

建築構造力学（6）

第13回 高減衰制震構造システムの技術展望

13.1 高減衰制震構造システムの現状と課題

建築構造の柱梁骨組みが大地震に際して、弾塑性の復元力特性により地震入力エネルギーを熱エネルギーに変換することで、振動エネルギーを処理していることが明らかとなつてから、長い年月が経過した。耐震設計の枠組み（法律体系）に、この物理現象を取り入れることによって、より耐震的な（倒壊を防ぎ、命を守るという意味で）建築構造を設計する目的は既に達成されている。しかし、その後の観測技術の進歩や地震データの蓄積によって、従来想定していた大地震の規模や継続時間は、大幅な修正を迫られているのが現状である。（2011年3月7日建築学会シンポジウム資料参照）

一方で、建築構造物に10%を超える（例えば、15%あるいは20%近い）減衰率（減衰定数）を設定することのできる制震技術は、残念ながら発展途上であり、理論的には解明が進んだものの実用化には、まだ、時間が必要である。免震構造も10%以上の減衰率を達成することのできる工法としては、技術的に完成したように思えたが、長周期地震動の発生が懸念される現在、免震構造の周期を最適値に設定するという新たな課題が生まれてきた。

このように、我が国の耐震構造技術は、未だ発展途上にあり、来るべき巨大地震に対して国土を守るという意味においては、残された時間的な余裕は少ない。大地がどのような震え方をしたとしても、木造住宅から超高層ビルに至るまで、どのような動特性を有する建築構造にあっても、高い減衰性能を付与する技術があれば、国民の命と財産を守ることができる。高減衰の建築耐震構造システムを広く普及させることは、今後に残された課題である。最終回の講義では、幾つかの具体的な検討課題を指摘して、今後の技術開発の展望について述べたい。

13.2 残された課題

（1）最適減衰係数問題

中高層ビル（高さ 30M から 45M 程度）、あるいは超高層ビル（高さ 60M 以上）の事務所ビルなどでは、パッシブ型制震構造としてオイルダンパーなどが設置されることが多くなってきている。それらのオイルダンパーには、構造設計者が減衰係数や反力の最大値、ストローク長さ、作動する速度の範囲などを構造解析によって設定し、対象とする建物ごとに異なる値が最適値として求められている。

しかし、現在に至るまで、観測されたデータを検討する限りにおいては、超高層ビルや中高層ビルで減衰装置を有するパッシブ型制震構造の減衰性能が、減衰率換算値として 5% を大きく超えるような高減衰を達成した事例は報告されていない。既に講義にて述べたように、減衰係数と減衰定数は別の物理量であり比例関係にはない。市販されている減衰装置の減衰係数は、最適値に比較して相当小さな値に設定されることが多い。このため、減衰装置の性能が十分に発揮されていない実施例が多数存在する。

一方で、最適な減衰係数については、オイルダンパーの配置パターン、設置される場所、設置されたダンパーの総台数、などには影響されないことも理論的に明らかとなってきた。現在までのところ、構造設計の現場に学問的な研究成果が反映されていない。減衰係数の最適値は、ダンパーの軸剛性と設置する建物の一次固有周期のみに依存して一意的に決まり、その他の要因は影響しない。この事実も、まだ、設計の現場には情報として広く伝わっていないのである。

（2）地震応答解析ソフトの課題

地震応答解析のプログラムでは、伝統的にニューマークの β 法と呼ばれる 2 階の常微分方程式を基本とした解析ソフトが用いられている。この解析法では、建物の層間の速度を取り出して、その速度に比例した減衰力を外力として建物に加えて地震応答解析を行っている。このため、減衰係数 C の大きなダンパーを設置したときに当然発生する水平剛性の増大による固有振動数の変化（この場合は、周期が短くなる）を考慮することができない。固有振動数を変化させずに、減衰率だけを増大させることは、理論的に不可能である。しかし、時刻歴応答解析モデルはこの事実を無視しており、これは現実には起きている物理現象とは全く別の数値解析モデルを解析していることになる。地震応答解析の技術が、減衰装置の動特性を考慮していない現状は、正しい減衰装置の設計や配置計画を阻害しており、根本的な改善が必要である。

（3）免震構造の固有周期問題

免震構造は、固有周期を長周期化することによって地震動と「非共振」的な状態を実現することで耐震構造を実現したと、信じられてきた。しかし、どのように長周期化しても、単位重量当たりの地震時の入力エネルギー総量は変化しない。これが、今までの強震観測データからの結論である。

免震構造が達成した技術的な意義は、高減衰の建築構造を初めて実現した点にある。高減衰性能を持つことと、固有周期が長いことは別である。逆に、固有周期が短くても高い減衰率を達成することができる構造は耐震的である。この事実を素直に認めれば、中低層の建築物を免震構造で設計する際に、必ずしも4秒の固有周期を有する免震構造とする必要はない。現在に至るまで、この簡単な事実を見過ごしてきたために、免震構造の長周期地震動に対する対応が間違った方向に進もうとしている。免震構造の最適な固有周期は、多くの人が信じている周期帯よりも、かなり短周期の領域に存在するのである。

13.3 結び

建築構造力学 6 の講義を、終了するにあたり、現在の建築構造技術が直面している幾つかの問題点を指摘した。少なくとも、震度 6 強程度の強震動（加速度レベルで 500 ガルから 1000 ガル）に対して建物の安全性を確保する技術は、既に完成の域に達している。しかしながら、法的な整備、従来技術からのスムーズな移行、構造技術者への情報伝達、技術開発の普及促進、など多くの課題があることも事実である。

我が国の将来を託す若者達には、勇気と誇りをもって、我が国の建築構造技術の向上と発展を担ってほしいと切に希望するものである。