T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	地震外乱を対象とした免震建物のアクティブ制御設計法の提案（その2：極大地震に対する免震型原子炉建屋の設計例）
Title(English)	Proposal of active control design method for seismically isolated building under earthquake disturbance (Part 2: Design example of seismically isolated reactor building under large earthquake)
著者(和文)	佐藤大樹, 陳引力, 宮本皓, 佘錦華
Authors(English)	Daiki Sato, Yinli Chen, Kou Miyamoto, Jinhua She
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 931-932
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 931-932
発行日 / Pub. date	2018, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（東北） 2018 年 9 月

地震外乱を対象とした免震建物のアクティブ制御設計法の提案
（その 2：極大地震に対する免震型原子炉建屋の設計例）

アクティブ制御　設計法　免震
原子力　極大地震　指定型応答

正会員　○佐藤大樹[*1]　同　陳引力[*1]
同　宮本皓[*1]　同　余錦華[*2]

1. はじめに

本報その 2 では，その 1 で提案された必要制御力スペクトルと重み関数の逆算法方法を用いて，指定した応答クライテリアを満たすような制御系の設計法の提案をし，免震型原子炉建屋を用いた設計例により，設計法の妥当性を確認する。

2. 設計方法の提案

STEP 0.

構造物の質量 m，検討用地震波と構造物の応答変位の制限値x_{lim}，応答速度の制限値 $\dot{x}_{\mathrm{lim}}$，応答絶対加速度の制限値 $\{\ddot{x}+\ddot{x}_{\mathrm{g}}\}_{\mathrm{lim}}$，初期減衰率の制限値$\zeta_{0,\mathrm{lim}}$，制御力のせん断力係数の制限値 $C_{u,\mathrm{lim}}$ を決定する。

STEP 1.

応答スペクトルから STEP 0.の設計条件を満たす等価モデル（固有周期 T_0 と等価減衰率ζ_{eq}）を選択する。

STEP 2.

検討用地震波における必要制御力スペクトル（その 1，式(22)）を用いて，STEP 1.で選択したモデルにおける，初期減衰率の制限値$\zeta_{0,\mathrm{lim}}$ と制御力のせん断力係数の制限値 $C_{u,\mathrm{lim}}$ を満たす初期減衰率ζ_0 を決定する。

STEP 3.

R の値を決定し，$q_1 = 0$ とすることで，選択したモデルにおける，その 1 式(25)を用いて，q_2 を逆算する。

STEP 4.

STEP 3.で決めた重み関数 R, q_1 を用いて，その 1 の式(9)によってコントローラゲイン K_P を算出する。

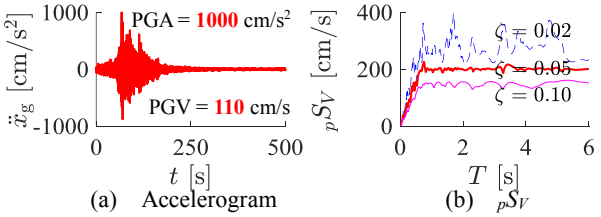
STEP 5.

時刻歴応答解析を行い，設計されたコントローラによる制御が制限値条件を満たすかを確認する。

3. 設計例

3.1 検討用地震波および建物の概要

検討用地震波はコーナー周期 0.64 s 以降の領域で，擬似速度応答スペクトル ${}_pS_V$ = 200 cm/s(ζ = 0.05)となる模擬地震波 Art Hachinohe（位相特性：Hachinohe 1968 EW）を用いる (Fig. 1)。制御対象は免震型原子炉建屋であり，構造物の質量が約 3.7×10^8 kg である [5]。



(a) Accelerogram　(b) ${}_pS_V$

Fig. 1 Art Hachinohe wave

3.2 設計例

STEP 0.

応答変位の制限値[5]	x_{lim} = 40 cm
応答速度の制限値	$\dot{x}_{\mathrm{lim}}$ = 150 cm/s
応答絶対加速度の制限値 [5]	$\{\ddot{x}+\ddot{x}_{\mathrm{g}}\}_{\mathrm{lim}}$ = 300 cm/s^2
初期減衰率の制限値	$\zeta_{0,\mathrm{lim}}$ = 0.1
制御力のせん断力係数の制限値	$C_{u,\mathrm{lim}}$ = 0.1

STEP 1.

Fig. 2 と Fig. 3 に Art Hachinohe の応答スペクトルを示す。なお，等価減衰率を 0.4 以上にしても応答の低減が見込まれないため，等価減衰率は 0.4 までの検討とした。STEP 0.の応答制限条件を満たすモデルを Table 1 に示す。

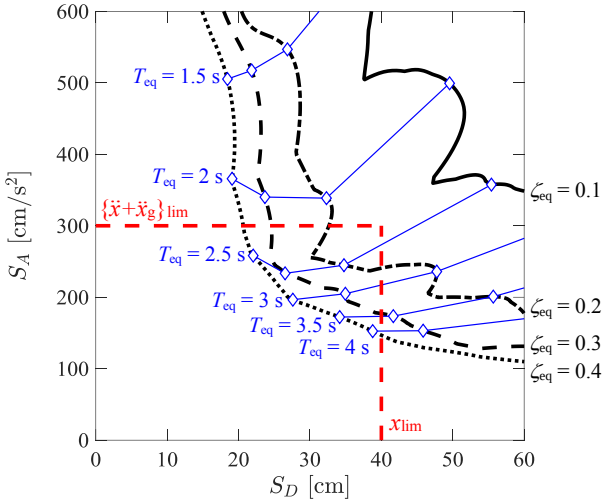


Fig. 2 Relationship between S_D and S_A

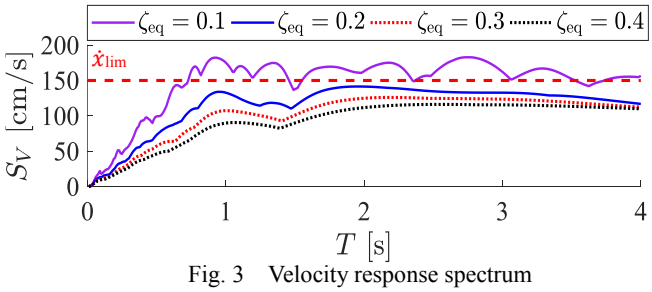


Fig. 3 Velocity response spectrum

Table 1 Prospective models

Model	T_{eq} [s]	2.5			3		3.5
	ζ_{eq} [-]	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
Peak response	x [cm]	35	27	22	35	28	34
	$\dot{x}$ [cm/s]	135	125	116	124	116	113
	$\ddot{x}+\ddot{x}_{\mathrm{g}}$ [cm/s^2]	245	233	258	204	197	172

Proposal of active control design method for seismically isolated building under earthquake disturbance
(Part 2: Design example of seismically isolated reactor building under large earthquake)

CHEN Yinli,
SATO Daiki,
MIYAMOTO Kou,
SHE Jinhua

STEP 2.

その 1 の式(22)を用いて，STEP 1.で選択したモデルの初期減衰率ζ_0 と制御力の最大せん断力係数 C_u との関係を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より，等価固有周期 T_{eq} = 2.5 s，等価減衰率ζ_{eq} = 0.2 のモデルのみが初期減衰係数の制限値 $\zeta_{0,lim}$ と制御力のせん断力係数の制限値 $C_{u,lim}$ を満たすことがわかる。そのうち，初期減衰率ζ_0 = 0.05 のモデルは初期減衰が比較的小さいことから，パッシブ重視型(Model 1)であり，初期減衰率ζ_0 = 0.1 ($\zeta_{0,lim}$)のモデルは制御力を比較的抑えたことから，アクティブ重視型(Model 2)である。なお，等価減衰率 0.3, 0.4 を実現させるためには，初期減衰率を大きくする必要がある。

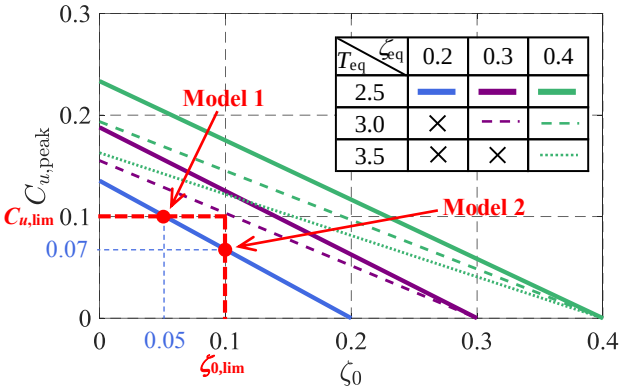


Fig. 4　Relationship between ζ_0 and C_u

STEP 3.

R = 1，q_1 = 0 とし，その 1 の式(25)を用いて，2 つのモデルにおける逆算された q_2 の値を Table 2 に示す。

Table 2　Parameter of control systems

Parameter	Model 1	Model 2
m [kg]	3.7 x 10^9	
T_{eq} [s]	2.5	
ζ_{eq} [-]	0.20	
T_0 [s]	2.5	
ζ_0 [-]	**0.05**	**0.1**
R [-]	1	
q_1 [-]	0	
q_2 [-]	**1.3 x 10^{17}**	**1.0 x 10^{17}**

STEP 4.

その 1 の式(9)によって，2 つのモデルにおける，算出さらたコントローラゲイン K_P の値を Table 3 に示す。

Table 3　The value of K_P of models

K_P \ Model	Model 1	Model 2
K_{P1} [-]	0	
K_{P1} [-]	**-2.7 x 10^8**	**-1.9 x 10^8**

STEP 5.

Fig. 5 に制御系の応答と制御力のせん断力係数の時刻歴応答波形を示す。Fig. 5 より，以下のことがわかる。

(1) Fig. 5(a) ~ (c)より，Model 1 と Model 2 は STEP. 0 のすべての制限値条件を満たす。

(2) Fig. 5(a) ~ (c)より，Model 1 と Model 2 の応答が一致する。この原因は 2 つのモデルの等価固有周期 T_{eq} と等価減衰率ζ_{eq} が一致することである。

(3) Fig. 5(c)より，Model 1 の制御力の最大せん断力係数が Model 2 より大きい。この原因については Model 1 の初期減衰率 (ζ_0 = 0.05) が Model 2 (ζ_0 = 0.1) より小さいと考えられる。

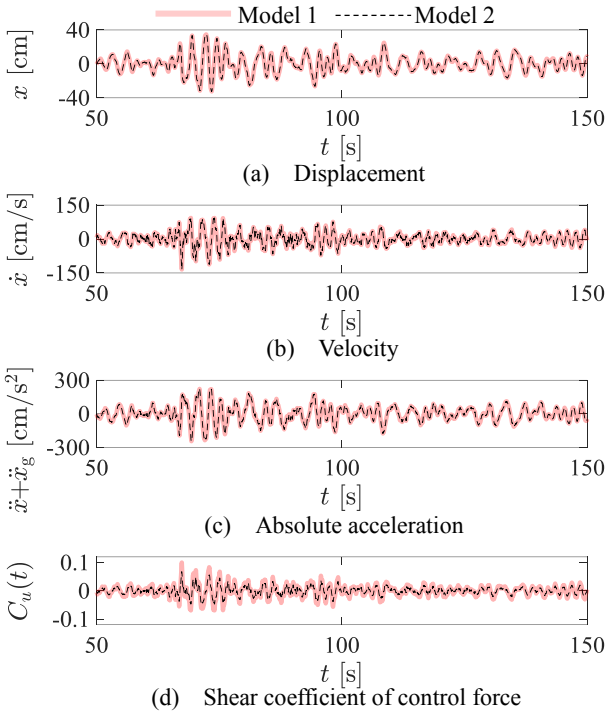


Fig. 5　Time history analysis result of every model

4.　まとめ

本報その 2 では，その 1 で示した制御力スペクトルと重み関数の逆算法の計算法を用いて，応答クライテリアを満たす制御系を実現するための静的（時刻歴応答解析不要）な設計法の提案を行い，免震型原子炉建屋を設計例として，提案した設計法の妥当性を確認した。その結果，本設計用法を用いることにより，試行錯誤をすることなく，設計用地震波に対して目標となる応答クライテリアを満たすような制御系を設計するための重み関数を逆算することができる。

参考文献

1)　A. Preumont, K. Seto: Active Control of Structures, WILEY, 2008.12

2)　陳引力，佐藤大樹，宮本皓，余錦華：1 質点系モデルを対象としたアクティブ制御の等価モデルの構築（その 1：LQR 重み関数の構造特性・振動特性への影響），日本建築学会関東支部研究報告集，pp.381-384，2018.3

3)　陳引力，佐藤大樹，宮本皓，余錦華：1 質点系モデルを対象としたアクティブ制御の等価モデルの構築（その 2：地震と風外乱を用いた等価モデルの精度検証），日本建築学会関東支部研究報告集，pp.385-388，2018.3

4)　古田勝久，佐野昭：基礎システム理論，コロナ社，1978.7

5)　島本龍，梅木芳人，中川進一郎：高震度地域における免震型原子炉建屋の地震時挙動に関する検討（その 1）全体概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1285-1286，2013.8

*1 東京工業大学
*2 東京工科大学

*1 Tokyo Institute of Technology
*2 Tokyo University of Technology