

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82115

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04703

研究課題名(和文) 低層鉄骨造建築物の大判ガラスに見られる地震被害の被害低減のための研究

研究課題名(英文) A Study On Seismic Damage Mitigation For A Glass Screen System Of Low-Rise Steel Frame Building Based On Earthquake Response Observations

研究代表者

脇山 善夫 (WAKIYAMA, Yoshio)

国土技術政策総合研究所・住宅研究部・室長

研究者番号：50339800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東北地方太平洋沖地震において大判ガラスに被害を受けた低層鉄骨造建築物を対象に、強震観測等による振動特性の把握、詳細な解析モデルを用いた被害要因の推定を行い、建築物の大判ガラスの面外の揺れに加え過度なねじれを抑制することが同様の被害を防ぐ上で有効であることを確認した。また、同種の地震被害を低減するために、現在の設計方法を対象建築物の設計図書等から読み取り、被害発生メカニズムと比較することにより、設計上で配慮すべき事項について整理した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、実際に被害を生じた建築物を対象とした振動特性の把握と詳細なモデル解析を通じて、地震時に構造体から大判ガラスに作用する実際的な外力・変形を踏まえた総合的な検討を行い、設計上の配慮事項を整理することで、未だ確立されていない同種建築物の被害低減の観点から社会的意義は大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：Dynamic behavior of glass screen of low-rise steel frame building has been examined by earthquake response observations and simulation analysis. Strong-motion earthquake measurement was conducted at damaged a low-rise steel-frame building with glass screens to examine its vibration characteristics that could generate force on the glass screens. From the analysis and an earthquake observation done, it was confirmed that the glass screen at the corner of the building tends to be easily destroyed due to the influence of coupling with the torsional vibrations in addition to the large vibrations in out-of-plane direction.

研究分野：非構造部材

キーワード：大判ガラス 低層鉄骨造建築物 振動特性 地震応答解析 強震観測 耐震対策

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

過去の地震による被害を踏まえて、建築物の構造体については、建築基準法令等の改正等、様々な技術開発によって、これまで耐震性の向上が図られてきている。一方で、非構造部材については、そのような構造体の構造技術水準の向上の一方で、地震による被害は構造体の被害の甚大さに比べると注目されることは少なかった。非構造部材の地震被害及びそれに伴う建築基準法令等の改正等としては、1978年宮城県沖地震を踏まえた窓ガラスに関する規定やPCカーテンウォールの留め付け部を稼働とすることを規定したことや、2011年東日本大震災における広範囲かつ大規模の吊り天井脱落を踏まえた特定天井に関する告示の制定等を挙げることができるものの、構造体の被害報告がなされないような比較的規模の小さな地震において非構造部材の地震被害が報告されることは引き続き見られており、種々ある非構造部材について引き続き耐震性向上のための検討を進めることが求められる。

### 2. 研究の目的

本研究では、大判ガラスを用いた低層鉄骨造建築物で実際に過去の地震で被害を受けたものを対象に、強震観測等による振動特性の把握、モデル解析等による構造安全性の検討を行い、観測及び解析等を踏まえた総合的な検討を実施して、被害発生プロセスの解明および耐震安全性確保のための設計上の配慮事項について検討を行うことを目的に実施した。

### 3. 研究の方法

(1) 過去の地震において大判ガラスに被害を受けた低層鉄骨造建築物について情報を収集し、当該建築物の所有者等への依頼・調整を行い、研究の対象建築物を設定した。

(2) 対象とした低層鉄骨造建築物について、振動特性を把握するため常時微動計測・強制加振及び研究期間内の強震観測を実施した。

(3) 地震応答解析は、期間中に記録される強震観測結果を踏まえた解析モデルを作成し、被害発生の再現や地震被害メカニズムを検討することとした。得られた地震被害メカニズムを踏まえて対象建築物について検討し、大判ガラスの地震被害の低減を図るための設計上の配慮事項について検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 常時微動計測・加振実験

常時微動測定と加振実験で対象とした測点6点の平面上の位置は図1に示す通りである。測点 $\text{A}$ は1階床上、測点 $\text{B}$ は柱間の梁上、測点 $\text{C}$ ～ $\text{F}$ は柱上部(床上5.5m)であり、大判ガラス上部の測点は写真1に示すようになっている。大判ガラスはガラスの幅方向中央に

において床上1mと2.5mで計測した。測点①～⑥は東西方向(X方向)を主に計測し、測点①は南北方向(Y方向)も計測した。

図2に常時微動測定、加振実験より算出した各測点X、Y方向の伝達関数を比較して示す。常時微動測定結果から算出した伝達関数は測点①を分母として、ParzenWindow0.2Hzの平滑化処理をして算出した。図より建物の卓越振動数は4.25Hzであり、測点①では

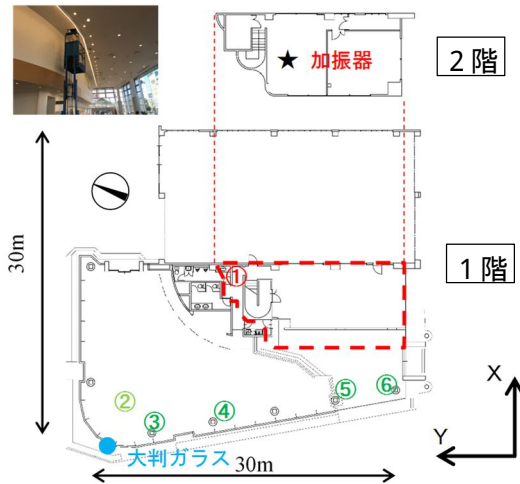


図1 平面図と測点位置



写真1 大判ガラス上部(天井裏)の状況

9.46Hzにもピークが見られた。Y方向については3.9~4.3Hzの範囲に複数の卓越が見られた。

図3に常時微動測定から求めた大判ガラス面外方向のフーリエスペクトル(ParzenWindow0.2Hzの平滑化処理をして算出)を示す。大判窓ガラス上部の支持鉄骨と同じく9.46Hz付近の振動数帯にピークが見られ、梁の振動が支持部材等を経由してガラス

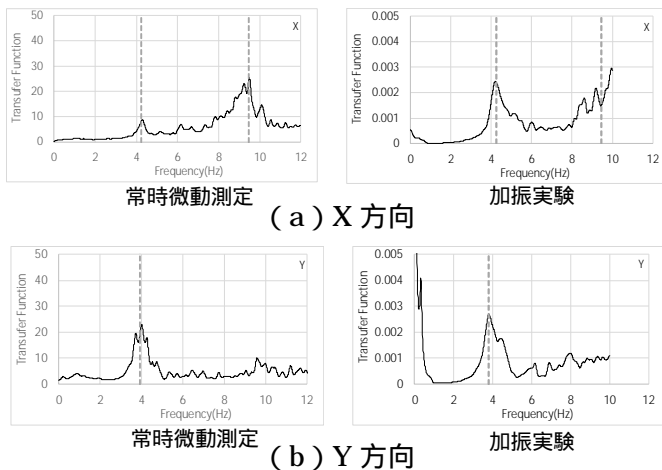


図2 常時微動測定・加振実験より算出した各測点の伝達関数

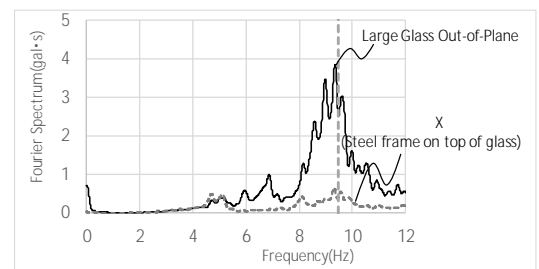


図3 常時微動測定から求めた大判ガラス面外方向のフーリエスペクトル

に伝達していると考えられる。

図4、5に10分間の常時微動測定結果からRD法により求めた減衰波形、加振実験より求めた自由振動波形と理論値(多自由度減衰式)の比較をそれぞれ示す。ここでは一例としてX方向の測点①、Y方向の測点②(常時微動測定のみ)の結果を示す。X方向のモードの減衰定数は3.2~3.6%、Y方向は0.3~1.8%程度であり、特にY方向の減衰が小さかった。図から2秒以下とそれ以降で減衰していることがわかる。

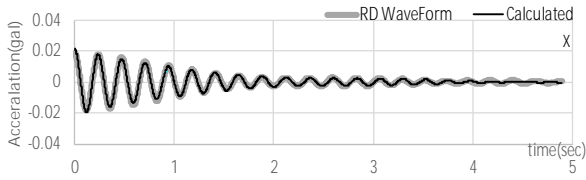


図4 RD法から求めた減衰波形（常時微動測定）

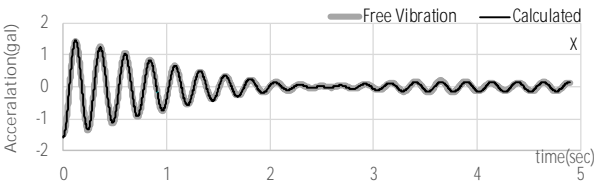


図5 自由振動波形と理論値の比較（加振実験）

観測対応表	
1620019	1階床
1620022	2階床
1620021	2階天井裏
1620020	ガレージ天端
1620011	x1軸中央柱
1620013	コーナー部戸袋
1620014	コーナー部梁H鋼
1620015	y1軸中央柱
1620017	y1軸端から2番目柱
1620018	y1軸端柱

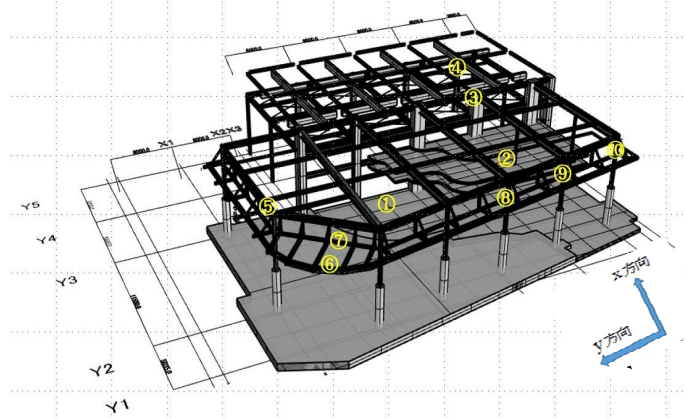


図6 地震計設置位置の概要

## (2) 強震観測

地震計設置位置を図6に示す。地震観測は、センサ数の制限もあり、建物並進X方向（短辺方向）、Y方向（長辺方向）および上下方向の応答性状を検討できるような配置計画とした。微動測定時に実施したのと同様な大判ガラス上部の梁柱接合部を中心に、いずれも水平2成分、上下1成分の3成分について同時観測を行っている。地震観測期間中に小規模から大規模まで20の地震記録の地震記録を得た。

観測された地震観測記録のうち、対象建築物が所在する仙台市近郊により近い場所で発生した10地震の震央分布を図7にそれぞれ示す。図8は横軸に計測震度、縦軸に測点と測点のねじれの最大応答変位差を取り、その関係を示したものである。図より、計測震度が大きくなるにつれて右肩上がりの曲線となっており、地震が大きくなるにつれてねじれた挙動をする傾向が確認することができる。

## (3) 地震応答解析と耐震対策

図9にシミュレーション解析モデルを示す。梁はビーム要素、大判ガラスは板要素、屋根部の水平ブレースは引張専用要素でそれぞれモデル化した。減衰は剛性比例型とし、常時微動測定記録より算出した減衰定数3.4%を用いた。入力波は2021年2月13日に福島県沖で発生した地震観測記録（以下、Eq015）を用いた。固有値解析から得られた建物の固有振動数はX方向で3.0Hz、Y方向で4.3Hzであった。

地震観測およびシミュレーション解析より、対象建物は特に測点付近が他の測点と比較して振動が大きいことが分かる。これはねじれに起因するものであり、建物の過度なねじれを抑制することが大判ガラスの耐震対策に有効であると考えられる。

解析モデルから算出した建物の偏心率はX方向で9%、Y方向で3%であり、特にX方向でねじれが大きくなっている。そこでX方向の偏心率を小さくするため、図9に示すy5通りの柱の曲げ剛性を増大させ、X方向の偏心率を3%としたモデル（Y方向の偏心率は同じ）

により同様の地震応答解析を行った。結果は図 10、図 11 に示すように、各測点における応答が 10～30%ほど低減していることを確認した。

強震観測および解析モデルによる検討により対象建築物で過去の地震の際に見られたガラス被害の発生要因について検討し、解析モデルを用いてねじれを低減させる検討より、建築物の過度なねじれを抑制することが同様の被害を防ぐ上で有効であることを確認した。

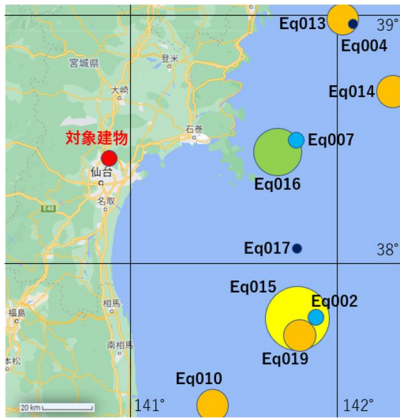


図 7 仙台市近郊で発生した地震の震央分布

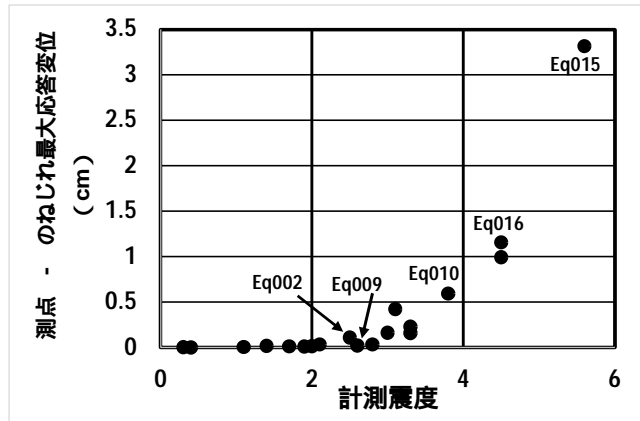


図 8 計測震度と測点間のねじれ最大応答変位の関係

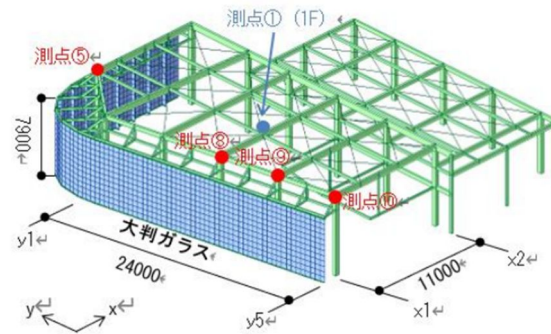


図 9 解析モデル

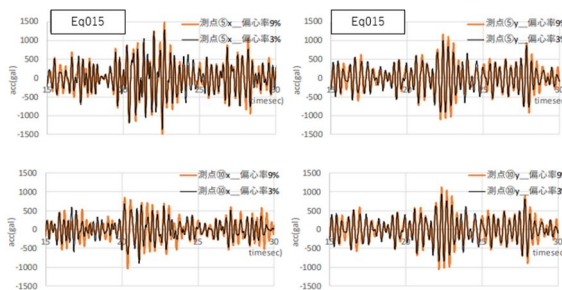


図 10 偏心率の影響による Eq015 の解析結果の比較

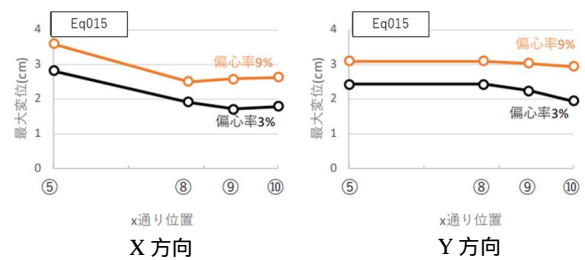


図 11 Eq015 の各測点最大変位値の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 渡壁守正、脇山善夫、稲井慎介、渡壁尚仁、山田菜々子、清水斉	4. 巻 第55巻
2. 論文標題 常時微動計測・振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2020年度広島工業大学紀要研究編	6. 最初と最後の頁 87-94
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 脇山善夫、渡壁守正、稲井慎介、清水斉
2. 発表標題 大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究（その1）研究の背景および建物の常時微動計測・強制加振実験
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 若目田美冴、脇山善夫、渡壁守正、楠浩一、清水斉、小林礼奈、稲井慎介
2. 発表標題 大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究（その2）地震観測システムの構築
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡壁守正、脇山善夫、小林礼奈、山田菜々子、稲井慎介、清水斉
2. 発表標題 大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究（その3）強震観測に基づく低層鉄骨造建物の振動特性
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲井慎介、渡壁守正、脇山善夫、清水斉
2. 発表標題 大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究 (その4) 地震観測記録とシミュレーション結果の比較
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 楊克儉、渡壁守正、脇山善夫、張 Kaiwei、大月俊典、宇佐美祐人、清水斉
2. 発表標題 大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究 (その5) 大判ガラスを含めた建物の地震応答有限要素解析
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田菜々子、渡壁守正、脇山善夫、渡壁尚仁、稲井慎介、清水斉
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究(その5) 強震観測に基づく捩れ振動
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田秀樹、渡壁守正、脇山善夫、渡壁尚仁、稲井慎介、清水斉
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の動特性に関する調査研究(その6) 大判ガラスを有する建物の地震応答解析
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下航平、渡壁守正、脇山善夫、渡壁尚仁、稲井慎介、清水斉
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究(その7)地震応答解析に基づく捩れ振動特性
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 脇山善夫、渡壁守正、清水斉、小林礼奈、稲井慎介
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究(その1)調査の目的と全体概要
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 若目田美冴、脇山善夫、渡壁守正、楠浩一、清水斉、小林礼奈、稲井慎介
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究(その2)地震観測システムの構築
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林礼奈、稲井慎介、渡壁守正、脇山善夫、清水斉
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究(その3)常時微動計測・加振実験に基づく建物の振動特性
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 小林礼奈、渡壁守正、脇山善夫、山田菜々子、稲井慎介、清水斉
2. 発表標題 振動実験・強震観測に基づく大判ガラスを有する低層鉄骨造建物の振動特性に関する調査研究(その4)強震観測に基づく低層鉄骨造建物の振動特性
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	清水 斉  (SHIMIZU hitoshi)  (30709118)	広島工業大学・工学部・教授   (35403)	
研究分担者	渡壁 守正  (WATAKABE morimasa)  (40744743)	広島工業大学・環境学部・教授   (35403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------