

第5章 まとめ

5-1 本検討のまとめ

平成12年建設省告示第2009号（免震建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件）第6は、免震建築物の構造計算を規定している。上記告示検討時以降、免震層で設定される水平力と水平変位の関係および減衰特性の多様化が進められた。このような状況に鑑み、本検討では、告示2009号の規定に基づく免震建築物の上部構造の地震層せん断力係数評価方法について、建築物の地震時応答性状を踏まえ、高次の振動モードの影響を考慮したより適切な評価方法による算定法を提案した。

第2章では、告示2009号にて設計可能である高さ60m以下の免震建築物を対象として現状建築物の実情を調査した。また、現状の免震装置の力学特性を示す基準値のばらつきをまとめた。

第3章では、前章での免震建築物実情調査結果を参考にして上部構造および免震部材の解析モデルとその諸元・パラメータを設定し、地震応答解析を実施した。地震応答解析結果の分析を行い、上部構造の最大応答層せん断力係数と上部構造および免震部材のパラメータの関係を把握した。バイリニア形復元力特性の上部構造の層せん断力係数については、上部構造の周期が免震周期よりも相対的に長い場合、免震層のバイリニア形復元力の初期剛性が高い場合、降伏耐力が高い場合、免震層の応答変形に対応する等価減衰定数あるいは非線形係数が大きい場合、などには、告示2009号の規定に基づく応答せん断力よりも大きくなる可能性があることが示された。続いて、上部構造の応答層せん断力係数の増幅要因について、分析的および理論的な検討を行った。まず、帯域フィルタや主成分分析により、短周期振動である高次モードの卓越度合いが解析パラメータにより異なることを確認した。また、高次振動発生メカニズムの解明に対する検討として、履歴系免震構造を対象とした区分線形系によるモデル化とその応答性状の評価を行った。

第4章では、既往の知見をも鑑み、地震応答解析結果を用いて、上部構造の高次の振動モードも考慮した層せん断力係数分布案を提案した。まず、告示2009号による最上階のせん断力係数に対する層せん断力割増率 α_t 、あるいは免震層のせん断力係数に対する最上階の増幅率 β_t を上部構造および免震部材の諸元・パラメータに依存する関数にて表した。ただし、これらはパラメータに対して不連続な形で定義されているため複雑であり、不連続点付近では α_t および β_t の変化が大きくなる。そこで、より使用性を考慮し簡便な形とするために、場合分けを少なくし、複数のパラメータと増幅率 β_t との空間分布から増幅率 β_t の平面回帰による増幅率を算出した。この増幅率の妥当性に対する検討を実施した結果、最終的には以下の2案が推奨される。

提案法における上部構造の層せん断力係数分布設定フローの概要を以下に示す。ただし、以下で用いられている各記号は、 T_0 ：上部構造の基礎固定時1次固有周期、 T_1 ：免震層の初期剛性に対応する周期（上部構造が剛体時）、 T_{eq} ：免震層の応答最大変形に基づく等価周期、 h_{eq} ：免震層の最大応答変位時におけるバイリニア履歴曲線による等価減衰定数である。

1) A法（なお、本文中では「設定法2」として記載）

- i) 免震層の復元力特性と上部構造モデルを仮定する。
- ii) 告示 2009 号に基づく応答スペクトル法により免震層(最下層)の変形とせん断力係数を求める。
- iii) i) および ii) より T_1/T_0 と h_{eq} を求める。
- iv) T_1/T_0 と h_{eq} より、免震層の層せん断力係数に対する上部構造の層せん断力係数増幅率 β を求める。最上階の増幅率 β_t 、ならびに中間階の増幅率 β_m は以下の値である。

・平均成分に基づいた増幅率

$$\text{最上階} \quad \beta_t = -0.58 \cdot (T_1/T_0) + 6.6 h_{eq} + 2.5 \quad (5.1-1)$$

$$\text{中間階} \quad \beta_m = -0.17 \cdot (T_1/T_0) + 2.0 h_{eq} + 1.4 \quad (5.1-2)$$

・平均成分にばらつきを考慮した安全側の増幅率

$$\text{最上階} \quad \beta_t = -0.72 \cdot (T_1/T_0) + 7.0 h_{eq} + 3.2 \quad (5.1-3)$$

$$\text{中間階} \quad \beta_m = -0.23 \cdot (T_1/T_0) + 2.2 h_{eq} + 1.7 \quad (5.1-4)$$

- v) 高さ方向に直線分布として、 β_t 、 β_m 、免震層の応答層せん断力係数より免震層と中間階の間の層せん断力係数増幅率ならびに中間階と最上階の間の層せん断力係数増幅率を求める。

- vi) iv) および v) で求めた各層の上部構造の層せん断力係数の増幅率に免震層の層せん断力係数を乗じて各層の層せん断力係数を求める。

2) B 法 (なお、本文中では「設定法 3」として記載)

- i) 免震層の復元力特性と上部構造モデルを仮定する。
- ii) 告示 2009 号に基づく応答スペクトル法により免震層(最下層)の変形とせん断力係数を求める。
- iii) i) および ii) より T_0 と h_{eq} を求める。
- iv) T_0 と h_{eq} より、免震層の層せん断力係数に対する上部構造の層せん断力係数増幅率 β を求める。最上階の増幅率 β_t 、ならびに中間階の増幅率 β_m は以下の値である。

・平均成分に基づいた増幅率

$$\text{最上階} \quad \beta_t = 0.55 T_0 + 8.7 h_{eq} + 0.80 \quad (5.1-5)$$

$$\text{中間階} \quad \beta_m = 0.17 T_0 + 2.6 h_{eq} + 0.94 \quad (5.1-6)$$

・平均成分にばらつきを考慮した安全側の増幅率

$$\text{最上階} \quad \beta_t = 0.40 T_0 + 9.7 h_{eq} + 1.3 \quad (5.1-7)$$

$$\text{中間階} \quad \beta_m = 0.13 T_0 + 3.1 h_{eq} + 1.1 \quad (5.1-8)$$

- v) 高さ方向に直線分布として、 β_t 、 β_m 、免震層の応答層せん断力係数より免震層と中間階の間の層せん断力係数増幅率ならびに中間階と最上階の間の層せん断力係数増幅率を求める。

- vi) iv) および v) で求めた各層の上部構造の層せん断力係数の増幅率に免震層の層せん断力係数を乗じて各層の層せん断力係数を求める。

5-2 提案手法適用上の注意と今後の課題

なお、以上2つの設定法では、免震層の応答変形を算定する方法として、限界耐力法に準拠した方法を採用している。この手法による推定値は時刻歴応答解析による値と比較すると、全体的には安全側の値ではあるものの、やや両者の差が大きい場合がある。このため上部構造の下層部で高めのせん断力が設定される場合が多くなることには注意を要す。

提案した層せん断力係数設定法に対して、建物モデルとして3層、5層、20層のモデル、および入力地震動として実観測波も加えて、適用性を確認した。この結果、長周期成分が相対的に大きくなる入力地震動特性に対しても安全側にはばらつくが、ある程度の傾向は表現できることが分かった。

バイリニア型復元力特性を有する免震層に対して減衰定数が5%および10%分の線形粘性減衰が付加された場合に本提案法を適用する場合は、粘性減衰を考慮せずに、バイリニア型復元力特性のみによる増幅率を考慮すれば、傾向を表現できることを確認した。ただし、上記を超える粘性減衰を付加した場合の適用性の是非については今後の課題である。

また、免震層が線形弾性要素と粘性減衰要素からなる場合は、前節で示したA法を適用する際に増幅率を表す式の中に T_1 ：免震層の初期剛性に対応する周期（上部構造が剛体時）が含まれており、直接的に増幅率を求めることができない。この場合、 $T_1=0$ とすれば、増幅率を安全側に評価できることを確認している。また、設定法Bでも、増幅率を安全側に評価できることを確認している。ただし、これらの増幅率はやや過大に評価する傾向があることに注意が必要である。また、免震層が線形弾性要素と粘性減衰要素からなる場合の検討は、粘性減衰が20%までについて検討しているが、これを超える粘性減衰を付加した場合の適用性については今後の課題である。

今回の検討において、免震層に粘性減衰を付加する場合の復元力特性はすべて線形であった。本検討ではバイリニア型や指数型といったより複雑な粘性減衰が付加される場合について実施しておらず、今後の課題である。

