

災害の予知と防災・減災・レジリエンス



東京大学地震研究所 教授

平田 直

1 はじめに

我が国観測史上最大規模、マグニチュード(M) 9.0の巨大地震が2011年3月11日に発生してからまもなく3年となる。この地震による被害は津波を原因とするものが甚大であったが、地震規模が著しく大きかったため、揺れを感じた地域も広大であった。震源から数百キロメートル離れた場所でも超高層ビルでは大きな揺れが観測された。大阪市は、地表での最大震度は3程度の揺れであったが、52階建ての大阪府咲洲庁舎では大きな揺れが10分間続き、最上階では片振幅最大約1mの揺れが観測され、エレベータの停止や閉じ込め事象が発生した。日本列島の広い範囲に、周期4秒や8秒の長周期地震動が伝播したことが、広範囲で高層ビルが大きく揺れた原因である。

東京都内の超高層ビルも、長い時間大きな揺れに見舞われた。だが、これらの揺れによって都内の60m超の高層ビルの構造躯体が損傷・破壊されたものは無く、高層ビルの安全性が確認された。しかし、すべてのビルのエレベータは止まり、少数の例ではあるが、人が閉じ込められたビルや、エレベータロープの絡まりや破損が認められたビルもあった。

東京都内にある筆者の職場には、7階建の免震棟と、耐震補強された6階建の建物がある。この二つの建物の揺れ方の違いは歴然としていた。2006年に完成した免震棟では、机の上のコーヒーカップも山積みになっていた書類の束も床に落ちることはなかった。一方、耐震改修した旧館では、研究室の書架にある本や書類はことごとく散乱した。最も被害が甚大だったのは図書室であった。いずれの建物も構造躯体に損傷はなかった。

2 災害の予知

地震による災害(震災)は、自然災害の中で最も

被害が甚大になる。戦後の自然災害の歴史の中で5千人を超える犠牲者を出した災害は、昭和34年(1959年)伊勢湾台風(死者・不明者約5,100人)、平成7年(1995年)阪神・淡路大震災(同6,400人)、平成23年(2011年)東日本大震災(同19,000人)である。これらは、自然現象としての台風や地震の規模が大きいためにその原因として考えられる。しかし、阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震の規模はM7.3である。この規模の地震は日本全体では毎年1回程度は発生しており、それほどまれな自然現象ではない。阪神・淡路大震災はM7.3の大地震が都市の直下で発生したことで大震災となったのである。このことは、災害の原因として、社会構造に起因するものの要素が大きいことを意味する。災害科学ではこれを災害素因という。これに対して、社会への外力として働く災害の原因を災害誘因と呼ぶ。地震による強い揺れや津波の高さは災害誘因である。

災害の素因を震災について更に分解してみよう。強い揺れや高い津波に影響される人口や建物棟数(曝露量)、建物や構造物の耐震性の少なさ(脆弱性)、発災後に社会が応急対応や復旧・復興を行う力(災害回復力)の欠如の三つである。災害回復力はレジリエンスと呼ばれることも多い。

災害素因である曝露量、社会の脆弱性とレジリエンスの欠如を克服するためには、将来の災害で何が起きるかを予め想像することが重要である。将来の災害時にどうなるかを想定することは、災害に備えるためには不可欠である。いわゆる災害の被害想定を国や自治体が行うのはこのためである。建物の耐震性を考慮した設計をするためには、揺れによる力を予測して、その力に耐えられる構造にする必要がある。一方、避難計画など人間・社会活動などでは、揺れの強さや津波の高さなどの定量的な情報も必要

であるが、「ふだんとは異なるとんでもないこと」が起きても冷静に避難行動を取れるように想像しておくことが重要となる。つまり、災害の姿を予め知っておくこと（災害の予知）が重要となる。理系の発想では定量的に将来を想像する（予測）ことが重要と考える場合が多いが、人間社会の災害を減らすには、定性的に想像することも意味する『災害予知』という概念が必要である。

3 防災と減災

災害に備えて、その発生を完全に防ぐことができれば理想的である。しかし、これは二つの観点から現実的でない。一つは、想定される災害の規模の予測には不確実性が伴い、予想を超える災害を起こす外力（災害誘因力）が発生することが避けられないからである。人間の知識では予測できない大きな力をもった自然現象が発生する確率はゼロにはなり得ない。もう一つの観点は、不確実な科学的な知識のもとに、極めてまれな現象に対して備えることは社会的な負荷が大きすぎるということである。めったに起きないことに莫大な予算をかけるのは現実的とは言えないであろう。合理的な負担（価格と時間）で効果的な予防策を講じるべきである。

事前の備えには、被害を出さないための抑止と、被害が出ても軽減するという両方の考え方が必要となる。予測できないことが起こるという前提で、壊れた後の対処が必要との考え方が広がり、抑止も緩和も復元も含めて『レジリエンス』と呼ばれるようになった。

4 回復力（レジリエンス）

災害を抑止するためには、建物の脆弱性を減じることが基本である。耐震、免振、制振などの方法によって建物を強靱にすることができる。構造躯体が損傷しないことは人命を守るために必須の条件となる。また、天井材や内装材の損傷や塗装の剥離などが起こらず、さらに什器が震災時にも転倒しないことが求められている。

東日本大震災時の高層ビルの被害調査によると、上層階で長時間揺れが続き、揺れに対する生理的、

心理的な影響が問題になった。ゆっくりとした長時間にわたる強い揺れが続き、船酔いのような状態になったり、恐怖心を抱いたりした人が少なからずいた。これらへの対策も必要となる。これはレジリエンスを増すために重要である。

レジリエンスは、回復する力だけでなく、予防する力をも合わせた総合的な防災力であり、発災後だけでなく、発災前から準備しておく必要がある。通常、予防する力とは、堅牢な構造物を造り、被害を抑止することを指している。しかし、予防には本来、意識啓発や避難計画作成なども含まれる。完全には防ぐことのできない災害からの復旧・復興には、人間の活力をいかに引き出すことができるか、発災後の時間の経過とともにどのように最適な復旧・復興計画を作って、復旧・復興にかかる時間を短くできるか、つまり如何にレジリエントな社会を作っているかが問われている。単に堅牢な建物を作るだけでは、我が国を襲う大規模な震災に対峙できない。

5 おわりに

我が国は地球上で最も地震の多い地域の一つである。これまで度々大震災を経験してきた。その教訓は、建物の設計や施工技術の改善に活かされてきている。大地震の発生は避ける事ができないが、それを大震災に結び付けない努力が必要である。大都市部では、今後ますます高層の建物が増えることが避けられない。都市部への人口の流入も当分の間は続くだろう。建築物や都市構造物をより安全にすることは社会の脆弱性を減じる基本である。免震技術はその中でも重要な手法としてさらに進化する必要がある。近代的な免震構造物ができてからまだ日が浅いこともあり、大災害に遭遇した経験は多くない。2011年東日本大震災では、被災地域に多くの免震・制震建物があり、それらの免震機能は維持され、その効果が十分に発揮された。しかし、今後予想される南海トラフ沿いで発生する巨大地震による長周期地震動の揺れの強さや継続時間は、2011年の震災時を上回ることが予想される。大振幅の長周期地震動に対しても建物の機能が維持できるだけでなく、人々に安心を与える免震建築物が期待される。