

講座

土質力学 I

最近の土質力学管見 (1)

正員 工学博士 最上 武雄*

土質力学の現状を概観するに当つて現行の斯学教科書の目次を拾つて見るのは一つの参考になる。アメリカの大学で現在標準教科書として用ひられているのは D. Taylor の書物だそうである。この本はバラバラとめくつて見た程度にしか知らないが Terzaghi の Soil mechanics や Terzaghi, Peck の Soil mechanics in Engineering Practice に比べると稍や程度が低く Kryniene の Soil mechanics と同じ位のものである。Kryniene の本は良く知つてゐるから、これによつて見るに、内容は大きく分けて Soil Physics, mechanics of soil mass, Structural Application になつてゐる。一時代前の土質力学が土圧論を一枚看板にしていたものに比べると大きな開きがある事が分かるであろう。Terzaghi が 1925 年に出した Bodenmechanik は今でも一種の古典として十分価値があるが、同氏の前掲の二著と比較すると後者は未だこなれていない高踏的な処を持つてゐる。以來約 20 年にして、以後の新らしい諸研究をも加え、又相当にこなされて來たのが最近の土質力学教科書である。近代的土質力学は観念的な土圧論を脱皮する事から初つた事は周知の事であるが Bodenmechanik の頃は anfibodenphysikalische Grundlage と言ふ傍書からも相像されるように未だ十分には工学的であるとは言えず、多分に実験室的であつたのである。初期土質力学は新興学問として多くの若い研究者、技術者に対し魅力を持つていたが、未だその成果が現場に又設計にいきなり反映するには至らなかつたのである。しかし、多くの先輩達の努力に依つて現代の土質力学は相当の程度迄実用の域を獲得したのである。これが先述した、こなれて來たと言ふ意味である。さて教科書で Soil Physics として了解されている所は、我國の慣用語では土性論と言われている部分である。これの近年の發達には著しいものがある。もとより教科書に書いてある所は通り一遍のものであるが、土質力学の近代化の核心は此部分にあると言つても過言でなく、この結果を現場技術に反映させる所が最も興味ある所なのである。少し古い Keen の Physical Properties of Soil と

言う本がある。これはどちらかと言えば農学的見地から見た土の物理的性質に詳しいが、全く土木的な処がない農学的研究が土木的方面に貢献した面も忘れられない。概観して現在 Soil Physics は未だ發達途上にあつて、十分統一的に論ぜられてはいない。即ち、土の成因の事、土の分類の事、土の塑性の事、土の透水性の事、土粒子と水との関係の事、土の收縮の事、又未だ教科書にはあまり見かけぬが、土の電氣的、熱的性質、土のコロイド的性質強いて入れれば圧密の事、締め固めの事等々が個々別々に記載されているのである。この事は物理と言ふ総合的系統的な見方を重んじる立場から考えると未だ満足すべき状態ではない。我々が土を研究している時、此等諸現象間の密接な関連性を感じるのであるけれども、到底現在では統一的に論ずる訳にいかず、まだるつこさを常に感じている。Houwink の言ひ如く、土の物理は未だ資料蒐集の時代を脱していないのが実情であるから已むを得ぬ所であろう。

しかし、今迄に得ている所だけでも工学的には相当な成果を持つてゐると言えるのである。Mechanics of Soil mass と言う部分は近代の反省を供つた土圧論では内部摩擦法則が基本であるが、この法則に対する批判が Soil Physics の立場からなされる訳である。Terzaghi の Theoretical Soil Mechanics に要約があるが、これも 10 年以上の研究結果である。土圧論はその基となつてゐる仮定が満されている限り、決して間違つたものではない。古典的な理論として十分尊重される可き大きな価値を持つてゐる。

これは Krey も強く主張していた所である。

だが根本仮定たる内部摩擦に就ては十分批判が行われねばならぬが、問題の重点の一つは此れの測定法である。先年アメリカで全國の各研究機関で行われている剪断試験法の調査を行つた事があるが、現行の方法としては

(1) Direct shear

これを分けて slow shear と quick shear とにし、又 single shear と double shear とにする事が出来る。

*東京大学教授

この double shear が我國で最も多く行われている三箱剪断試験に当る。

(2) Triaxial compression

これは円筒形供試体に側圧と共に軸方向の力を加えて試験し、mohr 円を用いて摩擦角、粘着力を求める方法である。

(3) Simple compression

があり其他振り試験に依るものも若干あつたようである。slow shear と quick shear との関係は前者が外力と土の内部の水圧との完全な平衡を保ち乍ら行りに反し後者は此等が不平衡の状態のまま試験するのにある。なお preconsolidated shear と言つて、初めに荷重をかけて圧密を行い、後に鉛直應力で適当に剪断する方法もある。砂質の土では比較的簡單であるが、粘土質の土では内部の水の圧力が大変物を言う訳で、その結果種々の試験法があるのである。夫々の試験法は一長一短があるがいづれにも共通した悩みとして、大きなものが二つある。一つは現実の現場の土の剪断機構にその試験法が適するであろうかどうかと言う外的なもの、一つは、剪断試験の際の剪断面上の應力分布がどうなつていようかと言う内的のものである。現在の此処悩みを解決すべき方途は見出されていない様である。mechanics of soil に入つてある部分で比較的新らしいのは、Frölich の研究に基く、載荷された地盤内の圧力分布を求める方法と圧密現象の解法である。Boussinesq の半無限弾性体内の表面載荷に依る應力分布の研究結果を巧みに拡張した Frölich の理論は鉛直な垂直應力の分布に関する多くの実験結果に適合することが示されたためと Strohschneider 等の式に比べて、理論的根拠が明瞭で透徹しているのと、計算が簡単なのと相まつて、多くの人の迎える所となつたのである。この理論は一方基礎の支持力論に應用され、他方築造物の圧密沈下の算定に利用され、又表面載荷の場合の側壁に及ぼす圧力の計算に用いられたりする。法面安定論、基礎の支持力論等も此部分に入るのであるが、一應理論的な面が強調されている訳である。Structural Applications は当然前二部門であるが、基礎、切取り、盛土、擁壁、沈下、現象に前二部門内の理論を如何に應用するかが重点である。

全くの経験か、古典的土圧論の機械的應用で片づけられていたものを土性論の立場を用いて、少しく合理的に扱ふのである。一應全体的な展望を Krynine 其他の書物を通じて行つて来たが、若干の話題に就て土質力学の側面をとらへて見よう。今世紀の初めから現在に至る迄土質力学の進歩に大きな貢献をしたものは数多いが、中でも目立つてゐるのは、Terzaghi の圧

密現象の定式化、Proctor の突き固めの研究 Frölich の土中圧力分布の研究、Proctor, Porter 等の研究に基づく Shallow foundation の研究、土の分類法の進歩等が挙げられると思はれる。粘土質の土は圧力を受けると内部に保有する水がしぼり出されて収縮を起す所謂圧密現象を呈するが、この現象の本質を適確にとらえて、定式化した Terzaghi の功績は大きい。後に D.T. Taylor に依り拡張されて應用範圍を増した。粘土質の土の力学を考へる場合に此現象を考へぬ訳に行かぬのは、前述剪断試験の説明で明らかであろう。尙おこれは土の安定化の問題と関連して重要な意味を持つてゐる。Rendulic もこの圧密現象の深い研究を考えていたようであるが有能な才物を若くして失つた事は惜しい。Proctor の突き固める研究は、土質力学の發展に新紀元を劃した意味で眞に重要なものである。彼の初期の研究(1933)では最適含水量 (optimum moisture content) の存在の確認が重要である。即ち適当な含水量で突き固めを行うと、不適当な含水量で突き固めを行うよりは、遙かに良く締まると言う事である。この事の確認は Proctor method と言われる上手な実験法の發明に依るものであると思はれるが、その方法の要領は容器に入れた土の上一定高さから一定重量を一定回数落下させて突き固めその土を乾燥せしめた時の重量を求めこれに依つて締まり具合を判定するのである。Proctor は同時に Plastic needle と稱する棒を土中に一定速度で貫入せしめる際の抵抗で締り具合を見る方法をも提案したのである。このように最適含水率で締めた土に於て飽水軟化が許容の範囲にあり、中を流れる透水流の速さが細粒を流し去らぬ範囲で、且つ十分の重量を持つならば如何なる土に依つても土堰堤が築造出来ると言うのであつて、これは土堰堤工法の一大革命であつたが、彼は Proctor method に依る試験結果と、現場に於ける各種ローラーの締め固め効果との対比を研究し、後に至つて(1948)土の締め固めに対する圧密効果の重要性を指摘し、土質力学が、設計の面への應用のみならず、施行法の面にも大きな應用を有する事を適確に示した功は蓋し大きなものである。1948 年頃になると Proctor は突き固め試験に於て重量の落下回数を径数とする事を止め compactive effort = (重量の重サ) × (落下高) × (突き固め回数) × (層の厚サ) / 容器の容積

を用いる方が合理的であるとした。又彼は突き固めに依り、土が水で完全に飽和した時の Plastic needle の貫入抵抗を I. S. P. R. と略称し、これを一つの径数として土の性質を判定する事を初めた。(1948)

(以下次号)