

XIII 計測震度

1. 計測震度とは

計測震度は、地震動の強さを示す指標として平成8年4月より気象庁が正式に導入したものである。これ以前の気象庁震度階は、測候所職員の体感および周囲の被災状況によって決められていた。また、震度7は1948年福井地震（ $M_J=7.1$ ）後に、家屋倒壊率30%以上として定義された。このため、震度7を判定するためには現地踏査を必要とし、平成7年兵庫県南部地震ではその発表までに数日を要した経緯がある。そこで、地震計で観測された波形から自動的に震度を評価する方法として、それまでに検討していたものを発展させた計算法が開発された。また、平成8年10月からは、表－1に示すように被害が大きくなる震度5と6をふたつに分け、それぞれ強、弱を付記するように改めている。

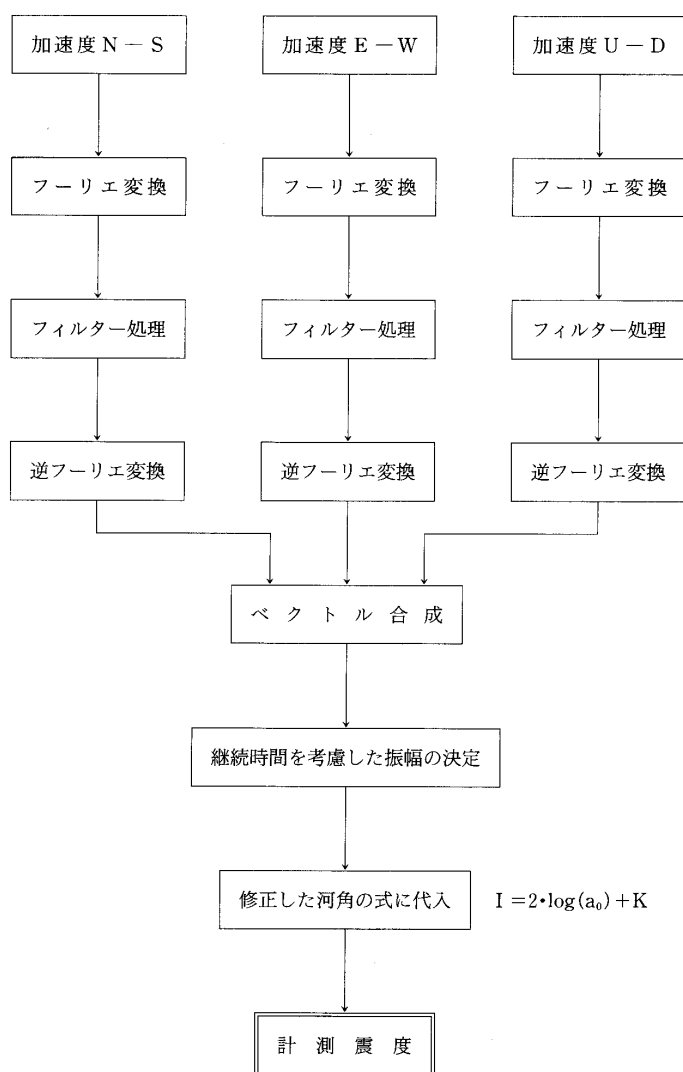
計測震度に基づく新しい震度階では、体感や被災状況によらない計測震度の導入により震度7までの震度階を速報することが可能となっている。

表－1 震度階（平成8年10月以降）

震度	通常発生する現象の例
0	人は揺れを感じない。
1	屋内にいる人の一部がわずかな揺れを感じる。
2	屋内では多くの人が揺れを感じ、眠っている人の一部は眼をさます。つり下げ物がわずかに揺れる。
3	屋内のほとんどの人が揺れを感じ、恐怖感を覚える人もいる。棚の食器類が音を立てることがある。
4	屋内ではかなりの恐怖感があり、眠っている人のほとんどが目覚めます。座りの悪い置物が倒れる。
5 弱	棚の食器類や本が落ち、家具が移動することがある。窓ガラスが割れ、弱い壁に亀裂が生じることがある。落石や小さな崖崩れが生じることがある。
5 強	棚の物の多くが落ちる。タンスが倒れることがある。補強されていないブロック塀、据え付けの悪い自動販売機、墓石の多くが転倒する。弱い家屋は破損し、耐震性の高い建物に亀裂が生じることがある。
6 弱	立っていることが難しい。多くの家具が移動、転倒する。弱い住宅は倒壊するものがあり、鉄筋コンクリート造でも壁や柱に亀裂が生じる。地割れ、山崩れが生じることがある。
6 強	立っていることができず、はってしか動けない。家具のほとんどが移動、転倒する。弱い木造建物の多くが倒壊し、耐震性の高い建物でも壁や柱が破壊するものがある。
7	人は自分の意志で動けない。ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある。耐震性の高い建物でも傾いたり、大きく破壊するものがある。

2. 計測震度の計算法

ここでは、気象庁告示第四号の内容に従って、新しい計測震度（階）の計算方法について示す〔気象庁(1996)〕。全体のフローを図－1に示す。基本的には3成分（NS、EW、UD）の観測加速度波形を用いることを前提としている。また、計測震度計は気象庁の検定を受けたもののみが公式の震度情報を発信出来る。



図－1 計測震度計算のフロー

まず、各成分の加速度観測波形をフーリエ変換したスペクトルに、図－2に示す特性を持ったフィルターを施す。このフィルターの意味は、 $f_0 \sim 10\text{Hz}$ の周波数成分を取り出し（ハイカット及びローカット・フィルター）、全体の周期特性を補正することにある。周期特性を補正するフィルターの傾きは両対数軸上で -0.5 なので、実際には $f^{0.5}$ （ $\omega^{0.5}$ ）で割ることになる。これは、加速度波形に対して速度に近い特性を持たせていることになる（傾きが -1 なら速度と等価）。また、ローカット・フィルターの f_0 としては、 0.5Hz が用いられている。各フィルターの数式表現

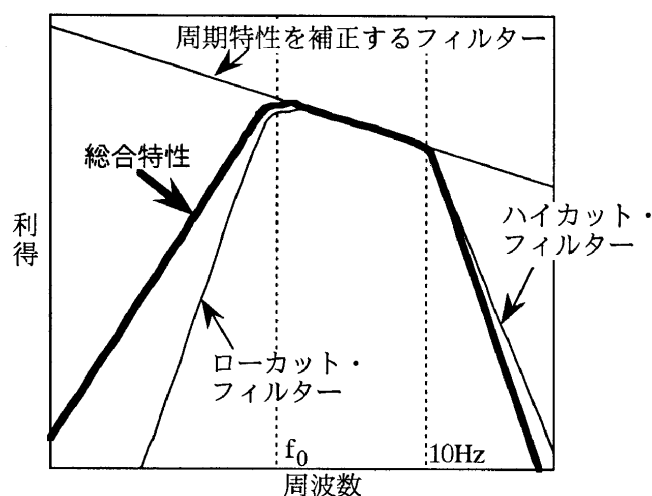
を以下に示す。ここで、ハイカット・フィルターを $FH(f)$ 、ローカット・フィルターを $FL(f)$ 、周期特性補正フィルターを $FC(f)$ としている。

$$FH(f) = (1 + 0.694X^2 + 0.241X^4 + 0.0557X^6 + 0.009664X^8 + 0.00134X^{10} + 0.000155X^{12})^{-0.5} \quad (1)$$

$$X = f/f_c \quad (f_c = 10\text{Hz})$$

$$FL(f) = (1 - \exp(-(f/f_0)^3))^{0.5} \quad (2)$$

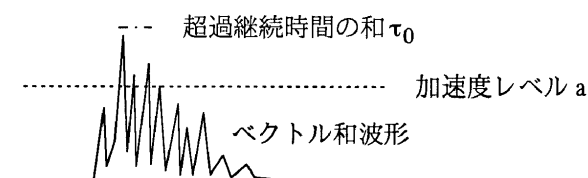
$$FC(f) = (1/f)^{0.5} \quad (3)$$



図－２ 計測震度の計算に用いるフィルター

補正したスペクトルを逆フーリエ変換して波形に戻し、各成分の波形のベクトル和（各時間ステップで2乗和の平方根を取る）波形を計算する。この時点で波形は非負になる。

次に、図－３に示すように、ベクトル和波形が合計で τ_0 秒間以上継続してある加速度レベル a を越える加速度値を求め、それを最大加速度値とする。この手続きにより、継続時間の極端に短いパルス状の大加速度値の影響を除くことができる。 τ_0 としては0.3秒が用いられている。



図－３ 計測震度の計算に用いる最大加速度レベル

このようにして求められた最大加速度レベル a を、

$$I = 2 \times \log(a) + 0.94 \quad (4)$$

に代入することにより，計測震度 I を得る。また，計測震度は表－２の関係から震度階に置き換えられる。

表－２ 計測震度と震度階

震度階	計測震度
震度 0	～0.5
震度 1	0.5～1.5
震度 2	1.5～2.5
震度 3	2.5～3.5
震度 4	3.5～4.5
震度 5 弱	4.5～5.0
震度 5 強	5.0～5.5
震度 6 弱	5.5～6.0
震度 6 強	6.0～6.5
震度 7	6.5～

4. 参考文献

気象庁，震度を知る－基礎知識とその活用－，ぎょうせい，1996.

付録A 計測震度の評価 (JMAint.xls)

1) 内容

表計算ソフト (Excel) の機能を用いて、気象庁告示第四号の内容に沿って計測震度相当値を計算するテンプレート・ファイルである。なお、計測震度相当値としているのは、計測震度は気象庁認定の地震計による観測波形を用いて計算すべきものであり、任意の地震計による観測記録を用いて計算した結果はあくまで参照値と位置づけるべきものだからである。(以下の解説図は Excel 2007 で実行した際のものの。)

2) 入力パラメーター

ファイルを開くと図-1 の状態になる。赤で示される数値が入力すべきパラメーターであり、 n および dt は生成する波形のデータ数および時間刻みである。高速フーリエ変換を用いるため、 n は 2 の累乗である必要がある。

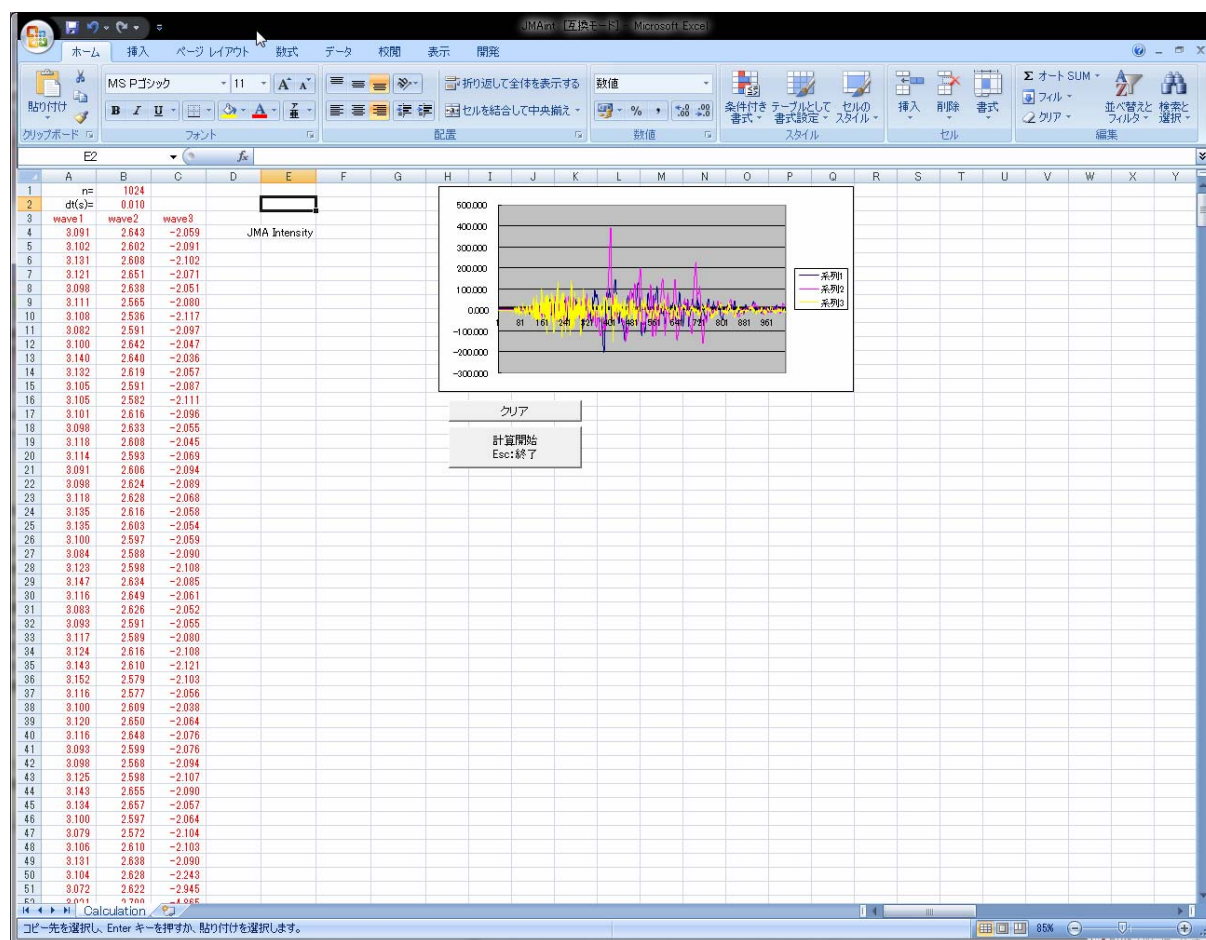


図-1 ファイルを開いた状態

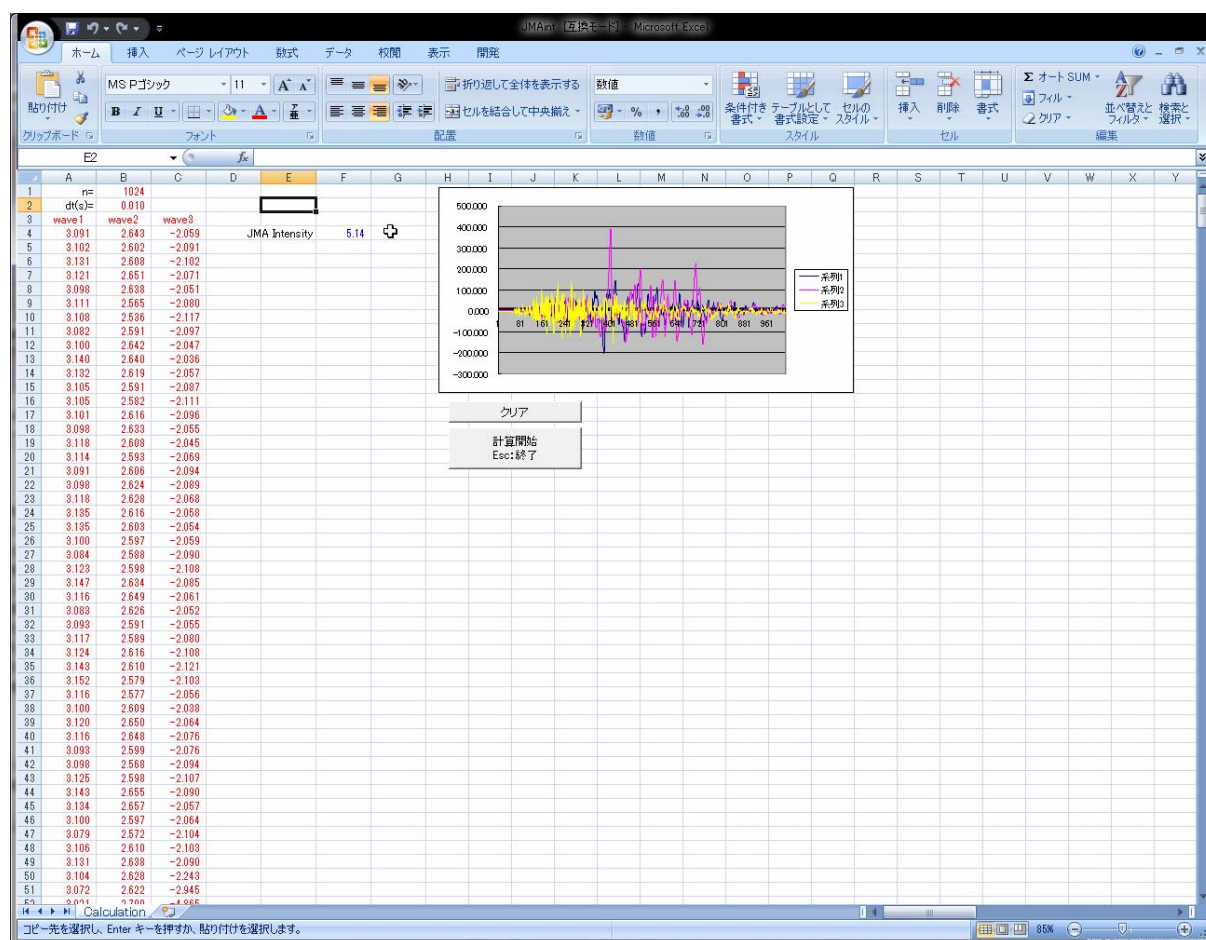
その下に 3 成分の波形 (wave1, wave2, wave3) を縦に収める。波形は加速度 (単位は cm/s^2) を想定している。波形データを入力すると、その図が表示される。各成分は NS, EW, UD に相当するが、その並び順はいかようでも良い。シミュレーション結果などで UD 成分が無い場合は、1 成

分を全てゼロとしておけば良いが、計測震度相当値がわずかに過小評価される点に留意されたい。

図には独立行政法人 防災科学技術研究所 K-NET による観測波形を示しているが、この波形は利用者がユーザー登録して入手すべきものであるため、実際のテンプレートには初期状態として単純なサンプル波形が収められている。適宜波形を変更して入力されたい。

3) 計測震度相当値の計算

「計算開始」ボタンをクリックすると、F 4 カラムに計算結果が小数点以下 2 桁まで青字で表示される。ここで「クリア」ボタンを押せば、結果が消去されて図－1 の状態に戻る。



図－2 計測震度相当値の計算結果

付録A K-NET (KiK-net) データの取り込み (K-NET.xls)

1) 内容

表計算ソフト (Excel) の機能を用いて、独立行政法人 防災科学技術研究所 が公開している強震観測データを、本講座で用いている各種テンプレートで活用するためのフォーマット変換をおこなうテンプレート・ファイルである。(以下の解説図は Excel 2007 で実行した際のもの。)

データの入手にはユーザー登録(無償)が必要となる。詳細については以下の URL を参照されたい。

<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/> (強震観測網ポータルサイト)

2) 準備

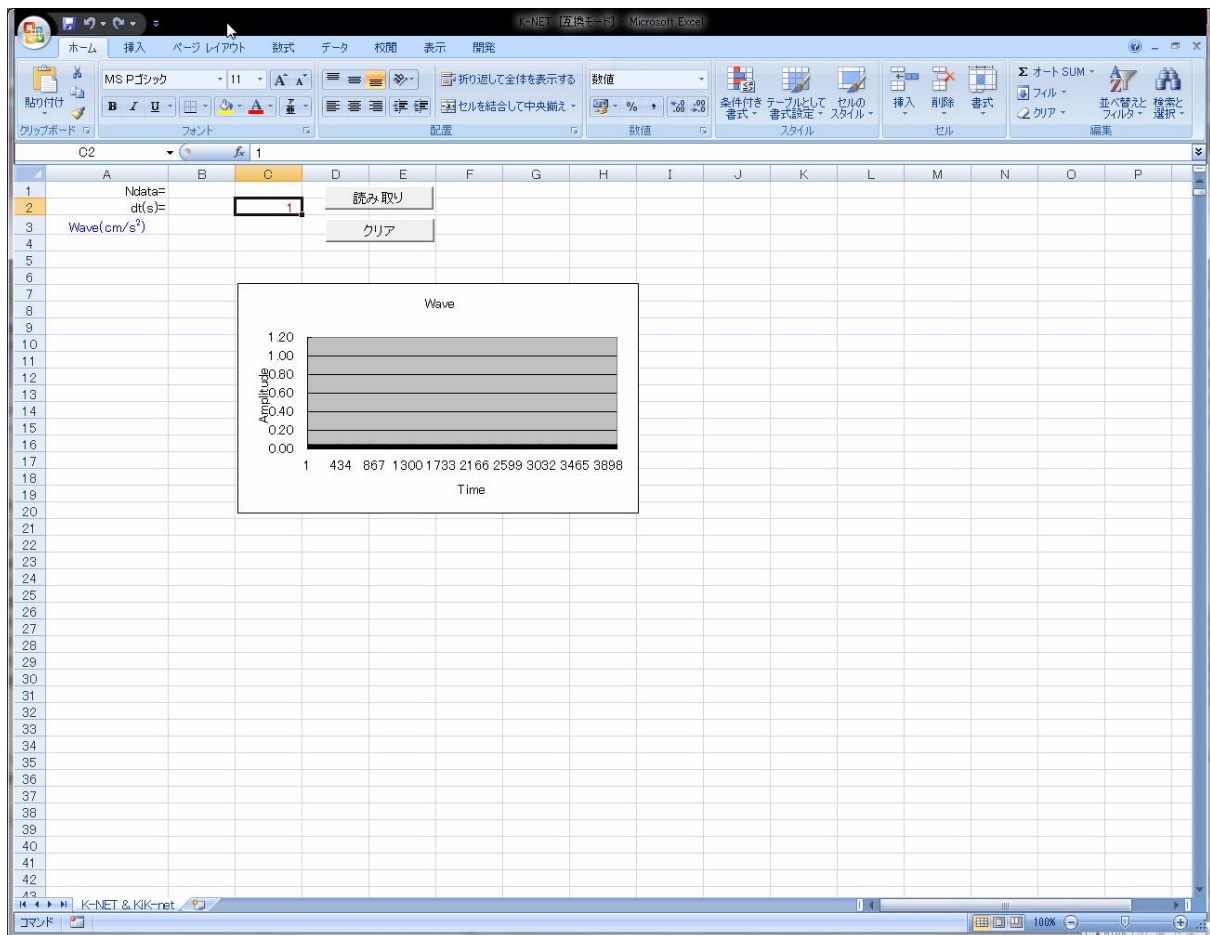
波形の入手方法については上記サイトの解説に従って頂きたい。入手した波形ファイルは圧縮されており、それを解凍すると観測成分毎のファイルが得られる。

なお、これらのファイルは UNIX で生成されており、Windows とは改行形式が異なるため表計算ソフト (Excel) ではそのまま読み込めない。そこで、Windows 標準の簡易ワープロソフトであるワードパッド (WordPad) で一旦開き、そのまま何もせずに [上書き保存] をおこなう。これで、Windows の改行形式に変換され、表計算ソフト (Excel) で読み込めるようになる。ワードパッドで開くためには、ファイルを選択して右クリックし、「プログラムから開く」－「ほかのプログラム」と選択してゆけば良い。

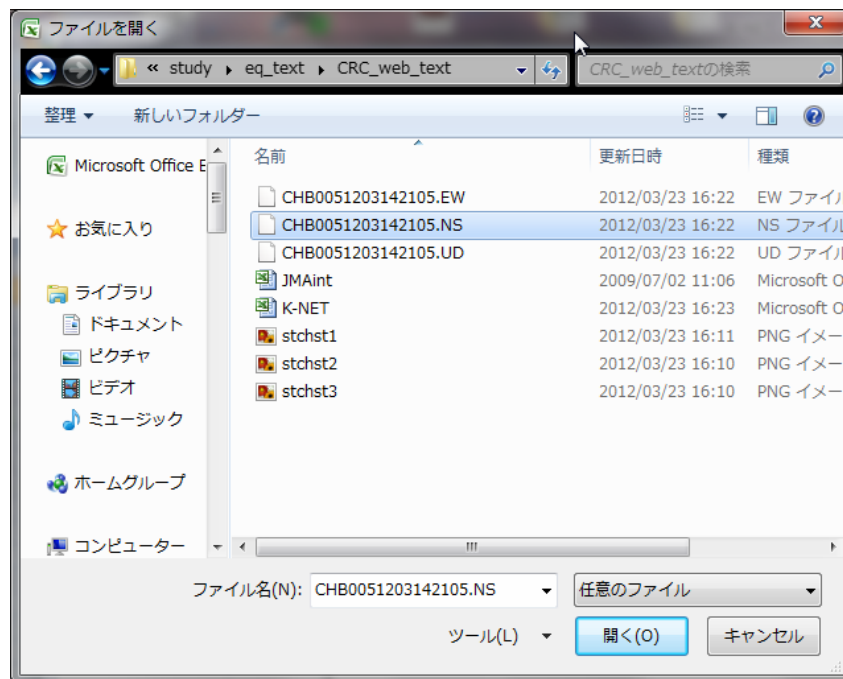
3) データの読み込み

ファイルを開くと図－1 の状態になる。ここで、「読み取り」をクリックすると、図－2 のようなサブウィンドウが生成される。ここで、先ほど準備した各成文のファイルが格納されているフォルダに移動し、対象ファイルを選択する。対象ファイルをダブルクリックするか「開く」をクリックすると、ファイルが読み込まれて、図－3 のような状態になる。Ndata および dt が読み込んだ波形のデータ数および時間刻みになる。その下に波形が一行に格納され、波形図が表示される。これの適当な部分を切り取って既往の各種テンプレートの入力データとして活用することができる。

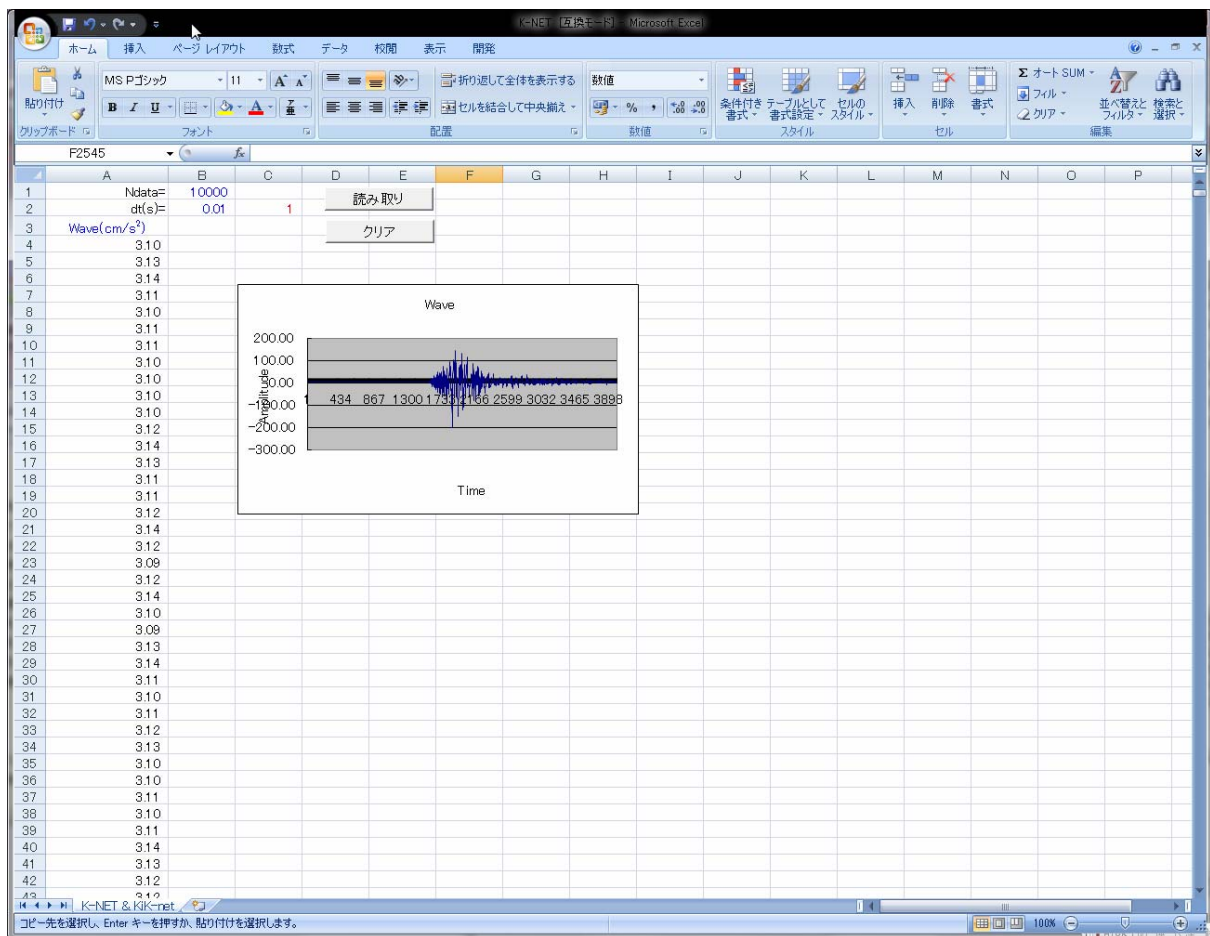
なお、赤字で 1 となっている入力データは、波形を読み込む際のスキップ数(読み飛ばし数)である。1 の場合は全データを読み込み、2 とすればひとつおきに読み込む。KiK-net のデータなど 200Hz サンプルングのものを 100Hz で読み込むことができる。ただし、この機能の利用にあたっては、第Ⅱ講で解説したエイリアシングに十分配慮する必要がある。



図－１ ファイルを開いた状態



図－２ 波形ファイルの指定



図－3 波形の取り込み結果