

(1) 衝撃実験における測定方法についての一考察

日本サミコン(株)研究所 ○松葉美晴・音田 奨

〃 佐藤 彰・後藤吉晴

〃 岡畑博子・井上理恵

衝撃力に対する各種構造物の挙動を研究するため、多くの研究者の間では衝撃実験が多く行われるようになってきた。しかし、測定方法に関する統一した基準がなくその実験結果についての評価が分かれるところである。ノイズの定義や測定装置の選定法および波形処理などは、実験の評価を左右するものと考えられる。そこで、筆者らは落石実験等における低速あるいは中速域の衝撃実験について、一般的な方法、たとえばノイズの処理方法および計測周波数域の決定方法等を、過去の実験経験からまとめてみた。

1. 計測システム

過去の社内衝撃実験から得られた測定方法およびデータ処理方法についての経験をもとに、衝撃実験の一般的な計測およびデータ処理法についての提案を以下に行う。

1. 1 データの収録方法

図1には、現段階で最も一般的と考えられる衝撃実験計測方法のシステム図を示してある。ここでは、システムとしてふたつの計測方法を併用することを推奨する。すなわち、

- a) アナログデータレコーダーによる原波形の収録。(収録方法A)
- b) A/D変換器による目的波形の収録。(収録方法B)

の2方法である。

もちろん、収録方法Aでは数値解析するために後にデジタル変換が必要となる。2方法の併用を推奨するのは次の理由による。

- a) 収録方法Aは、実験後に煩雑さはあるもののさまざまな処理が可能である。
- b) 収録方法Bは、収録方法Aとは違って実験中に結果がすぐ判定出来、実験の簡便さが計れ、測定の失敗を防ぐことが出来る。(実験後に測定不備を発見すると言えない。)

1. 2 データ(波形)計測の保証

データ(波形)の計測について正確さを期するため、以下の点を推奨する。

- a) 重要な計測点に設置するセンサーの数はノイズの判定等を考慮して2個以上を目安とする。
- b) 応答周波数の高い直流式動ひずみ計を用いる場合、延長ケーブルが長い(30m以上)と電気抵抗による出力低下を起こすので、動ひずみ計にはリモートセンシング機能を使用して出力低下を防ぐ。
- c) 周辺ノイズの混入を防ぐため、延長ケーブルはシールド線使用を原則とする。
- d) もちろん、アースは必須であるが、安易に行くとノイズの原因となるので注意が必要である。
- e) 動ひずみ計のキャリブレーション(初期設定、バランス等)は実験毎に毎回必ず行う。

2. 計測中のノイズ

一般的に衝撃実験では、衝突によって生じる周波数成分以外に測定器が拾う周辺周波数成分いわゆるノイズを測定するが、その定義が難しく安易な処理は原波形を歪めることになる。

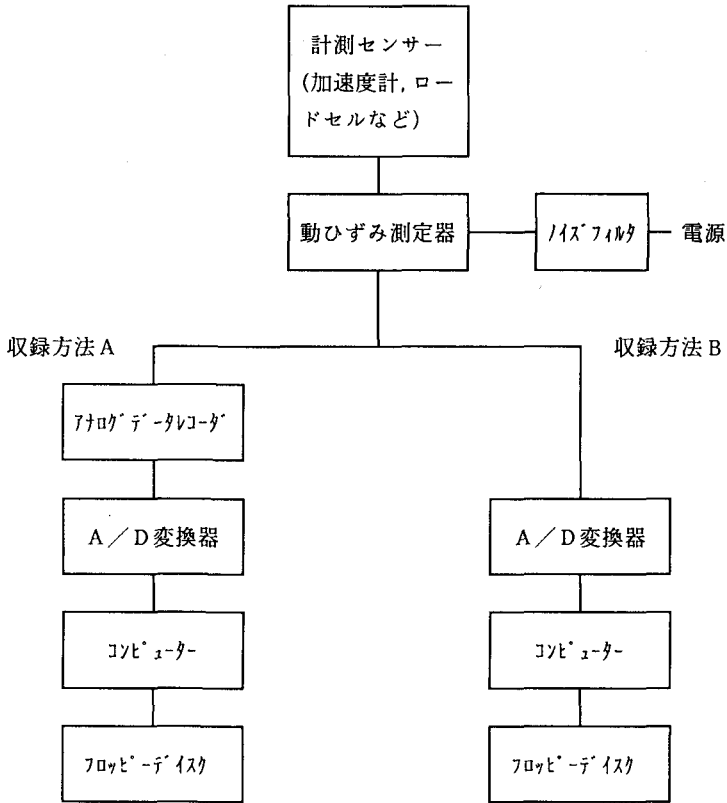


図1 計測のシステム

ノイズと呼ばれる周波数は、低周波から高周波に至る広い領域に存在すると考えられるが、低周波のノイズで代表的なものとして考えられる周波数は、現在の測定方法では電源に起因するものが多いようである。図1ではその除去のために電源ノイズフィルターを挙げた。また、高周波に関しては、原波形に含まれるものなのかあるいはノイズなのかを判定するには、ひとつのセンサーでは無理である。したがって、ノイズの判定のために重要な計測点にはセンサーを2個以上設置し、その波形を比較することでノイズの判断をするべきである。通常、2つの波形を比較するとノイズと思われる部分はひとつの波形の中に異常な突起を示し、もうひとつの波形には突起が現れない。この部分をノイズと言ってよいと考えられる。その様子を示したのが、図2. 1、図2. 2である。

上記以外のノイズは、現段階では判定が出来ないのではないだろうか？

3. 計測すべき周波数

計測すべき周波数は実験の目的によって変わると考えられる。いたずらに計測精度を上げて実験後解析等では煩雑な処理が必要となり、目的が不明瞭になる可能性がある。したがって、落石実験等では構造物に影響のある周波数を主眼に計測すべきであろう。現在の落石覆工はPC製、RC製、メタル製が主流で、その固有周期はおよそ50 msec～150 msecの範囲にある。文献1)によれば構造物へのインパルス荷重が

構造物の固有周期の1/4以下の载荷時間であれば、動的増幅率は荷重インパルスの形状にあまり影響されずその力積に影響されると言われている。

この考えに従えば、落石実験等では、50 msecの1/4すなわち12.5 msec以下の载荷時間内における力積に影響を与えない周波数は80 Hz以上の周波数と言うことになる。

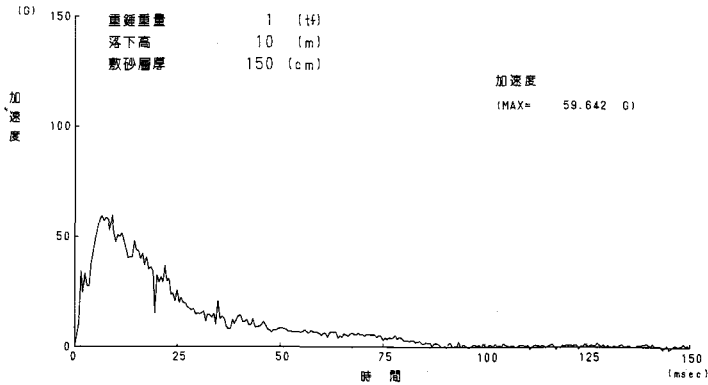


図2. 1 落石重量1 t f, 落下高さ10 mでの加速度計G1による波形

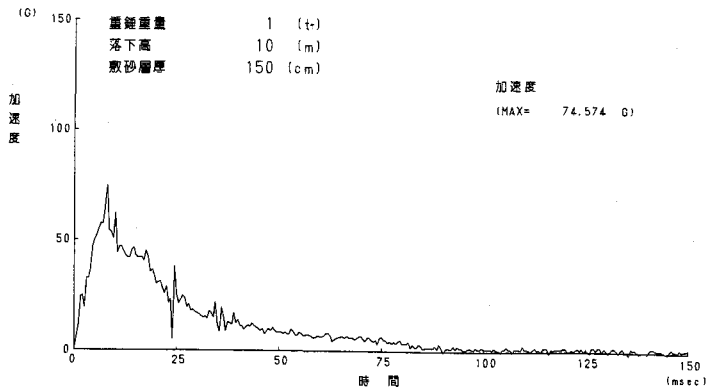


図2. 2 落石重量1 t f, 落下高さ10 mでの加速度計G2による波形

力積は、加速度波形をある時刻 t_1 ～時刻 t_2 の時間に関して積分したもので、ある時間内に一波長の整数倍を有する周波数は正負の面積をもち相殺されるので積分結果にほとんど影響しない。

通常、A/D変換時のサンプリング間隔は、計測すべき周波数の周期の1/10～1/20と言われており、12.5 msecの1/20として約625 μ secを目安にサンプリング間隔と設定してもよさそうである。よって収録方法Bでは625 μ secのサンプリング間隔でよい。また、収録方法Aではアナログデータレコーダの応答周波数は使用センサーの応答周波数の約10倍～20倍程度のものが必要となるが、それ以上のものを使用しても原波形を忠実にとらえたものとは言い難い。

(アナログデータレコーダにおいてもA/D変換器と同様のことが言え、原波形の再現性を保証するためには、レコーダの「解像度」すなわち応答周波数がセンサーの10倍程度必要となる。しかし、それ以上の応答周波数を有するレコーダを用いてもその収録値はセンサーの感度を越えるので意味がない。詳しいことは専門文献を参照されたい。)

4. ノイズの除去

文献2)～4)によると、ノイズの除去として以下の方法がある。

①アナログフィルター回路

長所：信号と雑音の周波数特性に大きな差がある場合簡単な回路でも大きな効果がある。

短所：フィルター特性を信号と雑音の性質に対応して任意に変化させる事が困難。

②デジタル演算処理

長所：一つの波形に対して異なる処理結果を比較できる。

短所：計算を必要とする。

フィルターには、アナログ、デジタルを問わず信号の通過域で分類すると次の4種類がある。

- 1) 低域通過フィルター (Lowpass filter)
- 2) 高域通過フィルター (Highpass filter)
- 3) 帯域通過フィルター (Bandpass filter)
- 4) 帯域阻止フィルター (Bandstop filter)

落石実験等では、前述したように構造物の挙動に影響を与えない高周波域を阻止したいので、フィルターとしては、1)の低域通過フィルターを議論する事となる。

4. 1 アナログフィルター

アナログフィルターには、

① 振幅の再現に主眼を置くもの (バターワース形. 以下、フィルターAと呼ぶ.)

② 位相の再現に主眼を置くもの (ベッセル形. 以下、フィルターBと呼ぶ.)

の2種類あるが、使用に際しては実験の目的にあったフィルターを選ぶ必要がある。落石実験のような中速あるいは低速領域の衝突でそのピーク値が問題となる場合は、振幅に主眼を置いたフィルターAを使用した方が良いように思われる。

しかし、高速域の衝突や構造物内の応力波の影響などの実験では、位相の再現に主眼を置いたフィルターBを使用する方が望ましいのではないだろうか。いずれにせよ使用するアナログフィルターの特性と実験の内容を検討してフィルターの選定をする必要がある。

過去の落石実験を例にとれば、実験後の波形処理ではフィルターAで300Hz～1KHz (収録方法Aのデータにフィルターをかけたもの)を選定すれば、次に述べるデジタル演算処理と同様の結果を得ることができた。したがって、落石実験のような範囲ではアナログフィルターを使用したノイズ除去でも解析結果に大きな影響を与えないようである。(図3.1～図3.3)

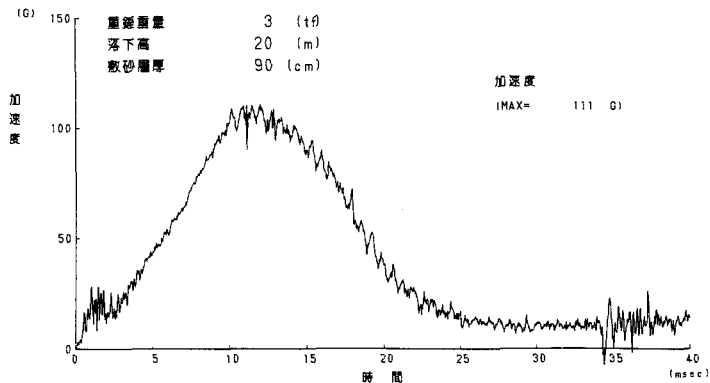


図3.1 落石重量3 tf, 落下高さ20 mでの重錘加速度原波形 (サンプリング間隔10 μsecで表示)

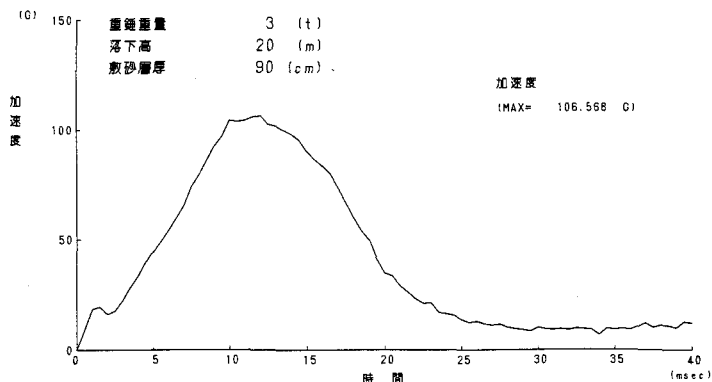


図3.2 落石重量3 t f, 落下高さ20 mでの重錘加速度波形のアナログローパス処理 (1 K H z)

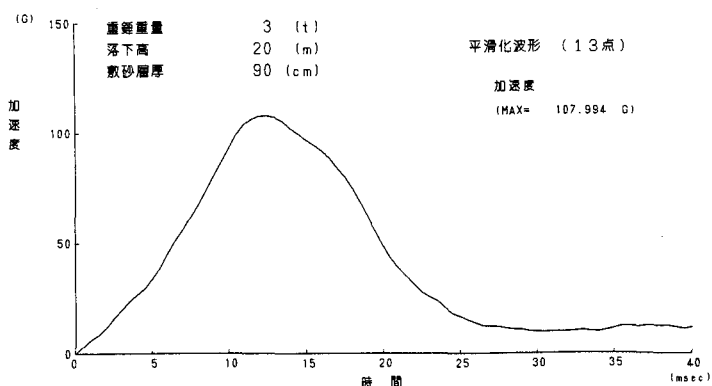
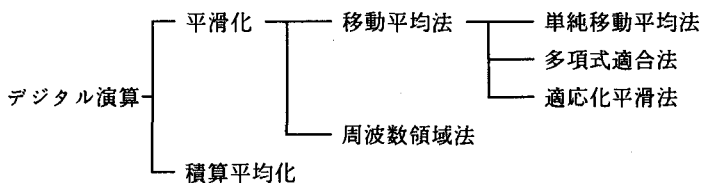


図3.3 落石重量3 t f, 落下高さ20 mでの重錘加速度波形のデジタル処理 (13点)

4.2 デジタル演算処理

デジタル演算処理方法は、以下のように大別される。



結論的に言うと、低速・中速域の範囲内では多項式適合平滑化を用いて処理してよいと考える。各方法の詳細内容は専門書にゆずるが、以下に多項式適合平滑化の選定理由についてのあらましをのべる。

a) 積算平均化法は、同一条件のもとで繰り返し測定された多数の波形を単純な平均化で平滑化するものであるが、同一条件でもばらつきが多くまた多数の波形を収録できない落石実験では測定結果をゆがめる可能性があるため採用できない。

b) 周波数領域法は、測定波形をフーリエ変換したのに対し各種のフィルター関数を乗算し、この結果をさらに逆フーリエ変換して平滑化するもので、その作業の煩雑さとフィルター関数の選定に難があるので採用できない。

c) 適応化平滑法は、ピーク部分とベース部分とが明らかに分かれて現れる波形に有効な方法で、落石実験のような波形には不向きと考えられるため採用できない。

d) 単純移動平均法は、多項式適合法の一次式と同一のものであるが、平均する各点数に同一の重みをつけるため原波形とかなりの位相差が生じたり、また波形の山をつぶす傾向がある。落石実験では波形のピーク

値が主に論じられるので不採用とする。

e) 多項式適合法は、ある測定値の近傍を最小2乗法により多項式曲線で表現できると仮定し、近傍の点に重みを付け測定波形と多項式曲線を適合させる方法である。重み係数は多項式の次数によって異なるが、各種の研究により現在では詳細な係数表が作成されており、デジタル演算波形処理についてはもっとも信頼できる。過去の我々の経験から波形解析では3次式で十分であるように思われる。

以上が多項式適合法を推奨する理由であるが、この方法でも平均化点数の決定が問題となる。平均化点数を決定するためには、実験後の波形処理でノイズを除去できる点数を試行錯誤的に追求する必要がある。過去の例では、13点~15点で十分であった。(図4)

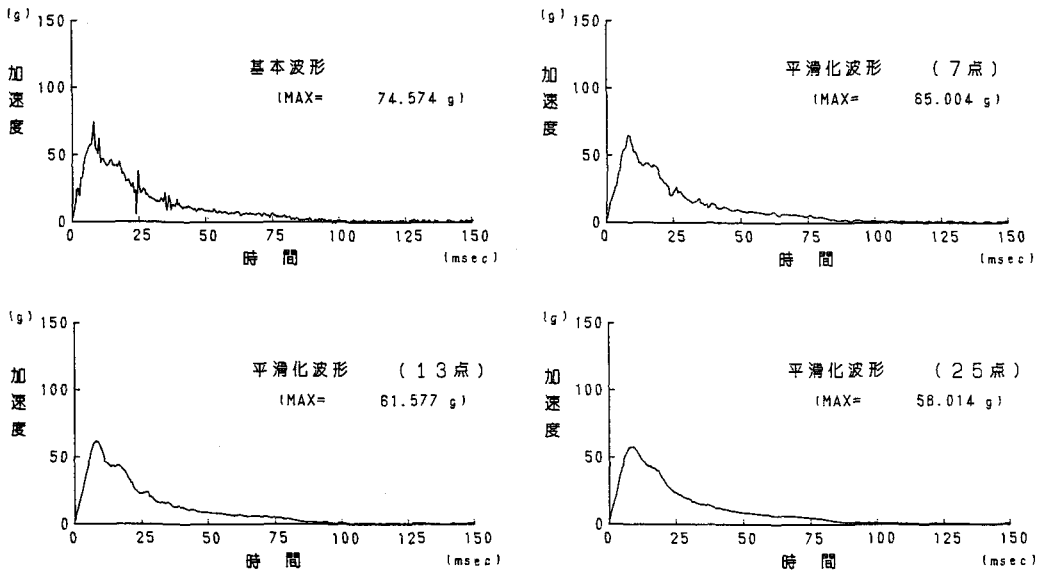


図4 多項式適合法によるデジタル波形処理の平均化点数の影響

5. 結論

以上、衝撃実験の一般的な計測法を示したが、これは測定波形の傾向が解らない時に行うものである。ある程度の実験実績から波形の傾向が解る場合には、計測の簡便さと経済性から「収録方法B (デジタル収録) でアナログフィルター回路 (フィルターA) によるノイズ処理」が適当である。しかし、くどいようであるが安易な計測は実験そのものを台無しにするので、衝撃実験をおこなう場合は必ず予備実験を行い、実験そのもののチェックと計測方法のチェックを行わなければならない。

<参考文献>

1. 構造物の動的解析: 科学技術出版社, Ray W. Clough他,
2. 科学計測のための波形データ処理: CQ出版社, 南茂夫, 1992. 1. 20
3. デジタル信号処理入門: CQ出版社, 三上直樹, 1989. 9. 10
4. デジタル信号処理入門: 日刊工業新聞社, 松田稔, 1987. 4. 30