

# 「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30年 3月 5日(月)

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) 29年度の進捗・達成状況

#### (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

##### (1)-1) 梁端部破断までの限界繰返し性能に関する検討

柱を角形鋼管とした梁端接合部試験体（通しダイアフラム形式）の多数回繰返し実験を行った。実験パラメータは、柱断面（□-300x9、□-300x12）、スカラップの有無、梁の幅厚比（FA、FC）、載荷履歴（一定振幅（ $2\theta_p$ 、 $3\theta_p$ 、 $4\theta_p$ ））であり、合計8体の梁端部の実験を行い、梁端部破断までの限界繰返し性能を把握し、昨年度の結果や超高層建物の梁端部（内ダイアフラム形式）の評価式と比較した。

##### (1)-2) 建築物の終局状態の評価手法に関する検討

実験的検討として、2スパン鉄骨骨組試験体4体の振動台実験を行い、地震動特性（直下型、長継続時間）と梁端ディテール（スカラップの有無）が、骨組の最大耐力までの変形性能とその後の耐力劣化域での応答（劣化勾配等）に及ぼす影響を明らかにした。

解析的な検討として、3層設計建物モデルについて、部材の局部座屈と破断を考慮した地震応答解析を行い、柱梁耐力比、部材ランク、地震動特性の違い（直下型、長継続時間）、梁破断までの限界性能が、建物倒壊に及ぼす影響を検討した。FAランクの部材を用いて、柱梁耐力比が高い場合でも、現行の極稀地震の3倍程度のレベルの地震動で倒壊することがわかった。

これらの検討を基に、梁端部の疲労曲線式により層の限界変形点を設定し、かつ、耐力劣化域も考慮したエネルギー法告示による評価方法を検討した。2種類の地震動（直下型、長継続時間）に対して、4層と9層建物モデルの応答の推定、比較を行った。

#### (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

上記の2スパン鉄骨骨組の振動台実験の試験体に、本研究で検討している検知手法（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、ピエゾセンサ）のセンサを取り付け、これらの手法によ

る梁破断の検知の適用性や精度の検討を行った。

加速度計の記録を積分する方法について検討し、積分した変位がレーザー変位計の値と概ね対応することを確認した。これらの情報から梁端部の損傷を推定する方法を検討する。加速度記録から振動数の変化を計算する方法について検討し、試験体頂部のみの観測（1点観測）により、試験体頂部と基礎部分を観測（2点観測）した場合と同等の結果が得られることを確認した。加振後の上下フランジの残留ひずみの平均値が引張側に移動することを評価して、破断を検知する手法について、複数ヒンジが形成されるフレームでの適用性を検討した。ピエゾセンサにより各加振後に常時微動計測を行い、2スパン骨組の各梁端部の応力振幅の変化により、梁端破断の検知が可能であることを確認した。

## 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) 告示を超える過大入力地震動に対して、中低層鉄骨造建築物を対象とした梁端部の破断等による終局状態の評価手法を検討したもので、エネルギー法告示での損傷評価法の確立に繋がる可能性が高い。耐震設計において、時刻歴応答解析手法ではなく、エネルギー告示手法により、建物の継続使用性を考慮した「性能設計」に結びつくものであれば、大いに社会ニーズに適合すると考える。梁端部の破断検知手法については、一般建物への適用・実用化についての展望がほしい。
- 2) 地震後の損傷検知では、なかなか社会実装が進まないことが現時点での課題である。このような現状も踏まえて、普及・展開しやすい検知方法を検討していただきたい。
- 3) 目標が大きく、実用化までには課題が多いと思うので、この中期計画、前期あるいは後期も含めた間での目標を明確にすることを希望する。例えば、観測記録を用いた地震後の梁端部破断部の推定において、今回の中期計画では研究レベルでの成果が目標なのか、実用化に向けた方策までが目標なのかなど。
- 4) 社会ニーズにあった、建築研究所の存在意義を示す研究であると考え。成果も十分にあげている。本研究の意義は、来るべき巨大地震における被害を軽減することであり、建築研究所がその牽引役を果たしていただきたい。特に、損傷検知については、新技術の開発にとどまらず、社会実装に向けた青写真がより明確になるような、今後の取り組みにも期待したい。
- 5) 建築基準法では、ごく稀地震に対して建物が倒壊しないことを目標としているが、この研究における過大入力地震がごく稀地震よりも大きな地震を想定している場合、基準法におけるクライテリアなど検討しておく必要があると思われる。
- 6) 実務では、告示波を超える地震の場合に建物の損傷がどの程度になるかについても、クライアントに説明する必要がある。そのため、損傷に関する知見も出していただき、建物がどの程度の損傷程度か評価できるようにしていただきたい。

### 参考：建築研究所としての対応内容

- 1) 鉄骨造建築物の終局状態の評価方法として、エネルギー法告示の手法による損傷評価法が確立できるように、引き続き検討を進めていきたい。また、「性能設計」の観点での評価についても考慮しつつ検討を進めていきたい。
- 1)、2)、4)  
地震後の梁端部の破断検知や建物の損傷検知に関しては、IoTなどの最新技術の利用可能性なども考慮し、実際の建物への適用可能性、普及や展開しやすさなどの観点を考慮して検討を進めていきたい。また、社会実装にむけた問題点や展望などを示しつつ検討を進めていきたい。
- 3) 中期計画の前期、後期での目標に関しては、鉄骨造建築物の終局状態の評価手法の検討については、前期では梁端部の設計用疲労曲線式や劣化域での応答に基づく評価法の提案を行う予定であり、後期では、その評価法を用いて、過大入力地震に対する建築物の倒壊防止のための設計法や実用化技術について検

討したいと考えている。破断検知手法の検討については、前期では、振動台実験に基づく提案手法の適用性の検討や評価法の構築が主となるが、後期では、実用化を考慮して、実際の建築物へのセンサの設置など、社会実装を見据えた検討を行いたいと考えている。

- 5) ごく稀地震よりも大きな地震を設計上考慮することについて、建築基準法上での位置付けや現状のクライテリアとの関係なども考慮して検討を進めていきたい。
- 6) 建築物の最大層間変位角や塑性率と損傷状態（程度）の関係などの情報についても、提示できるように検討を進めていきたい。

### 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。