

## ひろば

るいは荷重増加比に関係なく土によって一定となるという事実は、我が国の研究者にも認められつつある。

このことと関連して、過圧密から正規圧密にまたがる応力状態での圧密挙動は実用上重要として、このときの沈下と間隙水圧の挙動の解析を行っており、“日本にこのようなケースがあったら紹介してほしい”と熱心に頼まれた。海洋開発が期待される我が国では、今後このような例が増えてくるかもしれない。

Mesri 教授は専ら飽和粘土を対象としているが、彼はこの Critical pressure,  $p/c$ , に基づいて、 $p_e/p_0(p_0$ ; 土かぶり圧)  $\leq 2.5 \sim 3.0$  に属する粘土を軟弱粘土 (Soft clay) と定義しており興味深かった。

基礎的な研究のうち、もう一つ興味深かったのは、日本でもよく行われてきている定ひずみ圧密試験である。これは彼らのグループの二次圧密理論の基礎式

$$\frac{de}{dt} = \left(\frac{\partial e}{\partial \bar{\sigma}}\right)_t \cdot \frac{d\bar{\sigma}}{dt} + \left(\frac{\partial e}{\partial t}\right)_\sigma$$

における  $(\partial e/\partial t)_\sigma$  の項を圧密過程全体を通じて、実験的に規定するための実験であった。筆者はこれに関心があったのでこの仕事の仲間に入れてもらった。といっても、実験を少し手伝ってコメントをさせてもらったにすぎなかったが。

実際問題と関連のある問題としては、地盤改良後の構造物の残留沈下 (Post-construction settlement) に関する基礎的な研究がある。近年我が国でも重要構造物の基礎に要求される条件が厳しくなっていることを反映して、地盤改良後の構造物の残留沈下が厳しく規制されてきているという。特に、サンド・ドレーン工法と並んで、最近再び見直されつつあるプレローディング工法の設計法がまだ十分でないことから考えて、この点に関する基礎的な検討は、同時に工法の効果判定基準の確立のためにも役立つと考えられる。

実は筆者も以前から、このテーマには関心を持っていた

ので、この仕事にも参加させてもらった。話しているうちに、室内試験と並行してカナダ、北欧、日本各国のケース・スタディを集め設計指針を作って技術者に喜んでもらうので協力してほしい、とえらく意気込んでいた。考えてみると、一步外へ出れば、コーン畑に囲まれたこの中西部の田舎町の中にいて、なんで軟弱地盤の問題を、と不思議に思っていたが、一人自国に関わる問題にとどまらず、グローバルな見地から難問にいとむ姿勢は、やはり大国ならではの責任感であろうと感じ入ったことであった。

このように、何かと学ぶことの多かった1年間であったけれども、ただ一つ残念だったのは、筆者らが過去10年間にわたって行ってきた動的圧密(繰返し圧密)に関する研究が、当地では余り関心を持たれなかったことである。飽和粘土の動的性質のうち、比較の見逃されがちであったこの問題の重要性が依然として我が国でも認識が十分ではないが、この国でも事情は同じか、といささか悲観的になったものである。ただ、滞在中にコンタクトした MIT の Baligh 准教授、メキシコ国立大学の Zeeveart 教授などに興味を持ってもらったのがせめてもの救いであった。いずれも、そのような事例を現地で接して初めて認識を新たにしたというふうであった。特に、市の大部分が有名な Mexico City Clay から成っているメキシコでも、最近我が国の一部で話題となっている交通車両の走行による舗装の沈下が随所にみられるとのことで意を強くした次第である。

最後になったが、たまたま同じ時期にノースウエスタン大学に滞在されていた埼玉大学の小田匡寛氏、新潟大学の青山清道氏には家族ぐるみで心暖まる御交誼を頂き、滞米生活を一層有意義なものにすることができた。紙上を借りてお礼を申し上げたい。

(原稿受理 1980. 12. 11)

---

 技術手帳
 

---

## 地 下 侵 食

たけ	い	あり	つね*
武	居	有	恒*

地下侵食とは、地中において水・空気などが、岩石・土粒子などに作用して、その一部分をもとの位置から移動さ

せ、あるいは運び去る現象をいう。広い意味では、地中における岩石の風化過程(溶解・炭酸化作用など)に伴う化学的な物質の移動もこの現象に含まれ、またこの問題と山

\*京都大学教授 農学部

地の荒廃予測を結びつける研究も行われているが、一般には狭い意味で、水が地表面下を流動する際に、その通路部分の土粒子を移動させ、土層の物理的性質を変化させるような現象を主な対象としてとりあげている。

地下侵食現象が工学的な研究の対象となるのは、

- 1) ダム・締切りなどの基礎地盤の破壊、
- 2) アースダム・堤防など人工のり面の破壊、
- 3) 地すべり・山崩れなど自然斜面の破壊、
- 4) 人工および自然的原因による地盤の沈下力陥没、

などがあげられる。逆にこの現象を利用したジェットによる掘削工法も広く用いられている。

地下侵食の原因は間隙水の流動による流体力が、土粒子間のせん断抵抗力より大きくなるためである。したがって、本質的には土層内部での浸透水圧による局所的な破壊の問題といえるが、実際の現象としては、かなりの広がりを持つ領域がほとんど同時に不安定化して破壊されるいわゆるボイリングあるいはクイックサンド現象と、土層の不均一性のために微小部分の破壊あるいは単一粒子の移動が繰り返され、不安定化部分が次第に拡大し、水みちを形成し、ついに土層の広範な破壊を招く、いわゆるパイピング現象に分けて考えられているのが普通である。

最も基本的な現象は、水で飽和された土層中で鉛直上向きの間隙水の流れによって生じる中立応力が、土粒子の重量とつり合うことによって浮き上がる状態になる限界として説明される。いま土粒子の比重 $G$ 、土の間隙比 $e$ 、間隙水の水頭勾配 $i$ （鉛直上向きを正とする）とすると

$$i \geq (G-1)/(1+e)$$

という条件が満足されると、土粒子全体が持ち上げられ土層は破壊することになる。実際には土層は不均質で、水頭勾配の分布も一様でないため、局部的にこの条件が満足されても周辺のせん断抵抗力によって拘束され、注意深く行われた実験においても局部的なパイピング現象が先行し、明らかな浮上現象や土粒子のボイリング現象を認め難い場合が多い。むしろ、ある水頭勾配以上で流量が顕著な変化を示すことによって、土層内部での土粒子の移動を察知される例が多い。最も典型的な場合には、土層全体が液状化し、強度をほとんど失ってしまう。クイックサンド現象とはこのような状態をいい、上式で与えられる $i$ の下限値を限界動水勾配という。この値は土粒子比重および間隙比のみの関数であって、粒径分布・粒子形状・配列構造など、土層のせん断強度および透水性に影響する他の因子には無関係に一定の値をとる。しかしながら、実際には水頭勾配の増加に伴い土層内部の局所的な小破壊による土粒子の移動が次第に進行し、土層表面付近において限界動水勾配の条件が満足されたときにボイリング現象が始まる状態が観察され、初期状態の $G$ および $e$ だけによって限界条件を決めることは困難と思われる。

ダム・締切り工などの下流側（低水側）における地盤の

急激な破壊現象については、基礎地盤中の流れに対し、理論的解析あるいは種々の実用的な方法によって流線網を求め、下流側土層表面付近の安定条件を限界動水勾配によって検討する方法を用いることができるが、このような静的な取扱いは、前述のような現象を考えると必ずしも安全側の結果を与えるとは限らない。最近では基礎地盤内の一部で局部的に破壊規準が満足されることによって、その部分の透水性および強度が変化し、次第に破壊領域が広がってゆく過程を有限要素法によってシュミレートする試みが行われ、模型実験で観察される現象をある程度説明できるようになった。

パイピングの問題は、土層の局所的な不均一性が特に大きい影響を持つため、現在のところ適切な解析の方法は確立されていない。実用的には、構造物と土の接触面付近に最も弱点が生じやすいという観点から、この面に沿う平均水頭勾配に注目し、構造物基礎が土層と接触する線（クリープ線）の全長 $L$ と、構造物上下流の水位差 $h$ の比、 $e = L/h$ をクリープ比として、土質を適当に分類して、それぞれの土質に対して安定を保ちうるクリープ比を経験によって定める方法を用いられる場合が多い。

アースダム・堤防などの人工盛土、および山崩れなど自然斜面の安定に対する地下侵食の影響に関しては、自由地下水水面（土層内の飽和領域の上面）が斜面と交わる点付近の土粒子の移動を考え、この地点から地下水面に沿って地下侵食が土層内部に進行し、被侵食領域がある程度拡大するとその面に沿うせん断抵抗力の低下によって上部の土層が崩壊し、この現象が連鎖的に斜面上部に向かって拡大する現象として説明されている。これに対しては、模型実験ならびに実地の経験によってある程度確認されているが、安定条件の検討は、地下水水面が地表面を切る点における土粒子の移動開始の条件は与えられているが、それ以後の地下侵食の進行状態についての数値的な解析は行われていない。

地すべり運動に対する地下侵食の影響は、第三紀層の地すべりに対してはその影響を確認されている例は聞かないが、結晶片岩地帯の地すべりでは、斜面内部にかなり明りような水みちが存在し、地下侵食や地中での局所的な崩壊が地すべり運動と密接に結びついているという調査結果が報告されている。

また、しらすは特に地下侵食を受けやすい材料と考えられ、降雨時には平たんな台地面上に数十 $m^2$ 程度の陥没孔が発生し、あるいはしらす壁面の小洞窟をなす湧水点付近から多量の土砂が流出して災害が発生した例も報告されている。また、この地下侵食が長期間継続すると、地中に大規模な空洞を生じ、しらす・ドリーネと称される直径100 $m$ を越えるような陥没地形が存在することが知られている。

（原稿受理 1980. 8. 4）