

京都大学工学研究科

正会員

五十嵐 晃

京都大学工学研究科

フェロー

家村 浩和

京都大学大学院

学生員

○米津 和哉

1. はじめに

直下型地震に見られるようなパルス状の入力に対しては、通常と同調質量ダンパ (TMD) では大きな応答低減効果は期待できないとされている。本研究は、入力をパルスとして考えた場合の制震装置の各種パラメータの最適値・同調条件を明らかにするとともに、TMD によりパルス型の地動に対して効果を発揮するための補助質量の大きさと応答制御能力の対応の検討を行った。

2. 入力パルスと解析モデル

単一の大振幅の速度パルス波によって構造物の損傷が決定されるような場合を想定して、入力地震動の速度波形を図 1 に示すように、作用時間 T 、速度振幅 V をパルスパラメータとする三角形パルスにモデル化した。解析モデルは、線形 1 自由度系の構造物に補助質量型制震装置を備えたものを想定し、図 2 に示したように全体としては線形 2 自由度系とした。

3. 解析概要

3.1 パルス応答スペクトル

任意の時間幅のパルスに対する応答を調べるため、パルスの作用時間 T が変化した場合の最大応答値の変化を表示するパルス応答スペクトルを用いた。縦軸を $A_{S \max}$ (構造物の最大加速度応答) / $A_{P \max}$ (パルスの最大加速度) で無次元化、横軸を T (パルスの作用時間) / T_k (構造物の 1 次モード固有周期) で無次元化しプロットしたものを構造物の絶対加速度パルス応答スペクトルと呼ぶこととし、同様に $V_{S \max}$ (最大速度応答) / V (パルスの最大速度) を縦軸にとったものを速度パルス応答スペクトルと呼ぶ。図 3 に絶対加速度パルス応答スペクトルの例を示す。

3.2 最適同調条件

調和外力や不規則入力に対しては、最適同調比、最適減衰比が理論的に導かれている¹⁾が、その値がパルス入力に対しても最適同調条件であることは保証されない。そこで構造物の絶対加速度最小化基準 (構造物の絶対加速度パルス応答スペクトルを描き、その最大値を最小にする γ 、 ξ_T を求め最適同調条件とする (図 4)) 構造物の絶対速度最小化基準 (同様に構造物の絶対速度パルス応答スペクトルの最大値を最小にする γ 、 ξ_T を求める (図 5)) の 2 つの最適化基準を提案し、各々に対する最適同調パラメータを数値的に求めた。

4. 解析結果

4.1 最適同調条件の計算結果

質量比に対する最適同調比と最適減衰比の関係を図 6 に示す。

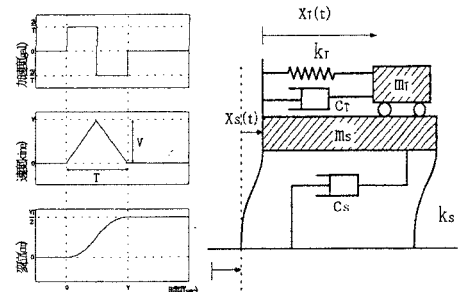


図 1 入力パルス 図 2 解析モデル

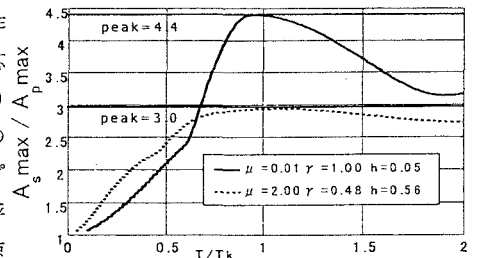


図 3 絶対加速度パルス応答スペクトル

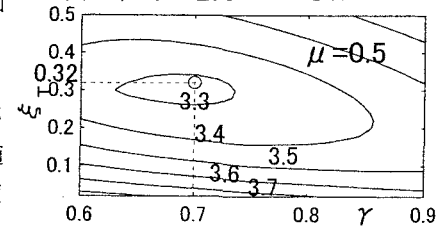


図 4 絶対加速度パルス応答スペクトルの最大値の等高線図

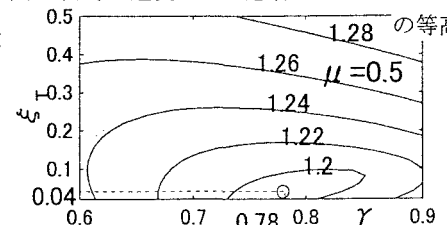


図 5 絶対速度パルス応答スペクトルの最大値の等高線図

質量比が 0.5 を超えるような場合、どの基準においても同調比は質量比が増加するにつれて減少する傾向が見られ、従来より知られている最小応答分散に対応する同調条件の変化とおおむね同じである。これに対し、減衰比においては、最大絶対加速度最小化と最大絶対速度最小化による値が応答分散最小化による値より著しく小さくなっているという違いが現われている。

4.2 パルス応答スペクトルによる比較

質量比が 2.0 の場合の構造物の絶対加速度による比較を図 7 に、構造物の絶対速度による比較を図 8 に示す。どちらの場合でも加速度基準、速度基準ともに最大応答の低減が見られた。ただしパルスの時間幅比が 0.5 以下のパルスに対しては応答が増加した。

4.3 地震応答時刻歴

前節で求めた同調条件の実地震動に対する有効性を調べるため、神戸波入力を用いた時刻歴応答解析を行った。代表的な結果を図 9～図 12 に示す。質量比は 2.0 とし、構造系の 1 次モード固有周期 T_k を 0.5(sec) に選んでいる。加速度基準による最適値を用いた場合は、応答分散最小化基準による最適値を用いた場合と比較して、構造物の絶対加速度、絶対速度においては大きな差異は認められなかったが、構造物の相対変位においてはおよそ 20% 応答の低減が認められた。速度基準による最適値を用いた場合は、同じく応答分散最小化基準による最適値を用いた場合と比較して、構造物の絶対加速度においては大きな差異は認められなかったが、構造物の絶対速度においておよそ 10%、相対変位においてはおよそ 50% 応答の低減が認められた。特に構造物の相対変位においては最大絶対加速度応答最小化による最適値を用いた場合と比較して、大きな低減効果が認められた。

5. まとめ

入力をパルスとして考えた場合の TMD の各種パラメータの最適値・同調条件を明らかにし、応答制御の能力の評価を行った。任意の時間幅に対する最も危険側の応答を調べるため、パルス応答スペクトルを用い、その最大値により評価を行った。パルス応答スペクトルの最大値を最小化するようなパラメータ値を数値的に探索して、従来とは異なる同調条件を得た。大きな質量比 (0.5～2 程度) を確保できれば、これらに基づく TMD は構造物のパルス入力応答の制御に効果をもたらすことがわかった。

【参考文献】

- 1) 山口宏樹：構造振動・制御，1996.5

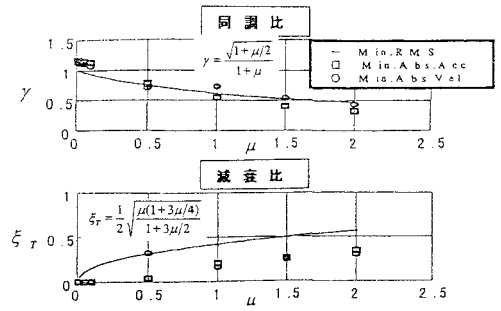


図 6 最適同調条件の計算結果

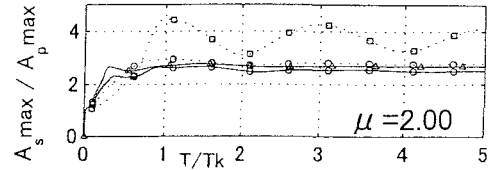


図 7 構造物の絶対加速度パルス応答スペクトル

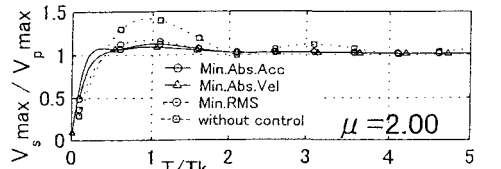


図 8 構造物の絶対速度パルス応答スペクトル

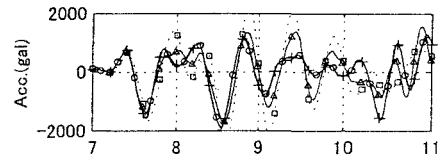


図 9 構造物の絶対加速度地震応答時刻歴

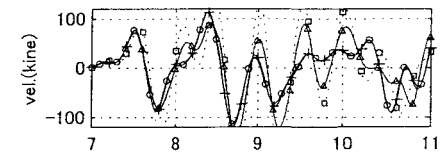


図 10 構造物の絶対速度地震応答時刻歴

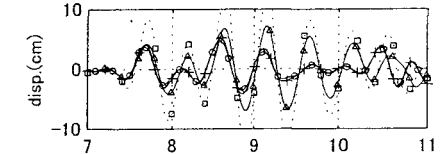


図 11 構造物の相対変位地震応答時刻歴

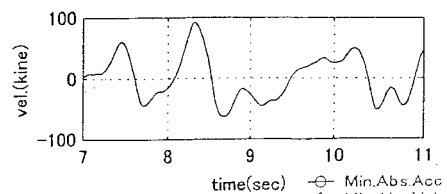


図 12 入力地震動速度波形