

免震構造研究に総合性を (耐震の新しい座標、座標軸)

明治大学教授 洪 忠憲



強、激地震に対して、今日、耐震、免震さらに制震の各技術がある。多様な建築物に対して、これらのうちから最も適合した技術、方法を採用することが肝要である。免震を制震の一部に含めて、“耐震・制震”としたり、その逆に“耐震・免震”として、免震に力点を置いた場合もある。私は、地震に対して安全性を確保する役割、目的は同等であるから、これらをまとめて“広義の耐震、耐震構造”と総称したりしているが、これも一般人、学生相手の入門的講義の範囲に限られよう。構造技術に対して、少し専門的、研究的にみれば、建物の地震抵抗挙動、応答内容に厳然とした差異があり、その差を強調するところに、これからの免震構造、耐震技術の新しい展開が存する。

話が古くなってしまうが、これまでの耐震技術の文脈をたどると、1970年代に始まる超高層建築の開発、実施は、画期的でその後の方向（今日の免震、制震構造を含む）をきめたと言える。その超高層建築は、地震国日本に突然出現したのではなく、主に1960年代における建造物の非線形地震応答の理論的研究が基盤となっている。強地震記録と電子計算機等による地道な内外の基礎的研究の蓄積を忘れてはならない。耐震設計、技術の合理化には、常に研究の支えが不可欠なのであろう。建築物を高層化するに従って、各層の層間の変位、変形は累積し、構造全体は長周期化する。例えば、30～40層の超高層では、地震時の応答変位は、甚大なものとなるが、各層間でみれば、1/30～1/40程度となり、各層でその設計値の許容

範囲に近づく。長周期化した超高層建築の応答量のコントロールは、その構造減衰が、強地震時の減衰量の評価が最重要な課題となった。この問題は、今日でも相変わらず不明点で、大きな巾で判断しているのが実状と思われる。減衰が意外に小さいとしたら、前もって大きめの応答変位を予想していることも安全管理上必要であろう。

武藤博士の鉄筋コンクリート造スリット壁は、今日でもいろいろと教わる点が多い。大地震時に、柔らかく粘って地震エネルギーを消費するスリット入りコンクリート壁の役割、性能は、先駆的なアイデアで、その後の各種の多様なダンパー機構の導入、発展の導火線、パイロットではなかったかと思う。

さて、超高層の数十層分に当たる変形量と、減衰作用を基礎部の一層に集約した免震構造（基礎免震）は、超高層と同じく長周期の建造物ではあるが、何ともドラスティックな問題解決で、満塁ホームラン的派手さをもつ。免震層に設置された積層ゴムの復元力で、地震時の建物振動のエネルギーを集め、並置した減衰機構、装置でエネルギー消費を期すというその効率の良さは特筆に値するが、ダンパーだけの働き、独り相撲になっている。一方、超高層建築では、強地震時の地震エネルギーを、はり、柱で構成される各層の架構の弾塑性応答で対応し、さらに構造減衰の作用を加味して、建物の応答量をコントロールしていることになる。すなわち、地震エネルギーの消費は、架構、部材の非線形の応答が主であり、構造減衰の

作用は応援的となり、またエネルギーの消費は、各層で分散される。

地震エネルギーの消費を、ダンパーに依存する免震構造および架構、部材の弾塑性応答を主役とする超高層の構造は、それぞれこれからの耐震技術の基本中の基本、新しい座標軸を与えるもので、各エネルギー軸は、独立して進化、発展すべきであると同時に、両者の働き、作用が融合、合成した形の耐震性能の構築、耐震技術の新しい座標（論理構成）を目指したいところである。後述するが、強、激地震に対する中低層建物の耐震さらに改修補強技術の難しさ等を考慮すると、弾塑性応答軸とダンパー軸の有効な重ね合わせ、加算が熱望されるところとなる。

今日、免震技術に関しては、これまでに評価の定着している基礎免震構造（1質点系モデル）に対して、2質点系にモデル化される中間層免震の構造理論、その応用技術が面白く、これからの耐震のいろいろな分野に活用、進展が期待される。中間層免震は、現在、耐震設計、改修補強設計において、難問、課題の多い中層、高層建築に適合していることも心強い。高層建築のレトロフィットに適用して、成功している事例を見学して以来、私達（洪研究室）も研究を開始してきている。紙面の都合もあり、ここに研究を報告することはできないが、中間層免震構造は、基礎免震の免震層が、建築物の任意の層に移行した、免震構造の一般化であり、地震応答の予測式も、基礎免震と連続した形で誘導される。免震層の上部構造に関しては、基礎免震と同等に近い力学系で、免震効果も予想通りなのは当然であるが、層の下部構造にも、十分な免震効果が期待できるところに有り難味があり、今後、積極的に活用すべきところとなっている。特に、激地震に対する中、高層の耐震、耐震改修設計への適用など期待される。本誌の2月号（「MENSHIN」35号）には、新しい免震技術として、日本大学の斉藤教授の空間構造の免震についての論述など、また既往のこの分野の研究も含めて、大いに勇気づけられるし、基礎杭プラス建築物の系に、免震層を導入して、杭の耐震性向上が研究されるなど、期待は尽きない。これからの免震構造の発展には、免震構造に潜在するポテ

ンシャル、可能性を十分に引きだし、それらの研究成果を、総合的に、戦略をもって資料化、実用に供すべく簡略、体系化することが重要となろう。個別の優れた研究、その成果の情報交換は、もとより重要で基本であるが、それらを横断する視点、視座から、研究、開発をプロモートする仕事など、協会のリーダーシップが望まれる。

ダンパー軸ならぬ架構、部材の弾塑性応答軸に関しては、強、激地震に対する中、低層建物、特に鉄筋コンクリート構造の耐震設計、耐震改修、補強設計が、なかなかの難関であり、最大の関心事項であろう。強、激地震に対して、建築物の安全性を保証するためには、いかなる耐力及びいかなる変形（粘り）を必要とするかは、地震被害の体験ごとに論議される今日的な課題となっている。兵庫県南部地震以後、既存建物の耐震診断、改修補強設計が見直され、学校建築、公共建築等を中心に進展しつつあるが、決定的に不足している耐震性能を耐力付加で、または変形（粘り）の増大で保障するか、耐震専門家達の大いなる貢献、活躍の多いところである。さらに進めて、各種ダンパーを直接付加することで、地震エネルギーの消費を期す試みも盛んであり、今後の研究、開発が注目される。地震エネルギーの消費は、主に架構の非線形の弾塑性応答に依るが、さらに加えてダンパーの吸収エネルギーを活用するところとなる。しかし、見方を変えれば、免震構造の積層ゴム（弾性歪エネルギー）の役割を、架構、部材の弾塑性応答に置き換えていることにもなる。いづれにしても、架構、部材に十分な復元力が保留されているのでなければ、ダンパーは機能しないのであり、その適用に当たっては慎重な対応、十分な研究、開発が望まれる。

次第に判明しつつある強、激地震の破壊力の実相を踏まえて、建築物の構造（架構、部材）の損傷をなるべく低減し、地震後の修復の経済的な負担をも考慮した損傷（Damage）コントロールの耐震設計が叫ばれて久しいが、設計手法の開発、設計資料の整備など総合的な問題解決のシステムの確立が望まれる。今後、免震構造の新しい展開、実力発揮に期待するところ大である。