

が必要な時期にきているのではないだろうか？ 186, 187は、緩傾斜地で地震時に生じた過剰間隙水圧が地震後に浸透する過程を扱ったものである。186では浸透破壊に起因する側方流動量を求めるオンライン実験システムを開発し、187では不飽和層への浸透を考慮した液状化解析法により地震後に進行する変形メカニズムを明らかにした。

6. 新しい解析法

解析法としては、精度がよくロバスタな解析法が期待されているが、地盤工学の問題は強い非線形問題であるためその開発は容易ではない。新しい解析手法も二つの発表で提案された。170では、有限要素法のメッシュフリー解法を、水-土有限変形解析に適用し飽和土の局所化解析を、175では、境界の不確定性を考慮した地盤の変形解析が可能な、スペクトル境界要素法を定式化し、実際に数値計算を行っている。

ディスカッションセッション 5 地盤挙動予測に対する構成則の役割

総 括

東北学院大学 飛田 善雄

1. 報 告

7月16日(火)午前IとIIのセッションを利用して、DS-5「地盤挙動に対する構成則の役割」が開催された。基本的な考え方として、「構成則(モデル)の役割」を二つに分けた。一つの役割は、地盤材料が示す複雑な挙動を、できる限り合理的に数式として表現することを目的とするものである。他の役割は、有限要素法などの数値解析を構成する部品の一つとしての構成則である。第1セッションは、主に前者の役割を重視する研究発表を中心とし、第2セッションは数値解析への応用の観点から構成則の役割を考える研究を中心とした。それぞれのセッションで、個々の研究発表の内容を簡潔に総括すると共に、関連する事項を取りまとめた総括報告を行った。第1セッションの総括報告は飛田が行い、第2セッションの総括は、宮田・若井が行った。

第1セッションでの発表のキーワードをあげると、非共軸性、異方性、時間依存性挙動、構造概念、修正応力、内部変数理論などであり、近年地盤材料の非線形構成モデルで話題となっている挙動、概念について研究発表がなされた。討論は、基本的事項に関して活発な議論がなされた。「下負荷面モデルの弾性の考え方は?」「構造を考慮した上負荷面モデルは本当に砂の挙動を表現できるか?」「地盤材料の弾性とは何か?」などが代表的質問であった。

第2セッションでの発表は、様々なモデルの実際の材料への適用性、地震応答にかかわる現場問題への適用性、提案するモデルと既存のモデルとの比較検討を行った結果についての発表であった。主な質問は、「既往の(簡潔な)モデルと提案する(かなり複雑な)モデルの比較そのものが妥当な議論か?」「最終的に曲線当てはめが構成則で不可欠ならば、理論に執着することなく、最初から曲線当てはめを考えるようなモデルが存在してもよいのではないか?」などが代表的な質問であった。

収容人員が千人を超える大きな会場であり、DSそのものが成立するかどうか危ぶまれたが、幸い多くの方

表一 1 研究内容の分類 (11編)

項 目	発表 件数	内 容
構成モデルの諸性質と定式化	8	接線塑性 (188), 土の構造と構造テンソル (188, 190, 192), 下負荷面モデル (188, 189, 193, 194, 198), 時間依存性 (189, 198), t_{ij} モデル (191, 194)
構成モデルの実問題への適用	4	しらす (193), SCP工法 (195), アレー観測記録 (196, 197), 非線形全応力構成モデル (196, 197), 繰返し載荷 (193)

の質問、問題提起により、活発な議論を行うことができた。しかし、一つのDSとして問題を絞り込めなかった感否めず、議論を収束させ、なんらかの結論を得るには至らなかった。

2. 研究ならびに技術動向

物性を表現するという観点からは、古典的弾塑性モデルからの逸脱、材料の特性長を含む高次モデルの提案など構成モデルの精緻化が進んでいる。しかし、専門家以外には(正確には、提案する著者以外には)、かなり理解しにくいモデルになっているのも事実である。個々の構成モデルを理解するのに、物性と数学的表現に関するかなり高度な基礎知識が必要となってきた。

精緻化が進む一方で、非線形構成モデルの実際問題への応用に関する議論は、あまり進んでいないように思われる。物性モデルとしては問題があっても、安定して計算結果が出せる構成モデルが優遇されている。場合によっては、不適切な適用が試みられていることも見受けられる。ひずみレベルが 10^{-3} を超えるような材料非線形性が卓越した領域での擬似線形モデルの適用などを例としてあげることができる。数理解析全体の中で構成モデルが果たす役割も明確にはなっていないように思われる。問題によっては、構成モデルの性質よりも境界値・初期値の設定方法、層構造などの近似の方が支配的な場合もある。これらの事項についての情報整理は十分ではなく、ユーザーとしての技術者から見た場合、かなり不満足な状況と言える。

3. 現状での問題点と将来展望

構成則(構成モデル)は、物性挙動を忠実に表現する

総 括

という観点からは、依然として発達の可能性のある分野である。異方性の導入、内部変数の発展則、全く新しい構成モデルの提案もありうる。新しい合理的なモデルの提案とともに、様々に異なる定式化について、より統一的な記述を試みることも必要である。一方では新しい構成モデルの提案がなされ、それと同時に俯瞰的な視点からの統一化がなされなければならない。数多くのモデルが混在し未整理の状態では、大きな発展は望めない。新しい構成モデルの提案の方が、論文としては評価を受けやすいのであるが、構成モデルの整理を目的とする研究にも相応の評価を与えることが必要になろう。

有限要素法に代表される非線形問題を対象とする数理解析モデル（保存則と構成モデルから構成される支配方程式

+初期値、境界値）の中で、構成モデルが果たす役割も明確に意識されなければならない。対象とする数理解析問題（例えば、盛土と掘削の違い）と使用する構成モデルの相性の問題も明確にされなければならない。現在の構成モデルおよび数値解析のレベルでは、すべての問題に対して適用できるオールマイティーモデルは存在しない。目的に合致した構成モデルの選択がどうしても必要になる。このためには、ある構成モデルの得手／不得手を合理的にかつ公平に評価することも今後なされなければならない。かなり複雑化してきた構成モデルであるが、今後の正常な発展のためには、この辺りで整理をし、構成モデルと数理解析システムの在り方に明確な評価を与える努力が必要となっているように強く感じている。

ディスカッションセッション6 土の凍上に関する実験結果・試験方法

総 括 4. 地盤挙動；凍結・凍上

総 括

北見工業大学 鈴木 輝之

地盤の温度が低下すると、土中の水分が凍結して土は固化する。これが土の「凍結」である。土が凍結する時、温度・水分・土質の条件が揃えば凍結面付近に移動して来る水分によりアイスレンズが造成され、土の体積が増加する。これが土の「凍上」である。このように、土の「凍結」と「凍上」は別の現象を表す用語である。このセッションの基本的キーワードは「土の凍結」であり、それが生じた時に強度の増加や、冷熱エネルギーの蓄積など工学的に取り上げられている幾つかの現象が生じるが、その中の一つが「凍上」である。

近年、土の凍結に関連する研究課題は着実に発展して来ているが、工学的研究の大きな流れとしては、地盤凍結工法や液化天然ガス地下式貯槽などの設計に代表される「人工凍結分野」と、寒冷地における道路や土留め擁壁などの構造物に対する凍上被害対策を中心とする「自然凍結分野」が挙げられる。表一は以上のような考え方で発表論文を分類してみたものである。19編の論文のうち10編はディスカッションセッション6「土の凍上に関する実験結果、試験方法・エンジニアリング」で発表され、9編は一般セッション「凍結・凍上」で発表された。

地盤工学会では平成14年度中の完成を目指して土の凍上試験方法の基準化が進められており、本ディスカッションセッションは間もなく公示される基準案に対する最後のディスカッションの場として設けられたものである。ディスカッションセッションでは、凍上試験に結びつく課題の研究発表7件（591～597）および凍上試験そのものに関する研究発表3件（598～600）が行われた。また、小野（北海学園大学）、伊豆田（㈱精研）両副座長から凍上試験法基準化の背景の説明と基準案の

表一 研究内容の分類（19編）

項 目	発表 件数	内 容
理論・解析	5	巨視的凍上理論に基づく有限要素解析（582）、不凍水（588）、アイスレンズ（589）、凍上基礎理論（590）、凍結時の側方変位（595）
凍上試験	3	側方摩擦（589, 599）、凍結方式の影響（600）
人工凍結分野	5	圧密促進工法（583）、三次元熱解析（584）、凍結膨張対策、吸収孔（594）、三軸凍上（596, 597）
自然凍結分野	6	冬期土工（585）、粒状体の熱伝導率（586）、凍結期熱流観測（587）、ベントナイト混合土の凍上（591）、舗装の凍上（592）、擁壁の凍上（593）

解説が行われ、活発な討議がなされた。その中で、試験の報告事項として比表面積を入れてはどうかという提案がなされた。これに対して現時点の基準としてこの提案が妥当であるかどうかの議論があったが、現在設定しようとしている基準は将来的にも完成した普遍のものではなく、今後の研究を通してより進歩させていく余地のある試験法であることを示唆した意見として重要であると考える。

引き続き一般セッション（582～590）では、土の凍結・凍上に関連した幅広い研究発表が行われた。この中で、巨視的凍上理論の定式化（582）、凍結の圧密促進工法への適用（583）、廃棄物の凍上対策材料への利用（586）など、凍結・凍上問題の新しい広がりが見られた。

本文中では研究の目的に応じて発表課題を分類してきたが、土の「凍結・凍上」の理論は一つである。たとえば、今回進められている凍上試験方法の基準化では、人工凍結分野を主な対象とした「凍上量予測のための土の凍上試験方法」と、自然凍結分野を主な対象とした「凍上性判定のための土の凍上試験方法」の二つの基準とし