

Keynote Lectures

6. 粘土の圧密と砂の締固め—弾塑性力学による記述—

Consolidation of Clay and Compaction of Sand —An Elasto-Plastic Description—

浅 岡 顯 (あさおか あきら)

名古屋大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻

1. はじめに

アジア会議のような舞台で、自分の研究を中心に1時間も話してできる機会があると聞いた時は、本当に嬉しかった。龍岡副会長と関口前国際部長が Conference Advisory Committee の席上で私を推薦されたのが始まりで、衷心から感謝している。準備に時間は大いにかけたが、お二人の期待に添えたかどうかは、恐ろしくてまだ聞いていない。

2. 解 題

目次と簡単な説明だけを記す。

序論：砂は締固め材料、粘土は圧密材料であることは周知で、つまり砂と粘土が大いに違うことはよく知られているが、それを力学の言葉で書くとなると、概して難しい。

カムクレイモデルの要諦：「 $e-\log p'$ 」による土の体積変化則が応力比 q/p' にかかわらず同じ係数 λ を用いて記述できるところに、カムクレイモデルのすべてがある。体積変化を論じた弾塑性構成式など、カムクレイモデルが空前絶後ではないか。体積変化が負荷経路によらないことを示した Bishop と Henkel の功績も大変大きい。

カムクレイモデルの限界：練返し正規圧密土の負荷挙動にモデルの適用に限られ、過圧密や自然堆積土の構造に由来する実際の砂や粘土の力学挙動には、まるでうまくあてはまらない。しかし「練返し正規圧密土」という、実際にはほとんどありえない土を承知の上で、土の基本概念とその抽象手法（連続体力学・塑性学）を与えたのは、カムクレイモデルの創始者たちで、土質力学の現代化は、すべてカムクレイモデル以後のことである。

上/下負荷面カムクレイモデル：過圧密状態から正規圧密状態に至る土の過程が、弾性変形ではなく塑性変形によってもたらされることを示したのは、橋口による下負荷面で、もう4半世紀以上も前である。しかしカムクレイモデルの軟化挙動がよく理解され、また計算されるようになったのも実は近年であることを思うと、両者の地盤工学への実質的な貢献はほとんど同時期といってよい。名古屋大学による上負荷面は、土の骨格構造の働きを弾塑性力学の言葉で記述するうえで不可欠であるとしても、見出されたのは漸く1997年のことである。一方、関口による「不変量」 η^* が土の誘導異方性の記述に不可欠なことだけは、長く知られてきた。カムクレイと比べたとき、実際の土の本性が「過圧密、構造、

異方性」にあることはもはや疑う人はいない。日本の研究者たちがこれらの力学記述に貢献してきたのは、競争の偶然の結果ではあっても、悪いことではない。

砂と粘土の違い：おなじ塑性変形があった時、過圧密状態の解消が速いか、構造の喪失が速いかで砂と粘土が区別できる。砂は過圧密が解消しにくく、粘土は構造が壊れにくい。「正規圧密砂」も「構造のない粘土」も、作るのが至難であることを思うとわかりやすい。

砂の締固め：わずかの塑性変形で緩い砂は骨格構造が容易に破壊し、大圧縮（ないし液状化）が起こる。わずかの塑性変形は、ごく小さい振幅の繰返し負荷が考えやすい。ところがこのように小さい負荷によっては、繰返し時の除荷によって発生した砂の過圧密は、ほとんど解消することがない。だから締固め（排水繰返し）の時は砂は圧縮しながら過圧密状態が蓄積されてゆく。

粘土の「二次」圧密：自然粘土の大圧縮も、骨格構造の破壊によって生じる。しかし砂と異なり、骨格の破壊のためには塑性大変形、つまり大荷重が必要である。荷重がある閾値を超えたために思わぬ大変形が生じているのは、軟弱地盤の実務では古くから、広く知られてきたことである（関空も同じことだと思う）。変形が遅れるのは、圧縮が軟化をさえ伴うほどだからである。実際に軟化が起ったりすると、「 c_v が負」、つまり局所化が進行して、遅れ圧密は大変複雑な様相を呈する。構造の発達した実際の自然地盤では、大荷重をかけたとき、たとえ円弧すべりが起こらなくても、圧密は必ず粘土地盤の土骨格構造の進行性破壊を伴う。沈下～時間の曲線がスムーズではなく、ガクン・ガクンと起こるのは、測量ミスなどでは決してなくて、地盤の進行性破壊による。「進行性」は、時間的にも空間的にも、すべて水と土骨格の連成に起因し、「進行性」こそは土質力学の根幹をなす。土質力学は、有効応力と圧密の Terzaghi 以来、借り物の力学ではなくなった。

結論：略

3. おわりに

畏友日下部治さんには、発表の練習だけはよくしておくように言われた。それで相当練習したのであまり緊張せずすんだ。なお講義ノートには日本語版もあります。興味がおありの方はご連絡ください (kaneda@civil.nagoya-u.ac.jp)。

(原稿受理 2003.12.11)