

土質基礎の回顧と点描

4. 内務省における土質基礎研究

(株)間組顧問 ^{たか}高 ^だ田 ^{あきら}昭
^{まつ}松 ^お尾 ^{はる}春 ^お雄
 大分工業高等専門学校長、九州大学名誉教授・工博

1. はじめに

筆者の1人高田は、1922年（大正11年）に東大地質学科を卒業、ただちに内務省にはいり、その翌年内務省土木試験所（建設省土木研究の前身）の設立と同時に、同所に移った。以後、1950年（昭和25年）まで内務省が関係する道路やダムの中質や地質に関する研究を担当した。高田の大学における1級下の渡辺貫氏と広田孝一氏が劣悪な地質条件で難渋をきわめていた丹那トンネル工事（1918～1934）を担当する技師として鉄道省にはいったのが、1923年（大正12年）であるから、日本において土木と地質の交流が本格的に始まったのは、このころからである。

筆者の他の1人松尾は、1924年（大正13年）九大土木工学科を卒業し、内務省にはいり関東大震災（1923年）後の横浜港の復旧工事にたずさわった。このときの地震時土圧の問題は、その後ずっと著者につきまとったテーマである。1928年（昭和3年）土木試験所に移り、現在の運輸省港湾技術研究所が行なっているような部門を担当した。その後1944年（昭和19年）、九州大学土木工学科に安蔵善之輔教授の後任として移り、河海工学を担当し、定年まで在職した。日本の土木工学科における大学教育で土質工学がいちばん遅れていることを痛感していたので、戦前からKrynineの「Soil Mechanics」(McGraw Hill, 1941)を用いて、河海工学の中で教えた。

以下に述べることは、2人の経験に基づく思い出の記のようなものである。これが今後の土質工学研究のヒントになれば望外の喜びであり、またより正確な技術史研究へのきっかけになればと思っている。

2. 第1次および第2次道路改良計画と土木試験所の設立

内務省における土質基礎に関する研究は、それぞれの時代の公共事業と密接に結びついていた。1919年（大正8年）道路法が成立し、それに伴って本郷駒込に道路材料試験所が設けられることになり、1923年にその建物が完成して仕事を開始したときには、土木試験所として発足した。1920

年から道路法に基づき第1次道路計画が始まった。当時の仕事の内容は、もっぱら道路材料に関するもので、瀝青材料と非瀝青材料とに大別し、まず手始めとして北米合衆国の Bureau of Public Road の基準に従って種々の試験を行なうことになった。同時に道路構造の規格を制定するための資料を整備することになった。碎石の規格も北米のそれをまねることにし、道路工事に使おうとする碎石についての試験を始めた。碎石の試験を担当していた高田は、北米から買い入れた試験機を使って府県から依頼された碎石用原石について試験を行なった。その主な試験は、比重、吸水、Deval すりへり試験、Dorry 硬度試験、Toughness 試験、Binding Power 試験（Ball mill で粉碎した岩石粉末の結合力の比較）等で、マカダム道路を対象としたものであった。このころの自動車台数は全国で約5,000台（1919年）であり、第1次道路計画は、関東大震災後の財源難で1924年にうち切られたが、その後1933年（昭和8年）に第2次道路計画として復活した。その間、1926年（大正15年）には、土木試験所に治水港湾部門が設けられた。

第2次道路計画のころになると、自動車の台数が増え、全国で10万台に達した。土木試験所でも自動車交通に対する試験が主体となってきた。画期的だったのは、直径10m程度の円周の位置に、幅60cmくらいの舗装道路を作り、その上に円の中心軸のまわりを回転するわくの先端にとりつけた自動車の車輪を走らせて、舗装のいたみ方、路面の抵抗やタイヤの摩滅などを調べたことである。これをティーディントン（Teddington）試験といい、ロンドンの西部にある町の名であるが、この試験が初めてそこで行なわれたので、そう名づけられた。このような大型実験は、主として赤羽支所で山田元氏の指導のもとに船山晴雄氏が行なった。関東ロームの締固め試験なども、赤羽支所で行なわれた。しかし理論的な裏づけもないまま、予算がついたからというようなことで実験を強行したので、後世に残るような業績を上げることができなかった。戦後、米国ではすでに Proctor 理論に基づいて CBR の値を求め、飛行機の大きさ（輪荷重）によって滑走路の舗装厚さを決定

講 座

していることを知り、理論が実際の工事にうまく結びつけられているのに大きなショックを受けた。

なお、道路法が成立した1919年に社団法人道路改良会(1919~1947)が設立され、「道路の改良」を発行し、道路改良の急務の宣伝や道路に関する技術のPRを行なった。いつごろか忘れたが、筆者の1人高田は、この雑誌の編集長から既存の砂利や土の路面を舗装するのに、表層土を取り除いてから行なうのは不利ではないかといわれたことがある。当時はせっかく締固まった表層を除いてから舗装していたのである。ロームに砂利をしいた道などでは、土と砂利が一体となって、厚さ30cm程度のきわめて良好な状態のものになって、当時の交通荷重に耐えていたようである。その後、いわゆる簡易舗装が実施されるようになったときには、この締固められた砂利道がそのまま利用されることが多くなった。

3. 土および水と土木工事

1926年(大正15年)横浜港での震災復旧の港湾工事の一部として、橋脚・橋台工事を行なったさいに、海中(水深3m程度)に矢板を打ちこみ、締切って中の水をポンプ排水した。矢板は当時国産のものがなく、テルルージュ矢板(Terres Rouges, 多分フランス製)を用い、1列だけ打って、切バリでおさえながら掘削したが、工事中に浸水した。地盤は水中では堅かったのに、透水性など十分信頼できると思ったが、あとで調べると土丹の中に縦横にマテ貝(?)の径3mくらいの孔が通っており、これが漏水原因の一つの大きな要素であったように思われた。そのほかに矢板を1列だけ打って、その内側を木材のわくを組んで水圧をささえる設計であったことが、もう一つの大きな要素であったと思う。復旧工事では、外側にもう1列鋼矢板を打って、その間に土をつめて目的を達成することができた。

そのころ青山土氏が新潟港でラルゼン製(Larsen)のシートパイルを打ったら、つめにひびがはいった。施工の不備か材料の不備かをみるために、土木試験所でひびのはいった部分の断面をみがいて検査してみたら、最初から鋼組織に欠陥があったことがわかった。

信濃川大河津分水工事(1927年完)では、山地開削時の地スベリ(1915年)や矢板の事故がしばしば起こった。もっとも大きな事故は、分水可動セキ(堰)の崩壊であった。可動セキの基礎コンクリートの下の上流部には鋼矢板の止水壁が施工されていた。しかし満水時の水圧に耐えられなくて漏水が起り、これが原因となって基礎の下に土砂が洗い流されて、構造物全体が崩壊したのであった。このとき、ウォータージェットを使って打ち込んだ矢板付近の砂の透水係数を求める必要が生じ、物部長穂氏(1888~1941)の命で高田が室内の透水試験を行なったことがある。実験には水道水を用いたが、空気が溶けこんでいるので、実験中に気泡となって分離して、砂の間ゲキをふさいで困った。

透水試験に使う水は、初めに煮沸しなければならないことを知った。

土の透水係数の実験は、農業関係ではもっと早くから行なわれており、土壌学者であとで九州帝大学長をやられた大工原銀太郎氏(1868~1934)などは、土に関する試験の草分けであろう。また土木関係では、山口昇氏がそのころから土の透水試験を行なっていた。

4. 地震時土圧の問題

松尾は大学卒業(1924年)の翌年ころから振動土圧の問題と取り組んだ。当時、物部氏(1924)、岡部氏(1924)の振動土圧の理論が出ていた。松尾は横浜の港湾事務所で振動台を作った。振動台といっても、トロコ台の上に60cm×180cm程度の木の箱を乗せ、箱の一端をとびらにして、そこに広井式波力計をあてて、台に振動を与えながら土圧の変化をみた。波力計はスプリング式だったので、よく測定ができなかった。そこでつぎに、水圧式圧力計を用い、これを目で追うという方式をとって、どうにか測定ができた。加速度も原始的な方法で測定し、加速度と土圧との相関を見いだした。その後振動台や測定装置に多少の改良を加えて実験を続けた(図-1)。その結果は1929年(昭和4年)東京で開かれた世界工学会議で発表された(N. Mononobe・H. Matuo: On the determination of earth pressure during earthquake)。この実験で地震時の土圧分布はわからなかったが、土圧合力が壁面上から2/3の位置にあるのではなく、もっと高いところに位置するということがわかった。しかし当時は2/3の位置に地震時土圧の合力が作用するという理論が優勢で、それにおし切られた形になった。

松尾は1928年に土木試験所に移って、本格的な振動実験を始めた。このときは加速度や圧力の測定にピエゾ電気を利用した。この実験結果でも地震時土圧は2/3より高い位置に作用するということが明らかになった。電気計測を行なったせいか、体の調子の悪いとき測定を行なうと実験がうまくゆかなかった記憶がある。土圧測定のさい、固定壁で実験を行なったが、実際の地震時には壁面が少し動く

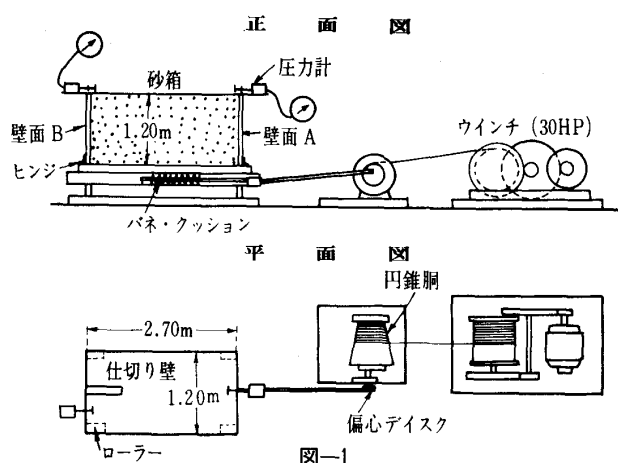


図-1

ので、そのギャップから実験はゆきづまった。後年カリフォルニア大学の H. B. Seed が大原資生氏をとおして、この実験結果について質問してきた。地震時土圧を考えるさい水圧の問題に関して、Seed と彼の下にいる研究者との間で松尾の実験に対する評価が食い違ったらしい。

振動土圧の問題はその後、石井靖丸氏などが運輸省でとり扱ったが、まだはっきりした結論は出ていないように思う。ここでわれわれが反省しなければならないのは、ともかく予算をもらってきて実験をやって、つぎに理論をという日本の方式が、長い目でみるとマイナスになっているのではないかということである。

1920 年（大正 9 年）ころまでスウェーデンを中心として行なわれた Atterberg (1911) や Hultin (1916) の研究が、1930 年（昭和 5 年）ころから日本に紹介され始めた。鮫島茂氏（1894～ ）がスウェーデンへいって Hultin の円弧スベリの論文などの別刷をもらってきて、松尾がそれに自分の考えを加えて発表した（松尾春雄：岸壁滑り出しに対する安定に就て、港灣，7 巻 10 号，1929）。これには地震時の応用を考えて計算図表を作成してのせた。山口昇氏が土のせん断抵抗の実験を始めたのは、このころ（1931 年）である。

5. 林桂一氏の業績

日本で支持力の問題に最初にとり組んだのは九大にいた林桂一氏（1879～1957）である。林氏は数値計算（岩波，1941），積分計算，関数表などによって応用数学や物理学の方面で有名であるが，生粋の土木工学者で京大土木工学科を 1912 年（明治 45 年）に卒業している。彼はいわゆる地盤係数法といわれる方法による地盤反力の計算やクイの理論などを広く展開した独文の「Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage」を 1921 年（大正 10 年）にベルリンの Springer 社から出している。Terzaghi が支持力の論文（Bearing capacity of soil）を ENR (Engineering News-Record) に書いたのが 1928 年 (Vol. 100, No. 16) であり，Chang の公式が出たのはずっと後年（Discussion on “Lateral pile loading tests” by Feagin, Trans. ASCE, 1937）であることを考えると，林氏の先駆的な業績がわかる。林氏の独文の著書は日本でより外国において著名であり，土質力学の研究でもしばしば引用されているが，最近（昭和 46 年）日本で復刻出版された（国際理工研究社，1971）。林氏の業績をうけついだのは星埜和氏ではないだろうか。しかし，林氏の理論的研究はあまりにも時代に先んじていたので，現場との接点がなく世界に先がけて一派をなすに至らなかった。

6. 第 1 回および第 2 回国際大ダム会議と土質試験・調査のあけぼの

第 1 次世界大戦後の水力開発の進展に伴って，大ダムに

関する技術の交流が必要とされるようになり，フランス政府のよびかけや国際動力会議の提唱により，1933 年（昭和 8 年）ストックホルムで第 1 回国際大ダム会議が開かれた。日本では 1931 年（昭和 6 年），初代土木学会会長であった古市公威氏が委員長となって日本国内委員会が組織された。第 1 回会議には 20 カ国が参加し，48 編の論文が提出され，そのうち 3 編は日本からのものである。3 編のうち 2 編はアースダムに関するもので，「小野基樹：山口アースダムに使用された材料の性質および特性」と「神原信一郎・阿部謙夫：ダム及び下層土壌内の水の滲透を支配する物理的法則の研究」である。小野氏の論文は，多摩川上流の山口ダム建設のさいの関東ロームの試験結果であり，試験方法はセメントモルタルの圧縮試験や引張試験に準拠していた。そのころすでに Terzaghi の Erdbaumechnik (1925) が出ており，どのような土の物性が工学的に重要かはわかりかけていたし，Atterberg 限界試験も高田によって紹介されていたので，モルタル試験法を土に適用しただけでは，国際的にうまくないだろうということになった。ちょうど山口ダムと同じ関東ロームの高田馬場付近の LL, PL, SL, 比重，野外含水比，遠心含水当量，粒子の含泥率と物性との相関などを高田が研究していたので（高田昭：高田馬場簡易舗装の路床土質に関する試験，土木試験所報告 22，1931），この結果を加えて山口ダムのデータとして提出した。おそらくこのときの Atterberg 限界試験は，日本で最初のものであろう。第 1 回国際大ダム会議に提出されたアースダム築造用材料に関する論文の General discussion を担当した Terzaghi は，その Proceedings の中で，日本でも Atterberg 限界試験がとり入れられているというような主旨の論評を行なっている。

第 2 回国際大ダム会議は，1936 年（昭和 11 年）ワシントンにおいて，参加 24 カ国をもって開かれた。日本からは 5 論文が提出され，それらのうち土に関係するものは，「物部長穂・高田 昭・松村孫治：アースダムの耐震性」，「神原信一郎・高田 昭：アースダム堤体内浸潤水の流動状態並びにその作用に関連せるアースダムの安定度計算についての二，三の問題」，「諸川雄二郎・岩岡武博：基礎地盤の地質工学的研究に資するダム工事实例」の 3 編である。物部・高田・松村の論文は，1929～1931 年に高田が東京山手のロームについて行なった実験（東京山手赤土の弾性的諸性質に関する試験 I，II，III，土木試験所報告 20，21，22）で得たロームの弾性係数や既存ダム地点での弾性波探査から得た動的弾性係数をもとに，理論的にアースダムの安定性を計算し，寒天模型で実験を行なったものである。高田はこの研究において，おそらく日本では初めて乱さない試料を採取し， $\phi=25\text{ mm}$ ， $h=25\text{ mm}$ の円筒供試体を地層に平行および垂直に作り，道路路床の支持力比試験機に似たものを作って，いまの言葉でいう一軸圧縮試験を行なった（図-2）。試験は空気中だけでなく，水中でも行な

講座

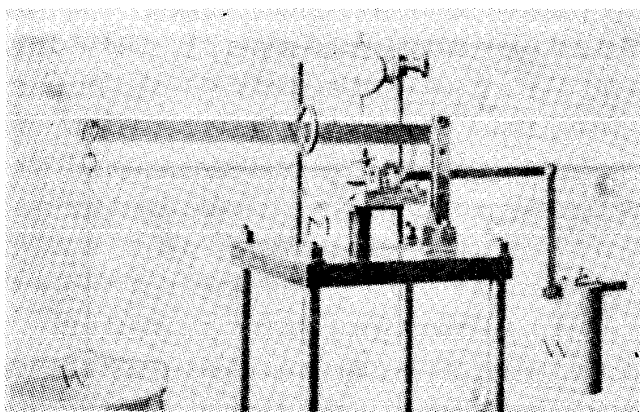


図-2

い、縦ヒズミのほかに横ヒズミも測定し、ポアソン比を求めた。ヤング率は $100 \sim 200 \text{ kg/cm}^2$ で、水中・空気中とも地層面に垂直に圧縮したほうが、平行に圧縮したものよりヤング率は大きかった。またロームをこねかえして、モールドに入れ、上下に砂層をしいて再度一昼夜圧縮して供試体を作り、組織を破碎した試料として圧縮試験を行なった。現在でいう乱した試料のつもりであり、鋭敏比のような考えが頭の中にあった。もちろん含水比、間ゲキ比、粒度分析、収縮試験なども行なった。上記の高田馬場の試験やこれら一連の試験は、日本における系統的な土質試験の始まりであろう。

弾性波探査も同様であり、土木の目的で行なわれたもっとも初期のものであろう。そのころのアースダムは、大野、山口、上・下村山の各ダムとも、現在のように中心にコアを入れるというようなものではなく、全体が monolithic だったので、弾性波探査をやっても、そうおかしな結果が出なかったのかも知れない。地震波を発生させるのに、 $20 \sim 100 \text{ kg}$ のハンマーを落下させた。

このように現地の土の系統的試験が始まったが、土の性質が含水比によって変わってくることがやっとわかってきた程度で、それは水による土の成分変化によるものではないかと考えていた。また Atterberg 試験から、PI が大きくなると路床土としてはよくないとか、凍上の可能性などの判断はできたが、支持力や舗装厚さと土の物性との間の関係はつけられなかった。戦後、米軍から理論化されたものをみせられておどろいた。当時はコンクリートの部門で、Abrams の水セメント比の理論 (1919) や Talbot の空ゲキ説 (1921, 1923) がやっと出てきたばかりのころで、土の含水比が強度とどう結びつくのかはわからなかった。

日本で最初に行なわれた土質試験が関東ロームであったということも、その後の先進的な理論の導入と普及に問題があったかも知れない。いまではよく知られているように、関東ロームは日本に固有の特殊土であり、少し乱すと物性が非常に変わり、そのため試験を行なうたびに結果が大幅に変わった。

同様のことは丹那トンネル工事のさい出会った諸事件に

もいえるようである。地質学者の福富忠男氏 (1893~1970, 当時北大工学部助教授) は、トンネルの温泉余土の膨張性について、丹那トンネルと花岡鉱山の粘土を用いて実験を行なった (粘土の吸水膨張に関する実験的研究 I, II, 岩石鉱物鉱床学会誌 7-6, 8-1, 1932)。この研究で福富氏は、粘土の構造が土圧に関係すること、土や岩の問題では水が本質的に重要であることなどを明らかにしたが、問題が特殊であったことや、発表雑誌が地質学関係のものであったことなどもあって、問題はそれ以上に発展させられなかった。福富氏はこの研究を行なううえで、Terzaghi の *Erdbaumechnik* と ENR にのった「Old earth pressure theories and new test result (1920, Vol. 85, No. 14)」がもっとも参考になったと書いている。もっとも現象や問題点が解明されても、当時の施工技術はそれらを有効に利用しうるほどの高さに達していなかった。また測定技術も未発達であり、トンネル中で水圧を測定するような技術も当時はなかった。室内でのストレーンメーターやピエゾ電気は、1932 年 (昭和 7 年) ころから使われ出した。ワイヤーストレーンゲージや光弾性は、第 2 次大戦中に仁科芳雄博士の主宰する理科学研究所で開発された。

なお地下湧水、地圧、岩圧などの問題は、石炭採掘の方面で研究され、土木に輸入されたものが多い。

7. 地スベリ

1930 年 (昭和 5 年) に長野県犀川流域の古くから有名な地スベリ地茶臼山が再び地スベリを起こし、下流にある部落の安否が問題となり、高田が相談を受けた。調査してみると、その部落自体は地スベリ塊とは別の岩塊に乗っているので安全と考えられたが、地スベリを停止させるために水抜きを提案した。当時から地スベリと水は密接な関係にあることが知られており、水抜きが地スベリ防止に有効であることはわかっていたが、ボーリング技術が未発達であったし、また水抜きトンネルを設ける工費のほうが地スベリによる被害より膨大になるので、とりやめになった。この地スベリはその後も停止することなく、下流に相当の被害を与えたが、問題の部落は現在なお安全を誇っている。また、数人の著名人がその後この地スベリに関与されたようである。

1931 年 (昭和 6 年) に奈良県と大阪府の境界にあたる大和川の亀の瀬付近の右岸の堅上地区で、大規模な地スベリが起こった。大和川の右岸には関西線のトンネルがあり、左岸には県道があったが、その拡幅のために花コウ岩の山すその切取工事中であった。後になって判明したことであるが、この切取工事箇所が滑動面の先端にあたっていたので、その山を切取ったことが抵抗土圧を減少させることになったと推察された。地スベリの発端は、まず県道の対岸にある鉄道トンネルのレンガ壁にき裂が発生し、滑動面の先端部に地割れが現われた。トンネルのき裂は増加し、

アーチ部に縦方向にき裂が伸び、ついにトンネルは崩壊した。当時の大和川の右岸は高さが約 50 m の急斜面のガケであり、川幅も約 50 m あったが、右岸の地スベリによって川幅が縮小されるとともに河床も隆起してきて、河水の流下が妨げられるようになったので、内務省大阪土木出張所では、河道維持のために左岸の切り広げと河床の掘り下げを行なった。地スベリの進行がますます著しくなったところ、松山基範氏（当時京大教授、後に山口大学学長、地球物理学担当で戦前に潜水艦中で世界に先がけて海溝の重力を測定したり、地質時代における地球磁場の松山逆転を発見した）が学生数人とともに Wild の経緯儀 (theodolite) を使って、三角測量により地スベリ塊の移動方向、移動速度の観測を行なった。当時の学生の 1 人に大西千秋氏がいた。高田も大阪府土木部の応援のもとで、別の 2 地点で同様の観測を行ない、滑動地塊が 2 塊あることを明らかにした。地スベリ地の地質は、二上火山の風化した安山岩や火山砕屑岩よりなり、基盤は領家花コウ岩である。花コウ岩と二上層群の間の不整合面には花コウ岩のレキや粘土がはさまれ、その付近がスベリ面になっているようであった。スベリ面の深さを調べるために、移動地塊の大体中央部に上総掘りでボーリングを行ない、深さ約 30 m に達してからは、スベリ面の位置を確認するために、毎夜作業を中止している間は孔内に長さ 3~4 m の鉄筋を入れておき、毎朝とり出した。これが曲がって引き出すのに困ったところを、スベリ面の深さとした。そのころには大和川の左岸は、河幅維持のため大体现在の位置まで掘削されていたが、その切取ノリ面に滑動面の先端部が衝上断層状に違いとなって現われた。亀の瀬地スベリでも、水の浸透がスベリに大きく関係していることがわかったので、雨水が地中に浸透するのを防ぎたかったが、現在のようにビニールシートのようなものがない時代だったのでうまくいかなかった。現在亀の瀬では排水工が大規模に施工され、成功している（建設省大和工事事務所：亀の瀬地スベリ，1972）。

このような災害や上記の Hultin の論文の紹介などをおして、しだいに「スベリ面」の概念、土の強度と水の関係、斜面や盛土の安定性の破壊規模などが明らかになってきた。

熊本県三角港は 1924 年（大正 13 年）～1928 年（昭和 3 年）に改修が行なわれたが、軟弱地盤のためうまくいかず、1932 年（昭和 7 年）から再度工事が始められた。このときには、軟弱地盤の安定に対してかなり新しい知識が導入され、岸壁のスベリを防止するため、盛土のカウンターウェイトをおくなどの試みがなされた。大正期に不可能だった工事が可能になったのは、ぼっ興しつつあった土質力学の知識によるところが大きかった。

8. 静岡大地震（1935）と工事失敗例

1935 年（昭和 10 年）7 月に静岡地方に $M=6$ 程度の局地

的な浅い地震が起こり、清水港で岸壁がこわれた。松尾が調べてみると、裏込を安くあげるために、海底からジュンセツした土砂が使われ裏込割石が省かれた設計になっており、それが破壊につながったものと推定された。もし大きな割石が入っていれば、破壊はしなかったと思われる。土圧論にはのらないが裏込の果たす役割がわかったという点では貴重なデータであった。現在でもそうであるように、工事失敗例や災害事故例などは、学界に率直に報告しにくいふん囲気があり、それが工学の発達を阻害しているのではないだろうか。

地震による清水港岸壁事故に関連して、裏込の果たす役割は大体わかったが、そのほかに裏込の中にある水の圧力変化や基礎地盤の支持力などが岸壁の安定には複雑に関連しあっていることがわかった。松尾はあとでこれらの問題ととり組むようになった。これらの問題から進んで、松尾はクイの横抵抗、引き抜き抵抗、矢板を止める斜グイの研究などを行なった（松尾春雄：杭の水平抵抗力に関する試験 I, II, 土木試験所報告, 42, 46, 1938. 8, 1939. 7）。この研究は石井靖丸氏によって、戦後 Tschebotarioff 教授に紹介され、彼の論文に引用されている（G. P. Tschebotarioff: Large scale earth pressure test with model flexible bulkheads, Final Report to the Bureau of Yards and Docks, Princeton University, Jan. 1949）。この研究をとおして、盛土や自然地盤の強度が時間的に変化することに気がついた。クイを打つと前日よりはいらなかったり、打つときは容易にはいったのに、引き抜くときには苦勞するなどの問題にしばしば出会った。その原因は結局わからずじまいであったが、土の構造が変化するのではないだろうか。土の強度の時間的な変化は、現在でも第一級の問題であろう。

9. 戦時中の研究

この時期の研究は、世相を反映して飛行場の舗装や飛行機の発進のさい邪魔になるチリの問題などが多くなった。これらはいずれも基礎的なつみ上げがなく、手品のようにすぐに役立つ成果が期待されるものばかりだったので、みるべきものが残っていない。この時期の特徴として、戦争の激化や敗色濃厚という情勢の中で、軍需工場や飛行場の地方分散が行なわれ、地方的な特殊土が土木技術者の目にとまったことである。関東ロームに似たような火山灰層が全国各地に存在すること、シラス、黒ボク、風化ローム、マサ、三和土などの存在が明らかになったが、これらの本格的な研究は最近までもちこされた。中国地方各地での工事から、花コウ岩の風化の程度が地域的に差のあることなども、この時期にわかった。

この時期には、理論を主とする基礎的研究も若干みられるが、理論そのものの歴史が浅いこともあって、構造力学の分野におけるように、古典的な理論問題にたちかえて

講座

研究を行なうというようなことはできなかった。

10. 戦 後

敗戦とともに米軍がきて、各種の設計に使えるような形で土質試験がもたらされた。昭和20年にGHQ所属のCramerという若いシンピリアンが、入間川(現在の豊岡市)飛行場と三沢飛行場との計画地点から土を採取してきて、Expedient Soil Testという便覧をわたし、それに従って土質試験をやらせられた。両飛行場の滑走路の設計資料とするためであった。そのときやらされた試験は、①粒度試験、②LL, PL, ③プロクター試験、④CBR試験などである。粒度試験では、初めて比重計を使った。LLやPLは前述のように、かなり早い時期に日本で行なわれたが、舗装設計と関連させて行なうというのは初めてであった。土の締固めに関するプロクター理論(R. R. Proctor: Fundamental principles of soil compaction, ENR 1933, ほか3編)は、1934年には九大農学部(農学)の田町正誉氏(1892~1974)によってアースダムの構築に利用された(土堰堤用土の理化学的性質並びに水分量と圧縮性の関係に就て, 農業土木研究 6-2, 1934)が、本格的に紹介され、最適含水比の概念が導入されたのは、この時期米軍によってである。土は関東ロームが多かった。

同じころ米軍の指導によって、滑走路の舗装支持力試験(平板載荷試験)、種々の角度をもったコーンによる現場貫入試験、K値試験などがつぎつぎに行なわれた。これらの室内・野外試験は、目新しいものもあったが、全体としては、それまで頭の中ではよく然とは考えられていたようなものであり、さして驚きではなかった。むしろこれらの比較的簡単な試験が、実際の設計と密接に結びつけられていたのに大きなショックを受けた。

いったん土質試験が設計や施工と結びつけられて行なわれるようになると、地質などの理学畑の人より技術畑の人のほうが消化が早かった。理学畑の人は、どうしても土の成分と物性との相関というところへ目が向いてしまい、設計や施工に結びつけるのが不得手であった。

なお、米軍が直接本土に各種の土質試験を導入する以前に、沖縄本島に米軍基地を作ったときに、九大土木科の学生が何人か参加し、新しい知識を仕入れてきていた。

11. まとめにかえて

以上、大正末期から敗戦に至る期間のことを主として述べたが、土木試験所などにおける土質基礎の研究の正史といえるようなものではなく、筆者ら2人を中心として、そのごく近くに起こったことがらを、思いつくままに述べたにすぎない。したがって、研究成果の歴史的評価という面からみれば、重大な欠落があるかも知れない。そのことを承知で、来し方をふりかえりつつ若干の感想を述べてみたい。

林桂一氏の業績にはふれたが、彼と並んで夭逝した安蔵善之輔氏(九大教授1894~1943年)に注目する必要がある。安蔵氏は欧文の論文が少ないので、外国でも評価はされていないが、「一土圧公式と其図解法(土木学会誌25-5, 1939)」で1939年(昭和14年)度土木学会賞を受けており、戦中には「地這り面の形(土木学会誌27-1, 1941)」を発表している。再発見・再評価されることを期待したい。

日本における土質力学の発展には、土木以外の専門分野、とくに地球物理学(地震学)の分野の人達の力があずかって大きい。寺田寅彦氏(1878~1935)は実験物理学の分野で、ぼつ興しつつあった原子物理学を日本に導入した人であるが、その後地球物理学、音響学などの研究を行なった。地震学の研究から、地質のしゅう曲構造に興味を持ち、土を用いて室内で水平層からしゅう曲構造を作る実験を行なった。このようなことから、さらに進んで地盤そのものに興味を持つようになった。彼の興味は宮部直己氏(1901~1973)が引き継がれ、地盤沈下の研究に結実している。大阪の地盤沈下の解析で忘れられないのは、同じく地球物理学者で前埼玉大学学長と達清夫氏(1909~)である。

東大地震研究所の前身である震災予防調査会が1892年(明治25年)に設立されたとき、初代土木学会会長古市公威氏が委員としてはいいっていたことからわかるように、日本では地震学と工学の結びつきは強かった。震災予防調査会が1924年(大正14年)に地震研究所に発展し、初代の所長に造船畑の末広恭二氏(1877~1932)がなった。2代目所長には同じく造船出身の石本巳四雄(1893~1940)がなり、名著「振動学」(岩波, 1932, 1972 国際理工研究社より復刻)をあらわし、戦時中に所長になったやはり造船畑の妹沢克惟氏(1895~1943)が所員となったりして、昭和初期には地震工学が誕生した。このようなふん囲気の中で、石本巳四雄氏は地盤の固有周期や軟弱地盤の振動、土のサンプルのネジレ振動などの問題を研究し、土質力学の分野ではいまでも彼の研究から恩恵を受けている。石本氏の研究は名大名誉教授飯田汲事氏に引き継がれた。

土木工学者の物部長穂氏は水理学の著書で有名であるが、1920年(大正9年)の第1回土木学会賞「載荷せる構造物の震動並びにその耐震性に就て」にみられるように、多方面に才能を有していた。つねに広い視野に立って後進を指導し、土木工学の各分野の進歩に対しても敏感であった。Terzaghiの「The science of foundation—its present and future, ASCE Proceed. Vol. 1, 1929」に興味をもち、松尾に読むようにいったり、Felleniusの「Erdstatistische Berichtungen mit Reibung und Kohäsion」(Rev. ed. Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, 1939, 1st ed. 1929)に注目し、読むように渡されたりした。日本の土質力学に対する影の恩人であろう。

工学的な応用を目的とした実験や研究を行なう場合でも、

つねに広い視野に立って行なうことが必要である。理論的な裏づけをもちながら、実際への応用を念頭において研究や実験を進めることは、きわめて重要である。土木技術者は総合的な広い知識を身につけなければならないので、このような立場には容易に立てるはずである。それと同時に、将来への見通しをもった指導者が必要であろう。実際の工事の経験、とくに失敗例は、工学が発展する糧であり、これを共通の財産にすることによって、同じ失敗を2度と繰返さずに工学が進歩し、同時に失敗の原因を究明することによって、新しい理論や実験法・試験法の芽が生まれてくるものである。日本で独自の工学が発展しないのは、失敗を公にし、それに対して衆智を集めてディスカッションを行なうということがないことにも原因があるのではないだろうか。

国の公共事業に対する施策によって予算がついたからといって、やみくもに実験を始めても、理論的な裏づけや将来への見通しを立てながらやらなければ、成果は期待できないことは上に述べた。同時にある時期に見通しのないまま行なった実験でも、それが綿密に行なわれているならば、いつか役に立つことがあるのも事実である。第1次道路改良計画のころ行なった碎石のすへりへなどのマカダムに関連して行なった試験や調査は、戦後のコンクリートダム時代の骨材の選定や、現在的高速道路調査会での仕事に非常に役立っている。

役所では予算などの関係で、現場と結びついた比較的大規模な実験を行ないやすいが、このようなところこそ、上述のような意味で理論を知り、将来への見通しをもった真の技術者が必要なのではないだろうか。現在のようにプランナーだけが多くなって、技術的なことはすべてコンサルタントまかせという事態が、日本の技術の発展にとってプラスかどうか疑問である。

失敗例から学ぶと同様に、土質力学や基礎工学における土や地質は、現地にあるままの自然から学ぶべきであり、自然を離れた土や岩石はありえないであろう。学校教育においても、自然や土工の現場をみながら学ばせるということがもっと必要なのではないだろうか。

いくら経済大国になったからといっても、日本は生活のすみずみにまで科学的思考力や批判的精神がゆきわたるほど豊かにはなっていないのではないだろうか。豊かさとは、Faraday の「ろうそくの科学」(岩波)や Raleigh の「The theory of sound I, II」(1877初版, 現在 Dover から出版), Love や Lamb の著書のように真の古典といえるものを生み出せるような、知的なふん囲気の社会のことであろう。土の方面でいえば、H. Krey の「Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes」(5th ed. Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, 1936, 1st ed. 1912) は、一言一言が意味のあるような言葉でつづられ、まさに名著にふさわしいものである。非常に影響を受けた。「ろうそくの科学」のように、日本でも土のことを小中高校生にわからせるような本を書く必要があろう。最上武雄氏が岩波「科学の事典」に土のことを非常にうまく書いているが、このようなものが多数出てくることを期待している。このようなものを読んで興味をひかれて専攻してくる学生こそ、将来の学問発展の原動力になるであろう。学会にも子供向けの「土の話」というようなものの企画を期待したい。

本稿は高田、松尾両先生に話を伺い、講座委員会の大草委員に原稿としてまとめていただいたものです。なお、その際、埼玉大学の小野寺教授には大変お世話になりましたことを付記しておきます。

ニユー

第4回岩の力学国内シンポジウム

おの
小野寺

とおる
透*

第4回岩の力学国内シンポジウムが1973年11月27、28日の2日間、東京虎の門のニッショーホールで開かれた。今回は、土質工学会が幹事学会に当たり、従来の経緯から土質工学会の岩の力学委員会の小野寺前委員長が運営委員長に選ばれ、懇親会の司会には赤井現委員長が当たった。本文は、運営委員長の開会挨拶その他を紹介するものであ

る。

このシンポジウムは、関係四学会の共同運営の下に、1964年に第1回が日本鉱業会の幹事学会によって東京で開かれてから、'67年に東京で土木学会、'70年に京都で日本材料学会の順に幹事となって開かれ、今度の土質工学会で幹事学会が一巡し、当初から満9年を経過したわけである。

今世紀当初から台頭した岩石または岩盤の物性論的ない

* 理博 埼玉大学教授 理工学部建設基礎工学科