

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 10 月 5 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760463

研究課題名(和文) E - D e f e n s e を利用した鋼構造骨組の残余耐力の実験的・解析的評価

研究課題名(英文) Experimental and numerical estimation of residual bearing capacity of steel frame structure using shaking table

研究代表者

山下 拓三 (Yamashita, Takuzo)

独立行政法人防災科学技術研究所・減災実験研究領域 兵庫耐震工学研究センター・研究員

研究者番号：40597605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：実地震動に対して、鋼構造建物の残余耐震性能を評価することを目的に、1/3縮小モデルを用いた振動台実験およびソリッド要素による三次元詳細有限要素解析を実施した。解析精度を確保するための解析条件の基礎検討、モデルの簡易構築手法の開発を行った。作成した解析モデルによる事前解析結果を実験計画の立案に活用した。加振実験を実施し解析モデル検証のための実験データを取得した。今後、試験体の補強を実施し損傷状態の再現および損傷後の応答の変化を確認するための追加実験を実施する。

研究成果の概要(英文)：In order to estimate residual bearing capacity of steel frame structure against an aftershock, shake table tests and the detailed three-dimensional finite element analysis using solid elements for the one-third scale model were conducted. For the preparation of the numerical analysis, I performed a basic study on analytical condition to maintain the accuracy and developed the program to construct the detailed model in a simple manner. The analytical model constructed by using the developed program was utilized to make the experimental design. Finally, the shake table test was conducted. As a result, experimental data useful for the validation of the numerical analysis was obtained. It is planned to reinforce the specimen and perform the additional experiment to reproduce the damage and confirm the difference of the response with and without damage.

研究分野：建築構造

キーワード：有限要素解析 振動台実験 鋼構造 残余耐力

様式 C - 19、F - 19、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では余震が頻発し、仙台では本震を上回る最大余震に見舞われた。このことから、余震による更なる災害を防ぐべく対策を講じていくためには、建物の残余耐力を評価する手法の確立が必要となる。

2. 研究の目的

地震を受けた構造物の損傷の蓄積は静的外力や単純な繰返し外力では十分に再現できない。そのため、余震に見舞われた際の建物の健全性の評価の指標となる残余耐力（または、残余耐震性能）は、実際の地震動に対して評価することが望まれる。本研究では、振動台実験と三次元詳細有限要素解析を活用して、動的な地震力に対して鋼構造建物の残余耐震性能を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 振動台実験

実大想定モデルは、図1に示すように平面が短辺6m、長辺12m、高さが14m(各層3.5m)の4層の鉄骨建物である。主要部材の断面は、柱が $-400 \times 400 \times 16$ 、大梁が $H-600 \times 300 \times 12 \times 20$ 、小梁が $H-375 \times 175 \times 7 \times 11$ である。

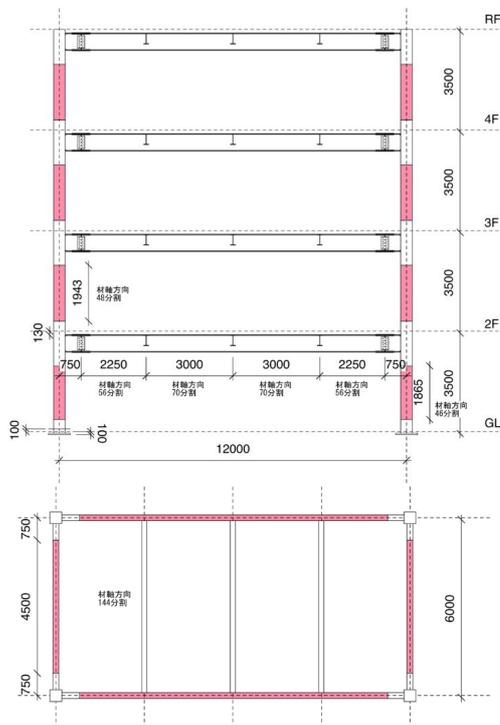


図1 想定実大モデル

当初はE-ディフェンスを用いた実大実験を予定していたが、震動台の改修工事が実施されることとなり、スケジュールの確保が困難となったため利用する振動台を防災科学技術研究所の大型耐震実験施設の振動台に変更した。それにより、試験体の規模を小さくする必要が生じたため、図2に示す1/3縮小モデルを製作することとした。相似則を満たすための重量の差分はおもりで考慮して

いる。また、床スラブもおもりにより重量のみ考慮している。1層目のおもりとして2階床小梁に2.86tonのおもりを、2層目のおもりとして3階床小梁に2.86tonのおもりを設置する。また3層目、4層目の骨組は骨組を省略しおもりにより重量のみ考慮している。おもりは6.57tonであり、治具を介して4本の柱に荷重がかかることになる。

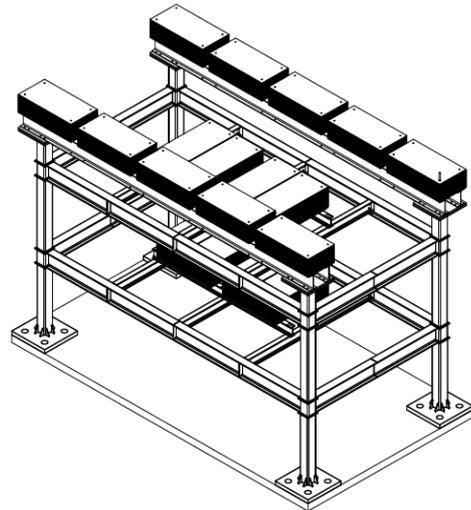


図2 1/3縮小モデル

建物が崩壊する場合と崩壊しない場合の加振ケースから残余耐力を絞り込む方法では、複数の試験体が必要であることから、1ケースで残余耐震性能を評価する方法を検討することとした。図3に残余耐震性能の評価方法の模式図を示す。横軸は損傷の有無を判断するために用いる測度であり、例えば最大層間変形角を用いる。縦軸には地震波の加振レベルを用いる。損傷を規定する値まで、入力レベルを上げながら、地震波加振を繰り返す。損傷状態を超えた後、再び損傷前と同様の加振スケジュールで加振を繰り返し、加振前に対する加振後の変形の増加量から耐震性能の低下を評価する。

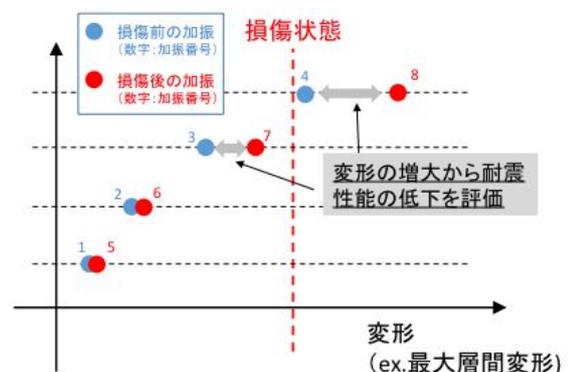


図3 残余耐震性能の評価方法の模式図

(2) 有限要素シミュレーション

多種多様な建物に対して、損傷および破壊過程を予測するためには、構造物の全体挙動と局所挙動を同時にシミュレートすることが必要である。そこで、本研究では鋼構造骨組を構成する全部材をソリッド要素でモデル化することとする。この解析モデルを用いて実験の事前解析を実施し実験計画の立案に活用する。実験実施後に、実験データとの比較により、シミュレーションの再現性向上を試み、将来的には残余耐震性能評価の一般化にシミュレーションを活用することを目指す。

#### 4. 研究成果

##### (1) 解析モデルの構築

まず、鋼構造骨組の精度を確保できる部材メッシュの分解能や動的解析の時間刻みの要件を明確にするために、図4に示すように角形鋼管柱の弾塑性座屈挙動の解析を、複数のメッシュサイズ、時間刻みのケースで実施した。

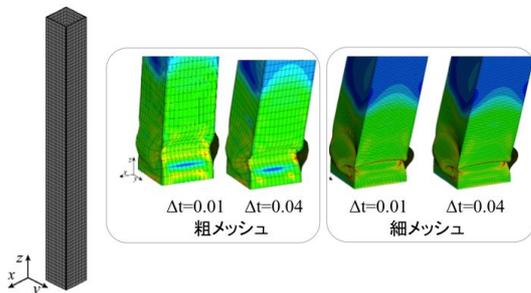


図4 角形鋼管柱モデルによる時間刻み幅および要素サイズの検証

ソリッド要素による鋼構造骨組のモデル化にはCAE技術者による高い技術力と多大な労力、時間を要する。そこで、シミュレーションによる残余耐力の評価を容易に実施するための、鋼構造骨組のソリッド要素による有限要素モデルの簡易構築手法の開発を実施した。図5に示すように、階高、スパンなどの配置情報と寸法や分割数などの部材情報を、GUIを介して数値入力することにより、各部材のメッシュを自動的に作成できる仕組みになっている。

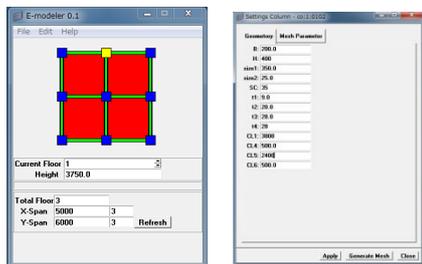


図5 詳細有限要素モデルの簡易構築プログラムのGUI

続いて、開発した詳細有限要素モデルの簡

易構築プログラムを用いて、実験試験体の骨組部分の解析モデルを構築した。なお、治具、おもりについては手作業でモデルを作成した。図6に治具を含めた解析モデルを示す。

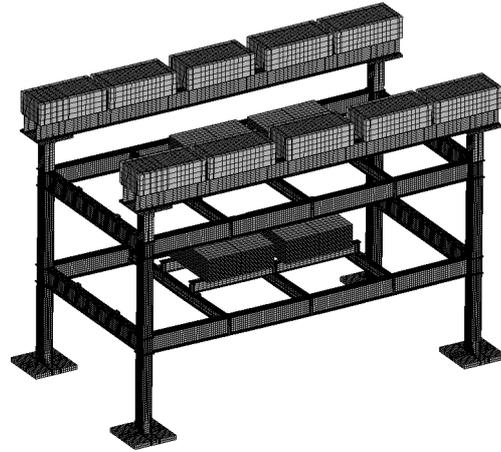


図6 詳細有限要素モデル

##### (2) 事前解析を活用した実験計画の立案

図7に示すように最上段の治具は、正弦波による動的解析によって安全性を検証した。

続いて、加振波の検討のために固有値解析を実施した。建物の長辺方向1次の固有モードを図8に示す。長辺方向1次の固有振動数は4.49Hzであった。床おもりと治具の1次の固有モードを図9に示す。床おもりと治具の1次の固有振動数は16.4Hzであった。

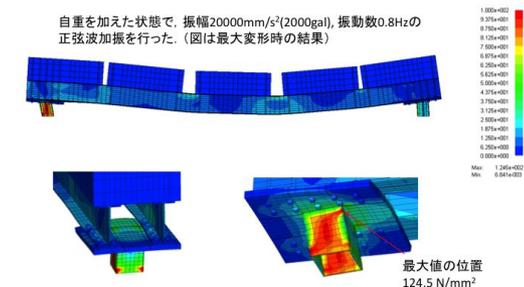


図7 治具の安全性の検討

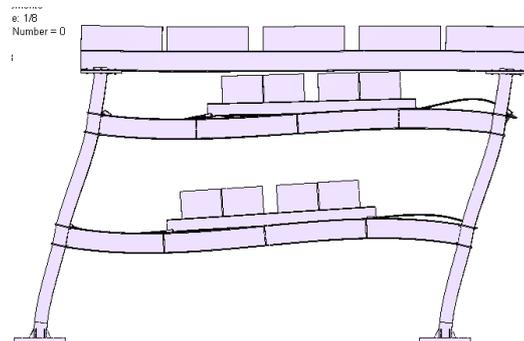


図8 試験体の固有モード(長辺方向1次)

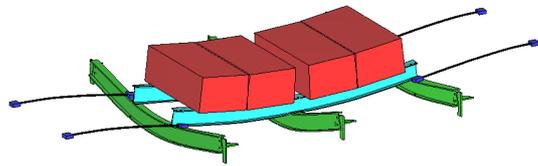


図9 床おもりと治具の固有モード

加振は長辺方向の1方向とし加振波としてBCJ-L2を採用した。振動台の変位の制約およびおもりや治具の共振防止のために加振波にバンドパスフィルターを施した。図10に高周波数側のカットオフ周波数を変化させた際の加速度応答スペクトルを示す。検討の結果、カットオフ周波数を0.5Hz, 10Hzとした加振波を用いることとした。

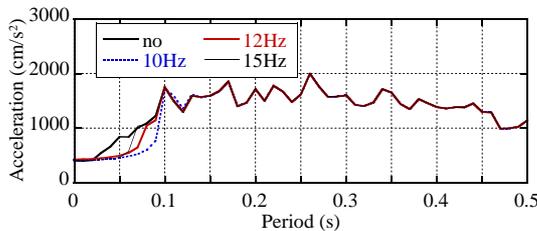


図10 加速度応答スペクトル(低周波数カットオフ: 0.5Hz)

倒壊防止対策として試験体の加振方向の前後に倒壊防止フレームを設置した。また、倒壊に至らないか確認するためにプッシュオーバー解析を実施した。図11は1000mm強制変位時の試験体の変形図であり、図12は強制変位と反力関係を示している。倒壊に至ることは極めて考えにくい、不測の事態に備えて、緊張するまで200mmのゆとりをもたせてチェーンブロックを試験体と倒壊防止フレームの間に4箇所取り付け付けた。

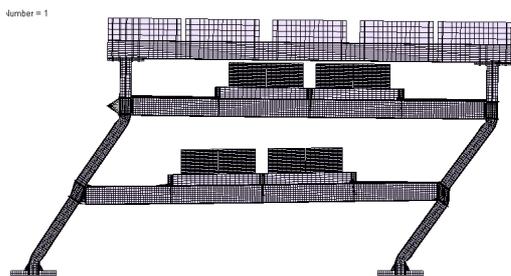


図11 プッシュオーバー解析での1m強制変位時の変形図

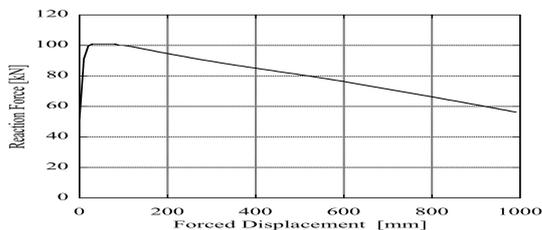


図12 プッシュオーバー解析での強制変位-反力関係

### (3) 実験結果と事前解析結果の比較

BCJ-L2の100%加振での実験結果と事前解析結果の比較を示す。事前解析では、BCJ-L2の加速度をベースプレートの下面に入力している。図13に振動台上で計測した加速度と解析に用いた入力加速度を示す。振幅については概ね対応しているが位相の対応が十分でない。なお、計測開始点を時刻0としているため、以後の時刻歴波形は大きな加速度が入力される直前の17秒から作図している。

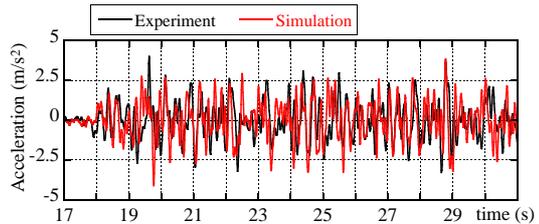


図13 振動台上加速度と解析に用いた入力加速度

図14に各階の変位の時刻歴を示す。解析の1階の変位は22秒まで実験と良い対応を示しているが、以後は実験に比べて大きな変位となっている。一方、2階においても22秒まで実験と位相の対応は良いが、実験に比べて変位量は小さくなっている。図15に2階梁の回転角の時刻歴を示す。梁部材の回転角も22秒までは実験と解析の対応が良いが、その後、対応は悪くなる。図13に示している通り、事前解析で用いた入力加速度と試験体に加わっている入力加速度に違いが見られるため、実験で計測した振動台上の加速度を入力して再解析を実施する必要がある。

図9に示す床おもりを支持する治具において損傷が見られたため、安全のため、本実験では図3の加振番号4に示す損傷状態まで加振を継続しなかった。床おもりと治具の補強方法を検討し、損傷状態に至る加振および損傷後の加振実験を改めて実施する予定である。

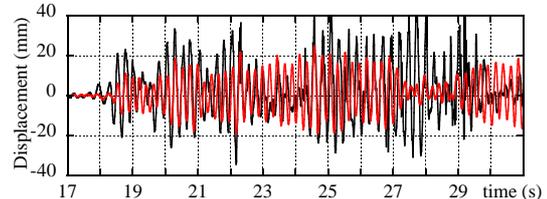
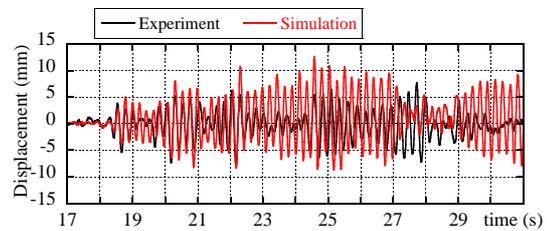


図14 各階の変位の時刻歴(上:1階,下:2階)

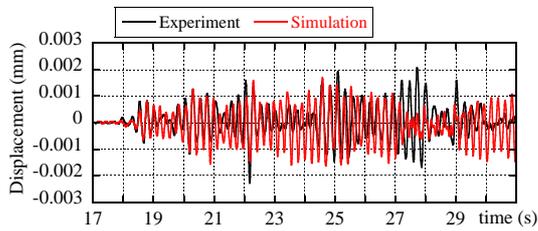


図 15 2 階梁の回転角の時刻歴

## 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)

山下拓三，宮村倫司，秋葉博，梶原浩一：角型鋼管のソリッド要素による有限要素弾塑性座屈解析の精度検証，日本計算工学会論文集，Vol.2013(2013 年 1 月)，Paper No. 20130001

〔雑誌論文〕(計 1 件)

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

山下 拓三 (YAMASHITA, Takuzo)

国立研究開発法人防災科学技術研究所・減災実験研究領域 兵庫耐震工学研究センター・研究員

研究者番号：40597605

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：