

サステナビリティ社会での免震構造



東京大学地震研究所

楠 浩一

1 はじめに

2015年9月25日、第70回国連総会において、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。ここには、2030年までに持続可能でより良い世界を目指す国際目標（Sustainable Development Goals, SDGs）が示されている。これらの目標は、向こう15年にわたる「人間」、「地球」、「繁栄」、「平和」、「パートナーシップ」といった極めて重要な分野に関する行動を促進するため、17の持続可能な開発のための目標と169のターゲットを示している。この中には、「目標11. 包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能な都市及び人間居住を実現する」という建築構造も大いに関係する目標がある。その下には、例えば「11.5 2030年までに、貧困層及び脆弱な立場にある人々の保護に焦点をあてながら、水関連災害などの災害による死者や被災者数を大幅に削減し、世界の国内総生産比で直接的経済損失を大幅に減らす。」や、「11.b 2020年までに、包含、資源効率、気候変動の緩和と適応、災害に対する強靱さ（レジリエンス）を目指す総合的政策及び計画を導入・実施した都市及び人間居住地の件数を大幅に増加させ、仙台防災枠組2015-2030に沿って、あらゆるレベルでの総合的な災害リスク管理の策定と実施を行う。」など、災害軽減に関するターゲットがある。建築構造の性能規定化と絡めて、サステナビリティ社会の実現に向けて免震構造に求められることを考えてみたい。

2 サステナビリティとは？

サステナビリティとは、一般的には「持続可能性」と訳されることが多い。つまり、都市や建物が持続的にその機能を有する性能と考えることができる。サステナビリティ社会を構築するためには、建物が有害な損傷劣化を受けず、建設当初の性能を維持で

きる構造であることが望まれている。

同様の言葉に、レジリエンス（Resilience）がある。これは日本語では「強靱」と訳されることが多い。「国土強靱化」はレジリエントな都市の構築と訳すことができよう。こちらは、建築構造的には「復元力」あるいは「復旧力」と訳すことができる。大規模な災害が発生した時に、建物がその機能を再度取り戻すまでに必要な期間や金額などで評価することができよう。

SDGsの目標とターゲットにも示されている通り、災害の多い日本では、サステナブルな社会構築にはレジリエントな建築構造が望まれる。

3 我が国の耐震規定

1906年のサンフランシスコ地震の被害調査のため米国を訪れた佐野利器教授は、その被災状況を視て耐震設計の重要性を痛感した。1914年に「家屋耐震構造論」を発表している。その中で、安政の大地震の東京下町と山の手の震度を0.30と0.15と予測するとともに、建物の強度・剛性・靱性の確保を推奨している。しかし、わが国最初の建築関連の法令であった1919年の市街地建築物法には、耐震規定は盛り込まれなかった。耐震規定が初めて盛り込まれたのは、1923年9月1日に発生した関東大震災を受けて、翌年に改正された市街地建築物法が初めてである。ここでは、家屋耐震構造論を参考に、いわゆる許容応力度による材料強度と計算精度の余裕度が3倍程度あることに鑑みて、震度は0.10とされた。

以来、許容応力度計算法は数度改正され、短期許容応力度が採用されるとともに震度も0.20に引き上げられ、1981年には極めて稀に発生する地震に対する終局状態を確認する保有水平耐力計算が新たに追加された。佐野博士も指摘していたことであるが、

巨大地震に対しては、強度で抵抗するだけでなく、靱性に依存した設計法も可能である。耐震診断手法にも通じるが、保有水平耐力計算ではエネルギー一定則、つまり強度と変形の積を建物の性能と考えている。極めて稀に発生する地震に対しては、建物の損傷は許容し、人命を守ることを目標とした。その為、強度抵抗型では建物は無損傷であるが、靱性抵抗型では大きな損傷が発生することとなる。

我が国の社会が成熟し、幾度かの巨大地震とそれに伴う社会・経済的影響を経験し、わが国では極めて稀に起こる地震に対しても、建物によっては継続した機能の保持が求められるようになった。レジリエントな建物の要望が生まれてきたわけである。しかし、保有水平耐力計算では、建物の保有水平耐力を割り増しても、それがどういった性能を有する建物になっているのかが不明確であった。

そこで、2000年に限界耐力計算が追加された。この計算方法によると、地震の大きさに対する建物応答、ひいてはその損傷程度を陽に評価でき、建物オーナーの要求する耐震性能に明快に答えることが可能となる。ここに、性能設計の土台は整った。

4 性能設計での評価軸

これまで、建物の性能評価は耐損傷性（許容応力度計算）と耐安全性（2次設計等）の2つのレベルでしか検討してこなかった。しかし、想定よりも大きな地震、あるいは想定よりも小さな地震を想定したとしても、図1に示すように建物の強度と変形性能の関係によって、損傷は異なる。建物AやBは図に示す中地震では損傷が生じず、すぐに復旧することができるが、建物CやDでは損傷が生じ、それに従って復旧工事が必要となる。一方免震構造は、図2に示すように、例えば地下免振で擁壁の衝突などといった限界に到達しなければ、建物はほとんど無損傷で復旧可能となる。

建物の構造設計は、これまで新築時の構造的なコストが主たる評価軸になることが多かった。しかし、サステナブルな社会を構築するためには、建物の被害とそれが社会に与える影響といった社会的側面だけではなく、ライフサイクルコストや供用中に発生する災害に対する復旧に要するコストといった経済的側面、ライフサイクルにおける環境的負荷や災害復旧に起因する環境的負荷といった環境的側面を考慮しなければいけない。そういった総合評価を行う社会が到来すれば、免震構造の優位性はさらに社会に認識されるようになるだろう。

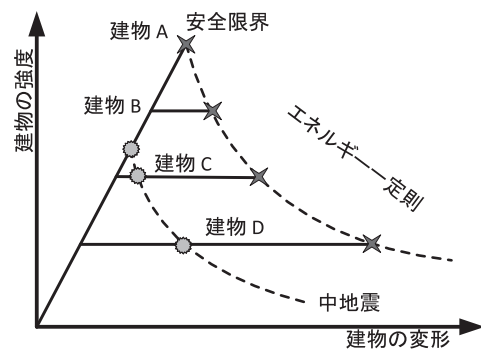


図1 建物の性能と損傷

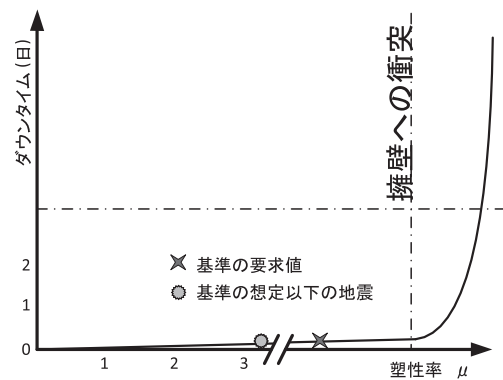


図2 免振建物の応答とダウンタイム

5 おわりに

SDGsで国際社会が約束した持続可能でより良い世界を達成するためには、建築構造も規定された地震力に対する耐震性能だけではなく、復旧性、継続利用性といった社会的側面、経済的側面、環境的側面を総合的に評価することが望まれる。そういった評価法が普及すれば、免振建物がSDGs達成の上で極めて有効な構造形式の一つであることが社会的にさらに認識されよう。

ISO/TC71（コンクリート、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート）では、ここで紹介したようなレジリエントな社会構築のための総合的な性能評価の一般原則に関する企画案の審議を始めた。我が国の免震構造の世界的な普及の一助になることを望む。