

地震観測・応答解析による低層鉄骨造建築物の 大判ガラスに見られる地震被害低減のための調査研究

山下 航平*・渡壁 守正**・渡壁 尚仁***・清水 齊****・脇山 善夫*****・稲井 慎介*****

(令和3年11月5日受付)

A Study On Seismic Damage Mitigation For A Glass Screen System Of Low-Rise Steel Frame Building Based On Earthquake Response Observations And Simulation Analysis

Kouhei YAMASHITA, Morimasa WATAKABE, Takahito WATAKABE, Hitoshi SHIMIZU,
Yoshio WAKIYAMA and Shinsuke INAI

(Received Nov. 5, 2021)

Abstract

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.

Key Words: Glass Screen System, Low-rise Steel Frame Building, Dynamic Characteristics, Simulation Analysis, Earthquake Response Observation

1. はじめに

過去の地震被害を踏まえて、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、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可動とすることを

規定したことや、2011年東北地方太平洋沖地震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震度5強程度の地震において非構造部材の地震被害が報告されており、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。また、これまでに著者らは、2011年東北地方太平洋沖地震の被害建物を対象に常時微動測定、加振実験及び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に関する検討、観測及び解析等を踏まえ

* 広島工業大学環境学部環境学専攻 大学院生

** 広島工業大学環境学部建築デザイン学科

*** 広島工業大学環境学部建築デザイン学科 非常勤講師

**** 広島工業大学工学部建築工学科

***** 国土交通省国土技術政策総合研究所

***** 戸田建設株式会社 技術開発センター

た検討について報告している¹⁾。

本研究では、まず地震被害発生メカニズムを明らかにするために、今までに観測された地震記録を用いて、振動特性を把握し、詳細な解析モデルを用いたシミュレーション解析をもとに、被害要因の推定を行った。その上で、同種建物の地震被害を低減するための耐震対策について、設計上で配慮すべき事項について報告する。

2. ガラススクリーン構法および対象建物の概要

2.1. ガラススクリーン構法の概要

図1は、非構造部材と主体構造との接合形態と非構造部材の入力特性の関係を示した模式図である。本研究で取り上げるガラスは、一般的に四周を囲んでいる枠等で支持されていることを考えると、タイプⅣに該当すると考えることができ、外力の特性は“周囲の枠の変形”つまりは地震時に構造体に生じる変形に伴うガラス面の面内方向の変形（面内層間変形）を主に考慮することと位置付けられる。

図2は1978年宮城県沖地震の際に被害を受けた3階建ての事務所建築物であり、硬化シーリング材で止められたはめごろし窓が損傷脱落していることが分かる。被害要因としては、構造体に生じた層間変形が、硬化したシーリング材を経てガラスに作用して、ガラスが脆性的に破壊したことが想定され、前述のタイプⅣに該当する。このような地震被害を踏まえて、はめごろし窓に硬化性シーリング材を用いないようにすることが求められることとなった。

本研究で検討対象としているガラススクリーン構法は、外部の光などを室内に取り込むため、また、内部の様子が外部から見えるように、大判ガラスを全面的に用いている。ガラススクリーン構法の概要を図3に示す。建築物の外周壁を構成する面ガラスと、その面ガラスと直交する方向に設けられるリブガラス（方立ガラス）で構成され、比較的新しい開口部の工法であり、高層の事務所建築物の低層部分や自動車ショールームなどの低層鉄骨造建築物などで大工用いられている。近年の震度5強程度の地震の際に、構造体に被害はないものの、低層鉄骨造建築物を中心にガラ



図2 地震による窓ガラスの被害³⁾

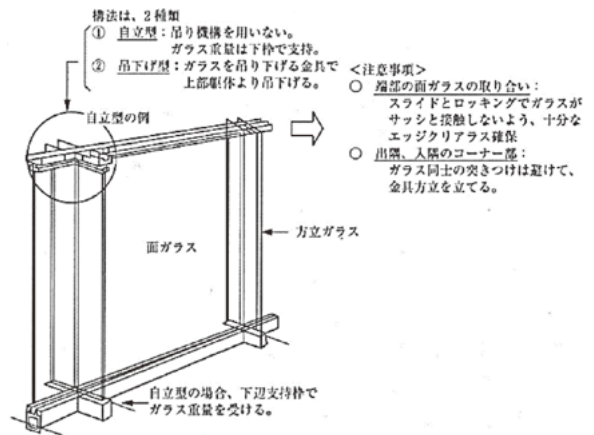
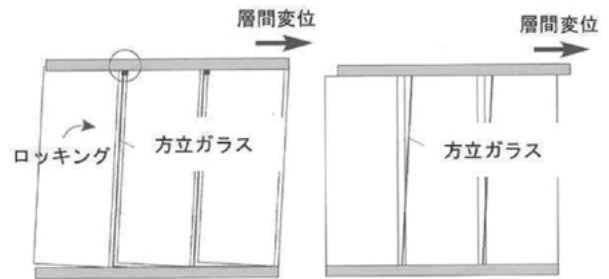


図3 ガラススクリーン構法⁴⁾



(a) 上枠が一体で動く場合 (b) 上枠が別々で動く場合

図4 地震時の面ガラスと方立ガラスの動き⁴⁾

タイプ	I	II	III	IV	V
主体構造と非構造部材の接合形態	○ 1点	○ ○ ○ ○ ○ ○	上・下で線的に接合	周囲すべて接合	面的に接合
実際の接合状態	主体 S 非構造部材 NS	非構造部材 N	天井スラブ 床スラブ	周囲の壁	柱・壁 主体
外力の特性	特に慣性力 (2方向)	面内層間変位 面外慣性力	面内層間変位 面外慣性力	周囲の枠の変形	下地構造材のひずみ

図1 非構造部材と主体構造との接合形態と非構造部材の入力特性の関係 (※文献2の図を一部編集)



図5 ガラススクリーン構法の地震被害⁵⁾

スが破損する事例が報告されている。破損したガラスによる人身への危害の大きさを鑑みると、大判ガラスを有する低層鉄骨造建築物の被害低減のための検討が求められる。

ガラススクリーン構法の耐震設計については文献4において、耐震設計のチェックポイントとして層間変形角の設計値チェックが挙げられている。面ガラスと方立ガラスの地震時挙動のイメージ図を図4に示す。図4(a)に示すように、地震時に上枠に生じる層間変位に対して面ガラスと方立ガラスが追従できれば、両ガラスの間にズレは生じずガラスは損傷しない。図4(b)に示すように、面ガラスと上枠の間でシール切れなどを起こすと、上枠に追従する方立ガラスと追従しない面ガラスの間に動きのズレが生じ、それに伴う局所的な変形で方立ガラスの一部が損傷するとされている。

図5は過去の地震によるガラススクリーンの被害である。この地震被害では、面ガラスは損傷しているが、方立ガラスについての損傷は見られない。また、文献6、7は2011年東北地方太平洋沖地震の後に仙台市郊外において行ったガラススクリーンの被害調査について報告したものであるが、総数76件の調査対象で被害を受けた34件の内、面ガラスのみに被害があったものが14件あったと報告しており、これは被害総数の4割強に相当する。

これらの被害事例及び被害報告より、必ずしもすべてのガラススクリーンの被害が先述の面内変形による被害に当てはまるものでもないと考えられる。つまり、面内変形以外の要素、図1を踏まえると、面外変形や面外慣性力の影響が想定されるという点からはタイプⅢ、あるいは面内変形と面外変形と面外慣性力が複合した作用の影響が想定される。面ガラスのみに着目すると、面ガラスの面外方向への揺れの影響や面ガラスに生じるねじれ変形の影響、あるいはそれらの組み合わせ等が想定される。

2.2. 対象建築物の概要

対象建築物は仙台市の図6に示すような大判ガラススクリーンを採用した低層鉄骨造建物であり、北面と西面がガラススクリーン構法となっている。2011年東北地方太平洋沖地震において、コーナー部の大判ガラスに被害を受けている。建物の1次固有周期は今までに観測された地震記録の分析から0.3秒前後である。



図6 検討対象の低層鉄骨造建物

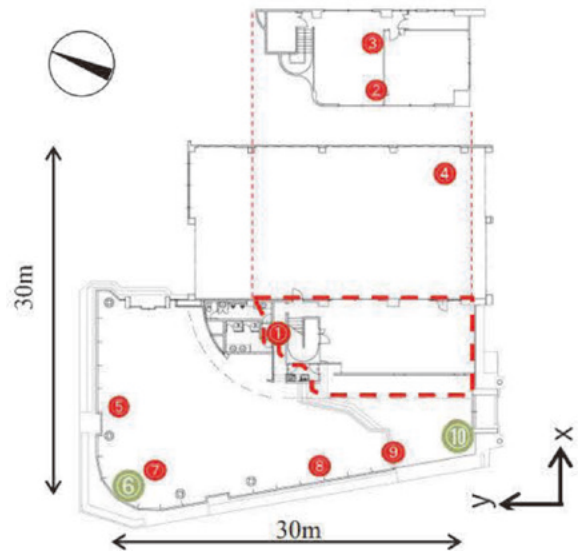


図7 平面図と大判ガラス上部の地震計設置位置

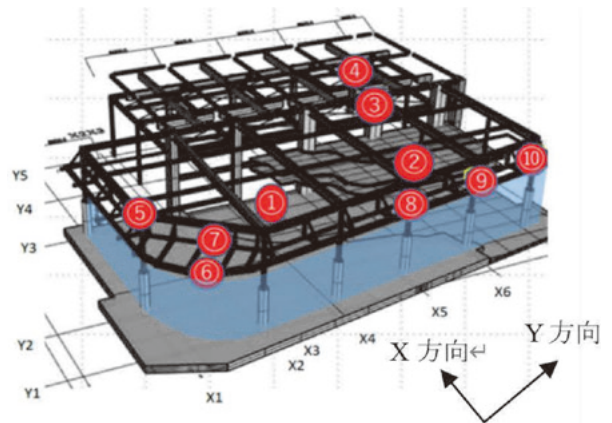


図8 地震計配置図

表1 観測点对応表

①	1620019	1階床	⑥	1620013	戸袋
②	1620022	2階床	⑦	1620014	梁H鋼
③	1620021	2階天井裏	⑧	1620015	x軸中央柱
④	1620020	ガレージ天端	⑨	1620017	x軸端から2番目柱
⑤	1620011	y軸中央柱	⑩	1620018	x軸端柱

3. 地震記録および観測記録の概要

3.1. 地震観測の概要と特徴

地震観測はセンサー数の制限もあり、X方向（大判ガラス面外方向）、Y方向（大判ガラス面内方向）および上下方向の応答性状を検討できる配置計画とした（図7、8、表1を参照）。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成分を配置し同時観測を行っている。

地震観測開始後、これまでに20の地震記録が観測され、小規模から大規模の地震記録が得られた。観測された地震を順にEq001、Eq002などと呼ぶ。Eq001は現地調査時に簡易的に設置した地震観測のセンサー配置で観測された地震である。それ以外のEq002～Eq020は振動実験時に設置された詳細な地震観測のセンサー配置で観測されている。これらの地震により観測された建物各測点の最大加速度値を表2にそれぞれ示す。表2に示した地震観測記録のうち、仙台市近郊で発生した10地震の震央分布を図9にそれぞれ示す。

Eq001を除いた19の地震において、X、Y方向それぞれに1階床の加速度記録と各測点の最大加速度値の分布を図10に示す。図からX、Y方向で各測点の加速度値に差はあるものの、1階床の加速度値が小さければ各測点の加速度値は同程度であり、1階床の加速度値が大きければ大きいほど、各測点での加速度値のばらつきが大きくなるという傾向を確認することができる。

対象建物における観測記録の中で、2021年2月13日に福島県沖で発生したEq015が最大の地震記録で、計測震度は5.6（震度6弱）であった。これは2011年東北地方太平洋沖地震（震源深さ24km、M9.0）とほぼ同程度の計測震度であった。Eq015と2011年東北地方太平洋沖地震（震源深さ24km、M9.0）においてK-NETにより観測された対象建物近傍の地震記録（以下、311_仙台観測記録）の加速度時刻歴波形および S_a-S_d スペクトルを図11（a）、（b）にそれぞれ示す。 S_a-S_d スペクトルにはX方向（面外方向）における対象建物の1次固有周期である0.33s（黒の破線）を併記した。311_仙台観測記録の S_a-S_d スペクトル結果は、変形と加速度応答ともに大きな値を示している。またEq015の S_a-S_d スペクトル結果からは、1次固有振動数で仙台と同程度の変形が発生し、加速度応答値においても仙台のそれと同等の結果が得られていることが分かる。

3.2. 地震観測に基づく建物のねじれ応答結果

図7に示した通り、対象建物の長辺方向に大判ガラスが位置している。コーナー部（測点⑤）と端部（測点⑩）でどのような挙動がされているか確認するため変位記録の相関を比較検討する。1階床の入力加速度を見てEq002、

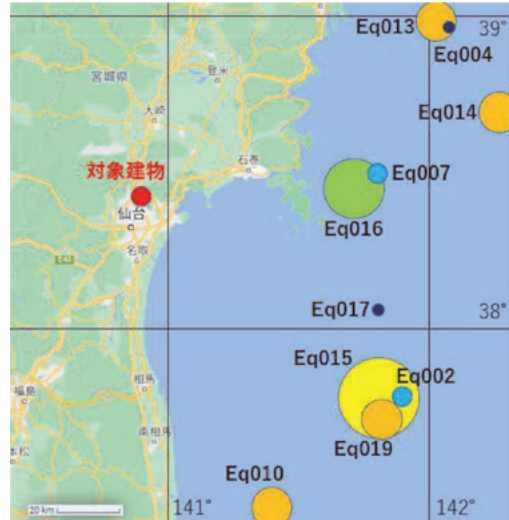
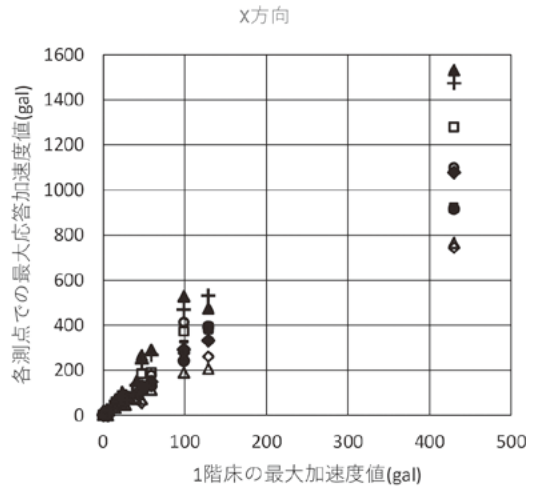
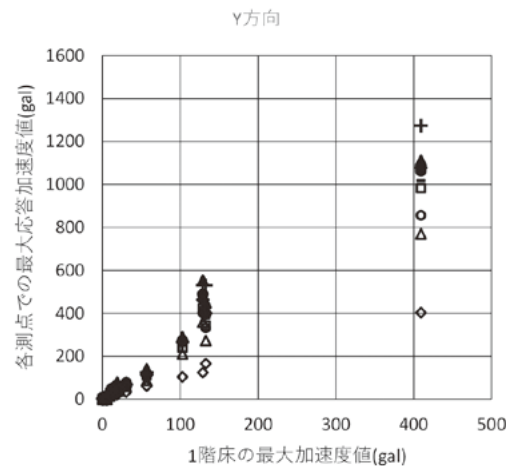


図9 仙台市近郊で発生した地震の震央分布



△ 測点② ○ 測点③ ◇ 測点④ □ 測点⑤ + 測点⑥
▲ 測点⑦ ● 測点⑧ ◆ 測点⑨ - 測点⑩
(a) X方向（面外方向）

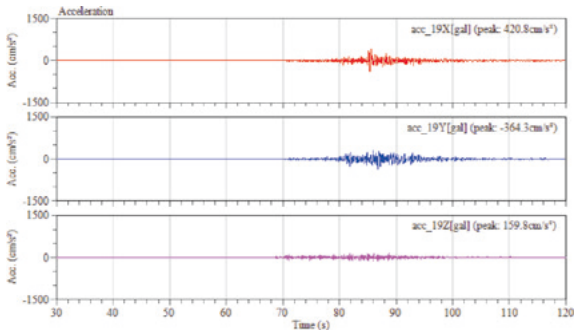


△ 測点② ○ 測点③ ◇ 測点④ □ 測点⑤ + 測点⑥
▲ 測点⑦ ● 測点⑧ ◆ 測点⑨ - 測点⑩
(b) Y方向（面内方向）

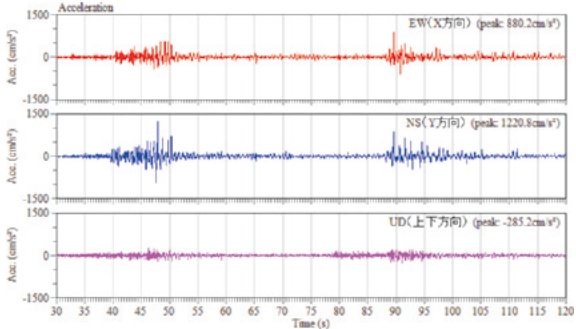
図10 最大加速度分布図

表2 Eq001～Eq020における各測点の最大加速度値

No.	震源地	震源深さ (km)	M	方向	各観測地点の最大加速度値 (gal)									
					躯体				x、y軸大判ガラス面上					
					①1階 階段下	②2階床	③2階 天井裏	④ガレージ 天端	⑤x1軸 中央柱	⑥コーナ 戸袋	⑦コーナ 梁H鋼	⑧y1軸 中央柱	⑨y1軸端 2番目柱	⑩y1軸 端柱
Eq001	福島県沖 (簡易) 2019/11/3	30	5.1	X	12.2	19.3	-	-	-	-	-	-	-	-
				Y	9.9	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-
				Z	4.9	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-
Eq002	福島県沖 2019/12/11	40	5.2	X	15.4	32.5	57.7	34.1	60.5	62	70.3	52.1	52.1	52.1
				Y	12	32	42.2	11.3	43.5	43.5	42.5	48.1	47.7	45.8
				Z	5.8	34.1	23	5.2	9	9	14.2	7	6.2	5.4
Eq003	青森県東方沖 2019/12/19	50	5.5	X	2.9	4.4	6.6	5.1	7.6	7.6	9.2	5.5	5.7	6.3
				Y	3.2	5.7	6.9	3.3	6	6	6.9	6.5	6.5	6.6
				Z	0.8	3.6	2.5	1.1	1.6	1.6	1.8	1.1	1	1
Eq004	宮城県沖 2019/12/21	40	4	X	0.4	0.66	1.39	0.88	1.76	1.95	2.23	0.97	1.39	1.87
				Y	0.44	0.77	1.2	0.45	1.31	1.47	1.66	1.41	1.32	1.19
				Z	0.37	1.24	0.81	0.4	0.52	0.67	0.65	0.4	0.41	0.39
Eq005	宮城県沖 2019/12/21	40	4.1	X	0.43	0.95	2.32	0.97	1.65	1.84	2.35	1.63	1.7	1.91
				Y	0.59	0.9	1.26	0.77	1.12	1.76	2.89	1.2	1.12	1.21
				Z	0.48	1.82	1.41	0.62	0.97	1.81	1.96	1.05	1.21	2.19
Eq006	岩手県内陸南部 2019/12/22	10	4.3	X	2.51	5.05	8.19	5	6.11	6.05	6.99	6.63	6.91	8.04
				Y	1.85	4.73	5.94	2.43	6.22	7.64	8.08	6.22	6.36	6.16
				Z	2.02	6.82	4.61	1.75	2.25	4.13	4.19	2.25	1.93	2.19
Eq007	宮城県沖 2019/12/26	50	4.6	X	4.99	9.83	18.72	11.69	22.59	21.95	24.96	16.06	15.62	17.22
				Y	8.93	15.93	17.48	9.12	18.91	19.82	20.65	20.89	20.57	19.24
				Z	2.5	7.97	6.49	1.67	3.35	5.24	4.73	2.7	2.68	2.42
Eq008	三陸沖 2019/12/27	10	4.8	X	2.69	5.62	9.62	6.21	8.38	8.49	9.21	8.01	8.85	9.33
				Y	3.3	5.79	6.54	3.72	6.6	6.51	7.01	7.18	6.95	6.82
				Z	0.81	7.77	4.83	0.96	1.23	2.32	2.1	0.87	0.84	0.8
Eq009	千葉県東方沖 2020/1/3	30	5.9	X	0.23	0.24	0.27	0.21	0.25	0.24	0.25	0.28	0.25	0.21
				Y	0.25	0.26	0.21	0.23	0.28	0.26	0.29	0.26	0.21	0.26
				Z	0.37	0.34	0.33	0.31	0.34	0.41	0.29	0.34	0.35	0.37
Eq010	福島県沖 2020/2/12	87	5.4	X	59.0	114.2	178.8	127.9	190.7	267.8	291.8	131.7	148.3	167.4
				Y	102.7	210.6	265.8	103.4	238.9	264.2	290.2	270.3	268.1	263.4
				Z	14.3	134.9	83.77	24.94	31.3	70.41	62.0	21.1	19.2	298.1
Eq011	択捉島南東沖 2020/2/13	160	7	X	3.3	7.6	13.19	8.58	12.1	11.13	12.8	11.0	12.4	12.8
				Y	3.3	6.31	8.38	3.62	7.5	7.24	7.7	8.2	8.0	7.5
				Z	1.5	9.51	5.84	2.02	1.7	3.99	3.9	1.5	1.5	1.5
Eq012	小笠原諸島西方沖 2020/4/18	490	6.9	X	1.4	2.46	3.64	2.39	3.0	2.92	3.4	3.2	3.3	3.3
				Y	1.4	2.13	2.14	1.65	2.3	2.46	2.9	2.5	2.5	2.4
				Z	0.6	1.68	1.89	0.65	1.0	2.87	2.7	0.9	0.9	0.9
Eq013	宮城県沖 2020/4/20	50	6.1	X	23.4	53.01	88.12	55	88.4	91.15	103.1	76.5	78.2	80.1
				Y	21.2	37.83	49.71	29.21	43.1	44.15	49.2	47.6	46.2	44.8
				Z	7.2	60.13	38.59	10.2	10.1	28	25.4	8.1	8.5	7.8
Eq014	宮城県沖 2020/9/12	40	6.1	X	41.1	71.18	118.5	73.09	125.0	133.5	153.0	95.1	95.7	104.0
				Y	30.6	58.57	78.3	33.24	63.0	68.36	77.8	71.7	69.5	66.0
				Z	9.6	67.31	40.74	13.37	19.3	44.5	40.5	15.9	14.4	12.7
Eq015	福島県沖 2021/2/13	60	7.1	X	429.9	764.9	1099.2	743.9	1279.2	1474.4	1531.7	914.7	1077.7c	937.3
				Y	409.3	768.6	855.3	402.9	982.4	1273.2	1111	1063	1077.8	1017.5
				Z	165.6	510.1	335.6	-882.8	791.1	427.6	370.4	1053.4	541	862.1
Eq016	宮城県沖 2021/3/20	60	6.9	X	128.8	206.2	396.1	260.4	388	531.9	473.8	390.9	332	366.4
				Y	132.9	272.5	331.4	165.1	343.5	530.4	449.3	396.4	400.3	379
				Z	104.7	228.9	160.6	78.71	-969.3	194.7	167.7	-296.4	102	124.3
Eq017	宮城県沖 2021/4/18	50	5.8	X	27.6	46.4	80.5	54.2	82.7	84.2	89.0	66.9	69.6	84.9
				Y	18.8	45.3	57.3	20.2	56.8	67.3	79.1	63.9	62.8	64.1
				Z	13.1	52.3	36.2	13.4	16.4	37.8	28.4	12.5	11.5	9.6
Eq018	宮城県沖 2021/5/1	60	6.8	X	98.8	189.3	413.2	275.5	372.6	468.9	528.1	241.8	292.3	326.8
				Y	129.0	358.7	400.4	123.5	423.2	530.9	553.1	488.4	462.9	497.2
				Z	59.2	206.4	138.7	44.4	731.1	320.6	130.7	69.1	65.5	58.8
Eq019	福島県沖 2021/8/22	60	5.2	X	47.2	71.2	129.4	53.4	184.5	231	266.3	131.4	107.7	93.4
				Y	56.8	87.1	112.5	60.4	109.5	124.7	139.9	113.5	113.6	103.2
				Z	10.5	99.7	76.8	9.5	25.9	44.3	41.7	19.2	17.3	11.8
Eq020	岩手県沖 2021/10/6	50	6.0	X	5.28	8.29	13.5	8.84	15.2	16.6	18.7	11.2	11.6	11.8
				Y	6.47	11.3	14.0	7.41	13.2	14.0	14.2	15.3	14.9	14.2
				Z	2.50	11.2	7.54	7.41	2.77	6.54	5.53	2.58	14.9	2.55

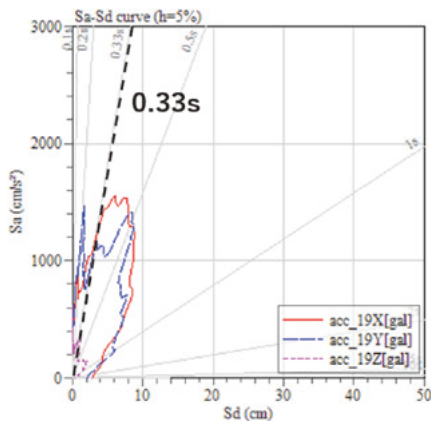


Eq015の時刻歴波形 (震度 6弱)

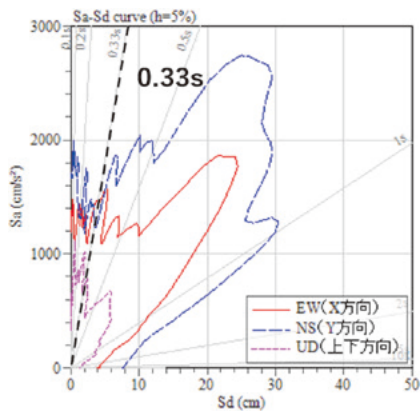


仙台の時刻歴波形 (東北地方太平洋沖地震, 震度 6強)

(a) 時刻歴波形



Eq015 (震度 6弱)



仙台 (東北地方太平洋沖地震, 震度 6強)

(b) S_a-S_d スペクトル

図11 311_仙台観測記録およびEq015の記録

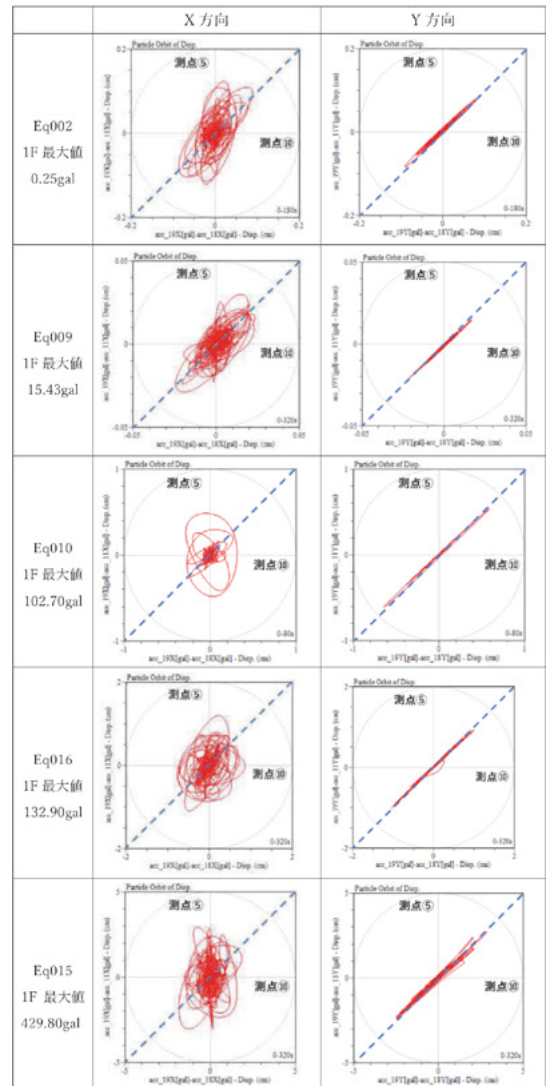


図12 1階床の入力加速度値の大きさによる両端 (測点⑤と測点⑩) の変位記録の相関関係

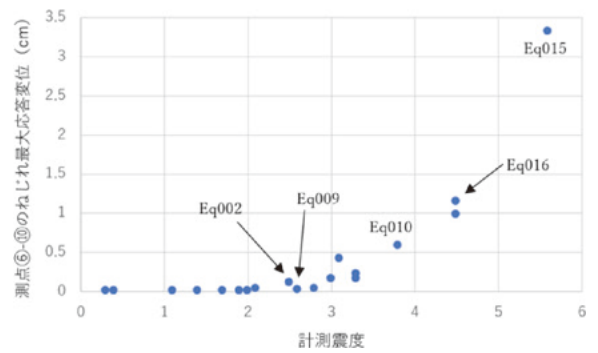


図13 計測震度と測点⑤ - 測点⑩間のねじれ最大応答変位の関係

Eq009, Eq010, Eq015, Eq016の5つのそれぞれ違う大きさの地震を選択した. 図12は両端の変位記録を縦軸と横軸に取り, X方向とY方向毎にその相関を示したものである. 相関図は両端でねじれがなければ, 図に示すような斜め45°の破線に沿う形となる. 図よりY方向(大判ガラス面内方向)ではコーナー部と端部で同じような挙動をしている

ことが確認でき、X方向（大判ガラス面外方向）については、地震が大きくなるにつれて測点⑤の変位が大きくなり、破線から離れた形となっていることから、ねじれた挙動をしていることが分かる。

図13は横軸に計測震度、縦軸に測点⑤と測点⑩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。図から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いて、前述した通りの傾向が確認することができる。

4. 地震応答解析および耐震対策⁸⁾

4.1. 解析モデル

図14にシミュレーション解析モデルを示す。柱梁はビーム要素、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、既報の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Eq015の観測記録を用いた。また参考として311_仙台観測記録を用いた解析も行った。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、いずれもねじれを含んだ振動モードであり、明確な並進モードとはなっていない。X、Y方向の並進とねじれの振動モードを図15 (a)、(b)にそれぞれ示す。

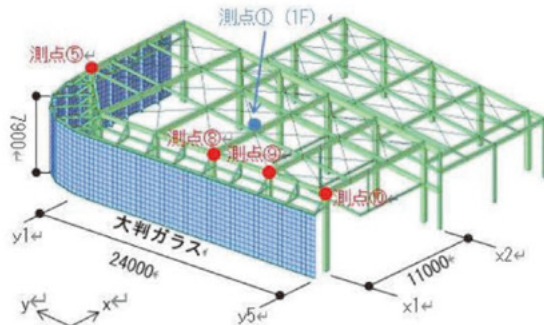
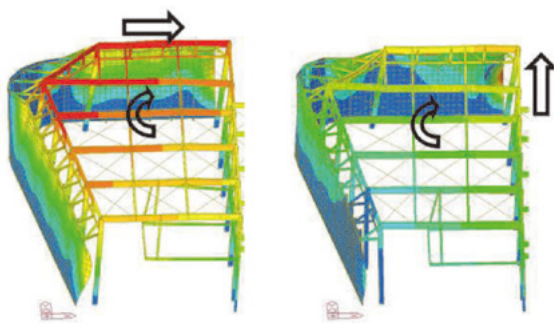
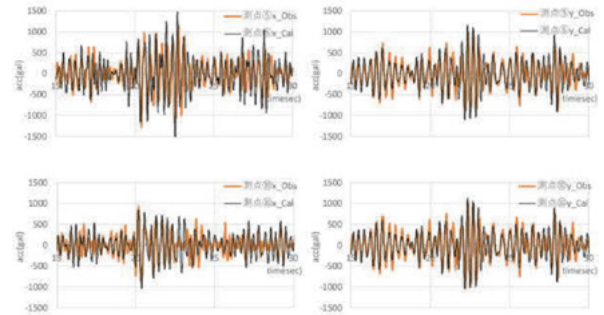


図14 解析モデル



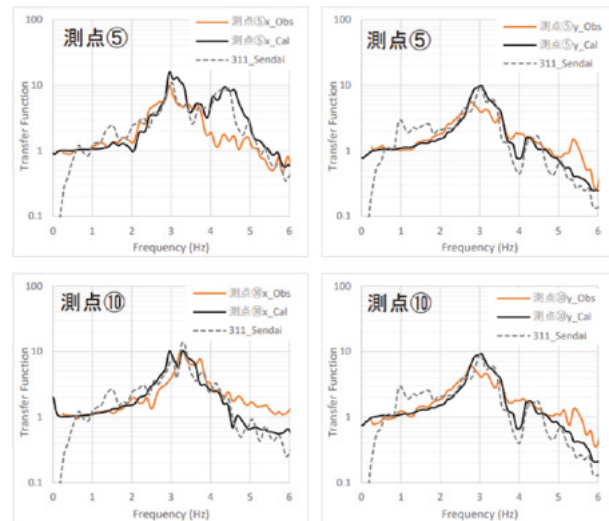
(a) X方向並進-ねじれ (b) Y方向並進-ねじれ

図15 振動モード



(a) X方向 (b) Y方向

図16 Eq015の観測記録による地震応答解析結果



(a) X方向 (b) Y方向

図17 観測記録と解析結果による伝達関数の比較

4.2. 地震応答解析結果

図16に地震応答解析結果をEq015の観測記録と比較して示す。結果は紙面の都合上、一部の測点（図14参照）の比較について示しているが、いずれもEq015の観測記録と解析結果はよく対応している。特に空間が広がっている測点⑤付近のX方向で応答が大きくなっているのが確認でき、上述した振動モードと対応している。ややEq015の観測記録の方が大きめの値となっているのは、高次成分の影響と思われる。

図17に測点①と建物端部測点⑤、測点⑩の伝達関数をEq015の観測記録と比較して示す。図中には311_仙台観測記録を用いた解析結果を併記した。いずれの測点も3Hz付近に複数のピークが見られ、並進とねじれを含んだ振動モードとなっていることが分かる。

4.3. 建物・大判ガラスの耐震対策

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⑤付近が他の測点と比較して振動が大きいことが

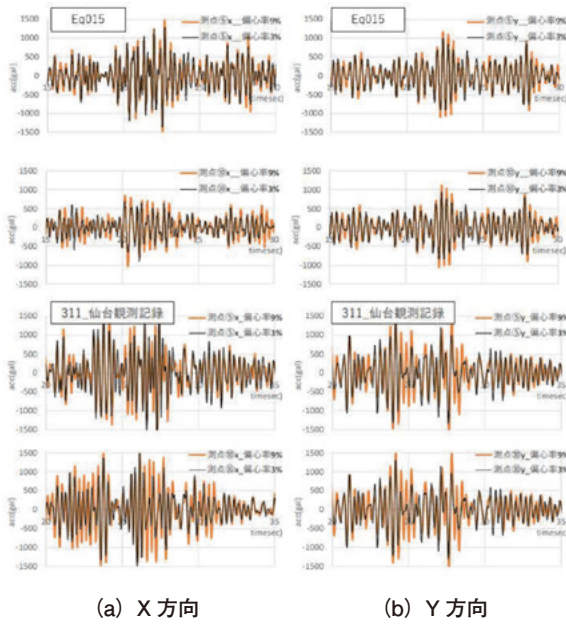


図18 偏心率の影響によるEq015と311_仙台観測記録の解析結果の比較

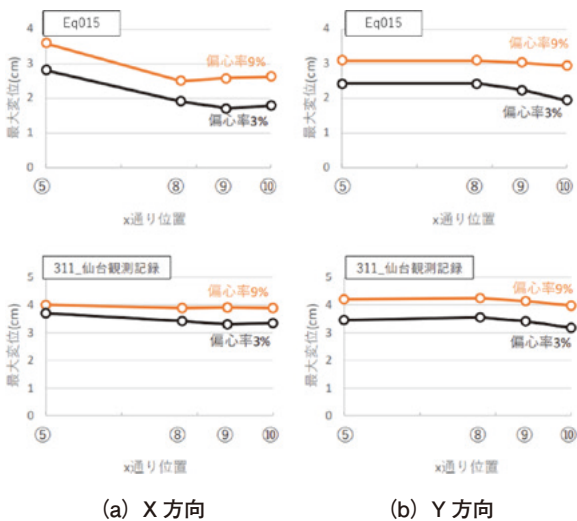


図19 Eq015と311_仙台観測記録を入力に用いた場合の各測点最大変位値の比較

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おり、上述したEq015の観測記録や解析結果と対応する。そこでX方向の偏心率を小さくするため、図14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18、図19に示すように、入力波により大小の差はあるが、各測点における応答が10~30%ほど低減していることが確認できる。

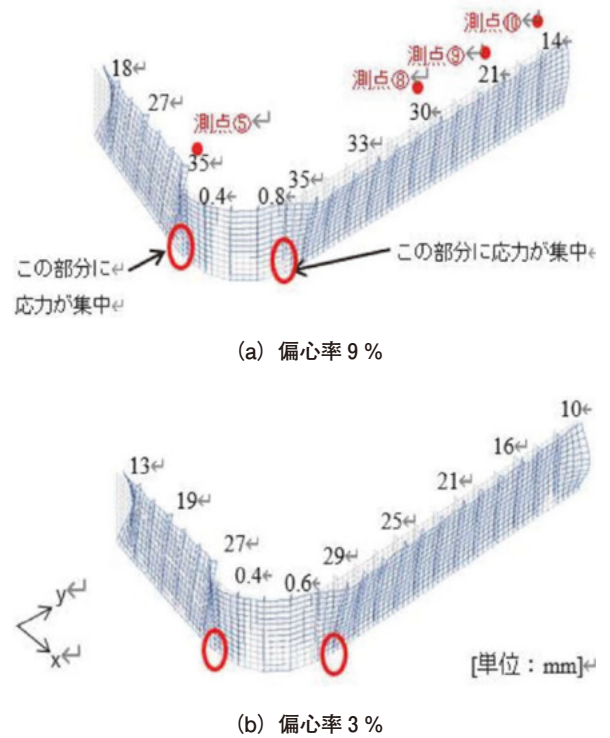


図20 Eq015を入力した場合の大判ガラス各測点の変形

次に図20に最大加速度が生じた際の大判ガラスの変形図を示す。図はEq015の観測記録を用いた結果であるが、311_仙台観測記録を用いた結果も同様の傾向であった。曲線部以外は概ね構造体(測点の柱)と同程度の変形となっているが、曲線部の大判ガラスの変形は非常に小さいことが分かる。これは直線部のガラスの面外剛性に対して、曲線部のそれが大きいことが原因であり、このことから特に直線部と曲線部の接合部分に応力が集中する可能性が考えられる。最大変位が生じた直線部と曲線部の面外方向の変形角は1/57程度であり、ガラスに何らかの損傷被害が生じる可能性があるレベルである。

ガラス面の変形は建物の偏心率を抑制することにより、変形の程度は抑えられるものの、直線部と曲線部の接合部への応力集中については、この部分の縁切りなどさらなる対策が必要であると考えられる。

5. まとめ

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の振動特性を把握するために強震観測等を行い、そのうち最大震度6弱の地震観測記録を用いたシミュレーション解析結果により、大判ガラスを有する建築物の耐震対策について検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) 変位記録の相関を分析すると、Y方向(長辺・大判ガラス面内方向)ではコーナー部と端部で同じような挙動を示し、直線部と曲線部の接合部分では1/57程度の

面外方向の変形角が生じた可能性があることを確認できた。

- 2) 1階床の計測震度が大きくなるにつれ、コーナー部の変位が大きくなり、コーナー部と端部との間のねじれ最大応答変位が大きくなる傾向を確認できた。
- 3) シミュレーション解析結果から、端部から離れたコーナー部付近では、X方向（大判ガラス面外方向）にねじれた挙動が顕著であり、観測記録を裏付ける傾向が確認できた。
- 4) 大判ガラスの変形は建物のねじれに比例して増大することが確認でき、建物のねじれを抑制することが有効な耐震対策であると考えられる。
- 5) 大判ガラス曲線部は、直線部と比較して変形が小さく、接合部に大きな応力が集中する可能性が考えられる。解析結果から推測すると、今回検討した規模の地震では大判ガラスに損傷が生じる可能性が考えられるが、対象建物では損傷はなかった。この理由の一つとして、建物と大判ガラスがアングルを介したボルト接合となっているため、この部分で多少の変形を許容でき、応力集中を避けられたことが考えられる。
- 6) 対象建物のように曲線部を有する大判ガラスの地震被害を防止するには、建物のねじれの抑制と併せて、曲線部と直線部の接合部に応力が集中しない対策も必要であると考えられる。

以上のことを踏まえ、今回のようなコーナー部に大空間・大判ガラスを有する低層鉄骨造建築物では、可能な限り重心を剛心に一致させるとともに、コーナー部にねじれを抑制するような設計をすることが被害を低減する対策案になると考える。

謝 辞

本研究はJSPS 科研費JP19K04703の助成を受けたものである。強震観測の実施にあたりましては、(株)エイターの加地正明様、若目田美冴様をはじめ各方面の関係各位のご協力を頂いている。また、データ収集は、2018年度SINET 広域データ収集基盤実証実験【採択ID:34】の一環であり、SINET「広域データ収集基盤」を利用している。

ネットワーク構築には、東京大学地震研究所 楠浩一教授、鶴岡弘准教授にご指導とご助言をいただきました。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震での仙台の観測記録は、防災科学技術研究所のK-NETの記録を利用しています。また解析の一部には、国立研究開発法人建築研究所のViewWaveソフトを使用した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 渡壁守正, 脇山善夫, 稲井慎介, 渡壁尚仁, 清水斉: 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研究, 構造工学論文集 vol. 67B, 2021.3
- 2) 非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領, 日本建築学会, 2003.1
- 3) 建築研究所災害調査団:「1978年宮城県沖地震」の被害調査報告書, 建築研究報告86号, 1979.2
- 4) 安全・安心ガラス設計施工指針 増補版, 一般財団法人日本建築防災協会, 2014
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所:平成28年10月21日14時07分頃の鳥取県中部の地震による建築物等被害調査報告, 2016
- 6) 高原正弘, 清家剛, 磯崎敏正, 淡谷武司, 渡部紀夫, 俵田忠明, 木原幹夫:平成23年東北地方太平洋沖地震におけるガラスの被害調査報告:(その1) 調査の全体像と被害の概要, 日本建築学会学術講演梗概集, 建築計画, pp. 77-80, 2012.9
- 7) 俵田忠明, 清家剛, 磯崎敏正, 淡谷武司, 渡部紀夫, 高原正弘, 木原幹夫:平成23年東北地方太平洋沖地震におけるガラスの被害調査報告:(その2) 仙台市郊外における自動車販売店のガラススクリーン構法の被害調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 建築計画, pp. 81-84, 2012.9
- 8) 渡壁守正, 脇山善夫, 稲井慎介, 渡壁尚仁, 清水斉, 山下航平:地震応答解析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, 日本建築学会技術報告集, 第28巻, 第68号, 109-114, 2022.2 (掲載予定)