T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	絶対加速度制御型の等価入力外乱の制御系設計（その2：極配置を用いたフィードフォワード制御部分の設計法）
Title(English)	Estimation of Equivalent-input-disturbance by response spectrum (Part 2: Designing of feed forward part of EID system)
著者(和文)	太木本仁志, 宮本皓, 佐藤大樹, 陳引力, 佘錦華
Authors(English)	Hitoshi Takimoto, Kou Miyamoto, Daiki Sato, Yinli Chen, Jinhua She
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 411-412
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, vol. B-2, , pp. 411-412
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 (Tokyo Institute Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（東北） 2018 年 9 月

絶対加速度制御型の等価入力外乱の制御系設計
（その 2：極配置を用いたフィードフォワード制御部分の設計法）

アクティブ制御　等価入力外乱　振動制御　正会員　○太木本仁志*1　同　宮本皓*1
2 自由度制御系　絶対加速度　オブザーバ　同　佐藤大樹*1　同　陳引力*1
同　余錦華*2

1. はじめに

本報その 1 では，絶対加速度評価型の等価入力外乱の外乱除去メカニズムを明らかにした。その結果，本制御系は外乱入力から相対変位，速度に対して従来のフィードバック制御にフィードフォワード制御が加わった，2 自由度の制御系であり，この部分により，外乱が最初に除去され，残差をフィードバック制御部分で除去する構成であることが明らかになった。

本報その 2 では，制御系設計の見通しを良くすることを目的として，フィードフォワード部分の設計方法について検討を行う。

2. 検討用モデルと地震

図 1 に示すせん断型の 1 自由度の検証用モデルを用いる。このとき, 図 1 の運動方程式は以下の式(1)によって表される。

なお，本報では，図 1 のモデルのパラメータ m を 1.012×10^4 kg とした。

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=-m\ddot{x}_g(t)+u(t) \tag{1}$$

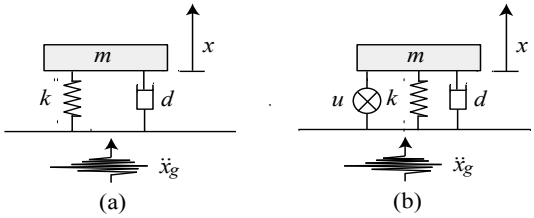

Fig. 1. Structural model
(a) without active control (b) with active control

検証に用いるモデルは固有周波数 f_u が 0.5，1.0，2.0s となるモデルであり，剛性 k は固有周期に合わせて以下の式(2)により選択される。

$$k=4m\pi^2 f_u^2 \tag{2}$$

また，減衰係数は剛性比例型とし，減衰率hを用いて

$$d=\frac{h_u k}{\pi f_u} \tag{3}$$

とした。本研究では，h_u は 0.02，0.1，0.2，0.3 を用いた。

3. アッカーマンの極配置によるオブザーバゲインの設計

本研究ではオブザーバゲイン L_p を双対システムとアッカーマンの極配置を用いて設計を行う。ここで, 制御対象の極（固有値）を $a\pm bj$ に指定するとき, L_p は以下の式により与えられる。

$$L_p=[0 \quad 0 \quad \dots \quad 1]U_C^{-1}P(A) \tag{4}$$

ここで， $U_C^{\mathrm{T}}=[C^{\mathrm{T}} \quad A^{\mathrm{T}}C^{\mathrm{T}} \quad \dots \quad A^n C^{\mathrm{T}}]$ により与えられる可制御性行列であり， $P(A)=A^2+2aA+a^2+b^2$ により与えられる方程式である。絶対加速度を抑制する等価入力外乱を用いることから，出力を $C=[-\frac{k}{m} \quad -\frac{d}{m}]$ としたとき，1 自由度系のオブザーバゲインは

$$L_p=\begin{bmatrix}L_{p1}\\L_{p2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{md}{k^2}\left(a^2+b^2\right)-2a\frac{m}{k}\\1-4\pi^2 f_u^2\left(a^2+b^2\right)\end{bmatrix} \tag{5}$$

により与えられる。

フィードフォワード制御部分の伝達関数は $C_1(s)$であり，簡単な計算により

$$C_1(s)=\frac{\left\{1-4\pi^2 f_u^2\left(a^2+b^2\right)\right\}\left(4h_u\pi f_u+4\pi^2 f_u^2\right)}{(100s+1)(s+a-bj)(s+a+bj)}-1 \tag{6}$$

により与えられる。ただし，ローパスフィルターには

$$F(s)=\frac{1}{100s+1} \tag{7}$$

により与えられるものを用いた。式(6)より，フィードフォワード制御部分の伝達関数は極の実部と虚部である a, b や制御対象の建築物の動特性 f_u，h_u の選択により，望ましい周波数応答特性を持つ制御系を設計することが可能になることが分かる。

極 a，b を持つシステムの減衰係数 h_o と固有振動数 f_o は以下により与えられる [1)]。

$$h_o=\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \tag{8}$$

$$f_o=\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2\pi} \tag{9}$$

したがって，オブザーバの設計には，フィードバック制御部分の共振周波数の波形を十分に抑えられるように f_o を十分に高くし，さらに，推定誤差を低くするために，h_o を高くすることが望まれる。

4. 周波数応答解析による制御系の設計

本報では，制御対象となる建築物の固有周波数，減衰係数にごとの，オブザーバゲインの設計方法，すなわち，極の指定方法について検討を行う。極指定には式(8)，(9)を参考に，オブザーバが所望の f_o，h_o になるように選択を行った。本研究では，オブザーバ部分の減衰については $h_o=0.1$，0.4，0.7，1.0，$f_o=0.1$，1.5，10，40 Hz について検討を行い。等価入力外乱の制御系に対する極配置方法についての検討を行った。さらに，建築物の初期減衰 h_u と初期減衰の影響について検討を行った。

図 2 は $f_o=10$ と固定し，h_o のみを変化させた場合でのフィードフォワード制御部分 $C_1(s)$の周波数応答図をプロットしたものである。

図 2 より，いずれの固有周波数の制御対象に対しても，h_o の値をより大きくするように極配置を行うことで，共振時の応答を低減できることが明らかになった。これは h_o を大きくすることにより，オブザーバが推定した状態と，制御対象の状態の誤差 $\Delta z(t)$が小さくなり，等価入力外乱の推定精度が向上することに起因するものであると考察される。

一方，図 3 は，$h_o=0.7$ になるよう固定して，f_o のみが変化するように，極を選択した場合の周波数応答図である。図 4 より, 制御対象の固有周波数によらず, f_o が大きくなることにより，低周波数帯での周波数応答値がより小さくなる傾向にあることから，フィードフォワード制御部分では，低周波の特性をもつことが分かる。

Estimation of Equivalent-input-disturbance by response spectrum
(Part 2: Designing of feed forward part of EID system)

Hitoshi Takimoto
Kou Miyamoto
Daiki Sato
Yinli Chen
Jinhua She

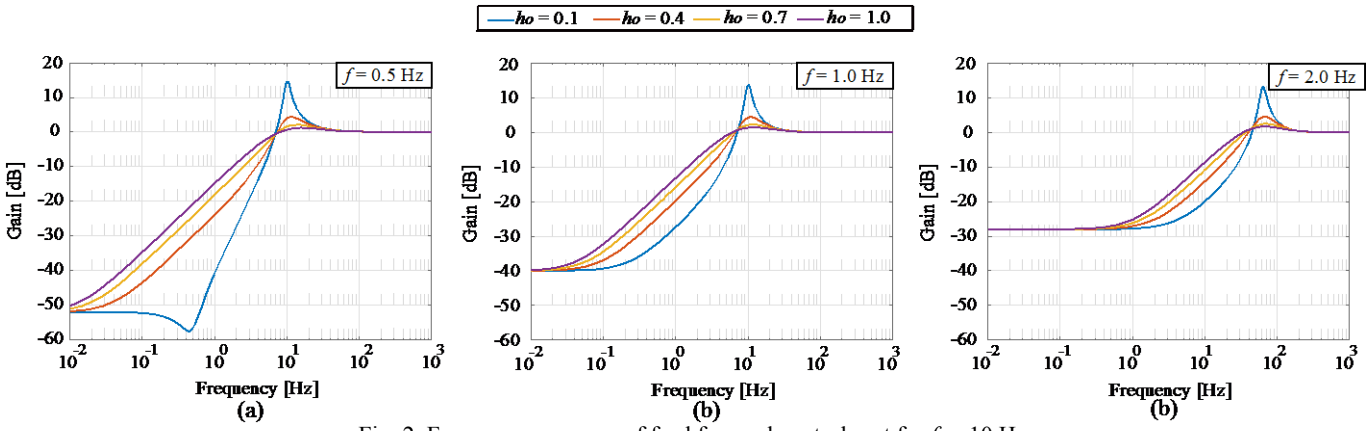

Fig. 2. Frequency response of feed forward control part for $f_o = 10$ Hz

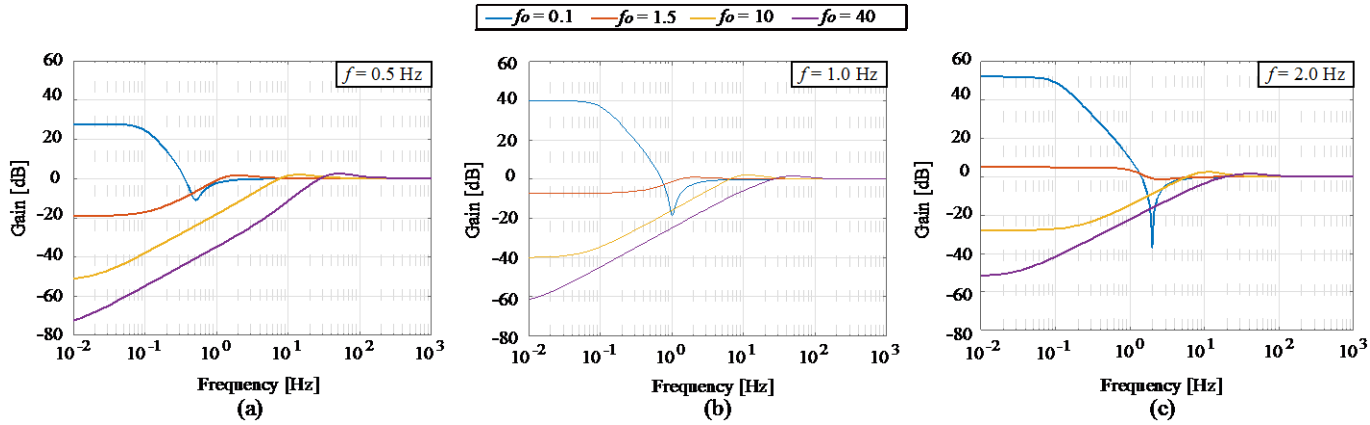

Fig. 3. Frequency response of feed forward control part for $h_o = 0.7$

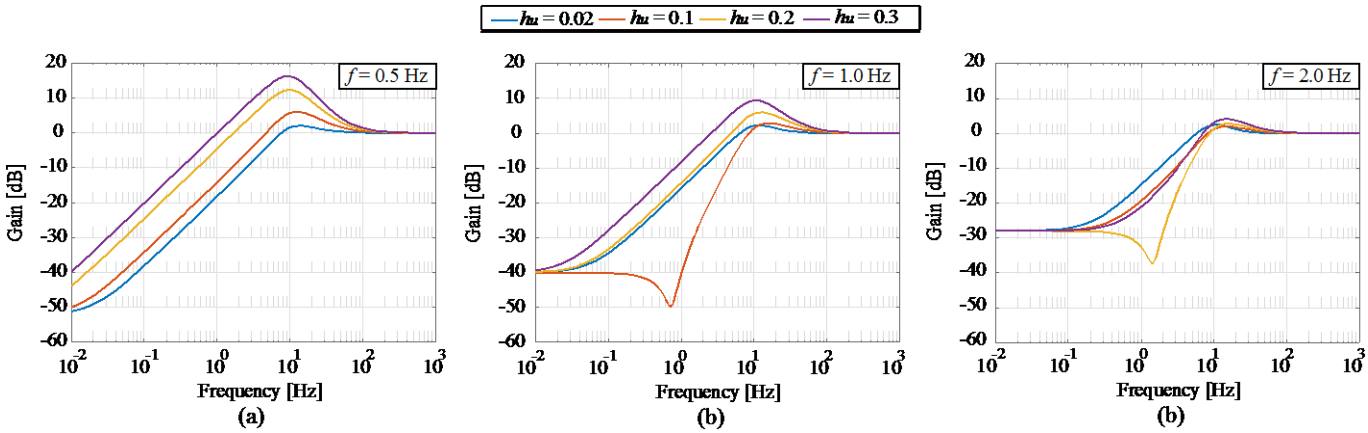

Fig. 4. Frequency response of feed forward control part for $f_o = 10$ Hz and $h_o = 0.07$

なお，f_o は，外乱におけるフィードバック制御部分の共振周波数の成分を十分に低減できるように，フィードバック制御部分の固有周波数よりも十分に高い周波数を選定することが望ましい。

図 4 は $f_o = 10$, $h_o = 0.7$ に固定した際の制御対象の制御対象の初期減衰 h_u と，固有周波数ごとの伝達関数の周波数応答特性をプロットしたものである。図 4 より，指定された f_o, h_o と固有周波数ごとに，最適な初期減衰率 h_u が異なることが分かり，$f = 0.5$ Hz では，初期減衰が 0.02 が最も応答を低減できているが，一方で，$f = 1.0$ Hz のモデルでは，初期減衰が 0.1 の場合が最も応答を低減できていることから，フィードフォワード制御で除去したい周波数を低減させるような極を選定しても，その極に対して最適な初期減衰があることから，建築物の設計の際にはフィードフォワード制御部分に合わせて減衰を選定することで，より良い制御性能を得ることができる。

5. まとめ

本研究ではオブザーバを設計するための，極の選定方法について検討を行った。その結果，オブザーバ部分の減衰 h_o を大きくするように極を選定することにより，フィードフォワード制御部分の共振周波数に対する応答を低減できる。また，オブザーバ部分の f_o を高く設定することにより，低周波数の周波数応答をより低減できる。また，フィードバック制御部分の共振周波数よりも十分に高い周波数を選定することで，フィードバック制御部分の共振周波数成分を外乱から除去することが可能になる。

参考文献

1) Gawronski Wodek. Advanced Structural Dynamics and Active Control of Structures, 2004.

*1 東京工業大学
*2 東京工科大学

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