大の宮本の研究<sup>3)</sup>や著者らの研究<sup>4)</sup>がある。また、防衛大の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>5)</sup>を行っており、藤本等は衝撃荷重の地下構造物へ影響について検討を行っている<sup>7)</sup>。落石覆工構造物を対象とした実験的研究には、金沢大学の吉田と榎谷による敷砂の緩衝効果に関する一連の研究<sup>8)</sup>があり、最近には新しい材料を用いた緩衝効果に関する研究について日本サミコン<sup>9)</sup>や著者等<sup>10)</sup>によって試みられている。

このような衝撃的荷重載荷に対する衝撃応答倍率や伝達衝撃力の評価、構造物の応答特性は、各測点に加速度計や土圧計、泊歪ゲージ等のセンサーを設置あるいは添付して動的応答波形を求め検討が行われている。しかしながら、静的荷重載荷の場合とは異なり衝撃荷重載荷の場合にはその構造を構成している材料の波動伝播特性を認識して計測を行わなければならない、またセンサーの設置位置近傍の境界条件やセンサー固有の特性を考慮して出力波形の分析をする事がぜひ必要である。さらに、ロードセルのように直接載荷荷重の算定が出来ず、二次的な出力より換算評価しなければならない場合にはその妥当性について検討の後用いなければならない。

本文ではこのような観点から、特に衝撃的に作用する伝達圧力を効率的に計測するためのロードセルに注目しその試作を行ったので報告する。なお、現在市販されている土圧計を含めたロードセルのほとんどは静的な載荷荷重に対して効率的に計測出来るように設計されている。従って、周波数特性に関する保証がほとんどなされていないのが実状のように考えられる。ここではできるだけ高周波数の周波数特性を保証するために、これまでのロードセル受感部構造とは異なったものとしている。

### 2. 各種ロードセルの概要

#### 2.1 荷重変換器

数トンから数十トンまで測定可能な市販されている歪ゲージタイプのロードセル構造は、図-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計測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み成分を計測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来る。

この種のロードセルは容量が小さい場合でも受感部が曲げタイプとなっているため小型化が困難と思われが、音波がそれほど発生せず、応答周波数がそれほど大きくならないような衝撃実験においては、衝突側に設置して衝突衝撃力を計測することが出来るものと考えられる。

## 2.2 土圧計

覆工構造の緩衝工として用いられる敷砂中の衝撃伝達力を計

測することを前提として市販のゲージタイプ土圧計についてその概要を示す。図-2にその構造図を示す。受感構造は図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ダイヤフラムの曲げ歪に変換し計測するようになっている。また、プロポーションは小さいタイプで直径65ミリ厚さが8ミリ程度、大きいタイプでは直径200ミリ厚さが25ミリ程度となっている。

勿論これらの土圧計は静的载荷に対して設計されたものであるが、このような構造系を有する土圧計を衝撃的な動土圧計測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の剛性によって感知圧力に限界がある。
- 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る。
- 3) 受感部周辺は受感部に比して剛な構造になっているため载荷時にはその剛な部分に力が集中する可能性がある。
- 4) 最も小型のタイプでも直径が65ミリもあり、平均土圧的な感を免れない。
- 5) 測定範囲が最大でも20 Kg/cm<sup>2</sup>程度であり室内実験等における使用性にかなり制約がある。

特に2)に関しては波動伝播性状を検討するため、また3)に関しては荷重分散の程度検討等に重要な要素であるものと考えられる。

## 3. ロードセルの試作

### 3.1 概要

主に敷砂中の衝撃伝達力を正確かつ効率的に計測することを目的として、ロードセルの試作を試みた。ここで試作されたロードセルは衝撃的な動土圧測定に際し上記のような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スケールを決定可能とする。

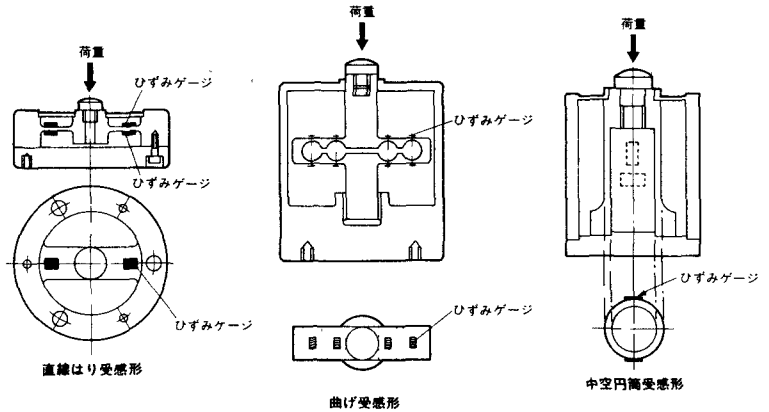


図-1. 荷重変換器受感部の構造図の一例

(共和電業(株)カタログより抜粋)

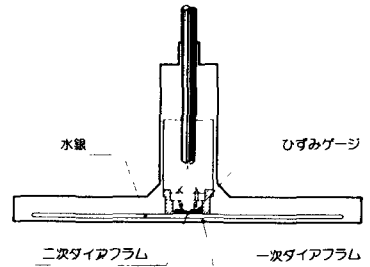


図-2. 土圧計の一構造例

(共和電業(株)カタログより抜粋)

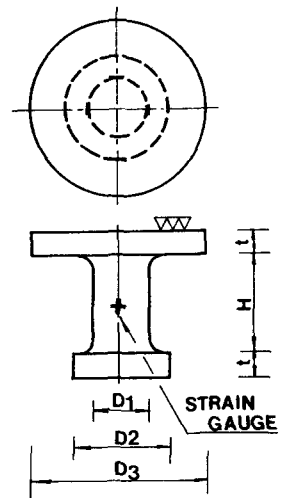


図-3. 試作したロードセル

- 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、その絞り込んだ部分に歪ゲージを添付する。
- 4) 支持部への応力伝達部も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。

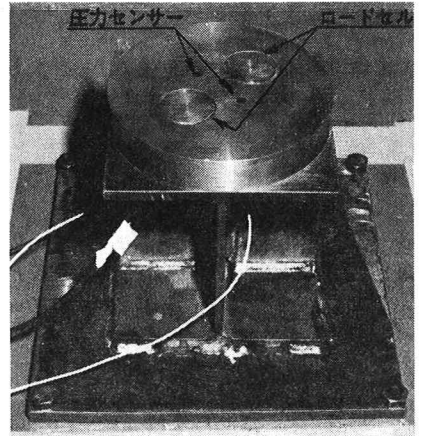


図-3に上記考え方に基づいて試作されたロードセルの一例を示す。ロードセルは熱処理なしで耐摩耗性、耐圧性に富みかつ表面と内部間で硬さの差がない鋼材を用いている。また、ゲージは衝撃的繰返し载荷に耐え得るように焼き付け処理を施している。

### 3. 2 精度の検討

3. 1で試作されたロードセルの精度的な妥当性を検討するために、写真-1. 精度検討用ロードセル設置架台 最大容量10 Kg/cm<sup>2</sup> 固有振動数が40KHz なる圧力センサーを併用して落下衝撃実験を行った。実験は室蘭工大に設置されている重錘落下衝撃実験装置を用い、重錘として直径15 cm の平底円筒形で総重量が70 Kg 重のものを用い、圧力センサーを保護するため過度の衝撃荷重が作用しないようにロードセル上にEPSを敷き行っている。ロードセルを設置した架台を写真-1に示す。架台にはロードセル、圧力センサーとも2個ずつ設置している。また、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んで架台上面が平面になるようにしている。重錘の落下速度は全て3 m/sec とし、EPSの厚さを変化させて比較検討を行った。写真-2にEPS厚 $h = 6.0\text{ cm}$ ,  $10.0\text{ cm}$ ,  $15.0\text{ cm}$  とした場合における結果を示している。写真において $W_A$ は重錘に取り付けた加速度計を、 $L_1$ は試作したロードセル-1を、 $P_1, P_2$ は圧力センサー-1, 2を示している。ロードセルは2個とも全く同一の応答分布を示しているため $L_1$ のみを示しているが、圧力センサーに関しては多少差が生じているため $P_1, P_2$ の波形分布を示している。全応答時間はEPSを敷いているために20~30 msec と比較的長いようであるが、加速度波形も含め4波形ともほぼ同一の時間方向分布を示していることがわかる。また、最大応答応力を算定してみると表-1のようになり、EPS材の厚さが15 cm の場合は多少誤差を生じているようであるが、加速度から算定した応力も含め3者ともほぼ類似の値を示しているものと考えられる。

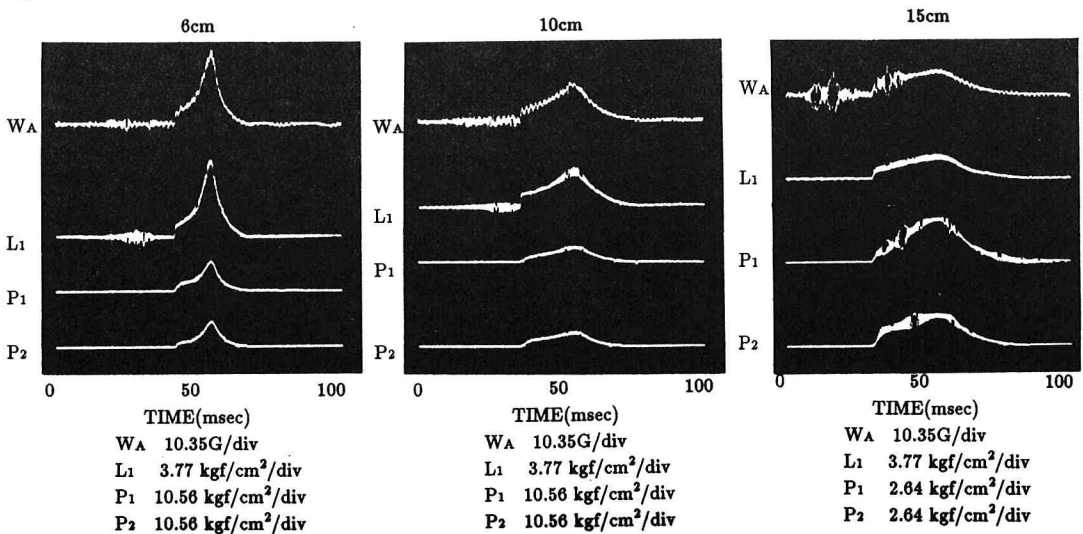


写真-2. 重錘落下による底盤上の各センサーによる衝撃応答波形分布

以上より、ここで試作したロードセルは圧力センサーと同程度の精度を有しており、また構造系から考えてより高周波成分を含んだ場合に対しても十分適用可能であるものと考えられる。

#### 4. 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計測するために、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圧力センサーと併用して精度確認の実験を行った。その結果、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や応答値は三者ともほぼ同様な結果となり、ここで試作したロードセルは衝撃実験計測用として利用可能であることを確認できた。

以上の検討を踏まえて、敷砂や他の緩衝材の緩衝効果、応力分散性状を検討するためにここで試作したロードセルを埋め込んだ底盤を作製し実験を行っている。

#### 5. 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, 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, 他
- 2)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, 1987年10月, 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. 36A, 1990.3, 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. 36A, 1990.3, 他
- 3)藤井学, 宮本文穂, " 衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動", J C I, Vol. 21, No. 9, 1983.9.
- 4)松岡健一, 岸 徳光, 大沼博志, 能町純雄, " 四辺単純支持R C矩形板の重錘落下衝撃実験", 機械力学講演論文集, No.900-44, 1990, 西 弘明, 松岡健一, 能町純雄, " 重錘落下衝撃を受けるP C床版の実験的研究", 第45回年次学術講演会講演概要集, 1990.3
- 5)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. 35A, 1989.3 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, 1990, 他
- 7)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. 31A, 1985.3, 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. 31A, 1985.3,
- 8)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, 1984.12, 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, 1985.10, 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.33A, 1987.3, 他
- 9)松葉美晴, 法貴貫志郎, 久保田努, " 発泡スチロールの落石に対する衝撃緩衝効果" 第45回年次学術講演会講演概要集, 1990
- 10)佐藤匡之, 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, 1990
- 11)共和電業(株), 共和・電子計測器総合カタログ ' 89~' 90

表-1. 最大応答応力一覧

EPS材 の厚さ	最大応力度( kgf/cm <sup>2</sup> )				
	W <sub>A</sub>	L <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P'
6cm	10.66	10.18	11.40	9.93	10.67
10cm	5.74	5.58	5.49	5.28	5.39
15cm	3.44	3.02	4.12	2.90	3.51