

## I-9 積層ゴム方式を用いた免震構造物の地震応答解析

高知高専 建設システム工学科 正員 吉川正昭  
 四国建設コンサルタント(株) 正員 梶平健一

### 1. はじめに

免震構造とは、地震が伝わる地盤面と建物の間に積層ゴムなどを挟んで切り離すことで、建物に入る地震動を減らし内部の安全性を高めようとするものである。ここでは免震構造物と非免震構造物を取り上げ、兵庫県南部地震時に観測された地震波などを用いて、地震応答解析を行い強震下で構造物の被害を可能な限り低減できる免震技術について考察を加えたので報告する。

### 2. 対象地盤と構造物の概要

対象地盤は、十分地盤が良いため表土を取り去り直接基礎を採用する。対象構造物は飛行場の保安上、15.8mを越える避難施設が建てられないため、4階建て(高さ約14m)の体育館を想定した。対象モデルは図-1に示す2種類とし、免震構造物は図-2に示すようにダンパーを鋼棒製ダンパーの他に鉛ダンパーを付加した場合も考えた。

### 3. 解析方法

鉛ダンパーの実験で得られた履歴特性を図-3(1)に、模式図を図-3(2)に示す。同図に鋼棒製ダンパーを併記する。同図により、鉛ダンパーは履歴減衰性能がよいことがわかる。今回用いた積層ゴム、鋼棒製ダンパー、鉛ダンパーの骨格曲線を図-4<sup>1)</sup>に示す。

RC構造物の場合、変形が進行するとまずひび割れが入り、次いで降伏し破壊に至るため、これらの非線形応答を考慮できる復元力特性としてトリリニアモデル(武田モデル)を用いた。各層の荷重変形曲線を図-5に示し、線形の場合と比較した。

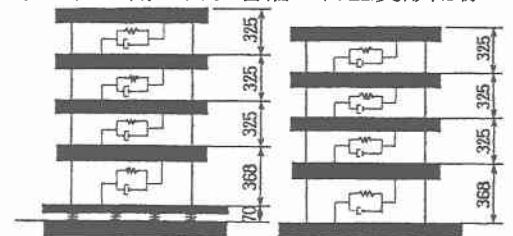
地震時の入力エネルギーと吸収エネルギーは式(1)による。

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + Q(x) = -m \ddot{x}_0 \quad \dots (1)$$

$$Q(x) = cK \cdot x + sQ(x) \quad \dots (2)$$

式(1)(2)より次式を得る。

$$\int_0^t m \ddot{x} \dot{x} dt + \int_0^t c \dot{x} \dot{x} dt + \int_0^t cK x \dot{x} dt + \int_0^t sQ(x) \dot{x} dt = -\int_0^t \ddot{x}_0 \dot{x} dt$$



(1) 免震構造物 (2) 非免震構造物  
 図-1 解析対象構造物

用いた入力地震波は、兵庫県南部地震で解析に用いられる神戸海洋気象台(第1種地盤)、JR西日本鷹取駅NS(第2種地盤)、東神戸大橋(第3種地盤)の地震記録をまず100galに基準化して、応答最大値包絡線分布を求め、この中で1番大きな値を与えるJR西日本の鷹取地震波による200gal時の時刻歴波形を求めて比較、検討した。

### 4. 解析結果と考察

非免震時の固有振動数は、1次、2次、3次、4次モードで2.17Hz、5.49Hz、8.25Hz、11.39Hzである。非免震、免震(鋼棒製ダンパーのみ)、免震(鋼棒製に鉛ダンパーを付加)に対して鷹取NS100gal(10秒間)入力時に応答最大値包絡線分布を線形構造とトリリニア構造の場合について図-6(1)(2)(3)に示す。非免震と免震の応答値の比較をすると、線形の場合、応答加速度の最大値は非免震時に100galから400galまで順次大きくなるのに対し、免震することにより1階から4階まで約300galと小さくなる。一方、変形は非免震時が約3cmに対し、免震装置で約17cmと大きくなり、免震装置で加速度が低減されその分変形が大きくなることがわかる。トリリニア構造のモデルでは、応答加速度の最大値は非免震に比べ免震では大きくなり、応答変位は大差ないことがわかる。免震で鋼棒製ダンパーのみの場合と、鉛ダンパーを加えた場合の最大応答値を比較すると、あまり変わらず鉛ダンパーの減衰効果がないことがわかる。

構造物をトリリニアとして鷹取NS200galを10秒間入力したときの非免震、免震（鋼棒製ダンパーのみ）、免震（鋼棒製ダンパーと鉛ダンパー）の各層の加速度、変位の時刻歴波形と入力地震波を図-7に示す。同図より、非免震時は各層の応答変位がそれぞれ下から上にあがるにつれて大きくなるのに対し、免震時は下から上まで同じ挙動をすることがわかる。

構造物の損傷を表す応答値として地震動による繰り返し荷重効果を強度、ならびに変形能の両側面を考慮できる履歴吸収エネルギー<sup>2)</sup>をここで用いた入力地震波について求めて、図-8に示す。同図から免震時に慣性エネルギー ( $mv^2/2$ )、減衰エネルギー ( $cx^2/2$ )、積層ゴムの履歴エネルギー ( $kx^2/2$ )とこれらを加えた吸収エネルギーの各層での状態がわかり、いずれも免震層で吸収力が大きいことがわかる。

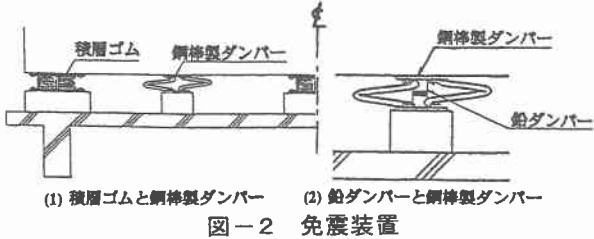


図-2 免震装置

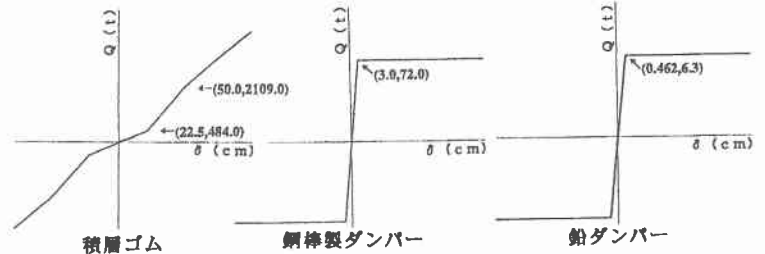


図-4 積層ゴム、鋼棒性ダンパー、鉛ダンパーの骨格曲線

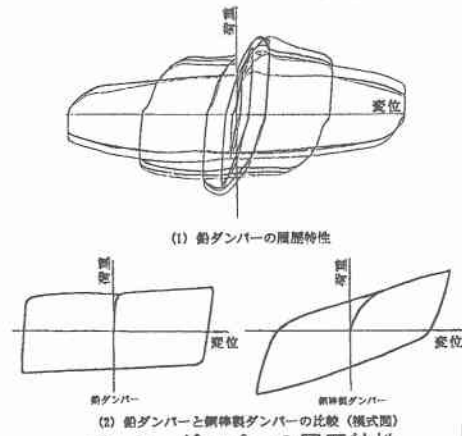


図-3 ダンパーの履歴特性

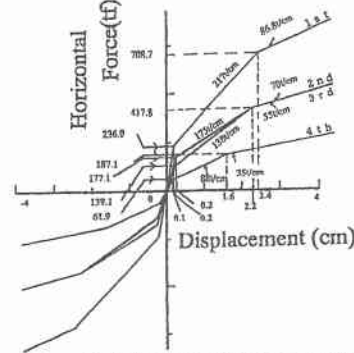


図-5 構造物の非線形復元力特性

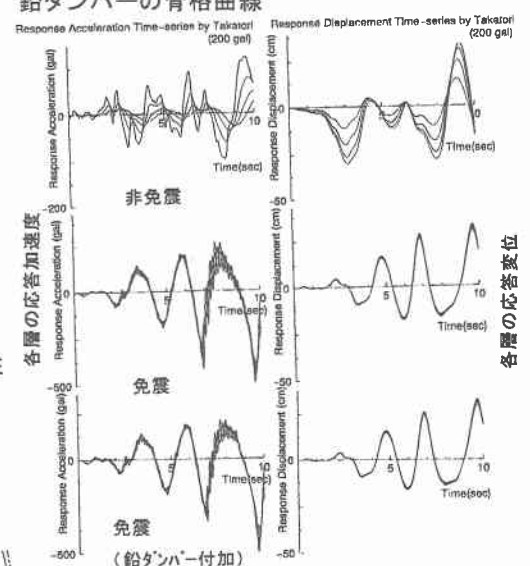


図-7 鷹取nsの各層の時刻歴応答波形(200gal)

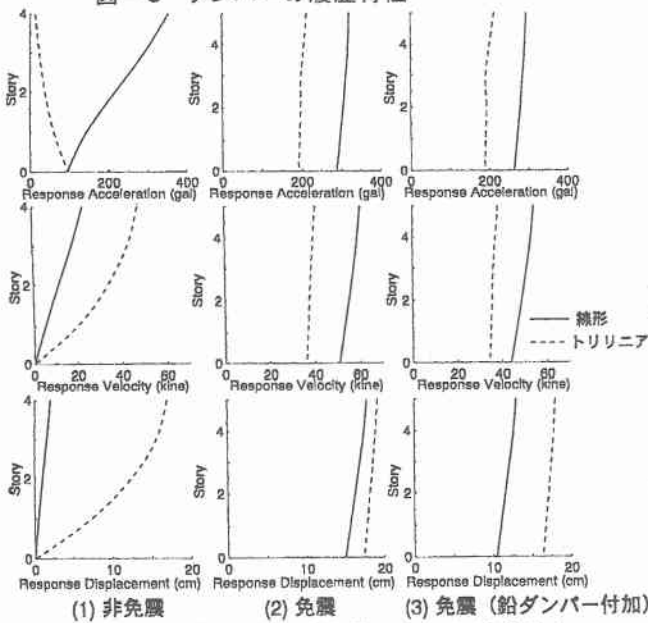


図-6 鷹取nsの応答値の最大包絡線分布

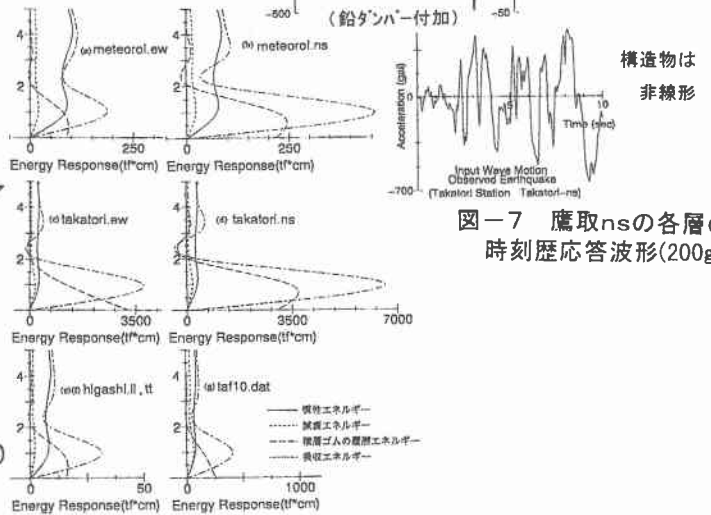


図-8 吸収エネルギー

参考文献

- 1) Masaaki YOSHIKAWA et al.: Active Control of Seismic Response of Structure by Mass Driver System, 1st World Conference on Structural Control, pp.FP1-33~FP1-42, 1994. 8.
- 2) 武田寿一: 構造物の免震・防震・制震, 技報堂出版株式会社, pp. 42~43, 1988.