すべり支承を用いた木造住宅免震システムの開発
その 3．振動実験と解析結果の比較及び観測波による応答予測

正会員　○西尾 浩治*
同　三浦　篤*
同　石原 哲哉**

すべり支承　免震　木造住宅
ローコスト　振動実験　応答予測

１．はじめに

現行の戸建て住宅の免震構法は、鉄骨造または RC 造の免震架台を用いる方法が一般的である。この免震架台のコストは、免震装置よりも高いものになっている。従って、免震架台が省略できればコストアップを従来の半分以下にできるとの考えから、木製の土台および床組の梁に直接取り付けるすべり支承を考案した。前報では木造住宅向けに開発した免震システムの免震性能を確認する目的で行った基本架構試験体による振動台実験について報告した。本報では，前報の振動実験結果と解析結果とを比較し、解析方法の妥当性を検証する。さらに、最近 10 年間に国内で観測された主要な地震動を用いて、開発した免震システムの応答予測を行った結果を報告する。

２．振動実験の概要

振動実験の方法は、既に報告しているので、ここではその概要だけを述べる。試験体は、鋼製基礎に基礎パッキン・土台を敷設し2m×2m の四隅に下部すべり支承を設置した。床梁は断面を105×210、105×270の2種類とした。復元ゴムを中央に1箇所設置し、設定周期を3.75秒とした。実建物の柱軸力を考慮し、脚部を柱脚に模した形状の錘を柱4本分、計65kN 載荷した（図-1参照）。

図-1 振動実験状況

加振波形は、標準波(EL CENTRO、HACHINOHE, TAFT、の50kine 基準波)と JMA KOBE、KNET OJIYA(80%,100%)の8波形とした。

実験は床組架構の接合方法等を変えて10ケース行った。計測結果の免震層の応答加速度及び応答変位の一例を図-2、3に示す。図は同一の加振波形について、固有周期を2.65秒とした1ケースを除く9ケースを同時に表示した。加速度波形、変位波形ともに実験ケースによる差は僅かで、9ケースの波形がほぼ重なっている(図-2、3参照)。これは床組架構の接合方法が免震層の応答に与える影響が少ないことを示している。また、すべり支承の製品毎の特性の変化が少ないことを表している。

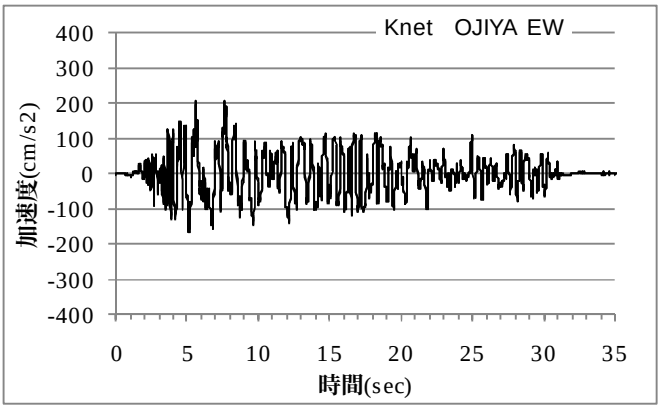

図-2 免震層の加速度応答(Knet OJIYA EW、9ケース)

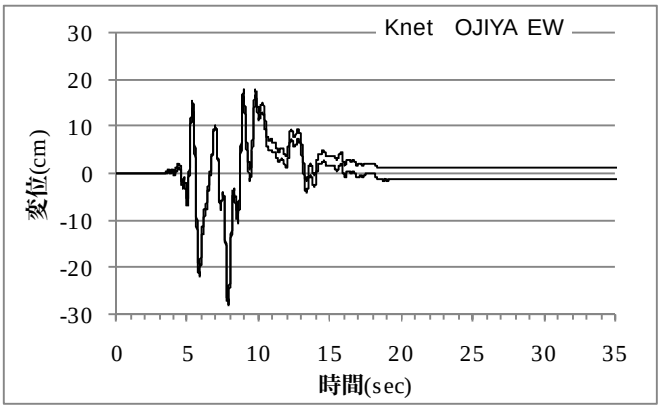

図-3 免震層の変位応答(Knet OJIYA EW、9ケース)

３．解析結果と実験結果の比較

すべり支承と復元ゴムを組み合わせた免震システムの振動方程式は、次式で表される。

$$m(\ddot{x}+\ddot{y})+m(g+\ddot{z})\mu\cdot sign(\dot{x})+kx=0 \qquad (1)$$

ここに、

$x, \dot{x}, \ddot{x}$ ：免震層の応答変位、応答速度、応答加速度

m, g, μ ：免震総質量、重力加速度、すべり支承摩擦係数

$\ddot{y}, \ddot{z}, k$ ：地動水平加速度､地動鉛直加速度、復元ゴム剛性

sign：符号関数、引数の符号に応じて1､-1、0を返す

解析パラメータはすべり支承の摩擦係数とし、解析結果と実験結果とが比較的良く一致する条件を探索した。解析結果の一例を実験結果と合わせて図-4、5に示す。解

Development of Isolation System for Wooden house using Sliding Bearing.
Part3 Verification of vibration analysis by experiment.

NISHIO Koji,　MIURA Atsushi,
ISHIHARA Tetsuya

析結果と実験結果は全体的に良く一致している。ただし、細部を点検すると正側の最大値に一致する摩擦係数と負側の最大値に一致する摩擦係数とは必ずしも一致しない。また、いくつかの極大値及び残留変位に一致する摩擦係数や最も誤差の小さい摩擦係数は、一つの値にならない。

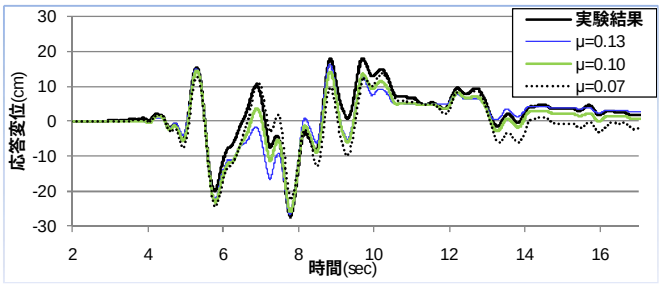

図-4 解析結果と実験結果の比較(K-net OJIYA EW)

解析結果と実験結果とに差が生じる理由は、解析では摩擦係数を一定値としているのに対して、実際には速度依存性、面圧依存性（上下動)及び繰り返し依存性等によって摩擦係数が変動するためと考える。しかし、設計で時刻歴応答解析を実施する場合等では、摩擦係数を一定として解析を行っても十分な精度で解が得られている。

摩擦係数を一定として解析した結果と実験結果との誤差を次式で評価した。

$$e=\sqrt{\frac{\Sigma(\xi_i-\zeta_i)^2}{N}}$$

ここに、e：誤差評価関数　　N：データ数
ξ：実験結果の変位又は加速度
ζ：解析結果の変位又は加速度

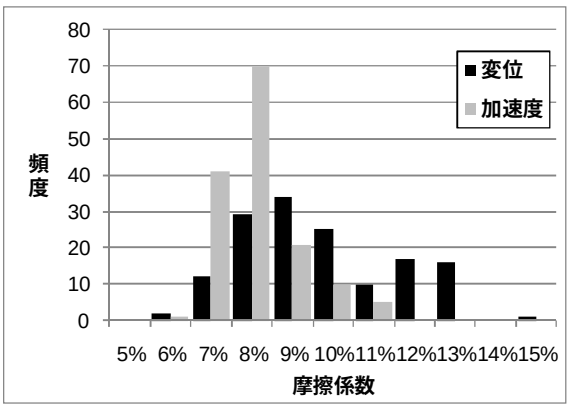

図-5 誤差関数が最小となる摩擦係数

解析結果と実験結果との誤差関数が最小となる摩擦係数は、加速度と変位とでやや異なっている。加速度では0.07～0.11で中央値は0.08である。変位では0.07～0.13で中央値は0.09となっているが、0.12、0.13のケースも少なくはない(**図-5**参照)。

「木造住宅すべり支承」の基準摩擦係数は、0.13で±20%の変動幅を考慮している。一方、実験結果と解析結果との誤差関数から評価した摩擦係数は、0.07～0.13となった。こうした差がある理由は、基準摩擦係数の試験方法が正弦波加振で速度振幅が16cm/s と比較的低速度であるのに対して、振動実験ではランダム波形で最大速度が50～130cm/s と高速度であるあること、さらに振動実験では上下動も加わっていることに因るものと考える。

４．観測波による応答予測

最近10年間に日本国内で起きたマグニチュード6.5以上の地震で観測された主要な地震動148波を用いて、木造住宅用すべり支承を使用した免震システムの最大変位を算定した(**図-6**参照)。設計上の安全側を考慮して摩擦係数は0.10、固有周期は4秒とした。

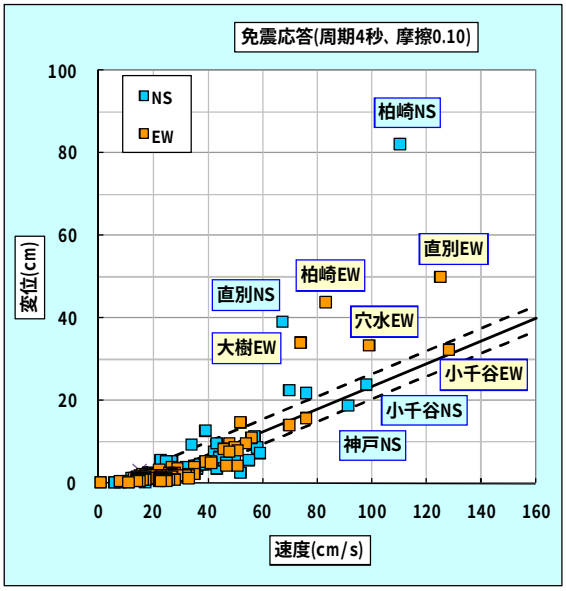

図-6 最近国内で観測された主要な地震動による応答変位

免震変位が最も大きくなったのは、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)の柏崎の観測波(最大速度110cm/s)で NS が82cm、EW が44cm である。速度が最も大きい地震動は、2004年新潟県中越地震の小千谷の観測波で128cm/s で、この地震動による最大変位は33cm になった。最大変位が40cm を越えたものは、前述の柏崎と2003年十勝沖地震(M8.0)の直別の観測波(最大速度125cm/s)の EW で50cm の3波である。

これまで免震建物の設計標準波のように扱われてきた1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台の観測波での最大変位は19cm となった。最大変位が20cm を越えるものは10波になった。最近大きな地震が発生するたびに観測記録の最大値が更新されており、こうした状況を考慮すると免震層の最大変形性能は40cm 程度必要と考える。

５．まとめ

振動実験結果と解析結果とを時刻歴で比較すると両者は比較的良く一致しており、解析の妥当性が検証できた。

[謝　辞]　地震波データは独立行政法人防災科学技術研究所の K-net の観測データを活用しました。ここに記して謝意を表します。

*1 日本国土開発 技術センター
*2 免震ハウス
*1 Technology Center, JDC Corporation
*2 Menshin House Corporation