

## 一般報告・総括

に今後、ファブリック変化と変形量や間隙変化との関連に関する研究が必要であることが述べられた。

## 総括

東北大学 柳沢栄司

発表論文 96～141 の46編は、砂あるいは礫のような粒状材料の強度と変形に関する報告であり、その内容は基礎理論から応用面まで多岐にわたっている。粒状体の力学は、過去20年にわたる多くの研究者の努力により、理論および実験の両面で格段の進歩をとげ、砂の変形や強度に関しては理論的にも実験的にも、ある程度基本的な事実が認識され、体系化がなされて来ている。したがって、現在の多くの研究は、まだ未解明な現象へと向けられており、強度や変形特性に関して、より詳細な、より正確な、そしてより厳密な検討が行われている状況にある。

砂の構成式に関する研究では、各著者の主張する種々なモデルあるいは仮説に基づいて構成式を、例えば主応力方向回転時の変形のように複雑な応力履歴あるいは試験条件に適用し、それぞれ土の応力ひずみ関係を正確に記述することが試みられている。このような研究の中で 132 および 134 の発表に見られるような、砂と粘土の変形挙動を統一的に記述しようとする試みは、新たな研究動向を示すものとして注目される。一方、実験的な研究においては、従来の主応力方向を固定した実験に対し、主応力軸が回転した時の変形特性、固有異方性を有する砂の変形を強度あるいは変形に及ぼす誘導異方性の影響など、より複雑な応力条件での室内試験結果が報告されている。このような複雑な応力履歴に対しても構成式による記述がある程度可能になって来ているが、粒状体のように複雑な材料ではまだ十分には解明されていない挙動もあり、当分このような研究の動向は続くものと思われる。このような理論と実験の動向から見ると、砂の変形と強度に関してはマイクロメカニカルな考察が更に進められる必要があると思われる。連続体としての砂の巨視的な挙動を個々の粒子レベルの微視的な考察（例えばファブリックの変化など）に基づいて記述し体系化することが今後の課題である。また、応力ひずみ関係について言えば、試験機や試験方法の違いによって大

きく影響されるので、試験機の特性やその精度に関する研究も重要である。例えば97のような、試験方法に起因する測定誤差を少なくする方法や新しい工夫は興味深い。電子技術の発展が著しい今日では、新しい手段による計測技術の開発が可能ではないかと考えている。新技術を利用して応力やひずみを正確に測定する新しい手法が開発されることを期待している。

粗粒材に関する研究では、供試体直径が 30 cm 以上の大型圧縮試験機による試験結果についての発表が 6 編あり、それぞれ最大粒径、相似粒径、せん頭粒径などの粒度や供試体寸法によって強度および変形特性がどのように影響されるかが論じられている。過去においては粗粒材の試験には一面せん断試験機がよく用いられていたが、最近では精度の高い三軸圧縮試験機が数多く用いられているのは大変喜ばしい。これらの研究ではロックフィル材あるいは捨石材を対象とした締め固めた供試体について試験が行われているが、自然地盤における乱さない礫質土の試験も今後必要となるであろう。例えば、自然斜面の安定性を検討する際に強度定数が定められないということは良く経験されることである。この時、乱さない土の強度定数が求められれば、設計・施工上有用なことは明白である。礫分の影響を詳しく調べるとともに、例えば96の研究のように乱さない供試体についての試験結果との比較がなされることが重要である。このためには、礫を含む材料について乱さない試料の採取方法と供試体作成方法などが検討される必要がある。

このほか、土と鋼やコンクリートとの摩擦機構に関する報告が興味深かった。これは、単に擁壁や杭などの土と構造物の摩擦則にとどまらず、補強土あるいはジオテキスタイルなどの効果を考察する手法として、土とほかの材料との摩擦現象に応用できるという点で意味があると考えられる。近い将来、粒状体力学の応用面として、このような礫や補強材の入った複合材料あるいは異質な材料としての力学が進展することを願っている。

紙面の都合と筆者の個人的な興味とから、ここでは限られたテーマについてのみ述べたため、取りあげられなかった多くの報告があるが、この中にも重要でかつ貴重な研究成果が多数あることを付記しておきたい。

## せん断 2・3 (粘性土 特殊土, その他)

## 一般報告

函館工業高等専門学校 佐野信房

142 全応力一定の下で間隙水圧を上昇させた場合の粘性土の三軸せん断特性 (今井・片桐・坂田)

143 小型間隙水圧計による粘土供試体中央位における間隙水圧測定 (佐野・岩淵)

144 三軸圧縮試験供試体内間隙水圧分布の測定 (荒井・

町原・羽柴・趙)

145 塑性の異なる飽和粘性土の CIUC における強度・変形特性 (今泉・正垣・安井・山口)

146 ひずみ速度を変化させた有明粘土の三軸圧縮試験結果 (永津・江藤・川畑)

147 過圧密粘土におけるひずみ速度効果に関する実験 (荒井・福井・羽柴)

148 飽和粘性土の強度特性に及ぼす圧密時間の影響につ

いて（小林・中瀬・斉藤・竹村）

149 長時間圧密飽和粘土のせん断変形特性（上・藤原・安原）

150 人工的にセメンテーション効果を与えた粘性土の土質工学的特性について（嘉門・長尾）

伸張条件下で間隙水圧が増加して破壊に至る時の特性142, 供試体中の間隙水圧の不均一分布143, 144, せん断速度効果に関するもの145, 146, 147, 圧密時間の影響148, 擬似過圧密土に関するもの149, 150の9編が本セッションで取り上げられた。

142は間隙水圧が上昇することにより斜面が不安定になる事象のシミュレーションで、圧縮条件での既報に続く伸張条件下の報告である。間隙水圧を段階的に上昇させるにつれ間隙比は大きくなり、応力経路は急激な変化を見せ限界状態線に向かう。応力比 $\eta = -0.9$ を境界とし、これ以下になると体積ひずみやせん断ひずみが急増し、破壊が生じる。

143は供試体側面に小型水圧計を設置し、中央位の間隙水圧を標準的測定値である底面間隙水圧値と共に3種のせん断速度の下で測定比較した。高速時および中速時には側面の水圧は速やかに上昇するが底面のそれは低い。低速時には両者ほぼ同一の値を示している。側面の間隙水圧測定は変形に対する応答が速やかであるが、底面における測定は応答が遅い。更に低透水性の試料土に関するデータ蓄積し、せん断領域の値を底面の値から高い確度で推測する手法を期待する。

144は供試体内部にプローブを埋め込み、ろ紙を介して側面間隙水圧を測り、底面と合わせて3箇所の間隙水圧を2種の速度の下で得た。中央は変形に対する応答が速やかであるが側面では応答が遅い。底面の方が側面より速く応答する。このことは143の傾向とは異なり、お互いに検討してみることになる。圧縮条件以外の条件下でも同一傾向が見られるか確認の必要ありとの意見があった。

145は塑性指数 $I_p$ の異なる3種の土について、応力解放のない理想的な採取試料を設定し、せん断速度の影響を調べた。高速になるほど有効応力経路ESPは右方に膨らみ、最大主応力比は低下し、したがって $\phi'$ を過小評価することになる。このことは143, 144で実測されているように破壊域の間隙水圧が遅れて下端に伝わるからであり、せん断途中でせん断速度を変えるとESPがそれぞれ単一のせん断速度によるESPに沿うことにより検証され、有用である。 $I_p$ により変形係数を推定できることも合わせて報告されている。

146は乱されない有明粘土のせん断速度依存性について検討した。破壊間隙水圧への影響は大きい、破壊強度へはそれほど大きくない。変形係数はせん断速度のみならず、側圧にも影響される。全応力による $\phi$ は影響されないが有効応力による $\phi'$ は影響される。0.005%/分は排水条件を

満足しない。これに対して $\phi'$ はせん断速度により変化しない値であり、間隙水圧測定に検討の余地がないだろうか、ゴムスリーブからの浸透のおそれはないのかの疑問が出された。

147では過圧密比の異なる粘土におけるせん断速度の影響を検討している。限界状態より湿潤側においてせん断速度の影響は見られるが、乾燥側においては影響が小さい。ダイレイタンシーが顕著になる点を有効応力経路から判断し、ダイレイタンシー体積ひずみ $\Delta v_d^*$ を求めるとこの値はせん断速度に依存しないようである。ESPからの判定は難しいが興味深い着眼である。 $\phi'$ が圧密時間により変動しており、原因の解明を期待する。

148は圧密時間の長短による影響を検討しており、最長22日の圧密がなされている。長く圧密されるとひずみ軟化が顕著となり、軽く過圧密されたESPに似てくる。圧密による強度増加率と破壊時間隙水係数は影響され、有効応力内部摩擦角は影響されないようである。ほかのせん断速度の下では異なった関係となるのではないかとの意見があった。

149は長期圧密による擬似過圧密土のダイレイタンシー特性を関数化しようとの試みである。ダイレイタンシー関数のパラメーターは2個あり、そのうちの一つは圧密時間に依存する。実測傾向は表現されるが初期部分の対応が不十分とのことである。この部分を克服できると擬似過圧密土のせん断特性の予測精度向上となろう。

150は擬似過圧密の原因の一つのセメンテーションの影響を単独に検討した。人工的にセメンテーションを発達させた試料土では、圧密降伏応力 $p_c$ が増大し、 $e \sim \log p$ 曲線の飛び出しが見られ、またぜい性が高まり、割線係数が大きくなる。過圧密領域および $p_c$ よりやや高い圧密圧まで強度の増大が見られるが、セメンテーションの構造が破壊されると強度の増加は見られず、無処理土と同値である。この効果を打ち消す最低の圧密応力の求め方、指針の提示が望まれる。

埼玉大学 風間秀彦

151 せん断中の土粒子再配列とせん断特性について（中山・黒瀬・富田）

152 亀の瀬地すべり土の残留強さと粒子配向（宜保・江頭）

153 圧密時の応力条件が三軸せん断特性におよぼす影響（菊池・土田・中島・小林）

154 一軸圧縮強度の異方性とその要因（風間・井澤・森田）

155 洪積粘土の強度の異方性（村松・末岡・多賀谷・小林）

156 洪積層粘土の骨格構造の安定性について（横江・川端・軽部）

157 ある洪積粘土のせん断強度特性について（金谷・甲元・半澤）

## 一般報告

158 原位置ベーン強度の安定解析への適用について（西原・太田・飯塚・平川）

159 プレッシャーメーター周辺要素の経験する応力経路（深川・太田・飯塚・西原・森田）

160 プレッシャーメーター試験による強度の異方性と時間依存性の解析（飯塚・太田・西原・深川・森田）

粘性土のせん断に関する2番目の本セッションの主テーマは構造・強度異方性と原位置強度ということになる。10編の内容は目的、方法、対象土など極めて多岐にわたっているが、あえて分類すると、①構造・強度異方性：151～156、②原位置強度・解析：157～160のようになろう。

151と152はせん断に伴う微視的構造を直接扱っている。151は長年にわたる研究で、3種類の液相の再圧密カオリンを切出し角を変えた供試体について定体積一面せん断試験を行い、強度変化と走査型電子顕微鏡を用いてせん断による構造変化を調べている。152は亀の瀬の地すべり土についてリングせん断試験(CD)によってせん断面の粒子配向をX線回折から求め、その程度と残留強度との関係などを検討している。そして、配向性に関してはSkemptonらと同様な結果を得ている。この種の研究は圧密による構造変化と違って変位量、また局部によって著しく構造が異なるのでその把握や評価が難しいといえる。更に、構造をせん断機構の解明や強度・変形にどのように関連づけるかが今後の課題となろう。

153は沖積粘土を等方圧密と $K_0$ 圧密後に三軸圧縮と伸張試験を行い、圧密方法による強度差や異方性を実験的に明らかにしたものである。実際の地盤は一次元圧密と考えられているが、通常等方圧密による三軸圧縮試験が多用されている。当日の質問にもあったようにペーパードレーン併用による排水方向の相違など要素試験と実際の地盤の対応をどこまで行うべきかなどの問題もあり、今後の研究に期待したい。154は乱さない沖積粘土と再圧密粘土の一軸圧縮強さの異方性の程度を各種土質定数との関係から明らかにしたものである。塑性指数が小さいほど強度異方性は大きい、乱さない試料では圧密降伏応力や $K_0$ との関係は明りょうでないとしている。

155～157は洪積粘土についての研究であり、155は供試体の切出し角を変えて一面せん断(CU)と三軸圧縮(CU)試験を行って強度異方性を求めたものである。一面せん断の結果から堆積面の強度が最も小さく、主働状態より受働状態の強度が大きくなり、三笠らや151の結果と逆の傾向にある。この点に関し、堆積面と現在の水平面が一致していないこと、試験条件(UUとCD)の相違、せん断速度による部分排水などによるとの意見が出され、結果の妥当性と解釈について活発な議論がなされた。これらの議論を踏まえて今後の解明を望みたい。157は原位置のベーン試験、室内の一軸圧縮、一面せん断(CU, CD)試験を行い、非排水せん断強度はベーンと一面せん断の結果はほぼ等し

いが、一軸圧縮試験の結果はこれよりかなり小さいこと、洪積粘土の強度特性は正規圧密のAged粘土のそれと比較的よく一致することなどを示している。せん断強度を求めるには各種の方法があり、質問にもあったように特に洪積粘土の場合にそれぞれの結果がどのような関係にあり、設計にどの試験結果を採用すべきかは実務の面でも大きな関心事である。その意味においてこの種の研究成果に負う点が大きいいえる。以上の強度異方性は主応力の回転と構造異方性に起因するので両者を分けて把握できると、新たな発展が期待できると思われる。156は洪積海成粘土の静的繰返し試験を行い、力学特性に及ぼす年代効果の影響を評価しようとしたものである。粘土によって骨格構造が弾性的挙動を示すこと、間隙比よりも固結構造が弾性係数を支配していることなどを述べている。なお、載荷速度が $p \sim q$ の傾きに影響すると記していたが、試料の種類や乱れの影響があるので、現段階では中間的な結論にとどめたいとのことであった。

158～160は軟弱地盤を対象にして、プレッシャーメーター試験の応力～ひずみ関係や強度(159)、更に一面せん断強度との対応と排水の影響(160)、ベーンせん断強度を実際の安定解析に適用する際の補正方法(158)などに関する一連の研究と見受けられる。解析では土質パラメーターを塑性指数の関数で表し、関口・太田の構成式を用いて、実験値や実際の破壊例との対応から検討を加えている。その結果、完全非排水状態では159は応力、ひずみ、強度が良好に推定でき、160はプレッシャーメーター試験の計算強度が一面せん断強度と大差がないことなどを報告している。また、158はBjerrumの補正の考え方に基づいて異方性、せん断速度、せん断機構などによる補正係数を塑性指数と関係づけて提案している。原位置の測定強度などはある限られた条件下の定数であり、実際に適用する際に従来の定数との関係や補正などが必要になるが、未知な点が多い。そこで、この種の研究は今後盛んになることを願うとともにその成果を期待したい。

本セッションの討論は155～157の洪積粘土の研究に集中し、その関心の高さを物語っている。洪積粘土は沖積粘土に比べて力学的な支配因子が多く、また研究も比較的少ない。そのため未解明な点も多く、今後の研究に負う点が多いと思われる。

北海道大学 三田地利之

161 圧密圧力と土試料の差が乱れを受けた粘性土の強度変形に与える影響（正垣・松尾）

162 有明粘土の乱れによる強度低下とその回復（鬼塚・堀越）

163 異方圧密粘性土の応力・変形特性に及ぼすひずみ履歴の影響（林・落合・井口・山本）

164 砂含有量の異なるシルト質粘性土のせん断特性について（吉村・丹羽・土居・小川）

165 土の強度特性に及ぼす細粒子混入率の影響 (庄司・吉田・金谷)

166 種々の土における変形係数の拘束圧依存性 (大河内・斉藤)

167 三主応力下における等方圧密粘土の非排水せん断特性 (棚橋・川口・吉良・浅岡・持下)

168 正規圧密粘土の部分排水三軸圧縮試験 (浅岡・三隅)

169  $K_0$  過圧密粘性土の変形特性 (第2報) (三田地・木幡)

170 有限要素法による有機質土の要素試験解析 (森・山口)

このセッションの10編の論文を大別すると, (i)せん断特性に及ぼす供試体の乱れや変形の影響 161, 162, 163, (ii)中間土の強度・変形特性 164, 165, 166, (iii)構成式関係 167, 168, 169, 170の3グループに分けられる。

161は圧密圧力や供試土が異なっても  $q_u$  の低下率に及ぼす各種要因の影響度を統一的に扱えるか否かを検討したもので,  $q_u$  の低下率という指標は試料の攪乱要因の統一的な尺度とみなし得るという結論を得ている。更に, 室内再圧密土と原地盤粘性土で, 乱れに対する影響度に差がないとしているが, 同一の粘性土について自然堆積状態と室内再圧密状態での鋭敏比の比較データの蓄積が必要と思われる。162は有明粘土についてのベーン, 一軸および直接せん断試験の結果をもとにして, 応力～ひずみ曲線からの乱れの判定, 繰返しせん断による強度の増減などについて考察したもので, 有明粘土は超鋭敏粘土に属すること, 従来の有明粘土に対する乱れの判定規準は検討の余地があることなどを示している。また, 繰返し後の強度回復についても調べているが, 強度回復がかなり早いように見られるので, 繰返し後短期間での回復率を調べておく必要はないだろうか。163は三主応力制御試験機を用いて, 主応力空間内のある領域で与えたひずみ履歴の影響が別の領域での応力・変形特性にどのように発現するかを調べ, 最初の載荷でのひずみが大きいほど後続の載荷時の応力～ひずみ曲線の傾度が小さく, ひずみ履歴なしの曲線への収束が遅れることなどを明らかにしている。今後, 間隙水圧挙動についても検討されることを期待したい。

164は最適含水比での締め固められた混合土のせん断特性に及ぼす砂分混入率の影響を三軸UU試験によって調べたもので,  $c_u$  は砂分混入率の増大とともに減少するが,  $\phi_u$  はほぼ一定であること,  $c_u$  と  $\tan \phi_u$  には弱い負の相関があることなどを明らかにしている。今後, 更に砂分の混入率や粘土分を増大させて実験される予定とのことなので, その成果が期待される。165はシルト以下の細粒子混入率の変化による土の強度特性の変化を  $K_0$  圧密三軸圧縮・伸張試験によって調べたもので, 細粒子混入率の減少とともに  $K_0$  が減少し,  $\phi'$ ,  $\phi_a$  および強度の異方性が大きくなること, 細粒子混入率が0.2から0.25付近でせん断特性が変化

することなどを示している。強度の異方性の変化を明らかにするためには, 伸張試験のデーターの吟味が必要と考えられる。166は土の変形係数の拘束圧依存性について多数の圧密排水および非排水三軸圧縮試験結果をもとに検討したもので,  $E_1$  や  $E_{30}$  を拘束圧の一次式 ( $E=B \times \sigma_c + A$ ) で表したときの係数  $A$ ,  $B$  と強度定数  $c$ ,  $\phi$  との間の相関について調べ,  $A$  と  $B$  の間には良い相関があるが,  $c$ ,  $\phi$  と  $A$ ,  $B$  との間には明りょうな相関が見られないとしている。今後,  $D_r$  や  $I_c$  との相関を検討されるとのことで, 成果が期待される。

167は有明粘土の三主応力下における強度変形特性を調べ, 既往の弾塑性構成式による計算値との比較を行ったもので, 中間主応力の増大とともに間隙水圧-ひずみ曲線の初期勾配が大きくなり, 破壊ひずみが減少すること,  $b$  値の減少に伴い, 正八面体面上に投影したひずみ増分ベクトルの向きが半径方向から逸脱することなどを示している。間隙水圧挙動について既存のデーターとの比較の必要性が感じられる。168は部分排水条件下での局部載荷による変形解析のためのパラメーター同定法の提案をしたもので, 部分排水条件下でのせん断中の鉛直変位と体積変化の観測結果から, Cam-clay 式を使ってすべてのパラメーターを同時に逆算する手法を示している。また, 同時に三軸試験時の端面摩擦の影響に関する解析結果も示している。討論にもあったように, 部分排水の実験による検証が期待される。169は過圧密比10で  $K_0$  圧密した粘性土についての各種応力経路での排水三軸試験における応力～ひずみ挙動について調べたもので, 状態境界面下でも体積ひずみの塑性成分が見られ, その大きさは平均主応力の大きさのみでは一義的に定まらないこと, また, 体積ひずみについては重ね合わせが成立することなどを示している。170は正規圧密の黒ぼく土に対して排水三軸圧縮試験および異方圧密試験を実施し, 異方硬化モデルの適用性の検証を行ったもので, モデルは異方圧密試験で生じる変位を過小評価する傾向にあるが, 側圧一定排水試験の状態経路, 応力～ひずみ関係の実験結果を概ね良く表現出来るとしている。169についても言えることであるが, 実験供試体が, モデルの前提となっている諸仮定を満足するような挙動をしているか否かについての吟味が必要と考えられる。

なお, 各グループの発表論文に対してなされた主な討論は以下のである。

- (i) 試料の乱れの判定規準として採用すべき指標について
- (ii) 変形係数に及ぼす応力履歴の影響, 変形係数の拘束圧依存性の表現式, 中間土の  $PI$  と強度異方性の関係などについて
- (iii) 解析結果と実験値との対応について

神戸大学 軽部大蔵

171 異方圧密粘土の非排水せん断特性とその構成式につ

## 一般報告

いて(原)

172 異方圧密粘土の排水せん断特性(池浦・三田地・中嶋)

173 粘性土の応力-ひずみ挙動におよぼす異方圧密経路の影響(三田地・水上)

174 正規圧密粘土の平面ひずみ試験と弾塑性構成モデルによる解析(中井・都築・山本・菱田)

175 自然過圧密粘土の構成式(岡)

176 粘性土におけるひずみ増分比~応力比関係の時間依存性(森脇・網干・中ノ堂・藤井)

177 粘土の弾粘塑性モデルの構成と基準状態(松井・阿部)

178 非排水クリープ挙動に対する流動曲面モデルの適用性(松井・阿部・林・中野)

179 流動曲面モデルに基づく正規圧密粘土の時間依存特性(松井・阿部・林・中野)

180 三次元応力下における粘土の非排水粘塑性挙動の解析(中井・都築)

発表された研究は、すべて弾塑性あるいは弾粘塑性仮定に基づく飽和粘土の構成式を中心に据えた力作揃いであった。171は、排水三軸圧縮状態で任意の応力点まで載荷された正規圧密供試体を、その点から非排水軸圧縮するときの応力・ひずみ式を導き、実験で照査したものである。式による理論値は、軸圧縮開始点に至る応力径路に無関係に、その点の応力比に影響されることとされている。一方、172と173の発表は、やはりそれらの発表者らが導いた応力・ひずみ式を実験によって検証したものであるが、提案式が当対象としているのは、軸対称応力状態で異方圧密された正規圧密供試体が、引き続き任意の応力径路に沿って排水せん断される場合であって、ここでは、圧密径路とせん断径路のなす角がパラメーターとされている。したがって、厳密には、171と172、173は両立しないと思われるが、前者の基礎となった実験の応力条件の範囲が後者のそれよりも狭いことを考えると、両者に矛盾はないのかも知れない。なお、これに関連して、実務的には「 $K_0$ 圧密三軸圧縮試験」の圧密過程を、 $K_0$ 値が既知の場合は、「等方圧密後側圧一定排水軸圧縮」で代用することが一部で行われている。このような応力履歴の供試体が、精密な $K_0$ 圧密を受けた供試体と事実上同じ軸圧縮挙動を示すことは、今年6月に行われたASTMの三軸試験シンポジウムでも報告された。

174は、 $K_0$ 圧密された供試体を平面変形条件下で排水圧縮試験した結果を、発表者らのいわゆる $t_{ij}$ 粘土モデルで解析したものである。理論式による数値計算は、ほかの簡単な試験から得られたパラメーターを用いて行われたが、実測値とかなりよく合致している。平面変形状態は現場では日常的でありながら、室内試験は実施しにくいので、この種の研究はその実用的意義も小さくないと思われる。

乱さない過圧密粘土は、せん断試験中にひずみ軟化現象

を示すことが多いが、これを表現できるモデルは少ない。

175は、発表者が既に提案したモデルで、この現象を説明したものである。ひずみ履歴に対して応力が遅れて対応するという仮定を表すパラメーターを導入したところに特徴があると思われる。176は、まず正規圧密粘土を弾塑性体と仮定したときの理論 $K_0$ 値を詳細に論じ、つぎに2種類の試料について、それぞれさまざまな主応力比のもとで行われた排水クリープ試験の結果を紹介している。試験中のクリープ主ひずみの時間的推移から推測すると、試料の $K_0$ 値は、一方の試料では時間の経過とともに減少し、他方の試料では増加することとなる。長期クリープ試験は技術上の問題が多いが、試験を系統的に行い、「弾粘塑性モデル」に持ちこまれるよう期待する。

177、178および179は、同一の研究グループによる発表である。発表者らは、弾粘塑性モデルに関して、従来から特定のモデルにこだわらず一般的に理論構成とモデルの挙動の関係を解析し、理論の体系化を進めておられるようである。177の前半は、モデルの挙動が、弾粘塑性モデルの2大分類一超過応力型か流動曲面型か—によるよりも、むしろ仮定された粘性ひずみとその速度の関係式に支配されることを証明した。後半は、モデルを確定させるために仮定される「基準状態」に言及している。178は、既往の三軸非排水クリープ試験結果を発表者らのモデルで説明したものである。モデルに含まれるパラメーターのうちのいくつかは、クリープ試験結果そのものから逆算されているとはいえ、理論値は実験値に全面にわたってよく合致している。ただ、上限降伏応力付近でフィッティングが困難となっているが、これはむしろ実験の微妙な誤差によると想像される。179は、やはり発表者らが提案しているモデルの三軸圧縮状態における数値計算例であり、ひずみ制御試験とクリープ試験あるいは応力緩和試験の違い、および発表者ら独自のパラメーター、 $\delta$ の作用が明示されている。

180は、本来弾塑性モデルである $t_{ij}$ モデルに、関口・太田の考え方を導入して弾粘塑性モデルを作り、この新モデルの特性を数値計算で示したものである。モデルの時間依存性は、粘性体積ひずみの定義式で導入されている。モデルの基準状態が、ほかの多くの研究と違ってカムクレイモデルでなく、 $t_{ij}$ モデルであることによる特徴が、一般応力状態における諸計算値やクリープ破壊ひずみに現れている。

なお、以上の発表者に限らず、一般に構成式の研究者は、それぞれに相当の研究史を持つため、現行の発表時間と概要集の紙数だけで大方の理解を得ることは難しい。したがって、概要集に参考文献を記す意義は大きい、もしその文献が一般に入手し難いとなれば、意義は減殺されよう。

中央開発(株) 渡辺 進

181 ローム質スコリアの物理、力学的性質について(長尾・安原・新井)

182 斜面問題における乱さないまさ土のせん断試験法に

土と基礎, 34-10 (345)

ついて（青山・桜井・西田・松谷）

183 礫質不攪乱まさ土の三軸排水せん断特性（清水・岡田）

184 風化度の異なる乱さないまさ土の圧縮・せん断特性（村田・安福・浅上）

185 不攪乱まさ土の非排水繰返しせん断試験（吉国・一瀬・福島）

186 締固めた飽和石炭灰の一軸強度（今井・工藤・岩出・吉原）

187 セメントで固化させた飽和石炭灰の三軸圧縮せん断特性（今井・工藤）

188 繊維性有機質土のせん断特性におよぼす有機物の形状・寸法効果（図子・山口・木暮）

189 泥炭の単純せん断特性に及ぼす供試体寸法効果に関する実験的考察（山内・山口・木暮・長野・鎌田）

190 泥炭の非排水せん断特性に及ぼす圧密度（圧密時間）の影響（三田地・成田）

191 泥炭性有機質土のダイレイタンス特性に及ぼす圧密時間の影響（対馬）

192 三主応力下における有機質土の応力-ひずみ関係（小田・山口・木暮）

当セッションで扱った12編の論文を特殊土の種類から分類すると、スコリアが1編181、まさ土が4編182～185、石炭灰が2編186、187、高有機質土関係が5編188～192である。

181は火山性砂質土であるスコリアの土質試験結果の報告である。この土は構造性が高く、不攪乱試料の採取が困難であり、この研究でも、結局、試験の多くは攪乱試料によっている。このような土の基本的性質を把握する方法として、ここでは二つの方法がとられている。一つは現場密度に合わせて室内試験用供試体を作成したこと、もう一つは同種の起源を持つほかの土、すなわち関東ロームおよびしらすと比較考察していることである。なお、地学的環境の問題を含む現地状態の把握も必要と思う。

182はまさ土斜面の土層構造の調査に基づき、その崩壊のすべり面を、たかだか20cm程度の厚さの緩み帯として捉え、このような現場での強度を知るために、要素試験ではなくモデル試験としての原位置多段式単純せん断試験を行ったものである。下部が岩で拘束された場合の強度が特に大きいことが注目される。まさ土斜面の崩壊事故が毎年のように繰り返されている今日、現場問題に直結したこのような研究の一層の発展が望まれる。

183は不攪乱まさ土についての著者の永年の研究の成果をふまえて、風化があまり進行していない硬質高密度のまさ土をとりあげ、せん断特性に対する風化度の影響を考察したものである。風化度の指標として初期間隙比 $e_0$ をとり、これと $\phi'$ 、 $G$ 、 $C_c$ などとの関係を明らかにすることによって、まさ土の力学的性質の一般化を追求している。こ

れらの関係が全国に賦存するまさ土の母岩の種類あるいは地学的条件によってどう影響されるかも、困難ではあるが重要な課題と思われる。

184も、乱さないまさ土の圧縮せん断特性と風化度との関係を考察している。風化度の指標としては“修正強熱減量”を採用している。これらのデータの諸傾向は、定性的には183と一致しているようであるが、定量的には、例えば $L_{ig} \sim e_0 \sim C_c$ の関係のように、必ずしも一致していると言えない。技術的問題についての相互の討論が、各々の研究の進展に役立つと思う。

185は、昨年の発表に引き続き、不攪乱まさ土への繰返し載荷がその後のせん断特性にどう影響するかを三軸圧縮試験によって調べたものである。繰返し載荷によって液状化した試料のその後のせん断特性は、繰返し載荷を受けていない原試料のそれと大きく異なる。液状化しなかった試料の特性も一部変化しており、著者はこれを繰返し載荷による軽微な構造破壊としている。今後更に多くのデータの積重ねにより、材質の違いや風化度の違いとの関係も明らかにされることを期待したい。

以上の4編は、原位置せん断試験を含めていずれも不攪乱まさ土による実験的研究であるが、不攪乱性を保持するための手法がそれぞれ異なっている。各手法の比較試験をすればよいように思われるのだが、まさ土地盤では実際上同一とみなしうる多量の試料の確保自体が困難なのであろう。

重要な産業廃棄物である石炭灰は主に盛土材などに不飽和状態で利用されているが、地下水位以下あるいは水底の地盤材料として使う場合、飽和状態でも強度発現があるのか、また、どの程度あるのかが問題となる。186は主に一軸圧縮試験により、この場合の強度特性を調べたもので、今回の結論は、飽和状態でも石炭灰は一軸強度を発現することがある、と控えめな表現になっているが、この材料の利用者からみれば重要な成果である。今後、強度発現の条件と程度について定量的な解明がなされていくことを期待したい。

187では、飽和石炭灰をただ締め固めるのではなく、セメントを添加して固化させた試料の強度変形特性を調べ、一軸強度がCD条件の三軸強度に近いこと、中程度の拘束圧でピークをもつ正のダイレイタンスを示すことなどを明らかにしている。

電子顕微鏡写真では、石炭灰粒子は表面の滑らかな球状をしている。一見安定な微砂のようなこの粒子も、物理化学的性質は石炭の種類や燃焼方法によって異なるであろうし、それが添加材との反応性や、ひいては工学的性質に反映するであろうから、実験用原料の特定方法も検討する必要があると思われる。

188は泥炭のせん断特性に及ぼす有機物の寸法・形状の影響を調べるために、おがくずやチップから成る人工材料



## 一般報告・総括

と泥炭に対して三軸圧縮試験を行い、その結果を Rowe のスリップモデルと Cam-Clay 理論に基づき粒子の形状効果を取り入れた応力-ひずみ式で説明している。比較試験材料が特異なものであるから、実験結果と計算値の関係が、合っているとみてよいかどうか判断が難しい。

189 は SGI 型単純せん断試験機を用いて、上記 188 より更に多くの種類の泥炭とそのダミー材料および豊浦標準砂のせん断特性を比較したものである。実験結果から、供試体寸法効果、過圧密と異方性の影響、粒子形状寸法の影響などが定性的に考察されているが、著者が今後の課題として触れているように、泥炭の力学的性質には腐植〜分解度の影響も無視できないと考えられる。

190 は不攪乱泥炭の等方圧密非排水三軸圧縮試験における圧密時間のとり方を検討したもので、「土質試験法(第2回改訂版)」が粘性土に対して推奨している方法(同書 p. 516)が、泥炭に対しても適用できるとしている。

191 は高有機質土のせん断特性への圧密時間の影響に関するこれまでの研究を、粘性土と混合土に拡張して包括的に検討しようとしたものである。二次圧密期間の長短による強度定数やダイレイタンス特性の変化の程度は、粘土では小さく、有機質混合量が多くなれば大きくなることが示されている。特定の対象から出発する特殊な理論が一般化されていくのは、学問の重要な指向の一つであり、この有機質土系についても、不攪乱土あるいは実地盤に向けての今後の一層の発展を望みたい。

192 は三主応力が独立に載荷できる三主応力試験装置により、三主応力下における有機質土調整試料の破壊特性と変形特性を求めたものである。破壊状態は Mohr-Coulomb の破壊規準に外接する曲面となり、破壊時の応力比  $M_e$  を用いた新しい破壊規準を提案している。またこの  $M_e$  を用いて軸対称応力下の有機質土の応力-ひずみ関係式を三主応力下で拡張し、これにより有機質土の変形特性が十分に予測できるとしている。粘性土の三主応力せん断特性がまだ十分に解明されていない段階での有機質土へのこの取り組みに敬意を表したい。

特殊土とは何か。既存の理論では説明しがたい土、通常の方法では適切に処理できない土、ということができよう。多くの研究者、技術者が取り組んでいるのも、それぞれの特殊土を説明する理論や適切に処理できる方法の確立にある。その場合、相互のデータの比較検討がどこまでできるかが、特殊土研究の一つの泣きどころではなかろうか。そのためにはどの範囲のデータがあればよいのか。恐らく、特殊土ごとにその項目は異なることになるだろうが、いずれにせよ、地学的生態論的因子を含めて、いわゆる Well Documented の方向への努力を更に重ねていくことが大切と思われる。

特殊土のせん断特性を現場に即して調べる場合、上記にも関連して、地盤としての状態や性質を念頭におく必要が

ある。182 がその例であるが、泥炭も同様であり、例えばヨシ泥炭と言っても、ヨシの葉茎が水平に堆積している地盤と、茎が鉛直方向のままで地盤表層を形成しているものとは、外力に対する挙動は大きく異なる。場合によっては供試体のせん断の枠を超えた把らえ方も必要になってくるのではなかろうか。

## 総括

愛媛大学 八木則男

142 から 192 までは粘性土のせん断強度・変形に関する研究である。一部に特殊土に関する研究が含まれているが、そのうちまさ土に関する研究は砂質土の領域に入ろう。粘性土のせん断に関する研究は古くから現在もお数多くなされており、その遍歴を述べるのは大変な仕事であるので、最近の傾向をみるために、発表された論文を分類し、それらについて若干の意見を述べたい。本セッションで発表された論文を分類すると次のようになるが、この分類は筆者が思いつくままに行ったものである。

- (1) 粒子構造・配列(9編): 粒子配列の異方向性、ひずみ、繰返し応力またはひずみによる乱れの問題
- (2) 特殊応力状態(9編): 異なる三主応力状態、 $K_0$  を含む異方圧密、そのほか特殊な圧密・せん断状態
- (3) 時間効果(8編): 圧密時間の影響、擬似先行荷重、ひずみ速度、クリープ等の問題
- (4) 自然粘性土(4編)
- (5) 混合土(3編)
- (6) 間隙水圧(3編)
- (7) 弾塑性解析(6編): 構成式、要素試験の解析
- (8) 特殊土(12編)

前年のこのセッションの総括での京大の足立教授の記述に粘土、砂、岩の別なく統一的な表示のできる構成式を考える時期であるとあるが、このことについては筆者も常から考えており全く賛成である。このことは粘土とか砂は粒子の集合体であるという基本的概念に基づけば、両者を統一的に解釈できるということであろう。当然粘土には粘土の、砂には砂の特性があつて、これらは別個に考えねばならないが、この特性を統一的な解釈に加えればよいわけである。このことに注目すればより一層の進歩がみられるのではなかろうか。

この点で、分類(1)の粒子構造・配列の問題は粘性土と砂質土では考え方が違っているように思われる。この方面の研究では(4)の自然粘性土の研究と合わせて、今後粒子構造の表示法や乱れの定量的表示法の開発が必要である。また、不攪乱粘土と攪乱再圧密粘土は、各々、自然堆積砂と振動締固め砂に対応していると思われ、砂質土における研究成果を参考にしつつ不攪乱および再圧密粘土を通じての統一的に力学特性を示す手法の研究が望まれる。これによって、繰返し再圧密粘土を用いた多大な研究成果が原地の粘性土

に適用される足がかりとなろう。

時間効果も砂質土では研究されていない分野であろう。これは粘性土の透水係数が小さいこと、および変形に対し粘性を有していることに起因している。クリープなどは古くから研究されているが、圧密時間の影響や擬似先行荷重の問題は最近のテーマである。地質学年代の効果を実験室でどのように再現するか、またその効果をいかに推定するのかといった問題がある。

次に特殊応力状態での三軸試験による研究は20年あまり以前より研究されている。新しい分野であるようであるが、既に数多くの資料の集積があるように思われる。一度これらの成果を整理して明らかになった事実を示す必要があろう。この意味で土質工学研究発表会においても、研究が集積された分野においては、オリジナルなものだけでなく、過去の成果を整理し、コメントを加えたものを発表する機

会があってもよいのではなかろうか。

弾塑性論を適用した構成式に関する研究は一時はかなりブームであり、発表件数も多かった。最近やや熱が冷めた感じがする。今なおこの分野で活躍されている方々に敬意を表するとともに、今後、土自体の特性を構成式の中に十分に反映させることを期待する。また、要素試験結果の解析に関するテーマは最近のものであろう。供試体が要素になっていない点（例えば端面摩擦）を考慮、解析を行い正確な定数を求めようとするもので、試験法の改良とともに進展されるべきであろう。更に供試体を要素と考えず、排水試験の結果を解析し、圧密・せん断に関する定数を一度に求めようとする試みもあり、今後に期待したい。

終りにではあるが、粘性土のせん断に関する研究は今後数多くなされるであろうが、少しでも多くの成果が土質工学の実用問題に活用されることを期待する。

### 動的性質1・3(一般 粘性土)

#### 一般報告

建設省 谷口栄一

193 フィルダム・コア材料の動的変形特性について(その1)(野間口・堀田・大熊)

194 フィルダム・コア材料の動的変形特性(その2)(野間口・堀田・大熊)

195 砂礫材料の動的変形特性(今津・福武)

196 粗粒材料の動的変形特性(その2)(松本・安田・大久保)

197 ロックフィル材料の動的変形特性試験(松本・安田・境野)

198 フィルダムコア材の動的変形特性に関する室内試験と現地試験との比較(緒方・安田)

199 人工泥岩の動的変形特性に関する研究(その1)背景と研究目的(原・清田)

200 人工泥岩の動的変形特性に関する研究(その2)三軸試験による力学特性(原・清田・田村・竹原・藤田)

201 人工泥岩の動的変形特性に関する研究(その3)動的単純せん断試験による変形特性(原・清田・田村・竹原・藤田)

202 人工泥岩の動的変形特性に関する研究(その4)解析的検討(原・清田)

203 砂礫材料の三軸供試体変形性状について(田中・工藤・小堀)

204 砂礫材料の動的強度に及ぼす試験条件の影響(田中・工藤・久保田)

このセッションの12編の論文を分類すると、礫質土の動的変形特性を取り扱ったものが6編、礫質土の液化化特性に関するものが2編、人工泥岩に関する試験・解析が4編

となっている。

193はフィルダムコア材のせん断弾性係数、減衰比を繰返し三軸試験により求め、各種の要因の影響について調べている。各種の要因の中では砂の場合と同様に、拘束圧、ひずみ振幅の影響が最も大きいことを示している。

194も193と同様にフィルダムコア材のせん断弾性係数を繰返し三軸試験より求めている。この論文ではせん断弾性係数に対する初期拘束圧比  $\sigma_3/\sigma_1$  の影響を特に調べており、 $G/G_0$  ( $G$ :せん断弾性係数,  $G_0$ :微小ひずみにおけるせん断弾性係数)とせん断ひずみ  $\gamma$  の関係に対する初期拘束圧比の影響はほとんどないことを示している。

195は砂礫材料のせん断弾性係数とせん断ひずみおよび減衰比とせん断ひずみの関係を文献調査によりまとめている。その結果、せん断弾性係数のひずみ依存性は砂礫が最も大きく、次に砂、粘性土の順になっている。

196はロックフィルダムの堤体材料のせん断弾性係数、減衰比、ポアソン比を繰返し三軸試験より求めている。ここでは主として初期の主応力比  $\sigma_1/\sigma_3$  の影響を調べており、粗粒材料のせん断弾性係数は平均主応力を一定とした場合、 $\sigma_1/\sigma_3=1\sim3$  の範囲では  $\sigma_1/\sigma_3$  が大きいほど大きくなることを示している。

197も196と同様にロックフィルダムの堤体材料のせん断弾性係数、減衰比のひずみ依存性について繰返し三軸試験を用いて調べている。その結果、ロック材・フィルター材のせん断弾性係数のひずみ依存性は砂に比べてより小さなひずみレベルから現れ、フィルター材はロック材よりも更にその低下が早いことを示している。

198はフィルダムコア材のせん断弾性係数に関する室内の繰返し三軸試験結果と現場における弾性波試験結果を比較し、微小ひずみ領域において両者の値はよく一致するこ