

## 都市における地震時建物応答シミュレーションに基づく天井被害予測 —神戸市中央区における鋼構造建築物を対象として—

正会員 ○増田幸枝\*1 同 大谷英之\*2 同 永野康行\*3

### 2. 構造—2. 振動—k. 被害予測・地震防災

#### 在来吊り天井, 被害予測, 鋼構造建物, 南海トラフ地震, 統合地震シミュレーション

##### 1. はじめに

現在日本では柱や梁、耐力壁といった構造部材に関する研究及びその技術は発展している。しかし、天井や扉などの非構造部材の地震被害にはあまり注目されてこなかった。平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震では大空間施設での天井落下被害から平成26年4月に特定天井に対する天井落下防止対策が義務化されたが、大空間施設以外の建物は義務化対象外であり、多くの建物がそうである。

天井に関する既往研究では震動台実験やシミュレーション技術による天井脱落のメカニズムを解明する研究は存在するが、都市レベルの天井被害を予測する研究は今までにされていない。これまで、都市全体の建物被害予測では経験則的手法が用いられていたが、地盤や地震波が考慮されない被害予測である。

本研究では、建物を質点系モデルに置換し時刻歴地震応答解析による地震時シミュレーションを行い、その応答解析結果と仮定した閾値との大小関係から天井被害予測を行う。経験則では表現できない天井被害予測分布を例示することが本研究の目的である。

##### 2. IESによる地震応答解析

将来発生すると想定されている南海トラフ地震を想定した都市全体の時刻歴地震応答解析を実施する。都市全体の時刻歴地震応答解析では、理化学研究所計算科学研究機構(AICS)総合防災・減災研究ユニットとの共同研究として提供されている統合地震シミュレーション(IES: Integrated Earthquake Simulator)を使用した。IESは建物1棟1棟の地震応答解析を行う精度の高い計算ベースの手法をとるため経験則的手法では表現できない被害予測が可能となる。

IESでは都市デジタルデータに基づき都市構造物の

変化や地震波と地盤の性質の相互関係を明確に反映する仮想都市モデルを作成し、想定する地震シナリオに地震動と建物の時刻歴地震応答解析を建物1棟1棟行うことができる。スーパーコンピュータで計算する必要があり解析に時間を要するが、フラジリティカーブなど経験則に基づいた手法よりも詳細なシミュレーションが可能となる<sup>6)</sup>。

##### 3. 都市モデルの設定と解析

都市全体の時刻歴地震応答解析を実行するために、対象都市を神戸市中央区と設定する。そして前節で示した建物モデルや地盤モデルから、神戸市中央区を想定した都市モデルを作成し、時刻歴地震応答解析を実行する。

都市モデルの作成に関して、神戸市中央区の建物数は株式会社ゼンリンの提供する住宅地図データベース「Zmap-TOWN2」を参照した。このデータベースに含まれる建物データ数は7065棟であり、都市モデル内の建物数もそれに合致する。都市モデル内建物モデル7065棟のうち、構造種別が鋼構造と記されている建物は1892棟である。本研究では構造種別が鋼構造と記されている建物1892棟のみに着目する。

##### 4. 地震応答解析に用いる大規模地震波

本研究では都市全体の時刻歴地震応答解析に用いる地震波を想定南海トラフ地震波とした。南海トラフ地震は将来必ず発生すると言われている大地震であり、想定される地震規模は過去最大級で広範囲に渡り被害が発生すると言われている。南海トラフ地震の予測震度分布は中央防災会議による東海地震、東南海・南海地震の検討結果を参考に設定している。それを基本ケースとした場合、陸側ケースの震度分布は基本ケースの強振動生成域を、可能性がある範

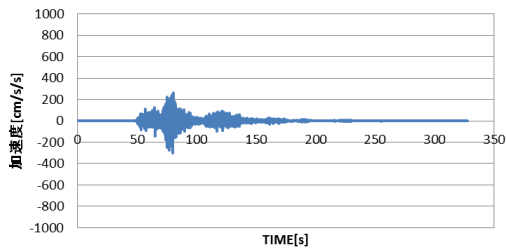
Creation of Building Damage Warning Map Based on Building Damage Prediction for City  
—As a Study of the Steel Structure Buildings in Chuo-ku, Kobe—

MASUDA Yukie, O-TANI Hideyuki and NAGANO Yasuyuki

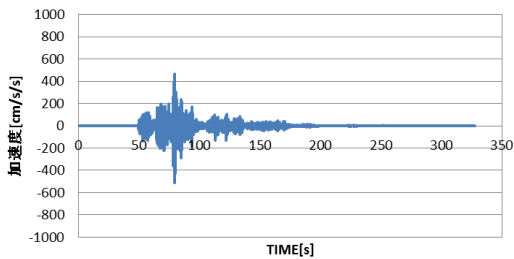
囲で最も陸域側の場所に設定したものである<sup>[8]</sup>。陸側ケースの場合、神戸市内の最大震度は6弱である。本研究では数ある想定南海トラフ地震波の中で、神戸市内で最も震度の大きいと推測され一番影響を与えると想定される陸側ケースを取り上げて地震応答解析を行う。

入力する南海トラフ地震の地震動はIESを用いて工学的基盤である基盤面から表層地盤、地表面までの増幅を計算して各地点の地震動を作成している。

本研究で対象とする神戸市中央区での入力地震動を図1に示す。図1(a)はNS方向の加速度波形、図1(b)はEW方向の加速度波形を表す。また加速度応答スペクトルを図2(a)に、速度応答スペクトルを図2(b)に、変位応答スペクトルを図2(c)に示す。減衰定数は2%としている。

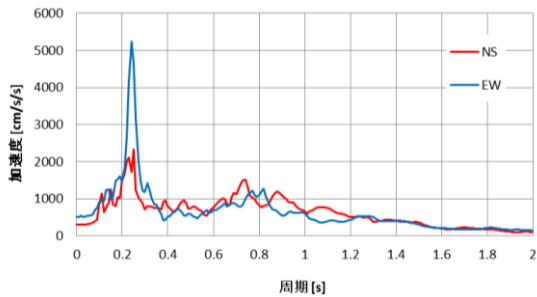


(a)NS 波

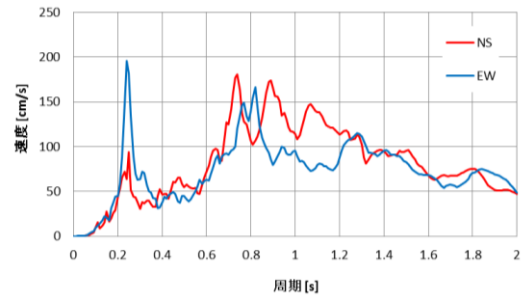


(b)EW 波

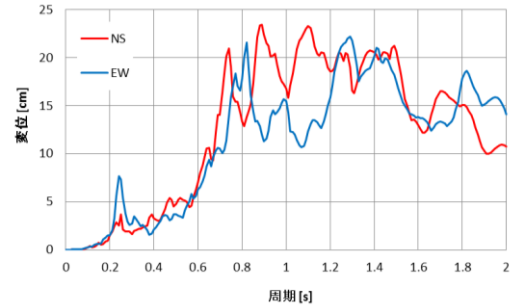
図 1 入力地震動加速度波形



(a)加速度応答スペクトル(h=2%)



(b)速度応答スペクトル(h=2%)



(c)変位応答スペクトル(h=2%)

図 2 応答スペクトル

### 5.天井被害判定閾値の設定

天井被害予測ではクリアランスを有さない在来吊り天井を対象とする。そのため天井被害判定では変形を考慮せず、各階床応答の最大応答加速度に着目し、閾値の設定を行う。

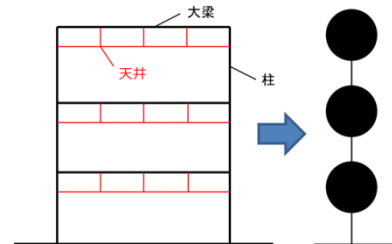


図 3 概略図

シミュレーション結果から天井被害判定する閾値では、天井脱落対策に係る基準で設定された設計用地震力を参照する。平成26年4月1日より施行されている天井脱落対策に係る仕様ルートでは、水平方向の設計用地震力2.2Gに耐える天井の設計が義務付けられている<sup>[5]</sup>。

天井被害判定では設計用地震力である2.2Gを閾値として設定し、2.2Gを超えた場合、または2.2G

に安全率 1.5 を乗じた地震力 3.3G を上回った場合に天井被害が発生すると仮定して天井被害判定を行う。

表 1 天井被害判定閾値

閾値	被害判定
2.2G 未満	被害なし
2.2G 以上 3.3G 未満	被害可能性高
3.3G 以上	被害あり

### 6.解析結果と被害判定

鋼構造と記されている建物モデル各階の最大応答加速度に着目する。1892 棟中、2.2G 以上を超えた建物は 16 棟であり、天井被害可能性高と判定できた。これら 16 棟は全て 3 階建て建物であった。また 3.3G 以上を超えた建物は 1 棟もなかった。表 2 に天井被害判定棟数、図 4 に 3 階建ての建物の最大加速度応答散布図を示す。

表 2 天井被害判定棟数

閾値	被害判定	棟数(棟)
2.2G 未満	被害なし	1876
2.2G 以上 3.3G 未満	被害可能性高	16
3.3G 以上	被害あり	0

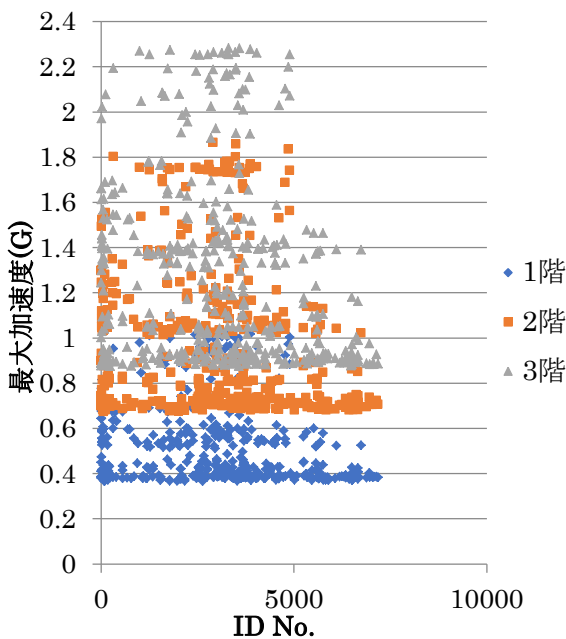


図 4 3 階建て建物の最大加速度応答散布図

図 4 から建物の 3 階部分で閾値を超えていることが確認できた。

3 階建ての建物の固有周期を求める。1 階 3m と設定して 3 階建て建物の高さ  $H=9[m]$  と仮定した場合、設計用一次固有周期  $T[s]$  は下記の通り算出できる。

$$T = 9 \times (0.02 + 0.01) = 0.27[s]$$

想定南海トラフ地震における加速度応答スペクトル(図 2(a))を見ると周期 0.2~0.3[s] の成分が卓越しているため、3 階建て鋼構造建物の固有周期と想定南海トラフ地震の周期成分が一致し、共振現象が起こった可能性が高いことが確認できる。この結果から、建物の天井被害の有無は加速度応答スペクトルの周期成分に影響されることが分かった。

### 7.天井被害建物の分布

天井被害閾値を超えた層を含む建物の分布を図 5 に示す。

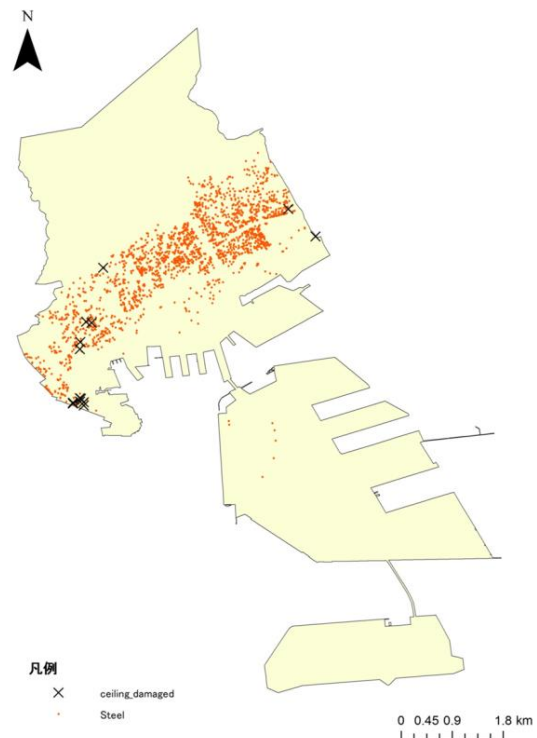


図 5 天井被害判定建物分布図

図 5 から 2.2G の閾値を超え天井被害可能性高と判定された建物モデルはランダムに分布するのではなく西側の地域にその建物モデルが集中していることが確認できた。

図 6 に神戸市中央区の計測震度と天井被害判定建物モデルの分布を示す。計測震度は南北 200m、東西 250m 間隔で計測された値をプロットしている。

計測震度は沿岸部に近いほど高くなる傾向にあるが、天井被害判定を受けた建物モデルは計測震度の低い地区に分布していることが確認できる。神戸市中央区内で最も計測震度が高い地区はポートアイランドであることが確認できるが、そこに位置する建物には天井被害判定閾値を超えた建物はなかった。

このことから計測震度が必ずしも天井被害判定に影響を与えるわけでないことが分かった。

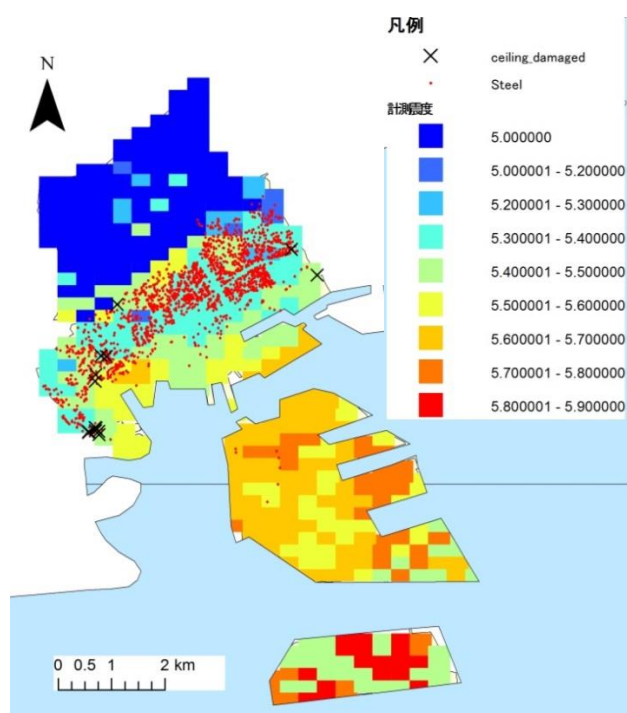


図 6 計測震度と天井被害判定建物分布図

## 8.おわりに

本研究では都市全体の時刻歴地震応答解析を実施し、その結果から天井被害予測を行った。

都市全体の建物の時刻歴地震応答解析では、統合地震シミュレータ (IES) を用いて神戸市中央区に存在する鋼構造建物を対象に南海トラフ地震を想定した地震応答解析を実行した。建物各階の最大応答加速度に着目すると、天井被害閾値を超えた建物は 16

棟でその全てが 3 階建ての建物という結果となった。地震波の応答スペクトルを見ると 3 階建ての建物で共振現象が起こる可能性が高いことが確認できた。このように IES を用いた地震応答解析によって経験則では予測できない被害予測が可能となった。

作成した都市モデルは階高や単位重量が平均的な情報を用いており、実際の都市の建物の固有の情報ばらつきを考慮していない標準的なモデルである。建物固有の情報をも考慮した都市モデルの作成は今後の課題としたい。

## 謝辞

本研究は、平成 29 年度理化学研究所計算科学研究機構総合防災・減災ユニットとの共同研究「神戸市等を対象とした自然災害シミュレーションとハザードマップ作成」における成果の一部である。

## 参考文献

- [1]藤原富士、磯部大吾郎、田川浩之、山下拓三、佐々木智大：吊りボルトと構造ブレース材の座屈を考慮した吊り天井を有する体育館の地震時挙動解析、日本機械学会 [No.16・4] 第 29 回計算力学講演会 CD-ROM 論文集 (2016.9.22-24,名古屋)、151、2016 年
- [2]防災科学技術研究所：大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験報告書-大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験-、第 391 号、2015 年
- [3]一般社団法人建築性能基準推進協会：天井の耐震改修事例集、2016 年 3 月
- [4]中央防災会議：東南海・南海地震防止対策推進地域の指定基準について、2003 年 9 月
- [5]一般社団法人建築性能基準推進協会：天井の耐震改修のススメ～建築物における天井脱落対策～、2015 年 4 月
- [6]細 政貴、飯山 かほり、石田 孝徳、藤田 航平、山崎 義弘、市村 強、WIJERATHNE Lalith、盛川 仁、堀 宗朗、山田 哲、坂田 弘安、山中 浩明、廣瀬 壮一：統合地震シミュレータ (IES) の仮想構築モデルに導入する MSS モデルとその応用に関する基礎研究、日本地震工学会論文集 第 15 巻、第 7 号 (特集号)、2015 年
- [7]日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能、pp39-56、1981 年
- [8]中央防災会議：南海トラフ巨大地震対策について (最終報告) ～南海トラフ巨大地震の地震像～、2013 年
- [9]内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会 ([http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120905\\_10.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120905_10.pdf))

\*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 博士前期課程

\*2 理化学研究所計算科学研究センター 研究員・博士 (工学)

\*3 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 教授・博士 (工学)

Graduate Student, Grad. Sch. Sim. Studies, University of Hyogo  
Research Scientist, RIKEN Center for Computational Science,  
Dr. Eng.

Prof., Grad. Sch. Sim. Studies, Univ. Hyogo, Dr. Eng.