

1 長周期地震動に対する気象庁の取り組みへの期待

福和伸夫 名古屋大学減災連携研究センター

都市への人口集中や建設技術の進化により、構造物が長大化・大規模化している。一般に、弾性体や流体は支点間の距離が大きいほどその固有周期は長くなる。このため、高層ビルや長大橋の振動、大型タンク内の液体の動揺などは長周期の揺れに敏感である。建物高さや固有周期には比例関係があり、100mクラスで2~3秒、200mクラスで5~6秒の周期となる。最近では、短周期の揺れが卓越しやすい地震動との共振を避けて、敢えて構造物を長周期化させた免震のような構造物もある。

長大な大規模構造物の多くは人や物が集中する大都市に存在する。脊梁山脈に形作られた日本列島では、都市の立地に適す平地は大河川の河口に発達した大規模堆積平野に限られる。こういった場所では、基盤岩の深さ位置は1kmを超え、盆地状に堆積した地盤によって、特定の周期の揺れが増幅・伸長される。

関東平野の場合には、8~10秒、大阪平野は4~6秒、濃尾平野は3~5秒程度の揺れが卓越する。この周期域は、まさに高層建物の周期に対応し、地盤と構造物の共振が懸念される。この問題が露呈したのが、2003年十勝沖地震での苫小牧の石油タンクのスロッシングや、2011年東北地方太平洋沖地震での高層ビルの共振である。

十勝沖地震や東北地方太平洋沖地震のようにM8~9クラスの巨大地震では、長周期の揺れを長時間たっぷり放出する。長周期の揺れは距離が離れても減衰しにくく、遠地の大都市まで届きやすい。そして、大規模堆積平野内で揺れを増幅・伸長させる。この結果、震源域から離れた大都市で長周期長時間地震動が生成される。

高層建物は長周期長時間地震動が苦手である。中低層建物と異なって、建物が柔軟な故に上部構造の弾性変形が卓越し、地盤を変形させず地下逸散減衰を期待できない。このため、減衰が小さく、地震動の卓越周期と建物の固有周期が近接すると、長く続く長周期の揺れによって大きく共振増幅する。例えば、大阪府咲洲庁舎では、震源から700km以上も離れていたが、6.5秒程度の周期成分が、岩盤に比べ千倍も増幅し、往復3m弱も応答した。

初期の高層建物の設計では、地震動は短周期が卓越し、長周期構造物は柳に風と振る舞うと考えられていた。それ故、長周期長時間地震動への配慮は不十分だった。強震動に対する理解も乏しく、強震動予測手法も確立していなかった。このため、初期の強震観測で米国や国内で観測されたエル・セントロ地震動、タフト地震動、八戸地震動などの地震動が設計用地震動として用いられた。これらの地震動は共通して2秒の揺れの成分が少なかったため、初期の高層建物の多くは2秒の固有周期を持っている。

しかし、兵庫県南部地震を経験し、強震動予測の方法が確立され、模擬地震動が設計に使われるようになって2秒の谷間狙いは解消されるようになった。また、免震・制振技術が開発されたり、東海地震対策や十勝沖地震で長周期長時間地震動問題が顕在化したことで、21世紀以降の高層ビルでは、各種の減衰装置を設置した制振が採用されるようになった。

さらに、東北地方太平洋沖地震での高層建物の揺れを受けて、内閣府で最大クラスの南海トラフ地震に対して、長周期地震動評価が行われた。その揺れの振幅は、高層建物の設計で用いられていた従前の設計用地震動に比べ遙かに大きかったことから、2016年に、国土交通省は、「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」の通知を発出した。

その間、気象庁は、長周期地震動の揺れの尺度として長周期地震動階級を新設し、2013年から長周期地震動に関する観測情報の試行的提供を、気象庁のHP上で行うようになった。さらに、2007年から本格運用が始まった緊急地震速報に、長周期地震動の情報も付加すべく検討が行われている。

一方、この数年の地震で、新たな課題も現れた。一つは、2016年熊本地震のときに西原村で観測された大きな残留変位を伴う長周期パルスである。断層近傍の揺れには、フリグステップや指向性パルスの問題がある。フリグステップは、断層が地表に現れると生じやすく、断層変位に伴って大きく一方向に移動する現象である。建物は足元をすくわれるように揺れ、免震建物の免震層変形が問題になる。一方、指向性パルスは、兵庫県南部地震でも観測され、特徴的な周期の長周期パルスを生み出す。

もう一つは、高層ビル内の機能維持の問題である。2018年大阪府北部の地震では、66千台ものエレベータが停止し、300台を超える閉じ込めがあった。大阪府内の保有エレベータ数は76千台程度であることを考えると、エレベータが不可欠な高層建物では深刻な問題である。

昨年末、中央防災会議の作業部会で、南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)がまとめられた。南海トラフ地震に関する情報(臨時)が発表された場合にも、いつ起きるか分からない地震に対して社会機能を維持する必要がある。エレベータ停止を怖れ、高層建物は機能不全に陥るかもしれない。揺れに対する猶予時間を与えてくれる緊急地震速報の役割は大きい。臨時情報発令時にも、3大都市圏の高層建物内の企業が機能維持するには、長周期地震動の緊急地震速報が欠かせない。早期の導入が期待される所以である。