

アメリカ合衆国における実験構造力学の動向 および構造実験システムの現状の調査

A Study Tour on the Trends in Experimental Structural Mechanics and Testing Systems in the United States

大井 謙一*・洪 起*
Kenichi OHI and Gi HONG

昭和62年度の三好研究助成金の助成を大井が受けて、昭和62年10月14日より2週間の日程でアメリカ合衆国の5つの大学を訪問する機会を得た。本所から第5部の洪も同行した。

訪問の目的は、表題に示すように各大学における耐震構造実験施設を見学し、最近の研究動向について各大学の研究者と面談することである。

最初の訪問校SeattleのWashington大学では土木学科のRoeder教授がわれわれの面倒をみてくださり、土木学科のHawkins教授（現在工学部の副学部長）、Brown教授、Miller、Reed両助教授と面談することができた。Washington大学の構造実験室は比較的小じんまりとした実験室であるが、コンクリート板の衝撃破壊実験や構造部材の熱応力に関する実験などが行われている。

Seattleといえば、構造物の事故としてよく例にひかれるTacoma橋（風によるフラッター振動による事故）がすぐ近くにあるが、つい最近、Washington大学のキャンパスで大きな事故が発生したとの話を耳にしたので紹介しておこう。Washington大学のフットボール・スタジアム（Husky Stadium）の増築工事中、昭和62年2月25日にスタジアムの屋根トラスが落ち、写真1のような被害が生じたという。幸いにも事故発生1時間前、危険を察

知した現場監督が作業員を全員帰宅させたので、死者は出なかったそうである。構造設計はWorld Trade Centersの設計で有名なJohn Skillingである。原因は定かではないが、前日に鋼板の落下事故があったとの話であり、一部の鉄骨接合部に問題が生じ骨組が不安定になったとの推測が行われているようである。事故のあった鉄骨の残骸はLehigh大学に持ち込まれFisher教授らが研究しているが、極厚型鋼の脆性破壊が引金になったとの話も聞いた。Husky Stadiumの工事はその後施工側の努力もあって9月の開幕シーズンには間にあったとのことである。

Seattleを後に次の訪問校Lehigh大学へと向かった。Lehigh大学のあるBethlehemは、New Yorkから車で2時間ほどの距離にある。われわれは日曜の夜、New YorkのPort Authority Bus Terminalからバスに乗ってBethlehemへ入った。渡航前New Yorkの地下鉄やバスターミナルの周辺は治安が悪いからと脅かされていたのであるが、(Seattleの先生がたまたまいぶん心配して下さった)、実際に行ってみるとそれほど危険という感じはしなかった。雇用事情などが一時よりは改善されているのだろうか？

Bethlehemの町には、Bethlehem Steelという大きな

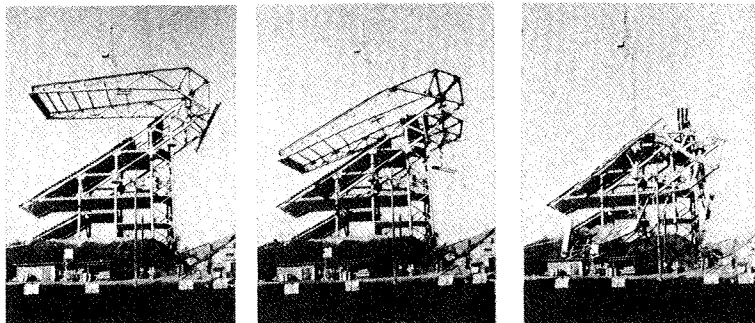


写真1 Husky Stadiumの事故（2月26日付新聞記事よりJohn Stamets氏撮影）

製鉄所があり、Lehigh大学では古くから鉄骨構造の研究が盛んに行われている。Lehigh大学では、土木学科のLu教授がわれわれの面倒をみてくださり、Beedle名誉教授、Fisher教授、Mueller助教授らと面談した。Lehigh大学では非常に景気のいい研究プログラムを聞いた。New York州立大学 (Buffalo), Columbia, Lehigh, Princetonの各大学など、New York州周辺の大学の大型共同研究プログラムでNCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) という組織が昭和61年から発足し、耐震工学とその境界領域に関する研究プロジェクトを推進しているそうである。Buffaloには振動台、Lehighには大型反力壁を含むオンライン地震応答実験設備を建設するという。予算は総額約1400万ドルで、内訳はNSF (National Science Foundation) から500万ドル、New York州から500万ドル、その他の州などから400万ドル出資されるそうである。

Lehigh大学ではこの研究プログラムの一環として、学内にATLSS (Center for Advanced Technology for Large Structural System) という研究組織を昭和61年の春から発足させ、オンライン地震応答実験システムの開発研究を中心として、施工ロボットの研究、鉄骨構造物の検査や設計に対する知識工学の応用などのプロジェクトを開始している。Fisher先生がATLSSの代表になっており、オンライン地震応答実験システムの開発にはMueller先生がその任にあたっている。筆者も本所千葉実験所で同様の実験システムを取り扱った経験を持っているので、Mueller先生とは実験制御法などの話がはずんだ。ATLSSの反力壁は図1に示すようなもので、現在施工中であった。

Lehigh大学を後にして、Michigan大学へ向かった。Michigan大学のあるAnn Arborの町は、Detroitの空港から車で40分ほどのところにある。われわれの着いた日Detroitは雪であった。大学では、土木学科のHanson教授とGoel教授がわれわれの面倒をみてくれた。両先生のほか、Wight教授、Peek助教授と面談した。Michigan大学の反力壁は図2に示すようなもので、穴のまわりに鋼板が埋め込まれており使い勝手が良さそうである。最近の反力壁はL字型が大流行である。Lehigh大学の反力壁も

Michigan大学の反力壁も、また図3に示している本所千葉実験所の地震応答実験棟の反力壁もL字型である。2方向載荷ができるのが大きな魅力なのであろう。また、Michigan大学の実験室の床の一部には穴が設けてあって砂場のようにになっており、ここで杭模型の載荷実験などが行えるようになってきている。これは実に良いアイデアだと思った。生研の反力壁も実験棟の外側から使えるので杭や基礎構造物の載荷実験が行えるが、冬吹きさらしの外気の中で実験を行うのはツライものである。

Washington大学、Lehigh大学、Michigan大学ではそれぞれ1時間ばかりのセミナーを行った(写真2)。各大学の先生がたの求めに応じて、Washington大学では新しく改良した生研のオンライン地震応答実験システムの話、Michigan大学では千葉実験所で実行中の弱小モデル地震応答観測の話、Lehigh大学では両方の話をした。印象的であったのは、弱小モデル地震応答観測のセミナーである先生が、弱小モデルの耐震強度はこのあたりの実際の建物の設計用地震力と同じくらいかも知れない、と指摘されたことである。われわれの鉄骨造弱小モデルは4年間観測してすでに4回も地震による損傷を受けているのであるが、これは地震活動度の違いであろう。California州などを除くアメリカ合衆国のかなりの部分では地震活動度は低く、設計用の地震力は極めて小さいことがある。このような地震活動度の低い州でもこれだけ耐震設計に関心を持って研究が行われているのだから、逆にアメリカにおける耐震工学研究の層の厚さを感じた次第である。

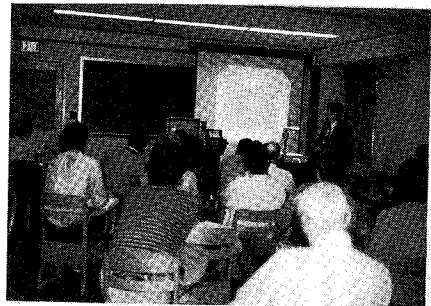


写真2 Lehigh大学でのセミナー風景

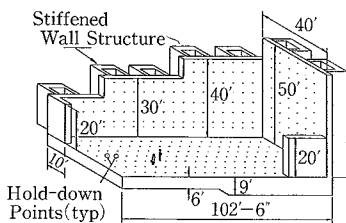


図1 ATLSSの反力壁 (Lehigh大学)

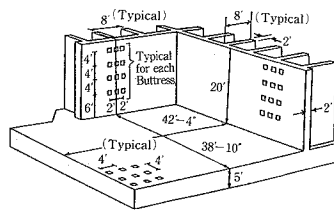


図2 Michigan大学の反力壁

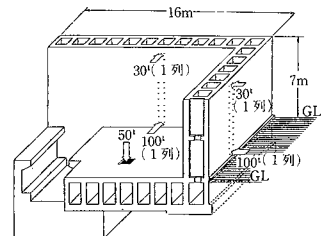


図3 生研の反力壁

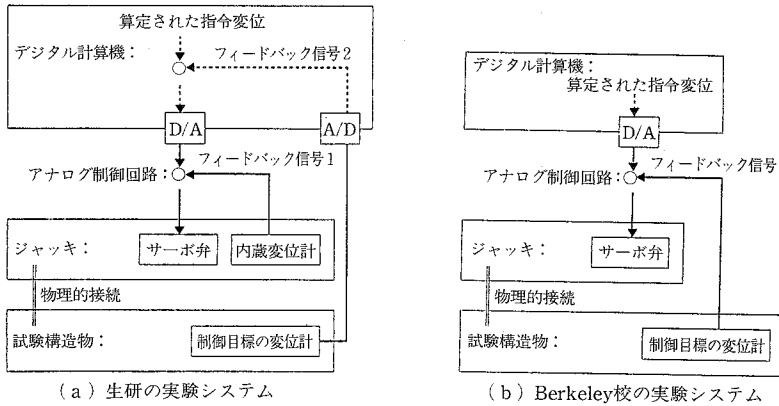


図4 オンライン地震応答実験システムの比較

Michigan大学を後にして西海岸のSan Franciscoへ戻ってきた。あちこちで日本語が通じるし、日本の観光客も多いのでまるで日本に戻ってきたような気がする。San FranciscoをねじろにしてBerkeleyとStanfordを1日ずつ訪問した。Berkeleyでは、土木学科のMahin教授がDavis Hallの構造実験室とRichmondにある振動台の実験施設を案内してくれた。Mahin先生は数年前に筆者の案内で本所の千葉実験所の耐震構造実験施設を見学されており、今回はそのお返しというわけである。実験研究の活動度としては今回訪問した大学の中ではBerkeleyが群を抜いているようで、Davis HallとRichmondでそれぞれ少なくとも2つずつの実験が進行中であった。Richmondでは、現在EERC (Earthquake Engineering Research Center) の代表を務めておられ、免震構造の研究で有名なKelly教授にご挨拶した。その後Mahin先生とオンライン地震応答実験システムについて懇談した。

Mahin先生はこの種の地震応答実験システムおよびその応用については精力的に研究を行っておられ、大変勉強になった。特に本所の千葉実験所で用いている実験システムとBerkeleyの実験システムとの実験制御に対する考え方の相違が明らかになった。本所の実験システムでは、載荷装置自体のアナログ閉ループ制御回路を内側に取り込んだ2重閉ループ制御システムをデジタル計算機を用いて構成している。これに対して、Berkeleyの地震応答実験システムでは、図4(b)に示すように、まず直接構造物の変位制御を行うアナログ閉ループ制御回路を作成した後、デジタル計算機はその制御回路に対して開ループ制御を行うのである。どちらの方式にも一長一短があるが今後の研究の参考としたい。

最後にStanford大学土木学科のKrawinkler教授を訪問した。Stanfordではまず広大で美しいキャンパスに圧倒された。Krawinkler先生は構造実験施設J.A. Blume

Centerのセンター長である。Stanfordの他の構造の先生がたは理論的な仕事をされる先生が多いので、Krawinkler先生が事実上独占的に同構造実験施設を使われているようである。同施設は比較的小じんまりした構造実験室で小型の振動台が2基ある。Krawinkler先生は精巧な縮尺模型の構造実験がお得意で、ミニチュアの異型鉄筋を製造する装置を拝見した。

以上短い期間であったが、われわれにとって有意義な研究旅行であった。特に多数の先生がたと知己になれたのが最大の収穫である。コンピュータ制御された地震応答実験システムの利用という観点からすると、今回見聞した範囲内では、全般的に日本のほうに一日の長があるような印象を受けた。しかしながらアメリカ合衆国の実験構造学研究者は今「追いつき追い越せ」の気分にあることは確かである。たとえば、Lehigh大学のATLSSのパンフレットには“America's leadership in large structure technology is in jeopardy from overseas competition.”などというコピーが載っている。こういった危機感がすぐ現実の大型共同研究プログラムに結びつくところにアメリカの底力があるのではないだろうか。先日学術会議で開催されたJCOSSAR (構造物の安全性と信頼性に関する国内シンポジウム)でも、篠塚先生(Columbia大学Renwick栄誉教授)が基調講演の中でNCEERの計画についてふれられ、このような研究組織力を日本はアメリカから学ばねばならないという趣旨のことを述べられたが、全くの同感である。

最後になったが、各大学に滞在中の日本人研究者の方々、特にWashington大学の谷口英武博士(元本所助手、現在大林組)、Lehigh大学の伊藤義人博士(名大)、永田匡宏氏(新日鉄)、Michigan大学の山内泰之博士(建研)、Stanford大学の渡部丹教授(都立大)には非常にお世話になった。この紙面をかりて謝意を表する。

(1987年12月14日受理)