

(26) 衝撃実験における種々の荷重計測方法に関する検討

TESTS IN MEASURING METHODS OF IMPACT LOADS

小暮幹太*, 酒巻 勝**, 喜多龍一郎**, 藤掛一典***, 大野友則****

Kanta KOGURE, Masaru SAKAMAKI, Ryuichiro KITA, Kazunori FUJIKAKE and Tomonori OHNO

- * 工修 防衛大学校研究員 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)
- ** 防衛大学校研究科学生 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)
- *** 工修 防衛大学校助手 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)
- **** 工博 防衛大学校教授 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)

キーワード: 衝撃荷重, ロードセル, 落錘衝突実験
(impact load, load cell, drop-weight impact test)

1. はじめに

近年, 土木・建築分野における衝撃問題は多様化しており, 部材や材料の耐衝撃性や動的特性を把握するためにさまざまな衝撃実験が行われている。一般に行われる衝撃実験には, 重錘等の剛体を衝突させて構造物や構造部材等の衝撃挙動を調べる衝突実験や, 衝突実験ではないがそれに関連して主として材料や部材の動的特性に及ぼす速度効果を調べるために, 載荷体を最初から構造部材等に接触させて一定速度で載荷する急速載荷(通称, 高速載荷)実験などがある。

衝撃実験は極めて短時間で現象が終了するだけでなく, 各種計測器で得られる計測データには, 応力波や慣性力の影響等が含まれるため, 静的な実験と異なり, 計測の方法や得られたデータに対する処理(主として, 高周波成分の取り扱い方法)に対する検討が重要な問題である。中でも耐衝撃性の指標ならびに耐衝撃設計の基準として重要な衝撃荷重は応力波の影響あるいは計測器そのものの固有振動等の影響を受けやすいため, その計測方法や評価方法について十分に検討する必要がある¹⁾。

本報告は, 著者らが過去に行った落錘衝突実験や横衝撃実験などの予備実験等で得られた衝撃荷重データについて, 計測方法の面から考察したものである。

2. 衝撃荷重の計測方法と計測例

衝突実験で用いられる主な荷重計測の方法としては, ①重錘(衝突体)に取り付けた加速度計から得られたデータに質量を掛けて荷重を求める方法, ②被衝突物上に設置した荷重変換器(以下, ロードセルと呼ぶ)に重錘を衝突させてロードセルの出力をそのまま衝撃荷重とする方法²⁾, ③入力棒を用いる方法³⁾, ④被衝突物の応答(主としてひずみゲージの出力)から衝撃荷重を推定する方法⁴⁾などがある。ここでは, 異なる計測器(ロードセル, 加速度, ひずみ等)や計測方法で得られる荷重データの比較よりそれぞれの計測方法について検討する。

2.1 固有振動数の異なるロードセルの計測例⁵⁾

ロードセルには, 従来から使用されているひずみ変換方式のロードセル(以下, 静的用ロードセルと呼ぶ)のほか, 衝撃現象に対応した高い応答性能を有する piezo 素子を使用した圧電型のロードセル(以下, 衝撃用ロードセル)

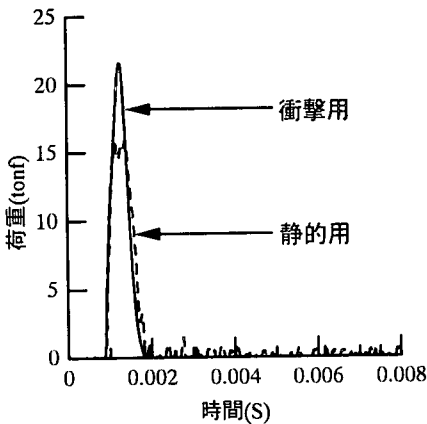


図-1 ロードセルの出力値の比較

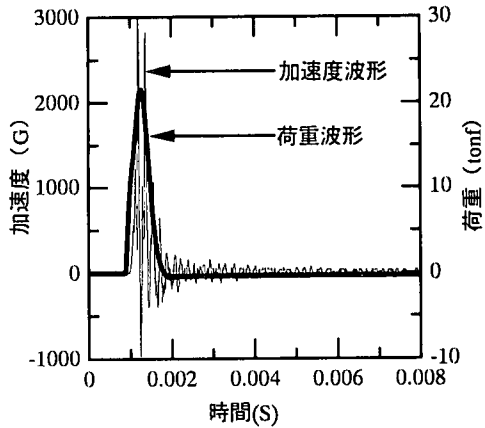


図-2 落下衝突時の加速度波形と衝撃荷重の例

ルと呼ぶ)がある。衝撃用ロードセルは、小型・軽量・剛性大・高周波応答等の利点があり、衝突実験などの計測に適している。

図-1は、同一の条件(重量 25.5kgf 、衝突速度 2.8m/s)で半球状の鋼製の重錘をロードセルに落下衝突させた時に得られた荷重時刻歴である。静的用ロードセルの最大荷重が衝撃用ロードセルの計測値より小さいのは、受感部径の大きい静的用ロードセル(受感部 $\phi 4.5\text{cm}$ 、荷重容量 30tonf)では衝撃用ロードセル(受感部 $\phi 1.8\text{cm}$ 、荷重容量 45tonf)より重錘の片当りの影響を受けやすいためである。ロードセルはその構造上、中心軸に加わる力のみ感知するようになっているため、特に受感部径の大きい静的用ロードセルを使用する際には荷重受座などを設置して、ロードセルに対して垂直荷重がかかるような配慮が必要である。ロードセルの固有振動数は、静的用が 13.8KHz 、衝撃用が 30KHz であり、衝撃用の方が約3倍程高い応答性能を有しているが、スペクトル解析の結果では応答値に顕著な差(特に高周波成分の差)は見られなかった。よってこの程度の低速衝突実験においては今回使用した静的用ロードセル程度の応答性能を有していれば荷重の計測は可能であると考えられる。

2.2 加速度計データによる換算荷重の計測例

図-2は、固定床に設置したロードセルに鋼製の重錘(重量 25.5kgf 、衝突速度 2.8m/s)を落下させた場合の重錘に生じる加速度の時刻歴とロードセルの荷重時刻歴を示したものである⁵⁾。使用した加速度計は、固有振動 60KHz の高い応答性能を有する piezo素子を使用した圧電型のものである。通常、鋼製の重錘と金属製の受感部を有するロードセルを直接衝突させると、図に示されるような高周波成分を含んだ振動波形が計測されることが多く、加速度データに重錘重量を掛けて荷重とする場合には、高周波成分をフィルタリングするなどのデータ処理が必要である⁶⁾。

図-3は、加速度データを 2KHz と 500Hz の2種類でフィルタリングしたそれぞれの波形に重錘の質量を乗じたものとロードセルによる荷重データと比較したものである。フィルタリングする周波数によって荷重データとの適合性が異なることがわかる。このようなフィルタリングの機能をゴムなどの緩衝材をロードセルと重錘の間に挟むことで機械的に処理することも考えられる。しかしながら、低速度の衝突実験では緩衝材の影響で高周波成分が必要以上にフィルタリングされ、波形が著しく歪められることがある。これを避けるためには、予備実験によって実験条件に見合った最適な緩衝材を選定する必要がある。上記と同じ条件で計測される最大衝撃荷重について既往の算定値¹⁾と実験値を比較すると、緩衝材のパネ定数が大きくなる(固くなる)にしたがって算定値と実験値の差が大きくなる傾向が認められる(図-4)。

2.3 入力棒を用いた換算荷重の例

佐藤らは、落錘の衝撃力を入力棒($\phi 6\text{mm}$, $l 650\text{mm}$)を介してはりに与え、はりに作用する衝撃力を入力棒に生じる動ひずみから換算して求めている³⁾。著者らも、直接重錘を衝突させることができない実験装置の制約から、鋼

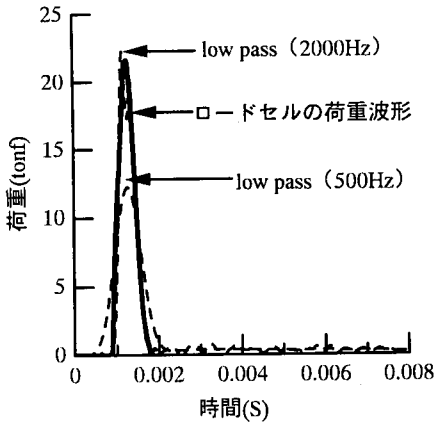


図-3 波形処理の相違による荷重応答の違い

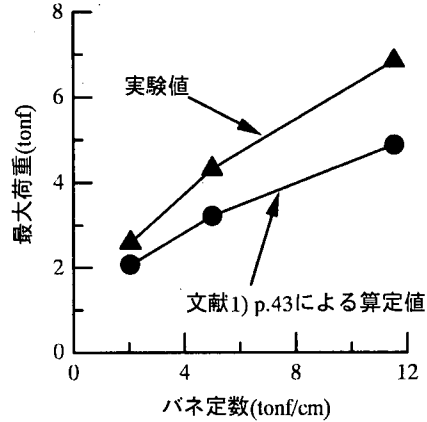


図-4 最大荷重値と緩衝材ばね定数の関係

製入力棒 ($\phi 100\text{mm}$, 1500mm) を利用して板部材に落錘の衝撃力を加えることを試みた⁷⁾。図-5 に入力棒の概要を示す。入力棒の径が大きくなると、頭部の平坦な入力棒に重錘を低速で衝突させる際に片当りの影響が大きくなる。そのため、重錘の衝突面と入力棒頭部は曲率を持たせ、衝突時の片あたりの影響を極力取り除くように配慮している。ひずみゲージは、入力棒を自立させるための治具の高さや衝突後の入力棒の貫入等を考慮した上で下端より40cmの位置に対象に軸方向に4枚貼付した。衝撃荷重は、衝突時に生じるひずみゲージ4枚の出力平均に入力棒の断面積と静的圧縮試験で得られるヤング係数を掛け合わせて算定した。

図-6 は、RC板上に設置した入力棒に、重錘(重量 103kgf 、衝突速度約 1m/s)を衝突させた場合のロードセルによる荷重データとひずみの換算荷重を比較したものである。図には厚さ5mmの緩衝ゴムを挟んだケースもあわせて表示している。なお、緩衝材を挟まないデータには 1KHz のローパスフィルターをかけている。ロードセルによる荷重波形は、緩やかに立ち上がりその後急激に最大荷重に到達する。これは、衝突点の偏心やロードセルの受感部の形状や応答性によるものと考えられ、受感部の径が小さいロードセルでは見られないが⁸⁾、受感部径が大きい図-5のようなロードセルを用いると特に低速衝突時に生じやすい。一方、ひずみの換算荷重の波形は、最も重要な第1波の部分に着目すると、ロードセルによる荷重波形が急激に立ち上がる時刻とほぼ位相を同じくして同様に立ち上がり、最大荷重や荷重継続時間についてもほぼ同じ傾向が得られている。このような予備実験を踏まえて行った本実験(最大衝突速度 15m/s)において、部材に貫入破壊等が生じるような場合でも両者の出力波形はほぼ一致しており、安定したデータが得られることを確認している。載荷条件を一定にする上では入力棒を用いる方法はかなり有効な方法であると考えられる。

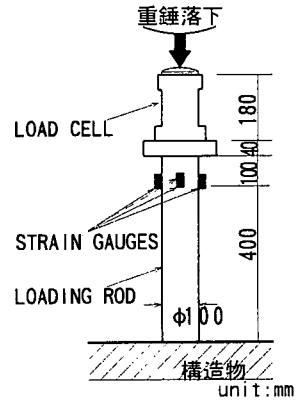


図-5 入力棒の概要

2.4 衝撃応答による衝撃荷重の算定

今まで述べてきた荷重計測の例は、ロードセルに代わる他の計測器からの換算衝撃荷重をロードセルによる荷重データと比較し、適用性を検討したものである。しかしながら、実験条件によってはロードセルや入力棒等の計測器類を設置することが困難であったり、利用できない場合も考えられる。また、先に述べたように、計測器を使用することで、計測データには計測器の固有振動の影響や試験体の設置の影響も考えられ、これらの影響を定量的に判断しフィルタリングすることは極めて困難な問題である。一方、衝撃荷重の作用によって生じるひずみ応答は物理量の変化であり、計測器の応答性や計測システムの影響がロードセルや加速度計に比べて小さいと考えられる。衝撃応答による衝撃荷重の算定例は、部材等に生じるひずみ応答などの基本的な物理量の変化を利用して衝突点の衝撃荷

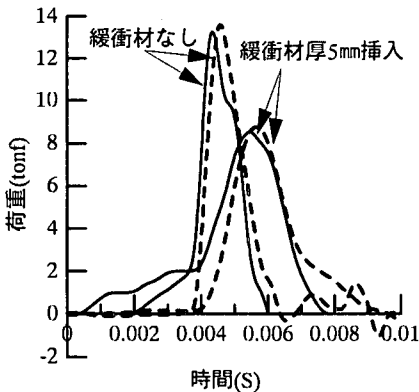


図-6 入力棒に生じるひずみの荷重換算例
(実線：load cell, 破線：ひずみの換算値)

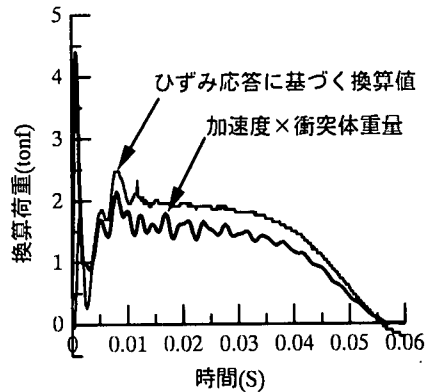


図-7 換算荷重の比較例

重を簡易に推定するものである。

図-7は、弾性支持された鋼管支柱の先端に鋼製の衝突体(重量100kgf, 衝突速度5.5m/s)を衝突させた実験³⁾で、衝突点から40cmの位置で計測された鋼管表面のひずみ応答に、平面保持を仮定して断面の諸係数(断面2次モーメント、鋼管のヤング係数、計測点から衝突点までの距離)を掛け合わせて算定される衝突点の換算荷重を示したものである。比較のために衝突体の加速度から算定される換算荷重も表示した。図で、加速度波形に対しては衝突直後の高周波成分をフィルタリングするため250Hzのローパスフィルターで処理し、ひずみ波形はデータ処理をせずに荷重に換算している。佐々木ら⁴⁾は、同様な算定方法を低速衝撃荷重を受けるRCはり部材に適用しているが、部材に曲げせん断ひび割れが生じるなどの理由ではり主鉄筋に生じるひずみが精度良く計測できないため図に示すような傾向をつかめていない。本算定法はここで示した弾性応答範囲の鋼管部材の衝突実験など、ある特定の試験条件に適用できるものと考えることができる。

3. まとめ

本報告は、既往の実験研究の中で著者らが行ってきた荷重計測方法を比較・検討したものである。

衝撃実験では、実験装置や計測器の設置の問題および供試体の条件などに制約を受けるため、さまざまな計測方法が併用されている。これまで述べてきたように、いずれの計測方法でも衝撃荷重は計測できるが、得られたデータの妥当性を検証する方法や精度の良い荷重計測方法は、今だ確立されていないのが現状である。衝撃現象は短時間で現象が終わるため、衝撃的な外力が所望の条件で衝突あるいは載荷できるように特に注意が必要である。また、実際の本実験に先立ち予備実験を実施し、得られるデータの特性を確認しその補正方法について予め検討する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，第II篇 衝撃実験法，平成6年1月
- 2) 井元，大野，佐々木，小暮：重錘落下衝突を受けるRCはり部材の衝撃挙動と衝撃応答解析における材料の非線形特性，構造工学論文集，Vol.41A，pp.1201-1212，1995.3
- 3) 佐藤，清水，西谷：切り欠きを持つ脆性ひりの衝撃破壊実験，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，第1部(B)，pp.1594-1595，平成6年9月
- 4) 佐々木，井元，大野：低速衝撃荷重を受けるRCはり部材の衝撃実験，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，第1部(B)，pp.1610-1611，平成6年9月

- 5) 小暮, 酒巻, 藤掛, 大野: 落錘衝撃実験における荷重計測に関する一考察, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, 第1部(B), pp. 1064 - 1065, 平成7年9月
- 6) 酒巻, 喜多, 小暮, 藤掛, 大野: 衝撃実験計測データのフィルター処理方法に関する考察, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集(投稿中)
- 7) 小暮, 鶴居, 大野, 安藤, 藤本: 配筋状態の異なるRC板の衝撃挙動と耐衝撃性に関する実験的考察, 構造工学論文集, Vol.42A, 1996.3
- 8) 喜多, 川上, 小暮, 藤掛, 大野: 弾性支持された鋼管支柱の衝撃応答について, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集(投稿中)

