

構造、透水性・地盤の浸透、排水

一般報告

北海道大学 梅田安治

64 粘性土のせん断変形後の透水性に関する実験(その2)(本郷・小沢・近藤・白石・松岡)

65 乱さないまさ土の不飽和浸透特性に及ぼす攪乱の影響(清水・青山・西田)

66 凍結した一次しらすの浸透崩壊特性(林・斉藤・松雪)

67 しらすを母材としたソイルセメントの透水異方性(藤本・荒巻)

68 新型突固め装置の開発とその評価(古賀・鶴浦・坂本)

69 泥炭の構造上の諸定数と圧密による変化について(及川)

70 粘土の圧密特性に及ぼす供試体厚さと初期構造の影響(山田)

71 気泡土のパイプ輸送に伴う基礎実験(近藤・吉田・宮下)

このセッションに提出された論文は8編であるが、それらの内容は多岐にわたっている。それは「構造・透水性」というセッションの性格を表すものであろう。64は、フィルダムで基盤の不同沈下のためコア着岩部に生じたせん断変形と透水性について実験により検討した。10%のせん断ひずみで透水性は10倍になった。しかし、フィルターの影響などもあったとされているように、この種の実験ではモデルとしての土も含めて装置に一段の工夫が必要であろう。継続を予定されている研究に期待したい。65は、不攪乱まさ土とそれと同密度の攪乱締固め土についての実験から攪乱による不飽和透水係数の変化を、風化度、岩質の異なる3種のまさ土について、水分特性曲線、体積含水率の関係などから検討している。締固めによる土構造の変化を間隙分布で示し、締固めにより、粗大間隙が潰され小さい間隙へと移行するとしている。また、風化度の大きいまさ土が堤体等の材料として適材であることを実証しているとしているが、このような一般化した結論を出すには少し綿密なデータ解析、また各種検討が望まれる。66は、一次しらすが凍結工法の対象となったとき、その特徴である溶結組織が凍結膨張によって破壊され物性や浸透崩壊特性が大きく変化することを実験的に示している。この種の課題は現場問題としてのみでなく、しらすなどの構造の基本的問題の論議の素材としても興味あるものである。それだけに実験条件などを整理して展開されることが期待される。67は、しらすのソイルセメントの透水試験から、締固め条件と透水異方性に関する報告である。締固め盛土の異方性

は現象的には層状不均質による部分が多いと考えられるが、それらの検討も必要でなかろうか。ソイルセメントの透水異方性は、セメントの水和現象と土粒子との結合状態などソイルセメントの骨格構造の変化に強く支配されている、とされているが今後の展開に大いに期待したい。68は、JIS 1210の突固め装置をランマーの落下軸とモールドの中心軸を一致固定させ、ランマーの落下荷重がモールド壁ぎわまで及ぶように考案し、モールド底面に相当するシューの形状の各種のものについて均質な供試体の作製の可能性を求めた透水試験などから一応実用化を達成したとしている。69は、泥炭の構造上諸定数の圧密による変化について大平モデルを基本として展開し数値化を試みた。この種の問題はモデルの限界、仮定有効範囲など多くの難問を越えねばならないようである。今後の発展に注目したい。70は、カオリンに硫酸アルミニウムを添加することによって初期構造(ペッド径分布)の異なる試料を作製し、更にその試料厚さの3段階について圧密試験を行っている。極めて基礎的な部分で土自体を直視しているだけに、既成の概念にとらわれず、研究を進展させることを期待したい。71は、シールド工事現場における対策工法から発展した基礎的研究であり、それが新しい工法を生み出す可能性を秘めているものであろう。そのためにも各種条件の上、特に水分の関係についての基礎的解明が必要であろう。今回は気泡土のパイプ輸送の適当条件が述べられているが、それらがほかの手段による輸送との条件比較の中へ位置づけられるようになることを望むものである。

これら9題の発表は透水性の基礎的問題、構造に関するものだけに、それぞれが独立したものであることは否めない。しかし方法論、思考法などで相互に示唆に富むものであった。それだけに発表技術も含めて、土の構造、挙動などに対する観察、モデルの設定評価をより明確にする必要がある。短時間での討論のためにも、その枠組のレベル・限界を積極的に明示すべきであろう。各人の調査・研究を観察・経験の域にとどめることなく、さりとて技術的数値化に急ぐことなく多くの議論の中から、土質力学の中でも地味といわれるこの分野の発展を期待するものである。

徳島大学 山上拓男

618 積分差分法による異方性帯水層の浸透解析(西垣・河野・二見)

619 間隙水の挙動を考慮したDEM解析(井筒・木山・藤村・西村)

620 境界要素法による非定常浸透流解析(吉松・堀井)

621 揚水試験解析へのカルマンフィルターの適用(平野・三宅・神野)

622 三次元飽和-不飽和浸透解析手法に基づく排水ボー

リングの効果の検討(第2報)(山上・田内)

623 準三次元地下水シミュレーションによる岩盤の透水性に関する評価(本島・北野・田中)

624 有限要素法による応力-浸透-熱移動連成問題の解析(小林・大西・塩田)

625 低レベル廃棄物陸地処分における帯水層中の核種移動について(清水・伊藤・坂口・西山)

626 帯水層パラメーターの同定について(青木・嘉門・加藤)

627 不均質地盤の透水係数の推定について(大西・井尻)

628 孔内湧水圧測定試験(JFT)による透水パラメーターの推定について(大東・岡島)

講演番号618~628の合計11編の研究は2つのグループに分類できる。すなわち数値解析手法を駆使して土質工学に係わる諸問題を解析せんとしたもの(618, 619, 620, 622, 624, 625)と、帯水層定数の同定つまり逆解析に関連した研究(621, 623, 626, 627, 628)である。11編の発表が簡潔に2つのグループに分類し得ること、またその分類のキーワードに逆解析を挙げねばならないことが本セッションの大きい特徴であろう。数年前より逆問題を取り扱った研究が散見されてはいたが、ここに来て一挙に順解析→逆解析の時代が到来したとの感を強くした。非均質かつ多様な特性を示す土や岩盤を対象とした地盤工学にあつては、この傾向もまたむべなるかなである。

さて、第1のグループをいまま少し詳しく眺めるならば、これらを更に2つに大別し得る。第1は土中の流体運動のみに注目した、いわば水理学的検討だけを行ったもので618, 620, 622, 625がそれである。残り2編619, 624は間隙水(水理学的検討)のみならず土粒子骨格の変形ないし運動(力学的検討)も考慮した、いわゆる連成問題を取り扱った研究である。無論、筆者の個人的見解ではあるが、FEMないしFDMをベースとした単純な水理学的解析手法は既に完成の域に達したと言って過言ではなかろう。したがってこの方面の研究が意義を持つとすれば、それは従前にないユニークさ、新規性がいかんなく発揮されたときである。この意味で618の積分差分法、620のBEM、622の三次元解析、625の核種移動はいずれも過去十分に検討されたテーマとはいえず、それぞれに興味深い発表であった。まず618はTyson・Weber法に類似な概念で積分差分式を構築し、これに更に異方性を取り入れる方策を述べたあと、適用例として理論解と比較している。620はBEMを用いて特に自由水面問題を解く際の問題点、すなわち自由水面の追跡法と、角点における特異性の解消に苦心が払われた研究である。622は地すべり地内の地下水低下工法としての集水ボーリングを、一次アイソパラメトリック要素で表現する工夫がなされている。625は学術的のみならず実際面でも大変興味を持たれる核種の分・拡散現象を扱っている。内容の濃さに比べ2ページという紙数制約内で

は十分意を尽くせず、後述の如き質疑がなされた。また連成問題を扱った研究のうち、619は岩石やブロック等の剛体群の運動を追跡する手法としての離散剛要素法を圧密場に持ち込んだものである。けれども、筆者には粘土骨格の適合条件がどのように満たされるのか理解できなかつた。624は間隙水の流れと土骨格の応力・変形に加え、更に熱移動をも組み込んだ三現象間連成問題の数値解析手法の提案である。現象が複雑であるだけに研究者間の見解の相違は避け得ず、やはり後述の如き質疑がみられた。

次に、逆解析に関連した研究について簡単にコメントしたい。もともと土質工学上の諸物性値の決定手順はいずれも逆解析の思想でなされているといつてよい。しかし近年いうところの逆解析は暗に数学的に洗練されたエレガントな手法に依拠するとの響きを有す。この観点からすれば621のカルマンフィルター理論、623の地下水シミュレーション、626のGauss-Newton法、627の修正マルカート法、628のFEMなどはその典型例といえよう。これらのうち621と628は、それぞれ多孔式揚水試験(被圧帯水層)および単孔式原位置透水試験結果に対して、透水パラメーターを同定する過程にフィルター理論(621)あるいはFEM(628)を応用し、逆解析法の種々の意味での能力・適用性の向上を図ったものである。626, 627は間接法、つまり観測値と予測値の残差自乗和の最小化に基づき透水パラメーターを探索している。したがって、なんらかの非線形最適化手法を必要とするが、これについて626ではYehの方法に準拠しGauss-Newton法を、また627では修正マルカート法を採用した。なお627でAIC(赤池の情報量基準)を導入したのは注目される。623では岩盤の透水性を評価するのに、慣用テストに加え、準三次元地下水シミュレーションを持ち込んだ。ただし、シミュレーションモデルの具体的提示はなかつた。

最後に質疑・討論について簡単に要約しておこう。620に対し、時間微分項を含む支配式を採用していない理由が尋ねられ(名大大東)、発表者と副座長からその背景が説明された。625に対し Da の数値と井戸における移流拡散の境界条件が問われ(岡大西垣)、 $Da=0.01$ としたこと、また境界条件は $c=0$ としたが少し問題であるので今後検討したいとの回答があつた。624についてこの現象をモデル化する際設けられた仮定が簡易化し過ぎではないか、また現象が非常に複雑であるから、支配式中のパラメーター間の相関等もう少し煮詰めるべきではないか、換言すればこのような定式化は時期尚早ではないかとの質疑(埼玉大佐藤)があり、質問者の指摘を否定はしないが、既にパークレーでもこうした研究が積極的に進められており、遅れをとってはならないといった主旨の回答がなされた。626, 627に対し副座長から、結論が両研究で相反していると指摘したが、単なる表現の綾の問題であり、本質的には両者の結論はほぼ一致していることが確認された。

埼玉大学 佐藤邦明

629 ボイリング検討式の適用限界(光成・落合)

630 X線写真を利用したパイピング現象の観察(第二報)
(中島・長瀬・飯島)

631 地下水位変動予測とその検証(酒川)

632 地下ダムの有効性の評価について(青木・嘉門・村上)

633 水平方向透水試験における浸透流解析(赤木・石田)

634 フィルター性能に関する統計解析と改良された設計
基準の提案(本城・Daniele Veneziano)635 Rubberに覆われた砂層内に発達する間隙圧の特性
について(前野・長谷川)

636 盛土斜面内に布設した不織布の排水効果(前田・加藤・笠原・荒井・町原・飛山)

637 不織布を用いた路盤排水工(伊東・関口・高橋)

638 ジオメンブレンを遮水材として使う場合に組合せて
用いる不織布の研究(福岡・今村・山中・西村・長谷川)

このセッションの10編の研究を全体に見ると地盤の浸透、地下水および不織布による排水に関するものであり、室内における基礎研究から現場実測にまで及ぶ多様な内容を含んでいる。論文番号629, 630はそれぞれボイリングの判定式の適用性とパイピングの発生メカニズムを論じた。いずれも古典的な問題のように感じられるが、既存の判定式が大型・大深度掘削の場合にそのまま当てはまらないことを二次元および三次元浸透流数値解析によって示した。この研究が将来もっと簡便に現場に応用できるように発展することを期待する。

630の研究は室内で砂モデル地盤に発生するパイピングをX線を照射して映像観察したものであり、水圧によって緩みを伴うパイプ状水みちの形成が明らかにされた。今後、こういった方法でパイピング現象を解明し、その成果が実際の設計・施工に結びつくよう望まれよう。

631と632はそれぞれ人工埋立地の地下水および地下ダムにかかわる地下水をいずれも現地調査と関係づけて水理解析した研究である。この種の地下水解析には地下水数値シミュレーション手法が従来から採用されており有効である。臨海地の埋立に係る地下水問題には地下塩水くさびや水収支に関する降雨浸透、蒸発、流出などを含めて総合的に捕える必要があり、この事は地下ダムの地下水を取り扱う場合にも例外ではない。ここで取りあげた地下ダムの問題では臨海地下水である性格上、遮水壁による塩水化にも目を向けており、塩水化の実態をどう捕えるか発表会で討議が交された。

633は原位置の水平方向透水係数を不攪乱のままシンウォールに採取して、室内で決定する方法を提案しようとした。シンウォール管の断面内で流入孔から水を流し、流出孔へ導き、断面内の流線解析を行って実験結果と比較・検討した。この試験法の精度の向上と応用性が期待される。

634はフィルダムのフィルター材の設計に対する信頼性の評価法を提案した。ベースソイルの安定、不安定、自幅層の形成に力点がおかれている。現場のデータを統計的に整理して統一的結論を導いており、実際のフィルター材の設計に有用な情報を与えるものと思われる。

635は海岸構造物の基礎の洗掘防止や底質移動防止のためにRubber利用を目的としてRubberでおおわれた砂地盤内の間隙水圧を室内実験によって研究した。ストークス波論と実験の結果を比較して圧力算定式を示し、波の特性との相関、砂の特性値との相関を明らかにした。

論文番号636, 637, 638は最近利用が活発になりつつある不織布(ジオテキスタイル)に関する研究である。

636は盛土内に不織布を布設すれば、排水効果が期待できることを室内実験と飽和・不飽和浸透流解析によって明らかにした。盛土の規模や粒度構成と関連させて今後の検討が望まれる。

637は不織布の透水性を室内実験によって調べ、路盤排水工として鉄道路盤に施工した結果を述べた。その結果、不織布の透水性が載荷圧によって低下する傾向が認められるものの、現場での排水効果は良好という結果を得た。

638はジオメンブレンで不織布を挟んで使用した時の不織布の排水機能、および不織布自体の透水性の経時変化を室内実験によって研究した。不織布の透水係数が低下することを認めた。不織布の地盤改良材としての長期的な信頼性、動的性質および透水効果について活発な討議が行われた。

総括

岡山大学 河野伊一郎

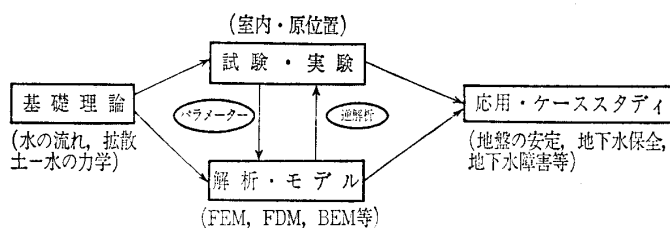
構造・透水性のセッション64~71と地盤の浸透・排水のセッション618~638の発表内容に関して、前者については発表件数8編のうち7編が実験主体で、実用的な内容である。ただ、構造を取り扱った研究と透水性を対象にしたものとの寄せ集めグループの観があり、必ずしも構造と透水性が組み合わさったもののグループとはなっていない。したがって例年このセッションでは参加者にとまどいがみられるように思われる。

浸透・排水のセッションでは発表件数21編に共通性があり、フロアーの関心も集中し、討議も活発である。発表の8割以上の17編が数値解析法を主たる手段、あるいは副用に用いた研究となっており、ここに研究の動向の一つの特徴をみることができる。

研究の構成あるいは流れの相関から数値解析を位置づけると表-1のようになる。

基礎理論については、MaskatのThe Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media(1973)の段階で土中の水の流れそのものに関して大半が完成の域に達している。その後、不飽和浸透、拡散、分散の問題の理論も構

表-1 浸透問題の研究の相関



成され現在に至っている。したがって、現在はパラメータを求めるための試験、調査と解析の手法へと重点が移っている。

試験、実験については、現地への応用、すなわちケーススタディーをにらんで原位置透水試験の方法とその精度向上に多くの課題を有している。昨年12月、土質工学会主催の「原位置透水試験に関するシンポジウム」が大変盛況であり、研究者のみならず実務者の参加が多かったことはこの方面の進歩に寄せる期待の大きさを物語っている。今回の発表の中にこれに類する発表がほとんどみられなかったのは残念である。

解析法に関しては、FEMの手法を用いた研究が圧倒的に多い。最近10年間、この方面の発展と成果は目をみはるものがあり、その高い評価を固めつつある。更にBEM, IFDMなどの手法に工夫もみられる。それらの中でも広域地下水のシミュレーション、逆解析問題に多くの関心が集まっている。前者の地下水シミュレーションは建設工事と地下水障害（地下水保全）の問題が深刻化する中で、その

貢献度は高く評価されねばならない。後者の逆解析問題は帯水層パラメータの同定や地下水かん養機構の解明などに対して、原位置透水試験を組み合わせるべき有力な手段である。しかし、現実の地盤中の水の流れはシミュレーションモデルで再現されているものよりはるかに複雑であると考えられる。こうした試験法や解析法が多くのケーススタディーに応用され、その実績の積重ねも必要である。こうした研究の成果や現場への応用を通して新しい技術が開発されることが望ましい。技術は必ずしも科学的な裏づけを必要とはしないが、科学的な裏づけができれば信頼性も高まり、さらなる改良が容易となるであろう。新しい技術として、地下水保全のための地下ダム、水封式地下貯蔵タンク、またジオテキスタイルを用いた透水性規制の技術もみられる。

10年ほど前に浸透問題への課題として、(i)定常から非定常へ、(ii)飽和から不飽和へ、(iii)一般論（理論）から各論へ、(iv)土中水理から土～水の力学へ、と発展への願望を述べたことがある。浸透-応力のカップリング問題、パイピングを含め土中浸食の研究もとり上げられるようになってきた。しかし、パラメータの決定方法と精度、モデル化の信頼性など実現象を解明するまでにはまだまだ距離を感じると言わねばならない。それだけ多くの研究課題を残しているということである。今後これらに加えて、地下水汚染に関連して水質問題が加えられねばならないであろうと感じている。

地中構造物, トンネル

一般報告

神戸大学 桜井春輔

- 639 近接した双設トンネルの模型実験について(壺内・後藤・西岡)
- 640 斜面下トンネルの底面摩擦模型実験(下河・中崎・浦川)
- 641 地下深部におけるトンネルの諸問題について(亀村・竹田・山本)
- 642 トンネルの二段ベンチ掘削施工における逆解析モデルの検討(佐々木・土肥・高橋・杉山・森川)
- 643 砂質地山トンネル掘削に伴う切羽前方の地山挙動について(上野・足立・八嶋・湯浅)
- 644 散乱光弾性被膜実験法による軟岩地山中のトンネル周辺の変位解析(柳浦・池田・小川・小長井)
- 645 三次元境界要素法による自重を考慮した掘削解析の精度について(門田・石井・鎌田)
- 646 切羽における地山状況の工学的活用法の一案(本間・五十嵐・廣瀬)

本セッションで発表された論文は8編、そのうち、室内

実験に関するもの4編、理論および解析が2編、現場計測の逆解析、および施工管理に関するもの、それぞれ1編であった。

まず、室内実験に関する研究のうち、639および640はともに、底面摩擦模型実験装置を用いて、トンネル周辺地山の破壊形態の解明を試みたものである。639は双設トンネルを対象に、その中心間距離によって破壊形態が異なることを明らかにし、更に、No-Tension解析結果は実験値とよく一致することを示した。一方、640は、斜面下のトンネルを対象に、斜面勾配と土被りをパラメータとして破壊形態の解明を試みている。この2編に示された底面摩擦模型実験は、重力場の問題を、遠心力载荷装置などを用いることなく、容易に研究できる利点を有しているが、側圧係数は非常に小さく、また、平面応力状態に近いなど、欠点も含んでいるため、その結果は、実際のトンネルの挙動と異なることも考えられるので注意を要する。

643は土被りの浅いトンネルを対象に、切羽前方の地山の挙動を解明するため、アルミ棒積層体モデルによる室内実験の結果について述べたものである。従来、トンネルの研究は、トンネル横断面の安定性を論じたものが多いが、