

技術者からの視点

●第11回●

砂上の楼閣

藍野大学非常勤講師 木下 親郎

耐震性能の検討に必要な 構造物全体の固有周期

日本の耐震設計技術は、法隆寺の五重塔の時代まで遡ることができるが、一九二三年の関東大震災の直後の建築物耐震設計基準で世界中から注目され、その伝統は今でも続いている。地震の研究においても、大森房吉東大教授による大森式地震計をはじめとして、日本が世界の地震研究の中心の一つになっている。我々が約五〇年前に大型アンテナの設計を行ったときには、当時の建築基準法を適用し、地震により水平方向に静的な力が加わるという想定で耐震強度を確かめた。さらに、カリフォルニア州エルチエントロ大地震の観測データを用いた動的耐震強度計算も行った。

耐震性能の動的検討を行う際には構造物全体の固有周期が問題になる。固有周期は構造物が地震や強風などによって揺れが発生したときに、揺れが一往復する時間であり構造物によりその数値が異なる。二〇階程度の鉄筋コンクリート建築では固有周期は二秒程度になる。高層になるとさらに長くなる。構造物の固有周期と地震波の周期が重なり共振して被害が大きくなる。耐震設計を行った高層建築は地震や強風によって壊れることはないが、ゆっくりと揺れる。揺れを少なくするために免震とか制震対策がとられる。

固有周期は、ロボットのようには、命令されたとおりに精度良く動かねばならない自動制御機械にとっても重要な設計値である。自動制御機械には地震や風など、外部から機械の動きを乱そうとする力（外乱）が働く。自動制御機械の設計では命令を与える周期や、外乱の加わる周期よりも機械の固有周期を小さくするのが一般的な設計方法である。釣竿のように細長い、固有周期の大きい棒を考えてみよう。この棒で、小さい周期で早く動く目標に追従するのは難しい。急に突風（外乱）が吹くと棒を操るのがさらに難しくなる。これは、棒の固有周期が目標の動きや外乱変動の周期よりも大きいからである。

大型アンテナの設計には 厳しい精度が求められる

望遠鏡やアンテナは、天体、人工衛星、航空機などを高い精度で追いかける自動制御機械であるから、固有周期が大切な設計値になる。直径が二〇メートルを超す大型アンテナは、大きな基礎の上に据え付けられるので、基礎とその下の地盤を含めたシステム全体の固有周期を一秒以下にする必要がある。アンテナ設計では、一般的に、自動制御系が要求する固有周期のほうが、耐震設計が要求する数値よりも厳しい条件になる。

我々が大型アンテナの設計を始めたころは、機械を据え付ける建物は建築、そして地

面から下の基礎と地盤は土木というように仕分けて設計・施工を行い、出来上がった建物の上に機械を据え付けるといのが一般的な考え方であった。しかし、アンテナや望遠鏡の精度が厳しくなると、地盤がシステム全体の固有周期に大きな影響を与えるようになってきた。システム設計には、土木・建築の専門家が必要となり、機械と土木・建築の設計が「不可分」になった。

悪条件を克服して学んだ 新たな設計手法

不思議なことに、我々のアンテナが据え付けられる衛星通信地球局の多くが常識はずれの地盤を持っていた。シドニーの北約六〇〇キロメートルにあるブラックスソイルという特殊な土壌の上に設置されたオーストラリアの地球局が一つの例である。そこは標高二〇〇メートルの肥沃な地帯で、町の近くに小さな川があった。その川は大河に合流し約一六〇キロメートルを流れて南オーストラリア州のアデレードの近くで海に出る。平均すると一〇メートル流れて一ミリ下がるという川である。ブラックスソイルは水分をたっぷり含む地下水位の変動に伴い地盤が動き回るといふ地質である。我々はオーストラリアの地質学者と相談して、地盤変動の影響を排除し、かつ必要な固有周期を与える基礎の設計を行い応じた。残念ながら失注したが、悪い地

盤条件での新しい設計手法を学ぶことができた。

次の入札で、西オーストラリア州カーノーボンに据え付けるアンテナを受注した。今度はオーストラリア砂漠の西端で、五〇〇メートル掘っても砂という、文字通り「砂上に楼閣をつくる」プロジェクトであった。地質学を専門とするオーストラリア人コンサルタントを起用し、我々の設計技術者が常駐して工事を行い、砂を固めて十分な剛性を持つ地盤を作り三〇メートルのアンテナを据え付けた。

英国の地球局用アンテナでは誇り高き英国の土木技術者を驚かせた。英国には碁盤の目のように国内を細分した地質データベースがあり、英国の土木工事はその資料に基づいて行のが普通であった。アンテナ設置場所のすぐ近くのデータも存在したが、コンサルタントと検討し、地盤掘削試験による実際の数値を使ってシステム設計を行う必要があると客先を説得した。実際に掘削してみると、その場所はたまたま隠れた氷河の谷にあたり、岩盤は推測されるよりもはるかに深いところにあった。英国のデータベースにも抜けがあるという話題を提供したのである。

細分化された領域の 英知を束ねる技術者が必要

このように大型アンテナの開発では、文字通り「基礎が大切」になり、そのため機械と

土木・建築との融合が必要であったが、最近の先端技術製品開発では、細分化された領域の専門家による学際的・領域横断的な産官学連携が普通になっている。壮大な開発プロジェクトを「砂上の楼閣」に終わらせないためには、これら専門家の英知を束ねる技術者が必要になり、その人材を選ぶのは管理者の楽しみな難題であろう。一つの学部を終えてから、異なる学部あるいは他大学の修士課程に進んだ技術者も増えているし、また頭をひねらねばならない名称を持つ学科が多くなっている。最終学歴から技術者の能力を推測することは難しくなっている。しかし、「基礎的な知識」に習熟しているのが求められる人材の要件の一つであると考ええる。

