



## 遠心模型実験

## 1. 講座を始めるに当たって

木村

孟\*

遠心力を利用したいいわゆる遠心模型実験はこのところ各方面でさかんに話題にのぼっているが、かなり前からこれについての正しい情報が欲しいという要望が会員諸氏から数多く寄せられていた。今回学会誌で遠心模型実験に関する講座が組まれる事になったが、比較的長くこれに取り組んでいる者の一人として、極めて喜ばしい事と考えている次第である。とくに最近、遠心模型実験装置に対する過剰期待が一部で見られ、これを憂える声が遠心模型実験に従事している内外の研究者から上がっている。このような点を是正する意味でもこの企画は有益であろう。

まず冒頭にお断りしておきたいのは、少なくとも筆者ならびに筆者の研究グループは遠心模型実験を行うために必要な遠心模型実験装置 (centrifuge) を特別に秀れた実験装置とは考えていないという点である。この装置の狂信的信奉者 (しばしば centrifuge mad といわれる) と考えられているケンブリッジ大学の A.N. Schofield (スコフィールド) 教授は、仲間うちでは遠心模型装置を三軸試験機と比較し、後者の方が秀れているとの発言をする事がよくあるが、筆者も似たような考えを持っている。

遠心模型実験のアイディアそのものは随分と古く土質基礎工学の分野では 1930 年代にさかのぼる。ソビエトでは G.I. Pokrovsky (パクロフスキー) が、アメリカで P. B. Bucky (バックキー) がほぼ同時代に、模型実験の相似則について考察し、遠心模型の利用を考えついている。アメリカの研究者達は Bucky が遠心模型実験の先駆者であるとして、Pokrovsky の名前を引用しない。しかしソビエトのこの道の大御所である N. Y. Malishitsky (マリシツキー) の著書<sup>1)</sup>では第一に Bucky の名前が挙げられている。

遠心模型実験の専門書以外で Pokrovsky の名前を紹介しているのが、V.V. Sokolovski (ソコロフスキー) の土の塑性力学に関する著書である。この書が "Statics of Soil Media" というタイトルの下に英訳されているのは衆知の事である<sup>2)</sup>。ちなみに訳者の一人は Schofield 教授である。この中で Sokolovski は、力学的相似則について本格的な詳しい考察を行っている。土質力学の分野では恐らくこれが最初であろう。彼は、「幾何学的に相似な領域における相対する点の応力は、もし領域の境界においてそれらが相似であり、領域内において、 $\phi$ ,  $c/(p+c \cot \phi)$ ,  $\gamma l/(p+$

表-1.1 講座「遠心模型実験」掲載予定一覧表

| 回数 | 表 題                 | 執 筆 者              | 掲載予定号   |
|----|---------------------|--------------------|---------|
| 1  | 1. 講座を始めるに当たって      | 木 村 孟              | 62年11月号 |
|    | 2. 序論               | 木 村 孟<br>日下部 治     |         |
| 2  | 3. 原理               | 高 田 直 俊<br>日下部 治   | 12月号    |
| 3  | 4. 装置の基本システムと計測システム | 藤 井 齊 昭<br>寺 師 昌 明 | 63年1月号  |
| 4  | 5. 適用事例・圧密問題        | 高 田 直 俊            | 4月号     |
|    | 6. 適用事例・安定問題        | 藤 井 齊 昭<br>望 月 秋 利 |         |
| 5  | 7. 適用事例・安定問題        | 木 村 孟<br>日下部 治     | 5月号     |
|    | 8. 適用事例・相互作用問題      | 高 田 直 俊            |         |
| 6  | 9. 適用事例・複合地盤に関する問題  | 谷 口 栄 一<br>寺 師 昌 明 | 6月号     |
| 7  | 10. 適用事例・動的問題       | 日下部 治<br>谷 口 栄 一   | 7月号     |
| 8  | 11. 座談会—将来の展望—      | (取りまとめ)<br>木 村 孟   | 8月号     |
|    | 12. 講座を終えるに当たって     | 木 村 孟              |         |

$c \cot \phi$ ) の3つの量が等しければ相似である」と述べている。ここに  $l$ ,  $p$  はおのおの基準長, 基準応力,  $\gamma$  は土の自重,  $c$ ,  $\phi$  は土の強度定数である。Sokolovski はこの考察の下に、応力を  $\gamma l$  で無次元化して考えるのが都合の良い事を示した。同様の無次元化については山口がより明確な形で定義を行っており、力学的相似則を満足するための一つの方法として、遠心力を利用する方法がある事にも言及している<sup>3)</sup>。Sokolovski, 山口いずれも土の塑性理論の研究者であり、同理論における自重の重要性を考えると、これらの研究者によって土質力学の分野での力学的相似則が深く考察されたのは極めて当然の事として理解される。Bucky はコロンビア大学の鉱山学科で鉱山の支保工に作用する圧力を調べるために遠心模型実験を行った。これもまた自重の重要性が卓越する問題である。真空下で模型を回転させる事を試みる等、大変に程度の高い実験的研究であったが、鉱山学科そのものが終焉を迎えようとしていた時期であったために、残念ながら彼の研究は後の世へ引きつがれる事はなかった。ちなみに Osterberg (オスターバー

\*東京工業大学教授 工学部土木工学科

## 講 座

グ) 博士は学生時代に Bucky が彼の装置を使って実験をしていたのを何度も目にした事があるそうである。

自重が重要な問題の一つに自重圧密がある。遠心模型のアイデアはソビエトでは, Pokrovsky 以来今に至るまで太い流れとなって生き続けているが, 西側諸国ではアメリカで一度死んで以来1960年代の半ばまで顧みられる事がなかった。これに再び光を当てたのが三笠であり, Pokrovsky, Bucky とは全く異なった観点から遠心模型の利用を思いついた。彼は超軟弱地盤の圧密問題を取り扱い得る基本式の誘導に成功したが, その妥当性の検証が通常の圧密試験では不可能であるという問題にぶつかった。熟考の末, 圧密を遠心力場で行えば力学的相似則を満足した模型実験を行い得る事に気がつき, 市販の遠心分離機を用いて実験を行い, 相似則が成立する事を見事に示した<sup>4)</sup>。当時三笠の自重圧密理論は高く評価されたが, 彼の行った遠心模型実験に対する評価はほとんどなされていないようである。

1988年の4月にパリで遠心模型実験に関するシンポジウムが開催される。国際土質基礎工学会の遠心模型実験に関する研究委員会の主催である。小さなシンポジウムの予定であったが, 200を超える論文応募があり, 委員会メンバ

ー全員驚天した。とにかく遠心模型実験に興味を示す研究者, 技術者が多くなっている。多分土質力学の分野でこのところとくに目新しいものが出ていないためであろう。上記の支持力, 圧密問題のほか, 最近では浸透, 地盤改良に関する問題等も手掛けられ, さらには非常に複雑で高価な地震発生装置を取りつけての振動実験も行われるようになった。

この講座では, 遠心模型の原理の解説と国内外の各機関で行われている研究の紹介, 遠心模型の限界に対する考察等を行う事によって, 遠心模型実験に対する会員諸氏の正しい理解を得たいと考えている。

## 参 考 文 献

- 1) Y.N. Malishitsky: The Centrifugal Model Testing of Waste-heap Embankments, (Translation), Cambridge University Press, 1975.
- 2) Sokolovski, V.V.: Statics of Soil Media, (Translation), Butterworths Scientific Publications, 1960.
- 3) 山口柏樹: 土の塑性力学, 最上武雄編著, 土質力学, 技報堂, 1969.
- 4) Kimura, T: Centrifuge Activities in Japan, Report of Research Committee on Geotechnical Centrifuge Modelling, ISSMFE, Balkema, 1987.

## 遠心模型実験

## 2. 序 論

木

村

孟\*

日下部

治\*\*

## 2.1 はじめに

本講座名『遠心模型実験』の定義を与えることから始めよう。

遠心模型実験とは, 遠心加速度を付与できる装置(以後, 遠心模型実験装置と呼ぶ)の中に幾何学的に縮小された小型模型を取りつけ, 遠心加速度が作用している場(以後, 遠心力場と呼ぶ)での小型模型の挙動を調べる実験をいう。

したがって, 遠心模型実験を理解するには, 次の3点を学ぶ必要があろう。

- ① なぜ小型模型に遠心加速度を付与する必要があるのか
  - ② 遠心模型実験装置とはどのようなものか
  - ③ 遠心力場でどのようにして模型の挙動を調べるのか
- 遠心模型実験が, 通常の模型実験と異なるのはこの3点であって, 本講座では, この3点の理解を目指した構成が

なされている。

序論としての本章では, まず遠心模型実験の歴史的な発展過程を述べる。そこで本実験手法が極めて古いものであることに改めて気付いていただきたい。と同時に, 本実験手法は他の産業, 特にコンピューター, 計測機器の進歩とともに発展してきたことを知っていただきたい。その後, 模型実験としての位置付けについて触れ, 他の小型模型との違いや, 自重応力を実物と同水準にすることの重要性を指摘する。最後に, 本実験手法が, どのような目的のために使われ, 現在までにどのような分野に応用されて来たかを概観する。それによって, 読者は本実験手法の有用性, 多様性, 可能性あるいは限界を感じることが出来ると思われる。

## 2.2 歴 史

『講座を始めるに当たって』で述べたように土質基礎工学の分野で遠心加速度を利用した模型実験のアイデアは, 1930年代のソビエト人 Pokrovsky (パクロフスキー) とアメリカ人 Bucky (バックキー) が, それぞれ独立に提唱した

\*東京工業大学教授 工学部土木工学科

\*\*宇都宮大学助教授 工学部土木工学科