

震動破壊シミュレータ JANISの概要 と並列計算技術の適用

防災科学技術研究所 佐藤 一雄

開発背景

システム開発の目的

E-Defense (における各種実大実験での構造物の挙動の高精度予測のためのシミュレーションコードの整備

* E-Defense: 1200tfの実大試験体を載せ兵庫県南部地震クラスの 加振が可能な施設。2005年1月完成。



最初の解析対象:鉄筋コンクリート構造物の震動実験





地震動による構造物の破壊現象を高精度に再現する

数値震動台の実現

様々な地震動、条件による仮想震動実験を可能にする解析システムを開 発する

- ・振動台実験による構造物の破壊現象の再現
- ・現象が危険性を伴い実験が不可能な条件の仮想実験



開発背景

ITBL上での共通基盤プラットフォーム

震動破壊解析シミュレーションシステム計算機環境 震動破壊実験との連携による解析、材料モデルの検証 より高精度な震動破壊解析シミュレーション



開発背景

システム開発の目的

最終目標

地震時における構造物の挙動と性能の高精度な評価を行なう数値振動台の開発

JANISの開発目的

実験などによる新たな知見に基づく解析モデル・材料モデル を柔軟に組込み、評価が行える解析基盤

継続的な拡張が可能な基盤の整備

システム開発の基本コンセプト



オブジェクト指向型フレームワークの採用

·保守・拡張の容易性また動的制御の容易性からオブジェクト指向フレームワークによる新規開発を行う。

要素技術の開発

·汎用非線形構造解析システム「FINAS」の要素技術を元に、鉄筋コンクリート構造に対応する材料モデルの導入を行う。



解析システムの開発

Object指向型フレームワークによる開発

・最新のObject指向言語Javaによる開発

·<u>長期に渡る改良・保守が効率的</u>に行なえる。

・新たに開発したプログラムを<u>部品として組み込む</u>ことが容易

・組込みが容易に行なえるため最新の研究成果を反映可能

・フレキシブルなイベント制御により非線形問題の安定的解法

要素技術開発

高精度のコンクリート構成則、鉄筋構成則の実装

(前川らによるモデル)

→ひび割れ(損傷)、履歴曲線(損傷過程)の再現





解析対象試験体 →原子力発電技術機構(NUPEC)、H型断面耐震壁震動台実験

> ウエブ・フランジ壁:シェル要素(非線形) 基礎スラブ、上部スラブ、付加マス:ソリッド(線形)



入力地震動

入力ステップ	Max acc. (gal)	想定挙動	
RUN-1	53	弾性挙動	
RUN-2	112	初期せん断ひび割れ	
RUN-3	325	RUN-2に対して×3	
RUN-4	577	変形角が 2/1000 rad	
RUN-5	1230	終局挙動	



解析結果 RUN5の応答時刻歴(上:実験)下:解析)



上部スラブ加速度時刻歴

上部スラブ変位時刻歴

破壊状況



実験:ウエブ壁の中腹より下部ですべり破壊が生じコンクリートが剥落 解析:ウエブ壁にせん断ひび割れが全面に分布するとともに,ウエブ壁の下部 に加震方向に一列のせん断破壊による剛性低下

鉄筋コンクリート骨組震動台試験の解析

6層鉄筋コンクリート骨組(1/3縮小試験体)震動台試験の解析



有限要素メッシ

鉄筋コンクリート骨組震動台試験の解析







転倒モーメント-屋上階変位



鉄筋コンクリート骨組震動台試験の解析



ひび割れ状況







数値震動台の実現への残される課題

一解析システム

- ・大規模モデルへの対応 超並列による100万メッシュ〜レベルの解析
- ・全体崩壊の表現
- ・プレゼンテーション用としてのPre-Post
- ・E-defenseとの連携

ー対象の拡張

・E-defenseにて予定される様々な実験への対応
 地盤-基礎-構造物
 鋼構造、木造

➡ FINAS*へ発展

FINAS*(仮称)の開発背景

FINAS (原子力研究開発機構: JAEA)の歩み

- 1976:開発スタート
- 1985:一般公開
- 1996: V13.0のリリース
- 2000: CTCによる自主開発
- 2004: FINASシリーズのリリース(流体解析、熱処理解析)
- 2007: V18.0のリリース



注: FINASは1976年以来、JAEAにより開発されてきた汎用非線形解析システム。 JAEAの許諾を得て、 CTCにて、自己の責任及び負担のもと、FINASの販売・保守及び改良業務を継続中。



- FINAS*(伊藤忠テクノソリューションズ㈱:CTC)の開発
 - → 最新のソフト開発技術によるフレームワークの全面リニューアル
 - → 最新ハードウェア(64ビット、マルチコア、分散並列)への対応
 - →マルチフィジックスへの拡張ができる柔軟な設計





MPP並列(陰解法FEM) **PCG**(GeoFEM方式) DDM、BDD(ADVENTURE方式) (東大吉村教授と共同研究)

□領域分割 **METIS**使用、Non-overlapping

BDD(Balancing Domain Decomposition)法について ■1993年にJ. Mandelが提案。

- 各領域のローカル問題にグローバルのコース問題を カップリングさせることで、誤差をグローバルに都合よく伝播、 CGの収束性を向上。
- ■優れた収束性(マトリックス条件数がメッシュサイズに依存性小)
- 2000年にADVENTUREプロジェクト(吉村教授)にて並列化実装

■ 2005年に地球シミュレータ2048CPUs上で1億自由度の線形弾性 解析を8.5分で実現。(Ogino et al, J. ES, 2005)



Fig.8.22 Equivalent stress distribution of ABWR model with static gravitational force

前処理方法

→対角スケーリング

→BDD(Balancing Domain Decomposition)法

→ BDD_DIAG





Fig.8.28 Equivalent stress distribution and deformed configuration of PV model

和 NIED 独立行政法人 防災科学技術研究所

BDD法の収束性



注: DDMは対角スケーリング前処理付きの領域分割法

()にあるのはBDD法の反復回数とDDMの反復回数の比率。

※条件数:最大固有値と最小固有値の比 大きいものほど収束性が悪い





非線形動的解析(地盤-構造連成、地震応答)







3D不整形地盤の地震応答解析



震動破壊シミュレータ JANIS の概要と並列計算技術の適用~ Page 22

2008/4/7

3D不整形地盤モデルの計算時間と収束性

- 領域分割数:
 16 subdomains
- ·計算時間:

●線形: 7692s (2.13h) DT=0.01sec, Tmax=5sec, 500steps,

●非線形: 22080s (6.13h) (初期剛性法) DT=0.02sec, Tmax=10sec, 500steps, 5000ステップの推算計算時間は60時間(2.5日)

最終ステップの収束状況



・マシン情報: Sun Fire X4600 M2 8 CPUs (Dual Core 2.6GHz)



分割数:16subdomains



1千万自由度地盤モデルの並列計算の実施例

- ・節点数 : 4,080,501
- •要素数 : 4,000,000
- 領域分割数: 16 subdomains
- •計算時間:

●線形: 20912s (5.8h) DT=0.02sec, Tmax=2sec, 100steps, 推定:

```
5000ステップの計算は290時間(12日)
```

●非線形: 51962s (14.4h) (初期剛性法)
 DT=0.02sec, Tmax=2sec, 100steps,
 推定:
 5000ステップの計算は721.7時間(30日)
 →さらに計算リソースが必要

・マシン情報: Sun Fire X4600 M2 8 CPUs (Dual Core 2.6GHz)



最終ステップの収束状況

2008/4/7



- 高層ビルの地盤構造物連成解析 モデル概要 30階建てのビル(140m)
 7層3D地盤(530m×330m×深さ150m)
 30s地震波入力(阪神大震災時の鷹取駅測定波を使用)
 節点数: 510,241 要素数: 364,200
- ・計算マシン情報

Sun Fire X4600 M2 8 CPUs (Dual Core 2.6GHz)

計算時間

∠t=0.01s で30sの線形応答解析(3000step):52.5時間



・地盤土質構成

物性	深さ	層厚	
No	GL		土質名
	(m)	(m)	
1	3.0	3.0	埋土
2	8.0	5.0	シルト
3	28.0	20.0	砂質土
4	38.0	10.0	シルト
5	60.0	22.0	砂質土
6	100.0	40.0	粘性土
7	150.0	50.0	砂質土

・入力地震波 加速度

大型構造物の丸ごと解析への挑戦

・モデル図(高層ビル部)

・高層ビルの解析モデルは㈱エヌ・エス・ティー殿より提供

大型構造物の丸ごと解析への挑戦

・地震応答アニメ

