



第92話 長周期地震動と免震構造 No.1

今回は、長周期地震動を受ける免振構造の挙動とその特性について、RC構造を数値解析した結果を用いてお話しする、近年、東海、東南海、南海地震の発生が高まっており、関東、中部、関西に存在する超高層ビルでは長周期の地震動に共振し、ゆっくりとした揺れが長く続く可能性がある。関東平野、濃尾平野、大阪平野など大規模な堆積平野では、周辺を固い岩盤や山で囲われた盆地形状となっており、ここに地震波が入射すると長時間揺れが続くことになる。このような大規模な平野では、周期が数秒以上の長周期の揺れを生じることがあり、超高層ビルや長大橋、タンクなどが大きく影響を受けることになる。

制震構造や免震構造の建物でも、このような長周期の地震動に対して十分な対策が講じられているとはいえ、この種の構造物が如何に挙動するかについて、十分に理解しておく必要がある。2003年9月に発生した十勝沖地震(M8.0)で、苫小牧市で観測された地震波は長周期成分が卓越しており、建物の被害は小さかったものの、周期の長いスロッシング(液面揺動)で石油タンク火災が発生した。この苫小牧波は、堆積盆地(勇払平野)で発生する表面波(堆積層表面波)の影響により、短周期は小さいが、長周期で卓越する継続時間の長い地震動(長周期地震動)となっている。長周期地震動は関東平野や濃尾平野、大阪平野など、日本の都市部でも観測されており、巨大地震に備えて固有周期が長く、減衰の小さな石油タンクや超高層建築などの耐震対策が急がれている。

ここでは、長周期地震動あるいは想定を上回る地震動が加わった際の免震構造の挙動を考える。免震構造は耐震構造に比較して、明快な構造形式であり、大きな地震動を受けるとシミュレーション通りに挙動し、設定通りに限界状態に達する。そのため、免震層の限界、免震ク

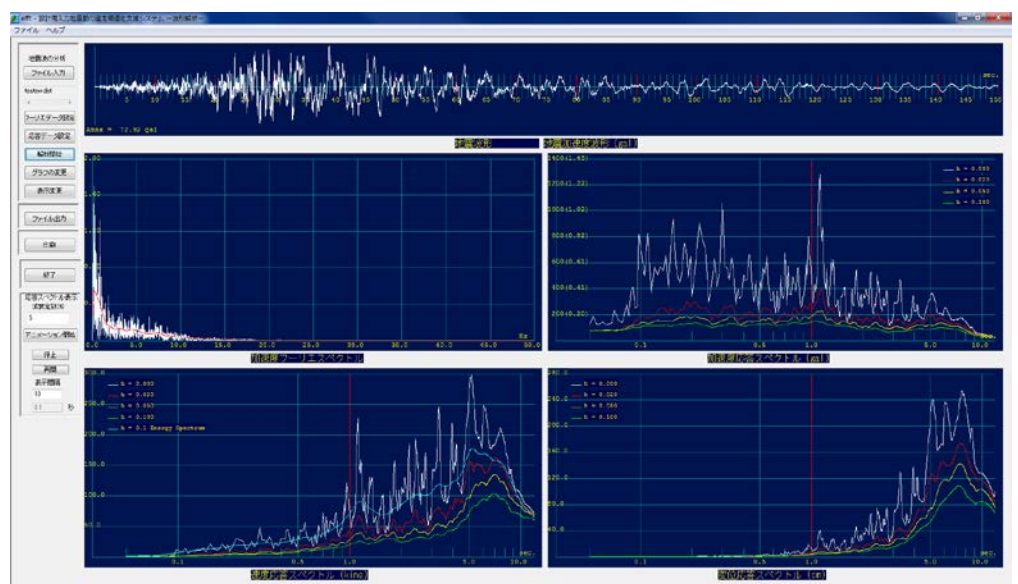


図1 長周期地震動(2003年十勝沖地震 苫小牧で観測された地震波形)

リアランス、上部構造、下部構造などが、どのように終局限界に達するかあるいは達しないのかを良く理解し、限界状態における挙動を明確にする必要がある。特に、免震装置の限界状態を評価するために如何なる力学モデルが必要となるか、また、限界状態に達した後、上部構造がどのような挙動を示すかについて知る必要がある。

典型的な解析モデル、7層の鉄筋コンクリート構造の平面モデルを用い、数値計算を通して、その挙動を学ぶことにする。免震デバイスは高減衰積層ゴムと鉛プラグ入り積層ゴムとし、履歴モデルとして菊池モデルを用いる。使用する長周期地震動として苫小牧(Tomakomai EW)で観測された地震波、人工地震波として名古屋三の丸で予測された新東海地震(Shin-Tokai EW)の2波を用いる。地震動の大きさはレベル2とし、50Kineに統一する。想定を超える地震動として最大速度を75Kineとした上記2波の地震動を免震構造に作用させ、その挙動を分析する。

次の解析順序に従って免震構造の動特性を分析し、把握する。

- 1) 最初に、免震層を除き、支持部をピン支持とした解析モデルに対し、水平最大耐力を求める。その際、ベースシア係数がどの程度となるかを確認する。また建物の崩壊機構を分析する。
- 2) 建物の総重量や剛性などから、免震装置の設計目標を定め、免震装置を設計する。免震装置の力学モデルを作成し、免震装置固有のせん断力の履歴や座屈挙動を分析する。正常に動作することを確認した後、建物の力学モデルに組み込む。
- 3) 固有値解析を実施し、固有周期と振動モードを求める。免震構造の設計目標である長周期の固有周期が得られていることを確認する。
- 4) レベル1の地震動に対し、上部構造が弾性挙動を示し、また免震装置のせん断ひずみが100%前後となることを確認する。
- 5) レベル2および想定を超える地震動を作用させて、免震構造の動的挙動を分析し、せん断ひずみが設計値を超えないことを確認する。

想定外の長周期地震動が作用すると、免震構造は免震層で大きく水平変位し、結果、免震装置が座屈し、ストッパーや壁に衝突する。ひとつのデバイスが座屈しても、免震層全体の水平剛性は他の免震デバイス、特に逆サイドのそれによって維持される。しかし、多くの免震デバイスが座屈や破断を生じると、免震構造全体が崩壊に至る可能性がある。また、端部の免震デバイスが座屈や破断を生じると、大きく鉛直方向に変位し、骨組全体が傾き、ロッキング振動を起こす場合がある。通常の振動状態では、上部構造は弾性範囲に収まっているが、この現象によって大きな層間変形角が生じ、上部構造は弾塑性状態となる。