

偏心を有する構造物に対するダイナミック・マスを用いた応答抑制法の確立

D. M. 同調制御法によるねじれ応答抑制法の検討

A study on estimation of the response control method using D.M. to the structure having eccentricity

Study to control the twisting vibration by the tuned dynamic mass system

○増澤拓也², 弓削貴史³, 古橋剛¹

*Takuya Masuzawa², Takafumi Yuge³, Takeshi Furuhashi¹

This paper shows the response control method using D.M. to the twisting vibration. In this study, we use the response magnification curve to decide quantity of D.M. and damper, so we order our thoughts of the tendency for the response magnification curve to change. And then, we put the design example at last of this paper.

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では地震力による変形に加え、偏心を有する建築物ではねじれ振動が生じ、部材の変形量がさらに増大したと考えられる。このことが原因で倒壊に至ったと考えられる建築物もあることから、ねじれ振動は軽視できない問題であるといえる。現行の耐震設計基準では、偏心率の大きい建築物に対しては必要保有水平耐力の割り増しが行われている。しかし、これは静的な設計であり、動的な挙動に対処できているか不明確である。そこで本研究ではねじれにより生じる動的応答(以下ねじれ応答)に対し、制震装置を用いた応答抑制法の検討を行う。

なお、既往の研究では平面フレームモデルを作成し、ダイナミック・マス(以下 D.M.)を全層に設置する完全モード制御法により、ねじれ応答を抑制する方法が提案されているが、これではD.M.の設置数が多くなり経済的とはいえない。そこで本研究では、立体フレームモデルの1層目のみに取り付け部剛性を考慮したD.M.とダンパーを設置するD.M.同調制御法を用いて、ねじれ応答の抑制を行う。

2. 検討モデル

本検討では Figure-1 に示すようなせん断型フレームモデルを用いる。ここでは短周期側を A 通り、長周期側を B 通りとし、取り付け部剛性を考慮し、オイルダンパーと D.M.を併用して設置する。また、本検討モデルを上面から見た際の変位詳細を Figure-2 に示す。

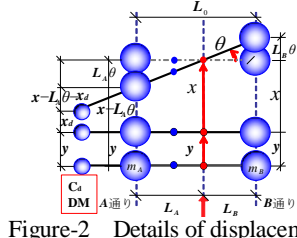
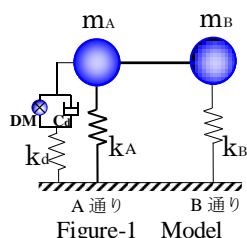
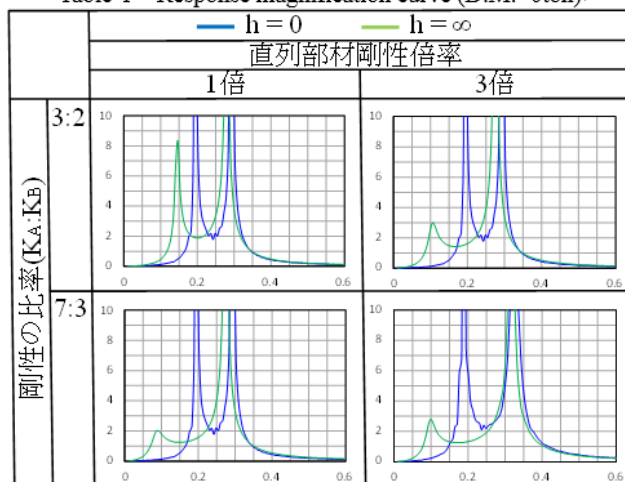


Figure-2において、A 通りと B 通りの変位の和を $L_0\theta$ とし、ねじれの応答値とする。また、Figure-1 の系において、Euler-Lagrange の式から算出した方程式に定常振動を定義して $\frac{1}{\omega}$ の形に解くことで、ねじれ応答を示す相対変位応答倍率曲線を描くことができる。本研究ではこの曲線を用いて最適設計を行うことを試みる。

3. 1層モデルによる傾向把握

本研究では剛性偏心モデルを用いて検討を行う。各諸元は、A 通りと B 通りの質量を各 50ton、層剛性を 10000kN/m とし、剛性の比率を 1 : 1, 3 : 2, 7 : 3, 4 : 1 の 4 種類に設定する。また、A 通りのみに取り付け部剛性を考慮した D.M.及びダンパーを設置する。その際、D.M.量は 0, 10, 30, 50, 80ton とし、取り付け部剛性は層剛性の 1 倍, 3 倍, 5 倍の 3 種類とする。D.M.を付加しない際の解析結果の一部を Table-1 に示す。

Table-1 Response magnification curve (D.M.=0ton)^ω

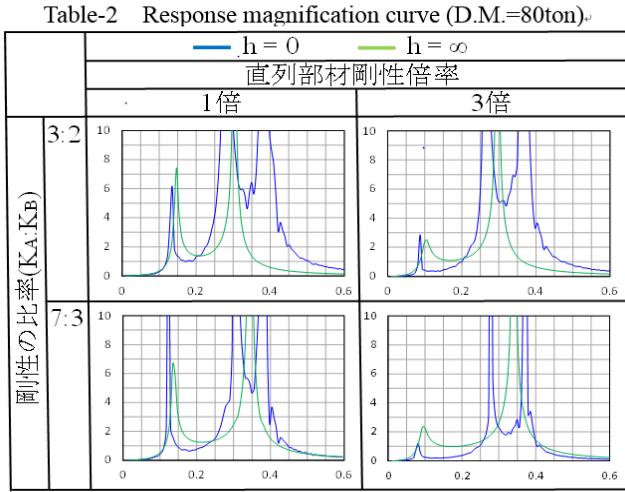


縦軸：ねじれの相対変位応答倍率^ω 横軸：周期[sec]^ω

Table-1 より、剛性の比率が 7 : 3 の時の方が 3 : 2 の時よりも $h=\infty$ と $h=0$ の 1 次の固有周期が近づいている。また、直列部材剛性が大きくなるほど 2 次周期は短くなるが、1 次周期にはあまり影響がないことが分かる。

1 : 日本大学・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築 3 : 鹿島建設株式会社

続いて D.M.を 80ton 付加した際の解析結果の一部を Table-2 に示す。



縦軸：ねじれの相対変位応答倍率 横軸：周期[sec]

Table-1 及び Table-2 より、D.M.を付加した時の方がオイルダンパーのみを付加した時に比べ、相対変位応答倍率曲線上で $h=\infty$ と $h=0$ の 1 次固有周期の差が大きくなっていることが分かる。以上より、Table-1 において A 通りと B 通りの周期の差が小さいほど $h=\infty$ と $h=0$ の 1 次固有周期の差が大きくなることが考えられ、Table-2 においては A 通りに D.M.を付加したことで A 通りの周期が伸び、 $h=\infty$ と $h=0$ の 1 次固有周期の差が大きくなったといえる。このことから、次節では A 通りに D.M.とダンパーを付加した多層モデルでの検討を行う。なお、その際に用いる最適同調式及び最適減衰式は解析的に求めた式(1)及び式(2)を用いる。

$$T_{\infty} = \sqrt{T_{01} \cdot T_{02}} \quad (1)$$

$$h_{opt} = (h_1 = h_2) = (0.2 \sim 0.3) \times \sqrt{\frac{\kappa}{2 + \kappa}} \quad (2)$$

T_{∞} : 減衰 ∞ 時の 1 次周期

$$\kappa = \frac{k_d}{k_A + k_B}$$

T_{01} : 減衰 0 時の 1 次周期

T_{02} : 減衰 0 時の 2 次周期

4. 多層モデルでの検討

剛性偏心をおこした多層モデルに対して D.M.同調制御を試みる。検討モデルの重心 (赤点)、剛心 (青点) の位置関係を Figure-3 に、モデルの諸元を Table-3 に、刺激関数を Table-4 にそれぞれ示す。

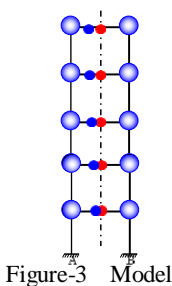


Table-3 Model parameter

| FL | A 通り | | B 通り | | | |
|----|-----------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
| | 質量 (A) (ton) | 減衰係数 (kN·s/m) | 初期剛性 (kN/m) | 質量 (B) (ton) | 減衰係数 (kN·s/m) | 初期剛性 (kN/m) |
| 5 | 6.0 | 33.3 | 8000.0 | 6.0 | 22.9 | 5500.0 |
| 4 | 7.0 | 35.3 | 8500.0 | 7.0 | 24.9 | 6000.0 |
| 3 | 8.0 | 37.4 | 9000.0 | 8.0 | 27.0 | 6500.0 |
| 2 | 9.0 | 39.5 | 9500.0 | 9.0 | 29.1 | 7000.0 |
| 1 | 10.0 | 41.6 | 10000.0 | 10.0 | 31.2 | 7500.0 |

Table-4 Eigenvalue

| 1次 | 周期(s) | | | 3次 | 周期(s) | | | 2次 | 周期(s) | | | 4次 | 周期(s) | | |
|----|-------|------|------------------|----|-------|-------|------------------|----|-------|-------|------------------|----|-------|-------|------------------|
| | 臨 | x | L ₀ θ | | 臨 | x | L ₀ θ | | 臨 | x | L ₀ θ | | 臨 | x | L ₀ θ |
| 5 | 0.13 | 0.44 | | 5 | -0.14 | -0.48 | | 5 | 1.30 | -0.23 | | 5 | -0.31 | -0.08 | |
| 4 | 0.07 | 0.38 | | 4 | 0.04 | -0.11 | | 4 | 1.13 | -0.39 | | 4 | -0.02 | 0.30 | |
| 3 | 0.03 | 0.30 | | 3 | 0.09 | 0.19 | | 3 | 0.92 | -0.47 | | 3 | 0.10 | 0.15 | |
| 2 | 0.02 | 0.21 | | 2 | 0.09 | 0.28 | | 2 | 0.63 | -0.36 | | 2 | 0.15 | -0.18 | |
| 1 | 0.00 | 0.10 | | 1 | 0.03 | 0.19 | | 1 | 0.32 | -0.23 | | 1 | 0.12 | -0.29 | |

Figure-3のモデル図に対し制震装置を付加する。算出したD.M.量とダンパー量をtable-5に示す。また、算出したD.M.及びダンパーを付加した後の5層目のねじれの相対変位応答倍率曲線をFigure-4 に示す。

Figure-4 より、(1)式と(2)式を用いることで、1 次モードに対し定点の高さが揃い、最大応答となっていることが確認できる。しかし、応答倍率が40 倍以上を示しており、効率的に低減できていない。

そこで、B通りに対し取り付け部剛性を考慮したダンパーを付加する。これにより $h=\infty$ の応答倍率曲線の 1 次の固有周期が短くなり、 $h=\infty$ と $h=0$ の 1 次固有周期の差がさらに大きくなることが考えられる。この時のダンパー量をtable-5に 5 層目のねじれの相対変位応答倍率曲線をFigure-5に示す。

Table-5 Quantity of D.M. and dampers

| | | | | | |
|-----------------------|-----|-----------------------|---|--------------------|----|
| A通りのダンパー量 [kN·s/m] | 300 | A通りの取り付け部剛性の倍率 [倍] | 1 | A通りのD.M.量 [ton] | 15 |
| B通りのダンパー量 [kN·s/m] | 600 | B通りの取り付け部剛性の倍率 [倍] | 1 | B通りのD.M.量 [ton] | 0 |

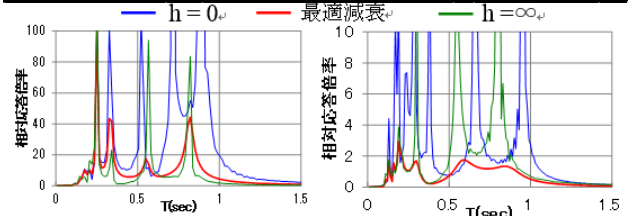


Figure-4 Response magnification curve(addition of one damper) Figure-5 Response magnification curve(addition of two dampers)

Figure-5より、両通りにD.M.及びダンパーを付加した際には最大変位応答倍率が2倍程度に抑制可能である。また、この時のねじれ応答の時刻歴応答解析結果をFigure-6に示す。なお、入力した地震動はBCJ-L2である。

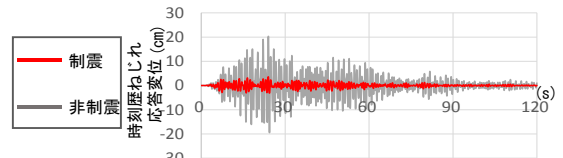


Figure-6 Time history response(displacement of L₀θ)

Figure-6より、制震時は非制震時に比べ大幅に応答が低減されており、D.M.同調制御によりねじれ応答の抑制が可能であることが示された。

5. まとめ

剛性偏心を有する建築物に対し、D.M.同調制御を行った。その結果、A、B両通りへの制振装置の付加で、1層目のみでの応答の抑制が可能であることを示した。

6. 参考文献

- [1] 弓削貴史,石丸辰治,古橋剛,土田堯章:「偏心を有した構造物に対する D.M.を用いた応答制御手法の確立」,日本建築学会大会学術講演梗概集,2012年 09 月
- [2] 石丸辰治,秦一平,三上淳治,公塚正行:「付加剛性による D.M.同調システムの簡易設計法」,日本建築学会構造系論文集,Vol.75,No.654,pp.1455-1464,2010 年 08 月