



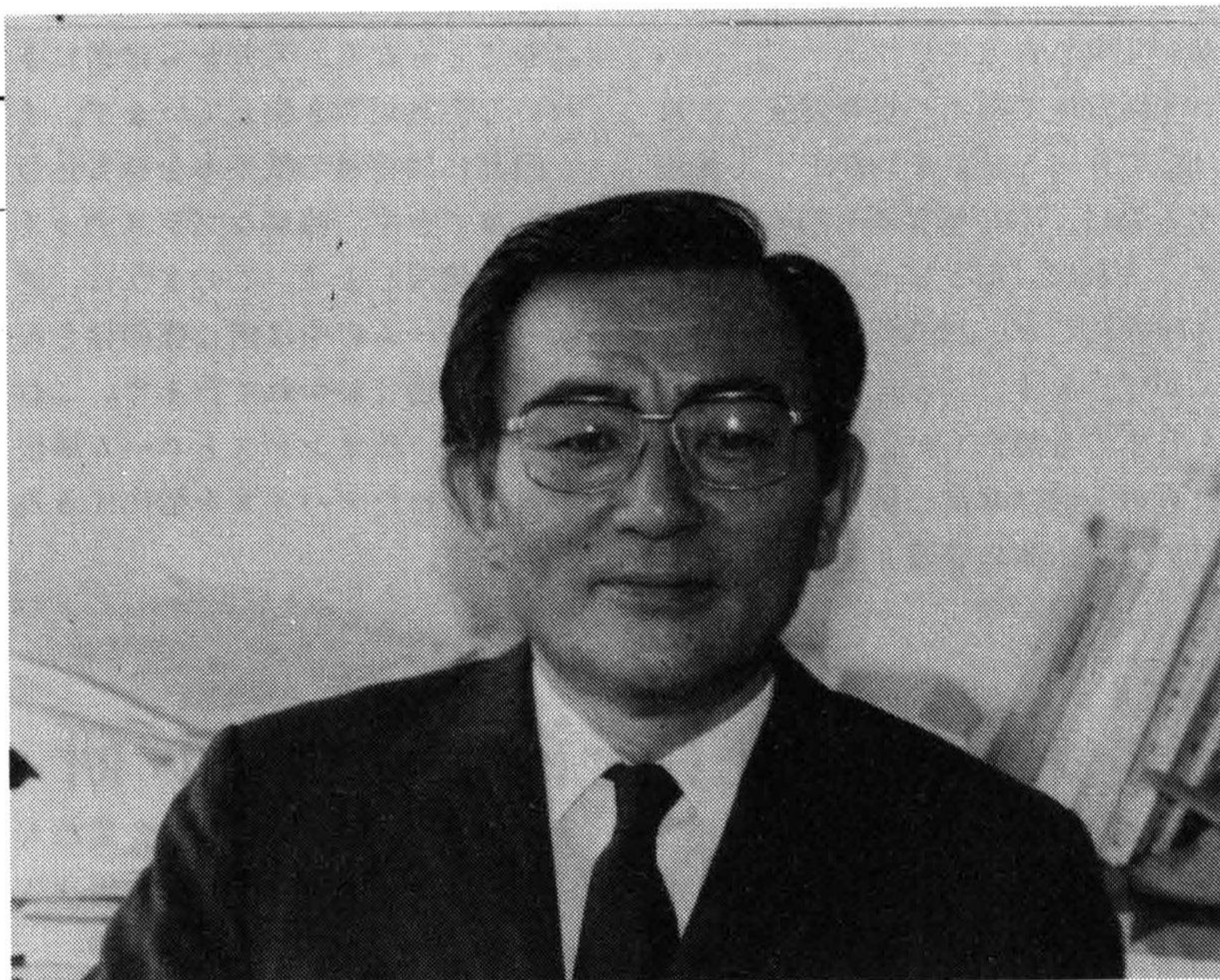
# つちを診断して人々の生命をまもる —— 巨大な建造物を支える土質力学 ——

## 中瀬研究室

### 土木工学科

建設系の人間が最も大切にすることは、安全性と経済性である。特に公共物を扱う土木分野では、一般市民の理解が必要となる。私たちは、様々な土木建造物に護られて生きているが、その役割について考えたことがあるだろうか。逆に“土建屋”と呼ばれるイメージのために、自分を遠ざけてはいないだろうか。

土木を視る目を、少し変えてみよう。そして土木が今、必要としているものを探してみよう。東工大土木科の中瀬明男教授を訪問した。



中瀬明男教授



## 私たち1人1人の生命を支える土木建造物

土木技術は人類史とともにある。太古から未来永劫まで、また、家の前の小道の排水から地球規模のビッグ・プロジェクトに至るまで、土木技術が駆使される領域は範囲も奥行きも広い。それでいて人々は、肌に接する柔らかいセーターのように身近に提供された、大きくて快い空間にためらうことなく安住して、かえってその恩恵を忘れていくように思われる。一般に土木工学への関心は薄く、非常に曖昧な認識しか持ち合わせない人が多いのである。神戸ポートアイランドを見たある事務の方はこう呟く——ああいう島々は、どんどん土を放り込んで埋めちゃえばできるんだから、設計をどうこうと

頭を使うこともないでしょうに……。

土木は人間に逆らわない。人間の営みに必要な礎石を施して、社会を無言のうちに支え続ける。アクシデントが起きれば土木技術の不備として一方的に非難を受け、逆に人々の心に訴えかけようとしなくなった。

「つまり北側（先進国）では、社会の発展に伴う基盤の整備がほぼ済んでしまったんです。例えば、不便な場所に初めて鉄道が敷かれた、渡れなかった河に橋が架かった、というような感激がなくなってしまったんですね。だから今、土木は西欧でもアメリカでも若者の人気はないですよ。ただ国土を揺るがすようなスケールのプロジェクトが持ち上がった



ら、それはまた別ですけどね。」と先生は語られた。確かに、瀬戸大橋開通時に岡山大学で土木科に学生が殺到し、古く東京オリンピックの東京大改造では全国で土木の人気が高まった。

土木工学が扱う範囲は広い、と述べたが、土木構造物という用語は読者は何を思い浮かべるだろうか。構造物別に列挙すれば表1のようになる。

橋、道路（高速道路）、ダム、鉄道（地下鉄、モノレールを含む）、トンネル、上・下水道、港湾、埋立、空港、宅地造成、都市改造、発電所（火・水・原子力）、河川改修、海岸堤防、防波堤、高潮防潮堤、公園、海水浴場づくり、海洋開発、海底パイプライン、etc.

▲表1 主な土木構造物



## “後世への最大遺物”～土木の魅力とは何か？

しかしこれが土木のすべてではない。間口だけでなくその奥行まで見つめる必要がある。例えば水理関係を探ってみる。河川・海岸の工事で洪水を防ぐには、雨水が川に流出する過程の研究、海岸線を高波の来襲から守るための波の性質の研究が必要となる。さらに水資源の開発に際しては、都市の再開発、将来の水需要の把握も重要である。また、いろいろな構造物の建設に伴う公害関連の調査・予測も、現在の土木技術者の大きな役割と言える。

イギリスやアメリカでは、このように国民生活と密着した土木工学に市民の工学（Civil Engineering）

という愛着深い名称を与えている。それとは対照的に私たち日本人は、“土木”の鈍い響きに“泥まみれ”の印象を頭から追い出せないまま敬遠してはいないだろうか。工夫が道路を掘り返し、ブルドーザーが山を切り開いて宅地を造成する、あの一種近寄り難いイメージを。この点から、現在歯切れ良く洒落たコピーが人気を呼ぶ世の中で、建設界もその例に漏れず、土木という名称自身を見直そうとする動きが生じている。社会工学と改名しようとして東工大の社会工学科とまぎらわしいので駄目になった、という面白いエピソードもある。

東京大学ではいち早く土木科を廃し2つに分け、社会基礎システム計画と社会基礎工学と改めたところ、志望学生の数が増えたという。しかしこの改名論が、私たちの認識の変化にどれだけ貢献してくれると言えるのだろうか。そもそも土木の魅力とは、いったい何なのだろう。“土木事業を遺すことは、実に我々にとっても快樂であるし、また永遠の喜と富とを後世に遺すことではないか”と思います。”内村鑑三は1894（明27）年「後世の最大遺物」という講話の一節で、こう述べている。



## 土木は地球表面の医師なんです～中瀬研究室にて

「土木は地球表面の医師なんです。手当てを行い必要に応じながらリハビリして健康を管理する。街角のお医者さんは人体を治療してお礼なんかもらうけど、地表を安く適切に修繕しても、特に個別に感謝される訳ではありません。エンジニアとしては仕方ないですけどね（笑）。でも大きな仕事では、相談に従って検査判断を的確にすれば、2～30億円軽く検約できてしまうもんなんです。」

中瀬先生の御専門は土質力学である。地盤の上に建物をつくと、程

度の差はあれ必ず沈下する。平屋程度の軽さならば微々たるものであるが、海底の軟弱地盤に盛土して海上空港を建設するとなれば、10メートル以上の沈下を見込むこともあるという。不動の大地、という言葉は日本には当てはまらない。困ったことに、わが国ではことに軟弱地盤が多く断層が複雑なため、極めて悪い条件のもとで建設工事を余儀なくされてきた。首都東京でさえ、徳川時代以前はそのほとんどが海の上であった。中瀬先生がおっしゃるには、「湖

を埋めた上にあるメキシコ・シティーは世界の地盤工学の実験場と言われますが、東京もその点では負けません。今でも銀座のコンクリートの下を掘り起こせば、ウナギが眠ってますからね（笑）。」

新幹線にしろ高速道路にしろ、豆腐の上に盛土をつくるようなものであるから、悪い地盤に何らかの手を加えて改良する工法の発展を、必然的にみることになる。中瀬先生の御研究のテーマもそこにある。

「一般の人を私の実験室に案内す



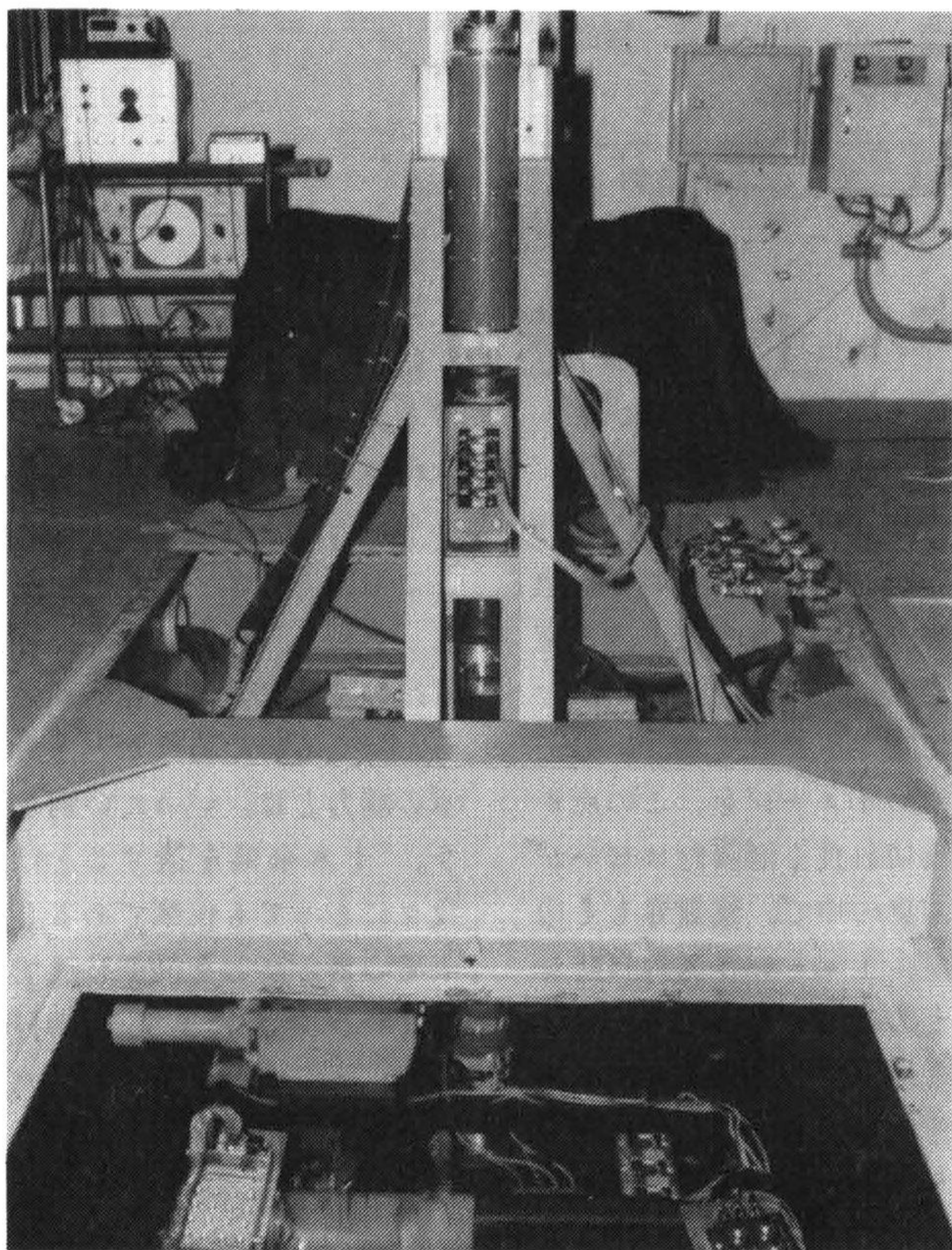
るといつも、“そこら辺に転ってる土を、なぜ数千万円もする機械で調べるのですか。”と聞かれます。小さい子供が喜びそうな、土あそび的な雰囲気なんでしょう。」

土木作業では、現地での試験施行が許されない場合も多い。東工大には日本で3台、世界で40台しかない

という高価な遠心載荷装置があって、これは室内にミニチュア模型実験において実物との相似を成立させる。つまり100分の1模型ではフルスケールの構造物に対応して、荷重を100倍にする。また土の粒子の自重も100倍にして、実物と等しい応力状態にする。そのために模型容器を遠心装

置で高速回転させ、重力加速度を100倍にするのである。回転速度を一定にして土の力学的特性を調べたり、装置のタンクに油圧で細かな振動(地震)を与えたりする。これらの測量結果と、別の力学的な解析計算とを照合して、データが処理される。ちなみにこの装置は、研究室スタッフと業者との手によるオリジナルであるが、実験装置の制作自体も研究の一部だと言えよう。遠心載荷装置を取り入れようとする企業の動きに応じて、東工大土木科はこれを一般に公開し、ノウハウの指導にあたっている。

三軸圧縮試験と呼ばれるエレメント(要素)試験がある。土木では実用のために、様々な複雑条件のもとでの土の性質、例えば橋の繰り返しの活荷重による地盤の劣化、クイックサンド(液状化)現象での水分と地盤の関係、また、それより推定し得る地盤の寿命などを、的確に判断しなければならない。土の特性は、塑性限界試験におけるIP(塑性指数)によって示されるが、粘土と砂と言っても粒子の大きさが区画整然と分かれている訳ではなく、無数に存在する中間土の性質を追求することが、今後の課題となっている。それにつれて、決定論的な研究も現時点では説得力に欠けるとされ、確率論的手法に傾くことと思われる。



遠心載荷装置



## 土木とコンピューター～シミュレーションと問題点

昔から、航空、造船、土木といった分野は、コンピューターを駆使する学科として有名である。従来の手計算では処理できなかった構造物の安定計算、洪水や埋立てに伴う潮流、高潮・津波の湾内での変動計算、交通規制、土圧の計算ができるようになった。しかし、これが可能なのは既に対象が方程式で表されているときであり、実際には色々な条件のもとに具体的な解を求めるのが困難な

場合が多い。そこで、各種の境界条件、初期条件を変化させ、それぞれの解を求めようと試みる。こうして従来の物理的な水理模型実験と同等な数値実験ができるようになった。一方、一つの方程式を解く場合に、自然現象の基礎方程式が非線形になり、解析的に容易でないときは、近似解を精度よく求めようとコンピューターで数値解析を行う。これらの数値シミュレーション手法は、不確



定要素の多い土木界でますます多用されると予想される。「確かに人間ができない実験ではシミュレーションが力を出しますが、実用のためへのウソになりかねません。実物じゃないから、内容の陳腐化や結果の無

責任な盲信を生み易いんです。特に土は、スチールやコンクリートと違い特性がバラバラだから、ソフトがあってもインプットデータに自づと幅が出て、条件が不足します。私はコンピューターをいじりません。逆

に若い学生から、「先生は我々に問題を提起して下さい。我々がそれを解きますから」と言われるんです。新しく効果的な発想を、いつも私は考えています。」



## 中瀬先生の研究と土木の将来について

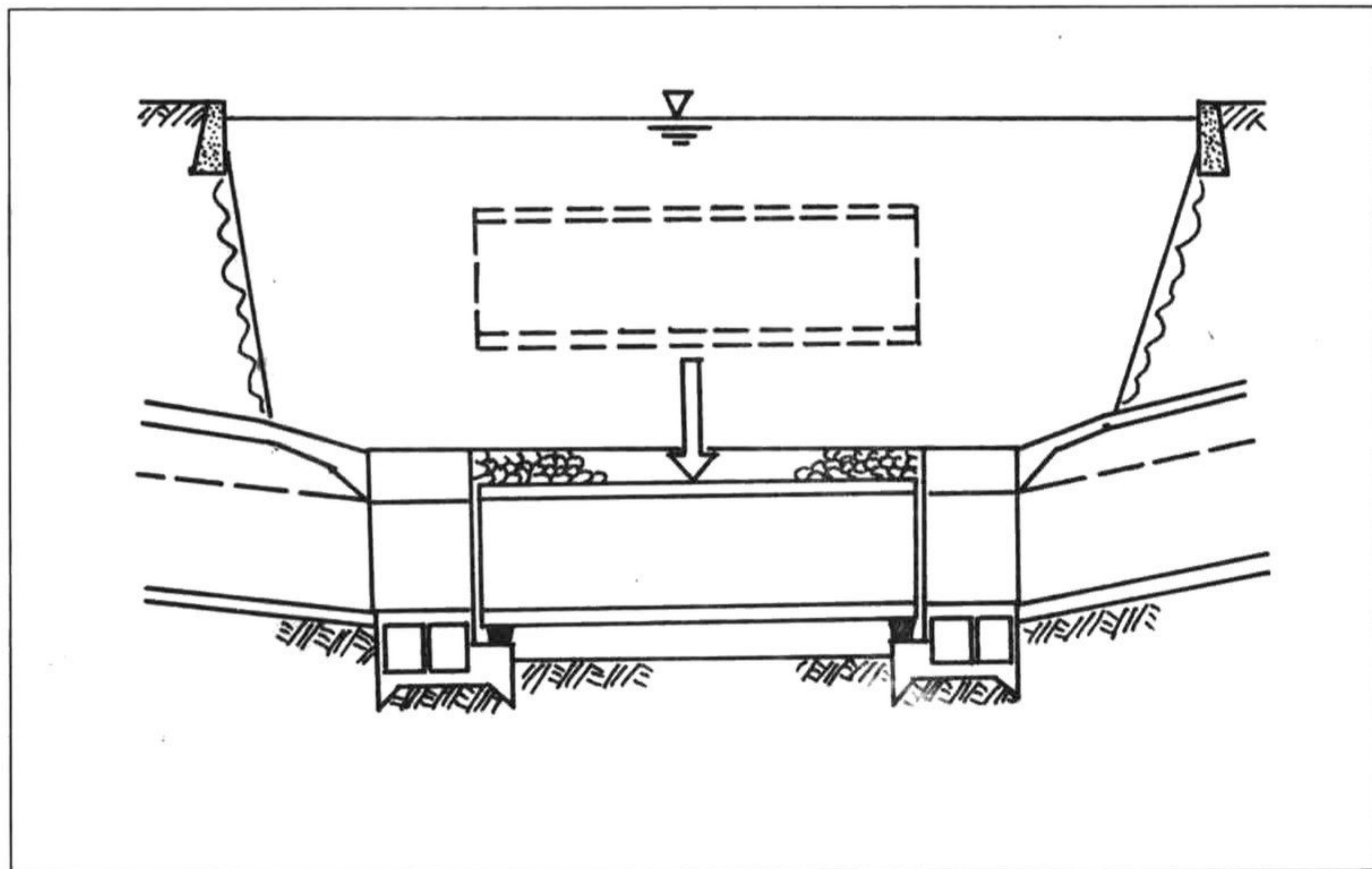
先生は御自身の研究から、関西空港や東京湾横断道路の軟弱地盤の対策を担当されている。ウォーターフロントの人工島がこの先どう沈下するか、5年10年後の予測データとして基本情報を与えたり、川崎からの沈埋トンネルをふわふわした粘土上にいかに固定するか、などである。また、先生は長年運輸省におられたので、現場の状況もよく理解されており、例えば羽田空港の拡張工事費は1兆円に上るが（民間事業とはケタが違う）、これまで述べてきた土質の適切な検査・判断によって、約1割の費用を浮かすことができる。アメリカでは、粗雑な公共施設が、地震でバタバタ落ちているのに比べ先生は日本の公共施設の耐久性に自信を持っておられる。それを調べるのに「一番良い方法は関東大地震級のが一発来る事（笑）」だそうだ。建築建造物は個人の財産なのに対し土木建造物は国民の財産である。今土木界では、このように、既成建造物にどう maintenance を施していくか、そしてまた税金の予算配分をいかにうまくして効率良くおこなうかが、テーマとなってきたのだ。

「東京ガスならガス管、水道局は水道管と、無作為に道路を掘り返しますが、あれには腹が立ちますね。

全く日本的な現象です。一元的に管理してない土木官僚の責任と言えますね。でもね、これはある面では狭い日本の可能性を示しているのかもしれないですよ。大陸と違って、山がちで遊んでる土地のない日本にとって、次の空間を求めるなら残るは海洋と地中しかない。土木の将来は潜ることにかかっている！」

土木と密接な関係にある建築では建築デザイナーが構造設計の担当者と協同して、人々が目を見張る作品を世に問う。土木構造物も設計にあたって、機能に優れ安全で安価であり、しかも美しくあることが望まし

いのは言うまでもない。しかしこの4条件を同時に満たすことは難しく特に安価と美は両立しにくい。これまで公共事業では、美的“遊び”は税金の“無駄使い”とされる向きがあった。それが最近ようやく見直され始め、プロの設計エンジニアを芸大に内地留学させる土木企業も増えている。本四架橋は規模の大きさもさることながら、瀬戸内海国立公園の一部としての景観が要求された。東工大でも景観工学の中村良夫教授が、羽田の沖合展開を美の視点から研究されている。



沈埋トンネルの図



## 今、土木に最も必要とされているもの

毎年、土木科から社会に送り出す卒業生は9000余名に達する。建設省運輸省など中央官庁に入るには国家公務員試験が関門となるが、御三家

東大、京大、東工大からは多くの合格者を出す。その他、JR、日本道路公団を代表とする公社公団や地方自治体、電力、私鉄、建設会社など民

間を含め、社会的地位が高く活躍の安定した人材を輩出してきたのが、東工大土木科の特徴である。「首都改造」と称して丹下氏や黒川氏が、



ウォーターフロントを全部ひき受けたような顔をしています。彼ら建築家はあれこれアイデアを出すのみで最終決定を下しプランニングを推進するのは、実は土木技術官僚たちなんです。東大ほどでなくとも、東工大卒業生で、ビッグ・プロジェクトの意思決定に参加する人は何人もいますよ。人々が気がつかない土木の姿の意外な一面である。

「ただ東大生は、“プランナーにはなりたいが、国立研究所の配属だけは勘弁して下さい。”と口を揃えます。東大では数学や力学を知らずに卒業する人も多いでしょうし、また、土木界でそういう地位にもいます。ところが東工大生は、“研究所でもいいですよ”とあっさりしたものです。技術面では東工大卒が日本の土木界を牛耳ることでしょう。東工大生は政治家にもならず、出世して社長となるのも向かないでしょうが、技術担当の重役として責任を持つ地位においては、それをがっちり守る義務があると思います。将来は砂漠の緑化にまで手が伸びるでしょうが、それには海外で生きる抵抗力を養わねば。礼儀、ハシの持ち方とか、音を立てて食べないとか（笑）」東工大土木科には、韓国、マレーシア、シンガポールから、その国土を背負って立つことになるような留学生も数多い。

「社会の総務科として、環境的に土木の担当範囲は広がるでしょうが、何でもできる人はこれからは尊敬さ

れない。ジャーナリストのように浅く広くではついていけない。1つの研究に国際的に秀でて初めて、その実績によって部下ができる。そしてコーディネーターとなる。それが本当の土木人の仕事だと思います。」そうおっしゃる先生御自身、優れたコーディネーターなのだ。

「日本は当時電力不足が深刻だったので、コンクリートダムが作れたらなって思っていました。」中瀬少年は旧制高校のとき内村鑑三の著書を読んで感激し、英文学を捨てて土木の道を選んだとのことである。

「学生の頃から遊びの気持ちが大切ですね。いつもギリギリ神経を使っているのは駄目です。遷都論でもいい何かとんでもないことをしょっちゅう考えてその思いつきを煮詰める。決められた枠の中で競うのではなく、残された多くの可能性をどう生かすかによって楽しみを得る。土木の場合は庭いじりの好きな人が、楽しく地

球に手を加える、という感じがいいんですよ。」

「学会では土木改名の議論の座長を務めたので、何も言えませんでした。が、個人的には土木の名を変えたくないです。そんなことよりもっと大切なことは、土木のありのままの姿を出すこと。PRを充実させて土木をもっと知ってもらえば、おもしろいと感じる若者の数も増えるでしょう。」土木のありのままの姿を伝えること！ 中瀬先生は何度も強調された。去年は保健管理センター長、今年図書館長と、私たちのために御多忙な身を惜しまず割いて下さる先生に、今後ますますの精力あふれる御活動を期待したい。最後に、最も印象的な先生の御言葉を載せる。——私の場合は趣味、楽しみがそのまま仕事になりました。チェロを弾くのも楽しいけれど、土木も負けずに面白い。だから幸せです。本当に感謝しています。（谷口）

