



研究室紹介

## 土木工学第6講座(土質基礎工学)

松井 保\*

### 1. 講座の概要

土質基礎工学は、“土”や“地盤”を対象とした工学である。この分野の範囲の広さや重要性については、“地盤”は文字通り社会生活の基盤であり、ほとんどすべての構造物を支持していることを思えば、すぐにご理解いただけるであろう。また、この分野の学会である土質工学会の会員数が13,000名を越えていることから想像していただけると思う。しかし、本学においては、この分野に関係する講座は非常に少なく、本講座がこの分野の種々の問題に本格的に取り組んでいる唯一の講座といっても過言ではない。

以上のような背景のもとで、本講座の研究・教育の守備範囲は自ずと広くなり、土質力学、基礎工学、道路工学、土木施工法、トンネル工学などに関係し、土の構成式といった基礎的研究から種々の実際の問題に関する応用的研究まで非常に多岐にわたっている。

本講座の前身は構築工学科時代に遡ることができるが、土質基礎工学講座の開設は昭和41年の改組拡充による土木工学科発足以後である。本講座は、構築工学科の当初から伊藤冨雄教授(現名誉教授)により担当され、昭和59年より筆者が引継いでいる。

現在研究室は、松井保教授、阿部信晴助教授、小田和広助手、中原勝治技官の4名のスタッフで構成されている。さらに、大学院博士課程2名、修士課程7名、学部学生9名が所属し、ともに活発な研究活動を行っている。また、国際化を反映して、外国人留学生は香港とエジプト(博士課程)およびフィリピン(学部)の計3

名である。

### 2. 研究の方向と内容

地盤の多くは土によって構成されている。工学材料としての土は、他の工学材料に比してユニークな特徴を有している。すなわち、土は自然材料で予めその特性がコントロールされておらず、また土粒子・水・空気による3相系の粒子集合体である。このようなユニークな材料からなる地盤の力学的挙動を予測し、実際の複雑な工学的問題を解決するためには、まず土の物性的および力学的挙動を基本的に理解し、力学としての整合性ある体系化をはかることが不可欠である。したがって、上記したように土の構成式に関する基礎的研究にはじまり、種々の解析手法を開発するとともに、解析や模型実験および実物大実験を通じて、主に軟弱地盤、深い基礎、斜面安定などに関する地盤工学的諸問題の解決に寄与すべく研究を進めている。以下に、現在の研究内容について簡単に説明する。

#### (1) 粘土の構成式とモデル化

##### a. 弾粘塑性構成式に関する研究

土の構成式は、従来より比較的簡単なモデルが用いられていたが、塑性論に基づいたより現実的で複雑な挙動を表現できるモデルが開発されてきたのは、この約20年間である。本研究室においても、10数年前よりダイレイタンシー特性、ひずみ硬化性、応力径路依存性といった土の特徴的な性質を考慮して、正規圧密粘土の弾塑性構成式を開発してきた。その後、粘土の時間依存性をも考慮すべく、流動曲面理論に基づいた弾粘塑性構成式を提案し、種々の時間依存挙動の整合性ある表現に成功しつつあり、現在、過圧密粘土の時間依存挙動のモデル化に取り組んでいるところである。

\*松井 保 (Tamotsu MATSUI), 大阪大学工学部, 土木工学科, 教授, 工学博士, 土質基礎工学

b. 繰返し荷重を受ける飽和粘土のモデル化  
我が国は地震国であり、地盤はしばしば繰返し荷重を受ける。その他、波浪荷重や交通荷重によっても同様である。土が繰返し荷重を受けると、その力学特性に劣化が生じる。その典型例が地震時の地盤災害として近年社会的にも注目されている液状化現象である。本研究室においては、10数年前より飽和粘土の繰返しせん断特性について先駆的な実験的研究を行ってきた。その後、繰返し荷重時および荷重後の強度および変形特性の劣化特性を現象論的に解明してきた。さらに、塑性論に基づいた繰返しモデルを開発すべく研究を進めている現状である。

## (2) 粘土の力学挙動に関する研究

### a. 海底堆積粘土の力学的特性の研究

最近、大阪湾ベイエリアの開発には多くの注目が集められている。しかし、大阪湾の海底地盤情報が十分集積されている現状ではない。したがって、筆者が主要メンバーとして参画している研究委員会では、その既存データを集積しデータベース化すべく積極的に活動中である。本研究室においては、大阪湾の海底堆積粘土のうち比較的深くにある海成洪積粘土を対象として、その圧密特性とくに圧密降伏応力および2次圧密特性、および時間依存性せん断挙動に焦点を絞って、基本的挙動およびそのメカニズムの解明に取り組んでいる。

### b. マイコン制御3軸試験による粘土のレオロジー特性の研究

すでに述べてきたことから分かるように、粘土は応力経路依存性および時間依存性挙動を示す。そこで、本研究室では、任意の応力経路による力学試験を可能にし、ひずみ速度効果、クリープ、応力緩和のようなレオロジー試験を容易にする目的で、マイコン制御の3軸試験機を開発してきた。本研究では、この試験機によるデータに基づいて、(1)a. に述べた理論的背景のもとに、粘土のレオロジー特性を系統的に解明していこうとしている。

### c. 粘土の一次元および多次元圧密過程に関する研究

圧密現象は、土中における時間遅れを伴う排

水現象で、粘土・水系の特徴的な現象である。この現象によって、これまでも地盤沈下など数多くの実際的な問題が生じている。しかし、多次元圧密過程については、未だ十分解明されているとはいえず、また一次元圧密過程については、従来からの考え方だけでは必ずしも説明できない挙動が明らかにされてきた。そこで、本研究室では、主に(1)a. において開発した弾塑性および弾粘塑性構成式を用いた数値シミュレーションにより、粘土の一次元および多次元圧密過程の解明に取り組み、注目すべき結果を発表している。

## (3) 非線型有限要素解析手法の開発

(1)に述べた土の構成式を実際の土質工学的問題に適用するためには、構成式に適した解析手法の開発が不可欠であるのは言うまでもない。本研究室では、(1)において開発される非線型構成式の地盤の境界値問題への適用を可能にするため、非線型有限要素解析手法の系統的な開発を行ってきた。その際、多次元圧密のような土の骨格構造の変形と土中水の流動との連成現象の精度よい解析が可能になるとともに、インターフェイス挙動を含む土と構造物の相互作用の解析が系統的に可能になるよう配慮しつつ、研究を進めている。

## (4) 軟弱地盤の土質工学的問題に関する研究

### a. 埋立人工島の圧密変形特性の研究

国土の狭隘な我国においては、ウォーターフロントの開発の一環として埋立人工島が建設されることが多い。大阪湾においても、ポートアイランド、六甲アイランド、南港・北港埋立地、関西国際空港をはじめとして、数多くの埋立人工島が建設され、あるいは建設されようとしている。このような埋立人工島は短期間に建設されるため、埋立後長期間にわたり沈下・変形が継続し、種々の問題が生じる。本研究室では、このような問題に対処するため、埋立人工島および下部の軟弱地盤を解析領域として、施工過程を考慮した弾塑性多次元圧密解析を行い、埋立人工島の多次元圧密機構を明らかにするとともに、実測データを参照しつつ人工島の側方流

動の簡易予測法を提案すべく研究を進めている。

#### b. SDおよびSCPによる地盤改良機構

サンドドレーン工法(SD)およびサンドコンパクションパイル工法(SCP)は、これまでに広く適用されている典型的な軟弱地盤改良工法である。また、その現象論的挙動については数多くのデータがあり、それらにもとづいた設計法も考えられている。しかし、これらの工法の地盤改良機構については、ほとんど解明されていない状態であり、それ故に実工事に際しては必ずしも精度のよい施工ができるとは限らない。本研究室では、これらの地盤改良機構について施工過程を考慮しつつ、弾塑性数値解析および野外実験結果に基づいて研究を進めている。さらに、急速施工の一工法として、地下水位低下とサンドドレーンの併用工法について、その合理的設計法を開発しつつある。

#### (5) 杭基礎の挙動に関する研究

##### a. 鉛直支持杭の支持機構に関する研究

杭の支持力は先端支持力と周面摩擦力との和として算定される。しかし、杭頭に加えられる荷重の先端および周面への伝達機構についてはほとんど解明されておらず、摩擦杭への評価が進むとともに現設計法への疑問も多く投げかけられている。本研究室では、実物大実験結果および解析結果に基づいて、杭頭荷重の伝達機構を検討するとともに、杭基礎の薄層支持特性および複合摩擦杭の支持機構に着目して研究を進めている。

##### b. 受働杭の合理的設計法

受働杭とは、側方土圧を受ける杭であり、地すべり防止杭や橋台基礎杭などに見られる。本研究室では、ここ数年来、受働杭の合理的設計法の開発に取り組み、上記の受働杭のそれぞれに対する設計法を提案し、多方面から注目されている。

#### (6) 補強切土斜面の安定機構とその設計法の研究

自然地山に小口径補強材を挿入して地山全体を補強する工法—ルートパイル工法やソイルネイリング工法—がここ数年来実用に供されつつある。このような工法の斜面安定機構およびその適用性を検証するため、本研究室の指導のもとに実工事において、はじめて本格的な野外実験が行われた。本研究室では、この野外実験を対象として数値シミュレーションを行ない、実験結果とともに、上記補強工法の有用性を明らかにした。さらに、最近、実用的な設計法として有限要素安定解析法を提案している。

### 3. おわりに

以上、本講座の概要および研究内容について紹介してきた。地盤を対象とする土質力学は、現在、心ずしも十分体系化されているとは言えない。むしろ、今後相当学問が進展したとしても、体系化されない部分が残されるのが宿命とさえ思われるのである。その理由の一つは、対象とする工学材料である土が多様で不均一で複雑な神様の造った材料であるからである。とはいえ、この体系化への努力は今後とも怠ってはならないのは当然であり、見方を変えれば、土質基礎工学の分野は将来とも常に何らかの工学的な総合判断の伴う最も工学らしい工学として存在するのではなかろうかと考えている。