

地震時における室の安全・安心



東京工業大学

元結 正次郎

1 はじめに

新耐震設計法の有意性が近年の地震において証明されてきたと言われるのに対して、非構造要素の地震時の脆弱性が顕在化してきている。これは構造要素が強靱化したために構造要素が損傷しにくくなったのに対して、非構造要素の耐震性能は以前のまま（あるいは低下）していることが原因である。このような地震時における非構造要素被害の顕在化は日本ばかりではなく、アメリカ合衆国、ニュージーランド、イタリア、中国、チリなどの地震多発国で強く認識されるようになってきており、喫緊に解決されるべき課題であるとされている。もうかなり広く使われてきているのでご存じの方も多いこととは思うが、非構造要素（Non-structural elements / components）とは、建築を構成する要素のうち構造以外の要素を意味する言葉である。様々な分類法があるが、機能による分類として大きく建築要素と設備要素の2種類に大別される。前者には、天井、内外装壁、建具および什器などが、後者には空調、照明、上下水道およびスプリンクラーなどのシステムが含まれる。このように設備要素（機器）も非構造要素に含んで捉えるのが国際的な動向である。また被害を発生させる外乱による分類方法もある。地震時被害について言えば、慣性力によって損傷が発生するもの、または強制変位によって損傷が発生するものに分類される。例えば、吊り天井、照明機器、および天井裏に設置される空調機器、ダクトやケーブルラックなどは上階の床などから吊り下げられ、設置されている床の応答加速度が非構造要素の系（以下、非構造システム）への入力加速度となる。したがって、非構造システムが剛体とみなせる場合以外は、その振動特性によっては非構造要素の応答加速度は床応答よりも大きくなる。これによって非構造

要素に作用する慣性力によって非構造システム内に応力が発生し、それが許容値を超えたとき損傷が発生する。一方、内外壁や建具、および種々の配管のように階を跨いで躯体に取り付けられるものには、躯体に生じる層間変形角が当該非構造システムに強制変位として作用する。このとき、非構造システムの追随性が乏しい場合には非構造システム内部に応力が発生し、その応力が非構造システムの強度を超えた段階で損傷が発生する。

2 日本および諸外国の動向

日本では2001年の芸予地震にて発生した複数の吊り天井の被害を受けて国交省が技術的助言を出している¹⁾。これは現行の吊り天井に対する告示の原案とも言うべきものであり、天井面周辺の隙間および鉛直ブレースの設置を初めて陽に推奨したものである。ただし、この段階では法令ではなく定量的な説明もなかったこともあり、あまり浸透していなかった。また吊り天井に用いられる部材や接合金物の力学的性状の実験的検討によって技術的助言への形式的な順守は「落下の危険性をより高める」ことも報告されていた。このような時期に東北地方太平洋沖地震が発生し、震源から350km離れた首都圏でも非構造要素の被害は悲劇的な状況にあり、特に吊り天井については人命をも失う被害が発生した。この状況を踏まえて国交省は吊り天井に対する法整備を直ちに開始し、建築基準法施行令および関連告示²⁾を平成25年（2013年）に公布した（施行は翌年）。この告示は、建築基準法にもともと記載されている『天井について、風圧並びに地震その他の震動及び衝撃によって脱落しないようにしなければならない』という旨の建築基準法施行令第39条を満たすための具体的な方策を提示するという位置

づけとなっている。ただし残念ながら、非構造要素損傷の発生原因が完全に解明されたわけではない。被害が発生した現場に行き、その状況から評論家のように原因を列挙することはできるかもしれないが、非構造要素の被害発生原因を客観的に説明することは今でも難しいのが現状である。

アメリカ合衆国においては2000年代にNational Science Foundationの支援を受けた非構造要素の耐震化に関するgrand challengeプロジェクトがネバダ大学リノ校のMaragakis教授をリーダーとして開始された（笠井和彦教授とともに国際コラボレーターとして参画）。提案書の中で彼は、図1を示した上で³⁾、非構造要素に関する研究成果は個々の建物における人命保護および事業継続性を保証し、その結果、大都市規模での障害を削減し、地震後に回復するコミュニティの能力を向上させるとしている。図1は今になっては至極当たり前の図となっているが、当時私はとても感銘を受けた。勉強不足の私はレジリエンスという言葉を初めて聞いたのもその時である。その後発生した東北地方太平洋沖地震に発生した広範囲における非構造要素の被害は図1に示す継続性に直接的に影響を与え、東日本だけではなく日本全国の日常生活に何らかの影響を及ぼしたことは記憶に新しい。

同様の傾向が先に述べた地震が多発する諸外国で見られている。ニュージーランドではカンタベリー大学が、イタリアではバヴィア大学が、中国では近年において同済大学のInternational Joint Research Laboratory of Earthquake Engineeringにおいて国際的な研究者とのコラボレーションが展開されている（笠井和彦教授はコアメンバー、元結はWSに参画）。さらに、これらの機関に所属する研究者によるワークショップが継続的に開催されており、今年開催される第17回世界地震工学会議にもオーガナイズドセッションが企画されており、活発な議論がなされてきている。

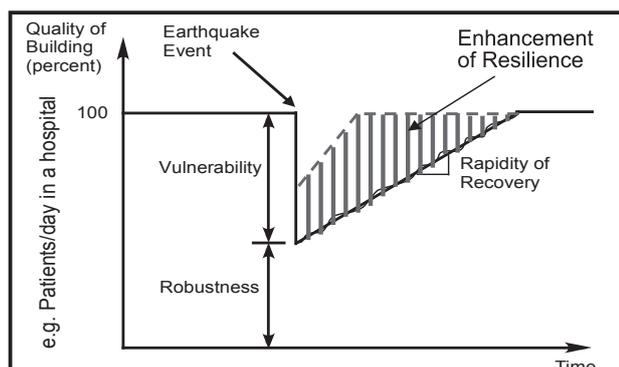


図1 Maragakis教授のプレゼン資料より

3 室の安全・安心に向けて

室の安全・安心を達成するためには構造要素のみならず、非構造要素の耐震性能をも十分に理解した上で建物のトータル設計を行う必要がある。一方で、非構造要素と言っても既に記載したように多種多様であり、また構造要素と異なり支持条件や接合条件が曖昧な非構造要素に対して、科学的アプローチにより耐震設計法を早急に整備することは、世界各国で精力的な研究が行なわれているとはいえ、非現実的である。このような観点からも免震構造は室の安全・安心を目指す場合に最適な選択肢の一つとすることができる。元々、免震構造は安全性のみではなく安心を提供する構造として認識されている。それは、非構造要素の被害が上述したように建物の応答加速度や層間変形角に起因するために、この両者を低減する免震構造は非構造損傷低減に有効であると判断されるためである。したがって、被災時に高い機能性を要求される災害拠点建物や病院などに積極的に適用されるべき構造システムと言える。ただし、通常の建物に比べて非構造要素に作用する外乱が小さくなるということであり、非構造要素の無損傷を常に保証する免罪符のようなものではない。構造技術者は、構造要素の損傷が極めて軽微なレベルの地震動においても非構造要素の損傷が発生しているという事実を冷静に受け止めなければならない。免震構造を採用した場合でも構造技術者は非構造要素について適切に選択する必要があることを示唆する。大切なことはトータル設計であることを忘れてはならない。

【参考文献】

- 1) 国住指第357号『芸予地震被害調査報告の送付について(技術的助言)』平成13年
- 2) 国土交通省告示第771号『特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件』平成25年
- 3) Manos Maragakis; A Summary of the NSF NEESR Grand Challenge Project on Nonstructural Systems, Meeting on exploring collaboration with E-Defense, March 3, 2008, Tokyo, Japan