

I-53

衝撃実験の計測方法とデータ処理に関する一考察

開発土木研究所	正 員	中野 修
室蘭工業大学	〃	岸 徳光
計測技販(株)	〃	後藤 雪夫
開発土木研究所	〃	今野 久志

1. まえがき

道路管理者を始めとして何人にとっても二度とあってはしくない事故であったが、平成元年7月の越前海岸での落石覆道崩壊事故を契機として、落石覆道に関する色々な面での研究が盛んになった。それまでの落石覆道に関する研究は、限られた大学や研究所でしか行われていなかったこともあり、衝撃実験での計測方法に関する部分の報告も少なく¹⁾²⁾³⁾、計測方法やデータ処理は、一般的にいわれている動的な実験で用いられている方法で問題はないと思われていた。開発土木研究所構造研究室でも、過去約10年間、落石覆道の衝撃問題を研究⁴⁾してきたが、同様に、計測方法等には、余り注意を払っていなかったのも事実である。

著者らは、平成元年度に、落石覆道の緩衝構造システムの研究に着手するに当たり、構造研究室のものを含めた過去の類似の実験での計測方法の再検討を行い、測定機器、計測方法およびデータ処理に関する問題を整理し、現状の既製品では満足できない計測機器については開発し、計測システムとデータ処理方法を確立の上、平成2、3年度に、江別市角山で2、3 tonの重錘を使用し落下高さ 30mまでの一連の屋外実験を実施した。また、昨年9月には広尾町で新設の落石覆道を使つての実験を行っており、その際にも、この計測システムを採用した。

2. 衝撃実験の特徴

落石が覆道に衝突する際に生じる現象の継続時間は、似たような波動伝播現象である地震動の継続時間が巨大地震では一分以上もあるのに対し、非常に短く、緩衝構造システムにより違いはあるが、長くても 200 msec程度である。

地震動の場合には、強震計で記録されたアナログの強震記録のA-D変換を、建設省土木研究所や開発土木研究所構造研究室で行っている。その結果のデジタル値は、必要なものについては、一般に公表されているが、その場合のサンプリング周期は10msec(100Hz)である。

加速度応答スペクトル曲線を見ても解るように、地震の場合に問題となる周期は1秒前後であるので、この程度のサンプリング周期でもよいけれど、衝撃実験の場合には、これよりも1オーダー以上速いサンプリング周期で現象をフォローしないと、現象の再現はできない。

このため、その現象を全てにわたり忠実に計測し記録するには、測定機器の応答周波数がデータの精度の面で大きく影響してくるので、計測されるデータが急激な立ち上がりを起こすような緩衝システムを使つての実験では、この点を充分に考慮の上、機種を選択しなければならない。

3. 測定機器を選定する際の注意事項1) 加速度計

重錘に取り付ける加速度計は、衝突衝撃力の推定や、重錘のサンドクッションへの貫入量を算出するためにも、衝撃実験では不可欠のセンサーである。特に、衝突体や衝突部近傍の加速度は、音波等を含むため、振幅、周波数とも大きなものになる。このため、衝撃実験では、振幅、周波数を含め容量的に余裕のあるも

An Idea on the Measuring System and Data Processing Method for Impact Tests

by Osamu NAKANO, Norimitsu KISHI, Yukio GOTOH and Hisashi KONNO

のを使用するのが望ましい。

加速度計には、ひずみゲージ型、サーボ型および圧電型の3タイプがあるが、屋外の衝撃実験では、比較的小型、軽量、安価で衝撃加速度を忠実に検出可能なひずみゲージ型加速度計が優れている。このこともあり、一連の実験では、一個の重錘に容量の違うこのタイプの加速度計を4個取り付けて使用している。

表-1は、ひずみゲージ型加速度計のスペックである。

表-1

測定範囲	応答周波数	固有振動数
100G	0~2000Hz	約4000Hz
200G	0~3500Hz	約6000Hz
500G	0~5000Hz	約9000Hz
1000G	0~7000Hz	約12000Hz

2) 動土圧測定用ロードセル

過去の衝撃実験では、土中を伝達する圧力を感知するセンサーとして土圧計が、一般的に使用されていた。しかしながら、土圧計は、1) 容量的に小さいこと、2) 二重ダイヤフラム式で水銀を介して圧力を感知しているため応答周波数が低いこと、3) 比較的大型で平均応力的な感をまねがれない等により、衝撃実験のような現象の継続時間が短い場合には、精度の良い計測が困難であった。このため、従来までの土圧計やロードセル等の変換器の構造と異なった考え方に基づいた動土圧測定用のロードセル(定格容量300kg/cm²、応答周波数DC~1kHz)を開発し、屋内および屋外の実験で使用した。(このロードセルの詳細については、参考文献5)を参照のこと。)

3) 増幅器

衝撃実験の場合には、S/N比の問題もさることながら、増幅器の周波数特性が最も重要なファクターである。増幅器には、ACタイプとDCタイプ(DC~200kHz)の2種類があるが、応答周波数の高いひずみゲージ式変換器の直流ブリッジ方式のDCタイプの方が優れている。特に、ACタイプの増幅器を複数で使用する場合には、搬送波が相互に干渉し、ノイズが発生する場合もあるので、この点を十分理解の上使用しなければならない。

今回の実験では、DCタイプのものを使用しているが、センサーがピックアップする波の周波数に違いがあるので、加速度計に対しては、応答周波数が200kHzまでのCDV-230C(共和電業製)を、ロードセルに対しては、50kHzまでのCDV-21A(共和電業製)を使用している。

4) データレコーダー

各センサーで感知された情報は、最終的にはデータレコーダーに記録されるのであるが、衝撃実験のようなケースでは、高周波の波を記録しなければならないので、広帯域のデータレコーダーを使用しなければならない。この場合でも、カセット式とオープンリール式の2種類があるが、データの管理面よりベータ方式のカセット式データレコーダーの方が優れている。

このため、採用した計測システムには、ベータ方式のビデオカセットテープにFM方式で記録できるデータレコーダーを組み込んでいる。

4. データ処理をする際の問題点

1) サンプリング周期による問題点

センサーで得られたアナログ情報をA-D変換する際に、問題となるのがサンプリング周期(周波数)である。写真-1は、ある実験での加速度計で計測された衝撃加速度波形を、サンプリング周期2msec(500Hz)から5μsec(200kHz)まで変えてA-D変換した時のピーク値の変動を表したものである。また、表-2は、5μsecでのピーク値を100として、各サンプリング周期(周波数)別にそのピーク値をパーセント表示したものである。

これよりも明らかなように、サンプリング周期(周波数)により大きくピーク値は変動することがわかり、適切なサンプリング周期でA-D変換を行わないと、データの信頼性の点では問題が残ることになる。特に、敷砂や三層構造のような緩衝構造の場合には、加速度計の値は急激に立ち上がり、ピーク値までの時間が10msec程度であるので、ピーク値を正確に把握するためには、少なくとも50μsec(20kHz)程度のサンプリング

周期（周波数）でA－D変換すべきである。

表－2

サンプリング周期	最大値	比率(%)	サンプリング周期	最大値	比率(%)
5 μ sec	2.240V	100%	0.2msec	1.850V	83%
20 μ sec	2.210V	99%	0.5msec	1.850V	83%
50 μ sec	2.210V	99%	1msec	1.250V	56%
100 μ sec	2.000V	89%	2msec	0.610V	27%

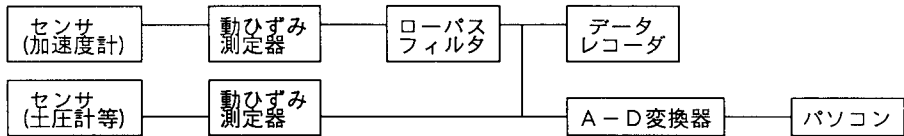
注) 比率：サンプリング周期 5 μ secの時の最大値を 100とした場合の比率

2) 電氣的フィルタをかけることによる問題点

落石覆道の衝撃関係の実験における計測システムに関し、過去の実験についての論文等^{1) 2) 3)}によれば、図－1のように、A－D変換する前に、高周波成分を取り除くために、ローパスフィルタをかけるのが一般的である。参考文献1)では、加速度計の出力の高周波成分を除去するために、加速度計の出力を 200Hzのローパスフィルタを通してA－D変換している。

しかしながら、ローパスフィルタを通すことは、数学的には、衝撃加速度－時間のデータをフーリエ変換し、事前に決めておいた周波数以上をカットした後で逆フーリエ変換して衝撃加速度－時間のデータに戻すことを、コンデンサを使った電氣的回路で行うことあり、一種のウィンドウを通して平滑化するのと同じであり、写真－2で明らかのように、通すローパスフィルタによっては、立ち上がり点に位相差を持つことになるので、重錘の加速度波形を同期信号にして動土圧（ロードセルの荷重）のA－D変換する場合に、加速度計による衝撃加速度の変換値と動土圧（ロードセルの荷重）の変換値と間での時間的に食い違いが生ずることになる。

このため、今回の一連の実験で採用した計測システムは、基本的には図－1と同じであるが、ローパスフィルタを使用せず、ワークステーションの中で、開発したソフトによりノイズ処理を行っている。（図－2参照）



図－1 計測システムのフロー図

3) A－D変換方式による問題点

センサーがとらえたアナログ信号をデジタル化する場合に使うのがA－D変換器であるが、アナログ信号が一つであれば、一台のA－D変換器ですむが、衝撃実験のように多数の点を計測する場合には、厳密に言えばアナログ信号の数だけA－D変換器が必要になる。

他方、A－D変換器の値段が高いので、多数のアナログ信号を扱う場合に、必要数のA－D変換器を用意したのでは、計測システムにかかるコストが膨大になるので、アナログ・マルチプレクサ(multiplexer)⁶⁾を装着したA－D変換器を使用するのが、現在では、一般的になっている。特に、PC-98等のパソコンが身近に利用できるようになった昨今では、アナログ・マルチプレクサが入ったA－D変換ボードをパソコン本体に組み込んで、パソコンをA－D変換器としてデータ処理した報告が多くみられる。

しかしながら、アナログ・マルチプレクサは、多数のアナログ信号をシーケンシャルに一つずつ回路を切り替えてA－D変換するので、サンプリング周期は、チャンネル間の変換速度×チャンネル数以上にならざるを得ない。しかも、このA－D変換は、チャンネル間での変換速度分だけ位相差を有しているので、衝撃な現象を数値化する場合には、データの信頼性という点で問題となる。

平成3年度に角山で実施した屋外実験では、最大で91個のセンサーを使って計測しており、また、広尾での実験でも、センサー数は91であった。

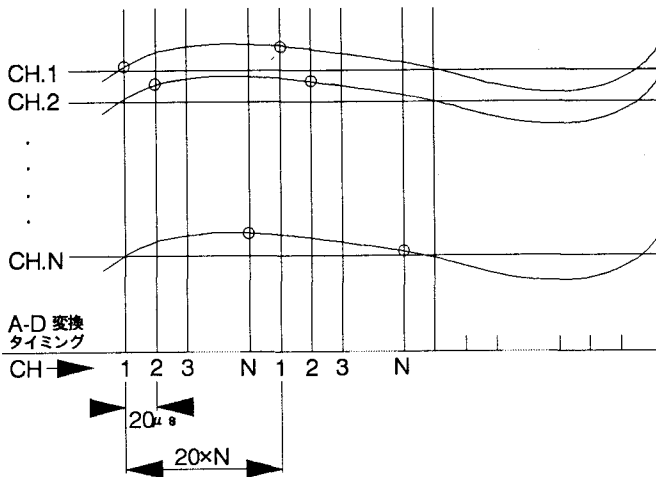


図-2 A-D変換時間

5. まとめ

測定機器を選定する際の注意事項およびデータ処理をする際の問題点を踏まえ、著者らが最終的に選定したデータ処理システムを図-3に示してある。

- 1) 衝撃実験の場合のように現象の継続時間が非常に短いケースでは、計測機器の応答周波数の持つ意味が非常に重要となるので、これが機器選定の最重要ファクターとなる。
- 2) A-D変換によりアナログ・データをデジタル値に変える場合に、サンプリング周期により計測したデータの示す意味が大きく変わるので、この点に注意を払う必要がある。
- 3) データのノイズ処理は必要不可欠であるが、衝撃実験のような場合には、ノイズ処理方法の技術的な面を理解した上で行なわないと、データのもつ本質を損なうことになる。

参考文献

- 1) 吉田博、栢谷浩、鈴木哲次：数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、土木学会論文集第352号、1984-12
- 2) 吉田博、栢谷浩、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、土木学会論文集第362号、1985-10
- 3) 栢谷浩、御嶽謙、梶川康夫：鋼製ロックシェッド上への落石衝突実験とエネルギー分担に関する一考察、構造工学論文集V o 1. 37A、1991-3
- 4) 落石覆道の衝撃問題に関する研究論文集：構造研究室資料第3号、平成2年3月
- 5) 岸徳光、松岡健一、中野修、後藤雪夫：衝撃荷重載荷用ロードセルの試作、落石等による衝撃問題に関するシンポジウム、1991-3
- 6) 長橋芳行：A-D/D-A変換回路の設計、CQ出版社

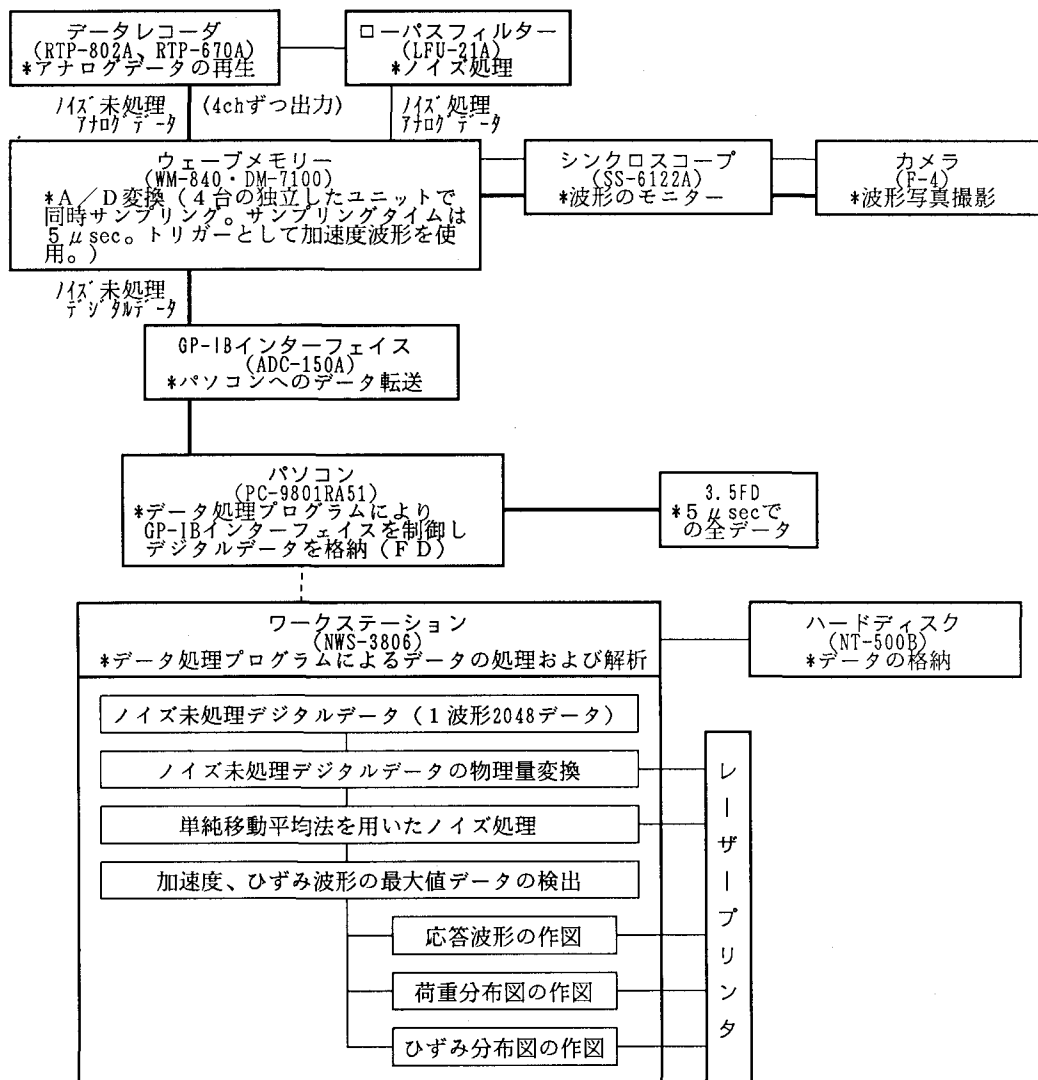


図-3 データ処理のフロー図

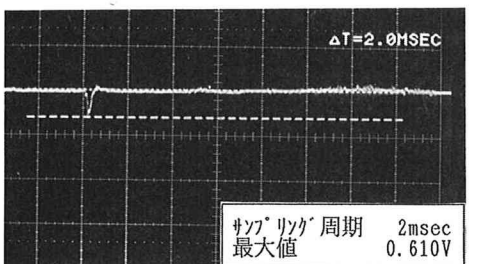
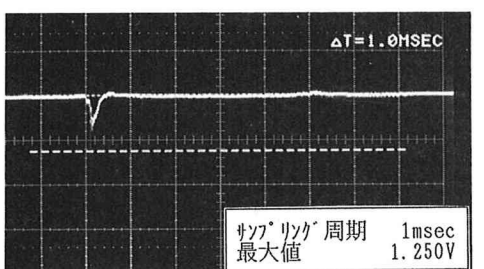
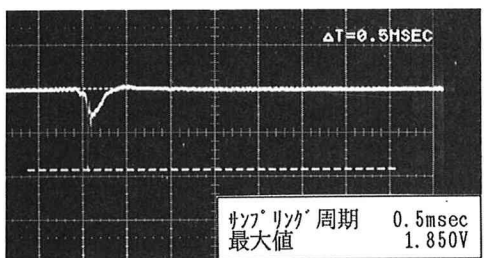
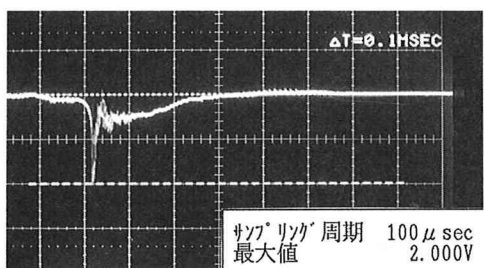
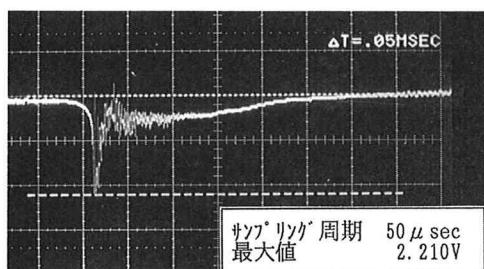


写真-1 サツパ・リツカ 周期と最大応答値との関係

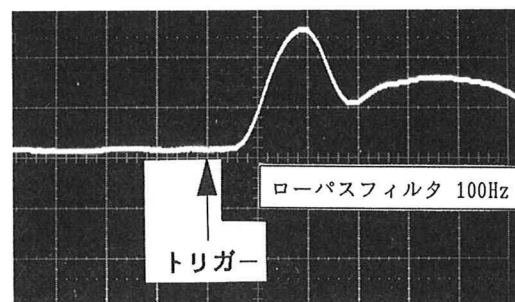
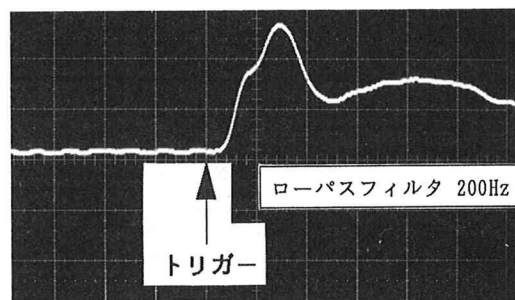
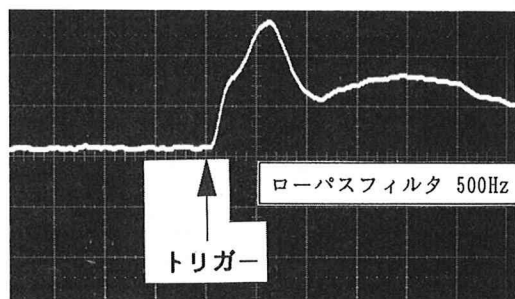
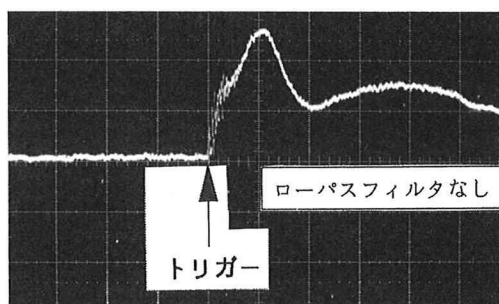


写真-2 ローパスフィルタの影響