

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 12 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560254

研究課題名(和文)地震時のエレベータ・ロープ揺れリアルタイム解析手法の開発

研究課題名(英文) Simplified Calculation Method for Detecting Elevator Rope Deflection during Earthquake

研究代表者

木村 弘之 (KIMURA, HIROYUKI)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：50579315

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、建物上部および地面の加速度データをもとに、かごが走行する場合のエレベータ・ロープの応答を1自由度モデルを用い簡易的に解析する方法を開発した。ロープ張力の分布の影響や、考慮する振動モードの次数が、解析精度に及ぼす影響について明らかにした。簡易計算法による計算結果は、従来の差分法による解析結果と誤差20%、-30%程度以内で一致することを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, when elevator cage is moving, a simplified calculation method, based on a single degree of freedom (SDOF) system, for estimating rope displacement during an earthquake by using the building acceleration and ground acceleration has been developed. Influence of tension distribution of the rope and the number of considered vibration mode on the analysis precision are made clear. It is shown that the results of this simplified calculation method agree with those of the conventional finite difference method, within the +20%, -30% error margin.

研究分野：機械力学

キーワード：エレベータ・ロープ ロープスウェイ 簡易計算法 地震 差分法

1. 研究開始当初の背景

政府中央防災会議が公表した「首都直下型地震被害想定」では、停止エレベータが 30 万台、エレベータ閉じ込め者が 12,500 人とされている。さらに、救助や復旧の遅れにより、閉じ込めが長時間に及ぶ可能性も指摘されている。特に、高層ビルや超高層ビルに設置されるエレベータにおいては、地震時の建物揺れにより増加するロープ変位の検出や抑制が課題となっている。

そこで、従来の地震感知器では検出が困難な長周期の建物揺れを検出し、ロープ類の揺れを推定する長周期地震動感知器の開発が進められている。しかし、その多くは、地震時のロープ長さの変化までは考慮されておらず、ロープ変位を過大に評価している。そのため大地震時には、作業員による点検を要するエレベータの停止台数が必要以上に増加することが予想される。

2. 研究の目的

本研究では、①地震時の建物上部と地表面の加速度データおよびかご位置データのみを用いて、エレベータ・ロープの揺れをリアルタイムに解析する手法を開発し、②数値解析およびモデル実験によってその妥当性や精度を検証することを目的とする。

これにより、①地震時のロープ揺れ量の把握、②かご移動によるロープ揺れ量の低減、③閉じ込め事故の防止や④エレベータ復旧時間の大幅な短縮等に应用でき、高層ビルを利用または居住している人の安全性や地震後の利便性を高めることができるという社会的意義がある。

3. 研究の方法

(1) 数値解析

①差分法 (簡易計算法の精度検証用)

エレベータ・ロープ系の概略構成を図 1 に示す。図 2(a) に示す解析モデルを用い、建物上部および地表面の変位データを入力として、差分法によりエレベータ走行中のロープ揺れを数値解析により求める。

②簡易計算法 (本研究の提案手法)

図 2(b) に示す簡易計算モデルを用い、建物上部および地表面の加速度データを入力として、次式により応答を計算する。

$$\{z\} = \sum_{i=1}^{\infty} \{\varphi_i\} \alpha_{ai} z_{ai} + \sum_{i=1}^{\infty} \{\varphi_i\} \alpha_{bi} z_{bi}$$

ここで、 $\{\varphi_i\}$ は i 次の振動モード、 α_{ai} 、 α_{bi} は刺激係数である。

ロープの張力分布を考慮した場合の振動モードは次式で表される。

$$\varphi_i = \frac{C_i^*}{\left(1 - \frac{\rho AgL}{2T_0} + \frac{\rho Ags}{T_0}\right)^{1/4}}$$

$$\times \sin \left[i\pi \frac{\sqrt{1 - \frac{\rho AgL}{2T_0} + \frac{\rho Ags}{T_0}} - \sqrt{1 - \frac{\rho AgL}{2T_0}}}{\sqrt{1 + \frac{\rho AgL}{2T_0}} - \sqrt{1 - \frac{\rho AgL}{2T_0}}}\right]$$

ここで、 C_i 、 C_i^* は係数であり、振動モードの最大値が 1 となるように決定する。また、刺激係数は同相および逆相の変位入力時の差分法による周波数応答解析結果から求める。

この簡易計算法による計算結果と差分法による計算結果を比較することで、簡易計算法の精度を検証する。

③地震波および建物の応答

数値解析に用いる地震波 (28 波) は、防災科学研究所の強震観測網 K-net 等から入手した。建物の地震時の応答は、その高さが 32m から 240m の 7 ケースについて、予め数値解析により求めておく。

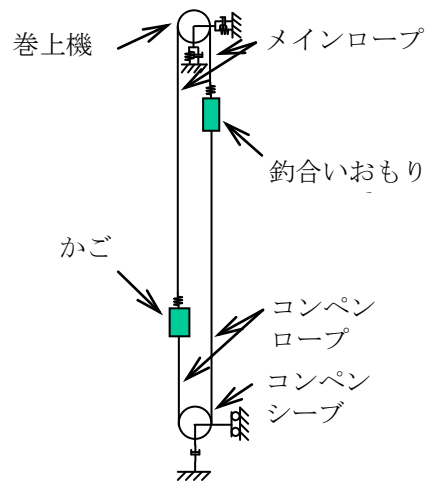
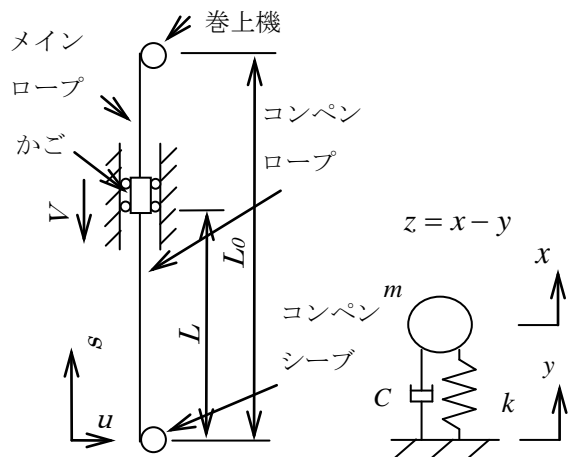


図 1 エレベータ・ロープ系の概略構成



(a)エレベータ・ロープ (b)簡易計算モデル

図 2 解析モデル

(2) モデル実験

モデル実験によっても、数値計算精度の検証を行う。実験装置の全景を図 3 に示す。加振器により、ロープ上端を正弦波加振または

地震波加振を行い、数値解析結果と比較する。

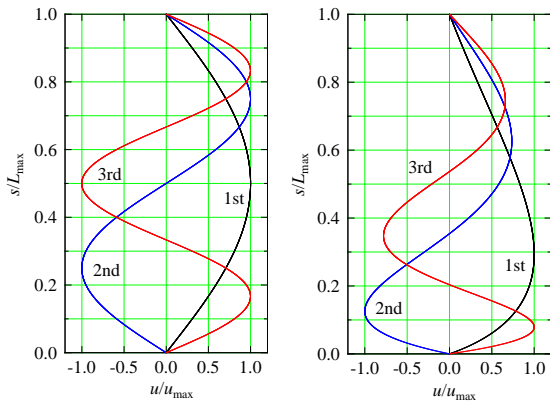


図3 実験装置

4. 研究成果

(1) 振動モード

図4にロープ張力一様とした場合の振動モードと張力分布を考慮した場合の振動モードを示す。



(a) ロープ張力一様 (b) 張力分布を考慮
図4 ロープの振動モード (1次~3次)

(2) 刺激係数

刺激係数を求めるために差分法により、同

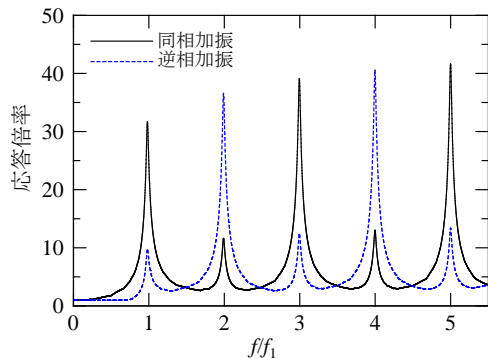
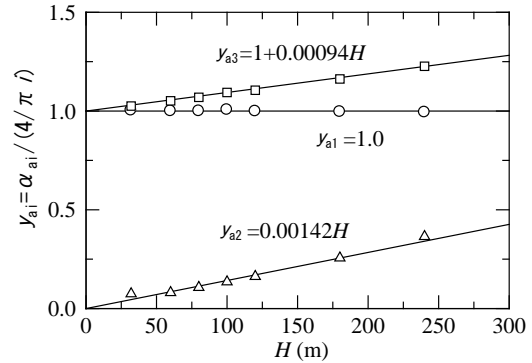
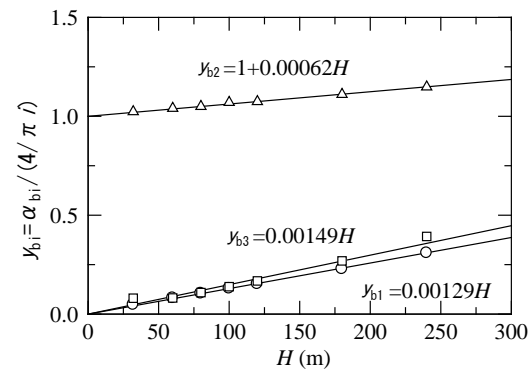


図5 周波数応答特性 (建物高さ 240m)

相加振時および逆相加振時の周波数応答特性を計算した。結果の一例を図5に示す。このような周波数応答特性から、刺激係数を求める。得られた刺激係数を図6に示す。



(a) 奇数次の刺激係数 (α_{ai})



(b) 偶数次の刺激係数 (α_{bi})

図6 刺激係数

(3) 数値解析による解析精度検証

① 走行開始時間とロープ最大変位との関係

一例として、新潟県中越地震時に新宿で観測された地震波と建物 (高さ 240m) の応答加速度を図7に示す。

これらの波形を入力した場合の走行開始時間とロープ最大変位との関係を図8に示す。図中には差分法による解析結果も示している。この図から、ロープ張力一様とした場合よりも、ロープ張力の分布を考慮したの方が良く一致していることが分かる。

また、地震開始後 100 秒後に走行を開始した場合の変位波形を図9に示す。この図からも、ロープ張力の分布を考慮した方が良く一

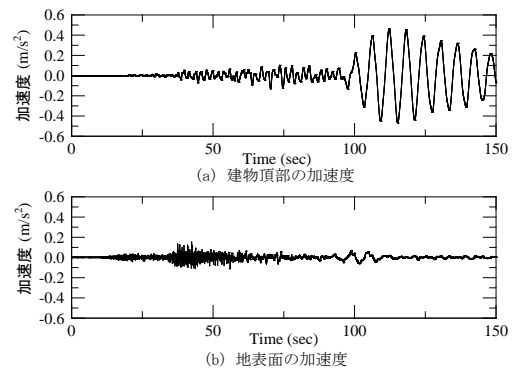


図7 新潟県中越地震時に新宿で観測された地震波と建物の応答解析結果の一例

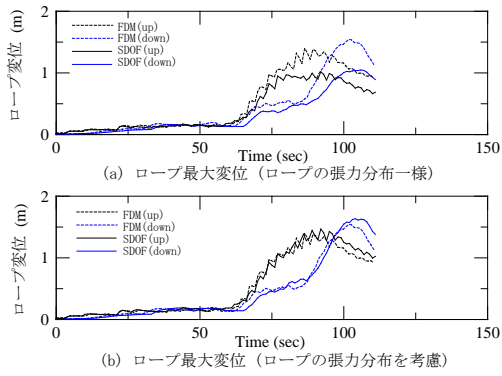


図8 走行開始時間とロープ最大変位との関係 (新潟県中越地震-新宿観測波、3次まで考慮)

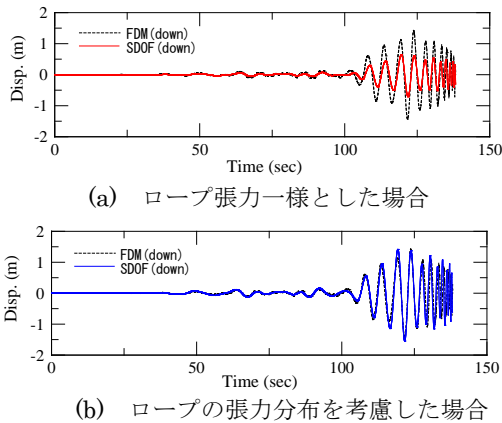


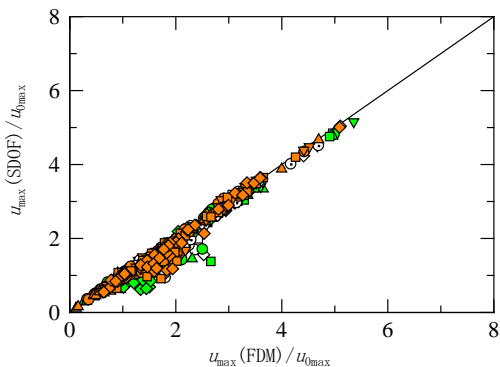
図9 ロープ変位の時刻歴波形 (地震開始後100秒から走行開始、3次まで考慮)

致していることが分かる。

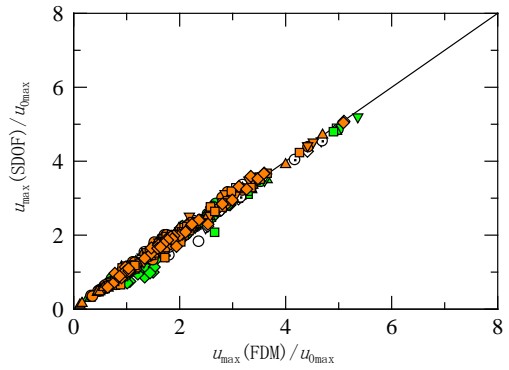
②ロープ最大変位

コンペンロープの3次の固有振動数まで考慮した場合の簡易計算法による解析結果 (SDOF) と差分法による解析結果 (FDM) との関係を図10に示す。簡易計算法では、建物加速度および地表面加速度を入力している。一方、差分法による解析では、建物変位および地表面変位を入力している。図10(a)ではロープ張力一様、図10(b)ではロープ張力の分布を考慮している。この図から、ロープの張力分布を考慮することで、解析精度が向上していることが分かる。

図11には、解析精度に及ぼす振動次数の



(a) ロープ張力一様とした場合



(b) 張力分布を考慮した場合

図10 差分法による解析結果と簡易計算法による解析結果の比較

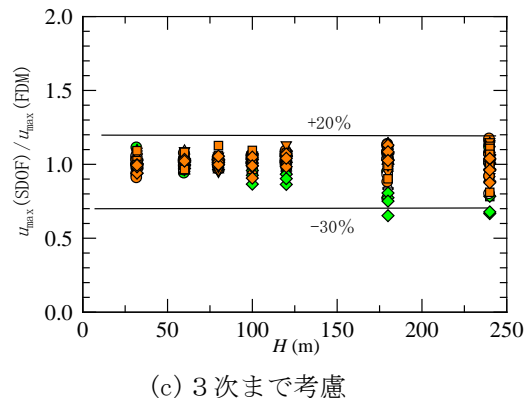
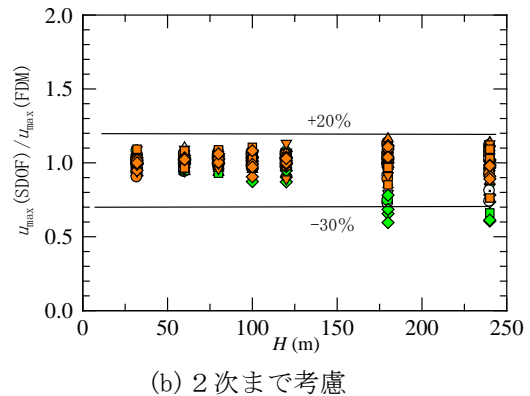
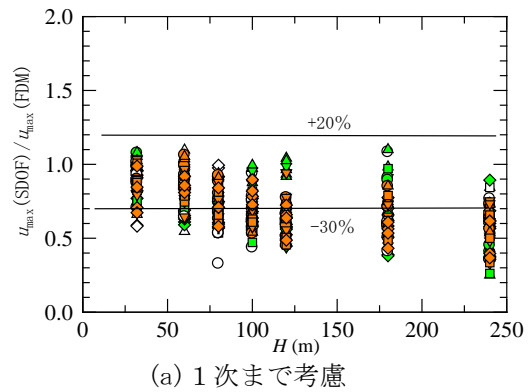


図11 考慮する次数と解析精度との関係

影響を示している。この図から、概ね3次まで考慮すれば、簡易計算法と差分法との誤差は+20%~-30%以内となり、実用上十

分な精度が得られることが分かる。

(4) モデル実験による検証

図3に示す実験装置を用いたモデル実験の結果と数値解析結果とを図12、図13に示す。いずれも新潟県中越地震の際に新宿で観測された地震波を実験モデルに合わせて時間軸を調整したものである。

モデル実験では、エレベータ停止状態での比較を行ったが、実験結果と数値解析結果とは良く一致した。

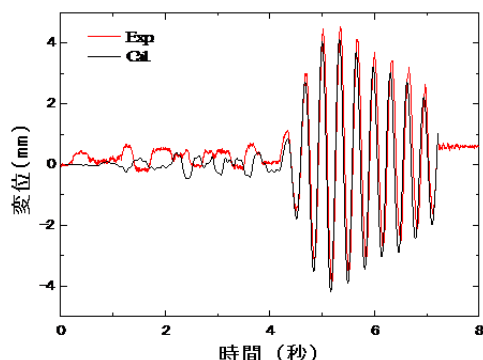


図12 ロープ変位の時刻歴波形（新潟県中越地震-新宿観測波を入力）

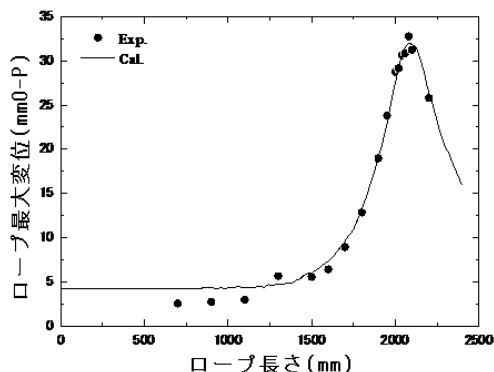


図13 ロープ長さと最大変位との関係

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究では、モード重ね合わせ法を応用した簡易計算法を開発し、地震時のエレベータ・ロープの揺れをリアルタイムに解析する手法を開発した。これにより、差分法等の従来の手法とほぼ同程度の解析精度で計算が可能となった。その結果、PCレベルのCPUが無くても解析が可能となり、エレベータへの適用の可能性が広がった。

今後の展望

地震時にエレベータが走行した場合のロープ最大変位をリアルタイムに計算する手法を開発し、実用上十分な解析精度を有することを確認した。しかし、時々刻々の解析精度までは検証できていない。この点が今後の検討課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① H. Kimura and T. Kuguminato, Simplified Calculation Method for Detecting Elevator Rope Deflection during Earthquake (Considering the Distribution of Rope Tension), Journal of System Design and Dynamics, 査読有, 7-4(2013-12), pp.343-354. (再録論文)

② 木村弘之, 久々湊峰也, エレベータ・ロープの地震時揺れ検出のための簡易計算法(張力分布の影響を考慮した場合), 日本機械学会論文集(C編), 査読有, 79-801(2013-5), pp.1237-1246.

[学会発表] (計7件)

① 藤田孝徳, 木村弘之, 中橋智也, エレベータ・ロープの地震時揺れ検出のための簡易計算法に関する研究, 日本機械学会北陸信越支部第52期総会・講演会, 2015年3月7日, 新潟工科大学(新潟県).

② 藤田孝徳, 陳浩, 番匠光平, 木村弘之, 共振点通過時のエレベータ・ロープの横振動解析, 日本機械学会北陸信越支部学生会第43回学生員卒業研究発表講演会, 2014年3月7日, 富山大学(富山県).

③ 陳浩, 藤田孝徳, 木村弘之, 地震時のエレベータ・ロープの揺れ検出のための簡易計算法, 日本機械学会2013年度年次大会, 2013年9月10日, 岡山大学(岡山県).

④ 陳浩, 久々湊峰也, 木村弘之, 地震時のエレベータ・ロープの揺れ検出のための簡易計算法, 日本機械学会北陸信越支部第50期総会・講演会, 2013年3月9日, 福井大学(福井県).

⑤ 木村弘之, エレベータ・ロープの揺れ解析について, 日本機械学会昇降機・遊戯施設の最近の技術と進歩技術講演会, 2013年1月18日, 日本機械学会(東京都). (特別講演)

⑥ 木村弘之, 久々湊峰也, エレベータ・ロープの地震時揺れ検出のための簡易計算法(張力分布の影響を考慮した場合), 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012年9月18日, 慶応義塾大学(神奈川県).

⑦ 久々湊峰也, 木村弘之, 地震時のエレベータ・ロープの揺れ検出のための簡易計算法, 日本機械学会2012年度年次大会, 2012年9月11日, 金沢大学(石川県).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 弘之 (KIMURA HIROYUKI)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号: 50579315