

「極大地震に対する鋼構造建築物の倒壊防止に関する設計・評価技術の開発」(平成31年度～令和3年度) 評価書(年度)

令和 2年 2月18日(火)

建築研究所研究評価委員会

構造分科会長 林 静雄

1. 研究課題の概要

(1) 背景及び目的・必要性

今後、発生が懸念される首都直下地震や巨大海溝型地震などでは、これまでの設計の想定よりも大きな速度応答スペクトルの地震動や長い継続時間の地震動(大きなエネルギー・スペクトルの地震動)が建築物に作用する可能性がある。現在、相模トラフ沿いの地震についての検討が行われており、そこで想定される地震動は、1～2秒程度の短周期領域での速度応答スペクトルが、地域によっては現状の耐震基準の数倍程度のレベルになることが予想されている。このような地震動に対して、現状の耐震基準で設計されている中低層建築物には大きな損傷が生じることが予想され、建築物の倒壊や崩壊の危険性も考えられるレベルである。このような、現行基準法の極稀地震のレベルを超えるような極大地震動に対して、建築物の倒壊、崩壊を防止するためには、建築物の最大耐力以後の終局状態の挙動の解明と倒壊防止のための評価法、設計法の確立が急務である。

このような極大地震動に対する鋼構造建築物の倒壊、崩壊挙動では、梁端部の破断とともに柱にもヒンジが発生して、最終的には柱の座屈や破断による耐力低下によって建築物が崩壊すると考えられる。鋼構造建築物の倒壊、崩壊を防止するためには、柱の局部座屈や破断に伴う耐力劣化現象を解明し、それを評価する方法が必要となる。前年度までの課題では、梁端部破断までの疲労限界性能とそれを用いた評価法を検討した。そこで本研究課題では、鋼構造建築物の倒壊や崩壊を防止するために、鋼構造柱部材の破断や局部座屈に関する疲労限界性能の検討を行うとともに、柱の耐力劣化による建築物の倒壊を防止するための評価法や設計法を確立することを目的として、実験的、解析的検討を行う。

また、鋼構造建築物では、構造躯体が内外装材に覆われているために、地震後に梁端部等で破断が生じているかどうか容易に確認できない。前年度までに実施した梁端部の損傷検知手法のうち、実用化の可能性が高いと判断された手法について、外装材等の非構造部材や床スラブなどがある場合の影響を調べるための実験的検討を行う。

相模トラフ沿いの地震については、近々に、内閣府等から情報が公表されると考えられる。それに対して、建築物がどのような応答になるか等を適切に評価し、倒壊や崩壊を防止する方法を確立することは、建築研として重要な任務と考えられる。

(2) 研究開発の概要

本研究課題では、鋼構造建築物の柱部材の破断や局部座屈に関する疲労限界性能の検討を行うとともに、柱部材の耐力劣化による建築物の倒壊を防止する評価法や設計法を確立することを目的として、実験的、解析的検討を行う。また、地震後の梁端部等の破断等の損傷検知手法に関しては、実用化の可能性が高いと考えられる手法を対象にして、外装材等の非構造部材の影響を調べるための検討を行う。

1) 鋼構造柱部材の破断や局部座屈に関する疲労限界性能の検討

鋼構造建築物の柱部材に関して、繰り返し変形に対する柱の破断や局部座屈による耐力劣化までの限界繰り返し性能を明らかにするために、一定振幅での多数回繰返し载荷による実験を行い、柱の疲労限界性能曲線を検討する。

2) 柱部材の破断等を伴う鋼構造建築物の倒壊を防止するための評価法と設計法の検討

柱の破断や局部座屈による耐力劣化による建築物の倒壊を防止するための評価法や設計法を確立することを目的として、振動台実験や相模トラフ沿いの巨大地震で想定される地震動による地震応答解析等を行う。また、柱の疲労限界性能曲線を考慮した評価法としてエネルギー法による評価法について検討し、建築物の倒壊を防止するための設計法を検討する。

3) 地震後の鋼構造建築物の梁端部破断等の推定のための非構造部材等の影響を考慮した実用的な損傷検知手法の検討

地震後に梁端部の破断が容易に確認できないと考えられる鋼構造建築物の安全性確保を目的として、前年度までの検討で実用化の可能性が高いと判断された手法（地震計の加速度の積分、スマホによる被災度評価、ピエゾセンサによる破断検知、等）について、外装材等の非構造部材等がセンサの検知に及ぼす影響を調べるための実験的検討を行う。

(3) 達成すべき目標

- 1) 鋼構造建築物の柱部材の破断や局部座屈による耐力低下を考慮した疲労限界性能曲線式の提示。
- 2) 柱部材の破断等による鋼構造建築物の倒壊までの評価法と倒壊防止に関する設計法に関する技術資料の提示。
- 3) 実建物の地震後の梁端部の破断の発生の推定が可能な実用化も考慮した手法に関する技術資料の提示。

(4) 1年度の進捗・達成状況

1) 鋼構造柱部材の破断や局部座屈に関する疲労限界性能の検討

繰り返し変形に対する鉄骨柱の破断や局部座屈による耐力劣化までの限界繰り返し性能を把握するために、一定振幅での鋼管柱試験体の多数回繰返し载荷による実験を行った。実験パラメータは、幅厚比 (19、29)、軸力比 (0.15、0.30)、せん断スパン比 (4.9、7.0)、载荷履歴 (一定振幅 (1.0 θ p、1.5 θ p、2.0 θ p)、漸増载荷) であり、合計 20 体の実験を行い、柱部材の限界繰り返し性能に関する基本性状を把握した。

2) 柱部材の破断等を伴う鋼構造建築物の倒壊を防止するための評価法と設計法の検討

柱の局部座屈や破断等の耐力劣化によって建築物が倒壊する現象を明らかにするために、角形鋼管柱試験体の振動台実験を実施した。実験パラメータは、鋼管柱の幅厚比 (FA ランク 3 種) と地震動特性 (直下型地震、長継続時間地震の 2 種) であり、合計 6 体の試験体の実験を行い、地震動による動的な応答下における柱部材の限界繰り返し性能として柱せん断力-部材角関係を明らかにした。幅厚比が小さい試験体は、最終状態で破断が生じたが、幅厚比が大きい試験体は局部座屈となった。

柱の疲労限界性能曲線をエネルギー法告示に適用するための検討として、試設計建物モデルを用いた地震応答解析を行った。解析結果から、層の等価な繰り返し回数と柱部材の等価な繰り返し回数の比を明らかにし、9 層建物モデルへの適用を試みた。

3) 地震後の鋼構造建築物の梁端部破断等の推定のための非構造部材等の影響を考慮した実用的な損傷検知手法の検討

地震計の加速度記録を積分し、梁端の疲労性能評価式を使って、梁端部の損傷を検知する方法の実建物への適用として、過去にE-ディフェンスで行われた3層鉄骨造建物の振動台実験のデータを用いて適用性を検証した。建物各層の慣性力-層間変形関係については、建物各階の地震計の加速度記録の積分と変位計の比較であり、精度よく再現できているのがわかる。また、得られた履歴から梁端部の損傷度Dを計算することで、建物の梁端部の亀裂や破断等を概ね推定できることが明らかとなった。

地震後の鉄骨部材の局部座屈の状況を検知する方法として、小振幅の地震動による応答から得られる局所剛性分布を用いた検出法について、角形鋼管柱試験体の振動台実験を用いて検討した。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見（担当分科会名：構造分科会）

- 1) 東北地方太平洋沖地震以降、現行の耐震基準の数倍を超える速度応答スペクトルの可能性が議論されている中、こうした想定極大地震動入力に対する建物健全性と、設計、損傷評価の総合的に進められている。研究目的に向け、着実に成果が上げられている。内閣府が進める相模トラフ沿いの超巨大地震の長周期地震動の想定等の公表経過に合わせて、既存・新設建物の挙動と損傷の程度、損傷推定の検知法の開発研究成果の公表をタイムリーに進めて欲しい。
- 2) 発生とその地震動による首都圏への影響が懸念されている相模トラフ沿いの巨大地震に対して取り組んでいる課題であり、社会的ニーズは高いと認められる。巨大な外力に対する建物の耐久性という難しい課題に取り組んでいるものとする。地震現象は地震動のみをとっても予測が困難な面があり、このような耐震限界を超えるような事象の検討も社会的に必要であるとする。計画している設計用疲労限界性能に関する評価結果が得られることなど、研究の進展に期待する。
- 3) 近年は、倒壊するかどうかだけでなく、事業継続性などが求められるようになってきており、法のレベルを超えた地震動に対して建物の挙動がどのようになっているのかを確認できるのは社会のニーズに合っていると思う。実際の設計への適用を考える場合は、実務者との連携も考えていただければと思う。
- 4) 3)のテーマは、地震計が設置されている建物は高層建物や免震建物などごく一部の建物に限られているため、簡便な方法による手法も検討する必要があると思う。また、スマホなど普及している機器でも、加速度を測定できる状況になってきているが、それら機器の精度でも、変形を適切に評価できるかの確認も必要かと思う。
- 5) 極大地震に対する鋼構造建築物の倒壊防止に関する研究は重要な課題とする。多くの研究機関と連携した体制となっているが、論文や学会発表などには表れていない。連携を実効化してほしい。
- 6) 実用的な損傷検知手法を構築したのち、それをどのように社会実装するのが見えにくい。歪ケージを用いた損傷の検知などは、極めて多くの建物が被害を受けた状況で適用しにくく、社会実装するための社会的仕組みづくりやコストも含めた裏付けを示しながら、研究を進めていただきたい。
- 7) 中低層鉄骨造建築物の耐震性強化に必要な基礎的な研究開発がされていると思われるが、試験体サイズが小さい印象を受けた。この成果を実務へ「安心して」展開するには、建築研究所が誇る大型実験装置を用いてより大断面の試験体を用いた実験も行って破断・座屈といった破壊現象におけるスケール効果の目安を把握しておく必要があると思われる。
- 8) 構造設計に資するデータ取得は順調に進捗していると判断できる。一方、被災後の損傷検知の研究開発には進捗が遅れている印象を受けたので、次年度は注力していただきたい。
- 9) 最近、建設棟数が多い中低層鉄骨造建築物の耐震性強化は是非とも必要であるが、用途が事務所・倉庫・工場・体育館・商業施設など幅広く、それに応じた構造の形式・詳細・慣行が存在する。この研究開発がそのすべてをカバーするとは思えず、社会的ニーズが高いものから進めていかざるを得ないが、残った課題に対する配慮を忘れてはならない。常に全体最適を意識した研究開発をお願いしたい。
- 10) 設計法の確立までが目標ということであれば、スケール効果やひずみ速度の影響など、既往の研究で

もよいと思うので、バックデータを整備しておくことが必要でしょう。

参考：建築研究所としての対応内容

1)、2)

内閣府が進める相模トラフ沿いの巨大地震に対する検討と情報共有しながら、地震応答解析等の検討を進め、それらの成果を適宜公表していきたいと思います。

3) 極大地震に対する倒壊防止のための評価法、設計法の提示が最終的な目標ですので、実務者との連携も図りながら検討を進めていきたいと思います。

4) 本研究では、簡便な手法としてスマホを使った検知手法も検討対象にしており、ここで実施している振動台実験では、スマホも設置して加速度記録を計測しています。スマホによる損傷検知とサーボ型の地震計による検知の比較なども検討していきたいと思います。

5) 得られた研究成果は、適宜、論文等として公表するように努めたいと思います。

6) ここで検討した損傷検知手法が、応急危険度判定や被災度区分判定などに直接的に使用できるように、それらの判定基準と損傷検知の結果の対応なども検討しながら進めたいと思います。また、歪みゲージを用いる方法の実施例の調査やコストなどについても検討していきたいと思います。

7)、10)

大きな断面の試験体を用いた実験は重要と思います。来年度以降の予算配分にもよりますが、大きな断面の試験体の実験可能性は検討したいと思います。また、数年前に基整促の共同研究で、大断面の柱試験体の多数回繰り返し実験を実施しており、そのデータも有効に活用しながらスケール効果等の影響を検討していきたいと思います。

8) 予算の関係で損傷検知の検討のための振動台実験は、2年目に実施予定となっています。実用化も考慮して外装材の影響などを検討する予定であり、着実に実験ができるように、計画を進めていきたいと思います。

9) ご指摘の通り、倉庫、工場、体育館などは、ブレース構造である場合が多く、そのような構造形式に適用する上で、必要となる研究課題なども見据えながら検討を進めていきたいと思います。

3. 評価結果

- A 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができる。
- B 研究開発課題として、目標の達成を概ね見込むことができる。
- C 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができない。