

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⁴⁾。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

一全員驚天した。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 Modeling, 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点を学ぶ必要がある。

- 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事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 (パッキー) 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

との説が定説となっている。しかし、1985年の第11回国際土質基礎工学会議、「遠心力実験とその応用」のセッションの一般報告者 Ko(コー)は、「1869年、フランス人 Phillip (フィリップ) が英仏海峡を横断する橋の設計のために遠心加速度を利用した実験のアイデアを出したのが遠心模型実験の歴史の出発点である」と述べている¹⁾。現在の所、Ko の口頭発表の録音テープしかないので Phillip のアイデアの真意を確認できないが、恐らく、光弾性実験法により橋梁の内部応力を測定する方法として提案されたアイデアではないかと思われる。事実、光弾性実験法の原理は古く1815年にまで遡れるし、1930年には光弾性モアレから主応力差を計測する装置が実用化されるに至っている²⁾。我が国でも丹羽³⁾が「遠心力法」と称する光弾性実験法の一手法を用いてダムの応力解析を1954年に行っている。「遠心力法」とは、従来の光弾性装置の載荷枠の代りに遠心力場に模型をおき、これを偏光器によって自重による応力の解析をするもので、土質基礎工学分野とまったく同一のアイデアである。

筆者らは、かつて London 大学の Imperial カレッジに古い遠心模型実験装置があることを耳にし、どんな分野に使われたものかと聞くと、構造力学の実験であるとの答えを、奇異なものとして感じたのを記憶している。これも先の「遠心力法」のためのものと、今では推測している。

これらのことから、自重効果による現象を調べる際に、遠心加速度を利用するアイデアはかなり古く、それも土

質基礎分野のみならず、構造力学の分野でも多用されて来たものであることが理解されよう。

表-2.1 は、土質基礎工学の分野に限り、遠心模型実験の歴史的発展を5つの時期に分けて整理したものである。

第一期は、アイデアの提案と装置の試作と名付けられる時期で、1930年代がこれにあたる。この時期に、Pokrovsky は、アメリカ製のフォードトラックの部品を用いて遠心模型実験装置を試作し、第1回国際土質基礎工学会議に論文を提出しており⁴⁾、また、Bucky は支保工の実験を行っている。

それ以降1960年代前半に至るまで遠心模型実験の研究発表はとどえてしまい、情報の空白期を迎える。これはソビエトが遠心模型実験を盛んに軍事目的に用いていたためであろうというのが西側研究者の共通した認識である。

第二期は、1960年代中期から1960年代末までの数年間であり、世界各地で遠心模型実験装置が作成された。そして、簡単な計測システムを用いながら主に土の自重が支配的な研究課題の取り組みが始まる。

我が国では、1965年大阪市立大学で三笠が1 mの半径を有する遠心模型実験装置を作成し、粘土の自重圧密実験を行い⁵⁾、同年には、Cambridge 大学の Schofield (スコフィールド) が0.3 mの半径の装置を作り、水位急降下時の粘土斜面の安定問題を扱っている⁶⁾。いずれも土の自重項が支配的な問題であり、観測もストロボスコープを用いた目視によるもの、あるいは写真撮影によるもののみであった。

1968年、Schofield は Manchester (マンチェスター) 工科大学に移り、ただちに1.5 mの半径の装置を翌1969年に作る。同年には、東京工業大学に我が国で2台目の装置が完成している。

第三期は、1970年代である。第二期に比べると装置が大型化し、計測機器が発達し、実験対象も多様化してくる。また、土の構成方程式に関する研究が盛んとなり、大型コンピュータの出現と相まって数値解析結果と比べられる現場データ、あるいは実験データへの要求もたかまってきた時期である。このような背景のもとに、遠心模型実験が大きな飛躍を迎えたのが、第三期である。

1971年 Manchester 大学で半径3 m、1973年 Cambridge 大学で半径4 mの装置が完成する。我が国でも、運輸省港湾技術研究所が1979年度に半径4 mの大型装置を完成させている。

土質力学分野での構成式研究の成熟は、有効応力に基づく現象の理解という視点と、FEMを用いた数値解析結果への依存という2つの事柄を我々にもたらした。このことは、小型間隙水圧計の開発と実用化へのインパクトとなった。また他の計測装置の進歩とともに、ある一つの実験から多数の情報を同時に得ることが可能となり、より複雑な問題を遠心模型実験で行うようになったのである。

表-2.1 遠心模型実験の歴史的背景

	事項	年代	主な研究課題	研究者グループ 機関名
第一期	アイデアの提案と装置の試作	1930年代	斜面安定 支保工	Pokrovsky Bucky
	空白期	1940~ 1960年	軍事目的に使用か?	
第二期	装置製作の再開 簡単な計測システム(目視)	1960年代	自重が支配的な課題 自重圧密 水位急降下時の斜面安定	大阪市立大学 Cambridge 大学
第三期	大型装置の製作 計測機器、計算機の出現→計測システムの飛躍的進歩 土の構成式理論の進展	1970年~	問題の多様化、複雑化	Manchester 大学 Cambridge 大学 港湾技術研究所
			・間隙水圧計測 ・応力履歴の明確な粘土地盤の作成 ・地盤内強度分布の計測(フライトベーン、コーン) ・杭、擁壁、アンカー、浅い基礎 ・掘削、トンネル、盛土ほか	
第四期	動的載荷システムの開発 耐震工学への応用開始	1970年 後半~	・液状化 ・地震時斜面安定 ・杭	Cambridge 大学 CALTEC UCLA 東京工業大学 土木研究所 港湾技術研究所

講座

1970年代後半から、遠心模型実験装置内で地震時の土構造物の挙動を再現する試みが始められた。California 工科大学では油圧サーボシステム、Cambridge 大学ではバンピーロードシステム（『4. 装置の基本システムと計測システム』で詳しく解説される。）など各種提案されている動的装置のフィジビリティスタディが1979年に、アメリカでワークショップの形式で開催されている。

この地震時地盤挙動のシミュレーションの研究は、第四の発展期と位置づけられよう。事実、1982年の動土質力学と地震工学に関する会議で、遠心模型実験を用いた研究のセッションが設けられるようになった⁷⁾。

遠心模型実験装置で、地震時地盤挙動のシミュレーション実現の可能性がたかまるにつれ、動土質、耐震工学分野の研究者の中で遠心模型実験への興味と関心が急激に広まりつつある。我が国における地震時地盤挙動のシミュレーションの技術開発は、東京工業大学、建設省土木研究所、運輸省港湾技術研究所で精力的に進められている。今後、耐震工学研究上の有力な実験的武器となるであろう。

2.3 模型実験としての位置付け

遠心模型実験は、小型模型実験の一つである。実物を幾何学的に縮尺したモデルの挙動を観察する通常の意味での小型模型実験と何ら異なる所はない。異なる点はただ一つ、小型模型実験を地球の重力よりも大きな加速度場で行うことである。

図-2.1は、この辺の事情を簡単に説明するものである。すなわち、我々は、ある実物の挙動を観測し、解釈、解析するために、ある物理モデルを用いた模型実験を行う。

模型実験法を採る理由は

- ① 現象発達過程の詳細な観察
- ② 構成要因を変えた実験を行い、各要因の影響水準調査

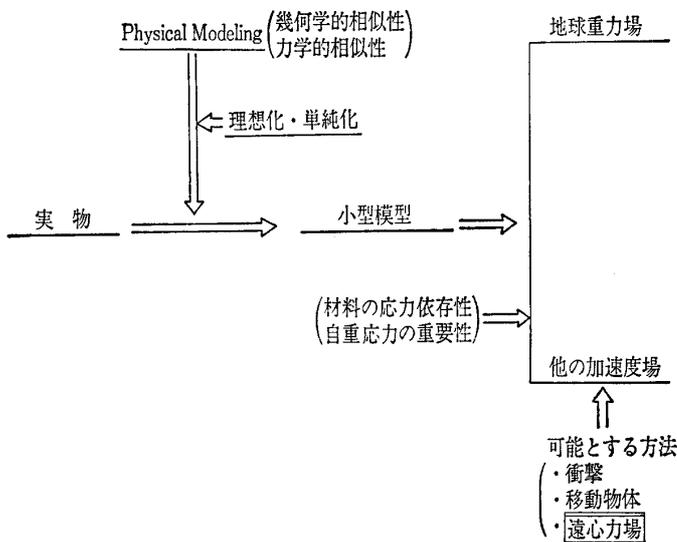


図-2.1 遠心模型実験の位置付け

- ① 現実にはまだ発生していない事実の予測
- ② 地震による破壊など実際に発生するのがまれな現象あるいは危険な現象の観察

などが掲げられる。もちろん費用が安価であることも大切な理由である。

このような模型実験が意味あるものとなるには、用いる物理モデルが、実物と力学的相似性を保っているとともに幾何学的相似性も保たれねばならない。この実物から模型へのモデル化を Physical modeling という言葉で表現されているのを最近よく耳にする。

Physical modeling では、実験結果を解釈し、解析するために条件の理想化、単純化をも行う。例えば、半無限に連続する実物地盤を、有限の容器の中の矩形模型地盤とし、地盤の上下を排水層とするなどの実験条件を明確にする訳である。このように現象が発生する条件を明確に規定することは、Physical modeling の結果（実験結果）を解析モデルを用いて検討する場合、極めて重要である。

実物の現象を解析モデルから理解しようとするのは、先の Physical modeling に対応して Numerical modeling という。土の構成方程式を用いた FEM 解析などは Numerical modeling である。

通常的小型模型実験は、地球の重力加速度場（以後、重力場と呼ぶ）で行われる。例えば、容器に入れた砂層で載荷ジャッキを用いてフーチングの支持力実験を行うなどである。しかし、実物の材料が強い応力依存性を示したり、現象の中で材料の自重が支配的である場合、重力場での実験が適切でない事が生ずる。その場合、地球の重力加速度と異なる加速度場（以後、 ng の場と呼ぶ）で実験が行われる。

土構造物模型実験を ng の場で行う必要性は、木村が『講座を始めるにあたって』で述べているように Sokolovski (ソコロフスキー)、山口らによって強調されている。図-2.2は、三笠ら⁸⁾ が支持力実験を行う際、土の自重応力の重要性を説明する時に用いたものである。図-2.2右図は、小型模型実験を重力場で行った時に得られる地中内弾性応力の分布を示し、左図は、実物大規模で行った実験時の地

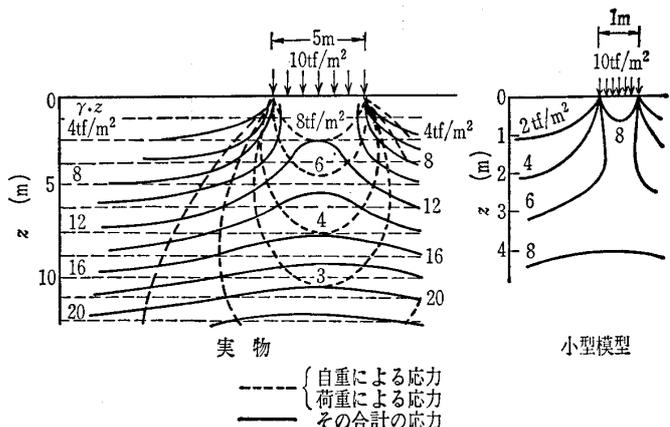
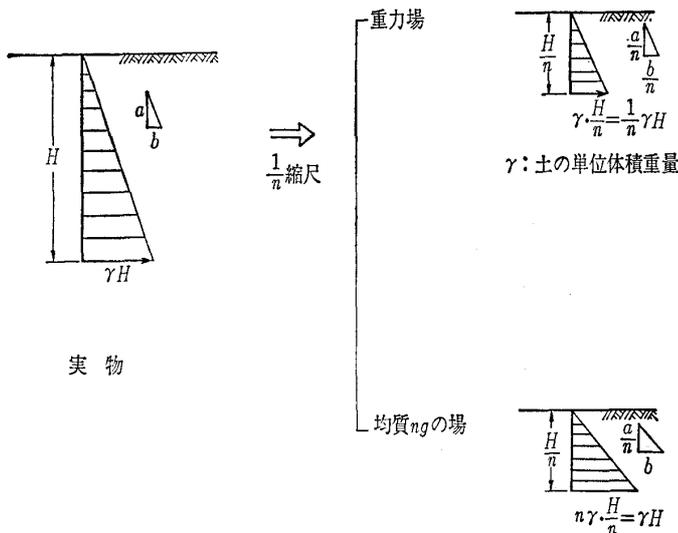


図-2.2 地盤中の弾性応力⁸⁾

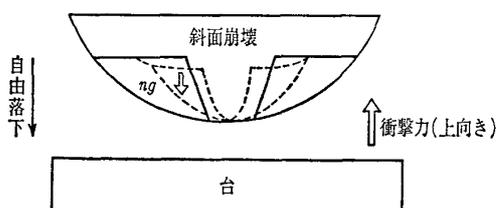


図一2.3 実物と模型の圧力分布

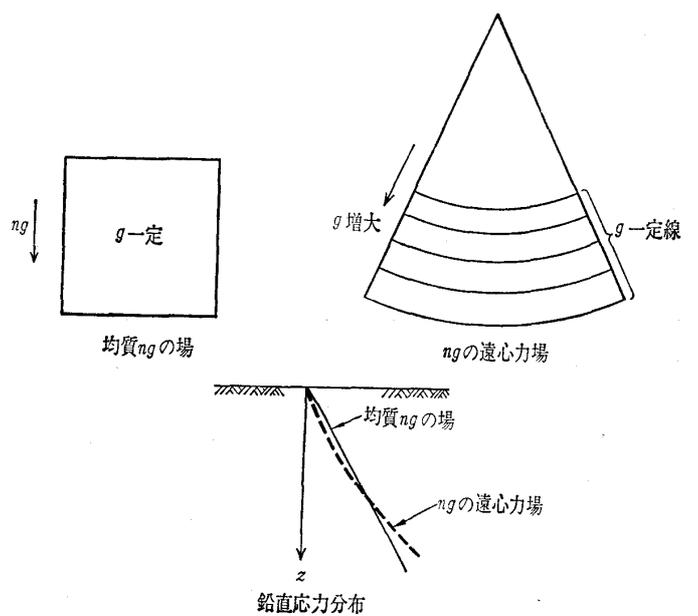
中内弾性応力分布である。小型模型では、土の自重による地盤内応力レベルに比べ、表面外力であるフーチング圧によって生じる地盤内応力が卓越し、実物の現象と異なるものであることがよく理解される。したがって、両者は、地盤内各点が経験するストレスパスが異なることになり、実物の挙動予測を主目的とするなら、 ng の場で実験を行うことが適切なことはあきらかである。

ng の場で実験を行うと何が変化するのであろうか。根本的には、模型内各点の自重応力が n 倍されるだけである。自重応力が n 倍される結果として、圧力勾配が n 倍急になる。すなわち、鉛直有効応力分布、静水圧分布などは、実物に比べ縦方向に $1/n$ に縮めたことと同じで、勾配が n 倍となる(図一2.3)。このことが力学的相似則の上でどのような影響をもつかについては、『3.原理』で詳しく論じられる。

地球の重力加速度以上のもので小型模型実験を行うには、それを可能とする何らかの方法、装置が必要となる。図一2.1には、すぐ思いつくいくつかの方法を示しておいた。まず第一に衝撃力を与える方法である。この方法は液性限界試験を通じて我々には古くからなじみ深い。図一2.4は、良く知られたCasagrande(キャサグランデ)の液性限界試験装置で、高さ10mm、斜面勾配 60° の溝を作って、容器を10mmの高さから台に衝突させるわけである。これは、自由落下から衝突に至る急激な速度変化より、台からの上向きの衝撃力によって粘土内に下向きの加速度を発生させ、



図一2.4 Casagrandeの液性限界試験器



図一2.5 均質 ng の場と ng の遠心力場

粘土の自重によって斜面を崩壊させる実験でもある。例えば、容器に加速度計をつけ、斜面崩壊時の加速度が $100g$ と計測されたとすると、これは、斜面高さ1.0mの実物斜面の崩壊に対応する。

もう少し小さめの加速度で良い場合は、自動車や飛行機など移動している物の中で小型模型実験を行えばよいであろう。初心者自動車に運転してもらいと、上手に急発進、急停止をしてくれるから、きれいな模型斜面の崩壊実験が出来るはずである。

重力加速度の異なる星に出かけて実験するのも手である。月では地球の $1/6$ の重力加速度しかないので、月面での斜面の挙動は、地球上で $1/6$ の模型で再現できるはずである。

しかし、地球上でより安定した加速度の下で実験を行うには、遠心力を利用するのが便利である。

初等物理学で学ぶように、遠心加速度 α は、回転半径を r 、角速度を ω とすると、 $\alpha=r\omega^2$ で表される。すなわち遠心力場を利用する場合、模型内の半径に沿う各点に加速度の分布があることを覚悟しなくてはならない。図一2.5は、均質 ng の場と ng の遠心力場との加速度分布の違いを模式的に示したものである。遠心力場では、半径方向に加速度が異なるため、深さ方向の圧力分布が直線にはならない。また、水面は平面ではなく円筒面になるから、模型表面の形状も曲面にするなどの工夫も必要となってくる。しかし、こうした問題は、装置の半径を大きくすることによって解消される。装置そのものの詳しい解説は『4.装置』で与えられる。なお、均質 ng の場と ng の遠心力場との差違についての理論的背景に興味のある方は、Tan(タン) & Scott(スコット)の論文⁹⁾の一読をおすすめしたい。

講座

2.4 使い方と研究分野

土質基礎分野あるいはより広く Geomechanics の分野における遠心模型実験手法の用いられ方は、近年急速に多様化し、その研究分野も拡大し続けている。2.2 歴史の節でも概観したように遠心模型実験装置の多様な使われ方を可能にしたのは、ここ十数年来の計測技術、コンピューターを用いたデータ集録、処理技術の発展であり、遠心模型実験装置を用いる者としては、先端技術の発展の動向に敏感で、かつ新しい技術の導入に意欲的でなければならない。

つい数年前まで、遠心模型実験装置を用いるのは、ごく一部の限られた大学の研究者と思われて来たし、事実そういう面も多分にあったことは認めなければならないであろう。しかし近年では、大きな様変わりが生じつつあって、遠心模型実験装置が使われる分野は、教育¹⁰⁾、研究から実設計に至るまで幅広くなり、使われる内容もほかの土質試験機と同様に一つの土質定数を求めることから、複雑な境界値問題の挙動解明まで多様になっている。

その中でも遠心模型実験の主な目的として次の6つを掲げることが出来る。

- ① 理論の検証
- ② 数値モデル、数値解析法の精度の検討
- ③ 複雑な現象の観察、破壊メカニズムの把握から新しい解析法の開発
- ④ 土の力学定数の決定
- ⑤ 長期間現象の短縮化
- ⑥ 実設計法の検討

これらの項目は、決して独立したものではなく、相互に関連しているのは当然であるが、装置の使われ方の大きな分類に役立つと思われる。

①の理論の検証。これは、言うまでもなく支持力理論、圧密理論などを直接実験的に検証する目的である。現在の土質基礎工学の分野では、理論の検証が十分に行われぬままに理論が独り歩きしている例もかなり残っている。本講座では、適用事例の『圧密問題』、『安定問題』で理論の検証という立場での使われ方の例を解説する。

②の数値モデル、数値解析法の精度検討の目的のために遠心模型実験が行われる。Numerical modeling は、理想化、単純化を経た仮定の中に成立したもので、Numerical modeling の精度そのものは、明確な境界条件、地盤の応力履歴条件のもとで行われた実験事実と対比させることによって初めてその精度が立証される。この好事例を、適用事例の『安定問題』盛土の項で示すこととする。

③は特に複雑な三次元安定問題、構造物と地盤の相互作用等の研究の際に現れる。平たく言えば、我々は、現実がどうなのかまだ知らない現象を取りあえず起こしてみよう、というわけである。我々の理解し得ていない事は山ほど残っている。詳細な実験事実の観察から合理的な解析法、設

計法が生まれる可能性は高い。この事例を、トンネル、埋設管の項で示す予定である。

④の土の力学定数の決定にも遠心模型実験は用いられる。重力場では上手に求められない土の力学定数を、遠心力場で求めようというものである。その良い例として、極めて軟弱な粘土の自重圧密挙動解析に必要な e - $\log p$, e - $\log k$ 関係の決定がある。これは、適用事例の『圧密問題』で触れることになる。

⑤我々のまわりには長期的な現象の予測を必要とするものがある。圧密現象は長期予測を必要とする代表例である。こうした長期間現象を、実験室内で短い時間で観察できれば都合である。圧密現象は、 $1/n$ の縮尺模型では $1/n^2$ の速度で現象が進み、拡散型の方程式があてはまる。たとえば $1/100$ の縮尺模型では、100年が $1/10000$ 、すなわち3.65日に対応する。こうした長期間現象の短縮化は、何も遠心模型実験だけの特権ではない。すべての縮尺模型に共通である。ただし、現象が進行するにつれ、地盤内の応力変化を伴う場合、遠心模型実験でないと実物との対応は期待できない。

⑥の実設計のための実験については、いつも議論を生む源となっている。本講座では、模型に対する用語として「実物」という用語を用いているが、設計上はある特定の実物の挙動を知る必要がある。そのような場合は「実物」を「特定の実物」という用語を用いて区別することにする。

論点は2つある。一つは、特定の実物に生ずる現象を遠心模型の中に忠実に再現できるか否か。もう一つは、設計法への積極的な情報が得られるかという点である。

まず一つ目の論点、特定の実物の忠実な再現についてであるが、出来ると主張するグループ、いや出来ないと主張するグループがある。筆者二人の共通した認識は、出来ないとするグループの意見に近い。

原位置から乱さない試料を採取し、特定の実物に忠実に幾何学的縮尺を行って多層地盤の各層を $1/n$ の層厚にしたとしても、作成された模型地盤が、特定の実物の挙動と同じ挙動をするという保証はない。

研究主題が、盛土のすべり破壊のような地盤の平均値が卓越する場合は問題は少なく、実物と類似な現象が発生することが期待されるが、クラックなどの不連続なものの存在が支配的な透水問題など、いわゆる極値問題では、単なる縮尺模型で忠実な地盤を再現させることは極めて困難であろう。

遠心力場で再現される模型地盤内の有効応力状態はどうであろうか。まず、実物と同じ単位体積重量をもつ模型地盤中に、忠実に幾何学的に縮尺された位置に地下水位を再現すれば、鉛直有効応力分布は、実物のものと一致させることが出来る。ところが、水平有効応力分布についても同様に再現できるかという点必ずしもそうでない。土は、サンプリングなどの乱れに敏感な材料であって、実地盤の

表一2.2 Cambridge 大学における研究テーマ

○地震時挙動問題	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥砂中の杭 ・ 乾燥砂および飽和砂上の帯基礎 乾燥砂および飽和砂上のタワー ・ 過圧密粘土斜面 乾燥砂盛土, 水中砂盛土 ・ 飽和砂貯水盛土 乾燥および水中円形砂離島 ・ 飽和砂上の海岸堤防 乾燥砂を支える重力式擁壁 ・ 乾燥砂を支える傾斜式擁壁 乾燥砂を支える逆T型擁壁
○寒冷地問題	<ul style="list-style-type: none"> 海氷と構造物の相互作用 ・ 融解による凍土地盤の沈下
○危険廃棄物処理問題	<ul style="list-style-type: none"> 熱円筒形カニスター (廃棄物格納容器) の海底粘土中への投棄
○河川堤防問題	<ul style="list-style-type: none"> Thames 川の波浪入江のアップリフト危険度 Mississippi 川堤防のクレバス発生危険度
○杭問題	<ul style="list-style-type: none"> 飽和砂中の打込み杭の軸方向繰返し載荷 粘土中の軸方向および横方向繰返し載荷 乾燥砂および飽和砂中杭の横方向繰返し載荷 飽和砂中群杭の横方向繰返し載荷
○断層問題	<ul style="list-style-type: none"> 断層面上の乾燥砂層 断層面上の正規および過圧密粘土層
○掘削とトンネル	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥砂中の平面ひずみトンネル (覆工あり) 飽和シルトおよび過圧密粘土中の平面ひずみトンネル (覆工なし) 過圧密粘土中のトンネル先端部 過圧密粘土中の平面ひずみ掘削 (支保工なし) 乾燥砂中の軸対称立坑 (支保工あり) 過圧密粘土中の軸対称および長方形立坑 (支保工なし)
○盛土とダム	<ul style="list-style-type: none"> 軟弱粘土および砂上の盛土の段階施工 橋梁杭基礎近傍での軟弱粘土地盤上の盛土の段階施工 杭基礎をもつ橋梁アバットメント Teton ダムコア中の空隙の移動 テーリングダムの破壊
○擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥砂を支える重力式擁壁 乾燥砂および粘土中の補強された土留め擁壁 乾燥砂を支える多段階アンカーをもつ隔壁 乾燥砂を支える逆T型擁壁 硬い過圧密粘土中のダイヤフラムウォール
○カルバート	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥砂中
○浅い基礎	<ul style="list-style-type: none"> 飽和粒状材上の軸方向載荷をうける円形平坦基礎 飽和砂上の偏心載荷をうける円形スパッド (こま型) 基礎 過圧密粘土上の石油タンク
○斜面安定	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位上昇をうける砂斜面 不攪乱鋭敏粘土の崩壊 過圧密粘土斜面
○爆発	<ul style="list-style-type: none"> プロファイルプラスチック (爆発による地盤の変形) 軟弱粘土中のクレータの形成

K_0 値の再現はなかなか難しいのである。

筆者らの危惧は、かなり厳しすぎることは十分承知である。実際に計測してみれば、 K_0 値もかなりうまく再現出来るかもしれない。しかし、遠心模型実験を実際に行ってきた者として、その結果がパーフェクトといった誤った考えや、なんでも遠心模型でやれば設計できるといった無謀な飛躍にあらかじめ警告を發しておきたいのである。さらに付け加えれば、上記の危惧は、遠心模型実験のみに対す

るものではなく、ほかの小型縮尺模型すべてに当てはまることであり、小型模型では鉛直有効応力分布さえも再現できないことを強調しておきたい。

二つ目の点、すなわち遠心模型実験結果から、設計法への有用な情報が得られるかという点について、異論をはさむ人は少なくなって来たようである。遠心模型実験結果に信頼をおいて設計法を組み立てようとする意欲は、近年強くなって来ているように思われる。この背景には、長年にわたり遠心模型実験にたずさわって来た研究者の努力はもちろんであるが、Numerical modeling に対する過剰な期待が少しずつおさまり、Physical modeling と Numerical modeling の両者の手法の調和した発展が、将来の土構造物設計の上で望ましいとの認識が広まって来たことがある。

遠心模型実験を用いた研究分野は、近年極めて多岐にわたり、一つ一つあげるのに困難を感じる程である。表一2.2は、ここ十数年来世界で最もアクティブに遠心模型実験を継続して来た Cambridge 大学グループが、1975年2月以来現在に至るまでに行って来た約1000回に及ぶ遠心模型実験を13のテーマ別に分類したものである。筆者の二人ともこの中のテーマの一つ、あるいは二つを担当する機会に恵まれたが、実験の質の高さにおいても世界一流であることは肌で感じている。

この表を一見するだけで、遠心模型実験の適用範囲の広さを十分にうかがうことが出来るであろう。しかし、こうした遠心模型実験のもつポテンシャルを十分に発揮させるには、実験を遂行し、結果を解釈し、解析する人材が不可欠である。現在の所、その層は決して厚くはない。装置の作成と同時に、人材教育の努力も忘れてはならないであろう。

2.5 おわりに

1985年のサンフランシスコにおける第11回国際土質基礎工学会議で、遠心模型実験に関する技術委員会の委員長 Schofield は、4年後の1989年のブラジルでの会議までには、遠心模型実験が特殊な実験ではなく、三軸試験と同様ごく普通の土質試験となっているだろうとの予測を述べていた。

それから2年後、京都での第8回アジア地域会議中に開催されたジオテクフェアでは、コマーシャルベースの遠心模型実験装置の展示が2つあり、確実に遠心模型実験に対する理解と期待が広まりつつあるのを感じた。この講座は、3年目のまっただ中に連載される。より正しい理解と利用例の増加の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) Ko, H.Y.: General Report on Centrifuge Testing and its application, oral presentation of 11th ICSMFE, 1985.
- 2) 丹羽義次: 光弾性実験法とその土木工学への応用, 土木学会誌, 42巻, 12号, pp.27~34, 1957.

講座

- 3) 丹羽義次：高速度遠心力光弾性実験について，土木学会誌，39巻，5号，pp.24~29，1954.
- 4) Pokrovsky, G.I. and Fedorov: Studies of soil pressures and soil deformations by means of a centrifuge, Proc. of 1st ICSMFE, Vol.1, pp.70~71, 1936.
- 5) 三笠正人・高田直俊・岸本好弘：遠心力装置による自重圧密実験（第1報），第20回土木学会年次学術講演会，Ⅲ-25，1965.
- 6) Avgherinos, P.J.A. and Schofield, A.N.: Drawdown failures of centrifuged model, Proc. of 7th ICSMFE, Vol.2, pp.497~506, 1969.
- 7) Cakmak, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M. and Brebbia, C.A.: Centrifuge studies, Proceedings of the Conference on soil dynamics and earthquake engineering, Vol.1, pp.271~420, 1982.
- 8) Mikasa, M. and Takada, N.: Significance of centrifuge model test in soil mechanics, Proceedings of 8th ICSMFE, Vol.1, pp.273~278, 1973.
- 9) Tan T.S. and Scott, R.F.: Centrifuge scaling considerations for fluid-particle systems, Geotechnique. Vol.35, No.4, pp.461~470, 1985.
- 10) 東田 淳：学生教育としての遠心力模型実験，土と基礎，Vol.33, No.4, pp.49~55, 1985.

土質工学会関西支部発行図書案内

- 二十周年記念誌（昭和53年11月発行） B 5判 165頁 定価・会員特価とも ¥ 2,000 千¥ 300
- マサ土の工学的性質とその取扱い指針（昭和45年1月発行） A 5判 191頁 定価・会員特価とも ¥ 1,500 千¥ 300
- 土と基礎の沈下と変形（昭和51年2月発行） B 5判 146頁 定価・会員特価とも ¥ 4,500 千¥ 300
- 岩の力学—軟岩を中心として—（昭和53年3月発行） B 5判 221頁 定価・会員特価とも ¥ 5,000 千¥ 300
- 現場計測工法—シンポジウム論文集—（昭和56年12月発行） B 5判 266頁 定価・会員特価とも ¥ 2,500 千¥ 350
- わかりやすい土質力学（昭和60年8月発行） A 4判 110頁 定価・会員特価とも ¥ 2,000 千¥ 300
- 杭基礎設計の実際と理論的背景講演資料集（昭和60年11月発行） B 5判 158頁 定価・会員特価とも ¥ 1,000 千¥ 300
- 地盤力学数値解析「“限界状態”の予測手法を中心として」（昭和61年9月発行） A 4判 135頁 定価¥5,000 会員特価¥4,000(学生会員は¥3,000) 千¥ 250
- 地中埋設管の設計と実際（昭和61年10月発行） B 5判 312頁 定価・会員特価とも ¥ 5,000 (学生会員は ¥ 4,000) 千¥ 300
- 先端技術と土質工学（昭和62年3月発行） A 4判 135頁 定価・会員特価とも ¥ 1,000 千¥ 250
- 昭和52年度施工技術報告会講演概要（昭和53年1月発行）
テーマ：建設工事における公害防止技術 B 5判 61頁 定価・会員特価とも ¥ 2,000 千¥ 250
- 昭和53年度施工技術報告会講演概要（昭和54年1月発行）
テーマ：建設工事における機械化施工の新技術 B 5判 72頁 定価・会員特価とも ¥ 2,000 千¥ 250
- 昭和55年度施工技術報告会講演概要（昭和56年1月発行）
テーマ：最近における新しい掘削技術 B 5判 86頁 定価・会員特価とも ¥ 3,000 千¥ 250
- 昭和56年度施工技術報告会講演概要（昭和57年1月発行）
テーマ：建設工事における最近の環境保全，安全施工および公害防止の技術 B 5判 100頁 定価・会員特価とも ¥ 3,500 千¥ 250
- 昭和58年度施工技術報告会講演概要（昭和59年1月発行）
テーマ：最近における基礎の施工技術 B 5判 74頁 定価・会員特価とも ¥ 3,500 千¥ 250
- 昭和59年度施工技術報告会講演概要（昭和60年1月発行）
テーマ：最近の海洋工事における新技術 B 5判 66頁 定価・会員特価とも ¥ 3,500 千¥ 250
- 昭和60年度施工技術報告会講演概要（昭和61年1月発行）
テーマ：市街地における最近の施工技術 B 5判 80頁 定価・会員特価とも ¥ 3,500 千¥ 250
- 昭和61年度施工技術報告会講演概要（昭和62年1月発行）
「特殊条件下における最近の施工技術」 B 5判 91頁 定価・会員特価とも ¥ 3,500 千¥ 250

問合せ先：関西支部 千540 大阪市東区谷町1-25-2 ストックビル天満橋 8階801号室
電話 06(946) 0 3 9 3 テレファックス 06(946) 0 3 8 3