



実務のための圧密沈下予測とその対策技術

7. 講座を終えるにあたって

森 脇 武 夫 (もりわき たけお)
 呉工業高等専門学校教授 環境都市工学科

大 竹 勉 (おおたけ つとむ)
 基礎地盤コンサルタンツ㈱関東支社

坪 井 英 夫 (つばい ひでお)
 ㈱不動テトラ ジオ・エンジニアリング事業本部国際部

7.1 はじめに

本講座では、平成18年10月号から本号まで、6回にわたり、実務において圧密沈下予測を行う際に必要な圧密理論とその利用方法 (10, 11月号), 実測沈下にに基づく圧密沈下予測法 (12月号), 沈下対策効果の予測と実際 (1, 2月号), および圧密沈下予測の高精度化に向けての試み (3月号) について掲載してきた。

講座を終えるにあたり、本講座で対象とした圧密沈下予測と沈下対策についての課題と展望を簡単にまとめておきたい。

7.2 圧密理論の課題と展望

圧密沈下予測に限らず、一般に材料の挙動予測を精度良く行うためには、まず材料の特性を材料試験によって正確に把握し、その特性が忠実に表現できる解析理論を用いて、実際の初期値・境界値を反映できる解析法によって予測する必要がある。

圧密試験は模型試験であるため試験結果から圧密定数を求めるためには圧密理論が必要になる。例えば、実務で標準的に用いられている段階載荷圧密試験 (いわゆる標準圧密試験) の整理には Terzaghi (テルツァーギ) あるいは三笠の弾性圧密理論が用いられている。これは材料を弾性体と見なして材料定数を求めているため、実際の境界値問題を解く際の解析理論も弾性圧密理論でなければならないことを意味している。このように、圧密定数を求める際と沈下予測を行う際には同じ圧密理論を用いなければ、理論的矛盾が生じる。そもそも、未知な材料の特性を求める際に、材料の特性をあらかじめ特定した圧密理論を用いるところに本質的な矛盾があり、本来、材料定数は解析理論とは無関係に求められる必要がある。この問題を解決する最も実務的な方法として、定ひずみ速度圧密試験の利用がある。定ひずみ速度圧密試験は、ダルシー則の成立など若干の仮定はあるものの、材料の変形特性に関して弾性則などの仮定を設けることなく、材料の変形特性を支配するひずみ速度を考慮して、変形特性 (間隙比 \sim 有効応力 \sim 間隙比変化速度関係) と透水特性 (透水係数 \sim 間隙比関係) を独立に求めることのできる試験法である¹⁾。したがって、この試験によって得られた変形特性と透水特性を解析目的に応じて適宜

組み合わせて圧密理論を構築し、それによって圧密沈下予測を行うことが望ましい。

圧密理論は、2.2.3でも述べたように六つの場の方程式の一つにまとめたものである。これらの場の方程式のうち、材料の特性に依存するものは間隙水の流動則と粘土骨格構造の構成方程式 (構成モデル) であり、これらが材料の特性を的確に表現していれば、それを使った解析理論の予測精度が高くなるのは自明なことである。そこで、これまでに様々な構成モデルが提案されているが、自然材料である粘土の変形特性を完璧に表現できる構成モデルは未だ完成されていない。特に、圧密現象はひずみ速度の極めて小さな範囲の挙動であり、なおかつひずみ速度の変化率が非常に大きい。そのため、ひずみ速度の変化を考慮できる構成モデルを用いる必要があり、本講座で紹介した弾粘性モデル、アイソタックモデルなどが提案されている。また、このひずみ速度依存性に大きな影響を及ぼすものに粘土の骨格構造がある。これに関しては6.4で紹介したように様々な定式化が試みられているが、骨格構造の変化とひずみ速度の関係、骨格構造の定量的評価法など、未解明な問題が残されている。今後、有効応力 \sim ひずみ (間隙比) \sim ひずみ速度 \sim 骨格構造関係を統一的に表現できる構成モデルの構築が圧密沈下予測の精度向上のために望まれる。

解析における初期条件と境界条件を現場の状態に合わせて設定することは実務上、最も厄介な問題である。すなわち、荷重は通常時間的には不規則に漸増荷重されるし、形状的には一次元とみなせる場合は例外的である。さらに、排水境界も明確ではなく、荷重条件や地盤改良方法によっては排水層となる中間砂層が存在する場合もある。これらの条件を忠実に再現した解析を行うことは不可能に近いが、少なくとも層厚の変化を考慮できる有限変形理論に基づいた解析法を用いるべきである。

7.3 実測沈下に基づく沈下予測法の課題と展望

実測沈下に基づく沈下予測手法としては、双曲線法を含めた数種類の手法が実務で使われている。とりわけ双曲線法は多用されている。しかし、地盤構成や圧密度など状況に応じて使い分けることが大切である。実測沈下に基づく沈下予測手法は、沈下量と沈下時間の二つの観測値を用いて沈下挙動を予測できる極めて簡便な方法で

講座

ありながら予測の精度は理論計算に比べて高い。一方、理論計算は設計から施工全般を通じて沈下予測に用いられるが、実測沈下による沈下予測値を用いて補強することで十分な精度で沈下予測を行うことができる。つまり、実測沈下に基づく沈下予測と圧密理論計算による沈下予測を相互に補完し合うシステムを構築すれば有効であると思われる。数値解析においても実測挙動を用いたキャリブレーションを行えば沈下予測の精度は高くなり、性能設計に対して十分な威力を発揮する²⁾。また、逆解析において実測沈下の活用が期待される。その際は、計測点の選定が重要である³⁾。圧密沈下観測では、沈下計の他に間隙水圧計が用いられることも多い。圧密現象に伴う過剰間隙水圧の消散過程を観測することは、沈下観測と同様な意味合いであるがこれによる沈下予測事例の紹介は少ない。これは沈下測定に比べて間隙水圧計の設置方法が簡単ではなく、計測点によっては圧密層の過剰間隙水圧分布を把握することが難しいために、実測値を予測手法に適用するまでには至っていない。しかしながら、間隙水圧も地盤情報の一つであることから、沈下予測に活用できる手法の開発に期待したい。二次圧密の予測については、長期的な残留沈下を観測することが求められるが、その事例は多いとは言えず、データの蓄積が研究者からも望まれている。

7.4 沈下対策工に関連した課題と展望

本講座の沈下対策工法の中で十分に詳述できなかった内容として、バーチカルドレーン工法の一つであるプラスチックボードドレーン (PBD) がある。日本のPBDについてはプラスチックボードドレーン研究会 (会長: 嘉門雅史京都大学教授) が1988年に組織化され、系統的な研究が継続的に行われている。同研究会の嘉門・諏訪など⁴⁾が、バーチカルドレーンの基本性能はドレーン材が「集水する」、「集水した水を外部に速やかに排出する」という材料のハード面に着目して研究を進め、ドレーン系の今後の展望として、次の提言を行っている。すなわち、「フィルター強化、すなわち長期強度の確保」、「フィルターが目詰り特性の解明」、「鉛直方向透水係数1.0 cm/sec以上のフィルター材性能を持ち、通水性を確保できるPBD開発」、さらには「性能評価試験法の基準化および確立」が重要としている。

ソフト面ではバーチカルドレーンの改良効果について数値解析により、地盤の保有する透水係数により有効になる場合とならない場合がある⁵⁾ことをあらかじめ知って、沈下対策の効果予測を行うことも重要である。

バーチカルドレーン工法もヨーロッパ規準 (CEN: 欧州規格委員会) の中に取り込まれるなど世界基準化の方向⁶⁾にあり、日本で得られた知識をそれらに取り込む努力がなされて来ている。

地盤改良の今後の課題として性能設計への方向があり、これらを基準化しようとする試みがあり、既往のバーチカルドレーン工法に最近の知識を集約させ、いかに性能設計法を具体化することも急務といえよう。

7.5 おわりに

本講座は、故今井五郎先生 (元横浜国立大学教授) の意向に沿って企画されたものであるが、原稿執筆中の平成17年12月31日に急逝されたため、先生の意図とは異なったものになった恐れがある。本講座に対する読者の皆様からのご意見は折に触れて伺うことはできるが、先生からのご批判を受けることができなくなったことが執筆者一同の心残りである。

残留沈下を含めた圧密沈下予測の精度向上は、性能設計が導入され、社会基盤施設の維持管理が重要となる21世紀においては、ますます重要なテーマになると思われる。本講座がこれに少しでも寄与できれば幸いである。

最後に、原稿の執筆にご協力いただいた共同執筆者の方々、ならびに本講座を担当していただいた講座委員の各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) Moriwaki, T. and Umehara, K.: Method for determining the coefficient of permeability of clays, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 26, No. 1, pp. 47~56, 2003.
- 2) 飯塚 敦: 総説「土構造物の品質」における圧密・変形予測, *基礎工*, Vol. 34, No. 6, pp. 8~11, 2006.
- 3) 柴田 徹: 沈下と変形の実態と予測, 昭和59年 最近の土質・基礎に関する諸問題講習会講演資料, 土質工学会, pp. 35~44, 1984.
- 4) 嘉門雅史・諏訪靖二: 日本におけるプラスチックボードドレーンの発達の歴史と課題, PD研究会, 資料, No. 45-4, 2006.
- 5) 浅岡 顕: 弾塑性圧密変形の諸特性, 地盤工学会テキスト, 2003.
- 6) 北詰昌樹: CEN/TC288/WG11 深い排水工法, 会議出席報告, 地盤工学会 ISO 検討委員会, 土と基礎, Vol. 54, No. 6, p. 43, 2006.

本講座の担当委員

金田一広 (リーダー), 関 崇夫, 田地陽一,
本多 隆, 桃谷尚嗣, 丸山 修