

最近の土質力学管見 (2)

正員 工学博士 最 上 武 雄*

Proctor の研究に依ると Compactive effort が大きくなると I.S.P.R. が増し、圧密量を減じ剪断強度を増す。又透水係数も、その土地の有する細粒の量よりも突き固めの程度の方が関係が深い事が指摘され、I.S.P.R. が 300lbs/sq in になる様に突き固めれば透水量は無視出来る程度になる事を示した。

一般に剪断強度は最適含水率よりも稍や低い処で突き固められた土に於て最大となるが、softening を行くと最適含水率で突き固めたものより弱くなる。処で突き固めを行つただけの路盤と、突き固めを行ひ且つ圧密を行つた路盤とを比較すると、圧密を行つたものでは載荷に依つて弾性変形を生ずるのみであるが、突き固めのみを行つたものでは、前者の 20 倍近くの圧密を生ずる。従つて、突き固めのみを重要視する事は片手落ちなのである。土堰堤基礎に於ても、後に生ずる圧密に依つて起る沈下に依り部分的破壊を生ずる事を防ぐためにも出来るだけ早期に圧密を十分起させて了う必要がある。しかし、圧密現象は載荷の極く初期に大部分が発生するものであるから lift を小にして適当な載荷に依り、生ず可き圧密を予め行はしめる事が可能なのである。そのため Proctor は Pneumatic-tire roller に似た "consolidator" と称する一種の roller を使用する事を推奨する。このような場合にも、圧密試験に依つて consolidator の重量並にその運行速度が採定される処に最近の土質力学の性格が良くあらはれてゐる。

普通のローラーに於ても、突き固め効果と圧密効果とが同時に現はれるのであるから、この場合には寧ろ締め固めと言う可きであらう。sheepsfoot roller はどちらかと言へば突き固め効果の方が大きい種類のローラーであるが、最適含水率附近でない粘土質の土の締め固めには適しない。水が多い時には寧ろ、こねかえすようになる。このローラーでは全重量と接地圧力、足の面積と型、運行回数、lift が締め固めに重要な関係があり、含水量適当な時締め固め効果が深部に及ぶのが特長である。しかし、表面が荒らされるから他の型式のローラーと併用するが良い。此種ローラーは砂

質土の時は有効である。砂の安定に対しては A. Casagrande に依り唱へられ世に迎へられてる critical density と云う概念がある。これは砂の場合に剪断破壊を生じるためには密度がある critical density と称せられる密度以下にならねばならぬと言う事であつて、筆者も強調した事がある。従つて、砂質土に一樣な粒子よりなるものの安定に対しては突き固めと言うものが特に重要な要素となるのである。序でながらつけ加へると粘性土の場合には Pneumatic-tire roller が有効であるが、F.H.P. Williams に依れば、成程 Pneumatic-tire rollerの方が締め固め方は早い。が flat-wheel roller でも結局は同程度の締め固めにはなるのである。

とにかく土の水密性、安定性を増大するためローラーの重量を大きくしようとする傾向はあるが、W.J. Turnbull に依れば重量を増すよりは lift を減じた方が良いと言つてゐる。しかしローラーの重量増加に伴ひ突き固め試験の方法も modify されて來てゐる。(このように土質に対するローラーの適否、その使用方法が土質力学的に論じられるに至つてゐるのである)

Proctor の突き固めの研究に先立つ事 4 年 1928 年 ~ 1929 年に California Division of Highway で全州の路盤調査を行つた。道路舗装の破壊の原因は主として、その下の土の性質に依るのであつて、施行後土が水を吸い軟化したため側方移動を生ずる事、不等沈下を生じた事、何回もの載荷に依り過度の変形を生じた事を主原因と数り可き事が見出されたのである。尙ほ適当な締め固めを行へば此等の原因を或る限度以内に限定出来る事が知られたのである。そして此等の混合効果 (Combined effect) を測定し舗装の設計に資す可き試験方法として C.B.R. 試験法が 1929 年に案出されたのである。これは Porter 等の賢明な考察に依るものであつて、この方法を見出すためには可成りの苦勞があつたのである。これが一應出来上つて路床土の quick test として California 州では用いられていたが、今次大戦に於て飛行場滑走路が問題になるにつれ、大きく採り上げられて來たのである。この方法

*東京大学教授

は、突き固め試験, soaking test, 貫入試験を混用した試験であつて、全く実験的に舗装の設計に資するものである。しかし、前述の舗装破壊の原因を巧妙な方法でえくり出そうとする Porter の土質力学的眼識に愧がない事は敬服に値する。処で、C.B.R. 試験法、突き固め試験法の発達を土質力学的見地から見ると、所謂 shallow foundation なるものを認識したと言ひ処に重点があるのであらう。古典的な deep foundation に対して shallow foundation の有する独特な性格が特筆された事は大きな意味のある事である。

以上述べて来たように最近の土質力学の特長は非常に practical になつて来た事である。10数年前迄は土堰堤工事現場に設けられた土質試験室と現場との関係は極めて薄いものであつた。その他多くの土構造物の設計、施工にも科学的な眼が行き届いてゐない観があつた。しかし、最近では次第にこの面が開拓されて、合理性を獲得しつつある様に思はれる。此事は近代的土質力学の動向が粉体力学の如き抽象論から脱皮を目指してゐた当然の結果ではあつたが、約半世紀に亘つた苦しみに依つて、一應の形を成すに至つたと見られるのである。そして現在の土質力学が主として Practice を指導者として、その性格が多分に empirical である事も、此世代の学問としては当然の事であらう。しかし Terzaghi Prorter Porter 等の仕事を通観して、empirical ではあるが、内に犀利な土質力学的叡智が輝いてゐる事を見逃せないのは流石である。此処に次の時代の土質力学の根元がある。

一方土の性質を原理的な方向から考へようとする動きが最近に至つて盛んになつて来たのは、コロイド学、原子物理、物性論等の発達の結果として必然の事であらう。勿論現在に於ては手探り程度を出ないが、Hans, P. Winterkorn, Clare, Grim, Geuze, Moretto 等の研究は、粘土鉱物の原子配列等と土の物理的性質とを結びつけようとする試みとも見られ、Houwink の Elasticity, Plasticity and Structure や Keen の書物の多少の記載は粘性、Thixotropy 土の coagulation 等の重要問題に対しての一つの発足と見られない事もない。Greuze, Bruyn, L. Casagrande の電氣滲透の研究も、一面 practice との連りがあると共に原理的な方面への深い関連を見逃す訳には行かない。

何年か何十年かの後に Practice に導かれた empirical な土質力学と原理的な研究とが円満に結合される時、恐らくは土質力学の美しい花が咲き乱れる事であらう。そして其時に、更に暗黒大陸として残るものに案外土圧論があるのではあるまいかと思はれる。

土の分類法は、粒子配合に依る単純なもの、三角図

表に依るもの、加積曲線に依るもの、等々数多い。少しく面白いのは突き固め試験に依つて土の分類を企てるものもある。現在路床土に対しては Public Road Administration のものと A. Casagrande に依る、A.C. 分類法 (Army Corps of Engineers 分類法) が注目される。後者は 1500 以上の資料に基いたものと言はれる。日本の土については再考を要するが、此様な分類法が発達する事は非常に望まれる所である。

以上土質力学の現状を筆者の知る限りに於て記述したが、もとより精粗一様ならず、内容に触れたものも単なる紹介に止まつたものもある。読者の御寛容を願う次第である。

本文を書いて間もなく Donald W. Taylor の Fundamentals of Soil Mechanics; Terzaghi Peck の Soil Mechanics in Engineering Practice; 英國で出た Knight, B.H. の Soil Mechanics for civil Engineers; Capper Cossie, W.F. の The Mechanics of Engineering Soils を見る事が出来た。此等の書物を見るに Hogentogle の Engineering Properties of Soils あたりから系統づけられ初めた新しい土質力学の体系が一應落ち付いて来た事が感ぜられる。本文で筆者が書いた概観が必ずしも間違ひばかりでなかつた事が此等の書物で確かめられた事は幸ひであつた。

Taylor の書物は 20 章よりなり、Soil Physics に当るものが 10 章、土質力学の理論が 6 章、基礎が 2 章、堰堤 1 章である。入門書にふさわしく必要な概念の説明は丁寧である。非常に明瞭であつて土質力学を学ぶ場合の基礎的なものを習得するには好い書物であると思う。

教科書と言うものは、題目については或程度割り切つてゐる事が必要なのである。例へば土質試験法のどの一つをとつて来てもなかなか問題は多いのであつて簡単なものではないのである。しかし、これをくぐぐと書き並べる事は初学者にとつては、徒らに混乱を生ぜしめるだけである。Taylor の書物の良い点も、又悪い点も、この様な割り切りにある。

Terzaghi の Theoretical Soil Mechanics は Rankine 土圧論を主流として土質力学の諸問題を論じた書物であるが、これは、古典的な土質力学を通して題目を割り切つてゐる点で興味深い。勿論、単なる受け売りではなく、又抽象論にもおち入つてゐないが、確かに Theoretical である。

これ等に比し Terzaghi, Peck の書物は土質力学と実際問題との協力をねらつた力作である。この書物は Part A, Physical Properties of Soils; Part B, Theoretical Soil Mechanics; Part C, Problems of

design and Construction に分れている。これは Krynine の書物の分類に似てゐるが、遙かに調子は高い。詳細は引用文献で補う積りか Part A, Part B, の部分の記述は簡単である。しかし、一方に複雑な実際問題をひかへてゐる時、土質力学の理論的な部門として堂々として主張出来る所は、これ位の事かも知れないのである。実験室の研究者は自分達の研究結果を過大評価する傾向がある。彼等の仕事の多くのものの中で、実際問題に役立つ事は非常に僅かなのである。誤解されぬ様に説明を加へるが、この極く僅かな価値あるものを見出すためには、非常に多くの研究を必要とするのである。これは学問の性格から来るのである。実際に役に立つある一つの事柄、例へば $A=B$ と言う事を学問的に主張するためには $A \neq B$ が正しくないとする多くの事実を検証しなければならないのである。従つて Part A, Part B の記述は簡単であるけれどもこの裏には一つ一つも重要な多くの研究が、ひそんでゐるのである。Terzaghi Peck が開巻壁頭に基礎、土構造技術に於ける成功は、他のいづれの土木技術の分野にもまして、実際の経験に基いてゐると言つてゐる事は味うべき事で、土質力学の行く可き道を明らかに

してゐる言葉であると思はれる。

この意味から、著者達は現場の expert, E. Cumming, O.K. Peck, F.E. Schmidt 等の助力を仰いだと書いてゐるが、土質力学の研究が実験室と現場との密接なつながりに依つて進められる所を示してゐると考へられるのである。

Part C では Soil Exploration, Earth Pressure and Stability of Slopes, Foundations, Settlement due to Exceptional Causes の 4 章に分かれ実際に即した諸問題が論じられ、本書の最も重点を置かれた部門となつてゐる。

尙ほ戦後英國から Géotechnique と言う土質力学の雑誌が出てゐる。私は其中の一冊を見得たのみであるが、Grim, L. Casagrande 等の論文が載つてゐた。L. Casagrande のは昨年 of Rotterdam 会議に出した Electro-osmosis の論文を詳しく書いたものであつた。

尙ほ、この巻末に最近の土質力学の論文表題が載つてゐたが、可成り多くの研究がある事が分つた。

初めに書いた英國の二書は米國の諸著に比し、多少の遜色がある。近代土質力学の発達が主として米國に負う所から無理もない所であらう。

ニユース

海外ニユース

ニューヨーク市の水不足

ニューヨーク市にはじめて水道が設けられたのは 1776 年であるが、人口増加に伴つて時には井戸を掘るなどして兎に角水の要求に應じて来た。しかるに市の発展と共に総計 18 のダムと 30 の貯水池に依り、主管延長のみでも 5200 哩に及ぶ水道施設が出来てゐる。第二次大戦の間は、この給水施設の拡張を中止しなければならなかつた。其の爲に昨今は水不足になやまされてゐる。現在の水不足は歴史上今だかつてない程度のものである。市当局は、自動車やトラクターを洗つたり、建物の側面や側道を洗う事を禁じ、10000 人に上る水の浪費防止隊を組織し、節水につとめて居るその結果、市民一日一人当りの水消費量は 150 ガロ

ンより 128 ガロンに減じた。しかし危機は未だ去らない。水道局では毎週数時間の "water vacation" を要請してゐる。市民は水圧降下の爲、ビルの低い階にやつて来て水を得てゐる。埃つばい事は鉱山の最前線を思はせはせるやうな状況である。

因みに米國の他の大都市の一日一人当り水消費量は次の如くである。(単位ガロン)

シカゴ (234), フィラデルフィア (168), ロスアンゼルス (151), クリーブランド (187), ボストン (117), デトロイト (147), セントルイス (192), バルティモア (169)

米國鉄道会社裁判に敗る

ミソリー州の大審院に於て最近ワーバッシュ鉄道会社が、36 名の土地所有者および借他人に対して 20585 ドル拂うよう判決があつた。此の判決の理由は面白いことに、鉄道会社のワケンダ河に架けられた鉄道橋の