

耐震要求性能に応じた
鋼構造骨組の必要性能に関する研究

研究課題番号 11650590

平成 11, 12 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 13 年 3 月

研究代表者 小川 厚治
(熊本大学 工学部)

はしがき

本報告書は、平成 11 年度および平成 12 年度の 2 年間継続して、日本学術振興会科学研究費補助金の助成を受けて行った研究課題「耐震要求性能に応じた鋼構造骨組の必要性能に関する研究」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、大阪大学大学院工学研究科 桑原進助手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	2,400 千円
平成 12 年度	1,200 千円
計	3,600 千円

研究発表

[学会誌等]

1. 小川厚治・加村久哉・井上一朗：鋼構造ラーメン骨組の魚骨形地震応答解析モデル，日本建築学会構造系論文集，第 521 号，119-126 頁，1999.6
2. 谷本憲郎・小川厚治：塑性化に伴う鋼構造骨組の地震入力エネルギーの変動に関する研究，日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.6, No.23, 71-79 頁，1999.7
3. 平野智久・小川厚治：Polylinear 型の復元力特性をもつ 1 自由度系の地震入力エネルギーに関する研究，構造工学論文集，Vol.46B, 629-640 頁，2000.3
4. 小川厚治・井上一朗・中島正愛：損傷に寄与する地震入力エネルギーに関する考察，日本建築学会構造系論文集，第 530 号，177-184 頁，2000.4
5. 小川厚治：半サイクルの地震入力エネルギーとバイリニア系の最大地震応答，日本建築学会構造系論文集，第 532 号，185-192 頁，2000.6
6. 小川厚治・井上一朗・中島正愛・澤泉紳一：梁降伏型鋼構造ラーメン部材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 537 号，121-128 頁，2000.11
7. 小川厚治：魚骨形骨組の等価 1 自由度系への置換に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 539 号，143-150 頁，2001.1
8. 小川厚治：履歴型ダンパー付骨組の残留変形に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 539 号，151-158 頁，2001.1

[口頭発表]

1. 平野智久・小川厚治：塑性化に伴う Polylinear 型 1 自由度系の地震入力エネルギーの変動に関する研究，日本建築学会九州支部研究報告，第 39 号・1, 285-288 頁，2000.3
2. 平野智久・小川厚治・井上一朗：鋼構造ラーメン骨組の必要塑性変形性能に関する研究（その 1 必要変形性能の評価法），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1 構造 III, 807-808 頁，2000.9
3. 田口順也・小川厚治・井上一朗：鋼構造ラーメン骨組の必要塑性変形性能に関する研究（その 2 解析例による検討），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1 構造 III, 809-810 頁，2000.9
4. 横山則幸・小川厚治・井上一朗：鋼構造ラーメン骨組の必要塑性変形性能に関する研究（その 3 部分崩壊型骨組における必要塑性変形性能），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1 構造 III, 811-812 頁，2000.9

目次

第1章 序	
1-1 研究目的	1
1-2 研究概要	2
第2章 損傷に寄与する地震入力エネルギー	
2-1 損傷に寄与する地震入力エネルギーに関する考察	3
小川厚治・井上一朗・中島正愛：日本建築学会構造系論文集，第530号，177-184頁，2000.4	
2-2 塑性化に伴う鋼構造骨組の地震入力エネルギーの変動に関する研究	11
谷本憲郎・小川厚治：日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.6，No.23，71-79頁，1999.7	
2-3 Polylinear型の復元力特性をもつ1自由度系の地震入力エネルギーに関する研究 ...	21
平野智久・小川厚治：構造工学論文集，Vol.46B，629-640頁，2000.3	
第3章 1自由度系の地震応答	
3-1 半サイクルの地震入力エネルギーとバイリニア系の最大地震応答	33
小川厚治：日本建築学会構造系論文集，第532号，185-192頁，2000.6	
3-2 履歴型ダンパー付骨組の残留変形に関する研究	41
小川厚治：日本建築学会構造系論文集，第539号，151-158頁，2001.1	
第4章 重層骨組の単純化力学モデル	
4-1 鋼構造ラーメン骨組の魚骨形地震応答解析モデル	49
小川厚治・加村久哉・井上一朗：日本建築学会構造系論文集，第521号，119-126頁，1999.6	
4-2 魚骨形骨組の等価1自由度系への置換に関する研究	57
小川厚治：日本建築学会構造系論文集，第539号，143-150頁，2001.1	
第5章 梁の必要塑性変形性能	
5-1 梁降伏型鋼構造ラーメン部材の必要塑性変形性能に関する研究	65
小川厚治・井上一朗・中島正愛・澤泉紳一：日本建築学会構造系論文集，第537号，121-128頁，2000.11	
5-2 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	73
(未発表)	
付録 2乗平均値および相乗平均値を用いた地震荷重分布の表現について	81
小川厚治：建設省総合技術プロジェクト/次世代鋼材による構造物安全性向上技術の開発「崩壊形と破壊分科会」資料，1997.3	

第1章 序

1-1 研究目的

設定された地震入力レベルに応じて建築物の被害・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、設定された地震入力に対して構造物の最大変形や残留変形、構造要素の最大変形や累積塑性変形などを評価する信頼性ある手段が不可欠である。この評価には現在、動的地震応答解析が主に用いられており、静的解析手段は未だ不十分である。この研究は、設定された地震入力に対する構造物の最大変形や残留変形、構造要素の最大塑性変形や累積塑性変形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している。

地震応答には多くの因子が影響する。本研究の特徴は、各因子の影響を個別に定量化し明確に数式表示していることである。本研究では、それらの成果を組み立てることで鋼構造骨組の地震応答を予測する方法の確立を計っている。下図は、本研究の全体構成を概念的に示したものである。本研究は、下図に矢印で示す4つの課題からなっている。すなわち、

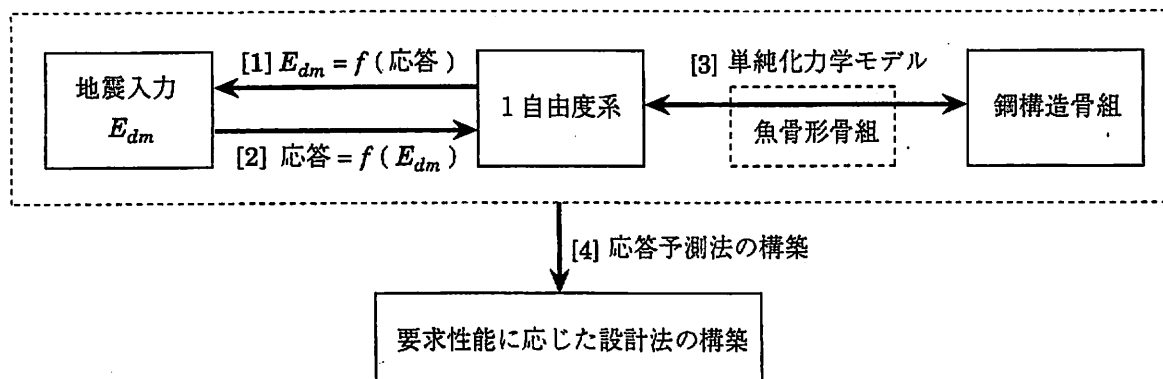
- [1] 損傷に寄与する地震入力エネルギーの定量化
- [2] 1自由度系の応答予測法の確立
- [3] 鋼構造重層骨組の等価1自由度系モデルの開発
- [4] 重層骨組の応答予測法の構築

本研究では一貫して、地震外乱によって入力されるエネルギーと構造物が吸収するエネルギーの釣合に基づいて地震応答を予測している。[1]では、地震入力の大さを表す指標として、損傷に寄与する地震入力エネルギーの定義を明確にすると共に、構造物に塑性変形が生じると見かけの周期が伸び、その結果、損傷に寄与する地震入力エネルギーが変化することを考慮して、損傷に寄与する地震入力エネルギーを定量化する。

[2]では、損傷に寄与する地震入力エネルギーの関数として、1自由度系の地震応答を数式表示する。したがって、損傷に寄与する地震入力エネルギーを、半サイクルの間に生じる塑性変形倍率などの応答値の関数として[1]で定量化しておけば、[2]の結果と連立させることで1自由度系の地震応答が予測できる。

[3]は、現実的な多層多スパン骨組を等価な1自由度系にモデル化するもので、両者の中間的な力学モデルとして魚骨形骨組を利用している。モデル化(多層多スパン骨組→等価1自由度系)という過程を前に出しているが、これは当然等価1自由度系の応答から多層多スパン骨組の応答分布を求めるという解きほぐし(等価1自由度系→多層多スパン骨組)の手段と対にして検討されるものである。その結果として、多層多スパン骨組と等価1自由度系との構造特性および地震応答の対応関係を明確にする。

以上の[1]から[3]で得られた成果を組み立てることによって、鋼構造骨組の地震応答の予測法を確



研究の全体構成

立すること、または、この方法を逆に辿って応答を指定値以下に収めるための鋼構造骨組の必要性能（保有水平耐力など）を定量化することが、[4]の課題であり、本研究の最終的な目的でもある。

1-2 研究概要

前節の目的で述べた4課題に関する研究成果を、それぞれ第2章から第5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、「[1] 損傷に寄与する地震入力エネルギーの定量化」に関するものである。

2-1では、損傷に寄与する地震入力エネルギーを明確に定義している。また、見かけの周期が塑性変形に伴って伸びることを考慮し、見かけの周期に応じた擬似速度応答スペクトルを用いれば、損傷に寄与する地震入力エネルギーは質点数に関わらず予測できることを示している。

2-2は、Bilinear型の荷重-変形関係をもつ1自由度系を対象としたもので、見かけの周期の定量化手法を詳細に検討している。また、その結果として得られた見かけの周期が、等価線形化法で用いられる等価周期と近い値をとることも明らかにしている。

2-3は、2-2の結果を任意のPolylinear型の荷重-変形関係をもつ1自由度系に拡張したものである。ここでは、変位が極値から次の極値をとるまでの半サイクルの間に塑性変形で消費されるエネルギー量に注目し、地震応答中のその平均的な値は最大値の1/2で近似できることを示し、見かけの周期の算定法を一般的な形で提案している。

第3章は、「[2] 1自由度系の応答予測法の確立」に関するものである。

3-1では、半サイクル間の地震入力エネルギー増分の最大値と損傷に寄与する地震入力エネルギーとの比が概ね一定値であることを示し、これを半サイクルの最大地震入力エネルギー率と定義して定量化している。また、半サイクル間の地震入力エネルギー増分と構造物が吸収するエネルギーの釣合から、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。

3-2では、半サイクル間のエネルギー損失（粘性減衰や地動によって奪われるエネルギー）を定量化し、ここでも半サイクル間のエネルギーの釣合を用いて、1自由度系の残留変形の上限值を予測する方法を提案している。

第4章は、「[3] 鋼構造重層骨組の等価1自由度系モデルの開発」に関するものである。

4-1では、多層多スパン骨組を魚骨形骨組にモデル化する方法を示している。このモデル化では、増分弾塑性解析結果は不要であり、得られた魚骨形モデルは、任意の水平力分布に対して元の骨組と同じ崩壊機構を形成するという特長をもつ。このモデルを用いれば、各層の最大層間変位応答だけではなく、各床の梁端に生じる塑性変形の最大値についても良好な近似が得られる。

4-2では、魚骨形骨組の等価1自由度系へのモデル化について検討している。ここでは、2乗および相乗平均値を使って地震時の水平力分布を表すことで、各層に作用する水平力には位相のずれがあることを考慮している。この地震荷重を漸増させたときの荷重係数-吸収エネルギー関係を基に等価1自由度系の荷重-変形関係を算定している。

第5章は、「[4] 重層骨組の応答予測法の構築」に関するものであり、本研究ではその一例として、地震外乱下で梁端に生じる塑性変形（最大塑性回転角と累積塑性回転角）を対象を限定し、その概算値を予測する簡便な方法を提案している。

5-1では、地震外乱下で全体層崩壊する骨組を対象にして、梁端に生じる塑性変形の予測法を示している。この方法は、上記の「損傷に寄与する地震入力エネルギー」「半サイクルの最大地震入力エネルギー率に基づく最大応答値予測」「等価1自由度系」などの研究成果を総括したものとなっている。

5-2では、一部の層で崩壊機構を形成する部分層崩壊型骨組に対して5-1の結果を拡張している。ここでも、2乗および相乗平均値を使って表された地震時の水平力分布を用いることによって、地震外乱下で形成される可能性が最も高い崩壊機構を予測する方法を示している。この崩壊機構に基づいて、5-1で得た結果を割り増す形で、部分層崩壊型骨組の梁端に生じる塑性変形の予測法を示している。

なお、本研究で採用している2乗および相乗平均値を使って表された地震荷重分布の捉え方は、あまり一般的ではないので、古い資料ではあるが、この荷重分布を解説したものを付録に付け加えている。