

既存超高層建築のリスク評価手法を用いた制振補強による費用対効果に関する研究

費用対効果      ライフサイクルコスト      フラジリティ  
地震発生確率      既存超高層建築      制振補強

正会員      ○中西真子\*      同      久田嘉章\*\*  
同      山下哲郎\*\*

1. はじめに

近年、超高層建築には余裕度を見込んだ耐震性能が要求されている<sup>1)</sup>。また、米国では経済性・復旧性を見込んだ耐震性能評価法が提案され、優良な建物を評価している(例えば<sup>2)</sup>)。本研究では工学院大学新宿校舎(以下、大学棟)を対象とし制振による耐震性能向上を経済性によって評価する。まず非制振状態の現状モデルと制振補強モデル<sup>3)</sup>を用いて損傷費用の比較を行う。次に地震発生確率を考慮し、ライフサイクルコスト(以下、LCC)評価を行う。

2. 対象建物及び3次元立体フレームモデル

図1に示す大学棟(1989年施工)は地上29階、地下6階の東西両端にコアを持つ鉄骨造であり、立面・平面図に赤で示す位置に加速度計が設置されている。

大学棟の3次元立体フレームモデルを地震応答解析ソフト SNAP Ver.7(構造システム社)を用いて地上部の構造部材のみ作成している<sup>3)</sup>。立体モデルの固有周期と減衰定数を表1に示す。

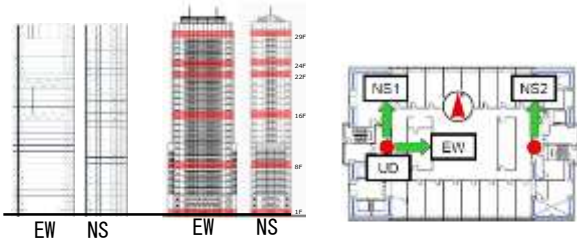


図1 左から軸組図と立面図、平面図(赤は加速度計位置)

表1 固有周期(立体モデルと観測)と減衰定数

方向	次数	固有周期(s)		減衰定数	方向	次数	固有周期(s)		減衰定数
		立体モデル	311地震観測				立体モデル	311地震観測	
NS	1	3.038	3.08	0.019	EW	1	2.936	2.96	0.012
	2	0.966	0.95	0.012		2	1.015	0.99	0.012
	3	0.496	0.47	0.03		3	0.543	0.502	0.03

3. 損傷費用期待値の算出方法

文献の手法<sup>4)</sup>を参考に式(1)から損傷費用期待値  $E[C_D]$  を算出する。ここで式中の  $P[Safe]$ 、 $E[C_D|Safe]$  はそれぞれ建物が修理可能な場合の確率と損傷費用期待値、一方  $P[Fail]$ 、 $E[C_D|Fail]$  は、建物が修理不可能な場合の確率と損傷費用期待値である。

$$E[C_D] = P[Safe]E[C_D|Safe] + P[Fail]E[C_D|Fail] \quad \dots(1)$$

3.1 損傷費用期待値の算出方法

修理可能な損傷費用は建物と収容物の損傷費用、建物復旧期間中の収益損失額の3つを合計し評価する。

3.1.1 建物の損傷費用

建物の損傷費用は、図2に示すフラジリティ曲線から得られる、各層の「損傷状態確率」と対象建物の「修理・再調達費用」(図3)、「損傷状態と修理・再調達費用率<sup>4)</sup>」(表2)の3つを乗じて各層の損傷費用を算出し、全層を合計し建物全体の損傷費用を算出する。

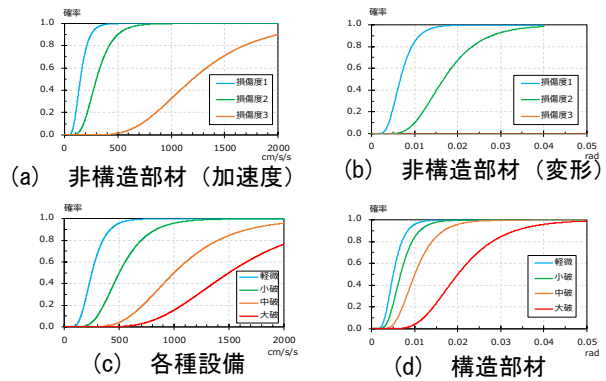


図2 各フラジリティ曲線

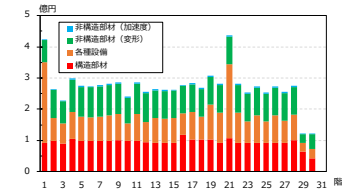


図3 各階の修理・再調達費用

表2 損傷状態と修理・再調達費用率の関係

修理・再調達費用率	0%	2%	10%	50%	100%
被害度	無被害	軽微	小破	中破	大破
損傷度	—	損傷度1	損傷度2	損傷度3	—

3.1.2 収容物の損傷費用

建物の損傷費用と同様の方法で算出する。ここで修理・再調達費用は建物と収容物とで同額と仮定し<sup>4)</sup>、フラジリティ曲線は図2-(c)を用いる。また、損傷状態と修理・再調達費用率は表3とする<sup>4)</sup>。

表3 損傷状態と修理・再調達費用率の関係<sup>4)</sup>

損傷度	無被害	軽微	小破	中破	大破
修理・再調達費用率	0%	0.01%	0.05%	0.25%	0.50%

### 3.1.3 収益損失額

対象建物がオフィスビルであると仮定し、式(3)より算出する<sup>4)</sup>。E<sub>0</sub>は平常時一日あたりの収益、D<sub>lost</sub>は建物の損傷による累積損失日数である。収益 E<sub>0</sub>は、=0.056 億円/日とし、累積損失日数 D<sub>lost</sub>は、図4より算出する。

$$C_{\text{収益損失}} = E_0 \times D_{\text{lost}} \quad \dots (3)$$

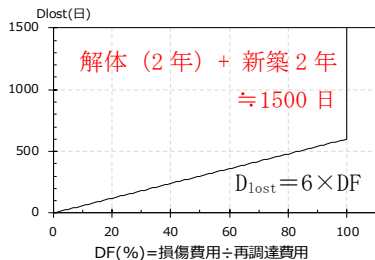


図4 本研究で用いる損傷費用—累積損失日数関係

### 3.2 修理不可能な場合の損傷費用

建物の再調達費用+収容物の再調達費用+修復期間(1500日)×売上高 E<sub>0</sub> (0.056 億円/日)より算出する。

### 4. 応答解析による対象建物の損傷費用期待値算出

補強無しの現状モデル(以下、D00)と、44本・64本・88本のダンパーで制振補強を行ったモデル<sup>3)</sup>(以下、D44、D64、D88)を用いて損傷費用の比較を行う。

#### 4.1 入力地震動

地震動レベルは従来のL1・L2に加え、L2の1.5倍のL3とした。また、ランダム位相と振幅のバラツキを考慮するため、12種類の乱数を用い、対数正規分布(σ=0.4)で振幅にバラツキを与えた50波を用いて検証を行う。

#### 4.2 応答解析による損傷費用期待値の算出

以上のモデルと入力地震動を用いた応答解析により損傷費用期待値を算出した結果を図5に示す。制振補強を行うことで損傷費用の低減が確認出来る。L2、L3地震動では制振化費用を見込んだ総価格(ダンパー一基当たり1,000万円と仮定)でも補強のメリットがあった。

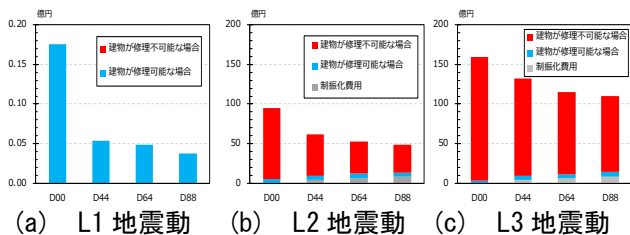


図5 損傷費用期待値算出結果(億円)

### 5. ライフサイクルコスト評価

損傷費用期待値と地震発生確率から、建物の供用期間と期待LCCの関係を算出する<sup>4)</sup>。地震発生確率は、東京都の設計指針<sup>1)</sup>によるモデル(以下、工学モデル)および、地震学の知見を踏まえた地震動予測地図<sup>5)</sup>によるモデル(以下、地震学モデル)を用いる。工学モデルは表4の値を、地震学モデルはJ-SHISによるデータ<sup>5)</sup>を使用した。図6に、建物の供用期間と期待LCCの関係をモデル別に示す。両者で結果が大きく異なっていることが分かる。

表4 構造設計指針<sup>1)</sup>の地震動レベル別の年超過確率

地震動レベル	超過確率	年発生確率	再現期間	入力波最大速度振幅の平均値
L1	50年で50%	0.0138	72.6年	8.9cm/s
L2	50年で10%	0.0021	475年	44.3cm/s
L3	50年で2%	0.000404	2475年	66.5cm/s

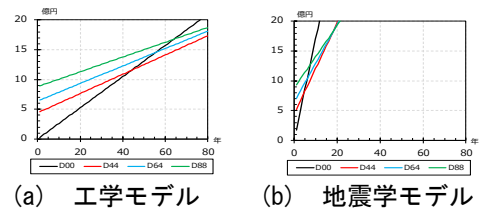


図6 供用期間—期待LCCの関係

### 6. まとめ

非制振と制振補強モデルにより損傷費用期待値を算出した結果、損傷費用は大きく低減し、制振化を含む総価格でもメリットがあった。次にLCC評価を行ったが、用いる発生確率により結果が大きく異なった。今後は工学と地震学が融合した確率評価モデルの作成が重要と考える。

#### 謝辞

文部科学省・私学ブランディング事業の助成を頂いております。また、防災科学研究所 J-SHIS のデータを使用させて頂きました。

#### 参考文献

- 1) 東京都財務局；東京都臨海部に建設される超高層建築物等の設計目標の目安，構造設計指針，2018.
- 2) Federal Emergency Management Agency；HAZUS99 technical manual, 1999.
- 3) 中西真子ほか；長周期・長時間地震動や活断層近傍の強震動など極大地震動を考慮した都心に建つ既存超高層建築の制振補強に関する研究，日本地震工学会論文集，第18巻 第2号，2018.
- 4) 高橋雄司ほか；地震危険度の高い地域の建物を対象とした地震リスクマネジメント，日本建築学会構造系論文集 第591号 pp.25-33, 2005.
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；全国地震動予測地図2018年度版，2018.
- 6) 国土交通省；マンションの修繕積立金に関するガイドライン，2011.
- 7) 工学院大学 久田研究室；公開プログラムデータ

\*元工学院大学大学院生

\*\*工学院大学建築学部教授

\*Former Kogakuin Univ Graduate School

\*\*Kogakuin Univ Professor of Faculty of Architecture