

多点多成分振動観測記録の効果的な分析を支援する動画アプリケーションの開発

DEVELOPMENT OF ANIMATED APPLICATION FOR EFFECTIVE ANALYSIS OF MULTI-POINT, MULTI-CHANNEL VIBRATION DATA

廣野衣美 — * 1 牧原慎一郎 — * 1
福和伸夫 — * 2 飛田 潤 — * 3
護 雅史 — * 3 小島宏章 — * 4

Emi HIRONO — * 1 Shinichiro MAKIHARA — * 1
Nobuo FUKUWA — * 2 Jun TOBITA — * 3
Masafumi MORI — * 3 Hiroaki KOJIMA — * 4

キーワード:

多点同時記録, 地震波動伝播, 立体振動, ウェブアプリケーション, アニメーション, 可視化

Keywords:

Simultaneous vibration observation, Seismic wave propagation, Spatial vibration, Web application, Animation, Visualization

Web-based animated applications have been developed for effective analysis of observed multi-point, multi-channel vibration data by use of the Flash animation technique. The applications are designed for engineers and researchers in supporting their comprehension and further analysis of observed data on the complicated vibration characteristics of ground and buildings. Web-based interface makes it possible to use the applications in the network environment without any special additional software. The applications are also effective for e-learning on vibration theory and earthquake engineering.

1. はじめに

地震観測に関する機材の発展や観測体制の整備により、近年、地盤及び建物における多数の地震記録・地震応答記録が得られるようになってきた。地盤の地震観測については、特に1995年兵庫県南部地震以降に著しく整備が進み、気象庁や自治体の計測震度計や、防災科学技術研究所によるK-NET、KiK-netなど¹⁾、全国を一定密度で覆う観測網が構築され、観測記録は公開されている。また特に大都市圏においては、自治体やライフライン企業による高密度観測網が整備され、それらの観測記録を利用できる可能性も拓かれつつある²⁾⁻⁴⁾。建物についてはこのようなトップダウンの広域観測体制は未だ実現していないが、免震・制振建物や超高層建物、大規模発電施設などの重要構造物では多点多成分観測体制を備えている場合が多い。加えて、地盤・建物の常時微動観測や振動実験など、地震記録以外にも振動現象に関する多点多成分観測記録が得られている⁵⁾。

これらの観測記録を効果的に分析できれば、地震時の現象を空間的に詳細に検討することができる。しかし、たとえば広域の地盤地震観測記録から震度のような代表値の分布を示すことはよく行われるが、多点の波形記録とその関係を分析するとなると難度が高い。建物応答についても最大応答や周期などは比較的容易に得られるが、複雑な立体挙動を示す場合にはモード分離も難しいこともある。一般的な波形分析手法であるフーリエ解析は、個々の観測成分の特性把握は可能であるが、多点多成分観測記録を適切に分析し、その全体特性を把握することは容易ではない。このような分析技術や知見を有する研究者や技術者は必ずしも多くなく、また各観測機関において継続的に観測記録を扱う技術者を確保することも困難になり、蓄積され続ける大量の観測記録を有効に活かすことはますます難しく

なっているといつてよい。一方、建物の振動実験で多チャンネルの観測体制を整えることも多いが、観測体制やデータに問題がないかどうかを現場でチェックするには、経験豊かな技術者をもってしても容易ではなく、短時間で効率的にデータチェックできるようなツールの必要性は高い。

これに対して筆者らは、建築・防災に関する技術者や研究者が、観測記録を適切に活用するための環境整備が重要と考え、まずは大量に蓄積される観測記録と地盤・建物の情報をウェブGIS(地理情報システム)により整理するシステムを開発してきた²⁾⁻⁶⁾。次のステップは、複雑な振動現象を効果的に把握できる分析システムの開発である。筆者らはすでに、連続観測を行う強震計のデータにより建物立体振動をリアルタイムで表示するウェブシステムの構築を試みている⁷⁾。その後に同様の機能を持つ観測システムも公開されるなど⁸⁾、振動挙動の理解においてアニメーション化の有効性が示されている。

本論では、以上の背景・経緯を受けて、地震や常時微動の多点多成分同時観測記録等について、空間的・時間的な振動状態をアニメーションにより可視化する汎用アプリケーションソフトウェアを、動的ウェブコンテンツ作成環境を用いて構築している。技術的には、筆者らが開発してきた振動論eラーニング^{9), 10)}の開発環境を活用しており、ウェブ環境で特別なソフト/ハードなしに活用できる点に大きな特徴がある。

具体例として、広域にわたる地盤の観測記録から波動伝播特性や振幅・周期分布とその時間変化を、また特定建物の多点同時観測記録から立体振動を含む応答特性を扱っている。また応答シミュレーションの結果を表示・分析する例も示した。これらにより複雑な振動・波動伝播挙動を容易に理解でき、また現象に関する新しい知見

*1 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

*2 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

*3 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・工博

*4 名古屋大学大学院環境学研究科 助教・博士(工学)

*1 Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

*2 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*4 Assistant Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

を得ることも可能になる。すなわち、観測記録のアニメーションとインタラクティブなインターフェイスにより、経験の浅い利用者の記録確認や特性抽出を助けると同時に、より高度な分析技術を持った技術者・研究者にとっては強力かつ柔軟な分析ツールとなりうる。また、eラーニングとして、建築構造を学ぶ学生や技術者の教育にも有効である。

2. 動的ウェブコンテンツ作成環境の特徴

立体振動の可視化に関するツールはこれまでも開発・使用されてきたが、それらの多くは特定の対象に特化した可視化ソフトウェアにより表示を可能とするものであり、高価な専用ソフトウェア・ハードウェア環境が必要などのハードルがあった。本論では、動的なウェブアプリケーション作成環境のひとつであるFlash(Adobe社)を用いて、一般的に活用できる振動現象可視化環境(Flashアプリケーション、以下「アプリケーション」と略)を構築した点に大きな特徴がある。これにより、一般的なPCとウェブブラウザがあればアプリケーションを利用でき、専用のソフト/ハード環境は不要となり、さらにアプリケーション本体や分析結果をインターネット上で容易に公開できるなどの利点がある。

さらにFlashの特長として、汎用プログラム開発環境として十分な整備がなされていることが挙げられる。デザインとプログラミングを同じ開発環境で行うことができ、整列機能・エラーチェック機能なども充実している。さらに、ラジオボタンやチェックボックスなどのコンポーネントがあらかじめ用意されているため、アプリケーションの作成をスムーズに行うことができる。またアプリケーションのファイルサイズが比較的小さくなるため、ネットワークによる公開や共有が容易である。一方で、セキュリティ上の制約から、リモートウェブアクセスにより実行しているソフトウェアではローカルPCにあるデータを読み込むことが難しい。これは公開システムではあらかじめサーバー側に準備した記録のみを用い、さまざまなデータを扱う場合はアプリケーションをローカルPCにおくことで対応できる。

以上の特徴は、研究目的が主となる環境ではなく、汎用ソフトウェアとして広く一般に用いられる技術を用いたことで得られるものであり、継続的な発展やサポートが期待できる点も優れている。

3. 地盤の強震観測記録の表示・解析

K-NETなどで観測された広域・多点の地盤観測記録について、その特性や建物応答を分析するアプリケーションの例を示す。

3.1 地震動オービット

ある地域の多点で強震観測記録が得られている場合に、それぞれの地点の粒子軌跡(オービット)を、地震時の時間経過に沿ってアニメーションで同時に表示する例を図1に示す。この図では2004年9月5日の紀伊半島沖地震による愛知県・三重県周辺のK-NET観測点の記録を用いており、広域の地震動特性や波動伝播特性を知ることができる。実際の動作時の画面では各地点のオービットがアニメーションで表示される。下側のウィンドウでは選択地点の波形表示ができ、時刻を示す縦線(タイムライン)が時間経過とともにオービットと同期して右へ動く。また選択地点のスペクトルを見ながらバンドパスフィルタをかけることもできる。読み込む地震観測記録のフォーマットは、一般的なテキスト形式やK-NETフォーマットなどに対応している。

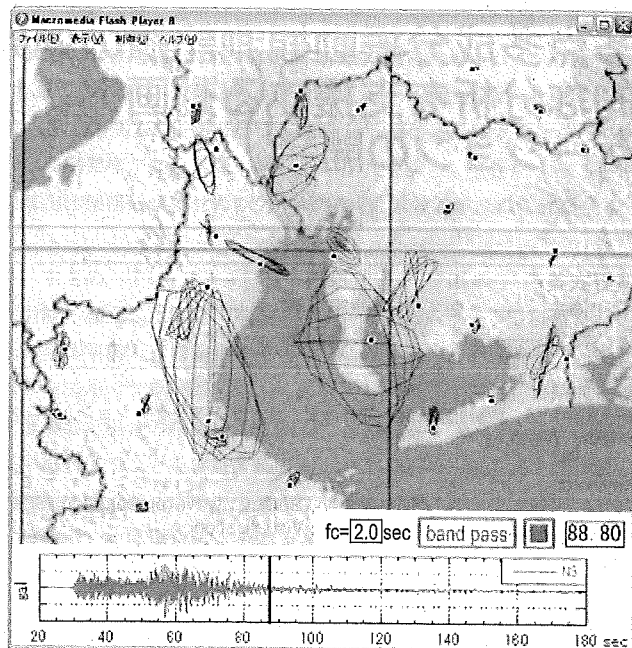
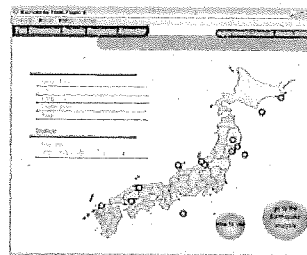
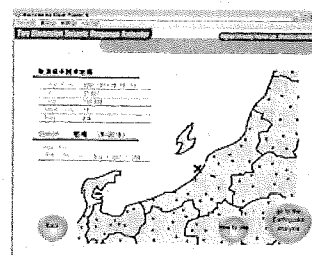


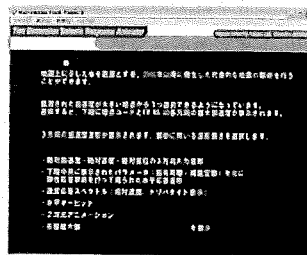
図1 地震動オービット描画アニメーション



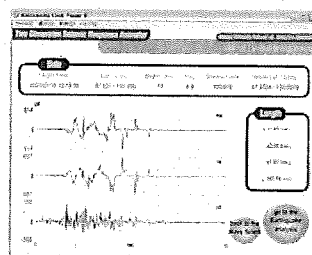
1: 地震選択画面



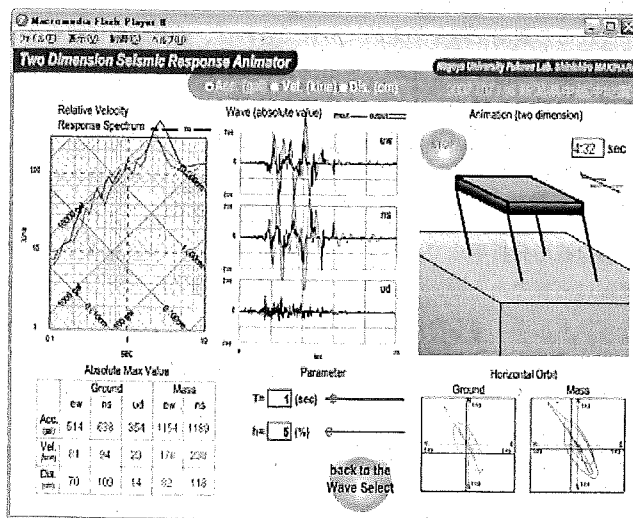
2: 観測地点選択画面



3: 使い方表示画面



4: 波形長さ選択画面



5: 解析画面

図2 地震応答アニメーション

このアプリケーションにより、いくつかの地震において、濃尾平野や伊勢平野を含む地域での地震動の面的な分布や伝播特性の把握ができる。図1でも、平野内の特定の地点で地震動が大きく増幅されており、継続時間も長いことがわかる。また後続位相での地震動の卓越方向は、伊勢平野では震源方向（ほぼ南）であるのに対し、養老断層の東側の濃尾平野では断層直交方向に細長いオービットが認められるなど、地点による特徴がある。この図ではわかりにくいですが、実際のアニメーションでは、対応する位相が平野内を伝播する様子を見ることができる。個々の地点の波形・スペクトル特性やオービットを見るだけではなかなか把握できないことが、アニメーションでははっきりと読み取れる例である。

3.2 2次元地震動・地震応答

図2は、代表的な地震波とその応答特性を簡単に分析できるシステムを示している。現状では2000年以降に発生した主な地震について、K-NET等で観測された波形とその応答特性に関する簡易な解析を行い、その結果をアニメーションで表示できる。もちろん、他の観測記録についてもデータを準備すれば同様に表示できる。図2にいくつかの画面例を示し、以下に機能と特徴をまとめる。

- (1) 最初の画面では、日本地図に震源位置を示す丸印が表示される（図2-1）。対象とした地震は、2000年鳥取県西部地震から2007年新潟県中越沖地震など13地震である。
- (2) 震源のうち1箇所を選択してクリックすると、震源付近を中心として地図が拡大され、震源の表示が「x」印に切り替わる。また、別な色（青）で近傍のK-NET観測点が表示され、選択した地震で観測された加速度が大きい上位3地点（以下、上位3地点）は色を変えて表示する。画面左上には選択した地震名、発生日時、震源の緯度・経度、震源深さ、マグニチュードが表示され、上位3地点を選択する毎に観測地点名と最大加速度の表示が切り替わる（図2-2）。
- (3) アプリケーション内でも使い方を表示できるように、特定のボタンをクリックすることで参照できる「使い方表示ページ」も準備している（図2-3）。
- (4) K-NETも含めて一般的な強震計は加速度記録であるが、速度・変位についても表示するためフーリエ変換により積分を行う（図2-4）。高速フーリエ変換のためのデータ長は積分結果を見ながら選ぶことができ、地震記録の特性や長さに応じて20.48秒、40.96秒、81.92秒、163.84秒などの中から選択するようになっている。
- (5) 図2-5では、選択した波形を入力として1質点の弾性応答解析を行い、EW、NS各方向の応答スペクトル、加速度・速度・変位の入力・応答波形、各種最大値、水平オービットを表示する。画面下段中央で建物の固有周期と減衰定数をパラメータとして設定でき、これを変更して再度解析を行うことも出来る。画面右上では水平2次元の応答のアニメーションが表示される。
- (6) 観測記録は外部ファイルから読み込む形式となっており、K-NETからダウンロードしたフォーマットのまま読み込めるようになっている。また、新たに地震を追加する際の作業も容易である。このようにアプリケーション作成者以外でも作業ができるように工夫した。

現在、このアプリケーションのプロトタイプをウェブで公開している¹¹⁾。スタンドアロンで動作し、K-NETフォーマットをそのまま読み込めることなどから、観測記録のビューアとして利用するだけでも効果的である。

4. 振動シミュレーション

ここでは、比較的シンプルな振動モデルにより多層建物、免震・制振（震）建物、弾塑性応答などのシミュレーションを行い、その結果をアニメーション表示する例を示す。これらは既往の研究^{9),10)}の発展として、大学生や建築技術者を対象としたeラーニング教材として活用されることも意図して開発したものである。

4.1 多層・免震・制振（震）建物の応答

図3に多層建物の応答シミュレーション画面を示す。多層建物の振動は高次を含む複数モードの重ね合わせであるが、教科書などの紙面上で理論展開しても、応答特性を直感的に理解するのは困難である。また、異なる特性を持つ地震動入力に対して、入力の卓越振動数や非定常性が多層建物の振動応答に及ぼす影響についても理解しづらい。これらをアニメーション表示により効率的に理解することができる。さらに通常が多層建物だけでなく、免震建物、制振（震）建物の振動性状の違いについても、画面上で実験できる。以下に機能と特徴をまとめる。

- (1) パラメータとして質量、剛性、一次減衰定数を設定する。4質点以上の場合には各階全て同じ質量・剛性の変数設定をするようになっているが、2,3質点の場合は別々の値を設定することが可能である。その値に応じて質点・せん断バネモデルの表示の大きさ・太さが変化し、画像からイメージしやすくなるようにした（図3-1）。また、質点系表示と、具体的な建物表示を切り替え可能とした（図3-2）。
- (2) 手動加振モードと自動加振モードのいずれかを選択して実験を行うことができる。手動加振では地盤位置をマウスでドラッグすることで自由に加振できるようになっており、その入力に応じて応答計算を行い、質点のモデルがリアルタイムで動く。また自動加振では、1995年兵庫県南部地震（JMA神戸・NS方向）、1968年十勝沖地震（八戸・NS方向）、想定新東海地震（名古屋三の丸・NS方向）、1999年トルコ・コジャエリ地震（Sakarya・EW方向）、1940年インペリアルバレー地震（EL Centro・NS方向）、1952年カーンカウンティ地震（Taft・NS方向）の各地震とSin波（1Hz）を入力波として選択できるようにした。
- (3) 5質点以上の場合には、表示の変位倍率を自由に変更できるようにした。画面の都合上、質点数が増えると全体の表示を小さくせざるを得なくなり、それに伴って応答変位も縮小され、振動の様子が確認しづらくなるためである。建物表示にした場合にも振動・変形をなるべくリアルに、かつ見やすくするために、表示倍率の調整は有効である。
- (4) 免震建物では、積層ゴムによる免震構造を想定して最下層に免震層を加えている。また制振（震）建物では、TMDを想定して、最上層に付加質点の表示を載せて表現した。入力地震動や質量・剛性・減衰定数などのパラメータや建物階数を自由に設定できるので、これらの違いによる免・制震効果の差異などを観察することができる。また手動加振により、たとえばごくゆっくり動かしした場合と速く動かしした場合を比較することで相対変位と絶対変位の状況が確認できるなど、免震・制振（震）の挙動を効果的に学習することができる。

4.2 1質点系弾塑性応答解析

図4は弾塑性応答のシミュレーション画面である。以下に機能と特徴をまとめる。

- (1) 完全弾塑性モデルの降伏変位、1質点系の固有周期と減衰定数を設定できる。弾塑性モデルや降伏前後の剛性比は現状では固定値としてあるが、容易に拡張可能である。

(2) 多質点の場合と同様に、加振モード（手動・自動）を選択し、START ボタンを押すことで実験が始まる。経過時間、応答のアニメーション、加速度・速度・変位の入力・応答波形、履歴ループがリアルタイムに描画される。特に手動モードで大きな入力を入れた場合のループや残留変形の様子、さらに塑性化により等価周期が伸びる様子などが直感的に理解できる。

4.3 建物・地盤連成振動シミュレーション

図5は建物・地盤連成振動のシミュレーション画面である。以下に機能と特徴をまとめる。

(1) 2つの質点の質量と減衰定数、地盤の深さとせん断波速度をパラメータとして設定できる。設定された値に応じて、質点の大きさや柱の太さ、地盤の層厚のグラフィックが変わっている。

(2) 前項までと同様に、加振モード（手動・自動）を選択し、START ボタンを押すことで実験が始まる。経過時間と応答のアニメーションがリアルタイムに描画される。工学的基盤となる層から地震動を入力したときに、表層地盤がどのように振動し、それが建物にどのように伝わり、建物がどのように振動するかという一連の振動の伝播を体感することができる。またパラメータを変更することによって地盤と建物の共振現象も実験可能であるため、どのような建物がどのような地盤上に建っている時に大きく揺れるのか、さらには被害拡大につながるかなどについてもイメージすることができる。

5. 観測記録分析支援ツール

近年の振動実験機材の発達により、建物の多点・多成分振動観測を行うことが容易になっている。さらに構造ヘルスマonitoringのニーズに後押しされて、ネットワークや無線なども活用した高密度・リアルタイム振動モニタリングも可能となってきた。これまでも重要構造物では多点・多成分の強震観測が行われるケースがあったが、今後はより一般的な建物も含めて普及する可能性もある。また、常設観測システムでなく、臨時の振動実験や常時微動観測の場合はさらに多数の機材を投入することが可能である。

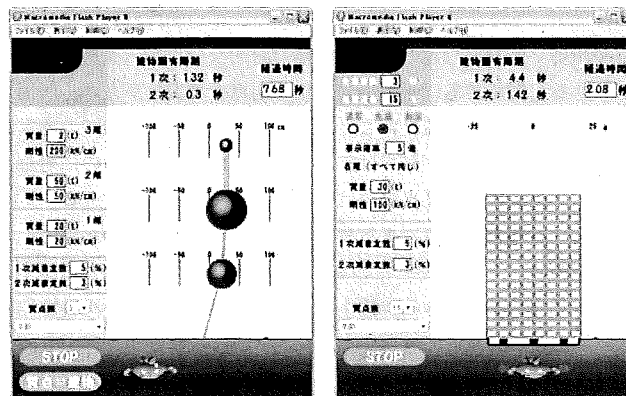
このような多点・多成分の高密度観測記録から、対象建物の時間的に変化する複雑な立体振動挙動を適切に捉えることは、一般的な波形やスペクトル等の分析のみでは困難であり、高度な分析技術や経験を必要とする。また振動実験現場では、短時間のうちに観測状況の確認を行う必要もある。そこで、立体振動挙動をアニメーションにより可視化し、さまざまな分析条件を加えて結果を確認できる観測記録分析支援ツールを開発した。

本ツールは大きく分けて、建物・観測点描画部分、波形分析部分、アニメーション部分に分けられる。観測の対象となる建物形状と観測点配置の状況は多様であるため、データ入力を容易にし、かつ効果的に立体表示することが可視化ソフトウェアの重要なポイントとなる。以下に、各部分についての機能と特徴を述べる。

5.1 入力データ

(1) 建物形状および観測点の入力は、所定フォーマットの外部ファイルに記述する。具体的には、建物形状を表示する情報として節点位置と節点間をつなぐ線の種類、観測記録の挙動を表示するための情報として観測点の位置と観測成分、観測点間をつなぐ表示線の種類がある。さらに各観測成分について、観測記録のファイル名を対応付ける情報がある。このような入力は観測や実験の事前に行っておくことになる。

(2) 観測記録は、所定のフォーマットに変換してデータファイルと



1: 質点表示

2: 建物表示(免震建物)

図3 多層、免・制震建物振動シミュレーション

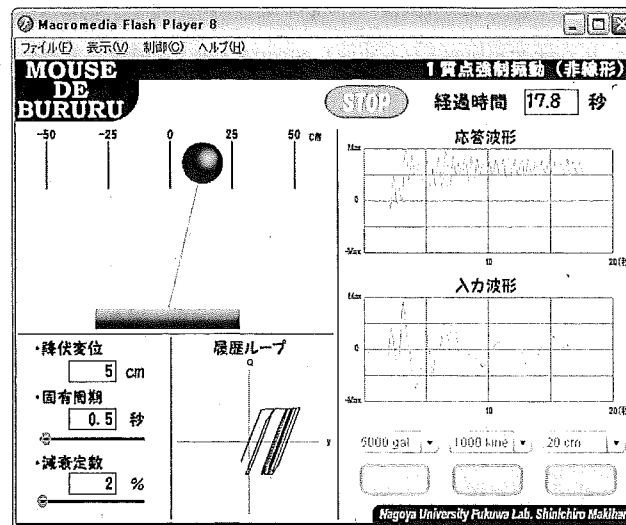


図4 非線形振動シミュレーション

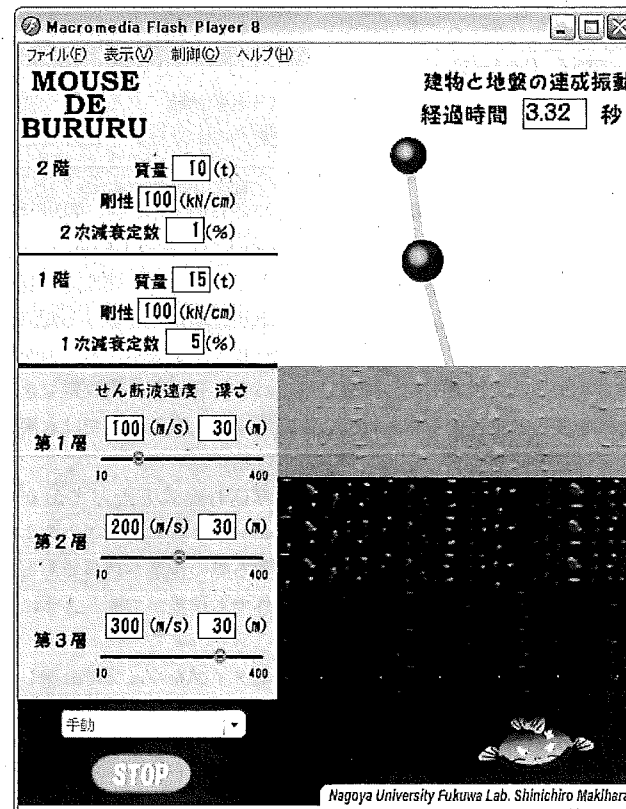


図5 建物・地盤連成振動シミュレーション

する。この際に、Flash の特性と PC の能力によっては、データ読み込みや処理などを勘案してデータ区間の切り出しやダウンサンプリングを行う必要がある。ここで示す例ではハイカットフィルタを施して 10Hz にダウンサンプリングし、60 秒程度の長さとしている。また、当然ながら観測記録の時刻同期は必須であり、強震記録などで複数のレコーダがある場合などは何らかの方法で時刻を合わせる必要がある。

5.2 ツールの機能と特徴

(1) 建物・観測点描画部分の表示例を図 6 に示す。上述の建物・観測点に関する入力ファイルを指定し、観測記録の種類（加速度・速度・変位）を選択、読み込みボタンを押すことで、データの読み込みと描画が完了する。また、背景に画像を取り込むことも可能であり、建物の写真などを重ねて表示することで（視点位置は限定されるものの）より具体的なイメージを伝えることもできる。

描画された後、スライドバーや十字キー、もしくは値を直接入力することで、建物を任意の視点から、拡大・縮小・移動して見ることができる。アニメーションで確認したい視点表示が決まったら、next ボタンで波形分析へと進む。

(2) 波形分析部分の表示例を図 7 に示す。この部分では、観測記録から、スペクトルやスペクトル比 (Hv 推定法による伝達関数の絶対値¹²⁾) を計算し表示する。画面左上から、波形 (wave1)、波形 (wave2)、wave1・wave2 の各スペクトル、wave1/wave2 のスペクトル比、位相またはコヒーレンスの順に表示している。波形やスペクトルを表示する成分は、右側の建物描画ウィンドウで観測点をクリックして選択する。

内部の処理については、まず、直前の描画部分の next ボタンが押された際にすべての観測記録の加速度・速度・変位の波形やスペクトルをフーリエ変換により求めている。波形データ長によっては後続のゼロを付加してリンク効果の影響を防いでいる。これらが計算済みであるので、観測点位置をクリックして選択すれば、表示される波形やスペクトルがすぐに変更される。

分析対象の観測成分を選択表示した後、amp ボタンを押すと wave1/wave2 のスペクトル比を計算する。この際、Parzen Window の幅などのパラメータを入力できるようになっており、条件を変えて結果をただちに比較することができる。図 7 では左下にコヒーレンスが表示されているが、ボタンにより伝達関数の位相表示と切り替えることができる。

スペクトル・スペクトル比・位相/コヒーレンスの図に縦線で示されたスライドバーを動かすか、または直接値を入力することで、アニメーションで着目したい振動数範囲を指定することができる。animation ボタンを押した際に、この振動数範囲にあわせてバンドパスフィルタ処理を行い、アニメーションに用いる変位波形を計算する。同時に、表示波形もバンドパスフィルタ処理を行なったものへ切り替え、また、建物概形の回転に合わせて、アニメーション用データの変換を行っている。これらの処理により、複数の複雑なモードがある場合に、周波数帯域を変更しながらそれぞれの挙動を確認することが容易になる。

(3) アニメーション実行時の画面例を図 8 に示す。この部分では、波形分析部分で計算した変位波形をもとに、アニメーションを再生する。表示倍率やスタート時刻を設定し、再生ボタンを押すことでアニメーションが開始される。再生中には、経過時間とともに、左のウィンドウに表示されている波形も再生済みの部分がリアルタイ

ムに濃色に変化していく。

アニメーションの一例として、免震建物¹³⁾で観測された地震応答記録の特徴的な立体振動成分のスナップショットを図 9 に示す。左図では短辺方向の並進成分が明確であり、一方右図では屋上位置だけで見ると同様のモード形状であるが、免震層が上部建物と逆方向に変形する逆せん断型モードになっていることがわかる。この他にも、建物上部の 3 点の記録から床が面内変形しているモードなども確認している。また、ねじれ成分、並進成分が含まれる振動数範囲で抽出し、時刻歴で見ることにより、初めは並進成分が優勢であるが、途中でねじれ成分が優勢になる様子なども確認できた。

以上のように、スペクトル解析のみではなかなか抽出しにくい立体モードの形状や非定常特性も、アニメーション表示により容易に確認できる。このようなツールの最大の利点は、現象の適切な把握であり、より詳細な分析が必要であればこのあとに各記録に戻って個別に処理すればよい。

5.3 ツールの適用例—発電施設の地震応答—

図 10 に多数の建物と地盤で観測された強震記録のアニメーション表示例を示す。これは 2007 年 7 月 16 日新潟県中越沖地震の際に

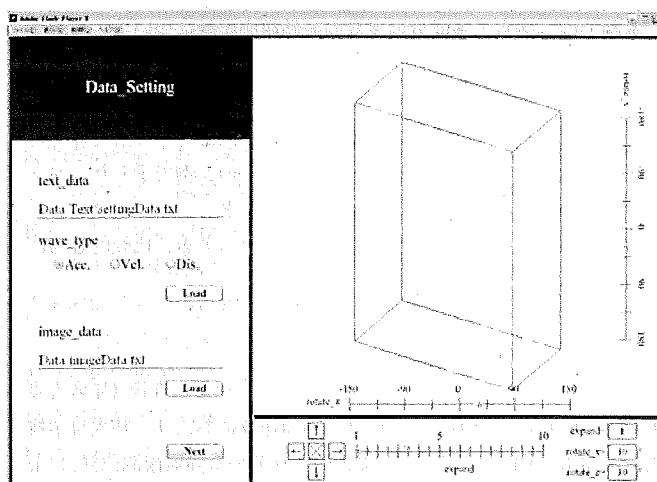


図 6 建物・観測点描画部分
(左部分で読み込むファイルを設定し、読み込み・描画を行う。右部分の各パラメータを設定し、描画部分を変更・決定する。)

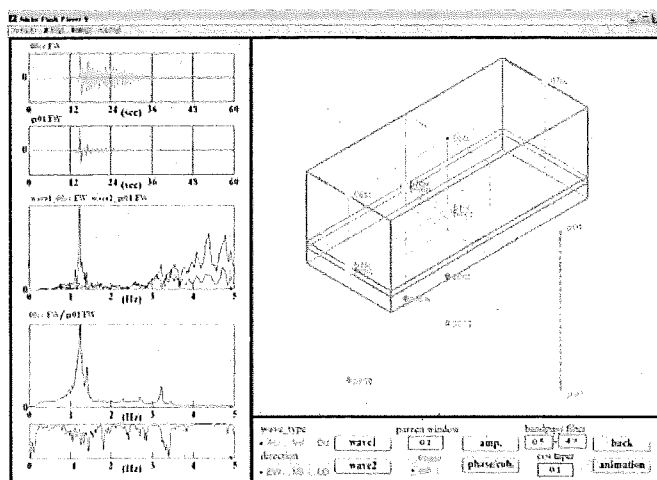


図 7 波形分析部分
(左上から、波形 (wave1, wave2)、wave1/wave2 各スペクトル、wave1/wave2 スペクトル比、位相またはコヒーレンスの順に表示。右上で表示する地点を選択し、右下で数値などの設定を行う。)

柏崎刈羽原子力発電所で観測された記録¹⁴⁾から作成したものである。

各観測点の加速度記録について、まず複数のレコーダで記録された成分の時間合わせを相関関数に基づいて行い、積分して変位波形を求め、主要な周波数帯域でバンドパスフィルタを施して、さらにダウンサンプリングしている。図10では、建物形状や観測点配置は概略の模式図であり、背景となる建物・地盤形状は図上で固定されている。アニメーション再生中には観測点を示す点が応答により水平（ここではEW成分）と上下の2次元で動き、観測点をつなぐ線も同時に動く。また経過時間が表示され、それに合わせて下のウィンドウに示されたサービスホール GL-250m 地点の波形上を現在時刻を示す点が移動していく。

このアニメーションから、地盤、建物、そして動的相互作用に関するさまざまな特性を見ることができる。たとえば基盤と地表の間の地盤増幅、地表面から建屋内への入力の振幅や位相、建屋内の場所による応答の違いや複数の建屋の相違など、複雑な応答特性を視覚的に理解することができ、重要な挙動を確認するためにきわめて有効である。なお、この結果は現在ウェブページで公開している¹⁵⁾。

6. おわりに

本論では、多点・多成分の多数の振動観測記録について、目的や状況に即したアニメーション表示を行いうるソフトウェア群を構築し、その結果として複雑な振動現象の効率的な分析や新たな現象の発見、観測データの妥当性の確認、さらには直感的な理解を伴った学習などの効果を期待できることをいくつかの実例で示した。ソフトウェアの開発環境としてFlashを用いることで、ネットワーク経由での利用も踏まえた自由度の高いソフトウェアを、比較的容易に作成できることが最大の特徴といえる。

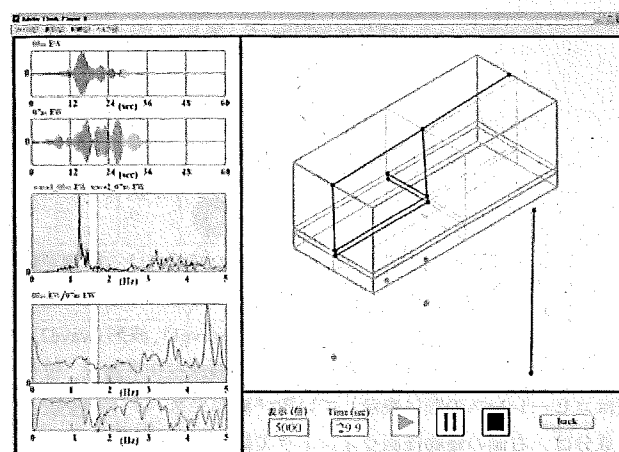
謝辞

Flashを用いたソフトウェア開発にあたり、鶴田庸介氏（元名古屋大学大学院）にご協力いただいた。例題作成にあたり、防災科学技術研究所 K-NET ウェブページで公開されている強震観測記録、および東京電力㈱から提供いただいた柏崎刈羽原子力発電所における加速度時刻歴波形データを使用した。記して謝意を表する。

参考文献

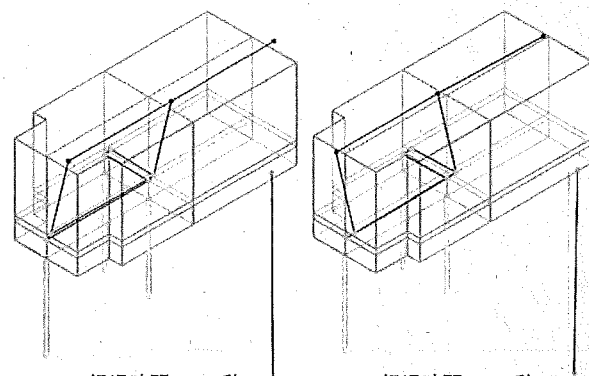
- 1) 防災科学技術研究所：強震観測網ポータルサイト
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>（2008年2月17日アクセス）
- 2) 飛田潤，福和伸夫，中野優，山岡耕春：オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化，日本建築学会技術報告集，第13号，pp.49-52，2001.7
- 3) 名古屋大学：大都市圏強震動総合観測ネットワーク
<http://houei.seis.nagoya-u.ac.jp/>（2008年2月17日アクセス）
- 4) 東京大学：首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)
<http://www.sknet.eri.u-tokyo.ac.jp/>（2008年2月17日アクセス）
- 5) 飛田潤，福和伸夫，小島宏章，浜田栄太：地盤・建物系の高密度強震観測の展開と建物動的挙動の検討，日本地震工学会論文集，第7巻第2号，pp.37-56，2007.
- 6) 小島宏章，福和伸夫，飛田潤，中野優：建物強震観測 DB 公開用 web システムの構築，日本建築学会技術報告集，第17号，pp.553-558，2003.
- 7) 飛田潤，福和伸夫，中野優：地域防災協働態勢を支援するシステムと防災拠点の構築，日本建築学会技術報告集，第20号，pp.367-370，2004.
- 8) 鷹野澄，伊藤貴盛：2007年1月13日千島列島東方で発生したM8.2の地震による地震研究所の3種類の建物の揺れ，日本地震学会ニュースレター，Vol.18, No.6，2007
- 9) 鶴田庸介，福和伸夫：耐震・振動論学習のための能動型振動シミュレーション教材の開発，日本建築学会技術報告集，第25号，pp.327-330，2007.

- 10) 牧原慎一郎，鶴田庸介，福和伸夫，護雅史：Web上で学習可能な振動論eラーニング教材の開発，日本建築学会学術講演梗概集，E-2，pp.603-604，2007.
- 11) 名古屋大学福和研究室：ぶるくんのじこしょうかい
<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/bururu/>（2008年2月17日アクセス）
- 12) 理論地震動研究会：地震動一その合成と波形処理，1994.
- 13) 広野衣美，福和伸夫，飛田潤，小島宏章：高密度強震観測に基づく免震建物の立体振動特性の分析と分析支援ツールの開発，日本建築学会学術講演梗概集B-2，pp.965-966，2007.
- 14) 東京電力株式会社：柏崎刈羽原子力発電所における加速度時刻歴波形データ，2007.
- 15) 名古屋大学地震工学・防災研究グループ：
<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/>（2008年2月17日アクセス）



経過時間: 29.9 秒 振動数範囲: 1.5~1.7 (Hz)

図8 Flash画面（モード:ねじれ振動）



経過時間: 29.1 秒 振動数範囲: 1.2~1.4 (Hz)

経過時間: 27.8 秒 振動数範囲: 2.5~4.5 (Hz)

図9 立体振動モード図

（左：前進モード、右：逆せん断型モード）

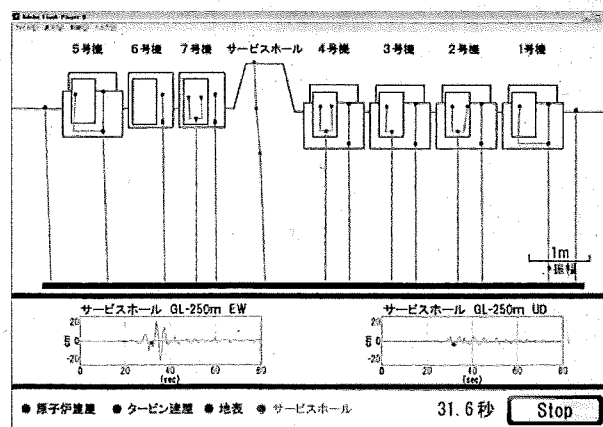


図10 柏崎刈羽原子力発電所の記録の表示

[2008年2月20日原稿受理 2008年4月28日採用決定]