高揚程型立体駐車場のモデル化 と応答性状の分析

MODELING OF THE ELEVATOR-TYPE HIGH-RISE MECHANICAL PARKING SYSTEM FOR ANALYZING SEISMIC BEHAVIORS

戸根弘希 ——— * 1 佐藤利昭 ——— * 2
高本幹人 ——— * 3 北村春幸 ——— * 4
小笠原和也 ——— * 1 大島猛志 ——— * 1

Hiroki TONE ——— * 1 Toshiaki SATO ——— * 2
Mikito TAKAMOTO ——— * 3 Haruyuki KITAMURA — * 4
Kazuya OGASAWARA — * 1 Takeshi OOSHIMA ——— * 1

キーワード：
超高層建物, 立体駐車場, 制震構造, 免震構造, 時刻歴解析

Keywords:
High-rise building, Mechanical parking system, Seismic control structure, Base isolation structure, Dynamic response analysis

In this paper, we report on the seismic response of an elevator-type High-Rise Mechanical Parking System (MPS) to be installed inside a high-rise building. First we show the analysis model that considers structural features because the MPS structure is supported by the building, and cannot stand alone. In addition to its beam-column joints, it has a pin structure, and the rigid floor assumption could not be satisfied. Secondly, we describe the results based on the coupled analysis of the high-rise buildings with MPS, and focused on the response of the palette upon which the vehicle rests.

1. はじめに

1.1 立体駐車場の概要と基本構成

立体駐車場は、実用化から約半世紀を経て都市機能を支える様々な形式に発展を遂げ、地上構造物という観点から見れば、次の2種類に大別される。1つは、自立可能な架構から成る構造物、もう1つは、そのみでは自立できず、付帯する建築物が不可欠な構造物である。関連法規によると、後者はすべて機械設備に該当し、前者でも、隣接もしくは連結する周辺施設が四方を囲む場合には、機械設備に分類される。これら機械設備の安全性は、(公社)立体駐車場工業会の技術基準や認定制度¹⁾、製造各社の社内基準によって担保されているが、建築基準法に代表される設計規範が明文化されているわけではない。また、機械設備の平均的な高さは100m程度であるが、統一的な基準はなく、設計に資する研究成果の公表も少ない。これらの現況を鑑み、本報は、超高層建築物に機械設備として導入され、かつそのみでは自立しない架構を有する高揚程型立体駐車場(以下、高揚程立駐と呼ぶ)を対象とし、地震応答の観点から立体駐車場の性能評価を試みるものである。

機械設備として扱われる立体駐車場は、機械式立体駐車場の一部に位置づけられ、さらに昇降方式に応じて循環式とエレベータ式に分類される。近年の機械式立体駐車場の動向を見ると、騒音問題や消費電力などに対する優位性からエレベータ式が広く用いられ、超高層集合住宅などに採用される高揚程立駐の昇降方式もエレベータ式である。エレベータ式は、パレットと呼ばれる車両を載せる成形鋼板とその格納位置が対となり、車両乗降場所と格納位置を搬器であるエレベータによって結ぶ形式を意味する。高揚程立駐の概要を図1にまとめて示す。

図1 高揚程型立体駐車場の概要

図1に示すように、高揚程立駐は、超高層建築物の内部に組み込まれる主架構と機械装置で構成されている。主架構は、鉄骨の柱と梁で組み立てられ、防振ゴムを介してサポート材により建築物に付帯している。車両の格納は、まず架構の中央で車両をパレットに載せ、エレベータによって格納位置と同一の高さまで、鉛直方向に移動する。その後、エレベータからパレット支持材に、パレットごと水平方向に移動させ、車両1台が格納される。車両の出庫は、格納と逆の順序で行われる。パレット支持材は、ガイド柱と主架構を構成する柱の両者から延ばした、片持ち梁によって支持される。

1.2 現在の立体駐車場の性能評価

機械設備である立体駐車場の性能は、(公社)立体駐車場工業会の技術基準により確保されてきたが、近年報告された複数件の人的事故を受け、国土交通省より2014年にガイドラインが公表され¹⁾、

¹⁾ 三菱重工メカトロシステムズ(株) 修士(工学)
(〒231-0062 横浜市中区桜木町1-1-8 日石横浜ビル20F)
²⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)
³⁾ 東京理科大学理工学部建築学科
⁴⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

¹⁾ Mitsubishi Heavy Industries Mechatronics Systems, LTD., M. Eng.
²⁾ Assist. Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.
³⁾ Tokyo Univ. of Science
⁴⁾ Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

2015 年には駐車場法施行規則の一部も改正された²⁾。契機となった人的事故は運用上の問題で、現在までに本報で取り上げる高揚程立駐に関する事故も報告されていない。一方、エレベータ式の地震被害を取り上げれば、車両が載るパレットの落下やカウンターウェイトがレールから外れるなどの事象が発生しているのも事実で、これらの原因究明が求められている。しかし、これらについては安全性に関する問題だけではなく、事業継続性など機能の確保に関する性能評価が求められていることを意味する。

以上の観点から、立体駐車場の性能評価には、機能維持と対応する評価尺度が求められている。しかし、統一的な設計規範がない現状に対して、損傷を直接的に評価する部材応力などに着目することが適切とは考え難く、地震被害と対応する代表的な応答を選定した上で、応答性状を詳しく分析する必要があると考える。本報では、性能評価の尺度として、エレベータ式の特徴であるパレットの応答加速度に着目し、その応答を評価するモデルの構築から始める。

1.3 立体駐車場の地震応答とモデル化に関する既往研究

立体駐車場に関する既往研究の多くが、稼働音を問題としたもので、地震応答に着目した研究は多くない。その中で、高揚程立駐とは異なる規模であるが、中低層建築物に機械設備として付帯する立体駐車場を対象とした村瀬らの検討が、地震応答を調べた代表的な研究に挙げられる^{3)~5)}。エレベータ式と循環式の両者を対象に、構造物との連成によって地震応答に差異が生じる点に着目し、2 次元フレームによる解析結果から、部材応力などを詳しく調べている。また、パレットの滑動をはじめ、特徴的な応答を示すモデル化を試行するなど、モデル化において参考とする部分も多い。この他、機械設備ではないが、超高層建物と立体駐車場の連成振動に着目した実証的研究も進められている⁶⁾。

これらの既往研究は、立体駐車場の地震応答を言及している点で、有用な知見を残しているが、前節で述べた機能維持の観点から見れば、性能評価との対応関係は明確でない。特に、本報で着目するパレットの応答に着目した研究はこれまでにない。以上を背景に、本報は、これら機械設備に位置づけられる立体駐車場の性能評価の基礎となる架構各部の応答性状のうち、特に高揚程立駐におけるパレットの応答を調べた結果を報告するものである。以降では、まず立体駐車場の構造的特徴とそれらのモデル化を示した後、建築物との連成解析に基づき、応答性状を分析した結果について述べる。

2. 高揚程型立体駐車場のモデル化と応答性状の把握

2.1 高揚程型立体駐車場の構造的特徴

高揚程立駐の構造的特徴を述べるため、図 2 に架構の構成部材と各部の接合形式をまとめて示す。本報では過去の実績を踏まえた標準的な規模として、同図 (a) に示す高さ：101.5 m、平面規模：6.26 m × 6.75 m、車両の収納台数にして 114 台の高揚程立駐を検討対象とする。図 2 (b) に示す拡大図から分かるように、高揚程立駐では、建築物に付帯するサポート材と同一レベルに主架構の梁、それとは独立したモジュールでパレットとその支持材を設けている。以降では、議論を明確にするため、これら主架構の梁と同一レベルをフレーム階、パレットおよびパレット支持材と同一レベルをパレット階と呼ぶ。柱およびガイド柱の強軸と弱軸は、高揚程立駐内部の機械装置との取り扱いによって決定されている。

部材断面に着目すると、主架構の柱断面には、高さ 5.5 m まで H-250×250×9×14、これ以上に H-200×200×8×12 が採用され、ガイド柱も同様である。主架構の梁は、積載荷重がないことから弱軸使いを基本とし、X 方向で H-194×150×6×9、Y 方向で H-200×200×8×12 である。柱断面は、同規模の建築物に比して小さいが、サポート材を介して建築物に水平力を負担させることから、鉛直荷重の支持に必要な断面としている。このような場合、座屈が懸念事項の 1 つとなるが、サポート材が座屈補剛の役割も担うことで、合理的な架構計画を可能としている。この点で、高揚程立駐は、そのみで自立できない構造物に位置づけられる。

続いて各部の接合形式に着目する。フレーム階では、図 2 (c), (d) に伏図と立面図を示した通り、柱-梁接合部をピン接合とし、質量が大きい建築物の応答に抵抗せず、変形が追従できる構造を採用している。主架構の四隅から延ばしたサポート材は、防振ゴムを介して建築物と接合し、サポート材には軸力のみが伝達する。パレット階では、図 2 (e) に示す様に、パレットの重量を支持するため、パレット支持材が柱とガイド柱に固定され、地震時にはパレットの積載により、それを支持するパレット支持材にせん断力が伝達するが、滑動を伴う伝達メカニズムについては、モデル化されていない。

図 2 高揚程型立体駐車場の構成部材と接合形式

2.2 主架構およびフレーム階とパレット階のモデル化

前節で述べたフレーム階とパレット階の構造的特徴を踏まえ、以降の検討に用いる解析モデルの設定方法をまとめる。既往研究では、立体駐車場を 2 次元フレームでモデル化し、また剛床を仮定しているが^{3)~5)}、先に述べた架構の構成を踏まえれば、その応答評価には改善の余地が残る。具体的には、四隅がサポート材を介して拘束されているとはいえ、梁の軸伸縮が主たる応答となるフレーム階に剛床を仮定している点などが挙げられる。

本報では、まずいくつかの解析モデルを設定し、各々の特徴を調べた上で、地震応答を評価するモデルを選定する。図 3 に設定した Case-1 ~ 3 のモデル化の概要をまとめる。なお、ここで設定するモデルは、すべて 3 次元フレームモデルである。

図 3 に示すように、フレーム階ではすべてのモデル化で、サポート材の先端に防振ゴムの特性を有する軸パネを設定し、これを建築物に付帯することとした。軸パネは、材料試験の結果を基に、6.9 kN / mm の弾性パネとした。各モデルの特徴を見ていくと、Case-1 ではパレットの剛性を考慮せず、パレット支持材にパレットの総質量を均等に分配している。また、部材の中間に質量を設けることで、局所的な応答も評価できるモデルとなっている。これに対し、Case-2 はパレットの剛性を考慮したモデルで、剛体と見なせる H 型に組んだ部材で、パレット支持材間をピン接合で結んだモデルである。地震時におけるパレットの滑動を踏まえると、このモデル化は剛性を過大に評価しているが、パレットの応答加速度を評価する観点から見れば、滑動による入力損失を認めないため、最大応答の評価には適したモデルと考えられる。また、実構造物が Case-1 と 2 の中間的な特性を有すると考えれば、両ケースの比較は、実構造物が有する特性の把握にも繋がる。

Case-3 は、Case-2 の質量を集約したモデルで、フレーム階の柱位置に主架構の質量をまとめてある。これは、立体駐車場の全体重量に占める主架構の割合が約 4 割であることを踏まえ、部材を細分化して評価せずとも、主たる応答に変化がないことを確認するためである。また、パレット階では、パレット中央に 2 軸の質量を設けた他、回転慣性を考慮することで、Case-1 と 2 でパレット支持材に均等に作用することを仮定したせん断力を、このケースでは応答を考慮して評価できるモデル化としている。

2.3 固有値に基づく高揚程立駐の応答性状の把握

図 3 に示した Case-1 ~ 3 の固有値を比較し、モデル化の差異が応答性状に与える影響を把握する。高揚程立駐が建築物に付帯する条件下での応答を評価するため、まず防振ゴムの特性を示す軸パネの先端を固定し、各ケースの固有値を求めた。図 4 に X・Y 各方向の固有値として、1 ~ 5 次の固有振動数と刺激係数、および固有モードをまとめて示す。同図の固有値は、方向毎に刺激係数が大きい上位 5 つを選定した上で、それを振動数順に並び替えたもので、モード図では主架構とガイド柱を色分けして示してある。

図 4 モデル化の異なる 3 ケースの固有値

モデル化の差異による固有値の変化に着目する。まず図 4 (a) に示した X 方向では、パレットの剛性を評価した Case-2 と 3 は概ね同様の傾向を示しているが、Case-1 では固有振動数および固有モードが大きく異なることが分かる。Case-1 の各次の刺激係数に着目すると、高揚程立駐では主架構の応答に比して、ガイド柱の応答の影響が大きい様子が窺える。これらガイド柱の応答は、ガイド柱が主架構とは独立した長柱であることを踏まえると、固有値としては適切であると言え、ガイド柱の設計において考慮すべき応答と判断される。一方、主架構と独立したこれらの応答は、建築物との連成とは無関係であることを意味し、検討対象とする地震動に含まれている固有振動数付近の成分、本報の検討対象の場合 3 ~ 4 Hz 付近の成分から、このモードに対する部材検定等は可能であることを示唆している。また、Case-2 と 3 の固有振動数は、共に 6 Hz 程度で、主架構全体の高さが 100 m を超えるものの、4 m 毎に固定点を持つ点を勘案すると、主架構の剛性としては、一般的な建築物に比して小さいことが理解される。

続いて、図 4 (b) に示した Y 方向に着目すると、Case-1 ~ 3 で概ね等しい固有値であることが分かる。X 方向では、Case-1 でガイド柱のみが励起するモードが認められたが、主架構の柱に対するサポート支持材の拘束効果が両方向で異なるため、Y 方向ではパレットの剛性による差異が X 方向ほど顕著ではない。また両方向の Case-2 と 3 の比較から分かるように、質量の集約は、主たる応答に殆ど影響を与えない。より高次の固有値には、差異が認められることを別途確認しているが、質量の細分化によって現れる局所的なモードは、刺激係数にして 0.07 程度である。以上の結果より、建築物との連成解析により、パレットの応答加速度を調べる上では、Case-3 で必要十分と判断される。以降の検討では、高揚程立駐の解析モデルとして、Case-3 のモデル化を採用する。

3. 超高層建築物の解析モデルと連成解析モデルの設定

3.1 検討対象建物の概要

高揚程立駐が付帯する構造物の特性が、パレットの応答に与える影響を分析するため、ここでは特徴の異なる 3 種類の超高層建築物を設定する。具体的には、耐震構造、制振構造、免震構造を採用した構造物である。モデルの設定方法の概要を図 5 にまとめる。

同図に示す通り、本報では、既往研究にて応答性状を精査してある制振構造を採用した建物 η を基準とし、他のモデルを順に設定することとした。全モデルに共通するのは、高さ $h = 121.5$ m、地上 30 階の鋼構造建物を想定している点で、前述の高揚程立駐が内蔵できる架構である。以降では、これを集中質点系に置き換えた上で、層特性の変更や免震層の追加により 3 種類のモデルを設定することとし、各モデルの詳細を次節以降にまとめる。

3.2 解析モデルの設定と集中質点系への置換

図 5 (a) に示した部材断面で構成された架構の全層に、粘性ダンパーを付加した建物が、本報の基準となるモデルである。同図 (b)、(c) に示すように、粘性ダンパーはハの字型に 1 層あたり 8 基が内蔵され、それを除く架構のみの 1 次固有周期は、4.46 s である。これを同図 (d) に示すように集中質点系に置き換えたモデルを、以降では制振モデルと呼ぶ。各層の特性は、同図の通りに構成され、実効変形比の考え方にに基づき、3 次元フレームモデルに対する静的増分解析の結果より、主架構の剛性 K_{fi} と擬似ブレース剛性 K_{bi} を評価しており、架構の全体曲げ変形の影響も含まれる⁸⁾。ここで、 i は層数を意味し $i = 1 \sim 30$ である。

設定する粘性ダンパーには、オイルダンパーを想定し、線形ダッシュポットと内部剛性 K_{di} の直列結合で表されるものとする。オイルダンパーの減衰係数 C_{di} は、第 1 層の粘性係数を $C_{d1} \doteq 1.07 \times 10^7$ kN/(m/s) と定め、 A_i 分布に従い 5 層毎に 6 段階を設定した。ここで設定した粘性係数は、レベル 2 相当の地震動に対して層間変形角が $1/300$ rad 程度となるものである。内部剛性は、 $K_{di} = 4.5 C_{di}$ の関係を満足するように定めた。なお、以降のすべてのモデルで主架構の剛性は、弾性として扱うものとする。

3.3 耐震架構の設定方法

集中質点系に直した制振モデルを基準に、図 5 (e) に示す耐震架構を設定した。以降ではこれを耐震モデルと呼ぶ。同図に示す通り、このモデルは、前節で述べた制振モデルのオイルダンパーおよびそれと直列結合した 2 つのパネを、1 つの弾性パネに置き換えたモデルである。ここで主架構の剛性 K_{fi} と並列に結ばれるパネの剛性 K_{ai} は、耐震モデル全体の 1 次固有周期が $0.025 h = 3.04$ s となるように調整したもので、具体的には $K_{ai} \doteq 1.16 K_{fi}$ の関係を全層で満足する。参考として、同図に耐震モデルと制振モデルの剛性分布が比較して示してある。

3.4 連成解析モデルと免震層の設定方法

連成解析モデルは、前節までに述べた制振モデルと耐震モデルの各階を、高揚程立駐のフレーム階を結ぶことで設定する。連成解析モデルは、各建物モデルの検討方向毎に定めるものとし、高揚程立駐の固有値を算定する上で固定とした、フレーム階の軸パネ先端の節点に、建物モデル各階の応答を等置することとした。これは、各建物モデルが水平 1 自由度であるのに対し、高揚程立駐には 3 次元フレームモデルを採用したためである。

3 種類目の建物モデルとなる免震モデルは、図 5 (f) に示すように、高揚程立駐と耐震モデルを結んだ連成解析用のモデルに対し、その基礎下に免震層を設けることで設定した。具体的には同図に示したように、耐震モデルの柱脚の固定点を、質点に置き換えた上で直下に非線形パネを設定し、さらに高揚程立駐の柱脚を固定している節点を水平方向にローラー支持として、建物モデルに新たに設けた質点の応答を等置している。

免震層は、長期面圧が 13 N/mm² となる天然ゴム系積層ゴムと履歴ダンパーで構成されるものとした。履歴ダンパーには、完全弾塑性型の復元力特性を有する鋼製ダンパーを採用し、その降伏耐力を耐震モデルと高揚程立駐の全重量の 2.5 % となるように設定した。免震層の特性を表す非線形パネは、これら積層ゴムと履歴ダンパーの並列結合で評価される。以上の設定により定めた免震モデルの免震周期は 4.85 s である。

図 5 検討する超高層建築物のモデル化と連成解析モデルの設定の概要

4. 連成振動解析に基づく地震応答評価

4.1 入力地震動と解析条件

前章にまとめた各連成解析用のモデルを用いて、高揚程立駐の応答性状を分析する。検討に用いる入力地震動は、広く超高層建築物の検討に用いられている最大速度を 0.5 m/s に基準化した標準波 3 波と Lv. 2 の告示波とした。標準波は、1940 年インベリアルバレー地震（以降、EL Centro）NS 成分、1952 年カーンカウンティ地震（以降、Taft）EW 成分、1968 年十勝沖地震（以降、Hachinohe）EW 成分である。告示波の位相特性は、Hachinohe と 1995 年兵庫県南部地震・神戸海洋気象台記録の NS 成分とし、以降ではこれらを ART Hachi、ART Kobe と呼ぶ。参考として、これらの入力地震動の加速度応答スペクトル S_a と擬似速度応答スペクトル pS_v を図 6 にまとめて示す。なお、同図には各建物モデルおよび高揚程立駐の 1 次固有周期も併せて表示してある。

図 6 入力地震動の応答スペクトル

連成解析では、3 種類の建物モデルの主架構のみに構造減衰を設定するものとし、減衰定数 $h=2\%$ の剛性比例型とする。一方、高揚程立駐には構造減衰を設定していない。既報では、立体駐車場が有する減衰性能について、実験的な検討も行われているが⁹⁾、車両自体が有する減衰性能と、滑動に伴うクーロン減衰の分離など、そのメカニズムが不明瞭である。以上から、本報ではパレットの応答加速度の評価において、最も大きい場合を想定することを意図し、高揚程立駐には減衰を見込まないこととした。なお、以降の分析では、高揚程立駐の X 方向に対する検討結果を示すものとする。

4.2 耐震モデルとの連成解析による高揚程立駐の応答性状

本節では、まず耐震モデルとの連成解析の結果に着目する。各入力地震動に対する計算結果として、図 7 に耐震モデルと高揚程立駐の最大層間変形角の高さ方向分布を比較して示す。同図で、高揚程立駐の層間変形角は、フレーム階とパレット階それぞれの間を層間と考え、それを各高さで除すことで求めたものである。

図 7 耐震モデルと高揚程立駐の層間変形角の比較

図 7 より、層間変形角でみれば、一部には例外が認められるものの、高揚程立駐と耐震モデルの応答は、概ね同等であることが確認される。これは、高揚程立駐が建築物に付帯していることから当然と言えるが、高揚程立駐と建築物との衝突等が生じないことを裏付けている。続いて、最大応答加速度の高さ方向分布を入力地震動毎に比較した結果を、図 8 にまとめて示す。

図 8 耐震モデルと高揚程立駐の応答加速度の比較

図 8 より、最大応答加速度は、耐震モデルに比して高揚程立駐の方が明らかに大きい。特に、高さ 20 m 以下の下層部での応答増大は顕著で、これらの範囲では付帯する建築物からの入力より、基礎部からの入力の影響が大きいものと考えられる。すなわち、下層部の応答増大は、入力地震動の特性により現れるものと推察され、図 6 に示した応答スペクトルと図 8 の計算結果を対比しても、この傾向は明らかである。参考までに、高揚程立駐の上層・中層・下層から代表するパレット階を取り出し、図 9 にその Taft 入力時における応答加速度のフーリエスペクトルを示しておく。

図 9 高揚程立駐パレット階のフーリエスペクトル(Taft 入力時)

4.3 付帯する建築物の特性が高揚程立駐に与える影響の分析

本節は、前節に述べた耐震モデルと高揚程立駐の連成解析の結果を基準として、付帯する建築物の特性が高揚程立駐の応答に与える影響を検討する。先に述べた耐震モデルに対する検討の中で、最大応答加速度が最大・最小となった Taft 入力時および Hachinohe 入力時の結果に着目し、図 10 (a) に各建物モデルの最大応答加速度を、同図 (b) に各建物モデルとの連成解析によるパレットの最大応答加速度を高さ方向分布にして示してある。

図 10 付帯する建築物と高揚程立駐の応答の比較

図 10 (a) に示す各建物モデルの応答に着目すると、耐震モデルに比して、制振モデルでは中層から上層の応答が、免震モデルでは全層の応答が低減していることが分かる。これらの結果より、各建物モデルが、特性の異なるモデルとして適切に設定できていることが分かる。続いて同図 (b) に示す高揚程立駐のパレットの応答に着目すると、建物モデルと同様の傾向が窺える。これらの結果より、入力地震動の差異によりその影響は異なるが、本報で対象とする高揚程立駐は、建築物の性能を反映する架構であると言える。

5. まとめ

本報では、超高層建築物に内蔵される高揚程型立体駐車場を対象に、立体駐車場のモデル化の方法と共に、設定した建物との連成を考慮した地震応答解析を行い、その応答性状を調べた結果を報告した。得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 立体駐車場の接合条件に基づき、主架構のモデル化の方法を示した。また、性能評価の尺度としてパレットの応答加速度に着目し、その応答を安全側に評価できる応答解析モデルの設定方法をまとめた。
- ・ 固有値解析の結果より、パレットのモデル化に伴う剛性増大により、固有周期に変動が認められたが、卓越するモード形は、いずれのモデルでもサポート間の局所的な増大を示し、主たる応答性状は表現可能であることが示唆された。
- ・ 連成振動解析の結果より、高揚程立駐の応答変位は、建築物に追従するが、パレットの応答加速度に着目すると、建物モデルに比べて増大する傾向が確認された。特に下層部では、パレットの応答が最大値となることから、付帯する建築物によらず、入力する地震動の特性に大きく左右される可能性が示唆された。
- ・ 耐震・制振・免震の各建物モデルに対する検討結果より、入力地震動の差異によって影響は異なるが、高揚程立駐のパレットの応答性状には、建物側の応答との相関性が認められた。以上から、高揚程立駐は建築物の性能を反映できる特徴を有しており、建築物の性能を向上させることで、高揚程立駐の応答を抑制できることが示唆された。

謝辞

本研究は、東京理科大学・北村研究室と三菱重工メカトロシステムズの共同研究で得られた成果の一部をまとめたものです。また、文献調査に際しては、東京理科大学・非常勤講師の出水俊彦氏にご協力頂きました。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (公社) 立体駐車場工業会：機械式駐車装置の安全性能に関する認証基準，2014.12
- 2) 国土交通省：機械式立体駐車場の安全対策に関するガイドライン，2014.10
- 3) 村瀬安彦，広瀬康之，中川建治：立体駐車場の地震応答と動特性に関する研究，佐藤鉄工技報，Vol. 9, 1996.10
- 4) 村瀬安彦，中川建治：立体駐車場が組込まれた中層ビルの地震応答に関する研究，佐藤鉄工技報，Vol. 10, 1997.10
- 5) 村瀬安彦，中川建治：遊びと滑動を伴うバネで連結された立体駐車場とビルの応答に関する研究，佐藤鉄工技報，vol. 12, pp.42-50, 1999.10
- 6) 井川望，古橋豊光，渡辺弘，田沼毅彦：2011 年東北地方太平洋沖地震における超高層集合住宅の地震応答評価，日本建築学会技術報告集，No.40, pp.859-864, 2012. 10
- 7) 添田幸平，佐藤大樹，北村春幸，吉江慶祐，宮崎充，佐々木和彦，岩崎雄一：連層配置した履歴型ダンパーと粘性型ダンパーが超高層建物の制振効果に与える影響，日本建築学会技術報告集，No.39, pp.477-482, 2012. 6
- 8) 石井正人，笠井和彦：多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案，日本建築学会構造系論文集，第 647 号，pp.103-112, 2010.1
- 9) 小笠原和也，戸根弘希：機械式立体駐車場のパレット落下防止装置に発生する地震時衝突力推定に関する解析技術，三菱重工技報，VOL49, NO4, 三菱重工の総合力特集，pp.89-94, 2012.10

[2015 年 2 月 18 日原稿受理 2015 年 3 月 23 日採用決定]