

座屈拘束ブレースを設置した超高層鋼構造骨組の長時間地震時挙動解析

正会員 ○武田 拓*
同 磯部 大吾郎**低サイクル疲労 座屈拘束ブレース 超高層鋼構造骨組
地震時挙動解析 ASI-Gauss 法

1 緒言

科学技術の発展に伴い我が国の都市近郊では高層建造物が増加の一途をたどっており、地震時の被害を軽減するために制振技術の適用・開発が盛んに行われている。その中で、中心鋼材に低降伏点鋼を用い、その周囲をモルタルと鋼管で覆い座屈を拘束し、安定的に塑性化させることにより制振する座屈拘束ブレースは、メンテナンス性が高いためよく用いられる。しかし、既往の研究[1]により低降伏点鋼は繰り返し荷重を受けることで疲労破断を起こすことが示されており、長時間地震動のような外乱下では座屈拘束ブレースの制振機能が消失する恐れがある。そこで本稿では、座屈拘束ブレースの低サイクル疲労破断を考慮した上で、長時間地震である南海トラフ沖地震を受けた際の超高層鋼構造骨組の挙動を有限要素法解析する。得られた解析結果を基に、長時間地震動を受けた際の超高層鋼構造骨組に設置されたブレースの制振機能を評価する。解析手法には大規模な骨組構造の挙動を低コストで解析することができる ASI-Gauss 法[2]に基づく有限要素解析コードを用いる。

2 超高層鋼構造骨組の地震時挙動解析

2.1 疲労破断アルゴリズム

座屈拘束ブレースの疲労破断条件には、以下の式で定義する累積塑性変形倍率を用いる。

$$\eta_f = \frac{\sum \varepsilon_p}{\varepsilon_y} \quad (1)$$

ここで ε_p は塑性ひずみ、 ε_y は降伏ひずみ(降伏応力/ヤング率)である。 $\sum \varepsilon_p$ は座屈拘束ブレースの履歴曲線における塑性ひずみの総和である。今回解析対象とする座屈拘束ブレースに用いられている中心鋼材の降伏応力は 225N/mm^2 、ヤング率は $2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ であるため、降伏ひずみは 1.09×10^{-3} となる。疲労試験[3]の結果から破断時の累積塑性変形倍率は1,261とした。

2.2 解析モデル

解析対象は、地上31層、高さは129.7m、平面形状は $50.4\text{m} \times 36.0\text{m}$ の事務所ビルとし、ブレース無しモデル[4]及びブレースを設置したモデルの2種類を作成した。ブ

レース無しモデルは総要素数 23,115、総節点数は 14,674、固有周期は X(NS)方向が 2.94 秒、Y(EW)方向が 3.36 秒である。ブレースを設置しているモデルは要素数 25,719、節点数 16,844 である。固有周期は X(NS)方向が 2.61 秒、Y(EW)方向が 2.96 秒である。なお、ブレース有りモデルに関しては、疲労破断を考慮しない場合とする場合の 2 通りで解析を行った。ブレース有りモデルの概観を図 1 に示す。以降、行った 3 種類の解析について、座屈拘束ブレースが設置されていないモデルの解析を case A、座屈拘束ブレースが設置されており、疲労破断が考慮されていないモデルの解析を case B、座屈拘束ブレースが設置されており、疲労破断が考慮されているモデルの解析を case C とする。

2.3 解析条件

本解析の加振波には、防災科学技術研究所地震研究グループによって作成された南海トラフ地震模擬地震波(大阪波)[5]の 200%を用いる。500 秒と長い揺れである

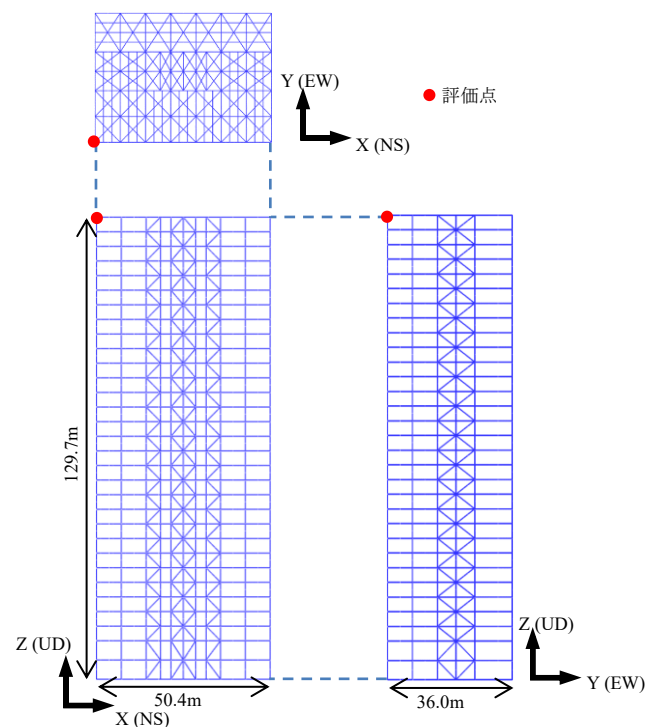


図1 座屈拘束ブレース有りモデルの平面図と立面図

が、ここでは大きな揺れとなる 100 秒時から 500 秒時までを使用し、以降、原波 100 秒時を解析時刻 0 秒時とする。時間増分および入力データの時間刻みは 0.001 秒である。

3 解析結果

まず、case A と case B モデルを比較する。case A は全体的に応答変位が大きく、加振から 165 秒付近より 1 階部分が NS 方向に層崩壊し、続いて 220 秒付近で 2 階部分が斜め方向に層崩壊した。これは、長時間地震により柱に想定を超えた負荷がかかったためだと考えられる。層崩壊の様子を図 2 に示す。一方、case B では初期の段階から応答変位が抑制されており、全ての加振を終えても層崩壊は見られなかった。以上より、座屈拘束ブレースによる制振性能が確認された。

次に case B と case C それぞれの結果を比較する。図 1 の赤点で示す評価点における応答変位の時刻歴を図 3 に示す。図 3 より、最初の破断が発生した 160 秒後以降、疲労破断を考慮した case C の方が大きくなっていることが分かる。図 4 には、case C における座屈拘束ブレースの破断状況を示す。NS 方向の第 2 ピークの地震加速度が作用する 160 秒付近から、1 階、2 階の低層階で座屈拘束ブレースが破

表 1 固有周期の比較

	case A(解析初期)	case B(解析初期)	case C (解析終了時)
NS 方向	2.94	2.61	2.70
EW 方向	3.36	2.94	3.29

単位：[s]

断し始めた。その後、加振されるにしたがって下層から破断していった。加振を終えた 400 秒時点では 9 階までにおいて 114 本のブレースが破断しており、10 階以上ではブレースの破断が見られなかった。解析初期の case A、case B のモデルの固有周期、解析終了時の case C のモデルの固有周期を表 1 に示す。座屈拘束ブレースが疲労破断した状態での固有周期は NS 方向が 2.70 秒、EW 方向が 3.29 秒となり、躯体の固有周期が座屈拘束ブレースを設置していないモデルのものに近づくことが確認された。

4 結言

本研究では、座屈拘束ブレースが設置された超高層鋼構造骨組と設置されていない超高層鋼構造骨組をモデル化し、中心鋼材の疲労破断アルゴリズムを導入した ASI-Gauss コードを用いて南海トラフ地震の想定波を入力した際の挙動を解析した。解析結果から、長時間地震時の制振ブレースの性能に関して以下の知見が得られた。

- 南海トラフ地震のような長周期かつ長時間地震の際は、制振ブレースが疲労破断することにより、建物の固有周期が座屈拘束ブレースを設置していないモデルに近づく可能性がある。
- 制振ブレースの破断は主に低層階で発生し、高層階では制振ブレースの破断が見られない。

今回用いた破断アルゴリズムは疲労試験の結果を基に作成したものである。今後は、制振ブレースが設置された構造物全体のねじりと制振ブレースの破断関係を調査する予定である。

参考文献

- [1] 佐伯英一郎 他：低降伏点鋼の低サイクル疲労促成に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 472 号，pp.139-147，1995.
- [2] Daigoro Isobe: Progressive Collapse Analysis of Structures Numerical Codes and Applications, Butterworth-Heinemann, 2017.
- [3] 中村博志 他：実大アンボンドブレースの疲労試験に関する研究，新日鉄技報第 372 号，1999.
- [4] 宮村倫司 他：ソリッド要素でモデル化した超高層鋼構造骨組の地震時応答解析，日本建築学会構造系論文集，第 755 号，pp.39-49，2019.
- [5] 長周期地震予測地図作成等事業平成 23 年度成果報告書，文部科学省研究開発局，独立行政法人防災科学技術研究所，2012.

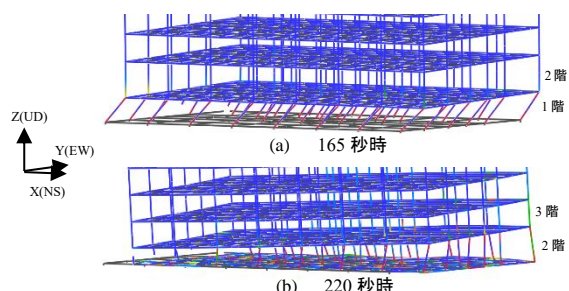


図 2 1 階および 2 階の層崩壊の様子 (case A)

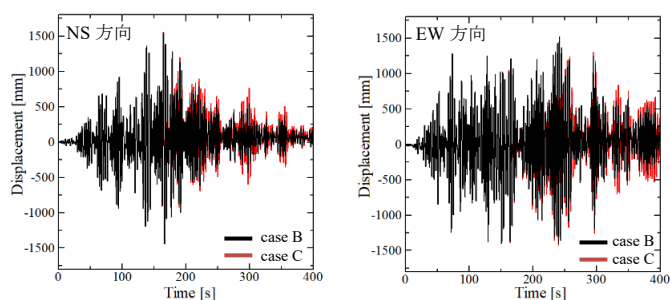


図 3 応答変位の比較 (case B と case C)

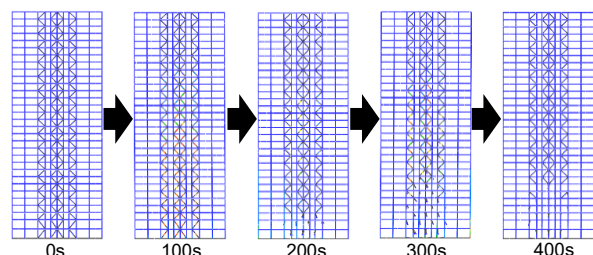


図 4 case C の解析結果 (正面図)

*筑波大学大学院 システム情報工学研究科 大学院生

**筑波大学 教授・博 (工)

*Graduate Student, Univ. of Tsukuba

**Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.