

# サイバーアーキテクチャを目指して



若 者

向 井 洋 一\*

## Cybernetics and Architectural Engineering

**Key Words** : cybernetics, architecture, control structure

### 1. はじめに

私は、平成5年3月に大阪大学大学院工学研究科博士前期課程(建築工学専攻)を修了し、同年4月に、大阪大学工学部助手(建築工学科)に着任しました。今年で6年目を迎えますが、4月より工学部の大学院重点化に伴い、大阪大学大学院工学研究科助手(建築工学専攻)に任じられ、気持ちも新たに、グローバルな意味での「建築」を改めて志して行きたいと思っております。私は、卒業研究以来、約8年間、建築構造物の制震(振)という研究テーマに携わって来ました。建築構造の分野において、この種のテーマは、比較的新しい研究領域であり、今後の展開に大きな期待が寄せられている領域の一つでもあります。本欄では、私なりにこのテーマに取り組んできた経緯と現況、そして今後の展望について綴ってみたいと思っております。

### 2. ゼロから

大学院の入試も終わった平成2年の秋、私の研究指導をご担当頂くことになった橋英三郎教授(当時助教授)から、「建築構造物のアクティ

ブ制震(振)に関する実験的な研究」を卒業研究のテーマとして頂きました。この段階で、実験用構造物模型、アクティブマスダンパ型制御装置、ステッピングモータ、計測用センサ、各種入出力用インターフェース機器、そしてパソコンと、実験に必要なパーツだけは、一式用意されておりました。橋先生からは一言、「模型(の揺れ)を止めなさい」。このときから、私の現在に至るまでの「綱渡り式」研究がスタートしました。当時の私はと申しますと、制御に関する知識は皆無に等しく、パソコンすらろくに使えない状態でした。ましてや機械装置の配線などやったこともなかったのですが、まずは、日本橋のパーツ屋で、あれこれ必要そうな部品類を探してきて、マニュアル片手に、見たこともない配線記号に戸惑いながら、約一月近く悪戦苦闘しておりました。研究は、私と、一年先輩の田中良三氏(現清水建設)、そして橋先生の3人寄ってのもんじゅの知恵状態で、ああでもない、こうでもないとやっておりましたが、ようやく、指令通りにモータが回転したときには、皆で、飛び上がって喜んだものです。一度ふっ切れてしまうと、その後の展開は順調でした。でき上がった実験装置を使って、模型の揺れを文字どおり「止める」ことができました。装置をそのまま風洞に持ち込んだ実験でも、模型の応答低減を行うことができました。この時の風洞実験から研究に参加して下さった、当時研究生として大阪大学に来ておられた鴻池組の山田祐司氏の協力のおかげで、データ計測・処理のノウハウを得ることができ、実験結果を無事、卒論提出期限までに取りまとめることができました。

\*Yoichi MUKAI  
1968年9月9日生  
1993年大阪大学大学院工学研究科  
博士前期課程修了  
現在、大阪大学大学院工学研究科、  
建築工学専攻、助手、修士(工学)、  
耐震工学  
TEL 06-879-7634  
FAX 06-879-7634  
E-Mail ychmukai@arch.eng.  
osaka-u.ac.jp



した。かくして、私の卒業論文は、これから数々の実験を実施して行くことになる実験装置製作の苦勞譯をまとめたものとなりました。私にとって、研究室で、制震(振)の実験的研究をゼロからスタートする機会に巡り会わせたのは、大変ラッキーであったと思います。この経験が、後の研究に一本の筋を与え、また、常に本質的なものを見失わないようにさせているのだと信じております。さて、実験装置も完成し、いよいよ本格的に制震(振)実験を開始することになりましたが、私達の目指す「制震(振)」のコンセプトを「人間の制御機能をもつ建築物」の追及に求めて行くものとししました。そこで、手始めに建物にテンドン(腱)を導入した制震(振)システムの検証を行うこととしました。アクティブテンドンと呼ばれるシステムで、ケーブルを使って建物に制御力を与える装置として、既にいくつかの研究例のあるものでしたが、私達は、ケーブルでは構造物の変形に対する追従性の点で不利であろう、との判断から、これをバネ要素に置き換え、バネにオフセットを与えることにより制御力を生じさせるシステムとしました。アクティブブレースと命名し、建築物の標準的な制震(振)装置となることを目指して、現在も継続して検証を行っています。

### 3. アクティブフィン

そろそろ修士論文のための研究をまとめ始めねば、と思っておりました大学院の2年になった平成4年の春、橋先生から、「新しい制振装置を作ったんで、これで止めてみてください」と。この装置は、2枚の羽をぱたぱたさせるルーバーの様なもので、先生によれば、ここに当たる風量をうまく調整すれば、制振装置として使えるだろう、とのこと。なるほど、船の舵取りの要領で何とかなるかもしれない。装置の名前をアクティブフィンと命名し、早速、風洞実験をスタートしました。実験にあたっては、これまでの風洞実験でもお世話になっていた、本学研究用風洞施設の五十嵐一孝先生にいろいろとアドバイスを頂いた結果、この装置では、細かな制御は敏感すぎて駄目だろうから、むしろ大ざっぱな制御則でやったほうが良からうとの感

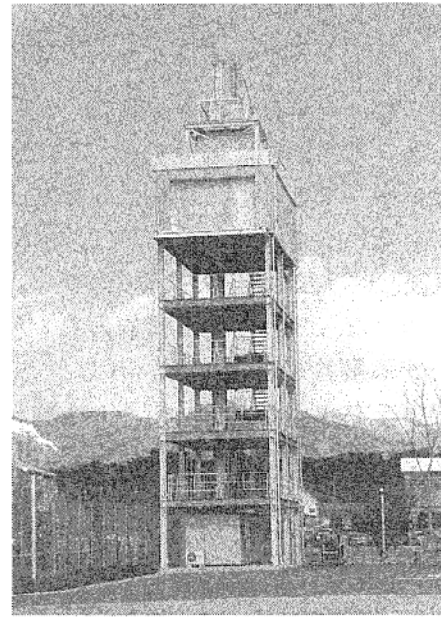


写真1 実大制振実験棟に設置されたアクティブフィン

触に至りました。そこで、建物応答の向きだけに着目して、フィンの状態を「開く」か「閉じる」かの2段階切り替えで制御則を組み立てました。これが、思惑通りうまくいき、建物の揺れを1/3程度に抑えることができました。平成5年に、五洋建設から、翌年の技術研究所移転のおり、建設予定の実大制振実験棟にアクティブフィンを設置して下さるとの申し出があり、かくして、五洋建設との研究協力で実機規模のアクティブフィンの実験を実施する機会に恵まれました(写真1)。そこで、実機用のアクティブフィンのデザインとして、くるくる回る団扇のような形状を考案しました。実機規模実験の準備を進める段階で、フィンの大きさが問題となりましたが、この時点では、適切なフィンのサイズを決めるためのバックデータはありませんでした。皆で、あれこれ議論しましたが、結局、「目立つほうがいいね、うん、畳1枚」という、橋先生の一言に落ち着くことになりました。約1年半の準備期間を経て、ようやく実験はスタンバイしましたが、なにぶん自然の風を相手にしますので、なかなか効果を試すチャンスに当たりませんでした。平成6年春、ようやく吹いたきまぐれな強風のもと、実機規模のアクティブフィンは、その性能を見事に発揮してくれました。

#### 4. アクティブ・エアバッグ

平成7年、松村組との研究協力で新しい制震(振)システムの開発に着手することになりました。とは申しませんが、これという具体的なイメージもないまま、ただ、当時は兵庫県南部地震の直後ということもあり、震災検証のキーワードの一つとなっていた「衝撃的入力」という言葉に対する解答を目指すということで、「衝撃吸収機構を有する制震システム」を開発しようということになりました。この時点で、プロジェクト名として、「アクティブ・エアバッグ」式制震(振)システムの開発という名前だけが決まった状態で、とりあえず研究をスタートしました。エアバッグの名前からイメージされる様に、当初からエアトロニクスを導入を念頭に置いておりました。さて、あとには引けない状態となったので、とにかく一歩でも前進しようと、手始めにショックアブソーバに関する資料から調べて行くことにしました。この時、理想的な衝撃吸収装置の反力特性が、摩擦型の装置のそれと極めて似ていることがわかりました。すなわち、衝突の瞬間から一定値の反力が作用し、物体の停止とともに反力がゼロとなる。ただ、建物の場合、変形が増大する方向にはこれでいいが、変形が戻るときには、摩擦抵抗は、むしろじゃまになる場合も想定されます。そこで、この変形状態から戻ろうとする際に、抵抗力の「離間」を可能とする様な装置を探すこととしました。出来合いの空圧制御機器の中で、このような用途に最も適しているのは、エアシリンダである

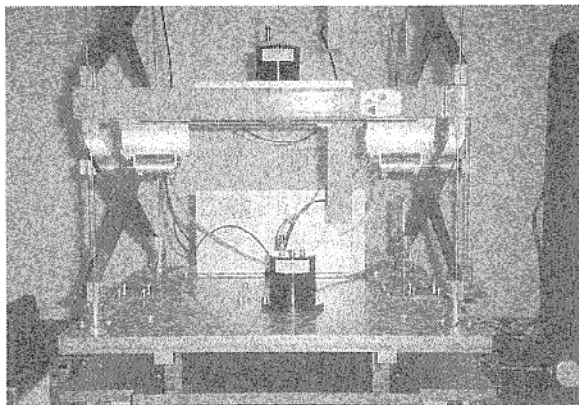


写真2 アクティブ・エアバッグの実験用模型

うとの結論に至りました。そこで、アクティブ・エアバッグの試作品として、建物にエアシリンダを介して外付フレーム(制震フレーム)を設置する装置を設計しました(写真2)。これにより、外乱の作用で建物に生じる変形に「一見逆らわず、ブレーキをかけられる」。予備実験を行っているうちに、制震フレームの剛性は、固すぎないほうが良いとの感に至りました。剛だと、フレーム側の変形が拘束されるため変形追従性が悪くなり、大きな制御力を与えたときに、エアシリンダのピストンがすぐにストロークエンドに当たってしまう。適度の柔らかさをもったフレーム、すなわち、バネ要素をかませると、変形をこちらに逃がすことができます。変形の戻りには、バネ要素の復元力がじゃまになる場合もありますが、エアシリンダの空圧をゼロにすれば、離間させることも可能です(従って、制震フレームの剛性が柔らかすぎるのも問題があることとなります)。実験に関しては、だいぶ経験値が上がっていたせいか、約半年の準備期間で実験を実施するにこぎつけました。しかしながら、この後、約2年間は成果が上がらず、思い描いた制御効果が得られない状態が続きます。空気弁の制御装置の応答性が遅すぎて、建物の制震に応用できる代物でなかったのが、主たる原因だったようです。さて、平成10年を迎え、もはやこれまで、と、逃げ出す準備を始めておりましたところ、医療の分野で用いられている空圧機器用の空気弁の制御装置に高速応答性のものが見つかりました。早速、これを導入し、システムの再チューニングを行ったところ、ようやく期待した制御効果がみられるようになり、やっとのことで、本システム開発のための本格的スタートを切るところとなったわけです。

#### 5. おわりに

今年2月、長野県で冬期オリンピックが開催され、テレビを通じて日本人選手団の活躍に興奮しながらエールを送っておりました。里谷多英さんが金メダルを獲得したということで、モーグルという競技が再々取り上げられ、私も初めてこの競技を目にしましたが、人間とは、何と

素晴らしい制御系をもつ生き物だろうとの感想をもちました。モーグルが、もちろん誰にでもできるというわけではなく(例えば、歩行のような実に日常的運動を含めて、人間の運動行為のほとんどすべては、人間本来の機能として備わっているものではないと思われませんが)、彼女の訓練によってチューニングされたものであり、彼女の備えた制御システムをもってこそ実現できたものだと思います。すなわち、鍛えられた筋肉、そして、的確な情報をフィードバックする感覚、さらに、経験あるいは学習によって培われた判断能力が、あの素晴らしい競技を成功させているのです。建築物の応答制御において、ハードウェアとしての人間の機能にアイデアを求めると同時に、人間の勘とか経験(すなわち、ソフトウェアとかヒューマンウェアといったもの)を生かすことに大きな可能性を感じずにはいられません。これからも、サイバーアーキテ

クチャを目指して、研究に磨きをかけていこうと思っております。かつて、橘先生から「歴史の上を歩け」と、アドバイスを頂きました。私自身この言葉をまだ実践できてはおりませんが、研究の本質を見失わないためにこの言葉を実践する努力を怠らないように心がけております。ここで、紹介した建築物の制震(振)に関する研究には、本欄では挙げておりませんが、多くの後輩たちが研究に携わってくれております。彼等は、同じ実験装置を扱いながら、彼等各々の個性あふれるアイデアをシステムに吹き込んで、多くの成果を残して行っております。文字どおり、彼等こそ、歴史の上を歩いて行くことを実践できたのではないかと考えております。末筆になりましたが、本欄への執筆を勧めてくださいました、大阪大学大学院工学研究科の井上豊教授に心より御礼申し上げます。

