

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	落下対策を施した自動ラック倉庫における対策効果のエネルギー的検証 (その2) 落下対策を施した自動ラック倉庫における解析結果
Title(English)	The Effect of Countermeasures about Cargoes Falling from an Automated Warehouse by Energy Balancing Part2 Analytical Results
著者(和文)	安川真知子, 高木政美, 北村春幸, 佐藤大樹, 松田頼征
Authors(English)	Machiko Yasukawa, Masayoshi Takaki, Haruyuki Kitamura, Daiki Sato, Yoriyuki Matsuda
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 1009-1010
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 1009-1010
発行日 / Pub. date	2019, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

落下対策を施した自動ラック倉庫における対策効果のエネルギー的検証  
(その2) 落下対策を施した自動ラック倉庫における解析結果

自動ラック倉庫	積荷	地震応答解析	正会員	○安川真知子*1	同	高木政美*1
積荷の滑動	エネルギー法	免制震	同	北村春幸*2	同	佐藤大樹*3
			同	松田頼征*2		

### 1. はじめに

その2では、落下対策を施した自動ラック倉庫における解析結果を示し、さらにその1に示した耐震自動ラック倉庫の結果と比較する。

### 2. 落下対策を施した自動ラック倉庫と積荷の応答性状と各エネルギーの時刻歴応答性状

耐震自動ラック倉庫と比較する目的で、その1で示したものと同様のエネルギーと、制振対策におけるマスダンパーによる消費エネルギーあるいは免震層による消費エネルギーの時刻歴波形を確認する。

#### (1) 制振自動ラック倉庫

図1に告示波神戸位相、 $eR=1.0$ の解析結果を示す。 $\sum_1^n rW_e$ ,  $\sum_1^n cW_e$ ,  $\sum_1^n cW_{slide}$ ,  $\sum_1^n rW_h$ ,  $\sum_1^n cW_h$ の増大および減少と各々の関係は耐震自動ラック倉庫の結果と差異がない。 $dW_e + dW_\delta$ は入力加速度の増減に伴って増減する。 $dW_h$ はラック構造体の振動に伴い増大する。地震波終了時には、 $dW_e + dW_\delta + dW_h$ が $E_{et0}$ の43%を占めたことにより、その1の図2に示す耐震自動ラック倉庫の場合と比較して $\sum_1^n cW_{slide}$ ,  $\sum_1^n rW_h$ ,  $\sum_1^n cW_h$ に配分されるエネルギーが減少した。ダンパーのエネルギー吸収により、結果的に ${}_{16}\delta_{max}$ が109mmと小さく抑えられた。

#### (2) 免震自動ラック倉庫

図2に告示波神戸位相、 $eR=1.0$ の解析結果を示す。解析時間中、 $\sum_1^n rW_e$ ,  $\sum_1^n cW_e$ は耐震自動ラック倉庫と同様に、自動ラック倉庫の振動に伴って増大と減少を繰り返す。解析終了時刻には0に収束する。 ${}_{16}\delta$ は、積荷モデルにおける初期剛性 $k_{si}$ 上の変位0.05mm以内に収まっており、滑動が生じていない。このため $\sum_1^n cW_{slide}$ は弾性歪みエネルギーとなり、非常に小さい。 $\sum_1^n rW_h$ ,  $\sum_1^n cW_h$ はラック構造体および積荷の振動に伴い僅かに増大するが、免震効果により応答が抑えられるため、その1の図2および図1に示す他自動ラック倉庫の結果と比較して非常に小さかった。 $iW_\delta$ ,  $iW_h$ は入力加速度の増大に伴い増加する。地震波終了時には、 $iW_\delta + iW_h$ が $E_{et0}$ の94%を占めることで、ラック構造体に配分されるエネルギーが大幅に減少し、結果として $\sum_1^n cW_{slide}$ ,  $\sum_1^n rW_h$ ,  $\sum_1^n cW_h$ に配分されるエネルギーが減少したと確認できる。

### 3. 総入力エネルギーとその他のエネルギーの関係

本章では、地震終了時の各エネルギー総量並びに、 $E_{et0}$ に対する各エネルギーの配分を確認する。

#### (1) 制振自動ラック倉庫

図3に告示波神戸位相における地震終了時の各エネルギー総量を、図4に $E_{et0}$ に対する各エネルギーの配分比を示す。 $\sum dW_{et0}$ は $dW_{h-et0} + dW_{e-et0} + dW_{\delta-et0}$ を表す。

図3より $\sum_1^n cW_{h-et0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-et0}$ は、 $eR^2$ 倍で増大する。 $\sum dW_{et0}$ は、 $eR$ の増加に伴って増大する。 $\sum_1^n cW_{slide-et0}$ は積荷が滑動しない場合は0であり、積荷が滑動する場合は $eR$ の増加に伴い増大する。図4より $\sum_1^n rW_{h-et0}/E_{et0}$ は $eR$ の増加に伴って25%から21%と僅かに減少する。 $\sum_1^n cW_{h-et0}/E_{et0}$ は概ね一定の値となり、26%程度となった。 $E_{et0}$ から $\sum_1^n cW_{h-et0}/E_{et0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-et0}/E_{et0}$ を除いた値が $\sum_1^n cW_{slide-et0}/E_{et0}$ ,  $\sum dW_{et0}/E_{et0}$ に分配される。積荷が滑動しない場合、 $\sum dW_{et0}/E_{et0}$ は50%前後であるが、滑動すると $\sum_1^n cW_{slide-et0}/E_{et0}$ が増大し、 $\sum dW_{et0}/E_{et0}$ は43%に減少する。さらに、その1の図3および図4に示した耐震自動ラック倉庫の結果と比較する。制振装置の設置に伴う積荷重量の減少により固有周期が僅かに短くなるため、各 $eR$ における $E_{et0}$ が変動し、耐震自動ラック倉庫での $E_{et0}$ に対して115~128%となった。制振自動ラック倉庫では $\sum dW_{et0}/E_{et0}$ が概ね50%前後となったことにより、 $\sum_1^n cW_{h-et0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-et0}$ ,  $\sum_1^n cW_{slide-et0}$ に配分されるエネルギーが減少する。特に、 $\sum_1^n cW_{h-et0}$ ,  $\sum_1^n cW_{slide-et0}$ に対する配分エネルギーは、大幅に低減されていた。このことから、積荷の滑動が抑制されることが確認できた。

#### (2) 免震自動ラック倉庫

図5に告示波神戸位相における地震終了時の各エネルギー総量を、図6に $E_{et0}$ に対する各エネルギーの配分比を示す。 $\sum iW_{et0}$ は $iW_{h-et0} + iW_{e-et0} + iW_{\delta-et0}$ を表す。

図5より、全ての解析において積荷が滑動しなかったため、 $\sum_1^n cW_{slide}$ は生じなかった。 $E_{et0}$ は、 $eR^2$ 倍で増大する。 $\sum iW_{et0}$ ,  $\sum_1^n cW_{h-et0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-et0}$ は、 $eR$ の増大に伴って増大するが、 $E_{et0}$ の大部分は $\sum iW_{et0}$ に消費される。なお、図6より、 $\sum_1^n cW_{h-et0}/E_{et0}$ および $\sum_1^n rW_{h-et0}/E_{et0}$ は、 $eR$ が大きくなるに従って減少する。それぞれの配分比は概ね等しかった。 $\sum iW_{et0}/E_{et0}$ は $eR$ の増加に伴って増し、 $eR=1.0$ の場合に94%と大きな値となった。さらに、その1の図3お

よび図4に示した耐震自動ラック倉庫の結果と比較する。免震装置による長周期化に伴って、各 $eR$ における $E_{e,t_0}$ は耐震自動ラック倉庫での $E_{e,t_0}$ に対して107~120%の範囲内となった。免震層で入力エネルギーの大部分を吸収し、自動ラック倉庫および積荷の応答が抑えられたために、積荷が滑動しなかった。

#### 4. まとめ

免震および制振自動ラック倉庫について、総入力エネルギー $E_{e,t_0}$ に対する各エネルギーの総量および配分比を確認した。免震および制振装置による消費エネルギーが総入力エネルギーの大部分を占めることで、積荷の摩擦消費エネルギーの増加が抑えられ、積荷の滑動が抑制されることが、エネルギーの観点から確認できた。

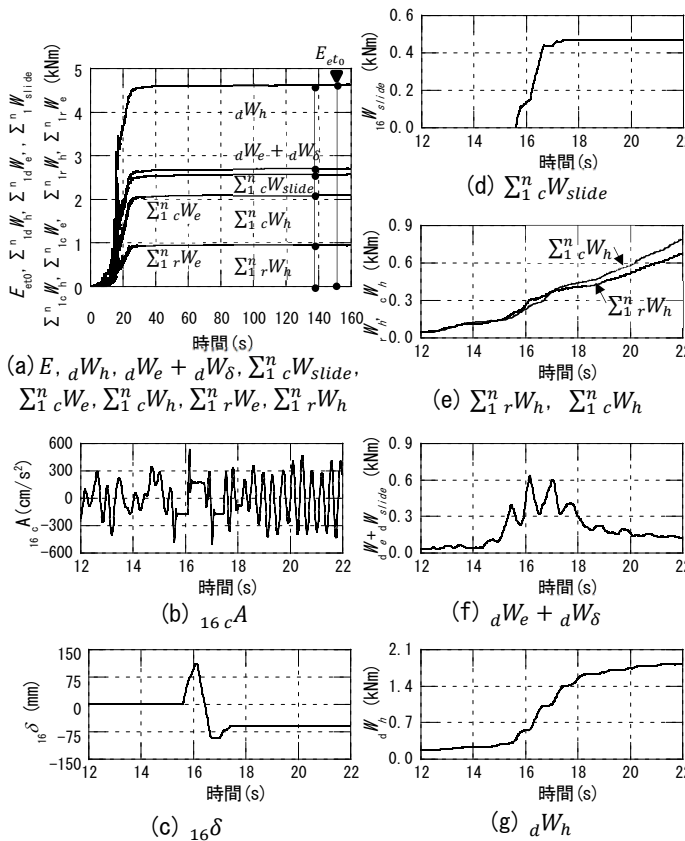


図1 制振自動ラック倉庫の地震時応答とエネルギーの時刻歴波形【地震波倍率 $eR=1.0$  神戸位相】

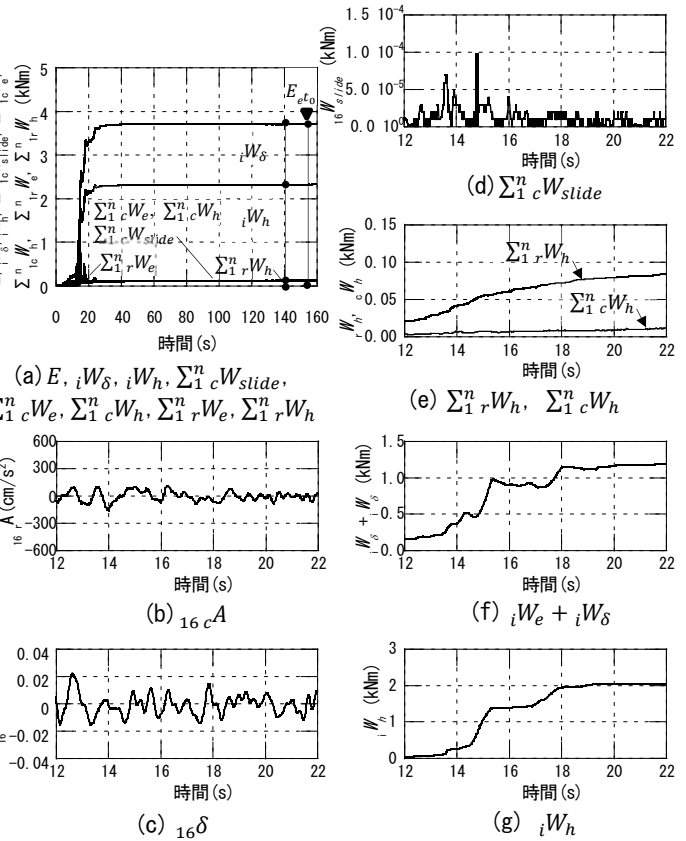


図2 免震自動ラック倉庫の地震時応答とエネルギーの時刻歴波形【地震波倍率 $eR=1.0$  神戸位相】

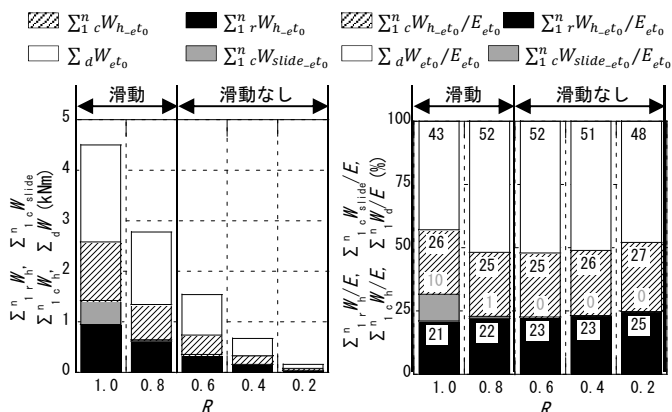


図3  $\sum aW_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{slide-e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{h-e,t_0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-e,t_0}$  の配分

【制振自動ラック倉庫】

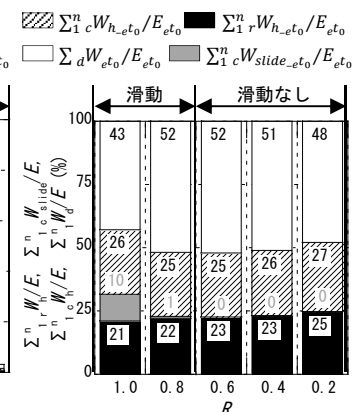


図4  $\sum dW_{e,t_0}/E_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{slide-e,t_0}/E_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{h-e,t_0}/E_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-e,t_0}/E_{e,t_0}$  の配分

【制振自動ラック倉庫】

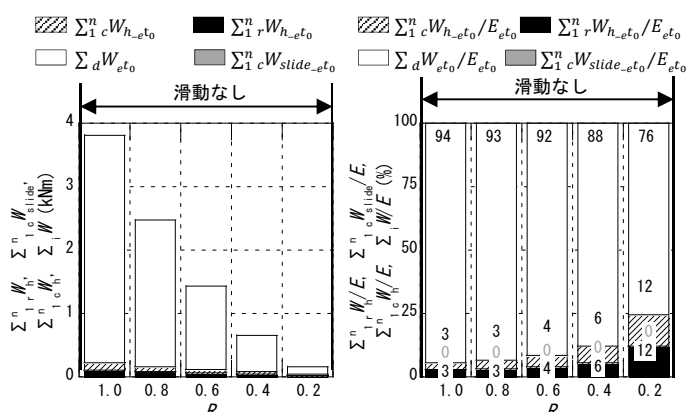


図5  $\sum iW_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{slide-e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{h-e,t_0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-e,t_0}$  の配分

【免震自動ラック倉庫】

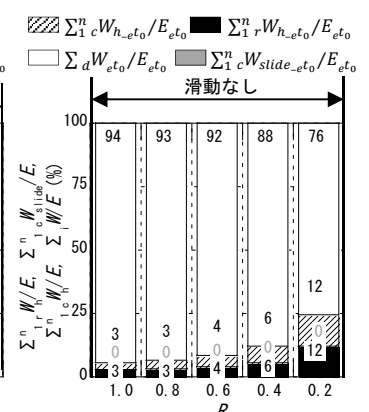


図6  $\sum iW_{e,t_0}/E_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{slide-e,t_0}/E_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n cW_{h-e,t_0}/E_{e,t_0}$ ,  $\sum_1^n rW_{h-e,t_0}/E_{e,t_0}$  の配分

【免震自動ラック倉庫】

\*1 大成建設株式会社  
\*2 東京理科大学  
\*3 東京工業大学

\*1 Taisei Corporation  
\*2 Tokyo University of Science  
\*3 Tokyo Institute of Technology