

# 梁降伏型鋼構造骨組の 損傷制御型耐震設計法に関する研究

研究課題番号 13650632

平成 13, 14 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 15 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 13 年度および平成 14 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「梁降伏型鋼構造骨組の損傷制御型耐震設計法に関する研究」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）

## 研究経費

平成 11 年度	2,500 千円
平成 12 年度	1,300 千円
計	3,800 千円

## 研究発表

### [学会誌等]

1. 小川厚治・横山則幸：鋼構造ラーメン骨組の梁の必要塑性変形性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 547 号，pp.177-184，2001.9
2. 平野智久・小川厚治：地動継続時間が鋼構造骨組の地震入力エネルギーの評価に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.48B，pp.501-508，2002.3
3. 小川厚治：地震入力エネルギーに基づくポリリニア系の最大地震応答の予測に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第557号，pp.167-174，2002.7
4. 小川厚治・平野智久：履歴型ダンパーの必要塑性変形性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 558 号，pp.197-204，2002.8

### [口頭発表]

1. 小川厚治：トリリニア系の最大変位応答の予測に関する研究，京都大学防災研究所研究発表講演会，2002.2
2. 小川厚治：強震を受ける鋼構造骨組の梁端に生じる塑性変形に関する研究，京都大学防災研究所研究発表講演会，2003.2

## 目次

第1章 序	
1-1 研究目的 .....	1
1-2 研究概要 .....	2
第2章 入力エネルギーに基づく地震応答予測に関する研究	
2-1 地動継続時間が鋼構造骨組の地震入力エネルギーの評価に及ぼす影響 .....	3
平野智久・小川厚治, 構造工学論文集, Vol.48B, pp.501-508, 2002.3	
2-2 地震入力エネルギーに基づくポリリニア系の最大地震応答の予測に関する研究 ...	11
小川厚治, 日本建築学会構造系論文集, 第557号, pp.167-174, 2002.7	
2-3 鋼構造ラーメン骨組の梁の必要塑性変形性能に関する研究 .....	19
小川厚治・横山則幸, 日本建築学会構造系論文集, 第547号, pp.177-184, 2001.9	
2-4 履歴型ダンパーの必要塑性変形性能に関する研究 .....	27
小川厚治・平野智久, 日本建築学会構造系論文集, 第558号, pp.197-204, 2002.8	
第3章 最大層間変位角応答に基づく梁端の損傷評価に関する研究	
3-1 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) ...	35
(未発表)	
3-2 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) ...	51
(未発表)	

# 第1章 序

## 1-1 研究目的

1994年のNorthridge地震、1995年の兵庫県南部地震においては、建築構造物は未曾有の被害を受けた。この反省から、地震外乱下で建築構造物に生じる損傷を指定された許容限度内に収めることを明確に規定した設計手法、すなわち、性能設計や損傷制御型設計と呼ばれる次世代耐震設計法の確立が急がれている。このような耐震設計法を採用するには、地震外乱下で構造物に生じるであろう損傷を検討する信頼性ある手段が不可欠である。この検討には現在、動的地震応答解析が主に用いられているが、動的解析は入力する地震動の特性に結果が大きく左右されるという欠点を持っている。この研究は、鋼構造ラーメン骨組を対象として、地震外乱下で生じる損傷を静的手段のみで予測する方法を確立することを目的とするものである。なお、表題の「梁降伏型」は、梁が先行して降伏する性質がある骨組を対象に、主に梁に生じる損傷（塑性変形）を検討することを意味するもので、柱など、梁以外の構造要素が全く降伏しない骨組を指すものではない。

本研究ではまず、設計時には入力地震動の応答スペクトルが設定されているという条件の下で、地震応答を予測することを目的に研究を始めた。すなわち、応答スペクトルを用いて算定される地震入力エネルギーから、鋼構造骨組の地震応答をエネルギーの釣合に基づいて予測している。2章は、このような方針で進めた研究成果を纏めたものである。地震入力エネルギーの評価法や、地震入力エネルギーに基づく1自由度系の最大応答値の予測法を検討し、梁降伏先行型の鋼構造骨組を対象に最大層間変位角や梁に生じる塑性回転角の予測方法を提案している。また、柱や梁などの主体骨組の塑性変形を大幅に軽減するものとして注目される履歴型ダンパーについても、その必要塑性変形性能の評価法を提案している。

2章においては、上記のような方法で、地震時に梁端に生じる最大塑性回転角と累積塑性回転角を予測する方法を提案した。原理的には、この方法を逆に辿れば、構造物の塑性変形を指定値以下に収めるための設計条件を明確にすることも可能である。しかし、構造要素各部に生じる塑性変形は、骨組の弾性剛性・終局耐力・柱梁強度比などの構造特性や入力地震動によって変動する値であるので、予測値は骨組の終局ベースシヤ係数や設計用地震荷重分布下での崩壊機構特性など、多くの情報の関数として表される。したがって、この方法を逆に辿って構造物の塑性変形を指定値以下に収めるための設計条件を明確にすることは必ずしも容易ではない。2章で述べた研究は、設計がほぼ完了した段階で、鋼構造骨組の耐震性能を検証する目的で利用するのが適当である。

一方、性能設計の考え方の普及や「限界耐力計算」の施行によって、設計の最初の段階で、設計目標値として最大層間変位角を指定することが、今後一般化するものと考えられる。最大層間変位角は内・外装や設備の機能維持のためにも重要であり、最大層間変位角指定型耐震設計は時代の趨勢であろう。

第3章では、現行の耐震規定を満たすように設計された中低層の標準的な鋼構造ラーメン骨組の地震応答解析結果に基づいて、最大層間変位角と梁に生じる塑性変形との関係を定量化している。最大層間変位角と梁端に生じる塑性変形との関係を明確にできれば、最大層間変位角を指定された段階で梁の必要塑性変形性能も既知となる。設計の初期段階で最大層間変位角の目標値を指定し、この最大層間変位角に応じて求められる梁端の必要塑性変形性能に対応できるように、梁や梁端接合部を設計するという耐震設計手順の構築を、この3章での研究は目指している。

## 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、それぞれを第2章と第3章に示している。各章の成果を以下に要約しておく。

第2章は、入力エネルギーに基づいて鋼構造骨組の地震応答を予測することを目的に検討を進めたものである。

2-1では、主要動の継続時間が地震入力エネルギーに及ぼす影響について検討した。擬似速度応答スペクトルを用いた地震入力エネルギーの評価法は、主要動の継続時間が極端に長い地震動には利用できないが、その限界を表す地動継続時間を限界地動継続時間と定義し、その定量化を行っている。また、実地震記録の主要動の有効継続時間を定量化するための手法も提案している。

2-2では、任意の荷重-変形関係をもつ鋼構造骨組に広く適用できる最大応答値の予測法について検討した。変形が1方向に進む半サイクルの間の地震入力エネルギーと系が吸収するエネルギーとの釣合式に基づいて、ポリリニア型の荷重-変位関係を持つ1自由度系の最大変位応答を予測する方法を提案している。

2-3では、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を評価する方法について検討した。ここでは、地震外乱下で鋼構造骨組に形成される崩壊機構を静的手段で予測する方法を示し、予測された崩壊機構に基づいて、エネルギーの釣合から、任意の強度特性をもつ鋼構造骨組の最大層間変位角や、梁に生じる最大塑性回転角と累積塑性回転角を予測する方法を提案している。

2.4では、鋼構造骨組の変形を抑制するために今後さらに設置が一般化すると予想される履歴型ダンパーについて、要求される必要塑性変形性能を評価する方法を提案した。ここでも、履歴型ダンパーの必要塑性変形性能は、最大塑性変形と累積塑性変形の2つの変形指標について、入力側と構造物側のパラメータの関数として表現している。

第3章は、最大層間変位角指定型の耐震設計法を前提としたもので、最大層間変位角と梁端に生じる塑性変形との関係を定量化した。ここでは、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。

3-1では、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。

3-2では、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。