

鉄骨造建物実験研究

鉄骨造建物の耐震性向上を目指して

兵庫耐震工学研究センター 特別研究員 引野 剛



はじめに

1995年兵庫県南部地震では、鉄骨造建物も鉄筋コンクリート造や木造などと同様に大きな被害を受け、倒壊や大破に至ったものもありました。鉄骨造建物は、一般的な建築構造物の30%強を占め、安心・安全な国づくりを実現するためには、鉄骨造建物の耐震性向上は必要不可欠です。防災科研は、鉄骨造建物のさらなる耐震性向上を目的として、「Eーディフェンスを活用した構造物の耐震性に関する国内外共同モデル研究」というテーマの下、2005年度より5年間にわたり鉄骨造建物の実験研究を行っています。現行の耐震設計基準に基づいた「既存鉄骨造建物」を対象とした研究では、「完全崩壊再現実験」を実施し、その破壊過程の解明と耐震性に関する余裕度の評価を行っています。また、最新の技術を取り入れた「高付加価値鉄骨造建物」については、「制振構造建物実験」および「ロッキングフレーム実験」を実施し、大地震の経験のない制振装置付き鉄骨造建物の耐震性を検証するとともに、実際の建物で実現が少ないロッキングを有する構造体について、今後の実現に向けた基礎的な研究を行っています。本報では、これら3つの実験についてご紹介します。

完全崩壊再現実験

建物の完全な崩壊に対する安全性を明らかにするためには、構造材だけでなく非構造材も含

め、実際の建物の完全な崩壊に至る挙動を把握することが必要です。Eーディフェンスは、これまで行うことができなかったこのような実験を可能とする施設であり、本実験では4層の鉄骨造建物を製作し、実際に崩壊させています。試験体は、現行の耐震設計基準に従って設計・施工され、**写真1**のように鉄骨部材である柱・梁とコンクリート床スラブといった構造体に加え、石膏ボードの間仕切り壁と天井、ALCと呼ばれる外壁材、およびサッシといった非構造部材から構成されており、総重量は約2050kNです。

加振には、JR 鷹取駅付近で観測された波形（以下、鷹取波）が用いられました。現行基準の大地震レベルに相当する鷹取波の40%の加振

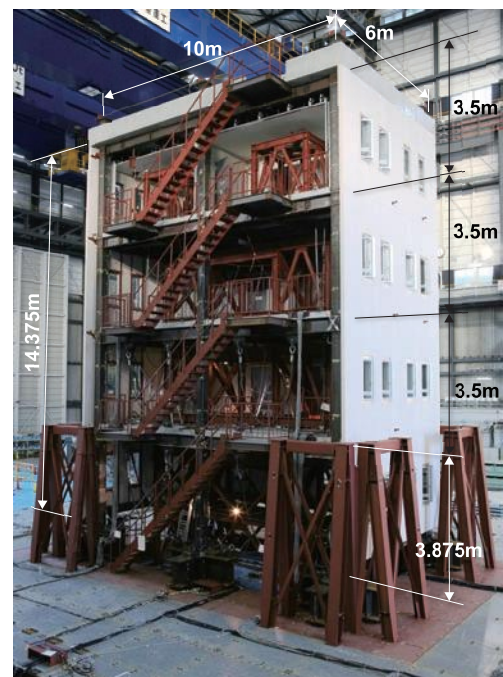


写真1 完全崩壊再現実験試験体全景

では、試験体は一部塑性化するものの倒壊には至らず、さらに基準を超える60%の加振においても、やはり倒壊には至らないことを確認しました。最後に100%の加振を行った結果、試験体は柱の局部座屈に起因する1階の層崩壊により崩壊しました。実験結果からは、崩壊時の試験体全体の挙動、各部材の力の時間的変化、および非構造部材に関する損傷の程度などについて貴重なデータを得ることができました。

制振構造建物実験

近年、地震時の建物の応答を効率的に抑制するために、制振装置を用いた鉄骨造建物が急速に普及していますが、実は大地震の経験がなく、建物レベルでの真の効果が実証されていません。本実験の目的は、代表的なブレース型の制振装置について、実際に鉄骨造建物に組み込み、建物レベルでの性能を検証することです。試験体は、写真2のように、鉄骨部材である柱・梁とコンクリート床スラブおよび制振装置であるダンパーといった構造体に加え、鉄骨階段、間仕切り壁および外壁材といった非構造部材から構成されており、総重量は5800kNです。

加振実験は、制振装置を、鋼材・粘性・オイル・粘弾性・なしの順に交換しながら実施しました。加振波には鷹取波が用いられ、制振装置ありの場合は、最大100%加振、なしの場合は安全性の制約で最大70%加振まで行いました。実験結果は、70%加振における非制振時との比較で、最大変形について0.45～0.55倍、最大加速度について0.7倍～0.8倍と、制振装置の効果を確認することができました。

試験体は、いずれの制振装置の装着時においても、鷹取100%加振に対して、最大層間変形角が1/100以下となるように設計されていました。実際に、100%加振を行った結果、最大

層間変形角は、鋼材1/120、粘性1/130、オイル1/140、粘弾性1/110と予想よりやや小さい結果となりました。これは、試験体の固有周期が、解析値よりも若干短かく、試験体の剛性が高かったため、鷹取波のスペクトル上応答が小さくなる傾向にあったためです。制振装置単体の力-変形関係は、解析モデルにほぼ近い性状を示していたことから、フレーム側の予測精度の難しさが表れていると言えます。逆に言えば、性質の明らかな制振装置を用いることは、解析精度の向上にもつながり、それだけ確実な耐震性能の確保にも繋がっていくと言えます。

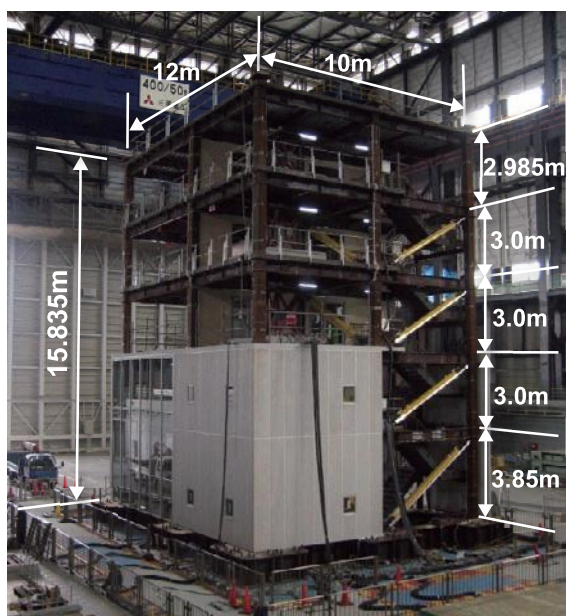


写真2 制振構造建物実験試験体全景

ロッキングフレーム実験

防災科研は、NSF(米国科学財団)の下に設立されたNEES(The George E. Brown, Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation)と協同し、2005年より国際共同研究を推進しており、本実験はその一環として行われました。「ロッキング」とは「回転」のことであり、ロッキングフレームは、従来と異なり柱脚を基礎に固定せ

ず浮き上がらせることによって、地震時応答の低減を図るものです。さらに本実験では、小さくなった建物への入力エネルギーを集中的に吸収するエネルギー吸収部材を設け、大部分の構造体に損傷を与えない構造システムとしています。この背景には、昨今の大地震時の被害経験から、大地震後の建物の修復、建て替えが容易な構造体が要求されていることがあります。これまで NEES を中心に、エネルギー吸収部材実験、ロッキングフレームの静的漸増載荷実験が行われており、本実験は、最終段階の動的検証実験として行われました。

実験システムは、図1に示すように、慣性質量であるテストベッドを用いており、試験体は中心の平面フレームです。テストベッドは、3次元的な試験体を製作しなくても、比較的簡易に実験を行うことができるように、E-ディフェンス震動台専用のおもりとして考案されたものです。試験体中央には、PC鋼より線を用いたケーブルがあり、残留変形をほとんどゼロに抑制しています。加振波は、JMA 神戸海洋気象台で観測された地震波および1994年米国ノースリッジで観測された地震波が用いられました。加振レベルは、米国設計基準に合わせ、DE (Design Earthquake) として、JMA 神戸46%、ノースリッジ95%加振を行い、さらに1.5倍のMCE (Maximum Considered Earthquake) まで

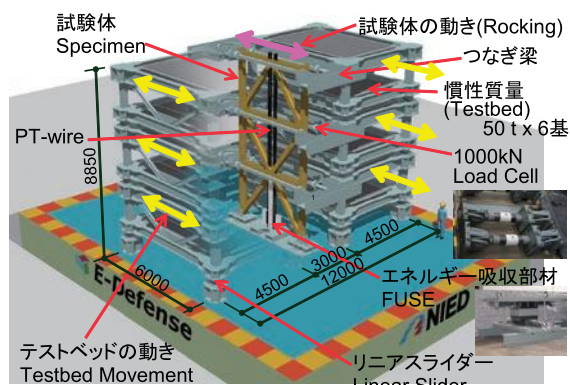


図1 ロッキングフレーム実験システム概要

加振を行いました。

実験結果からは、静的実験では得られなかった高さ方向のせん断力分布の変動、エネルギー吸収部分の力-変形関係、解析と実験結果との関係など基礎的なデータを得ることができ、日米において、ロッキングフレームの今後の実用化に大きく貢献するものと考えられます。

ブラインド解析コンテスト

完全崩壊再現実験および制振構造建物実験では、実験に合わせて「ブラインド解析コンテスト」を実施しました。これは、実験による試験体の応答変位や応答加速度について、実験前に解析による予測を行い、その精度を競うものであり、ウェブページを通じて広く海外にも参加を募集したものです。表1、表2に示すとおり、海外からも多くの参加を得ています。結果については、国際会議でも発表しており、こうした活動を通じ、世界におけるE-ディフェンスのプレゼンスを高めていきたいと考えています。

表1 完全崩壊実験コンテスト参加状況

参加国\カテゴリ	3D-R	3D-P	2D-R	2D-P	TOTAL
日本	6	5	4	2	17
米国	6	5	2	2	15
台湾	4	0	4	0	8
中国	1	1	2	0	4
N.Z.	0	1	0	0	1
イタリア	1	0	0	0	1
英国	0	0	0	1	1
TOTAL	18	12	12	5	47

①3D-R：立体解析(研究者) ③2D-R：平面解析(研究者)
②3D-P：立体解析(実務者) ④2D-P：平面解析(実務者)

表2 制振構造建物実験コンテスト参加状況

参加国\カテゴリ	Category1	Category2	Category3	Category4	TOTAL
日本	8	2	3	2	15
台湾	3	4	4	4	15
米国	2	4	3	3	12
中国	2	4	0	0	6
N.Z.	1	0	0	0	1
イタリア	1	0	0	0	1
カナダ	0	0	1	0	1
UAE	0	0	0	1	1
TOTAL	17	14	11	10	52

Category1: 3D鋼材ダンパー Category3: 2D鋼材ダンパー
Category2: 3D粘性ダンパー Category4: 2D粘性ダンパー