

一般報告

の様に役立たせるべく、その途中どの一里塚にあってこれからどちらの方向に行くといった主旨のコメントがあれば門外漢にも分かる。他人の理解を得ることは御質問やら御意見をいただくことにつながり、研究のヒントやアイディアが生まれる機会を得ることに等しく、更には各研究者がバランス感覚を身に付ける上からも重要なことである。

今回は76, 77に示されるように水道への挑戦の動きが見受けられたことは喜ばしい。地盤中の大きな間隙の分布を調べる基礎的な研究活動とともに現場での状況もよく調べ難問に取り組む必要がある。米国では同研究の成果を上

げるべく1990年という期限の旗揚げをしているが、これに待つまでもなく我が国も着々と進めなければならない。

筆者が現場出身であるために感ずるのかも知れないが、最近、大学の先生方が現場へ出掛けられる機会が少なくなったと思われる。現場の人も状況変化の経緯をきちんと記録したり現場計測に対する努力を払い、先生方に御理解していただける説明を行っているであろうか。相互に行うべきことを実行すれば必ずや両者にとって得るところがあるばかりか、広く工学の発展に資するものと考えられる。

地盤の浸透、排水

(株)中堀ソイルコーナー 中堀和英

561 浸透水による地盤の進行性破壊に関する実験(河野・西垣・早瀬)

562 X線写真を利用したパイピング現象の観察(第一報)(中島・松原・飯島)

563 水平方向浸透流下における砂地盤のパイピングについて(久楽・吉岡・佐藤)

564 層状堆積の浸透破壊実験(田中)

565 乱さない一次しらすの浸透崩壊特性(林・斉藤・松雪)

566 連成解法に基づくクイックサンド現象の弾塑性数値解析(春木・山上)

567 波浪による砂層内の間隙水圧の伝ば特性(前野・長谷川)

568 モデル実験による岩盤内圧縮空気貯蔵の検討(駒田・中川・宮下)

569 ジオテキスタイルの透水性に関する予備実験(佐藤・吉田)

以上9編のうち、6編が従来からパイピング、クイックサンド、あるいはボイリング、ヒービングなどと呼ばれていた問題を取り扱っており、他の3編が比較的新しい特殊な問題にそれぞれ取り組んでいる。

前の6編をまとめて表にすると、次のようである。

講演番号	浸透流の方向	実験・解析の手段	主 な テ ー マ
561	水平・鉛直	開放口をもつ二次元モデルの模型実験	進行性破壊の機構、川砂と粘着力をもつまき土の違い
562	水平・鉛直	二次元モデルの模型実験、X線写真の利用	パイピングの発生状況の観察
563	水平	模型実験	粒径と限界流速の関係
564	鉛直	モールドによる定水位透水試験	層状堆積の浸透破壊、 D_r による相違、試料へ水を流すパターン
565	鉛直	大型三重タイプサンプリングによる乱さない試料の透水試験	一次しらすに対する浸透破壊、粒子間結合の効果
566	矢板回り	連成解法に基づく弾塑性解析	解析の妥当性

このテーマの多いことも特徴であるが、パイピング現象を進行性破壊の観点でみていること、現象を直接観察しようとする意欲、限界動水勾配・限界流速への精密な肉薄、土質さらに強度問題との関連究明など極めて進んだ研究が一斉に出てきたのが特色のように感じられる。上表とともに、各講演に触れると、

まず、561では破壊の進行を数値計測のみならず、着実にそれらの形態を観察比較している。途中で破壊が一時停止する事象も報告されている。今後、土の強度との関連、三次元効果すなわちアーチングや側面の影響などの究明が期待される。

562は、これまで肉眼では外観のみで内部の現象そのものが見得なかったが、見事な撮影に成功している。局部進行破壊の実態・理論との照合など今後大きな期待の持たれる方法である。

563は、従来は定量化があいまいであった限界動水勾配・限界流速を、粒径別に実験したもので、極めて基本的かつ着実な研究成果の一端である。種々の点で精緻な観察が報ぜられているが、今後更に比較的に単一な粒径のものから、混合された粒度についても究明されることを期待したい。

564は、層状堆積すなわち、透水係数の配列パターン別に実験考察されているのが特色である。実際問題ではこれは極めて重要な点であり、条件の差異について有意義な分析を与えている。 D_r との関連のみならず、有効応力の観点からの考察、壁面摩擦への論及も行われている。今後、壁面の粗度との関連が取り扱われれば興味深い。

565は、乱さない試料での直接実験であるところが特色である。極めて慎重にサンプラーで採取されたものでしらすの実態をこの面から究明している。実際地盤での粒度・構造における現象の本質を垣間みた感じがする。粒子間結合などとの関連、採取地での相違など更に知りたい問題である。

566は、土の力学性との連成解法に挑んだ意欲的なものであり、極めて鋭い理論的手段が用いられている。透水の側面のみならず土の応力・ひずみ問題からの連成解析は以

前から待望されていた難問であった。ここでは、Sandhu（サンドー）流の連成解法による弾塑性解析を行い、透水性の大きい土についても安定した解を得ることを確認している。更に大きい発展が伺える。

次いで、特殊な問題の3編についてであるが、まず567は海底砂層内の波浪による間隙水圧の動向を観測したユニークな研究である。従来から漠然とした想像は立てられていたが、精緻な観測値として解析されている。P波、S波の比較までされており、今後、地震波による場合との比較や応用、海底地すべりとの関連など発展が期待される。

568は、新しいエネルギー貯蔵法としての岩盤内圧縮空気によるものを取り扱っている。19回（松山）発表会でこれらの理論解が示されており、その実験的裏付けをした形である。漏気防止の限界動水勾配などについて従来からの提案と比較し、より合理的な精度の高い値を提示している。先端問題として今後の成果が期待される。

569は、活用がますます期待されるジオテキスタイルの基本的問題について実験している。ペーパードレーンにおいても目詰り問題に未解明の点を残しているが、この材料について精力的な究明を行っている。繊維・土・空気・水系として取り扱うべきことを提案しているのは興味深く、今後の研究がますます期待される。

討論その他

個々の細部についての質問は別として、大きい議論になったのは、次の点である。

- (1) パイピング、クイックサンド……と呼ばれている現象の正確な位置づけ。
- (2) 限界動水勾配と呼ばれている概念の、各人による微妙な差異。
- (3) 限界動水勾配で問うのか、限界流速を問題とするのか。あるいは両者の相関。

結局、この問題は土粒子単一の動きを問題とするか、土塊全体を考えるのかの問題をも含んでいる。従来の古典式のみでなく、実態に一步近づいた議論がなされた感であった。このような観点において「限界動水勾配」のより合理的な定義が必要なことが強調された。

座長としては、今後、構成式など力学問題との連成、不均一性をどうとらえるか、土質分類でいかに異なるか、現場での予知法の確立などが今後の課題であると提案した。

空気貯蔵は欧州の岩塩内では実施例があるが、日本では未だ研究課題が残っていることが補足された。ジオテキスタイルは新しい国際学会でも大きいに注目されている。

岐阜大学 佐藤 健

570 Kalmanフィルター・有限要素結合解法による非定常問題の同定・推定（村上・長谷川）

571 有限要素離散化方程式を用いた帯水層定数決定法（西垣・進士）

572 地下水位経時変化計測に基づく透水係数の逆解析

（荒井・大西・笠川）

573 傾斜コアおよびブランケットを有する貯水池の下流地下水位について（向上・北村・小林）

574 多層地盤における地下水流の準三次元解析（西垣・松本）

575 岐阜・大垣の地下水流動モデルに関する研究（宇野・加藤）

576 堤防基礎地盤浸透に関する考察（山本・座親）

577 浸透流解析による河川堤防の安定性（松井・後藤）

このセッションで発表された570～577の論文は、いずれも地下水流動解析に主眼を置いたものである。内容的に、①地下水流動モデルのシステムパラメーターの同定、②地下水流動モデルの開発と応用、③河川堤防の安全性評価、の三つに分けて一般報告する。

570～573が①の話題に関するもので、最近、逆問題（討論の中で、この用語の適否あるいは統一の必要性が指摘された）と呼ばれているいろいろな取組みが行われつつあるが、これら4つの論文もそうした逆問題に対する新しい取組みの紹介である。

570は、有限要素法に離散化した非定常飽和浸透流モデルとカルマンフィルターの結合により、透水係数の同定と地下水頭の予測を同時に行おうとした研究である。今後は、より実際的な問題に適用して、本方法を実用の域にまで高めていただきたいと思った。

571と572は透水異方性に着目した研究で、571は飽和浸透流モデルを、572は飽和不飽和浸透モデルを用いて飽和帯の透水係数値を同定しようとしたものである。571に対して、“観測孔をいくつも掘る必要があるので実用上問題ではないのか”との質疑があり、“一本の観測孔でも、複数の深度で計測することもできるので十分に実用可能である”との応答があった。また、572の発表に関連して、“時間軸上のサンプル数は3点以上は必要であること”、“Powellのシンプレックス法というよりはNedler and Meadの方法と呼ぶ方が適切なこと”が補足された。

573は、貯水池周辺地盤の透水問題に飽和-不飽和浸透モデルによる逆解析を応用した研究である。同定された透水係数値と原位置透水試験（ルジオン試験であることが討論の中で明らかになった）から得られた値を比較、検討している点で注目される。

現場揚水試験、原位置透水試験の結果から帯水層定数を推定する作業も一種の逆解析と見なせる。原位置試験結果を解釈する際に用いるモデル（基礎方程式、初期・境界条件）が不適切だと正確な帯水層定数値が推定できないことはよく知られている。使用するモデルの最適化も含めた逆問題研究の必要性が痛感されるところである。

574と575が②の話題に関する研究である。574の研究は、矢板下部の地下水流回り込み現象やトンネル掘削による地下水位変動解析にも適用できるように、準三次元地下

一般報告・総括

水流動モデルを改良・拡張したものである。

575 は、岐阜・大垣地区の地下水問題に対して用いてきた三つのモデル（水平二次元差分モデル、統計モデル、単純モデル）の相互関係と各モデルのパラメーターのもつ意味に言及したものである。広域地下水流動の問題は地域性の高い問題で、日本各地で、いろいろな形の取組みが行われているが、これら二つの研究の基礎的な考え方はほかの地域にも参考になると思われる。

③の話題を取り扱ったものが、576 と 577 である。576 は、昭和58年10号台風の出水現象を堤防基礎地盤の動水勾配に着目して考察し、577 は堤防の各種安全対策工法の効果を、非定常浸透解析モデルを用いて比較・検討したものである。それぞれの研究で用いたモデル（基礎式、初期・境界条件）のもう少し詳しい説明が必要のように思われる。

なお、現地観測データの精度・信頼性や原位置試験の意義に関する話題も出たが、これら問題点について討論するにはあまりにも短い討論時間であった。

総 括

三重大学 近藤 武

構造・透水性セッションにおける9編(71~79)、地盤の浸透・排水セッションにおける17編(561~577)について報告する。

構造・透水性のところについては、71, 73はまさ土の破碎と物理性に関するもの、72は砂質土のコンシステンシーを表現する方法、76は乱さないまさ土の不飽和浸透特性と土構造との関係に関するものである。砂質土系（特にまさ土）の特性と考られる粒子の破碎、またそれに伴う土構造の変化と物理性との関係などが検討されている。これらについては粒子破碎の物理的意味を含む定量的評価方法ならびに土構造の評価方法の確立へと展開されればと考えられる。また、砂質土の物理性に対する比表面積の役割など粒度以外の物理量が砂質土の分類因子に利用されるまでになればと期待される。74は粘性土の構造の微視的評価に関する一連の研究のもので、ここでは圧密方法の相違の影響を評価している。これも基本的には上述と同様土構造が物理性更に工学的性質に与える影響の評価へと通じていくものと考えられる。75, 77は粗粒材の土性改良に関するものと考えられ、土の物理性に与える圧気効果については興味深い。78は前回まで話題になった透水係数の異方性について現場スケールまで発展させたものであり、今後データの集積が望まれる。79は土の特殊条件下の透水性を求めようとしたものであり一つの試みとして今後の進展をまちたい。

地盤の浸透・排水のことについては、まず、土の水理学的安定性についてのものが6編ある。この水理学的安定性については、土の破壊現象としてパイピング、ボイリング等種々あり、また進行性現象とも考えられるということが問題を複雑なものにしていると考えられる。

561 は砂質土による鉛直・水平二次元モデルについて進行性を観察したもの、562はガラス・ビーズ中のパイピングをX線を利用して追跡したもの、563は二次元砂地盤モデルを対象としたもの、564は層状堆積砂柱を対象にしたもの、565はしらすの乱さない試料を対象としたもの、566はクイックサンド現象を解析的に取り扱ったものである。これらの報告から、従来限界動水勾配、限界流速の式を用いて検討されてきたが、種々の現象が把握されることにより、そのメカニズムについて十分な考慮が行われた上で、上述の理論式はどの現象が生じた時に適用されるのか、また実際における土の不均質性をどのようにとらえるかということが将来の新しい問題となってくるであろう。567は波浪により砂層内に発生する間隙水圧に関するもので、今回は現地での予備実験に関して報告したもの、568は岩盤内に圧縮空気を貯蔵するためのモデル実験を報告したもの、569は近年利用が盛んになりつつあるジオテキスタイルの透水性に関する報告である。これらはいずれも今後の幅広い研究取組みが期待されるものであろう。

浸透問題における逆問題であるが、具体的には自然地盤と人工土構造物の浸透に関する物性値の同定の問題となる。今回は透水係数の同定を有限要素解析を基本に種々の方法を用いて行ったものが報告された。570はKalmanフィルターを用いたもの、571は異方性ならびに主透水方向のものまで求める方法を示したもの、572は飽和不飽和解析を行いシンプレックス法で同定したもの、573は同様に実験計画法を用いたものである。実際問題への取組みにおいて、真に知りたいものは自然地盤および完成した土構造物の物性値である。従来、室内実験、現場実験などの積上げによって物性値を設計レベルで推定し、入力データとして解析に用いてきたのであるが、果たしてどうなるかということがこの逆問題への取組みの大きな動機であろう。今後物性値の精度の向上、設計値との比較検討から将来の設計への寄与という型での発展が期待される。

地下水流モデルに関するものとして、広域地下水問題と主として透水性地盤上の土構造物の浸透問題の二つの問題が報告された。574は多層地盤における準三次元解析の適用を試みたもの、575は広域地下水流動モデルとして二、三のモデルの比較検討をしたもの、576, 577は透水性地盤上の河川堤防の浸透問題を取り扱ったものである。前二者は精度高く地下水流動をシミュレートすることにより、地下水収支の問題、工事に伴う地下水問題、地盤沈下のような二次的に派生する問題への対応において重要な意味を持つてくる。また後二者は実際的な問題への適用例であるが、土構造物等の水理学的安定性との関係、また結果の評価についても水理学的安定性との結合によって更なる発展もあり得ると考えられる。

以上簡単に報告したが、浸透問題はほかの諸問題との関連において今後も問題にすべきものが山積していることを

痛感する次第である。

圧縮, 圧密

一般報告

名古屋大学 浅岡 顕

- 80 飽和粘土の圧密特性に関する一考察 (本多)
- 81 圧密沈下計算に関する一考察 (寺田・高幣)
- 82 二次圧密を考慮した一次元圧密計算式 (松尾・大平・山口)
- 83 過圧密粘土の一次元圧密について (岡・Kabbaj・Leroueil・Tavenas)
- 84 赤泥池の貯泥容量について (第2報) (光成・落合)
- 85 異方性中空円柱の圧密 (熊本・吉国)
- 86 段階的施工過程を考慮した軟弱粘土の自重圧密沈下量の試算 (巢元)
- 87 埋立により層厚が増加する粘土層の沈下計算法 (山本・岡田・中堀)
- 88 多次元圧密地盤における物性定数の変化特性 (荒井・太田・小嶋・若杉)
- 89 非線形応力ひずみ関係に基づく多次元圧密地盤物性定数の逆解析 (荒井・小嶋)

このセッションで発表のあった10編は、いずれもが何らかの形で圧密の方程式とその解に関連していて、粘土の要素としての圧縮特性だけを論じているものはない。この意味ではすべて「圧密問題」を取り扱っている。一次元圧密に関するものが7編で、多次元圧密は3編でこの順に取り上げてゆくが内容は多岐にわたっている。

80, 82は二次圧密に関連している。80では、 $e \sim \log \sigma'$, $e \sim \log k$ (透水係数) の線形関係に基づいて一次元圧密の方程式を誘導している。 $e \sim \log \sigma'$ 直線関係を用いつつも c_v を一定に保つという Davis (ディービス) らの仮定よりはより一般的なものだが、得られた結果は難解な非線形偏微分方程式になっている。変数分離手法によって著者の得た特殊解は、間隙比 e の深さに沿う分布形状が形をかえず時間とともに平行移動すること、時間の十分大きいところで $de/d \log t$ が e の大きさにかかわらず (したがって深さにもかかわらず) 一定になること、などの点で二次圧密時に認められる挙動とよく似ているとしている。この特殊解は $t \rightarrow \infty$ で $e \rightarrow -\infty$ になるなど、解が前提としている荷重条件について詳しく触れられていないものの、今後の検討に期待したい。82は二次圧密を考慮した一次元圧密沈下～時間関係の計算式を与えている。式の形はテルツァーギ式の解を基礎にしている、これに二次圧密分として沈下量 $\sim \log t$ 関係をつけ加えている。実測沈下に合わせるため排水距離 H にかかる指数を2からかえたり、二次圧密の始まる時刻を別途に与えたりして、結果は実験式といえるものである

が、通常の圧密試験データから層厚の異なる別の供試体の沈下～時間の予測がうまく行える事例を掲げている。

81, 83は過圧密粘土に関するものである。81では、戦後埋め立てられた地盤の多くで旧海底の沖積粘土が一次圧密を既に終了しており、このような所で新たに構造物を作るときは、過圧密領域から正規領域にかけての沈下の取扱いが重要になってきている点をまず指摘している。そして $e \sim \log p$ の折れ曲り領域を $e \sim p$ の二次曲線で近似したときその係数が粘土のコンシステンシー特性とよい相関にあることを示し簡便な一次元全沈下の計算方法を論じている。指摘されている沈下問題は重要であり今後の実測値の収集と解析に期待したい。83は著者による過圧密粘土の構成式を用いて、一次元圧密・長期クリープ試験を境界値問題として解析している。そして過圧密、正規圧密両領域でひずみ速度依存性を考慮するときのみ、長期クリープ試験で圧密降伏応力を少し超える荷重下での $\dot{e} \sim t$ のS字曲線がよく説明できることを示している。同時に試験初期の圧密時にはS字型の間隙圧～時間関係もよく説明されている。圧密試験にはCRS, CGT等種々のやり方があるがいずれもがそれぞれの境界値問題を形作っている。したがって個々の試験ごとに見いだされる独自の挙動が単一の構成式によるそれら境界値問題の解析によって統一的に説明できることは、大事なことである。過圧密粘土はそのせん断特性も最近の話題であり、著者の研究の多次元問題への発展が期待される。

84, 86, 87は、浚渫工事に伴う超軟弱粘土地盤の自重圧密を取り扱っている。84, 86は、いずれも三笠式を積分しているものだが、特に84では室内圧密試験と5m立方体ピットによるフィールドテストでの $f \sim \log p$ 曲線が比較されパラメーターの決め方が詳しく検討されている。そして c_v のとり方 (室内試験より数倍大きくなる) と f_0 (原始状態) のとり方がうまくなされるなら実際の問題をよく説明できるとしている。86では $f \sim \log p$ 曲線の p の極小域での勾配の変化の計算への取入れについても工夫されている。87は間隙水圧で表した一次元圧密式を基礎に m_v , k , 層厚の変化を取り入れた自重圧密計算がなされている。直接の対比はなかったものの計算結果は三笠式によるものとよく一致する旨の報告があった。

85は中空円柱の圧密解析だが、この研究では中空円柱で考えられるすべての境界条件 (7種) に対し土の弾性の異方性 (横断等方性) の影響が網羅的に調べ尽くされている。圧密速さは物性的には土の固さと透水係数に依存するが、境界条件から言えば変位拘束条件と排水距離によっても支配される。そして土の弾性に極端な異方性を導入すること