論文 加速度計測値から算出した性能曲線の復元カモデル化に関する研究

服部 勇樹^{*1}·楠 浩一^{*2}·日向 大樹^{*1}·田才 晃^{*3}

要旨:加速度計測値から算出した性能曲線を用いて構造物の残余耐震性能を判定するためには、性能曲線を 定量的な扱いが可能な復元カモデルへと近似する必要がある。そこで、性能曲線の復元カモデル化手法を提 案し、計 32,400 ケースの1 質点系モデルの弾塑性解析結果に適用することで、復元カモデル化の精度を検討 した。また、既往の振動台実験結果に本手法を適用し、実構造物の加速度計測値から算出した性能曲線を精 度良く復元カモデルに近似できることを確認した。

キーワード:性能曲線,復元力モデル化,加速度計測値,残余耐震性能,余震,Wavelet変換

1. はじめに

建物の各層に加速度計を設置し、その計測値から地震 後の建物の応答を算出することにより、残余耐震性能を 自動的かつ定量的に判定する技術が提案され¹⁾、その実 用化に向けた研究を重ねてきた^{1)~6)}。本技術は、建物を あらかじめモデル化する必要がなく、本震直後の建物の 安全性をリアルタイムで建物利用者に示すことが可能で ある。また、建物の性能曲線を計測するため、剛性(周 期)の変化のみならず、強度および変形量の情報が得ら れる点が特徴的である。

判定では建物に設置された加速度計の計測値から建 物の性能曲線と、入力地震動の要求曲線を算出し、両者 を比較することで余震に対する建物の安全性を判定する。 性能曲線とは、等価1自由度系の荷重-変形関係に相当 する代表加速度-代表変位関係であり、要求曲線とは、 縦軸に加速度応答スペクトルの縦軸の値、横軸に変位応 答スペクトルの縦軸の値をとったものである。図-1 に 残余耐震性能判定方法の概要を示す。

建物が損傷すると、損傷の程度に応じて履歴減衰が作 用するため、判定の際には履歴減衰の影響を考慮した要 求曲線が必要となる。限界耐力計算法⁷⁾では、国土交通 省告示 1457 号第6号により、本震時の最大応答推定にお いて、5%減衰での要求曲線に対する低減率Fhを式(1)よ り算出する。その際、代表変位に応じた履歴減衰を含む 減衰hを式(2)、式(3)より求めることで、履歴減衰の影響 を考慮した要求曲線を算出する。ただし、μは塑性率、γは 復元力の形状に関する係数である。

Fh = 1.5/(1+10h)	(1)
$h = h_{eq} + 0.05$	(2)
$h_{eq} = \gamma \cdot (1 - 1/\sqrt{\mu})$	(3)
また, 文献 3)では余震時の最大応答推定用要求	曲線を算
出する方法として, $\gamma = 0.1$ とした式(4)を提案し	ている。





図-1 残余耐震性能判定方法概要

 $h_{eq} = 0.10 \cdot (1 - 1/\sqrt{\mu}) \tag{4}$

判定の際には、性能曲線をより定量的な扱いが可能な 復元カモデルに近似するが、式(3)、式(4)のいずれにおい ても履歴減衰の影響は塑性率を用いて考慮しているため、 最大応答を精度良く推定するためには、塑性率算出時に 使用する復元カモデルの降伏点を適切に評価する必要が ある。既往の研究では、文献4)に示される方法で復元カ モデル化が行われているが、降伏点以降の剛性は初期剛 性の1/1000、ひび割れ点耐力は最大耐力の1/3と仮定し ているため、建物の実性状に適していない場合があり、 弾性および塑性の判断も別途必要である。また、復元カ モデル化の精度に関する詳細な検討は行われていない。

そこで、本報では加速度計測値から算出した性能曲線 をエネルギーの釣合いにより復元カモデルへと近似する 方法を提案し、1 質点系モデルの弾塑性解析結果に適用 することで、本手法による復元カモデル化の精度を検討 した。また、既往の鉄筋コンクリート造試験体の振動台 実験結果に本手法を適用し、加速度計の実計測値から算 出する性能曲線における本手法の有用性を確認した。

*1	横浜国立大学	大学院	都市イノベーション学府 値	多士課程	(正会員)	
*2	横浜国立大学	大学院	都市イノベーション研究院	准教授	博士(工学)	(正会員)
*3	横浜国立大学	大学院	都市イノベーション研究院	教授]	こ博 (正会員)	

2. 性能曲線の復元カモデル化概要

2.1 復元カモデル化方法(既往手法)⁴⁾

文献 3)で提案されている,性能曲線の4折れ線の復元 カモデルへの近似方法を以下に示す。図-2 に既往手法 による復元カモデル化の概要を示す。

- 原点から最大耐力の1/4の耐力となる点までを直線 補完し、初期剛性k₀を算出する。第1折れ点は初期 剛性上とし、第1折れ点における耐力(図中F_c)は 第2折れ点の耐力(図中F_y)の1/3とする。
- 第3折れ点を最大耐力点とし、初期剛性の1/1000の傾きを第3勾配とする。第2折れ点は第3勾配上とし、モデル化前の性能曲線と等価なエネルギー吸収となるように、最大耐力点までの性能曲線の囲む面積A1と第3折れ点までの復元カモデルの囲む面積が等しくなるよう第2折れ点を算出する。
- 3) 最大耐力点を第3折れ点とし、最大耐力点以降の性能曲線の囲む面積A2と第3折れ点以降の復元カモデルの囲む面積の釣合いにより最大変位応答点を算出する。

本手法では,最大変位応答点と最大耐力点が同じとな る場合は3折れ線近似となり,最大耐力点以降耐力が低 下する性能曲線では4折れ線の近似となる。

図-2 に示すように、最大耐力点までの性能曲線の囲 む面積を A_1 、最大耐力点以降の面積を A_2 とおき、第 1、 第 2、第 3 折れ点における耐力を F_c 、 F_y 、 F_{max} 変位を δ_c 、 δ_y 、 $\delta_{F_{max}}$ とする。 F_{max} および $\delta_{F_{max}}$ は性能曲線上の最大耐 力点を抽出し、モデル化のルールにより F_c 、 δ_c 、 δ_y はそ れぞれ式(5)、式(6)、式(7)より算出する。

$$F_c = \frac{F_y}{3} \tag{5}$$

$$\delta_c = \frac{F_y}{(3 \cdot k_1)} = \frac{F_y}{(3 \cdot k_0)} \tag{6}$$

$$\delta_{y} = \delta_{F_{max}} - \frac{(F_{max} - F_{y})}{k_{3}} = \delta_{F_{max}} - \frac{1000(F_{max} - F_{y})}{k_{0}} \quad (7)$$

*Fy*は式(8)の面積のつり合い式に式(5),式(6),式(7) を代入し,式(9)に示す2次方程式の解のうち*F_{max}の値* に近い方から求めるものとする。

$$A_1 = \frac{\{F_c \cdot \delta_c + (F_c + F_y)(\delta_y - \delta_c) + (F_y + F_{max})(\delta_{F_{max}} - \delta_y)\}}{2}$$
(8)

$$F_{y} = \frac{-\frac{2}{3}(k_{0}\cdot\delta_{F_{max}} - 1000F_{max}) \pm \sqrt{X}}{333}$$
(9)

ただし、 $X = \left\{\frac{2}{3}(k_0 \cdot \delta_{F_{max}} - 1000F_{max})\right\}^2 - 666(500 \cdot F_{max}^2 - k_0 \cdot A_1)$ 最大耐力点以降耐力が低下する場合の最大変位応答点耐 力 F_u は、式(10)より算出する。

$$F_u = \frac{2A_2}{(\delta_u - \delta_{F_{max}})} - F_{max} \tag{10}$$



図-2 既往手法による復元カモデル化概要

2.2 復元カモデル化方法(提案手法)

本報で提案する,エネルギーの釣合いを用いた性能曲線の復元カモデルへの近似方法を以下に示す。図-3, 図-4,図-5に提案手法による復元カモデル化の概要を示す。

ひび割れ点,降伏点,最大変位応答点における復元力 を F_c , F_y , F_u ,変位を δ_c , δ_y , δ_u とする。

性能曲線上 *i* Step における復元力*F_i*,変位δ_i,原点から *i* Step までの性能曲線の囲む面積*A_i*とし,原点から *i* Step までを直線補間した点の復元力*F_i*'を式(11)により算出する。

$$F_i' = \frac{2A_i}{\delta_i} \tag{11}$$

各 Step について F_i'/F_i を算出する。性能曲線上を最 大変位応答点から原点に向かって遡り,初めて $F_i'/F_i \leq 1.05$ となった点を第1折れ点(ひび割れ点) とする (図-3)。($F_c = F_i', \delta_c = \delta_i$)。ただし,第1 折れ点において $F_i'/F_i \leq 1.00$ となった場合は *i* Step と*i*+1 Step の線形補間により $F_i'/F_i = 1.00$ となる点 を算出し,第1折れ点とする。

 第1折れ点以降に関して,性能曲線上 *j* Step におけ る復元力F_j,変位δ_j,第1折れ点における復元力F_c, 変位δ_c,第1折れ点から*j* Step までの性能曲線の囲 む面積A_jとし,第1折れ点から*j* Step までを直線補 間した点の復元力F_j'を式(12)により算出する。

$$F_j' = \frac{2A_j}{\left(\delta_j - \delta_c\right)} - F_c \tag{12}$$

第1折れ点以降の各 Step について F_j'/F_j を算出する。 性能曲線上を最大変位応答点から第 1 折れ点に向 かって遡り,初めて $F_j'/F_j \leq 1.05$ となった点を第 2 折れ点(降伏点)とする(図-4)。($F_y = F_j', \delta_y = \delta_j$)。 ただし,第2折れ点において $F_j'/F_j \leq 1.00$ となった 場合は *j* Step と *j*+1 Step の線形補間により $F_i'/F_i = 1.00$ となる点を算出し,第2折れ点とする。 3) 性能曲線全体の囲む面積Aと復元力モデル全体の囲む面積を等しいと置くと式(13)となり、最大変位応答点復元力F₄を式(14)により算出する(図-5)。

$$A = \frac{F_c \cdot \delta_c}{2} + \frac{(F_y + F_c)(\delta_y - \delta_c)}{2} + \frac{(F_u + F_y)(\delta_u - \delta_y)}{2}$$
(13)

$$F_{u} = \frac{\{2A - F_{c} \cdot \delta_{c} - (F_{y} + F_{c})(\delta_{y} - \delta_{c})\}}{(\delta_{u} - \delta_{y})} - F_{y}$$
(14)

4) ただし、対象とする構造物の第1勾配(初期剛性) と第2勾配(ひび割れ点以降の剛性)に差がない場 合を想定し、等価1自由度系の等価高さに対する変 形角R = 1/200以上かつ第1折れ点復元力が最大復 元力の0.8倍以上の場合は、第2折れ点は求めず、 第1折れ点を降伏点とし、性能曲線全体の囲む面積 Aと復元カモデル全体の囲む面積の釣合いにより最 大変位応答点復元力 F_u を算出する。($F_y = F_i'$ 、 $\delta_y = \delta_i$)。

復元カモデルの折れ点の判断基準を*F_i'/F_iおよびF_j'/F_j*が 1.05 を下回る点とすることは、折れ点における性能曲線上の復元力と復元カモデル上の復元力の誤差を 5%以下とすることに等しい。

本手法によって, 塑性時の性能曲線は3折れ線もしく は2折れ線の復元力モデルに近似される。また、ひび割 れ点が検出されない場合には弾性,降伏点が検出された 場合には塑性とすることで,弾性および塑性の判断も可 能である。2 折れ線近似となるのには、減衰力やノイズ の影響で耐力が急激に変化することによりFi'/Fiの値が 瞬間的に小さくなる場合があるが、このような場合は、 ひび割れ点を無視した2折れ線近似としても全体でのエ ネルギー吸収量に大きな差は生じないと考えられる。実 建物における加速度計測値から算出された性能曲線では, 計測誤差、ノイズ、減衰力などの影響によりこのような 事象が発生する可能性がある。一方、鉄骨造や木造のよ うな,履歴特性が Bi-Linear で模擬される構造物の場合も, 性能曲線は2折れ線の復元力モデルに近似される。最大 応答推定の際は、塑性率に応じて履歴減衰の影響を考慮 するため, 塑性率算出時に使用する降伏点の算出精度が 重要であるが、以上の理由から4)の条件に該当する場合 には、性能曲線を2折れ線に近似するものとした。

3. 復元カモデルの算出精度

3.1 検討方法と解析パラメータ

性能曲線の復元カモデル化の精度を検討するために, 履歴モデルと入力地震動をパラメータとした1質点系モ デルの弾塑性解析を行い,履歴モデルと既往手法および 提案手法の両手法により算出された復元カモデルの比較 を行った。

解析に用いた履歴モデルは、鉄筋コンクリート造を模



擬した Takeda モデルとした。解析パラメータを以下に示 す。降伏点剛性低下率 α_y は 0.4, 0.6, 0.8 の 3 ケース, 第 1 折れ点での復元力 Q_c の第 2 折れ点での復元力 Q_y に対す る比 $_{F_c}R$ は 0.3, 0.5, 0.7 の 3 ケース, モデルの周期は 0.3 秒から 1.2 秒まで 0.1 秒刻みの 10 ケース, 第 3 勾配 k_3 の 第 1 勾配 k_0 に対する比 $_{k_3}R$ は-0.001, 0.001, 0.005 の 3 ケ ースとした。弾性時の粘性減衰定数は 1, 3, 5, 7%の 4 ケースとし, 初期剛性比例型減衰を用いた。解析時に生 じる最大塑性率 μ_{max} は 1, 2, 3, 4, 5 の 5 ケースとし, 目標とする最大塑性率が生じる最大地動加速度を収束計 算により求めた。地震動は, El Centro NS 成分, Taft EW 成分, Hachinohe EW 成分, JMA Kobe NS 成分, MYG013 NS 成分, 人工地震波 WG60 の計 6 波を用いた。解析ケ ース数は全体で, 3×3×10×3×4×5×6=32,400 ケース である。

折れ点で生じる復元力の不釣合い力,および折れ点で の剛性変化により生じる減衰力の不釣合い力は,合わせ て外力として次ステップで解除した。解析時間刻みは 0.005 秒とした。

3.2 解析結果および結果の検討

各ケースについて,解析結果の復元力を用いて作成した性能曲線の復元力モデル化を行った。図ー6 に提案手法による $\delta_y - \delta_{yI}$ 関係,図ー7 に既往手法による $\delta_y - \delta_{yI}$ 関係,図ー8 に提案手法による $K_3 - K_{3I}$ 関係をそれぞれ示す。ただし,解析時に履歴モデルの入力値とした降伏変位を δ_{yI} ,第3 勾配を K_{3I} ,算出した復元力モデルの降伏変位を δ_y ,第3 勾配を K_3 とした。また,降伏変位の算出精度を検討するために,式(15)により定義するばらつきの指標Disを求めた。ただし $_n\delta_y/_n\delta_{yI}$ はn番目の解析ケースにおける δ_y/δ_{yI} ,Nは全解析ケースである。

$$Dis = \sqrt{\frac{\Sigma (n\delta_y/n\delta_{yl}-1)^2}{N}}$$
(15)

加速度計測値から性能曲線を算出する際,縦軸の値に は慣性力が用いられる場合がある。慣性力を用いる場合 は、復元力を用いる場合に比べて、減衰力の影響により 性能曲線の縦軸の値が増加する傾向にある。復元カモデ ル算出における減衰力による影響について検討するため に、各ケースについて、解析結果の慣性力を用いて作成 した性能曲線の復元カモデル化を行った。図-9 に提案 手法による $\delta_y - \delta_{yl}$ 関係、図-10 に既往手法による $\delta_y - \delta_{yl}$ 関係、図-11 に提案手法による $\delta_y / \delta_{yl} - h$ 関係



をそれぞれ示す。

復元力を縦軸の値に用いた性能曲線において、提案手 法による復元力モデル化では,最大塑性率1の6,480ケ ース中 6,452 ケースにおいて非降伏の判定となったが, 最大塑性率2以上のケースについては全ケースで降伏の 判定となり、図-6 に示すように復元力モデル化時の降 伏変位は、解析時に履歴モデルの入力値とした値が精度 良く算出され, Dis = 0.12であった。一方, 既往手法に よる復元力モデル化では,最大塑性率2以上のケースに ついてDis = 0.15となり, 図-6, 図-7の比較およびDis の値から復元力を縦軸の値に用いて作成した性能曲線を 復元力モデル化する場合は、提案手法の降伏変位算出精 度が既往手法の降伏変位算出精度を上回る結果となった。 また、提案手法により復元力モデル化を行うことで、最 大塑性率2以上の場合には降伏の判定が可能であると考 えられる。一方,図-8より復元力モデル化時の第3勾 配は解析時に履歴モデルの入力値とした第3勾配との差 が大きく、復元力モデル算出時の第3勾配をそのまま判 定に用いるのは不適切であるといえる。

慣性力を縦軸の値に用いた性能曲線において,提案手法による復元力モデル化では,最大塑性率2以上のケースについてDis = 0.37であった。一方,既往手法による



復元力モデル化では,最大塑性率2以上のケースについ てDis = 0.31であり、図-9、図-10の比較からも慣性 力を縦軸の値に用いて作成した性能曲線を復元力モデル 化する場合は、既往手法の降伏変位算出精度が提案手法 の降伏変位算出精度を上回る結果となった。図-11にお いて、横軸の減衰定数がh=0.01と小さいときには $\delta_{\nu}/\delta_{\nu l}$ のばらつきは小さいが, h = 0.03, 0.05, 0.07の範 囲では $\delta_{\nu}/\delta_{\nu l}$ のばらつきが大きくなっており、減衰力の 影響で性能曲線の形状が変化することにより降伏変位が 適切に算出できていないと考えられる。減衰力の影響を 含まない復元力による性能曲線の復元力モデル化では降 伏変位を精度良く算出できていたことも考慮すると、よ り精度の良い復元力モデルを算出するためには、減衰力 の影響を適切に取り除いた性能曲線の算出が必要である。 性能曲線における減衰力の除去方法としては、文献 5)に 示される方法がある。

4. 既往の振動台実験結果への適用

4.1 試験体概要

既往の鉄筋コンクリート試験体の振動台実験結果を 引用し,加速度計測値から算出される性能曲線に対する, 本手法による復元カモデル化の有用性を検討した。

検討対象は、平成5年に科学技術庁防災科学技術研究 所で実施された、実大3層鉄筋コンクリート構造物の振 動台実験^{8),9)}である。試験体の梁伏図および軸組図を図 -12、図-13に、試験体諸元を表-1に示す。入力地震 動は Hachinohe EW 成分の最大加速度を 600gal に基準化 した地震波であり、サンプリング周波数は 200Hz である。 試験体の終局強度型指針による地震力での非線形漸増載 荷解析によれば、本試験体は変形角 1/200 前後で降伏す ると考えられる。本加振において、IF 柱脚、各階梁端に 降伏ヒンジを形成し、曲げ降伏先行の全体崩壊形を形成 した⁸⁾。加速度は各階中央部の計測値を用いた。

4.2 性能曲線の算出

本技術では、加速度計測値から性能曲線を算出する際、 変位は加速度の2階積分により算出する。その際、Wavelet 変換により加速度計測値から計測誤差を取り除く。

Wavelet 変換¹⁰⁾とは、ある N 個のデータを含む信号 $f_{(x)}$ を特定の周波数帯のみを含む信号 $g_1 \dots g_i \dots g_n$ と残りの 信号 f_n に分解する時間周波数解析である。i 番目の信号 g_i を Rank *i* の信号と呼び、Rank *i* のナイキスト周波数 $\Delta_{f,i}$ は $f_{(x)}$ の時間刻みを Δ_t とすると式(15)で表わされる。

$$\Delta_{f,i} = \frac{1}{2\Delta_{f'}2^{i}} \tag{15}$$

Wavelet 変換を用いて加速度波形を分解することにより,計測誤差である長周期成分を多く含む不要な Rank を取り除き,1次モード成分を含む有意な Rank(以下,



表-1 試験体諸元

	柱	R 階梁	1,2 階梁
断面 (mm)	\Box -450×450	\Box -250×400	\Box - 300 \times 500
(上端筋)	8-D22	2-D22	2-D22+1-D19
^{土肋} (下端筋)		2-D16	2-D22
せん断補強筋	D10 @100	D10 @200	D10 @200
F_c (kgf/cm ²)		300	

主要 Rank)から性能曲線を算出する^{4),6)}。

本試験体は、3層の鉄筋コンクリート造試験体であり、 高次モードの影響は小さいと考えられるため、文献5)を 参考に主要 Rank は Rank 1 から Rank 9 までの足し合わせ とした。性能曲線は主要 Rank 加速度と、主要 Rank 加速 度の2階積分により算出した主要 Rank 変位を用いて算 出した。

4.3 復元カモデルの算出

振動台実験結果の加速度計測値から算出した性能曲線を,提案手法および既往手法により復元カモデルへと 近似した。図-14 に性能曲線および各手法により算出し た復元カモデルを示す。表-2 に提案手法による復元カ モデルの算出値,表-3 に既往手法による復元カモデル の算出値をそれぞれ示す。提案手法では,正側で2折れ 線への近似となったが,いずれの手法を用いた場合も加 速度計測値から算出された性能曲線の復元カモデル化は 可能であった。

前述のように、本試験体は変形角 1/200 前後で降伏す ると考えられる。正側および負側の最大変位応答点にお ける等価高さはそれぞれ 715.1cm, 721.6cm であり、その 平均値 718.3cm を用いて計算した等価 1 質点系の変形角 1/200 発生時の代表変位は 3.6cm である。この計算値を参 考にすると、提案手法により算出した復元カモデルの正 側降伏変位 3.2cm および負側降伏変位-3.6cm は精度良く 算出できている。一方、既往手法により算出した復元カ モデルの正側降伏変位 5.8cm および負側降伏変位-9.3cm は多少の過大評価となった。したがって、本試験体にお いては、既往手法により算出した復元カモデルに比べ、 提案手法により算出した復元カモデルの方が降伏変位の 算出精度は高いといえる。



図-14 性能曲線および復元カモデル

	Positive Direction		Negative Direction	
	Disp. (cm)	Acc. (cm/s ²)	Disp. (cm)	Acc. (cm/s ²)
Crack Point	-		-0.5	-159.3
Yield Point	3.2	497.4	-3.6	-494.3
Max.Disp.Point	20.9	621.1	-23.2	-536.4

表-2 復元カモデル算出値(提案手法)

表-3 復元カモデル算出値(既往手法)

	Positive Direction		Negative Direction	
	Disp. (cm)	Acc. (cm/s ²)	Disp. (cm)	Acc. (cm/s ²)
Crack Point	0.8	193.1	-0.9	-216.1
Yield Point	5.8	579.2	-9.3	-648.3
Max.Force.Point	13.8	581.2	-14.8	-649.6
Max.Disp.Point	20.9	549.1	-23.2	-273.8

5. まとめ

既存構造物の残余耐震性能判定手法を確立するため, 性能曲線の復元カモデル化手法を提案し,1 質点系モデ ルの弾塑性解析結果を用いて復元カモデルの算出精度を 検討し,既往の鉄筋コンクリート造試験体の振動台実験 結果への適用を試みた。得られた知見を以下に示す。

- 復元力による性能曲線において,提案手法により既 往手法よりも精度の良い復元力モデルを算出する ことができる。
- 2) 提案手法による復元カモデル化において,降伏点が 検出された場合を塑性とすることで,最大塑性率が 1付近の場合を除いて,弾性および塑性の判断が可 能である。
- 3) 降伏点以降の剛性の算出精度は低い。
- (慣性力による性能曲線においては、減衰力の影響に より復元カモデルの算出精度が低下する。
- 5) 提案手法により,実構造物の加速度計測値から算出 される性能曲線を精度良く復元カモデルへと近似 することができた。

謝辞

日本大学の北嶋圭二准教授には、本研究において実験 記録をご提供頂きました。入力波の一部には、防災科学 技術研究所の K-NET の観測記録を使用しました。また、 入力波の1つとして使用した告示波(wg60)は、独立行 政法人 建築研究所(当時) 大川出博士より提供を受け ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 補浩一, 勅使川原正臣:リアルタイム残余耐震性 能判定装置の開発のための加速度積分法,日本建 築学会構造系論文集, No.569, pp.119-126, 2003
- 補浩一ほか:リアルタイム残余耐震性能判定装置の開発 その 1~22,日本建築学会学術講演集, 2003~2013
- 補浩一, 勅使川原正臣:余震に対する等価粘性減 衰定数評価に関する解析的研究, コンクリート工 学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.1057-1062, 2006
- 4) 川村学,楠浩一,山下美帆,服部勇樹,日向大樹, ミゲールディアス,田才晃:加速度計を用いた実 構造物の性能曲線算出方法に関する研究 1 質点 系構造物の場合,日本建築学会構造系論文集, No.688, pp.1061-1069, 2013
- 5) 山下美帆,楠浩一,川村学,田才晃:リアルタイ ム残余耐震性能判定装置の開発 その 13 減衰 力の計測及び復元力の算出,日本建築学会学術講 演集,2011
- 6) 日向大樹,楠浩一,田才晃:残余耐震性能判定の ための Wavelet 変換を用いた加速度計測値から算 出する性能曲線の精度に関する研究,コンクリー ト工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.931 –936, 2013
- 7) 建設省大臣官房技術調査室 監修・(社)建築研究振 興協会 編:鉄筋コンクリート造建築物の性能評 価ガイドライン,技法堂出版,2007
- 北嶋圭二ほか: 実大3層鉄筋コンクリート造骨組 の振動台実験 その1~4,日本建築学会学術講演 集,1995
- 9) 科学技術庁防災科学技術研究所ほか:強震動による鉄筋コンクリート構造の破壊に関する研究,平成5年度研究報告書,1993
- 10) 榊原進:ウェーブレットビギナーズガイド 東京
 電機大学出版局, 1995