

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2 加速度2階積分におけるブレース変形算出方法の検討
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. 657-660
Citation(English)	, , , pp. 657-660
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2 加速度2階積分におけるブレース変形算出方法の検討

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 軸変形

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

その2ではその1に引き続き、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の加振実験から、屋根面の応答性状把握のため屋根ブレース材の検討を行うことを目的とする。屋根ブレース材は地震などの荷重に対して屋根面が変形するのを防ぐ役割を持ち、屋根面の剛性を強める効果があるため、屋根面の応答性状に大きく関与するものとなる。そのため、屋根ブレース材が大きく変形することによりブレース材の耐力の低下もしくはブレース材の座屈が生じ、屋根面の剛性が低下する要因となる。よって屋根ブレース材の変形を知ることは重要であるが、本研究ではチャンネル数の制約上、屋根ブレース材への変位計の設置はできていないため加速度よりブレース変形を算出する必要がある。本報では、その初期段階として加速度計と変位計の両方が設置されている壁ブレースを対象に、加速度計の加速度波形より変位を算出する方法の検討を行うことを目的とする。

2. 検討概要

本報では、加速度から算出した変位が妥当であるかを検討するため加速度計と変位計が設置してある箇所において加速度2階積分による変位波形と変位計の計測記録の比較を行う。すべての加速度波形と変位波形は本報その1と同様にローパスフィルター(LPF) 100Hzをかけたもので検討を行う。加えて、変位計のデータは、はじめの1秒間は平均値が0となるようオフセットしたものを変位計記録とする。

2.1 検討位置

壁ブレースの設置位置で検討を行う。東立面の壁ブレースをV1、北立面の壁ブレースをV2とする。壁面に設置してある壁ブレースのそれぞれについて、壁ブレースの変位とブレース端に設置してある加速度計の2階積分より変位波形を求め比較する。図1～図4に本報で用いる加速度計、変位計の設置位置を示す。

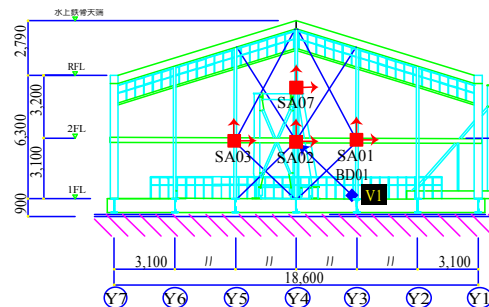


図1 東立面図

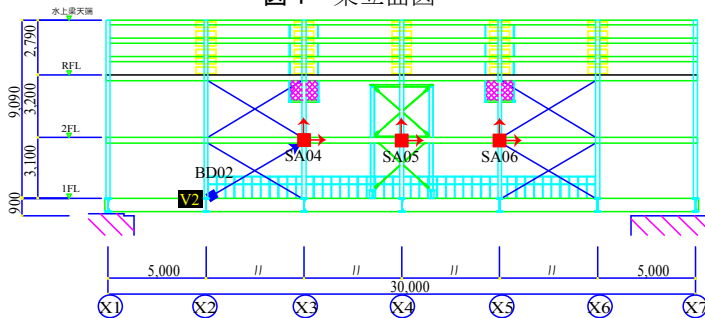


図2 北立面図

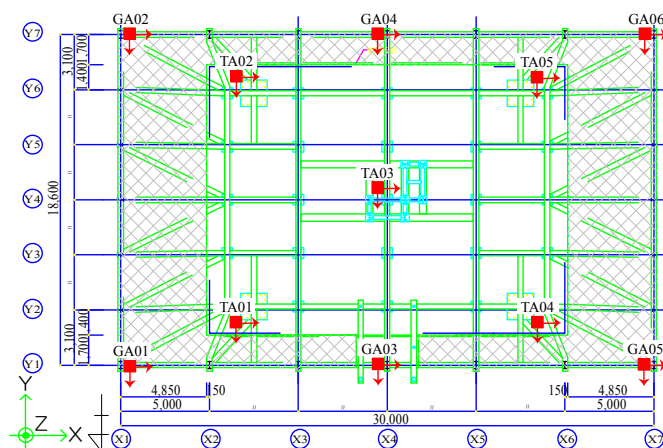


図3 1階平面図

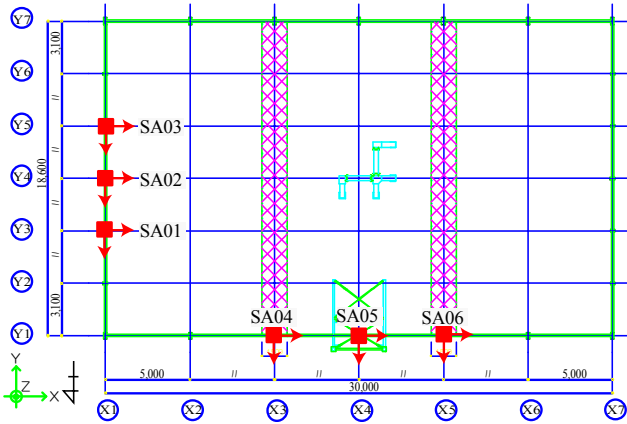


図4 2階平面図

壁ブレース V1, V2 において, K-NET 仙台波入力レベル 25%と 100%の加速度波形の結果を用いて2階積分を行う。壁ブレース V1, V2 に対応するチャンネルを表 1 に示す。壁ブレースの下端部にはそれぞれ加速度計は設置されていないため, 一番近い GA01 で代用する。

表 1 垂直ブレースに関するチャンネル対応表

	V1		V2	
	加速度計	変位計	加速度計	変位計
2FL(i端)	SA02	BD01	SA04	BD02
1FL(j端)	GA01		GA01	

3. 加速度2階積分による変位算出方法の検討

3.1 ブレース変形の算出方法

加速度の2階積分より求めたブレースの軸変形を ΔL , ブレース長さを L とする。またブレースの上端, 下端部分をそれぞれ i 端, j 端と呼ぶ。ブレースの軸変形 ΔL は式(1)で求められる。

$$\Delta L(t) = \sqrt{U_x^2(t) + U_y^2(t) + U_z^2(t)} - L \quad (1)$$

ここで,

$$U_x(t) = X_i(t) - X_j(t), \quad U_y(t) = Y_i(t) - Y_j(t), \quad (2a-c)$$

$$U_z(t) = Z_i(t) - Z_j(t)$$

$X_i(t), X_j(t)$ は, 変形後の壁ブレース両端 (i 端, j 端) の X 方向の座標位置を表し, 各々は次式より算出できる。

$$X_i(t) = u_{xi}(t) + X_{0i}, \quad X_j(t) = u_{xj}(t) + X_{0j} \quad (3a,b)$$

ここで,

X_{0i}, X_{0j} : i, j 端の変形前の X 方向座標位置

$u_{xi}(t), u_{xj}(t)$: i, j 端の X 方向の変位量

であり, 各々の変位量は次式より求められる。

$$u_{xi}(t) = \iint \ddot{u}_{xi}(t) dt^2, \quad u_{xj}(t) = \iint \ddot{u}_{xj}(t) dt^2 \quad (4a,b)$$

ここで,

$\ddot{u}_{xi}(t), \ddot{u}_{xj}(t)$: i, j 端で計測された加速度

である。 $Y_i(t), Y_j(t), Z_i(t), Z_j(t)$ についても上記と同様に求める。

$$Y_i(t) = u_{yi}(t) + Y_{0i}, \quad Y_j(t) = u_{yj}(t) + Y_{0j} \quad (5a,b)$$

$$Z_i(t) = u_{zi}(t) + Z_{0i}, \quad Z_j(t) = u_{zj}(t) + Z_{0j} \quad (6a,b)$$

ここで,

$$u_{yi}(t) = \iint \ddot{u}_{yi}(t) dt^2, \quad u_{yj}(t) = \iint \ddot{u}_{yj}(t) dt^2 \quad (7a,b)$$

$$u_{zi}(t) = \iint \ddot{u}_{zi}(t) dt^2, \quad u_{zj}(t) = \iint \ddot{u}_{zj}(t) dt^2 \quad (8a,b)$$

である。

3.2 ハイパスフィルター (HPF) の適正値の検討

加速度波形に含まれるトレンドを除くため, 式(4),(7),(8)で2階積分を行う際, ハイパスフィルター(High Pass Filter, HPF)をかけて積分を行った。本報ではHPFの値として0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70Hzの9通りで検討を行う。HPFの適正値の検討として図5に式(1)で算出したブレース変形の最大値と変位計より与えられたブレース変位の最大値の誤差を, 図6にブレース変形の標準偏差の誤差を示す。ここでの誤差とは, 変位計記録を基準としたものとする。また図7には相関係数Rを示す。それぞれの図において(a)に入力レベル25%, (b)に入力レベル100%での結果を示す。

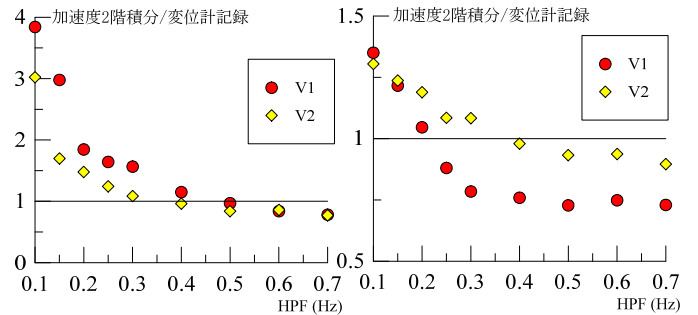


図5 絶対最大値の誤差

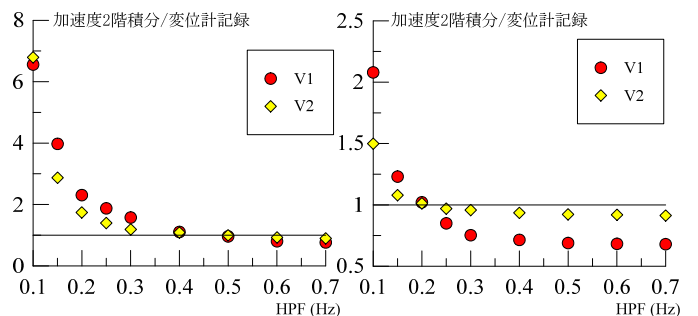


図6 標準偏差の誤差

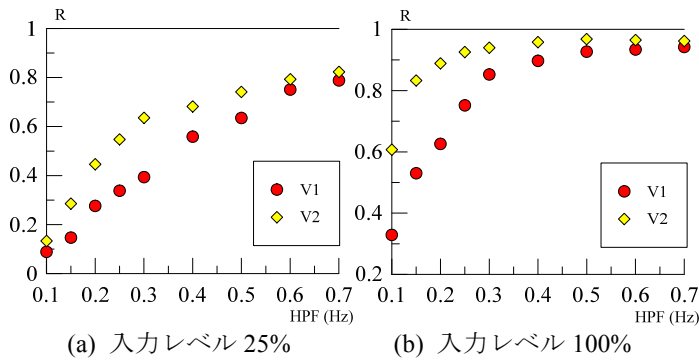


図7 相関係数

図5,6より、HPFの値が高いほど誤差は小さくなること
 が分かる。入力レベル25%ではHPF 0.5 Hzのとき、V1,V2
 共に1に近い値を示している。入力レベル100%におい
 てもHPFの値が高くなるにつれて誤差は低減するが0.4Hz
 以降はほぼ横ばいの値を示すことが分かる。図7の相関係
 数でも同様に、HPFの値が高いほど相関係数が高くなり、
 入力レベル100%においては0.5Hz以降、相関係数の値は
 横ばいとなることが分かる。

以上の考察より本報ではHPFの適正值として、0.5Hzが
 妥当であると判断した。次節ではHPFの値を0.5Hzとし、
 より詳細な検討を行うこととする。

3.3 加速度2階積分と変位計記録との比較

3.2節の検討を踏まえ、HPFを0.5Hzとして加速度2階
 積分による変位波形と変位計記録の波形の比較を図8~11
 に示す。図8,9が入力レベル25%、図10,11が入力レ
 ベル100%における比較である。上段が全体波形で、下段
 が30~40秒部分を拡大したものである。また、表2に各々の最
 大値、最小値、標準偏差値、相関係数の値を示す。

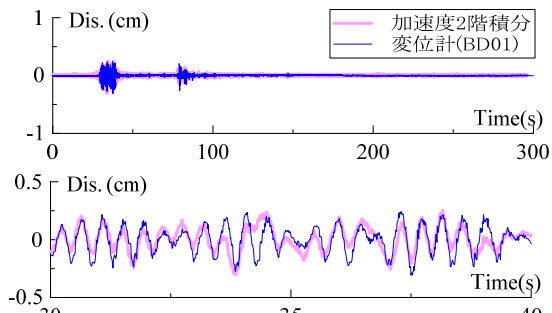


図8 ブレース V1 変位比較(入力レベル 25%)

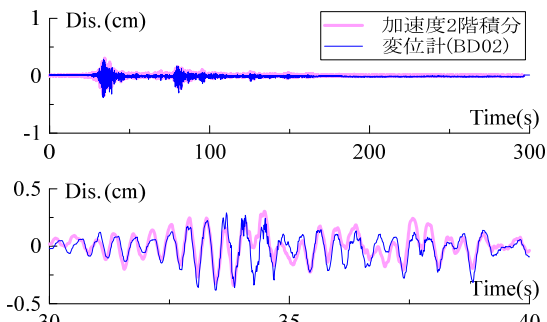


図9 ブレース V2 変位比較(入力レベル 25%)

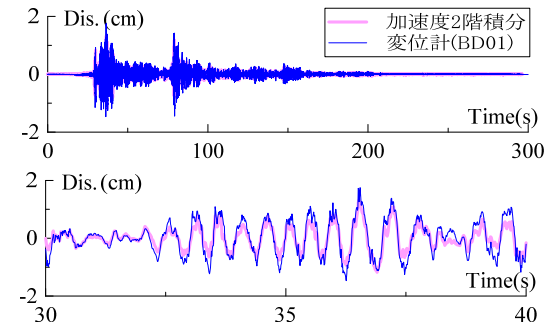


図10 ブレース V1 変位比較(入力レベル 100%)

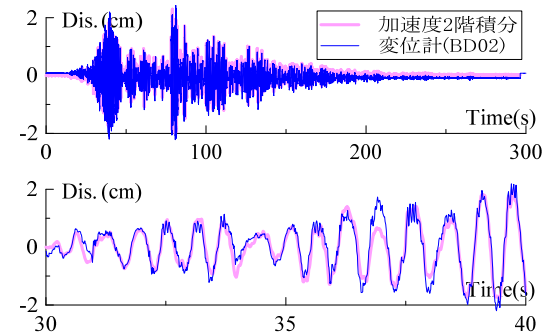


図11 ブレース V2 変位比較(入力レベル 100%)

表2 最大値、最小値、標準偏差、相関係数

		最大値(cm)	最小値(cm)	標準偏差(cm)	相関係数
V1(25%)	加速度2階積分	0.254	-0.304	0.024	0.635
	変位計記録	0.250	-0.313	0.025	1.000
V2(25%)	加速度2階積分	0.307	-0.344	0.028	0.741
	変位計記録	0.327	-0.410	0.029	1.000
V1(100%)	加速度2階積分	1.323	-1.181	0.118	0.927
	変位計記録	1.817	-1.485	0.171	1.000
V2(100%)	加速度2階積分	2.288	-2.024	0.346	0.968
	変位計記録	2.454	-2.346	0.375	1.000

図8~図11より加速度2階積分の変位波形は、概ね変
 位計記録の波形と類似した波形を示していることが分か
 る。表2の値を比較しても入力レベル25%における最大
 値、最小値と標準偏差値はほぼ等しいことが分かり、入
 力レベル100%においては入力レベル25%に比べ最大値、
 最小値と標準偏差の値に開きはあるものの、相関係数の値は
 かなり高いと言える。この結果より、3.1節の算出方法と
 3.2節のHPFの適正值は妥当であることが分かった。

4. まとめ

E-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
 の応答性状の把握を目的とし、屋根面の応答性状に大きく
 関与する屋根ブレース材の変形を加速度計から算出する
 方法を壁ブレース位置にて検討を行った。以下に変位計記
 録の算出方法と壁ブレース端部に設置してある加速度計
 の計測結果の2階積分で算出される変位波形の算出方法
 を示す。

変位計記録には、ローパスフィルター100Hzをかけ、は
 じめの1秒間は平均値が0となるようオフセットを行っ

た。加速度 2 階積分は加速度波形に 100Hz のローパスフィルターをかけ、3.1 節の方法で軸変形量を算出した。2 階積分する際はハイパスフィルターの値として 0.50Hz をかけた。これらの方法で算出した変位計記録と加速度 2 階積分の波形は概ね一致することが分かった。

今後は本報の検討結果を踏まえて、屋根ブレースについてより詳細な分析を行っていく。

謝辞

本研究は防災科学技術研究所で行われた大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験よりデータを頂戴いたしました。研究を進めるにあたり、多くの方々からご指導を賜りました。記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山田哲, 松本由香, 伊山潤, 五十子幸樹, 吉敷祥一, 池永昌容, 島田侑子, 小山毅, 見波進, 浅田勇人: 東北地方太平洋沖地震等で被災した鉄骨造文教施設の調査-調査の概要-, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 40 号, pp.935-940, 2012.10
- 2) 長島由加里, 山下哲郎, 米田良祐: 観測地震動に対する学校体育館ブレース方向の弾塑性応答に関するエネルギー的考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.777-778, 2012.9
- 3) 山下哲郎, 米田良祐, 坂澤良寛, 長島由加里: 学校体育館のブレース構造の弾塑性応答変形に関する研究, 総合研究所・都市減災研究センター研究報告書, 2011
- 4) 三松あずさ, 小澤拓典, 熊谷知彦, 竹内徹, 小河利行: 水平 2 方向地震動を受ける単層ラチスドームの振動実験—その 1 実験および解析概要, 自由振動特性—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.761-762, 2012.9
- 5) 熊谷知彦, 小澤拓典, 竹内徹, 小河利行: 水平 2 方向地震動を受ける単層ラチスドームの振動実験—その 2 地震応答性状, 応答加速度評価手法—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.763-764, 2012.9
- 6) 山田耕司: 耐震改修された学校体育館の常時微動計測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.789-790, 2012.9
- 7) 脇山善夫, 藤堂正喜, 渡壁守正, 稲井慎介, 石岡拓, 森田高市, 長谷川隆, 石原直, 飯場正紀, 飯塚信一: 学校体育館の振動特性調査, 日本建築学会技術報告集, 第 16 巻, 第 32 号, pp.91-96, 2010.2
- 8) 渡壁守正, 脇山善夫, 石原直, 岩田善裕, 稲井慎介, 石岡拓, 石田琢志: 東北地方太平洋沖地震を経た体育館の振動特性, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 40 号, pp.865-870, 2012.10
- 9) 防災科学技術研究所: 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験報告書—大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験—, 第 391 号, 2015.2
- 10) 山田哲, 伊山潤, 島田侑子, 松本由香, 長谷川隆, 清家剛, 中野達也, 吉敷祥一: 東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造被害, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻, 第 44 号, pp.133-138, 2014.2

- 11) 鈴木理恵, 佐藤大樹, 佐々木智大, 青井淳, 梶原浩一, 田川浩之: E-ディフェンス震動台実験による実大鉄骨造体育館の屋根面の応答性状, 日本地震工学会第 11 回年次大会梗概集, P3-13, 2015.11
- 12) Trifunac, M.D. and Brady, A.G: A Study on Duration of Strong Earthquake Ground Motion., Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.65, No.3, pp.581-626, June 1975

-
- *1 東京工業大学大学院生
 - *2 東京工業大学大学院准教授・博士(工学)
 - *3 防災科学技術研究所研究員・博士(工学)
 - *4 株式会社竹中工務店研究員・修士(工学)
 - *5 防災科学技術研究所センター長・博士(工学)
 - *6 武庫川女子大学准教授・Ph.D.