

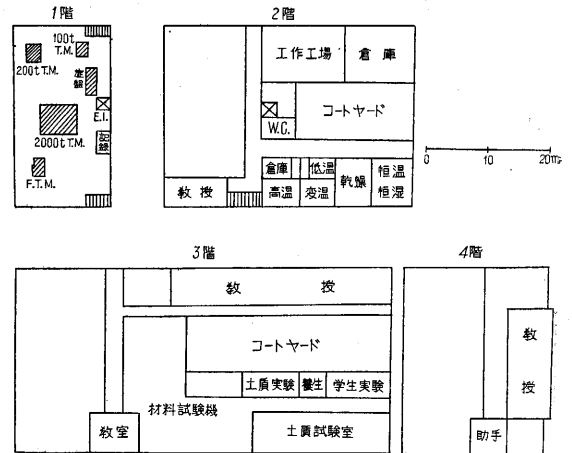
アメリカに出張して

岡本 舜三

6月12日から6日間 Berkeley で開かれた世界地震工学会議*に日本から代表团として10名が参加したが、会議終了後は各自思い思いの行動に移った。私は18日まず California 大学を訪ねた。学校は Berkeley の丘陵の中腹にあり赤屋根、白亜の校舎が緑の芝生と美しい対照をなしていた。校庭中程に Sather Tower と呼ばれる高い4角形の尖頭がそびえ、この上からは Berkeley, Oakland の両市や、遙か海を越えて San-Francisco の Down Town, Bay Bridge, Golden Gate Bridge 等の偉容が望まれる。この大学はサイクロトロンで有名であるが、その建物は校庭の裏を迂回して登った Radiation Laboratory Hill Area の中にある。

私は Engineering Materials Laboratory を訪ねた。4階建の建物だが斜面を利用してあるために上層の方が広い。材料試験室、土質試験室、コンクリート試験室、同養生室、機械工場、教授室、学生実験室、倉庫、広場等がこの中にある。材料試験室は1階から4階までぶちぬきでここに容量2,000t, 200t, 100tの一連の材料試験機がある。2,000t 試験機のそばには試験ずみの鉄筋コンクリート桁がおいてあった。この大容量の試験機を使いこなすには供試体が大変であろうと想像したが、実際はかなりよく活用されているとのことであった。コンクリート材料の試験に必要な基本的施設は非常によく整っており、温度70°F、湿度96%に保つ恒温恒湿室、湿度60%に保つ乾燥室、湿度100%の養生室、温度を任意に変えうる変温室、100°Fに保てる高温室、-10°Fおよび-40°Fになる低温室等がある。非常に大型の試験片を用いてクリープ試験が行われていたが研究が完成するとダムコンクリートに非常に有益な資料を与えることになる。

私は生研にこういう独立した試験室を作る場合の参考にとりて大体の見取りをとってきた(第1図)。ここにコートヤードといって何にでも使える広間があるのはいい思いつきである。私の行った時はここで大きな壁体模型による耐火材料の火災実験が行われていた。また全館温度湿度とも自動的に一定に制御されているので精密測定にも、執務にも非常に都合であるそうである。ここで私と同じようなことをやっているのは Prof. Clough である。氏は大学院で教える振動論の原稿をみせてくれた。内容は私がやっているのと同小異であったが数値的計



第1図 材料試験室見取平面図 (Univ. of California)

算法の習熟に非常に力が入られていた。また非線形振動は土木の学生にはまだ知らないとしてやっていなかった。アメリカの教育では手段を習熟させることに非常に力が入られている。これにはいろいろの批判があるが、道具を使いこなせるということは用法を知っているだけに比べて非常な強みに違いない。氏は目下非常に高層な建築物の振動問題を IBM 計算機でやっているといっていた。IBM 計算機は日本にもかなり入っているが、私はまだあまり活用していなかったものでこれには考えさせられた。

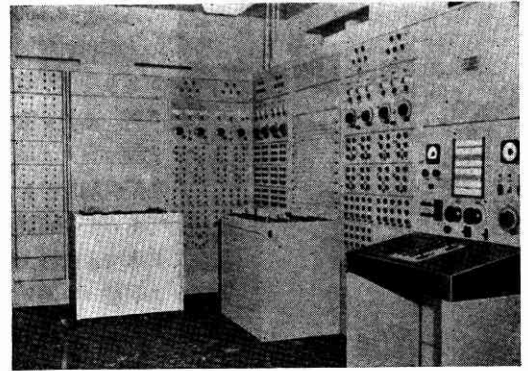
19日は空の青く澄んだ明るい日であった。日本代表团は揃って Palo Alto の Stanford 大学に Prof. Jacobsen を訪ねた。大学はその中にゴルフ場をもつ広大な敷地に囲まれ、褐色の砂岩で作られた校舎はまわりの亜熱帯樹と調和して明るく美しかった。教授の研究室には大型の水平振動台があった。台は定常振動ではなく振子で衝撃をうける式であって地震というものの理解が小野研究室の振動台と同じなのを興味深く思った。これができたのはかなり古いことで、その頃すでにこの種の大型試験機を作って耐震構造を研究された教授の識見はさすがである。ここにはその他にいろいろの小型の振動関係の実験装置があったが、学生の説明用具にかなりの努力が払われているのは注目された。たとえばマシウ函数の解になるような振動系を作りその安定不安定が目で見られる装置など、学生ならぬ私にも非常にためになった。珍しいと思ったのは非弾性振動をする高層ラーメンの振動装置

* 地震工学会議については土木学会誌41巻11号に報告

であった。このモデル建築物の各部材はあたかも鋼の応力歪曲線のように一定の相対変位までは弾性であるが、その限度を越すと復元力がなくなるような機構によって結んである。それ故モデルの下端に振動を与えたとしばらく揺れているが、やがてある場所できりとまいる。モデル建築に振動を与えるには周囲に適当な波状の切れ目を入れた円板を回転させる。切れ目の入れようで1923年東京地震、1952年 Elcentro 地震等の地動が再現される。ついで Prof. Williams, Prof. Klotter に紹介された。Prof. Williams は横力をうける鉄筋コンクリート開孔壁の強度試験中であったが、試験装置も供試体も非常に巨大であった。Prof. Klotter は命名高き振動の大家である。なおここには Prof. Timoshenko, Prof. Flugge がおられる。こんなに一校に力学の大家が多数揃っているのは珍しく、学生の成績もよいらしい。全米で行われる工学関係の大学院卒業生の受賞者数は最近4年間平均で MIT, Stanford, Princeton, CIT の順だという。

Los Angeles は全市が公園のような街である。恐らくアメリカ中では最も美しい街であろう。道幅も広いが家と家との間隔もまた非常に広い。だから街の広さは全く驚くばかりで街つづきの近郊や Long Beach までこめると約 50 軒四方ある。California 大学は Beverly Hill の近く Sunset Blvd. にそう広大な敷地にモダンな様式の校舎を持っている。Berkeley の校舎に対して UCLA と呼ぶ。ここで Prof. Duke の案内で学内をみた。材料試験設備は 200 t 試験機が中心で生研と大同小異である。変わった設備ではその中にこれという備品はなく、ただ丈夫に出来ている壁や柱のところどころにフックがあり、床にはレールが埋込まれているだけの室があったことである。これは構造試験室であって、建物が丈夫にできているのでこれを支えにしてジャッキ等を適当に使って構造模型に載荷できるのである。Prof. Duke は実験室の壁や柱に多くの SR-4 ゲージをはって地震時の応力を測定していた。地震があるとスターターが動き出して応力がオシログラフに記録されるのであるが、もうすでに強震時の記録をとるのに成功したという。このとき建物の梁に一定の外力を加えうようになっていて、随時歪計を検定しうるのはいい着想である。私もダムについて同様な測定をしているので、この実測は大変興味をもって見学した。

ここには Mechanical Differential Analyser, Thermal Analyser, Electronic Differential Analyser, A-C Network Analyser の 4 種の計算機があり、学内および学外の需要に応じている。A-C Network Analyser は 1 unit につき base voltage 50V, base current 50 mA, base impedance 1,000 Ω , base susceptance 1,000 $\mu\Omega$, base kVA 2.5VA で全部で 125 units である(第2図)。Mechanical Analyser は積分機 14 台で誤差は 1/1000 程度



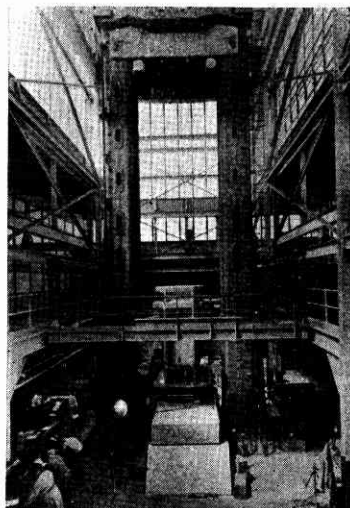
第 2 図 A-C Network Analyser (UCLA)

だという。あとの 2 種の計算機は別棟にあるとかで時間の関係で見られなかった。

翌日は Pasadena に CIT を訪ねた。ここは敷地はそれほど広大ではなく校舎がつまって建っているが芝生や植木を美しく配置して落ちついた雰囲気を作り出している。ここにはかつて訪日された地震工学の長老 Prof. Martel がおられ、ますますお元気であった。その薫陶を得て現在ここには米国の地震工学の指導者 Prof. Housner とそのよき協力者 Prof. Hudson がいる。Prof. Housner は精巧な Analogue Computer を作って強震記録をもとにして振動系の応答を計算していた。氏の発案した Acceleration Spectrum による耐震問題の取扱は注目をひいているが、その研究室を見ると研究をもっぱら Analogue Computer によって抽象的に行おうとしているようであった。一方氏は実際の振動測定にも非常に熱心である。恐らくそれによって得た知識をできるだけ抽象化して問題の真随だけをつかもうとしているのであろう。私は氏の研究態度には大いに教えられるところがあった。氏の案内で主として構造力学の実験設備をみたが、材料試験機は 150 t が最大で、種々の設備も大体当研究所と大同小異のように思った。ある部屋では試験片を小さい電気炉に包んで高温における疲労試験をやっていたが興味をひかれた。

6月24日一行と別れて単独で Los-Angeles を旅立った。飛行機は Utah, Arizona の荒蕪たる沙漠をすぎ Colorado Rocky を越えると急に降下して Denver に着く。ここには Bureau of Reclamation があり、その Engineering Laboratory は水力界では著名な研究所である。ここは日本の電力技術研究所を大規模にした感じで種々の水理模型試験、コンクリートの材料試験、土質試験等が行われていた。珍しかったのは軽量コンクリートで、持ち上げてみると木のように軽い。その比重は次のようだそうである。

Fine Pumice	1.23	Treated Pumice	1.33
Vermiculite	0.80	Perlite	0.82
Haydite	1.61	Expanded Slag	1.45



第 3 図 2,000 t 材料試験機 (Bureau of Reclamation)

ここは Chicago の北郊都心より 3 哩、ミシガン湖に望んだ景勝の地にある。土木の教室は門を入るとすぐ左側の灰白色の堂々たる建物の中にある。私は橋梁学の Prof. Wyly を訪ねてトラス橋のアイバー部材の疲労破壊について意見をきいた。問題は明治の頃アメリカから輸入したピントラス橋が最近疲労破壊をおこしてきたことである。きいてみると同様な事故が数年前アメリカでも続出したという。アメリカでも良い対策はないらしいが、いろいろと経験談をきいて少なからず得るところがあった。ここで応用力学をやっているのは李教授で極限設計、窮極強度、挫屈等の研究をしていた。李教授は詳しく教室を案内してくれたが、土質試験設備には珍しいものがあつた。Differential thermal analyser of mineral contents, partially saturated soil の consolidation tests apparatus, 3 軸および 1 軸の consolidation test, automatic compaction apparatus, quick sand tank, preconfined compression test with automatic releaver, consolidation of hard pan and shale 等、ここにも 2,000 t 材料試験機があつた。Lehigh 大学には 2,500 t があるという。2000 t 級大型試験機は米国内に普及していてもはや珍しくなくなった。興味をひいたのは高張力ボルトの疲労試験機で 3 列のボルト接手がそのまま試験される大型のものである。高張力ボルトはアメリカではかなり普及したというが、この業績はそれに大いに貢献しているそうである。

Chicago 大学にはもと本学教授高木豊氏が留学しておられたので、訪問して久潤を恕した。氏の案内で校庭を一巡したが、西運動場のスタンドの地下室に最初の原子炉がある。実験室の入口には青銅の額がありこう書いてあつた。

On December 2, 1942

ここにも 2,000 t の大型材料試験機がありそはに直径 3 呎、高さ 6 呎の大型コンクリート圧縮試験片が置いてあつた(第 3 図)。日本でも最近大がむが繞々築造されるに鑑み、電力技術研究所あたりには是非 1 台 2,000 t 材料試験機をほしいものである。

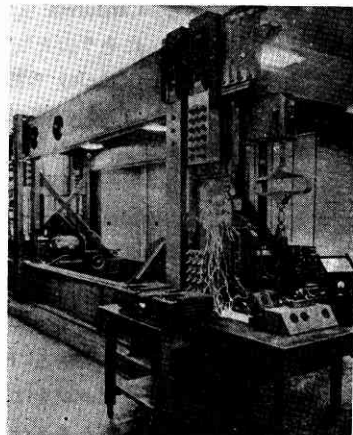
29 日 Evanston に Northwestern 大学を訪ねた。こ

Man Achieved Here
The First Selfsustain Chain Reaction
And Thereby Initiated The
Controlled Release Of Nuclear Energy

Chicago からバスで 4 時間ほど南下して Urbana についた。ここには土木の方では殊に有名な Illinois 大学がある。よく繁つた美しい並木と手入れのとどいた芝生の間に赤煉瓦の同じような建物が整然と並んでいる。Talbot Laboratory に Prof. Newmark を訪ね同教授の配慮で Siess (鉄筋コンクリート), Mosborg (脆性破壊), Stallmeyer (熔接), Austin (構造力学), Veletsos (構造力学), Müller (電子計算機), Kesler (コンクリート), Viest (コンクリート桁), Taylor (応用力学) 等の諸教授の研究を見た。

Prof. Mosborg は鋼板に楔状のひびを入れそこを打撃するときの亀裂の伝播速度を SR-4 ゲージと陰極線オシログラフを使って測定していた。また途中に質の異なる鋼材の部分を熔接して入れたり、鋼材を添接したりしてそれが亀裂の進行を阻止する作用のあることを調べて亀裂防止法を研究していた。ここにも Northwestern 大学にあつたような大型の接手疲労試験機があつて、ボルト、熔接、鋸等の

各種の接手を实物について試験していた(第 4 図)。試験が实物大でできるためにその実用化に当っての信頼性は非常に大きく、この研究はアメリカのこの方面の技術の基礎資料を数多く出しているのだとこのことであつた。Prof. Stallmeyer は低合



第 4 図 接手疲労試験機 (Univ. of Illinois)

金鋼の熔接の疲労破壊をやっていた。Prof. Siess は PS コンクリート梁の曲げ強さ試験、コンクリート梁の疲労試験および高速度載荷試験を指導していた。高速載荷試験の載荷速度は 1/100 秒につき 5×10^4 封度というから随分早い。反力は支点にアルミニウムの円筒をおきその歪を SR-4 で計るのである。Prof. Viest は Shear Connector に立派な業績をあげているが、今は桁の剪断破壊について最初は単なる剪断破壊からはじめ軸圧力と剪断力のある場合、長期載荷による剪断破壊と順を追って熱心に研究していた。Veletsos, Austin 両教授は電子計算機を使っていろいろな構造力学上の高次不静定構造を扱っていた。Illiac は 100 元連立方程式も解きうると

いう。当研究所に是非一機ほしい。Prof. Newmark は構造力学特に数値計算で知られた大家であるが、この大研究室をよく指導し外部との折衝にも非凡な手腕を示されているようであった。

ここの業績は工業界から高く評価され委託研究が多く、そのために実験室の規模はますます大きくなっているが、研究者の中には多少悲鳴をあげている人もいた。ここでやっている研究には次の如きがある。銚およびボルト接手、熔接桁の疲労、鋼建築の静的および動的撓み試験、高速載荷による金属の time sensitive deformation、鋼鉄内の亀裂の進行、鋼鉄内の銚接および抗亀裂材の研究、接手に使用する合金の研究、道路橋の衝撃、応力の数値および近似解法、構造物の動的挙動の急速算定法、PS コンクリート道路橋、鉄筋コンクリート函渠の力学、鉄筋コンクリート部材の動的性質、鋼鉄で補強されたコンクリート梁および床版、多径間鉄筋コンクリート床の解析と実験。こうみてくるとわが国の委託研究より一般に総括的な問題が多いが、アメリカでは大学の委託のテーマをスクリーンする機関があってあまり軍事的なものなどは、ここで適当に修正して大学に回すのだという。してみると課題名はこのように漠然としているが中身は、案外特定課題の場合もあるかも知れない。

東部諸都市では New York, Washington, Boston を訪ねた。New York では Columbia 大学を訪ねた。ここには Prof. Boley という丁度今、私の研究室で手がけている梁の衝撃をやっている人がいる。氏の方法は積分変換を使って衝撃をうけた梁の過渡的応力を求めるのである。私も類似の問題を研究しているので言葉は不自由でも話す種はつきず、昼過ぎまで話して今後の研究連絡を約して別れた。欧州旅行中で不在ではあったが塑性の Prof. Freudenthal がここにいる。かねて依頼しておいたので留守中に研究室を見学した。ここでは high polymer の剪断における応力歪曲線の研究をしていた。温度載荷速度等の影響の研究が目的だという。疲労試験には荷重や回転速度を試験中に自動的に変えてその影響を調査するとか、温度および気圧の影響を調査するとか新しい研究が行われていた。気圧は低い方が強度が強い。気泡が表面につかないためらしいという。飛行機関係の委託研究ときいてなるほどと思った。コンクリートのクリープ試験では載荷を取り除いた後のクリープを研究していた。載荷中のクリープは各所でやっているが、その後というのは珍しい。面白いところに目をつけたものである。その他コンクリート桁の剪断破壊や軽構造の研究として桁高の高い薄肉型鋼材の kippen の実験も行われていた。材料試験機は 10t から 300t まで階段状に整備されており、コンクリート養生室も完備していた。目立って巨大な機械はないが、基本的な問題にはことかかないだけの高性能の装置がととのえられており、この大学の意図しているところを伺い知ることができるよう気がした。

7月13日 Cambridge に MIT を訪ねた。対岸の Boston の宿を出て美しいドームの屋根を望みながら Charles 河に架した長いゲルバー橋を渡って徒歩でいった。この橋は自動車が通るたびによくゆれる。振動の大家

Den Hartog 先生のおられる大学の前の橋にしては不似合なことだ等と思ひながら渡り切ってしまうとすぐ MIT である。Prof. Den Hartog をお訪ねした。氏の親日ぶりは有名である。教授室の入口にはデン・ハルトグ教授と縦書に墨書した白木の表札をかかげ、室内にはさみだれと題した舞踊人形、浮世絵、暖簾等が飾ってある。氏の名誉を讃える表彰状の中には名誉会員に推薦するとの日本機械学会の推薦状も掲げてあった。氏の案内で材料試験機、光弾性試験、梁の振動試験、タービン翼の疲労破壊、吊橋や shell の構造実験等を視察した。構造実験をやっていたのは Prof. Hansen であったが私が地震会議のために渡米した、ことをつげるとわれわれは地震には関心がないが耐爆を重要問題として研究している。高層建築が種々の分布の爆力をうけた時に呈する elastic、および plastic な状態を電子計算機で計算しようとしているが、これが完成したら耐震にも役立つだろうといっていた。

MIT の建物の中には 2 個の shell 構造物がある。特に最近できた音楽堂は美しくその珍奇な姿が目を見はらせる。この音楽堂の屋根は半径 34.14 m の半球面よりなる鉄筋コンクリート殻でその 3 尖点が支点になっている。開いた 3 面はガラス張である。しかし Hartog 教授の説明では、支点付近に亀裂を生じたり、荷重はもたせないつもりだった中柱にやむなく荷重をとらせることにしたり、種々の構造上の欠陥があったという。これだけの死荷重を 3 尖点で支えることにはかなりの無理があるらしい。ここには多くの日本人留学生がおり、数人の人と昼食をともにした。まだ来たばかりの人、3 年もいる人、さまざまであるがみな選り抜きの秀才ばかりである。MIT の設備は今度みた範囲ではそう特別に優れているということはないようであったが、この強みはこうして、国の内外から来たえり抜きの少壮研究家を多数擁していることではあるまいか。何といっても研究に一番大切なのは優秀な研究者であり、優秀な助手であって、それが僅かの手当で向うから希望して集るといふのだから有難いことである。なぜそうゆうことになるのであろうか。色々の立場からおおいに考えてみる必要がある。

京大留学生の I 君が Boston は半月先輩だといって Cambridge の街を案内してくれた。雑談しながらしばらくゆくと、やがて鬱蒼たる繁みにかこまれた Harvard 大学にきた。静かな校庭には男女の学生が思い思いに談笑したり休息したりしており、どこかの閑そうな老人がわざわざ鞆に多量の豆を持参して鳩に与えていた。校庭には設立者 Harvard が椅子にかけている銅像がある。余り古いことで本人の顔はよくわからなかったが、こんな顔でもあったであろうというところで作ったのがこれだという。呑気な話だが忙しそうに見えるアメリカには案外な呑気さと落ち付きがある。このことを知ったことは私にとっては大きな収穫だが、この落ち付きはアメリカ人の強みのように思われる。

これで私の大学巡礼は終わった。ほっとした気持ちで 14 日 Boston を出発南部を見物して 21 日羽田に帰りついた。

(1956. 9. 20)