

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	実大鉄骨造体育館のE - ディフェンス震動台実験 その1 屋根ブレース材の塑性化順と応答加速度の相関係数の関係
Title(English)	
著者(和文)	鈴木理恵, 佐藤大樹, 佐々木智大, 青井淳, 梶原浩一, 田川浩之
Authors(English)	Rie Suzuki, Daiki Sato, Tomohiro Sasaki, Atsushi Aoi, Koichi Kajiwara, Hiroyuki Tagawa
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 653-656
Citation(English)	, , , pp. 653-656
発行日 / Pub. date	2016, 3

実大鉄骨造体育館のEーディフェンス震動台実験

その1 屋根ブレース材の塑性化順と応答加速度の相関係数の関係

構造—振動

鉄骨造体育館 Eーディフェンス 実大振動実験
屋根面応答 ブレース 塑性化

正会員 ○ 鈴木理恵 ^{*1}	正会員 佐藤大樹 ^{*2}
〃 佐々木智大 ^{*3}	〃 青井淳 ^{*4}
〃 梶原浩一 ^{*5}	〃 田川浩之 ^{*6}

1. はじめに

大規模建築物である体育館では、災害発生後も避難拠点として使用可能であることが求められている。しかし、東日本大震災では、学校体育館の非構造部材、特に天井の脱落により地震後の避難拠点としての機能を満たさない事例が報告されている¹⁾。天井の脱落メカニズムを解明するにあたり、屋根面における応答を把握することは非常に重要であるが、大空間における屋根面の応答はいまだ明らかになっていない。また、解析^{2),3)}や縮尺モデルによる振動実験^{4),5)}、観測地震動による検討^{6),8)}は行われているが、実大実験による3方向加振での検討はほとんど行われていない。

本研究では、防災科学技術研究所による「学校施設における大空間建築物の実験研究プロジェクト」の学校施設の体育館をモデル化した、大規模空間を有する試験体の加振実験をEーディフェンス震動台を用いて実施し、大規模空間での地震被害の発生を構造体の応答特性を明らかにすることで被害軽減技術や対策の提案を行うことを目的としている。本報では実験の報告書⁹⁾およびそのデータを用いて、K-NET 仙台波入力時における屋根面の応答性状に対して屋根面に設置してある屋根ブレース材の影響について検討を行う。その1では屋根ブレース材の塑性化の順を時刻と共に追う。また屋根面に設置した加速度計から屋根面中央部における加速度波形との相関係数の結果と屋根ブレース材の塑性化を比較することにより、屋根面の応答性状の把握につなげる。

2. 概要

2.1 試験体概要

試験体写真と寸法を図1に示す。試験体の構造は鉄骨造平屋建てである。試験体の平面寸法は東北太平洋沖地震における被害の調査分析¹⁰⁾を参考にEーディフェンス震動台(15 m×20 m)を大きく越える18.6 m×30 mとした。試験体の屋根は、既存の体育館で採用例の多い山形屋根とし、ライズスパン比は東日本大震災における被害との関連分析結果より0.15とし屋根勾配を10:3とした。試験体の高

さは最も高いところで9.09 mである。試験体内部には吊り天井を設置し、吊り天井の動きが外部から確認しやすいよう屋根と外壁材は省略した。ただし、屋根材の質量分については振動特性に与える影響が大きいため、これと等価な質量を持つ銅板(1 m×1 m×64 mm)を大梁の上に60枚(以下、これを屋根錘とする)設置し、試験体の応答が実際の体育館の挙動を再現できるよう調整した。本報で対象とする屋根ブレース材はM16(SNR400B)のパイプ式ターンバックル付きであり、降伏点は291 N/mm²、引張り強さ446 N/mm²である。より詳しい試験体の詳細については、文献9),11)を参考とする。

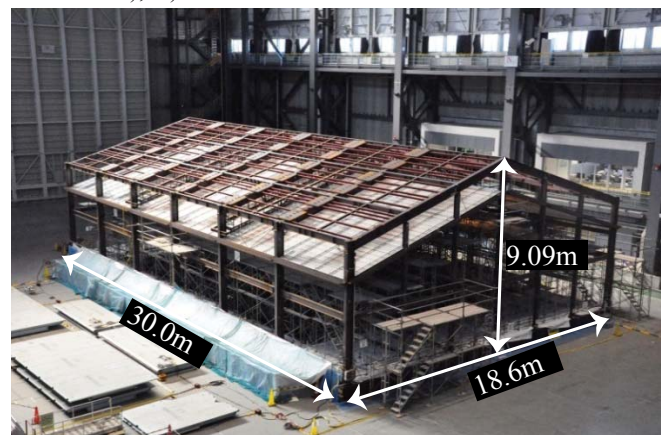


図1 試験体全体写真

なお、梁間方向をX方向、桁行方向をY方向、鉛直方向をZ方向とする。

2.2 計測計画

屋根面の屋根ブレース材のひずみの計測計画を図2に示す。また、屋根ブレース材のひずみゲージの設置例を図3(a),(b)に示す。図2に示すように外周を2枚貼り、外周以外は1枚貼りとし、ひずみゲージはねじやま端部から200 mm 逃げた側面に設置してある。

屋根面の加速度計測計画を図4に示す。加速度計測計画は、屋根ブレース材の変形が計算より算出できるように、各位置の一方のブレース材の両端部には加速度計を配置している。

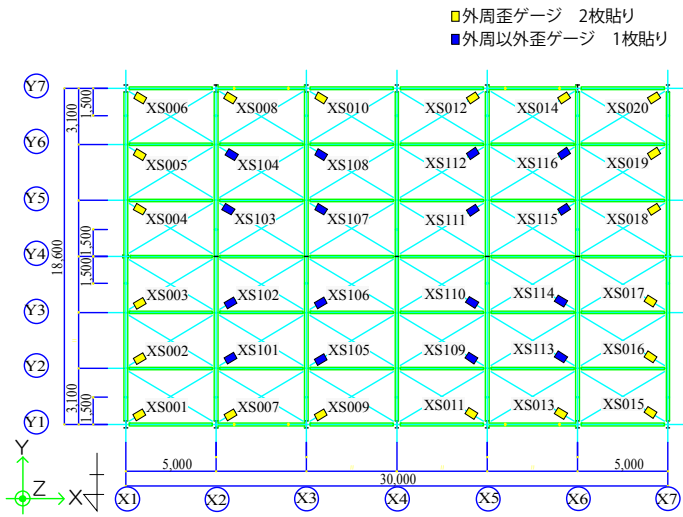
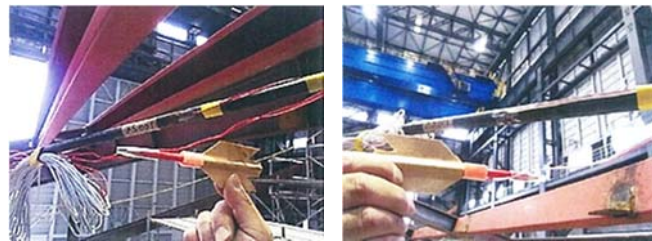


図2 屋根ブレース材のひずみ計測位置



(a) 外周ひずみゲージ2枚貼 (b) 外周以外ひずみゲージ1枚貼

図3 ひずみゲージ設置状況

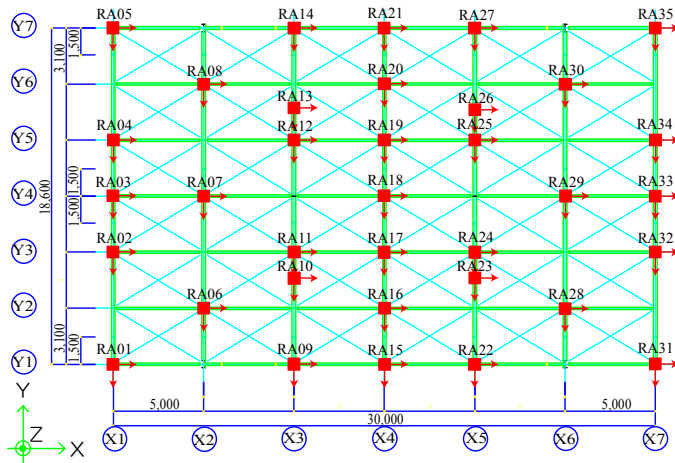


図4 屋根面加速度計測位置

屋根面の応答性状を検討するにあたり、屋根面に設置した屋根垂が母屋材等に接触し衝撃を与える等による高周波数成分を取り除くため計測結果にはローパスフィルター (Low Pass Filter, LPF) をかける。天井面で計測された加速度応答データに対して検証した結果、主要な加速度応答を取り除かず不要なノイズを取り除く LPF の値として 100Hz が最適であると判断した⁹⁾。

2.3 加振計画

表 1 に本報で用いた加振計画を示す。震度はそれぞれ 25%時で 5 強, 50%で 6 弱, 80%と 100%時で 6 強となる。

表 1 加振計画

実験日	加振波	入力レベル	振動台加速度 (梁間方向)	目標屋根面加速度 (梁間方向)
2014/2/27	K-NET	25%	3.79m/s ²	7.3m/s ²
		50%	7.59m/s ²	15.7m/s ²
2014/2/28	仙台波	80%	12.14m/s ²	36.9m/s ²
		100%	13.41m/s ²	48.3m/s ²

加振実験では加振波として 2011 年東北地方太平洋沖地震において防災科学研究所の強震観測網(K-NET)の仙台観測点で観測された加速度記録(K-NET 仙台波)を用いた。入力方向は、梁間方向に NS 成分、桁行方向に EW 成分、上下方向に UD 成分とした。震動台中央部で計測された入力レベル 100%の 3 方向の加速度波形を図 5 に、加速度応答スペクトル (減衰 $h=10\%$) を図 6 に示す。

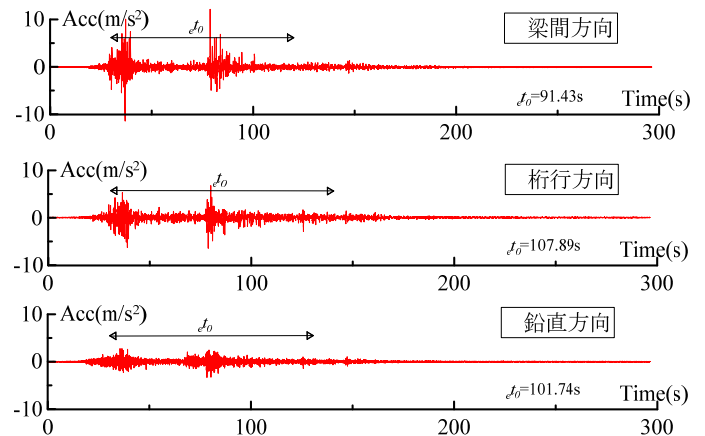


図5 加速度波形(震動台中央)

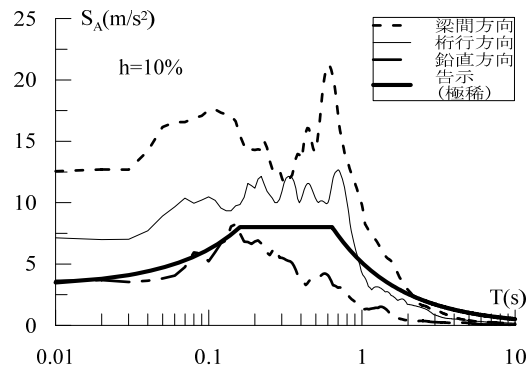


図6 加速度応答スペクトル(K-NET 仙台 100%)

3. 屋根ブレース材の塑性化の進展

3.1 屋根ブレース材のひずみの時刻歴波形

入力レベル 25%, 50%, 80%, 100%における屋根ブレース材のひずみゲージより与えられたひずみの計測結果の時刻歴波形を図 7 に示す。本報では例として XS101 位置 (図 2) の時刻歴波形を示す。

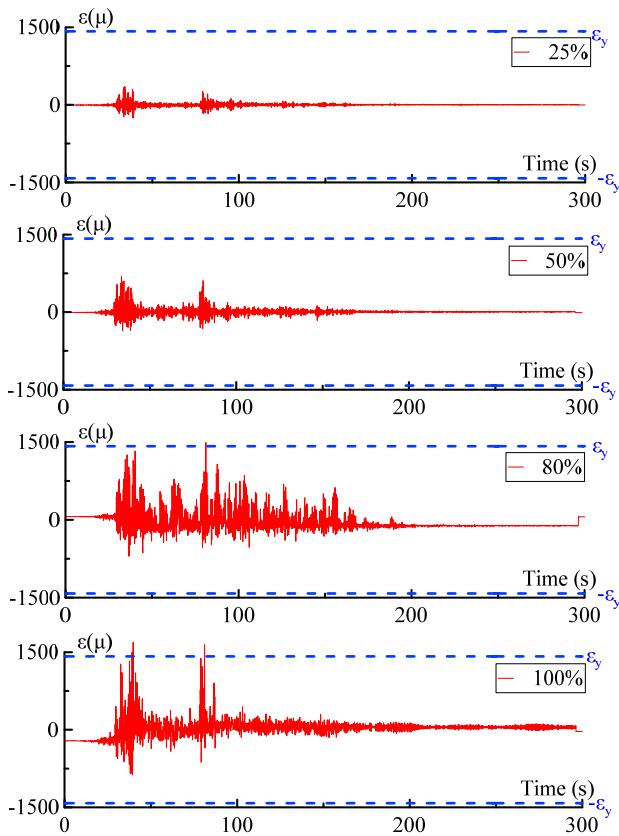


図7 XS101におけるひずみの時刻歴波形

ひずみゲージの計測結果は、はじめの1秒間の平均値が0となるようにオフセットした。図中の破線は降伏ひずみ ϵ_y を表し、降伏応力度 $\sigma_y = 291 \text{ N/mm}^2$ 、ヤング係数 $E = 205000 \text{ N/mm}^2$ より以下の式(1)から算出した。

$$\epsilon_y = \sigma_y / E \quad (1)$$

各々の計測位置におけるひずみの時刻歴波形より、入力レベル 25%、50%時においてはすべての屋根ブレース材は弾性域にあり、入力レベル 80%から屋根ブレース材が塑性域に達することが確認された。この結果より次節では入力レベル 80%、100%時において屋根ブレース材が塑性し始める順番を追い、さらに検討を深める。

3.2 屋根ブレース材の塑性化

3.1 節より、屋根ブレース材は入力レベル 50%まではすべて弾性域であるが、入力レベル 80%から塑性域に達し始めるブレースがあることが分かった。本節では、屋根ブレース材の塑性域に達した時間を追い、屋根面の応答性状の把握につなげる。図8に入力レベル 80%時、図9に入力レベル 100%時において屋根ブレース材が塑性域に達した順を示す。黒丸で囲われた数値が塑性域に達した順である。塑性域に達した順番とその時刻、屋根ブレース名の対応を表2(80%)と表3(100%)に示す。

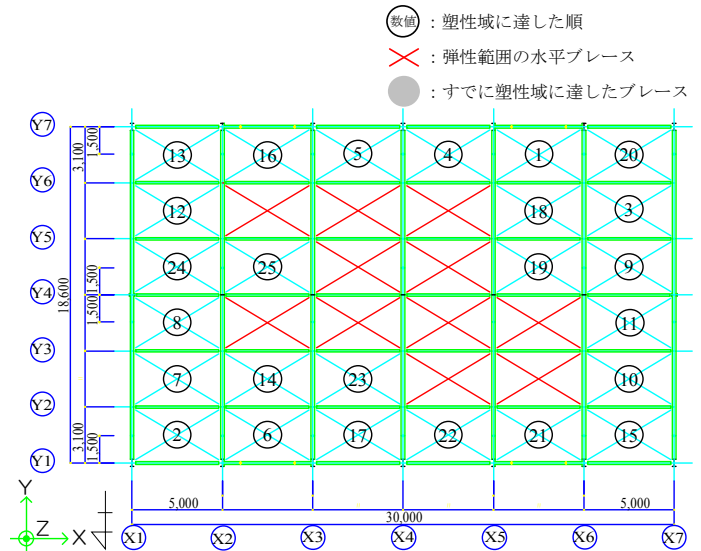


図8 屋根ブレース材の塑性化順序(入力レベル 80%)

表2 屋根ブレース材の塑性時刻 (80%)

塑性順序	ブレース名	時刻(s)	塑性順序	ブレース名	時刻(s)
1	XS014	33.910	14	XS101	36.731
2	XS001	34.097	15	XS015	37.272
3	XS019	34.292	16	XS008	39.065
4	XS012	34.343	17	XS009	39.071
5	XS010	34.540	18	XS116	43.349
6	XS007	34.548	19	XS115	54.839
7	XS002	34.558	20	XS020	54.841
8	XS003	35.506	21	XS013	78.484
9	XS018	35.679	22	XS011	78.498
10	XS016	35.975	23	XS105	81.068
11	XS017	35.979	24	XS004	141.176
12	XS005	36.229	25	XS103	155.458
13	XS006	36.247			

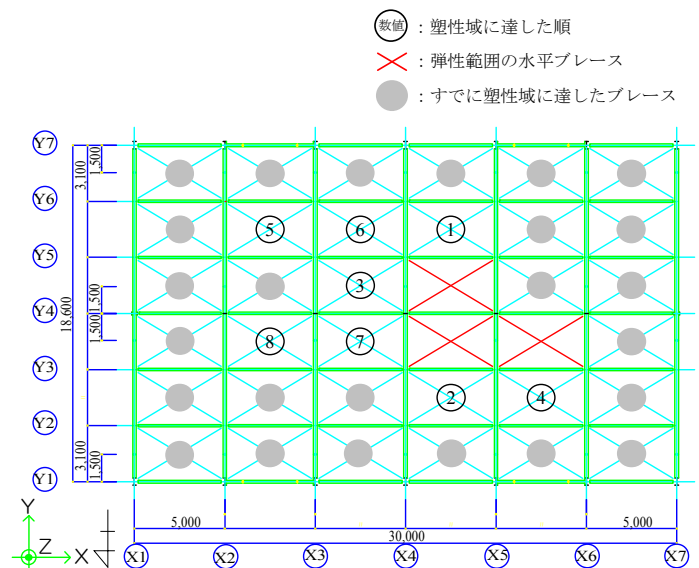


図9 屋根ブレース材の塑性化順序(入力レベル 100%)

表 3 屋根ブレース材の塑性時刻 (100%)

塑性順序	ブレース名	時刻 (s)
1	XS112	32.479
2	XS109	35.974
3	XS107	36.346
4	XS113	36.572
5	XS104	37.205
6	XS108	37.590
7	XS106	38.019
8	XS102	78.912

入力レベル 80%時の塑性化順序(図 8)をみると、外周部の屋根ブレース材が早く塑性域に達する傾向がみられる。また、あるブレースが塑性化すると、そのブレースの隣または近い位置にあるブレースが塑性する傾向も確認できる。塑性時刻を見ると 35 秒前後に塑性化が集中していることが分かる。これは震動台中央部の時刻歴応答波形より、30 秒前から大きな地震応答を示すことから、屋根ブレース材もそれに伴い塑性域に達したと思われる。

入力レベル 100%時の塑性化順序(図 9)をみると、外周部はすでに 80%時で塑性域に達し、外周部以外でもほとんどの屋根ブレース材が塑性域に達したことが分かる。塑性域に達しなかった屋根ブレース材は中央付近の XS109, XS110, XS113 のみであった。

4. 屋根面の加速度波形の相関係数

3 章における屋根ブレース材の塑性化の進展は、屋根面の応答性状に大きく関係すると考えられる。そこで、表 2 と表 3 の屋根ブレース材の塑性時刻の結果より 10 秒区切りでの屋根面の加速度波形の相関係数を把握することを試みた。ただし、30 秒～40 秒間においては塑性したブレースの数が多いため、5 秒区切りとする。相関係数は屋根面の計測計画図(図 3)より屋根面中央(RA18)を基準とした¹¹⁾。屋根面加速度波形の相関係数を検討する際、実効継続時間 e_{t0} の範囲内で検討を行うこととする。実効継続時間 e_{t0} は、震動台中央部に入力した加速度波形のパワー累積値を求め、全体のパワーの 5%点と 95%点をもって継続時間と定義する¹²⁾。それぞれの入力レベルにおいて梁間、桁行、鉛直方向の各々で実効継続時間 e_{t0} を求め (図 4)、それらの平均を今回の実効継続時間 e_{t0} とする。その結果より本報では実効継続時間 e_{t0} は 30 秒～130 秒の 100 秒間の範囲とし、実効継続時間 e_{t0} の範囲で相関係数の検討を行う。各々の計測位置(図 3)における 10 秒ごとの相関係数を算出し、そのすべての計測位置の平均の相関係数を \bar{R} とする。 \bar{R} と時刻の関係を、入力レベルごとに梁間、桁行、鉛直方向で図 10(a)～(c)にそれぞれ示す。

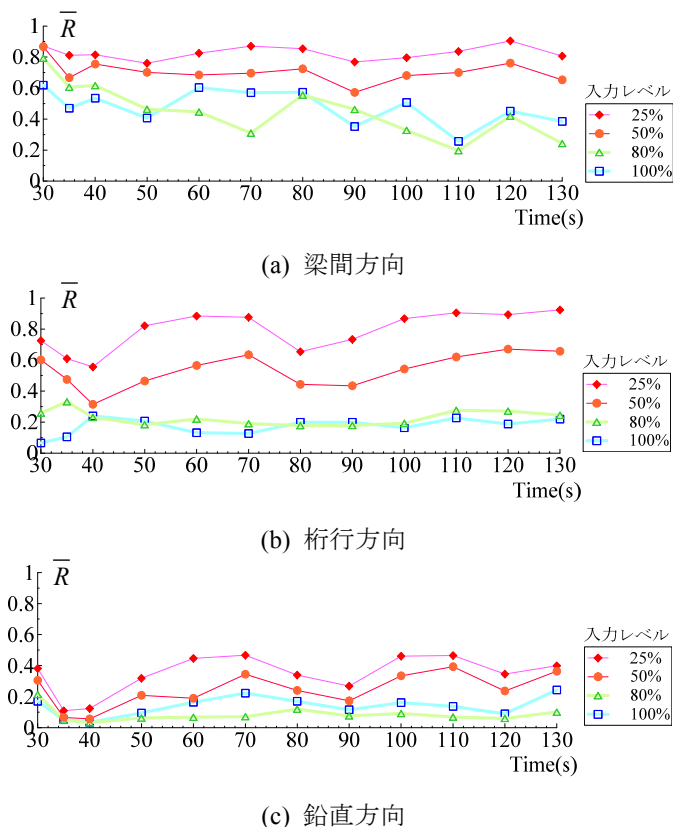


図 10 加速度波形の相関係数と時刻の関係

図 10(a)～(c)より、梁間方向、桁行方向、鉛直方向の順に相関係数の値が低くなることが分かる。また入力レベルが大きいくほど相関係数の値は低くなることが分かる。第 3 章より屋根ブレース材が弾性域である入力レベル 25%, 50%では、梁間、桁行、鉛直方向の時間ごとの相関係数の値の傾向は類似している。屋根ブレース材が塑性する 80%, 100%では相関係数はほぼ横ばいであり、相関は低いことが分かる。

5. まとめ

Eーディフェンスを用いた大規模空間吊り天井の体育館において、加振波 K-NET 仙台波入力時における屋根面の応答性状を、屋根ブレース材の塑性化の順を時刻で追うとともに、加速度計から屋根面中央部との加速度波形の相関係数の検討との比較により明らかにした。以下に得られた知見を示す。

- (1) 屋根面に設置してある屋根ブレース材は、外周部が先に塑性化し、ある場所が塑性化するとそのブレースの隣または近い位置にあるブレースが塑性する傾向が確認された。
- (2) 屋根ブレース材が塑性域に達し始める 80%, 100%では、屋根ブレース材がすべて弾性域である入力レベル 25% と 50%よりも相関係数の値は低いことが分かった。

参考文献と連名者の所属はその 2 にまとめて示す。