

吊り天井の振動応答に及ぼす減衰効果に関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY OF DAMPING EFFECT ON VIBRATION RESPONSE FOR THE SUSPENDED CEILING

建築構造学分野 中村志帆

東日本大震災では、非構造部材である天井落下被害が多発し、避難所や企業の事業継続に大きな影響を与えた。本報では、吊天井の応答の低減を目的とし、構造物と吊天井を2質点系モデルに変換し、周波数応答性状及び地震外力に対する応答性状を確認した。以上より、同調比及び副振動系の減衰比が応答に敏感であると確認でき、①モード減衰比最大化より構造物と吊天井の応答を低減、②副振動系の減衰比を約0.3以上とすることより主に吊天井の応答を低減させる設計式を提案した。By the Great East Japan Earthquake, a lot fall damage of the suspended ceiling occurred and influenced the shelter function and the business continuity of the company. In this paper, in order to reduce the response of the suspended ceiling, the structure and suspended ceiling are modeled into two-mass system and the damping effect on vibration response for the suspended ceiling is studied. As a result, it was confirmed that the tuning and damping ratios influenced the response. Then I propose two design formulae; 1) reduce the response of both the structure and suspended ceiling by using maximum damping ratio and 2) reduce mainly the response of the suspended ceiling by using the damping ratio of the subsystem over about 0.3.

1. 序論

2011年3月11日の東日本大震災では、外壁、天井板、間仕切壁、照明といった非構造部材による被害が多く生じた。このことにより、企業の事業継続に大きな影響を与えた。過去の地震においても、ホールや体育館といった大空間の天井の落下被害は多く見られてきた。吊り天井は、ホールや体育館などにも使用されており、これらの建物は災害時に避難所として利用されることが多いが、落下被害により避難所として利用することができないホールや体育館が数多く存在した。

2001年の芸予地震における体育館等の大空間建築物における天井落下、2003年の十勝沖地震における釧路空港ターミナルビルや管制塔の天井が落下し、空港が一時閉鎖されるなどの被害を受けた。また、2005年の宮城県沖の地震時におけるスポーツ施設の天井の落下など、その他にも2007年3月の能登半島地震、2007年7月の新潟県中越沖地震、2008年7月の岩手・宮城内陸地震、2008年8月の岩手県沿岸北部地震など数多くの吊り天井脱落の被害が挙げられる¹⁾。

以上のように、吊り天井の脱落被害は仕上げボードの部分的な剥落、鋼製下地材を含む吊り天井全体の崩落などが存在する。そのため、天井に対する耐震対策が見直され、クリップの補強やブレースの取り付けなど天井における耐震化が増えてきた。

そこで本報では、図1に示すように構造物と吊り天井を1自由度の2質点系モデルに変換し、周波数応答曲線を求め、パラメータとして定めた同調比および質量比、主振動系の減衰比、副振動系の減衰比が応答変位に対してどのような影響を与えるのか確認する。また、実際の地震波を与えた場合における応答の確認も行う。以上より、構造物と吊り天井の両方の応答を低減させる方法および吊り天井の応答を主として低減させる方法を検討し、制振天井の設計法の提案をする。

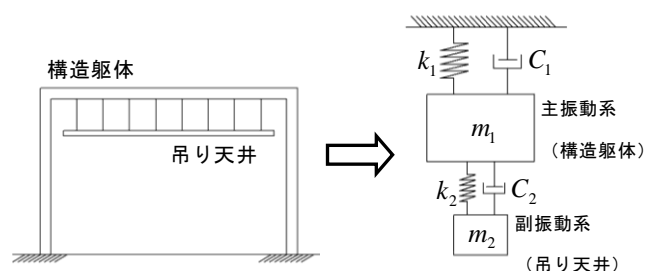


図1. 構造躯体及び吊り天井のモデル化

2. 吊り天井に係る対策の現状

天井落下被害を受け、建築学会及び国土交通省がそれぞれに提案する天井脱落に係る対策を以下に示す。

2. 1. 建築学会による吊り天井脱落対策²⁾

日本建築学会では、和田章日本建築学会会長の特命により、「非構造材の安全性評価及び落下防止に関する

特別調査委員会」を發足した。東日本大震災の被害を受け非構造材落下事故の防止と解消を目指して、学会からの本質的かつ有意義な社会発信を目標に短期集中型の活動を行っている。非構造材の中でも特に「天井材の落下事故の防止と解消」を主なテーマとし、「人命保護」を真剣に考えるならば、「落下現象の制御」が第一にかつ絶対に実現されるべき性能であると考えている。したがって、本特別調査委員会は、柱とする2つの基本概念である「人命保護」は絶対必要かつ最優先の性能、「機能維持」は建物や施主によって異なるレベルを設定できる二次的な性能として、優先順位を明確に位置付けている。そして、その下に重要概念として「安全性評価法」および「フェイルセーフ」、「準構造」等が挙げられ、「原状復帰の旧弊」および「建築家の安全に対する認識啓発」、「内装制限の高さ方向の緩和」等に関連する課題として掲げ、ガイドラインを取りまとめている。

2. 2. 国土交通省による吊り天井脱落対策¹⁾

国土交通省において天井の脱落対策に係る基準が新たに定められ、新築建築物等への適合を義務付けることとする建築基準法施行令及び関連省令の改正（平成25年7月12日公布）並びに関連告示の制定・改正（平成25年8月5日公布）が行われ、平成26年4月1日より施行する予定となっている。

建築基準法に基づいて新たに規定された「建築物における天井脱落対策に係る技術基準」においては、「脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井」（「特定天井」と略称）が適合すべき「構造耐力上安全な天井の構造方法」を定めている。

「特定天井」は、天井の高さ、水平投影面積及び単位面積質量という客観的な指標を用いて定義されており、具体的には、6m超の高さにある、水平投影面積20m²超、単位面積質量2kg/m²超の吊り天井で、人が日常利用する場所に設置されているものと規定されている。この特定天井を以下のいずれかのルートを適用し検証する。

- ①仕様ルート：一定の仕様に適合するもの
- ②計算ルート：計算により構造耐力上の安全性を検証するもの
- ③大臣認定ルート：上記以外の方法であり、国土交通大臣の認定を受けたもの

なお、今回の技術基準については、天井の性状をある程度想定することが可能な稀な地震動の発生時（中地震時）において天井の損傷を防止することにより、中地震を超える一定の地震時においても天井の脱落の低減を図ることを目標として検討している。

3. 2 質点系モデルの周波数応答性

本章では、構造物と吊り天井を1自由度の2質点系

モデルに変換し、地盤動変位を与えた時の計算式を導出する。得られた計算式より、周波数応答曲線を求め、設定した4つパラメータである同調比および質量比、主振動系の減衰比、副振動系の減衰比において、応答に対する影響を確認する。

3. 1. 計算式の導出

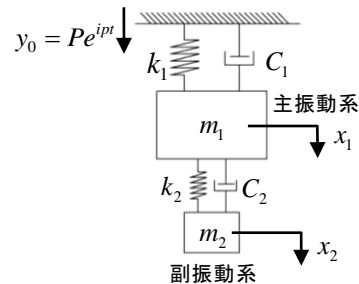


図2. 地盤外力による2質点系モデル

主振動系に外力を与えた場合の計算式は教科書などに記載されているが、地盤変位として外力を与えた場合の式はあまり記載されていない。そこで本報では、図2に示すように質量 m_1 及び剛性 k_1 からなる主振動系と質量 m_2 及び剛性 k_2 からなる副振動系にそれぞれダッシュポット C_1 及び C_2 を設け、構造物モデルの支点変位、つまり地盤動変位 $y_0=Pe^{ipt}$ を既知の外力として与えた場合の主振動系と副振動系の応答振幅の倍率の式を導く³⁾。

この系の運動方程式は次のように書くことができる。

$$m_1\ddot{x}_1 + k_1x_1 - k_2(x_2 - x_1) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_1\dot{x}_1 = -m_1\ddot{y}_0 \quad (1)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = -m_2\ddot{y}_0 \quad (2)$$

さらに、

$$\ddot{x}_1 + \frac{k_1}{m_1}x_1 - \frac{k_2}{m_1}(x_2 - x_1) - \frac{c_2}{m_1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + \frac{c_1}{m_1}\dot{x}_1 = -\ddot{y}_0 \quad (3)$$

$$\ddot{x}_2 + \frac{k_2}{m_2}(x_2 - x_1) + \frac{c_2}{m_2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = -\ddot{y}_0 \quad (4)$$

ここで、主振動系および副振動系の固有円振動数をそれぞれ ω_1 および ω_2 、質量比を μ とすると、

$$\mu = \frac{m_2}{m_1}, \quad \omega_1^2 = \frac{k_1}{m_1}, \quad \omega_2^2 = \frac{k_2}{m_2}, \quad 2\alpha_1 = \frac{c_1}{m_1}, \quad 2\alpha_2 = \frac{c_2}{m_2}$$

とおき、以上を代入すると、

$$\ddot{x}_1 + (2\alpha_1 + 2\alpha_2\mu)\dot{x}_1 + (\omega_1^2 + \mu\omega_2^2)x_1 - 2\alpha_2\mu\dot{x}_2 - \mu\omega_2^2x_2 = -\ddot{y}_0 \quad (5)$$

$$\ddot{x}_2 + 2\alpha_2\dot{x}_2 + \omega_2^2x_2 - 2\alpha_2\dot{x}_1 - \omega_2^2x_1 = -\ddot{y}_0 \quad (6)$$

地盤動 y_0 が振幅 P の正弦波で与えられるとして、振幅 P を求めると、 $P=y_0/p^2$ となる。

式(5)、(6)を展開し解いていき、変位応答倍率として、入力地盤動振幅に対する構造物の応答振幅 a_1 の比 Y_1 を考えれば、ダッシュポットを簡単にするために、つぎの記号を導入して無次元化を行う。

$Y_1 = \frac{a_1}{\frac{y_0}{\rho^2}}$: 主振動系の変位応答倍率

$Y_2 = \frac{a_2}{\frac{y_0}{\rho^2}}$: 副振動系の変位応答倍率

$\gamma = \frac{\omega_2}{\omega_1}$: 同調比

$\beta = \frac{\rho}{\omega_1}$: 加振力の振動数と主振動系の振動数との比

$\xi_s = \frac{\alpha_1}{\omega_1}$: 主振動系の減衰比

$\xi_T \cdot \gamma = \frac{\alpha_2}{\omega_1}$: 副振動系の減衰比×同調比

$$Y_1 = \frac{a_1}{\frac{y_0}{\rho^2}} = \frac{\rho^2}{y_0} \sqrt{\frac{\{\beta^2(-\beta^2 + \gamma^2 + \gamma^2\mu)\}^2 + \{2\xi_T\beta^3(1+\mu)\}^2}{\{(1-\beta^2)(\gamma^2 - \beta^2) - \beta^2(\gamma^2\mu + 4\xi_s\xi_T\gamma)\}^2 + \{2\xi_s\beta(\gamma^2 - \beta^2) + 2\xi_T\gamma\beta(-\beta^2 - \beta^2\mu + 1)\}^2}} \quad (7)$$

$$Y_2 = \frac{a_2}{\frac{y_0}{\rho^2}} = \frac{\rho^2}{y_0} \sqrt{\frac{\{\beta^2(-\beta^2 + 1 + \gamma^2 + \gamma^2\mu)\}^2 + \{2\beta^3(\xi_s + \xi_T\gamma + \xi_T\gamma\mu)\}^2}{\{(1-\beta^2)(\gamma^2 - \beta^2) - \beta^2(\gamma^2\mu + 4\xi_s\xi_T\gamma)\}^2 + \{2\xi_s\beta(\gamma^2 - \beta^2) + 2\xi_T\gamma\beta(-\beta^2 - \beta^2\mu + 1)\}^2}} \quad (8)$$

以上より、主振動系及び副振動系の変位応答倍率の式が得られた。

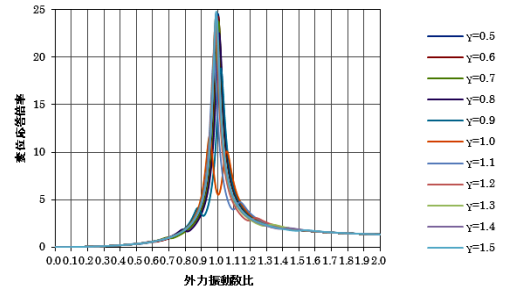
3. 2. 周波数応答曲線

3.1 節で得られた式(7), (8)を用いて、同調比及び質量比、主振動系の減衰比、副振動系の減衰比を適当な範囲で変化させた場合の主振動系及び主振動系に対する副振動系の相対変位（以降、副振動系と記す。）における周波数応答曲線を求める。なお、本節では、同調比及び副振動系の減衰比による影響が大きいので、この二つのパラメータに関する検討を行う。

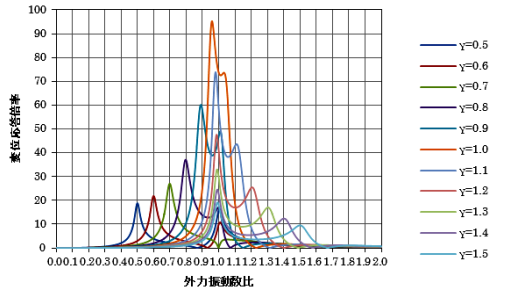
(1) 同調比の変化による周波数応答曲線

図3に同調比を変化させた場合における主振動系および副振動系の周波数応答曲線を示す。ここで、同調比は0.5~1.5まで0.1刻みとし、質量比は0.01、主振動系の減衰比は0.02、副振動系の減衰比は0.035とする。なお、図中の縦軸は変位応答倍率、横軸は外力振動数比とする。

図3より、主振動系は同調比が0.5から1.0に向かって応答は小さくなっているが、1.0から1.5に向かってまた大きくなっている。副振動系は主振動系とは反対に、同調比が0.5から1.0に向かって応答が大きくなり、1.0から1.5に向かって小さくなっている。また、共振時付近において、副振動系の応答が非常に大きくなっていることがわかる。以上より、同調比の変化により応答が大きく変化していることが分かるので、同調比に敏感であるということが言える。



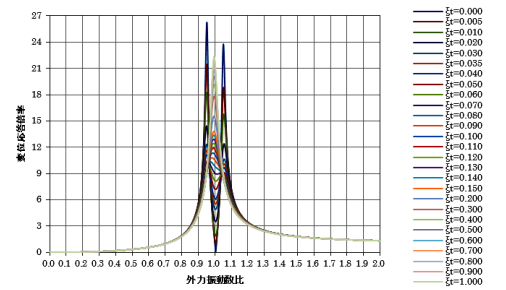
a) 主振動系



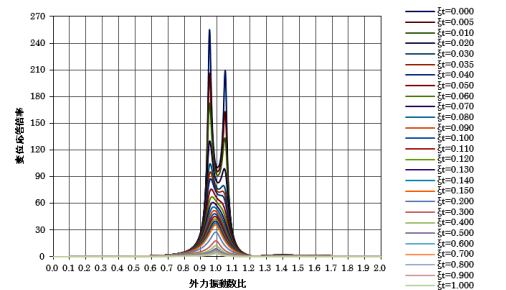
b) 主振動系に対する副振動系の相対変位
図3. 同調比の変化による周波数応答曲線

(2) 副振動系の減衰比の変化による周波数応答曲線

図4に副振動系の減衰比の値を変化させた場合における主振動系および副振動系の周波数応答曲線を示す。ここで、副振動系の減衰比は0.000~0.150までは0.01刻み、0.20~1.00までは0.10刻みとし0.005および0.035も加える。同調比は1.0、質量比は0.01、主振動系の減衰比は0.02とする。なお、図中の縦軸は変位応答倍率、横軸は外力振動数比とする。



a) 主振動系



b) 主振動系に対する副振動系の相対変位

図4. 副振動系の減衰比の変化による周波数応答曲線

図4より、副振動系の減衰比を大きくすることによって副振動系の応答は小さくなっている。主振動系の応答も同様に小さくなっているが、副振動系の減衰比がある値以上になると反対に応答が大きくなっている。

主振動系において、副振動系の減衰比の増加による応答の変化は大きいですが、常にある値を取る二つの固定点が存在することがわかる。しかし、副振動系において固定点は存在せず、極値が二つから一つへと変化し、副振動系の減衰比を大きくするほど応答が小さくなっていることがわかる。以上より、副振動系の減衰比の変化より、主振動系および副振動系の応答に対して大きく影響を与えていることが分かる。

3. 3. コンター図による検討

3.2 節の周波数応答曲線より、同調比および副振動系の減衰比に対して非常に敏感であることがわかった。そこで、両者の関係性を表したコンター図を作成し、応答にどのように影響するのかをより明確にする。

図5に前節より得られた周波数応答曲線の最大変位応答倍率におけるコンター図、図6に全体的なエネルギーをにおいて考慮した共振曲線の下方の二乗面積におけるコンター図を示す。ここで、質量比は0.01、主振動系の減衰比は0.02である。なお、図中の縦軸は同調比、横軸は副振動系の減衰比とし、左図は平面図、右図は立体図とする。

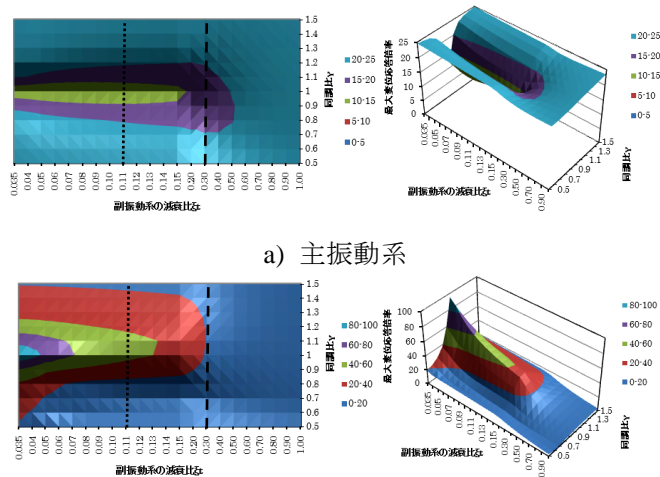


図5. 最大変位応答倍率におけるコンター図

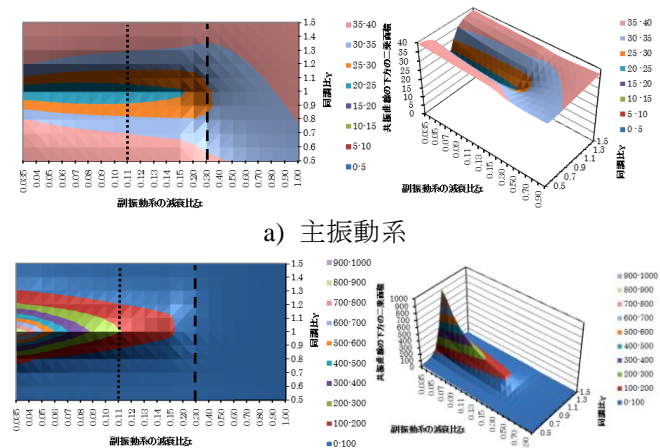


図6. 共振曲線の下方の二乗面積によるコンター図

図5, 6より、最適減衰比0.11(点線)のときは、主振動系及び副振動系ともに共振する辺りで応答が低減している。副振動系の減衰比が0.3~0.5付近(破線)のときは、共振時において最適減衰比0.11時と比較すると、主振動系の応答は少し大きくなっている。しかし、副振動系の応答は共振時に関係なく、同調比が変化しても低減していることがわかる。以上より、同調比及び副振動系の減衰比は応答に対して敏感であり、副振動系の減衰比が約0.3以降では両者に影響されず応答が低減しており、ロバスト性が高いと言える。

3. 4. 1次モード減衰比

ここで、3.3 節における最適減衰比を以下の式(9)から得られる1次モード減衰比より求める。図7に、同調比が1.0および質量比が0.01、主振動系の減衰比が0.02の場合における1次モード減衰比を示す。なお、図中の縦軸は1次モード減衰比、横軸は副振動系の減衰比とする。

$$\xi_n = \frac{-\alpha_n}{\sqrt{\alpha_n^2 + \beta_n^2}} \quad (9)$$

図7より、1次モード減衰比が最大値を取るときの副振動系の減衰比の値が最適減衰比であり、副振動系の最適減衰比は0.11である。

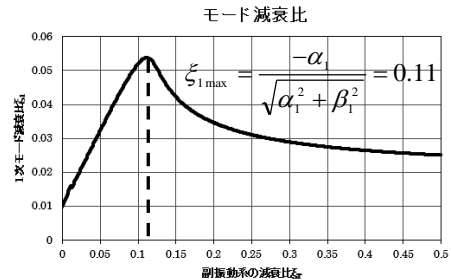


図7. 1次モード減衰比

4. 2 質点系モデルの地震外力に対する応答性状と設計式の提案

4. 1. 地震応答解析

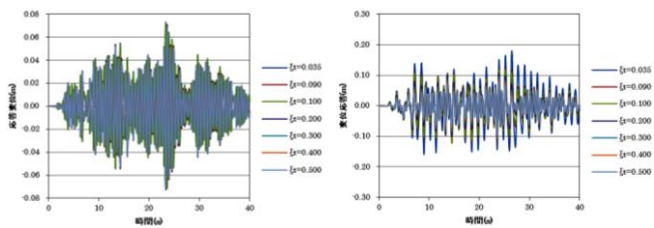
2 質点系モデルを対象に実際の地震波を用いた地震応答解析を行い、主振動系および副振動系において実際の地震波に対する応答変位を求める。得られた結果より、応答への影響を検討する。なお、地震波は、日本建築センター模擬波であるBCJ_L1及びBCJ_L2とする。また、新たな知見に基づき再検討された観測地震波であるEL Centro NS波及びTaft EW波, Hachinohe NS波, Tohoku NS波を用いる。さらに、兵庫県南部地震によるJMA Kobe NS波も用いる。

4. 2. 解析結果

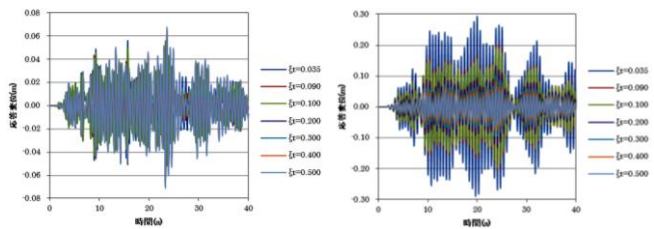
地震応答解析より、同調比が0.5及び1.0, 1.5の場合において、BCJ_L1波を与えたときの応答変位を下図に示す。また、質量比は0.01、主振動系の減衰比は

0.02 とし、副振動系の減衰比は 0.035 及び 0.090, 0.100, 0.200, 0.300, 0.400, 0.500 と変化させる。なお、図中の縦軸は応答変位(m), 横軸は時間(s)とする。

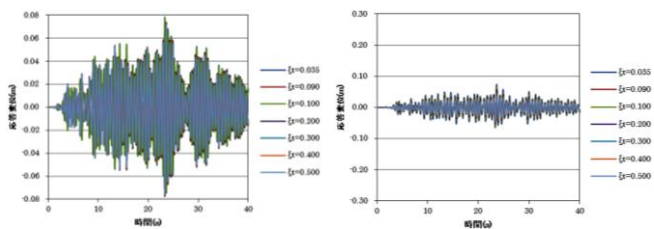
図 9~10 より、主振動系は、同調比が 1.0 において少し変化があるが、同調比が変化しても大きな変化は見られない。副振動系は、同調比の変化により応答の大きさが変化しており、同調比が 1.0 のとき応答が非常に大きい。副振動系において、同調比が 1.0 のときを基準と考え同調比 0.5 と比較すると、応答変位は約 1/2 の値である。また、同調比 1.5 のときの応答変位は約 1/5 の値である。以上のことは、他の地震波による結果においても同様のことが言える。



a) 主振動系 b) 副振動系
図 8. 同調比 0.5 時の BCJ_L1 による応答変位



a) 主振動系 b) 副振動系
図 9. 同調比 1.0 時の BCJ_L1 による応答変位



a) 主振動系 b) 副振動系
図 10. 同調比 1.5 時の BCJ_L1 による応答変位

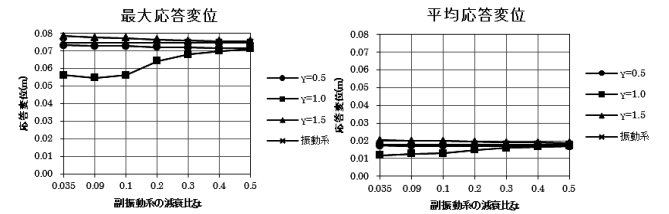
4. 3. 最大応答変位および平均応答変位

前節で得られた実際の地震波に対する応答変位より最大応答変位および平均応答変位を求める。また、同調比および副振動系の減衰比の変化による応答への影響を確認する。

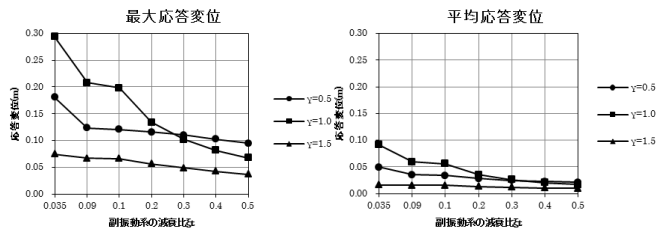
下図に BCJ_L1 波, JMA Kobe NS 波による地震応答解析の結果より得られた最大応答変位および平均応答変位を示す。また、前項と同様、同調比は 0.5 及び 1.0, 1.5, 質量比は 0.01, 主振動系の減衰比は 0.02, 副振動系の減衰比は 0.035, 0.090, 0.100, 0.200, 0.300, 0.400, 0.500 とする。なお、図中の縦軸は応答変位(m), 横軸

は副振動系の減衰比とする。

図 11, 12 より、主振動系は地震波によって応答の変化が異なるが、副振動系がない状態よりも応答は小さくなっている。また、副振動系は周波数応答曲線の結果と同じ傾向にあり、副振動系の減衰比を大きくするほど応答が小さくなっている。副振動系の応答は、同調比が 0.5 および 1.5 においては緩やかに変化し小さくなっている。同調比が 1.0 の場合は、副振動系の減衰比が 0.035 の場合を基準とすると、応答が 0.11 では約 1/2, 0.3 では約 1/3 以下となっている。

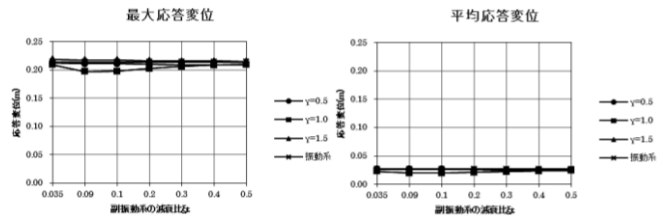


a) 主振動系

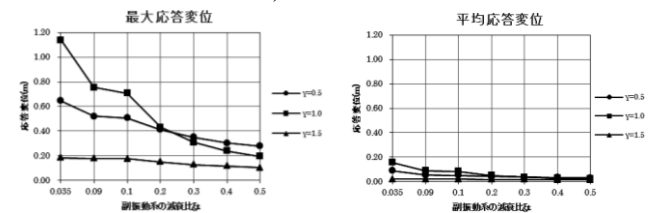


b) 副振動系

図 11. BCJ_L1 による最大及び平均応答変位



a) 主振動系



b) 副振動系

図 12. JMA Kobe NS による最大及び平均応答変位

4. 4. 応答倍率による検討

(1) 主振動系の応答に対する副振動系の応答倍率

前節の結果より、地震波による応答のバラツキが生じるため副振動系の減衰比を設計しがたい。そこで本項では、主振動系のみへの応答に対する副振動系の応答における応答倍率を求める。応答倍率を求め基準化を行うことで、地震波による影響をより明確にし、副振動系の減衰比を設計する参考となることを図る。

図 13 に同調比が 0.8 及び 1.0, 1.2, 質量比が 0.01 に

おける応答変位の応答倍率を示す。さらに、調和外力による応答倍率も同様に求める。ここで、主振動系の減衰比は 0.02 とする。なお、図中の縦軸は応答倍率、横軸は副振動系の減衰比とする。

図 13 より、同調比 1.0 において応答倍率が大きく、同調比 0.8 よりも 1.2 の方が応答倍率における平均値に対してバラツキが少なくなっている。また、副振動系の減衰比が小さい場合、地震波によるバラツキがあるが、減衰比が 0.3 以降になるとバラツキが少なくなっている。周波数応答曲線による応答倍率は、地震応答解析による応答倍率と比較して変化の仕方が少し異なることがわかる。また、地震応答解析による応答倍率よりも値が小さいため、周波数応答曲線による応答倍率を用いての設計は危険側である。

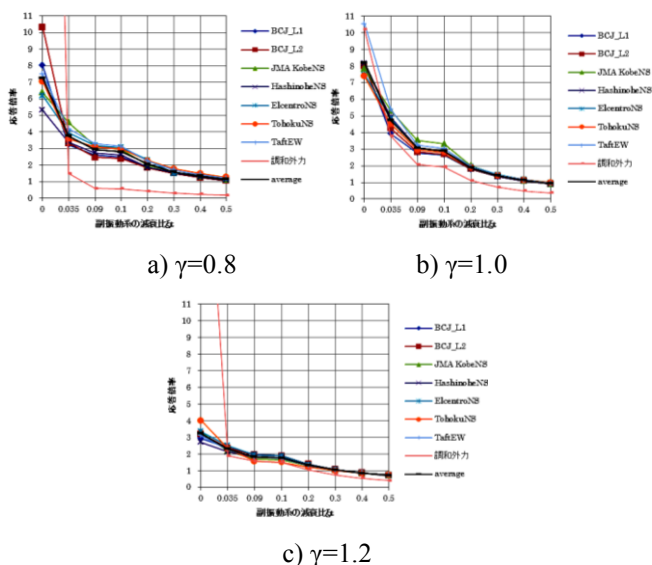


図 13. 最大応答変位の応答倍率

(2) 主振動系の固有円振動数の変化

前項までは、主振動系の固有円振動数を 10(rad/s)と一定値で仮定していたので、主振動系の固有円振動数を変化させ、地震応答解析によって得られた最大応答変位による応答倍率に対する影響を確認する。なお、主振動系の固有円振動数には、6.94(rad/s), 10.00(rad/s), 10.95(rad/s)を用いた。

図 14 に主振動系の減衰比が 0.02 及び 0.05 における応答倍率図を示す。なお、同調比は 1.0, 地震波は BCJ_L1 波を用いる。

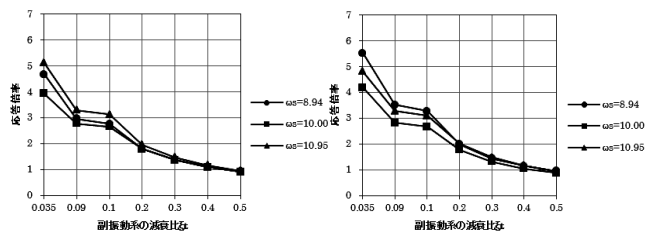


図 14. 主振動系の固有円振動数の変化による応答倍率

4. 5. 設計式の提案

以上の結果より、以下に二つの設計式を提案する。

(1) モード減衰比の最大化

最適減衰比を用いることにより、構造物と吊り天井の両方における応答を低減させる方法。

(2) 副振動系の減衰比 $\xi_{\tau}=0.3$

副振動系の減衰比を約 0.3 以上とすることにより、吊り天井の振動を主として低減させる方法。

後者においては、同調比の変動に影響されないことにより、吊り天井の荷重変形による非線形性や体育館などの空間構造において固有振動数の近接した複数のモードが励起しても吊り天井における振動が安定していると言える。また、本設計式の(1)を用いると応答が約 1/2, (2)を用いると約 1/3 以下に低減されることが分かった。なお、本設計式は、構造物に共振する天井に対して有効であるといえる。

5. 結論

本報では、構造物と吊り天井とを 2 質点系モデルに変換し周波数応答曲線を求め、定めたパラメータが応答変位に与える影響を確認した。また、実際の地震波を与えた場合における応答の確認も行った。以上より、吊り天井の応答を低減させるための制振天井の設計法の提案を行った。以下に、得られた結果を示す。

- 1) 周波数応答性状より、同調比及び副振動系の減衰比が応答変位に対して敏感であることが確認できた。
- 2) 主振動系は地震波に依存するが、副振動系は同調比及び副振動系の減衰比が変化しても安定して応答が低減される。したがって、ロバスト性が高いということが確認できた。
- 3) 副振動系の減衰比が小さいと地震波による応答のバラツキが大きいが、副振動系の減衰比が約 0.3 以上になるとバラツキが小さくなっている。応答においても約 1/3 に低減できており、ダンパーによる減衰の効果を定量的に示すことができた。
- 4) モード減衰比の最大化により、最適減衰比を用いることで主振動系および副振動系の両方の応答を低減させる方法を提案した。
- 5) 副振動系の減衰比を約 0.3 以上とすることで、副振動系の応答を主として低減させる方法を提案した。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 一般社団法人新・建築士制度普及協会:「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」, 2013.10
- 2) 日本建築学会, 社会ニーズ対応推進委員会, 非構造部材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会:「頻発する天井の落下事故防止に向けて」, pp.1-9, 2012.9
- 3) 山口宏樹:「テキストシリーズ土木工学⑧ 構造振動・制御」, 共立出版株式会社, 1996

討議

討議 [谷口徹郎]

天井をダンパーとすることにより、系全体の応答低減を図っているが、天井の質量が大きくなると効果は出ないのではないのか。また、系全体の低減を行う際の主振動系の低減効果はどの程度あるのか。

回答

天井をダンパーとし、系全体の応答低減を図る場合、天井がないときよりある方が応答は低減している。

主振動系のみでの応答と副振動系を取り付けたときの主振動系の応答を比較すると、質量比が1.0%、副振動系の減衰比が3.5%において、約3%しか低減しない場合もあれば約30%も低減する場合がある。これは、主振動系の応答が地震波に非常に依存するからである。主振動系の応答における低減の差は地震波に寄るが、どの地震波においても応答は低減している。また、本報より質量比が0.5%及び1.0%、1.5%を比較すると、1.5%の方がより効果的であることがいえる。

討議 [松村政秀]

計算で用いている質量比は、実際に使用されている質量比とどの程度異なるのか。

回答

本報で用いた質量比は、F文化センターの1.4%を参考とし1.0%とした。一般的に使用される大空間での質量比は、建物の規模や材料によって異なるため一概にはいえない。そのため本報では、0.5%～2.0%の質量比における検討を行った。

討議 [谷口与史也]

天井を制振効果として扱うときにおける天井の構造に必要な条件をどのように考えるか。

回答

天井は、野縁や野縁受け、クリップ、ハンガー、石こう及び仕上げボードなどの天井材により構成されており、クリップが開いたり吊りボルトが破断したり、仕上げボードの部分的な剥落などにより天井脱落が生じた。

本報では、天井材をすべて1質点に置き換え検討を行った。そのため、本報で検討したような結果を得るためには、天井を1質点として考えられるような剛体にする必要があると考えられる。

討議 [松村政秀]

水平力に耐えられる構造にするべきなのか。

回答

水平力に耐えられるような構造というよりも天井自体を1質点として置き換えられるように、天井が剛体となるような構造にするべきであると考えられる。

討議 [吉中進]

今回は2質点系であるが、実際に設計するにあって今後はどのような検討が必要になってくるか。

回答

本報では、2質点系モデルにおける主振動系のみでの応答に対する副振動系の応答倍率を求め、基準化を行った。今後は多質点系での解析や実際の建物モデルを用いての検討が必要になってくると考えられる。

討議 [谷池義人]

鉛直方向の地震波は考慮していないのか。

回答

既往の研究においては、鉛直方向の地震波を考慮したものもあるが、本報では、鉛直方向の地震波は考慮していない。