

超高層免震建物の安全性



京都大学

林 康裕

1 熊本地震を振り返って

熊本地震の震源域を襲った地震動は、継続時間の短い大振幅パルス性地震動である。周期的な繰り返しが少ないために、地震動の卓越周期と区別して、パルス周期 T_p と呼んでいる。地震動の卓越周期と呼ぶと、共振現象を想起させるからだ。共振現象は、地震動の卓越周期が建物の固有周期に一致したときに、揺れが徐々に増大していく現象である。従って、長周期長時間地震動に対しては、揺れが増大する前に揺れの成長を抑制するダンパーが有効となる。しかし、パルス性地震動に対して、ダンパーの効果は期待しにくい。建物の変形が一気に進行し、ダンパーが有効に作動する時間が極めて短いからだ。また、パルス性地震動が建物に及ぼす影響は、固有周期 T がパルス周期 T_p より長くなると、だるま落としのように、地面の動きに建物がついていけなくなる。 $T \ll T_p$ のときには建物にほとんど変形が生じないが、 $T_p \ll T$ になると地動変位とほぼ等しい変形が建物に生じる。建物の変形は、中低層の免震建物の場合には免震層に集中する。超高層免震建物の場合には、上部構造が耐震壁付きラーメンなど比較的剛な場合には免震層の変形が大きめとなり、上部構造が純ラーメンの場合には上部構造の変形も大きくなる場合がある。地動変位が免震クリアランスを超えれば、免震層の変形が大きくなって、擁壁衝突の危険性が高まる。

熊本地震において、熊本市内の地震動は、健全な耐震であっても大きな損傷なく十分に耐えられる程度の地震動であったと考えている。しかし、耐震であれば室内は大きく揺れたのに対して、免震なら大きく揺れを減らすことができた。いわば、免震にとって想定内の揺れであった。十分な性能を発揮したのは当然である。阿蘇の病院では、最大46cm免震層

が変形したが、病院機能の維持に免震が貢献したと報告されている。ただし、ここで注意が必要なことは、阿蘇カルデラ内の堆積層の卓越周期（約3秒）とパルス周期が合致し、継続時間が伸びているものの、阿蘇一の宮の地震観測記録や阿蘇大橋周辺の地表の亀裂や建物被害状況を見ても、地動変位自体は大きくなかったと推定される。つまり、大振幅のパルス性地震動であったとは考えにくい。しかし、西原村小森の強震観測点で、パルス周期 $T_p=3$ 秒、地動変位約2mの大振幅パルス性地震動が観測された。地表面に断層面のすべりが達したことで、マグニチュードの割にパルス周期が長くなったと考えられている。一般に、パルス周期が大きくなるにつれて、地動変位が大きくなる。観測点周辺の木造住宅に倒壊被害がほとんど見られなかったのは、 $T \ll T_p$ だったからであろう。もし、西原村小森の役場が免震建物だったとしたら、地動変位2mに相当する変形が免震層に生じ、擁壁に衝突した程度の被害ではすまなかったのではないだろうか。町役場が免震建物でなくて良かった、周辺に超高層免震建物が建ってなくて良かったとの感想を持ったのは私だけではないはずだ。熊本地震を踏まえても、免震建物の安全性に揺るぎない自信を持ち続けられているとしたら、自然に対するおごりとしか思えない。

2 大阪の超高層免震と上町断層帯地震

大阪に立地する高さ60m前後以上の超高層建物は約470棟にも及ぶ。その大部分が、大阪市中心部に集中している。建設は、1960年代から始まり、1995年以前に竣工した超高層はオフィスが多かったが、それ以降は伸び悩んでいる（図1）。これに対して、1980年代前半から建設されはじめた超高層マンションは、2010年頃まで増加傾向にあった。2010年

以降はやや減少しているものの、超高層マンションの建設割合が大きいことには変わりなく、大阪に建つ超高層建物の約半数(230棟以上)が、マンションである。免震は合計約100棟で超高層建物全体の約2割以上を占め、マンションでは全体の4割弱(約85棟)にのぼり、近年では非免震を上回っている(図2)。超高層免震マンションの多くは、大阪市中心部の上町断層帯直上に集中している。兵庫県南部地震以降、「上町断層帯の直上だから免震」とのキャッチフレーズで建設棟数をのばしてきた。

では、上町断層帯地震のパルス地震動特性はどうか。実には、2005～2006年度に実施された大阪府の地震被害予測で用いられた予測地震動のパルス速度振幅は、西原村小森で観測された地震動の最大1.5倍以上となっている。西原小森以上の大きなパルス性地震動が、超高層免震を襲う可能性が想定されている。予測されている地震動のパルス周期は、3～5秒である。パルス周期が3秒以上となっているのは地震規模が大きいため、熊本地震のように地表面に断層変位が現れることは考慮されていない。

予測地震動の精度は倍半分と揶揄されることもある。しかし、上町断層帯直上では、西原村小森の強震観測記録と同程度の地震動が襲っても不思議はないことを示した点で、観測記録のインパクトは極めて大きい。設計者から想定外であったとする言い訳を奪ったのである。筆者の考えは、「上町断層帯の直上だけは免震はやめて欲しい」である。極めて強い揺れだけでなく、1/100程度の地盤の傾斜も生ずる恐れもある。オフィスが大きく損傷を受ければ多くの仕事の間が失われ、マンションが被害を受ければ生活の間が失われる(図3)。もし、倒壊しようものなら、周辺の建物内や通行中の人々を含めて、多くの人命が失われ、設計者・技術者の信頼は失墜するだろう。

3 今後に向けて

兵庫県南部地震でも、中越地震でも、熊本地震でも、パルス周期3秒の大振幅パルス性地震動が、免震建物に入力したことはなかったと考えている。もちろん、地震後の建物の状態を見る限り、満足できる結果であったかもしれない。しかし、今後も無事であり続けるとは限らない。

誤解が無いように付け加えれば、建築基準法で想定している程度の地震動に対しては、免震は極めて優れた構造形式であると考えている。地面の揺れを

遮断し、建物の揺れや損傷を大きく低減できる。その一方で、免震は、振動性状も限界性能も極めて明快である。地震動が想定を大きく超えれば、確実に免震層の限界変形を超えてしまう。耐震に比べて冗長性は乏しい。擁壁衝突は、それほど問題とは考えていない。むしろ、擁壁に衝突して止まってくれるのであれば、想定を超えた地震動に対しては仕方ないと考えている。避けたいのは、免震層での鉛直支持能力の喪失(ひいては、倒壊)である。

大阪の現状を見れば、免震マンションはすでに主流となっている。免震のメリットを語り、推進していくべき時期は過ぎた。免震は、大振幅地震動に対する安全性向上を目指すべき時期に来ている。既に開発が進みつつあるが、免震装置が限界変形を超えても鉛直支持力を確保可能な機構や、免震装置が限界変形を飛躍的に増大する機構、などのフェールセーフ機構を、可能な限り低コストで実現し、既存の超高層免震建物にも設置されることを望みたい。

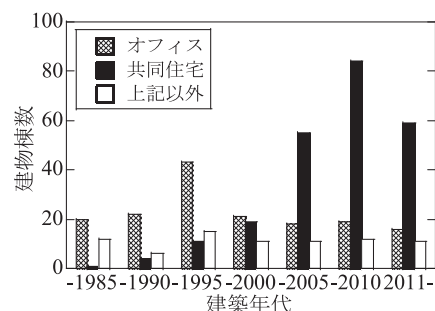


図1 用途別の棟数変遷

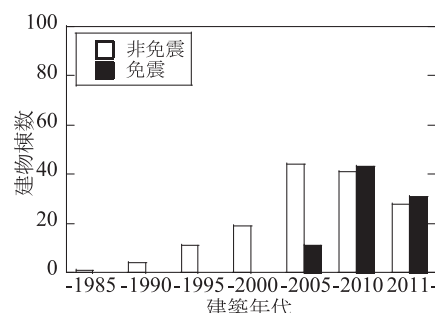


図2 共同住宅の棟数変遷

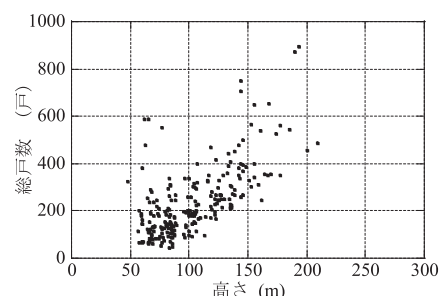


図3 マンションの高さと総戸数