

免震構造の基礎について

日本大学名誉教授 榎並 昭



免震構造を用いた建築は阪神淡路大震災を契機として急激に増大し、平成7年度はそれまでに建設された10年間の件数を上廻り、平成8年度は更に増大してますます盛んになっている。筆者は日本建築センターで、高層建築物の構造評定に27年間、基礎構造の評定に16年間にわたってたずさわってきたが、免震構造については興味を持って眺めてはいるが直接かかわった経験はない。したがってこの巻頭言を書くのは適当とは思えないし、これから述べる内容的な外れのものとなるのではと心配もあるが、永年にわたって基礎構造にたずさわってきた者として思いついたことを書いて見たい。

現在の構造設計では、地震力は地表面の位置GLに与えられ、これによって上部構造がどのように応答するかを算定するのが一般的な手法である。地下室の部分は周囲を地盤がとりまいていることから低減した入力を与えられる。免震構造ではアイソレータとも呼ばれる免震装置の下の部分、一般的には基礎スラブの位置に地域によって定められた大きさの地震力、例えば関東地方でのレベル1で25cm/sec、レベル2で50cm/secが入力される。免震装置の下側の基礎については、上部構造の応答が免震装置の位置に及ぼすものを外力として設計することが通常行われている。

上述のレベル1とかレベル2の地震動として与えられる入力は、上部構造がこの程度の地震動に対してそれぞれの想定される支持力や変形性能をもつようにするという約束事だと解釈すれば一応納得が得られるが、基礎構造でもそれでよいかという種々の問題が考えられるのである。地震動は震源からの距離によって変化することはもち論であるが、隣接したほとんど同じ位置でも地盤の条件が違えば変化する。阪神淡路の大震災の際にも、同じ敷地に建設された同じようなアパート群で、基礎地盤を地盤改良して強化した一棟は無被害、地盤改良しなかった他の棟はすべて被害を受けた例があり、地盤の状態によって地震動というか、地盤そのものの応答が異なるのである。また杭基礎では、杭に加わる力は通常的设计で行われている上部構造の

応答によるものだけではなく、地震動による地盤の変形による力もあって、これが無視できないものであることが、上述の震災で示されている。たとえば、杭の施工が終わって上部構造がまだ施工されていない状態の建設中の建物が地震に遭遇して、杭が地中の深い位置で破壊した例がある。上部構造による軸方向圧縮力がない状態であったため、反って杭体に対する荷重条件が悪かったという面もあったかと思われるが、地盤の振動によっても杭が破壊することが示されたといえる。

免震構造の場合は、上部構造の応答が免震装置のない場合より小さくなるから、地盤振動による杭への外力の割合が相対的に大きくなることが考えられる。

震災の後で、杭頭が破壊した建物に対して、杭の破壊のために免震効果が生じて上部構造へ伝達される地震力が減少し、上部構造の被害が小さくなったということが話し合われた。

大地震の際には人命が助かれれば構造体はある程度破壊しても仕方がないという設計思想から考えればもったいな話であろう。しかしながら上部構造が健全か、若干の補修で使用できる状態にあるとき、継続して使用したいというオーナーの希望があった場合に、破壊した基礎を修復するのは大変なことである。

杭頭の破壊の修復や補強の場合も、外周の基礎については比較的簡単であっても、内側の基礎では破壊しているかどうかの調査からして困難である。補修や補強も多大の費用と困難な施工が必要となる。杭の深い位置が破壊している場合は、その調査と補修は極めて困難になる。

免震構造は、建築基準法施行令でいう第1種と第2種の地盤上でなければ原則として建設できないことになっている。しかし、例えば液状化する地盤について考えて見れば、地震動の大きさが大きくなると、以前の常識では液状化が生じないと思われた地盤で液状化が見られるようになっている。筆者はテルツァギーとベックの“Soil Mechanics in Engineering Practice, 1948”を翻訳する機会を得て、その中に振動による砂

の液状化の記述があることは認識していたが、実際の地震で液状化がおり、建築物に大きな被害を与えた1964年の新潟地震の調査に行き現地を見るまで、あのような重大な現象だとは思っていなかった。地震の後で液状化を生じた砂地盤の調査が行われて、液状化を生じる条件が示されたが、それは地表面加速度 160cm/sec^2 に対するものであった。その後地表面加速度がはるかに大きい地震がおこると、新潟地震の結果からは液状化の生じないと思われた土質条件の地盤で液状化がおこっている。埋立て地盤であっても、ある程度の粘着力をもち粒径の大きい花崗岩の風化土である真砂土が液状化し、噴砂現象を生じているのが見られている。埋立てのゆるい地盤ではないが、真砂土地盤は第2種の地盤に属するものである。

液状化がおこればせん断波(横波)は伝えないで疎密波(縦波)だけしか伝わらないから、上部構造への水平動入力が増大しないで一種の免震効果が発揮されることになるが、このような地盤条件の場合に用いられる杭は片持ち梁の状態になって、液状化しない層との境界の深さに大きな曲げモーメントを生じて破壊することが考えられる。これは地上ではわからないことであり、上部構造に特別の損傷がなければ調査も行われないことになる。しかし支持杭としての安全性が低下していることは明らかである。上部構造が免震構造であっても、液状化の可能性のある砂質土地盤や軟弱粘性土地盤上に建設する場合には、単に杭基礎とするだけでなく、杭周の地盤を改良して強化するとか、堅硬な支持地盤に直接支持され十分な強度と剛性をもった地中連続壁のような基礎構造を造成するなどの処置をとることが必要であると思われる。

耐震設計で問題となるのはスウェーとロッキングで両者は同時に起こるが、現在の免震装置の多くがスウェー、つまりせん断変形に対してせん断力を伝達しないことを主眼にして造られているようである。ロッキングに対しては浮き上がりを生じない程度のプロポーションの構造とすることに制限しているようである。

通常の建築物の場合、杭基礎であれば杭の引抜き抵抗で浮き上がりによる引張力に抵抗させることで設計上あまり問題にならないが、直接基礎では浮き上がりが問題になって、接地率がどの位までなら許されるのかというような相談を受けることが多い。実際のところ接地率いくらなら良いなどということは答えようがないので困ってしまうのである。免震構造では免震装置がロッキングに対して杭のような作用をするわけで、引張力に対して耐力と復元力をもつものを使用できれば浮き上がりに対する制限が解除されることになり、免震構造の適用範囲が広がることになる。

かつて新耐震設計法が検討されていた頃、基礎構造は地盤の性状が複雑で上部構造のようにはいかないとして、新耐震のシステムに乗り遅れたことを今でも残念に思っている者であるが、近い将来、性能保証設計が実現するのであれば、上部構造と共に杭や地盤を含めた基礎構造を一体とした非線形の連成体として、その下に地震力を入力するような形の解析が行われることを望みたい。そうすれば基礎構造(地盤も含めた)も含めた免震構造が成立し、より実際に近い解析と設計が可能になり、文字通りの性能保証設計に近づくであろう。

免震構造の機関誌の巻頭言としてこの稿を書くにつれて次第に脱線した内容となってきたように思える。あるいは始めから脱線していたのかも知れないが、基礎屋のたわ言としてお許し願いたい。