

# 想定外に備える —自然災害へのレジリエンス戦略と社会実装—

齊藤 正人 | 埼玉大学研究機構社会変革研究センター・レジリエント社会研究部門、教授（部門長）

## 1 はじめに

東日本大震災から14年の歳月が流れた。震災直後から「想定外」という言葉が頻繁に聞かれるようになったが、近い将来にどのような想定外の災害が待ち受けているのか、想像力を限界まで働かせて検討を深めてきたとは言いがたい。震災以降も、2016年の熊本地震において震度7が立て続けに観測されるなど、想定外の自然災害は後を絶たない。

元来、災害対策は被害が先行するのが常であり、再び同様の被害が生じないように対策を立てるといって、対処療法的な側面、あるいはいたちごっこのような傾向がある。想定外の被害を未然に防ぐためには、技術者や研究者の叡智を融合させて全体知に昇華し、高度な想像力を発揮してプロアクティブな対策を講じなければならない。

「想定外」という言葉とおよそ軌を一にして、「レジリエンス」あるいは「レジリエント」といった言葉が目立つようになった。レジリエンスとは、概して『自然災害に対して粘り強く機能を維持し、致命的な被害を受けず、仮に被害を受けたとしても早期に回復することができる力』と書き表すことができる。つまり、現代社会が災害に対して脆弱なのは、このレジリエンスが十分に備わっていないためであると考えられる。

その背景には、現代社会が築かれてきた過程そのものが深く関係している。私たちの社会は、経済性・効率性・利便性をひたすら追求し、スリム化が図られ、マニュアルがいたるところで作成され、鉄道に代表されるように相互リンク化が進められてきた。日々の生活を送る上で、これほどまでに合理的で快適な環境が整えられた時代はかつてなかったかもしれない。しかし裏を返せば、余

裕がなく、融通の利かない、複雑で硬直的なシステムへと変貌を遂げたとも言える。突然の自然災害は、人員不足による初動対応の遅れを露呈させ、想定外の状況にマニュアルが対応しきれず、一部の機能不全が連鎖的に全体へと波及するリスクを高めている。今、社会の「しなやかさ」を取り戻すことが強く求められており、その鍵となるのが、具体性を持った「レジリエンス」の社会実装である。

レジリエンスを獲得するためには、何らかの戦略を持たなくてはならない。アンドリュー・ゾッリの著書『レジリエンス復元力—あらゆるシステムの破綻と回復力を分けるものは何か（邦訳版タイトル）』では、危機に対する5つのレジリエント戦略が提案されており、大いに参考になる。

- ・システムが十分な備えを持つこと
- ・資源の調達先を多様化すること
- ・システムの運用と稼働状況に関する精度の高いリアルタイムのデータを収集すること
- ・システムの構成要素に十分な自律性を与えること
- ・一部の混乱が全体に波及しないように防火帯を設けること

紙面の都合上、これらの詳細に踏み込むことは叶わないが、最後の2つの戦略—システムに自律性を持たせること、そして一部の混乱を波及させない工夫については、著者によるこれまでの取り組みと今後の展開を以下で簡単に紹介したい。

## 2 倒壊を前提とした地震対策

最新の耐震設計法に基づいて建物を設計・施工したとしても、想定外の地震により倒壊しないとは言いきれない。前述の5つめのレジリエント戦

略に関係するが、建物が倒壊すれば緊急輸送路が閉塞するかもしれない、その後の復旧活動が滞る危険性がある。しかし、建物が倒壊することを想定した設計が行われるはずもなく、「想定外をなくすこと」の難しさは、まさにこうしたところにある。

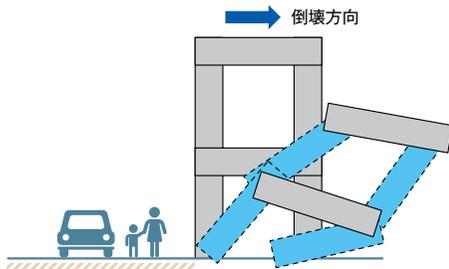
このような課題を踏まえ、埼玉大学と公益財団法人鉄道総合技術研究所の共同研究により、建物の倒壊を前提とした対策法の検討を行った。倒壊を想定した場合、その波及効果を最小限にとどめるには、倒壊方向を制御することが一つの方策となる。具体的には、柱と梁の間にブロックを設けるといふ、きわめて単純な構造である。このブロックは、図-1、2に示すように、一方向の運動には抵抗し、他方向の運動を許容することで、スイッチングの役割を果たす。これにより、運動を許容された方向に建物の変形が蓄積され、最終的にはその方向に倒壊するという仕組みである。本手法については、両機関において解析と実験を行い、その有用性が確認された。想定外をあえて想

定することで、従来にはない「レジリエントな構造」が創発されたと評価できる。

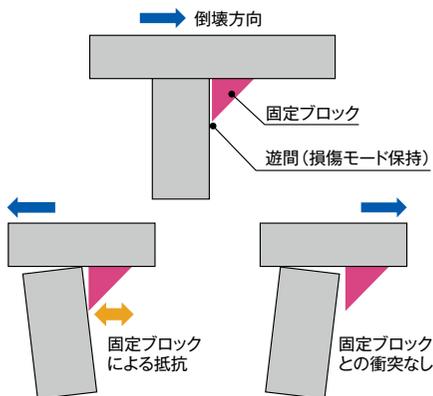
この他にも、建物の倒壊に対して自律的に人的被害の拡大を抑制する、レジリエントな機構（＝機能的なコンセプト）をいくつか提案しているので紹介したい。

- (a) 倒壊する空間・領域をコントロールする機構
- (b) 倒壊する時間をコントロールする機構
- (c) 倒壊する構造内に絶対安全空間を確保する機構

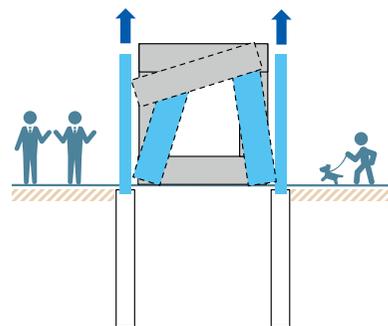
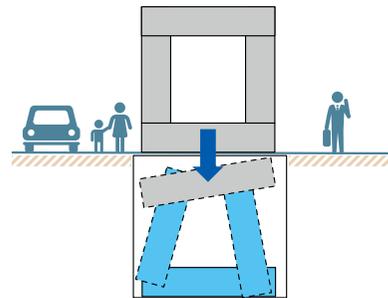
先に述べた倒壊方向を制御する構造は、(a)のカテゴリーに含まれるものである。(b)は倒壊の原因となる自重をカウンターウェイトや摩擦系デバイスで制御する構造などが想定される。(c)はシェルターを建物内に構築するイメージであり、倒壊しても内部に安全空間を確保することを目的とする。また、倒壊前に地下に格納する構造や、周辺を壁で保護する構造など（図-3参照）は、(a)に包含される。



【図-1 建物の倒壊を前提としたとき、地震に対する被害連鎖の抑制するためのレジリエントな構造とは？】



【図-2 倒壊方向を制御する機構の具体策】



【図-3 倒壊する建物や周辺空間・領域を制御するレジリエント構造のアイデア：地下への退避（上図）、壁による防御（下図）】

### 3 文化財に対する地震対策

災害対策は人命を最優先とするのが原則であることは言うまでもない。しかし、人間社会が獲得してきた創造的な成果物を次世代へと継承していくことも、同様に重要な使命である。2024年の能登半島地震に見られるように、文化財や美術品などが一瞬にして破壊されてしまう事態は、可能な限り避けなければならない。しかし、博物館や美術館における地震対策の現状は、テグス固定や重心を下げるといった工夫のほか、高価な免震台の導入といった限られた選択肢しかない。

そこで著者は、株式会社昭電と株式会社ナウエストテクノロジーと共同で、写真に示す地震対策装置の開発に取り組んでいる。この装置は「AL免震」と呼ばれ、ALは「Ant Lion(蟻地獄)」あるいは「Artificial Liquefaction(人工流動化)」の略である。

この装置には、レジリエント戦略の考え方が反映されている。「地震が来るとき、美術品がもっとも安全な状態とは何か?」という問いに対して、「地震波が到達する前に、柔らかいマットに沈ませて優しく倒しておく」という方策である。この状態であれば、地震波が到達してもそれ以上の転倒や落下は起こらず、美術品が破損することを防ぐことができる。立て続けに発生するような想定外の地震に対しても、さらなる被害の拡大を抑えることが可能となる。

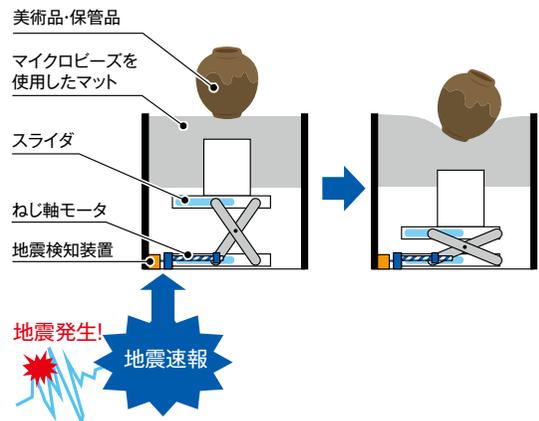


【写真 文化財を地震から守るためのレジリエントシステム：AL (Ant Lion もしくは Artificial Liquefaction) 免震は緊急地震速報を受信するとすばやく文化財をマットの中に沈め込ませる】

この装置の構造を簡単に説明すると、美術品の下にはビーズクッションが配置されており、平常時(展示時)には下部から支持されている(図-4参照)。緊急地震速報を受信すると、その支持機構がゆっくりと降下する仕組みになっており、これによりビーズクッションが流動化し、美術品はその中にうずまるように倒れていく。この構造は、前節で示したアイデアである「地下への退避」の小型版とも言える。現在、埼玉県文化財・博物館課との連携協力のもと、県内の博物館資料に対する防災対策に取り組んでいる。

### 4 レジリエントな社会を目指して

想定外を可能な限り排除するためには、想像力が極めて重要である。しかしそれ以上に、既成の考え方にとらわれず、柔軟性を磨くことが欠かせない。AL免震はアリゾグクの営巣形態から着想を得たものであるが、自然の猛威に対するヒントは、案外、自然の中に散りばめられているのかもしれない。生物の構造や機能、捕食形態などから新たな技術や設計思想を導き出す試みは、「バイオミメティクス(生物模倣)」と呼ばれている。今後は、こうした自然由来のアイデアを創発し、想定外の自然の猛威に対しても柔軟に対応できる仕組みを構築していくこと—すなわちレジリエンスの戦略を体現する社会の実現が強く期待される。



【図-4 AL免震の仕組み】