

大振幅地震動への対策について私が取り組んでいること



若 者

畑 中 祐 紀*

My research on countermeasures against extreme ground motion

Key Words : Extreme ground motion, Seismically isolated building, Fail-safe

はじめに

ビデオテープによる記憶ではなく、確かに私自身が覚えている一番古い記憶は1995年の兵庫県南部地震です。当時住んでいたアパートに大きな被害はなかったようですが、食器棚が激しく振動していたこと、両親とたまたま泊まりに来ていた祖母が慌てていたことを覚えています。そのような経験があったためか、小さい時から何となく建築構造に関心があり、2011年に建築工学コースのある大阪大学工学部地球総合工学科に入学しました。地球総合工学科は船舶海洋・社会基盤・建築の3分野から構成されている学科ですが、入学当初から建築、とくに建築構造の道に進みたいと考えていました。もともと建築構造に関心はあったのですが、入学前の3月に東北地方太平洋沖地震が発生して、耐震を強く意識する機会が多かったことも理由です。

卒業論文から博士論文までは、制振構造や免震構造に適用する鋼材ダンパーの開発に携わりました。そのこともあって、私の関心はダンパーなど振動を制御する耐震技術に向いていきました。そこで本稿では、私が現在研究している耐震技術、その中でも免震構造用フェイルセーフ機構の技術を中心に紹介していきたいと思います。なお、専門外の方が読まれることを想定して、平易な表現としています。表現には厳密さを欠いていることをあらかじめご容赦

ください。

免震構造と大振幅地震動

まず本稿におけるキーワードである「免震構造」と「大振幅地震動」について簡単に説明したいと思います。

免震構造は、基礎位置や建物の中間階などに免震層を設けて、免震層より上の上部構造を地震動の水平成分から絶縁しようとする構造¹⁾です。「絶縁しようとする」とは、免震層の低い剛性により建物を長周期化することです(式(1)の K を小さくして T を伸ばすこと)。

$$T = 2\pi\sqrt{M/K} \quad (1)$$

ここで、 T :固有周期、 M :質量、 K :剛性となります。免震構造は地震時に上部構造に生じる応答加速度をかなり低減することができます。一方で、免震層の応答変位は大きくなります。建物により千差万別ですが、だいたいイメージとして、大地震時には免震層が400mmほど変位するように設計されます。さらに安全を見て、免震層の周りに600mmほどのクリアランスが設けられています。

このような免震構造は、1995年の兵庫県南部地震から本格的に普及して、2000年以降に頻発した短周期成分を多く含む内陸型地震によってその効果が明らかにされてきました²⁾。しかし、2011年の東北地方太平洋沖地震のような長周期長時間地震動が発生すると、長周期構造物である免震構造の安全性が疑問視されるようになりました。実際、2016年の熊本地震では設計想定を超える過大な応答変位(460mm)を生じた免震建物もありました。

想定されている長周期地震動として、図1に2016年に国土交通省より公表された南海トラフ沿いの巨大地震による大阪圏の擬似速度応答スペクト



* Yuki HATANAKA

1992年2月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻博士後期課程(2020年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 建築工学コース鉄骨系構造学領域 助教 博士(工学)
専門/建築構造
TEL: 06-6879-7653
E-mail: hatanaka@arch.eng.osaka-u.ac.jp

ル³⁾を示します。ざっくりした表現で恐縮ですが、縦軸の pSv が大きいほど地震動のレベルが大きいということになります。グラフの線色は、地図上の色分け区域と一致しています。また黒線は、現行の設計で想定されている大地震のレベルを示しています（以下、これを告示波と呼びます）。図1より、周期4秒以上の長周期帯では、区域によっては告示波の1.5倍、2.0倍の地震動のレベルを想定していることが分かります。このように南海トラフ地震や直下型地震など、従来の設計外力を超えた地震動を「大振幅地震動」と呼びます²⁾。

大振幅地震動が免震建物に入力された場合は、免震層に大きな変位が生じて、前述したクリアランスを超えて擁壁へ衝突する可能性があります。その場合、免震建物にはかなりの被害が生じます。免震建物は想定内の地震動では優秀な性能を発揮するのですが、想定外の地震動に対してはさまざまな被害をもたらすこともあり、文献²⁾は「使い方を誤ると事態を逆に悪くする…諸刃の剣の技術」と評しています。

最近では、免震構造に大振幅地震動が入力された場合においても安全余裕度が確保できるような対策が求められており、私はこの対策技術を研究しております。

免震構造の大振幅地震動への対策

免震構造の大振幅地震動への対策としては、免震層へフェイルセーフ機構を設置することが考えられます。ここでいうフェイルセーフとは、免震層の過大変位（異常事態）を防ぐという意味を持たせています。このフェイルセーフ機構は中小地震動のレベルでは作動しませんが、特定の変位を超えると作動し剛性が発現することで免震層の過大な変位を抑制します。図2には OS1 が入力されたときの免震層の層せん断力と変位の関係を示しています。図2のように、フェイルセーフ機構により変位がクリアランス以下に抑えられていることが分かります。しかし、急激な剛性変化を伴うため、上部構造には多少なりとも悪影響があります。ここでは、免震層がクリアランス以上に変位する悪影響よりも、フェイルセーフ機構の剛性変化による悪影響の方が許容できるという考えをします。以上の説明は、車の急ブレーキを想像するのが分かりやすいかと思います。

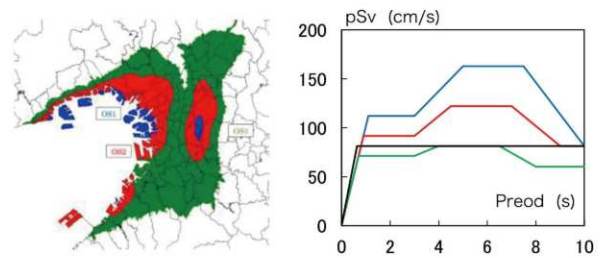


図1 大阪圏の擬似速度応答スペクトル³⁾

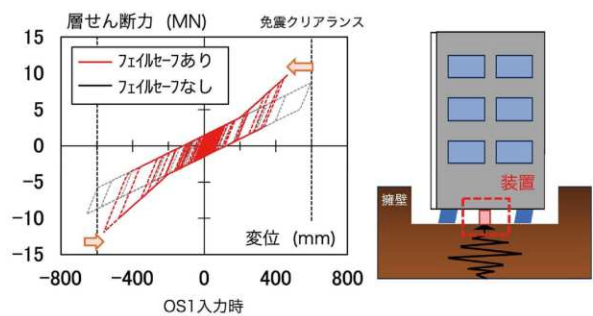


図2 フェイルセーフ機構の概要

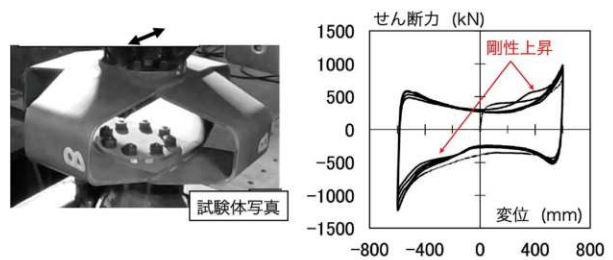


図3 デバイスの実験

このようなフェイルセーフ機構として、私らが開発したデバイスのひとつを紹介します（図3左図）。このデバイスは、鋼板を曲げ加工し、それぞれの鋼板を重ねて構成されたものです。鋼板を冷間曲げ加工しているだけですので、コストを抑えて製造することが可能です。また、鋼材のみで構成されたパッシブなデバイス（電源設備などを必要としない）ですので、作動安定性も高いです。簡易なデバイスですが、その曲げ方（鋼板の形状）によって剛性の発現具合（図3右図）やデバイスそのものの疲労特性が大きく違ってきます。そのため、以下のような課題があります。

- 1) 剛性の発現具合が免震層の変位低減にどの程度有効であるか、また上部構造への悪影響はどの程度であるか
- 2) デバイスが、大振幅地震動に耐えるだけの十分な疲労特性を有しているか

現在、数値シミュレーションや、デバイスへの水平加力実験により、上記の点を検討しています。また地震入力エネルギーの時々刻々の変化を分析して、地震入力エネルギーと履歴吸収エネルギーの釣り合いを考慮するような理論的な検討も行っており、複数の視点からフェイルセーフ機構の有効性を示すことを目指しています。

おわりに

本稿では、免震構造の「大振幅地震動対策」に話を限って執筆しました。紙面の都合で書ききれませんでした。紹介したフェイルセーフ機構以外にも新しいデバイスの開発をすすめています。

想定する地震動レベルが上っていく中、安全な耐

震技術の普及に少しでも貢献できるように、引き続き研究に励んでいきたいと思っております。

末筆となりましたが、貴重な執筆の機会をくださいました桑原進教授、「生産と技術」の皆様にご感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：免震構造設計指針，2013.10
- 2) 日本建築学会：大振幅地震動に対する免震構造の設計，2020.11
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課：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試案について，2016.6



モズ