

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	自動ラック倉庫における積荷とラック構造体の地震時連成挙動に関する分析(その1)解析条件および自動ラック倉庫でのエネルギーの釣り合い
Title(English)	Seismic Interaction Behavior between Steel Structure and Cargoes at the Automated Warehouse Part1 Analysis Conditions and Energy Balancing in the warehouse
著者(和文)	高木政美, 安川真知子, 北村春幸, 佐藤大樹, 松田頼征
Authors(English)	Masayoshi Takaki, Machiko Yasukawa, 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. 1-2
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 1-2
発行日 / Pub. date	2018, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

自動ラック倉庫における積荷とラック構造体の地震時連成挙動に関する分析
(その1) 解析条件および自動ラック倉庫でのエネルギーの釣合い

正会員 ○高木政美*1 同 安川真知子*1
同 北村春幸*2 同 佐藤大樹*3
同 松田頼征*2

自動ラック倉庫 積荷 地震応答解析
荷すべり エネルギー法

1. はじめに

筆者らは自動ラック倉庫内積荷でのエネルギーの釣合いに基いて落下予測を行う方法(以降、簡易法と呼ぶ)¹⁾を提案し、積荷への入力エネルギーを把握できれば、簡易法により積荷の落下予測が可能となることを示してきた。そこで、自動ラック倉庫全体でのエネルギーの釣合いに基づく積荷の落下予測法の提案に向け、積荷とラックの連成挙動によるエネルギーの釣合いへの影響を確認する。その1では、解析条件および自動ラック倉庫全体のエネルギーの釣合いについて説明する。

2. 解析条件

モデル化する自動ラック倉庫は一般的な規模で実稼働中の事例を参考とした。図1に自動ラック倉庫概要図、表1に主要鉄骨メンバーを示す。図1(b)に示す2列16段を対象に、部材断面に基づいて弾性のBeam要素としたフレームモデルを作成し、各段の積荷保管位置に、図2に示す段ボール部およびパレットをそれぞれ質点とした積荷モデルを搭載した。積荷モデルは既報²⁾にて報告した、積荷の振動ならびに滑動を考慮できるモデルとした。

入力地震波には、エネルギー法を用いた設計手法の構築に繋げる観点から、告示加速度スペクトルに適合するように作成した地震波を用いた。位相は、エルセントロ波のNS成分位相(以降、エルセントロ位相と呼ぶ)、兵庫県南部地震の際にJMA神戸で得られた観測データのNS成分位相(以降、神戸位相と呼ぶ)、2011年東北地方太平洋沖地震の際にKiK-net芳賀[TCGH16]で得られた観測データのEW成分位相(以降、3.11位相と呼ぶ)の3位相とした。この入力地震波に倍率を乗じ、16段目の積荷における荷すべり変位が500mmを超える程度となった際の入力を基準入力地震波とし、基準入力地震波を0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0倍(以降、地震波倍率 eR と呼ぶ)した地震波を自動ラック倉庫基礎部に入力した。図3に基準入力地震波の加速度波形、図4(a)に基準入力地震波の加速度応答スペクトルを、図4(b)に基準入力地震波の速度応答スペクトルを、図4(c)に基準入力地震波のエネルギースペクトルを示す。自動ラック倉庫の積荷満載時の1次固有周期 τ_1

(1.56s)において、加速度応答スペクトルおよび速度応答スペクトルは告示波神戸位相、告示波3.11位相、告示波エルセントロ位相の順に振幅が大きくなる。エネルギースペクトルは、告示波神戸位相が最も小さい。告示波エルセントロ位相、告示波3.11位相は短周期では同程度であり、周期が長くなると告示波3.11位相がやや大きくなる。なお $eR=1.0$ の場合は、積荷が振動および滑動をしない条件(以降、積荷固定と呼ぶ)ならびに積荷が滑動せず振動する条件(以降、積荷振動と呼ぶ)での解析も行った。積荷が滑動しない条件は、積荷モデルにおいてスリップ要素の初期剛性を保持したモデルを、積荷が滑動しない条件は、段ボール部およびパレットの質量を1質点にまとめたモデルにより解析した。

3. 自動ラック倉庫におけるエネルギーの釣合い

地震継続中の自動ラック倉庫に生じるエネルギーの釣合式は式(1)により表される。

$$\sum_1^n rW_h + \sum_1^n rW_e + \sum_1^n cW_h + \sum_1^n cW_e + \sum_1^n W_{slide} = E \quad (1)$$

$\sum_1^n rW_h$: 時刻 t でのラック構造体の構造減衰による消費エネルギーの総和

$\sum_1^n rW_e$: 時刻 t でのラック構造体の弾性振動エネルギーの総和

$\sum_1^n cW_h$: 時刻 t での段ボール部の減衰エネルギーの総和

$\sum_1^n cW_e$: 時刻 t での段ボール部の弾性振動エネルギーの総和

$\sum_1^n W_{slide}$: 時刻 t でのパレットの摩擦消費エネルギーの総和

E : 時刻 t での自動ラック倉庫への入力エネルギー

なお n は自動ラック倉庫段数を示す。

地震継続時間 e_{t_0} をとすると、地震終了時の各エネルギーは、それぞれ $\sum_1^n rW_{h_{e_{t_0}}}$, $\sum_1^n rW_{e_{e_{t_0}}}$, $\sum_1^n cW_{h_{e_{t_0}}}$, $\sum_1^n cW_{e_{e_{t_0}}}$, $\sum_1^n W_{slide_{e_{t_0}}}$, $E_{e_{t_0}}$ で表わされる。

$\sum_1^n rW_{h_{e_{t_0}}}$: ラック構造体の構造減衰による消費エネルギーの総和

$\sum_1^n rW_{e_{e_{t_0}}}$: ラック構造体の弾性振動エネルギーの総和

$\sum_1^n cW_{h_{e_{t_0}}}$: 段ボール部の減衰エネルギーの総和

$\sum_1^n cW_{e_{e_{t_0}}}$: 段ボール部の弾性振動エネルギーの総和

$\sum_1^n W_{slide_et_0}$: パレットの摩擦消費エネルギーの総和
 E_{et_0} : 自動ラック倉庫への総入力エネルギー
 地震終了時には、 $\sum_1^n rW_{e_et_0}$ および $\sum_1^n cW_{e_et_0}$ が 0 となるので、エネルギーの釣合い式は式(2)で表される。

$$\sum_1^n rW_{h_et_0} + \sum_1^n cW_{h_et_0} + \sum_1^n W_{slide_et_0} = E_{et_0} \quad (2)$$

積荷固定の場合、式(1)、式(2)において、 $\sum_1^n cW_h$ 、 $\sum_1^n cW_e$ 、 $\sum_1^n W_{slide}$ 、 $\sum_1^n cW_{h_et_0}$ 、 $\sum_1^n cW_{e_et_0}$ 、 $\sum_1^n W_{slide_et_0}$ を、積荷振動の場合、式(1)、式(2)において、 $\sum_1^n W_{slide}$ 、 $\sum_1^n W_{slide_et_0}$ を考慮しない釣合式となる。

既報¹⁾において、積荷部分に着目した場合、積荷の滑動中、 $cW_h = E - W_{slide}$ にて表わされる cW_h は小さくなることを確認した。しかし、自動ラック倉庫全体で考えると、積荷が滑動しない段が存在することから、 $\sum_1^n cW_{h_et_0}$ はある程度のエネルギー量となると予想される。また、積荷固定の場合と比較して、積荷が滑動する

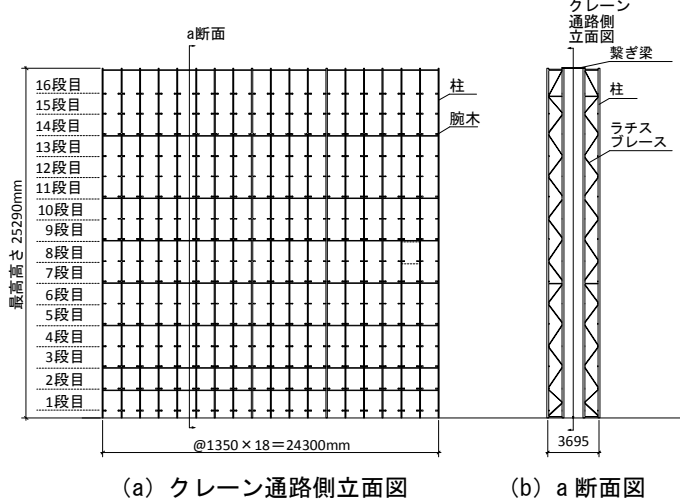


図1 自動ラック倉庫概要図

表1 主要鉄骨メンバー

部位	部材	材質
柱	□-125×75×2.3	STKR400
ラチスブレース	φ-42.7×2.3	STK400
繋ぎ梁	C-75×45×15×2.3	SS400

cM : 段ボール部質量 (376kg) k_{si} : スリップ要素の初期剛性 (35kN/mm)
 pM : パレット質量 (24kg) Q_s : 静止摩擦係数による摩擦力 ($\mu_s Mg$)
 M : 積荷質量 Q_d : 動摩擦係数による摩擦力 ($\mu_d Mg$)
 h : 段ボール部減衰定数 (0.167) μ_s : 静止摩擦係数 (0.46)
 k : 段ボール部ばね定数 (460N/mm) μ_d : 動摩擦係数 (0.17)
 g : 重力加速度

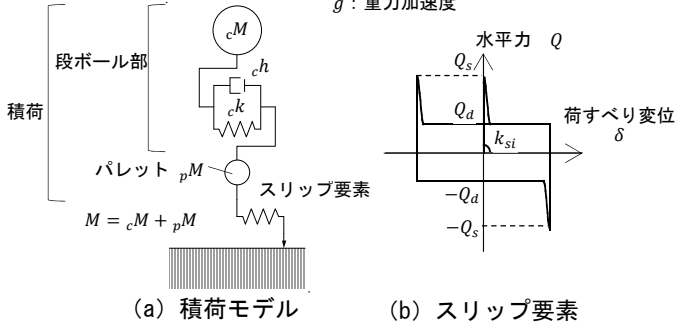


図2 積荷モデル

場合は荷すべり変位により $\sum_1^n W_{slide_et_0}$ が増大するため、 $\sum_1^n rW_{h_et_0}$ は減少すると予想される。
 そこで、その2では積荷の滑動の有無による応答性状および各エネルギーの増分傾向を分析する。

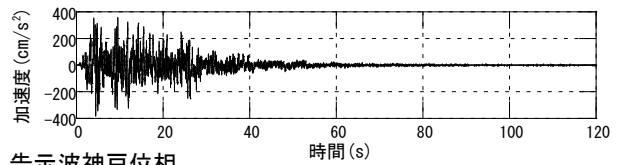
4. まとめ

積荷と自動ラック倉庫の応答挙動の連成によるエネルギーの釣合いへの影響を確認する目的で、解析条件および自動ラック倉庫全体のエネルギーの釣合いを示した。

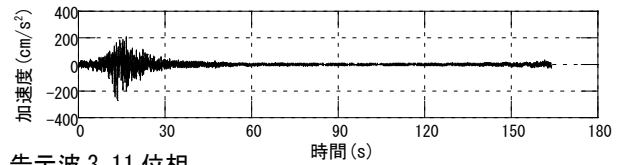
参考文献

- 1) 安川ほか(2018.3), 構造工学論文集, Vol.64B, pp.187-197.
- 2) 安川ほか(2017.2), 日本建築学会構造系論文集, No.732, pp.183-192.

(a) 告示波エルセントロ位相



(b) 告示波神戸位相



(c) 告示波 3.11 位相

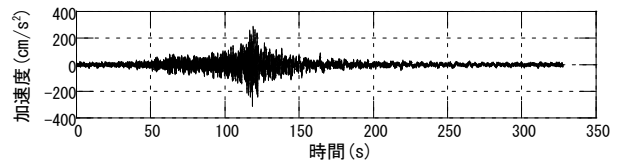
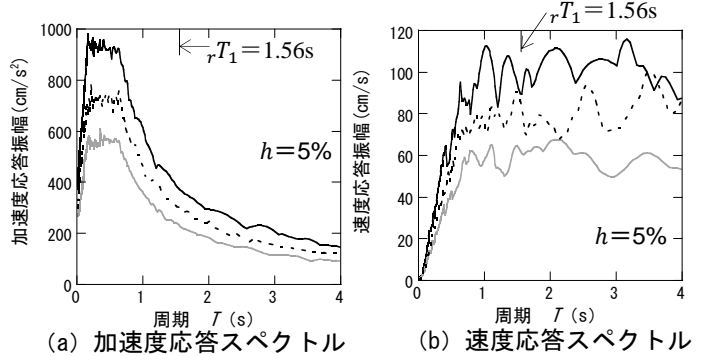
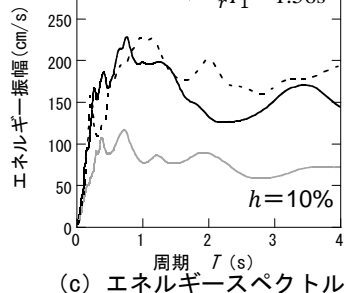


図3 基準入力地震波の加速度波形



(a) 加速度応答スペクトル

(b) 速度応答スペクトル



(c) エネルギースペクトル

図4 基準入力地震波のスペクトル

*1 大成建設(株) 技術センター
 *2 東京理科大学
 *3 東京工業大学未来産業技術研究所

*1 Technology Center, Taisei Corporation
 *2 Tokyo University of Science
 *3 FIRST, Tokyo Institute of Technology