

強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の 梁端に生じる塑性変形に関する研究

研究課題番号 15560495

平成 15, 16 年度科学研究費補助金（基盤研究 (C) (2)）

研究成果報告書

平成 17 年 3 月

研究代表者 小川 厚治
(熊本大学 工学部 教授)

はしがき

本報告書は、平成15年度および平成16年度の2年間継続して、科学研究費補助金の助成を受けて行った研究課題「強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁端に生じる塑性変形に関する研究」の研究成果をまとめたものである。

この研究を進めるにあたっては、京都大学大学院工学研究科 井上一朗教授、京都大学防災研究所 中島正愛教授、同 吹田啓一郎助教授を始めとする多くの皆様から貴重なご助言とご協力を頂きました。ここに記して、深謝いたします。

研究組織

研究代表者：小川厚治（熊本大学工学部・教授）

交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合計
平成15年度	2,100	0	2,100
平成16年度	1,600	0	1,600
総計	3,700	0	3,700

研究発表

[学会誌等]

1. 小川厚治・中原寛章：強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁に生じる塑性変形（その1：最大変形），日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.10，No.39，89-104頁，2003.9
2. 小川厚治・中原寛章：強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁に生じる塑性変形（その2：履歴挙動），日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.10，No.39，105-120頁，2003.9
3. 小川厚治，永元亮太：強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁に生じる最大曲げモーメント，日本建築学会構造系論文集，第580号，121-128頁，2004.6
4. 中原寛章・小川厚治：強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の柱脚に生じる塑性変形，日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.12，No.45，2005.3 掲載予定

[口頭発表]

1. 平野智久・中原寛章・小川厚治：最大層間変位角に基づく鋼構造ラーメン梁の損傷評価に関する研究（その1 解析の概要），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1構造III，657-658頁，2003.9
2. 中原寛章・小川厚治・平野智久：最大層間変位角に基づく鋼構造ラーメン梁の損傷評価に関する研究（その2 最大応答値），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1構造III，659-660頁，2003.9
3. 小川厚治・中原寛章・平野智久：最大層間変位角に基づく鋼構造ラーメン梁の損傷評価に関する研究（その3 履歴挙動），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1構造III，661-662頁，2003.9
4. 中原寛章・小川厚治：強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の柱脚の必要変形性能，日本建築学

会九州支部研究報告, 第43号, 297-300, 2004.3

5. 友澤悟史・中原寛章・小川厚治：最大層間変位角に基づく鋼構造ラーメン柱脚の損傷評価に関する研究（その1 固定柱脚），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1構造III, 957-958頁, 2004.8
6. 永元亮太・中原寛章・小川厚治：最大層間変位角に基づく鋼構造ラーメン柱脚の損傷評価に関する研究（その2 耐力の影響），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1構造III, 959-960頁, 2004.8
7. 中原寛章・小川厚治：最大層間変位角に基づく鋼構造ラーメン柱脚の損傷評価に関する研究，（その3 スリップ型復元力特性の影響），日本建築学会大会学術講演梗概集．C-1構造III, 961-962頁, 2004.8
8. 中原寛章・友澤悟史・小川厚治：鋼構造骨組の柱梁耐力比が損傷集中に及ぼす影響（その1 ラーメン骨組），日本建築学会九州支部研究報告, 第44号, 2005.3
9. 永元亮太・友澤悟史・小川厚治：鋼構造骨組の柱梁耐力比が損傷集中に及ぼす影響（その2 P Δ 効果の影響），日本建築学会九州支部研究報告, 第44号, 2005.3
10. 友澤悟史・小川厚治：鋼構造骨組の柱梁耐力比が損傷集中に及ぼす影響（その3 履歴型ダンパー付骨組），日本建築学会九州支部研究報告, 第44号, 2005.3
11. 川島敏夫・小川厚治：鋼構造骨組の粘性減衰が地震応答に及ぼす影響，日本建築学会九州支部研究報告, 第44号, 2005.3

目 次

第1章 序	
1-1 研究目的	1
1-2 研究概要	2
第2章 梁端の必要変形性能に関する研究	
2-1 強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁に生じる塑性変形（その1：最大変形） ...	3
小川厚治・中原寛章，日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.10，No.39，89-104 頁，2003.9	
2-2 強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁に生じる塑性変形（その2：履歴挙動） ...	19
小川厚治・中原寛章，日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.10，No.39，105-120 頁，2003.9	
2-3 強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の梁に生じる最大曲げモーメント	35
小川厚治・永元亮太，日本建築学会構造系論文集，第580号，121-128頁， 2004.6	
第3章 第2章の周辺領域に関する研究	
3-1 強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の柱脚に生じる塑性変形	43
中原寛章・小川厚治，日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.12，No.45，2005.3 掲 載予定	
3-2 鋼構造骨組の柱梁耐力比が損傷集中に及ぼす影響	59
友澤悟史・永元亮太・中原寛章・小川厚治，日本建築学会九州支部研究報告，第 44号，2005.3	
3-3 鋼構造骨組の粘性減衰が地震応答に及ぼす影響	71
川島敏夫・小川厚治，日本建築学会九州支部研究報告，第44号，2005.3	

第1章 序

1-1 研究目的

1994年のNorthridge地震、および、1995年の兵庫県南部地震によって、鋼構造骨組は未曾有の被害を受けた。特に、鋼構造骨組の多くに梁端破断が認められたことは、現在の鋼構造骨組に関する重大な問題点の暴露となった。その反省から、柱梁接合部の変形性能の評価や、変形性能改善など、その保有耐震性能を再検討するための実験研究が、多くの研究者によって進められてきている。これらの実験研究は、大部分が十字形やト形骨組を対象に、定変位振幅や漸増変位振幅で行われ、最大塑性率や累積塑性変形倍率などの指標で変形性能が整理されている。

一方、地震時には梁端にはどのような応力・変形が生じるのかという、柱梁接合部に要求される必要耐震性能に関する研究としては、魚骨形骨組を用いた広範な地震応答解析に基づく中島・澤泉の研究や、実在骨組の地震応答解析に基づく増田・田中らの研究等が挙げられる。筆者も、鋼構造ラーメン骨組の梁端に生じる最大塑性回転角と累積塑性回転角について、動的応答解析によらず静的手段だけで予測する方法を提示している。

以上のような研究を総括する形で、2001年には日本建築学会「鋼構造接合部設計指針」が刊行され、建設省総合技術開発プロジェクト／「次世代鋼材による構造物安全性向上技術の開発」の成果を纏めた「鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン」も2003年に刊行された。これらの指針では、梁端接合部の最大耐力と梁の全塑性耐力との比である接合部係数を、一定値以上とすることで梁端破断を防止する方針が取られており、接合部係数は、梁端に生じる最大塑性回転角と、実験結果などによる応力上昇率に基づいて決定されている。

しかし、地震時の梁端の変形履歴は、塑性化に伴う層間変位応答の片寄りや、梁上の静的鉛直荷重の影響を受けて、定変位振幅や漸増変位振幅の実験とはかなり異なり、さらに鋼材の複雑な歪硬化特性を考慮すれば、最大塑性回転角や累積塑性回転角などの数少ない指標だけで、梁端の変形性能を評価することは困難である。

本研究では、一般化ヒンジ法を用いた広範な地震応答解析結果に基づいて、鋼構造骨組の梁端の塑性変形履歴を解明した。また、鋼材の複雑な歪硬化特性を組み込んだ1次元有限要素法解析によって、塑性変形履歴と梁端の応力上昇の関係を明確にすることで、接合部係数の合理的評価法を提示している。以上が、本研究課題の当初の研究目的であり、その成果は本報告書の2章に纏めている。

上記の課題は、1年程度で目処が立ち、1年半程度で完了させることができたので、本研究では、その周辺領域にも検討を進めることにした。3章は、そのような周辺領域の研究成果を纏めたものであり、兵庫県南部地震において梁端と同様に多くの被害例が報告された柱脚に生じる塑性変形や、本研究の前提条件である梁降伏先行型の崩壊機構特性を保証するための柱梁耐力比などについて検討を行っている。

1-2 研究概要

前節で述べたように、本研究は大きく2つに分けることができ、第2章は最初から計画していた研究課題に関するもので、第3章は付随的な課題に研究を進展させたものである。各章の成果を以下に要約しておく。

第2章は、構造設計の初期段階において地震時の最大層間変位角を指定する性能指定型の耐震設計法を前提としたもので、最大層間変位角から梁端に生じる塑性変形や梁端に生じる曲げモーメントの最大値を評価する方法を検討した。すなわち、指定された最大層間変位角に応じて、梁端の変形性能に関する必要条件を明確にすることが目的である。

2-1では、現行の耐震規定にしたがって設計された15の標準的な鋼構造ラーメン骨組と、耐震設計上興味ある範囲を網羅すると考える40の地震波を用いた応答解析結果を整理して、最大層間変位角に基づいて、梁端に生じる塑性変形を評価する方法について検討している。梁端に生じる最大塑性回転角、一回の変形で生じる塑性回転角増分の最大値、塑性回転角の全変動幅などの塑性回転角の大きさを表す指標について、最大層間変位角から評価する方法を提案した。

2-2では、前節2-1と同じ解析結果に基づいて、梁端の塑性回転角の履歴挙動全般について検討したが、そのばらつきは非常に大きい。ここでは、累積塑性回転角の上限を近似する方法を示し、梁端に生じる損傷の上限を与えるように、各回の変形による塑性回転角増分の比率を近似する方法についても提案している。

2-3では、梁端の(巨視的)歪度履歴や応力上昇を評価するため、1次元有限要素法による非線形地震応答解析プログラムを開発した。材料の応力度-歪度関係としては、等方硬化と移動硬化を考慮できるように、京都大学辻文三教授らの提案するIKモデルを採用している。このプログラムを用いて前節2-2で定量化した塑性履歴を受ける梁の解析を行い、最大層間変位角と応力上昇率(最大曲げモーメントと全塑性モーメントの比)との関係を数式表示した。この結果は、地震応答解析結果によっても検証している。

第3章は、第2章の研究を周辺領域に進展させたものである。

3-1では、兵庫県南部地震において梁端と同様に多くの被害が生じた柱脚を対象にしたもので、梁端と同様の手法で、柱脚に生じる塑性変形と最大層間変位角との関係を検討している。その結果、柱と同程度の曲げ耐力をもつ柱脚に生じる塑性変形は、前章で述べた梁と類似しているが、柱脚の耐力が相対的に小さくなると累積塑性回転角と最大塑性回転角の比率が急激に大きくなることなどを明らかにしている。

本研究は梁降伏先行型の骨組を対象としたものであるが、3-2では、梁の降伏を先行させ特定層への損傷集中を抑制するために必要な柱梁耐力比に関して検討を行った。その結果、各層の最大層間変位角を一様化させるのに必要な柱梁耐力比は、外乱強度が大きくなるにしたがって大きくなることや、層数の影響をあまり受けないことなどの結果を得ている。

3-3は、応答解析時に仮定する粘性減衰が地震応答に及ぼす影響について検討したもので、高次の減衰定数が大きくなる減衰型を採用すると、上層部の応答値が小さくなることなどを明らかにしている。