

「過大入力地震に対する鋼構造建築物の終局状態の評価手法と損傷検知に関する研究」(平成28年度～平成30年度) 評価書(年度)

平成29年2月24日(金)
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。このような過大入力地震に対して、鋼構造建築物の倒壊、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(梁端部の破断や局部座屈発生後の挙動)の解明やその評価手法を確立しておく必要が有る。

現在、国土交通省で検討されている長周期地震動に対する対策においても、検討中の設計用長周期地震動のレベルは、地域によってはこれまでの設計用地震動の2倍程度の擬似速度応答スペクトルであり、このような地震動に対する超高層鉄骨造建築物の地震応答解析では、1/50rad程度の最大層間変形角になり、梁端部にも破断が生じることが予想されている。しかしながら、現状の一般的な地震応答解析では梁端部の破断を考慮できないため、実際の建物応答を反映できていないと考えられる。また、予測地震動がかなり大きい場合には、経済性の観点から現状のクライテリアに収めるような設計が困難な場合もあり、そのためにも建築物の最大耐力以後の終局状態の評価は、今まで以上に必要になると考えられる。

一方で、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、大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。このような場合、建物管理者の迅速で適切な判断や居住者の安全を確保するためには、建物の梁端破断の可能性やその部位等を即座に推定する手法が必要となる。

本研究課題では、このような過大入力地震に対する鋼構造建築物の梁端部の破断や局部座屈発生、及び、その後の建築物の倒壊までの終局状態の挙動を評価するための手法を提示することを目的として、実験的、解析的検討を行う。また、地震後に実建物の梁端部等に破断が生じているかどうか観測記録等を用いて推定するための手法を提示することを目的として、実験的、解析的検討を行う。

今後、内閣府等からこれまでの設計の地震動レベルよりも大きな地震動が公表される可能性があり、それに対して、現行規定で設計されている建築物がどのような応答になるか等を適切に評価できる手法を確立することは建築研として重要と考えられる。

(2) 研究開発の概要

本研究課題では、過大入力地震に対する鋼構造建築物の梁端部の破断等と、その後の建築物の崩壊までの終局状態を評価するために、梁端部の限界繰返し性能を把握するための実験的検討を行うとともに、同一層内の梁の連続的な破断現象等を明らかにするための実験的、解析的検討を行う。また、地震後に内外装材に覆われている建物の梁端部等に破断が生じているかどうかを推定するために、地震計等の観測記録を用いて鋼構造建築物の梁破断を検知するための実験的、解析的検討を行う。これらの2つの項目の具体的な研究計画を以下に示す。

(1) 過大入力地震に対する鋼構造建築物の梁端部の破断等による終局状態の評価手法の検討

過大入力地震に対する鋼構造建築物の梁端部の破断や局部座屈の発生から建築物が崩壊に至るまでの終局状態を評価するために、以下の実験的、解析的検討を行う。1) 一般的な鋼構造建築物の梁端部に関して、繰返し変形による梁端部の破断等による限界繰返し性能を明らかにするために、継続時間が長い地震を想定した小振幅による塑性変形性能と首都直下地震を想定した大振幅での塑性変形性能を実験的に明らかにし、設計用の性能曲線を提示する。2) 建築物の梁端部の破断や局部座屈発生後、建築物が崩壊に至るまでの終局状態の評価手法を構築することを目的として、同一層内で梁端部が連続的に破断する場合の挙動等を実験的に明らかにする。また、このような梁端部の破断や柱の座屈等を考慮した解析方法の検討やエネルギー法による評価について検討する。

(2) 地震後の鋼構造建築物の梁端部破断の推定のための観測記録等を用いた破断検知手法の検討

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、実建物において梁端部の破断部位を即座に推定するための手法として、地震計等の観測記録を用いる方法や層間変形の履歴を記録できるような手法等について実験的、解析的検討を行う。

(3) 達成すべき目標

- 1) 過大入力地震に対する鋼構造建築物の梁端部破断等の設計用の性能（疲労）曲線式と梁破断等を考慮した建物崩壊までの解析方法や評価手法に関する技術資料の提示。
- 2) 実建物の地震後の梁端部の破断の発生やその位置の推定が可能となる手法に関する技術資料の提示。

(4) 28年度の進捗・達成状況

(1) - 1) 梁端部破断までの限界繰返し性能に関する検討

梁端部の限界繰返し性能に関する基本性状を把握するために、梁ウェブの継ぎ手効率の影響がない状態（柱を極厚H形鋼とし治具とした状態）での多数回繰返し実験を行った。実験パラメータは、スカラップの有無、梁の幅厚比（FA、FC）、梁長さ（短、標準、長）、載荷履歴（一定振幅（ $2\theta_p$ 、 $3\theta_p$ 、 $4\theta_p$ ）、漸増載荷）であり、合計28体の梁端部の実験を行い、これらのパラメータの影響を考慮した梁端部の限界繰返し性能を把握できた。実験を効率的に行うため、1年目は柱を治具とした28体の梁の実験を行い、上記の必要と考えられるパラメータについて実験を行った。2年目は、実際の角形鋼管柱の場合の影響について検討し、3年目は床スラブ等の影響について検証実験を行うこととした。

(1) - 2) 建築物の終局状態の評価手法に関する検討

3層で3×3スパンの典型的な鉄骨造ラーメン構造の事務所ビルを試設計し、そのモデルを用いた地震応答解析を行った。梁破断までの限界性能を変化させた地震応答解析を行い、梁破断までの限界性能の影響や梁破断を考慮する場合としない場合の地震応答に及ぼす影響を検討した。破断を考慮した場合には、1割程度小さな入力エネルギーで建物倒壊に至ることが明らかになった。

同一層内の梁端部が連続的に破断する場合の挙動を再現するための2スパン骨組の振動台実験を計画し、治具等を製作した。

(2) 地震後の鋼構造建築物の梁端部破断の推定のための観測記録等を用いた破断検知手法の検討

鉄骨造建築物の地震後の梁端部の亀裂や破断等を検知するために手法として、本研究では、半導体歪み、ピエゾセンサ、加速度記録の積分、加速度記録に基づく振動数変化、梁端部残留歪み、を用いる手法について検討を行うこととした。これらの手法の適用可能性や検知方法を検討するための実験として、1層1スパンの骨組試験体2体を用いた振動台実験を行い、梁端部の亀裂等の損傷を検知できる可能性があることがわ

かった。また、検討すべき課題などを抽出した。

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) 鋼構造建築物の損傷検知に関しては、躯体の損傷よりも2次部材の損傷による振動数への影響が大きいと考えられ、局所的なモニタリングがよいのではないかと。また、検討している手法では、超高層に適しているものと中低層に適したものなど、区分があるように思う。
- 2) 大きな地震が来た時に建築物の性能がどの程度低下しているかを評価できるとよい。実際に複数回地震で、梁端の性能がどれくらい低下しているかを評価できることが望ましい。
- 3) 日本鋼構造協会などとも、十分に連携して研究を進めていただきたい。
- 4) 損傷検知は難しい課題であり、いろいろな角度から検討していただきたい。
- 5) テーマの重要性を考えるとさらに資源を投入すべきであり、より広範囲な鋼構造建築物への適用の拡大が望まれる。
- 6) 鋼構造建築物の梁端部破断等を評価する設計用性能曲線の提案については、実務で活用できる成果を期待する。
- 7) 地震学的検討結果を効果的に取り入れて研究を進めていただきたい。
- 8) 最終目標に向けて最大の成果が得られるよう、実験結果に基づき柔軟に研究方針や手順の修正を進められるよう、共同研究者間のコミュニケーションを図りながら研究を進めていただきたい。

参考：建築研究所としての対応内容

- 1) 本研究課題で検討している各種センサーに及ぼす2次部材の影響なども視野に入れて、検討をすすめて参りたい。また、適用範囲としての建物規模や高さ、構造形式等の観点についても検討して参りたい。
- 2) 地震後に梁端部の損傷状況が把握でき、残存性能等が評価できるような検知手法を目指して検討して参りたい。
- 3)、8) 共同研究を締結している協会や大学などと、十分に連携を図りながら検討を進めて参りたい。
- 4) 損傷検知に関しては、既往の研究なども十分に参考にし、実用化も視野に入れて検討を進めて参りたい。
- 5) 中低層建物から超高層建物までの、より広範囲な鋼構造建築物への適用を視野に入れて検討を進めて参りたい。
- 6) 設計実務で活用できるような設計用性能曲線や評価法の提案を目指して検討を進めて参りたい。
- 7) 地震動特性の影響なども踏まえた損傷評価法や検知手法を提示できるように検討を進めて参りたい。

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。