

## 沖縄で耐震技術について思うこと



琉球大学

山川 哲雄

### はじめに

筆者は亜熱帯島嶼地域に位置する日本最南端の沖縄で教育と研究に従事している。沖縄の冬は温暖で、教育と研究を施すには恵まれた自然環境下にある。しかも、昨今のIT技術の進歩や航空機の発達で、なにかにつけて不便な離島という感覚を忘れるほど本土と一体化している。必要な情報もインターネットのおかげで瞬時に入手でき、日本各地や外国にも容易に足を運ぶことが可能である。その中で、沖縄振興策の目玉の一つとして、2012年頃に沖縄に生命科学などを核とする最先端の大学院大学を開設するための準備が徐々に始まっている。このように、のんびりした情景が浮かぶような離島でありながら、一方では都心並みの街に変貌しつつある昨今の沖縄である。

### 地震地域係数

ご承知のように、沖縄は地震地域係数が日本で一番低い0.7である。東京、大阪に比較すれば30%も低い設計用地震力を採用できる。というと、沖縄は地震が日本で最も少なく、万一起きてもその地震動は小さいと思われがちである。はたして、そうだろうか。沖縄県に隣接する奄美諸島の地震地域係数は1.0である。もっとも、これには奄美大島近海での活発な過去の地震活動に加えて、その付近で1911年発生した琉球弧最大の地震「喜界島近海地震」(M=8.0：仮称)の影響も大きいといわれている。しかし、地震地域係数が1.0の鹿児島県・与論島と0.7の沖縄本島の北端・辺戸岬は、わずか20km程度の隔たりしかない。この程度のわずかな隔たりでも、行政県が異なるだけで地震地域係数が0.3も異なるのである。また、1981年に施行された新耐震設計法の原案では、沖縄県の地震地域係数は福岡県と同じ0.8であったらしい。しかし、第2次世界大戦後も、設計震

度0.1(地震地域係数で0.5相当)が採用されてきた沖縄では、経済的な問題や現行の基準との整合性(増築や改築で矛盾をきたす)などを考慮して0.7に設定されたと聞き及んでいる。したがって、沖縄に地震が少ないわけではない。県庁がある沖縄本島では第2次世界大戦以後、震度階4以上の地震こそ経験していないが、沖縄周辺では地震が多く、特に台湾に近い石垣島、西表島、与那国島などは震度階5の地震を幾度も経験している。しかも、この地域は1771年「八重山地震津波」(M=7.4)を経験し、1万人前後の人が亡くなっている。このように小さな島々からなり、四方海に囲まれた沖縄県は津波にも要注意である。沖縄県はフィリピン海プレートの西縁にある南西諸島海溝(琉球海溝)に沿って飛び石のように連なっているため、大地震が発生する可能性は高いといわれている。しかも、沖縄県の行政区域は九州をすっぽり包み込むほど広く、その中には南・北大東島のようにプレート境界や琉球列島からはなれた孤島を太平洋にぽつんと形成し、それぞれ地震地域係数が0.7でも大きすぎるくらいの地域もある。このように広大な海に囲まれ、しかも地震活動度も異なる広い行政区域を有する沖縄県で、地震地域係数が0.7と低いことに加えて、沖縄全県同じ係数であることにも問題があろうと思われる。

### ピロティ建築は恐怖の免震構造

そのような沖縄では、亜熱帯島嶼地域に起因する高温・高湿の気候条件、大量輸送機関の欠如に伴う車社会、土地の狭小さからピロティ建築物が好まれる。しかし、このようなピロティ建築物は過去の地震被害から地震に弱い建築物として広く認知され、阪神・淡路大震災以後ピロティ建築物にはペナルティが強化され、剛性率による必要保有水平耐力の割り増しが図られた。それにもかかわらず、上記の理

由から沖縄ではピロティ建築物の建設が盛んである。これを後押ししているのが前述の地震地域係数0.7であると筆者は考えている。筆者がかってタイ国を訪れたとき、その内陸部で4-5階建てのRC造宿舎に目を見張った。それは、その建物の1階が駐車場として、壁のない完全ピロティ建築物であった上に、そのRC柱があまりにも細かったからである。なんと、柱幅やせいが筆者の手のひら分しかなかった。それは22-23cmであり、筆者らが標準RC柱として通常行っている加力実験用柱試験体の25cm断面幅やせいより小さかったことを鮮明に思い出す。地震も台風もない重力だけの地域ではこんなに細い柱でも許容できるのかと。この事実を沖縄のピロティに重ね合わせると、沖縄のピロティ柱の断面サイズは少なくともタイ国の2倍程度はあるが、本土のそれと比較するとやはり細い傾向にあることは否めない。地震地域係数0.7の影響が柱の断面サイズにも影響を与えているようである。そのほかにも壁にブロックを多用しているにも拘わらず、その剛性や強度を無視し、純ラーメンに近い計算も広く行われているのではないかと推定される。いずれにしても沖縄にはピロティ建築物が多く、しかも1階ピロティ部に壁が一切配置されていない柱だけからなる完全ピロティ建築物が極めて多い。このような完全ピロティ建築物は恐怖の免震構造物といっても過言ではないであろう。すなわち、1階ピロティ部に变形が集中し、上部構造の水平変位が剛体移動で主に支配されることになる。一方、免震構造では免震装置を取り付けた層に変形が集中し、その上部層が同様に剛体水平移動で支配されることを考えると、ピロティ建築物も1種の免震構造物と言えないこともない。しかし、ピロティの場合は1階ピロティ部に变形制御機構やダンパーなどが無いので、応答を制御することができない。そのため、1階ピロティ部に地震で水平変形が集中し、そこに大きな損傷をきたすことになる。上部構造それ自身の損傷は免れたとしても、床が傾いたり、落階するので、それは恐怖の免震構造であることにかわりない。その点では建物の応答加速度をアイソレータで減少させ、かつ応答変位をダンパーで減少させることにより、合理的に応答が制御設計された免震構造は優れたものである。その免震装置をピロティ建築に組み込み、地震に対して安全で、快適なピロティ建築が耐震補強(免震レトロフィット)および新築の両方に具現化されてきた。これは、

恐怖の免震構造であるピロティ建築を免震技術で克服しようとする新しい試みでもある。地震が活動期に入り、頻繁に起こるようであれば、耐震安全性に優れた免震構造の優位性はますます際立ってくる。

## 福岡県西方沖地震の教訓 その1

その免震構造物がこの沖縄でも散見されるようになった。IT施設関係や病院関係の建物に採用されているようである。ただ、本土と異なり、沖縄の場合は強烈な台風が毎年のように襲ってくる。免震装置の設置に伴い建物の水平剛性が大幅に減少すると、台風時には強風で建物が揺れやすくなるのではないかという危惧がないこともないが、さらに、長周期成分が卓越した地震動やレイリー波など周期の長い表面波に襲われた場合の共振現象にも心配がないわけではない。一方、本土で最も地震地域係数が0.8と小さい福岡県では、2005年3月20日に「福岡県西方沖地震」(M=7.0)が発生し、免震工法を採用した新築の大病院で、ダンパー取り付け部が破損した。破損箇所は全体の10%程度で大きな問題ではないが、警鐘を与えることになった。アイソレータやダンパー部の水平変形は、部材角で50% (1/2 rad)、いや100% (1 rad) ? の大変形である。これでは、P-Δ効果に伴う不安定現象が起きはしないかと心配である。大地震動時でも1% (1/100 rad) 前後の部材角レベルが問題となる柱部材とは異なり、大変形に伴いダンパー部材が伸び、ダンパー定着部に引張力がもろに作用することになる。微小変形の世界ではありえないこのような引張力は、同時に復元力の役割をはたしている。しかし、これは有限変形ともいべき大変形の世界で生じた現象であり、十分剛強な定着設計が望まれる。これも「福岡県西方沖地震」が免震構造物にプレゼントしてくれた教訓であろう。

## 福岡県西方沖地震の教訓 その2

ピロティ建築は免震層に相当する1階ピロティ部が真っ先に倒壊・崩壊し、建物全体に致命的な損傷を引き起こすが、免震構造物はその免震層で破損することは許されないことである。その「福岡県西方沖地震」でも都心部の古い5階建てのピロティ建築物(1966年の設計)が、1995年の阪神・淡路大震災の例を引き出すまでもなく、やはり大破している。一方、中高層ビルの一部は2次部材やガラス窓の損傷

が注目を集めたが、柱、梁などの主要構造要素の損傷はほとんど見られない。このような2次部材の損傷は、「1978年宮城県沖地震」(M=7.4)でもすでに経験したことではあるが。耐震性能が確実に向上したからこそ、これらの主要部材の変形に追従できず、あるいはそのような配慮が欠落していたので、それらは壊れるべくして壊れたのだと考えられる。逆説的に言えば、耐震性能が悪ければ2次部材などが損傷する前に主要構造体が崩壊し、それらの損傷は見られなかったはずである。すなわち、このことは耐震設計技術、すなわち耐震性能が確実に向上した証でもあると理解することも可能であろう。このような2次部材などの損傷は医学の進歩で人間の寿命が延びたからこそ、がんや心臓病などの成人病が注目されるようになったことと同じようなものであると見なすこともできよう。

### おわりに

大地震動に対しては鉛直荷重の安定な支持条件を前提に、水平荷重による合理的な損傷を構造体に起こし、エネルギーを吸収することで建物の耐震安全性を確保する伝統的な耐震設計法に対して、最近では建築物の地震時の応答を人為的に制御して建物本体の損傷を防ぎ、かつ家具の転倒、揺れなどを極力小さくおさえ、かつ安全性を十分確保可能な免震設計法や制振設計法も盛んになってきた。自然のシェイキング・テーブル(振動台というより震動台)と言っても過言ではない琉球弧を含む日本列島が、地震の活動期に入ったとはいえ、再現期間が長い大地震を相手にその防災・減災を考えた場合、どの設計法を選択するのが適切かは経済面の要素もあり、答えはまだ容易ではない。しかし、最近マスコミをにぎわしている耐震偽装問題が一般の人をして耐震構造に関心を引き起こすとともに、耐震技術が地震災害を教訓に、そのつど確実に進歩していることは歓迎すべきことである。