

オフィスビルの内壁と外壁における地震時損傷のフラジリティの評価実験

名古屋大学 工学部 環境土木建築学科 建築学プログラム

長江研究室 堀涼斗

1. 序論

地震時に内外装材、機器類等の非構造部材が損傷することによって建物は機能停止に陥り莫大な損害を被る可能性がある。しかし、構造部材に比べて非構造部材の検討例は相対的に少なく、その耐震性能が十分に分析されていないのが現状である。こうした背景から、本研究では大都市圏に多く立ち並ぶオフィスビルの内壁と外壁に焦点を当て、非構造部材の耐震性評価を目指す。

2. 軽量鉄骨間仕切り壁・実大ユニットハウス振動実験

2.1 実験概要

図1に示すように、本実験は防災科学技術研究所の大型耐震実験施設で実施した。ユニットハウスの1階に軽量鉄骨下地間仕切り壁を敷設し、JMA 神戸波 25%、50%、100%を入力した。



図1 ユニットハウス全景と施工状況

2.2 試験体概要

軽量鉄骨下地の両面に石膏ボードを2重に張り付けられた試験体で開口部が設けられている。下地材はJIS規格品の50形とし、ランナーはWR-50(52×40×0.8)、スタッドはWS-50(50×45×0.8)、振れ止めはWB-19(19×10×1.2)である。スタッドのピッチは455mmとし開口部周りのスタッドのみランナーにビスで固定されている。石膏ボード1枚の大きさは910mm×1820mmを基本とし、下貼りボード(厚さ12.5mm)、上貼りボード(厚さ9.5mm)を用いた両面2枚張りである。開口部枠材は木製であり、隣接するスタッドにビスで固定される。

2.3 実験結果

JMA 神戸波 25%地震動(最大層間変形角 0.0045 rad)において、南側壁面の開口上部に位置する下貼りボード境界およびクロスの切れ目部分にクロスの剥離・しわが見られた。また、北側壁面では開口部上のボード表面にしわが見られたが、ボード自体の損傷は見られなかった。開口部枠材は両側下端部のビスが緩んで3mmほどの浮きが生じた。この段階での大規模な修復はクロスの張替に留まると判断された。

JMA 神戸波 50%地震動(最大層間変形角 0.01 rad)において、すでに損傷が起きていた南側壁面のボード境界部では既存のクロスの剥離・しわが進行した。また開口部上の下貼りL字ボード屈曲部ではクロスの破れが見られた。北側壁面でも同様にしわが見られたとともに、25%時で損傷を受けていた部位ではボードの割れが見られた。また壁直行部にクロスのしわが発生したことから、若干ではあるが壁面全体の東方向へのスウェイが推測されるが、残留変形は確認されなかった。この段階ではクロスの張替とともに、石膏ボードの一部交換が必要であると判断された。

JMA 神戸波 100%地震動(最大層間変形角 0.035 rad)における損傷状態を図2に示す。ここでは、南側壁面では開口上部に起きていた損傷が進行し石膏ボードが脱落した。北側壁面ではボ

ードの脱落とまではいかなかったものの剥離が明瞭に確認され下地材の露出が確認できた。また壁面全体が東方向に大きく移動し壁西端に30mmの隙間が確認できた。開口部枠材は各加振で進行していた下端部の浮きのみならず、接合部を始点に鉛直方向に割れが生じた。石膏ボードをはがして下地材の変形を確認したところ、開口部に隣接するスタッドが変形・座屈している様子が観察された。



図2 100%加振後の損傷状況

2.4 損傷度に対するフラジリティ曲線

既往の研究¹⁾を参考に損傷度を表1のように設定する。

表1 損傷度の定義

損傷状態	修復作業
DS1 軽微なひび割れ	クロスの張替
DS2 深刻なボードのひび割れ	ボード一部交換、クロス張替
DS3 軽量鉄骨下地の深刻な損傷	下地を含む間仕切り壁交換

また、DS1、DS2のフラジリティ曲線を同既往の研究でまとめられている間仕切り壁に関する10個の実験データと本実験のデータの計11個の実験データを用いて検討する。ここでDS1、DS2におけるフラジリティ曲線は対数正規分布に従うものとする。DS3に関しては本実験値を50%期待値とし、対数標準偏差を一般的に用いられる0.40とした。JMA 神戸 100%加振において最大層間変形角0.035 radの変形を受けたが、ビデオ検証により、0.024 rad 時点を採用した。図3に各損傷度におけるフラジリティ曲線を示す。

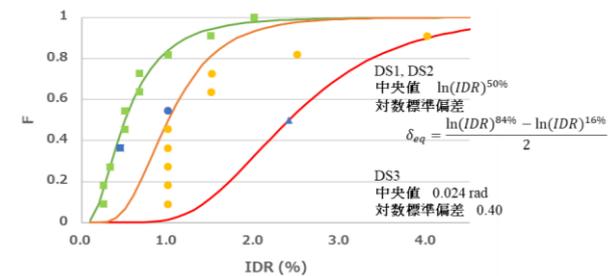


図3 各損傷度における間仕切り壁のフラジリティ曲線

2.5 開口条件の違いによる検討

オフィスビルなどでは鋼製扉が用いられ開口補強を施されることがや否や導入されることも多い。そこで開口条件とフラジリティ曲線の関係について、過去実験と比較した。今回の実験では0.01 radで見られたDS2の損傷が過去実験では0.004 radで見られた。同様にDS3の損傷が、過去実験では0.015 radで見られた。過去実験の結果を50%期待値とすると、鋼製扉付き間仕切り壁(杏摺あり)の場合は前節で提案したフラジリティ曲線の各損傷度の中央値について0.5倍程度とするのが妥当である。

3. 実大カーテンウォール層間変形追従実験

3.1 実験と試験体の概要

不二サッシ試験センターにて、バックマリオン式アルミカーテンウォールの層間変形追従性能、部材の詳細な変形分布の把握を目指した(図4)。方立固定のブラケット・ファスナー位置では、ボルトが長孔で上下する変形機構が設計されている。また、各ユニット(上下スパンドレル部、中段ビジョン部)はコの字型をした部材によって方立に連結されている。

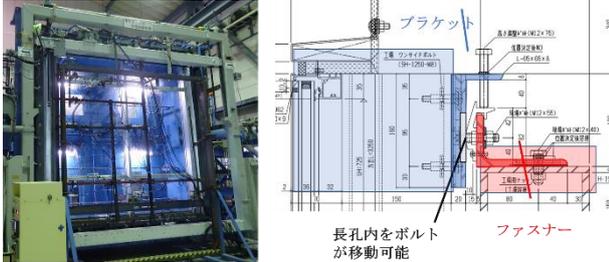


図4 試験装置全景と方立の取り付け詳細

3.2 解析モデルの構築

実験で得られたカーテンウォールの変形挙動を表現できる解析モデルについて検討する。本モデルは、後述の追従方法が酷似していることから既往の研究²⁾で検討されたノックダウン方式のカーテンウォールのモデル化の考え方を取り入れている。図5に本モデルの検討要素を含めた全体像(1ユニット)を示す。

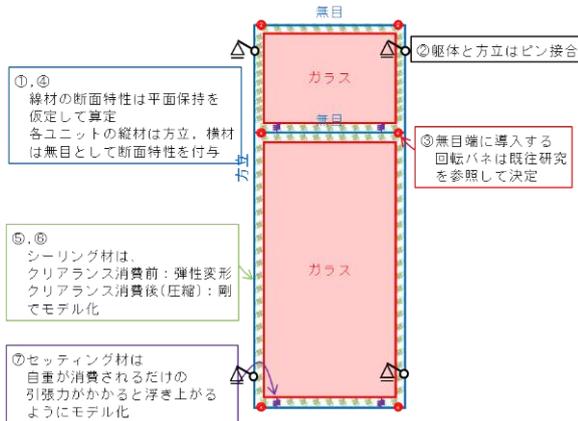


図5 本モデルの検討要素を含めた全体像

3.3 実験結果と解析モデルとの比較

実験で与えられた層間変位を表2に示す。

表2 加振スケジュール

STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
層間変位[mm]	12.0	18.0	0	-12.0	-18.0	-23.9	0	23.9	0
層間変形角[rad]	1/300	1/200	0	-1/300	-1/200	-1/150	0	1/150	0

図6に方立の追従性能を示す。ブラケット位置における変形機構によって層間変形に追従している。解析結果においても精度よく方立の挙動を表している。

図7に各ユニットの追従性能を示す。縦横形状比によりビジョン部が最も変形した。解析値は実験値より大きな値を示した。これは、実際は方立と各ユニットの接合部に存在するクリアランスが表現されていないからであると考えられる。本項目を含めたモデル化を今後の課題とする。

図8にビジョン部のガラス板の挙動を示す。ガラス板がスウェイとロッキングによって追従していることが確認できる。解析結果においても的確に表現されている。

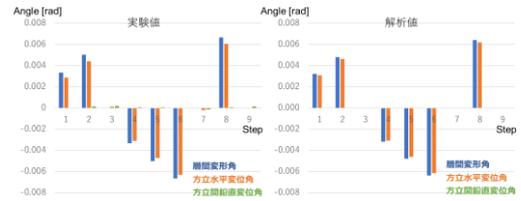


図6 方立の追従性能

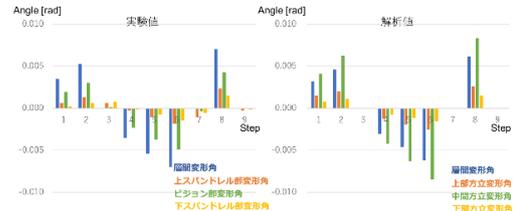


図7 ユニットの追従性能



図8 ガラス板の追従性能

3.4 カーテンウォールにおける損傷度の考察

損傷度と層間変形角の閾値を設定し、表3に示す。

表3 各損傷度の定義と対応する閾値

名称	損傷状態	層間変形角
DS1	シーリング材の亀裂	0.014[rad]
DS2	サッシフレームの接合部破壊	0.058[rad]
DS3	ブラケット部の破壊によるCWの脱落	実験にて確認

DS1ではシーリング材の亀裂を損傷状態とし、シーリング材の厚み(面外方向長さ) l の60%のせん断ひずみ δ_1 で亀裂が入るものとする。予定試験体より l を7mm、ガラス高さ h を2000mmとし、ガラスのスウェイ率60%、層間変形角に対するガラス水平変位角の割合25%(実験結果)とすると閾値は0.014radとなる。DS2の計算方法を(1)式に示す。DS2ではサッシフレームの接合部破壊を該当する損傷状態としているが、これは設計時に用いられるブーカムの式のローリング限界に相当する。この時のひずみを δ_2 とする。予定試験体より左辺, 右辺, 上辺, 下辺のクリアランス C_1, C_2, d_1, d_2 を15mm、ガラス高さ h を2000mm、ガラス幅 w を1335mmとすると閾値は0.058radとなる。

$$\delta_2 = (c_1 + c_2) + \frac{h}{w} \times (d_1 + d_2) \quad (1)$$

DS3について、脱落限界まで変形を加えた実験は見当たらない。そこで、閾値に関して、破壊実験時に確認するものとする。

まとめ

内壁では、層間変形に応じて進行する損傷段階を実験により検証した。外壁については、層間変形に追従する機構を実験と解析により分析した。この破壊試験については社会事情の影響で2月末に延期されている。

参考文献

- 岡野創, 梅田尚子, 貞許美和: 地震時の建物被害と経済的損失, 2019年度日本建築学会大会(北陸) 構造部門(振動) パネルディスカッション資料, 2019
- Toyao S, Nagae T, Chen J, Kajiwara K, Kanzaki Y, Chung Y: Assessment of a curtain wall system used in high-rise buildings and development of a monitoring method, International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake Taipei, September 15-19, 2019