

Epistula

えびすとら



独立行政法人 建築研究所
Building Research Institute
Vol.61 発行：2013.4

特集 木造住宅の倒壊過程を再現する耐震シミュレーション技術

はじめに

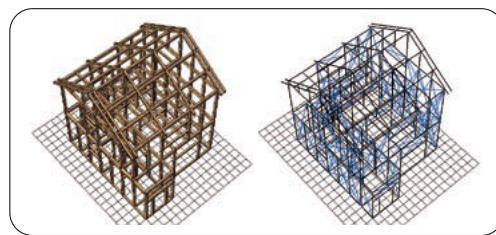
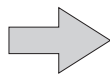
近年の大地震による既存木造住宅の甚大な被害により、木造住宅の耐震性能があらためて注目されるようになりました。木造住宅の耐震性能を正確に把握することは、耐震補強を行う上でも不可欠です。本研究分野においては、振動台を用いた実大実験や数値解析が数多く実施され、地震時の木造住宅の挙動に関する多くの知見が得られています。建築研究所ではこれらの知見を活用し、木造住宅の建物全体の地震時の損傷状況や倒壊過程をシミュレートする数値解析プログラムの開発を行いました。(図1)

木造住宅の倒壊過程を解析的に再現するには、柱が折れる・部

材が飛散するといった連続体がバラバラになっていく現象を考慮する必要があり、従来の解析手法では困難とされてきましたが、個別要素法という非連続体解析法（バラバラな物体の挙動を計算する手法）を基本理論とすることにより、それが可能となりました。解析対象の木造住宅が連続体である内は、従来の解析手法と同様に解析を行いますが、建物が一部破壊し、倒壊に至るまで計算を続けることができるのがこの解析手法の特徴です。数多くの解析的検討と実験との比較からプログラムの改良を行い、実大の木造住宅の振動台実験における倒壊に至るまでの挙動に対して、精度の高い解析を行うことができるようになりました。建築研究所が開発した木造住宅の倒壊解析ソフトウェア「wallstat」とそのシミュレーション技術について紹介します。

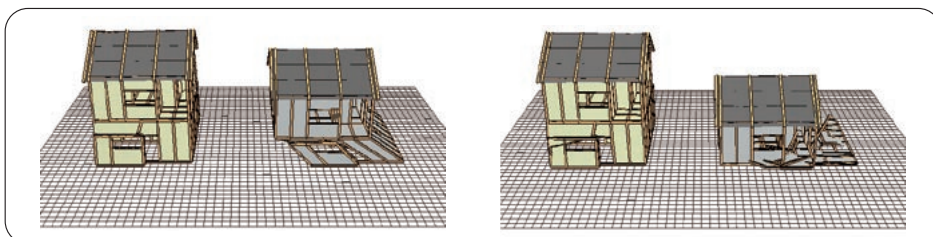


対象の木造住宅

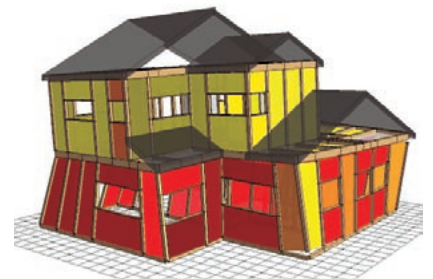


パソコン上で三次元モデル化

解析モデルに
地震動を加える

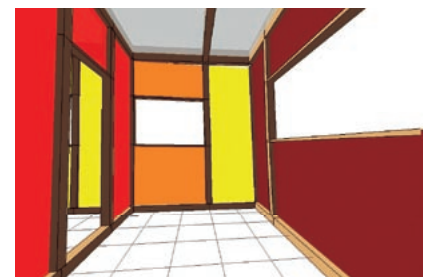


計算結果をアニメーションで表示



損傷 小 □ 大 □

損傷状況の表示



家の中からの視点

パソコンの中で振動台実験を行うように 木造住宅の耐震性を確認する

木造住宅の地震時の限界性能を把握するためには実大の振動台実験で確認することが有効な手段です。*wallstat*はパソコン上で木造住宅をモデル化し、様々な地震に対する木造住宅の応答挙動、損傷状況を確認することができます。

倒壊解析ソフトウェア「*wallstat*」

地震力に対して木造住宅がどの程度の性能を有するかについては、これまで様々な実験手法を用いて研究されてきましたが、地震の際に、木造住宅がどの程度の揺れまで耐えるのか、どこが最初に破壊するのか、どのような過程を経て倒壊に至るのか、等を確認するためには実大の振動台実験が欠かせません。しかし、振動台実験には膨大な費用と労力が必要となります。そこで、数値解析によってパソコン上で木造住宅の破壊・崩壊過程をシミュレートする試みが、最近行われるようになってきました。特にコンピュータの高性能化に伴って、一般建築物も含めて地震時の挙動を、汎用の計算ツールを用いた数値計算によって知ることが身近になってきています。

建築物の数値解析にはマトリクス法に代表される有限要素法を用いた数値計算が広く用いられています。有限要素法は連続体の応力解析を目的として開発されたツールであるため、破壊までを解析的に追跡するためには、幾何学非線形、材料非線形を考慮する必要があり、汎用のソフトを用いる場合でも、研究用に自作したプログラムの場合でも、相当の計算テクニックが要求されます。特に木造住宅の倒壊過程で見られるような部材の破断（木材が折れる）、接合部の引き抜けといった破壊現象が進行する場合には、計算の中で急激な状態の変化を考慮する必要があり、解析が困難とされています。

建築研究所では基盤研究課題（「部材の強度分布を考慮した木造軸組躯体の破壊シミュレーション法の開発（H17～19）」及び「倒壊解析プログラムを利用した木造住宅の耐震性能評価システムの開発（H20～22）」）の中で、接合部、部材レベルの構成要素の強度性能を解析モデルに取り込み、地震時の木造住宅の倒壊に至るまでの動的応答、破壊過程を再現する数値解析手法の開発を行いました（[図1](#)）。

その研究成果を、研究者・構造技術者の方々が使えるように改良したソフトウェアが「*wallstat*」です。現在、建築研究所のホーム

ページで公開されており、無償でダウンロードすることができます。ホームページでは解析例を動画で見ることができます。（→ URL：<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/mtr/Nakagawa/wallstat.html>）

*wallstat*を使えば[図2](#)に示したようなパソコンの画面上で木造住宅の数値解析モデルを作成し、基礎レベルに任意の地震動を与えることで、仮想の振動台実験を行うように、解析モデルの変形の大きさ、損傷状況、倒壊の有無をシミュレーションによって確認することが可能となります。

独自の数値解析理論

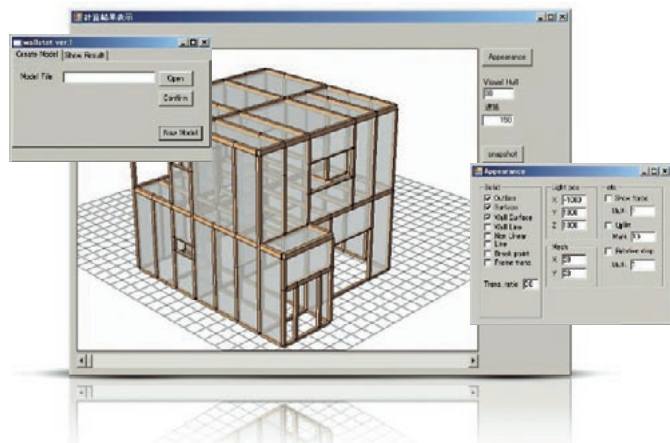
*wallstat*の核となる数値計算には「個別要素法」という計算理論を元にした独自の解析手法を用いています。

個別要素法はバラバラな物体の挙動を計算する非連続体解析法であり、柱の折損や、部材の飛散といった建物の終局時の挙動を容易に追跡することができます。この特徴によって、解析対象の木造住宅が連続体である内は、従来の解析手法と同様に応答解析を行いますが、建物が一部破壊し、さらに倒壊して部材がバラバラになっても計算を続行することが可能となります。個別要素法を木造住宅の構造解析に適用したことは世界的にも初めての試みで、建築研究所における研究¹⁾によって、木造住宅の倒壊解析に適用され、その有効性が確認されています。

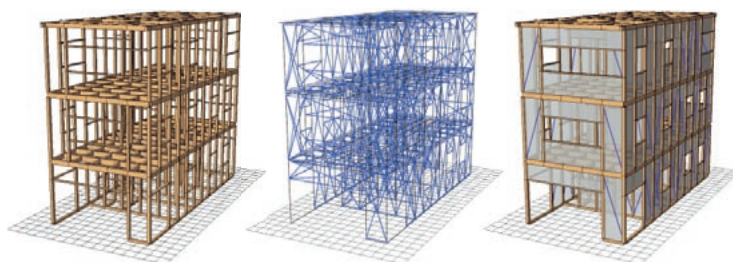
振動台実験による精度検証

これまでに*wallstat*の計算結果の信頼性向上のため、実大の木造住宅の振動台実験との比較による精度検証とプログラムの改良が行われてきました。その結果、壁と接合部の要素実験の結果から解析モデルを構築し、木造軸組構造住宅の振動台実験における倒壊に至るまでの過程を精度よく再現できることが分りました。

[図3](#)は振動台実験²⁾に用いられた試験体の解析モデルの一例です。



■ [図2](#) *wallstat*の操作画面

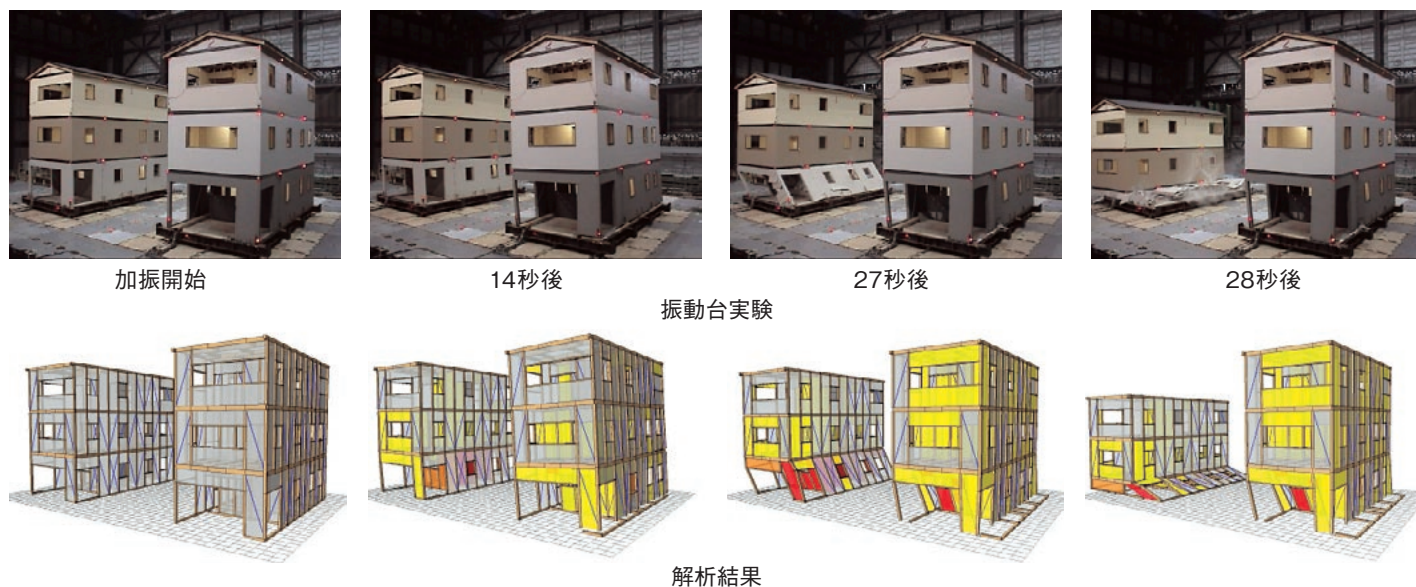


(a) 骨組のモデル化 (b) 耐震要素のモデル化 (c) 解析モデルの外観

■ [図3](#) 3次元骨組による解析モデル

解析モデルでは構造躯体となる骨組（木材）1本1本をモデル化し、その中に耐震要素となる壁のパネや、骨組を連結する接合部のパネをモデル化して行きます。壁や接合部のパネの強さは実験の結果や文献のデータから決定して設定します。図4は解析結果と振動台実験

験の倒壊過程を比較した動画のスナップショットですが、試験体の接合部が引き抜かれて破壊する過程や、1階が層崩壊する倒壊過程が精度よく再現されているのが分かります。解析モデルの崩壊過程のアニメーションはwallstatから自動で作成することができます。



■図4 振動台実験の応答解析³⁾

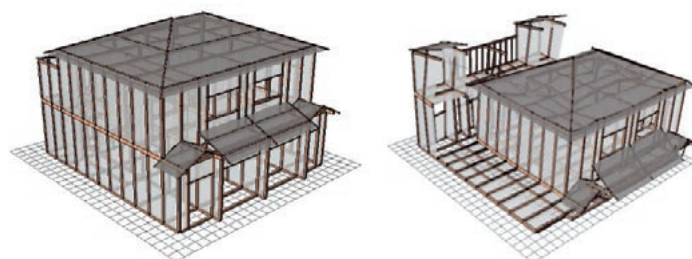
活用事例

wallstatでは対象とする木造住宅の平面図、立面図から解析モデルを作成し、耐震要素に応じた耐力を選択し、地震波を入力することで、シミュレーションを実行します。自分で入手した耐震要素の実験データや、地震波形を利用することも可能です。これまで、振動台実験の解析や、地震で被害を受けた建物の倒壊過程の再現など多くの研究で活用されてきました。

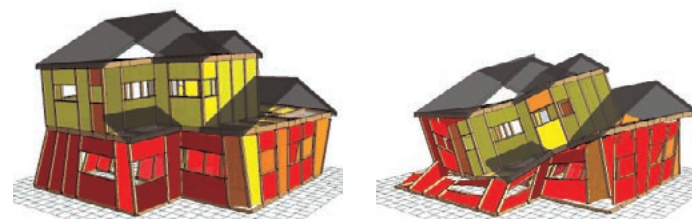
図5は1995年兵庫県南部地震の際に被災した2階建ての木造住宅の倒壊過程を再現した解析結果ですが、床や下屋が崩壊する過程が解析によって再現されています。

図6は壁の量は比較的多いが、接合部の仕様が充分でない2階建ての木造住宅に対して、これまでに観測された最大級の地震動を入力した解析結果ですが、接合部が先行破壊し、1階が層崩壊する過程がモデル化されています。

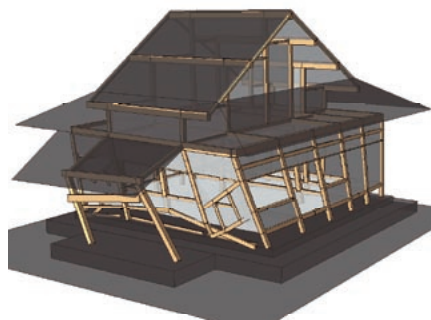
2012年11月にはwallstatのバージョン2が公開され、任意のパネと節点から自由に解析モデルを作成する機能や、柱脚が基礎に固定されていない建物の挙動の計算機能が追加されました。この追加機能によって図7のような伝統的構法による建築物の柱の脚部が地震時に礎石の上で滑る挙動を再現できるようになりました。



■図5 木造住宅の倒壊挙動の再現³⁾



■図6 木造2階建て住宅の巨大地震時の倒壊危険性評価³⁾



■図7 社寺建築の地震応答解析³⁾
(柱脚の滑り・浮き上がり挙動の計算)

おわりに

今回の特集で紹介した数値解析ソフトウェアwallstatは巨大地震が生じたときの木造住宅の倒壊の危険性評価や、実験が難しい建物の振動台実験シミュレーションなど、幅広い活用方法が考えられます。wallstatは数値解析の専門知識がなくても実際に目で見て建物の地震時の挙動や耐震性能を確認できるため、教育的にも有益なツールとなりえます。この解析プログラムが普及することにより、わが国の木造住宅の耐震性に対する意識向上に寄与し、耐震安全性がより向上することを願っています。

1) 中川貴文:大地震動時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発, 建築研究資料 第128号, 2010.11
2) 振動台実験は平成21年度の国土交通省補助事業「木造3階建て軸組構法住宅の震動台実験」により、一般社団法人 木を活かす建築推進協議会と独立行政法人 防災科学技術研究所の共同研究として行われました。
3) URL: <http://www.kenken.go.jp/japanese/research/mtr/Nakagawa/wallstat.html>にて動画が閲覧できます。
※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頂きます。その他目的の利用の際は開発者にご相談ください。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。

国際地震工学センター (IISEE) の津波防災研修

IISEEでは、2004年インド洋大津波を受け、2006年から津波防災研修を実施しています。研修開設以来、研修生たちは毎年5月に三陸地方沿岸の各自治体を訪問し、日本の津波対策について学んでいました。2011年3月には東北地方太平洋沖地震津波が発生したため、2010-2011年コースからは被災地の復旧・復興対策なども研修内容に組み込まれています。

現2012-2013年コースの研修生4名(チリ、パプアニューギニア、フィリピン、ミャンマー)は、2012年11月に仙台、東松島、石巻、女川、南三陸町、陸前高田、気仙沼、大船渡、釜石、宮古(田老地区)などの被災地を訪問しました。仙台平野では、低地の地中に残された砂層(津波堆積物)を観察し、この地域が過去にも2011年の巨大津波に匹敵する津波(869年貞観地震)に襲われていたことを認識しました(写真1)。釜石では、釜石港湾事務所による案内で、津波で破壊された湾口防波堤に小型船で近付き、復旧工事の現場を視察しました。また、復興庁釜石支局からは、岩手県沿岸部の土地利用・住居移転計画等について説明を受けました。宮古市田老地区では、津波により壊滅的な被害を受けた町並みや大堤防を目の当たりにしました(写真2)。今回の被災地訪問により、研修生たちは、津波被害や復旧・復興の状況を把握することが出来ました。日本での研修を終えた後、各研修生は、自国の津波防災に貢献することが期待されています。



■写真1 仙台平野でのコアサンプラーによる津波堆積物の観察。
東北大学の菅原先生(右手前)による案内。



■写真2 宮古市田老地区の大堤防。

Q&Aコーナー

Q: 建築研究所の研究評価はどのように行っていますか?

A: 効果的・効率的な研究開発を行うため、研究課題の実施前、中間段階、終了後及び終了後の一定期間後において、研究者自らが行う「自己評価」、所内委員会により評価を行う「内部評価」、重要な課題を対象として外部の専門家や有識者等で構成された外部有識者委員会による「外部評価」を実施しています。

研究開発の必要性、建築研究所が実施することの妥当性などについて評価し、他の研究機関との重複排除を図り、建築研究所が真に行うべき研究開発に取り組みとの観点で行っています。研究評価の結果は、研究課題の選定、研究開発の実施、研究予算の配分にあたって適切に反映させています。

内部評価、外部評価の結果については、ホームページで公表しています。

- Q&A コーナーは、読者の方から頂いたご質問にお答えするコーナーです。ご質問は、epistula@kenken.go.jp までお知らせ下さい。

編集後記

wallstatは2010年12月にホームページ上で公開を開始してから、現在(2012年12月)まで2000回以上のダウンロード数を記録しています。今回の特集で興味を持たれた方はぜひダウンロードして使っていただければと思います。ホームページ上では計算結果の倒壊過程のアニメーションも見る事ができます。今後も利用される皆様のご意見・ご要望をお聞かして改良を加えて、さらなる実用性向上を目指しております。wallstatを多くの方々に使ってもらうことで、木造住宅の耐震性に関する意識の向上、構造技術者のレベルアップにつながることを期待しています。(T. N.)

平成25年度科学技術週間に伴う施設一般公開のご案内

建築研究所では、文部科学省が主催する「第54回科学技術週間」(平成25年4月15日~21日)への取り組みの一環として、4月20日(土)(予定)に一般の方を対象として、実験施設と展示館を公開します。

実験施設の見学は、1コース3施設程度を紹介するツアー形式で、建築材料実験棟や防耐火実験棟などの施設にご案内致します。各実験棟では、その施設で行っている研究を研究者が分かりやすく説明致します。また、展示館では建築研究所が取り組んでいる最新の研究内容をパネルで紹介致します。

見学ツアーに参加される場合は事前の予約が必要です。予約方法・ツアーの内容などの詳細については、建築研究所のホームページ(<http://www.kenken.go.jp/>)に掲載致しますのでそちらをご覧ください。

なお、定員になり次第受付を終了させて頂きますので、早めのご予約をお願い致します。

出版のご案内

建築研究資料137号

自立循環型住宅設計技術資料
—評価法および要素技術の設計手法に関する研究成果—

建築研究資料138号

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震において観測された強震記録に基づく建築物の地震時挙動の分析



Epistula

えびすとら



第61号 平成25年4月発行
編集: えびすとら編集委員会
発行: 独立行政法人 建築研究所

〒305-0802 茨城県つくば市立原1
Tel.029-864-2151 Fax.029-879-0627

- えびすとらに関するご意見、ご感想は epistula@kenken.go.jpまでお願いいたします。また、バックナンバーは、ホームページでご覧になれます。
(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/epistula.html>)