

地味な基礎研究のあけくれ

飯 田 裕*

私は昭和 18 年 4 月京都に生まれ、小学校低学年を名古屋、東京、小学校高学年・中学校・高校を大阪で過ごしました。昭和 37 年 4 月京都大学工学部土木工学科に入学、昭和 41 年 3 月同学科を卒業し、同年 4 月大学院修士課程に進学、昭和 43 年 3 月修士課程を修了し、同年 4 月建設省に入省いたしました。入省当初は土木研究所赤羽支所河川部水文研究室に配属されていましたが、昭和 44 年 9 月千葉支所構造橋梁部振動研究室に配置がえとなり現在に至っています。振動研究室では、おもに橋の地震応答解析、模型による耐震実験、実橋振動実験などを担当しています。また、47 年 10 月より 48 年 10 月まで総理府長期在外研究員としてアメリカ合衆国に出張いたしました。

今回、「私と土木との出会い」ということで会誌編集委員会からご指示のありましたテーマは、「土木技術との出会いとそれを自分のものとした経過」「大型構造物をつくりゆく過程でつかまえることのできた土木技術論と失敗をどのように成功に結び付けたか」などの努力談等々でございますが、これらの経験はございませんので学生時代から現在に至るまでに、どのようなことをやってきたかについて書いてみたいと存じます。

さて学生時代ですが、大学紛争以前の静かな環境のもとで学部・大学院時代を送ることができました。学部 4 回生前期に橋梁研究室に入り、修士課程修了までの 2 年半をこの研究室で過ごしました。学部の卒業研究では、活荷重による吊橋の振動、修士論文では斜め吊材吊橋の静的および動的性状に関する研究を行ないました。卒業研究では数式の誘導展開を主とした理論的研究を行ないました。ドイツの文献を参考にいたしました。教養部時代の勉強不足がたたって、ほとんどすべての単語を辞書で調べる有様でした。大学院進学後、中央径間 800 m 級の 3 径間道路鉄道併用吊橋模型が設置されることになり、その設計の一部を担当いたしました。この模型は、吊材の形式、補剛桁の形式、主塔の剛性、下部構造の変位などが吊橋の力学性状に与える影響を調べることを目的としたもので、縮尺 1/100、重錘には黄銅、補剛桁にはアクリルを用いたものです。この模型はのちに活荷

重の走行実験にも用いられました。この模型を用い、吊材の形式を通常の鉛直吊材形式および各種の斜め吊材形式に変えて静的載荷試験が行なわれ、吊材の形式の与える影響が定量的に調べられました。容易に想像されますように、吊材の形式を鉛直から斜めにするだけで、たわみ小さくなるわけで、この実験的事実を理論的定量的に説明することを修士論文のテーマといたしました。そのころからマトリックス構造解析法が盛んになってきていましたが、従来、吊橋の理論としては微分方程式の形で示されるいわゆるたわみ理論が一般的なことから、斜め吊材吊橋のたわみ理論を導くことを試みました。従来、微分方程式は比較的簡単な形をしていますので、これを修正した形の式を導くことを目標といたしました。この誘導にあたっては、静的載荷試験の結果が非常に参考になりました。この試験結果を観察検討した結果、吊材の張力の橋軸方向の変化は、たわみ角の橋軸方向の変化と類似していることがわかり、この点に着目して斜め吊材吊橋の微分方程式を導くことができました。次に、実験値と比較するため数値計算を行なうことになりましたが、解析解を求めることは困難なので、微分方程式を差分方程式の形にして電子計算機を用いて計算することになりました。私にとって本格的なプログラムを組む最初の機会が訪れたのですが、論文の締切りも近くプログラム言語の説明書片手に組むにはとても間に合いそうにありませんでしたので、先輩に応援を求め何とか間に合わせることができました。テープ入力の計算機でしたが、本部構内の土木工学教室や計算センターのせん孔タイプライターは使用者の予約で一杯のため、黄檗の防災研究所宇治川水理実験所へ出かけて、テープの作成を行ないました。この静的解析のプログラムは 1 回のデバックで何とかとおり、引き続き作成した固有振動解析プログラムと合わせて本計算を行ないました。出力の印刷形式はベタ打ちで、本人以外には読解不可能な代物でしたが、ほぼ妥当な結果を得ることができました。

建設省入省後、各省庁合同の合同初任研修、建設大学校、土木研究所と研修が続き、6 月になって水文研究室に配属されました。

水文研究室では、レーダー雨量計の実用化に関する研

* 正会員 建設省土木研究所振動研究室 研究員

究を担当することになりました。レーダー雨量計は通常の気象レーダーが雲や雨の位置を知るだけの機能をもつものに対して、雨の強さを定量的に測定する機能をも備えたもので、半径数十 km 以内の各点あるいは各流域における時々刻々の降雨強度を時間的に積分することにより雨量を求める、いわば、コンピューター付きレーダーです。群馬県赤城山頂に設置されたレーダー雨量計を用い、地上観測点における雨量とレーダー雨量計の測定値との比較、反射してきた電波の強度の変化の様子と雨の性質などに重点をおいて研究をすすめました。従来の雨量計は、口径 20 cm、面積 314 cm² で数十～数百 km² の面積を代表していることとなりますが、この研究では 30 km 先で 1 km ぐらいに広がるレーダーのビームの幅を考慮して地上観測点にはいくつかの池も含めました。池を雨量計として用いたわけです。降雨強度と反射電波強度の関係のほか、レーダーの側にも種々の問題があることが明らかになりましたが、機器自体の問題のため、ただちに解決するわけにはいきませんでした。

振動研究室に移ってからの最初の課題は、道路橋耐震設計指針に関連して高い橋脚をもつ橋の固有周期の簡単な算定式を求めることでした。中央高速道路、東名高速道路などにおけるこの種の橋の振動実験結果、地震応答解析結果などを集めて調べてみましたところ、橋脚に注目した場合、橋脚単独の場合の固有周期より上部構造架設後の固有周期のほうが長くなっていることがわかりました。すなわち、橋脚に対して上部構造は質量およびばねとして作用すると考えられますが、質量の影響のほうが大きいことがわかったわけです。いわゆる修正震度法により設計震度を求める場合、構造物の固有周期によって設計震度が定まることとなりますので、構造物の固有周期を求めることが必要となりますが、そのつど固有振動解析を行なうことは手間と費用のかかることですから各種構造物に対する簡単で精度の高い固有周期の算定式を導くことはこれからも重要なことだと考えられます。

実橋の振動実験としては、関門橋の橋脚振動実験、主塔実験を担当しました。次に、関門橋の橋脚振動実験について簡単に述べたいと思います。

関門橋の橋脚、すなわち主塔基礎は長さ 20 m、幅 40 m、高さが下関側 14 m、門司側 30 m という巨大なものです。橋脚の完成した昭和 45 年 7 月、この両橋脚について振動実験を行なうことになりました。この大きな橋脚に対して用いました起振機の最大起振力は 40 t というので、実験前は果してどの程度橋脚を振動させようかを心配いたしました。用いた起振機は、長さ 2 m、幅 1 m、高さ 2 m、重量 3 t、モーターにより腕のついた 2 本の水平軸を互いに逆方向に回転させ遠心力により起振力を発生するもので、水平方向のみの起振が可能で



関門橋主塔ロケット振動実験を実施中の筆者らのグループ（中央が筆者）

す。モーターの回転数を変えることにより加振振動数が増減し、水平軸の腕につける重錘の数を増減することにより起振力を変化させることができますが、加振振動数の変化に対して起振力を一定にすることはできません。実験は下関側橋脚から始められました。振動を測定するピックアップとしては当初加速度計を多く用いる予定でしたが、すぐ横の国道を走る自動車による振動をよく拾いましたので速度計を重点的に用いることに変更しました。起振機の運転を開始しますと確かに橋脚は振動しているのですが、モーターの回転数を上げても下げても一向に求める共振点らしきものが現われません。ただ、橋脚を取り囲んでいる締切堤が高い振動数で共振することがわかりました。下関側橋脚は岩盤上の直接基礎で長さ幅に比して高さが低く、岩盤を加振しているような形になっていたようです。次に門司側橋脚を加振いたしました。今度は共振点らしきものが次々と現われます。このときは、橋脚のそばにある水族館の建物内に観測室を設けたのですが、この建物が振動するのが感ぜられました。また下関側と同様、締切堤が高い振動数で共振していることがわかりました。また橋脚のすぐ横では主塔架設のためのクレーン基礎の工事が行なわれていました。研究室に帰りまして整理いたしました結果、下関側橋脚の共振点は加振振動数より高い振動数領域にあること、門司側橋脚では共振曲線に数多くのピークがあり、両橋脚とも橋脚の振幅が小さいとき締切堤の振幅が大きくなっていることなどが判明いたしました。門司側橋脚については、橋脚周辺の地形、地盤の影響のほか橋脚自体の寸法が大きいため、周辺の締切堤、クレーン基礎、水族館などの構造物が相対的に橋脚の近くにあることになりこれらの影響により複雑な振動性状となったものと考えられました。そこで、厳密には三次元の扱いをしなければなりません、とりあえず二次元の有限要素法により地形、地盤、他の構造物等を考慮して解析的に門司側橋

脚の振動実験を再現いたしましたして調べてみましたところ
ほぼ実験で得られた結果と同じような結果を得ることが
できました。ただ、この振動実験では得られました最大
変位が $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm}$ という微小なものですから、大
振幅時の挙動については、今後の実測結果を待って検討
しなければならないと考えられます。

このほか、関門橋、本州四国連絡橋の地震応答解析な
どを担当してきています。

計算機および計算技術の進歩に伴い、複雑な計算が数
多く行なわれています。数字の洪水ともいえるラインプ
リンターにかかわって種々の表示表置がくふうされている
ようです。しかし、計算が計算として孤立しているよう

に見えなくもありません。都合のよい仮定を設けて計算
し易いように計算している結果を信用するわけにはいか
ないかもしれません。実測、実験により基礎的データ
を集積することにより、より事実に近い計算が可能とな
りますし、その確からしさも向上すると考えられます。計
算技術の進歩に伴い、実測、実験の重要性はますます高
まってきているものと思われま。

断片的になりましたが、以上が私の土木技術との出
合いとその後ということになると思います。

いままでに述べましたことは、すべて多くの方々のご
指導とご協力により初めて経験することのできたもので
す。深く感謝いたしております。

(アメリカ合衆国カリフォルニア州パークレイにて)

土木学会耐震工学委員会編 ●好評発売中 定価 5 000 円 会員特価 4 500 円 (〒 200 円)

地震応答解析と実例

● B 5 判・458 ページ・8 ポイント一段組・図版・表など 1000 個・上製箱入特製クロス装豪華本 ●

第1編 基礎編 1章 概説 2章 振動論 3章 地盤の震動特性 4章 地震外力 5章 理想化された構造系 6章 地
震応答解析の方法 7章 構造材料と土の動的特性 8章 解析結果に対する評価

第2編 応用編 9章 橋梁 10章 ダム 11章 土構造 12章 港湾構造物 13章 電力施設 14章 都市施設 15章
その他の構造物 16章 地震応答観測 索引 <全国主要書店でも扱います。予約して下さい>

コンクリート橋 全面改訂版

技報堂
東京・港・赤坂1-3-6

監修 土木学会 横道英雄著 <北大教授・工博> ★B 5・700頁/7,500円

本書は内外の豊富な実例を収録し、理論と施工例を関連づけて解説したユニークな書で、著者の研
究成果に基づき、限界状態設計法、新拘束ねじり理論、2主桁桁橋のマトリックス表示による厳密
計算方法などについて詳しく解説し、実際に現場で実務に携わる技術者の利用に供した。

建設機械化施工の安全指針

日本建設機械化協会 編 委員長 伊丹康夫 ★A 5・280頁/1,500円

ファオマンのための機械知識、修理作業、爆破、トンネル工、シールド工、鉄道、パイプ溶接、揚
重作業、くい打ち作業等々、すべての分野にわたり、保全上の注意と知識を網羅し、各専門家の具
体的記述により指針としてまとめたもの、現場関係者の必携の書である。

橋梁架設工事とその積算

日本建設機械化協会 編 ★B 5・191頁/1,600円

本書は建設省制定の「橋梁架設用」の機械損料算定表が正しく運用されるように解説を加え、建設
工事費積算のためのわかりやすい手引書となるように書かれたもので、損料算定の基礎となってい
る仮定、理論式、架設用仮設備機械などの構成内容について詳細な解説を加えてある。