

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2008～2009
課題番号：20760369
研究課題名（和文） 技術の共有化のための建築構造解析プラットフォーム
研究課題名（英文） Platform for Building Structural Analysis for Sharing Analytical Techniques
研究代表者
伊山 潤 (IYAMA JUN)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：30282495

研究成果の概要(和文):新構造方式の提案を行うためには、新しい解析手法を常に開発していく必要がある。このような新しい解析手法を、共同して開発し、技術を共有・継承することに重点を置いた、建築構造解析のプラットフォームの構築を提案、実装した。チュートリアル、ドキュメントの作成もあわせて行い、大学講義で用いることにより利用性の確認を行った。また、これを利用して、部材破壊を考慮した建築構造物の応答性状について解析的研究を行った。

研究成果の概要(英文): In order to utilize new structural technologies, new analytical methods are always required. Focusing on developing and sharing such new analytical methods for advanced building structural systems, a platform for computer programs of structural analysis is proposed and implemented. To disseminate of the platform, documents and tutorials are also created. To verify the usefulness of the platform, Using the platform, a study on vibrational behavior of building structure considering sudden fracture of the structural members is performed using the platform.

交付決定額

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1900000	570000	2470000
2009年度	1000000	300000	1300000
総計	2900000	870000	3770000

研究分野：建築構造
科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料
キーワード：構造解析

1. 研究開始当初の背景

これまでの建築設計は、「建築は、動かないものである」との前提に基づいている。建築の設計者は、荷物の重さで床がたわまないよう、台風で家が傾かないよう、地震で壁や天井が落ちないように、設計をする。柱、梁、基礎は連続的に剛強に

接合されており、分離することは基本的に想定されていない。しかし近年、部材の分離を前提とするような建築構造が現れてきている。すでに広く使われている免震構造や、建物に制振ブレースを設置してエネルギーを吸収する制振構造や損傷制御構造も、建物の一部を分断して、その間に

エネルギー吸収要素を設置し、建物の変形を積極的に利用するものである。梁の下フランジのみを分断してそこにエネルギー吸収要素を組み込む構造や、ポストテンショニングにより、柱と梁が一時的に離間してももとに戻り、地震後の残留変形をなくすように考慮した新しい構造も考えられてきている。また、1995 兵庫県南部地震で柱や梁の脆性破壊が確認され、また 2001 年のアメリカ同時多発テロを受け、衝撃荷重に対する建築物の応答、あるいは、瞬時にして部材が失われる場合の応答についての研究も活発になってきた。

これらの新しい構造を実現するには、解析により応答を検証する必要がある。しかし、新しい構造には新しい解析モデルが必要であり、既存の解析プログラムでは解析できない場合も多い。従って、汎用の解析プログラムを利用するだけでなく、同時に新しい解析技術をも開発してゆく必要がある。

前述のポストテンショニングを用いた新しい構造については、研究代表者は米国リーハイ大学の在籍中にこのシステムの構造解析計算を担当する担当する機会にあずかった。この構造は、接触、離間、摩擦、部材の移動など、一般に市販されている構造解析プログラムでは解析不可能な部材要素を含むことから、これらの新しい挙動を考慮できるモデルをプログラミングする必要がある。しかし一方、このプロジェクトは多数の研究者が参画しているものであり、彼らとの共同作業を進めやすくする必要性から、独自のプログラムを作成したり市販の解析プログラムを利用したりすることはできず、既存の解析プログラムを最小限修正して利用することにより、研究を進めることとなった。しかし、プログラムの部品化が難しかったり、可読性が低いなどの問題点から、開発にはかなりの時間を要することとなってしまった。

このように、新しい構造解析を行おうとする際は、これまで積み上げてきた解析技術と、新しい解析モデルとの調和をとりつつ、他研究者・技術者にも可読性の高い形で、プログラミングを進めてゆく必要がある。このためには、プログラムを部

品化すること、部品化されたプログラムを個別に利用可能であること、独自の部品を容易に開発できることを担保する開発環境が必要である。

2. 研究の目的

前章で述べた背景に基づき、本研究では、ひとつの独立したソフトウェアを開発することを目標とはせず、むしろ、技術者・研究者がソフトウェアを開発し、また共有していくための基盤となるクラスライブラリ(プログラム部品のまとまり)の提案を行うことを目標とする。

まず、建築構造分野において、できるだけ汎用的なクラスライブラリとするには、どのようなクラス(プログラム部品)が必要であるか、それぞれのクラスがお互いにどのような関係にあるべきかを考察する。

複数の人が、同じプログラムを読み、書き、利用することができるようにするために、オブジェクト指向プログラミング⁶⁾の採用は必須である。また、可読性、クラスの追加の容易さを考慮すると JAVA 言語の利用が最適であると思われる。上記 1 で検討したクラスの関係を JAVA 言語により実装する。

さらに、実装したクラスライブラリが実用に耐えるものであるかを検証する。具体的には地震時における建物の応答解析にこのライブラリを用いたり、あるいは講義において構造解析を学習するためのツールとして用いることにより、その可用性を確認する。

3. 研究の方法

まず、オープンソースで開発が行われている構造解析プログラム OpenSEES について、その利用法を調査した。その結果と、研究代表者のこれまでの解析経験に基づき、静的構造解析、応答解析に関わるクラスの関連付けについて整理を行い、各種クラスの構成を考察した。このクラス構成を徐々に実装し、クラスライブラリを構築した。同時に、チュートリアルやドキュメントの整備をすすめ、大学学部生等比較的初学者でも容易にこ

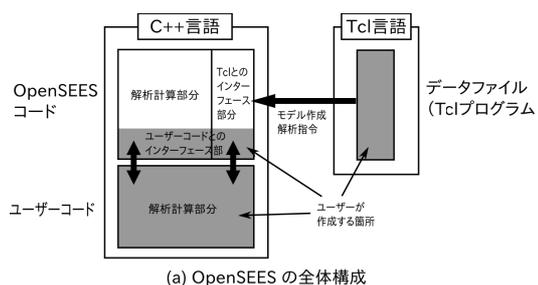
のライブラリを使えるよう、配慮した。最後に、このライブラリを用いて、破断を考慮した構造物の応答解析プログラムを作成し、模擬地震動の作成から応答解析、データベースへの蓄積まで、一貫して用いることを確認した。

4. 研究成果

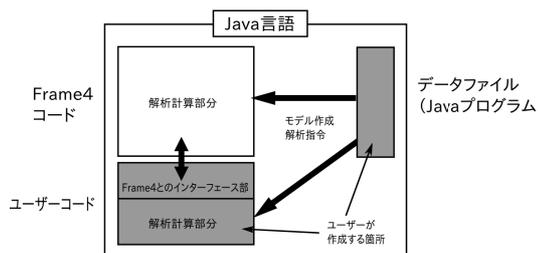
(1) OpenSEES の調査

OpenSEES は、カリフォルニア大学バークレー校を中心として作成されている、オープンソース構造解析プログラムである。このプログラムは、米国の複数の大学を結んで行われている実験的・解析的研究にも用いられており、多くの研究者・技術者がそれぞれの目的に応じて拡張してゆけるように配慮がなされている。プログラムの全体構成を図 1(a)に示す。プログラムの基本部分(図中の「OpenSEES コード」部分)はオブジェクト指向言語 C++による実装がなされており、部品化が進められているため、ユーザは独自の解析計算部分をプログラミングして、本体部分にプラグイン可能である。入力データはインタプリタ言語 Tcl で記述するようになっている。従って、入力データ自体が一種のプログラムであり、C++言語でかかれた基本部分へのインターフェースとして機能している。Tcl 言語で記述することにより、コンパイルを必要とすることなく、入力データファイル内でループや条件分岐などの高度な処理が可能であり、この点では自由度の高いものとなっている。

このように OpenSEES は、各研究者による修正や応用をも考慮した広範な利用を目指すものであるが、かならずしも利用が容易ではない点が散見される。まずユーザーとしての視点からは、入力ファイルに用いられる Tcl 言語は特に習得困難な言語ではないものの、事実上ここでも Tcl 言語によるプログラミングを要求されることになり、取りかかりにくい面がある。また、インタプリタ言語であるため、実行以前に入力データファイルのエラーを検知することが困難であるという欠点がある。



(a) OpenSEES の全体構成



(b) Frame4 の全体構成

図 1: プログラムの全体構成

あるため、特に繰り返しなどを応用して長時間の解析を行う場合にはこの点が不安材料となる。一方、解析計算部分を修正しようとする立場からは、OpenSEES 本体部分の修正を行う必要がある点の問題となる。図 1(a)において、網掛けをしている部分がユーザー側が修正を行う必要がある場所である。OpenSEES は、ユーザーコードとのインターフェース部分を OpenSEES コード側に持ったため、ユーザは OpenSEES の内部に精通したうえでこの内部部分も修正を行う必要がある。また入力データはすべて Tcl 側から来るので、Tcl とのインターフェース部も修正する必要がある。この部分は、解析計算とは本来無関係の部分であり、この部分をユーザ側で修正する必要があることは大きな負担となる。また、ユーザーは基本部分を構成する C++言語と入力データファイルを構成する Tcl 言語の両方を習得する必要がある点も利用を困難にする可能性がある。

(2) Java 言語によるクラスライブラリの可能性

OpenSEES は、解析プログラム本体を C++で記述することによりオブジェクト指向プログラミングによる部品化を行った。また、入力データも Tcl

言語で記述することにより、入力データと解析プログラム本体との分離を行い、かつ解析の自由度を高めようとするものであった。しかし、研究・開発用途の面から考えると解析プログラム本体の変更は必要不可欠であり、また、入力データも実質的にプログラムであるならば、入力データと解析プログラム本体を分離する必要性は低い。特に、パラメタを少しずつ変化させて多数の解析を行って統計的処理を行う場合などの研究的用途を考えると、特に入力データと解析プログラムを一体としたほうが効率的に解析を行うことができる。また、入力データと解析プログラムを同一の言語で作成することができれば、複数の言語を習得する必要がない。

このような観点から、本研究では統一したプラットフォームに適すると考えられる言語として Java 言語を採用し、これによる構築を試みた。全体構成を図 1(b)に示す。Java 言語は C++と同様なオブジェクト指向言語であるのに加え、C++よりもさらに容易にユーザーコードをプラグインすることが出来、本体部分を改変することなく、新しい解析機能を追加することが可能である。完全なコンパイル言語である C++と比べると、Java 言語は実効速度において劣るが、Microsoft Windows, Linux, Mac 他、多様なシステム上で稼働させることができ、また多彩な実行環境、開発環境も無料で提供されているため、ユーザの環境に左右されずに開発に参加してもらうことが可能である。また、言語仕様として極めて高機能な標準ライブラリを有しており、ファイルアクセス、データベースアクセス、グラフィック処理、ネットワーク処理なども比較的容易に出来、一つの解析プログラムの中にこれらの機能を取り込むことによって、解析の前処理(プリプロセス)および後処理(ポストプロセス)の手間を軽減することができる点も研究・開発ツールの有用性を高める可能性を有するものである。

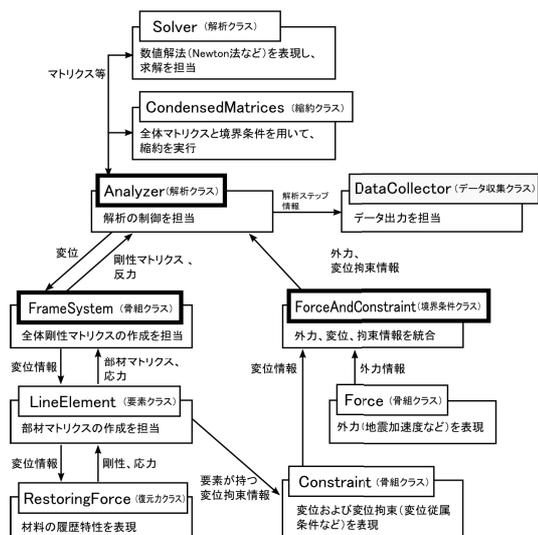


図 2 作成したクラスの主要部分の構成

(3) Java クラスライブラリの構成

図 2 に作成したクラスライブラリの構成を示す。(本図に示した各部分は、Java 言語においては「interface」または「class」として作成したものであるが、本図では実装形態に関係なく「クラス」として表現した。)全体構成は、Analyzer クラスを中心とする解析制御部分、FrameSystem クラスを中心とする構造骨組部分、および ForceAndConstraint クラスを中心とする境界条件部分から構成される。主としてユーザーが変更することになる構造骨組部分は、Frame, LineElement, RestoringForce から構成されているが、これらは Java 言語の Interface として作成されているので、ユーザはこれらを実装することによって、任意の挙動を持つ材料、部材、および骨組をモデル化することができる。ここで、ユーザが変更したくない部分については、一切修正の必要が無いことも Java 言語を採用したことのメリットとなっている。

(4) ドキュメントおよびチュートリアル of 整備

チュートリアル of 作成とドキュメント of 整備を行った。同時に学部講義においても存在を周知し、利用を推奨したところ、このライブラリを Scala という異なるプラットフォーム上で動作させて構造

解析を行ったグループがあり、比較的初学者でも利用が可能であり、また JAVA を採用していることにより、汎用性に優れることが示された。ただ、このドキュメントおよびチュートリアルの部分については、十分に完成されたとは言えない箇所があり、継続して修正してゆく予定である。

(5) 構造解析研究への本プラットフォームの応用

本プラットフォームを利用した解析的研究を行った。一例として、破壊を考慮した1解析モデル [発表論文1および2] を図3に示す。このモデルは、建築構造骨組のうち、一部が破壊して剛性と耐力が瞬間的に低減する特性をもつとも簡易なものとしてモデル化されたものである。「主構造システム」と「副構造システム」という二つのバネから構成されている。この構造系が地震動を受けると、振動の途中で「主構造システム」が破壊し、瞬間的に復元力を失うというモデルとなっている。通常行われている応答解析と比較すると、特に「主構造システム」の破壊による瞬間的な復元力喪失部分に特徴がある。このモデルに対応して、図4のようなクラスを作成して解析を行った。特に `BreakingElastoPlastic` クラスは、上記の特徴である復元力喪失部分をモデル化するものであるが、汎用部分である `ElastoPlastic` クラスを継承した新しいクラスとして作成することにより、その作業を最小限にとどめ、またその内容も理解しやすいものとなっている。

これらのクラスを含む解析プログラムを作成し、多数の模擬地震動の作成、パラメタの選択、応答解析の実行、データベースに結果を格納、という一連の作業を行った。入力データと解析プログラムを分離することなくすべてを Java プログラムとして作成することにより、全体を一つのプログラムとして動作させ、作業の手間を大幅に削減することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

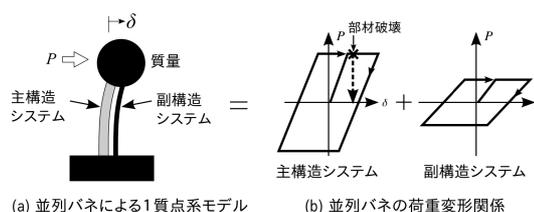


図3 破壊を考慮した質点系モデル

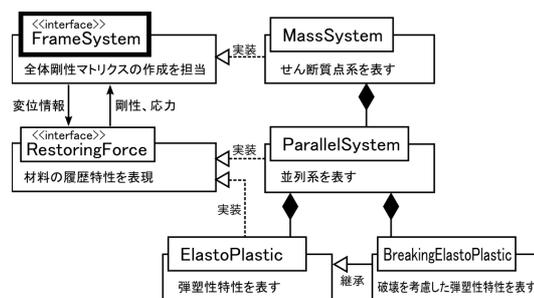


図4 質点系モデルに対応するクラス図

[学会発表](計3件)

1. Jun Iyama: Estimation of increasing response of steel frame after fracture of structural member, STESSA 2009, Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, Aug. 16-20, 2009, Philadelphia, USA.
2. 長谷川 修, 伊山 潤: 部材破壊を考慮した骨組の最大応答変位推定 その1～1質点系モデルによる検討～、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、No. 22447、2009.8、
3. 二階堂 真人, 伊山 潤: 部材破壊を考慮した骨組の最大応答変位推定 その2～二層骨組モデルによる検討～、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、No. 22448、2009.8、

[その他]

ホームページ等

<http://kw1.arch.t.u-tokyo.ac.jp/frame4> において作成したライブラリを公開している。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊山 潤 (IYAMA JUN)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号:30282495