

座 談 会

土 質 工 学 の 将 来

開催期日：昭和54年5月25日
 開催場所：土質工学会会議室
 主催：「土と基礎」編集委員会

司会 本日はお忙しいところをお集まりいただきありがとうございます。土質工学会創立20周年の昭和44年に「10年後の土質工学を語る」という座談会がありまして、これを受けたような形で30周年の今回も「土質工学の将来」と題します座談会が企画された次第であります。

この10年間に土質工学は目ざましい進歩を遂げたように私は思います。そこで、本日は10年前の予想と現在、現状の問題点などを踏まえて、10～20年後の土質工学のあるべき姿や将来の課題などを語り合ってください、さらに21世紀の夢の土質工学などもお聞かせ願えれば幸いです。

10年前の予想と現在

司会 前回の座談会で話題になったことが現実を経過してどのように認識されたか、また10年前の予想と現在がどのようになっているかというところについて、前回出席されました東山先生と今井先生に話していただけたらと思います。

東山 昭和44年12月号の「土と基礎」を引っぱり出して、10年前に自分がどういうことを言っているかとひやひやして読みました。驚いたことには10年も経ているという古さを感じられず、当時の列席の先生方の実力に関係するかもしれませんが、現在に置き直しても決しておかしくないというのが卒直な感想です。予想が当たるとか当たらないという問題でなく、私どもが10年前に問題にしたことは現在でもまた今日的な問題であるということです。具体的には都市開発、宅地造成、海洋開発、災害の問題などで、他のサイエンスと違って土の学問は息が長いといいますが、古い問題が絶えず新しい問題になり得る性質があるのではないかと思います。

そうは申しませんが、この10年間に予想以上に伸びた部分があるかと思っています。なかでも、有限要素法の土質工学への進出ぶり、それに関連して土の構成方程式の急激な進歩が注目されるような気がします。

今井 当時は卒業して2年目で、何もわからない状態で諸先生のお話を伺っていたわけです。10年経って読み直し、いま東山先生が言われたことと全く同じことを感じました。土質工学会



今 井 氏

出 席 者 (敬称略, 50音順)

井上 嘉信 (清水建設(株)研究所)
 今井 五郎 (横浜国立大学工学部)
 上田 勝基 (榊間組技術研究所)
 風間 秀彦 (埼玉大学工学部)
 阪口 理 (建設省建築研究所第四研究部)
 島 博保 (日本道路公団試験所)
 田村重四郎 (東京大学生産技術研究所)
 田村 俊和 (東京都立大学理学部)
 東山 勇 (山形大学農学部)
 平間 邦興 (榊大林組技術研究所)
 室町 忠彦 (基礎地盤コンサルタンツ(株))
 吉国 洋 (広島大学工学部)

司会：土田 肇 (運輸省港湾技術研究所)

般に関することで10年前問題になっていましたのは、これから土に関する工事が増大していくだろう、そのときに一体どう考えて ったら良いのかということでした。この点に関しては最近、特に理論と実際のギャップをどう埋めるか、という問題になっているという感じがしております。

調査・試験に関しては、将来もっとレベルアップする必要があると強調されていたようです。実際、この10年間の努力のお陰で、最近では原位置でありのままの土の挙動をとらえようという目標が具体的課題にまでなっています。試験の自動化は10年前の予想が当たっておりまして、かなり進歩してきているという感じがします。

設計、施工面では調査から施工までをシステムティックに考えていく必要性が強調されています。実際に、情報化施工とか観測的施工とかの形で、現実にそういう工事がかなりできるようになってきています。それから数値解析の問題ですが、驚いたことに、10年前に数値計算の考え方に對する警鐘が出ています。つまり、計算法としては大いに発展するであろうが、インプットデータをどうするか、アウトプットをどう解釈するかの方が重要だということです。これは現在まさに大問題になってきていると思います。そのほか地盤改良、連続壁、海洋開発、土地問題、地盤と構造物の動的解析などの予想はほとんど当たっている感じがします。

研究面に関しても予想がかなり当たっています。特に変

形問題、不均質性の処理、確率を取り入れた設計概念などはこの10年間に急速に進歩した分野だと思います。

最後に、教育とか人材養成に関しても当時突っ込んだ討論がされていて、大学教育のもつ問題点や実務に携わる技術者養成の問題点など、いまだに解決されずにそのまま残っていると思います。

司会 東山先生、今井先生のお話を伺うと、10年前の指摘は非常によく、的を射ているということなので、今日の座談会も10年後に同じような評価を受けるためには頑張らなくては行けないという気がします。

この10年に問題点とされてきたことあるいは現在の問題点を具体的にお話しいただくと、将来を語るために役立つと思いますがいかがでしょうか。

室町 標準貫入試験を伴うボーリングの調査システムは容易に変わらないと10年前も予想していたのですが、いまだに変わっていませんね。どうもこの試験のPRをやり過ぎてしまったのかなとも思います。試験方法の改良は研究的にはやられておりましたが、商業ベースにのせるというところまでは行っていません。

実際には標準貫入試験のN値ですべて割り切って設計することが多いのです。それでいろいろなデータとN値との関係式を作ってしまう。その式が独りで歩き出して、どのようにして作ったのかよくわからないけれど便利だから使うというようになってきています。調査の面ではいろいろな試みはありますが、あまり変わっていませんね。ただ、地震関係の基礎的な調査の面で土の動的な定数を得る試験は、これからも新しいものが出るのではなかろうかと思っています。



室 町氏

島 10年前を思い出しますと、高さ15~20mもあれば大変な盛土だとの姿勢で取り組んだのを覚えています。その後、当時の謙虚さがなくなり、過去の実績だけが独り歩きして、非常にこわいことをやっているような気がします。また、土を盛土の構造材料として見る意識に乏しく、土質試験の活用が十分と言えない現状と思います。軟弱地盤では処理効果に疑問を持つ向きも多いわけですが、計算式を機械的に適用して本質を考えずに、施工量をこなすという姿があるように感じます。今後、このような課題が技術として次第に明確になると考えています。

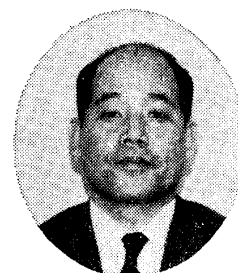
吉国 N値がオールマイティになっている、あるいはどのようにできたかわからない経験式が実績というバックデータに支えられて独り歩きしているという話がありましたが、これは土質工学の本質の一側面だと私は思います。複雑でも、精密な調査や試験をするやり方と、少々ラフでも簡便な試験をするやり方があると思います。これは調査や試験に限らず、理論的なものも全く同様で、緻密な理論

を立てる一方、簡便な理論がどんどん使われています。土質工学にはこういう二つの面があって、ある意味では車の両輪のようなものだと思います。ラフなものだけ、あるいは精密なものだけあればよいのではなく、両方が必要なのです。実際に適用する場合にはラフなものが大きなウエイトを占めますが、その解釈に精密なものがあるという状況ではないかと思っています。

平間 土質工学会から出版されます「盛土の調査・設計から施工まで」という本の編集に携わったときに、各機関の第一線で活躍している人たちから生の声や質問を集めましたところ約300にもなりました。その中には、現在設計・施工ではごくあたりまえにやられていることで、調査・試験に関連して明らかにされていないことが極めて多かったのです。例えば、構造物に対応した捨土の判定規準、岩砕盛土の沈下性状の把握、あるいは膨潤性粘土鉱物の定量的評価など、聞かれてもとても答えられないことが実際には行われているのに気がつき驚きました。

それで、調査・試験法やその解釈について昔からの流れをもう一度見直す時期にきているのではないかと思ったわけです。それが次へ進む大前提になるのではないかという気がするのです。

上田 平間さんの言われたことは確かにありますね。ただ私が思うのは、試験法が確立しなければ何もできないという考え方は困ると思うのです。実際に我々の仕事は試験法がなくても小さい物を作ってから次第に大きな物を作っていくという経験過程の中から、いくらかでも解決していける要素はあるわけです。例えば、土質試験でも圧縮試験はたくさんあるけれど、引張り試験はあまりないですね。例えば根切りをする



上 田氏

場合、掘削側の地盤の上載荷重は減少するが、このような条件下の地盤の挙動については適切な文献がうまく見つからないようです。しかし、実際には除荷される側の条件を仮定して計算で解くことを幾らでもやっているわけです。

島 岩砕盛土の件ですが、宅造や道路は岩砕を大量に扱った経験の少ない分野です。それに対し大量に扱うダムや技術が学会にうまく流れ込んでいないきらいもあると思います。これは学会の運営に係わる面もあると思いますが…。それと、施工技術とか施工機械の分野がなぜか学会ではあまり扱われない気がしています。

室町 東海道新幹線ができてから、いろいろな問題が出てまいりました。特に軟弱地盤処理をしたところが後の保守でえらい仇を取られたという苦い経験を持っています。最近、国鉄の調査設計施工指針が全面的に改まり「設計標準」という形になりまして、その中では軟弱地盤処理をしなればならないような悪条件のところでは盛土を止め、

座談会

高架で渡るようになっております。また、環境や公害関係が厳しくなって、できることなら全部トンネルでということになりますと、エンジニアリング・ジェオロジストが脚光を浴びることになると思います。

井上 建築の基礎関係については、少しおおげさに言いますと、 N 値を頂点にした設計や施工の体系が10年ぐらい前にできたと思います。それが定着し、ルーチン化されて、深く考えることもなくこの体系の範囲内だけで設計や施工がされるようになってしまいました。

一方、超高層ビルの建設のためや、新潟地震を契機とした液状化問題によって、土の動的性質が新しい問題としてクローズアップされたのも10年ほど前です。この問題については現在も百花繚乱の状態、例えば液状化にしても、具体的に建物を建てる時にどう対処したらよいか、依然なぞに包まれて簡単に対応できないのが現状です。

上田さんの言われた土の引張りに関係することでは、超高層ビルなどの深い根切りの場合、土かぶり圧の減少によるリバウンドの問題はまだ未解決のままです。この問題については弾性波とか、サンドサンプラーによる不かく乱試料の試験とかの結果を用いた新しい試みがなされています。しかし、基礎の設計がルーチン化されているので、逆に問題が出てきているようです。

司会 それは、逆説的には「設計規準」などが便利にできすぎているということでしょうか。

井上 一般に基準や指針というのは功罪半ばし、一方では技術の進歩をそこで止めてしまうような弊害と、他方では技術をレベルアップし、平均化するという良い面もっています。4年ほど前の大改訂でもこれが問題になり、結果的には前回の規準を踏襲した形になっています。

風間 研究や実験の面では大規模な模型実験が多くなってきたと思います。これは構造物の大型化に伴い、従来の理論や設計法をそのまま用いることの不安と、動的な問題に対処するためと思われる。土を対象にした模型実験の難しい点は相似則で、それをある程度満たす遠心力载荷を除けば、定量的評価をすることは難しいのが現状だと思います。研究面では東山先生が言われましたように、極めて高度になりつつあると思います。学校教育については「土と基礎」の4月号に小特集がありまして、そこでいろいろ述べられています。最近のカリキュラムは全般的に基礎的科目に重点を置き、応用科目は少なくする傾向にあるようです。また、いろいろな方面からの必要性があって電算機とそれに付随した講義はどこでもやっていると思います。

田村(俊) 私の専門は地理、特に地形学の一部でありまして、土木や建築の方が「土」と呼んでおられるものがどのようにしていつ頃できたかということに興味があります。そして、土質工学的手法と成因的あるいは歴史的手法がどこで結びつくかということにも関心があります。しかし、成因的なり歴史的な土の見方が工学にどのくらい寄与して

いるかということになりますと、まだ当事者の個人プレーの段階だと思います。一番寄与しているのは土の分布の問題ではないですかね。つまり、試験された点のデーターを地域に広げるときに、有意な分布の境界を見つければ、それが成因的・歴史的にみた地形・地質の境界とわりによく一致することが多いということは、各分野の方が気づいておられるようです。

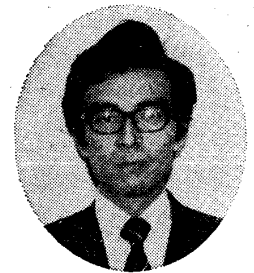
そういう意味で、私が関係している分野から土質工学への寄与が、この10年間に著しく増大したとは言えないと思います。しかし、工学的取扱いに関心を持つ学生や教師が増えてきたことは事実です。私どものところを卒業して、そういう現場を持った会社に就職する者がたまにいますが、大部分は我々が教育したこととは一応絶縁して(笑)、新たに出発するつもりで一生懸命勉強しています。一人前になるには少なくとも5~10年かかるのではないかという気がします。

今井 田村先生のお話を興味深く伺いました。この10年間に力学を勉強した人だけでなく、地質や地理を勉強した人も土質工学の世界で活躍されました。これは10年前に比べて違う点だと思います。

土質工学は自然につくられたものを相手にするわけですから、力学を勉強してきた人が力学に合わせて自然に手を加えようと発想しても、それだけではだめなのだというのがこの10年間にはっきりしたと思います。一方、地質とか地理を勉強された方は、逆に自然から学んで体系化しておられます。そういう方たちの見方と力学的な見方をこれから10年、20年かけてよく熟成していかないと、ほんとうの意味で日本の土質工学は大人にならないのではないかということを感じています。

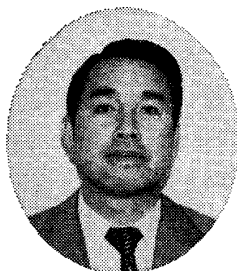
風間 現在、土質工学会の会員構成を見ますと、地形、地質関係の方が5.3%おられます。実際に、そういう方々が土質工学の分野でずいぶん活躍しておられます。一方、工学の分野の方は地形、地質に対する認識が不足しているように思います。私は地質屋さんから話を聞く機会がよくありまして、実際に工事をやって問題が生じる場合は往々にして地形、地質を軽視したり、あるいは理解が足りないことによる場合が多いようです。

田村(俊) 先程かなり悲観的なことをいいましたが(笑)、私どもの立場を理解して下さる方がいらっしゃるのを知り心強く思います。ただ、私どもの定性的な見方には力学的な観点に立つ方々を十分に説得させるだけのものがまだないような気がいたします。例えば、危いといっても、危いというのがどういうことなのか十分に理解されないですね。そうすると、具体的に数年とか数か月の間に物をつくる立場に対してはあまり役立っていないような気がします。



田村(俊)氏

田村(重) 私は耐震問題を構造の方からやっておりますので、土質関係の方々とはかなり密接に関係しています。土の力学上の基本的性質からして、長い間のデータの蓄積がないと、なかなか適切な評価ができないということがあるということは知



田村(重)氏

っています。しかし、例えばダムの問題で三軸圧縮試験の結果をどう評価したらよいかというような場合に直面したとき、もっとほかの試験方法があってもよいのではないかと思うことがたびたびありました。試験方法で何か画期的なものを考えていただけたらという希望があります。

調査と試験

司会 土質工学の将来について、まず、調査と試験に限定して話を伺っていきたいと思います。

私個人としては標準貫入試験は将来も主役ではないかという気がしますが、その辺の見通し、問題点、あるいはそれに代わる新手法などの観点から自由にご発言下さい。

島 標準貫入試験の問題は構造物の支持層を考える場合、 N 値そのものを重視しすぎているきらいがあることです。一方、特長として、試料が簡単に採れることですが、その有用な情報をどのように柱状図などに表現し活用したらよいか残念ながら余り意識されていないようです。まだ研究者は少ないのですが、レイモンドサンプラー内の試料を割って、写真で表現しようとする例はその試みと思います。

司会 直接見られるということは心強くなりますね。外国での標準貫入試験の使用状況はどうでしょうか。

室町 本家のアメリカでは日本ほど使われていないと思われれます。南米には少し形の変ったもの、サンプラーの形状、エネルギーの与え方や量の違うものがあります。日本が世界中で一番多用していて、その点では見上げたものだと思いますが、それだけで終始してしまっているのがちょっと問題です。

大きな構造物では変形が重視されて、設計も破壊からでなく、変形から抑えようという方向に進んでいます。 N 値を変形係数に置き換える式だってあるわけですが、事の本質を突っ込んでいく場合にはやはりまともなやり方をした方がよいのではないのでしょうか。 N 値は一つの立派なデータではあるけれど、それ以外にもやるべきことがあるはずだと思いますね。

司会 確かに N 値を測ると何でも答が出るということについては(笑)、逆に本当に使うべき手法の発達を抑えていることもあるかもしれないですね。

室町 N 値だけではどうにもならないのが圧密関係の透水性の要素が入っているものです。しかし、 N 値で沈下量を概算できるというのもありまして、あれはちょっと困る

のです(笑)。

井上 N 値が現状の設計手法上で必要な値に直接結びついているところに問題があるかもしれません。例えば、液性、塑性限界とか粒度とかいうもので、ワンクッション置くようなことが必要だと思います。しかし、直接便利な形ででき上ってしまっているものだから、途中が省略されて N 値の大きさだけが使われてしまう。いろいろな角度から大局的な判断をしようとして、どんな土かということになっても、ポーリングマンが手ざわりで観察した柱状図の記事ぐらいしか情報がないというケースが結構多いのではないのでしょうか。

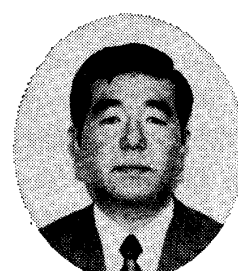


井上氏

室町 N 値の結果を利用する場合に困ることは、砂質土なら ϕ でやろう、粘性土と判定すればいきなり q_u か c に結びつけるという発想になるのですけど、中間の土はどうなるかという、これは扱いがまちまちですね。

吉国 土質工学の将来に、さわってみなければ判断できないようなものを期待するのか、あるいは何か係数が出たら指導書に従って計算すればだれが計算しても同じ結果が出るものを期待するかになると思います。確定的な解を期待することは、土質工学ではとても無理だと思います。つまり、現場における土質工学的挙動はいつもある幅を持った推定になるということです。また、4月号の「学校教育における土質工学」の中でも幾人かが「文字になった土」という形で指摘しておられるように、分業や自動化が進むなかで、もっと生の土を扱う必要があるということです。

平間 私も同感ですね。それから、施工に対応する試験法の確立も将来の重要な課題の一つではないかと思っています。例えば、施工機械の組合せと土質試験結果との対応がなされているかといいますと、実際はブルドーザーの押し土作業状況とか履帯のめり込み具合とかいった要因で経験的に決められているにすぎません。言い換えれば、現在の高度に細分化された土質試験法は、施工に適用し難い面も多いわけです。



平間氏

井上 調査や設計・施工など一連の仕事の各段階で、だれがやっても同じになる部分と、そうでない部分があると思います。一人の人がルーチン化されたものから高度のものまで、全部やらなければならないということはないと思います。むしろ難しいことはプロに任せてしまう。実際の仕事はかなり量を消化しなくてはならない面もありますから、別の意味でルーチン化していく必要もあると思います。それほど考えなくてもよい部分と、考えてみなければいけないという境界ははっきりするとうまいと思います。

座談会

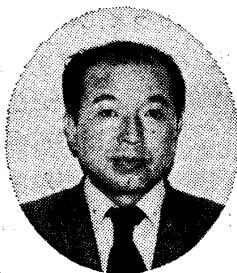
司会 手法の話よりはあり方の話の方が活発に出やすい雰囲気のように思いますが(笑)……。N値に関連して粘性土の原位置試験の将来の発展性という点についてはいかがでしょうか。

室町 標準貫入試験は軟らかい粘性土には不向きですよ。ヨーロッパで一般的に使われているコーン貫入試験の方が、細かくて設計に直結できるデータが得られると思います。それと圧密に係るデータが原位置で簡単に測定できればと思いますが、難しいでしょうね。プレシオメーターとかベーンとかは大分前からありますが、港湾関係ではよく使われているのでしょうか。

司会 余り使われていないようです。使うべきではないかということで、研究的な動きはありますが、実用という点ではまだ遠いという感じです。

上田 この間ある現場へ行きましたら、30cm ぐらいのドライバーにさやをかぶせて、その根元にバネをつけた物を腰に差しているのです。それを粘性土地山に差し込み、その時のバネの縮み量からいろいろの判定を行っている。コーンペネトロメーターの簡易型ですね。これは一例ですがどのような方法でもよいから、技術者が物を測るという基本的な姿勢を身につけないといけないと思います。現場的発想の道具で物を測らせて、うまくいくものならそれを育てていくということは学会でできるでしょうが、道具の開発や習慣づけを学会に期待するのは無理ではないかという気がします。

阪口 日本のいままでの土質力学は、特に応用的な面で、大きな間違いを一つしているのではないかという気がして仕方がないのです。私たちの上司でありました小泉さんがよく言っておられるように、ロンドクレイに対する研究はイギリスでは多いですが、それに類似する、例えば東京層の粘土に対する研究というようなテーマでの研究は行われていない。このような点に大きな問題があるという気がします。



阪口氏

関東ロームとかしらすとかのように、地表で見える土は、見ただけで違いがわかりますから、別扱いという形でやっていますが、例えば洪積粘土としての一つのグループに分類されている粘土にも、一軸圧縮試験からでは強度を推定できないような土や逆に q_u からかなり正確に強度を推定出来る土があると思うのです。その辺の区別が全く行われなことが問題で、これが明確に行われ東京層の粘土ならこういう試験をやればよろしいとか、N値からこういう強度の算定方法があるとかいうような形で整理していけば、今よりずっと精度の高い地盤の評価ができるのではないかという気がしております。

今井 その件に関しては、既に10年前の座談会で稲田先

生が強調しておられます。それがこの10年の間にあまり行われてこなかったということですね。

吉国 それと同様に10年前に赤木さんが長い時間をさいていわれたことは、構造力学的感覚では土質工学は行えないということです。今日なおもそれを主張しなければならぬ状況があります。それが何かを考えてみる必要があると思います。

田村(重) 私は今皆さんが言われている構造屋の一人なのです(笑)。構造物の安定問題は、極論すれば広義の応力～ひずみ関係が分かればほとんどやれることになりませんが、基礎地盤のデータはたくさん取ってあっても評価が足りないと土質の方から言われますと、ガラガラと建物が壊れてしまうことにもなります(笑)。不確実のものはある範囲で抑えて、この土の場合ならこの程度の値で、これぐらいの幅があつて、危いのは“このくらい”だから、この程度の定数を与えれば良いとか、そういう方向に持って行っていただかないと困るわけです。

吉国 1930年代に土質力学に理論めいた研究が一斉に出てきたようです。テルツァーギはそれを見て、「土質力学は精密科学にはとてもなりそうもないからそういうことはやめなさい。土の性質や土の実際の挙動を徹底的に調べなさい」と言ったわけですね。

このような背景があつて、理論研究は幾分停滞ぎみでありましたが、計算機の発達に伴い、再び理論的研究が活発になってきました。計算機は確かに強力な武器ではありますが、それだけに頼るのは危険な意味があるので、今一度、実際の生きた土に触れようということではないでしょうか。

設計と施工

司会 今までのお話を伺っていると、設計における解析にその精度に耐えるインプットデータが提供されているか否かということになるのじゃないかと思います。その辺のことも含めまして調査、試験から少しずつ設計、施工の話へ議論を進めさせていただきます。

島 理論式がたくさんありますが、どのように適用すればどの程度の妥当性があるのかは究明されていないと思



ます。それと、他の材料に比べ土のもつ特殊性をわかりやすく説明する努力が不十分なように感じますが……。

平間 適用範囲の話が出ましたが、設計者がインプットデータの持つ意味をそしゃくして使っているかどうかの問題があると思うのです。その反省として、盛土工事などでは経験的な要素が多いということで、設計時に予想された挙動と施工時に計測される挙動を対比して設計施工を修正していく、いわゆる観測修正法と呼ばれる方法が普及しつつあります。こういう方法はそれなりに評価できますし、将来性もあると解釈しています。

それから、これも最近普及してきました信頼性設計法ですが、地盤の不均質性のある程度確率統計的手法で処理するというので、安定、沈下、支持力の問題には将来性があると思います。

東山 最上先生のいわれる48年型の土質力学の教科書が1948年頃に何冊か出て、“土”という混沌とした物が理論体系化されたわけです。私どもはそれをうまく利用しようという道を30年間歩いてきたのではないかと思うのです。最初の10年間は無我夢中で過ぎたのですが、その後普及時代が終わって、現実と比較すると教科書は余りにも理想的過ぎまして、実際とは合わないところがあるのです。例えば締め固め試験では一様な土を締め固めますが、試料の中に礫が入ったらどうなるのか、現実の盛土では礫もどンドン入ってくるわけですから、何かその辺のギャップを痛切に感じます。そういう現実の問題もあって、実際に室内試験が適用しきれないときはフルスケールの試験などをやって、そこから情報を得ていくようなことしかないのです。それは結局教科書から独り歩きしているわけですね。これから私どもの努力は、むしろそこへ向けられていくべきではないかと思えます。立派な教科書の時代は終わって、もっと教科書的でない、さっきのポケットペネトロメーターというようなものから出直すようなことも、また一方で要求されているのではないかと思うのです。

同時にまた、私どもの学問というのは30年前に戻るわけにはいきませんから、一方ではコンピューターを使って数値解析をやっていくようなことを軽んじてはいけません。ただ若い人たちがそれを過信しすぎないように教育者や先輩たちが指導すべきだと思います。

阪口 建築の場合では小さな工事が多く、ボーリングを1本やって基礎設計をやるケースが多いです。この程度のデータからある程度の精度で物を考えられるような状態にもっていきたい。そして一方では、中途半端な地盤調査は役に立たないのでやめてしまって、やるのなら徹底的に追究した試験をやるようにしないと進歩しないのではない

かという気もします。先日、直径2mの深礎を掘りまして、その中で試料を採って土質試験をしましたが、ものすごいばらつきで困りました。こういう問題の追究がまだまだ不十分ではないかという気がします。

司会 最近は工事が大規模になっていますが、何点かでボーリングやサンプリングをやって、その途中で抜けているところは補うわけです。補う方法とか、また広い範囲を能率的に把握する調査方法とかについて将来の発展性はどうでしょうか。

田村(俊) 土の空間的分布には規則性がありますから、その規則性を把握して、それを使うのが一番良い調査方法だと思います。既存の地質なり地形なりの知識がすぐに使えると思いますが、実際にそこに物を作るような精度でもう少し表層地質なり地形なりの方の精度を上げて大縮尺的に見る必要があると思います。そうすれば、ある地域の各種の土の分布範囲は成因的にある程度詰められると思います。それをわかりやすく地図などにするのは私どもの仕事でしょう。

そして、ボーリング、サンプリングなどの結果をもう一回地盤に還元して、図の精度を高めるということの繰返しが必要ではないのでしょうか。

島 最近、簡易弾性波が多用されて来たのが目につきますね。点と点の間を補って、線で調査できる簡単な方法ですから、補足的な手法として将来性があるような気がします。

田村(重) 広域な調査は点でなくて、平面的かつ立体的にやる必要のある問題が出てきています。

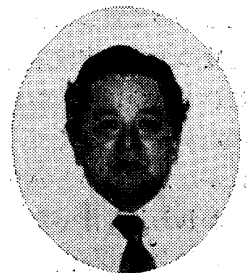
吉国 地盤の成層状態も含めて、点と点の間を埋めることが土質の仕事だと思います。理論でも48年型の土質力学では土質の問題を大きく透水、変形、破壊の三つに分けてそれぞれ別個に扱うわけです。それはまさに点なわけです。また、破壊を考える時でも非排水、圧密非排水、排水と三つの排水条件があって実際はこの中間にあるから適当に処理して、あとはその人の判断に任せますというやり方をしているのです。そこらを技術者によく認識してもらわないと困ります。

島 いまのところ、理論と現実の違いについて、技術者、研究者とも逃げているのではないのでしょうか。もうそろそろその姿勢を捨てて、取り組むべきではないかと思えます。

吉国 構造関係には仕様書があり、計算方法をほぼ決めています。土質にはほとんどありません。例えば支持力の計算式でも五つも六つもあって、一つに決めてもらったらすっきりして楽になるのに、何通りも提示して適当なので計算しなさいと言われるから困るのです。そこらに土質の特殊性があると思います。



東 山 氏



吉 国 氏

座談会

平間 最上先生が言っておられますね。構造力学は人間がつくり出した材料が相手だが、土質工学は自然が相手で、そこに大きな違いがあると。

田村(重) そのとおりだと思いますが、計算機が発達して、それを使っているいろいろやろうとしているときに大きなネックになって、困りますね。

上田 もっともだと思いますね。杭の鉛直載荷試験の基準を作りました時にもめた条項がたくさんありましたが、一般的に行われている手法で大きな矛盾の無いものは多少問題はあっても思い切った一つの手法を決め、その方法で実際運用してみても問題があれば直すことにしようという発想がかなり強かったようです。

まあ、杭みたいなものは大きな安全率を持っていますので、そういう思い切った手法が可能かもわからないけれど、極限設計に近いような考え方で設計された構造物を扱うときに余り大胆にやってしまうと、構造物が壊れて大変でしょうからね。その辺も一概には言い切れないのですが、ここらで思い切った何か一つの手法、もしくは数個の手法をまとめてみる必要は感じます。それを避けているからいろいろな資料が出てきても比較のしようもないし、まとももないという気がします。こういう考え方はちょっと冒険でしょうか。

井上 確かにそのようなことも必要だと思います。土質や基礎の場合には、現実の姿から教えられるケースというのが他の分野より少ないように思われます。別な言い方をすれば、再現性が難しいわけですね。例えば、盛土をして大きくすべったことが一つの契機になって、また次のステップに進んでいく、あるいは実際の構造物が地震で壊れたことでまた一步前進するということが非常に少ないし、実際上も極めて難しい状況にあります。コンクリートや鋼の構造物のように実験室内で手軽に再現できないのです。

これからの10年もおそらくそうだろうと思います。地震の問題が一番大きくて、地震が来ない限り教えられることがなかなか難しいということと、また長期的な問題としては、われわれが作った物がどうなっているのかということ、これから10年間で調べながらじっくり反省することも必要だという気がしています。

室町 設計の考え方は相当進んでいますが、インプットデータには怪しげなものが入ってくる余地も多く、将来もそういう状況は変わらないのではないのでしょうか。これは調査の密度や精度との関係も当然であります。実際の施工において怪しげなデータをカバーする方法は現場での観測による軌道修正で、これが非常に重要な作業になると思います。これを本気になってやれば、今までの土質工学にない新しい理論が出てくる可能性もあると思います。幸い計測管理の面ではコンピューターを導入して、リアルタイムで処理し、すぐに結果を出して判断できる態勢にありますので、この辺に希望をかけたいと思います。

風間 室町さんのお話に全く同感です。要するに対象とする地盤を代表する土質定数を決めることは難しいと思います。地盤の不均質な問題は確率統計的な考え方で、ある程度煮詰めることはできると思います。それでも、調査から施工までの過程において、不確定要素がたくさん入ってくるわけですね。ですから、施工中、施工後の動態観測を行って、設計段階で考えていたことと実測値を対比することによって、現在行き詰まっている土質工学に新しい一面が開けてくるように思います。



風間氏

室町 それには通常の土質の常識というものが災いすると思います。現場で測定して逆の結果が出ると、これは恥ずかしくて発表できないのです(笑)。ところが、意外にそういう中に本質に近いものが入っている場合だってあると思います。

司会 皆さんがそういうことは有意義だと納得しておられるのですが、いざデータを出していただけますかという、これはかなりの壁がありまして、計画してもなかなか実現しないのです。そういうものはなるべく早く時効にして、どんどん公表してくれるようにしないとダメだと思いますがね。

風間 「土と基礎」の編集委員会でもこういうものを取り上げることを考えているのですが、結論は全く同じですね(笑)。ましてや失敗例はほとんど書いてもらえせんね。

吉国 先ほどから話に出ていますように、調査、試験をして、理論に基づいて計算して予測することには限界を感じます。これだけを頼りにしていたのではどうにもならないということで、実際に測定しながら施工する動態観測施工とか情報化施工とか言われるものが考えられたらと思います。現場で得られた情報をリアルタイムにフィードバックしてやろうという思想は今後の土質工学の一つの行き方を暗示しているように思います。そして、施工中の現場がどんな状況にあるかを判断する場合、現場の実測データが主役であり、理論とか実験室における知見は介添役であると認識する時代がくるのではないのでしょうか。

上田 しかし、現状のように計画・設計そして施工というように事業の各段階で関係者が代わり、しかも、有機的な連絡が欠けるような場合には、施工時の実態がどの程度正確に伝達され、フィードバックされるかには問題があります。計画や設計の担当者は、基準や指針などのような標準的な取扱い方と、理論的な裏づけ資料を主体として作業を進めるために、実測データは施工者側に蓄積され、その工事や将来の工事のための判断材料にはなるが、設計や積算に対して主役の位置づけを占めるには、時間の要素のみでは解決できないものがあるように考えます。

吉国 もう一つネックがあるのです。今の日本のやり方

は当初に予算を組み、ほぼ予算通りに工事を進めねばならない。この点情報化施工はうまくそつなく工事を行い、かかった費用を下さいという言い方になっています。それが認められないというネックがあります。

平間 民間の場合、いわゆる技術部門と工事部門との技術水準の差は、次第に大きくなってきていると思うのです。その理由は、昔より受注量が増え、一人当たりの工事消化金額が非常に多くなり、工事部門の人には品質管理や計測管理などの技術検討に参加する余裕がなくなっているためと考えています。官庁でも、行政的な業務が著しく増大していると思うのです。この傾向が進めば、民間でも官庁でも、より技術的な検討は一握りのスペシャリストと呼ばれる人達に依存する結果となりますし、悪くすると動態観測をはじめとして情報化施工のできなくなるような根の深い問題に発展するかもしれません。難しいとは思いますが、今のうちに何らかの布石を打つ必要があると感じています。

島 土の属性に合った体系がないために、情報が生きないこともあると思います。情報化施工を前提とした場合、調査目的はどこにリスクがあるかの予測であり、リスクとその大きさが把握できれば、施工中に対応可能な設計面の自由度はどの程度であるかが大切となります。しかし、設計や発注体系、予算、あるいは関係者などの考え方は土とかかわりのない構造物などの考え方に支配される状況です。このような意味でまだまだ課題が多いと考えています。



島 氏

司会 動態観測は大事なのですが、確かにあまり生かされていないようですね。例えば、沈下の予測をして、それから計測し、予測変更をしようとする、ときには何で最初の予測と合わないのかという反応がありまして、この辺が改まるとこういう問題がスムーズにいくのではないかと思いますね。

研究と理論

司会 次に研究、手法論的な話と、どういう分野が将来研究されなければならないかというテーマの問題とがあると思うのです。どちらも含めて、研究のを中心にお話いただいたらどうかと思うのですがいかがでしょうか。

風間 最近の実験や研究は今までにない全く新しい手法や試験機を用いるとか、フルスケールに近いような大型の実験をやるとかしないか新しいものが出てこないという人もいます。この傾向は将来も変わらないだろうし、また研究を進める上の一面とも思います。一方、研究内容が高度になり実務とのギャップがさらに大きくなると思いますが、工学である限りギャップを埋めなければならないと思いま



す。理論面では構成方程式とか数値解析手法とかはこれからも発展すると予想されます。

それから、大勢の方からお話がありましたように、土の本質というものは一体何かということをもう一度原点に立ち返って考える必要があると思います。やはり現場にこそ真実があるといえますか、自然に対する謙虚な姿勢が必要ではないかと思えます。

東山 土質力学を支える周辺の境界領域、例えば私どもの農学での土壌物理学や土壌学などの学問をもっと積極的に取り入れるところから次の10年が踏み出されるような気がします。今までの土質力学はあるがままの姿を重要視して、ということはあまり厳密でなく宙ぶらりんの状態で試験、研究がやられてきたと思うのです。そこで二つの両極端にも行くべきではないかと思えます。

一つは徹底的に試料など純粋化して測って、理論的な点をつめる。もう一つは逆に不純なあるがままの姿を測る。これがさっきの動態観測のような問題ではないかと思うのです。

阪口 我々のところでいま一番問題になっているのは地震時の問題です。昨年二つの大きな地震がありましたが、建設物の基礎関係で大きな問題になりましたのは高盛土宅地の崩壊と杭の圧壊の二つです。前者の例は伊豆の稲取高校、白石の緑が丘団地であり、後者には仙台市長町の公営住宅などがあります。

建築研究所も筑波へ移りまして、8階建ての建物ぐらいなら実物で耐震実験ができる大きな施設を持っているのですが、住宅公団の標準設計のような同じものが大量に作られる場合でないと、実物の建物をこわすようなお金のかかる実験はできません。地盤のように変化が激しいものですと、実大実験は金がかかって無理ですので、各所にあります大きな振動台を使った模型実験でやっていかざるを得ません。あとは実際の地震での被害調査や地震動の測定結果及び不足面は、計算でフォローする形でやっていかないと、問題を解決することが出来ないと考えて実験をやっているのが現状です。

田村(重) 宮城県沖地震で問題になりましたアースダム、

座談会

ロックフィルダムについて、俗に言われる円弧すべりで計算すると安全率は1.1とかいう値だったわけですが、実際にできたものは非常に強い震動を受けても何でもないわけです。どれだけの強さがあるかということになりますと、時間の要素がありますので面倒だとは思いますが、土質のデータがはっきりしなくてなかなかわからないのです。土質調査は設計に密着したものというのでしょうか、施工後の力学的な評価という点についても調査をしていただきたいと思います。

島 時間効果は重要なことです。東名高速道路の関東ロームによる高さ20mの盛土の例ですが、施工時には超湿地ブルもめり込むような状況でした。盛土が完成してから13年目に調査したところ、地山と同じくらい強くなっていたのですが、土質工学で解決できなかったですね。

田村(俊) 私どもは初めから物をつくるという前提を抜きに、土を扱う癖があります。大規模な工事が行われますと、工事をした地点だけでなく、そのまわりのかなりの地域が影響を受けることになるわけです。そういう影響を考えるのに土質工学が何か役に立つのではないかという予想を私は持っていたのです。こういう環境とか自然現象に対して、土の力学的、物理的な性質が関与している問題はたくさんあると思います。例えば、自然斜面の問題には今までの土質工学の見方でかなりアプローチできるのではないかという気がします。

室町 災害の問題もありますね。災害はいつまでたっても結末がつかない課題のように思いますが……。

田村(俊) 短時間に人間中心に見ると災害ということになるのですが、もう少し俗世間を離れて見ると地表がどう変わっていくかという問題です。つまり、何百年、何千年、何万年という間に自然現象としてどう変わるかということ。工事をすることも地表に手を加えているということ、けたは小さいのですが、それなりに相当のインパクトを加えているわけですから、そういう見方が土質工学のどこに取り入れられることがあり得るかどうかということに関心があるのです。

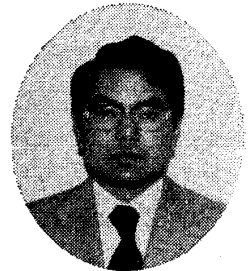
風間 雨や地震による斜面崩壊や地すべりは人間が全く手を加えていないところで起きるのは山の奥にしかないわけですが。しかし、例えば昭和45、46年に千葉県で成田層の斜面がずいぶん崩壊しました。地質学的な観点から見ますと、堆積過程、続成作用、風化というプロセスを経て初めて土になるわけです。いままでそういう観点に土質工学は余り注意を払っていなかったのではないかというのが私の印象です。これは自然斜面だけでなく、切土斜面も全く同様で、過去の履歴、応力解放、気候の変化、緩みの進行という問題になります。ですから、過去、将来ともに時間の関係を広げて物を見て、地質関係の方の力も借りてやっていく必要があると思います。

田村(俊) 全く同感ですが、それをもう少し伸ばします

と、環境問題への土質工学の方からのアプローチができるのではないかと思います。物をつくれれば環境が守れないのが、つくらなければ守れるのかという性急な議論に対して、自然の地表の環境が今どういう状態にあり、今後どう変わっていくのかを把握するのに、土質工学的な見方も使えるのではないのでしょうか。

フリートーカー・夢の土質工学

司会 話題がかなりあちこちに行きましたので、すでにフリートーカーとも考えられますが、夢の土質工学というようなことも話し合えたら大変によしいのではないかと思います。現実を離れて夢のようなことを言うのは発想の難しさと、勇気がいることかもしれませんが、将来の夢ということで、今までに出なかった話題についても伺いたいと思います。



土田氏

平間 資料の集積、情報交換の必要性を強く望んでいます。日本は地形や地質条件が複雑だという問題点を抱えておりますが、一方、国土は狭いわけですから、建設対象地域で有史以来建設が初めてという地点はほとんどないと思うのです。しかし、そういった地点の土質調査資料、工事記録、災害記録などはその人が関係している機関以外からはなかなか入手し難いのが現状です。これらの情報を幾つかのパラメーターごとに整理してあると、非常にありがたいわけですね。そういうデータの集積は、例えば信頼性設計を著しく進歩させることにもなると思います。学会が主体になってやってほしい気がしますね。

今井 私も同じことを期待しています。ここはどういうようにしてでき、どういう性質を持った地盤であり、ある構造物をつくる場合こういうことが問題になるからこういう点に注意すべきであるという観点からのデータ収集が重要だと思います。言うは易く行うは難しだとは思いますが、是非そういうような形での研究を進めてほしいと思います。

それからもう一つ、今までの日本の土の研究は力学一本やりという面が強く、物性論が弱く、その部分は経験でカバーされてきたと思うのです。今後物性論を特定の地域の土に関して徹底的に詰めていく作業をしていかないと、今まで蓄積された経験の中身がクリアーにならないような気がします。

阪口 今の杭の設計はかなり自分本位でやっているのではないのでしょうか。と言いますのは、将来の建て替えのときを考えますと、杭が邪魔になるし、敷地を役立たないものにする可能性があると思うわけです。基礎工法は建て替えのときのことも考えていかないと、将来大問題になっていくでしょう。我々の世代ではそういうことはあまり起こ

らないと思いますが、後の世代から先輩たちは何ということをやってくれたのだと言われるようなことになってくるのではないかと思うのです。

地盤改良というのも一つの方法だと思いますが、杭にかわるようなまい工法なり手法なりを考えていかないといけませんね。

井上 私はもうちょっと地下をうまく利用する土質工学というものが考えられないかなと思います。ロックストアのように油を地下に貯めるなどということだけではなく、我々自身の生活空間としての地下の利用です。そんなことがうまくできないかなという気がします。

室町 現在の N 値に対抗する手段として、一発やれば土質特性がみんなわかるような手法ができないかなと考えているわけです。そういうものができたら、私どもの会社はなくなってしまうかもしれませんね(笑)。いま N 値が中心のボーリングでもうかっているわけですから、マル秘作戦で目下進行中というところですよ。

吉国 先ほども話があったように、実験室的な研究と現場の技術的な話とが大分かけはなれ、現場の人々は研究的なものにだんだんと手が届きにくくなっているし、我々に関係のある話ではないと認識する人もあると思うのです。これからもそういう傾向は大きくなっていくと思いますので、その両方の橋渡しをしようと言いますか、一段丸めた形は実験室的な研究をやっていきたいと思っています。

風間 応用力学的手法を借りて今日まで発展を遂げてきた土質工学は、まだ学問体系として完成されていないと言われていています。応用力学的な体系でなく、土質力学独自のものとして発展していく必要があるような気がします。

土質工学も社会の要請に応えなければならない面もあるわけです。これから10年、20年先を考えると、日本の置かれた立場から、エネルギー問題と水を含めた食糧問題とに関連したいろんな問題が土質工学の分野にも出てくるのではないかと想像されます。例えば、エネルギーの地下備蓄とか地下ダムとかはすでに現実の問題になっています。そういう必要性から発展していく部分があるのではないかという感じがいたします。

田村(俊) 地域工学の中の特に土に着目した分野が土質工学であるようになっていただきたいという気がします。構造物をつくることは長い歴史をもっている地表にインパクトを加えて地表の状態を変えることです。どういように変えたらよいか、その結果がどうなるかという地表空間の利用の仕方の面から考え始めるような土質工学になっていただくとありがたいという感じがいたします。これは相当の夢だと思いますが。

今井 公務員はアルバイトをしてはいけないことになっていますね。大学と現場が遊離している原因の一つはその

辺に問題があるという気がします。コンサルティングの禁止は長い目で見てむしろマイナスだと思うのですが。

上田 わかっている部分とわからない部分のはっきりした土質工学を期待します。工事着手後の調査や施工状況から詳細を決定する方が好ましい部分に対しては、設計図書に明記し、積算時の仮定や粗さとその根拠を示すのがよいと考えます。こうすると、施工時に検討を加えるべきポイントが明らかとなり、現場の状況に適した施工と積算が可能になると思います。そのためにも、土質工学をもう一度見直しするべき時期にあるのではないのでしょうか。

今井 それをはっきりすると、土質工学は、非常に発展すると思います。

田村(重) 私も全く同感です。大変なネックになっていきますので、そうなれば今の耐震関係の設計もかなり助かるだろうと思います。

それからもう一つ夢があります。地下利用ですが日本では軟弱地盤が多いと云う特殊事情があります。そこで完全にロボットを使った自動化で、トンネルが自由に掘れるようなものをつくったらと思うのです。機械、電気等他の各分野との密接な協力、連携をもつ場を作らなければなりません。

東山 どこまでわかって、どこからわからないかということをもう一度きちんと整理する、言いかえると原点に返るようなことを、一人一人が心がけるべきではないかと思えます。今までいろんな先輩の夢を夢中で追いかけてきたわけですけど、みんなが原点に戻り、自分の頭で考えれば、多分48年型から脱却できるのではないかと思えます。そのためにはいろいろなあい路もあるでしょう。例えば、大学の先生がアルバイトもできるとか、最初決めたとおりでなく、途中でどんどん設計変更しながらやっていくとか、社会制度との関係もありますが、そういうものを私は期待したいのです。一昔前から見たら、夢と思っていたような工事をいまはずい分やっているのではないのでしょうか。現実ですでに夢の土質工学に入っているような気がするのですけれど……。

司会 大まかなテーマに分けて「土質工学の将来」について、皆さんからお話を伺ったわけですが、議論が白熱したのは原点の話で、土とは何か、それを踏まえてどう我々が動いていくかということだったように思います。こういう問題はなかなか難しい問題で、いくら議論しても尽きないように思います。具体的な将来展望は多くは出なかったかと思いますが、ある意味では非常に足が地についた議論でありまして、裏返してみればそれが将来への展望ということになっているようにも思います。

本日は長時間いろいろありがとうございました。