

氏 名	まつ 松 宮 とも 智 央
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2599 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 建 築 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	完全崩壊に至る超大変形繰返し載荷下における建築鋼構造骨組の挙動と 残存性能

論文調査委員	(主 査) 教 授 中 島 正 愛	教 授 井 上 一 朗	助教授 吹田啓一郎
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

1994年米国ノースリッジ地震, 1995年兵庫県南部地震において記録された強震動は, 従来から耐震設計において考えられてきた地震動の大きさを遙かにしのぐもので, 建築構造物をはじめとする都市基盤施設に甚大な被害をもたらした. この地震被害を契機の一つとして「性能設計」実現への期待とともに, 建築構造物がもつ限界状態を量として表す重要性は加速している. すでに数多くの実験・解析研究が展開されているが, 性能設計の根幹をなす「人命保護を命題とする崩壊限界」については, 構造物崩壊に対する実情報が欠落しているために, その定量化や予測手法の整備が必ずしも進んでいるわけではない. このような状況に鑑み, 耐震性能設計の高度化に資する実験資料の提供を意識しつつ, 実大鋼構造骨組を対象に, 通常の耐震設計で考える大変形はもとより, それをはるかに超す変形領域までの挙動と崩壊を実験的に検討することを, 本論文の目的としている. さらに一連の実験から得られた結果を, 数値解析を援用して分析するとともに, 耐震設計で用いられる地震応答予測法が過大地震動下において有する精度と限界を検討することもあわせて本論文の射程とする.

本論文は第1章から第7章で構成されており, 各章の内容は下記のとおりである.

本論文の背景, 目的, 構成を示した第1章に続く第2章では, 建築構造物が完全に崩壊する変形領域までの挙動を再現するために行った, 実大3層鋼構造骨組に対する繰返し準静的載荷実験を詳述している. 食い違い欠陥のある梁端は他と比べて早期に破断が起こり, またこの梁端破断によって試験体の水平耐力は急激に低下するものの, その後は応力再分配により再び安定した履歴を回復する挙動をつまびらかにしている. また, 試験体が崩壊に至る超大変形領域では, 1層柱脚部のアンカーボルト破断と充填モルタルの圧壊が相乗することから柱脚の復元力が著しく劣化し, それに付随して1層柱頭への曲げモーメントが増大する結果, 1層柱頭に局部座屈が発生し, それによって, 崩壊機構が梁崩壊形から1層崩壊形へと変化してゆく様子を, 崩壊過程の転移という視点から明らかにしている.

第3章では, 第2章で示した試験体に変形追従能力が高い構法を用いて取りつけた ALC 版に着目し, 通常の耐震設計において大地震時に想定される変形領域と, それを相当超す変形領域を対象にした載荷実験から, ALC 版外壁が鋼構造骨組に及ぼす影響を検討している. 両変形領域ともに, ALC 版は構造挙動にほとんど影響を及ぼさず, また ALC 版自体も軽微な損傷に留まりうることを明らかにしている.

第4章では, 第2章で得た実験情報を利用して, 鋼構建造物の耐震設計・解析において多用される, 塑性ヒンジ法に立脚した弾塑性骨組解析がもつ予測精度を検討している. 通常の耐震設計で想定する大変形からそれをやや超す変形領域においては, 実験結果を参照して, 各部材の履歴特性, 特に各部材の降伏後の耐力上昇(歪硬化係数)を適切に決定さえすれば, 最大耐力, 消費エネルギーともに高い精度(5%以下の誤差)で予測できることを確認している. 一方, 大変形領域を超える崩壊寸前に至る変形領域においては, 顕著な劣化挙動を上記の解析では再現できず, これを適切に追跡するためには, 1層柱脚部のアンカーボルト破断, 充填モルタル圧壊に伴う耐力劣化, 1層柱頭の局部座屈に付随する耐力劣化等を適切に組み入れた解析が有効であることを検証している.

第5章では、大変形時においてRC床スラブが骨組挙動に及ぼす影響をより定量的に把握するため、第2章の実大3層鋼構造骨組とは別に、実大鋼構造部分骨組を対象とした実験を記している。平行する2構面のうち、片方の構面をRC床スラブのない鋼構造骨組だけの構面、もう一方の構面をRC床スラブ付きの構面とすることによって、RC床スラブの効果を直接調べられるように工夫している。正曲げを受ける合成梁は、鋼梁よりも早く下フランジが破断すること、合成梁が正曲げを受ける場合、鋼梁の1.5倍程度まで復元力が上昇すること、負曲げを受ける場合でも、RC床スラブひび割れが微少な変形領域では、鋼梁の1.2~1.4倍程度まで復元力が上昇し、その後、変形が進むにつれて負曲げの合成効果はほぼなくなることを明らかにしている。また、正曲げを受ける合成梁において、RC床スラブ断面に作用する圧縮力の有効幅はせいぜい柱幅程度であることを確認している。

第2章~第5章が、主として鋼構造骨組の保有性能を検討しているのに対し、第6章では鋼構造骨組の要求性能に言及している。通常の耐震設計で考える大地震動から、構造物崩壊を誘発しうる過大地震動までを対象に、低次モード応答だけから骨組応答（最大層間変形角）を予測する既往の方法の妥当性を検討している。弾性1次モードに対する弾塑性等価1自由度系と、弾性2次モードに対する弾性等価1自由度系応答の2乗和平方根によって予測する方法によって、大地震動に対する骨組応答は精度よく予測できるが、過大地震動に対しては、2次モード応答を弾性と仮定するところに限界があり、入力レベルが増えるほど精度が低下する傾向にあることを明らかにしている。

第7章では、本論文から得られた成果を、章毎に得られた知見としてまとめている。

論文審査の結果の要旨

1995年兵庫県南部地震以降、建築構造物への性能設計を実現すべく、数多くの実験・解析研究が展開されているが、性能設計の根幹をなす「人命保護を命題とする崩壊限界」については、構造物崩壊に対する実情報が欠落しているために、その定量化や予測手法の整備が必ずしも進んでいるわけではない。このような状況に鑑み、本論文では、耐震設計で通常考える大変形をはるかに超す変形領域における鋼構造建築骨組の挙動と崩壊特性の評価を目的として、実大鋼構造骨組に対する載荷実験を実施し、その結果を、数値解析を援用して分析するとともに、耐震設計で用いられる地震応答予測法が、過大地震動下において有する精度と限界を検討している。本論文の概要は下記の通りである。

- (1) 現行の耐震設計に準じて設計施工した実大3層鋼構造建築骨組を対象に、それが崩壊寸前に至るまでの載荷実験を遂行した。その結果、柱脚の復元力特性が骨組の耐力に及ぼす影響が特に顕著で、柱脚の劣化が塑性変形機構の変化を促し、骨組の耐力低下を助長することを明らかにしている。また、外装材（ALC版）を取り付けた実験から、最近の設置方法を用いれば、耐震設計で考える大変形の2倍以上の変形においても、ALC版は脱落することなくほぼ無損傷にとどまり、また構造体の挙動にもほとんど影響を及ぼさないことを確認している。
- (2) 耐震設計で多用される塑性ヒンジ法を用いた弾塑性骨組解析は、弾性剛性や降伏耐力等の設計基本指標に対して高い予測精度を有しているだけでなく、部材の降伏後歪硬化剛性や大変形時の耐力劣化特性さえ適切に選択すれば、耐震設計で考える大変形下での繰返し挙動や崩壊寸前に至る挙動を、よい精度で追跡しうることを確認している。
- (3) 一般的な中低層鋼構造骨組の下層部分を取り出した、RC床スラブ付き実大鋼構造部分骨組に対する載荷実験を実施し、崩壊寸前に至る領域までRC床スラブは骨組耐力の上昇に寄与し続けることを突き止めるとともに、RC床スラブによる合成効果として柱幅程度の有効幅が期待できることを明らかにしている。
- (4) 過大地震動を受ける鋼構造骨組に対する最大層間変形の評価方法に関連して、従来から用いられてきた地震動を拡幅して過大地震動を表現することの是非に言及するとともに、最大変形予測に関する既往の方法が過大地震動に対しても適用限界を明らかにしている。

このように本研究は、建築鋼構造骨組がもつ崩壊限界の定量化に資する有益な実験情報を提供するとともに、過大地震動に対して既往の解析的性能評価手法がもつ妥当性と限界を明らかにする等、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。