

付録

木造住宅 倒壊解析ソフトウェア

wallstat (ver. 1.09)

ユーザーズマニュアル

独立行政法人 建築研究所

wallstat とは？

近年の大地震による既存木造住宅の甚大な被害により、木造住宅の耐震性能が注目されるようになりました。研究分野においては、振動台を用いた実大実験や応答解析が数多く実施され、地震時の木造住宅の挙動に関する多くの知見が得られています。建築研究所ではこれらの知見を活用し、建物全体の地震動時の損傷状況や倒壊可能性を評価するための倒壊解析プログラムの開発を行いました。木造住宅の倒壊挙動を再現することは、部材の折損・飛散といった極端な非線形性を考慮する必要があり困難とされて来ましたが、個別要素法を基本理論としたオリジナルの解析手法によりそれが可能となりました。wallstat はその研究成果を、木質構造を専門とする研究者・技術者の方々が使えるように改良したソフトウェアです。wallstat を使えば、PC 上で数値解析モデルを作成し、振動台実験のように基礎レベルに任意の地震動を与えることで、解析モデルの変形の大きさや倒壊の有無を評価することが可能となります。

対象とする構造

一般的な軸組構法で建てられた木質構造建築物を対象としています。軸組構法であれば、大規模な集成材建築物や、中層～高層木造建築などにも応用できます。その他の構造に関してはプログラムの改良によって対応可能な場合もあります。開発者にご相談ください。

想定するユーザー

木質構造を専門とする研究者、技術者を対象としています。壁・接合部の実験値や、解析モデルの基礎レベルに入力する地震波形のデジタルデータが必要となります。また構造解析に関する基礎知識が必要となります。

利用方法

本プログラムの利用は研究および教育目的に限定させていただきます。また入力値によっては現実とは異なる解析結果が出ることもあり、解析結果には責任は負えません。もしプログラムに不具合が出たときには、ご連絡くだされば可能な範囲で対処いたします。

その他

論文や学会などで本ソフトウェアも利用した研究成果を公表される場合には「建築研究所開発の *wallstat* ver.*.* を用いた」等の一文を入れてください。可能であれば下記の論文の引用をお願いします。

【文献】

T. Nakagawa, M. Ohta, T. Tsuchimoto, N. Kawai "Collapsing process simulations of timber structures under dynamic loading III: Numerical simulations of the real size wooden houses", *Journal of Wood Science*, Vol.56, No.4, p.284-292 (2010)

開発者宛（下記）まで論文等のご送付をお願いいたします。

独立行政法人建築研究所 材料研究グループ
中川 貴文（なかがわ・たかふみ）
〒305-0802 茨城県つくば市立原1
tel: 029-864-6625 mail: nakagawa@kenken.go.jp

wallstat は皆様のご意見をお聞きして、今後も改良を加えて行きたいと思えます。ご意見・ご感想等ございましたら上記までよろしくをお願いいたします。

目次

1. はじめに	61
2. 計算の流れ	62
3. 解析モデルの作成	63
4. パラメータファイルの作成	71
5. 外力ファイルの作成	78
6. 計算条件ファイルの修正	83
7. 計算の実行	84
8. 計算結果の分析	87

1. はじめに

1.1 本マニュアルについて

本マニュアルは木造住宅の倒壊解析ソフトウェア「wallstat」の使用方法について記述されています。複製・転載の際には開発者までご連絡をお願いします。

1.2 インストール・アンインストール

ソフトウェアの圧縮ファイルを PC のハードディスク上の適当なフォルダに解凍して使用してください。レジストリの変更等を行いません。アンインストールはフォルダを削除することで完了します。

1.3 ファイルの構成

解凍されたファイルの構成は下記の通りです。

gui.exe	…インターフェースプログラム
calc.exe	…計算プログラム
calc_b.exe	…計算プログラム（古いアーキテクチャの CPU 用）
manual.pdf	…本マニュアルファイル
OpenTK.dll	…3D 表示に必要な DLL ファイル
default.ini	…初期設定ファイル
sample/	…サンプルファイルの入ったフォルダ

1.4 システム要件

OS : Windows[®] XP、Windows[®] Vista、Windows[®] 7

Microsoft .NET Framework ver.2.0 以降（無償で入手可能）

計算機 : 上記 OS が安定して稼動する PC または Work Station

OpenGL 対応のグラフィックスカード（推奨）

※ウイルス駆除ソフトが本ソフトウェアの実行をブロックする場合があります。その場合はブロックの対象から本ソフトウェアを除外する設定をお願いします。

※本ソフトウェアは公開前のため、再配布の際には開発者までご連絡ください。

※本ソフトウェアの使用により万が一、PC 等に損害が生じた場合でも開発者は責任を負えません。

※本ソフトウェアでは、3次元表示に「GLSharp」を用いています。http://sky.geocities.jp/freakish_osprey

2. 計算の流れ

本ソフトウェアでは下記に示した図のように複数の4つの入力ファイルに基づく情報を用いて計算プログラム「calc.exe」が計算を行い、結果ファイルを出力します。

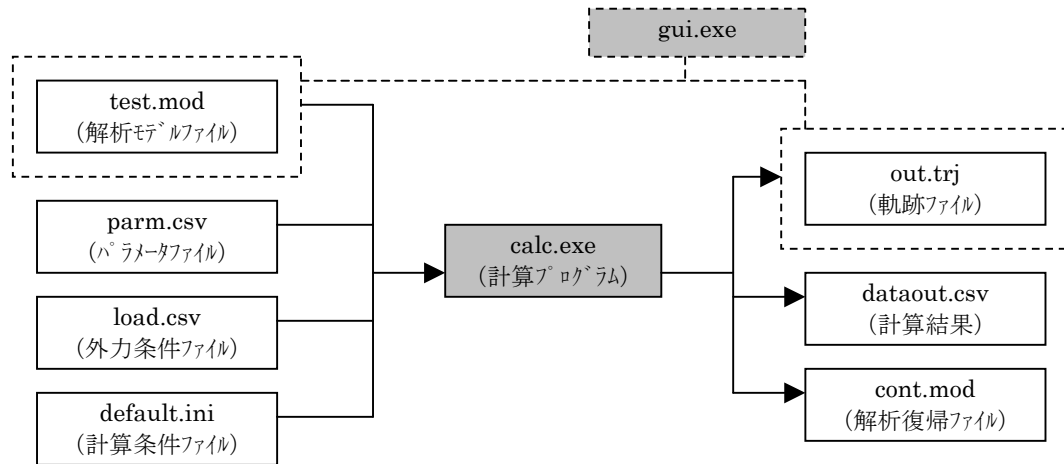


図 2.1 計算の流れ

【入力関連】

解析モデルファイル	解析モデルの要素、バネに関する情報が入ったファイル。gui.exe で作成する。「test.mod」
パラメータファイル	各種バネのパラメータ情報が入ったファイル「parm.csv」
外力条件ファイル	入力地震波、入力倍率、プッシュオーバーの位置等の外力の条件が入ったファイル。「load.csv」
計算条件ファイル	計算回数、インクリメント、視点等の外力の計算条件が入ったファイル。「default.ini」

【出力関連】

軌跡ファイル	解析モデルの各要素の座標の時刻歴データが保存されている。gui.exe で閲覧するためのファイル。「out.trj」
計算結果	解析モデルの各階の層せん断力、各階特定点の絶対変位、モニタリング指定した要素の特性値が保存されている。「dataout.csv」
解析継続ファイル	計算後の解析モデルの要素、バネに関する情報が入ったファイル。このファイルを入力ファイルとして、再計算することで、連続した外力入力が可能となる。「cont.mod」

以下の章では入力関連ファイルの作成方法に関して解説します。

3. 解析モデルの作成

本章では解析モデルファイルの作成手順を解説します。解析モデルファイルは `gui.exe` を用いて作成しますが、下記の通り 4 つの CSV (カンマ区切り形式) ファイルを準備する必要があります。

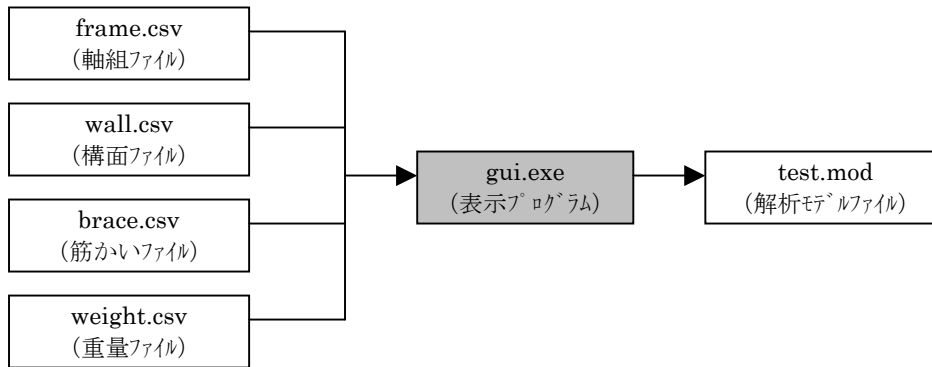


図 3.1 解析モデルファイルの作成

3.1 軸組ファイルの作成

解析モデルの軸組に関する情報が入ったファイル「軸組ファイル」を作成します。軸組ファイルのフォーマットは図 3.2 のようになっています。#で始まる行はコメント行となり `gui.exe` で読み込む際は無視されます。Excel 等で作成する場合は保存の際に「CSV ファイル (カンマ区切り)」を選択してください。

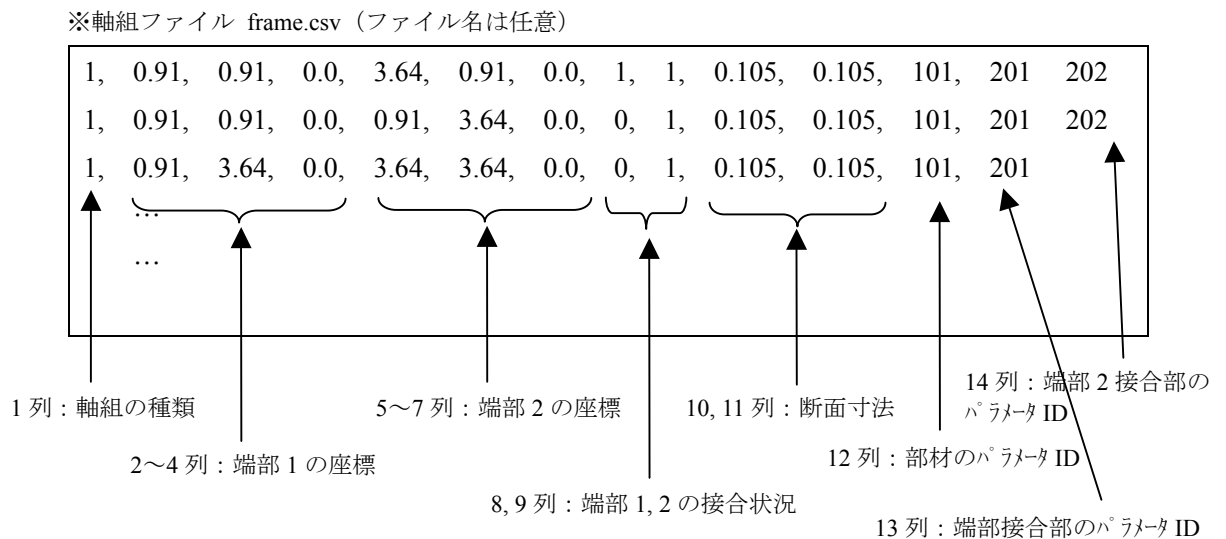


図 3.2 軸組ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	軸組の種類。横架材の場合は1、柱の場合2
2~4	部材の端部1の絶対座標。X, Y, Zの順。単位はメートル。芯-芯で指定。
5~7	部材の端部2の絶対座標。X, Y, Zの順。単位はメートル。芯-芯で指定。
8	部材の端部1の接合部の勝ち負け。勝ちの場合1、負けの場合0。(図3.3参照) 端部に接合部が無い場合は1とする。
9	部材の端部2の接合部の勝ち負け。
10	部材の断面の幅。単位はメートル。
11	部材の断面の高さ。単位はメートル。
12	部材のパラメータID。4章で作成するパラメータファイルで指定した番号。
13	部材の両端の接合部のパラメータID。
14	部材の端部2の接合部のパラメータID。(省略可。両端で種類が異なる場合)

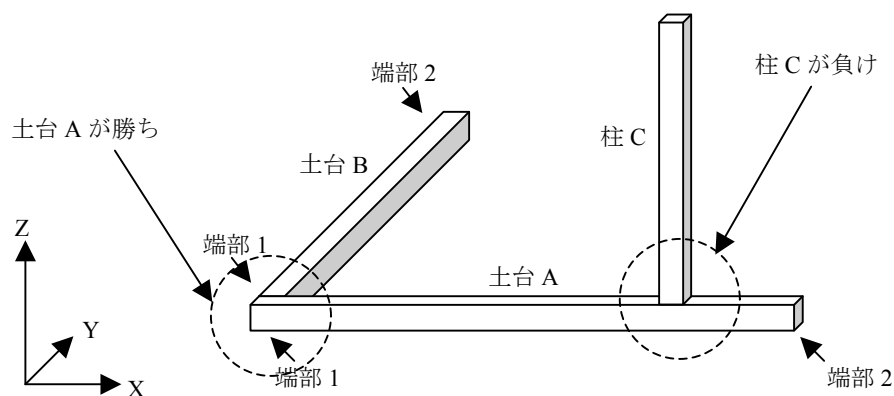


図 3.3 軸組の概念図

軸組ファイルの各行は解析モデルの軸組部材1つと対応します。1行目は必ず土台レベルに存在する部材（石場立ての場合は1Fの柱の石場レベルの端部）としてください。3次元座標入力となっていますが、2次元で解析を行いたい場合はY座標を全て0としてX-Z座標系を用いてください。

端部が同一座標の部材同士は自動的に接合部（13列、14列のパラメータID）が生成されます。その際、「負け」となる部材は相手の部材の幅分自動的にオフセットされます。

図3.2のフォーマット例の部材は平面図だと、図3.4のような部材の配置となります。

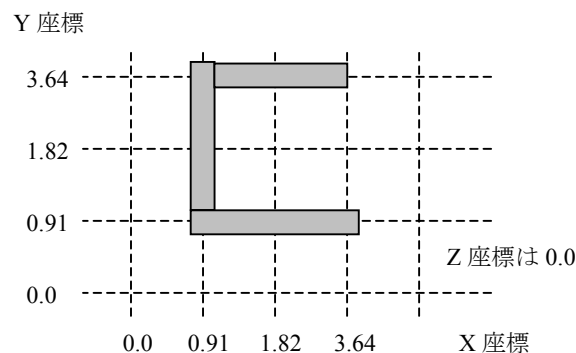


図 3.4 平面図上での部材配置例

高さが異なる横架材同士が X-Y 平面状で交差する場合は、部材が完全に接触する（一方の部材が、もう一方の部材に一部が埋もれる）場合に接合部バネ（パラメータ ID は 201）が自動生成されます。具体的には垂木-母屋の接合部や、渡り顎接合部を想定しています。

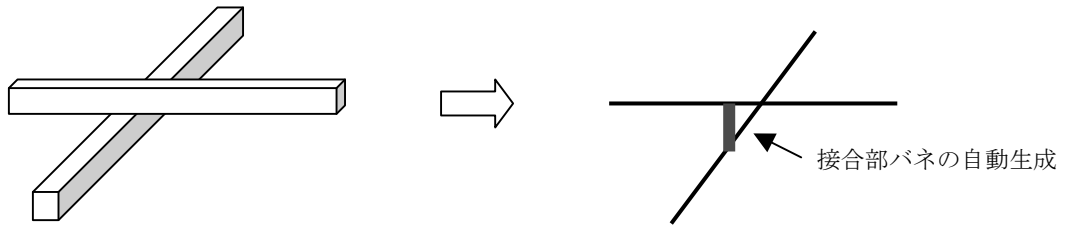


図 3.5 交差する接合部の自動生成

3.2 構面ファイルの作成

解析モデルの構面に関する情報が入ったファイル「構面ファイル」を作成します。フォーマットは図 3.6 のようになっています。鉛直構面だけでなく水平構面もこのファイルで指定します。筋かいはこのファイルに含まれず、次項の「筋かいファイル」で指定します。

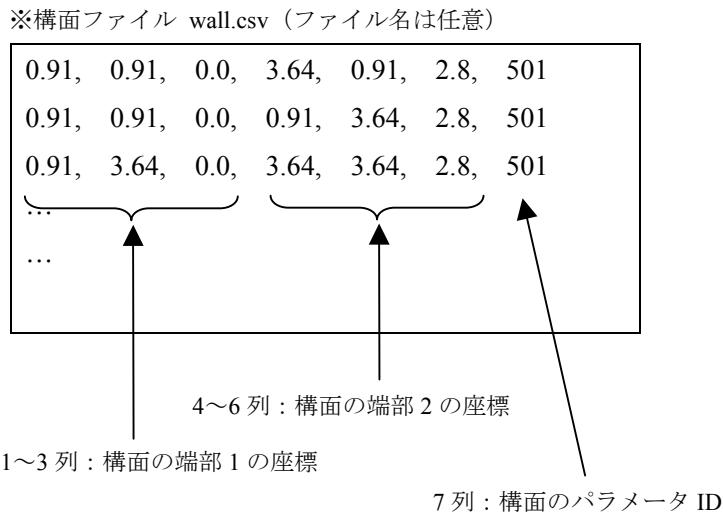


図 3.6 構面ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1~3	構面の端部 1 の絶対座標。図 3.7 参照。X, Y, Z の順。単位はメートル。軸組の芯-芯で指定。端部には軸組の端部が必要とされる。
4~5	構面の端部 2 の絶対座標。図 3.7 参照。X, Y, Z の順。単位はメートル。軸組の芯-芯で指定。
6	構面のパラメータ ID。4 章で作成するパラメータファイルで指定した番号。

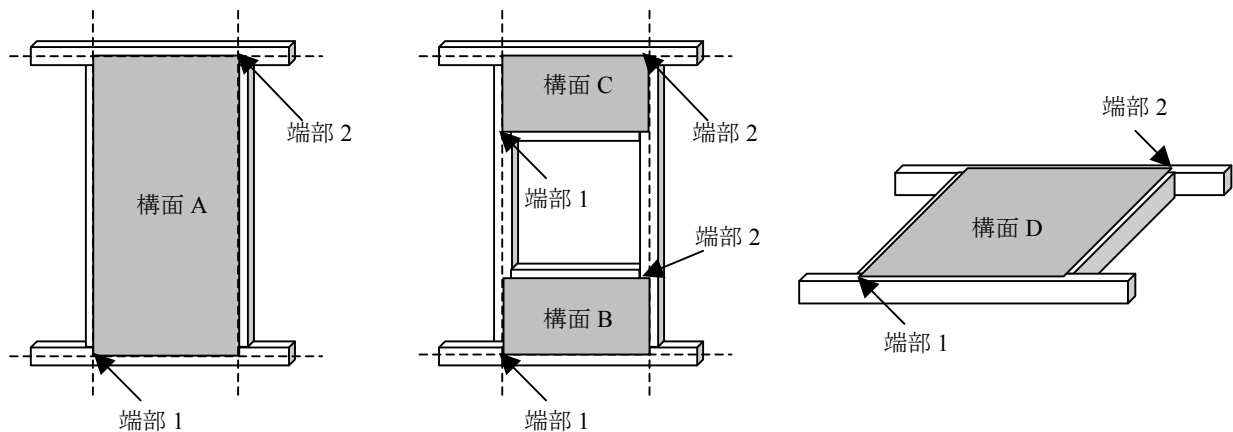


図 3.7 構面の概念図

壁に開口部がある場合は、軸組ファイルに開口部上下の横架材（窓台、まぐさ）を追加し、垂れ壁、腰壁を構面ファイルに追加してください。

3.3 筋かいファイルの作成

解析モデルの筋かい壁に関する情報が入ったファイル「筋かいファイル」を作成します。フォーマットは図 3.8 のようになっています。

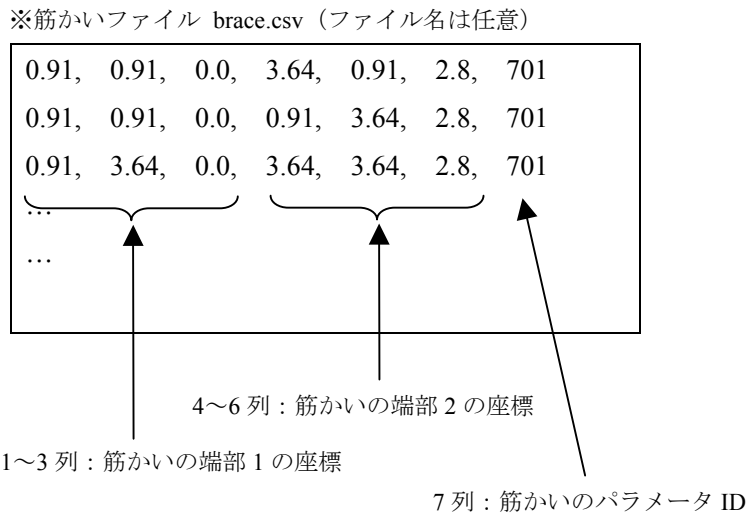


図 3.8 筋かいファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1~3	筋かいの端部 1 の絶対座標。図 3.9 参照。X, Y, Z の順。単位はメートル。軸組の芯-芯で指定。端部には軸組の端部が必要とされる。
4~5	筋かいの端部 2 の絶対座標。図 3.9 参照。X, Y, Z の順。単位はメートル。軸組の芯-芯で指定。
6	筋かいのパラメータ ID。4 章で作成するパラメータファイルで指定した番号。

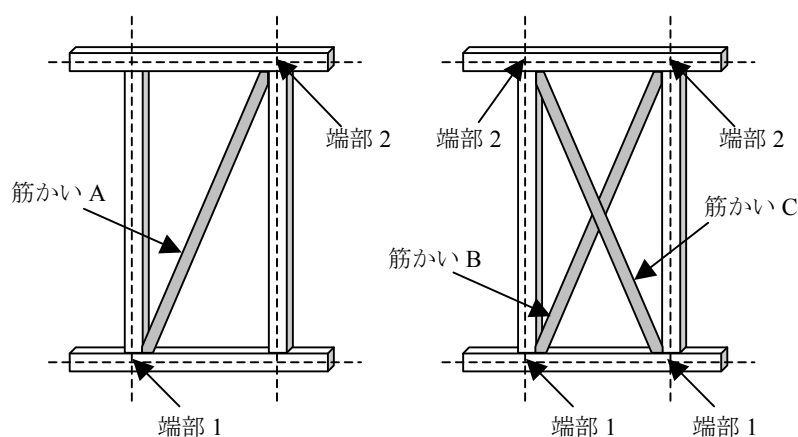


図 3.9 構面の概念図

筋かいをたすきで入れる場合は 2 つの片筋かいが別にあるものとして、2 行で指定してください。

3.3 重量ファイルの作成

解析モデルの重量に関する情報が入ったファイル「重量ファイル」を作成します。フォーマットは図 3.10 のようになっています。

※重量ファイル weight.csv (ファイル名は任意)

2	←	1 行：解析モデルの階数
0.0, 2.8, 5.6	←	2 行：解析モデルの各階の高さ
22.0, 36.0, 28.0	←	3 行：解析モデルの各層 (串団子置換した場合) の重量

図 3.10 重量ファイルのフォーマット

【行の説明】

行番号	説明
1	解析モデルの階数。1~4
2	解析モデルの各階の高さを指定。単位はメートル。1 列目は GL。次の列から 2 階床レベル、3 階床レベル…と記入していく。最後は小屋梁のレベル。図 3.10 では h0, h1, h2 の順となる
3	解析モデルを各階床を中心として串団子置換した場合の等価質量。図 3.11 参照。単位は kN。最初列は 1 階の下半分の重量となる。

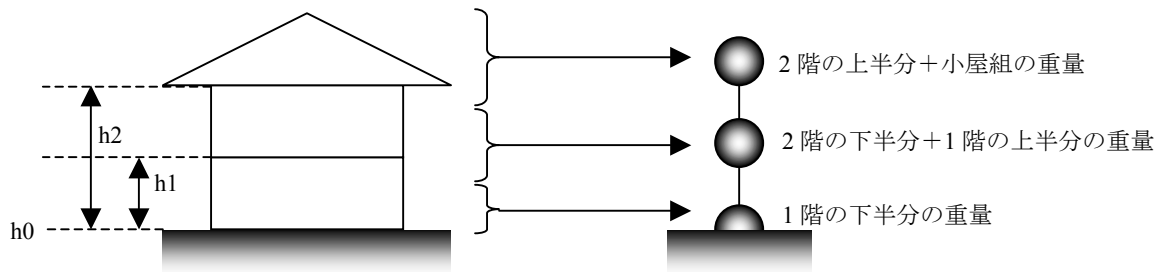


図 3.11 解析モデルの重量の指定

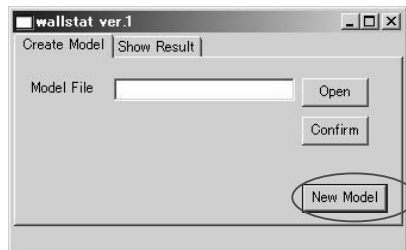
各層に指定した重量は当該高さに存在する要素の数で除され、均等に配分されます。

3.4 解析モデルファイルの作成

前項までに作成した4つのファイルを用いて下記の手順で解析モデルファイルを作成します。

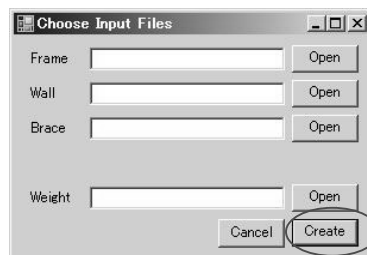
①gui.exe の起動

gui.exe を起動すると下記のような画面が表示されます。「Create Model」のタブから「New Model」ボタンを押します。



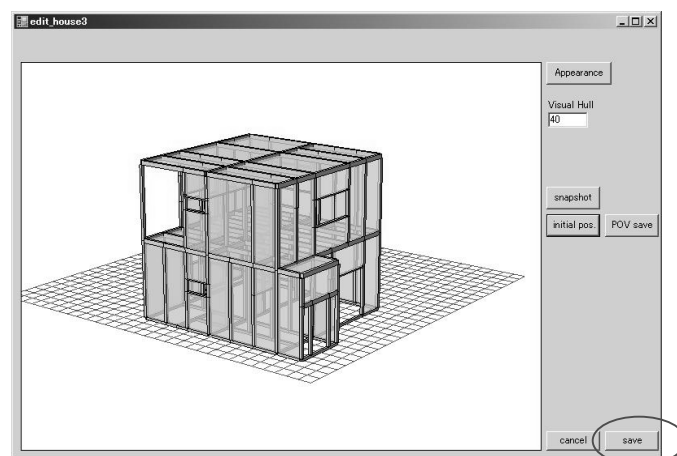
②ファイルの選択

Frame、Wall、Brace、Weight と同じ行にある「Open」ボタンを押して前項までに作成した CSV ファイルを選択します。選択が終了したら「Create」を押します。



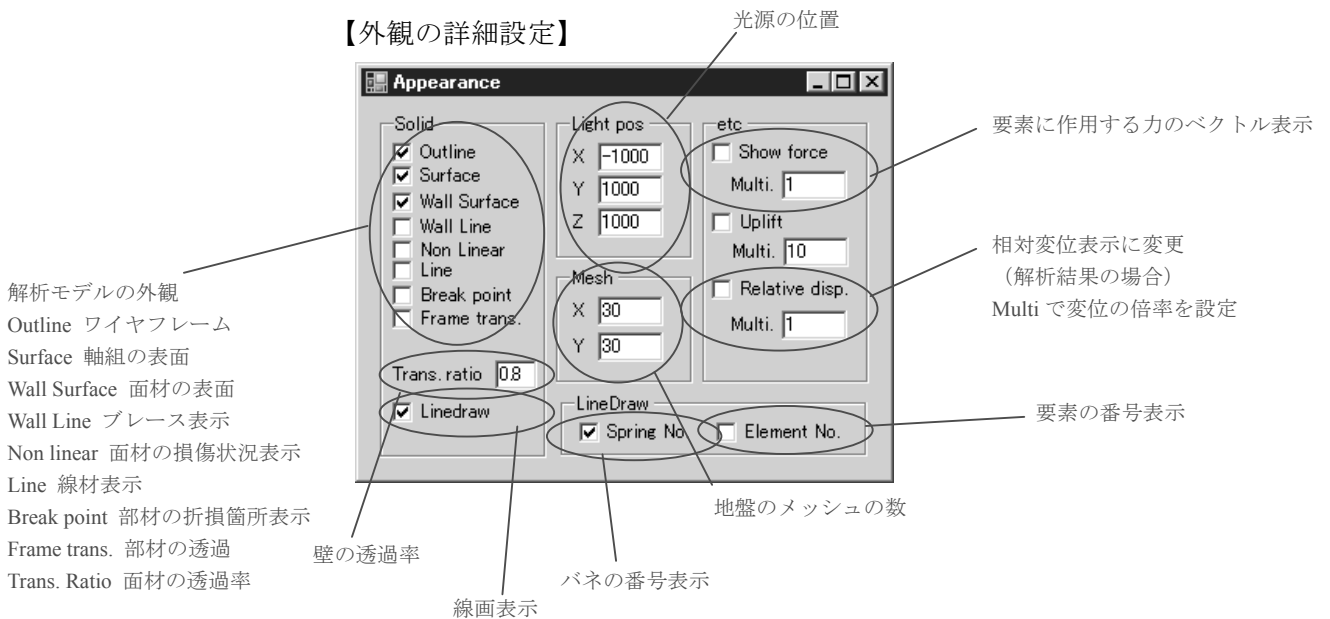
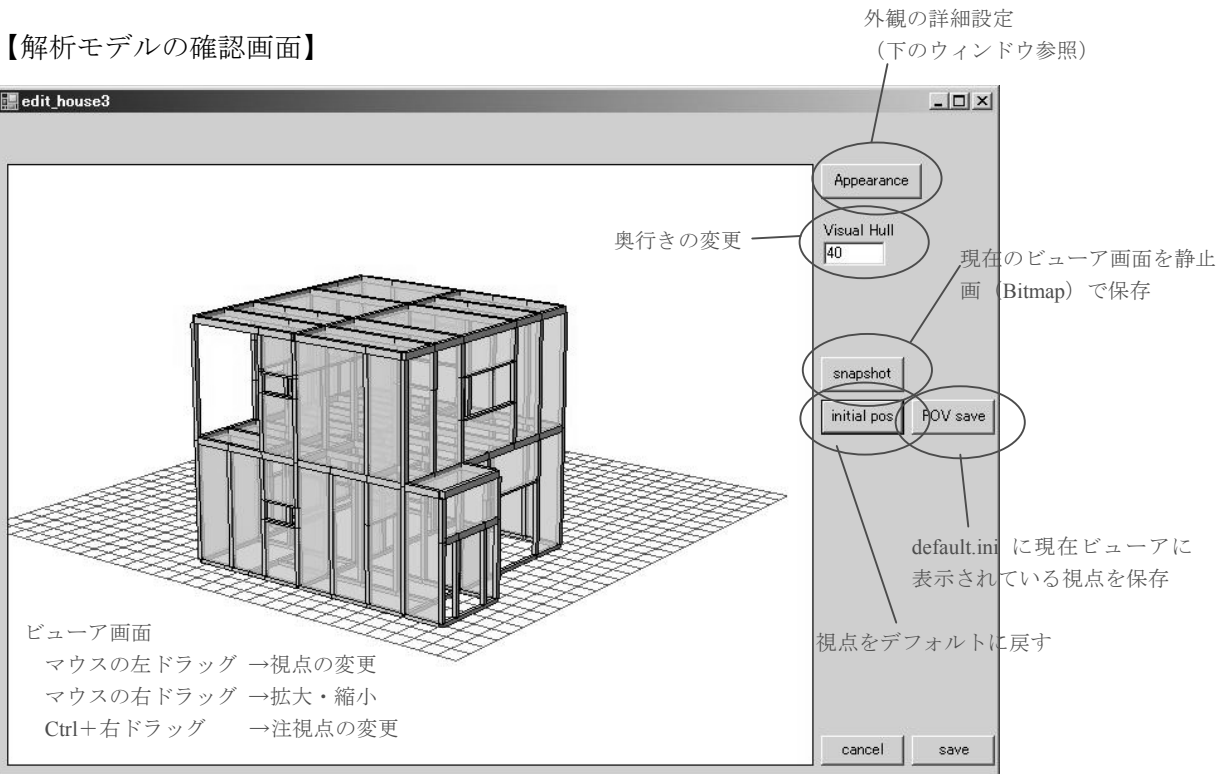
③解析モデルファイルの保存

エラーが無ければ下記のような画面が表示されます。中央のウィンドウで解析モデルを確認し、問題が無ければ「Save」を押してファイル名を指定し、解析モデルファイルを作成します。



※解析モデル確認画面での画面操作

解析モデルの確認画面では、マウスの操作、Ctrl ボタン、画面上のボタンで視覚的に解析モデルを確認することができます。マウス操作の際に画面がちらついたり、解析モデルが正確に表示されない場合は Appearance の「Line Draw」にチェックを入れてください。(線画表示となります)



4. パラメータファイルの作成

本章ではパラメータファイルについて解説します。パラメータファイルは図 4.1 のフォーマットとなっています。

※パラメータファイル parm.csv (CSV 形式ファイル)

101,	1,	120000000,	4.35E-06,	4.35E-06,	6.14,	6.14,	0.007
102,	1,	120000000,	2.81E-05,	2.81E-05,	3.64,	22.5,	0.015
201,	2,	367,	13,	-24,	0,	0.003,	0.011

1 列：パラメータ ID
 2 列：バネの種類
 3～列：パラメータ（バネの種類によって異なるフォーマット）

図 4.1 パラメータファイルのフォーマット

【バネの種類】

バネの種類	説明
1	軸組のバネ。梁要素のバネのヤング係数、曲げ強さ等を設定。
2	接合部の引張バネ。接合部の引っ張りに関する非線形バネの骨格曲線を設定。
3	接合部の回転バネ。接合部のモーメントに抵抗する非線形バネの骨格曲線を設定。
5	構面のバネ。構面の非線形バネの骨格曲線、減衰を設定。
6	引張筋かいのバネ。引張筋かいの非線形バネの骨格曲線、減衰を設定。
7	圧縮筋かいのバネ。圧縮筋かいの非線形バネの骨格曲線、減衰を設定。6 の引張筋かいとセットになっている必要がある。

各行が各種バネのパラメータに対応しています。例えば異なる仕様の壁が混在する場合、その仕様ごとにパラメータ ID を振って、パラメータを設定することができます。2 列目にある「バネの種類」でその行のフォーマットが異なります。引張筋かいと圧縮筋かいは 1 対でひとつの筋かいをモデル化しています。パラメータ ID は引張筋かいの ID（例：601）+100 が圧縮筋かいの ID（例：701）となっている必要があります。以下、バネの種類ごとの設定方法を解説します。

4.1 軸組のバネの設定

軸組は図 4.1 左に示したような塑性回転バネ（塑性ヒンジ）＋弾性梁要素でモデル化されます。図 4.1 右に示した骨格曲線に従い M-θ関係で定義されており、最大曲げモーメントを超えるとモーメントが低下を始め、0 になった時点でピン接合へと変換し、部材が折損したと判断されます

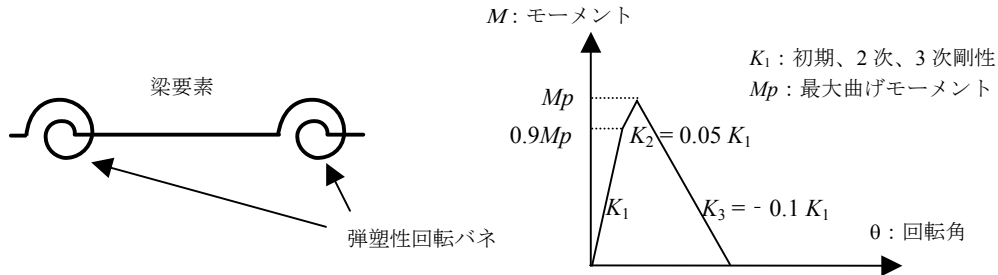


図 4.2 軸組バネの概念図と骨格曲線

軸組のバネのパラメータファイルにおけるフォーマットは図4.3のようになっています。同一の断面・部材の軸組であれば同じパラメータ ID として 1 行で設定します。

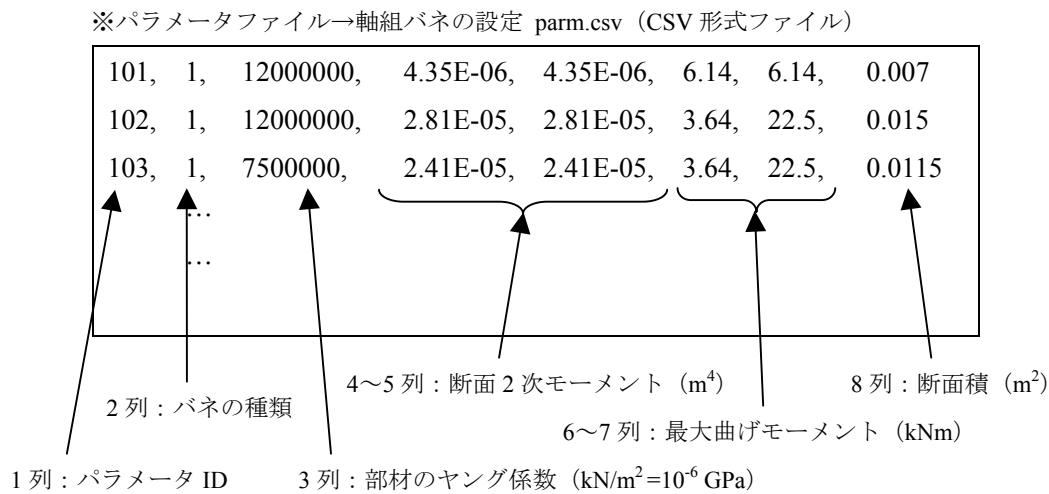


図 4.3 パラメータファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	パラメータ ID。任意の整数
2	バネの種類。軸組バネなので 1 を指定。
3	部材のヤング係数。単位は kN/m ² =10 ⁶ GPa
4～5	部材の断面 2 次モーメント。単位は m ⁴ 。幅、成の順で指定。
6～7	部材の最大曲げモーメント (図 4.2 参照)。単位は kNm。幅、成の順で指定。
8	部材の断面積。単位は m ² 。

4.2 接合部のバネの設定

接合部は図 4.4 に示したように、回転バネ+弾塑性バネ（せん断に対しては剛）でモデル化されます。圧縮引張の弾塑性バネの履歴特性は図 4.4(b)に示したような片側弾性+片側スリップ型で設定され、回転バネの履歴特性は図 4.4(c)に示したようなスリップ型で設定されます。回転バネは強軸、弱軸の各方向に独立に作用します。接合部は引張バネか回転バネのいずれかが最大耐力・モーメントを超え、0 になった場合に破断したと判断され、バネは消滅します。sample フォルダにあるパラメータファイルには金物接合部の実験データをいくつか収録してあります。

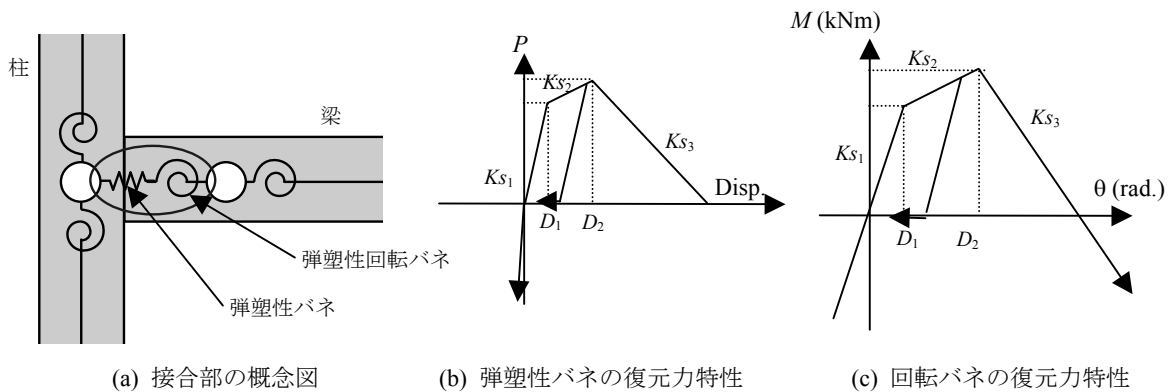


図 4.4 接合部のモデル化概要

①接合部引張バネのパラメータ

接合部の引張バネのパラメータファイルにおけるフォーマットは図 4.5 のようになっています。同一仕様の接合部であれば同じパラメータ ID として 1 行で設定します。

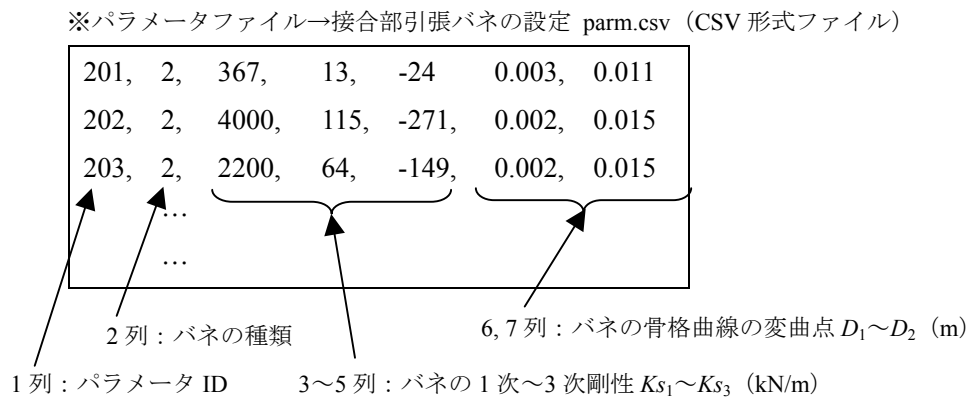


図 4.5 パラメータファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	パラメータ ID。任意の整数
2	バネの種類。接合部引張バネなので 2 を指定。
3～5	スリップバネの 1 次～3 次剛性。単位は kN/m。図 4.4(b)を参照。
6, 7	スリップバネの骨格曲線の変曲点 $D_1 \sim D_2$ 。単位は m。図 4.4(b)を参照。

※2 次剛性は正になるように設定してください。

②接合部回転バネのパラメータ

接合部の回転バネのパラメータファイルにおけるフォーマットは図 4.6 のようになっています。同一仕様の接合部であれば同じパラメータ ID として 1 行で設定します。

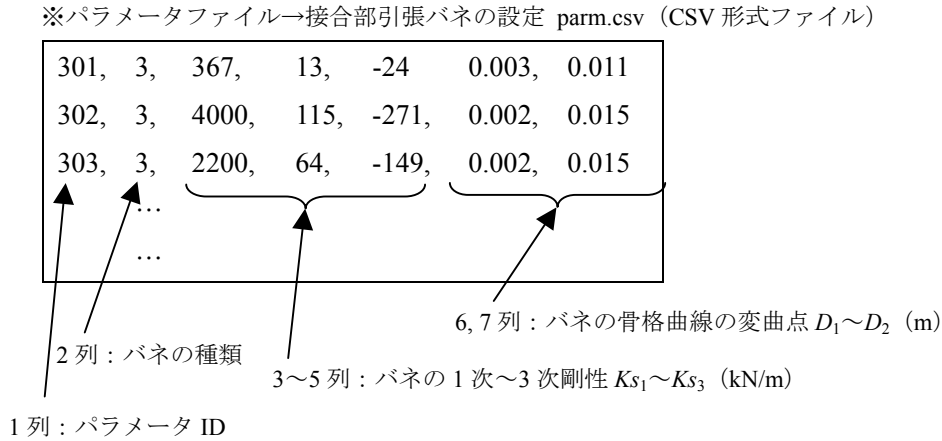


図 4.6 パラメータファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	パラメータ ID。任意の整数。対になっている引張バネのパラメータ ID+100 を指定する。
2	バネの種類。接合部回転バネなので 3 を指定。
3～5	スリップバネの 1 次～3 次剛性。単位は kN m/rad。図 4.4(b)を参照。
6, 7	スリップバネの骨格曲線の変曲点 $D_1 \sim D_2$ 。単位は rad。図 4.4(b)を参照。

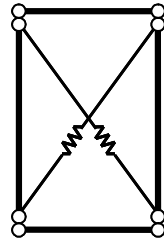
※2 次剛性は正になるように設定してください。

※接合部の回転バネは引張バネと対になっています。引張バネのパラメータ ID+100 が同じ接合部の回転バネのパラメータ ID となるように設定してください。(例、引張バネのパラメータ ID=201 → 回転バネのパラメータ ID=301)

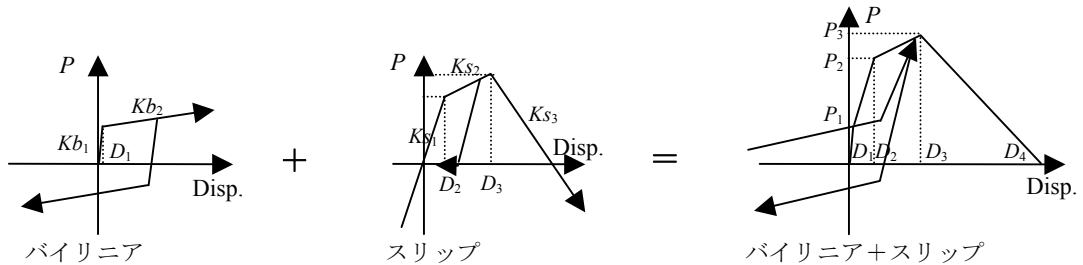
※引張バネのパラメータ ID+100 がパラメータファイルに無い場合はデフォルトでパラメータ ID=301 が選択されます。

4.3 構面のバネの設定

鉛直構面は図 4.7(a)に示したようにトラス要素でブレース置換することでモデル化されます。履歴特性は図 4.7(b)に示したようにバイリニア+スリップ型の履歴則で表現されます。パラメータはバイリニア+スリップの骨格曲線を指定します。パラメータの数值は 2本のブレース置換バネに自動的に寸法、角度補正して計算投入されますので、1P (0.91m) × 3P (2.73m) の寸法の構面の荷重変形関係 (実験結果など) をパラメータとしてください。



(a) 構面のバネ (ブレース置換)



(b) 構面の履歴特性

図 4.7 鉛直構面の概要

※パラメータファイル→構面バネの設定 parm.csv (CSV 形式ファイル)

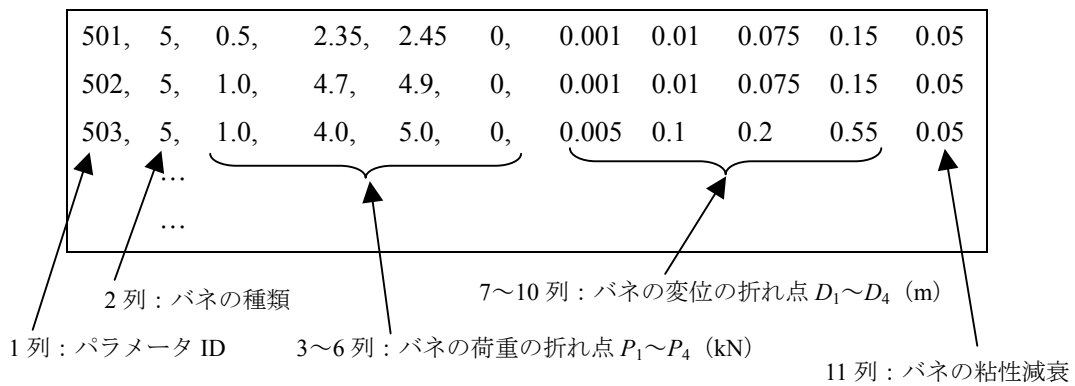


図 4.8 パラメータファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	パラメータ ID。任意の整数
2	バネの種類。構面バネなので 5 を指定。
3~6	バネの荷重の折れ点 $P_1 \sim P_4$ 。(kN)。図 4.7 を参照。 P_1 はバイリニアの折れ点 (ピンチングの位置)。 P_3 は最大荷重。 $P_1 < P_2 < P_3$
7~10	バネの変位の折れ点 $D_1 \sim D_4$ 。(m)。図 4.7 を参照。 D_1 はバイリニアの折れ点。
11	バネの粘性減衰。

4.4 筋かいのバネの設定

筋かい構面は図 4.9 に示したように 1 本の筋かいに対して圧縮と引張の 2 本のトラス要素を配置することでモデル化されます。履歴特性は構面のバネと同様にバイリニア+スリップ型の履歴則で表現されます。パラメータの数値は 2 本のブレース置換バネに自動的に寸法、角度補正して計算投入されますので、1P (0.91m) × 3P (2.73m) の寸法の筋かい構面の荷重変形関係（実験結果など）をパラメータとしてください。また引張筋かいと圧縮筋かいは 1 対でひとつの筋かいをモデル化しています。パラメータ ID は引張筋かいの ID（例：601）+100 が圧縮筋かいの ID（例：701）となる必要があります。

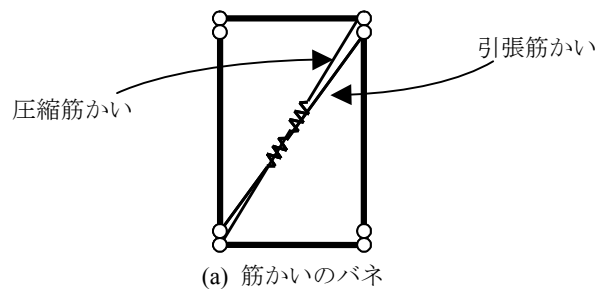


図 4.9 筋かい構面の概要

※パラメータファイル→構面バネの設定 parm.csv (CSV 形式ファイル)

601,	6,	0.5,	2.35,	2.45	0,	0.001	0.01	0.075	0.15	0.05
602,	6,	1.0,	4.7,	4.9,	0,	0.001	0.01	0.075	0.15	0.05
701,	7,	1.0,	4.0,	5.0,	0,	0.005	0.1	0.2	0.55	0.05
...

1 列：パラメータ ID 2 列：バネの種類 3~6 列：バネの荷重の折れ点 $P_1 \sim P_4$ (kN) 7~10 列：バネの変位の折れ点 $D_1 \sim D_4$ (m) 11 列：バネの粘性減衰

図 4.8 パラメータファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	パラメータ ID。任意の整数。引張筋かいの ID（例：601）+100 が圧縮筋かいの ID（例：701）となっている必要あり。
2	バネの種類。引張筋かいの場合は 6 を指定。圧縮筋かいの場合は 7 を指定
3~6	バネの荷重の折れ点 $P_1 \sim P_4$ 。(kN)。図 4.7 を参照。 P_1 はバイリニアの折れ点（ピンチングの位置）。 P_3 は最大荷重。 $P_1 < P_2 < P_3$
7~10	バネの変位の折れ点 $D_1 \sim D_4$ 。(m)。図 4.7 を参照。 D_1 はバイリニアの折れ点。
11	バネの粘性減衰。

Sample フォルダのパラメータファイルには下記文献等を参考に構面のデータを数点収録してあります。

- ・ 国土交通省住宅局建築指導課監修「木造住宅の耐震診断と補強方法（初版第7刷）」日本建築防災協会
- ・ 中川貴文、河合直人、槌本敬大、岡部実「震動台による既存木造住宅の耐震性能検証実験 その15 移築補強・無補強試験体実験の再現要素実験との比較」日本建築学会学術講演梗概集(関東), C-1, p.395-396, 2006

5. 外力ファイルの作成

本章では外力ファイルについて解説します。外力ファイルは「地震波入力（変位）」、「プッシュオーバー解析 1」、「プッシュオーバー解析 2」、「地震波入力（加速度）」、「繰り返し加力」の 5 つのフォーマットがあります。地震波入力は図 5.1(a)に示した通り、地盤レベルの要素全てに強制外乱入力を行います。プッシュオーバー解析 1 は図 5.1(b)に示した通り、地盤レベルの要素を固定して、解析モデルのある高さの要素全てを水平方向に強制変位を与えます。プッシュオーバー2 は図 5.1(c)に示した通り、地盤レベルの要素を固定して、解析モデルの全てに水平方向の重力加速度をかける方法をとっています。繰り返し加力は地盤レベルの要素を固定して、解析モデルのある高さの要素全てを水平方向に繰り返し強制変位を与えます。それぞれ図 5.2～図 5.6 のフォーマットとなっています。

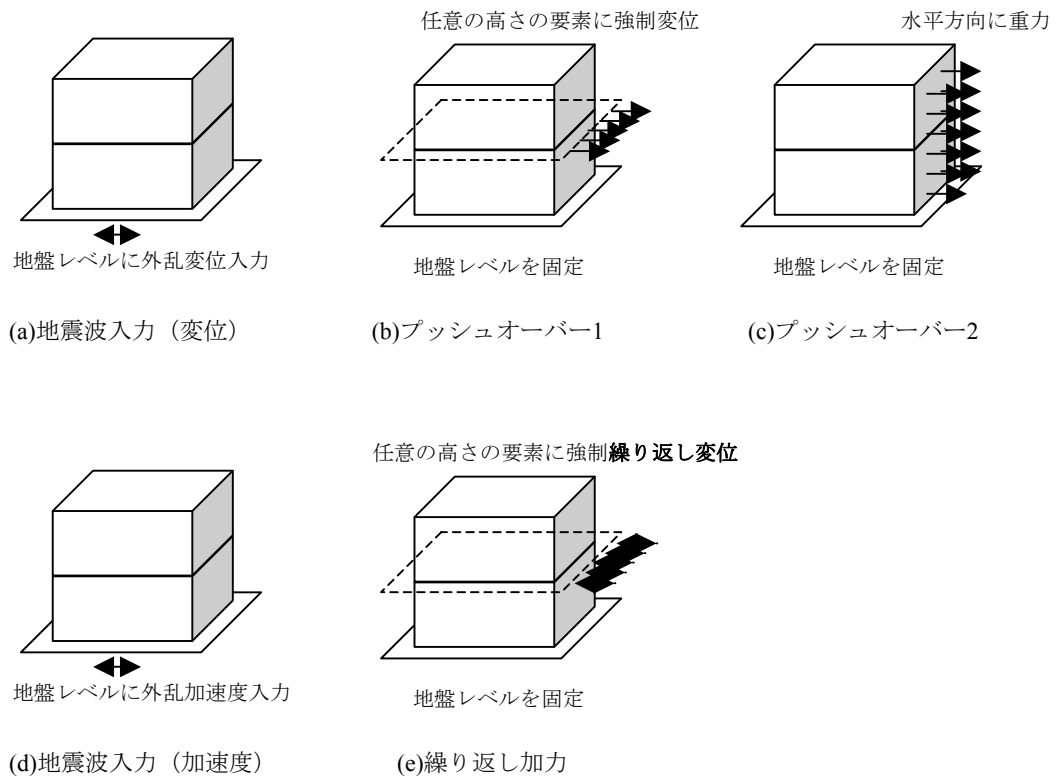


図 5.1 外力入力のバリエーション

5.1 地震波入力（変位入力）

※地震波入力（変位）の際の外力ファイル load.csv（CSV 形式ファイル）

1,	jma_kobe_ns.csv,	100,	0.01,	1.0,	← 1行：X方向の地震波
1,	jma_kobe_ew.csv,	100,	0.01,	-1.0,	← 2行：Y方向の地震波
1,	jma_kobe_ud.csv,	100,	0.01,	1.0,	← 3行：Z方向の地震波

1列：動作の種類
2列：入力地震波の時刻歴ファイル名
3列：時刻歴ファイルの周波数
4列：単位
5列：入力倍率

図 5.2 地震波変位入力時の外力ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	各方向の動作の種類。0：固定、1：地震波入力（変位）、2：プッシュオーバー1、3：プッシュオーバー2、4：地震波入力（加速度）5：繰り返し加力
2	入力地震波の時刻歴ファイル名。 <u>変位波形</u> の時刻歴が1列に記載されたファイルの名前。
3	地震波ファイルの周波数。単位は Hz
4	地震波ファイルの数値の単位。mに対する倍率。波形ファイルの単位が cm の場合は 0.01。mm の場合は 0.001。m の場合は 1.0
5	入力倍率。地震波を増幅させる際の倍率。マイナスを指定すると正負逆方向（逆位相）の外乱入力となる。

地震波入力の際には外力ファイルと同じフォルダに、指定した地震波の波形ファイルが必要となります。波形ファイルは1列にデジタルデータが並んだテキストデータである必要があります。過去に起きた地震波形のデジタルデータは、例えば下記の HP からダウンロードできます。地震動の加速度入力は5.4のフォーマットで入力します。

- ・ 防災科学技術研究所 強震ネットワーク K-NET
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- ・ PEER Strong Motion Database
<http://peer.berkeley.edu/smcat/>

Sample フォルダには（独）防災科学技術研究所 箕輪親宏氏にご提供いただいた兵庫県南部地震の際に観測された波形「JMA Kobe」の変位波形が添付されています。

- ・ C. Minowa, "Development of a New Method of Baseline Correction on Earthquake Strong Motions and Its Application to Long Period Sloshing Responses of Liquid Storage Tanks During Strong Earthquakes" *Seismic Engineering*, ASME PVP-Vol.466, pp.203-210 (2003)

5.2 プッシュオーバー解析 1

※プッシュオーバー解析 1 の外力ファイル load.csv (CSV 形式ファイル)

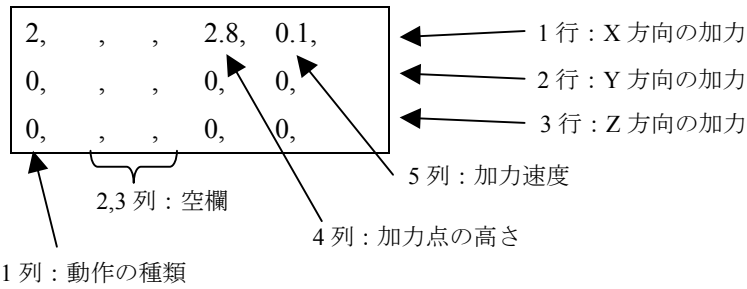


図 5.3 プッシュオーバー解析 1 の外力ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	各方向の動作の種類。0：固定、1：地震波入力（変位）、2：プッシュオーバー1、3：プッシュオーバー2、4：地震波入力（加速度）5：繰り返し加力
2,3	空欄。数値を入れても変化なし
4	加力点の高さ。単位は m
5	加力速度。強制変位のスピード。単位は m/sec。マイナスを指定すると正負逆方向の加力となる。

5.3 プッシュオーバー解析 2

※プッシュオーバー解析 2 の外力ファイル load.csv (CSV 形式ファイル)

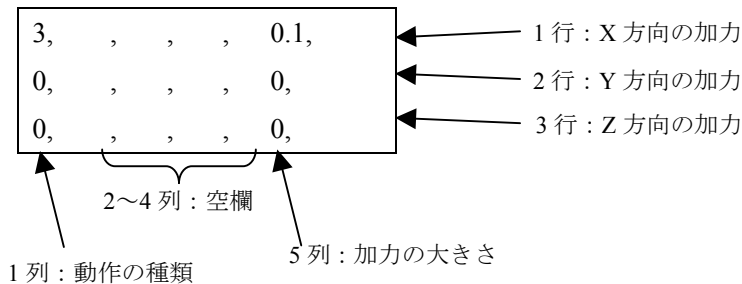


図 5.4 プッシュオーバー解析 2 の外力ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	各方向の動作の種類。0：固定、1：地震波入力（変位）、2：プッシュオーバー1、3：プッシュオーバー2、4：地震波入力（加速度）5：繰り返し加力
2~4	空欄。数値を入れても変化なし
5	加力の大きさ。水平方向に入力する重力の倍率。重力は 0G から徐々に増やしていくが 1 秒間で達する水平方向の重力を指定する。単位は G。マイナスを指定すると正負逆方向の加力となる。

5.4 地震波入力（加速度入力）

※地震波入力（加速度）の際の外力ファイル load.csv（CSV形式ファイル）

4,	jma_kobe_ns.csv,	100,	0.01,	1.0,	← 1行：X方向の地震波
4,	jma_kobe_ew.csv,	100,	0.01,	-1.0,	← 2行：Y方向の地震波
4,	jma_kobe_ud.csv,	100,	0.01,	1.0,	← 3行：Z方向の地震波

1列：動作の種類
2列：入力地震波の時刻歴ファイル名
3列：時刻歴ファイルの周波数
4列：単位
5列：入力倍率

図 5.5 地震波加速度入力時の外力ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	各方向の動作の種類。0：固定、1：地震波入力（変位）、2：プッシュオーバー1、3：プッシュオーバー2、4：地震波入力（加速度）5：繰り返し加力
2	入力地震波の時刻歴ファイル名。 <u>加速度波形</u> の時刻歴が1列に記載されたファイルの名前。
3	地震波ファイルの周波数。単位は Hz
4	地震波ファイルの数値の単位。m/s ² に対する倍率。波形ファイルの単位が gal の場合は 0.01。G の場合は 9.8。m/s ² の場合は 1.0
5	入力倍率。地震波を増幅させる際の倍率。マイナスを指定すると正負逆方向（逆位相）の外乱入力となる。

地震波を加速度入力した計算結果を gui.exe で確認する場合、計算に用いた波形の加速度波形を平均積分法によって積分した変位波形が 0 に収束していない場合は、見かけ上、解析モデルの絶対変位がシフトしているように見ることがあります。その場合は外観の設定「Appearance」で Relative disp. にチェックを入れて確認を行ってください。

5.5 繰り返し加力

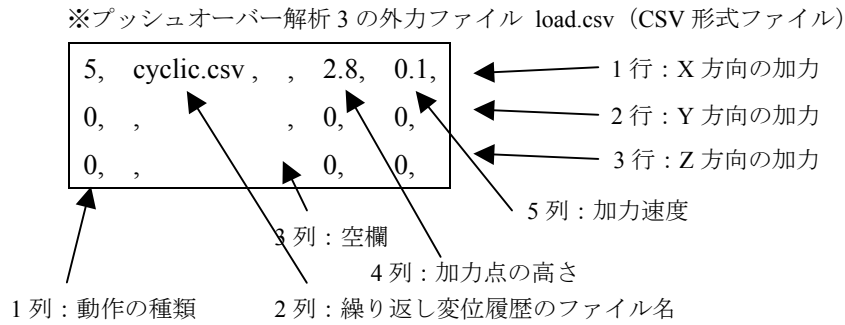
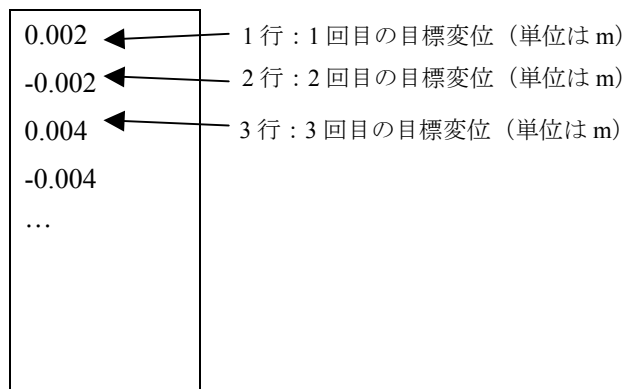


図 5.6 プッシュオーバー解析 1 の外力ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	各方向の動作の種類。0: 固定、1: 地震波入力 (変位)、 2: プッシュオーバー1、3: プッシュオーバー2、4: 地震波入力 (加速度) 5: 繰り返し加力
2	繰り返し加力の目標変位履歴が入ったファイルの名前。
3	空欄。数値を入れても変化なし
4	加力点の高さ。単位は m
5	加力速度。強制変位のスピード。単位は m/sec.

繰り返し加力の際には外力ファイルと同じフォルダに、指定した目標変位の履歴が入ったファイルが必要となります。履歴ファイルは図 5.7 のように 1 列にデジタルデータが並んだテキストデータである必要があります。Sample フォルダの 2p_wall にサンプルの外力ファイルと、目標変位ファイルがあります。



6. 計算条件ファイルの修正

本章では計算条件ファイルについて解説します。計算条件ファイル「default.ini」は配布時に wallstat に同封されているものですが、計算の際に内容を修正する必要があります。計算条件ファイルのフォーマットは以下のようになっています。エディターやメモ帳などで編集をしてください。2行目は視点の情報と建物の1次固有振動数を入力します。建物の1次固有振動数を指定する場合は2行目の9列目に数値を指定してください。(指定を省略した場合は5.3Hz)

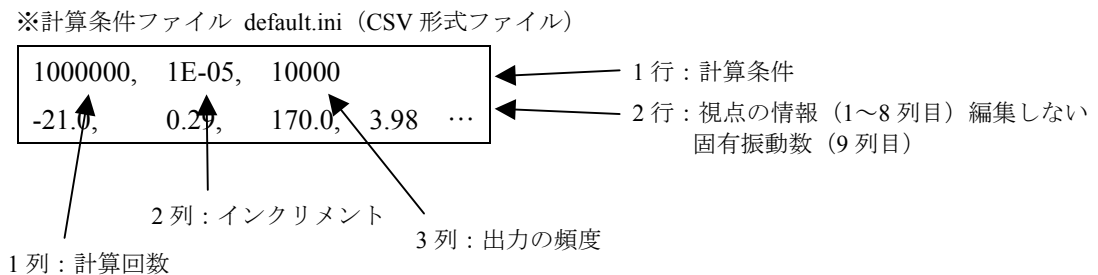


図 6.1 計算条件ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	計算回数。計算回数×インクリメントが解析上の時刻となる。
2	計算の時間刻み。インクリメント。Δt。 ※ここは変更しないで下さい
3	出力の頻度。計算の際に計算結果を出力する頻度を指定します。例えば 10000 と指定すると、10000 回に一回、動画用のスナップショットが out.trj に記録され、その 1/10 の 1000 回に一回、分析用の荷重・変形情報などが dataout.csv に記録されていきます。動画のスナップショットは 1000 枚が限界なので、計算回数／出力の頻度が 1000 を超えないようにして下さい。

7. 計算の実行

本章では計算の実行方法について解説します。前章までの計算に必要な入力ファイルがそろったら計算が実行可能となります。計算実行際には図 6.1 の入力ファイル 4 つを calc.exe と同じフォルダに置きます。calc.exe をダブルクリックして計算開始です。

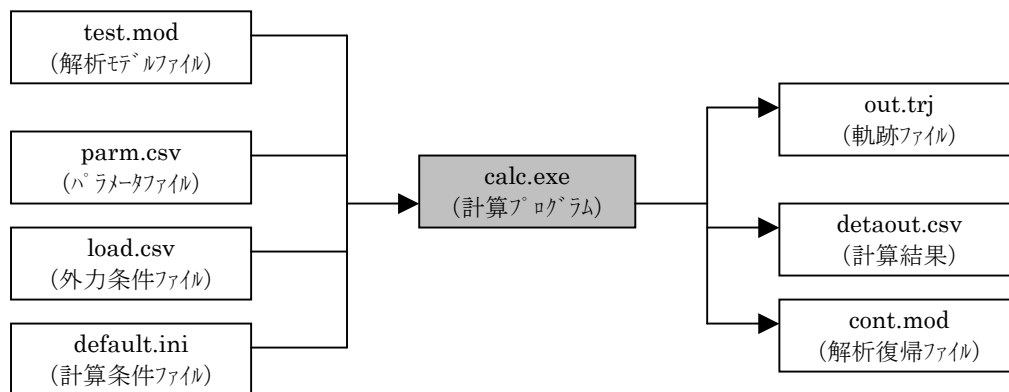


図 6.1 計算の実行

7.1 計算の開始方法

DOS ウィンドウが表示され「計算方法を選択してください」と聞かれます。「1」を入力してエンターを押すと「test.mod」を含め 4 つのファイルが読み込まれ計算が開始されます。

「2」を選択すると「cont.mod」が読み込まれ、前回の計算の続きを実行することができます。4 つの入力ファイルのファイル名は図 6.1 と同じ名前にする必要があります。地震波入力の際には上記 4 つの入力ファイルの他に地震波の波形ファイルが必要となります。

計算中は進捗が%で表示されますが、計算が終了すると 3 つの出力ファイルが作成され DOS ウィンドウが閉じられます。

計算時間の目安は下記の通りです。

計算環境：CPU: Core 2 Duo 2.8GHz

RAM：2GHz Windows Vista の PC

計算内容：サンプルにある 2 階建ての木造住宅で、20 秒の地震波入力

計算時間：20 分～30 分程度

calc.exe がエラーで実行されない場合は、calc_b.exe を実行してみてください。

※ウイルス駆除ソフトが本ソフトウェアの実行をブロックする場合があります。

その場合はブロックの対象から本ソフトウェアを除外する設定をお願いします。

7.2 各要素、各バネの物理量のモニタリング

計算を実行する際に、「data.csv」というファイルを「calc.exe」と同じフォルダにおいておくことで、各要素、各バネの物理量（絶対変位、荷重、モーメントなど）を出力することが出来ます。

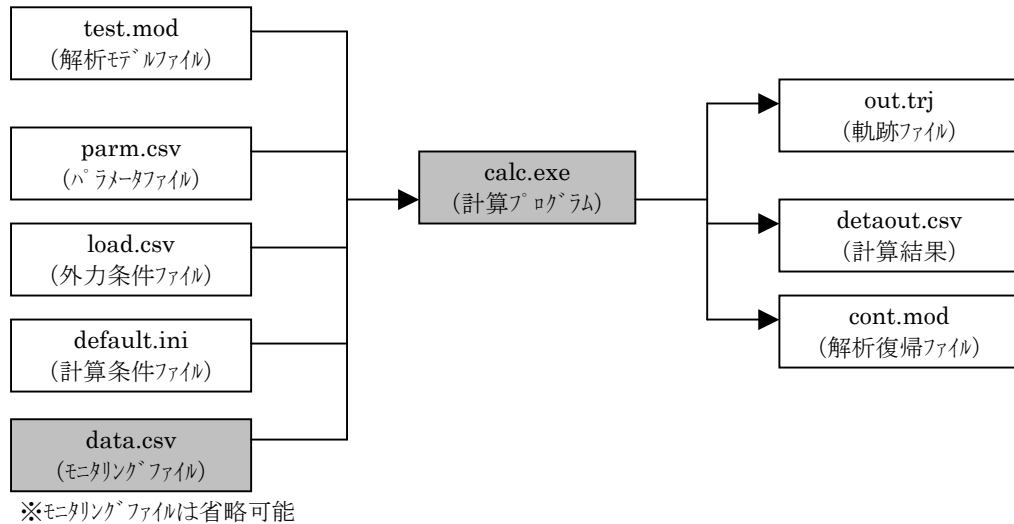


図 6.2 計算の実行

モニタリングファイル data.csv のフォーマットは図 6.3 のようになっています。モニタリングしたい要素、バネの番号を各行で指定します。要素、バネの番号の確認方法は次ページにあります。

※モニタリングファイルのフォーマット data.csv (CSV 形式ファイル)

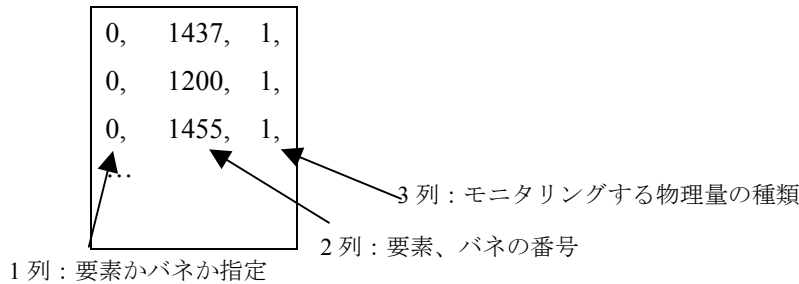


図 5.6 プッシュオーバー解析 1 の外力ファイルのフォーマット

【列の説明】

列番号	説明
1	モニタリング対象が要素かバネかを指定。0: 要素、1: バネ
2	要素、バネの番号 (確認方法は次ページ)
3	モニタリングする物理量の種類 (番号は表 5.1~5.2 で指定)

モニタリングする物理量の種類は下記の番号で指定します。

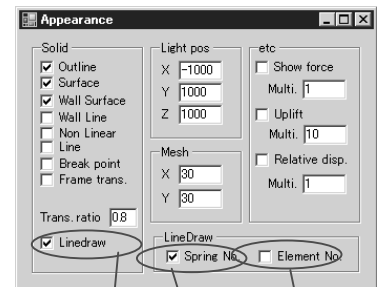
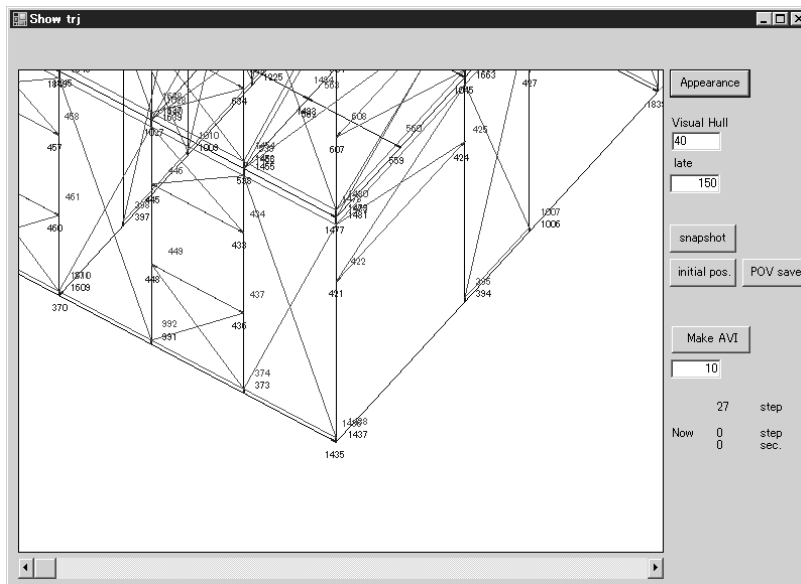
表 5.1 要素でモニタリングできる物理量

物理量の番号	物理量
1	変位 x
2	変位 y
3	変位 z
4	力 f_x
5	力 f_y
6	力 f_z

表 5.2 バネでモニタリングできる物理量

物理量の番号	物理量
1	変形 d
2	荷重 P
3	1 端のモーメント M_y1
4	1 端のモーメント M_z1
5	2 端のモーメント M_y2
6	2 端のモーメント M_z2
7	1 端の回転角 θ_y1
8	1 端の回転角 θ_z1
9	2 端の回転角 θ_y2
10	2 端の回転角 θ_z2
11	軸力 P_x

要素、バネの番号は gui.exe で、Appearance 中の「LineDraw」をチェックし、「Spring No.」か「Element No.」をチェックすると要素、バネに対応する数字が表示されます。青字が接合部のバネ、赤字が回転バネです。番号が重なって表示される場合は視点を回転して下さい。



線画表示

要素の番号表示

バネの番号表示

8. 計算結果の分析

本章では計算結果の分析方法について解説します。

8.1 計算結果を分析

計算後に作成される「dataout.csv」には各種計算結果が出力されています。順番は「基礎反力」「各階水平力」「地盤絶対変位」「各階絶対変位」の順です。時刻歴データとなっていますが、周期は default.ini で指定した「頻度×インクリメント」の逆数となっています。

「各階絶対変位」は解析モデルの各階床の 4 隅の絶対変位が時刻歴で記録されています。各種物性値は下記の計算によって算出されます。

1 階層せん断力 (ベースシア)	= 基礎反力
i 階層せん断力	= i 階以上の階の水平力の和
i 階の相関変位	= ($i+1$ 階の絶対変位) - (i 階の絶対変位)

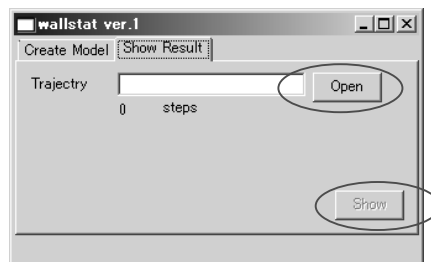
dataout.csv の絶対変位は、例えば「2F_x+y+_x」という表記は重量ファイルで指定した 2F の FL レベルの高さの X 方向が最大、Y 方向が最大になる隅の X 方向の絶対変位を示しています。「3F_x-y+_y」は 3F の FL レベルの高さの X 方向が最小、Y 方向が最大になる隅の Y 方向の絶対変位を示しています。

8.2 計算結果をアニメーションで確認

計算後に作成される「out.trj」には計算途中のモデルのスナップショット（軌跡）が保存されています。軌跡を確認するためには gui.exe を用います。いかに手順を示します。

①gui.exe の起動

gui.exe を起動すると下記のような画面が表示されます。「Show Result」のタブから「Open」ボタンを押して、ダイアログボックスから表示したい「*.trj」ファイルを選択します。読み込みには数分時間がかかる場合もあります。

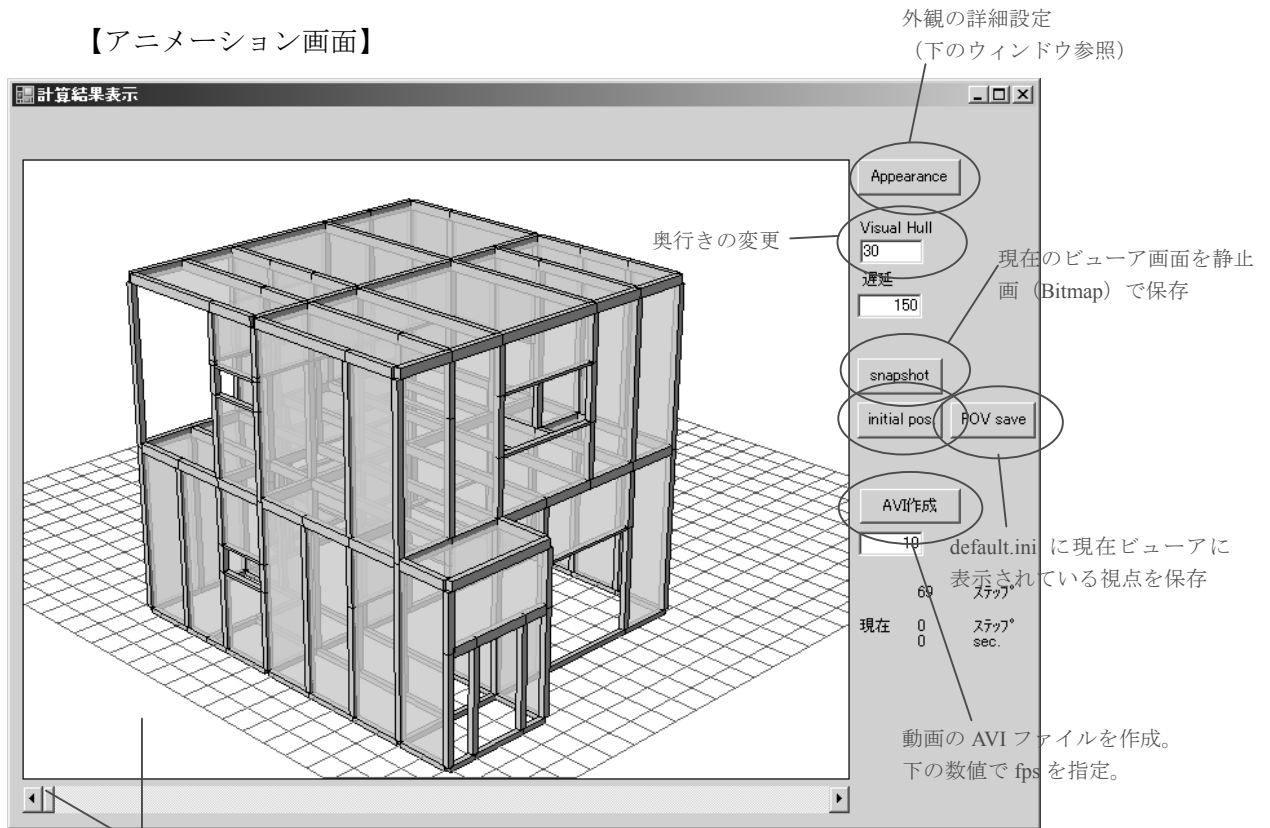


読み込みが終了すると「Show」ボタンがアクティブになりますので、「Show」ボタンを押してアニメーション画面を表示させます。アニメーション画面の操作は p.9 のモデルの確認画面の操作とほぼ共通です。

※アニメーション画面での画面操作

アニメーション画面では、マウスの操作、Ctrl ボタン、画面上のボタンで視覚的に計算結果を確認することができます。

【アニメーション画面】



スライダーを左右に動かすと計算過程の解析モデルの動きが視覚的に確認できます。

ビューア画面

- マウスの左ドラッグ → 視点の変更
- マウスの右ドラッグ → 拡大・縮小
- Ctrl+左ドラッグ → 注視点の変更