

# 社会を支える基盤を守る

## 土木工学専攻 佐々木 栄一 研究室

佐々木 栄一 准教授 1973年熊本県生まれ。1998年東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻博士課程中退、同助手。博士（工学）。2011年より、東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻准教授。



佐々木研究室では、インフラストラクチャの安全性を高める研究が行われている。インフラストラクチャは市民の生活に最も身近な設備や構造物であり、高い安全性と利便性が求められる。先生は、ただ安全性を高めることだけでなく、センサーを利用して新たな問題点を発見する方法の模索や、費用の削減など研究している技術がより早く社会に浸透するための改良も行なっている。

### 佐々木研究室とインフラストラクチャ

日本は地震や台風など、自然災害に見舞われる頻度が非常に高い国である。そんな日本において地震などの大災害が発生したとき、何よりもまず復旧が急がれるのは、道路や水道、電気、ガスなどのライフラインである。なぜなら私たちの生活は、これらの設備の上に成り立っているからだ。このように、社会の生活基盤と経済・産業基盤を形成するものの総称を、一般的にインフラストラクチャ（以下、インフラとする）と呼ぶ。この中でも、佐々木研究室では特に橋や道路などのインフラについての研究を行なっている。

2012年12月の笹子トンネル天井板落下事故以降、トンネルの安全性についての話題が関心を集めている。この事故について軽く説明しておこう。事故現場となった笹子トンネルは山梨県大月市笹子町に位置する、1975年に完成した中央自動車道のトンネルである。このトンネルは劣化が進

んでいたにもかかわらず、ずさんな点検によってその危険性が見逃されていた。その結果トンネルの天井板が崩落し、死者9名、重軽傷者2名という惨事が引き起こされてしまったのである。この事故の最大の原因は、トンネルの経年劣化に気付かなかったことである。

しかし、構造物が古いからといって必ずしも壊れやすいというわけではない。先生は以前、80年前に作られた鉄道橋の強度評価を行なったことがあるが、このとき計測した部分の強度はまったく問題がなかった。この例のように、構造物の強度は設計当時の状況や置かれていた環境にも左右される。よって、古いという要素だけで強度に問題があると決めてしまうような一面的な見方では正しい強度評価はできない。

そこで佐々木研究室では、インフラの安全性を的確に評価し、さらに高めていくため、インフラへの多角的なアプローチを模索している。そのため研究室では、構造挙動・破壊制御・点検・環境

発電の4つにグループを分け、研究を行なっている。これらの詳しい研究内容については、ここから説明していこう。

## 4つの研究分野

### ■ 構造挙動

構造物を造るときには、それを実際に利用した際に、加えられた力に対して構造物がどう動くのかを考えることが重要である。しかし、必ずしも予想と実際に起こる挙動が一致するとは限らない。よって、構造物に風や車などの大きな力がかかったときの動きが予想通りかどうかを確かめる必要がある。そこで構造挙動を研究しているグループでは、構造物の動きを捉えるセンサーの取り付け方や、得られたデータの解析法などの研究を行なっている。

構造物の挙動データを取る際、闇雲に行うのはあまりにも非効率的である。構造物に限らずセンサーを取り付ければ費用がかかりすぎる上に、大量のデータに重要なデータが埋もれてしまうかもしれない。そこで、佐々木研究室では新しい着眼点からデータ解析を行うことにした。

従来では、アウトプットのデータ、すなわち構造物がどう動くのかという点だけに着目して解析を行っていた。そこで佐々木研究室では、それだけでなくインプット、すなわち力がどこからどのくらい伝わっているのかということも考慮してデータ解析を行うことにした。これは、平時の構造物の挙動からインプットとアウトプットの対応関係を把握しておくということである。これにより、作用した力に耐え切れなくなった構造物に発生した破損を、二者間の関係性の異常という形で発見することができるようになる。つまり、この方法を使えば今までは見過ごしていた破損も発見できるということである。佐々木研究室はこのインプットのデータが重要であると考え、研究課題のひとつとしている。

例えば、センサーを取り付けていた橋に地震などが発生し、支承と呼ばれる部分が壊れたとしよう(図1)。この部分が破壊される場合、橋全体に

は非常に大きな力がかかっており、その他の部分も壊されている可能性が高い。しかし、支承は橋全体を支えている部分であり、ここが壊れたときの損傷データは非常に大きい。ゆえに、同時に発生した他の細かい部分の損傷データが支承の損傷データに上書きされてしまう。このときアウトプット側のデータしか取っていないと、同時に細かい部分の破損が起きているかどうかはわからない。しかし、インプット側のデータも観測していると、支承が壊れたことによるデータの変化を全体のデータから取り除くことができるので、他の部分の破損も見つけられるようになる。このように、インプット側のデータも観測することにより、さらに細かいデータ分析が可能となる。

### ■ 破壊制御

構造物の破壊は、構造物において最も避けなければならないことである。そして、構造物が破壊される際のデータというのは、それを避ける上で重要なもののひとつである。破壊制御を研究しているグループでは、構造物が破壊された場合の原因究明や撤去される構造物の残存強度の計測などを行う。そしてそのデータを利用し、構造機材の破壊メカニズム、および構造物の破壊に対する今後の対策について研究している。

強度評価の実例としては、先ほど触れた80年ほど前から使われていた橋がある。この橋は道路の拡張に応じて撤去されたものだが、もし撤去せずにそのまま使っていたとしたら、あと何年使えた

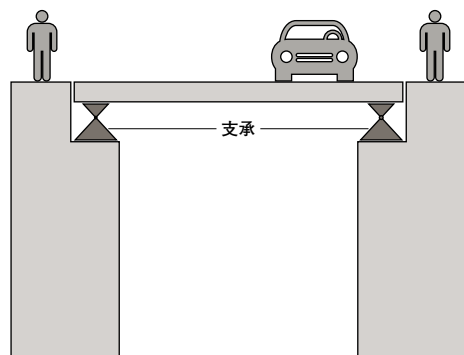


図1 橋における支承

上部構造と橋台および橋脚をつなぐ部分。変形を吸収する部材を使うのが一般的。

のかということをはっきりさせるために佐々木研究室で実験が行われた。この橋の表面には錆が目立っており、強度的には余裕がないものと思われていた。しかし、実際には、計測した部分の強度は十分で、現在走っている電車の荷重なら問題なく耐えられることが判明した。この主な理由としては、橋の設計当時の技術力と現在の技術力には大きな隔たりがあり、使われている電車の重さにも大きな差があることが挙げられている。

この例のように、構造物は時に思わぬ要素が耐久性を変化させる要因になりうる。こういった予想外の要素を調べていくことが、構造物の強度を高める新たな技術を作るきっかけとなる。

### ■ 点検

どれほど完璧な設計をされた構造物であっても、壊れることはある。その予兆を見つけるため、構造物には定期的に点検が行われる。この点検はセンサーなどで得られる客観的な情報とともに、構造物の安全性を保つために必要である。点検を研究しているグループでは、構造物の破損箇所などの点検の高精度化、簡略化について研究している。

現在、点検は主に、目視によって確かめることと、人がハンマーで壁を叩いたときの音を聞くことで行われている。これは点検を行う人の練度や主観によって点検の精度が左右される。より正確で客観的な点検を目指して佐々木研究室が研究している方法のひとつが、渦電流を利用した点検装置を用いたものである（図2）。

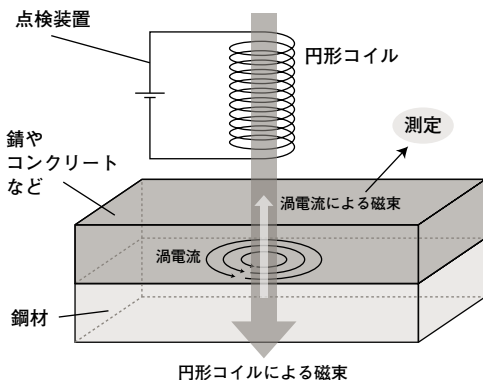


図2 目視困難な部分の点検方法  
渦電流によって発生する磁場を利用する。

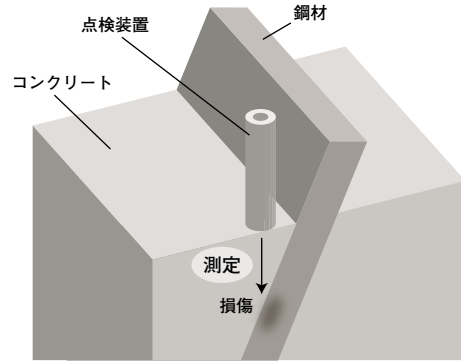


図3 点検装置の使用法

コンクリートなどの障害物に当て、その内部にある鋼材を可視化できる。

渦電流を鋼材に当てると、錆を通過してその奥にある鋼材を磁化する。磁化された鋼材は渦電流を返してくるが、これは錆部分が厚くなるほど指数関数的に弱くなり、鋼材の傷に応じて渦電流が乱れる。この装置では、返ってくる渦電流の強さや乱れを測定することにより、錆やコンクリートに覆われた部分を可視化し、錆部分の厚さや、構造物内部の損傷を正確に測定する（図3）。

それに加えて、狭くて人が入り込めないような部分に対しての点検や、点検精度の向上のために、この渦電流の装置をロボットに搭載することを考え、開発を試みている。

### ■ 環境発電

構造物が振動しているときというのは、構造物には莫大なエネルギーがかかっている。そこで、環境発電の研究をしているグループでは、構造物の振動など、加わった力の余剰エネルギーの利用について研究をしている。

その研究の一環として開発されたのが、振動によって自己発電を行うセンサーである。このセンサーは振動によって発電された電力量を測ることで、加速度だけではなく速度、変位の計測も可能となっている。そのため、加速度から速度、変位を算出する従来のタイプのものに比べ、より正確な値を出すことができるようになっている。さらに、このセンサーは自己発電を行なっているので、外部電源による電力供給を必要としない。よってケーブルなどの余計な部品を省くこともできる。

## 研究成果の実用

### ■ 伊良部大橋と先生の研究

最後に、佐々木研究室が現在取り組んでいる研究、伊良部大橋の実証実験について紹介しよう(写真1)。伊良部大橋とは、沖縄県宮古島と、その北西約4 kmのところにある伊良部島を結ぶ橋である。この橋の建設によって交流・物流の拡大が見込まれている。雨・塩害・砂埃などに見舞われる過酷な環境でも開発機器が正常に動作することを確かめるため、先生はこの橋の実証実験に取り組んでいる。

その具体的な内容は、計測システムの設置である。伊良部大橋を架ける場所は、風速82.2 m/sという非常に強い風が予測される場所でもある。日本における観測史上最大の台風の最大瞬間風速が85.3 m/sであることを考えると、これは異常な値である。そこで、このような強風に煽られた場合の橋の挙動について計測するため、佐々木研究室はこの橋に最先端の開発機器を取り付けた。また、この地域には台風がしばしば直撃するため、それによって発生した高潮などによる挙動についても同時に計測することにした。

また、伊良部大橋に取り付けた計測機器は、佐々木研が新たに開発したセンサーシステムを使っていて、先生はこのセンサーシステムにソーラーパネルを取り付けることによって、外部からの電源が無くてもデータを取り続けることができるようにした。

新しいセンサーは、外部からの電源が必要なくなるので、停電に左右されずに継続してデータを取り続けることが可能になった。これに加え、ワイヤレス通信の新しいバンドである920 MHz帯によって通信距離が伸びたことで、通信が橋の中央から両端まで届くようになり、今までセンサーで計測したデータの送受信に使われていたケーブルを必要としないワイヤレス通信が可能となっている。これによって必要なくなったケーブルの分のコストを削減することができ、かつケーブルの寸断が原因となるデータ取得の失敗を防ぐことができるのである。



写真1 伊良部大橋

伊良部大橋は現在建設中であり、完成すれば、料金を徴収しない橋としては日本最長となる。

### ■ 先生の研究が目指すもの

佐々木研究室では、人々がインフラをより安全に使うことができるよう、日々研究が進められている。しかし、それは単純により性能の高い製品を作り出すことだけによって達成されるものではない。なぜなら、技術とは社会に受け入れられることで初めて意味をもつものであり、社会の人々に使ってもらうためには性能が高いというだけでは足りないからだ。そのため、佐々木研究室では計測や点検にかかる費用を減らしたり、人の手によって行われていた作業を機械化することで簡易化したりするなど、現実においても使える技術に変えていけるような提案を研究の中に盛り込んでいる。その取り組みは、この伊良部大橋にもなされていて、実証実験によってその有用性を試そうとしている。人々の生活に密接に繋がる土木工学においては、実際に使うことのできる技術こそが求められている。

### 執筆者より

取材では、素人の私にもわかりやすい研究を選んでいただくなど、丁寧に説明していただきました。理想を現実で実現していく土木工学を知り、より興味をもつことができました。お忙しい中、度重なる取材に快く応じてくださった佐々木先生、先生との連絡を取り次いでいただいた研究室の方々にご心よりお礼申し上げます。

(荒木 達斗)